

## 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、第 2.5-18 図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。

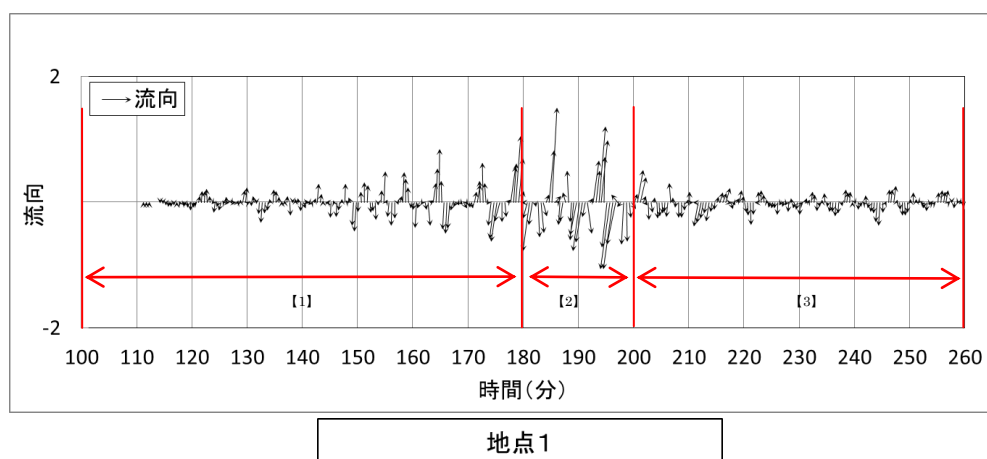
日本海東縁部に想定される地震による津波（基準津波 1）は、最大水位・流速を示す時間帯が地震発生後約 180 分～200 分であり、海域活断層から想定される地震による津波（基準津波 4）は、最大水位・流速を示す時間帯が地震発生後約 5 分～7 分であるため、各々以下のとおり分類した。第 1 図に流況考察時間の分類例を示す。

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）



第1図 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34の第1図に示す。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34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）  
[第1図(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到来襲する [第 1 図(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 [第 1 図(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 [第 1 図(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 [第 1 図(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） [第 1 図(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 [第 1 図(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 [第 1 図(166)]。

約 187 分では、敷地の北西側から引き波が来襲し [第 1 図(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 [第 1 図(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 [第 1 図(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 [第 1 図(170)]。その直後には輪谷湾外へ向かう流れとなる [第 1 図(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[第 1 図(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[第 1 図(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）[第 1 図(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 [第 1 図(203)]。約 204 分では、流れは逆向きとなる[第 1 図(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 [第 1 図(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 [第 1 図(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）[第 1 図(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 [第 1 図(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 [第 1 図(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）[第 1 図(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 [第 1 図(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 [第 1 図(170)]。その直後には輪谷湾外へ向かう流れとなる [第 1 図(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 [第 1 図(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 [第 1 図(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） [第 1 図(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 [第 1 図(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 [第 1 図(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 34 の第 4 図に示す。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 34 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） [第 4 図(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 [第 4 図(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 [第 4 図(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 [第4図(7)]。
- (b) 最大水位・流速を示す時間帯 (地震発生後約5分～7分) [第4図(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 [第4図(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 [第4図(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) [第4図(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 [第4図(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 [第4図(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 [第4図(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 [第4図(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) [第4図(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 [第4図(7)]。

(b) 最大水位・流速を示す時間帯(地震発生後約5分～7分)[第4図(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[第4図(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[第4図(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)[第4図(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[第4図(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[第4図(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<sup>\*</sup>の結果も参考にして行う。

※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第2図に示す。発電所沿岸部では、3号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号炉北岸付近に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。軌跡解析結果を第3図に示す。また、流向・流速ベクトル及び軌跡解析の考察結果を第4、5図に示す。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34第1図に示す基準津波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34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）[第1図(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）〔第 1 図(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〔第 1 図(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〔第 1 図(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）〔第 1 図(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（第 4-1～27 図）。

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）〔第 1 図(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）〔第 1 図(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〔第 1 図(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）〔第 1 図(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（第 4-1～27 図）。

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）〔第 1

図(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）[第 1 図(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）[第 1 図(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。（第 4-1～27 図）

(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 34 第 4 図に示す基準津波 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）[第 4 図(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）[第 4 図(12)

～(15)]

流速は速くても 1m/s 程度 (第 4 図 (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) [第 4 図 (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 (第 5-1～10 図)。

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) [第 4 図 (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) [第 4 図 (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 [第 4 図 (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) [第 4 図 (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（第 5-1～10 図）。一方、3号北側防波壁から約 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）[第 4 図(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）[第 4 図(12)～(15)]

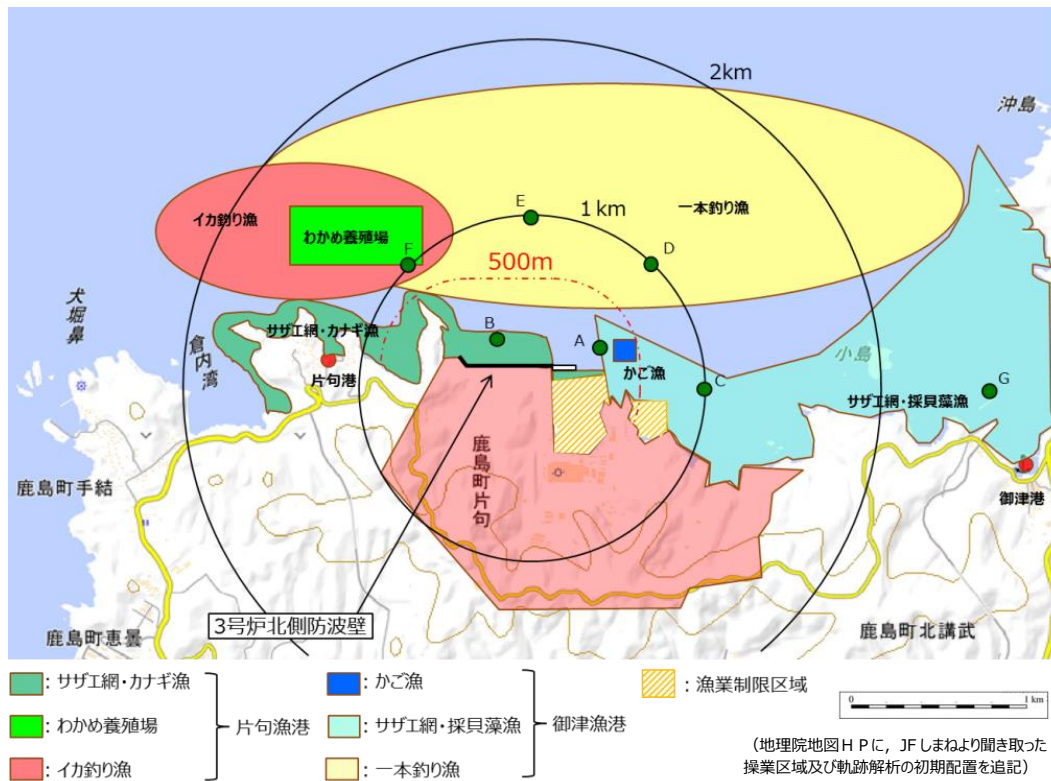
流速は速くて 3m/s 程度であるが、輪谷湾外へ向かう流向であり[第 4 図(13)]、輪谷湾に向かう流速は小さい[第 4 図(11)] ことから、構内海域（輪谷湾）に漂流物は到達しないと考えられる。

(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）[第 4 図(16)～(61)]

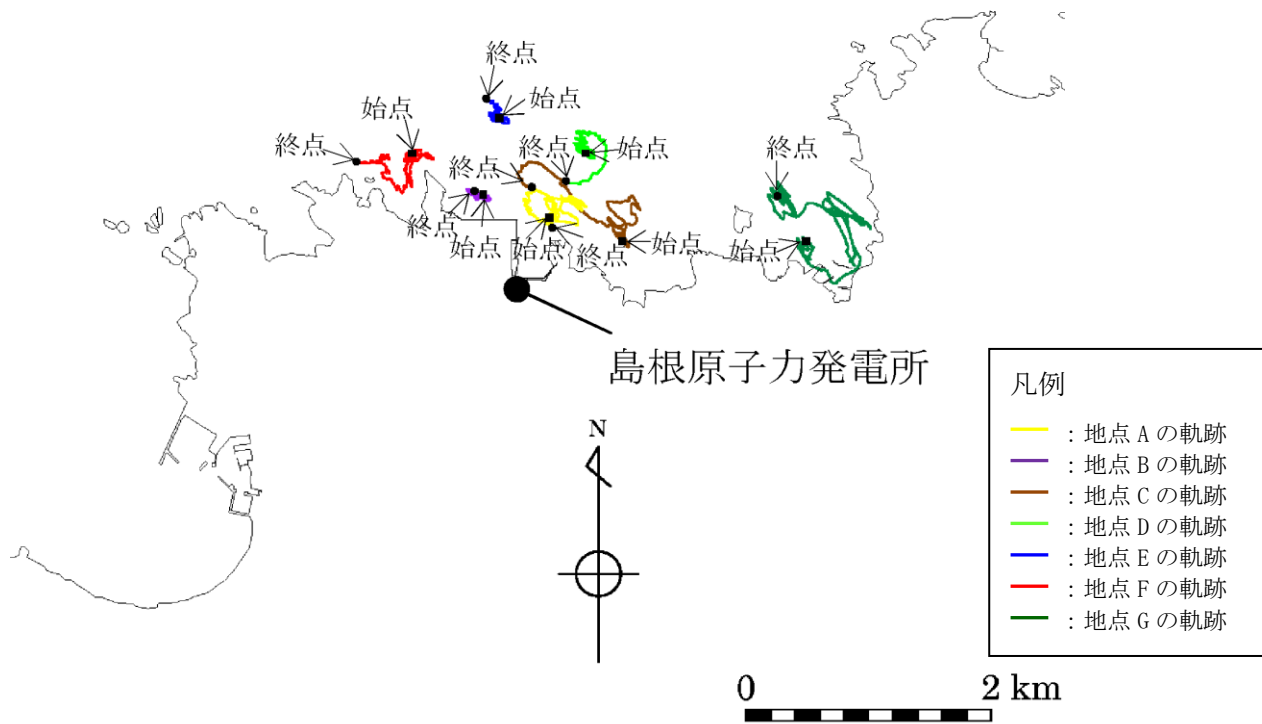
7 分以降も流速は約 1m/s 未満と小さく、港湾部はその形状から、押し波後はすぐに引き波に転じることから、構内海域（輪谷湾）に漂流物は到達しないと考えられる。

(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

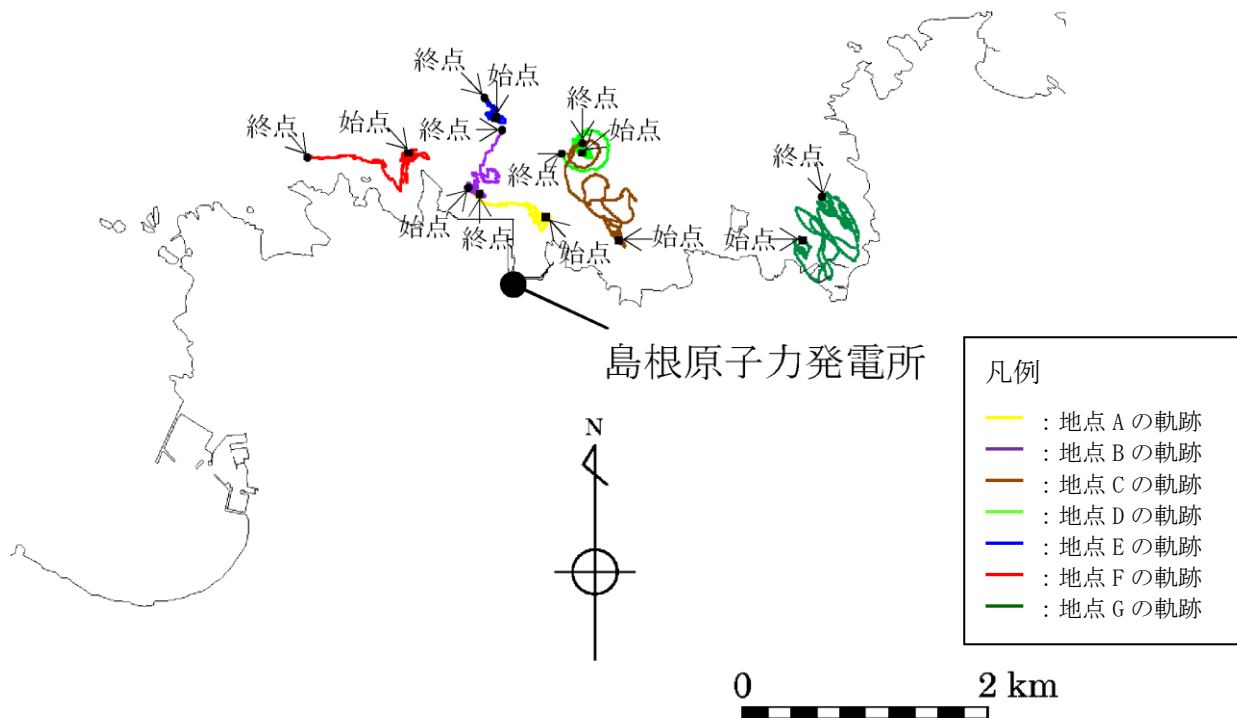
しないと評価した。また、輪谷湾近傍の地点 A の軌跡解析の結果から、軌跡は輪谷湾から離れる方向に移動しており、輪谷湾に到達しないと考えられる（第 5-1～10 図）。



第 2 図 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

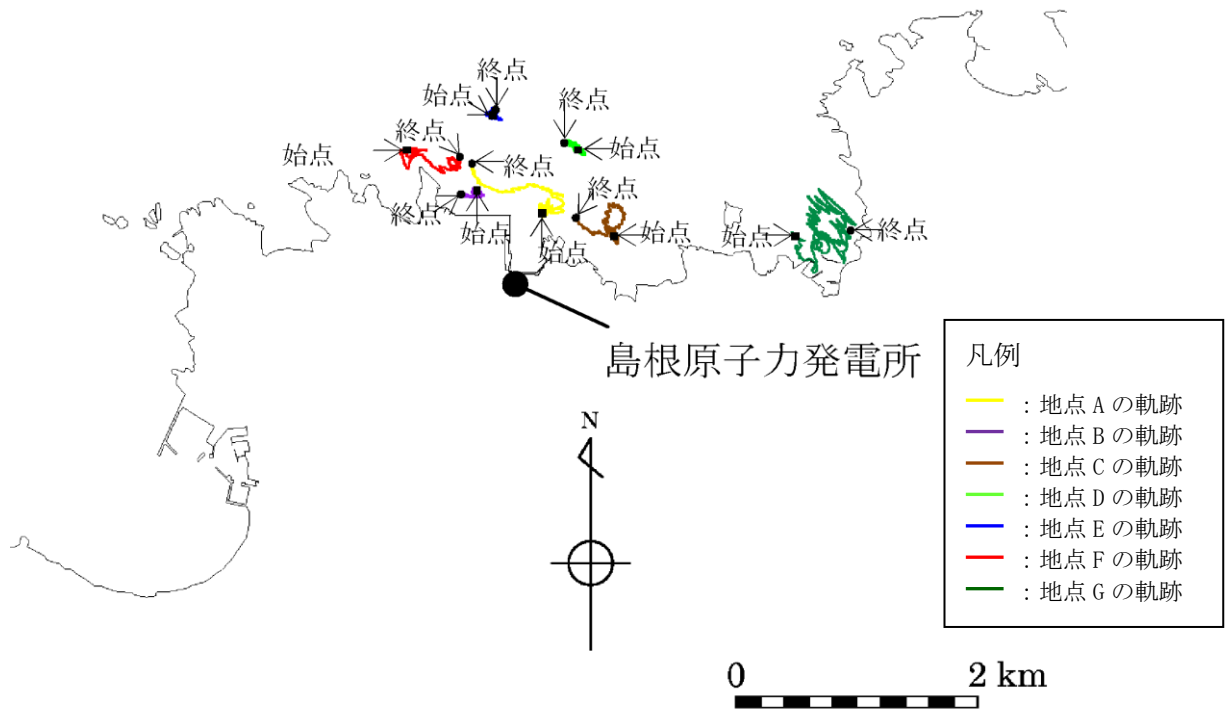


(基準津波 1 (防波堤有り))

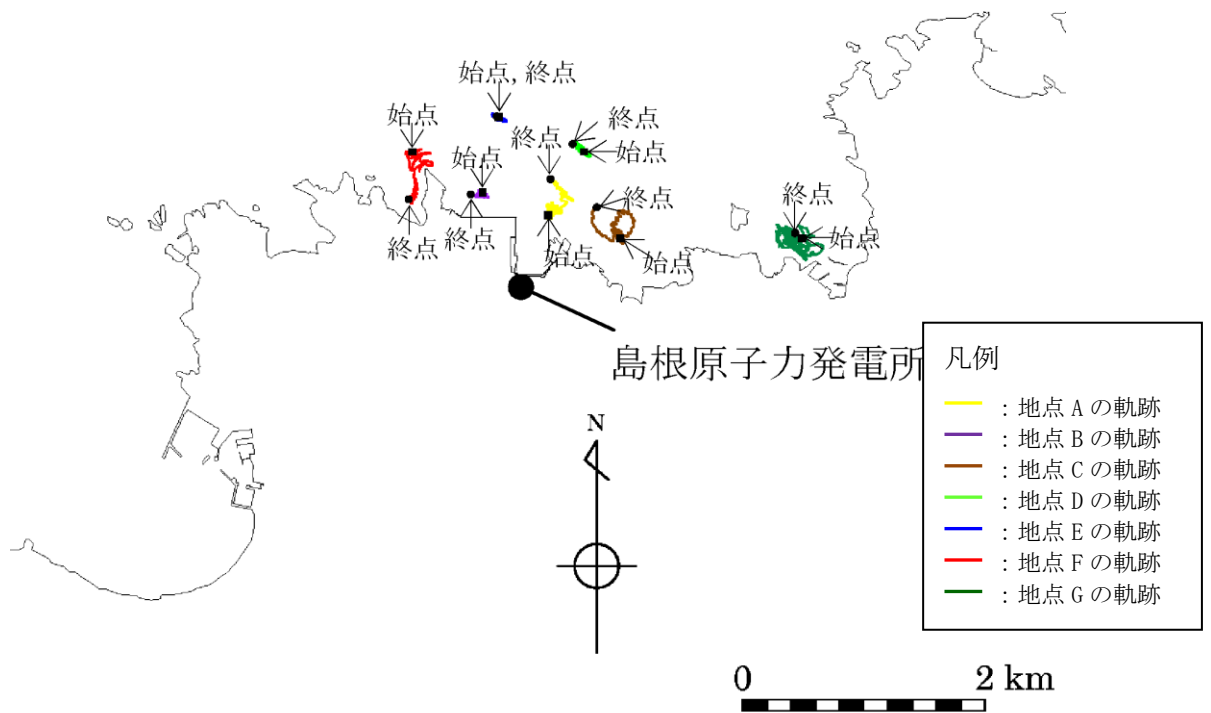


(基準津波 1 (防波堤無し))

第 3-1 図 軌跡解析結果



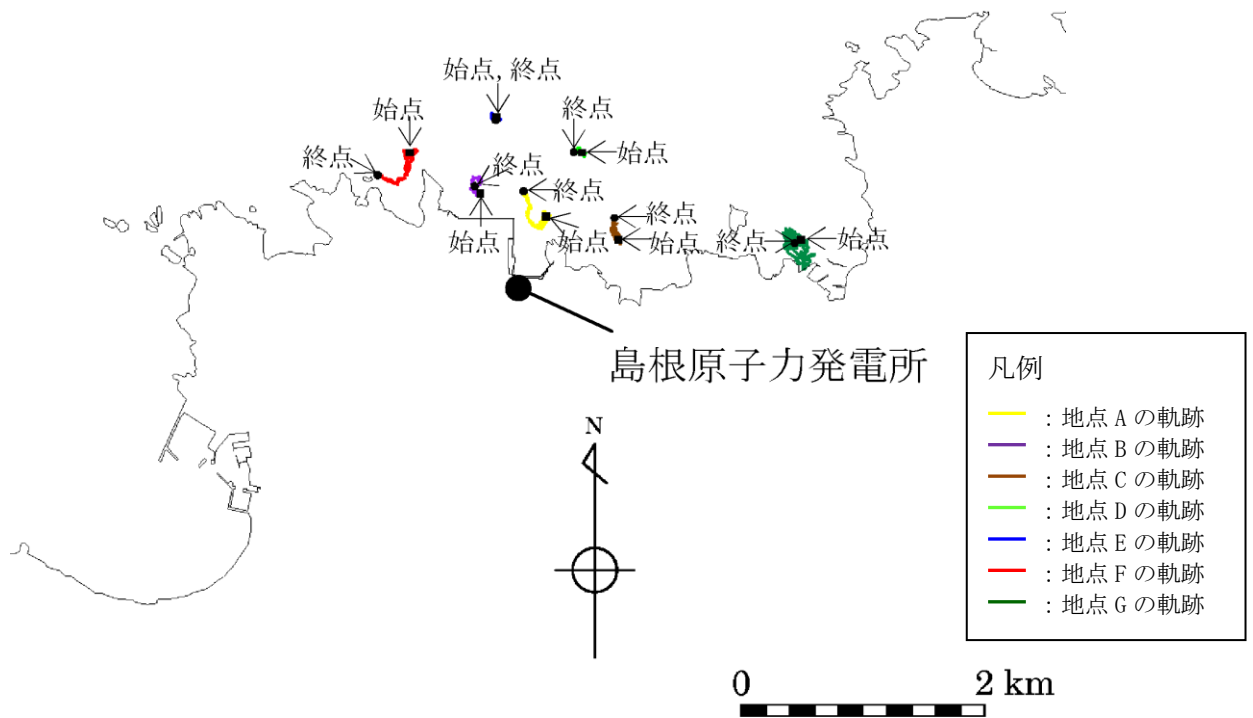
(基準津波 2 (防波堤有り))



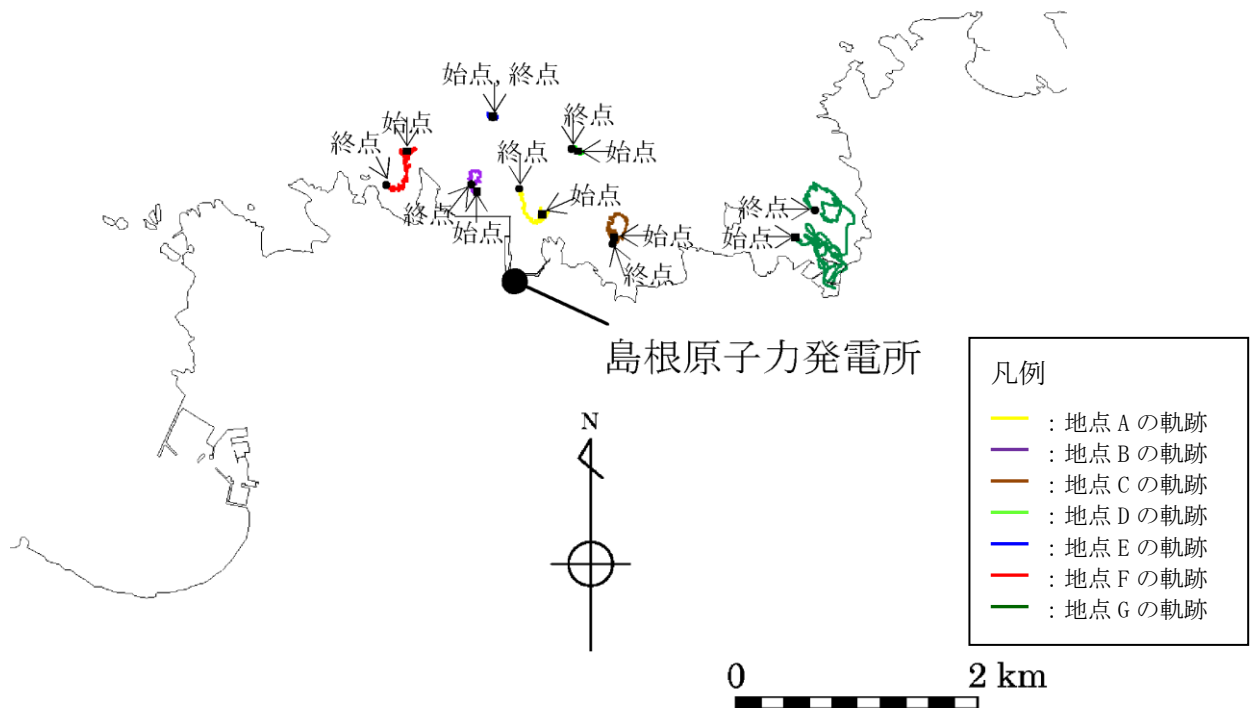
(基準津波 3 (防波堤有り))

第 3-2 図 軌跡解析結果



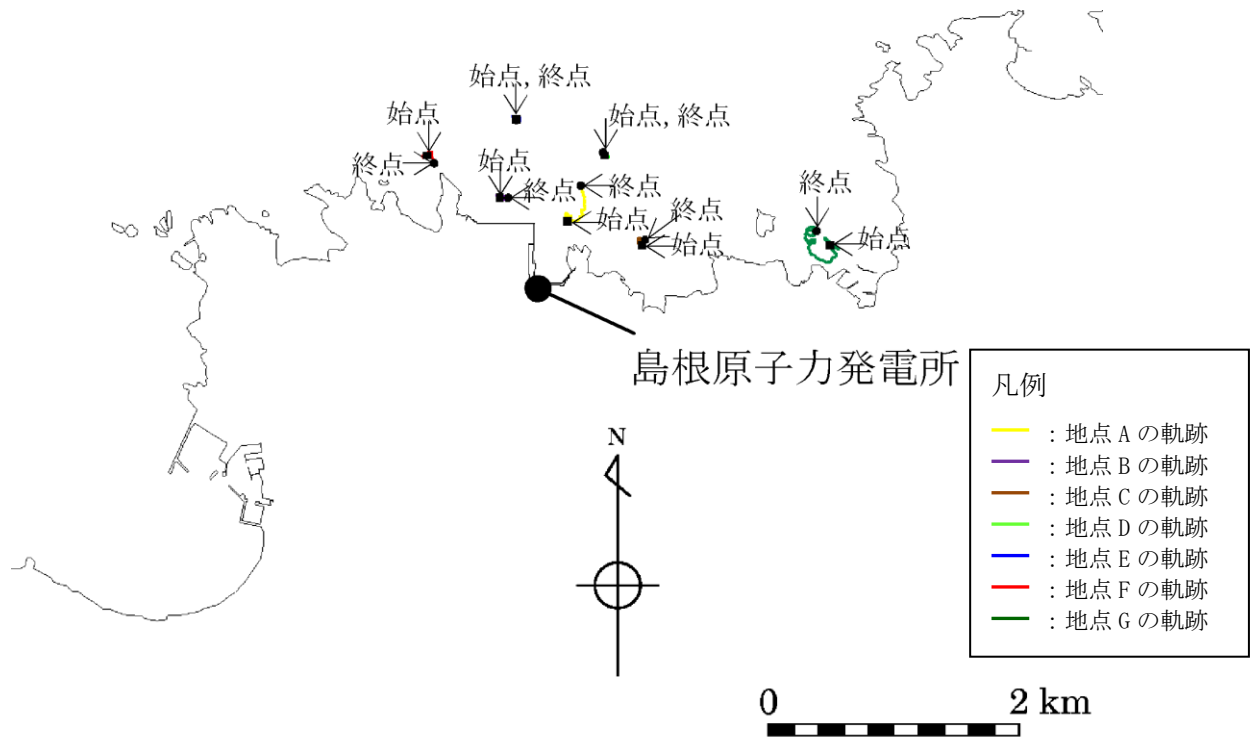


(基準津波 5 (防波堤無し))

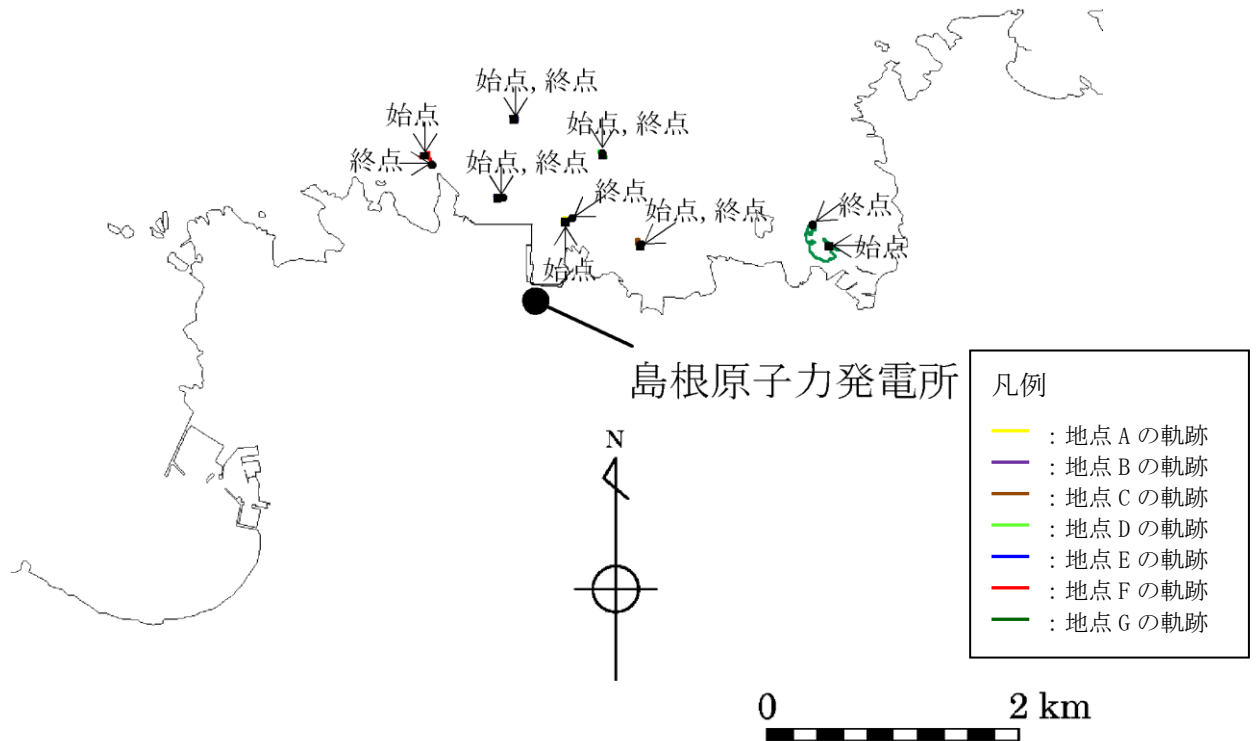


(基準津波 6 (防波堤無し))

第 3-3 図 軌跡解析結果

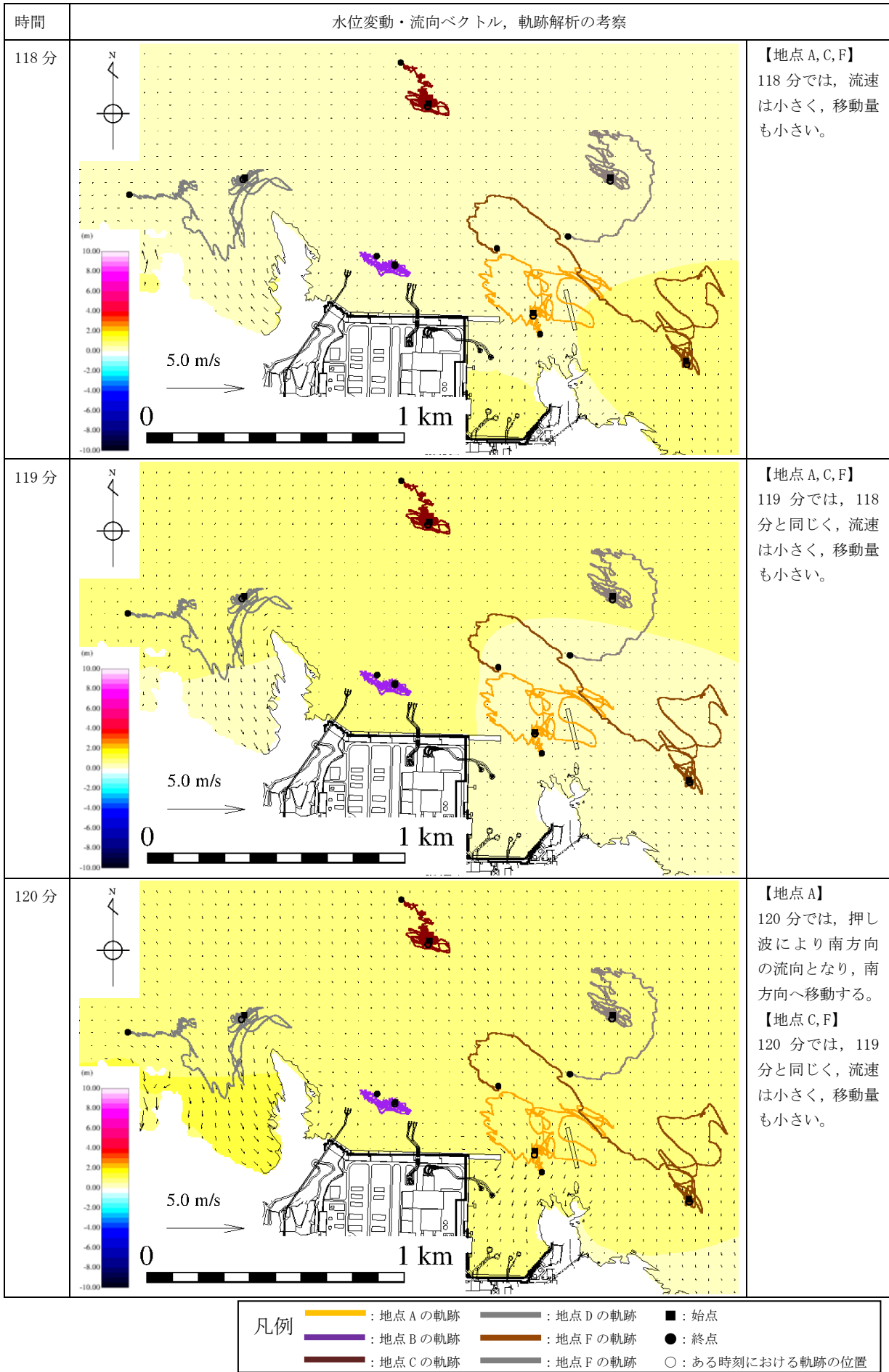


(基準津波 4 (防波堤有り))

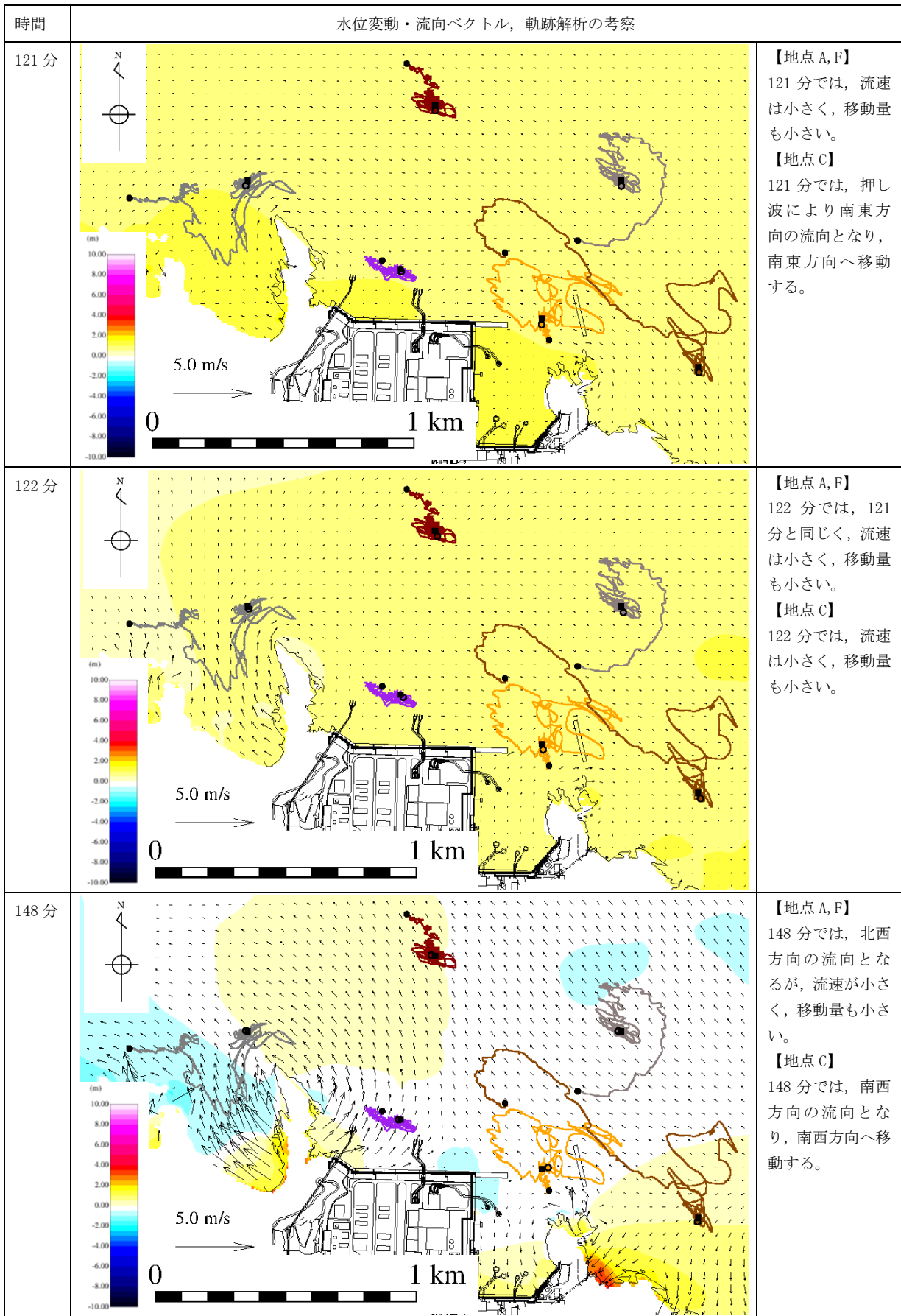


(基準津波 4 (防波堤無し))

第 3-4 図 軌跡解析結果



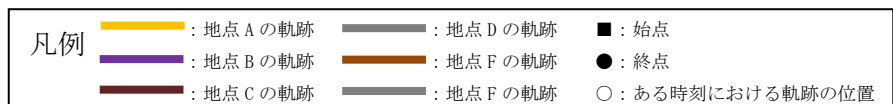
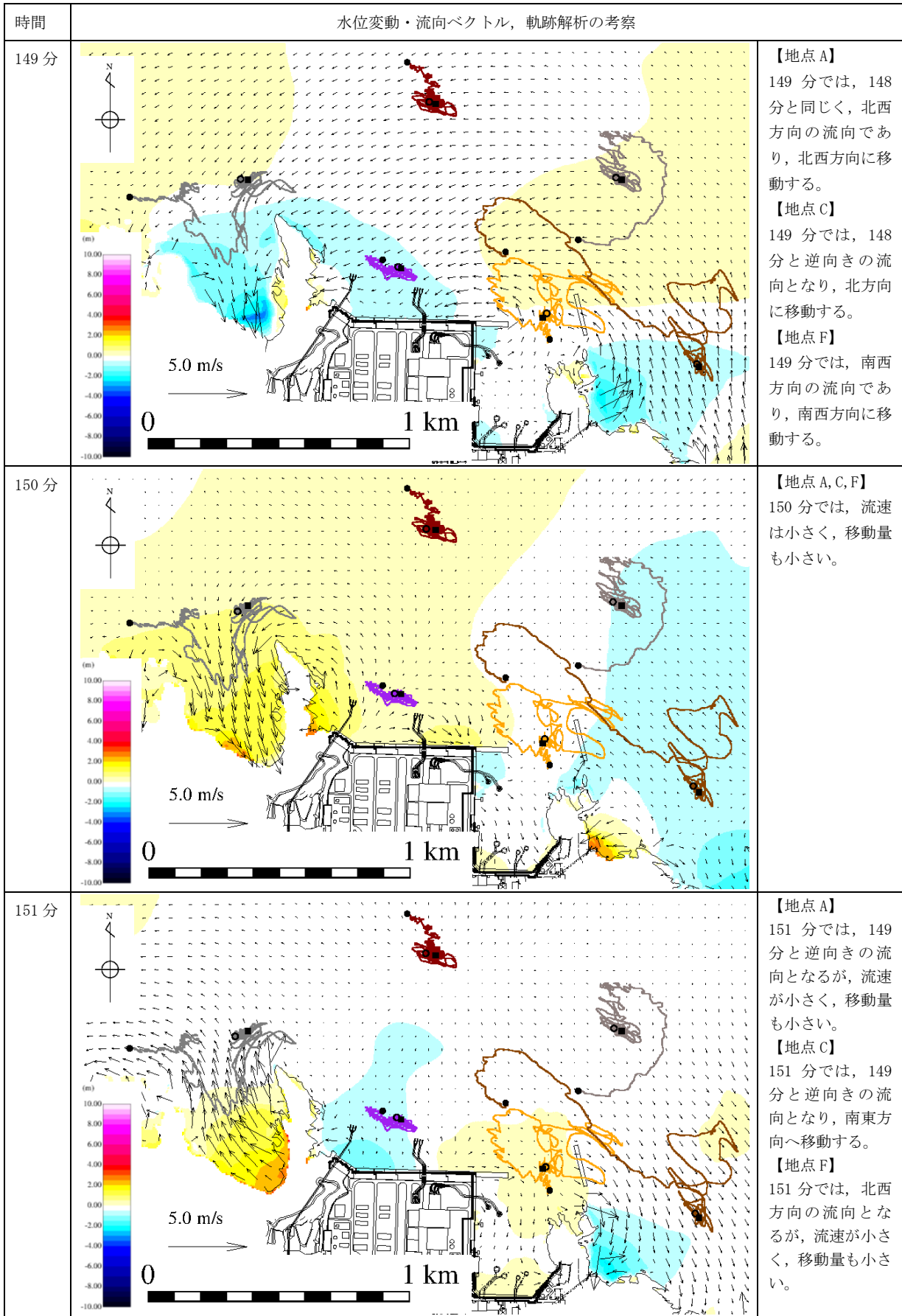
第 4-1 図 水位変動・流向ベクトル，軌跡解析の評価結果（基準津波 1）



