

#### 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。

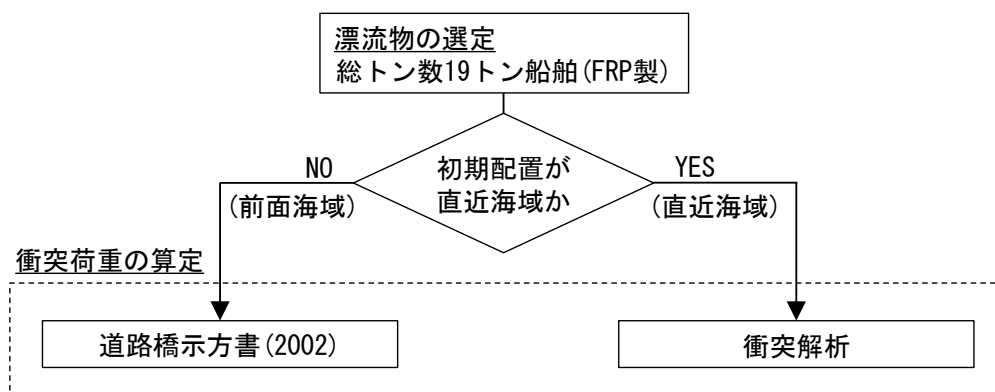


図 4.5.6-1 漂流物による衝突荷重の算定フロー

(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。

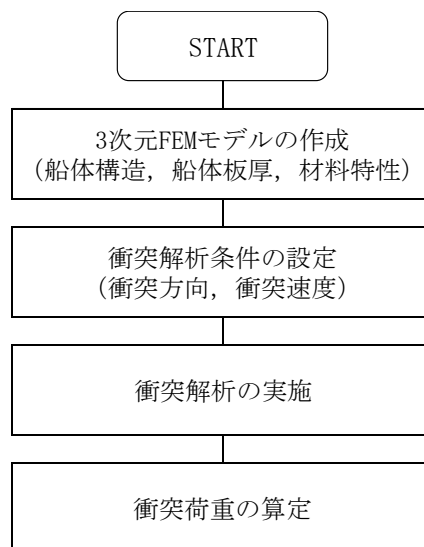


図 4.5.6-2 衝突解析による衝突荷重の算定フロー



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。

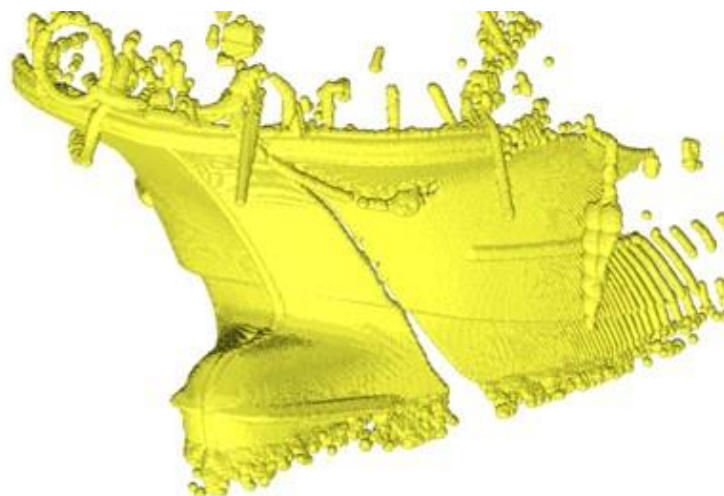
船舶は海水からの流れの抵抗を低減するために、船体の船首から船尾に向けて流線形の複雑な形状となっている。そこで、船舶外形の再現精度を向上させるために、対象船舶に対する巻尺等による測定に加え、3Dレーザースキャナによる3次元測定を行い（図4.5.6-3）、船体外形の3次元点群データを取得し、3次元FEMモデルの作成に反映した（図4.5.6-4）。

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の船体寸法、船体の板厚、FRP部材の材料特性については、既往の文献を基に設定する。

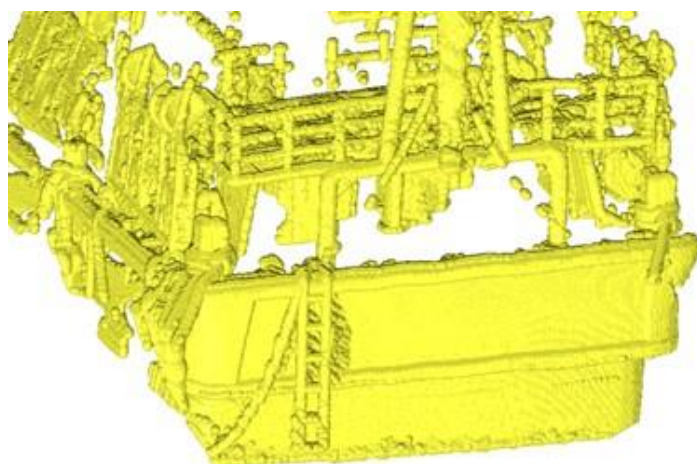


図 4.5.6-3 3Dレーザースキャナによる計測状況

【船首】



【船尾】



【船側】

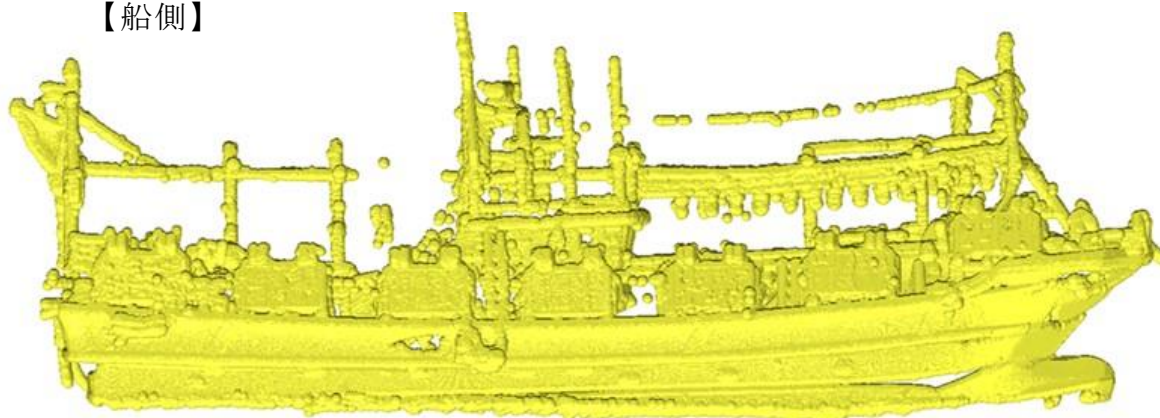


図 4.5.6-4 3Dレーザースキャナによる計測結果（例）

(a) 船体構造

船舶の3次元FEMモデルの作成にあたり、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

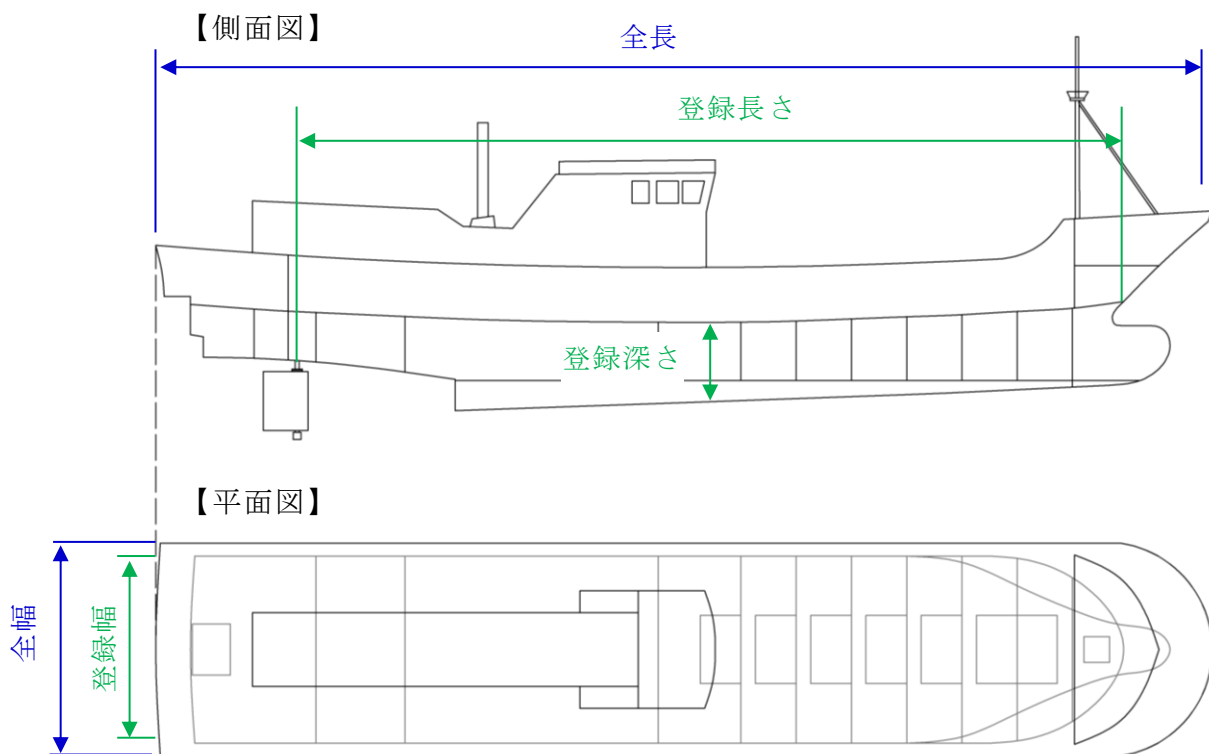
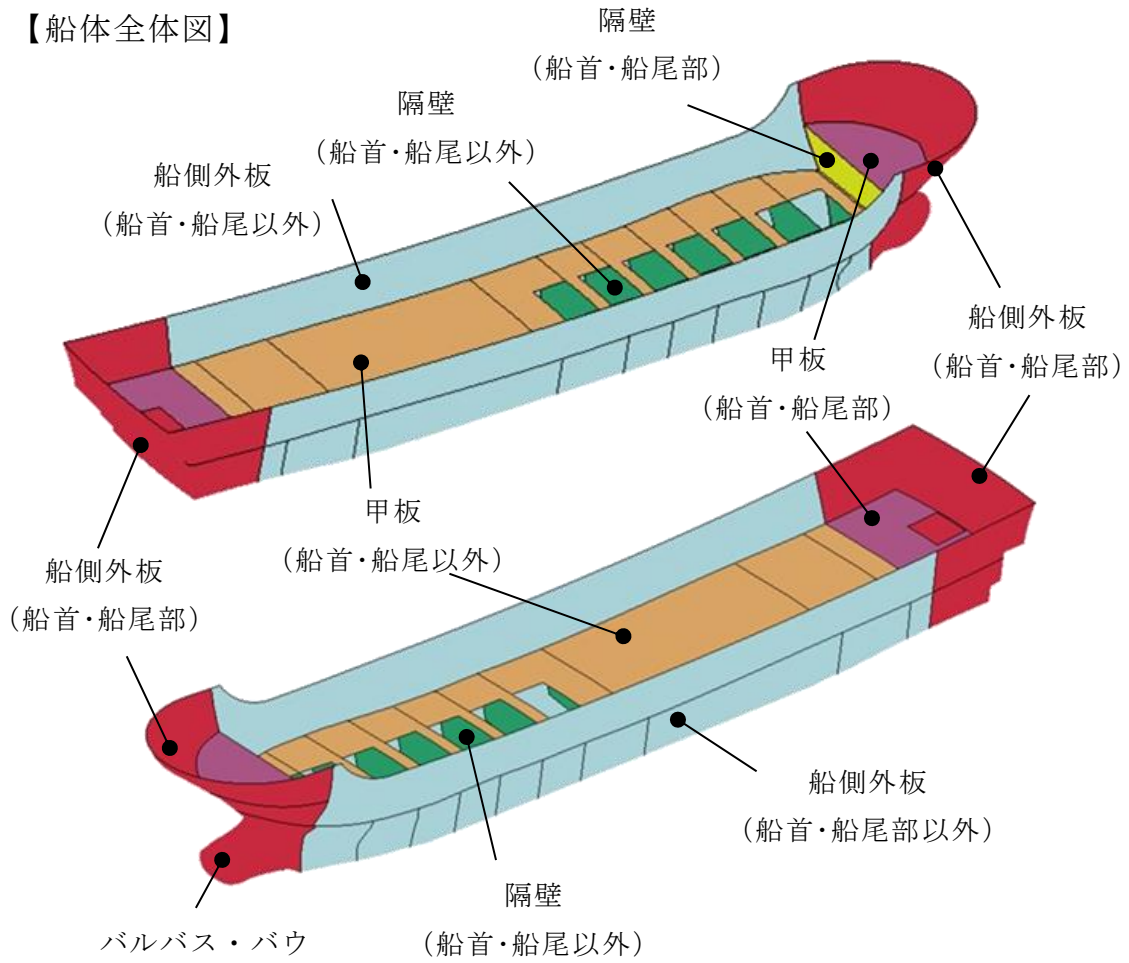
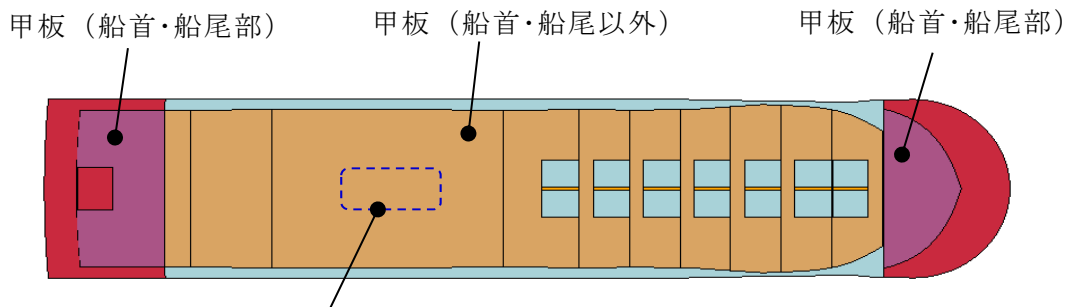


図 4.5.6-5 対象船舶の側面図及び平面図

【船体全体図】



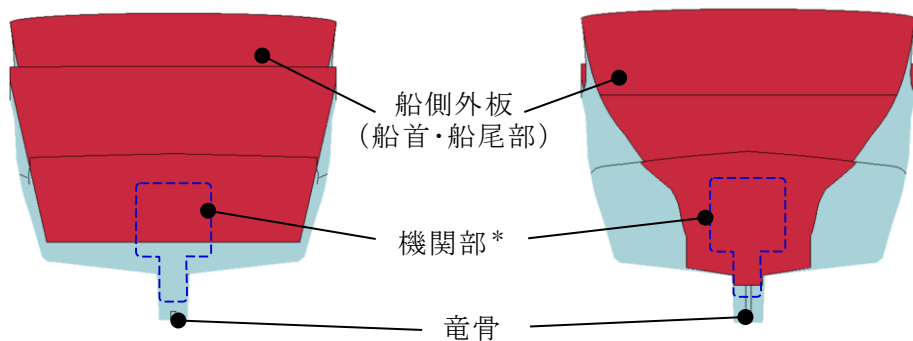
【船体平面（上面）】



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

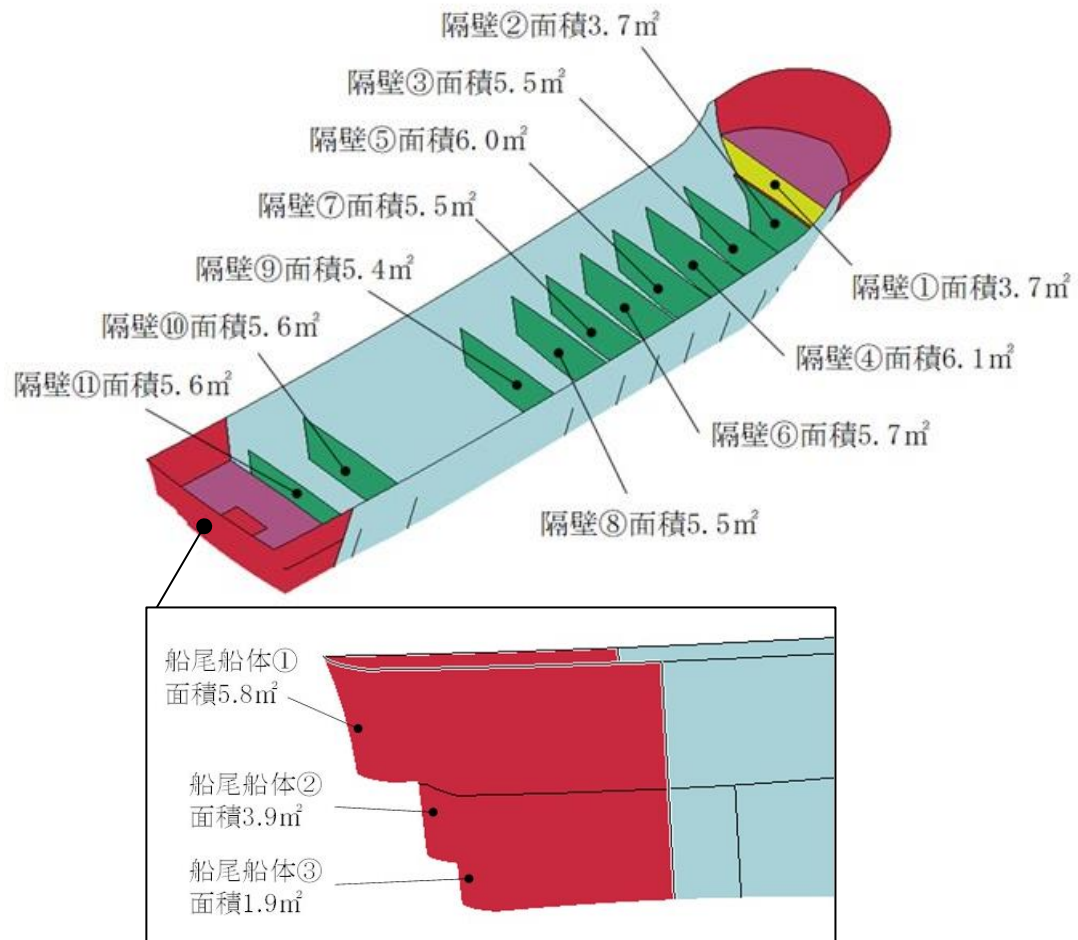


図 4.5.6-7 隔壁及び船尾の船体面積



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モデルの作成にあたり、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モデルの作成にあたり、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		引用文献等に基づいた設定・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)」 <b>【板厚算定式】</b> $t = 15 \times s \times (d + 0.026 \times L)^{1/2} \times 0.85$ 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)」 <b>【板厚算定式】</b> $t = 15 \times s \times (d + 0.026 \times L)^{1/2}$ 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

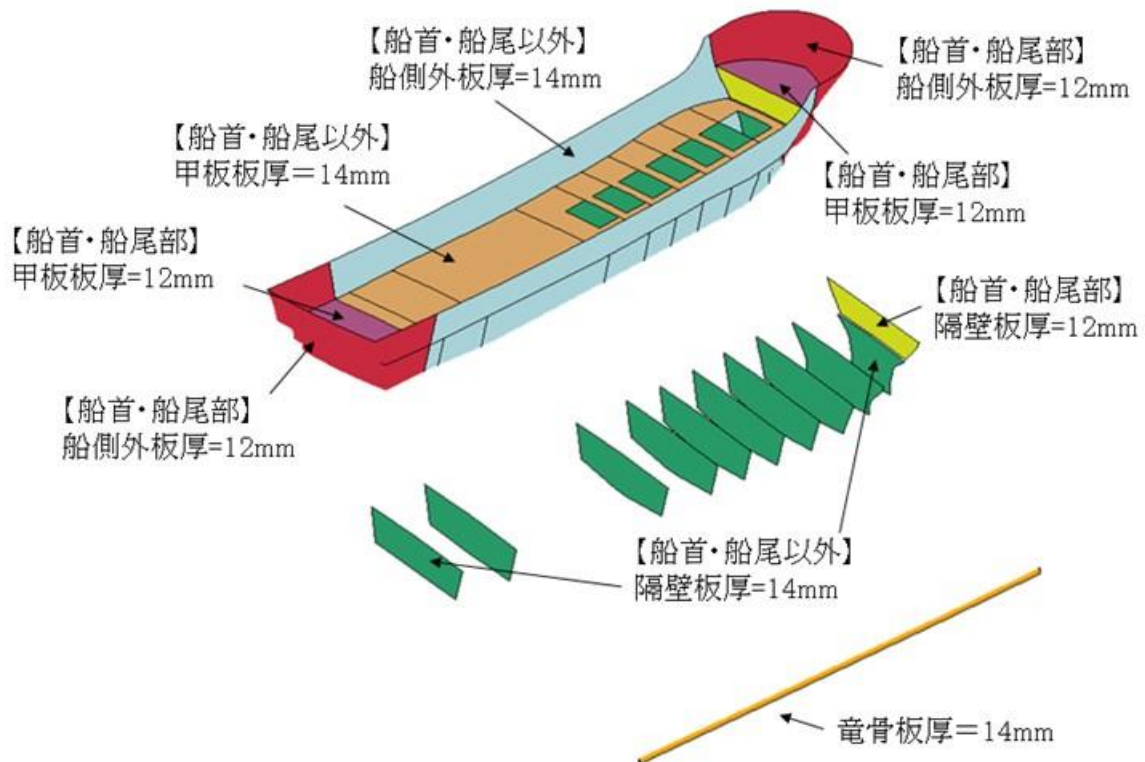


図 4.5.6-10 船体板厚の設定

(d) 材料特性

F R P の材料特性の設定にあたり、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 <sup>3</sup>	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。

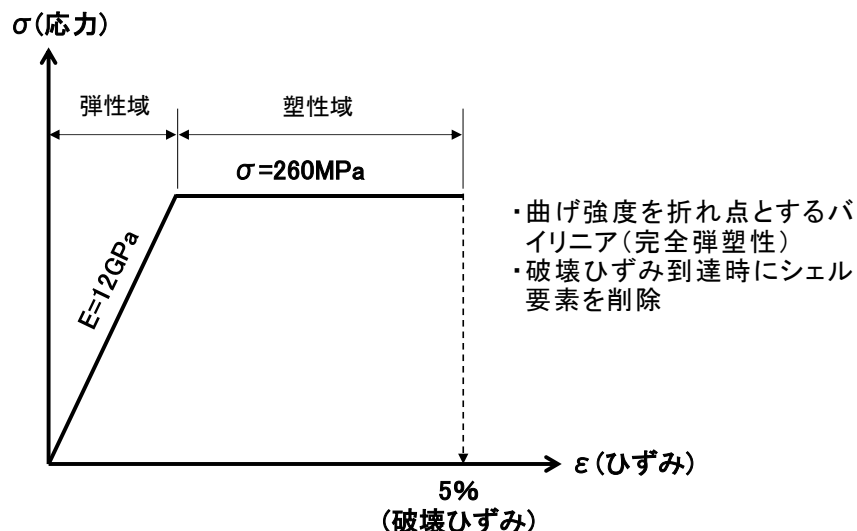


図 4.5.6-11 応力-ひずみ関係

(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 <sup>3</sup> 】	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。

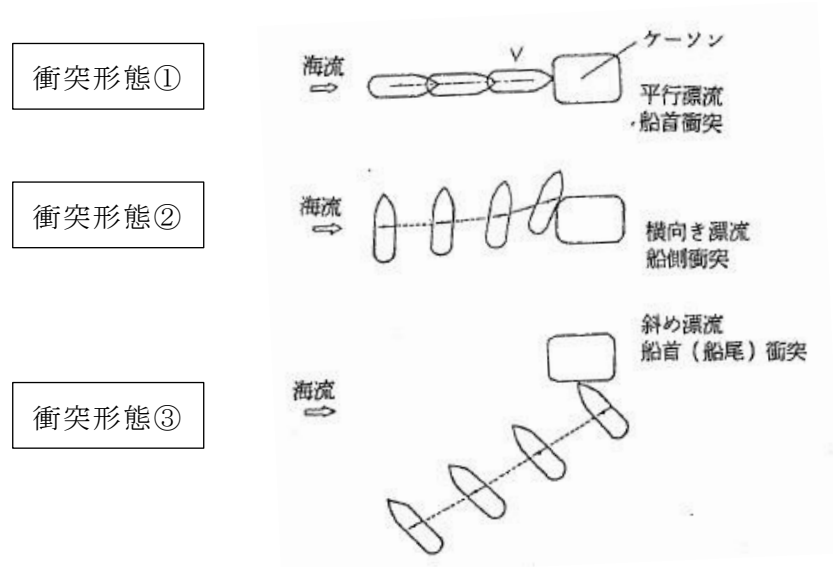


図 4.5.6-12 漂流による衝突形態（「土木学会（1994）」に一部加筆）

「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。

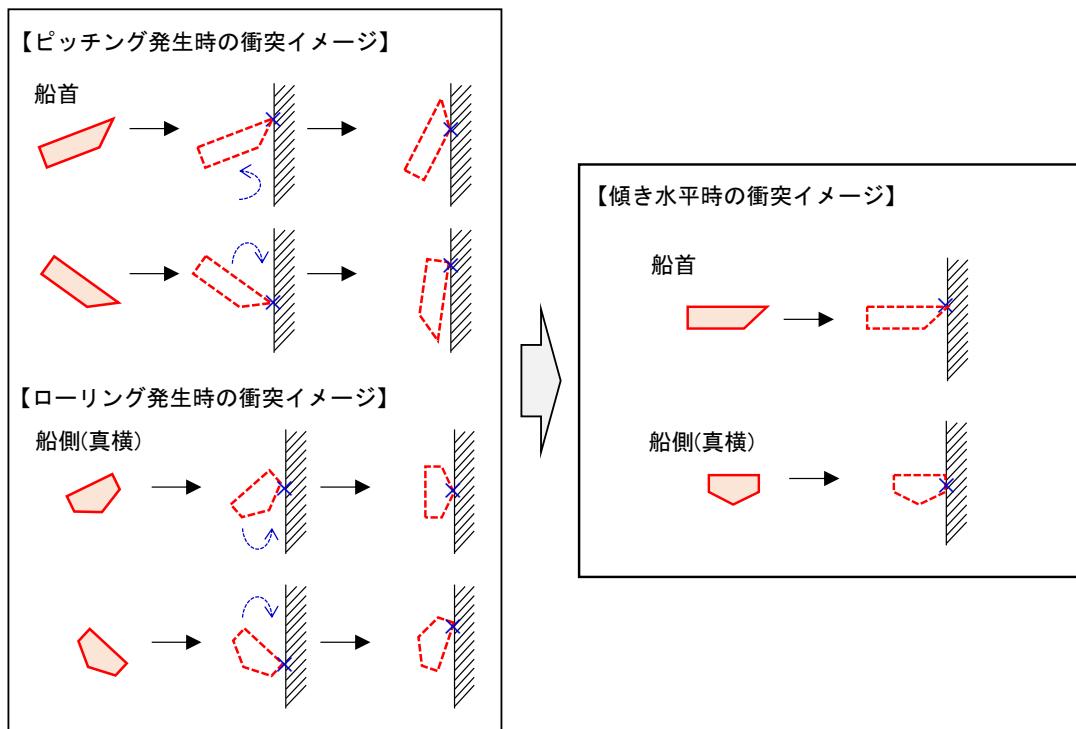


図 4.5.6-13 鉛直断面方向の傾きに対する衝突イメージ

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	

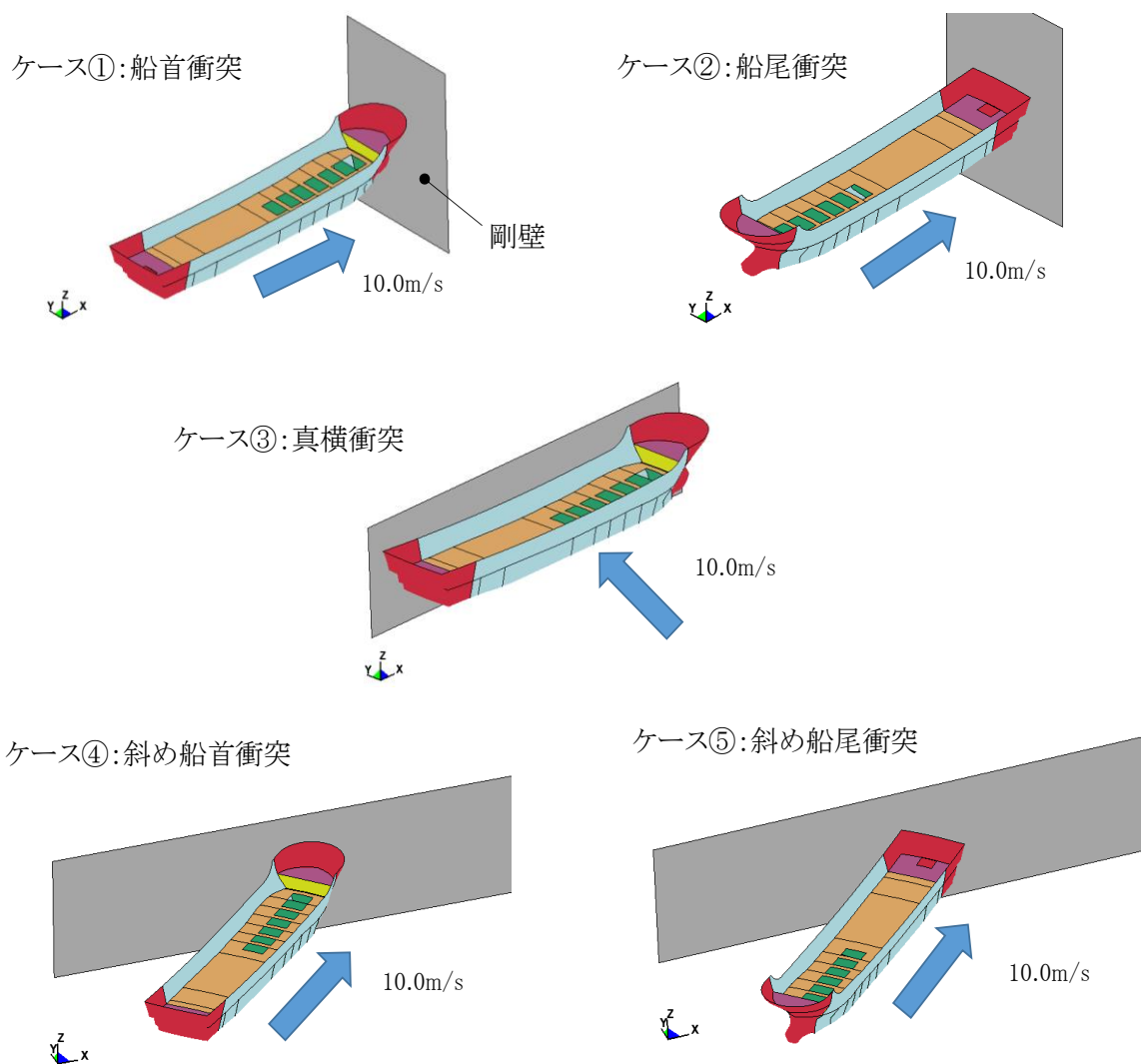


図 4.5.6-14 衝突解析の解析ケースと衝突イメージ



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あたっては、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あ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あたりの衝突荷重の時刻歴, 図 4.5.6-18 に剛壁 1 mあ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あ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あ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あ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。

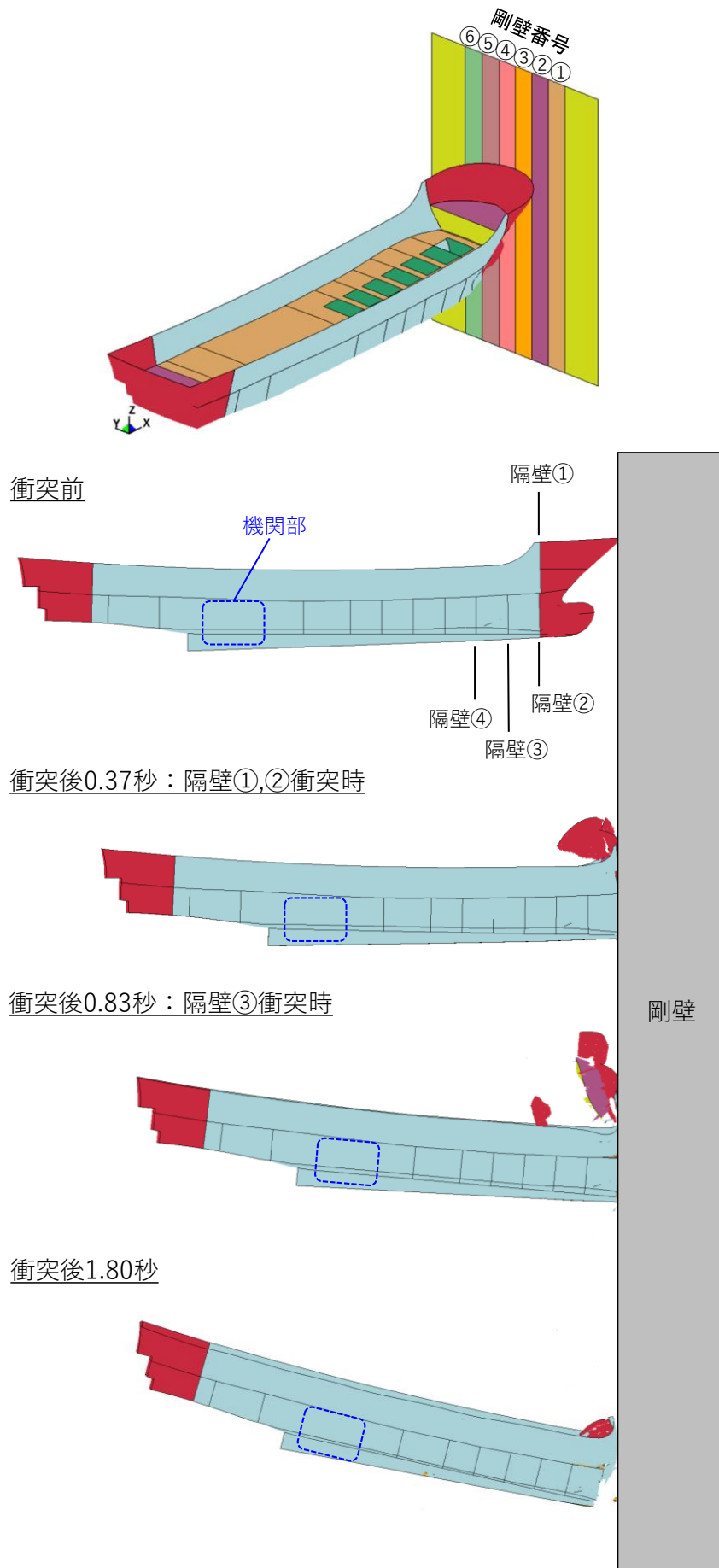


图 4.5.6-15 衝突状况

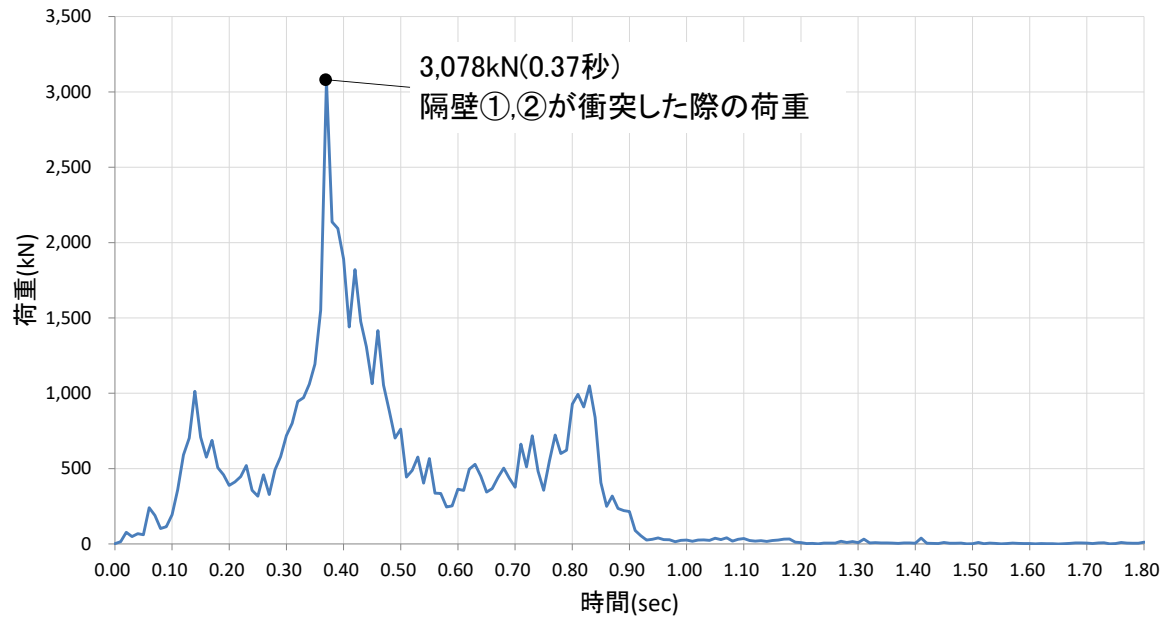
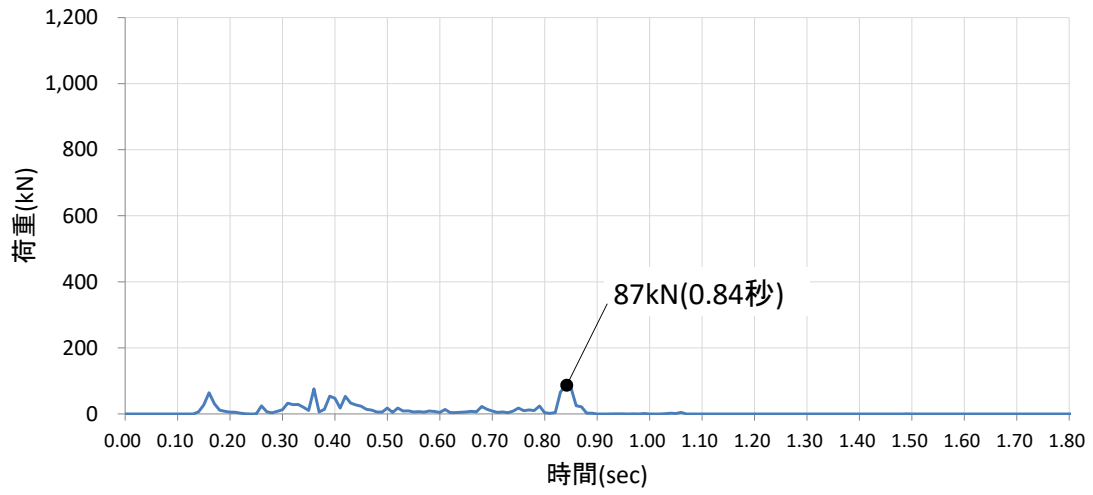
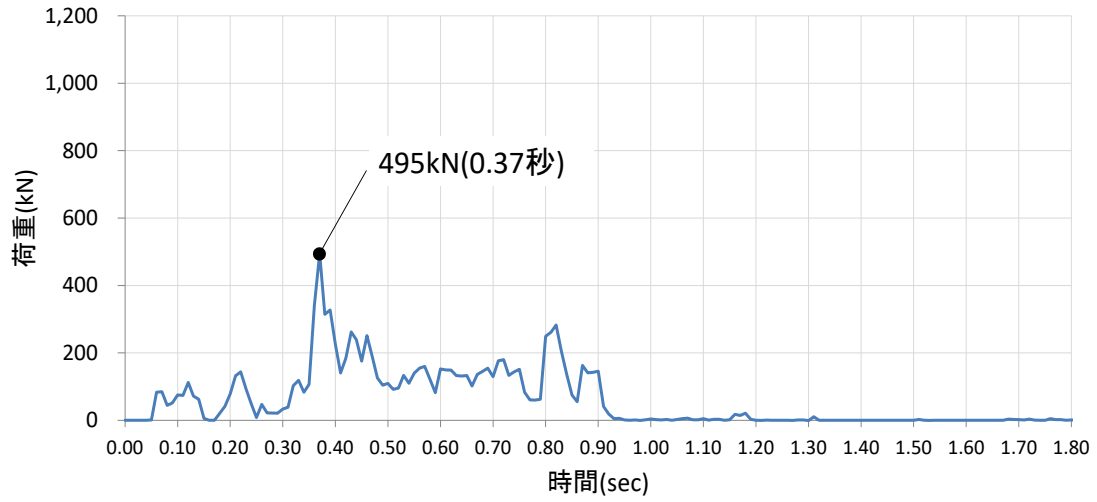


図 4.5.6-16 各剛壁の衝突荷重を集計した時刻歴

剛壁番号①



剛壁番号②



剛壁番号③

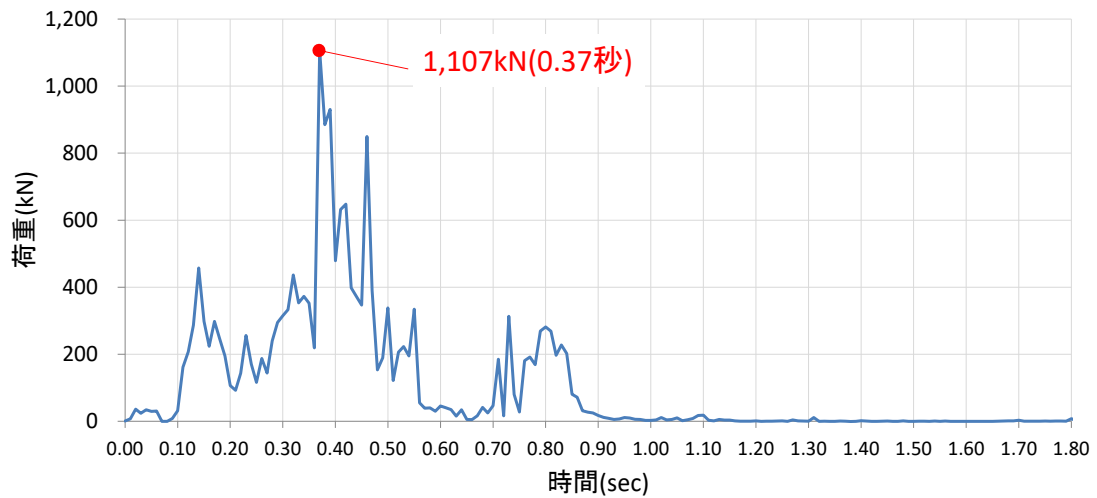
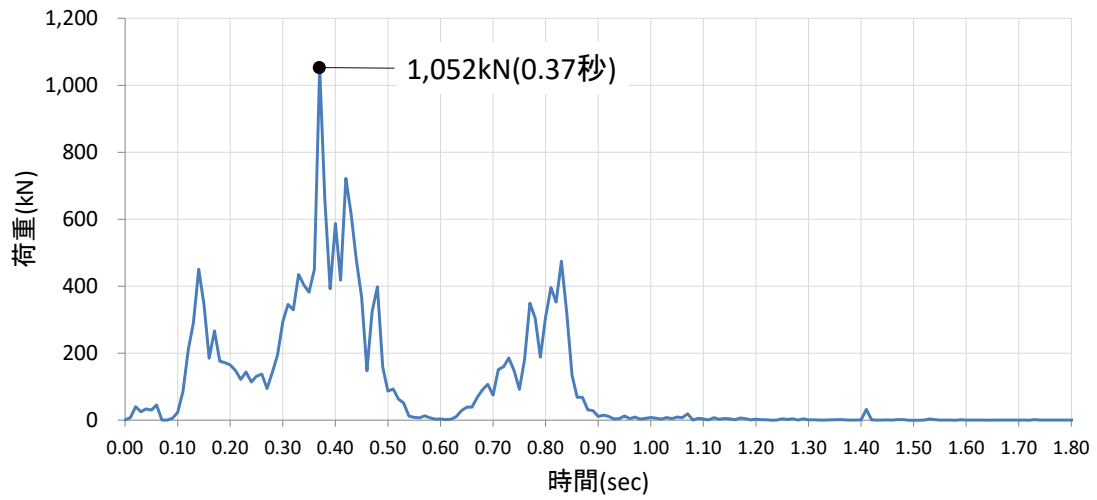
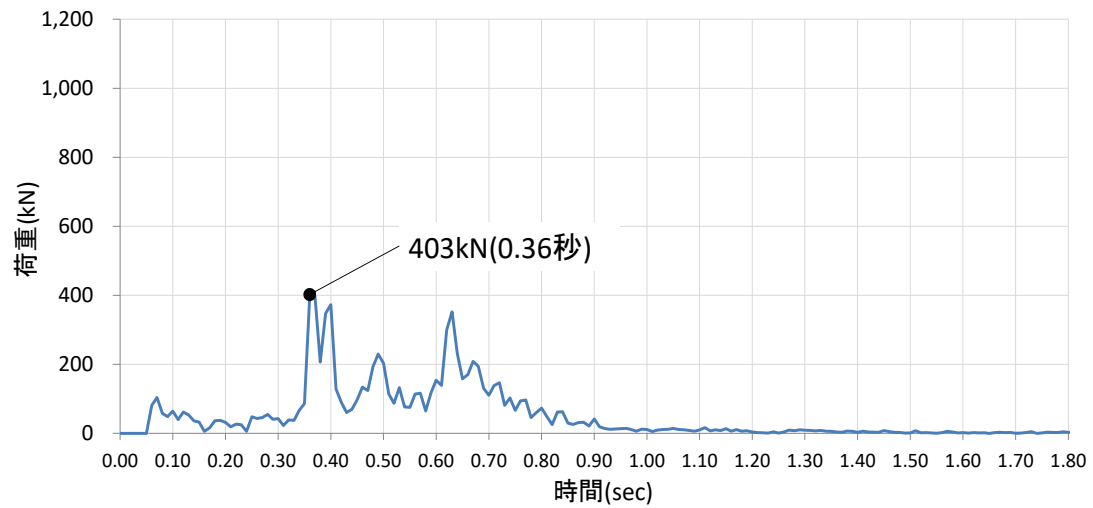


図 4.5.6-17(1) 剛壁 1 mあたりの衝突荷重の時刻歴

剛壁番号④



剛壁番号⑤



剛壁番号⑥

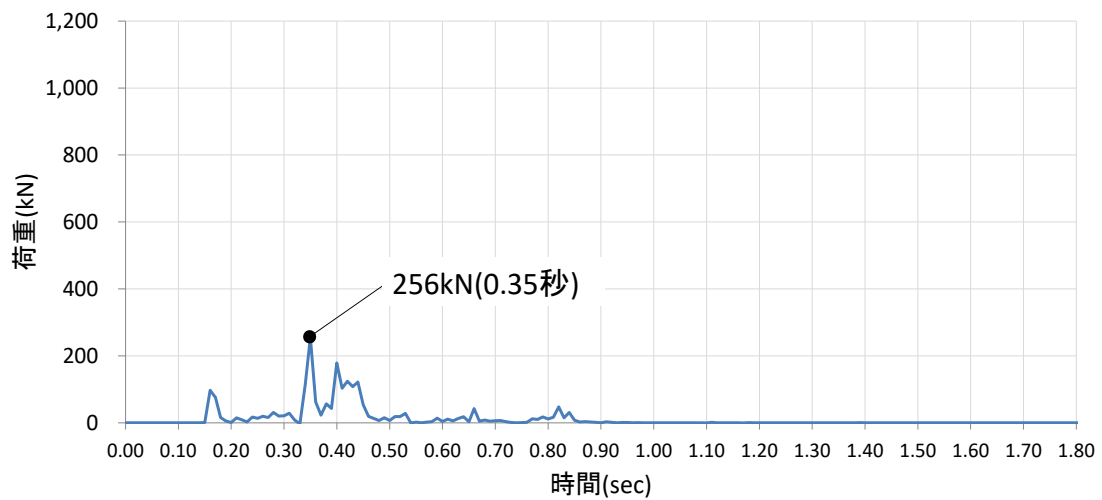


図 4.5.6-17(2) 剛壁 1 mあたりの衝突荷重の時刻歴

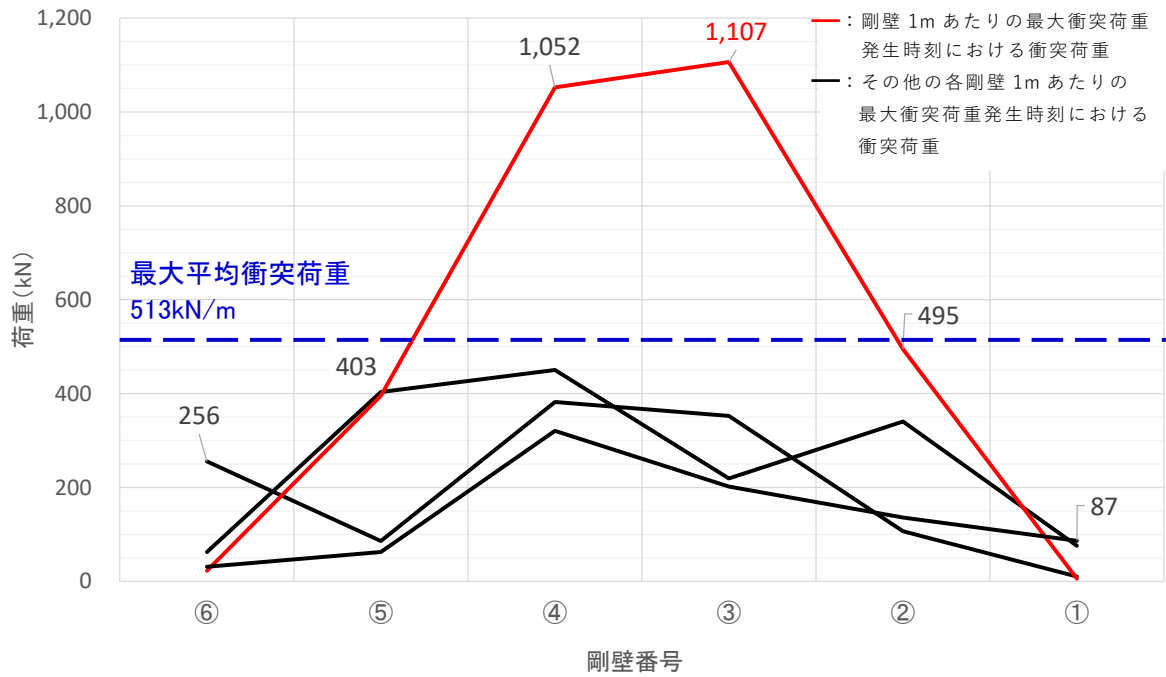


図 4.5.6-18 剛壁 1 m あたりの最大衝突荷重発生時刻における衝突荷重分布

表 4.5.6-7 衝突荷重のまとめ

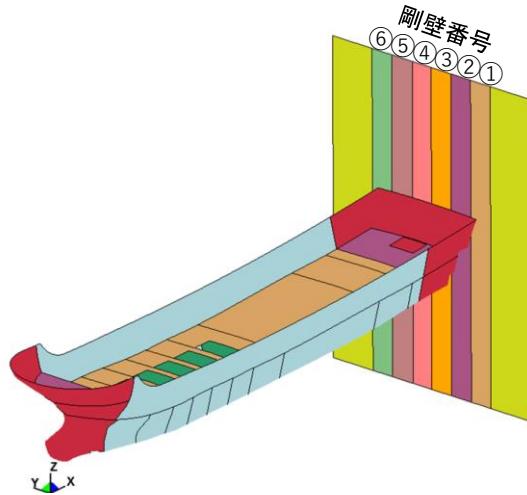
衝突荷重の集計値 (kN) 【時刻 (秒)】	剛壁 1 m あたりの 最大衝突荷重 (kN) 【時刻 (秒)】
3,078 【0.37】	1,107 【0.37】

(b) ケース②（船尾衝突）

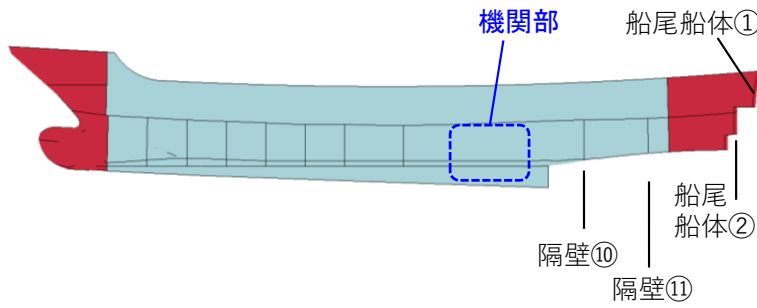
ケース②（船尾衝突）の解析結果のまとめを以下に示す。図 4.5.6-19 に衝突状況, 図 4.5.6-20 に各剛壁の衝突荷重を集計した時刻歴, 図 4.5.6-21 に剛壁 1 mあたりの衝突荷重の時刻歴, 図 4.5.6-22 に剛壁 1 mあたりの最大衝突荷重発生時刻における衝突荷重分布, 表 4.5.6-8 に衝突荷重のまとめを示す。

- ・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あ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あ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。

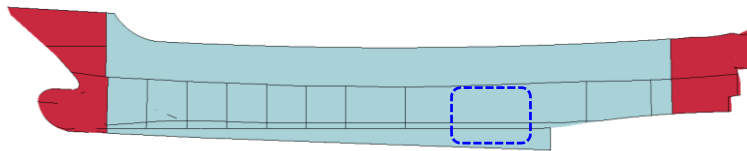




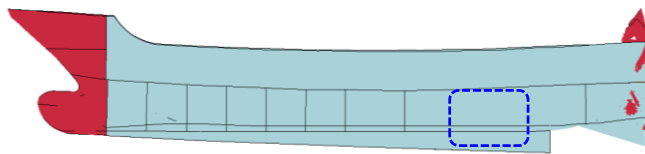
衝突前



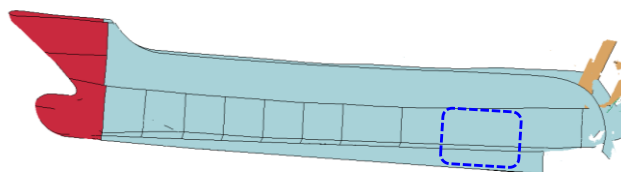
衝突後0.03秒：船尾船体①衝突時



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

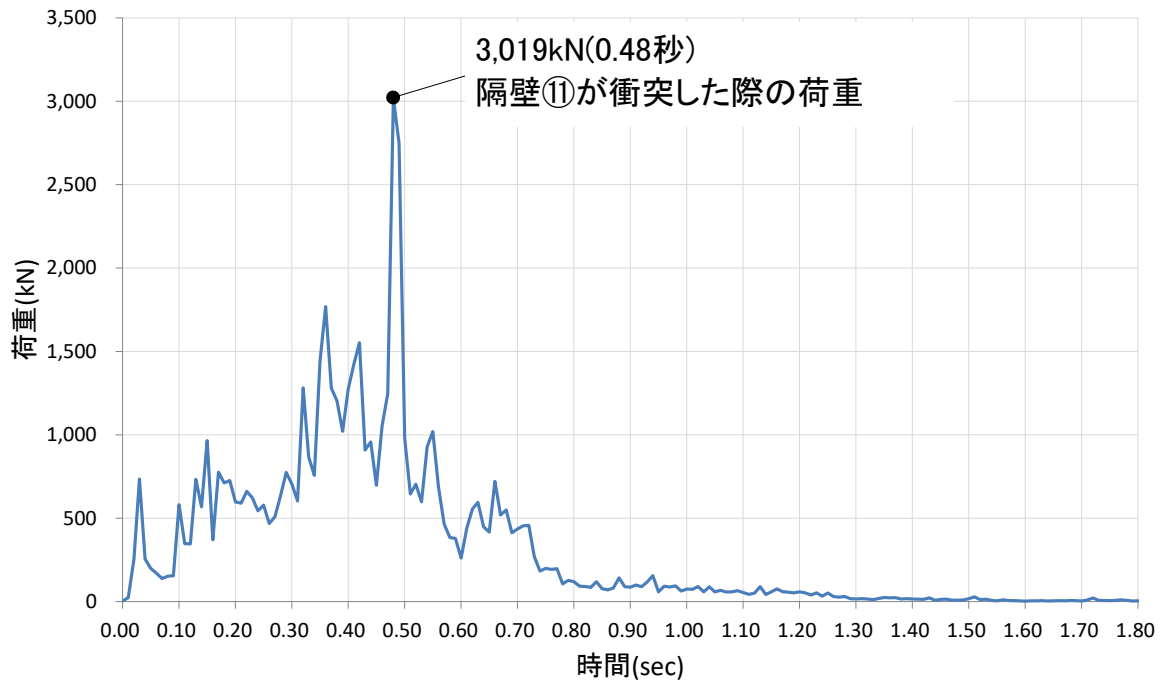
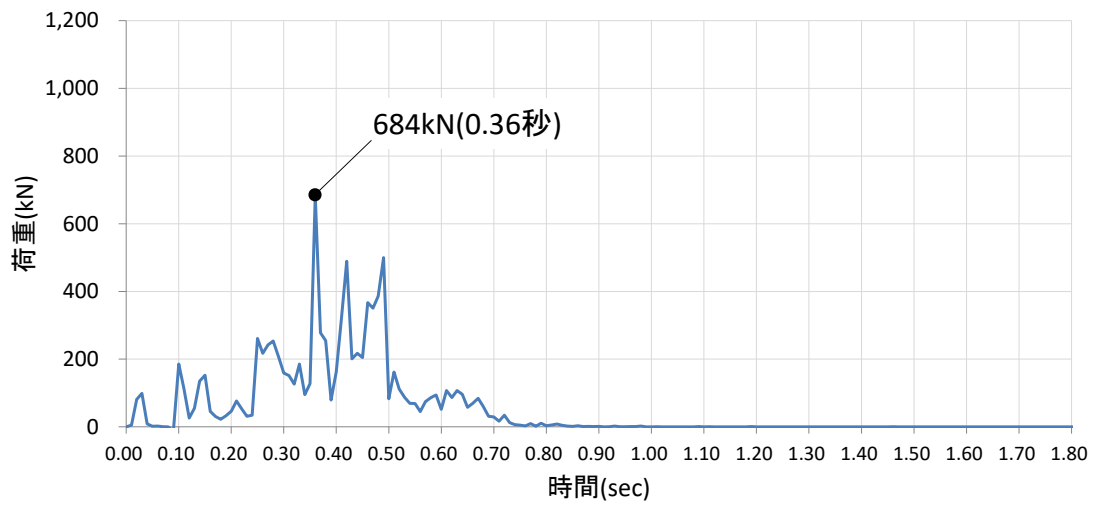
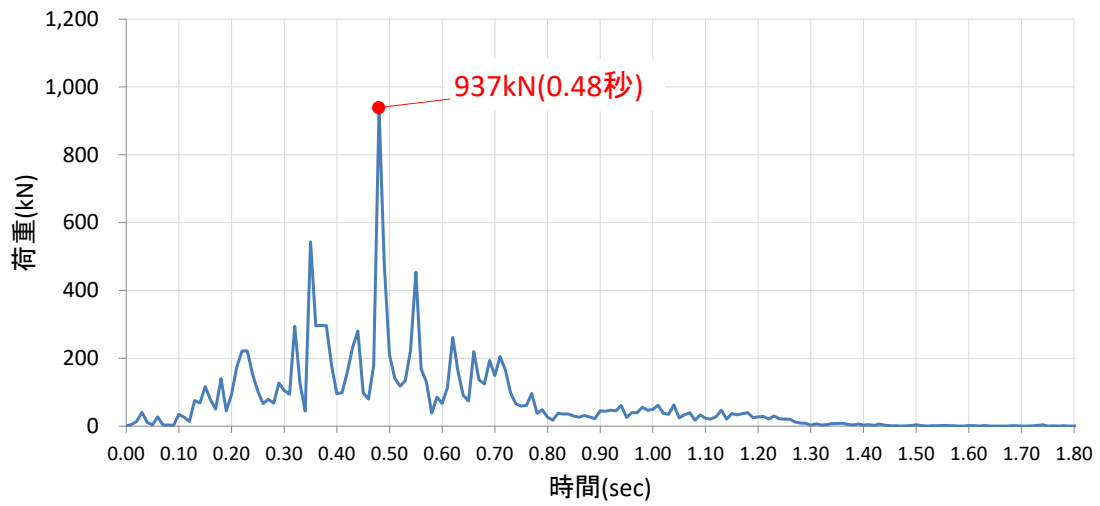


図 4.5.6-20 各剛壁の衝突荷重を集計した時刻歴

剛壁番号①



剛壁番号②



剛壁番号③

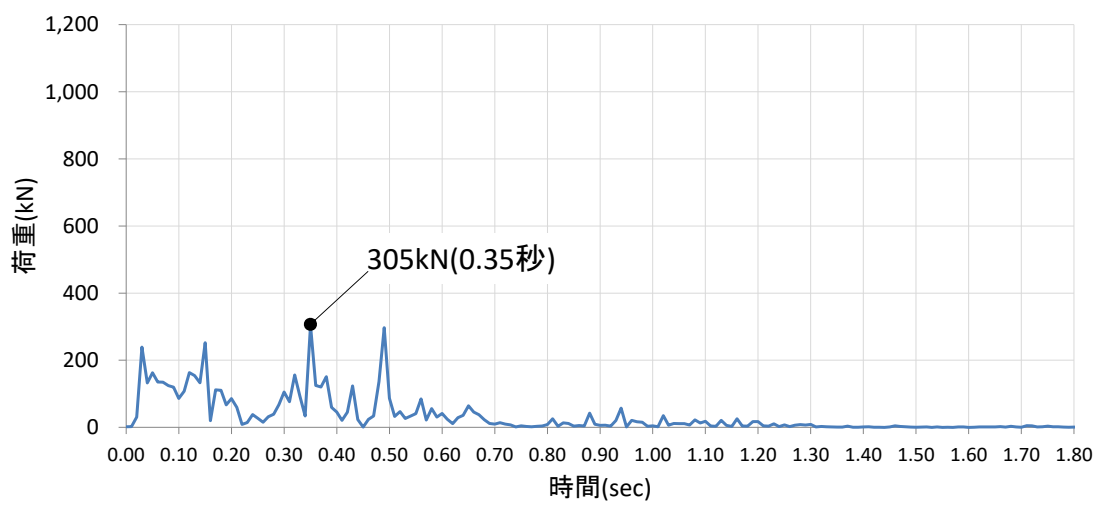
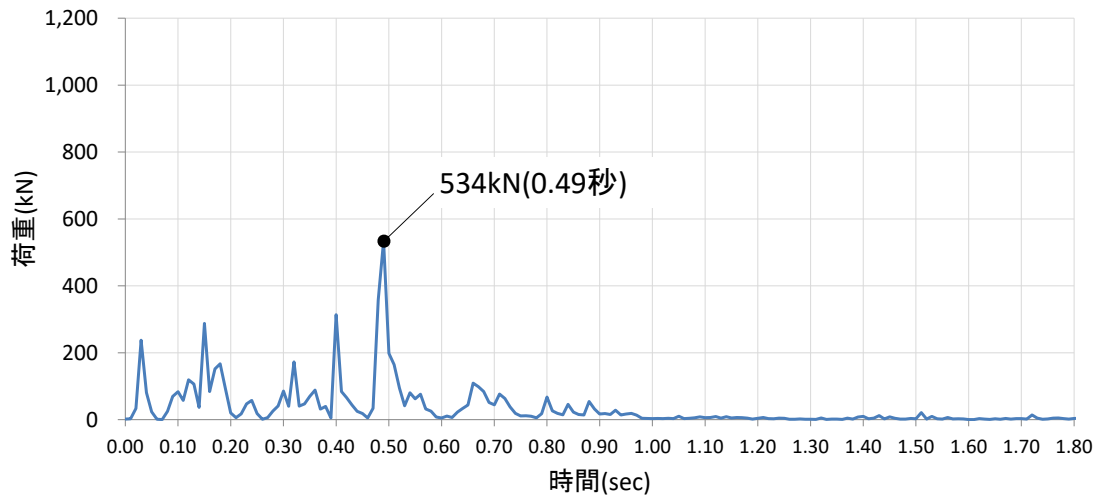
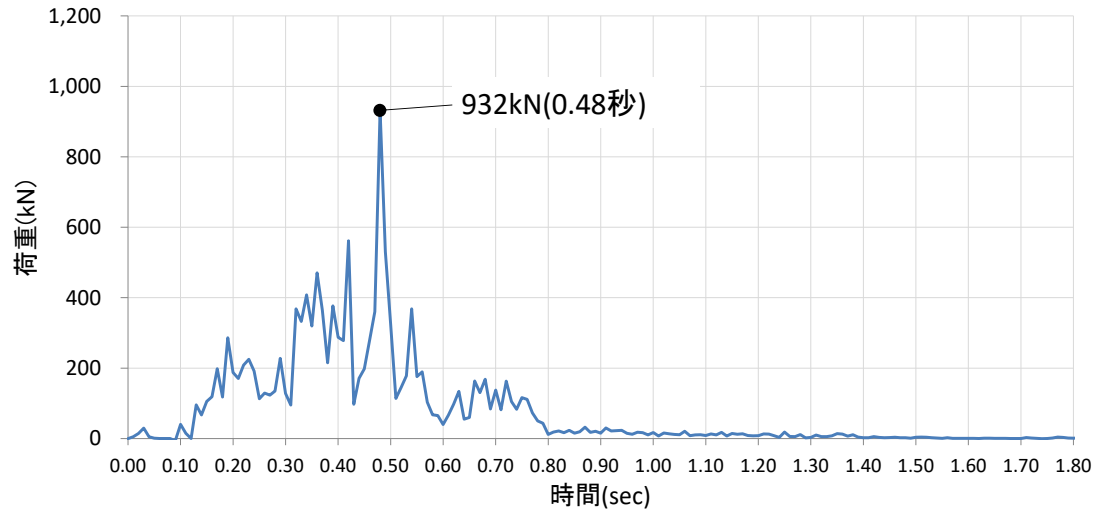


図 4.5.6-21 剛壁 1 mあたりの衝突荷重の時刻歴(1/2)

剛壁番号④



剛壁番号⑤



剛壁番号⑥

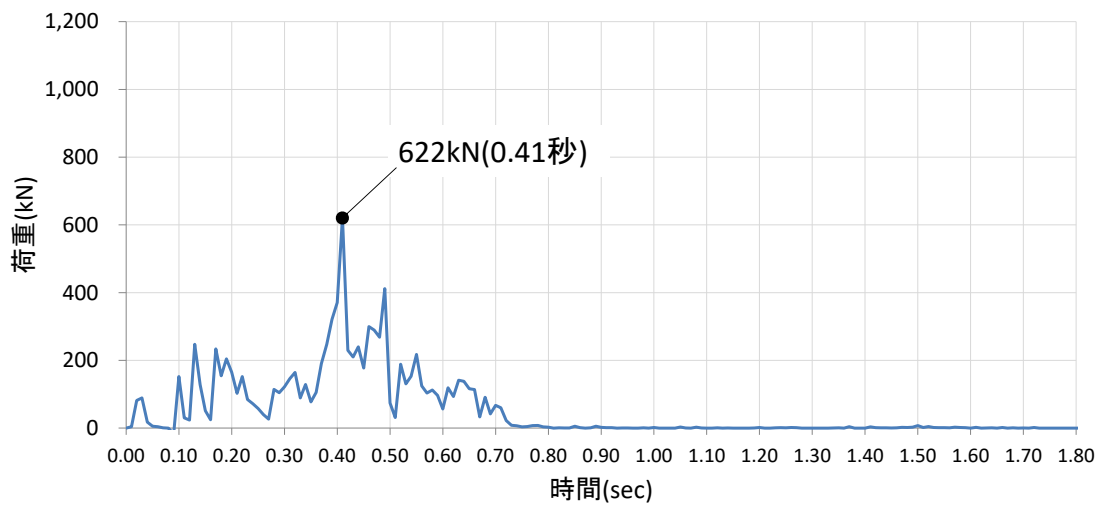


図 4.5.6-21 剛壁 1 mあたりの衝突荷重の時刻歴(2/2)

