

構外海域の漂流物が施設護岸及び取水口へ到達する可能性について

1. はじめに

構外海域の漂流物となる可能性のある施設・設備が、施設護岸及び取水口に到達する可能性について、図 4.2.1.3-2 に示す漂流物の選定・影響確認フローに基づき、津波の流況を踏まえて評価する。

2. 津波流況の考察

(1) 流況考察時間の分類

島根原子力発電所構内及び構外における津波来襲時の流況について考察した。考察に当たっては、流況考察時間を最大水位・流速を示す時間帯とその前後の3区分に分類する。

日本海東縁部に想定される地震による津波（基準津波1）は、最大水位・流速を示す時間帯が地震発生後約180分～200分であり、海域活断層から想定される地震による津波（基準津波4）は、最大水位・流速を示す時間帯が地震発生後約5分～7分であるため、各々以下のとおり分類した。図1に流況考察時間の分類例を示す。

日本海東縁部に想定される地震による津波（基準津波1）

- 【1】最大水位・流速を示す時間帯以前（地震発生後約100分～180分）
- 【2】最大水位・流速を示す時間帯（地震発生後約180分～200分）
- 【3】最大水位・流速を示す時間帯以降（地震発生後約200分～360分）

海域活断層に想定する地震による津波（基準津波4）

- 【1】最大水位・流速を示す時間帯以前（地震発生後約0分～5分）
- 【2】最大水位・流速を示す時間帯（地震発生後約5分～7分）
- 【3】最大水位・流速を示す時間帯以降（地震発生後約7分～30分）

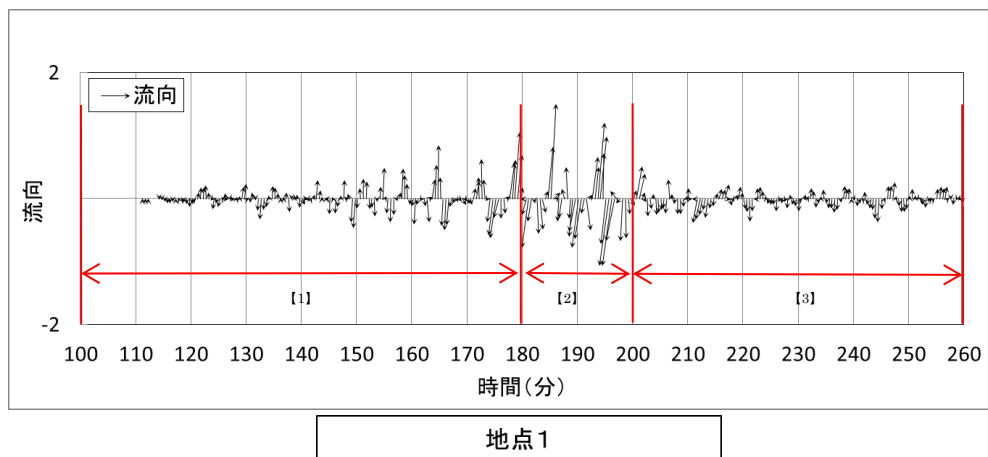


図1 流況考察時間の分類例（基準津波1における地点1）

(2) 基準津波1の流況の考察

基準津波1の水位変動・流向ベクトルを、添付資料1の図1に示す。この図に基づく、流況の考察の詳細を以下に示す。なお、[]内は添付資料1の図番号を示す。

a. 防波堤有り

(a) 最大水位・流速を示す時間帯以前（地震発生後約100分～180分） [図1(1)～(160)]

i) 構外海域

約109分では、津波の第1波が敷地の東側から沿岸を沿うように来襲する [図1(19)]。また、約113分30秒では、敷地の北西側から津波が来襲する [図1(28)]。構外海域において流速は小さく、水位変動も1m程度である。

その後、約 180 分まで主に敷地の北西側からの押し波、引き波により短い周期で北西方向と南東方向の流れを繰り返す。いずれの時間帯においても流速は 1m/s 未満である。

ii) 構内海域（輪谷湾）

約 116 分 30 秒では、津波の第 1 波が輪谷湾に到達する。水位が 1m 程度上昇し、0.5m/s 程度の流速が防波堤付近で発生する[図 1(34)]。

その後、約 180 分まで、短い周期で輪谷湾内と湾外への流れを繰り返す。水位変動は最大でも 3m 程度で、流速は最大でも 3m/s 程度である[図 1(157)～(160)]。

流れの特徴としては、押し波時、引き波時とも防波堤を回り込む流れが生じ、港湾内のうち防波堤を回り込む流れによる流速が比較的速い。

(b) 最大水位・流速を示す時間帯（地震発生後約 180 分～200 分）[図 1(161)～(201)]

i) 構外海域

約 180 分では、敷地の北西側から引き波が来襲する。引き波の影響により北西方向の流れとなり 1m/s 程度の流れが確認できる[図 1(161)]。

約 183 分では、敷地の北西側から押し波が来襲し、押し波の影響により南東方向の流れとなり、引き波の流速と同様 1m/s 流れが確認できる[図 1(166)]。

約 187 分では、敷地の北西側から引き波が来襲し [図 1(175)]、約 191 分では、水位変動が 3m 程度の大きい押し波が来襲し 2m/s 程度の流れが確認できる[図 1(183)]。その後も、敷地の北西側から押し波、引き波が約 200 分まで交互に来襲する。

ii) 構内海域（輪谷湾）

約 184 分では、敷地の北西側から押し波が来襲し、流速 5m/s 程度の防波堤を回り込む流れが発生する[図 1(169)]。約 184 分 30 秒では、輪谷湾内水位が 5m 程度上昇し、構外海域では押し波傾向であるが、輪谷湾水位が高いため、輪谷湾内への流れは 2m/s 程度となる[図 1(170)]。その直後には輪谷湾外へ向かう流れとなる[図 1(171)]。約 192 分 30 秒では、輪谷湾の水位が低い状態において、敷地の北西側から押し波が来襲する。最大流速が発生する時間帯であり、防波堤を回り込む 5m/s 程度の流れが発生する[図 1(186)]。その 1 分後の約 193 分 30 秒では、構外海域は押し波傾向であるが、輪谷湾水位が高いため、輪谷湾に向かう流れはない[図 1(188)]。その後、約 200 分まで、短い周期で輪谷湾内と輪谷湾外への流れを繰り返す。

(c) 最大水位・流速を示す時間帯以降（地震発生後約 200 分～360 分）[図 1(202)～(281)]

i) 構外海域

約 201 分では、南東方向の流れとなり、流速は 1m/s 程度である [図 1(203)]。約 204 分では、流れは逆向きとなる[図 1(209)]。その後、敷地北西側からの押し波、引き波により短い周期で北西方向と南東方向の流れを繰り返す。また、流速は速くても 1m/s 程度である。

ii) 構内海域（輪谷湾）

約 201 分では、輪谷湾外への流れとなり、流速は 1m/s 程度である [図 1(203)]。
約 205 分では、押し波が来襲し、輪谷湾内への流れとなり、流速は 1m/s 程度となる [図 1(211)]。

流れの特徴としては、押し波時、引き波時とも防波堤を回り込む流れが生じ、港湾内の流速のうち防波堤を回り込む流れによる流速が比較的速い。

b. 防波堤無し

(a) 最大水位・流速を示す時間帯以前(地震発生後約 100 分～180 分) [図 1(1)～(160)]

i) 構外海域

「a. 防波堤有り」に記載した内容と同じ。

ii) 構内海域(輪谷湾)

約 116 分 30 秒では、津波の第 1 波が輪谷湾に到達する。水位が 1m 程度上昇するが、流速の変化は小さい [図 1(34)]。その後、約 180 分まで、短い周期で輪谷湾内と輪谷湾外への流れを繰り返す。水位変動は最大でも 3m 程度で、流速は最大でも 3m/s 程度である [図 1(151)～(160)]。

(b) 最大水位・流速を示す時間帯(地震発生後約 180 分～200 分) [図 1(161)～(201)]

i) 構外海域

「a. 防波堤有り」に記載した内容と同じ。

ii) 構内海域(輪谷湾)

約 183 分 30 秒では、敷地の北西側から押し波が来襲し、輪谷湾内における流速は 3m/s 程度である [図 1(168)]。約 184 分 30 秒では、輪谷湾内水位が 6m 程度上昇し、構外海域では押し波傾向であるが、輪谷湾水位が高いため、輪谷湾内への流れはない [図 1(170)]。その直後には輪谷湾外へ向かう流れとなる [図 1(171)]。約 192 分 30 秒では、輪谷湾の水位が低い状態において、敷地の北西側から大きい押し波が来襲する。最大流速が発生する時間帯であり、9m/s 程度の流れが発生する [図 1(186)]。約 193 分 30 秒では、構外海域は押し波傾向であるが、輪谷湾水位が高いため、輪谷湾外への流れとなる [図 1(188)]。その後、約 200 分まで、短い周期で輪谷湾内と輪谷湾外への流れを繰り返す。

(c) 最大水位・流速を示す時間帯以降(地震発生後約 200 分～360 分) [図 1(202)～(281)]

i) 構外海域

「a. 防波堤有り」に記載した内容と同じ。

ii) 構内海域(輪谷湾)

約 201 分では、輪谷湾外への流れとなり、流速は 1m/s 程度である [図 1(203)]。
約 205 分では、押し波が来襲し、輪谷湾内への流れとなり、流速は 1m/s 程度となる [図 1(211)]。

(3) 基準津波4の流況の考察

基準津波4の水位変動・流向ベクトルを、添付資料1の図4に示す。この図に基づく、流況の考察の詳細を以下に示す。なお、[]内は添付資料1の図番号を示す。

a. 防波堤有り

(a) 最大水位・流速を示す時間帯以前（地震発生後約0分～5分）[図4(1)～(11)]

i) 構外海域

約2分では、津波の第1波が敷地の北西側から押し波として来襲する。水位も低く流速の変化は小さい[図4(5)]。約4分では、北西側への大きい引き波により、北西方向の流れとなる[図4(9)]が、いずれも1m/s以上の流速は確認されない。

ii) 構内海域（輪谷湾）

約3分では、津波の第1波が輪谷湾に押し波として来襲する。水位も低く流速の変化は小さい[図4(7)]。

(b) 最大水位・流速を示す時間帯（地震発生後約5分～7分）[図4(12)～(15)]

i) 構外海域

約5分では、敷地の北西側への大きい引き波により北西方向の流れが継続する[図4(11)]。

ii) 構内海域（輪谷湾）

約6分では、大きい引き波により輪谷湾外への流れとなり、3m/s程度の流速となる[図4(13)]。

(c) 最大水位・流速を示す時間帯以降（地震発生後約7分～30分）[図4(16)～(61)]

i) 構外海域

約7分では、敷地の北西側への引き波が継続しており、北西方向の流れが継続する[図4(15)]。約9分では、敷地北西側から押し波が来襲し、南東方向の流れとなる[図4(19)]。いずれも、1m/s以上の流速は確認されず、以降も、1m/sを超える流速はない。

ii) 構内海域（輪谷湾）

約7分では、輪谷湾内への、約9分では、輪谷湾外への流れとなる[図4(15), (19)]。湾内のうち防波堤を回り込む流速が比較的速く2m/s程度の流速が確認できる[図4(17)]。以降、輪谷湾内と輪谷湾外への流向が短い周期で変化するが、流速は1m/s程度である。

b. 防波堤無し

(a) 最大水位・流速を示す時間帯以前（地震発生後約0分～5分）[図4(1)～(11)]

i) 構外海域

「a. 防波堤有り」に記載した内容と同じ。

ii) 構内海域（輪谷湾）

約3分では、津波の第1波が輪谷湾に押し波として来襲する。水位も低く流速の変化は小さい [図4(7)]。

(b) 最大水位・流速を示す時間帯（地震発生後約5分～7分） [図4(12)～(15)]

i) 構外海域

「a. 防波堤有り」に記載した内容と同じ。

ii) 構内海域（輪谷湾）

約6分では、大きい引き波により輪谷湾外への流れとなり、3m/s程度の流速となる [図4(13)]。約7分では、輪谷湾内への流向となり、2m/s程度の流速となる [図4(15)]。

(c) 最大水位・流速を示す時間帯以降（地震発生後約7分～30分） [図4(16)～(61)]

i) 構外海域

「a. 防波堤有り」に記載した内容と同じ。

ii) 構内海域（輪谷湾）

約7分では、輪谷湾内への流れとなる [図4(15)]。約9分では、輪谷湾外への流れとなるが、流速は2m/s程度である [図4(19)]。以降、輪谷湾内への流れ、輪谷湾外への流れが短い周期で変化するが、流速は1m/s程度である。

3. 構外海域の漂流物の施設護岸及び取水口への到達可能性評価

日本海東縁部に想定される地震による津波（基準津波1）と海域活断層から想定される地震による津波（基準津波4）の流況の考察結果から、発電所方向への継続的な流向がないことが確認された。

このため、施設護岸及び取水口への到達可能性評価に当たっては、漂流物となる可能性のある施設・設備のうち、発電所沿岸にある漁船に着目して評価を行う。到達可能性評価は、津波流況の考察結果に加え、仮想的な浮遊物の軌跡解析*の結果も参考にして行う。

注記*：津波解析から求まる流向流速をもとに、質量を持たず、抵抗を考慮しない仮想的な浮遊物が、水面を移動する軌跡を示す解析。

発電所沿岸の漁港、漁船の操業区域及び軌跡解析の初期位置を図2に示す。発電所沿岸部では、3号機北側施設護岸付近及び輪谷湾でサザエ網・カナギ漁の漁船、発電所北東施設護岸付近でかご漁及びカナギ漁・採貝藻漁の漁船、施設護岸から北側500m付近で一本釣り漁の漁船、施設護岸から北西600m付近でイカ釣り漁及びわかめ養殖の漁船が操業する。

軌跡解析の初期位置としては、輪谷湾入口付近に1点（地点A）、サザエ網・カナギ漁の操業区域内の3号機北岸付近に1点（地点B）、サザエ網・採貝藻漁及びかご漁の操業区域付近に1点（地点C）、一本釣り漁区域内に2点（地点D,E）、わかめ養殖場、イカ釣り漁の操業区域付近1点（地点F）、御津漁港近傍に1点（地点G）、計7地点設定した。軌跡解析結果を図3に示す。また、流向・流速ベクトル及び軌跡解析の考察結果を図4、図5に示す。

流向・流速ベクトル及び軌跡解析の考察結果より、構外海域にある漂流物には以下の移動

傾向が確認された。

【漂流物の移動傾向】

- ・最大水位・流速を示す時間帯以前，以降においては，流速が小さく，移動量も小さい
- ・いずれの時間帯も主に北西・南東方向の移動を繰り返す傾向がある。

日本海東縁部に想定される地震による津波と海域活断層から想定される地震による津波による漂流物の施設護岸及び取水口への到達可能性評価を，各々以下に示す。日本海東縁部に想定される地震による津波は，発電所到達まで110分程度あり，沖合等への退避が可能であると考えられるが，航行不能となることも考慮し，操業区域で津波が来襲すると想定して，評価を行う。また，海域活断層から想定される地震による津波は，発電所到達まで2分程度であり，操業区域で津波が来襲すると想定して評価を行う。

(1) 日本海東縁部に想定される地震による津波

日本海東縁部に想定される地震による津波について，添付資料1図1に示す基準津波1の流向・流速・軌跡の特徴を評価した結果を以下に示す。なお，[]内は添付資料1の図番号を示す。

a. 施設護岸への到達可能性評価

i) 施設護岸から500m以遠で操業する漁船

施設護岸から500m以遠で操業する漁船としては，施設護岸から北西約600mにおいてイカ釣り漁及びわかめ養殖の漁船がある。これらの漁船に対し，施設護岸及び輪谷湾への到達可能性を評価した。

(a) 最大水位・流速を示す時間帯以前（地震発生後約100分～180分）[図1(1)～(160)]

約180分までは，全体的に流速が約1m/s未満と小さい。また，流向は主に北西・南東方向に変化しており，漂流物は北西，南東方向に移動すると考えられ，発電所に対する連続的な流れもないため，施設護岸から500m以遠で操業する漁船は施設護岸及び輪谷湾に到達しないと考えられる。

(b) 最大水位・流速を示す時間帯（地震発生後約180分～200分）[図1(161)～(201)]

発電所北西の半島沿岸において，約183分で，流速5m/s程度の半島を回り込み発電所に向かうような流れが確認される[図1(167)]が，流向は短い間隔で主に北西・南東方向に変化しており，発電所に対する連続的な流れもないため，施設護岸及び輪谷湾に到達しないと考えられる。その他の海域においても，流速は速くて2m/s程度[図1(167)]であり，発電所に対する連続的な流れもないため，施設護岸及び輪谷湾に到達しないと考えられる。

(c) 最大水位・流速を示す時間帯以降（地震発生後約200分～360分）[図1(202)～(281)]

約 200 分以降は、全体的に流速が小さい。また、流向は主に北西・南東方向に変化しており、漂流物は北西、南東方向に移動すると考えられる。流速が小さく発電所に対する連続的な流れもないため、施設護岸から 500m 以遠で操業する漁船は施設護岸及び輪谷湾に到達しないと考えられる。

(a)～(c)より、施設護岸から 500m 以遠を操業する漁船については、流向が短い間隔で主に北西・南東方向に変化しており、発電所に対する連続的な流れもないため、施設護岸及び輪谷湾に到達しないと考えられる。また、イカ釣り漁及びわかめ養殖場の操業区域の近傍である地点 F における軌跡解析の結果からも、軌跡は発電所から遠ざかる方向に移動しており、施設護岸及び輪谷湾に到達しないと考えられる (図 4-1～図 4-27)。

ii) 施設護岸から 500m 以内で操業する漁船

施設護岸から約 500m 以内で操業する漁船としては、3号機北側沿岸部において、サザエ網漁及びカナギ漁の漁船、発電所北東沿岸部においてかご漁、カナギ漁及び採貝藻漁の漁船、発電所北側 500m 程度の区域で一本釣り漁の漁船がある。これらの漁船に対し、施設護岸及び輪谷湾への到達可能性を評価した。

(a) 最大水位・流速を示す時間帯以前 (地震発生後約 100 分～180 分) [図 1(1)～(160)]

約 180 分までは、全体的に流速が小さい。また、流向は主に北西・南東方向に変化しており、漂流物は北西、南東方向に移動すると考えられる。流速は 2m/s 程度 [第 1 図 (155)] であり、発電所に対する連続的な流れもないため、施設護岸から 500m 以内で操業する漁船は施設護岸及び輪谷湾に到達しないと考えられる。

(b) 最大水位・流速を示す時間帯 (地震発生後約 180 分～200 分) [図 1(161)～(201)]

(a)と同様に、流向は短い間隔で主に北西・南東方向に変化しており、発電所に対する連続的な流れもないため、施設護岸から 500m 以内で操業する漁船は施設護岸及び輪谷湾に到達しないと考えられるが、3号機北側防波壁から約 50m 以内の水深が約 20m の浅い位置において、5m/s 以上の流速が確認される [図 1(164), (187)] ことから、施設護岸から 500m 以内で操業する漁船は、当該位置に接近することを考慮し、施設護岸及び輪谷湾に到達する可能性があるとして評価した。

(c) 最大水位・流速を示す時間帯以降 (地震発生後約 200 分～360 分) [図 1(202)～(281)]

約 200 分以降は、流速が小さい。また、流向は主に北西・南東方向に変化しており、漂流物は北西、南東方向に移動すると考えられる。流速が小さく発電所に対する連続的な流れもないため、施設護岸から 500m 以内で操業する漁船は施設護岸及び輪谷湾に到達しないと考えられる。

(a)～(c)より、最大水位・流速を示す時間帯において、3号機北側防波壁から約 50m 以内の水深が約 20m の浅い位置で、5m/s 以上の流速が確認された。

一方、上記以外の範囲においては、流向が短い間隔で主に北西・南東方向に変化しており、発電所に対する連続的な流れもない。また、サザエ網、カナギ漁及び一本釣り漁の操業区域の近傍の地点 B における軌跡解析の結果からも、軌跡は北西方向と南東方向に移動を繰り返している（図 4-1～図 4-27）。

以上より、施設護岸から 500m 以内で操業する漁船については、3 号機北側防波壁から約 50m 以内の水深が約 20m の浅い位置に接近することを考慮し、施設護岸及び輪谷湾に到達する可能性があるとして評価した。

b. 取水口への到達可能性評価

a. ii) より、発電所沿岸部で操業する漁船が漂流物となった場合、輪谷湾に到達する可能性があるため、構内海域（輪谷湾）の流況から到達の可能性を評価した。

(a) 最大水位・流速を示す時間帯以前（地震発生後約 100 分～180 分）[図 1(1)～(160)]

構内海域（輪谷湾）においては、約 180 分までは、流速が小さく移動量は小さい。また、港湾部はその形状から、押し波後はすぐに引き波に転じることから、構内海域（輪谷湾）に漂流物は到達しないと考えられる。

(b) 最大水位・流速を示す時間帯（地震発生後約 100 分～180 分）[図 1(161)～(201)]

構内海域（輪谷湾）においては、約 180～200 分では、流速は最大 9m/s 程度と速いが、港湾部はその形状から、押し波後はすぐに引き波に転じることから、構内海域（輪谷湾）に漂流物は到達しないと考えられる。

(c) 最大水位・流速を示す時間帯以降（地震発生後約 200 分～360 分）[図 1(202)～(281)]

構内海域（輪谷湾）においては、約 200 分以降は、流速が遅く移動量は小さい。また、港湾部はその形状から、押し波後はすぐに引き波に転じることから、構内海域（輪谷湾）に漂流物は到達しないと考えられる。

(a)～(c) より、最大水位・流速を示す時間帯において、最大 9m/s 程度の速い流速が確認されたが、港湾部はその形状から、押し波後はすぐに引き波に転じることから、構内海域（輪谷湾）に漂流物は到達しないと考えられる。また、輪谷湾近傍の地点 A の軌跡解析の結果から、軌跡は北西方向と南東方向に移動を繰り返しており、輪谷湾に到達しないと考えられる。（図 4-1～図 4-27）

(2) 海域活断層から想定される地震による津波

海域活断層から想定される地震による津波について、添付資料 1 図 4 に示す基準津波 4 の流向・流速・軌跡の特徴を評価した結果を以下に示す。

a. 施設護岸への到達可能性

i) 施設護岸から 500m 以遠で操業する漁船

(a) 最大水位・流速を示す時間帯以前（地震発生後約0分～5分）[図4(1)～(11)]

約0分から約5分まで流速は約1m/s未満と小さく、流向は短い間隔で変化し、発電所に対する連続的な流れもないため、施設護岸から500m以遠で操業する漁船は施設護岸に到達しないと考えられる。

(b) 最大水位・流速を示す時間帯（地震発生後約5分～7分）[図4(12)～(15)]

流速は速くても1m/s程度（図4(15)）と小さく、流向は短い間隔で変化し、発電所に対する連続的な流れもないため、施設護岸から500m以遠で操業する漁船は施設護岸及び輪谷湾に到達しないと考えられる。

(c) 最大水位・流速を示す時間帯以降（地震発生後約7分～30分）[図4(16)～(61)]

7分以降も流速は約1m/s未満と小さく、流向は短い間隔で変化し、発電所に対する連続的な流れもないため、施設護岸から500m以遠で操業する漁船は施設護岸及び輪谷湾に到達しないと考えられる。

(a)～(c)より、いずれの時間帯も流速が小さく、かつ、最大水位・流速を示す時間帯も2分（地震発生後5分～7分）と短いことから、施設護岸に到達しないと評価した。また、軌跡解析の結果より、施設護岸から500m以遠の地点（C～F）において、初期位置から移動していないことから、漂流物は施設護岸及び輪谷湾に到達しないと考えられる（図5-1～図5-10）。

ii) 施設護岸から500m以内で操業する漁船

(a) 最大水位・流速を示す時間帯以前（地震発生後約0分～5分）[図4(1)～(11)]

約0分から約5分まで流速は約1m/s未満と小さく、流向は短い間隔で変化し、発電所に対する連続的な流れもないため、施設護岸から500m以内で操業する漁船は施設護岸及び輪谷湾に到達しないと考えられる。

(b) 最大水位・流速を示す時間帯（地震発生後約5分～7分）[図4(12)～(15)]

(a)と同様に、流向は短い間隔で変化し、発電所に対する連続的な流れもないため、漂流物は施設護岸及び輪谷湾に到達しないと考えられるが、3号機北側防波壁から約50m以内の水深が約20mの浅い位置において、2m/s程度の流速が確認される[図4(13)]。当該位置で漁船が航行不能であった場合には、施設護岸及び輪谷湾に到達する可能性があると考えられる。

(c) 最大水位・流速を示す時間帯以降（地震発生後約7分～30分）[図4(16)～(61)]

7分以降も流速は約1m/s未満と小さく、流向は短い間隔で変化し、発電所に対する連続的な流れもないため、施設護岸から500m以内で操業する漁船は施設護岸及び輪谷湾に到達しないと考えられる。

(a)～(c)より、流向は短い間隔で変化し、発電所に対する連続的な流れもないため、漂流物は施設護岸及び輪谷湾に到達しないと考えられる。また、サザエ網、カナギ漁及び一本釣り漁の操業区域の近傍の地点 B における軌跡解析の結果からも、軌跡はほとんど移動していないことから、漂流物は施設護岸及び輪谷湾に到達しないと考えられる(図 5-1～図 5-10)。一方、3号機北側防波壁から約 50m 以内の水深が約 20m の浅い位置において、2m/s 程度の流速が確認されることから、当該位置で漁船が航行不能であった場合は、施設護岸及び輪谷湾に到達する可能性があるとして評価した。

b. 取水口への到達可能性評価

a. ii)より、発電所沿岸部で操業する漁船が漂流物となった場合、輪谷湾に到達する可能性があるため、構内海域(輪谷湾)の流況から到達の可能性を評価した。

(a) 最大水位・流速を示す時間帯以前(地震発生後約 0 分～5 分)[図 4(1)～(11)]

0 分から 5 分まで流速は約 1m/s 未満と小さく、港湾部はその形状から、押し波後はすぐに引き波に転じることから、構内海域(輪谷湾)に漂流物は到達しないと考えられる。

(b) 最大水位・流速を示す時間帯(地震発生後約 5 分～7 分)[図 4(12)～(15)]

流速は速くて 3m/s 程度であるが、輪谷湾外へ向かう流向であり[図 4(13)]、輪谷湾に向かう流速は小さい[図 4(11)]ことから、構内海域(輪谷湾)に漂流物は到達しないと考えられる。

(c) 最大水位・流速を示す時間帯以降(地震発生後約 7 分～30 分)[図 4(16)～(61)]

7 分以降も流速は約 1m/s 未満と小さく、港湾部はその形状から、押し波後はすぐに引き波に転じることから、構内海域(輪谷湾)に漂流物は到達しないと考えられる。

(a)～(c)より、いずれの時間帯も流速が小さく、かつ、最大水位・流速を示す時間帯も 2 分(地震発生後 5 分～7 分)と短いことから、輪谷湾に到達しないと評価した。また、輪谷湾近傍の地点 A の軌跡解析の結果から、軌跡は輪谷湾から離れる方向に移動しており、輪谷湾に到達しないと考えられる(図 5-1～図 5-10)。

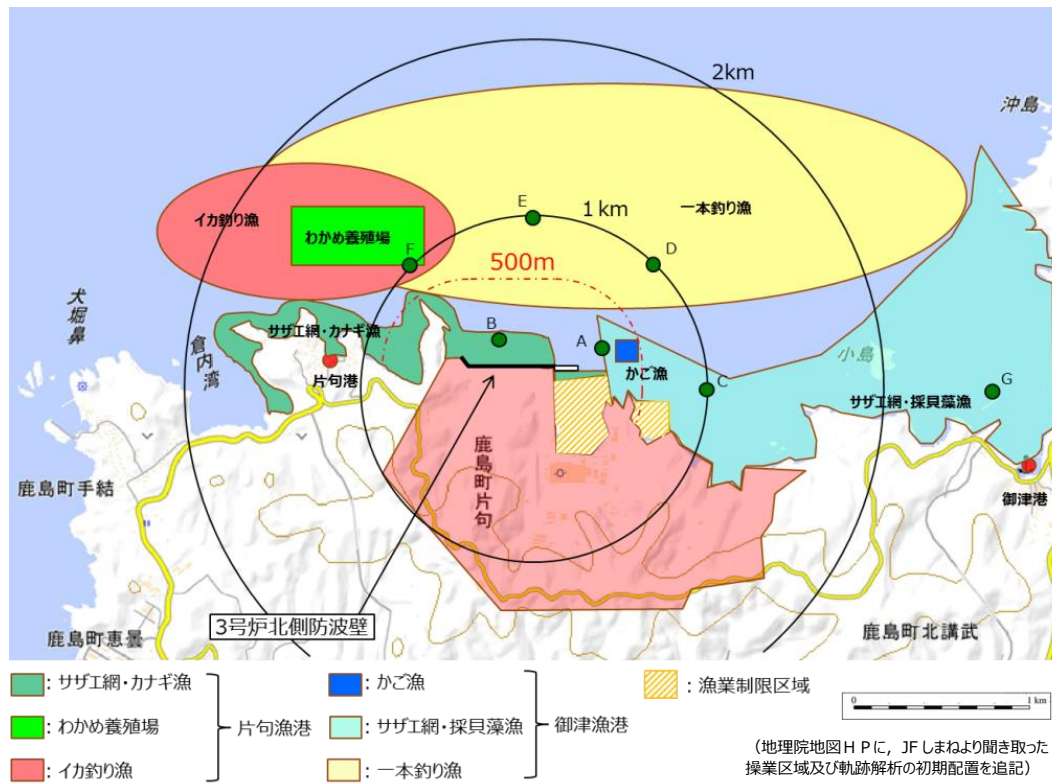
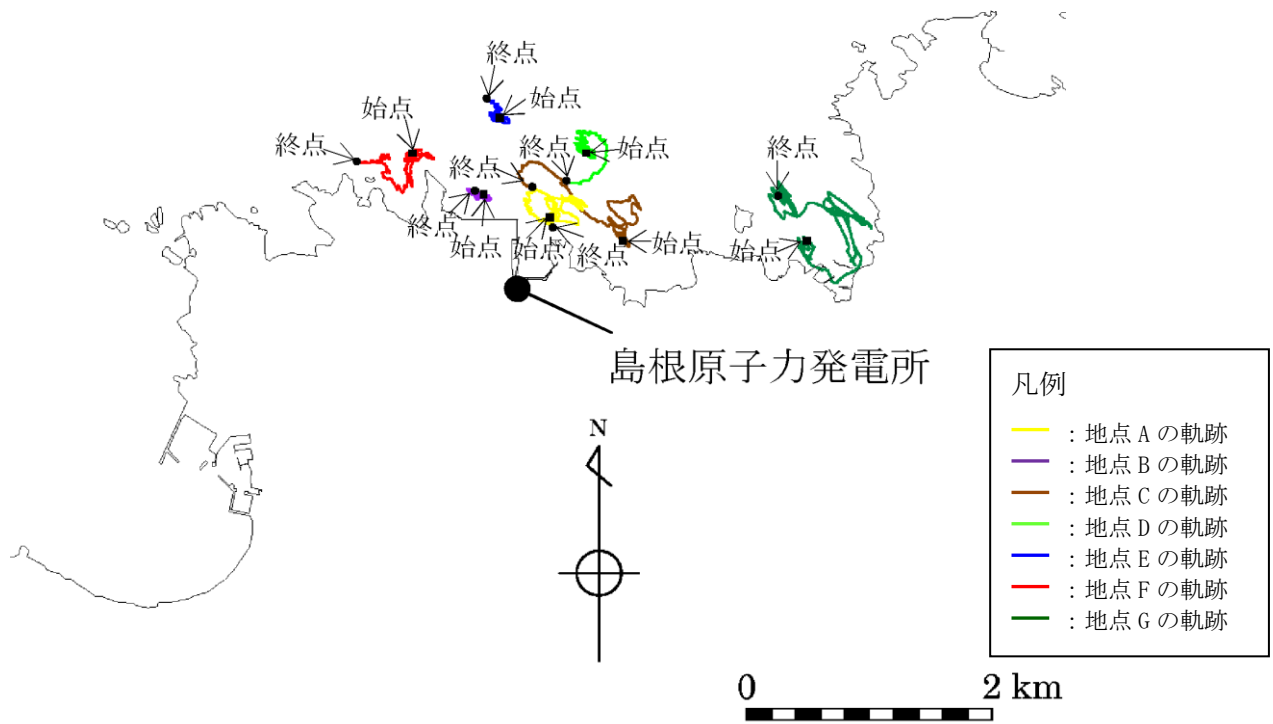
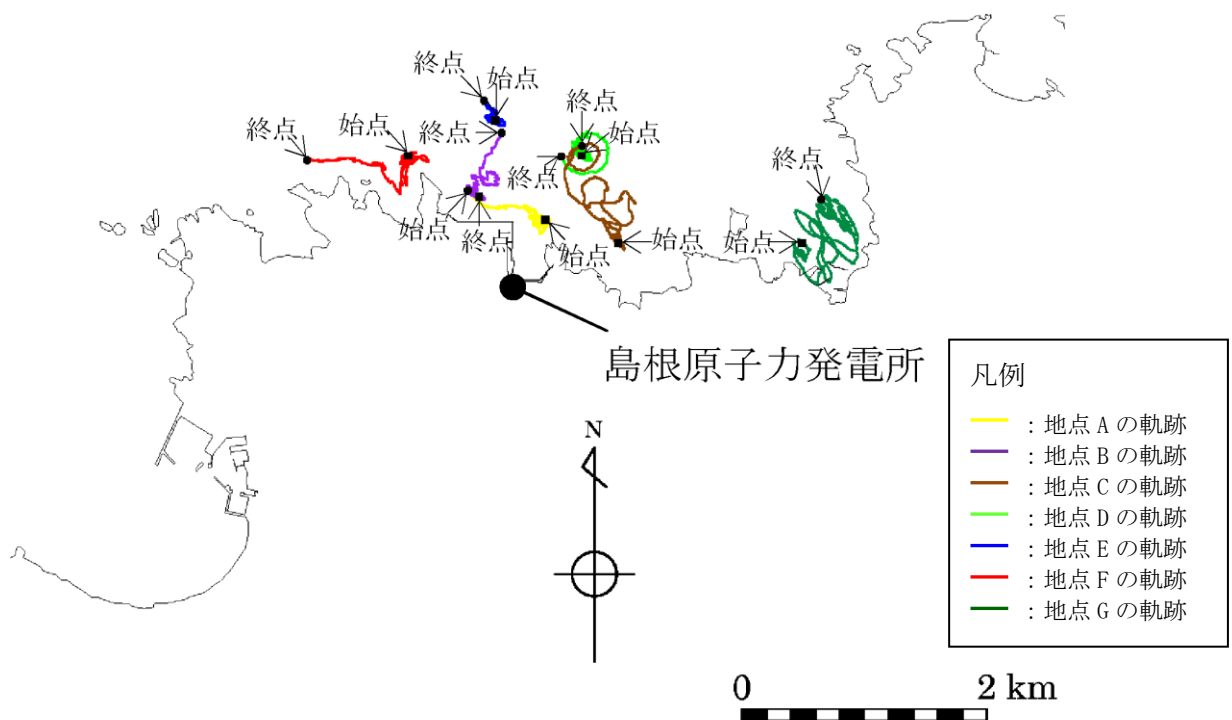


図2 発電所沿岸の漁港，漁船の操業区域及び軌跡解析の初期位置

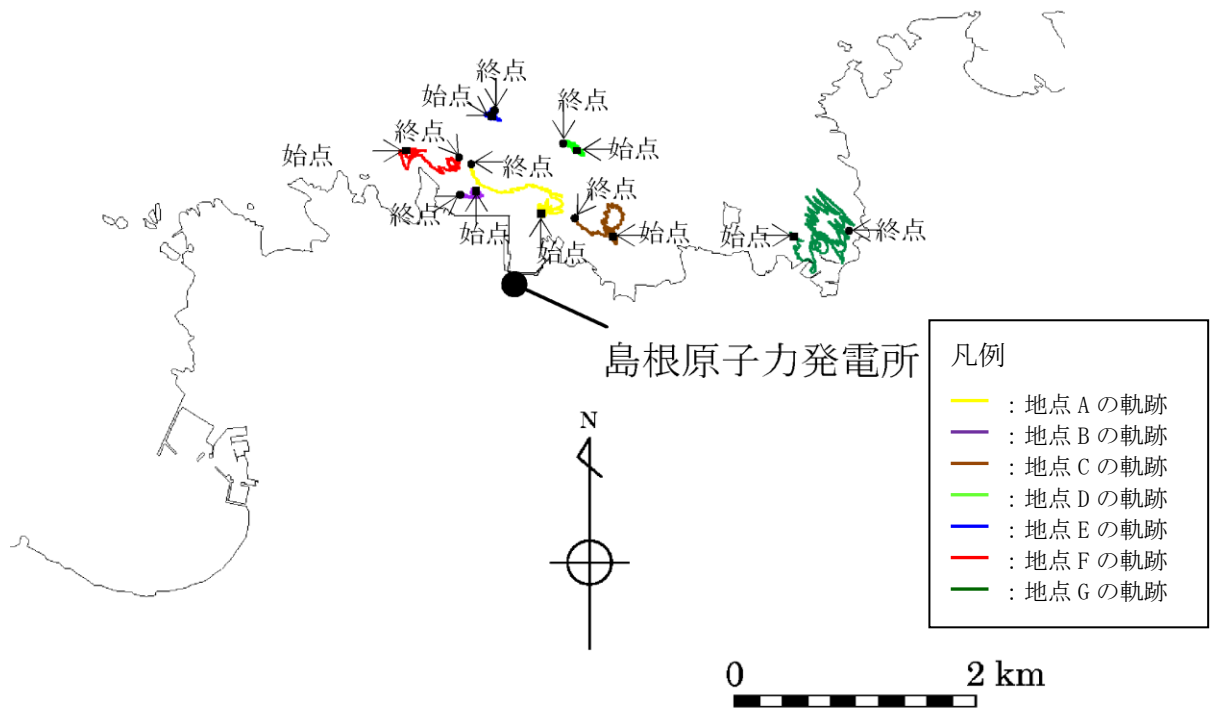


(基準津波 1 (防波堤有り))

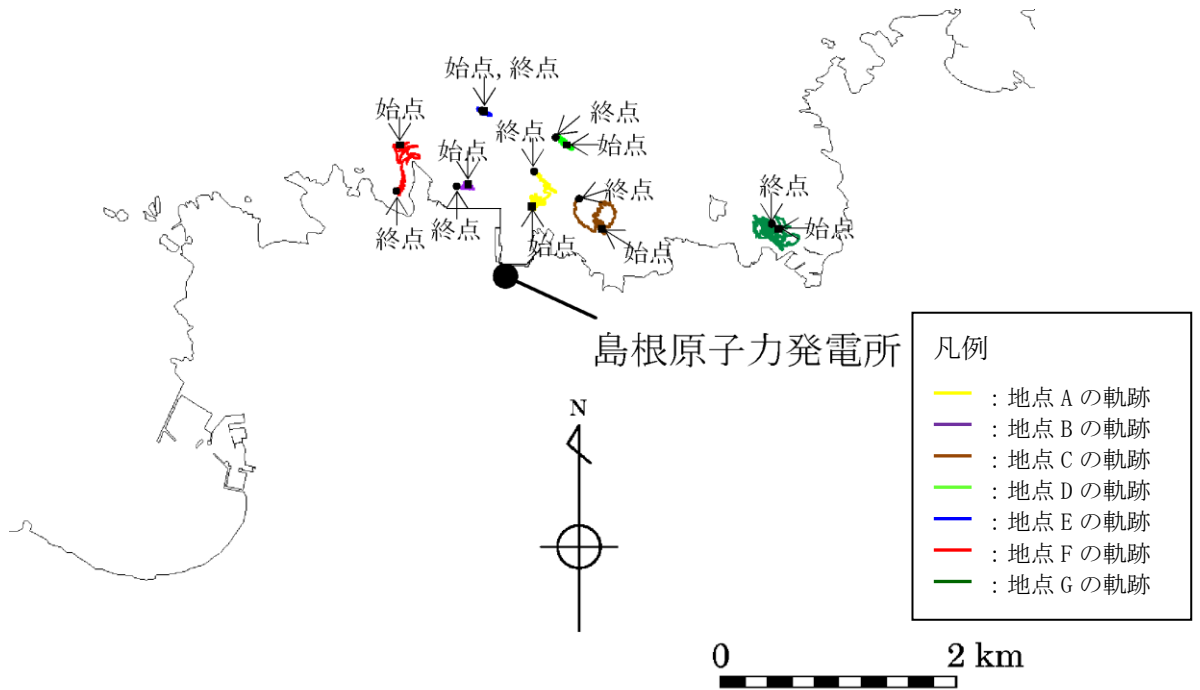


(基準津波 1 (防波堤無し))

図 3-1 軌跡解析結果

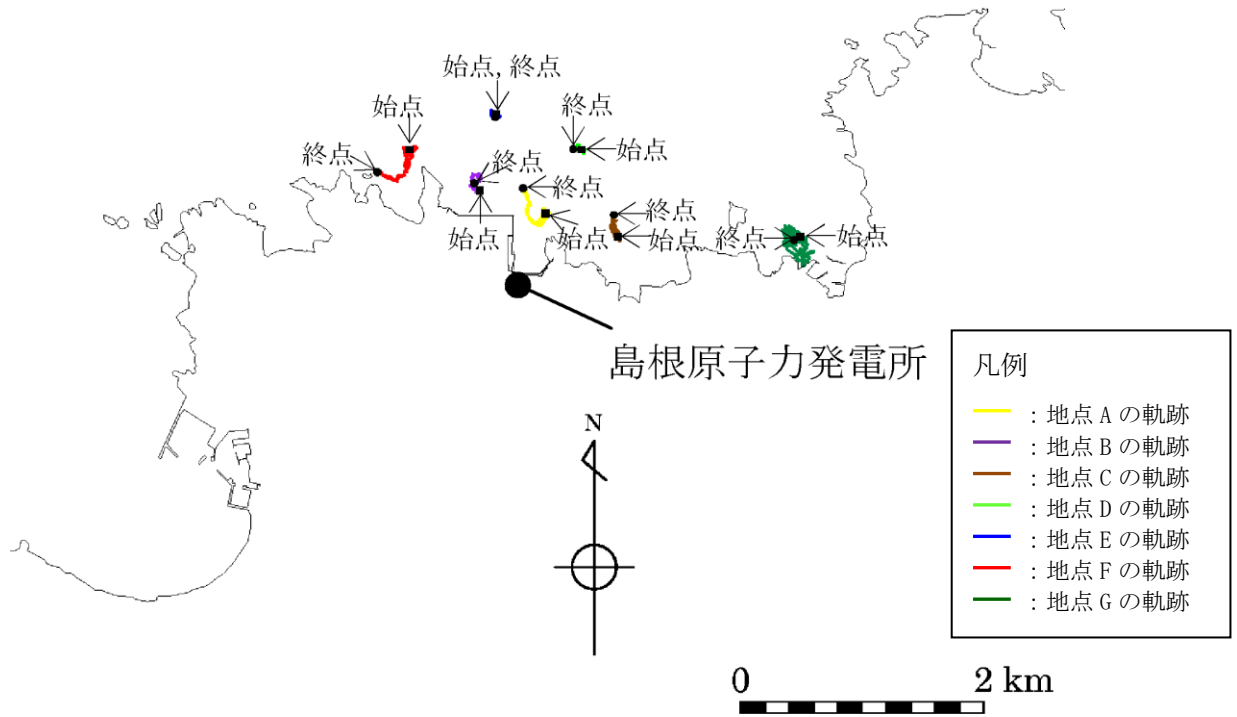


(基準津波 2 (防波堤有り))

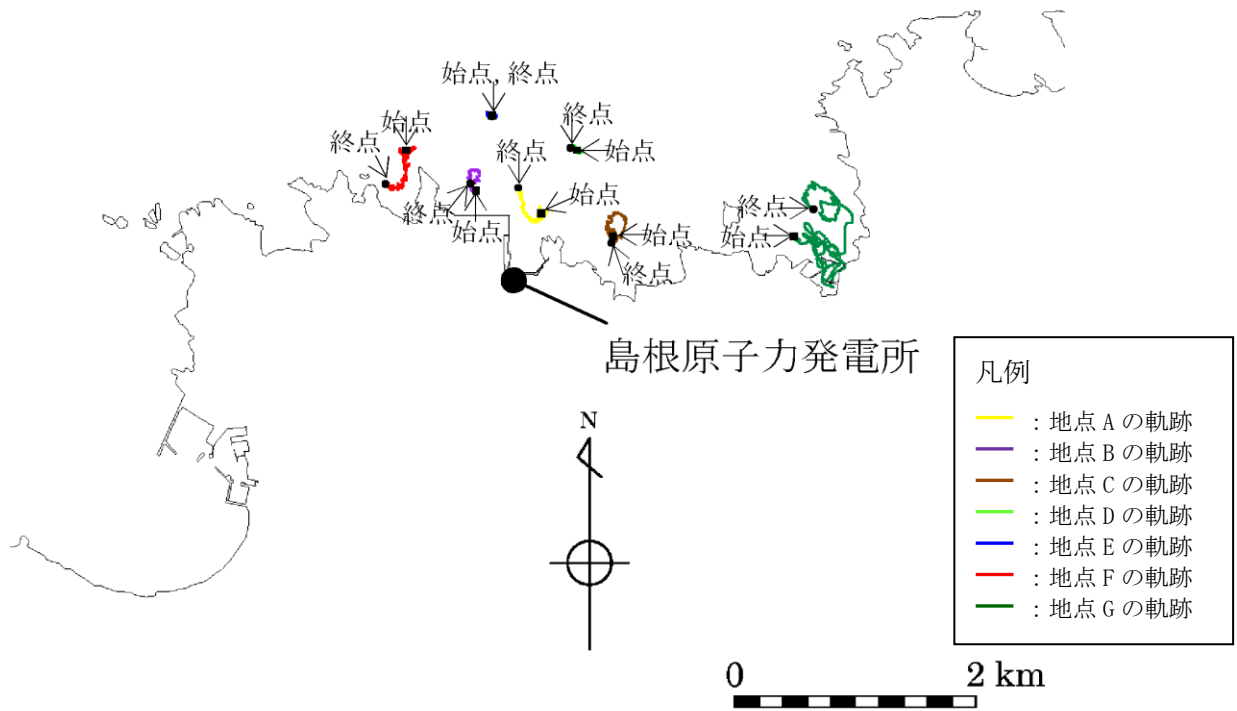


(基準津波 3 (防波堤有り))

図 3-2 軌跡解析結果

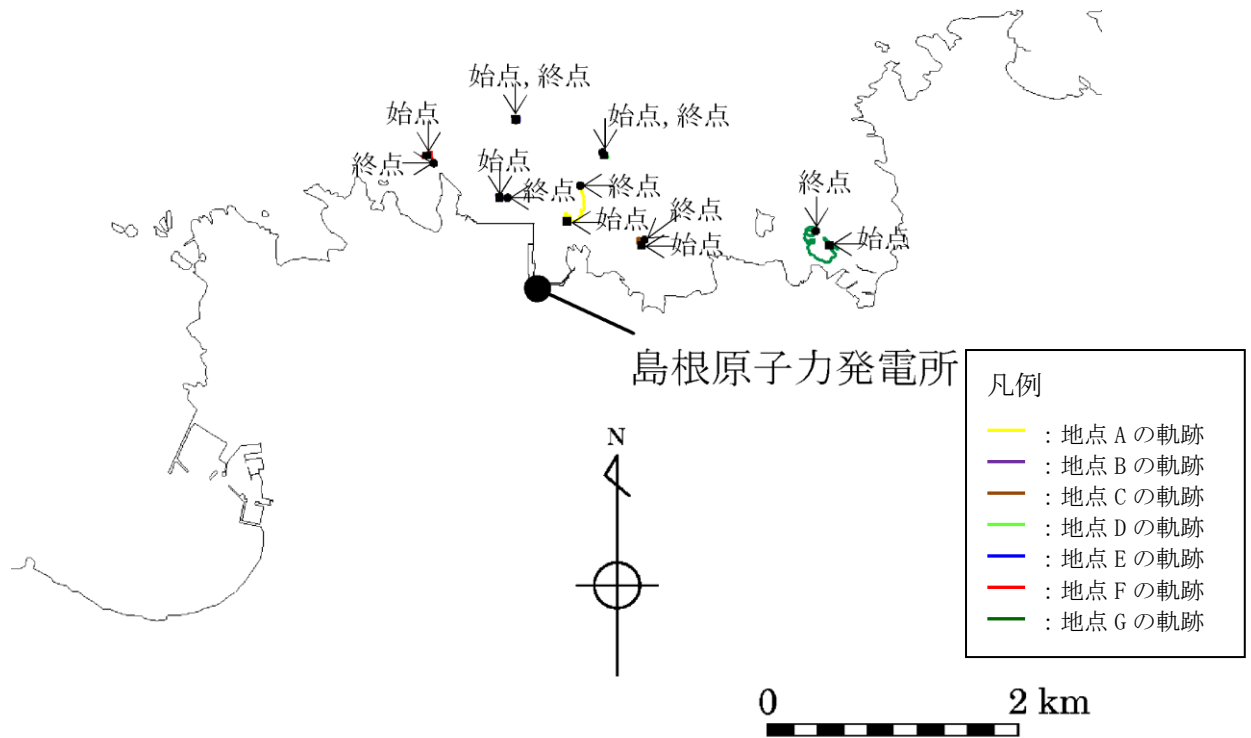


(基準津波 5 (防波堤無し))

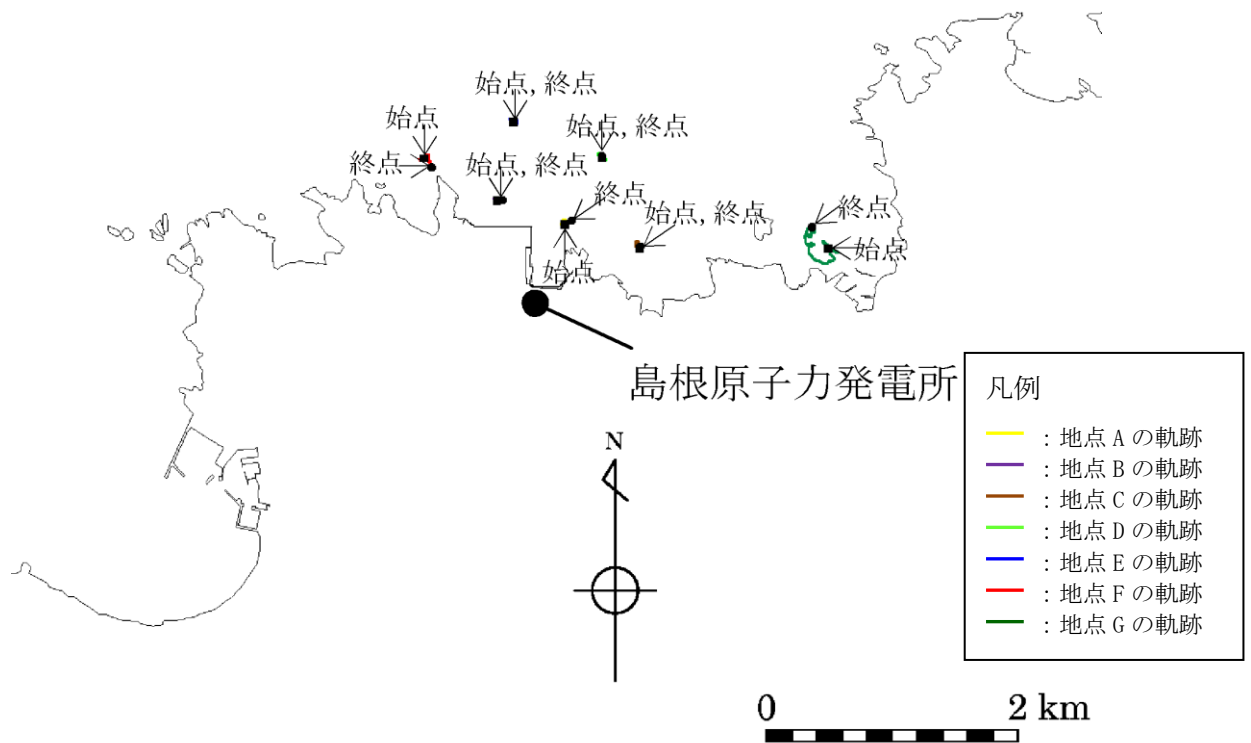


(基準津波 6 (防波堤無し))

図 3-3 軌跡解析結果



(基準津波 4 (防波堤有り))



(基準津波 4 (防波堤無し))

図 3-4 軌跡解析結果

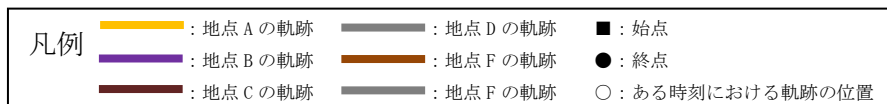
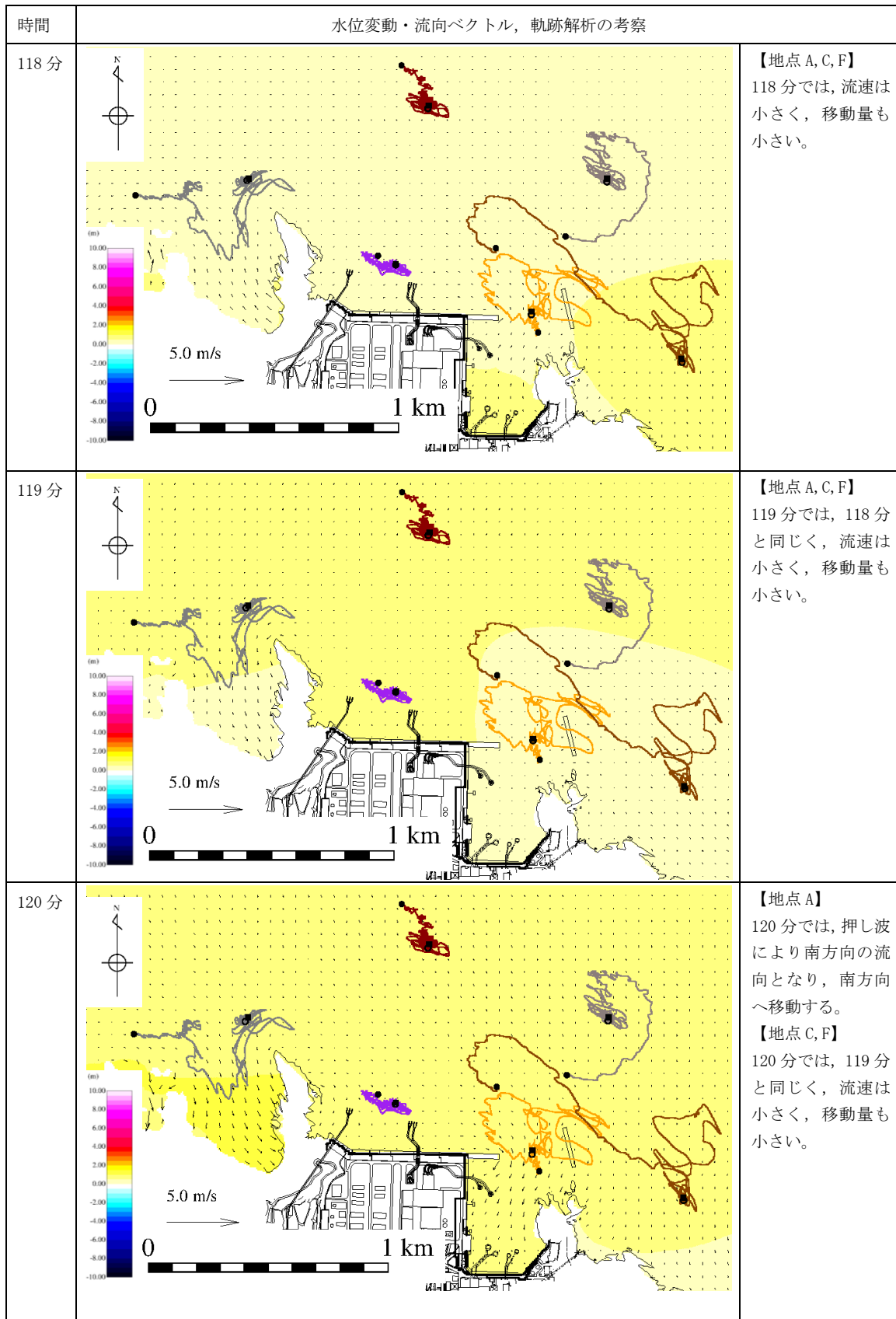
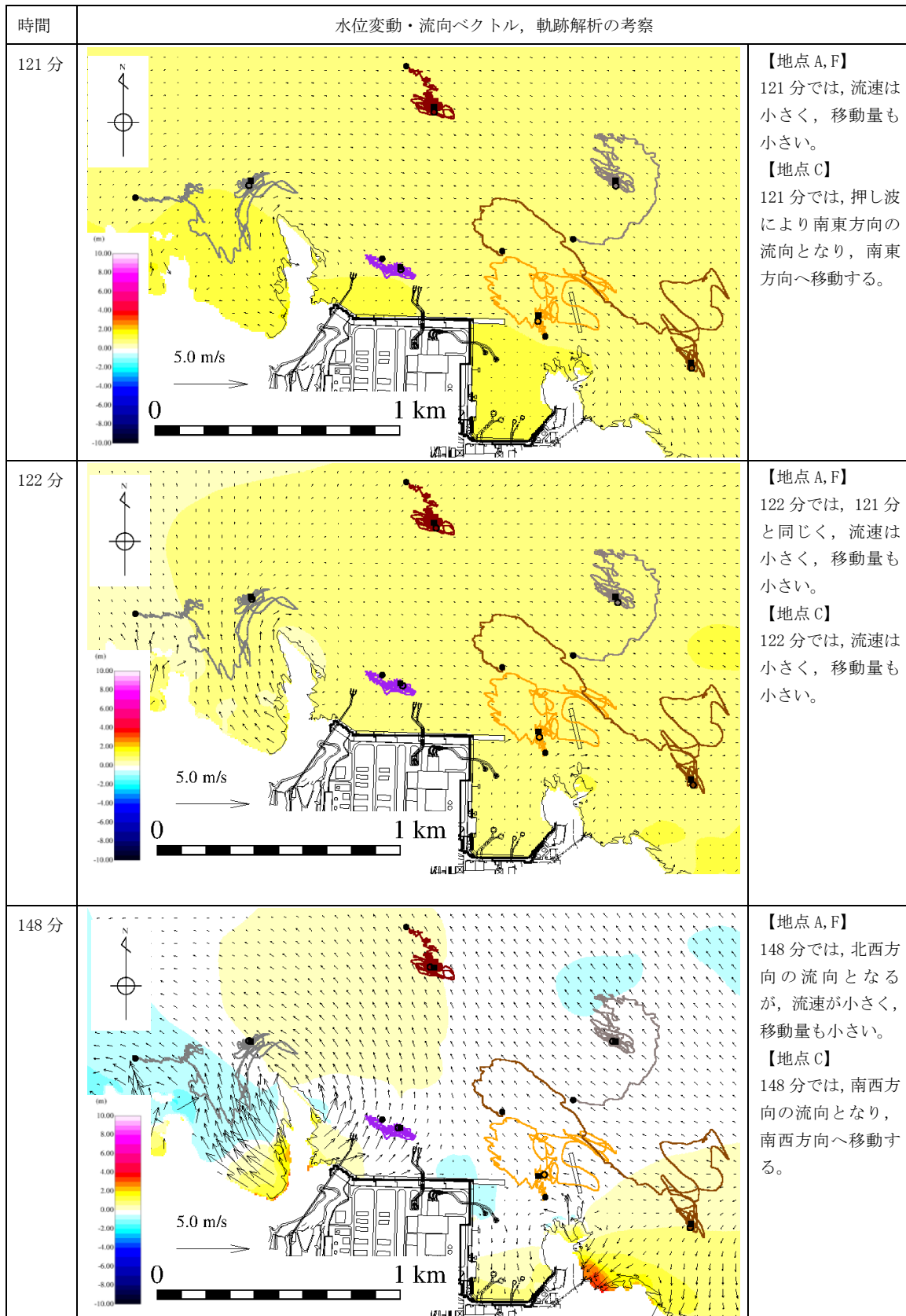


図 4-1 水位変動・流向ベクトル，軌跡解析の評価結果（基準津波 1）



注記*：123分から147分まで同様な傾向であり省略する。



図4-2 水位変動・流向ベクトル，軌跡解析の評価結果（基準津波1）

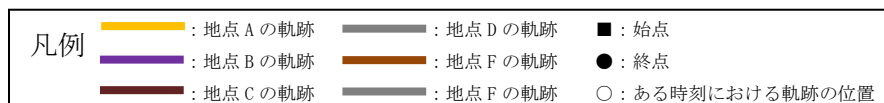
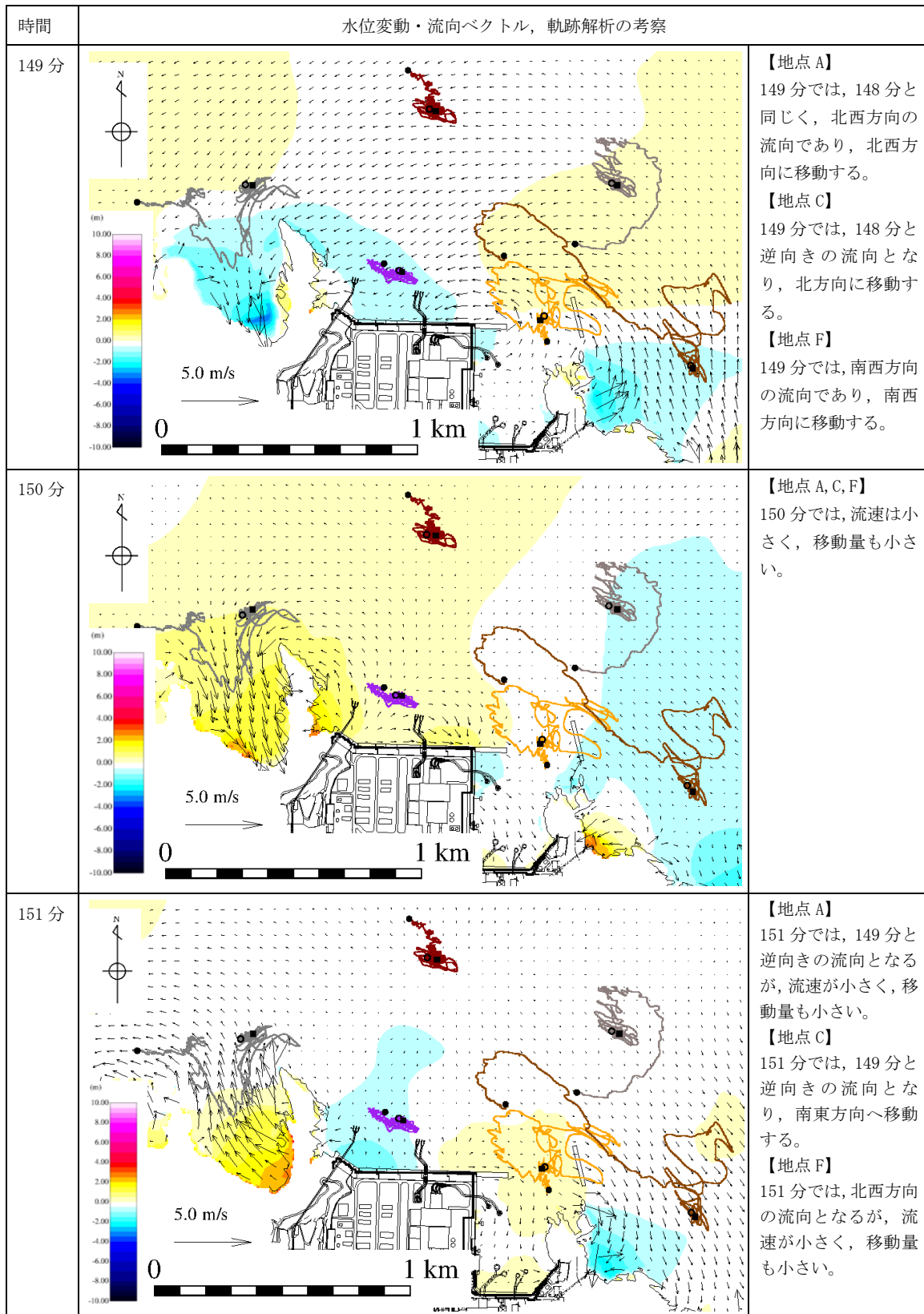
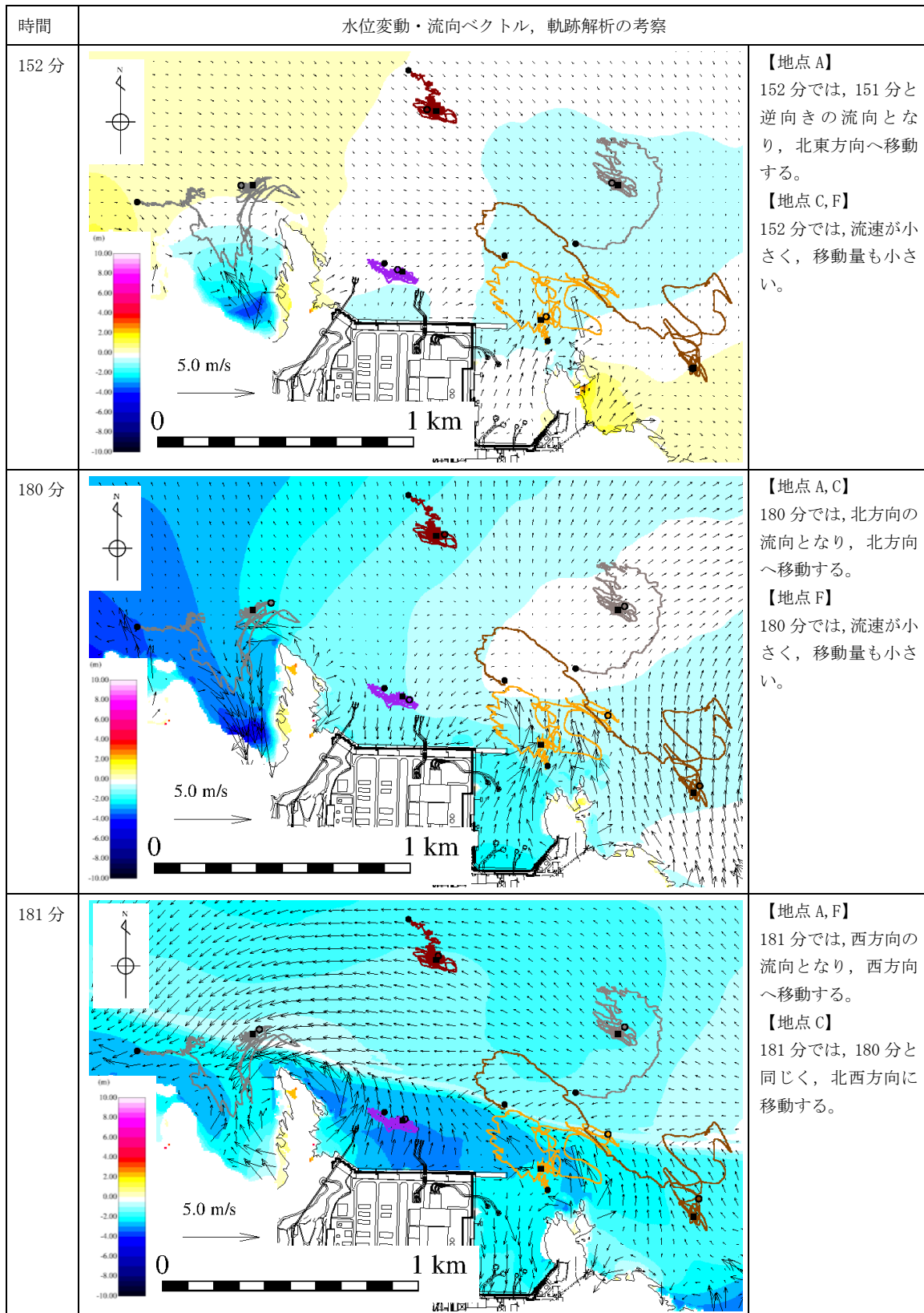


図 4-3 水位変動・流向ベクトル，軌跡解析の評価結果（基準津波 1）



注記* : 153分から179分まで同様な傾向であり省略する。

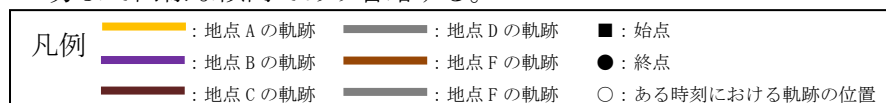


図 4-4 水位変動・流向ベクトル，軌跡解析の評価結果（基準津波 1）

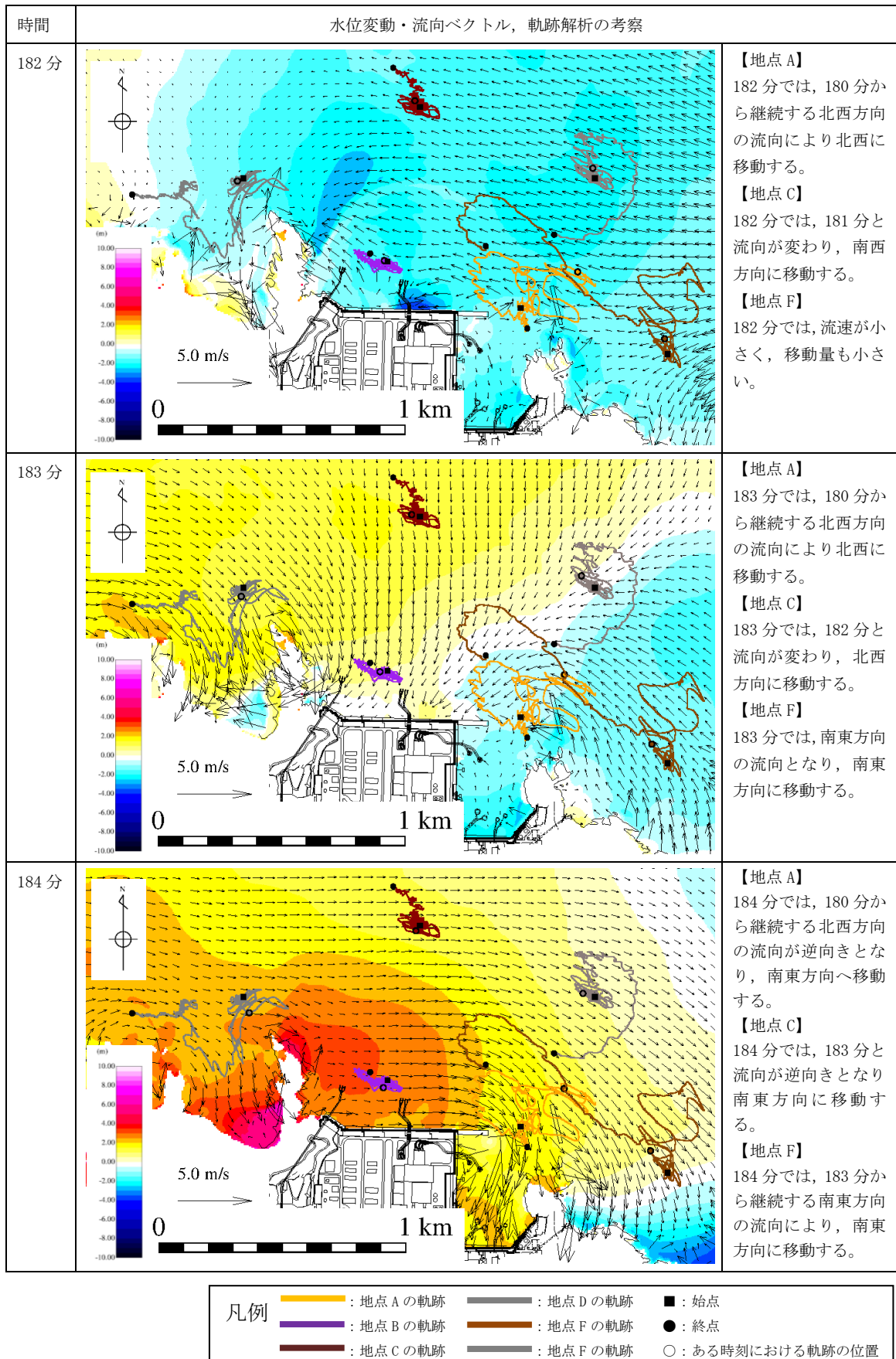


図 4-5 水位変動・流向ベクトル，軌跡解析の評価結果（基準津波 1）

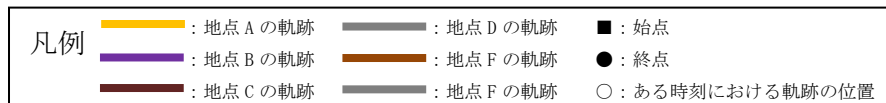
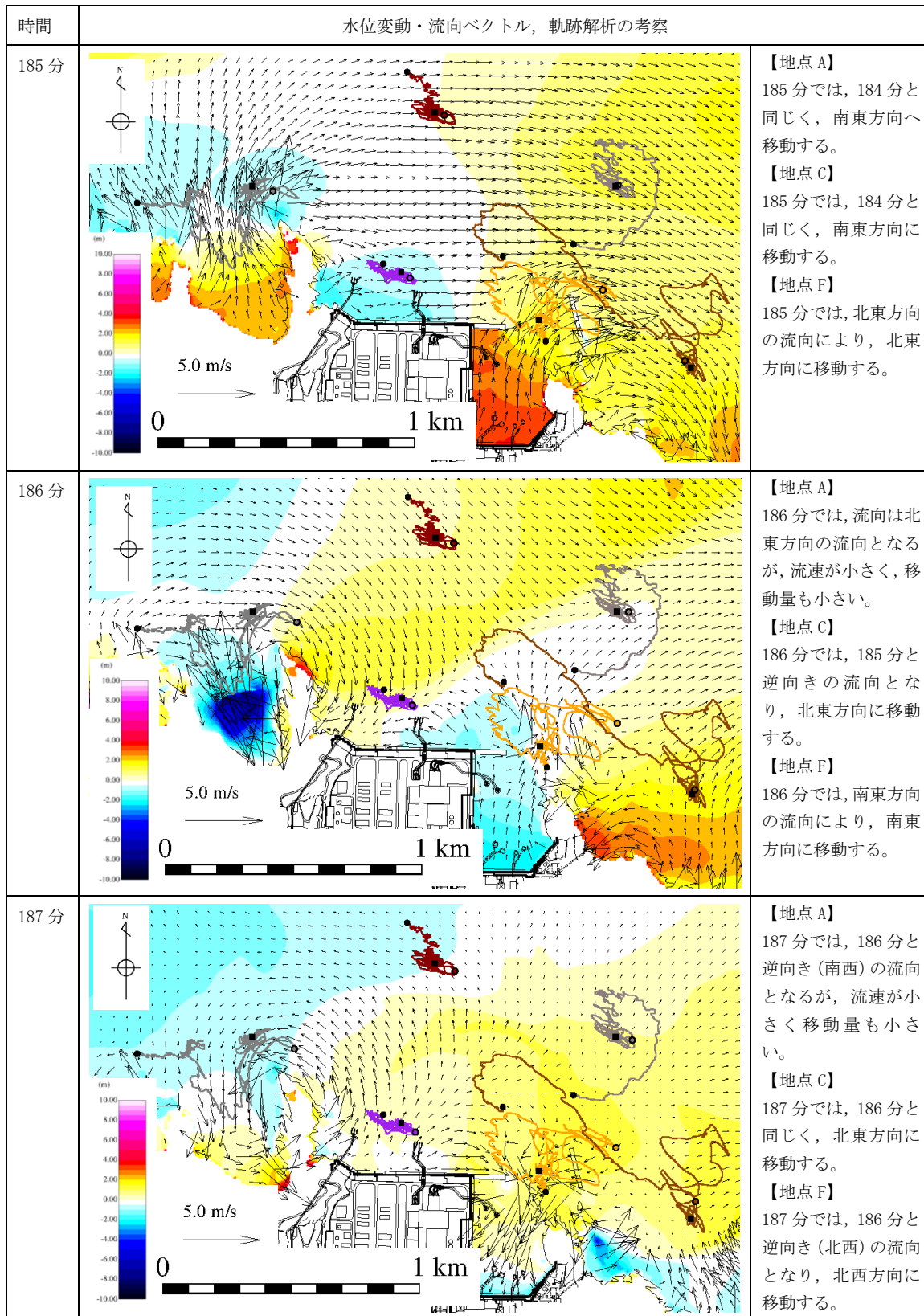


図 4-6 水位変動・流向ベクトル，軌跡解析の評価結果（基準津波 1）

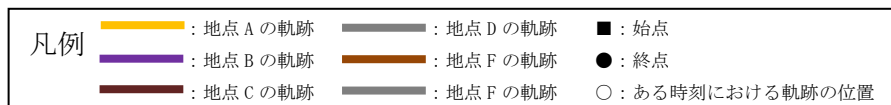
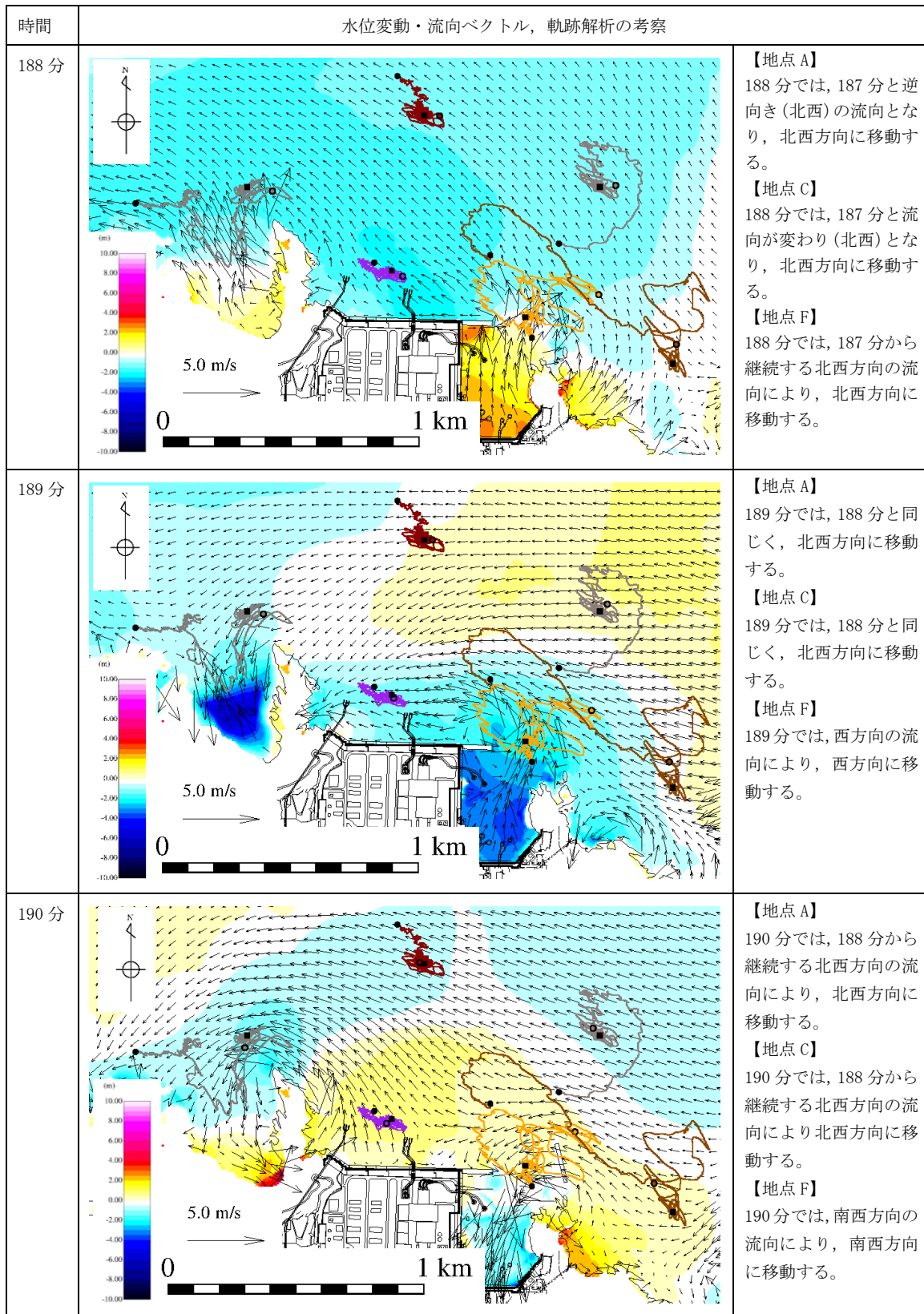


図4-7 水位変動・流向ベクトル，軌跡解析の評価結果（基準津波1）

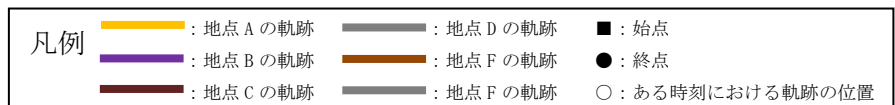
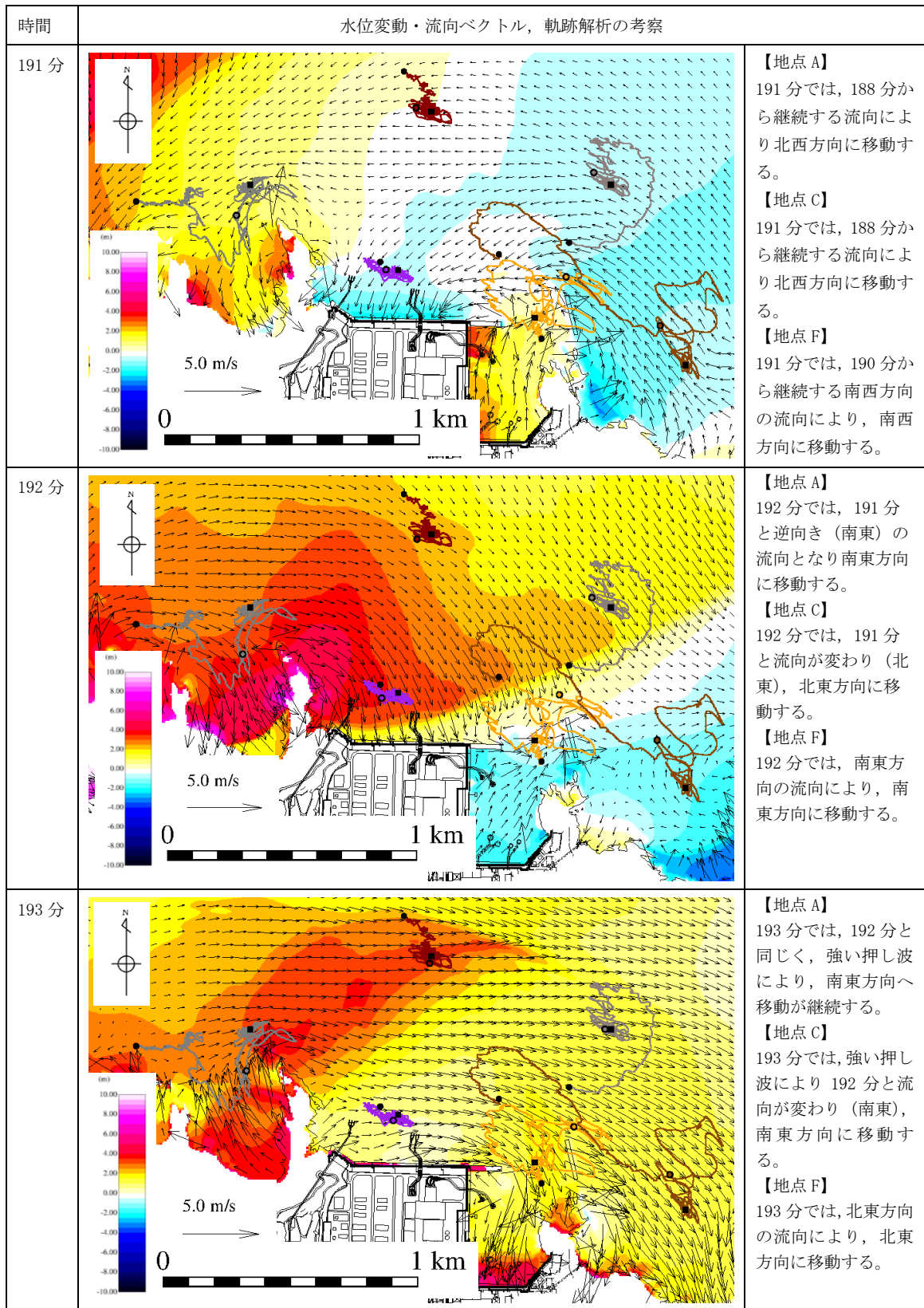


図 4-8 水位変動・流向ベクトル，軌跡解析の評価結果（基準津波 1）

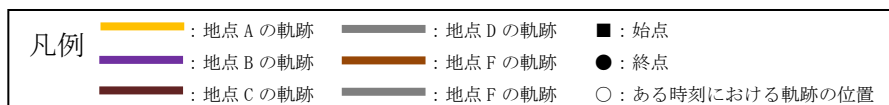
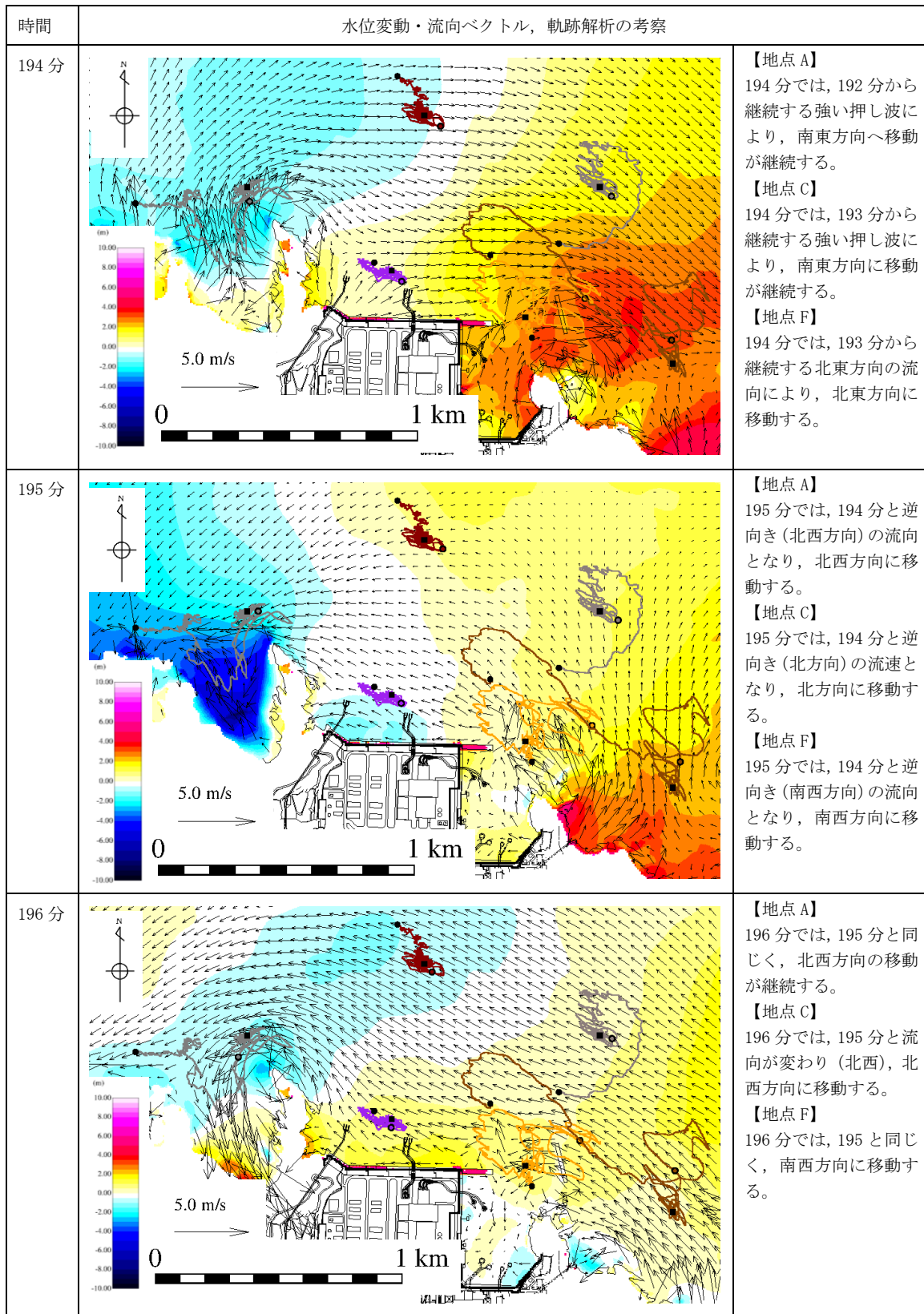


図 4-9 水位変動・流向ベクトル，軌跡解析の評価結果（基準津波 1）

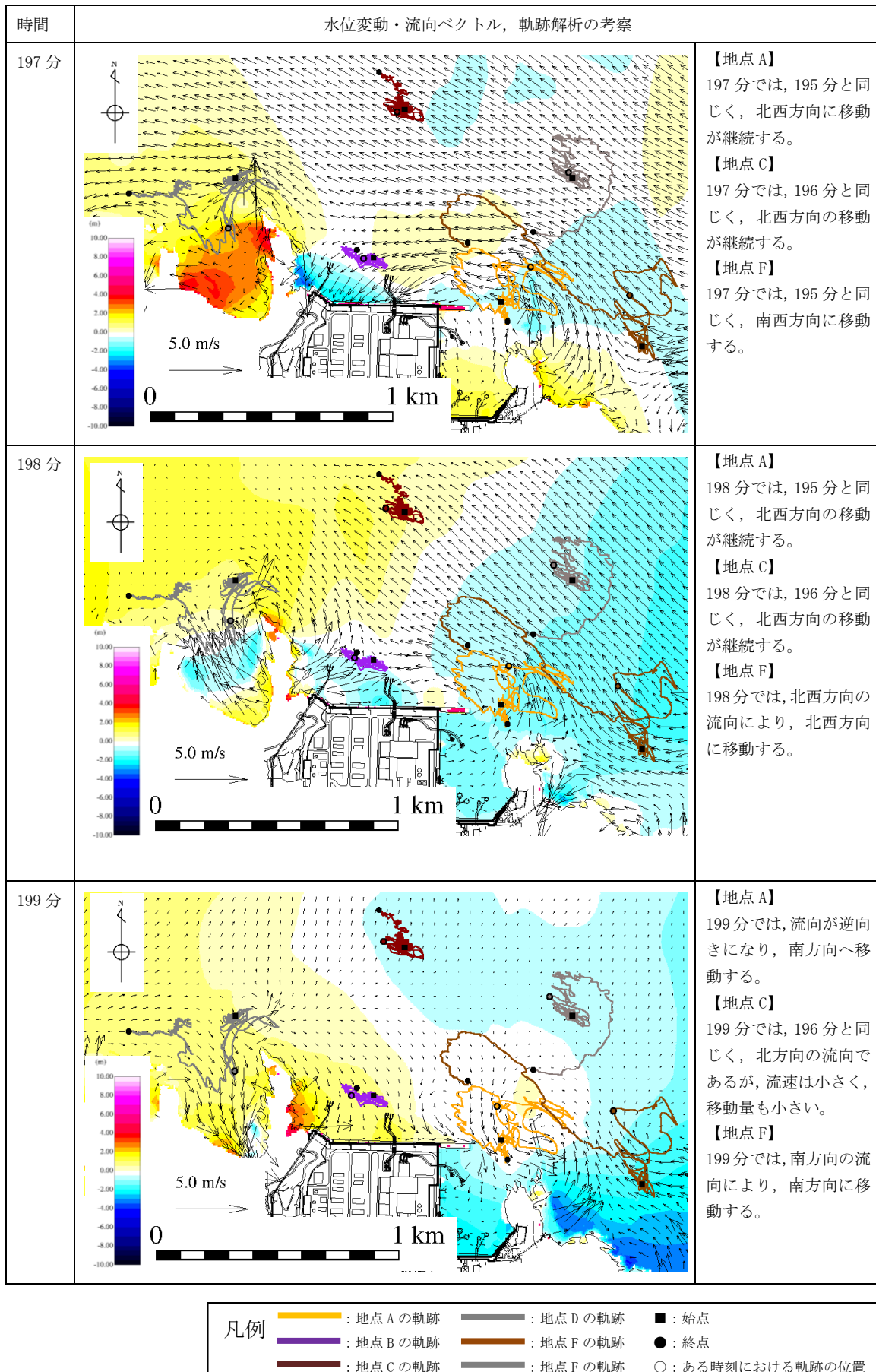


図 4-10 水位変動・流向ベクトル，軌跡解析の評価結果（基準津波 1）

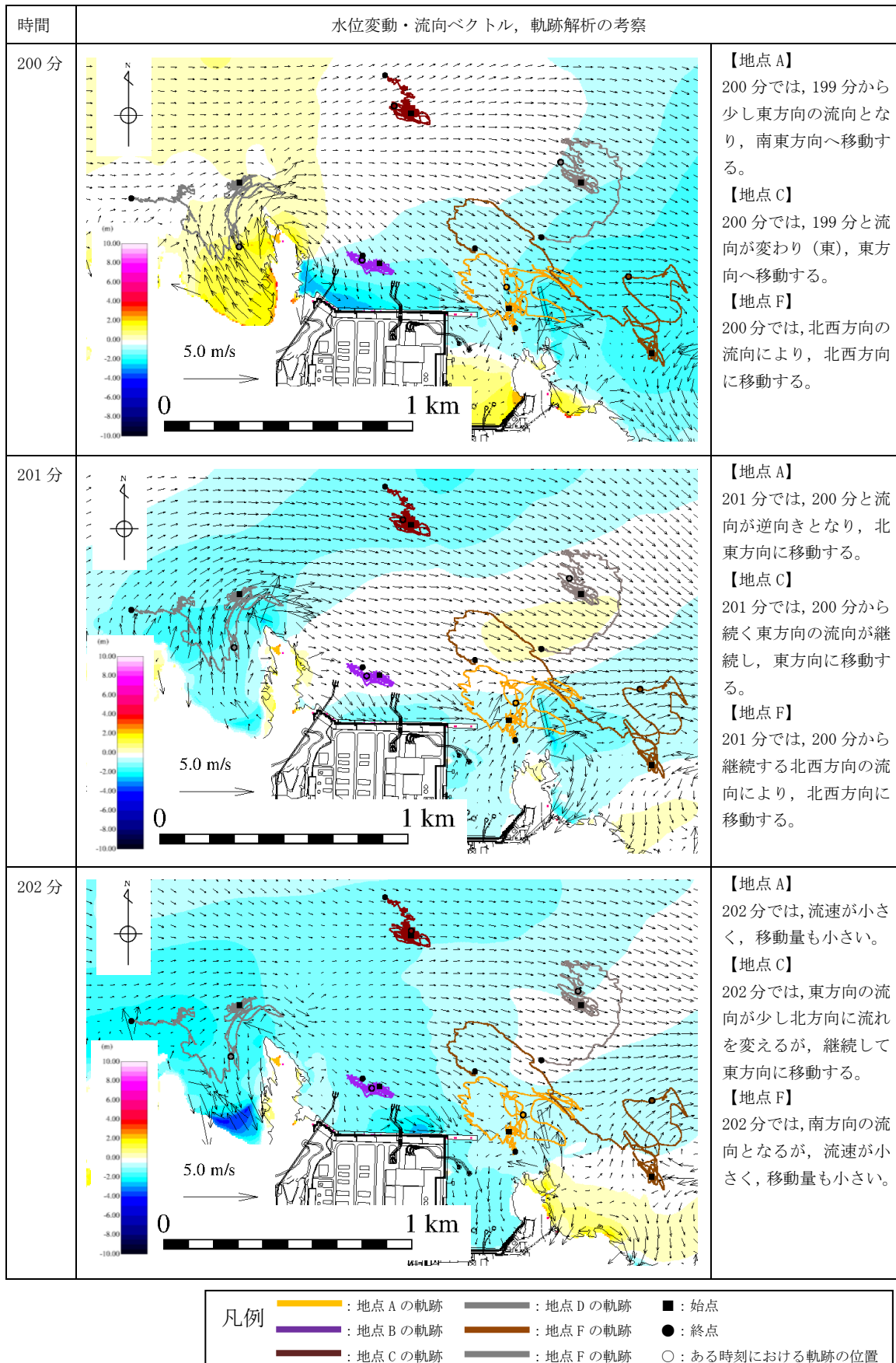


図 4-11 水位変動・流向ベクトル，軌跡解析の評価結果（基準津波 1）

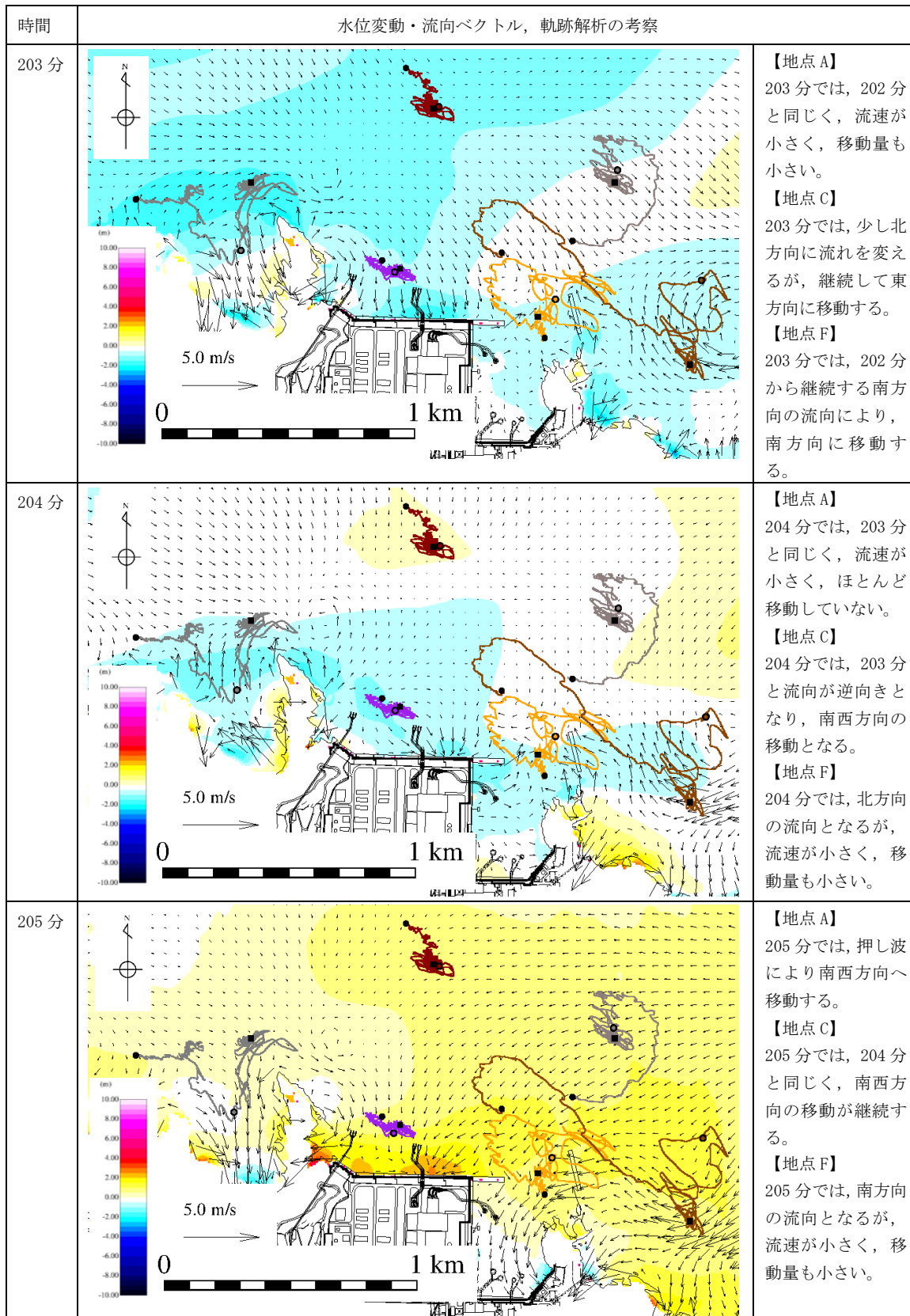


図4-12 水位変動・流向ベクトル，軌跡解析の評価結果（基準津波1）

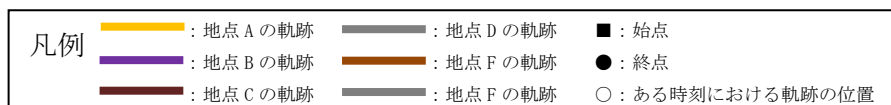
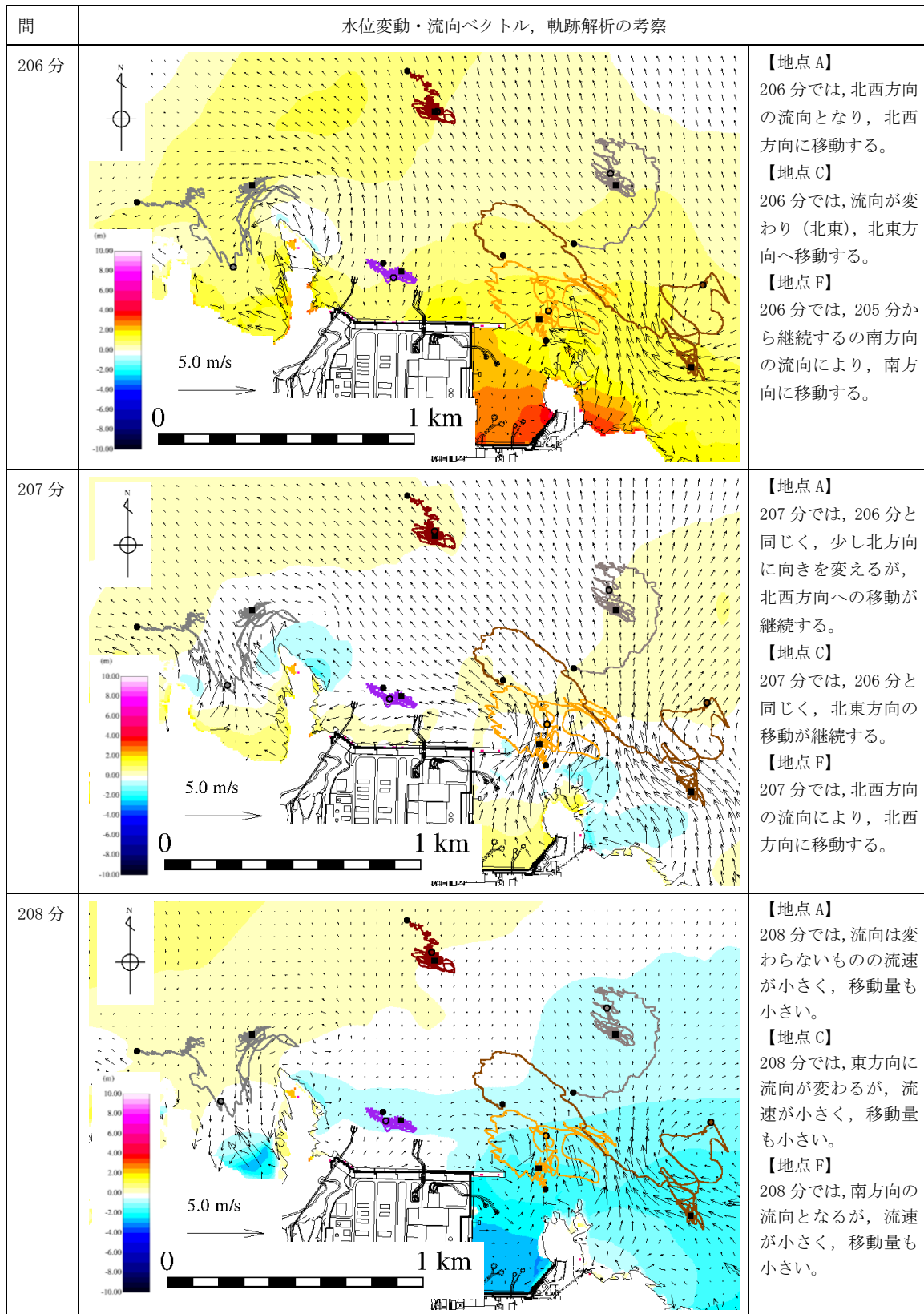


図 4-13 水位変動・流向ベクトル，軌跡解析の評価結果（基準津波 1）

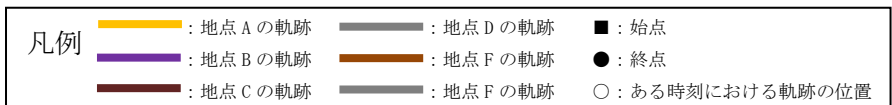
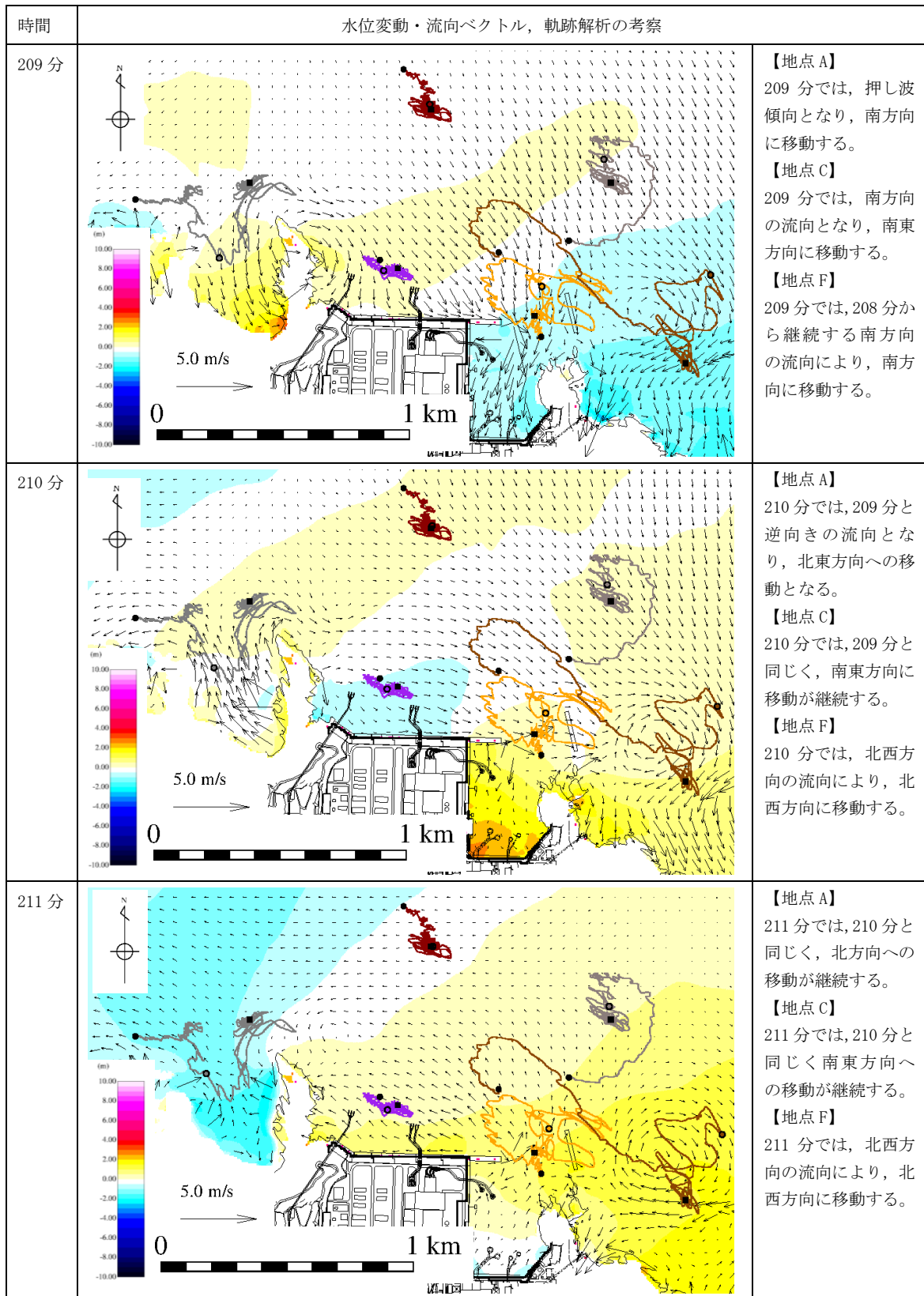


図 4-14 水位変動・流向ベクトル，軌跡解析の評価結果（基準津波 1）

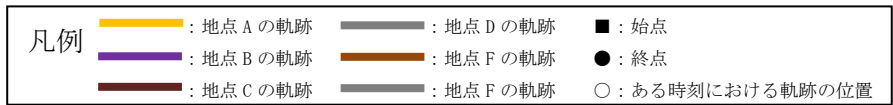
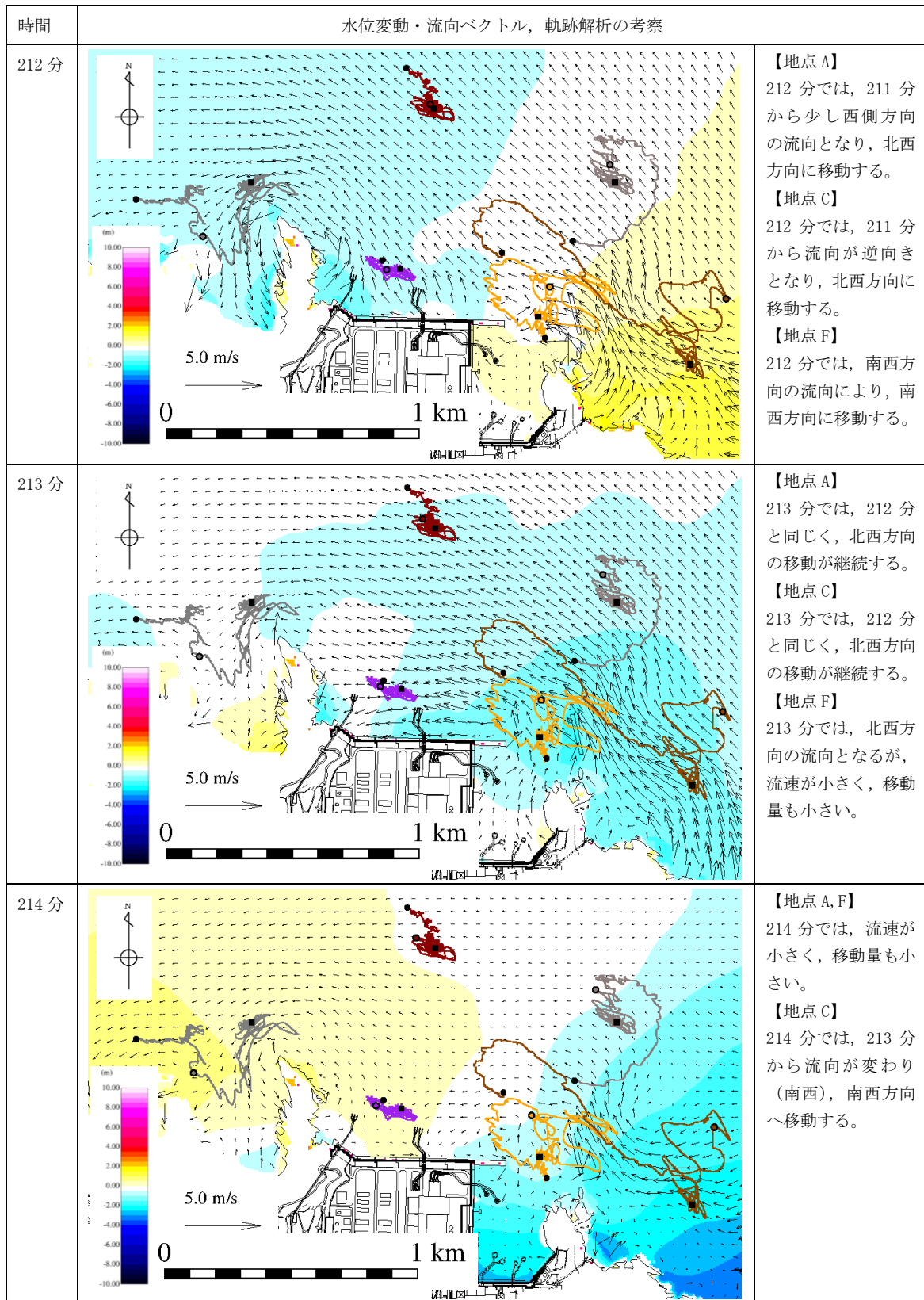


図 4-15 水位変動・流向ベクトル，軌跡解析の評価結果（基準津波 1）

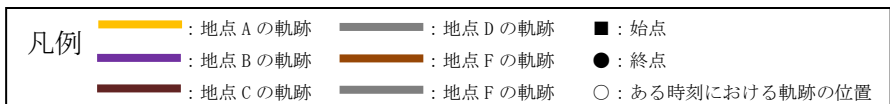
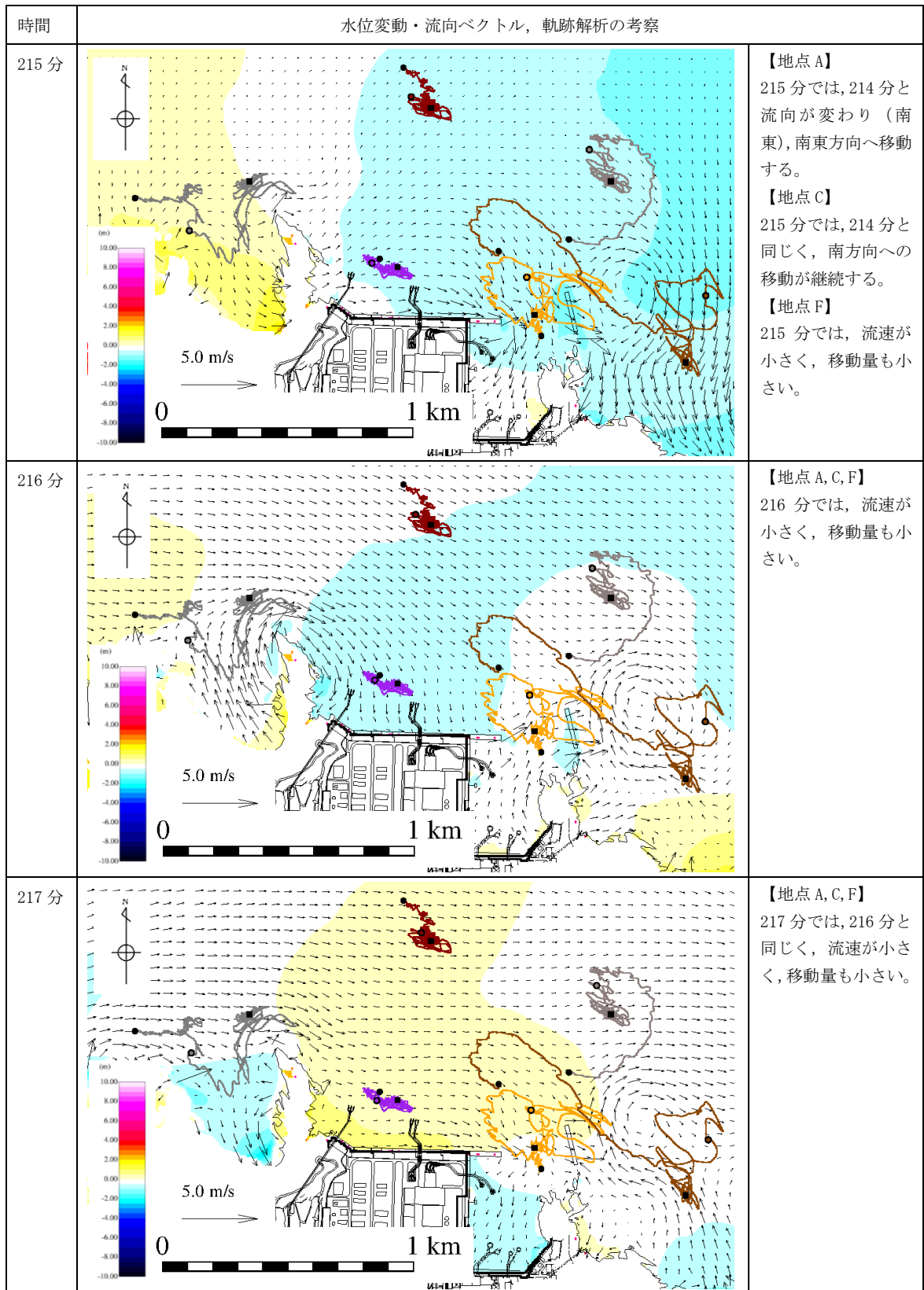


図 4-16 水位変動・流向ベクトル，軌跡解析の評価結果（基準津波 1）

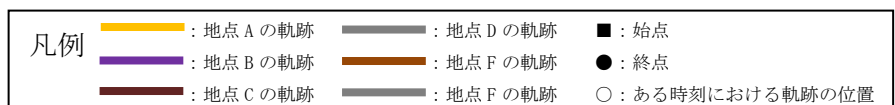
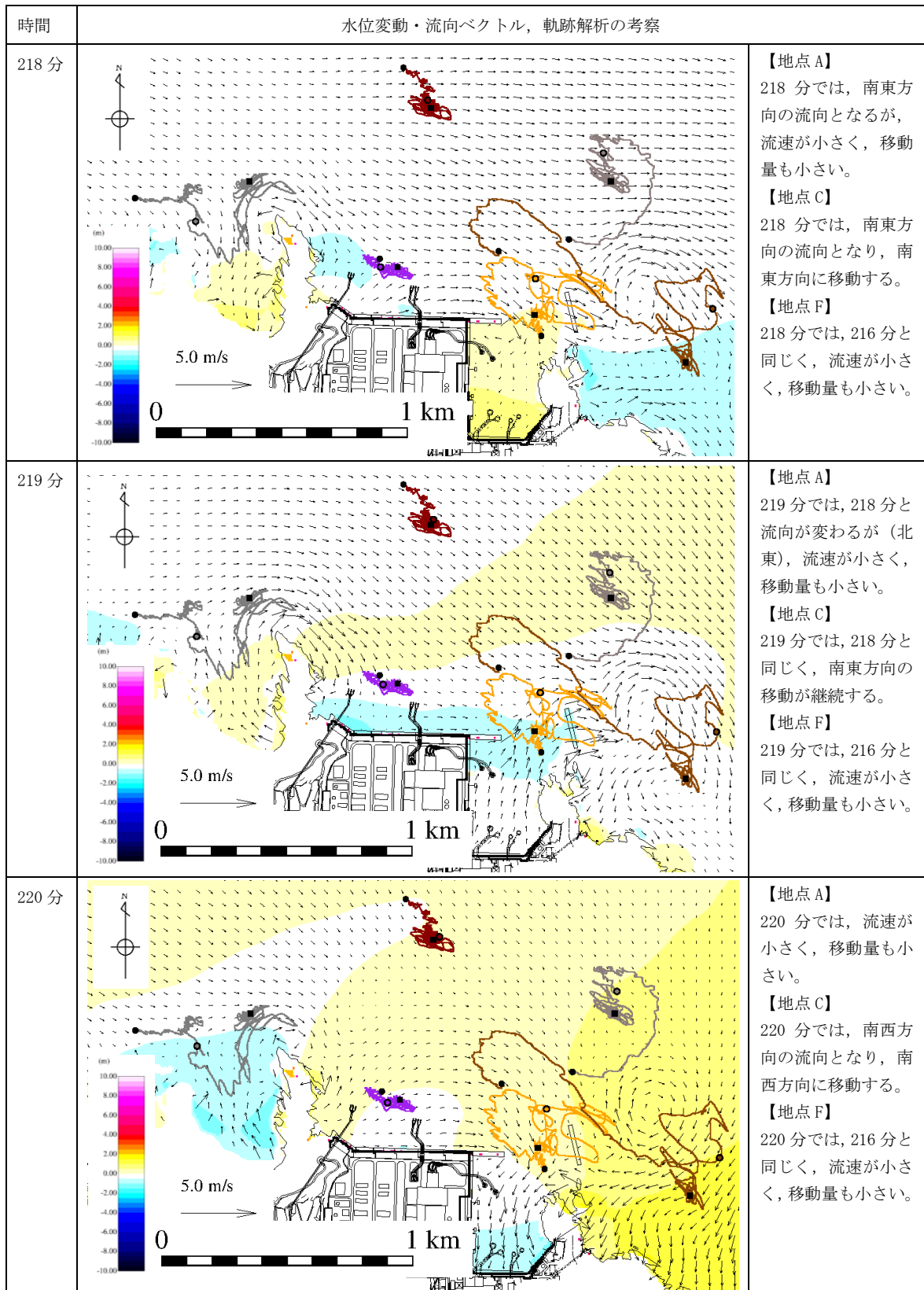


図 4-17 水位変動・流向ベクトル，軌跡解析の評価結果（基準津波 1）

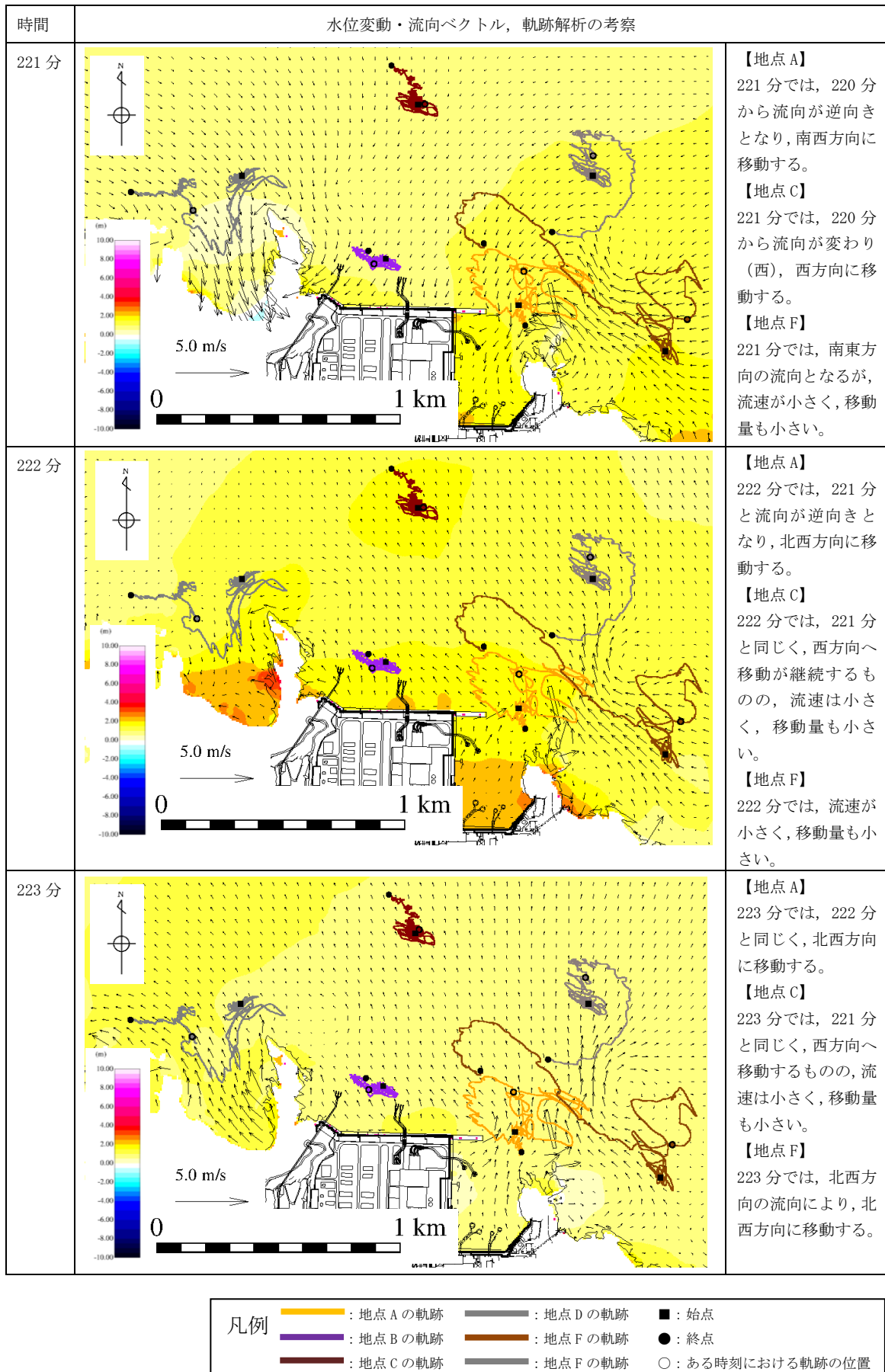


図 4-18 水位変動・流向ベクトル，軌跡解析の評価結果（基準津波 1）

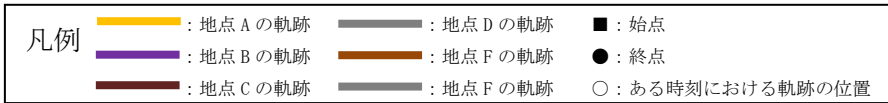
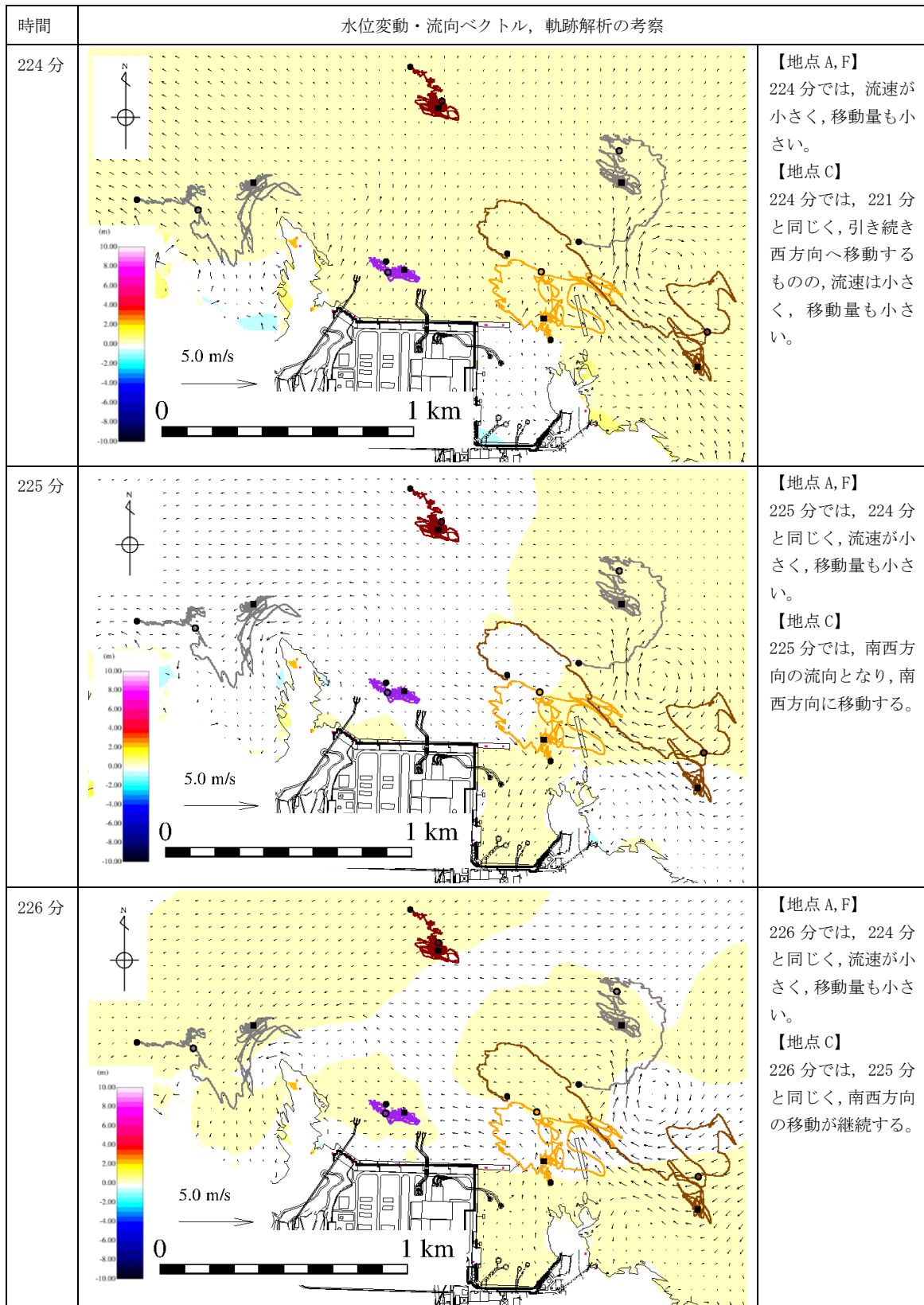


図 4-19 水位変動・流向ベクトル，軌跡解析の評価結果（基準津波 1）

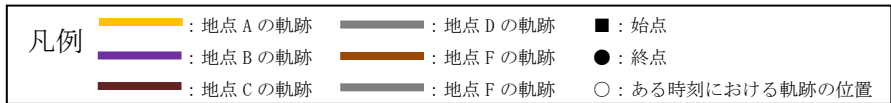
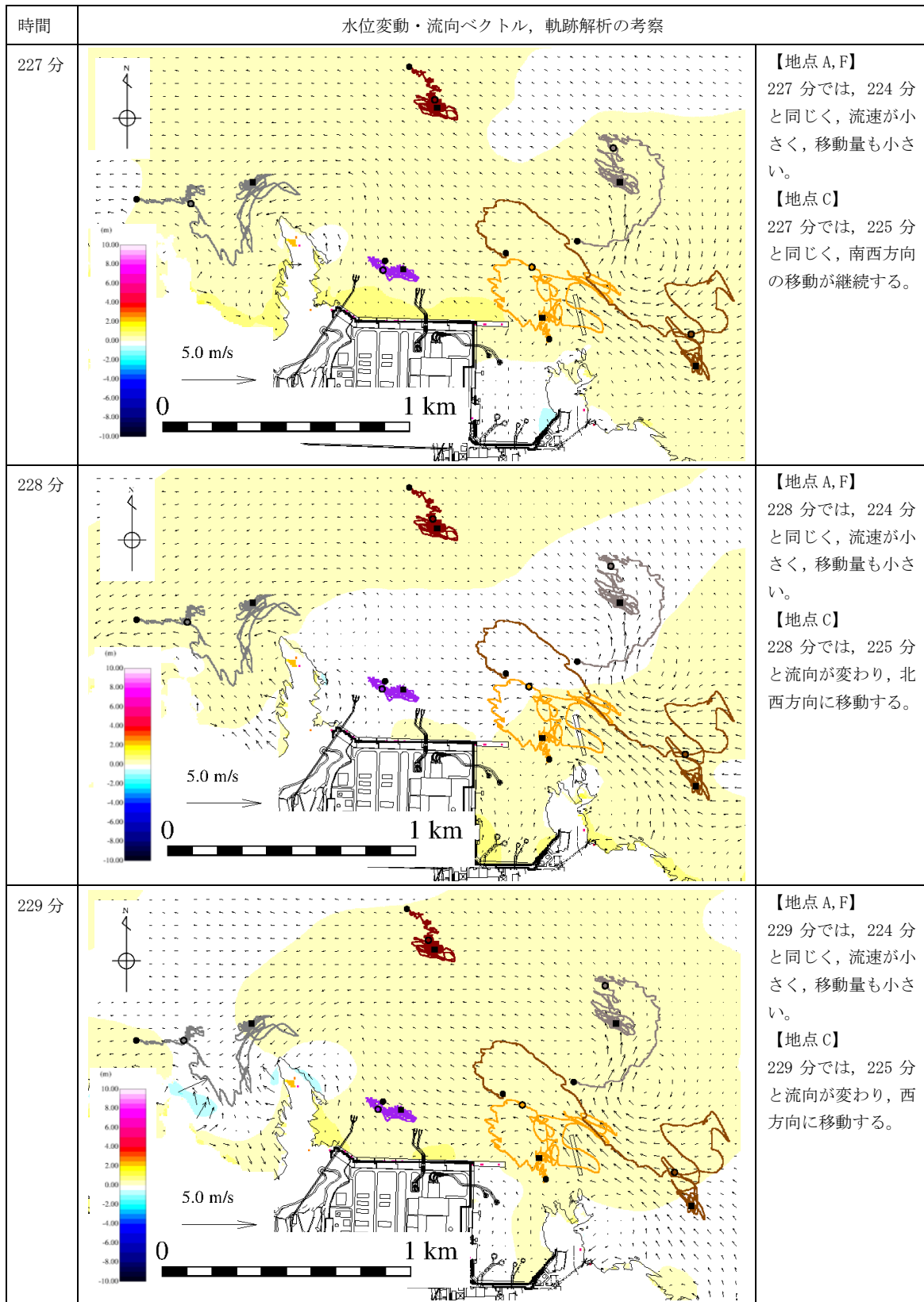
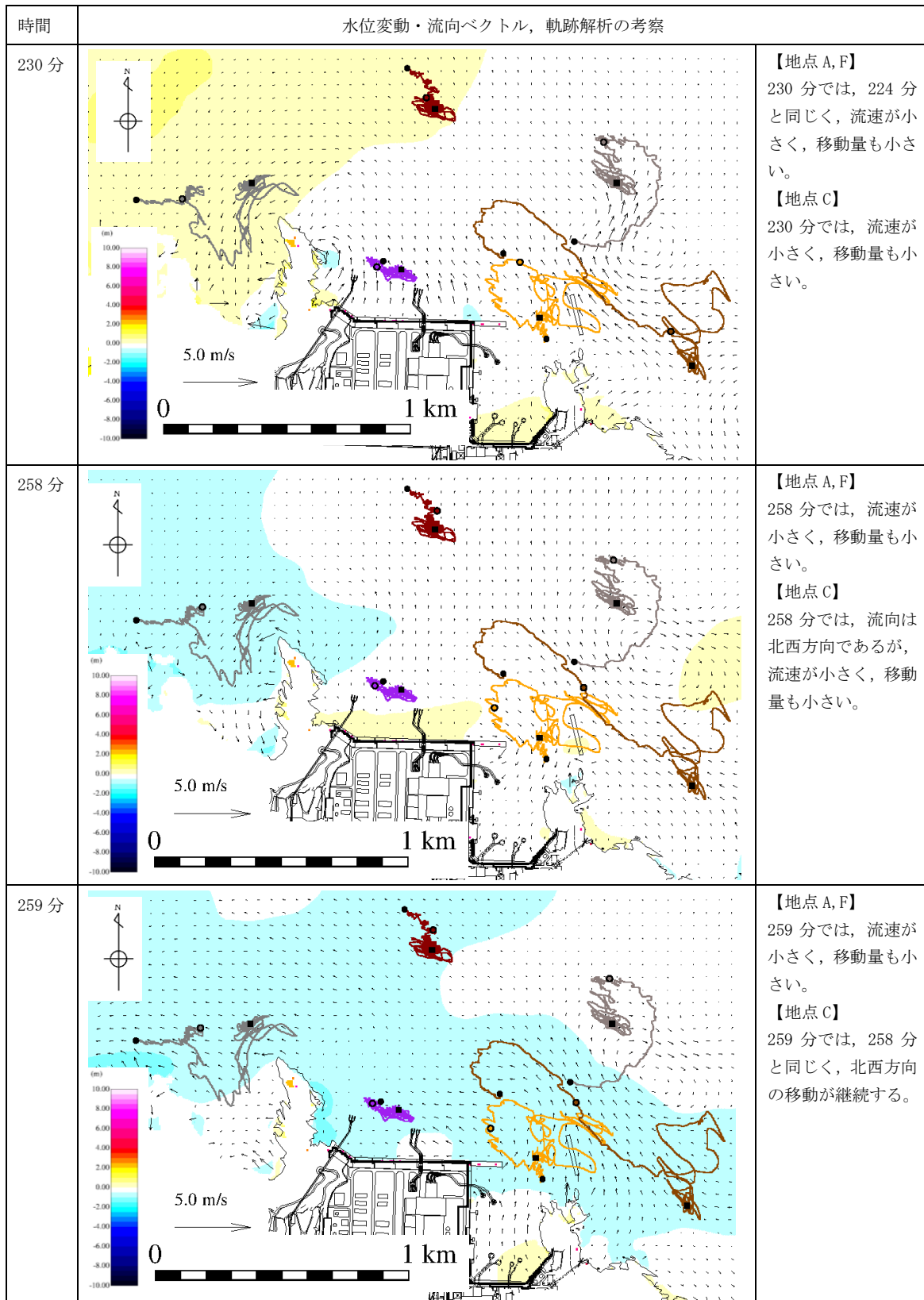


図 4-20 水位変動・流向ベクトル，軌跡解析の評価結果（基準津波 1）



※231 分から 257 分まで同様な傾向であり省略する。

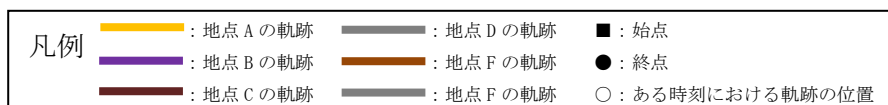


図 4-21 水位変動・流向ベクトル，軌跡解析の評価結果（基準津波 1）

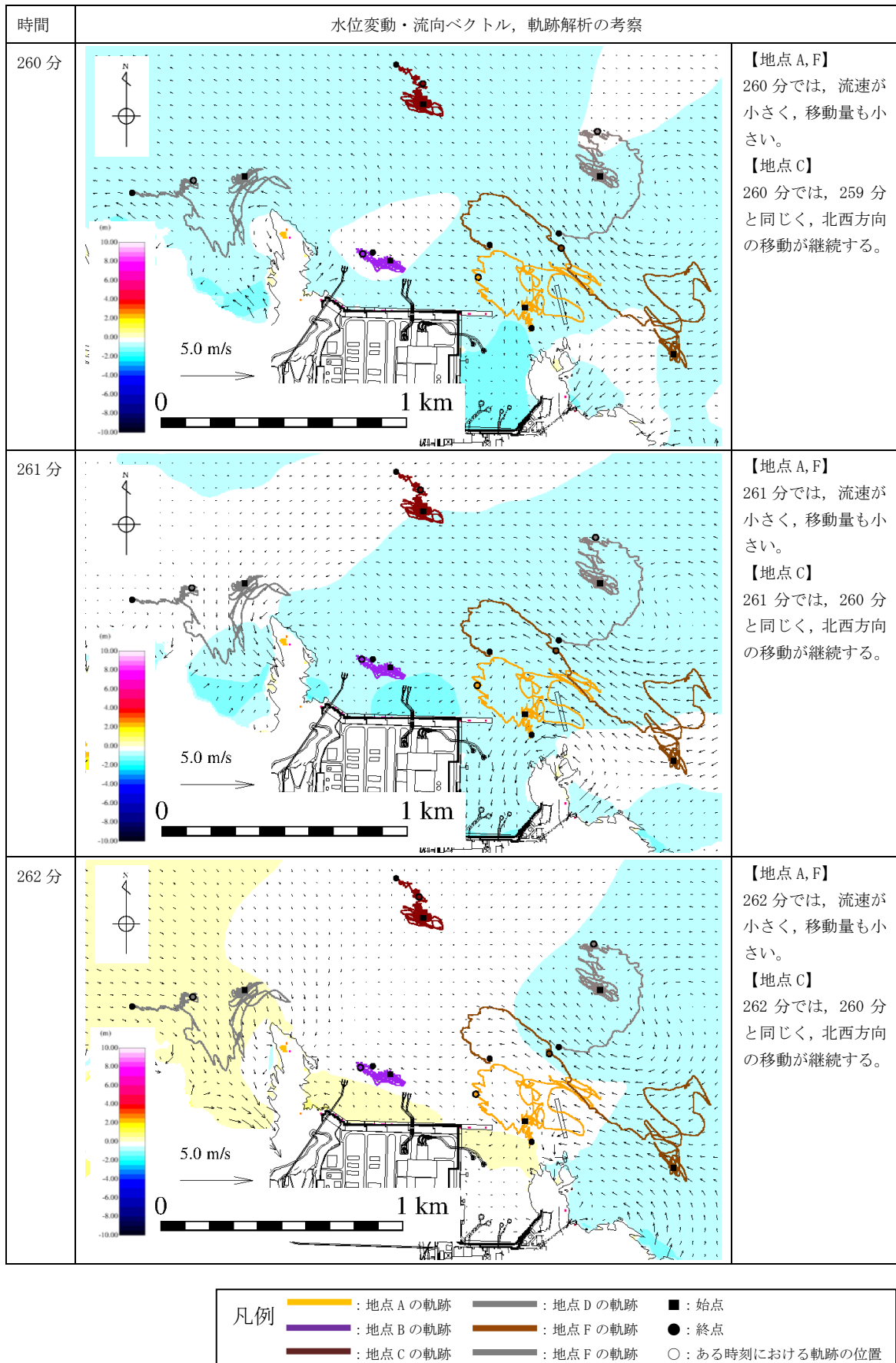
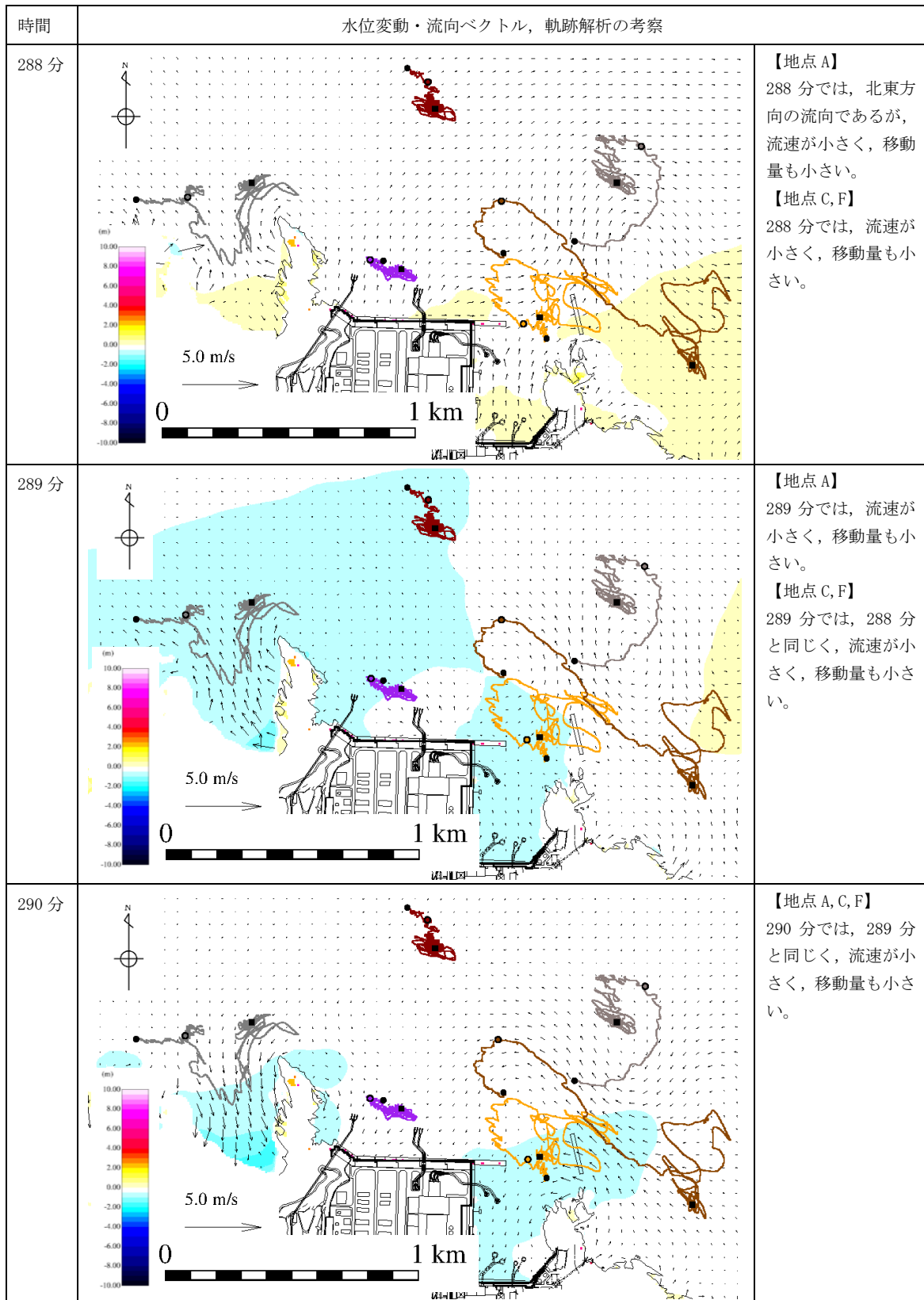


図 4-22 水位変動・流向ベクトル，軌跡解析の評価結果（基準津波 1）



※263 分から 287 分まで同様な傾向であり省略する。

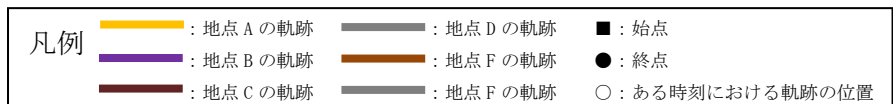
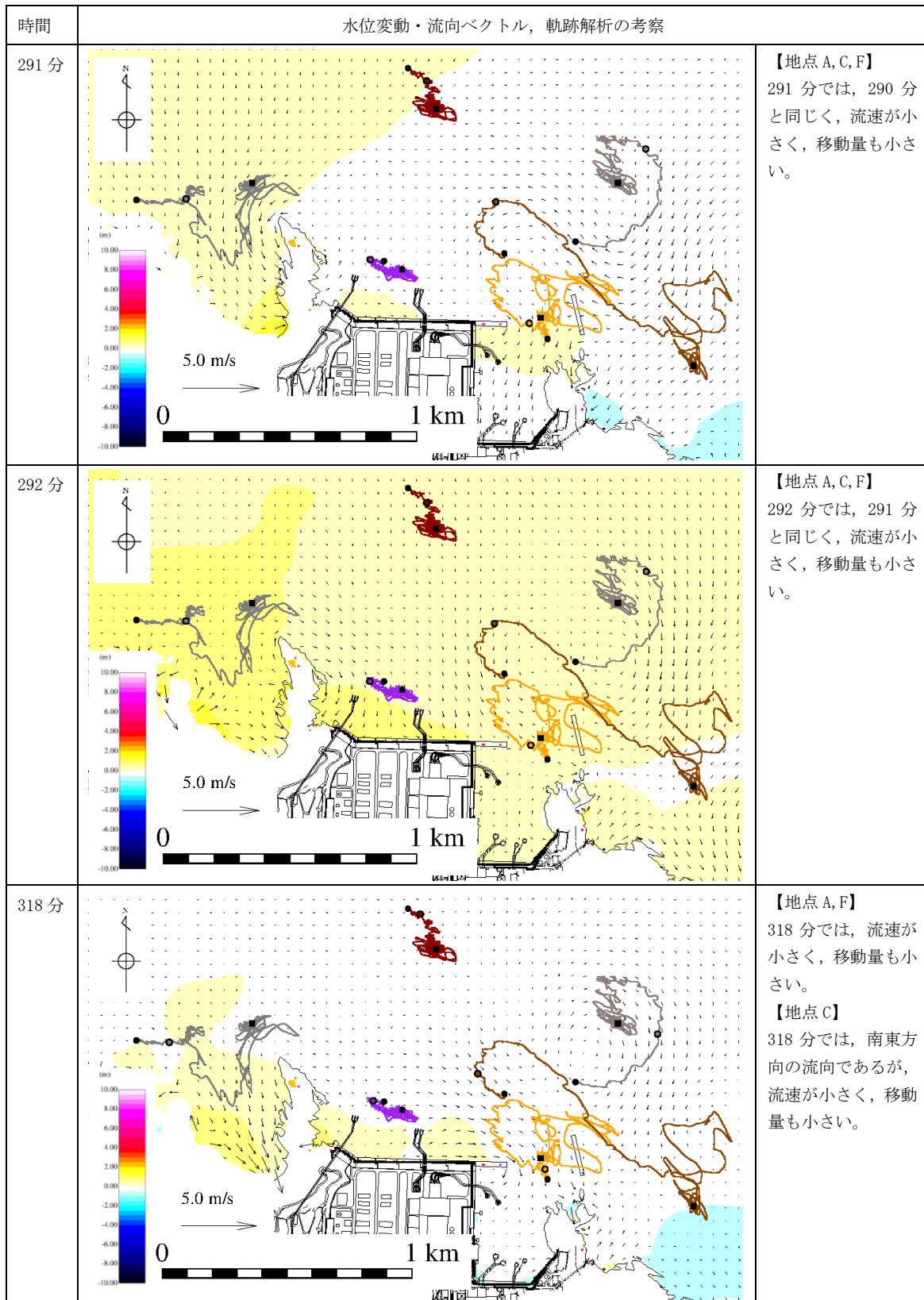


図 4-23 水位変動・流向ベクトル，軌跡解析の評価結果（基準津波 1）



※293分から317分まで同様な傾向であり省略する。

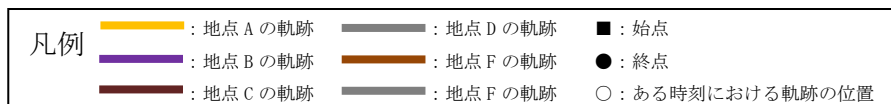


図 4-24 水位変動・流向ベクトル，軌跡解析の評価結果（基準津波 1）

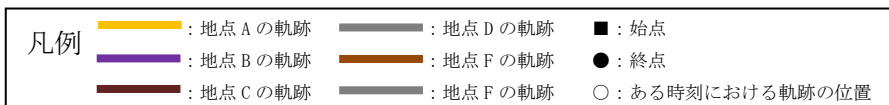
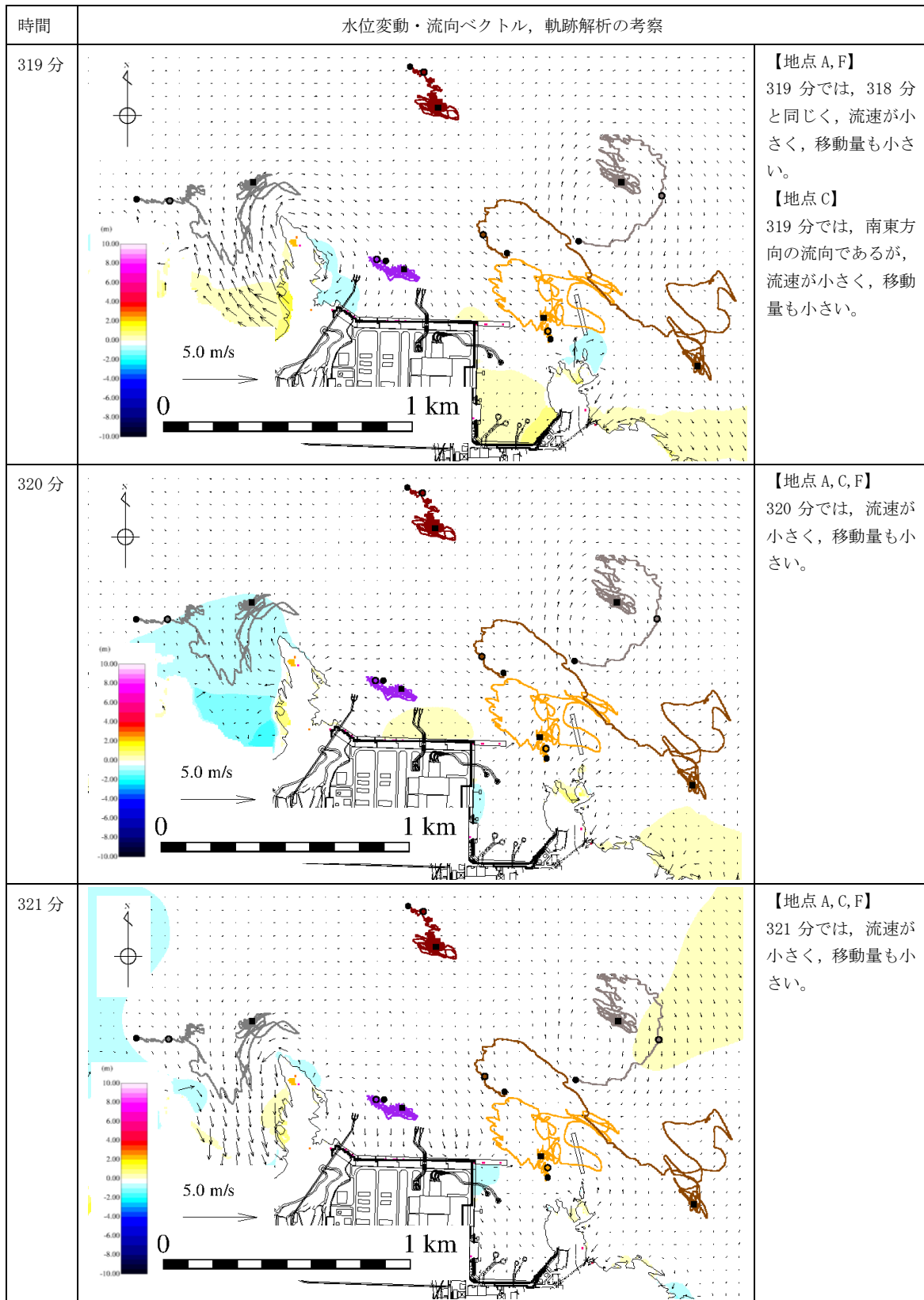
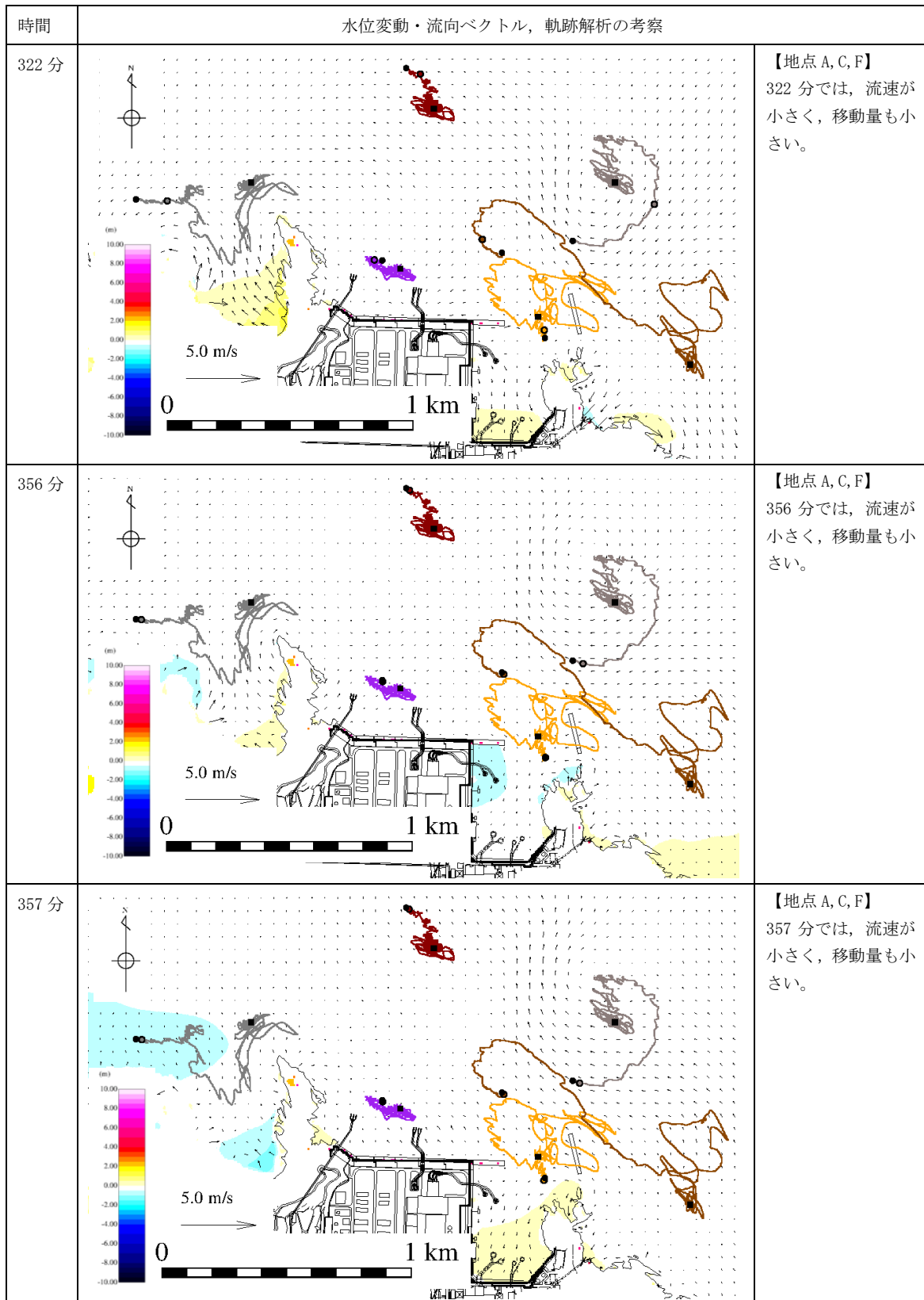