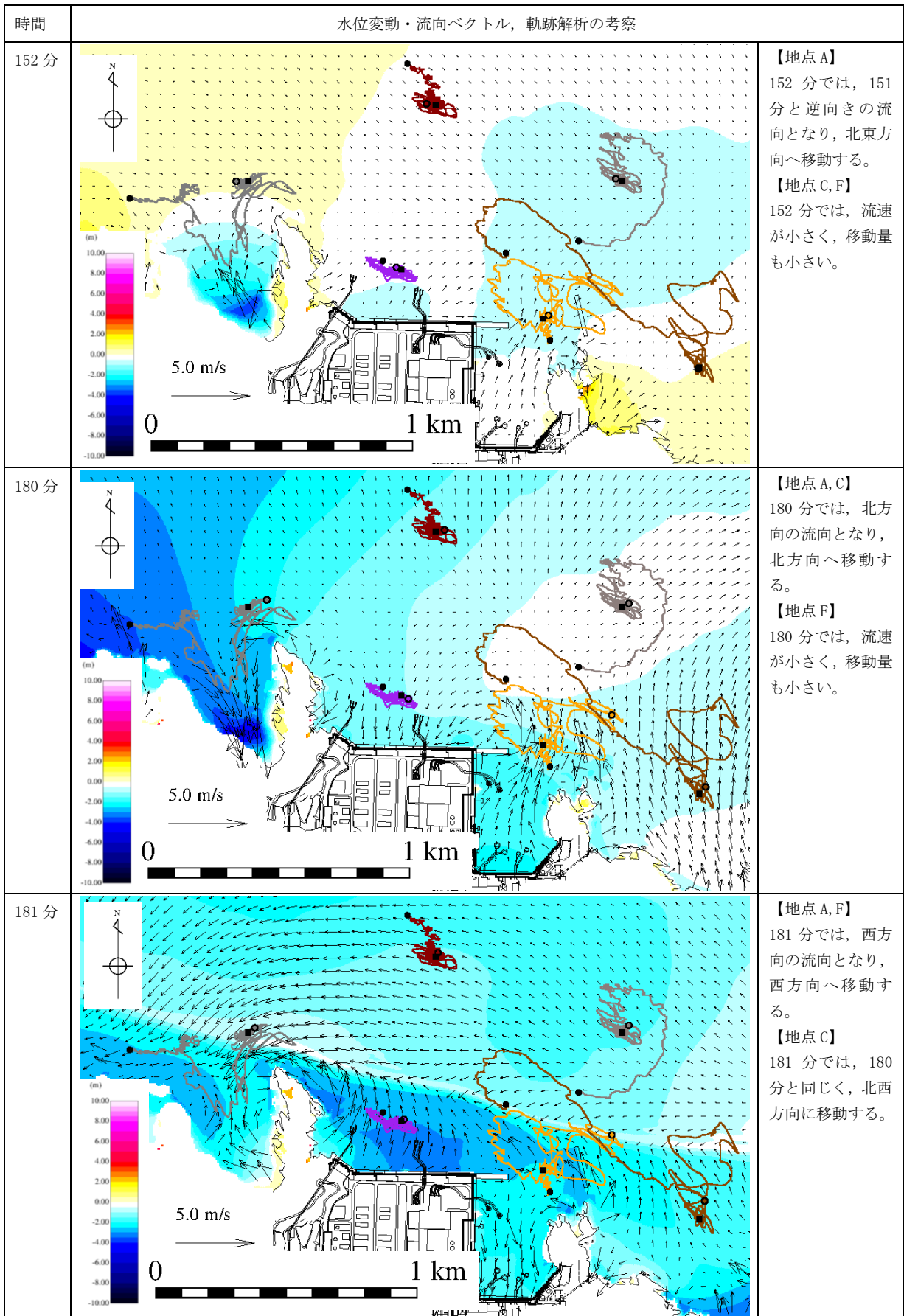
※123 分から 147 分まで同様な傾向であり省略する。



第 4-2 図 水位変動・流向ベクトル，軌跡解析の評価結果（基準津波 1）



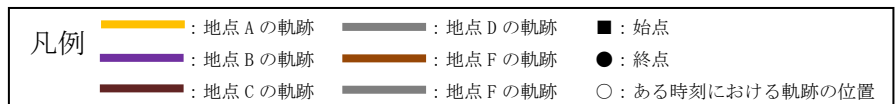
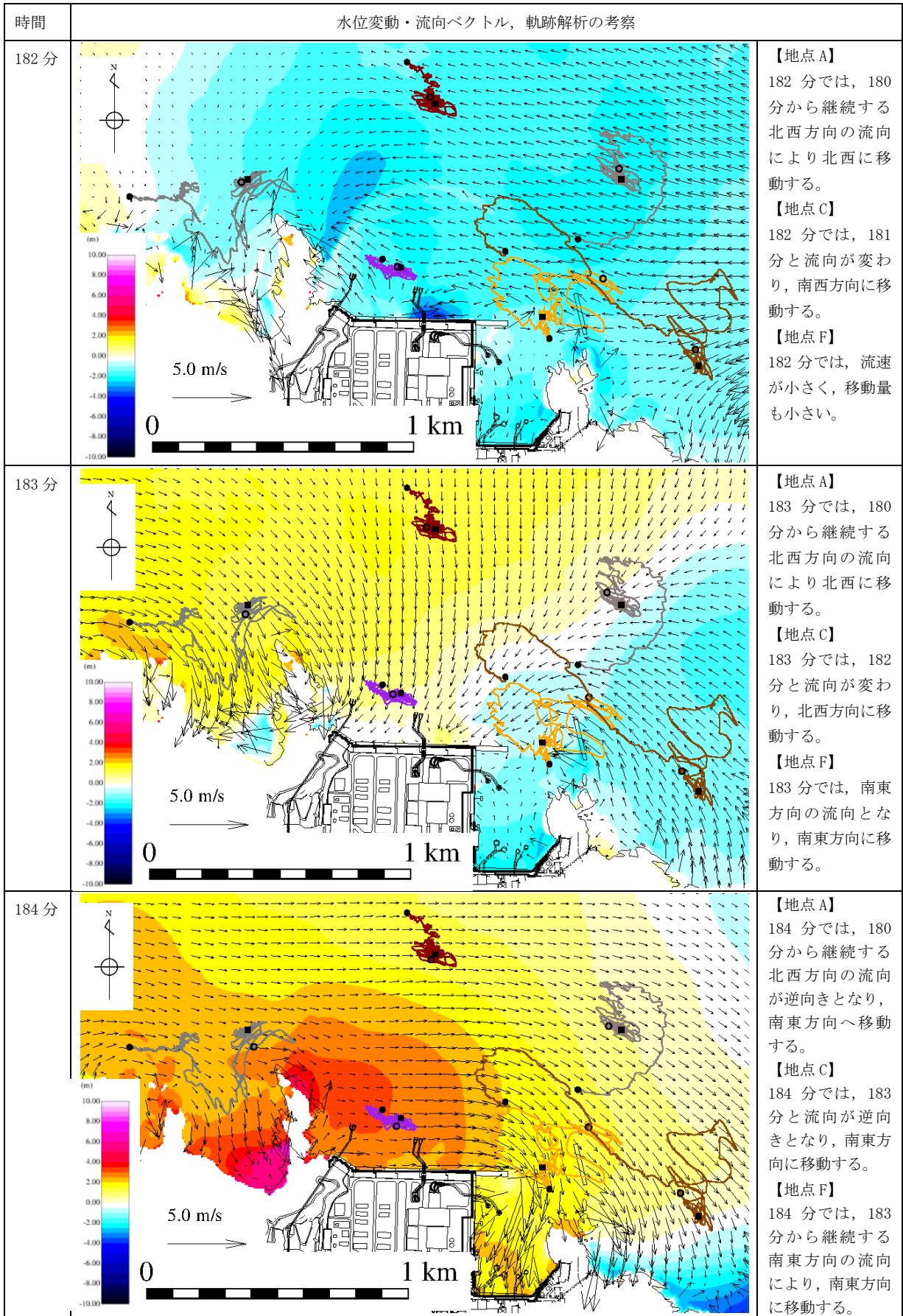
第4-3図 水位変動・流向ベクトル，軌跡解析の評価結果（基準津波1）



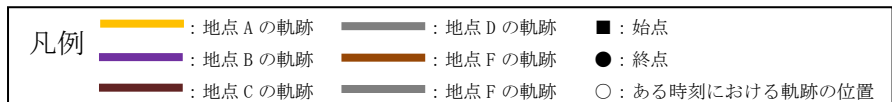
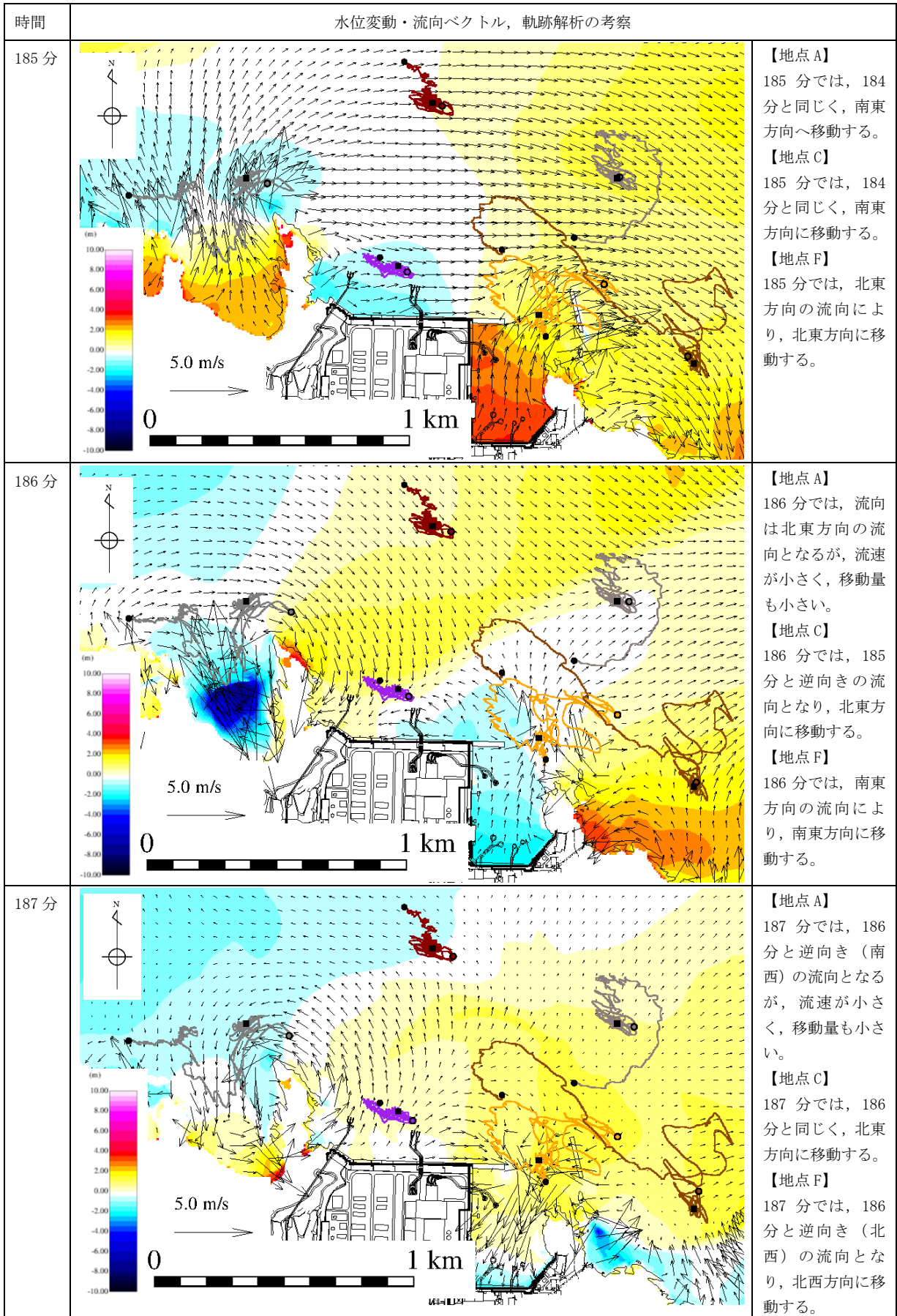
※153分から179分まで同様な傾向であり省略する。



第4-4図 水位変動・流向ベクトル，軌跡解析の評価結果（基準津波1）

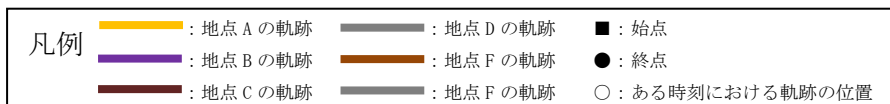
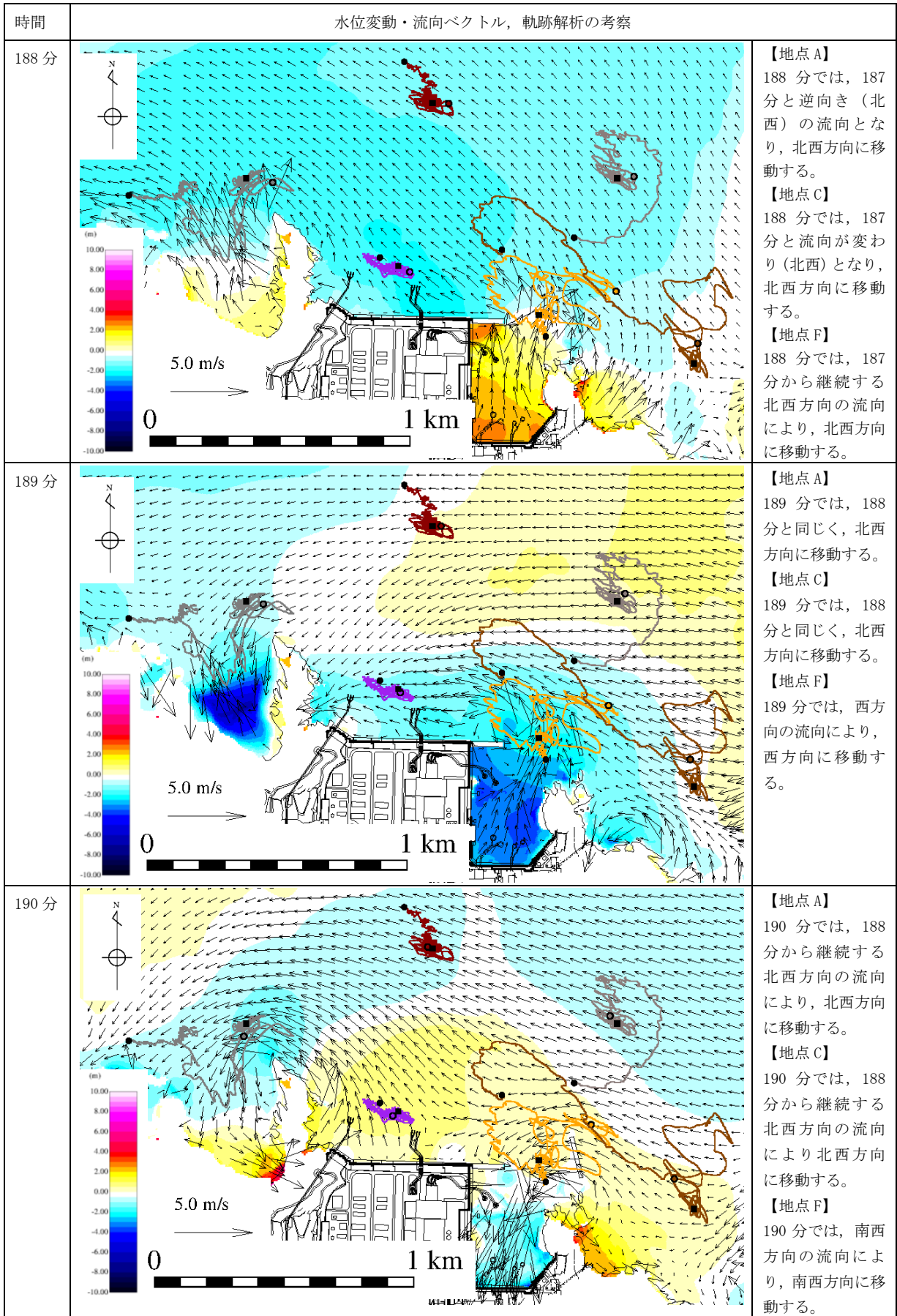


第4-5図 水位変動・流向ベクトル，軌跡解析の評価結果（基準津波1）

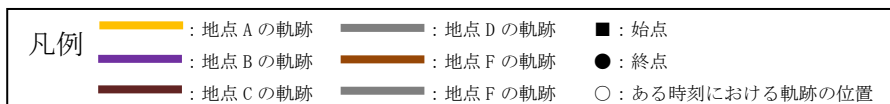
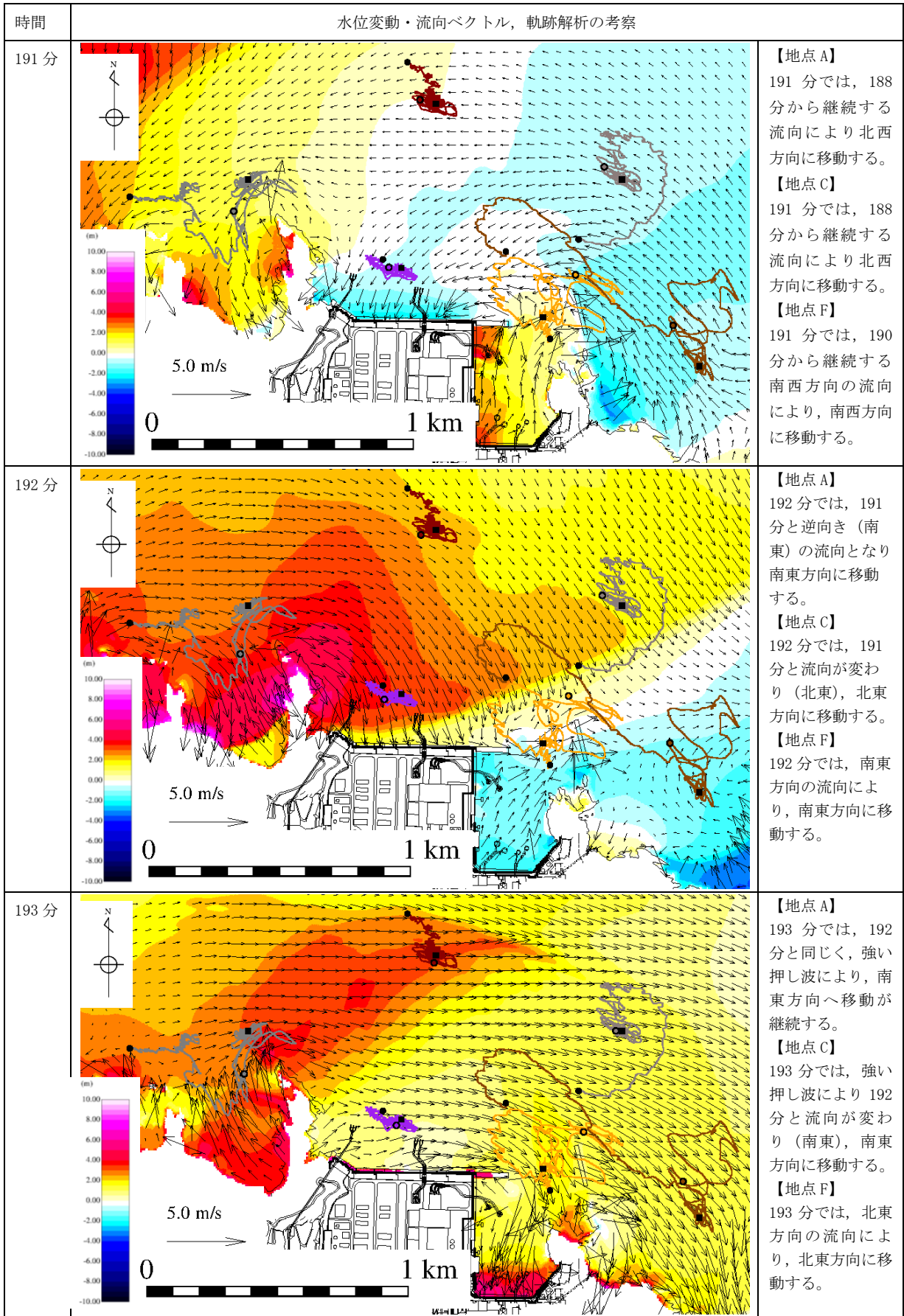


第4-6図 水位変動・流向ベクトル, 軌跡解析の評価結果 (基準津波1)

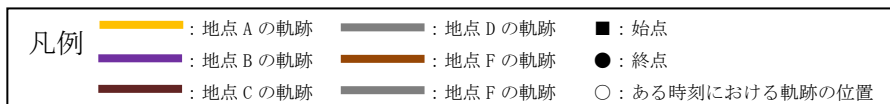
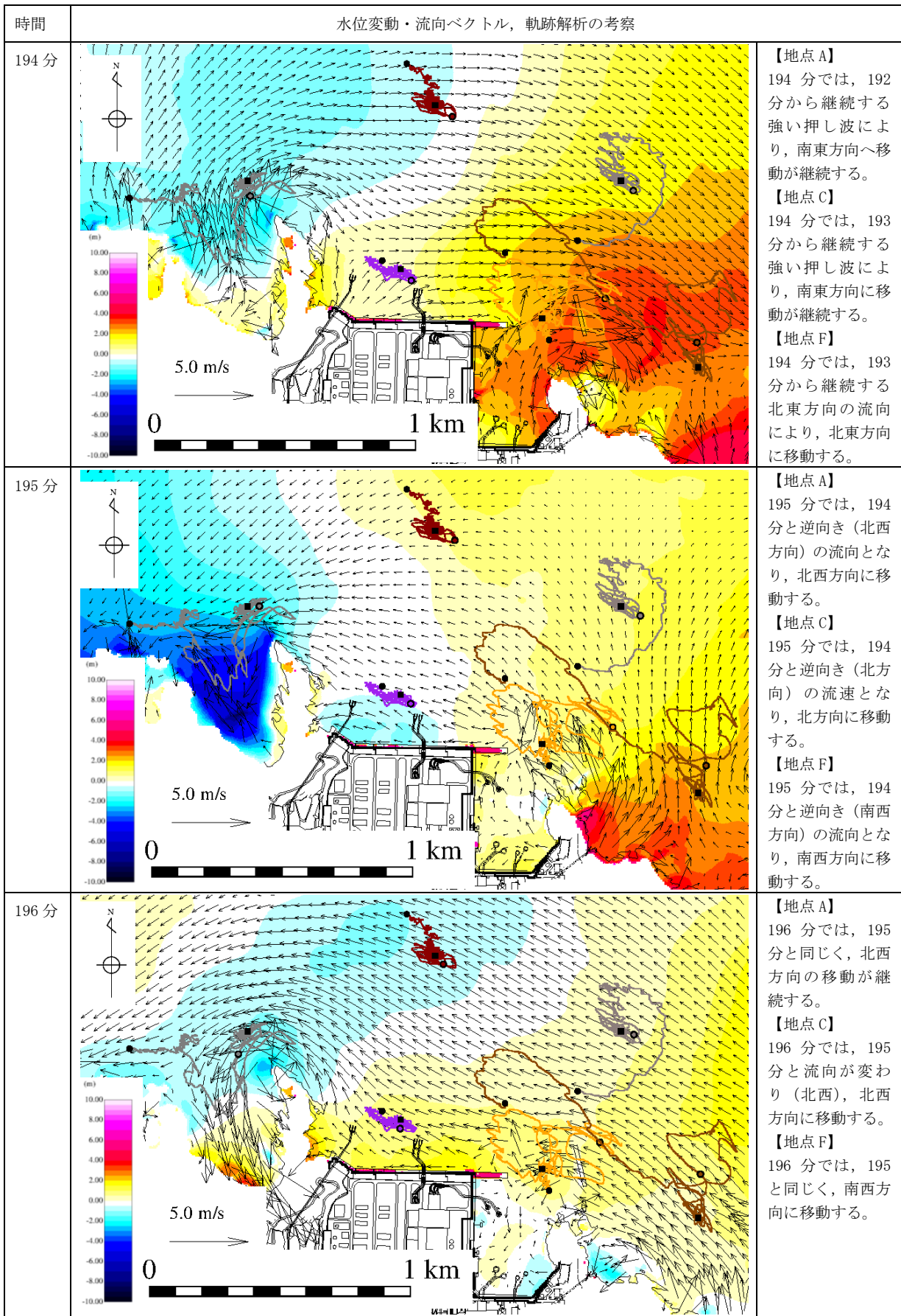




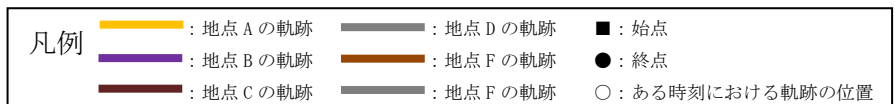
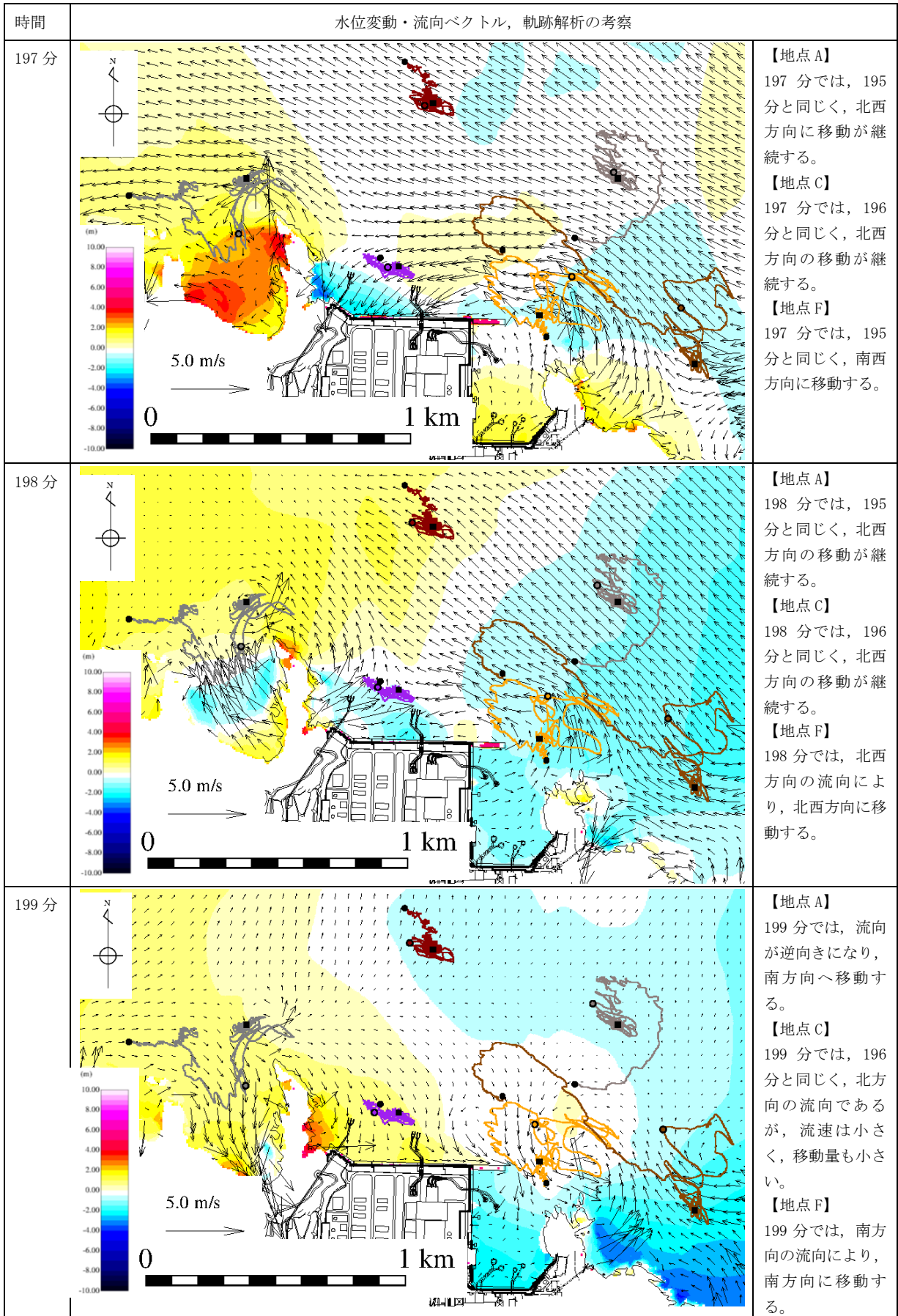
第4-7 図 水位変動・流向ベクトル, 軌跡解析の評価結果 (基準津波1)



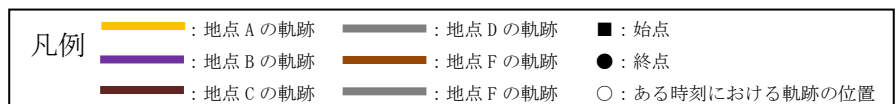
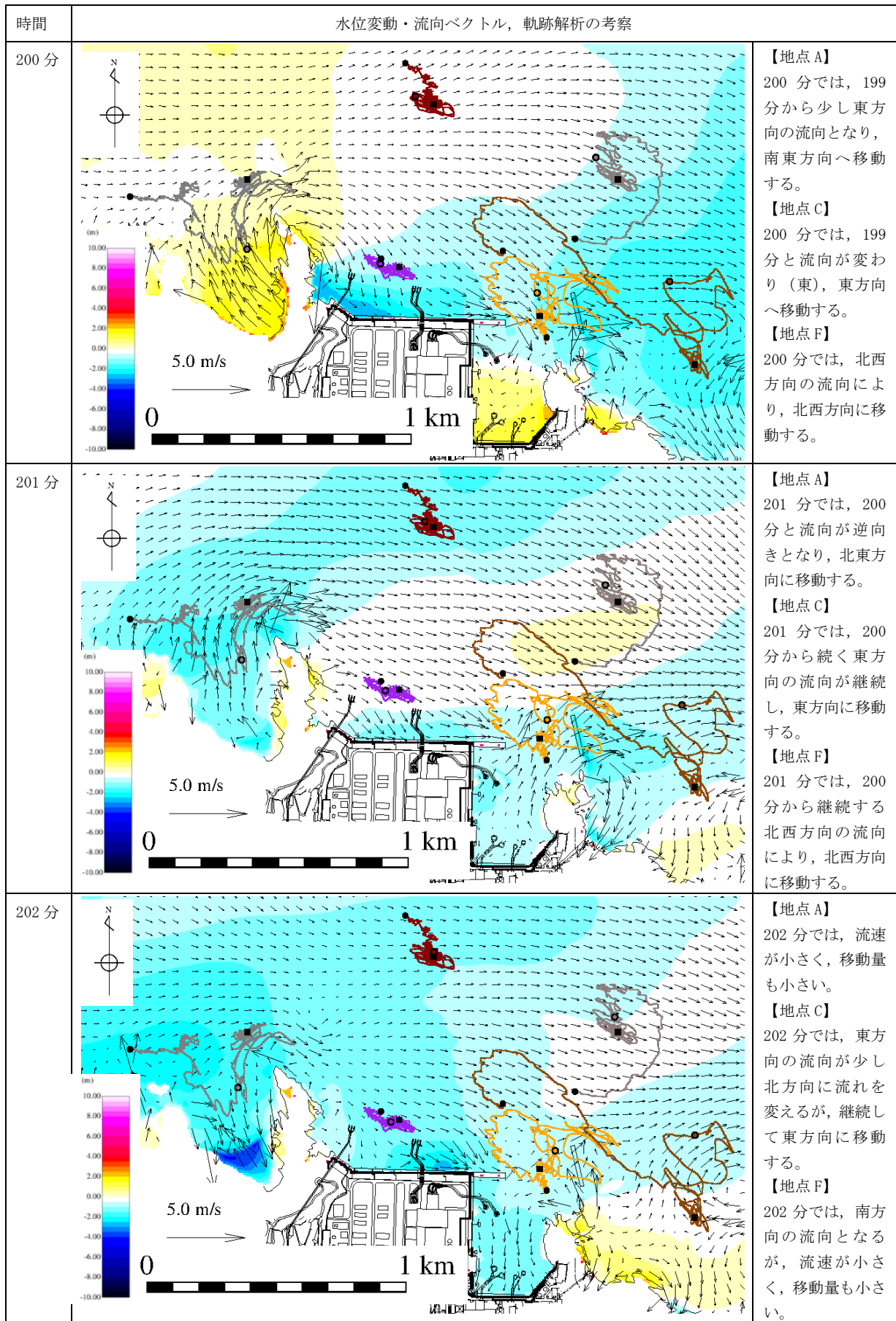
第4-8図 水位変動・流向ベクトル，軌跡解析の評価結果（基準津波1）



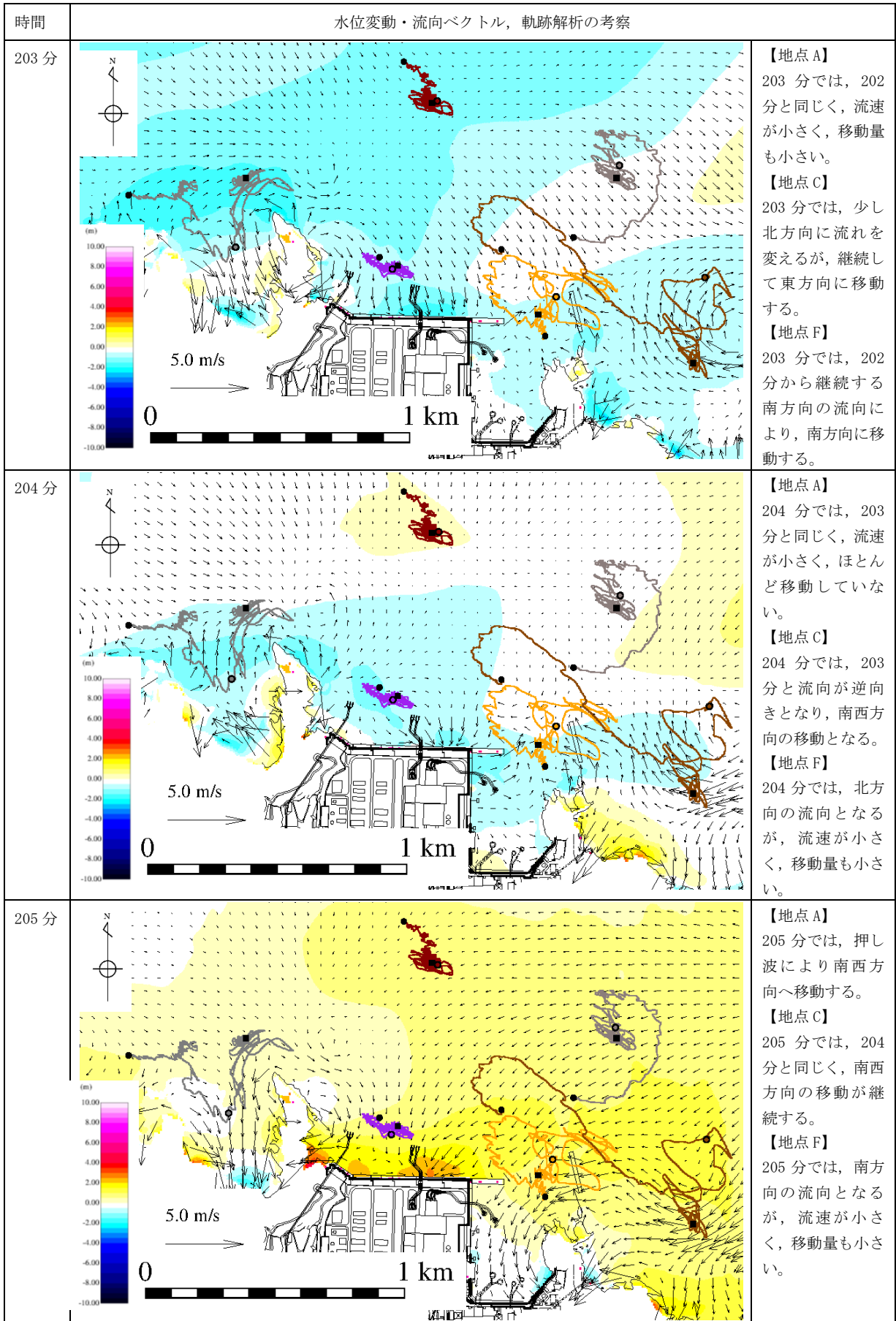
第4-9図 水位変動・流向ベクトル，軌跡解析の評価結果（基準津波1）



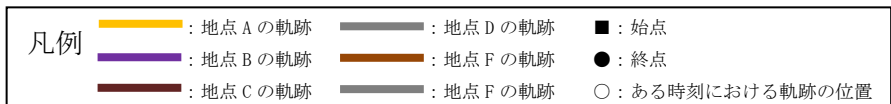
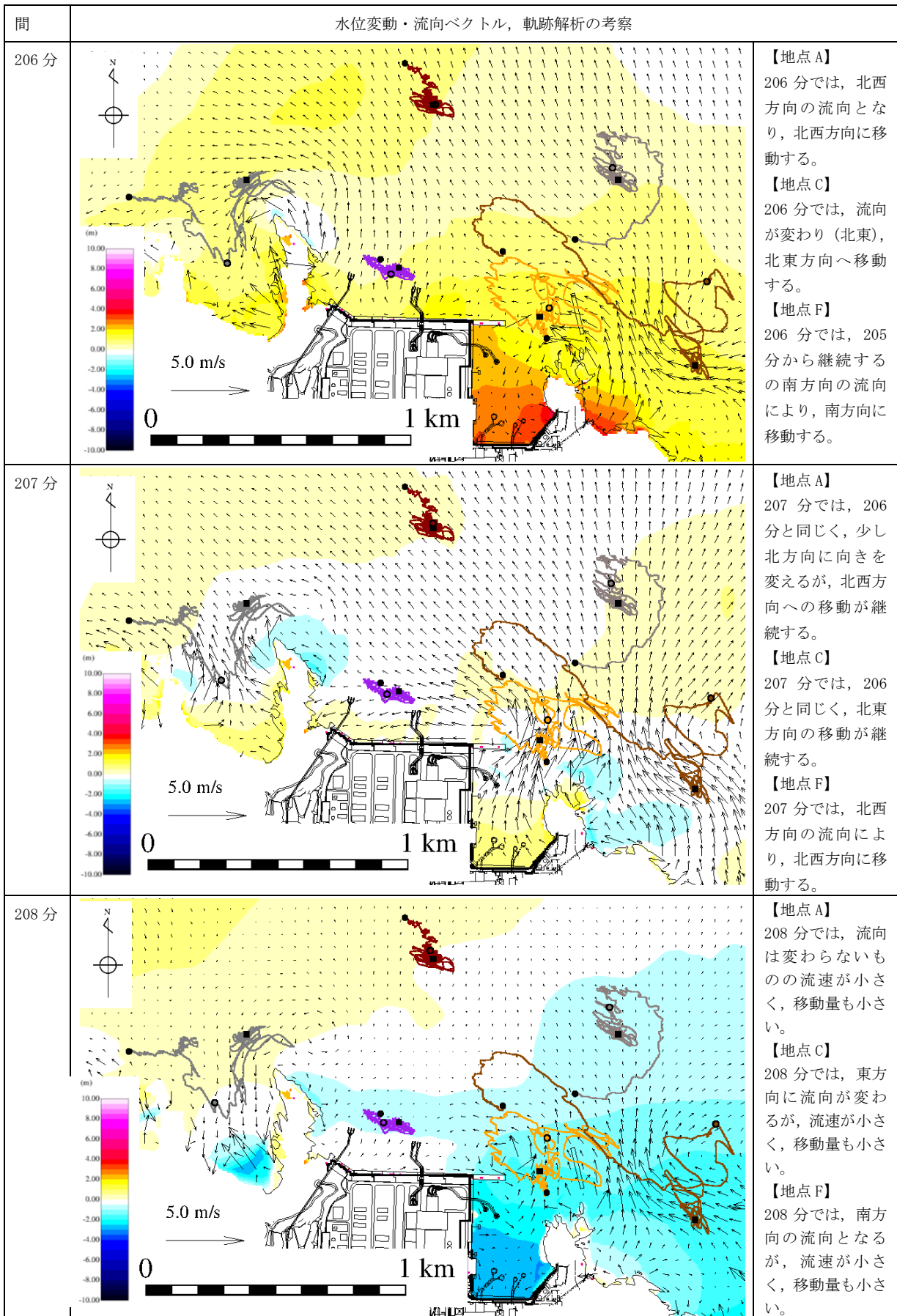
第 4-10 図 水位変動・流向ベクトル，軌跡解析の評価結果（基準津波 1）