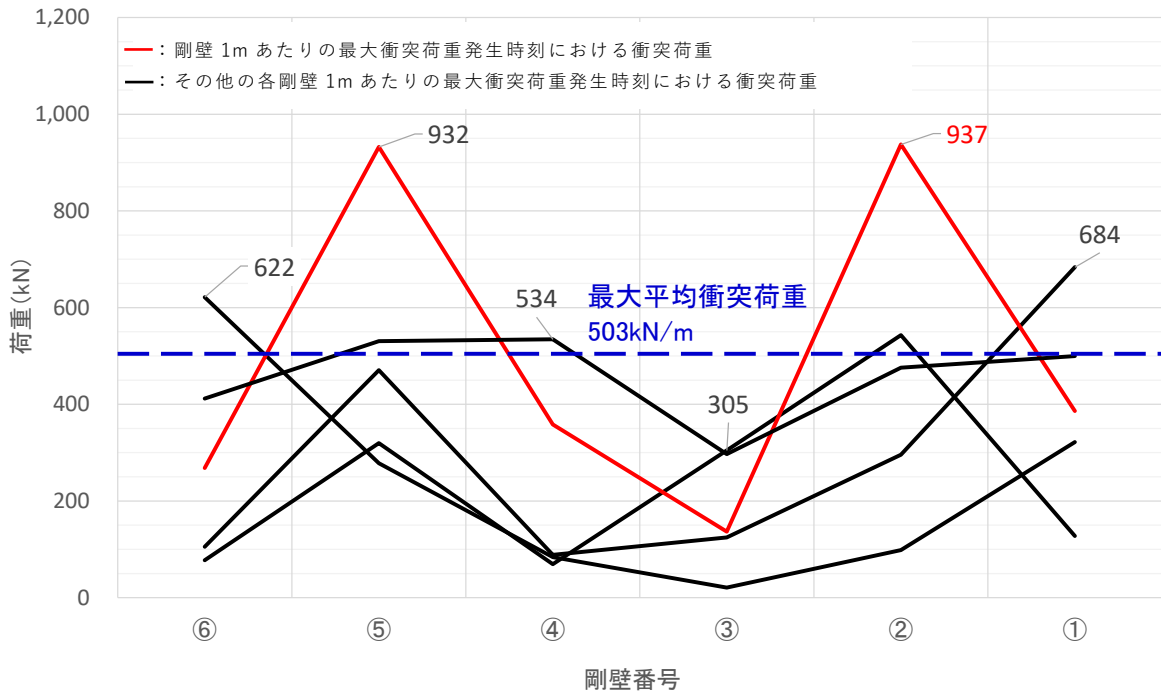


図 4.5.6-22 剛壁 1 m あたりの最大衝突荷重発生時刻における衝突荷重分布

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 あたりの 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あたりの衝突荷重の時刻歴, 図 4.5.6-26 に剛壁 1 mあ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あ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あ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。

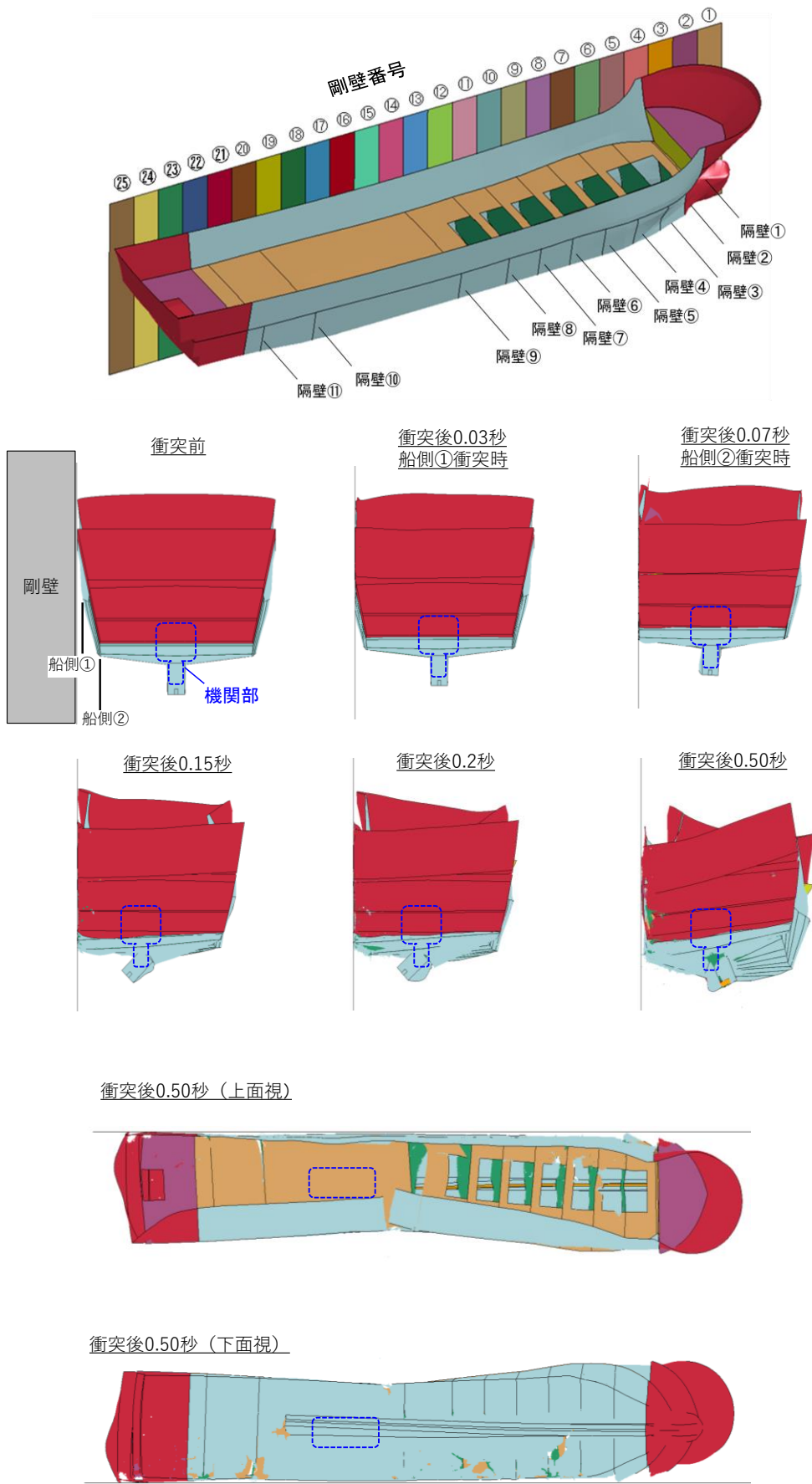


图 4.5.6-23 衝突状况

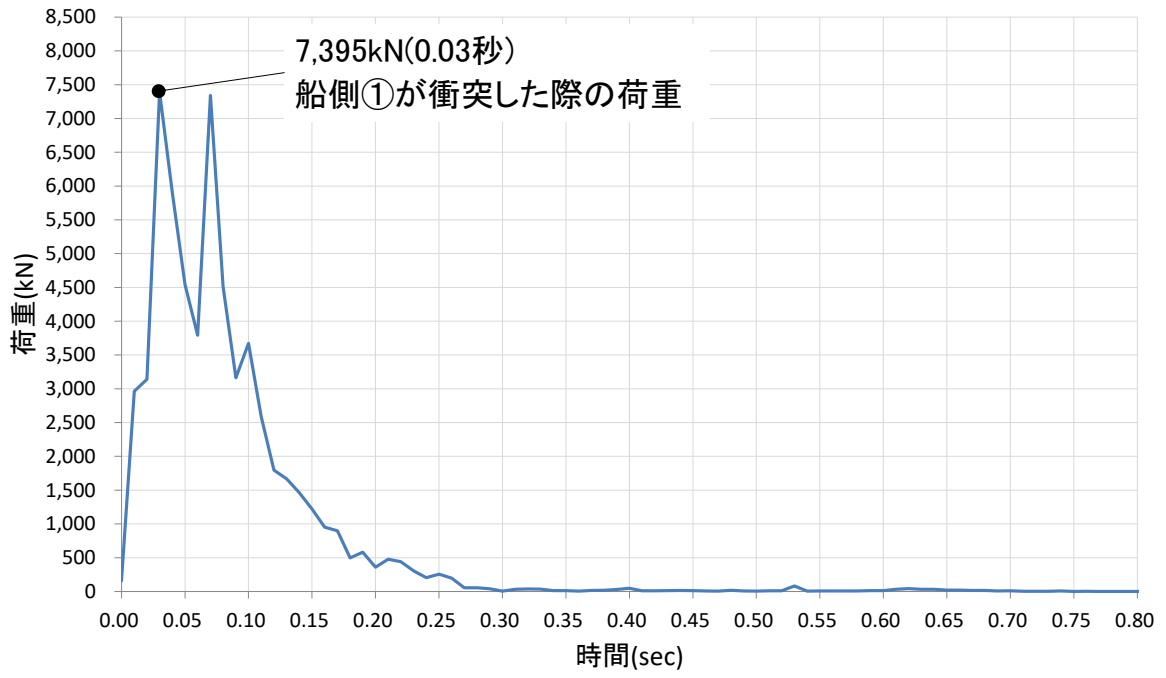
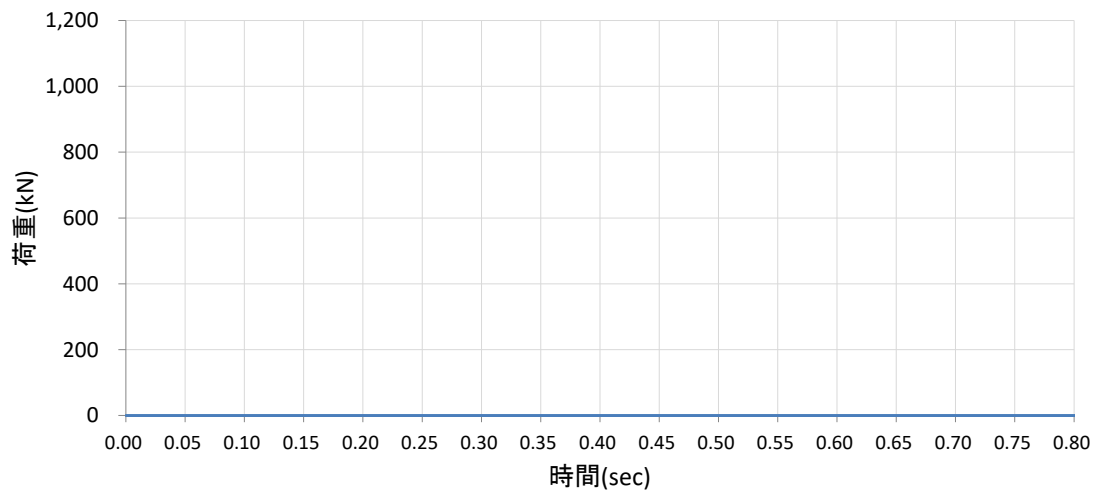


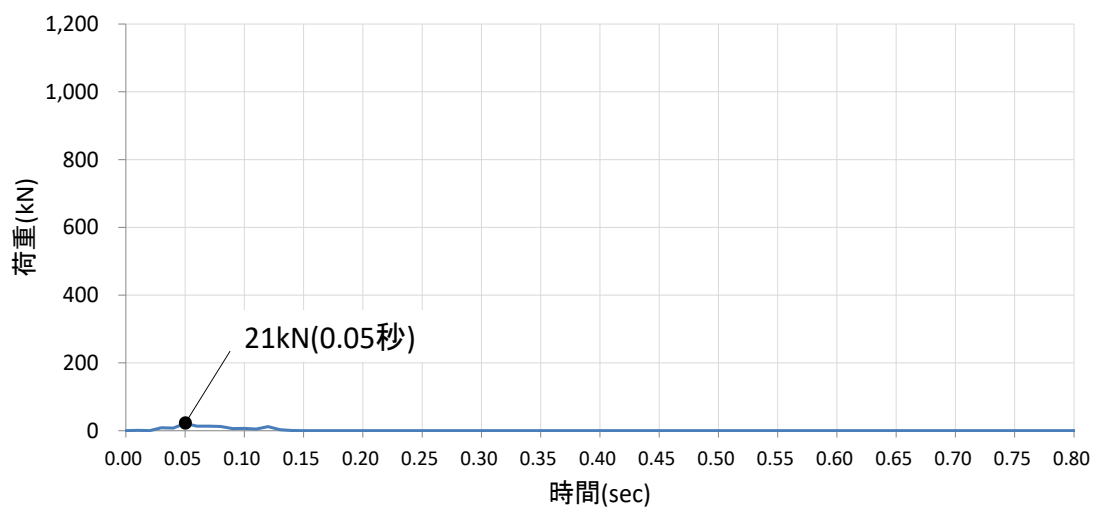
図 4.5.6-24 各剛壁の衝突荷重を集計した時刻歴



剛壁番号①



剛壁番号②



剛壁番号③

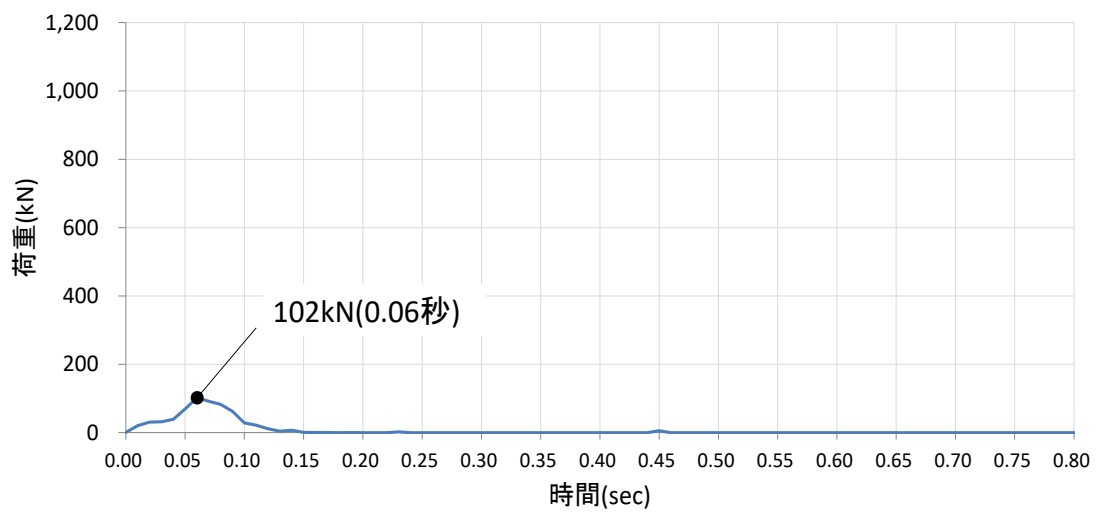
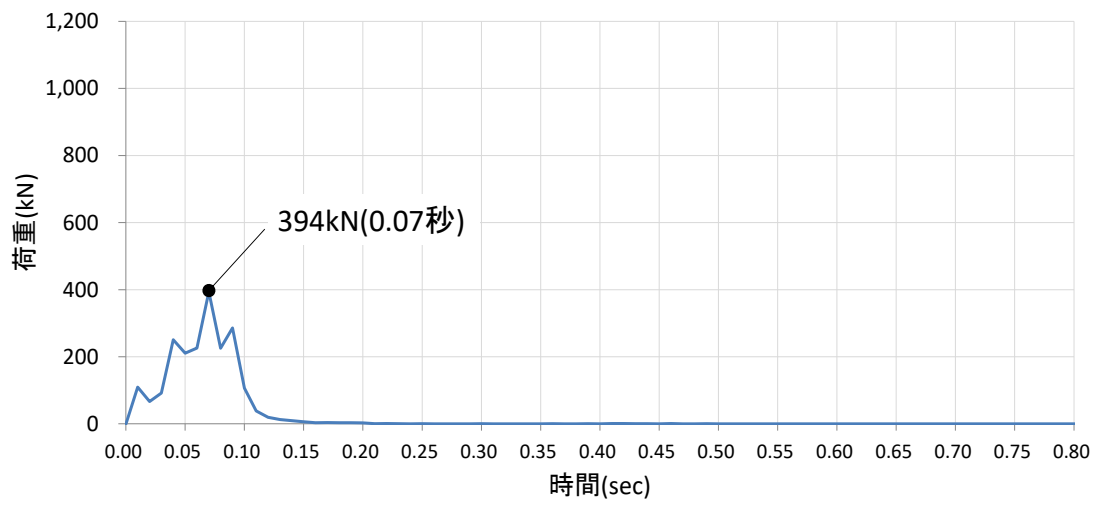
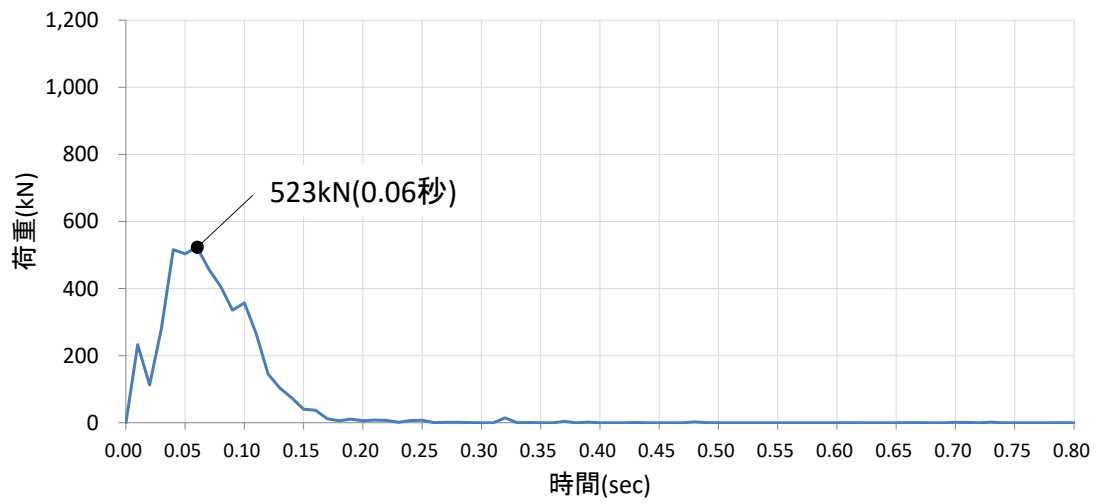


図 4.5.6-25 剛壁 1 mあたりの衝突荷重の時刻歴(1/9)

剛壁番号④



剛壁番号⑤



剛壁番号⑥

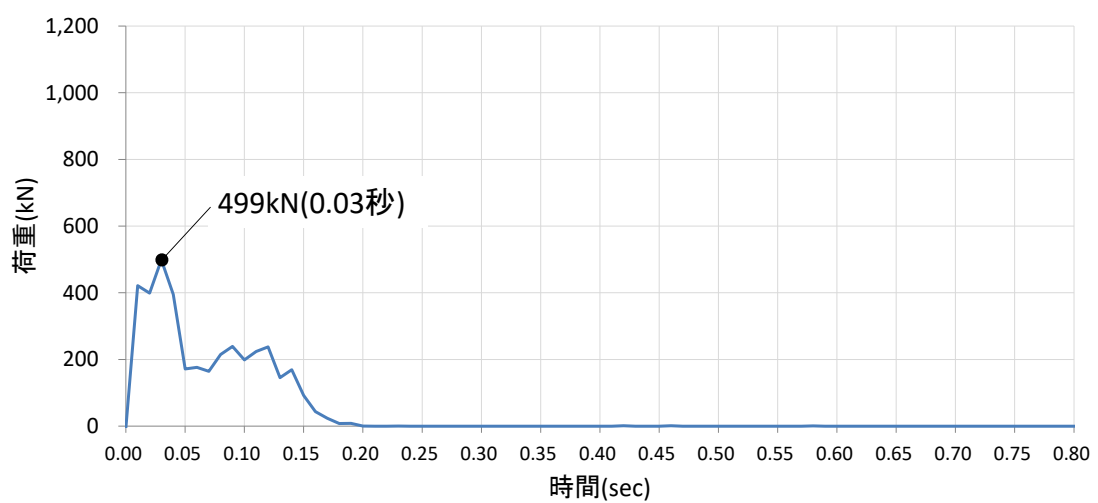
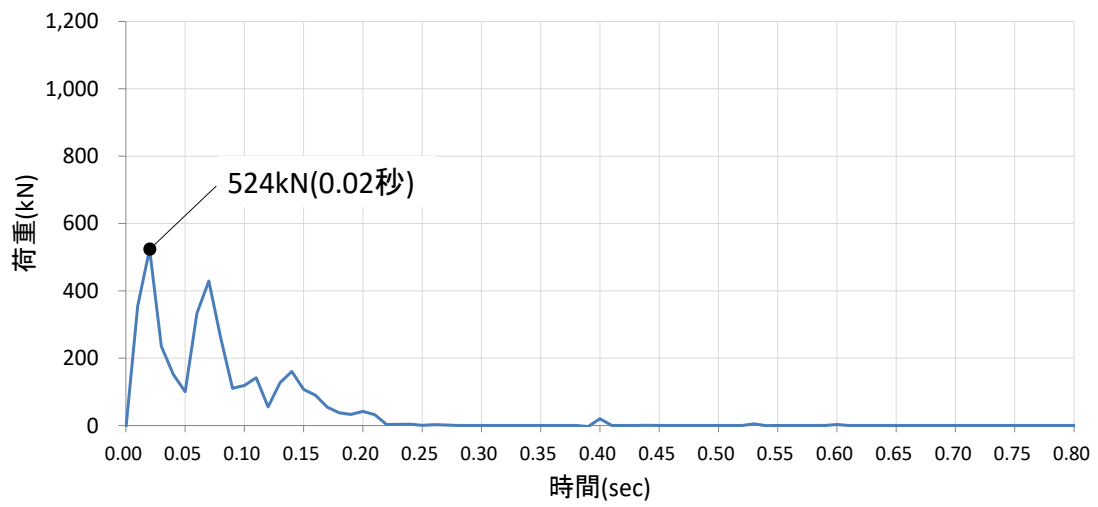
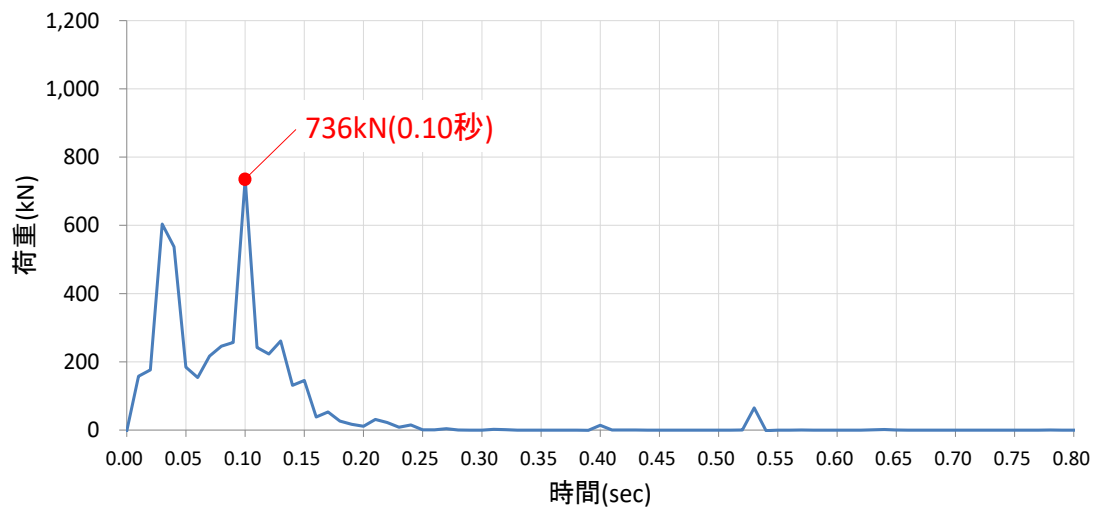


図 4.5.6-25 剛壁 1 mあたりの衝突荷重の時刻歴(2/9)

剛壁番号⑦



剛壁番号⑧



剛壁番号⑨

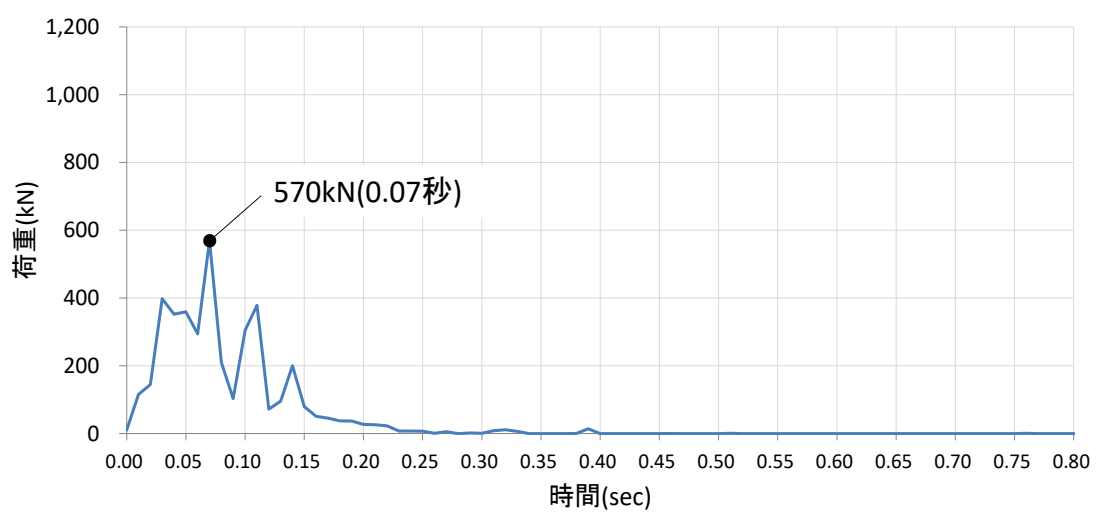
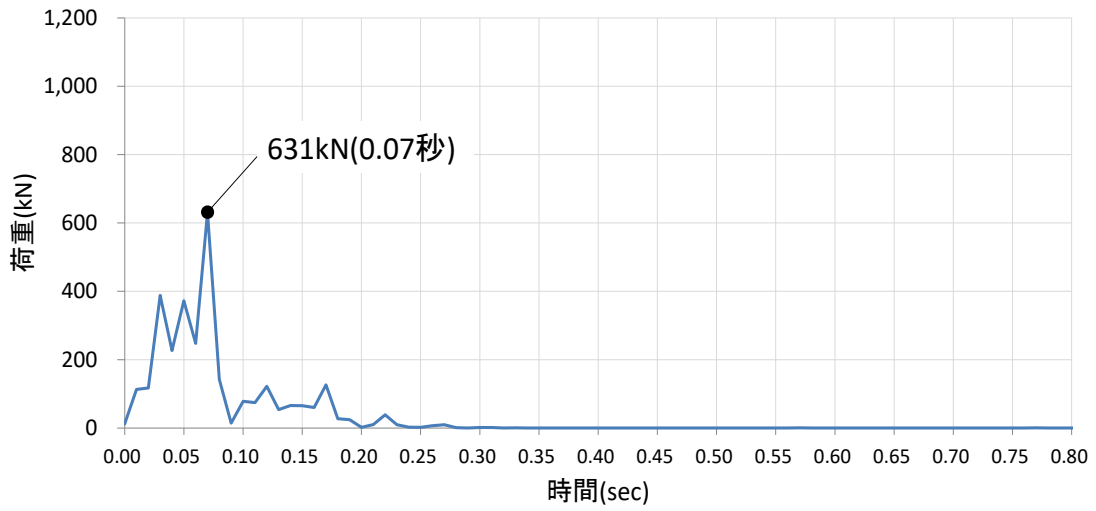
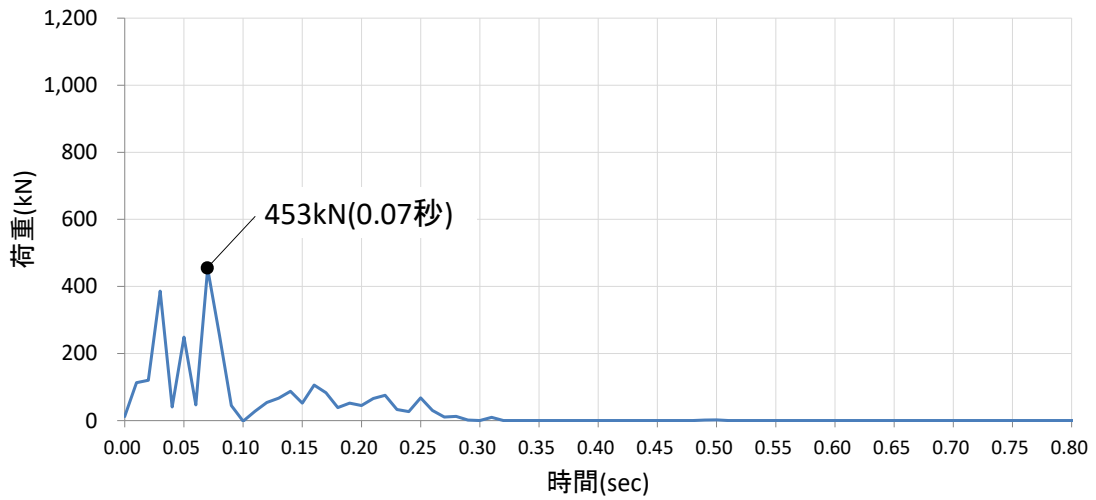


図 4.5.6-25 剛壁 1 mあたりの衝突荷重の時刻歴(3/9)

剛壁番号⑩



剛壁番号⑪



剛壁番号⑫

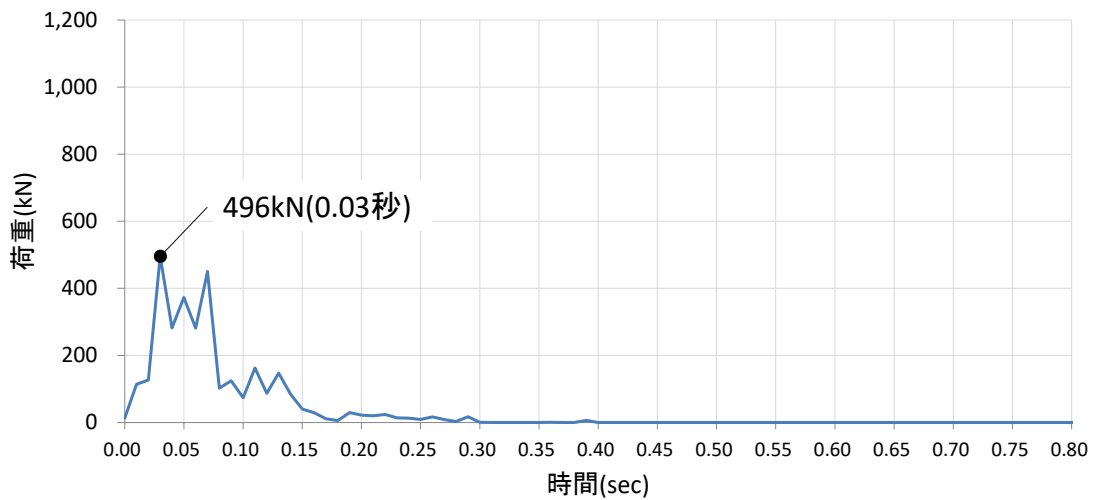
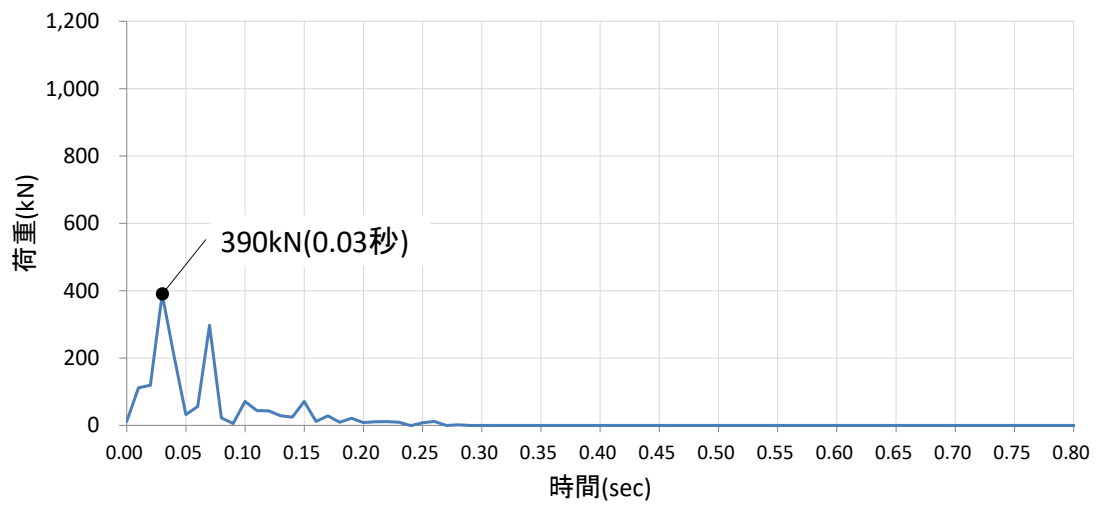
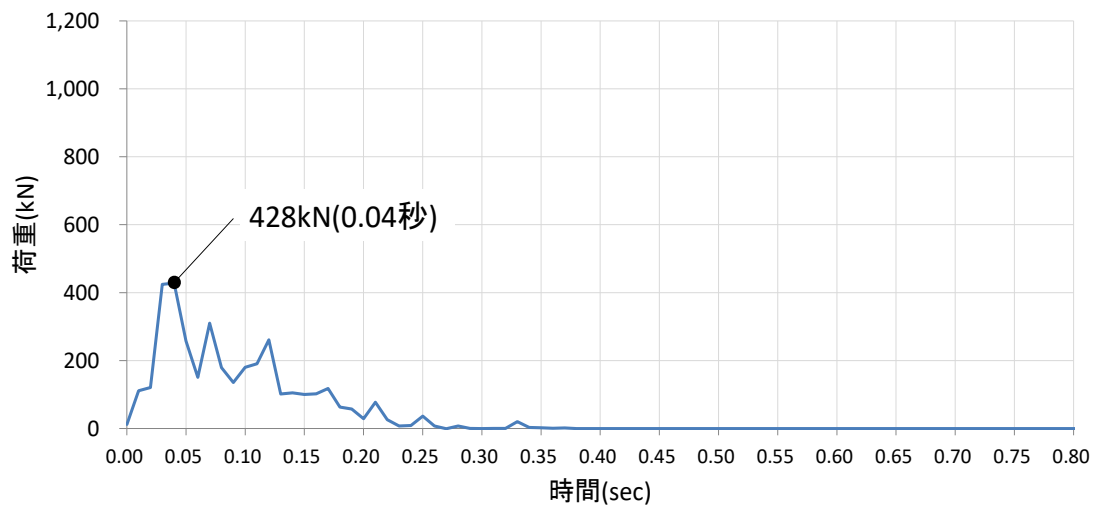


図 4.5.6-25 剛壁 1 mあたりの衝突荷重の時刻歴(4/9)

剛壁番号⑬



剛壁番号⑭



剛壁番号⑮

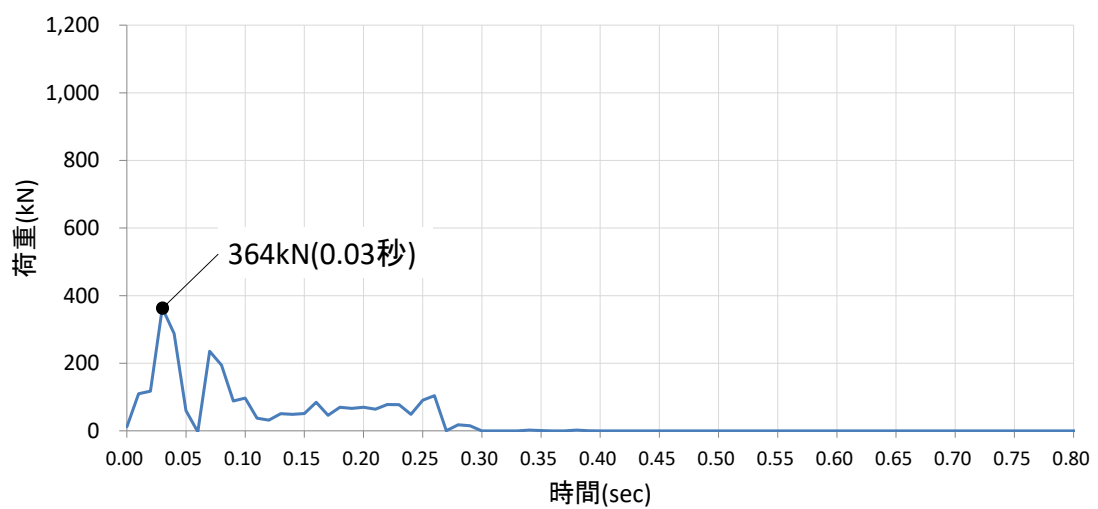
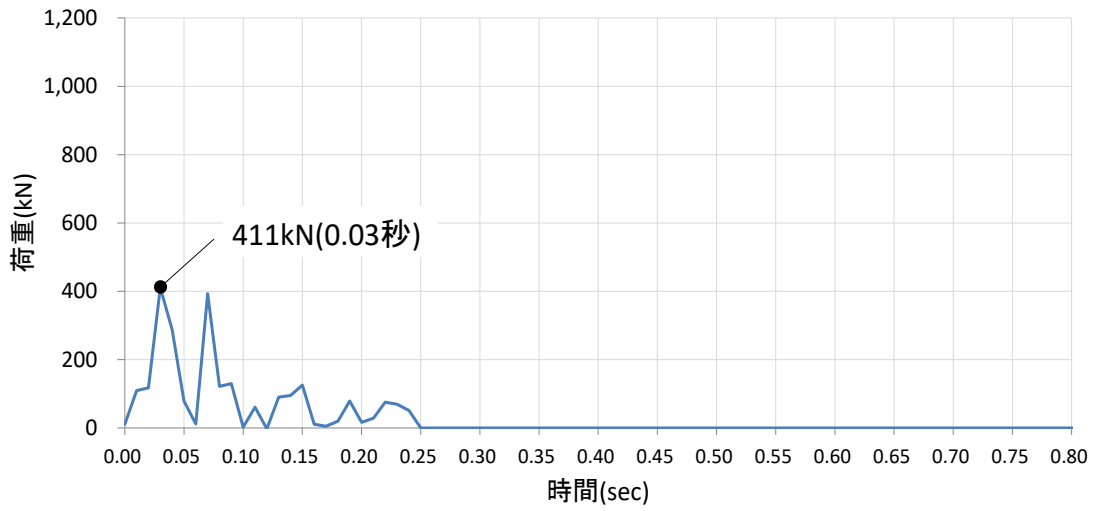
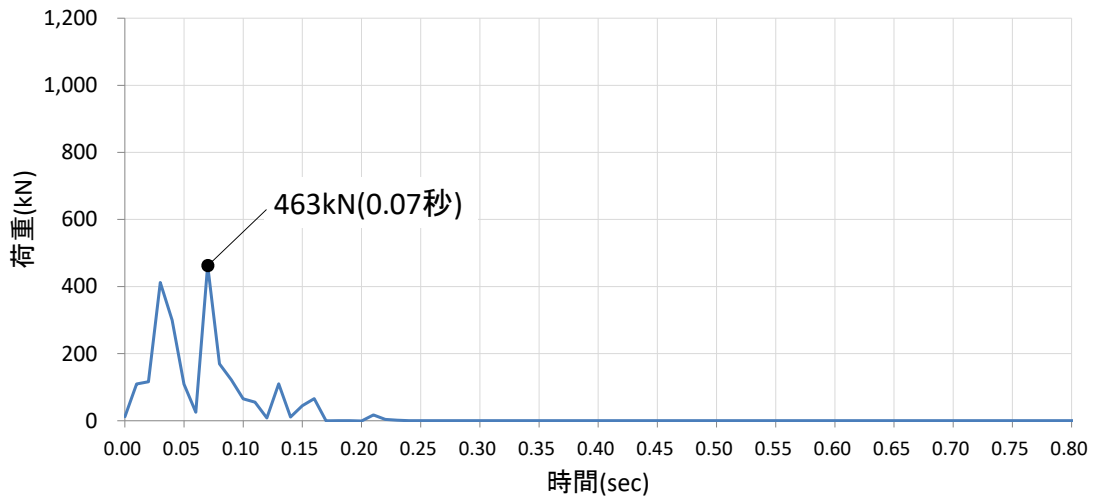


図 4.5.6-25 剛壁 1 mあたりの衝突荷重の時刻歴(5/9)

剛壁番号⑬



剛壁番号⑭



剛壁番号⑮

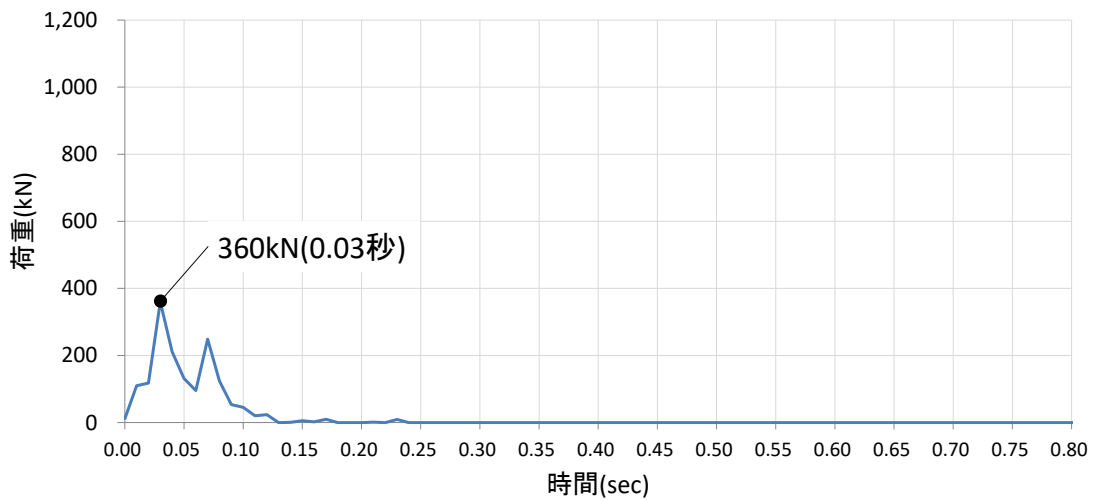
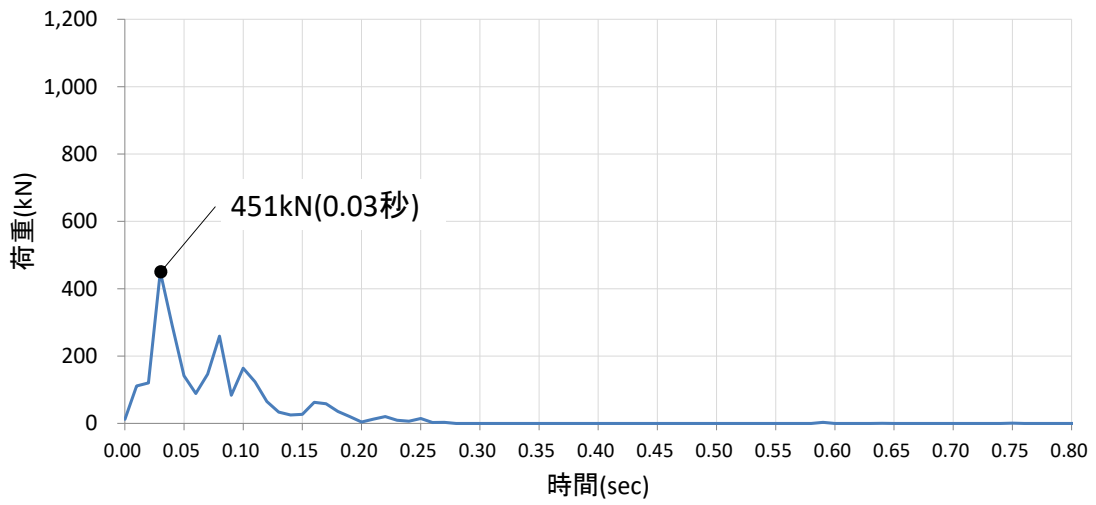
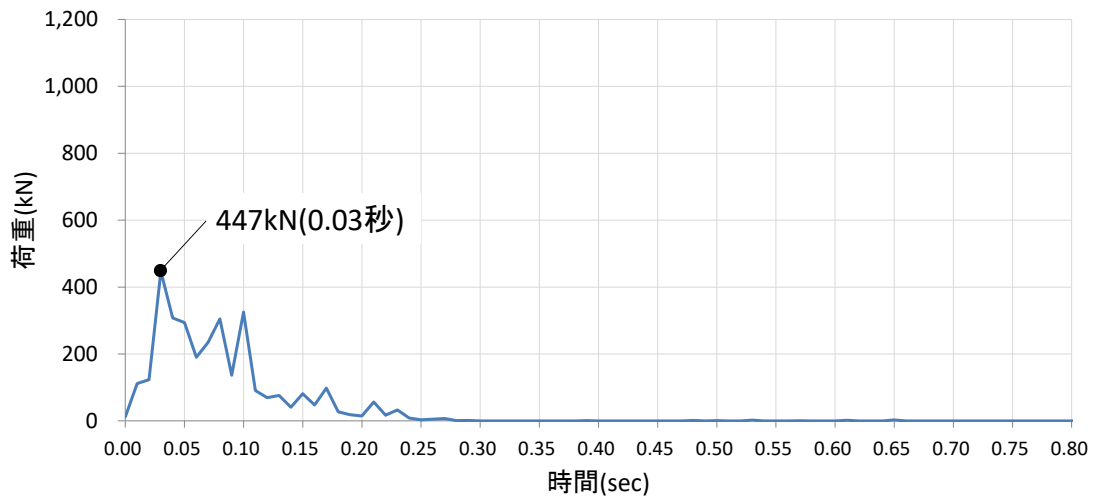


図 4.5.6-25 剛壁 1 mあたりの衝突荷重の時刻歴(6/9)

剛壁番号⑱



剛壁番号⑳



剛壁番号㉑

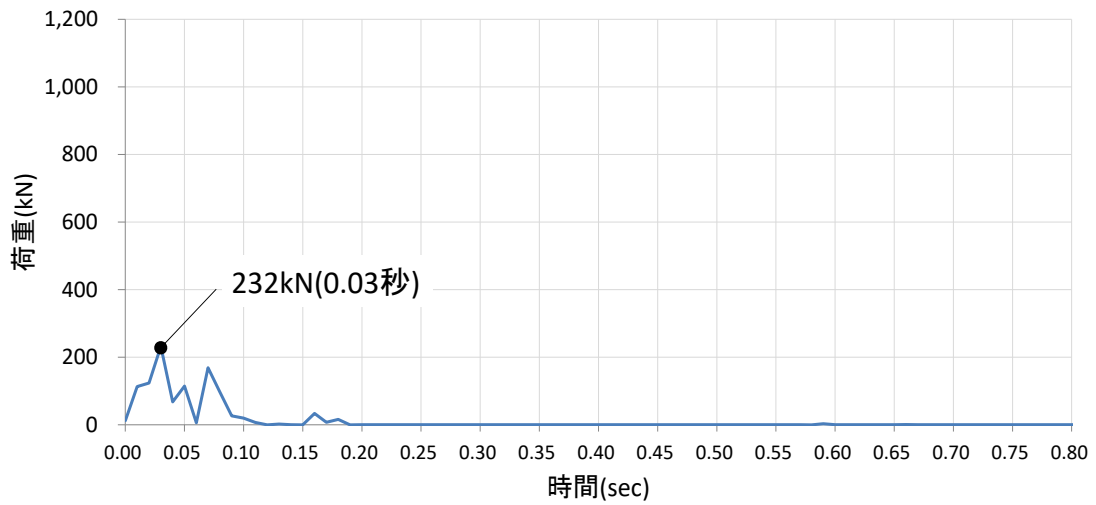
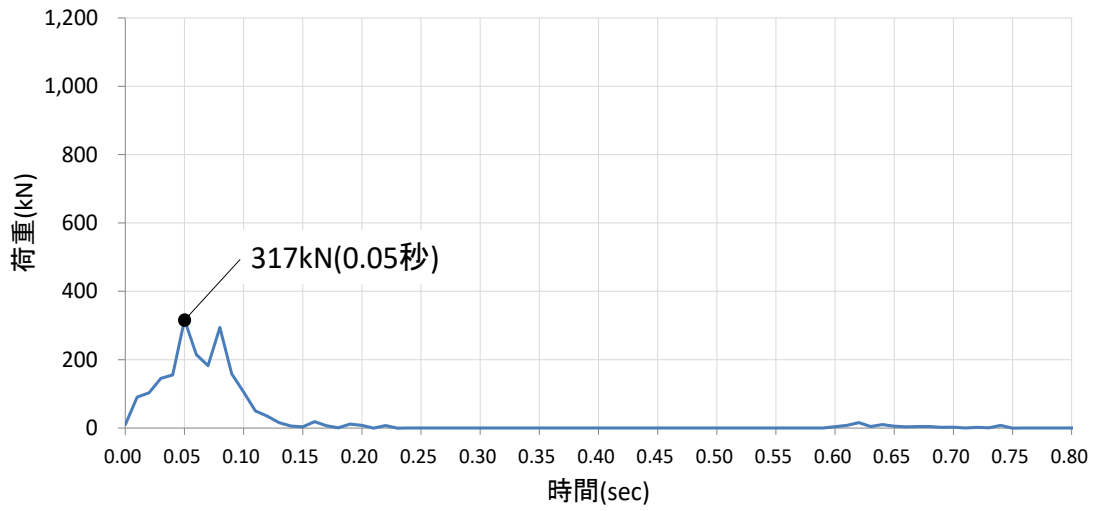
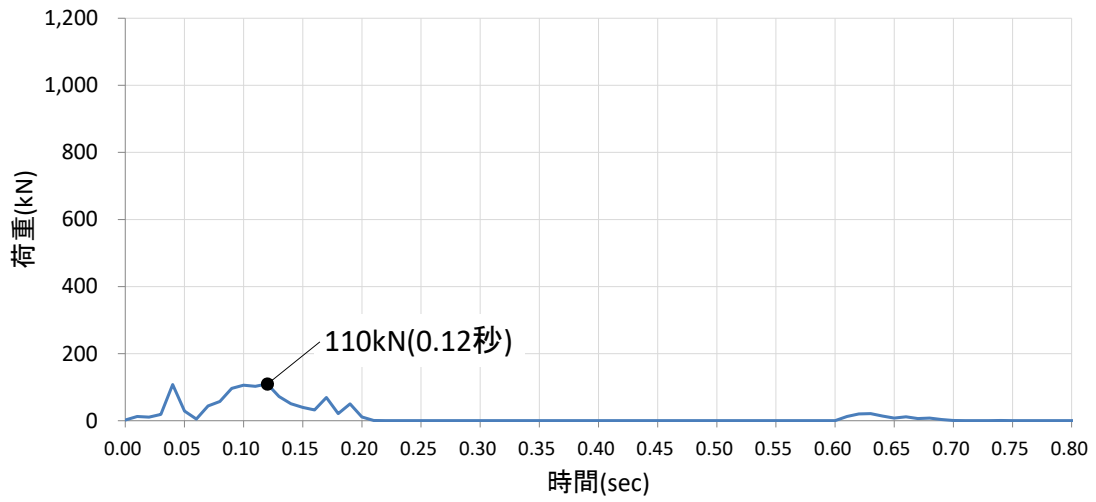


図 4.5.6-25 剛壁 1 mあたりの衝突荷重の時刻歴(7/9)

剛壁番号②②



剛壁番号②③



剛壁番号②④

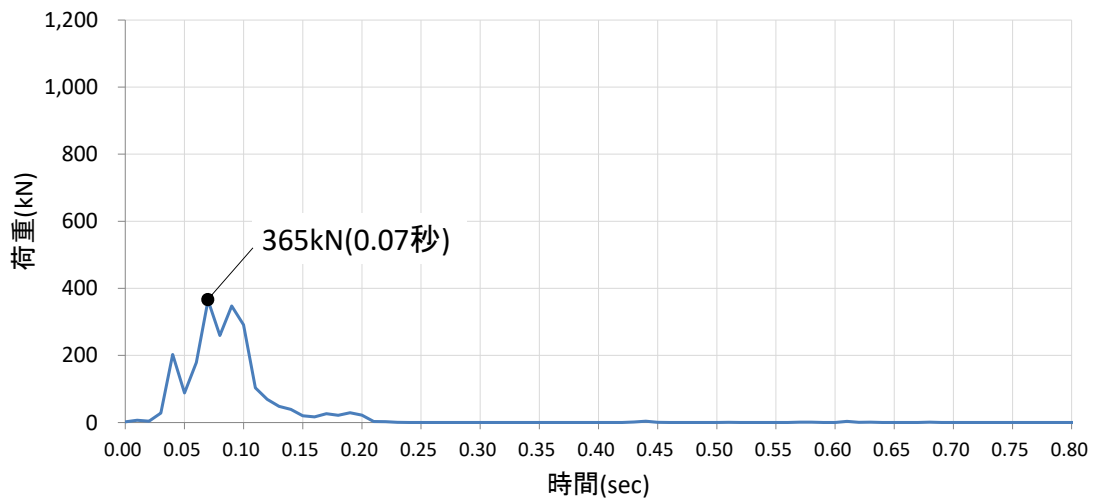


図 4.5.6-25 剛壁 1 mあたりの衝突荷重の時刻歴(8/9)



剛壁番号②⑤

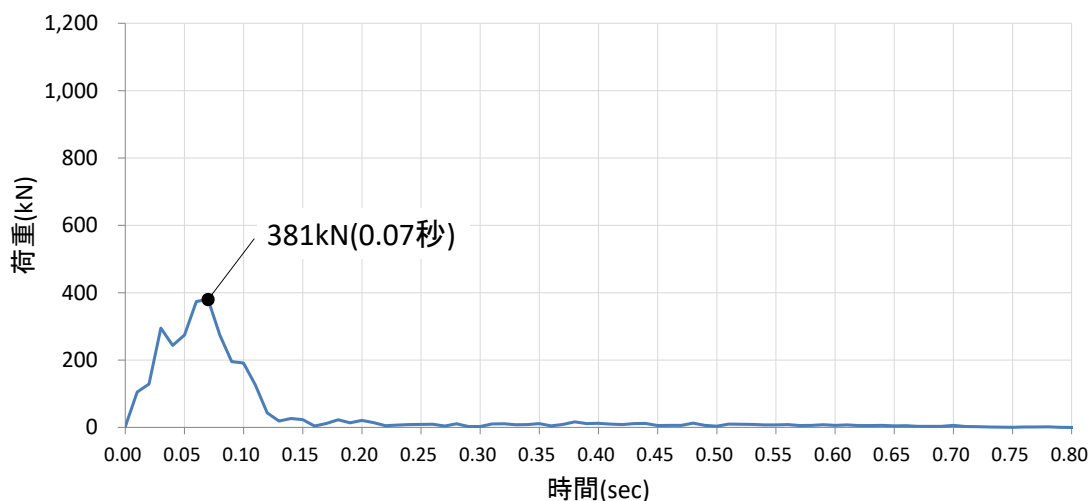


図 4.5.6-25 剛壁 1 mあたりの衝突荷重の時刻歴(9/9)

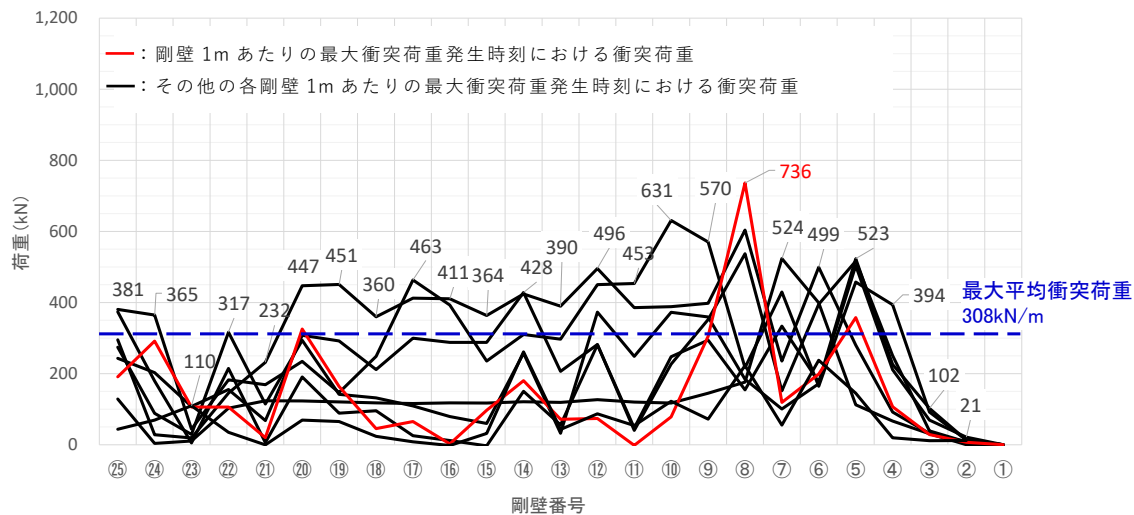


図 4.5.6-26 剛壁 1 mあたりの最大衝突荷重発生時刻における衝突荷重分布

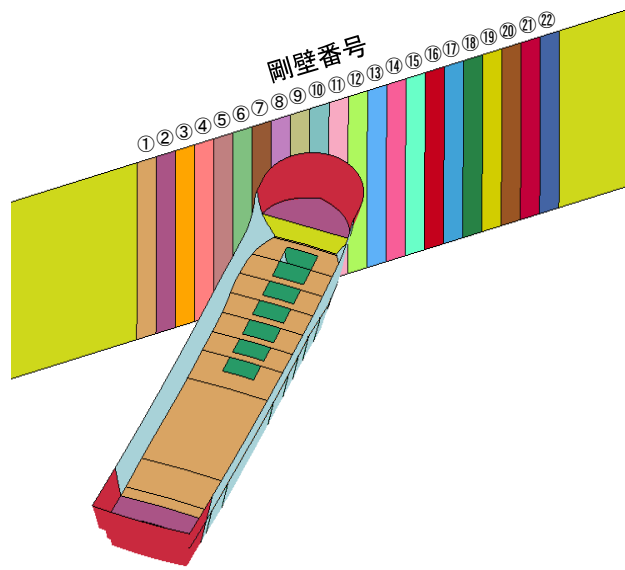
表 4.5.6-9 衝突荷重のまとめ

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

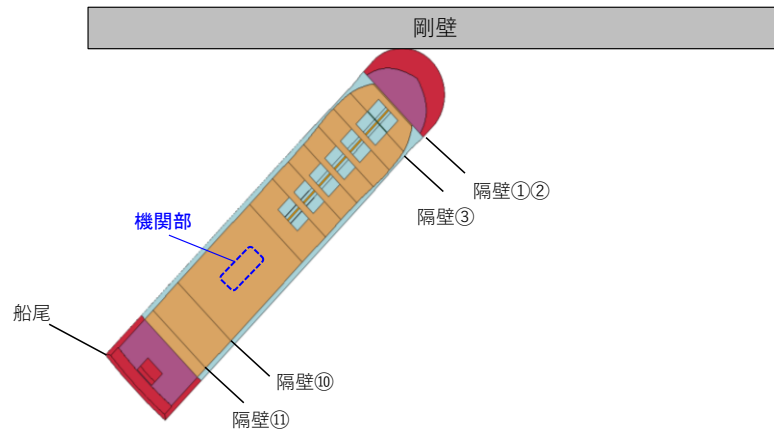
(d) ケース④（斜め船首衝突）

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あたりの衝突荷重の時刻歴，図 4.5.6-30 に剛壁 1 mあ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。

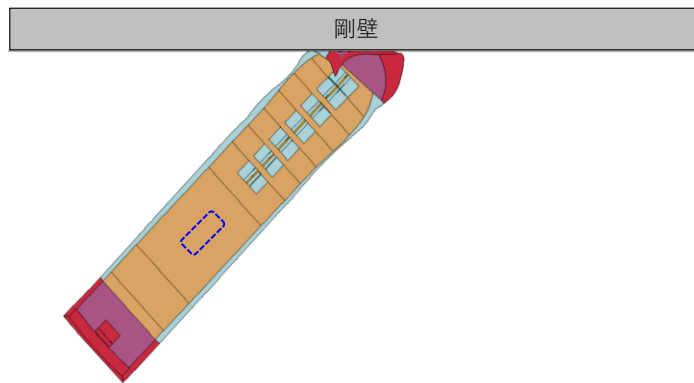
- ・図 4.5.6-27 より，機関部（エンジン）が剛壁へ衝突していないことから，機関部の影響がないことを確認した。
- ・図 4.5.6-28 より，各剛壁（剛壁番号①～⑫）の衝突荷重を集計した場合においては，衝突直後から荷重が大きくなり，衝突後 0.31 秒（隔壁①，②衝突時）に最大となる 1,073kN が作用することを確認した。また，衝突後 2.27 秒（船尾，隔壁⑩，⑪衝突時）にも 541kN の荷重が作用しているが，これは斜めから衝突した後に船体が剛壁に平行となる方向に回転し，船尾付近の船体側面が衝突することにより瞬間的に生じていることを確認した。
- ・最大衝突荷重 1,073kN 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あ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

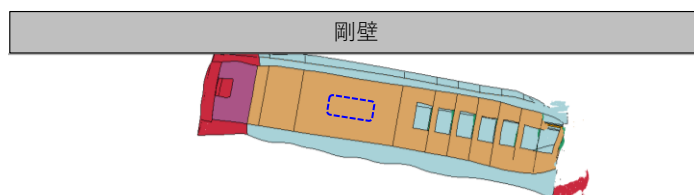


図 4.5.6-27 衝突状況

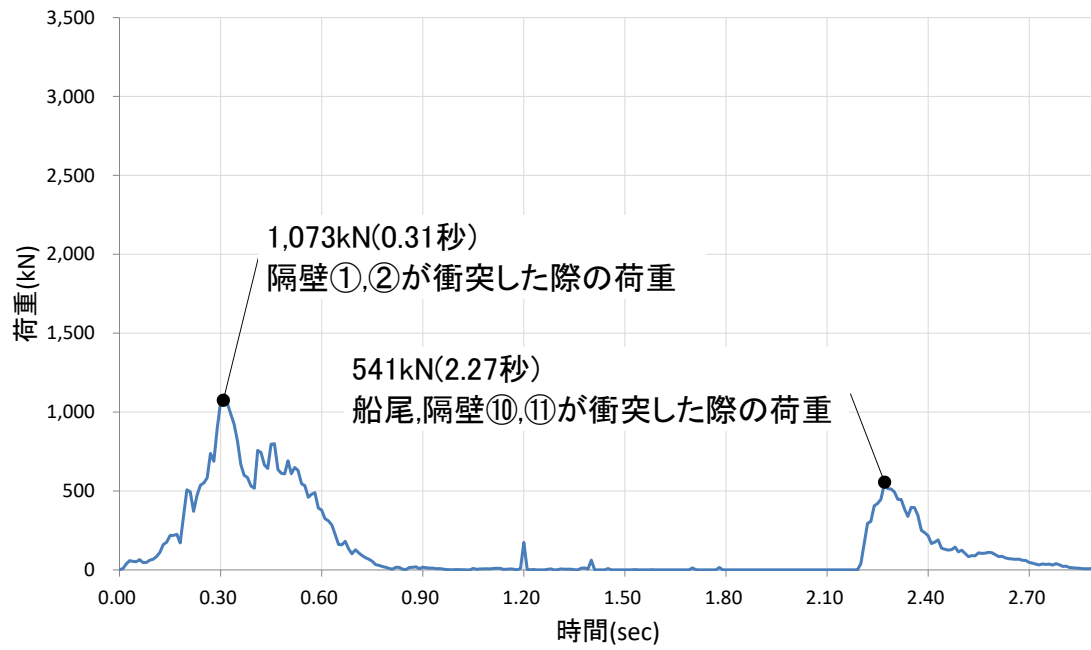
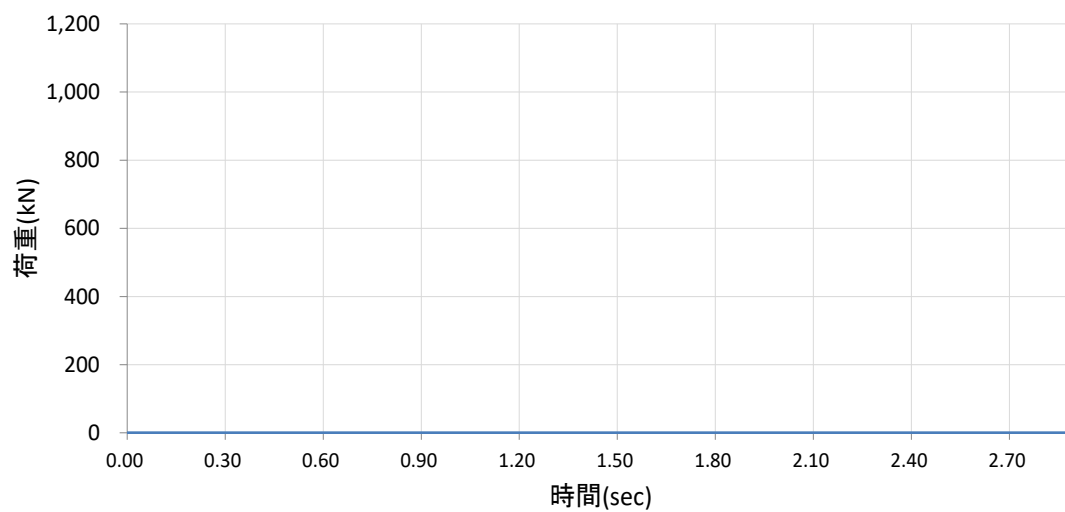
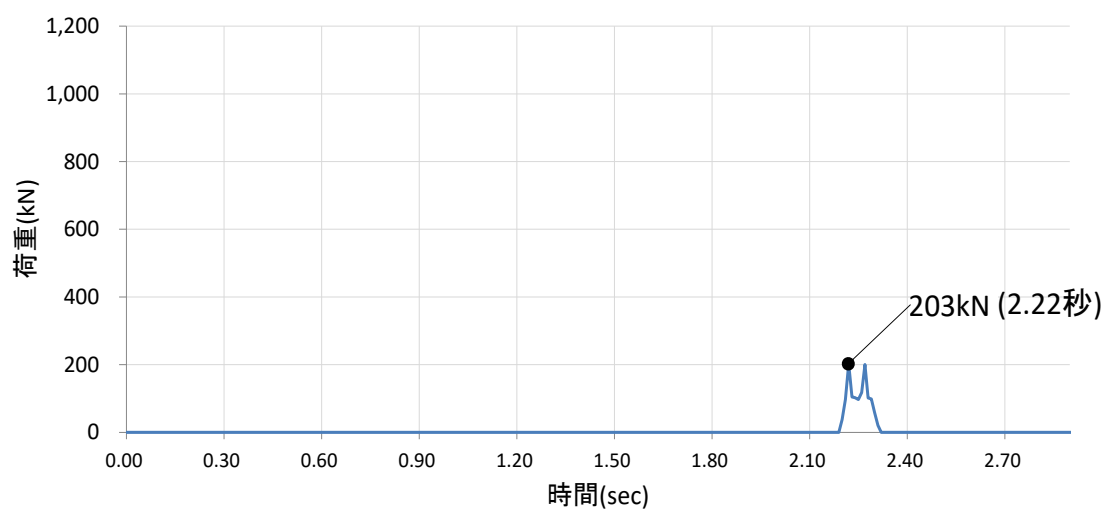