図 4-25 水位変動・流向ベクトル，軌跡解析の評価結果（基準津波 1）



※323 分から 355 分まで同様な傾向であり省略する。

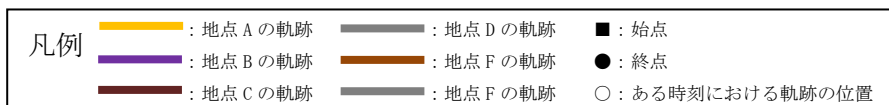


図 4-26 水位変動・流向ベクトル，軌跡解析の評価結果（基準津波 1）

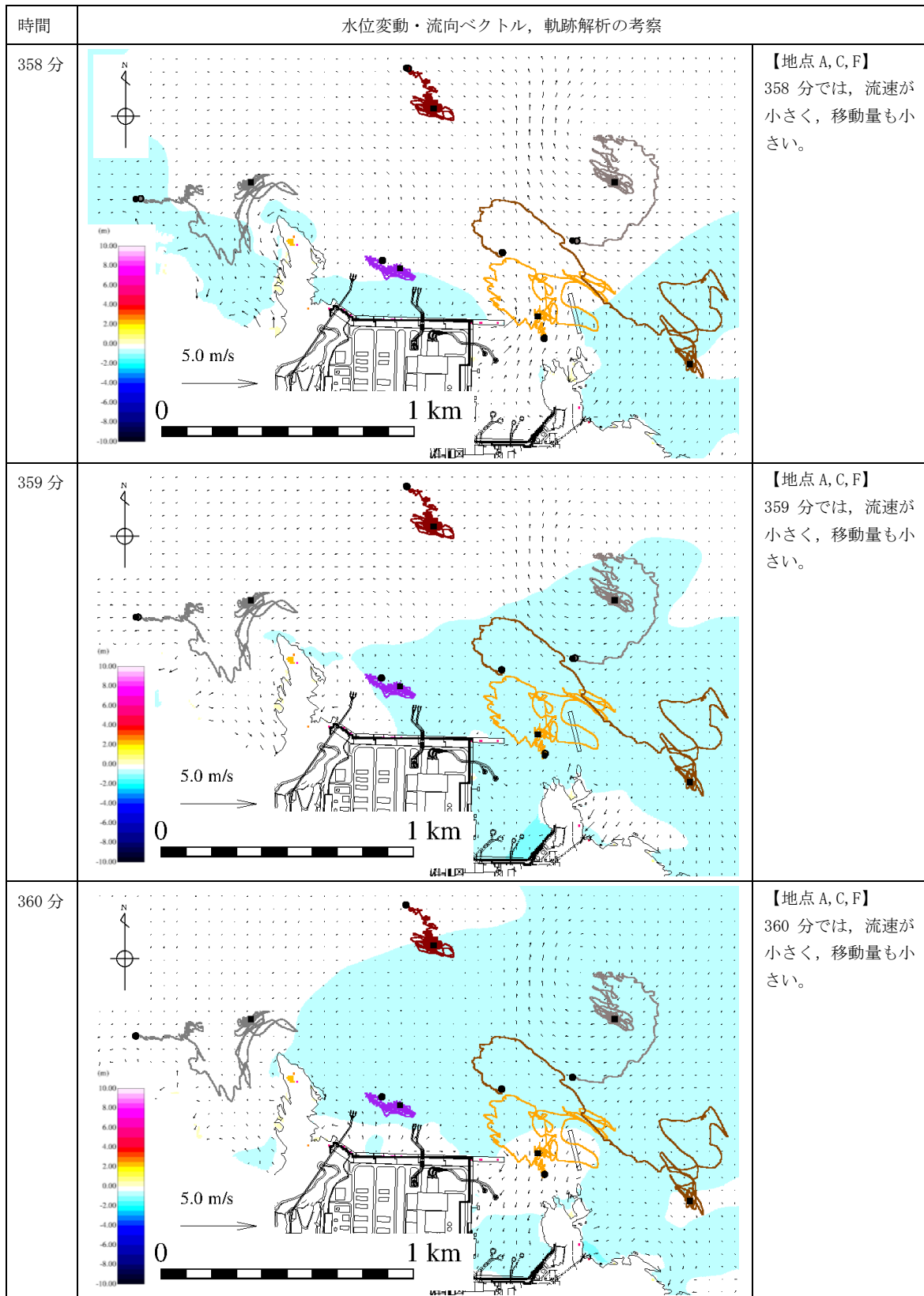


図 4-27 水位変動・流向ベクトル，軌跡解析の評価結果（基準津波 1）

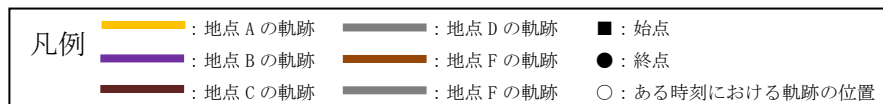
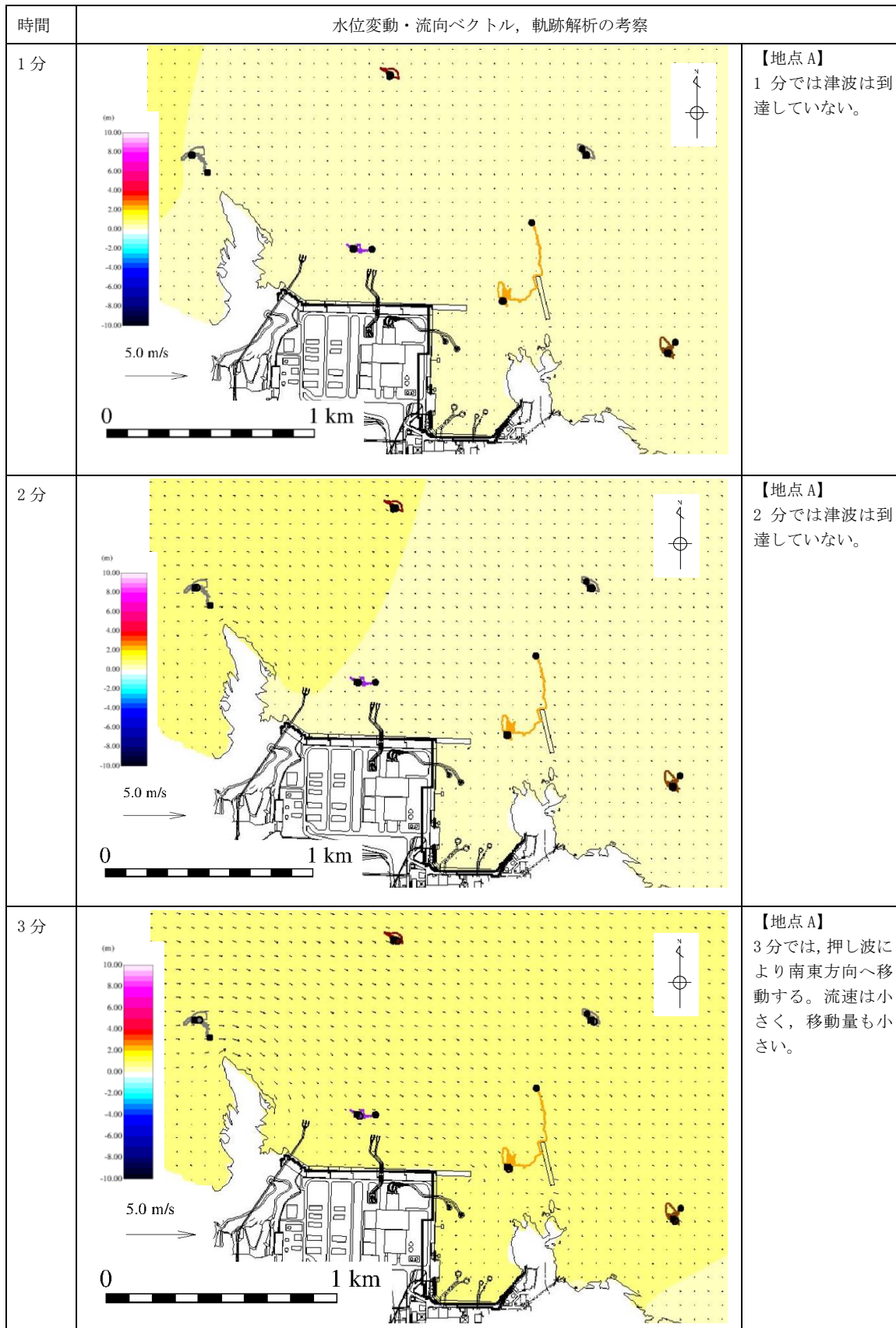


図5-1 水位変動・流向ベクトル，軌跡解析の評価結果（基準津波4）

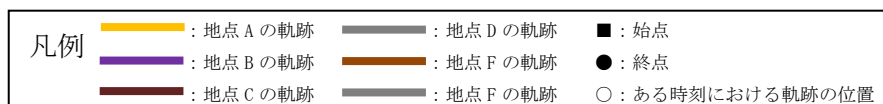
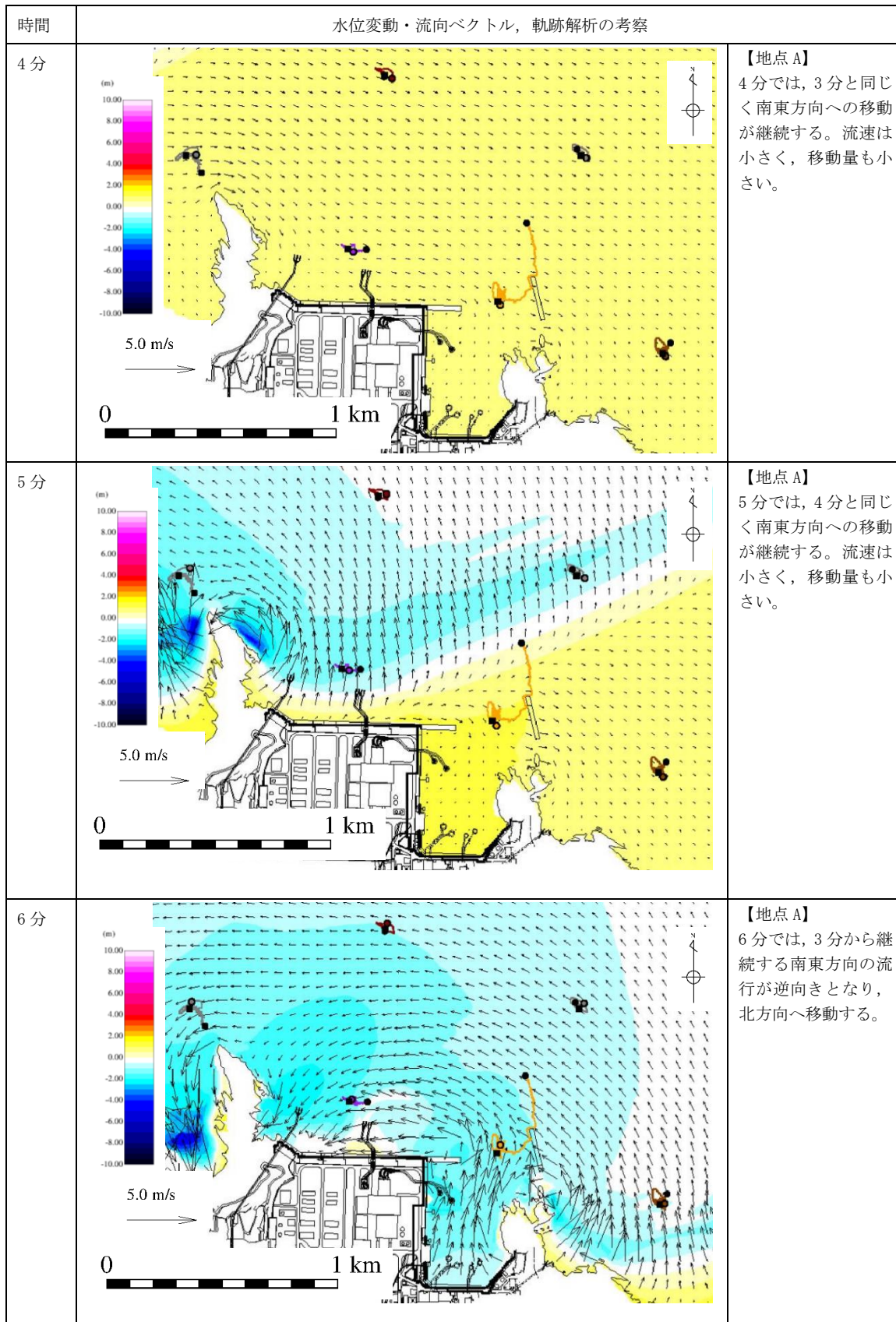


図5-2 水位変動・流向ベクトル，軌跡解析の評価結果（基準津波4）

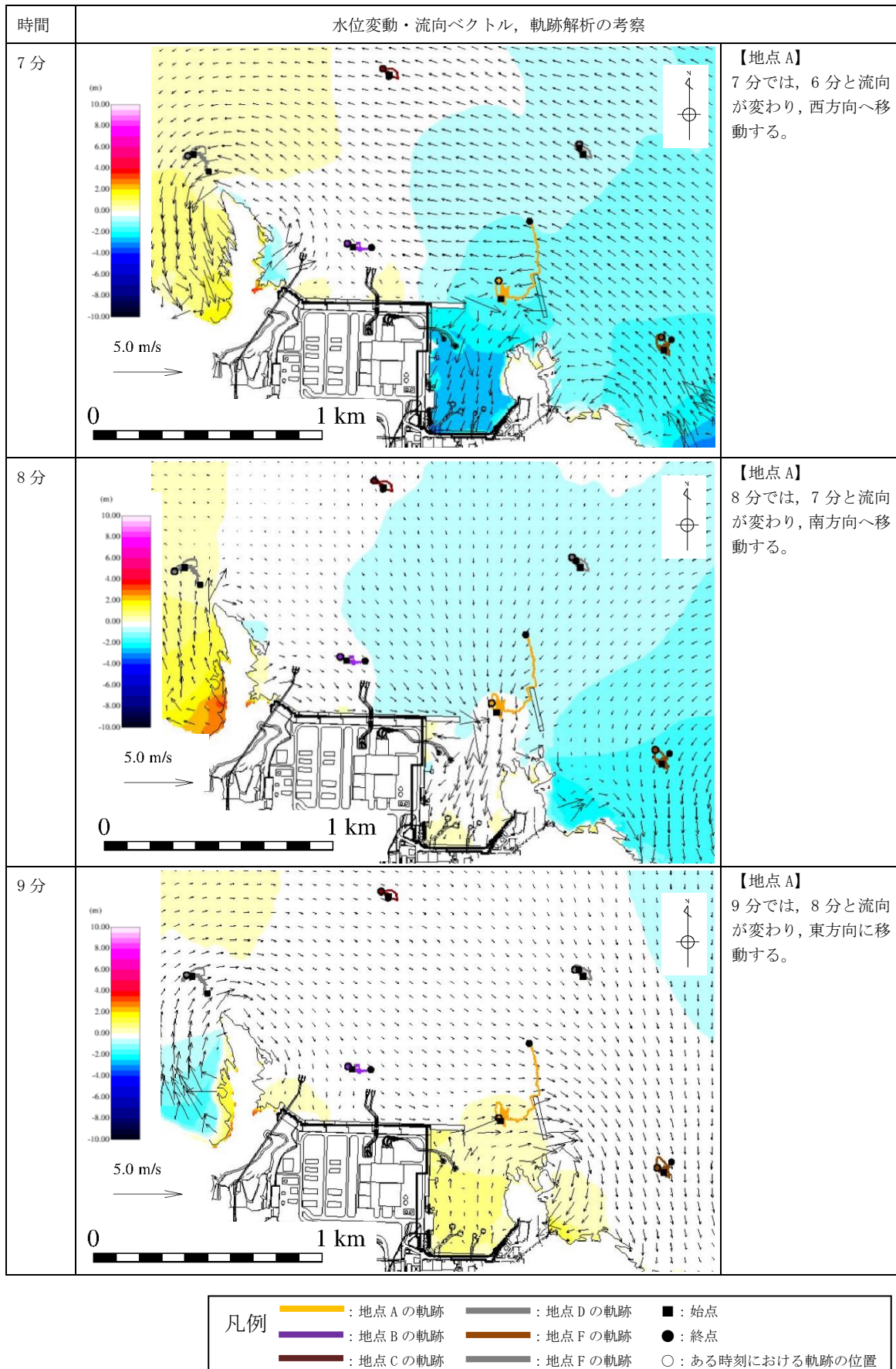


図 5-3 水位変動・流向ベクトル，軌跡解析の評価結果（基準津波 4）

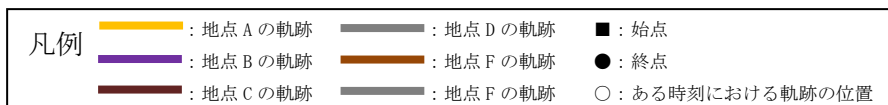
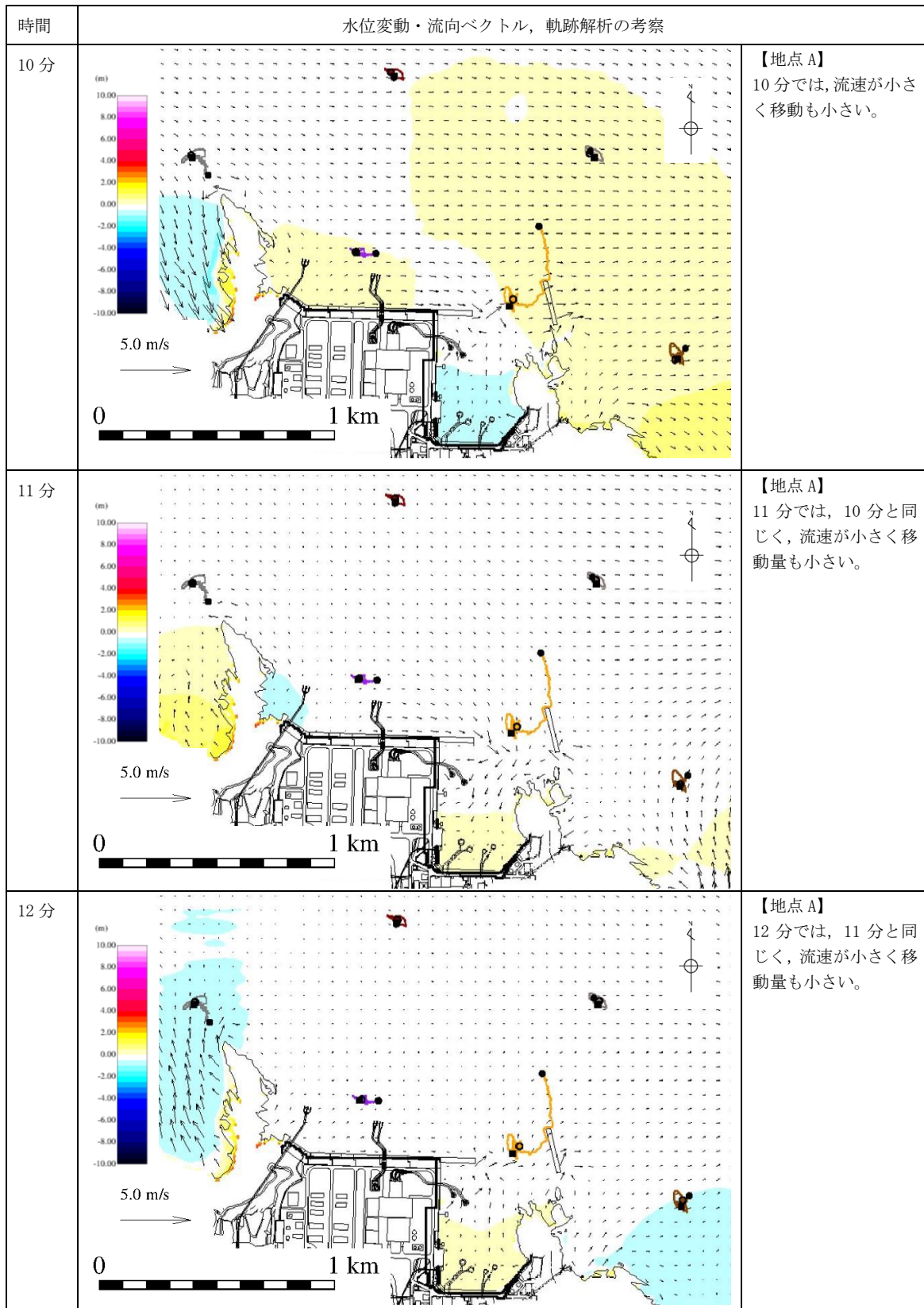


図 5-4 水位変動・流向ベクトル，軌跡解析の評価結果（基準津波 4）

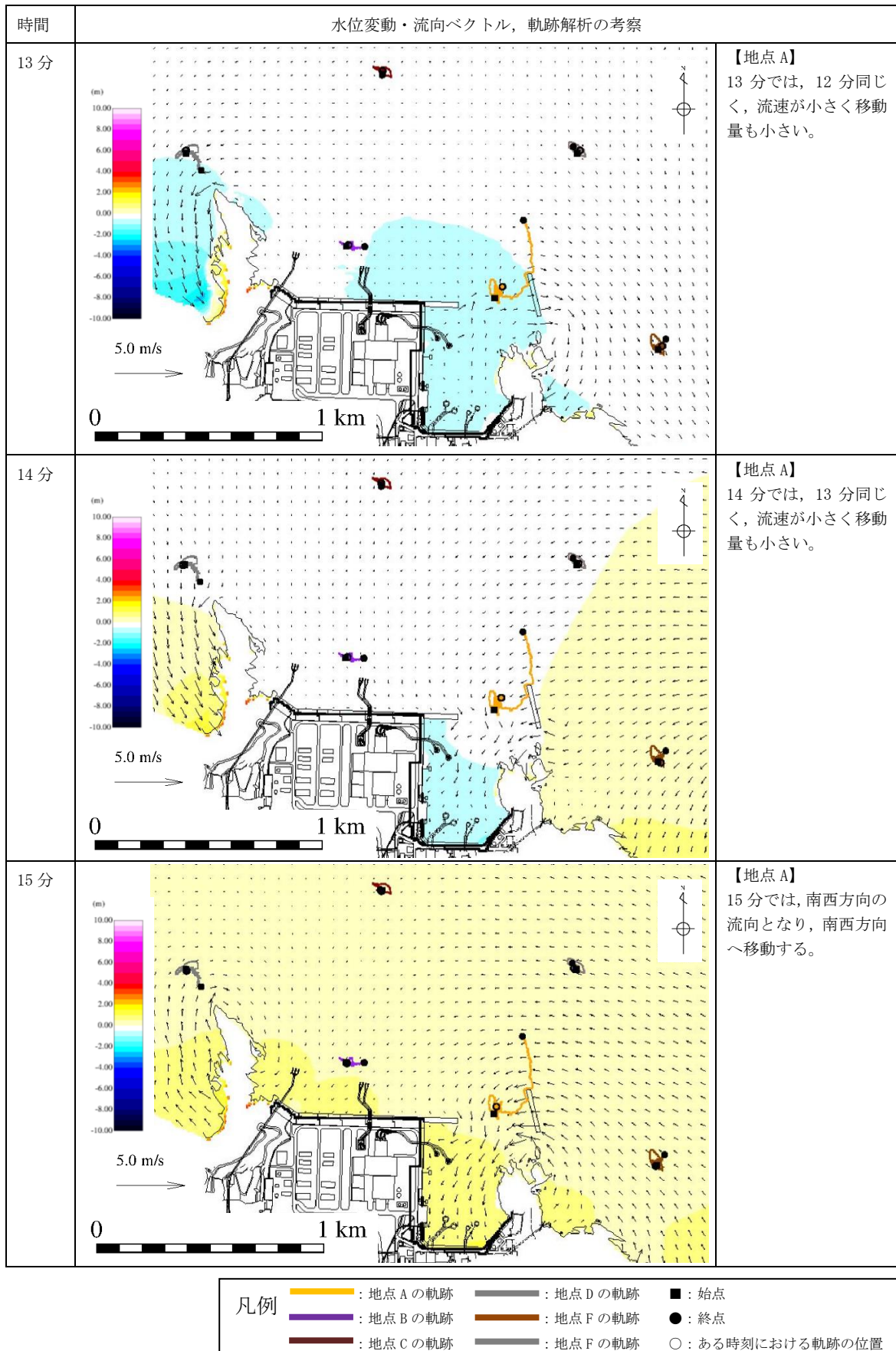


図 5-5 水位変動・流向ベクトル，軌跡解析の評価結果（基準津波 4）

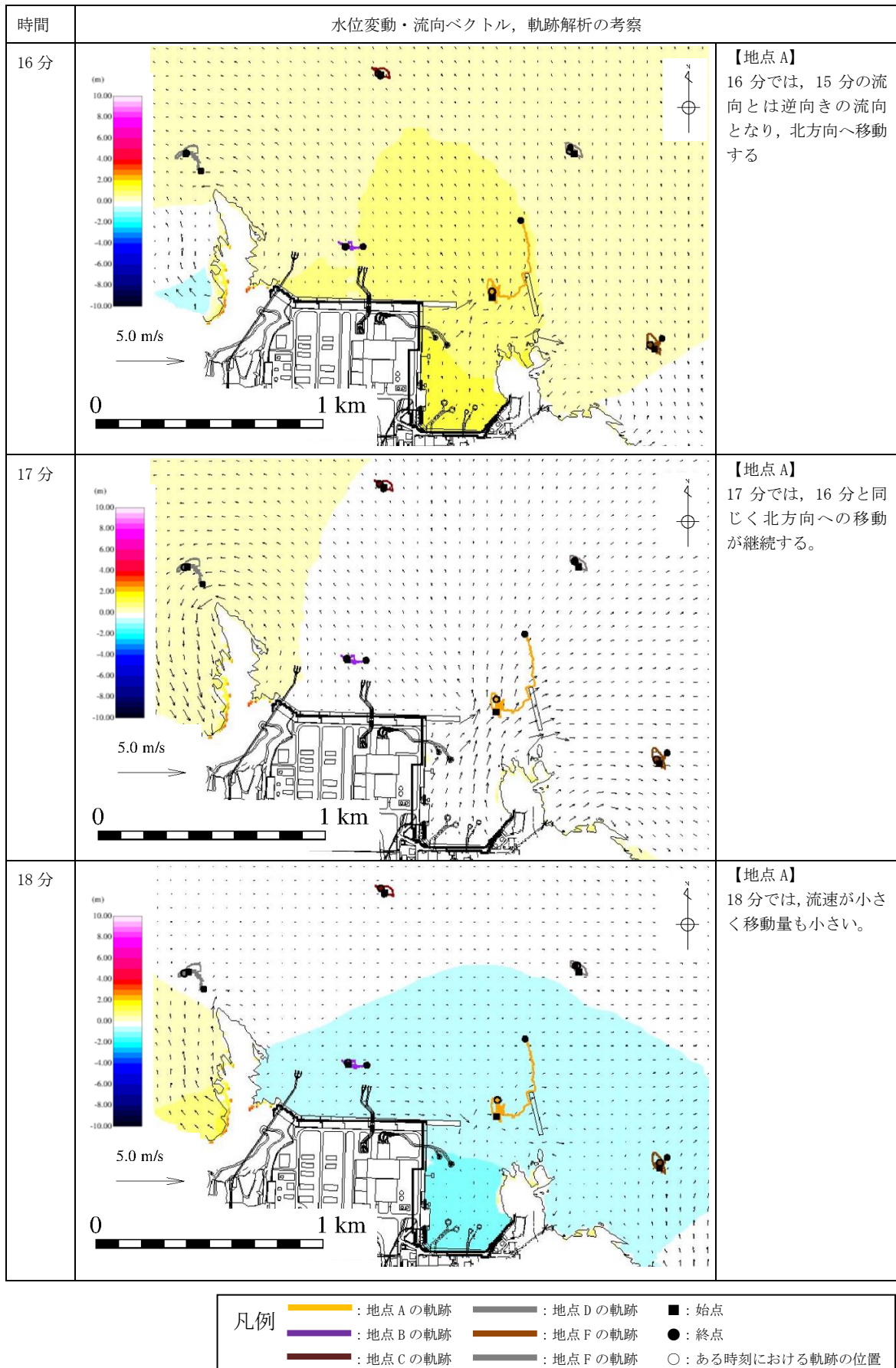


図 5-6 水位変動・流向ベクトル，軌跡解析の評価結果（基準津波 4）

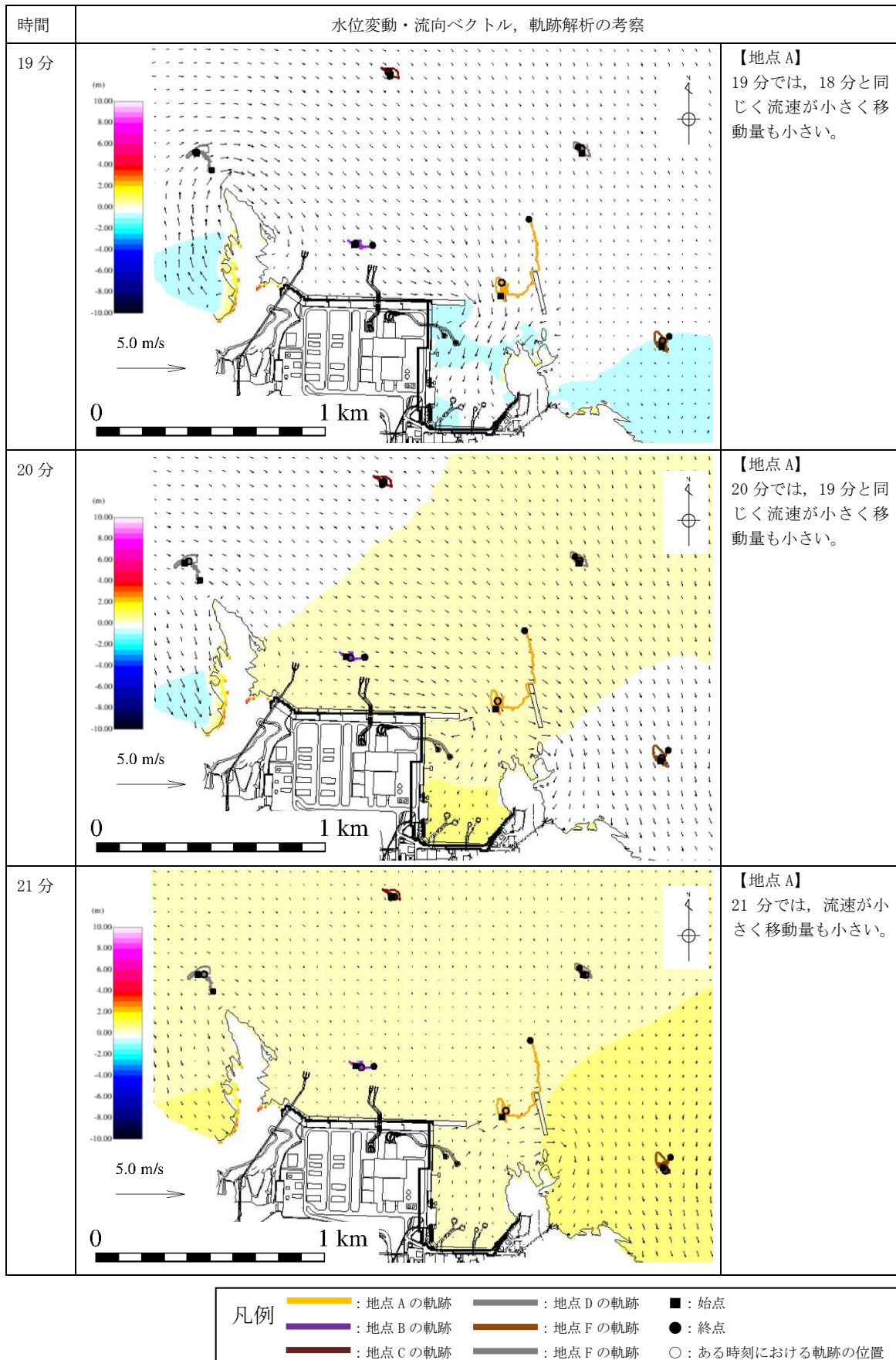


図 5-7 水位変動・流向ベクトル，軌跡解析の評価結果（基準津波 4）

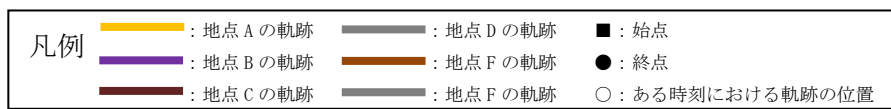
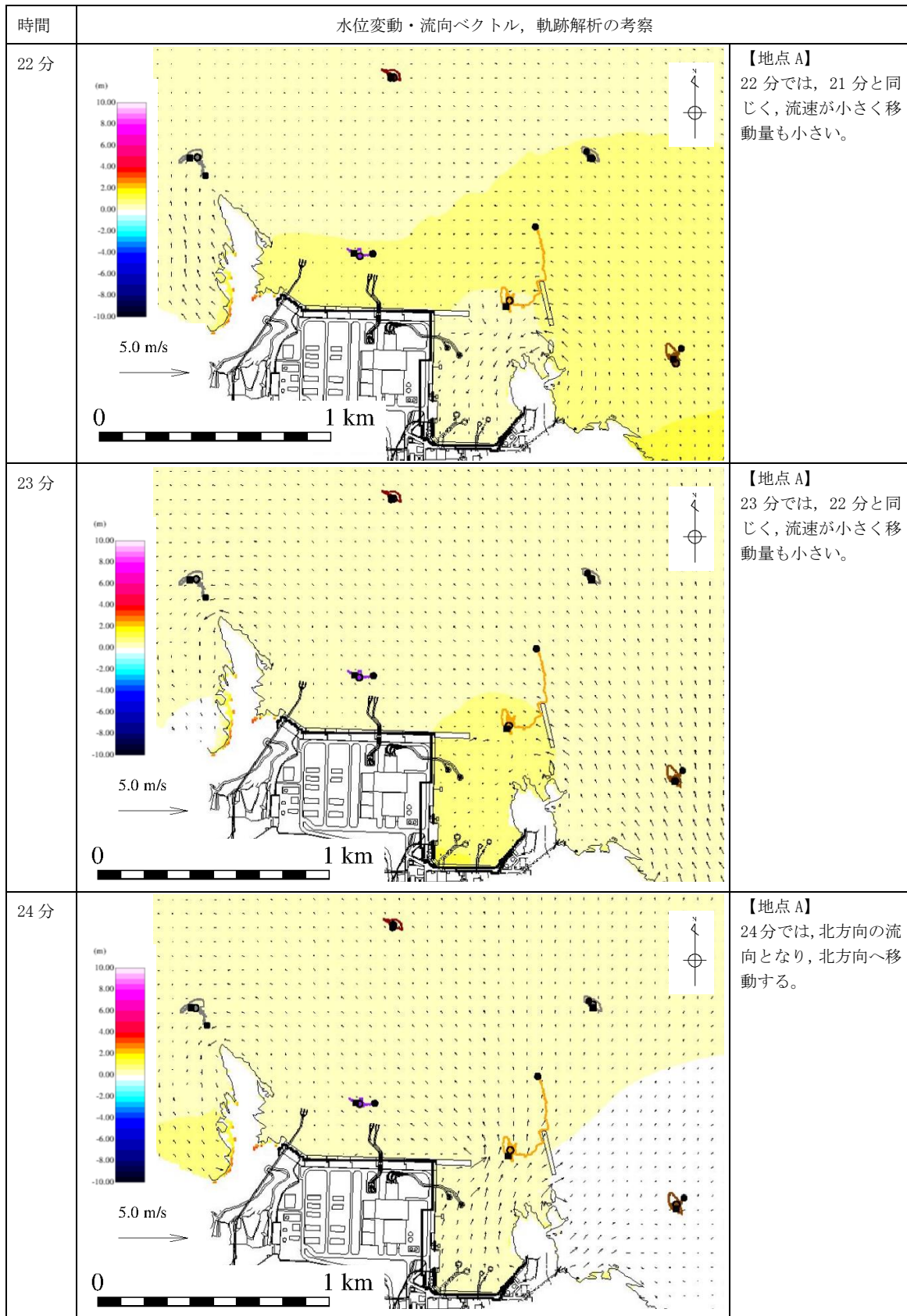


図5-8 水位変動・流向ベクトル，軌跡解析の評価結果（基準津波4）

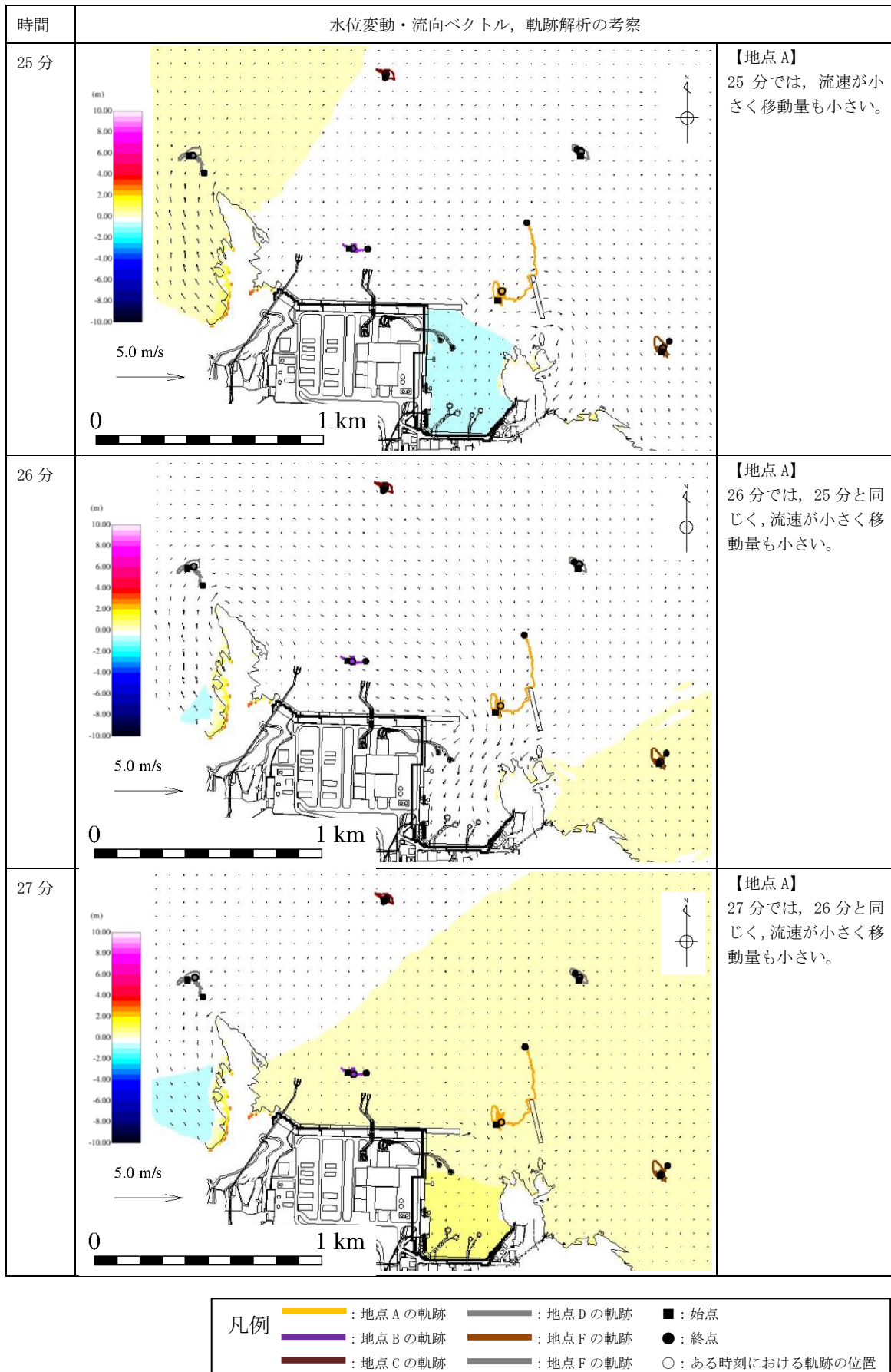


図5-9 水位変動・流向ベクトル，軌跡解析の評価結果（基準津波4）

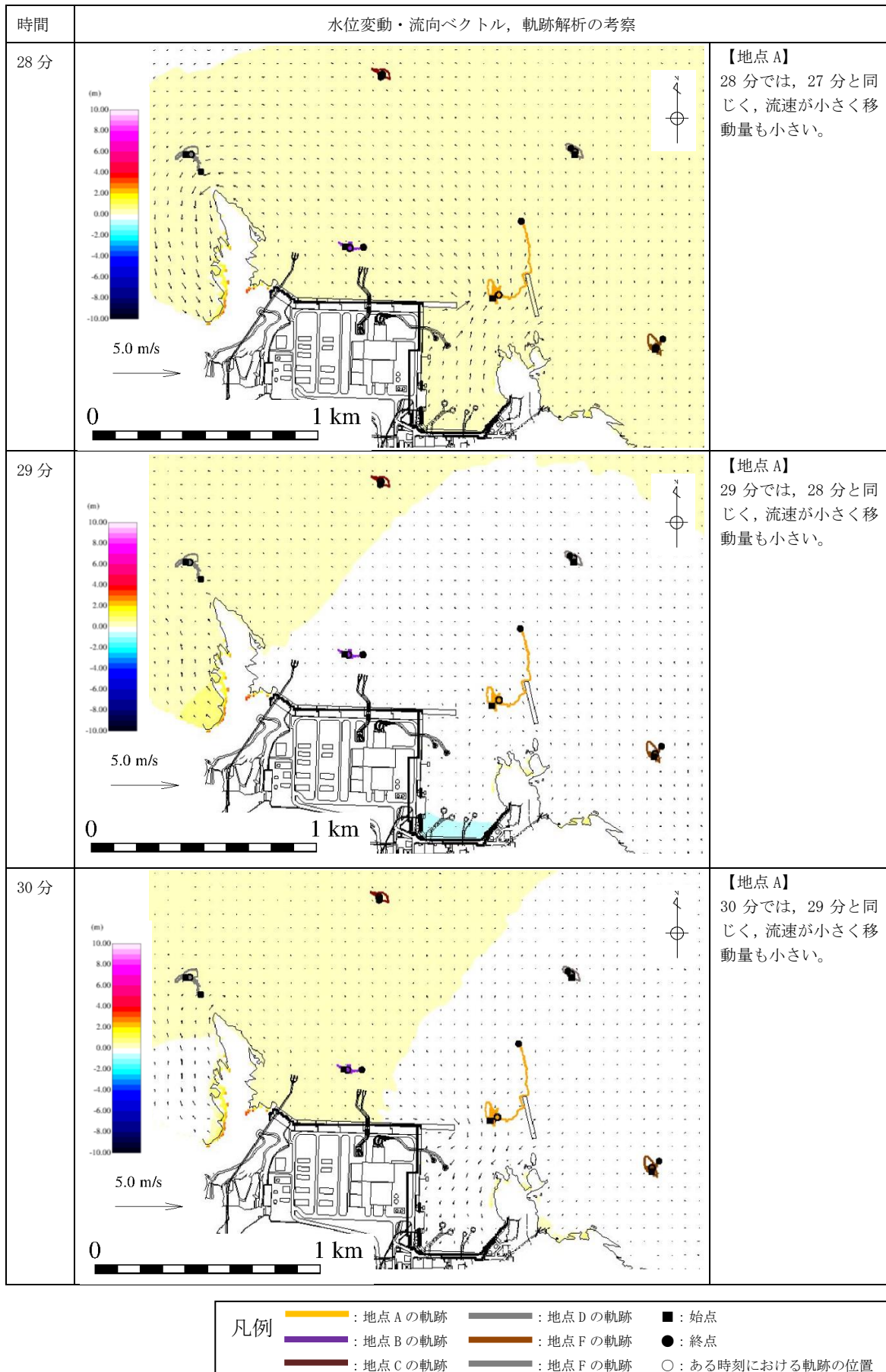


図 5-10 水位変動・流向ベクトル，軌跡解析の評価結果（基準津波 4）

4.3 燃料等輸送船の係留索の耐力

4.3 燃料等輸送船の係留索の耐力

(1) 概要

燃料輸送船及びL L W輸送船（以下「燃料等輸送船」という。）は、来襲までに時間的余裕がある津波の場合は緊急退避するが、来襲までに時間的余裕がない津波の場合は荷揚場に係留することとなる。したがって、係留索の耐力（以下「係留力」という。）について評価を実施する。

係留索については、船舶の大きさから一定の算式によって計算される数値（艀装数）に応じた仕様（強度、本数）のものを有するように、日本海事協会（NK）の鋼船規則において定められている。

本書では、燃料等輸送船が備えている係留力及び津波による流圧力を石油会社国際海事評議会 OCIMF（Oil Companies International Marine Forum）刊行“Mooring Equipment Guidelines”の手法を用いて算出し、係留索の耐力評価を行う。なお、同書は船舶の係留方法・係留設備に関わる要求事項を規定するものであり、流圧力の評価については大型タンカーを主たる適用対象としているが、燃料等輸送船は大型タンカーと同じ1軸船であり、水線下の形状が類似しているため、同評価を燃料等輸送船に適用する。

(2) 評価

a. 燃料等輸送船、係留索及び係船柱の仕様

燃料等輸送船及び係留索の仕様を表 4.3-1 に、係船柱の仕様を表 4.3-2 にそれぞれ示す。また、燃料輸送船の配置例及び係船柱の位置を図 4.3-1 に示す。係留にあたっては、燃料輸送船の位置及び係留索の水平角を固定するため、船首側及び船尾側に各 2 本ずつ（計 4 本）係留索を使用する。

L L W輸送船は燃料輸送船と同様に津波来襲時に荷揚場へ係留することとなるが、表 4.3-1 に示すとおり輸送船仕様は燃料輸送船と同等である。また、係留索の仕様のうち耐力評価に使用する係船機ブレーキ力は燃料輸送船の値を上回っていることから、燃料輸送船を代表に評価する。

b. 津波条件（流向、水位、流速）

来襲までに時間的余裕がなく、燃料輸送船を離岸できない海域活断層から想定される地震による津波（基準津波 4）を対象に津波条件を設定する。

海域活断層から想定される地震による津波（基準津波 4）による荷揚場近傍の流向は、図 4.3-2 に例示するとおり、荷揚場に対する接線方向の成分が支配的となる。これに対し、燃料輸送船は荷揚場と平行して接岸されることから、燃料輸送船の船首及び船尾方向の流圧力に対する係留力について評価を実施する。

一方、海域活断層から想定される地震による津波（基準津波 4）の荷揚場近傍における水位及び接線方向成分の流速は、図 4.3-3 のとおりとなる。この図より、地震発生後、押し波が 5 分程度継続した後、引き波に転じ約 6 分で第一波の最低点に

達し、この時の流速が最大の 2.3m/s に達することが分かる。

なお、図 4.3-3 に示した津波の流速は、防波堤の損傷を想定した場合における流速であり、防波堤の損傷を想定しない場合（防波堤健全の条件）でも、接線方向成分の流速は、図 4.3-4 に示すとおり、流速条件は防波堤損傷状態における流速と同程度である。

c. 係留力

係留力の計算方法を表 4.3-3 に、計算結果を表 4.3-4、図 4.3-5 及び図 4.3-6 にそれぞれ示す。

d. 流圧力

流圧力の計算方法を表 4.3-5 に示す。また、前項で算出した係留力との比較結果を図 4.3-7 に示す。

(3) 結論

津波（最大流速 2.3m/s）による流圧力に対し、係留力（約 23.1tonf、約 21.7tonf）が上回ることを確認した。

表 4.3-1 燃料等輸送船及び係留索の仕様

項目		仕様	
		燃料輸送船	L L W輸送船
輸送船	総トン数	約 5,000 トン	約 4,600 トン
	載貨重量トン	約 3,000t	約 3,000t
	喫水	約 5m	約 5m
	全長	100.0m (垂線間長 : 94.4m)	99.95m
	型幅	16.5m	16.5m
	形状	(図 4.3-1 参照)	—
	船殻構造	二重構造	二重構造
	船底構造	二重構造	二重構造
	船型	船首楼・ 船尾楼付平甲板船	船首楼・ 船尾楼付平甲板船
係留索	直径	60mm (ノミナル値)	60mm
	素材種別	Polyethylene Rope Grade 1	ポリプロピレン/ ポリエステル混紡
	破断荷重	279kN (キロニュートン) =28.5tonf	348kN (キロニュートン) =35.5tonf
	係船機ブレーキ 力	28.5tonf×0.7≒20.0tonf	35.5tonf×0.7≒25.0tonf

表 4.3-2 係船柱の仕様

項目		仕様
係船柱	形状	(図 4.3-1 参照)
	ビット数, 位置	(図 4.3-1 参照)
	係留状態	(図 4.3-1 参照)
	強度	25t

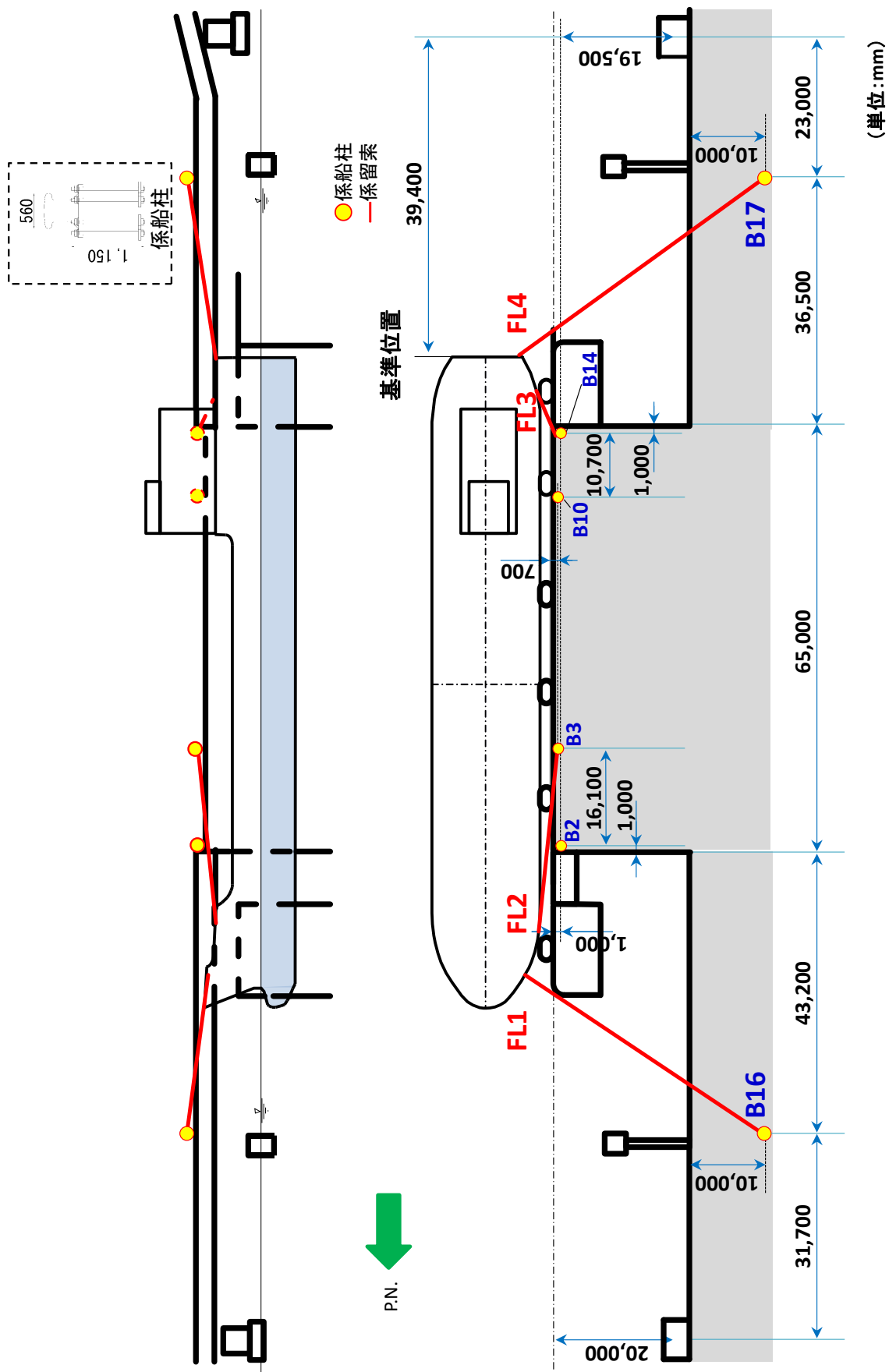
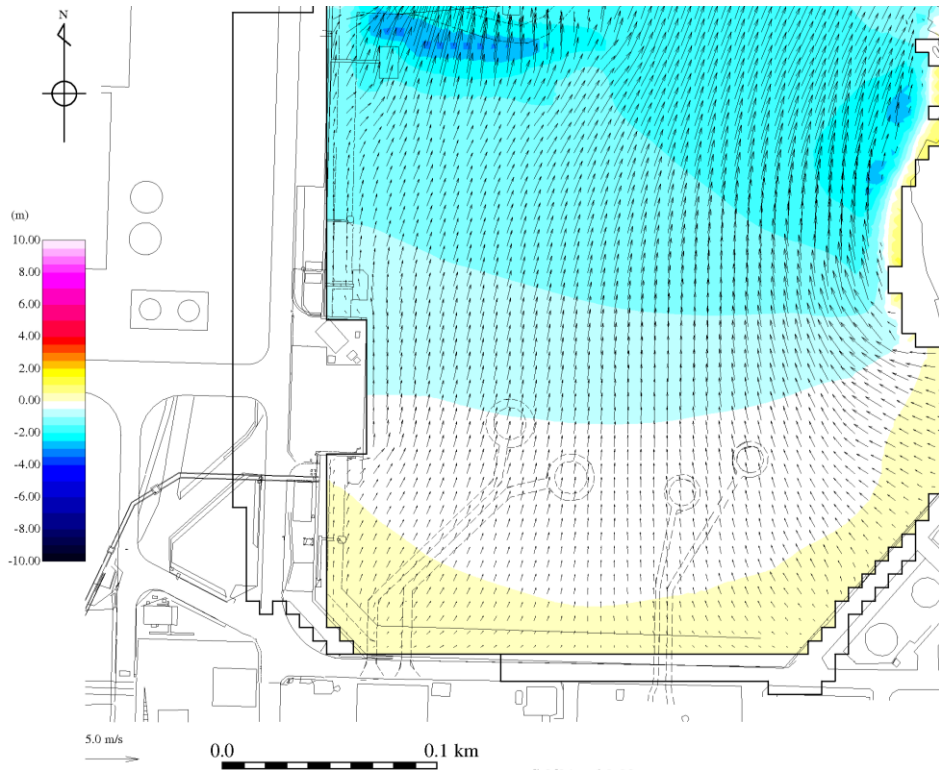


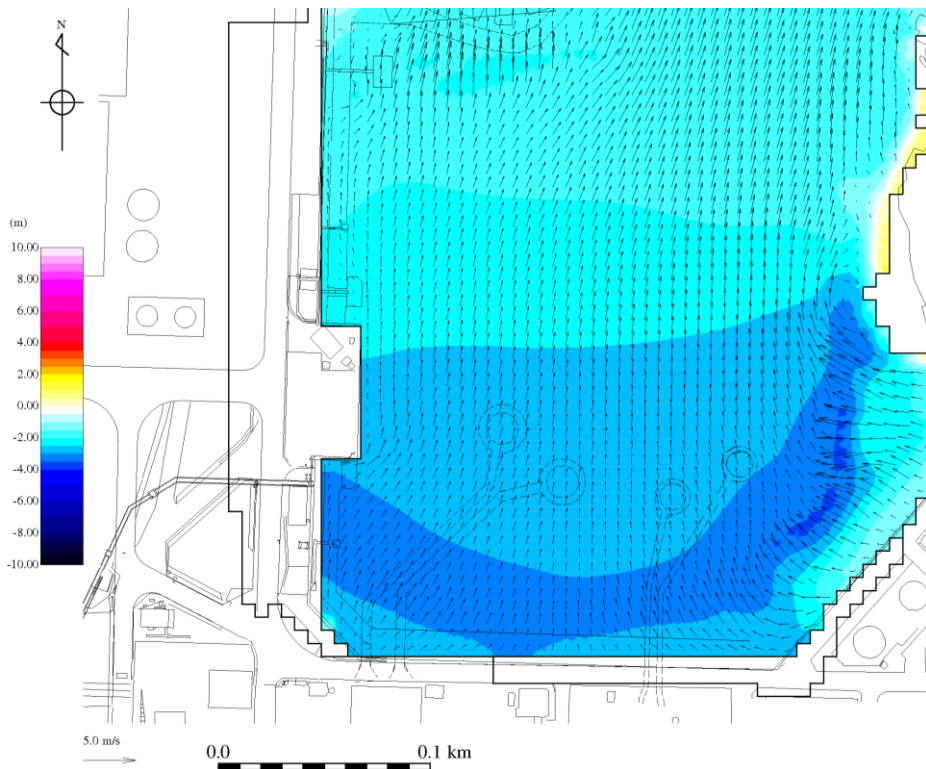
図 4.3-1 燃料輸送船, 係留索及び係船柱の配置

(単位:mm)



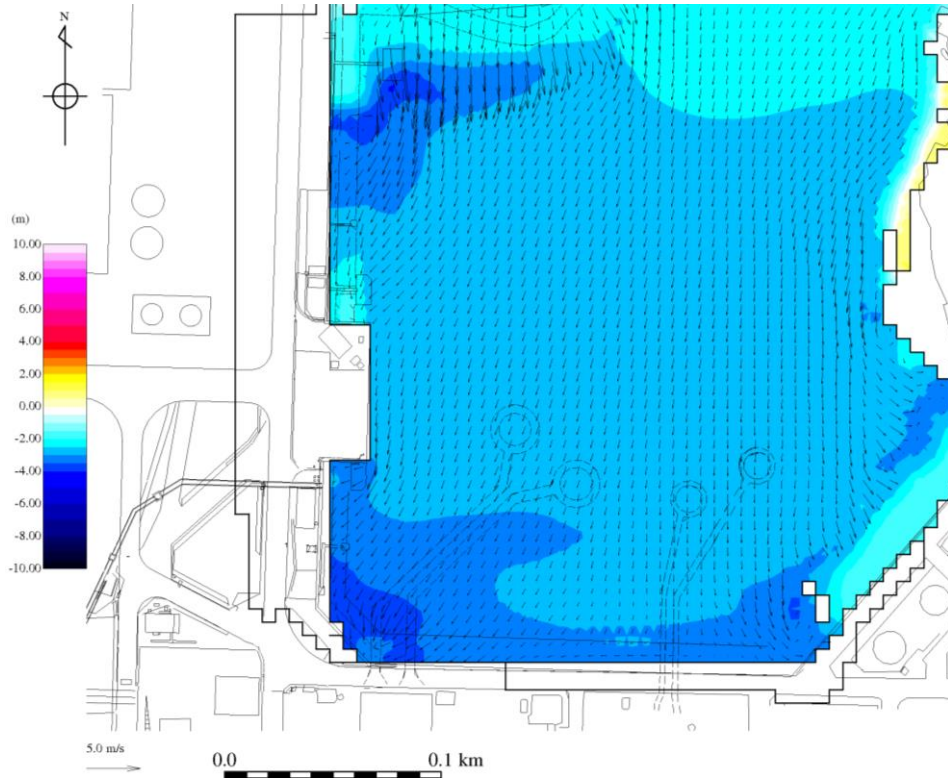
(地震発生後 5 分 50 秒後)

図 4.3-2(1) 基準津波 4 の流向



(地震発生後 6 分 10 秒後)

図 4.3-2(2) 基準津波 4 の流向



(地震発生後 6 分 50 秒後)

図 4.3-2(3) 基準津波 4 の流向

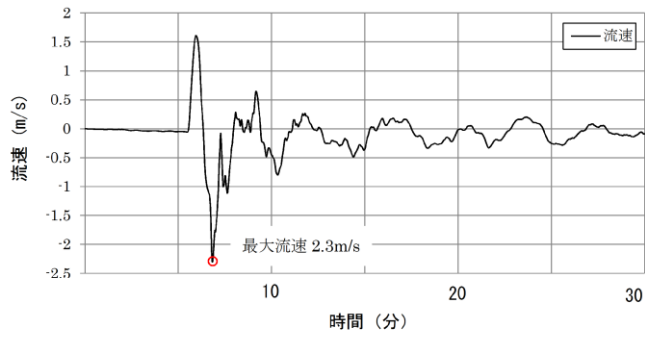
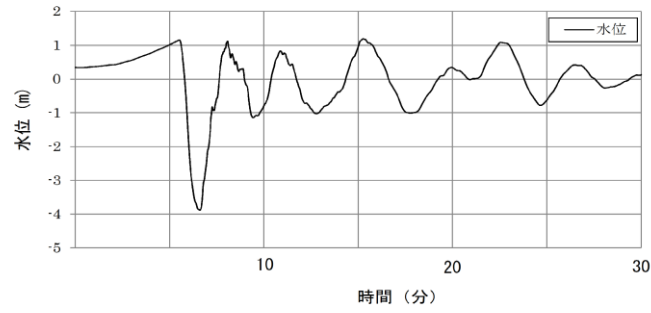


図 4.3-3 基準津波 4 の流速 (荷揚場近傍)

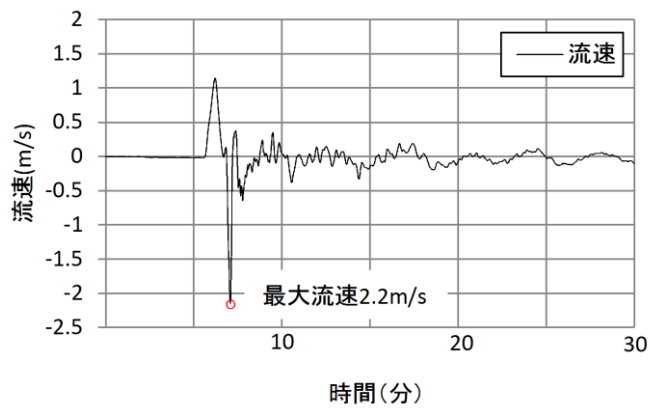
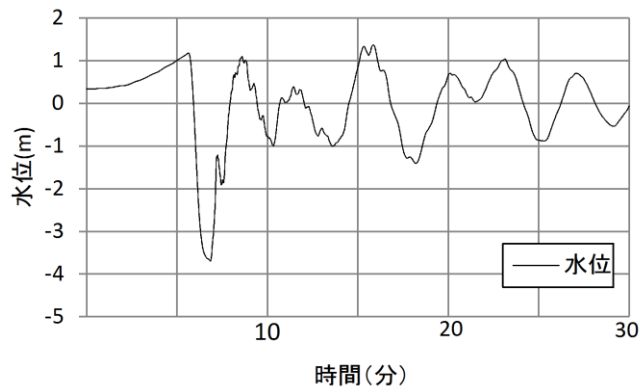


図 4.3-4 防波堤健全時における基準津波 4 の流速 (荷揚場近傍)

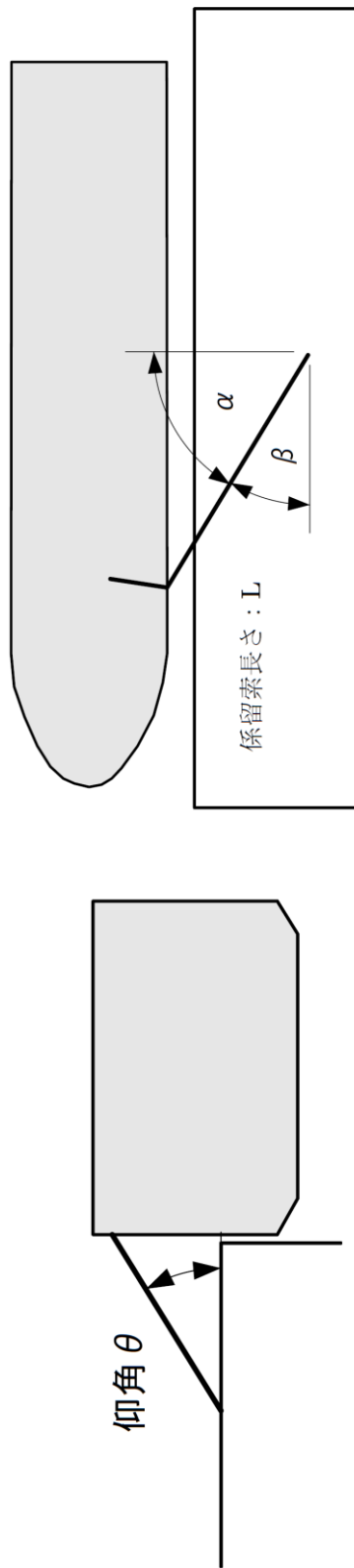
表 4.3-3 係留力の計算方法

<p>【各索の係留力計算式】</p> $R_x = T \times \left(\frac{\cos^2 \beta \times \cos^2 \theta}{L} \right) \times \left(\frac{L_c}{\cos \beta_c \times \cos \theta_c} \right)$	
<p>R_x : 前後係留力 (tonf) (前方は添字 f, 後方は添字 a) T : 係留索 1 本に掛けることができる最大張力 (tonf) β : 係留索水平角 (岸壁平行線となす角度) (deg) θ : 係留索の仰角 (deg) L : 係留索の長さ (船外+船内) (m) β_c : 各グループ*で最も負荷の大きい係留索の係留索水平角 (岸壁平行線となす角度) (deg) θ_c : 各グループ*で最も負荷の大きい係留索の仰角 (岸壁平行線となす角度) (deg) L_c : 各グループ*で最も負荷の大きい係留索の長さ (船外+船内) (m) 注記* : 係留索の機能別グループ (前方係留力または後方係留力)</p>	

(出典 : 係留設備に関する指針 OCIMF 刊行)

表 4.3-4 係留力の計算結果

フェアラ リナーダ	索種類	係船柱	係留索長さ (m)		係留角 (deg)		索張力 T (tonf)	係留力 前後 (tonf)	Bitt Performance (tonf)	
			船外		θ	β			Bitt Load	係船柱 強度
FL1	Line1	B16	49.2		0.7	48.3	20.0	3.7	20.0	25.0
FL2	Line2	B3	19.3		3.3	-8.8	20.0	19.7	20.0	25.0
FL3	Line3	B14	13.8		3.7	14.0	20.0	19.4	20.0	25.0
FL4	Line4	B17	40.2		-0.1	-65.9	20.0	2.0	20.0	25.0
								船尾方向係留力 23.1		
								船首方向係留力 21.7		



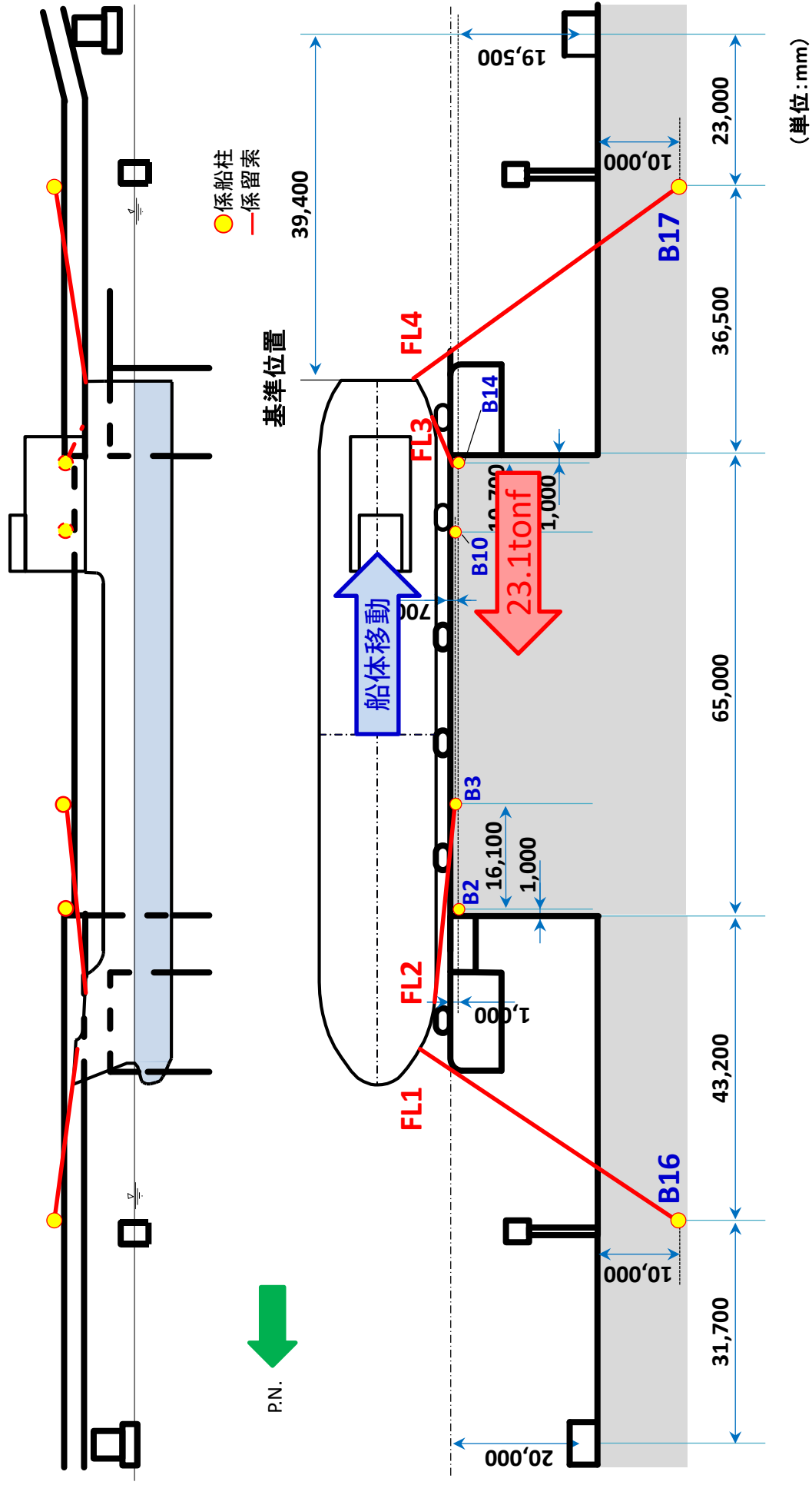


図 4.3-5 船尾方向への移動に対する船首方向係留力

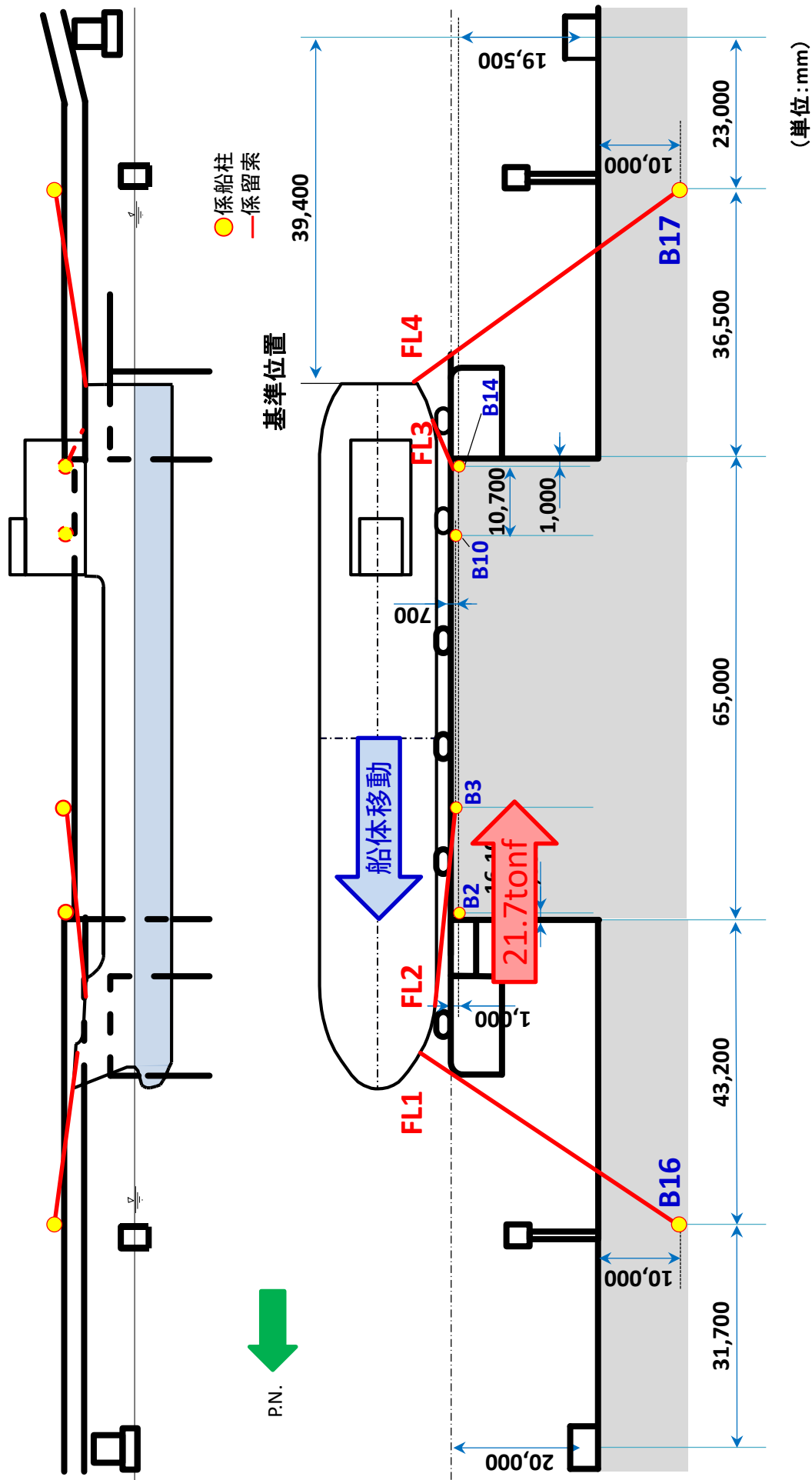
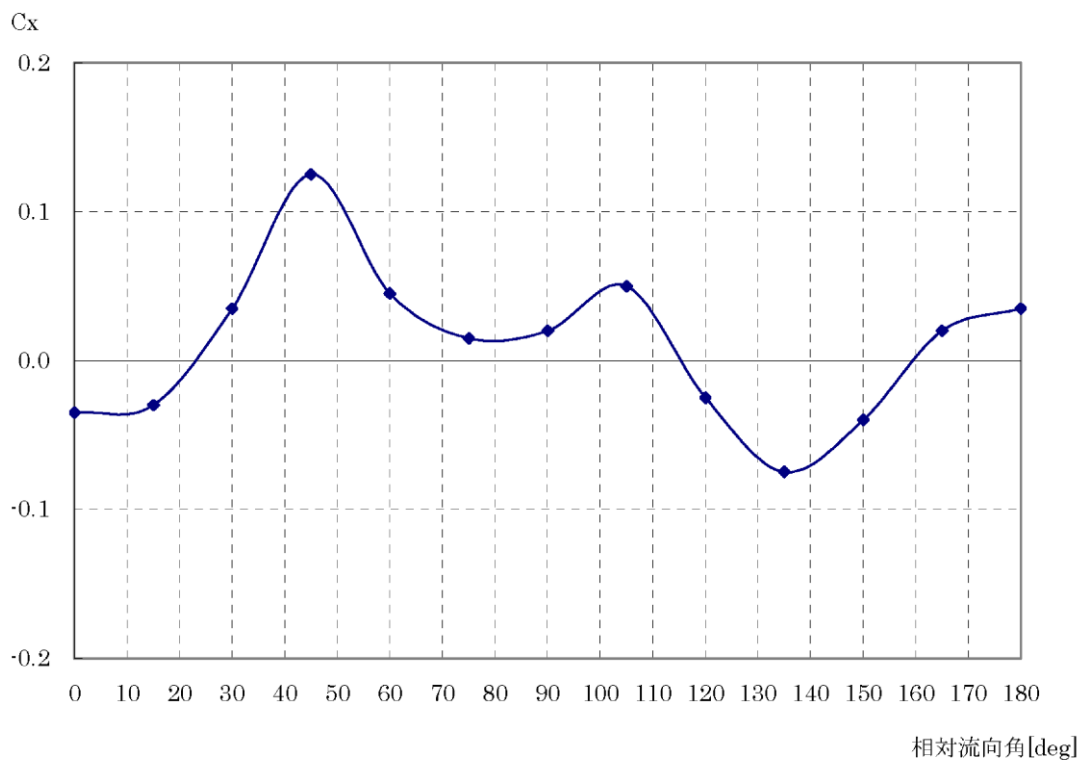


図 4.3-6 船首方向への移動に対する船尾方向係留力

表 4.3-5 流圧力の計算方法

<p>【流圧力計算式】</p> $F_{xc} = \frac{1}{2} \times C_{xc} \times \rho_c \times V_c^2 \times L_{pp} \times d$	<p>F_{xc} : 縦方向流圧力(kgf)</p> <p>C_{xc} : 縦方向流圧力係数 (船尾方向 : 0.13, 船首方向 : 0.08) *</p> <p>V_c : 流速(m/s) (=2.3m/s)</p> <p>L_{pp} : 垂線間長(m) (=94.4m)</p> <p>d : 喫水(m) (=5.4m)</p> <p>ρ_c : 水密度(kg・s²/m⁴) (=104.5kg・s²/m⁴)</p> <p>注記* : 下図より, 船尾方向流圧力の算出には相対流向角 0° ~90° における最大値(絶対値)を, 船首方向流圧力の算出には相対流向角 90° ~180° における最大値(絶対値)を用いて安全側に計算を行う</p>
--	---

(出典 : 係留設備に関する指針 OCIMF 刊行)



(出典 : VLCC における風圧及び流圧の予測 OCIMF 刊行)

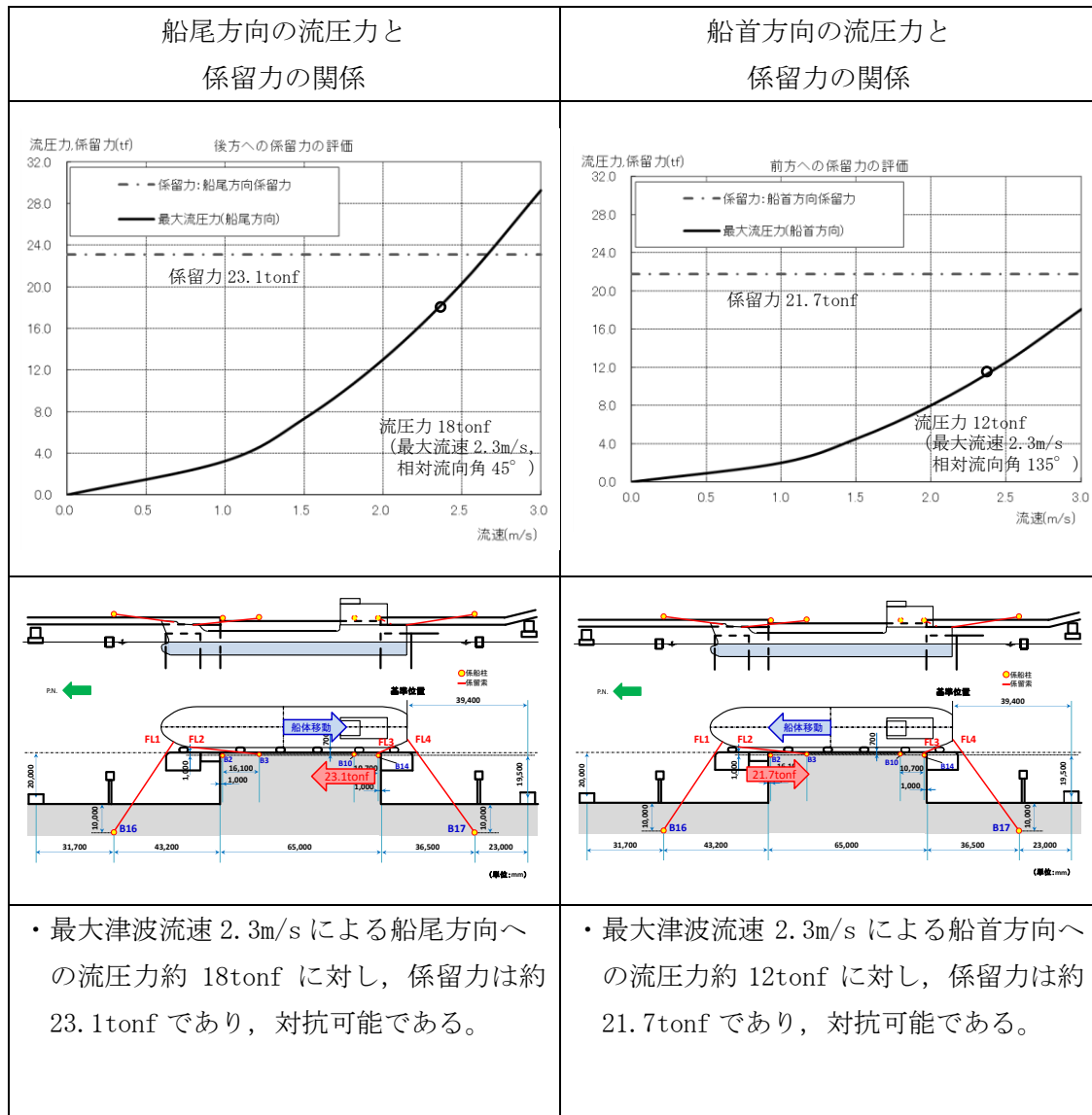


図 4.3-7 流圧力と係留力の比較

4.4 燃料等輸送船の喫水と津波高さの関係

4.4 燃料等輸送船の喫水と津波高さの関係

(1) はじめに

燃料等輸送船は、津波警報等発令時、原則、緊急退避するが、津波の来襲までに時間的な余裕がなく緊急退避が困難な場合について、燃料等輸送船の喫水高さと津波高さとの関係に基づき、押し波に対して荷揚場に乗り上げることのないこと、引き波に対して座礁、転覆するおそれのないことを確認する。また、緊急退避が可能であった場合についても、退避中に引き波により、座礁、転覆するおそれのないことを確認する。

(2) 確認条件

燃料等輸送船は、津波警報等発令時、原則、緊急退避する。輸送行程（「荷揚場岸壁への接岸」～「荷役」～「荷揚場岸壁からの離岸」）において、燃料等輸送船と輸送物の干渉がない「荷役」以外の行程においては、津波警報等の発令から数分程度で緊急退避が可能である。また、燃料等輸送船と輸送物が干渉し得る「荷役」行程では、30分程度の時間があれば緊急退避が十分可能であることから、確認の範囲は、早く来襲する海域活断層から想定される地震による津波で水位変化が一番大きい押し波、引き波を評価対象とする。

a. 検討ケース

燃料等輸送船が停泊する荷揚場における海域活断層から想定される地震による津波の波形を図 4.4-1 及び図 4.4-2 に示す。押し波時の最大水位は T.P. 2.10m, 引き波時の最低水位は T.P. -4.07m である。

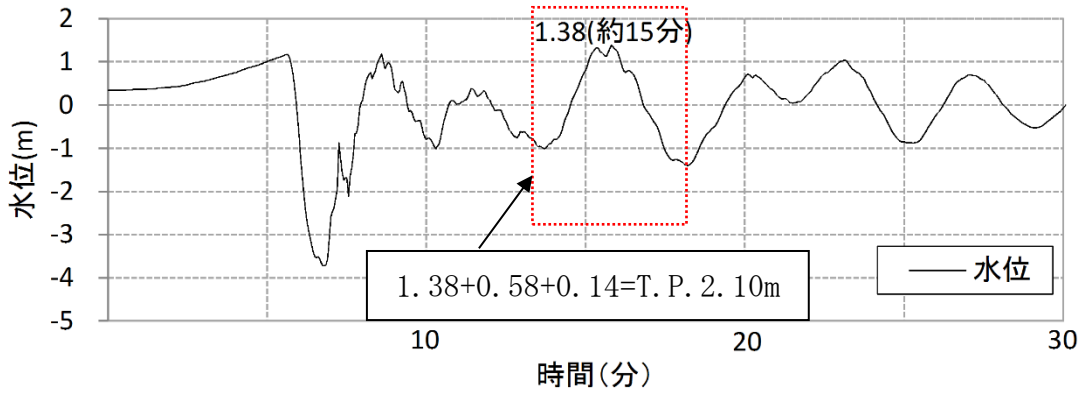


図 4.4-1 基準津波 4 による荷揚場での時刻歴波形
(水位上昇側)

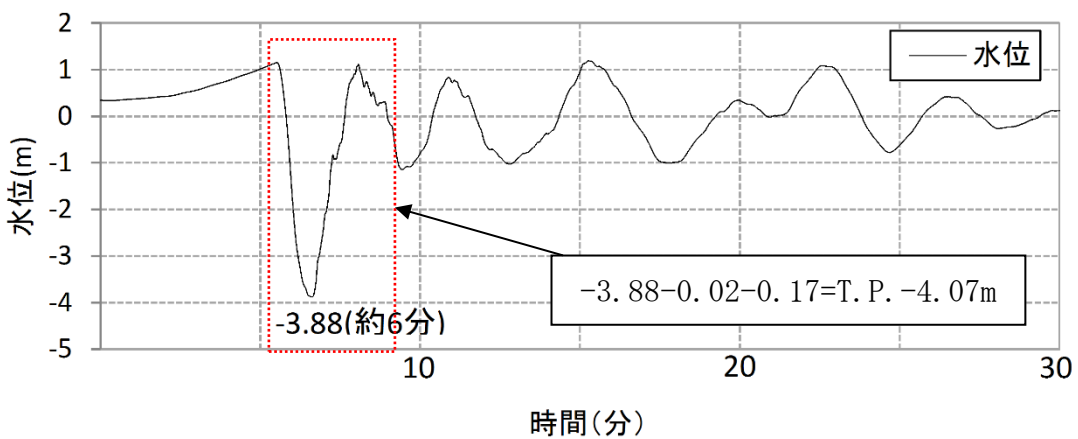


図 4.4-2 基準津波 4 による荷揚場での時刻歴波形
(水位下降側)

(3) 確認結果

a. 押し波による岸壁への乗り上げ評価

押し波による津波高さと岸壁高さ及び喫水高さの関係を図 4.4-3 に示す。

押し波による津波高さは岸壁高さを下回ることから、燃料等輸送船は岸壁に乗り上げることはないことを確認した。

なお、地震により地盤の隆起が考えられるが、安全側に考慮しないものとする。

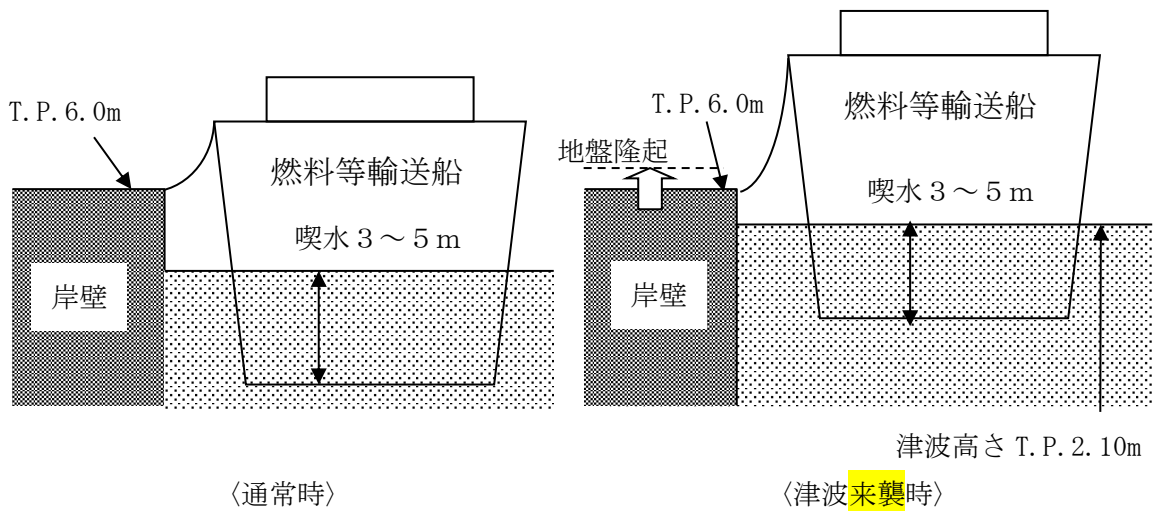
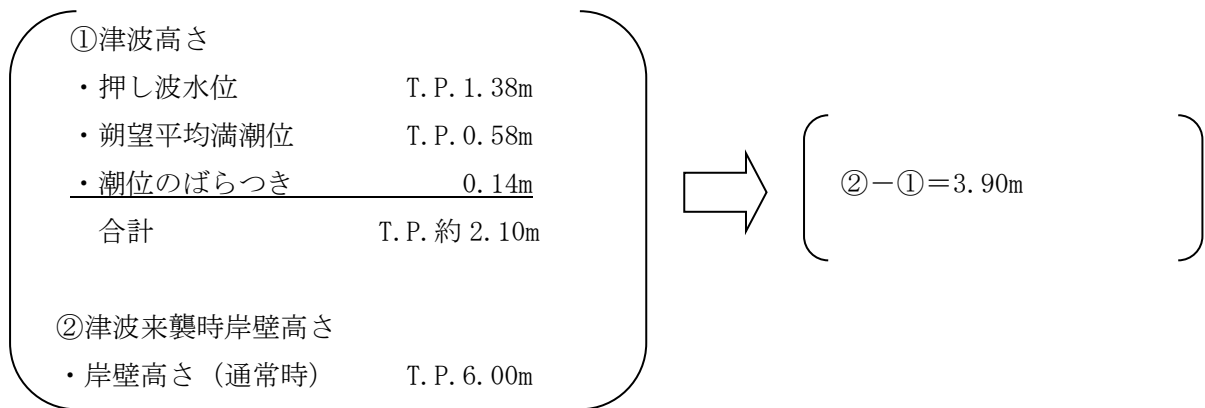


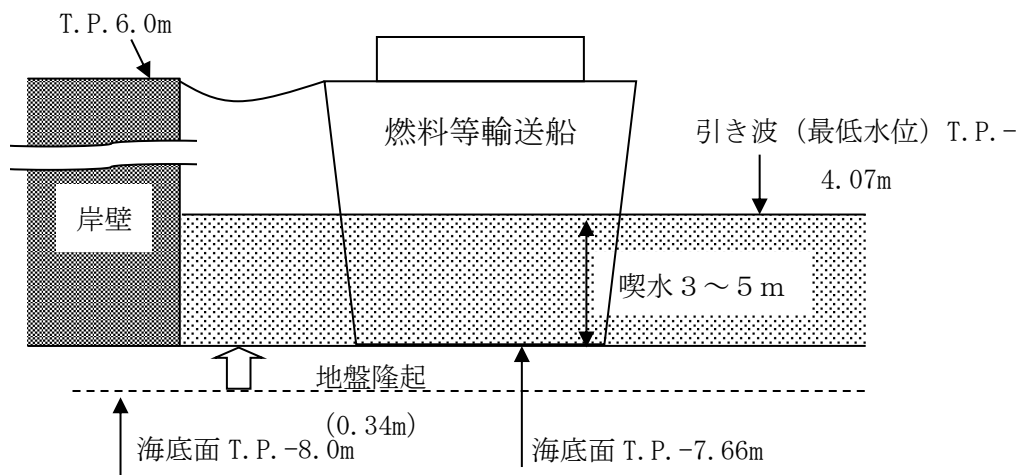
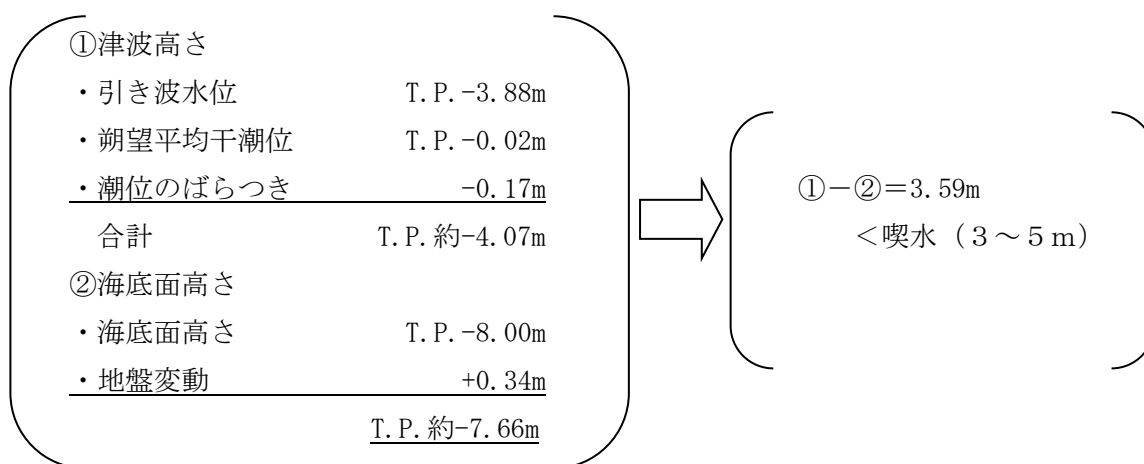
図 4.4-3 押し波による津波高さと岸壁高さ及び喫水高さの関係

b. 引き波（着底評価）

引き波による津波高さと喫水高さの関係を図 4.4-4 に示す。

これにより、燃料等輸送船は引き波のピークの際には一時的に着底し得ることが示されるが、この場合も、以下の理由により座礁、転覆することはない（漂流物とならない）。

- ・一時的な着底があったとしても、燃料等輸送船は二重船殻構造等、十分な船体強度を有しており、水位回復後に退避が可能である。
- ・また、着底後の引き波による流圧力、あるいは水位回復時の押し波による流圧力に対する転覆の可能性については、燃料等輸送船の重量及び扁平な断面形状より、その可能性はない。



〈早い津波（引き波）時〉

図 4.4-4 引き波による津波高さと喫水高さの関係

(4) 結論

朔望平均満潮位、干潮位等の保守的な条件を考慮した場合でも、燃料等輸送船は、津波高さと喫水高さの関係から寄せ波により荷揚場岸壁に乗り上げることはなく、また、緊急退避ができない場合でも、引き波により一時的に着底することが考えられるが、船体は二重船殻構造等、十分な強度を有しており、水位回復後に退避が可能であり、漂流物とならないことを確認した。

(5) LLW輸送船の評価

LLW輸送船については、その船体仕様が以下に示すように燃料等輸送船とほぼ同じ仕様であることから、その評価及び結果についても燃料等輸送船の評価結果及び結論に含まれる。

表 4.4-1 LLW輸送船と燃料等輸送船の概略仕様

項目	仕様		各評価結果への影響			
	LLW輸送船	燃料等輸送船	乗上げ	座礁	転覆	
船体	全長	99.95m	100.0m	—	—	—
	全幅	16.5m	16.5m	—	—	同等
	喫水	5.4m	5m	安全側	—	同等
	船殻構造	二重構造	二重構造	—	同等	同等
	船底構造	二重構造	二重構造	—	同等	同等

以上の船体仕様比較結果より、LLW輸送船の物揚場への乗り上げ、港湾内での座礁、転覆の評価については、燃料等輸送船と同等の評価結果が想定されることから、燃料等輸送船の評価結果に含まれるものとする。

燃料等輸送船の着底時の転覆の可能性について

本別紙では、燃料等輸送船が荷揚場における停泊時に引き波により着底することを想定し、その際の転覆の可能性について評価する。ここでは、転覆の可能性の観点から、転覆しやすいよう重心位置が高くなる積荷がない場合の評価結果を示す。

1. 評価条件

(1) 燃料等輸送船の仕様・形状

燃料等輸送船の仕様を表1に、外形図を図1及び図2に示す。

表1 燃料等輸送船の仕様

項目	仕様
満載排水量	約7,000トン（空荷状態；約4,000トン）
載貨重量トン	約3,000トン
喫水	約5m
全長	100.0m（垂線間長：94.4m）
型幅	16.5m

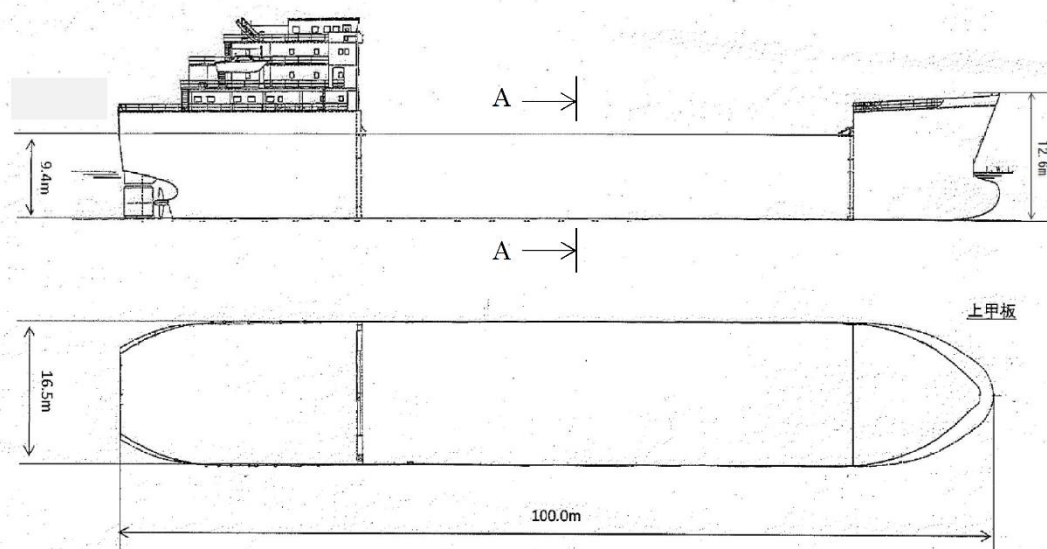


図1 燃料等輸送船外形図

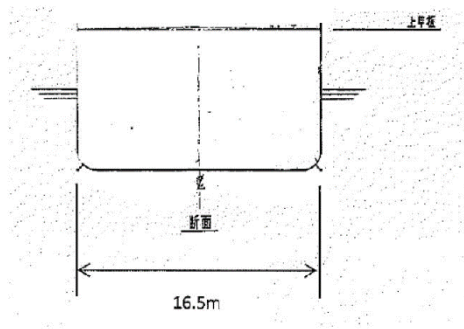


図2 燃料等輸送船外形図 (A-A 断面)

(2) 転覆モード

小型の船舶の場合、丸型やV型の船底を有しているものがある。このような船舶の場合、図3に示すとおり引き波により着底した際には傾きが発生し、この状態で津波による流圧力を受けると転覆する可能性がある。

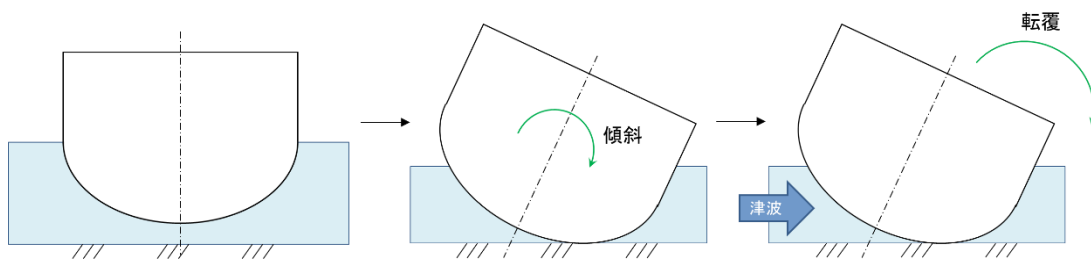


図3 丸型の船底を有する船舶の着底状態

一方、燃料等輸送船は一般のタンカーなどと同様に図2で示したとおり、断面形状が扁平であり船底が平底型である。このため、引き波により着底した場合にも傾くことなく安定していると考えられるが、ここでは保守的に、図4に示すように燃料等輸送船が津波を受けた際に船底の端部が海底に引っ掛かり、船底端部周りに回転する状況を想定し、転覆の可能性の評価を行うものとする。

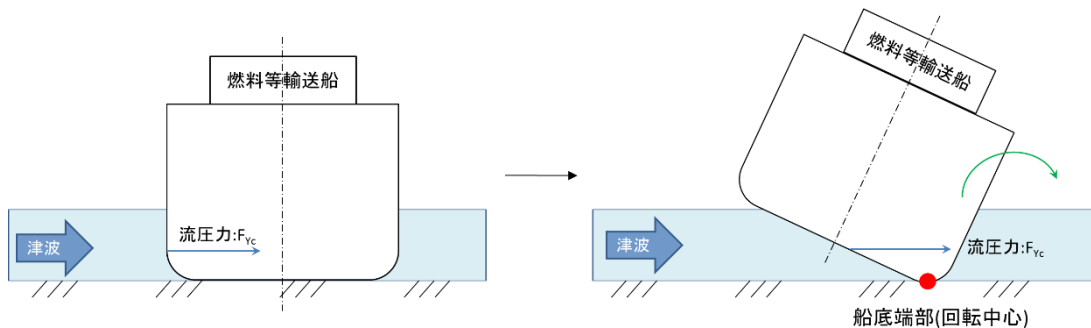


図4 想定転覆モード

2. 転覆評価

図4の転覆モードにおいて燃料等輸送船に働く力とモーメントを図5に示す。

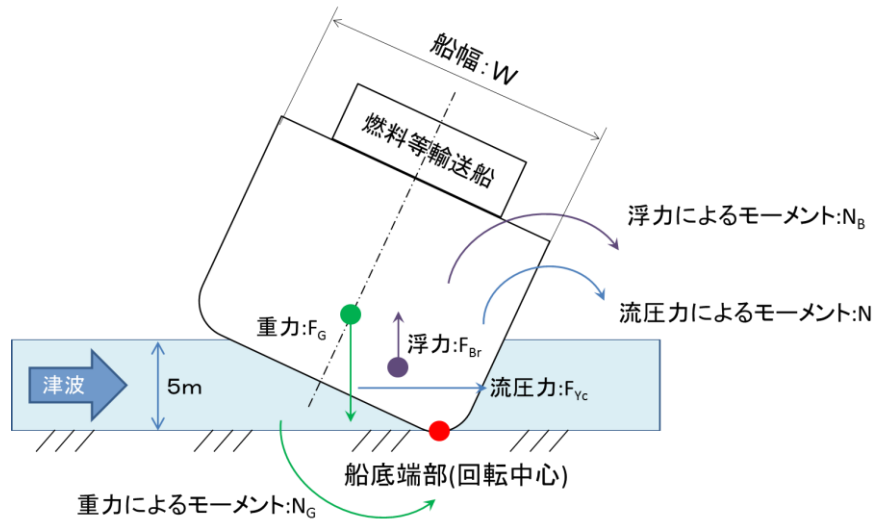


図5 燃料等輸送船に働く力とモーメント

津波を受けると流圧力 F_{Yc} によるモーメント N が発生し、船底端部を中心に燃料等輸送船を回転させる。また、浮力 F_{Br} によるモーメント N_B も流圧力によるモーメント N と同じ方向に発生する。一方、重力 F_G によるモーメント N_G がこれらのモーメントと逆方向に発生し、燃料等輸送船の傾きを戻す。この際、流圧力及び浮力によるモーメントにより傾きが増大し、重心位置が回転中心の鉛直線上を超える場合には転覆する。

重心位置が回転中心の鉛直線上にあるときの傾きは約 48° であるため、ここでは、傾きを 24° と仮定し、流圧力によるモーメント N と浮力によるモーメント N_B の和と重力によるモーメント N_G とのモーメントの釣り合いから転覆しないことを確認する。

重力によるモーメント N_G は次式のとおりとなる。

$$\begin{aligned} N_G &= F_G \times X(GR) \\ &= 4,000 \times 4.5 \\ &= 18,000 [\text{tonf} \cdot \text{m}] \end{aligned}$$

N_G : 重力によるモーメント [tonf・m]

F_G : 燃料等輸送船の重量 (=空荷状態重量) [tonf] (=4,000)

$X(GR)$: 重心と回転中心の水平方向距離 [m] (≈ 4.5)

次に流圧力によるモーメント N は次式にて計算できる。

$$\begin{aligned} N &= F_{Yc} \times W \div 2 \\ &= F_{Yc} \times d \div 2 \end{aligned}$$

N : 流圧力によるモーメント [tonf・m]

F_{YC} : 流圧力 [tonf]

W : 水位 [m]

d : 喫水 [m] (=5)

ここで、流圧力は受圧面積が最大の際に最も大きくなり、かつ、流圧力によるモーメントは流圧力の作用点と回転中心との距離が最大の際に最も大きくなるため、本評価における水位は喫水と同等とした。

また、横方向の流圧力 F_{YC} を表 2 に示す方法で計算する。

表 2 横方向流圧力の計算方法¹⁾

<p>【流圧力計算式】</p> $F_{YC} = \frac{1}{2} \times C_{YC} \times \rho_C \times V_C^2 \times L_{PP} \times d$	<p>F_{YC} : 横方向流圧力 [kgf]</p> <p>C_{YC} : 横方向流圧力係数</p> <p>V_C : 流速 [m/s]</p> <p>L_{PP} : 垂線間長 [m] (=94.4)</p> <p>d : 喫水 [m] (=5)</p> <p>ρ_C : 水密度 [kgf・sec²/m⁴] (=104.7kgf・sec²/m⁴)</p>
---	--

このとき、流速は図 6 に示す基準津波の最大流速 2.3m/s を適用し、横方向流圧力係数を図 7 より 10 と仮定する。

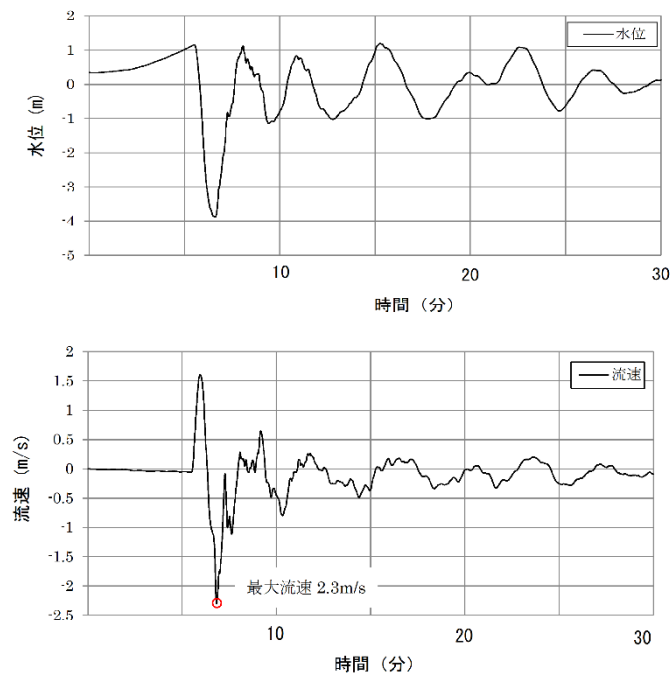


図 6 基準津波 4 の流速 (荷揚場近傍)

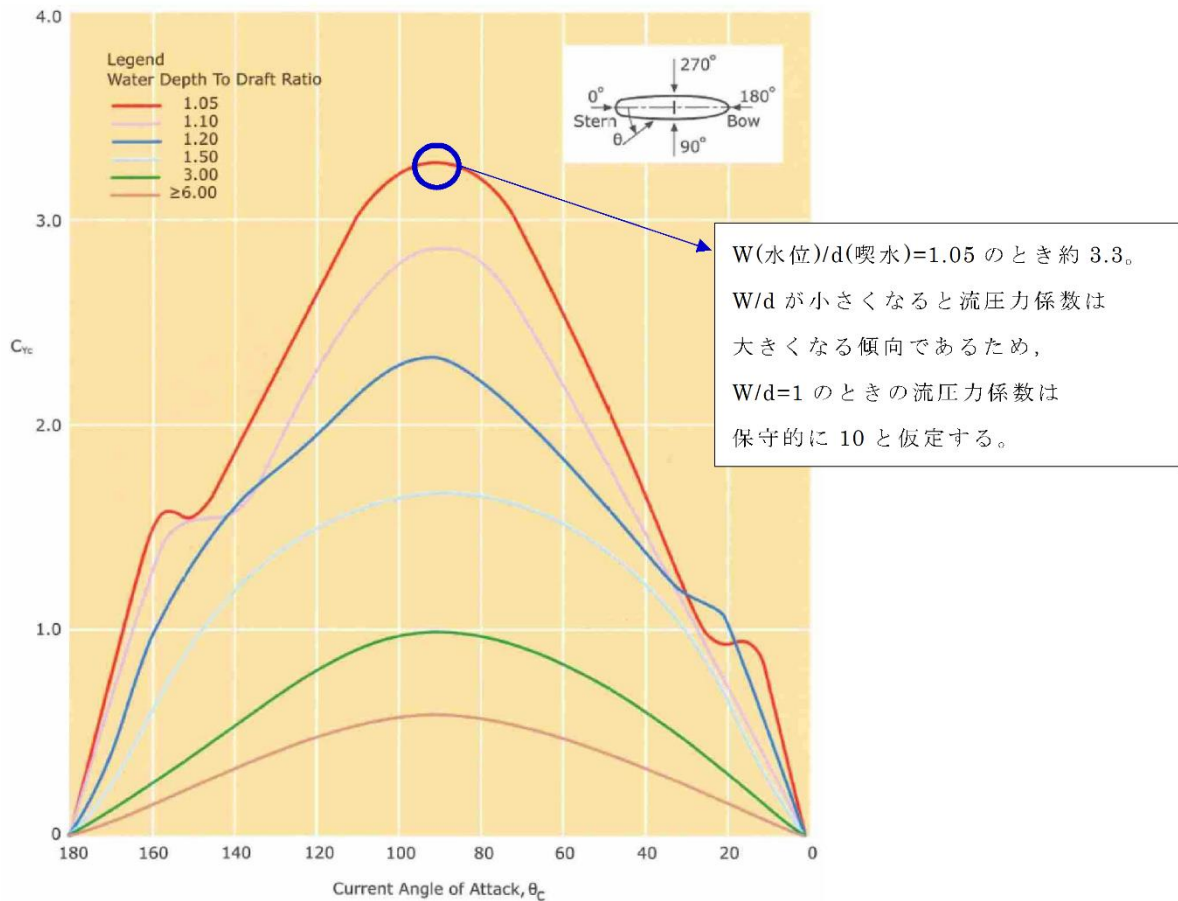


図7 横方向の流圧力係数¹⁾

参考文献

- 1) OCIMF : Mooring Equipment Guidelines 3rd Edition, pp.178, pp.190, pp.202, 2008.

表2より F_{YC} は以下のとおりとなる。

$$\begin{aligned}
 F_{YC} &= 1 \div 2 \times 10 \times 104.7 \times 2.3^2 \times 94.4 \times 5 \\
 &\doteq 1,308,000 \text{ [kgf]} \\
 &= 1,308 \text{ [tonf]}
 \end{aligned}$$

したがって、流圧力によるモーメント N は以下のとおりとなる。

$$\begin{aligned}
 N &= F_{YC} \times d \div 2 \\
 &= 1,308 \times 5 \div 2 \\
 &= 3,270 \text{ [tonf} \cdot \text{m]}
 \end{aligned}$$

最後に浮力によるモーメント N_B は次式にて評価する。

$$\begin{aligned}
 N_B &= F_{Br} \times X(BR) \\
 &= 1,700 \times 3.0 \\
 &= 5,100 \text{ [tonf} \cdot \text{m]}
 \end{aligned}$$

N_B : 浮力によるモーメント [tonf・m]

F_{Br} : 傾いた際の燃料等輸送船の浮力 [tonf] ($\approx 1,700$)

$X(BR)$: 浮心と回転中心の水平方向距離 [m] (≈ 3.0)

以上の結果をまとめると、以下に示すとおり重力によるモーメント N_G は流圧力によるモーメントと浮力によるモーメントの和より大きくなるため、燃料等輸送船は転覆することはない。

$$\begin{aligned} N+N_B &= 3,270+5,100 \\ &= 8,370 \text{ [tonf・m]} < N_G=18,000 \text{ [tonf・m]} \end{aligned}$$

3. 結論

燃料等輸送船は着底後に津波による流圧力を受けてもその形状から通常の状態であれば転覆することなく、また、保守的に船底の一部が固定されるような状態を想定した場合であっても転覆しないことを確認した。

4.5 漂流物による衝突荷重

目 次

4.5.1	衝突荷重を考慮する施設・設備の選定	1
4.5.2	津波に関するサイト特性	8
4.5.3	衝突荷重として考慮する漂流物の選定	20
4.5.4	浮遊状態の漂流物による衝突荷重の算定方法	31
4.5.5	漂流物による衝突荷重の算定における設計上の配慮について	38
4.5.6	漂流物による衝突荷重の算定	40

添付資料 1	島根原子力発電所の周辺海域で操業する漁船について
添付資料 2	津波防護施設に考慮する漂流物の選定
添付資料 3	島根原子力発電所における F R P 製船舶に係る衝突解析条件の妥当性
添付資料 4	F E M A (2012)による F R P 製船舶の衝突荷重
添付資料 5	建築物荷重指針・同解説 (2015) を参考にした静的設計荷重の算定例
添付資料 6	F R P 製船舶の機関部における衝突影響の確認
添付資料 7	F R P 製船舶の衝突解析に関する新規制基準審査実績との比較
添付資料 8	漂流物衝突荷重算定における総トン数 19 トン船舶の代表性確認
添付資料 9	漂流物衝突荷重の載荷方法
添付資料 10	剛壁配置による衝突荷重への影響確認
添付資料 11	衝突荷重の非対称性に関する確認
添付資料 12	衝突解析による荷重評価の保守性
添付資料 13	F R P 製船舶に対する各算定方法による衝突荷重の整理
添付資料 14	F R P 製船舶における衝突荷重の算定に関する先行サイトとの比較
添付資料 15	枕木による衝突荷重の算定における設計上の配慮及び算定結果

4.5.1 衝突荷重を考慮する施設・設備の選定

津波防護施設、浸水防止設備、津波監視設備及びその他のうち、漂流物による衝突荷重を考慮する施設・設備については、各施設・設備の設置位置を踏まえて、防波壁及び防波壁通路防波扉に加え、屋外排水路逆止弁及び漂流防止装置を選定した。

津波防護施設、浸水防止設備、津波監視設備及びその他として考慮する漂流防止装置の平面位置図を図4.5.1-1に、漂流物による衝突荷重を考慮する施設・設備の選定フローを図4.5.1-2に、選定結果を表4.5.1-1に、選定された施設・設備の設置概念図を図4.5.1-3に示す。表4.5.1-1より、漂流物による衝突荷重を考慮する施設・設備として、津波防護施設が対象となる。

なお、漂流防止装置は、日本海東縁部に想定される地震による津波来襲時は、船舶（燃料等輸送船）を緊急退避させるため、漂流防止機能に期待しないことから、漂流物の衝突荷重を考慮しないこととする。また、漂流防止装置は、海域活断層から想定される地震による津波の入力津波高さより高い箇所に位置することから、海域活断層の津波による漂流物の衝突荷重を考慮しないこととする。

津波防護施設における、漂流物による衝突荷重を考慮した津波時の検討フローを図4.5.1-4に示す。

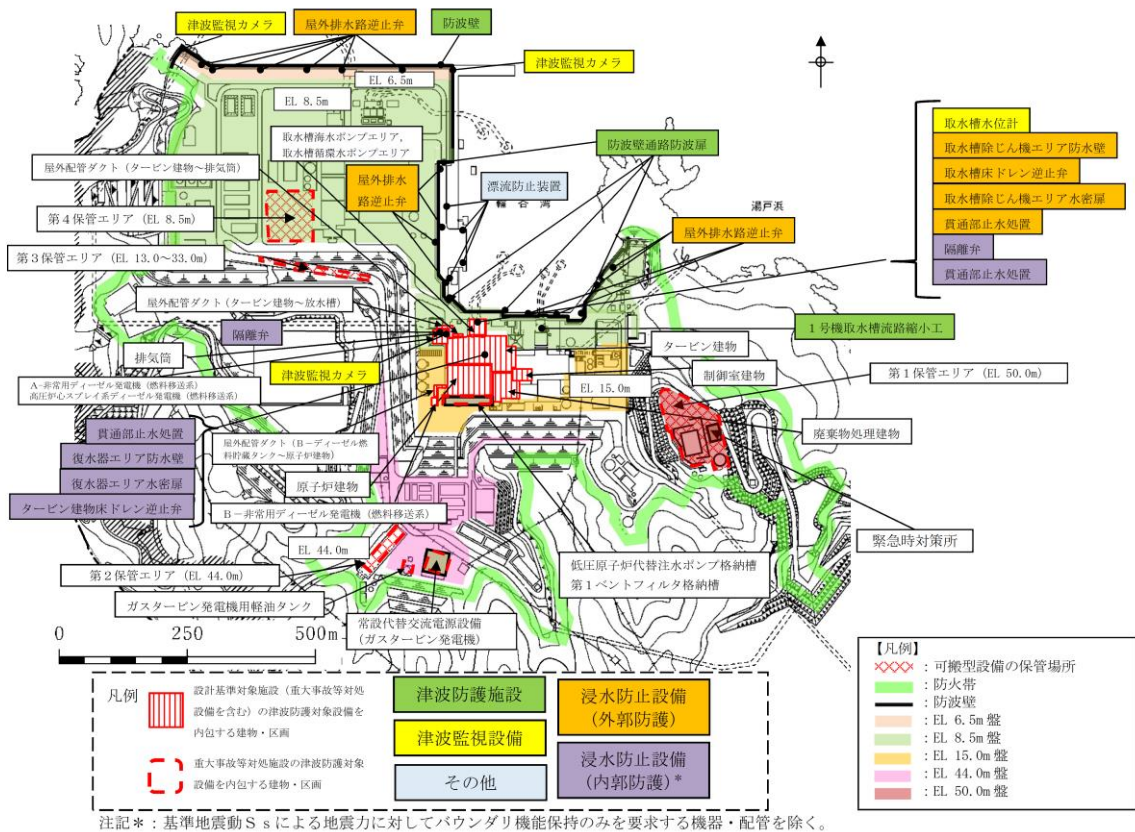


図 4.5.1-1 津波防護施設、浸水防止設備、津波監視設備及びその他の平面位置図

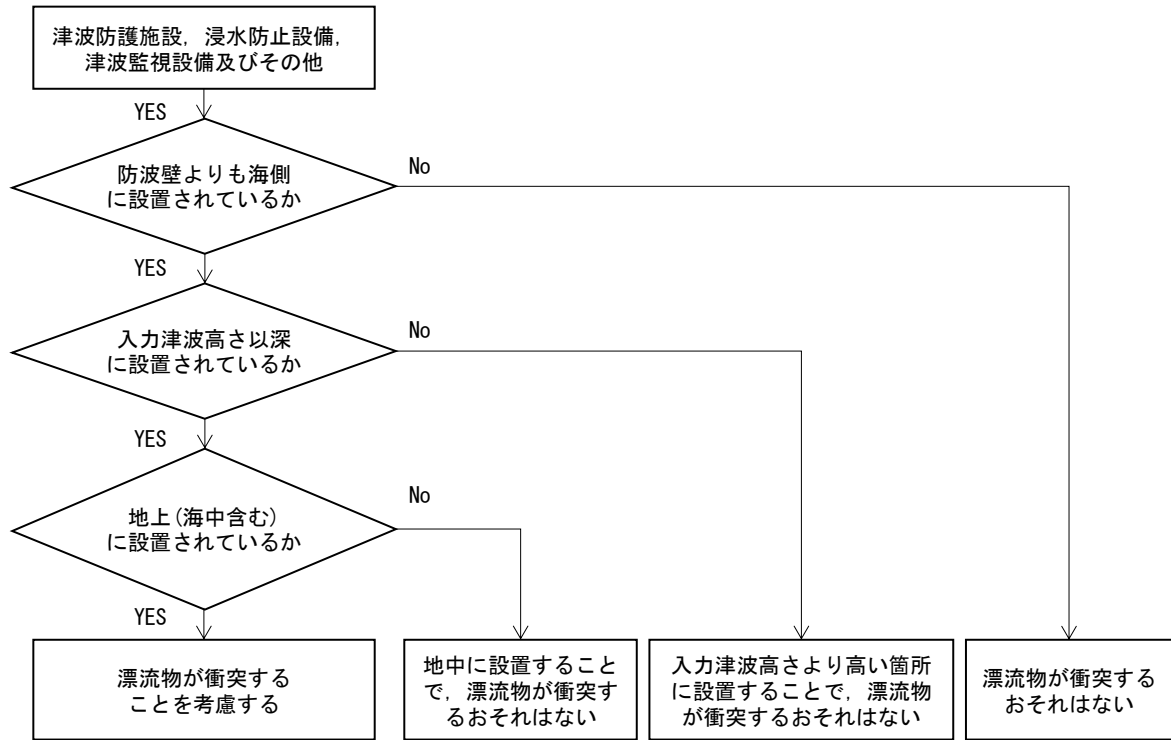


図 4.5.1-2 漂流物による衝突荷重を考慮する施設・設備の選定フロー

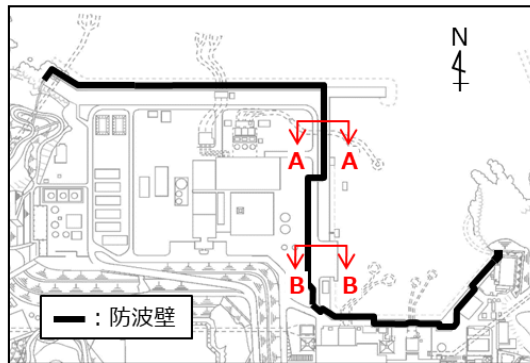
表 4.5.1-1 漂流物による衝突荷重を考慮する施設・設備の選定結果

施設・設備		防波壁よりも海側に設置されているか	入力津波高さ 以深に設置 されているか		地上(海中含む)に設置されているか	評価 (衝突荷重の 考慮)	
津波 防護 施設	防波壁(波返重力擁壁)	—	日本海東縁	以深	地上 (天端標高EL 15.0m)	考慮する	
			海域活断層	以深		考慮する	
	防波壁 (多重鋼管杭式擁壁)	—	日本海東縁	以深	地上 (天端標高EL 15.0m)	考慮する	
			海域活断層	以深		考慮する	
	防波壁(逆T擁壁)	—	日本海東縁	以深	地上 (天端標高 EL 15.0m)	考慮する	
			海域活断層	以上		考慮しない	
	防波壁通路防波扉 (荷揚場南, 3号機東側)	—	日本海東縁	以深	地上 (天端標高 EL 15.0m)	考慮しない*1	
海域活断層			以上	考慮しない			
防波壁通路防波扉 (1号機北側, 2号機北側)	—	日本海東縁	以深	地上 (上端標高 EL 11.7m)	考慮する*2		
		海域活断層	以上		考慮しない		
1号機取水槽流路縮小工		敷地側				考慮しない	
浸水 防止 設備	屋外排水路逆止弁		海側	日本海東縁 以深	地中	考慮しない	
			海域活断層 以深	考慮しない			
	敷地側					考慮しない	
						考慮しない	
	取水 槽	防水壁	敷地側				考慮しない
		水密扉	敷地側				考慮しない
		床ドレン逆止弁	敷地側				考慮しない
		貫通部止水処置	敷地側				考慮しない
		隔離弁, ポンプ 及び配管	敷地側				考慮しない
	ター ビン 建 物 他	防水壁	敷地側				考慮しない
		水密扉	敷地側				考慮しない
		床ドレン逆止弁	敷地側				考慮しない
		貫通部止水処置	敷地側				考慮しない
		隔離弁, 配管	敷地側				考慮しない
	放水槽	貫通部止水処置	敷地側				考慮しない
	津波 監視 設備	津波監視カメラ		敷地側			考慮しない
		取水槽水位計		敷地側			考慮しない

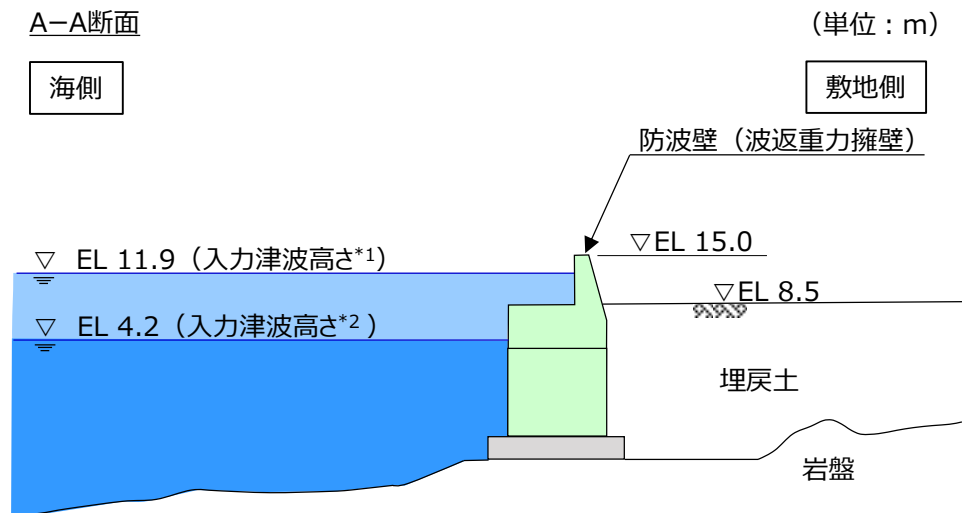
注記*1: 防波壁通路防波扉(荷揚場南, 3号機東側)においては, 漂流物の衝突を防止するため, 防波壁通路防波扉の前面に漂流物対策工を設置することから, 漂流物による衝突荷重を考慮しない。なお, 漂流物対策工は漂流物衝突荷重を考慮する。

*2: 防波壁通路防波扉(1号機北側, 2号機北側)は, 防波壁の壁面(海側)より奥まった狭隘な場所に設置するため, 船舶は衝突しない。枕木による漂流物衝突荷重を考慮する。

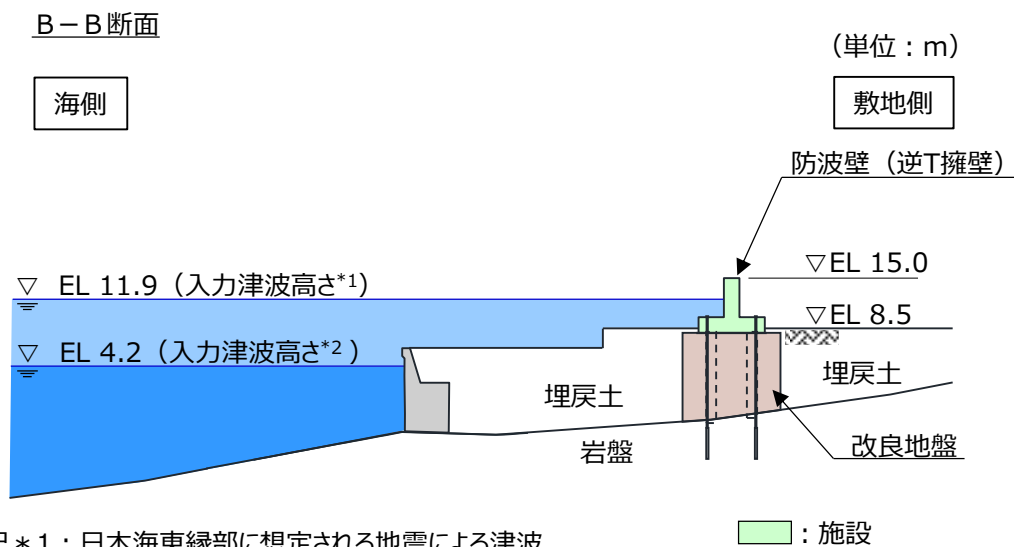
KEY-PLAN



【防波壁（波返重力擁壁）】



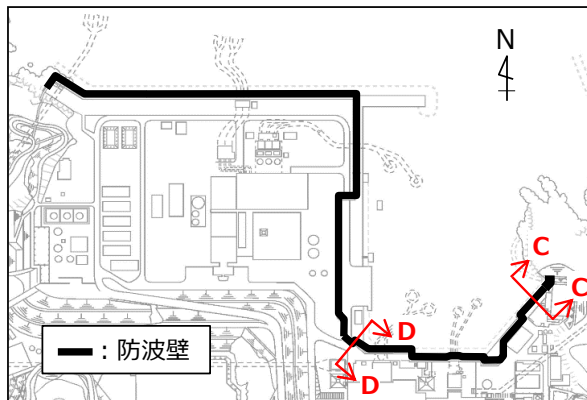
【防波壁（逆T擁壁）】



注記*1：日本海東縁部に想定される地震による津波
 *2：海域活断層から想定される地震による津波

図 4.5.1-3(1) 漂流物による衝突荷重を考慮する施設・設備の設置概念図

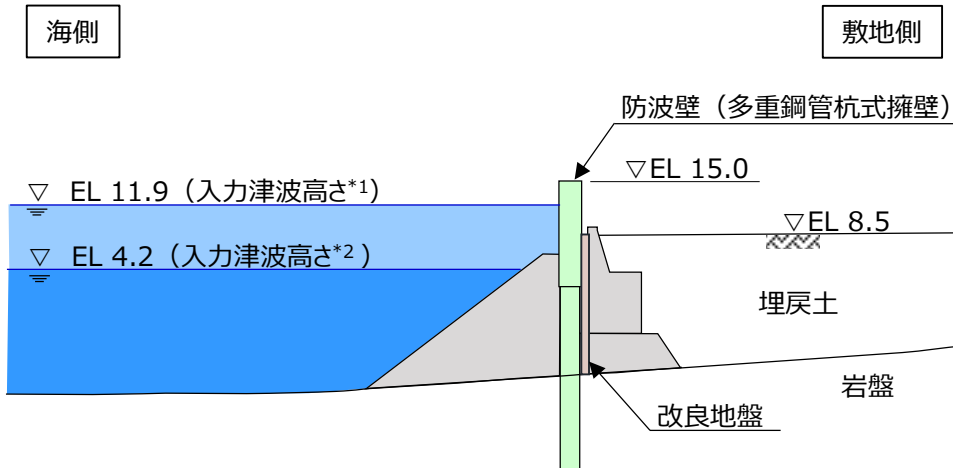
KEY-PLAN



【防波壁（多重鋼管杭式擁壁）】

C-C断面

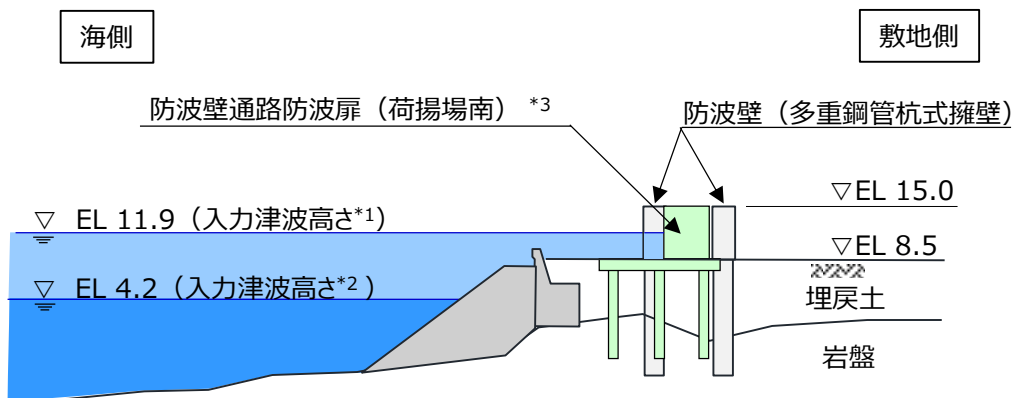
(単位：m)



【防波壁通路防波扉（荷揚場南）】

D-D断面

(単位：m)

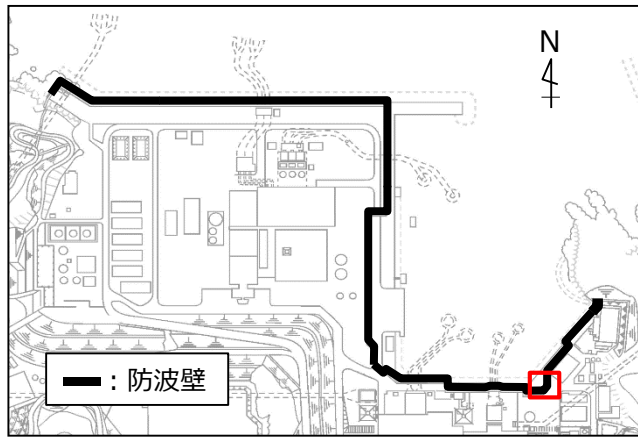


- 注記 * 1 : 日本海東縁部に想定される地震による津波
 * 2 : 海域活断層から想定される地震による津波
 * 3 : 防波壁通路防波扉においては、漂流物の衝突を防止するため、防波壁通路防波扉の前面に漂流物対策工を設置することから、漂流物による衝突荷重を考慮しない。

■ : 施設

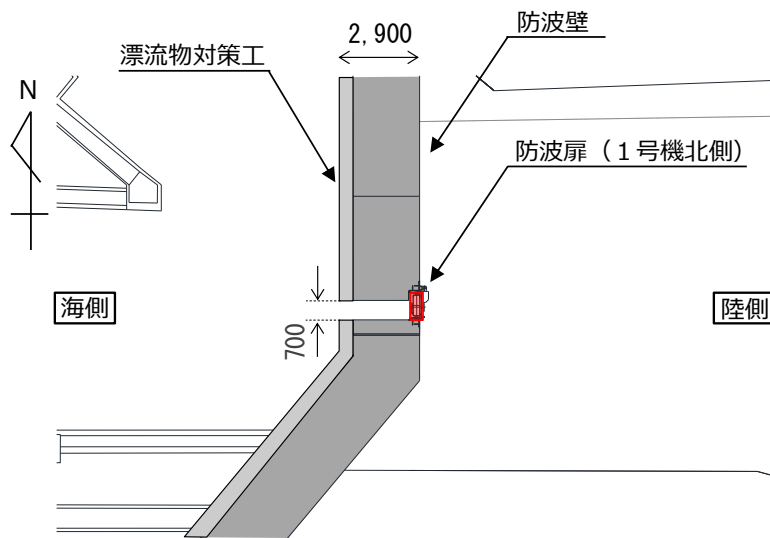
図 4.5.1-3(2) 漂流物による衝突荷重を考慮する施設・設備の設置概念図

KEY-PLAN



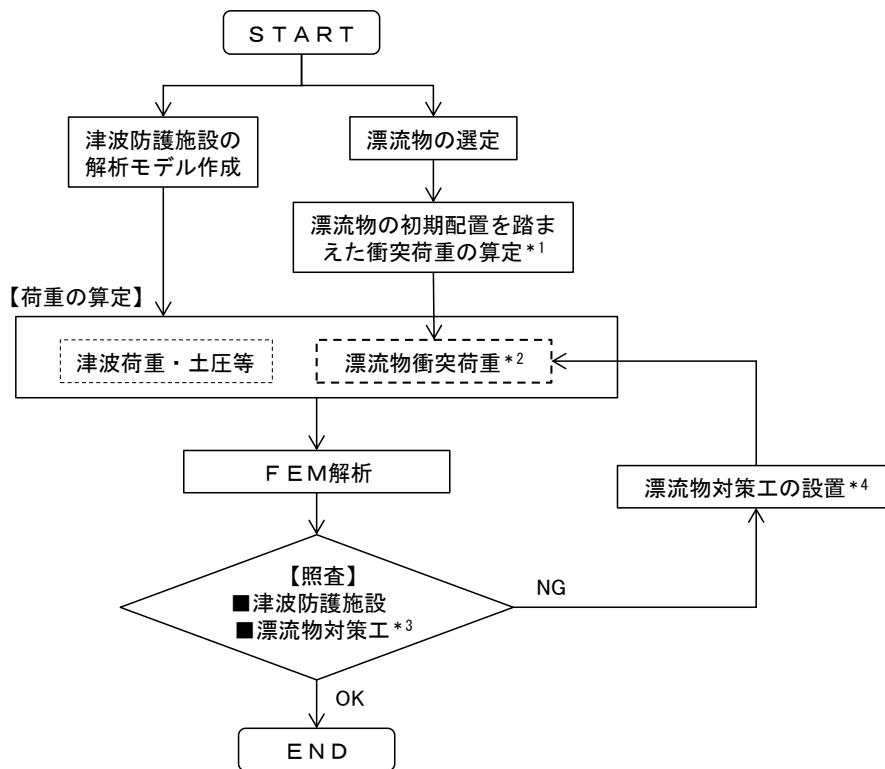
【防波壁通路防波扉（1号機北側）位置図（平面図）】

(単位：mm)



注：防波扉（1号機北側，2号機北側）は，防波壁の壁面（海側）より奥まった狭隘な場所に設置するため，船舶は衝突しない。枕木による漂流物衝突荷重を考慮する。

図 4.5.1-3(3) 漂流物による衝突荷重を考慮する施設・設備の設置概念図



- 注記 *1：漂流物衝突荷重の算定方法の選定は図4.5.4-1を参照
 *2：漂流物対策工を設置する場合、漂流物対策工による荷重分散を考慮する、又は漂流物衝突荷重を考慮しない。
 *3：漂流物対策工を設置する場合、漂流物対策工の照査を実施
 *4：漂流物対策工の仕様設定及びモデル作成

図 4.5.1-4 津波防護施設における津波時の検討フロー

4.5.2 津波に関するサイト特性

(1) 発電所周辺地形の把握

島根原子力発電所は、島根半島の中央部で日本海に面した位置に立地している。島根原子力発電所の周辺は、東西及び南側を標高 150m 程度の高さの山に囲まれており、発電所東西の海沿いには漁港がある。島根原子力発電所の周辺地形について、図 4.5.2-1 に示す。



図 4.5.2-1 発電所周辺の地形

(2) 敷地及び敷地周辺に来襲する津波の特性（流速及び水位）の把握

敷地及び敷地周辺に来襲する津波の特性については、「4.1 設計に用いる遡上波の流速」及び「4.2.1.1 b. 敷地及び敷地周辺に来襲する津波の特性の把握」に示すとおりである。

これらの特性のうち漂流物による衝突荷重の算定及び作用位置の設定に用いる内容を以下に示す。

a. 漂流物による衝突荷重の算定に用いる流速

(a) 日本海東縁部に想定される地震による津波の最大流速

日本海東縁部に想定される地震による津波における最大流速は、基準津波 1（防波堤有り）により 9.3m/s が抽出されたことから、安全側に 10.0m/s を衝突荷重の算定に用いる漂流物の衝突速度として設定する。9.3m/s を抽出した基準津波 1（防波堤有り）の全方向最大流速分布及び評価地点を図 4.5.2-2 に示す。

(b) 海域活断層から想定される地震による津波の最大流速

海域活断層から想定される地震による津波における最大流速は、基準津波 4（防波堤無し）により 5.8m/s が抽出されたことから、安全側に 6.0m/s を衝突荷重の算定に用いる漂流速度として設定する。5.8m/s を抽出した基準津波 4（防波堤無し）の全方向最大流速分布及び評価地点を図 4.5.2-3 に示す。

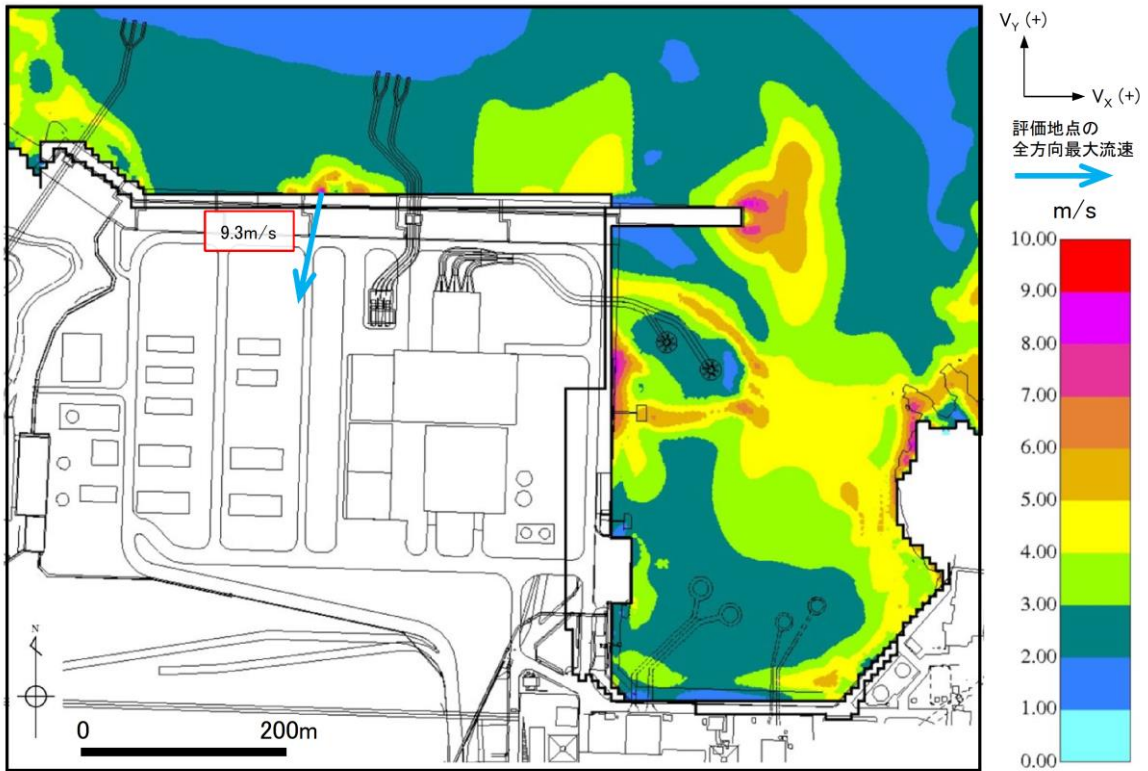


図 4.5.2-2 基準津波 1 (防波堤有り, 沈下無し) の全方向最大流速分布 (全時刻)

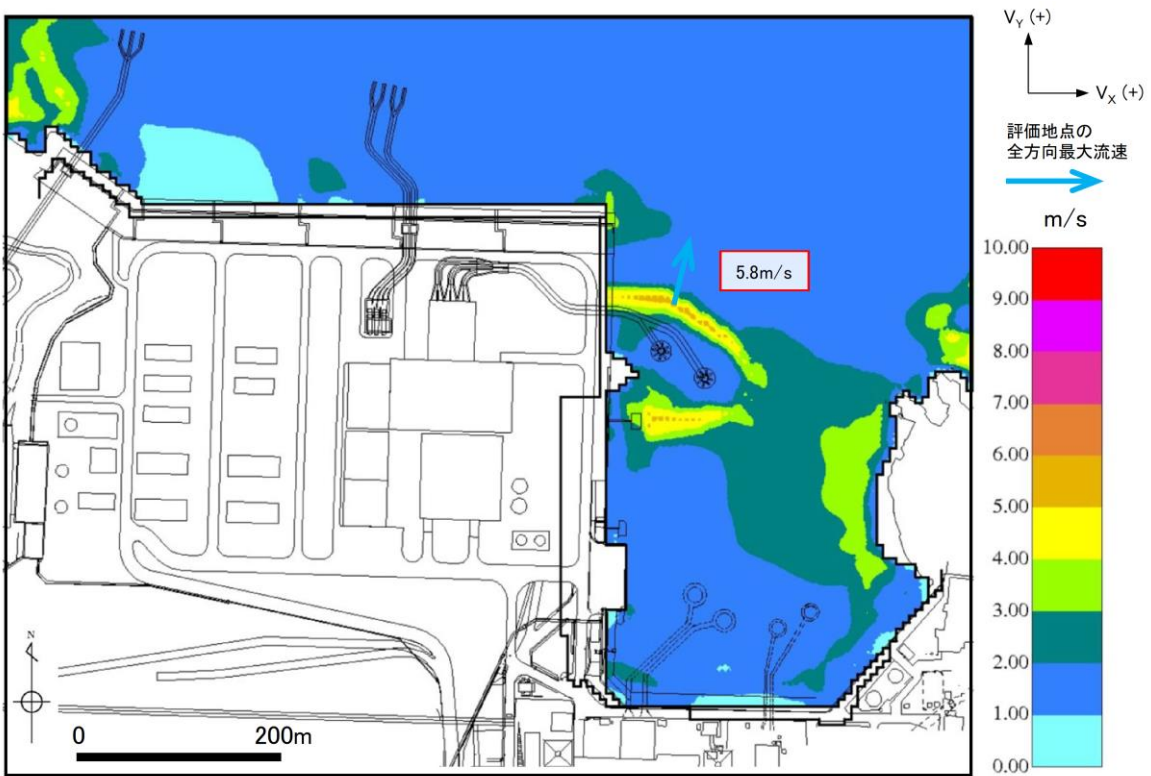


図 4.5.2-3 基準津波 4 (防波堤無し, 沈下無し) の全方向最大流速分布 (全時刻)

(c) 荷揚場周辺に遡上した津波による流速の扱い

「(a) 日本海東縁部に想定される地震による津波の最大流速」及び「(b) 海域活断層から想定される地震による津波の最大流速」は、地震による地盤沈下を考慮しない条件において発電所近傍の海域で最大流速を抽出したものである。一方、荷揚場周辺の浸水範囲を安全側に評価するため、地震による地盤沈下として防波壁前面を1m沈下させた条件では、10m/sを超える流速(11.9m/s)が抽出されたことから、その発生要因及び特性について分析を行った。

防波壁前面の沈下範囲を図4.5.2-4に、沈下範囲における最大浸水深分布を図4.5.2-5に、沈下範囲における最大流速分布を図4.5.2-6に、最大流速発生時の水位変動、流向ベクトル及び浸水深を図4.5.2-7及び図4.5.2-8に示す。最大流速が抽出された箇所は、荷揚場の隅角部から津波が遡上する地点であり、津波が隅角部に集中して水位が上昇した後、荷揚場へ押し波として遡上したことにより、西方向に卓越した大きな流速(11.9m/s)が局所的に生じたものと考えられる。

この押し波による最大浸水深は1.7mであり、その水位はEL 6.7mであることから、地震による地盤沈下を考慮した敷地高さ(EL 7.5m*)に到達しない(図4.5.2-9)ことを確認している。

以上の分析結果より、荷揚場周辺における最大流速(11.9m/s)が抽出された押し波は、敷地高さ(EL 7.5m*)に到達しないことを確認したことから、衝突荷重を考慮する施設・設備への漂流速度として適用しないが、荷揚場周辺における施設・設備等が滑動する可能性を検討するうえで用いる流速として適用する。

注記* : EL 7.5m=EL 8.5m-地盤沈下 1.0m

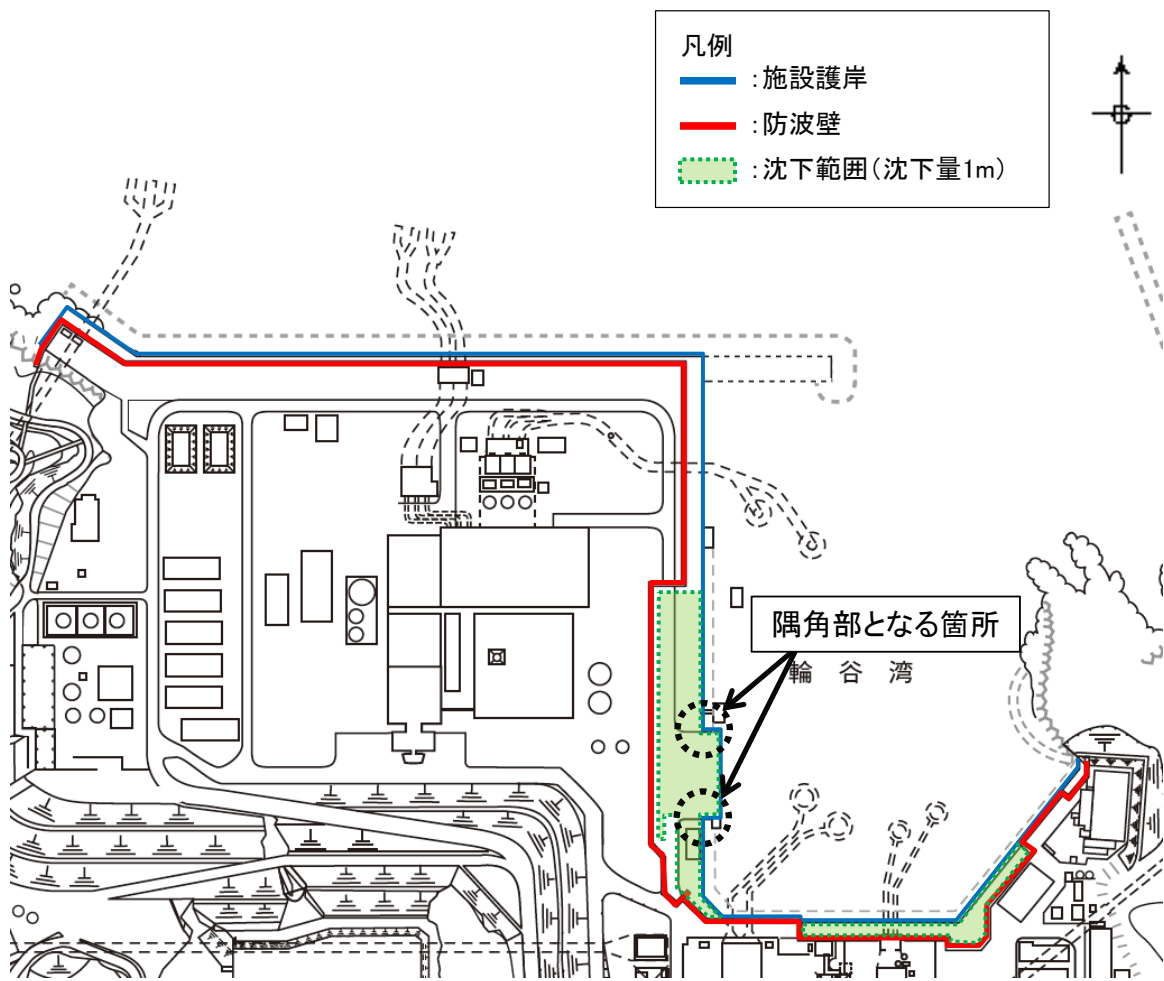


図 4.5.2-4 防波壁前面の沈下範囲

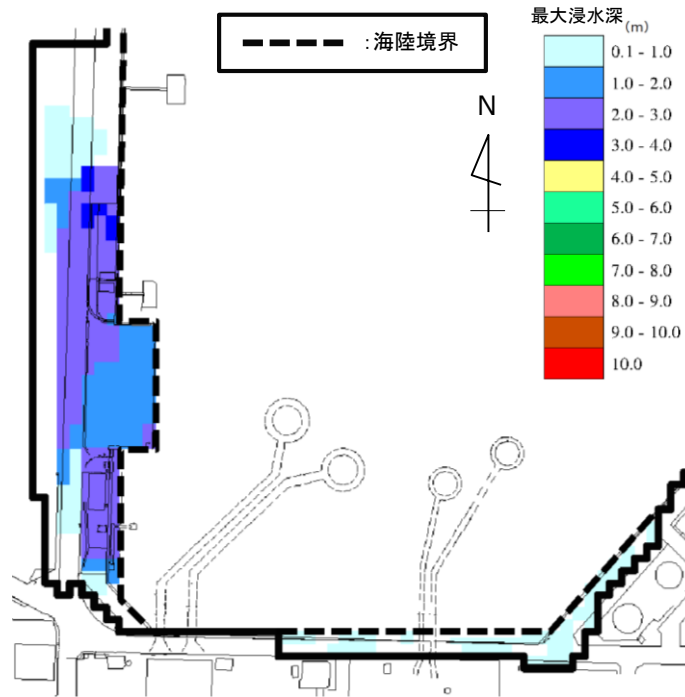


図 4.5.2-5 基準津波 1 (防波堤無し, 沈下 1 m) による沈下範囲の最大浸水深分布

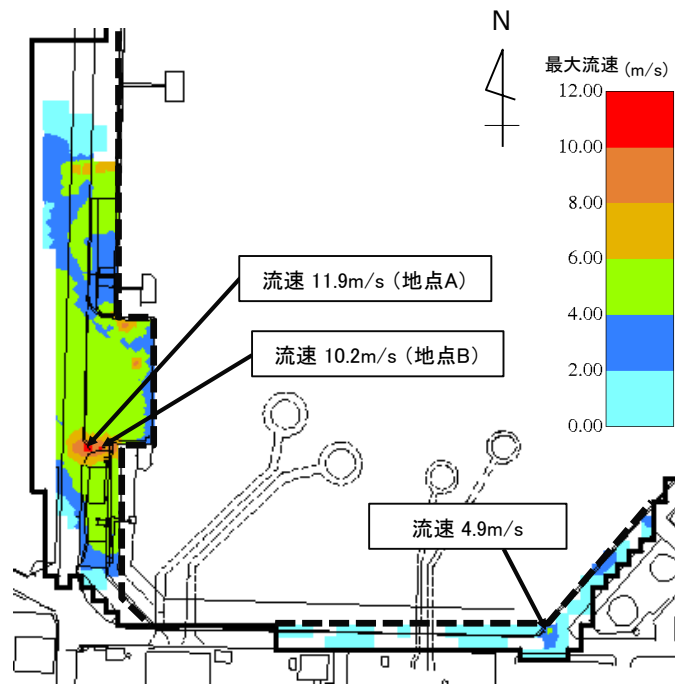


図 4.5.2-6 基準津波 1 (防波堤無し, 沈下 1 m) による沈下範囲の最大流速分布

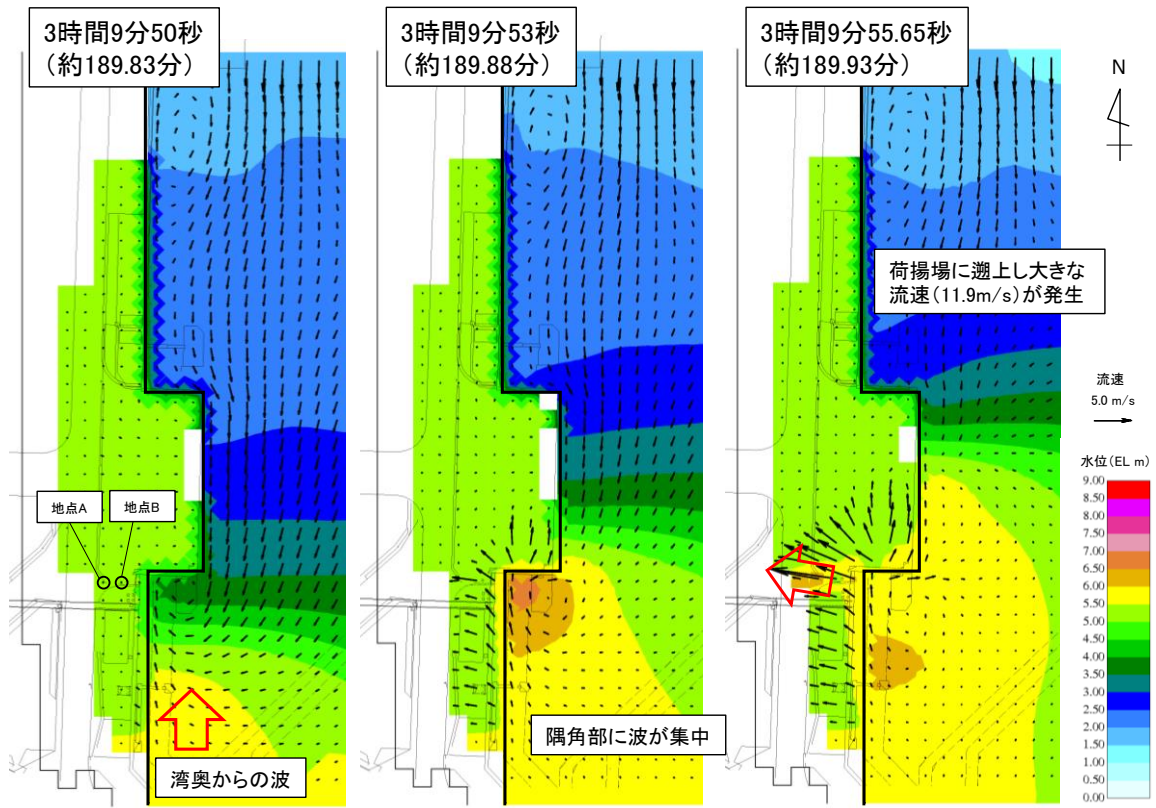


図 4.5.2-7 基準津波 1 (防波堤無し, 沈下 1 m) による荷揚場周辺の
水位変動及び流向ベクトル

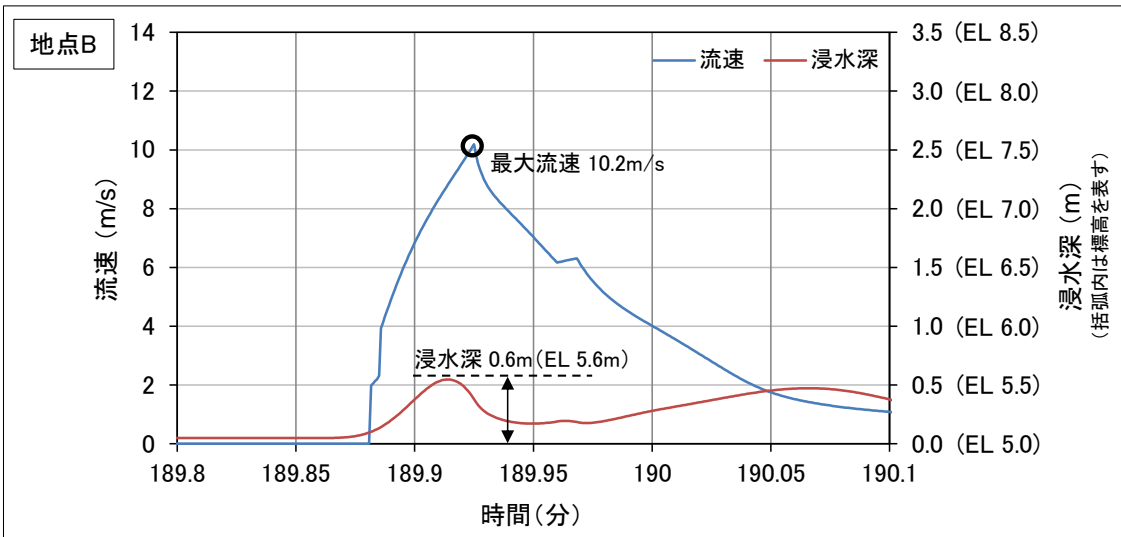
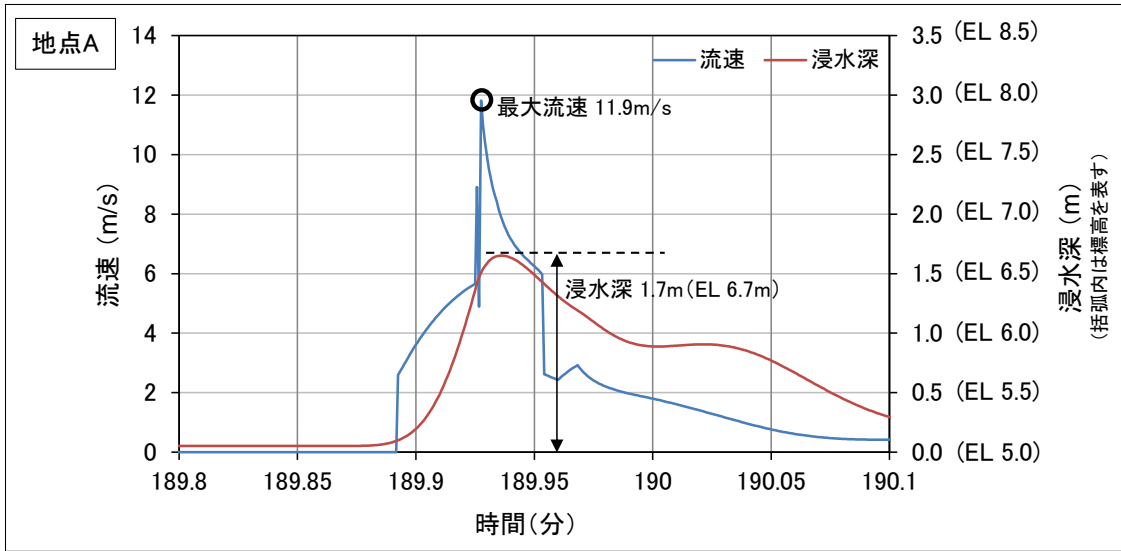
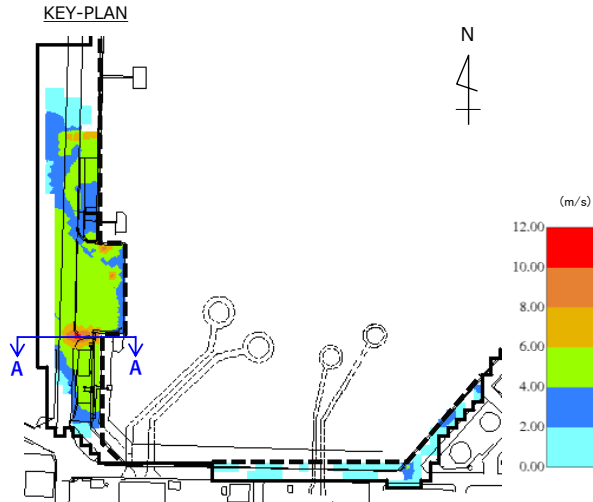