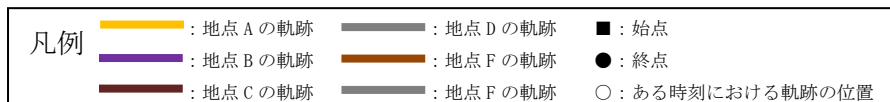
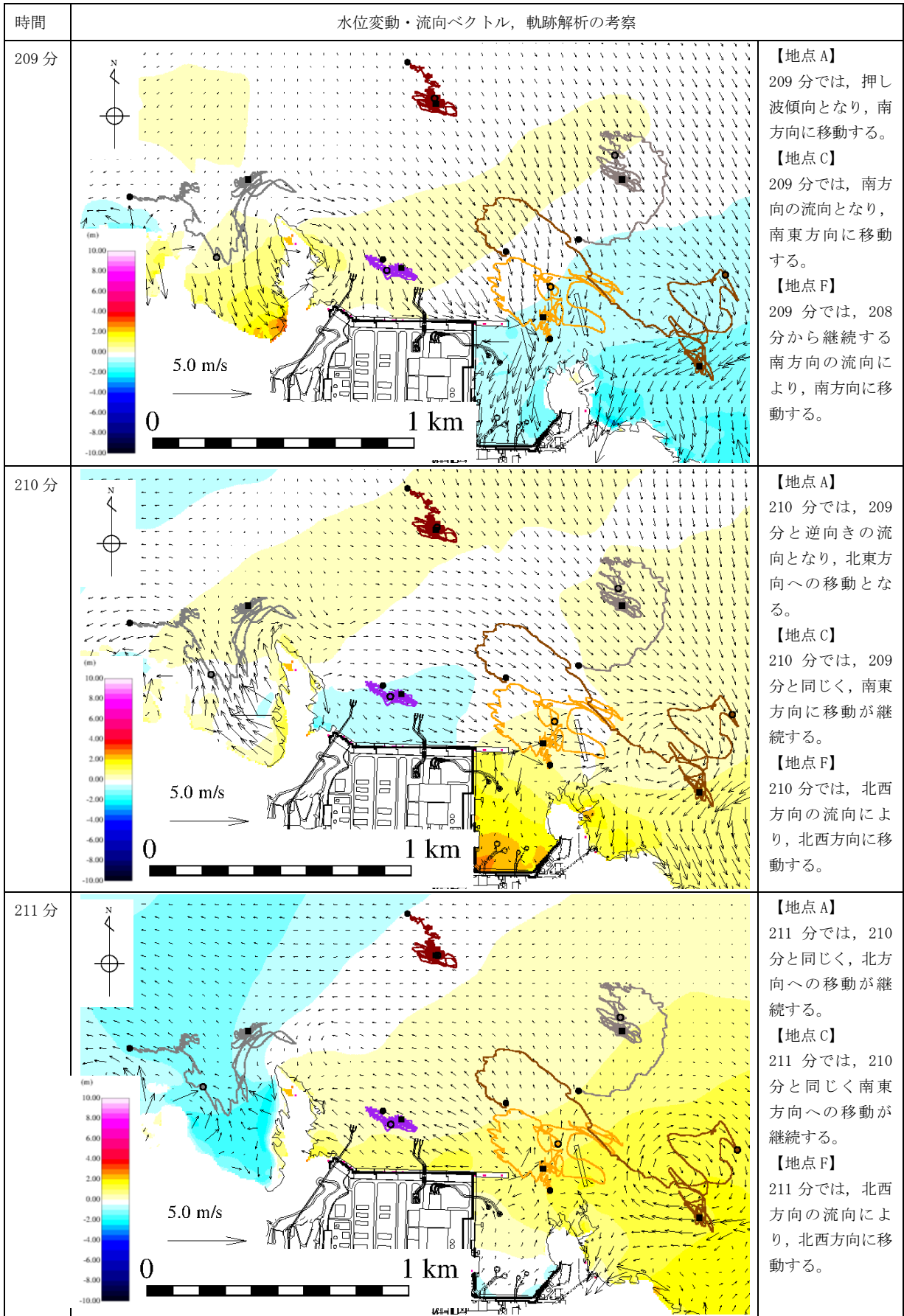
第 4-11 図 水位変動・流向ベクトル，軌跡解析の評価結果（基準津波 1）



第 4-12 図 水位変動・流向ベクトル，軌跡解析の評価結果（基準津波 1）

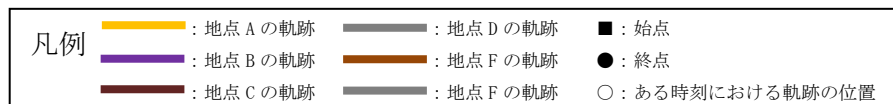
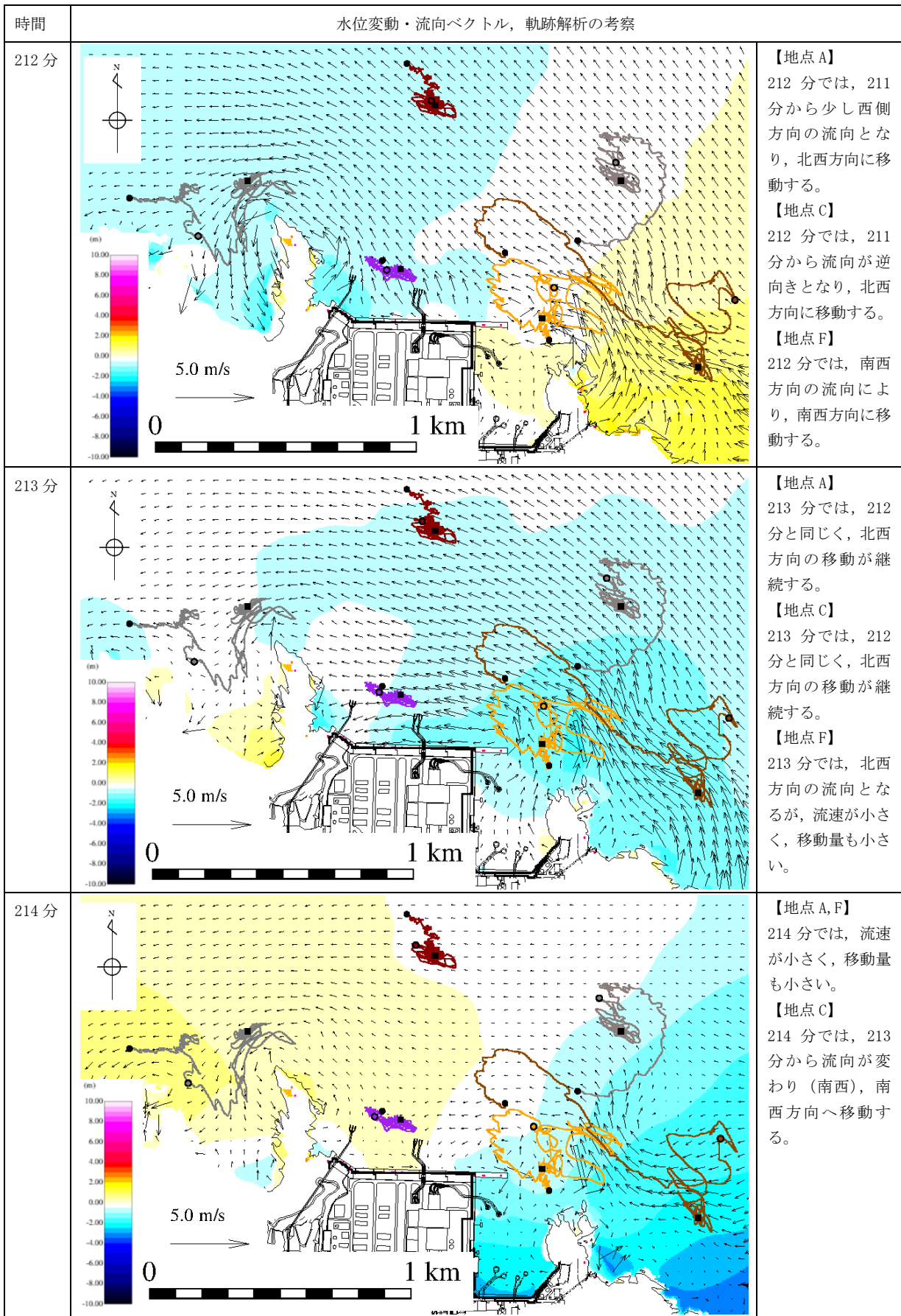


第4-13図 水位変動・流向ベクトル，軌跡解析の評価結果（基準津波1）

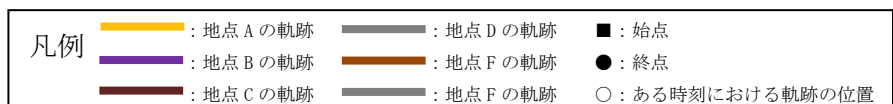
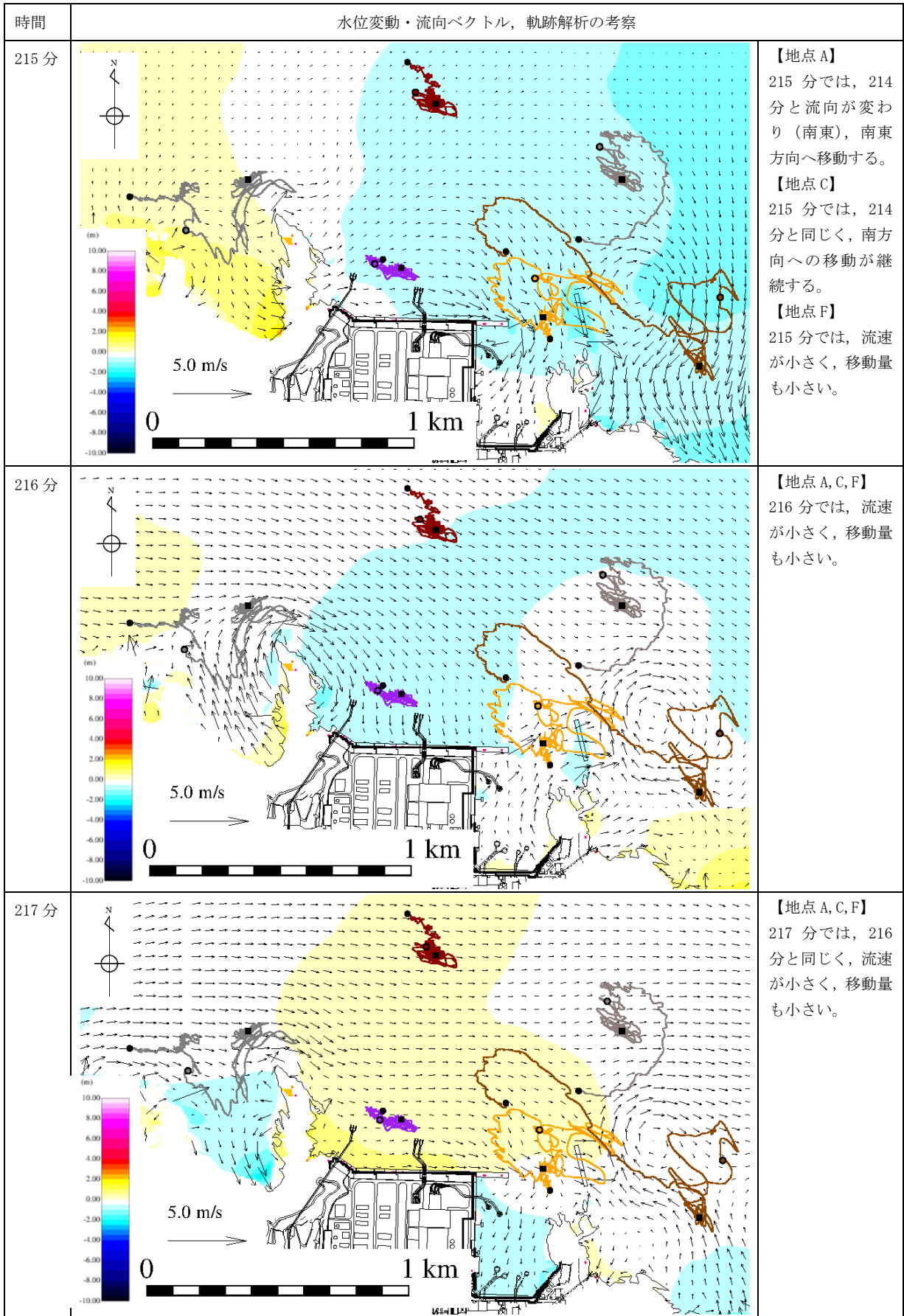


第4-14図 水位変動・流向ベクトル，軌跡解析の評価結果（基準津波1）

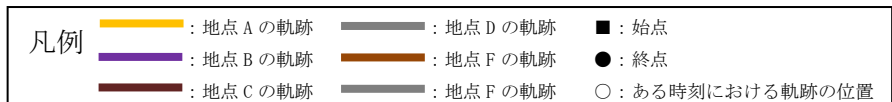
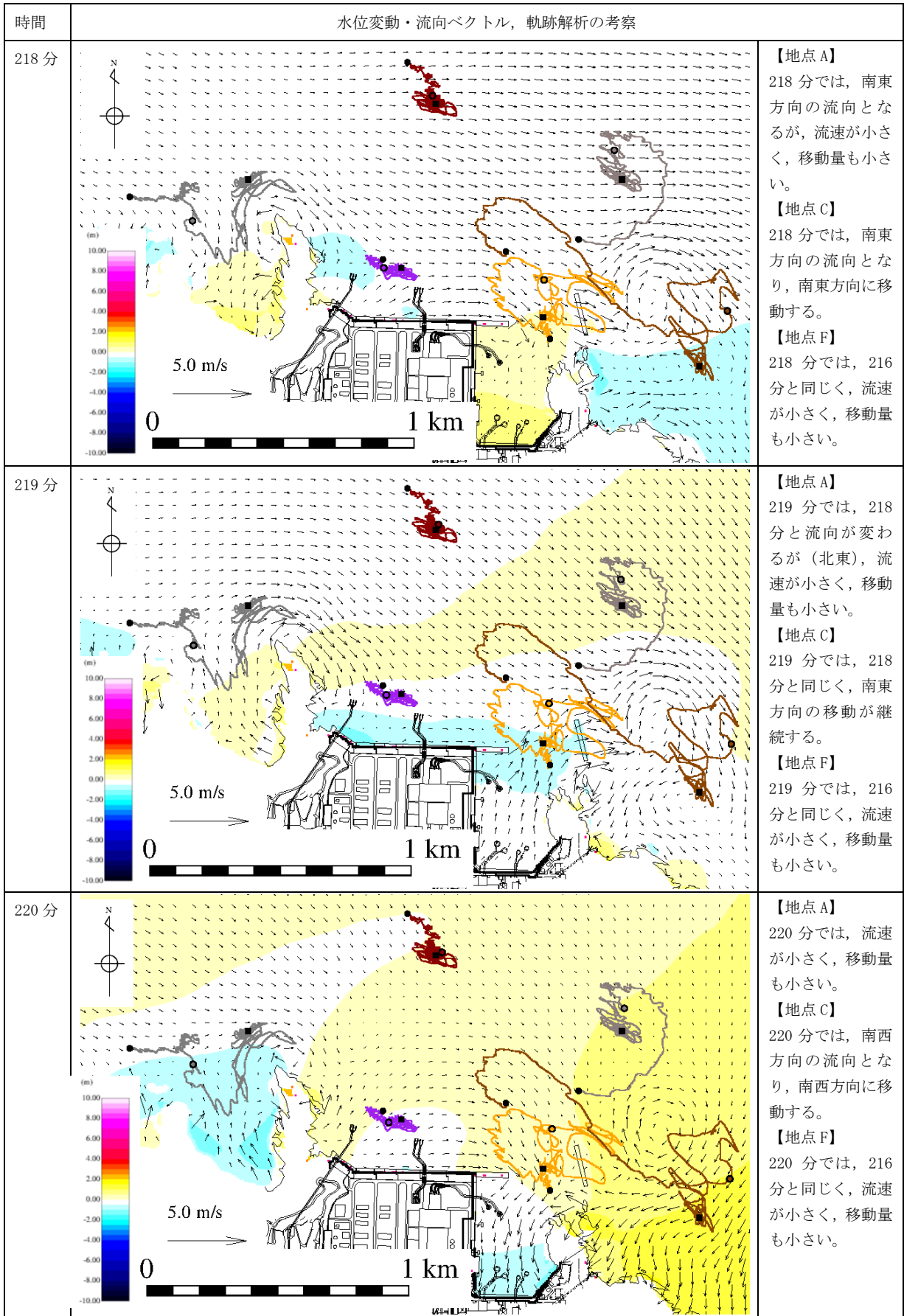




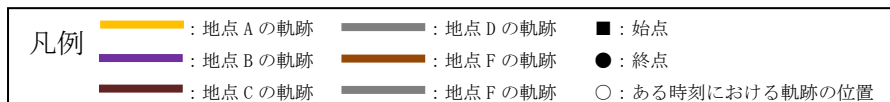
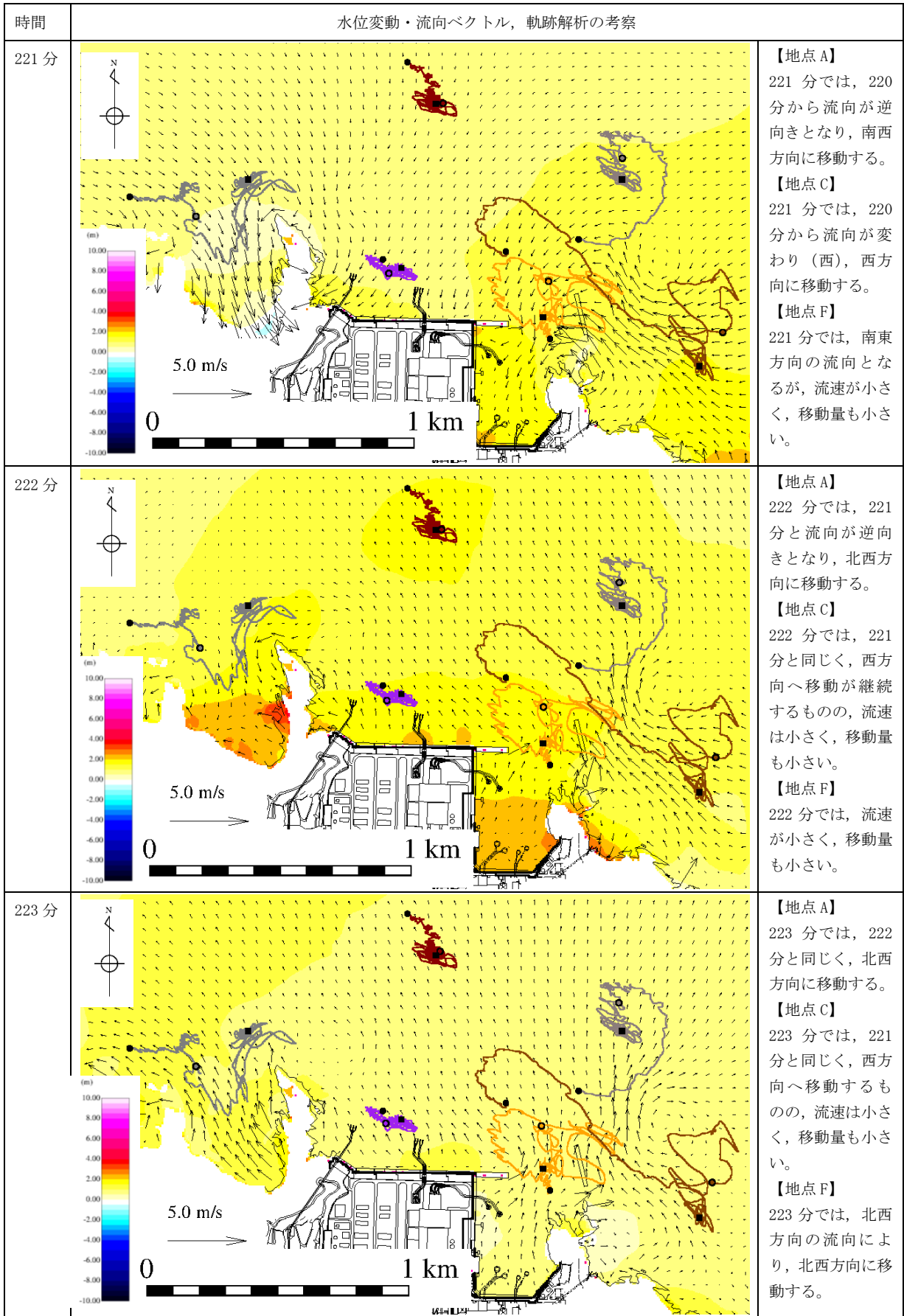
第4-15図 水位変動・流向ベクトル, 軌跡解析の評価結果 (基準津波1)



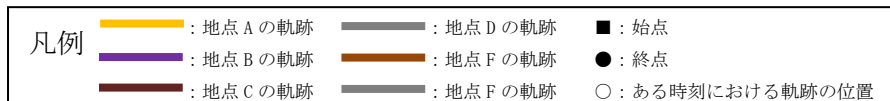
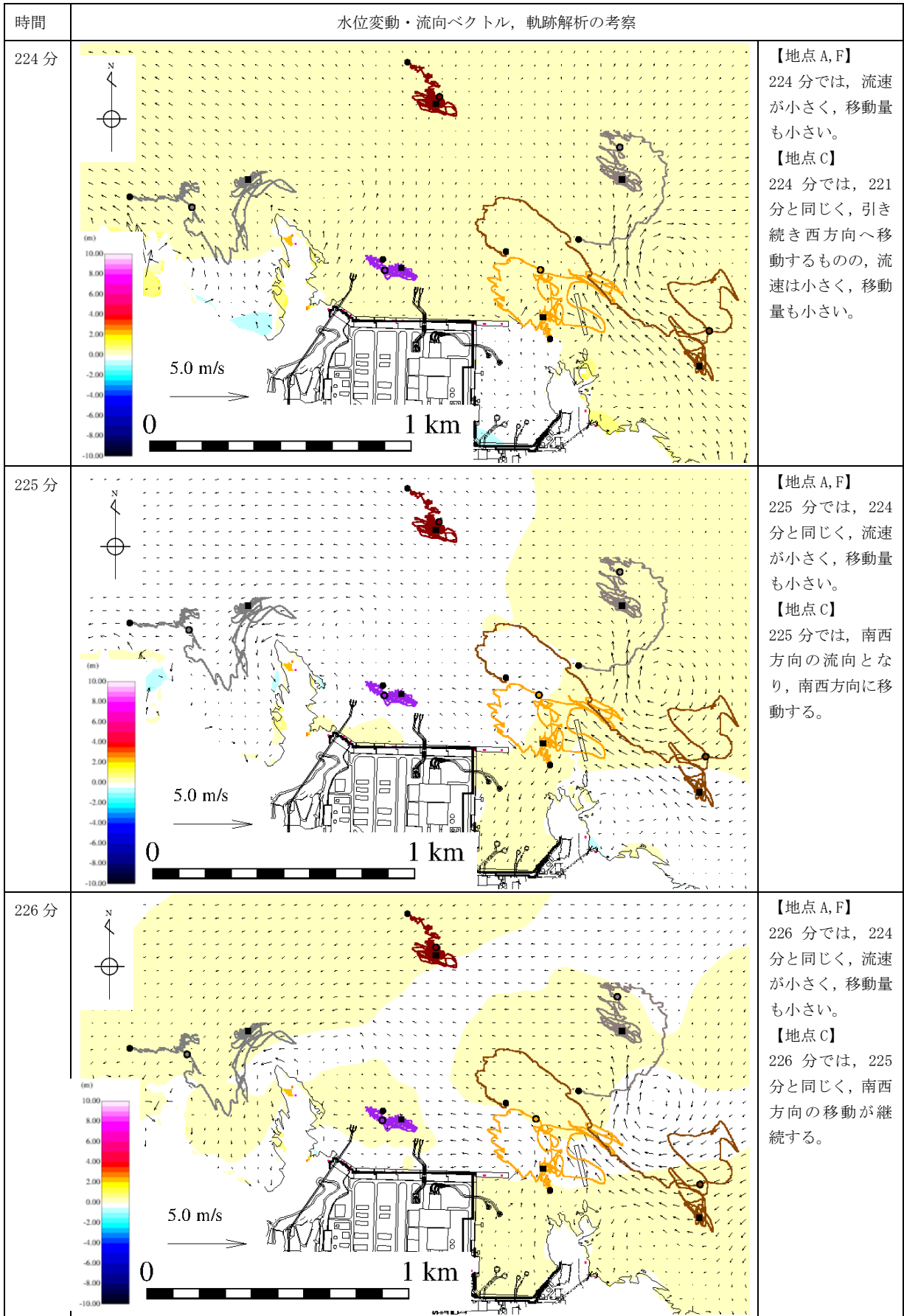
第 4-16 図 水位変動・流向ベクトル，軌跡解析の評価結果（基準津波 1）



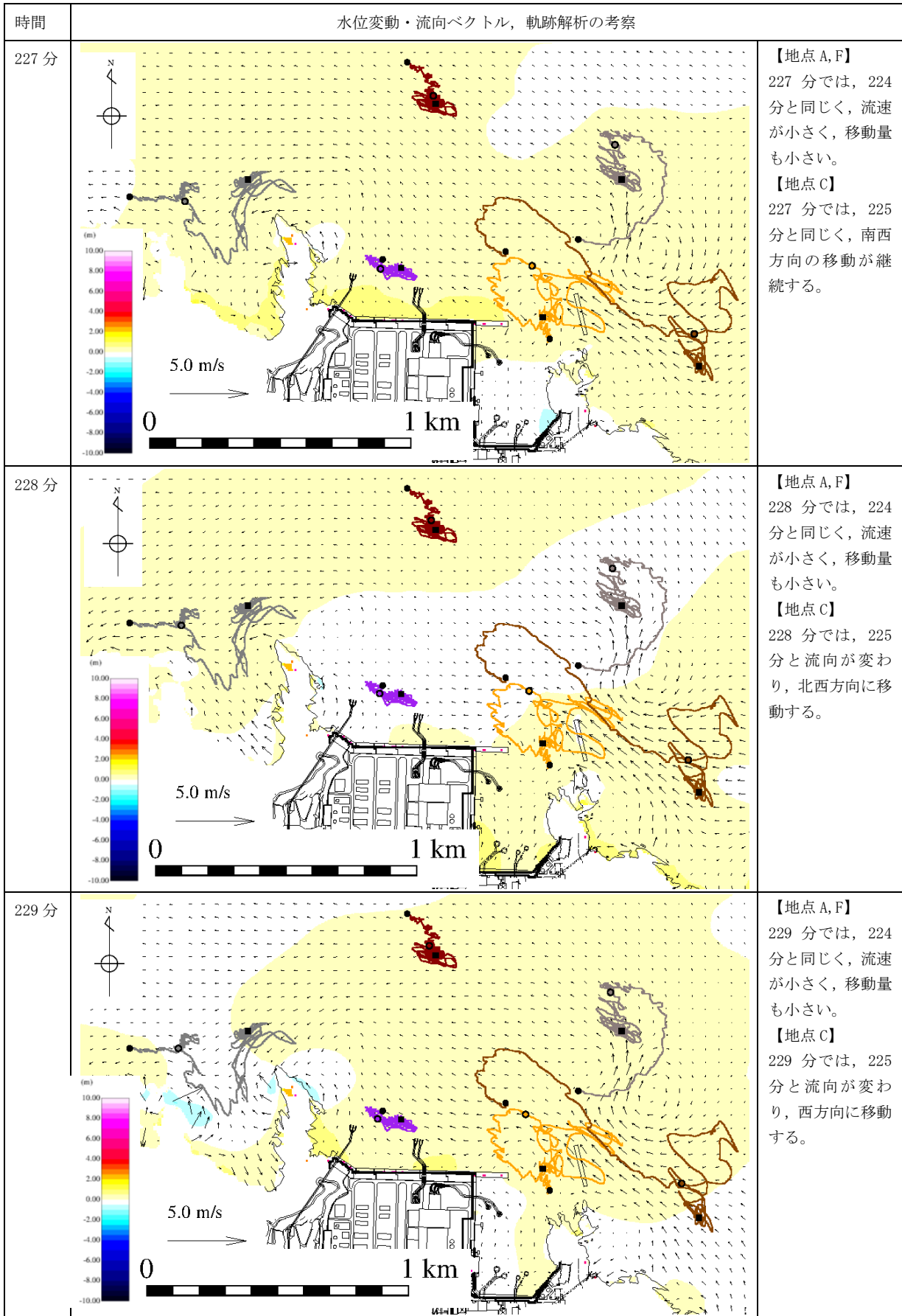
第4-17図 水位変動・流向ベクトル, 軌跡解析の評価結果 (基準津波1)



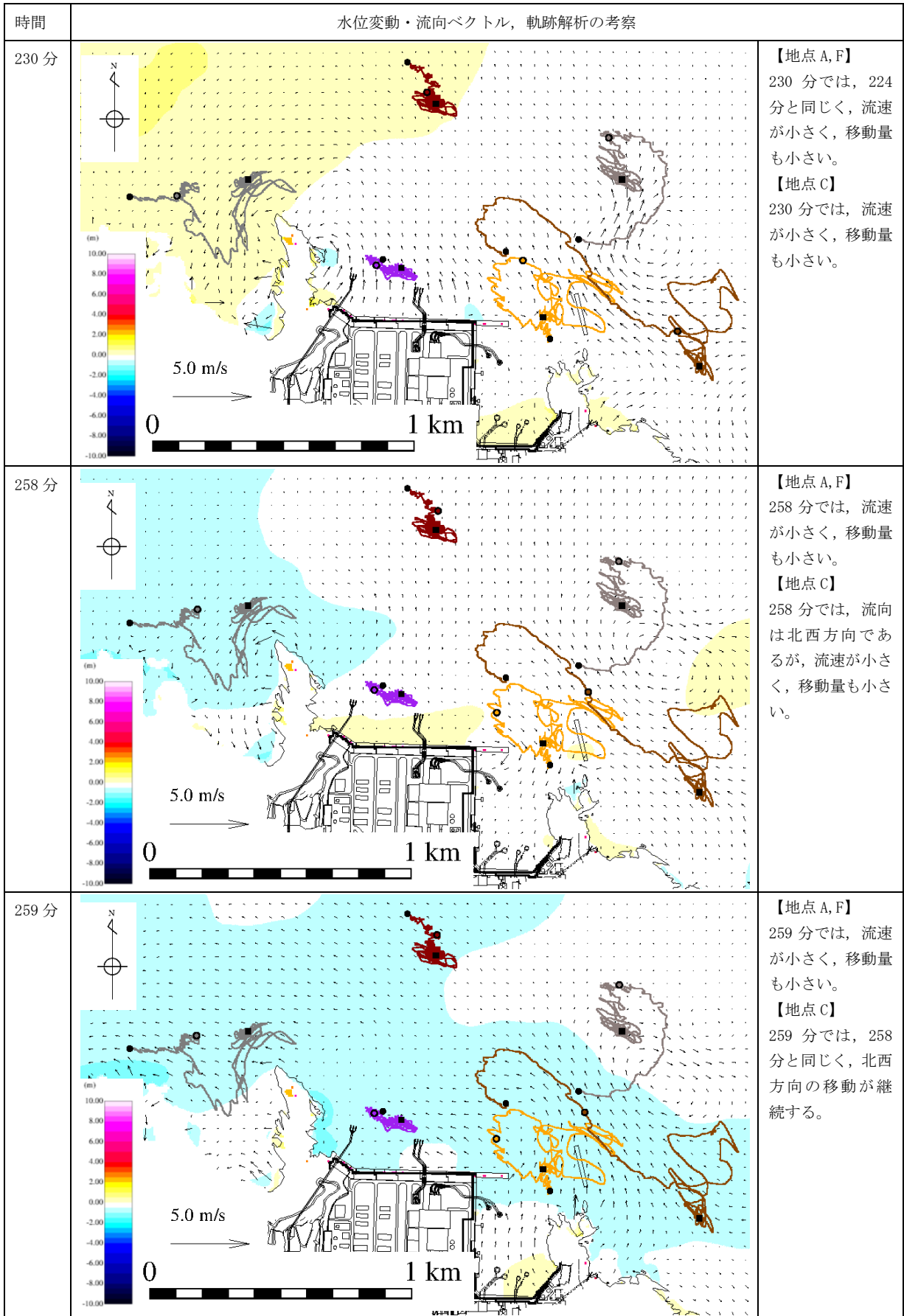
第 4-18 図 水位変動・流向ベクトル, 軌跡解析の評価結果 (基準津波 1)



第 4-19 図 水位変動・流向ベクトル，軌跡解析の評価結果（基準津波 1）



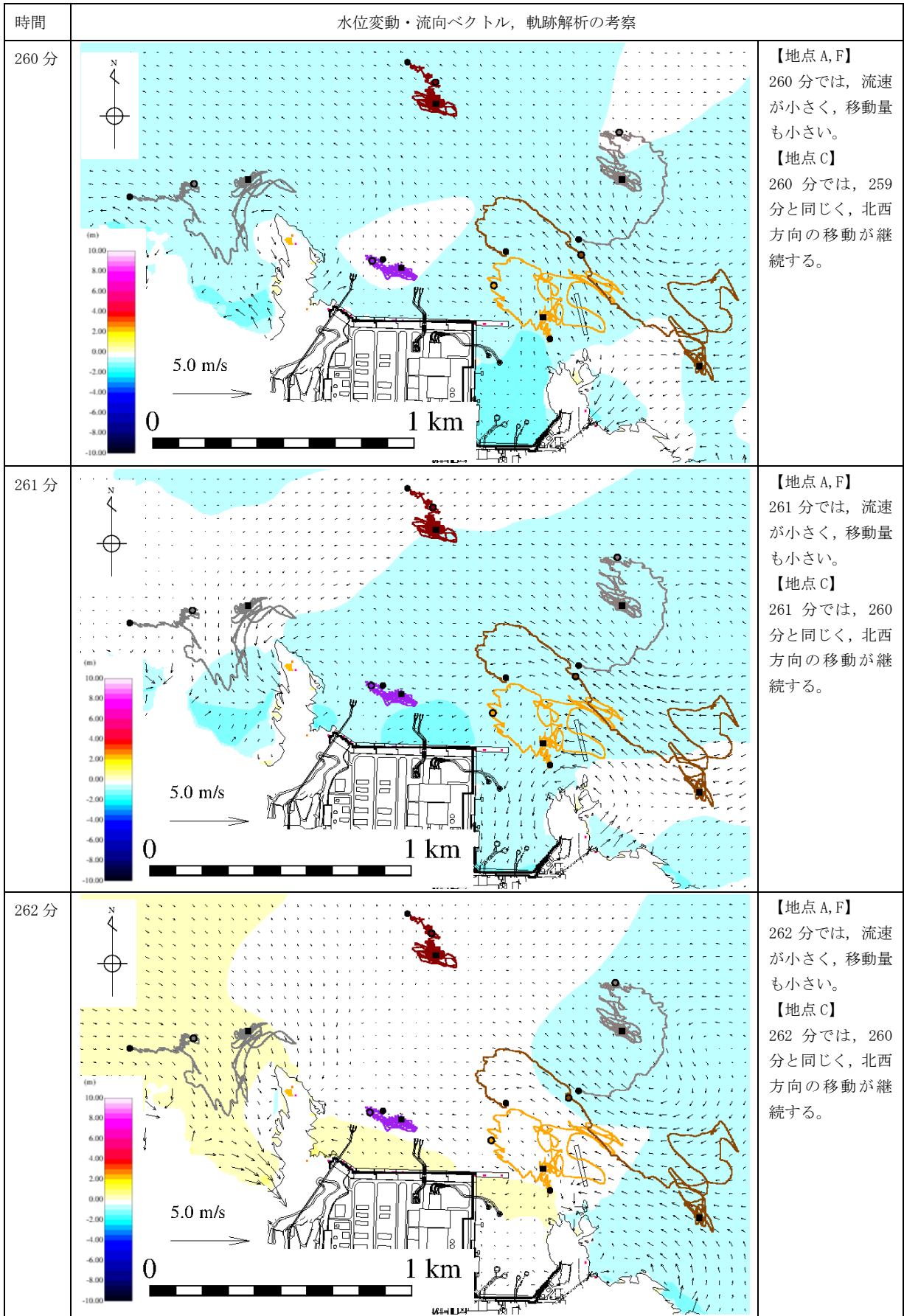
第 4-20 図 水位変動・流向ベクトル，軌跡解析の評価結果（基準津波 1）



※231 分から 257 分まで同様な傾向であり省略する。

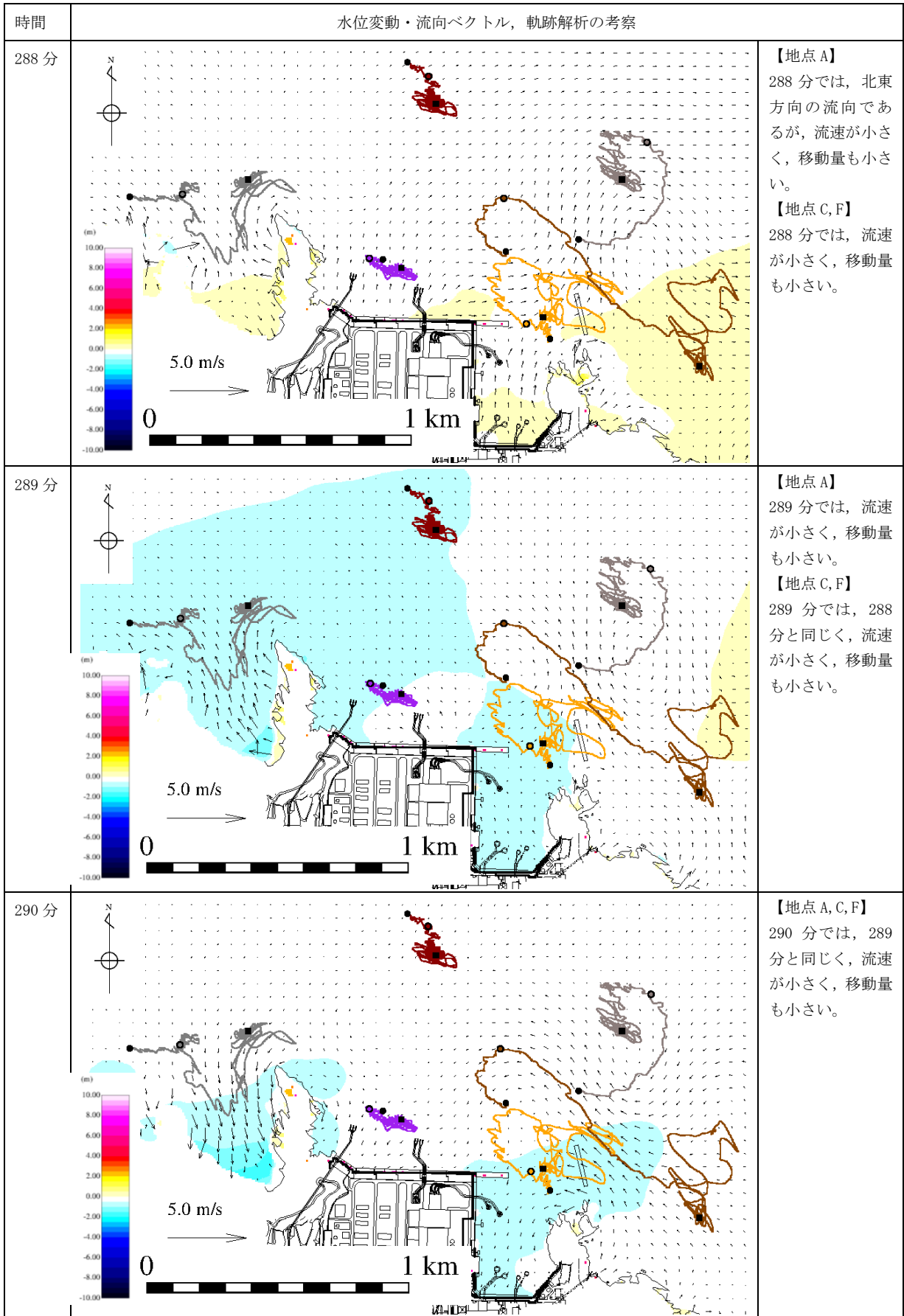


第 4-21 図 水位変動・流向ベクトル, 軌跡解析の評価結果 (基準津波 1)



第 4-22 図 水位変動・流向ベクトル, 軌跡解析の評価結果 (基準津波 1)