図 4.5.6-28 各剛壁の衝突荷重を集計した時刻歴

剛壁番号①



剛壁番号②



剛壁番号③

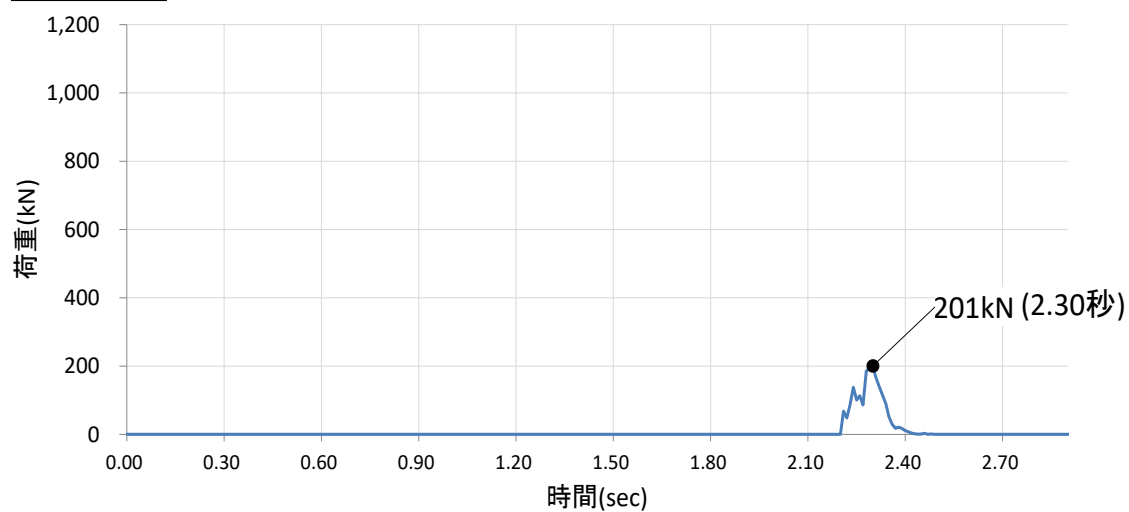
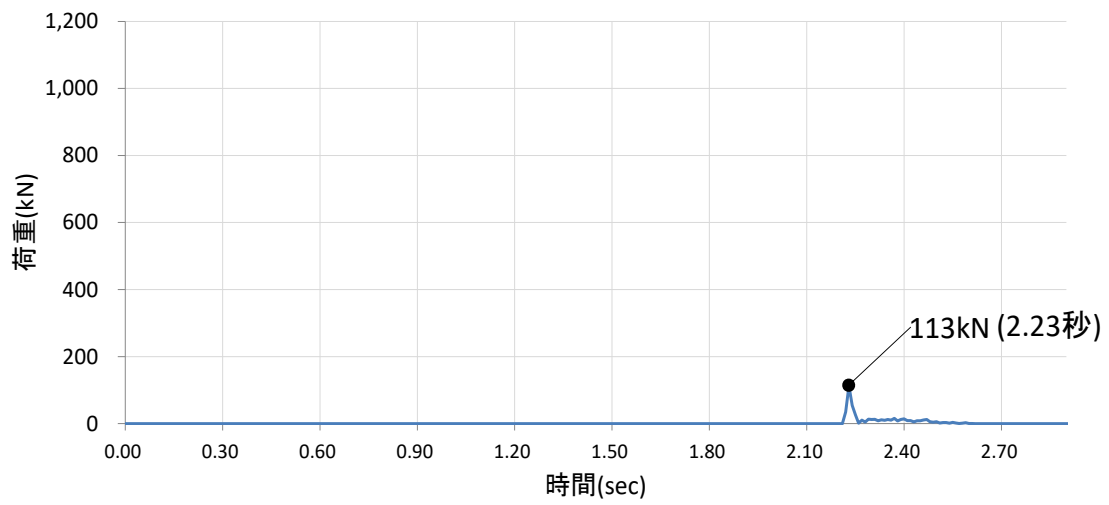
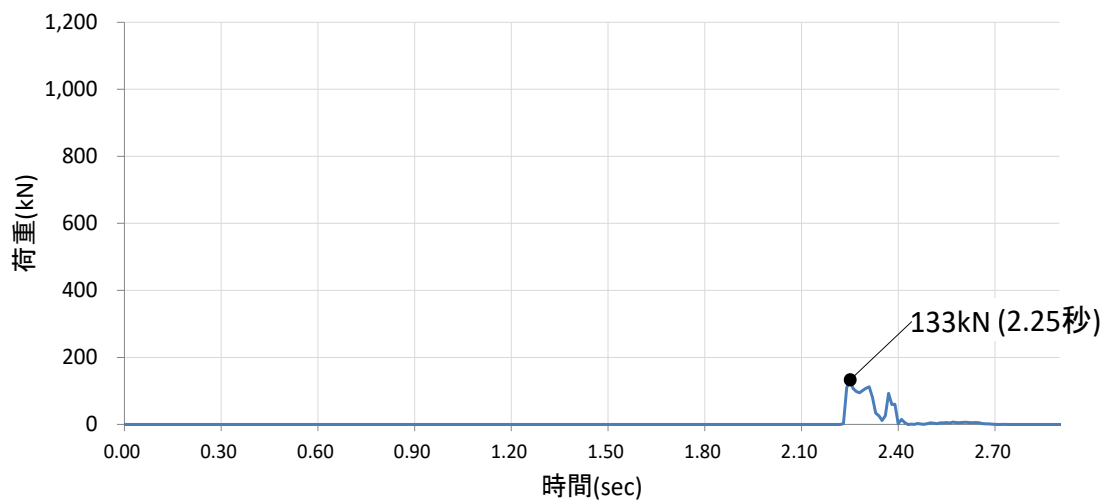


図 4.5.6-29 剛壁 1 mあたりの衝突荷重の時刻歴(1/8)

剛壁番号④



剛壁番号⑤



剛壁番号⑥

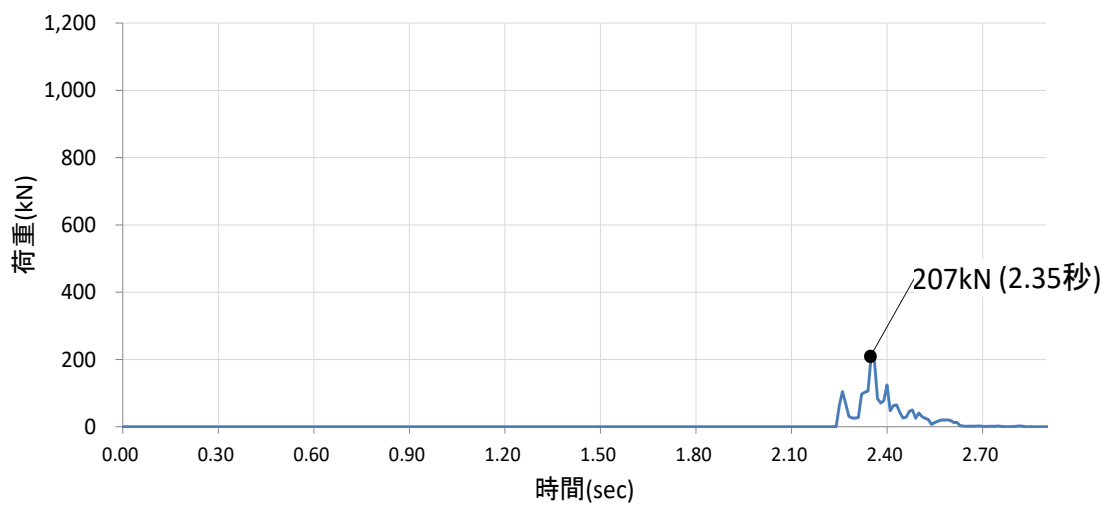
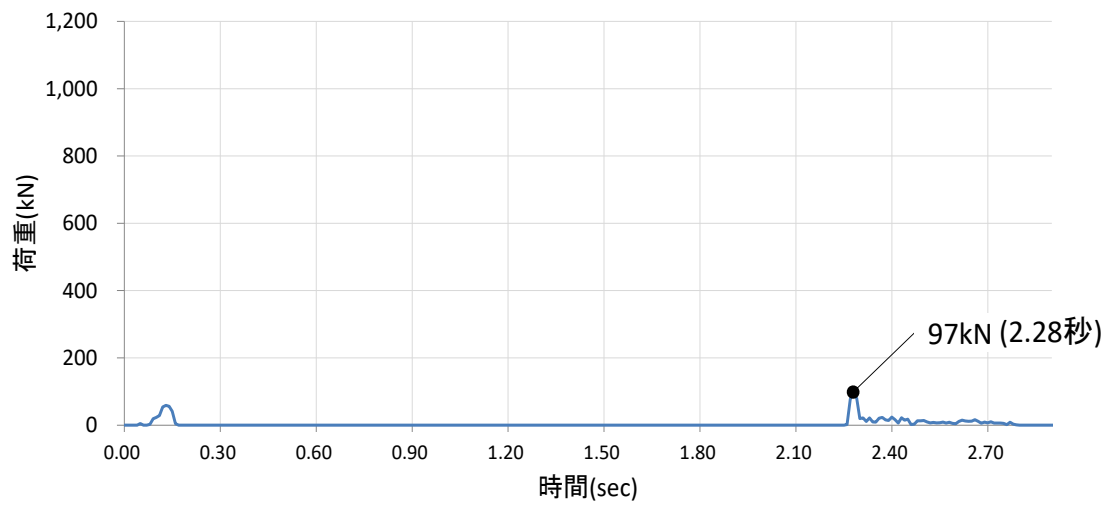
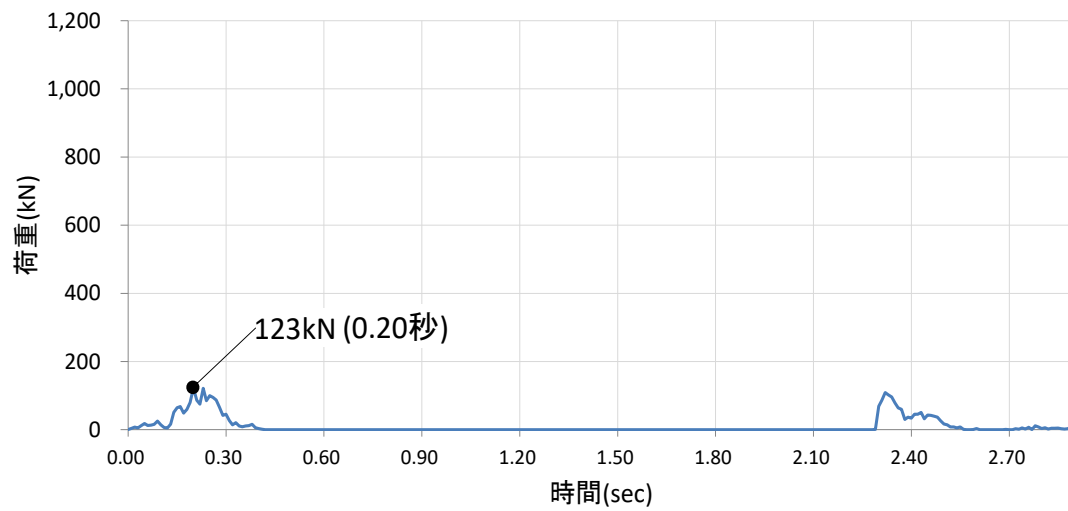


図 4.5.6-29 剛壁 1 mあたりの衝突荷重の時刻歴(2/8)

剛壁番号⑦



剛壁番号⑧



剛壁番号⑨

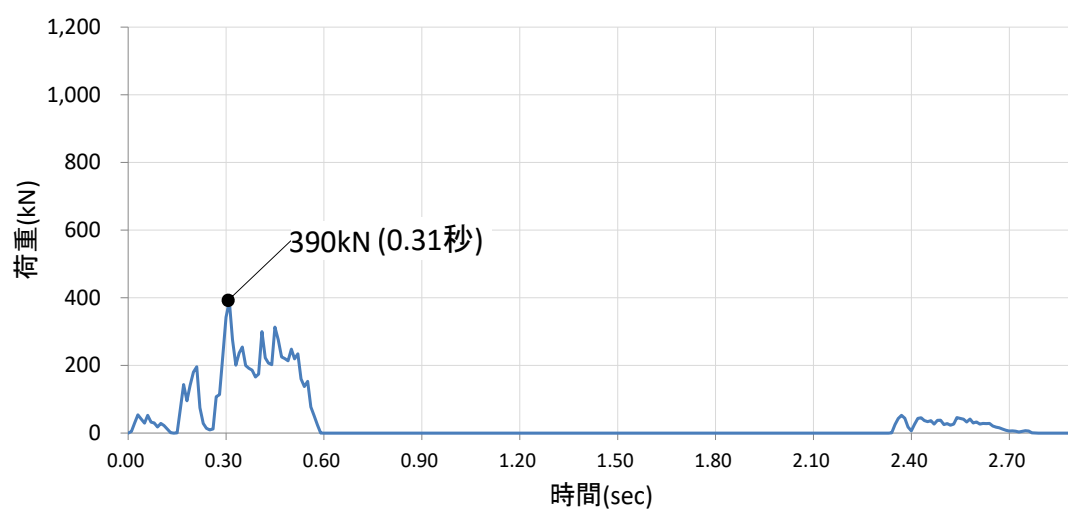
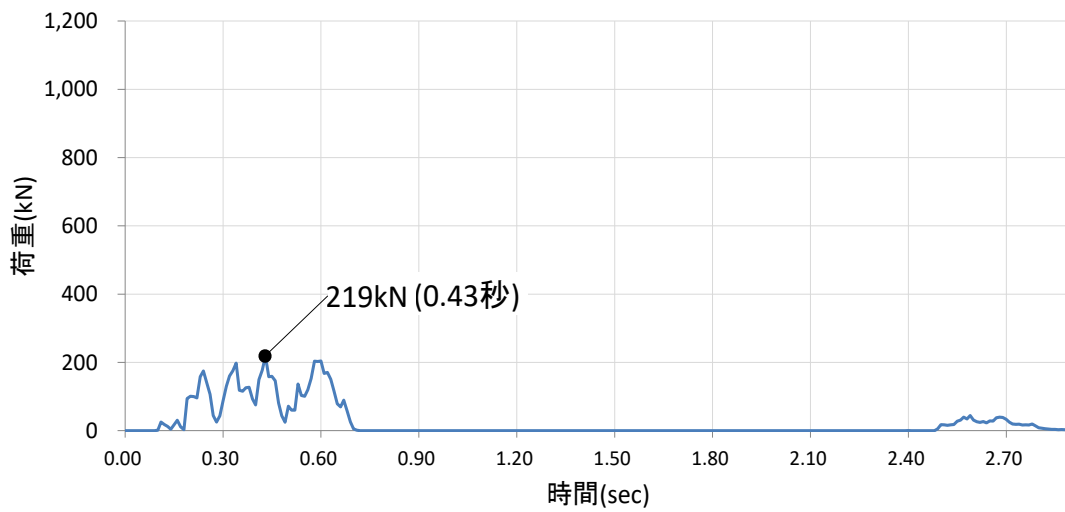
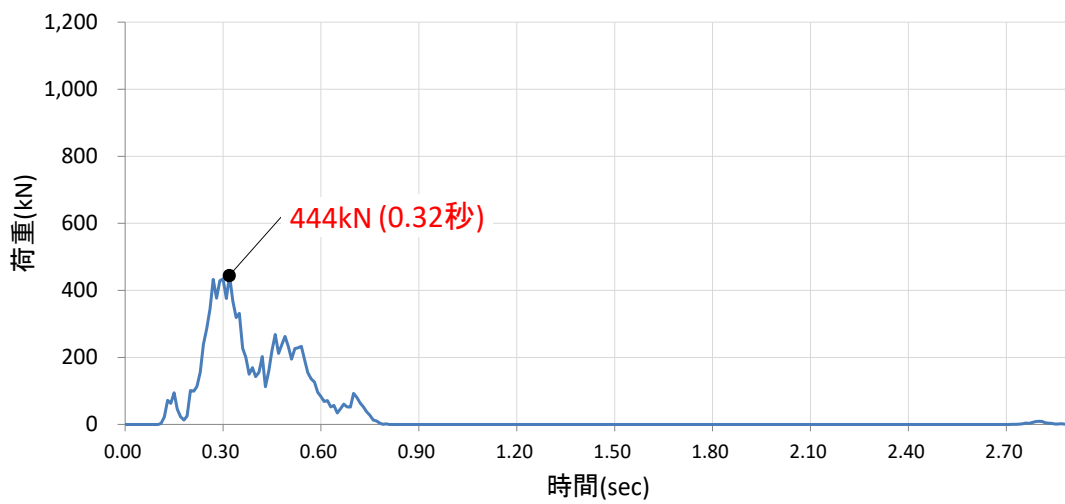


図 4.5.6-29 剛壁 1 mあたりの衝突荷重の時刻歴 (3/8)

剛壁番号⑩



剛壁番号⑪



剛壁番号⑫

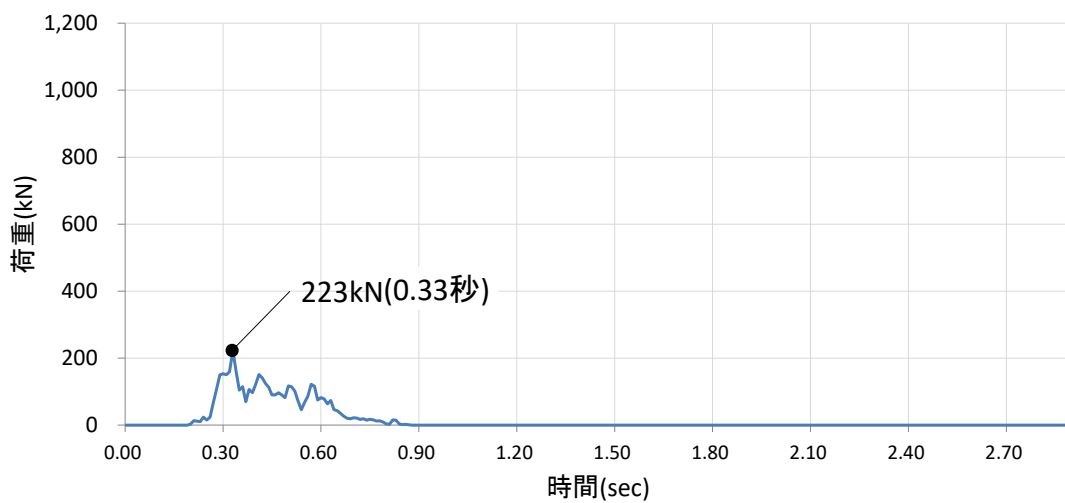
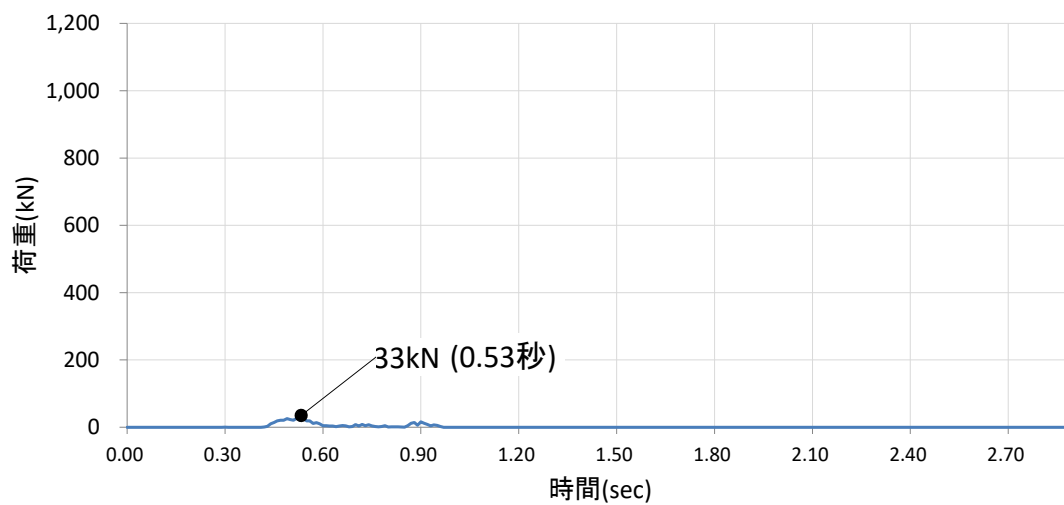


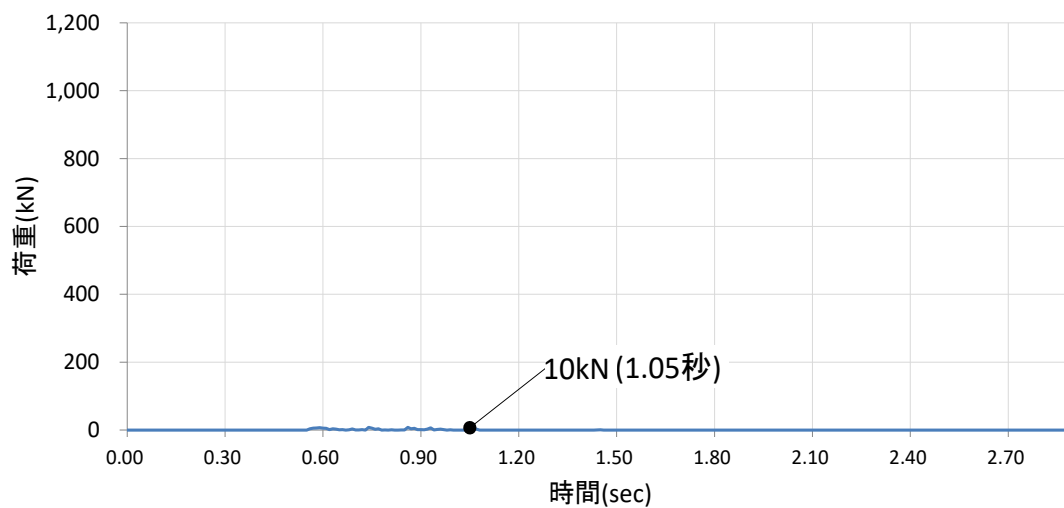
図 4.5.6-29 剛壁 1 mあたりの衝突荷重の時刻歴(4/8)



剛壁番号⑬



剛壁番号⑭



剛壁番号⑮

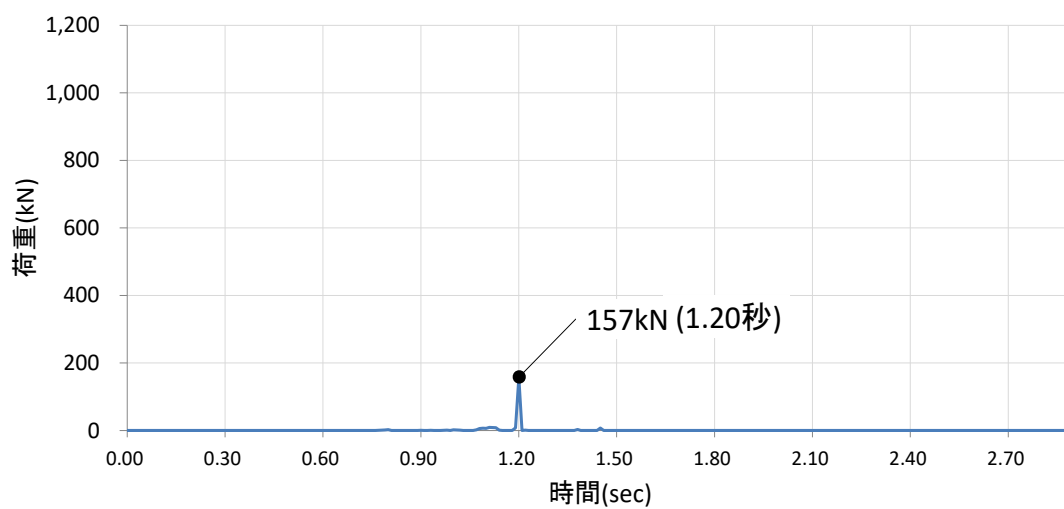
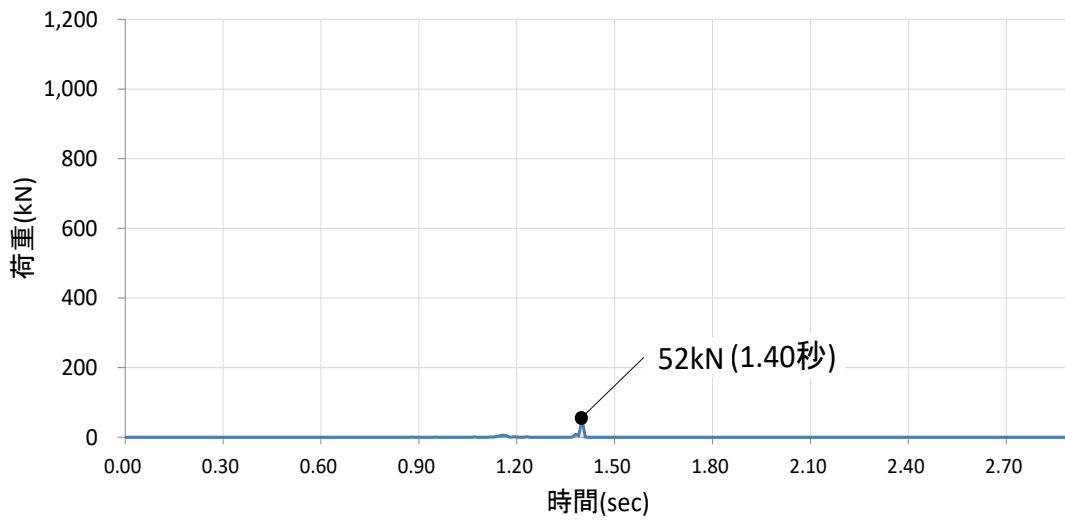
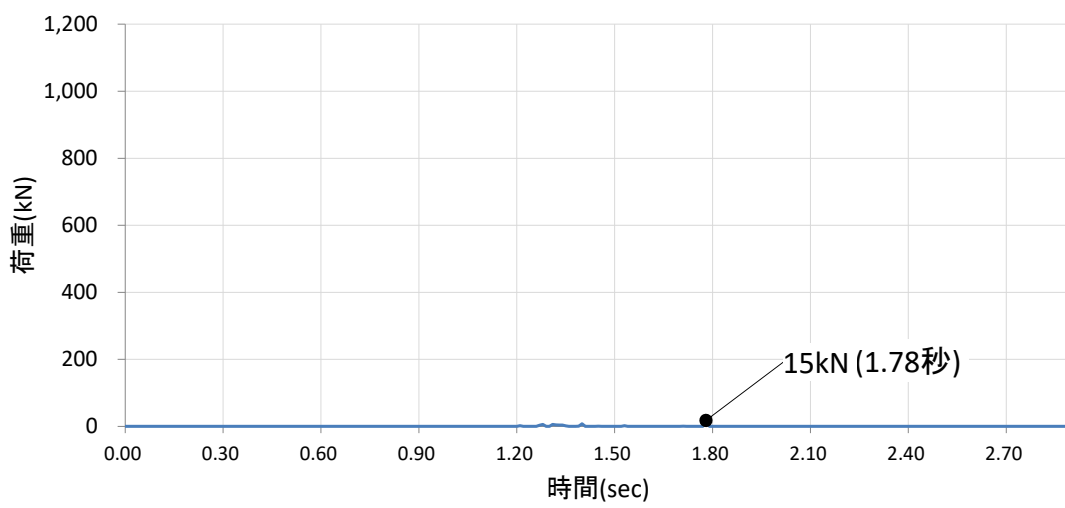


図 4.5.6-29 剛壁 1 mあたりの衝突荷重の時刻歴(5/8)

剛壁番号⑯



剛壁番号⑰



剛壁番号⑱

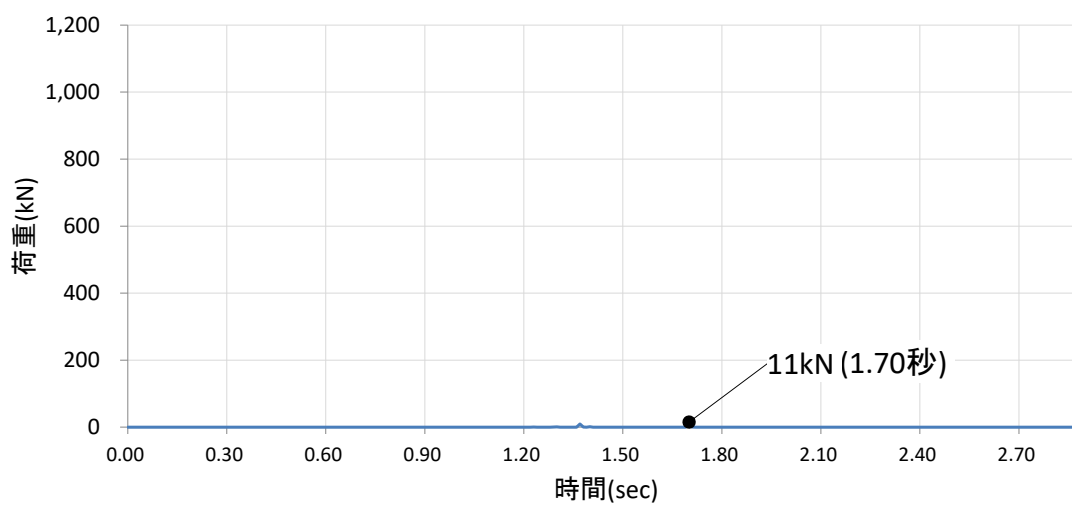
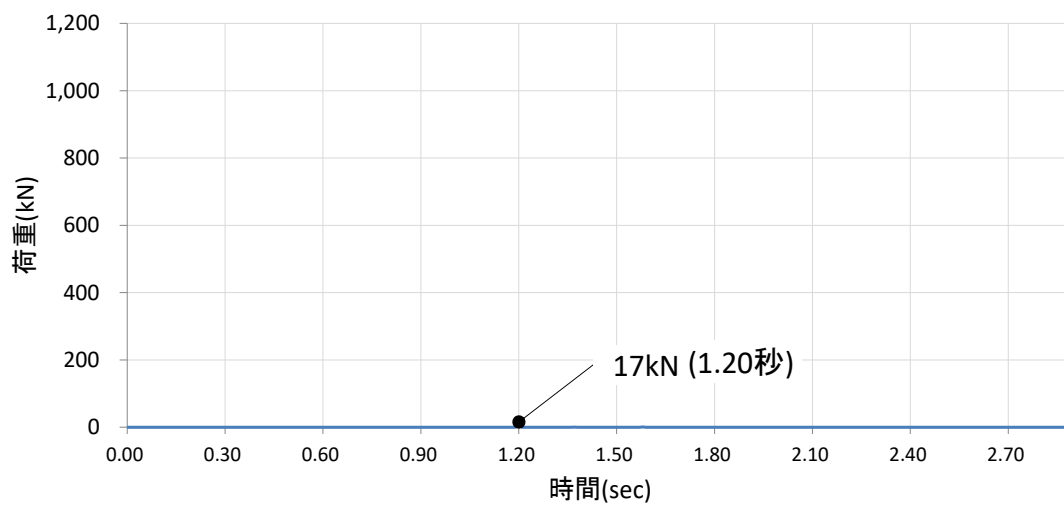
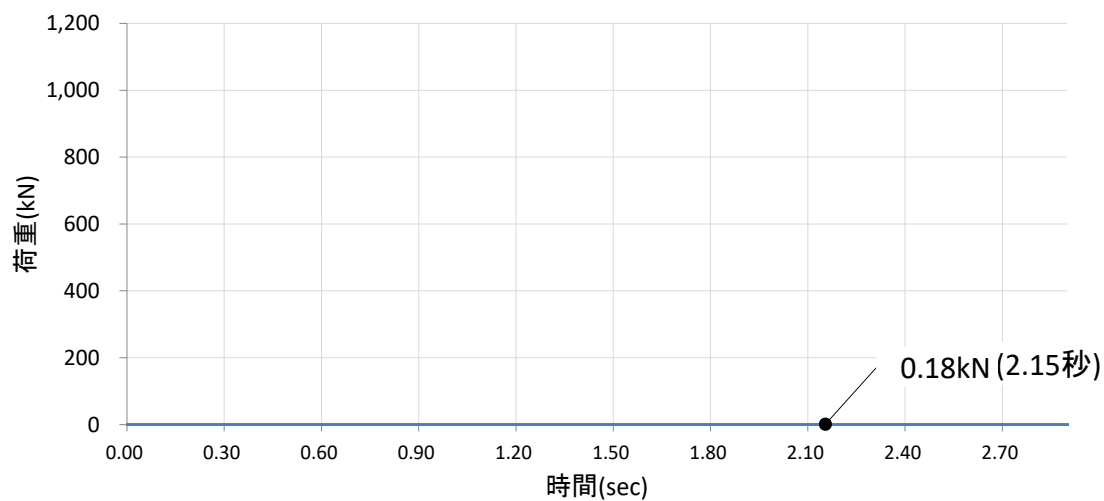


図 4.5.6-29 剛壁 1 mあたりの衝突荷重の時刻歴(6/8)

剛壁番号⑱



剛壁番号㉔



剛壁番号㉕

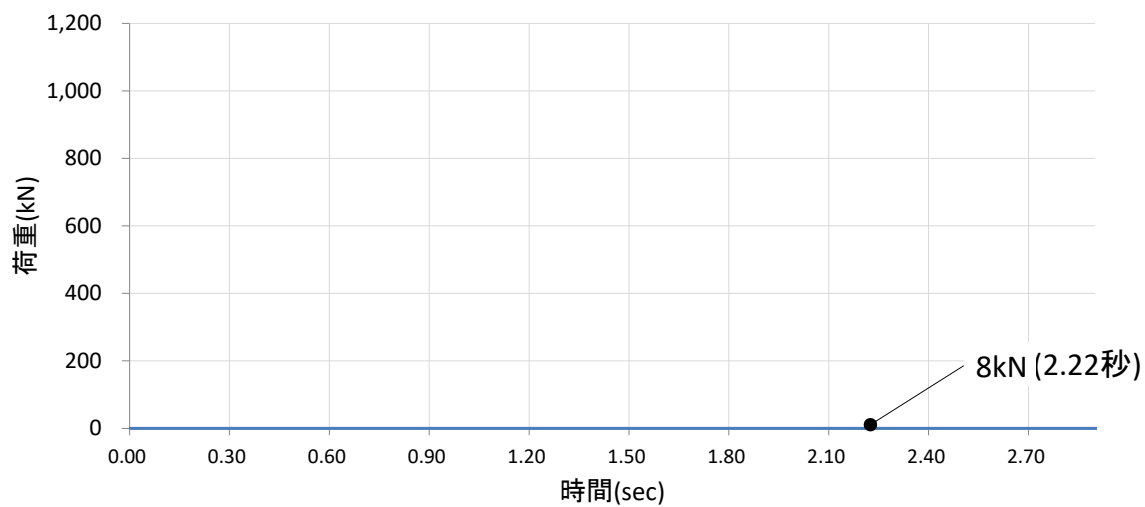


図 4.5.6-29 剛壁 1 mあたりの衝突荷重の時刻歴(7/8)

剛壁番号②

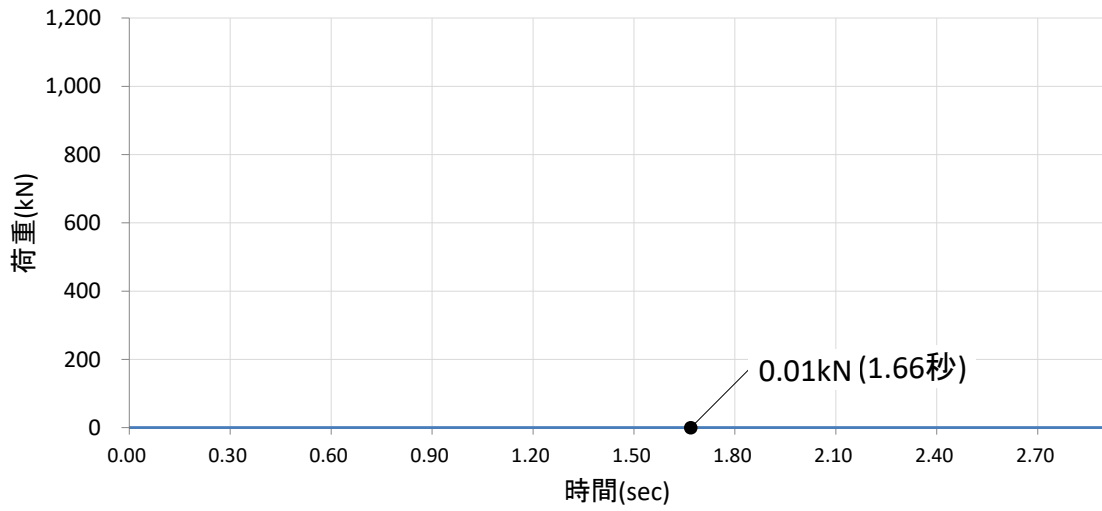


図 4.5.6-29 剛壁 1 m あたりの衝突荷重の時刻歴 (8/8)

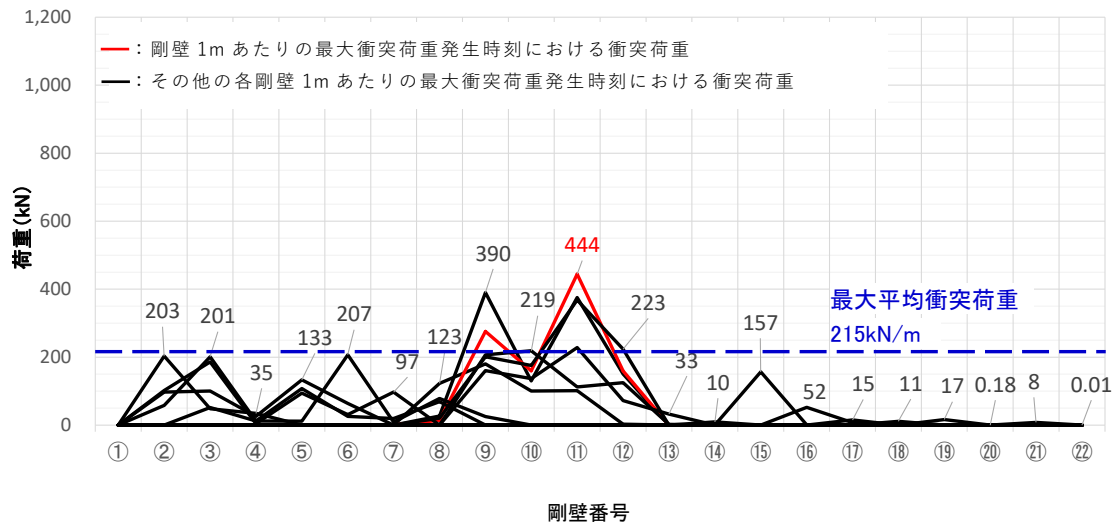


図 4.5.6-30 剛壁 1 m あたりの最大衝突荷重発生時刻における衝突荷重分布

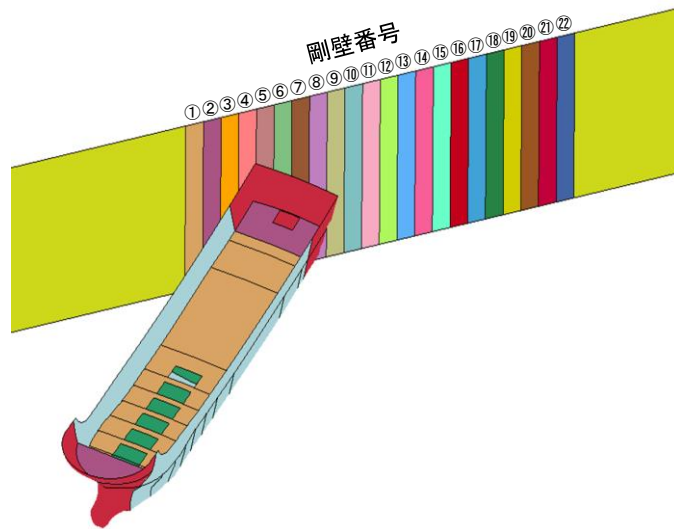
表 4.5.6-10 衝突荷重のまとめ

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

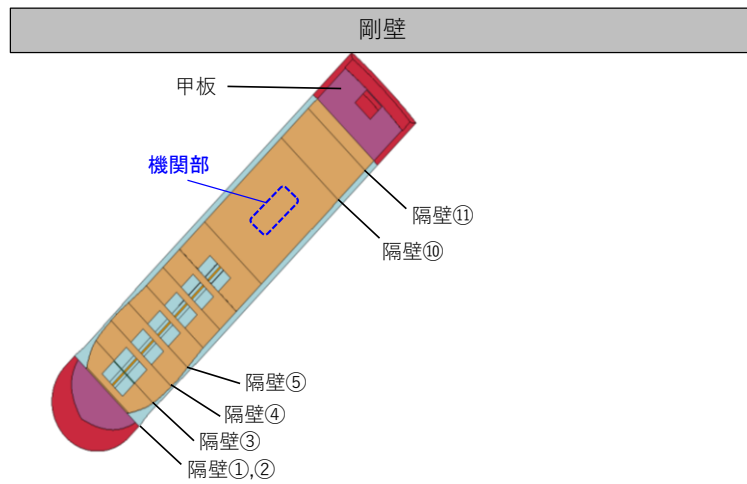
(e) ケース⑤（斜め船尾衝突）

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あたりの衝突荷重の時刻歴，図 4.5.6-34 に剛壁 1 mあ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。

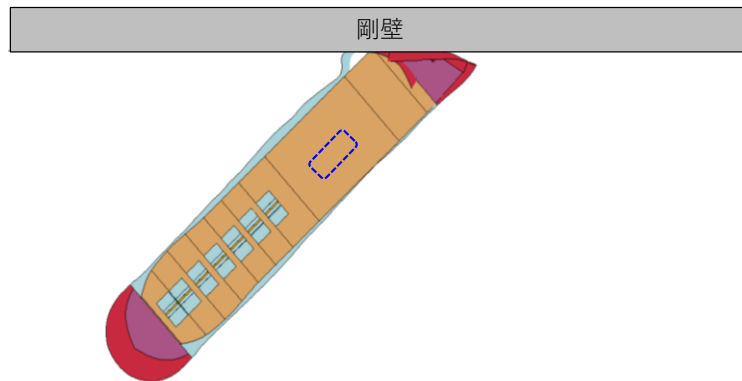
- ・図 4.5.6-31 より，機関部（エンジン）が剛壁へ衝突していないことから，機関部の影響がないことを確認した。
- ・図 4.5.6-32 より，各剛壁（剛壁番号①～②）の衝突荷重を集計した場合においては，衝突直後から荷重が大きくなり，衝突後 0.51 秒（船尾，隔壁①衝突時）に 685kN の荷重が作用していることを確認した。また，衝突後 2.48 秒（隔壁①～⑤付近衝突時）で最大となる 1,294kN となる荷重が作用しており，これは斜めから衝突した後に船体が剛壁に平行となる方向に回転し，船尾付近の船体側面が衝突することにより瞬間的に生じていることを確認した。
- ・最大衝突荷重 1,294kN 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あ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

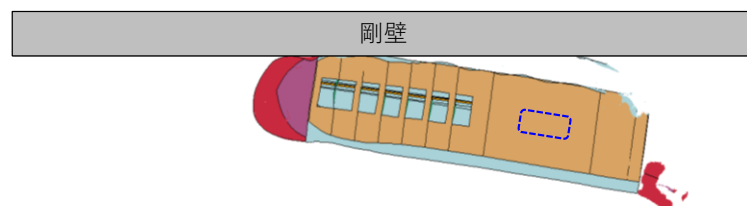


図 4.5.6-31 衝突状況

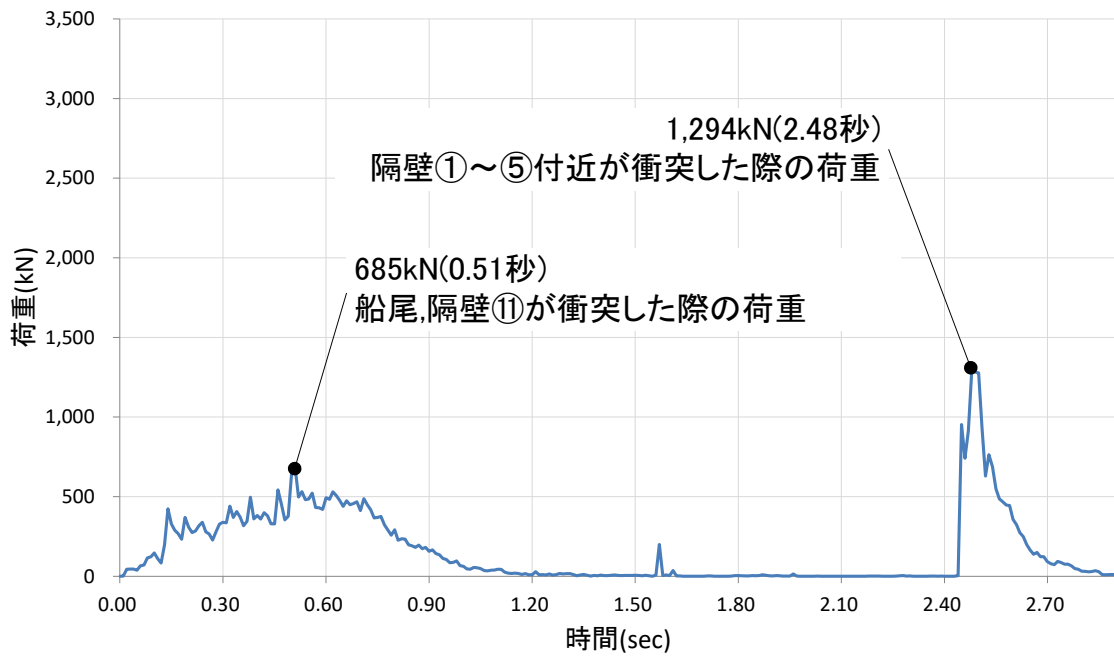
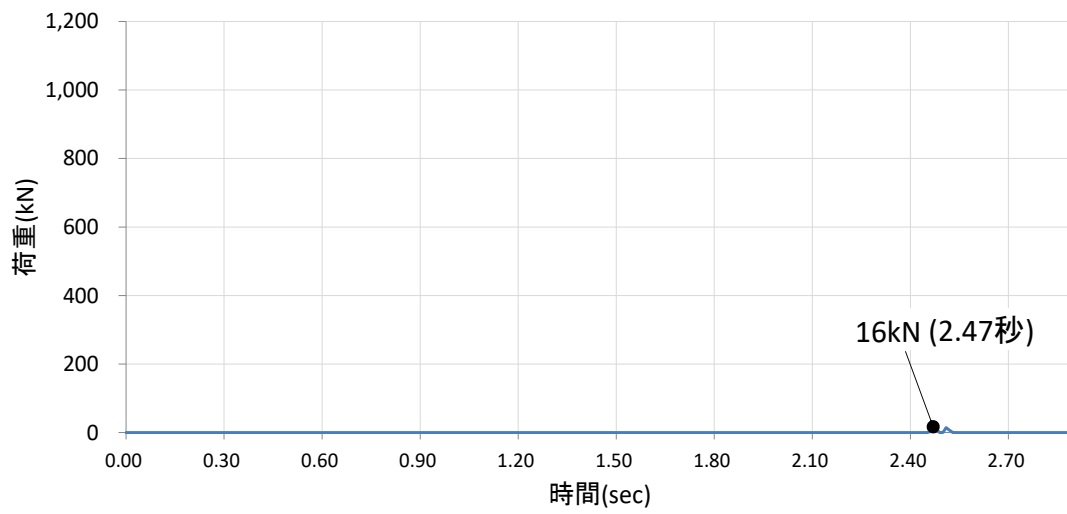
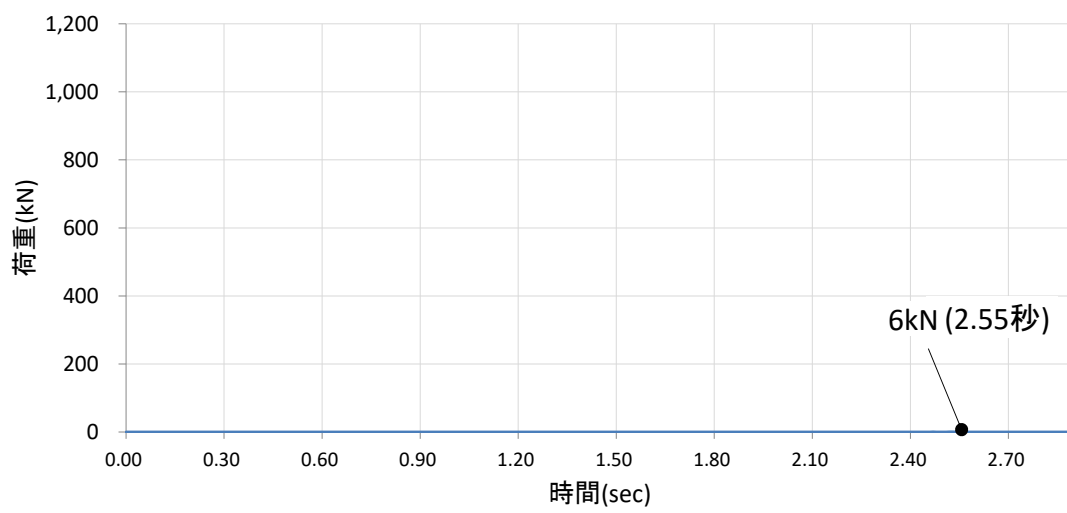


図 4.5.6-32 各剛壁の衝突荷重を集計した時刻歴

剛壁番号①



剛壁番号②



剛壁番号③

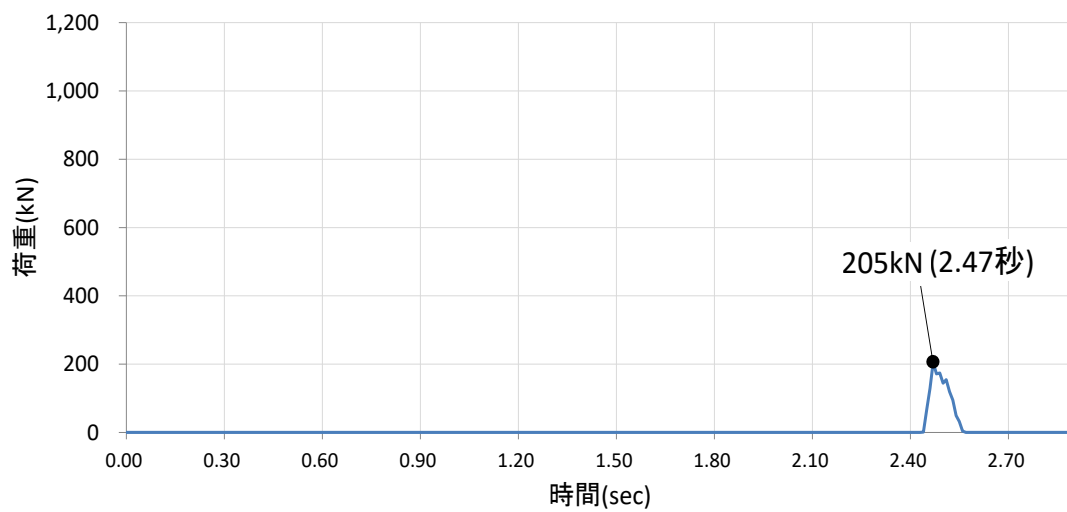
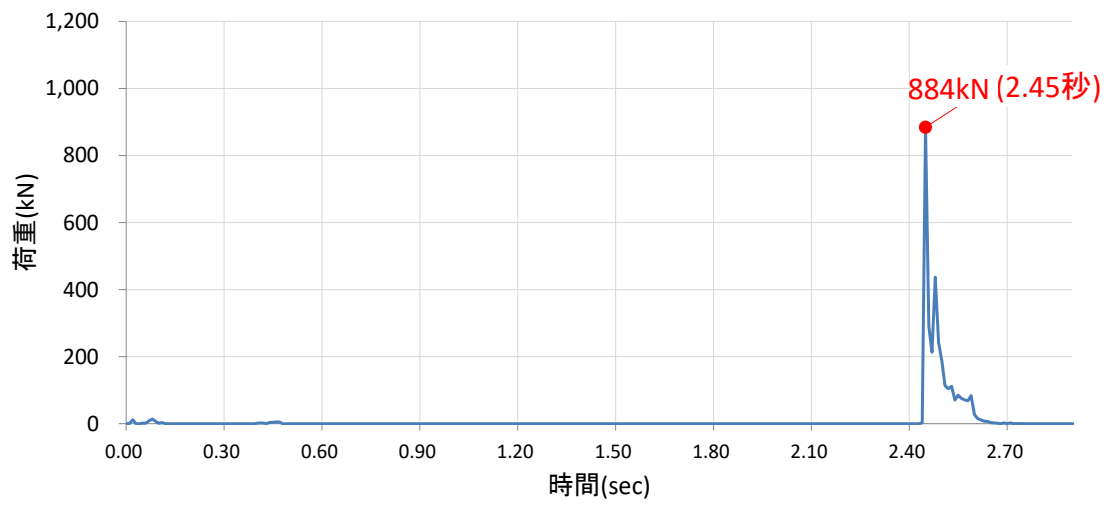


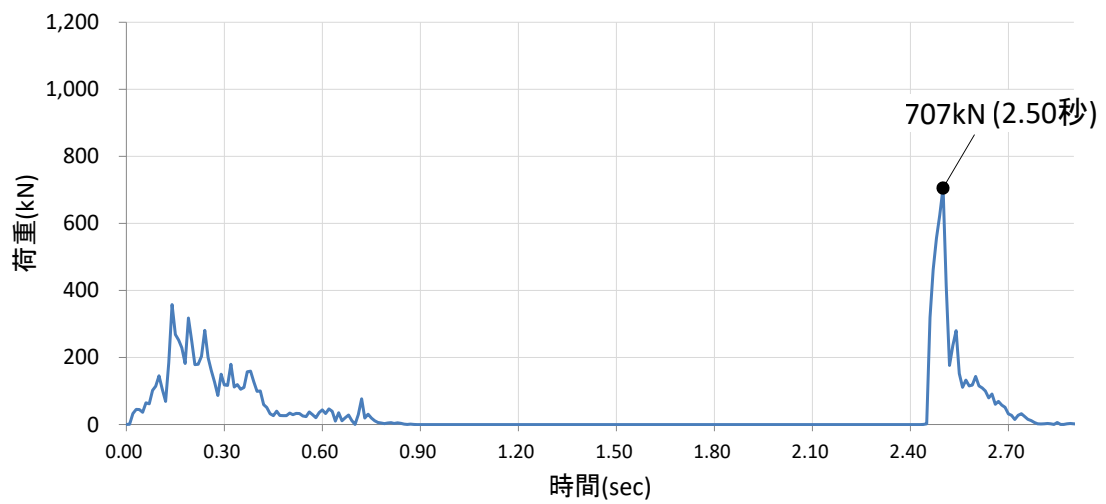
図 4.5.6-33 剛壁 1 mあたりの衝突荷重の時刻歴(1/8)



剛壁番号④



剛壁番号⑤



剛壁番号⑥

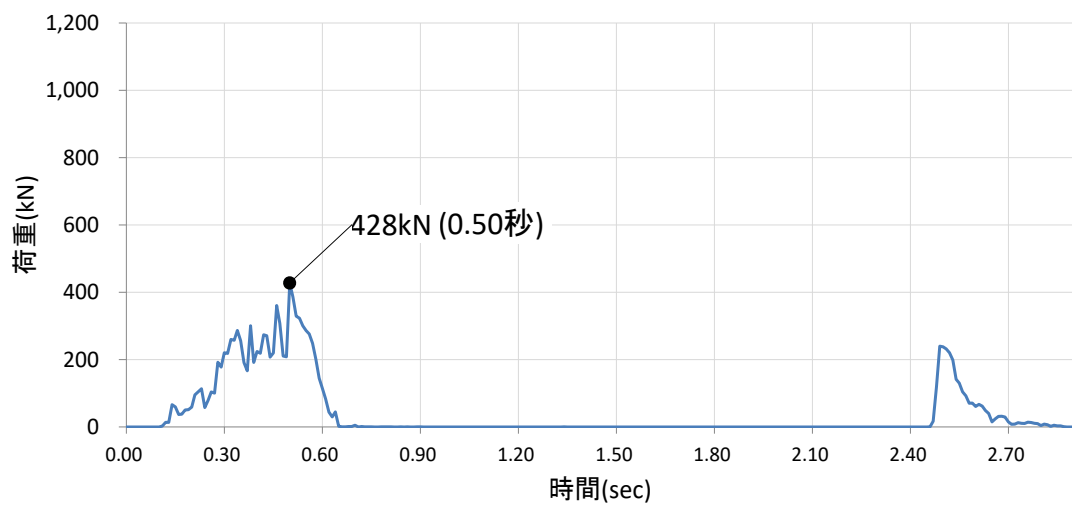
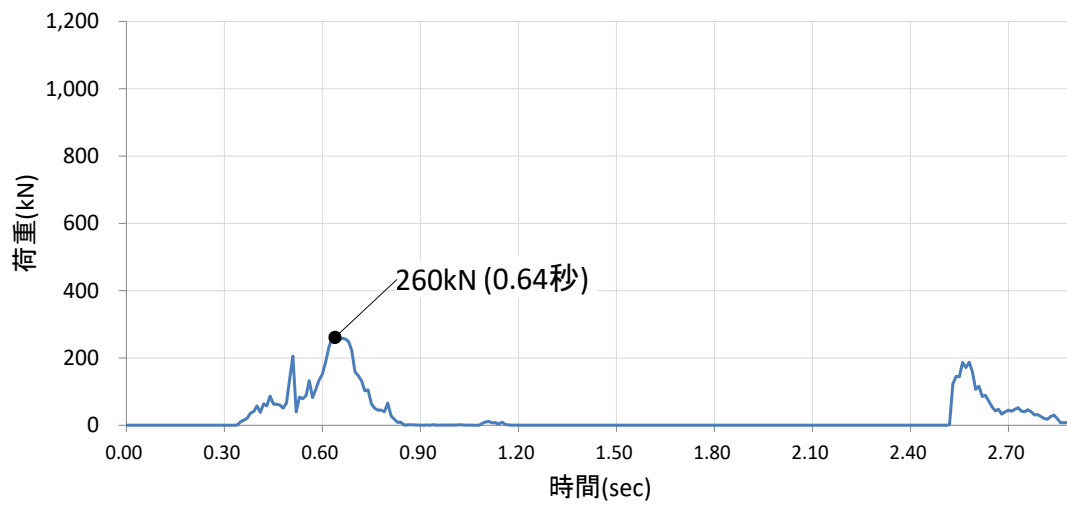
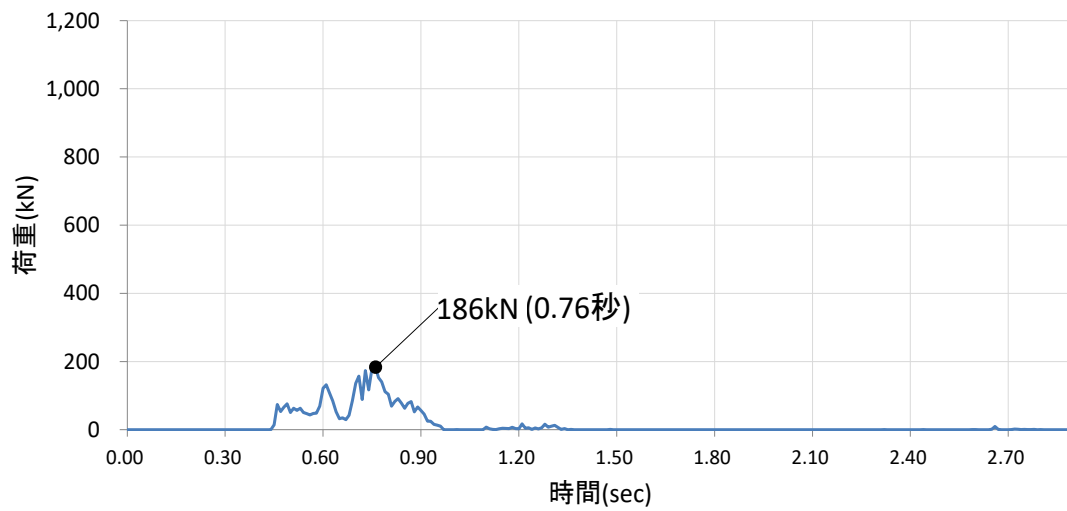


図 4.5.6-33 剛壁 1 mあたりの衝突荷重の時刻歴(2/8)

剛壁番号⑦



剛壁番号⑧



剛壁番号⑨

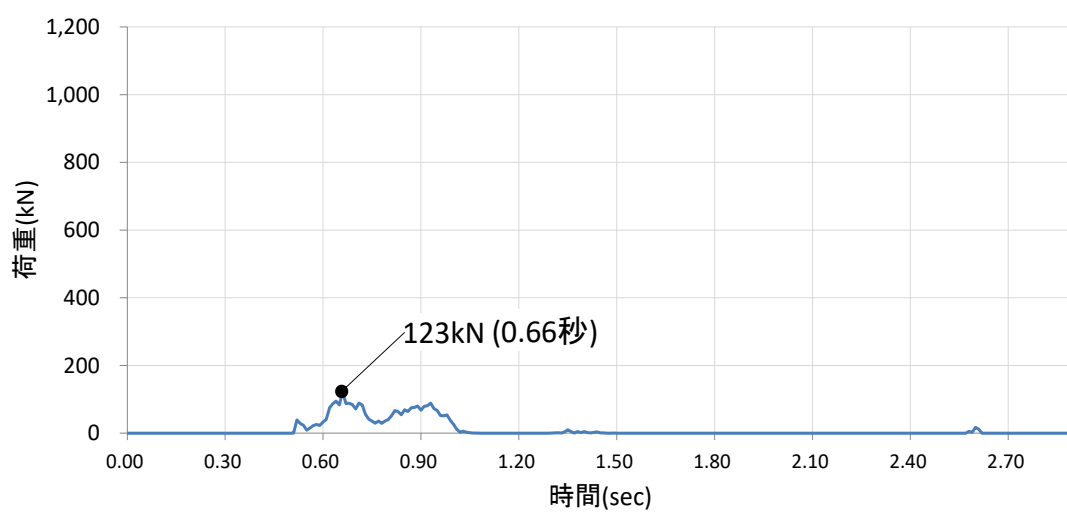
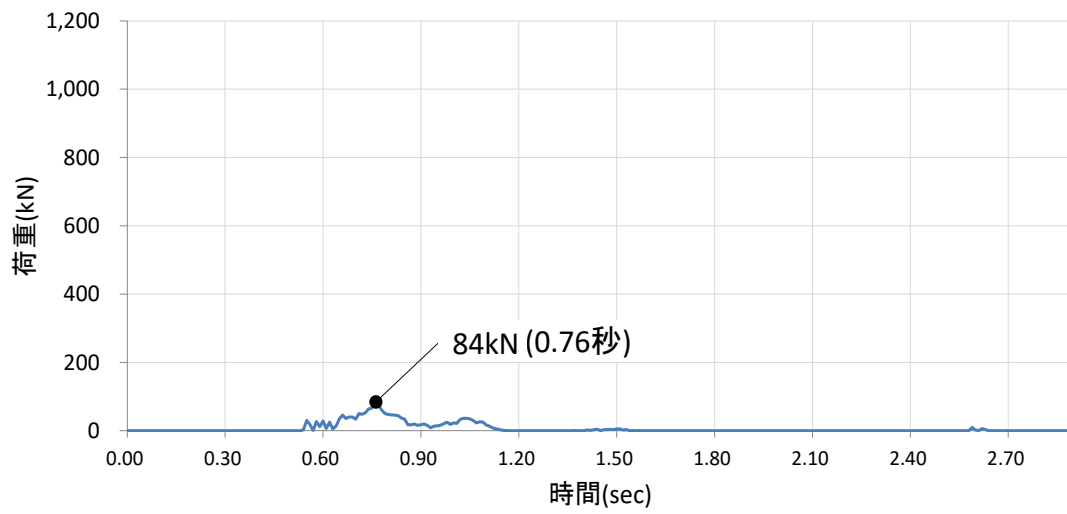
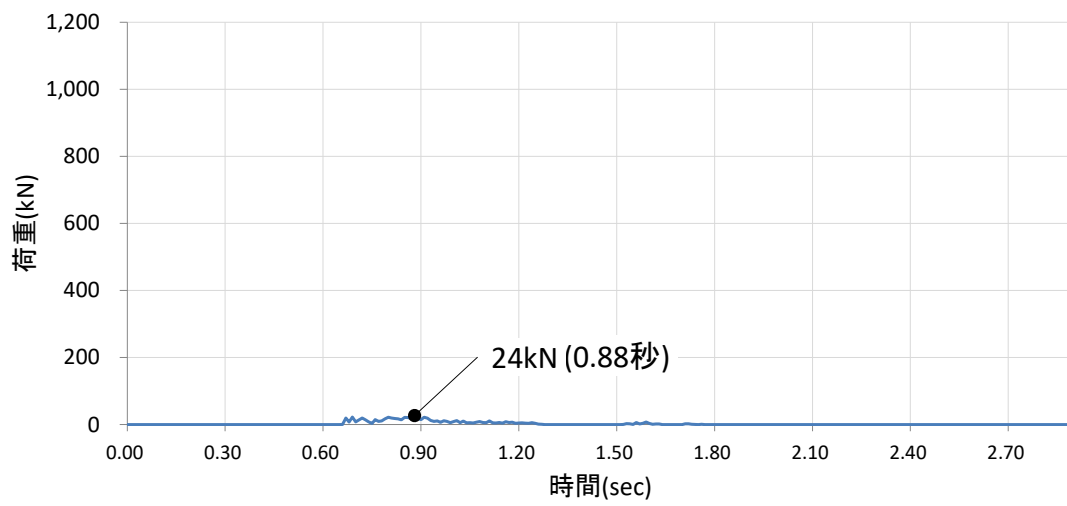


図 4.5.6-33 剛壁 1 mあたりの衝突荷重の時刻歴(3/8)

剛壁番号⑩



剛壁番号⑪



剛壁番号⑫

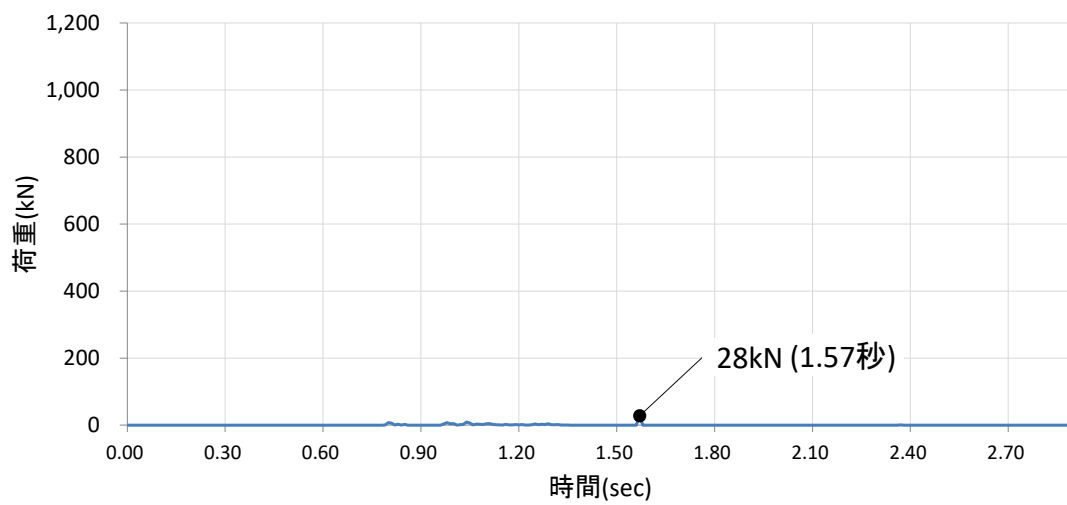
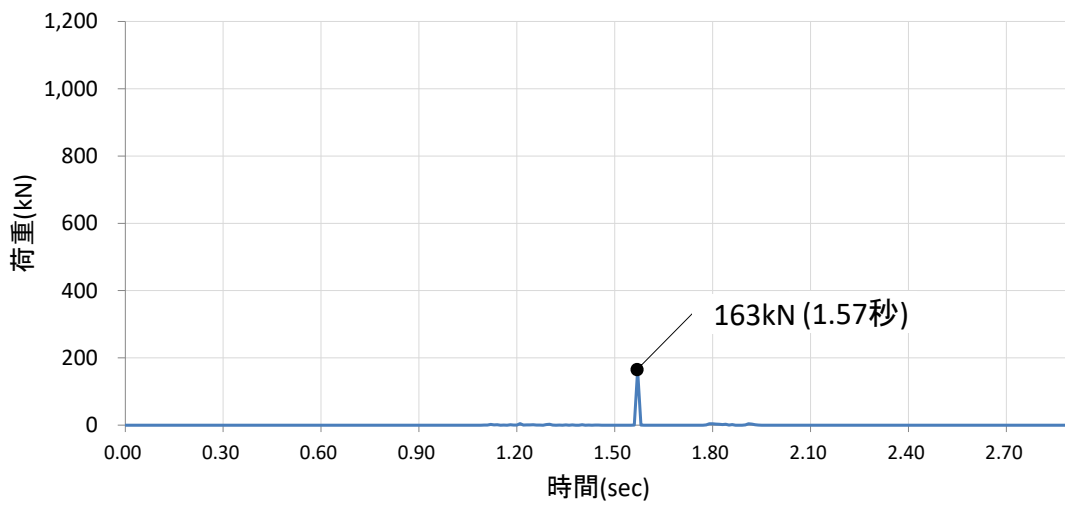
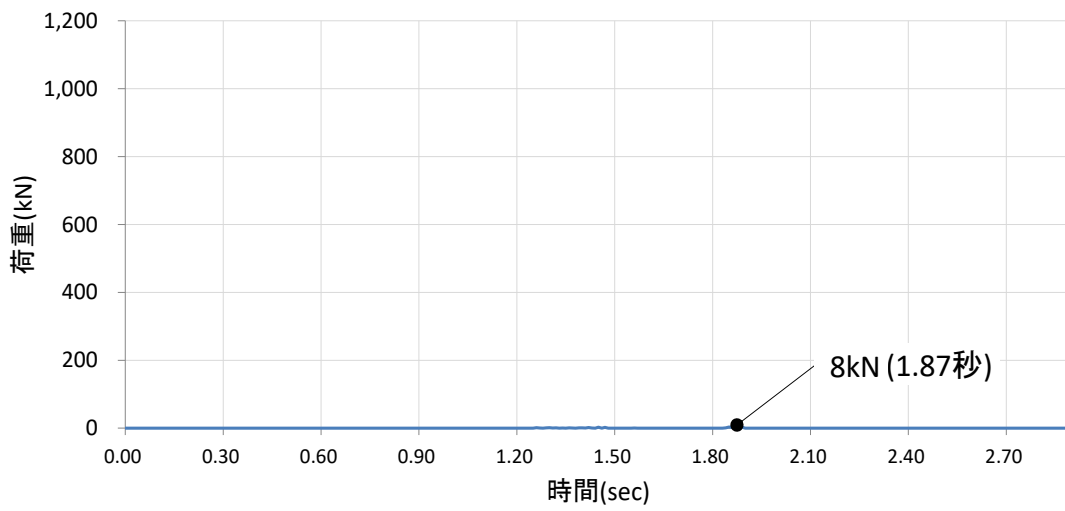