図 4.5.2-8 基準津波 1 (防波堤無し, 沈下 1 m) による地点 A 及び
地点 B における流速及び浸水深の時刻歴波形

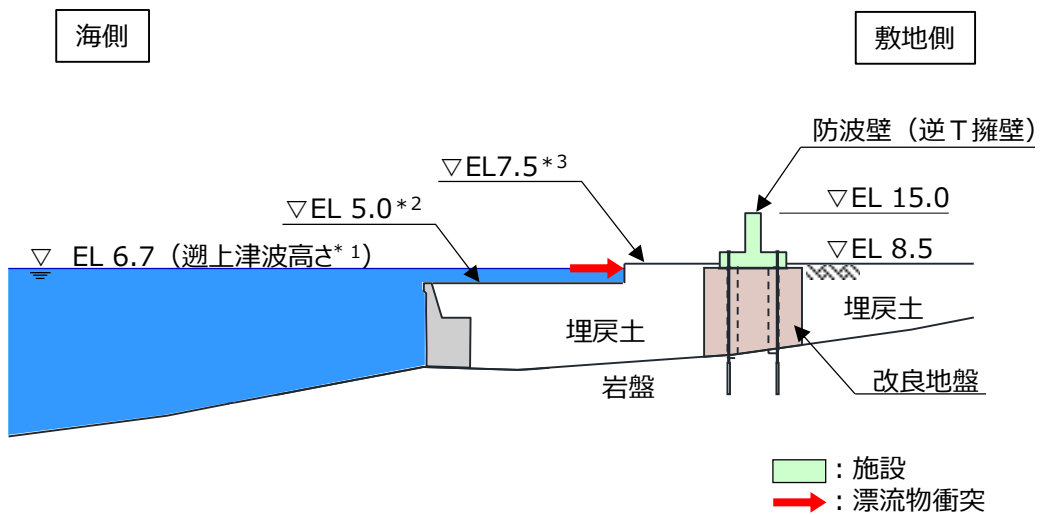


最大流速分布図(基準津波1(防波堤無し, 沈下1m))

【防波壁（逆T擁壁）】

A-A断面

(単位：m)



注記*1：荷揚場周辺の最大流速発生時おける津波高さ

*2：EL 6.0m-1.0m

*3：EL 8.5m-1.0m

図 4.5.2-9 直近陸域（荷揚場周辺）の地盤沈下を考慮した敷地形状と津波高さの概念図

b. 漂流物による衝突荷重の作用位置の設定に用いる水位

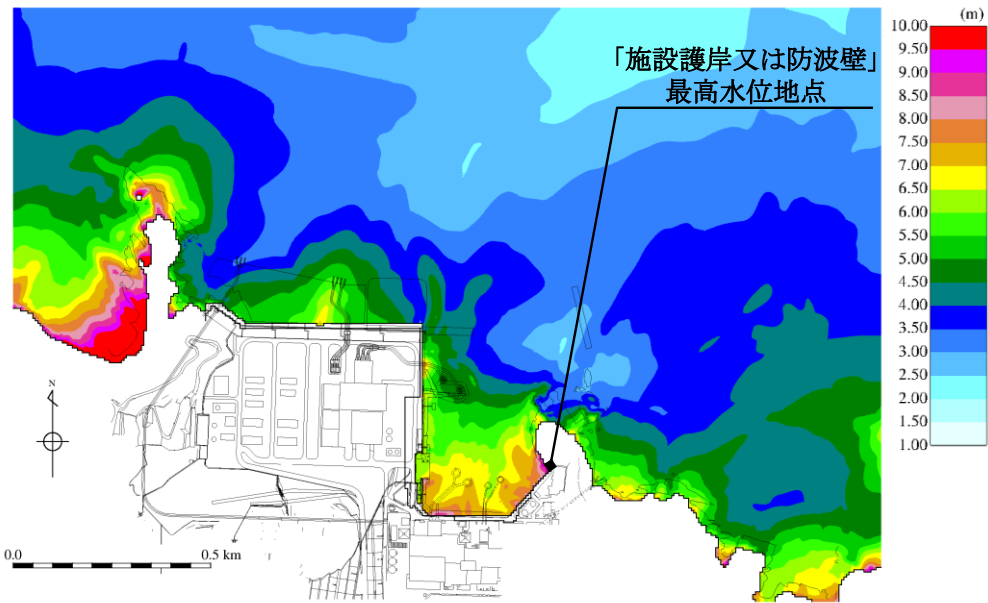
以下に示す最高水位に高潮ハザードを考慮した参照する裕度（0.64m）を加えた津波高さを考慮する。

(a) 日本海東縁部に想定される地震による津波の水位

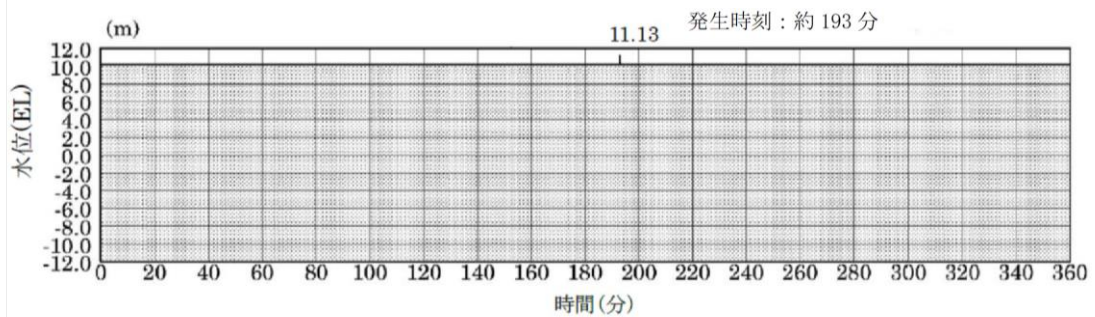
水位上昇側の最高水位は、基準津波 1（防波堤無し）の EL 11.9m（発生時刻：約 193 分，潮位 0.58m 及び潮位のばらつき+0.14m を考慮）であり，高潮ハザードを考慮した参照する裕度を加えた EL 12.6m とする。遡上域における基準津波 1（防波堤無し）の時刻歴波形を図 4.5.2-10 に示す。

(b) 海域活断層から想定される地震による津波の水位

水位上昇側の最高水位は、海域活断層上昇側最大ケース（防波堤有り）の EL 4.2m（発生時刻：約 6 分 30 秒，潮位 0.58m 及び潮位のばらつき+0.14m を考慮）であり，高潮ハザードを考慮した参照する裕度を加えた EL 4.9m とする。遡上域における海域活断層上昇側最大ケース（防波堤有り）の時刻歴波形を図 4.5.2-11 に示す。なお，荷揚場（EL 6.0m）については，地震による地盤沈下（1 m）を考慮しても，海域活断層から想定される地震による津波は遡上しない。



最大水位上昇量分布図
 (基準津波 1, 防波堤なし)

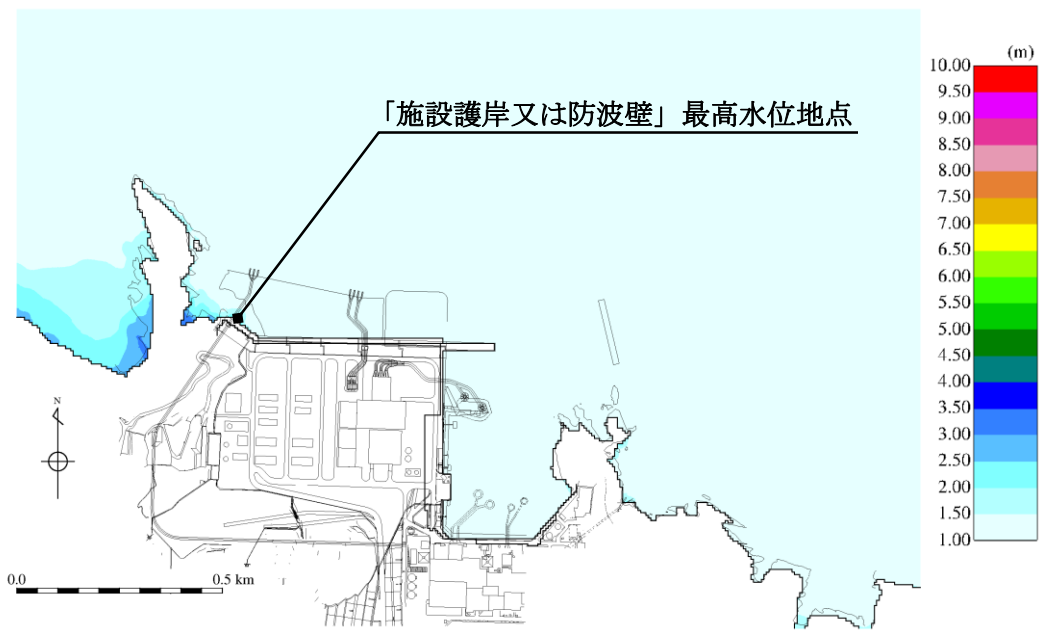


最大水位上昇量 11.13m + 朔望平均満潮位 0.58m + 潮位のばらつき 0.14m ÷ EL 11.9m

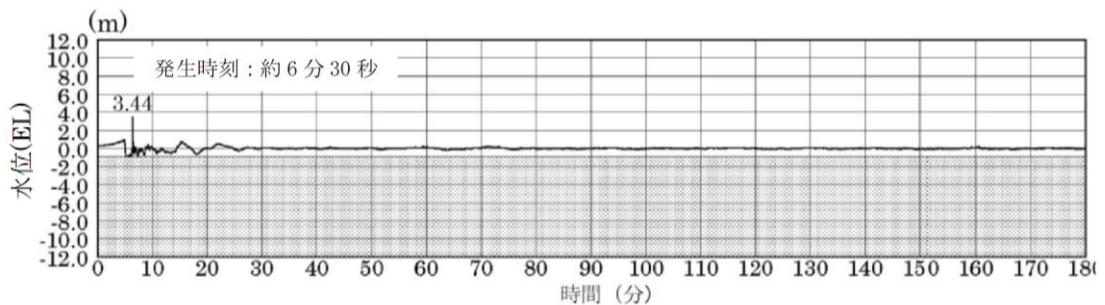
施設護岸又は防波壁 (基準津波 1, 防波堤無し)

注 : 灰色の網掛けは最高水位地点の標高以下の範囲を示す。

図 4.5.2-10 遡上域における時刻歴波形 (基準津波 1, 防波堤無し)



最大水位上昇量分布図
 (海域活断層上昇側最大ケース，防波堤有り)



最大水位上昇量 3.44m + 朔望平均満潮位 0.58m + 潮位のばらつき 0.14m ≒ EL 4.2m
 施設護岸又は防波壁 (海域活断層上昇側最大ケース，防波堤有り)

注：灰色の網掛けは最高水位地点の標高以下の範囲を示す。

図 4.5.2-11 遡上域における時刻歴波形 (海域活断層上昇側最大ケース，防波堤有り)

4.5.3 衝突荷重として考慮する漂流物の選定

「4.2 漂流物による影響確認」における，漂流（浮遊）して施設護岸又は輪谷湾に到達する可能性があるとして評価した漂流物及び発電所構内陸域（荷揚場周辺）で滑動する漂流物の配置場所を表 4.5.3-1 に整理した上で，衝突荷重として考慮する漂流物を選定した。

なお，防波壁より海側の敷地はアスファルト又はコンクリートで地表面を舗装されている。防波壁より海側の敷地のアスファルト舗装が津波により洗堀されることによる骨材が，非常に寸法の小さな漂流物として懸念されるが，アスファルトの洗堀の可能性がある流速 8m/s を超える地点付近はコンクリート舗装等の対策工を実施することから，アスファルト舗装又はコンクリート舗装は洗堀されず，非常に小さな寸法の漂流物は選定しない。

表 4.5.3-1 施設護岸又は輪谷湾に到達する可能性があるとして評価した漂流物及び発電所構内陸域（荷揚場周辺）で滑動する漂流物

調査対象		漂流物	重量等	考慮する津波*1	到達形態
発電所 構内	海 域	作業船	総トン数：約 10 トン	海域	浮遊
		漁船	総トン数：約 0.7 トン	東縁，海域	浮遊
	陸 域	荷揚場詰所 （壁材（ALC版））	— （がれき化して漂流）	東縁	浮遊
		デリッククレーン試験用 ウエイト	約 22t	東縁	滑動
		変圧器・ポンプ制御盤	約 0.1t	東縁	滑動
		防舷材	約 1t	東縁	浮遊
		エアコン室外機	約 0.2t	東縁	滑動
		枕木	約 12kg	東縁	浮遊
発電所 構外	海 域	漁船（500m以内（操業））	総トン数：3 トン未満	東縁，海域	浮遊
		漁船（500m以遠（操業））*2	総トン数：約 19 トン*3	東縁，海域	浮遊

注記*1：「東縁」は日本海東縁部に想定される地震による津波，「海域」は海域活断層から想定される地震による津波を表す。

*2：「4.2 漂流物による影響確認」において施設護岸又は輪谷湾に到達しないと評価しているが，発電所周辺漁港の漁船であることから抽出。

*3：施設護岸から 500m 付近で操業するイカ釣り漁船（総トン数：10 トン）を含む。

(1) 漂流物を考慮する範囲

漂流物による衝突荷重の設定においては、漂流物の配置場所が重要な要因となるため、表 4.5.3-1 に示す漂流物について、配置場所の区分を行った。

日本海東縁部に想定される地震による津波（基準津波 1）の流向・流速の分析の結果、防波壁（波返重力擁壁）から約 50m 以内の水深が約 20m の浅い位置で 5m/s 以上の速い流速が確認されたことから、安全側に施設護岸から 500m 以内にある漂流物は津波の第一波により漂流し、施設護岸又は輪谷湾に到達する可能性があると考え、施設護岸から約 500m 以内の海域を「直近海域」として区分する。また、発電所構内陸域（荷揚場周辺）で浮遊する漂流物の配置場所については、施設護岸に到達することから、「直近海域」とする。

施設護岸から 500m 以遠については、日本海東縁部に想定される地震による津波（基準津波 1）の流向・流速の分析の結果、ほとんどの海域において流速は速くて 2m/s 程度であることから、この範囲にある漂流物は津波の第一波により漂流し、施設護岸又は輪谷湾に到達する可能性は低いと考え、この範囲を「前面海域」として区分する。

発電所構内陸域（荷揚場周辺）の滑動する漂流物については、滑動して荷揚場周辺の津波防護施設に到達する可能性があるため、発電所構内陸域（荷揚場周辺）を「直近陸域」として区分する。

配置場所の区分を図 4.5.3-1 に示す。また、表 4.5.3-1 の漂流物の配置場所の区分を整理した結果を表 4.5.3-2 に示す。

なお、発電所周辺における津波来襲時の流況について考察すると、日本海東縁部に想定される地震による津波（基準津波 1）は最大水位・流速を示す時間帯が地震発生後約 180 分～200 分であり、海域活断層から想定される地震による津波（基準津波 4）は、最大水位・流速を示す時間帯が地震発生後約 5 分～7 分である。最大流速は、いずれも施設護岸から 500m 以内の海域で生じていることから、直近海域からの漂流物の影響が大きくなることが考えられる。

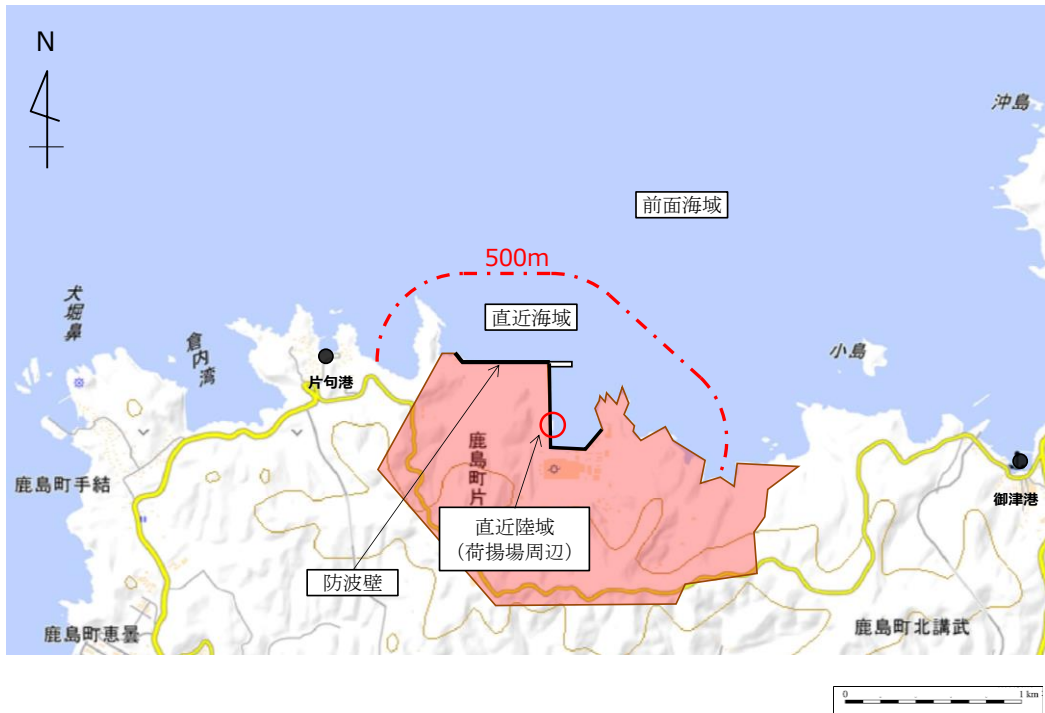


図 4.5.3-1 漂流物を考慮する範囲の区分

表 4.5.3-2 漂流物の配置場所の区分及び到達の有無

調査対象		到達する漂流物	重量等	考慮する津波	到達形態	配置場所	到達の有無
発電所 構内	海域	作業船	総トン数：約 10 トン	海域	浮遊	直近海域	○
		漁船	総トン数：約 0.7 トン	東縁 海域	浮遊	直近海域	○
	陸域	荷揚場詰所 (壁材 (ALC 版))	— (がれき化して漂流)	東縁	浮遊	直近海域	○
		デリッククレーン 試験用ウエイト	約 22t	東縁	滑動	直近陸域	×
		変圧器・ポンプ 制御盤	約 0.1t	東縁	滑動	直近陸域	×
		防舷材	約 1t	東縁	浮遊	直近海域	○
		エアコン室外機	約 0.2t	東縁	滑動	直近陸域	×
枕木	約 12kg	東縁	浮遊	直近海域	○		
発電所 構外	海域	漁船 (500m 以内 (操業))	総トン数：約 3 トン未満	東縁 海域	浮遊	直近海域	○
		漁船 (500m 以遠 (操業))	総トン数：約 19 トン	東縁 海域	浮遊	前面海域	○

(2) 敷地形状を踏まえた衝突荷重として考慮する漂流物の選定

漂流物の配置場所の区分及び敷地形状を踏まえ、衝突荷重として津波防護施設に考慮する漂流物の選定を行う。衝突荷重として津波防護施設に考慮する漂流物は、考慮する津波及び配置場所の区分毎に重量又は質量（以下「重量等」という。）、材質及び既往の衝突荷重算定式を用いた衝突荷重を踏まえて選定する。

a. 日本海東縁部に想定される地震による津波に伴う漂流物

表 4.5.3-2 より、津波防護施設に到達する漂流物のうち、初期配置が直近海域となる漂流物は、漁船（総トン数 0.7 トン，3 トン），壁材（ALC 版），防舷材（約 1 t）及び枕木（約 12kg）に加え、漁船の操業区域及び航行の不確かさ（添付資料 1 「島根原子力発電所の周辺海域で操業する漁船について」参照）を考慮して、漁船（総トン数 19 トン）を対象とする。

津波防護施設に到達する漂流物のうち、初期配置が前面海域となる漂流物は、漁船（総トン数 19 トン）を対象とする。

対象とした漂流物について、その初期配置、重量等及び材質を踏まえ、既往の算定式による衝突荷重を比較した結果、漂流物による衝突荷重が最大となる漁船（総トン数 19 トン）を津波防護施設の評価において考慮する漂流物として選定する（添付資料 2 「津波防護施設に考慮する漂流物の選定」参照）。

なお、直近陸域において地盤沈下を考慮した場合に局所的に大きな流速（11.9m/s）が抽出されているが、図 4.5.2-9 に示すとおり、津波高さ（EL 6.7m）が敷地高さ（EL 7.5m）に到達しないことから、図 4.5.3-2 に示すデリッククレーン試験用ウエイト等の滑動する漂流物は衝突荷重を考慮する施設・設備に衝突しない。

また、防波壁の壁面（海側）より奥まった狭隘な場所に設置され、船舶が衝突しない場合は、枕木を津波防護施設の評価において考慮する漂流物として選定する（図 4.5.3-3）。

b. 海域活断層に想定される地震による津波に伴う漂流物

表 4.5.3-2 より、津波防護施設に到達する漂流物のうち、初期配置が直近海域となる漂流物は、作業船（総トン数 10 トン）又は漁船（総トン数 0.7 トン及び 3 トン）に加え、漁船の操業区域及び航行の不確かさ（添付資料 1 「島根原子力発電所の周辺海域で操業する漁船について」参照）を考慮して、漁船（総トン数 19 トン）を対象とする。

津波防護施設に到達する漂流物のうち、初期配置が前面海域となる漂流物は、漁船（総トン数 19 トン）を対象とする。

対象とした漂流物について、その初期配置、重量等及び材質を踏まえ、既往の算定式による衝突荷重を比較した結果、漂流物による衝突荷重が最大となる漁船（総トン数 19 トン）を津波防護施設の評価において考慮する漂流物として選定する（添付資料 2 「津波防護施設に考慮する漂流物の選定」参照）。

なお、直近陸域における漂流物については、「4.5.2 b. (b) 海域活断層から想定される地震による津波の水位」に示すとおり、津波が配置場所へ遡上しないため選定しない。

海域活断層から想定される地震による津波による津波高さと防波壁（逆 T 擁壁）及び防波壁通路防波扉の位置関係を図 4.5.3-4 に示す。図に示すとおり、防波壁（逆 T 擁壁）及び防波壁通路防波扉は、地中又は EL 8.5m 以上の地上に設置されていることから、海域活断層から想定される地震による津波は到達しない。

以上より、衝突荷重として考慮する漂流物は、直近海域及び前面海域における漁船（総トン数 19 トン）を選定する。衝突荷重として考慮する漂流物及び施設・設備を表 4.5.3-3 に示す。

また、防波壁の壁面（海側）より奥まった狭隘な場所に設置され、船舶が衝突しない場合は、枕木を津波防護施設の評価において考慮する漂流物として選定する。衝突荷重として考慮する漂流物（枕木）及び施設・設備を表 4.5.3-4 に示す。

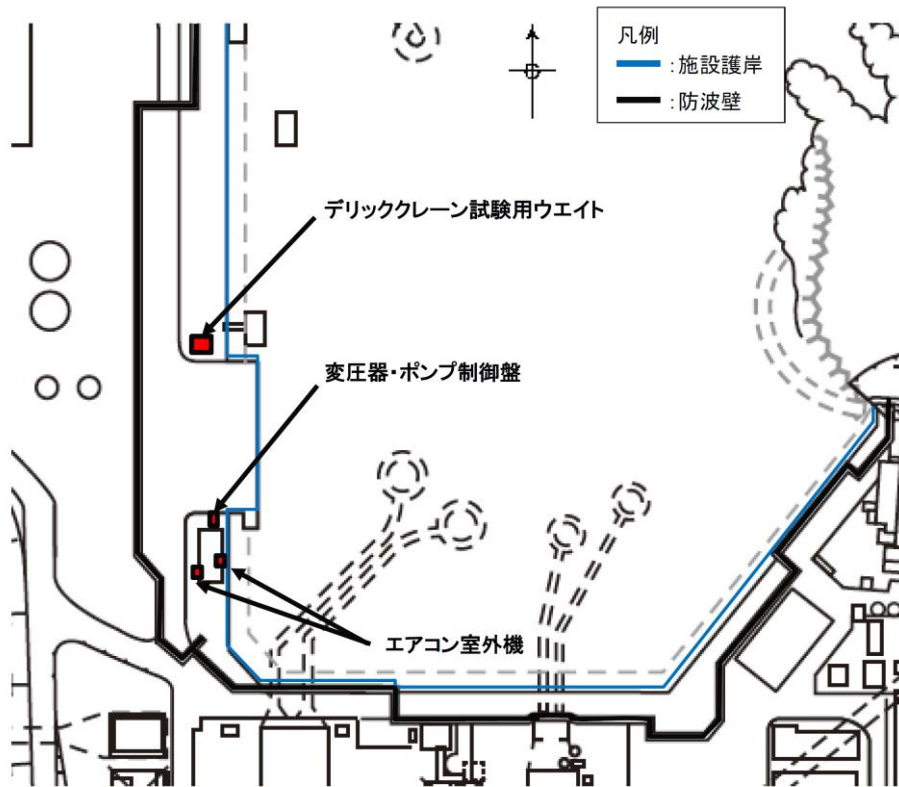
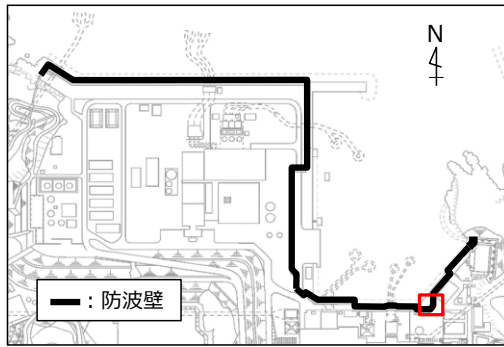


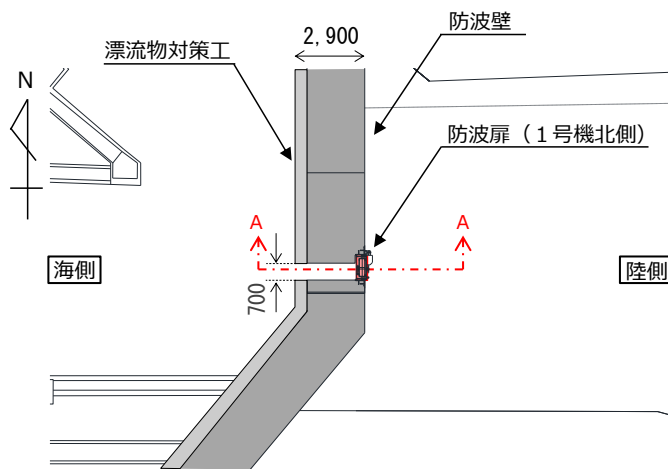
図 4.5.3-2 直近陸域における漂流物（滑動）の配置

KEY-PLAN

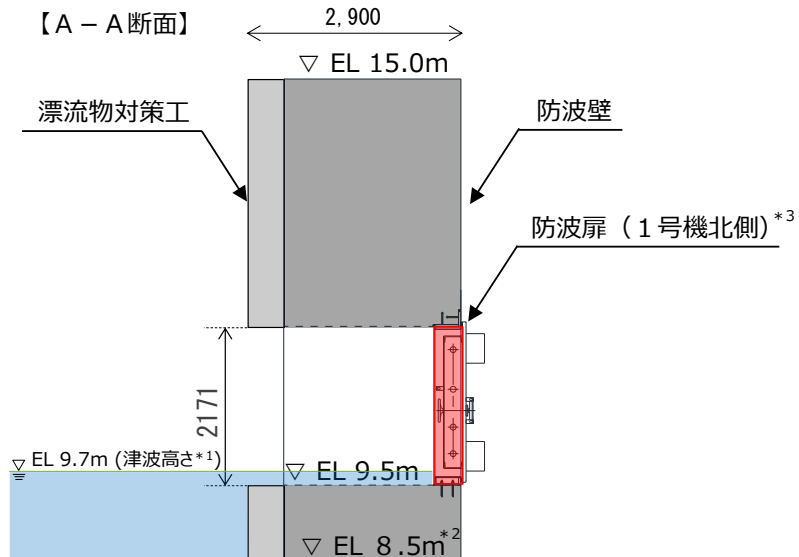


【防波壁通路防波扉（1号機北側）位置図（平面図）】

(単位：mm)



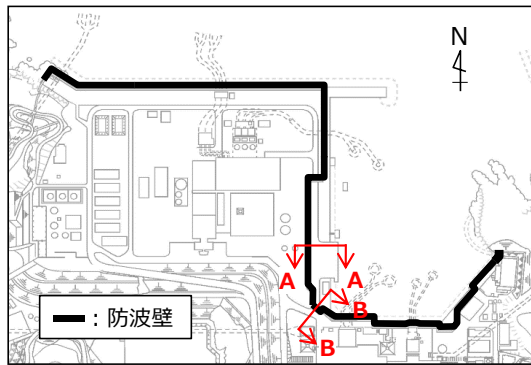
(単位：mm)



- 注記 * 1 : 防波扉（1号機北側）前面における最高水位に高潮ハザードを考慮した参照する余裕を加えた津波高さ
 * 2 : 防波壁前面は海底面まで沈下すると仮定
 * 3 : 防波扉（1号機北側，2号機北側）は，防波壁の壁面（海側）より奥まった狭隘な場所に設置するため，船舶は衝突しない。枕木による漂流物衝突荷重を考慮する。

図 4.5.3-3 防波扉（1号機北側）の設置場所及び日本海東縁部に想定される津波による津波高さの概念図

KEY-PLAN



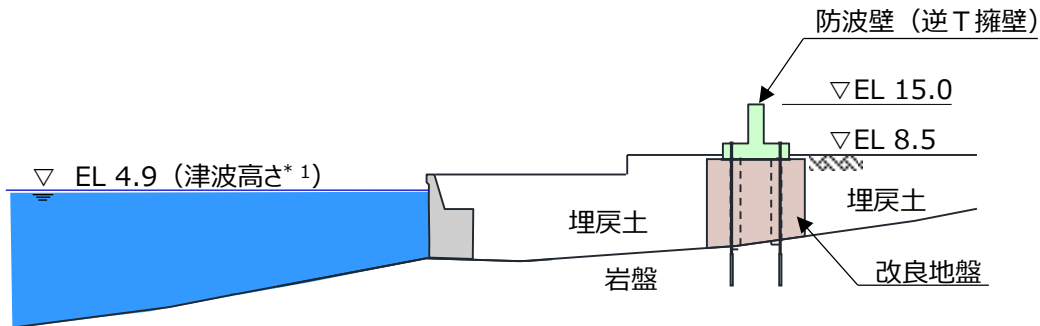
【防波壁（逆T擁壁）】

A-A断面

(単位：m)

海側

敷地側

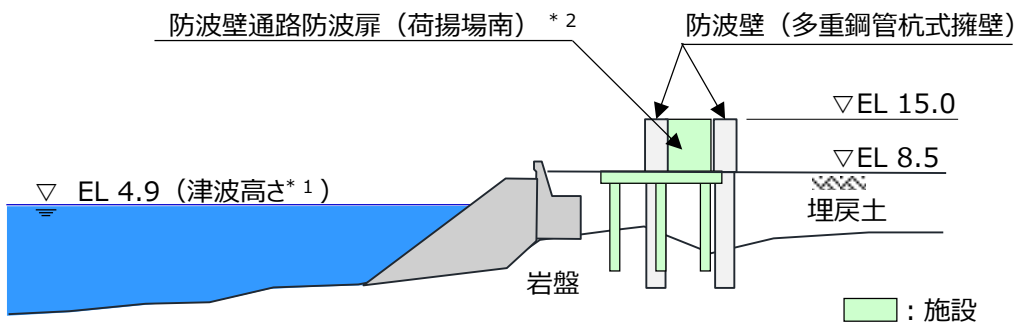


【防波壁通路防波扉（荷揚場南）】

B-B断面

海側

敷地側



注記 * 1 : 海域活断層から想定される地震による津波に高潮ハザードを考慮した参照する裕度を加えた津波高さ

* 2 : 防波壁通路防波扉においては、漂流物の衝突を防止するため、防波壁通路防波扉の前面に漂流物対策工を設置することから、漂流物による衝突荷重を考慮しない。

図 4.5.3-4 防波壁（逆T擁壁）及び防波壁通路防波扉と
海域活断層から想定される津波による津波高さの概念図

表 4.5.3-3 衝突荷重として考慮する漂流物及び施設・設備

衝突荷重として考慮する漂流物				衝突荷重を考慮する施設・設備						
衝突する可能性のある漂流物	重量 (t)	材質	到達形態	対象津波【津波高さ】	漂流速度 (m/s)	初期配置	防波壁	防波壁通路防波扉 (荷揚場南, 3号機東側)		
							波返重力擁壁			
							逆T擁壁			
							多重鋼管杭式擁壁			
漁船 (総トン数19トン)	57.0	FRP	浮遊	日本海東縁 【EL. 12.6m】*1	10.0	直近海域	○	○	—*3	
						前面海域	○	○	—*3	
				海域活断層 【EL. 4.9m】*2	6.0	直近海域	○	—*4	○	—*4
						前面海域	○	—*4	○	—*4

注記*1: 基準津波1の入力津波高さEL. 11.9mに高潮ハザードの裕度を加えた津波高さ。

*2: 海域活断層上昇側最大ケースの入力津波高さEL. 4.2mに高潮ハザードの裕度を加えた津波高さ。

*3: 防波壁通路防波扉においては、漂流物の衝突を防止するため、漂流物対策工を設置することから、防波壁通路防波扉の前面に漂流物対策工を設置することから、漂流物による衝突荷重を考慮しない。なお、漂流物対策工は漂流物衝突荷重を考慮する。

*4: 防波壁(逆T擁壁)及び防波壁通路防波扉は地中又はEL. 8.5m以上の地上に設置されていることから、津波高さがEL. 4.9mである海域活断層から想定される地震による津波は到達しないため、漂流物は衝突しない。

表 4.5.3-4 衝突荷重として考慮する漂流物（枕木）及び施設・設備

衝突する可能性のある漂流物	衝突荷重として考慮する漂流物						衝突荷重を考慮する施設・設備
	重量 (kg)	材質	到達形態	対象津波【津波高さ】	漂流速度 (m/s)	初期配置	
枕木	12.0	木材	浮遊	日本海東縁【EL 12.6m】*1	0.6	直近海域	防波壁通路防波扉 (1号機北側, 2号機北側)*2
							○

注記*1: 基準津波1の入力津波高さEL 11.9mに高潮ハザードの裕度を加えた津波高さ。

*2: 防波壁の壁面(海側)より奥まった狭隘な場所に設置するため、船舶は衝突しない。

4.5.4 浮遊状態の漂流物による衝突荷重の算定方法

浮遊状態の漂流物による衝突荷重の算定方法としては、運動量理論に基づく推定式や実験に基づく推定式等を用いた既往の衝突荷重算定式による算定又は陽解法により解析対象物の大変形挙動を時刻歴で材料非線形性を考慮した「非線形構造解析（以下「衝突解析」という。）」による算定が考えられる。

(1) 既往の衝突荷重算定式の整理

既往の衝突荷重算定式では、対象漂流物の種類、仕様、初期配置等により適用性が異なる。既往の荷重算定式の整理一覧を表 4.5.4-1 に示す。

表 4.5.4-1 漂流物による既往の荷重算定式の整理一覧

No	出典	種類	概要	算定式の根拠 (実験条件)
①	松富 (1999)	流木	円柱形状の流木が縦向きに衝突する場合は衝突荷重を提案している。 $F_m = 1.6 C_{MA} (V_{rel}/gD)^{0.5} \cdot 2 (\sigma_f/\gamma L)^{0.4} (Q/D^2 L)$ F_m : 衝突力, C_{MA} : 見かけの質量係数, V_{rel} : 流木の衝突速度, D : 流木の直径, L : 流木の長さ, σ_f : 流木の降伏応力, γ : 流木の単位体積重量, g : 重力加速度	「実験に基づく推定式」 ・見かけの質量係数に関する水路実験 (実験: 高さ0.5m, 幅0.3m, 長さ11.0m, 流木(丸太)の直径: 4.8~12cm, 流木質量: 305~8615g) ・衝突荷重に関する空中での実験 水理模型実験及び空中衝突実験において、流木(植生林ではない丸太)を被衝突体の前面(2.5m以内)に設置した状態で衝突させている。
②	池野・田中 (2003)	流木	円柱以外にも角柱、球の形状をした木材による衝突荷重を提案している。 $F_H = S C_{MA} (V_H/g)^{0.5} D^{0.25} L^{0.25} (gM)$ F_H : 漂流物の衝突力, S : 係数 (5.0), C_{MA} : 見かけの質量係数, V_H : 段波速度, D : 漂流物の代表高さ, L : 漂流物の代表長さ, M : 漂流物の質量, g : 重力加速度	「実験に基づく推定式」(縮尺1/100の模型実験) 漂流物の形状: 円柱, 角柱, 球 漂流物重量: 0.588N~29.792N 受圧板を陸上構造物と想定し, 衝突体を受圧板前面80cm(現地換算80m)離れた位置に設置した状態で衝突させた実験である。模型縮尺(1/100)を考慮した場合, 現地換算で直径2.6~8mの仮定となる。
③	道路標示方書 (2002)	流木等	橋(橋脚)に自動車, 流木あるいは船舶等が衝突する場合は衝突荷重を定めている。 $P = 0.1 W v$ P : 衝突力, W : 流送物の重量, v : 表面流速	漂流物が流下(漂流)してきた場合に, 表面流速(津波流速)を与えらることで漂流流速に対する荷重を算定できる。
④	津波漂流物対策施設設計ガイドライン (2014)	船舶等	船舶の仮想重量と漂流物流速から衝突エネルギーを提案している。 $E = E_0 = \frac{WV^2}{2g}, W = W_0 + W', W' = W_0 + (n/4)(D^2 L v_w)$ $E = E' = \frac{WV^2}{2g}$ E : 衝突エネルギー, W : 仮想重量, V : 漂流物速度, W_0 : 排水トン数, W' : 付加重量, D : 喫水, L : 横付けの場合は船の長さ, 縦付けの場合は船の幅, v_w : 海水の単位体積重量, g : 重力加速度	「漁港・漁場の施設の設計の手引」(2003)に記載されている, 接岸エネルギーの算定式に対して, 接岸速度を漂流物速度とすることで, 衝突エネルギーを算定できる。 漁船の他, 車向・流木・コンテナの衝突エネルギーに対して, 支柱及び漂流物補強スクリューの変形でエネルギーを吸収させることにより, 漂流物の進入を防ぐための津波漂流物対策施設の設計に適用される式である。
⑤	FEMA (2012)	流木 コンテナ	漂流するコンテナの衝突荷重を提案している。 $F_i = 1.3 v_{max} \sqrt{km(1+c)}$ F_i : 衝突力, v_{max} : 最大流速, m : 漂流物の質量, c : 付加重量係数, k : 漂流物の有効剛性	「運動方程式に基づく衝突力方程式」 非弾性系の運動方程式に基づいており, 衝突体及び被衝突体の両方とも完全弾性体で, かつ衝突時のエネルギー減衰が一切考慮されていない前提条件での算定式であることから, 衝突時に塑性変形を伴う漂流物の衝突荷重算定では, 個別的な漂流物に対して, 実験結果を再現するような軸剛性を適切に定める必要がある。
⑥	水谷ほか (2005)	コンテナ	漂流するコンテナの衝突荷重を提案している。 $F_m = 2 \rho_w n_m B_c V_c^2 + (WV/gdt)$ F_m : 漂流衝突力, dt : 衝突時間, n_m : 最大濁上水位, ρ_w : 水の密度, B_c : コンテナ幅, V_c : コンテナの漂流速度, W : コンテナ重量, g : 重力加速度	「実験に基づく推定式」(縮尺1/75の模型実験) 使用コンテナ: 長さ20ftと40ft, コンテナ重量: 0.2N~1.3N程度, 濁上流速: 1.0m/s以下, 材質: アクリル 被衝突体の直近のエプロン上にコンテナを設置して衝突力を求めた算定式である。衝突体と水塊が一体となった衝突し, 衝突前の運動量が全て力積として作用するものとして考えた算定式であり, 右辺の第1項は付質量による荷重を表している。
⑦	有川ほか (2007, 2010)	コンテナ 流木	コンクリート構造物に鋼製構造物(コンテナ等)が漂流衝突する際の衝突荷重を提案している。 $F = \gamma_p x^{\frac{3}{2}} \left(\frac{m}{4} \right) v^{\frac{3}{2}}, x = \frac{4\sqrt{d}}{3\pi k_1 + k_2}, k = \frac{(1-v^2)}{\pi E}, m = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2}$ F : 衝突力, γ_p : 衝突面直径の1/2 (コンテナ衝突面の縦横長さの平均の1/4), E : ヤング率, v : ボアソン比, m : 質量, v_p : 塑性によるエネルギー減衰効果 m_1 や m_2 の添え字は衝突体と被衝突体を示す。 また, 「①松富(1999)」にない, 上式において $m=C_{00}m$ (C_{00} : サージティブの1.7) とすることで, 流木のコンクリート版に対する衝突力を評価できるとしている。	「実験に基づく推定式」(縮尺1/50の模型実験) 使用コンテナ: 長さ1.21m, 高さ0.52m, 幅0.49m, 水理模型実験では, コンテナを被衝突体の全面1.21m (現地換算6.05m) に設置して衝突力を求めた算定式である。

- No1 松富英夫 (1999) 流木衝突力の実用的な評価式と変化特性, 土木学会論文集, No621, pp. 111-127
- No2 池野正明・田中寛好 (2003) 陸上遡上波と漂流物の衝突力に関する実験的研究, 海岸工学論文集, 第 50 巻, pp. 721-725
- No3 道路橋示方書 (I 共通編・IV 下部構造編)・同解説 ((社) 日本道路協会, 平成 14 年 3 月)
- No4 津波漂流物対策施設設計ガイドライン (沿岸技術研究センター, 寒地港湾技術研究センター, 平成 26 年 3 月)
- No5 FEMA (2012) Guidelines for Design of Structures for Vertical Evacuation from Tsunamis Second Edition, FEMA P-646
- No6 水谷法美・高木祐介・白石和睦・宮島正悟・富田孝史 (2005) エブロン上のコンテナに作用する津波波力と漂流衝突力に関する研究, 海岸工学論文集, 第 52 巻, pp. 741-745
- No7 有川太郎・大坪大輔・中野史丈・下迫健一郎・石川信隆 (2007) 遡上津波によるコンテナ漂流力に関する大規模実験 海岸工学論文集, 第 54 巻, pp. 846-850
- 有川太郎・鷲崎誠 (2010) 津波による漂流木のコンクリート壁面破壊に関する大規模実験, 土木学会論文集 B2, Vol. 66, No. 1, pp. 781-785

(2) 漂流物による衝突荷重の算定方法の選定

既往の衝突荷重算定式及び衝突解析に対して、「4.5.3 衝突荷重として考慮する漂流物の選定」において区分した、漂流物の初期配置（「直近海域」，「前面海域」及び「直近陸域」）及び適用流速の観点も加えた整理結果を表4.5.4-2に示す。

表 4.5.4-2 漂流物による衝突荷重算定方法の整理

No	算定方法	種類	漂流物の初期配置	適用流速	適用性
①	松富 (1999)	流木	直近海域 直近陸域	衝突速度	個別の流木(丸太)の種類等に応じて、実現象を再現できるパラメータを適切に設定することが可能であれば、直近陸域又は直近海域からの流木に対して適用可能と判断する。
②	池野・田中 (2003)	流木	直近陸域	段波速度	流木を対象とした算定式であるが、実験の模型縮尺(1/100)を考慮すると、原子力発電所における漂流物衝突事象への適用は困難と判断する。
③	道路橋示方書 (2002)	流木 FRP製 船舶等	前面海域	表面流速	漂流物が流下(漂流)して来た場合に、表面流速(津波流速)を与えることで漂流流速に対する漂流物荷重を算定できる。新規制基準適合性審査(東北電力(株)女川原子力発電所2号機等)において、適用実績があるため、初期配置が前面海域の漂流物に対して適用可能と判断する。
④	津波漂流物 対策施設設計 ガイドライン (2014)	船舶等	前面海域 直近海域	漂流物速度	船舶、車両、流木、コンテナ等の漂流物を対象としているが、鋼管杭等の支柱の変形及びワイヤロープの伸びにより衝突エネルギーを吸収する考え方であり、弾性設計においての適用は困難であると判断する。
⑤	F E M A (2012)	流木 コンテナ FRP製 船舶	直近海域	最大流速	個別の漂流物に対して、実現象を再現できるパラメータ(軸剛性等)を適切に設定することが必要である。新規制基準適合性審査(東北電力(株)女川原子力発電所2号機)において、初期配置が直近海域の総トン数5トンのFRP製船舶の船首方向衝突に対して適用実績がある。FRP製船舶の軸剛性を適切に設定できる場合においては、適用可能と判断する。
⑥	水谷ほか (2005)	コンテナ	直近陸域	漂流速度	エプロン上にコンテナを設置して衝突力を求めるという特殊な実験により得られた式であることに留意する必要があるが、直近陸域からのコンテナに対して適用可能と判断する。
⑦	有川ほか (2007, 2010)	流木 コンテナ	直近海域 直近陸域	衝突速度	剛性に係る k 値を適切に定める必要があり、対象としている種類以外への適用性がある k 値に係る k1 及び k2 の値が不明であるため、現状は当該式が対象としている種類(流木、コンテナ)以外への適用は困難と判断する。したがって、直近陸域又は直近海域からの流木及びコンテナに対して適用可能と判断する。
⑧	衝突解析	鋼製部材 FRP製 船舶 木材等	直近海域 直近陸域	衝突速度	漂流物の3次元FEMモデルを適切に作成する必要がある。新規制基準適合性審査(東北電力(株)女川原子力発電所2号機等)において、初期配置が直近海域の総トン数5トンのFRP製船舶に対して適用実績がある。衝突荷重の妥当性を検証できる場合においては、適用可能と判断する。

また、「4.5.3 衝突荷重として考慮する漂流物の選定」から、対象漂流物として選定されたFRP製の漁船（以下「船舶」という。）における、衝突荷重の算定方法を選定する。なお、表4.5.4-2の整理結果より、船舶への適用性が期待できる、既往の衝突荷重算定式の「道路橋示方書（I 共通編・IV 下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会、平成14年3月）」（以下「道路橋示方書（2002）」という。）、「FEMA（2012） Guidelines for Design of Structures for Vertical Evacuation from Tsunamis Second Edition, FEMA P-646」（以下「FEMA（2012）」という。）及び「衝突解析」の中から選定する。漂流物による衝突荷重の算定方法の選定フローを図4.5.4-1に示す。

- ・「道路橋示方書（2002）」は、漂流物が津波の流れに乗って流下（漂流）して衝突する場合に、表面流速（津波流速）を与えることで衝突荷重を算定できる。新規制基準適合性審査（東北電力（株）女川原子力発電所2号機等）では、初期配置が前面海域の船舶（総トン数19トン）に対する適用実績がある。

以上より、船舶の初期配置が前面海域の場合においては、「道路橋示方書（2002）」を衝突荷重の算定方法として選定する。

- ・「FEMA（2012）」は、漂流物が津波の先端に乗って衝突する場合に、非減衰系の振動方程式に基づき、最大流速を与えることで衝突物及び被衝突物の両方を完全弾性体とした条件で衝突荷重を算定できる。ただし、衝突時に塑性変形を伴う漂流物による衝突荷重の算定では、個別の漂流物に対して実現象を再現できるような軸剛性を適切に定める必要がある。新規制基準適合性審査（東北電力（株）女川原子力発電所2号機）では、初期配置が直近海域の船舶（総トン数5トン）に対して、衝突荷重を算定した適用実績がある。現時点ではFRP製船舶の船首部の複雑な形状及び構造を再現できる軸剛性の設定方法が確立されていないことから、FRP製船舶における衝突荷重の算定方法として選定しない。

参考として、既往文献を基に船首方向の衝突解析で求めた、最大衝突荷重及び最大衝突荷重発生時刻に対する船首先端からの船体破壊長さから設定した平均的な軸剛性を用いて、「FEMA（2012）」による衝突荷重を算定する（添付資料4「FEMA（2012）によるFRP製船舶の衝突荷重」及び添付資料13「FRP製船舶に対する各算定方法による衝突荷重の整理」参照）。

- ・「衝突解析」は、漂流物が津波の先端に乗って衝突する場合に、衝突速度を与えることで、陽解法により解析対象物の大変形挙動を時刻歴で材料非線形性を考慮した解析が可能であり、漂流物を3次元でモデル化することで衝突形態の不確かさを考慮した衝突荷重が算定できる。新規制基準適合性審査（東北電力（株）女川原子力発電所2号機）では、初期配置

が直近海域の船舶（総トン数5トン）に対する適用実績がある。先行サイトの審査以降の新たな文献である「豊田ほか（2022）」*において、FRP製船舶を用いた衝突実験が初めて実施され、衝突実験における衝突現象に対して衝突解析を実施し、衝突実験による衝突荷重に対する再現性があることが確認されたことから、船舶の初期配置が直近海域の場合においては、「衝突解析」を衝突荷重の算定方法として選定する。

注記*：豊田真・南波宏介・甲斐田秀樹・栗山透 FRP船舶の衝突解析手法に関する研究，土木学会論文集A1（構造・地震工学），Vol.78，No.2，301-315，2022.

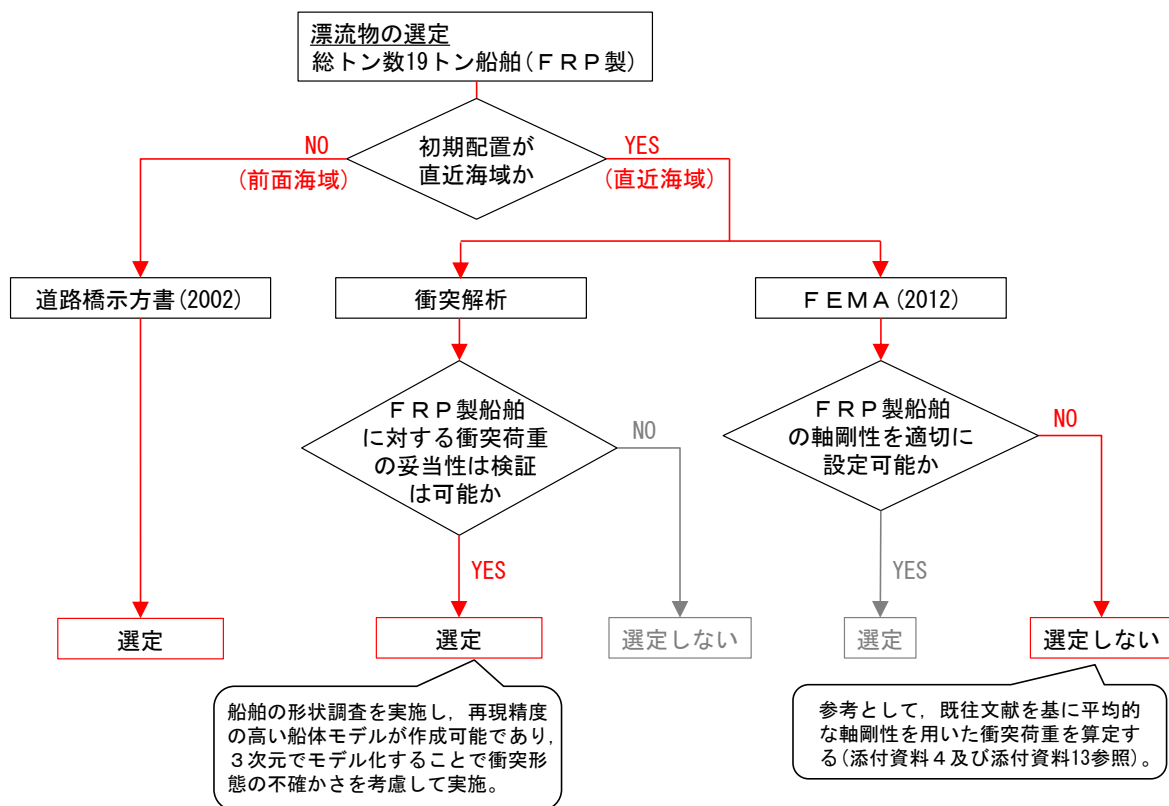


図 4.5.4-1 漂流物による衝突荷重の算定方法の選定フロー

4.5.5 漂流物による衝突荷重の算定における設計上の配慮について

漂流物による衝突荷重の算定において、以下の項目を配慮して設定する。

なお、枕木による衝突荷重の算定における設計上の配慮については、添付資料 15 「枕木による衝突荷重の算定における設計上の配慮及び算定結果」に示す。

(1) 衝突荷重として考慮する漂流物

「4.5.3 衝突荷重として考慮する漂流物の選定」より、衝突荷重として考慮する漂流物は、設計上の配慮として、島根原子力発電所周辺海域で操業する漁船の、漁業法の制限等を踏まえた総トン数、操業区域及び航行の不確かさを考慮した、総トン数 19 トンのFRP製の漁船を対象とする。

(2) 漂流物による衝突荷重算定用の流向

漂流物による衝突荷重は、漂流物が被衝突物に対して直交方向に作用する際に最大となると考えられる。「4.5.2 津波に関するサイト特性」で示したとおり、被衝突物である防波壁及び防波壁通路防波扉前面での最大流速は、被衝突物に対する直交方向の流向と一致していない箇所も存在する。そのため、設計上の配慮として、被衝突物となる構造物の特徴を踏まえて、安全側の評価となる衝突方向を選定する。

(3) 漂流物による衝突荷重算定用の流速

漂流物による衝突荷重は、漂流物の衝突速度（流速）の増加に伴い大きくなるため、設計上の配慮として、衝突荷重の算定に用いる流速は、津波の最大流速を漂流物の衝突速度として用いる。

また、津波流速は、「4.5.2 津波に関するサイト特性」で示したとおり、日本海東縁部に想定される地震による津波（基準津波 1）の最大流速は 9.3m/s、海域活断層から想定される地震による津波（基準津波 4）の最大流速は 5.8m/s となる。そのため、設計上の配慮として、安全側に日本海東縁部に想定される地震による津波及び海域活断層から想定される地震による津波ともに、漂流物の衝突速度を 10.0m/s とする。

(4) 漂流物による衝突荷重の作用方法

被衝突物に対する、漂流物による衝突荷重の鉛直方向の作用位置は、「4.5.2 津波に関するサイト特性」で示したとおり、日本海東縁部に想定される地震による津波（基準津波1）の入力津波高さ EL 11.9m に高潮ハザードを考慮した参照する裕度を加えた津波高さ EL 12.6m 及び海域活断層から想定される地震による津波（海域活断層上昇側最大ケース）の入力津波高さ EL 4.2m に高潮ハザードを考慮した参照する裕度を加えた津波高さ EL 4.9m を基本とするが、設計上の配慮として、安全側に各構造物の部位に対して評価が厳しくなる作用位置を設定する。漂流物が衝突する際は船体幅及び深さに応じた範囲に荷重が分散すると考えられることを踏まえ、各構造物の評価において安全側となるよう荷重作用方法を採用する。また、漂流物による衝突荷重の水平方向の作用位置も同様に安全側に各構造物に対して評価が厳しくなる作用位置を設定する。

(5) 漂流物による衝突荷重と津波荷重との重畳

漂流物による衝突荷重と津波荷重の組合せについて、実際に施設に作用する荷重としては、津波による最大荷重と漂流物衝突による最大荷重が同時に作用する可能性は小さいと考えられるが、漂流物による衝突荷重と津波荷重が重畳する可能性を否定できないため、設計上の配慮として、津波高さに応じた津波荷重と漂流物による衝突荷重を重畳させる。

4.5.6 漂流物による衝突荷重の算定

浮遊状態の漂流物として選定した船舶の衝突荷重は、「4.5.4 浮遊状態の漂流物による衝突荷重の算定方法」より、島根原子力発電所における衝突荷重算定の適用性を考慮した上で、漂流物の初期配置が直近海域にある場合の船舶（総トン数19トン）は衝突解析により、漂流物の初期配置が前面海域にある場合の船舶（総トン数19トン）は「道路橋示方書（2002）」により衝突荷重を算定する。漂流物による衝突荷重の算定フローを図4.5.6-1に示す。

なお、枕木による衝突荷重の算定については、添付資料15「枕木による衝突荷重の算定における設計上の配慮及び算定結果」に示す。

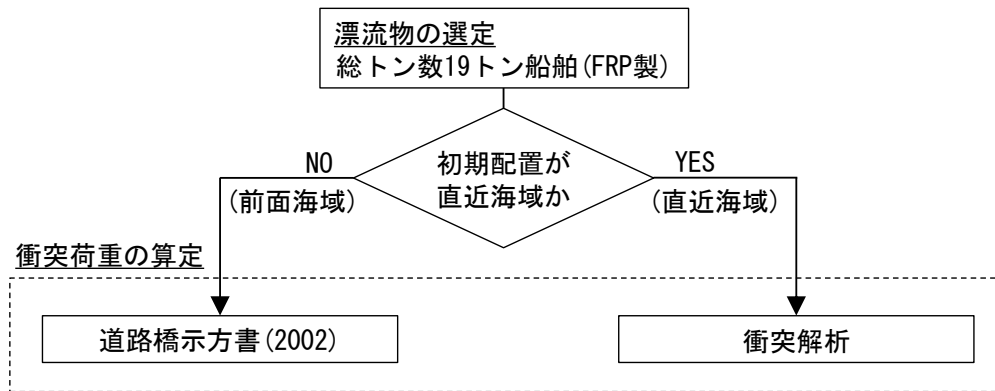


図 4.5.6-1 漂流物による衝突荷重の算定フロー

(1) 漂流物の初期配置が直近海域の場合の衝突荷重の算定

a. 検討方針

船舶は車両やコンテナと比較して、長軸と短軸が明瞭ではあるが、漂流物となって来襲する際に回転の影響を受け、複雑な挙動となる可能性がある。一方、既往の衝突荷重の算定式は、長軸である船首方向からの衝突を想定していると考えられるため、衝突解析により3次元FEMでモデル化した船舶を用いて、船首方向の衝突に加え、船尾、真横及び斜め45°（船首、船尾）からの衝突荷重を算定することで、衝突形態の不確かさを考慮する（詳細を「d. 解析ケース」に示す）。

被衝突物は、鉄筋コンクリート造又は鋼製であり、衝突に伴う変形及び移動により衝突エネルギーを吸収することが考えられるが、安全側に変形及び移動をしない剛壁とし、衝突荷重は剛壁に作用する荷重の時刻歴から算定する。なお、被衝突物である防波壁の固有振動数は最大で30Hz程度であるため、被衝突物の応答に影響しない、100Hz以上の周波数を逡減するローパスフィルタ処理を行う。

また、この衝突荷重は、瞬間的な最大荷重を静的な衝突荷重として考慮すること（添付資料5「建築物荷重指針・同解説（2015）を参考にした静的設計荷重の算定例」参照）及び衝突直前の反射波による減速を考慮しないことの保守性を有している。なお、衝突解析は気中衝突を模擬しているため、水中衝突の場合、漂流物とともに運動する水塊（付加質量）の影響を考慮する必要があるが、「4.5.5（5）漂流物による衝突荷重と津波荷重との重畳」で示したとおり、衝突荷重と津波荷重（津波高さに応じた波力）は重畳させる方針であり、付加質量の影響は津波による荷重に含まれるため、衝突解析の結果では考慮しない。

衝突解析による衝突荷重の算定フローを図4.5.6-2に示す。

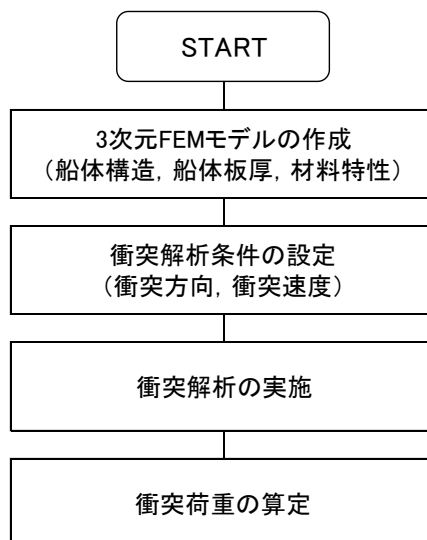


図 4.5.6-2 衝突解析による衝突荷重の算定フロー

b. 解析コード

船舶における衝突解析の解析コードは、「LS-DYNA Ver. 971」を用いる。

c. 船舶の3次元FEMモデル

衝突解析においては、衝突解析に用いる船舶の船体形状が、衝突荷重に与える影響が大きいため、3次元FEMモデルの精緻化が重要となる。そこで、対象船舶の再現精度の向上を図るために、詳細調査（船体情報に係る資料の収集及び対象船舶の調査結果）を基に、船舶の3次元FEMモデルを、シェル要素でモデル化する。対象船舶は、恵曇漁港のイカ釣り漁船（総トン数19トン）とする。

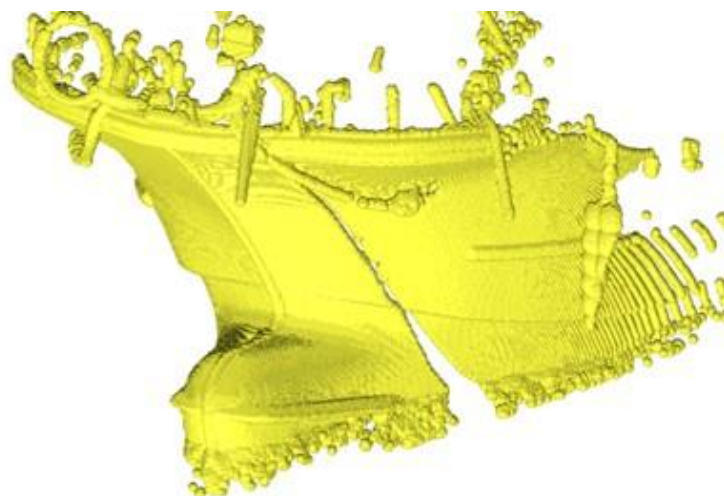
船舶は海水からの流れの抵抗を低減するために、船体の船首から船尾に向けて流線形の複雑な形状となっている。そこで、船舶外形の再現精度を向上させるために、対象船舶に対する巻尺等による測定に加え、3Dレーザースキャナによる3次元測定を行い（図4.5.6-3）、船体外形の3次元点群データを取得し、3次元FEMモデルの作成に反映した（図4.5.6-4）。

また、船体情報に係る資料に記載がなく、かつ測定が不可能な箇所は、既往の文献を基に設定する。

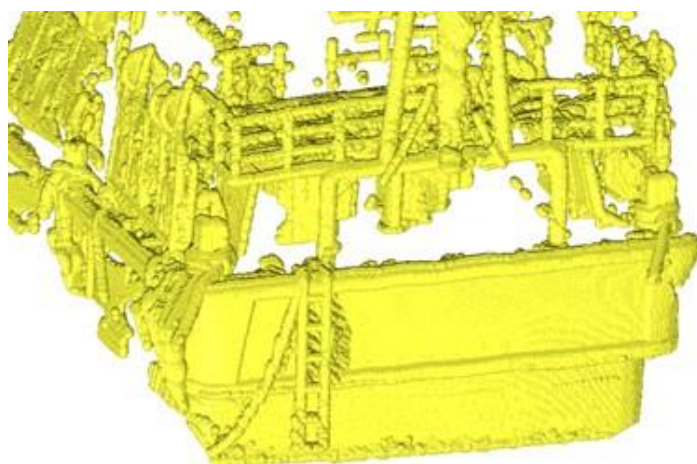


図 4.5.6-3 3Dレーザースキャナによる計測状況

【船首】



【船尾】



【船側】

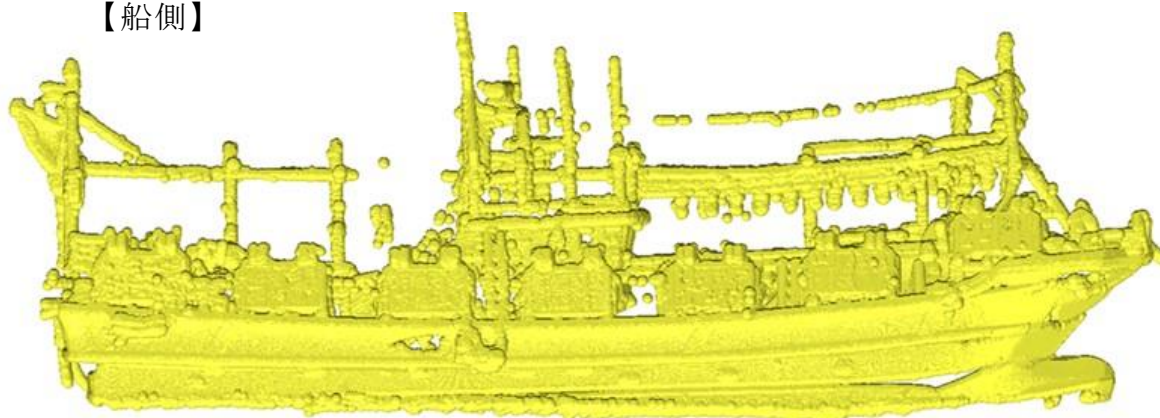


図 4.5.6-4 3Dレーザースキャナによる計測結果（例）

(a) 船体構造

船舶の3次元FEMモデルの作成に当たり、主要な船体構造寸法及び根拠を表4.5.6-1に示す。計画最大満載喫水及び質量は「津波漂流物対策施設設計ガイドライン（沿岸技術研究センター，寒地港湾技術研究センター，平成26年3月）」（以下「津波漂流物対策施設設計ガイドライン（2014）」という。）に基づき、設定する。また、対象船舶の側面図及び平面図を図4.5.6-5に、衝突解析用3次元FEMモデルを図4.5.6-6に、隔壁及び船尾の船体面積を図4.5.6-7に示す。なお、甲板上のブリッジ及び船体内の機関部はモデル化をしないが、船首・船尾以外の船殻の密度を増大させることにより、船体質量として考慮し、船体質量57.0tを確保する。

表4.5.6-1 主要な船体構造寸法及び根拠

項目	値	根拠
全長(m)	24.72	対象船舶の測定結果
全幅(m)	5.20	対象船舶の測定結果
計画最大満載喫水(m)	2.20	「津波漂流物対策施設設計ガイドライン（2014）」総トン数（G.T.）20トン漁船の喫水の最大値を採用
質量(t)	57.0	「津波漂流物対策施設設計ガイドライン（2014）」漁船質量＝総トン数×3倍＝19×3＝57.0
登録長さ*1(m)	19.40	対象船舶の船舶検査手帳*4
登録幅*2(m)	4.42	対象船舶の船舶検査手帳*4
登録深さ*3(m)	1.85	対象船舶の船舶検査手帳*4

注記*1：上甲板の下面における船首材の前面から船尾材の後面までの長さ（船舶法施行細則）

*2：船体最広部におけるフレームの外間幅（船舶法施行細則）

*3：登録長の中央におけるキール（竜骨）上面から上甲板の下面に至る深さ（船舶法施行細則）

*4：日本小型船舶検査機構（JCI）が国の代行機関として実施する、総トン数20トン未満の小型船舶を対象とした、船舶検査に合格した船舶に対して交付される、船舶の長さ等が記載された手帳

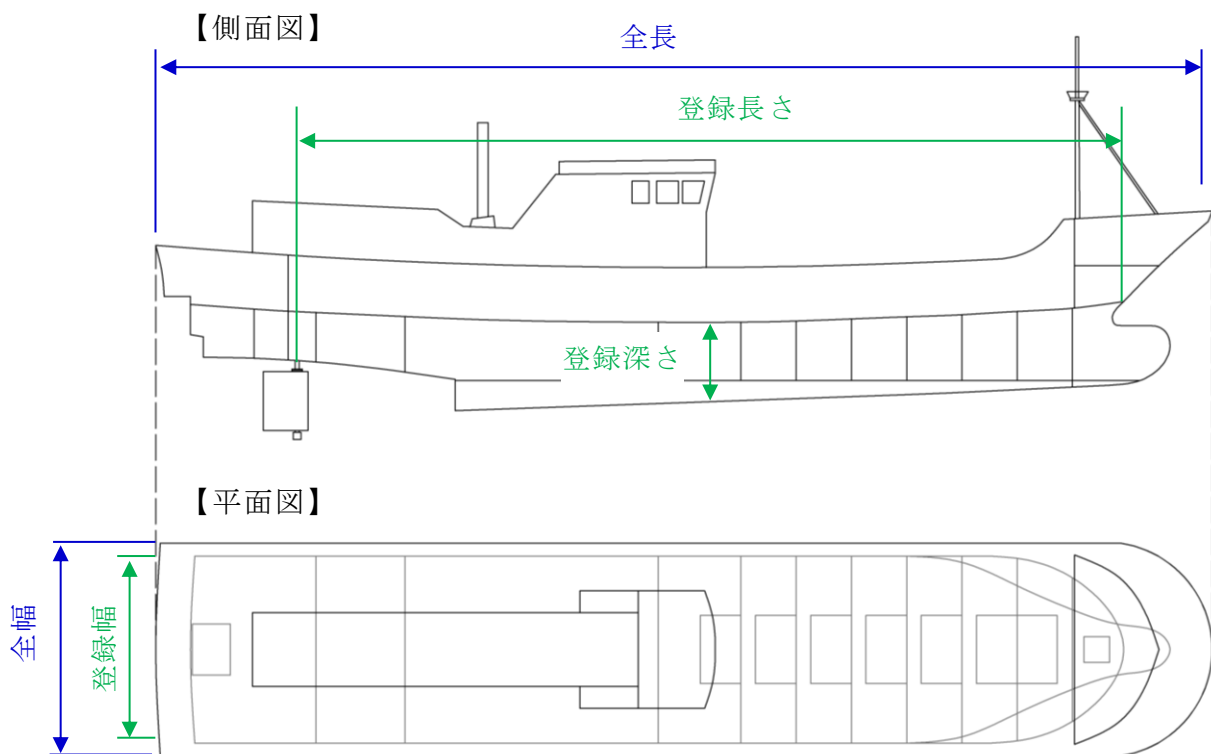
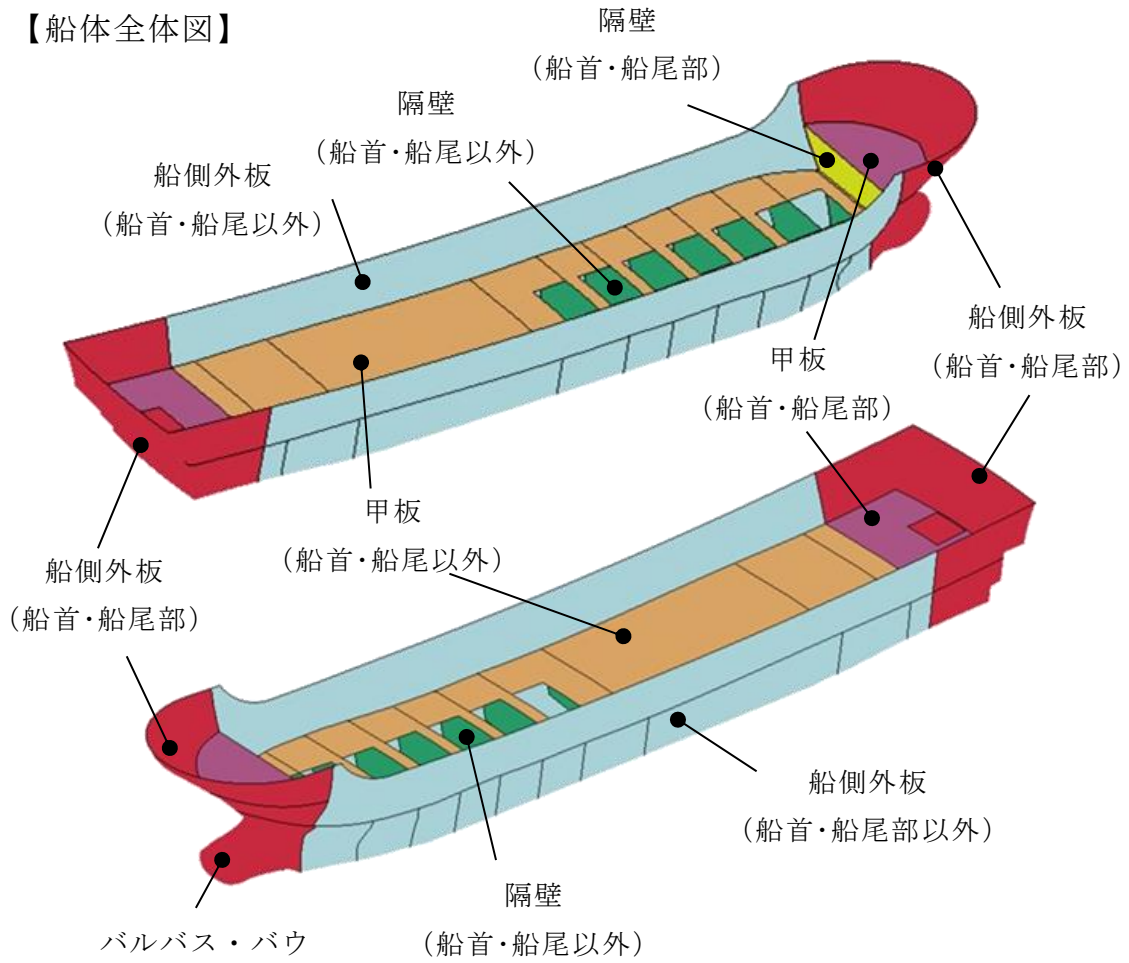
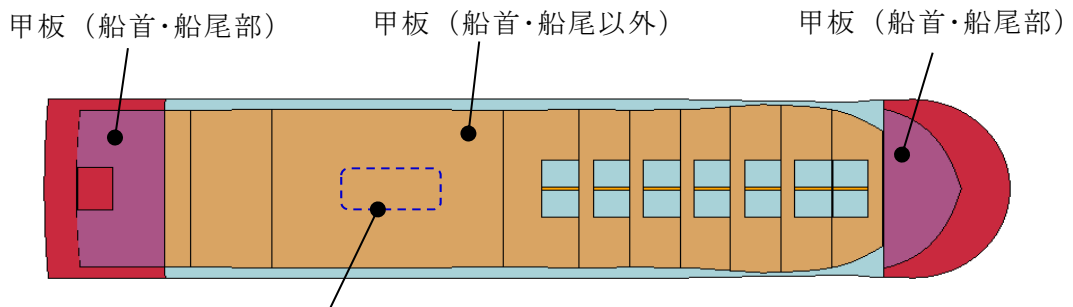


図 4.5.6-5 対象船舶の側面図及び平面図

【船体全体図】



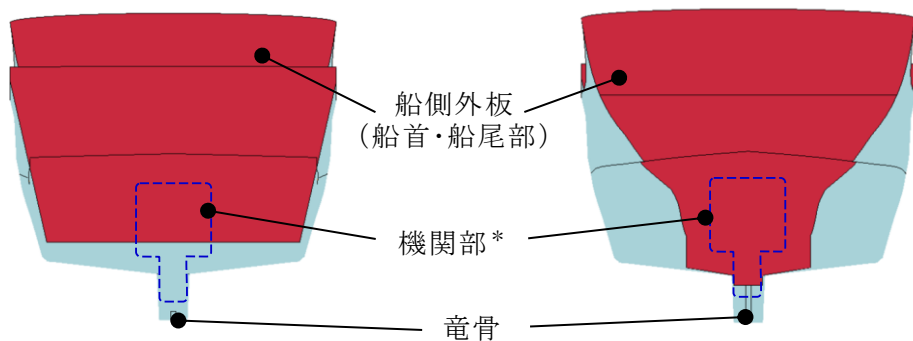
【船体平面（上面）】



機関部 (エンジン寸法:長さ≒2.7m,幅≒1.2m,高さ≒1.9m) *

【船体正面（船首）】

【船体後面（船尾）】



注記* : 概略位置を示す。

図 4.5.6-6 3次元FEMモデル

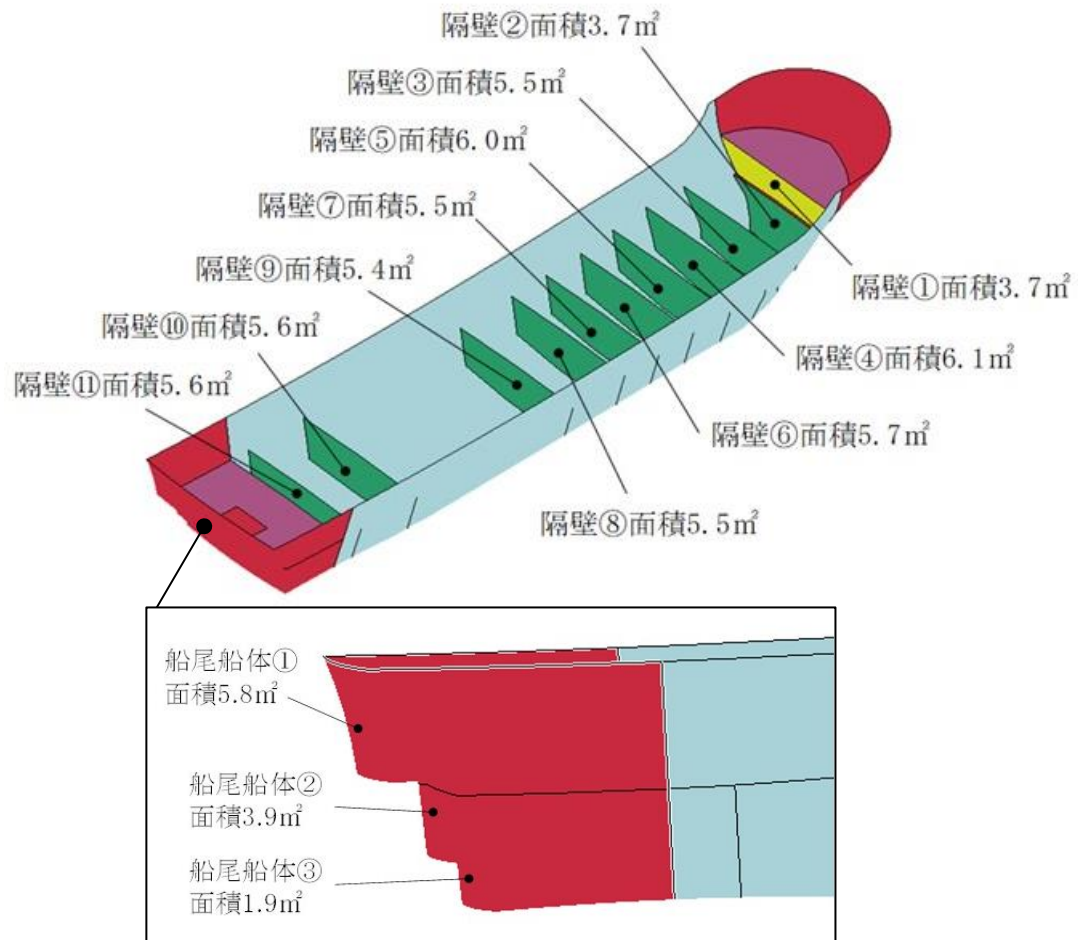


図 4.5.6-7 隔壁及び船尾の船体面積

なお、「津波漂流物対策施設設計ガイドライン（2014）」では、全漁業種類の漁船の平均値が図 4.5.6-8 のとおり示されており、総トン数 20 トンにおける船の長さ（L=17.0m）及び船の幅（B=4.3m）に対して、対象船舶（総トン数 19 トン）の登録長さ（L=19.4m）及び登録幅（B=4.42 m）は、おおむね同等であることから、対象船舶は代表性があることを確認した。

船型 (G.T.)	船の長さ (L)	船の幅 (B)	喫水	
			最大 (dmax)	最小 (dmin)
1	7.0m	1.8m	1.0m	—m
2	8.0	2.2	1.2	—
3	9.0	2.4	1.4	—
4	10.0	2.6	1.6	—
5	11.0	2.8	1.8	—
10	13.0	3.5	2.0	1.9
20	17.0	4.3	2.2	2.1
30	20.0	4.7	2.5	2.3
40	22.0	5.2	2.7	2.5
50	24.0	5.5	2.9	2.6
100	30.0	6.5	3.7	3.2
150	35.0	7.2	4.2	3.5
200	40.0	7.6	4.6	3.8
300	46.0	8.4	5.2	4.2
400	52.0	8.9	5.6	4.5
500	55.0	9.4	5.9	4.8

図 4.5.6-8 漁船の諸元
 (「津波漂流物対策施設設計ガイドライン（2014）」に一部加筆)

(b) 船体質量

船舶の3次元FEMモデルの作成に当たり、船体質量は「津波漂流物対策施設設計ガイドライン（2014）」より、総トン数19トンの3倍である57.0tとする。ただし、3次元FEMモデルを構成する船殻（船側、外板、甲板、隔壁及び竜骨）の質量は約8.7tであるため、船体質量57.0tに対する差分については密度を増大させることにより考慮する。なお、差分質量は艀装重量や漁獲物等が支配的であるため、船首・船尾以外の船殻を対象とする。

図4.5.6-9にFRP密度の増大範囲を示す。



図4.5.6-9 FRP密度の増大範囲

FRPの密度増大による影響として、衝撃力を受ける弾性体の密度が大きくなると、弾性体内の応力伝搬速度は小さくなる関係にあるため、本解析の3次元FEMモデルにおいて、FRPの密度を増大した船体中央部の応力伝搬速度は実際のFRPの応力伝搬速度より小さくなる。

後述する衝突解析結果より、船首、船尾、斜め船首及び斜め船尾からの衝突においては、まず密度を増大していない船首部又は船尾部から衝突し、船首部又は船尾部の破壊後、密度を増大している船体中央部の破壊へ進展する。各部位の破壊状況については、剛壁との接触箇所から破壊しており、密度の違いによる差異は見られない。真横からの衝突においては、他の衝突形態と比較して船体が剛壁と接触した直後に最大衝突荷重が発生していることから、応力伝搬速度による違いによる影響が見られず、他の衝突形態と同様に船体は剛壁との接触箇所から破壊しており、破壊状況においても密度の違いによる差異は見られない。

以上のことから、本解析において設定される密度増大による応力伝搬速度の差異による影響は見られない。

また、船体の破壊は剛壁との接触箇所において発生しているため、剛壁から抽出している衝突荷重に対する応力伝搬速度の影響はないと判断する。

(c) 船体板厚

船舶の3次元FEMモデルの作成に当たり、船体板厚の設定結果を表4.5.6-2及び図4.5.6-10に示す。

表 4.5.6-2 船体板厚の設定

板厚 t		引用文献等を基にした設定・算定根拠	引用文献算定値 (mm)	採用値 (mm)
船首・船尾	船側外板 隔壁 甲板	「強化プラスチック船規則(日本海事協会, 2018)」 【板厚算定式】 $t = 15 \times s \times (d + 0.026 \times L)^{1/2} \times 0.85$ s: 肋骨の心距=0.5m d: 計画最大満載喫水=2.20m L: 登録長さ=19.40m ・引用文献の算定値に対して、縦、横肋骨のモデルを省略していることから、板厚の割増しを行い12.00mmを採用	10.48	12.00
船首・船尾以外	船側外板 隔壁 甲板 竜骨	「強化プラスチック船規則(日本海事協会, 2018)」 【板厚算定式】 $t = 15 \times s \times (d + 0.026 \times L)^{1/2}$ s: 肋骨の心距=0.5m d: 計画最大満載喫水=2.20m L: 登録長さ=19.40m ・引用文献の算定値に対して、縦、横肋骨のモデルを省略していることから、板厚の割増しを行い14.00mmを採用	12.33	14.00

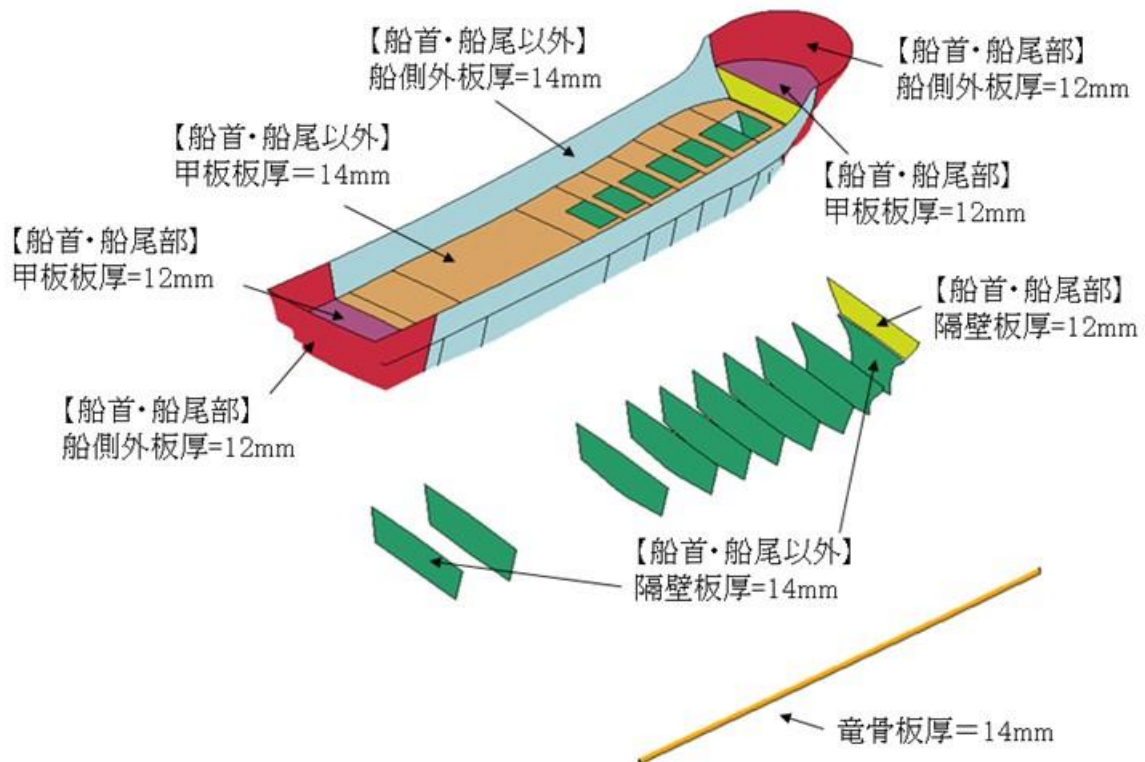


図 4.5.6-10 船体板厚の設定

(d) 材料特性

F R P の材料特性の設定に当たり、ヤング係数（曲げ剛性）、ポアソン比、曲げ強度、単位体積重量及び破壊ひずみについて、文献を基に適用性を踏まえて設定を行った（添付資料 3「島根原子力発電所における F R P 製船舶に係る衝突解析条件の妥当性」参照）。

本解析に用いる、F R P の材料特性の設定を表 4.5.6-3 に示す。

表 4.5.6-3 F R P の材料特性の設定

項目	単位	採用値	採用理由(添付資料 3 参照)
ヤング率 (曲げ剛性)	GPa	12	ヤング率(曲げ剛性)の増加に伴い船体衝突荷重も増加すると考えられるため、文献に記載の最大値を採用
ポアソン比	—	0.358	ポアソン比の増加に伴い船体衝突荷重も増加すると考えられるため、文献に記載の最大値を採用
曲げ強度	MPa	260	曲げ強度の増加に伴い船体衝突荷重も増加すると考えられるため、文献に記載の最大値を採用
単位体積重量	t/m ³	1.6	単位体積重量の増加に伴い船体衝突荷重も増加すると考えられるため、文献に記載の最大値を採用
破壊ひずみ	%	5 完全弾塑性材料	破壊ひずみ: 文献より最大で3%程度になると考えられるが、破壊ひずみの増加に伴い、船体衝突荷重も増加すると考えられるため、安全側に5%を採用 応力-ひずみ関係: 文献よりおおむね弾性材料としての破壊挙動となると考えられるが、塑性を考慮することで船体衝突荷重が増加すると考えられるため完全弾塑性材料として取り扱う

本解析における F R P の構成則（応力-ひずみ関係）としては、表 4.5.6-3 に示すとおり、曲げ強度到達後もひずみが増加する完全弾塑性材料とし、破壊ひずみに到達した後にシェル要素を削除する設定とした。F R P 材料の応力-ひずみ関係を図 4.5.6-11 に示す。

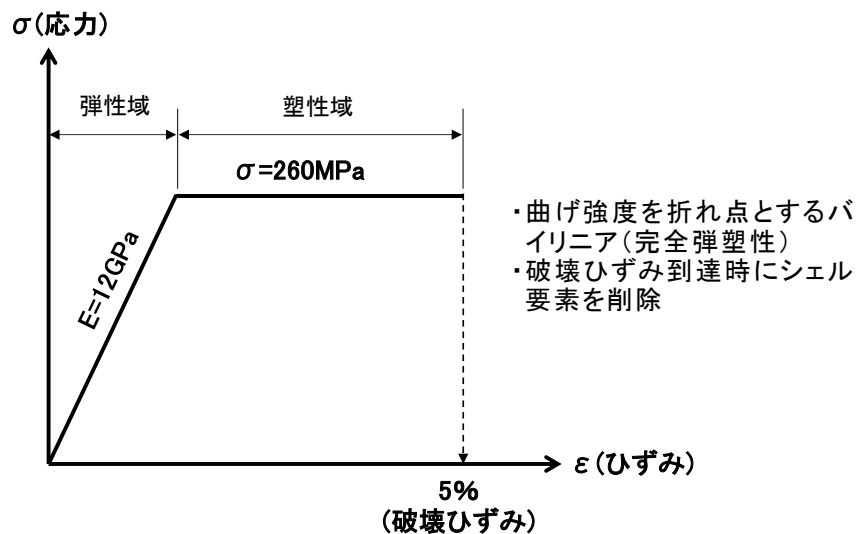


図 4.5.6-11 応力-ひずみ関係

(e) 被衝突物

被衝突物は、鉄筋コンクリート造又は鋼製であり、衝突に伴う変形及び移動により衝突エネルギーを吸収することが考えられるが、安全側に変形及び移動をしない剛壁とする。剛壁の材質はコンクリートとし、コンクリートと船体間の摩擦係数については、「港湾の施設の技術上の基準・同解説（国土交通省港湾局，2007年版）」より、コンクリート同士の摩擦係数である 0.50 を採用した。

被衝突物の材料特性を表 4.5.6-4 に示す。

表 4.5.6-4 被衝突物の材料特性

被衝突物	材質	コンクリート
	要素	シェル要素
	ヤング率【GPa】	25
	ポアソン比	0.2
	密度【t/m ³ 】	2.45
摩擦係数		0.50

d. 解析ケース

解析ケースの選定にあたり、船舶の衝突形態について整理を行う。船舶は長軸と短軸が明瞭ではあるが、漂流物となって来襲する際に、回転の影響を受けて複雑な挙動となる可能性がある。既往の文献として、「構造物の衝撃挙動と設計法（(社)土木学会, 1994）」（以下「土木学会（1994）」という。）と「津波漂流物対策施設設計ガイドライン（2014）」に以下の記載がある。

「土木学会（1994）」によれば、実験の結果から、漂流船の衝突は図 4.5.6-12 に示すような衝突形態が想定されるとしており、「航路直角面への正面衝突は、海洋構造物近傍の潮流の Shear-flow による船体の漂流方向の変更、並びに風による船体の横向き漂流現象によりあまりあり得ない。」とし、「一番頻度の高い衝突形態は、海洋構造物の隅角部への船首、船側及び船尾の衝突である。」としている。

「津波漂流物対策施設設計ガイドライン（2014）」によれば、「土木学会（1994）」と同じ衝突形態の図（図 4.5.6-12 と同じ）を示しており、衝突形態③は船の回転によりエネルギーが消費されるため、衝突形態①の半分の衝突エネルギーであるとし、衝突形態②は衝突形態①又は衝突形態③と同じ衝突エネルギーであるとしている。

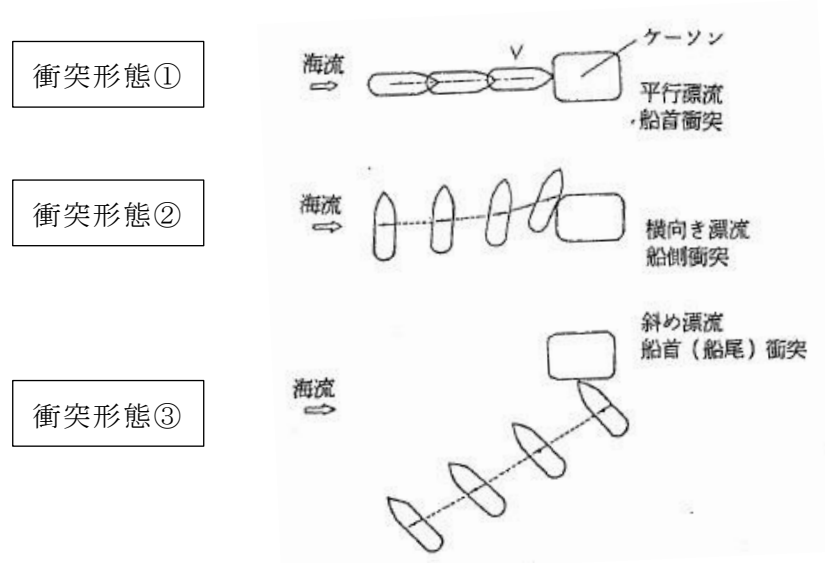


図 4.5.6-12 漂流による衝突形態（「土木学会（1994）」に一部加筆）

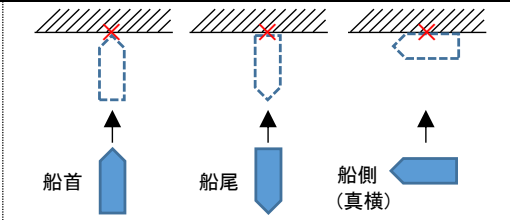
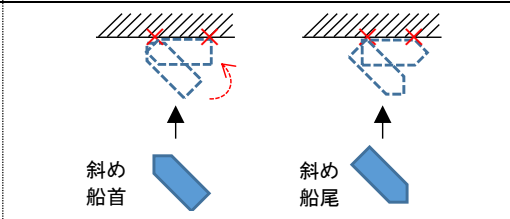
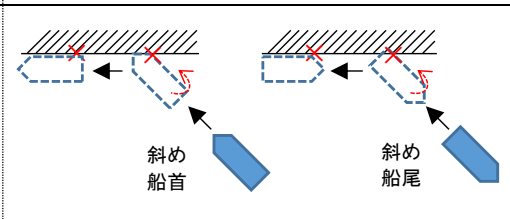
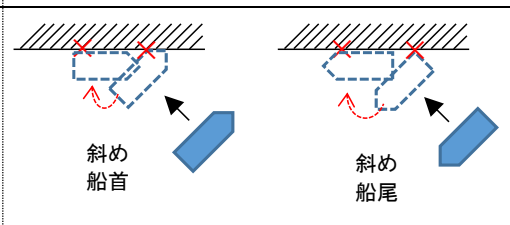
「土木学会(1994)」及び「津波漂流物対策施設設計ガイドライン(2014)」で示されている衝突形態の被衝突物は海中に孤立した構造物（流れが構造物に堰き止められない）を想定している。一方、被衝突物である評価対象構造物（以下「施設」という。）は、来襲する津波を堰き止める壁状の構造物として設置されていることから、来襲した津波は跳ね返され、その反射波の影響により漂流速度は減速するが、本検討においては、安全側に衝突速度が減速しないと仮定し、衝突速度は「4.5.5(3)漂流物による衝突荷重算定用の流速」より、10.0m/sとする。

船舶の平面方向の傾き（ヨーイング）による衝突形態の整理結果を表4.5.6-5に示す。施設に津波が直角方向に来襲し、船舶の衝突向きが船体の中心軸である長軸又は短軸に対して、直角方向に衝突するパターンA（船首、船尾及び船側（真横））では、施設に対して船体1箇所での衝突が生じるが、斜め方向から衝突するパターンB（斜め船首及び斜め船尾）では、船体の2箇所以上で衝突が生じ、衝突荷重が分散される。そのため、パターンBの衝突荷重は、パターンAの船体1箇所での衝突するケースに包絡される事象であると考えられる。また、施設に津波が斜め方向に来襲し、船舶の衝突向きが船体の中心軸である長軸又は短軸に対して、斜め方向に衝突するパターンC及びD（斜め船首及び斜め船尾）においても、船体の2箇所以上で衝突が生じるため、衝突荷重が分散され、パターンAの衝突荷重に包絡される事象であると考えられる。ただし、パターンCについては、局所的な衝突荷重が生じる可能性がある、津波の来襲方向と衝突向きが船体の長軸方向と同方向となるため、その影響について確認する。なお、「池野ら(2015)」*では木材（丸太）の気中衝突実験を行っており、縦衝突に対して斜め衝突にした場合に衝突力は減少することが示されており、特に衝突角度20度を超えた場合には最大で半分程度の衝突力になることが示されている。

上記の結果より、船舶の平面方向における衝突形態の不確かさによる衝突荷重の影響を確認するため、パターンAの船首、船尾及び真横からの衝突ケースに加えて、パターンCの斜め船首及び斜め船尾からの衝突ケースを加えた5ケースについて衝突解析を実施する。

注記*：池野正明・高島大輔・木原直人・甲斐田秀樹・宮川義範・柴山淳（2015）
津波・氾濫流水路を用いた流木衝突実験と衝突力推定式の改良，土木学会論文集B2, Vol.71, No.2, pp. I_1021-I_1026

表 4.5.6-5 船舶の平面方向の傾きによる衝突形態の整理

	衝突パターン	津波の 来襲方向	船舶の 衝突向き	衝突形態の特徴
A	 <p>船首 船尾 船側 (真横)</p>	<p>被衝突物となる施設に対して直方向から津波が来襲。</p>	<p>津波の来襲方向と同じで船首、船尾及び船側から衝突。</p>	<p>施設に対して船首、船尾及び船側が直角に1箇所衝突する。</p>
B	 <p>斜め船首 斜め船尾</p>	<p>被衝突物となる施設に対して直方向から津波が来襲。</p>	<p>被衝突物付近で衝突した後、逆側の船尾(船首)側も衝突するため、2箇所以上で衝突が生じる。</p>	<p>船首(又は船尾)付近で衝突した後、逆側の船尾(船首)側も衝突するため、2箇所以上で衝突が生じる。</p>
C	 <p>斜め船首 斜め船尾</p>	<p>被衝突物となる施設に対して斜め方向から津波が来襲。</p>	<p>津波の来襲方向と同じで船首及び船尾から衝突。</p>	<p>船首(又は船尾)付近で衝突した後、逆側の船尾(船首)側も衝突するため、2箇所以上で衝突が生じる。</p>
D	 <p>斜め船首 斜め船尾</p>	<p>被衝突物となる施設に対して斜め方向から津波が来襲。</p>	<p>津波の来襲方向と同じで船首側から衝突。</p>	<p>船首(又は船尾)付近で衝突した後、逆側の船尾(船首)側も衝突するため、2箇所以上で衝突が生じる。</p>

次に、船舶の鉛直断面方向の傾き（ピッチング及びローリング）による衝突荷重への影響について、図 4.5.6-13 に示す。衝突パターンB、C及びDと同様に、船舶の重心位置と衝突位置の関係から、衝突後に船体が上下に回転することにより、剛壁に対して船体が2箇所以上で衝突し、衝突荷重が分散される。

よって、衝突荷重を安全側に算定するため、船舶の鉛直断面方向の傾きについては、船舶の重心位置と衝突位置が水平となるよう設定する。

なお、津波により船体に傾く力が作用した場合、船体は元の直立状態に戻ろうとする復原力が作用することから、船体が大きく傾いた状態で直接剛壁に衝突する衝突形態は生じないものと判断した。

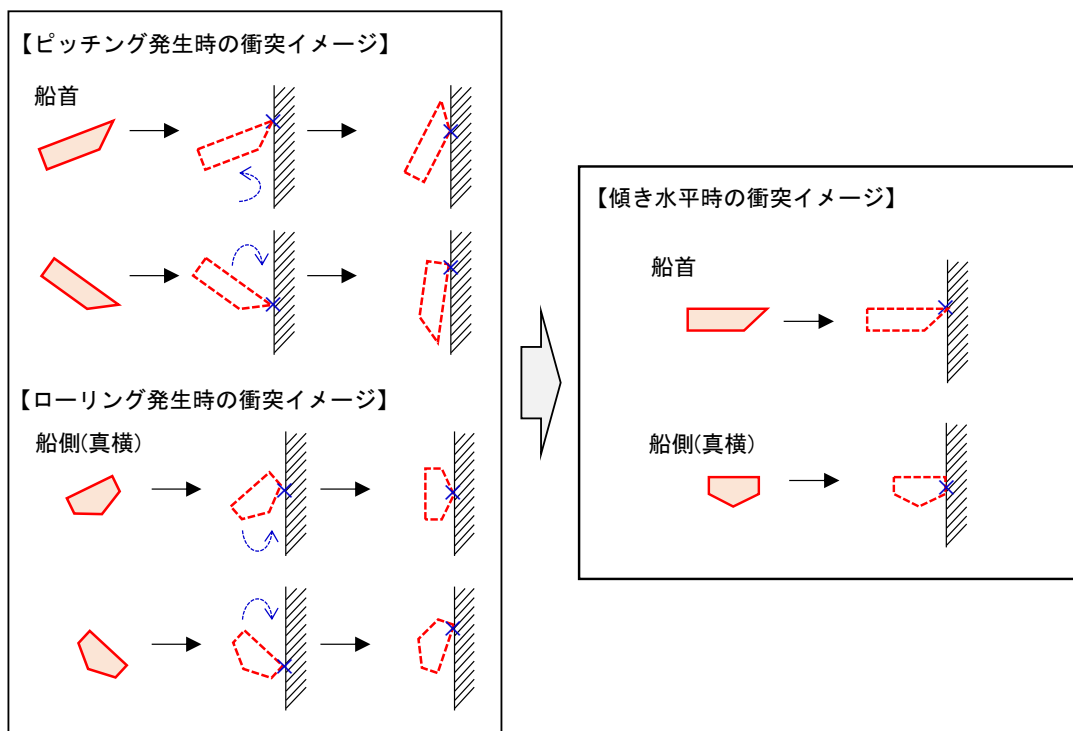


図 4.5.6-13 鉛直断面方向の傾きに対する衝突イメージ

衝突形態と解析ケース一覧を表 4.5.6-6 に、衝突解析の解析ケースと衝突イメージを図 4.5.6-14 に示す。

表 4.5.6-6 衝突形態と解析ケース一覧

ケース	衝突形態	流速
①	船首衝突	10.0m/s
②	船尾衝突	
③	真横衝突	
④	斜め船首衝突	
⑤	斜め船尾衝突	

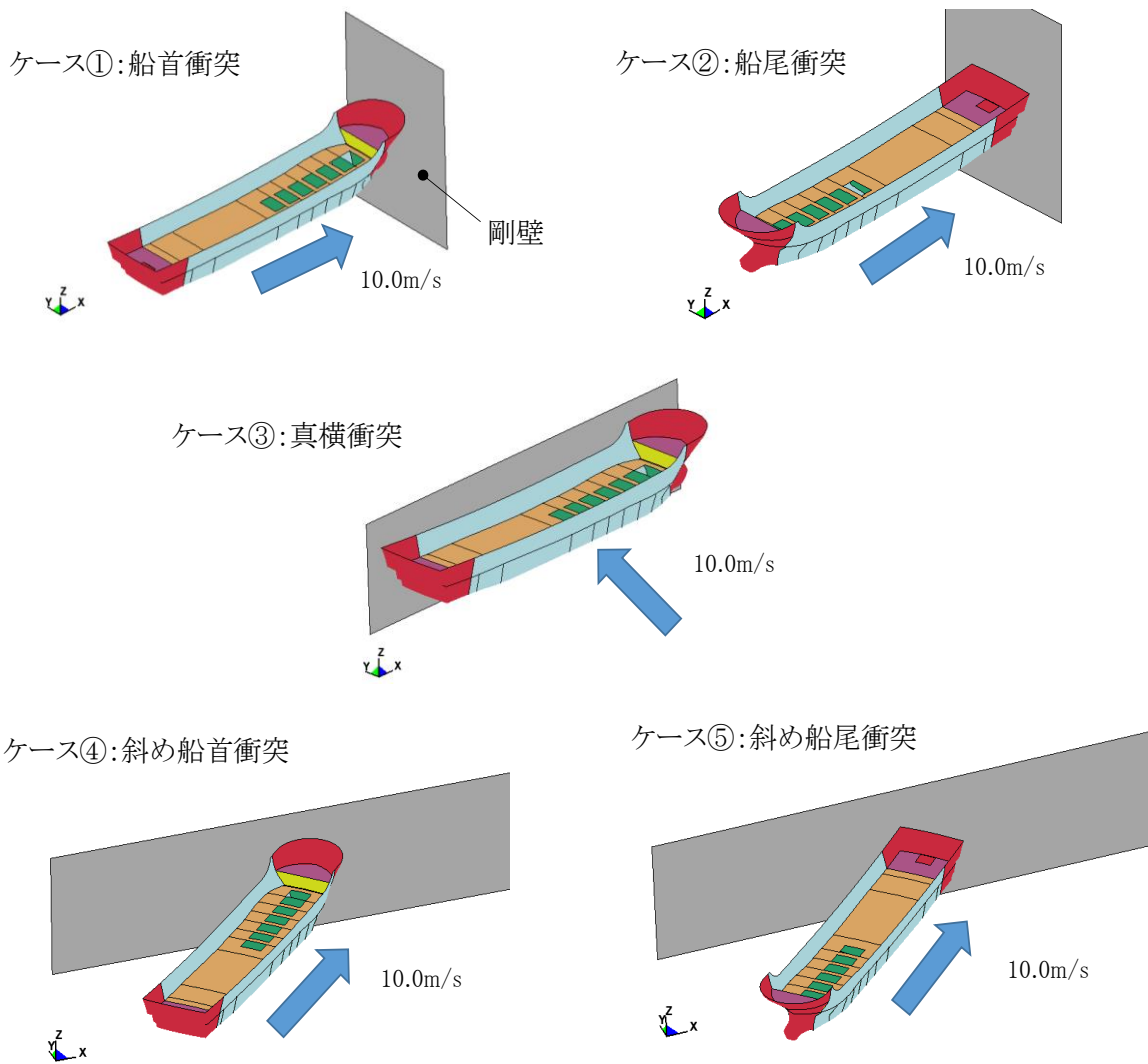


図 4.5.6-14 衝突解析の解析ケースと衝突イメージ

e. 解析結果

船舶（総トン数 19 トン）の衝突解析において，船舶が剛壁全体に作用する衝突荷重（総衝突荷重）を抽出する。また，局所的な衝突荷重の確認に当たっては，施設評価における衝突荷重の載荷方法を踏まえて，単位幅となる剛壁 1 m 当たりに作用する衝突荷重を抽出する。

(a) ケース①（船首衝突）

ケース①（船首衝突）の解析結果のまとめを以下に示す。図 4.5.6-15 に衝突状況, 図 4.5.6-16 に各剛壁の衝突荷重を集計した時刻歴, 図 4.5.6-17 に剛壁 1 m 当たりの衝突荷重の時刻歴, 図 4.5.6-18 に剛壁 1 m 当たりの最大衝突荷重発生時刻における衝突荷重分布, 表 4.5.6-7 に衝突荷重のまとめを示す。

- ・図 4.5.6-15 より, 船舶が剛壁に衝突することで, 船首から隔壁③まで破壊することを確認した。また, 機関部（エンジン）が剛壁へ衝突していないことから, 機関部の影響がないことを確認した。
- ・図 4.5.6-16 より, 各剛壁（剛壁番号①～⑥）の衝突荷重を集計し, 衝突後 0.37 秒（隔壁①, ②衝突時）で最大となる 3,078kN となることを確認した。
- ・最大衝突荷重 3,078kN が発生する衝突後 0.37 秒において, 残存質量として約 99.6%であることから, 衝突時の船体破壊に伴う質量低下による衝突荷重への影響は軽微と判断する。
- ・衝突荷重の作用時間は 1.20 秒となることを確認した。
- ・図 4.5.6-17 より, 剛壁 1 m 当たりに作用する衝突荷重は, 船首の破壊に伴い大きくなり, 剛壁番号③において衝突後 0.37 秒（隔壁①, ②衝突時）で最大となる衝突荷重 1,107kN が作用することを確認した。船首は複雑な形状をしていることから, 剛壁の配置によって剛壁 1 m 当たりに作用する衝突荷重が変わる可能性があるが, 剛壁の配置による最大衝突荷重の影響がないことを確認した（添付資料 10「剛壁配置による衝突荷重への影響確認」参照）。
- ・図 4.5.6-18 より, 剛壁 1 m 当たりの最大衝突荷重発生時刻における衝突荷重は分布的に作用していることを確認した。また, ケース①（船首衝突）の最大平均衝突荷重（剛壁荷重作用幅 6 m で除した等分布荷重）は, 衝突後 0.37 秒で 513kN/m となり, 剛壁番号③, ④において衝突荷重の平均値を上回る荷重が発生することを確認した。船舶の形状が左右対称であることに対して, 衝突荷重が左右非対称となっている要因について, 添付資料 11「衝突荷重の非対称性に関する確認」に示す。

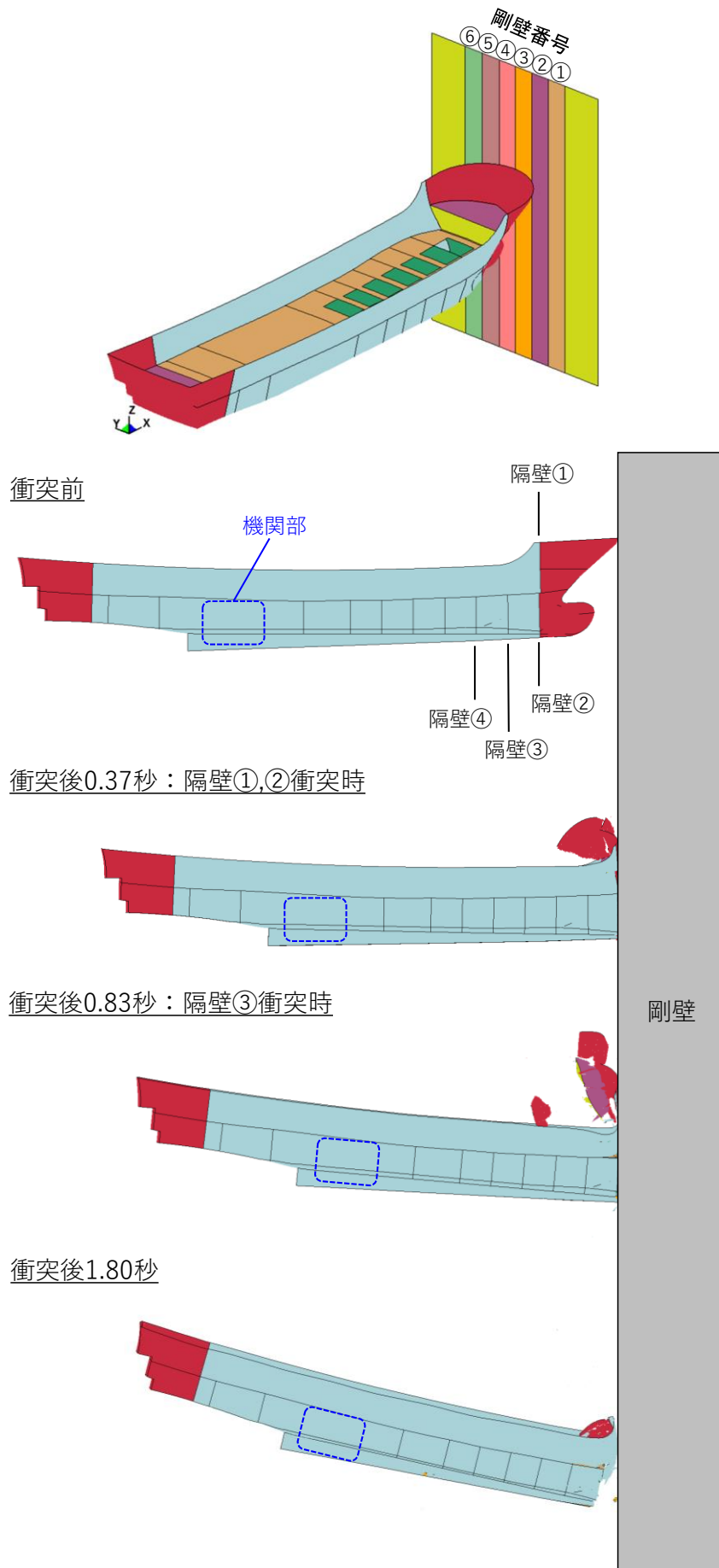


图 4.5.6-15 衝突狀況

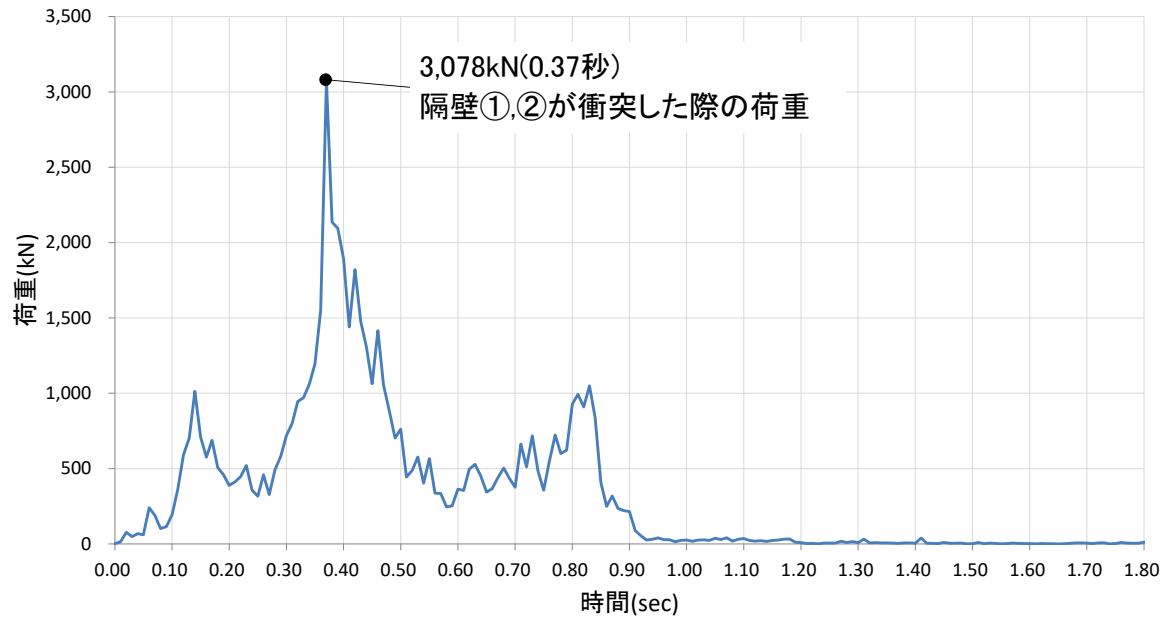
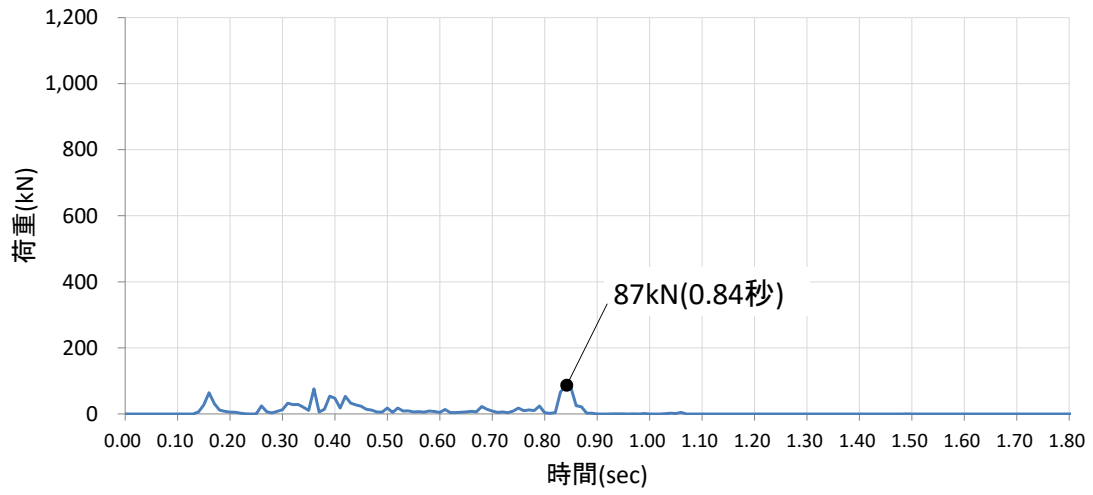
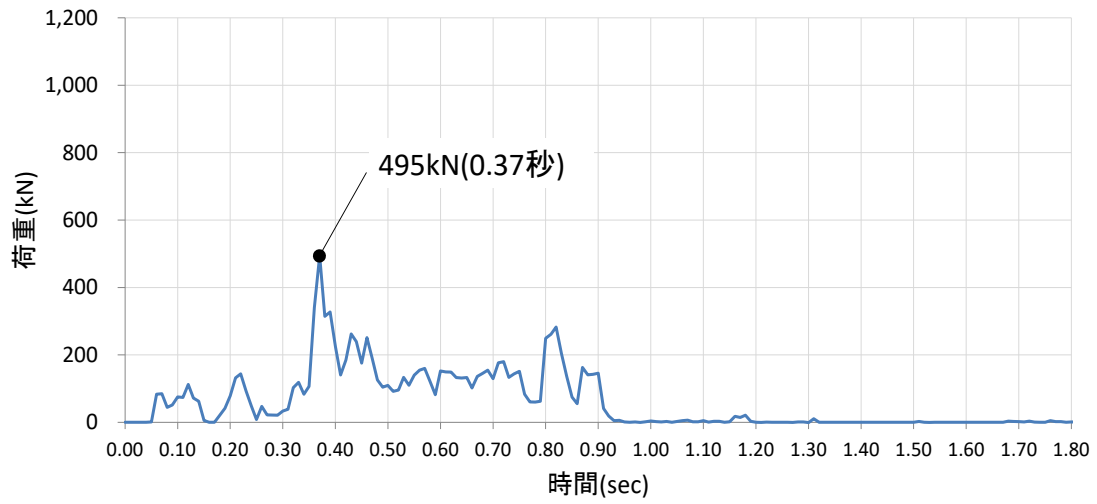


図 4.5.6-16 各剛壁の衝突荷重を集計した時刻歴

剛壁番号①



剛壁番号②



剛壁番号③

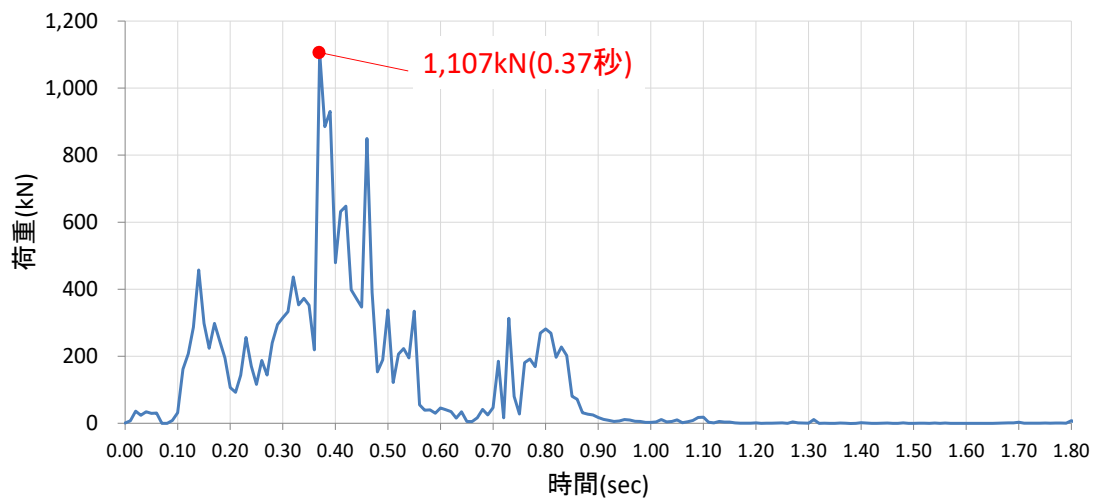
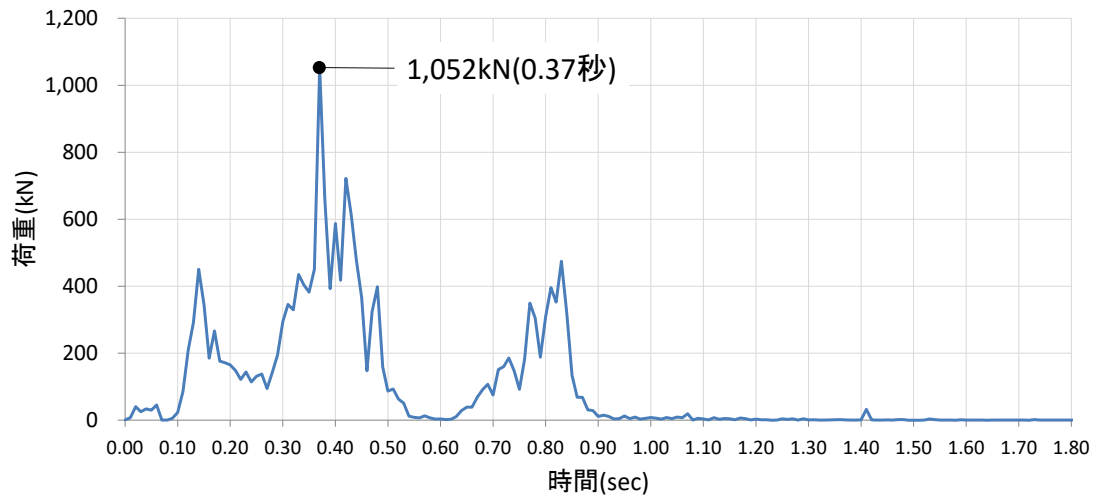
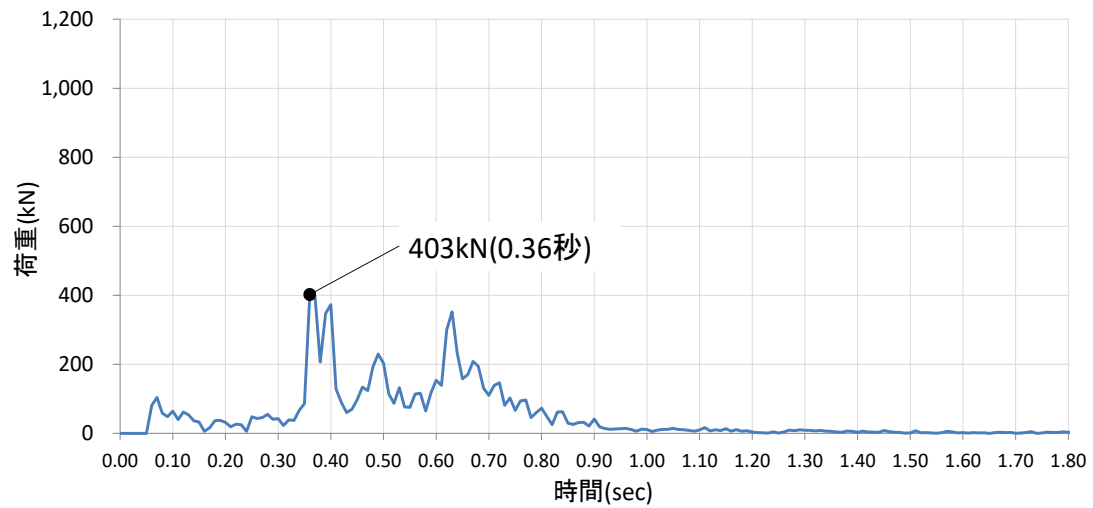


図 4.5.6-17 (1) 剛壁 1 m 当たりの衝突荷重の時刻歴

剛壁番号④



剛壁番号⑤



剛壁番号⑥

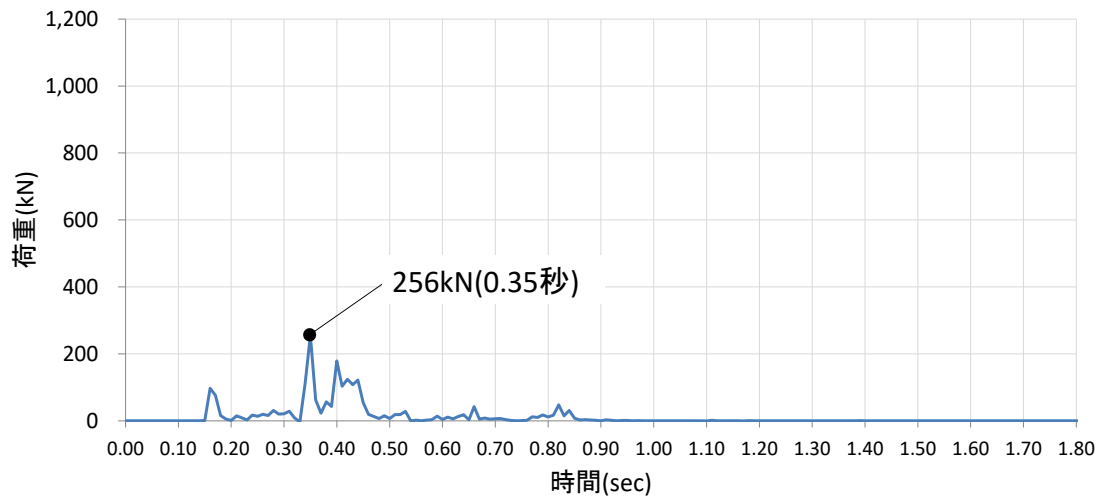


図 4.5.6-17 (2) 剛壁 1 m 当たりの衝突荷重の時刻歴

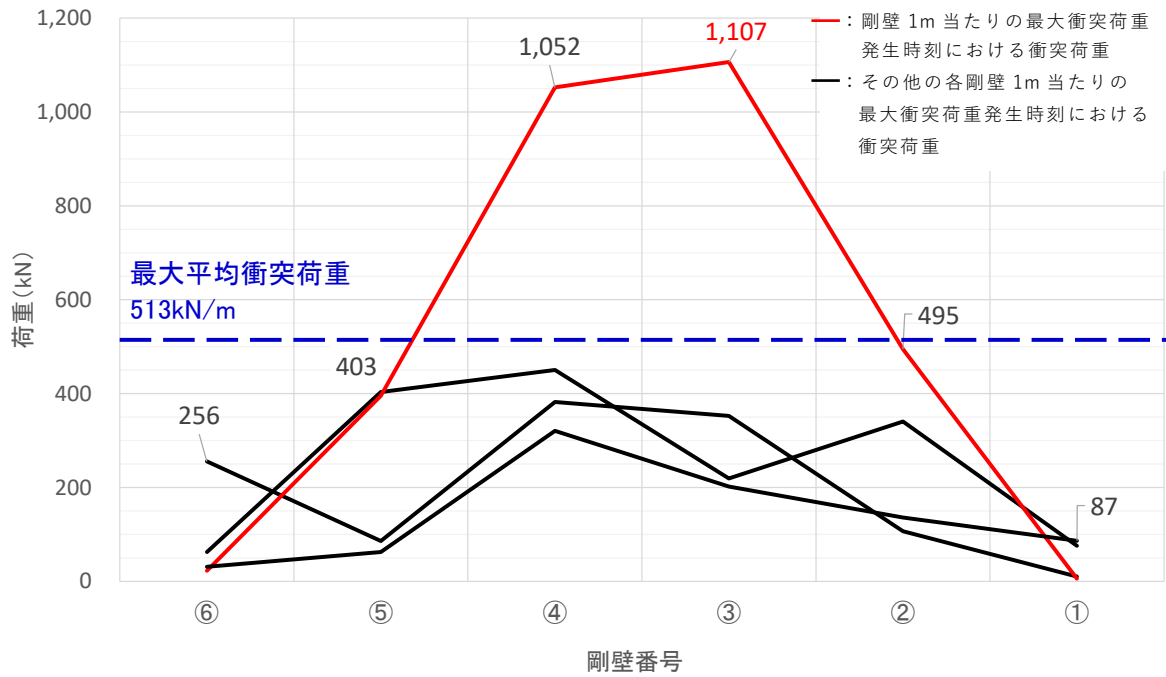


図 4.5.6-18 剛壁 1 m 当たりの最大衝突荷重発生時刻における衝突荷重分布

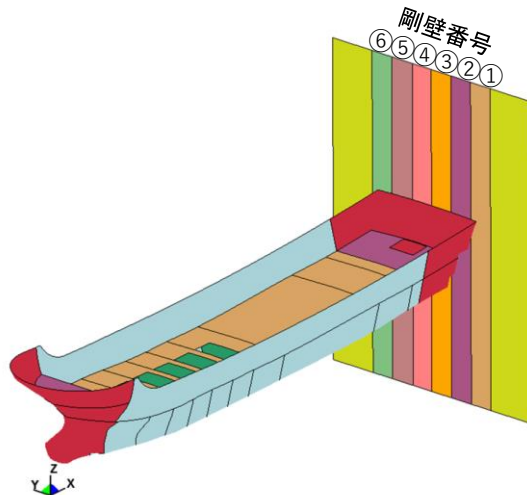
表 4.5.6-7 衝突荷重のまとめ

衝突荷重の集計値 (kN) 【時刻 (秒)】	剛壁 1 m 当たりの 最大衝突荷重 (kN) 【時刻 (秒)】
3,078 【0.37】	1,107 【0.37】

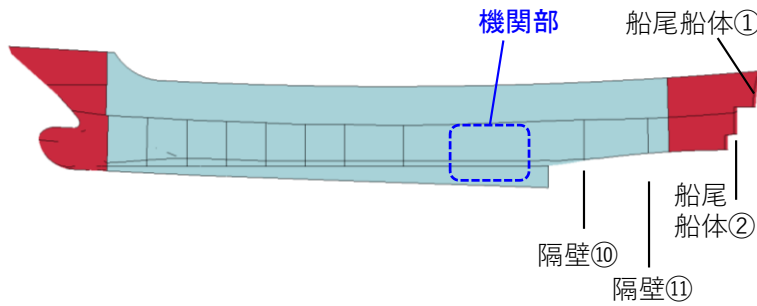
(b) ケース②（船尾衝突）

ケース②（船尾衝突）の解析結果のまとめを以下に示す。図 4.5.6-19 に衝突状況, 図 4.5.6-20 に各剛壁の衝突荷重を集計した時刻歴, 図 4.5.6-21 に剛壁 1 m 当たりの衝突荷重の時刻歴, 図 4.5.6-22 に剛壁 1 m 当たりの最大衝突荷重発生時刻における衝突荷重分布, 表 4.5.6-8 に衝突荷重のまとめを示す。

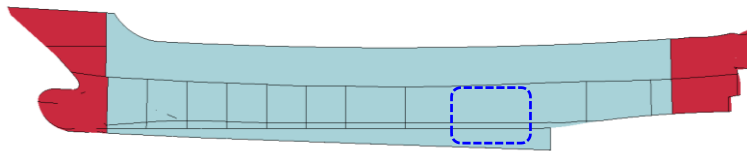
- ・図 4.5.6-19 より, 船舶が剛壁に衝突することで, 船尾から隔壁⑩付近まで破壊することを確認した。また, 機関部（エンジン）が剛壁へ衝突していないことから, 機関部の影響がないことを確認した。
- ・図 4.5.6-20 より, 各剛壁（剛壁番号①～⑥）の衝突荷重を集計し, 衝突後 0.48 秒（隔壁⑩衝突時）で最大となる 3,019kN となることを確認した。
- ・最大衝突荷重 3,019kN が発生する衝突後 0.48 秒において, 残存質量として約 98.8% であることから, 衝突時の船体破壊に伴う質量低下による衝突荷重への影響は軽微と判断する。
- ・衝突荷重の作用時間は 1.57 秒となることを確認した。
- ・図 4.5.6-21 より, 剛壁 1 m 当たりに作用する衝突荷重は, 船尾の破壊に伴い大きくなり, 剛壁番号②において衝突後 0.48 秒（隔壁⑩衝突時）で最大となる衝突荷重 937kN が作用することを確認した。なお, ケース①（船首衝突）の最大衝突荷重（3,078kN）と比較して, 作用する衝突荷重が小さくなることを確認した。
- ・図 4.5.6-22 より, 剛壁 1 m 当たりの最大衝突荷重発生時刻における衝突荷重は分布的に作用していることを確認した。また, ケース②（船尾衝突）の最大平均衝突荷重（剛壁荷重作用幅 6 m で除した等分布荷重）は, 衝突後 0.48 秒で 503kN/m となり, 剛壁番号①, ②, ④～⑥において衝突荷重の平均値を上回る荷重が発生することを確認した。



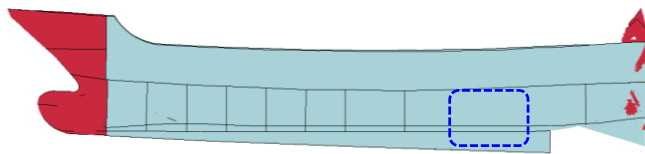
衝突前



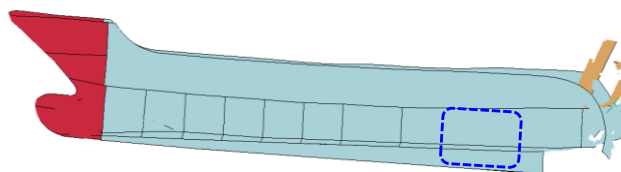
衝突後0.03秒：船尾船体①衝突時



衝突後0.48秒：隔壁⑪衝突時



衝突後1.80秒



剛壁

图 4.5.6-19 衝突状况

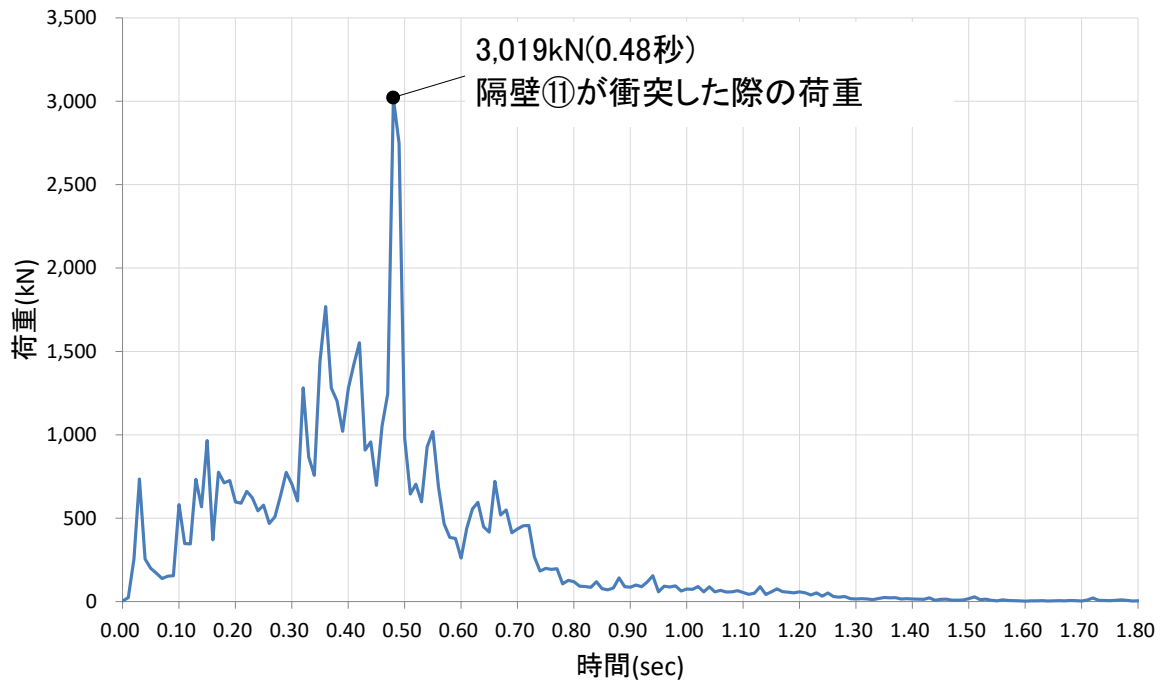
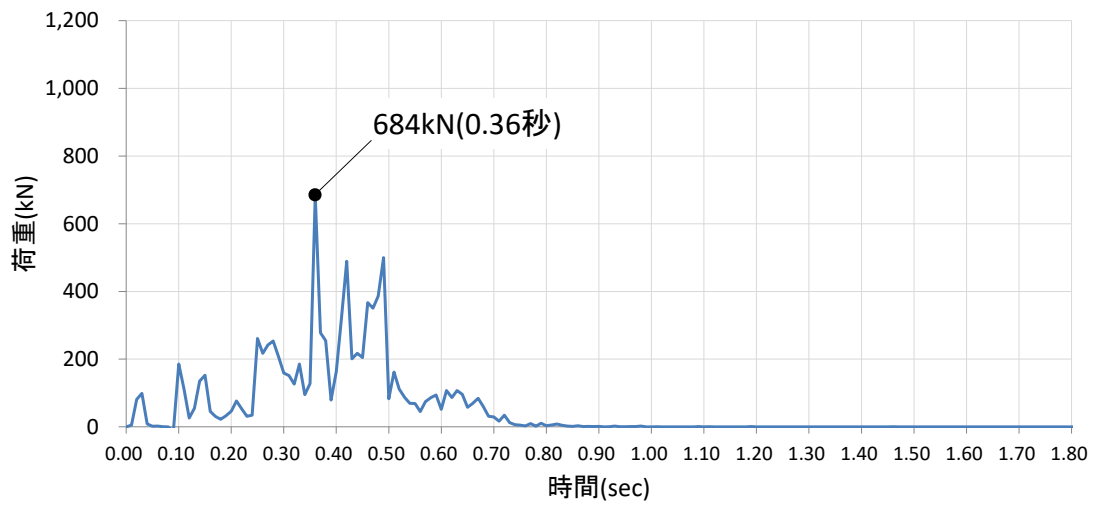
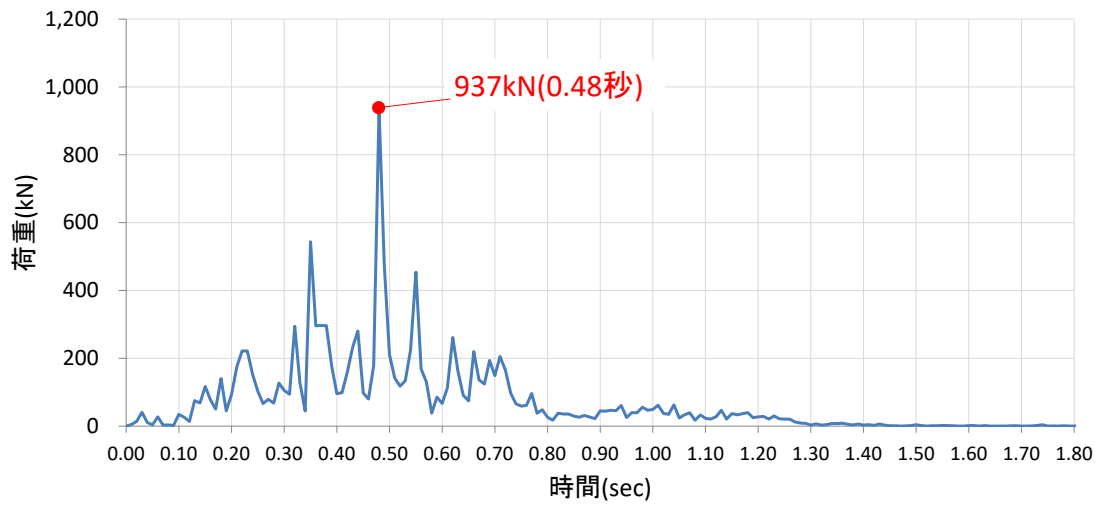


図 4.5.6-20 各剛壁の衝突荷重を集計した時刻歴

剛壁番号①



剛壁番号②



剛壁番号③

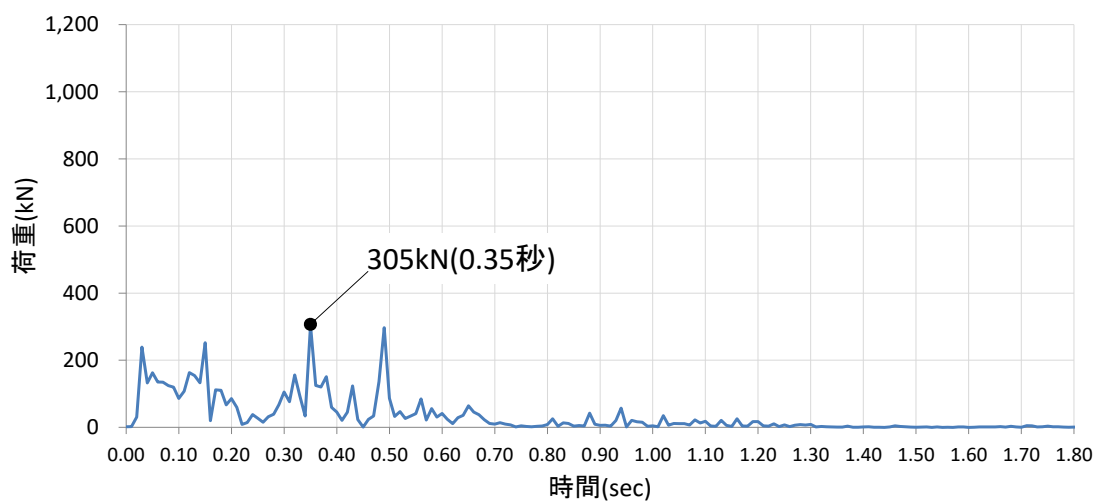
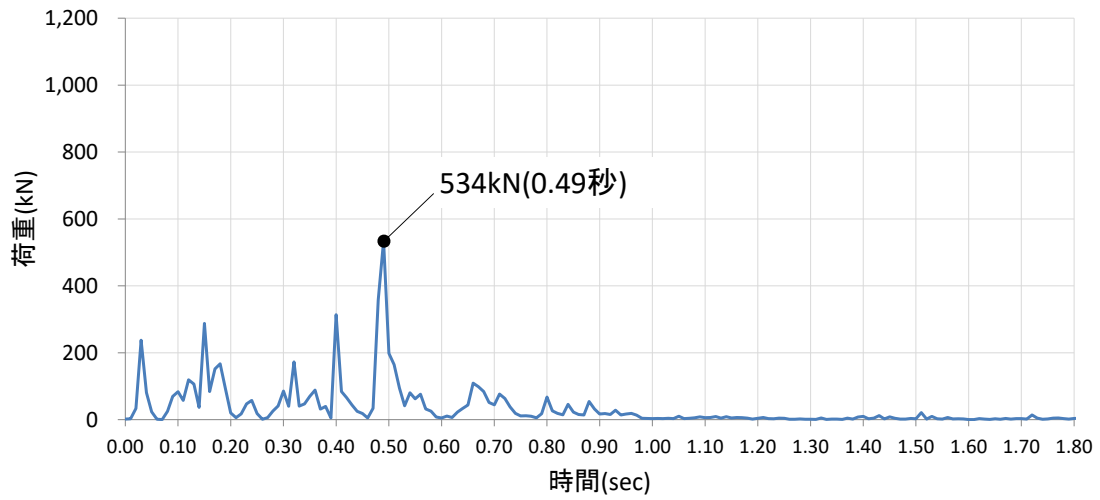
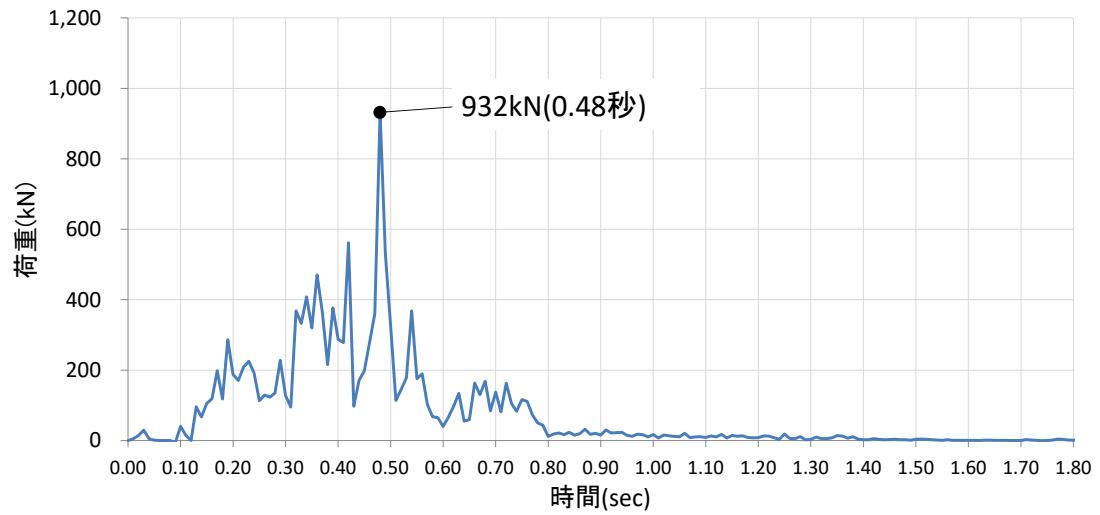


図 4.5.6-21 (1) 剛壁 1 m 当たりの衝突荷重の時刻歴

剛壁番号④



剛壁番号⑤



剛壁番号⑥

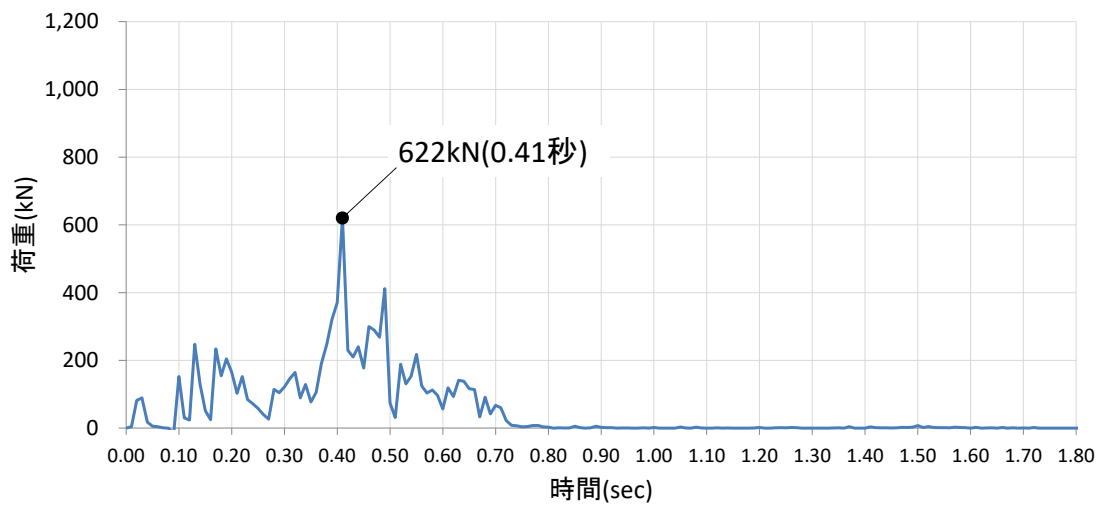


図 4.5.6-21 (2) 剛壁 1 m 当たりの衝突荷重の時刻歴

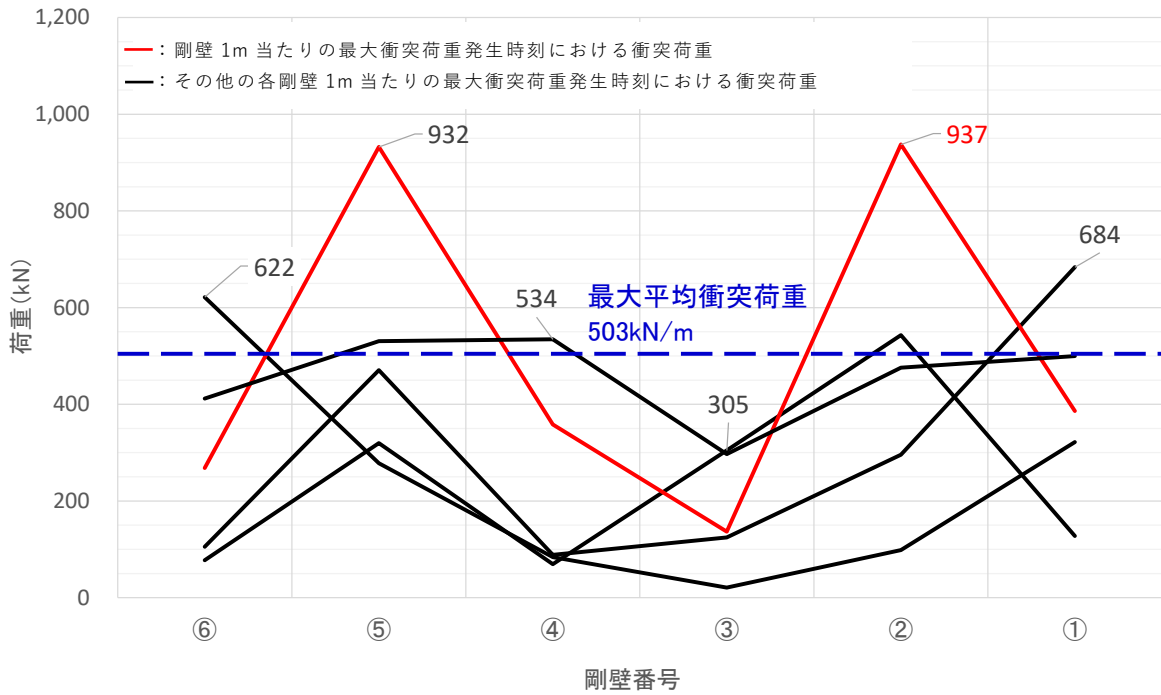


図 4.5.6-22 剛壁 1 m 当たりの最大衝突荷重発生時刻における衝突荷重分布

表 4.5.6-8 衝突荷重のまとめ

衝突荷重の集計値 (kN) 【時刻 (秒)】	剛壁 1 m 当たりの 最大衝突荷重 (kN) 【時刻 (秒)】
3,019 【0.48】	937 【0.48】

(c) ケース③（真横衝突）

ケース③（真横衝突）の解析結果のまとめを以下に示す。図 4.5.6-23 に衝突状況, 図 4.5.6-24 に各剛壁の衝突荷重を集計した時刻歴, 図 4.5.6-25 に剛壁 1 m 当たりの衝突荷重の時刻歴, 図 4.5.6-26 に剛壁 1 m 当たりの最大衝突荷重発生時刻における衝突荷重分布, 表 4.5.6-9 に衝突荷重のまとめを示す。

- ・図 4.5.6-23 より, 機関部（エンジン）が剛壁へ衝突していないことから, 機関部の影響がないことを確認した。
- ・図 4.5.6-24 より, 各剛壁（剛壁番号①～⑮）の衝突荷重を集計した場合においては, 衝突後 0.03 秒（船側①衝突時）で最大となる 7,395kN となることを確認した。
- ・最大衝突荷重 7,395kN が発生する衝突後 0.03 秒において, 残存質量として約 99.9% であることから, 衝突時の船体破壊に伴う質量低下による衝突荷重への影響は軽微と判断する。
- ・衝突荷重の作用時間は 0.71 秒となり, ケース①（船首衝突）及びケース②（船尾衝突）と比較して, 衝突荷重の作用時間が短いことを確認した。
- ・図 4.5.6-25 より, 剛壁 1 m 当たりに作用する衝突荷重は, 船体側面の破壊に伴い大きくなり, 剛壁番号⑧において衝突後 0.10 秒で最大となる衝突荷重 736kN が作用することを確認した。なお, ケース③（真横衝突）は船長さ方向の衝突形態となるため, ケース①（船首衝突）及びケース②（船尾衝突）と比較して, 最大衝突荷重は小さくなっているが, 剛壁延長方向に対する衝突荷重の作用幅が長くなることを確認した。
- ・図 4.5.6-26 より, 剛壁 1 m 当たりの最大衝突荷重発生時刻における衝突荷重は, ケース①（船首衝突）及びケース②（船尾衝突）と比較して, より分布的に作用していることを確認した。また, ケース③（真横衝突）の最大平均衝突荷重（剛壁荷重作用幅 24m で除した等分布荷重）は, 衝突後 0.03 秒で 308kN/m となり, 剛壁番号④～⑳, ㉒, ㉔, ㉕において衝突荷重の平均値を上回る荷重が発生することを確認した。