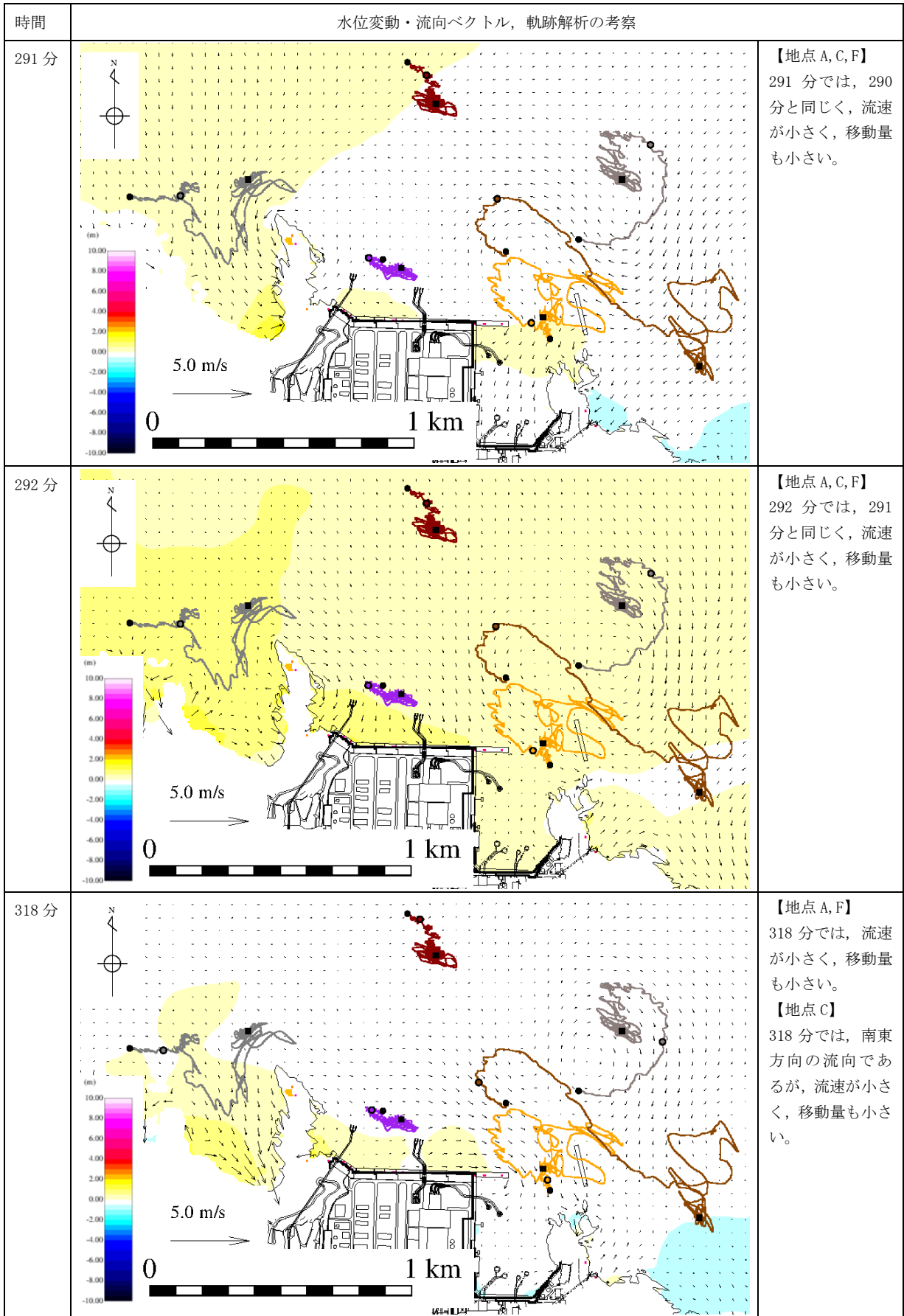




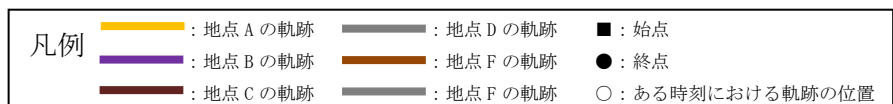
※263 分から 287 分まで同様な傾向であり省略する。



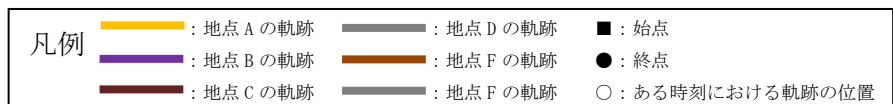
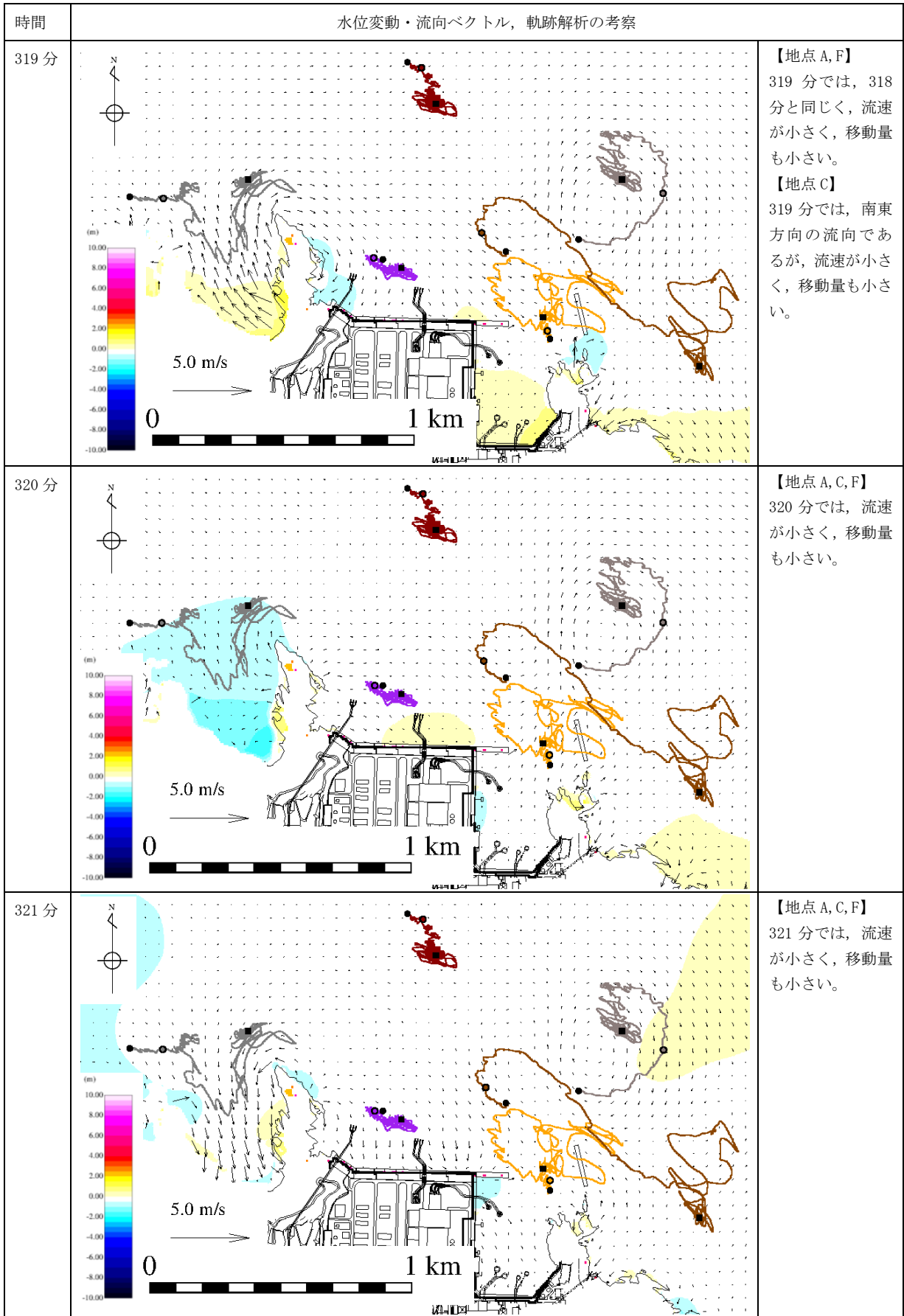
第 4-23 図 水位変動・流向ベクトル, 軌跡解析の評価結果 (基準津波 1)



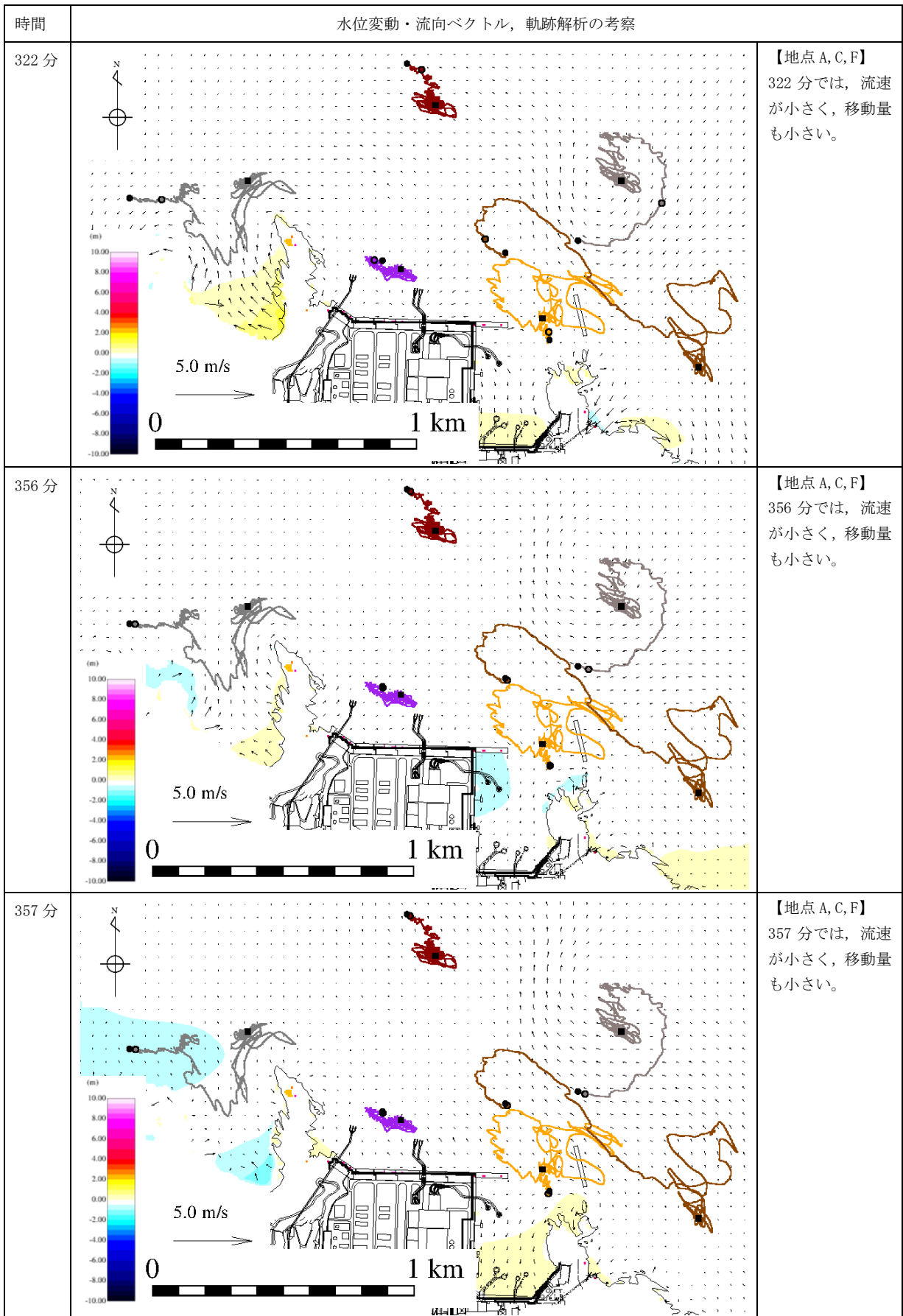
※293 分から 317 分まで同様な傾向であり省略する。



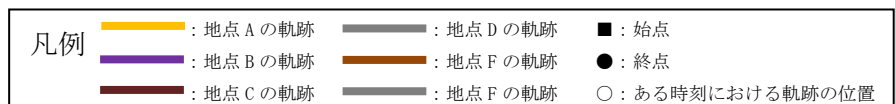
第 4-24 図 水位変動・流向ベクトル, 軌跡解析の評価結果 (基準津波 1)



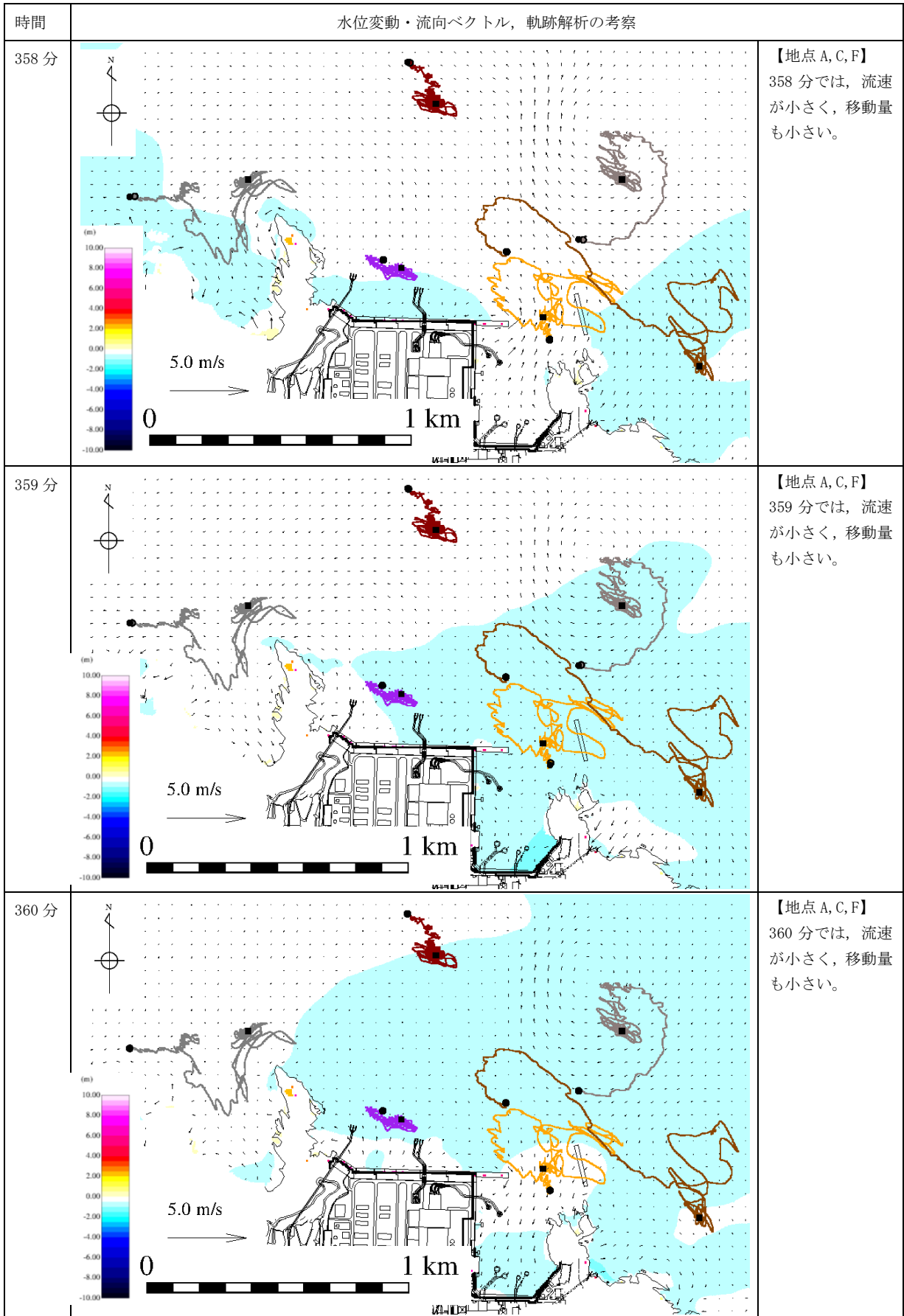
第 4-25 図 水位変動・流向ベクトル，軌跡解析の評価結果（基準津波 1）



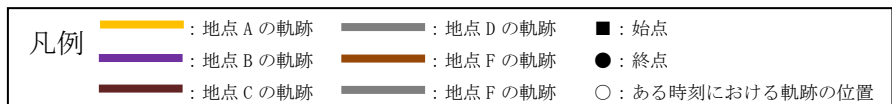
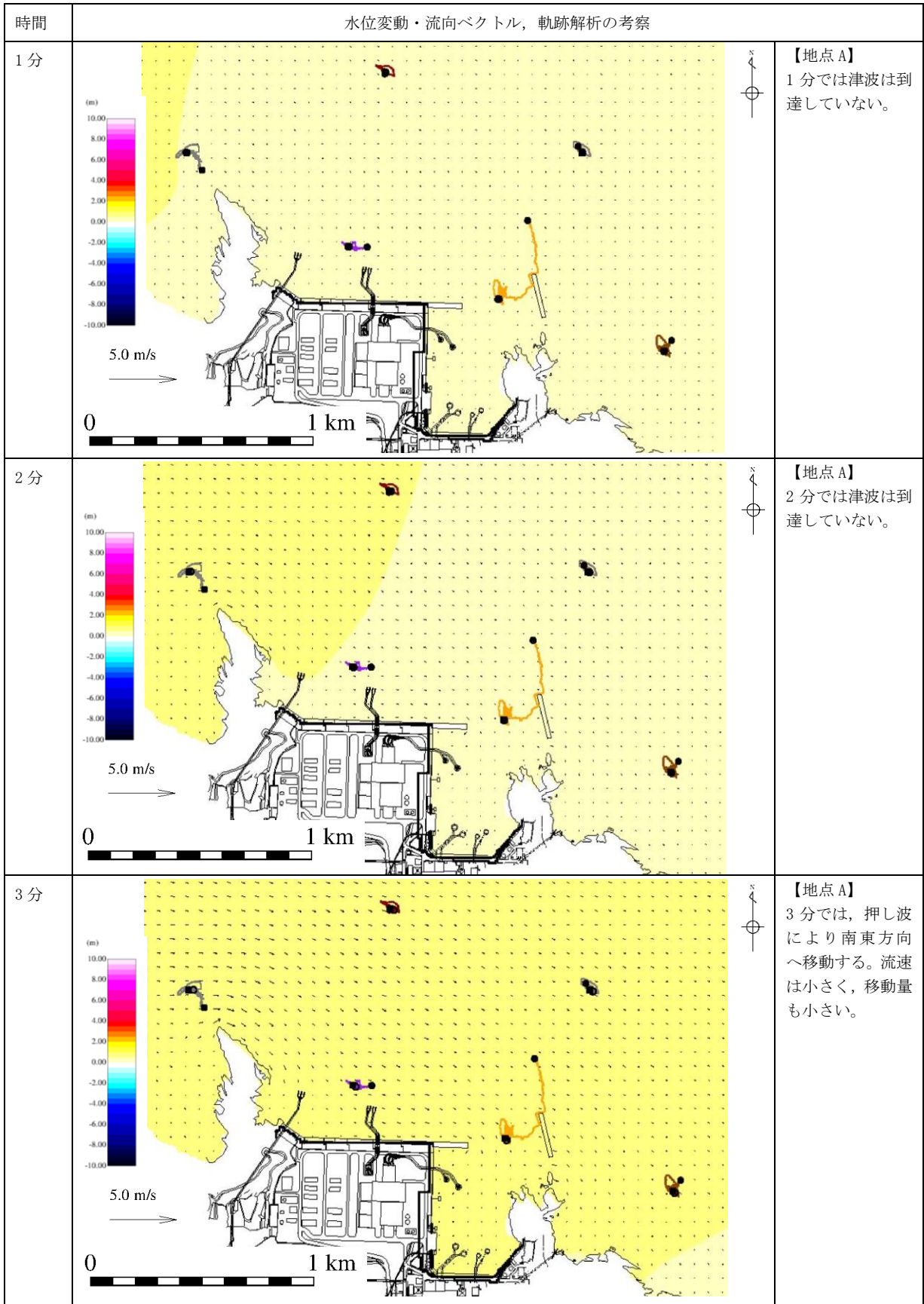
※323 分から 355 分まで同様な傾向であり省略する。



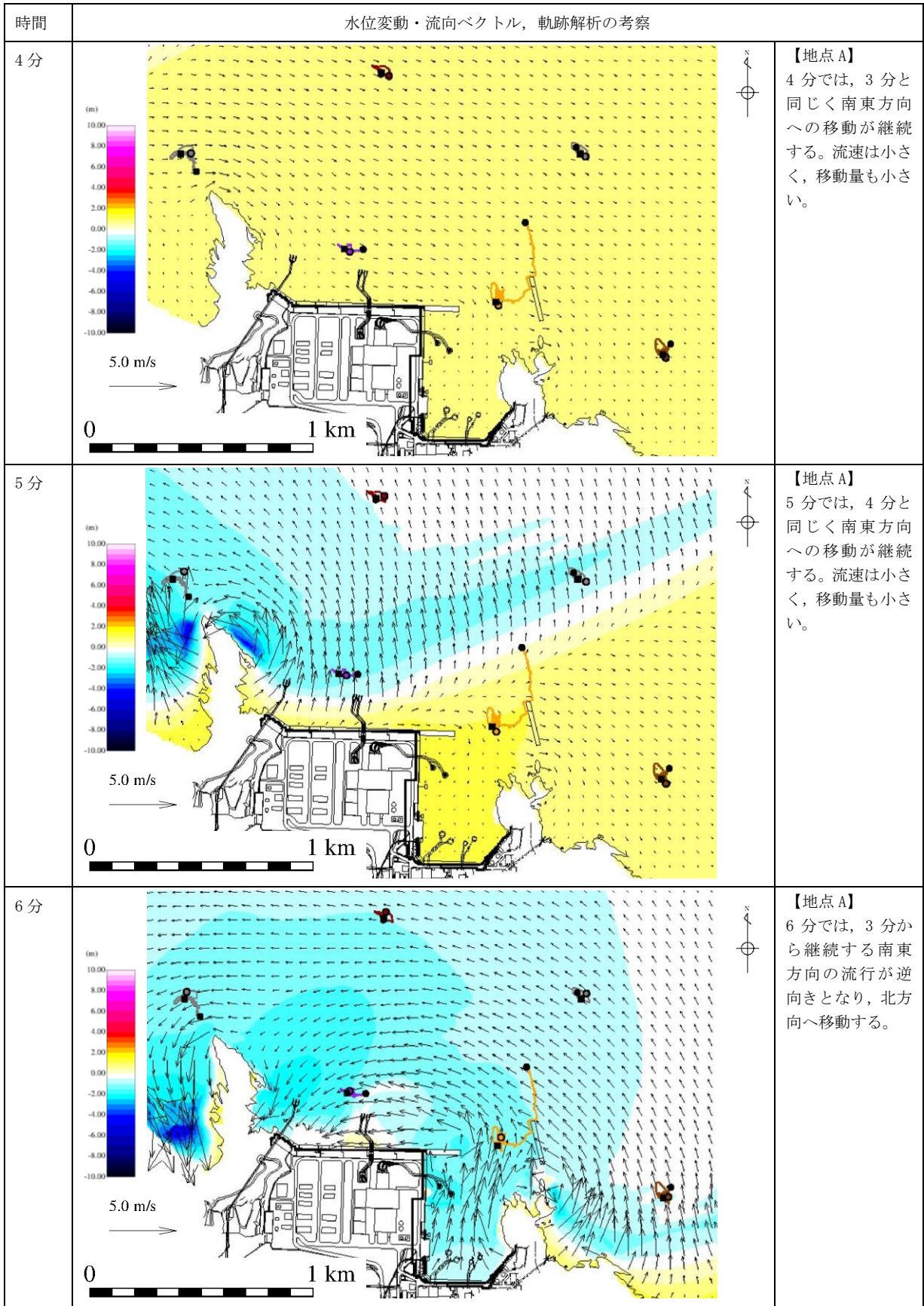
第 4-26 図 水位変動・流向ベクトル，軌跡解析の評価結果（基準津波 1）



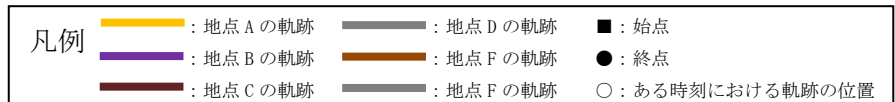
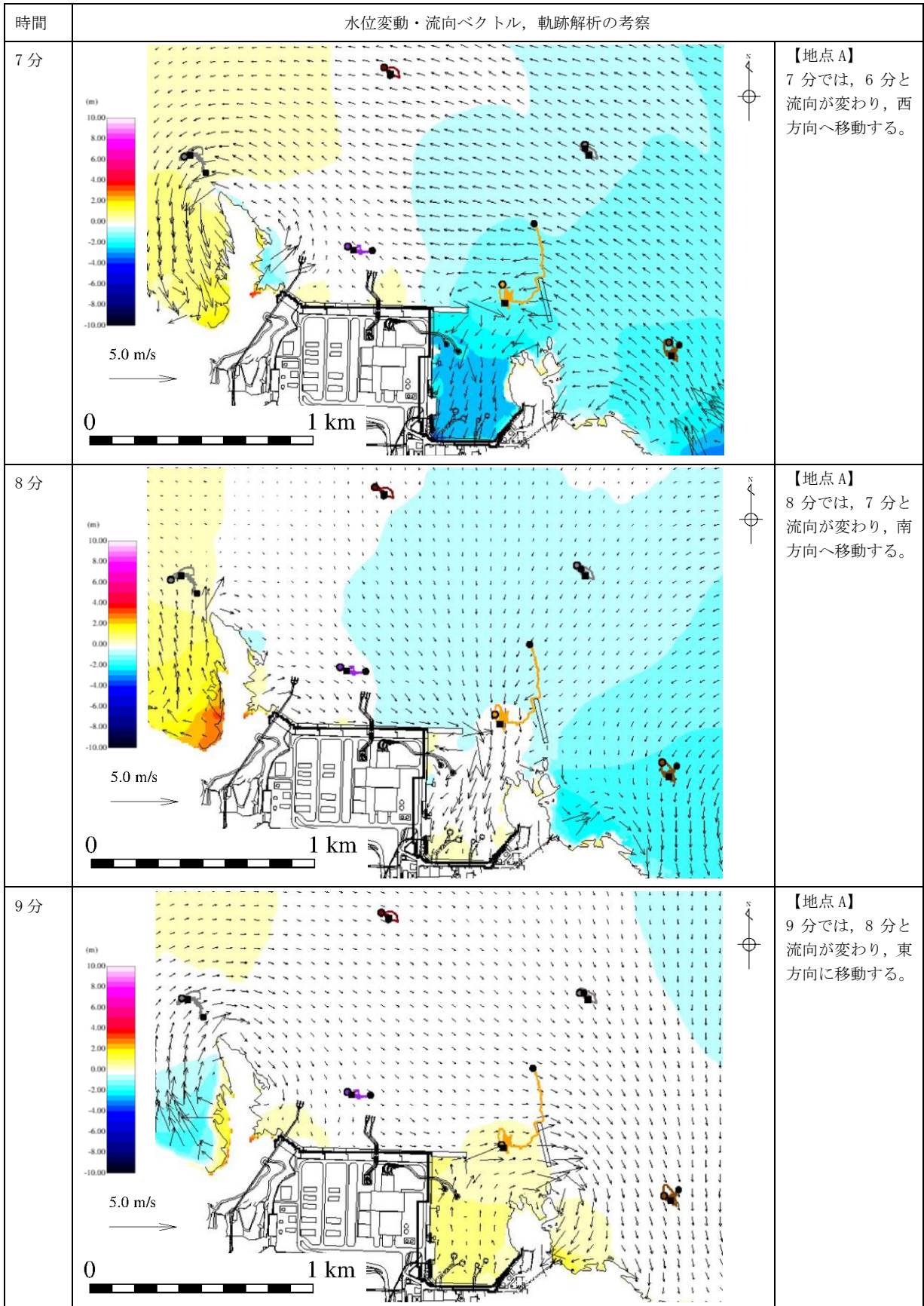
第 4-27 図 水位変動・流向ベクトル, 軌跡解析の評価結果 (基準津波 1)



第5-1図 水位変動・流向ベクトル, 軌跡解析の評価結果 (基準津波4)

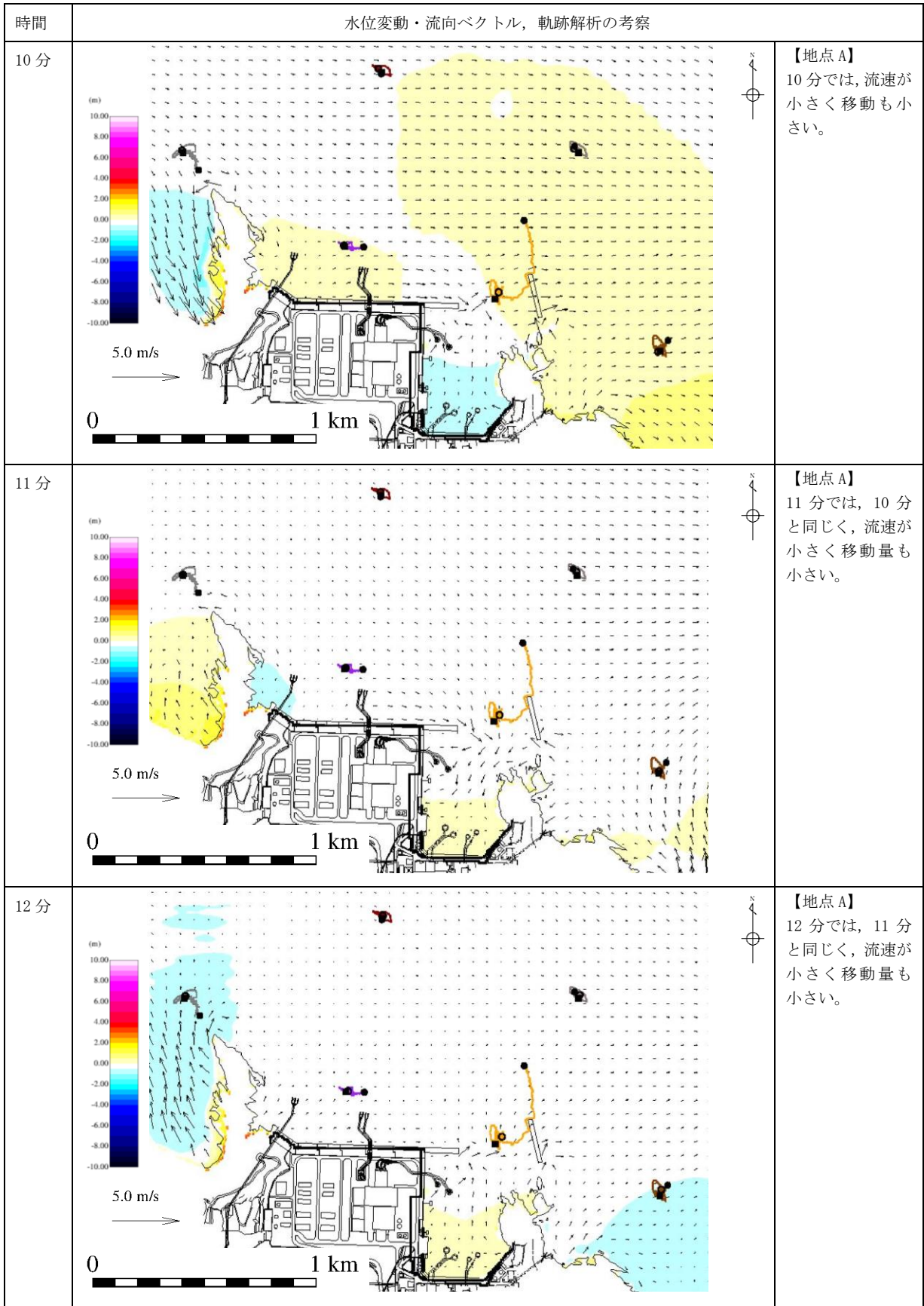


第5-2図 水位変動・流向ベクトル，軌跡解析の評価結果（基準津波4）

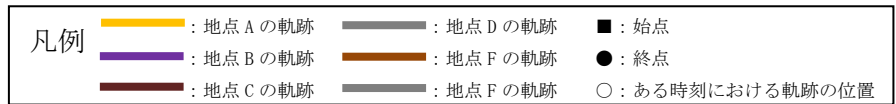
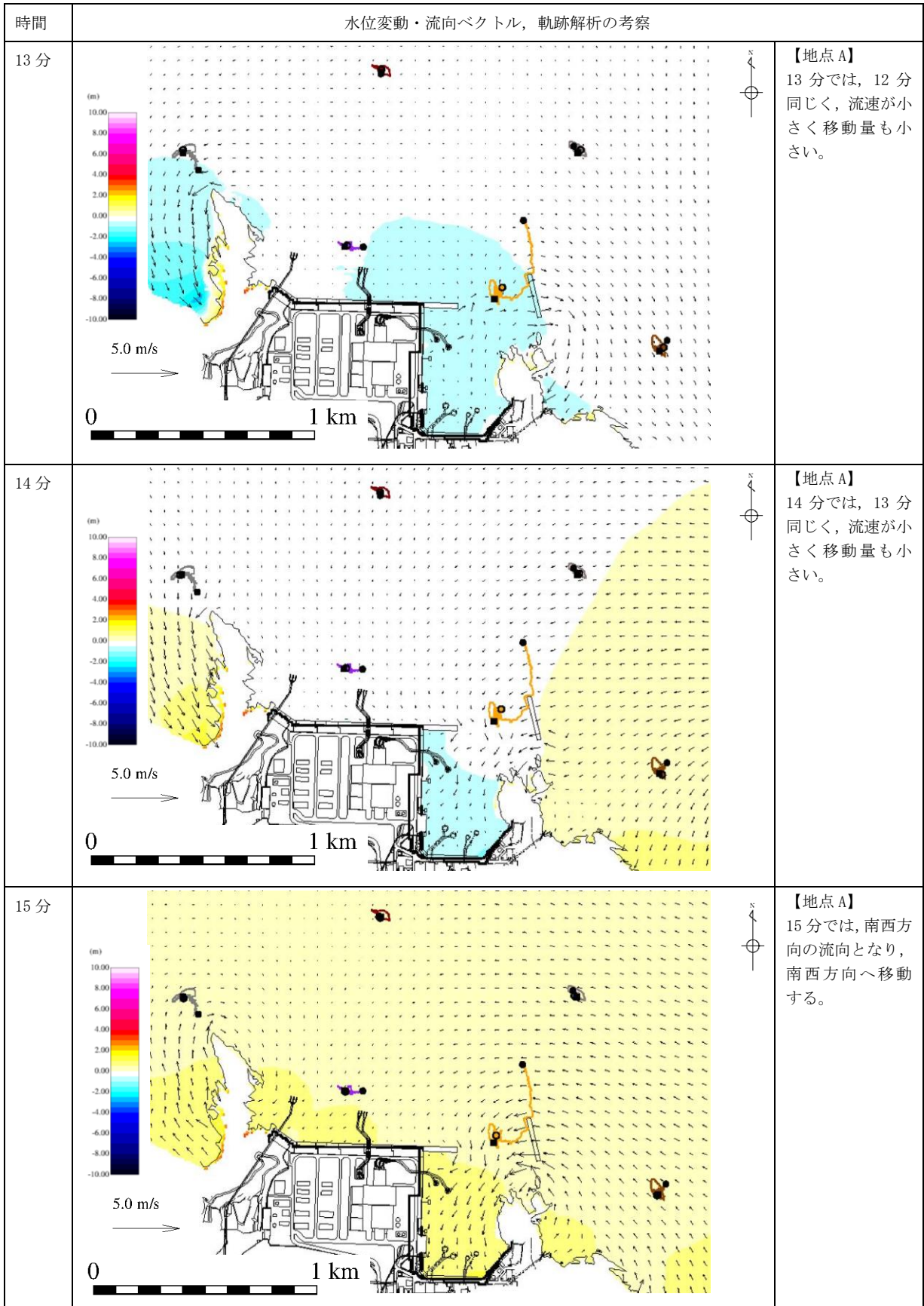


第5-3図 水位変動・流向ベクトル, 軌跡解析の評価結果 (基準津波4)

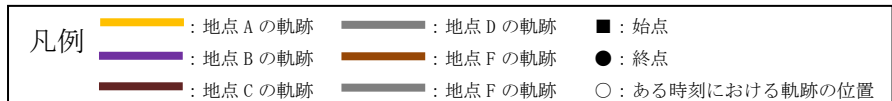
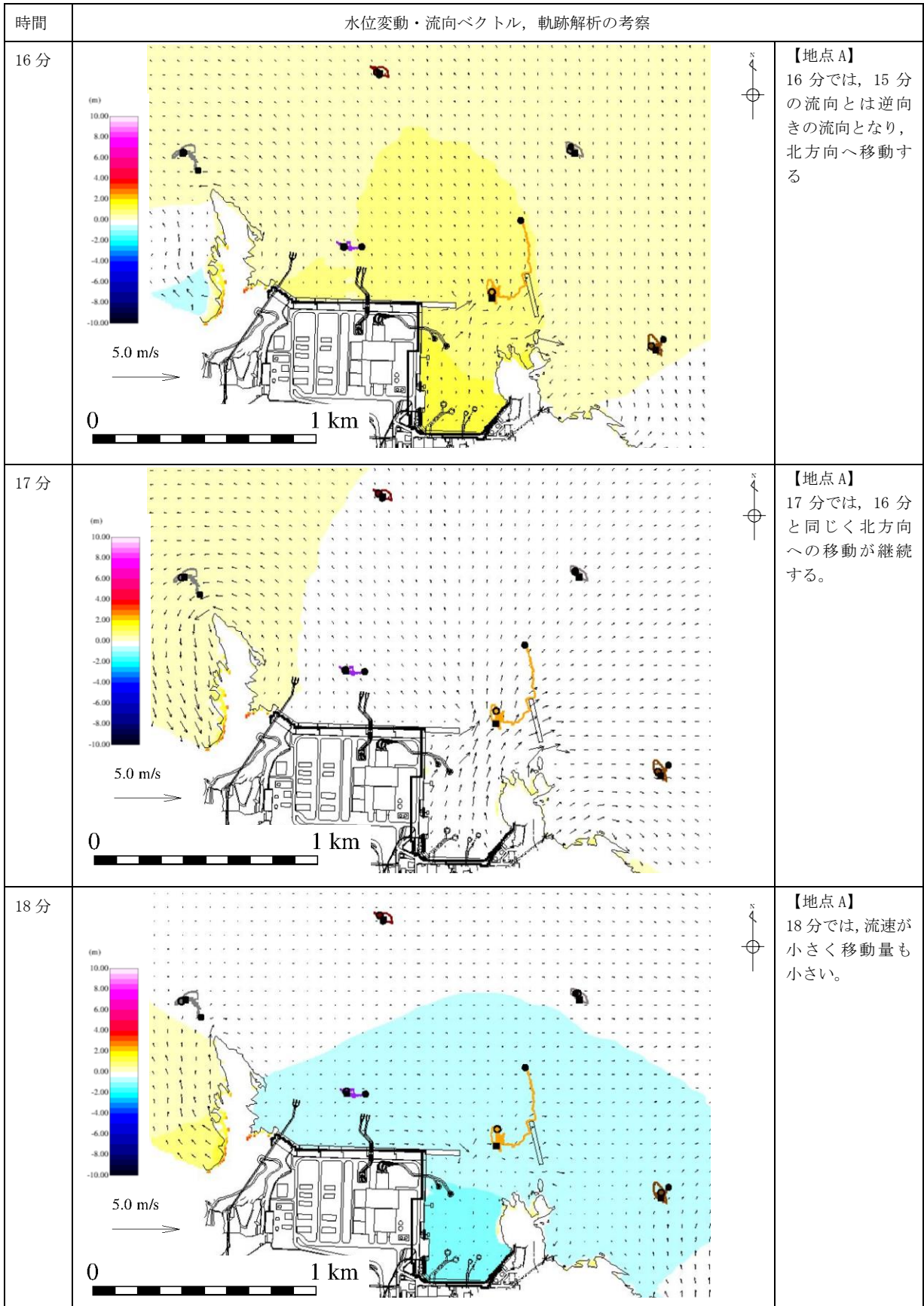