図 4.5.6-33 剛壁 1 mあたりの衝突荷重の時刻歴(4/8)

剛壁番号⑬



剛壁番号⑭



剛壁番号⑮

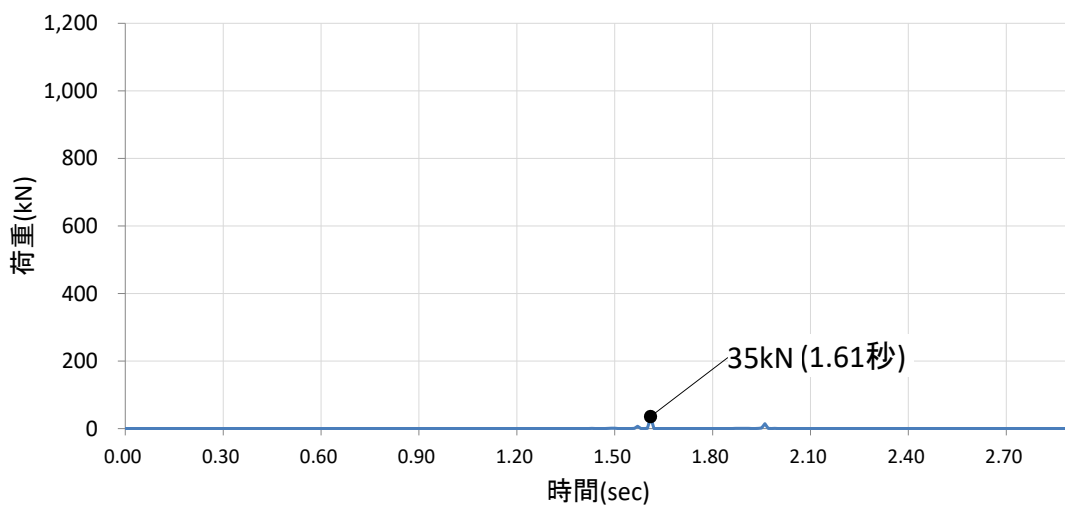
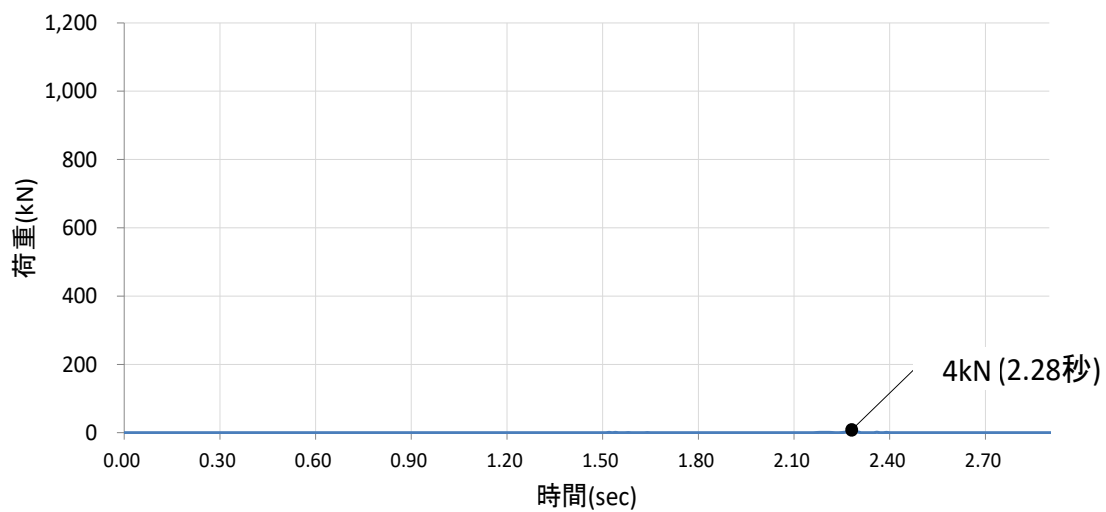
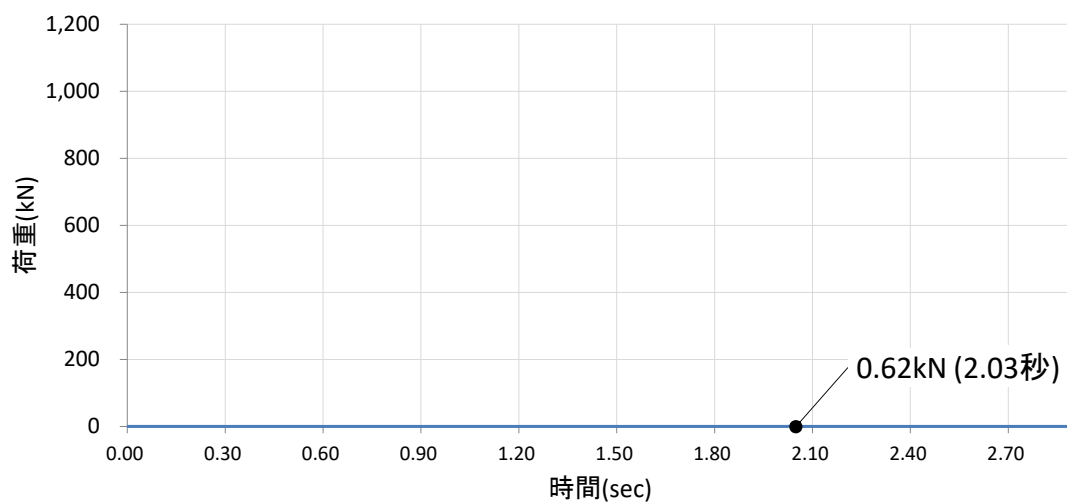


図 4.5.6-33 剛壁 1 mあたりの衝突荷重の時刻歴(5/8)

剛壁番号⑬



剛壁番号⑭



剛壁番号⑮

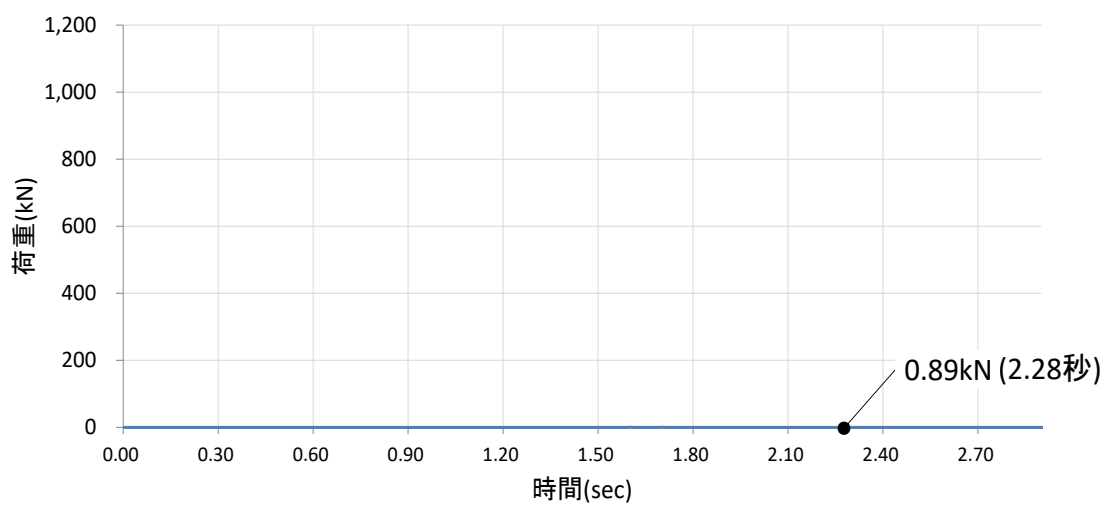
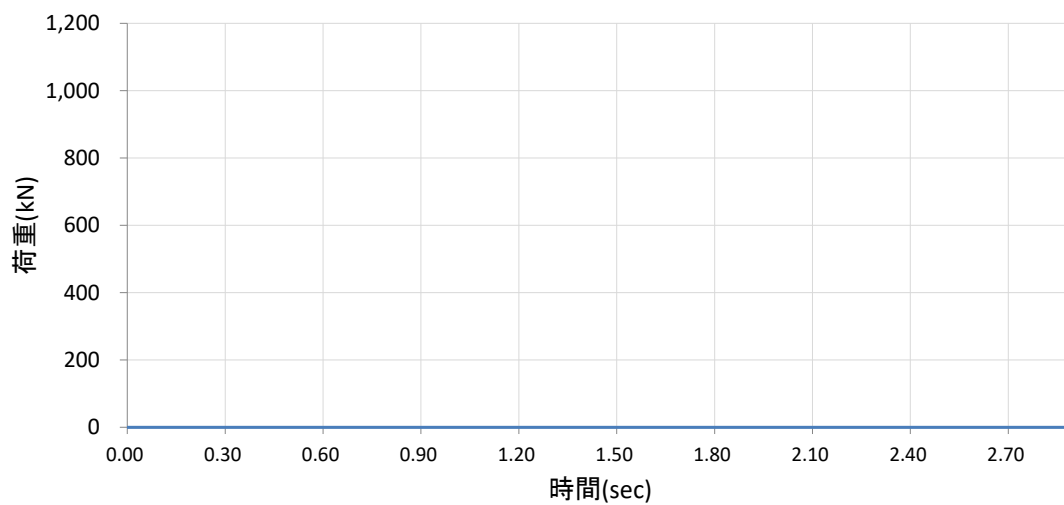
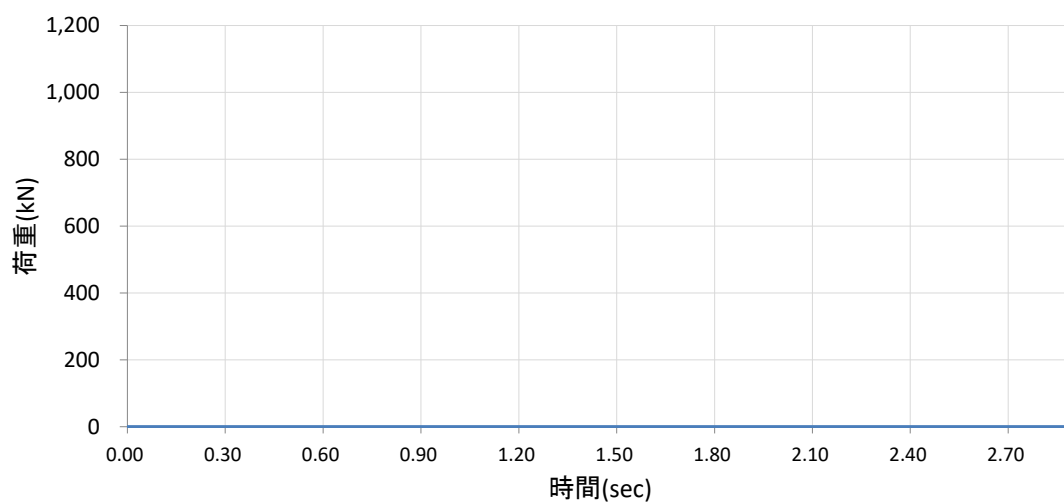


図 4.5.6-33 剛壁 1 mあたりの衝突荷重の時刻歴(6/8)

剛壁番号⑱



剛壁番号㉑



剛壁番号㉒

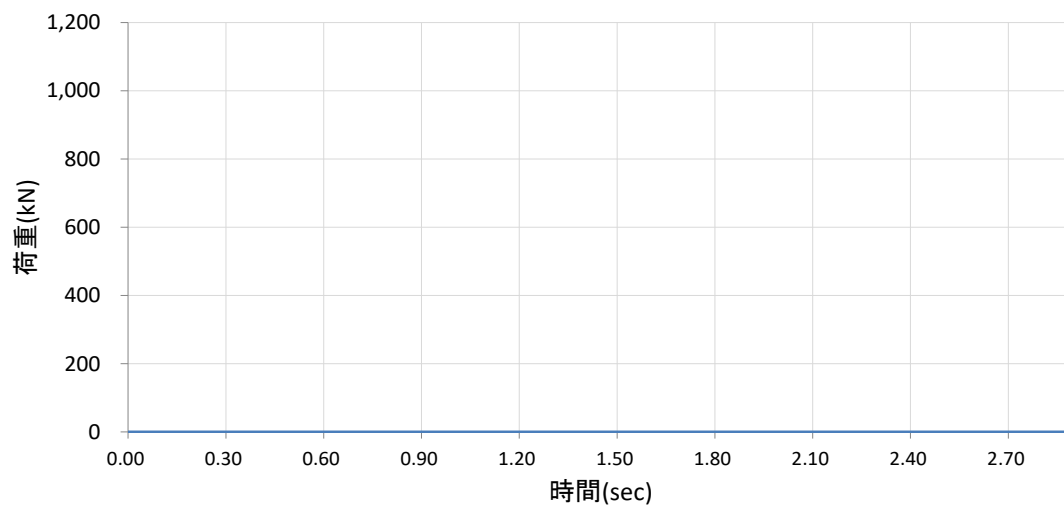


図 4.5.6-33 剛壁 1 mあたりの衝突荷重の時刻歴(7/8)

剛壁番号②

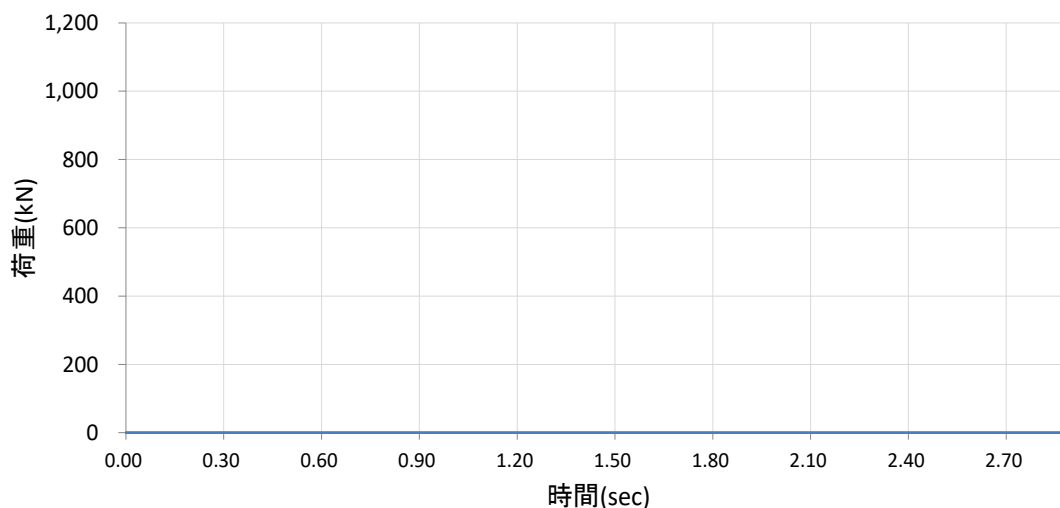


図 4.5.6-33 剛壁 1 mあたりの衝突荷重の時刻歴(8/8)

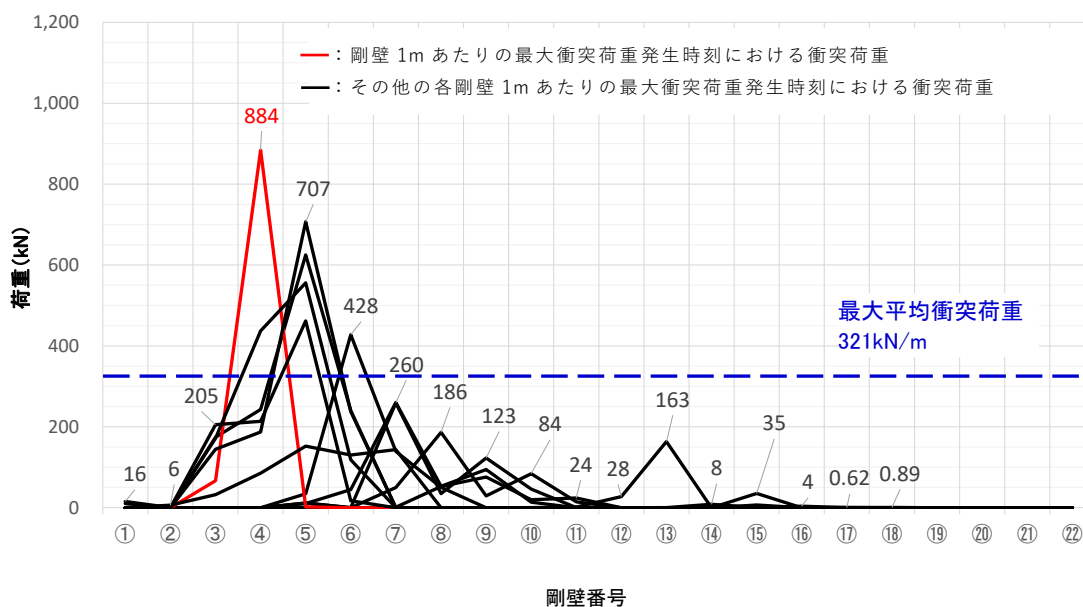


図 4.5.6-34 剛壁 1 mあたりの最大衝突荷重発生時刻における衝突荷重分布

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あたりの 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あたりの衝突荷重は、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あたりの 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。

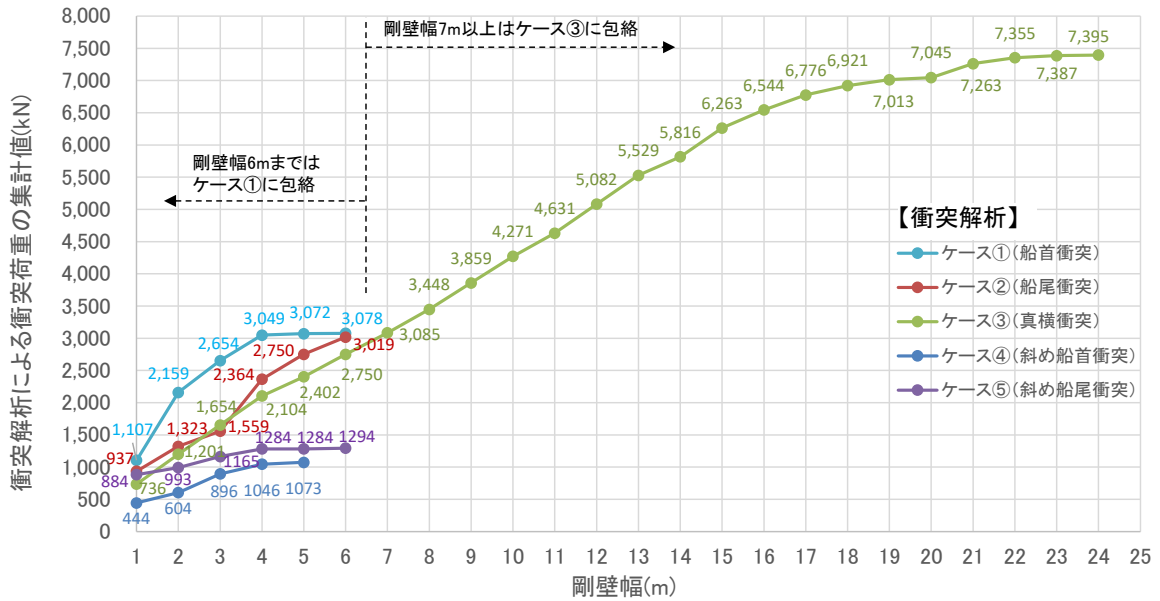


図 4.5.6-35 剛壁幅毎に作用する最大衝突荷重

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 5~6m 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 6m まではケース①（船首衝突）に包絡され，剛壁幅 7m 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、1m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 1mあたりの荷重として設定する。

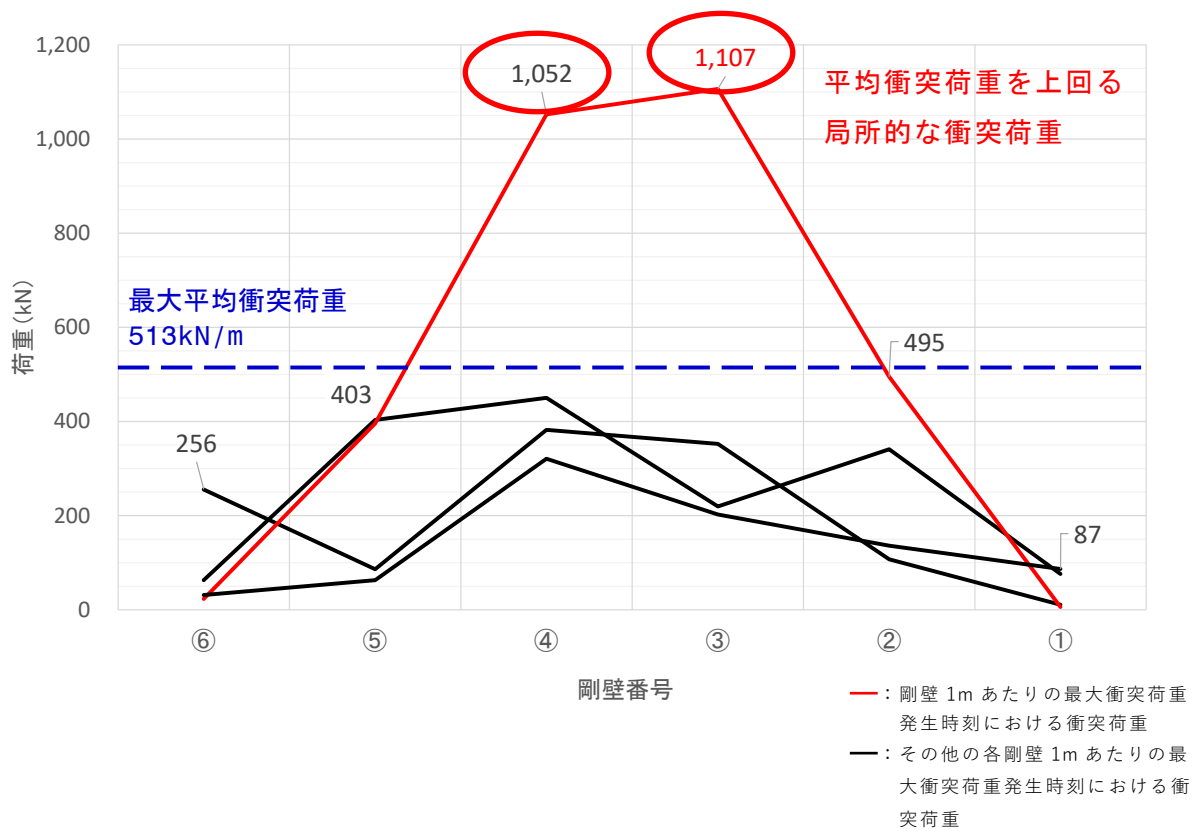


図 4.5.6-36 局所的な衝突荷重

(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あたっては、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。

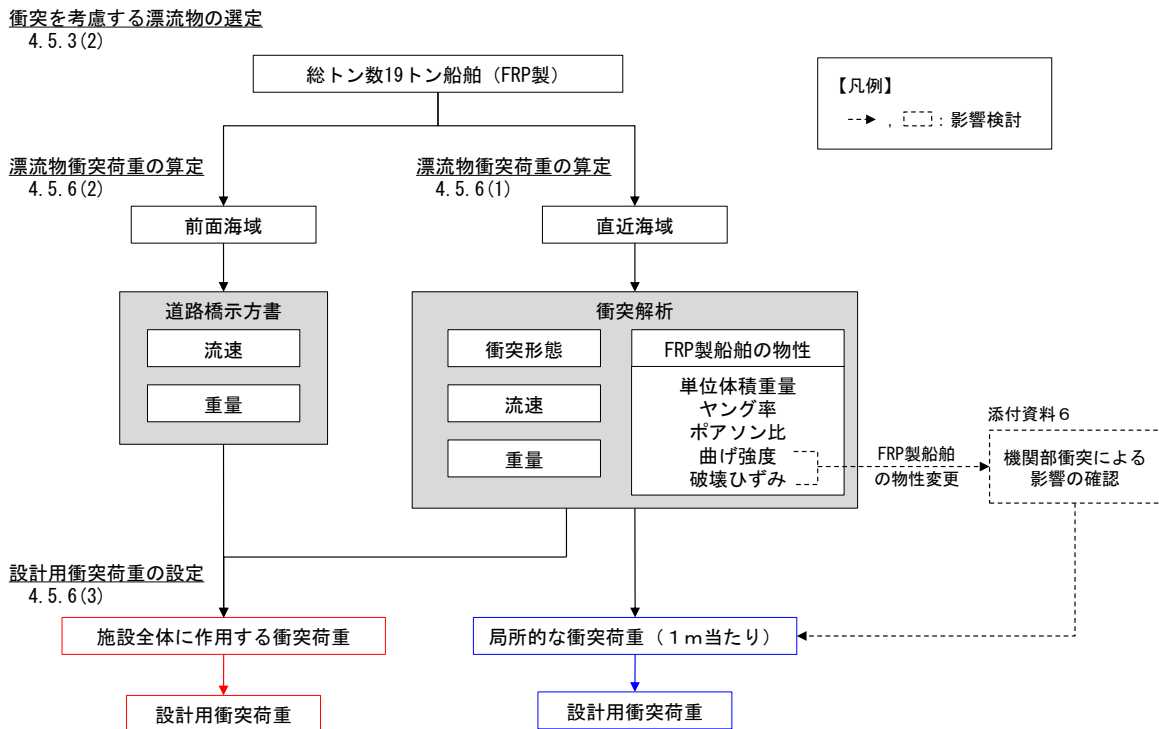


図 4.5.6-37 設計用衝突荷重の設定フロー

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 6m まではケース①（船首衝突）に包絡され、剛壁幅 7m 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。

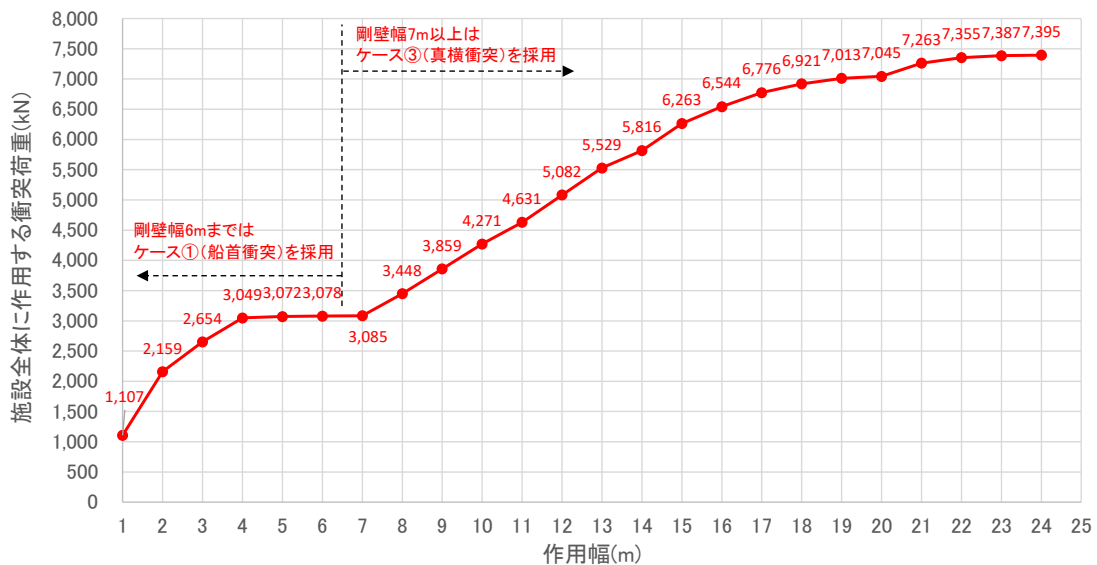


図 4.5.6-38 施設全体に作用する衝突荷重（衝突解析）

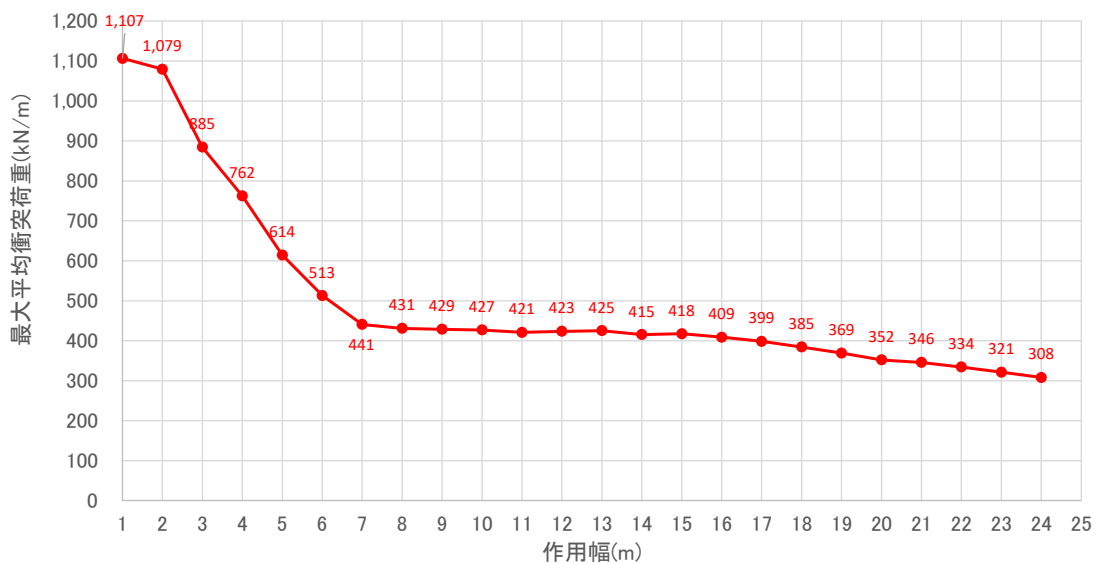


図 4.5.6-39 最大平均衝突荷重（衝突解析）

・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。

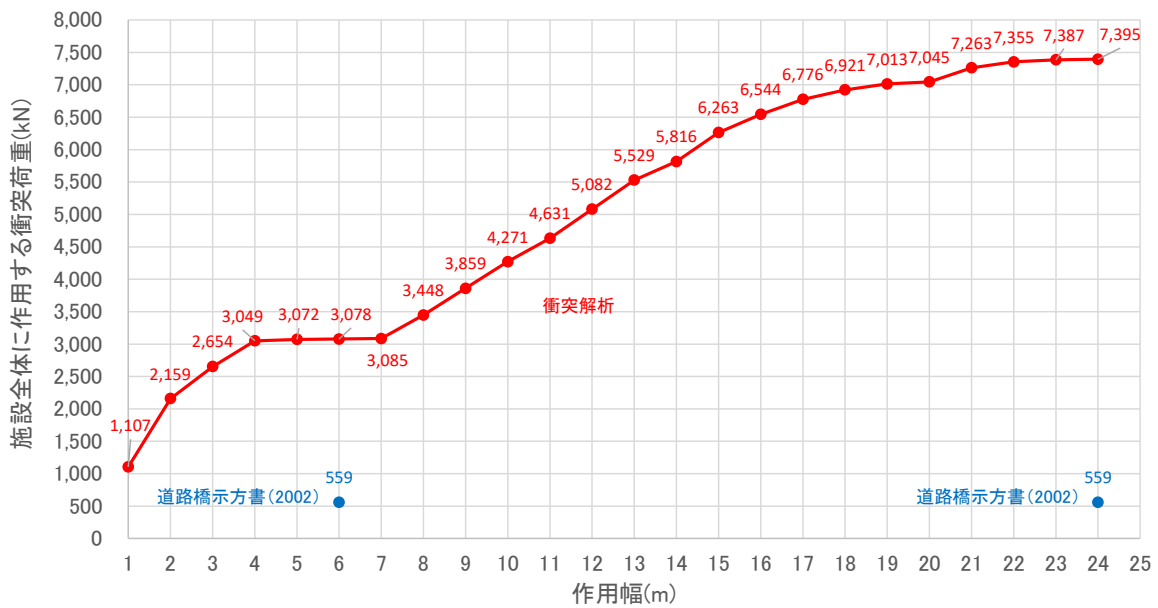


図 4.5.6-40 各算定方法による施設全体に作用する衝突荷重

(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（1mあたり）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 1mあたりの衝突荷重を示す。最も大きな衝突荷重（1mあたり）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		1mあたりの 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)

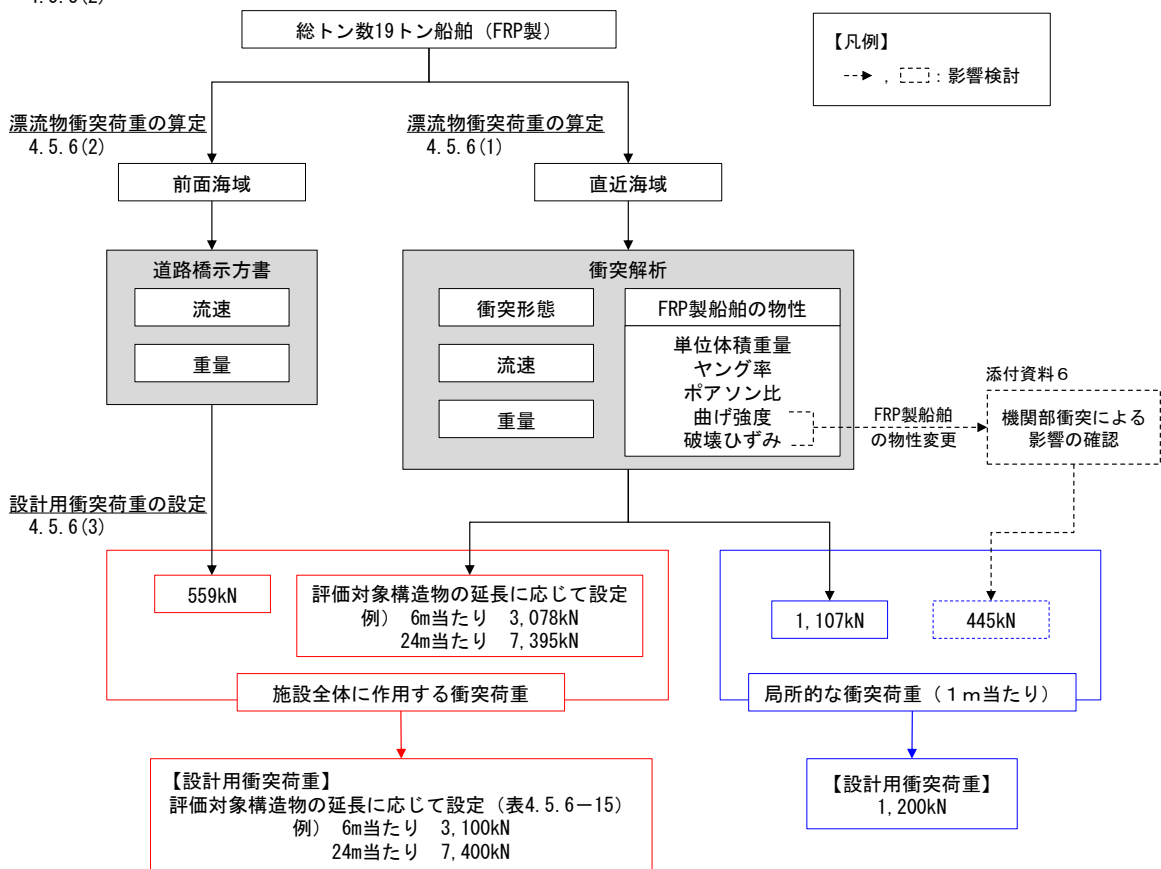


図 4.5.6-41 総トン数 19 トン船舶における設計用衝突荷重のまとめ

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	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)

## 島根原子力発電所の周辺海域で操業する漁船

## 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、農林水産省大臣又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

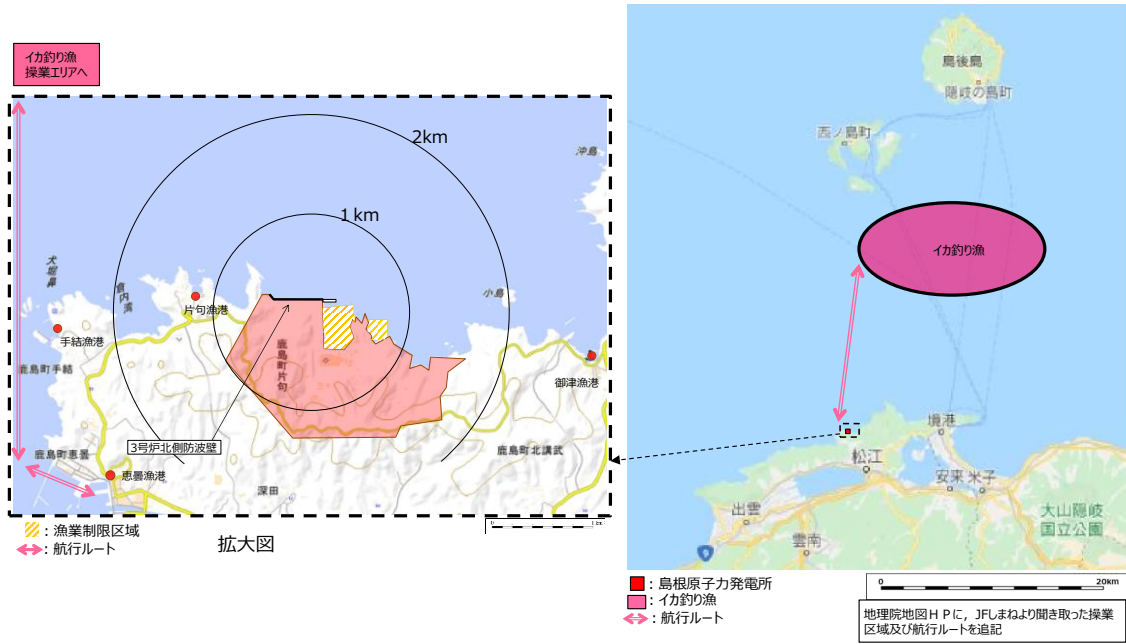
島根原子力発電所周辺では、大臣許可漁業である「沖合底びき網漁」、知事許可漁業である「小型機船底引き網漁」及び「イカ釣り漁」が営まれている。

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。

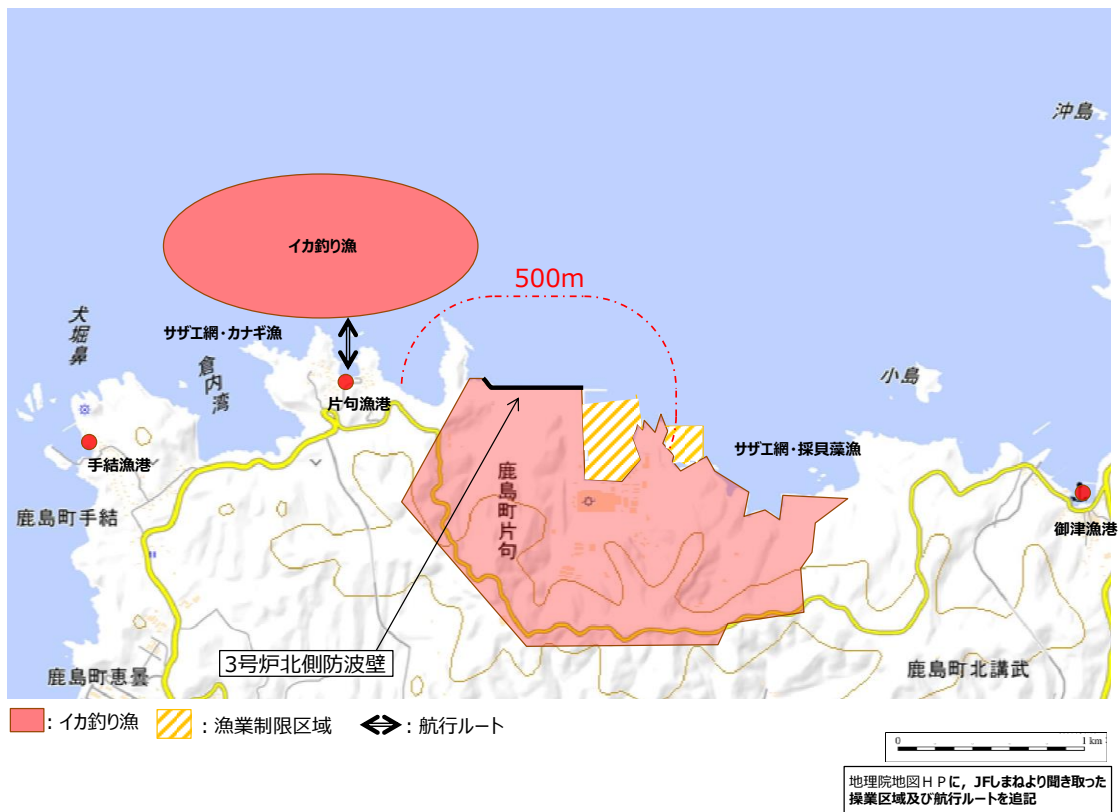
表3-1 島根原子力発電所周辺で営まれる許可漁業

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"> <li>総トン数 15 トン以上</li> <li>海岸から 5 海里 (約 9km) 以内における操業禁止</li> </ul>	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"> <li>総トン数 15 トン未満</li> <li>海岸から 5 海里 (約 9km) 以内における操業禁止</li> </ul>	恵曇漁港	15 トン未満	
イカ釣り漁	<ul style="list-style-type: none"> <li>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</li> <li>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。</li> </ul>	片句漁港	5 トン未満	図 3-3
			8 トン未満	
		恵曇漁港	10 トン未満	
ずわいがに漁	<ul style="list-style-type: none"> <li>総トン数 10 トン以上</li> </ul>	恵曇漁港	15 トン	—
すくい網漁	<ul style="list-style-type: none"> <li>総トン数 10 トン未満</li> </ul>	片句漁港 恵曇漁港	10 トン未満	—





イカ釣り漁（総トン数 10 トン以上）



イカ釣り漁（総トン数 10 トン未満）

図 3-3 イカ釣り漁の操業区域（漂流物調査における操業状況）

#### 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4-3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"> <li>定められた区画に対し、特定の漁業を営む漁業権が設定</li> <li>漁業権設定区域を図4-1に示す</li> </ul>	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	



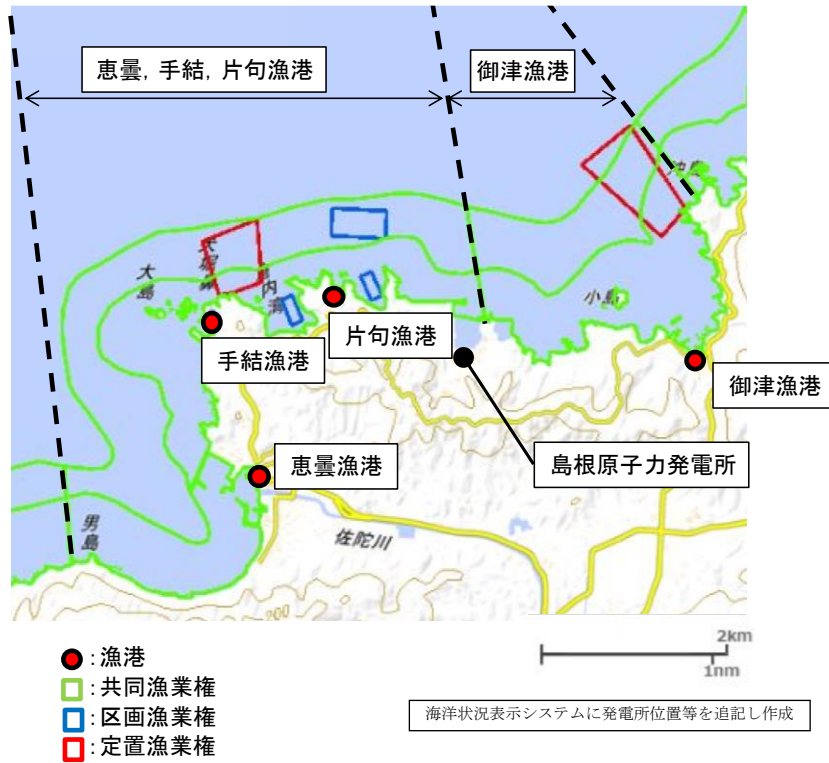


図 4-1 漁業権漁業の漁業権設定区域  
 (島根県知事の免許によって設定された漁業権に基づく区域)



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)

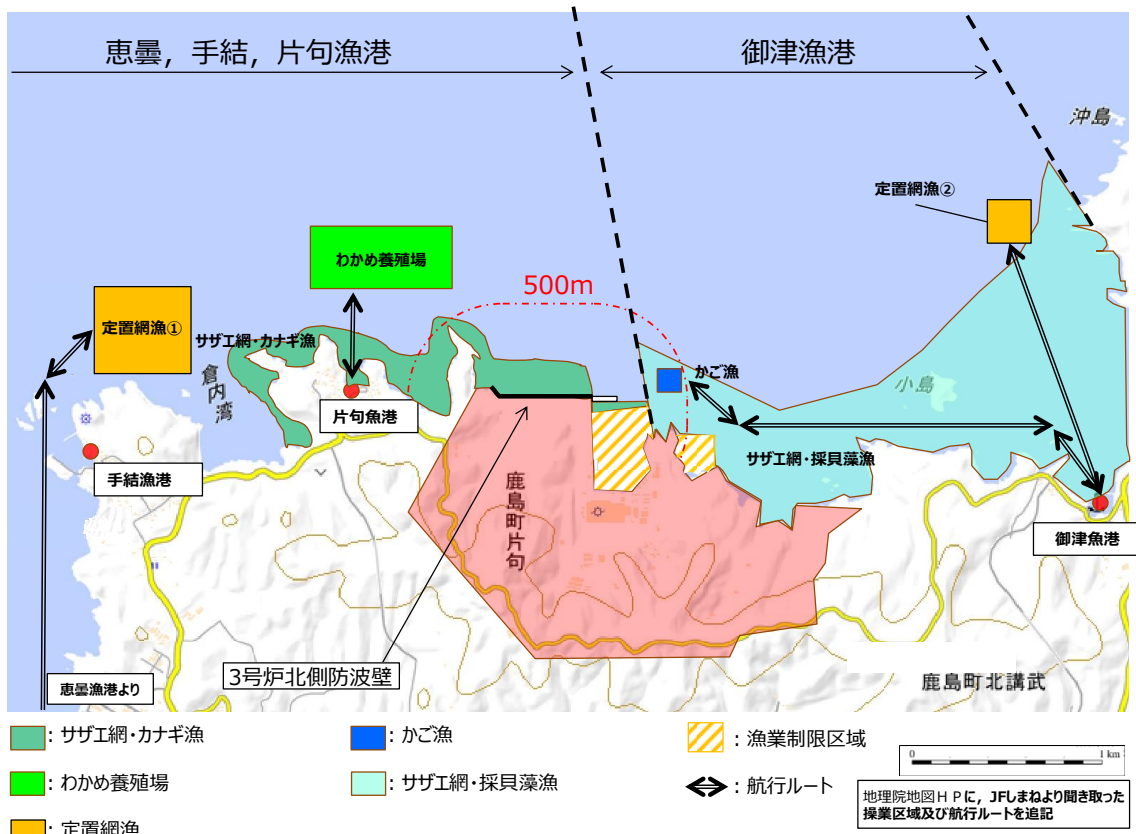


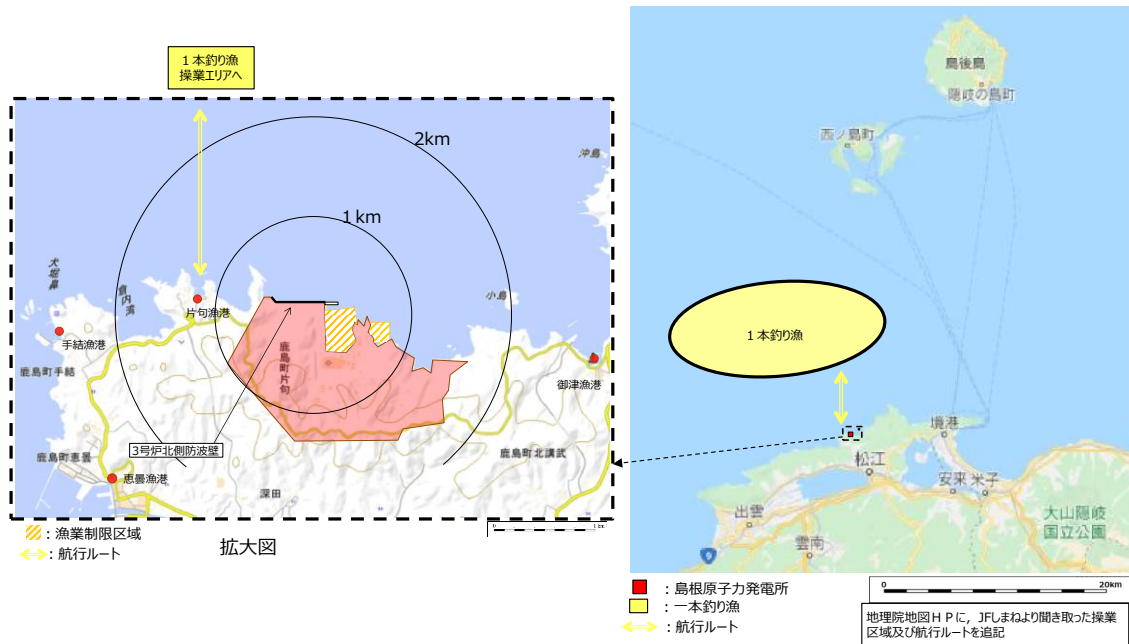
図 4-3 島根原子力発電所周辺における漁業権漁業の操業区域  
(漂流物調査における操業状況)

5. 自由漁業

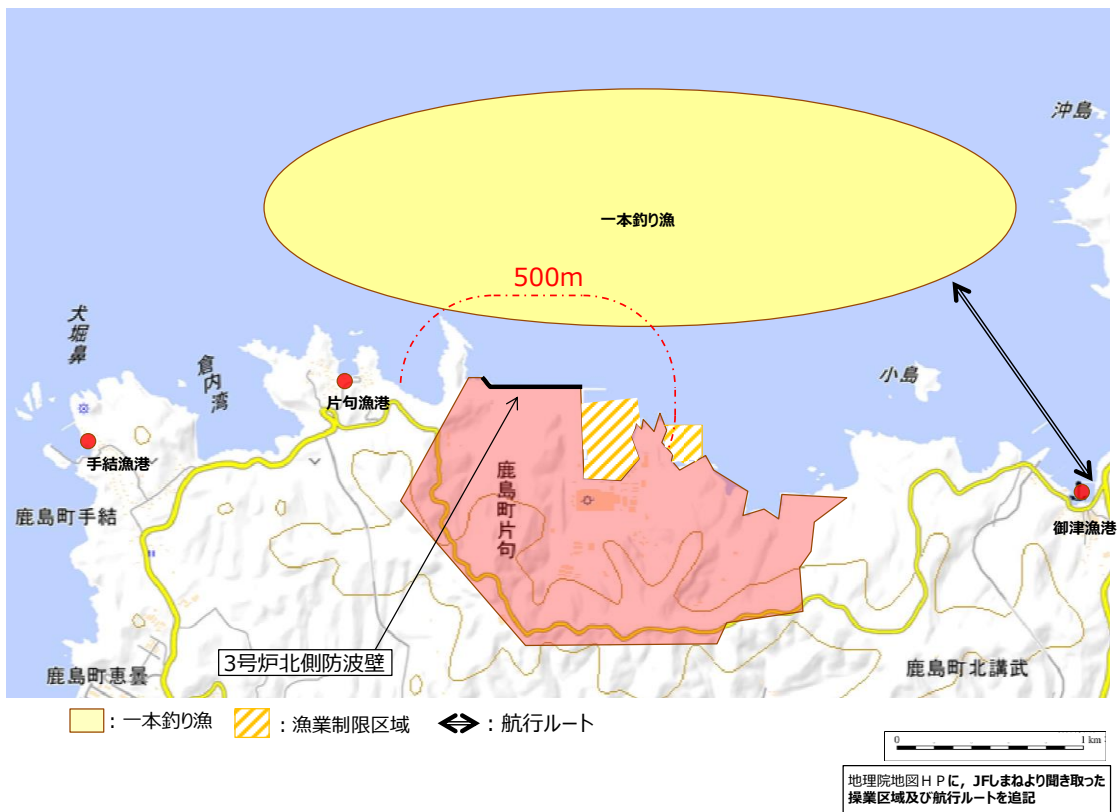
自由漁業は、免許や許可を要しない漁業であって、水産資源の保護培養上、漁業の調整上とくに問題とならない一部の一本釣り漁業、延縄（はえなわ）漁業などの漁業であり、島根原子力発電所周辺では、一本釣り漁業が営まれている。周辺漁港への聞取りにより調査した自由漁業の操業状況を表 5-1 に、操業区域を図 5-1 に示す。

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	



(発電所沖合で操業する一本釣り漁)



(発電所沿岸で操業する一本釣り漁)

図 5-1 一本釣り漁の操業区域 (漂流物調査における操業状況)

6. 対象漂流物とする漁船及び不確かさ

対象漂流物とする漁船は、施設護岸から 500m 以内で操業する漁船は施設護岸に到達する可能性があると考え、許可漁業、漁業権漁業及び自由漁業のうち、島根原子力発電所の周辺海域における漁船の操業状況を踏まえ設定する。また、設定した漁業の種類毎に、漁業法の制限等を踏まえて島根原子力発電所の周辺海域における操業の不確かさを検討した。

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を表 6-1 に、対象漂

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 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(1/2)

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	
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、農林水産省大臣又は都道府県知事が許可しなければならない漁業。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</p>	・沖合底びき網漁	・総トン数は15トン以上 ・5海里(約9km)以内での操業禁止	総トン数15トン (発電所から1km以遠で操業及び航行する)	・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
		・小型機船底びき網漁	・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)	・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
		・イカ釣り漁	・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)	・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
				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)		
		・ずわいがに漁	・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)	発電所周辺における操業実態はない (恵曇漁港の総トン数15トンの底引き網漁漁船が許可を有している)	・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：④
・すくい網漁	・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)	・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 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 (2/2)

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*1	補足資料	
漁業権漁業	(1) 定置漁業	・ 定置網漁	・ 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)	・ 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)	漁業権設定区域：⑥
	(2) 区画漁業	・ わかめ養殖漁	・ 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 (輪谷湾外の施設護岸から 500m 付近で操業及び航行する)	・ 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*2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：⑦
	(3) 共同漁業	・ かがし漁、サザエ網・カナギ漁等 ・ ぶり・はまち固定式刺網漁	・ 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 ・ 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 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) 発電所周辺における操業実態はない (御津漁港の総トン数 3 トン未満かがし漁漁船が免許を有している)	・ 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、小型の船*3による操業が一般的であり、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：⑧
自由漁業		・ 一本釣り漁	・ 操業区域が定められていない ・ 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) 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及び航行する)	・ 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*4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	—

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)	・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)	・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）

－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"> <li>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。</li> <li>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"> <li>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。</li> <li>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。</li> <li>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"> <li>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。</li> <li>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）</li> </ol> </li> <li>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。</li> </ol> </li> </ol> <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"> <li>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</li> <li>20cm 島小いか第〇〇〇号（白地に黒文字）</li> </ol> <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"> <li>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。</li> <li>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"> <li>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。</li> <li>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"> <li>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。</li> <li>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）</li> </ol> </li> <li>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。</li> </ol> </li> </ol>	

(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	<b>漁業種類</b>	<b>小型定置漁業</b>	
	採集区域	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。	
	採集期間	1月1日から12月31日まで	
	<b>漁業種類</b>	<b>雑魚ます網漁業</b>	
	採集区域	中海における別途許可証に示す区域	ただし、既に境水道を採集区域に含む許可を有する者については、現行の採集区域とする。
	採集期間	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	<b>漁業種類</b>	<b>いかかご漁業</b>	
	使用船舶規模の上限等	総トン数は5ト未満であること	
	採集区域	美保関町沖合海面	
	採集期間	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採集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。	
	<b>漁業種類</b>	<b>あなごかご漁業</b>	
	使用船舶規模の上限等	総トン数は20ト未満であること	
	採集区域	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	
	採集期間	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採集してはならない。 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月末日の間は採集してはならない。 ③共同漁業権設定区域内において採集する場合は、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採集してはならない。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海里以遠の海域において、午後4時から日没までの間採集するとき 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）の線以南で採集するとき 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集の目的としてはならない。	
11.ひき縄釣漁業	<b>漁業種類</b>	<b>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</b>	
	採集期間	1月1日から12月31日まで	
	採集区域	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	<b>漁業種類</b>	<b>いわしすくい網漁業</b>	
	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。	
	採集区域	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）	
	採集期間	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>		
		<b>漁業種類</b>	<b>ざっぱ種魚すくい網漁業</b>	
		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	<b>漁業種類</b>	<b>底建網漁業</b>		
	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

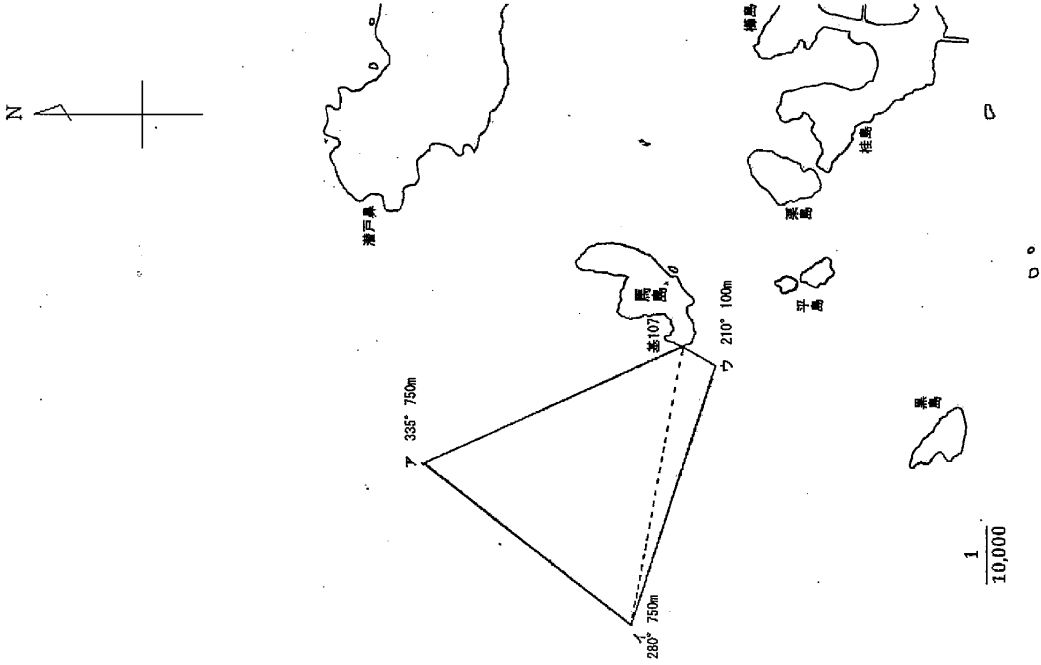
次の基点第107号、ア、イ、ウ及び基点第107号の各点を順次に結んだ線によって囲まれた区域

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335度750メートルの点

イ 基点第107号から280度750メートルの点

ウ 基点第107号から210度100メートルの点



この謄本は免許漁業権申請書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

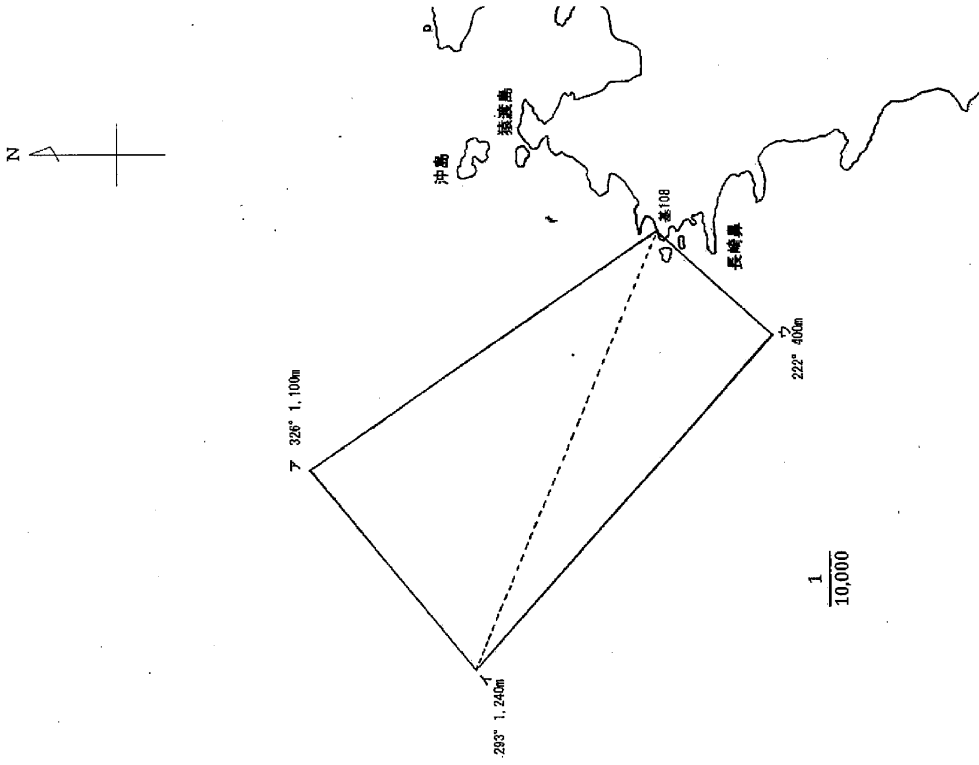
結んだ線によって囲まれた区域

基点第108号 松江市鹿島町御津幕島に設置した測柱

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



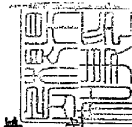
平成30年9月1日免許

2番9丁

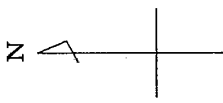
この謄本は免許漁業原簿付属漁場図と相違ないことを証明する。  
令和2年11月30日

島根県知事

丸山 達也







定置漁業権漁場図

免許番号 定第10号

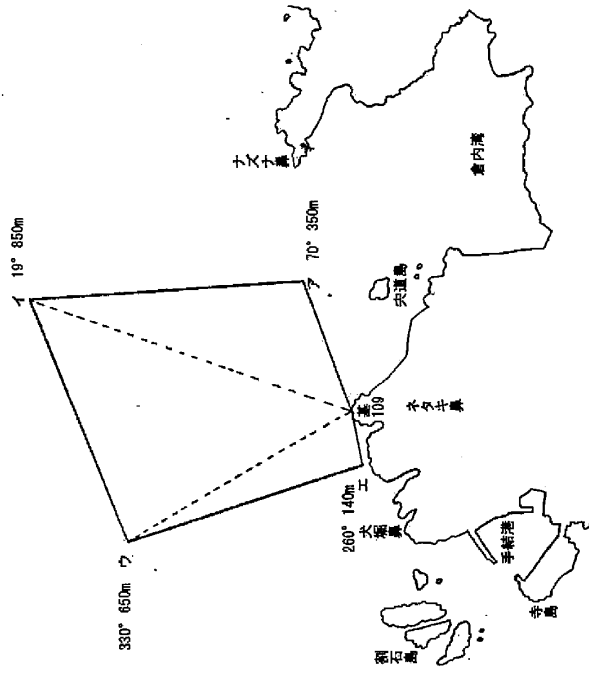
漁場の位置

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

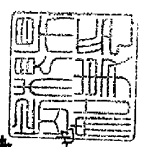


1/10,000



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



平成30年9月1日免許  
2冊10丁

丸山達也

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

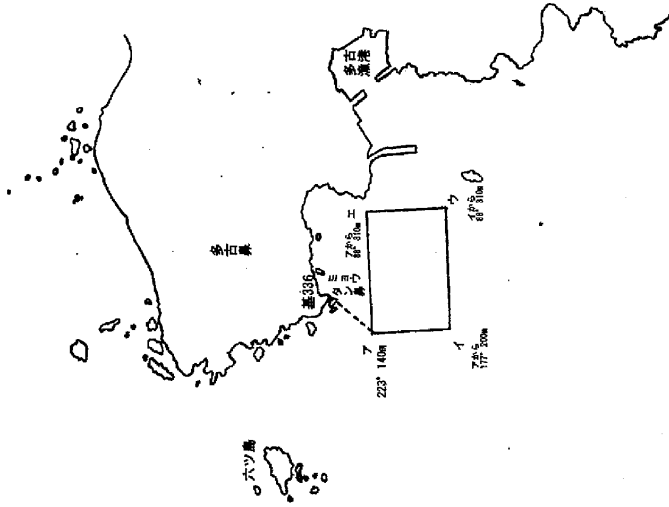
松江市高根町多古島地先

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



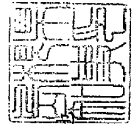
この謄本は免許漁業原簿付属漁場図と  
相違ないことを証明する。  
昭和22年11月30日

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

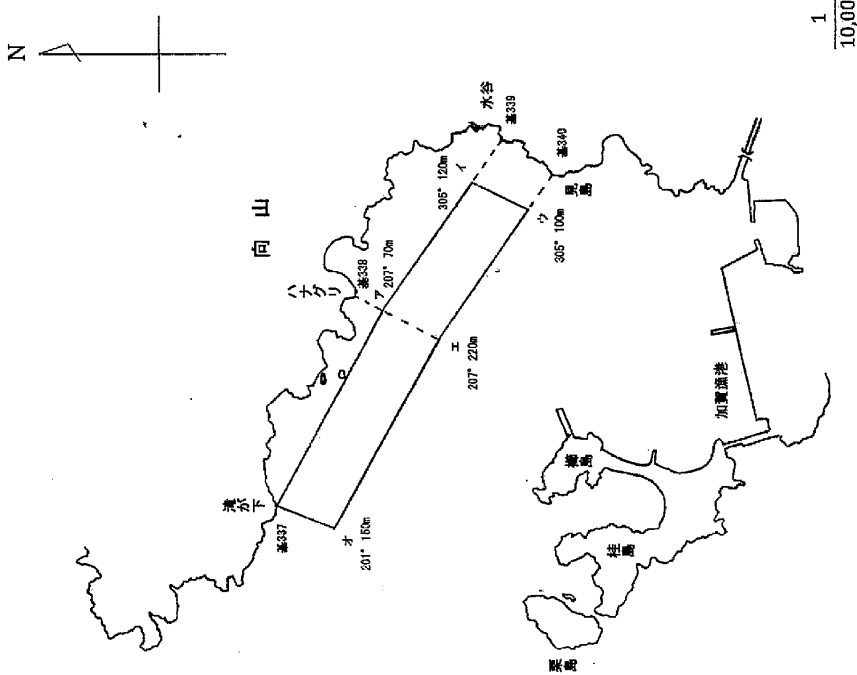
漁場の位置

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。  
昭和21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

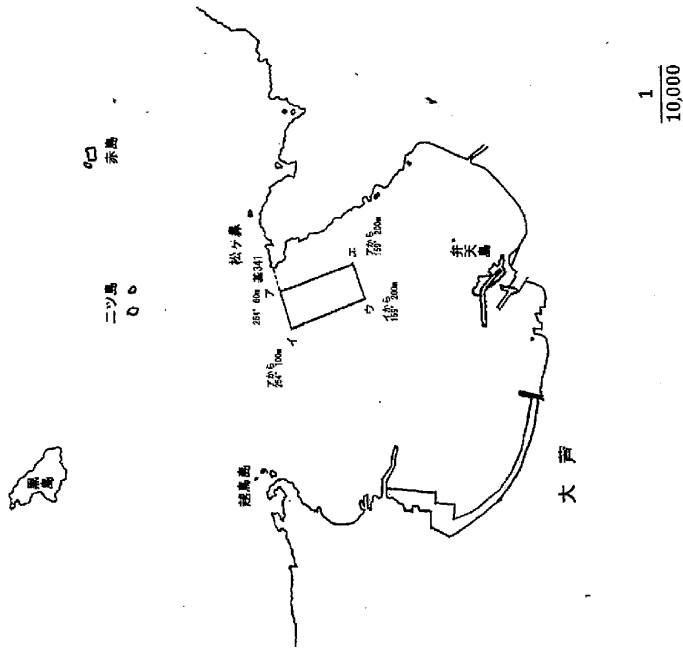
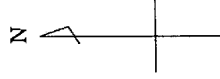
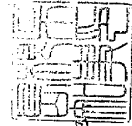