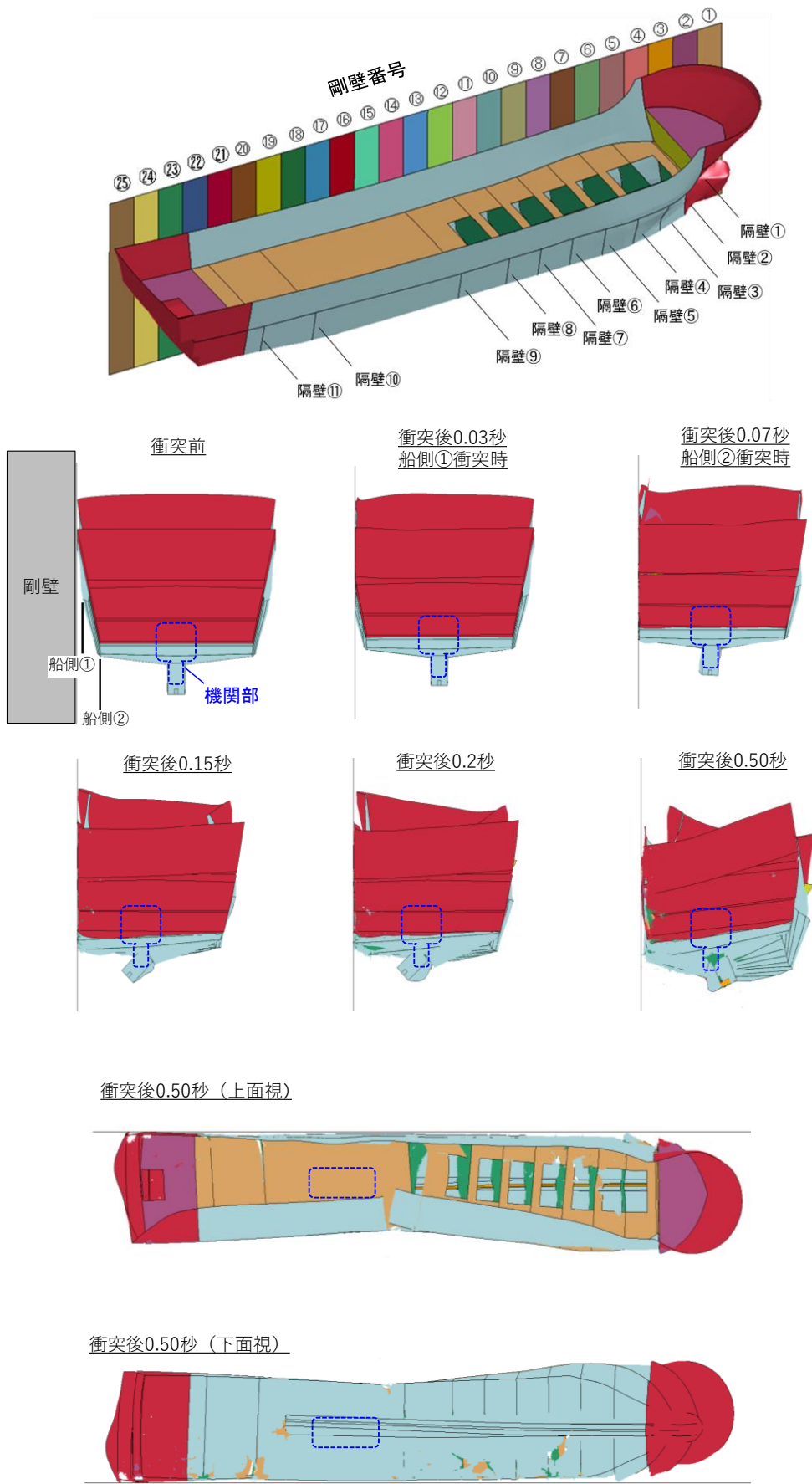


图 4.5.6-23 衝突状况

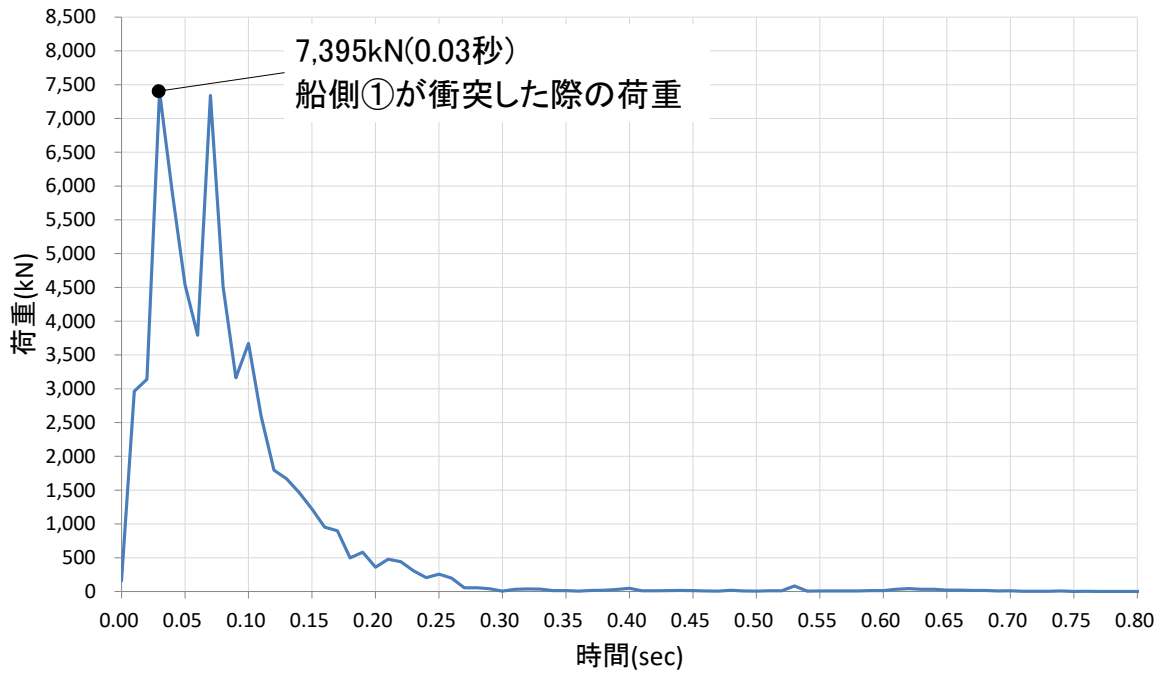
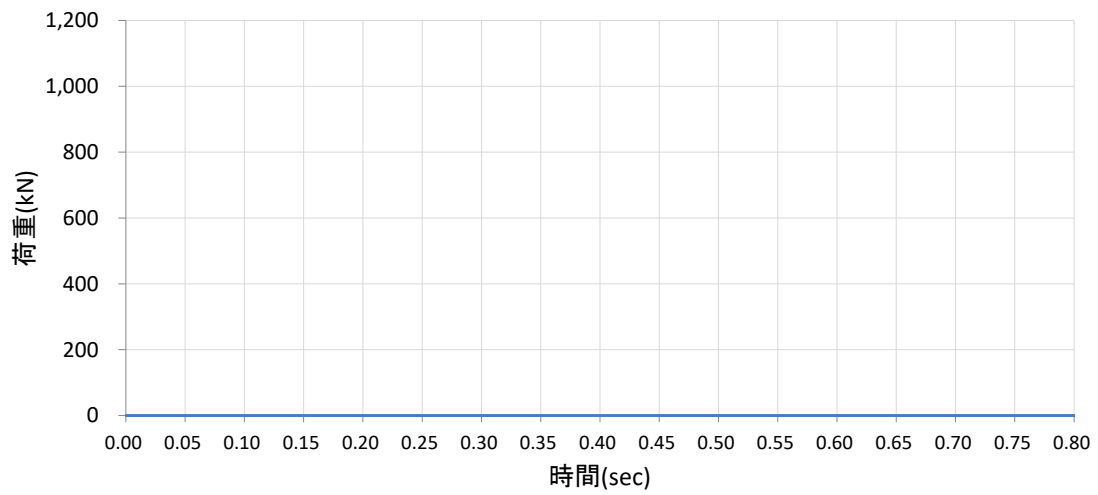
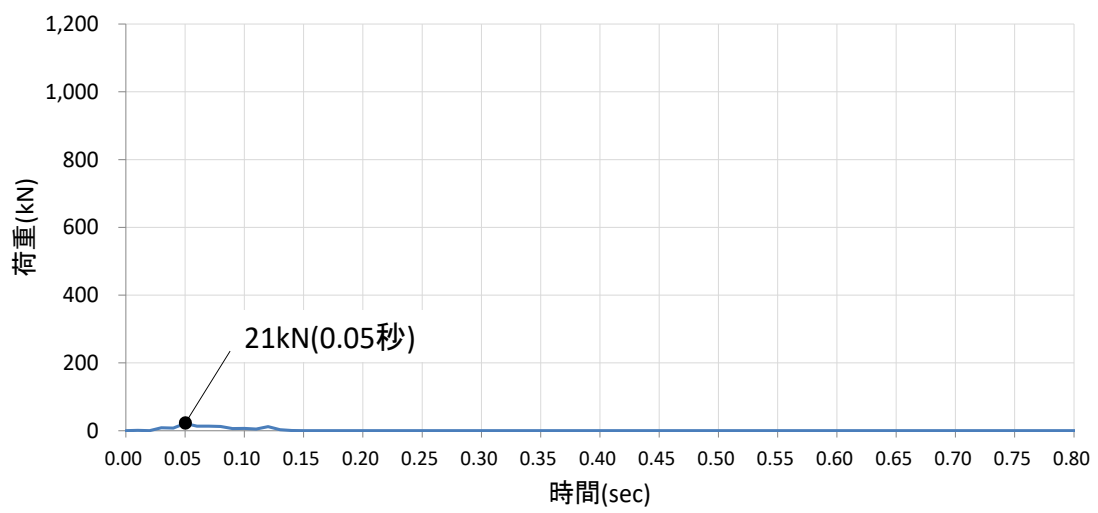


図 4.5.6-24 各剛壁の衝突荷重を集計した時刻歴

剛壁番号①



剛壁番号②



剛壁番号③

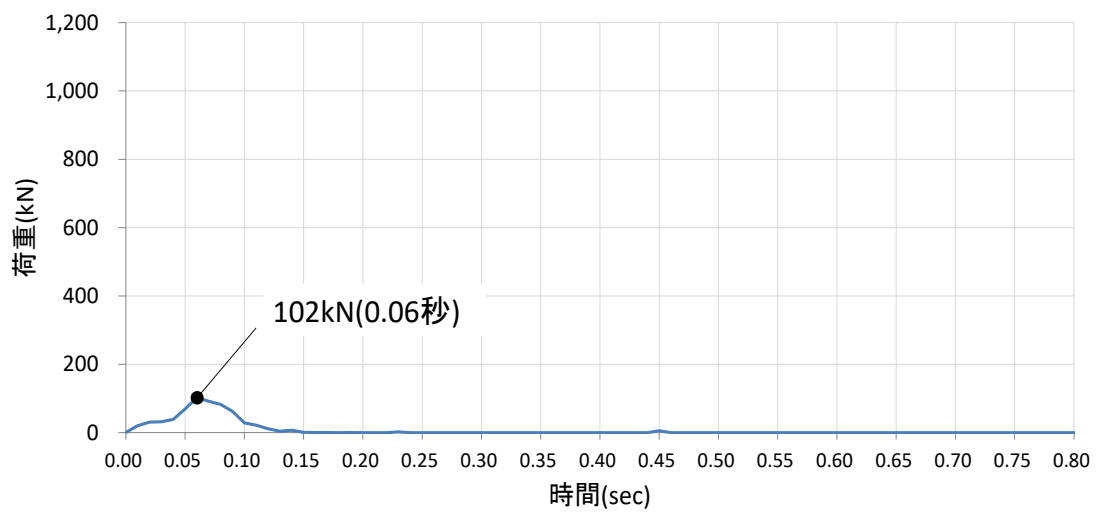
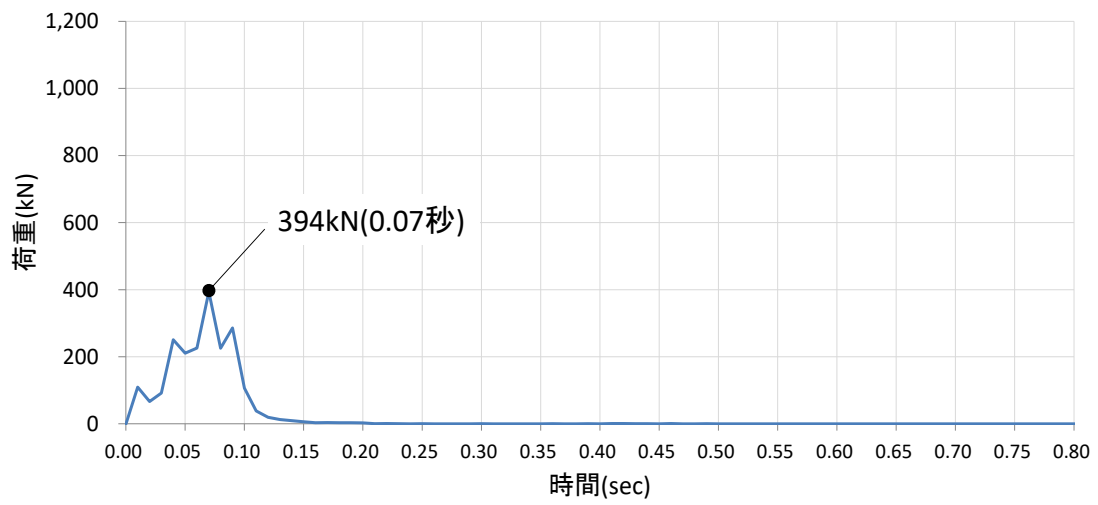
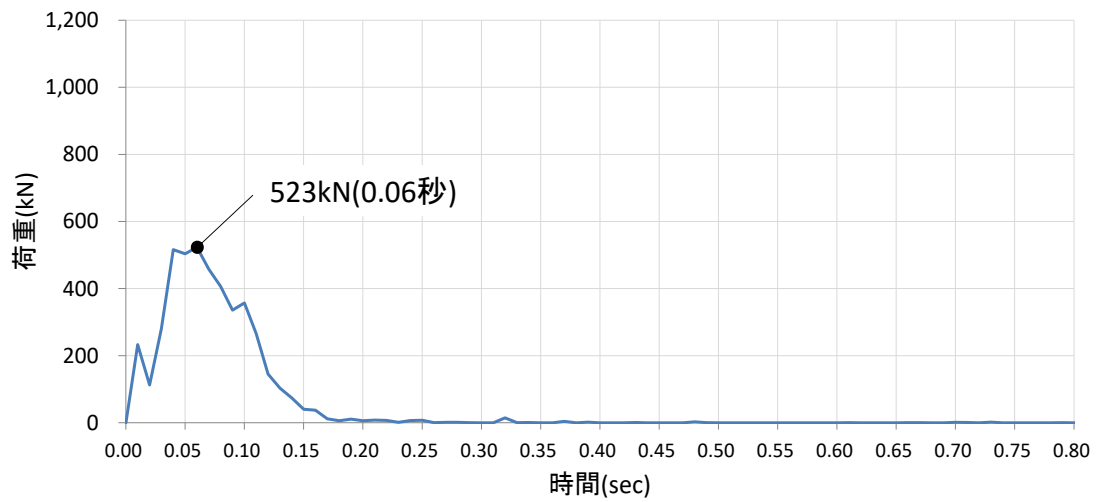


図 4.5.6-25 (1) 剛壁 1 m 当たりの衝突荷重の時刻歴

剛壁番号④



剛壁番号⑤



剛壁番号⑥

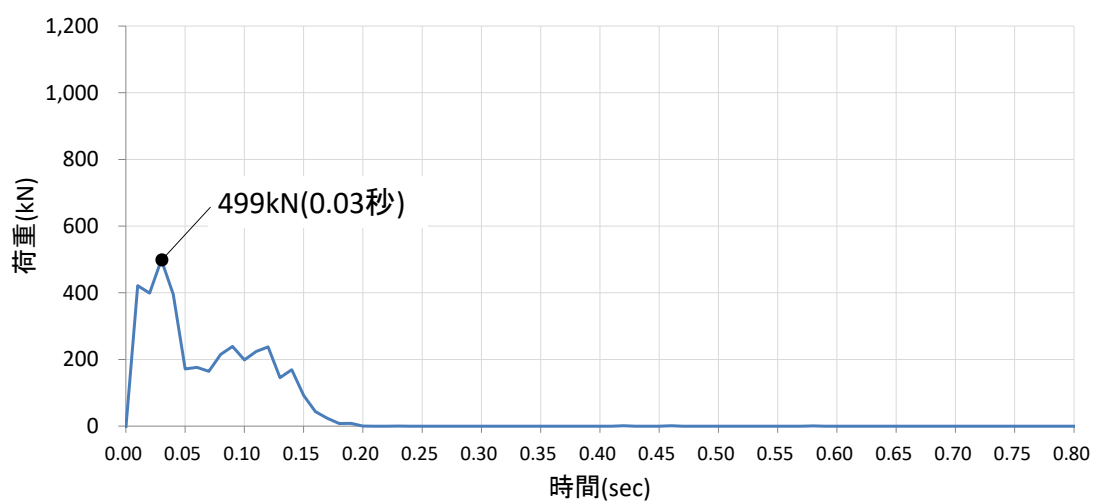
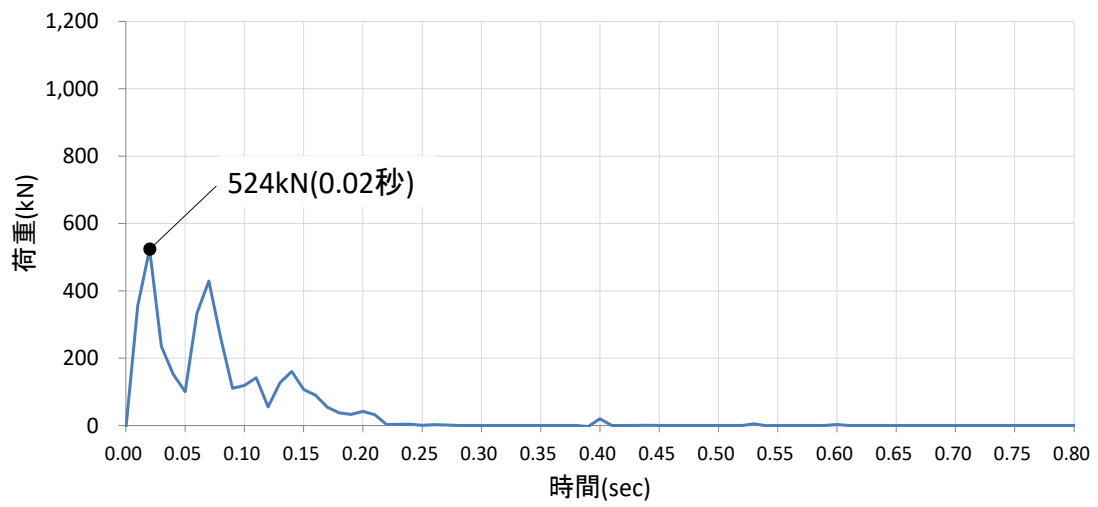
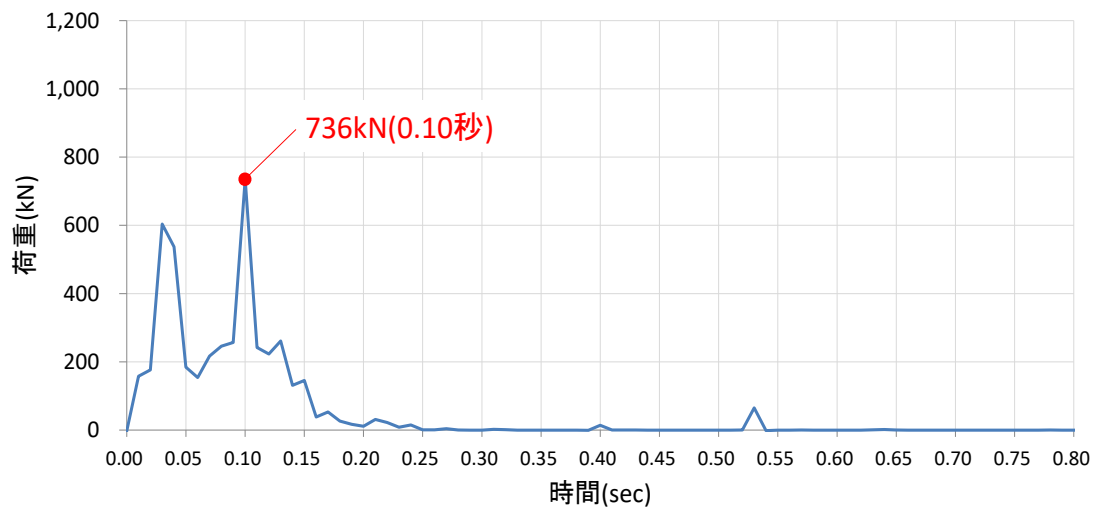


図 4.5.6-25 (2) 剛壁 1 m 当たりの衝突荷重の時刻歴

剛壁番号⑦



剛壁番号⑧



剛壁番号⑨

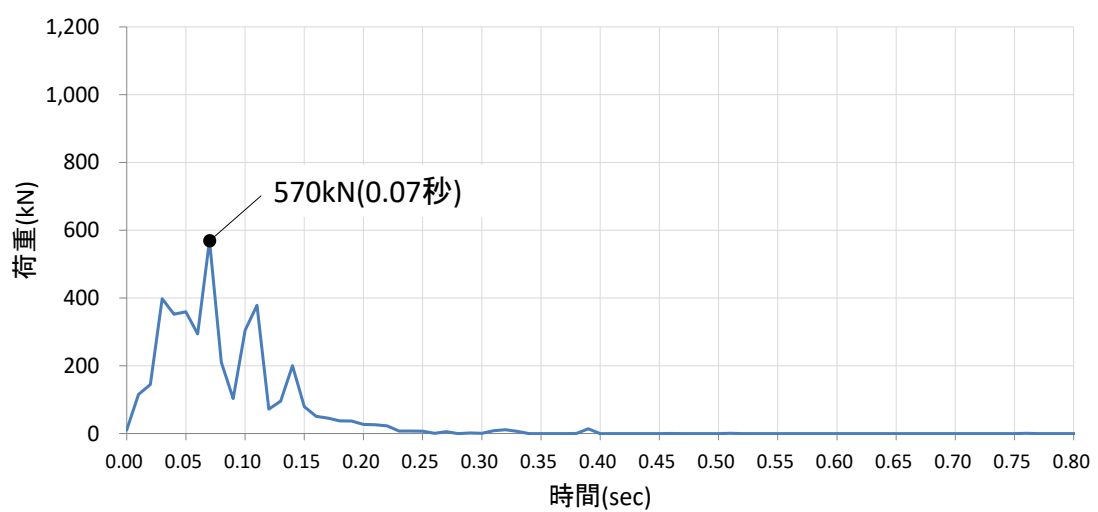
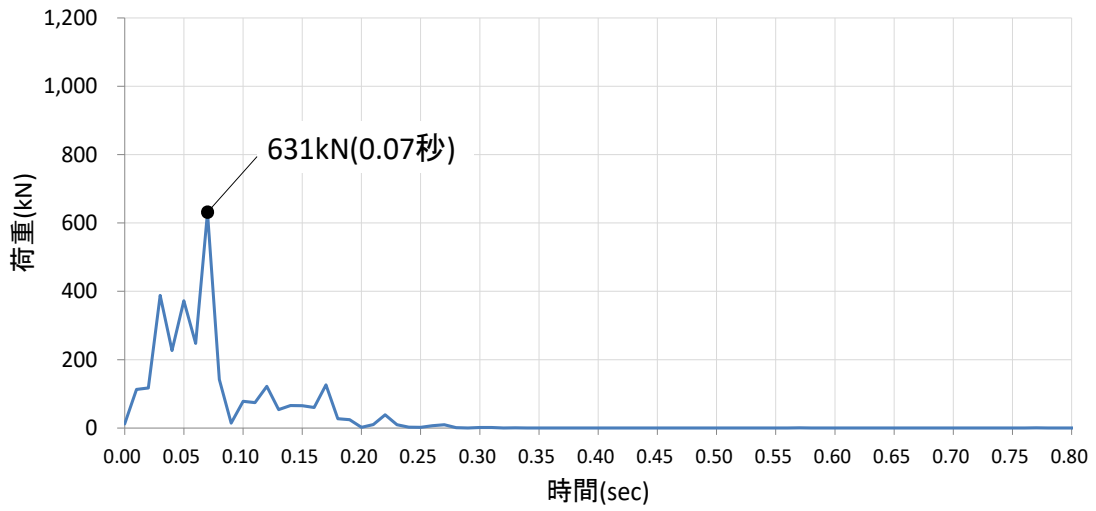
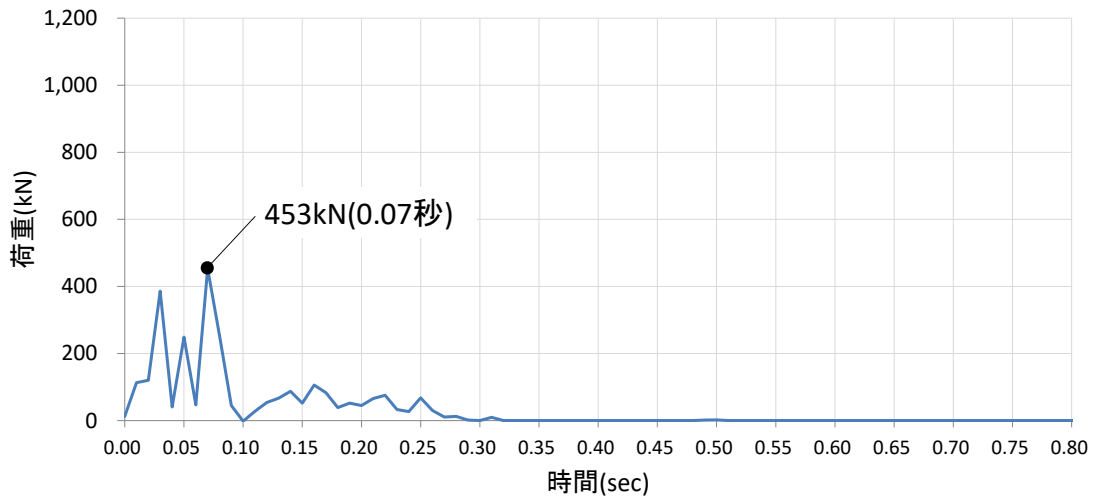


図 4.5.6-25 (3) 剛壁 1 m 当たりの衝突荷重の時刻歴

剛壁番号⑩



剛壁番号⑪



剛壁番号⑫

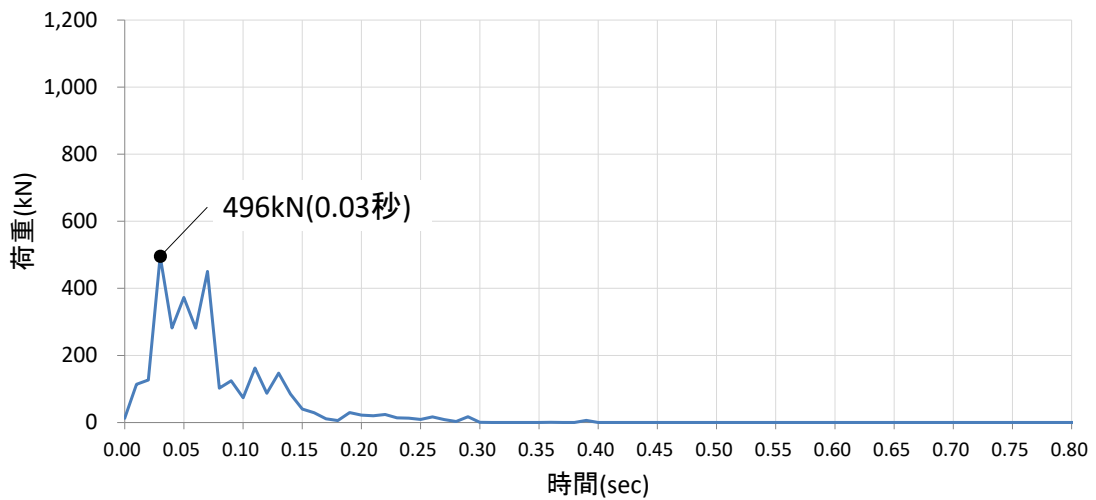
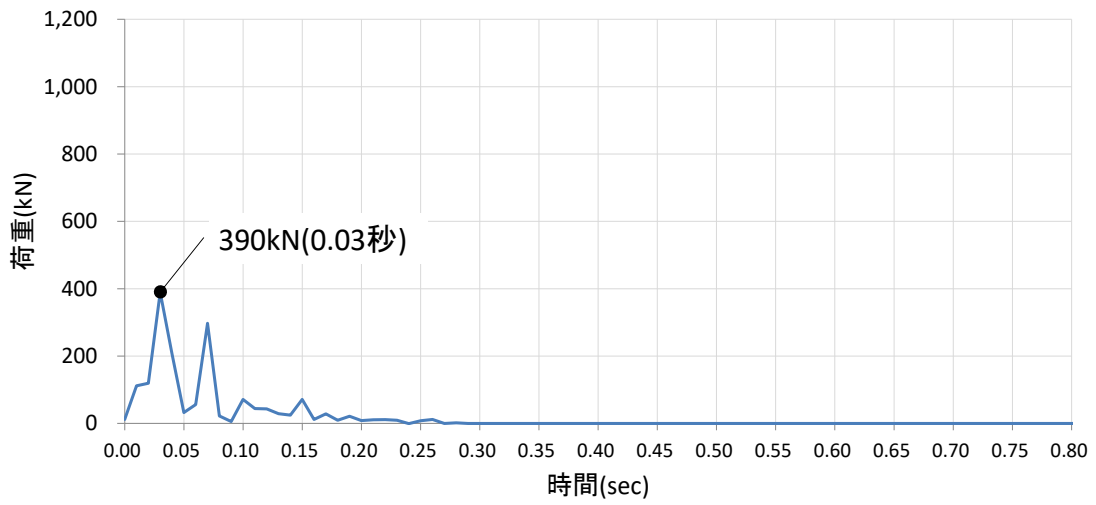
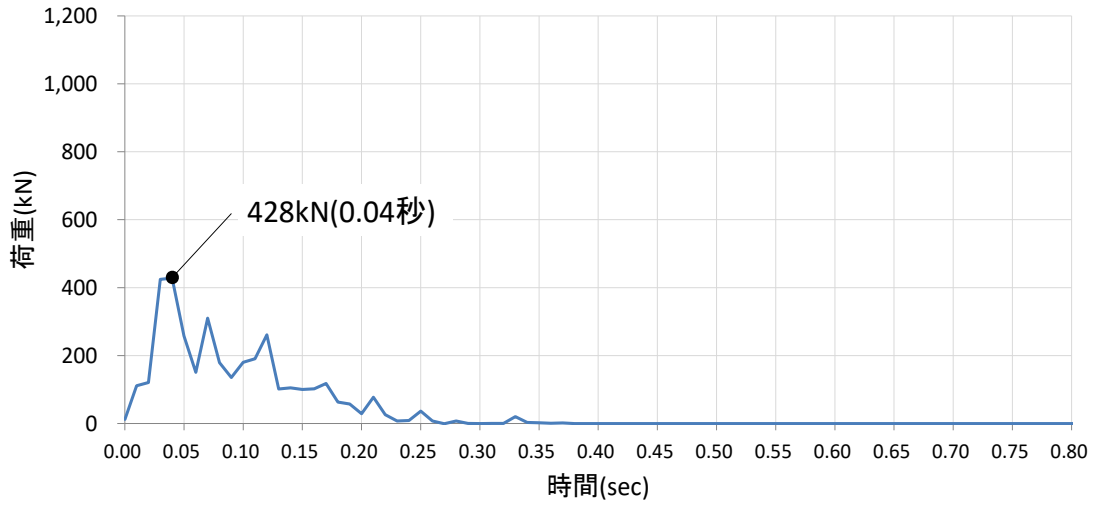


図 4.5.6-25 (4) 剛壁 1 m 当たりの衝突荷重の時刻歴

剛壁番号⑬



剛壁番号⑭



剛壁番号⑮

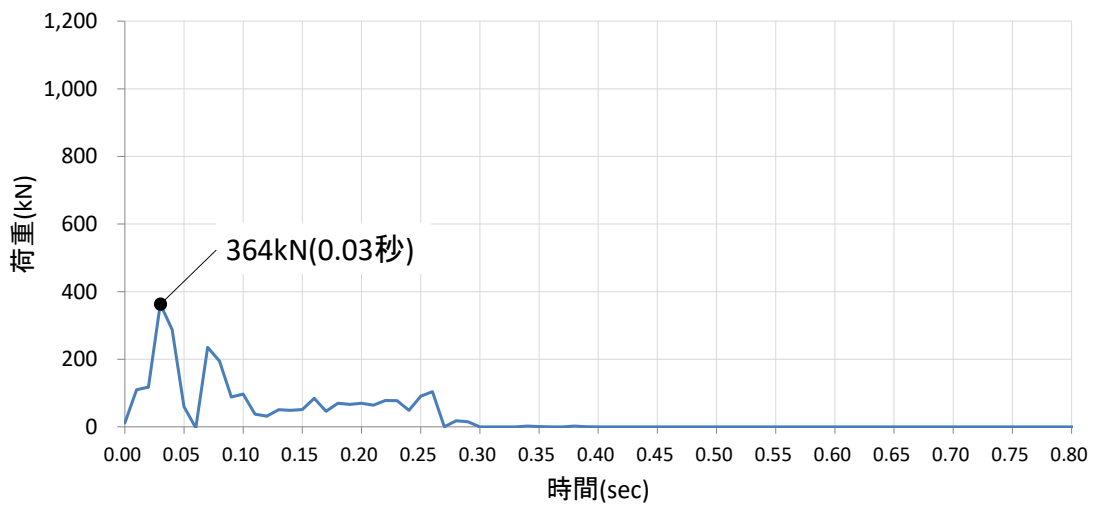
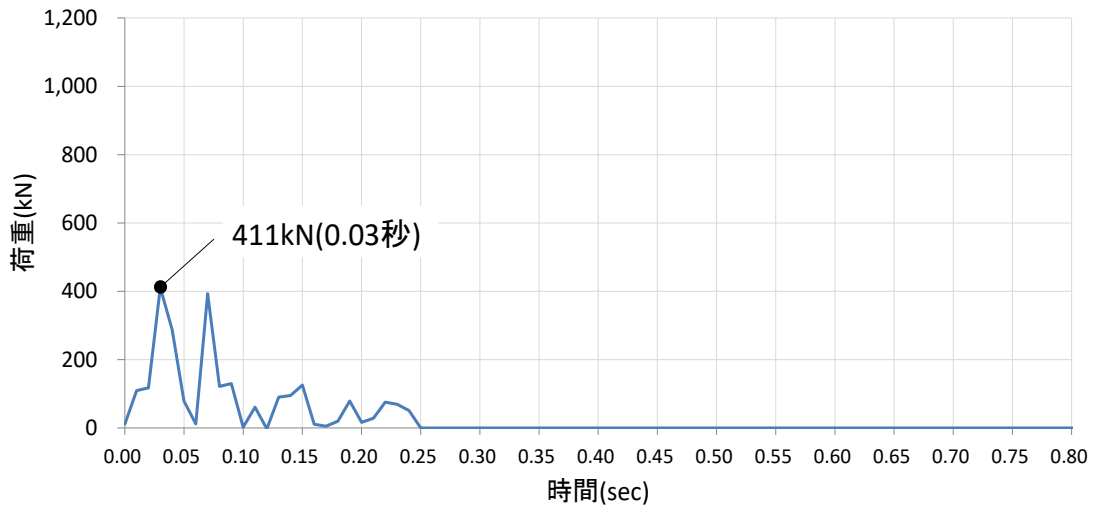
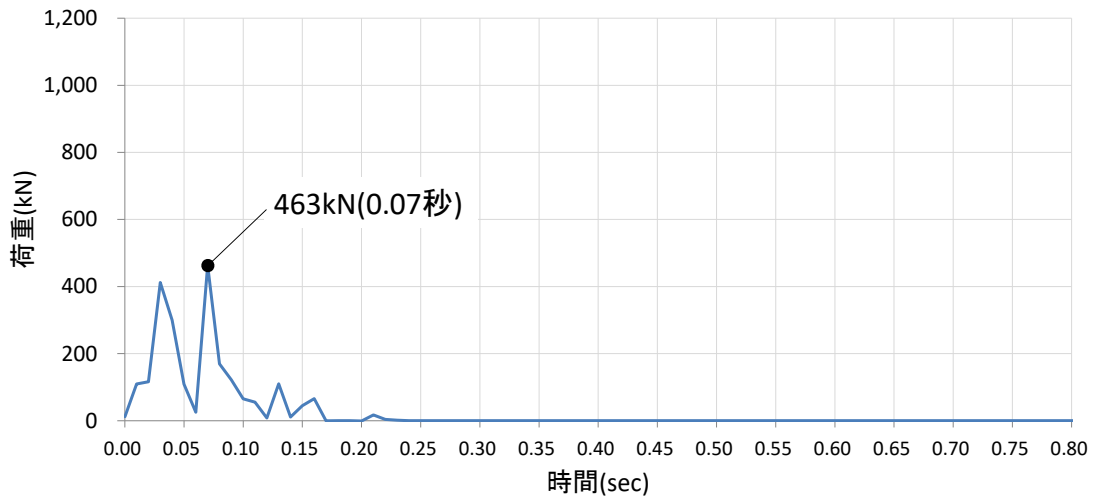


図 4.5.6-25 (5) 剛壁 1 m 当たりの衝突荷重の時刻歴

剛壁番号⑬



剛壁番号⑭



剛壁番号⑮

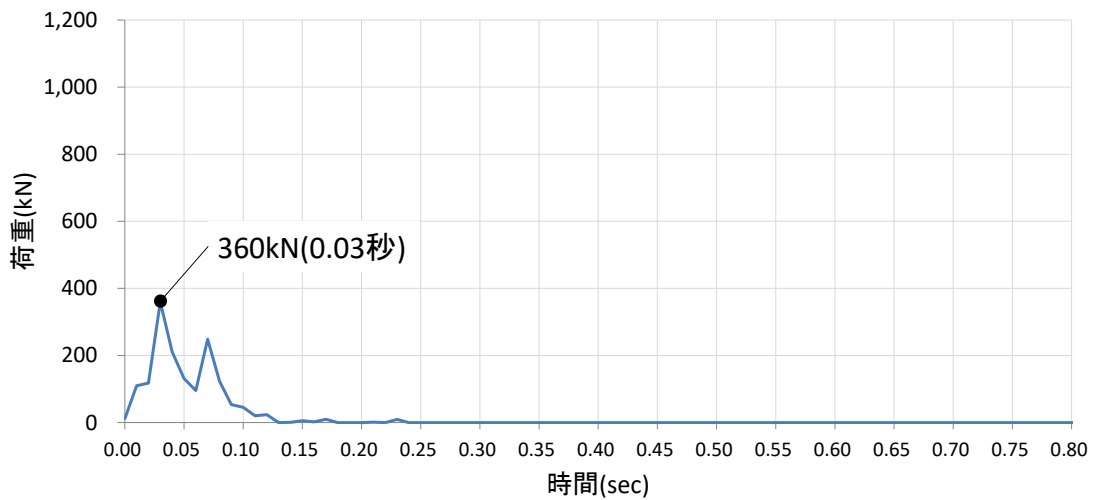
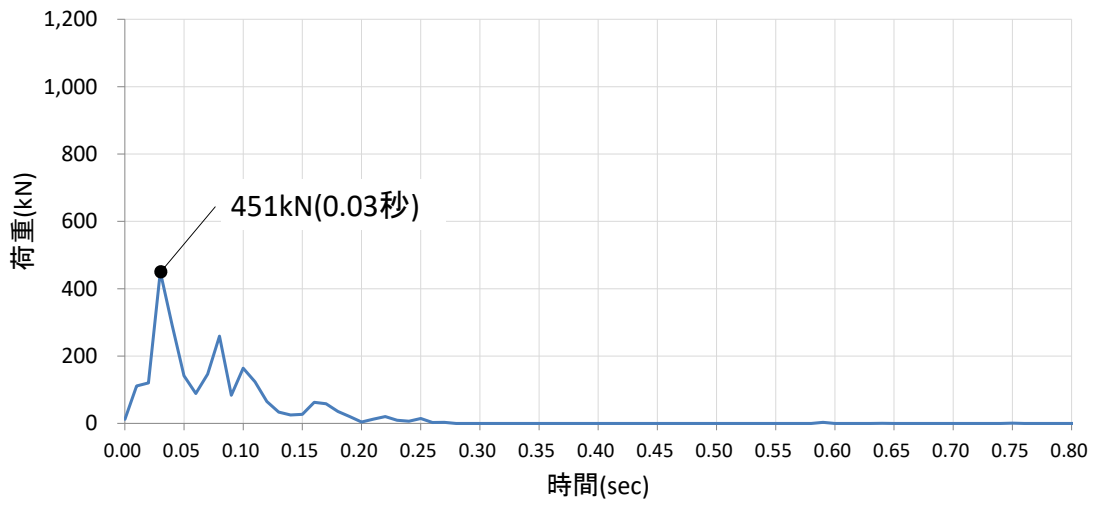
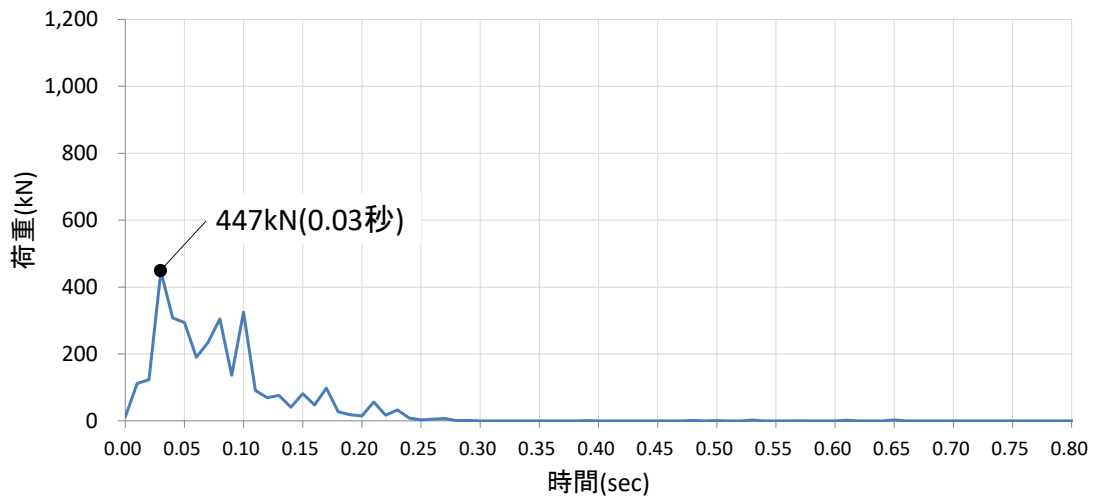


図 4.5.6-25 (6) 剛壁 1 m 当たりの衝突荷重の時刻歴

剛壁番号⑱



剛壁番号㉔



剛壁番号㉕

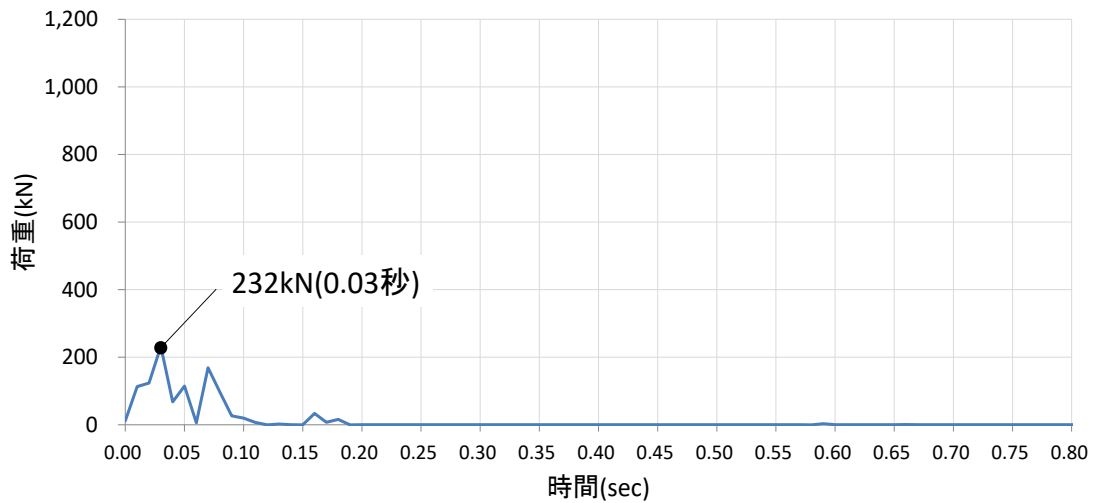
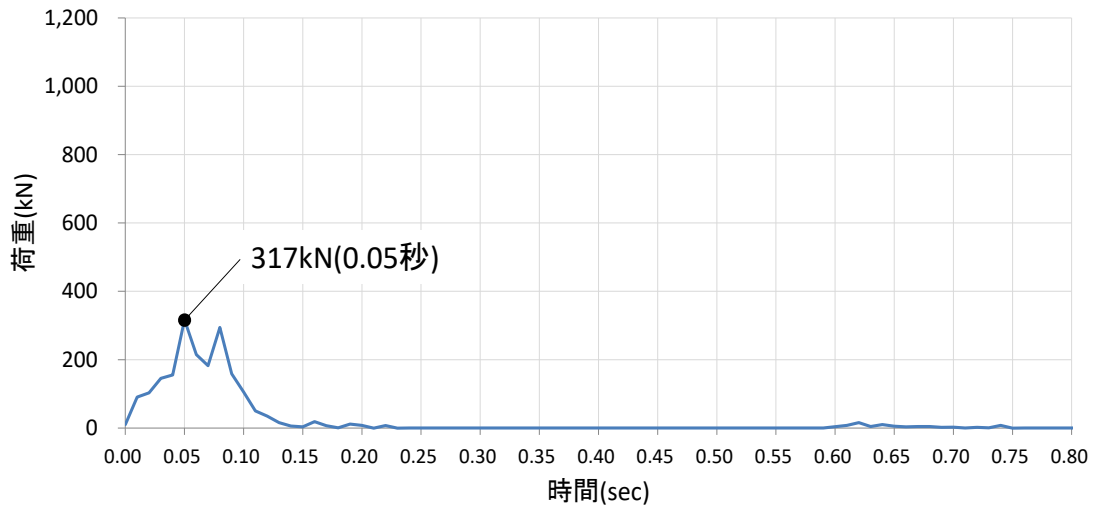
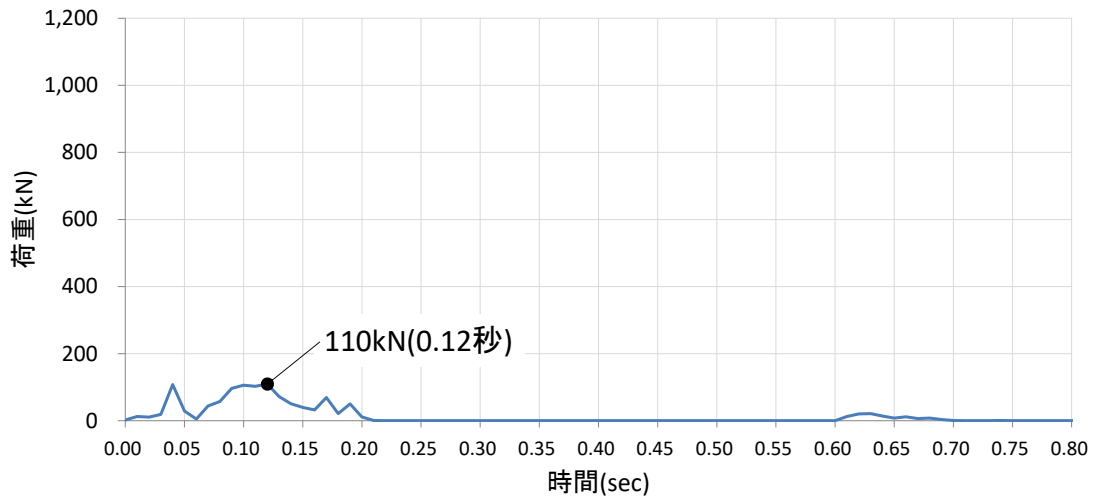


図 4.5.6-25 (7) 剛壁 1 m 当たりの衝突荷重の時刻歴

剛壁番号②②



剛壁番号②③



剛壁番号②④

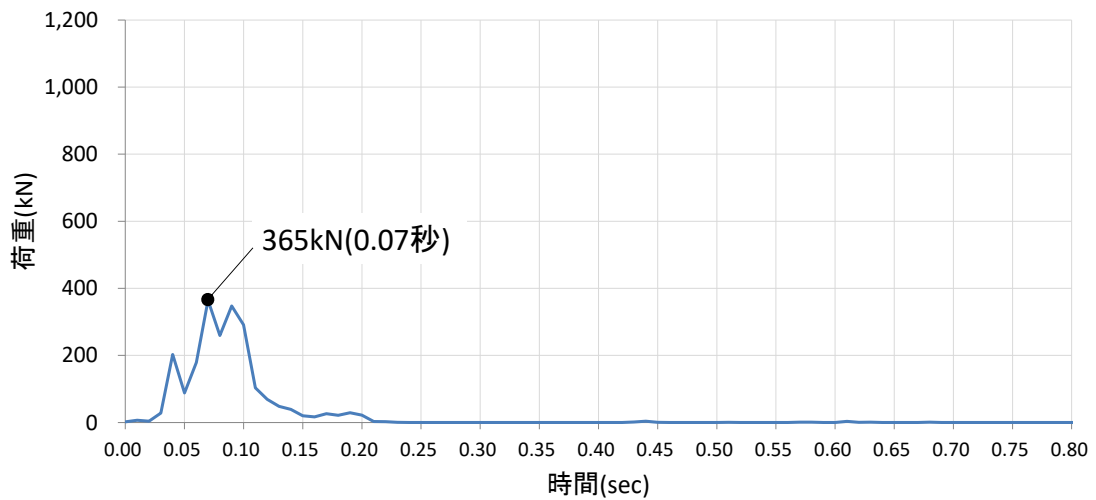


図 4.5.6-25 (8) 剛壁 1 m 当たりの衝突荷重の時刻歴

剛壁番号②⑤

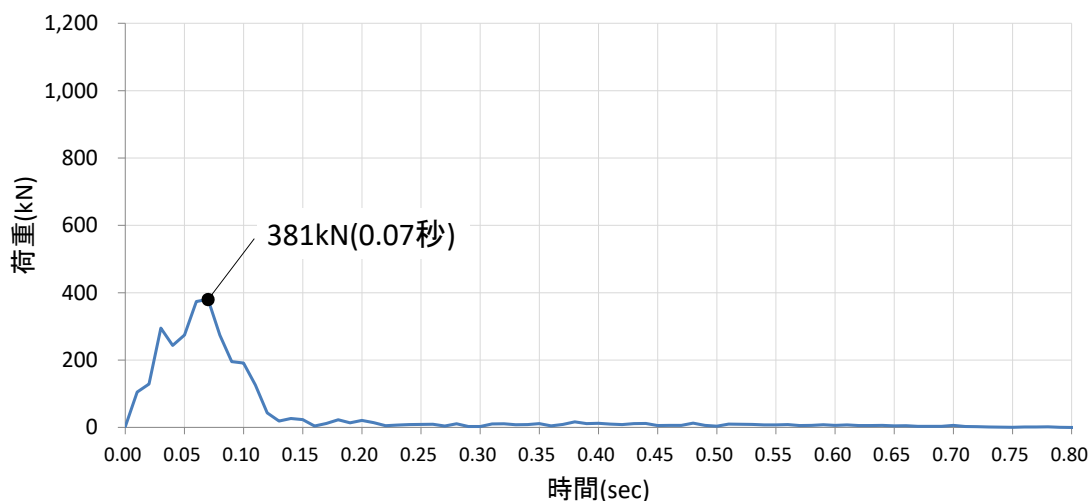


図 4.5.6-25 (9) 剛壁 1 m 当たりの衝突荷重の時刻歴

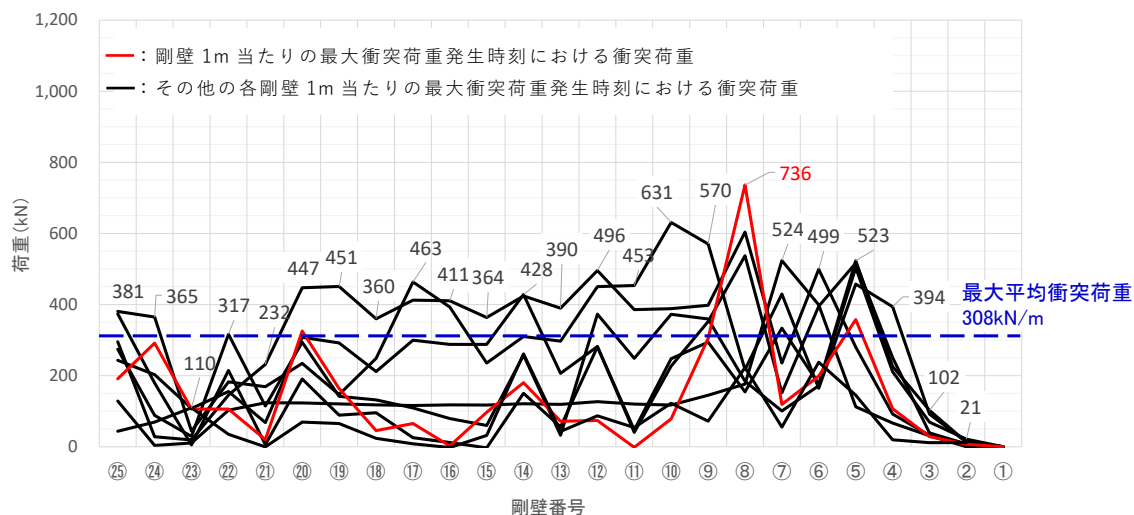


図 4.5.6-26 剛壁 1 m 当たりの最大衝突荷重発生時刻における衝突荷重分布

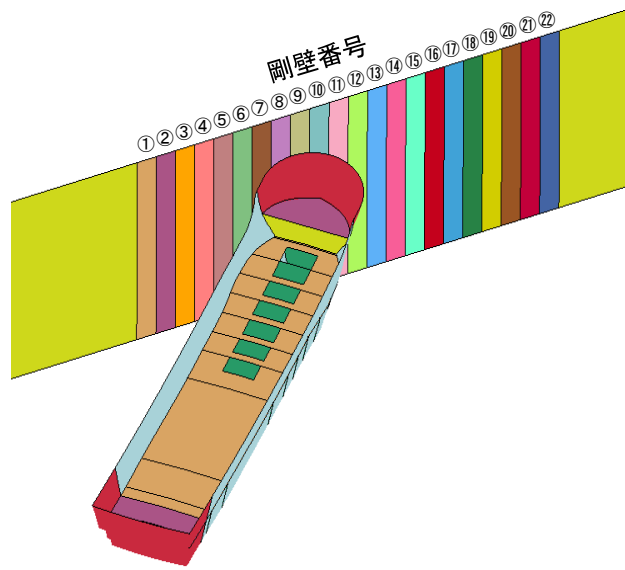
表 4.5.6-9 衝突荷重のまとめ

衝突荷重の集計値(kN) 【時刻(秒)】	剛壁 1 m 当たりの 最大衝突荷重(kN) 【時刻(秒)】
7,395 【0.03】	736 【0.10】

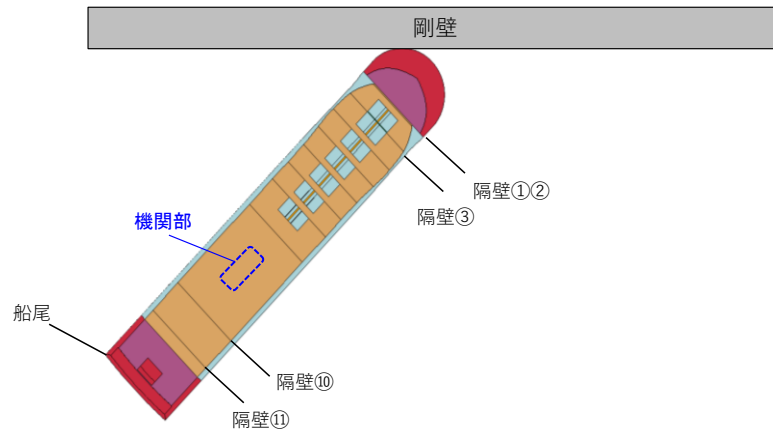
(d) ケース④（斜め船首衝突）

ケース④（斜め船首衝突）の解析結果のまとめを以下に示す。図 4.5.6-27 に衝突状況，図 4.5.6-28 に各剛壁の衝突荷重を集計した時刻歴，図 4.5.6-29 に剛壁 1 m 当たりの衝突荷重の時刻歴，図 4.5.6-30 に剛壁 1 m 当たりの最大衝突荷重発生時刻における衝突荷重分布，表 4.5.6-10 に衝突荷重のまとめを示す。

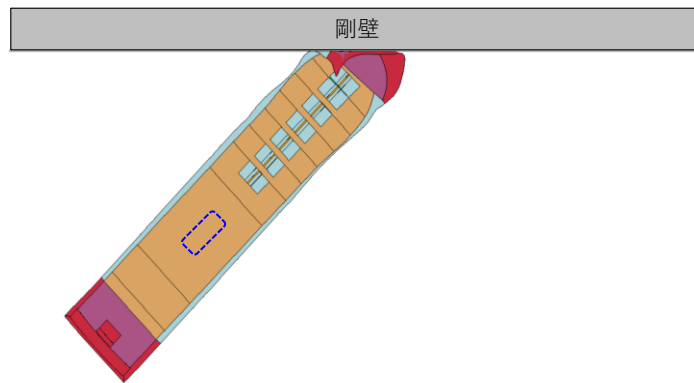
- ・図 4.5.6-27 より，機関部（エンジン）が剛壁へ衝突していないことから，機関部の影響がないことを確認した。
- ・図 4.5.6-28 より，各剛壁（剛壁番号①～⑫）の衝突荷重を集計した場合においては，衝突直後から荷重が大きくなり，衝突後 0.31 秒（隔壁①，②衝突時）に最大となる 1,073kN が作用することを確認した。また，衝突後 2.27 秒（船尾，隔壁⑩，⑪衝突時）にも 541kN の荷重が作用しているが，これは斜めから衝突した後に船体が剛壁に平行となる方向に回転し，船尾付近の船体側面が衝突することにより瞬間的に生じていることを確認した。
- ・最大衝突荷重 1,073kN が発生する衝突後 0.31 秒において，残存質量として約 99.9% であることから，衝突時の船体破壊に伴う質量低下による衝突荷重への影響は軽微と判断する。
- ・衝突荷重の作用時間は 2.85 秒となり，ケース①（船首衝突），ケース②（船尾衝突）及びケース③（真横衝突）と比較して，衝突荷重の作用時間が長いことを確認した。
- ・図 4.5.6-29 より，剛壁 1 m 当たりに作用する衝突荷重は，船首の破壊に伴い大きくなり，剛壁番号⑪において衝突後 0.32 秒（隔壁①，②衝突時）で最大となる衝突荷重 444kN が作用することを確認した。なお，ケース④（斜め船首衝突）はケース①（船首衝突），ケース②（船尾衝突）及びケース③（真横衝突）と比較して，最大衝突荷重が小さくなっていることを確認した。
- ・図 4.5.6-30 より，衝突荷重は分布的に作用していることを確認した。また，ケース④（斜め船首衝突）は，剛壁に対して 45° に衝突し，船体が回転し，再度衝突することから，最大平均衝突荷重（剛壁荷重作用幅 5 m で除した等分布荷重）は，衝突後 0.31 秒で 215kN/m となり，剛壁番号⑨～⑫において衝突荷重の平均値を上回る荷重が発生することを確認した。



衝突前



衝突後0.31秒：隔壁①,②衝突時



衝突後2.27秒：船尾,隔壁⑩,⑪衝突時

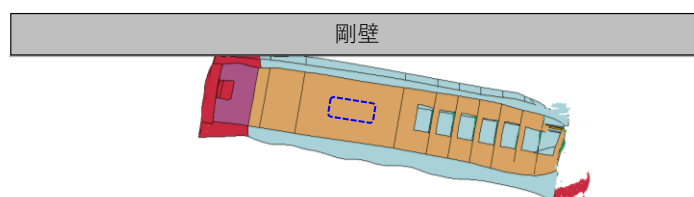


図 4.5.6-27 衝突状況

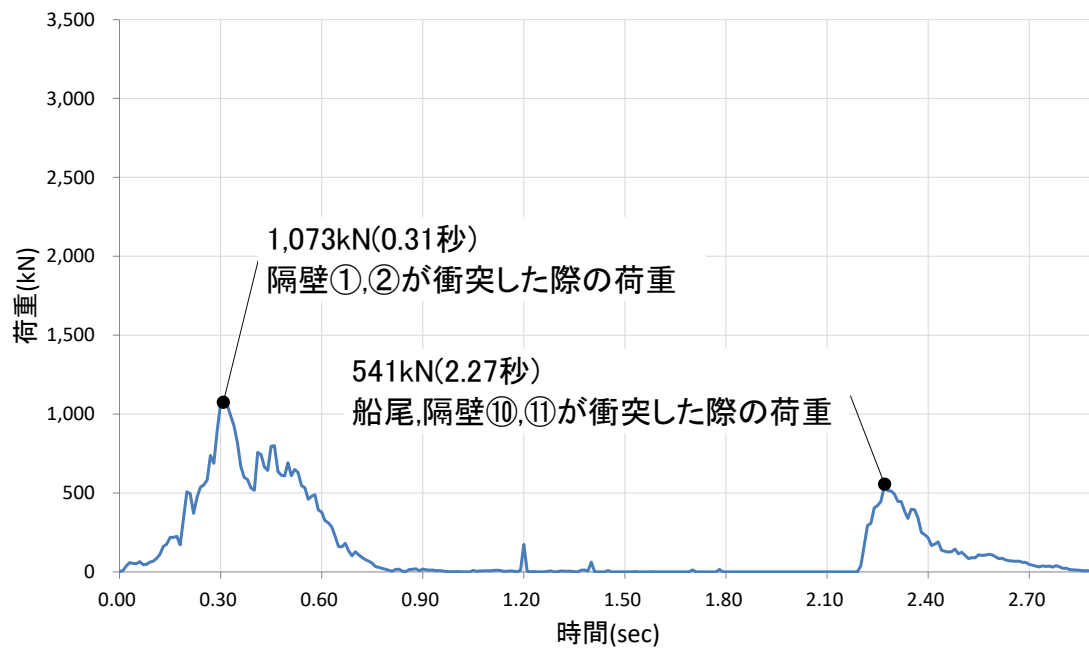
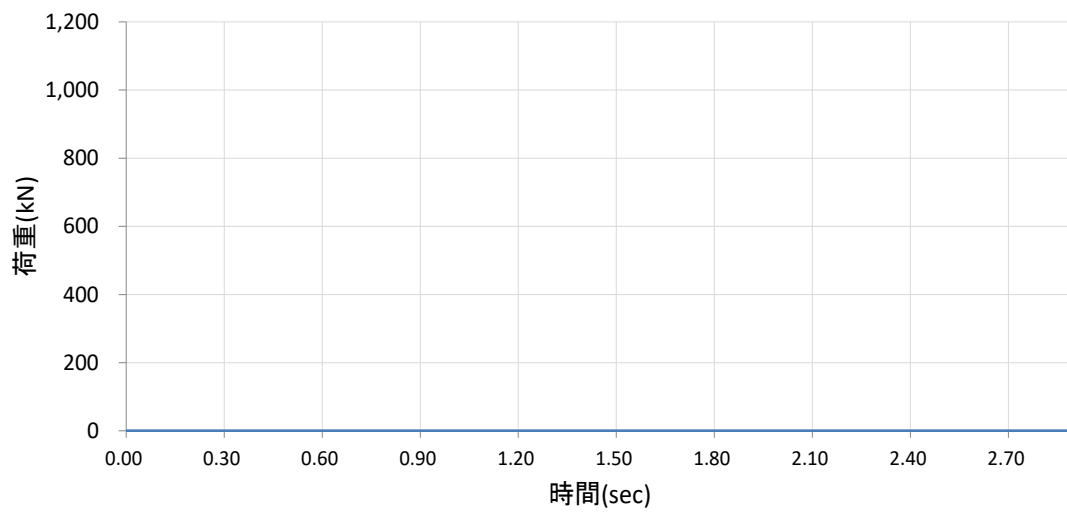
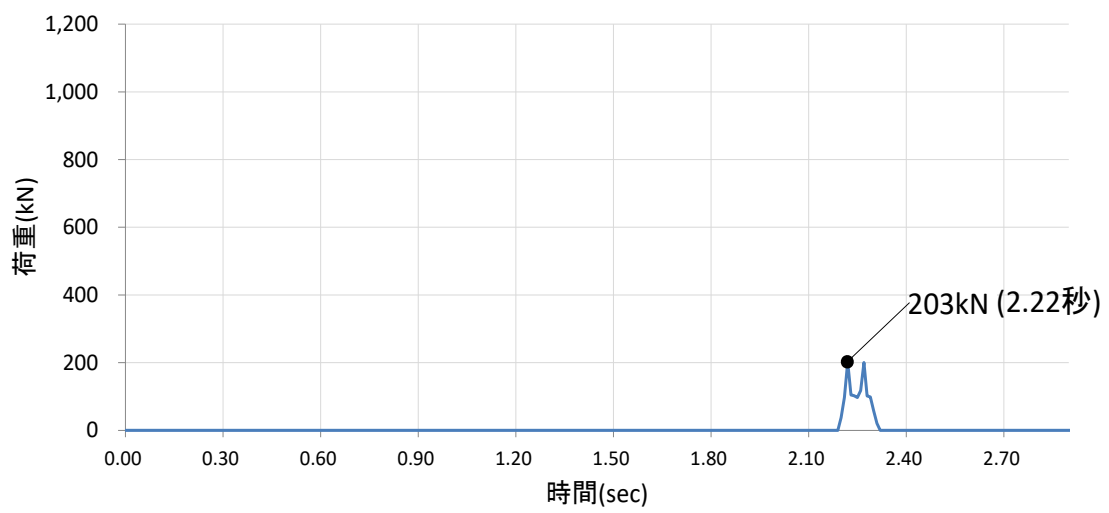


図 4.5.6-28 各剛壁の衝突荷重を集計した時刻歴

剛壁番号①



剛壁番号②



剛壁番号③

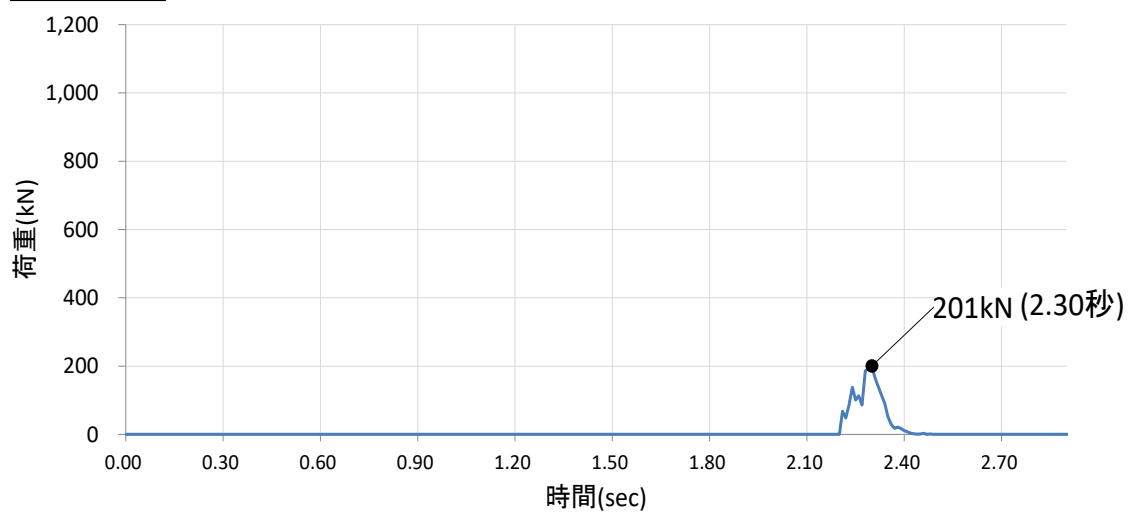
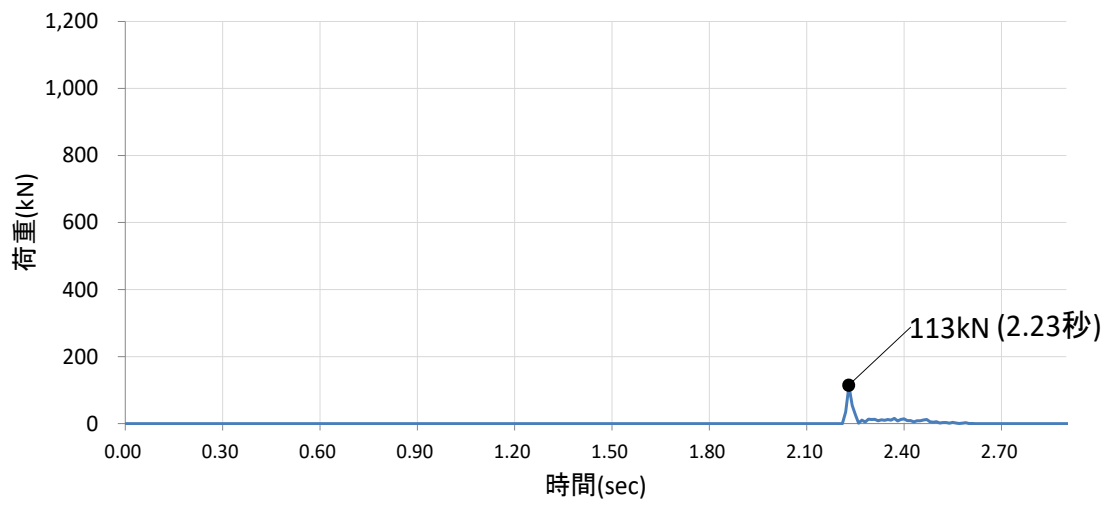
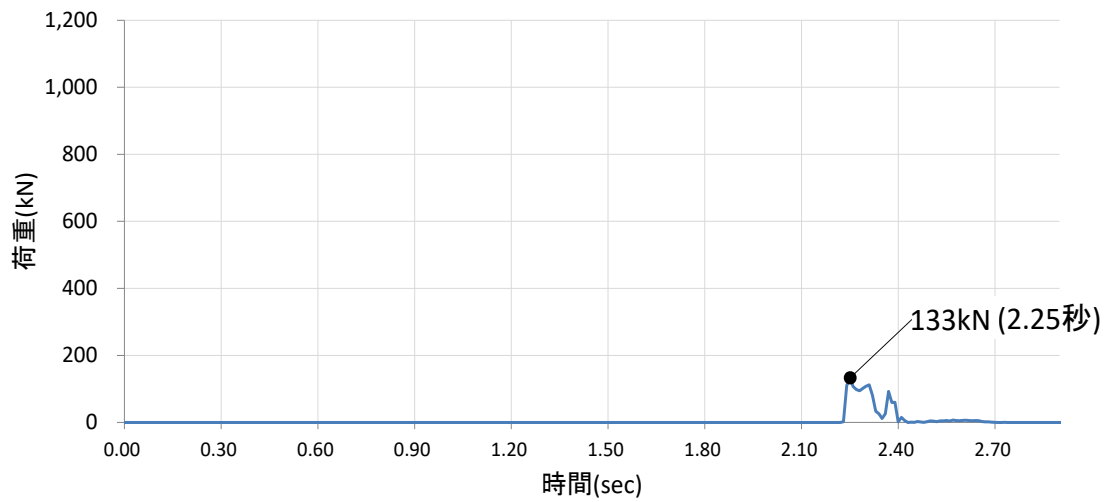


図 4.5.6-29 (1) 剛壁 1 m 当たりの衝突荷重の時刻歴

剛壁番号④



剛壁番号⑤



剛壁番号⑥

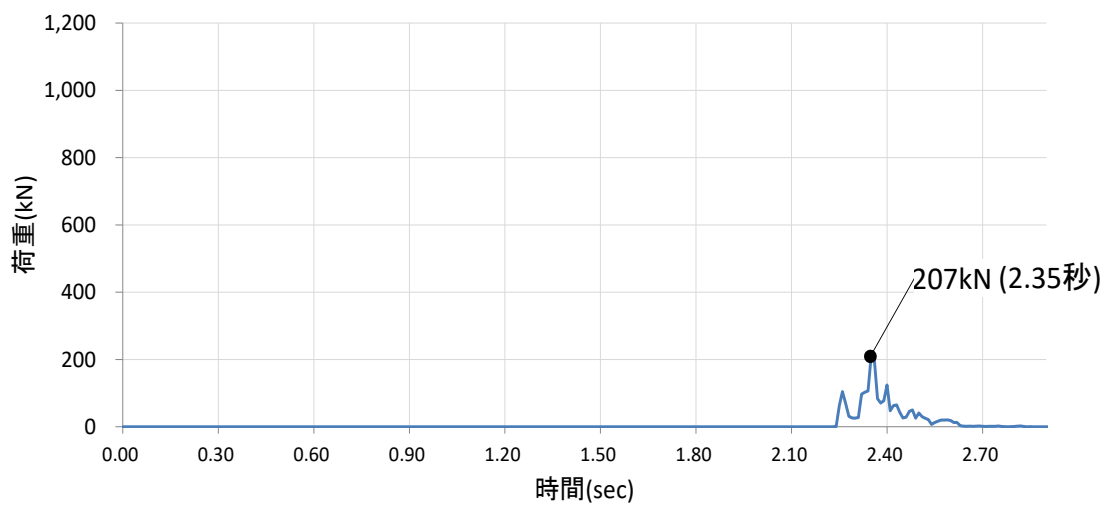
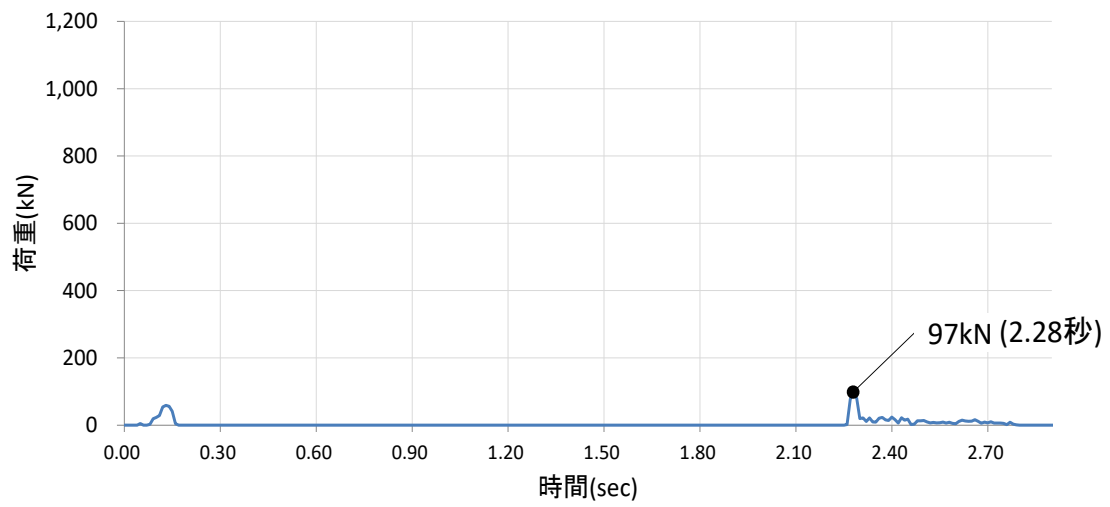
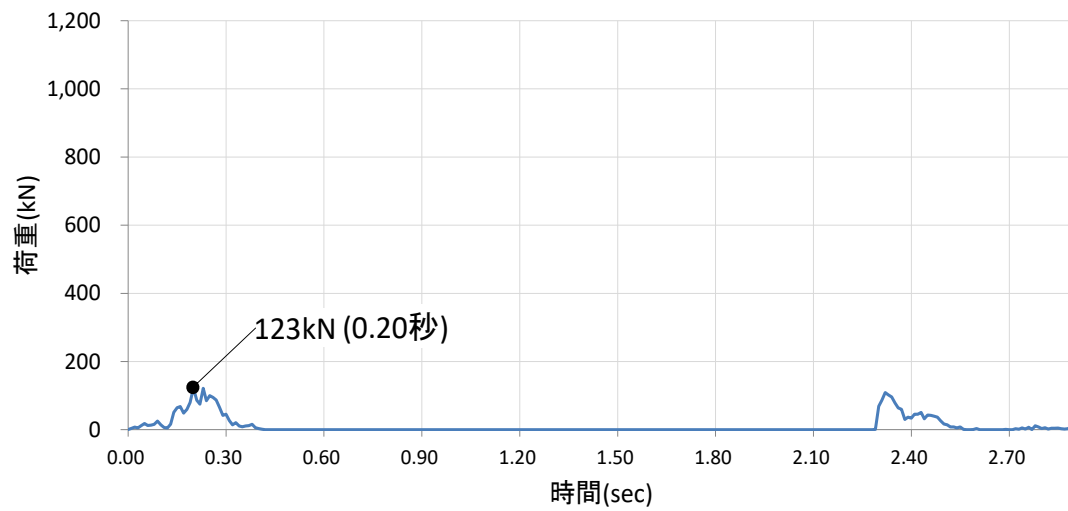


図 4.5.6-29 (2) 剛壁 1 m 当たりの衝突荷重の時刻歴

剛壁番号⑦



剛壁番号⑧



剛壁番号⑨

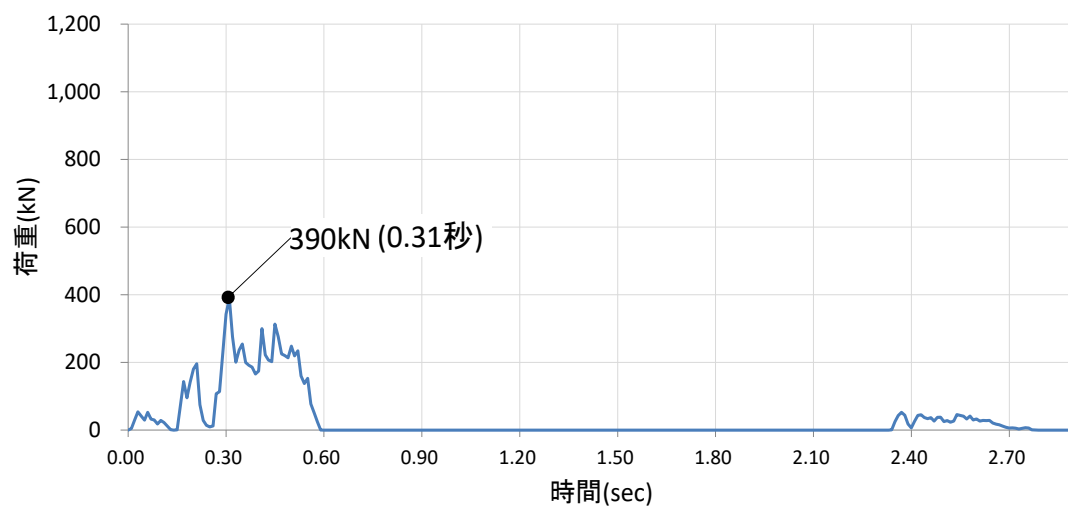
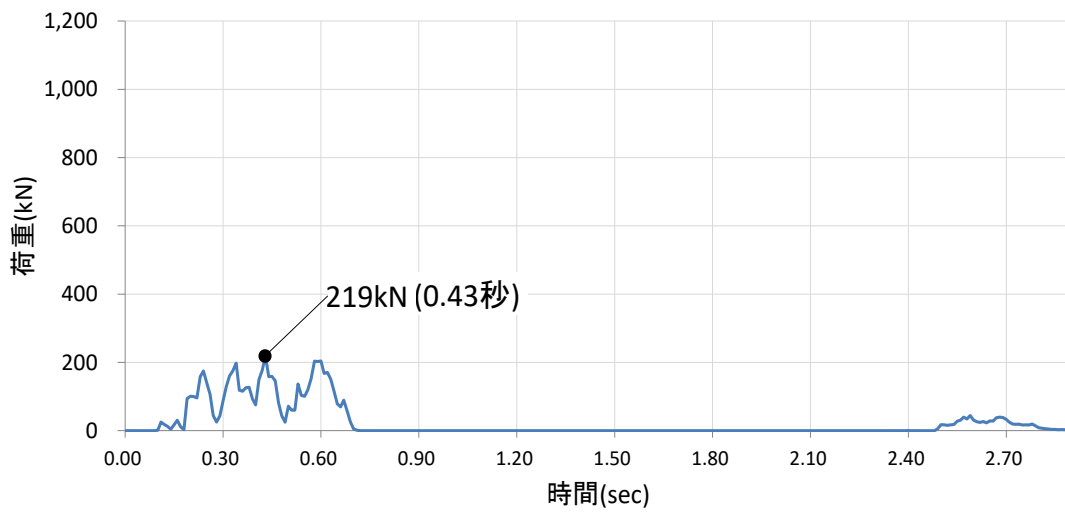
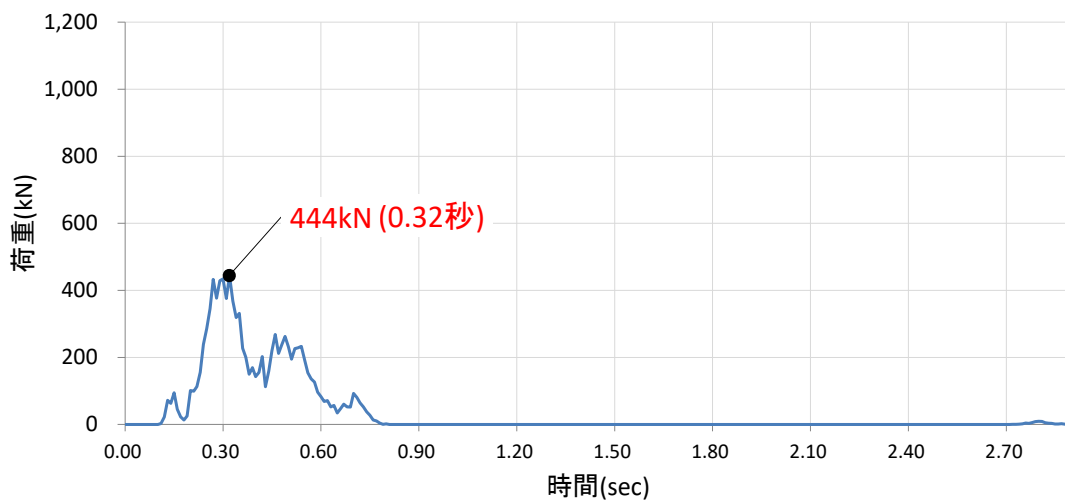


図 4.5.6-29 (3) 剛壁 1 m 当たりの衝突荷重の時刻歴

剛壁番号⑩



剛壁番号⑪



剛壁番号⑫

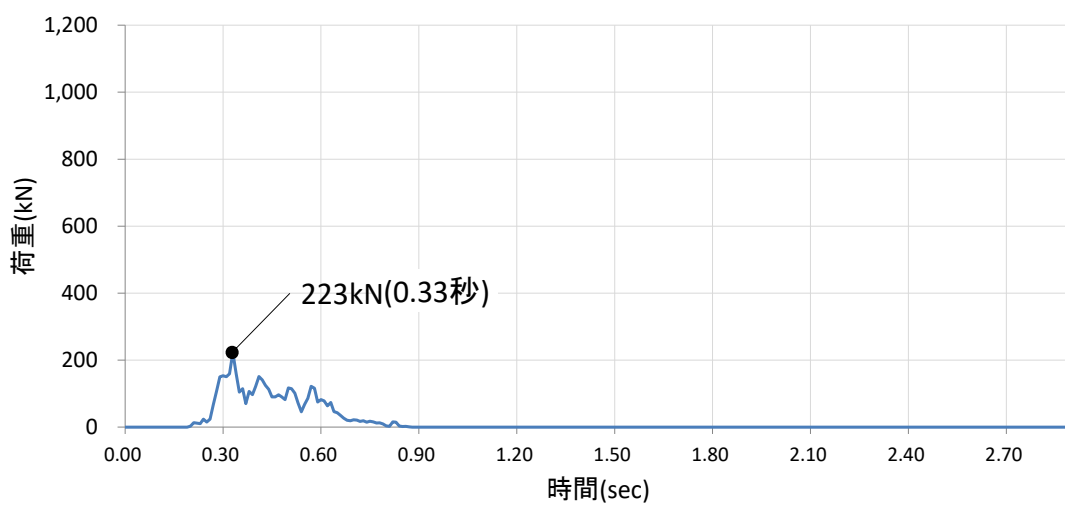
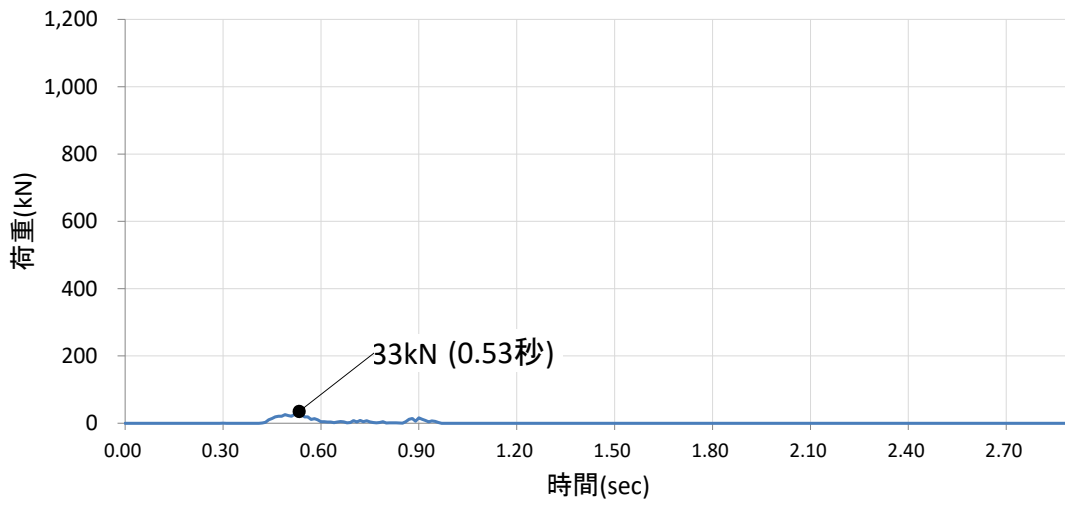
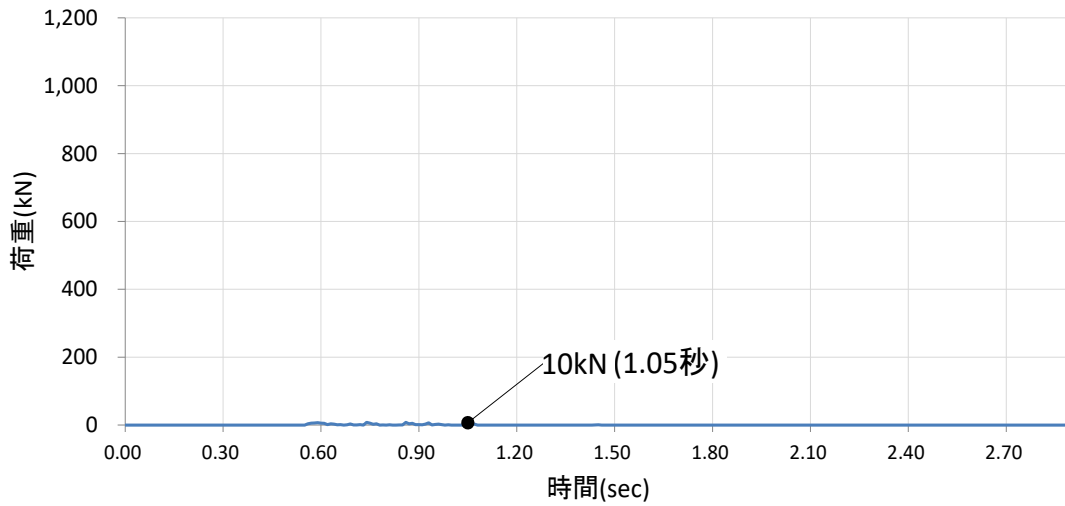


図 4.5.6-29 (4) 剛壁 1 m 当たりの衝突荷重の時刻歴

剛壁番号⑬



剛壁番号⑭



剛壁番号⑮

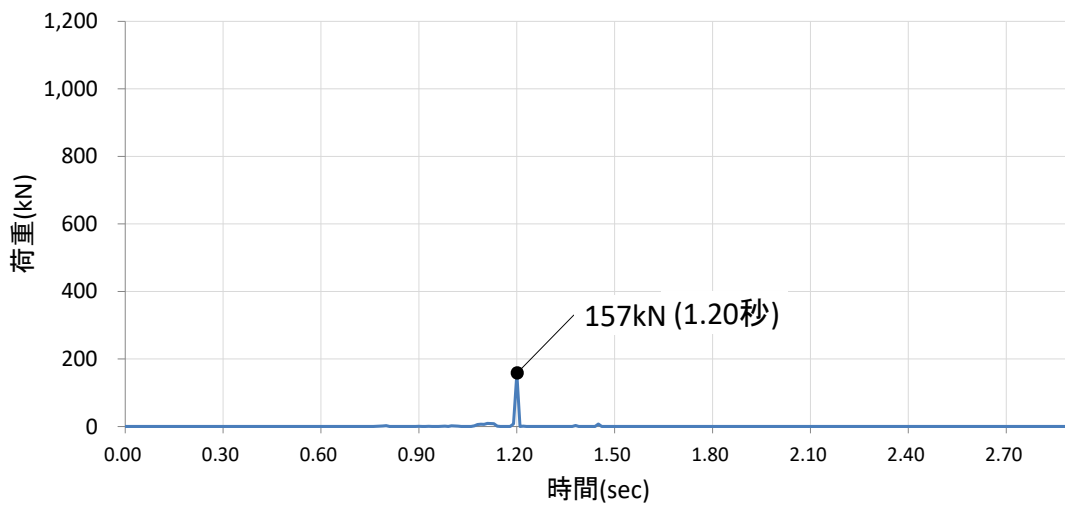
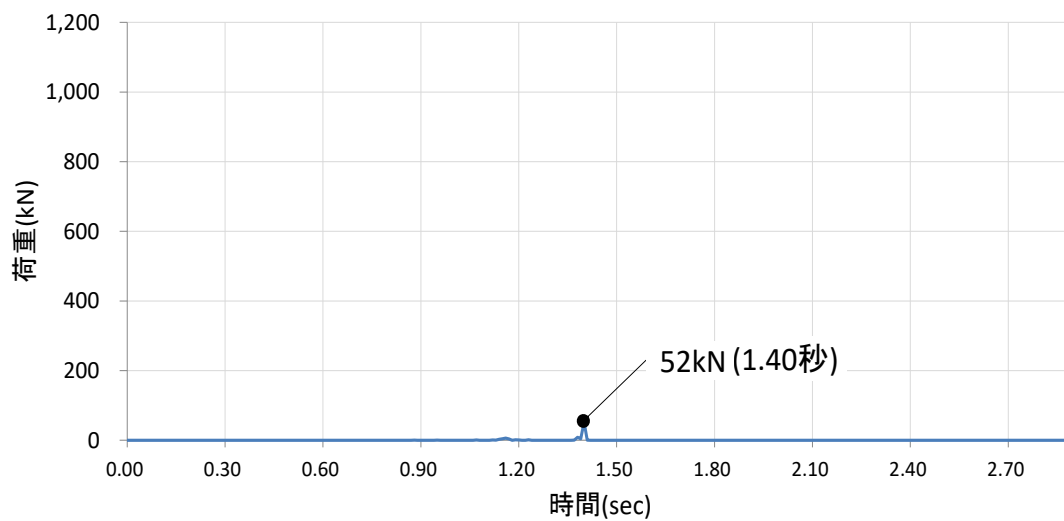
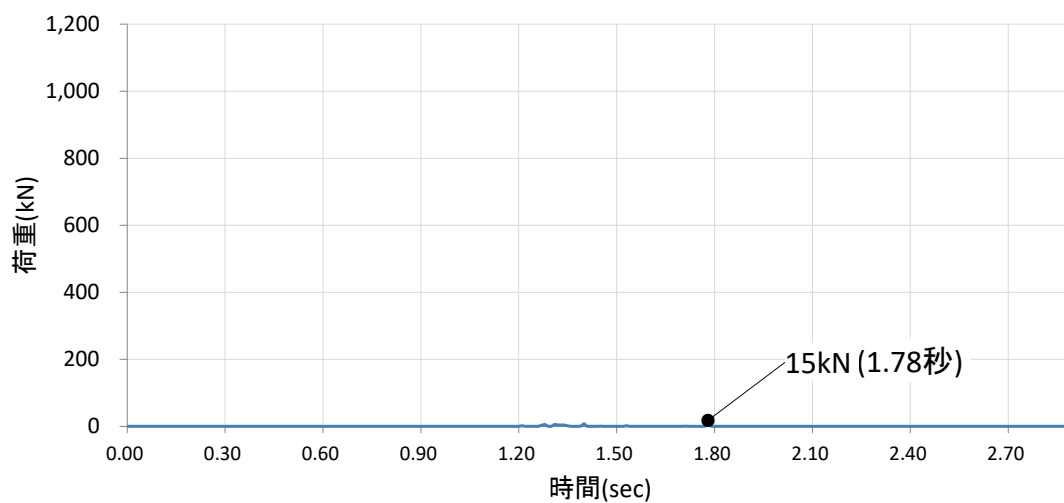


図 4.5.6-29 (5) 剛壁 1 m 当たりの衝突荷重の時刻歴

剛壁番号⑯



剛壁番号⑰



剛壁番号⑱

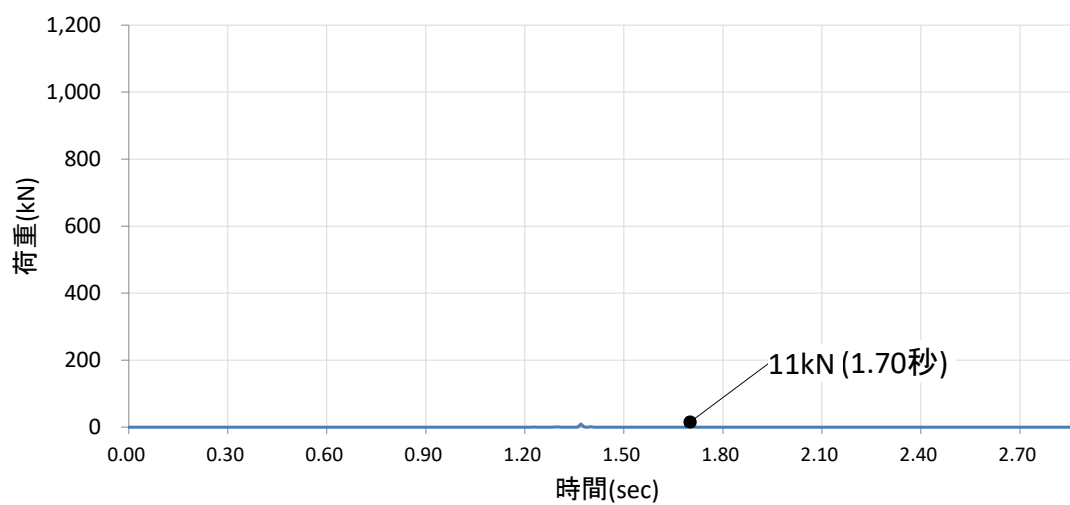
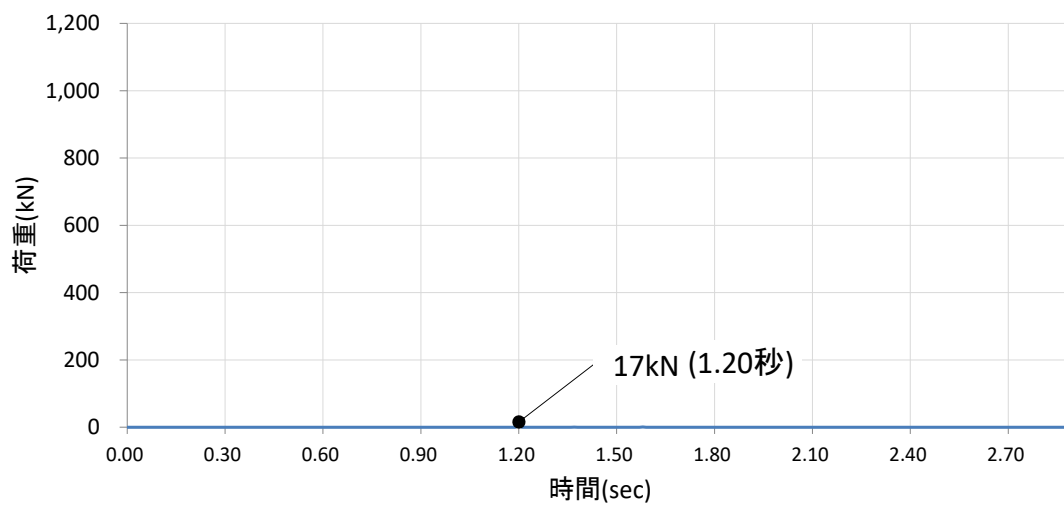
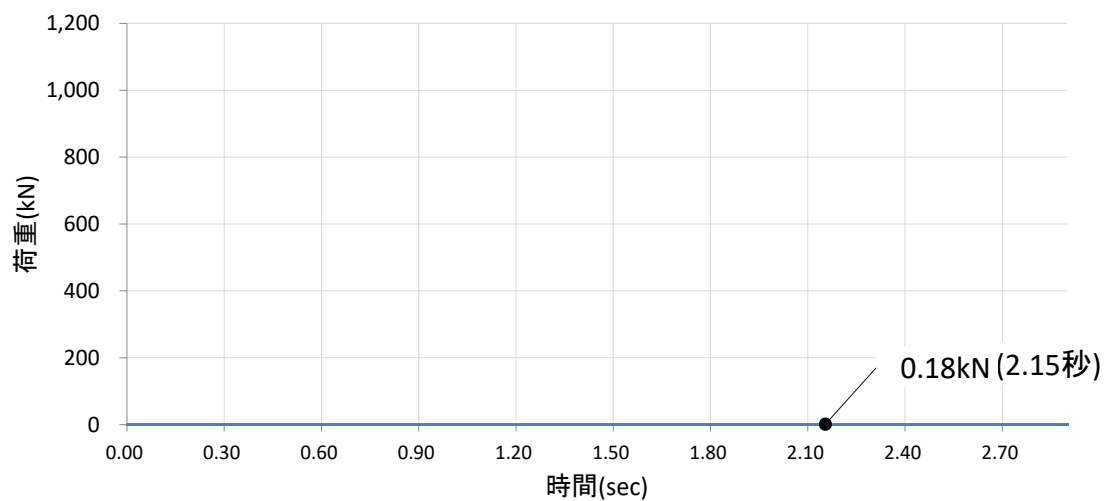


図 4.5.6-29 (6) 剛壁 1 m 当たりの衝突荷重の時刻歴

剛壁番号⑱



剛壁番号㉔



剛壁番号㉕

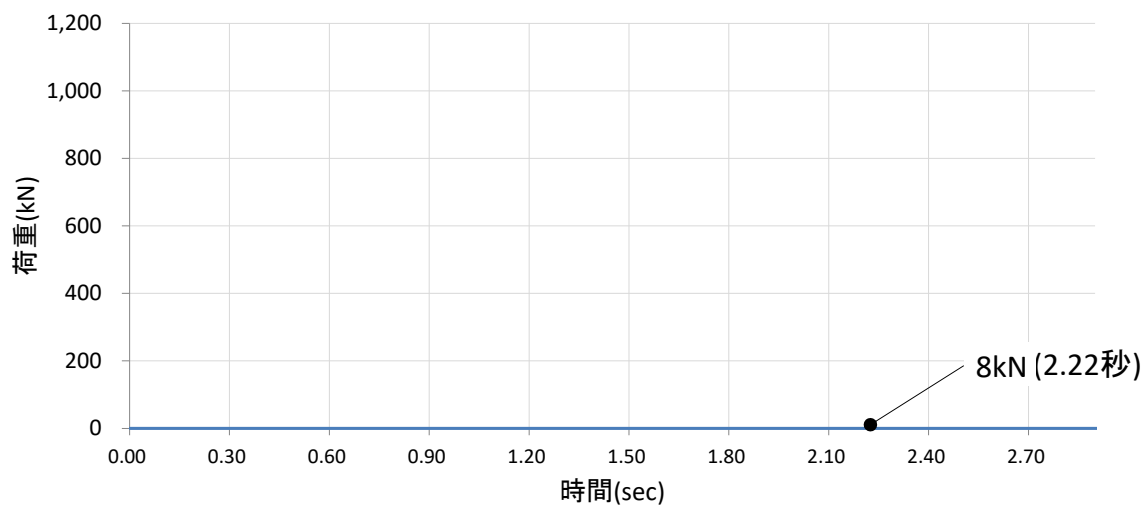


図 4.5.6-29 (7) 剛壁 1 m 当たりの衝突荷重の時刻歴

剛壁番号②②

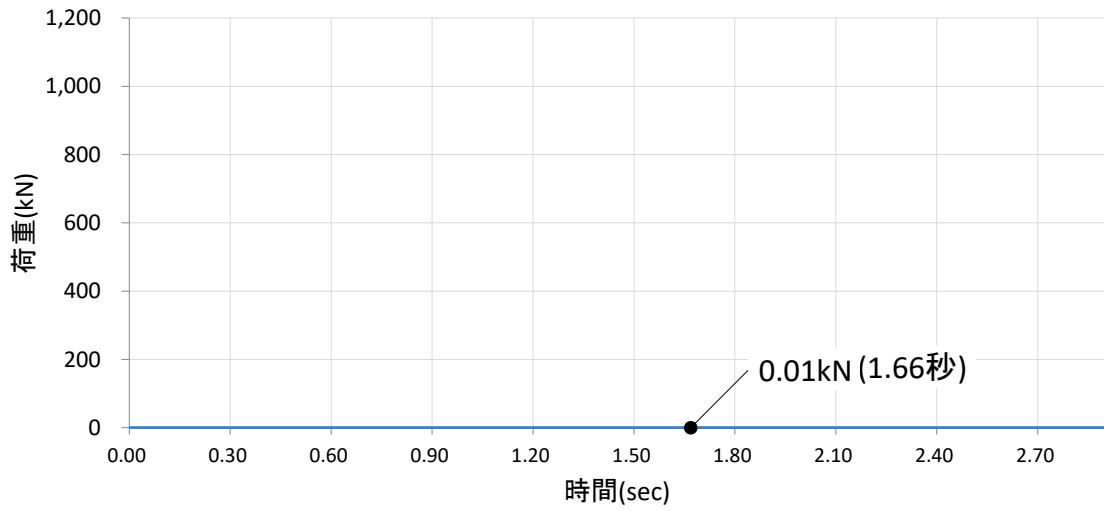


図 4.5.6-29 (8) 剛壁 1 m 当たりの衝突荷重の時刻歴

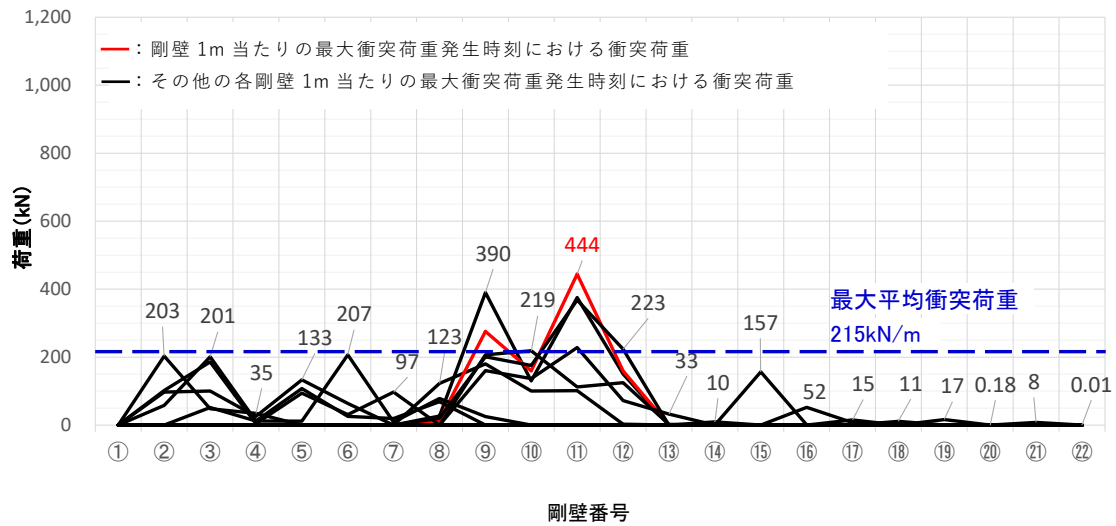


図 4.5.6-30 剛壁 1 m 当たりの最大衝突荷重発生時刻における衝突荷重分布

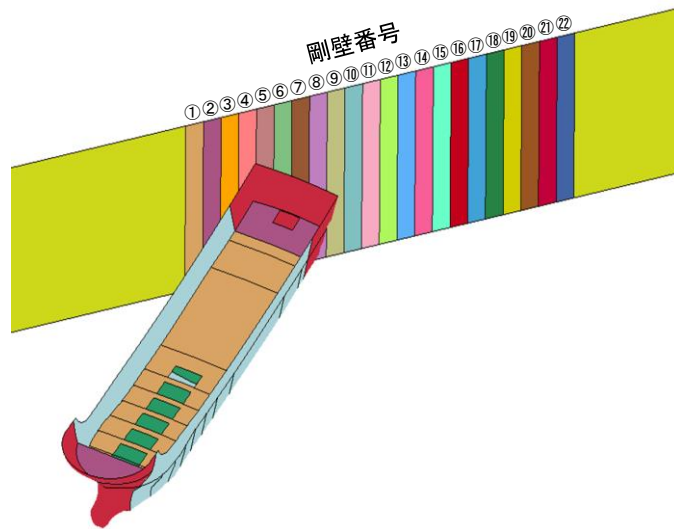
表 4.5.6-10 衝突荷重のまとめ

衝突荷重の集計値 (kN) 【時刻 (秒)】	剛壁 1 m 当たりの 最大衝突荷重 (kN) 【時刻 (秒)】
1,073 【0.31】	444 【0.32】

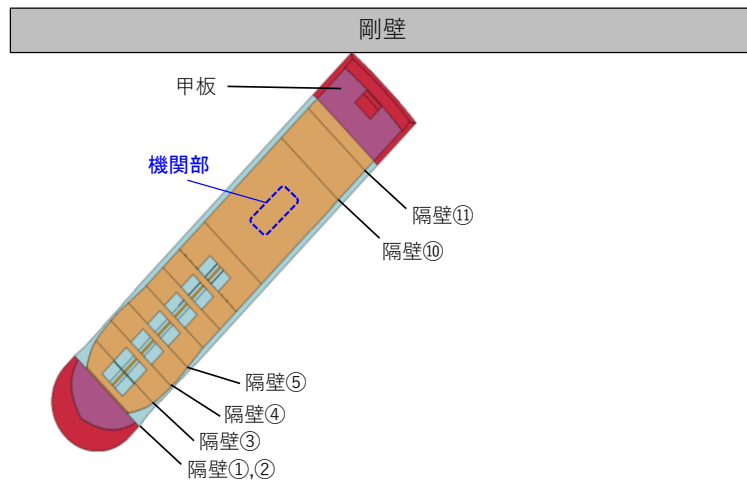
(e) ケース⑤（斜め船尾衝突）

ケース⑤（斜め船尾衝突）の解析結果のまとめを以下に示す。図 4.5.6-31 に衝突状況，図 4.5.6-32 に各剛壁の衝突荷重を集計した時刻歴，図 4.5.6-33 に剛壁 1 m 当たりの衝突荷重の時刻歴，図 4.5.6-34 に剛壁 1 m 当たりの最大衝突荷重発生時刻における衝突荷重分布，表 4.5.6-11 に衝突荷重のまとめを示す。

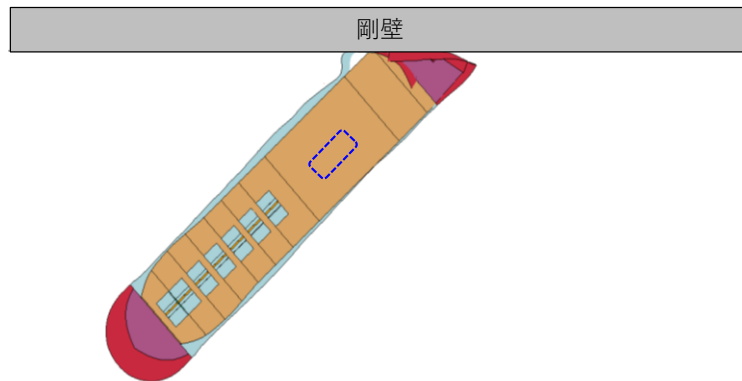
- ・図 4.5.6-31 より，機関部（エンジン）が剛壁へ衝突していないことから，機関部の影響がないことを確認した。
- ・図 4.5.6-32 より，各剛壁（剛壁番号①～②）の衝突荷重を集計した場合においては，衝突直後から荷重が大きくなり，衝突後 0.51 秒（船尾，隔壁①衝突時）に 685kN の荷重が作用していることを確認した。また，衝突後 2.48 秒（隔壁①～⑤付近衝突時）で最大となる 1,294kN となる荷重が作用しており，これは斜めから衝突した後に船体が剛壁に平行となる方向に回転し，船尾付近の船体側面が衝突することにより瞬間的に生じていることを確認した。
- ・最大衝突荷重 1,294kN が発生する衝突後 2.48 秒において，残存質量として約 96.2% であることから，衝突時の船体破壊に伴う質量低下による衝突荷重への影響は軽微と判断する。
- ・衝突荷重の作用時間は 2.90 秒となり，ケース①（船首衝突），ケース②（船尾衝突）及びケース③（真横衝突）と比較して，衝突荷重の作用時間が長く，ケース④（斜め船尾衝突）とおおむね同程度であることを確認した。
- ・図 4.5.6-33 より，剛壁 1 m 当たりに作用する衝突荷重は，船尾の破壊に伴い大きくなり，剛壁番号④において衝突後 2.45 秒（隔壁①～⑤付近衝突時）で最大となる衝突荷重 884kN が作用することを確認した。なお，ケース⑤（斜め船尾衝突）はケース①（船首衝突）及びケース②（船尾衝突）と比較して最大衝突荷重が小さく，ケース③（真横衝突）及びケース④（斜め船首衝突）より最大衝突荷重が大きいことを確認した。
- ・図 4.5.6-34 より，衝突荷重は分布的に作用していることを確認した。また，ケース⑤（斜め船尾衝突）は，剛壁に対して 45° に衝突し，船体が回転し，再度衝突することから，最大平均衝突荷重（剛壁荷重作用幅 4 m で除した等分布荷重）は，衝突後 2.49 秒で 321kN/m となり，剛壁番号④～⑥において衝突荷重の平均値を上回る荷重が発生することを確認した。



衝突前



衝突後0.51秒：船尾, 隔壁⑩衝突時



衝突後2.48秒：隔壁①～⑤付近衝突時

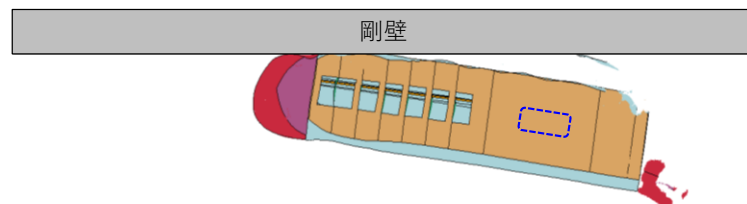


図 4.5.6-31 衝突状況

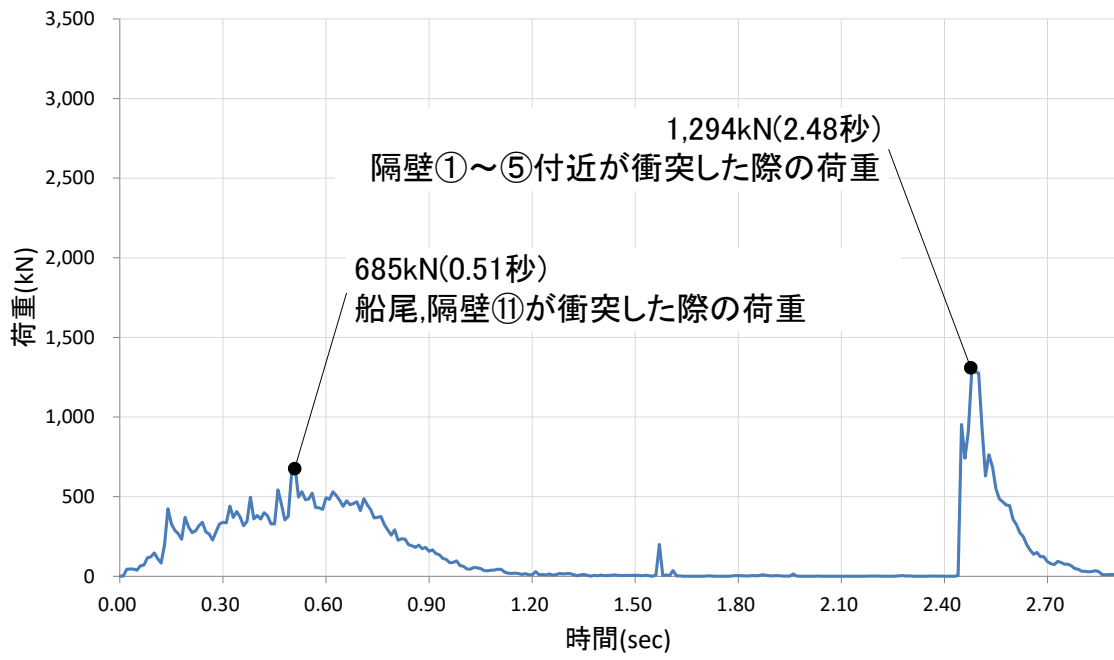
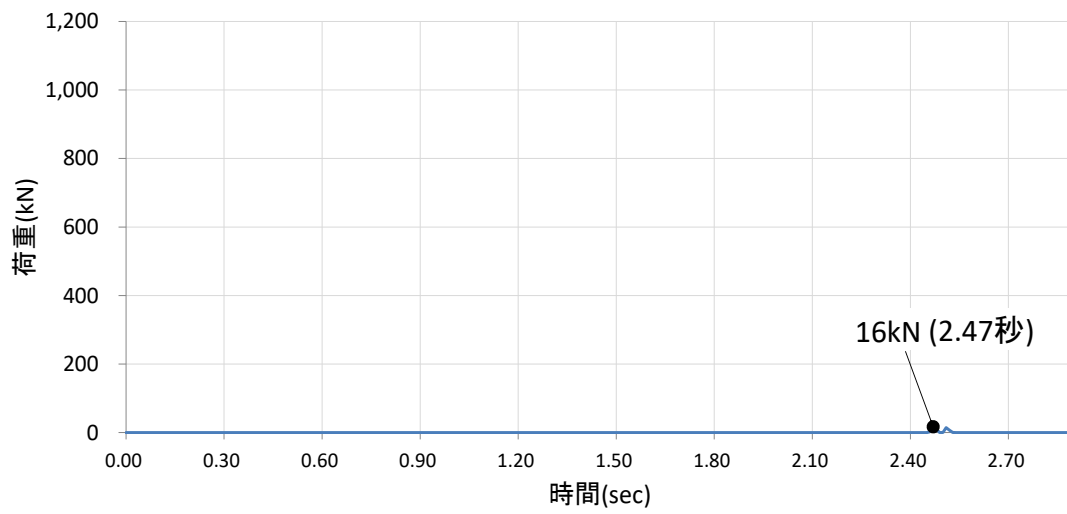
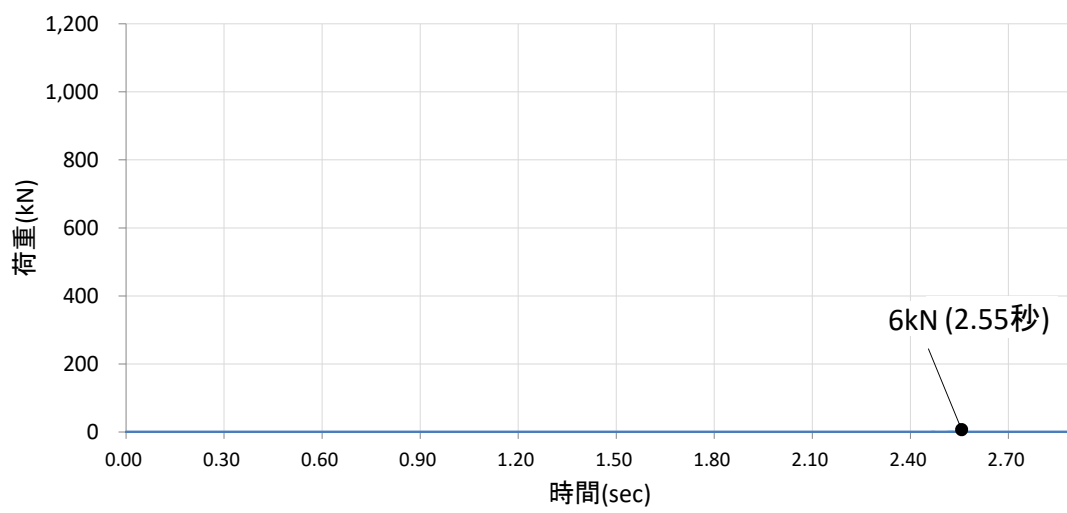


図 4.5.6-32 各剛壁の衝突荷重を集計した時刻歴

剛壁番号①



剛壁番号②



剛壁番号③

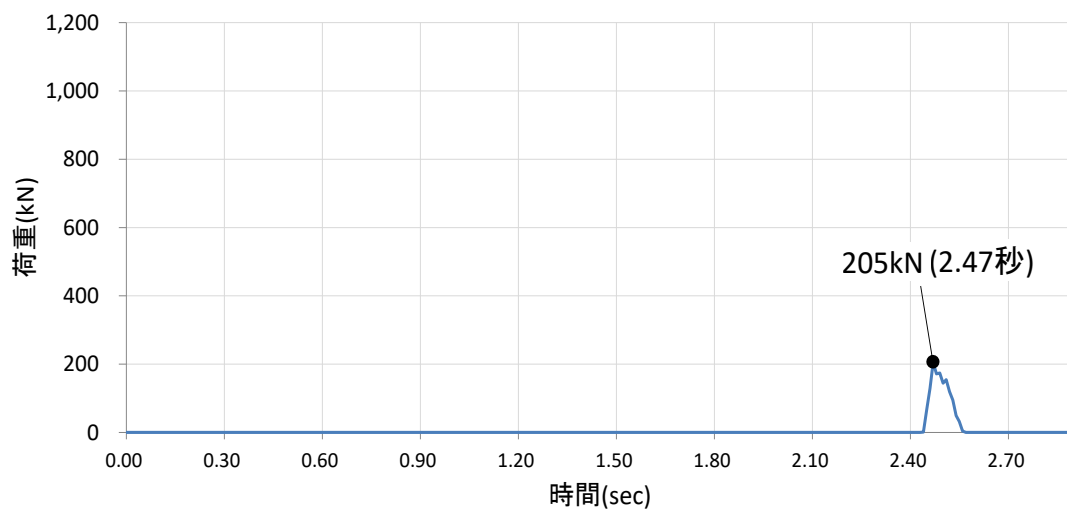
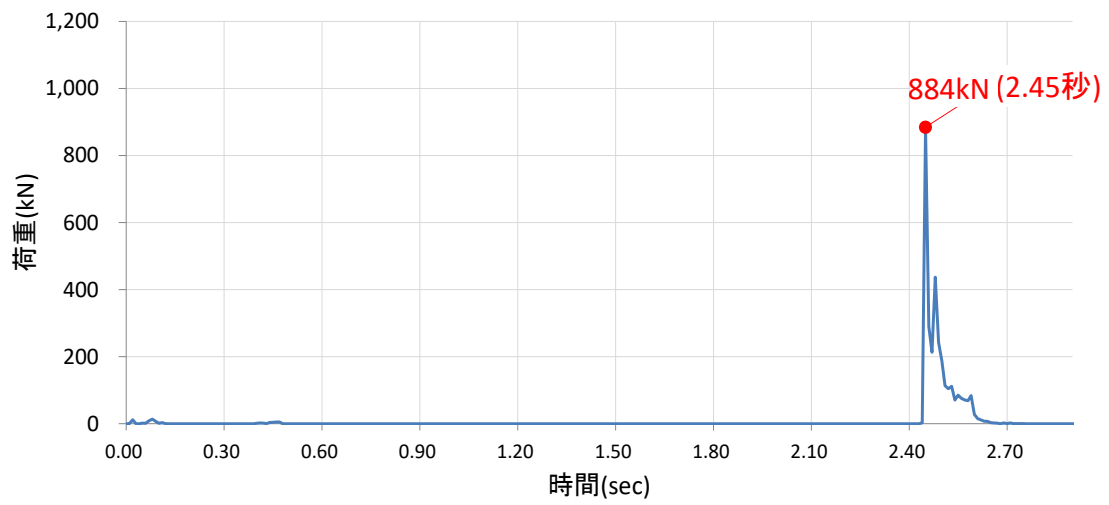
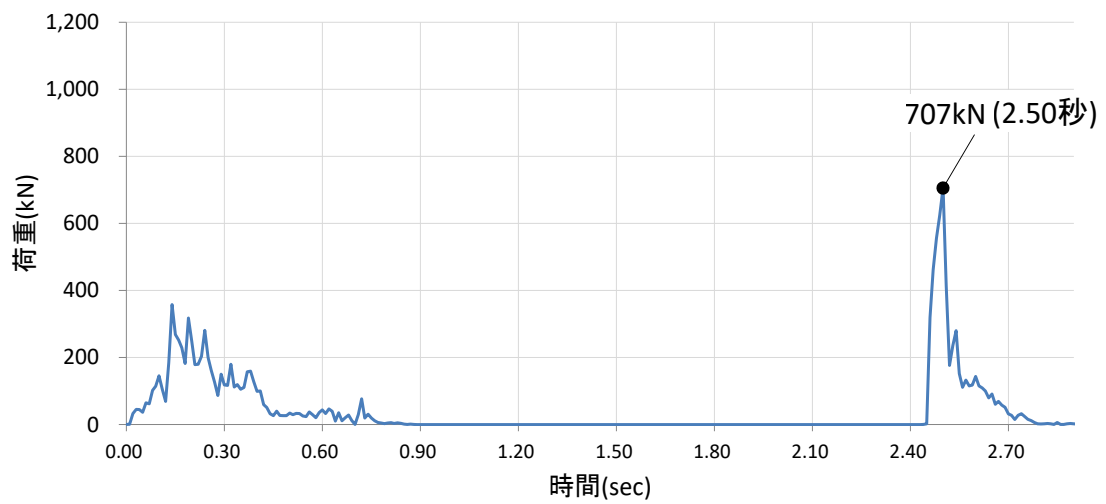


図 4.5.6-33 (1) 剛壁 1 m 当たりの衝突荷重の時刻歴

剛壁番号④



剛壁番号⑤



剛壁番号⑥

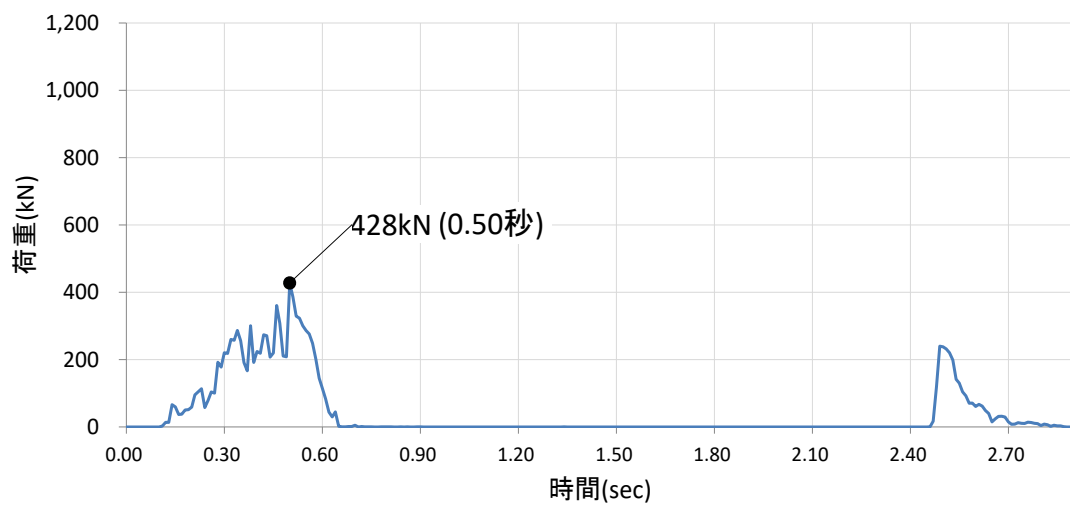
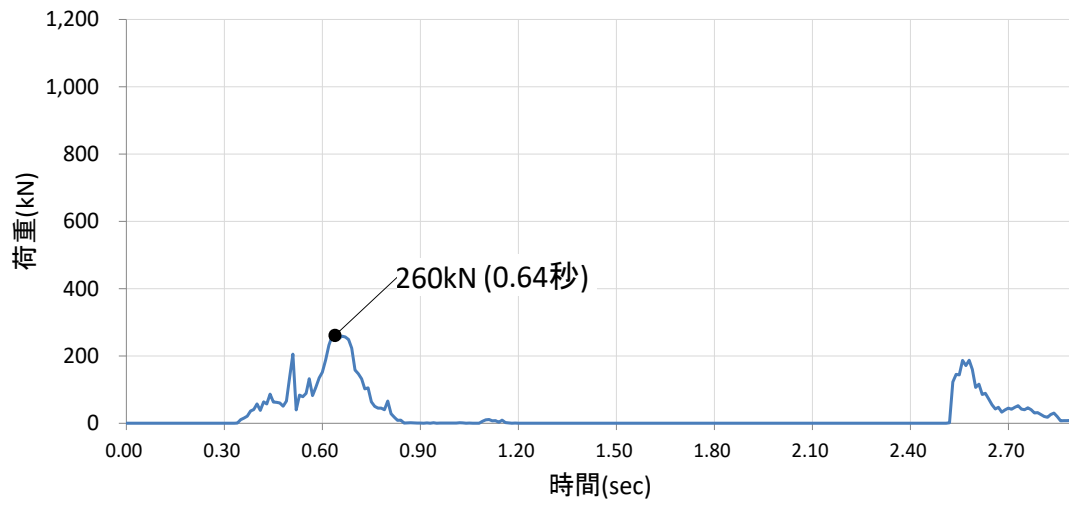
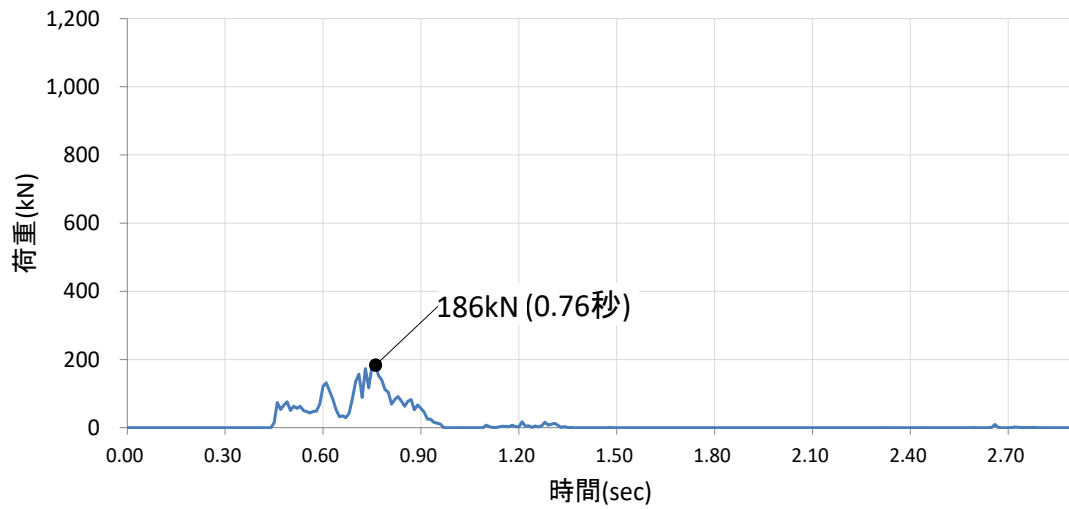


図 4.5.6-33 (2) 剛壁 1 m 当たりの衝突荷重の時刻歴

剛壁番号⑦



剛壁番号⑧



剛壁番号⑨

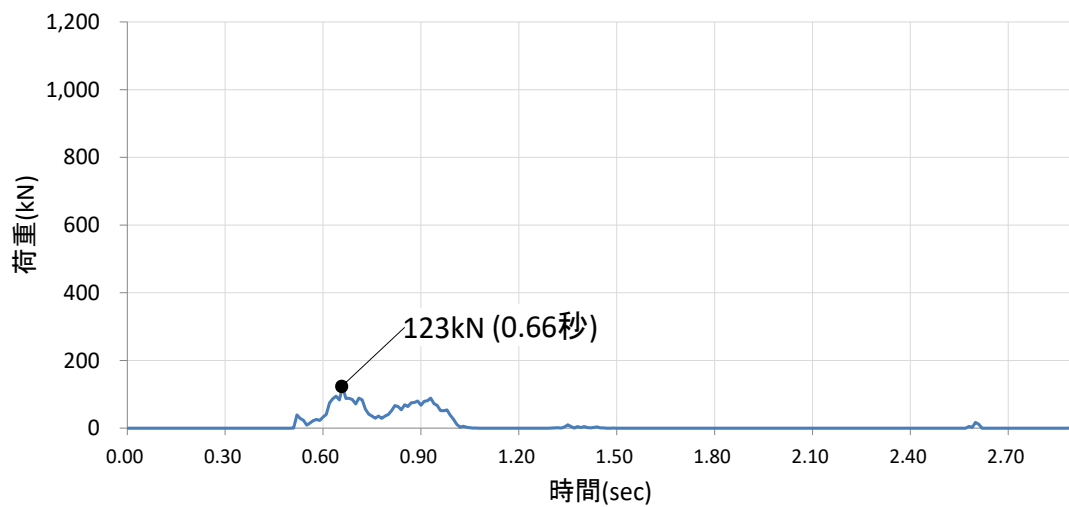
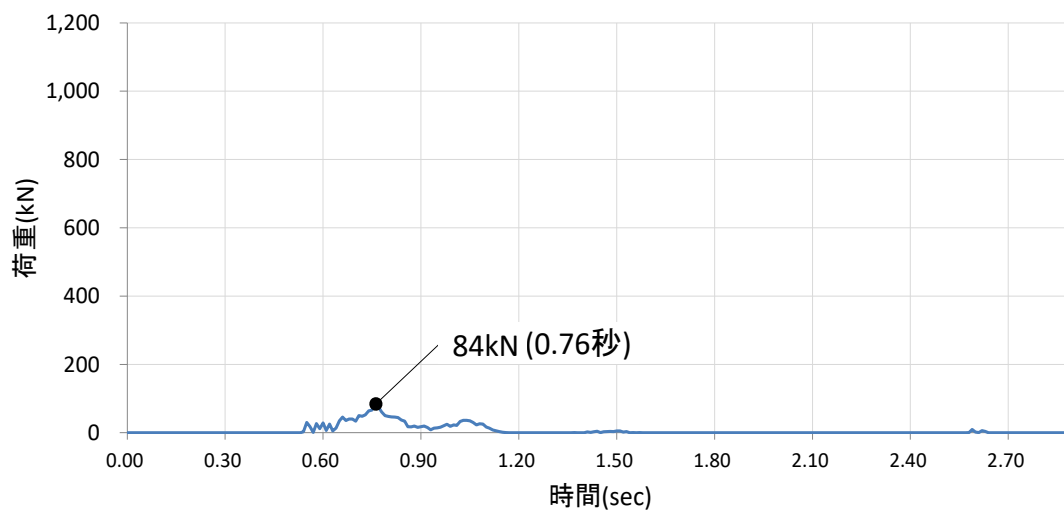
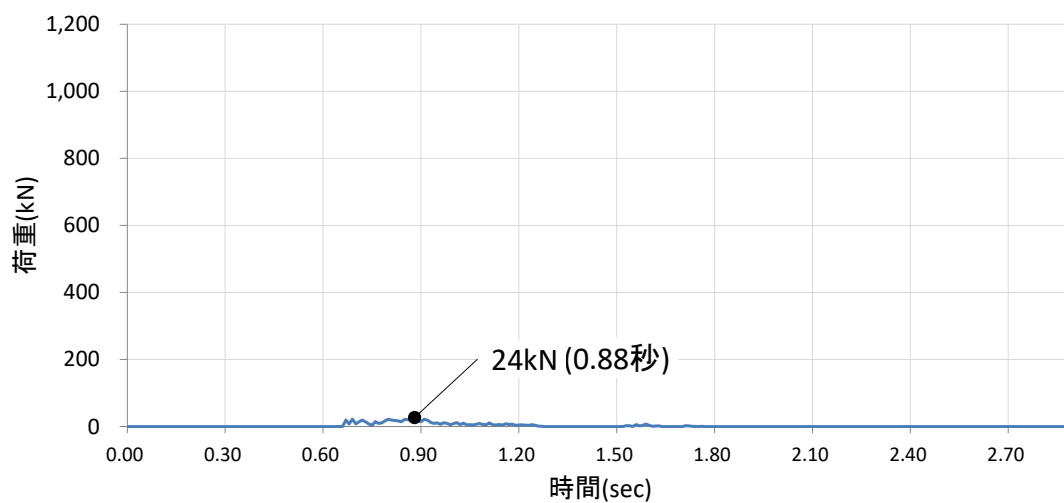


図 4.5.6-33 (3) 剛壁 1 m 当たりの衝突荷重の時刻歴

剛壁番号⑩



剛壁番号⑪



剛壁番号⑫

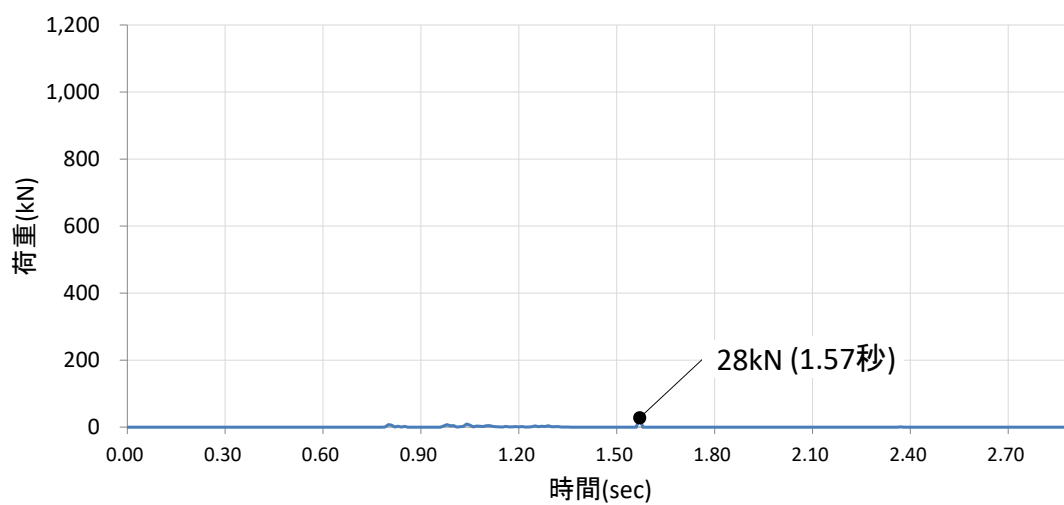
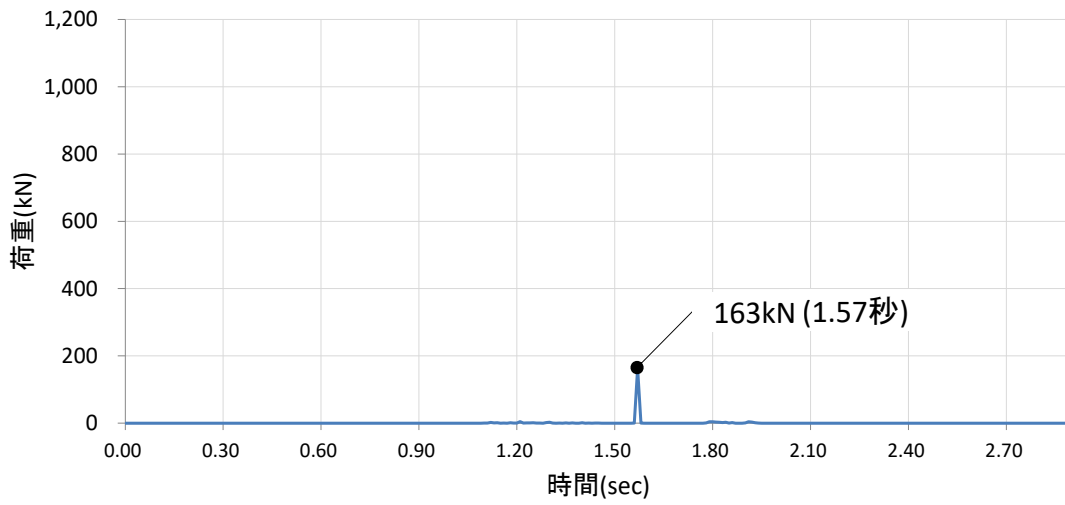
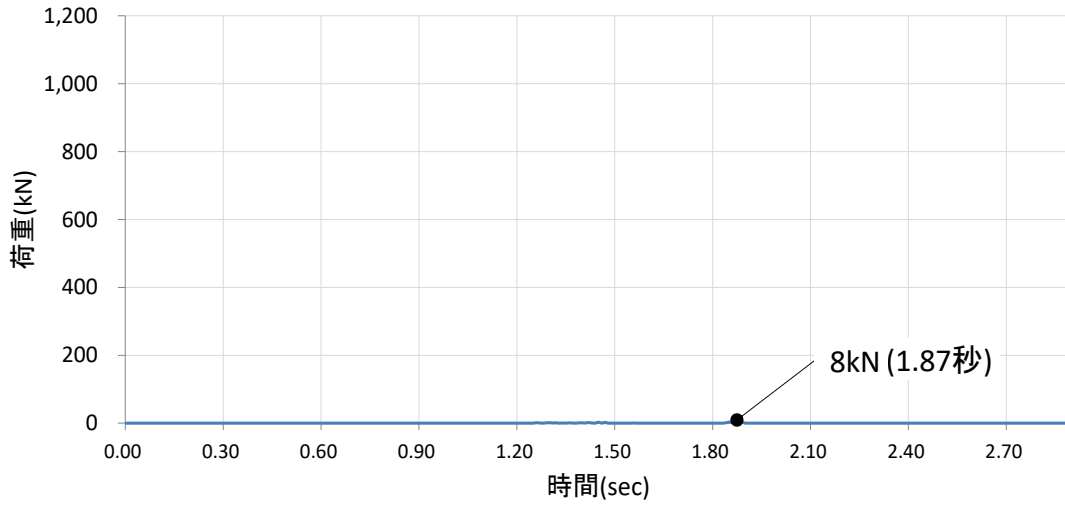


図 4.5.6-33 (4) 剛壁 1 m 当たりの衝突荷重の時刻歴

剛壁番号⑬



剛壁番号⑭



剛壁番号⑮

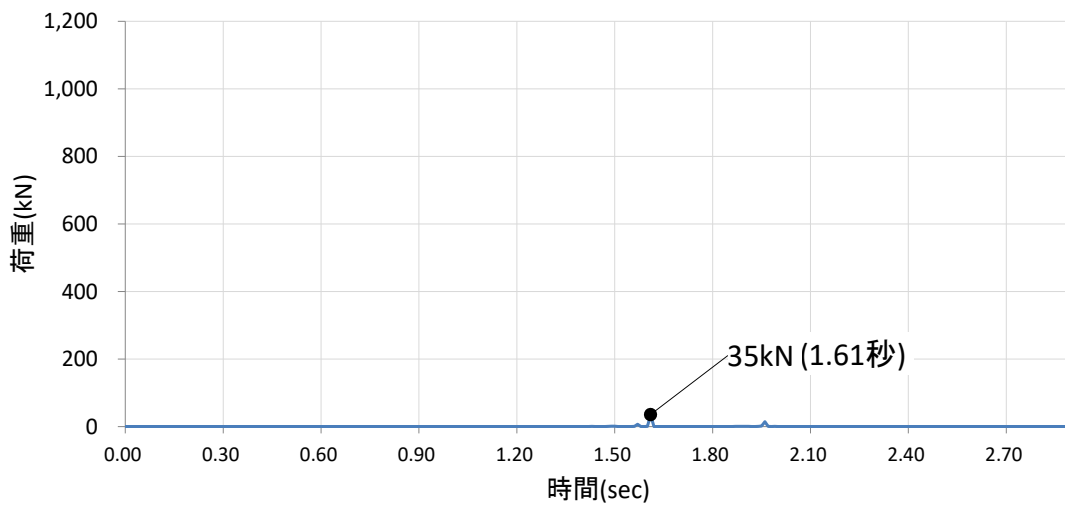
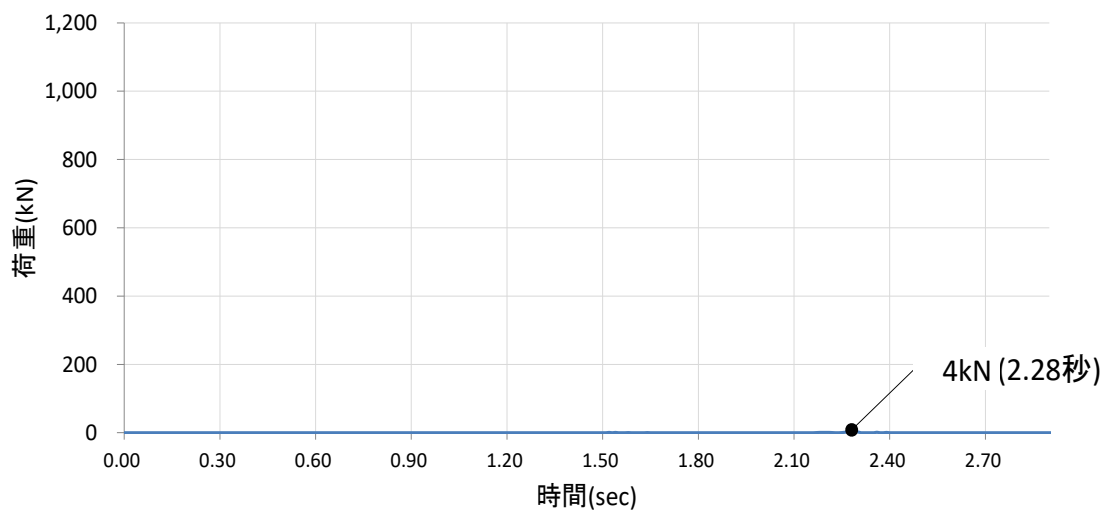
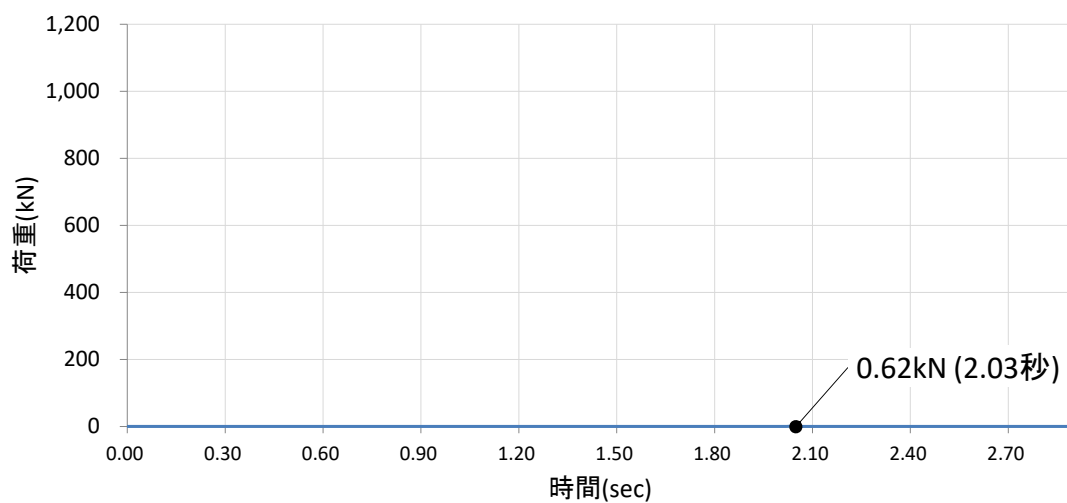


図 4.5.6-33 (5) 剛壁 1 m 当たりの衝突荷重の時刻歴

剛壁番号⑬



剛壁番号⑭



剛壁番号⑮

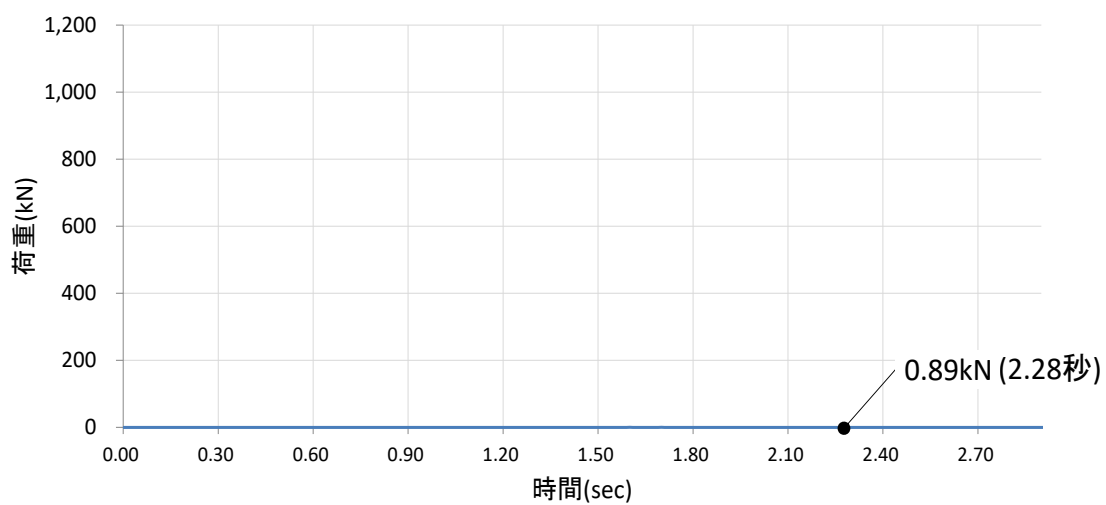
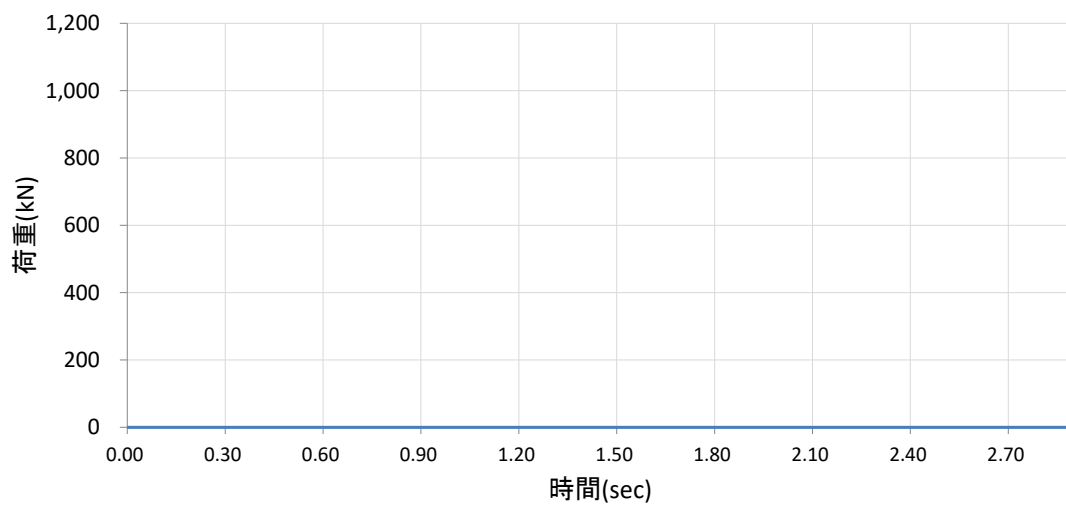
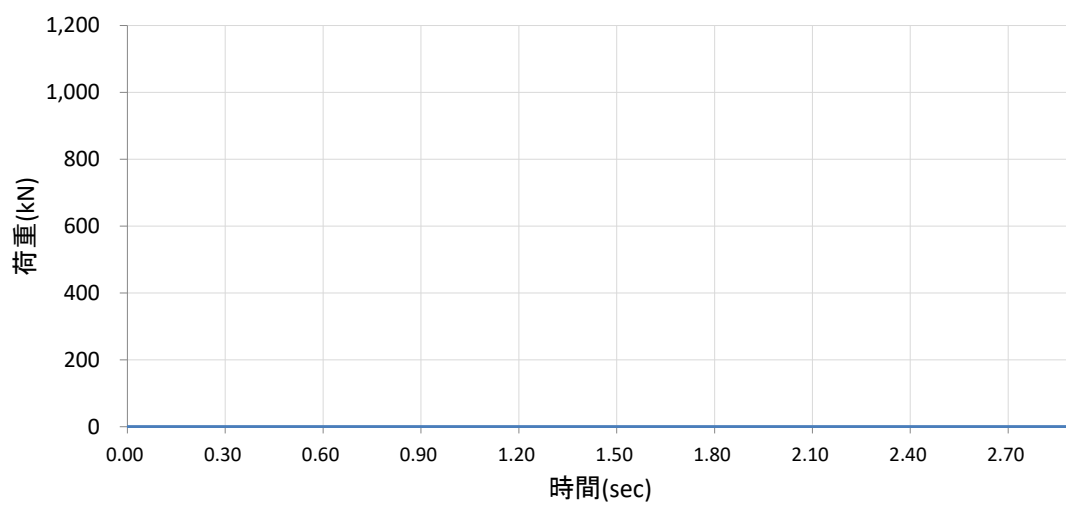


図 4.5.6-33 (6) 剛壁 1 m 当たりの衝突荷重の時刻歴

剛壁番号⑱



剛壁番号㉔



剛壁番号㉑

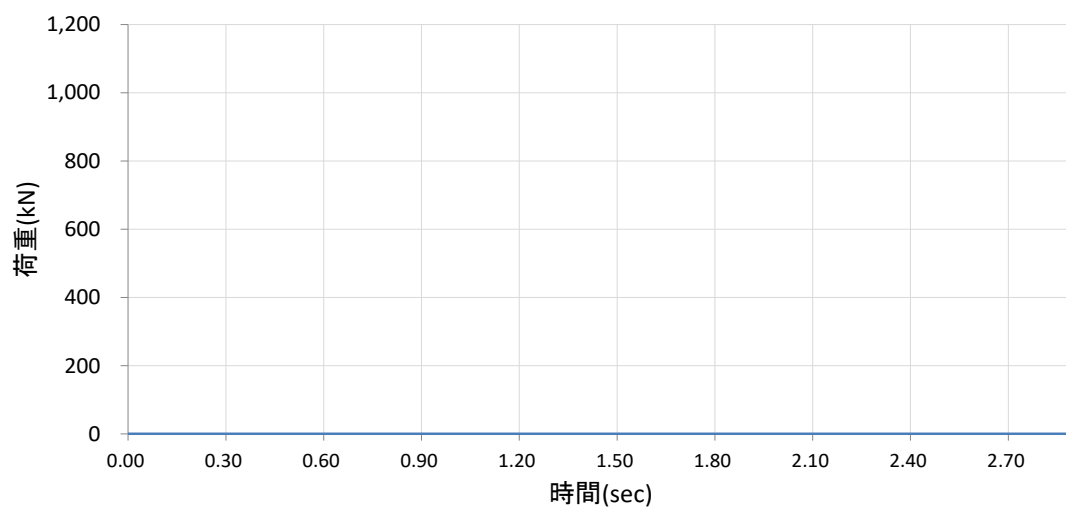


図 4.5.6-33 (7) 剛壁 1 m 当たりの衝突荷重の時刻歴

剛壁番号②

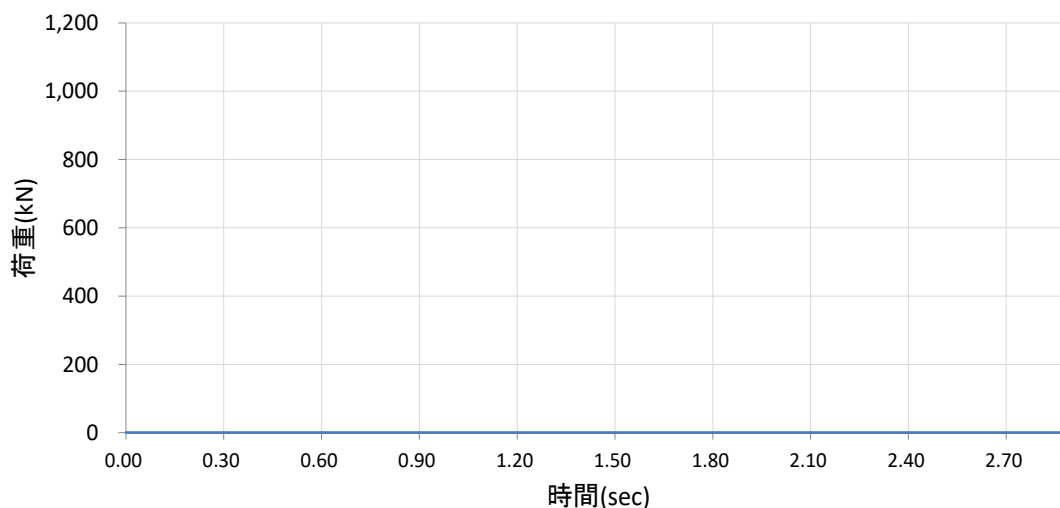


図 4.5.6-33 (8) 剛壁 1 m 当たりの衝突荷重の時刻歴

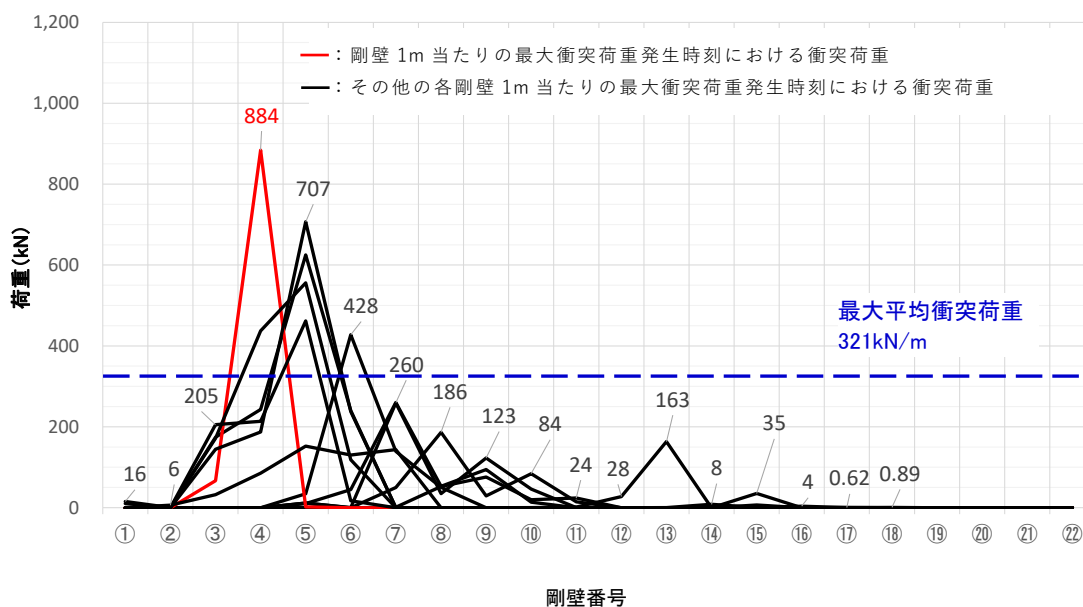


図 4.5.6-34 剛壁 1 m 当たりの最大衝突荷重発生時刻における衝突荷重分布

表 4.5.6-11 衝突荷重のまとめ

衝突荷重の集計値 (kN) 【時刻 (秒)】	剛壁 1 m 当たりの 最大衝突荷重 (kN) 【時刻 (秒)】
1,294 【2.48】	884 【2.45】

(f) まとめ

ケース①～⑤における衝突荷重を表 4.5.6-12 に示す。

表 4.5.6-12 より、衝突荷重の集計値は、ケース③(真横衝突)の 7,395kN が最大となることを確認した。また、剛壁 1 m 当たりの衝突荷重は、ケース①(船首衝突)の 1,107kN が最大となることを確認した。

機関部(エンジン)の影響確認として、ケース①～⑤すべてのケースで機関部(エンジン)は剛壁に衝突しないことを確認した。

表 4.5.6-12 衝突荷重のまとめ(ケース①～⑤)

ケース	衝突形態	衝突荷重の集計値 【kN】	剛壁 1 m 当たりの 衝突荷重 【kN】
①	船首	3,078	1,107
②	船尾	3,019	937
③	真横	7,395	736
④	斜め船首	1,073	444
⑤	斜め船尾	1,294	884

g. 衝突解析による衝突荷重の整理

船舶（総トン数 19 トン）の衝突解析のケース①（船首衝突），ケース②（船尾衝突），ケース③（真横衝突），ケース④（斜め船首衝突）及びケース⑤（斜め船尾衝突）において，剛壁幅毎に作用する最大衝突荷重を図 4.5.6-35 に示す。剛壁幅毎に作用する最大衝突荷重は，各時刻における作用幅毎で集計した最大値を示している。

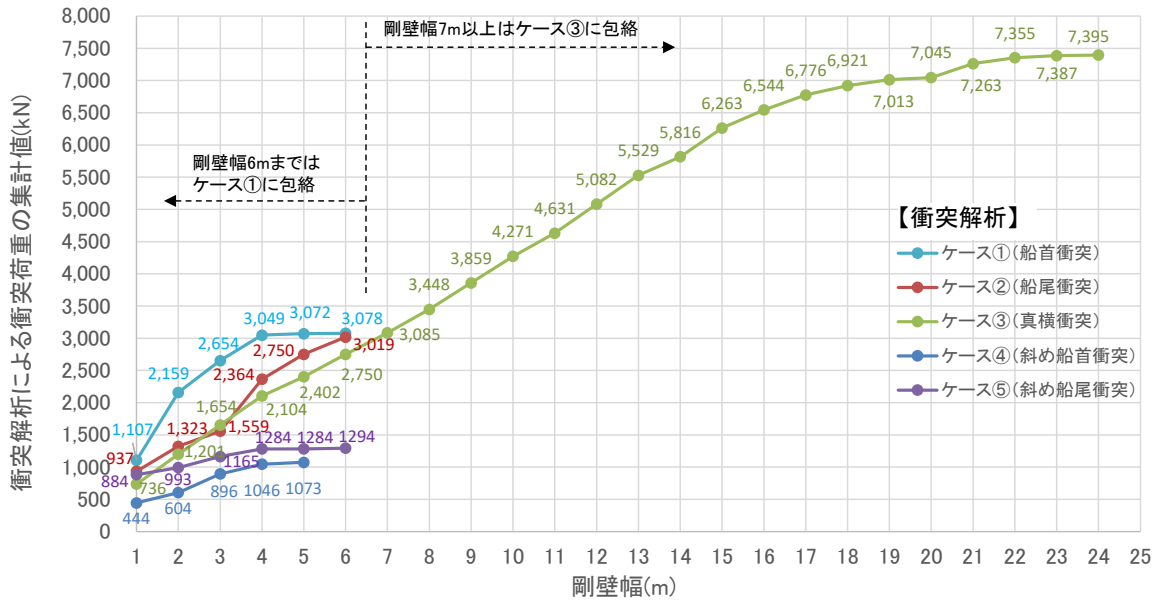


図 4.5.6-35 剛壁幅毎に作用する最大衝突荷重

衝突荷重の作用幅として，ケース①（船首衝突）及びケース②（船尾衝突）は，船幅 5.2m に相当する剛壁幅に作用している。また，ケース③（真横衝突）では，船長さ 24.72m に相当する剛壁幅に作用している。ケース④（斜め船首衝突）及びケース⑤（斜め船尾衝突）は，剛壁に対して斜め 45° に衝突し，船体が回転して再度衝突することから，剛壁幅 5～6 m に漂流物衝突荷重が作用している。