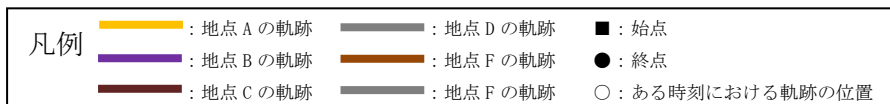
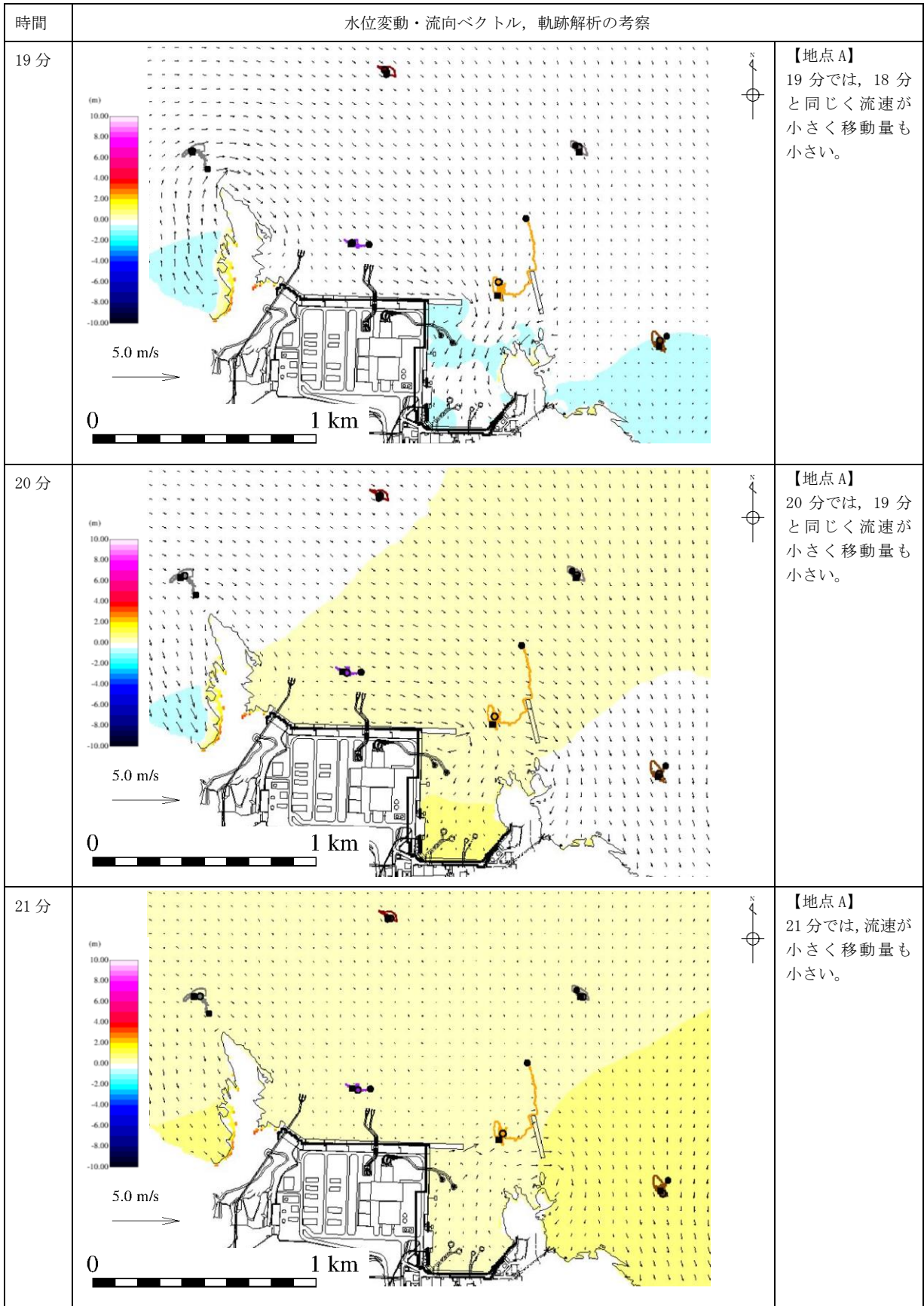
第5-4図 水位変動・流向ベクトル, 軌跡解析の評価結果 (基準津波4)



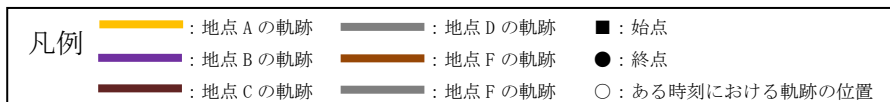
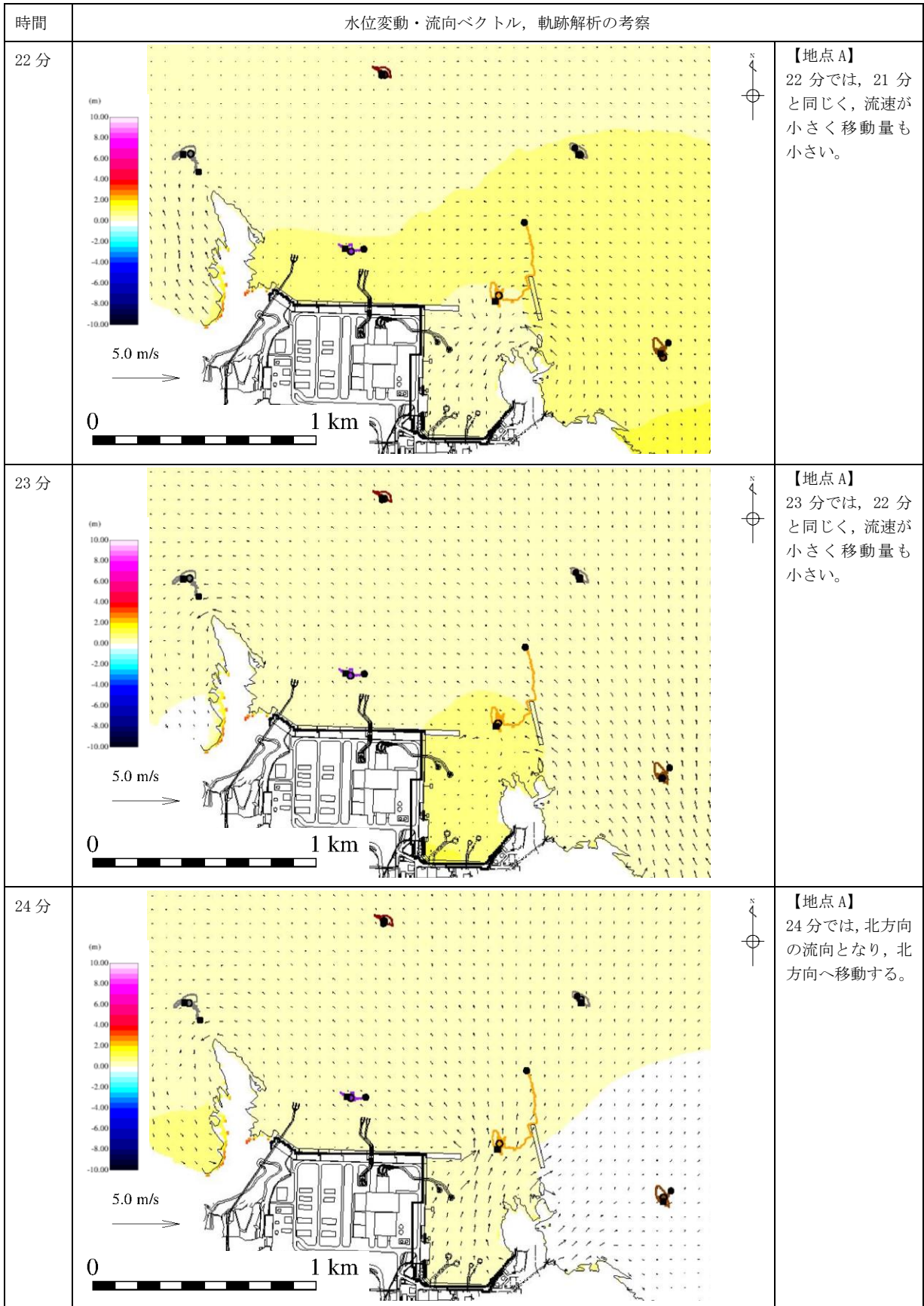
第5-5図 水位変動・流向ベクトル, 軌跡解析の評価結果 (基準津波4)



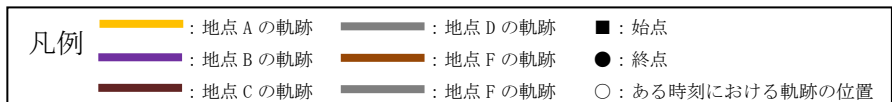
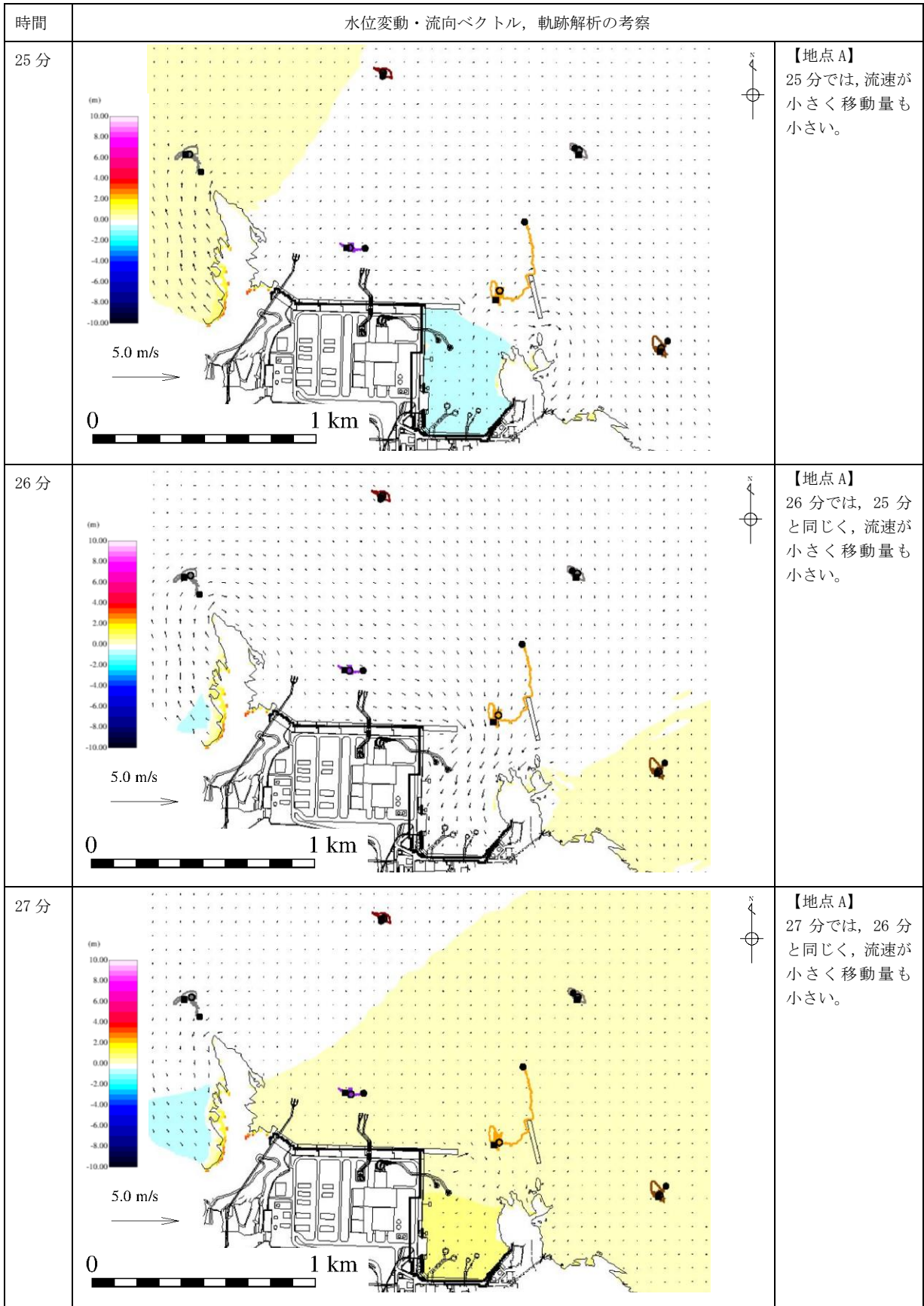
第5-6図 水位変動・流向ベクトル, 軌跡解析の評価結果 (基準津波4)



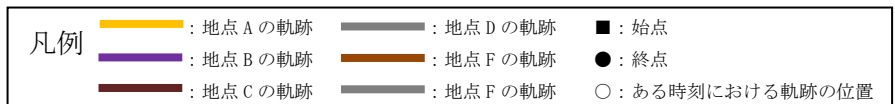
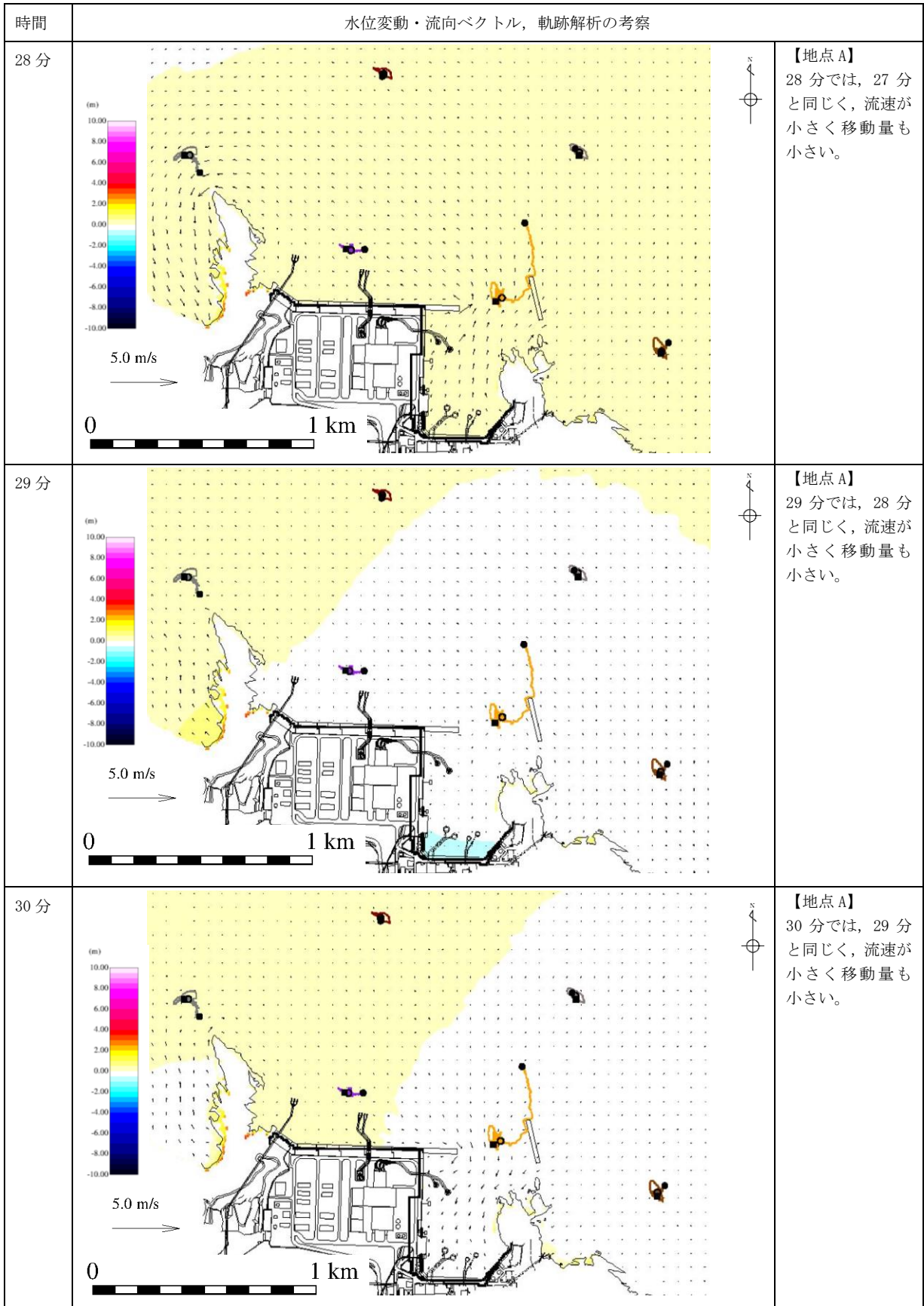
第5-7図 水位変動・流向ベクトル, 軌跡解析の評価結果 (基準津波4)



第5-8図 水位変動・流向ベクトル, 軌跡解析の評価結果 (基準津波4)



第5-9 図 水位変動・流向ベクトル, 軌跡解析の評価結果 (基準津波4)



第5-10図 水位変動・流向ベクトル，軌跡解析の評価結果（基準津波4）

## 津波発生時の運用対応について

## 1. 概要

設置許可基準規則第5条「津波による損傷の防止」に基づき、敷地等への流入防止として防波壁通路防波扉（以下「防波扉」という。）の設置，来襲する津波を監視するため津波監視設備を設置している。ここでは，上記設備に係る運用に加え，大津波警報発令時の原子炉停止操作及び循環水ポンプの停止等の津波発生時のプラント操作に係る対応を示す。

## 2. 津波発生時の対応について

津波発生時の対応は，気象庁が発令する「島根県 出雲・石見」区域の津波注意報，津波警報又は大津波警報及び津波の来襲状況に基づき実施する。津波発生時の対応を以下の（1）～（3）に区分し，それぞれの対応について示す。また，気象庁から発令される津波警報・注意報の種類と発表される津波高さを表1に，地震・津波発生時に想定されるプラント対応フローを図1に示す。

- （1）津波注意報，津波警報又は大津波警報発令時（津波来襲前）
- （2）津波来襲時
- （3）津波来襲後

表1 気象庁から発令される津波警報・注意報の種類と津波高さの関係

種類	発表基準	発表される津波の高さ
大津波警報	予想される津波の高さが高いところで3 mを超える場合	10m超え (10m<予想高さ)
		10m (5 m<予想高さ≤10m)
		5 m (3 m<予想高さ≤5 m)
津波警報	予想される津波の高さが高いところで1 mを超え，3 m以下の場合	3 m (1 m<予想高さ≤3 m)
津波注意報	予想される津波の高さが高いところで0.2m以上，1 m以下の場合であって，津波による災害の恐れがある場合	1 m (0.2m<予想高さ≤1m)



(1) 津波注意報, 津波警報又は大津波警報発令時 (津波来襲前)

地震発生後, 津波注意報, 津波警報又は大津波警報が発令された場合は, 速やかに湾岸及び取水槽廻りから待避するよう所内通信連絡設備 (警報装置を含む。) により発電所内に周知し, 所員は高台 (E L. +11.9m 以上) に待避を行う運用としている。ただし, 漂流物発生防止に係る対応を実施する場合は, 対応実施後に退避を行う。また, 津波に関する情報 (津波到達予想時刻, 津波規模, 津波監視カメラによる津波の状況等) を確認し作業安全が確認されるまでは, 湾岸及び取水槽廻りでの作業は実施しないこととしている。さらに, 大津波警報の場合は, 緊急時警戒体制を発令し, 緊急時対策要員を非常招集することにより, 速やかに重大事故等に対処できる体制を整える。

これらの他, 発令される警報の種類 (津波注意報, 津波警報又は大津波警報) に応じ, 津波に対する対応を以下のとおり実施する。

a. 津波監視に係る対応

気象庁から発信される津波情報も含め, 津波に関する情報を収集するとともに, 津波監視カメラによる津波来襲状況の監視を強化する。

b. 原子炉の停止に係る対応

大津波警報が発令された場合は, 原子炉の停止操作及び冷却操作を開始する。ただし, 地震により原子炉が自動停止する場合を除く。

c. 海水ポンプの取水性に係る対応

大津波警報が発令された場合は, 原則として<sup>※1</sup>, 津波到達前に気象庁より発表される第一波の到達予想時刻の5分前までに循環水ポンプを停止する。海水ポンプの取水性に係る循環水ポンプの停止運用の妥当性について, 別紙に示す。

※1 敷地近傍の津波による大津波警報発令時は, 速やかに循環水ポンプ停止操作を実施するが, 海域活断層から想定される地震による津波は敷地に到達するまでの時間が短く, 循環水ポンプ停止前に来襲する可能性がある。なお, 海域活断層から想定される地震による津波に対しては, 循環水ポンプ運転時においても取水槽水位が非常用海水冷却系の海水ポンプの取水可能水位を下回らないことを確認している。

d. 防波扉の閉止操作及び漂流物発生防止に係る対応

防波扉は, 常時閉運用としているが, 作業等で開放する場合においては, 速やかに閉止できるよう, あらかじめ人員を確保する (添付資料 39 参照)。

なお、開放時には現場ブザー音により注意喚起されること及び中央制御室にて開閉状態が確認できる。

一方、荷揚場（防波壁外）で作業を実施している場合は、作業を中断し、原則として※<sup>2</sup>、燃料等輸送船の緊急離岸及び陸側作業に係る車両等の緊急退避を実施し、防波扉の閉止操作を実施する。

※<sup>2</sup> 燃料等輸送船の緊急離岸や陸側作業に係る車両等の緊急退避については、作業完了までに津波が到達する可能性がある場合は実施しない。防波扉については、人員の安全を優先し、可能な範囲で扉の閉止操作を実施する。なお、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することなく、陸側作業に係る車両等は漂流物になることはない。また、燃料等輸送船は荷揚場に係留されており漂流物となることはない。

## （2）津波来襲時

### a. 津波の監視に係る対応

津波監視カメラによる津波来襲状況の監視を継続するとともに、取水槽水位計による取水槽水位の監視を強化する。

### b. 原子炉の停止に係る対応

取水槽水位が「取水槽水位低」（E L. -2.0m）まで低下した場合は、原子炉を手動停止し、原子炉の冷却操作を開始する。

### c. 海水ポンプの取水性に係る対応

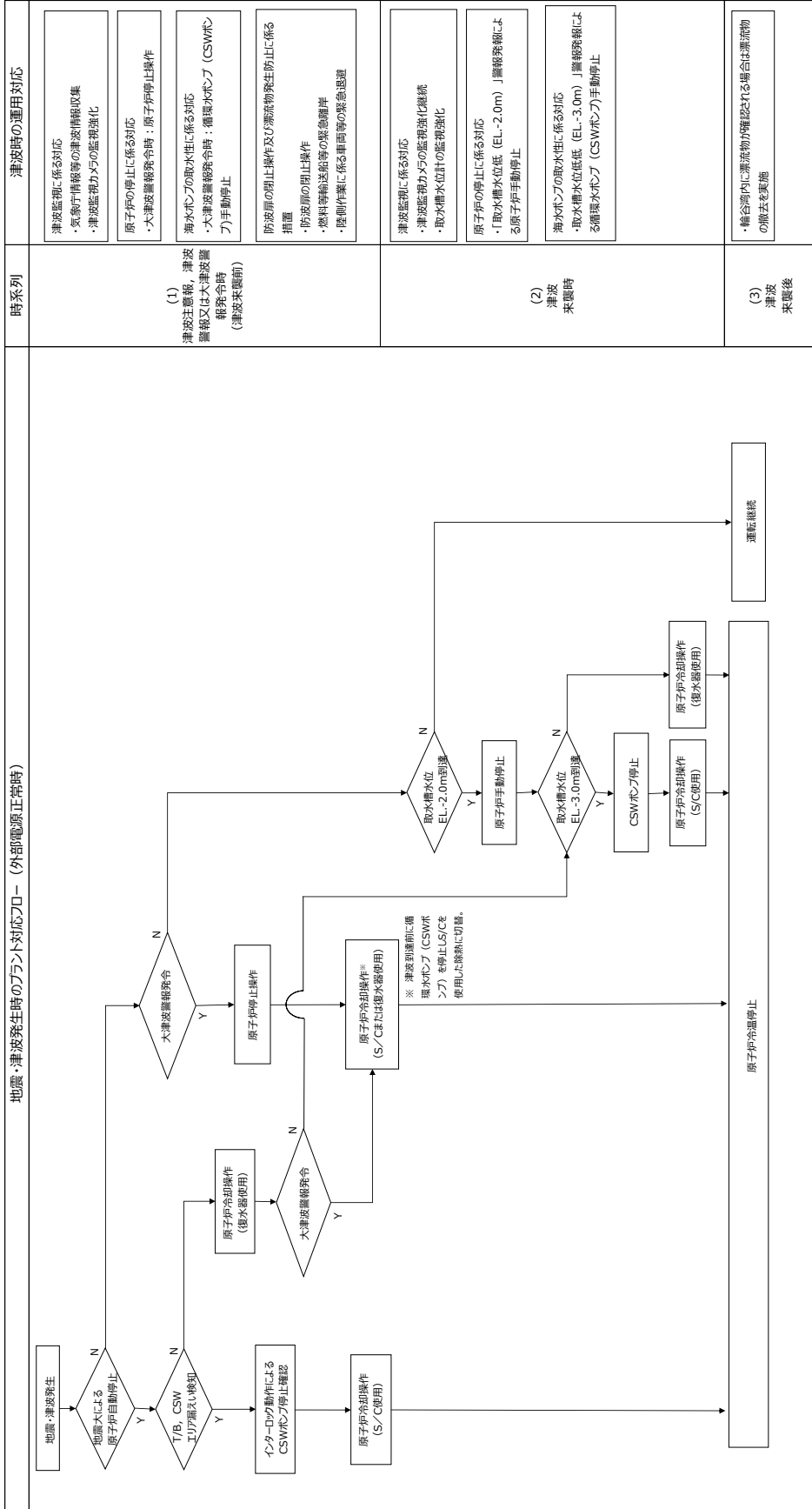
取水槽水位が「取水槽水位低低」（E L. -3.0m）まで低下した場合は、循環水ポンプを停止する。

### d. 大型送水ポンプ車の取水性に係る対応

重大事故時に海水を取水する大型送水ポンプ車は、基準津波により想定される引き波最大水位に対しても取水可能であることを確認している。

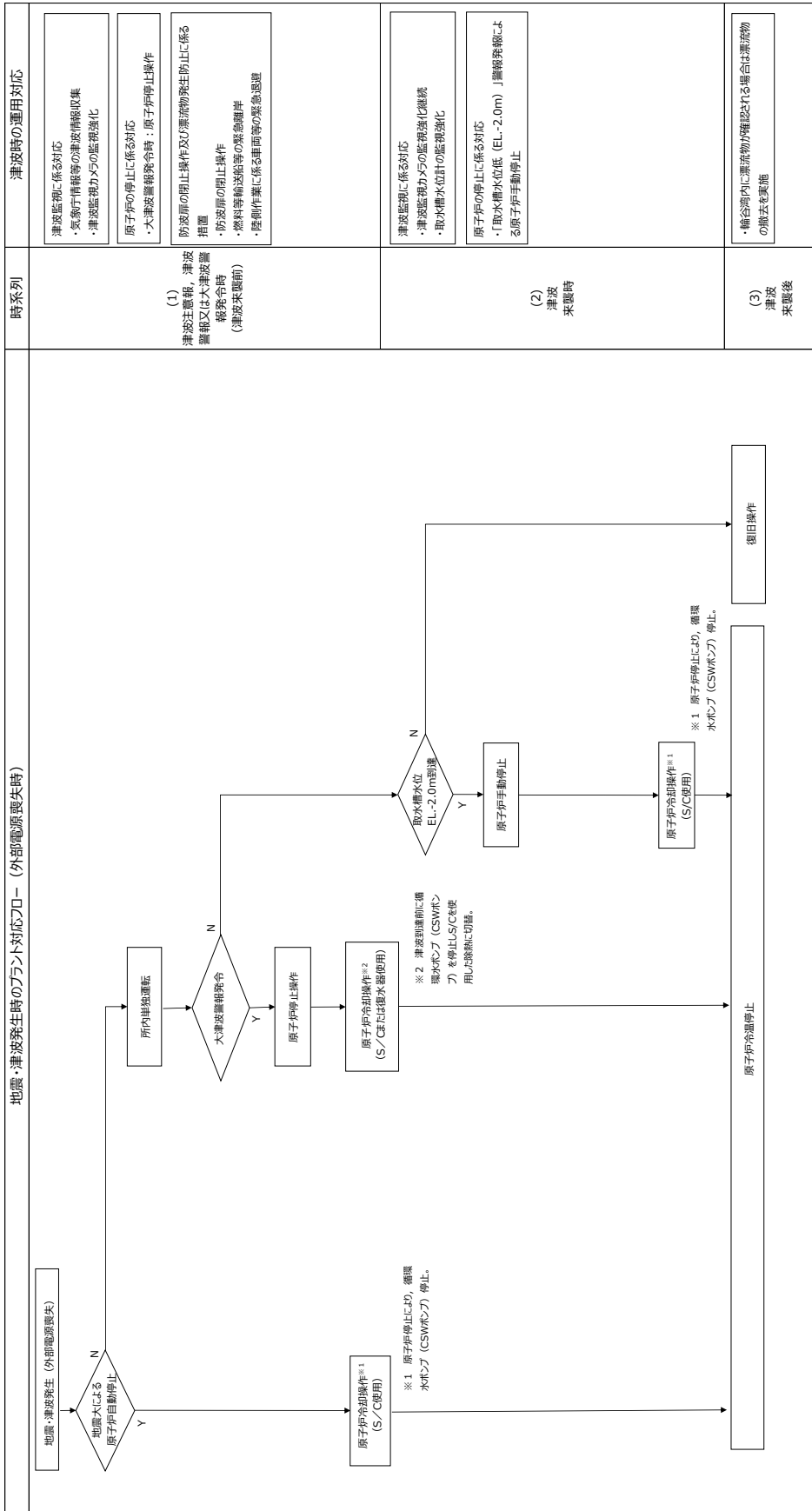
## （3）津波来襲後

津波注意報、津波警報又は大津波警報解除後、巡視点検等により取水口を設置する輪谷湾内に漂流物が確認される場合には、必要に応じて漂流物を撤去する。



時系列	津波時の運用対応
(1) 津波注意報、津波警報又は大津波警報発令時 (津波未襲前)	<ul style="list-style-type: none"> <li>津波監視に係る対応           <ul style="list-style-type: none"> <li>・気象庁情報等の津波情報収集</li> <li>・津波監視カメラの監視強化</li> </ul> </li> <li>原子炉の停止に係る対応           <ul style="list-style-type: none"> <li>・大津波警報発令時：原子炉停止操作</li> </ul> </li> <li>海水ポンプの取水性に係る対応           <ul style="list-style-type: none"> <li>・大津波警報発令時：循環水ポンプ(CSWポンプ)手動停止</li> </ul> </li> <li>防波扉の閉止操作及び漂流物発生防止に係る措置           <ul style="list-style-type: none"> <li>・防波扉の閉止操作</li> <li>・燃料導管送給等の緊急閉扉</li> <li>・陸側作業に係る車両等の緊急退避</li> </ul> </li> </ul>
(2) 津波来襲時	<ul style="list-style-type: none"> <li>津波監視に係る対応           <ul style="list-style-type: none"> <li>・津波監視カメラの監視強化継続</li> <li>・取水槽水位計の監視強化</li> </ul> </li> <li>原子炉の停止に係る対応           <ul style="list-style-type: none"> <li>・「取水槽水位低(EL.-2.0m)」警報発令による原子炉手動停止</li> </ul> </li> <li>海水ポンプの取水性に係る対応           <ul style="list-style-type: none"> <li>・取水槽水位低(EL.-3.0m)」警報発令による循環水ポンプ(CSWポンプ)手動停止</li> </ul> </li> </ul>
(3) 津波来襲後	<ul style="list-style-type: none"> <li>・輸送管内に漂流物が確認される場合は漂流物の除去を実施</li> </ul>

図1-1 地震・津波発生時のプラント対応フロー（外部電源正常時）



時系列	津波時の運用対応
(1) 津波注意報、津波警報又は大津波警報発令時（津波未襲前）	<ul style="list-style-type: none"> <li>津波監視に係る対応               <ul style="list-style-type: none"> <li>・気象庁情報等の津波情報収集</li> <li>・津波監視カメラの監視強化</li> </ul> </li> <li>原子炉の停止に係る対応               <ul style="list-style-type: none"> <li>・大津波警報発令時：原子炉停止操作</li> </ul> </li> <li>防波扉の閉止操作及び漂流物発生防止に係る措置               <ul style="list-style-type: none"> <li>・防波扉の閉止操作</li> <li>・燃料専輸送船等の緊急離岸</li> <li>・陸側作業に係る車両等の緊急退避</li> </ul> </li> </ul>
(2) 津波来襲時	<ul style="list-style-type: none"> <li>津波監視に係る対応               <ul style="list-style-type: none"> <li>・津波監視カメラの監視強化継続</li> <li>・取水槽水位計の監視強化</li> </ul> </li> <li>原子炉の停止に係る対応               <ul style="list-style-type: none"> <li>・「取水槽水位低（EL.-2.0m）」警報発令による原子炉自動停止</li> </ul> </li> </ul>
(3) 津波来襲後	<ul style="list-style-type: none"> <li>・輸送湾内に漂流物が確認される場合は漂流物の除去を実施</li> </ul>

図1-2 地震・津波発生時のプラント対応フロー（外部電源喪失時）

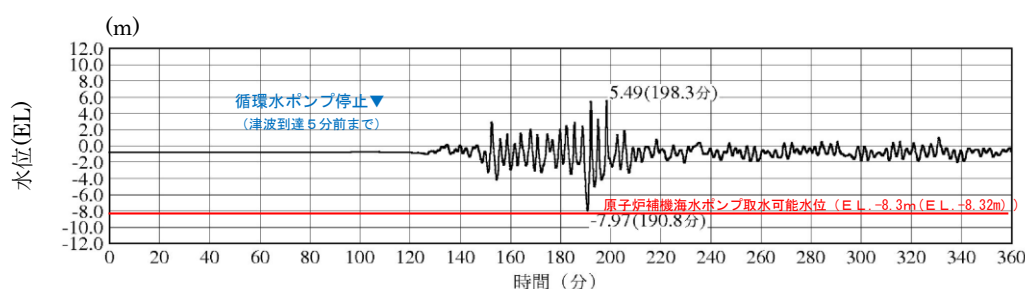
(別紙)

### 海水ポンプの取水性に係る循環水ポンプの停止運用の妥当性

大津波警報発令に伴う循環水ポンプの停止は、図1に示す通り、日本海東縁部に想定される地震による津波の取水槽最低水位が海水ポンプの取水可能水位に対して余裕がないことから設計に係る運用事項として位置付けたものである。

大津波警報が発令された場合、以下を踏まえ、気象庁より発表される第一波の到達予想時刻の5分前までに循環水ポンプを停止する。原子炉の冷却方法の切替及び循環水ポンプの停止操作は表1に示す通りであり、循環水ポンプ停止を判断した時点から数分あれば循環水ポンプによる海水取水を停止することができる。

- ・原子炉の冷却方法としては、常用系である循環水系を用いた復水器による冷却と非常用系である残留熱除去系による冷却があるが、復水器による冷却が可能な場合、復水器による原子炉冷却を用いた方が、冷却方法の多様性が確保され、より原子炉冷却機能の信頼性が高い状態である。
- ・日本海東縁部に想定される地震による津波では、2号炉取水槽における水位変動は地震発生後約120分以降から始まるが、水位変動が大きくなる(4mを超える)時間はその約30分以降であり、非常用海水冷却系の海水ポンプの取水可能水位(EL. -8.32m)付近まで水位が低下する時間はその約60分以降である(図1)。

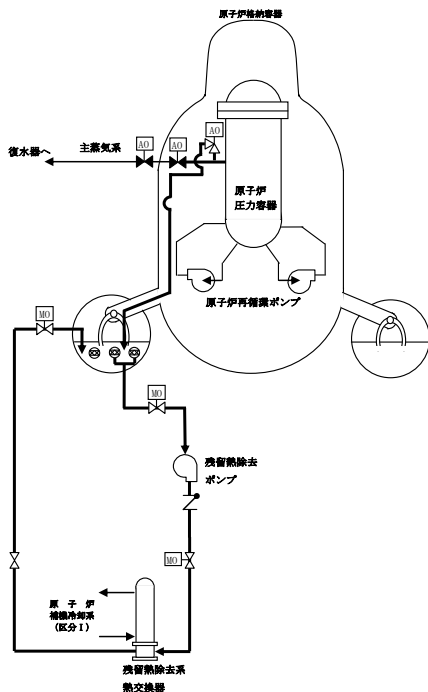


※最大水位下降量-7.97m-地殻変動量 0.34m⇨EL. -8.4m(EL. -8.31m)  
(入力津波6, 防波堤無し)

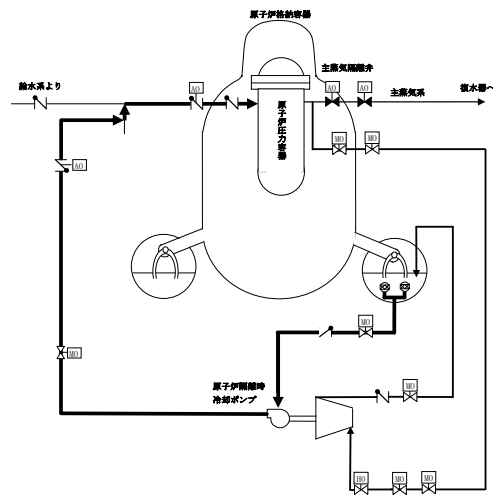
図1 日本海東縁部に想定される地震による津波の取水槽水位

表1 原子炉冷却方法の切替及び循環水ポンプの停止操作

操 作	内 容
復水器冷却停止	<p>循環水ポンプ停止に係る準備作業として、復水器への蒸気流入を止めるために主蒸気隔離弁（8弁）の閉止操作を行うが、主蒸気隔離弁は1弁あたり3～5秒で閉止可能であり、1分程度で全弁の閉止操作ができる。</p> <p>なお、主蒸気隔離弁の閉止は、循環水ポンプ停止後とすることも可能である。</p>
残留熱除去系による冷却	<p>逃し安全弁等が動作し流入した蒸気により、サブプレッション・プール水温度が上昇するため、残留熱除去系による冷却を行う。また、原子炉への注水については、原子炉隔離時冷却系により注水する（図2参照）。</p> <p>なお、残留熱除去系による冷却は、循環水ポンプ停止後とすることも可能である。</p>
循環水ポンプ停止	<p>循環水ポンプ停止操作後、約1分でポンプ出口弁が全閉し、海水取水が停止する。</p>



(サブプレッション・プール冷却)



(原子炉注水)

図2 プラント停止後のサブプレッション・プール冷却と原子炉注水の概要

## 地震後の荷揚場の津波による影響評価について

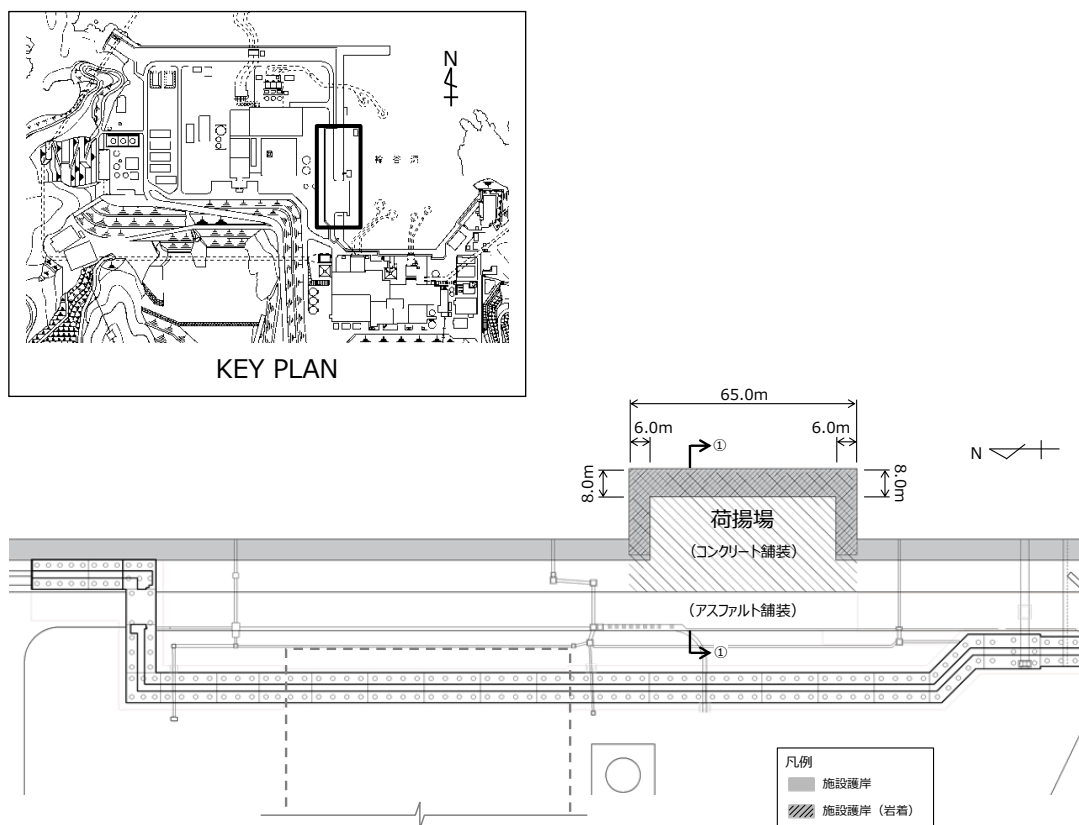
発電所の構内（港湾内）にある港湾施設として、2号炉取水口の西方に荷揚場があり、この他に、発電所港湾の境界を形成する防波堤がある。