平成30年9月1日 免許

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嶽地先

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

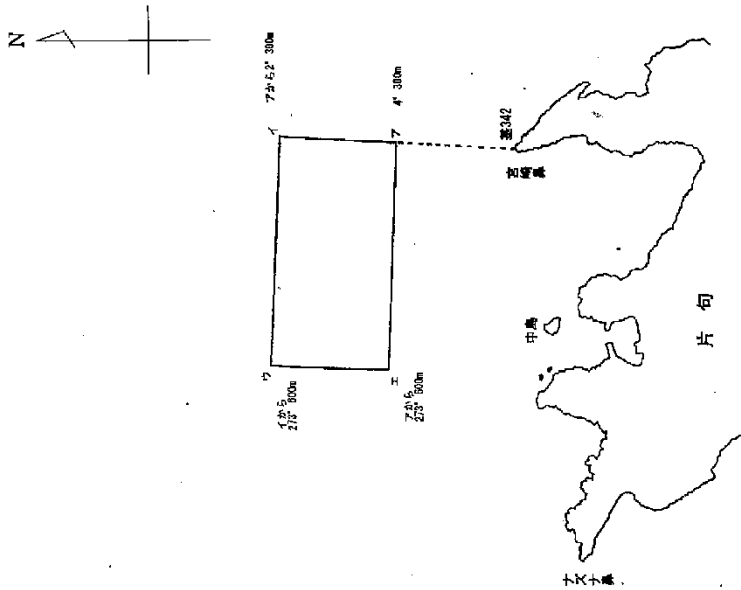
基点第342号 松江市鹿島町片宮崎嶽北端に設置した標柱

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。

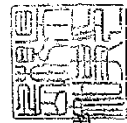
令和2年11月30日

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

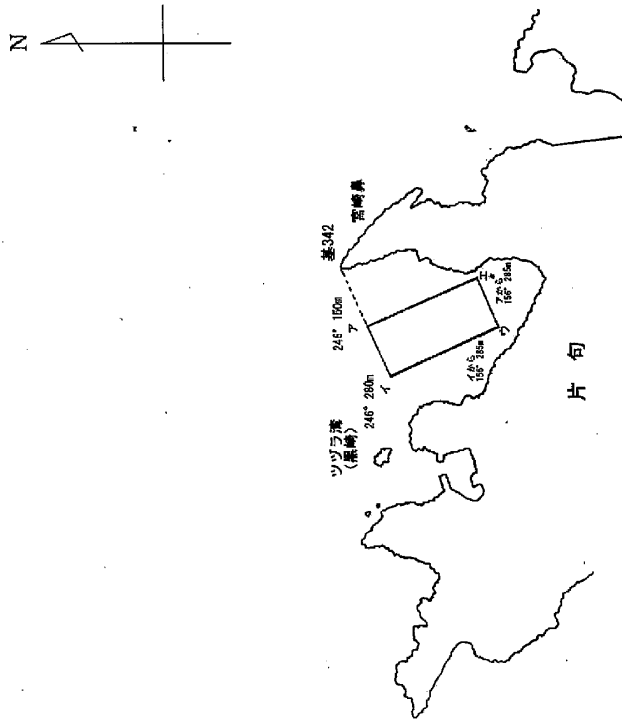
基点第342号 松江市鹿島町片匂黒崎湾北端に設置した標柱

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。

令和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

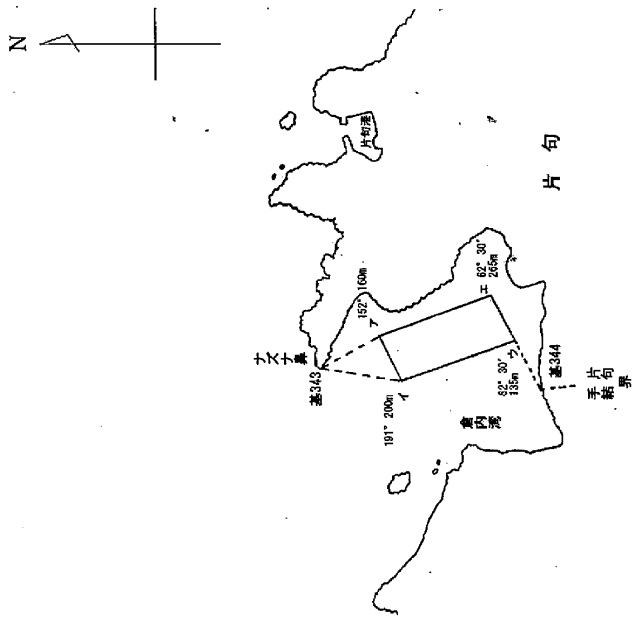
漁場の位置

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      | ア                      | イ                        | ウ                        | エ                        |
| 基点第343号 | 基点第343号から152度160メートルの点 | 基点第343号から191度200メートルの点   | 基点第344号から62度30分135メートルの点 | 基点第344号から62度30分265メートルの点 |
| 基点第344号 | 基点第343号から191度200メートルの点 | 基点第344号から62度30分135メートルの点 | 基点第344号から62度30分265メートルの点 | 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

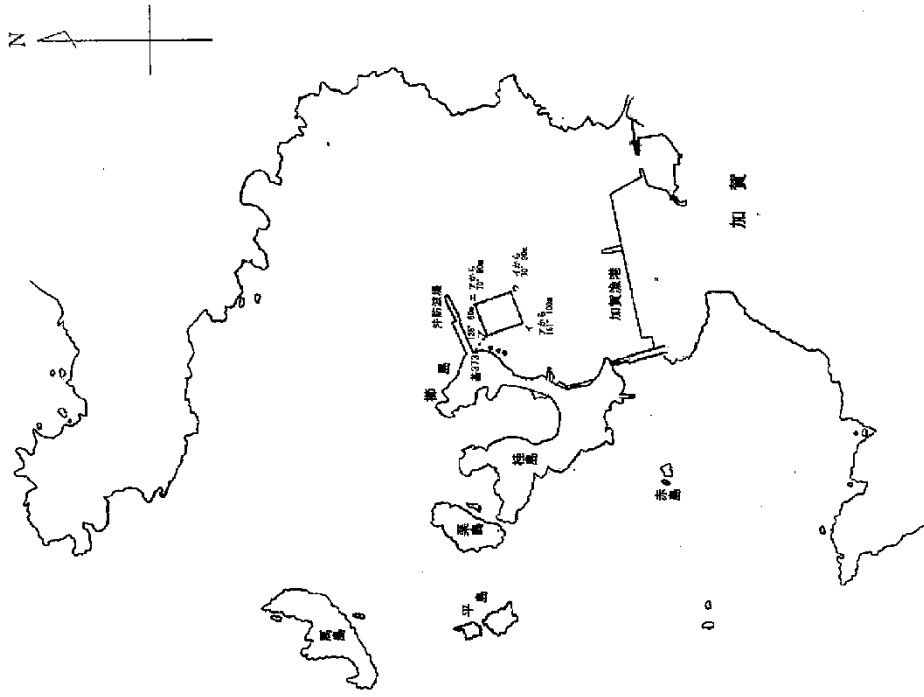
基点第373号 松江市島根町加賀、加賀漁港沖防波堤南側基部に設置した標柱

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領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

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

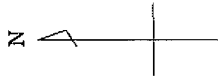
基点第374号 松江市島根町大芦、大芦漁港防砂堤架橋に設置した標柱

ア 基点第374号から25度140メートルの点

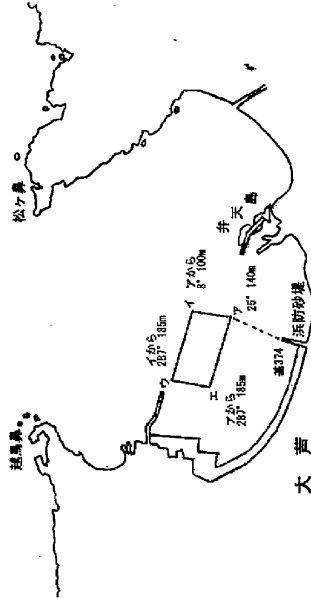
イ アから8度100メートルの点

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



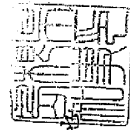
この謄本は免許漁業原簿付属漁場図と相違ないことを証明する。

令和2年11月30日

平成30年9月1日免許

2冊57丁

島根県知事



丸山達彦

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)

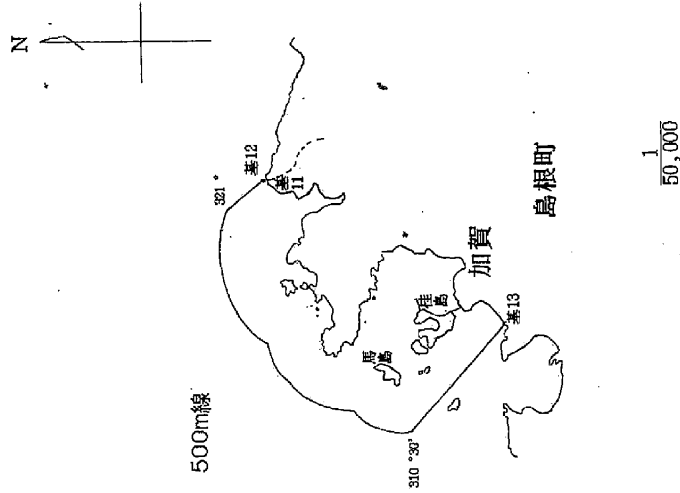
免許番号 共第8号

漁場の位置  
松江市島根町加賀地先

漁場の区域

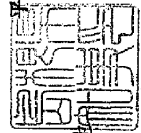
次の基点第11号と基点第12号を結ぶ線、基点第12号から32.1度の方向及び基点第13号から31.0度30分の方向との三直線並びに最大高潮時海岸線(沿岸島しよを含む。)から距岸5.00メートルの線とによって囲まれた区域

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 平成25年9月1日免許  
 丸山達也 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。

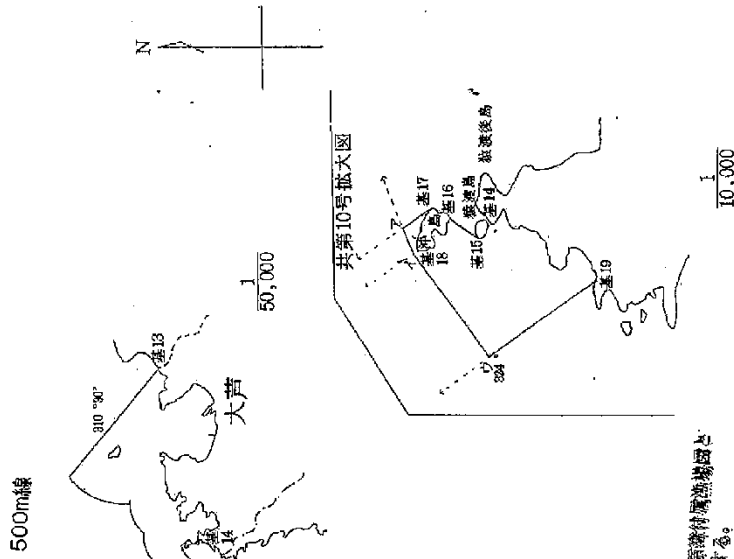
ただし、基点第14号、基点第15号、基点第16号、基点第17号、ア、イ、ウ及び基点第19号の各点を順次に結んだ線並びに最大高潮時海岸線とによって囲まれた区域を除く。

- 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第.9丁.



この図本は共同漁業権附属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

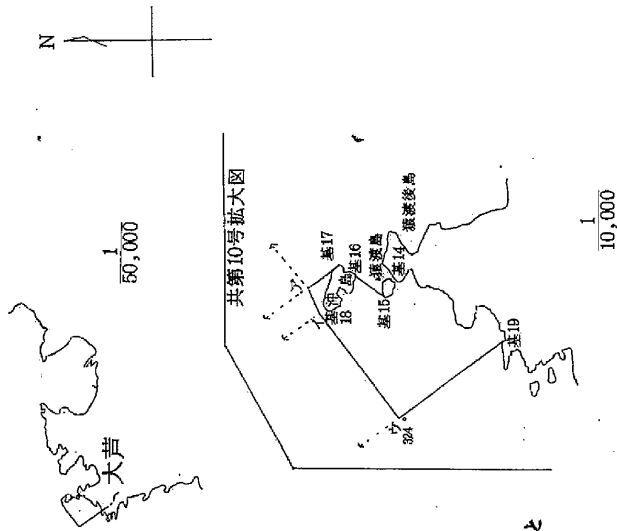
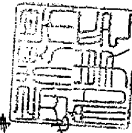


平成25年9月1日免許

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資料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

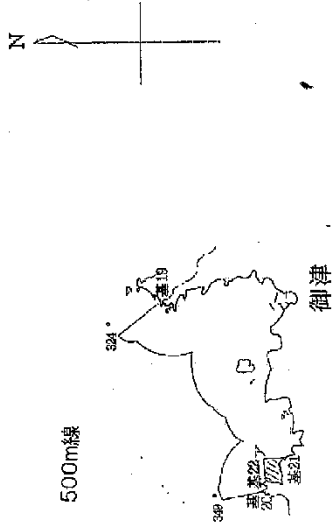
漁場の位置

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、片勾界に設置した標柱
- 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84度の方向との交点



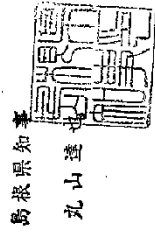
平成25年9月1日免許

1冊 11丁

鹿島町

1/50,000

この図本は免許漁業区域施行属漁場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

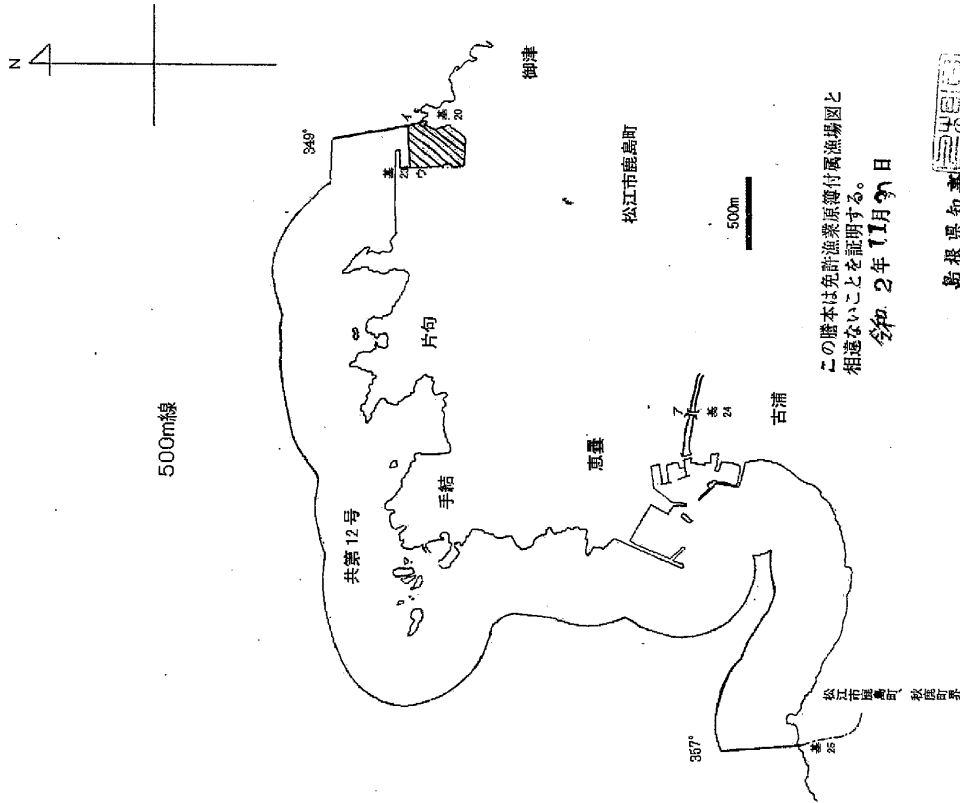
1番12T

漁場の区域

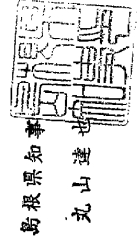
次の基点第20号から349度の方向及び基点第25号から357度の方向との二直線並びに最大高潮時海岸線(沿岸島しよを含む。)から距岸500メートルの線とによって囲まれた区域(基点第24号とアを結ぶ線以南の佐陀川を除く。)  
ただし、基点第20号、イ及びウの各点を順次に結んだ線並びに最大高潮時海岸線とによって囲まれた区域を除く。

- 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744メートルの点



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)

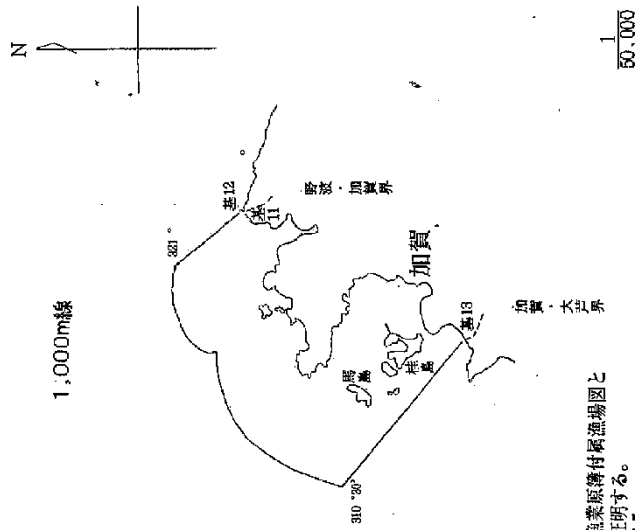
免許番号 共第107号

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

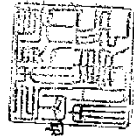


平成25年9月1日免許

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

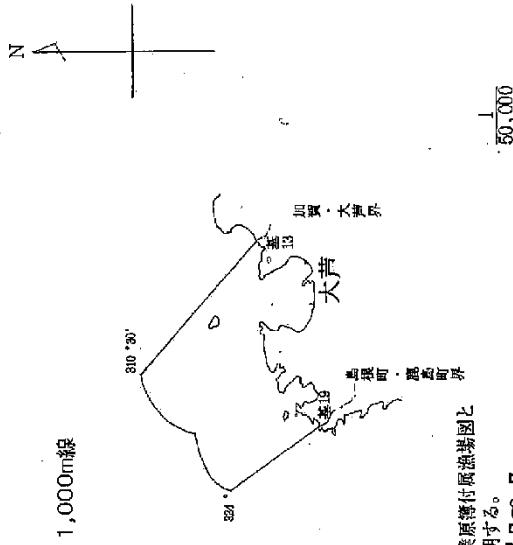
松江市島根町大芦地区

漁場の区域

次の基点第13号から310度30分方向及び基点第19号から324度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

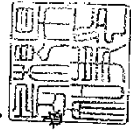


平成25年9月1日免許

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

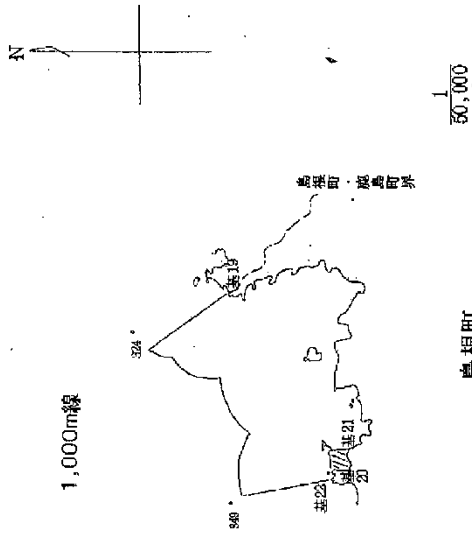
松江市鹿島町御津地先

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

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

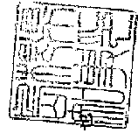


平成25年9月11日免許

1新48丁

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

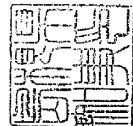
ア 漆橋下流端の線が対岸と交わる点

イ 基点第20号から349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

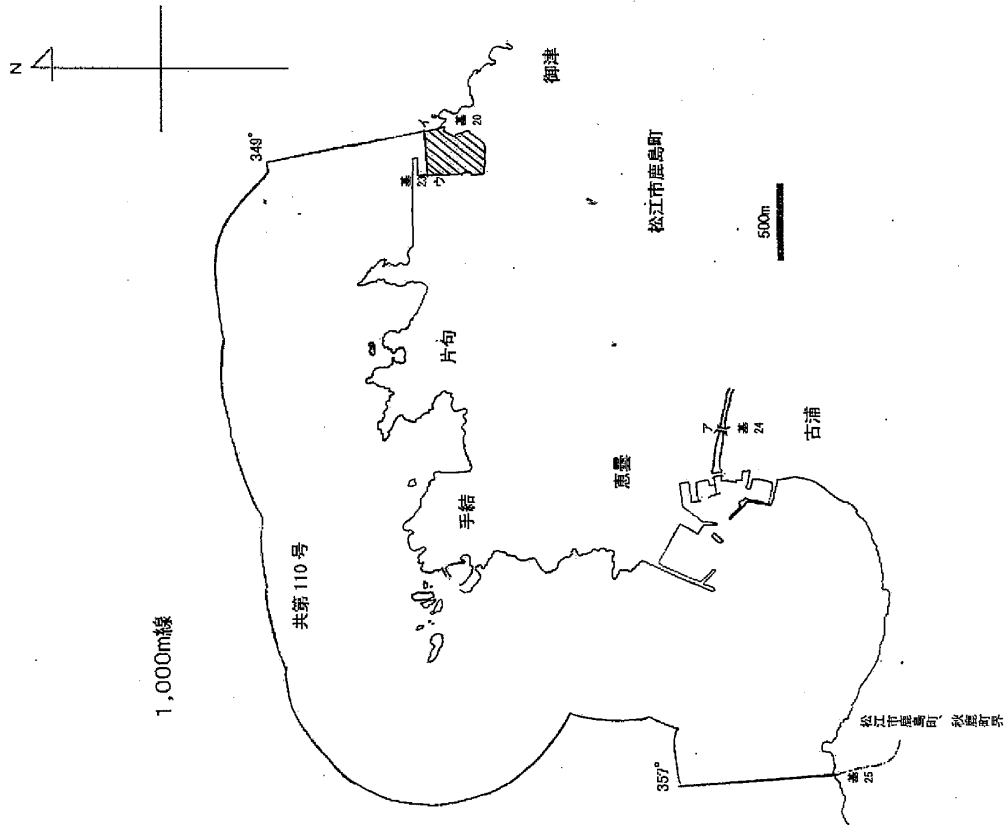
原本は免許漁業原簿付属漁場図とないことを証明する。

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あたり、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	F R P
		船舶 (総トン数 3 トン)	9t	
		船舶 (総トン数 19 トン)	57t	
		枕木	12kg	木材
	海域	船舶 (総トン数 0.7 トン)	2.1t	F R P
		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	F R P
	海域	船舶 (総トン数 19 トン)	57t	F R P

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あたり, 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。



- 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 F E M A（2012） Guidelines for Design of Structures for Vertical Evac  
uation from Tsunamis Second Edition，F E M A 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.846-8  
50 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、弾性設計における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 3-3 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，「F E M A (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，「F E M A (2012)」による衝突荷重の算定にあたっては，衝突物の軸剛性を設定する必要がある。船舶の船首方向における軸剛性は，添付資料 4「F E M A (2012)による F R P 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) \*<sup>1</sup>」，「F E M A (2012)」及び「有川ほか(2007, 2010) \*<sup>2</sup>」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: 衝突荷重の算定にあたり, 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、漁船の作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あたり、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。

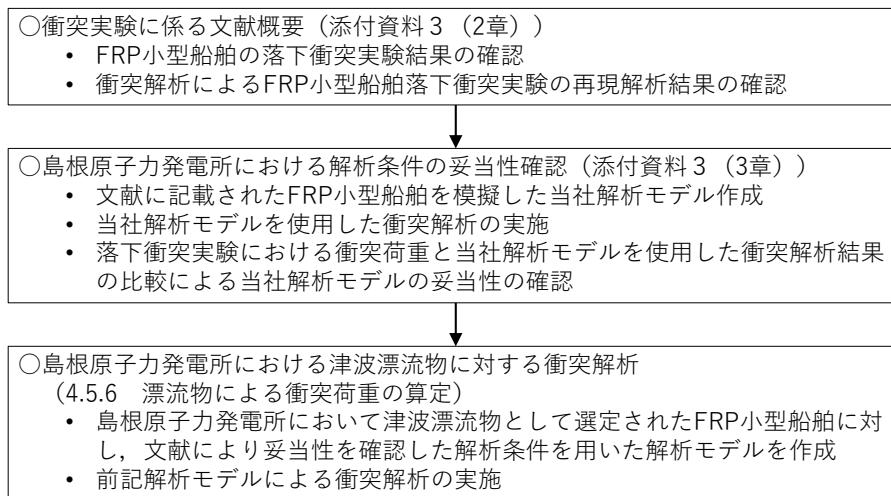


図 1-1 衝突解析による衝突荷重の妥当性検討フロー

## 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：2,500 mm×2,500 mm）



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。

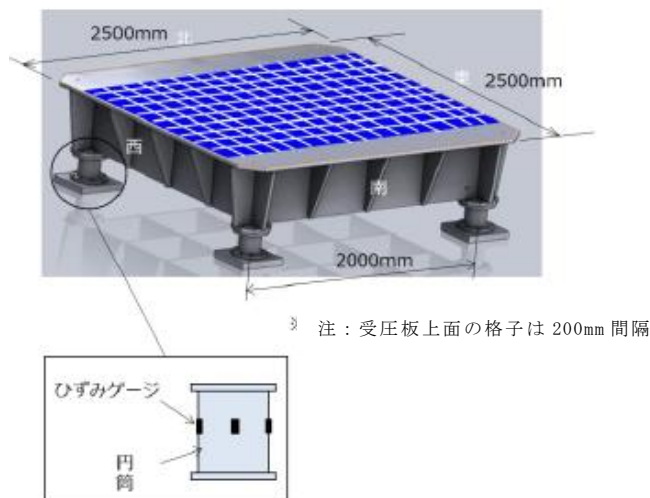


図 2-2 受圧板の構造及びひずみゲージの設置状況  
（「豊田ほか（2022）」より引用）

(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。

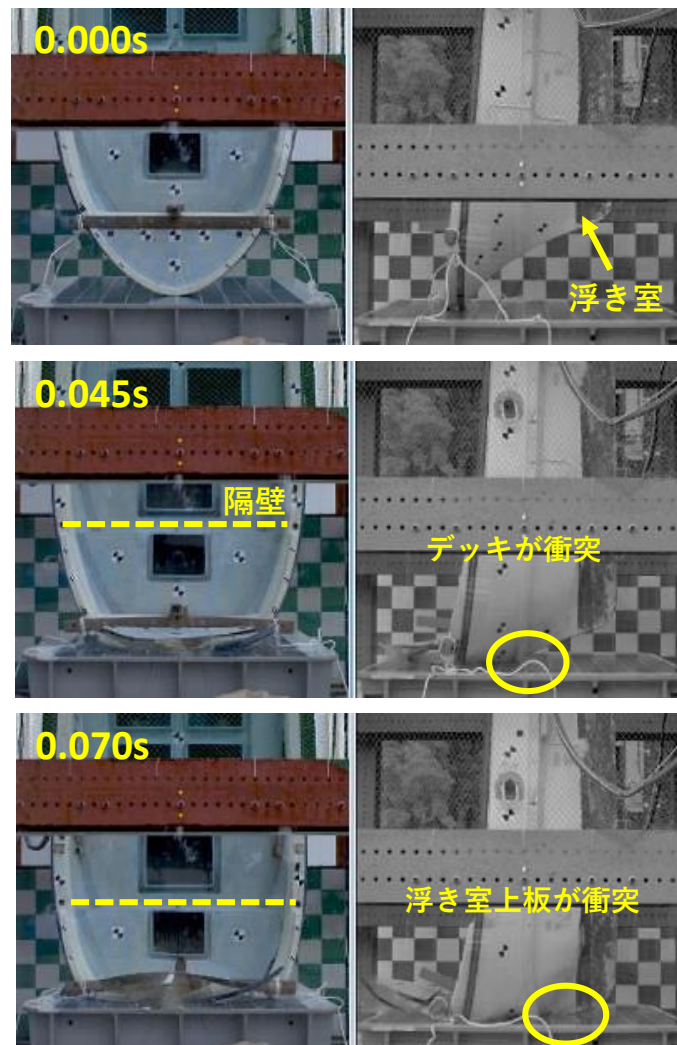


図 2-3 衝突実験における衝突状況（「豊田ほか（2022）」に一部加筆）（1/2）

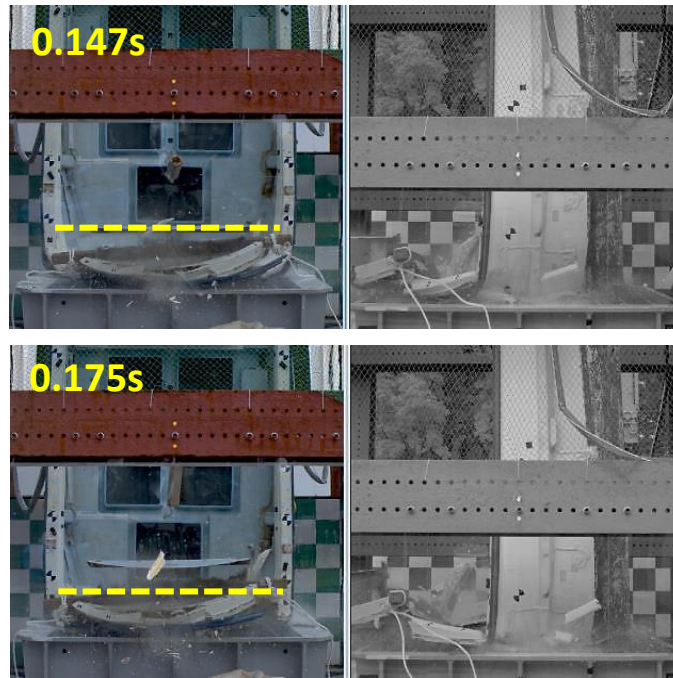


図 2-3 衝突実験における衝突状況（「豊田ほか（2022）」に一部加筆）（2/2）



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。

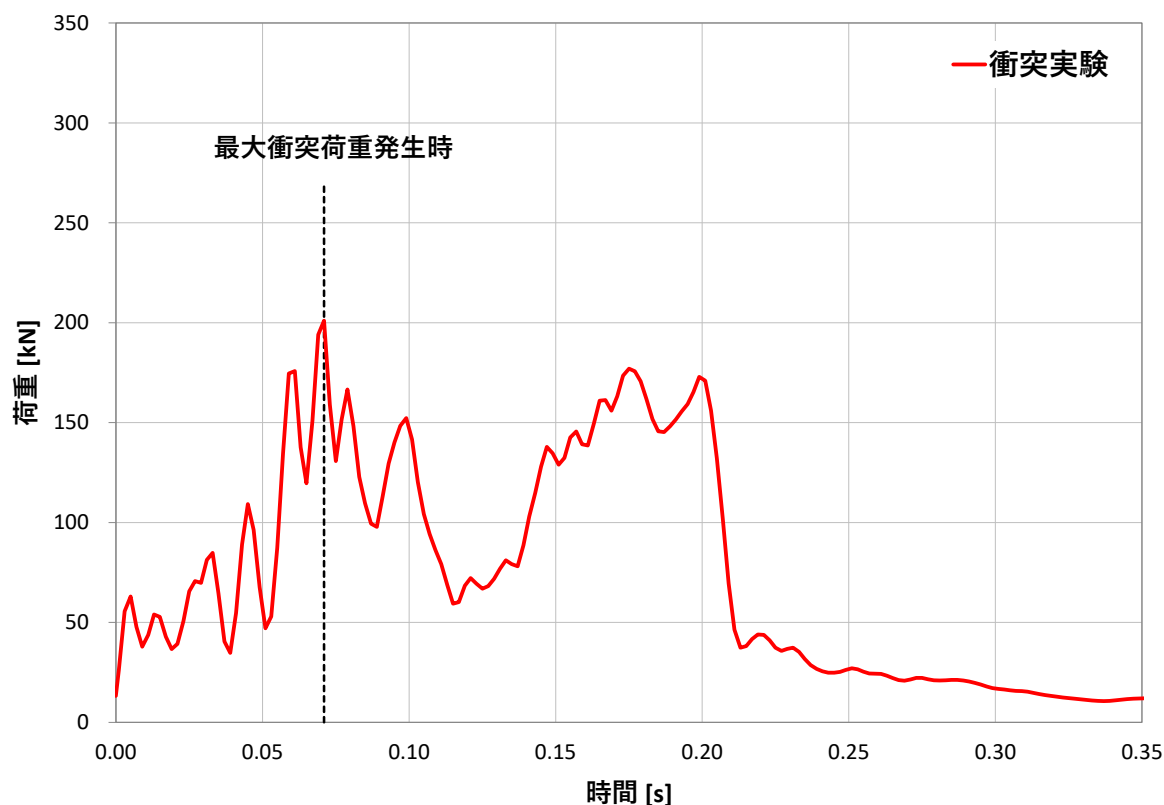


図2-4 衝突実験による衝突荷重時刻歴  
(「豊田ほか(2022)」を基に作成)

## 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
FRP材と合板による複合構造特殊部位	ブルワークのカバー	FRP材	ブルワークのカバーはビス止めによる接合	3mm
	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
				FRP材 5mm 合板 5mm
	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材 5mm 合板 5mm
隔壁のうち浮き室に接する部分	FRP材合板	FRP材 5mm 合板 5mm		
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うとされている。

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 <sup>3</sup>	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 <sup>3</sup>	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	

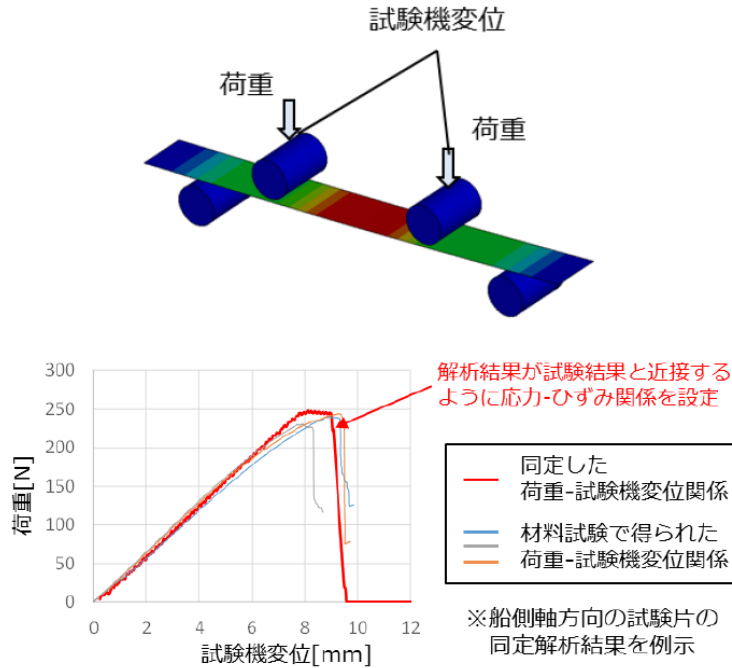


図 2-5 破壊ひずみの同定解析の概要（「豊田ほか（2022）」より引用）

(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 <sup>3</sup> 】	7.85

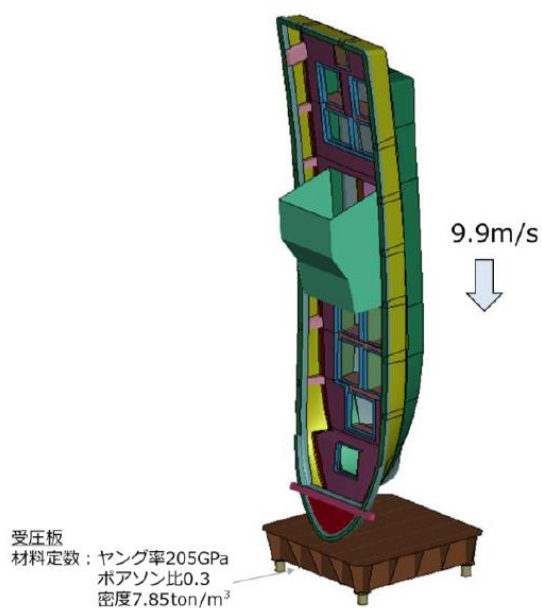


図 2-6 衝突モデル（「豊田ほか（2022）」より引用）

(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。

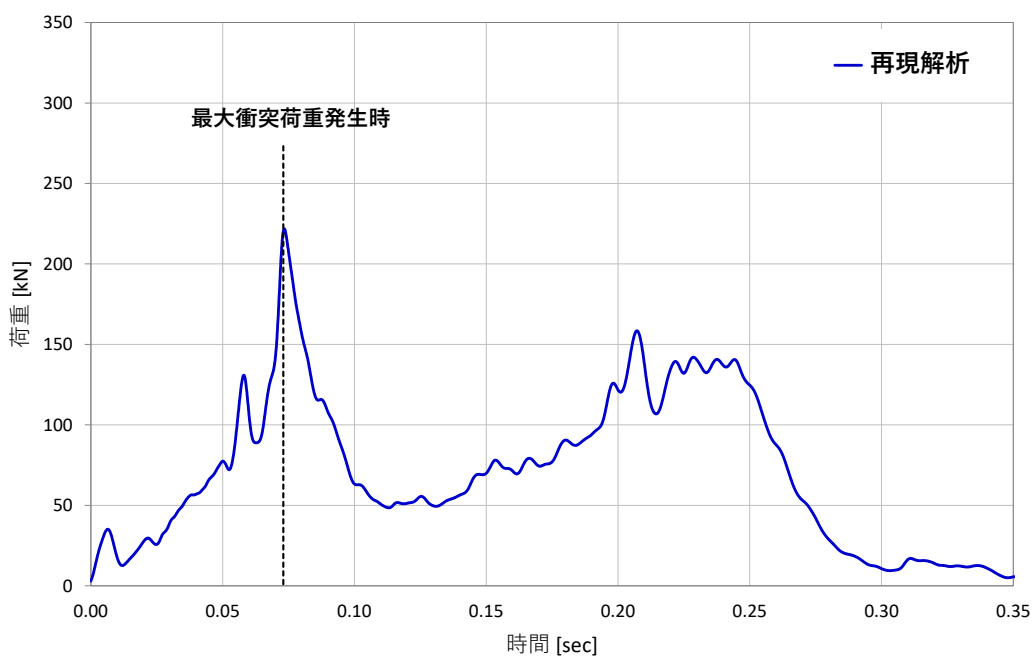


図 2-7 再現解析による衝突荷重時刻歴  
（「豊田ほか（2022）」を基に作成）

### 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 FRP 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、FRP 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。

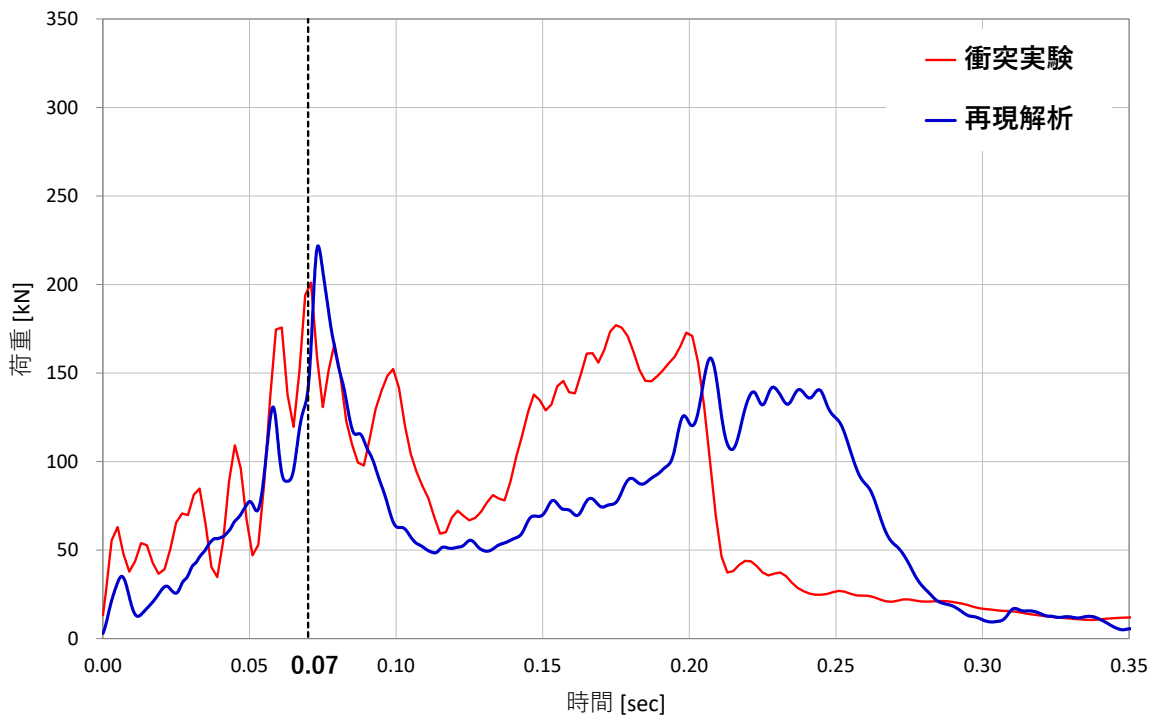


図 2-8 「豊田ほか (2022)」による衝突荷重時刻歴  
(「豊田ほか (2022)」を基に作成)

### 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。モデル化にあたっては、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* <sup>1</sup> d: 計画最大満載喫水=1.20m* <sup>2</sup> 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* <sup>1</sup> d: 計画最大満載喫水=1.20m* <sup>2</sup> 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

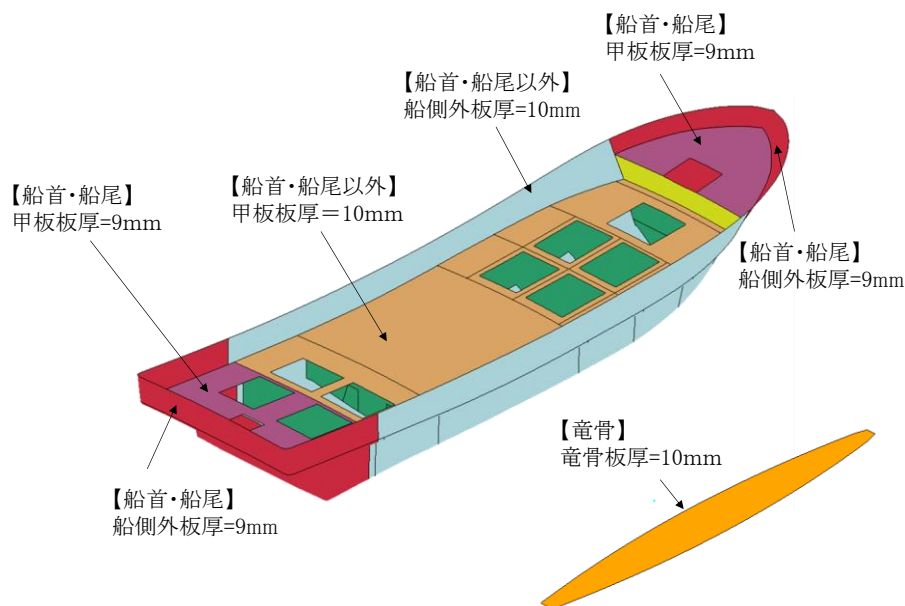


図 3-1 実験船を模擬した当社解析モデルの船体板厚



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あたって、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。	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/m<sup>3</sup>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 <sup>3</sup> 】	「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。

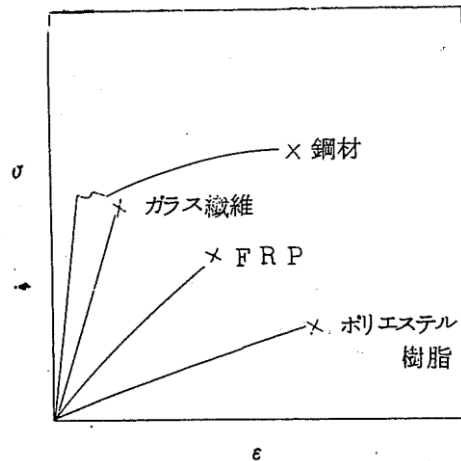


図 3-2 F R P他の応力-ひずみ曲線

(「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。

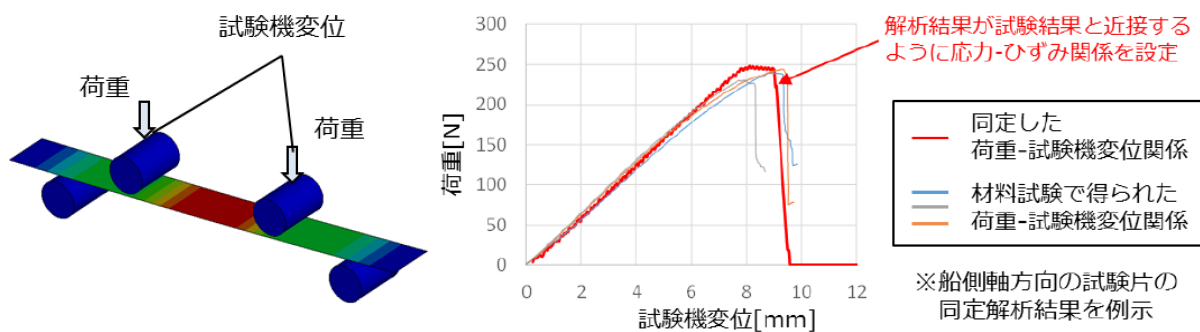


図 3-3 破壊ひずみの同定解析の概要（「豊田ほか（2022）」より引用）

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 <sup>3</sup>	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。

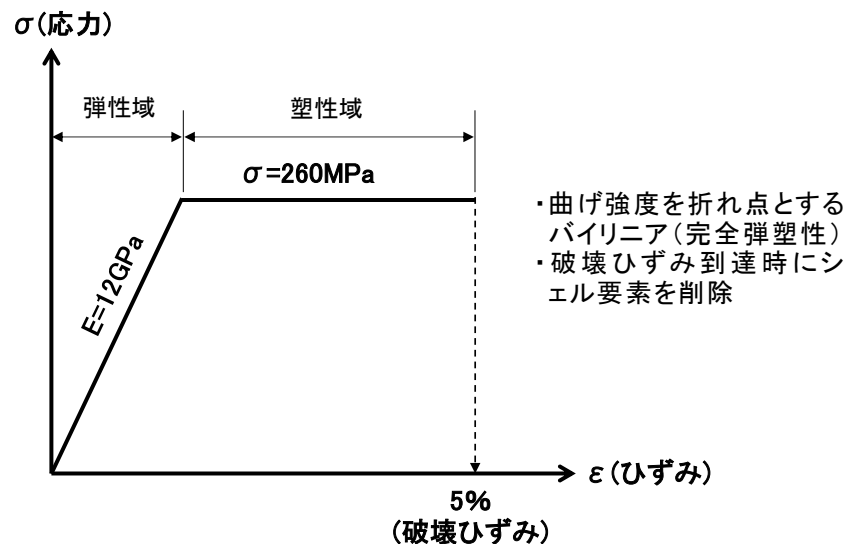


図3-4 応力-ひずみ関係

(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 <sup>3</sup> 】	7.85
摩擦係数		0.30

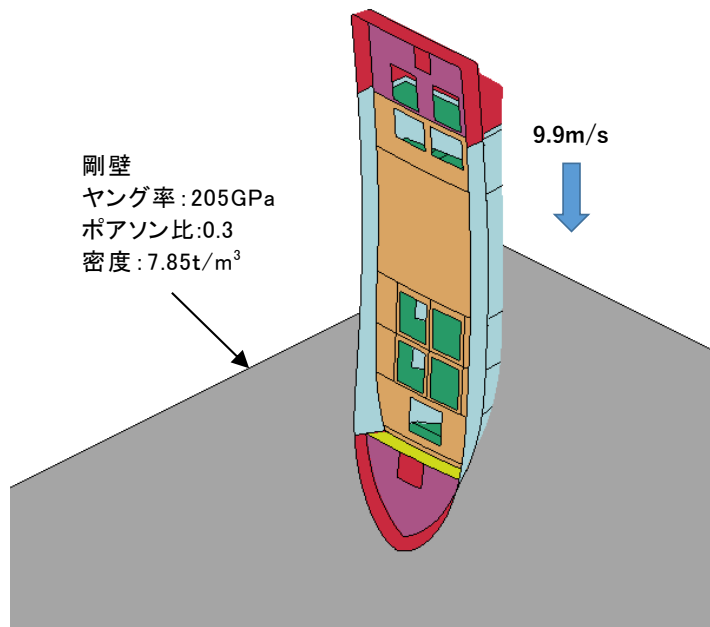


図 3-5 衝突モデル

### 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。

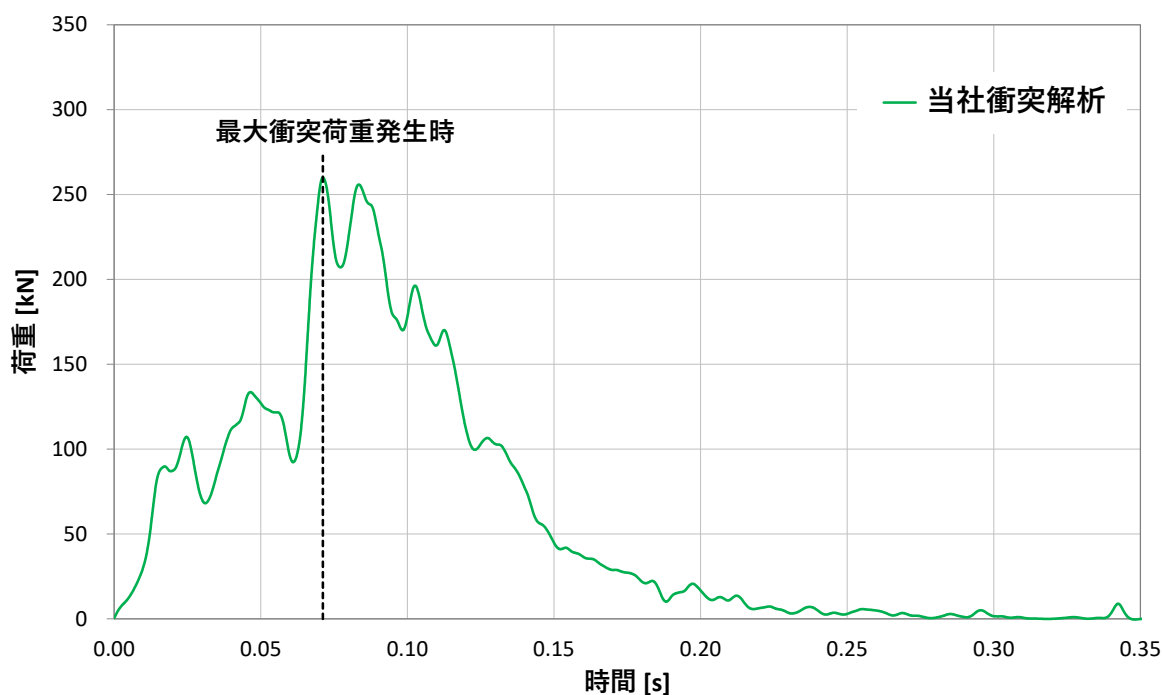


図3-6 当社衝突解析の衝突荷重時刻歴

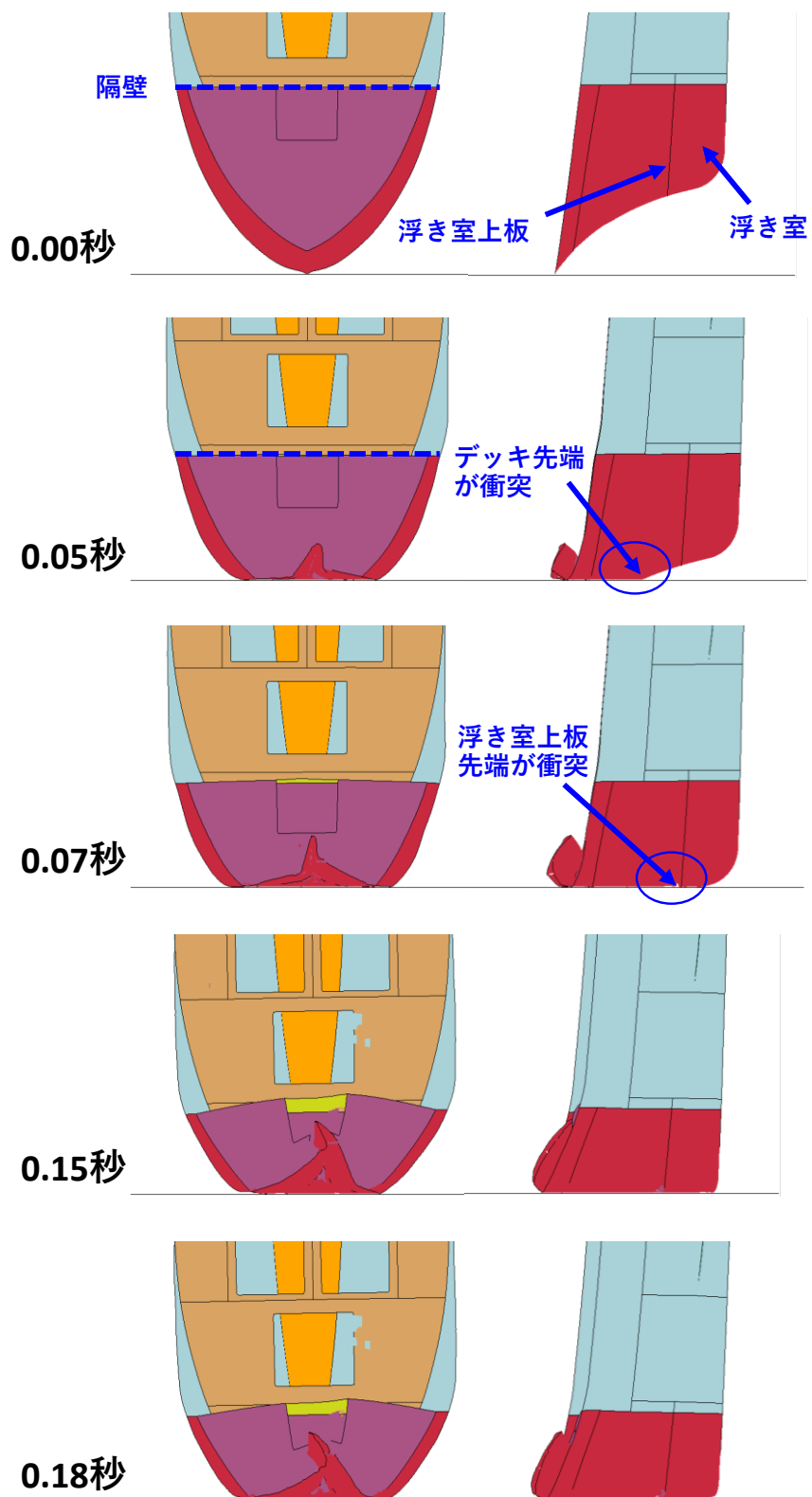


図 3-7 当社衝突解析における船体の衝突状況

### 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。

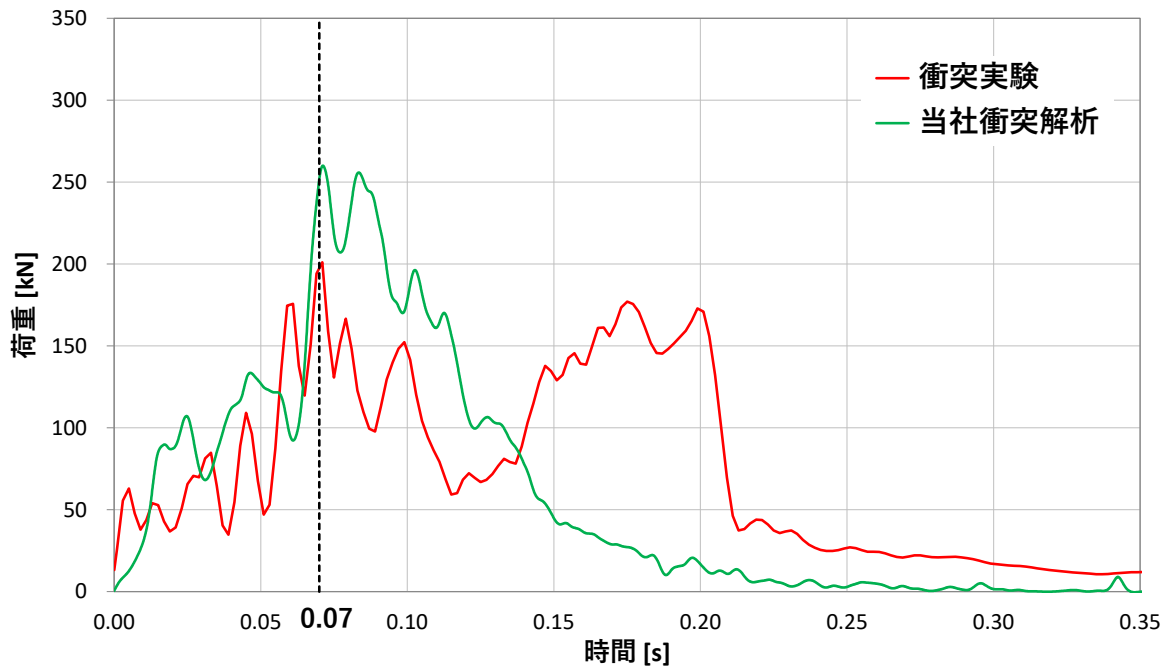


図 3-8 衝突実験と当社衝突解析の衝突荷重時刻歴  
 (衝突実験：「豊田ほか (2022)」を基に作成)

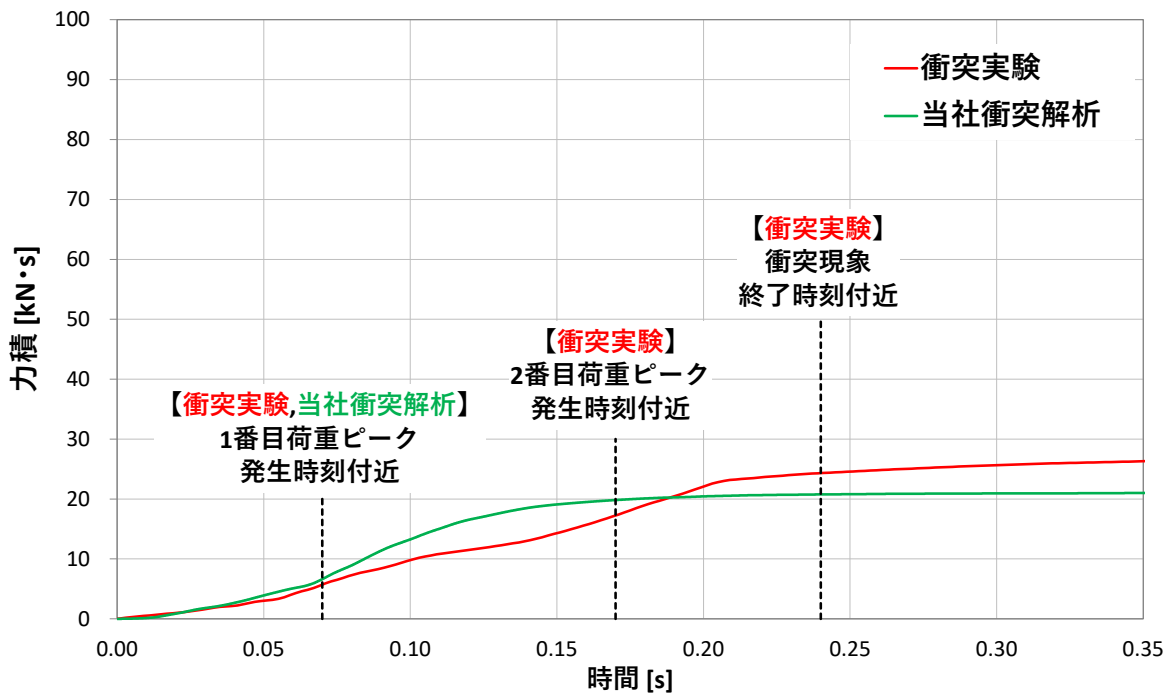


図 3-9 衝突実験と当社衝突解析の力積時刻歴  
 (衝突実験：「豊田ほか (2022)」を基に作成)


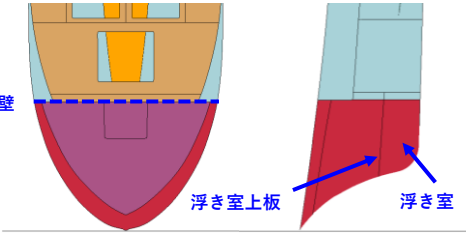
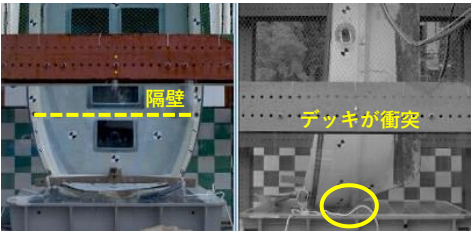
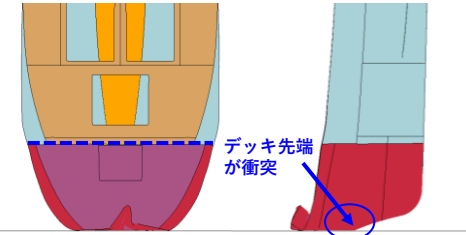

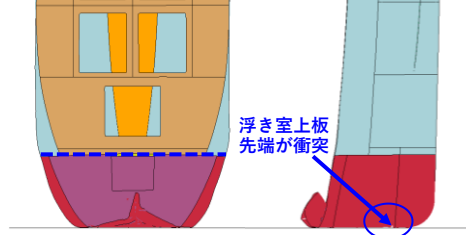
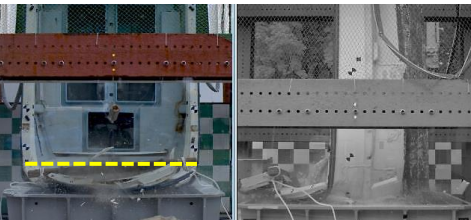
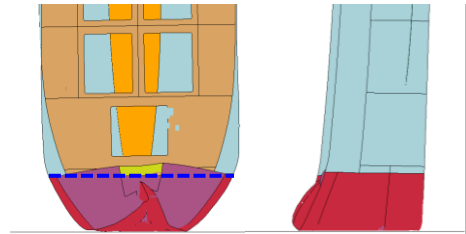
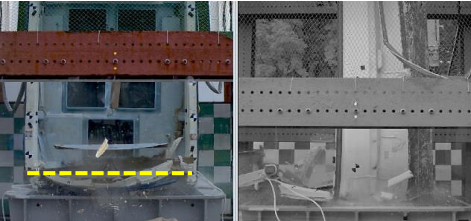
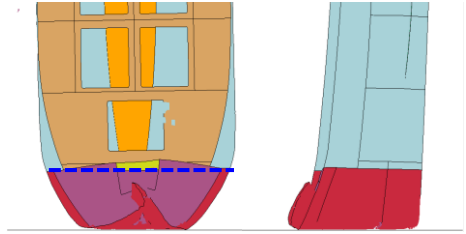
衝突時刻	衝突実験	当社用衝突解析
0.00秒		
0.05秒		
0.07秒		
0.15秒		
0.18秒		

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)

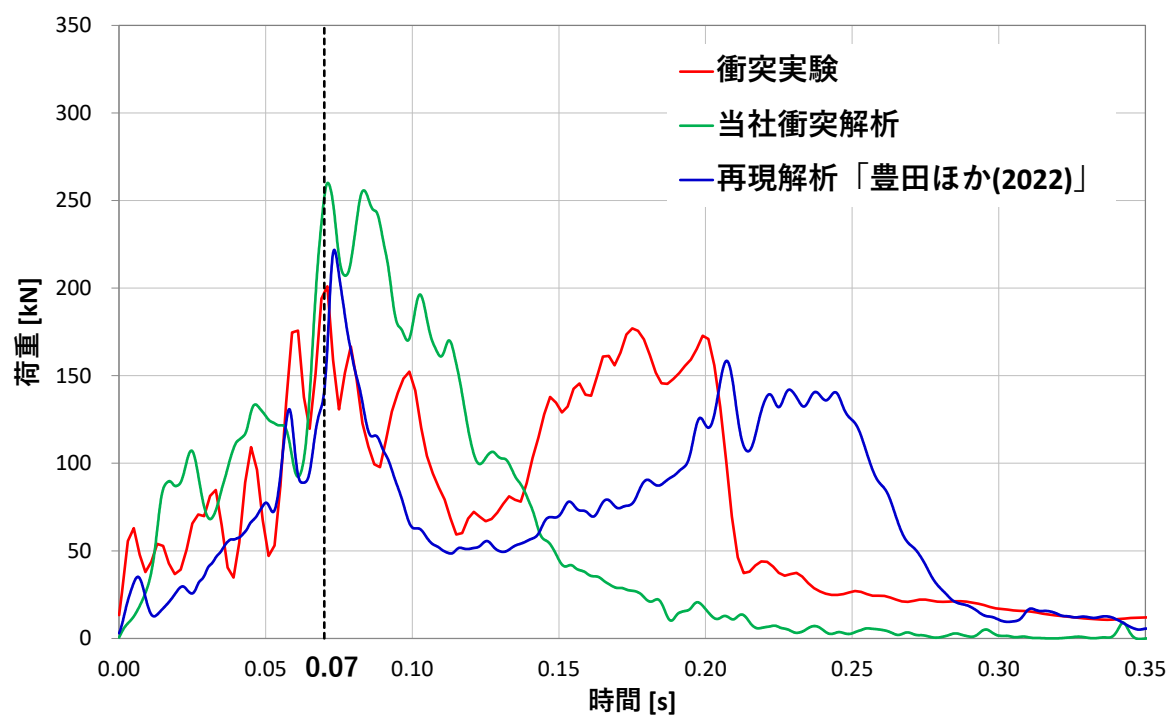


図 3-11 衝突実験，再現解析及び当社衝突解析の衝突荷重時刻歴  
 (衝突実験，再現解析：「豊田ほか (2022)」を基に作成)



### 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 <sup>3</sup>	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。

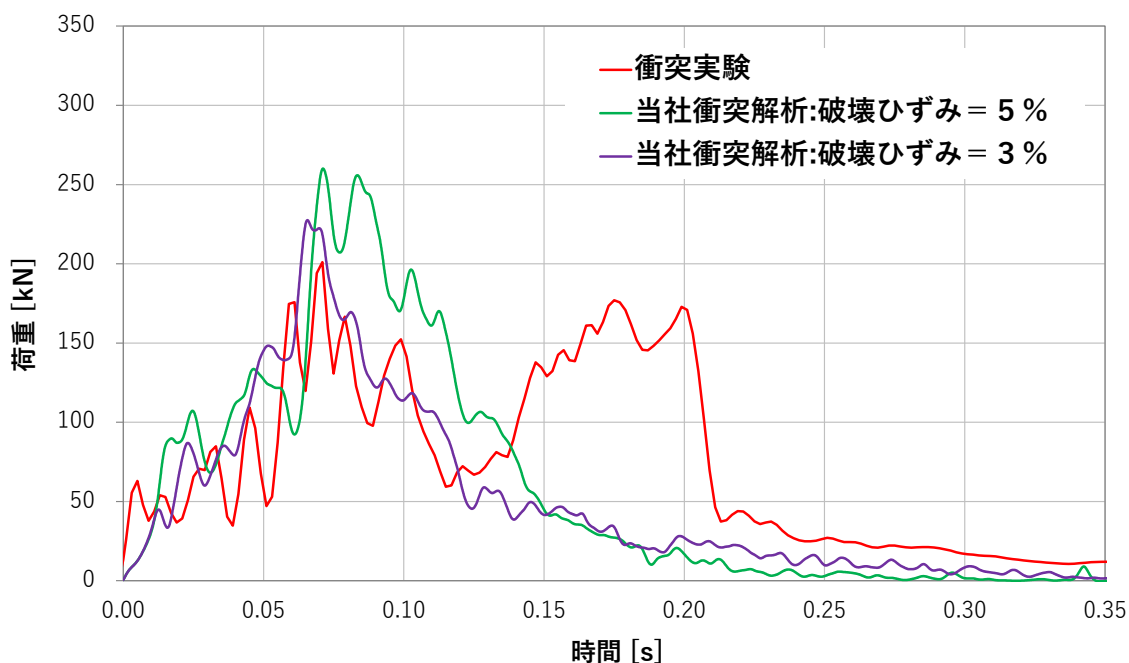


図3-12 破壊ひずみの感度分析による荷重時刻歴の比較

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

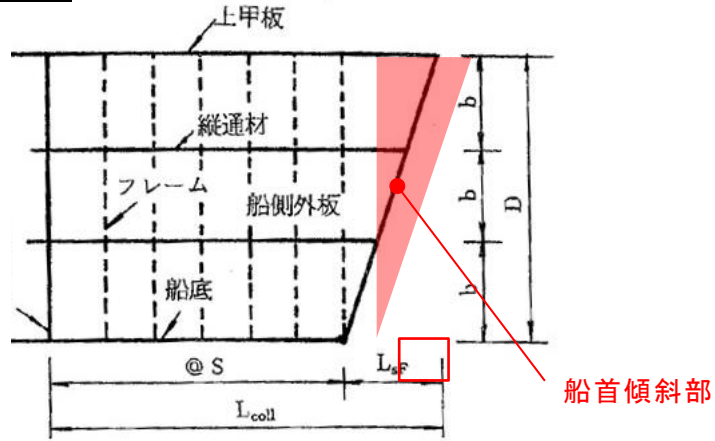
被衝突物は鉄筋コンクリート造又は鋼製であり、F R P 製船舶に対して剛性、強度及び座屈強度が大きいと考えられる。