また，剛壁幅毎に作用する最大衝突荷重は，剛壁幅 6 m まではケース①（船首衝突）に包絡され，剛壁幅 7 m 以上はケース③（真横衝突）に包絡されることを確認した。

漂流物衝突による施設評価においては，施設の延長（荷重の作用幅）に応じて「施設全体に作用する衝突荷重」を設定し，施設全体の評価を実施する。

施設評価において、「施設全体に作用する衝突荷重」は平均衝突荷重の等分布荷重として表現するが、図 4.5.6-36 に示すとおり、衝突解析において平均衝突荷重を上回る局所的な荷重が生じていることから、「施設全体に作用する衝突荷重」では局所的な衝突荷重による影響を適切に評価できない。

施設の局所的な損傷を評価する観点から、施設の延長に関わらず、「局所的な衝突荷重」を設定し、施設評価を実施する。なお、最大衝突荷重は、船首衝突において隔壁①、②が衝突時に発生しており、1 m以上の作用幅となっていることから、「局所的な衝突荷重」は剛壁 1 m 当たりの荷重として設定する。

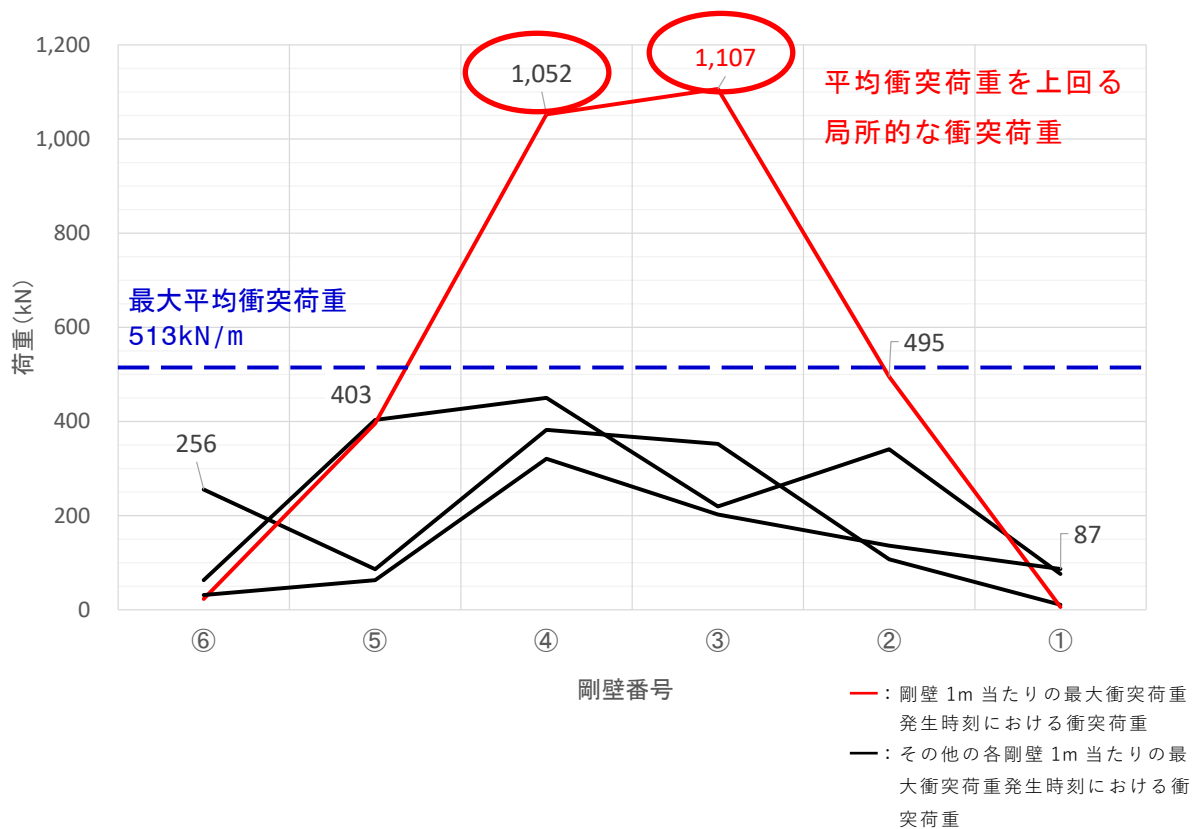


図 4.5.6-36 局所的な衝突荷重

(2) 漂流物の初期配置が前面海域の場合の衝突荷重の算定

漂流物の初期配置が前面海域の場合の衝突荷重は、既往の衝突荷重の算定式である「道路橋示方書（2002）」により算定する。

以下に算定式を示す。

【道路橋示方書(2002)算定式】

$$P = 0.1 W v$$
$$= 0.1 \times 559 \times 10.0 = 559 \text{ (kN)}$$

ここに、

P：漂流物衝突荷重

W：漂流物の重量*（=19 トン×3×9.80665≒559kN）

v：漂流物の衝突速度（=10.0m/s）

注記*：「津波漂流物対策施設設計ガイドライン（2014）」に、船舶重量である「漁船の排水トン数は総トン数のほぼ3倍としてよい。」と記載

(3) 設計用衝突荷重の設定

a. 設計用衝突荷重の設定方針

島根原子力発電所においては、船舶（総トン数 19 トン）による衝突荷重を考慮する施設・設備は、表 4.5.1-1 に示すとおり防波壁及び防波壁通路防波扉（荷揚場南，3号機東側）の漂流物対策工である。

漂流物衝突荷重を用いた施設評価においては、船舶（総トン数 19 トン）の衝突による「施設全体に作用する衝突荷重」を設計用衝突荷重として設定する。さらに、施設の局所的な損傷を評価する観点から、施設の延長に関わらず、「局所的な衝突荷重」も設計用衝突荷重として設定する。

島根原子力発電所の漂流物衝突荷重は、船舶（総トン数 19 トン）の初期配置を踏まえて、前面海域では「道路橋示方書（2002）」，直近海域では「衝突解析」により算定する。「衝突解析」による衝突荷重の算定に当たっては、機関部の衝突影響も考慮する。

「施設全体に作用する衝突荷重」及び「局所的な衝突荷重」の設計衝突荷重は、各算定方法による漂流物衝突荷重を包絡するように設定する。

設計用衝突荷重の設定フローを図 4.5.6-37 に示す。

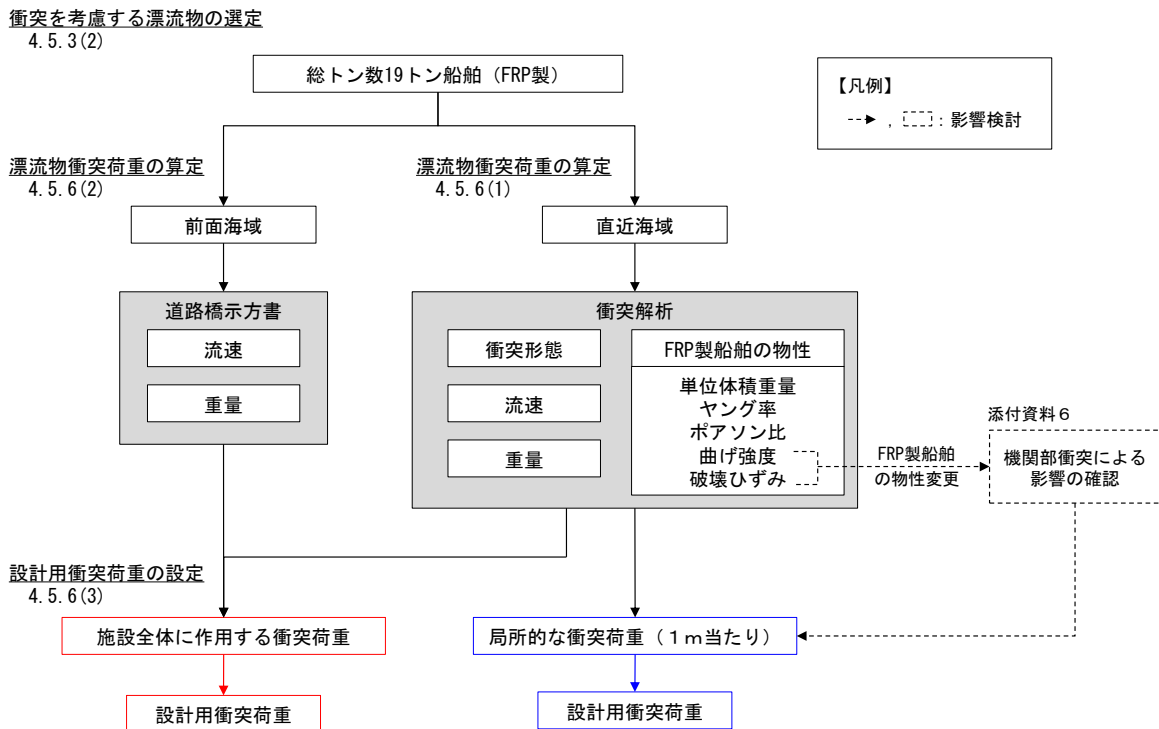


図 4.5.6-37 設計用衝突荷重の設定フロー

b. 設計用衝突荷重の設定

(a) 施設全体に作用する衝突荷重

・衝突解析

衝突解析結果より、各衝突形態による衝突荷重は、剛壁幅 6 m まではケース①（船首衝突）に包絡され、剛壁幅 7 m 以上はケース③（真横衝突）に包絡されることを確認したことから、衝突解析における「施設全体に作用する衝突荷重」を図 4.5.6-38 のとおり整理し、評価対象構造物の延長（作用幅）に応じて衝突荷重を設定する。

施設評価においては、「施設全体に作用する荷重」は等分布荷重とすることから、最大平均衝突荷重（施設全体に作用する荷重／作用幅）を図 4.5.6-39 に示す。

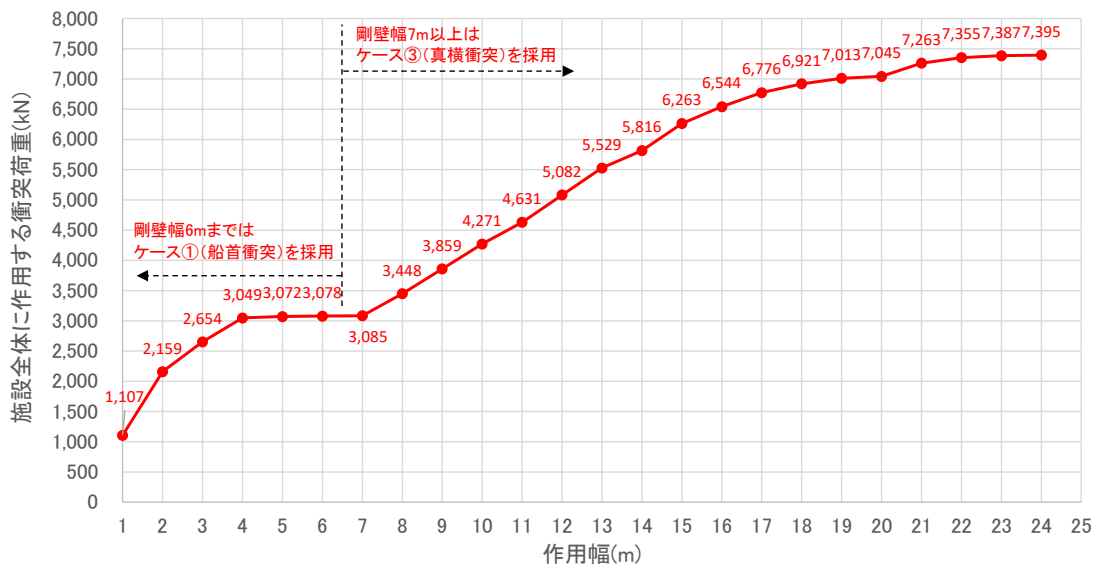


図 4.5.6-38 施設全体に作用する衝突荷重（衝突解析）

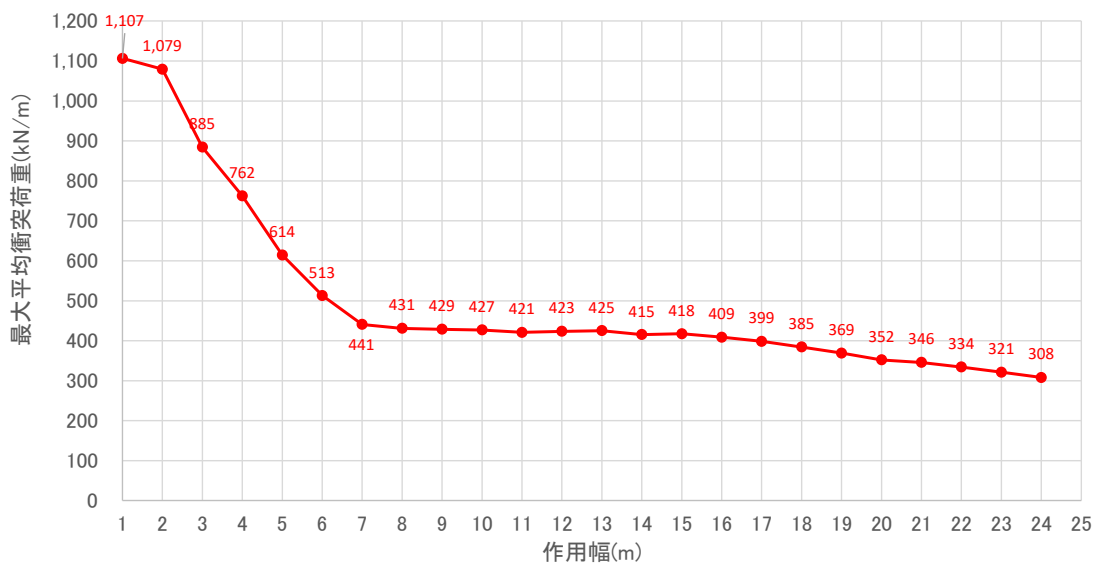


図 4.5.6-39 最大平均衝突荷重（衝突解析）

・道路橋示方書（2002）

漂流物の初期配置が前面海域にある場合は、「道路橋示方書（2002）」により衝突荷重を算定する。本算定式による衝突荷重は、船舶の総重量を基に算定することから、船舶全体の衝突荷重である「施設全体に作用する衝突荷重」に相当すると考える。「道路橋示方書（2002）」により算定される衝突荷重を表 4.5.6-13 に示す。

なお、衝突荷重の詳細な算定方法は、「4.5.6(2) 漂流物の初期配置が前面海域の場合の衝突荷重の算定」に記載している。

表 4.5.6-13 「道路橋示方書（2002）」により算定される衝突荷重

算定方法	衝突荷重【kN】
道路橋示方書 (2002)	559

「施設全体に作用する衝突荷重」のうち、「衝突解析」及び「道路橋示方書（2002）」の作用幅毎の衝突荷重を図 4.5.6-40 に示す。なお、「道路橋示方書（2002）」には衝突形態の概念がないことから、衝突解析において衝突荷重が大きくなる船首方向と真横方向からの衝突として整理している。

図 4.5.6-40 より、「衝突解析」による衝突荷重が他の算定方法から算定される衝突荷重を包絡していることを確認したことから、設計用衝突荷重の設定においては「衝突解析」の結果を考慮する。

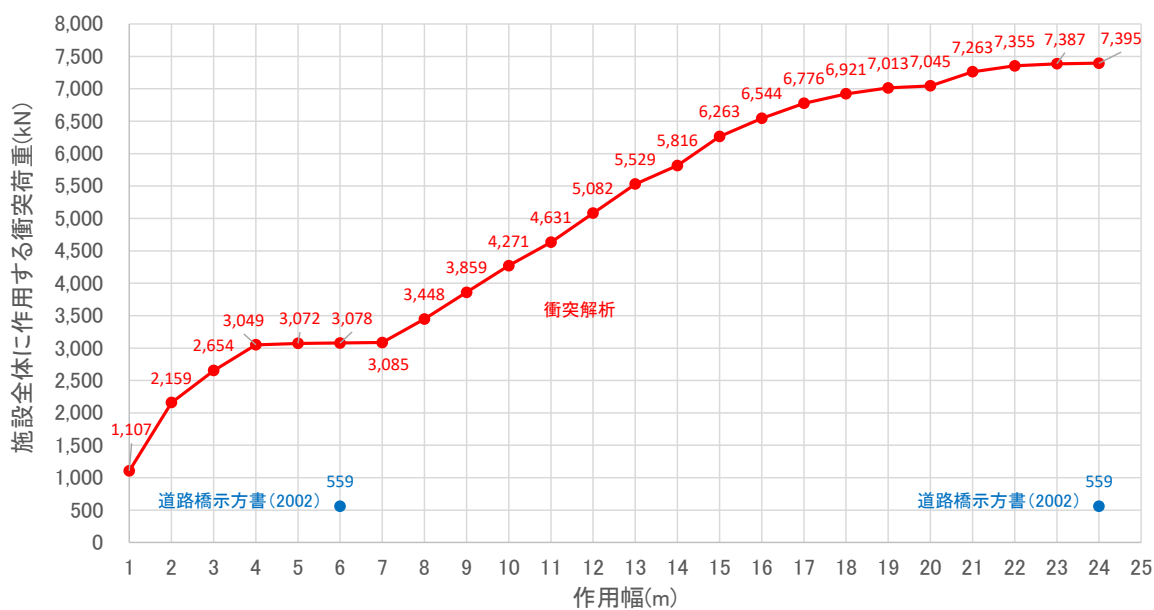


図 4.5.6-40 各算定方法による施設全体に作用する衝突荷重

(b) 局所的な衝突荷重

施設の局所的な損傷を評価する観点から、局所的な荷重（1 m当たり）を設計用衝突荷重として設定する。

表 4.5.6-14 に、各衝突形態において発生する剛壁 1 m当たりの衝突荷重を示す。最も大きな衝突荷重（1 m当たり）となる船首から衝突した場合の衝突荷重（ケース①）を考慮して、設計用衝突荷重を設定する。なお、添付資料 6 「FRP製船舶の機関部における衝突影響の確認」に示す機関部による影響を考慮した衝突荷重 445kN を包絡していることを確認した。

表 4.5.6-14 衝突荷重における局所的な衝突荷重

衝突形態		1 m当たりの 衝突荷重【kN】
①	船首	1,107 (最大値)
②	船尾	937
③	真横	736
④	斜め船首	444
⑤	斜め船尾	884
(参考)	機関部の衝突による影響	445

(c) まとめ

「施設全体に作用する衝突荷重」は、「衝突解析」及び「道路橋示方書(2002)」から算定される荷重を比較した結果、「衝突解析」により算定される衝突荷重が最も大きくなることから、「衝突解析」より算定される荷重を踏まえ、設計用衝突荷重を設定する。「施設全体に作用する衝突荷重」は、評価対象構造物の延長に応じた作用幅より設計用衝突荷重を設定する。例えば、防波壁（波返重力擁壁）のケーソン1函の延長が約 20m であることから、衝突解析から算定される 7,045kN を踏まえ、防波壁（波返重力擁壁）の設計用衝突荷重は保守的に 7,200kN を設定する。

「局所的な衝突荷重」として、船首から衝突した場合の衝突荷重である 1,107kN を踏まえ、設計用衝突荷重は保守的に 1,200kN を設定する。

漁船（総トン数 19 トン）における設計用衝突荷重のまとめを図 4.5.6-41 に示す。評価対象構造物の延長に応じて設定する「施設全体に作用する衝突荷重」の設計用衝突荷重を表 4.5.6-15 に示す。

評価対象構造物に対する漂流物衝突荷重の載荷方法を添付資料 9 「漂流物衝突荷重の載荷方法」に示す。漂流物対策工を設置した評価対象構造物については、漂流物対策工による荷重の分散を考慮して評価を実施する。

衝突を考慮する漂流物の選定
4.5.3(2)

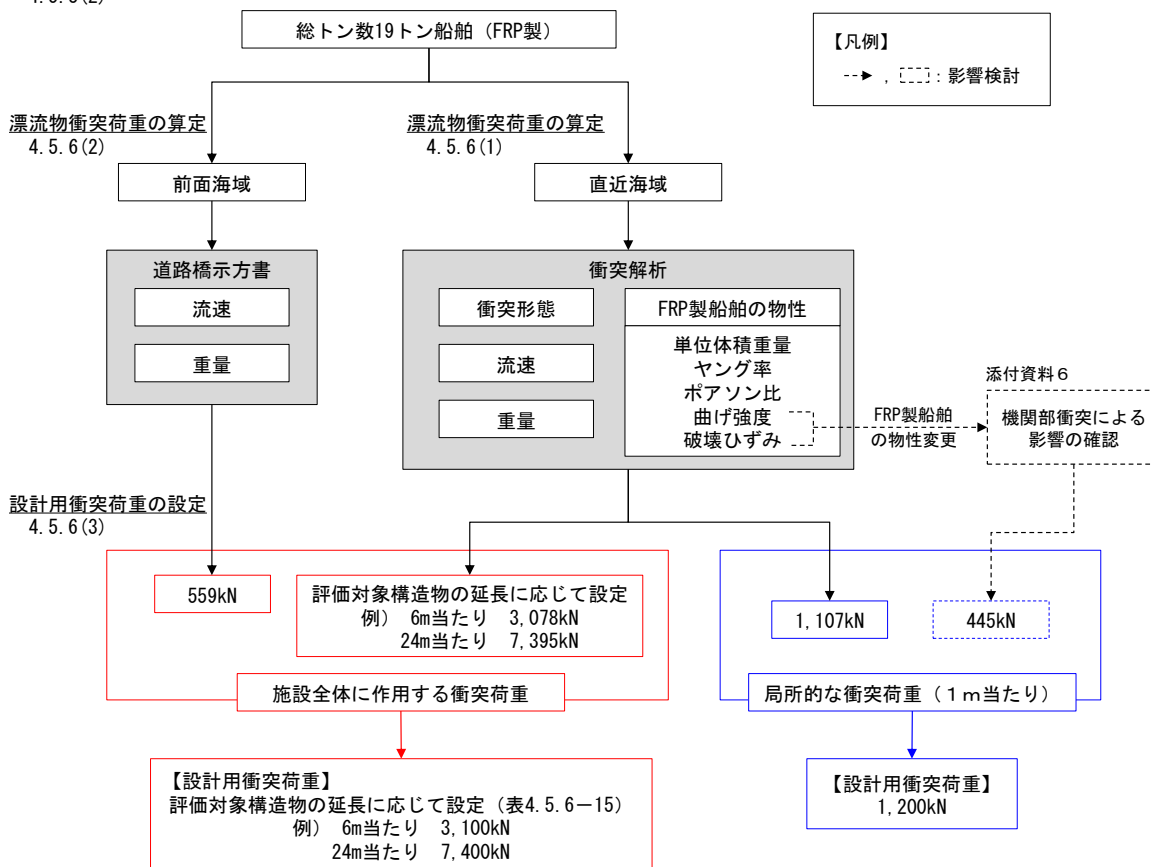


図 4.5.6-41 総トン数 19 トン船舶における設計用衝突荷重のまとめ

表 4.5.6-15 施設全体に作用する衝突荷重

評価対象構造物の延長	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
m												
衝突解析から算定される衝突荷重	1,107	2,159	2,654	3,049	3,072	3,078	3,085	3,448	3,859	4,271	4,631	5,082
kN												
衝突解析から算定される衝突荷重を 評価対象構造物の延長で除した値	1,107	1,080	885	762	614	513	441	431	429	427	421	424
kN/m												
設計用平均衝突荷重 (設計用平均衝突荷重×評価対象 構造物の延長)	1,200 (1,200)	1,100 (2,200)	890 (2,670)	770 (3,080)	620 (3,100)	520 (3,120)	450 (3,150)	440 (3,520)	430 (3,870)	430 (4,300)	430 (4,730)	430 (5,160)
kN/m (kN)												
評価対象構造物の延長	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
m												
衝突解析から算定される衝突荷重	5,529	5,816	6,263	6,544	6,776	6,921	7,013	7,045	7,263	7,355	7,387	7,395
kN												
衝突解析から算定される衝突荷重を 評価対象構造物の延長で除した値	425	415	418	409	399	385	369	352	346	334	321	308
kN/m												
設計用平均衝突荷重 (設計用平均衝突荷重×評価対象 構造物の延長)	430 (5,590)	420 (5,880)	420 (6,300)	410 (6,560)	400 (6,800)	390 (7,020)	370 (7,030)	360 (7,200)	350 (7,350)	340 (7,480)	330 (7,590)	310 (7,440)
kN/m (kN)												

島根原子力発電所の周辺海域で操業する漁船について

1. はじめに

津波防護施設の設計においては、漂流物の衝突荷重を適切に設定するため、津波防護施設に考慮する対象漂流物を適切に選定する必要がある。ここでは、島根原子力発電所の周辺海域の漁業権の区分等及び漂流物調査における操業状況を踏まえ、対象漂流物を設定する。

2. 漁業の種類

漁業については、表 2-1 に示すとおり、3つの種類がある。島根原子力発電所周辺においても、それぞれの種類に応じた漁業が営まれており、以降にそれぞれの種類毎の操業状況等を示す。

表 2-1 漁業の種類とその説明

許可漁業		<p>漁業法、水産資源保護法、農林省令、都道府県規則などにより、農林水産省大臣または都道府県知事が許可しなければ営むことができない漁業。大臣許可漁業と知事許可漁業に大別される。</p> <p>なお、島根原子力発電所周辺では、大臣許可漁業である「沖合底びき網漁」、知事許可漁業である「小型機船底びき網漁」及び「イカ釣り漁」が営まれている。</p>
漁業権漁業 (免許漁業)	(1) 区画漁業	<p>漁業権に基づく漁業であり、「漁業権」とは、一定の期間、一定の水面において、排他的に、特定の漁業を営む権利のこと。漁業権は、都道府県知事の免許によって設定される。区画漁業、定置網漁業、共同漁業に分類される。</p> <p>なお、島根原子力発電所周辺における共同漁業では、第1種共同漁業（あわび、とこぶし、いわのり、うに等の採取漁業）、第2種共同漁業（雑魚小型定置漁業、ばいかごづけ漁業等）が営まれている。</p>
	(2) 定置漁業	
	(3) 共同漁業	
自由漁業		<p>免許や許可を要しない漁業であって、水産資源の保護培養上、漁業の調整上とくに問題とならない一部の一本釣り漁業、延縄（はえなわ）漁業などの漁業。</p>

3. 許可漁業

島根原子力発電所周辺では、大臣許可漁業である「沖合底びき網漁」、知事許可漁業である「小型機船底引き網漁」及び「イカ釣り漁」が営まれている。

これらは、指定漁業の許可及び取締り等に関する省令及び島根県漁業調整規則に基づき操業区域及び使用する漁船の総トン数に制限が課せられている。それぞれの許可漁業の詳細を表 3-1 に示す。

表 3-1 島根原子力発電所周辺で営まれる許可漁業

許可漁業	操業制限等	操業状況		
		漁港	総トン数	操業区域
沖合底びき網漁	<ul style="list-style-type: none"> 総トン数 15 トン以上 海岸から 5 海里 (約 9km) 以内における操業禁止 	恵曇漁港	15 トン	図 3-1
小型機船底びき網漁	<ul style="list-style-type: none"> 総トン数 15 トン未満 海岸から 5 海里 (約 9km) 以内における操業禁止 	恵曇漁港	15 トン未満	
イカ釣り漁	<ul style="list-style-type: none"> 総トン数 10 トン以上の漁船は海岸から 10 海里 (約 18.5km) 以内における操業禁止 制限される操業区域 (以下, 操業制限区域という) を図 3-2 に示す。 	片句漁港	5 トン未満	図 3-3
			8 トン未満	
			10 トン未満	
		恵曇漁港	19 トン	
ずわいがに漁	<ul style="list-style-type: none"> 総トン数 10 トン以上 	恵曇漁港	15 トン	—
すくい網漁	<ul style="list-style-type: none"> 総トン数 10 トン未満 	片句漁港 恵曇漁港	10 トン未満	—

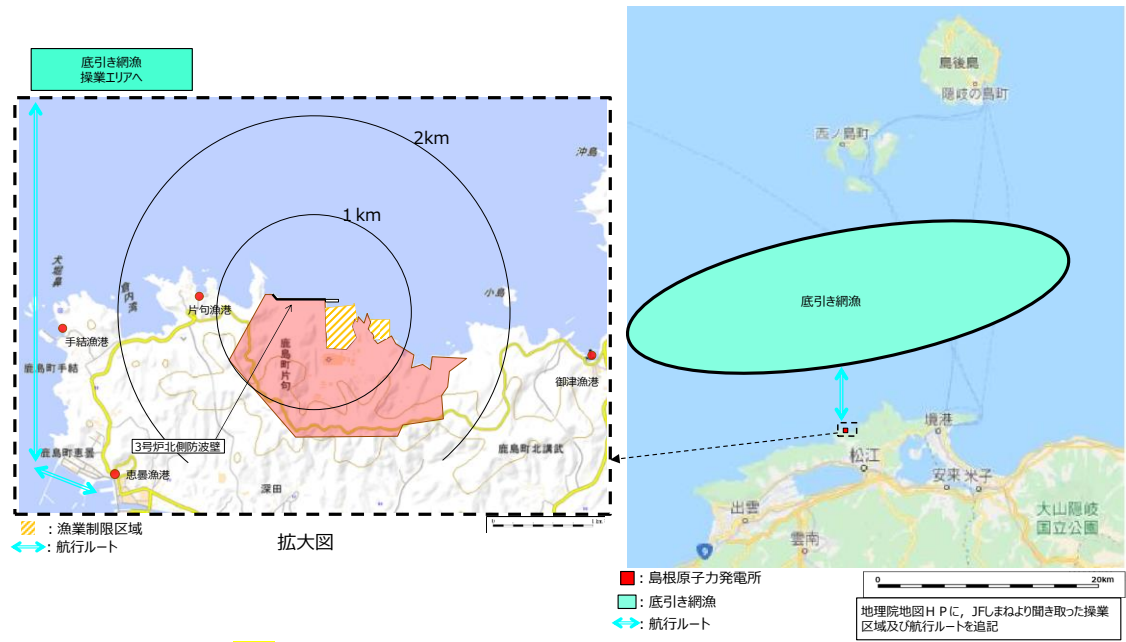


図 3-1 沖合底引き網漁と小型機船底引き網漁の操業区域
(漂流物調査における操業状況)

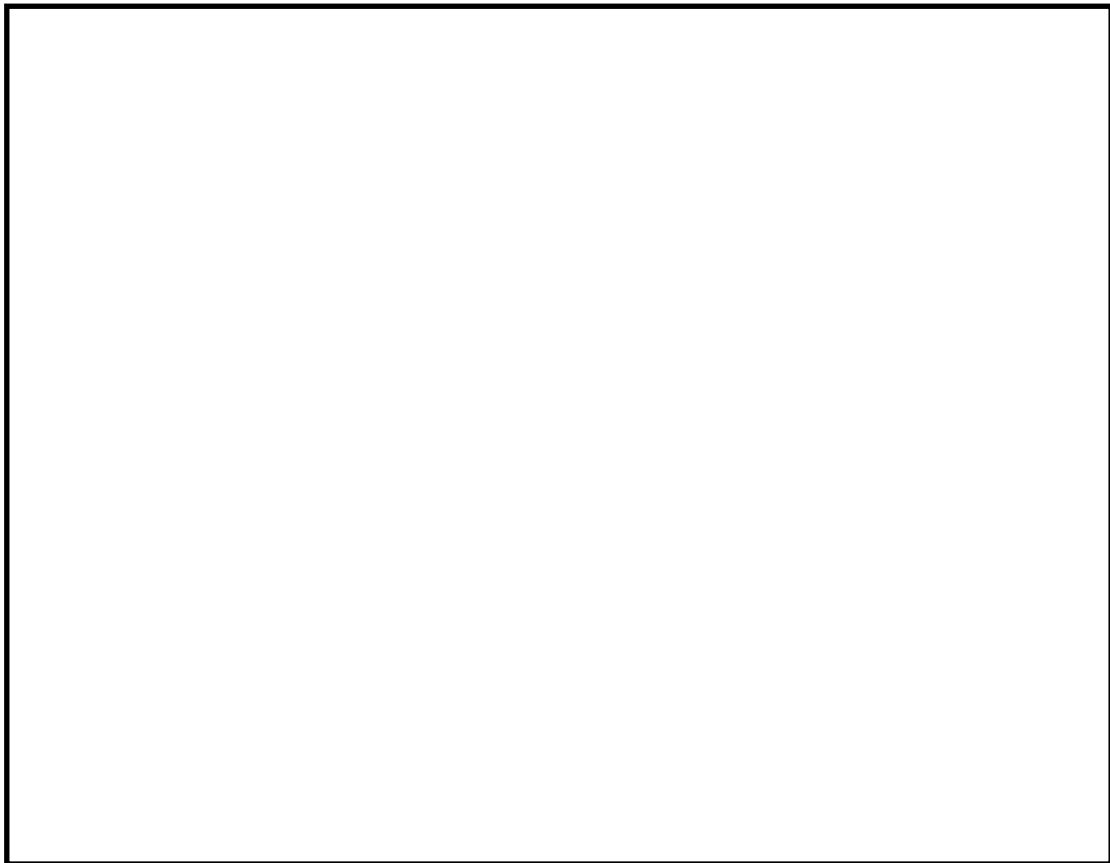


図 3-2 イカ釣り漁の操業制限区域

4. 漁業権漁業（免許漁業）

都道府県知事の免許によって設定された漁業権に基づき、島根原子力発電所周辺においては、区画漁業、定置漁業、共同漁業が営まれている。周辺漁港への聞取りにより調査した免許漁業の操業状況を表 4-1 に、操業区域を図 3 に示す。

(1) 区画漁業

一定の区域において養殖業を営む権利であり、島根原子力発電所周辺ではわかめ養殖が営まれている。免許存続期間は5年である。

(2) 定置漁業

漁具を定置して営む漁業で身網の設置水深が 27m 以上（以深）のものを営む権利であり、島根原子力発電所周辺では、定置網漁が営まれている。免許存続期間は5年（一部10年）である。

(3) 共同漁業

一定の水面を地元漁民が共同に利用して漁業を営む権利であり、漁業権を管理する地元漁協にのみ免許される。島根原子力発電所周辺では、第1種共同漁業（あわび、とこぶし、いわのり、うに等の採取漁業）、第2種共同漁業（雑魚小型定置漁業、ばいかごづけ漁業等）が営まれている。免許存続期間は10年である。

表 4-1 島根原子力発電所周辺で営まれる漁業権漁業

漁業権漁業		操業制限等	操業状況		
			漁港	総トン数	操業区域
区画漁業	わかめ養殖	<ul style="list-style-type: none"> 定められた区画に対し、特定の漁業を営む漁業権が設定 漁業権設定区域を図 4-1 に示す 	片句漁港	1 トン未満	図 4-2 図 4-3
定置漁業	定置網漁		恵曇漁港	19 トン 10 トン	
			御津漁港	12 トン未満	
共同漁業	サザエ網・カナギ漁		片句漁港	1 トン未満	
	サザエ網・採貝藻漁		御津漁港	1 トン未満 2 トン未満	
				かご漁・ぶりはまち固定式さし網漁	

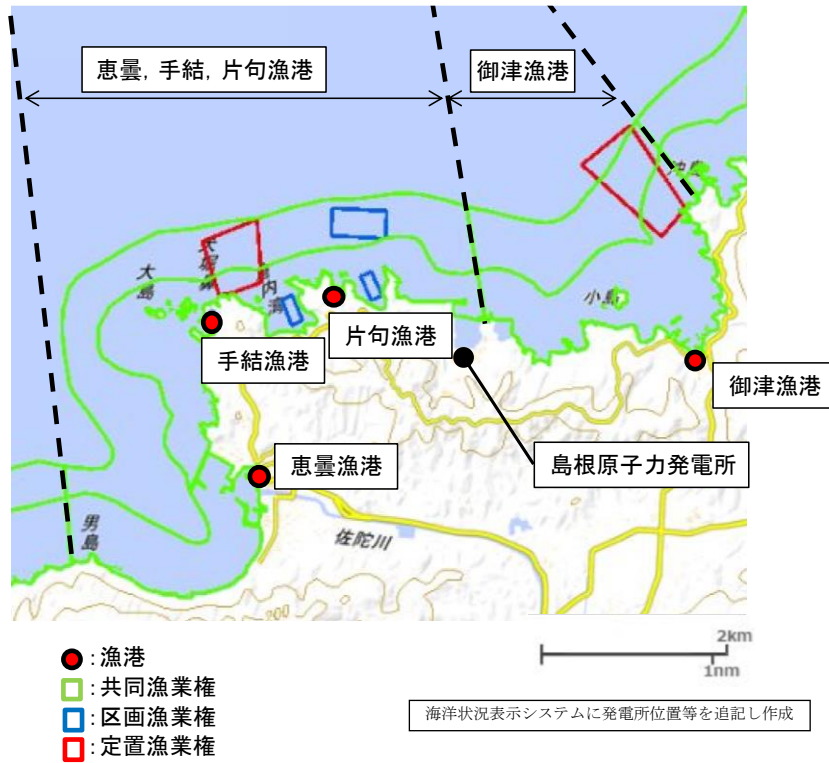


図 4-1 漁業権漁業の漁業権設定区域
 (島根県知事の免許によって設定された漁業権に基づく区域)



図 4-2 ぶりはまち固定式さし網漁業の漁業権設定区域
 (島根県知事の免許によって設定された漁業権に基づく区域)

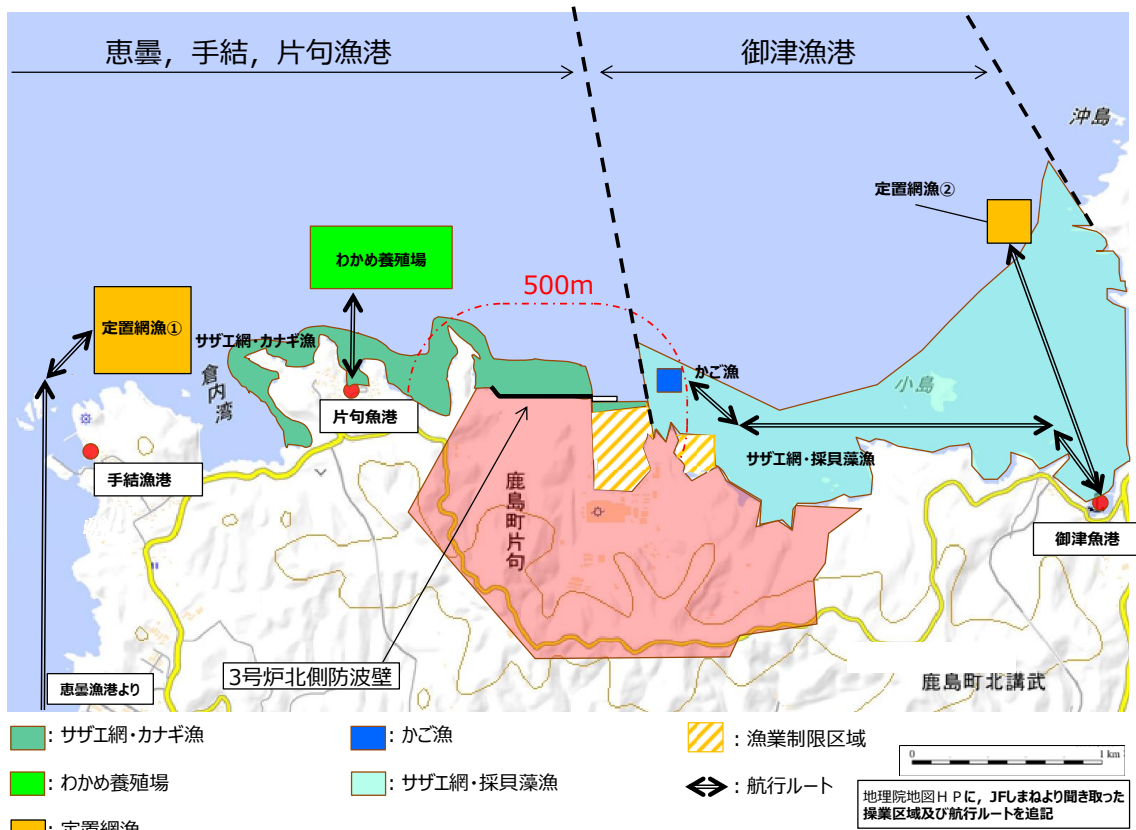


図 4-3 島根原子力発電所周辺における漁業権漁業の操業区域
(漂流物調査における操業状況)

5. 自由漁業

自由漁業は、免許や許可を要しない漁業であって、水産資源の保護培養上、漁業の調整上とくに問題とならない一部の一本釣り漁業、延縄（はえなわ）漁業などの漁業であり、島根原子力発電所周辺では、一本釣り漁業が営まれている。周辺漁港への聞取りにより調査した自由漁業の操業状況を表 5-1 に、操業区域を図 5-1 に示す。

表 5-1 島根原子力発電所周辺で営まれる自由漁業

項目	目的	操業制限等	操業状況		
			漁港	総トン数	操業区域
自由漁業	一本釣り漁	— (免許や許可を要しない漁業であり、操業区域に制限はない)	御津漁港	1 トン未満	図 5-1
			片句漁港	約 10 トン	

流物とする漁船及びその不確かさを表 6-2 に示す。

操業区域の不確かさとして、総トン数 10 トンのイカ釣り漁船は、発電所周辺において操業制限はないため、施設護岸から 500m 以内で操業する可能性は否定できず、また、漁船の航行の不確かさとして、漁船の航行については制限がないため、周辺漁港の漁船の最大の総トン数 19 トンの漁船が施設護岸から 500m 以内を航行する可能性は否定できない。以上より、不確かさを考慮した設計条件として、総トン数 19 トンの漁船を考慮する。

(1) 許可漁業

漂流物調査結果（操業状況）では、輪谷湾外の施設護岸から 500m 付近でイカ釣り漁船（総トン数 10 トン未満）が操業及び航行することが確認されている。また、発電所から 1 km 以遠で沖合底びき網漁船（総トン数 15 トン）及び小型機船底びき網漁船（総トン数 15 トン未満）が操業及び航行することを確認した。

許可漁業の操業区域及び操業制限を確認した結果、操業区域が発電所近傍にあるため、総トン数 10 トン未満のイカ釣り漁の漁船が輪谷湾内外の施設護岸から 500m 以内で操業及び航行する可能性がある。また、総トン数 10 トン以上の漁船については、海岸から 5 海里（1 海里：約 1.85km）以内における操業が禁止されているが、航行については制限がなく、施設護岸付近で航行する可能性がある。

(2) 漁業権漁業（免許漁業）

漂流物調査結果（操業状況）では、輪谷湾内外の施設護岸から 500m 以内で操業及び航行するわかめ養殖漁、かご漁、サザエ網・カナギ漁船が確認されたが、いずれも総トン数 3 トン未満の漁船である。また、発電所から 1 km 以遠で総トン数 10 トン以上の定置網漁船が操業及び航行することを確認した。

定置網漁業は発電所から 1km 以遠において漁業権設定区域が設定されているが、航行については制限がなく、施設護岸付近で航行する可能性がある。区画漁業及び共同漁業は輪谷湾内外の施設護岸から 500m 以内に操業区域が設定されており、総トン数の制限もないが、漁業の特徴から総トン数 10 トン以上の漁船が操業する可能性は十分に小さい。

(3) 自由漁業

漂流物調査結果（操業状況）では、施設護岸から 500m 以内で操業及び航行する一本釣り漁船が確認されたが、いずれも総トン数 1 トン未満の漁船である。また、発電所から 1 km 以上離れた沖合で操業及び航行する総トン数 10 トンの一本釣り漁船を確認した。

自由漁業は免許や許可を要しない漁業であって、操業区域や総トン数に制限はないが、代表的な一本釣り漁については、漁業の特徴から、総トン数 5 トン前後の漁船による操業が一般的である。従って、周辺の漁協で操業する一本釣り漁船の最大（総トン数 10 トン未満）を考慮する。

表 6-1 (1) 島根原子力発電所の周辺海域における漁船の操業制限及び操業状況

漁業の種類	操業制限等	島根原子力発電所周辺の操業状況	操業の不確かさ*	補足資料	
漁業法、水産資源保護法、農林省令、都道府県規則などにより、農林水産省または都道府県知事が許可しなければ営むことができない漁業。大臣許可漁業と知事許可漁業に大別される。 なお、島根原子力発電所では、沖合底びき網、小型機船底びき網、イカ釣り漁が営まれている	<ul style="list-style-type: none"> ・ 沖合底びき網漁 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 総トン数は15トン以上5海里(約9km)以内での操業禁止 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 考慮不要(5海里(約9km)以内での操業禁止) 	総トン数の制限：①-1 操業区域の制限：①-2	
	<ul style="list-style-type: none"> ・ 小型機船底びき網漁 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 総トン数は15トン未満5海里(約9km)以内での操業禁止 	最大総トン数15トン未満(発電所から1km以遠で操業及び航行する)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 考慮不要(5海里(約9km)以内での操業禁止) 	総トン数及び操業区域の制限：②
	<ul style="list-style-type: none"> ・ イカ釣り漁 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 総トン数と操業制限区域が定められている(総トン数10トン以上の漁船は10海里(約18km)以内における操業禁止) 	最大総トン数10トン未満(輪谷湾外の施設護岸から500m付近で操業及び航行する)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 発電所周辺において操業制限はないため、総トン数10トン未満の漁船が、輪谷湾内の施設護岸から500m以内で操業する可能性は否定できない 	総トン数及び操業区域の制限：③
	<ul style="list-style-type: none"> ・ ずわいがに漁 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 総トン数は10トン以上 ・ 操業制限区域が定められている(発電所近傍で操業可能) 	最大総トン数19トン(発電所から1km以遠で操業及び航行する)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 考慮不要(総トン数10トン以上の漁船は10海里(約18km)以内における操業が禁止されている) 	総トン数及び操業区域の制限：④
<ul style="list-style-type: none"> ・ すくい網漁 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 総トン数は10トン未満 ・ 操業制限区域が定められている(発電所近傍で操業可能) 	発電所周辺における操業実態はない(総トン数10トン未満の漁船が、発電所から1km以遠で操業及び航行する)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 発電所周辺において操業制限はないため、総トン数15トンの漁船が、輪谷湾内外の施設護岸から500m以内で操業する可能性は否定できない 	総トン数及び操業区域の制限：⑤	

注記*：漁船の総トン数、操業区域及び航行の不確かさ

表 6-1 (2) 島根原子力発電所の周辺海域における漁船の操業制限及び操業状況

漁業の種類		操業制限等	島根原子力発電所周辺の操業状況	操業の不確かさ*	補足資料	
(1) 定置漁業	都道府県知事の免許によって設定される漁業権に基づく漁業。 なお、島根原子力発電所周辺の共同漁業では、第1種共同漁業(あわび、とこぶし、いわのり、うに等の採取漁業)、第2種共同漁業(雑魚)、小型定置漁業、ばいかつづけ漁業等)が営まれている。	<ul style="list-style-type: none"> ・漁業権設定区域が定められている ・総トン数に制限はない 	最大総トン数 19 トン (発電所から 1 km 以遠で操業及び航行する)	<ul style="list-style-type: none"> ・考慮不要 (総トン数の制限はないが、漁業権設定区域が定められており、施設護岸から 500m 以内で操業することはない) ・発電所周辺において操業制限はないため、輪谷湾内外の施設護岸から 500m 以内で操業する可能性は否定できないが、漁業の特徴から、0.7~0.8 トン**の漁船で操業するのが一般的であり、総トン数 10 トン以上の漁船で操業する可能性は十分に小さい 	漁業権設定区域：⑥	
		<ul style="list-style-type: none"> ・わかめ養殖漁 	最大総トン数 1 トン未満 (輪谷湾外の施設護岸から 500m 付近で操業及び航行する)			漁業権設定区域：⑦
		<ul style="list-style-type: none"> ・かご漁、サザエ網・カナギ漁等 	最大総トン数 3 トン未満 (輪谷湾内の施設護岸から 500m 以内で操業及び航行する)			
(2) 区画漁業	<ul style="list-style-type: none"> ・漁業権設定区域が定められている ・総トン数に制限はない 	発電所周辺における操業表態はない (御津漁港の総トン数 3 トン未満かご漁漁船が免許を有している)	<ul style="list-style-type: none"> ・総トン数に制限はないが、代表的な一本釣り漁については、漁業の特徴から、総トン数 5 トン前後*1の漁船による操業が一般的であり、周辺の漁協で操業する一本釣り漁の漁船の最大を考慮する ・操業制限区域が定められていないため、施設護岸付近で操業する可能性は否定できない 	ー		
(3) 共同漁業	<ul style="list-style-type: none"> ・漁業権設定区域が定められている ・総トン数に制限はない 	最大総トン数 1 トン未満 (輪谷湾内の施設護岸から 500m 付近で操業及び航行する)				
自由漁業	<ul style="list-style-type: none"> ・一本釣り漁 	最大総トン数 10 トン (発電所から 1 km 以遠で操業及び航行する)				

注記*1：漁船の総トン数及び操業区域の不確かさ

*2：島根県 HP より

*3：地方独立行政法人 北海道立総合研究機構 水産研究本部 HP より

*4：隠岐観光協会 HP より

表 6-2 対象漂流物（漁船）の設計条件

津波防護施設	基本とする設計条件	対象漂流物の不確かさ	不確かさを考慮した設計条件
輪谷湾内に面する津波防護施設	総トン数 3 トンの漁船 (輪谷湾内の施設護岸から 500m 以内で操業するかご漁漁船)	<ul style="list-style-type: none"> ・漁船の操業区域の不確かさ： 発電所周辺において操業制限はないため、総トン数 10 トンのイカ釣り漁漁船が施設護岸から 500m 以内で操業する可能性は否定できない 	総トン数 19 トンの漁船
外海に面する津波防護施設	総トン数 10 トンの漁船 (輪谷湾外の施設護岸から 500m 付近で操業するイカ釣り漁の漁船)	<ul style="list-style-type: none"> ・漁船の航行の不確かさ： 漁船の航行については制限がないため、周辺漁港の漁船の最大の総トン数 19 トンの漁船が施設護岸から 500m 以内を航行する可能性は否定できない 	

各漁業の操業制限に関する根拠資料

(沖合底びき網漁)

①-1 漁業法第五十八条第一項

第五十八条 農林水産大臣は、指定漁業の許可又は起業の認可をする場合には、第五十五条第一項及び第五十九条の規定による場合を除き、当該指定漁業につき、あらかじめ、水産動植物の繁殖保護又は漁業調整その他公益に支障を及ぼさない範囲内において、かつ、当該指定漁業を営む者の数、経営その他の事情を勘案して、その許可又は起業の認可をすべき船舶の総トン数別の隻数又は総トン数別及び操業区域別若しくは操業期間別の隻数（母船式漁業にあつては、母船の総トン数別の隻数又は総トン数別及び操業区域別若しくは操業期間別の隻数並びに各母船と同一の船団に属する独航船等の種類別及び総トン数別の隻数）並びに許可又は起業の認可を申請すべき期間を定め、これを公示しなければならない。

①-1 農林水産省告示第九百八十一号「漁業法第五十八条第一項の規定に基づく沖合底引き網漁業につき、その許可又は起業の認可を申請すべき期間」（平成十四年四月二十二日）

一 許可又は起業の認可をすべき船舶の総トン数別及び操業区域別の隻数より一部抜

操業区域	漁業の方法	総トン数		隻数	階層名
		旧トン数	新トン数		
(三十七) 操業区域の38、41及び26	一そうびき	一五トン以上五〇トン未満	一五トン以上七六トン未満	二	(一)
		一五トン以上六五トン未満	一五トン以上九六トン未満	七	(二)
(三十九) 操業区域の43	一そうびき又は二そうびき	一五トン以上六五トン未満	一五トン以上九六トン未満	二	

備考

1 この告示において、「新トン数」とは、昭和五十七年七月十八日以降に建造に着手された船舶及び同日前に建造され、又は建造に着手された船舶で同日以降に特定修繕（船舶のトン数の測度に関する法律（昭和五十五年法律第四十号）附則第三条第一項の特定修繕をいう。）が行われたものに適用される総トン数をいい、「旧トン数」とは、新トン数が適用される船舶以外の船舶に適用される総トン数をいう。

2 総トン数の欄に掲げる総トン数の区分ごとの隻数のうちには、当該区分のうち旧トン数の区分を超える旧トン数の船舶であつて、当該船舶の総トン数から現に当該船舶について受けている沖合底びき網漁業の許可又は起業の認可（当該船舶についてのこの告示に係る許可又は起業の認可の申請が漁業法施行令（昭和二十五年政令第三十号）第一条の五第二項、第一条の七第一項若しくは第二項又は第一条の八の適用を受ける場合には、従前の許可又は起業の認可）の制限又は条件により補充トン数として使用し得ないこととされているトン数に〇・〇一トンを加算したトン数を控除して得たトン数が当該区分に属するものについて許可又は起業の認可をすべき隻数を含むものとする。

別記一操業区域より一部抜粋

- | |
|--|
| 41 北緯三十五度十一秒の線、島根県出雲市日御碕灯台から長崎県対馬市三島灯台に至る線、同灯台から大韓民国鴻島灯台を通る線、東経百二十九度五十九分五十二秒の線及び東経百二十八度二十九分五十二秒の線により囲まれた海域 |
| 43 島根県出雲市日御碕灯台正北の線と東経百二十九度五十九分五十二秒の線との両線間における海域 |

①- 2 昭和三十八年農林省令第五号「指定漁業の許可及び取締り等に関する省令」
第三章 指定漁業の制限及び取締り等

(操業制限)

第十七条 指定漁業者は、別にこの省令で定める場合のほか、別表第二の上欄に掲げる指定漁業につき、それぞれ同表の下欄に掲げる操業の区域若しくは期間又は特定の区域若しくは期間における特定の漁具若しくは船舶を使用し若しくは特定の漁法によつてする操業若しくは特定の種類の水産動物の採捕に関する制限又は禁止の措置に違反して当該指定漁業を営んではならない。

別表第二（第一七条関係）より一部抜粋

指定漁業の名称	制限又は禁止の措置
沖合底びき網漁業	一 次に掲げる海域における沖合底びき網漁業の操業は、禁止する。 (2 1) 島根県出雲市日御碕突端正北五海里の点 (2 2) 島根県松江市多古鼻突端正北五海里の点

(小型機船底びき網漁)

②「水産課長専決漁業許可等の取扱方針（令和2年12月）」（島根県農林水産部水産課）より一部抜粋

2 小型 機船 底び き網 漁業	漁業種類	手繰第一種漁業（機船手繰網漁業）	
	許可又は起業の認可をすべき船舶等の数又は漁業者の数	※定めなし	
	船舶の総トン数	現に許可又は起業の認可を受けている船舶にあつては、許可又は起業の認可を受けた際の総トン数	15トン未満 (漁業の許可及び取締り等に関する省令第70条第2項)
制限措置	推進機関の馬力数	現に許可又は起業の認可を受けている船舶にあつては、許可又は起業の認可を受けた際の馬力数	
		許可等の申請者が住所又は事務所を有する地区の沖合海面とする。ただし、知事が特に認めた場合はこの限りでない。 〔石見地区〕 出雲市大社町日御碕灯台から正北の線と島根・山口両県界から正北西の線との両線間における島根県沖合海面 〔出雲地区〕	
条件		(5)大田市大岬と隠岐郡三度埼とを結ぶ線と、出雲市大社町日御碕灯台から正北の線及び最大高潮時海岸線とによって囲まれた海域においては、毎年3月1日から5月31日まで及び9月1日から9月30日までの期間に操業してはならない。 〔出雲地区〕 (3)大田市と出雲市との最大高潮時海岸線における境界点から、益田市高島北端と出雲市日御碕突端を結ぶ線と大田市・出雲市界から正北西の線との交点、同点と出雲市日御碕突端を結ぶ線上同突端から5海里の点、同突端正北5海里の点、松江市多古鼻正北5海里の点を経て鳥取県鳥取市長尾鼻に至る線内の海域において操業してはならない。 (4)大田市大岬と隠岐郡三度埼とを結ぶ線と、同埼と松江市地蔵崎とを結ぶ線及び最大高潮時海岸線とによって囲まれた海域においては、毎年3月1日から5月31日まで及び9月1日から9月30日までの期間に操業してはならない。	

(いか釣り漁)

③「松江水産事務所長専決海面漁業の許可等の取扱方針（平成29年7月）」（島根県松江水産事務所）より一部抜粋

漁業名	項目	内容	備考
8.小型いか釣り漁業	漁業種類	小型いか釣り漁業（県内船）	
	操業区域	島根県沖合海面	
	操業期間	5月1日から翌年4月30日まで	
	制限又は条件	<p>・総トン数10ト未満の許可船舶にあっては</p> <ol style="list-style-type: none"> 指定漁業の許可及び取締り等に関する省令（昭和38年農林省令第5号）別表第2いか釣り漁業の項の1の口からりに掲げる操業禁止区域においては、18灯を超える集魚灯を使用してはならない。 島根・山口両県界（以下「県界」という。）から真方位0度の線、県界から真方位315度の線及び指定漁業の許可及び取締り等に関する省令（昭和38年農林省令第5号）別表第2いか釣り漁業の項の1の口からりに掲げる操業禁止区域線によって囲まれた海域における光力制限は次のとおりとする。（図面参照） <ol style="list-style-type: none"> ①県界から距岸10海里以内の海域においては、周年10キロワット以下とする。 ②県界から真方位315度の線と同線の北東3海里に同線と平行に引いた線との両線間における海域（①の海域を除く）においては、周年10キロワット以下とする。 ③以下ア及びイの海域においては、毎年4月15日から11月14日までにあつては10キロワット以下、その他の期間にあつては36キロワット以下とする。 <ol style="list-style-type: none"> ア 県界から真方位315度の線の北東3海里に同線と平行に引いた線と山口県萩市見島の周囲最大高潮時海岸線から沖合20海里の線により囲まれた海域。 イ 県界から真方位315度の線の北東3海里に平行に引いた線、県界から真方位337.5度の線、県界から10海里の線及び県界から15海里の線により囲まれた海域。（アの海域を除く） ④県界から真方位337.5度の線以西の海域のうち、①、②及び③以外の海域においては、周年36キロワット以下とする。 <p>・総トン数10ト以上の許可船舶にあっては</p> <ol style="list-style-type: none"> 船橋両側に次の様式により許可番号を表示しなければならない。 50cm 20cm 島小いか第〇〇〇号（白地に黒文字） <p>2 最大高潮時海岸線から10海里以内の海域では操業してはならない。</p> <ol style="list-style-type: none"> 指定漁業の許可及び取締り等に関する省令（昭和38年農林省令第5号）別表第2いか釣り漁業の項の1の口からりに掲げる操業禁止区域においては、18灯を超える集魚灯を使用してはならない。 島根・山口両県界（以下「県界」という。）から10海里の線、真方位337.5度の線、県界から真方位315度の線及び指定漁業の取締り等に関する省令（昭和38年農林省令第5号）別表第2いか釣り漁業の項の1の口からりに掲げる操業禁止区域線によって囲まれた海域における光力制限は次のとおりとする。（図面参照） <ol style="list-style-type: none"> ①県界から真方位315度の線と同線の北東3海里に同線と平行に引いた線との両線間における海域においては、周年10キロワット以下とする。 ②以下ア及びイの海域においては、毎年4月15日から11月14日までにあつては10キロワット以下、その他の期間にあつては36キロワット以下とする。 <ol style="list-style-type: none"> ア 県界から真方位315度の線の北東3海里に同線と平行に引いた線と山口県萩市見島の周囲最大高潮時海岸線から沖合20海里の線により囲まれた海域。 イ 県界から真方位315度の線の北東3海里に平行に引いた線、県界から337.5度の線、県界から10海里の線及び県界から15海里の線により囲まれた海域。（アの海域を除く） ③県界から真方位337.5度の線以西の海域のうち、①及び②以外の海域においては、周年36キロワット以下とする。 	

(ずわいがに漁業)

④平成六年農林水産省令第五十四号「特定大臣許可漁業等の取締りに関する省令」

第一章 総則

(定義)

第一条 この省令において、次の各号に掲げる用語の意義は、当該各号に定めるところによる。

- 一 ずわいがに漁業 総トン数十トン以上の動力漁船によりずわいがにをとることを目的とする漁業であつて、漁業法第五十二条第一項の指定漁業を定める政令（昭和三十八年政令第六号。以下「指定漁業を定める政令」という。）第一項第一号に掲げる沖合底びき網漁業又は漁業法第六十六条第二項に規定する小型機船底びき網漁業に該当するもの以外のものをいう。

(操業区域等の制限)

第十七条 特定大臣許可漁業を営む者は、別にこの省令で定める場合のほか、別表第二の上欄に掲げる特定大臣許可漁業につき、それぞれ同表の下欄に掲げる操業の区域若しくは期間又は特定の区域若しくは期間における特定の漁具若しくは船舶を使用し若しくは特定の漁法によってする操業若しくは特定の種類の水産動物の採捕に関する制限又は禁止の措置に違反して当該特定大臣許可漁業を営んではならない。

別表第二（第十七条関係）

特定大臣許可漁業の名称	制限又は禁止の措置
ずわいがに漁業	次に掲げる海域におけるずわいがに漁業の操業は、禁止する。 イ 指定漁業省令別表第二沖合底びき網漁業の項第一号イに規定する水域 ロ 北緯三十八度五十分十秒の線、東経百三十二度五十九分五十秒の線、北緯四十度十分九秒の線及び東経百三十五度五十九分四十九秒の線の各線により囲まれた海域

(すくい網漁業)

⑤「松江水産事務所長専決海面漁業の許可等の取扱方針（平成29年7月）」（島根県松江水産事務所）より一部抜粋

漁業名	項目	内容	備考
9.小型定置漁業	漁業種類	小型定置漁業	
	操業区域	申請者の住所が関係地区に含まれる第2種共同漁業権設定区域外であって水深27m未満の別途許可証に示す海域。	
	操業期間	1月1日から12月31日まで	
	漁業種類	雑魚ます網漁業	
	操業区域	中海における別途許可証に示す区域	ただし、既に境水道を操業区域に含む許可を有する者については、現行の操業区域とする。
	操業期間	1月1日から12月31日まで	
	制限又は条件	①漁具の統数は〇〇統をこえてはならない。 ②船舶の航行を妨げてはならない。	
10.かご漁業	漁業種類	いかかご漁業	
	使用船舶規模の上限等	総トン数は5ト未満であること	
	操業区域	美保関町沖合海面	
	操業期間	3月1日から4月30日まで	
	制限又は条件	共同漁業権設定区域内において操業しようとする場合は当該権利者の同意を得なければならない。	
	漁業種類	あなごかご漁業	
	使用船舶規模の上限等	総トン数は20ト未満であること	
	操業区域	松江市美保関町地蔵崎先端から正北の線と大田市、出雲市界から329度の線との両線間における出雲地区沖合海面	
	操業期間	1月1日から12月31日まで	
	制限又は条件	①9月1日から翌年5月31日までは、大田市と出雲市との最大高潮時海岸線における境界点から、益田市高島北端と出雲市日御碕先端を結ぶ線と大田市・出雲市界から329度の線との交点、同点と出雲市日御碕先端を結ぶ線上同先端から5海里の点、同先端正北5海里の点、松江市多古真正北5海里の点、同点から鳥取県鳥取市長尾鼻に至る線と松江市地蔵崎先端から正北の線との交点を結ぶ線と、松江市地蔵崎先端に至る線内の海域の沖合で操業してはならない。 ②松江市島根町多古真灯台から正北の線以東の海域においては、5月1日から翌年2月末日の間は操業してはならない。 ③共同漁業権設定区域内において操業する場合は、当該漁業権者の同意を得なければならない。 ④日の出から日没までの間は操業してはならない。ただし、次の場合はこの限りではない。 ア) 6月1日から8月31日までの間、最大高潮時海岸線から3海里を以ての海域において、午後4時から日没までの間操業するとき イ) 7月1日から8月31日までの間、出雲市十六島町十六島鼻先端から329度の線以東の水深130メートル以深の海域のうち、出雲市日御碕先端から正北の線以東かつ北緯35度50分11秒（日本測地系北緯35度50分）の線以南で操業するとき ⑤漁具一連ごとの両端に点滅灯及び船名・根拠地港を記載した縦横4.5メートル以上の標旗を海面上2メートルにつけなければならない。 ⑥あなご及びめづりなご以外を採捕の目的としてはならない。	
11.ひき縄釣漁業	漁業種類	しいら、ぶり、かつお又はまぐろの採捕を目的とするひき縄釣漁業	
	操業期間	1月1日から12月31日まで	
	操業区域	大田市、出雲市界から零度（真方位）の線と島根県、山口県両県界から正北西の線との両線間における海面	
12.すくい網漁業	漁業種類	いわしすくい網漁業	
	使用船舶規模の上限等	①総トン数10ト未満であること。 ②附属船は使用してはならない。	
	操業区域	①漁業協同組合JFしまねに所属し出雲地区に住所又は事業所を有する漁業者 A許可 出雲市湖陵町差海川河口中央から正西の線以北の出雲地区沖合海面 B許可 松江市と出雲市の境界から348度（真方位）の線以東の出雲地区沖合海面 ②鳥取県に住所又は事業所を有する漁業者 松江市美保関町片江大崎鼻正北の線以東の出雲地区沖合海面 （ただし、中海及び境水道を除く）	
	操業期間	4月1日から9月30日まで	
	許可の有効期間	鳥取県に住所又は事業所を有する漁業者については1年間とする。	

漁業名	項目	内容	備考	
12.すくい網漁業	制限又は条件	<p>1 漁業協同組合JFしまねに所属し出雲地区に住所又は事業所を有する漁業者</p> <p>A許可</p> <p>①中海では操業してはならない。</p> <p>②定置網の付近（前面500メートル、後面200メートル、沖合200メートル）及び第2種共同漁業権設定区域内に敷設する漁具付近で操業してはならない。</p> <p>③いわし以外を採捕の目的としてはならない。</p> <p>④船橋の両側に次に示す標識を施さなければならない。</p> <p>・長さ90センチメートル 幅10センチメートルの黄色反射シート</p> <p>B許可</p> <p>①中海では操業してはならない。</p> <p>②定置網の付近（前面500メートル、後面200メートル、沖合200メートル）及び第2種共同漁業権設定区域内に敷設する漁具付近で操業してはならない。</p> <p>③いわし以外を採捕の目的としてはならない。</p> <p>④船橋の両側に次に示す標識を施さなければならない。</p> <p>・長さ90センチメートル 幅10センチメートルの緑色反射シート</p> <p>2 鳥取県に住所又は事業所を有する漁業者</p> <p>①定置網の付近（前面500メートル、後面200メートル、沖合200メートル）及び第2種共同漁業権設定区域内に敷設する漁具付近で操業してはならない。</p> <p>②いわし以外を採捕の目的としてはならない。</p> <p>③船橋の両側に次に示す標識を施さなければならない。</p> <p>・長さ90センチメートル 幅10センチメートルの赤色反射シート</p> <p>④共同漁業権設定区域内において操業しようとする場合は、当該権利者の同意を得なければならない。</p>		
		漁業種類	ざっぱ種魚すくい網漁業	
		使用船舶規模の上限等	①船舶のトナ数は10ト未満であること。 ②附属船は使用してはならない。	
		操業区域	美保湾及び傍水道	
		操業期間	9月1日から翌年3月31日まで	
13.底建網漁業		漁業種類	底建網漁業	
		操業区域	別途許可証に示す区域	
		操業期間	1月1日から12月31日まで	
		制限条件	①共同漁業権設定区域内において操業しようとする場合は、当該権利者の同意を得なければならない。 ②漁具敷設位置が判断できるように、昼間にあつては水面上1.5メートル以上の高さに縦横80センチメートル以上の赤色標旗を、夜間にあつては電灯その他の照明を当該漁具に掲げなければならない。	

(漁業権漁業漁場図)
⑥定置漁業権漁場図

定置漁業権漁場図

免許番号 定第8号

漁場の位置
松江市島根町加賀馬島地先

漁場の区域

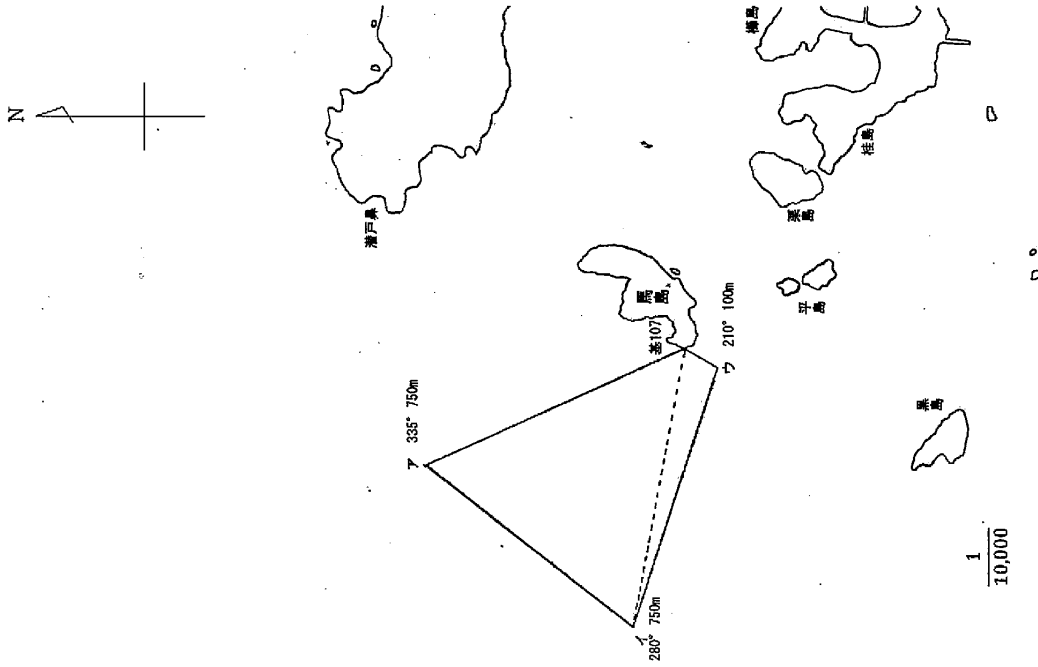
次の基点第107号、ア、イ、ウ及び基点第107号の各点を順次に結んだ線によって囲まれた区域

基点第107号 松江市島根町加賀馬島西ノ鼻に設置した標柱

ア 基点第107号から3335度750メートルの点

イ 基点第107号から2880度750メートルの点

ウ 基点第107号から2110度100メートルの点



この謄本は免許漁業権申請書と相違ないことを証明する。
令和2年11月30日

平成30年9月1日免許
2冊8丁

島根県知事
丸山達也

定置漁業権漁場図

免許番号 定第9号

漁場の位置

松江市鹿島町御津地先

漁場の区域

次の基点第108号、ア、イ、ウ及び基点第108号の各点を順次に

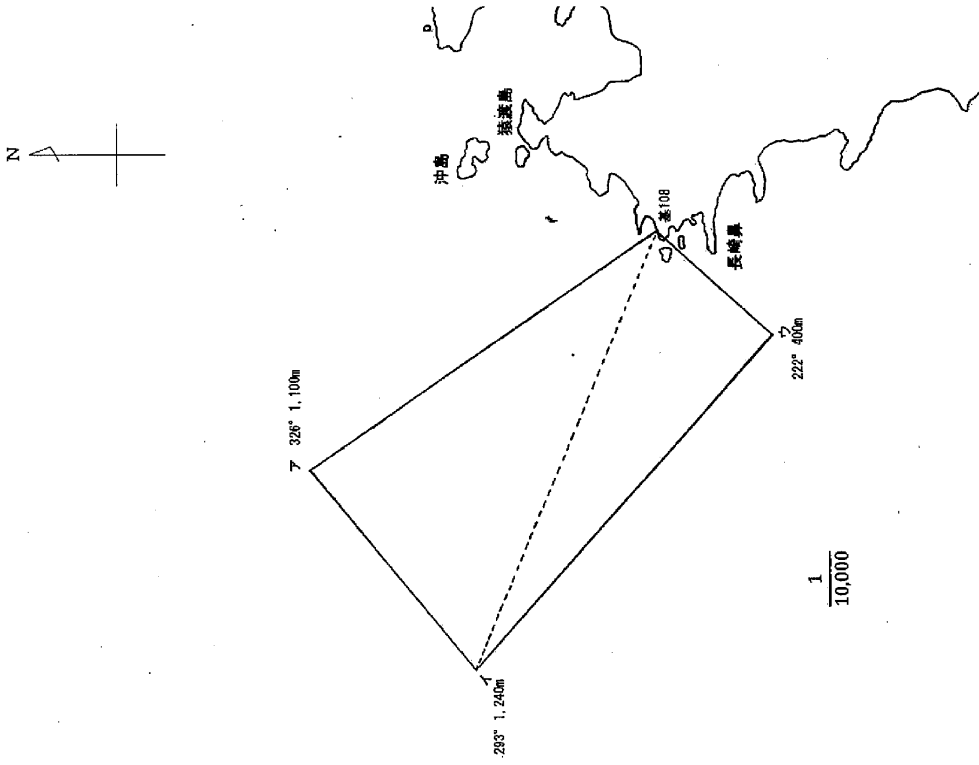
結んだ線によって囲まれた区域

基点第108号 松江市鹿島町御津幕島に設置した標柱

ア 基点第108号から326度1,100メートルの点

イ 基点第108号から293度1,240メートルの点

ウ 基点第108号から222度400メートルの点



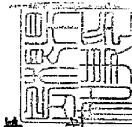
平成30年9月1日免許

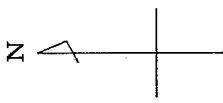
2番9丁

この謄本は免許漁業権付属漁場図と相違ないことを証明する。
令和2年11月30日

島根県知事

丸山 達也





定置漁業権漁場図

免許番号 定第10号

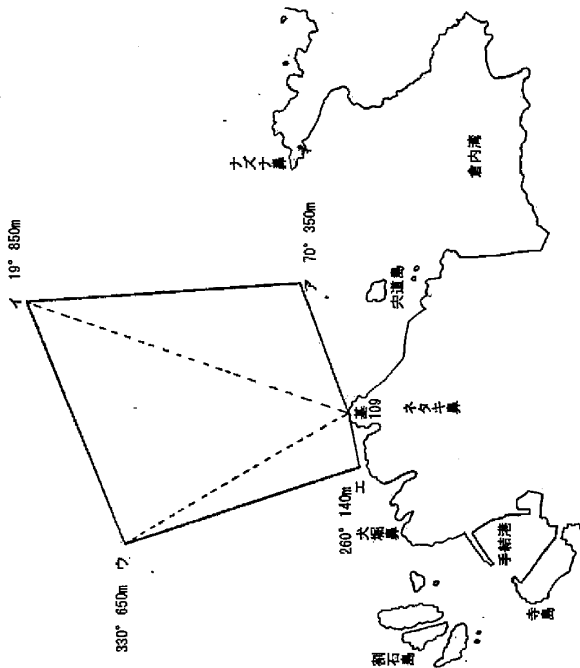
漁場の位置

松江市鹿島町手結ネタキ鼻地先

漁場の区域

次の基点第109号、ア、イ、ウ、エ及び基点第109号の各点を順次に結んだ線によって囲まれた区域

- 基点第109号 松江市鹿島町手結ネタキ鼻北端に設置した標柱
- ア 基点第109号から70度350メートルの点
- イ 基点第109号から19度850メートルの点
- ウ 基点第109号から330度650メートルの点
- エ 基点第109号から260度140メートルの点

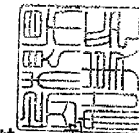


1
10,000



この謄本は免許漁業原簿付属漁場図と相違ないことを証明する。
昭和2年11月30日

島根県知事



丸山達也

平成30年9月1日免許
2冊10丁

⑦区画漁業権漁場図



区画漁業権漁場図（第一種区画漁業・わかめ養殖業）

免許番号 区第14号

漁場の位置

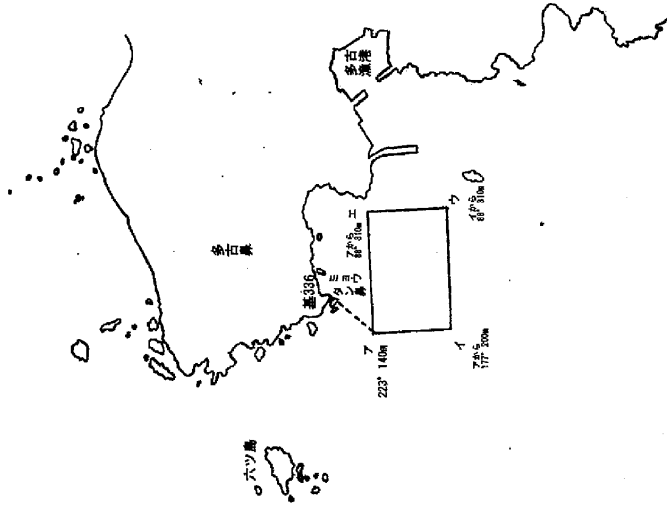
松江市高根町多古島地先

漁場の区域

次のア、イ、ウ、エ及びアの各点を順次に結んだ線によって囲まれた

区域

- 基点第336号 松江市高根町多古ミヨウタン島に設置した標柱
- ア 基点第336号から223度140メートルの点
 - イ アから177度200メートルの点
 - ウ イから88度310メートルの点
 - エ エから88度310メートルの点



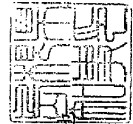
この標本は免許漁業原簿付属漁場図と
相違ないことを証明する。
第2年11月30日

平成30年9月1日免許

2冊33T

島根県知事

丸山達



区画漁業権漁場図（第一種区画漁業・わかめ養殖業）

免許番号 区第15号

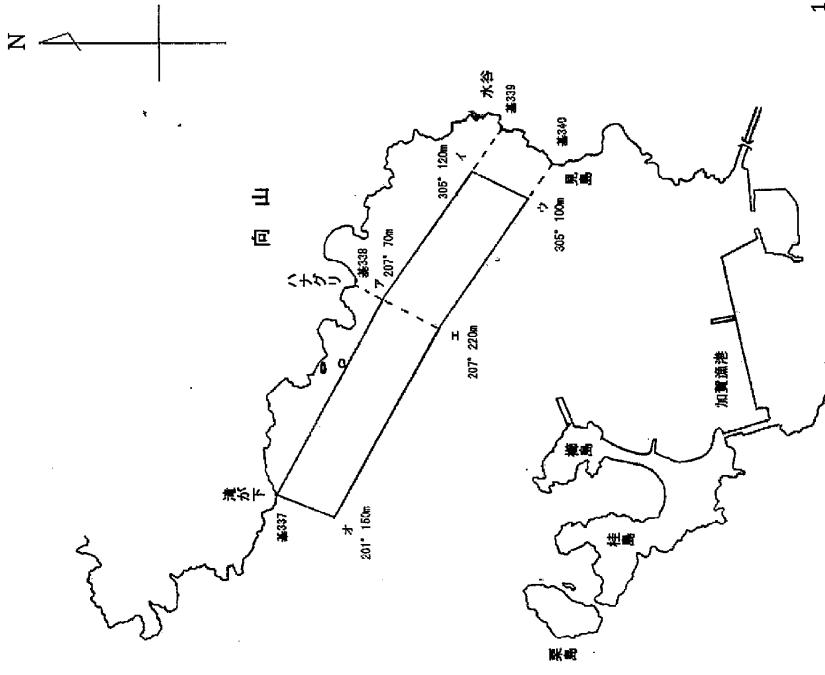
漁場の位置

松江市島根町加賀向山地先

漁場の区域

次の基点第337号、ア、イ、ウ、エ、オ及び基点第337号の各点を順次に結んだ線によって囲まれた区域

- 基点第337号 松江市島根町加賀流が下に設置した標柱
- 基点第338号 松江市島根町加賀ハナグリに設置した標柱
- 基点第339号 松江市島根町加賀水谷に設置した標柱
- 基点第340号 松江市島根町加賀見島に設置した標柱
- ア 基点第338号から207度70メートルの点
- イ 基点第339号から305度120メートルの点
- ウ 基点第340号から305度100メートルの点
- エ 基点第338号から207度220メートルの点
- オ 基点第337号から201度150メートルの点



この謄本は免許漁業原簿付属漁場図と相違ないことを証明する。
 令和2年11月30日



平成30年9月1日免許
 2冊34丁

島根県知事
 丸山達

区画漁業権漁場図（第一種区画漁業・わかめ養殖業）

免許番号 区第16号

漁場の位置

松江市島根町大芦堤先

漁場の区域

次のア、イ、ウ、エ及びアの各点を順次に結んだ線に斜んだ線によって囲まれた

区域

基点第341号 松江市島根町大芦松ヶ鼻西側築端に設置した標柱

- ア 基点第341号から254度60メートルの点
- イ アから254度100メートルの点
- ウ イから159度200メートルの点
- エ ウから159度200メートルの点

この謄本は免許漁業原簿付原漁場図と
相違ないことを証明する。

昭和2年11月30日

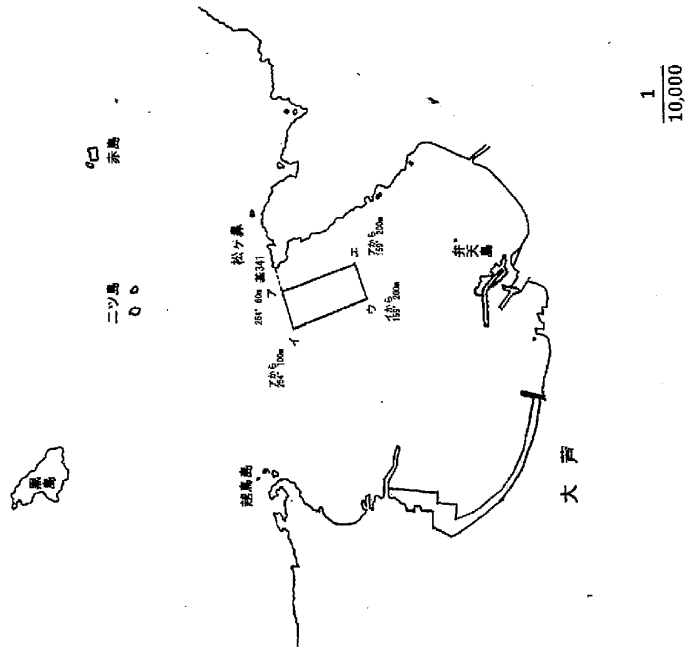
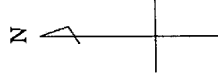
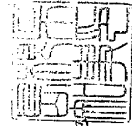


平成30年9月1日免許

2冊35丁

島根県知事

丸山達也



区画漁業権漁場図（第一種区画漁業・わかめ養殖業）

免許番号 区第17号

漁場の位置

松江市鹿島町片宮崎島地先

漁場の区域

次のア、イ、ウ、エ及びアの各点を順次に結んだ線によって囲まれた

区域

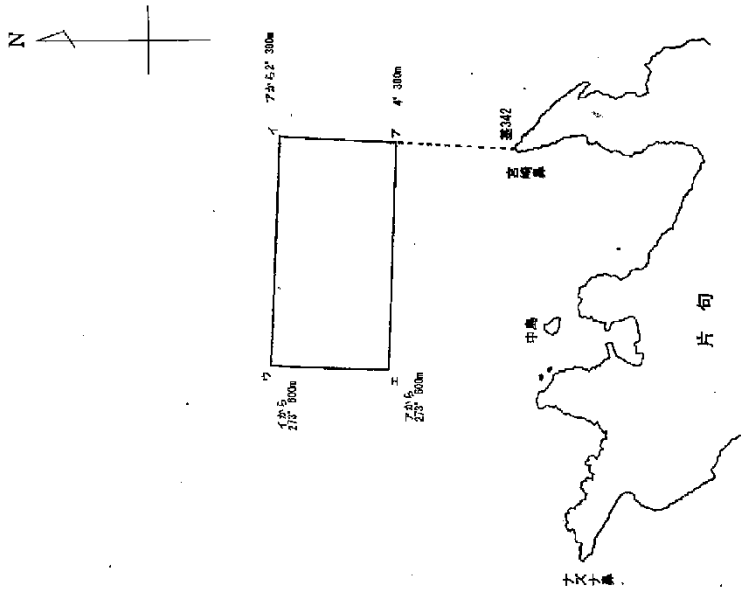
基点第342号 松江市鹿島町片宮崎島北端に設置した標柱

ア 基点第342号から4度300メートルの点

イ アから2度300メートルの点

ウ イから273度600メートルの点

エ ウから273度600メートルの点



この謄本は免許漁業原簿付原漁場図と相違ないことを証明する。

令和2年11月30日

平成30年9月1日免許

2番36丁

島根県知事

丸山達也



区画漁業権漁場図（第一種区画漁業・わかめ養殖業）

免許番号 区第18号

漁場の位置

松江市鹿島町片匂黒崎湾地先

漁場の区域

次のア、イ、ウ、エ及びアの各点を順次に結んだ線によって囲まれた

区域

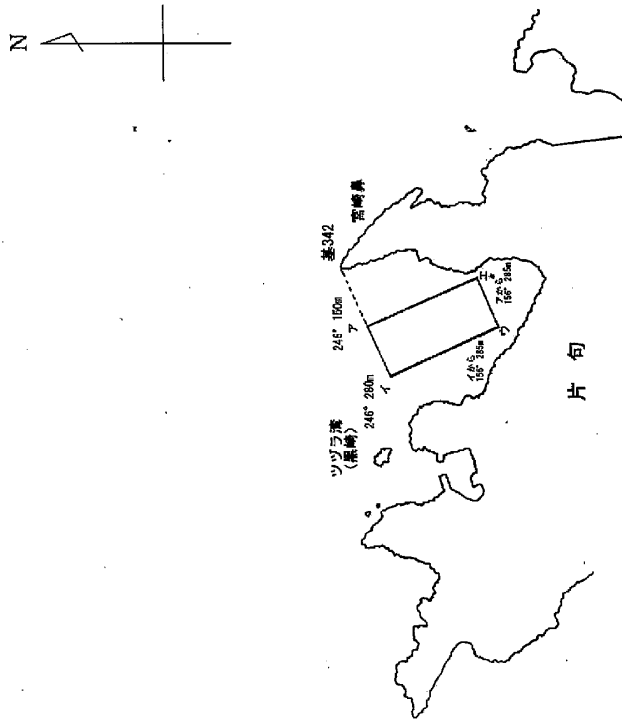
基点第342号 松江市鹿島町片匂黒崎湾北端に設置した標柱

ア 基点第342号から244度150メートルの点

イ 基点第342号から246度280メートルの点

ウ イから156度285メートルの点

エ ズから156度285メートルの点



この謄本は免許漁業原簿付區漁場図と相違ないことを証明する。

昭和2年11月30日

平成30年9月1日免許

2冊37丁

島根県知事

丸山 達也

1/10,000

区画漁業権漁場図（第一種区画漁業・わかめ養殖業）

免許番号 区第19号

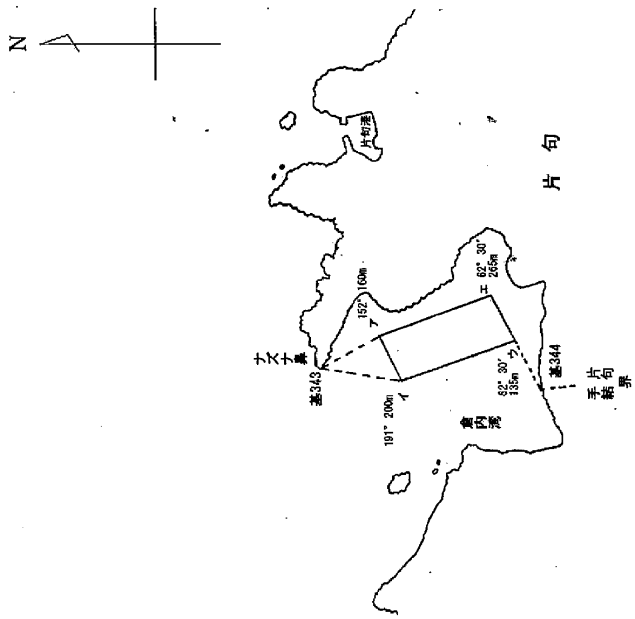
漁場の位置

松江市鹿島町片匂、手結界地先倉内湾

漁場の区域

次のア、イ、ウ、エ及びアの各点を順次に結んだ線によって囲まれた

- | | |
|---------|--------------------------|
| 区域 | |
| 基点第343号 | 松江市鹿島町片匂ノズナ鼻西端に設置した標柱 |
| 基点第344号 | 松江市鹿島町片匂、手結界に設置した標柱 |
| ア | 基点第343号から152度160メートルの点 |
| イ | 基点第343号から191度200メートルの点 |
| ウ | 基点第344号から62度30分135メートルの点 |
| エ | 基点第344号から62度30分265メートルの点 |



この標本は免許漁業原簿付属漁場図と相違ないことを証明する。
令和2年11月30日

平成30年9月1日免許
2冊38丁

島根県知事 丸山 達

区画漁業権漁場図 (第一種区画漁業・たし小漁り式漁業)

免許番号 区第301号

漁場の位置

松江市島根町加賀地先

漁場の区域

次のア、イ、ウ、エ及びアの各点を順次に結んだ線によって囲まれた

区域

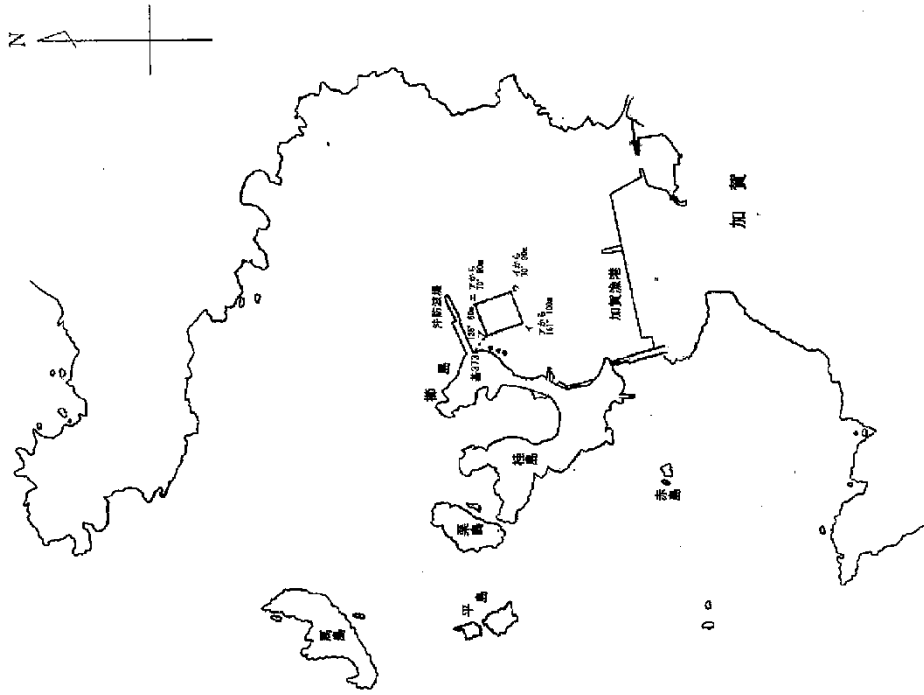
基点第373号 松江市島根町加賀、加賀漁港沖防波堤南側基部に設置した標柱

ア 基点第373号から125度60メートルの点

イ アから161度100メートルの点

ウ アから70度90メートルの点

エ アから70度90メートルの点



この原本は免許漁業課附属漁場図と相違ないことを証明する。
 昭和2年11月30日

平成30年9月1日免許

2冊56丁

島根県知事

丸山 達也

1/10,000

区画漁業権漁場図（第一種区画漁業・ぶり・たい小割り式養殖業）

免許番号 区第302号

漁場の位置

松江市島根町大芦地先

漁場の区域

次のア、イ、ウ、エ及びアの各点を順次に結んだ線によって囲まれた

区域

基点第374号 松江市島根町大芦、大芦漁港防砂堤架橋に設置し

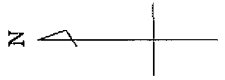
た標柱

ア 基点第374号から25度140メートルの点

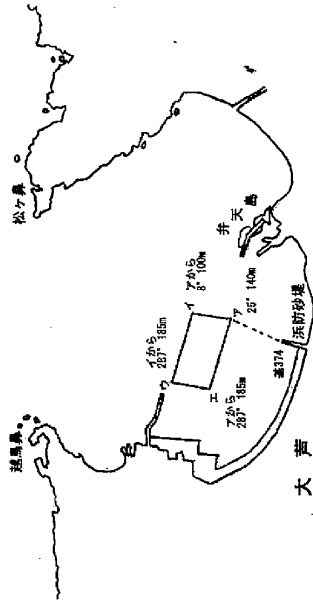
イ アから8度100メートルの点

ウ イから287度185メートルの点

エ アから287度185メートルの点



二ツ島
0.0



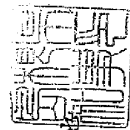
この謄本は免許漁業原簿付属漁場図と相違ないことを証明する。

令和2年11月30日

島根県知事

平成30年9月1日 免許

2冊57丁



丸山達

1
10,000

⑧共同漁業権漁場図

共同漁業権漁場図(第一種共同漁業)

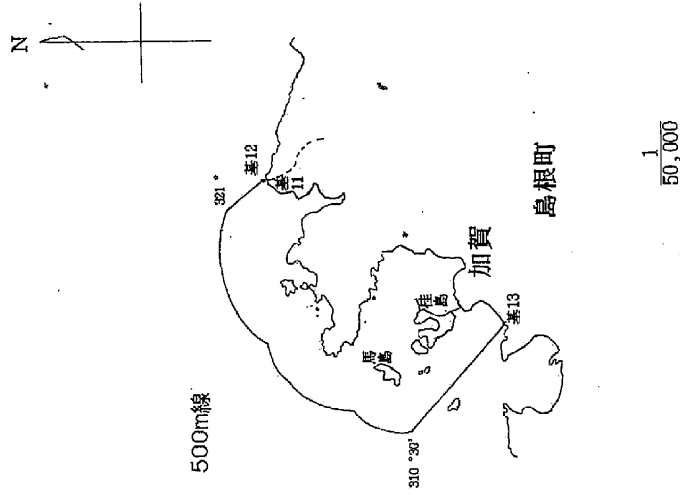
免許番号 共第8号

漁場の位置
松江市島根町加賀地先

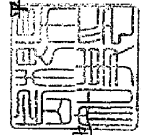
漁場の区域

次の基点第11号と基点第12号を結ぶ線、基点第12号から32.1度の方向及び基点第13号から31.0度30分の方向との三直線並びに最大高潮時海岸線(沿岸島しよを含む。)から距岸5.00メートルの線とによって囲まれた区域

基点第11号 松江市島根町野波、加賀界に設置した標柱
 基点第12号 松江市島根町野波、加賀界線島北西端に設置した標柱
 基点第13号 松江市島根町加賀、大芦界に設置した標柱



この原本は免許漁業原簿付風漁場図と
 異なることを証明する。
 令和2年11月30日



島根県知事 丸山達也
 平成25年9月1日免許
 1番 8丁

共同漁業権漁場図(第一種共同漁業)

免許番号 共第9号

漁場の位置

松江市島根町大芦地先。ただし、松江市島根町大芦猿猿渡後島以西の地先を除く。

漁場の区域

次の基点第13号から310度30分の方角及び基点第19号から324度の方角との二直線並びに最大高潮時海岸線(沿岸島しよを含む。)から距岸500メートルの線とによって囲まれた区域。

ただし、基点第14号、基点第15号、基点第16号、基点第17号、ア、イ、ウ及び基点第19号の各点を順次に結んだ線並びに最大高潮時海岸線とによって囲まれた区域を除く。

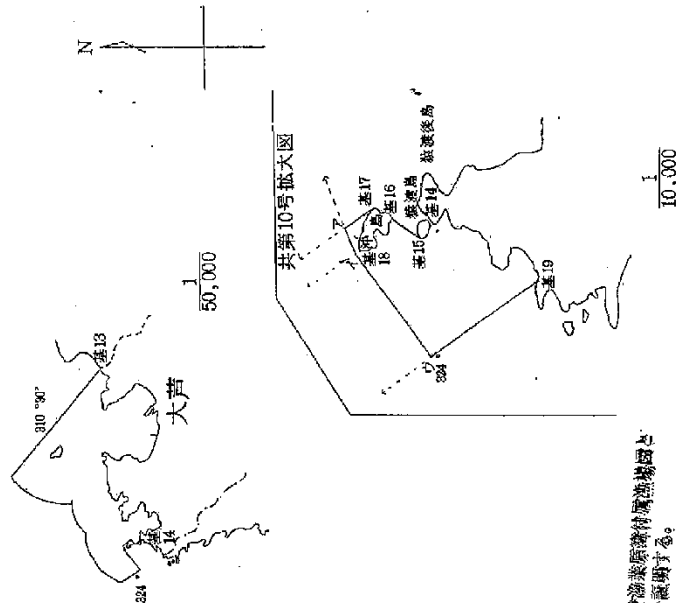
- 基点第13号 松江市島根町加賀、大芦界に設置した標柱
- 基点第14号 松江市島根町大芦猿猿渡後島北西端に設置した標柱
- 基点第15号 松江市島根町大芦猿猿渡島西端に設置した標柱
- 基点第16号 松江市島根町大芦沖島南端に設置した標柱
- 基点第17号 松江市島根町大芦沖島北東端に設置した標柱
- 基点第18号 松江市島根町大芦沖島北西端に設置した標柱
- 基点第19号 松江市島根町、鹿島町界に設置した標柱
- ア 基点第17号から325度の方角と基点第18号から52度の方角との交点
- イ 基点第18号から324度20メートルの点
- ウ 基点第19号から324度320メートルの点



平成25年9月1日免許

1冊.9丁.

500m線



この図本は共同漁業権漁場図と相違ないことをご認察する。

第2年11月30日



共同漁業権漁場図(第一種共同漁業)

免許番号 共第10号

漁場の位置

松江市島根町大芦猿渡後島以西の大芦地先

漁場の区域

次の基点第14号、基点第15号、基点第16号、基点第17号、ア、イ、ウ及び基点第19号の各点を順次に結んだ線並びに最大高潮時海岸線とによって囲まれた区域

- 基点第14号 松江市島根町大芦猿渡後島北西端に設置した標柱
- 基点第15号 松江市島根町大芦猿渡島西端に設置した標柱
- 基点第16号 松江市島根町大芦沖島南端に設置した標柱
- 基点第17号 松江市島根町大芦沖島北東端に設置した標柱
- 基点第18号 松江市島根町大芦沖島北西端に設置した標柱
- 基点第19号 松江市島根町、鹿島町界に設置した標柱

- ア 基点第17号から325度の方向と基点第18号から52度の方向との交点
- イ 基点第18号から324度20メートルの点
- ウ 基点第19号から324度320メートルの点

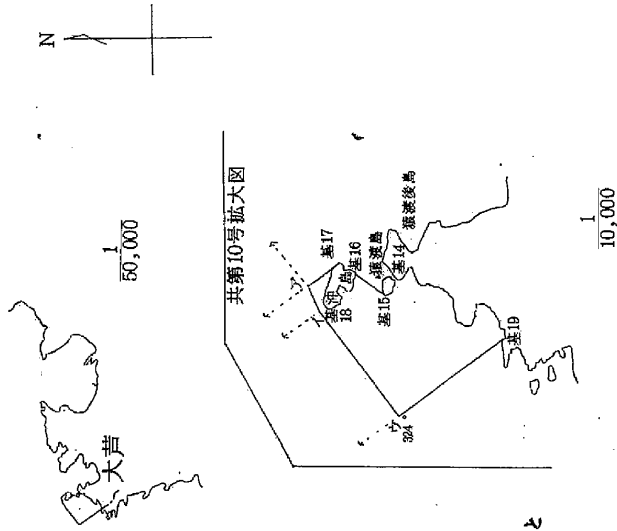
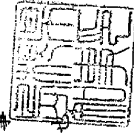


平成25年9月1日免許

I 冊 10丁

島根県知事

丸山達也



この図本は免許送達業務課付録図と相違ないことを証明する。
令和2年11月30日

共同漁業権漁場図(第一種共同漁業)

免許番号 共第11号

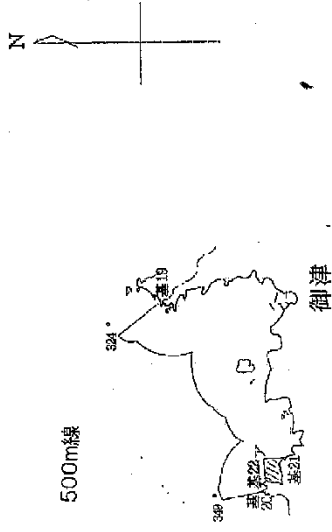
漁場の位置

松江市鹿島町御津地先

漁場の区域

次の基点第19号から324度の方向及び基点第20号から349度の方向との二直線並びに最大高潮時海岸線(沿岸島しよを含む。)から距岸500メートルの線とによって囲まれた区域。
ただし、基点第21号、ア及び基点第22号の各点を順次に縮んだ線並びに最大高潮時海岸線とによって囲まれた区域を除く。

- 基点第19号 松江市鹿島町、鹿島町界に設置した標柱
- 基点第20号 松江市鹿島町御津、片匂界に設置した標柱
- 基点第21号 松江市鹿島町御津大松鼻西端に設置した標柱
- 基点第22号 松江市鹿島町御津高鼻東側岸の北端に設置した標柱
- ア 基点第21号から354度の方向と基点第22号から384度の方向との交点



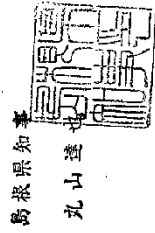
平成25年9月1日免許

1冊 11丁

鹿島町

1/50,000

この図本は免許漁業区域施行関係図と相違ないことを証明する。
令和2年11月30日



共同漁業権漁場図(第一種共同漁業)



免許番号 共第12号

平成25年9月1日免許

漁場の位置

松江市鹿島町片匂、手結、恵曇及び古浦地先

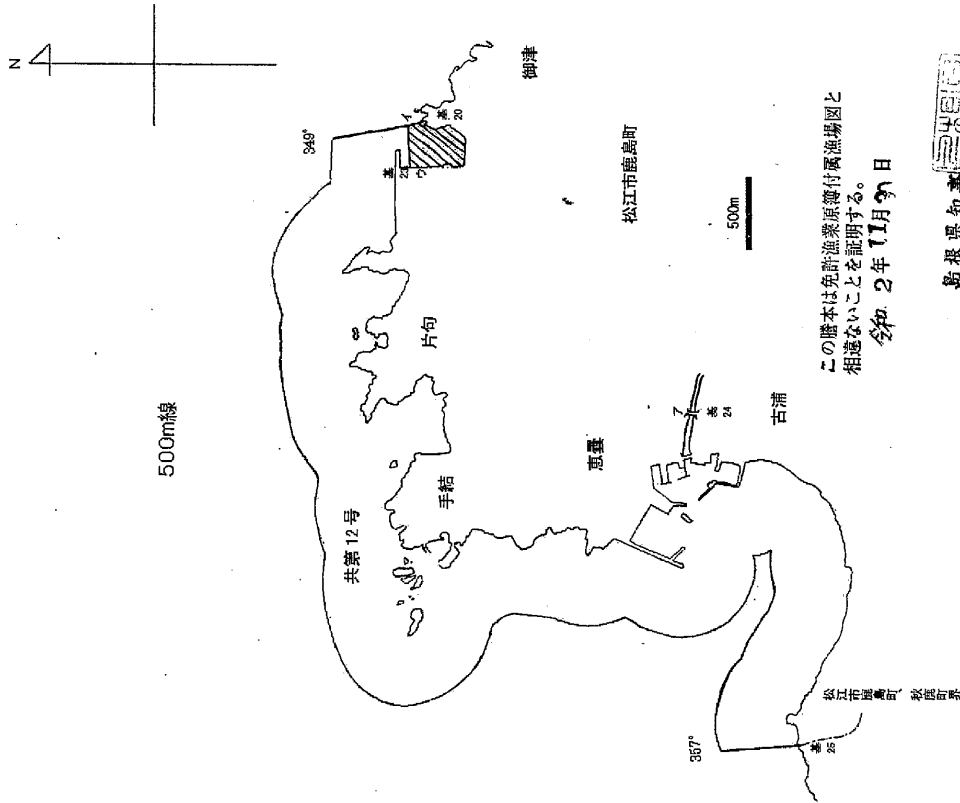
1番12T

漁場の区域

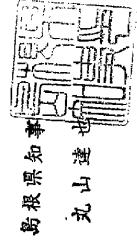
次の基点第20号から349度の方向及び基点第25号から357度の方向との二直線並びに最大高潮時海岸線(沿岸島しよを含む。)から距岸500メートルの線とによって囲まれた区域(基点第24号とアを結ぶ線以南の佐陀川を除く。)
ただし、基点第20号、イ及びウの各点を順次に結んだ線並びに最大高潮時海岸線とによって囲まれた区域を除く。

- 基点第20号 松江市鹿島町御津、片匂界に設置した標柱
- 基点第23号 松江市鹿島町片匂2963番地護岸から東に延びた防波堤北側基部
- 基点第24号 松江市鹿島町恵曇地内湊橋右岸下流側つけ根に設置した標柱
- 基点第25号 松江市鹿島町、秋鹿町界通称カル島北端に設置した標柱

- ア 湊橋下流端の線が対岸と交わる点
- イ 基点第20号から849度の方向とウから86度の方向との交点
- ウ 基点第23号から180度74メートルの点



この謄本は免許漁業原簿付属漁場図と相違ないことを証明する。
令和2年11月9日



島根県知事 丸山 達也

共同漁業権漁場図 (第二種共同漁業)

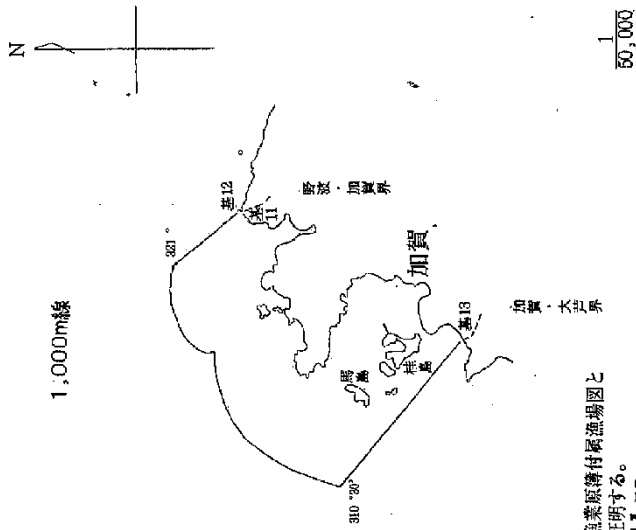
免許番号 共第107号

漁場の位置
松江市島根町加賀地先

漁場の区域

次の基点第11号と基点第12号を結ぶ線、基点第12号から32.1度の方向及び基点第13号から31.0度3.0分方向との三直線並びに最大高潮時海岸線(沿岸島しょを含む。)から距離1,000メートルの線とによって囲まれた区域

基点第11号 松江市島根町野波、加賀界に設置した標柱
基点第12号 松江市島根町野波、加賀界線島北西端に設置した標柱
基点第13号 松江市島根町加賀、大芦界に設置した標柱



この謄本は免許漁業原簿付属漁場図と相違ないことを証明する。
令和2年11月30日

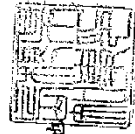


平成25年9月1日免許

1冊46丁

島根県知事

丸山達也



共同漁業権漁場図（第二種共同漁業）

免許番号 共第108号

漁場の位置

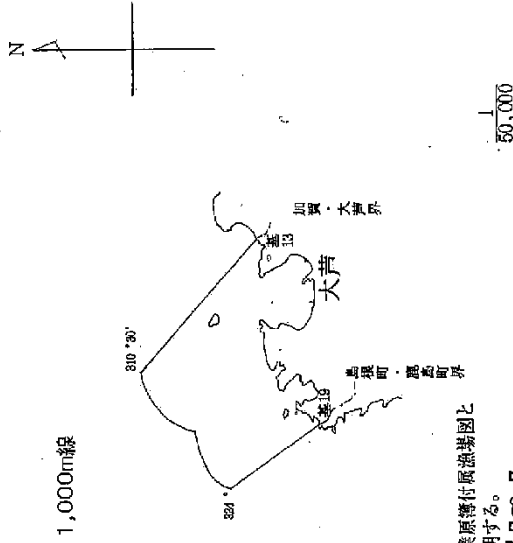
松江市島根町大芦地区

漁場の区域

次の基点第13号から31.0度30分方向及び基点第19号から32.4度の方向との二直線並びに最大高潮時海岸線（沿岸島しょを含む。）から距岸1,000メートルの線とによって囲まれた区域

基点第13号 松江市島根町加賀、大芦界に設置した標柱

基点第19号 松江市島根町、廣島町界に設置した標柱



この図本は免許漁業原簿付風漁場図と相違ないことを証明する。

令和2年11月30日

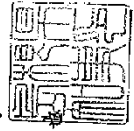


平成25年9月1日免許

1冊47丁

島根県知事

丸山達也



共同漁業権漁場図（第二種共同漁業）

免許番号 共第109号

漁場の位置

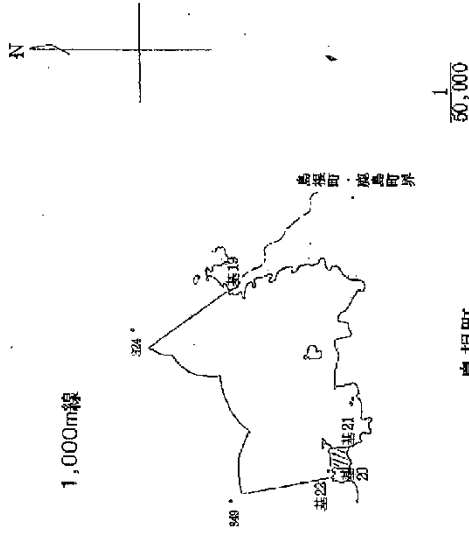
松江市鹿島町御津地先

漁場の区域

次の基点第19号から82.4度の方向及び基点第20号から34.9度の方向との二直線並びに最大高潮時海岸線（沿岸島しょを含む。）から距岸1,000メートルの線とによって囲まれた区域。

ただし、基点第21号、ア及び基点第22号の各点を順次に結んだ線並びに最大高潮時海岸線とによって囲まれた区域を除く。

- 基点第19号 松江市島根町、鹿島町界に設置した標柱
- 基点第20号 松江市鹿島町御津、片匂界に設置した標柱
- 基点第21号 松江市鹿島町御津大松鼻西端に設置した標柱
- 基点第22号 松江市鹿島町御津高鼻東側岬の北端に設置した標柱
- ア 基点第21号から85.4度の方向と基点第22号から88.4度の方向との交点



島根町



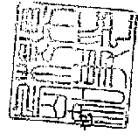
平成25年9月1日免許

1新48丁

この図本は免許漁業原簿付属漁場図と相違ないことを証明する。
 平成25年11月30日

島根県知事

丸山 達



共同漁業権漁場図（第二種共同漁業）



免許番号 共第1110号

平成25年9月1日免許

漁場の位置

松江市鹿島町片匂、手結、恵曇及び古浦地先 1冊49丁

漁場の区域

次の基点第20号から3349度の方向及び基点第25号から357度の方向との二直線並びに最大高潮時海岸線（沿岸島しよを含む。）から距岸1,000メートルの線とによって囲まれた区域（基点第24号とアを結ぶ線以南の佐陀川を除く。）。

ただし、基点第20号、イ及びウの各点を順次に結んだ線並びに最大高潮時海岸線とによって囲まれた区域を除く。

基点第20号 松江市鹿島町御津、片匂界に設置した標柱

基点第23号 松江市鹿島町片匂2963番地護岸から東に延びた

防波堤北端基部

基点第24号 松江市鹿島町恵曇地内漆橋右岸下流側つけ根に設置した標柱

基点第25号 松江市鹿島町、秋鹿町界運称カル島北端に設置した標柱

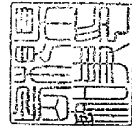
ア 漆橋下流端の線が対岸と交わる点

イ 基点第20号から3349度の方向とウから86度の方向との交点

ウ 基点第23号から180度74メートルの点

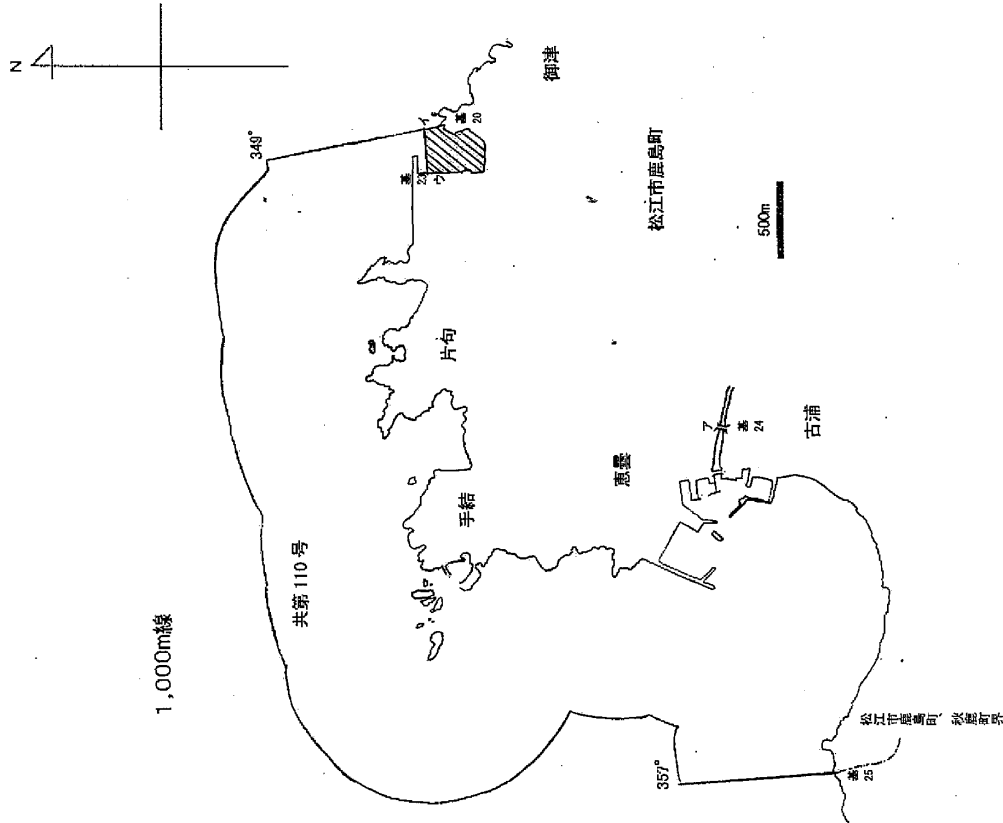
原本は免許漁業原簿付属漁場図とないことを証明する。

令和2年1月3日



島根県知事

丸山達



津波防護施設に考慮する漂流物の選定

1. 概要

津波防護施設に到達すると評価された漂流物において、既往の算定式を用いて漂流物による衝突荷重を比較し、津波防護施設に考慮する漂流物を選定する。

2. 津波防護施設に到達する漂流物

津波防護施設に到達する漂流物一覧を表 2-1 に示す。

表 2-1 津波防護施設に到達する漂流物の評価結果

調査対象		到達する漂流物	重量等	考慮する津波*	到達形態	配置場所
発電所 構内	海 域	作業船	総トン数：約 10 トン	海域	浮遊	直近海域
		漁船	総トン数：約 0.7 トン	東縁 海域	浮遊	直近海域
	陸 域	荷揚場詰所 (壁材 (ALC版))	— (がれき化して漂流)	東縁	浮遊	直近海域
		防舷材	約 1t	東縁	浮遊	直近海域
		枕木	約 12kg	東縁	浮遊	直近海域
発電所 構外	海 域	漁船 (500m以内 (操業))	総トン数：約 3 トン未満	東縁 海域	浮遊	直近海域
		漁船 (500m以遠 (操業))	総トン数：約 19 トン	東縁 海域	浮遊	前面海域

注記*：「東縁」は日本海東縁部に想定される地震による津波、「海域」は海域活断層から想定される地震による津波を表す。

表 2-1 に記載されている発電所構内の陸域における漂流物のうち、壁材 (ALC版) においては、がれき化して細分化されること、防舷材においては、ゴム製の外層内に空気を注入している防舷材であり剛性が著しく小さいことから、これらの漂流物による衝突荷重はその他の漂流物による衝突荷重に包絡されると判断した。

したがって、漂流物選定のために実施する、既往の算定式による衝突荷重の比較においては、枕木及び船舶 (作業船・漁船) を対象とする。

また、発電所構外の海域における漂流物のうち、漁船 (500m以内 (操業)) については、操業区域及び航行の不確かさを考慮して、発電所周辺漁港で最大となる漁船である、**漁船 (総トン数 19 トン)** を考慮する。

津波防護施設に考慮する漂流物の選定に当たり、既往の算定式による衝突荷重を比較する漂流物のまとめを表 2-2 に示す。

表 2-2 既往の算定式により衝突荷重を算定し比較を行う漂流物

配置場所	考慮する津波*1	漂流物	質量*2	材質
直近海域	東縁	船舶 (総トン数 0.7 トン)	2.1t	FRP
		船舶 (総トン数 3 トン)	9t	
		船舶 (総トン数 19 トン)	57t	
		枕木	12kg	
	海域	船舶 (総トン数 0.7 トン)	2.1t	FRP
		船舶 (総トン数 3 トン)	9t	
		船舶 (総トン数 10 トン)	30t	
		船舶 (総トン数 19 トン)	57t	
前面海域	東縁	船舶 (総トン数 19 トン)	57t	FRP
	海域	船舶 (総トン数 19 トン)	57t	FRP

注記*1: 「東縁」は日本海東縁部に想定される地震による津波, 「海域」は海域活断層から想定される地震による津波を表す。

*2: 漁船及び作業船の質量は, 「津波漂流物対策施設設計ガイドライン(2014)」に「漁船の排水トン数は総トン数のほぼ3倍として良い」と記載があり, 排水トン数は質量と同意義であるため, 総トン数の3倍の値を採用する。

3. 既往の算定式による衝突荷重の算定

津波防護施設に考慮する漂流物の選定に当たり, 漂流物による既往の荷重算定式の整理一覧を表 3-1, 漂流物による衝突荷重算定方法の整理を表 3-2 に示す。

表 3-1-1 漂流物による既往の荷重算定式の整理一覧

No	出典	種類	概要	算定式の根拠 (実験条件)
①	松富 (1999)	流木	円柱形状の流木が縦向きに衝突する場合は衝突荷重を提案している。 $F_m = 1.6C_m(V_{w0}/gD)^{0.5} \{ (\sigma_f/VL)^{0.4} (VD^2L) \}$ F_m : 衝突力, C_m : 見かけの質量係数, V_{w0} : 流木の衝突速度, D : 流木の直径, L : 流木の長さ, σ_f : 流木の降伏応力, γ : 流木の単位体積重量, g : 重力加速度	「実験に基づく推定式」 見かけの質量係数に関する水路実験 (実験: 高さ0.5m, 幅0.3m, 長さ11.0m, 流木(丸太)の直径: 4.8~12cm, 流木質量: 305~861.5kgf) 衝突荷重に関する空中実験 水理模型実験及び空中衝突実験において、流木(植生林ではない丸太)を被衝突体の前面(2.5m以内)に設置した状態で衝突させている。
②	池野・田中 (2003)	流木	円柱以外にも角柱、球の形状をした木材による衝突荷重を提案している。 $F_H = SC_{p0}A(V_H/g)^{0.5} D^{0.25} \rho^{2.5} (gM)$ F_H : 漂流物の衝突力, S : 係数 (5.0), C_{p0} : 見かけの質量係数, V_H : 段波速度, D : 漂流物の代表高さ, L : 漂流物の長さ, M : 漂流物の質量, g : 重力加速度	「実験に基づく推定式」(縮尺1/100の模型実験) 受圧板を陸上構造物と想定し、衝突体を受圧板前面80cm(現地換算80m)離れた位置に設置した状態で衝突させた実験である。模型縮尺(1/100)を考慮した場合、現地換算で直径2.6~8mの板となる。
③	道格橋示方書 (2002)	流木等	橋(橋脚)に自動車、流木あるいは船舶等が衝突する場合の衝突荷重を定めている。 $P = 0.1 W V$ P : 衝突力, W : 流送物の重量, v : 表面流速	漂流物が流下(漂流)してきた場合に、表面流速(津波流速)を与えることで漂流流速に対する荷重を算定できる。
④	津波漂流物対策施設設計ガイドライン (2014)	船舶等	船舶の仮想重量と漂流物流速から衝突エネルギーを提案している。 $E = E_0 = \frac{WV^2}{(2g)}$ $W = W_0 + W' = W_0 + (\pi/4)(D^2)L\gamma_w$ $E = E' = \frac{(4g)}{3} W^2$ E : 衝突エネルギー, W : 仮想重量, V : 漂流物速度, W_0 : 排水トン数, W' : 付加重量, D : 喫水, L : 横付けの場合は船の長さ、縦付けの場合は船の幅, γ_w : 海水の単位体積重量, g : 重力加速度 船の回転により衝突エネルギーが消費される (1/4点衝突) 場合	「漁港・漁場の施設の設計の手引」(2003)に記載されている、稼岸エネルギーの算定式に対して、接岸速度を漂流物速度とすることで、衝突エネルギーを算定できる。 漁船の船、車両・流木・コンテナの衝突エネルギーに対して、支柱及び津波漂流物捕捉スクリーンの形状でエネルギーを吸収させることにより、漂流物の進入を防ぐための津波漂流物対策施設の設計に適用される式である。
⑤	FEMA (2012)	流木 コンテナ	$F_i = 1.3 u_{max} \sqrt{km(1+c)}$ F_i : 衝突力, u_{max} : 最大流速, m : 漂流物の質量, c : 付加質量係数, k : 漂流物の有効剛性	「運動方程式に基づく衝突方程式」 非線形系の振動方程式に基づいており、衝突体及び被衝突体の両方とも完全剛性体で、かつ衝突時のエネルギー減衰が一切考慮されていない前提条件での算定式であることから、衝突時に塑性変形を伴う漂流物の衝突荷重算定では、個別の漂流物に対して、実現象を再現するような軸剛性を適切に定める必要がある。
⑥	水谷ほか (2005)	コンテナ	漂流するコンテナの衝突荷重を提案している。 $F_m = 2 \rho_w \eta_m B_c V_c^2 + (WV x / gdt)$ F_m : 漂流衝突力, dt : 衝突時間, η_m : 最大過剰水位, ρ_w : 水の密度, B_c : コンテナ幅, V_c : コンテナの漂流速度, W : コンテナ重量, g : 重力加速度	「実験に基づく推定式」(縮尺1/75の模型実験) 使用コンテナ: 長さ20ftと40ft, コンテナ重量: 0.2N~1.3N程度, 過剰流速: 1.0m/s以下, 材質: アクリル 被衝突体の直近のエプロン上にコンテナを設置して衝突力を求めた算定式である。衝突体と水塊が一体となった衝突し、衝突前の運動量が全て力積として作用するものとして考えた算定式であり、右辺の第1項は付加重量による荷重を表している。
⑦	有川ほか (2007, 2010)	コンテナ 流木	コンクリート構造物に鋼製構造物(コンテナ等)が漂流衝突する際の衝突荷重を提案している。 $F = \gamma_{pk} x^{\frac{3}{2}} \frac{6}{4} v^{\frac{5}{2}}, x = \frac{4\sqrt{a}}{3\pi} \frac{1}{k_1 + k_2}, k = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2}$ F : 衝突力, a : 衝突面半径の1/2 (コンテナ衝突面の縦横長さの平均の1/4), E : ヤング率, v : ボアソン比, m : 質量, v : 衝突速度, γ_p : 塑性によるエネルギー減衰効果 m や v の添え字は衝突体と被衝突体を示す。 また、「①松富(1999)」にない、上式において $m=C_{qm}$ (C_{qm} : サージタイプの1.7) とすることで、流木のコンクリート版に対する衝突力を評価できるとしている。	「実験に基づく推定式」(縮尺1/5の模型実験) 使用コンテナ: 長さ1.21m, 高さ0.32m, 幅0.49m, 衝突速度: 1.0~2.5m/s程度, 材質: 鋼製 水理模型実験では、コンテナを被衝突体の全面1.21m(現地換算6.05m)に設置して衝突力を求めた算定式である。

- No1 松富英夫（1999） 流木衝突力の実用的な評価式と変化特性，土木学会論文集，No621，pp. 111-127
- No2 池野正明・田中寛好（2003） 陸上遡上波と漂流物の衝突力に関する実験的研究，海岸工学論文集，第 50 卷，pp. 721-725
- No3 道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会，平成 14 年 3 月）
- No4 津波漂流物対策施設設計ガイドライン（沿岸技術研究センター，寒地港湾技術研究センター，平成 26 年 3 月）
- No5 FEMA（2012） Guidelines for Design of Structures for Vertical Evacuation from Tsunamis Second Edition，FEMA P-646
- No6 水谷法美・高木祐介・白石和睦・宮島正悟・富田孝史（2005） エプロン上のコンテナに作用する津波波力と漂流衝突力に関する研究，海岸工学論文集，第 52 卷，pp. 741-745
- No7 有川太郎・大坪大輔・中野史丈・下迫健一郎・石川信隆（2007） 遡上津波によるコンテナ漂流力に関する大規模実験 海岸工学論文集，第 54 卷，pp. 846-850
有川太郎・鷺崎誠（2010） 津波による漂流木のコンクリート壁面破壊に関する大規模実験，土木学会論文集 B2，Vol. 66，No. 1，pp. 781-785

表 3-2 漂流物による衝突荷重算定方法の整理

No	算定方法	種類	漂流物の初期配置	適用流速	適用性
1	松富 (1999)	流木	直近海域 直近陸域	衝突速度	個別の流木(丸太)の種類等に応じて、実現象を再現できるパラメータを適切に設定することが可能であれば、直近陸域又は直近海域からの流木に対して適用可能と判断する。
2	池野・田中 (2003)	流木	直近陸域	段波速度	流木を対象とした算定式であるが、実験の模型縮尺(1/100)を考慮すると、原子力発電所における漂流物衝突事象への適用は困難と判断する。
3	道路橋示方書 (2002)	流木 FRP製 船舶等	前面海域	表面流速	漂流物が流下(漂流)して来た場合に、表面流速(津波流速)を与えることで漂流流速に対する漂流物荷重を算定できる。新規制基準適合性審査(東北電力(株)女川原子力発電所 2号機等)において適用実績があるため、初期配置が前面海域の漂流物に対して適用可能と判断する。
4	津波漂流物 対策施設設計 ガイドライン (2014)	船舶等	前面海域 直近海域	漂流物速度	船舶、車両、流木、コンテナ等の漂流物を対象としているが、鋼管杭等の支柱の変形及びワイヤロープの伸びにより衝突エネルギーを吸収する考え方であり、弾性設計においての適用は困難であると判断する。
5	FEMA (2012)	流木 コンテナ FRP製 船舶	直近海域	最大流速	個別の漂流物に対して、実現象を再現できるパラメータ(軸剛性等)を適切に設定することが必要である。新規制基準適合性審査(東北電力(株)女川原子力発電所 2号機)において、初期配置が直近海域の総トン数5トンのFRP製船舶の船首方向衝突に対して適用実績があるため、FRP製船舶の船首方向衝突に対して適用可能と判断する。
6	水谷ほか (2005)	コンテナ	直近陸域	漂流速度	エプロン上にコンテナを設置して衝突力を求めるという特殊な実験により得られた式であることに留意する必要はあるが、直近陸域からのコンテナに対して適用可能と判断する。
7	有川ほか (2007, 2010)	流木 コンテナ	直近海域 直近陸域	衝突速度	剛性に係るk値を適切に定める必要があり、対象としている種類以外への適用性があるk値に係るk1及びk2の値が不明であるため、現状は当該式が対象としている種類(流木、コンテナ)以外への適用は困難と判断する。したがって、直近陸域又は直近海域からの流木及びコンテナに対して適用可能と判断する。

表 3-1 及び表 3-2 の整理結果を基に、各漂流物による衝突荷重の比較結果のまとめを表 5 に示す。漂流物による衝突荷重は、対象となる漂流物の初期配置の適用性を考慮して、既往の算定式を選定する。

【船舶】

船舶の初期配置は、直近海域又は前面海域となる。表 3-2 より、既往の算定式の適用性を考慮して、初期配置が直近海域の場合は、「FEMA (2012)」，初期配置が前面海域の場合は、「道路橋示方書 (2002)」により衝突荷重を算定して比較する。

なお、「FEMA (2012)」による衝突荷重の算定に当たっては、衝突物の軸剛性を設定する必要があり、船舶の船首方向における軸剛性は、添付資料 4 「FEMA (2012) による FRP 製船舶の衝突荷重」に記載のとおり「土木学会 (1994)」を基に設定が可能である。この軸剛性は、総トン数が大きくなると船体寸法、板厚及び質量が大きくなることで軸剛性も大きくなるが、本検討においては、安全側に総トン数 19 トンにおける船首方向の軸剛性 ($1.71 \times 10^5 \text{N/m}$) を船舶の代表値として設定する。

【枕木】

枕木の初期配置は、直近陸域となる。表 3-2 より、既往の算定式の適用性を考慮して、「松富 (1999) *1」，「FEMA (2012)」及び「有川ほか (2007, 2010) *2」により衝突荷重を算定して比較する。

注記 *1 : 松富英夫 (1999) 流木衝突力の実用的な評価式と変化特性, 土木学会論文集, No621, pp. 111-127

*2 : 有川太郎・大坪大輔・中野史丈・下迫健一郎・石川信隆 (2007) 遡上津波によるコンテナ漂流力に関する大規模実験 海岸工学論文集, 第 54 巻, pp. 846-850
有川太郎・鷺崎誠 (2010) 津波による漂流木のコンクリート壁面破壊に関する大規模実験, 土木学会論文集 B2, Vol. 66, No. 1, pp. 781-785

表 3-3 漂流物による衝突荷重の比較結果のまとめ

考慮する津波	配置場所*1	漂流物	質量	衝突荷重 (kN)	算定式	衝突速度 (m/s)
東縁	直近海域	船舶 (総トン数 0.7 トン)	2.1t	348*2	F E M A (2012)	10.0
		船舶 (総トン数 3 トン)	9t	721*2		
		船舶 (総トン数 19 トン)	57t	1,815		
		枕木	12 kg	158	松富(1999)	
				133	有川ほか (2007, 2010)	
	99			F E M A (2012)		
前面海域	船舶 (総トン数 19 トン)	57t	559	道路橋示方書 (2002)		
海域	直近海域	船舶 (総トン数 0.7 トン)	2.1t	209*2	F E M A (2012)	6.0
		船舶 (総トン数 3 トン)	9t	433*2		
		船舶 (総トン数 10 トン)	30t	790*2		
		船舶 (総トン数 19 トン)	57t	1,089		
	前面海域	船舶 (総トン数 19 トン)	57t	336	道路橋示方書 (2002)	

注記*1: 「東縁」は日本海東縁部に想定される地震による津波, 「海域」は海域活断層から想定される地震による津波を表す。

*2: 衝突荷重の算定に当たり, 最大となる総トン数 19 トンの船首方向の軸剛性を用いているため, 各船舶の総トン数に応じた衝突荷重に対して安全側の値となっている。

4. 津波防護施設に考慮する漂流物の選定結果

津波防護施設に到達する漂流物のうち、初期配置が直近海域となる漂流物は、作業船（総トン数 10 トン）及び漁船（総トン数 0.7 トン及び 3 トン）、壁材（ALC版）、防舷材（約 1t）及び枕木（約 12kg）に加え、漁船の操業区域及び航行の不確かさを考慮して、漁船（総トン数 19 トン）を考慮する。これらのうち、既往の算定式を用いて漂流物による衝突荷重を比較した結果より、漁船（総トン数 19 トン）を初期配置が直近海域における漂流物として評価する。なお、初期配置が直近海域において対象となる漂流物のうち、壁材（ALC版）においては、がれき化して細分化されること、防舷材においては、ゴム製の外層内に空気を注入している防舷材であり剛性が著しく小さいことから、これらの漂流物による衝突荷重はその他の漂流物による衝突荷重に包絡されると判断した。

津波防護施設に到達する漂流物のうち、初期配置が前面海域となる漂流物は、船舶（総トン数 19 トン）を評価する。

以上より、津波防護施設に考慮する漂流物の選定に当たり、対象漂流物となる枕木及び船舶（作業船・漁船）において、対象漂流物の初期配置、重量等及び材質を踏まえた適用性を考慮し、既往の算定式による衝突荷重を比較した結果、漂流物による衝突荷重が最大となる船舶（総トン数 19 トン）を津波防護施設に考慮する漂流物として選定する。

なお、防波壁の壁面（海側）よりも奥まった狭隘な場所に設置され、船舶が衝突しない場合は、枕木を津波防護施設に考慮する漂流物として選定する。

島根原子力発電所におけるFRP製船舶に係る衝突解析条件の妥当性

1. 検討概要

島根原子力発電所においては、FRP製船舶による衝突に対し、3次元非線形構造解析を用いて衝突荷重を算定している。

小型船舶（総トン数20トン未満）は、その多くがFRP製船舶であり、津波により陸上に打ち上げられる事例が多く記録されている。

FRP製船舶を対象とした衝突荷重の算定に係る評価手法は確立されていないが、FRP製船舶による衝突荷重の算定について、FRP製の船舶を用いた落下衝突実験における衝突荷重の計測及び3次元非線形構造解析を用いた衝突荷重算定に関する研究より、衝突解析による衝突荷重の推定方法の妥当性を確認する。

さらに、島根原子力発電所におけるFRP製船舶に係る衝突解析条件の妥当性を確認した。衝突解析による衝突荷重の妥当性検討フローを図1-1に示す。

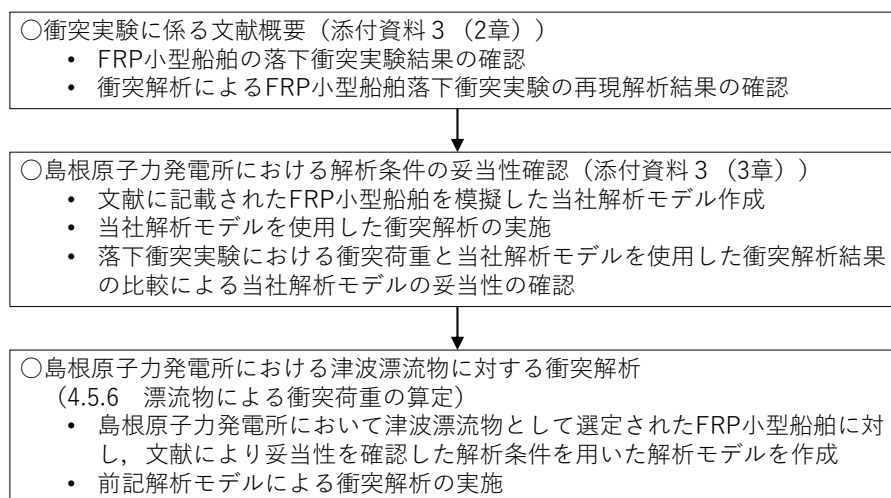


図 1-1 衝突解析による衝突荷重の妥当性検討フロー

2. 衝突実験に係る文献概要

衝突実験に係る文献について、以下のとおり確認した。

「豊田ほか（2022）＊」では、総トン数2トンのFRP製小型船舶（以下「実験船」という。）について船首からの落下衝突実験（以下「衝突実験」という。）を行い、船体の破壊挙動と衝突荷重を把握されている。

また、3次元非線形構造解析（以下「再現解析」という。）を実施し、衝突実験の衝突荷重の比較検討を行い、「再現解析」（衝突解析コード：LS-DYNA）でFRP製船舶による衝突荷重を推定できる手法を構築できたとされている。

本章においては、上記の実験及び解析に関する条件及び結果について説明する。

注記＊：豊田真・南波宏介・甲斐田秀樹・栗山透 FRP船舶の衝突解析手法に関する研究，土木学会論文集A1（構造・地震工学），Vol.78, No.2, 301-315, 2022.