防波堤については、耐震性を有していないことから漂流物評価としているため、本資料では地震後の荷揚場の津波による影響評価について検討する。

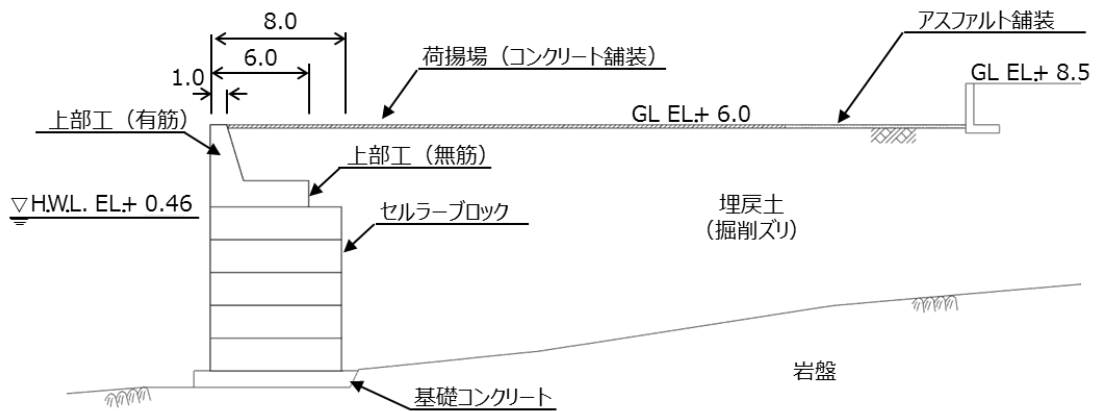
## 1. 荷揚場の施設概要

島根原子力発電所の荷揚場は岩盤上に設置され、背後に埋戻土（掘削ズリ）が分布している。荷揚場は、基礎コンクリート、セルラーブロック及び上部工からなる。平面図及び構造断面図を第1図～第2図に示す。

評価を行う断面は、構造がおおむね一様なため、断面①-①とした。



第1図 荷揚場平面図



第2図 荷揚場断面 (①-①)

2. 荷揚場の漂流物化に係る検討方針

基準地震動  $S_s$  及び基準津波により損傷した荷揚場が漂流物化した場合、取水施設である取水口に波及的影響を及ぼすこととなる。

このため、荷揚場の基準地震動  $S_s$  及び基準津波による耐性を確認するとともに、荷揚場を構成する部材の漂流物化の可能性、取水施設への到着の有無について評価を行う。

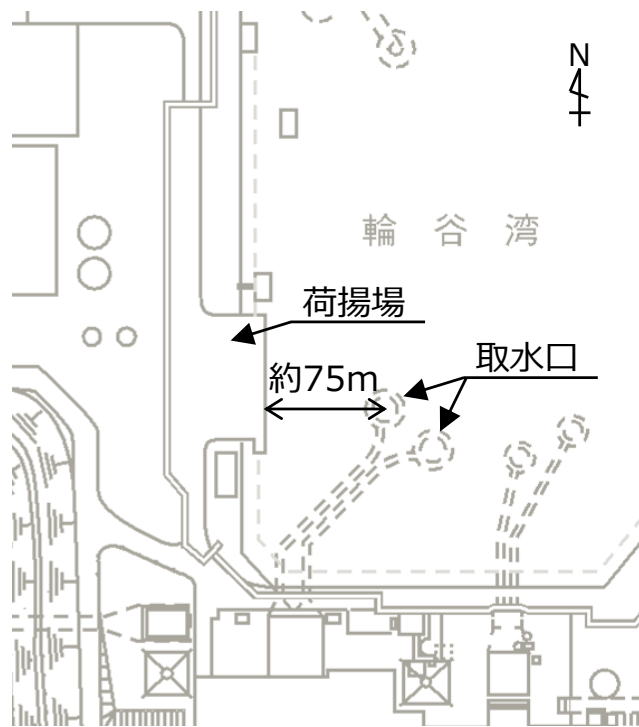
その結果、取水施設への到達が否定できない場合、漂流物化した荷揚場の構成部材に対して、取水施設に期待される機能への影響を確認する。

荷揚場の漂流物化に伴う波及的影響検討対象施設と想定される損傷モードについて第1表に、荷揚場の漂流物化に係る波及的影響検討対象施設図を第3図に、波及的影響検討フローを第4図に示す。

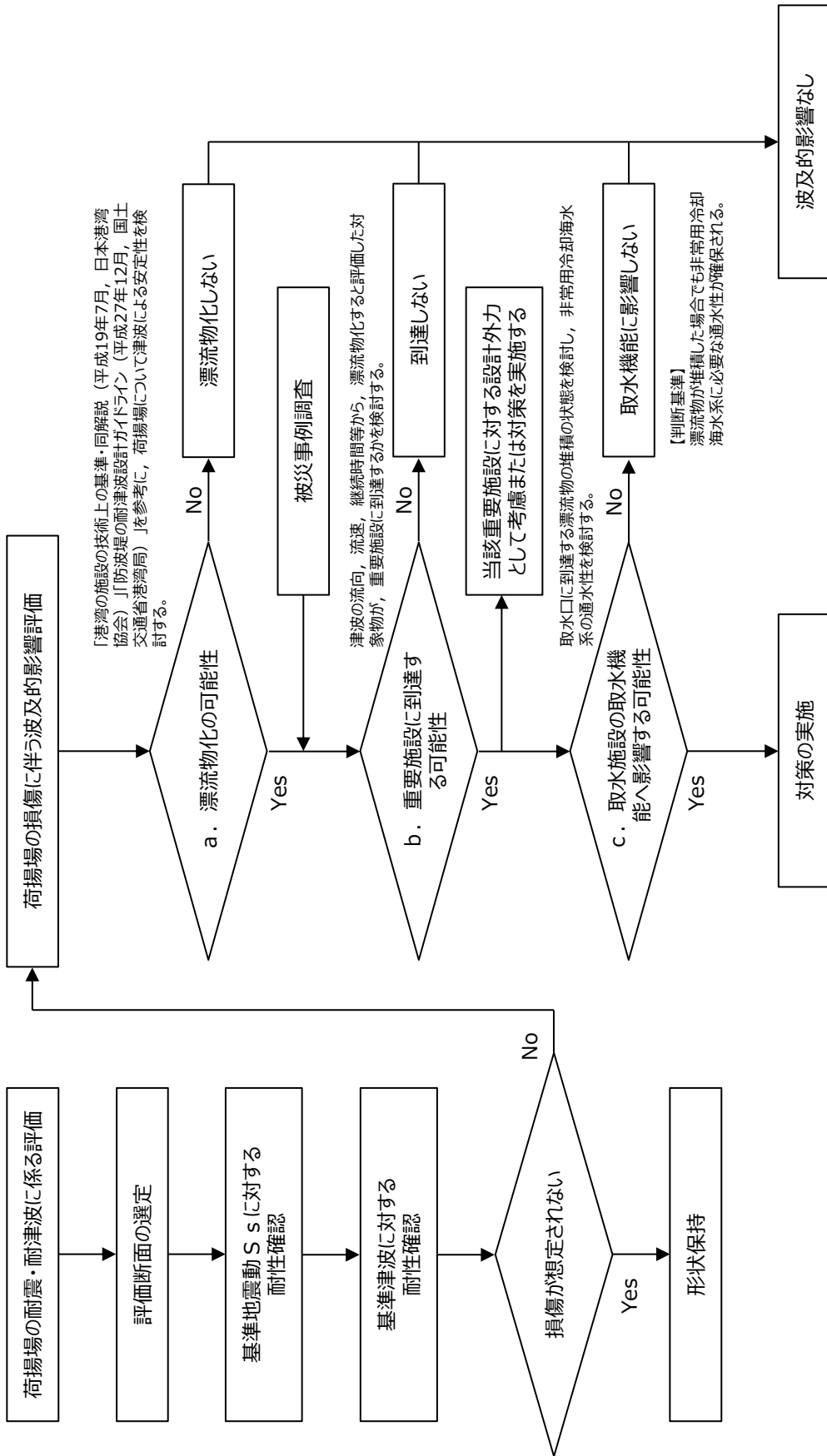
第1表 波及的影響検討対象施設と損傷モード一覧表

波及的影響検討対象施設	損傷モード
取水口	<ul style="list-style-type: none"> <li>漂流物による閉塞</li> <li>漂流物の堆積による取水量の減少</li> </ul>





第3図 波及の影響検討対象施設図



第4図 荷揚場の漂流物化による波及的影響検討フロー

### 3. 地震時評価

#### (1) 解析方法

荷揚場の地盤には、液状化検討対象層が分布しているため、地震後の状態を確認する上で、二次元有効応力解析（F L I P Ver. 7. 1. 9）を用いた地震応答解析を行う。

##### 1) 構造部材

荷揚場の上部工，セルラーブロック，基礎コンクリートは線形平面要素でモデル化する。

##### 2) 地盤

地盤の動的変形特性には，Hardin-Drnevich モデルを適用したマルチスプリング要素により，割線せん断剛性比と履歴減衰率のせん断ひずみ依存性を考慮する。

##### 3) 減衰定数

減衰特性は，数値計算の安定のための Rayleigh 減衰と，地盤の履歴減衰を考慮する。

#### (2) 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは，以下の通り設定する。

##### 1) 荷重

地震応答解析において考慮する荷重を以下に示す。

###### a. 常時荷重

常時荷重として，構造物及び海水の自重を考慮する。

###### b. 地震荷重

地震荷重として，基準地震動  $S_s$  による地震力を考慮する。

##### 2) 荷重の組合せ

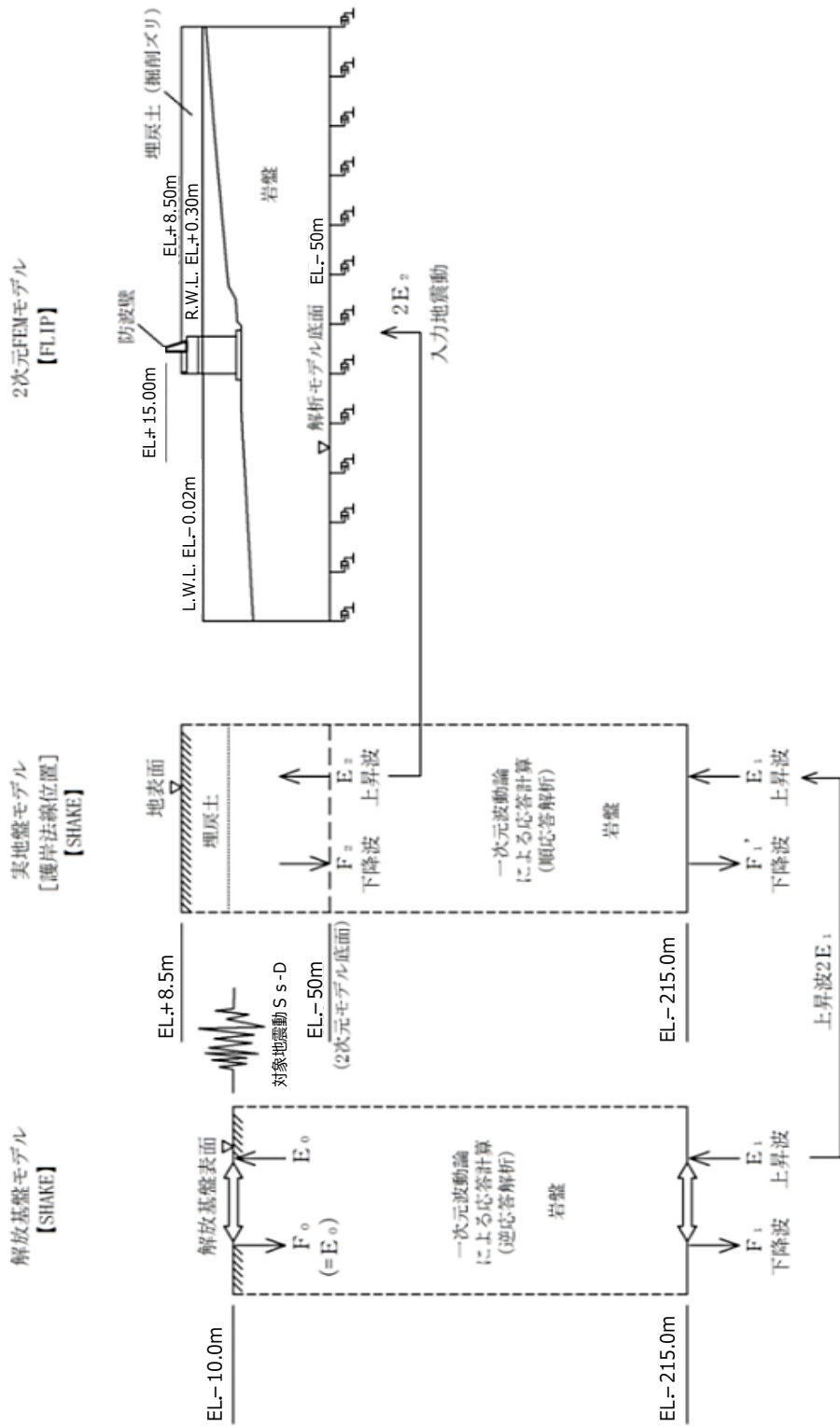
荷重の組合せを第 2 表に示す。

第 2 表 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
地震時 ( $S_s$ )	a + b

#### (3) 入力地震動

地震応答解析に用いる入力地震動は，解放基盤表面で定義される基準地震動  $S_s$  を一次元波動論によって地震応答解析モデルの下端位置で評価した地震波を用いる。入力地震動算定の概念図を第 5 図に示す。



第5図 入力地震動算定の概念図

(4) 解析モデル

地震応答解析モデルを第6図に示す。

1) 解析領域

解析領域は、側方境界及び底面境界が構造物の応答に影響しないよう、構造物と側方境界及び底面境界との距離が十分長くなるよう広く設定する。

2) 境界条件

解析領域の側面及び底面には、エネルギーの逸散効果を評価するため、粘性境界を設ける。

3) 構造物のモデル化

構造物のコンクリート部材は線形平面要素でモデル化する。

4) 地盤のモデル化

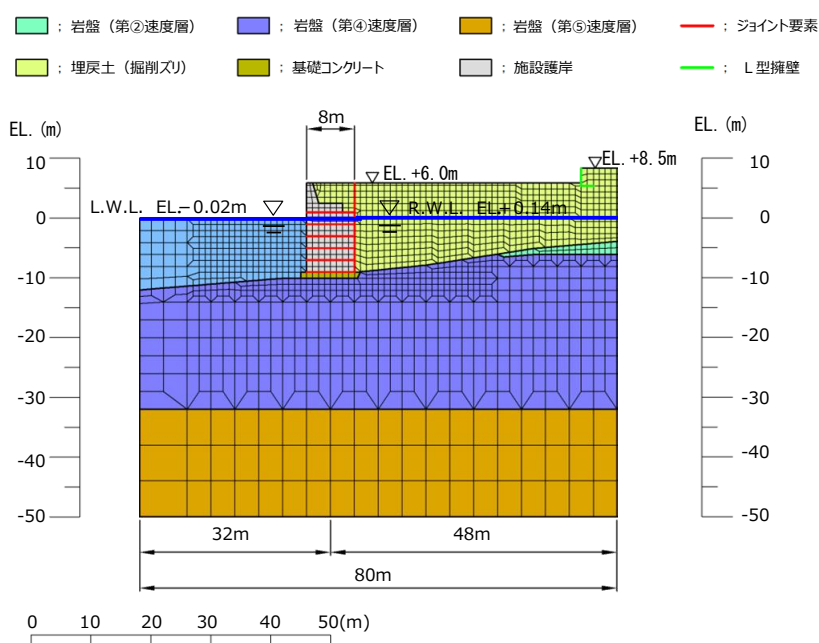
地質区分に基づき、岩盤は平面ひずみ要素、地盤はマルチスプリング要素でモデル化する。

5) ジョイント要素

構造物と地盤及び構造物と構造物の境界部にジョイント要素を設けることにより、構造物と地盤及び構造物と構造物の剥離・すべりを考慮する。

6) 水位条件

水位は、「港湾の施設の技術上の基準・同解説（日本港湾協会，平成19年7月）」に基づく残留水圧を考慮し、護岸より陸側の地下水位は残留水位 R. W. L. EL. +0.14m とし、護岸前面は朔望平均干潮位 L. W. L. EL. -0.02m とする。



第6図 地震応答解析モデル（荷揚場断面）

(5) 使用材料及び材料の物性値

1) 構造物の物性値

使用材料を第3表に、材料の物性値を第4表に示す。

第3表 使用材料

材料	部位		諸元
コンクリート	上部工（有筋）		設計基準強度 20.6N/mm <sup>2</sup>
	上部工（無筋）		設計基準強度 14.7N/mm <sup>2</sup>
	セルラーブロック	気中	設計基準強度 20.6N/mm <sup>2</sup>
		水中	設計基準強度 20.6N/mm <sup>2</sup>
	基礎コンクリート		設計基準強度 14.7N/mm <sup>2</sup>

第4表 材料の物性値

材料	部位	単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )		ヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	ポアソン比
		飽和, 湿潤	水中		
コンクリート	上部工（有筋）	24.0	—	23.3	0.2
	上部工（無筋）	22.6	—	20.4	0.2
	セルラーブロック (コンクリート詰)	23.0	12.9	23.3	0.2
	セルラーブロック (栗石詰)	22.0	11.9	23.3	0.2
	基礎コンクリート	22.6	12.5	20.4	0.2

2) 地盤の物性値

解析に用いる地盤の物性値と液状化パラメータを第5表に示す。地盤の物性値は、「島根原子力発電所2号炉 地震による損傷の防止 別紙-11 液状化影響の検討方針について」の検討方針に基づき設定する。液状化の評価対象として取り扱う埋戻土（掘削ズリ）及び砂礫層の有効応力解析に用いる液状化パラメータは、液状化試験結果（繰返し非排水せん断試験結果）に基づき、地盤のばらつき等を考慮し、保守的に簡易設定法により設定した。設定した液状化強度曲線を第7図に示す。



### 3) ジョイント要素

構造物と地盤及び構造物と構造物の境界部にジョイント要素を設けることを基本とし、境界部での剥離・すべりを考慮する。ジョイント要素の特性は法線方向、接線方向に分けて設定する。法線方向では、引張応力が生じた場合、剛性及び応力をゼロとして剥離を考慮する。接線方向では、構造物と地盤の境界部のせん断抵抗力以上のせん断応力が発生した場合、剛性をゼロとし、すべりを考慮する。静止摩擦力  $\tau_f$  は Mohr-Coulomb 式により規定する。

### 4) 荷重の入力方法

#### a. 常時荷重

常時荷重である自重は、コンクリートの単位体積重量を踏まえ、構造物の断面の大きさに応じて算定する。

#### b. 地震荷重

地震荷重は、解放基盤表面で定義される基準地震動  $S_s$  を、一次元波動論によって地震応答解析モデルの下端位置で評価した地震波を用いて算定する。

### (6) 評価結果

現状の荷揚場に対する評価結果を示す。

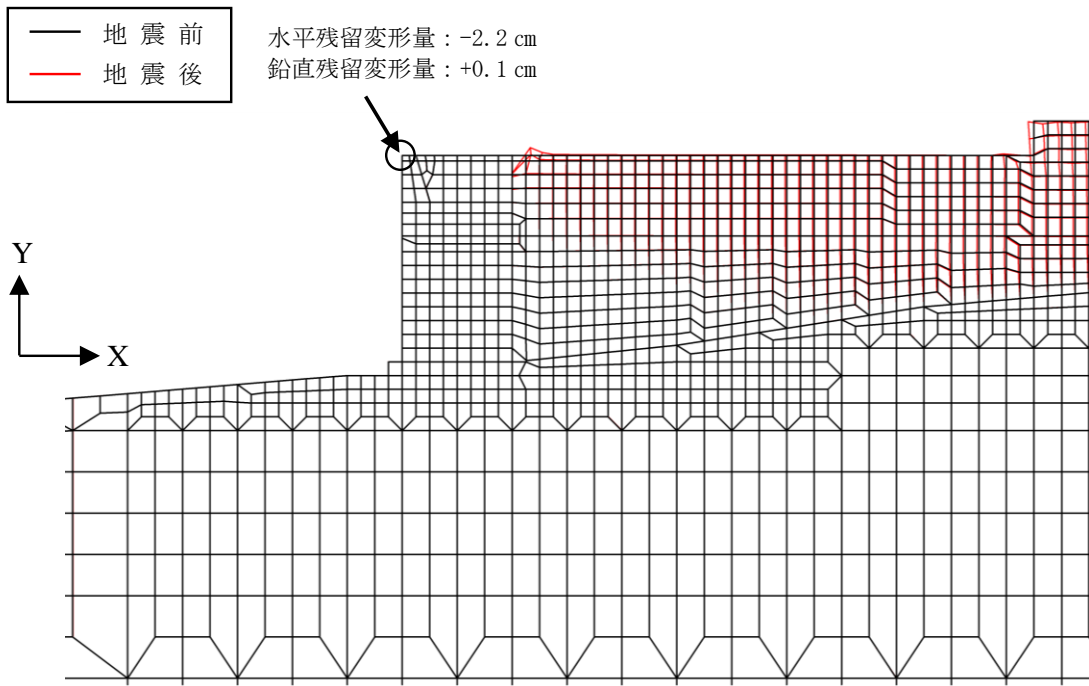
#### a. 最終変形量

荷揚場は、基準地震動  $S_s$  によりほとんど変形せず、水平残留変形量は約 2.2cm、鉛直残留変形量は約 0.1cm である。

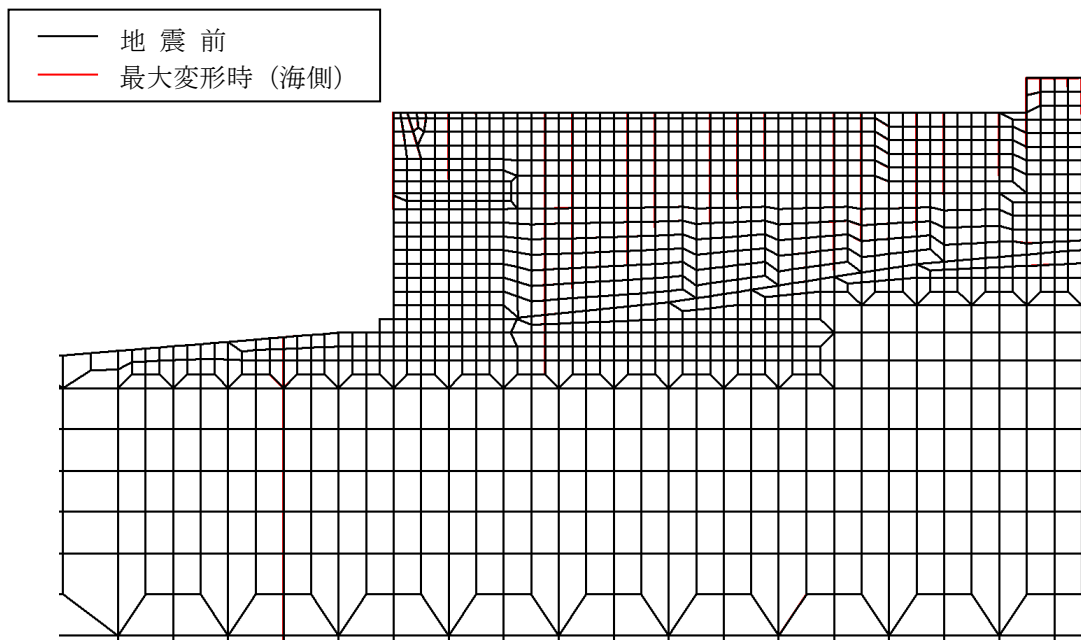
なお、地震時におけるセルラーブロックの海側及び陸側の最大変形量を確認したところ、いずれも変形量は軽微であり、また、当該時刻における埋戻土中間のジョイント要素に有意な剥離等は生じておらず、ジョイント要素が荷揚護岸の地震時挙動に悪影響を及ぼしていないことを確認した。

最終変形量図を第 8 図に、地震時におけるセルラーブロックの海側及び陸側の最大変形量図を第 9 図及び第 10 図に、過剰間隙水圧比分布図を第 11 図に示す。



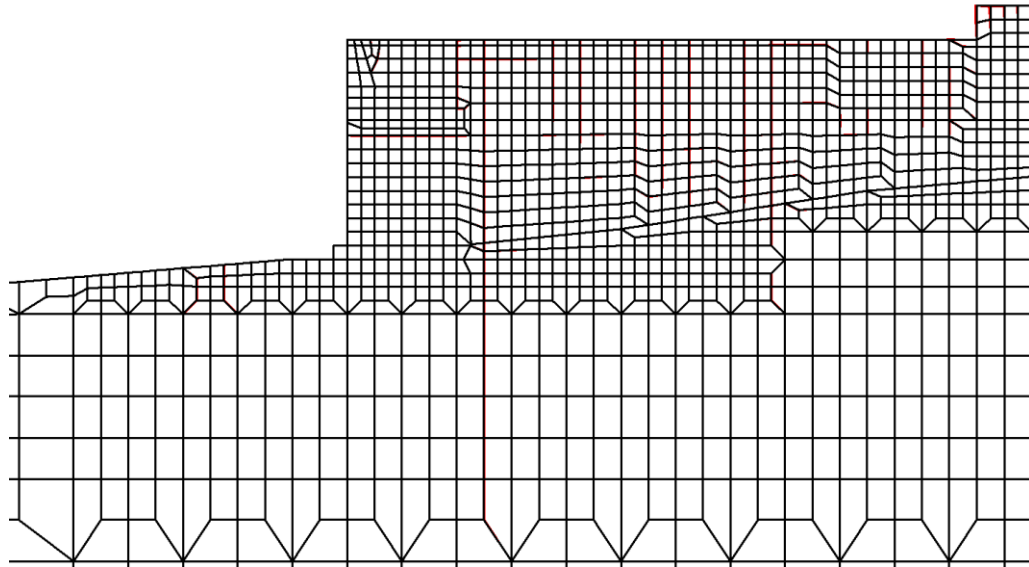


第 8 図 最終变形量図

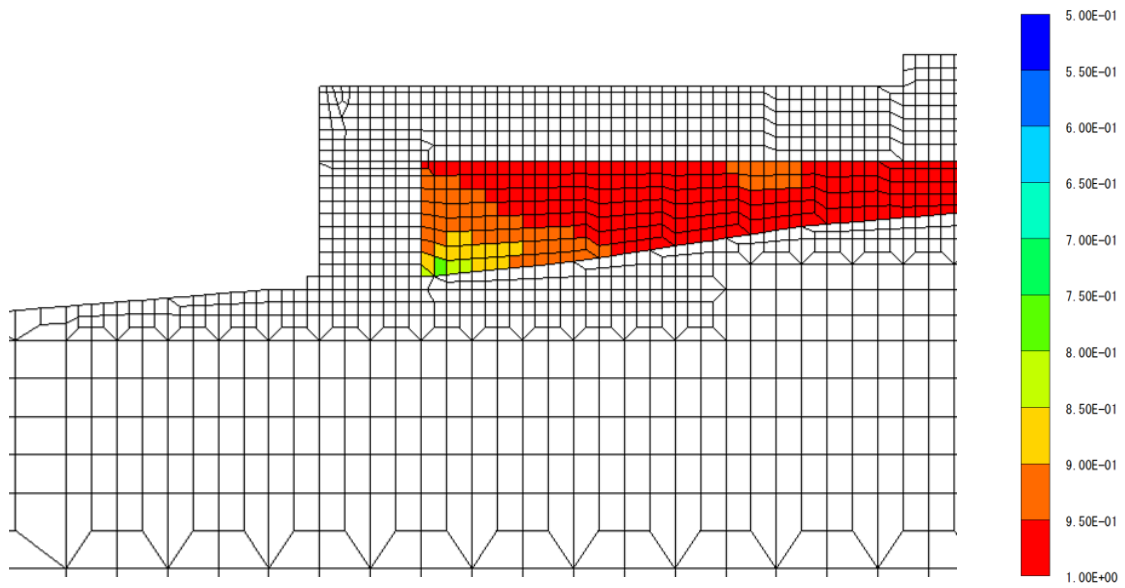


第 9 図 最大变形量図 (最大变形時 (海側))

— 地震前  
 — 最大変形時（陸側）



第 10 図 最大変形量図（最大変形時（陸側））



第 11 図 過剰間隙水圧比分布図

## b. 評価結果

荷揚場を構成する荷揚護岸の最終変形量の許容限界については、荷揚護岸自体が漂流物化せず、また、燃料等輸送船の漂流防止装置である係船柱等の支持性能を保持する観点から、「港湾の施設の技術上の基準・同解説（日本港湾協会，平成19年7月）」に基づき、1mを許容限界値とする。

荷揚場は、基準地震動 $S_s$ による地震応答解析から得られる最終変形量が許容限界値を超えないことを確認した。

### (7) 基準地震動 $S_s$ による荷揚場への影響評価のまとめ

基準地震動 $S_s$ が荷揚場に及ぼす影響としては、主に荷揚場の沈下であるが、地震後の最終変形量が許容限界を満足していることから、基準地震動 $S_s$ による大型船舶の緊急離岸への影響はないものと判断される。

## 4. 津波時評価

入力津波が荷揚場に及ぼす影響としては、荷揚場の漂流物化が考えられる。

荷揚場は、前述のとおり、基準地震動 $S_s$ 後でも、ほぼ当初の位置及び高さ確保しており、荷揚場背後地はコンクリート舗装等の洗掘防止対策工を実施することから、荷揚場構造部材並びに背後地の土砂の漂流物化はないものとする。

## 5. 地震後の荷揚場の津波による影響評価のまとめ

以上のことから、荷揚場は基準地震動 $S_s$ 並びに入力津波に対する耐性を有しており、荷揚場の損傷が想定されないことから、取水施設である取水口に波及的影響を及ぼす可能性は低いものと判断する。

浸水防止設備のうち機器・配管系の基準地震動  $S_s$  に対する許容限界について

## 1. 概要

島根 2 号炉の浸水防止設備は、「4.2 浸水防止設備の設計 第 4.2-1 表 浸水防止設備の種類と設置位置」に示したとおり、建物・構築物及び機器・配管系から成る。建物・構築物に属する防水壁及び水密扉は、鋼製の構造物であるが、大きな変形が生じた場合はその取付部、閉止部等（防水壁の鋼板の繋ぎ目、水密扉のフレームと扉の間隙等）が津波の流入経路となり得ることから、当該構造物全体の変形能力に対して十分な余裕を有するよう、構成する部材が弾性域内に収まることを基本とする。また、建物・構築物のうち屋外排水路逆止弁並びに機器・配管系のうち床ドレン逆止弁については、鉄筋コンクリート製の建物・構築物に直接設置され、当該設備に大きな変形が生じて躯体との取付部に間隙が生じた場合は津波の流入経路となり得ることから、当該構造物全体の変形能力に対して十分な余裕を有するよう、構成する部材が弾性域内に収まることを基本とする。これらの設備に対する許容限界は、他プラントの浸水防止設備に係る設工認において適用実績がある。これに対し、島根 2 号炉の浸水防止設備には、表 1 に示すとおり、機器・配管系に属する隔離弁、ポンプ及び配管があることから、その許容限界を定める必要がある。

ポンプ及び配管系（隔離弁を含む。以下同じ。）は、耐震重要施設として基準地震動  $S_s$  に対する弾性解析を用いた耐震設計の実績が十分にある。これらの設備は、延性に優れた鋼製部材で構成されており、延性破断、塑性崩壊、疲労破損等の損傷モードを考慮して応力等を制限する許容限界が定められている。従来からの耐震設計と同様に、基準地震動  $S_s$  による地震荷重に対する許容限界は「塑性ひずみが生じる場合であっても、その量が小さなレベルにとどまって破断延性限界に十分な余裕を有すること」を基本とし、具体的には「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 - 1987, 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・ 補 - 1984, 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 - 1991 追補版（以下、「J E A G 4 6 0 1」という。）」に定める許容応力状態  $IV_A S$  の許容限界を適用する。また、基準地震動  $S_s$  に対する浸水防止機能保持の信頼性を高めるために、弾性設計用地震動  $S_d$  による地震力に対しておおむね弾性状態にとどまる設計とする。なお、浸水防止設備に該当するポンプ及び配管系の耐震設計にあたっては、浸水防止機能保持の観点で適切な評価部位を選定する。

浸水防止設備に該当する各設備の基準地震動  $S_s$  に対する許容限界を整理し

て表2に示す。本資料は、浸水防止設備のうち隔離弁、ポンプ及び配管の許容限界に対して、浸水防止機能保持の観点での適用性及び妥当性を示すものである。なお、隔離弁、ポンプ及び配管を地震後に再使用する場合は、点検、評価等を実施し、その健全性を確認のうえで使用する。

表1 浸水防止設備のうち機器・配管系に属する隔離弁、ポンプ及び配管

系統	設備
タービン補機海水系	ポンプ
	ポンプ出口弁，第二出口弁，放水側逆止弁
	配管系（ポンプ～第二出口弁）
	配管系（放水槽～逆止弁）
液体廃棄物処理系 （ランドリドレン系）	逆止弁
	配管系（放水槽～逆止弁）
循環水系	ポンプ
	配管系（取水槽循環水ポンプエリア内）
原子炉補機海水系 高圧炉心スプレイ補機海水系	配管系（放水槽～熱交出口）
除じん系	ポンプ
	配管系（取水槽海水ポンプエリア内）

表2 浸水防止設備に該当する各設備の基準地震動 $S_s$ に対する許容限界

区分	設備	基準地震動 $S_s$ に対する許容限界	許容限界設定の考え方
建物・構築物	防水壁及び水密扉	構成する部材が弾性域内に収まることを基本とし、浸水防止機能を保持していることを確認する。	鋼製の構造物であるが、大きな変形が生じた場合はその取付部、閉止部等（防水壁の鋼板の繋ぎ目、水密扉のフレームと扉の間隙等）が津波の流入経路となり得るため、おおむね弾性状態にとどまる設計とし、浸水防止機能を保持する。
建物・構築物	屋外排水路逆止弁	構成する部材が弾性域内に収まることを基本とし、浸水防止機能を保持していることを確認する。	鉄筋コンクリート製の建物・構築物に直接設置され、当該設備に大きな変形が生じて躯体との取付部に間隙が生じた場合は津波の流入経路となり得るため、おおむね弾性状態にとどまる設計とし、浸水防止機能を保持する。
機器・配管系	床ドレン逆止弁		
機器・配管系	隔離弁、ポンプ及び配管	塑性ひずみが生じる場合であってもその量が小さなレベルにとどまることを基本とし、浸水防止機能を保持していることを確認する。	延性に優れた鋼製部材で構成されており、延性破断、塑性崩壊、疲労破損等の損傷モードを考慮して応力等を制限することから、これを満足する設計とし、浸水防止機能を保持する。

## 2. 適用実績及び適用性

浸水防止設備のうちポンプ及び配管系の地震荷重に対する許容限界（許容応力状態 $IV_A S$ の許容限界）について、従来からの耐震設計に係る規格・基準等を整理して適用実績を示すとともに、浸水防止機能の保持に係る許容限界としての適用性を以下に示す。

### (1) 機器・配管系のバウンダリ機能保持に係る規格・基準等

耐震重要施設の基準地震動 $S_s$ に対する許容限界について、設置許可基準規則の解釈別記-2において以下のとおり規定されており、浸水防止設備のうちポンプ及び配管系の地震荷重に対する許容限界はこれと同等の内容である。具体的な許容限界としては、「耐震設計に係る工認審査ガイド」において「安全上適切と認められる規格及び基準等」とされているJEAG4601に基づき許容応力状態 $IV_A S$ の許容限界を設定する。JEAG4601は従来から機器・配管系の耐震設計に広く用いられており、原子炉冷却材圧力バウンダリ、原子炉格納容器バウンダリ等の安全上重要な設備を含めて適用実績がある。

## 設置許可基準規則の解釈 別記-2より抜粋

6 第4条第3項に規定する「安全機能が損なわれるおそれがないものでなければならぬ」ことを満たすために、基準地震動に対する設計基準対象施設的设计に当たっては、以下の方針によること。

一 耐震重要施設のうち、二以外のもの

(中略)

- ・機器・配管系については、通常運転時、運転時の異常な過渡変化時及び事故時に生じるそれぞれの荷重と基準地震動による地震力を組み合わせた荷重条件に対して、その施設に要求される機能を保持すること。なお、上記により求められる荷重により塑性ひずみが生じる場合であっても、その量が小さなレベルにとどまって破断延性限界に十分な余裕を有し、その施設に要求される機能に影響を及ぼさないこと。

(以下省略)

### (2) 浸水防止機能の保持に係る許容限界としての適用性

浸水防止設備の有する機能は、津波の浸水防止機能である。内部流体に対する水密性又は気密性を確保するというバウンダリ機能は、浸水防止設備と他の耐震重要施設で同等である。したがって、浸水防止設備のうちポンプ及び配管系に対して、耐震重要施設のバウンダリ機能保持に適用される許容応力状態 $IV_A S$ の許容限界を適用することは妥当である。

### 3. 評価部位ごとの許容限界の妥当性

浸水防止設備のうちポンプ及び配管系の地震荷重に対する許容限界として許容応力状態 $IV_A S$ の許容限界を適用することについて、評価部位ごとにその妥当性を確認する。

#### (1) ポンプ、配管及び隔離弁（弁箱部のバウンダリ機能）

ポンプ（ディスチャージケーシング他）、配管及び隔離弁（弁箱部のバウンダリ機能）は、バウンダリ機能の喪失に至るおそれのある損傷モードを考慮して応力等を制限するように許容限界が定められている。許容応力状態 $IV_A S$ の許容限界は、構造物が塑性変形した場合であっても、過大な変形等が生じて当該施設の機能に影響を及ぼすことがないこととされており、基準地震動 $S_s$ に対して許容応力状態 $IV_A S$ の許容限界を満足する設計とすることにより、地震後においてもバウンダリ機能を保持することができる。

鋼製材料は延性に優れているため、荷重を加えて塑性ひずみが生じた後に、再度、荷重を負荷した場合であっても、構造物に生じる応力が降伏点を超えな

い範囲ではおおむね弾性的な挙動となる。鋼製材料（炭素鋼）の応力－ひずみ線図の一例を図1に示す。応力－ひずみ線図は、材料の単調引張試験により取得されたものであるが、交番荷重に対しては、降伏応力を超過する応力が生じた場合、塑性変形が発生するものの、荷重を除荷して再度負荷すると弾性的な挙動を繰り返す。このような鋼製材料の特性をシェイクダウンという。シェイクダウンに係る解説を引用し、図2に示す。

配管系を例として、基準地震動 $S_s$ に相当する地震を受けた後に津波荷重（余震荷重含む）を受けた場合の挙動（復元力－変形量の関係と応力－ひずみの関係）を図3に示す。クラス1配管の場合、許容限界は許容応力状態 $III_{AS}$ では一次応力 $2.25S_m$ 、一次＋二次応力 $3S_m$ （全振幅）であり、許容応力状態 $IV_{AS}$ では一次応力 $3S_m$ 、一次＋二次応力 $3S_m$ （全振幅）である。ここでは、基準地震動 $S_s$ により $3S_m$ の一次応力が生じ、その後に津波荷重（余震荷重含む）を受けることを想定する。また、配管系を曲げの地震荷重（交番荷重）を受けるはり（弾完全塑性体）として、弾性体に生じる変位が弾完全塑性体に生じるとする。なお、表1に示した浸水防止設備の配管系はクラス3配管に該当するが、これらの配管系の材質（炭素鋼）に関してはクラス3配管の許容応力状態 $IV_{AS}$ の許容応力 $0.9S_u$ より $3S_m (=2S_y)$ の方が大きいため、クラス3配管の挙動は図3に示すクラス1配管の挙動より更に制限される。

図3において、基準地震動 $S_s$ による曲げの地震荷重を受けたはりは、点Aにて端部が降伏応力に達し、荷重を増すと点Bにて復元力－変形量関係での降伏点（許容応力状態 $III_{AS}$ の許容限界に達した状態）に至る。さらに地震荷重を増大させて弾性応力が $3S_m (=2S_y)$ に達した状態が点Cであり、塑性変形が発生している。ここで地震荷重を除荷すると復元力がゼロとなるため、内力もゼロとなるように塑性変形に伴う残留応力が生じて点Dに至る。地震後の点Dの状態から津波荷重（余震荷重含む）を受けた場合、引張側の荷重に対しては点Dから点Eに至ったのち点Fに戻るという弾性的な挙動を示す。また、圧縮側の荷重に対しては、点Gにて端部が降伏するが、復元力－変形量の関係で見れば点Fから点Iまで弾性的な挙動を示す。津波荷重（余震荷重含む）に対してはおおむね弾性にとどまる設計とすることから、荷重が繰り返された場合、応力－ひずみ関係の点A E G Hの範囲内の状態にあり、復元力－変形量関係の点E H間で弾性的に挙動する。

このように、津波荷重（余震荷重含む）に対しては構成する材料が弾性にとどまることを許容限界とするため、基準地震動 $S_s$ による地震力が作用した後に津波荷重が作用することを想定したとしても、繰り返し作用する津波荷重に対してシェイクダウンによりおおむね弾性的な挙動となることから、ラチェット変形が進行してバウンダリ機能を喪失することはない。なお、基準地震動 $S$



s の地震荷重により  $3S_m$  の一次応力が生じた場合、図 3 の点 A から点 C に至る過程で一次＋二次応力が  $3S_m$  (全振幅) を超過するが、J E A G 4 6 0 1 に基づき弾塑性解析及び疲労評価を行うことにより疲労破損が生じないことを確認する。

以上のことから、基準地震動  $S_s$  に対して許容応力状態  $IV_A S$  の許容限界を満足するよう設計することにより、ポンプ及び配管の浸水防止機能を保持することができる。