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。

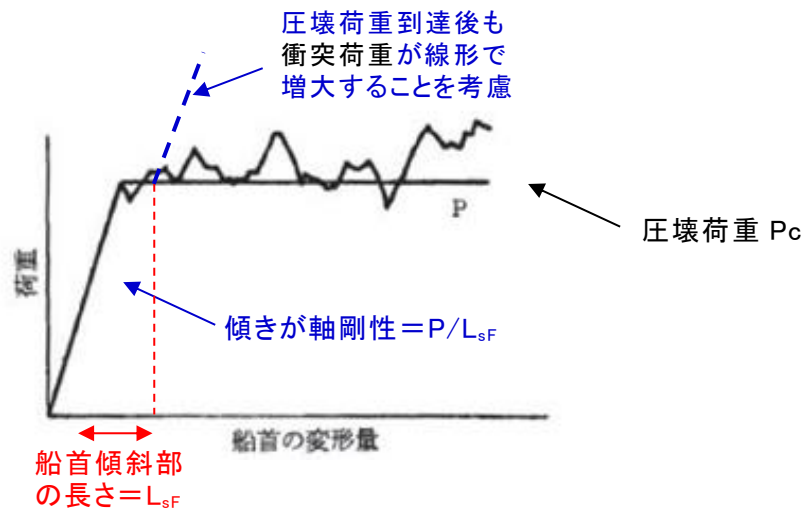
船舶の衝突初期は、船首が傾斜しているため接触面が小さく、圧壊が進むに従って荷重（反力）がほぼ直線的に増加する。船舶の破壊が進み、船首傾斜部破壊後に船体面（隔壁等）が構造物に接触すると、その後の荷重はほぼ一定値に達する。この時の荷重は、船首側からの圧壊による座屈荷重とほぼ同等と判断できるとされている。

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

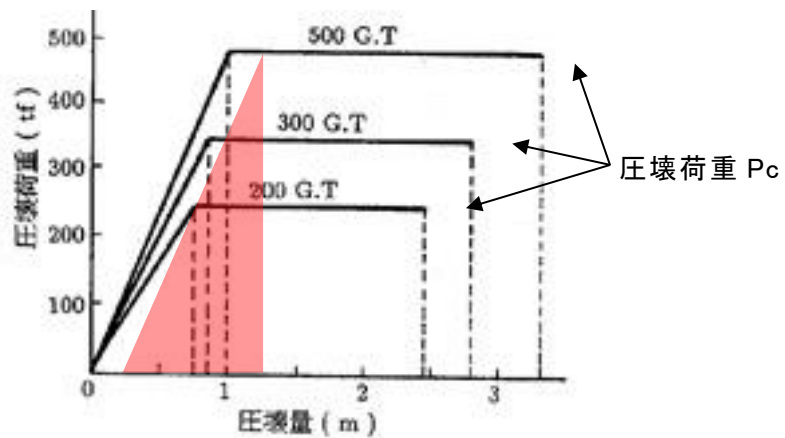


図 2-1 荷重と船首の変形量及び圧壊荷重と圧壊量  
 (「土木学会 (1994)」に一部加筆)

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  $\sigma_c$  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  $\sigma_c$  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。

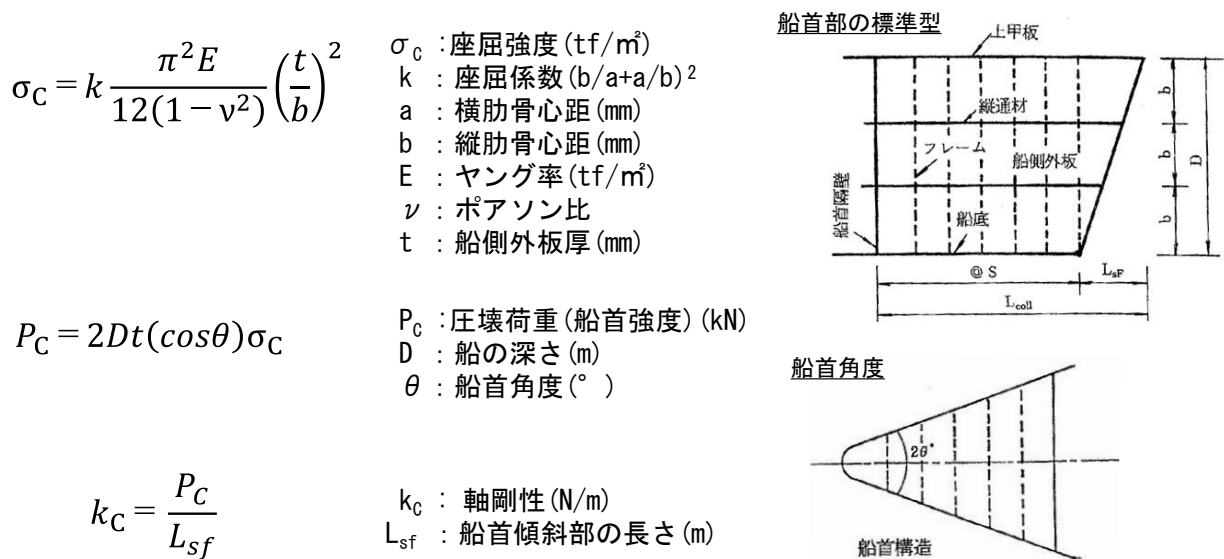


図 3-1 「土木学会 (1994)」を用いた軸剛性  $k_C$  の算定方法

(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  $= 2.1 \times 10^7 \text{ tf/m}^2$
- $\nu$  : ポアソン比  $= 0.3$
- $\sigma_y$  : 鋼材の降伏点応力  $2,400 \text{ kgf/cm}^2$

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  $L_{sf} = 0.25D$  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 <sub>coll</sub> (m)	D (m)	a (mm)	b (mm)	L <sub>sf</sub> (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

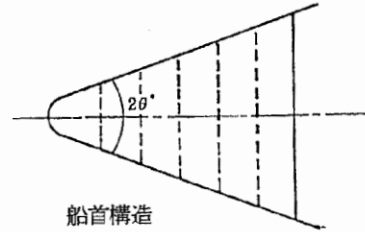


図 3.5 船首角度

表 3.3 船首圧壊強度

L(m)	a(mm)	b(mm)	t(mm)	k	σ <sub>cr</sub> (kgf/cm <sup>2</sup> )	D(m)	P <sub>c</sub> (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 <sub>coll</sub>	0.1 L	m
縦通材間隔	b	3S	mm
船首部傾斜幅	L <sub>sf</sub>	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）」\*<sup>1</sup>では、既往の文献である「有田（1988）」\*<sup>2</sup>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
船体構造	船舶長さ	—	m	50.0	63.0	80.0	100.0
	船舶深さ	$= 0.08 \times L$	m	4.00	5.04	6.40	8.00
	船側外板厚	$= 0.82\sqrt{L} + 2.5$	mm	8.300	9.009	9.834	10.700
	縦肋骨心距	$= 450 + 2L$	mm	550	576	610	650
	横肋骨心距	$= 550 + 2L$	mm	650	676	710	750
	船首角度	文献記載の最大値と最小値の2ケース実施	°	70	70	70	70
船首傾斜長さ	$= 0.25 \times D$	m	1.00	1.26	1.60	2.00	
材料物性	ヤング率 (曲げ弾性率)	—	tf/m <sup>2</sup>	$2.10 \times 10^7$	$2.10 \times 10^7$	$2.10 \times 10^7$	$2.10 \times 10^7$
	ポアソン比	—	—	0.30	0.30	0.30	0.30
座屈強度	$\sigma_c$	*1	tf/m <sup>2</sup>	12,728	13,832	14,903	15,771
圧縮荷重	$P_c$	*2	kN	6,789	7,904	10,091	15,069
	$k_c$	*3	N/m	$6.79 \times 10^5$	$7.90 \times 10^5$	$8.01 \times 10^5$	$9.42 \times 10^5$
軸剛性(船首部)	$k_c$	甲斐田・木原(2017) 文献記載値		$5.10 \times 10^5$	$6.40 \times 10^5$	$8.20 \times 10^5$	$1.10 \times 10^7$
				$6.40 \times 10^5$	$9.33 \times 10^5$	$1.10 \times 10^7$	$1.26 \times 10^7$

\*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  $k_c = \frac{P_c}{L_{sf}}$

- $\sigma_c$  : 座屈強度 (tf/m<sup>2</sup>)  
 $k$  : 座屈係数 ( $b/a + a/b$ )<sup>2</sup>  
 $a$  : 横肋骨心距 (mm)  
 $b$  : 縦肋骨心距 (mm)  
 $E$  : ヤング率 (tf/m<sup>2</sup>)  
 $\nu$  : ポアソン比  
 $t$  : 船側外板厚 (mm)  
 $P_c$  : 圧縮荷重 (船首強度) (kN)  
 $D$  : 船の深さ (m)  
 $\theta$  : 船首角度 (°)  
 $k_c$  : 軸剛性 (N/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 $\sigma_c$ 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

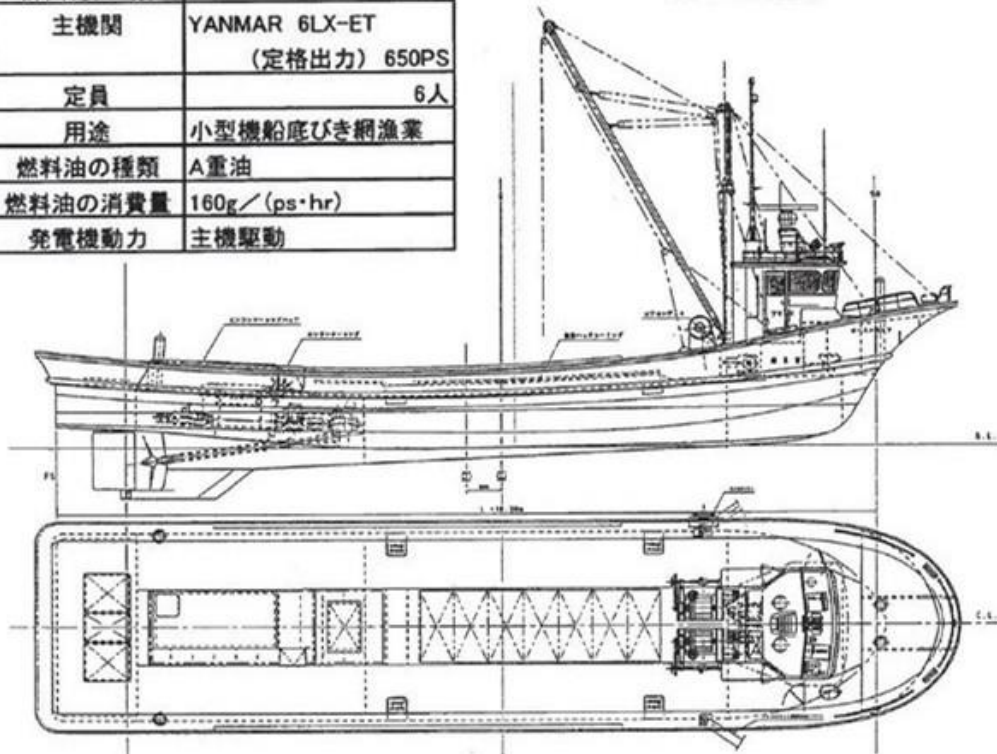


図-2.1 アルミ合金漁船の一般配置図



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

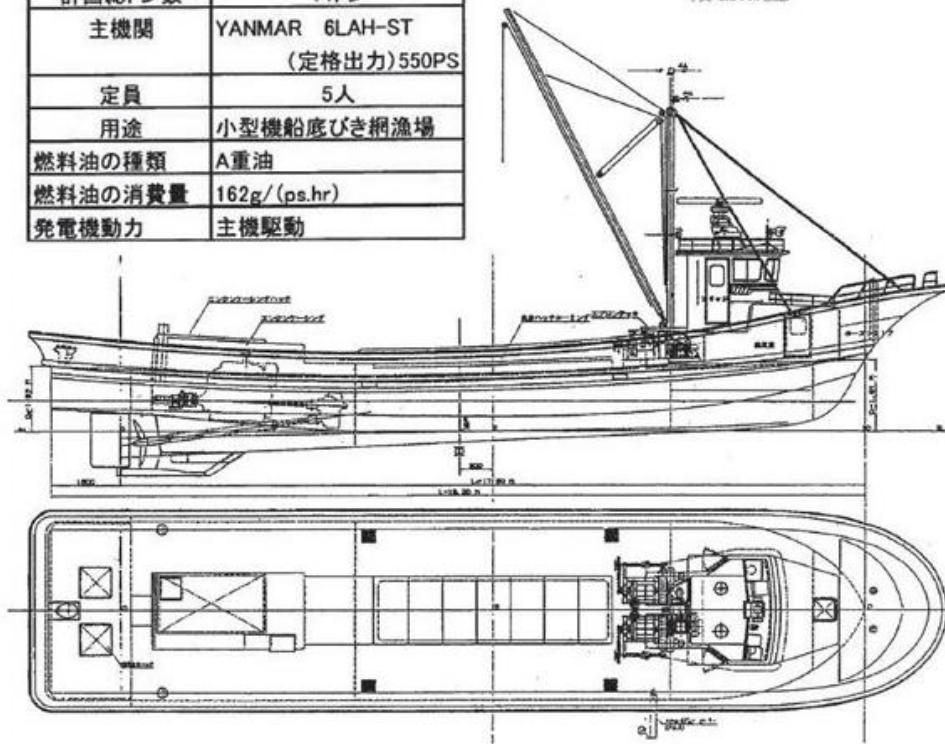


図-2.4 FRP漁船の一般配置図

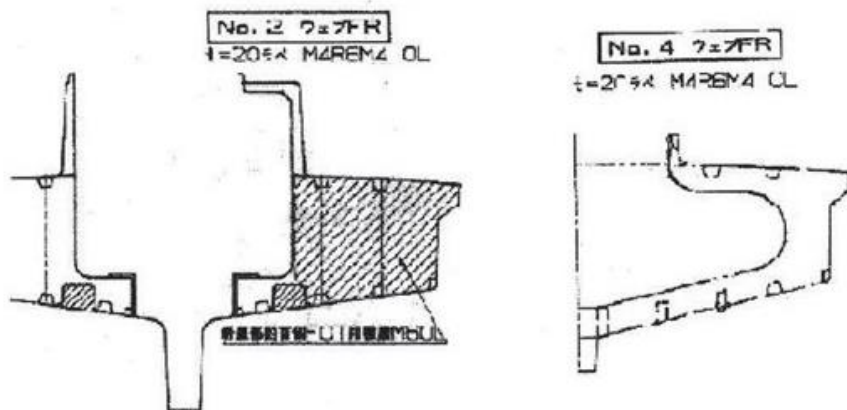


図-2.5 FRP漁船の横断面図

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

座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，無方向性のランダマイド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，巨視的には等方性又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、等方性又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）」でも同様の特性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。

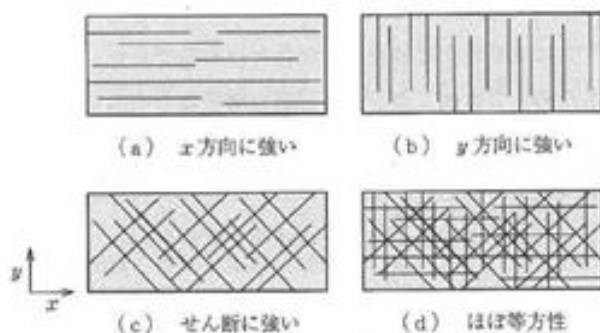


図 4-3 FRP の材料異方性

（「基礎からわかる FRP（強化プラスチック協会編，2016）」より引用）

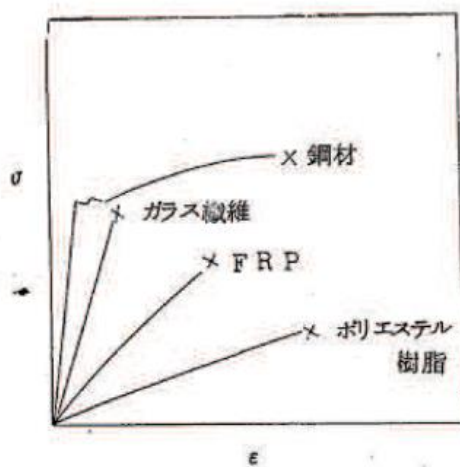


図 4-4 FRP の応力-ひずみ関係

（「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、材料特性の設定にあたっては、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  $\theta$

船首角度  $\theta$  の設定箇所を図5-1に示す。船首角度  $\theta$  の設定にあたっては、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（ $2\theta$ ）は  $99^\circ$  となるが、安全側に  $\theta$  を  $45^\circ$ （ $2\theta = 90^\circ$ ）とした。

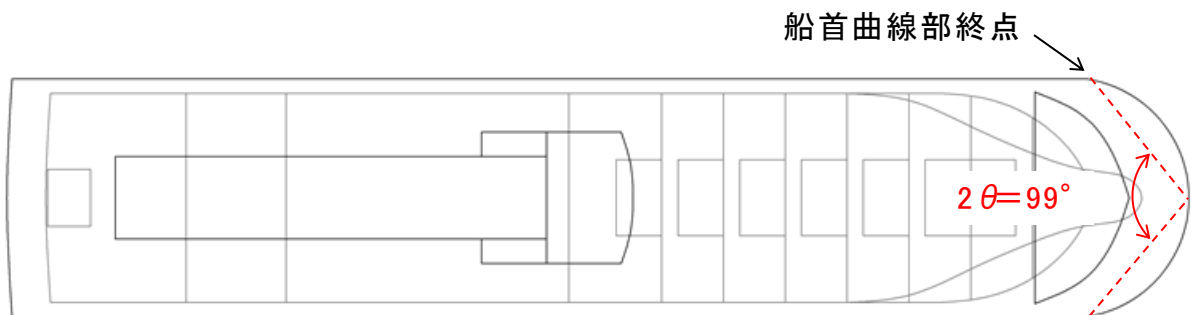


図5-1 船首角度  $\theta$  の設定箇所

・ 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  $L_{sf}$  の設定にあたっては、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。

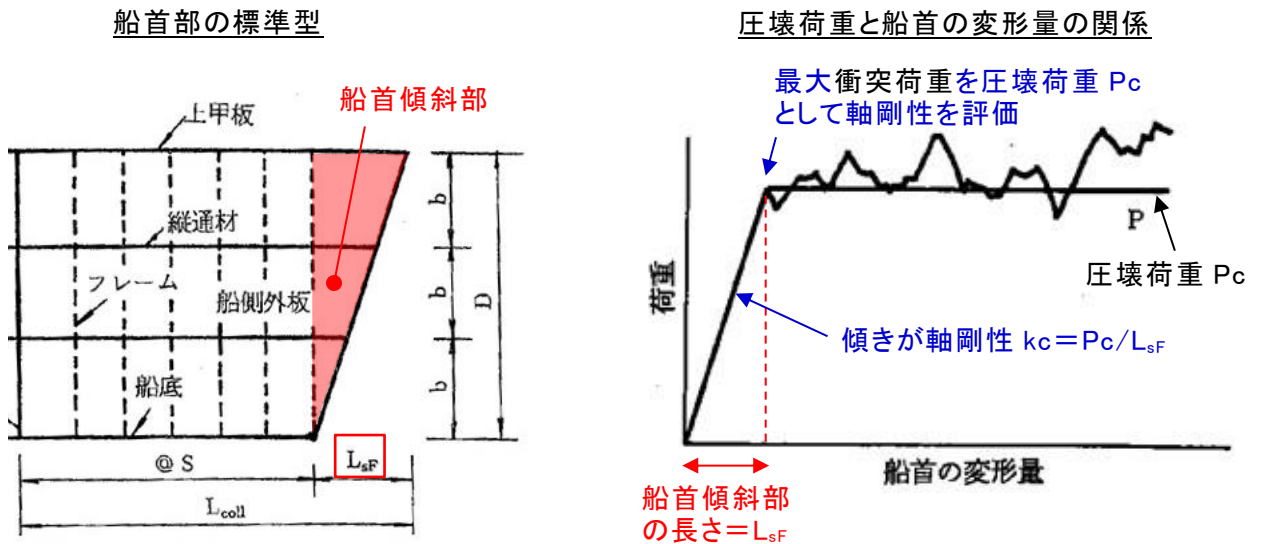


図 5-2 船首部の標準型及び圧壊荷重と船首の変形量  
（「土木学会（1994）」に一部加筆）

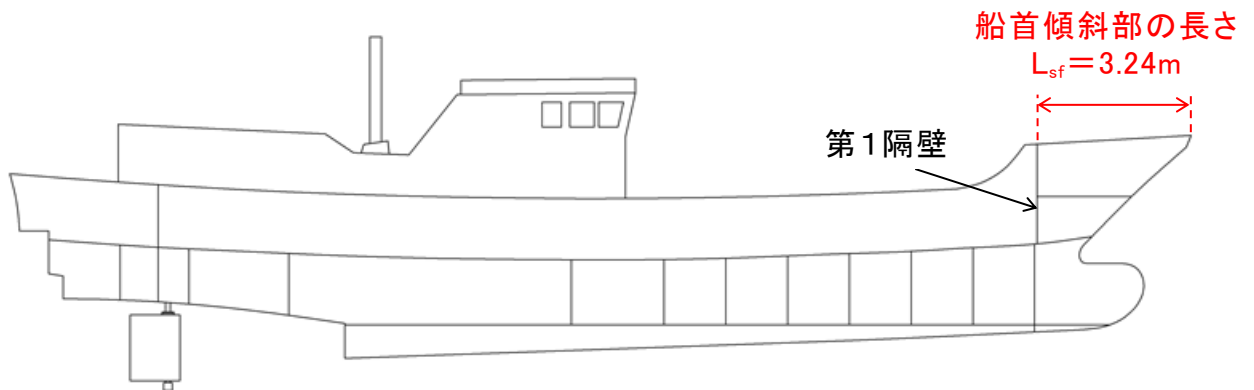


図 5-3 船首傾斜部の長さの設定箇所

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	$\theta$	°	45	対象船舶の計測結果
船首傾斜部の長さ	L <sub>sf</sub>	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 <sup>2</sup> 】	「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 <sup>6</sup>	○	1.22×10 <sup>6</sup>  【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 <sup>6</sup>	○	
		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 <sup>6</sup>	○	
		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 <sup>6</sup>	○	
		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 <sup>6</sup>	○	
	「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 <sup>6</sup>	○	
		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 <sup>6</sup>	○	
	「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 <sup>6</sup>	○	
	「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 <sup>6</sup>	○	
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 <sup>6</sup>	○		

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	$2\theta$	°	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 <sup>2</sup>	$1.22 \times 10^6$
	ポアソン比	$\nu$	-	0.358
座屈強度	$\sigma_c$	tf/m <sup>2</sup>	2,024	
圧壊荷重	$P_C$	kN	544.4	
軸剛性 (船首部)	$k_C$	N/m	$1.71 \times 10^5$	

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

$\sigma_c$  : 座屈強度 (tf/m<sup>2</sup>)  
 $k$  : 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/m<sup>2</sup>)  
 $\nu$  : 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)  
 $\theta$  : 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. FEMA (2012) による荷重の算定

前章で設定したFRP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「FEMA (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。

### 【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6-1 「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	10.0
軸剛性(船首部)	$k_C$	N/m	$1.71 \times 10^5$
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	<b>1,815,000</b>
		kN	<b>1,815</b>

上記の算定結果より、FRP製の総トン数19トン船舶において、「FEMA (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又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。

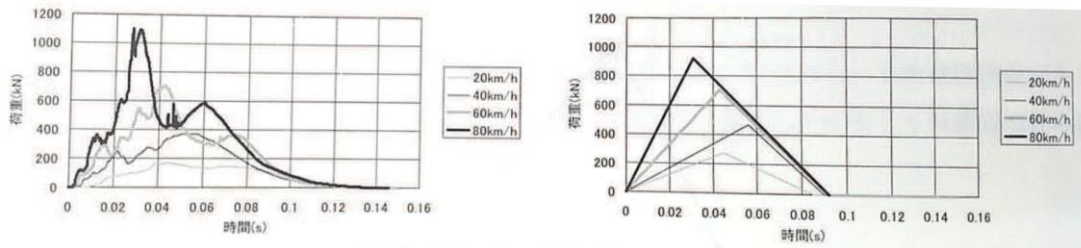
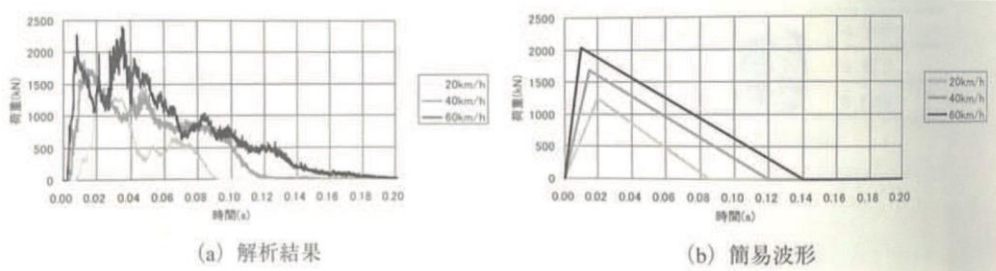


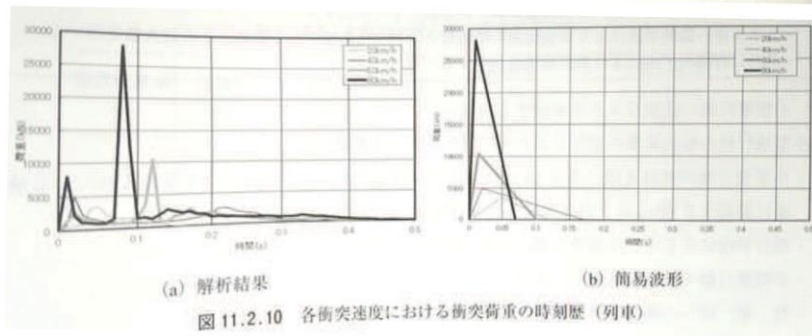
図 11.2.5 各衝突速度における衝突荷重の時刻歴（普通車）



(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。

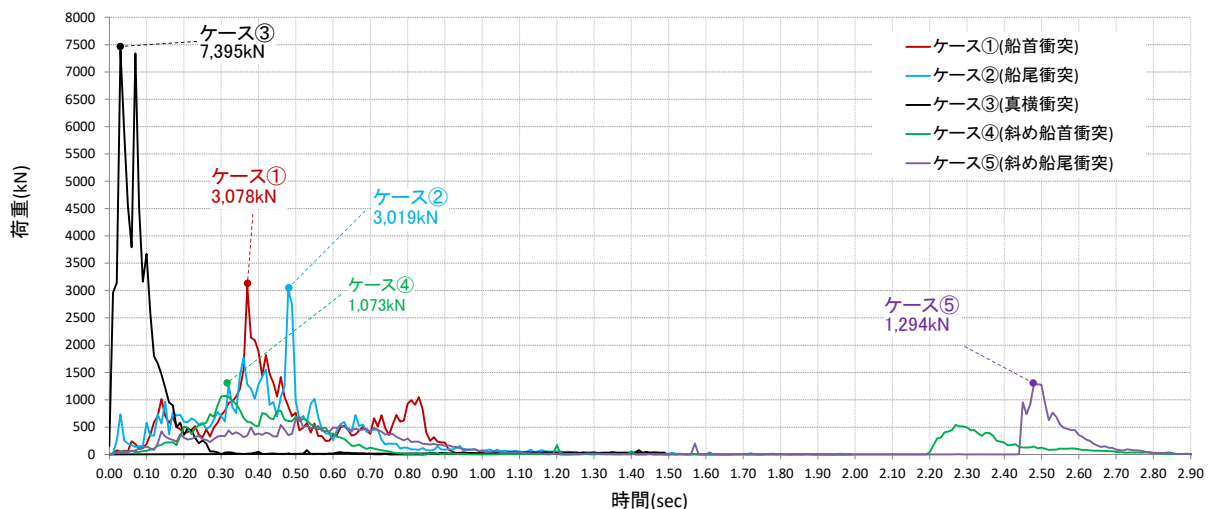
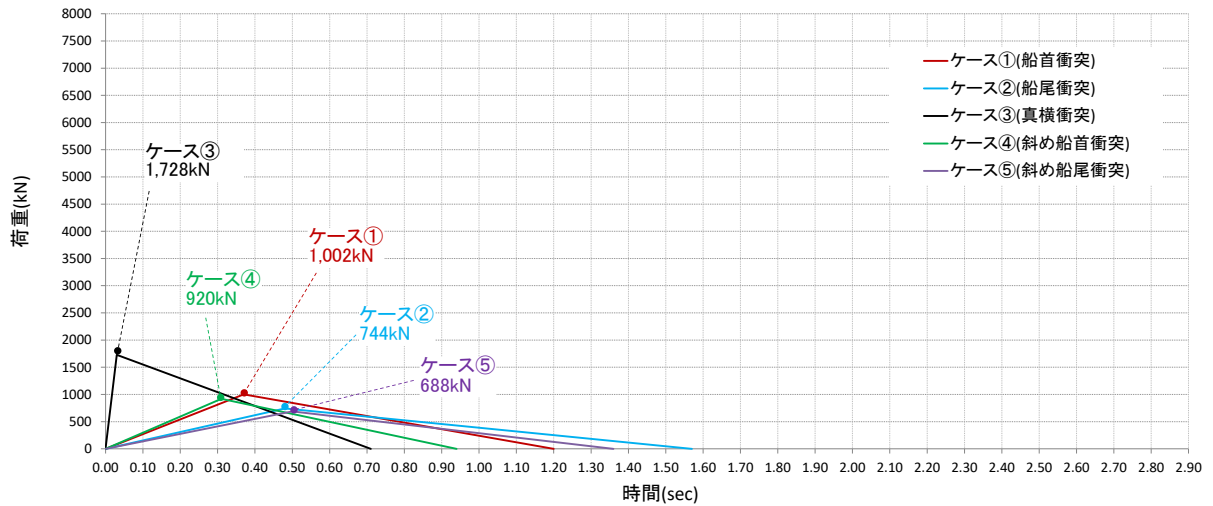


図 2-1 衝突解析結果（時刻歴）



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。

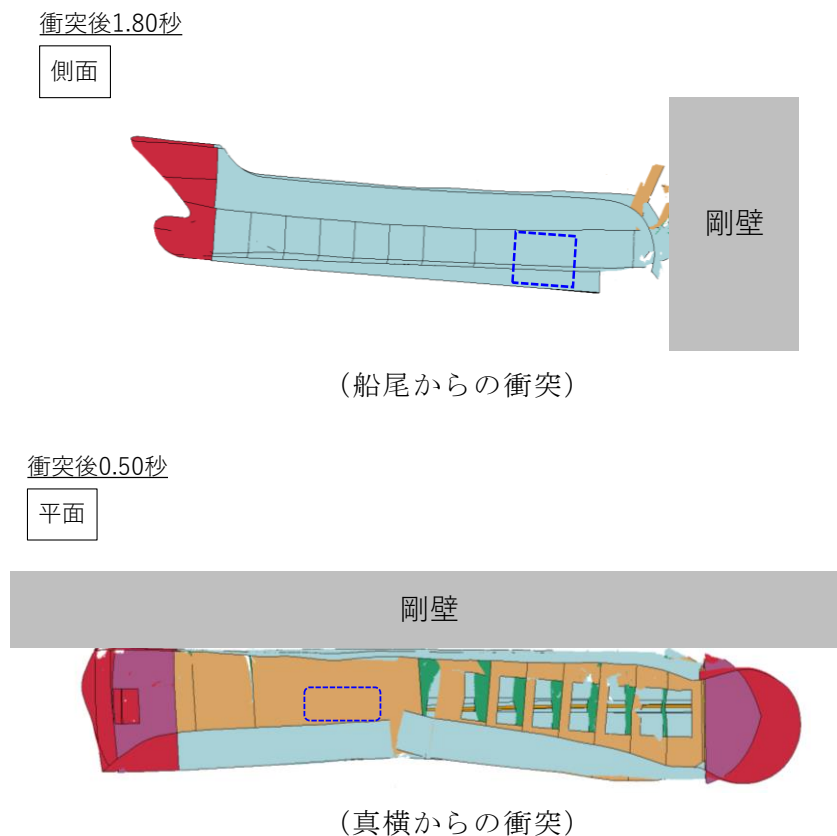


図 1-1 総トン数 19 トンの FRP 製船舶の衝突状況  
 (「4.5.6 漂流物による衝突荷重の算定」より抜粋)

## 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

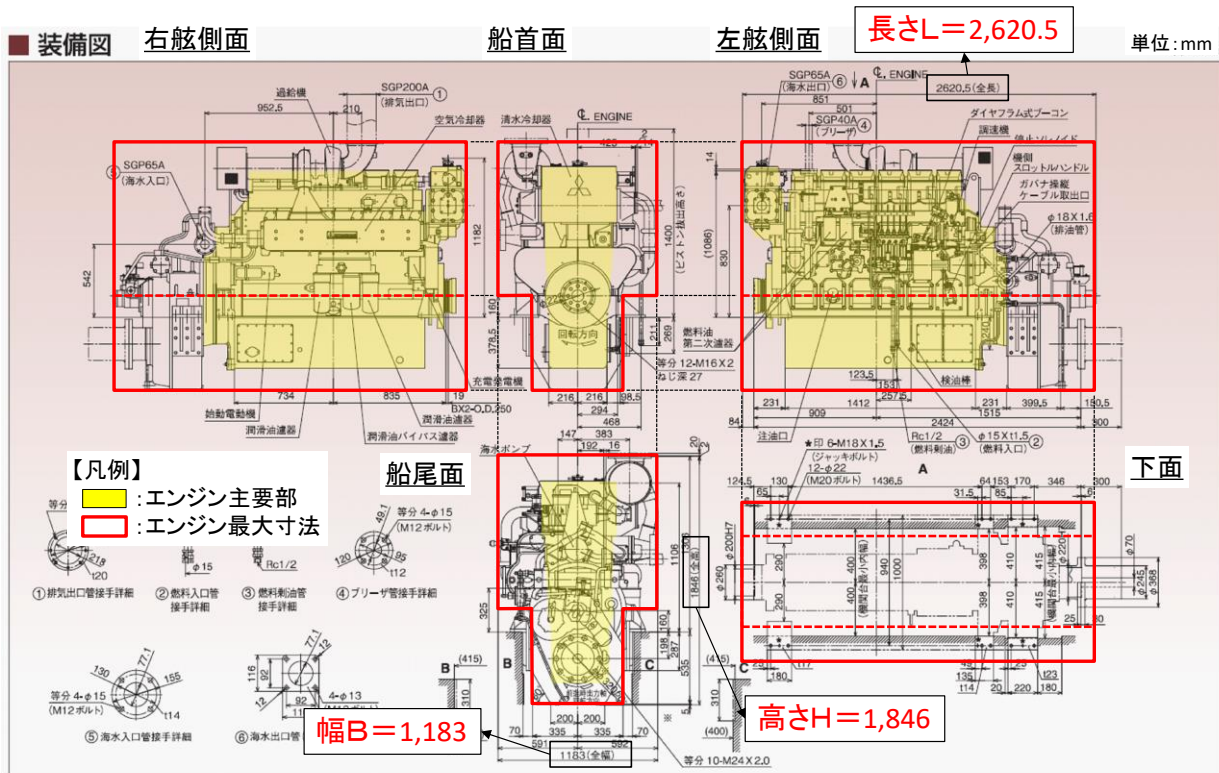


図 2-1 エンジン寸法の設定概要  
 (エンジンカタログ (型式: S6R2-MTK3L) に一部加筆)

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あたり、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 1m あ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	
<p>(添付資料 6) 機関部衝突の影響確認</p>	<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>(参考) 「4.5.6 漂流物による衝突荷重の算定」</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>
	<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 <sup>3</sup>	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。

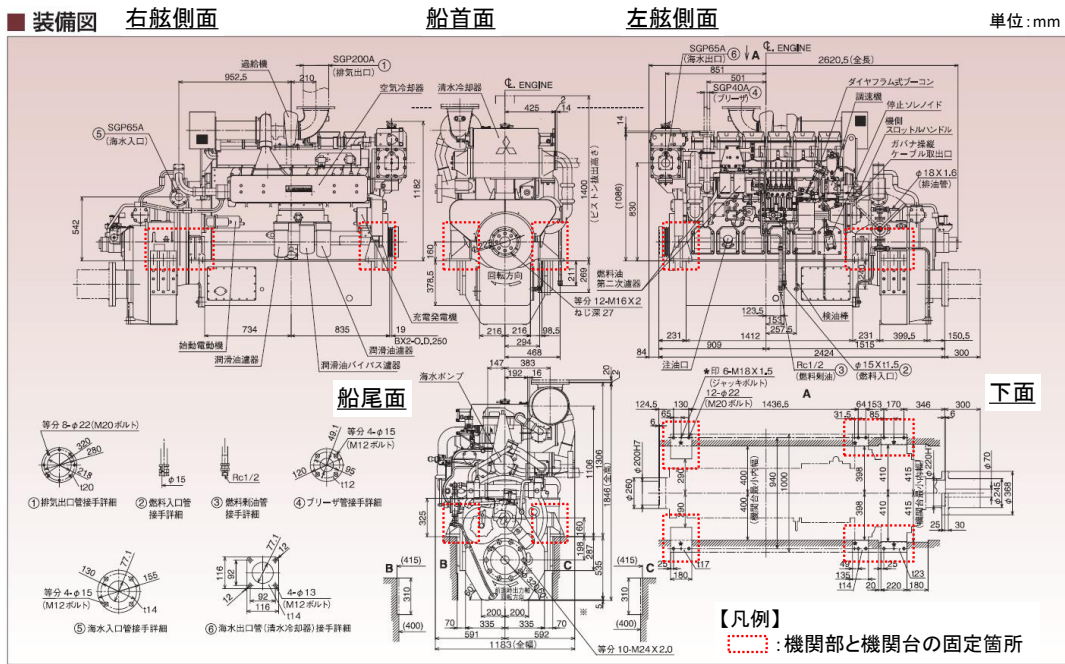


図 2-2 エンジン固定箇所概要

(エンジンカタログ (型式 : S6R2-MTK3L) に一部加筆)

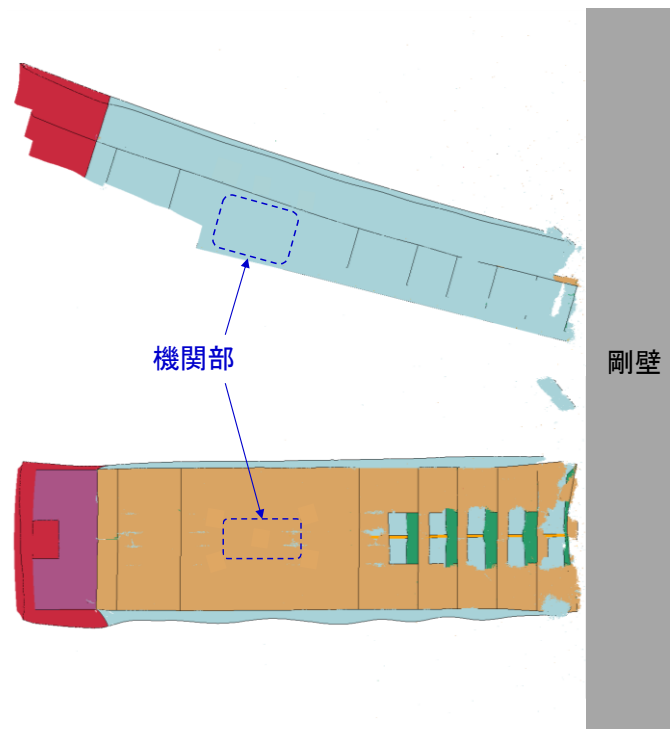
破壊ひずみ変更ケースにおいて、ケース①（船首衝突）、ケース②（船尾衝突）、ケース③（真横衝突）、ケース④（斜め船首衝突）及びケース⑤（斜め船尾衝突）の 5 ケースの衝突解析による衝突状況を図 2-3 に示す。衝突状況より、すべてのケースで機関部は剛壁に衝突しないが、機関部が剛壁に最も接近するケースは、ケース③（真横衝突）となった。機関部の衝突有無の確認結果を表 2-5 に示す。

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）

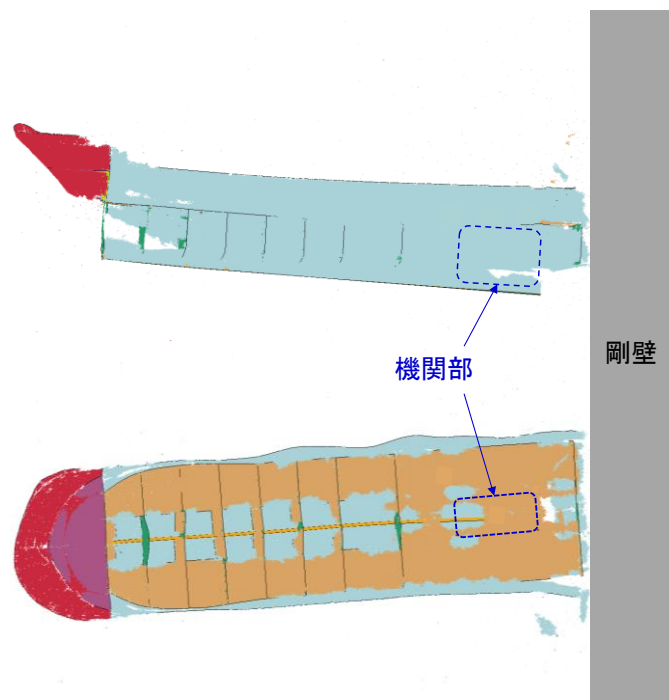
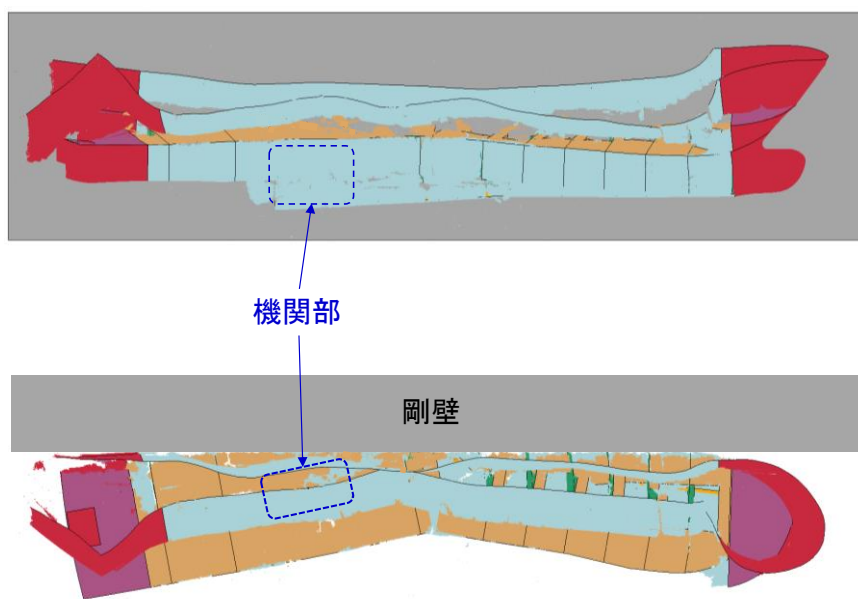


図 2-3 衝突解析による機関部の損傷状況  
（破壊ひずみ変更ケース）（1/3）

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）

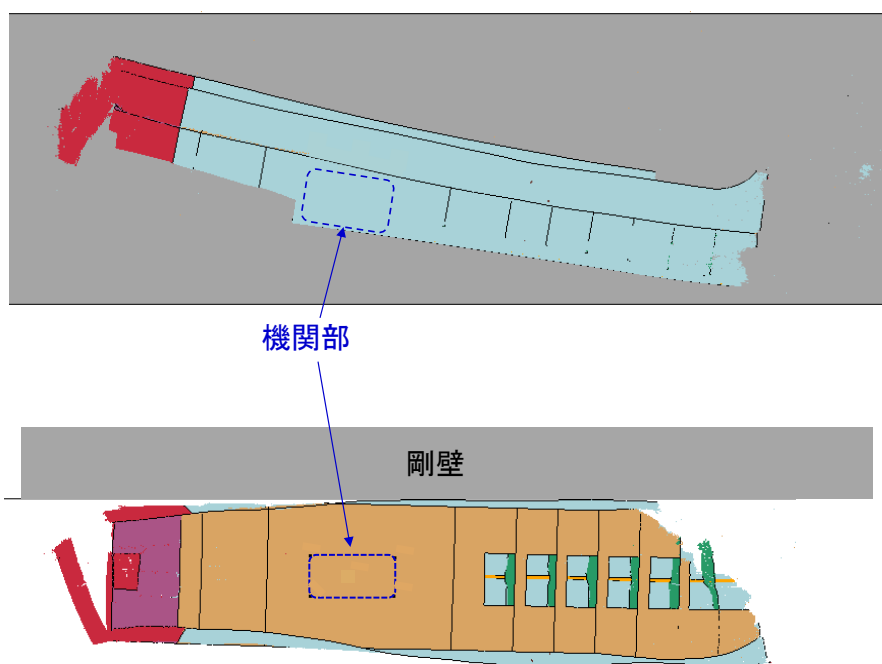


図 2-3 衝突解析による機関部の損傷状況  
（破壊ひずみ変更ケース）（2/3）

ケース⑤ 斜め船尾衝突（衝突しない）

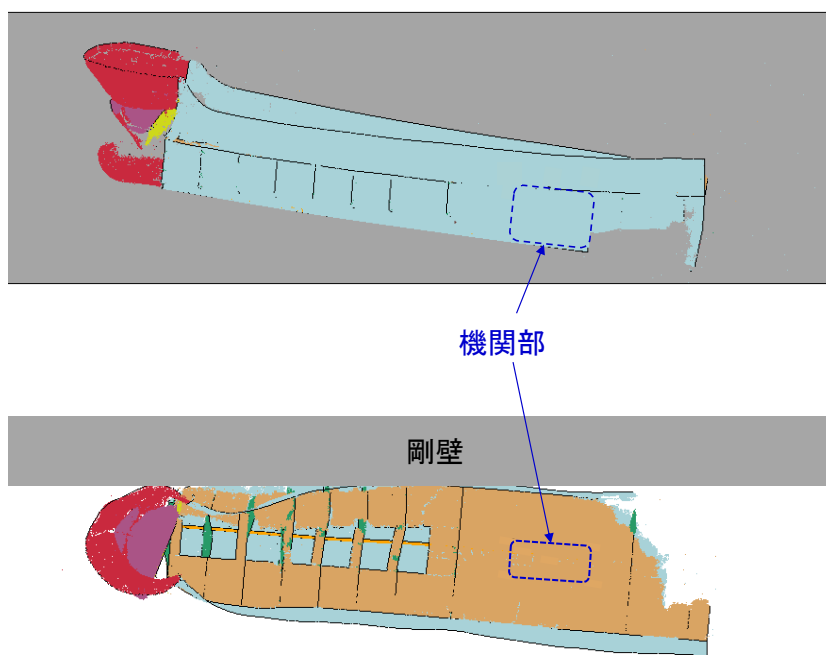
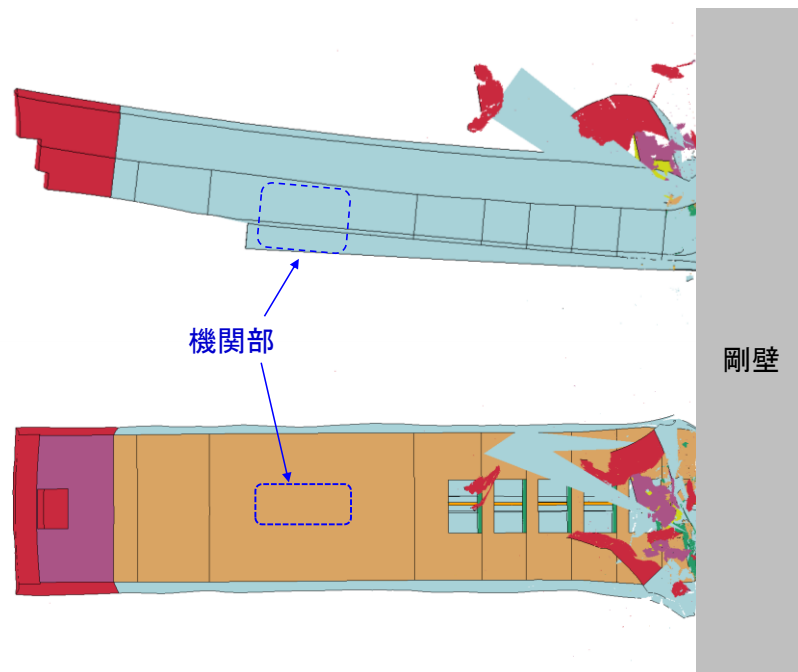


図 2-3 衝突解析による機関部の損傷状況  
（破壊ひずみ変更ケース）（3/3）

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）

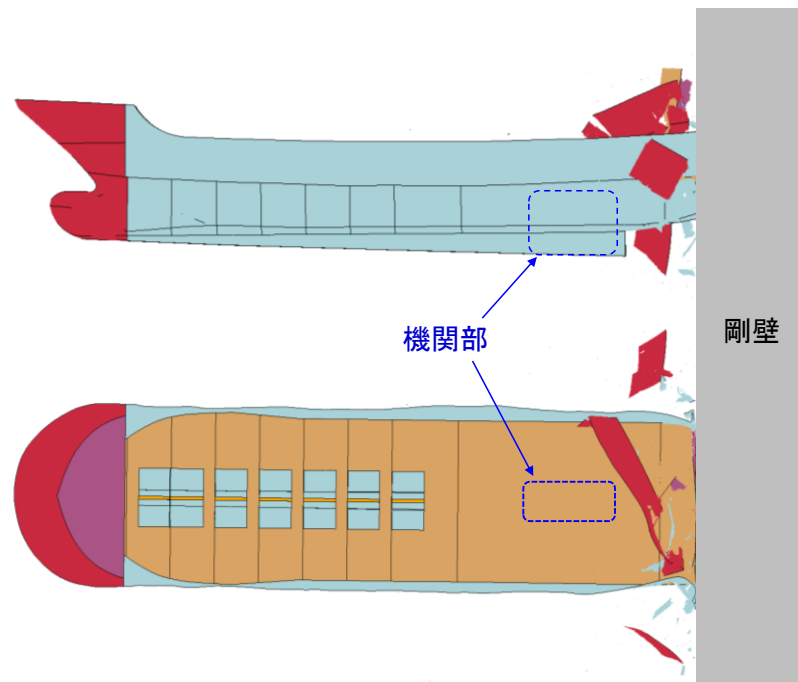
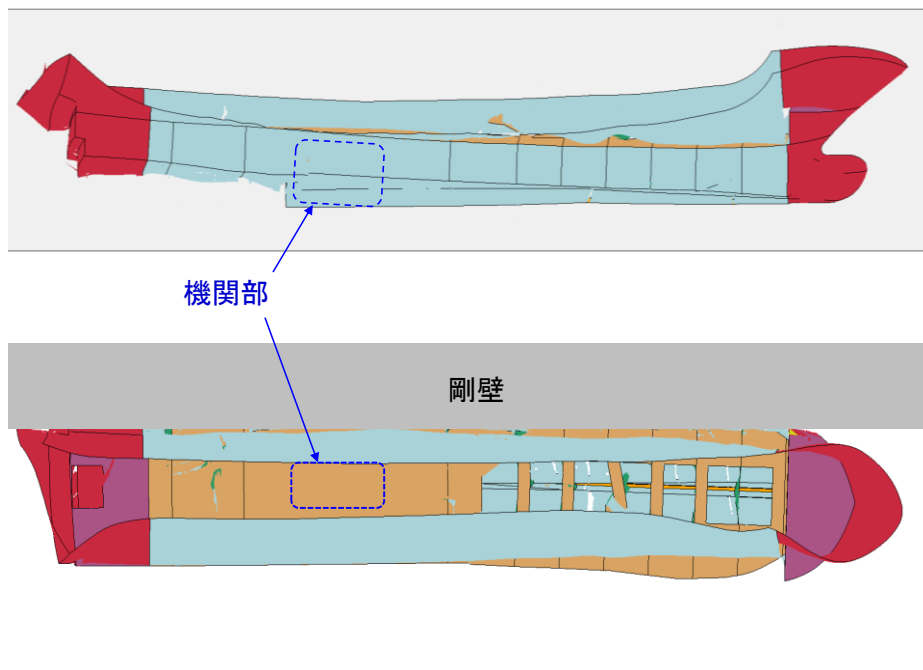


図 2-4 衝突解析による機関部の損傷状況  
（曲げ強度変更ケース）（1/3）

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）

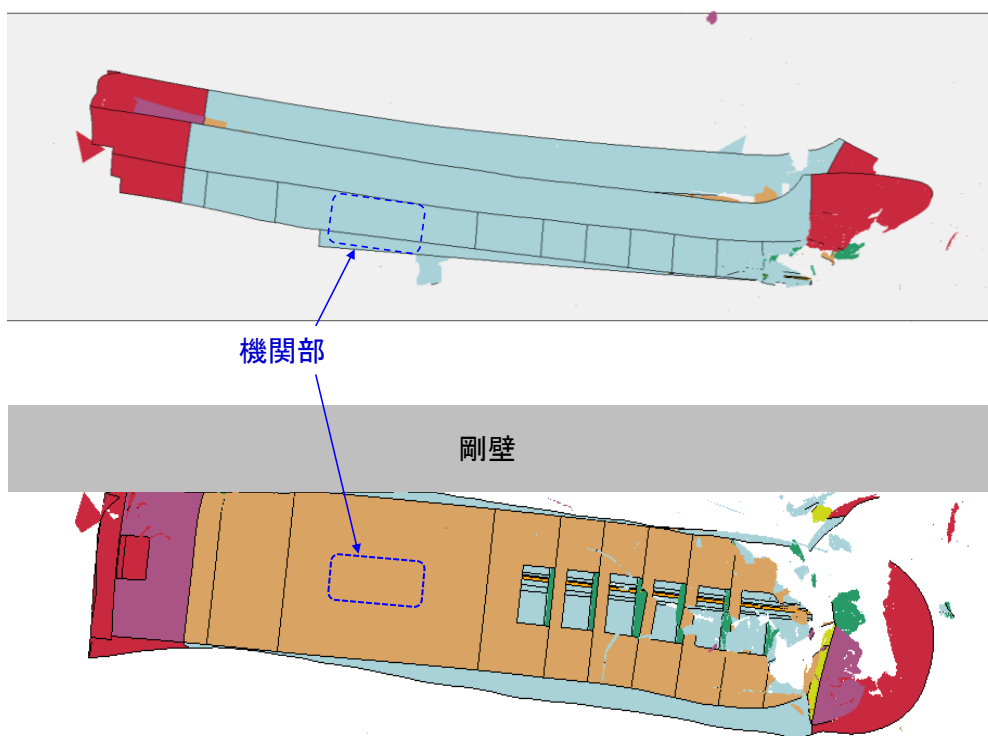


図 2-4 衝突解析による機関部の損傷状況  
（曲げ強度変更ケース）（2/3）

ケース⑩ 斜め船尾衝突（衝突しない）

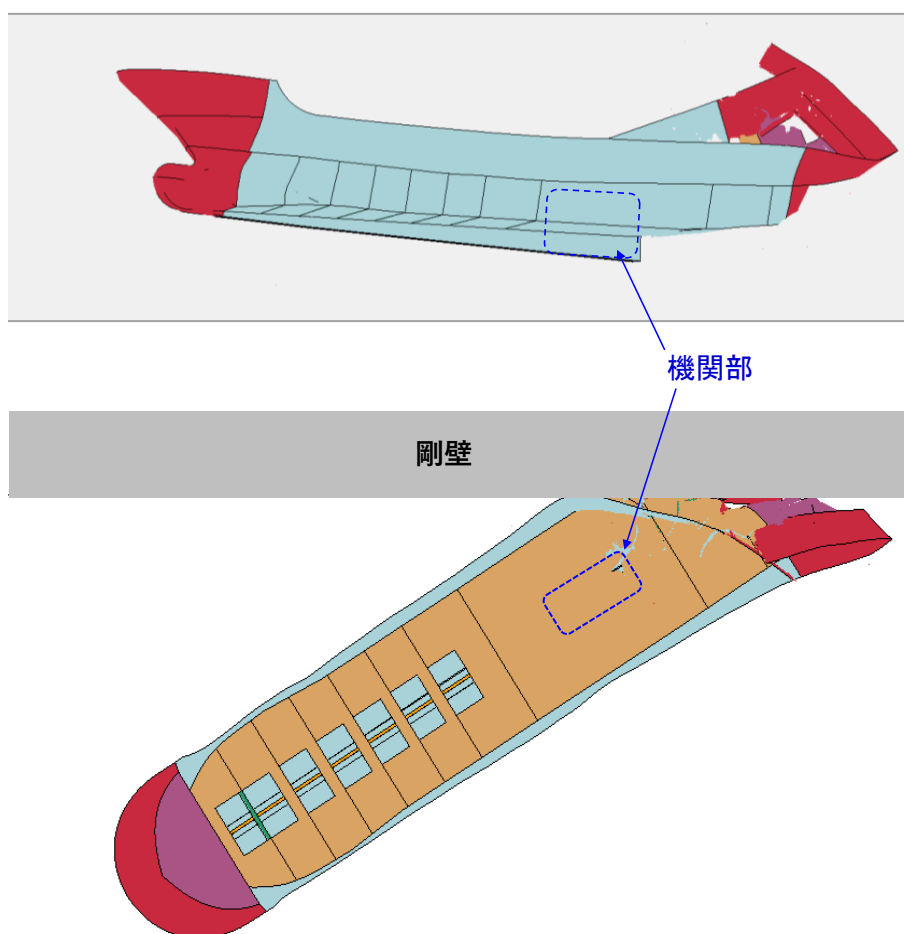


図 2-4 衝突解析による機関部の損傷状況  
（曲げ強度変更ケース）（3/3）

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。

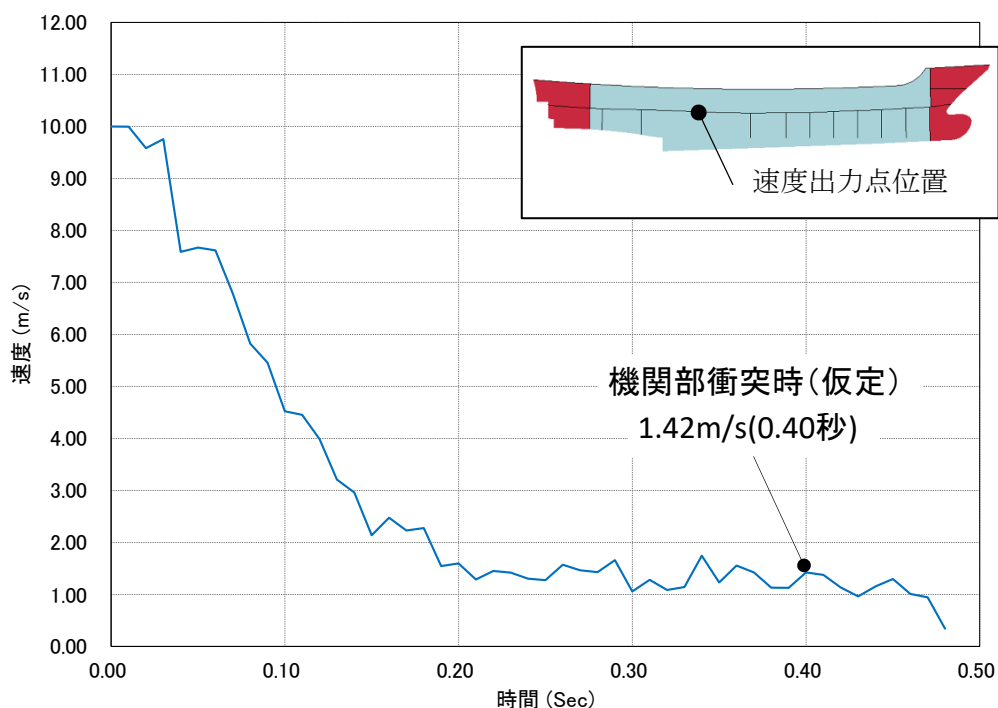


図 2-5 機関部衝突時の速度  
(破壊ひずみ変更ケース, ケース③)

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。



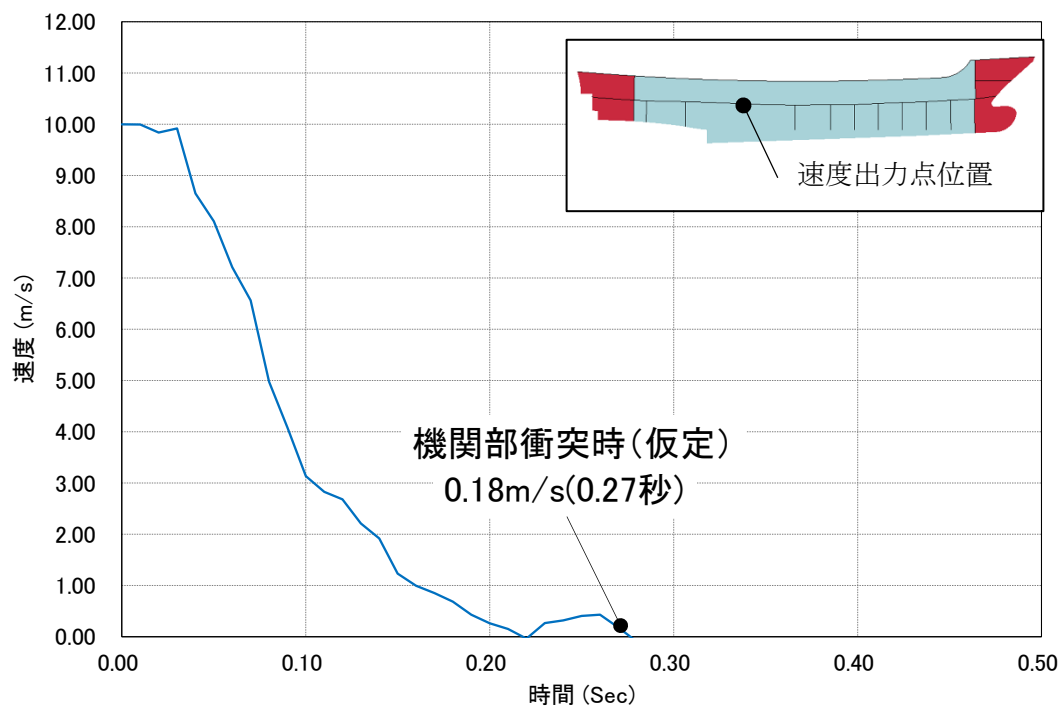


図 2-6 機関部衝突時の速度  
(曲げ強度変更ケース, ケース⑧)

### 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あたっては、「道路橋示方書（2002）」及び「F E M A（2012）」を用いる。

「F E M A（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。

- ・ F R P 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 F R P 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、F R P 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、F R P 製船舶の機関部よりも剛性の高いもので囲まれている。

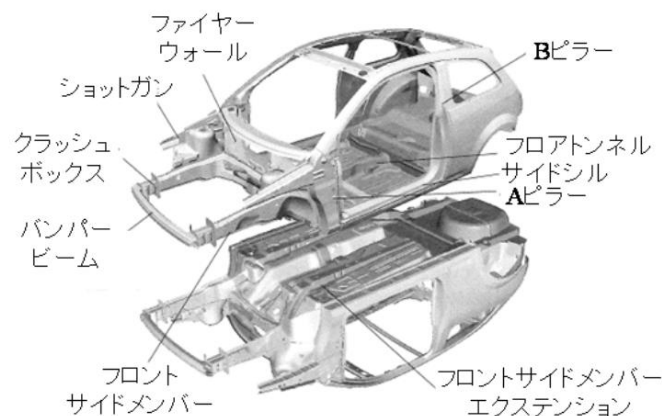


図 3-1 車体構造（高島ほか（2015）\*）

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）\*<sup>1</sup>】

甲斐田・木原（2017）では、高島ほか（2015）及び久保田・國分（1995）\*<sup>2</sup>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= $2.8 \times 10^6$ 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) =  $2.8 \times 10^6$
- 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、「F E M A (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「F E M A (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「F E M A (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)	F E M A (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)	F E M A (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

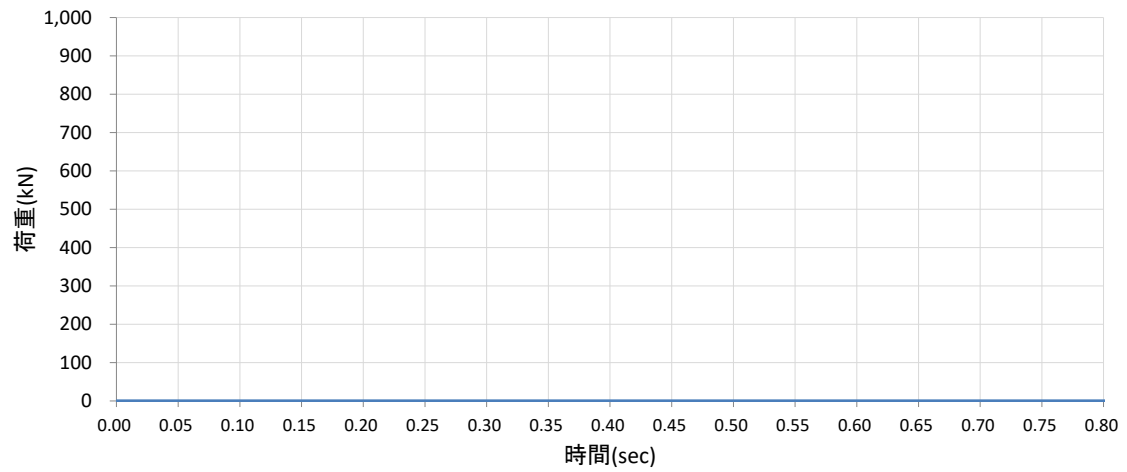
破壊ひずみ変更ケースのケース③（真横衝突）における剛壁 1mあたりの衝突荷重の時刻歴を図 4-1 に示す。曲げ強度変更ケースのケース⑧（真横衝突）における剛壁 1mあたりの衝突荷重の時刻歴を図 4-2 に示す。

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 1mあ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。

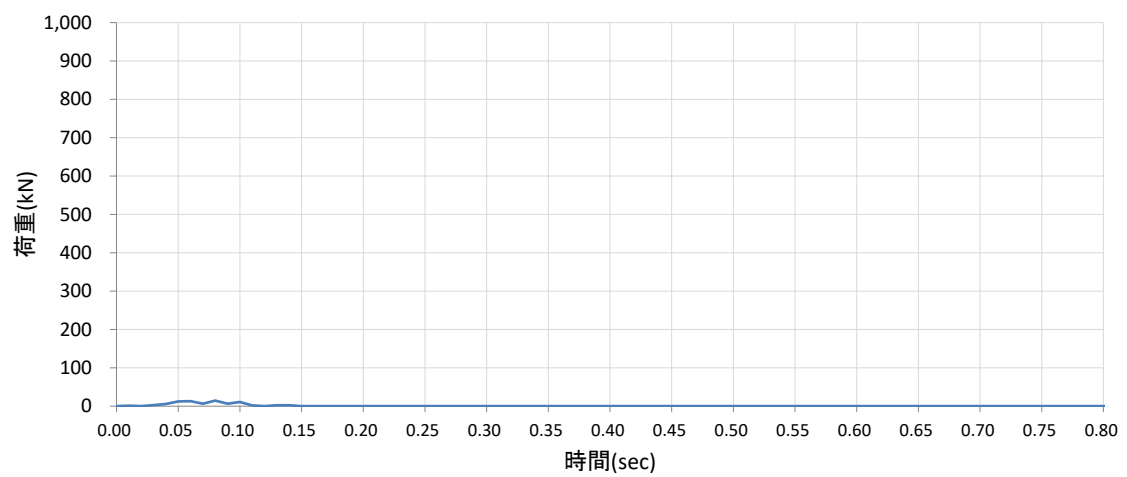
図 4-2 より、機関部が衝突すると仮定した時刻 0.27 秒における剛壁 1mあたりの最大衝突荷重は、剛壁⑭において 64kN となることを確認した。

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 1mあ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