2.1 衝突実験

(1) 衝突条件

「豊田ほか（2022）」では、実験船の衝突方向は船首衝突とし、衝突時に目標の衝突速度10.0m/sとなるように5.1mまでクレーンで船体を吊り上げ、地上に設置した鋼製の受圧板に自由落下させて衝突荷重を計測されている。

衝突実験における衝突条件を表2-1に、衝突実験状況を図2-1に示す。衝突速度については、実験における衝突直前の実測値である9.9m/sを衝突条件として設定されている。

表2-1 衝突条件

衝突速度【m/s】	9.9（実測：衝突直前）
衝突方向	船首衝突
衝突状態	自由落下
被衝突物	受圧板（鋼製：2,500mm×2,500mm）




図 2-1 衝突実験状況（「豊田ほか（2022）」より引用）

(2) 船舶仕様

「豊田ほか (2022)」における実験船の仕様を表 2-2 に示す。

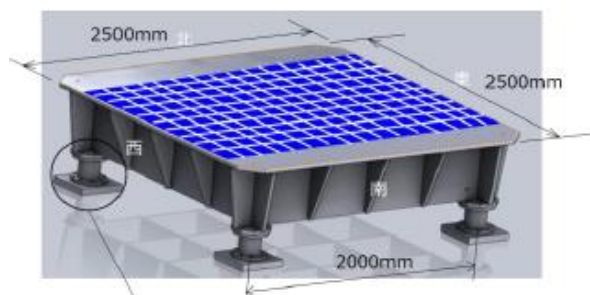
表 2-2 実験船の仕様 (「豊田ほか (2022)」より引用)

船種	小型船舶 (漁船)
材質	F R P
外観	
質量 [t]	1.69
全長 [m]	8.2

(3) 衝突荷重の計測方法

「豊田ほか (2022)」での衝突実験において、地上に設置した鋼製の受圧板に実験船を自由落下させて衝突荷重を計測されている。受圧板は鋼製の円筒形支柱 4 本により支持され、支柱の周方向 4 箇所 (軸方向) にひずみゲージが貼付されており、船体衝突時に計測されたひずみから算出した軸方向の平均応力と断面積を用いて軸力に換算することで衝突荷重を計測されている。

受圧板の構造及びひずみゲージの設置状況を図 2-2 に示す。



注：受圧板上面の格子は 200mm 間隔

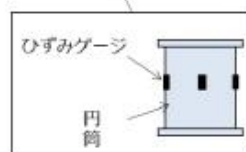


図 2-2 受圧板の構造及びひずみゲージの設置状況
(「豊田ほか (2022)」より引用)

(4) 衝突実験結果

衝突実験の結果として、ハイビジョンビデオカメラで撮影された衝突中の破壊状況を図 2-3 に、荷重時刻歴を図 2-4 に示す。衝突実験の結果より得られた衝突荷重に対して、カットオフ周波数を 100Hz としてローパスフィルタ処理が行われている。

図 2-3 において、衝突実験による詳細な破壊挙動としては、船首衝突後にいくつかの部材が外れ、船首付近の物入れ、浮き室の順に破壊が進行し、船首から最初の隔壁手前まで破壊されている。

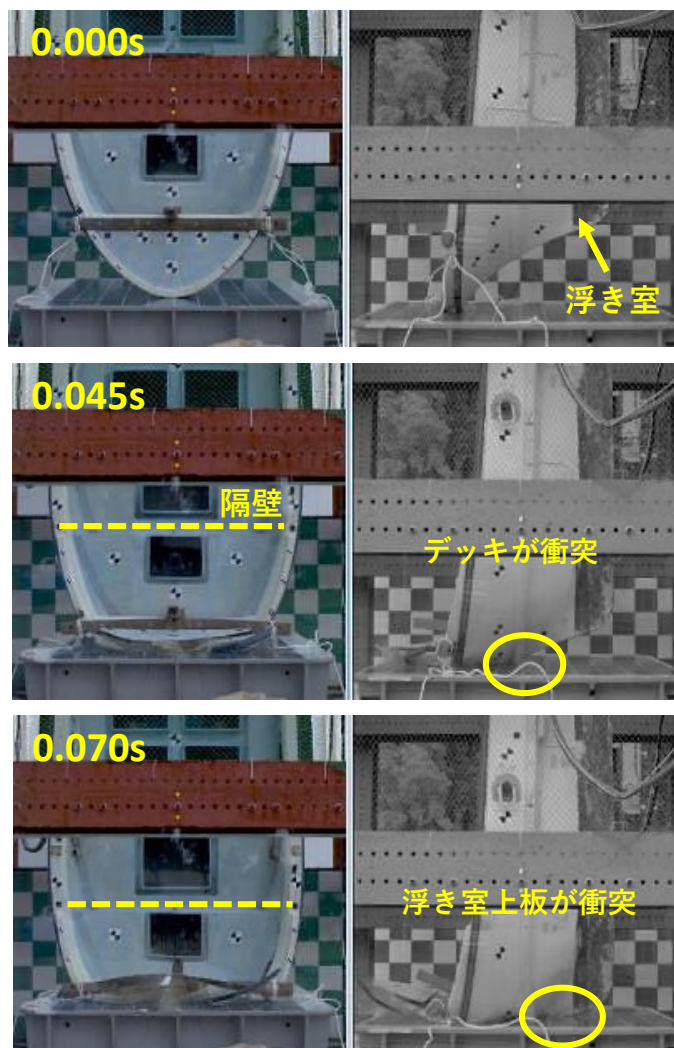


図 2-3 (1) 衝突実験における衝突状況 (「豊田ほか (2022)」に一部加筆)

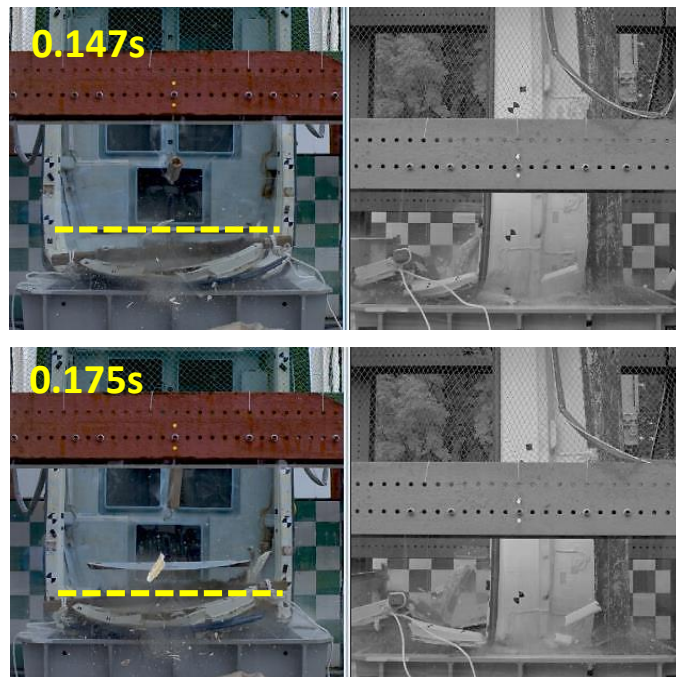


図 2-3 (2) 衝突実験における衝突状況 (「豊田ほか (2022)」に一部加筆)

図 2-4 において、衝突実験における荷重ピークは大きく 2 つ観察されている。「豊田ほか (2022)」では図 2-3 と比較し、1 番目の荷重ピークは浮き室上板が衝突した 0.07 秒付近で発生しているとされている。また、2 番目の荷重ピークは衝突位置が隔壁近傍に達した 0.18 秒付近で生じているとされている。この衝突実験において計測した衝突荷重の最大値は、1 番目の荷重ピークにおいて計測されている。

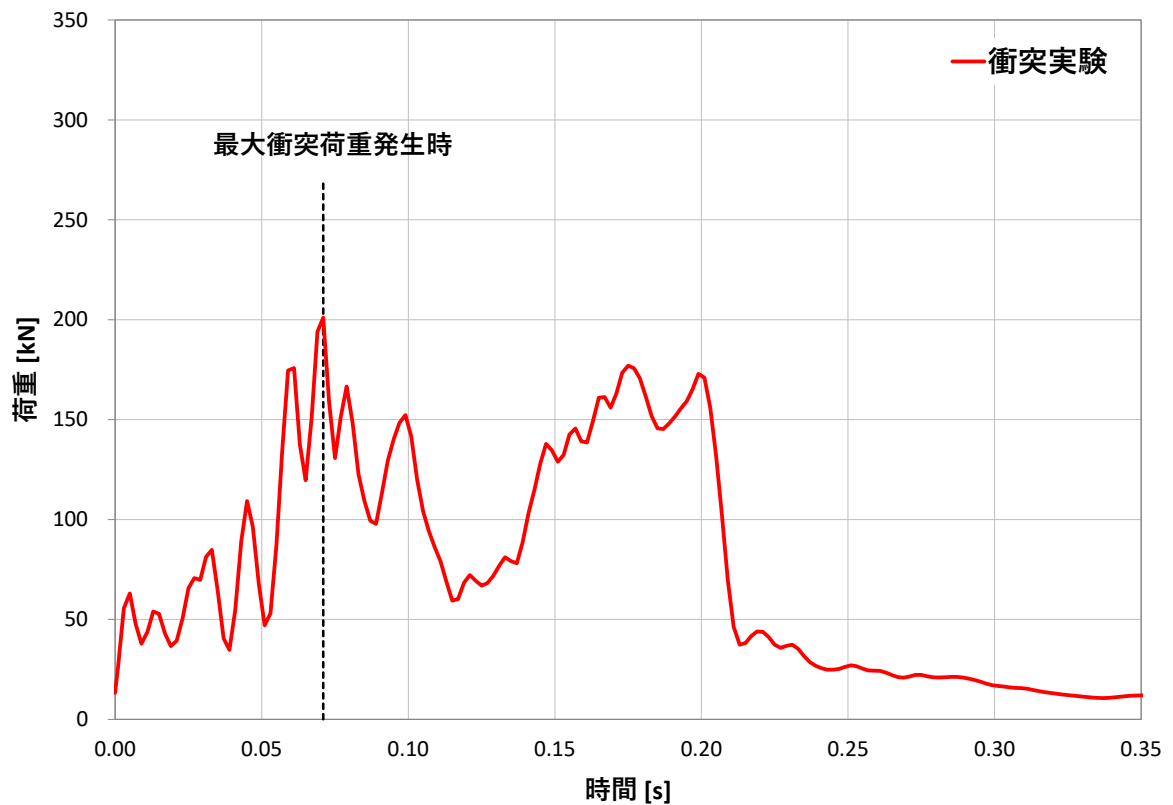


図 2-4 衝突実験による衝突荷重時刻歴
(「豊田ほか (2022)」を基に作成)

2.2 再現解析

(1) 解析コード

「豊田ほか (2022)」では、解析コードとして「LS-DYNA」を用いられている。

(2) 3次元FEMモデル

a. 船体構造

船体外形は、実験前に実施した3次元形状計測及び板厚計測結果をもとに、シェル要素で3次元FEMモデルを作成されている。また、エンジン等の重量は、質量のみを考慮し、重心位置に集中質量として模擬されている。

b. 船体板厚

「豊田ほか (2022)」で設定されている船体板厚を表2-3に示す。船体板厚は、実験船を計測した上で設定されている。

表2-3 船首の各部位の板厚（「豊田ほか (2022)」より引用）

部位		材質	構造	板厚	
FRP材のみで構成される部位	ブルワーク	FRP材	単一構造	3mm	
	デッキ端部	FRP材		5mm	
	側板	FRP材		3.2mm	
	底板	FRP材		3.5mm	
	キール	FRP材		3.5mm	
	隔壁	FRP材		4mm	
特殊部位	ブルワークのカバー		ブルワークのカバーはビス止めによる接合	3mm	
	FRP材と合板による複合構造	デッキ	FRP材合板	FRP材の間に心材として合板が挟まれた“サンドイッチ構造”	FRP材 2.5mm 合板 9mm
		浮き室上板	FRP材合板	FRP材の下面に合板の当て板がされた“2層構造”	FRP 5mm 合板 5mm
		隔壁のうち浮き室に接する部分	FRP材合板		
継手		FRP材	FRP材により部材間を接合	—	

c. 材料特性

「豊田ほか（2022）」で設定されている材料物性値を表 2-4 に示す。材料物性値は、衝突実験で用いた実験船から試験片を採取し、材料試験を行ったうえで設定されている。

ここで、「豊田ほか（2022）」では、FRP材の応力-ひずみ関係については、実験船を構成する部位の物性値が明らかでないことから、衝突実験後の実験船から試験片を採取して4点曲げ試験（ASTM D7264 に準拠）を実施されている。さらに、図 2-5 に示す試験機及び試験片を模擬した4点曲げ試験の同定解析を実施し、4点曲げ試験で計測した試験機変位-荷重関係を再現できるように曲げ強度到達後の破壊ひずみを設定されている。

なお、「豊田ほか（2022）」では、「船舶用のFRP材は、マット材（M）とロービングクロス（R）を積層した積層板が基本とされており、その積層板に曲げが作用した場合、まず引張側（M）が破断することにより最初の荷重低下が生じ、その後にMR層間のはく離が断続的に進行する特徴がある」とされており、FRP材は巨視的には曲げ強度到達後もひずみが増加すると考えられることから完全弾塑性材料として取り扱っているとされている。

表 2-4 材料物性値（「豊田ほか（2022）」より引用）

試験片	設定する部位	解析で用いる物性値	単位	値
船側	デッキ デッキ端部 側板 プルワーク	密度	kg/m ³	1,860
		軸方向ヤング率	GPa	10.269
		横方向ヤング率	GPa	9.574
		せん断弾性係数	GPa	3.520
		軸方向強度	MPa	184
		横方向強度	MPa	146
		破壊ひずみ	軸方向…6% 横方向…5% ※ひずみ2%で 曲げ強度到達	
船底	浮き室上板 隔壁 キール 底板	密度	kg/m ³	1,860
		軸方向ヤング率	GPa	15.679
		横方向ヤング率	GPa	13.980
		せん断弾性係数	GPa	4.045
		軸方向強度	MPa	274
		横方向強度	MPa	253
		破壊ひずみ	軸方向…9% 横方向…10% ※ひずみ2%で 曲げ強度到達	

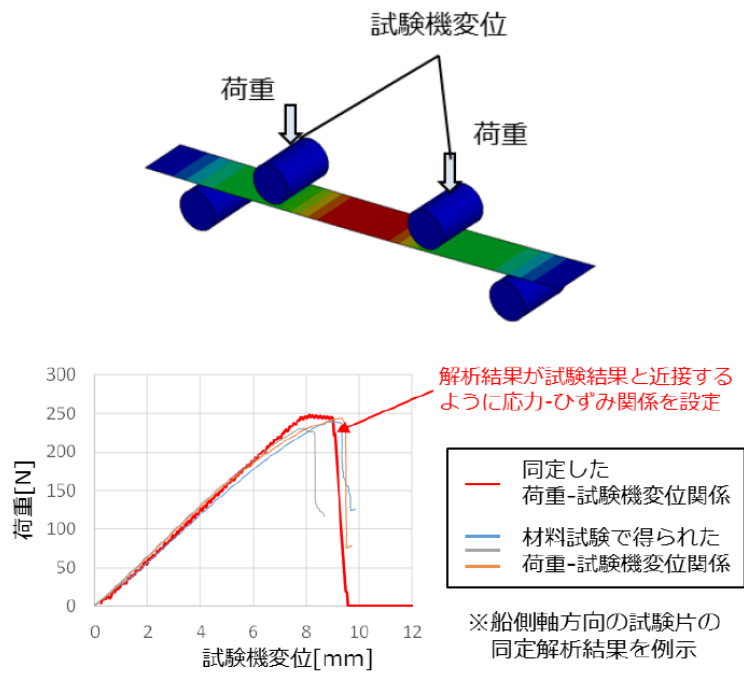


図 2-5 破壊ひずみの同定解析の概要（「豊田ほか（2022）」より引用）

(3) 衝突条件

再現解析における衝突条件（衝突速度，衝突方向及び摩擦係数）及び被衝突物の材料特性を表 2-5 に，衝突モデルを図 2-6 に示す。

衝突速度については実験船が受圧板に衝突する直前の実測速度である 9.9m/s を用いられており，落下衝突実験の再現解析であることから重力加速度を考慮されている。摩擦係数については衝突荷重及び衝突変位が最も衝突実験を再現できる値を採用されている。

表 2-5 衝突条件及び被衝突物の材料特性（「豊田ほか（2022）」を基に作成）

衝突速度【m/s】		9.9(重力加速度を考慮)
衝突方向		船首衝突
摩擦係数		0.125
被衝突物	材質	鋼製（受圧板）
	要素	シェル要素
	ヤング率【GPa】	205
	ポアソン比	0.3
密度【t/m ³ 】		7.85

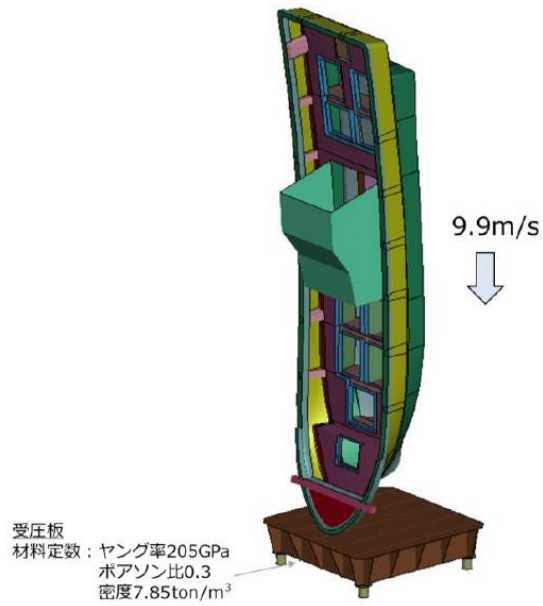


図 2-6 衝突モデル（「豊田ほか（2022）」より引用）

(4) 再現解析結果

「豊田ほか（2022）」による再現解析の結果として、荷重時刻歴を図 2-7 に示す。1 番目の荷重ピークは 0.07 秒付近で発生したとされており、2 番目の荷重ピークについては 0.21 秒付近で発生していることが読み取れる。

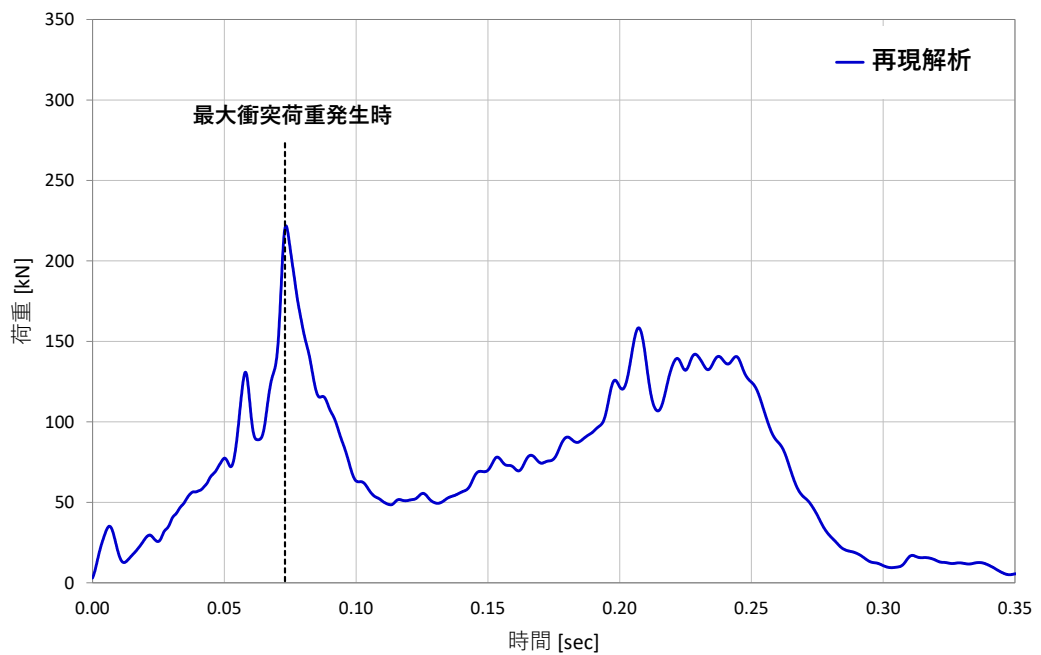


図 2-7 再現解析による衝突荷重時刻歴
（「豊田ほか（2022）」を基に作成）

2.3 文献確認結果のまとめ

「豊田ほか（2022）」における衝突実験による衝突荷重の時刻歴と再現解析による衝突荷重の時刻歴を重ねた図を図 2-8 に示す。

図 2-4 より、再現解析における 1 番目の荷重ピークについて、発生時刻は 0.07 秒付近であり、衝突実験とおおむね一致している。荷重については再現解析の荷重が衝突実験よりやや大きく、衝突荷重が安全側に計算されていることを確認されている。

再現解析における 2 番目の荷重ピークについては、発生時刻は 0.21 秒付近であり、衝突実験の 0.18 秒付近に対して遅く発生している。荷重については差異が見られるものの、衝突実験及び再現解析の力積を確認したうえで再現解析は「衝突現象としては再現できていると考えられる」とされている。

以上のことから、再現解析において F R P 製船舶の衝突荷重の時刻歴及び変位に応じた破壊挙動が再現できており、F R P 製船舶の衝突現象を 3 次元非線形構造解析によって推定できる手法を構築したとされている。

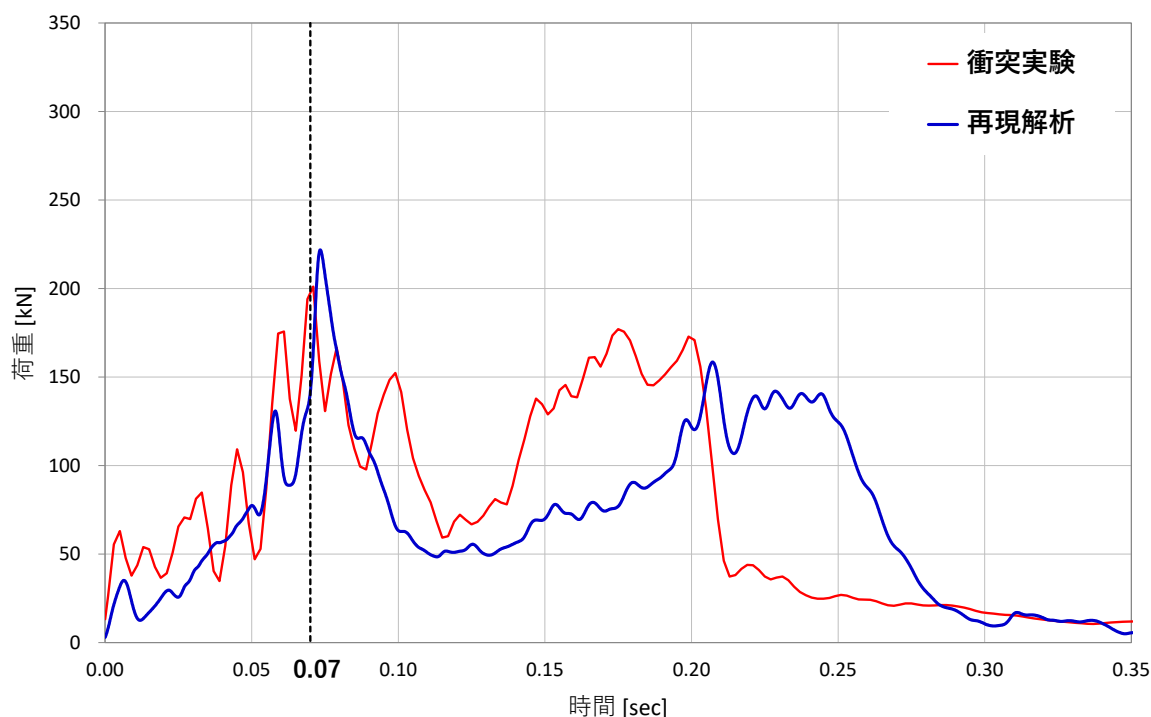


図 2-8 「豊田ほか（2022）」による衝突荷重時刻歴
（「豊田ほか（2022）」を基に作成）

3. 島根原子力発電所における解析条件の妥当性確認

島根原子力発電所においては設計用衝突荷重について、衝突解析により算定された衝突荷重から、静的に衝突荷重を設定することとしている。

ここでは、当社の衝突解析における解析条件の妥当性を確認することを目的に、「豊田ほか（2022）」の実験船を模擬した当社解析モデルを作成し、当該モデルを用いた衝突解析（以下「当社衝突解析」という。）の結果と「豊田ほか（2022）」の衝突実験結果を比較検討することにより、解析条件の妥当性を確認する。

3.1 解析条件

実験船を模擬した当社解析モデルについては、「豊田ほか（2022）」の再現解析の設定値を用いることを基本とする。

ただし、大きさや形状の異なる船舶による衝突解析への適用を考慮し、破壊実験等による物性確認ができない物性については、「豊田ほか（2022）」以外の文献も参考に設定する。

(1) 解析コード

実験船を模擬した当社解析で使用する解析コードは、「LS-DYNA Ver. 971」とする。

(2) 3次元FEMモデル

a. 船体構造

実験船を模擬した当社解析モデルについては、表 2-2 に記載する実験船の船体構造をシェル要素で3次元FEMモデル化する。モデル化に当たっては、操舵室は直接衝突する部位ではないためモデル化を省略した。

b. 船体板厚

実験船を模擬した当社解析モデルの船体板厚においては、一般的な船舶の規則である「強化プラスチック船規則（日本海事協会，2018）」を基に船首・船尾と船首・船尾以外に区分して船体板厚を設定した。設定値について、表 3-1 及び図 3-1 に示す。

表 3-1 島根原子力発電所における船体板厚の設定

板厚 t		引用文献等を基にした設定・算定根拠	引用文献算定値 (mm)	採用値 (mm)
船首・船尾	船側外板 隔壁 甲板 (デッキ)	「強化プラスチック船規則（日本海事協会，2018）」 【板厚算定式】 $t=15 \times s \times (d + 0.026 \times L)^{1/2} \times 0.85$ s: 肋骨の心距=0.5m ^{*1} d: 計画最大満載喫水=1.20m ^{*2} L: 登録長さ=7.20m ・引用文献の算定値に対して、縦、横肋骨のモデルを省略していることから板厚の割増しを行い 9.00mm を採用	7.51	9.00
船首・船尾以外	船側外板 隔壁 甲板 竜骨	「強化プラスチック船規則（日本海事協会，2018）」 【板厚算定式】 $t=15 \times s \times (d + 0.026 \times L)^{1/2}$ s: 肋骨の心距=0.5m ^{*1} d: 計画最大満載喫水=1.20m ^{*2} L: 登録長さ=7.20m ・引用文献の算定値に対して、縦、横肋骨のモデルを省略していることから板厚の割増しを行い 10.00mm を採用	8.83	10.00

注記*1：「強化プラスチック船規則検査要領（日本海事協会，2018）」

*2：「津波漂流物対策施設設計ガイドライン（沿岸技術研究センター，寒地研究センター，平成 26 年）」に記載の 2G. T. における喫水の最大値

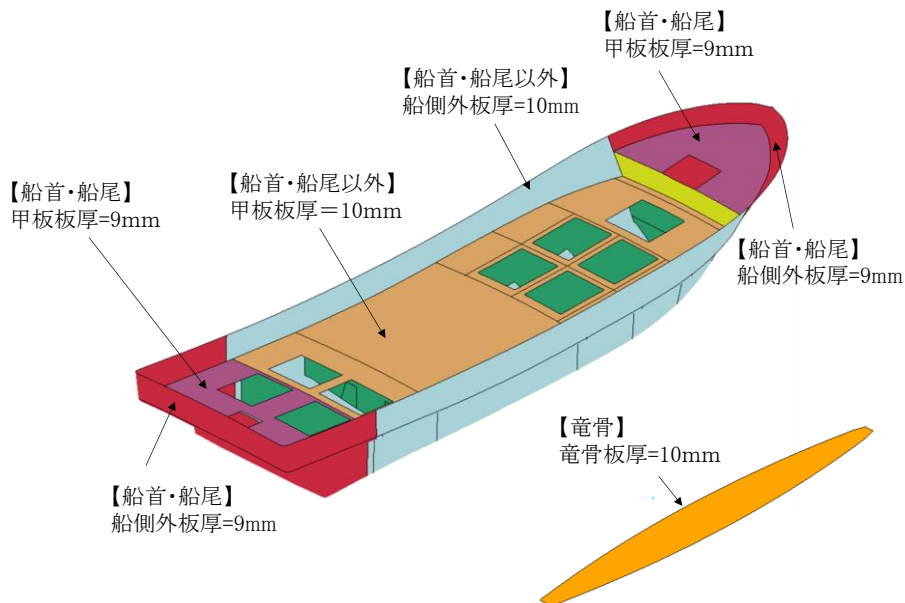


図 3-1 実験船を模擬した当社解析モデルの船体板厚

c. 船体質量

実験船を模擬した当社解析モデルについて、船体を構成する船殻（船側，外板，甲板，隔壁及び竜骨）の質量は約 0.85t であるため，船体質量 1.69t に対する差分については，実験船の重心位置と同じとなる位置に集中質量として模擬した。

d. 材料特性

F R Pに関する材料特性の設定に当たって，既往文献から適用性を整理したうえで設定する。

ここで，F R P製の小型船舶の製造においては，一般的にハンドレイアップ法により施工され，船体構造に用いるF R Pの構成については，「小型船舶の船体構造用材料(F R P積層構成)に関する調査研究報告書(日本小型船舶検査機構, 2019)」によると，「強化プラスチック船(F R P船)基準が細則に追加された昭和 52 年当時の主なF R Pの積層構成は，主要材料をガラス繊維基材とする場合，チョップストランドマット(M)とロービングクロス(R)を1対1で重ねる(MR)の積層構成を1単位として積層する(MR)×nの工法が推奨されていた。」，「F R P暫定基準の原形が策定されてから40年経った現在でも，F R P製の小型船舶の部材の積層構成は，昭和 52 年当時の標準的な積層構成(MR)の延長上にあり，船舶の高速化・高出力化に伴う部材の強化の必要性が生じた場合には，当時の積層構成にマット(M)とクロス(R)を各1層ずつ追加するような積層構成にせざるを得ない状況である。」と記載がある。

上記より，F R P製船体構造に用いるF R Pは，チョップストランドマット（以下「マット」という。）とロービングクロス（以下「クロス」という。）の二種類のガラス繊維基材を用いた積層構造であると考えられることを踏まえ，F R Pに関するヤング係数（曲げ剛性），ポアソン比，曲げ強度，単位体積重量及び破壊ひずみの各材料特性については，引用文献の適用性を確認して設定した。なお，実験船を模擬した当社解析モデルの材料特性においては，船体全体で一律の設定とした。

(a) ヤング率（曲げ弾性）

FRPのヤング率（曲げ剛性）の設定について、引用文献の適用性の整理結果及び採用値を表3-2に示す。

FRPのヤング率（曲げ剛性）の増加に伴い、船体衝突荷重も増加すると考えられるため、表3-2に示す適用性のある文献値において、最大値である12GPaを採用する。

表3-2 FRPのヤング率（曲げ剛性）の整理結果及び採用値

項目	引用文献	適用性	引用文献値	評価	採用値【採用理由】
ヤング率 （曲げ剛性） 【単位：GPa】	「強化プラスチック船規則（日本海事協会，2018年）」	本規則は、「長さが35m未満の普通の形状のFRP船（油タンカーを除く。）で、普通の主要寸法比を有するものに適用する。」とされており、船体構成部材であるガラス繊維基材のマット及びクロスの曲げ弾性係数を示したものであるため適用可能と判断した。	6.86	○	12 【ヤング率（曲げ剛性）の増加に伴い船体衝突荷重も増加すると考えられるため最大値を採用】
	「強化プラスチック船規則検査要領（日本海事協会，2018年）」	本規則は「強化プラスチック船規則」に対する検査要領であり、船体材料を構成するガラス繊維基材のマットにおける標準状態の曲げ弾性係数を示したものであるため、適用可能と判断した。	6.37	○	
		船体材料を構成するガラス繊維基材のマットにおける湿潤状態の曲げ弾性係数を示したものであるため、適用可能と判断した。	5.79	○	
		船体材料を構成するガラス繊維基材のクロスにおける標準状態の曲げ弾性係数を示したものであるため、適用可能と判断した。	11.78	○	
		船体材料を構成するガラス繊維基材のクロスにおける湿潤状態の曲げ弾性係数を示したものであるため、適用可能と判断した。	9.41	○	
	「漁港・漁場の施設的设计参考図書（水産庁，2015年）」	本図書は、「漁港漁場整備法」に基づき「漁港・漁場の施設的设计において参考となる技術的な知見を記載したものである。」とされており、ハンドレイアップ成形法による船体材料を構成するガラス繊維基材のマットにおける曲げ弾性率を示したものであるため、適用可能と判断した。	7～9	○	
		ハンドレイアップ成形法による船体材料を構成するガラス繊維基材のマット及びクロス積層品における曲げ弾性率を示したものであるため、適用可能と判断した。	9～12	○	
	「船舶海洋工学シリーズ⑥ 船体構造構造編（藤久保昌彦・吉川孝男・深沢塔一・大沢直樹・鈴木英之，2012年）」	本文献は、船体構造が詳細に示されており、FRPの小型船舶の典型例として、FRPのヤング率が記載されていることから、適用可能と判断した。	10.7	○	
「非金属材料データブックプラスチック・FRP・ゴム・接着剤・塗料・木材及び木質材料・セラミックス[改訂2版]（日本規格協会，1985年）」	本文献は、非金属材料の物性値を幅広く掲載されており、漁船の成形法であるハンドレイアップ成形法によるマットの曲げ弾性率を示したものであるため、適用可能と判断した。	10.30～10.79	○		
	ハンドレイアップ成形法によるクロスの曲げ弾性率を示したものであるため、適用可能と判断した。	10.69～11.18	○		

(b) ポアソン比

FRPのポアソン比の設定について、引用文献の適用性の整理結果及び採用値を表3-3に示す。

FRPのポアソン比の増加に伴い、船体衝突荷重も増加すると考えられるため、表3-3に示す適用性のある文献において、最大値である0.358を採用する。

表3-3 FRPのポアソン比の整理結果及び採用値

項目	引用文献	適用性	引用文献値	評価	採用値 【採用理由】
ポアソン比	「非金属材料データブックプラスチック・FRP・ゴム・接着剤・塗料・木材及び木質材料・セラミックス[改訂2版](日本規格協会, 1985年)」	本文献は、非金属材料の物性値を幅広く掲載しており、漁船の成形法であるハンドレイアップ成形法によるマットのポアソン比を示したものであるため、適用可能と判断した。	0.320～0.358	○	0.358 【ポアソン比の増加に伴い船体衝突荷重も増加すると考えられるため最大値を採用】
	「3相森・田中平均化手法のハイブリッドFRP梁への応用(土木学会, 2014)」	本文献は、I型断面を有するFRP梁構造に対する、ガラス繊維基材としたFRPのポアソン比が示されているが、船舶とは使用目的が異なるため、適用不可と判断した。	0.1, 0.29, 0.308	×	

(c) 曲げ強度

FRPの曲げ強度の設定について、引用文献の適用性の整理結果及び採用値を表3-4に示す。

FRPの曲げ強度の増加に伴い、船体衝突荷重も増加すると考えられるため、表3-4に示す適用性のある文献において、最大値である260MPaを採用する。

表3-4 FRPの曲げ強度の整理結果及び採用値

項目	引用文献	適用性	引用文献値	評価	採用値【採用理由】
曲げ強度 【単位:MPa】	「強化プラスチック船規則(日本海事協会, 2018年)」	本規則は、「長さが35m未満の普通の形状のFRP船(油タンカーを除く。)で、普通の主要寸法比を有するものに適用する。」とされており、船体構成材料であるガラス繊維基材のマット及びクロスにおける曲げ強度を示したものであるため、適用可能と判断した。	150	○	260 【曲げ強度の増加に伴い船体衝突荷重も増加すると考えられるため最大値を採用】
	「強化プラスチック船規則検査要領(日本海事協会, 2018年)」	本規則は「強化プラスチック船規則」に対する検査要領であり、船体構成材料であるガラス繊維基材のマットにおける標準状態の曲げ強さを示したものであるため、適用可能と判断した。	150	○	
		船体構成材料であるガラス繊維基材のマットにおける湿潤状態の曲げ強さを示したものであるため、適用可能と判断した。	132	○	
		船体構成材料であるガラス繊維基材のクロスにおける標準状態の曲げ強さを示したものであるため、適用可能と判断した。	260	○	
		船体構成材料であるガラス繊維基材のクロスにおける湿潤状態の曲げ強さを示したものであるため、適用可能と判断した。	212	○	
	「漁港・漁場の施設的设计参考図書(水産庁, 2015年)」	本図書は、「漁港漁場整備法」に基づき「漁港・漁場の施設的设计において参考となる技術的な知見を記載したものである。」とされており、ハンドレイアップ成形法による船体材料を構成するガラス繊維基材のマットにおける曲げ強度を示したものであるため、適用可能と判断した。	120~180	○	
ハンドレイアップ成形法による船体材料を構成するガラス繊維基材のマット及びクロス積層品における曲げ強度を示したものであるため、適用可能と判断した。		200~250	○		

(d) 単位体積重量

FRPの単位体積重量の設定について、引用文献の適用性の整理結果及び採用値を表3-5に示す。

FRPの単位体積重量の増加に伴い、船体衝突荷重も増加すると考えられるため、表3-5に示す適用性のある文献において、最大値である1.6t/m³を採用する。

表3-5 FRPの単位体積重量の整理結果及び採用値

項目	引用文献	適用性	引用文献値	評価	採用値【採用理由】
単位体積重量 【単位:t/m ³ 】	「漁港・漁場の施設の設計参考図書(水産庁, 2015年)」	本図書は、「漁港漁場整備法」に基づき「漁港・漁場の施設の設計において参考となる技術的な知見を記載したものである。」と記載されており、ハンドレイアップ成形法による船体材料を構成するガラス繊維基材のマットにおける比重を示したものであるため、適用可能と判断した。	1.4	○	1.6 【単位体積重量の増加に伴い船体衝突荷重も増加すると考えられるため最大値を採用】
		ハンドレイアップ成形法による船体構成材料であるガラス繊維基材のマット及びクロス積層品における比重を示したものであるため、適用可能と判断した。	1.5~1.6	○	
	「船舶海洋工学シリーズ ⑥ 船体構造構造編(藤久保昌彦・吉川孝男・深沢塔一・大沢直樹・鈴木英之, 2012年)」	本文献は、船体構造が詳細に示されており、FRPの小型船舶の典型例として、FRPの比重が記載されていることから、適用可能と判断した。	1.51	○	

(e) 破壊ひずみ

F R P の破壊ひずみの設定について、引用文献の適用性の整理結果及び採用値を表 3-6 に示す。

F R P の破壊機構として、「強化プラスチック船規則解説（日本海事協会会誌, 1978）」では、「F R P では降伏点はなく、破断時の伸びは約 1 ないし 1.5%である。」、「基礎からわかる F R P（強化プラスチック協会編, 2016）」では、「破断まで線形的に応力が増加し、破断伸びは通常 0.5~2%程度と小さい脆性材料である」、「F R P 成形入門講座（日本プラスチック加工技術協会）」では、図 3-2 の応力-ひずみ曲線に示すように「F R P 材料は金属材料と異なり、はっきりとした降伏点を示さず、破壊寸前まではほぼ弾性変形を示す。」と記載がある。よって、F R P は破壊ひずみが 0.5~2.0%程度となり、破断まで線形的に応力が増加する応力-ひずみ関係となる弾性材料であると考えられる。

なお、F R P を構成するガラス繊維及び硬化樹脂において、「基礎からわかる F R P（強化プラスチック協会編, 2016）」では、代表的なガラス繊維（E ガラス）の破断ひずみとして「2.0~3.0%」と記載があり、「JISF1034-1:2002」では、硬化樹脂の破断伸びとして「1.2~2.5%」と記載があることから、F R P を構成する材料（ガラス繊維、硬化樹脂）の破壊ひずみは 1.2~3.0%程度となると考えられる。

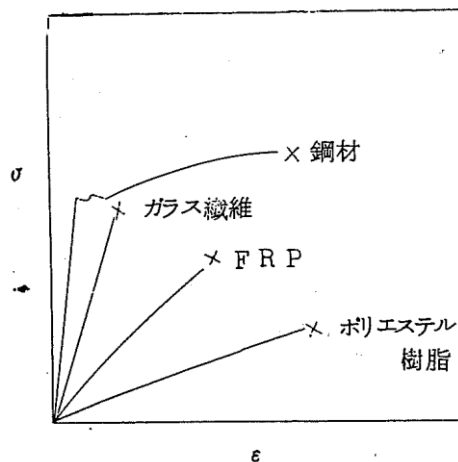


図 3-2 F R P 他の応力-ひずみ曲線

（「F R P 成形入門講座（日本プラスチック加工技術協会）」より引用）

一方、「豊田ほか(2022)」では、図 3-3 に示すとおり、試験機及び試験片を模擬した 4 点曲げ試験の同定解析を実施し、試験で計測した試験機変位-荷重関係を解析で再現できるように、曲げ強度到達後の破壊ひずみを完全弾塑性材料として設定されており、同定解析結果として 5~10%の破壊ひずみが設定されている。なお、この破壊ひずみは、各試験片の実験で得られた試験機変位結果に対して、おおむね包絡するように破壊ひずみを設定されていることから、各試験片の実験で得られる

試験機変位による破壊ひずみと比較して、過大となっている可能性があることに加え、4点曲げ試験の载荷速度に比べて船舶の衝突現象（衝突速度）は速く、ひずみ速度が速くなることで破断ひずみは小さくなるため、応力-ひずみ関係としては、より弾性材料に近い挙動となると考えられる。

以上より、FRPは破壊ひずみの増加に伴い、船体衝突荷重も増加すると考えられ、各文献の記載を踏まえると3%程度と考えられるが安全側に5%を採用する。また、応力-ひずみ関係としては、おおむね弾性材料となると考えられるが、船体衝突荷重は塑性を考慮することで増加すると考えられるため、完全弾塑性材料として取り扱う。

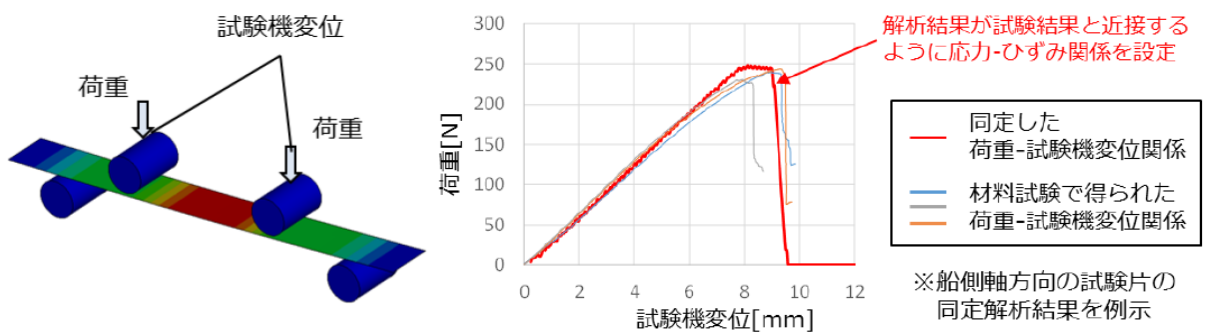


図 3-3 破壊ひずみの同定解析の概要（「豊田ほか（2022）」より引用）

表 3-6 FRP の破壊ひずみの整理結果及び採用値

項目	引用文献	適用性	引用文献値	評価	採用値 【採用理由】
破壊ひずみ 【単位：%】	「強化プラスチック船規則解説(日本海事協会会誌, 1978年)」	本文献は、「強化プラスチック船規則」について解説をされており、船体材料を構成するFRPの破断時の伸びについて記載されているため、適用可能と判断した。なお、FRPの破断時の伸びについては、「FRPでは降伏点はなく、破断時の伸びは約1ないし1.5%である。」とされており、鋼材と比較して「ある応力に達すると直ちに破壊につながる恐れがある」と脆性的な弾性材料であることが記載されている。	1~1.5 弾性材料	○	5 完全弾塑性材料 【破壊ひずみ:最大で3%程度になると考えられるが、破壊ひずみの増加に伴い、船体衝突荷重も増加すると考えられるため、安全側に5%を採用】 【応力-ひずみ関係:おおむね弾性材料としての破壊挙動となると考えられるが、塑性を考慮することで船体衝突荷重が増加すると考えられるため完全弾塑性材料として取り扱う】
	「基礎からわかるFRP(強化プラスチック協会編, 2016)」	本文献は、FRPについて幅広く掲載されており、船体材料を構成するFRPの破断時の伸びについて記載されているため、適用可能と判断した。なお、FRPの破断ひずみについては、「破断まで線形的に応力が増加し、破断伸びは通常0.5~2%程度と小さい脆性材料である」と記載されている。	0.5~2 弾性材料	○	
		船体材料を構成するガラス基材の代表的なガラス繊維(Eガラス)の破断ひずみが記載されているため、適用可能と判断した。	2.0~3.0	○	
	「FRP成形入門講座(日本プラスチック加工技術協会)」	本文献は、FRP材料について幅広く掲載されており、船体材料を構成するFRPの破断時の伸びについて記載されているため、適用可能と判断した。なお、FRPの破断時の伸びについては、「FRP材料は金属材料と異なり、はっきりとした降伏点を示さず、破壊寸前までほぼ弾性変形を示す。」と記載されている。	- 弾性材料	○	
	「豊田ほか(2022)」	本文献は、FRP船舶の津波漂流物の衝突荷重の評価を目的としており、FRP船舶の実機を用いた実験を実施されているため、適用可能と判断した。なお、破壊ひずみについては、材料試験結果(4点曲げ試験)を模擬した同定解析による破壊ひずみが記載されており、完全弾塑性材料として取り扱うことが記載されている。	5, 6, 9, 10 完全弾塑性材料	○	
	「JISF1034-1:2002」	本規格は、船の長さが24m以下の小型船舶を対象としたISO 12215-1:2000 (Small craft-Hull construction and scantlings-Part 1: Materials: Thermosetting resins, glass-fibre reinforcement, reference laminate)を基礎として国土交通大臣が制定した日本工業規格であり、船体材料を構成する硬化樹脂の破断伸びが記載されているため適用可能と判断した。	1.2~2.5	○	

i) ~ v) の整理結果より、本解析に用いるFRPの材料特性のまとめを表3-7に示す。

表3-7 本解析に用いるFRPの材料特性のまとめ

項目	単位	採用値
ヤング率 (曲げ弾性)	GPa	12
ポアソン比	—	0.358
曲げ強度	MPa	260
単位体積重量	t/m ³	1.6
破壊ひずみ	%	5 完全弾塑性材料

本解析におけるFRPの構成則（応力-ひずみ関係）としては、表3-7に示すとおり、曲げ強度到達後もひずみが増加する完全弾塑性材料とし、破壊ひずみに到達した後にシェル要素を削除する設定とした。FRP材料の応力-ひずみ関係を図3-4に示す。

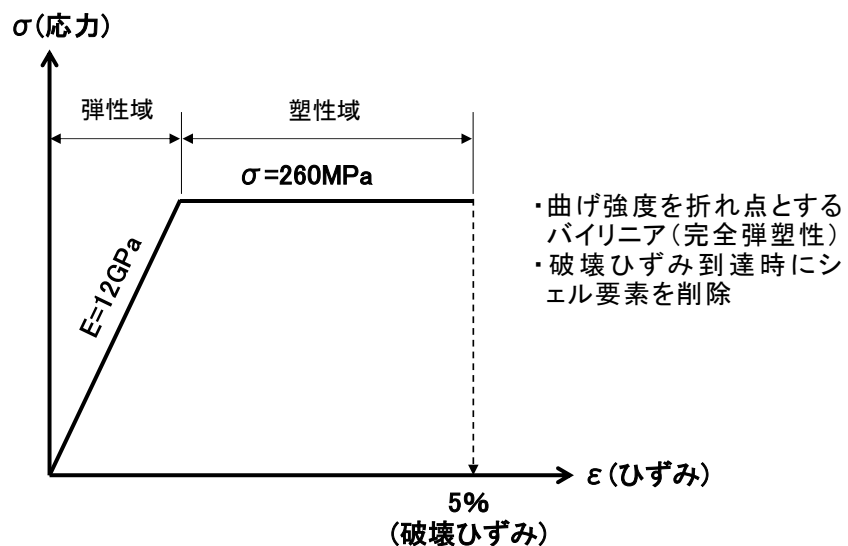


図3-4 応力-ひずみ関係

(3) 衝突条件

当社衝突解析において、被衝突物は衝突実験において荷重を計測した受圧板は十分に剛な構造であることから剛壁とした。また、受圧板は鋼製であることを踏まえ、剛壁の材質は鋼材とした。鋼材と船体間の摩擦係数については、衝突実験の衝突形態を再現できる値を採用した。

当社衝突解析における衝突条件及び材料特性を表 3-8 に、衝突モデルを図 3-5 に示す。

表 3-8 衝突条件及び被衝突物の材料特性

衝突速度【m/s】		9.9（重力加速度を考慮）
被衝突物	材質	鋼製（剛壁）
	要素	シェル要素
	ヤング率【GPa】	205
	ポアソン比	0.3
	密度【t/m ³ 】	7.85
摩擦係数		0.30

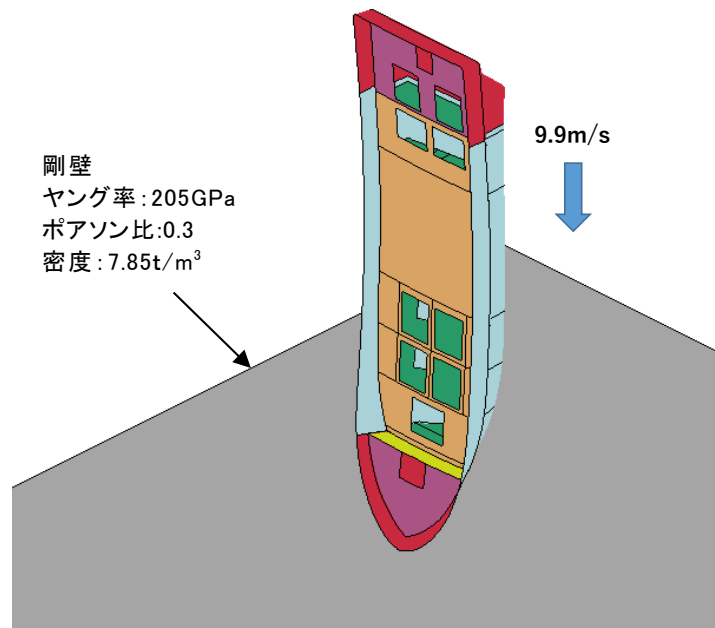


図 3-5 衝突モデル

3.2 当社衝突解析結果

当社衝突解析の衝突荷重時刻歴を図 3-6 に、船体の衝突状況を図 3-7 に示す。解析結果より得られた衝突荷重に対しては、100Hz のローパスフィルタ処理を行っている。

図 3-6 及び図 3-7 より、船首衝突後、船首付近の物入れ、浮き室の順に破壊が進行していることが分かる。荷重ピークは、浮き室上板が剛壁に衝突する 0.07 秒付近に最大衝突荷重の約 260kN が作用していることを確認した。最大衝突荷重作用後、衝突荷重は徐々に減少する結果となっている。

なお、衝突実験において見られる 2 番目の荷重ピークについて、当社衝突解析においては当該荷重ピークが確認できないが、これは、実験船を模擬した当社衝突解析モデルについては、大きさや形状の異なる船舶による衝突解析への適用を考慮し、船体構造上の弱部である継手部のモデル化を簡素化したこと、**衝突**実験等による確認ができない物性は他の文献を基に設定していることから、船体の破壊状況に差異が生じたと考えられる。

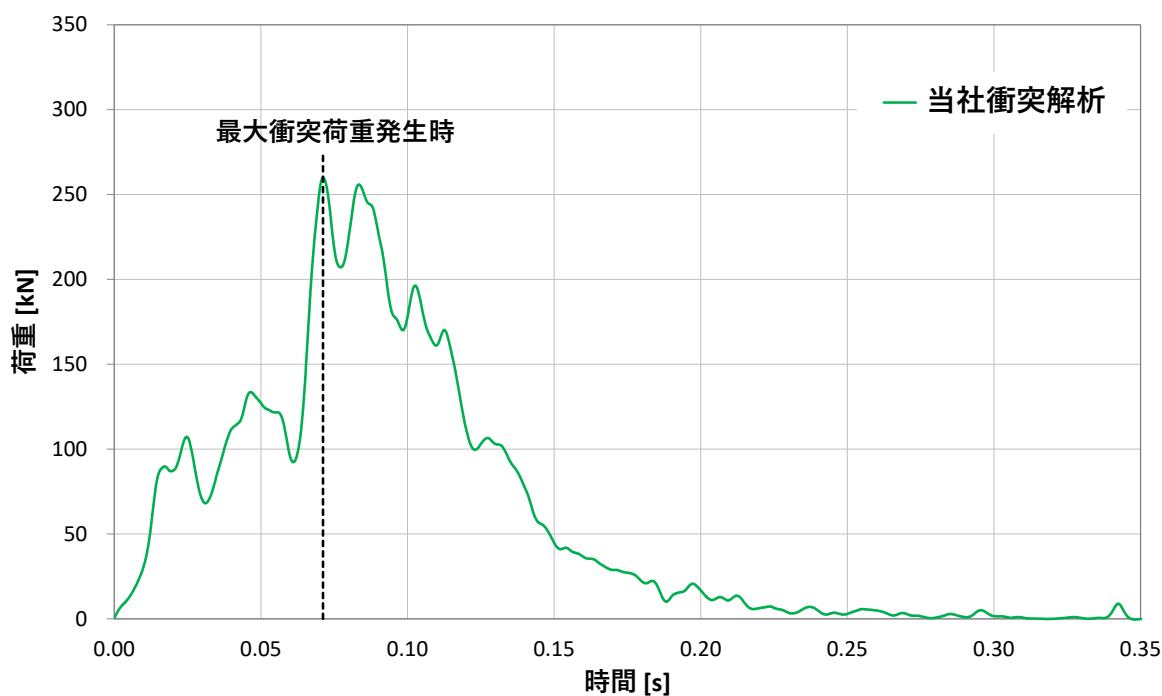


図 3-6 当社衝突解析の衝突荷重時刻歴

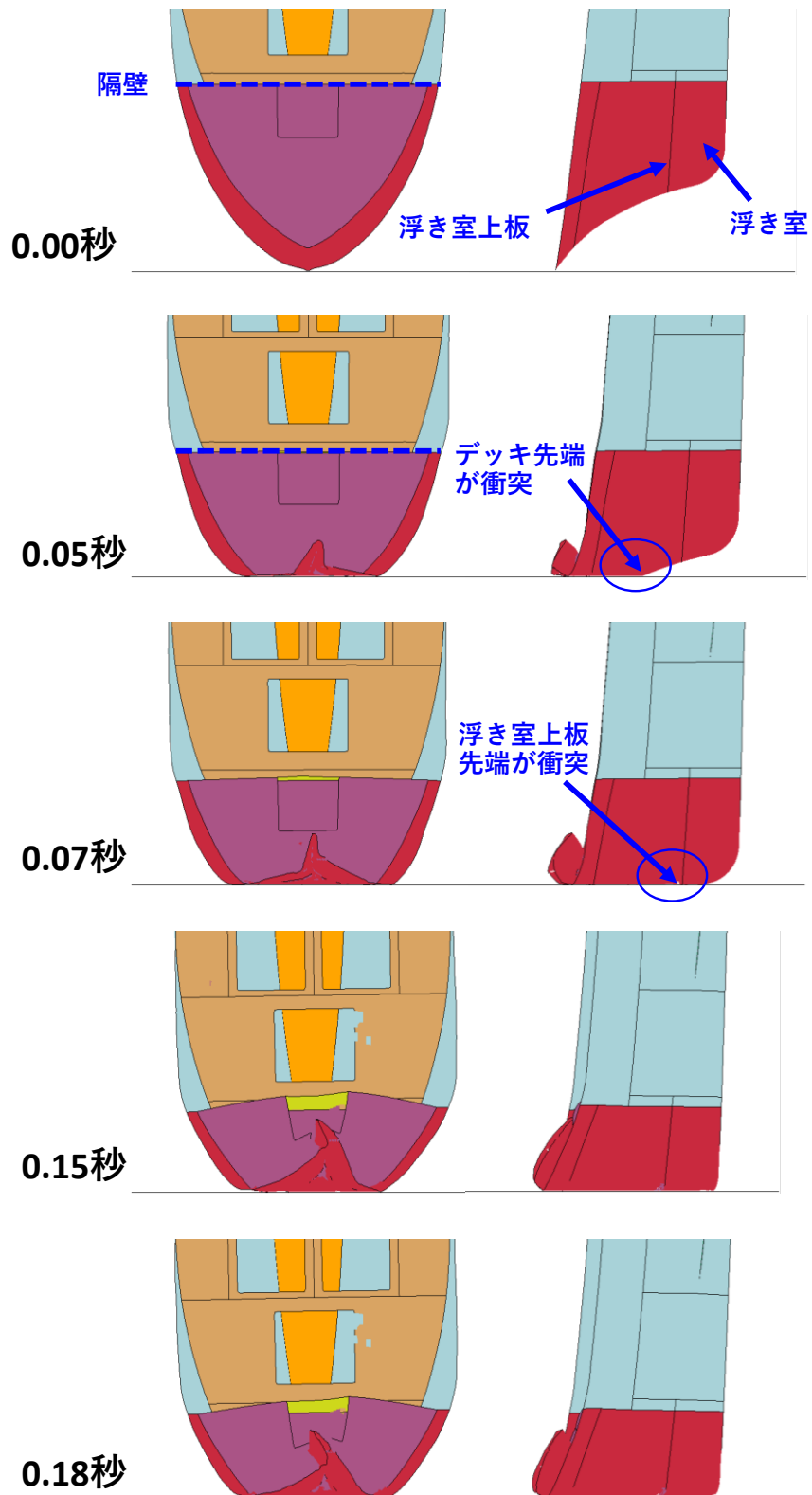


図 3-7 当社衝突解析における船体の衝突状況

3.3 当社解析条件の妥当性確認

当社衝突解析と「豊田ほか（2022）」の衝突実験結果を比較することにより、解析条件の妥当性を確認する。衝突実験の衝突荷重時刻歴と当社衝突解析の衝突荷重時刻歴を図 3-8 に、衝突実験の衝突荷重時刻歴と当社衝突解析の力積時刻歴を図 3-9 に、船体の衝突状況を図 3-10 に示す。

当社衝突解析による最大衝突荷重の発生時刻は、衝突実験による最大衝突荷重の発生時刻とおおむね一致することを確認した。また、当社衝突解析による最大衝突荷重は衝突実験による最大衝突荷重を上回っていることを確認した。力積の時刻歴の比較としては、1 番目の荷重ピークから衝突実験における 2 番目の荷重ピーク発生時までは当社衝突解析の力積が大きくなっており、2 番目の荷重ピーク発生後に衝突実験の力積が当社衝突解析より大きくなる傾向となることを確認した。なお、衝突現象終了時における力積はおおむね同程度となることを確認した。

衝突実験による 2 番目の衝突荷重ピークについては、図 3-11 に示すとおり「豊田ほか（2022）」の再現解析では、継手部を含む詳細なモデル化を行うことで、2 番目の衝突荷重ピークの発生状況をおおむね再現できていることから、船舶の衝突現象に対して、LS-DYNA を用いた衝突解析（3 次元非線形構造解析）で評価することの妥当性が示されている。

当社衝突解析において、2 番目の荷重ピークが発生していない理由としては、大きさや形状の異なる船舶による衝突解析への適用を考慮し、船体構造における継手部等の細部の詳細なモデル化を簡素化したこと、及び物性の一部を一般的な文献から設定したことにより、船体の破壊状況に差異が生じていると考えられる。

島根原子力発電所では、衝突解析による動的に発生した衝突荷重に対し、瞬間的な最大値を抽出して静的な衝突荷重として評価する方針であることを踏まえ、当社衝突解析は、衝突実験及び再現解析の最大衝突荷重発生時刻とおおむね一致し、最大衝突荷重は安全側に再現することができていることから、当社衝突解析における解析条件の妥当性を確認できた。

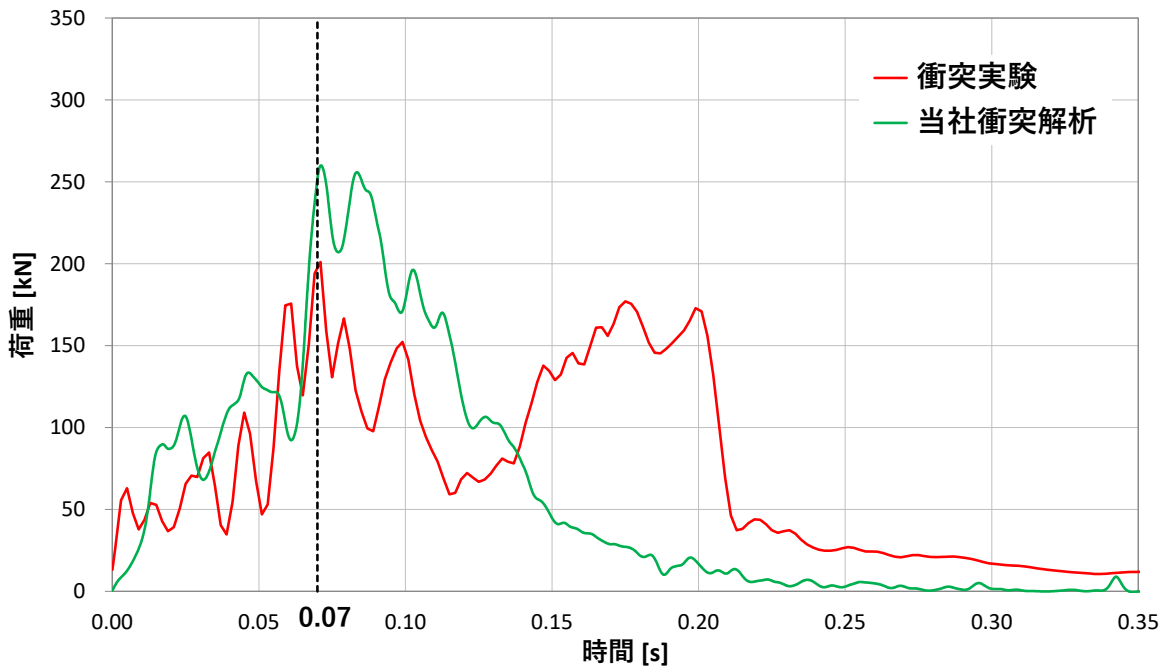


図 3-8 衝突実験と当社衝突解析の衝突荷重時刻歴
 (衝突実験：「豊田ほか (2022)」を基に作成)

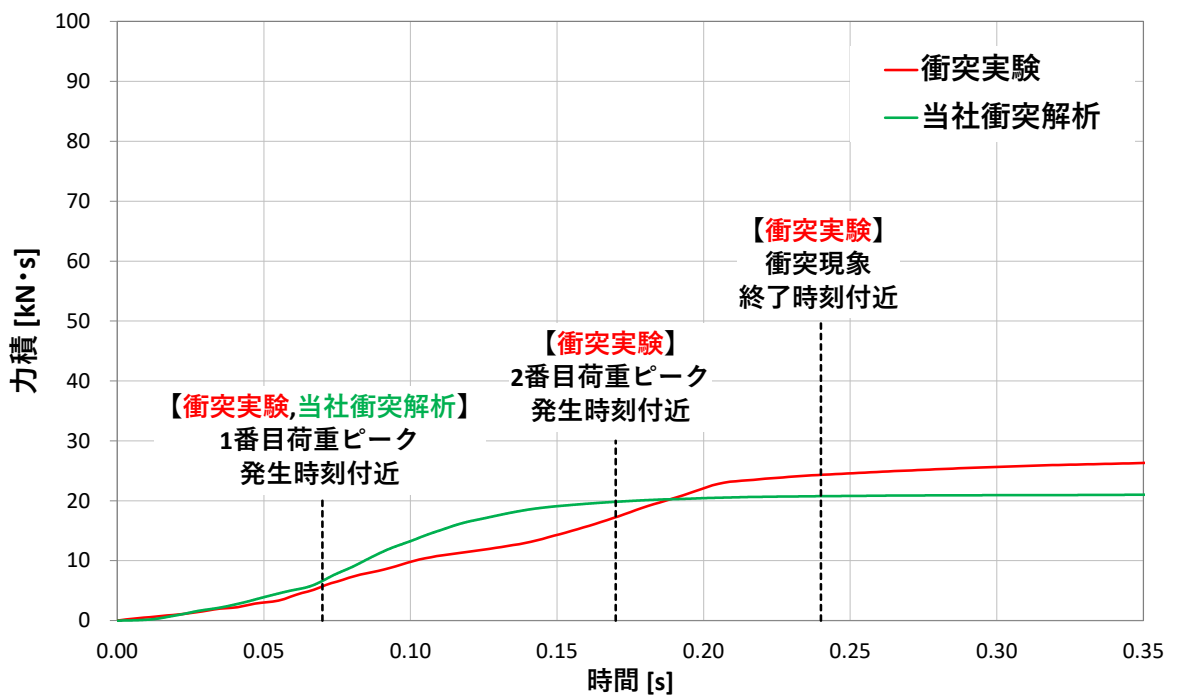


図 3-9 衝突実験と当社衝突解析の力積時刻歴
 (衝突実験：「豊田ほか (2022)」を基に作成)


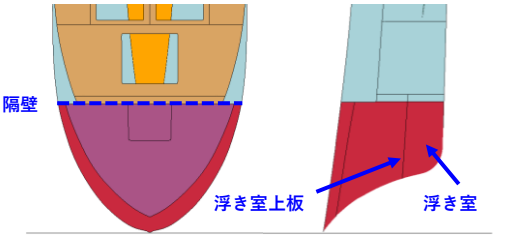
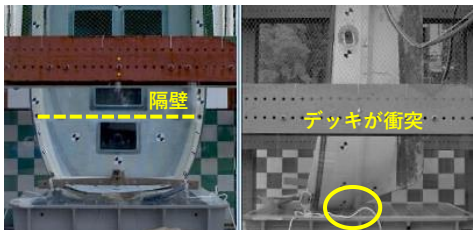
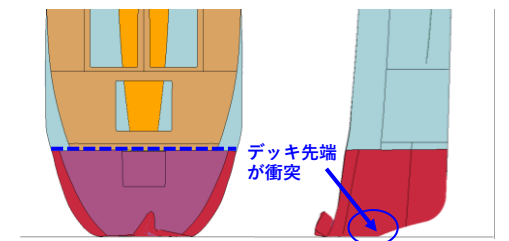
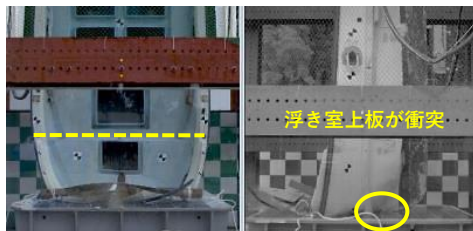
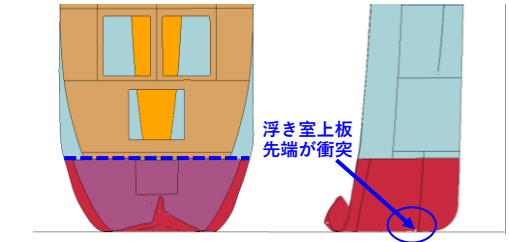
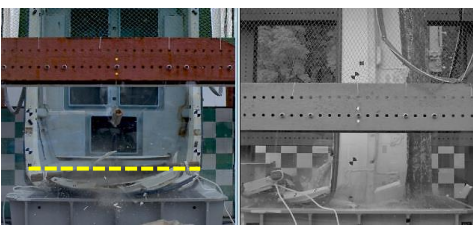
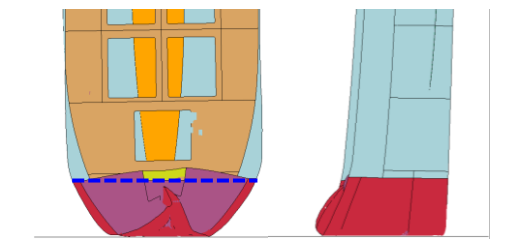
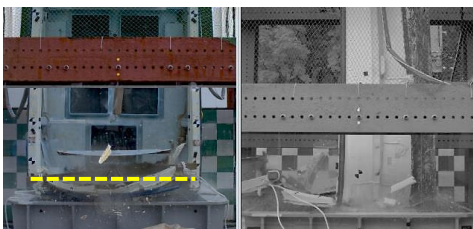
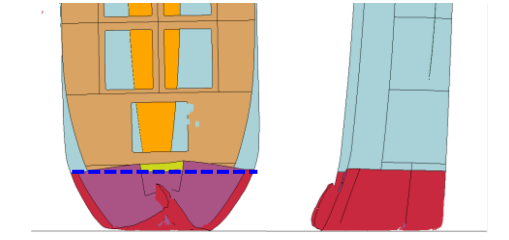
衝突時刻	衝突実験	当社用衝突解析
0.00秒		
0.05秒		
0.07秒		
0.15秒		
0.18秒		

図 3-10 衝突実験及び当社衝突解析の衝突状況
(衝突実験：「豊田ほか (2022)」に加筆)

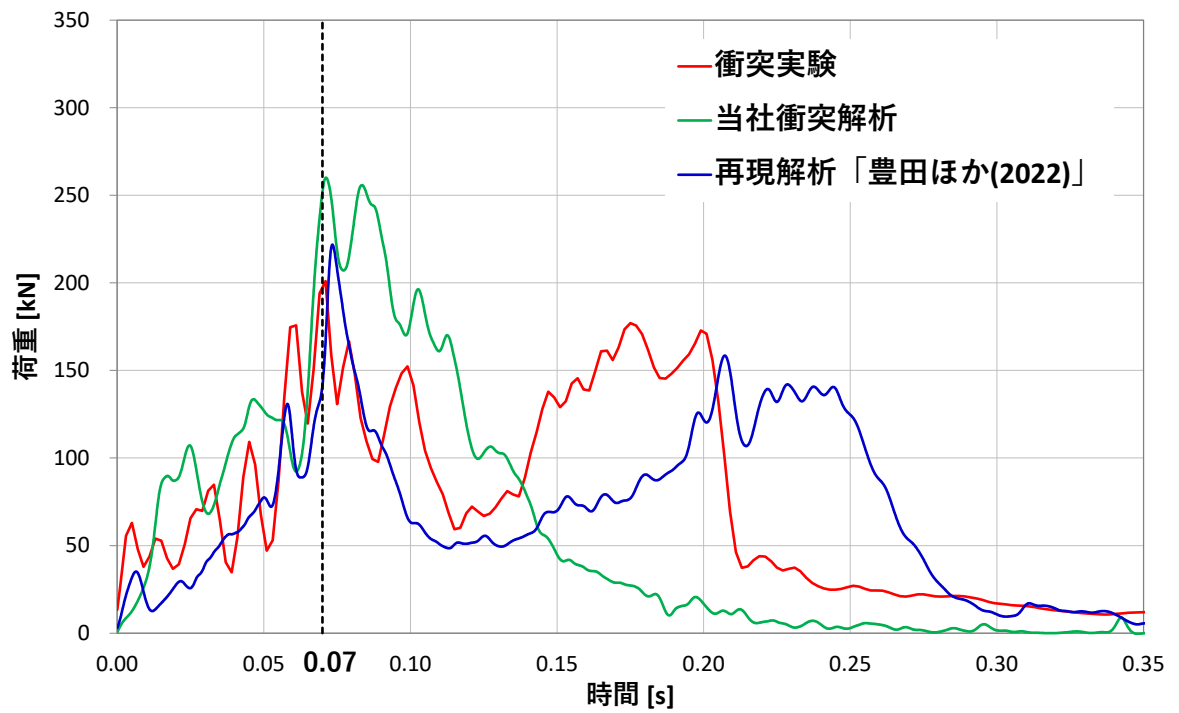


図 3-11 衝突実験，再現解析及び当社衝突解析の衝突荷重時刻歴
 (衝突実験，再現解析：「豊田ほか(2022)」を基に作成)

3.4 FRPの材料特性における影響検討

当社衝突解析と「豊田ほか(2022)」の衝突実験における、衝突荷重の時刻歴の比較結果より、当社衝突解析は衝突実験の最大衝突荷重及び発生時刻を再現できていることを確認した。そこで、FRPの材料特性のうち、破壊ひずみによる船体衝突の影響確認を行い、当社衝突解析で採用したFRPの材料特性の妥当性を確認した。表3-9に当社衝突解析におけるFRPの材料特性の採用値を示す。

表3-9 当社衝突解析におけるFRPの材料特性の採用値

項目	単位	採用値
ヤング率(曲げ弾性)	GPa	12
ポアソン比	—	0.358
曲げ強度	MPa	260
単位体積重量	t/m ³	1.6
破壊ひずみ	%	5【完全弾塑性材料】

FRPの破壊ひずみについては、「表3-6 FRPの破壊ひずみの整理結果及び採用値」から、FRPの破壊ひずみが0.5~2.0%程度であり、FRPを構成するガラス繊維及び硬化樹脂の破壊ひずみが1.2~3.0%程度であることから、FRPの破壊ひずみは最大でも3%程度となると考えられるが、安全側に5%を採用しているため、この破壊ひずみの差が船体衝突に与える影響について確認を行った。

図3-12に破壊ひずみの感度分析による荷重時刻歴の比較結果を示す。

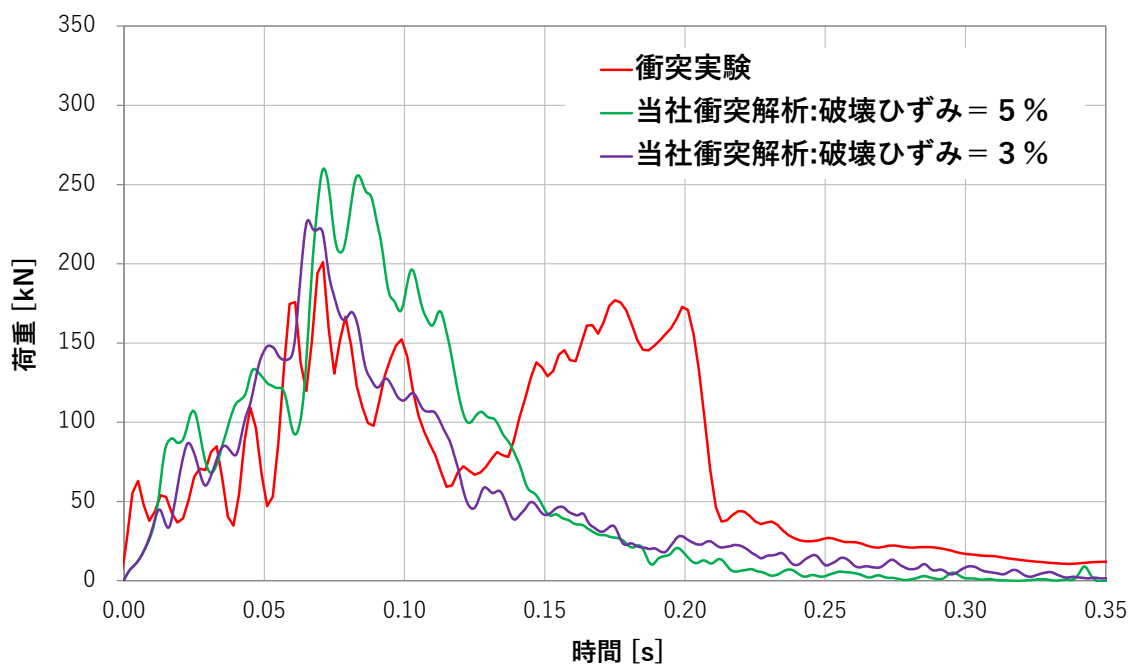


図3-12 破壊ひずみの感度分析による荷重時刻歴の比較

図 3-12 の破壊ひずみによる船体衝突の影響確認結果より、衝突実験の衝突荷重に対して、破壊ひずみ 5 % 及び 3 % の両ケースともに最大衝突荷重は大きくなり、最大衝突荷重の発生時刻はおおむね一致することを確認した。

破壊ひずみ 5 % の衝突荷重は、3 % の衝突荷重に対して安全側の条件設定となることを確認した。

4. まとめ

F R P 製小型船舶について船首からの落下衝突実験を行った文献を確認し，船体の破壊挙動と衝突荷重を把握した。また，衝突実験の再現解析を実施し，衝突実験の衝突荷重を推定できる手法が構築されていることを確認した。

これら文献の確認の結果を踏まえ，実験船を模擬した当社解析モデルを作成し，当該モデルを用いた衝突解析結果と文献の衝突実験結果を比較することにより，解析手法の妥当性を確認できた。

以上より，F R P 製小型船舶による衝突荷重について3次元非線形構造解析により推定することは可能であり，当社解析モデルを用いた解析手法及び解析条件は妥当であると判断した。

F E M A (2012)による F R P 製船舶の衝突荷重

1. 検討概要

「F E M A (2012)」により漂流物による衝突荷重を算定するには、対象漂流物の「有効軸剛性（以下「軸剛性」という。）」が必要となる。車両や鋼製船舶の軸剛性については、文献等で公知化されているが、F R P 製船舶の軸剛性は、文献等において公知化されたものがない。一方、新規制基準適合性審査（東北電力（株）女川原子力発電所 2号機）では、総トン数 5 トンの F R P 製船舶に対して、「土木学会（1994）」の文献等を用いて、船首方向の軸剛性を設定し、「F E M A (2012)」により衝突荷重を算定している実績がある。そのため、本検討においても同様の手法により、総トン数 19 トンの F R P 製船舶の衝突荷重を算定する。

なお、「土木学会（1994）」は鋼製船舶を対象としており、F R P 製船舶の軸剛性の設定においては、座屈強度を F R P 材料に置き換えて算出するため、F R P 製船舶と鋼製船舶の類似（同等）性及び用いる知見の適用性（軸剛性の設定方法の妥当性）を示した上で、漂流物による衝突荷重を算定する。

2. 衝突時における船舶の破壊に関する整理

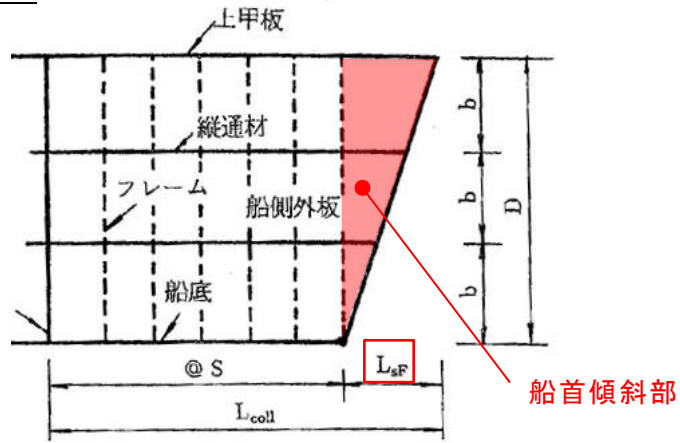
被衝突物は鉄筋コンクリート造又は鋼製であり、F R P 製船舶に対して剛性、強度及び座屈強度が大きいと考えられる。

そのため、F R P 製船舶が被衝突物に衝突した場合、「土木学会（1994）」で記載されている鋼製船舶の破壊進展と同様に、F R P 製船舶の圧壊が進み、圧壊が進むにつれて衝突エネルギーが減少しつつ圧壊荷重が上限となって圧壊は終了する。これと同時に、被衝突側の強固な弾性体である構造物にその圧壊荷重（最大荷重）が作用する。「土木学会（1994）」によると、剛性及び強度が大きいケーソンのような海洋構造物に対する船舶の圧壊荷重と変形量及び圧壊荷重と圧壊量との関係が記載されており、図 2-1 に示すような破壊進展となる。

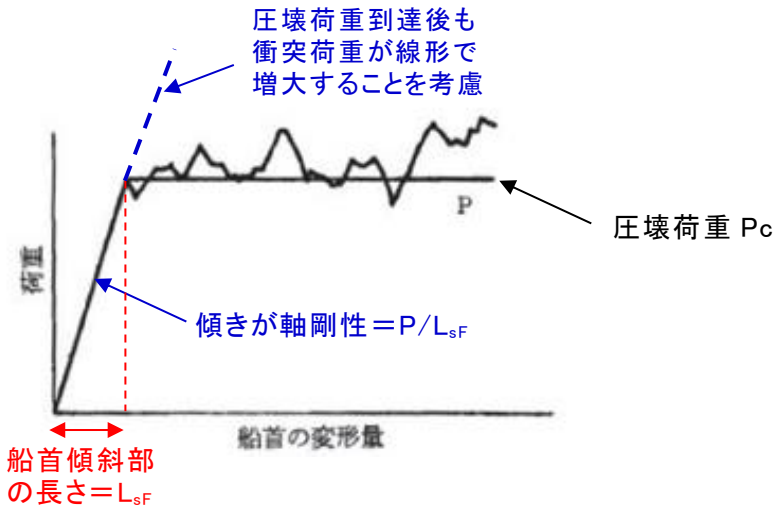
船舶の衝突初期は、船首が傾斜しているため接触面が小さく、圧壊が進むに従って荷重（反力）がほぼ直線的に増加する。船舶の破壊が進み、船首傾斜部破壊後に船体面（隔壁等）が構造物に接触すると、その後の荷重はほぼ一定値に達する。この時の荷重は、船首側からの圧壊による座屈荷重とほぼ同等と判断できるとされている。

以上を踏まえ、F R P 製船舶の圧壊荷重を求めた上で、軸剛性を算出する。

船首部の標準型



圧壊荷重と船首の変形量の関係



圧壊荷重と圧壊量の関係

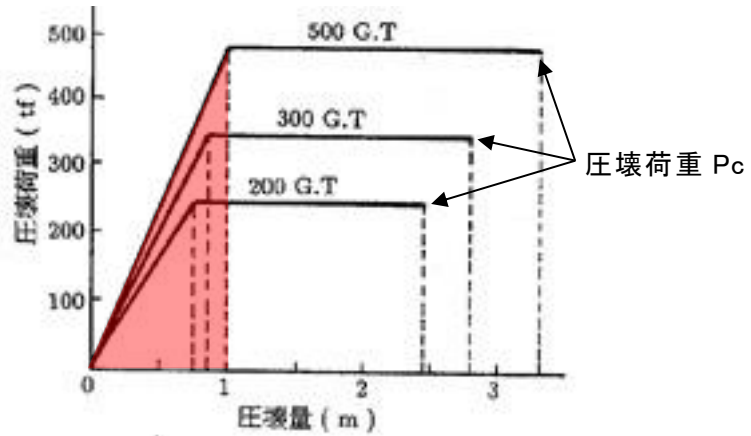


図 2-1 荷重と船首の変形量及び圧壊荷重と圧壊量
 (「土木学会 (1994)」に一部加筆)

3. 土木学会(1994)による軸剛性の設定方法

「土木学会(1994)」では、船舶の圧壊荷重(船首強度) P_C について、図 3-1 に示す平板の座屈応力度の算定式から座屈強度 σ_c を算出し、船首形状寸法等を乗じることで求められるとしている。「土木学会(1994)」では、大型の鋼製船舶を対象としているが、座屈強度 σ_c の算定式は一般的な平板の座屈応力度の算定式であることから、ヤング率とポアソン比を適切に考慮することで、鋼製以外の船舶にも適用可能である。

また、「土木学会(1994)」によると、前述のとおり船舶の破壊が進み、船首傾斜部がすべて破壊した際に圧壊荷重 P_C に達し、その後圧壊荷重 P_C が一定値として作用することとなる。そのため、圧壊荷重 P_C を船首傾斜部の長さ L_{sf} で除した値が船舶の軸剛性 k_C となる。なお、この軸剛性 k_C は、船首傾斜部(船首方向)を対象としている。

船舶の衝突荷重は、図 2-1 に示すとおり、圧壊荷重に到達後は一定値となることが想定されるが、安全側に圧壊荷重到達後も衝突荷重が線形で増加すると仮定して評価を行う。

なお、「基礎からわかるFRP(強化プラスチック協会編, 2016)」によると、「圧縮荷重が作用する場合には、圧縮強度を基準に構造設計するのではなく、座屈強度を基準に構造設計する必要がある。」とされていることから、FRP製船舶の圧壊荷重に座屈強度を用いることは妥当と判断できる。

以上を踏まえ、「土木学会(1994)」に記載されている圧壊荷重の算出方法を用いて、軸剛性を算出する。「土木学会(1994)」で記載されている船首強度(圧壊荷重)の計算例を図 3-2 に示す。

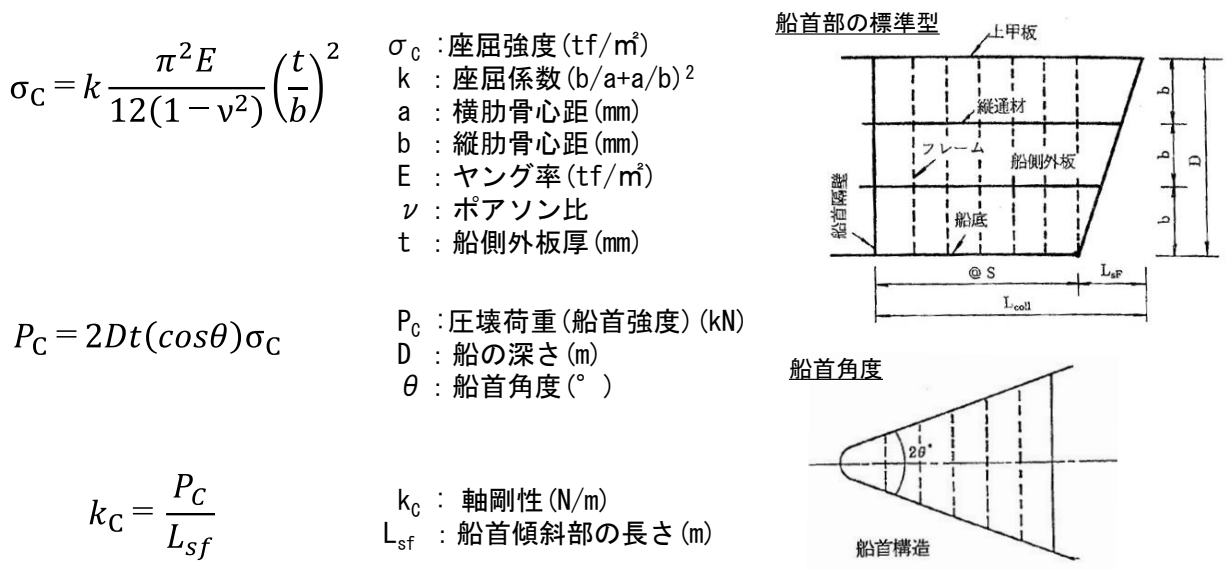


図 3-1 「土木学会(1994)」を用いた軸剛性 k_C の算定方法

(2) 船首強度の計算

船首強度は船首の座屈強度から求める。船首部側板の座屈強度は、板厚や側板各辺長さなどの関係式として次式のように表わせる。

$$\sigma_c = k \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \left(\frac{t}{b}\right)^2 \leq \sigma_y \quad (3.2)$$

船首の形状寸法など諸値を乗じると、船首強度すなわち圧壊荷重は次式で表わせる。

$$P_c = 2 D t \cos\theta \sigma_c \quad (3.3)$$

ここで式の記号は以下のとおりである。

- k : 座屈係数 = $\left(\frac{b}{a} + \frac{a}{b}\right)^2$
- E : ヤング率 = 2.1×10^7 tf/m²
- ν : ポアソン比 = 0.3
- σ_y : 鋼材の降伏点応力 2,400 kgf/cm²

上2式をもとに、船首部側板の座屈強度を算出する。200 G.T, 300 G.T および 500 G.T の船舶の船首部諸元を表3.2のように設定する。

ここで横肋骨心距 a は、

$$a = 450 + 2 L \quad (3.4a)$$

縦肋骨心距 b は、

$$b = 550 + 2 L \quad (3.4b)$$

また、図3.5に示す船首角度を $2\theta = 35^\circ$ 、船首傾斜部の長さを $L_{sf} = 0.25 D$ とする。船首強度の計算結果を表3.3に示す。

表 3.2 船首部諸元

ゲート	G.T	L (m)	L _{coll} (m)	D (m)	a (mm)	b (mm)	L _{sf} (m)
A	200	36.84	3.68	2.95	520	620	0.74
B	300	42.17	4.22	3.37	530	630	0.84
C	500	50.00	5.00	4.40	550	650	1.00

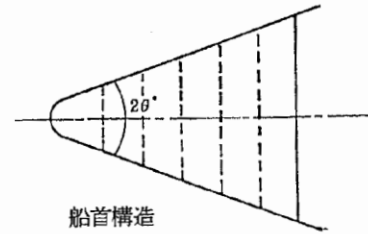


図 3.5 船首角度

表 3.3 船首圧壊強度

L(m)	a(mm)	b(mm)	t(mm)	k	σ_{cr} (kgf/cm ²)	D(m)	P _c (tf)
36.84	520	620	6	4.08	725	2.95	245
42.17	530	630	6.5	4.12	832	3.37	348
50.00	550	650	7	4.12	907	4.00	484

表 3.1 船首部の標準寸法値

構造寸法	記号	標準寸法	単位
船の深さ	D	0.08 L	m
船側外板厚	t	0.82√L + 2.5	mm
フレーム間隔	S	610	mm
船首隔壁位置	L _{coll}	0.1 L	m
縦通材間隔	b	3S	mm
船首部傾斜幅	L _{sf}	0.25 D	m
船首部先端角度	2θ	35 ~ 70	度
船体幅	B	L/10 + 3.81	m

図 3-2 「土木学会 (1994)」で示されている計算例
(「土木学会 (1994)」より引用)

また、「甲斐田・木原（2017）」*¹では、既往の文献である「有田（1988）」*²を整理し、大型の鋼製船舶（総トン数 400～4000 トン）の船首方向に対する軸剛性が記載されている。そこで、これらの大型の鋼製船舶に対して、「土木学会（1994）」による設定方法を基に軸剛性を算出し、「甲斐田・木原（2017）」に記載されている軸剛性との比較結果を表 3-1 に示す。

注記*1：甲斐田秀樹・木原直人（2017）：原子力発電所における津波漂流物の影響評価技術—現状調査とその適用に関する考察—，電力中央研究所報告 016010，2017.

*2：有田喜久雄（1988）：船舶等の衝突強度に関する研究，船舶技術研究所報告，第 25 巻，第 1 号，1988，pp. 35-125.

比較結果として、「土木学会（1994）」の方法により算出した軸剛性と「甲斐田・木原（2017）」に記載されている軸剛性は、おおむね同程度となることを確認した。また、「土木学会（1994）」の方法により算出した軸剛性の方が、「甲斐田・木原（2017）」の記載値より大きい傾向となることを確認した。

表 3-1 軸剛性の比較結果（「甲斐田・木原（2017）」記載値及び「土木学会（1994）」算出値）

項目	記号	算定式	単位	500G. I.	1000G. I.	2000G. I.	4000G. I.
総トン数	G. I.	-	トン	500	1000	2000	4000
船舶長さ	L	-	m	50.0	63.0	80.0	100.0
船舶深さ	D	= 0.08 × L	m	4.00	5.04	6.40	8.00
船側外板厚	t	= 0.82√L + 2.5	mm	8.300	9.009	9.834	10.700
縦肋骨心距	a	= 450 + 2L	mm	550	576	610	650
横肋骨心距	b	= 550 + 2L	mm	650	676	710	750
船首角度	2θ	文献記載の最大値と最小値の2ケース実施	°	70	70	70	35
船首傾斜長さ	L _{sf}	= 0.25 × D	m	1.00	1.26	1.60	2.00
ヤング率 (曲げ弾性率)	E	-	tf/m ²	2.10 × 10 ⁷	2.10 × 10 ⁷	2.10 × 10 ⁷	2.10 × 10 ⁷
ポアソン比	ν	-	-	0.30	0.30	0.30	0.30
座屈強度	σ _C	*1	tf/m ²	12,728	13,832	14,908	15,771
圧縮荷重	P _C	*2	kN	6,789	7,904	10,091	11,748
軸剛性(船首部)	k _C	*3	N/m	6.79 × 10 ⁵	7.90 × 10 ⁵	8.01 × 10 ⁵	9.33 × 10 ⁵
		甲斐田・木原(2017)文献記載値	N/m	5.10 × 10 ⁶	6.40 × 10 ⁶	8.20 × 10 ⁶	1.10 × 10 ⁷

*1 $\sigma_C = k \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \left(\frac{t}{b}\right)^2$ *2 $P_C = 2Dt(\cos\theta)\sigma_C$ *3 $k_C = \frac{P_C}{L_{sf}}$

σ_C : 座屈強度 (tf/m²) b : 縦肋骨心距 (mm) t : 船側外板厚 (mm) θ : 船首角度 (°)

k : 座屈係数 (b/a+a/b)² E : ヤング率 (tf/m²) P_C : 圧縮荷重 (船首強度) (kN) k_C : 軸剛性 (N/m)

a : 横肋骨心距 (mm) ν : ポアソン比 D : 船の深さ (m) L_{sf} : 船首傾斜部の長さ (m)

4. 鋼製船舶を対象とした方法をFRP製船舶に用いることの妥当性

「土木学会（1994）」で示されている座屈強度 σ_c の算定式は、一般的な平板の座屈応力度の算定式であるため、ヤング率とポアソン比で適切に考慮することで、FRP製船舶に適用することが可能であると考えられるが、「土木学会（1994）」で検討対象としている船舶が鋼製船舶であることを踏まえ、FRP製船舶と鋼製船舶の形状、構造、材質及び損傷モードに関する類似（同等）性について確認を行った。

4.1 船舶の形状に関する類似（同等）性

「小型漁船のインベントリ分析に関する研究－A:モデル船の建造・運航状況調査－（海上技術安全研究所報告第3巻第5号（平成15年）」（以下「海技研報告（平成15年）」という。）に、総トン数14トンのアルミ合金漁船とFRP製の船舶の図面が記載されている（図4-1及び図4-2）。

これらの図面から、FRP製漁船とアルミ合金漁船の寸法、外形及び断面はおおむね同形状であることを確認した。加えて、評価対象である総トン数19トンは、「海技研報告（平成15年）」に記載の総トン数14トンに対して、総トン数もおおむね同等であることから、FRP製船舶と鋼製船舶の形状は類似性を有すると判断できる。

表-2.1 アルミ合金漁船の主要目表

全長	21.66m
全幅	4.78m
型深さ	1.21m
登録長	17.60m
登録幅	4.38m
登録深さ	1.20m
測定長	19.20m
測定幅	3.90m
測定深さ	1.20m
計画総トン数	14トン
主機関	YANMAR 6LX-ET (定格出力) 650PS
定員	6人
用途	小型機船底びき網漁業
燃料油の種類	A重油
燃料油の消費量	160g/(ps・hr)
発電機動力	主機駆動



写真-2.1 アルミ合金漁船

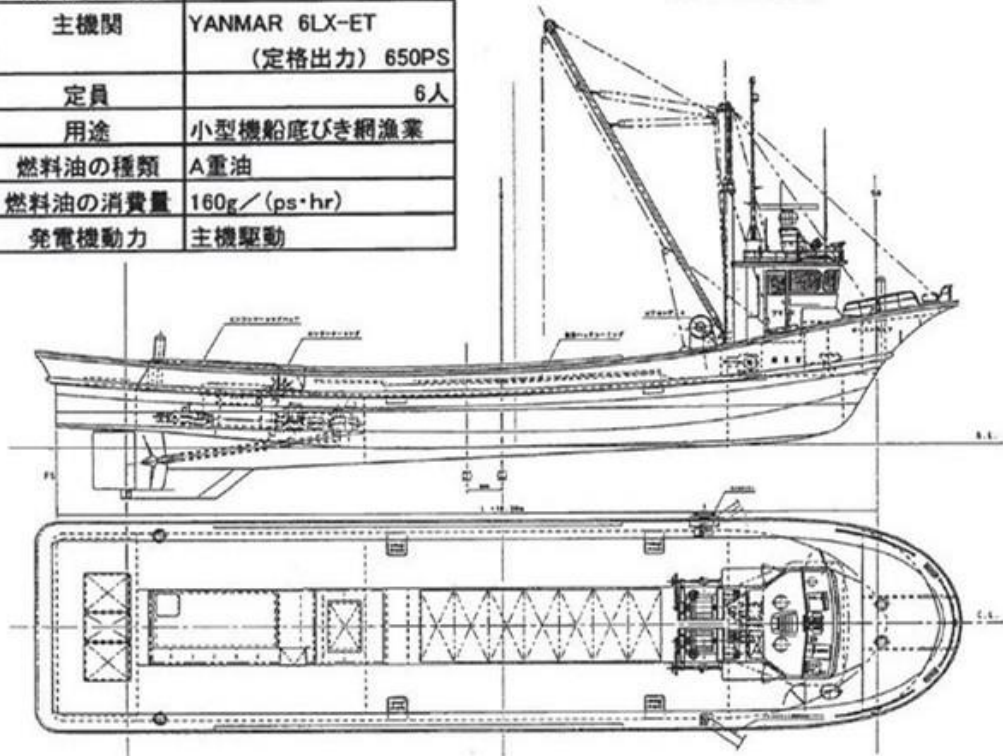


図-2.1 アルミ合金漁船の一般配置図



図-2.2 アルミ合金漁船の中央断面図

図 4-1 総トン数 14 トンのアルミ合金漁船（「海技研報告（平成 15 年）」より引用）

表-2.6 FRP漁船の主要目表

全長	21.66m
全幅	4.78m
型深さ(D)	1.21m
登録長	17.60m
登録幅	4.18m
登録深さ	1.38m
測定長	19.20m
測定幅	3.90m
型深さ(Dm)	1.20m
計画総トン数	14トン
主機関	YANMAR 6LAH-ST (定格出力)550PS
定員	5人
用途	小型機船底びき網漁場
燃料油の種類	A重油
燃料油の消費量	162g/(ps.hr)
発電機動力	主機駆動



写真-2.2 FRP漁船

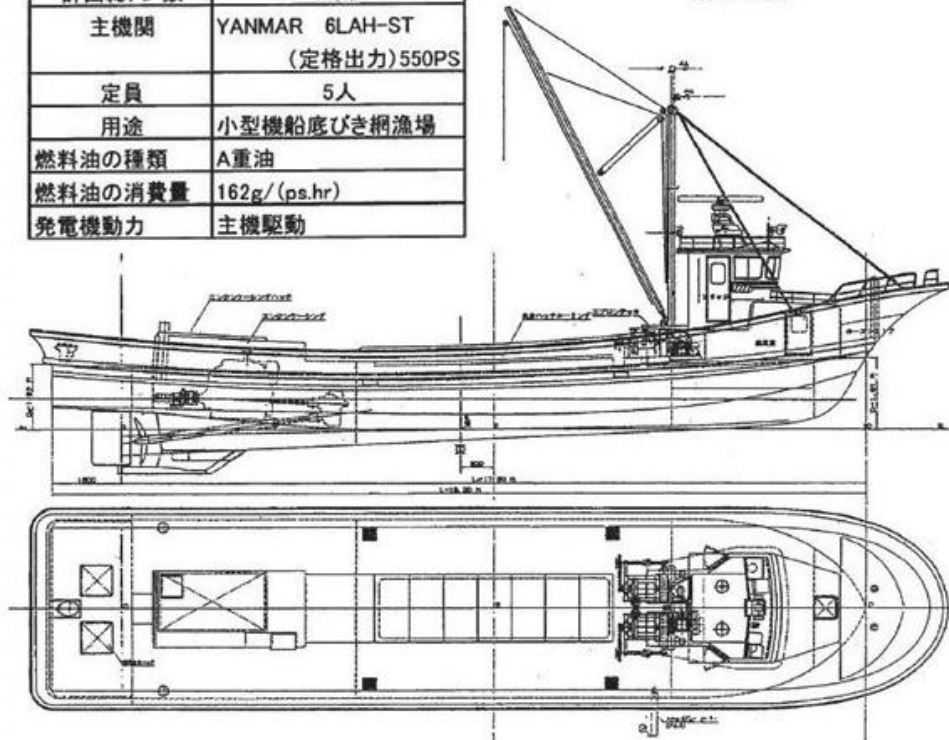


図-2.4 FRP漁船の一般配置図

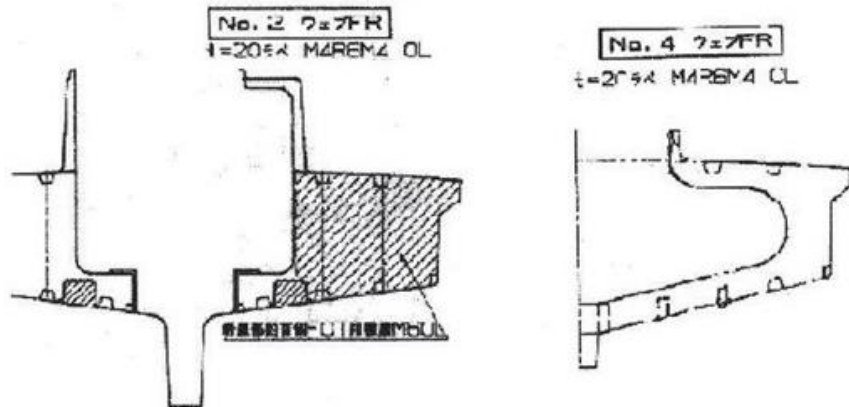


図-2.5 FRP漁船の横断面図

図 4-2 総トン数 14 トンのFRP製漁船（「海技研報告（平成 15 年）」より引用）

4.2 船舶の構造に関する類似（同等）性

船屈強度を算出する際に必要となる船側外板厚等について、FRP製船舶と鋼製船舶の算出方法を比較し、両者に類似性があることを確認した（表4-1）。

- ・「強化プラスチック船規則（日本海事協会，2018）」によると，中央部の船側外板厚は $15S\sqrt{(d+0.026L)}$ （S:肋骨の心距，d:計画最大満載喫水，L:船の長さ）と記載されている。この算定式に関して「強化プラスチック船規則解説（日本海事協会会誌，1978）」では，「波浪中を航行する船が受ける外力は，船の大きさ，形状等によって異なるが，特別な場合を除き，船体の材質によって変わらないと考えられる。したがって船底や船側の波浪外力，水密隔壁や深水タンク隔壁に作用する外力は，すべて鋼船規則に定められている外力を用いた。」と記載があり，外板厚を算出するために用いる外圧（水頭）について「荷重を鋼船規則に合わせ，波浪変動圧を考慮に入れた（ $d+0.026L$ ）とした。」と記載されている。よって，FRP製船舶の船側外板厚の算定式は，鋼製船舶を基本としているため，両者は類似性を有する。
- ・縦強度，甲板，肋骨，船底等の主要構造について，「鋼船規則（日本海事協会）」及び「小型鋼製漁船構造基準（（社）漁船協会，昭和46年）」の鋼製船舶を基に「強化プラスチック船規則（日本海事協会，2018）」で規定されていることから，FRP製船舶と鋼製船舶の構造は類似性を有する。

4.3 船舶の材質における力学特性の類似（同等）性

「土木学会（1994）」で検討対象としている船舶が鋼製船舶であることを踏まえ，各船舶の主要な構成材料である鋼材とFRP材の材質の力学特性について整理を行い，両者に類似性があることを確認した（表4-1）。

- ・船舶に用いられるFRP（Fiber Reinforced Plastics：繊維強化プラスチック）の主材料は，ガラス繊維基材と樹脂液（液状不飽和ポリエステル樹脂）である（「強化プラスチック船規則（日本海事協会，2018）」を参考）。
- ・「FRP成形入門講座（日本プラスチック加工技術協会）」によると，FRPの材料力学的特性について，「FRP材料はガラス繊維，マトリックスの種類，組成，形体によってその特性が広範囲に変化する。例えば，無方向性のランダムガラスマットを用いると，ほぼ等方性材料として扱うことができる。」と記載されている。また，船舶にはあらゆる方向からの波が外力として作用することから，異方性材料とならないようガラス繊維基材を組み合わせで成形される。
- ・「基礎からわかるFRP（強化プラスチック協会編，2016）」によると，「FRPは微視的には不均質材料であるが，巨視的には等方性または直交異方性の力学特性を持つ均質材料として扱うことができる。このような場合には，等方性または直交異方性

の座屈理論をそのまま利用できる。」としている（図 4-3）。前述と同様に、船舶にはあらゆる方向からの波が外力として作用することから、異方性材料とならないようガラス繊維基材を組み合わせるため、等方性の力学特性を持つ鋼材と FRP は類似した力学特性を有する。

- 「FRP 成形入門講座（日本プラスチック加工技術協会）」によると、「FRP 材料は金属材料と異なり、はっきりとした降伏点を示さず、破壊寸前まではほぼ弾性変形を示し、その応力-ひずみ曲線は図のようになり、弾性吸収エネルギーが非常に大きいことが特徴で、外力の吸収が金属材料に比較して大きいため、FRP 材料で作られた構造物は与えられるショックが小さい。」ことが示されている（図 4-4）。「強化プラスチック船規則解説（日本海事協会誌, 1978）」及び「基礎からわかる FRP（強化プラスチック協会編, 2016）」でも同様の特徴を有することが記載されている。これらのことから、FRP は破壊寸前までは鋼材の降伏強度以内と同様に弾性変形するという点で類似している。

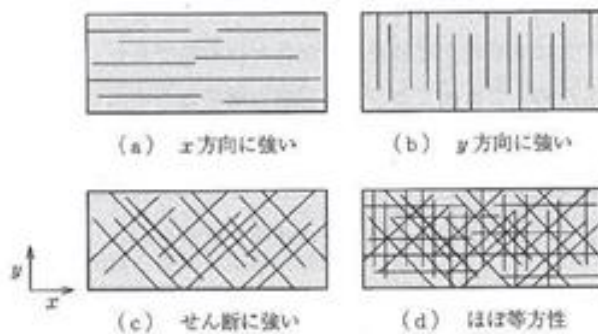


図 4-3 FRP の材料異方性

（「基礎からわかる FRP（強化プラスチック協会編, 2016）」より引用）

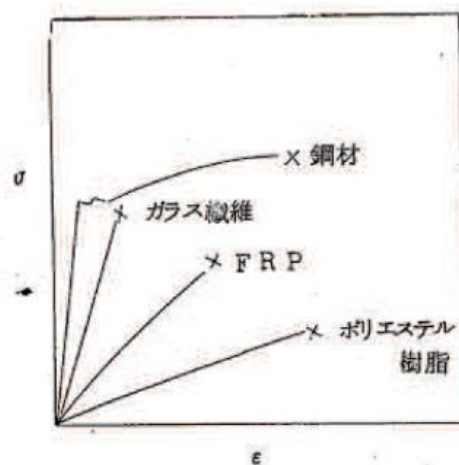


図 4-4 FRP の応力-ひずみ関係

（「FRP 成形入門講座（日本プラスチック加工技術協会）」より引用）

4.4 船舶の損傷モードの類似（同等）性

「土木学会（1994）」で検討対象としている船舶が鋼製船舶であることを踏まえ、それぞれの材料である鋼材とFRP材の損傷モードについて整理を行い、両者に類似性があることを確認した（表4-1）。

- ・「FRP構造設計便覧（強化プラスチック協会，1994）」によると、「FRP構造は薄肉シェルのことが多いが、もし外圧が作用して面内に発生する圧縮応力が大きくなると、構造は不安定となり、いわゆる座屈現象をおこして大変形を生じ、破損する恐れがあり、座屈限界応力が問題となる。また構造物の固有振動数が、外力からの加振振動数に近い場合には、いわゆる共振現象をおこし、機能を阻害したり、過大振幅になって材料が疲労破壊する恐れがあり、固有振動数が問題となる。」と記載されており、主に座屈と共振による損傷モードが考えられるが、評価対象事象は衝突であるため、座屈による損傷モードが想定される。これは、鋼製の圧縮材と同様の損傷モードである。
- ・評価対象としている小型船舶の構造は半円筒形のような構造で、船底と船側が主に竜骨と隔壁で構造が区切られており、さらに縦断及び横断方向に肋骨が配置されている。そのため、FRP製船舶と鋼製船舶は、それぞれ構成している部位の材質は異なるものの、どちらも主として薄板を組み合わせた構造である。
- ・船舶は10.0m/sと速い速度で被衝突物に衝突するため、非常に大きな力が一方向（圧縮方向）に作用するため、FRP製船舶も鋼製船舶も薄板構造であり、圧縮系の座屈を引き起こしやすいという点で類似性を有する。
- ・なお、FRP材は、局所的にトランスバースクラックや層間はく離等の損傷モードが考えられるが、衝突速度が10.0m/sと速い速度であり、船舶の重量が57tであるため、このような局所的かつ初期的な損傷モードは支配的とはならない。また、上述のとおり、船舶に一方向から極端に大きな力が極めて短い時間で作用するため、圧縮座屈が支配的となると考えられる。

4.5 鋼製船舶を対象とした方法をFRP製船舶に用いることの妥当性

前述の整理結果を表4-1に示す。FRP製船舶と鋼製船舶は形状、構造、材質に関して類似（同等）性を有することから、FRP製船舶の圧壊荷重算出にあたり「土木学会（1994）」の方法を用いることは妥当であると判断した。

表4-1 FRP製船舶と鋼製船舶の類似（同等）性に関する整理

項目	引用文献	確認内容	類似性 (同等)
全体形状	・海技研報告 (平成15年)	文献に示されているFRP製漁船とアルミ合金漁船の寸法、外形及び断面がほぼ同じであることを確認。	○
船側外板厚	・強化プラスチック船規則 (日本海事協会, 2018) ・強化プラスチック船規則解説 (日本海事協会会誌, 1978)	FRP製船舶と鋼製船舶に作用する外力が同じであり、FRP製船舶の船側外板厚算定式が鋼製船舶を基にしていることを確認。	○
その他の主要構造	・強化プラスチック船規則 (日本海事協会, 2018) ・強化プラスチック船規則解説 (日本海事協会, 1978) ・鋼船規則(日本海事協会) ・小型鋼製漁船構造基準 (社)漁船協会, 昭和46年)	FRP製船舶の縦強度、甲板、肋骨、船底等の主要構造が鋼製船舶の構造を参考としていることや、同様の考えを採用していることを確認。	○
材質の力学特性	・強化プラスチック船規則 (日本海事協会, 2018) ・FRP成形入門講座 (日本プラスチック加工技術協会) ・強化プラスチック船規則解説 (日本海事協会, 1978) ・基礎からわかるFRP (強化プラスチック協会編, 2016)	FRP製船舶の材料であるFRPは、等方性又は直交異方性の力学的特性を持ち、鋼製船舶の材料である鋼材と同様に均質材料であることを確認。また、FRPは破壊直前まで鋼材(降伏強度以内)と同様に弾性変形することを確認。	○
損傷モード	・FRP構造設計便覧 (強化プラスチック協会, 1994)	FRP製船舶と鋼製船舶は、どちらも薄板を組み合わせた構造であるため、圧縮方向の力が作用した場合に座屈しやすいことを確認。	○

5. FRP製船舶の構造及び材料特性に係る条件の設定

FRP製船舶の座屈強度の算出に用いる，船舶の船体構造条件の設定結果を表5-1に，FRPの材料特性の設定結果として，FRPのヤング率（曲げ弾性）の設定結果を表5-2に，ポアソン比の設定結果を表5-3に示す。なお，材料特性の設定に当たっては，文献における適用性を考慮して，「FEMA（2012）」による衝突荷重が大きくなる安全側の設定値を採用する。

船首角度及び船首傾斜部の長さは，対象となる総トン数19トン船舶の計測結果から設定を行っているため，以下に設定根拠を示す。

・船首角度 θ

船首角度 θ の設定箇所を図5-1に示す。船首角度 θ の設定に当たっては，図5-1より船首先端から両舷の船首曲線部終点を結ぶなす角とし，計測角度（ 2θ ）は 99° となるが，安全側に θ を 45° （ $2\theta=90^\circ$ ）とした。

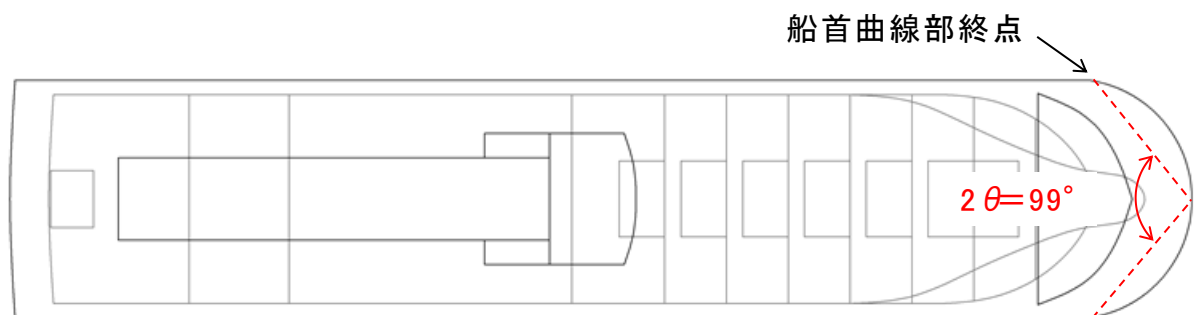


図5-1 船首角度 θ の設定箇所

・ 船首傾斜部長さ L_{sf}

船首部の軸剛性 k_c の設定においては、「土木学会 (1994)」の図 5-2 に示すとおり、船首傾斜部がすべて破壊した際に圧壊荷重 P_c が一定となる。また、「4.5.6 漂流物による衝突荷重の算定」の衝突解析結果より、船首衝突における衝突荷重は、第 1 隔壁衝突時に最大衝突荷重が発生し、それ以降は衝突荷重が低下することを確認した。

そのため、船首の変形量は船首先端から第 1 隔壁までの長さ、最大衝突荷重を圧壊荷重 P_c とすると、最大衝突荷重と船首先端から第 1 隔壁までの長さにおける傾きが軸剛性 k_c と判断できる。なお、この手法により算定した軸剛性 k_c は、船首先端から第 1 隔壁までの平均的な軸剛性である。

以上より、船首傾斜部の長さ L_{sf} の設定に当たっては、図 5-3 より船首先端から第 1 隔壁までの距離とし、計測距離は 3.24m となるが、安全側に 3.20m とする。

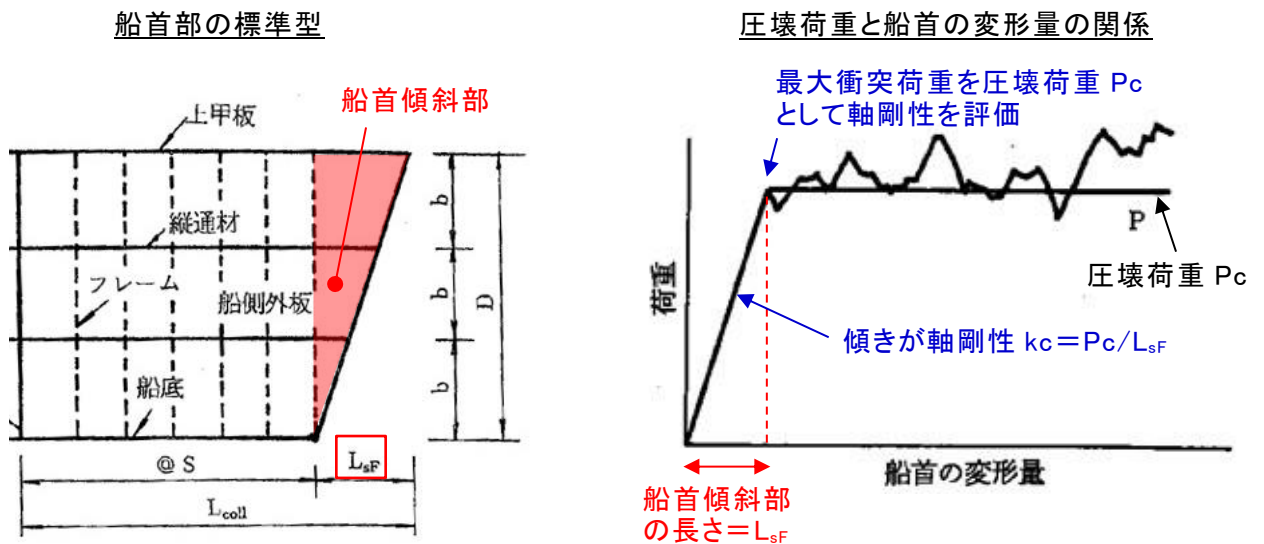


図 5-2 船首部の標準型及び圧壊荷重と船首の変形量
 (「土木学会 (1994)」に一部加筆)

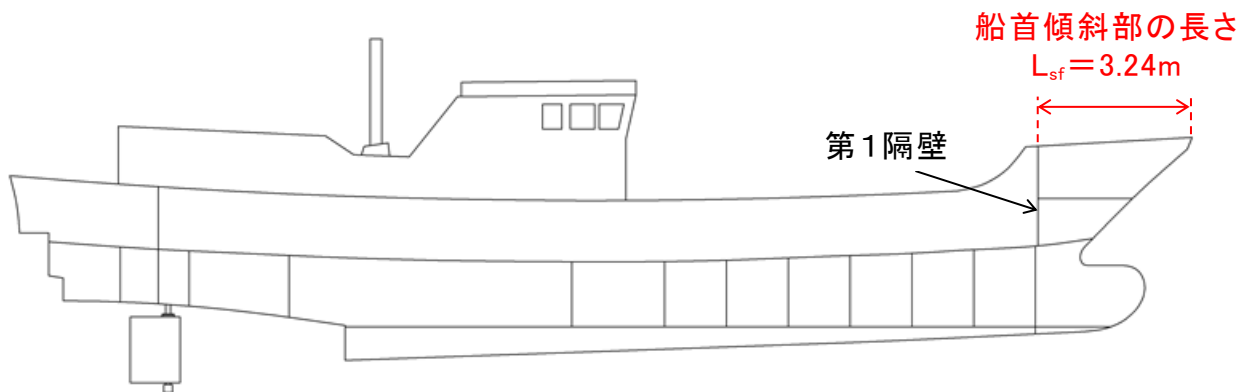


図 5-3 船首傾斜部の長さの設定箇所

表 5-1 船舶の船体構造条件の設定

項目	記号	単位	値	引用文献等
船舶長さ	L	m	19.40	対象船舶の船舶検査資料記載の登録長さ
船舶深さ	D	m	1.85	対象船舶の船舶検査資料記載の登録深さ
計画最大 満載喫水	d	m	2.20	津波漂流物対策施設設計ガイドライン(平成 26 年 3 月)の総トン数(G.T.)20トン漁船の喫水の最大値
船側 外板厚* (船首部)	t	mm	10.48	強化プラスチック船規則(日本海事協会, 2018)の船首部の外板厚 $t = 15 \times s \times (d + 0.026 \times L)^{0.5} \times 0.85$ s: 肋骨の心距=0.5m d: 計画最大満載喫水=2.20m L: 船舶長さ=19.40m
肋骨心距	s	mm	500	強化プラスチック船規則(日本海事協会, 2018)の肋骨の心距(=縦肋骨心距(a)=横肋骨心距(b))
船首角度	θ	°	45	対象船舶の計測結果
船首傾斜 部の長さ	L _{sf}	m	3.20	対象船舶の計測結果

注記* : 船側外板厚は「土木学会 (1994)」においても算定方法が記載されているが, FRP製船舶であるため「強化プラスチック船規則(日本海事協会, 2018)」を採用する。

表 5-2 FRP のヤング率（曲げ剛性）の設定

項目	引用文献	適用性	引用文献値	評価	採用値【採用理由】
ヤング率 (曲げ剛性) 【単位:tf/m ² 】	「強化プラスチック船規則(日本海事協会, 2018年)」	本規則は、「長さが35m未満の普通の形状のFRP船(油タンカーを除く。)で、普通の主要寸法比を有するものに適用する。」とされており、船体構成部材であるガラス繊維基材のマット及びクロスの曲げ弾性係数を示したものであるため適用可能と判断した。	0.70 ×10 ⁶	○	1.22×10 ⁶ 【ヤング率(曲げ剛性)の増加に伴い船体衝突荷重も増加するため最大値を採用】
	「強化プラスチック船規則検査要領(日本海事協会, 2018年)」	本規則は「強化プラスチック船規則」に対する検査要領であり、船体材料を構成するガラス繊維基材のマットにおける標準状態の曲げ弾性係数を示したものであるため、適用可能と判断した。	0.65 ×10 ⁶	○	
		船体材料を構成するガラス繊維基材のマットにおける湿潤状態の曲げ弾性係数を示したものであるため、適用可能と判断した。	0.59 ×10 ⁶	○	
		船体材料を構成するガラス繊維基材のクロスにおける標準状態の曲げ弾性係数を示したものであるため、適用可能と判断した。	1.20 ×10 ⁶	○	
		船体材料を構成するガラス繊維基材のクロスにおける湿潤状態の曲げ弾性係数を示したものであるため、適用可能と判断した。	0.96 ×10 ⁶	○	
	「漁港・漁場の施設的设计参考図書(水産庁, 2015年)」	本図書は、「漁港漁場整備法」に基づき「漁港・漁場の施設の設計において参考となる技術的な知見を記載したものである。」とされており、ハンドレイアップ成形法による船体材料を構成するガラス繊維基材のマットにおける曲げ弾性率を示したものであるため、適用可能と判断した。	0.71 ~0.92 ×10 ⁶	○	
		ハンドレイアップ成形法による船体材料を構成するガラス繊維基材のマット及びクロス積層品における曲げ弾性率を示したものであるため、適用可能と判断した。	0.92 ~1.22 ×10 ⁶	○	
	「船舶海洋工学シリーズ⑥ 船体構造構造編(藤久保昌彦・吉川孝男・深沢塔一・大沢直樹・鈴木英之, 2012年)」	本文献は、船体構造が詳細に示されており、FRPの小型船舶の典型例として、FRPのヤング率が記載されていることから、適用可能と判断した。	1.09 ×10 ⁶	○	
	「非金属材料データブックプラスチック・FRP・ゴム・接着剤・塗料・木材及び木質材料・セラミックス[改訂2版](日本規格協会, 1985年)」	本文献は、非金属材料の物性値を幅広く掲載されており、漁船の成形法であるハンドレイアップ成形法によるマットの曲げ弾性率を示したものであるため、適用可能と判断した。	1.05 ~1.20 ×10 ⁶	○	
		ハンドレイアップ成形法によるクロスの曲げ弾性率を示したものであるため、適用可能と判断した。	1.09 ~1.14 ×10 ⁶	○	

表 5-3 ポアソン比の設定

項目	引用文献	適用性	引用文献値	評価	採用値 【採用理由】
ポアソン比	「非金属材料データブックプラスチック・FRP・ゴム・接着剤・塗料・木材及び木質材料・セラミックス[改訂2版](日本規格協会, 1985年)」	本文献は, 非金属材料の物性値を幅広く掲載しており, 漁船の成形法であるハンドレイアップ成形法によるマットのポアソン比を示したものであるため, 適用可能と判断した。	0.320~0.358	○	0.358 【ポアソン比の増加に伴い船体衝突荷重も増加するため最大値を採用】
	「3相森・田中平均化手法のハイブリッドFRP梁への応用(土木学会, 2014)」	本文献は, I型断面を有するFRP梁構造に対する, ガラス繊維基材としたFRPのポアソン比が示されているが, 船舶とは使用目的が異なるため, 適用不可と判断した。	0.1, 0.29, 0.308	×	

表 5-1~3 にて設定した船舶条件を基に, 「土木学会 (1994)」に準じて圧壊荷重 P_C を算定するとともに, FRP製の船舶の軸剛性 (船首方向) を設定した結果を表 5-4 に示す。

表 5-4 船舶の軸剛性の設定結果

項目	記号	単位	値	
船体構造	船舶長さ	L	m	19.40
	船舶深さ	D	m	1.85
	船側外板厚 (船首部)	t	mm	10.48
	肋骨心距	s (=a,b)	mm	500
	船首角度	2θ	°	90
	船首傾斜部の長さ	L_{sf}	m	3.20
材料物性	ヤング率 (曲げ弾性率)	E	tf/m ²	1.22×10^6
	ポアソン比	ν	—	0.358
座屈強度	σ_C	tf/m ²	2,024	
圧壊荷重	P_C	kN	544.4	
軸剛性 (船首部)	k_C	N/m	1.71×10^5	

$$\sigma_C = k \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \left(\frac{t}{b}\right)^2$$

σ_C : 座屈強度 (tf/m²)
 k : 座屈係数 $(b/a+a/b)^2$
 a : 横肋骨心距 (mm)
 b : 縦肋骨心距 (mm)
 E : ヤング率 (tf/m²)
 ν : ポアソン比
 t : 船側外板厚 (mm)

$$P_C = 2Dt(\cos\theta)\sigma_C$$

P_C : 圧壊荷重 (船首強度) (kN)
 D : 船の深さ (m)
 θ : 船首角度 (°)

$$k_C = \frac{P_C}{L_{sf}}$$

k_C : 軸剛性 (N/m)
 L_{sf} : 船首傾斜部の長さ (m)

6. F E M A (2012) による荷重の算定

前章で設定した F R P 製の船舶の軸剛性 (船首部) を用いて, 漂流物による衝突荷重を「F E M A (2012)」に準じて算定した結果を表 6-1 に示す。なお, 衝突荷重は, 日本海東縁部に想定される地震による津波における衝突速度 10.0m/s について算定する。

【F E M A (2012) の式】

$$F_i = 1.3 u_{max} \sqrt{k_C m (1 + c)}$$

ここに,

- F_i : 衝突力
- u_{max} : 最大流速 (m/s)
- k_C : 漂流物の有効軸剛性 (N/m)
- m : 漂流物の質量 (kgf)
- c : 付加質量係数

表 6-1 「F E M A (2012)」による衝突荷重の算定結果

項目	記号	単位	値
衝突速度	u_{max}	m/s	10.0
軸剛性 (船首部)	k_C	N/m	1.71×10^5
漂流物の質量	m	kgf	57,000
付加質量係数	c	—	1
衝突荷重	F_i	N	1,815,000
		kN	1,815

上記の算定結果より, F R P 製の総トン数 19 トン船舶において, 「F E M A (2012)」による衝突荷重は, 衝突速度 10.0m/s で 1,815kN となる。なお, この衝突荷重については, 衝突解析を基に船首先端からの船体破壊長さ (L_{sf}) から設定した, 平均的な軸剛性を用いて算定した衝突荷重 (平均値) である。

「建築物荷重指針・同解説（日本建築学会，2015）」を参考にした静的設計荷重の算定例

1. 「建築物荷重指針・同解説（日本建築学会，2015）」で示されている三角波の例

「建築物荷重指針・同解説（日本建築学会，2015）」（以下「建築物荷重指針・同解説（2015）」という。）によれば，衝突荷重の算定方針として，「衝突実験データが得られている場合は，その衝突荷重の時刻歴の最大値を静的設計荷重として与える。衝突実験データが得られていない場合は，衝突シミュレーション解析またはエネルギー論的手法により衝突荷重の時刻歴を求め，力積を等しくした三角波として近似し，その三角波の最大値を静的設計荷重として与える。」とされており，衝突シミュレーション解析の時刻歴から三角波を設定している例を図 1-1 に示す。

また，「建築物荷重指針・同解説（2015）」によれば，「衝突時の運動エネルギーがすべて衝突体の変形による内部エネルギーとして吸収されるハードインパクトを仮定した。ハードインパクトは，一般に安全側の結果を与える。」とされており，本検討で実施した衝突解析も被衝突体を剛壁に設定しており，同様の仮定となっている。

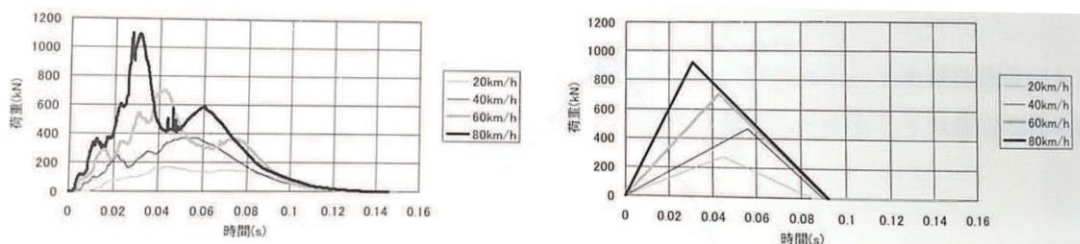
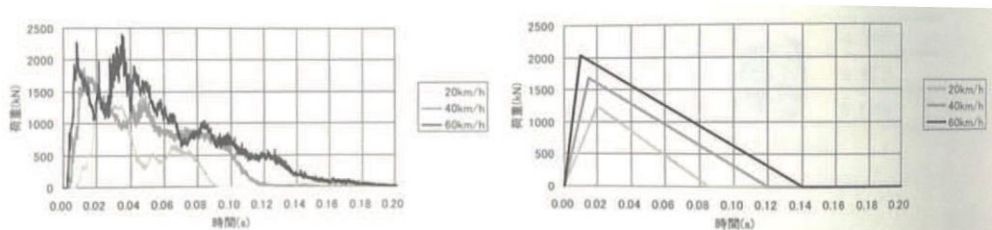


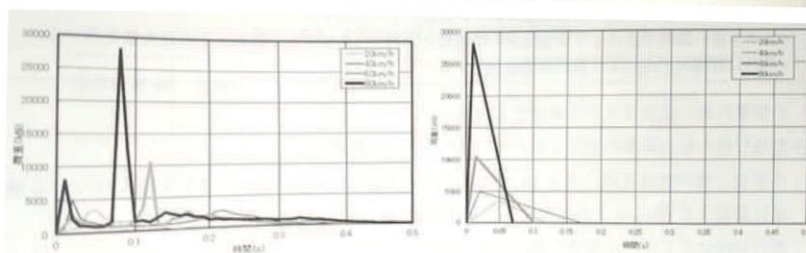
図 11.2.5 各衝突速度における衝突荷重の時刻歴（普通車）



(a) 解析結果

(b) 簡易波形

図 11.2.7 各衝突速度における衝突荷重の時刻歴（トラック）



(a) 解析結果

(b) 簡易波形

図 11.2.10 各衝突速度における衝突荷重の時刻歴（列車）

図 1-1 「建築物荷重指針・同解説（2015）」で示されている三角波の例

2. 衝突解析結果の三角波

衝突解析で得られた衝突荷重の時刻歴（図 2-1）から力積を等しくした三角波を近似し、その三角波の最大荷重を算出した（図 2-2 及び表 2-1）。具体的には三角波の最大荷重時刻は解析で得られた瞬間最大荷重発生時刻と同時刻とし、三角波の底辺となる作用時間も解析で得られた時間とし、三角波の最大荷重を算出した。なお、斜め船首及び斜め船尾からの衝突時は、「4.5.6 漂流物による衝突荷重の算定」に示す衝突状況によると、まず初めに船首又は船尾が衝突した後、船体が回転して 2 回目の船体衝突が生じることが確認できるが、安全側に 2 回目衝突の力積については初めの衝突の荷重作用時間内に発生していることとし、一つの三角波として算出する。

三角波の最大荷重はケース③（真横衝突）の 1,728kN であり、全てのケースで衝突解析の瞬間最大荷重よりも小さくなることを確認した。

以上より、衝突荷重として、衝突解析の時刻歴の瞬間最大荷重を用いて静的に評価することは、安全側の荷重評価となることを確認した。

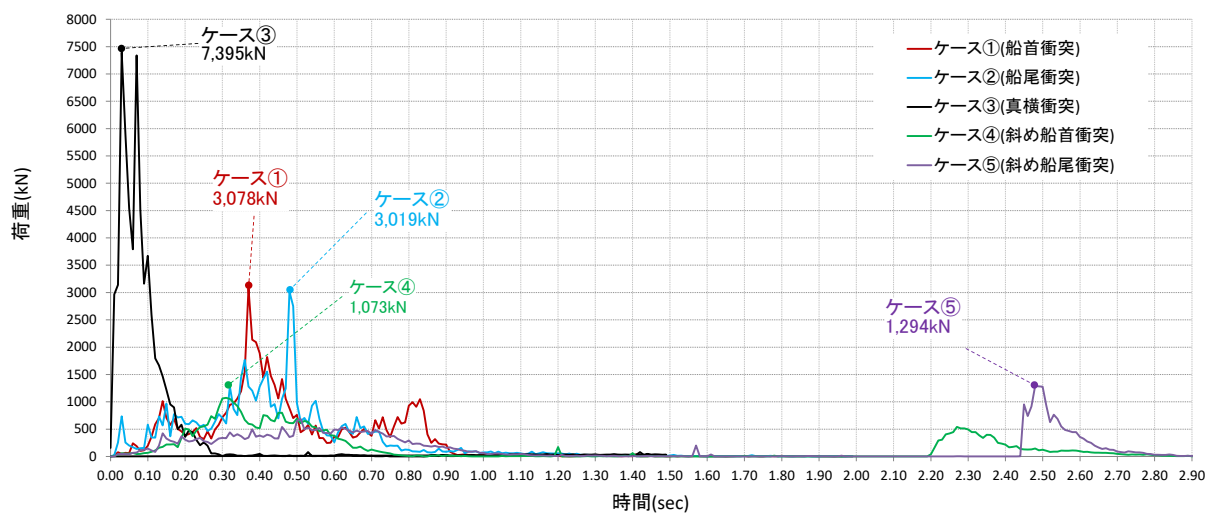
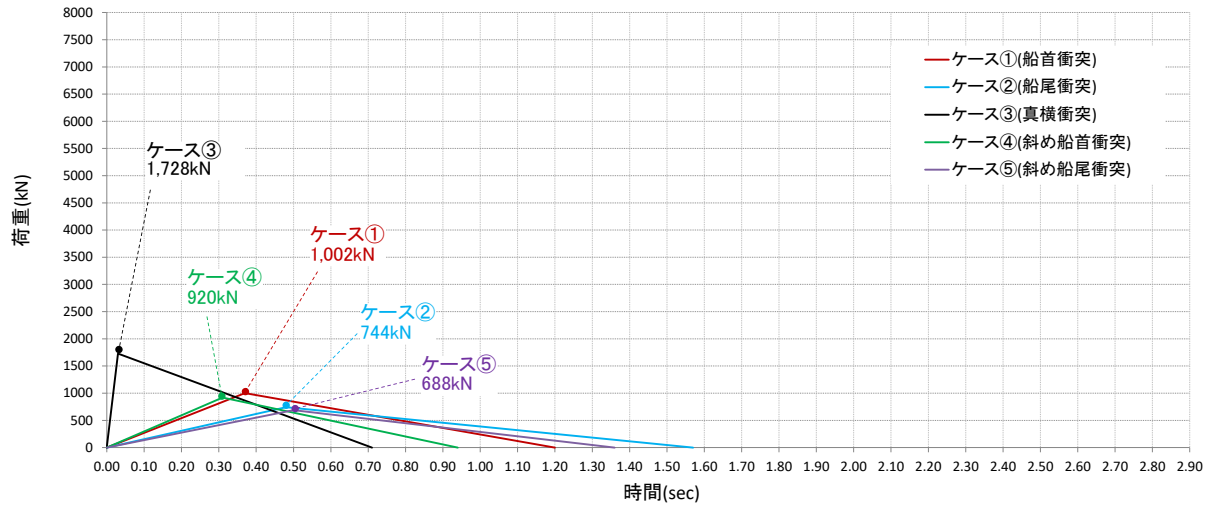


図 2-1 衝突解析結果（時刻歴）



注：三角波の作用時間は、荷重10kNをおおむね下回る時刻とした。

図 2-2 衝突解析結果を三角波で近似

表 2-1 三角波の最大荷重

ケース	衝突形態	衝突解析				三角波の最大荷重 (kN)
		力積 (kN・s)	瞬間最大荷重(kN)	瞬間最大荷重の発生時刻 (s)	衝突荷重の作用時間 (s)	
①	船首衝突	601	3,078	0.37	1.20	1,002
②	船尾衝突	584	3,019	0.48	1.57	744
③	真横衝突	613	7,395	0.03	0.71	1,728
④	斜め船首衝突	432	1,073	0.31	0.94 (2.85) *	920
⑤	斜め船尾衝突	468	1,294	2.48	1.36 (2.90) *	688

注記*： () 内の値は 2 回目衝突を考慮した場合における衝突荷重の作用時間

FRP製船舶の機関部における衝突影響の確認

1. 概要

「4.5.6 漂流物による衝突荷重の算定」（基本ケース）では、図1-1のとおり総トン数19トンのFRP製船舶の衝突解析において船体の破壊は機関部まで到達せず、被衝突物（剛壁）に機関部が衝突しないことを確認している。船体破壊の進行状況について、衝突解析においては船体のFRPの材料特性で設定している破壊ひずみの影響が大きいと考えられる。

本資料では、機関部衝突の影響確認としてFRPの構成則を変更した衝突解析を行い、被衝突物への機関部衝突の有無を確認する。その結果、機関部の衝突が確認された場合は、機関部の衝突荷重を算定したうえで、機関部衝突発生時における船体の衝突荷重を加え、設計用衝突荷重への影響確認を行う。

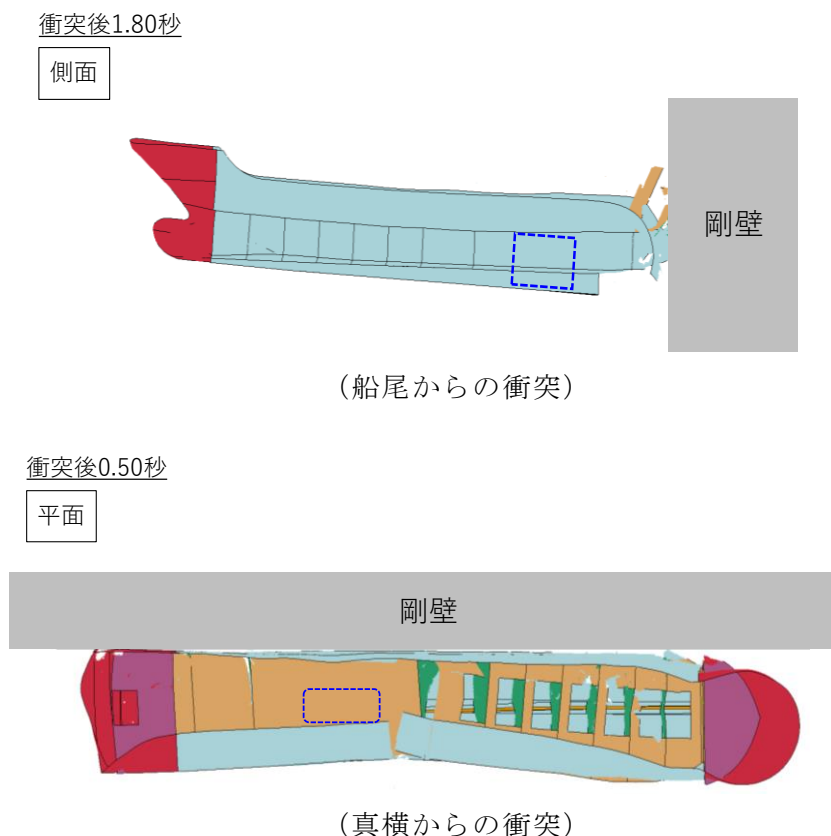


図 1-1 総トン数 19 トンの FRP 製船舶の衝突状況
(「4.5.6 漂流物による衝突荷重の算定」より抜粋)

2. FRP製船舶の機関部衝突の影響確認

(1) 機関部衝突影響確認の概要

FRP製船舶の機関部衝突の影響確認において、機関部の構造や板厚等の情報の取得が困難であるため、衝突解析に用いる3次元FEMモデルに考慮せず、剛壁に対する機関部の設置範囲の衝突有無を確認する。なお、機関部（エンジン）については、表2-1に示すとおり、島根原子力発電所周辺の漁港の調査結果より、対象となる3隻の総トン数19トン船舶のうち、出力が最大となるエンジン（型式：S6R2-MTK3L）を選定した。

表2-1 対象となる総トン数19トン船舶の連続定格出力

対象となる 総トン数19トン船舶	イカ釣り漁船①	イカ釣り漁船②	定置網漁船
連続定格出力【PS】*	1,000 (選定)	650	829

注記*：船舶検査手帳又は動力漁船登録票に記載の値

また、機関部の設置範囲としては、エンジンの剛性の大きい主要部の寸法を確認し、配管等の剛性の小さい箇所も考慮して、カタログ記載の最大寸法を基に安全側に設定した。エンジン設置範囲を表2-2、エンジン寸法の設定概要を図2-1に示す。

表2-2 エンジン設置範囲（型式：S6R2-MTK3L）

項目	主要部寸法	最大寸法	採用値
長さL【mm】	約 2,000	2,620.5	約 2,700
幅B【mm】	約 600	1,183	約 1,200
高さH【mm】	約 1,500	1,846	約 1,900

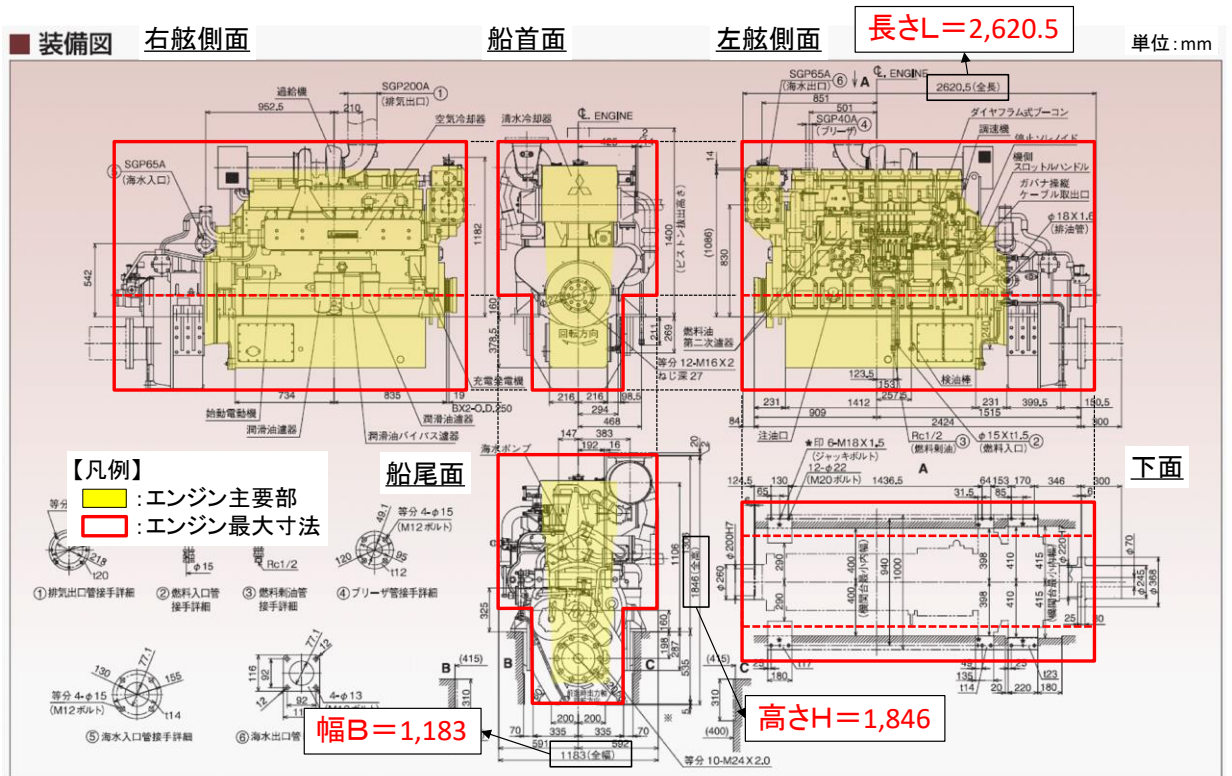


図 2-1 エンジン寸法の設定概要
 (エンジンカタログ (型式: S6R2-MTK3L) に一部加筆)

総トン数 19 トン船舶における機関部衝突の有無を確認するため、FRP の材料特性のうち構成則の影響について確認を行う。船体破壊の進行が最も早くなる構成則としては、FRP の破壊ひずみが小さく、曲げ強度到達後に塑性域を考慮せず破壊に至る条件とした場合が考えられる。また、曲げ強度が小さくなることも船体破壊の進行が早くなる要因であると考えられるため、FRP の材料特性のうち破壊ひずみ及び曲げ強度による影響について確認を行う。

機関部の衝突が確認された場合は、衝突解析による機関部衝突時の衝突速度を抽出し、既往の衝突荷重算定式を用いて機関部の衝突荷重を算出する。機関部衝突時は、船体の衝突荷重の同時作用も考慮するため、機関部の衝突発生時刻における船体の衝突荷重と既往の算定式により算出した機関部の衝突荷重を合算した衝突荷重を確認する。なお、機関部衝突と船体衝突の同時作用を考慮するに当たり、機関部の設置範囲の最小幅が約 1,200mm であることから、安全側に剛壁 1 m 当たりの船体の衝突荷重と機関部の衝突荷重を合算する。

本検討における FRP の構成則を表 2-3 に示す。また、その他の解析条件を表 2-4 に示す。

表 2-3 機関部衝突の影響検討におけるFRPの構成則

		FRPの構成則	
(添付資料6) 機関部衝突の影響確認	<p>【破壊ひずみ変更ケース】 破壊ひずみが小さくなると船体破壊の進行が早くなると考え、安全側に塑性域を考慮しない弾性材料とし、曲げ強度に相当するひずみ到達時にシェル要素は削除する設定とした。</p>	<p>【曲げ強度変更ケース】 曲げ強度が小さくなると船体破壊の進行が早くなると考え、安全側に文献の最小値である曲げ強度120MPaとして、曲げ強度到達まで弾性挙動とし、その後は安全側に設定した破壊ひずみ5%到達時にシェル要素は削除する設定とした。</p>	
(参考) 「4.5.6 漂流物による衝突荷重の算定」	<p>【基本ケース】 破壊ひずみが大きくなると船体破壊の進行が遅くなり船体の衝突荷重が大きくなると考え、曲げ強度到達まで弾性挙動とし、その後は安全側に設定した破壊ひずみ5%到達時にシェル要素は削除する設定としている。</p>		

表 2-4 機関部衝突の影響確認におけるFRPの材料特性の設定

項目	単位	採用値*
ヤング率 (曲げ弾性)	GPa	12
ポアソン比	—	0.358
単位体積重量	t/m ³	1.6

注記* : 「4.5.6 漂流物による衝突荷重の算定」における材料特性と同様

(2) 衝突解析による機関部衝突の確認結果

F R P の構成則を変更した衝突解析結果より、機関部の衝突有無を確認する。機関部が衝突する場合、機関部の衝突荷重を算定するため、機関部衝突時刻の衝突速度を確認する。また、機関部（エンジン）は、「強化プラスチック船規則（日本海事協会，2018）」によると、十分な強度及び剛性を有する機関台を介して、船底に据え付ける必要があるとされており、図 2-2 に示すように機関部と機関台は固定されている。よって、船舶衝突時において、船体破壊が機関部に到達する前に、機関部が船体から離れて単独で被衝突物に接触することはないと判断した。

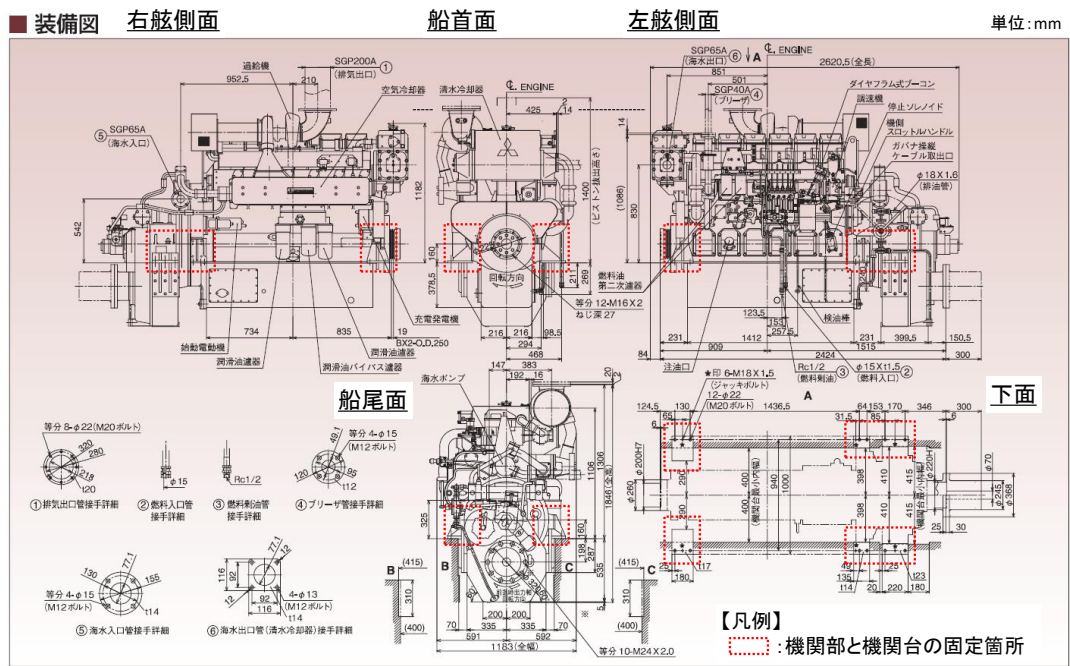
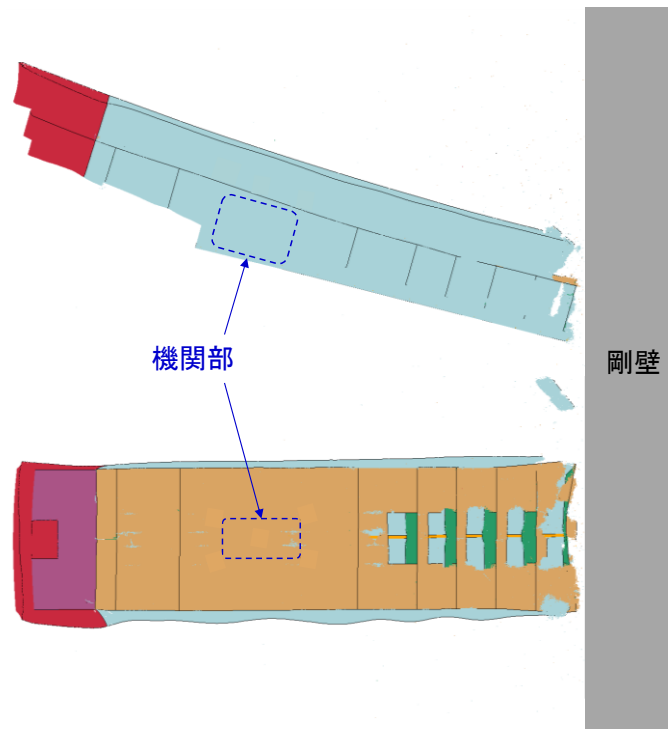


図 2-2 エンジン固定箇所概要
(エンジンカタログ（型式：S6R2-MTK3L）に一部加筆)

破壊ひずみ変更ケースにおいて、ケース①（船首衝突）、ケース②（船尾衝突）、ケース③（真横衝突）、ケース④（斜め船首衝突）及びケース⑤（斜め船尾衝突）の 5 ケースの衝突解析による衝突状況を図 2-3 に示す。衝突状況より、すべてのケースで機関部は剛壁に衝突しないが、機関部が剛壁に最も接近するケースは、ケース③（真横衝突）となった。機関部の衝突有無の確認結果を表 2-5 に示す。

曲げ強度変更ケースにおいて、ケース⑥（船首衝突）、ケース⑦（船尾衝突）、ケース⑧（真横衝突）、ケース⑨（斜め船首衝突）及びケース⑩（斜め船尾衝突）の 5 ケースの衝突解析による衝突状況を図 2-4 に示す。衝突状況より、すべてのケースで機関部は剛壁に衝突しないが、機関部が剛壁に最も接近するケースは、ケース⑧（真横衝突）となった。機関部の衝突有無の確認結果を表 2-6 に示す。

ケース① 船首衝突 (衝突しない)



ケース② 船尾衝突 (衝突しない)

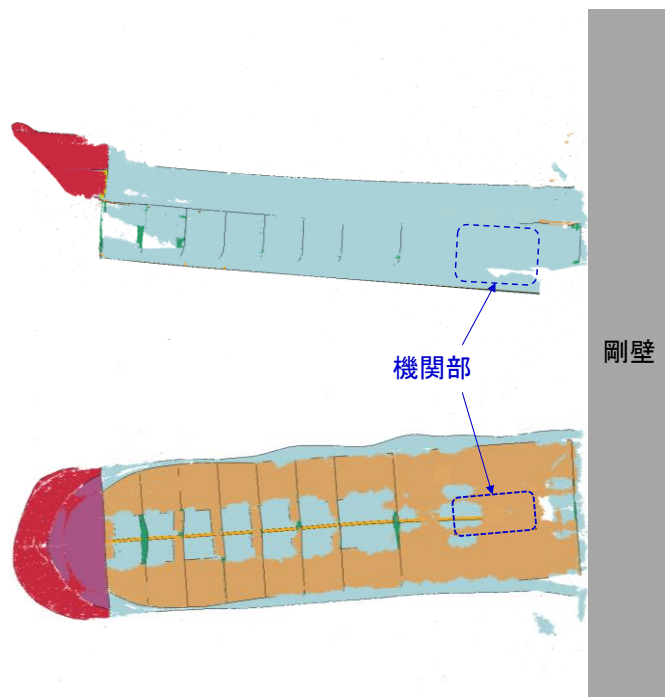
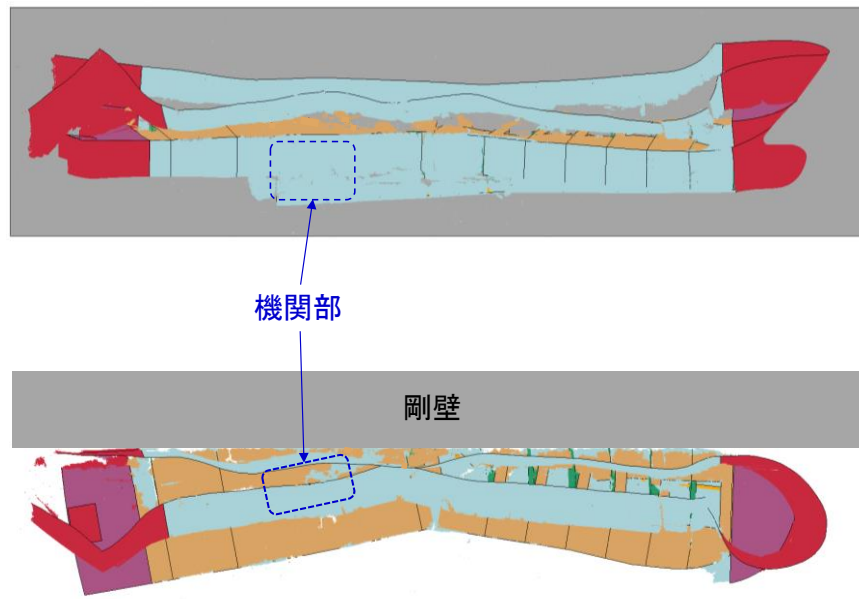


図 2-3 (1/3) 衝突解析による機関部の損傷状況
(破壊ひずみ変更ケース)

ケース③ 真横衝突（衝突しない：剛壁に最も接近する時刻0.40秒）



ケース④ 斜め船首衝突（衝突しない）

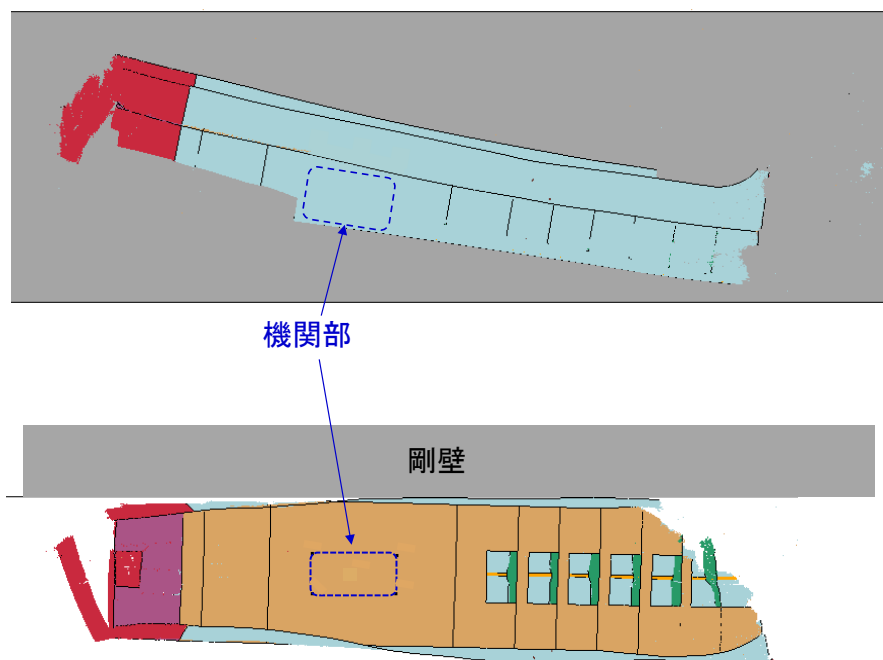


図 2-3 (2/3) 衝突解析による機関部の損傷状況
(破壊ひずみ変更ケース)

ケース⑤ 斜め船尾衝突（衝突しない）

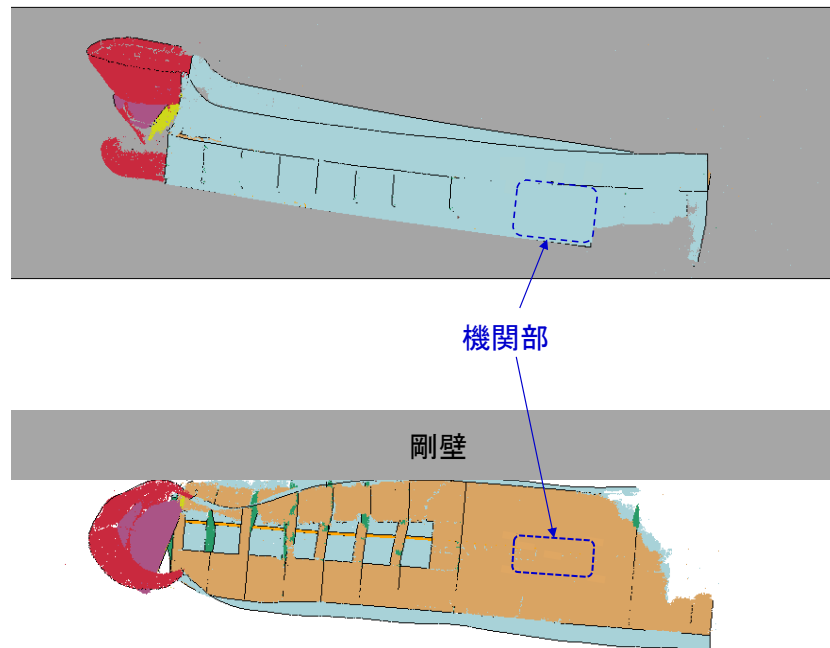
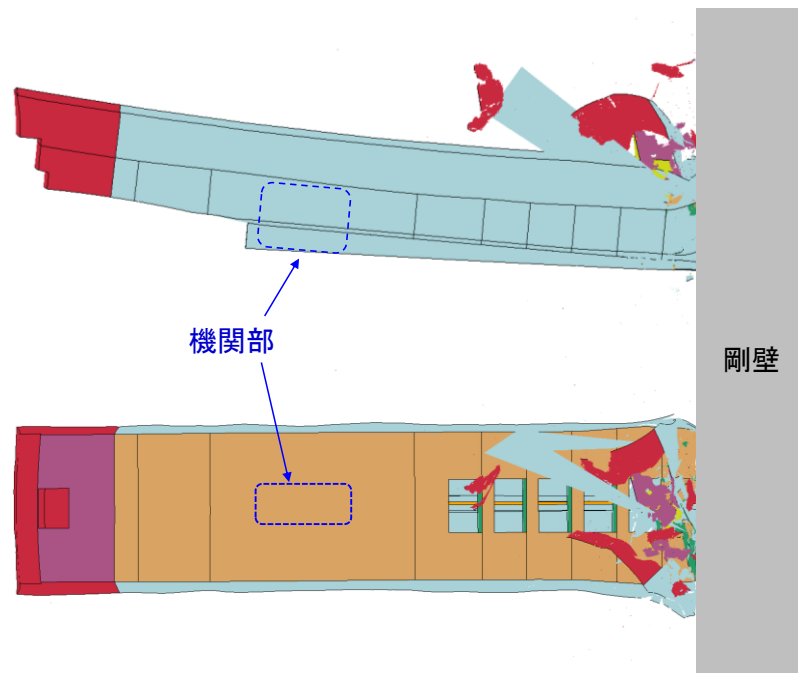


図 2-3 (3/3) 衝突解析による機関部の損傷状況
(破壊ひずみ変更ケース)

表2-5 機関部の衝突する可能性の確認結果
(破壊ひずみ変更ケース)

ケース	衝突方向	機関部損傷の 可能性有無
①	船首	無
②	船尾	無
③	真横	無 (剛壁に最も接近する)
④	斜め船首	無
⑤	斜め船尾	無

ケース⑥ 船首衝突（衝突しない）



ケース⑦ 船尾衝突（衝突しない）

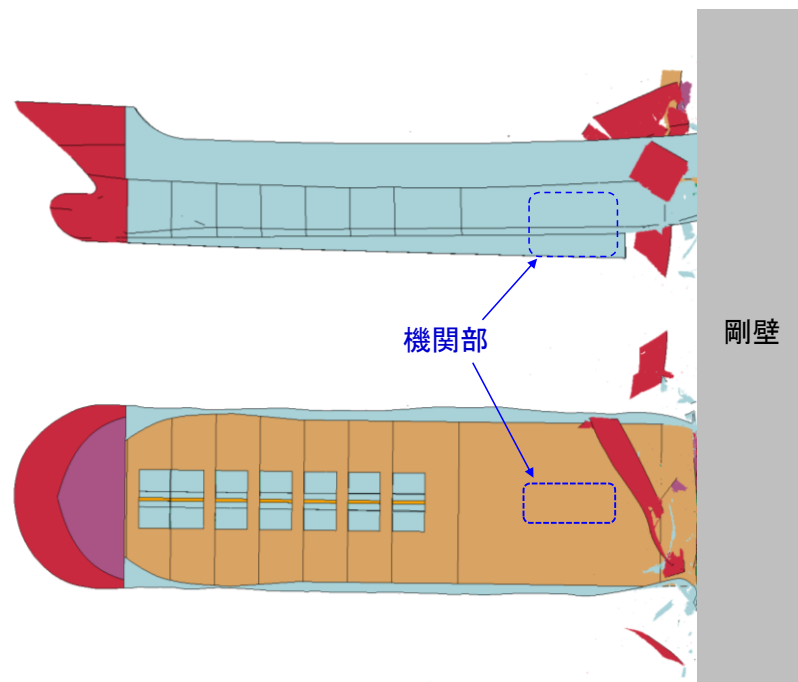
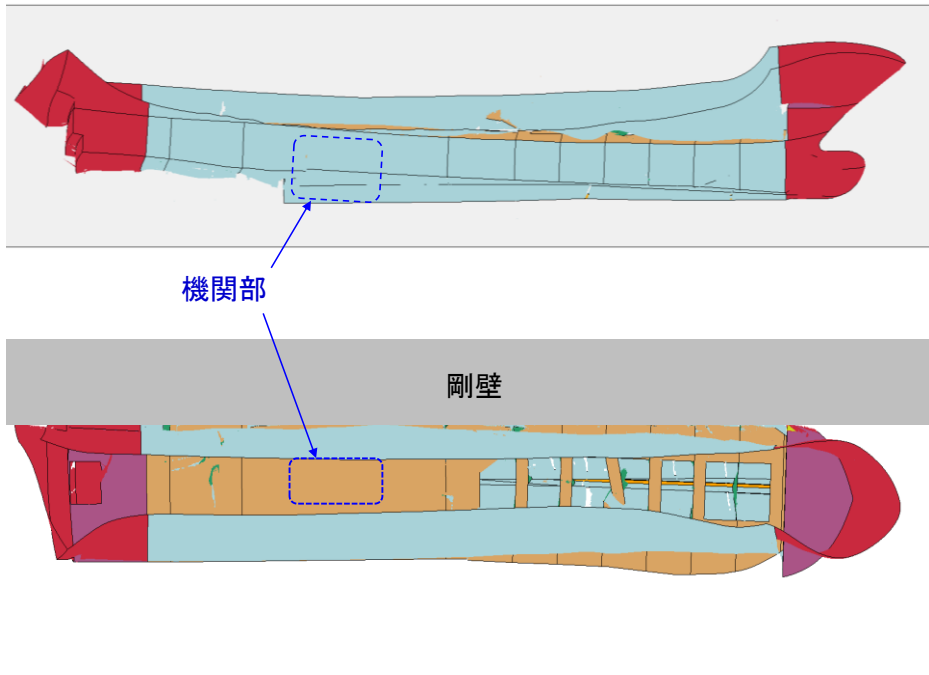


図 2-4 (1/3) 衝突解析による機関部の損傷状況
(曲げ強度変更ケース)

ケース⑧ 真横衝突（衝突しない：剛壁に最も接近する時刻0.27秒）



ケース⑨ 斜め船首衝突（衝突しない）

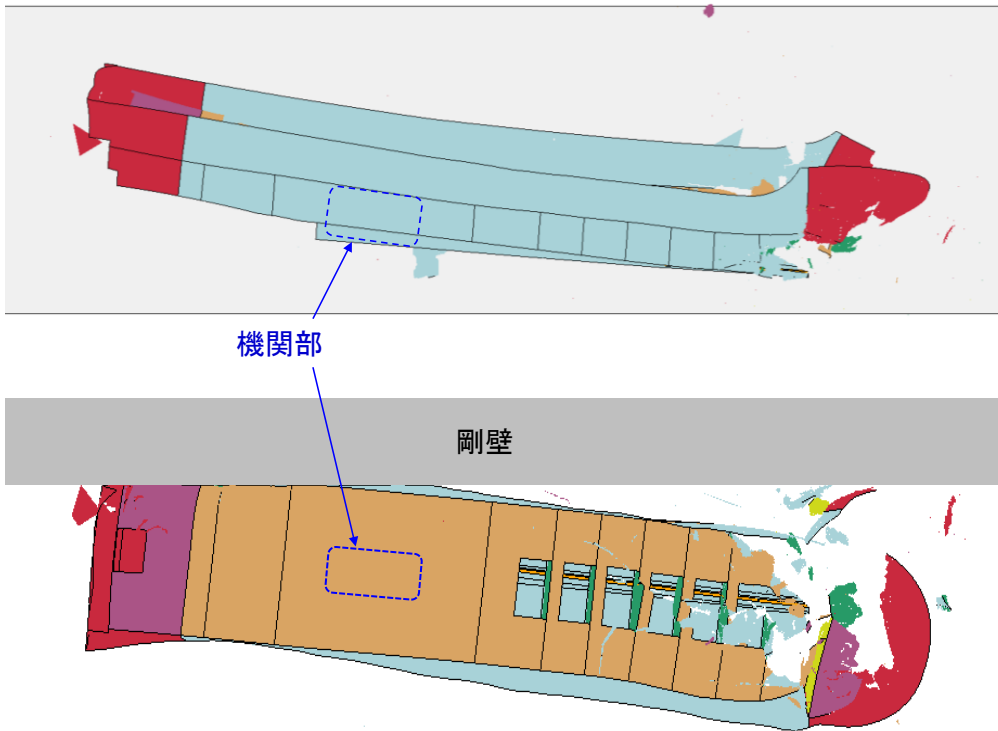


図 2-4 (2/3) 衝突解析による機関部の損傷状況
(曲げ強度変更ケース)

ケース⑩ 斜め船尾衝突（衝突しない）

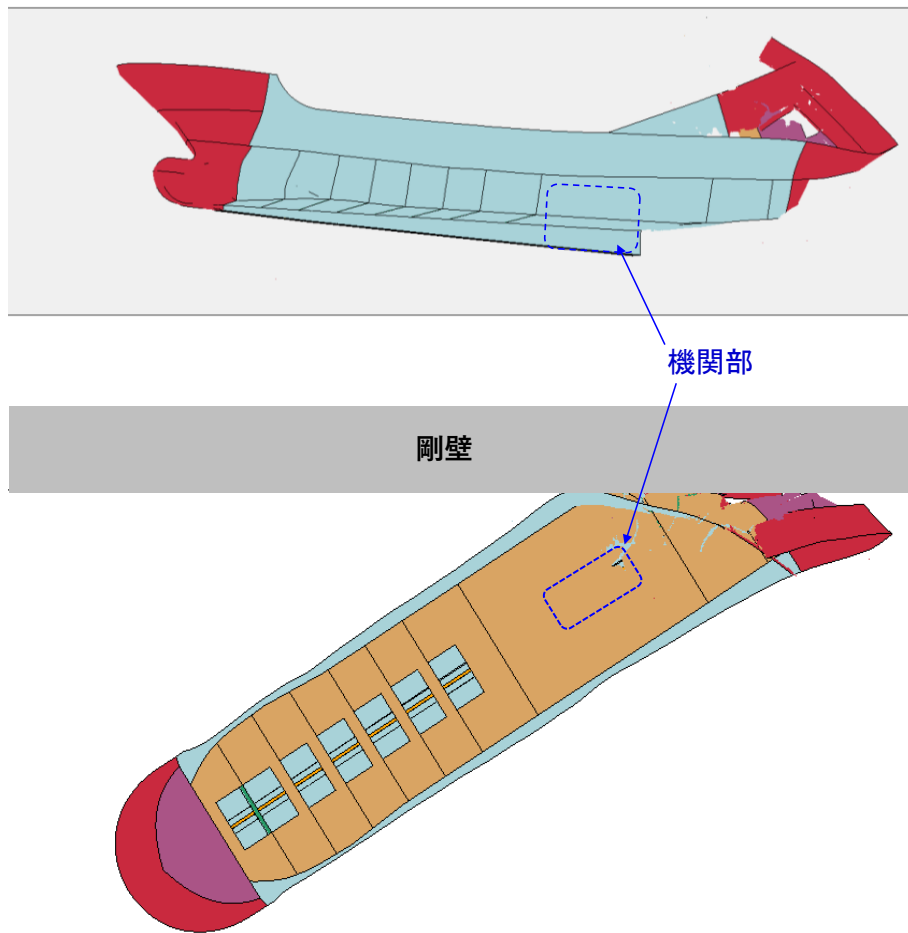


図 2-4 (3/3) 衝突解析による機関部の損傷状況
(曲げ強度変更ケース)

表2-6 機関部の衝突する可能性の確認結果
(曲げ強度変更ケース)

ケース	衝突方向	機関部損傷の可能性有無
⑥	船首	無
⑦	船尾	無
⑧	真横	無 (剛壁に最も接近する)
⑨	斜め船首	無
⑩	斜め船尾	無

機関部が剛壁に最も接近するケース③，⑧（真横）を選定し，機関部が剛壁に衝突するものとして仮定し，機関部の衝突による影響検討を実施する。

破壊ひずみ変更ケースにおいて，ケース③（真横衝突）における速度の時刻歴を図2-5に示す。図2-5より，ケース③（真横衝突）において機関部衝突時刻を0.40秒と仮定した場合における，機関部の衝突速度は1.42m/sとなるため，安全側に機関部の衝突速度を2.0m/sとして，衝突荷重を算定する。

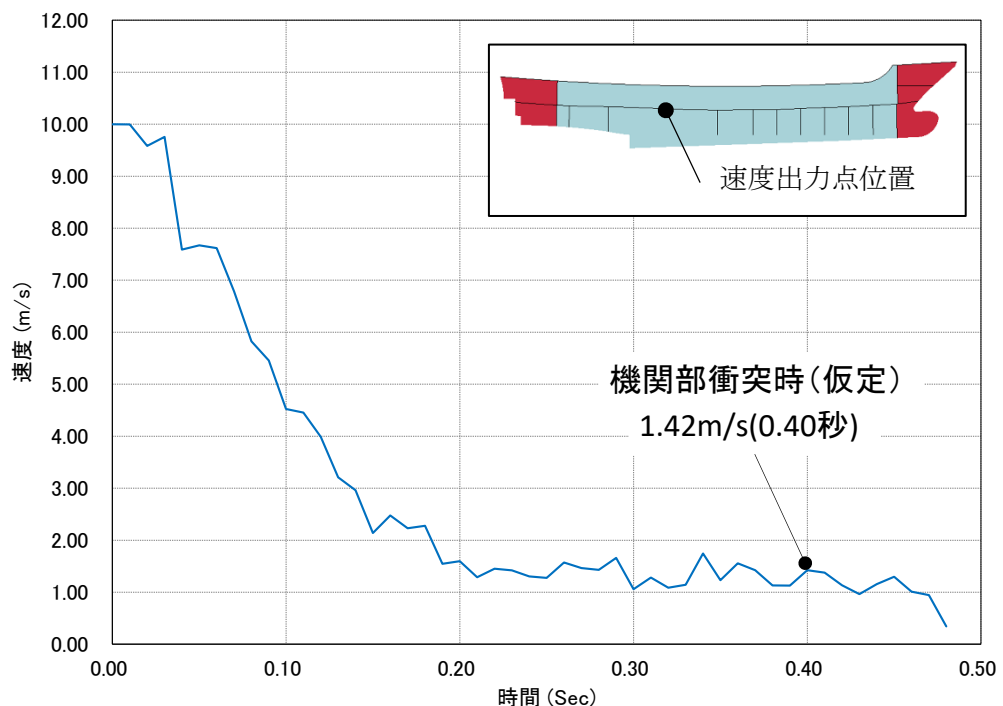


図 2-5 機関部衝突時の速度
(破壊ひずみ変更ケース，ケース③)

曲げ強度変更ケースにおいて，ケース⑧（真横衝突）における速度の時刻歴を図2-6に示す。図2-6より，ケース⑧（真横衝突）において機関部に最接近する時刻は0.28秒だが，衝突運動が終了している。機関部の衝突による影響検討を実施するため，衝突運動が終了する直前の衝突時刻0.27秒に機関部が衝突すると仮定した場合，衝突速度は0.18m/sとなるため，安全側に機関部の衝突速度を1.0m/sとして，衝突荷重を算定する。

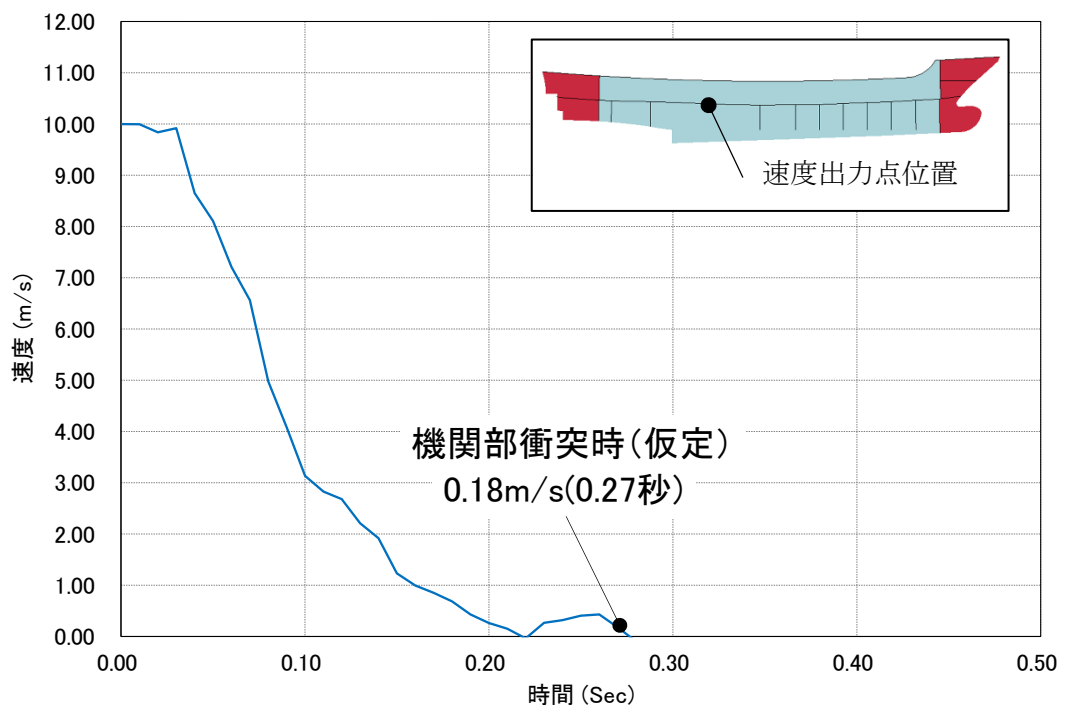


図 2-6 機関部衝突時の速度
(曲げ強度変更ケース, ケース⑧)

3. 既往の算定式による機関部の衝突荷重の算定方法

機関部の衝突荷重の算定に当たっては、「道路橋示方書(2002)」及び「FEMA(2012)」を用いる。

「FEMA(2012)」による機関部の衝突荷重算定にあたり、機関部の軸剛性が衝突荷重の算定において重要なパラメータとなる。船舶の機関部が全て剛性の大きい鋼材で構成されていると仮定すると、以降の整理結果より機関部の衝突は、車両の衝突に置き換えることが可能であると判断し、船舶機関部の軸剛性として車両の軸剛性を用いて算出する。

- ・FRP製船舶(総トン数19トン)の主機関は4ストロークディーゼルであり、普通車のエンジンも同様に4ストローク機関が一般的であるため、自動車エンジンとFRP製船舶の機関部は同等である。
- ・車両のエンジンは、一般的に車体前方に固定されており、バンパービーム、クラッシュボックス、フロントサイドメンバー等(図3-1)に囲まれ、外部からの衝撃を受け難い構造となっている。一方、FRP製船舶(総トン数19トン)の機関部は、一般的に船殻に直接取り付けられており、車両のようにフロントサイドメンバーのような機関部を保護するような構造はないため、車両のエンジンは、FRP製船舶の機関部よりも剛性の高いもので囲まれている。

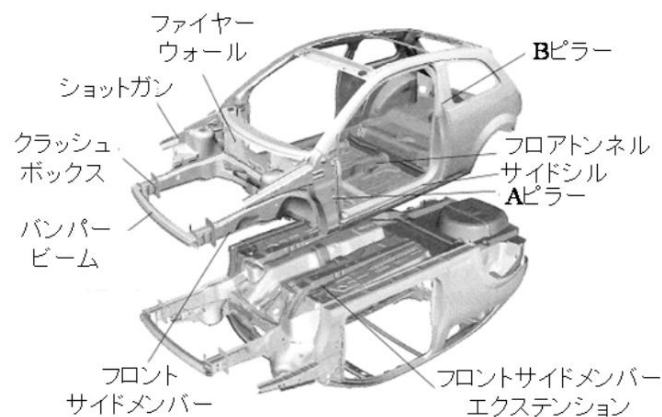


図3-1 車体構造(高島ほか(2015)*)

注記*: 高島大輔・木原直人・宮川義範・甲斐田秀樹・柴山淳・池野正明(2015):津波漂流物の衝突力推定における軸剛性モデル, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol.71, No.2, I_1015-I_1020, 2015.