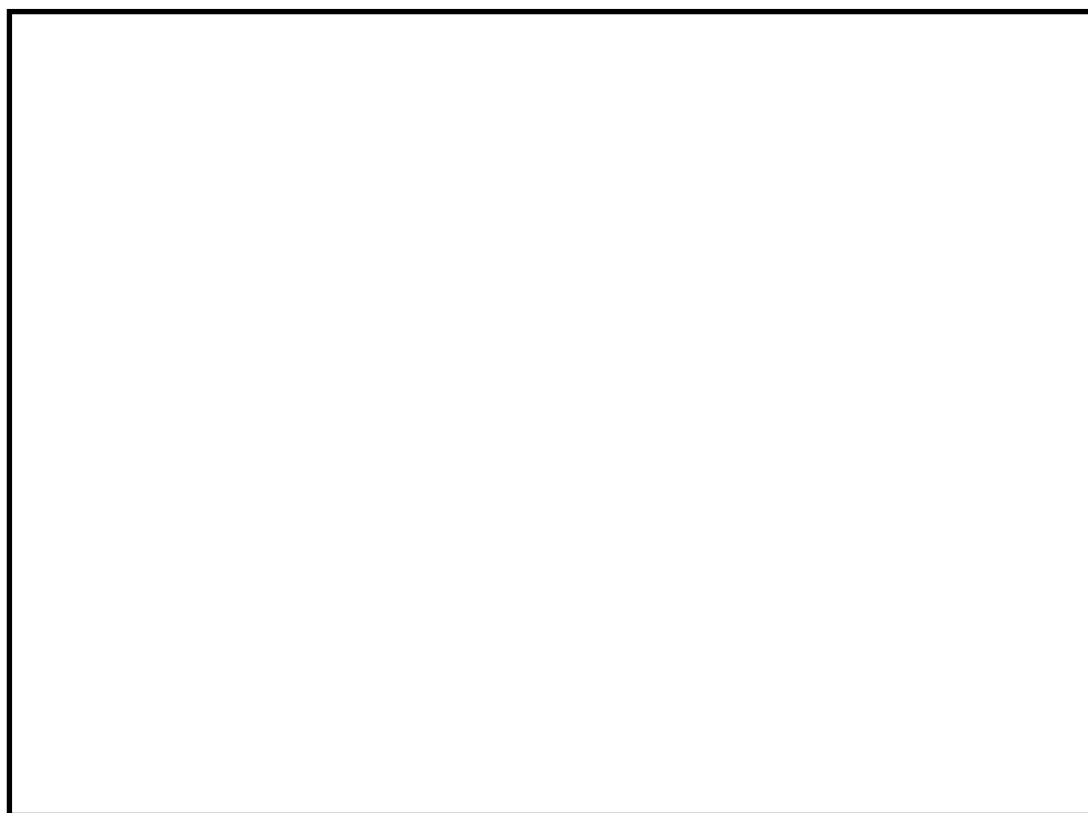
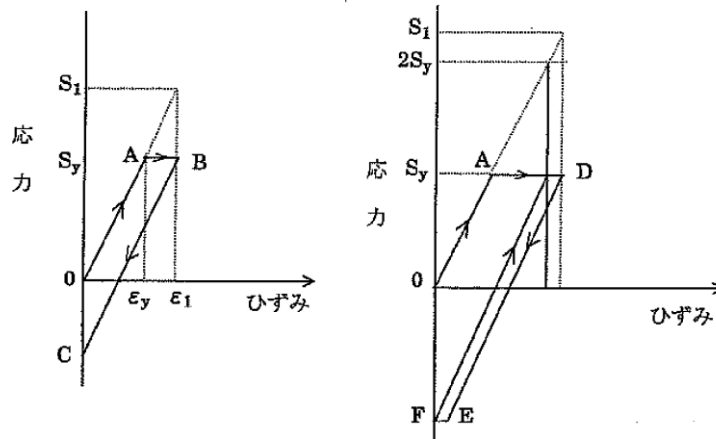


図 1 炭素鋼の応力－ひずみ線図の一例

出典：平成 11 年度原子力発電施設耐震信頼性実証試験に関する報告書その 3  
配管系終局強度実証試験，平成 12 年 3 月，(財) 原子力発電技術機構

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません



(a)  $S_y < S_1 \leq 2S_y$                       (b)  $S_1 > 2S_y$

解説図 3112-1 降伏点を超える場合のひずみ履歴

(a)において、降伏点を超えるひずみ  $\epsilon_1 (> \epsilon_y)$  を生じる荷重をかけた後 (0→A→B) この荷重を減じていくと B→C に沿って変わる。このとき計算上の弾性応力は  $S_1 = E \epsilon_1$  である。

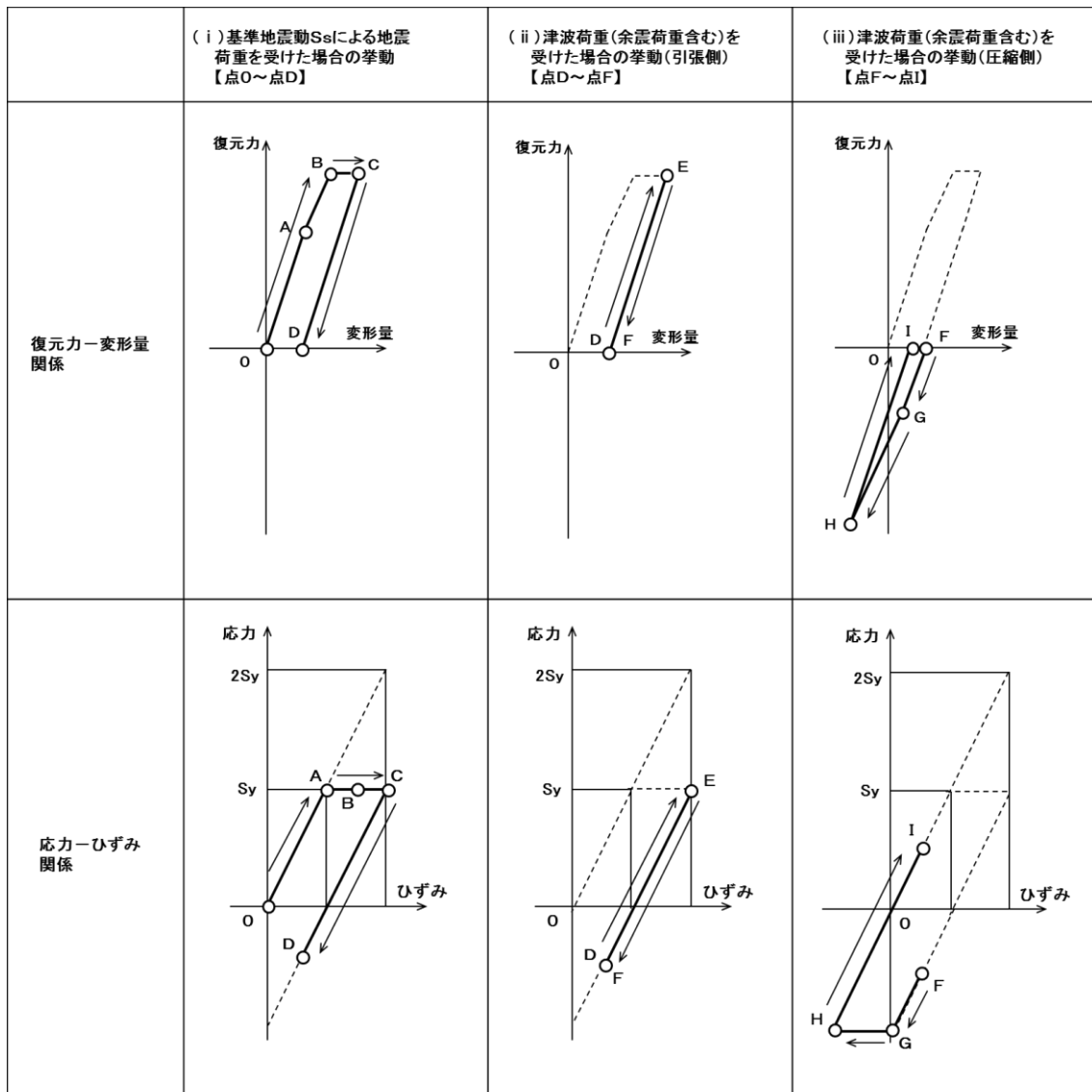
ここでは二次応力について考えているので、荷重のかかり方としては、応力が 0 から  $S_1$  へ、そして  $S_1$  から 0 へと繰り返すのではなく、ひずみが 0 から  $\epsilon_1$ 、そして  $\epsilon_1$  から 0 へと繰り返す。ひずみが  $\epsilon_1$  から 0 へ戻った時、材料には  $S_1 - S_y$  の大きさの残留圧縮応力が発生することになる (C 点)。2 回目以上の荷重に対しては、応力が引張りになる前にこの残留圧縮応力を取り除くことになり、 $S_1 - S_y$  だけ弾性領域が増大したようになる。もし、 $S_1 = 2S_y$  であるならば、弾性領域は  $2S_y$  となるが、それを超えると (b) における EF に示すように圧縮側に降伏してしまい、それ以降の全てのサイクルにおいては塑性ひずみを生じる。従って、 $2S_y$  が弾性的挙動にシェイクダウンする二次応力の計算上の最大値となる。

この応力強さの限界を供用状態 A および供用状態 B についてのみ限定する理由は、疲労解析が必要であり、その前提条件として、一次応力と二次応力を加えて求めた応力強さの評価を行うためである。

供用状態 C および供用状態 D については、発電設備の寿命中において、発生する回数が非常に少なく、疲労破壊には顕著な影響を与えないため、あらかじめ疲労解析は不要とされており、従って、一次応力と二次応力を加えて求めた応力強さの評価も必要なくなる。

図 2 シェイクダウンに係る解説

出典：発電用原子力設備規格 設計・建設規格 ((社) 日本機械学会, 2005/2007)



- A: 応力-ひずみ関係での降伏点
- B: 復元力-変形量関係での降伏点(Ⅲ<sub>A</sub>S相当)
- C: 基準地震動 $S_s$ の地震荷重による最大変位点(Ⅳ<sub>A</sub>S相当)
- D: 基準地震動 $S_s$ の地震荷重を除荷した後の点
- E: 津波荷重(余震荷重含む)による最大変位点(Ⅲ<sub>A</sub>S相当), 点Cと同一位置
- F: 津波荷重(余震荷重含む)の除荷後の点, 点Dと同一位置
- G: 逆方向への津波荷重(余震荷重含む)の再負荷時の降伏点
- H: 逆方向への津波荷重(余震荷重含む)による最大変位点(Ⅲ<sub>A</sub>S相当)
- I: 逆方向への津波荷重(余震荷重含む)の除荷後の点

注) ここで点Cと点E, 点Dと点Fは同一の位置

図3 基準地震動 $S_s$ による地震荷重及び津波荷重(余震荷重含む)を受けた場合の配管系の挙動

## (2) 隔離弁（弁閉止機能）

隔離弁（弁閉止機能）については、基準地震動  $S_s$  による応答加速度が加振試験等の既往の研究によって機能維持を確認した加速度（以下「機能確認済加速度」という。）を超えないことを確認する。機能確認済加速度は、ヨーク部等の構造上の弱部においても隔離弁の機能に影響を及ぼす変形が生じないこと、弁座からの漏えいが無いことを含めて機能維持することを加振試験等により確認して設定されたものである。したがって、基準地震動  $S_s$  による応答加速度が機能確認済加速度を超えないことにより、地震後においても隔離弁の弁閉止機能を保持することができる。

また、津波荷重に対しては構成する材料が弾性にとどまることを許容限界とするため、基準地震動  $S_s$  による地震力が作用した後に津波荷重が作用することを想定したとしても、繰り返し作用する津波荷重に対してシェイクダウンによりおおむね弾性的な挙動となることから、ラチェット変形が進行して弁閉止機能を喪失することはない。

## (3) 支持構造物

支持構造物はバウンダリ機能を有するものではなく、その機能は配管等の支持機能である。支持構造物は、支持機能の喪失に至るおそれのある損傷モードを考慮して応力等を制限するように許容限界が定められている。したがって、基準地震動  $S_s$  に対して許容応力状態  $IV_A S$  の許容限界を満足するよう設計することにより、支持機能を保持することができる。

## (4) 立形ポンプ取付部

立形ポンプ取付部は、その構造的な特徴から、構成部材が塑性域に至り大変形が生じる場合、バウンダリ機能を保持できないおそれがある。このため、立形ポンプ取付部のボルト材については、おおむね弾性状態にとどまることを確認する。

浸水防止設備に該当するポンプのうち循環水ポンプの構造を図4に示す。取水路からの津波の流入を防止する機能を有する立形ポンプ取付部のボルト材は、基礎ボルト及びポンプ取付ボルトである。浸水防止設備に該当する立形ポンプのボルト材の材質を表3に示す。

これらのボルト材の設計にあたっては、J E A G 4 6 0 1 のその他の支持構造物の規定を適用している。本規定におけるオーステナイト系ステンレス鋼の許容応力は、表4に示すとおり、許容応力状態  $III_A S$  と  $IV_A S$  で同一の値となる。浸水防止機能を有する立形ポンプ取付部に設置された基礎ボルト及びポンプ取付ボルトの材質は、すべてオーステナイト系ステンレス鋼であることから、

許容応力状態Ⅳ<sub>A</sub>Sの許容応力を満足する設計とすることにより、許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sの許容限界も満足することとなり、基礎ボルト及びポンプ取付ボルトはおおむね弾性状態にとどまるといえる。

表3 浸水防止設備に該当する立形ポンプのボルト材

設備*	基礎ボルト	ポンプ取付ボルト
循環水ポンプ	SUS304	SUS304
タービン補機海水ポンプ	SUS304	SUS304

※ 除じんポンプは横形ポンプであり、取水路からの津波の流入を防止する機能を有する取付部はない。

表4 支持構造物の許容応力（オーステナイト系ステンレス鋼の場合）

設備区分	許容応力状態	許容応力算出に用いるF値
クラス3支持構造物	Ⅲ <sub>A</sub> S	$\min[1.35S_y, 0.7S_u, S_y(RT)]$
その他の支持構造物	Ⅳ <sub>A</sub> S	$\min[1.35S_y, 0.7S_u, S_y(RT)]$

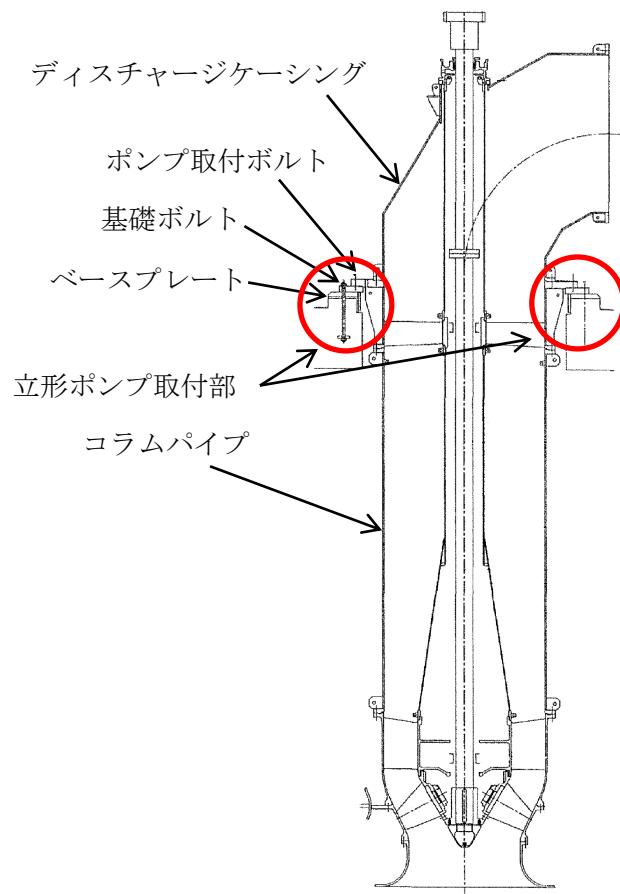


図4 循環水ポンプ

## 基礎底面の傾斜による防波壁の構造成立性について

### 1. 耐震重要施設及び常設重大事故等対処施設の基礎底面の傾斜

基礎地盤の安定性評価において、評価対象施設を4つのグループに分類している。このうち防波壁については、グループC（E L. +15m 盤以下、杭基礎）及びグループD（E L. +15m 盤以下、直接基礎）に分類し、それぞれ影響要因及び簡便法による最小すべり安全率を比較検討した結果、代表施設として防波壁（多重鋼管杭式擁壁）及び防波壁（逆T擁壁）を選定している。

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）について動的FEM解析（全応力解析）結果に基づいて基礎底面の傾斜を算定した結果、審査ガイドの目安値（基本設計段階の目安値：1/2,000）を下回っていることを確認している。

一方、防波壁（逆T擁壁）は岩盤に支持される防波壁（多重鋼管杭式擁壁）に比べて、大きな傾斜を生じる結果となった。

設置許可基準規則第3条第2項において、耐震重要施設は変形した場合においてもその安全機能が損なわれるおそれがない地盤に設けなければならないことから、防波壁（逆T擁壁）について基礎底面の傾斜に対する設計方針を整理し、基礎底面の傾斜を考慮しても防波壁（逆T擁壁）の安全機能が損なわれないことを確認する。

第1表 地殻変動解析による最大傾斜及び地震動による最大傾斜の  
重ね合わせ結果

対象断層	評価施設	①地殻変動による傾斜		②地震動による最大傾斜		①+② 地殻変動及び地震動を 考慮した最大傾斜※
		最大傾斜	傾斜方向	最大傾斜	傾斜方向	
陸域活断層 (宍道断層)	防波壁 (多重鋼管杭式擁壁)	1/22,000 (不確かさケース(すべり角))	北方向	1/39,000 (S <sub>s</sub> -D)	北方向	1/14,000
	防波壁 (逆T擁壁)	1/17,000 (不確かさケース(断層傾斜角))	東方向	1/158 (S <sub>s</sub> -D)	東方向	1/156
海域活断層 (F-Ⅲ～F-V断層)	防波壁 (多重鋼管杭式擁壁)	1/22,000 (上昇最大ケース)	北方向	1/39,000 (S <sub>s</sub> -D)	北方向	1/14,000
	防波壁 (逆T擁壁)	1/17,000 (下降最大ケース)	西方向	1/158 (S <sub>s</sub> -D)	東方向	1/156

※ ①と②の傾斜方向が異なる場合も、保守的に①と②の傾斜を足し合わせることで評価を実施する。



## 2. 防波壁（逆T擁壁）の傾斜に対する性能目標と設計評価方針

基礎底面の傾斜（第3条）について、防波壁の要求機能を担保するため、防波壁（逆T擁壁）の各部位に対する性能目標及び設計方針（損傷モード、許容限界等）を第2表のとおり整理し、逆T擁壁（鉄筋コンクリート造）、止水目地及びグラウンドアンカーの構造成立性について確認する。

第2表 防波壁（逆T擁壁）の傾斜に対する性能目標と設計評価方針

□：本資料において、構造成立性を確認する部位

要求機能	評価対象部位	傾斜による性能目標 (第3条)	応力等の状態	損傷モード	設計に用いる許容限界
・防波壁は、地震後の繰返しの来襲を想定した入力津波に対して、津波による漏水及び流入を防止することが要求される。 ・防波壁（逆T擁壁）は、基準地震動Ssに対し、津波防護施設が要求される機能を損なう恐れがないよう、十分な構造強度を有した構造であることが要求される。	防波壁（逆T擁壁） 止水目地	逆T擁壁（鉄筋コンクリート造） 構造部材の健全性を保持するために、逆T擁壁がおおむね弾性状態にとどまること。	曲げ・せん断	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「コンクリート標準示方書構造性能照査編、2002年制定」を踏まえた短期許容応力度とする。
		止水目地 逆T擁壁（鉄筋コンクリート造）間から有意な漏えいを生じないために、止水目地の変形性能を保持すること。	変形・水圧	有意な漏えいに至る変形・水圧	メーカー規格及び今後必要に応じて実施する性能試験に基づく許容変形量及び許容水圧以下とする。
		止水目地の鋼製部材 逆T擁壁（鉄筋コンクリート造）及び改良地盤の転倒抑止のために、グラウンドアンカーがおおむね弾性状態にとどまること。	曲げ・せん断	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「建築基準法施行令2006年6月」を踏まえた許容応力度とする。
	地盤	グラウンドアンカー 逆T擁壁（鉄筋コンクリート造）及び改良地盤の転倒抑止のために、グラウンドアンカーがおおむね弾性状態にとどまること。	変位	グラウンドアンカーが伸張し、逆T擁壁（鉄筋コンクリート造）が転倒	「グラウンドアンカー設計・施工基準、同解説（平成24年5月）」を踏まえた弾性変位量とする。
		改良地盤 逆T擁壁（鉄筋コンクリート造）を鉛直支持するため、十分な支持力を保持すること。 基礎地盤のすべり安定性を確保するため、十分なすべり安全性を保持すること。	支持力	鉛直支持機能を喪失する状態	「道路橋示方書・同解説 IV下部構造編（平成14年3月）」を踏まえ、妥当な安全余裕を考慮した極限支持力度とする。
			すべり安全率	すべり破壊し、難透水性を喪失する状態	「耐津波設計に係る工認審査ガイド」を準用してすべり安全率1.2以上とする。
岩盤 逆T擁壁（鉄筋コンクリート造）を鉛直支持するため、十分な支持力を保持すること。	支持力	鉛直支持機能を喪失する状態	「道路橋示方書・同解説 IV下部構造編（平成14年3月）」を踏まえ、妥当な安全余裕を考慮した極限支持力度とする。		

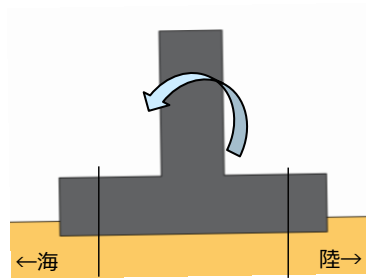
### 3. 防波壁（逆T擁壁）の傾斜により要求機能を喪失する事象の抽出

防波壁（逆T擁壁）の各部位が、損傷して要求機能を喪失する事象を抽出し、それに対する設計・施工上の配慮について第3表及び第1図のとおり整理した。

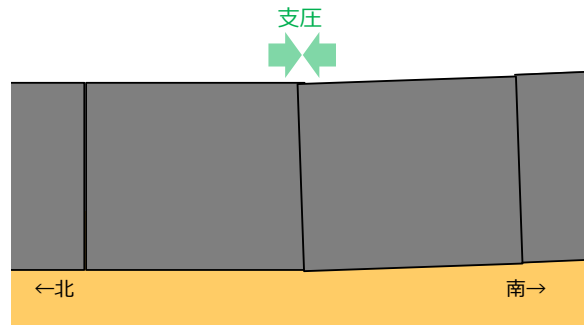
第3表 防波壁（逆T擁壁）の傾斜により要求機能を喪失する事象及び設計・施工上の配慮

部位の名称	要求機能を喪失する事象	想定ケース※	設計・施工上の配慮	照査
逆T擁壁 （鉄筋コンクリート造）	・ 地盤が傾斜することにより曲げ・せん断破壊し、遮水性を喪失する。	①	・ 逆T擁壁（鉄筋コンクリート造）の発生応力度が、許容応力度以下であることを確認する。	○
	・ 地盤が傾斜することにより逆T擁壁の隣接する躯体同士が相互に支圧することにより破壊し、遮水性を喪失する。	②	・ 隣接する躯体同士が衝突しないことを確認する。 ・ 隣接する躯体同士が衝突する場合、逆T擁壁の支圧応力度が、許容応力度以下であることを確認する。	○
止水目地 （支持部含む）	・ 地盤が傾斜することにより隣接する躯体間（法線方向、法線直交方向）の変形により、止水目地の許容変形量を超える変形が生じ、遮水性を喪失する。	③	・ メーカー規格及び性能試験に基づく許容変形量以下であることを確認する。	○
グラウンドアンカー	・ 地盤が傾斜することによりグラウンドアンカーが破損し、逆T擁壁（鉄筋コンクリート造）が転倒する。	④	・ 地盤の傾斜による変位量が、グラウンドアンカーの弾性変位量以下であることを確認する。	○

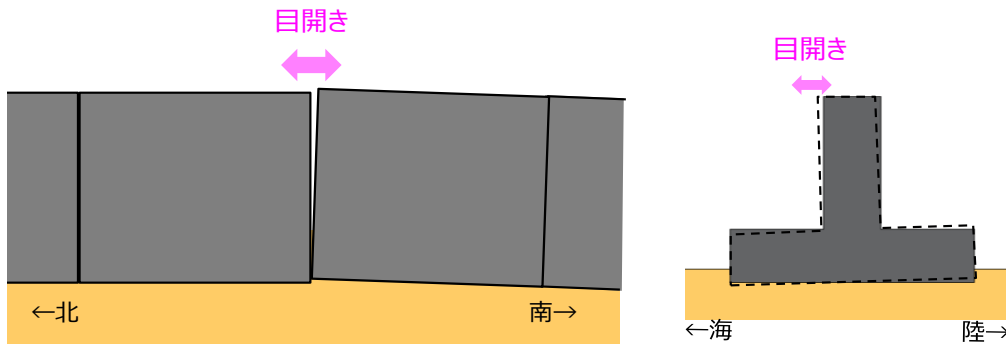
※ 要求機能を喪失する事象の想定ケース



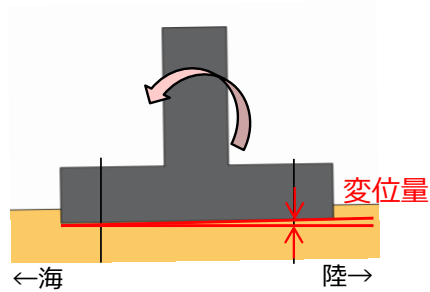
①逆T擁壁（鉄筋コンクリート造）の損傷



②隣接する躯体同士を支圧による損傷



③防波壁間の変形による止水目地の損傷



④グラウンドアンカーの破損

第1図 防波壁（逆T擁壁）の傾斜による要求機能を喪失する事象

#### 4. 防波壁（逆T擁壁）の傾斜による構造成立性検討

##### (1) 設計方針及び検討概要

防波壁（逆T擁壁）における要求機能を喪失する事象に対する設計方針を第4表に示す。

設置許可段階においては、第4表の設計方針による構造成立性の見込みについて確認する。

構造成立性の確認に当たっては、地盤の安定解析に用いた動的FEM解析（全応力解析）に加え、防波壁の耐震性及び耐津波性に関する構造成立性の確認に用いた動的FEM解析（有効応力解析）を用いる。

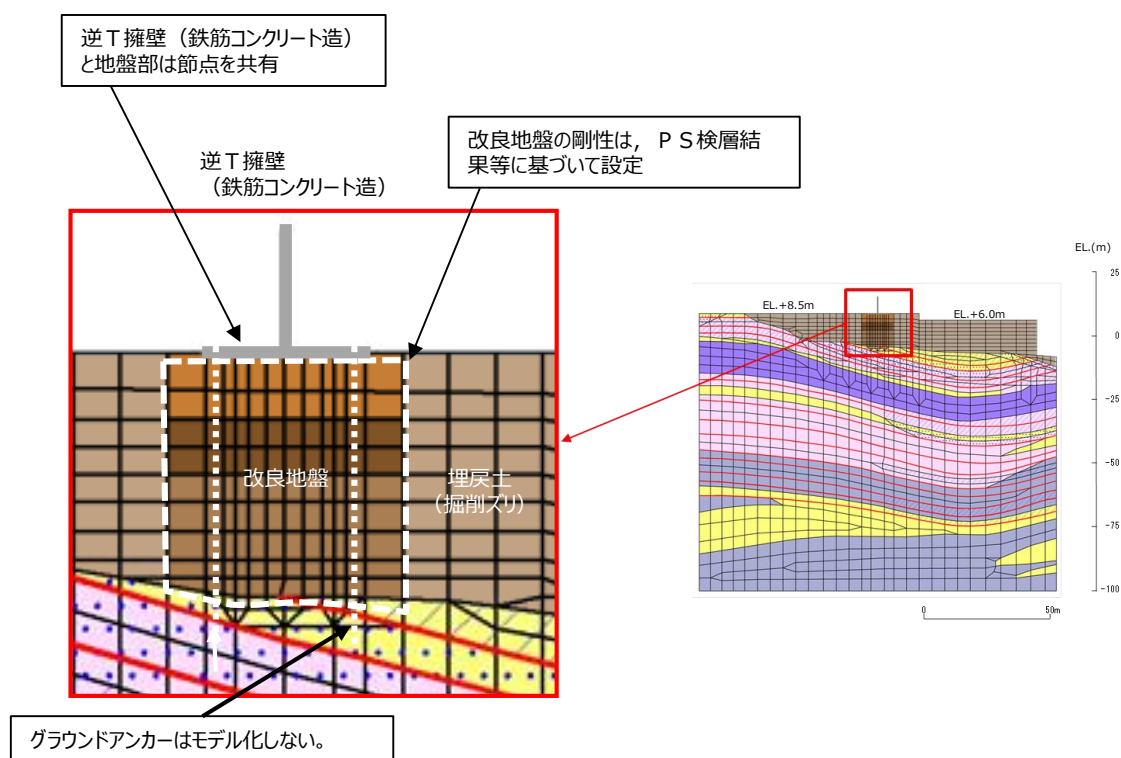
第4表 防波壁（逆T擁壁）における要求機能を喪失する事象に対する設計方針

施設	部位の名称	設計方針	照査項目	設置許可段階での検討方針
防波壁 (逆T擁壁)	逆T擁壁 (鉄筋コンクリート造)	<ul style="list-style-type: none"> <li>逆T擁壁（鉄筋コンクリート造）の発生応力度が、許容応力度以下となる設計とする。</li> </ul>	曲げ・せん断	<ul style="list-style-type: none"> <li>逆T擁壁（鉄筋コンクリート造）の発生応力度が、許容応力度以下であることを確認する。</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>隣接する躯体同士が衝突しないように離隔を設ける等の設計とする。</li> <li>上記設計が困難な場合、逆T擁壁（鉄筋コンクリート造）の支圧応力度が、許容応力度以下となる設計とする。</li> </ul>	曲げ・せん断	<ul style="list-style-type: none"> <li>隣接する躯体同士が衝突すると仮定し、支圧応力度を算定し、許容応力度以下であることを確認する。</li> </ul>
	止水目地 (支持部含む)	<ul style="list-style-type: none"> <li>隣接する躯体間の相対変位量が、止水目地のメーカー規格及び性能試験に基づく許容変形量以下となる設計とする。</li> </ul>	変形	<ul style="list-style-type: none"> <li>隣接する躯体間の相対変位量を算定し、その相対変位量が止水目地の許容変形量以下であることを確認する。</li> </ul>
	グラウンドアンカー	<ul style="list-style-type: none"> <li>地盤の傾斜による変位量が、グラウンドアンカーの弾性変位量以下となる設計とする。</li> </ul>	変位	<ul style="list-style-type: none"> <li>基礎底面の傾斜による変位量を算定し、その変位量がグラウンドアンカーの弾性変位量以下であることを確認する。</li> </ul>

ここで、動的FEM解析（全応力解析）及び動的FEM解析（有効応力解析）の概要を説明する。

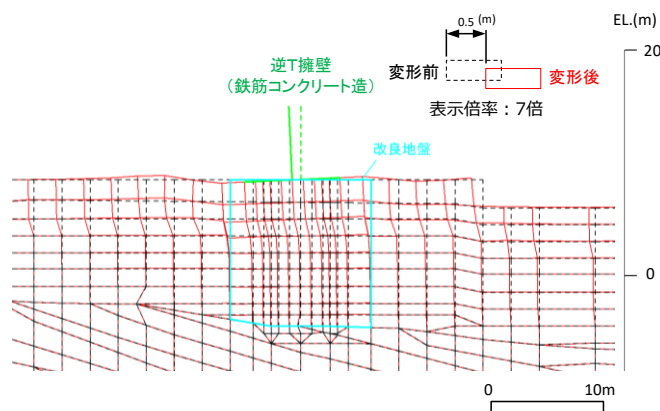
防波壁（逆T擁壁）基礎地盤の安定解析における動的FEM解析（全応力解析）では、以下のとおり解析条件を設定している。

- ・逆T擁壁（鉄筋コンクリート造）直下の改良地盤については、PS 検層結果を踏まえた剛性を解析用物性値として設定している。
- ・逆T擁壁（鉄筋コンクリート造）と改良地盤のモデル化において、両者の節点を共有させているため、改良地盤は地震時慣性力による逆T擁壁（鉄筋コンクリート造）の変形の影響を受け易い。
- ・逆T擁壁（鉄筋コンクリート造）及び改良地盤の転倒等を抑止する機能を有するグラウンドアンカーをモデル化していないため、逆T擁壁（鉄筋コンクリート造）及び改良地盤が変形し易い。

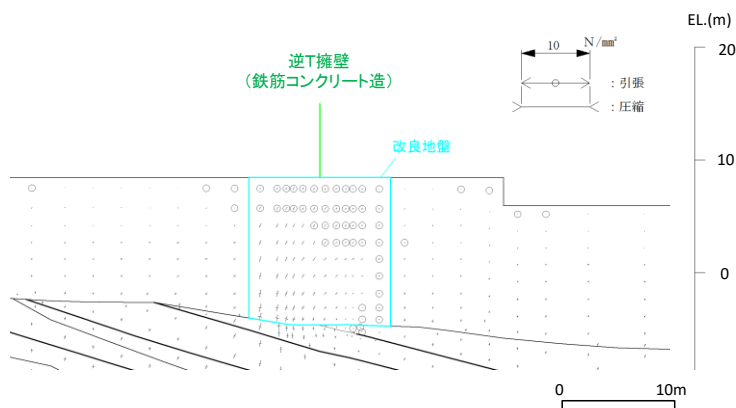


第2図 動的FEM解析（全応力解析）解析モデル図

防波壁（逆T擁壁）基礎底面の地震時傾斜が最大となる時刻（ $S_s - D$ , 34.51秒）における変形図及び主応力図を第3図，第4図に示す。逆T擁壁（鉄筋コンクリート造）及びその直下の改良地盤部は，接点を共有しているため，基礎底面に生じた傾斜（第5表）は，逆T擁壁（鉄筋コンクリート造）に作用した地震時慣性力の作用による影響が大きいと評価した。



第3図 最大傾斜発生時の変形図（ $S_s - D$ , 34.51秒）  
（動的FEM解析（全応力解析））



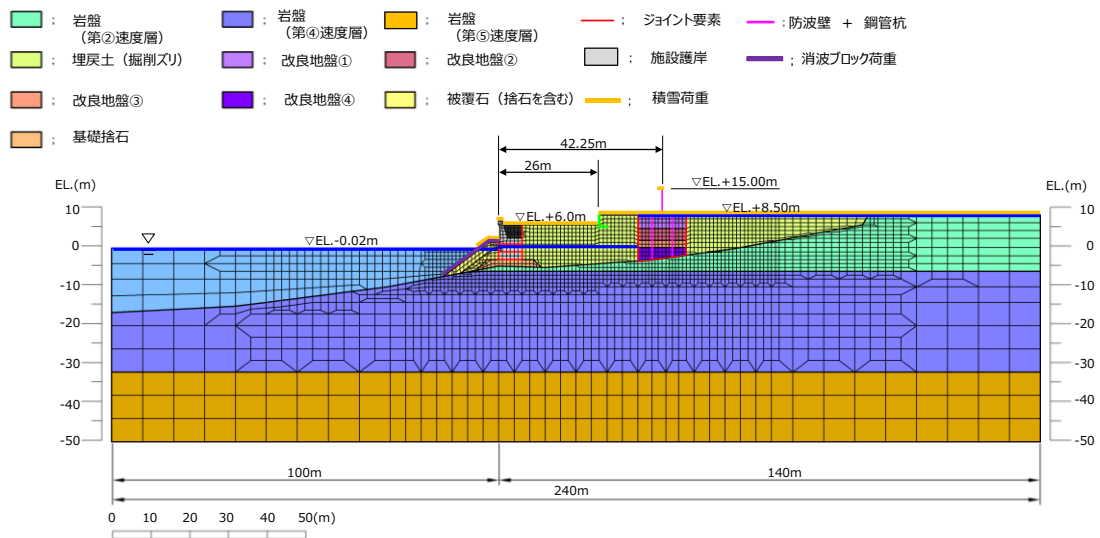
第4図 最大傾斜発生時の主応力図（ $S_s - D$ , 34.51秒）  
（動的FEM解析（全応力解析））

第5表 地震動による最大傾斜

	全応力解析
地震動による傾斜	1/158

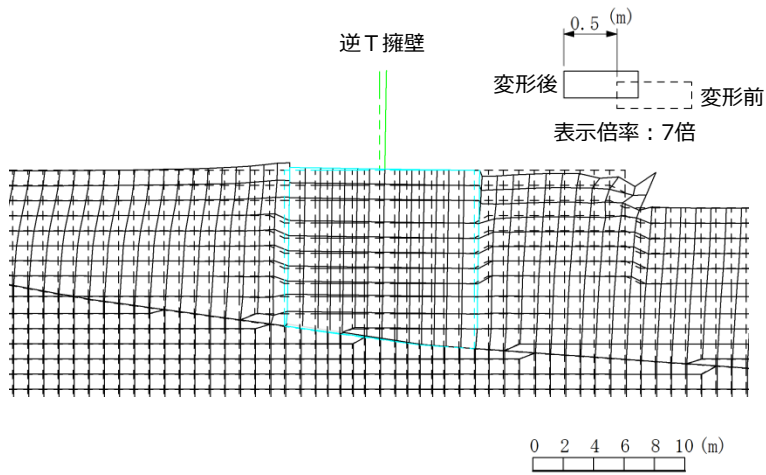
防波壁（逆T擁壁）の構造成立性を確認した動的FEM解析（有効応力解析）の条件は以下の特徴を有しており、より現実的な応答を示すモデルとなっている。

- ・逆T擁壁（鉄筋コンクリート造）直下の改良地盤については、PS検層結果を踏まえた剛性を解析用物性値として設定している。
- ・防波壁と周辺地盤など、要素間の滑り・剥離を考慮する箇所は、ジョイント要素でモデル化している。
- ・逆T擁壁（鉄筋コンクリート造）の変形抑制機能を有するグラウンドアンカーをモデル化していない。なお、グラウンドアンカーは実態に合ったモデル化を実施し、詳細設計段階において説明する。



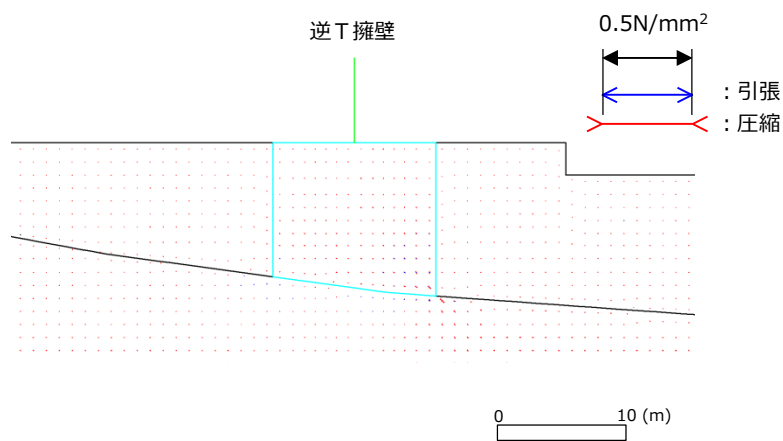
第5図 防波壁（逆T擁壁）の解析モデル図（例）

動的FEM解析（有効応力解析）の最大傾斜発生時の変形図及び主応力図を第6図、第7図に示す。最大傾斜発生時には、逆T擁壁（鉄筋コンクリート造）の直下の改良地盤部及び周辺地盤に大きな変形は生じておらず、防波壁（逆T擁壁）の基礎地盤の傾斜は、第6表に示す結果となり、動的FEM解析（全応力解析）と比較して小さい。



※動的 F E M解析（全応力解析）の変形図に合わせ、左右反転している。

第 6 図 最大傾斜発生時の変形図  
（動的 F E M解析（有効応力解析））



※動的 F E M解析（全応力解析）の主応力図に合わせ、左右反転している。

第 7 図 最大傾斜発生時の主応力図  
（動的 F E M解析（有効応力解析））

第 6 表 地震動による最大傾斜

	有効応力解析
地震動による傾斜	1/446



地盤の安定解析で用いた動的FEM解析（全応力解析）と防波壁の構造成立性で用いた動的FEM解析（有効応力解析）の結果を比較すると、動的FEM解析（全応力解析）の逆T擁壁（鉄筋コンクリート造）と改良地盤のモデル化において、両者の節点を共有させていることにより、基礎底面の傾斜が大きくなっていると判断した。

また、防波壁基礎底面の傾斜は躯体の地震時加速度による影響が大きいと判断した。

防波壁（逆T擁壁）の傾斜による構造成立性検討に当たっては、地殻変動による傾斜が地震動による最大傾斜と比較して十分小さいことを踏まえ、地震時の地盤の安定解析で用いた動的FEM解析（全応力解析）及び防波壁の構造成立性で用いた動的FEM解析（有効応力解析）の結果を確認する。