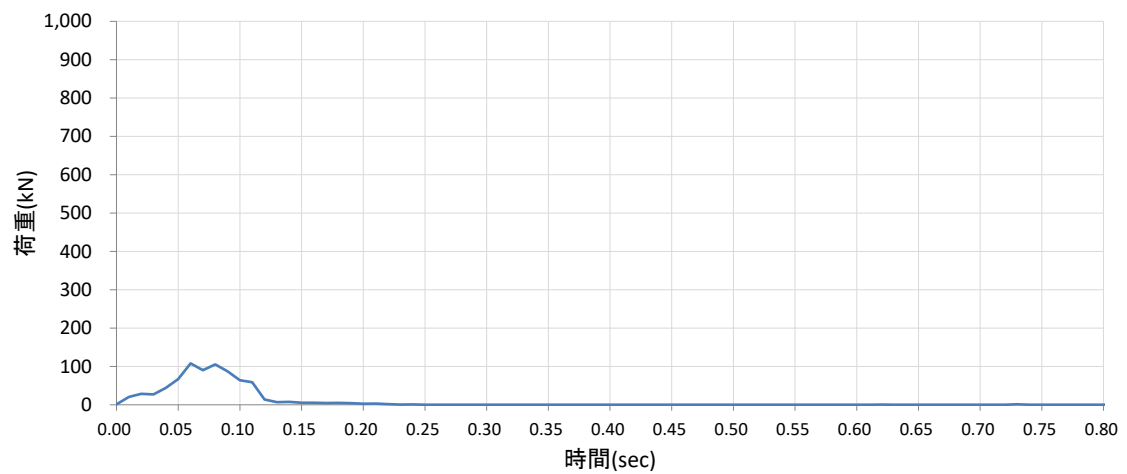
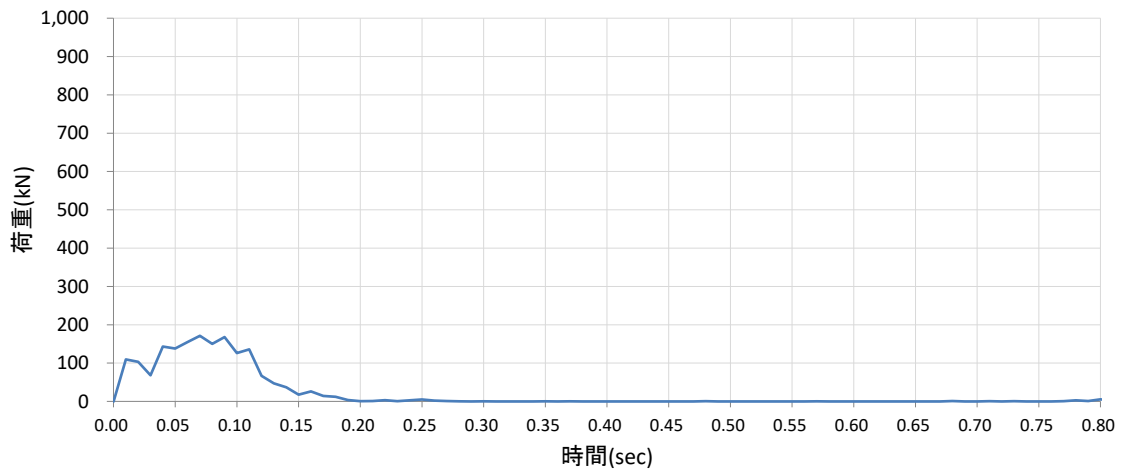
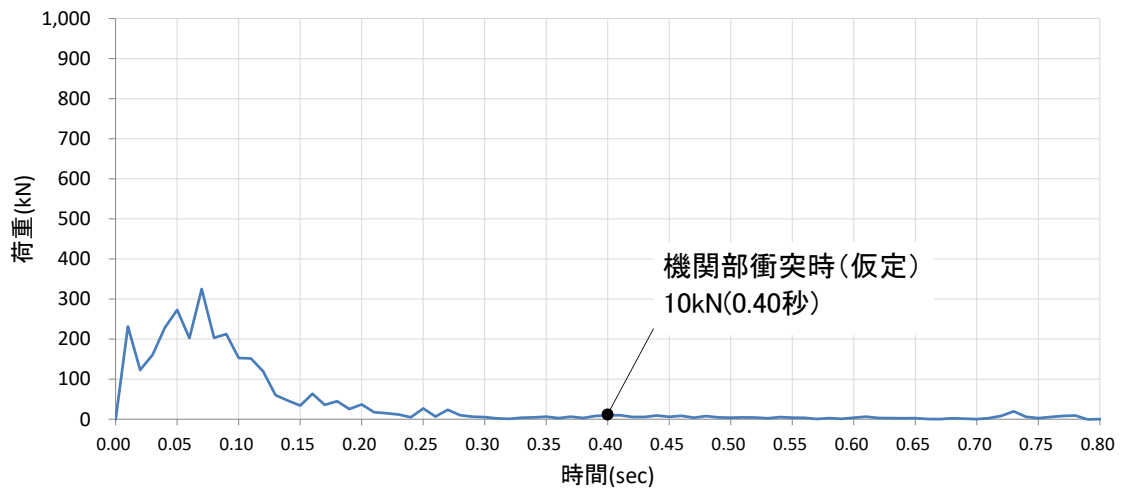


図 4-1 剛壁 1mあたりの衝突荷重の時刻歴  
(破壊ひずみ変更ケース, ケース③) (1/9)

剛壁番号④



剛壁番号⑤



剛壁番号⑥

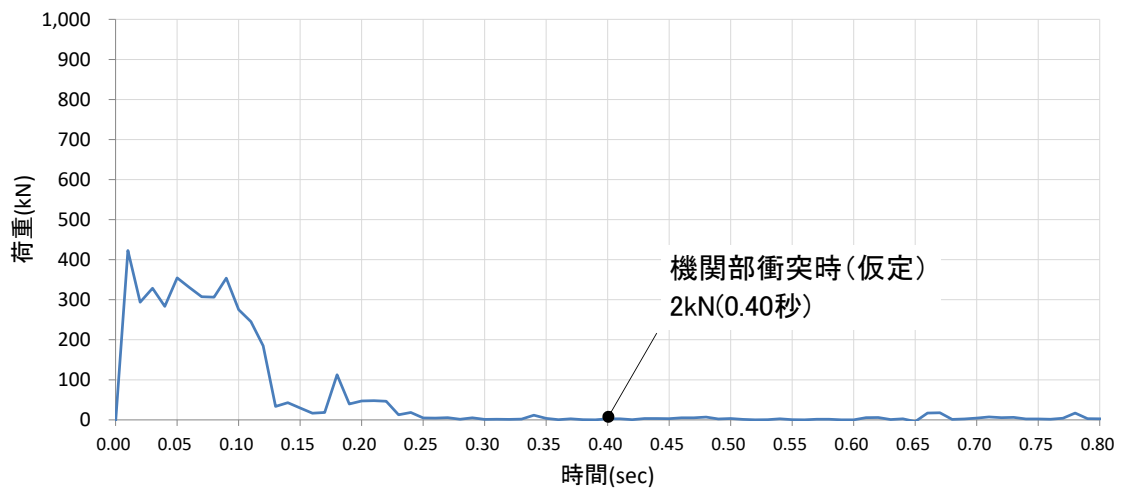
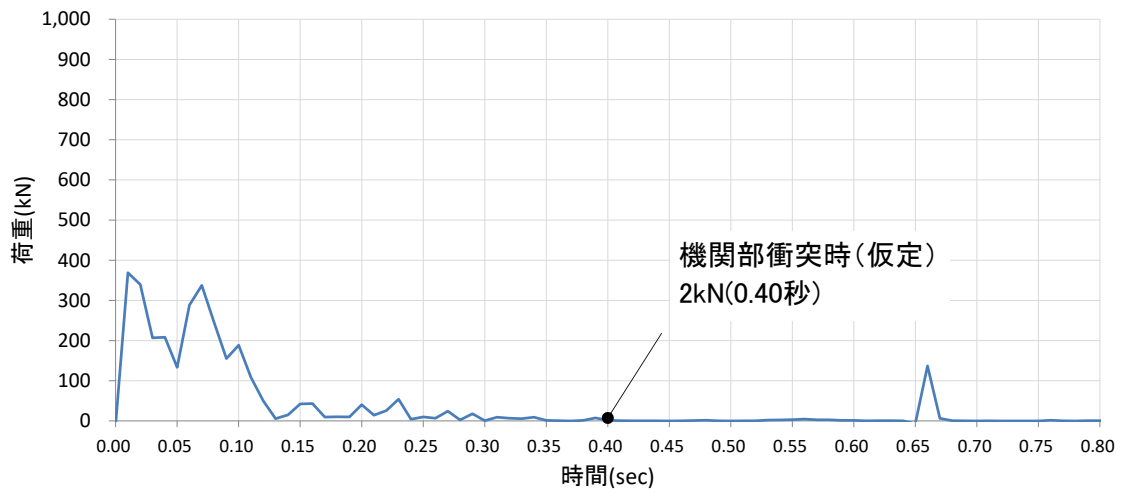


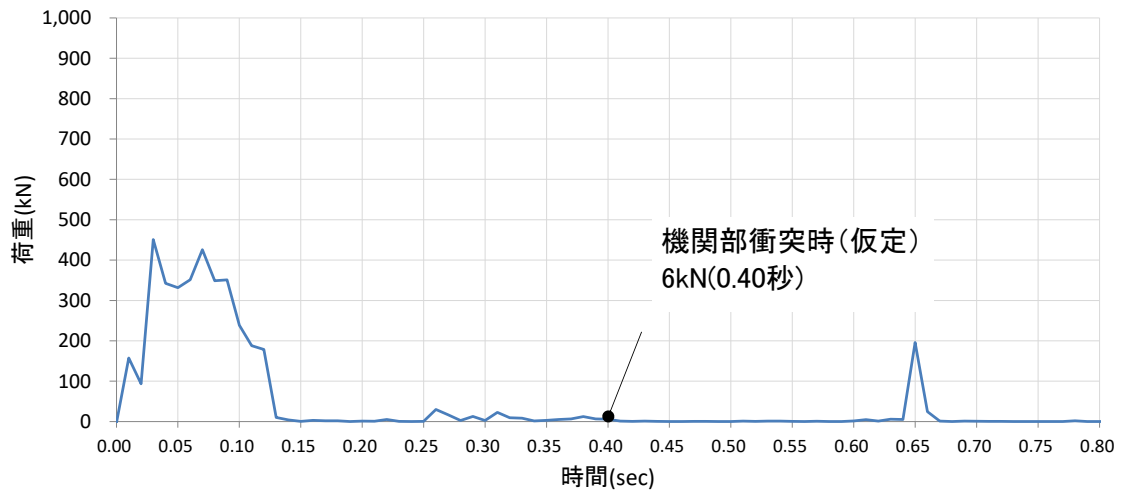
図 4-1 剛壁 1mあたりの衝突荷重の時刻歴  
(破壊ひずみ変更ケース, ケース③) (2/9)



剛壁番号⑦



剛壁番号⑧



剛壁番号⑨

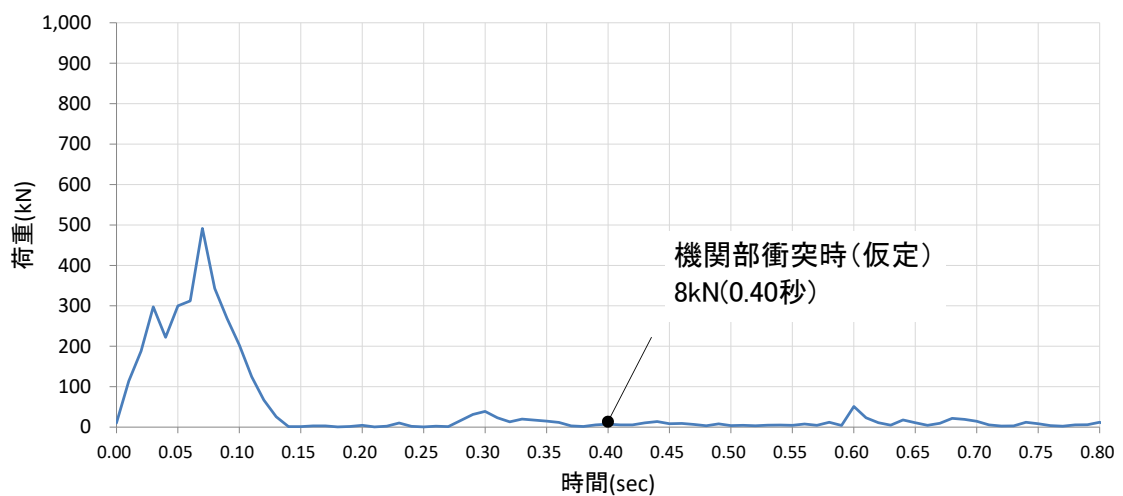
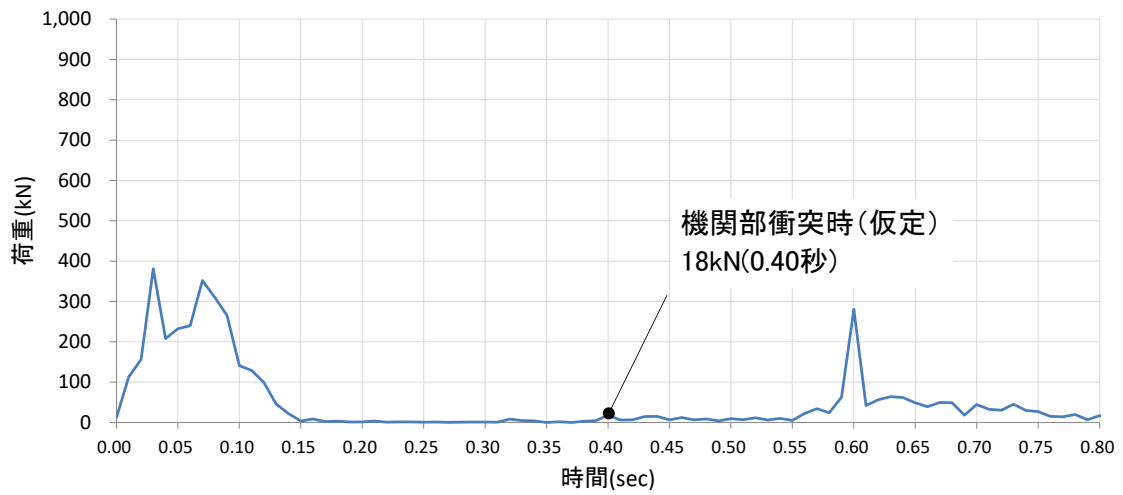
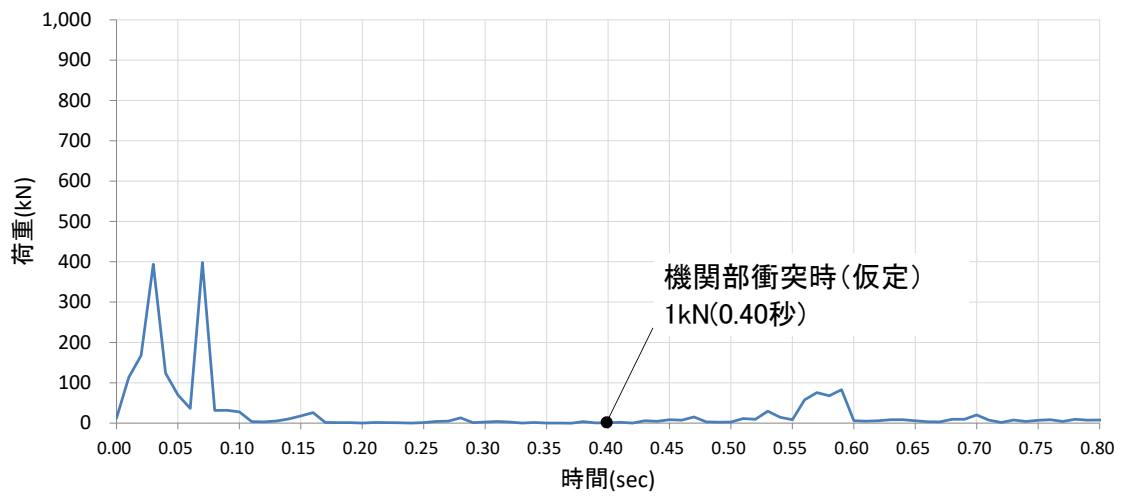


図 4-1 剛壁 1mあたりの衝突荷重の時刻歴  
(破壊ひずみ変更ケース, ケース③) (3/9)

剛壁番号⑩



剛壁番号⑪



剛壁番号⑫

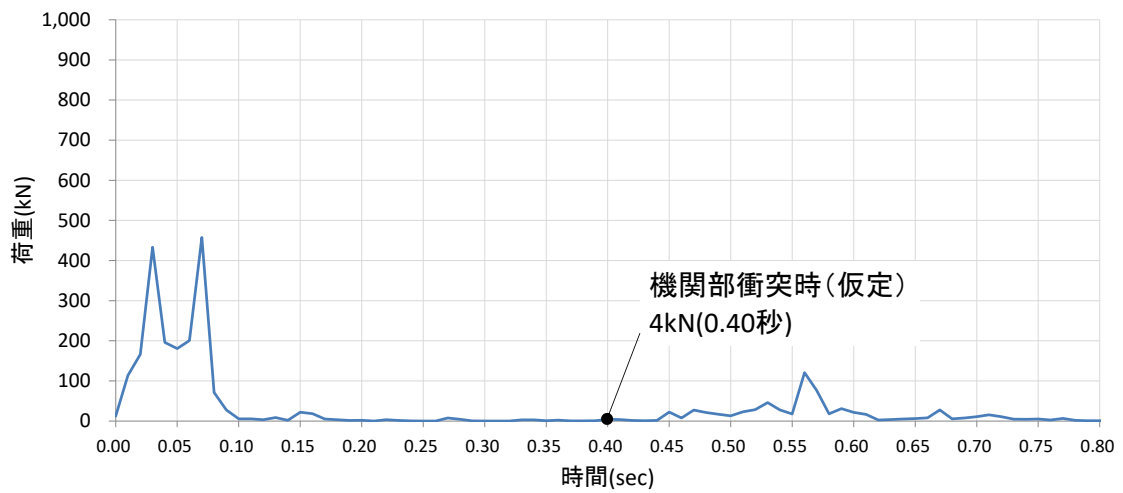
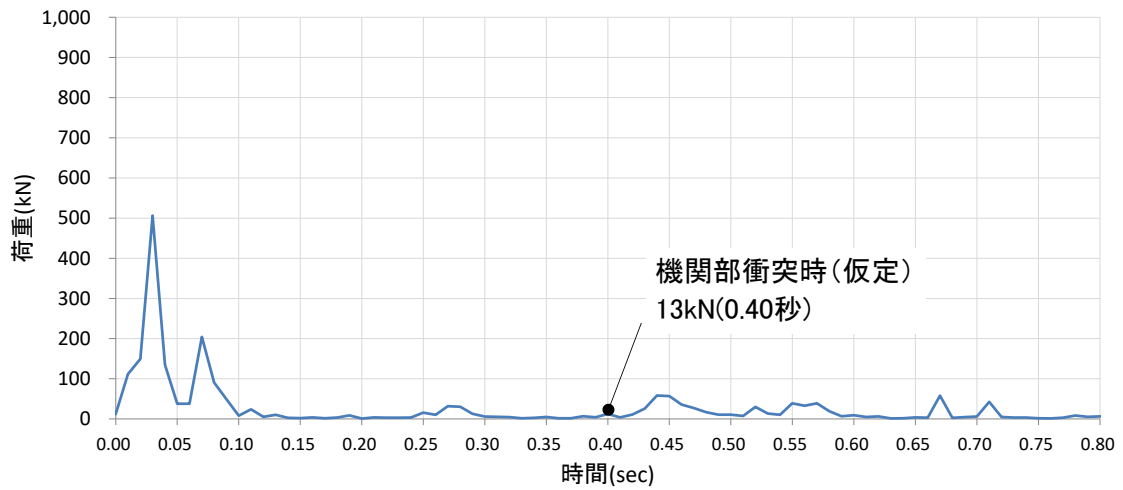
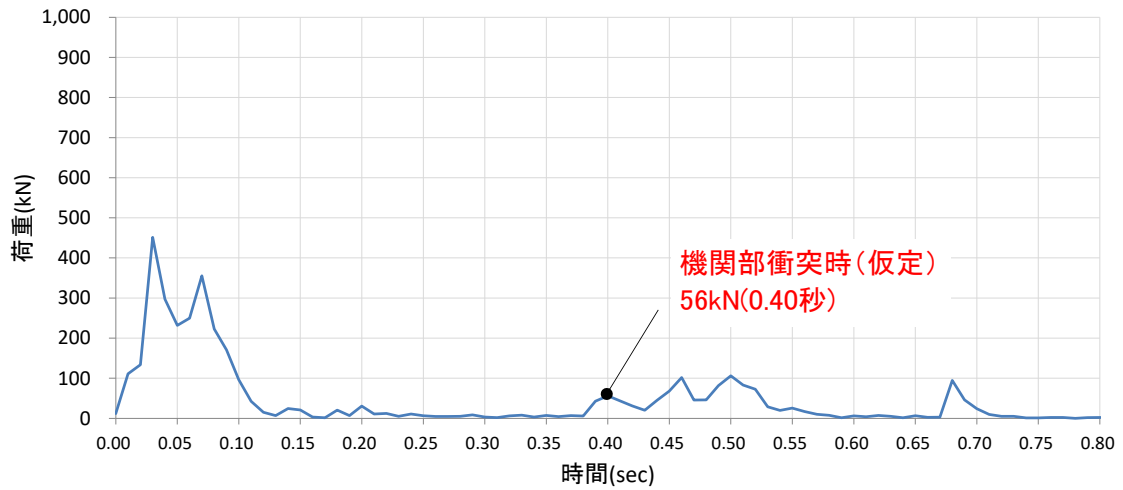


図 4-1 剛壁 1mあたりの衝突荷重の時刻歴  
(破壊ひずみ変更ケース, ケース③) (4/9)

剛壁番号⑬



剛壁番号⑭



剛壁番号⑮

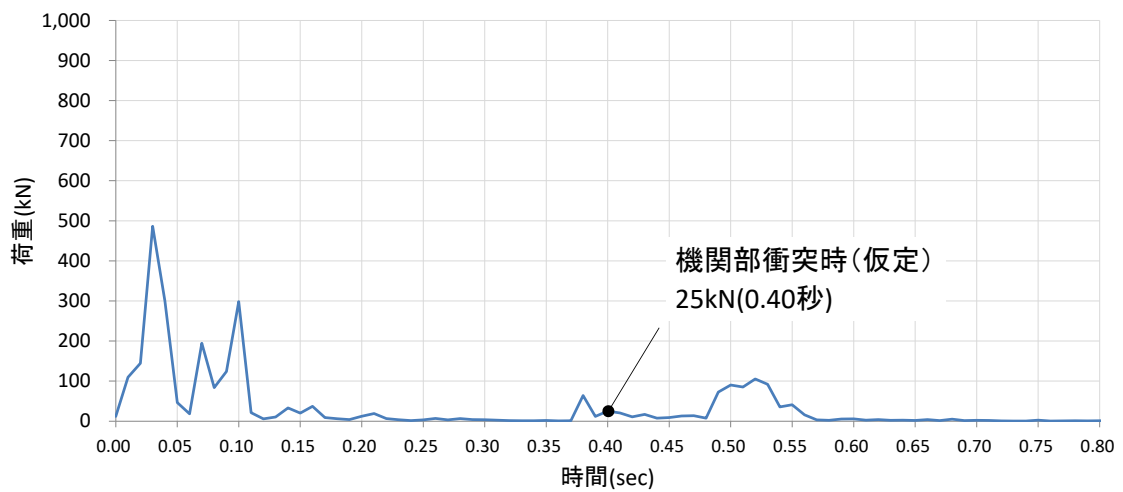
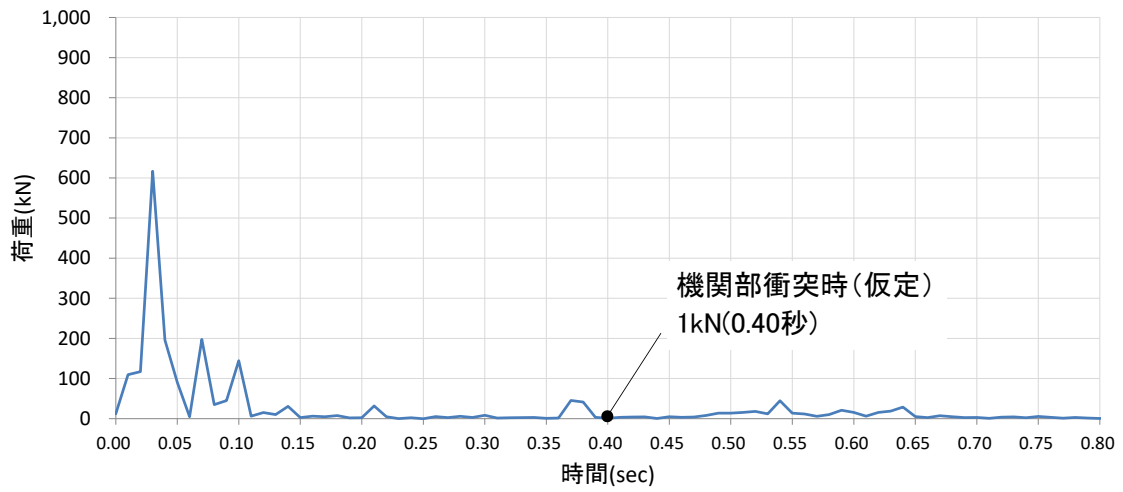
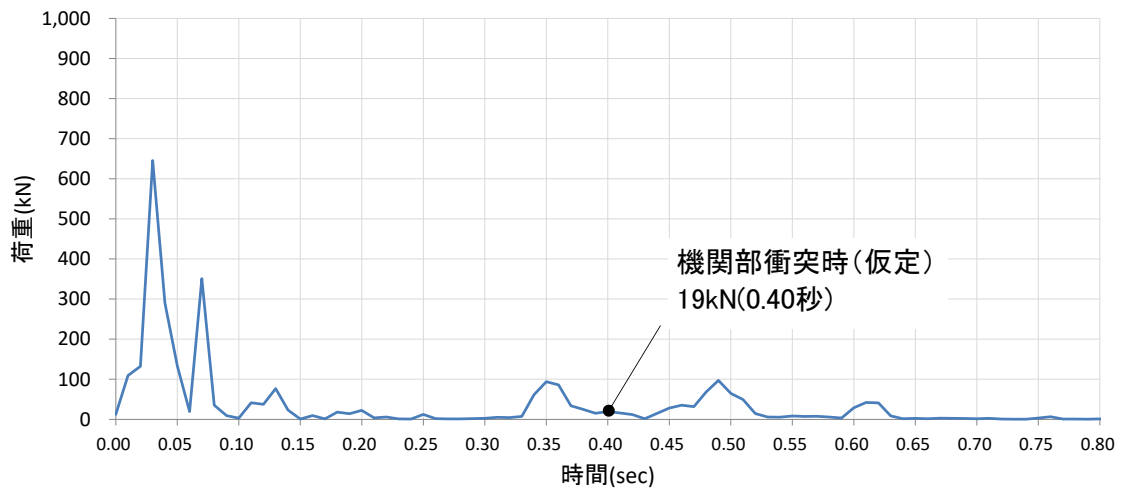


図 4-1 剛壁 1mあたりの衝突荷重の時刻歴  
(破壊ひずみ変更ケース, ケース③) (5/9)

剛壁番号⑬



剛壁番号⑭



剛壁番号⑮

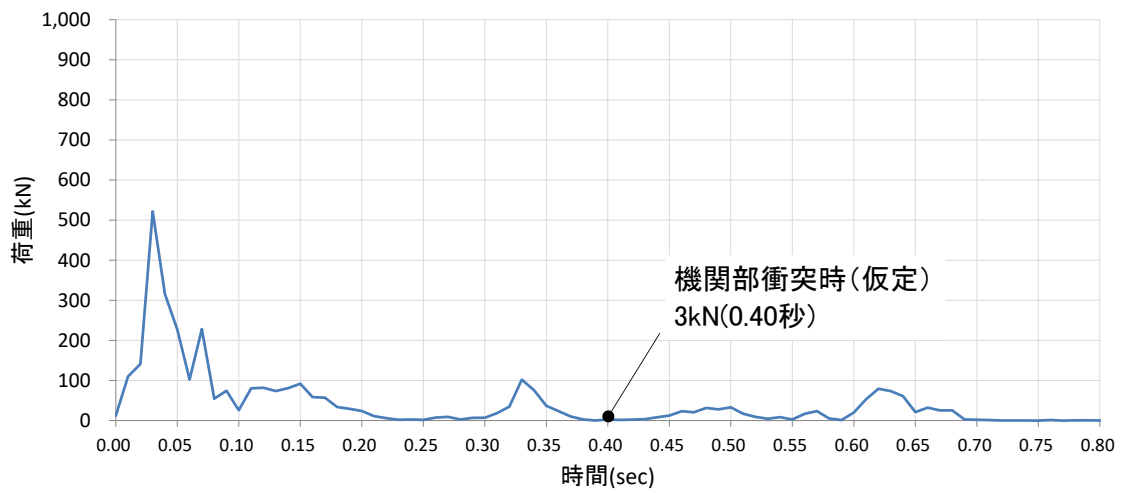
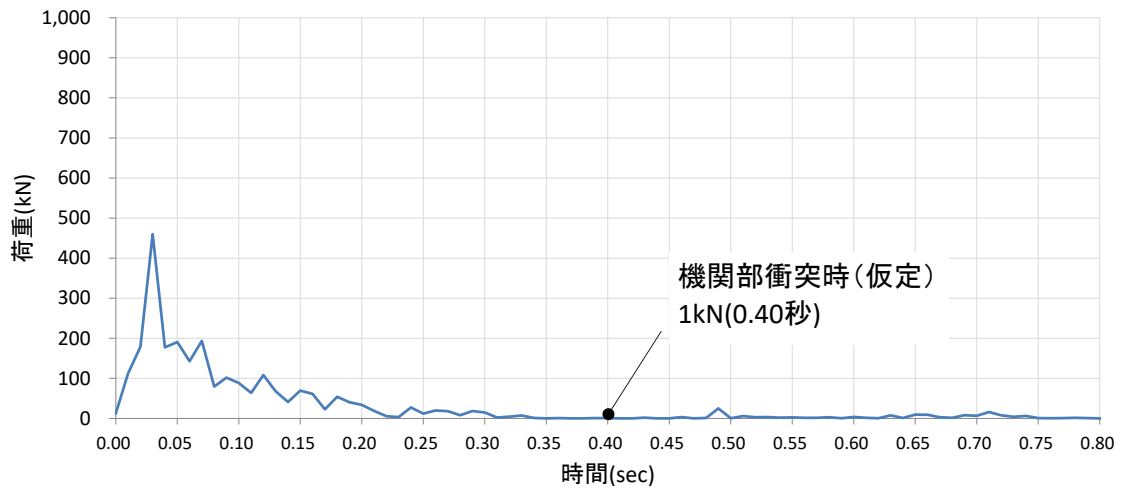
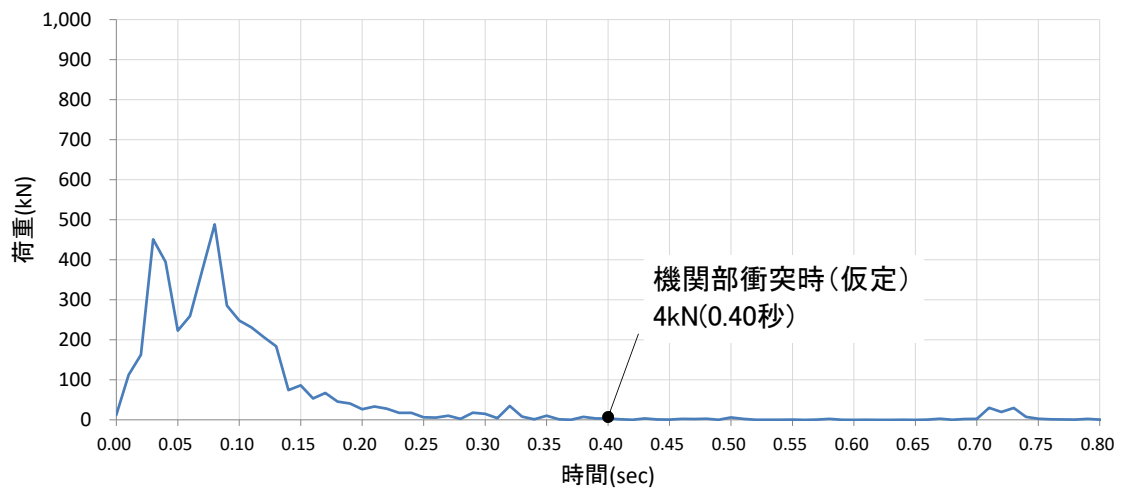


図 4-1 剛壁 1mあたりの衝突荷重の時刻歴  
(破壊ひずみ変更ケース, ケース③) (6/9)

剛壁番号⑱



剛壁番号㉑



剛壁番号㉒

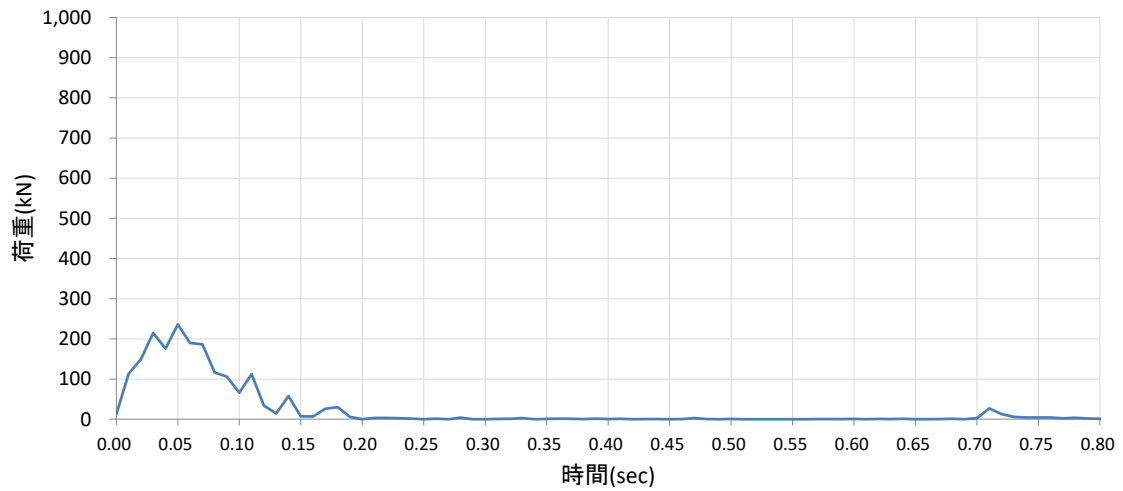
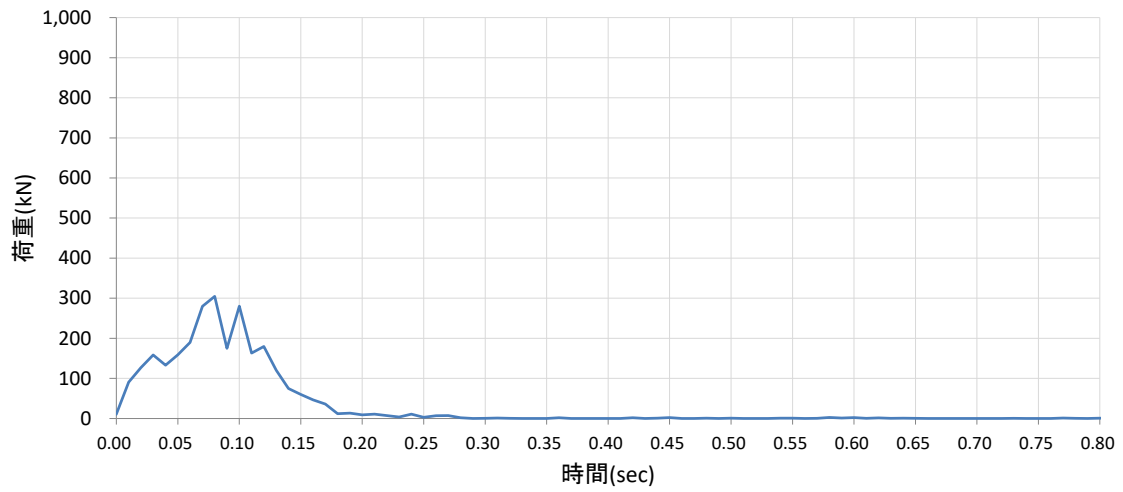
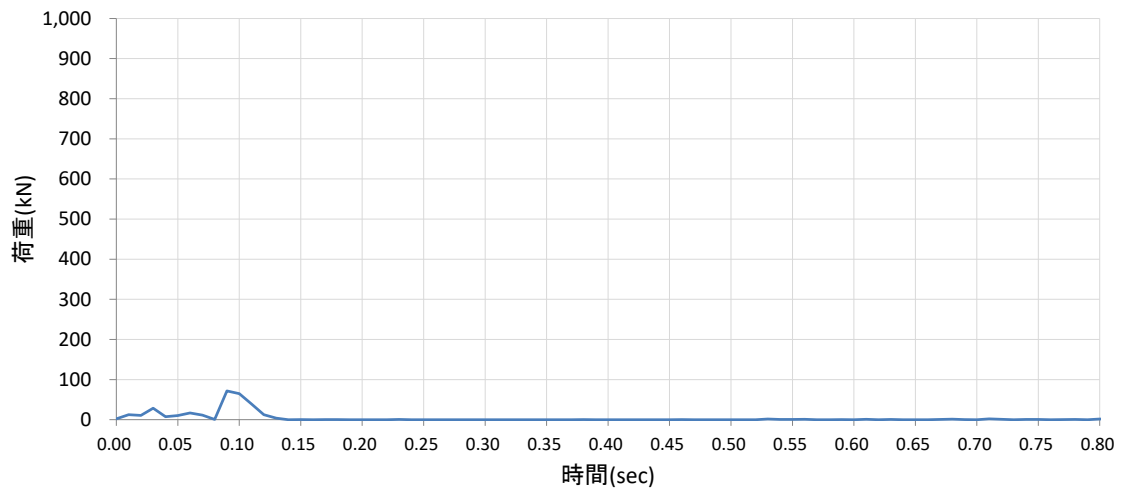


図 4-1 剛壁 1mあたりの衝突荷重の時刻歴  
(破壊ひずみ変更ケース, ケース③) (7/9)

剛壁番号②



剛壁番号③



剛壁番号④

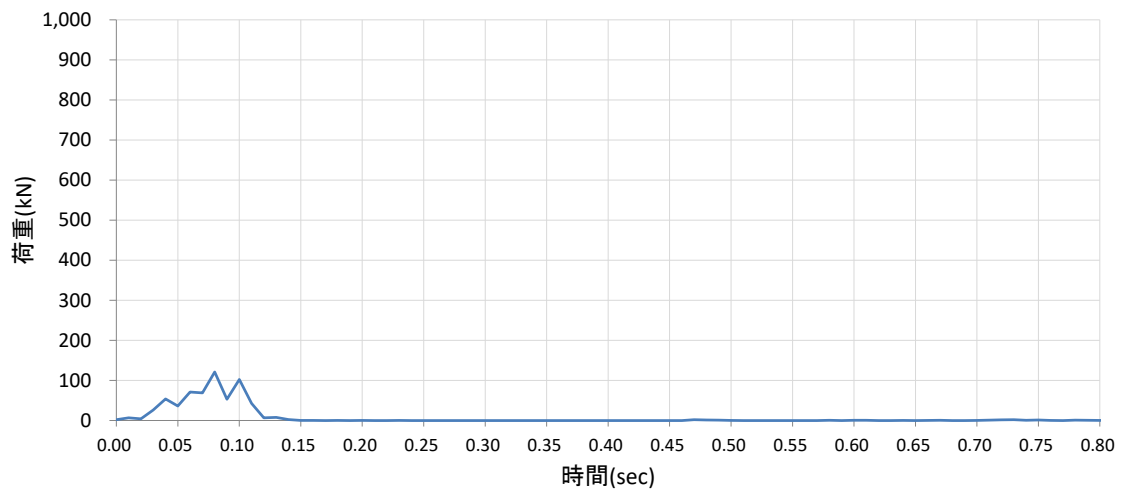


図 4-1 剛壁 1mあたりの衝突荷重の時刻歴  
(破壊ひずみ変更ケース, ケース③) (8/9)

剛壁番号②⑤

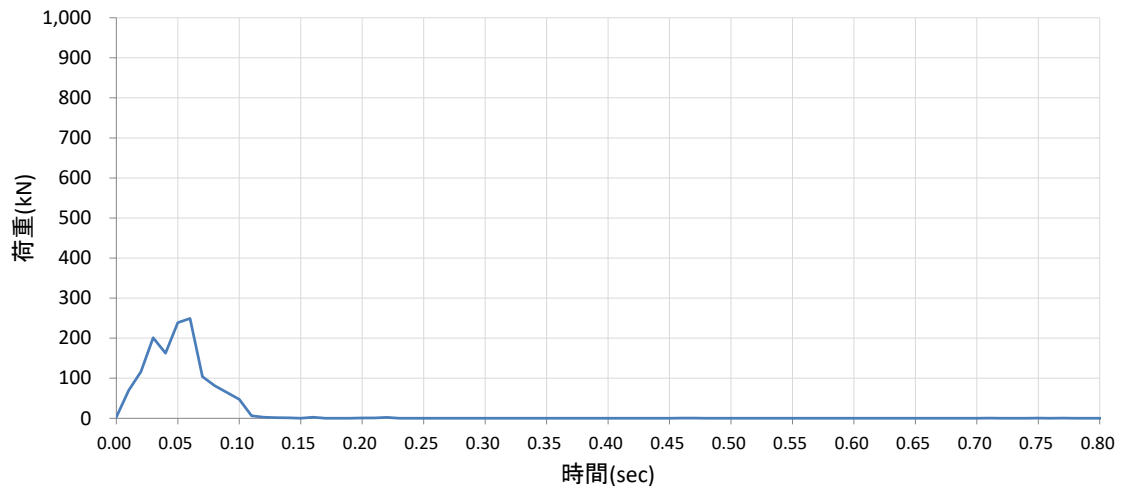
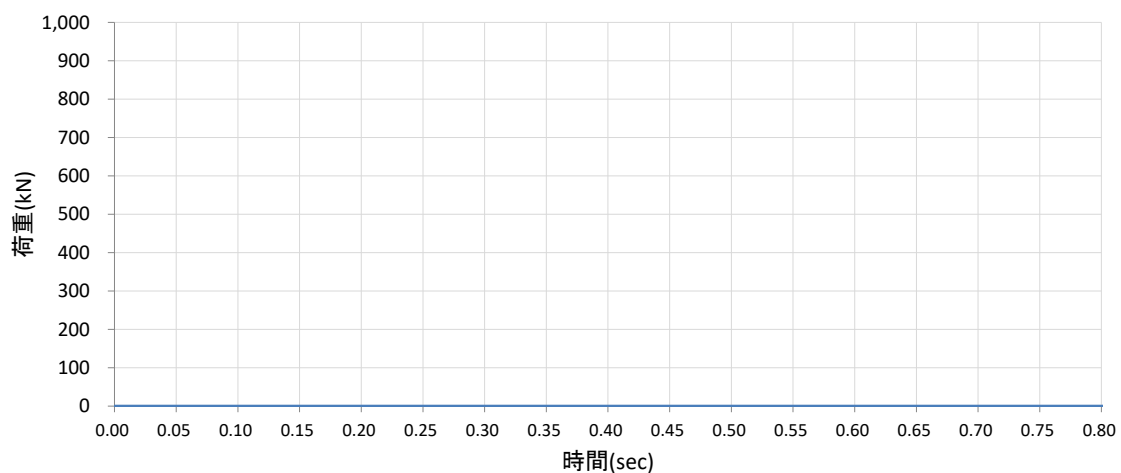
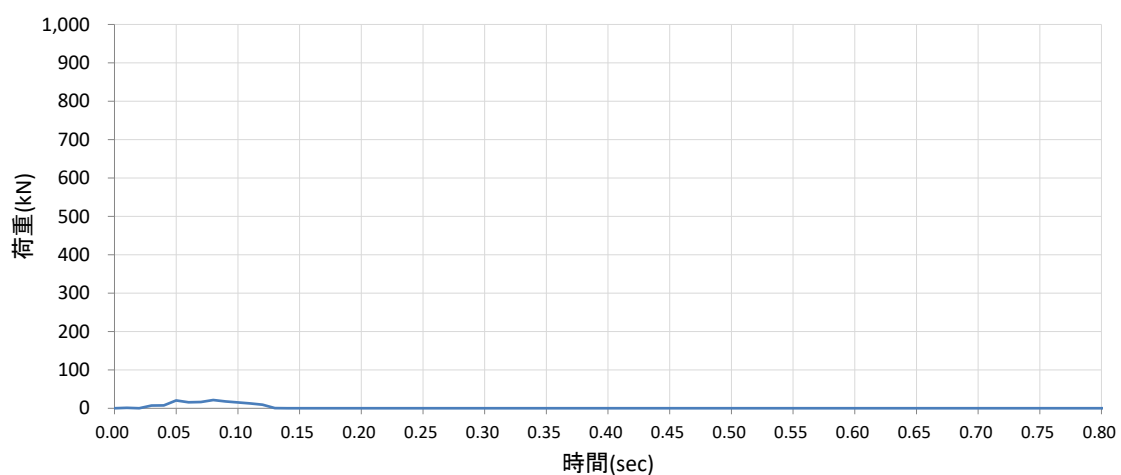


図 4-1 剛壁 1mあたりの衝突荷重の時刻歴  
(破壊ひずみ変更ケース, ケース③) (9/9)

剛壁番号①



剛壁番号②



剛壁番号③

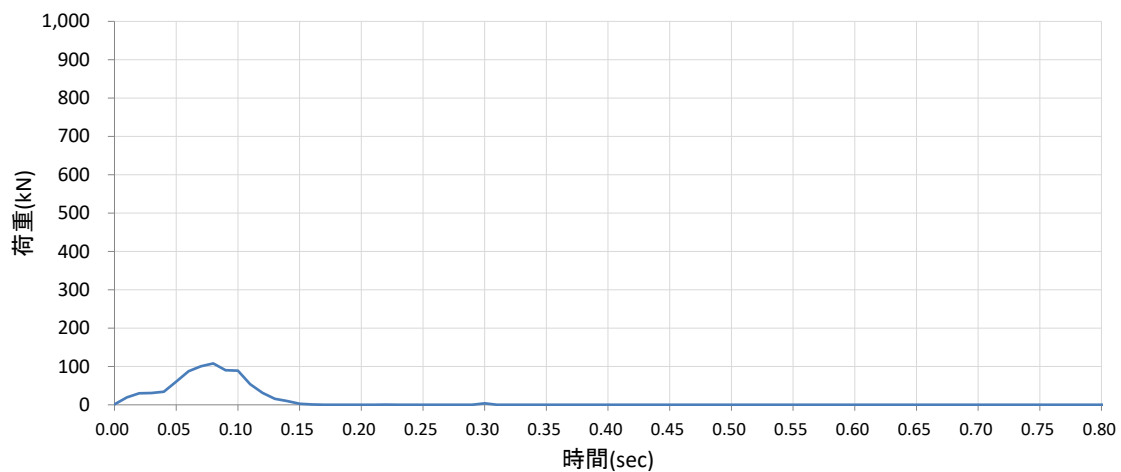
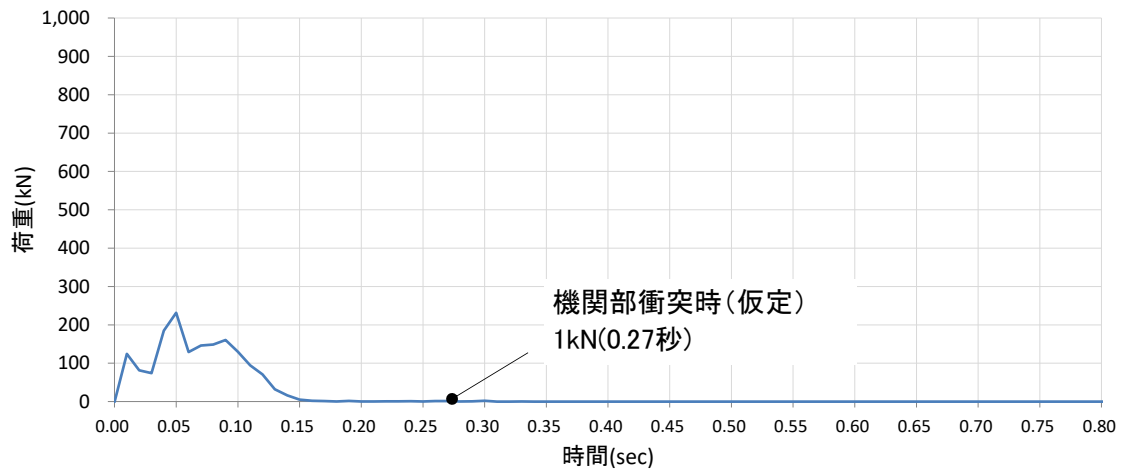


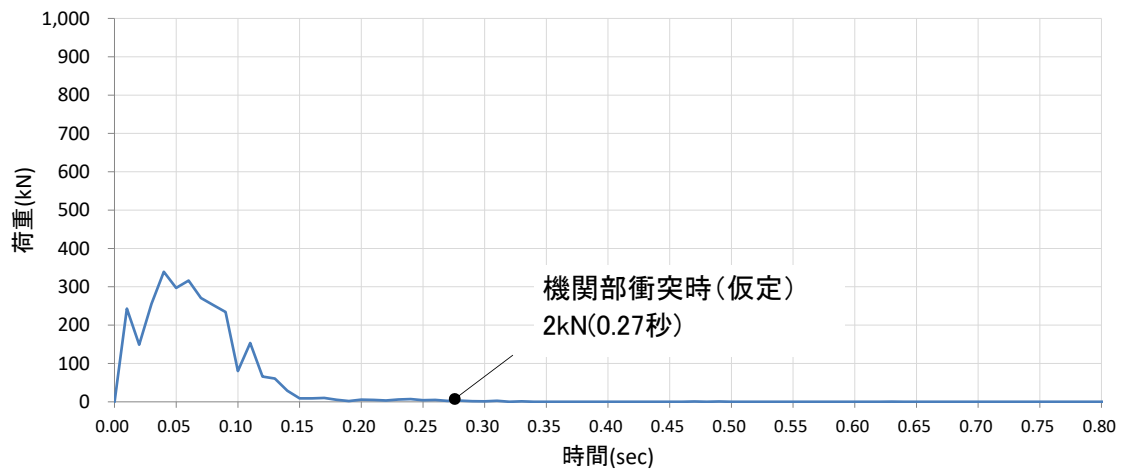
図 4-2 剛壁 1mあたりの衝突荷重の時刻歴  
(曲げ強度変更ケース, ケース⑧) (1/9)



剛壁番号④



剛壁番号⑤



剛壁番号⑥

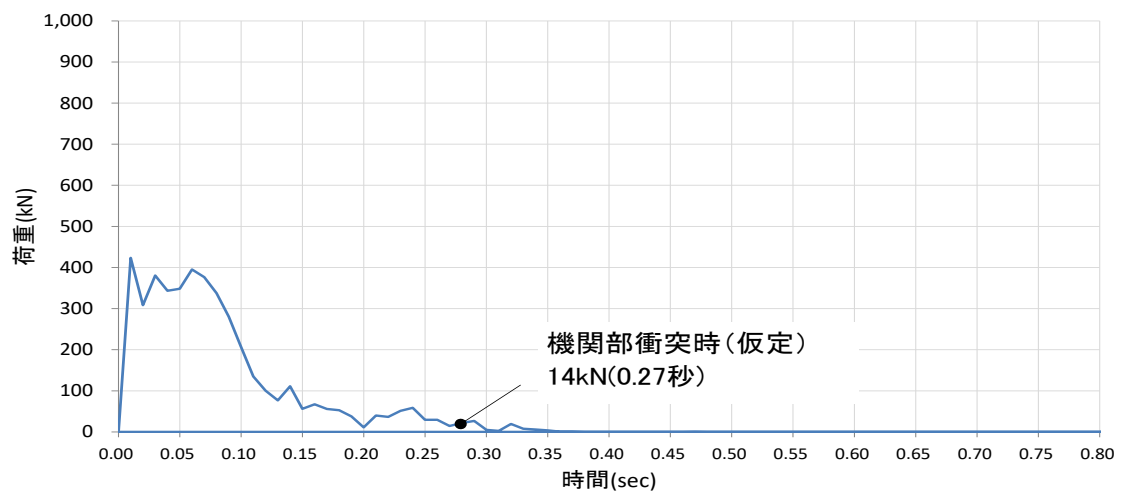
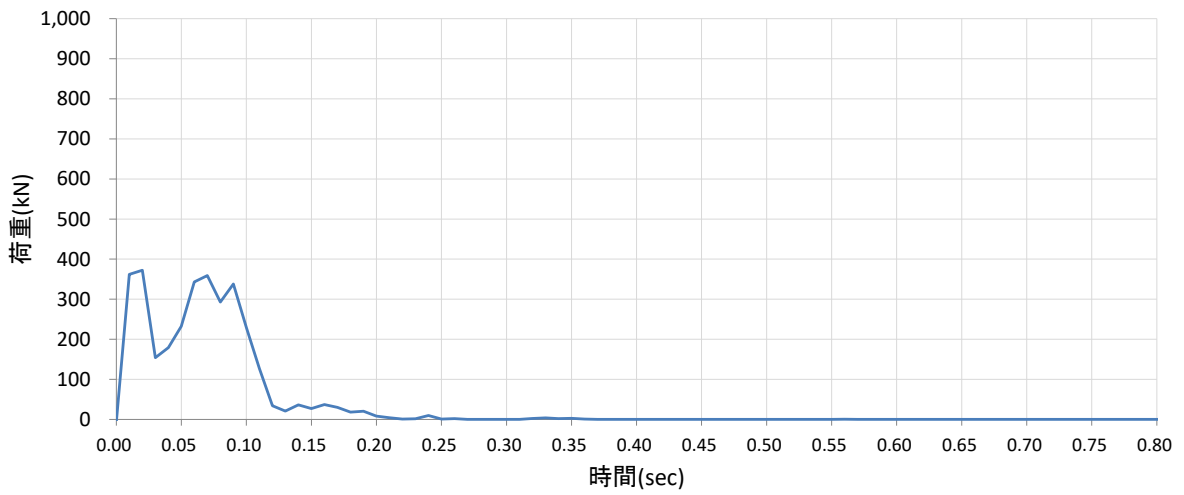
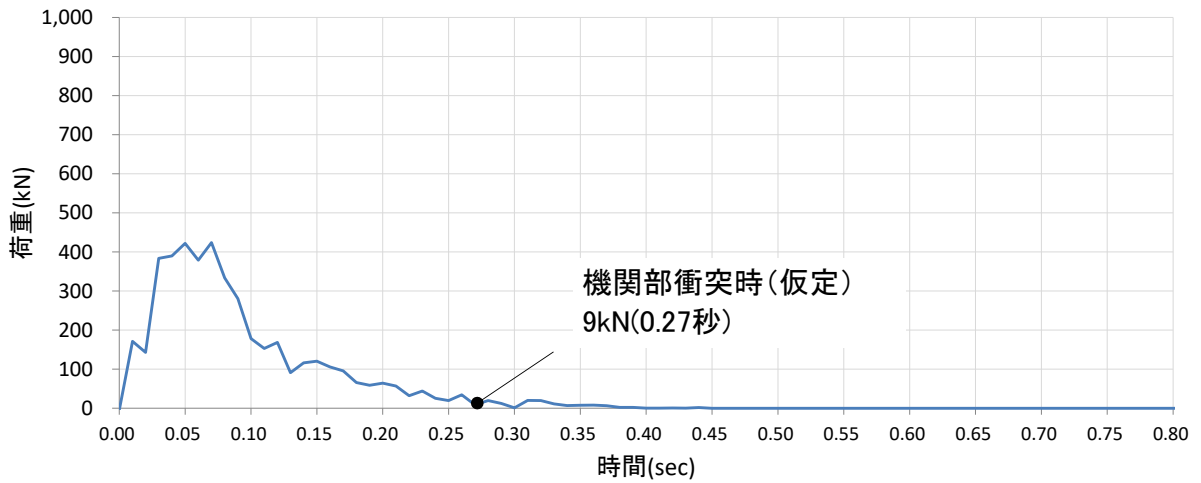


図 4-2 剛壁 1mあたりの衝突荷重の時刻歴  
(曲げ強度変更ケース, ケース⑧) (2/9)

剛壁番号⑦



剛壁番号⑧



剛壁番号⑨

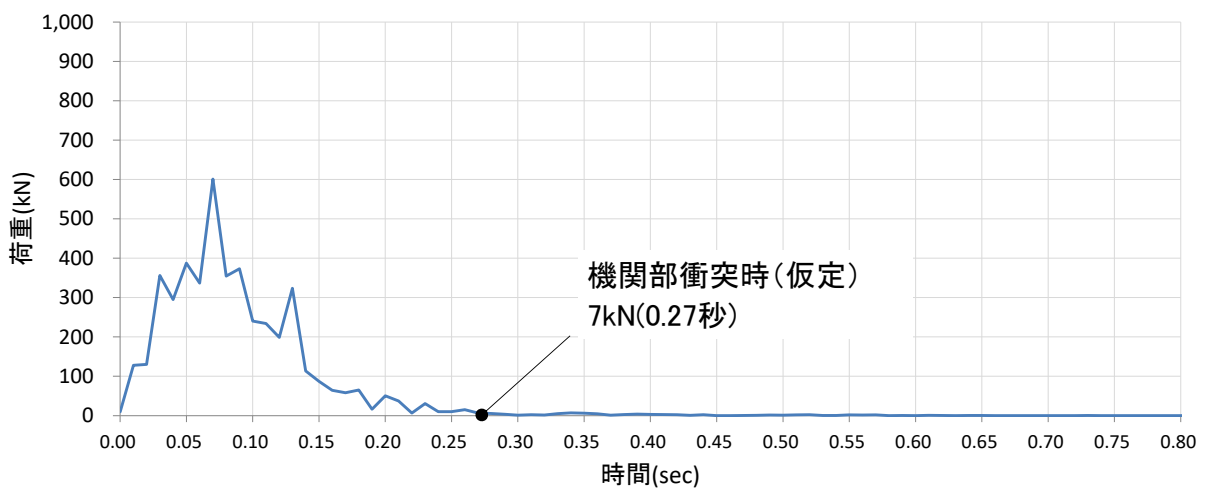
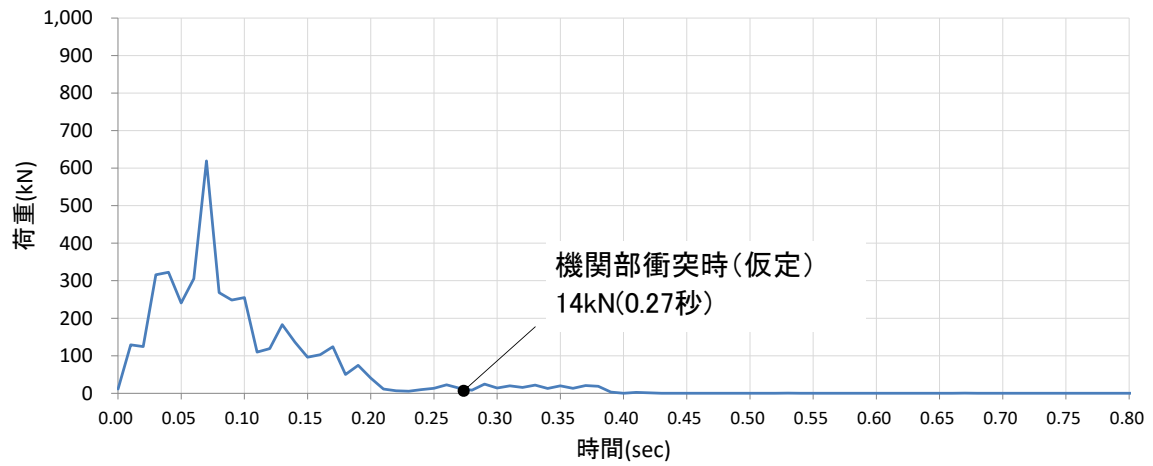
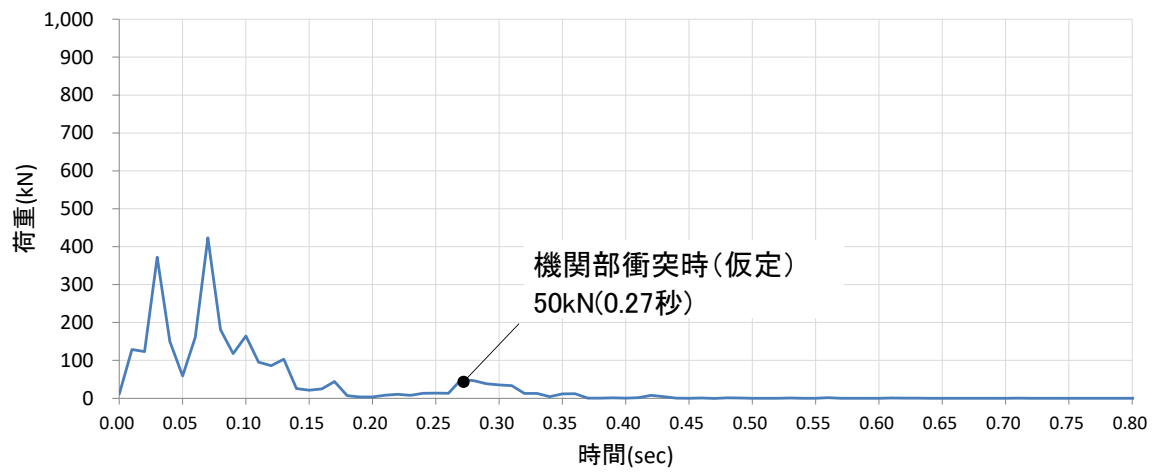


図 4-2 剛壁 1mあたりの衝突荷重の時刻歴  
(曲げ強度変更ケース, ケース⑧) (3/9)

剛壁番号⑩



剛壁番号⑪



剛壁番号⑫

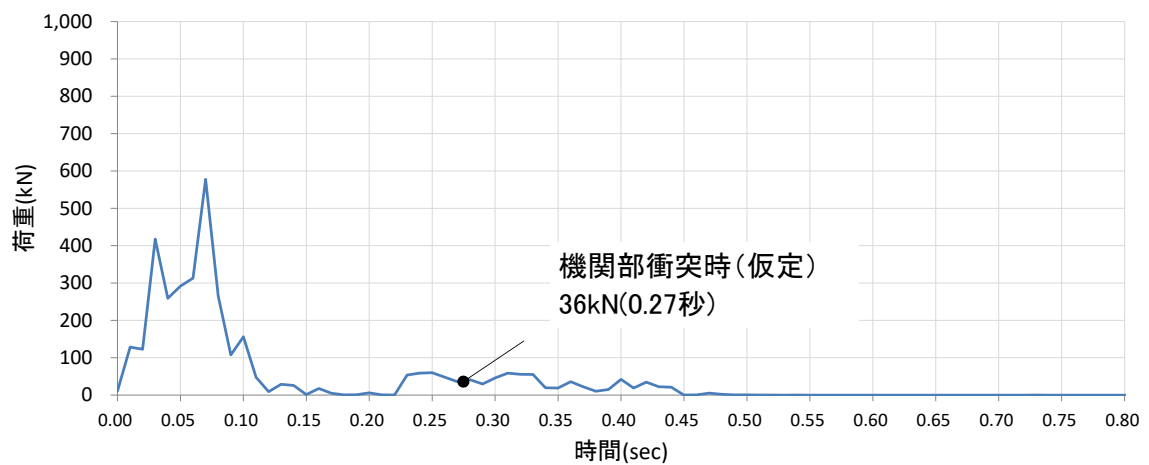
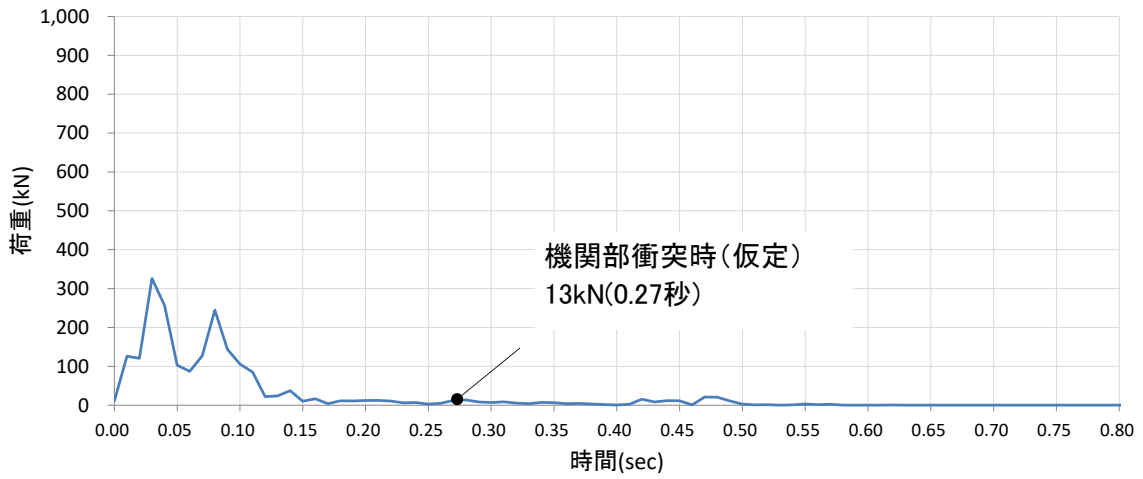
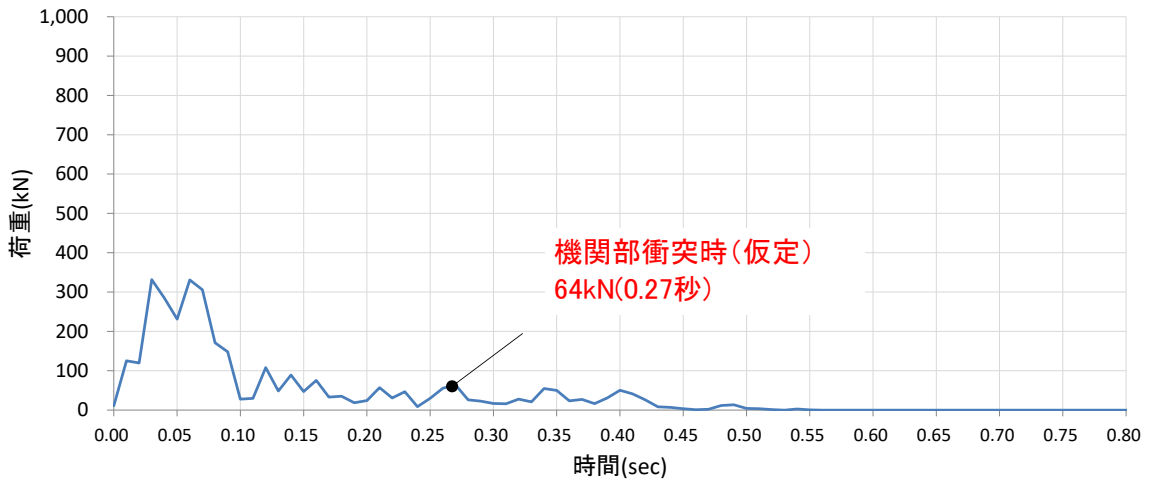


図 4-2 剛壁 1mあたりの衝突荷重の時刻歴  
(曲げ強度変更ケース, ケース⑧) (4/9)