車両の軸剛性の設定における既往文献の整理結果を以下に示す。

【甲斐田・木原（2017）*¹】

甲斐田・木原（2017）では、高島ほか（2015）及び久保田・國分（1995）*²の文献を基に、車両の車種ごとにおける軸剛性を以下のとおり整理されている。

- ・大型乗用車 : $1.3 \times 10^6 \sim 2.8 \times 10^6$ N/m
(久保田・國分（1995）の試験結果から算定)
- ・セダン型乗用車 : $9.0 \times 10^5 \sim 2.4 \times 10^6$ N/m
(久保田・國分（1995）の試験結果から算定)
- ・軽自動車 : $6.3 \times 10^3 \sim 2.1 \times 10^6$ N/m
(高島ほか（2015）の実験結果)

【久保田・國分（1995）】

「久保田・國分（1995）」では、米国道路交通安全局（NHTSA）が車両の衝突特性を評価するために実施しているN C A P（New Car Assessment Program）の試験データを基に、各車種における荷重変形特性として、荷重と変形量の関係が整理されている。

注記*1：甲斐田秀樹・木原直人（2017）：原子力発電所における津波漂流物の影響評価技術—現状調査とその適用に関する考察—，電力中央研究所報告 016010，2017.

*2：久保田正美・國分善晴（1995）：前面形状別の車体エネルギー吸収特性，自動車研究，17-1，pp19-22，1995.

「久保田・國分（1995）」及びN C A Pの試験データには、大型乗用車の規模について明確に記載されていないが、一般的にバス等の大型乗用車は、普通自動車の最大車両総重量約 3.5 トン（道路交通法施行規則）よりも重い。したがって、総トン数 19 トン船舶の機関部（重量 4 トン）の軸剛性は、重量が同等以上と想定される「甲斐田・木原（2017）」の大型乗用車の軸剛性（上限値 = 2.8×10^6 N/m）を用いる。

4. 機関部の衝突荷重の算定結果

機関部の衝突荷重を「道路橋示方書（2002）」及び「F E M A（2012）」により算定する。なお、衝突荷重の算定に用いる衝突速度は、破壊ひずみ変更ケースにおいては図 2-3 の結果から安全側に 2.0m/s とする。また、曲げ強度変更ケースにおいては図 2-4 の結果から安全側に 1.0m/s とする。なお、対象となる船舶に対する調査結果より、船舶（総トン数 19 トン）に搭載されているエンジンの最大重量は 4.0 t（型式：S6R2-MTK3L）であることを確認している。

以下に「道路橋示方書（2002）」及び「F E M A（2012）」の算定式を示す。

【衝突荷重算定式：道路橋示方書（2002）】

$$P = 0.1Wv$$

ここに、

- P : 衝突力 (kN)
- W : 流送物の重量 (kN) = 39.3
- v : 表面流速 (m/s) = 衝突速度

【衝突荷重算定式：F E M A（2012）】

$$F_i = 1.3u_{max}\sqrt{k_c m(1+c)}$$

ここに、

- F_i : 衝突力 (N)
- u_{max} : 最大流速 (m/s) = 衝突速度
- k_c : 漂流物の有効軸剛性 (N/m) = 2.8×10^6
- m : 漂流物の質量 (kgf) = 4,000
- c : 付加質量係数 = 1

機関部の衝突荷重の算定結果として、破壊ひずみ変更ケースを表 4-1 に、曲げ強度変更ケースを表 4-2 に示す。どちらのケースにおいても「道路橋示方書（2002）」による衝突荷重は、「FEMA（2012）」による衝突荷重に包絡されることから、破壊ひずみ変更ケースにおける機関部の衝突荷重は「FEMA（2012）」により算定される 389kN を、曲げ強度変更ケースにおける機関部の衝突荷重は「FEMA（2012）」により算定される 195kN を選定する。

表 4-1 既往の算定式による機関部の衝突荷重
(破壊ひずみ変更ケース)

算定手法	道路橋示方書（2002）	FEMA（2012）
衝突物	機関部（エンジン）	機関部（エンジン）
衝突速度（m/s）	2.0	2.0
質量（tf）	4.0	4.0
衝突荷重（kN）	8	389

表 4-2 既往の算定式による機関部の衝突荷重
(曲げ強度変更ケース)

算定手法	道路橋示方書（2002）	FEMA（2012）
衝突物	機関部（エンジン）	機関部（エンジン）
衝突速度（m/s）	1.0	1.0
質量（tf）	4.0	4.0
衝突荷重（kN）	4	195

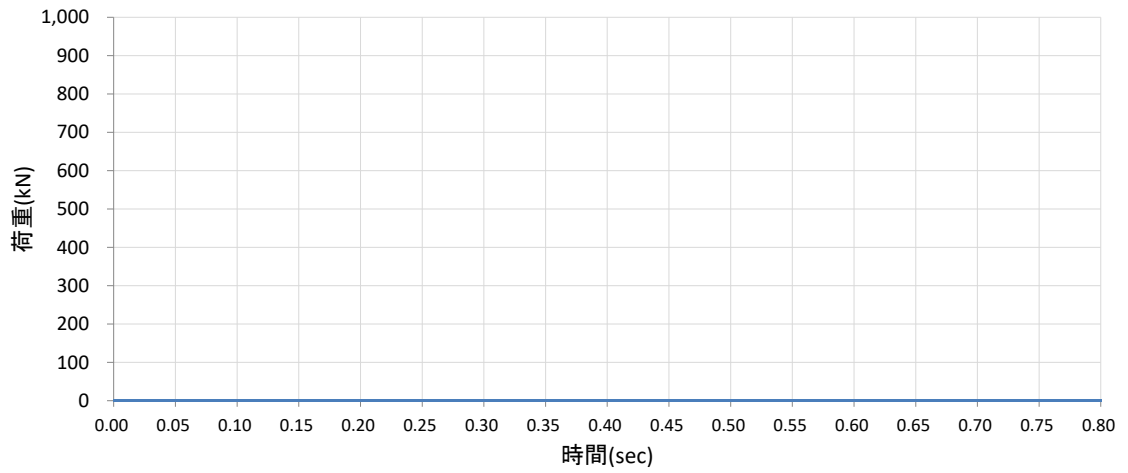
破壊ひずみ変更ケースのケース③（真横衝突）における剛壁 1 m 当たりの衝突荷重の時刻歴を図 4-1 に示す。曲げ強度変更ケースのケース⑧（真横衝突）における剛壁 1 m 当たりの衝突荷重の時刻歴を図 4-2 に示す。

図 4-1 より、機関部が衝突すると仮定した時刻 0.40 秒における剛壁 1 m 当たりの最大衝突荷重は、剛壁⑭において 56kN となることを確認した。

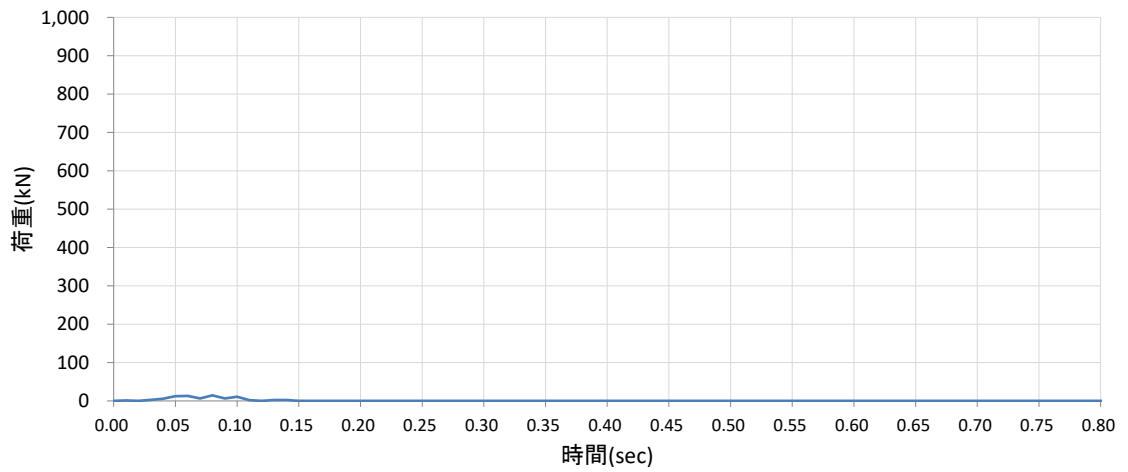
図 4-2 より、機関部が衝突すると仮定した時刻 0.27 秒における剛壁 1 m 当たりの最大衝突荷重は、剛壁⑭において 64kN となることを確認した。

機関部衝突と船体衝突の同時作用の考慮においては、安全側に剛壁 1 m 当たりの最大衝突荷重を船体の衝突荷重とし、破壊ひずみ変更ケースでは 56kN、曲げ強度変更ケースでは 64kN とする。船体の衝突荷重として考慮する衝突荷重を表 4-3 に示す。

剛壁番号①



剛壁番号②



剛壁番号③

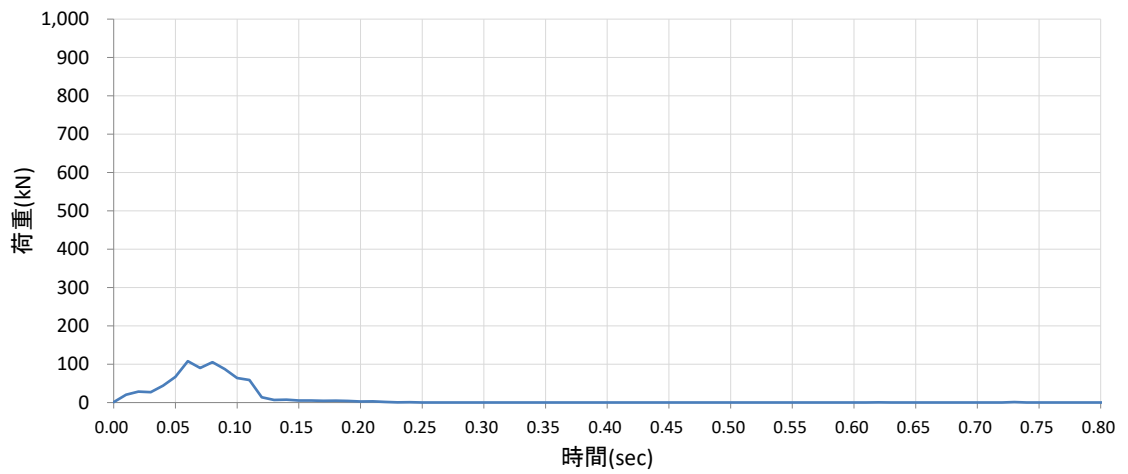
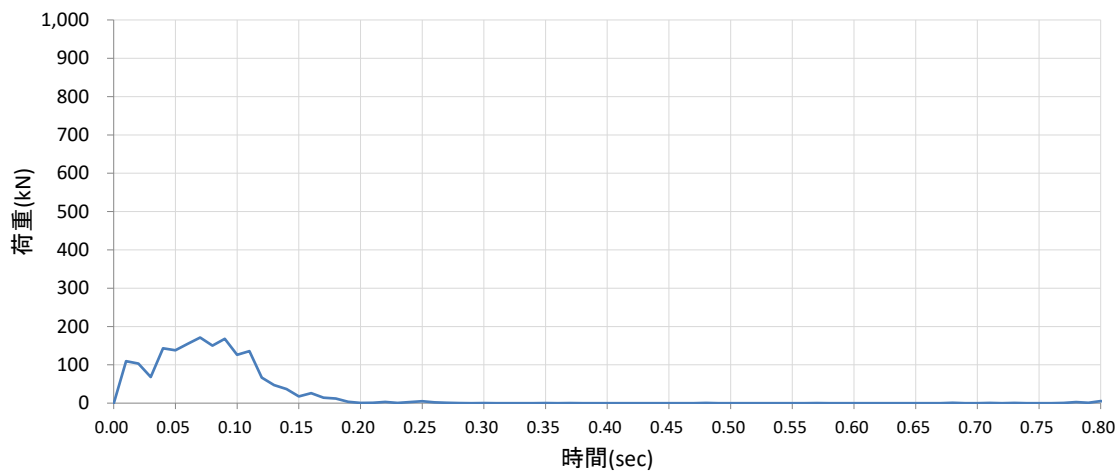
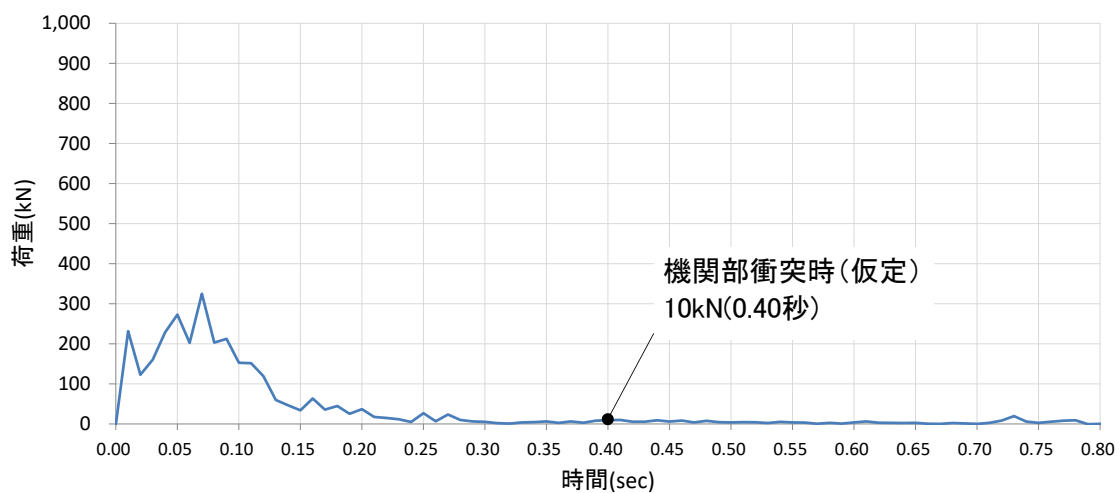


図 4-1 (1/9) 剛壁 1 m 当たりの衝突荷重の時刻歴
(破壊ひずみ変更ケース, ケース③)

剛壁番号④



剛壁番号⑤



剛壁番号⑥

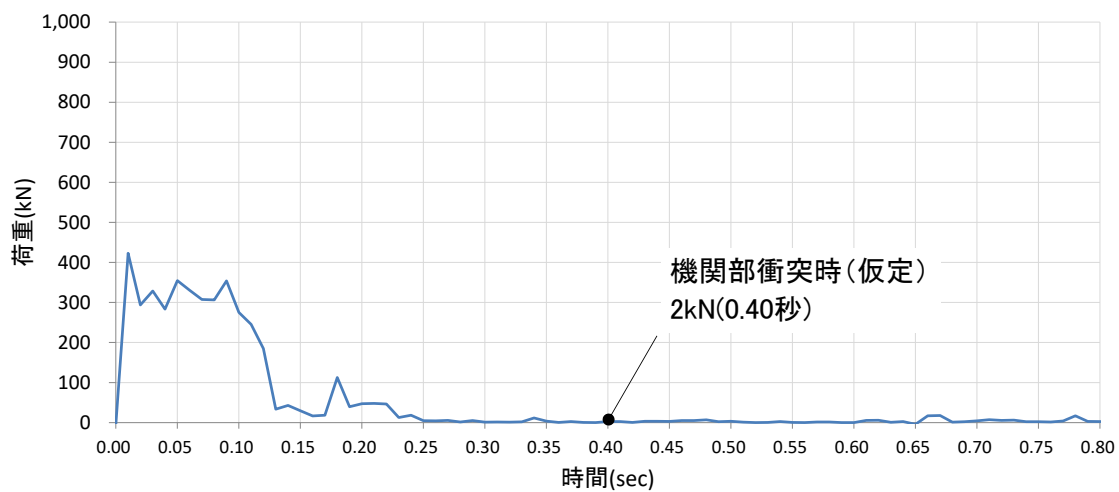
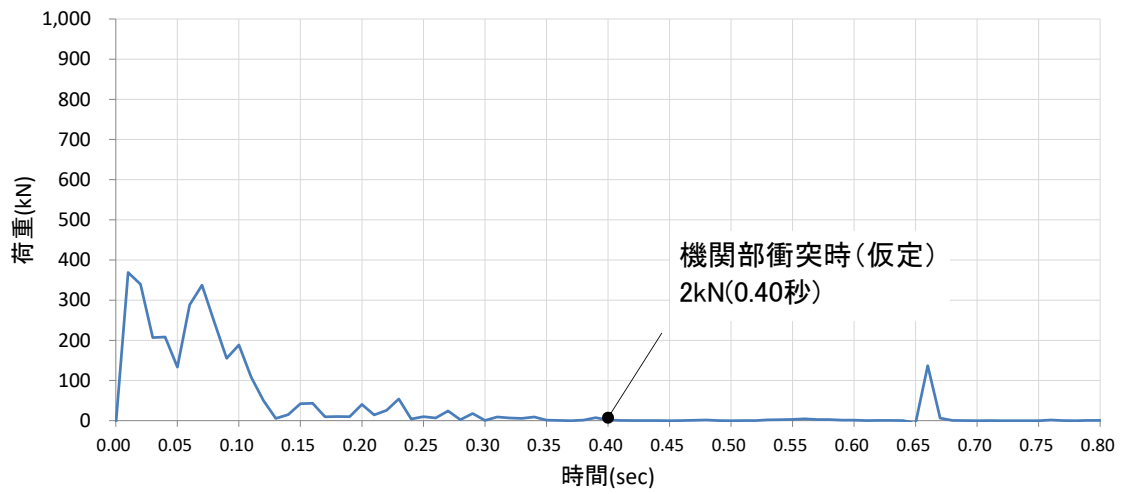
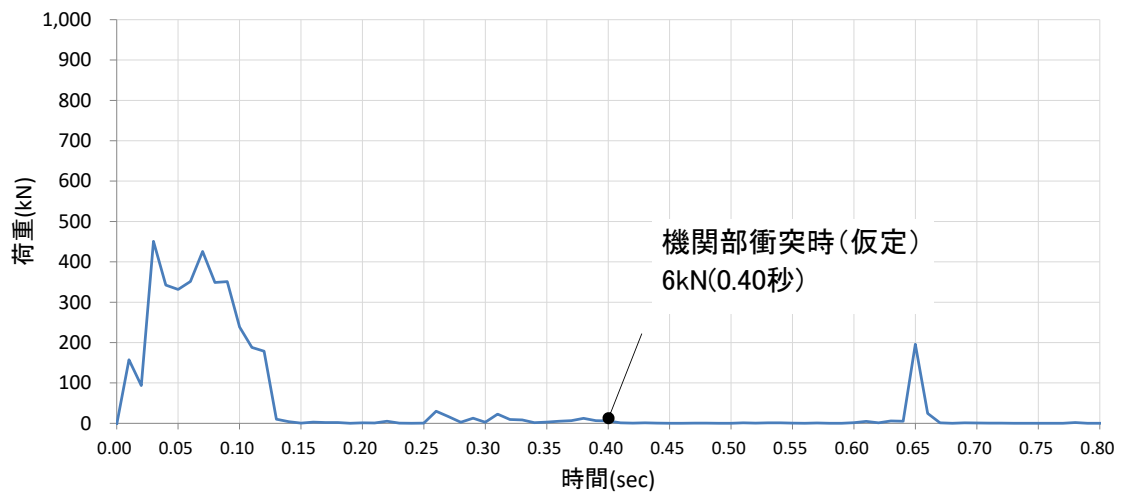


図 4-1 (2/9) 剛壁 1 m 当たりの衝突荷重の時刻歴
(破壊ひずみ変更ケース, ケース③)

剛壁番号⑦



剛壁番号⑧



剛壁番号⑨

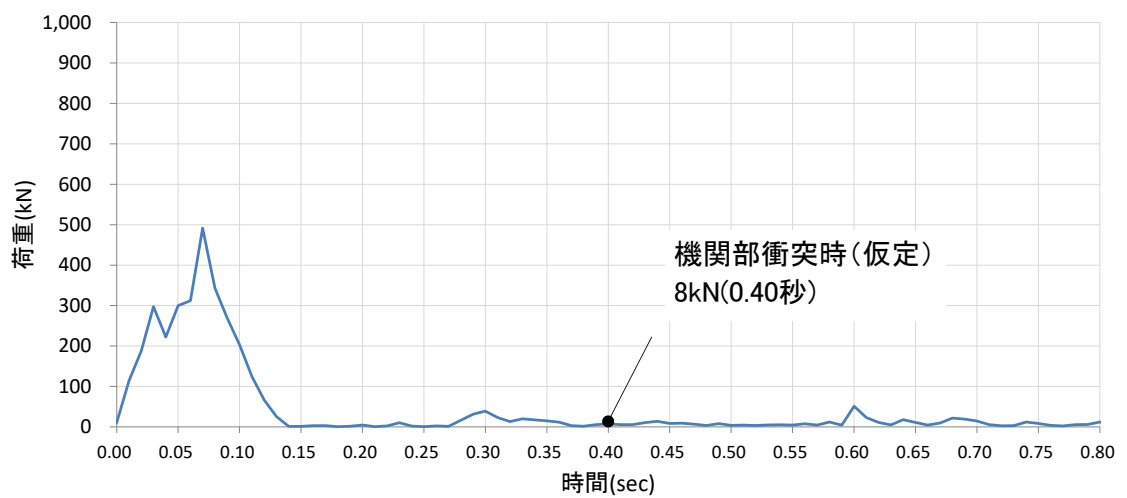
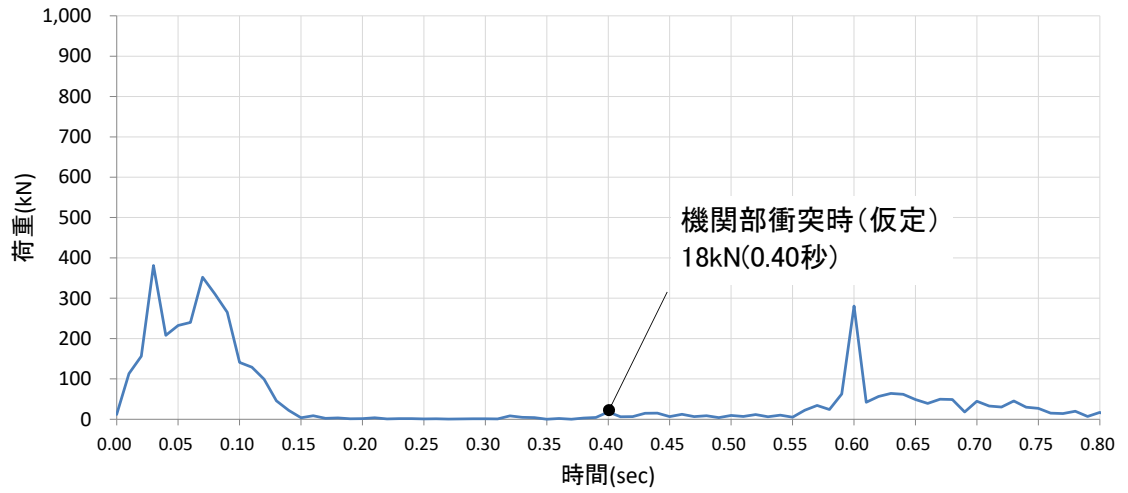
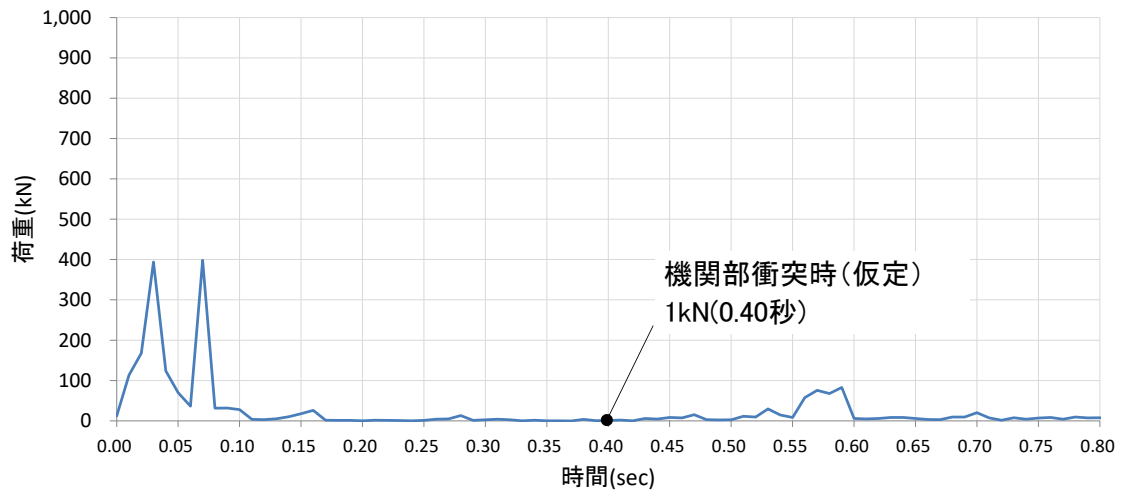


図 4-1 (3/9) 剛壁 1 m 当たりの衝突荷重の時刻歴
(破壊ひずみ変更ケース, ケース③)

剛壁番号⑩



剛壁番号⑪



剛壁番号⑫

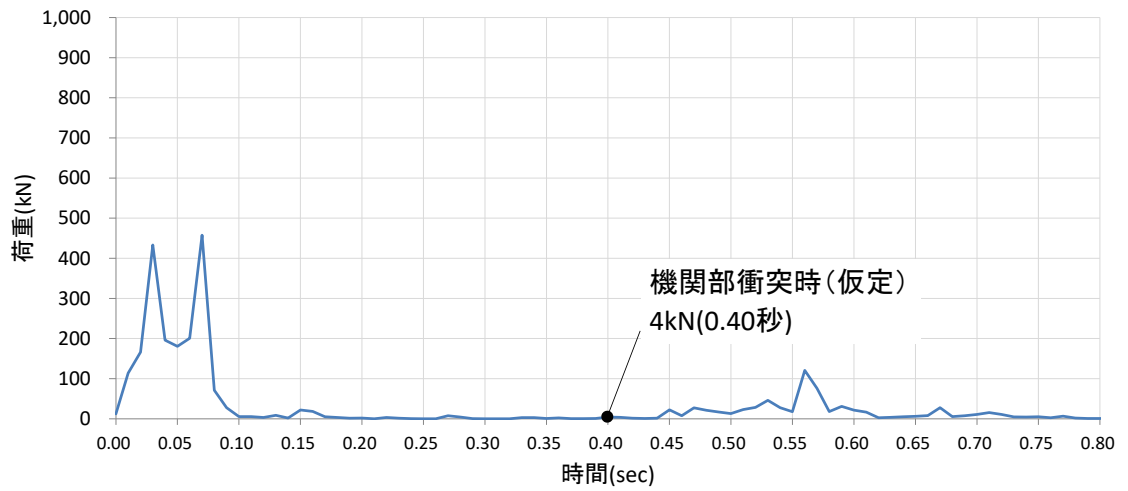
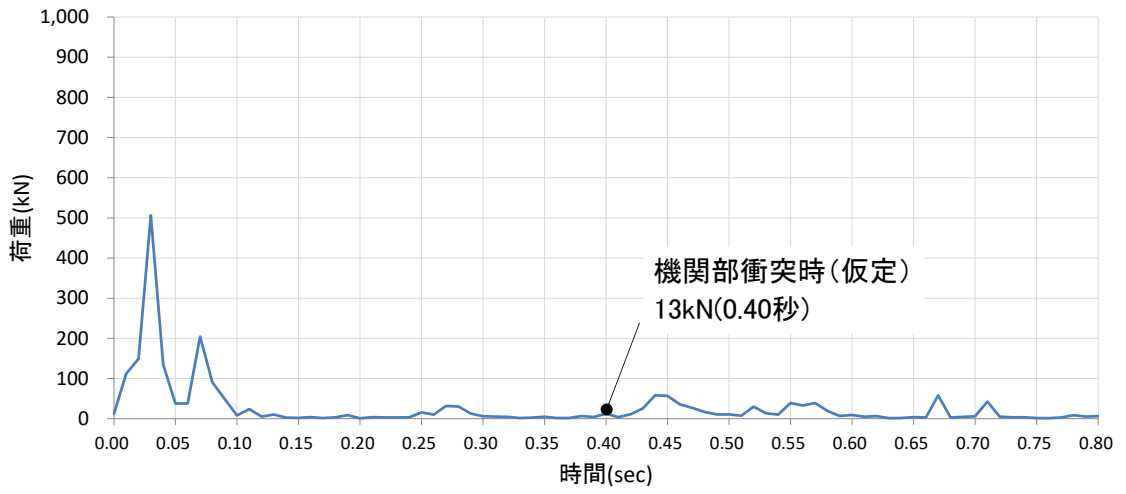
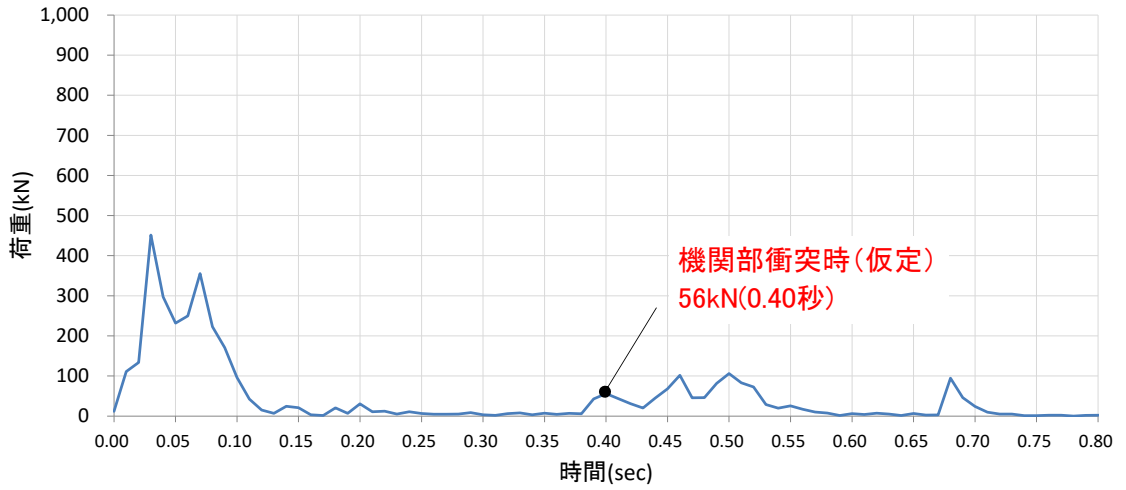


図 4-1 (4/9) 剛壁 1 m 当たりの衝突荷重の時刻歴
(破壊ひずみ変更ケース, ケース③)

剛壁番号⑬



剛壁番号⑭



剛壁番号⑮

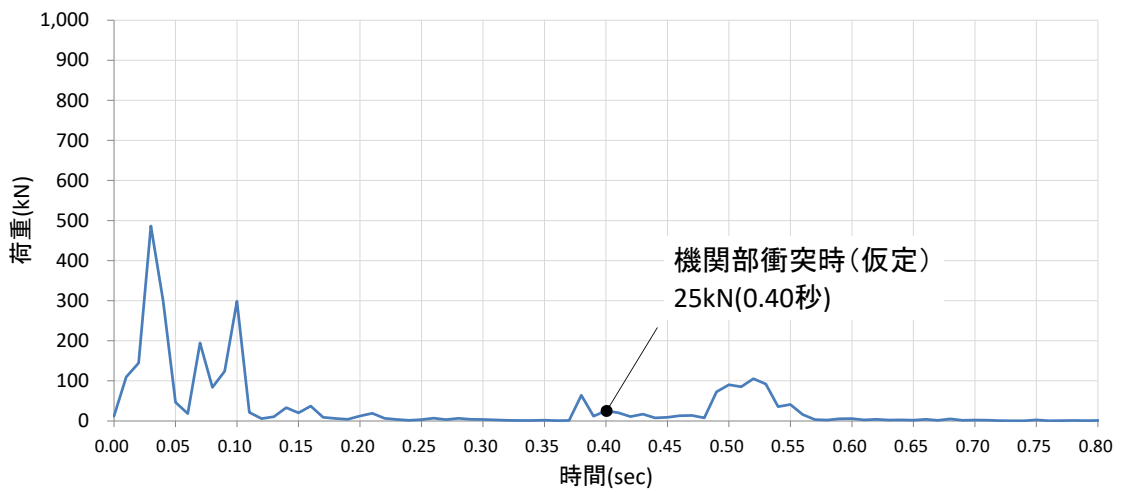
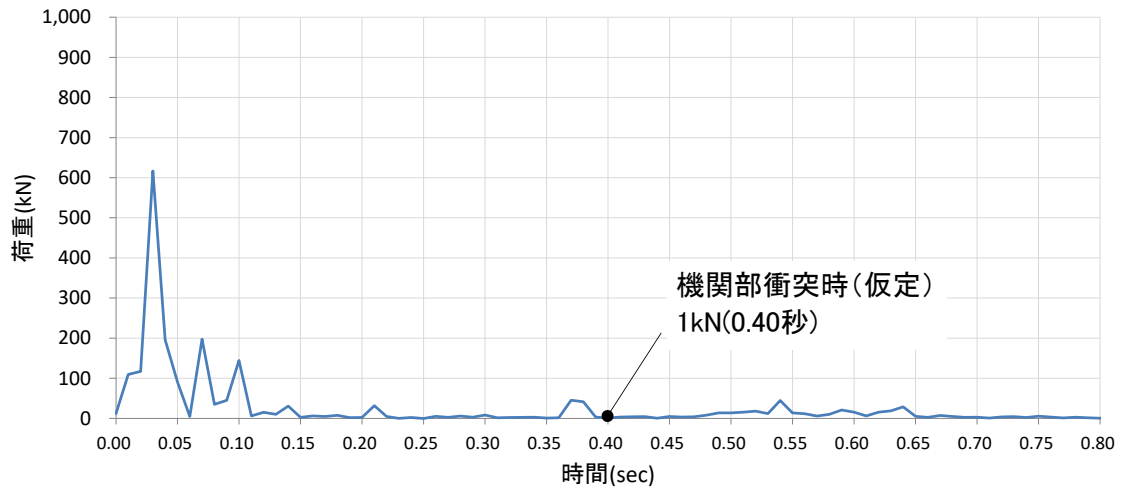
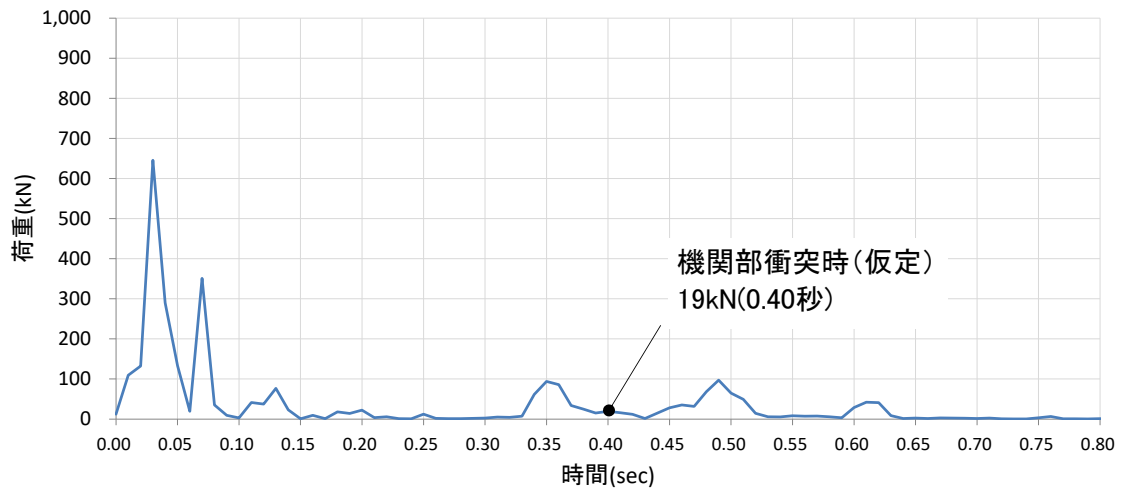


図 4-1 (5/9) 剛壁 1 m 当たりの衝突荷重の時刻歴
(破壊ひずみ変更ケース, ケース③)

剛壁番号⑬



剛壁番号⑭



剛壁番号⑮

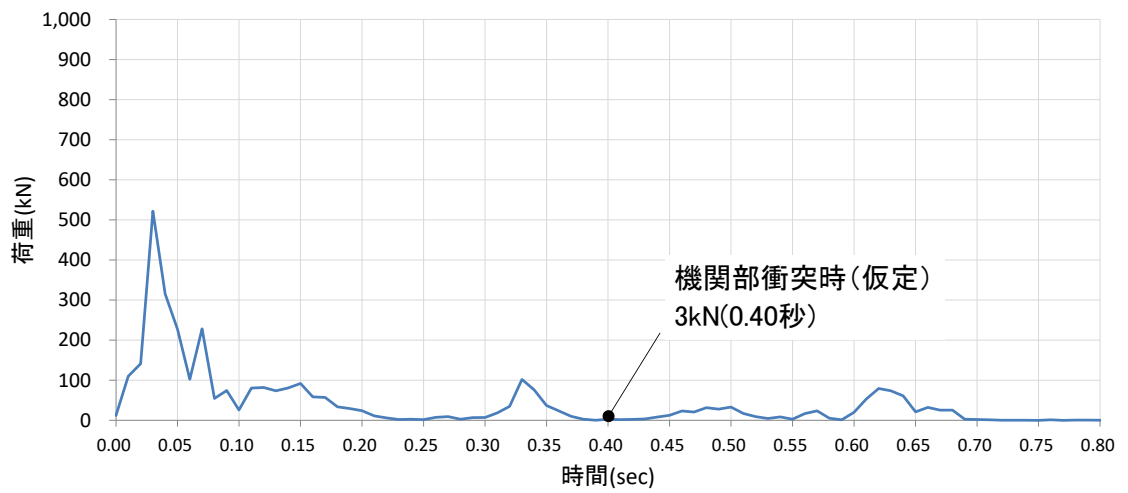
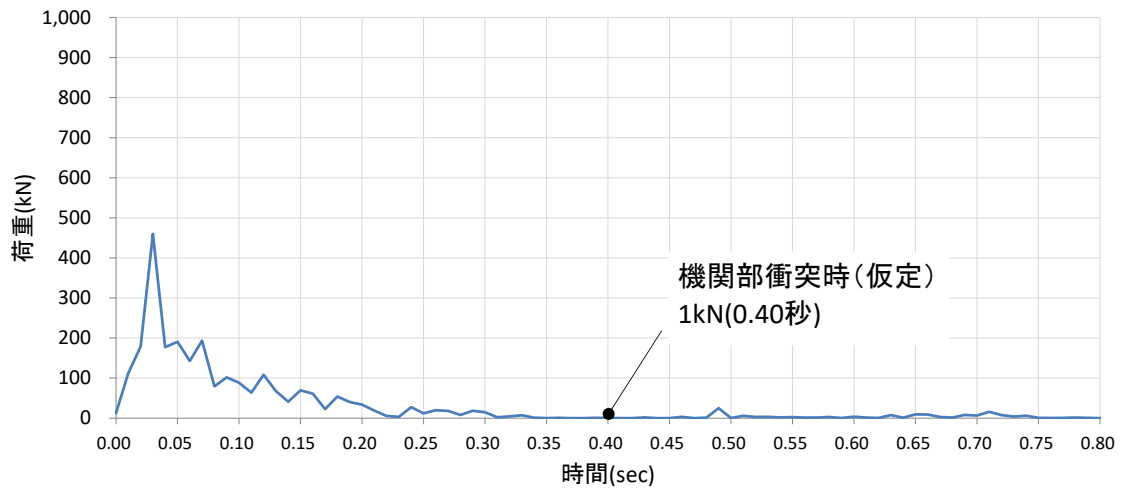
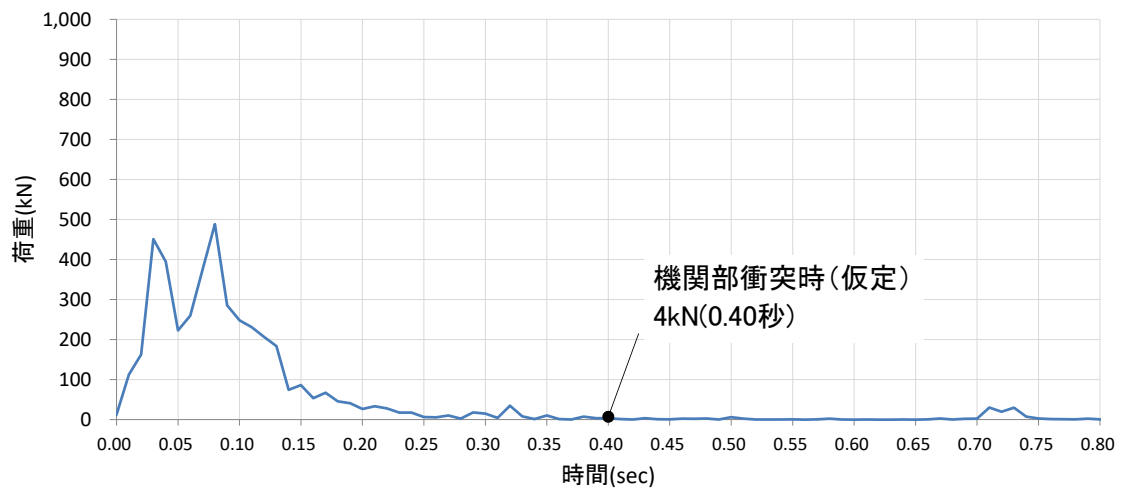


図 4-1 (6/9) 剛壁 1 m 当たりの衝突荷重の時刻歴
(破壊ひずみ変更ケース, ケース③)

剛壁番号⑱



剛壁番号㉔



剛壁番号㉑

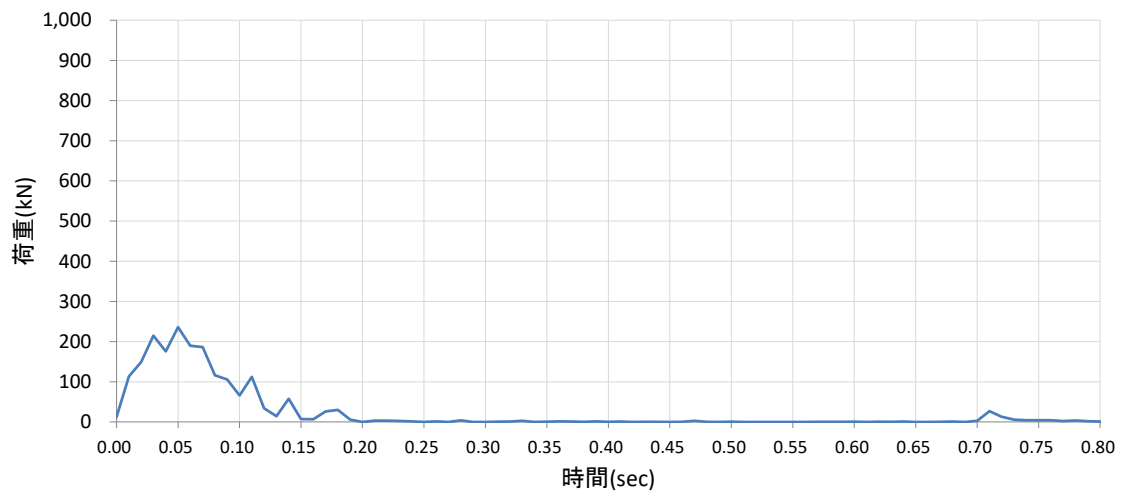
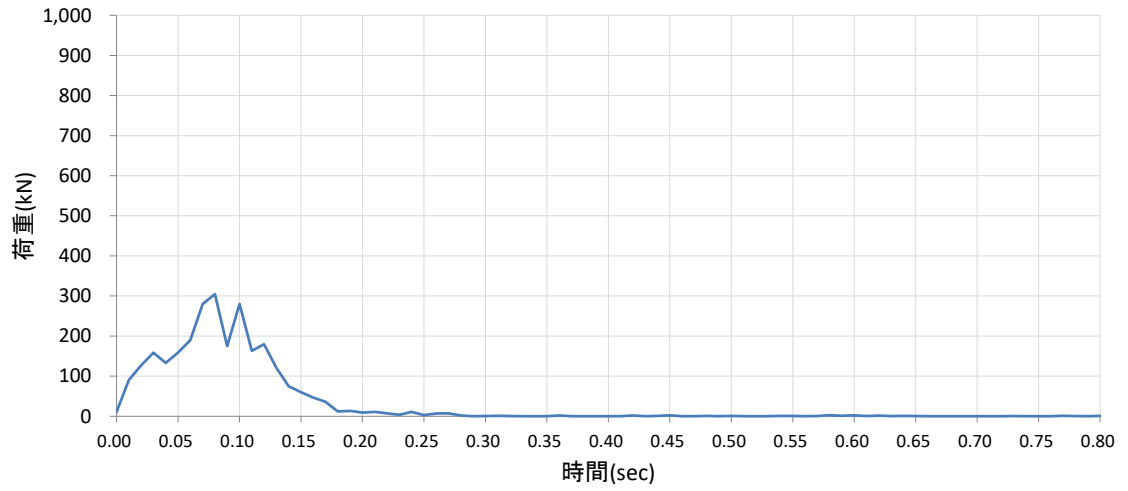
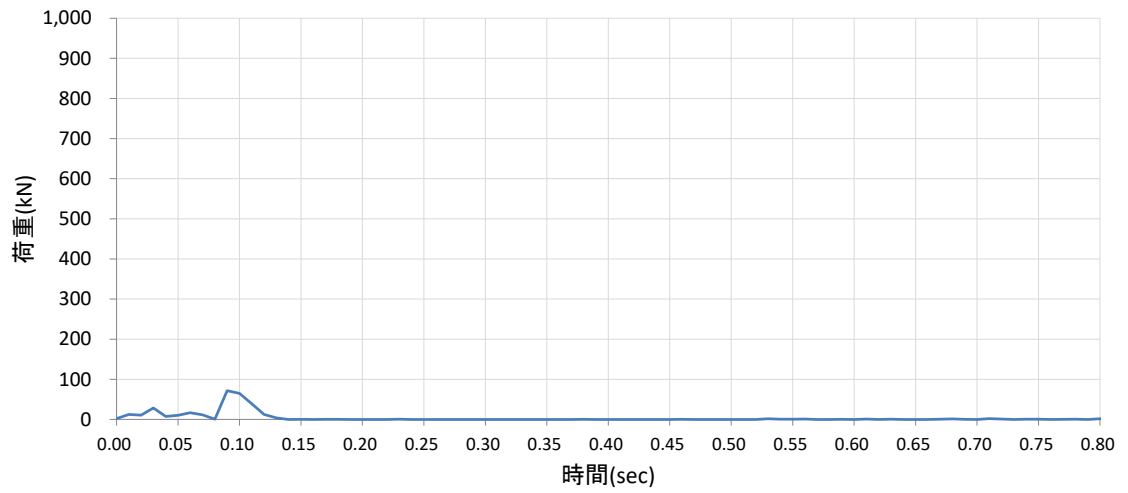


図 4-1 (7/9) 剛壁 1 m 当たりの衝突荷重の時刻歴
(破壊ひずみ変更ケース, ケース③)

剛壁番号②



剛壁番号③



剛壁番号④

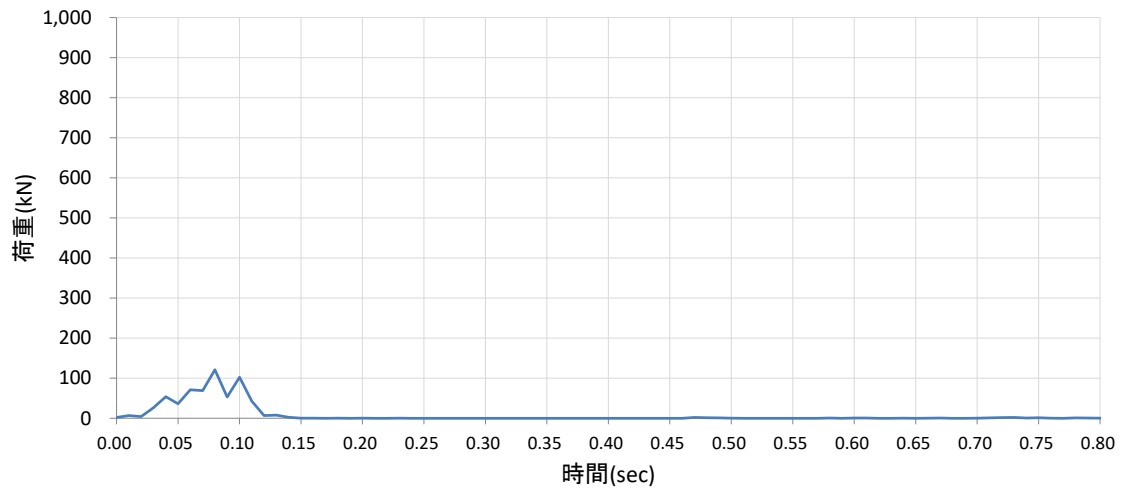


図 4-1 (8/9) 剛壁 1 m 当たりの衝突荷重の時系列
(破壊ひずみ変更ケース, ケース③)

剛壁番号②⑤

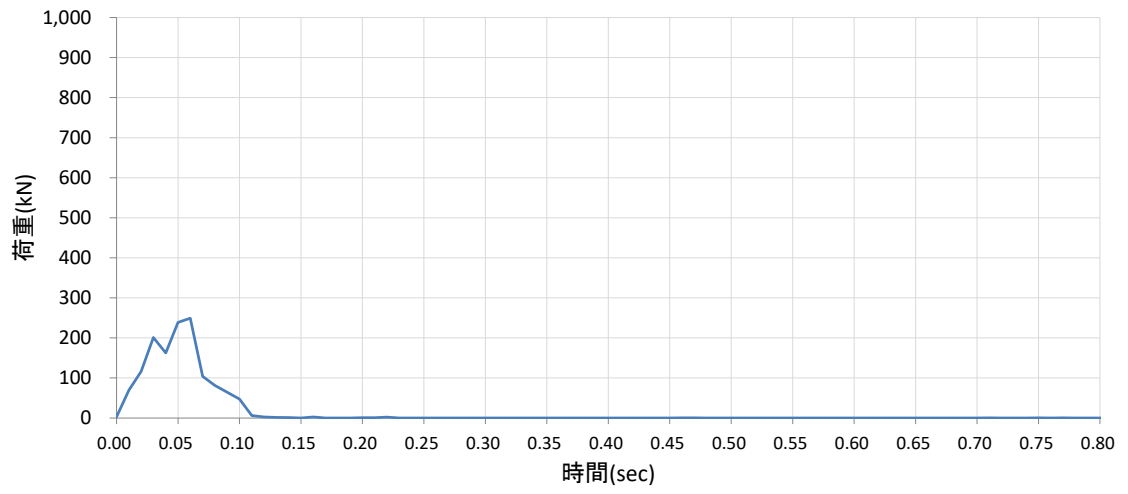
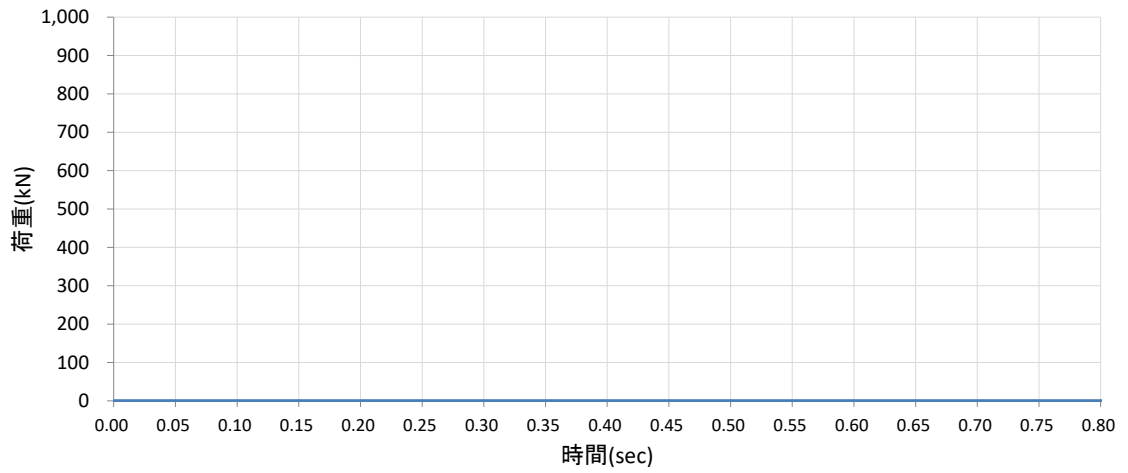
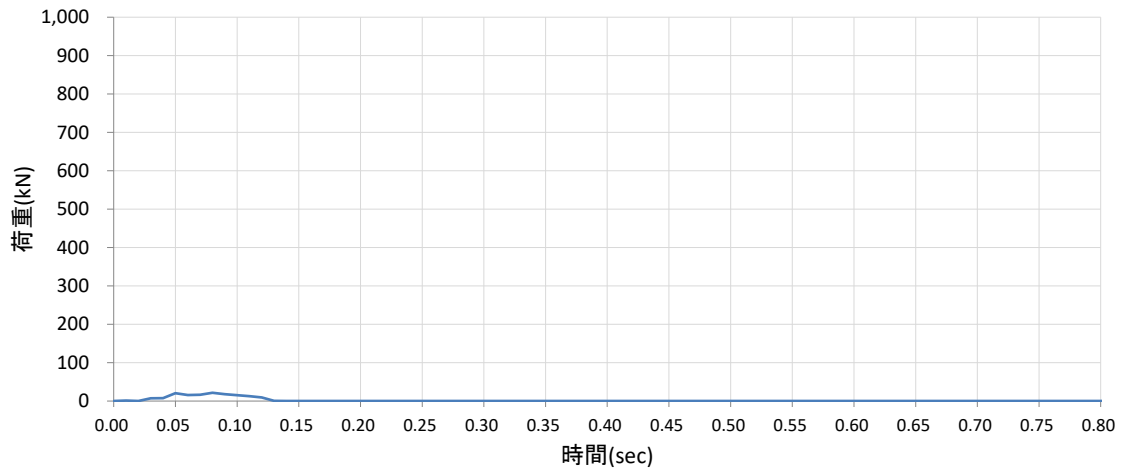


図 4-1 (9/9) 剛壁 1 m 当たりの衝突荷重の時刻歴
(破壊ひずみ変更ケース, ケース③)

剛壁番号①



剛壁番号②



剛壁番号③

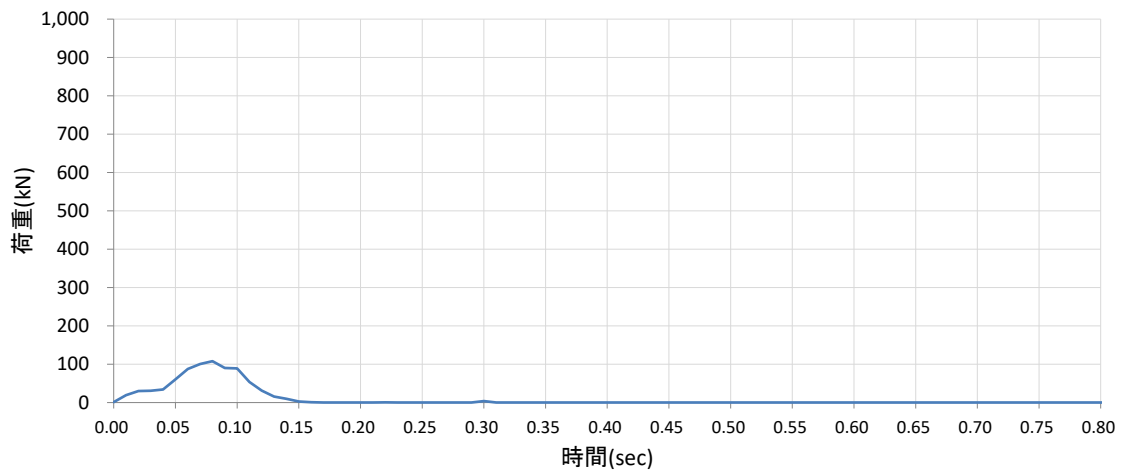
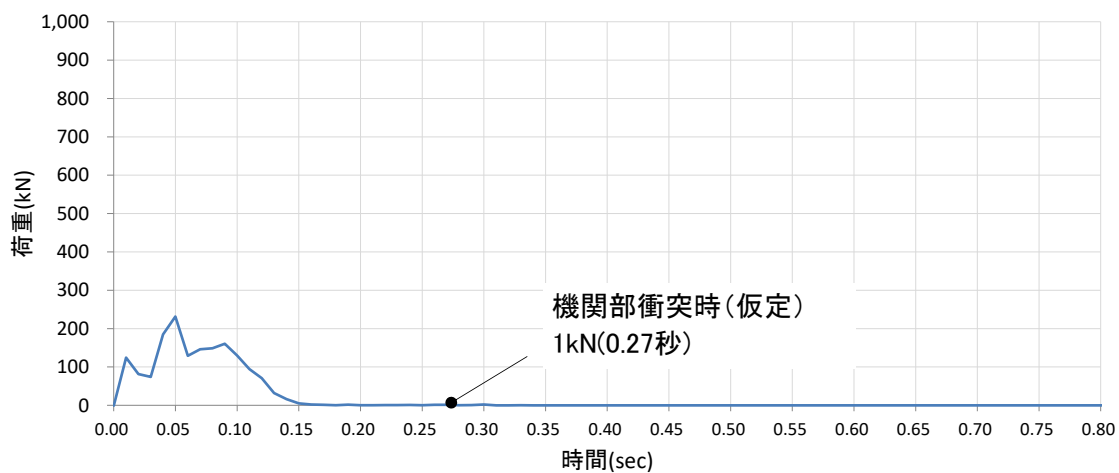
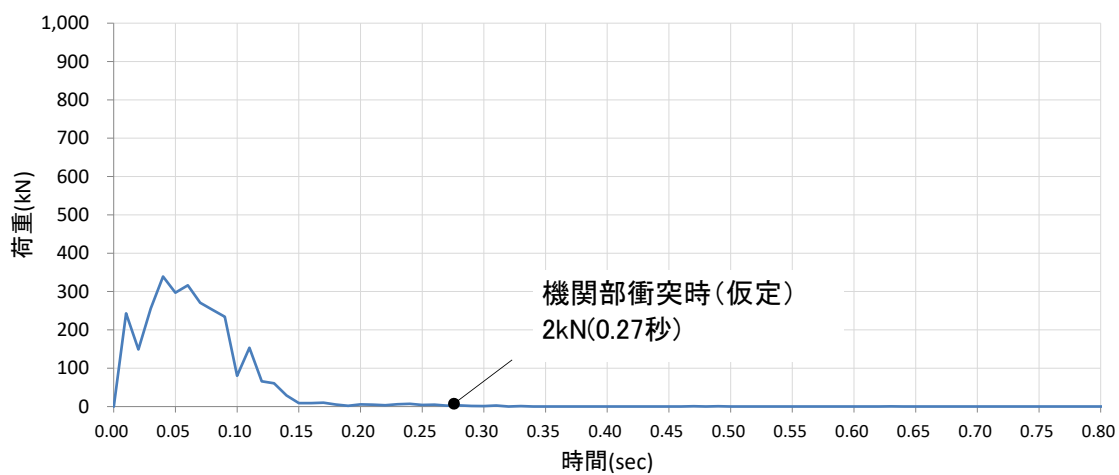


図 4-2 (1/9) 剛壁 1 m 当たりの衝突荷重の時刻歴
(曲げ強度変更ケース, ケース⑧)

剛壁番号④



剛壁番号⑤



剛壁番号⑥

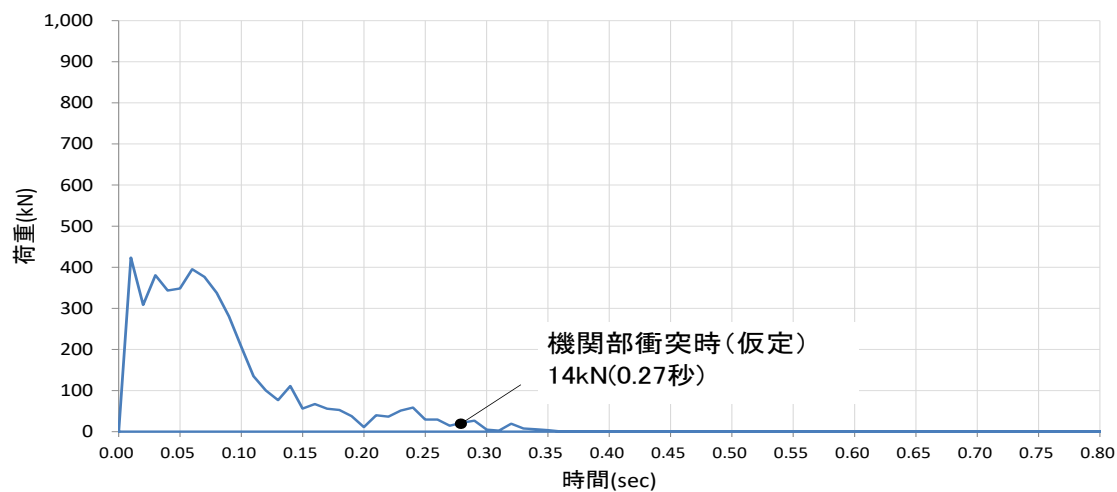
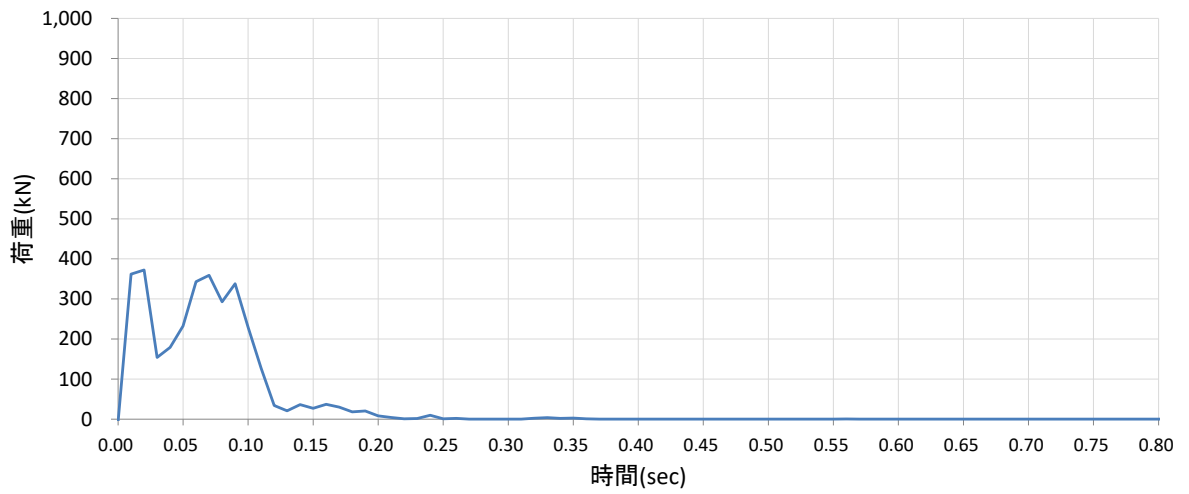
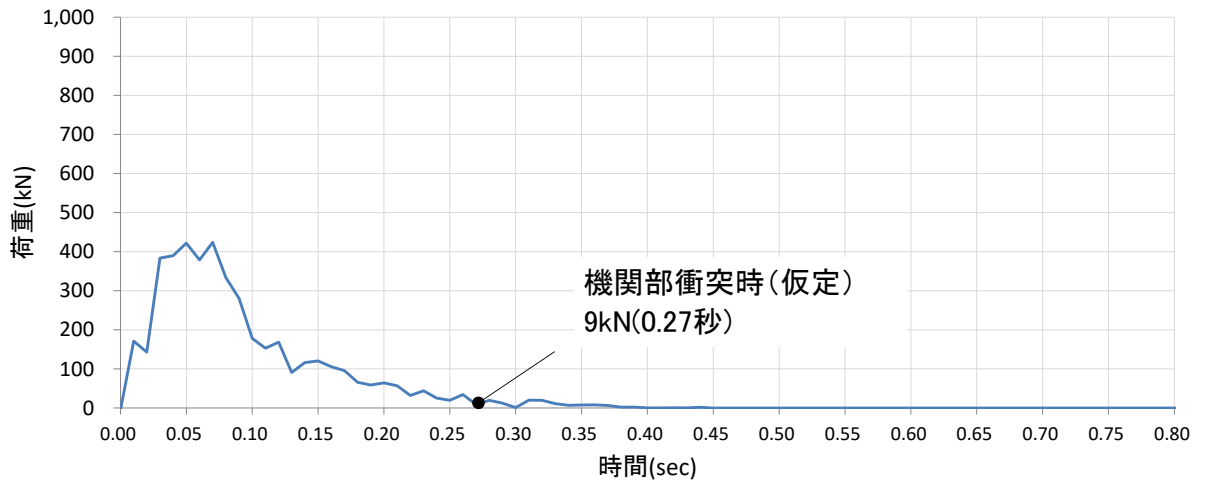


図 4-2 (2/9) 剛壁 1 m 当たりの衝突荷重の時刻歴
(曲げ強度変更ケース, ケース⑧)

剛壁番号⑦



剛壁番号⑧



剛壁番号⑨

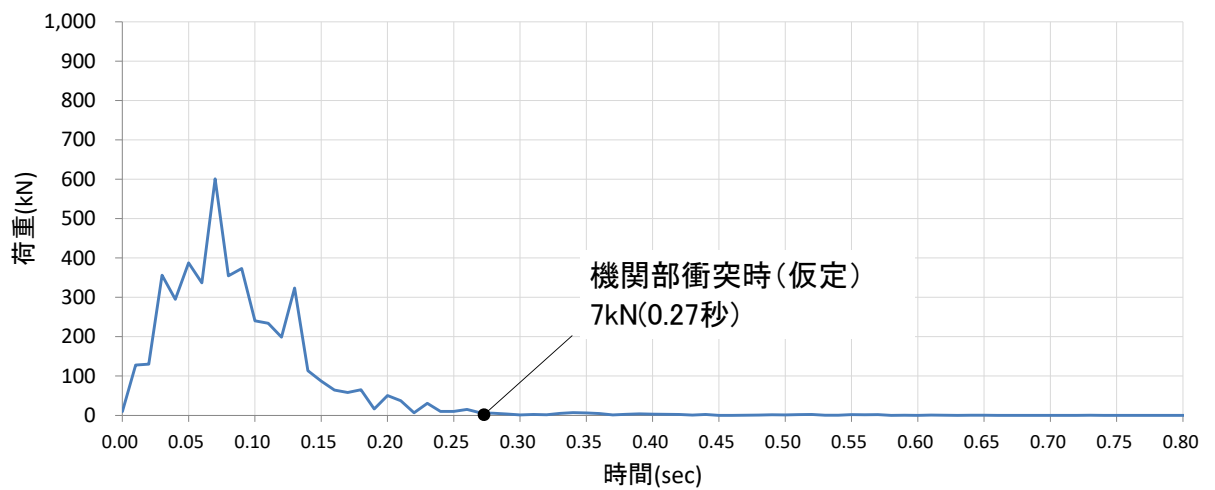
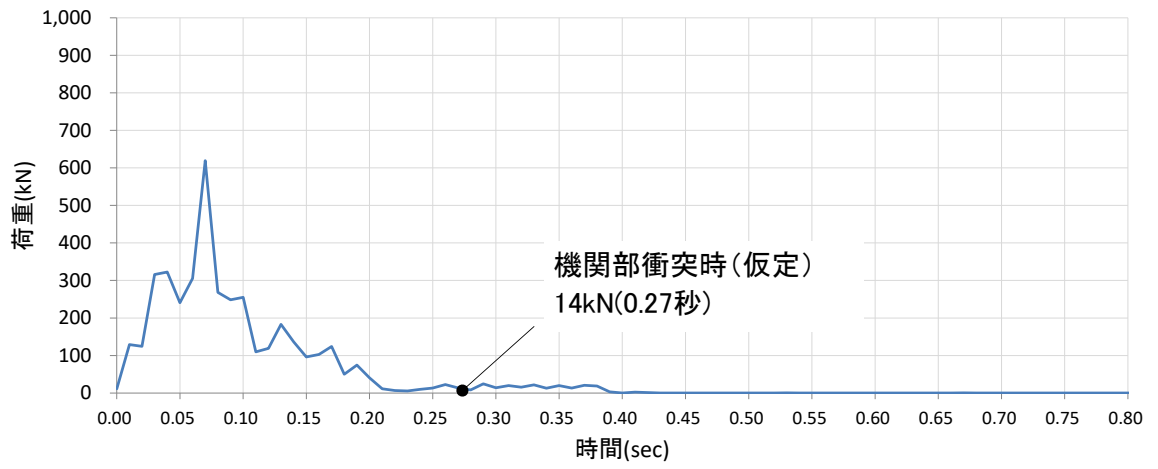
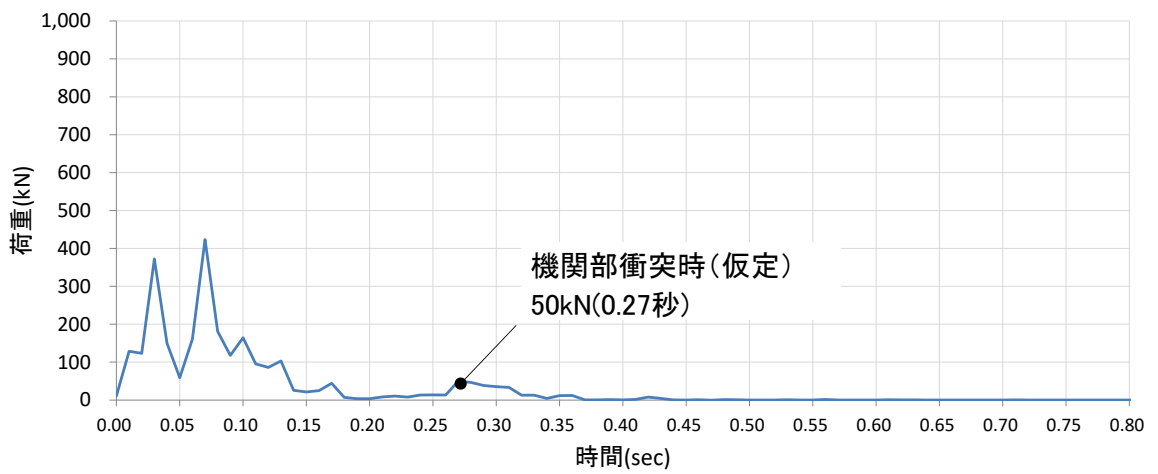


図 4-2 (3/9) 剛壁 1 m 当たりの衝突荷重の時刻歴
(曲げ強度変更ケース, ケース⑧)

剛壁番号⑩



剛壁番号⑪



剛壁番号⑫

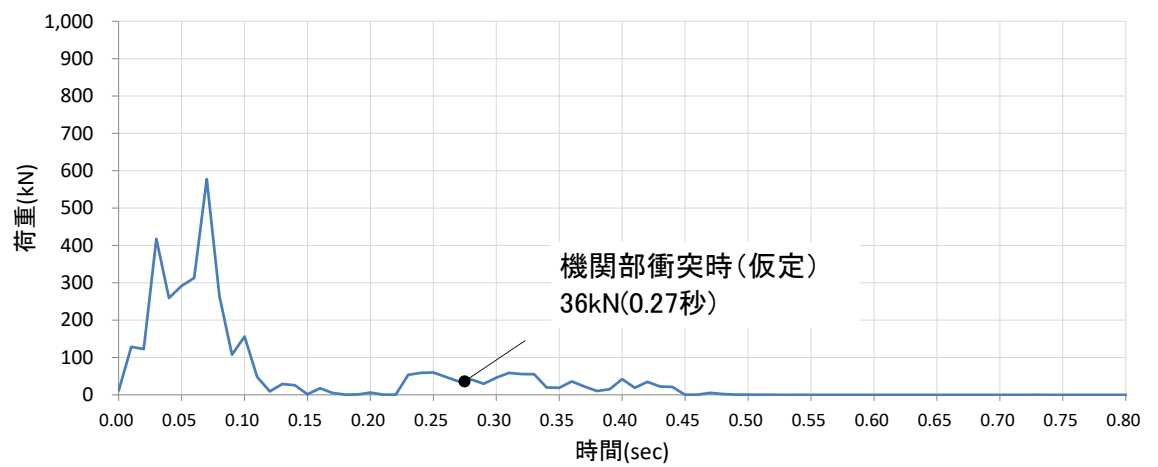
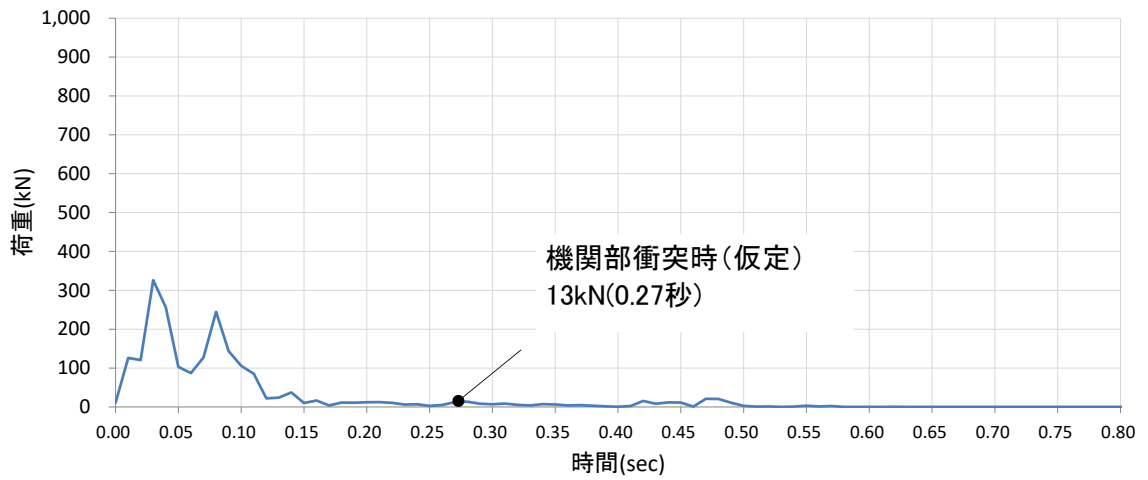
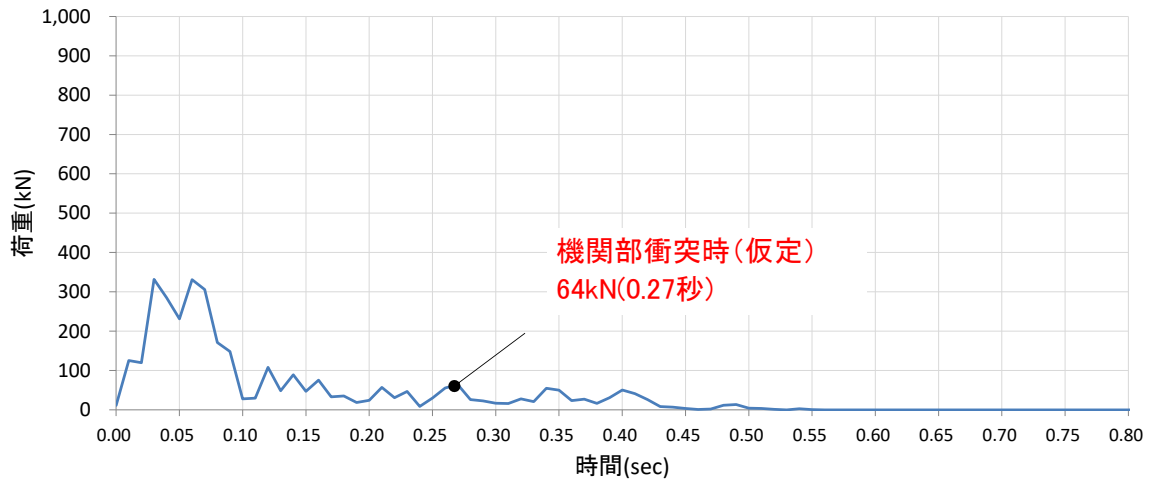


図 4-2 (4/9) 剛壁 1 m 当たりの衝突荷重の時刻歴
(曲げ強度変更ケース, ケース⑧)

剛壁番号⑬



剛壁番号⑭



剛壁番号⑮

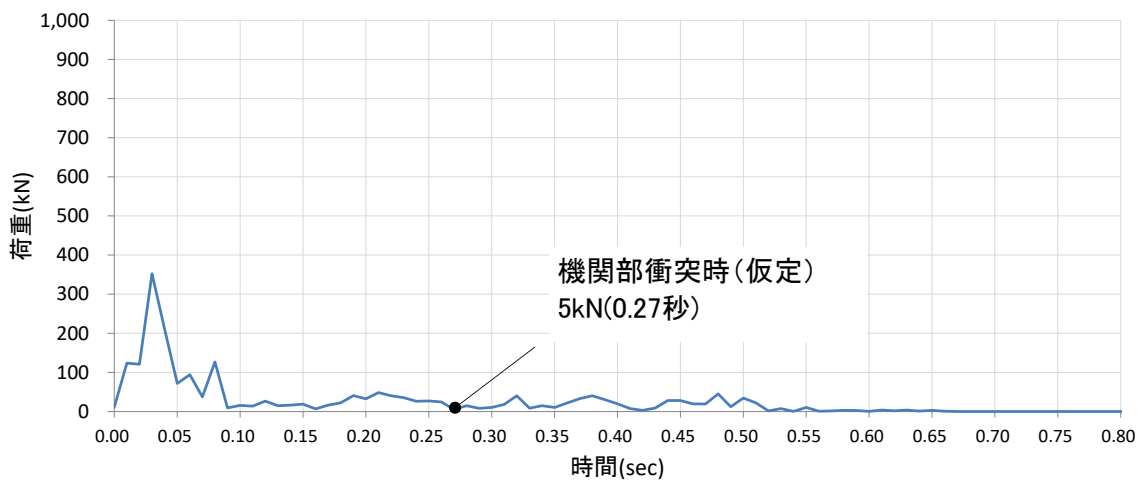
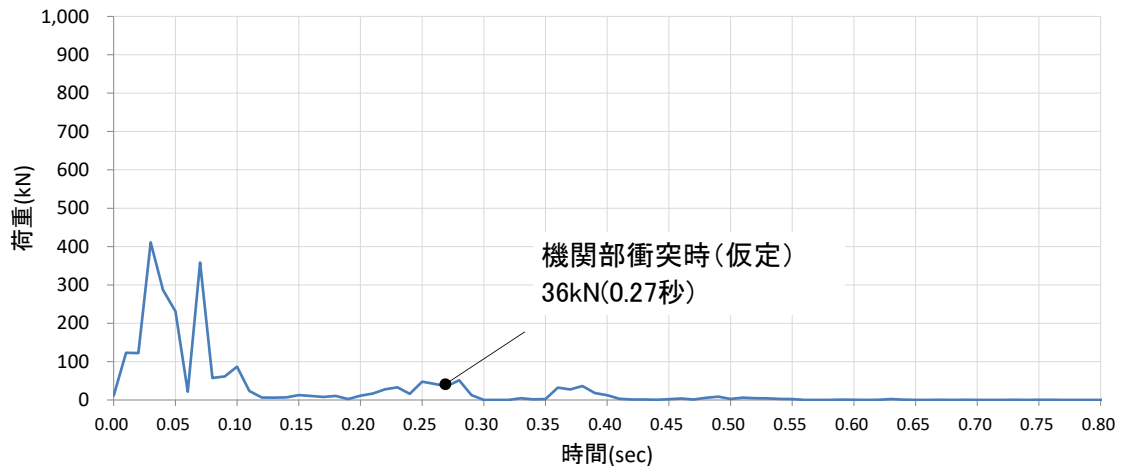
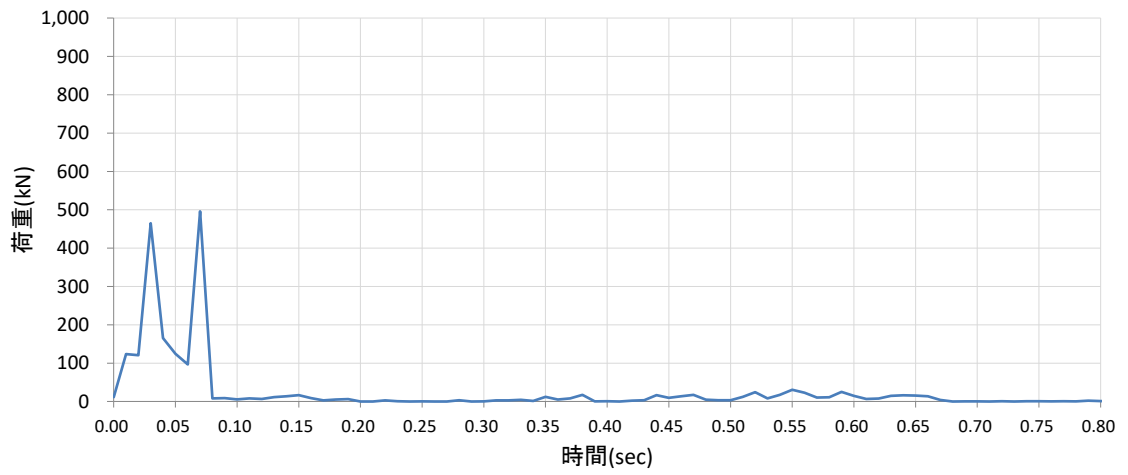


図 4-2 (5/9) 剛壁 1 m 当たりの衝突荷重の時刻歴
(曲げ強度変更ケース, ケース⑧)

剛壁番号⑬



剛壁番号⑭



剛壁番号⑮

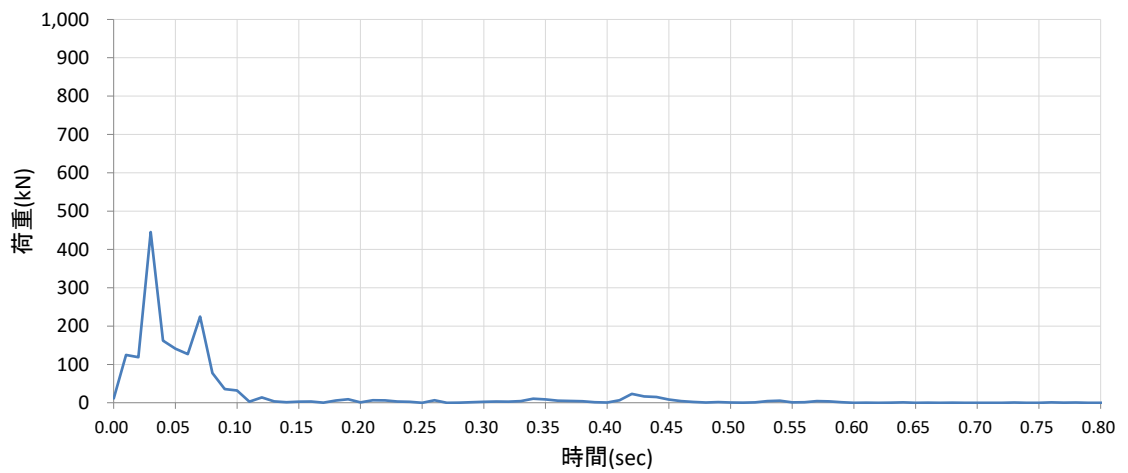
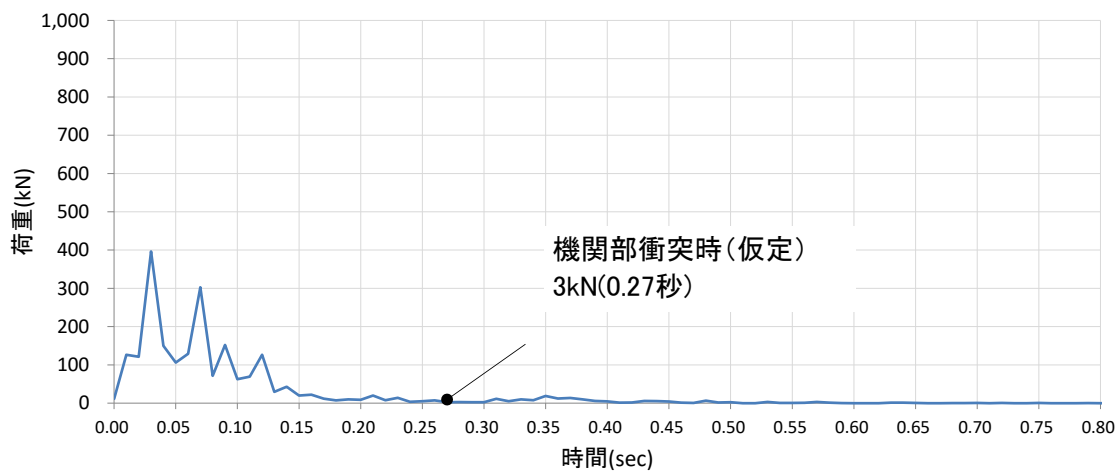
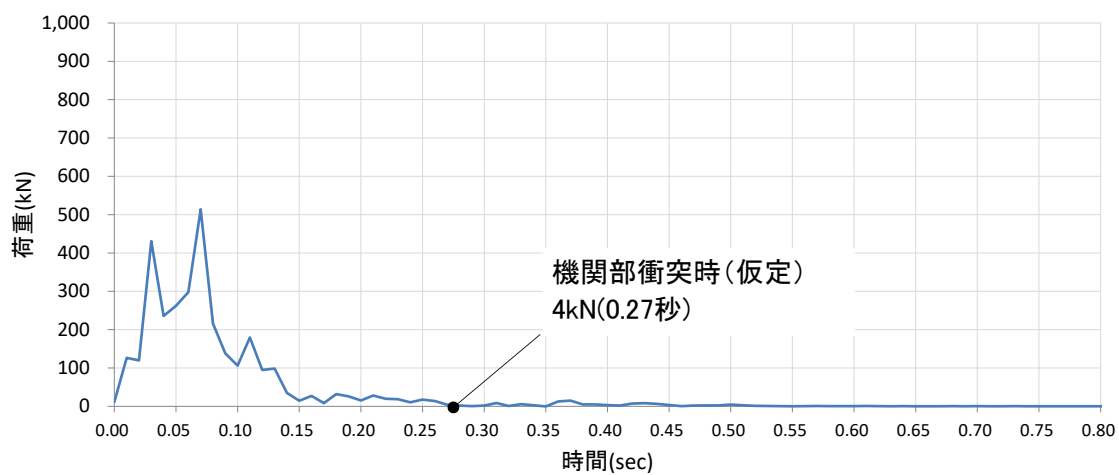


図 4-2 (6/9) 剛壁 1 m 当たりの衝突荷重の時刻歴
(曲げ強度変更ケース, ケース⑧)

剛壁番号⑱



剛壁番号㉑



剛壁番号㉒

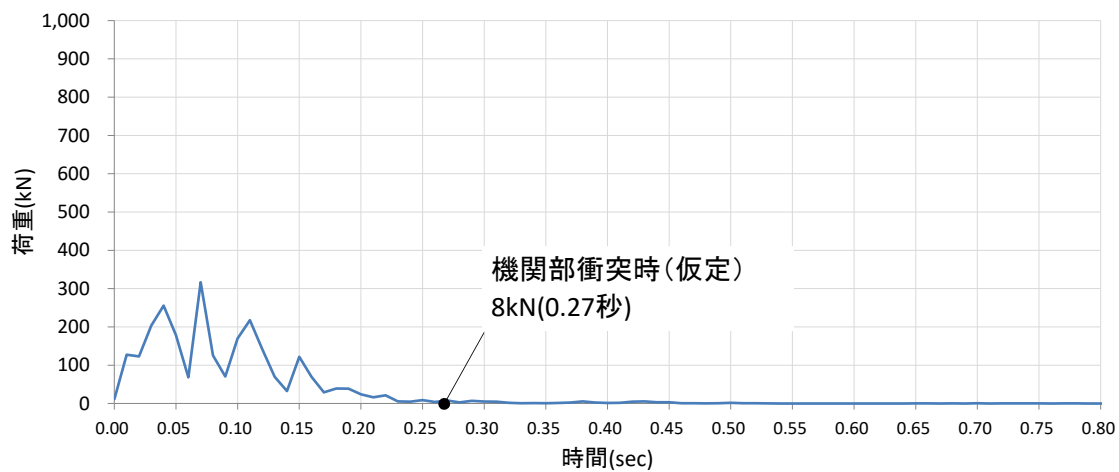
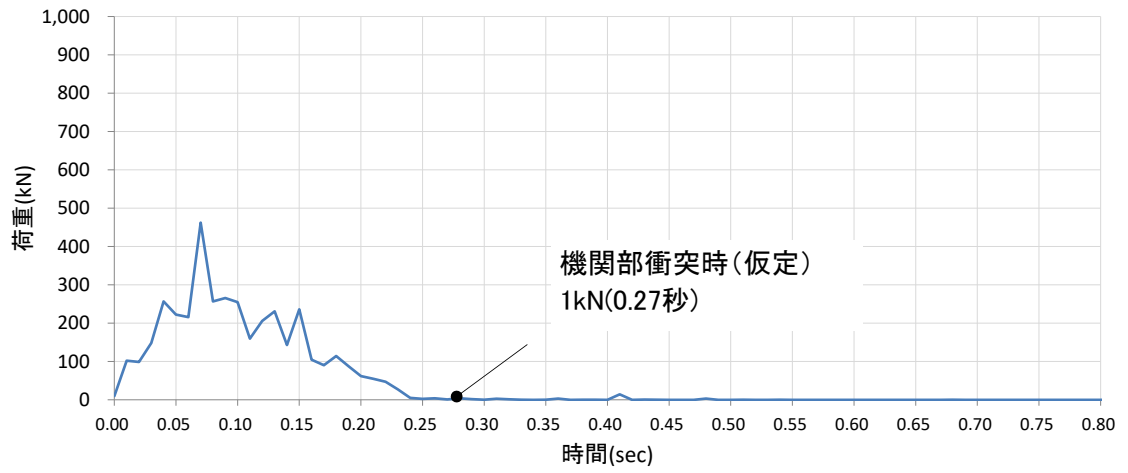
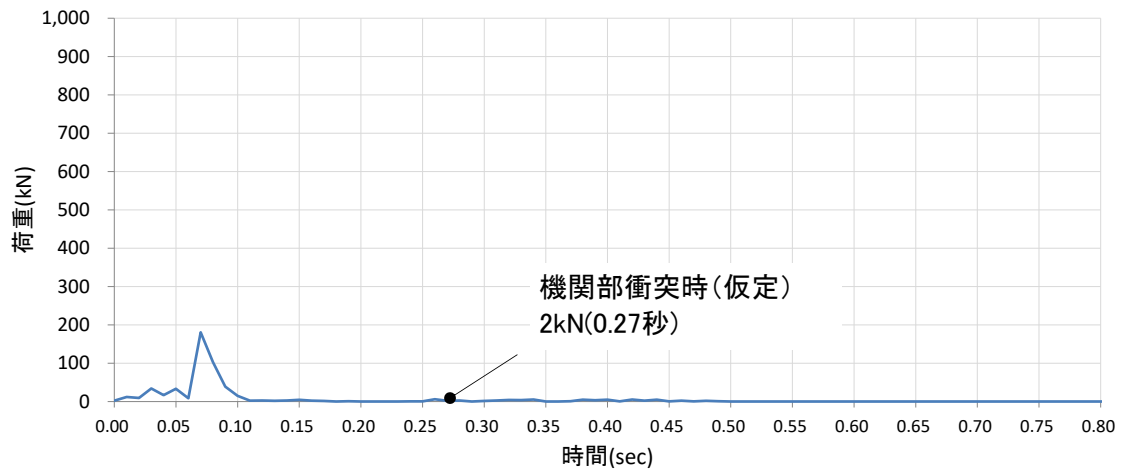


図 4-2 (7/9) 剛壁 1 m 当たりの衝突荷重の時刻歴
(曲げ強度変更ケース, ケース⑧)

剛壁番号②②



剛壁番号②③



剛壁番号②④

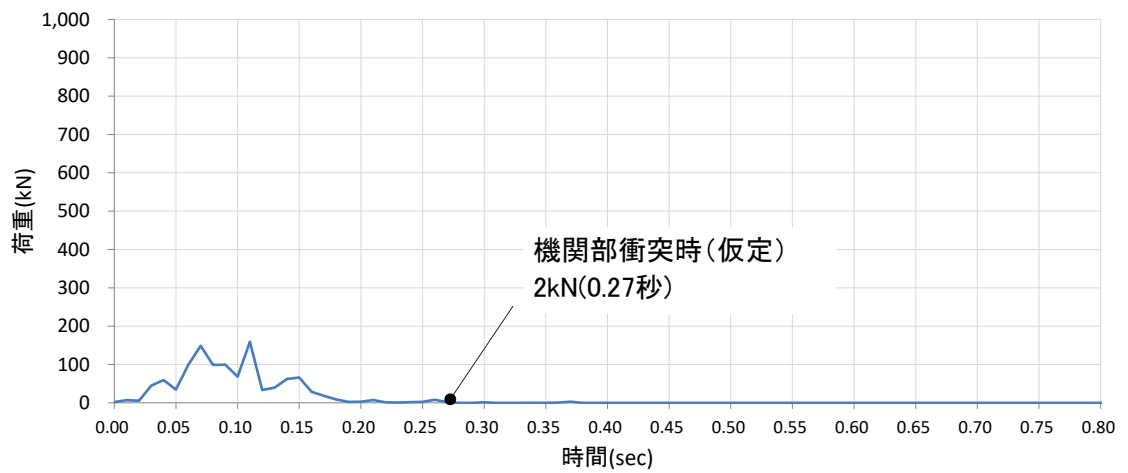


図 4-2 (8/9) 剛壁 1 m 当たりの衝突荷重の時刻歴
(曲げ強度変更ケース, ケース⑧)

剛壁番号②

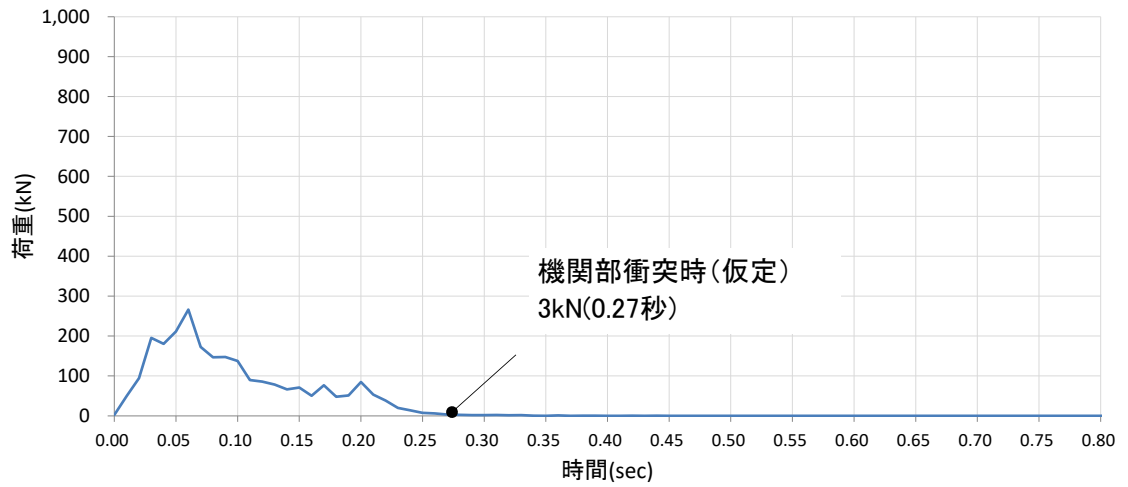


図 4-2 (9/9) 剛壁 1 m 当たりの衝突荷重の時刻歴
(曲げ強度変更ケース, ケース⑧)

表 4-3 船体の衝突荷重

剛壁 1 m 当たりの衝突荷重 【kN】	
破壊ひずみ 変更ケース	曲げ強度 変更ケース
56	64

5. FRP製船舶の機関部における衝突影響の確認結果

FRP製船舶の機関部における衝突影響の確認として、船体破壊の進行が早くなる条件として、破壊ひずみ変更ケースおよび曲げ強度変更ケースにおいて、機関部が剛壁に衝突しないことを確認した。機関部が剛壁に最も接近するのは、真横衝突となるため、安全側に真横衝突においては、機関部が剛壁に衝突すると仮定して、機関部の衝突荷重を算定した。

機関部の衝突荷重として、既往の算定式のうち安全側の衝突荷重の評価となる「FEMA (2012)」により、破壊ひずみ変更ケースでは 389kN、曲げ強度変更ケースでは 195kN となった。船体の衝突荷重として、衝突解析結果より、破壊ひずみ変更ケースでは 56kN、曲げ強度変更ケースでは 64kN となった。

機関部衝突と船体衝突の同時作用を考慮した衝突荷重として、機関部と船体を合算した衝突荷重は、破壊ひずみ変更ケースでは 445kN、曲げ強度変更ケースでは 259kN となった。よって、FRPの材料特性のうち破壊ひずみの設定が、船体破壊の進行に影響があり、機関部の衝突が懸念されることから、破壊ひずみ変更ケースにおける 445kN を機関部衝突の影響確認における衝突荷重として選定する。

機関部衝突の影響確認における衝突荷重 445kN は、「4.5.6 漂流物による衝突荷重の算定」（基本ケース）による船体の衝突荷重 1,107kN に包絡されることを確認した。

なお、真横衝突は、衝突開始時に面積が大きな船体側板が衝突することで最大衝突荷重が発生し、その後は衝突荷重が急激に低下する。すなわち、衝突直後に衝突エネルギーの大半が消費されるため、船体の破壊が機関部付近に到達する際には、船体の衝突速度及び衝突荷重も低下し、仮に機関部が剛壁に衝突した場合においても、機関部の衝突荷重は小さくなる。FRP製船舶の機関部における衝突影響の確認結果を表 5-1 に示す。

以上より、機関部における衝突影響は小さいことから、「4.5.6 漂流物による衝突荷重の算定」において確認した衝突荷重を踏まえて設計用衝突荷重を設定する。

表 5-1 FRP製船舶の機関部における衝突影響の確認結果

算定対象	算定方法	剛壁 1 m 当たりの衝突荷重【kN】		
		機関部衝突の影響確認*		(参考) 「4.5.6 漂流物による衝突荷重の算定」
		破壊ひずみ 変更ケース	曲げ強度 変更ケース	
機関部	FEMA (2012)	389	195	—
船体	衝突解析	56	64	1,107
機関部と船体の 衝突荷重の合計		445	259	1,107

注記*：機関部の設置範囲の最小幅が約 1,200mm であることから、安全側に剛壁 1 m 当たりの船体の衝突荷重と機関部の衝突荷重を合算する。

FRP製船舶の衝突解析に関する新規制基準審査実績との比較

島根原子力発電所 2 号機において、津波防護施設に考慮する漂流物である FRP 製船舶の衝突解析の実施にあたり、3 次元 FEM モデルの設定方法等について、新規制基準審査実績（東北電力（株）女川原子力発電所 2 号機）との比較を行う。

比較を行う項目は以下のとおりとする。

- ・ 衝突解析に用いる解析コード
- ・ 3 次元 FEM モデルの船体構造
- ・ 3 次元 FEM モデルの材料特性

1. 衝突解析に用いる解析コード

衝突解析に用いる解析コードの比較結果を表 1-1 に示す。

表 1-1 衝突解析に用いる解析コードに関する比較

	島根原子力発電所 2 号機	女川原子力発電所 2 号機
解析コード	LS-DYNA Ver. 971 6.1.1	LS-DYNA Ver. 971 R6.0.0

2. 3 次元 FEM モデルの船体構造

衝突解析を行う対象船舶について、島根原子力発電所 2 号機においては総トン数 19 トン船舶としており、東北電力（株）女川原子力発電所 2 号機においては総トン数 5 トン船舶とされている。

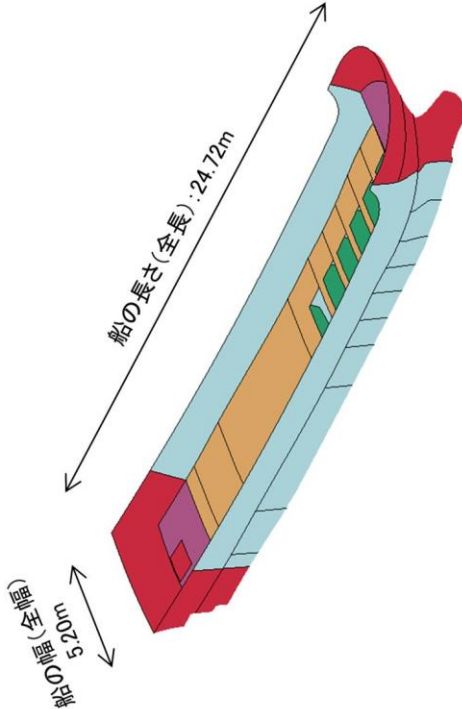
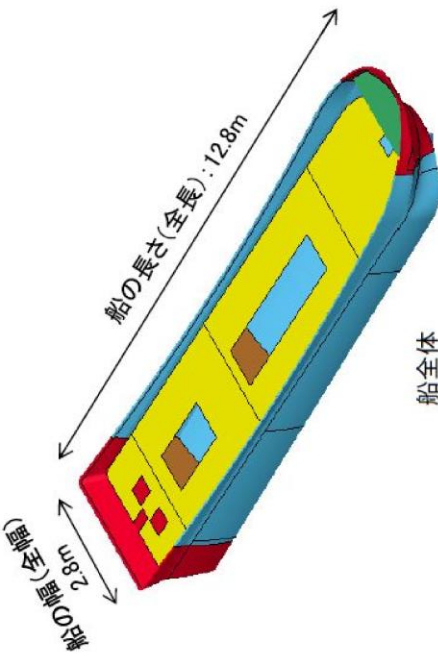
3 次元 FEM モデルの船体構造のうち、船体寸法等の比較結果を表 2-1 に、船体板厚の比較結果を表 2-2 に示す。

表 2-1(1/2) 船体寸法等に関する比較

		島根原子力発電所 2 号機		女川原子力発電所 2 号機*	
項目	根拠	値	根拠	値	
全長 (m)	対象船舶の測定結果を採用。	24.72	「漁港・漁場の施設的设计参考図書 (水産庁, 2015 年)」では, 総トン数 5t の漁船の長さ は 11.0m と記載があるが, 保守性を考慮するため に「強化プラスチック船規則解説 (日本海事協会, 1987)」の供給船一覧表で記載されている船舶の中から 11.0m に最も近い 12.8m を採用。	12.8	
全幅 (m)	対象船舶の測定結果を採用。	5.20	「漁港・漁場の施設的设计参考図書 (水産庁, 2015 年)」に示される総トン数 5t の漁船の幅である 2.8m を採用。	2.8	
計画最大満載喫水 (m)	「津波漂流物対策施設设计ガイドライン (2014)」総トン数 (G.T.) 20 トン漁船の喫水の最大値を採用。	2.20	「強化プラスチック船規則解説 (日本海事協会, 1978)」船舶長さ 12.8m の船舶の喫水を採用。	0.52	
質量 (t)	総トン数 19 トン $\times 3 = 57.0$ 「津波漂流物対策施設设计ガイドライン (2014)」より, 総トン数の 3 倍の質量として考慮。 船体に考慮する質量と 3 次元 FEM モデルに おける質量の差分質量の取扱い: 3 次元 FEM モデルを構成する船殻 (船側, 外板, 甲板, 隔壁及び竜骨) の質量は約 8.7t であるため, 船体質量 57.0t に対する差分については船首, 船尾以外の船殻の密度を増大させることにより考慮する。	57.0	総トン数 5 トン $\times 3 = 15$ 「漁港・漁場の施設的设计参考図書 (水産庁, 2015 年)」より, 総トン数の 3 倍の質量として考慮。 船体に考慮する質量と 3 次元 FEM モデルに おける質量の差分質量の取扱い: 船殻 (船首, 船尾, 船体及び甲板) の質量は約 1.95t であるため, 残り 13.05t を船体及び甲板に付加質量として考慮する。	15	

注記*: 女川原子力発電所 2 号機の情報に係る記載内容については, 審査資料等をもとに独自に解釈したものである。

表 2-1 (2/2) 船体寸法等に関する比較

	島根原子力発電所 2 号機	女川原子力発電所 2 号機*
<p>衝突解析に用いる F R P 製の船舶モデル</p>	 <p>船の長さ(全長):24.72m</p> <p>船の幅(全幅):5.20m</p> <p>対象船舶である恵曇漁港のイカ釣り漁船(総トン数 19 トン)に対して実施した詳細調査(船体情報に係る資料の収集及び対象船舶の調査結果)を基に、モデル化を行った。船体の船首から船尾に向けて流線形の複雑な形状となつており、船船外形の再現精度を向上させるために、巻尺等による測定に加え、3 D レーザデータによる 3 次元 F E M モデルの体外形の 3 次元点群を取得し、3 次元 F E M モデルの作成に反映した。また、船体情報に係る資料に記載がなく、かつ測定が不可能な箇所の船体寸法については、既往の文献を基に設定した。</p>	 <p>船の長さ(全長):12.8m</p> <p>船の幅(全幅):2.8m</p> <p>船全体</p> <p>「小型漁船のインベントリ分析に関する研究— A : モデル船の建造・運航状況調査— (海上技術安全研究所報告 第 3 巻 第 5 号; 平成 15 年)」で示される総トン数 14t の F R P 船の構造を基に、総トン数 5t の F R P 船の船体構造に案分し、モデル化を行った。</p>

注記* : 女川原子力発電所 2 号機の情報に係る記載内容については、審査資料等をもとに独自に解釈したものである。

表 2-2(2/3) 船体板厚に関する比較

		島根原子力発電所 2 号機			女川原子力発電所 2 号機*1		
項目	引用文献等に基づいた設定・算定根拠	引用文献算定値 (mm)	採用値 (mm)	引用文献算定値 (mm)	採用値 (mm)		
船首・船尾	船側外板・隔壁・甲板 (船首)	<p>「強化プラスチック船規則(日本海事協会, 2018)」</p> <p>【板厚算定式】*2</p> $t = 15 \times s \times (d + 0.026 \times L)^{1/2} \times 0.85$ <p>s: 肋骨の心距=0.5m d: 計画最大満載喫水=2.20m L: 登録長さ=19.40m</p>					
	甲板 (船尾)	<p>引用文献の算定値に対して, 縦, 横肋骨のモデルを省略していることから, 板厚の割増しを行い12.00mmを採用。</p>	12.00	10.48	7.00		
						—*2	
						9.00	

注記*1: 女川原子力発電所 2 号機の情報に係る記載内容については, 審査資料等をもとに独自に解釈したものである。

*2: 女川原子力発電所 2 号機の審査資料に記載なし。

表 2-2(3/3) 船体板厚に関する比較

		高根原子力発電所 2 号機			女川原子力発電所 2 号機*1		
項目	引用文献等に基づいた設定・算定根拠	引用文献算定値 (mm)	採用値 (mm)	引用文献算定値 (mm)	採用値 (mm)		
船側外板・隔壁・甲板・竜骨	<p>「強化プラスチック船規則(日本海事協会, 2018)」</p> <p>【板厚算定式】</p> $t = 15 \times s \times (d + 0.026 \times L)^{1/2}$ <p>s: 肋骨の心距=0.5m d: 計画最大満載喫水=2.20m L: 登録長さ=19.40m</p> <p>引用文献の算定値に対して, 縦, 横肋骨のモデルを省略していることから, 板厚の割増しを行い14.00mmを採用。</p>	12.33	14.00				
船首・船尾以外	<p>「強化プラスチック船規則(日本海事協会, 2018)」</p> <p>船首及び船尾について中央部の板厚の0.85倍とする記載があることを踏まえ, 船首及び船尾以外の船体(隔壁を含む)の板厚は8mmを採用。</p> <p>また, 甲板は各種艤装及び貨物が載ることを踏まえ9mmを採用。</p> <p>縦・横肋骨のモデル簡略化の観点から板厚を厚くすることで考慮。</p>			—*2	甲板以外: 8.00 甲板: 9.00		

注記*1: 女川原子力発電所 2 号機の情報に係る記載内容については, 審査資料等をもとに独自に解釈したものである。

*2: 女川原子力発電所 2 号機の審査資料に記載なし。

3. 3次元FEMモデルの材料特性

衝突物であるFRP製船舶の3次元FEMモデルにおける材料特性の比較結果を表3-1に、被衝突物の材料特性の比較結果を表3-2に示す。

表 3-1(1/2) FRP 製船舶の材料特性に関する比較

		島根原子力発電所 2 号機			女川原子力発電所 2 号機*1		
項目	引用文献	引用文献値	採用値	引用文献	引用文献値*2	採用値	
ヤング率 (曲げ弾性)	「漁港・漁場の施設の設計参考図書(水産庁, 2015)」の曲げ弾性係数	9~12 (GPa)	12 (GPa)	「漁港・漁場の施設の設計参考図書(水産庁, 2015)」の曲げ弾性係数	9~12 (GPa)	12000 (MPa)	
ポアソン比	「非金属データーブック プラスチック・FRP・ゴム・接着剤・塗料・木材及び木質材料・セラミックス[改訂2版](1985)」のハンドレイアウト用ガラス繊維基材のGRPとしての力学的特性値(標準)	0.336 【0.32~0.358】	0.358	「非金属データーブック プラスチック・FRP・ゴム・接着剤・塗料・木材及び木質材料・セラミックス[改訂2版](1985)」のハンドレイアウト用ガラス繊維基材のGRPとしての力学的特性値(標準)	0.336 【0.32~0.358】	0.4	
強度	「強化プラスチック船規則検査要領(日本海事協会, 2018)」の曲げ強度	260 (MPa)	260 (MPa)	「漁港・漁場の施設の設計参考図書(水産庁, 2015)」	—*3	200 (MPa)	
単位体積重量	「漁港・漁場の施設の設計参考図書(水産庁, 2015)」のFRPの成型法と工学的特性値の例における, ハンドレイアウトの単位体積重量	1.5~1.6 (t/m ³)	1.6 (t/m ³)	—*3	—*3	—*3	

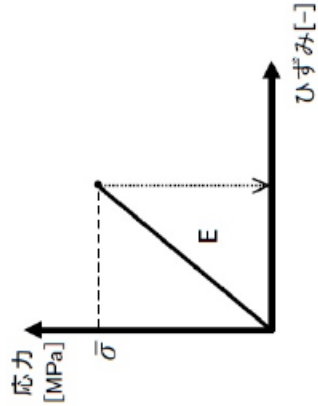
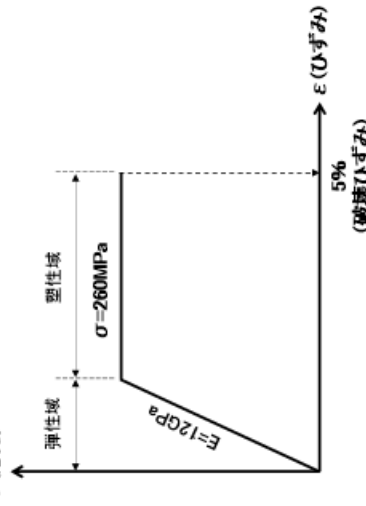
注記*1: 女川原子力発電所 2 号機の情報に係る記載内容については, 審査資料等をもとに独自に解釈したものである。

*2: 女川原子力発電所 2 号機の審査資料に記載の引用文献値

*3: 女川原子力発電所 2 号機の審査資料に記載なし。

表 3-1(2/2) FRP 製船舶の材料特性に関する比較

		島根原子力発電所 2 号機		女川原子力発電所 2 号機*1	
項目	引用文献	引用文献値	採用値	引用文献	採用値
破壊ひずみ	「強化プラスチック船規則解説(日本海事協会誌, 1978年)」	1~1.5 (%)	5 (%)	-	-
	「基礎からわかるFRP(強化プラスチック協会編, 2016)」	0.5~3 (%)			
	「FRP船舶の衝突解析手法に関する研究(豊田ほか, 2022)」*2	5, 6, 9, 10 (%)			
応力-ひずみ関係	<p>各種文献に記載されている応力-ひずみ関係を基に、解析に用いる応力-ひずみ関係を下図のとおり設定した。</p> <p>FRPは弾性材料に近い破壊挙動を示すと考えられるが、船体の衝突荷重は塑性を考慮することで大きくなると考えられるため、曲げ強度到達後もひずみが増加する完全弾塑性とし、破壊ひずみに到達した後にシエルの要素を削除する設定とした。</p>		<p>「FRP成形入門講座(日本プラスチック加工技術協会)」の応力-ひずみ曲線を基に、解析に用いる応力-ひずみ関係を下図のとおり設定した。</p> <p>FRPは鋼材と異なりねじり強さがいないため、応力が強度に達した後(降伏以降)ではシエルの要素を削除する設定とした。</p>		



注記*1: 女川原子力発電所 2 号機の情報に係る記載内容については、審査資料等をもとに独自に解釈したものである。

*2: 豊田真・南波宏介・甲斐田秀樹・栗山透 FRP 船舶の衝突解析手法に関する研究, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学),

表 3-2 被衝突物の材料特性に関する比較

島根原子力発電所 2 号機	女川原子力発電所 2 号機*
<p>被衝突物は剛壁とし、変形・移動をしない条件とする。 被衝突物の材料特性は、コンクリートを想定し、ヤング率 25GPa, ポアソン比 0.2 とする。</p>	<p>被衝突物は剛壁とし、変形・移動しない条件とする。 被衝突物の材料特性は、鋼製を想定し、ヤング率 200GPa, ポアソン比 0.3 とする。</p>

注記*：女川原子力発電所 2 号機の情報に係る記載内容については、審査資料等をもとに独自に解釈したものである。

4. 衝突解析の衝突速度及び衝突方向

衝突解析の衝突速度及び衝突方向の比較結果を表 4-1 に、衝突形態の比較結果を図 4-1 に示す。

表 4-1 衝突解析の解析ケースに関する比較

島根原子力発電所 2 号機			女川原子力発電所 2 号機*		
ケース	衝突形態	流速	ケース	衝突形態	流速
①	船首衝突	10.0m/s	①	船首衝突	13.0m/s
②	船尾衝突		②	船尾衝突	
③	真横衝突		③	真横衝突	
④	斜め船首衝突		④	斜め船首衝突	
⑤	斜め船尾衝突		⑤	斜め船尾衝突	

注記*：女川原子力発電所 2 号機の情報に係る記載内容については、審査資料等をもとに独自に解釈したものである。

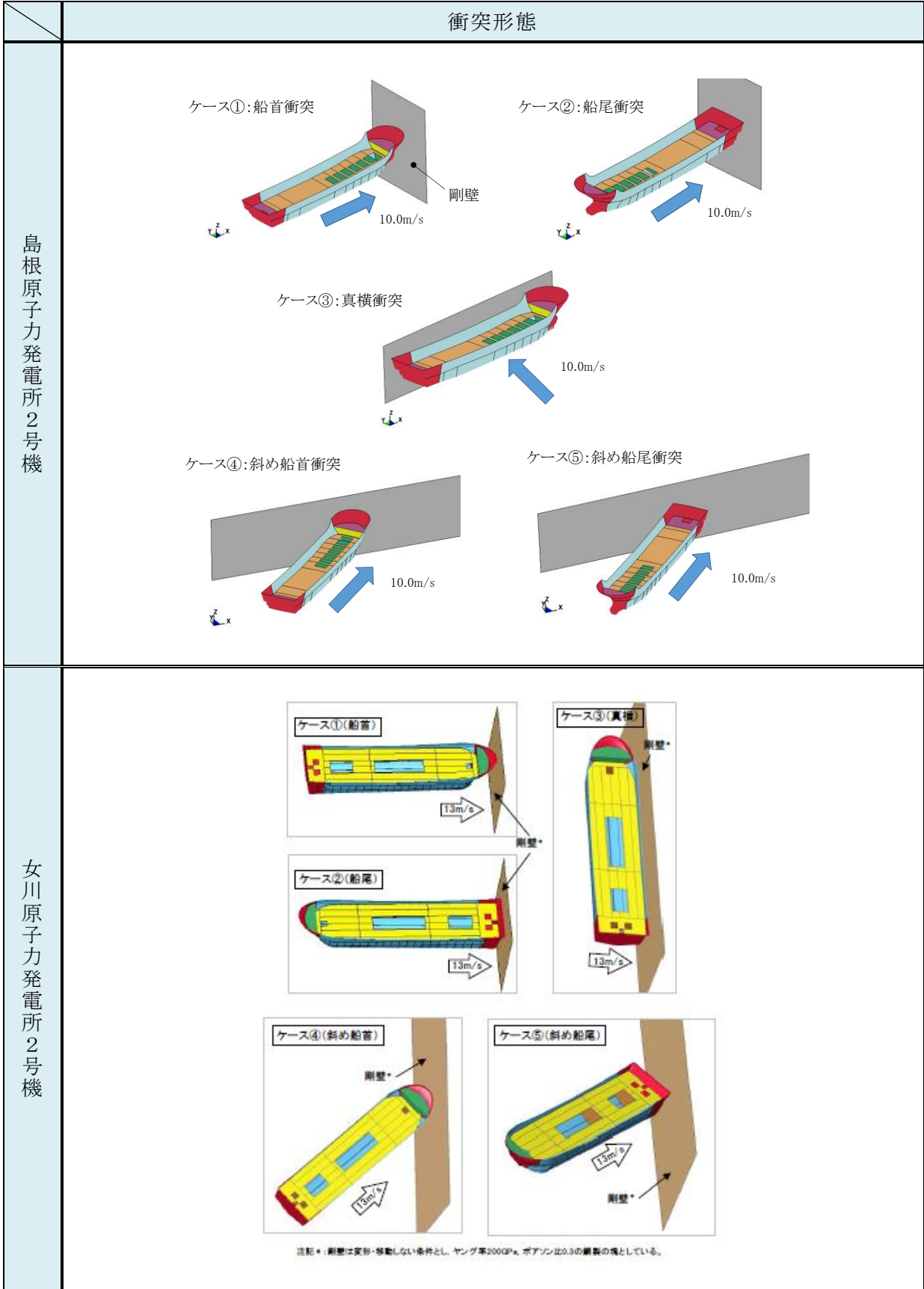


図 4-1 衝突形態の比較

漂流物衝突荷重算定における総トン数19トン船舶の代表性確認

1. 概要

島根原子力発電所においては、漂流物の初期配置、漂流物の仕様（材質、重量等）、操業区域及び航行の不確かさを踏まえ、漁船（総トン数19トン）を選定している。総トン数19トン船舶の漂流物衝突荷重は、衝突解析より船体寸法に応じて船首又は真横から衝突する場合における船体の衝突荷重が最も大きくなることを確認している。また、添付資料6「FRP製船舶の機関部における衝突影響の確認」において、総トン数19トン船舶の船体の破壊が進行しやすいFRPの材料特性の設定における衝突解析を実施している。結果として、総トン数19トン船舶の船体破壊の進行が早くなることにより、機関部が被衝突物に衝突すると仮定した場合においても、船体の衝突荷重に包絡されることを確認している。

総トン数19トン船舶よりも総トン数の小さい小型の船舶については、総重量が小さいことから、船体の衝突荷重は総トン数19トン船舶より小さくなる。一方、総トン数19トン船舶よりも小型の船舶については、総トン数19トン船舶より船体寸法が小さいため、船側から機関部までの距離が短いことから、船舶が被衝突物に衝突した場合に機関部が被衝突物に衝突する可能性が高くなる。また、船体の破壊が機関部まで至った際には、機関部までの距離が短いことから船体の破壊に伴う船体の減速は小さくなり、総トン数19トン船舶より機関部の衝突速度が大きくなる可能性がある。

本資料では、総トン数19トン船舶よりも小型の船舶において、船体破壊の進行が早くなるFRPの材料特性を設定した衝突解析を実施することで、船舶寸法の違いによる機関部の衝突荷重を確認し、総トン数19トン船舶の衝突荷重の代表性を確認する。

2. 総トン数 19 トンより小型の船舶に係る衝突解析における解析条件

総トン数19トン船舶よりも小型の船舶として、船体寸法が小さく、船側から機関部までの距離が短い総トン数 2 トンの船舶を対象として解析する。

(1) 船体構造及び船体板厚

総トン数 2 トン船舶の 3 次元 F E Mモデルの船体構造は、添付資料 3 「島根原子力発電所における F R P 船舶に係る衝突解析条件の妥当性」と同様の設定とした。

総トン数 2 トン船舶における船体板厚の設定を表 2-1、総トン数 2 トン船舶の 3 次元 F E Mモデルを図 2-1 に示す。

表 2-1 総トン数 2 トン船舶における船体板厚の設定

板厚 t		引用文献等を基にした設定・算定根拠	引用文献 算定値 (mm)	採用値 (mm)
船首・ 船尾	船側外板 隔壁 甲板 (デッキ)	「強化プラスチック船規則(日本海事協会, 2018)」 【板厚算定式】 $t=15 \times s \times (d + 0.026 \times L)^{1/2} \times 0.85$ s: 肋骨の心距=0.5m ^{*1} d: 計画最大満載喫水=1.20m ^{*2} L: 登録長さ=7.20m ・引用文献の算定値に対して、縦,横肋骨のモデルを省略していることから板厚の割増しを行い 9.00mm を採用	7.51	9.00
船首・ 船尾 以外	船側外板 隔壁 甲板 竜骨	「強化プラスチック船規則(日本海事協会, 2018)」 【板厚算定式】 $t=15 \times s \times (d + 0.026 \times L)^{1/2}$ s: 肋骨の心距=0.5m ^{*1} d: 計画最大満載喫水=1.20m ^{*2} L: 登録長さ=7.20m ・引用文献の算定値に対して、縦,横肋骨のモデルを省略していることから板厚の割増しを行い 10.00mm を採用	8.83	10.00

注記* 1 : 「強化プラスチック船規則検査要領(日本海事協会, 2018)」

* 2 : 「津波漂流物対策施設設計ガイドライン(2014)」に記載の 2G. T. における喫水の最大値

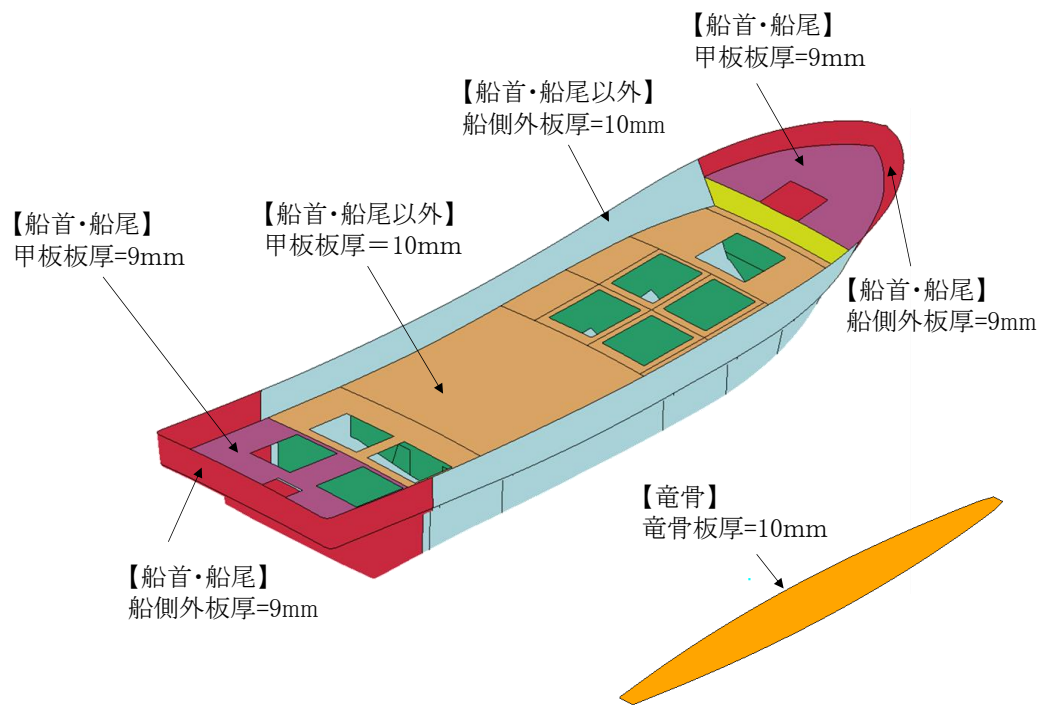


図 2-1 総トン数 2 トン船舶の 3 次元 F E Mモデル

(2) 船体質量

船体質量は、「津波漂流物対策施設設計ガイドライン(2014)」より、総トン数2トンの3倍である6.0tとする。ただし、船体を構成する船殻(船側, 外板, 甲板, 隔壁及び竜骨)の質量は約0.85tであるため、船体質量6.0tに対する差分については、密度を増大させることにより考慮する。なお、差分質量は、艀装重量や漁獲物等が支配的であるため、船首・船尾以外の船殻を対象とする。

(3) 材料特性

F R Pの材料特性は、船舶によらず同様の材料特性であると判断し、船体破壊の進行に対する影響が大きい破壊ひずみ以外の材料特性は、衝突実験により妥当性を確認した総トン数19トン船舶と同様の設定とした。また、破壊ひずみは、船体破壊の進行が早くなるように塑性ひずみは考慮せず、曲げ強度到達時のひずみとした。F R Pの材料特性を表2-2に、F R P材料の応力-ひずみ関係を図2-2に示す。

表2-2 本解析に用いるF R P材料の材料特性

項目	単位	採用値
ヤング率 (曲げ弾性)	GPa	12
ポアソン比	—	0.358
曲げ強度	MPa	260
単位体積重量	t/m ³	1.6
破壊ひずみ	—	曲げ強度到達時に破壊する。

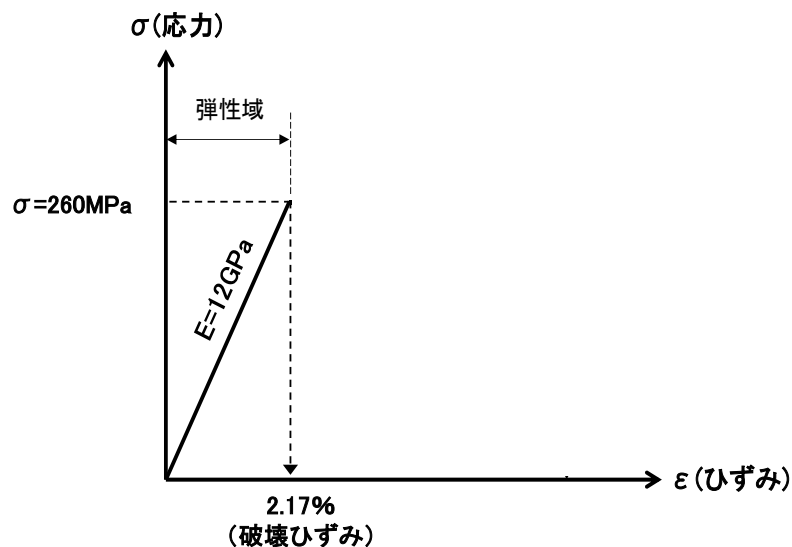


図2-2 応力-ひずみ関係

(4) 被衝突物

被衝突物は、「4.5.6 漂流物による衝突荷重の算定」と同様に表 2-3 のとおり設定する。

表 2-3 被衝突物の材料特性

被衝突物	材質	コンクリート
	要素	シェル要素
	ヤング率【GPa】	25
	ポアソン比	0.2
	密度【t/m ³ 】	2.45
摩擦係数		0.50

(5) 解析ケース（衝突形態）

解析ケース（衝突形態）としては、添付資料 6 「FRP 製船舶の機関部における衝突影響の確認」において確認した、総トン数 19 トン船舶の機関部と剛壁の距離が最も近接する真横衝突、及び真横衝突の次に近接する船尾衝突の 2 ケースとする。

衝突速度は、添付資料 6 「FRP 製船舶の機関部における衝突影響の確認」における検討と同様に 10m/s とする。

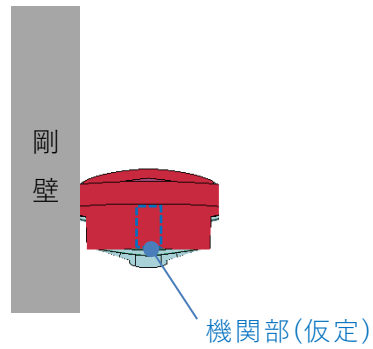
3. 総トン数 19 トンより小型の船舶に係る衝突解析の結果

総トン数 2 トン船舶の真横衝突の衝突解析による衝突状況，衝突荷重及び衝突速度の時刻歴を図 3-1 に，船尾衝突の衝突解析による衝突状況，衝突荷重及び衝突速度の時刻歴を図 3-2 に示す。

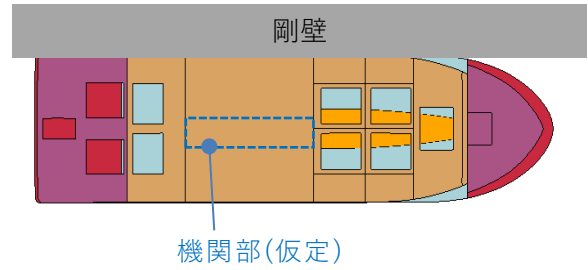
図 3-1 及び図 3-2 より，総トン数 2 トン船舶において，真横衝突及び船尾衝突ともに機関部まで船体が破壊せず，機関部は被衝突物に衝突しない結果となった。なお，総トン数 2 トン船舶の機関部は，甲板中央部に配置されていると仮定した。

衝突後0.00秒（衝突開始時）

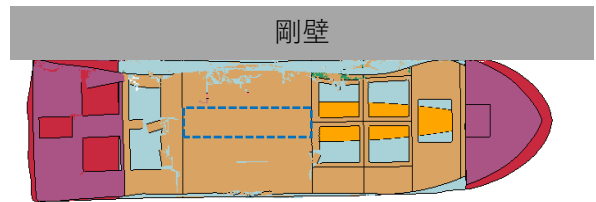
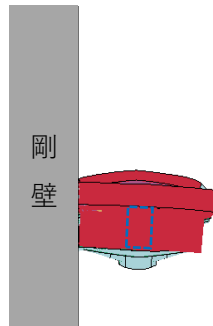
後方断面



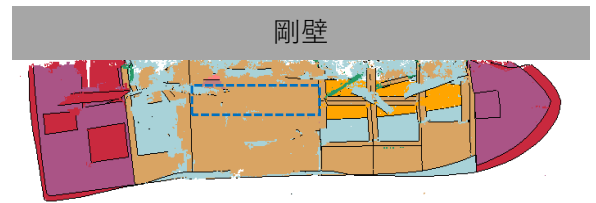
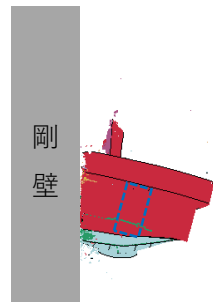
平面



衝突後0.02秒（最大荷重発生時）



衝突後0.12秒（衝突運動終了時）



衝突後0.18秒（衝突作用終了時）

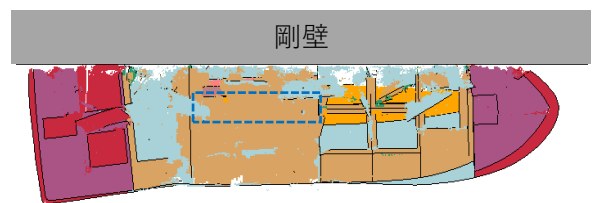
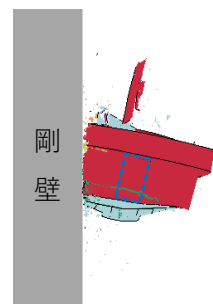


図 3-1 (1/3) 総トン数 2 トン船舶の衝突解析結果（真横衝突）

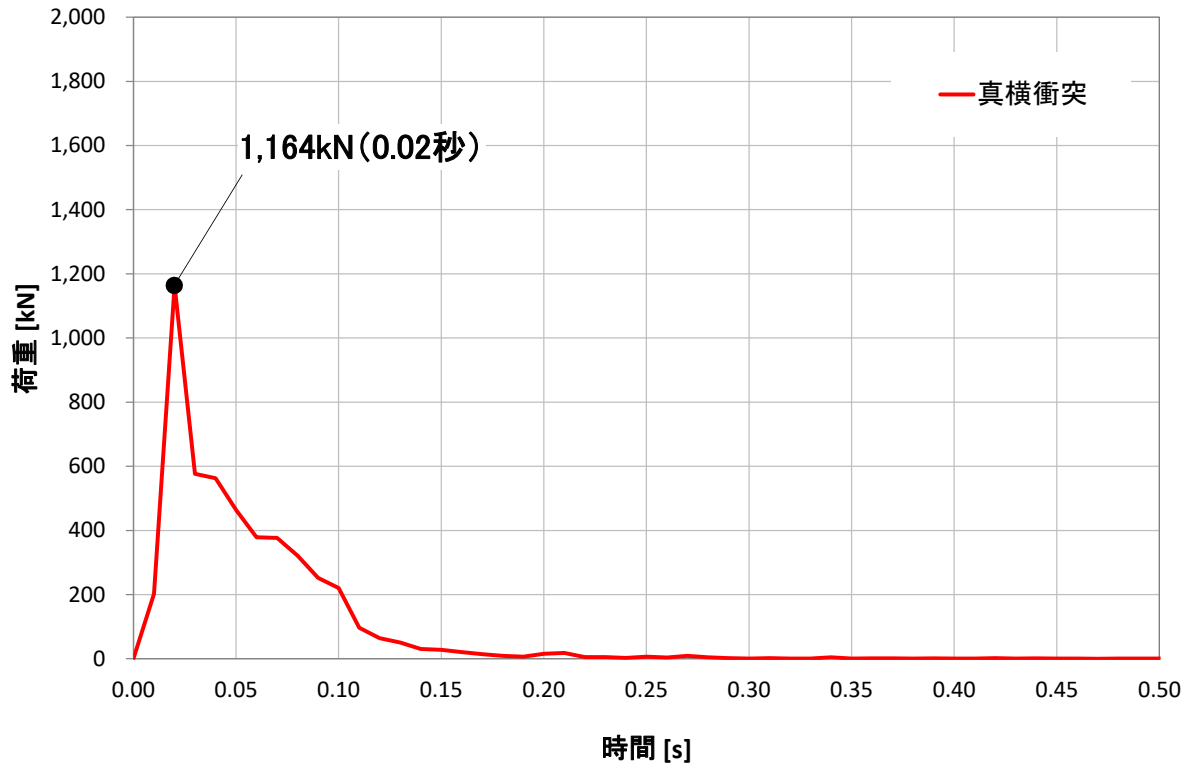


図 3-1 (2/3) 総トン数 2 トン船舶の衝突解析結果 (真横衝突)

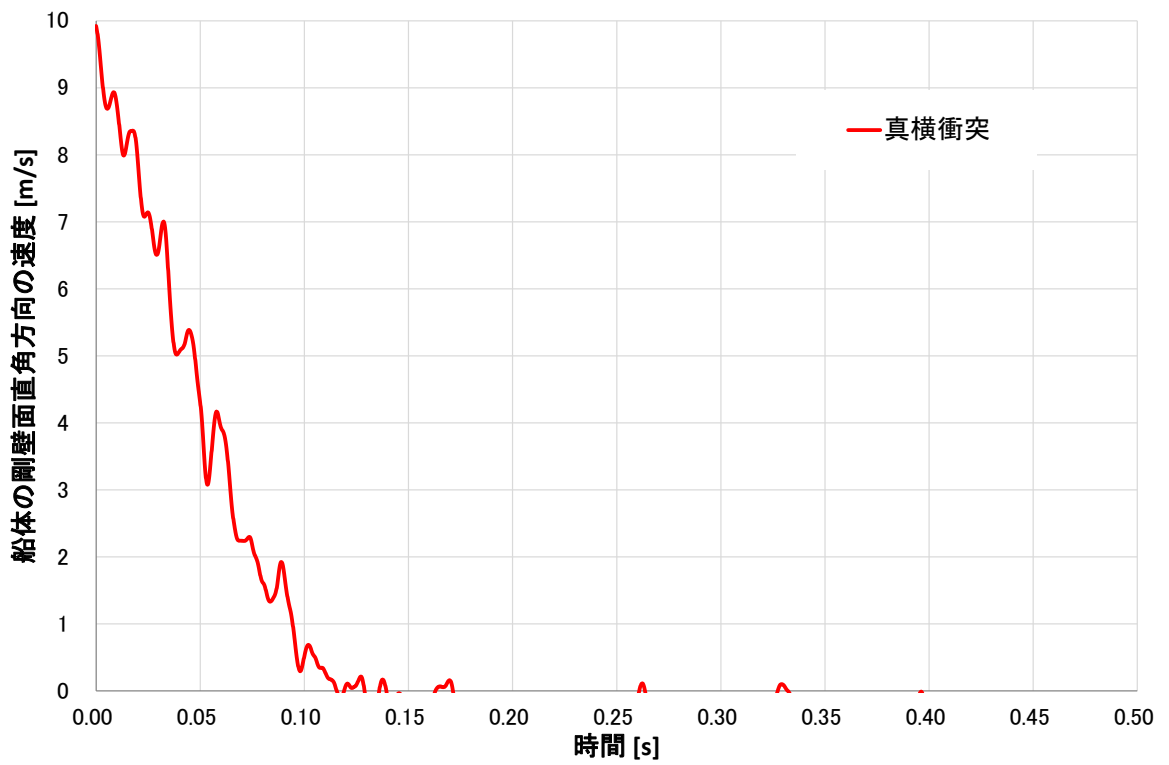
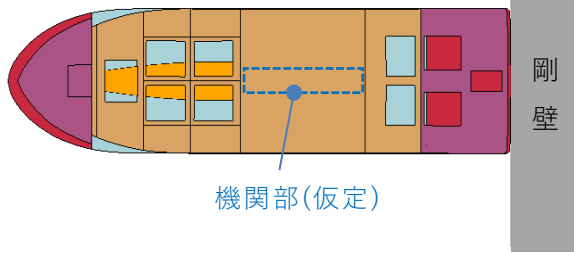


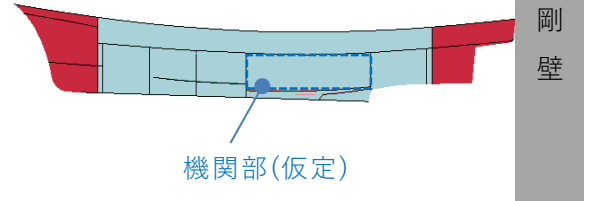
図 3-1 (3/3) 総トン数 2 トン船舶の衝突解析結果 (真横衝突)

衝突後0.00秒（衝突開始時）

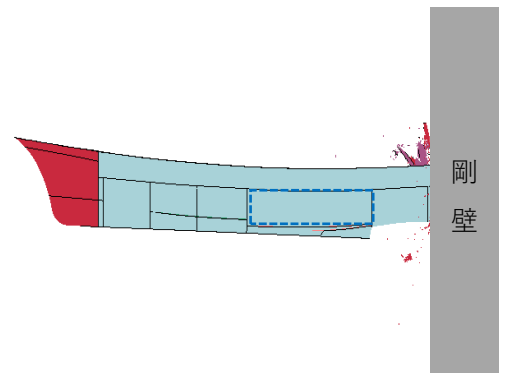
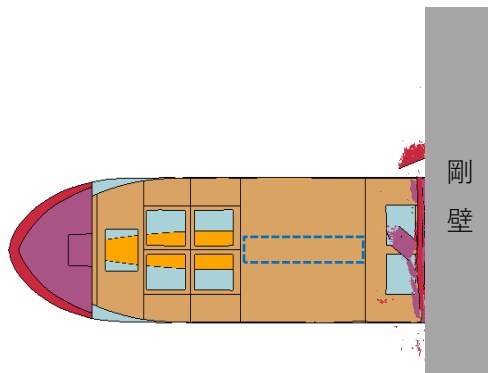
平面



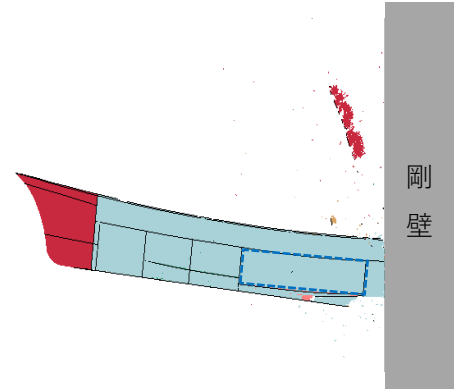
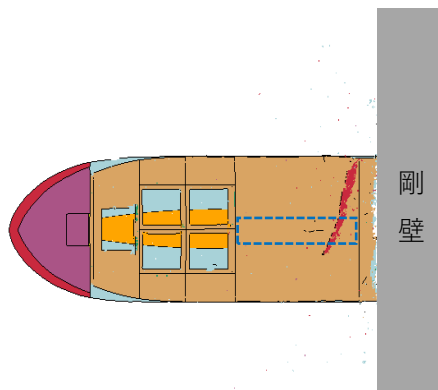
側面



衝突後0.15秒（最大荷重発生時）



衝突後0.40秒（衝突運動終了時）



衝突後0.50秒（衝突作用終了時）

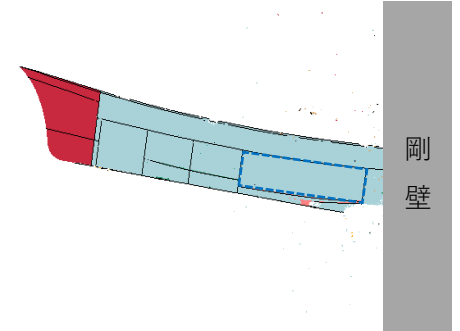
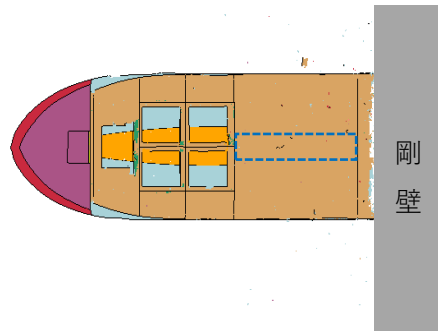


図 3-2 (1/3) 総トン数 2 トン船舶の衝突解析結果（船尾衝突）

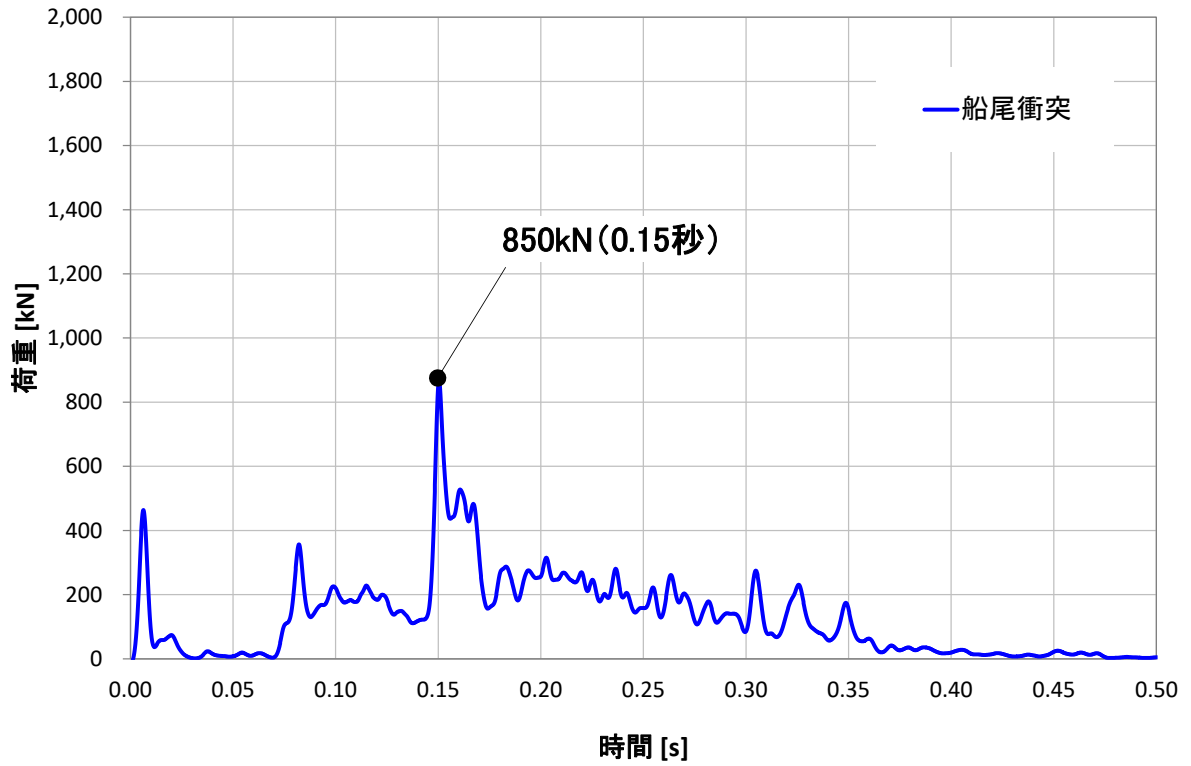


図 3-2 (2/3) 総トン数 2 トン船舶の衝突解析結果 (船尾衝突)

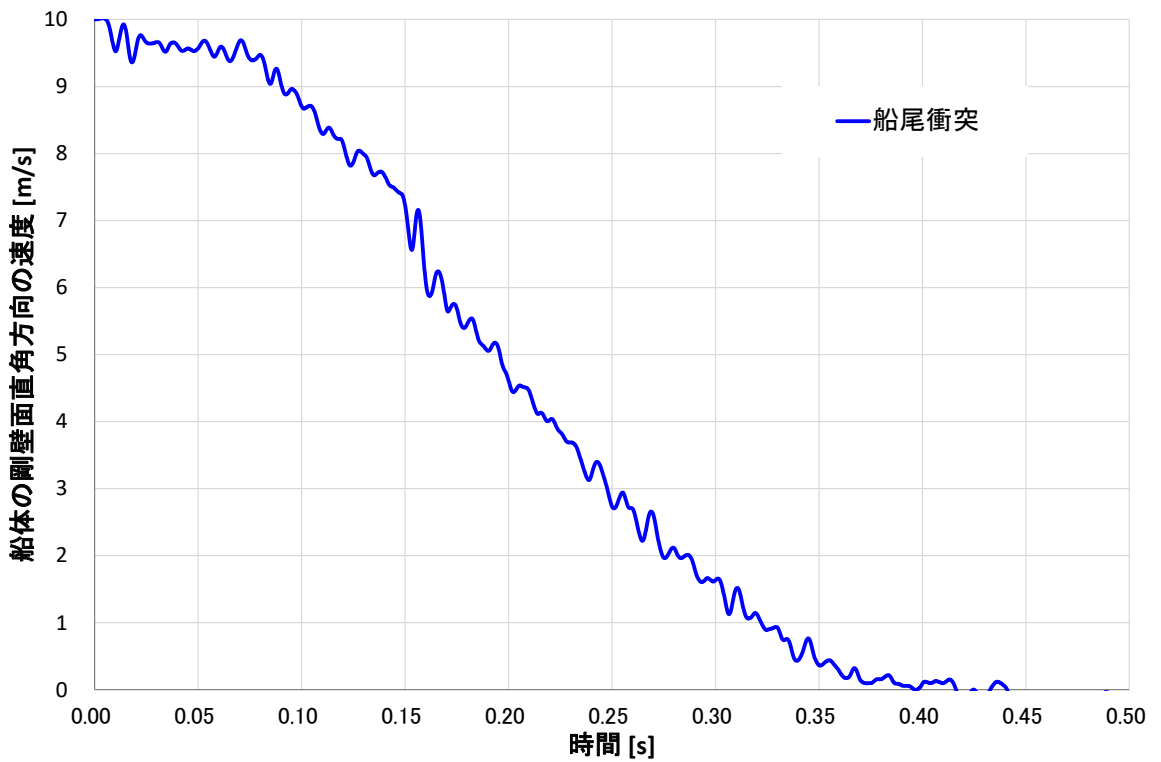


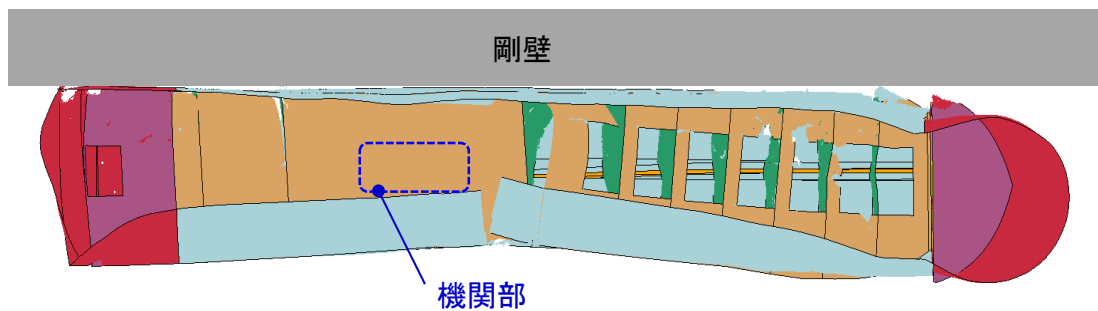
図 3-2 (3/3) 総トン数 2 トン船舶の衝突解析結果 (船尾衝突)

4. 総トン数 19 トン船舶に係る衝突解析の結果

「4.5.6 漂流物による衝突荷重の算定」及び添付資料6「FRP製船舶の機関部における衝突影響の確認」における総トン数 19 トン船舶の真横衝突の衝突解析による衝突状況を図4-1に示す。

図4-1により、「4.5.6 漂流物による衝突荷重の算定」では、真横衝突時に機関部が被衝突物(剛壁)に最も接近するが、被衝突物に機関部が衝突しないことを確認している。

「4.5.6 漂流物による衝突荷重の算定」



「添付資料6 FRP製船舶の機関部における衝突影響の確認」 (破壊ひずみ変更ケース)

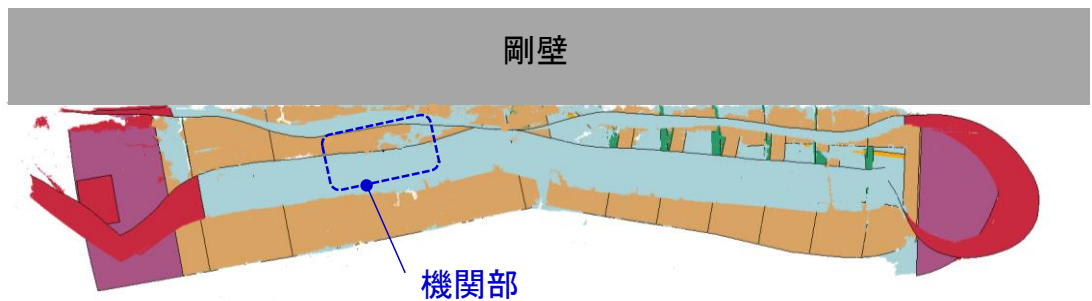


図4-1 衝突状況(真横衝突)

5. 総トン数 19 トンより小型の船舶に係る衝突解析の考察

本資料において、総トン数 19 トン船舶より小型の船舶として総トン数 2 トン船舶の衝突解析を実施した。その結果、総トン数 2 トン船舶の機関部は被衝突物（剛壁）に衝突しないことを確認した。

総トン数 19 トン船舶と総トン数 2 トン船舶の真横衝突の衝突解析による力積の比較結果を図 5-1、総トン数と船体質量の相関関係を図 5-2、総トン数と船体板厚*1の相関関係を図 5-3、総トン数と船幅*2の相関関係を図 5-4 に示す。

図 5-1 より、総トン数 19 トン船舶の力積は、総トン数 2 トン船舶の力積に対して 11 倍程度大きくなっている。図 5-2 より、総トン数と船体質量の相関関係として、総トン数に比例して質量が大きくなるため、総トン数 20 トン船舶は、総トン数 2 トン船舶に対して 10 倍程度増加していることを確認した。

一方、図 5-3 より、総トン数と船体板厚の相関関係として、総トン数 20 トン船舶は、総トン数 2 トン船舶に対して 1.4 倍程度の増加となっており、図 5-4 より、総トン数と船幅の相関関係として、総トン数 20 トン船舶は、総トン数 2 トン船舶に対して 2 倍程度の増加となっているため、力積及び船体質量の増加率に対して小さいことを確認した。

以上の結果より、総トン数 2 トン船舶の機関部は、総トン数 19 トン船舶の機関部に対して船側からの距離が短いのが、被衝突物に機関部が衝突しない要因として、総トン数 2 トン船舶の衝突解析による衝突荷重の力積は、総トン数 19 トン船舶と比較して、船体質量が小さいことに伴う大幅な力積の減少が生じており、船体板厚及び船幅においては、衝突荷重の力積の減少率と比較して、船体板厚及び船幅ともに減少率が小さいことから、総トン数 2 トン船舶の船体破壊が小さくなったことが要因として判断できる。

注記*1：船体板厚は「強化プラスチック船規則（日本海事協会，2018）」に準じて算定

*2：船幅は「津波漂流物対策施設設計ガイドライン(2014)」を引用

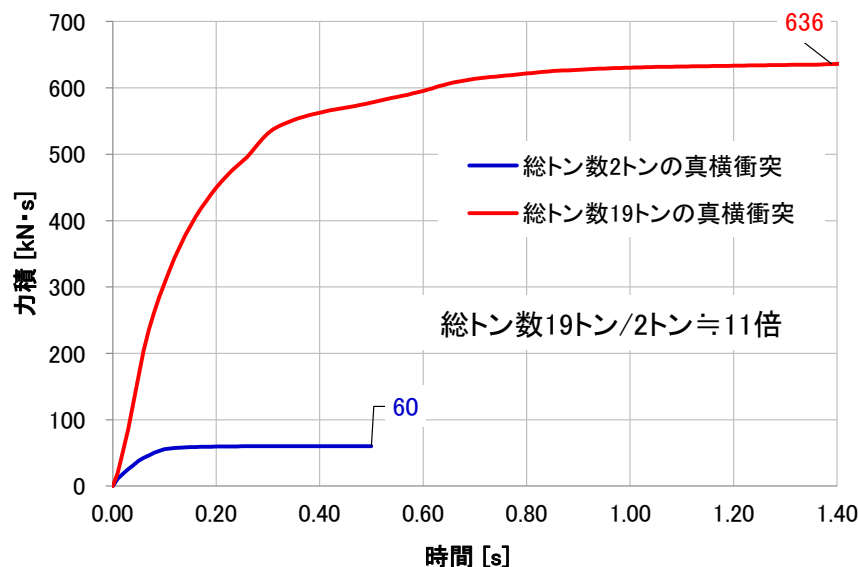


図 5-1 衝突解析結果による力積の比較結果（真横衝突）

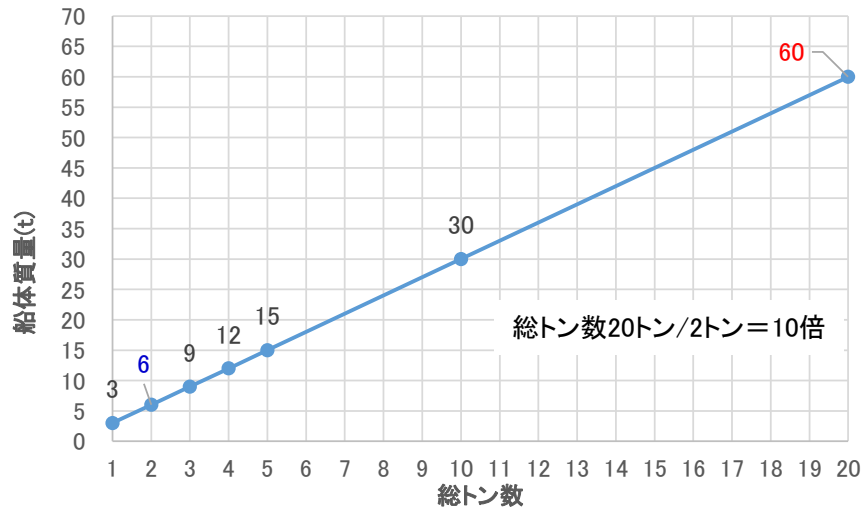


図 5-2 総トン数と船体質量の相関関係

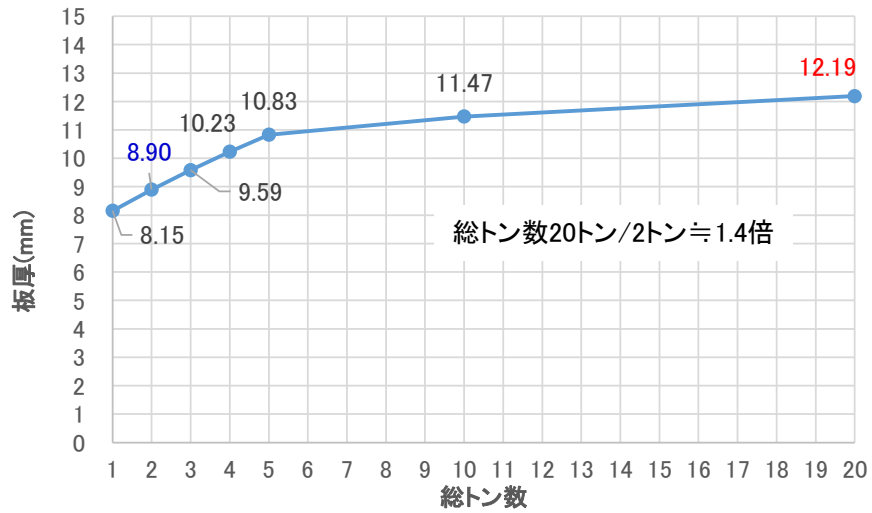


図 5-3 総トン数と船体板厚の相関関係

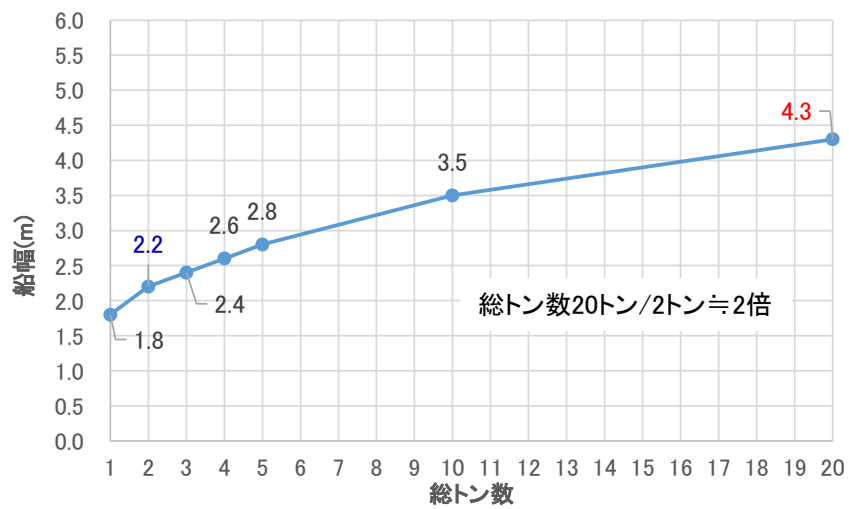


図 5-4 総トン数と船幅の相関関係

6. まとめ

総トン数19トン船舶及び総トン数2トン船舶が被衝突物に衝突した際に、機関部の被衝突物への衝突有無を確認した結果、両船舶とも被衝突物に衝突しないことを確認した。

また、総トン数19トンより小型の船舶における機関部衝突に対する影響確認結果として、総トン数が小さくなることで、衝突エネルギーである力積の減少率に対して、船体構造（船体板厚及び船幅）の減少率が小さいことを確認した。すなわち、総トン数が小さくなることで衝突エネルギーが大幅に減少するのに対して、船体剛性の減少率が小さく、船体の破壊領域が小さくなることを確認した。よって、船舶の総トン数が小さくなることで、機関部が被衝突物に衝突する可能性は小さくなると判断できる。