詳細設計段階においては、現実的な応答を示す動的FEM解析（有効応力解析）を用いて傾斜の影響を確認する。

(2) 構造成立性検討方法及び構造成立性検討結果

a. 逆T擁壁（鉄筋コンクリート造）の損傷

(a) 構造成立性検討方法

動的FEM解析における逆T擁壁（鉄筋コンクリート造）の発生応力度が、許容応力度以下であることを確認する。

(b) 構造成立性検討結果

動的FEM解析（全応力解析）の結果を第7表に示す。逆T擁壁（鉄筋コンクリート造）基礎底面に最大傾斜が発生した時刻における部材照査の結果、当該時刻において逆T擁壁（鉄筋コンクリート造）に発生する曲げ・せん断応力度は短期許容応力度以下であることを確認した。

第7表 短期許容応力に対する照査（全応力解析）

評価部位	照査項目	地震動	発生応力 (N/mm <sup>2</sup> )		許容応力 (N/mm <sup>2</sup> )		安全率 (許容応力/発生応力)	判定 (> 1.0)
壁	曲げ・軸力	S s-D	曲げ圧縮応力度 $\sigma_c$	2.4	許容曲げ圧縮応力度 $\sigma_{ca}$	18	7.5	OK
			引張応力度 $\sigma_s$	117	許容引張応力度 $\sigma_{sa}$	323	2.76	OK
	せん断		せん断応力度 $\tau$	0.11	許容せん断応力度 $\tau_a$	0.9	8.18	OK
底版	曲げ・軸力		曲げ圧縮応力度 $\sigma_c$	2.7	許容曲げ圧縮応力度 $\sigma_{ca}$	18	6.67	OK
			引張応力度 $\sigma_s$	95	許容引張応力度 $\sigma_{sa}$	323	3.4	OK
	せん断		せん断応力度 $\tau$	0.27	許容せん断応力度 $\tau_a$	0.9	3.33	OK

添付資料 25「防波壁の設計方針及び構造成立性評価結果について」で確認した動的FEM解析（有効応力解析）による結果を以下に示す。

逆T擁壁（鉄筋コンクリート造）の部材照査（曲げ，せん断照査の最小安全率時刻）の結果，逆T擁壁（鉄筋コンクリート造）に発生する曲げ・せん断応力度は短期許容応力度以下であることを確認した。

第8表 短期許容応力に対する照査（有効応力解析）

評価部位	照査項目	地震動	時刻 (s)	発生応力 (N/mm <sup>2</sup> )		許容応力 (N/mm <sup>2</sup> )		最小安全率 (許容応力/発生応力)	判定 (> 1.0)
壁	曲げ・軸力	S s-D	9.17	曲げ圧縮応力度 $\sigma_c$	5.6	許容曲げ圧縮応力度 $\sigma_{ca}$	18	3.21	OK
			9.17	引張応力度 $\sigma_s$	242.3	許容引張応力度 $\sigma_{sa}$	323	1.33	OK
	せん断		23.91	せん断応力度 $\tau$	0.32	許容せん断応力度 $\tau_a$	0.9	2.81	OK
底版	曲げ・軸力		9.17	曲げ圧縮応力度 $\sigma_c$	5.4	許容曲げ圧縮応力度 $\sigma_{ca}$	18	3.33	OK
			9.17	引張応力度 $\sigma_s$	262.8	許容引張応力度 $\sigma_{sa}$	323	1.22	OK
	せん断		23.91	せん断応力度 $\tau$	0.46	許容せん断応力度 $\tau_a$	0.9	1.95	OK

b. 隣接する躯体同士の支圧による損傷

(a) 構造成立性検討方法

防波壁（逆T擁壁）の傾斜による構造成立性検討に当たっては，隣接する躯体同士は同位相で挙動すると考えているが，隣接する躯体同士が衝突すると仮定し，動的FEM解析（全応力解析）の躯体加速度から躯体間に作用する支圧応力度を算定し，許容応力度以下であることを確認する。また，動的FEM解析（有効応力解析）においても同様の確認を行う。

- ・逆T擁壁（鉄筋コンクリート造）に働く慣性力  $F$

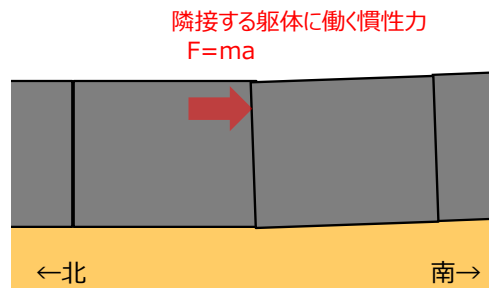
$$F = ma$$

$m$  : 逆T擁壁の質量  
 $a$  : 地震時加速度

- ・逆T擁壁（鉄筋コンクリート造）側の支圧応力度  $\sigma_{cv}$

$$\sigma_{cv} = F \div \sum b_i \cdot h_i \leq \sigma_{ca}$$

$b_i$  : 防波壁の幅  
 $h_i$  : 防波壁の高さ  
 $\sigma_{ca}$  : 支圧応力度の許容応力度



第8図 逆T擁壁（鉄筋コンクリート造）の相互の支圧イメージ図

(b) 構造成立性検討結果

地盤の安定解析に用いた動的FEM解析（全応力解析）及び防波壁の構造成立性に用いた動的FEM解析（有効応力解析）における逆T擁壁（鉄筋コンクリート造）に作用する支圧応力度は許容応力度以下であることを確認した。

第9表 短期許容応力度に対する照査（支圧）

評価部位	照査項目	地震動	支圧応力度 (N/mm <sup>2</sup> )		支圧応力度の許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )		安全率 (許容応力/発生応力)	判定 (> 1.0)
			全応力解析	0.81	圧縮応力度 $\sigma_{ca}$	10.8		
逆T擁壁 (鉄筋コンクリート造)	支圧	S s-D	全応力解析	0.81	圧縮応力度 $\sigma_{ca}$	10.8	13.3	OK
			有効応力解析	0.81	圧縮応力度 $\sigma_{ca}$	10.8	13.3	OK

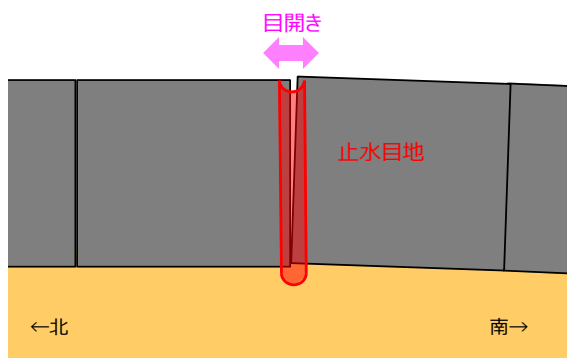
c. 防波壁間の変形による止水目地の損傷

(a) 構造成立性検討方法

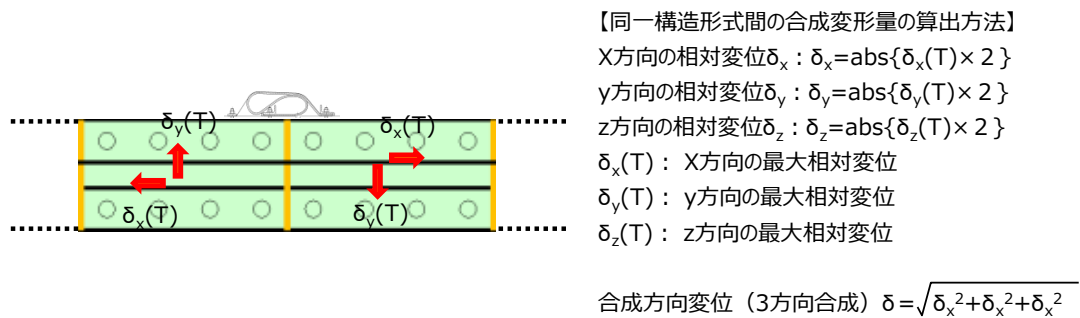
防波壁（逆T擁壁）の傾斜による構造成立性検討にあたっては、隣接する躯体同士は同位相で挙動すると考えているが、保守的に逆位相になった場合の変形量を算定し、先行炉で審査実績を有する止水目地で対応可能であることを確認する。

止水目地の変形量は、法線直交方向の動的FEM解析（全応力解析、有効応力解析）における最大傾斜から算出された防波壁（逆T擁壁）天端の相対変位と、保守的に法線方向においても同傾斜とした場合の相対変位を基に合成変形量を算出した。

止水目地の仕様については、現時点では、先行炉で審査実績を有する止水目地（2000mm）に余裕を考慮して1000mmとする。



第9図 逆T擁壁（鉄筋コンクリート造）の目開き（法線方向）イメージ図



第10図 逆T擁壁（鉄筋コンクリート造）の相対変位 概念図

(b) 構造成立性検討結果

地盤の安定解析に用いた動的FEM解析（全応力解析）及び防波壁の構造成立性に用いた動的FEM解析（有効応力解析）における止水目地の変形量は先行炉で審査実績を有する止水目地で対応可能であることを確認した。

第10表 止水目地の許容変形量に対する照査

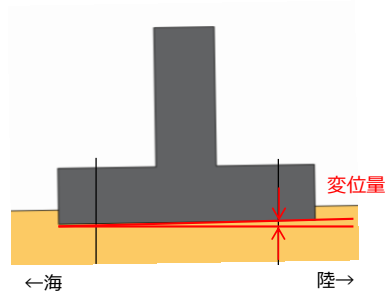
評価部位	照査項目	地震動	変形量 (mm)		止水目地の仕様 (mm)		安全率 (止水目地/変形)	判定 (> 1.0)
			全応力解析	有効応力解析	変形量	変形量		
止水目地	変形	S s-D	全応力解析	240	変形量	1000	4.17	OK
			有効応力解析	90	変形量	1000	11.11	OK

d. グラウンドアンカーの破損

(a) 構造成立性検討方法

防波壁（逆T擁壁）はグラウンドアンカーを設置するため、基礎底面の傾斜による顕著な変位は生じないと考えているが、動的FEM解析では、グラウンドアンカーを考慮していないことから、基礎底面の傾斜によるグラウンドアンカーの変位量は、動的FEM解析（全応力解析、有効応力解析）における初期位置からの変位量を算出し、グラウンドアンカーの弾性変位量以下であることを確認する。

グラウンドアンカー設計・施工基準、同解説（平成24年5月）により算出したグラウンドアンカーの弾性変位量 $u$ は、グラウンドアンカーの仕様から約133mmとなる。



第 1 1 図 逆T擁壁（鉄筋コンクリート造）の傾斜イメージ図

- ・ グラウンドアンカー弾性変位置量  $u$

$$u = \frac{T \cdot l_{sf}}{A_s \cdot E_s} \quad \text{グラウンドアンカー設計・施工基準, 同解説 (平成24年5月)}$$

第 1 1 表 グラウンドアンカーの緒元及び弾性変位置量

項目	記号	備考
計画最大荷重	$T$	2,400kN (テンドン降伏荷重)
テンドン自由長	$l_{sf}$	16,220mm
テンドン弾性係数	$E_s$	191kN/mm <sup>2</sup>
テンドン断面積	$A_s$	1,525.7mm <sup>2</sup>
弾性変位置量	$u$	133mm

(b) 構造成立性検討結果

地盤の安定解析に用いた動的FEM解析（全応力解析）及び防波壁の構造成立性に用いた動的FEM解析（有効応力解析）における最大傾斜時の変位置量は弾性変位置量以下であることを確認した。

第 1 2 表 グラウンドアンカーの破損に対する照査

評価部位	照査項目	地震動	変位置量 (mm)		弾性変位置量 (mm)		安全率 (弾性変位置 / 最大変位置)	判定 (> 1.0)
			全応力解析	有効応力解析	全応力解析	有効応力解析		
グラウンドアンカー	変位	S s - D	全応力解析	23	弾性変位置量	133	5.78	OK
			有効応力解析	18	弾性変位置量	133	7.38	OK

(3) 詳細設計段階での検討方針

防波壁（逆T擁壁）における要求機能を喪失する事象における詳細設計段階での検討方針を第13表に示す。

第13表 詳細設計段階での検討方針

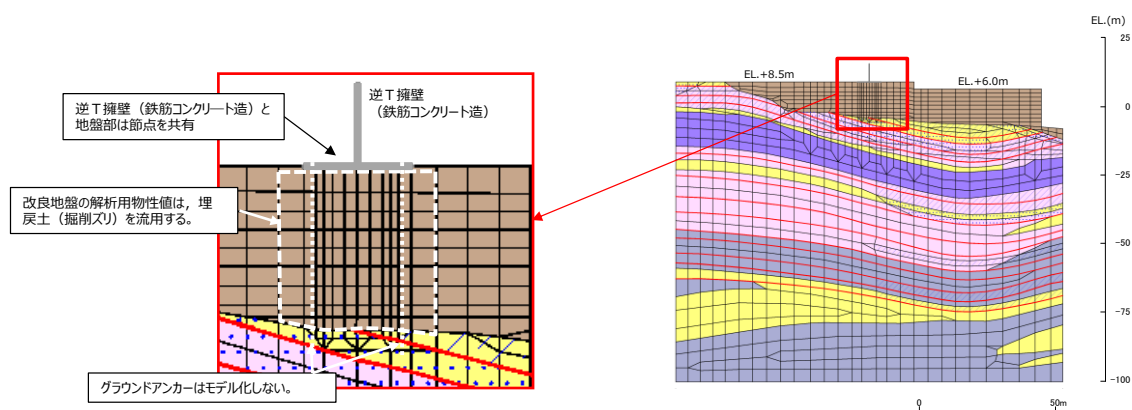
施設	部位の名称	要求機能を喪失する事象	照査項目	詳細設計段階での検討方針
防波壁 (逆T擁壁)	逆T擁壁 (鉄筋コンクリート造)	<ul style="list-style-type: none"> <li>地盤が傾斜することにより曲げ・せん断破壊し、遮水性を喪失する。</li> </ul>	曲げ・せん断	<ul style="list-style-type: none"> <li>動的FEM解析（有効応力解析）を行い、逆T擁壁（鉄筋コンクリート造）が損傷しないことを確認する。</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>地盤が傾斜することにより逆T擁壁（鉄筋コンクリート造）の隣接する躯体同士が相互に支圧することにより破壊し、遮水性を喪失する。</li> </ul>	曲げ・せん断	<ul style="list-style-type: none"> <li>防波壁（逆T擁壁）の法線方向の動的FEM解析（有効応力解析）を行い、隣接する躯体の挙動を把握し、防波壁が損傷しないことを確認する。</li> <li>逆T擁壁（鉄筋コンクリート造）の支圧応力度が許容応力度を上回る場合、許容限界を満足する対策を講じる。</li> </ul>
	止水目地 (支持部含む)	<ul style="list-style-type: none"> <li>地盤が傾斜することにより隣接する躯体間（法線方向、法線直交方向）の変形により、止水目地の許容変形量を超える変形が生じ、遮水性を喪失する。</li> </ul>	変形 水圧	<ul style="list-style-type: none"> <li>防波壁の法線直交方向及び法線方向の動的FEM解析（有効応力解析）を行い、止水目地の変形量が許容変形量以下であることを確認する。</li> <li>また、止水目地にかかる水圧が許容水圧以下であることを確認する。</li> </ul>
	グラウンドアンカー	<ul style="list-style-type: none"> <li>地盤が傾斜することによりグラウンドアンカーが破損し、逆T擁壁が転倒する。</li> </ul>	引張	<ul style="list-style-type: none"> <li>グラウンドアンカーをモデル化した動的FEM解析（有効応力解析）を行い、設計アンカー力により逆T擁壁（鉄筋コンクリート造）が転倒しないことを確認する。</li> <li>裕度が確保できなくなった場合には、グラウンドアンカーを追加設置する。</li> </ul>

(参考) 地盤改良による強度増加を見込まない動的FEM解析(全応力解析)における基礎底面の傾斜による防波壁(逆T擁壁)の検討

防波壁(逆T擁壁)基礎地盤のすべり安定性評価において、保守的な評価の観点から、地盤改良による強度増加を見込まないこととした場合の動的FEM解析(全応力解析)により基礎底面の傾斜を算定した結果、地震動による最大傾斜が1/59となった。

基礎底面の傾斜が大きくなった要因として、以下の解析条件が挙げられる。

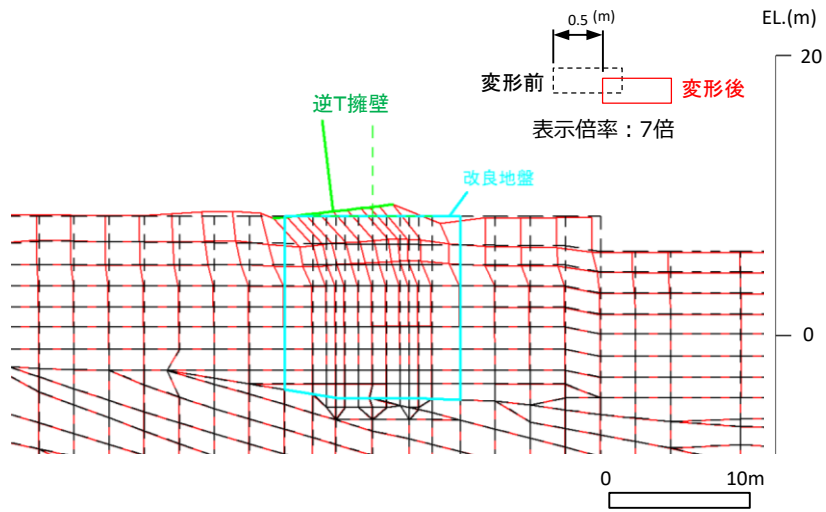
- ・逆T擁壁(鉄筋コンクリート造)直下の改良地盤の解析用物性値については、すべり安定性に大きく寄与する強度特性の増加を見込まないようにするため、安全側に埋戻土(掘削ズリ)の解析用物性値を流用していることから、有効応力解析における剛性の1/2以下となっている。
- ・逆T擁壁(鉄筋コンクリート造)と改良地盤のモデル化において、両者の節点を共有させているため、改良地盤は地震時慣性力による逆T擁壁(鉄筋コンクリート造)の変形の影響を受け易い。
- ・逆T擁壁(鉄筋コンクリート造)及び改良地盤の転倒等を抑止する機能を有するグラウンドアンカーをモデル化していないため、逆T擁壁(鉄筋コンクリート造)及び改良地盤が変形し易い。



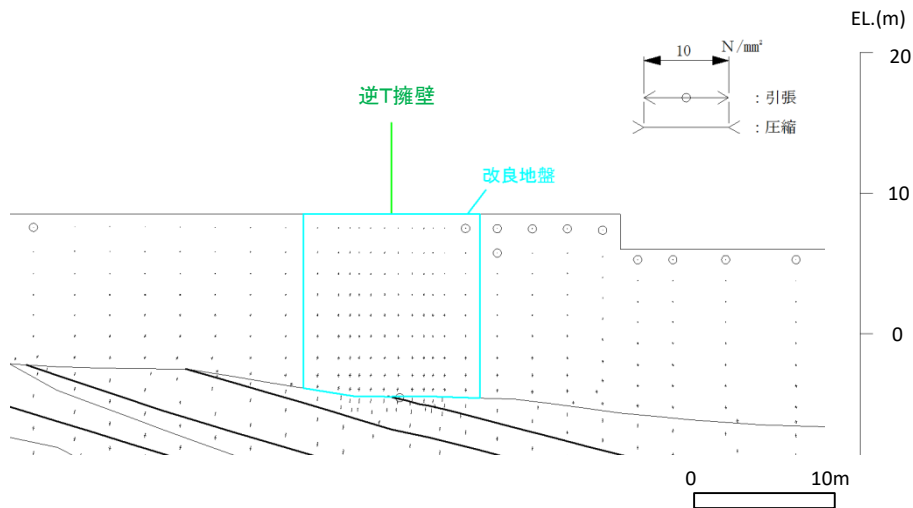
第12図 動的FEM解析(全応力解析)解析モデル図

防波壁(逆T擁壁)基礎底面の地震時傾斜が最大となる時刻( $S_s - D$ , 12.09秒)における変形図及び主応力図を第13図、第14図に示す。最大傾斜発生時には、逆T擁壁(鉄筋コンクリート造)及びその直下の改良地盤部は、大きく変形しているが、その周辺の地盤には、その影響は及んでいない。このことから、第14表に示す基礎底面に生じた傾斜は、逆T擁壁(鉄筋コンクリート造)に作用した地震時慣性力の作用による影響が大きいと評価した。





第13図 最大傾斜発生時の変形図 (S<sub>s</sub>-D, 12.09秒)  
(動的FEM解析 (全応力解析))



第14図 最大傾斜発生時の主応力図 (S<sub>s</sub>-D, 12.09秒)  
(動的FEM解析 (全応力解析))

第14表 地震動による最大傾斜

	全応力解析
地震動による傾斜	1/59

なお、基礎底面の傾斜（1/59）を踏まえた防波壁（逆T擁壁）の傾斜による構造成立性検討を実施したところ、第15表～第18表の結果となり、基礎底面の傾斜（1/59）を考慮しても防波壁は構造成立することを確認した。

第15表 短期許容応力に対する照査（全応力解析）

評価部位	照査項目	地震動	発生応力 (N/mm <sup>2</sup> )		許容応力 (N/mm <sup>2</sup> )		安全率 (許容応力/発生応力)	判定 (> 1.0)
縦壁	曲げ・軸力	S s-D	曲げ圧縮応力度 $\sigma_c$	0.9	許容曲げ圧縮応力度 $\sigma_{ca}$	18	20.00	OK
			引張応力度 $\sigma_s$	30	許容引張応力度 $\sigma_{sa}$	323	10.76	OK
	せん断		せん断応力度 $\tau$	0.04	許容せん断応力度 $\tau_a$	0.9	22.50	OK
底版	曲げ・軸力		曲げ圧縮応力度 $\sigma_c$	3.2	許容曲げ圧縮応力度 $\sigma_{ca}$	18	5.62	OK
			引張応力度 $\sigma_s$	124	許容引張応力度 $\sigma_{sa}$	323	2.60	OK
	せん断		せん断応力度 $\tau$	0.24	許容せん断応力度 $\tau_a$	0.9	3.75	OK

第16表 短期許容応力度に対する照査（支圧）

評価部位	照査項目	地震動	支圧応力度 (N/mm <sup>2</sup> )		支圧応力度の許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )		安全率 (許容応力/発生応力)	判定 (> 1.0)
逆T擁壁 (鉄筋コンクリート造)	支圧	S s-D	全応力解析	0.51	圧縮応力度 $\sigma_{ca}$	10.8	21.1	OK

第17表 止水目地の許容変形量に対する照査

評価部位	照査項目	地震動	変形量 (mm)		止水目地の仕様 (mm)		安全率 (止水目地/変形)	判定 (> 1.0)
止水目地	変形	S s-D	全応力解析	640	変形量	1000	1.56	OK

第18表 グラウンドアンカーの破損に対する照査

評価部位	照査項目	地震動	変位量 (mm)		弾性変位量 (mm)		安全率 (弾性変位/最大変位)	判定 (> 1.0)
グラウンドアンカー	変位	S s-D	全応力解析	102	弾性変位量	133	1.30	OK

島根原子力発電所 2 号炉  
運用，手順説明  
津波による損傷の防止



設計基準に係る運用対策等

設置許可基準対象条文	対象項目	区分	運用対策等
第5条 津波	防波扉・水密扉閉止	運用・手順	<ul style="list-style-type: none"> <li>開放後の確実な閉止操作，中央制御室における閉止状態の確認及び閉止されていない状態が確認された場合の閉止操作の手順等を定める。</li> <li>運転員による閉止状態確認，閉止操作</li> </ul>
	循環水ポンプ停止	体制 保守・点検 教育・訓練 運用・手順 体制 保守・点検 教育・訓練	<ul style="list-style-type: none"> <li>—</li> <li>運用・手順に関する教育</li> <li>大津波警報発令時に循環水ポンプを停止する手順等を定める。</li> <li>運転員による閉止状態確認，閉止操作</li> <li>—</li> <li>運用・手順に関する教育</li> <li>燃料等輸送船等に関し，津波警報等が発令された場合において，荷役作業を中断し，陸側作業員及び輸送物を退避させるとともに，緊急離岸する船側と退避状況に関する情報連絡を行う手順等を定める。また，入構する前までに，津波時に漂流物とならない係留方法を策定する手順等を定める。</li> <li>担当箇所—船会社</li> <li>—</li> <li>運用・手順に関する教育</li> </ul>
	燃料等輸送船等の緊急退避等	運用・手順	<ul style="list-style-type: none"> <li>—</li> <li>運用・手順に関する教育</li> </ul>
	荷揚場資機材・車両の緊急退避	運用・手順	<ul style="list-style-type: none"> <li>—</li> <li>運用・手順に関する教育</li> <li>荷揚場の資機材・車両に関し，津波警報等が発令された場合において，作業を中断し，陸側作業員及び輸送物を退避させるとともに，敷地近傍の震源による地震が発生し，荷揚場の沈下や車両の故障等が生じた場合に，資機材・車両を防波壁内へ退避させる手順等を定める。</li> <li>担当箇所—作業会社</li> <li>—</li> <li>運用・手順に関する教育</li> </ul>
	漂流物の撤去	体制 保守・点検 教育・訓練 運用・手順	<ul style="list-style-type: none"> <li>—</li> <li>運用・手順に関する教育</li> <li>敷地周辺の中長期的に漂流する林木等に関し，巡視点検や必要により撤去する手順等を定める。</li> <li>担当箇所</li> <li>—</li> <li>運用・手順に関する教育</li> </ul>
	津波来襲状況監視	運用・手順 体制 保守・点検 教育・訓練	<ul style="list-style-type: none"> <li>—</li> <li>運用・手順に関する教育</li> <li>津波監視カメラ及び取水槽水位計による津波の来襲状況の監視に係る手順等を定める。</li> <li>運転員による監視</li> <li>—</li> <li>運用・手順に関する教育</li> </ul>

島根原子力発電所 2 号炉  
耐津波設計における  
現場確認を要するプロセスについて

## 目次

1. はじめに
2. 遡上解析に関する敷地モデルの作成プロセス
  - 2.1 基準要求
  - 2.2 作成プロセス
  - 2.3 現場確認記録の品質保証上の取り扱い
  - 2.4 今後の対応
3. 耐津波設計に関する入力条件等の設定プロセス
  - 3.1 基準要求
  - 3.2 入力条件等の設定プロセス
  - 3.3 現場確認記録の品質保証上の取り扱い
  - 3.4 今後の対応

## 1. はじめに

耐津波設計を行うに当たって現場確認を要するプロセスとして、遡上解析に必要となる敷地モデルの作成プロセスと耐津波設計の入力条件等（各施設及び設備の配置，寸法等）の設定プロセスの2つがある。現場確認を含めたこれらのプロセスをそれぞれ以下に示す。

## 2. 遡上解析に関する敷地モデルの作成プロセス

### 2.1 基準要求

**【第五条】** 設置許可基準規則第五条（津波による損傷の防止）においては、設計基準対象施設は、その供用中に当該設計基準対象施設に大きな影響を及ぼすおそれがある津波に対して安全機能が損なわれるおそれがないことを要求されている。また、解釈の別記3により、遡上波の到達防止に当たっては、敷地及び敷地周辺の地形とその標高などを考慮して、敷地への遡上の可能性を検討することが規定されている。

当該基準要求を満足するに当たっては、「基準津波及び耐津波設計方針に係る審査ガイド」において、遡上解析上、影響を及ぼすものの考慮が要求されており、具体的には、敷地及び敷地周辺の地形とその標高、伝播経路上の人工構造物を考慮した遡上解析を実施することとしている。

### 2.2 作成プロセス

上記要求事項を満足するために、図1に示すフローに従って敷地モデルを作成した。次の(1)～(4)にプロセスの具体的内容を示す。

#### (1) 敷地及び敷地周辺の地形とその標高のモデル化

敷地及び敷地周辺の地形とその標高について、QMS図書として維持管理されている図面等を確認し、遡上域のメッシュサイズを踏まえて、適切な形状にモデル化を行った。

#### (2) 津波伝播経路上の人工構造物の調査

敷地において津波伝播経路上に存在する人工構造物として抽出すべき対象物をあらかじめ定義し調査を実施した。

具体的な対象物は、耐震性や耐津波性を有する恒設の人工構造物である。その他の津波伝播経路上の人工構造物については、構造物が存在することで津波の影響軽減効果が生じ、遡上範囲を過小に評価する可能性があることから、遡上解析上、保守的な評価となるよう対象外とした。



#### a. 図面等による調査

上記で定義した対象物となる既設の人工構造物については、高さ、面積について、QMS図書として維持管理されている図面等の確認を実施した。また、将来設置される計画がある人工構造物のうち、上記で定義した対象物に該当するものについては、計画図面等により調査を実施した。

海底地形及び陸域の地形については、一般財団法人 日本水路協会の最新の地形データ及び国土地理院発行の最新の地形図からデータを抽出した。発電所敷地内の地形及び構造物のデータについては、建設時の工事竣工図からデータを抽出した。

#### b. 現場調査

上記 a. で実施した図面等による調査において確認した既設の人工構造物については、社員による現場ウォークダウンにより図面等と相違ないことを確認した。また、図面に反映されていない人工構造物について、遡上解析に影響する変更がないことを確認した。

発電所敷地における構造物、地盤などの変位及び変形については、発電所における定期保守業務で特定地点の計測を実施し、有意な変位及び変形がないことを確認した。

### (3) 敷地モデルの作成

(2)で実施した調査結果を踏まえ、敷地モデルの作成を実施した。

### (4) 敷地モデルの管理

遡上解析に係る地形の改変や人工構造物の新設等の変更が生じれば、必要に応じて上記(1)及び(2)に戻り再度モデルを構築する。

## 2.3 現場確認記録の品質保証上の取り扱い

現場確認手順及び確認結果の記録について、品質記録として管理する。

## 2.4 今後の対応

今後、改造工事等により、津波伝播経路上の敷地の状況（地形の改変、人工構造物の新設等）が変更となる場合は、その変更が耐津波設計の評価に与える影響の有無を検討し、必要に応じて遡上解析を再度実施する。

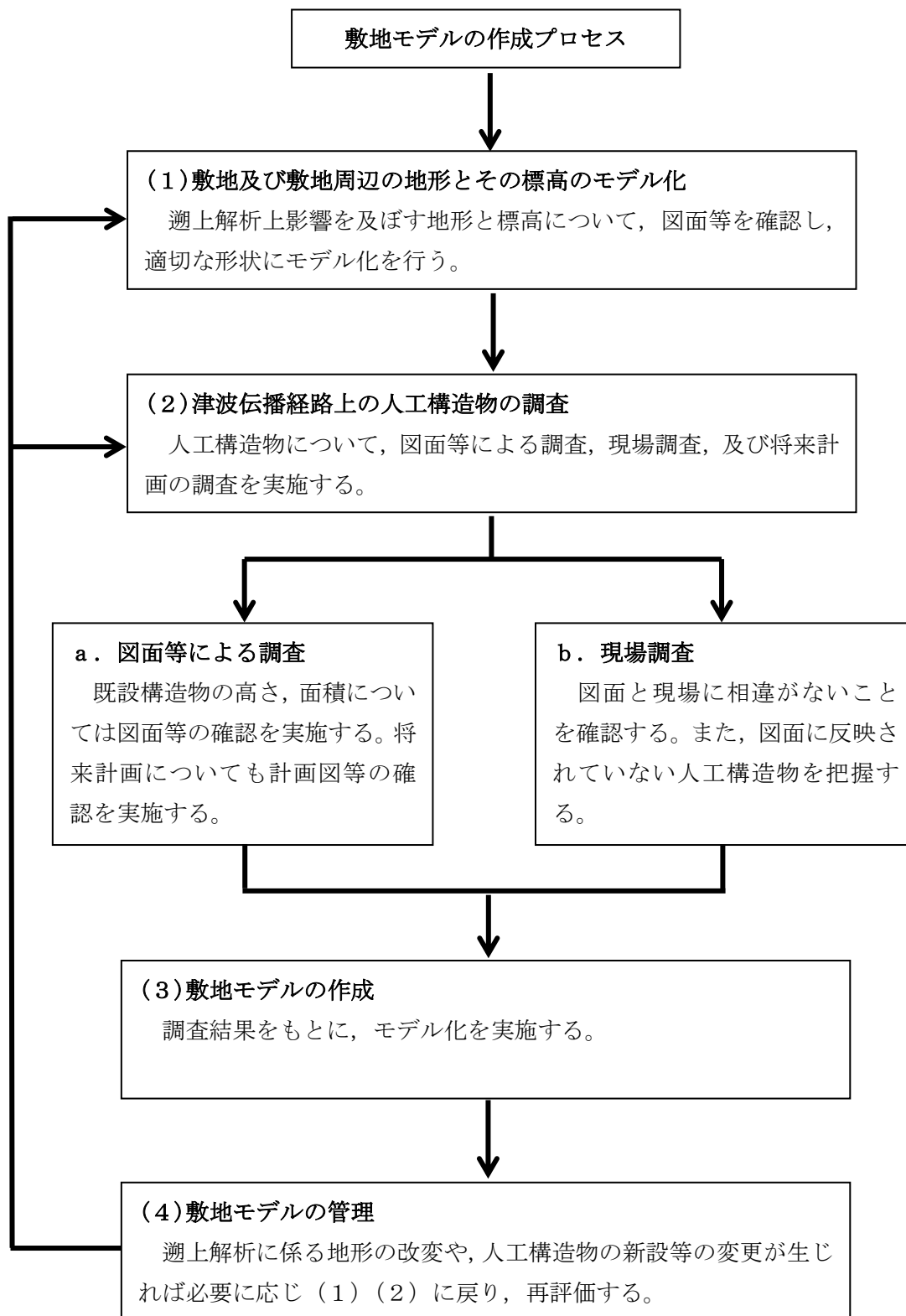


図1 敷地モデル作成に関する現場確認プロセスフロー図

### 3. 耐津波設計に関する入力条件等の設定プロセス

#### 3.1 基準要求

【第五条】設置許可基準規則第五条（津波による損傷の防止）においては、設計基準対象施設は、その供用中に当該設計基準対象施設に大きな影響を及ぼすおそれがある津波に対して安全機能が損なわれるおそれがないことを要求されている。また、解釈の別記3及び「基準津波及び耐津波設計方針に係る審査ガイド」において、敷地に流入する可能性のある経路の特定、バイパス経路からの流入経路の特定、取水・放水施設や地下部等における漏水の可能性の検討及び浸水想定範囲の境界における浸水想定範囲外に流出する可能性のある経路の特定、浸水防護重点化範囲に流入する可能性のある経路の特定及び漂流物の可能性の検討を行うこととしている。

【第四十条】設置許可基準規則第四十条（津波による損傷の防止）においては、重大事故等対処施設は、基準津波に対して重大事故等に対処するために必要な機能が損なわれるおそれがないことを要求しており、解釈は同解釈の別記3に準じるとしている。

#### 3.2 入力条件等の設定プロセス

上記要求事項を満足するために、図2に示すフローに従って耐津波設計において必要となる入力条件等を設定した。次の(1)～(3)にプロセスの具体的内容を示す。なお、本資料において、設計基準対象施設の津波防護対象設備と重大事故等対処施設の津波防護対象設備を併せて、「津波防護対象設備」とする。

##### (1) 入力条件等の設定・確認

耐津波設計において必要となる入力条件等は、下記 a. 及び b. のとおり設定し、確認する。

##### a. 図面等による入力条件等の調査及び設定

耐津波設計に係る各施設・設備について、図面等を用いて設置個所・寸法等を確認し、入力条件等を設定する。

##### b. 現場調査

a. で実施した図面等による調査により設定した入力条件等について、現場ウォークダウンにより現場と相違ないことを確認する。

各施設・設備等における入力条件等の設定及び確認内容の詳細を以下に記載する。

#### 1) 津波防護対象設備について

設置許可基準規則第五条及び第四十条においては、設計基準対象施設の安全機能及び重大事故等対処施設の重大事故等に対処するために必要な機能が損なわれるおそれがないことが要求されている。そのため、津波防護対象設備を設定し、想定している建物及び区画以外に津波防護対象設備が設置されていないことを確認する。

#### 2) 外郭防護 1（遡上波の地上部からの到達及び流入防止）について

津波防護対象設備を内包する建物及び区画は、基準津波による遡上波が到達しない十分高い場所に設置する、または、津波防護施設及び浸水防止設備を設置することで流入を防止することが要求されている。そのため、各施設・設備が設置されている敷地高さを調査し、基準津波による遡上波が到達しない十分高い場所に設置されていること又は津波防護施設及び浸水防止設備により流入を防止されていることを確認する。また、流入防止の対策が必要となる箇所については、現場状況を確認する。

#### 3) 外郭防護 1（取水路，放水路等の経路からの流入防止）について

取水路，放水路等の経路から津波が流入する可能性を検討し特定すること及び必要に応じて流入防止の対策を行うことが要求されている。そのため、海水が流入する可能性のある経路を網羅的に調査し、特定する。また、流入防止の対策が必要となる箇所については、現場状況を確認する。

#### 4) 外郭防護 2（漏水による重要な安全機能への影響防止）について

取水・放水設備に構造上の特徴等を考慮して、取水・放水施設や地下部等における漏水の可能性を検討すること、浸水想定範囲の境界において浸水想定範囲外に流出する可能性のある経路（扉，開口部，貫通口等）を特定すること並びに特定した経路に対して浸水対策を施し、浸水範囲を限定することが要求されている。そのため、漏水の可能性並びに浸水想定範囲の境界における浸水想定範囲外に流出する可能性のある経路を調査し、特定する。浸水想定範囲内に津波防護対象設備がある場合は、その重要な安全機能又は重大事故等に対処する機能に影響を与える閾値（機能喪失高さ）を調査し、設定する。また、浸水対策が必要となる箇所については、現場状況を確認する。

#### 5) 内郭防護（重要な安全機能を有する施設の隔離）について

浸水防護重点化範囲に流入する可能性のある経路（扉，開口部，貫通口等）を特定し、それらに対して流入防止の対策を施すことが要求されている。そのため、流入する可能性のある経路を特定し、流入防止の対策が必要な箇所の現場状況を確認する。

#### 6) 漂流物について

基準津波に伴う取水口付近の漂流物については、遡上解析結果における取水口付近を含む敷地前面及び遡上域の寄せ波・引き波の方向及び速度の変化を分析した上で、漂流物の可能性を検討することが要求されている。そのため、遡上解析を踏まえた上で漂流物調査を網羅的に行い、取水性に影響を与えないことを確認する。

#### (2) 耐津波設計の成立性の確認

上記(1)で実施した設定・確認結果を踏まえ、耐津波設計の成立性を確認する。また、新たに必要となる流入防止の対策がある場合は、実施する。

#### (3) 入力条件等の管理

設備改造等により耐津波設計の入力条件等が変更となる可能性がある場合は、必要に応じ上記(1)に戻り、再評価する。

### 3.3 現場確認記録の品質保証上の取り扱い

現場確認手順及び確認結果の記録について、品質記録として管理する。

### 3.4 今後の対応

今後、改造工事等により、耐津波設計に用いる入力条件等の変更が生じた場合、その変更が耐津波設計の評価に与える影響の有無を検討し、必要に応じ入力条件等の再設定・再確認を実施する。

### (1) 入力条件等の設定・確認

耐津波設計において必要となる入力条件等を下記 a. 及び b. のとおり設定し、確認する。設定・確認内容の詳細は下記 1)～6) のとおりとする。

#### a. 図面等による入力条件等の調査及び設定

耐津波設計に係る各施設・設備について、設置箇所・寸法等を図面等で確認し、入力条件等を設定する。



#### b. 現場確認

各施設・設備について、設置箇所・寸法等が図面等と現場で相違ないことを確認する。

### 1) 津波防護対象設備

津波防護対象設備が、想定している建物及び区画以外に設置されていないことを確認する。

### 2) 外郭防護 1 (地上部からの流入防止)

津波防護対象設備を設置している建物及び区画が、基準津波による遡上波が到達しない敷地高さに設置されていること又は津波防護施設及び浸水防止設備を設置することにより流入の防止が図られていることを確認する。また、流入防止の対策が必要となる箇所の現場状況を確認する。

### 3) 外郭防護 1 (取水路・放水路等からの流入防止)

取水路、放水路等の経路から津波が流入する可能性を検討し、流入経路を特定する。また、流入防止の対策が必要となる箇所の現場状況を確認する。

### 4) 外郭防護 2 (漏水による重要な安全機能への影響防止)

取水・放水施設や地下部等における漏水の可能性を検討する。また、浸水想定範囲の境界において浸水想定範囲外に流出する可能性のある経路(扉、開口部、貫通口等)を特定する。浸水想定範囲内に津波防護対象設備がある場合は、その必要な機能に影響する閾値を設定する。浸水対策が必要となる箇所については、現場状況を確認する。

### 5) 内郭防護

浸水防護重点化範囲に流入する可能性のある経路(扉、開口部、貫通口等)を特定する。また、流入防止の対策が必要となる箇所の現場状況を確認する。

### 6) 漂流物

遡上解析の結果を踏まえて、漂流物となる可能性のある施設・設備等を特定し、取水性に影響

### (2) 耐津波設計の成立性の確認

上記(1)の設定・確認結果をもとに、耐津波設計の成立性に問題がないことを確認する。

必要に応じ、新たに流入防止の対策を実施

### (3) 入力条件等の管理

設備改造等により耐津波設計の入力条件等が変更となる可能性がある場合は、必要に応じ上記(1)に戻り、再評価する。

図2 耐津波設計の入力条件等の現場確認プロセスフロー図