以上より、機関部が衝突しない条件においては、島根原子力発電所で最大となる総トン数19トン船舶による衝突荷重の代表性を確認した。

漂流物衝突荷重の載荷方法

1. 概要

船舶（総トン数19トン）の漂流物衝突荷重について，設計用衝突荷重として「施設全体に作用する衝突荷重」と「局所的な衝突荷重」を設定する（図1-1参照）。本資料では，評価対象構造物における設計用衝突荷重の載荷方法を説明する。

また，評価対象構造物のうち防波壁は，漂流物衝突荷重の分散及び漂流物衝突による局所的な損傷の防止をするため，鉄筋コンクリート版により構成された漂流物対策工を設置する。漂流物対策工による漂流物衝突荷重の荷重分散を考慮した評価対象構造物への載荷方法を説明する。

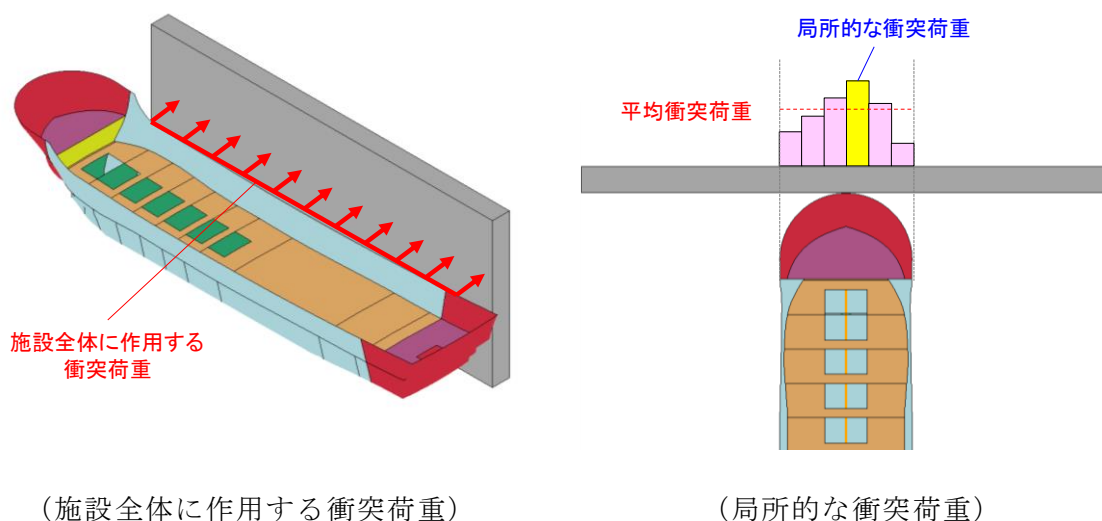


図 1-1 設計用衝突荷重のイメージ図

2. 漂流物衝突荷重の載荷方法

(1) 施設全体に作用する衝突荷重

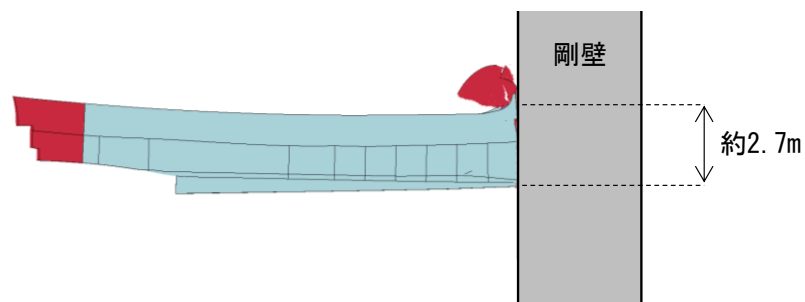
船舶（総トン数 19 トン）全体の衝突荷重による影響を考慮するため、「施設全体に作用する衝突荷重」により評価対象構造物の評価を実施することとし、衝突荷重を直接受ける部材に加え、評価対象構造物を支持する部材（防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の鋼管杭，防波壁（逆 T 擁壁）のグラウンドアンカ等）を含めて、評価対象構造物全体の評価を実施する。

「施設全体に作用する衝突荷重」にて考慮する衝突荷重として、評価対象構造物の延長に応じた作用幅より設計用衝突荷重（表 2-1）を設定する。

衝突荷重の載荷方法については、最大衝突荷重発生時の面積よりも小さくなるように設定する。船首衝突時及び真横衝突時における最大衝突荷重発生時の衝突状況を図 2-1 に示す。最大衝突荷重は、船首衝突において、隔壁①、②が衝突時に発生しており、隔壁①、②の高さは約 2.7m となっている。真横衝突時においては、船側①衝突時に最大衝突荷重が発生しており、船側①の高さは約 2.5m となっている。

施設全体に作用する衝突荷重は、幅方向は評価対象構造物の延長とし、高さ方向は最大衝突荷重発生時の高さよりも保守的に単位深さ 1 m に載荷する。施設全体に作用する衝突荷重の載荷方法（例）を図 2-2 に示す。

船首衝突：隔壁①、②衝突時



真横衝突：船側①衝突時

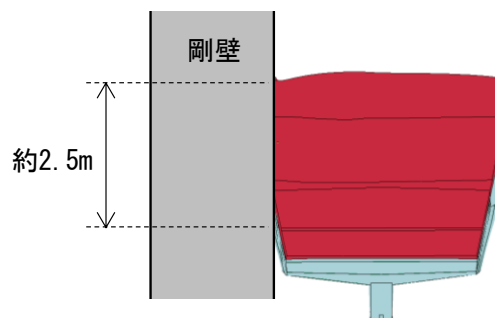


図 2-1 最大衝突荷重発生時の衝突状況

表 2-1 評価対象構造物に対する設計用衝突荷重
(施設全体に作用する衝突荷重)

評価対象構造物の延長	m	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
衝突解析から算定される衝突荷重	kN	1,107	2,159	2,654	3,049	3,072	3,078	3,085	3,448	3,859	4,271	4,631	5,082
衝突解析から算定される衝突荷重を 評価対象構造物の延長で除した値	kN/m	1,107	1,080	885	762	614	513	441	431	429	427	421	424
設計用平均衝突荷重 (設計用平均衝突荷重×評価対象 構造物の延長)	kN/m (kN)	1,200 (1,200)	1,100 (2,200)	890 (2,670)	770 (3,080)	620 (3,100)	520 (3,120)	450 (3,150)	440 (3,520)	430 (3,870)	430 (4,300)	430 (4,730)	430 (5,160)

評価対象構造物の延長	m	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
衝突解析から算定される衝突荷重	kN	5,529	5,816	6,263	6,544	6,776	6,921	7,013	7,045	7,263	7,355	7,387	7,395
衝突解析から算定される衝突荷重を 評価対象構造物の延長で除した値	kN/m	425	415	418	409	399	385	369	352	346	334	321	308
設計用平均衝突荷重 (設計用平均衝突荷重×評価対象 構造物の延長)	kN/m (kN)	430 (5,590)	420 (5,880)	420 (6,300)	410 (6,560)	400 (6,800)	390 (7,020)	370 (7,030)	360 (7,200)	350 (7,350)	340 (7,480)	330 (7,590)	310 (7,440)

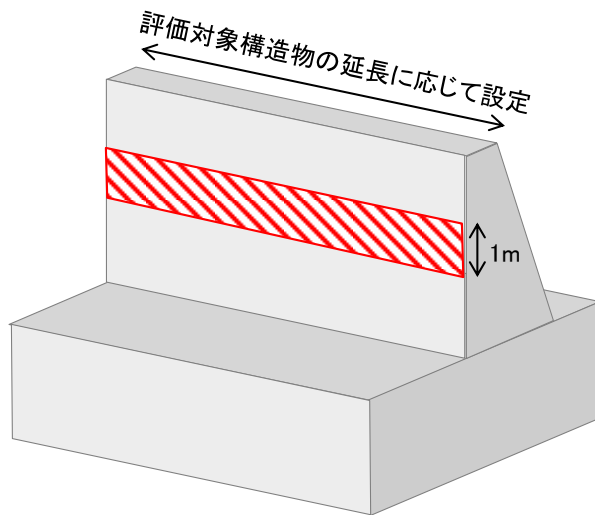


図 2-2 施設全体に作用する衝突荷重の載荷方法 (例)

(2) 局所的な衝突荷重

衝突解析により、「施設全体に作用する衝突荷重」である平均衝突荷重を上回る局所的な荷重（1 m当たりの荷重）が確認されることから、「局所的な衝突荷重」により評価対象構造物の評価を実施する。

評価対象構造物を支持する部材において、衝突荷重を直接受ける部材から伝達される荷重の絶対値が大きい「施設全体に作用する衝突荷重」（総衝突荷重）に「局所的な衝突荷重」は包絡される。一方、衝突荷重を直接受ける部材においては、「局所的な衝突荷重」は「施設全体に作用する衝突荷重」（平均衝突荷重）と比較して1 m当たりの荷重が大きくなり、部材の局所的な評価が厳しくなる可能性がある。よって、「局所的な衝突荷重」による評価は、衝突荷重を直接受ける部材に対して実施する。

「局所的な衝突荷重」にて考慮する衝突荷重として、設計用衝突荷重である1,200kNを設定する。

衝突荷重の載荷方法については、幅方向は単位幅1 m、高さ方向は最大衝突荷重発生時の高さよりも保守的に単位深さ1 mとする。局所的な衝突荷重の載荷方法（例）を図2-3に示す。

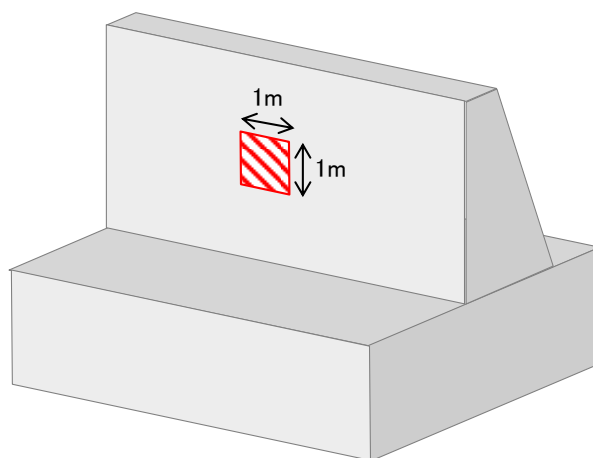


図 2-3 局所的な衝突荷重の載荷方法（例）

3. 漂流物対策工を考慮した漂流物衝突荷重の載荷方法

評価対象構造物のうち防波壁は、コンクリート版により構成された漂流物対策工を設置する計画としており、図3-1のとおりコンクリート版の厚さに応じて、衝突荷重が分散される。

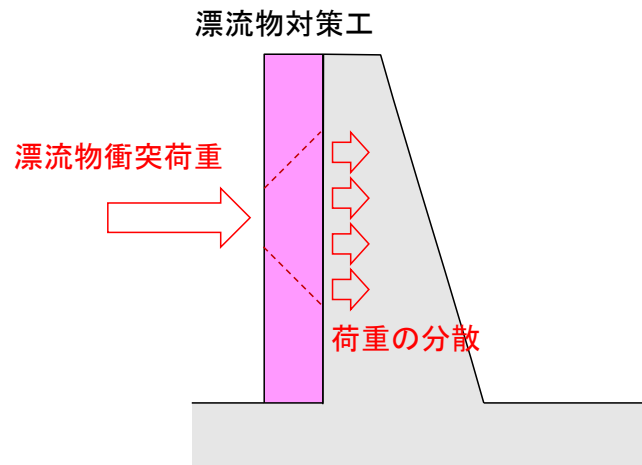
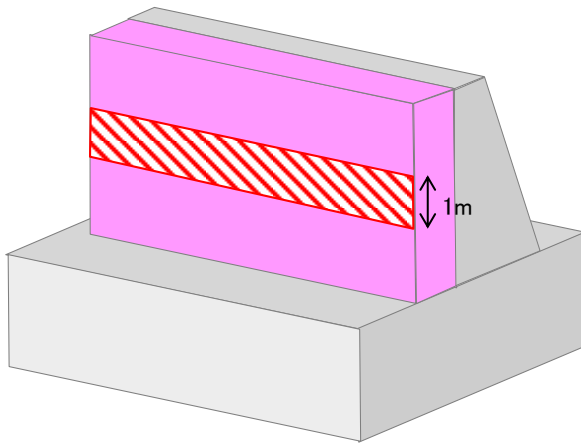


図 3-1 漂流物対策工における衝突荷重の分散

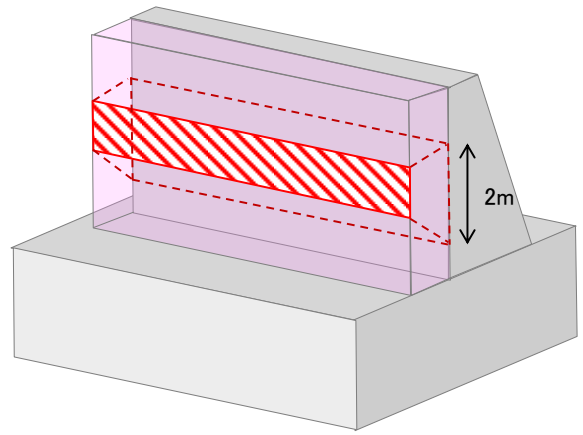
漂流物対策工を介した場合における漂流物衝突荷重の載荷方法（例）として、施設全体に作用する衝突荷重の載荷方法を図 3-2 に、局所的な衝突荷重の載荷方法を図 3-3 に示す。

施設全体に作用する衝突荷重を考慮する場合、漂流物対策工の延長に対して高さ 1 m で衝突する。コンクリート版の厚さを 50cm とした場合は、漂流物対策工を介して 45° で荷重分散されることから、防波壁の延長に対して高さ 2m で衝突荷重が伝達される。

また、局所的な衝突荷重を考慮する場合、漂流物対策工に幅 1 m × 高さ 1 m で衝突する。コンクリート版の厚さを 50cm とした場合は、漂流物対策工を介して 45° で荷重分散されることから、防波壁には幅 2m × 高さ 2m で衝突荷重が伝達される。

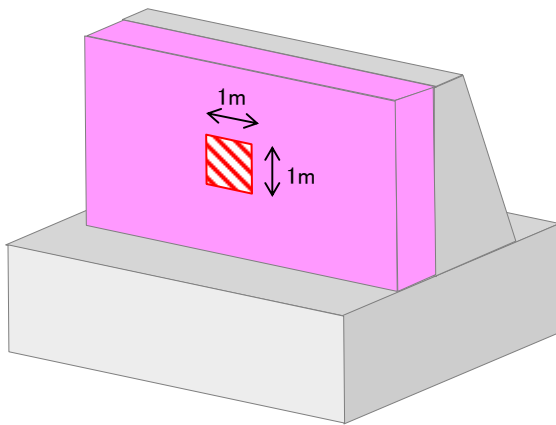


(漂流物対策工に衝突)

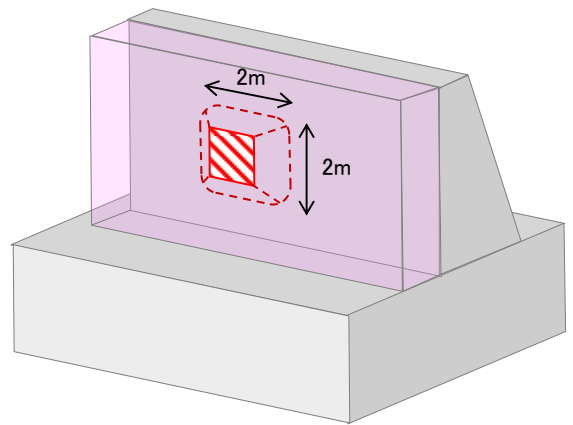


(漂流物対策工による荷重分散を踏まえ、防波壁に衝突荷重を載荷)

図 3-2 漂流物対策工を介した場合における施設全体に作用する漂流物衝突荷重の載荷方法 (例)



(漂流物対策工に衝突)



(漂流物対策工による荷重分散を踏まえ、防波壁に衝突荷重を載荷)

図 3-3 漂流物対策工を介した場合における局所的な漂流物衝突荷重の載荷方法 (例)

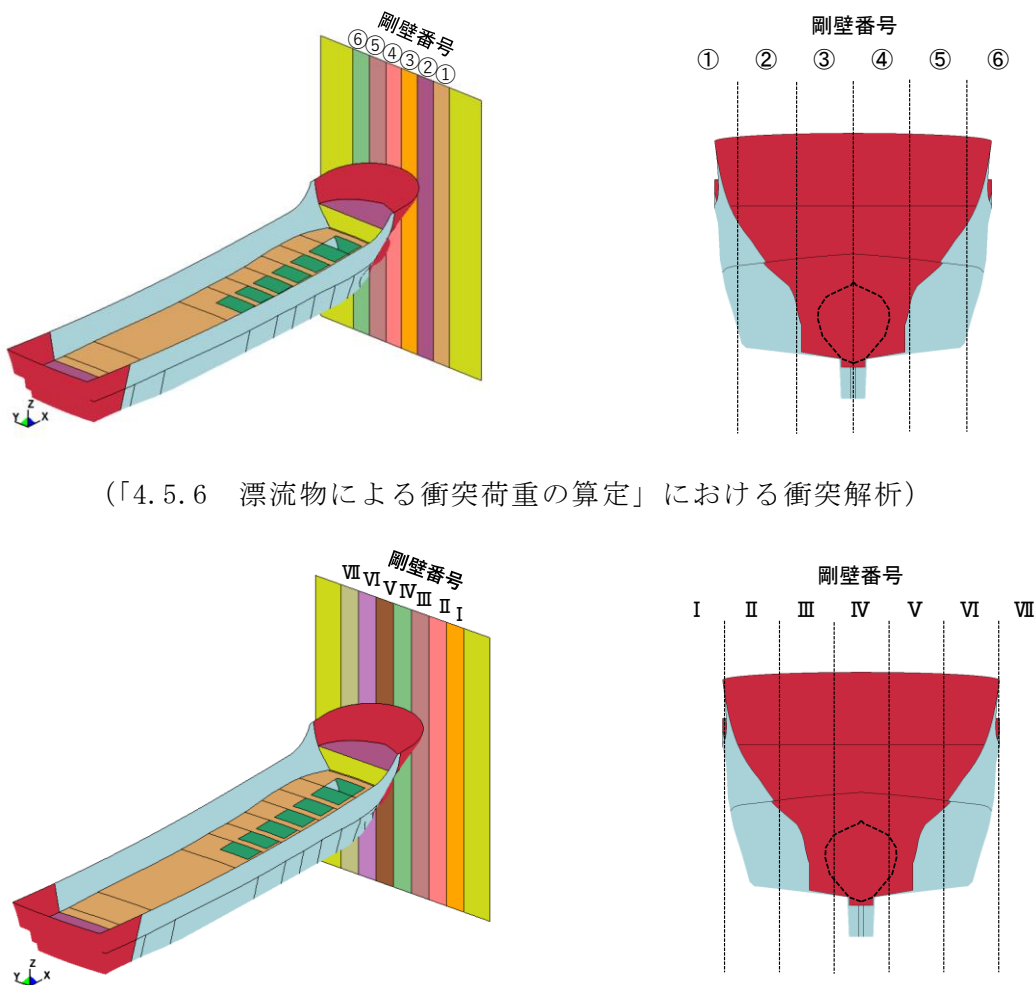
剛壁配置による衝突荷重への影響確認

1. 概要

船舶（総トン数19トン）における衝突荷重は、「衝突解析」により「局所的な衝突荷重」を設定している。「局所的な衝突荷重」においては、各衝突形態のうち、剛壁 1 m 当たりに対して最大となる衝突荷重が発生する船首方向からの衝突を考慮している。

「4.5.6 漂流物による衝突荷重の算定」の船首方向からの衝突解析においては、剛壁③と④の境界と船舶の中心が一致するように剛壁を配置している。そのため、剛壁③と④の境界に船体中心が衝突するが、船首は複雑な形状をしていることから、剛壁の配置によって、「局所的な衝突荷重」が大きくなる可能性がある。本資料では、船首方向からの衝突に対して、剛壁の配置を見直した衝突解析を実施することで、衝突荷重への影響を確認する。

本資料での衝突解析における剛壁の配置状況を図1-1に示す。



（「4.5.6 漂流物による衝突荷重の算定」における衝突解析）

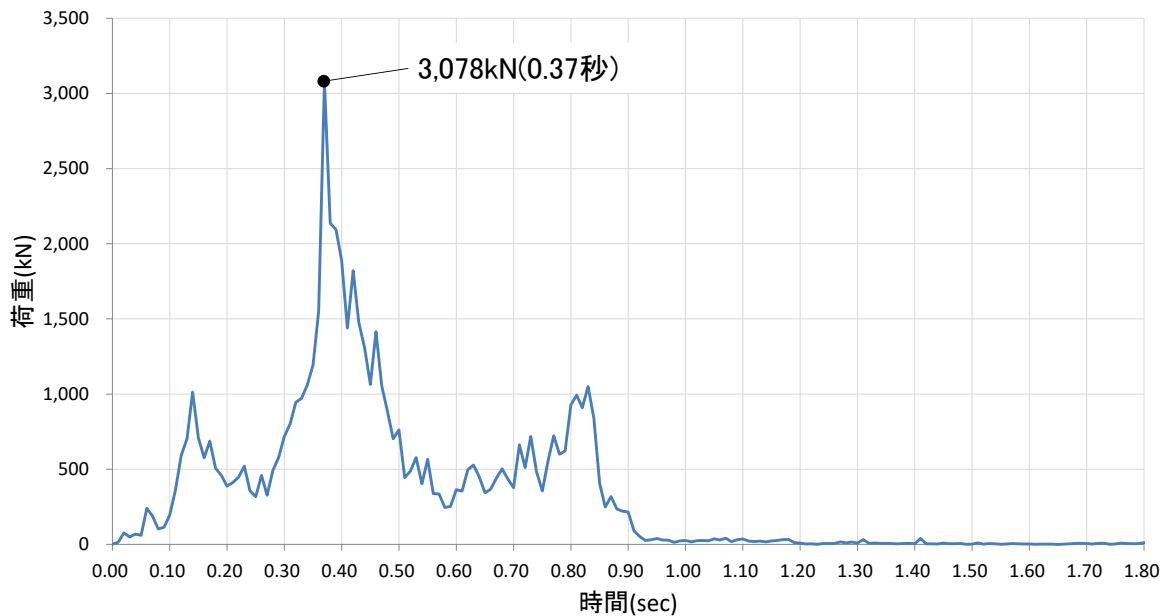
（本資料における衝突解析）

図 1-1 衝突解析における剛壁の配置状況

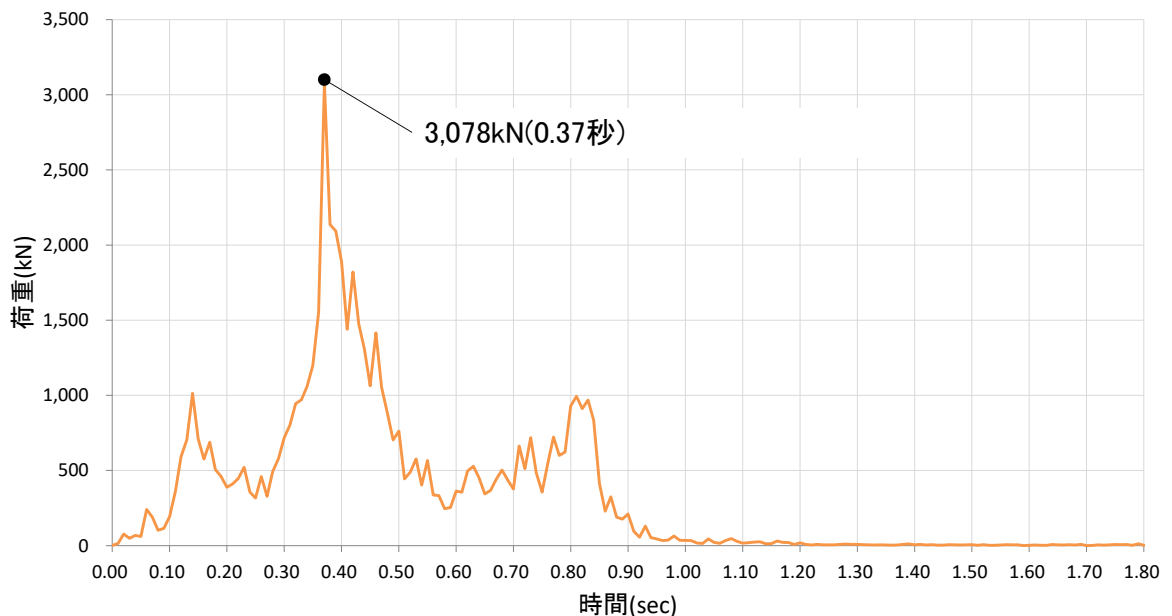
2. 剛壁の配置を見直した衝突解析結果

「4.5.6 漂流物による衝突荷重の算定」における衝突解析と本資料における剛壁の配置を見直した衝突解析の結果として、両ケースとも衝突後0.37秒で最大衝突荷重3,078kNが発生することを確認した。

両ケースにおける各剛壁の衝突荷重を集計した時刻歴を図2-1に示す。



(「4.5.6 漂流物による衝突荷重の算定」における衝突解析結果)



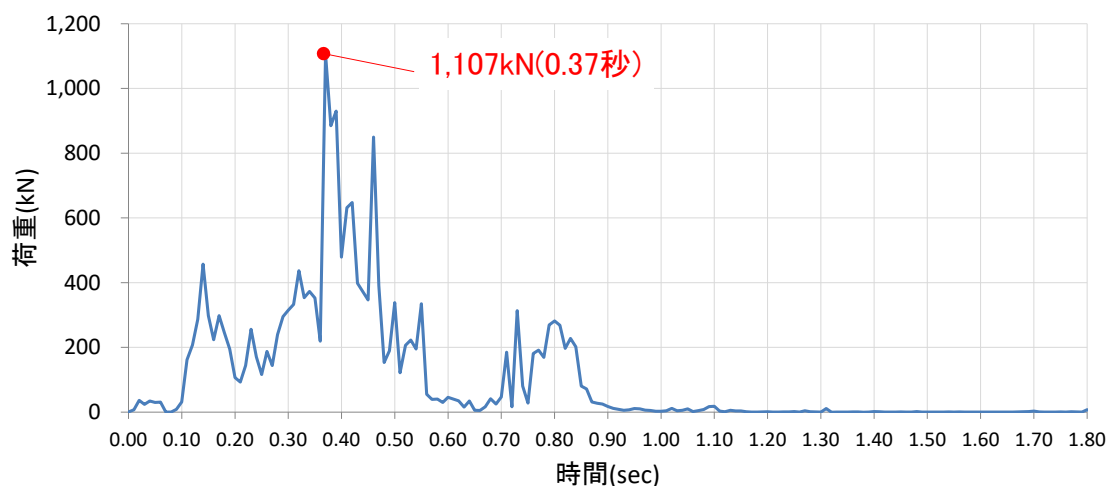
(本資料における剛壁の配置を見直した衝突解析)

図 2-1 各剛壁の衝突荷重を集計した時刻歴

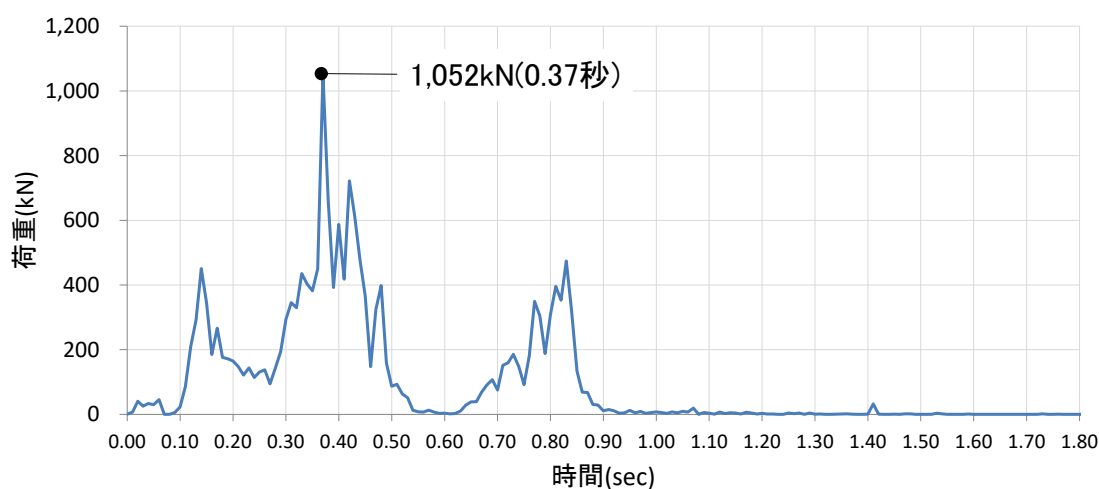
剛壁 1 m 当たりの衝突荷重の解析結果として、「4.5.6 漂流物による衝突荷重の算定」では、剛壁③において衝突後0.37秒で剛壁 1 m 当たりの最大衝突荷重1,107kNが発生しており、隣接する剛壁④で2番目に大きな衝突荷重1,052kNが発生している。一方、剛壁の配置を見直した衝突解析では、剛壁IVにおいて衝突後0.37秒で剛壁 1 m 当たりの最大衝突荷重1,008kNが発生している。剛壁③、④及びIVにおける衝突荷重の時刻歴を図2-2に示す。

以上より、船首方向からの衝突においては、剛壁の配置によって剛壁 1 m 当たりに作用する最大衝突荷重はおおむね同程度であることから、「4.5.6 漂流物による衝突荷重の算定」における剛壁 1 m 当たりに発生する衝突荷重1,107kNを踏まえて、「局所的な衝突荷重」の設計用衝突荷重1,200kNを設定することは妥当と判断した。

剛壁番号③



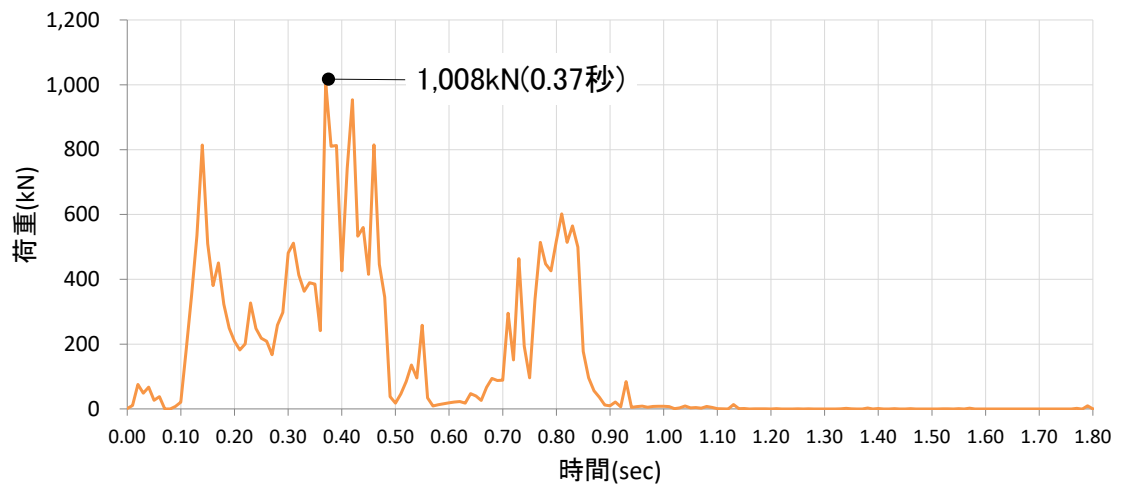
剛壁番号④



(「4.5.6 漂流物による衝突荷重の算定」における衝突解析結果)

図 2-2(1) 剛壁 1 m 当たりの衝突荷重の時刻歴

剛壁番号IV



(本資料における剛壁の配置を見直した衝突解析)

図 2-2(2) 剛壁 1 m 当たりの衝突荷重の時刻歴

衝突荷重の非対称性に関する確認

船舶（総トン数19トン）の漂流物衝突荷重の算定において「衝突解析」を用いているが、図1に示すとおり、船舶の形状が左右対称であることに対して、発生する衝突荷重が左右非対称となっていることを確認したことから、その要因を考察する。

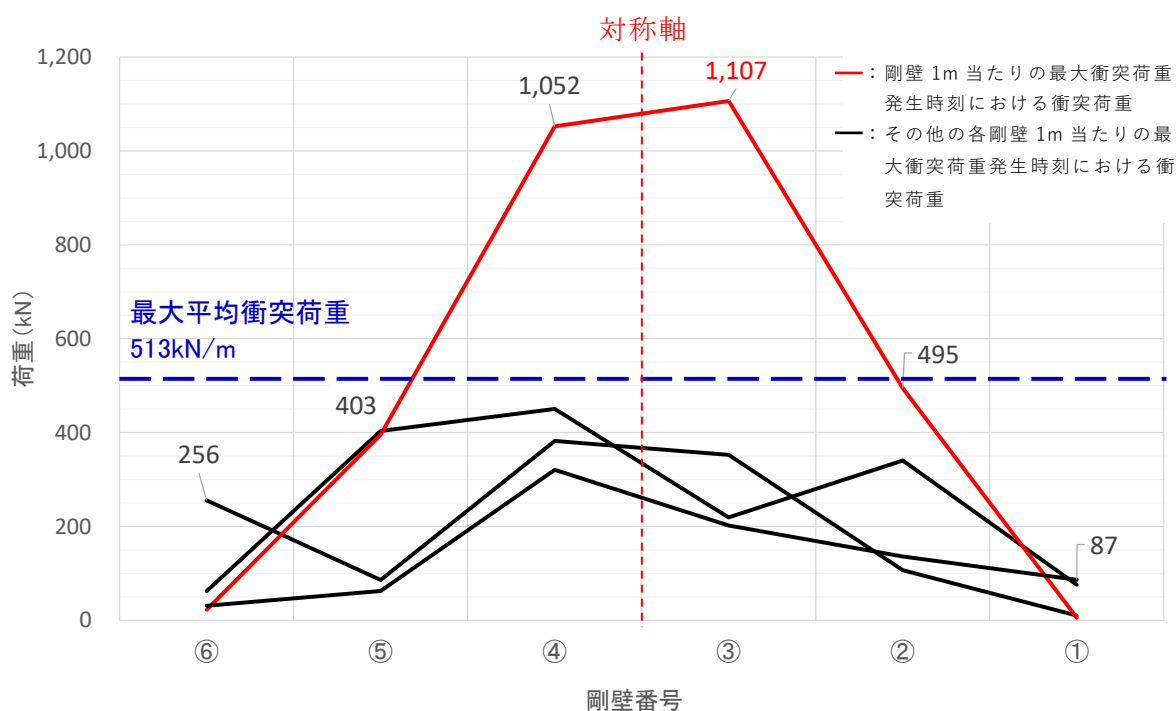


図1 衝突荷重分布（例：船首方向から衝突）

「衝突解析」は、陽解法により解析対象物の大変形挙動を時刻歴で材料非線形性を考慮した解析が可能であるため、剛性の大きい被衝突物に衝突する際の衝突物の材料非線形性を考慮した衝突荷重が算定できる。

陽解法は、ある時刻における運動方程式を直接的に解く手法であり、収束計算を行わないことから、時刻 t における要素のひずみ、発生応力等を踏まえ、時刻 $t+\Delta t$ における要素のひずみ、発生応力等が算定される。一方、衝突解析を実施する解析プログラム内における処理桁数の上限が決まっているため、計算時間が長いほど計算処理における微小な違いが蓄積されることから、左右対称となるべき要素のひずみ、発生応力等が異なるため被衝突物の左右の破壊状況に差が生じることが、衝突荷重が左右非対称となる要因であると判断した。参考として、単純形状の衝突物による衝突解析を実施したが、衝突荷重分布は船舶（総トン数19トン）の衝突解析と同様に左右非対称となった。

以上より、船舶（総トン数19トン）の衝突解析により得られる衝突荷重は妥当であると判断する。

1. 単純形状の衝突物による衝突解析

単純形状の衝突物としては、FRP製の箱型形状（幅1m，奥行1m，高さ1m，厚さ1mm）とした。衝突速度は1m/s，被衝突物は2mの剛壁として，剛壁の境界部が衝突物の中心となるように衝突させた際に各剛壁に発生する衝突荷重を確認し，船舶（総トン数19トン）の衝突解析結果と同様の傾向となるか確認する。

衝突解析イメージを図1-1，衝突物を構成するFRPの物性値を表1-1に示すが，船舶（総トン数19トン）と同じ値とした。

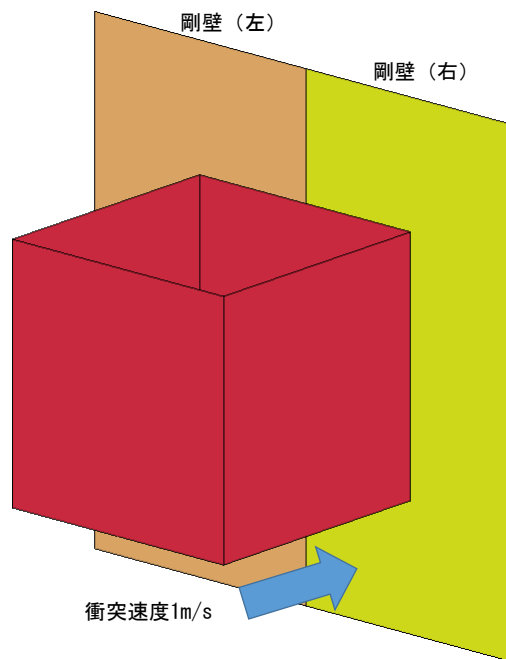


図1-1 単純形状の衝突物における衝突解析イメージ

表1-1 FRPの物性値

項目	単位	採用値
ヤング率 (曲げ弾性)	GPa	12
ポアソン比	—	0.358
曲げ強度	MPa	260
単位体積重量	t/m ³	1.6
破壊ひずみ	%	5 完全弾塑性材料

単純形状の衝突物による衝突状況を図 1-2 に、各剛壁に作用する衝突荷重の時刻歴を図 1-3 に示す。

剛壁（右）に発生した最大衝突荷重 194kN に対し、剛壁（左）に発生した最大衝突荷重は 196kN となることを確認した。左右対称となる単純形状の衝突物による衝突解析においても、船舶（総トン数 19 トン）の衝突解析結果と同様に、発生する衝突荷重が左右非対称となることを確認した。

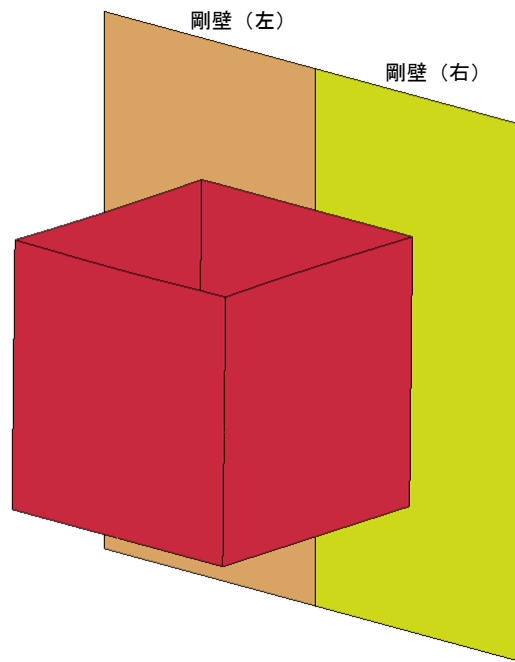


図 1-2 単純形状の衝突物による衝突状況

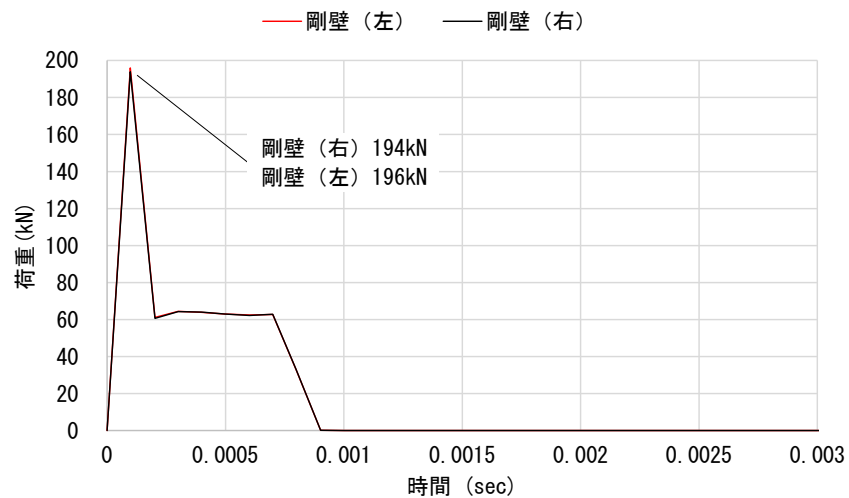


図 1-3 単純形状の衝突物による衝突荷重

衝突解析による荷重評価の保守性

1. 概要

「豊田ほか（2022）＊」では、総トン数2トンのFRP製船舶について、船首方向からの落下衝突実験を行い、船体の破壊挙動と衝突荷重を把握されている。

添付資料3「島根原子力発電所におけるFRP製船舶に係る衝突解析条件の妥当性」では、「豊田ほか（2022）」における総トン数2トンのFRP製船舶を模擬した当社解析モデルを用いて衝突解析を実施し、「豊田ほか（2022）」の衝突実験結果と比較した結果、1番目の荷重ピークを含む0.14秒までの衝突荷重の時刻歴波形は、おおむね模擬できており、最大衝突荷重も安全側の評価となることを確認したことから、島根原子力発電所におけるFRP製船舶に係る衝突解析条件の妥当性を確認している。

一方、0.14秒以降の衝突荷重の時刻歴波形では、「豊田ほか（2022）」の衝突実験で発生している2番目の荷重ピークが再現できていない。

そのため、本資料では「豊田ほか（2022）」の衝突実験による衝突荷重の時刻歴波形に対する当社衝突解析による衝突荷重の時刻歴波形との差異について要因を分析し、当社衝突解析による衝突荷重の保守性について確認する。

注記＊：豊田真・南波宏介・甲斐田秀樹・栗山透 FRP船舶の衝突解析手法に関する研究，土木学会論文集A1（構造・地震工学），Vol.78，No.2，301-315，2022.

2. 衝突荷重の時刻歴波形及び衝突状況の確認

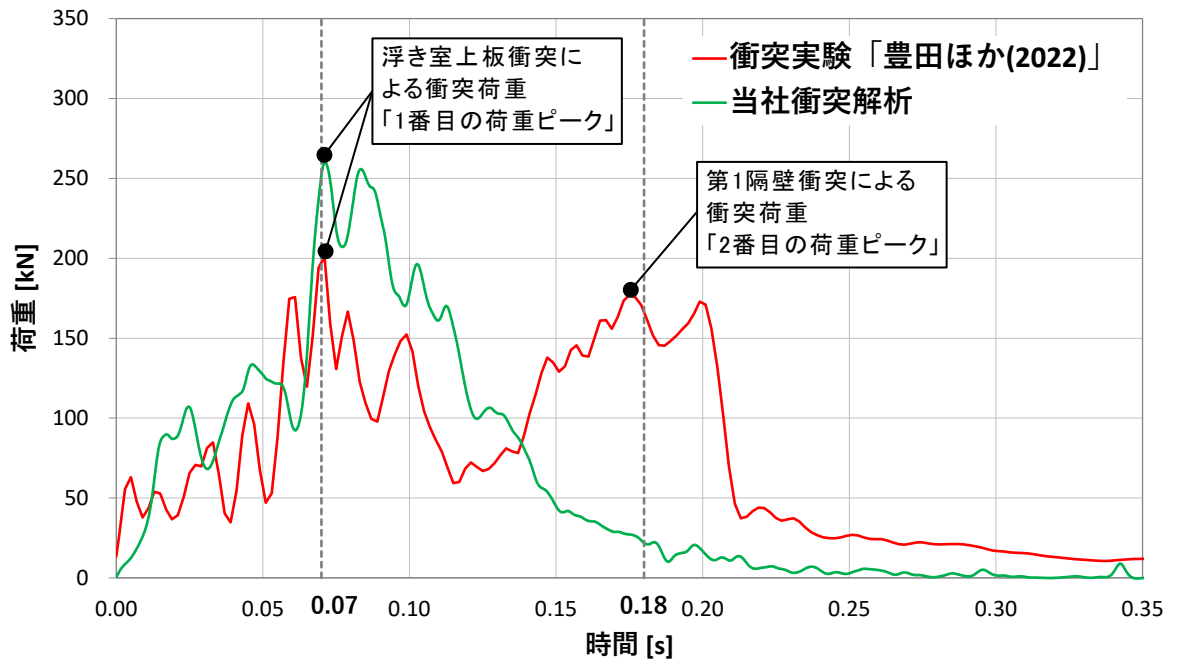
「豊田ほか（2022）」における衝突実験及び当社衝突解析による衝突荷重の時刻歴波形と衝突状況を図2-1に示す。

図2-1より、「豊田ほか（2022）」では0.07秒付近で浮き室上板の衝突による1番目の荷重ピークが発生しており、0.14秒～0.20秒付近で第1隔壁の衝突による2番目の荷重ピークが発生している。一方、当社衝突解析では、1番目の荷重ピークは「豊田ほか（2022）」と同様に浮き室上板衝突時に発生しているが、2番目の荷重ピークである第1隔壁が衝突する前に衝突現象が終了している。

このピーク荷重の発生状況における差異として、当社衝突解析条件では、大きさや形状の異なる船舶による衝突解析への適用を考慮して、船体の解析モデルにおいて弱部となる継手部等の詳細なモデルを一般化したこと、及び衝突荷重が安全側の評価となるように、各文献からFRPの材料特性（強度、破壊ひずみ等）を安全側に設定したことから、当社衝突解析では、衝突実験の船体の破壊領域に対して小さくなり、第1隔壁が衝突する前に衝突現象が終了した要因として推察される。

以上より、汎用性の高い船舶のモデル化においては、弱部となる継手部等の詳細なモデル化が困難であることから、当社衝突解析について船体破壊が第1隔壁まで進行するようにFRPの材料特性を適切な範囲で変更することで、「豊田ほか（2022）」に対する衝突荷重の再現性について確認を行う。

【衝突荷重の時刻歴波形】



【衝突状況】

衝突時刻	衝突実験「豊田ほか(2022)」	当社衝突解析
0.00秒		
0.07秒		
0.18秒		

図 2-1 衝突実験及び当社衝突解析の衝突荷重時刻歴と衝突状況
(衝突実験:「豊田ほか(2022)」を基に作成)

3. 豊田ほか（2022）に対する再現性確認

「豊田ほか（2022）」の衝突実験における、第1隔壁の影響により生じる2番目の荷重ピークに対して、当社衝突解析のFRPの材料特性を変更することで、再現性を確認する。なお、FRPの材料特性の変更にあたっては、当社衝突解析の条件が衝突実験の船体の破壊領域に対して小さいことを踏まえ、船体の破壊進行に影響が大きいと考えられる曲げ強度及び破壊ひずみを対象とし、FRPの材料特性に対して各文献や衝突実験における平均的な値を設定する。

曲げ強度の設定については、表3-1に示すとおり「豊田ほか（2022）」では曲げ強度を船側及び船底の2区画に分けて設定しているが、当社衝突解析では区画分けをせず一律としているため、再現性確認においては2区画の平均値を採用する。また、FRPの破壊ひずみの設定については、表3-2に示すとおり「強化プラスチック船規則解説（日本海事協会誌，1978）」及び「基礎からわかるFRP（強化プラスチック協会編，2016）」によると0.5%～2%と記載されていることから、再現性確認においては破壊ひずみ2%（完全弾塑性材料）を採用する。

当社衝突解析及び再現性確認解析におけるFRPの材料特性のまとめを表3-3に示す。

表 3-1 「豊田ほか（2022）」におけるFRPの曲げ強度
（「豊田ほか（2022）」に加筆）

試験片	設定する部位	解析で用いる物性値	単位	値
船側	デッキ デッキ端部 側板 プルワーク	密度	kg/m ³	1,860
		軸方向ヤング率	GPa	10,269
		横方向ヤング率	GPa	9,574
		せん断弾性係数	GPa	3,520
		軸方向強度	MPa	184
		横方向強度	MPa	146
		破壊ひずみ	軸方向…6% 横方向…5% ※ひずみ2%で 曲げ強度到達	
船底	浮き室上板 隔壁 キール 底板	密度	kg/m ³	1,860
		軸方向ヤング率	GPa	15,679
		横方向ヤング率	GPa	13,980
		せん断弾性係数	GPa	4,045
		軸方向強度	MPa	274
		横方向強度	MPa	253
		破壊ひずみ	軸方向…9% 横方向…10% ※ひずみ2%で 曲げ強度到達	

表 3-2 文献におけるFRPの破壊ひずみの整理結果

項目	引用文献	適用性	引用文献値
破壊ひずみ 【単位：%】	「強化プラスチック船規則解説(日本海事協会会誌, 1978年)」	本文献は、「強化プラスチック船規則」について解説をされており、船体材料を構成するFRPの破断時の伸びについて記載されているため、適用可能と判断した。なお、FRPの破断時の伸びについては、「FRPでは降伏点はなく、破断時の伸びは約1ないし1.5%である。」とされており、鋼材と比較して「ある応力に達すると直ちに破壊につながる恐れがある」と脆性的な弾性材料であることが記載されている。	1~1.5 弾性材料
	「基礎からわかるFRP(強化プラスチック協会編, 2016)」	本文献は、FRPについて幅広く掲載されており、船体材料を構成するFRPの破断時の伸びについて記載されているため、適用可能と判断した。なお、FRPの破断ひずみについては、「破断まで線形的に応力が増加し、破断伸びは通常0.5~2%程度と小さい脆性材料である」と記載されている。	0.5~2 弾性材料
	「豊田ほか(2022)」	本文献は、FRP船舶の津波漂流物の衝突荷重の評価を目的としており、FRP船舶の実機を用いた実験を実施されているため、適用可能と判断した。なお、破壊ひずみについては、材料試験結果(4点曲げ試験)を模擬した同定解析による破壊ひずみが記載されており、完全弾塑性材料として取り扱うことが記載されている。	5, 6, 9, 10 完全弾塑性材料

表 3-3 当社衝突解析及び再現性確認解析におけるFRPの材料特性

項目	単位	当社衝突解析 採用値	再現性確認解析 採用値
ヤング率 (曲げ弾性)	GPa	12	12
ポアソン比	—	0.358	0.358
曲げ強度	MPa	260	210
単位体積重量	t/m ³	1.6	1.6
破壊ひずみ	%	5 完全弾塑性材料	2 完全弾塑性材料

図3-1に衝突実験，当社衝突解析及び再現性確認解析における衝突荷重の時刻歴を，図3-2に衝突状況示す。

図3-1より，衝突実験と再現性確認解析を比較した結果，再現性確認解析において曲げ強度及び破壊ひずみを変更したことで，船体の破壊領域が大きくなったことから，衝突実験に対して発生時刻は若干異なるものの，0.22秒付近で第1隔壁が衝突することによる2番目の荷重ピークが発生することを確認した。また，図3-2に示す再現性確認解析の衝突状況からも，衝突実験と同様に第1隔壁が衝突しており，衝突実験における衝突状況をおおむね再現できていることを確認した。

衝突実験，再現性確認解析及び当社衝突解析を比較した結果，0.07秒付近で浮き室上板衝突による1番目の荷重ピークが発生しており，当社衝突解析による最大衝突荷重が全ての衝突荷重を包絡することを確認した。

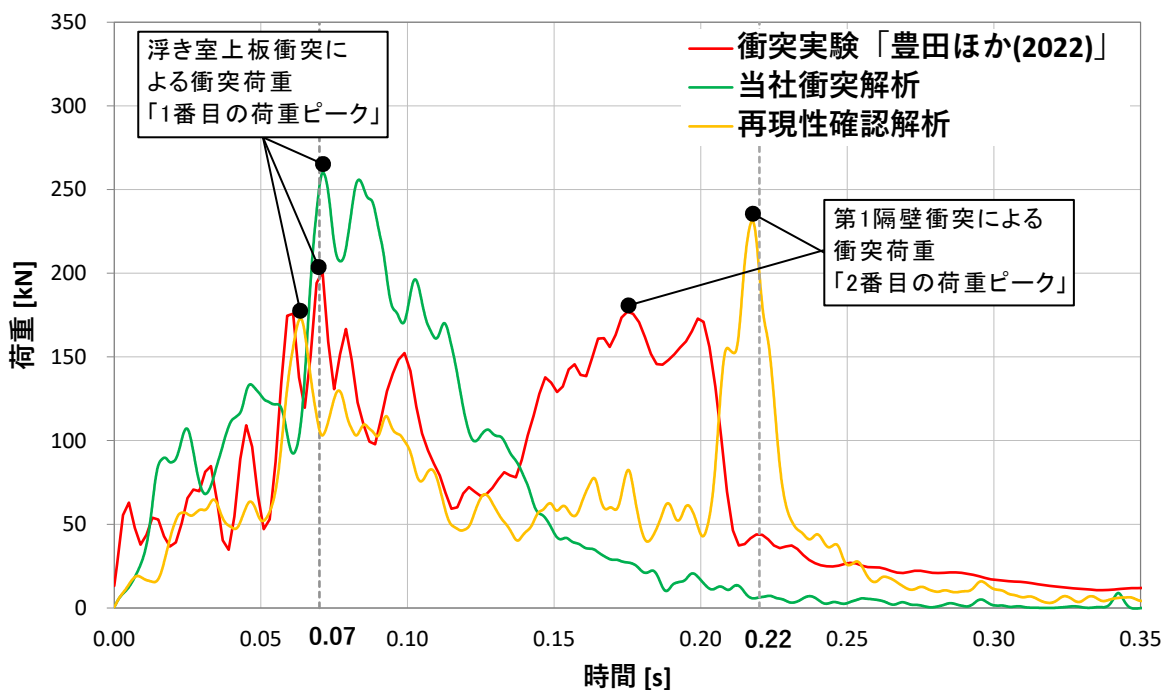


図3-1 衝突実験，当社衝突解析及び再現性確認解析の衝突荷重時刻歴
(衝突実験：「豊田ほか(2022)」を基に作成)

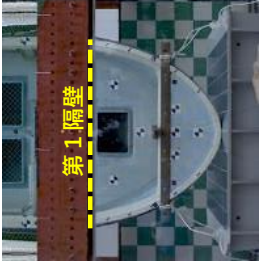
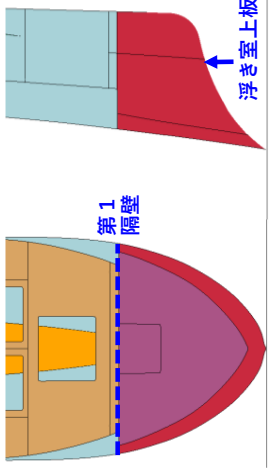
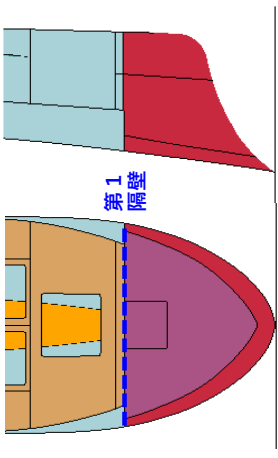
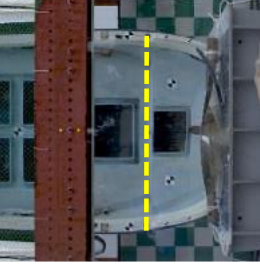
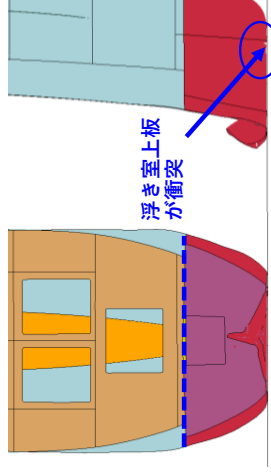
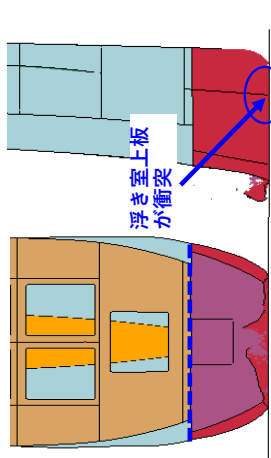
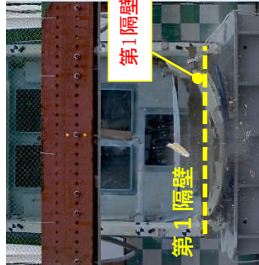
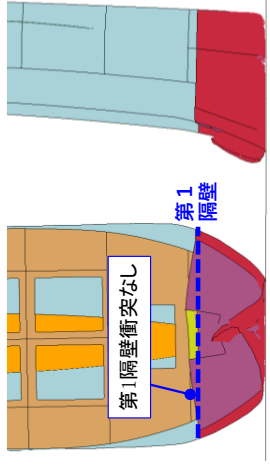
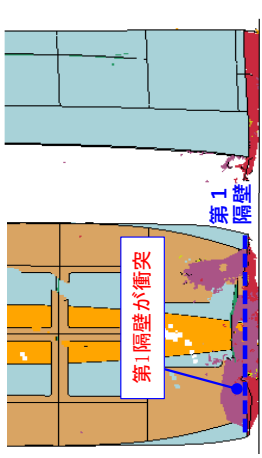
衝突時刻	衝突実験「豊田ほか(2022)」	当社衝突解析	再現性確認解析
0.00秒			
0.07秒			
0.18秒			

図 3-2 衝突実験，当社衝突解析及び再現性確認解析の衝突状況
(衝突実験：「豊田ほか(2022)」(こ加筆))

4. まとめ

「豊田ほか(2022)」の衝突実験と当社衝突解析による衝突荷重の時刻歴波形を比較すると、当社衝突解析では第1隔壁が衝突することによる2番目の荷重ピークが再現できていないことから、この要因分析を行った。

この荷重ピークの発生状況に大きく影響を与えている要因の一つとして、当社衝突解析条件では、船体の衝突解析による衝突荷重が安全側の評価となるように、各文献からFRPの材料特性を安全側に設定したことで、実際の船体破壊の領域に対して小さくなったことから、第1隔壁が衝突する前に衝突現象が終了したためと判断した。

そこで、当社衝突解析条件におけるFRPの材料特性のうち、船体の破壊進行に影響が大きいと考えられる曲げ強度及び破壊ひずみを適切な範囲で変更して、「豊田ほか(2022)」による衝突荷重の時刻歴波形に対する再現性について確認を行った。

再現性確認解析の結果として、曲げ強度及び破壊ひずみの変更に伴い、船体の破壊が進行することで船体の破壊領域が大きくなり、第1隔壁の衝突による2番目の荷重ピークが発生することを確認するとともに、「豊田ほか(2022)」における衝突状況と比較して、おおむね再現できていることを確認した。

また、FRPの材料特性を安全側に設定した当社衝突解析により求めた最大荷重は、衝突実験結果及び再現性確認解析結果を包絡していることを確認した。

以上の結果より、「豊田ほか(2022)」の衝突実験と当社衝突解析による衝突荷重の時刻歴波形との差異に対して、当社衝突解析条件におけるFRPの材料特性のうち、曲げ強度及び破壊ひずみを変更することで、衝突荷重の時刻歴波形及び衝突状況をおおむね再現できることを確認するとともに、当社衝突解析における最大衝突荷重は保守性を有することを確認した。

FRP製船舶に対する各算定方法による衝突荷重の整理

1. 概要

FRP製船舶に対して、各算定方法により算定した衝突荷重を整理する。衝突荷重の整理に当たっては、「豊田ほか(2022)*」で用いられている総トン数2トン船舶及び島根原子力発電所における漂流物として選定された総トン数19トン船舶を対象とし、総トン数2トン船舶においては「衝突実験」, 「FEMA(2012)」及び「衝突解析」による衝突荷重を、総トン数19トン船舶においては「FEMA(2012)」及び「衝突解析」による衝突荷重を算定し、衝突荷重の特徴を踏まえて関係性を整理する。

2. 総トン数2トン船舶におけるFEMA(2012)による衝突荷重の算定

「FEMA(2012)」による衝突荷重の算定に当たり、船首方向の軸剛性の算定においては、「土木学会(1994)」を基に添付資料4「FEMA(2012)によるFRP製船舶の衝突荷重」における算定手法に準じて設定する。

船体構造条件は、「豊田ほか(2022)*」で用いられている総トン数2トンのFRP製船舶の仕様を基に設定を行い、総トン数2トン船舶の船体構造条件の設定一覧を表2-1に、船首角度及び船首傾斜部の長さの設定根拠を図2-1に示す。

船体構造のうち船首角度は、図2-1に示すとおり、船首先端から両舷の船首曲線部終点を結ぶなす角を採用した。

船首傾斜部の長さの設定において、図2-2のとおり「土木学会(1994)」では圧壊荷重と船首の変形量の関係が示されており、図2-3に示す添付資料3「島根原子力発電所におけるFRP製船舶に係る衝突解析条件の妥当性」の総トン数2トン船舶の衝突実験結果から、浮き室上板衝突時に発生する最大衝突荷重を圧壊荷重 P_c 、船首の変形量を船首先端から浮き室上板先端までの長さとする、この傾きが軸剛性 k_c となると判断できることから、船首傾斜部の長さ L_{sf} として船首先端から浮き室上板先端までの長さを採用した。

総トン数2トン船舶における軸剛性の算定結果を表2-2に示す。

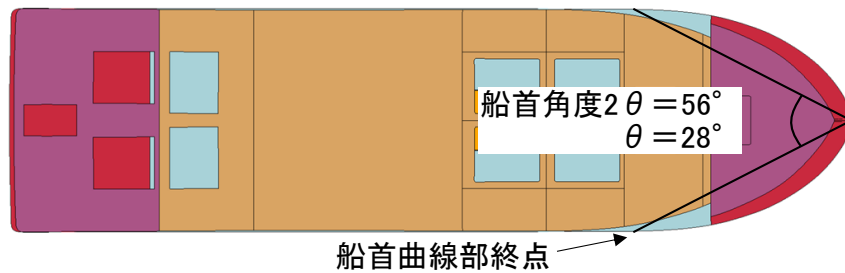
注記*：豊田真・南波宏介・甲斐田秀樹・栗山透 FRP船舶の衝突解析手法に関する研究，土木学会論文集A1（構造・地震工学），Vol.78，No.2，301-315，2022.

表 2-1 総トン数 2 トン船舶の船体構造条件の設定

項目	記号	単位	値	設定根拠
船舶長さ	L	m	7.20	対象船舶の登録長さ
船舶深さ	D	m	0.62	対象船舶の登録深さ
計画最大満載喫水	d	m	1.20	津波漂流物対策施設設計ガイドライン(平成 26 年 3 月)の総トン数(G.T.)2 トン漁船の喫水の最大値
船側外板厚* (船首部)	t	mm	7.51	強化プラスチック船規則(日本海事協会, 2018)の船首部の外板厚 $t = 15 \times s \times (d + 0.026 \times L)^{0.5} \times 0.85$ s: 肋骨の心距 = 0.5m d: 計画最大満載喫水 = 1.20m L: 船舶長さ = 7.20m
肋骨心距	S	mm	500	強化プラスチック船規則(日本海事協会, 2018)の肋骨の心距 (= 縦肋骨心距(a) = 横肋骨心距(b))
船首角度	θ	°	28	図 2-1 参照
船首傾斜部の長さ	L_{sf}	m	0.60	図 2-1 参照

注記* : 船側外板厚は「土木学会 (1994)」においても算定方法が記載されているが, FRP 製船舶であるため「強化プラスチック船規則(日本海事協会, 2018)」を採用する。

平面図



側面図

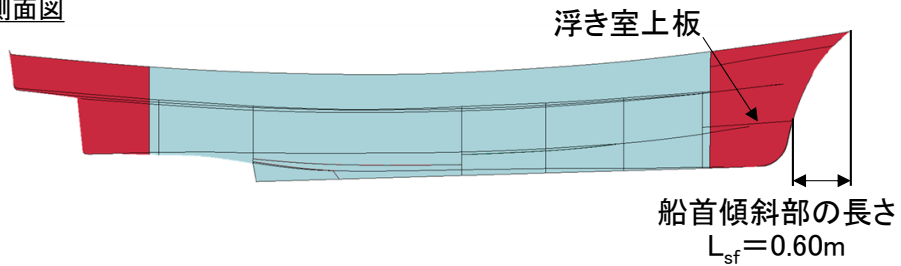


図 2-1 船首角度及び船首傾斜部の長さの設定根拠

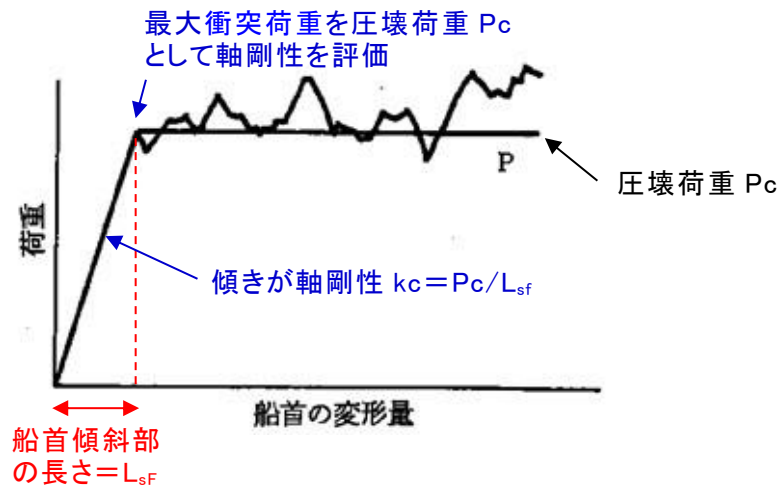


図 2-2 圧壊荷重と船首の変形量の関係
 (「土木学会 (1994)」に一部加筆)

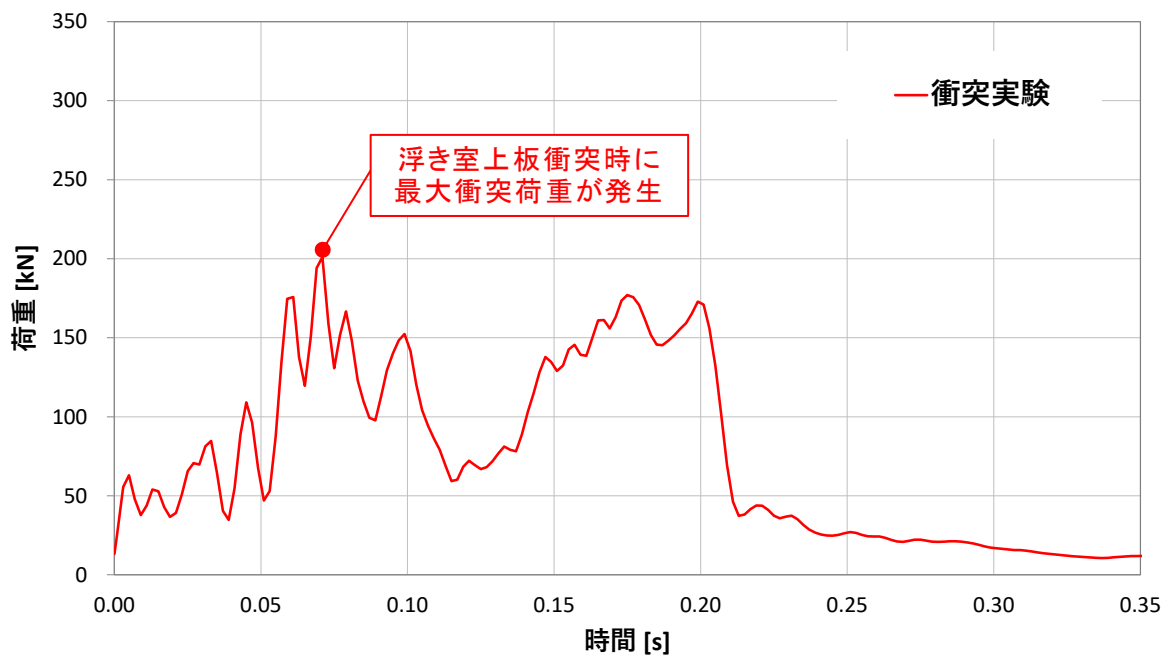


図 2-3 総トン数 2 トン船舶の衝突実験における衝突荷重の時刻歴

表 2-2 総トン数 2 トン船舶の軸剛性の算定結果

項目	記号	単位	値	
船体構造	船舶長さ	L	m	7.20
	船舶深さ	D	m	0.62
	船側外板厚 (船首部)	t	mm	7.51
	肋骨心距	s (=a,b)	mm	500
	船首角度	2θ	°	56
	船首傾斜 部の長さ	L _{sf}	m	0.60
材料物性	ヤング率 (曲げ弾性率)	E	tf/m ²	1.22 × 10 ⁶
	ポアソン比	ν	—	0.358
座屈強度	σ _c	tf/m ²	1,038	
圧壊荷重	P _c	kN	83.7	
軸剛性(船首部)	k _c	N/m	1.40 × 10 ⁵	

$$\sigma_c = k \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \left(\frac{t}{b}\right)^2$$

σ_c : 座屈強度 (tf/m²)
 k : 座屈係数 (b/a+a/b)²
 a : 横肋骨心距 (mm)
 b : 縦肋骨心距 (mm)
 E : ヤング率 (tf/m²)
 ν : ポアソン比
 t : 船側外板厚 (mm)

$$P_c = 2Dt(\cos\theta)\sigma_c$$

P_c : 圧壊荷重(船首強度) (kN)
 D : 船の深さ (m)
 θ : 船首角度 (°)

$$k_c = \frac{P_c}{L_{sf}}$$

k_c : 軸剛性 (N/m)
 L_{sf} : 船首傾斜部の長さ (m)

表2-2により算定した軸剛性を基に「FEMA (2012)」による衝突荷重の算定を行う。また、「FEMA (2012)」における衝突荷重の算定に当たっては、「豊田ほか (2022)」の衝突実験による衝突荷重と比較を行うことから、衝突実験における条件に準じて、船体質量は1,690kgf、衝突速度は9.9m/sを採用する。また、気中部の衝突現象であることを踏まえて、流体の影響による係数である付加質量係数については考慮しないこととする。

総トン数2トン船舶の「FEMA (2012)」による衝突荷重の算定結果を表2-3に示す。

【FEMA (2012) の式】

$$F_i = 1.3 u_{max} \sqrt{k_C m (1 + c)}$$

ここに、

- F_i : 衝突力
- u_{max} : 最大流速 (m/s)
- k_C : 漂流物の有効軸剛性 (N/m)
- m : 漂流物の質量 (kgf)
- c : 付加質量係数

表 2-3 総トン数2トン船舶の「FEMA (2012)」による衝突荷重の算定結果

項目	記号	単位	値
衝突速度	u_{max}	m/s	9.9
軸剛性(船首部)	k_C	N/m	1.40×10^5
漂流物の質量	m	kgf	1,690
付加質量係数	c	—	0
衝突荷重	F_i	N	198,000
		kN	198

3. FRP製船舶の衝突荷重の整理

各算定方法における衝突荷重の算定方法等の特徴について以下に示す。

- ・衝突実験として、「豊田ほか(2022)」では、総トン数2トンのFRP製船舶を用いた衝突実験が実施され、受圧板に生じた時々刻々変化する衝突状況に応じた衝突荷重が計測されている。衝突荷重の時刻歴における瞬間的な荷重ピーク値を表3-1に示す。
- ・衝突解析として、詳細な調査等に基づいた各船舶の3次元FEMモデルを作成して非線形構造解析を実施し、時々刻々変化する衝突状況に応じた衝突荷重を算定した。衝突荷重の時刻歴における瞬間的な荷重ピーク値を表3-1及び表3-2に示す。
また、衝突解析における船舶モデルに用いるFRPの材料特性の設定として、各文献から衝突荷重が大きくなるように安全側に設定した。
- ・「FEMA(2012)」として、FRP製船舶の船首部の複雑な形状および構造を再現できる軸剛性の設定方法は確立されていないことから、衝突実験又は衝突解析で求めた最大衝突荷重及び最大衝突荷重発生時刻に対する船首先端からの船体破壊長さ(L_{sf})を基に設定した、平均的な軸剛性を用いて衝突荷重を算定した。船首先端から船体破壊長さまでの平均的な衝突荷重を表3-1及び表3-2に示す。

表3-1 総トン数2トン船舶における衝突荷重の整理結果

算定方法	FEMA(2012)	豊田ほか(2022) 衝突実験	衝突解析 「船首衝突」
衝突荷重(kN)	198 【平均値】	201* ¹ 【荷重ピーク値】	260* ² 【荷重ピーク値】

注記*1: 「豊田ほか(2022)」による衝突実験結果を引用

*2: 添付資料3「島根原子力発電所におけるFRP船舶に係る衝突解析条件の妥当性」の当社衝突解析による算定結果を引用

表3-2 総トン数19トン船舶における衝突荷重の整理結果

算定方法	FEMA(2012)	豊田ほか(2022) 衝突実験	衝突解析 「船首衝突」
衝突荷重(kN)	1,815* ¹ 【平均値】	—	3,078* ² 【荷重ピーク値】

注記*1: 添付資料4「FEMA(2012)によるFRP製船舶の衝突荷重」の算定結果を引用(付加質量係数 $c=1$)

*2: 「4.5.6 漂流物による衝突荷重の算定」の算定結果を引用

以上より、衝突実験と衝突解析による衝突荷重の瞬間的な荷重ピーク値を比較した結果、衝突解析による衝突荷重が大きくなる。また、「FEMA(2012)」による衝突荷重は平均値となることから、瞬間的な荷重ピーク値との大小関係を直接比較することは適切ではないと判断した。

FRP製船舶における衝突荷重の算定に関する先行サイトとの比較

島根原子力発電所2号機（以下「島根2号機」という。）における、津波防護施設に考慮するFRP製船舶の衝突荷重の設定方法に関して、先行サイト（東北電力（株）女川原子力発電所2号機（以下「女川2号機」という。））の設定方法と比較し、島根2号機との相違（新規性）について整理した。

漂流物衝突荷重は、漂流物の初期配置により適用できる算定方法が異なる。女川2号機及び島根2号機ともに、FRP製船舶の衝突荷重の算定に当たり、初期配置が対象となる施設に対して遠方（500m以遠）となる前面海域では「道路橋示方書（2002）」により算定し、一方FRP製船舶の初期配置が対象となる施設に対して近傍（500m未満）となる直近海域では「FEMA（2012）」及び衝突解析により算定しており、同様の評価を行っている。女川2号機と島根2号機の直近海域における衝突荷重の設定方法の比較結果について表1に示す。

表1 女川2号機と島根2号機における衝突荷重の設定方法の比較

		女川2号機*	島根2号機	新規性
総トン数(質量)		総トン数5トン(質量:15t)	総トン数19トン(質量:57t)	—
船体構造		14トン船舶を基に5トン船舶を推定して設定	対象船舶の詳細調査及び実測結果を基に設定	○ (新規性②)
FEMA (2012)	衝突形態	船首方向	船首方向	—
	軸剛性の設定	構造物の衝撃挙動と設計法((社)土木学会,1994)を基に船首傾斜部の長さ,物性等の不確かさ及びバラつきを考慮しての平均的な軸剛性を設定	構造物の衝撃挙動と設計法((社)土木学会,1994)を基に,船首方向の衝突解析で求めた,最大衝突荷重及び最大衝突荷重発生時刻に対する船首先端からの船体破壊長さを用いて平均的な軸剛性を設定	—
	位置付け	主とした算定方法として採用	参考として算定	—
衝突解析	衝突形態	船首,船尾,真横,斜め船首,斜め船尾方向	船首,船尾,真横,斜め船首,斜め船尾方向	—
	材料特性	弾性材料	完全弾塑性材料	○ (新規性①)
	位置付け	衝突形態の影響確認のため	主とした算定方法として採用	○ (新規性①)

注記*：女川原子力発電所2号機の情報に係る記載内容については、審査資料等をもとに独自に解釈したものである。

島根 2 号機においては、女川 2 号機の審査以降における新たな文献や詳細な船舶調査に基づき、表 1 に示す新規性とその内容を以下に整理した。また、島根 2 号機及び女川 2 号機における F R P 製船舶における衝突荷重の算定フローを図 1 に示す。

新規性①：新たな文献内容の反映

最新の文献の「豊田ほか（2022）」*では、F R P 製船舶の実機において衝突実験が初めて実施され、衝突実験における衝突現象に対して、衝突解析による再現性があることが確認された。そこで、島根 2 号機における衝突解析手法により算定した衝突荷重と衝突実験結果を比較し、衝突解析による衝突荷重が安全側の評価となることを確認したことから、島根 2 号機では主とした算定方法として採用した。

なお、同文献では F R P 製船舶の F R P 材料に対する材料試験が実施されており、F R P を完全弾塑性材料として設定されていることを踏まえ、島根 2 号機も同様に完全弾塑性材料として設定した。

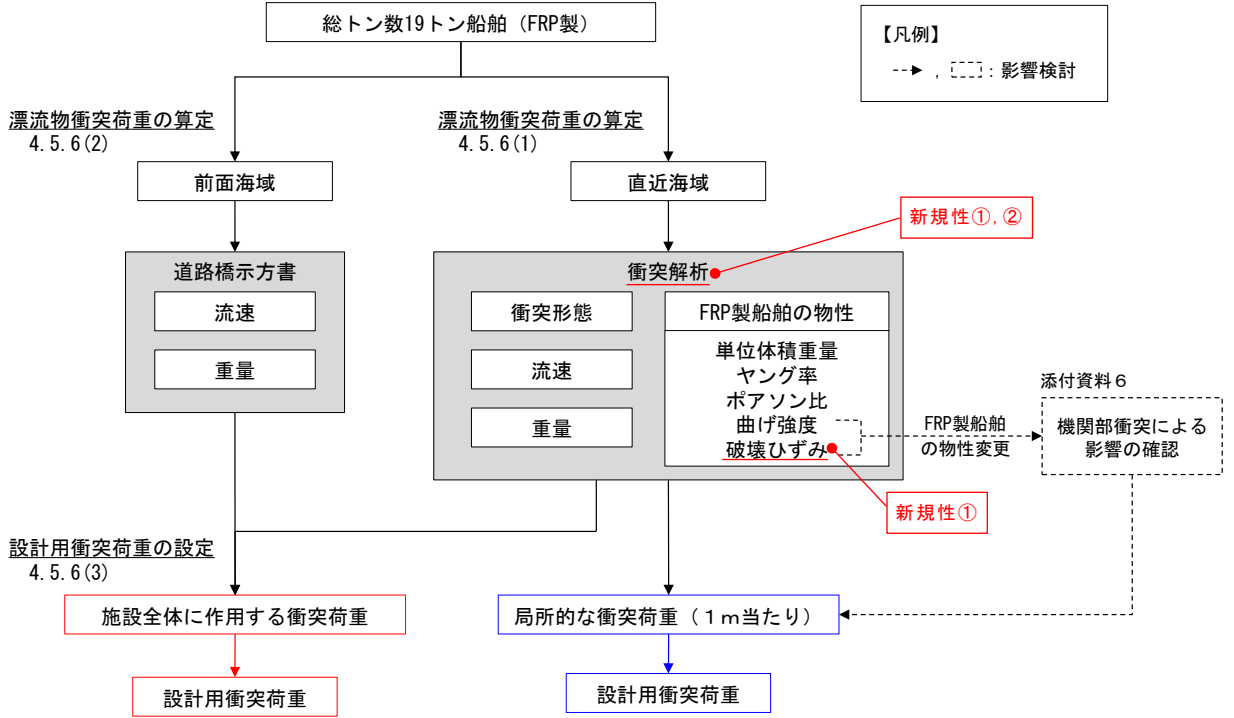
新規性②：対象船舶に対する詳細調査結果の反映

島根 2 号機では、対象漂流物の総トン数 19 トン船舶に対し、詳細調査及び 3 次元測定を実施して、船首方向の軸剛性の設定及び 3 次元 F E M モデルに反映した。

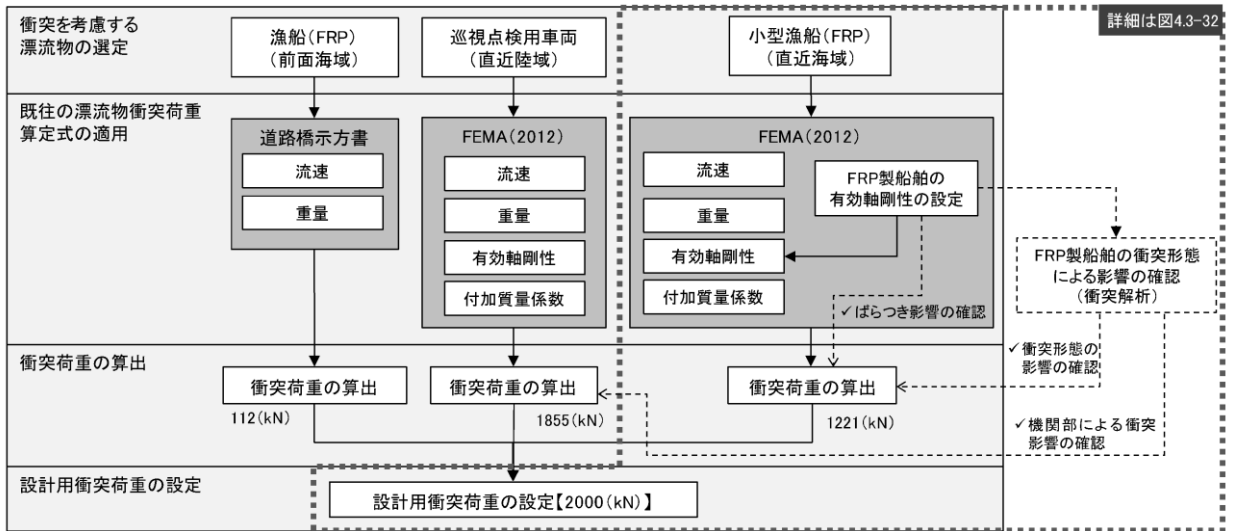
注記*：豊田真・南波宏介・甲斐田秀樹・栗山透 F R P 船舶の衝突解析手法に関する研究，土木学会論文集 A1（構造・地震工学），Vol. 78，No. 2，301-315，2022.

島根 2 号機

衝突を考慮する漂流物の選定
4.5.3(2)



女川 2 号機*



注記* : 女川原子力発電所 2 号機の情報に係る記載内容については審査資料を引用

図 1 FRP 製船舶における衝突荷重の算定フロー

枕木による衝突荷重の算定における設計上の配慮及び算定結果

1. 狭隘な設置場所への衝突荷重として考慮する漂流物

津波防護施設の評価において考慮する漂流物としては、衝突荷重を踏まえて船舶を選定した。一方、防波壁通路防波扉（1号機北側，2号機北側）については、図1-1に示すように防波壁の壁面（海側）より奥まった狭隘な場所に設置されており、設置位置に船舶が到達しないことから、設計上の配慮として、枕木を津波防護施設に考慮する漂流物として選定する。

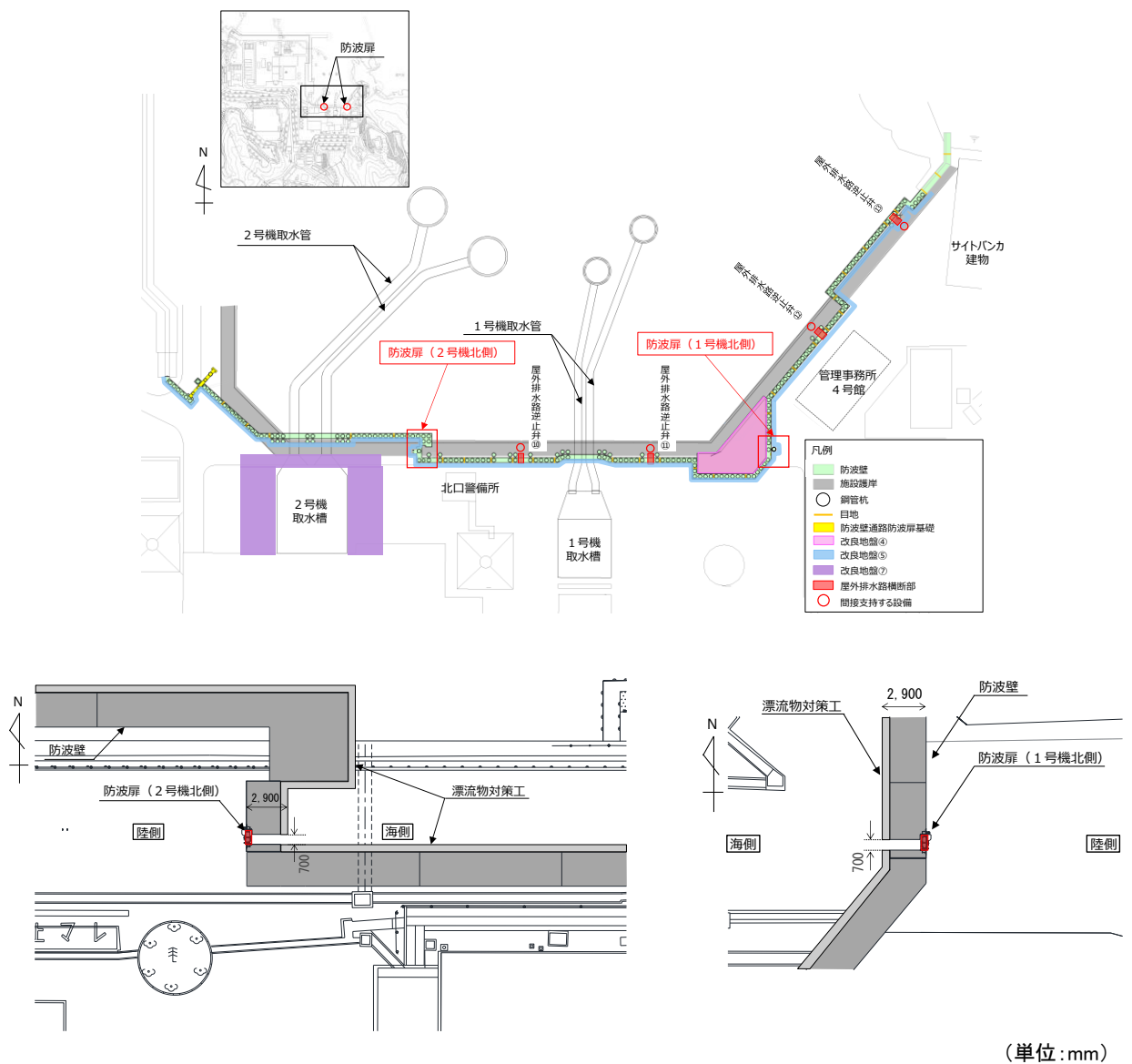


図1-1 防波壁通路防波扉（1号機北側，2号機北側）の位置図

2. 枕木による衝突荷重算定用の流向

防波壁通路防波扉（1号機北側，2号機北側）については，図 1-1 に示すように防波壁の壁面（海側）より奥まった狭隘な場所に設置されていることから，被衝突物に対して直交方向が最も影響が大きい流向と判断した。そのため，設計上の配慮として，防波壁通路防波扉（1号機北側）は東方向，防波壁通路防波扉（2号機北側）は西方向の流向を対象として衝突荷重を設定する。

3. 枕木による衝突荷重算定用の流速

基準津波来襲時において，防波壁通路防波扉（1号機北側，2号機北側）前面の1，2号機北側エリア（地盤高さ：EL 8.5m）に津波は遡上しないことから，防波壁通路防波扉（1号機北側，2号機北側）の設置位置（下端高さ：EL 9.5m）に津波は到達しない（図 3-2(1)）。

一方，図 3-1 のとおり，1，2号機北側エリアは海底面まで沈下すると仮定して沈下量を設定し，3号機東側エリアは沈下量を1mとした場合の津波解析（「1.2 遡上・浸水域の評価の考え方（3）b. 液状化に伴う側方流動による沈下」における解析条件と同じ）においては，防波壁通路防波扉（1号機北側）前面で最大水位上昇量 8.3m が確認された（図 3-2(2)）。この最大水位上昇量に，朔望平均満潮位（0.58m），潮位のばらつき（0.14m）及び高潮ハザードを考慮した参照する裕度（0.64m）を加えると，設置位置の下端高さ（EL 9.5m）を上回ることから，この押し波による流速を確認した。なお，流速は防波壁通路防波扉（1号機北側）に影響が大きい流向である東方向を対象に抽出した。

防波壁通路防波扉（1号機北側，2号機北側）前面における流況図を図 3-3 に，水位及び流速の時系列分布を図 3-4 に，津波高さの概念図を図 3-5 に示す。流況図より，防波壁の隅角部で水位が高くなった後，防波壁通路防波扉（1号機北側）設置位置前面において防波壁に沿った流れが生じていることを確認した。設置位置の下端高さ（EL 9.5m）を上回る時間は1秒程度であり，その時間における最大流速は0.6m/sであった。

以上より，設計上の配慮として，枕木の衝突速度を0.6m/sと設定して衝突荷重を算定する。

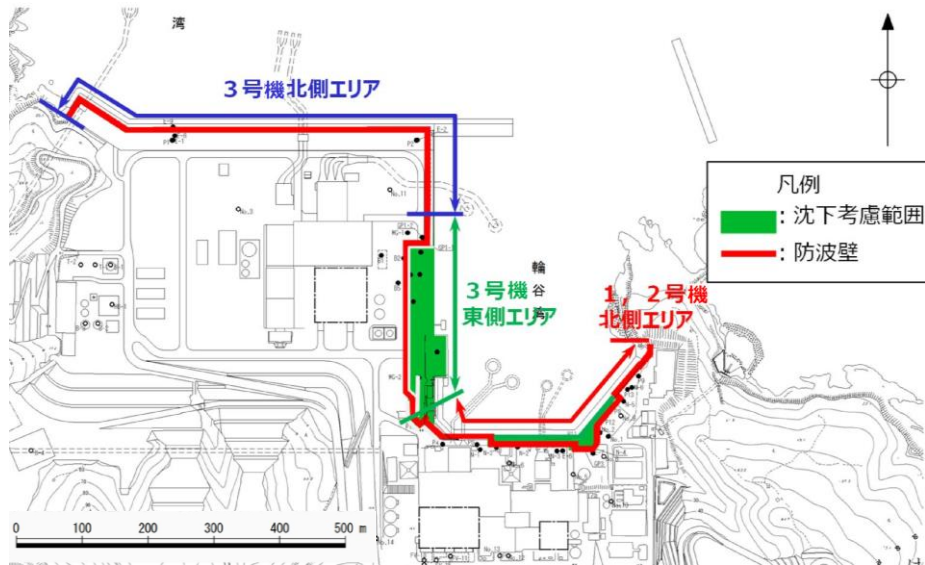
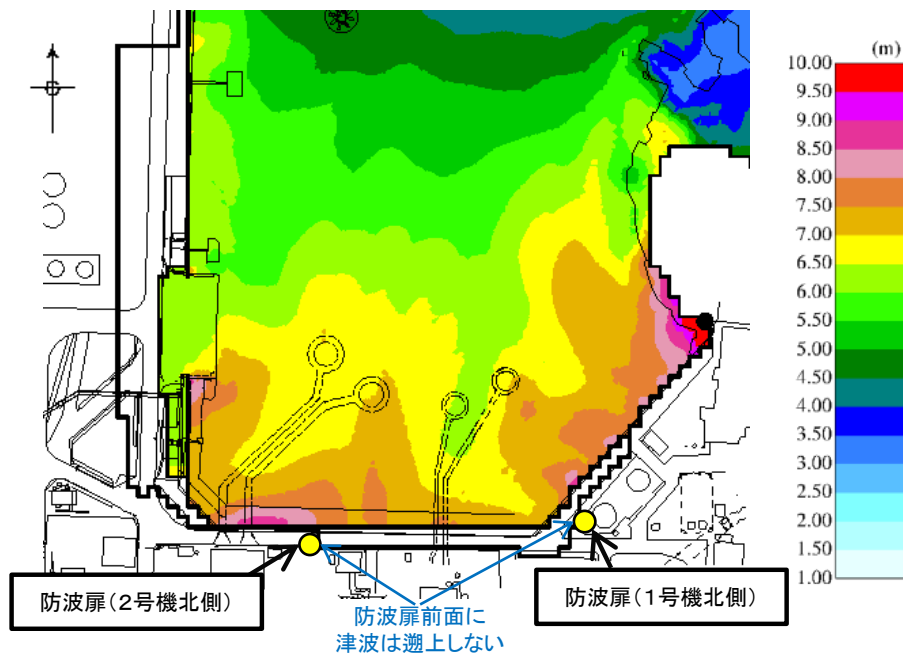
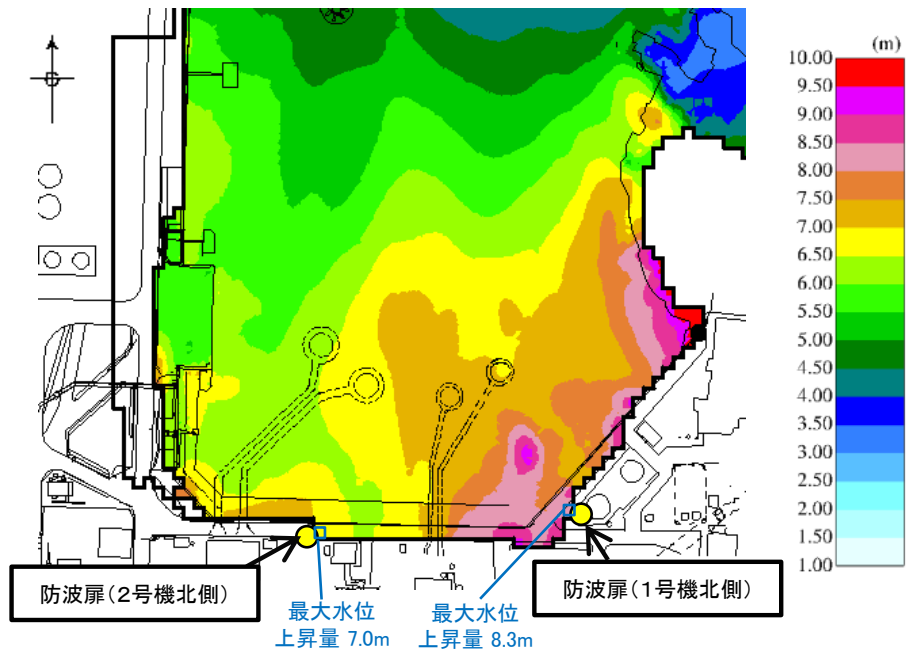


図 3-1 津波評価において沈下を考慮する範囲



最大水位上昇量分布図
基準津波 1 (防波堤無し)
(防波壁前面の沈下無し)

図 3-2(1) 防波壁通路防波扉 (1号機北側, 2号機北側) 前面における最大水位上昇量



最大水位上昇量分布図
 基準津波 1 (防波堤無し)
 (3号機東側エリア: 1 m沈下
 1, 2号機北側エリア: 海底面まで沈下)

図 3-2 (2) 防波壁通路防波扉 (1号機北側, 2号機北側) 前面における最大水位上昇量

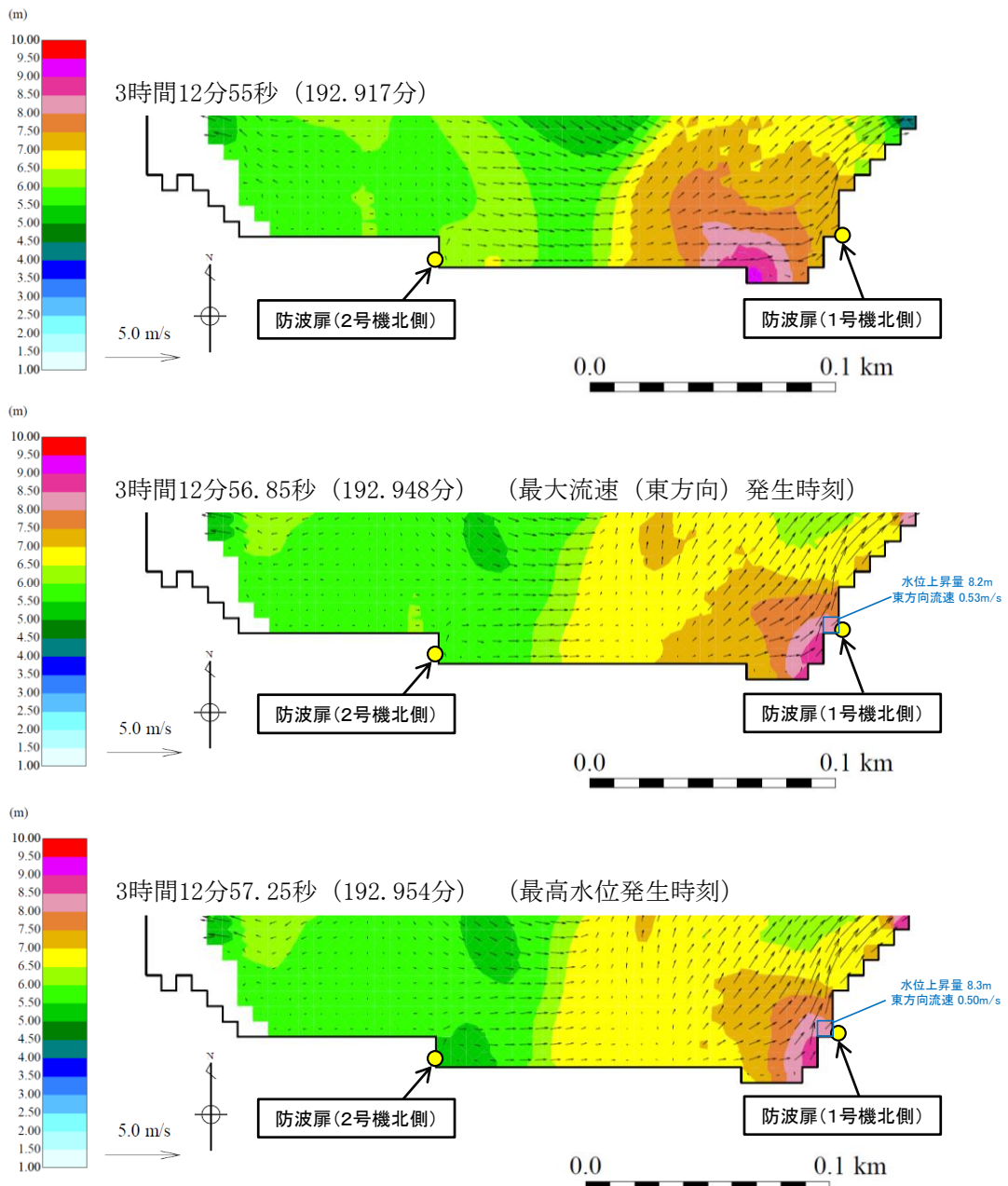
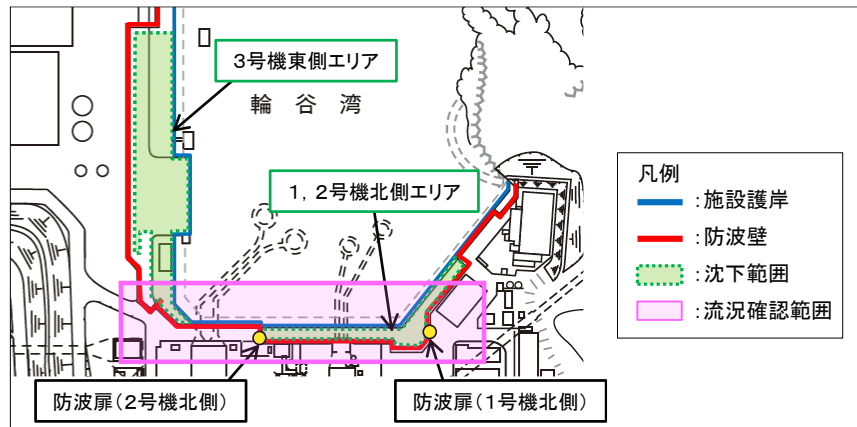
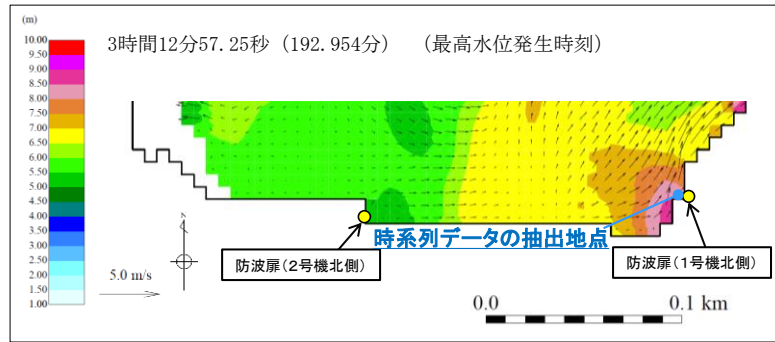
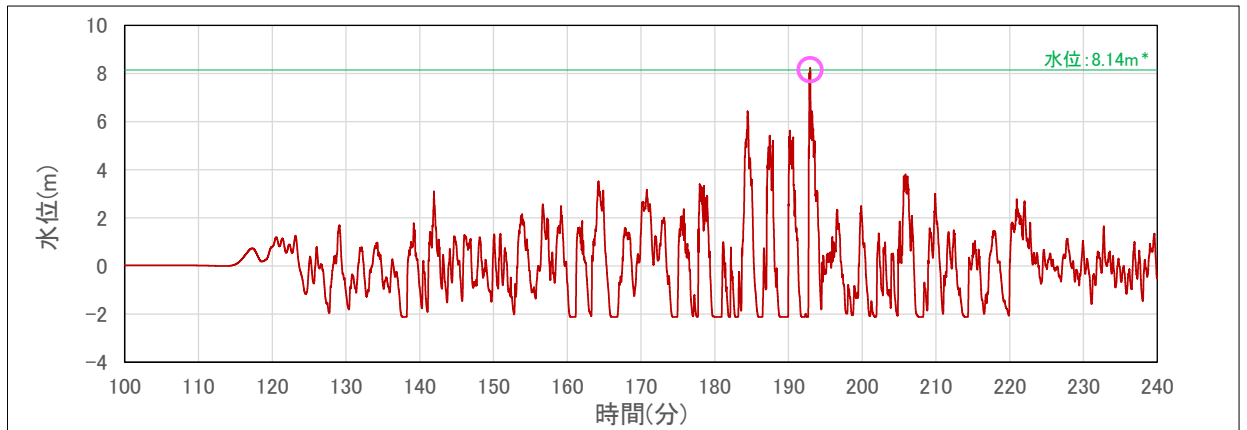


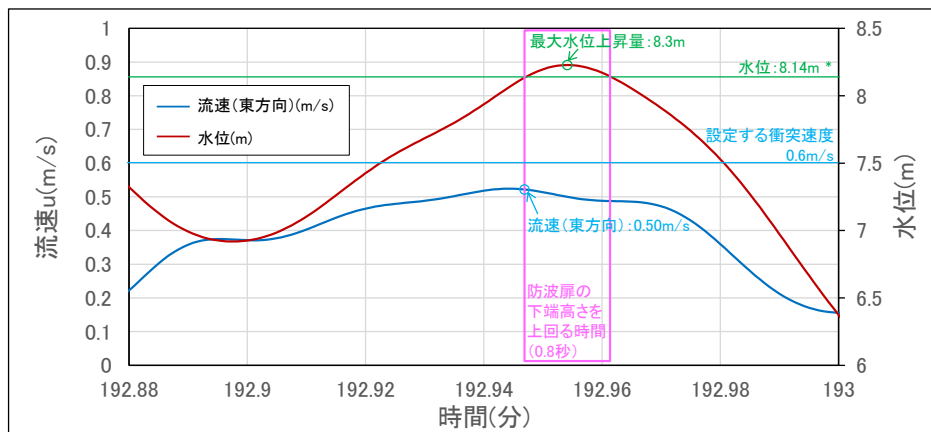
図 3-3 防波壁通路防波扉(1号機北側, 2号機北側)前面における流況図
(3号機東側エリア: 1m沈下, 1, 2号機北側エリア: 海底面まで沈下)



時系列データの抽出地点の位置図



防波扉（1号機北側）前面における水位の時系列データ



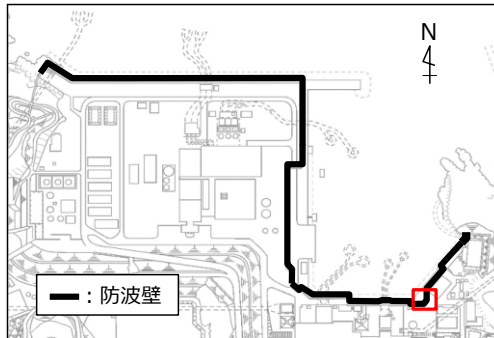
防波扉（1号機北側）前面における水位及び流速の時系列データ

注記*：朔望平均満潮位，潮位のばらつき及び高潮ハザードを考慮した参照する裕度を加えた場合に，防波扉（1号機北側，2号機北側）の設置位置の下端高さEL 9.5mを上回る水位

図 3-4 防波壁通路防波扉（1号機北側，2号機北側）前面における水位及び流速の時系列分布図

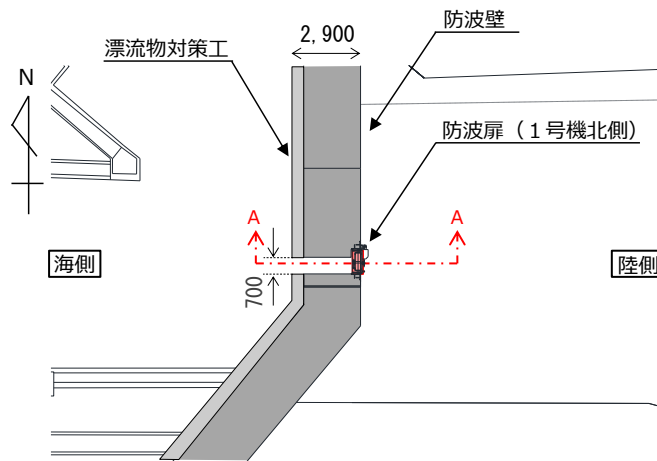
（3号機東側エリア：1m沈下，1，2号機北側エリア：海底面まで沈下）

KEY-PLAN

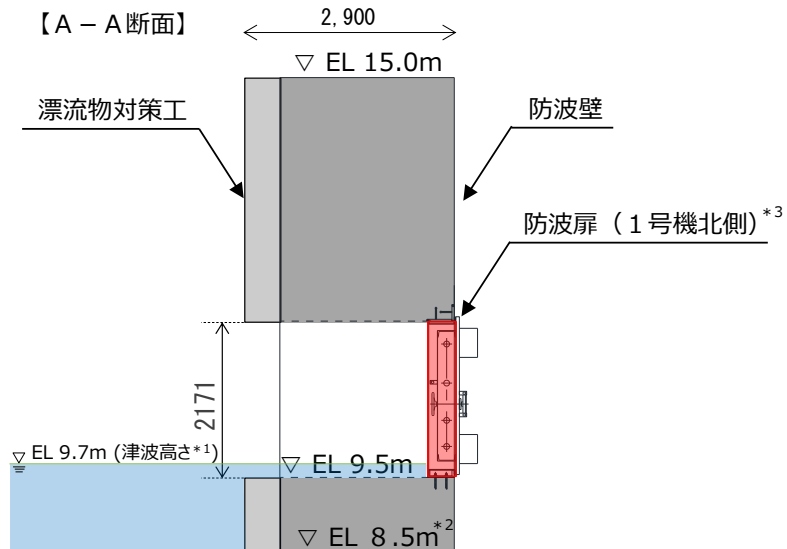


【防波壁通路防波扉（1号機北側）位置図（平面図）】

(単位：mm)



(単位：mm)



- 注記*1：防波扉（1号機北側）前面における最高水位に高潮ハザードを考慮した参照する余裕を加えた津波高さ
 *2：防波壁前面は海底面まで沈下すると仮定
 *3：防波扉（1号機北側，2号機北側）は，防波壁の壁面（海側）より奥まった狭い場所に設置するため，船舶は衝突しない。枕木による漂流物衝突荷重を考慮する。

図 3-5 防波壁通路防波扉（1号機北側，2号機北側）における津波高さの概念図

4. 枕木による衝突荷重の作用方法

被衝突物に対する，漂流物による衝突荷重の鉛直方向及び水平方向の作用位置は，設計上の配慮として，安全側に防波壁通路防波扉（1号機北側，2号機北側）の評価が厳しくなる作用位置を設定する。

5. 枕木による衝突荷重と津波荷重との重畳

漂流物による衝突荷重と津波荷重の組合せについて，実際に施設に作用する荷重としては，津波による最大荷重と漂流物衝突による最大荷重が同時に作用する可能性は小さいと考えられるが，漂流物による衝突荷重と津波荷重が重畳する可能性を否定できないため，設計上の配慮として，津波高さに応じた津波荷重と漂流物による衝突荷重を重畳させる。

6. 枕木による衝突荷重の算定

枕木による衝突荷重は，添付資料2「津波防護施設に考慮する漂流物の選定」で評価した枕木の衝突荷重と同様に，既往の算定式の適用性を考慮して，「松富（1999）」，「FEMA（2012）」及び「有川ほか（2007，2010）」により衝突荷重を算定して比較した。その結果，最大衝突荷重は6kNであったことを踏まえ，枕木による衝突荷重としては6kNを設定する。

枕木による衝突荷重の比較結果のまとめを表6-1に示す。

表6-1 枕木による衝突荷重の比較結果のまとめ

考慮する津波	配置場所	漂流物	質量	衝突荷重 (kN)	算定式	衝突速度 (m/s)
東縁	直近海域	枕木	12 kg	6	松富(1999)	0.6m/s
				6	有川ほか(2007, 2010)	
				6	FEMA(2012)	

4.6 荷揚場作業に係る車両・資機材の漂流物評価

4.6 荷揚場作業に係る車両・資機材の漂流物評価

4.6.1 概要

荷揚場では、使用済燃料輸送に係る作業や低レベル放射性廃棄物（LLW）の輸送に係る作業等を定期的実施することから、荷揚場作業中の地震または津波の発生を想定し、荷揚場作業に用いる車両・資機材が津波により漂流物となるか評価する。

4.6.2 評価する基準津波と地震影響

島根原子力発電所において想定する基準津波のうち、海域活断層から想定される地震による津波は荷揚場に遡上しないことから、日本海東縁部に想定される地震による津波に対して評価を実施する。

日本海東縁部に想定される地震による津波については、波源が敷地から離れており地震による敷地への影響はないが、敷地近傍の震源による地震が発生した後に、独立した事象として日本海東縁部に想定される地震による津波が発生し、来襲することも想定し、荷揚場作業中に「(1) 津波が発生する場合」と「(2) 地震が発生し、その後独立事象として津波が発生する場合」を評価する。

4.6.3 荷揚場作業に係る車両・資機材

定期的実施する荷揚場作業に係る車両・資機材を表 4.6-1 に示す。

表 4.6-1 荷揚場作業に係る車両・資機材

作業項目	作業頻度	種類	名称	個数	質量
①使用済燃料輸送作業	2回/年 程度	車両	輸送車両	2	約 32t
		資機材	使用済燃料キャスク	2	約 93t
②LLW（低レベル放射性廃棄物）搬出作業	2回/年 程度	車両	輸送車両	4	約 11t
		車両	フォークリフト	2	約 17t
		資機材	LLW 輸送容器	10*	約 1t
③デリッククレーン点検作業	1回/年 程度	車両	トラック	1	約 5t
		車両	ラフタークレーン	1	約 39t
		車両	トレーラー	1	約 21t
		資機材	発電機	1	約 8t
④防舷材設置作業	大型船舶入港の都度	車両	ラフタークレーン	2	約 25t
		車両	トラック	1	約 5t

注記*：うち 8 個は輸送車両に積載

4.6.4 評価内容

(1) 荷揚場作業中に津波が発生する場合

荷揚場作業中に、日本海東縁部に想定される地震による津波が発生した場合、地震発生後に発電所へ津波が到達するまでの時間は約 110 分である。この間に、荷揚場作業に用いている車両・資機材が荷揚場から防波壁内に退避可能か評価する。

各荷揚場作業において、荷揚場に仮置きする資機材とその個数及び車両等への積載

時間を以下に、また退避に要する時間を図 4.6-1 に示す。各荷揚場作業における、仮置き資機材の車両等への積載時間、車両退避時間（約 10 分）、防波壁通路防波扉（以下「防波扉」という。）の開放・閉止時間（開放・閉止各約 10 分（電動））及び漂流物対策工の開放・閉止時間（開放・閉止各約 4 分（電動））から求まる退避時間は、津波到達時間（地震発生後約 110 分）より短く、車両・資機材の退避は可能である。

なお、漂流物対策工は、図 4.6-2 に示すとおり、開閉時に防波扉と干渉しない構造であるため、防波扉と同時に開閉可能である。

① 使用済燃料輸送作業

荷揚場に仮置きする使用済燃料キャスクは、デリッククレーンを用い使用済燃料輸送車両に積載して退避する手順としている。

【仮置き資機材と積載時間】

使用済燃料キャスク個数：2 個

輸送車両への積載時間：15 分／個

② LLW 荷役作業

荷揚場に仮置きする LLW 輸送容器は、輸送船のクレーンを用い、輸送船に積載し退避する手順としている。

【仮置き資機材と積載時間】

LLW 輸送容器個数：2 個

輸送船への積載時間：5 分/2 個*

注記*：LLW 輸送容器は 2 個ずつ輸送船へ積載

③ デリッククレーン点検作業

荷揚場に仮置きする発電機は、ラフタークレーンを用いトラックに積載して退避する手順としている。

【仮置き資機材と積載時間】

発電機個数：1 個

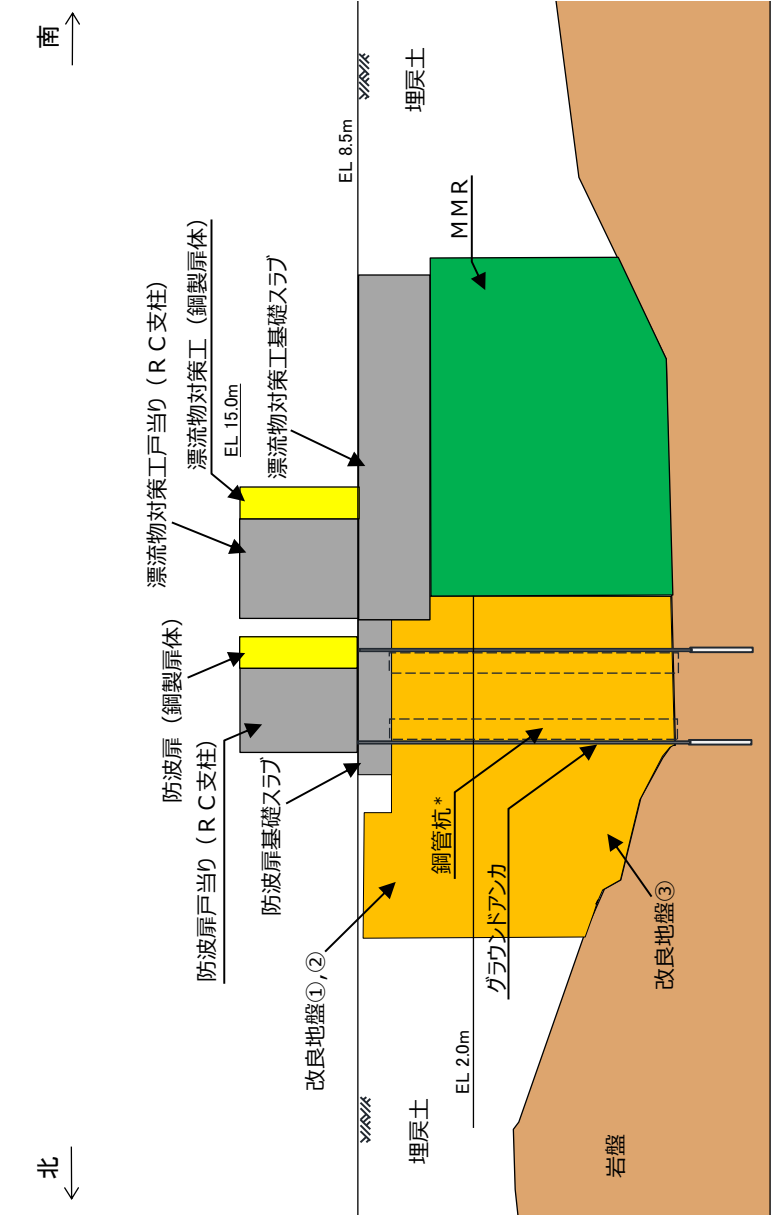
トラックへの積載時間：10 分／個

④ 防舷材設置作業

防舷材については、「VI-1-1-3-2-4 入力津波による津波防護対象設備への影響評価」において、漂流物として抽出し取水性へ影響を与えないことを確認している。また、作業車両については、退避する手順としている。

作業項目	防波扉等の開閉方法	経過時間 (分)										合計	評価結果			
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100			110		
①使用済燃料輸送作業	電動操作	防波扉開	資機材積載	車両退避	防波扉閉	漂流物対策工開	漂流物対策工閉								約50分	○ 【約110分までに退避可能】
	手動操作	防波扉開	資機材積載	車両退避	防波扉閉	漂流物対策工開	漂流物対策工閉							約70分		
②LLW (低レベル放射性廃棄物) 搬出作業	電動操作	防波扉開	資機材積載	車両退避	防波扉閉	漂流物対策工開	漂流物対策工閉							約30分	○ 【約110分までに退避可能】	
	手動操作	防波扉開	資機材積載	車両退避	防波扉閉	漂流物対策工開	漂流物対策工閉						約70分			
③デリッククレーン点検作業	電動操作	防波扉開	資機材積載	車両退避	防波扉閉	漂流物対策工開	漂流物対策工閉							約30分	○ 【約110分までに退避可能】	
	手動操作	防波扉開	資機材積載	車両退避	防波扉閉	漂流物対策工開	漂流物対策工閉						約70分			
④防舷材設置作業	電動操作	防波扉開	資機材積載	車両退避	防波扉閉	漂流物対策工開	漂流物対策工閉							約30分	○ 【約110分までに退避可能】	
	手動操作	防波扉開	資機材積載	車両退避	防波扉閉	漂流物対策工開	漂流物対策工閉						約70分			

図 4.6-1 荷揚場作業における退避に要する時間



注記*：防波扉（3号機東側）は，鋼管杭の効果を期待せず強度評価を行う。

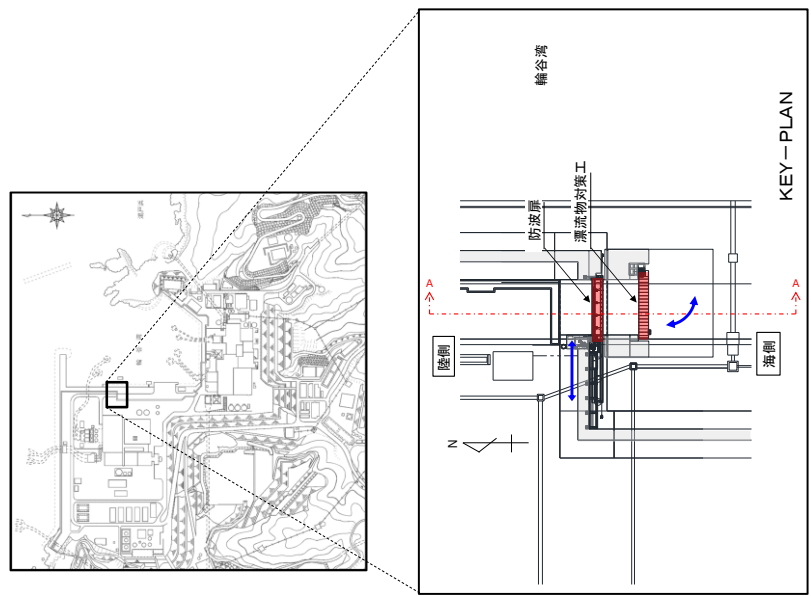


図 4.6-2(2) 防波扉（3号機東側）の構造概要図

(2) 荷揚場作業中に地震が発生し、その後独立事象として津波が発生する場合

敷地近傍の震源による地震が発生した後に、独立した事象として日本海東縁部に想定される地震による津波が発生することを想定する。

荷揚場作業中に、敷地近傍の震源による地震が発生した場合、荷揚場の沈下や車両の故障等が想定されるが、地震により荷揚場の沈下や車両の故障等が生じた場合においても、荷揚場の復旧や車両の牽引等により、津波来襲までに車両・資機材が荷揚場から防波壁内に退避可能か評価する。

a. 地震による影響

荷揚場作業中に地震が発生する場合の車両・資機材の退避への影響及びこれらへの対応のための退避作業について整理した結果を、表 4.6-2 に示す。

表 4.6-2 地震による車両・資機材の退避への影響と退避作業

地震による荷揚場への影響		車両・資機材の退避への影響	退避作業	
荷揚場退避ルートへの影響	荷揚場沈降	退避ルートに段差が発生することにより車両が通行できない可能性がある。	①*	荷揚場復旧（別紙 1） （段差解消）
	荷揚場常設設備の倒壊	荷揚場常設設備が転倒し、退避ルートに干渉することで、車両が通行できない可能性がある。	②*	倒壊物の撤去
資機材への影響	荷揚場常設設備の倒壊	荷揚場常設設備が倒壊し、資機材に干渉することで、車両への積込みができない可能性がある。	③*	倒壊物の干渉回避 （切断・撤去等）
	資機材の転倒	資機材が転倒する可能性がある。	④*	車両に積込み退避を実施
車両への影響	荷揚場常設設備の倒壊	荷揚場常設設備が倒壊し、車両に干渉することで、牽引できない可能性がある。	③*	倒壊物の干渉回避 （切断・撤去等）
	車両の故障	油漏れ等で自走不可になる可能性がある。	⑤*	牽引による退避を実施

注記*：図 4.6-3 のフローの番号と整合

b. 車両・資機材の退避

地震発生後に、荷揚場からの車両・資機材を退避させる作業手順を図 4.6-3 に示す。また、以下の(a)～(d)に、各荷揚場各作業における車両・資機材の退避に係る具体的な作業内容及び退避時間を示す。

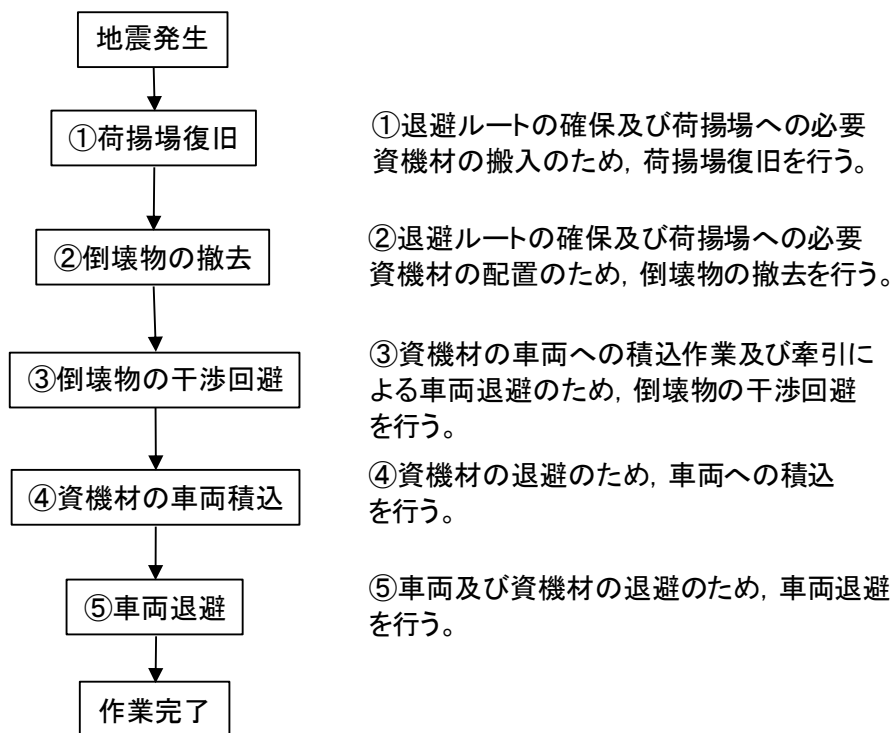


図 4.6-3 荷揚場からの車両・資機材の退避作業手順

(a) 使用済燃料輸送作業

使用済燃料輸送作業中には、荷揚場に使用済燃料輸送車両、使用済燃料輸送容器がある。津波による漂流物の発生を防止するため、これらを退避させる。

使用済燃料輸送作業中に地震が発生した場合の、車両・資機材の退避への影響、退避作業及びこれに必要な資機材等について整理した結果を表 4.6-3 に示す。また、荷揚場作業と退避ルートの概要図を図 4.6-4 に、退避作業に係る時系列を図 4.6-5 に示す。

表 4.6-3 地震による車両・資機材の退避への影響と退避作業
(使用済燃料輸送作業)

地震による荷揚場への影響		退避への影響	退避作業の内容		退避作業に必要な資機材等
荷揚場退避ルートへの影響	荷揚場沈降	段差が発生することにより車両が通行できない可能性がある。	①	・碎石を運搬し、車両通行可能な勾配になるよう段差を復旧する。	・ショベルカー ・トラック ・ホイールローダ
	荷揚場常設設備の転倒による干渉	荷揚場常設設備が転倒し、退避ルートに干渉することで、車両が通行できない可能性がある。	②	・倒壊物の撤去作業を実施する。	・ホイールローダ
資機材への影響	荷揚場常設設備の転倒による資機材への干渉	荷揚場常設設備が倒壊し、使用済燃料輸送容器に干渉することで、車両への積込を阻害する可能性がある。	③	・倒壊物の干渉回避(切断、撤去等)により、燃料輸送容器への玉かけ作業を可能とする。	・クレーン ・玉かけ資機材 ・溶断器 ・トラック
	資機材の転倒	使用済燃料輸送容器が転倒する可能性がある。	④	・使用済燃料輸送車両または代替可能な運搬車両に積み退避を実施する。	・クレーン ・玉かけ資機材 ・使用済燃料輸送車両または代替可能な運搬車両
車両への影響	荷揚場常設設備の転倒による車両への干渉	荷揚場常設設備が倒壊し、使用済燃料輸送車両に干渉することで、牽引できない可能性がある。	③	・倒壊物の撤去(切断、撤去等)により、燃料輸送車両の牽引作業を可能とする。	・クレーン ・玉かけ資機材 ・溶断器 ・トラック
	車両の故障	油漏れ等で自走不可になる可能性がある。	⑤	・牽引により退避を実施する。	・使用済燃料輸送車両または代替可能な牽引車両 ・牽引資機材

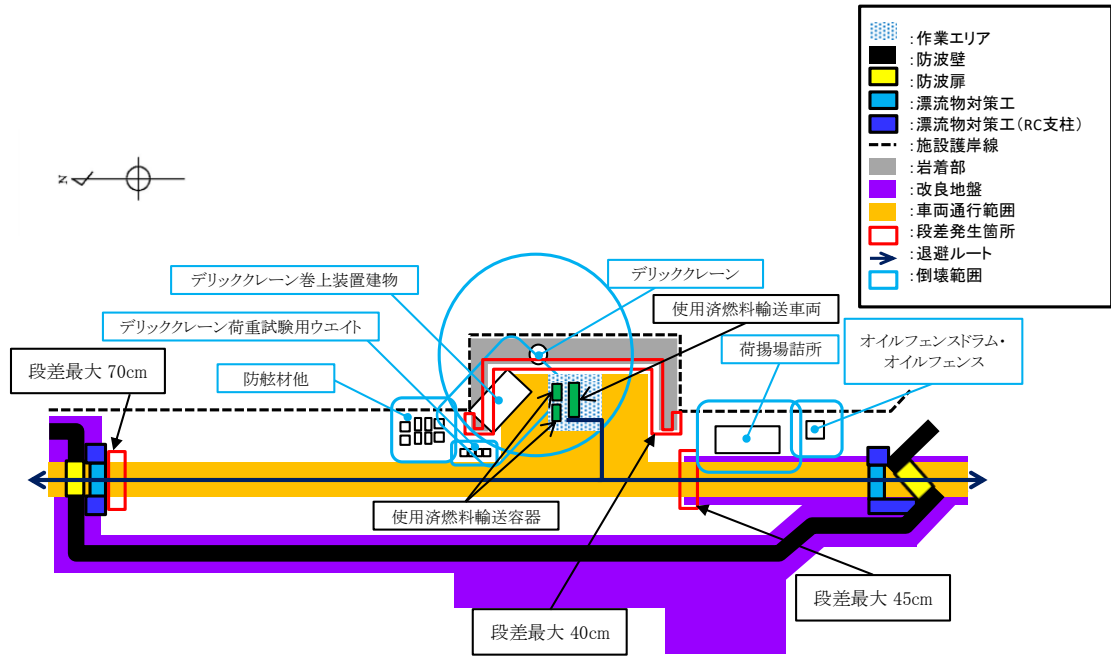


図 4.6-4 使用済燃料輸送作業の荷揚場作業と退避ルートの概要図

作業内容		作業時間 (h)	経過時間			
			6h	12h	18h	24h
①	段差復旧 作業車両移動 砕石積込 砕石運搬 砕石敷設等	6	[Bar chart showing work duration from 0 to 6h]			
②	倒壊物の撤去 作業車両移動 撤去作業等	6	[Bar chart showing work duration from 6h to 12h]			
③	倒壊物の干渉回避 作業車両移動 撤去作業等	6	[Bar chart showing work duration from 12h to 18h]			
④	資機材積込 作業車両移動 玉かけ 積込等	3	[Bar chart showing work duration from 18h to 21h]			
⑤	車両・資機材退避 作業車両移動 車両接続 牽引等	3	[Bar chart showing work duration from 21h to 24h]			

図 4.6-5 退避作業に係る時系列 (使用済燃料輸送作業)

(b) LLW 搬出作業

LLW 搬出作業中には、荷揚場に LLW 輸送車両、LLW 輸送容器がある。津波による漂流物の発生を防止するため、これらを退避させる。

LLW 搬出作業中に地震が発生した場合の、車両・資機材の退避に影響を及ぼす事象、退避作業及びこれに必要な資機材等について整理した結果を表 4.6-4 に示す。また、荷揚場作業と退避ルートの概要図を図 4.6-6 に、退避作業に係る時系列を図 4.6-7 に示す。

表 4.6-4 地震による荷揚場からの退避への影響と退避作業 (LLW 搬出作業)

地震による荷揚場への影響		退避への影響	退避作業の内容		退避作業に必要な資機材等
荷揚場退避ルートへの影響	荷揚場沈降	段差が発生することにより車両が通行できない可能性がある。	①	・碎石を運搬し、車両通行可能な勾配になるよう段差を復旧する。	・ショベルカー ・トラック ・ホイールローダ
	荷揚場常設設備の転倒による干渉	荷揚場常設設備が転倒し、退避ルートに干渉することで、車両が通行できない可能性がある。	②	・倒壊物の撤去作業を実施する。	・ホイールローダ
資機材への影響	荷揚場常設設備の転倒による資機材への干渉	荷揚場常設設備が倒壊し、LLW 輸送容器に干渉することで、車両への積込を阻害する可能性がある。	③	・荷揚場常設設備の撤去（切断、撤去等）により、LLW 輸送容器への玉かけ作業を可能とする。	・クレーン ・玉かけ資機材 ・溶断器 ・トラック
	資機材の転倒	LLW 輸送容器が転倒する可能性がある。	④	・LLW 輸送車両または代替可能な運搬車両に積込み退避を実施する。	・クレーン ・玉かけ資機材 ・LLW 輸送車両または代替可能な運搬車両
車両への影響	荷揚場常設設備の転倒による車両への干渉	荷揚場常設設備が倒壊し、LLW 輸送車両に干渉することで、牽引できない可能性がある。	③	・荷揚場常設設備の撤去（切断、撤去等）により、LLW 車両の牽引作業を可能とする。	・クレーン ・玉かけ資機材 ・溶断器 ・トラック
	車両の故障	油漏れ等で自走不可になる可能性がある。	⑤	・牽引により退避を実施する。	・牽引車両 ・牽引資機材

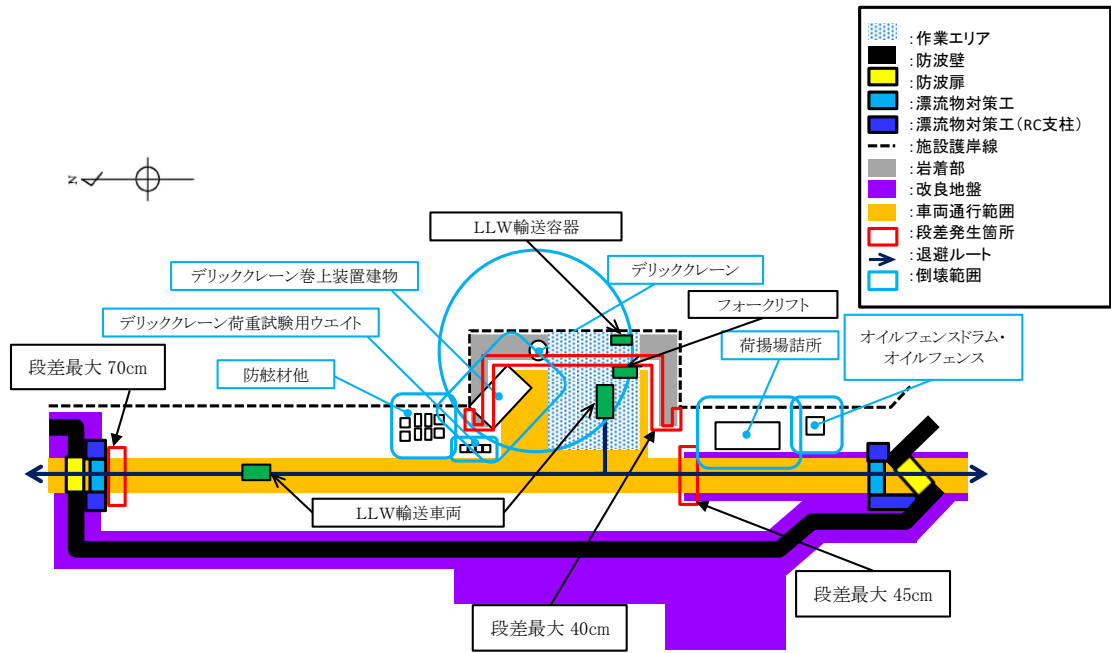


図 4.6-6 LLW 搬出作業の荷揚場作業と退避ルートの概要図

作業内容	作業時間 (h)	経過時間			
		6h	12h	18h	24h
① 段差復旧 作業車両移動 砕石積込 砕石運搬 砕石敷設等	6	■			
② 倒壊物の撤去 作業車両移動 撤去作業等	6		■		
③ 倒壊物の干渉回避 作業車両移動 撤去作業等	6		■		
④ 資機材積込 作業車両移動 玉かけ 積込等	3			■	
⑤ 車両・資機材退避 作業車両移動 車両接続 牽引等	3				■

図 4.6-7 退避作業に係る時系列 (LLW 搬出作業)

(c) デリッククレーン点検作業

デリッククレーン点検作業中には、荷揚場に発電機、トラック、ラフタークレーンがある。津波による漂流物の発生を防止するため、これらを退避させる。

デリッククレーン点検作業中に地震が発生した場合の、車両・資機材の退避に影響を及ぼす事象、退避作業及びこれに必要な資機材等について整理した結果を表4.6-5に示す。また、荷揚場作業と退避ルート概要図を図4.6-8に、退避作業に係る時系列を図4.6-9に示す。

表4.6-5 地震による荷揚場からの退避への影響と退避作業
(デリッククレーン点検作業)

地震による荷揚場への影響		退避への影響	退避作業の内容		退避作業に必要な資機材等
荷揚場退避ルートへの影響	荷揚場沈降	段差が発生することにより車両が通行できない可能性がある。	①	・碎石を運搬し、車両通行可能な勾配になるよう段差を復旧する。	・ショベルカー ・トラック ・ホイールローダ
	荷揚場常設設備の転倒による干渉	荷揚場常設設備が転倒し、退避ルートに干渉することで、車両が通行できない可能性がある。	②	・倒壊物の撤去作業を実施する。	・ホイールローダ
資機材への影響	荷揚場常設設備の転倒による資機材への干渉	荷揚場常設設備が倒壊し、発電機に干渉することで、車両への積込を阻害する可能性がある。	③	・荷揚場常設設備の撤去(切断、撤去等)により、発電機への玉かけ作業を可能とする。	・クレーン ・玉かけ資機材 ・溶断器 ・トラック
	資機材の転倒	発電機が転倒する可能性がある。	④	・トラックに積込み退避を実施する。	・クレーン ・玉かけ資機材 ・トラック
車両への影響	荷揚場常設設備の転倒による車両への干渉	荷揚場常設設備が倒壊し、トラック、ラフタークレーンに干渉することで、牽引できない可能性がある。	③	・荷揚場常設設備の撤去(切断、撤去等)により、トラック、ラフタークレーンの牽引作業を可能とする。	・クレーン ・玉かけ資機材 ・溶断器 ・トラック
	車両の故障	油漏れ等で自走不可になる可能性がある。	⑤	・牽引により退避を実施する。	・牽引車両 ・牽引資機材

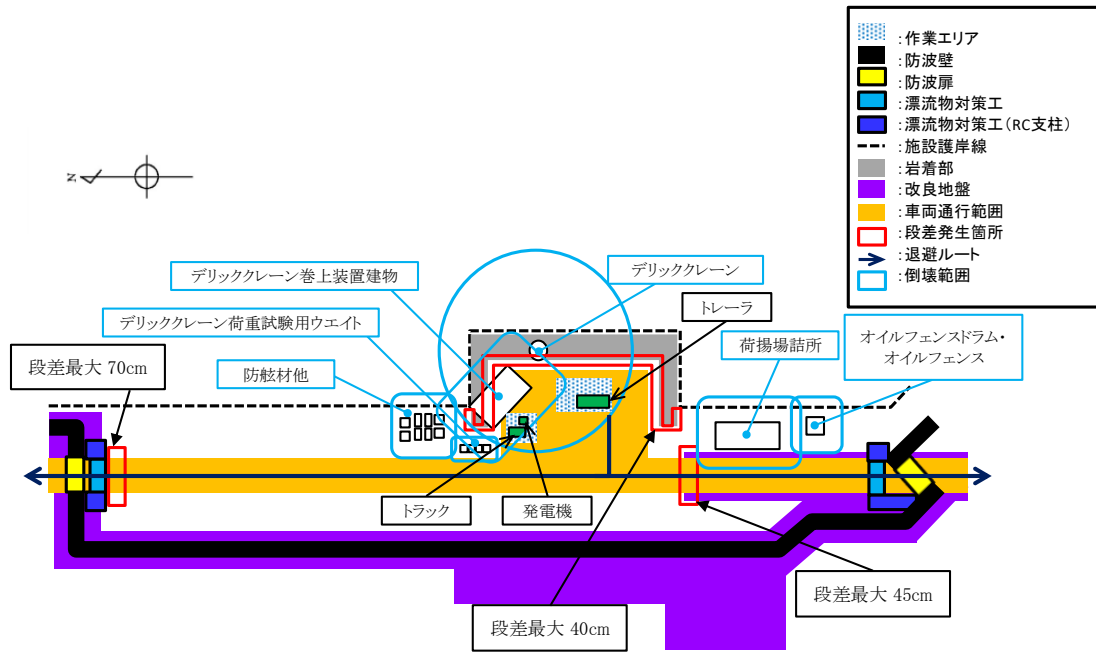


図 4.6-8 デリッククレーン点検作業の荷揚場作業と退避ルートの概要図

作業内容		作業時間 (h)	経過時間			
			6h	12h	18h	24h
①	段差復旧 作業車両移動 碎石積込 碎石運搬 碎石敷設等	6	[Bar chart showing work from 0h to 6h]			
②	倒壊物の撤去 作業車両移動 撤去作業等	6	[Bar chart showing work from 6h to 12h]			
③	倒壊物の干渉回避 作業車両移動 撤去作業等	6	[Bar chart showing work from 12h to 18h]			
④	資機材積込 作業車両移動 玉かけ 積込等	3	[Bar chart showing work from 18h to 21h]			
⑤	車両・資機材退避 作業車両移動 車両接続 牽引等	3	[Bar chart showing work from 21h to 24h]			

図 4.6-9 退避作業に係る時系列 (デリッククレーン点検作業)

(d) 防舷材設置作業

防舷材設置作業中には、荷揚場にラフタークレーン、トラックがある。津波による漂流物の発生を防止するため、これらを退避させる。

防舷材設置作業中に地震が発生した場合の、車両・資機材の退避に影響を及ぼす事象、退避作業及びこれに必要な資機材等について整理した結果を表 4.6-8 に示す。また、荷揚場作業と退避ルートの概要図を図 4.6-10 に、退避作業に係る時系列を図 4.6-11 に示す。

表 4.6-8 地震による荷揚場からの退避への影響と退避作業（防舷材設置作業）

地震による荷揚場への影響		退避への影響	退避作業の内容		退避作業に必要な資機材等
荷揚場退避ルートへの影響	荷揚場沈降	段差が発生することにより車両が通行できない可能性がある。	①	・砕石を運搬し、車両通行可能な勾配になるよう段差を復旧する。	・ショベルカー ・トラック ・ホイールローダ
	荷揚場常設設備の転倒による干渉	荷揚場常設設備の転倒範囲は退避ルートには到達しない。	②	・倒壊物の撤去作業を実施する。	・ホイールローダ
車両への影響	荷揚場常設設備の転倒による車両への干渉	荷揚場常設設備が倒壊し、トラック、ラフタークレーンに干渉することで、牽引できない可能性がある。	③	・荷揚場常設設備の撤去（切断、撤去等）により、トラック、ラフタークレーンの牽引作業を可能とする。	・クレーン ・玉かけ資機材 ・溶断器 ・トラック
	車両の故障	油漏れ等で自走不可になる可能性がある。	④	・牽引により退避を実施する。	・牽引車両 ・牽引資機材

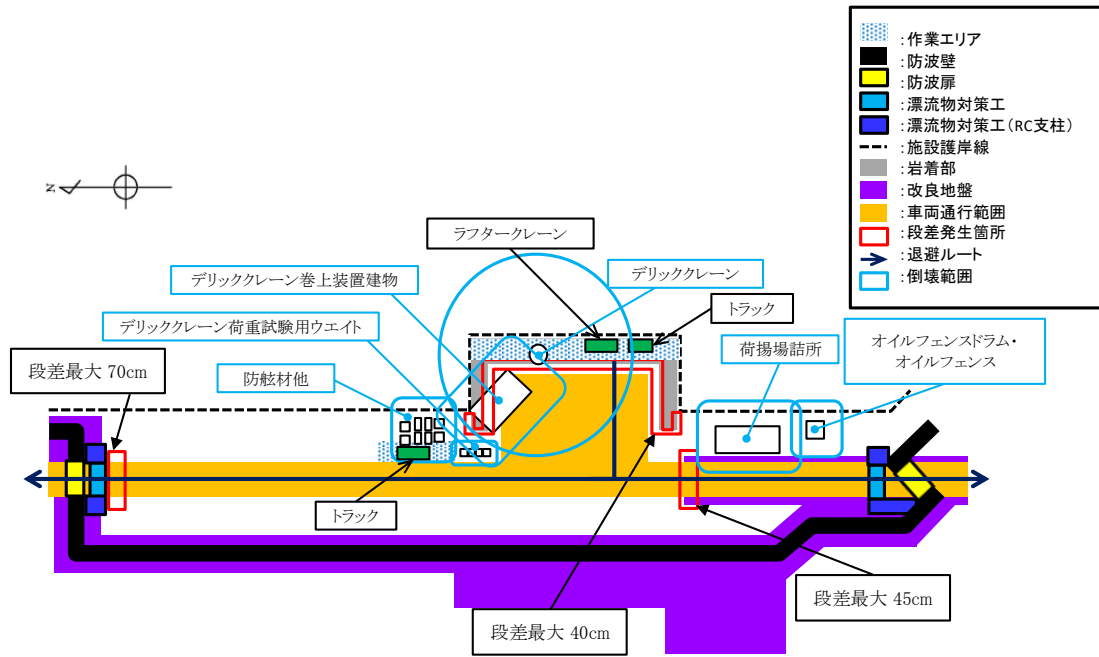


図 4.6-10 防舷材設置作業の荷揚場作業と退避ルートの概要図

作業内容		作業時間 (h)	経過時間			
			6h	12h	18h	24h
① 段差復旧	作業車両移動	6	[Bar chart showing activity from 0 to 6h]			
	碎石積込		[Bar chart showing activity from 0 to 6h]			
	碎石運搬		[Bar chart showing activity from 0 to 6h]			
	碎石敷設等		[Bar chart showing activity from 0 to 6h]			
② 倒壊物の撤去	作業車両移動	6	[Bar chart showing activity from 6h to 12h]			
	撤去作業等		[Bar chart showing activity from 6h to 12h]			
③ 倒壊物の干渉回避	作業車両移動	6	[Bar chart showing activity from 12h to 18h]			
	撤去作業等		[Bar chart showing activity from 12h to 18h]			
④ 車両・資機材退避	作業車両移動	3	[Bar chart showing activity from 18h to 21h]			
	車両接続		[Bar chart showing activity from 18h to 21h]			
	牽引等		[Bar chart showing activity from 18h to 21h]			

図 4.6-11 退避作業に係る時系列 (防舷材設置作業)

c. 地震発生後の車両・資機材の退避の実現性

各荷揚場作業において退避に要する時間は、いずれも 24 時間程度であり、必要資機材の手配に 1 週間を要すると仮定すると、荷揚場作業に係る車両・資機材は 10 日間程度で退避可能である。従って、荷揚場作業中に、敷地近傍の震源による地震が発生した場合、荷揚場の沈下や車両の故障等が想定されるが、独立事象である日本海東縁部に想定される地震による津波が来襲するまでの間に、荷揚場の復旧や車両の牽引等による退避が可能である。なお、更なる地震発生後の車両・資機材の退避の実現性を高める対策として、地震による段差が生じないよう荷揚場作業エリア及び退避ルートに鉄筋コンクリート床版による段差対策を講じる (図 4.6-12 参照)。

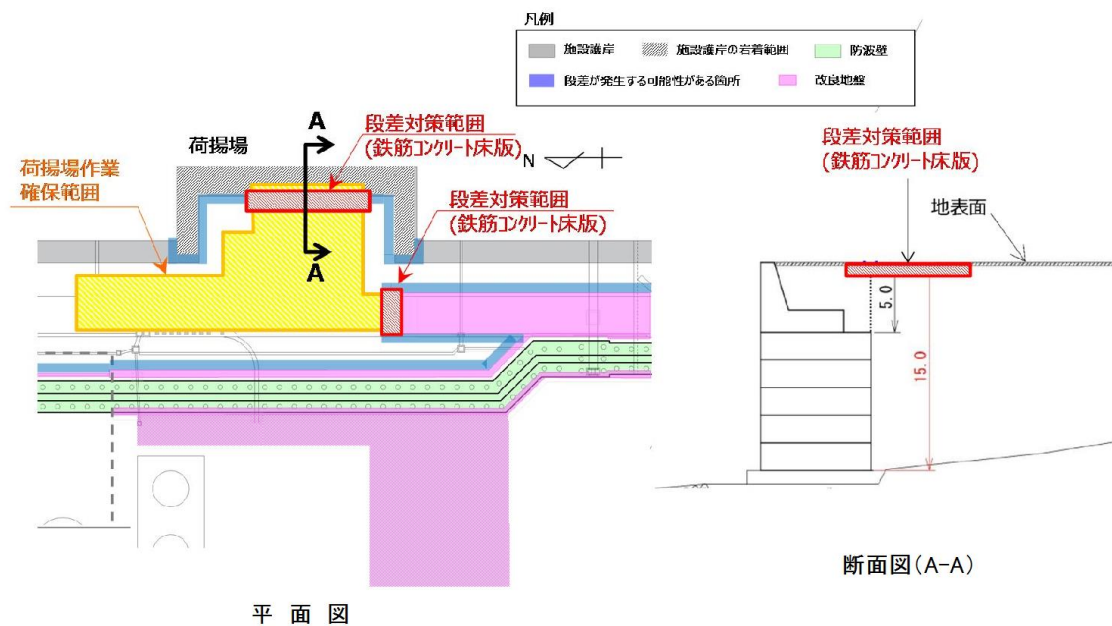


図 4.6-12 段差対策範囲

4.6.5 まとめ

荷揚場作業中に、日本海東縁部に想定される地震による津波が発生する場合は、津波が到達するまでに荷揚場作業に係る車両・資機材の退避が可能である。また、荷揚場作業中に、敷地近傍の震源による地震が発生する場合は、独立事象である日本海東縁部に想定される地震による津波が来襲するまでに、荷揚場作業に係る車両・資機材の退避が可能である。

荷揚場作業を実施する場合には、その都度、作業に必要な車両・資機材が、津波または地震が発生する場合に退避可能であるか確認することから、荷揚場作業に用いる車両・資機材が津波により漂流物となることはないと考えられる。

なお、仮にこれらの車両・資機材が漂流物となった場合においても、水面上を漂流するものは深層取水方式の取水口に到達することはないため、港湾内に沈むものは海底面から5.5mの高さがある取水口に到達することはないため、取水口の通水性への影響を及ぼすことはない。

4.7 防波壁通路防波扉の運用対応

4.7.1 概要

防波壁通路防波扉（以下「防波扉」という。）は、Sクラス施設である津波防護施設に分類される。防波扉（1号機北側）、防波扉（2号機北側）、防波扉（荷揚場南）及び防波扉（3号機東側）の設置位置を図4.7.1-1に示す。

これらの防波扉については、止水性を確保するため「常時閉」運用とする。

本資料は、防波扉（荷揚場南）及び防波扉（3号機東側）の運用対応について説明するものである。

なお、防波扉（1号機北側）及び防波扉（2号機北側）は、構造変更（小型化）により、浸水防止設備である水密扉と同様の構造とする。

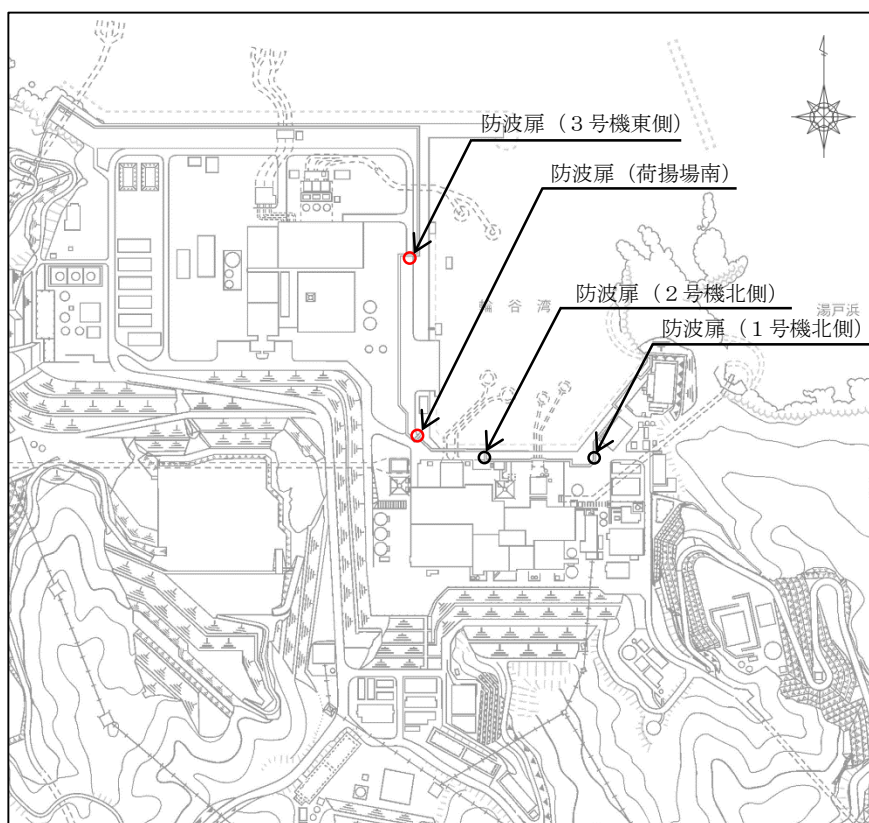


図 4.7.1-1 防波扉の配置図

4.7.2 防波扉の開閉について

防波扉（荷揚場南）及び防波扉（3号機東側）は、防波扉に漁船等の漂流物が直接衝突しないよう前面に、防波扉の一部として漂流物対策工を設置する。

防波扉及び漂流物対策工については、人力での開閉が可能な設計とし、さらに発電機又は常用電源により開閉が可能な設計とする。

防波扉の開閉にあたっては、日本海東縁部、海域活断層の津波の特性を踏まえ対応する。島根原子力発電所において想定する基準津波のうち、海域活断層から想定される地震による津波は荷揚場に遡上しない。また、日本海東縁部に想定される地震による津波については、波源が敷地から離れており地震による敷地への影響はなく、地震発生後に発電所へ津波が到達するまでの時間は約110分である。

防波扉の人力による閉止操作に係る時間は最大30分程度（電動による閉止操作に係る時間は最大10分程度）であり、また、漂流物対策工の人力による閉止操作に係る時間は最大20分程度（電動による閉止操作に係る時間は最大5分程度）である。なお、防波扉及び漂流物対策工は同時に開閉可能であり、日本海東縁部に想定される地震による津波が発生する場合の荷揚場作業に係る車両・資機材の退避については、「4.6 荷揚場作業に係る車両・資機材の漂流物評価」に示す。

また、開閉状態の確認のため、防波扉に対して扉設置場所及び中央制御室に警報ブザーを設置することにより、「扉設置場所での“開”状態の認知性向上」及び「中央制御室での開閉状態の監視」を実施し、防波扉の閉め忘れを防止する。

4.7.3 防波扉の運用管理について

防波扉及び漂流物対策工については、「常時閉」運用とし、現場に注意表示をし、各種手順書に明記するとともに、開放後の確実な閉操作、閉止されていない状態が確認された場合の閉止操作を確実に実施するための運用管理を行う。

また、気象庁から発信される津波情報（津波注意報、津波警報又は大津波警報の発令）や津波監視カメラ及び取水槽水位計により津波の来襲を確認できる設備を中央制御室に設置しており、津波の来襲を確認した場合は、当直長からページングにより避難指示を行う。防波扉及び漂流物対策工開放時は、防波壁外側の人員が退避したことを監視人が確認した後、速やかに防波扉を閉止し、監視人から当直長へ防波扉の開閉状態について連絡する。なお、防波扉及び漂流物対策工を開放した際には、速やかに閉止できる人員を確保することとしている。

具体的な運用について、積雪、風等の様々な環境条件下でも確実に閉止できることとするための配慮事項及び設備の保守・点検の方針を以下に示す。

- ・防波扉及び漂流物対策工は「常時閉」運用とし、作業上車両通過が必要な場合等には、一時的に開放し、車両通過後は速やかに閉止する。ただし、車両が連続して通過する場合等は、速やかに閉止できる体制を維持することを条件に、連続開放を許容する。

- ・敷地近傍の震源による津波が発生した場合は、人員の安全を優先し、可能な範囲で扉体の閉止操作を行う（海域活断層から想定される地震による津波は、敷地への遡上はない）。
- ・防波扉及び漂流物対策工については、人員が出入りする昇降設備（梯子など）を設置し、車両が通過する等の扉開放が必要な場合以外は、扉を開放しない運用とする。また、防波壁の内側と外側の両方から開閉操作ができることを基本とする。
- ・雪や風等に関する警報が発出されている場合には原則開操作を行わないこととするなど、閉止が困難となる可能性がある場合に開操作を行わない運用を定めることとする。
- ・日本海東縁部に想定される地震による津波の到達までに、防波扉については手動ウインチを用いた操作、漂流物対策工については手動ハンドル操作により確実に閉止可能な運用とする。また、より水密性を確保するため、ロックを設ける。
- ・設備の保守点検については、各部位の要求性能等を踏まえ、点検項目や点検方法等を定めて実施するものとする。また、確実に開閉可能であることを維持するため、動作を確認する点検を実施する。
- ・交換が必要な部品が発生した場合には、作業中に防波扉及び漂流物対策工が連続して開放状態にならないような配慮として、代替品を準備するなどの対応を行う。

4.7.4 防波扉の開放作業について

防波扉及び漂流物対策工は「常時閉」運用であるが、作業上車両通過が必要な場合等に一時的に開放を許容する運用とする。防波扉及び漂流物対策工の開放を伴う作業は、以下のとおりである。

- ・荷揚場作業実施時：使用済燃料輸送作業（車両が連続して通過する作業）
LLW 搬出作業（車両が連続して通過する作業）
デリッククレーン点検作業
防舷材設置作業 等
- ・重大事故等時：海上モニタリング
放射能測定装置による水中の放射性物質の濃度測定
シルトフェンスによる海洋への放射性物質の拡散抑制
海を水源とした送水及び補給 等
- ・その他：発電所長が認めたもの