剛壁番号⑬



剛壁番号⑭



剛壁番号⑮

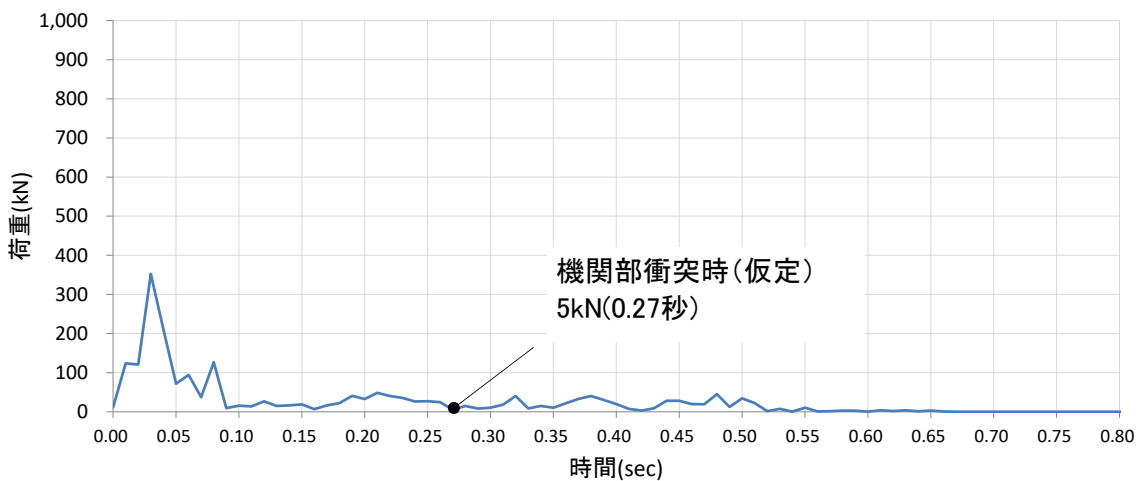
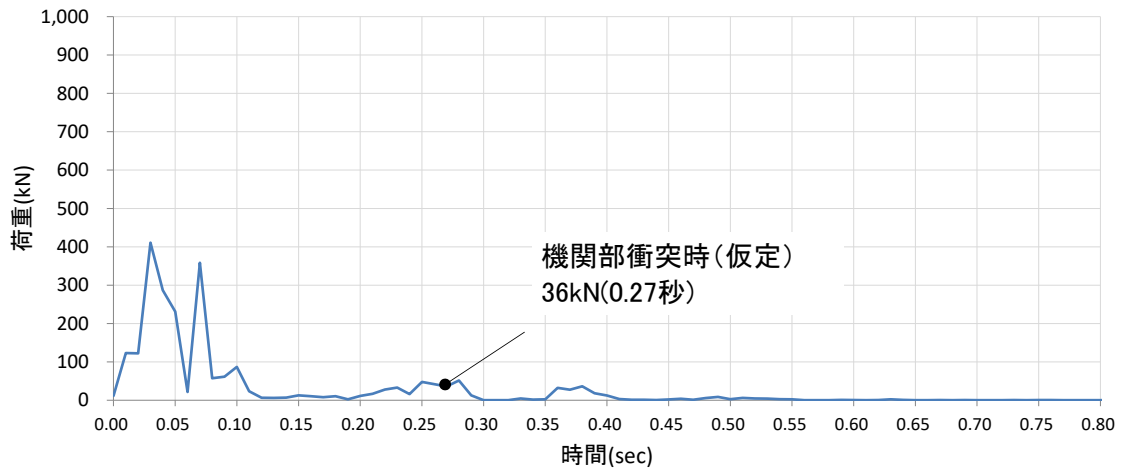
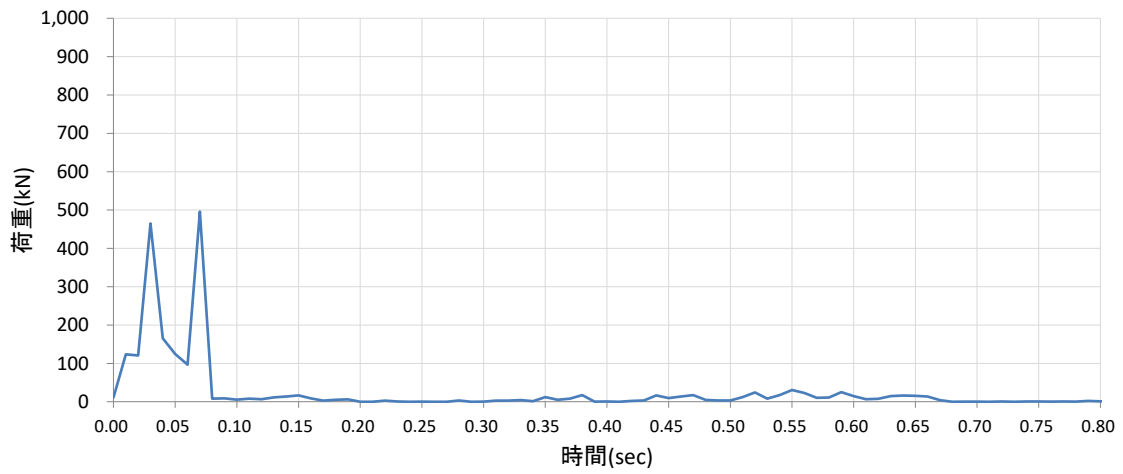


図 4-2 剛壁 1mあたりの衝突荷重の時刻歴  
(曲げ強度変更ケース, ケース⑧) (5/9)

剛壁番号⑬



剛壁番号⑭



剛壁番号⑮

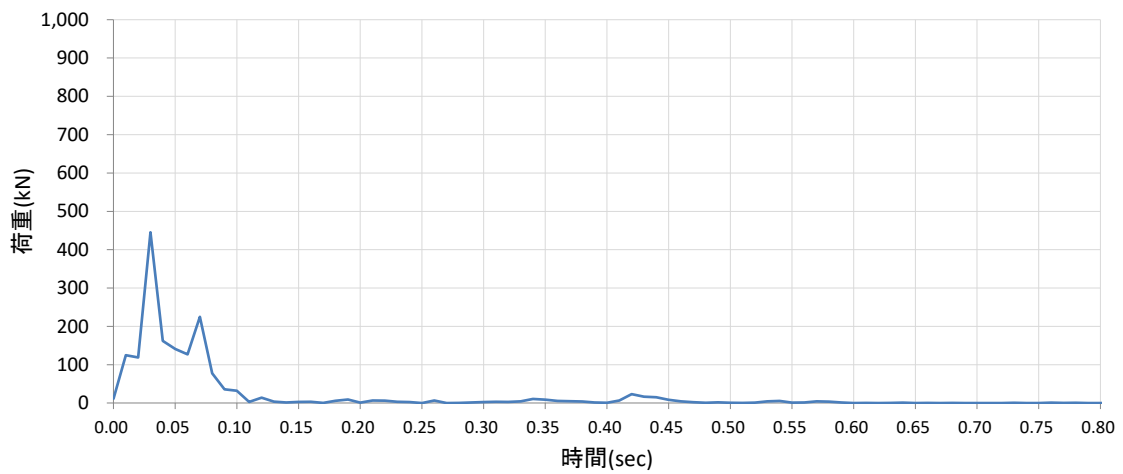
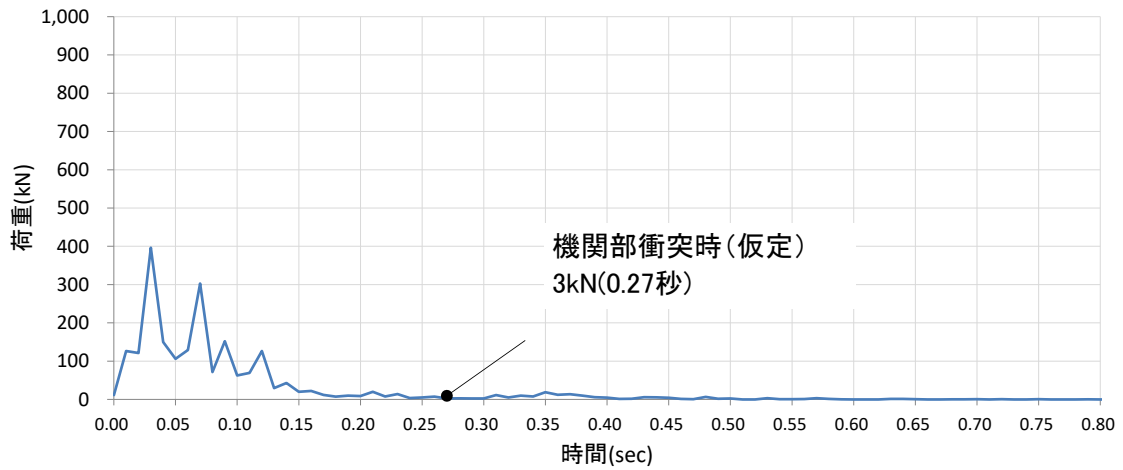
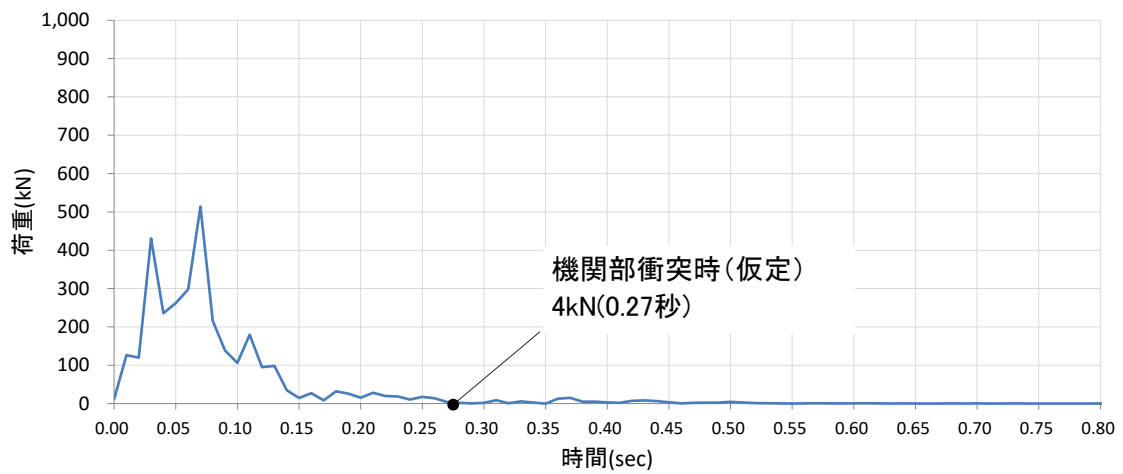


図 4-2 剛壁 1mあたりの衝突荷重の時刻歴  
(曲げ強度変更ケース, ケース⑧) (6/9)

剛壁番号⑱



剛壁番号㉑



剛壁番号㉒

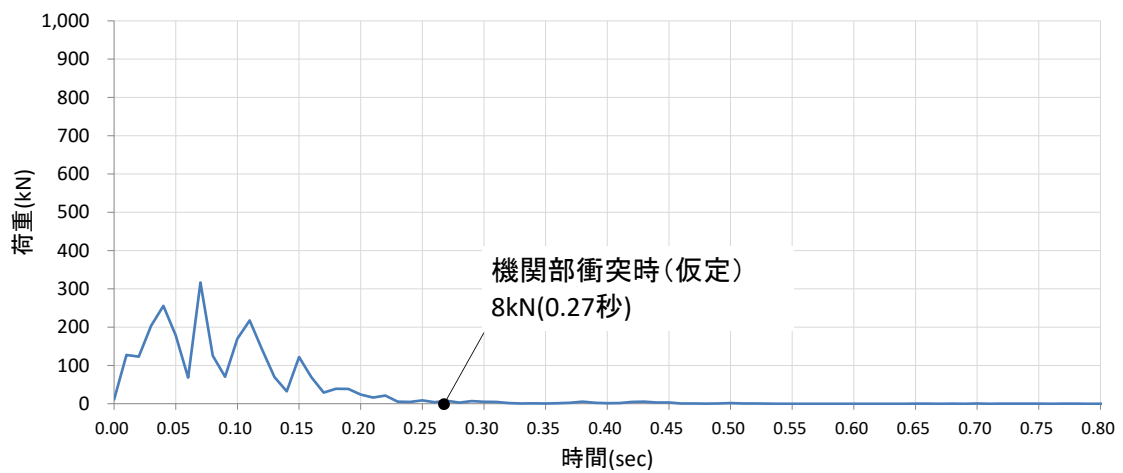
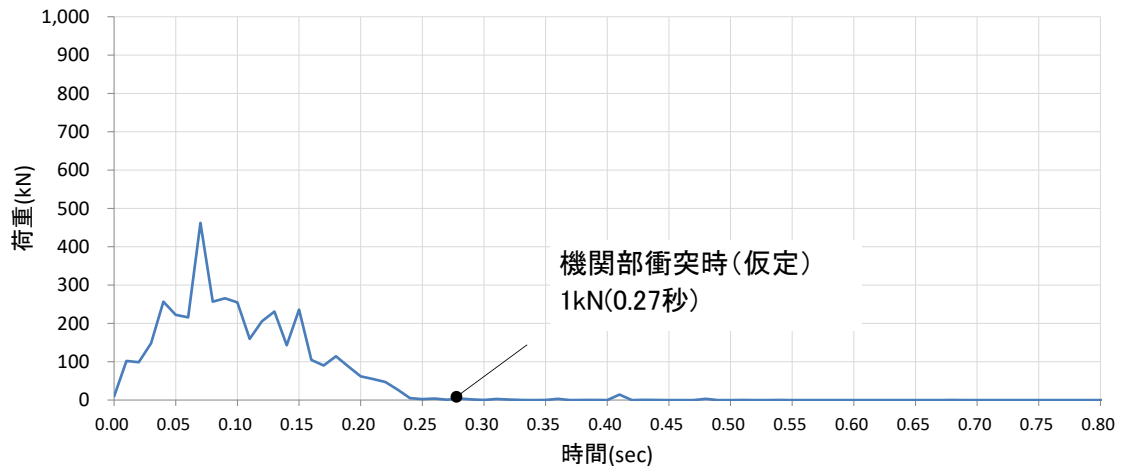
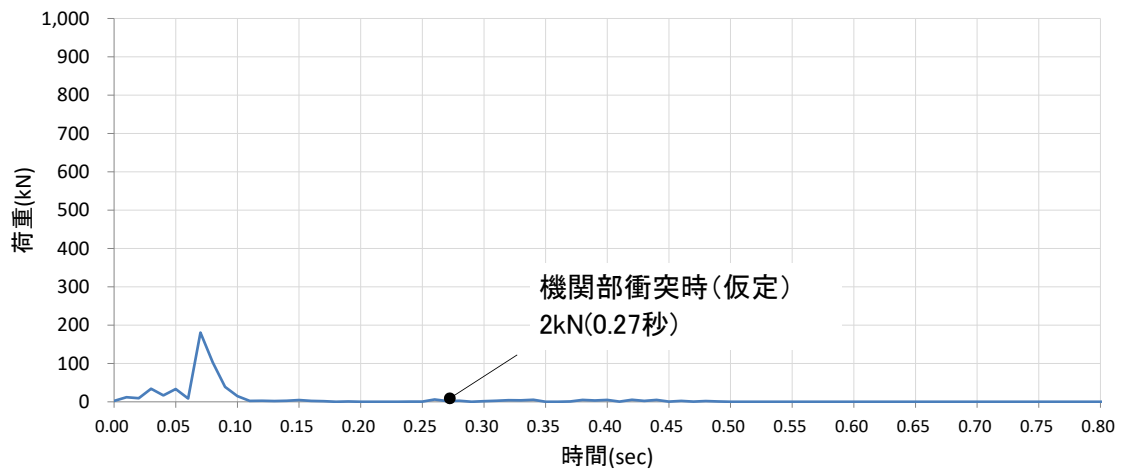


図 4-2 剛壁 1mあたりの衝突荷重の時刻歴  
(曲げ強度変更ケース, ケース⑧) (7/9)

剛壁番号⑳



剛壁番号㉑



剛壁番号㉒

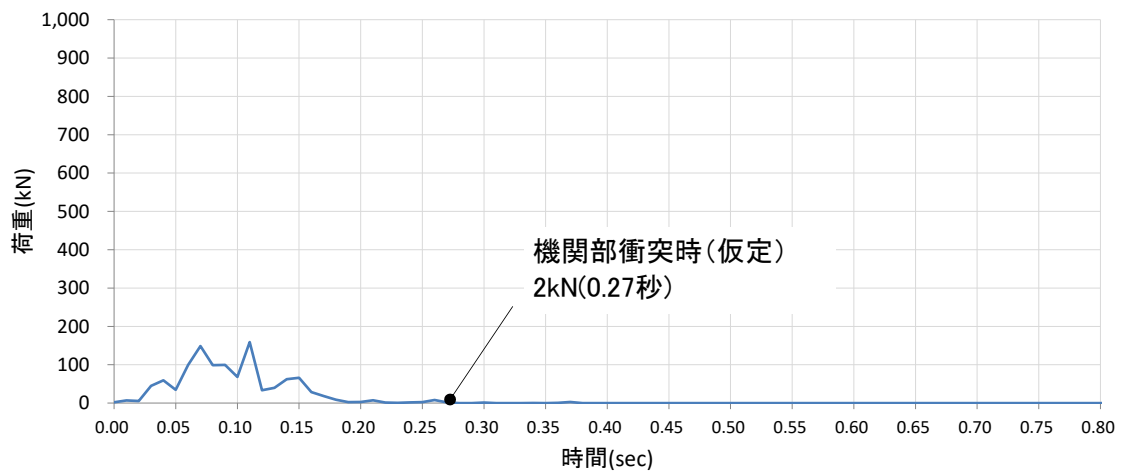


図 4-2 剛壁 1mあたりの衝突荷重の時刻歴  
(曲げ強度変更ケース, ケース⑧) (8/9)

剛壁番号②⑤

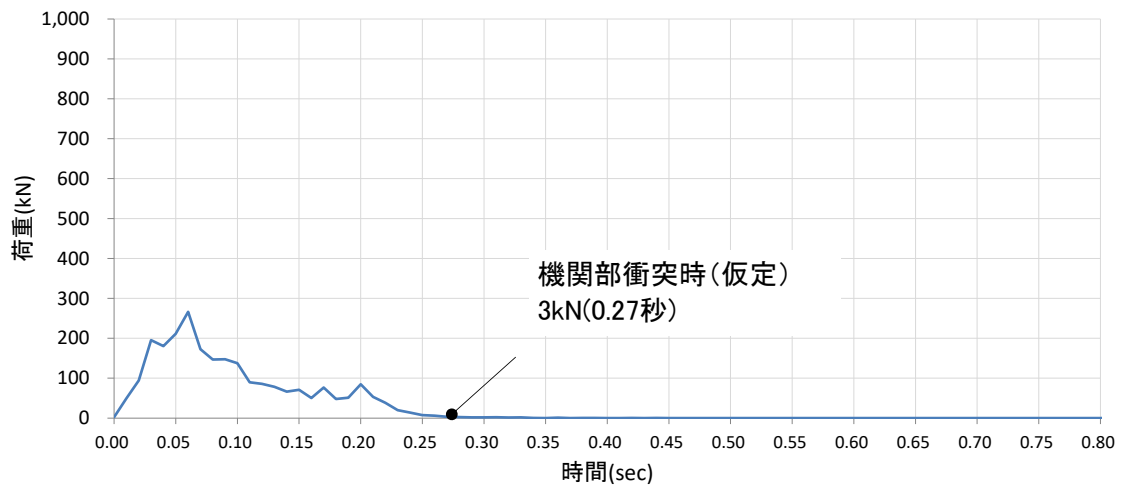


図 4-2 剛壁 1mあたりの衝突荷重の時刻歴  
(曲げ強度変更ケース, ケース⑧) (9/9)

表 4-3 船体の衝突荷重

剛壁 1 mあたりの衝突荷重【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及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あたりの衝突荷重【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	F E M A (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 あたりの船体の衝突荷重と機関部の衝突荷重を合算する。

## 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

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 F R P 製船舶の衝突解析の実施にあたり、3 次元 F E M 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 F E M モデルの船体構造
- ・ 3 次元 F E M 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 F E M 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。

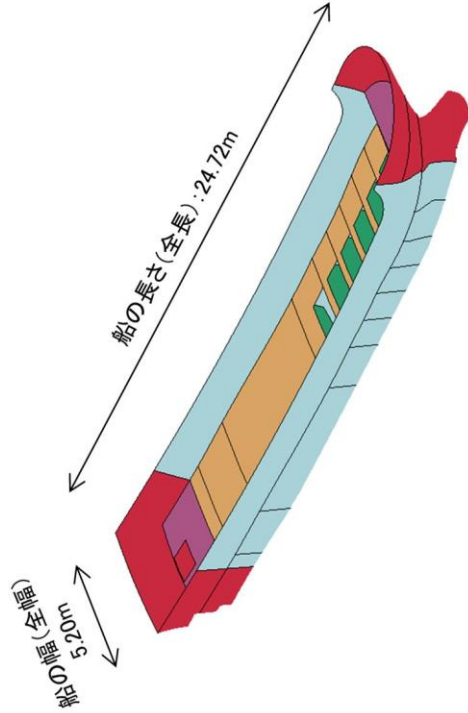
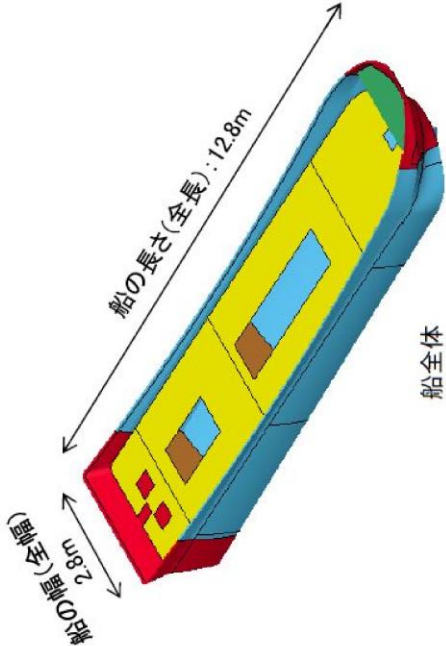
3 次元 F E M モデルの船体構造のうち、船体寸法等の比較結果を表 2-1 に、船体板厚の比較結果を表 2-2 に示す。

表 2-1 船体寸法等に関する比較(1/2)

項目	島根原子力発電所 2 号機		女川原子力発電所 2 号機*	
	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・漁場の施設の設計参考図書 (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・漁場の施設の設計参考図書 (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。	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設計ガイドライン (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は: 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・漁場の施設の設計参考図書 (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は: 船殻 (船首, 船尾, 船体及び甲板) の質量は約 1.95t であるため, 残りの 13.05t を船体及び甲板上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 船体寸法等に関する比較 (2/2)

	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 製船舶のモデル</p>	 <p>船の長さ(全長): 24.72m 船の幅(全幅): 5.20m</p>	 <p>船の長さ(全長): 12.8m 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: モデル船舶の建造・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 船舶の構造を基に, 総トン数 5t の F R P 船舶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 船体板厚に関する比較 (1/3)

	島根原子力発電所 2 号機	女川原子力発電所 2 号機*
モデル図	<p>【船首・船尾以外】 船側外板厚=14mm</p> <p>【船首・船尾部】 甲板板厚=12mm</p> <p>【船首・船尾部】 船側外板厚=12mm</p> <p>【船首・船尾部】 甲板板厚=12mm</p> <p>【船首・船尾以外】 船側外板厚=14mm</p> <p>【船首・船尾部】 船側外板厚=12mm</p> <p>【船首・船尾以外】 隔壁板厚=12mm</p> <p>【船首・船尾以外】 隔壁板厚=14mm</p> <p>竜骨板厚=14mm</p>	<p>甲板 (板厚9mm, 6.525t付加質量で考慮)</p> <p>隔壁 (板厚8mm)</p> <p>船体 (板厚8mm, 6.525t付加質量で考慮)</p> <p>甲板(船首部) (板厚7mm)</p> <p>船首 (板厚7mm)</p> <p>隔壁① (面積約1.3m<sup>2</sup>)</p> <p>隔壁② (面積約2.6m<sup>2</sup>)</p> <p>船尾 (板厚7mm)</p> <p>隔壁③ (面積約3.0m<sup>2</sup>)</p> <p>隔壁④ (面積約3.3m<sup>2</sup>)</p> <p>竜骨</p> <p>船首側構造 【甲板非表示】</p> <p>船尾側構造 【甲板非表示】</p>
注記*	<p>※ 3 次元 FEM モデルにおける質量と船体質量との差分は、船首、船尾以外の船殻を対象に密度を増大させて考慮する。</p> <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。</p>	



表 2-2 船体板厚に関する比較 (2/3)

		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>		<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=0.52m L: 登録長さ=12.80m</p>	5.89	7.00
	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>	10.48	12.00		
				<p>「強化プラスチック船規則 (日本海事協会, 2018)」</p> <p>船首及び船尾の船側外板厚さは中央部板厚の 0.85 倍とする記載があること, 及び甲板は各種艀装及び貨物が載ることを踏まえ 9mm を採用。</p>	—*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 船体板厚に関する比較 (3/3)

		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	引用文献等を基にした設定・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><b>【板厚算定式】</b></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, 甲板は各種艙装及び貨物が載ること踏まえ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			<p>甲板以外: 8.00</p> <p>甲板: 9.00</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: 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 F R P 製船舶の材料特性に関する比較(1/2)

項目	島根原子力発電所 2 号機			女川原子力発電所 2 号機*1		
	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 <sup>3</sup> )	1.6 (t/m <sup>3</sup> )	—*3	—*3	—*3

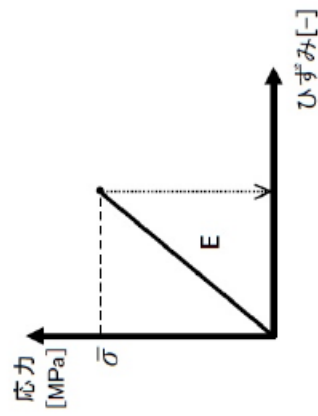
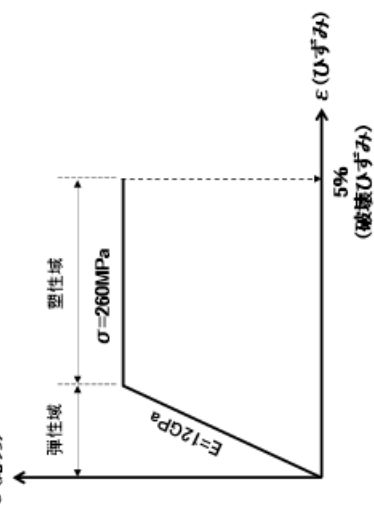
注記\*1: 女川原子力発電所 2 号機の情報に係る記載内容については, 審査資料等をもとに独自に解釈したものである。

\*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 FRP 製船舶の材料特性に関する比較 (2/2)

		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ェル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は鋼材と異なりねり強さがなく、応力が強度に達した後(降伏以降)ではシェル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。

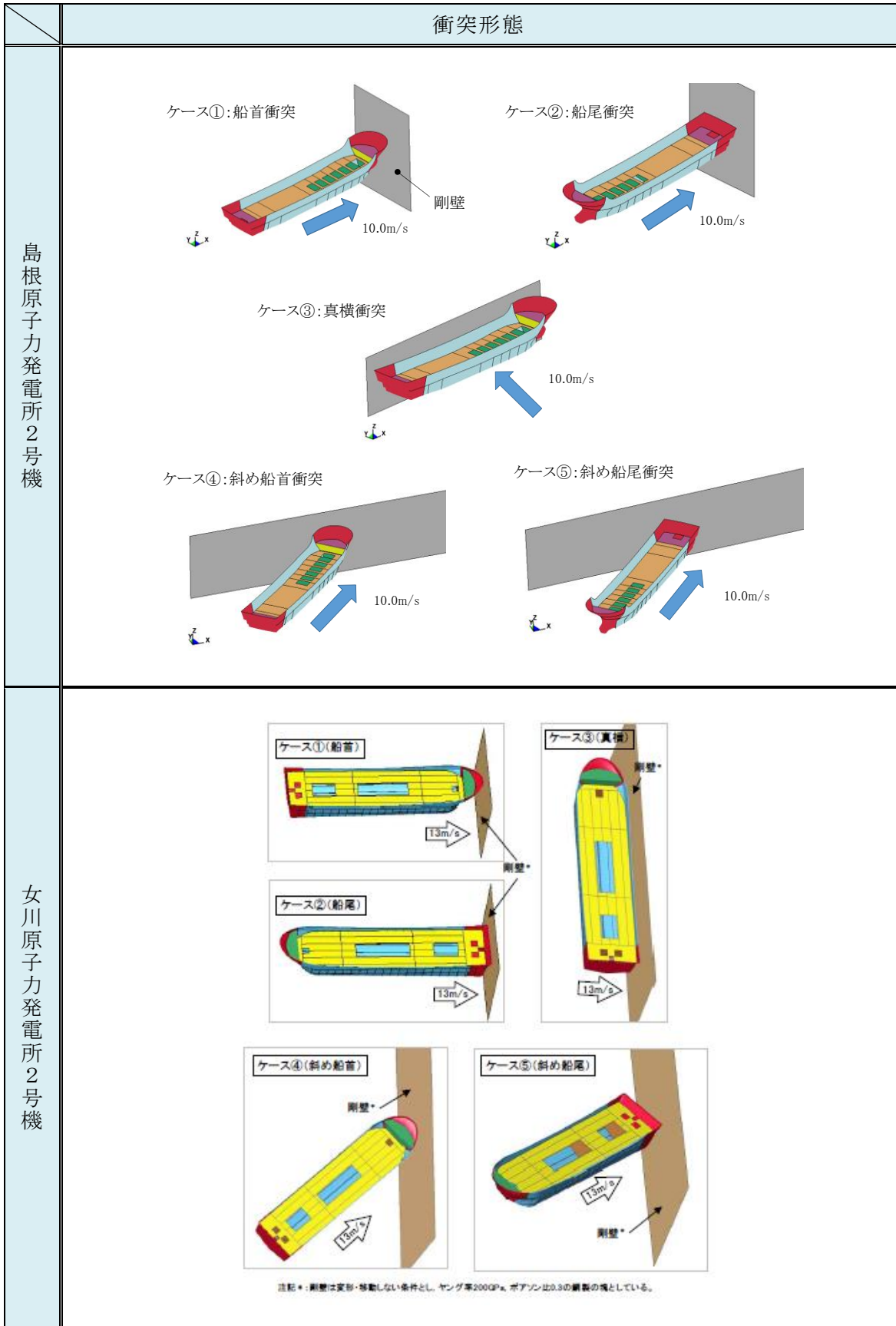


図 4-1 衝突形態の比較

## 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 <sup>*1</sup> d: 計画最大満載喫水=1.20m <sup>*2</sup> 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 <sup>*1</sup> d: 計画最大満載喫水=1.20m <sup>*2</sup> 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



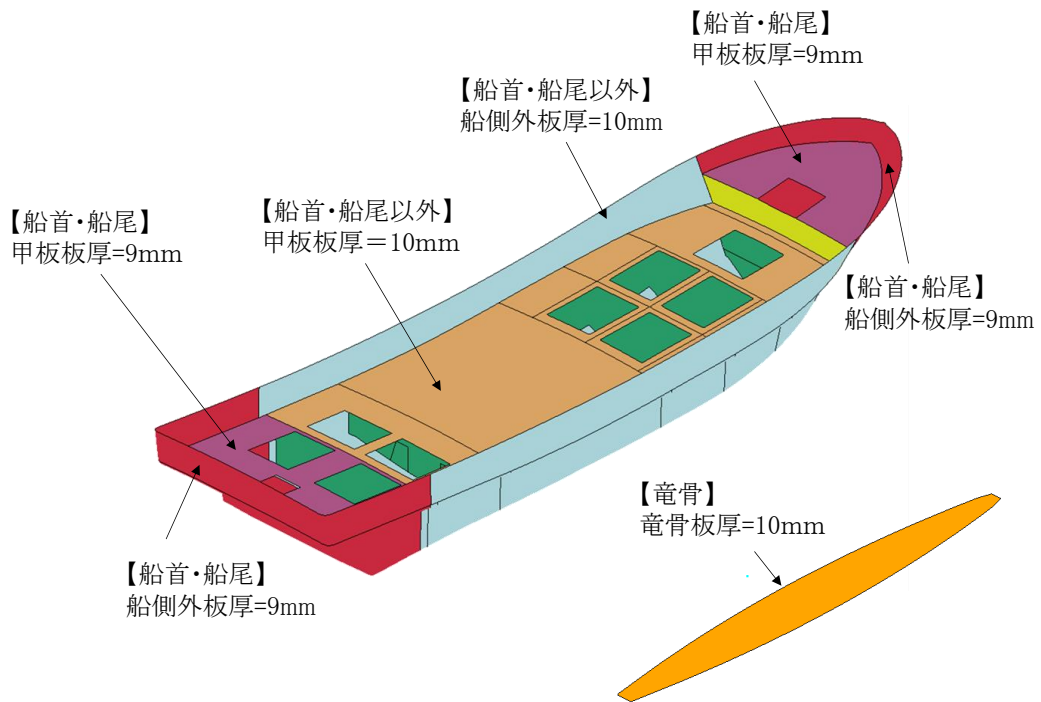


図 2-1 総トン数 2 トン船舶の 3 次元 F E M モデル

(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

FRP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。FRPの材料特性を表2-2に、FRP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FRP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 <sup>3</sup>	1.6
破壊ひずみ	—	曲げ強度到達時に破壊する。

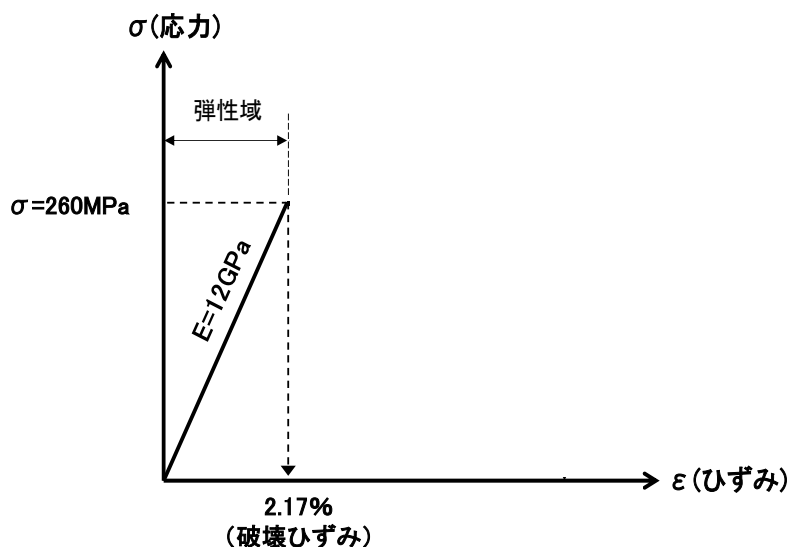


図2-2 応力-ひずみ関係

(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 <sup>3</sup> 】	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。

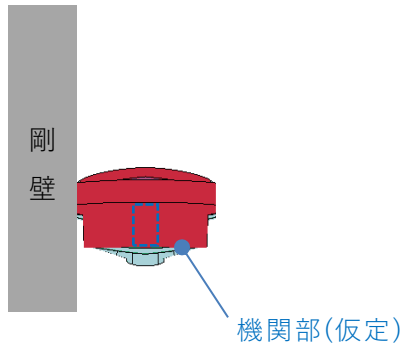
### 3. 総トン数 19 トンより小型の船舶に係る衝突解析の結果

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。

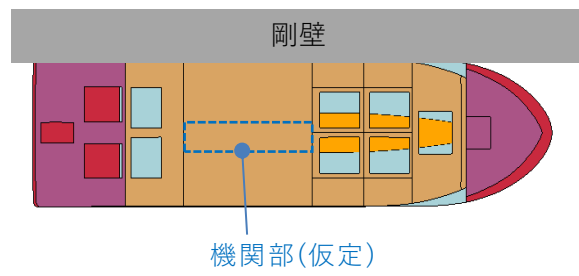
図 3-1 及び図 3-2 より，総トン数 2 トン船舶において，真横衝突及び船尾衝突ともに機関部まで船体が破壊せず，機関部は被衝突物に衝突しない結果となった。なお，総トン数 2 トン船舶の機関部は，甲板中央部に配置されていると仮定した。

衝突後0.00秒（衝突開始時）

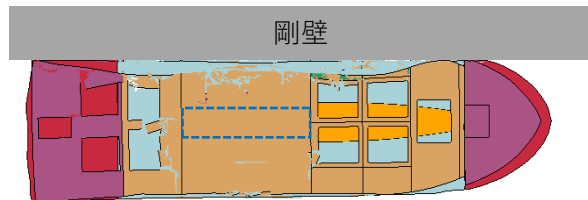
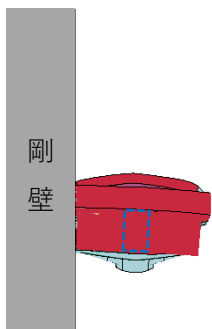
後方断面



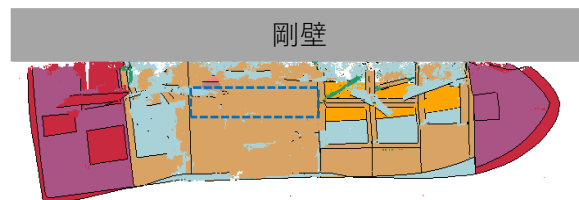
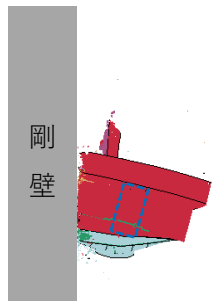
平面



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）

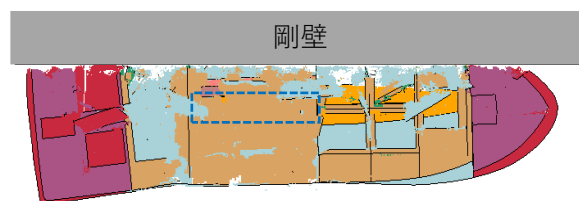
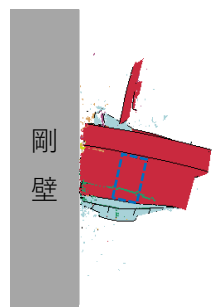


図 3-1 総トン数 2 トン船舶の衝突解析結果（真横衝突）（1/3）

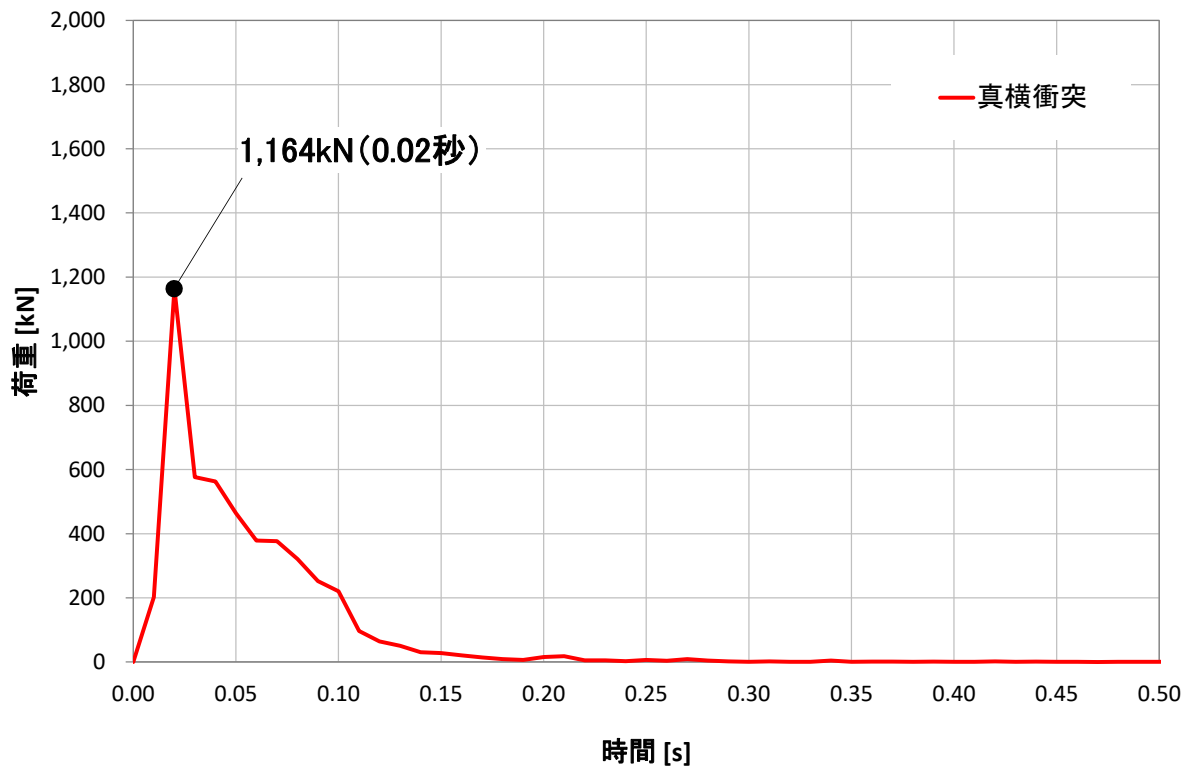


図 3-1 総トン数 2 トン船舶の衝突解析結果 (真横衝突) (2/3)

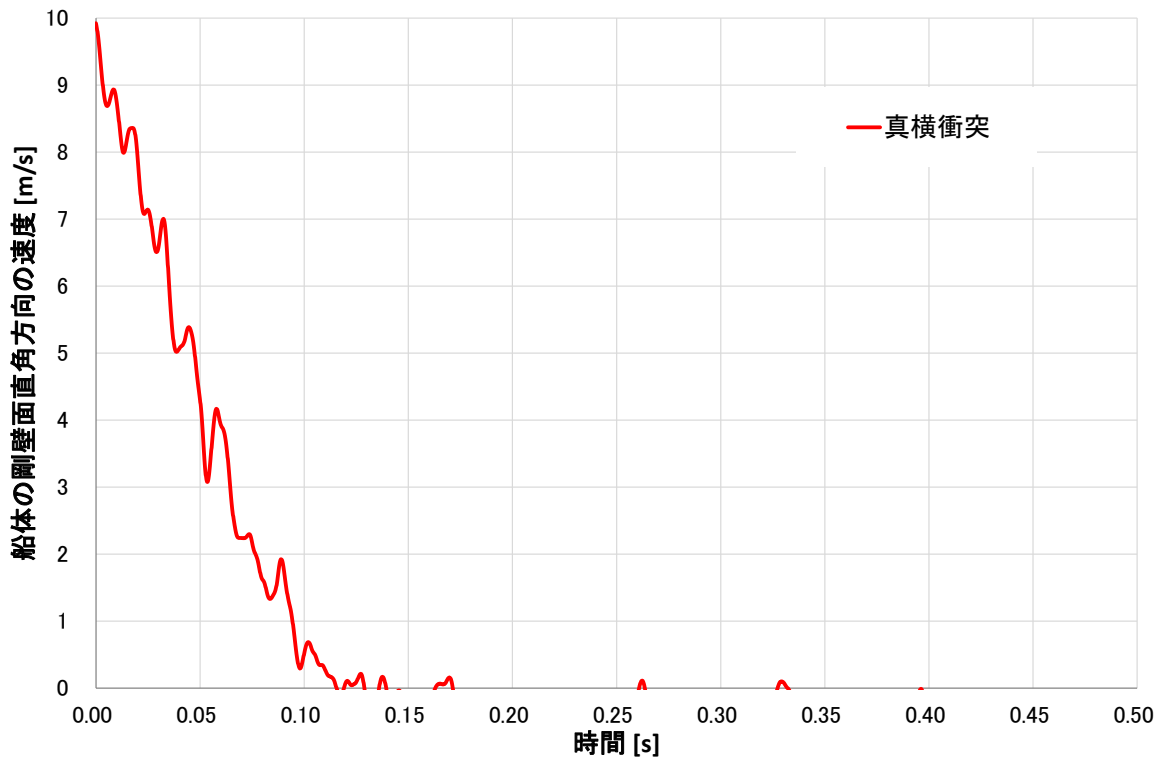
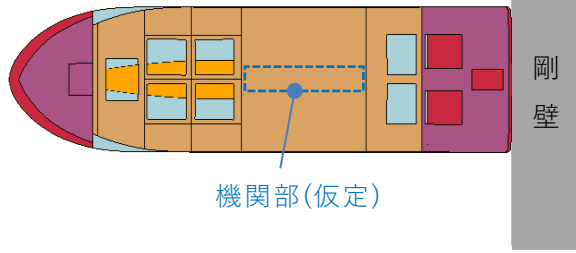


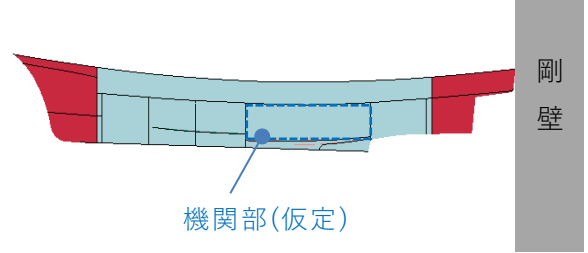
図 3-1 総トン数 2 トン船舶の衝突解析結果 (真横衝突) (3/3)

衝突後0.00秒（衝突開始時）

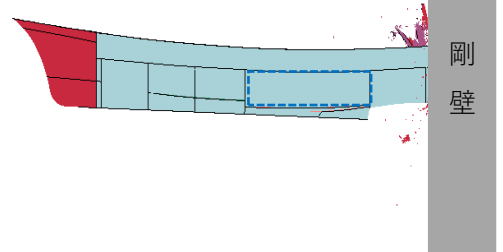
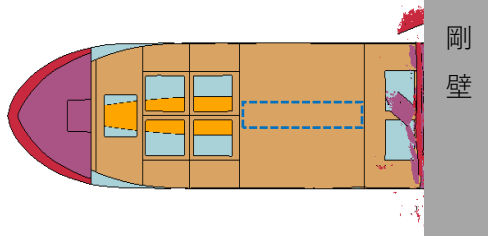
平面



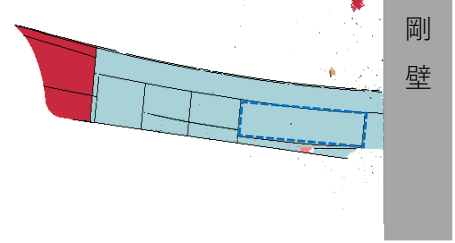
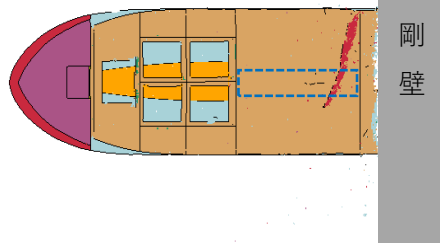
側面



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）

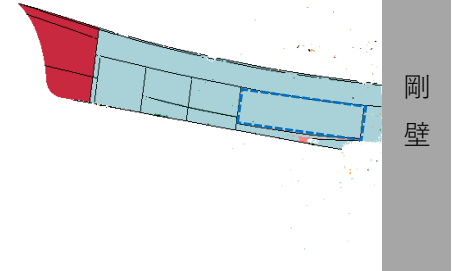
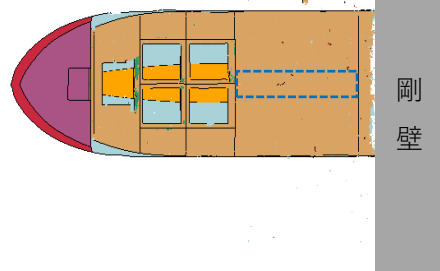


図 3-2 総トン数 2 トン船舶の衝突解析結果（船尾衝突）（1/3）

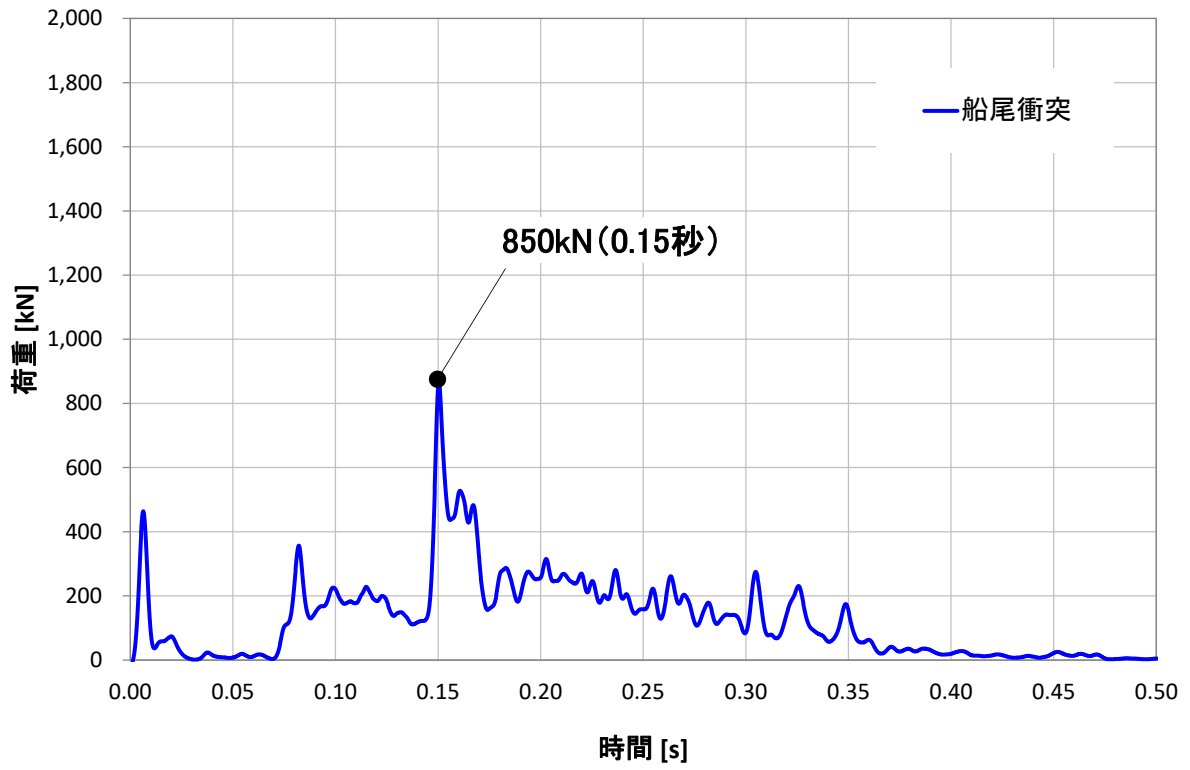


図 3-2 総トン数 2 トン船舶の衝突解析結果（船尾衝突）（2/3）

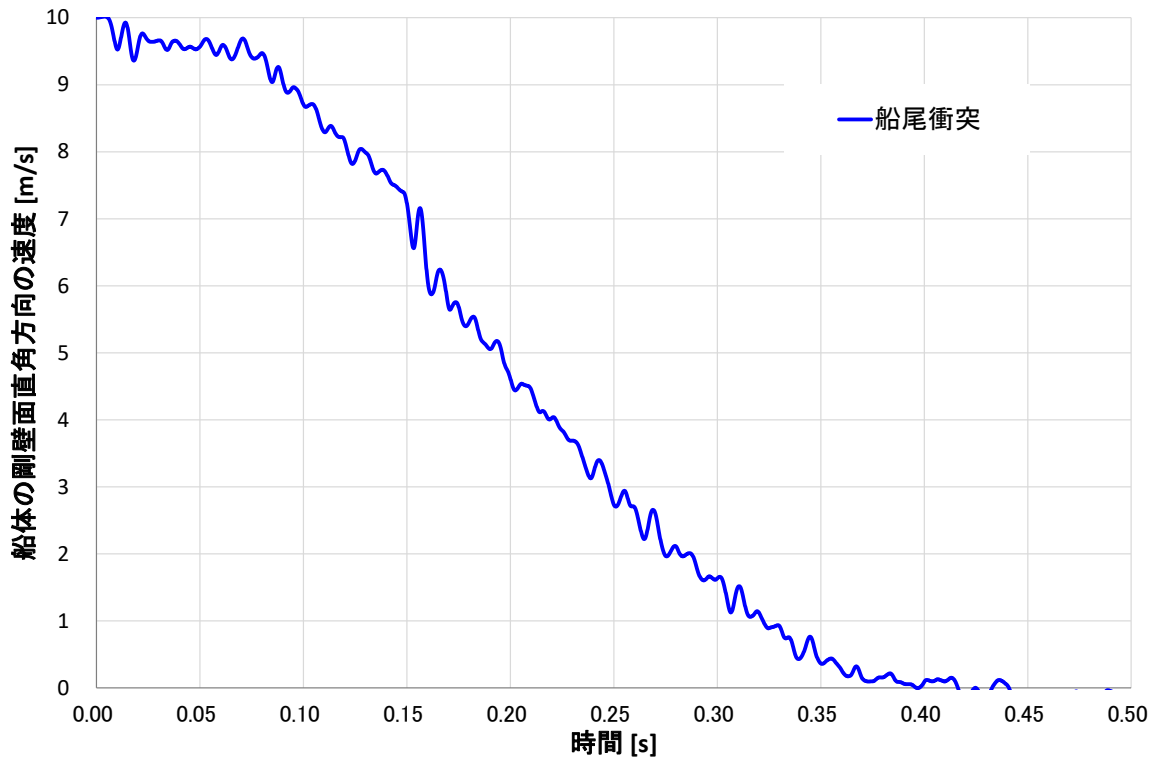


図 3-2 総トン数 2 トン船舶の衝突解析結果（船尾衝突）（3/3）

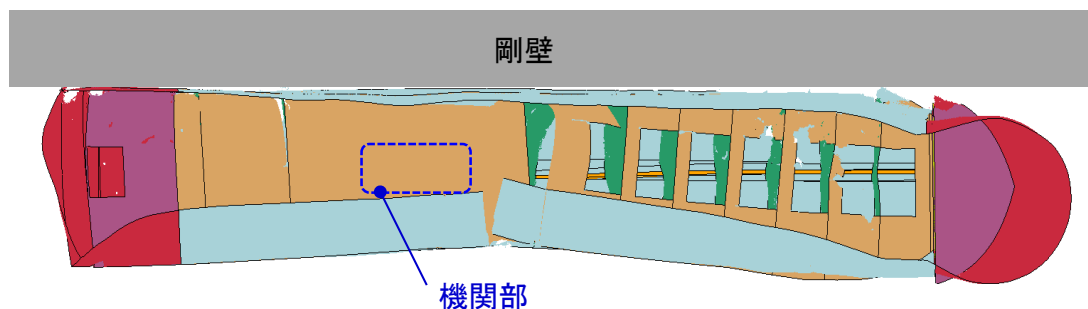


#### 4. 総トン数 19 トン船舶に係る衝突解析の結果

「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)

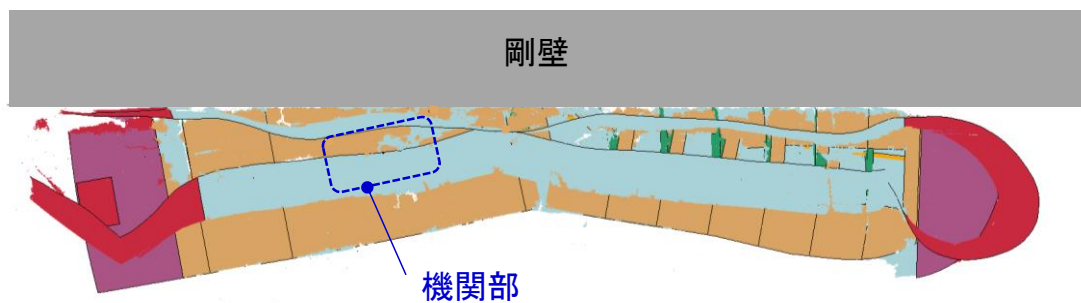


図 4-1 衝突状況（真横衝突）

## 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<sup>\*1</sup>の相関関係を図 5-3、総トン数と船幅<sup>\*2</sup>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

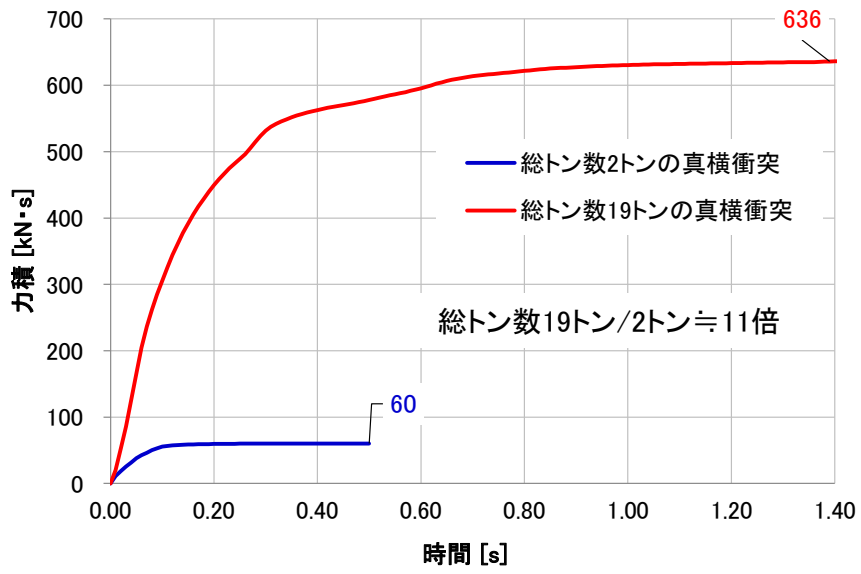


図 5-1 衝突解析結果による力積の比較結果（真横衝突）

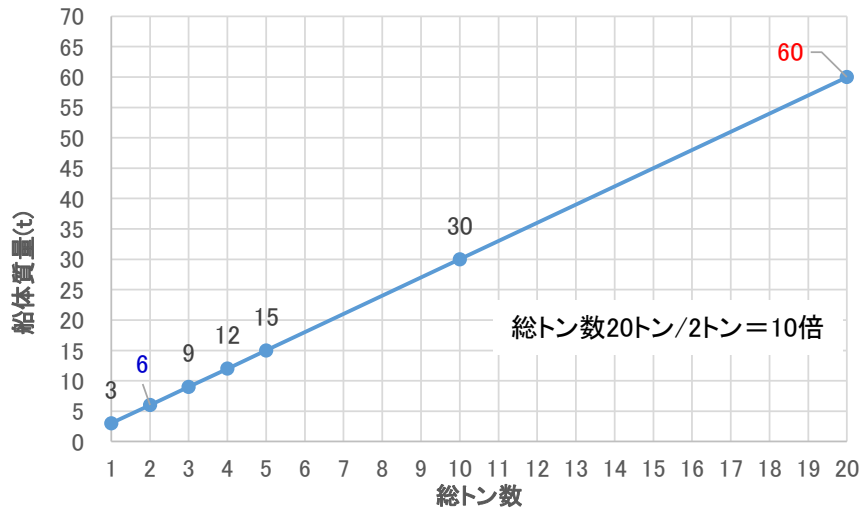


図 5-2 総トン数と船体質量の相関関係

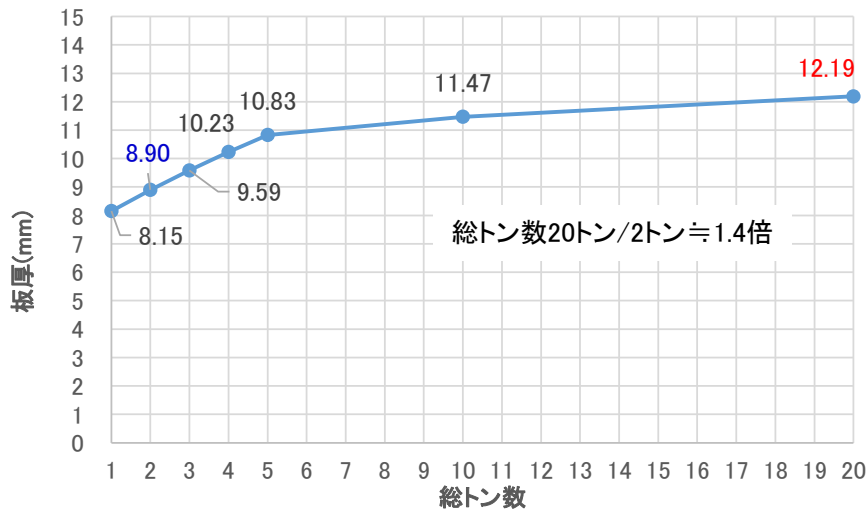


図 5-3 総トン数と船体板厚の相関関係

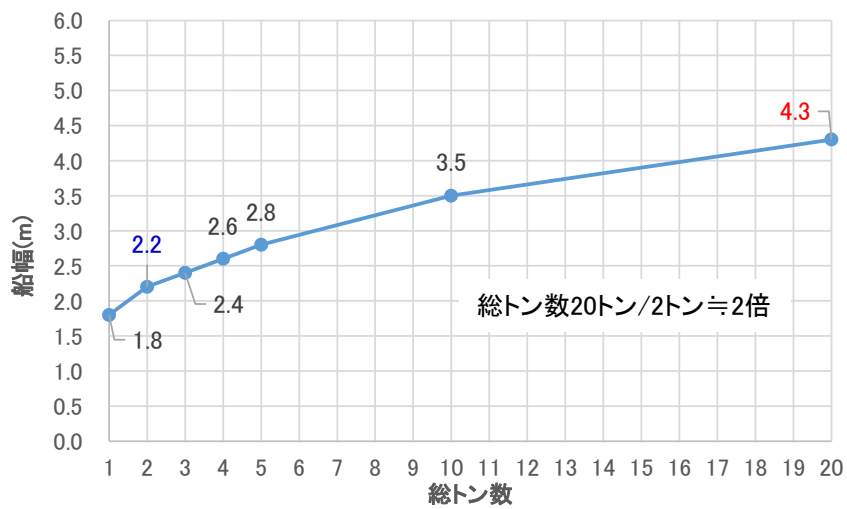


図 5-4 総トン数と船幅の相関関係

## 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。

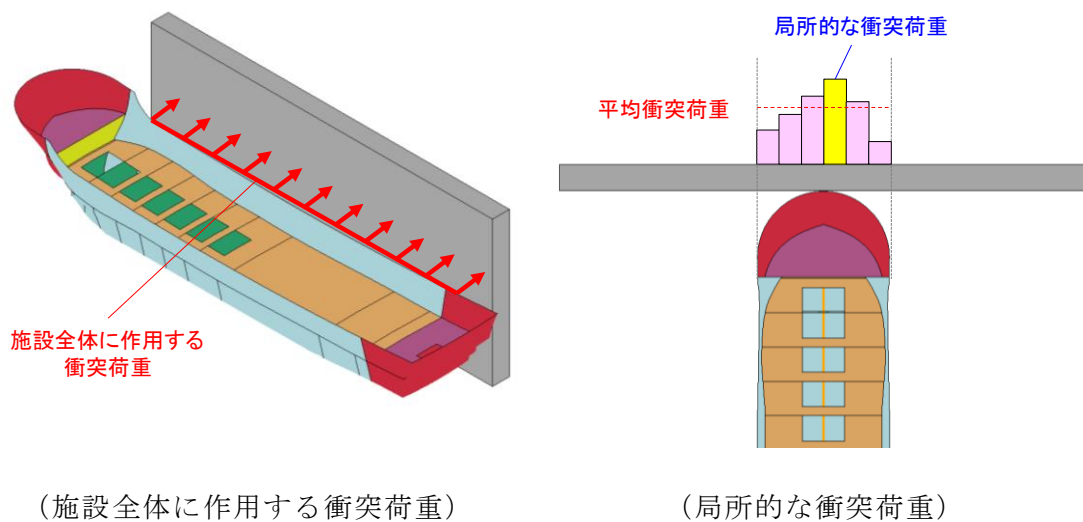


図 1-1 設計用衝突荷重のイメージ図

## 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

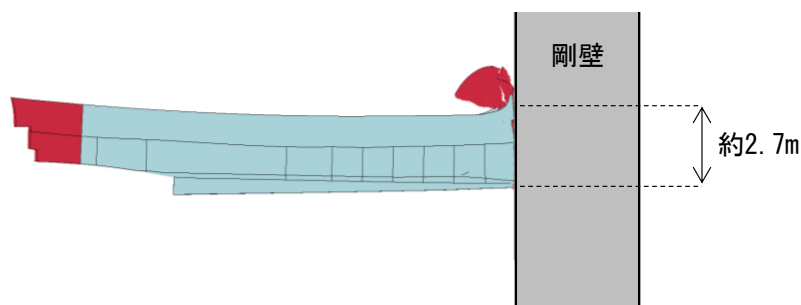
船舶（総トン数 19 トン）全体の衝突荷重による影響を考慮するため、「施設全体に作用する衝突荷重」により評価対象構造物の評価を実施することとし、衝突荷重を直接受ける部材に加え、評価対象構造物を支持する部材（防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の鋼管杭、防波壁（逆 T 擁壁）のグラウンドアンカ等）を含めて、評価対象構造物全体の評価を実施する。

「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 1m 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

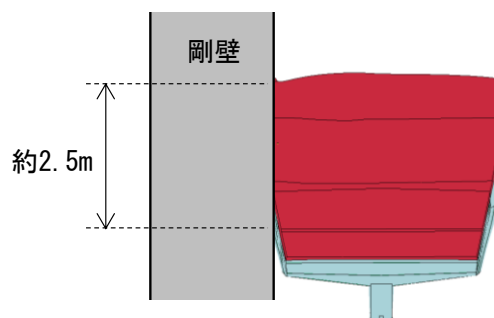


図 2-1 最大衝突荷重発生時の衝突状況

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)

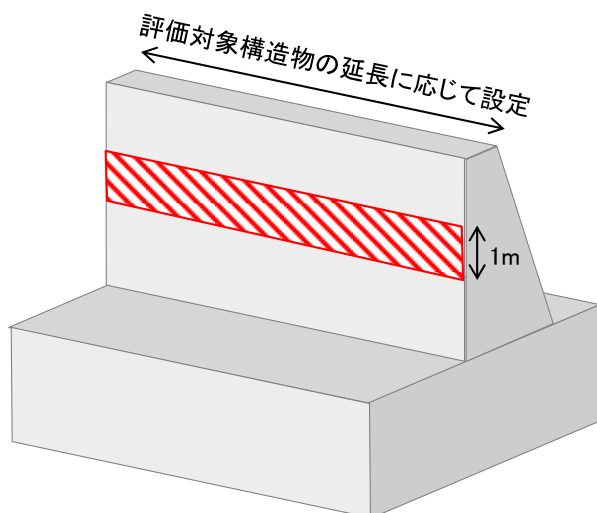


図 2-2 施設全体に作用する衝突荷重の載荷方法 (例)



(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(1mあたりの荷重)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1mあ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1m、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1mとする。局所的な衝突荷重の載荷方法(例)を図2-3に示す。

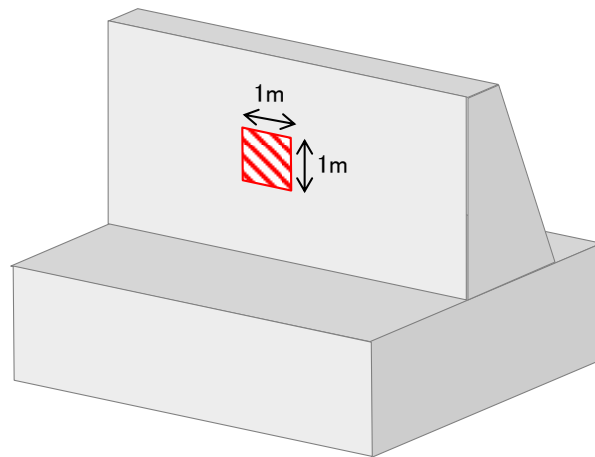


図 2-3 局所的な衝突荷重の載荷方法 (例)

### 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。

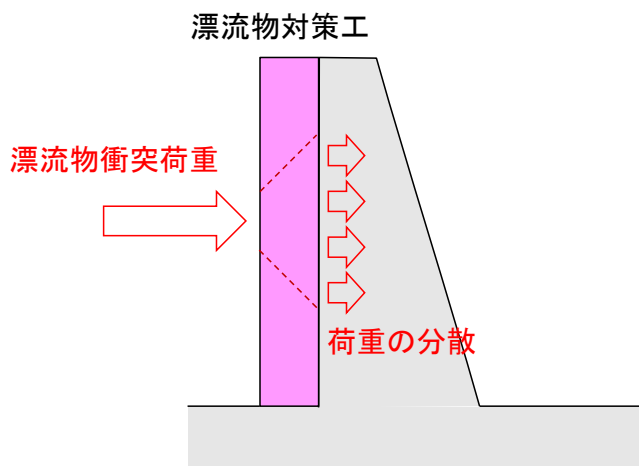
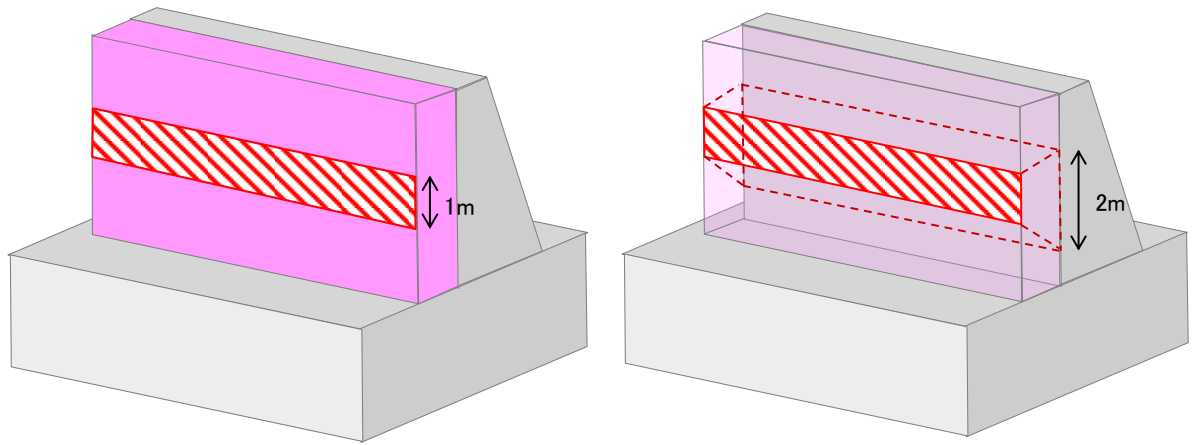


図 3-1 漂流物対策工における衝突荷重の分散

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。

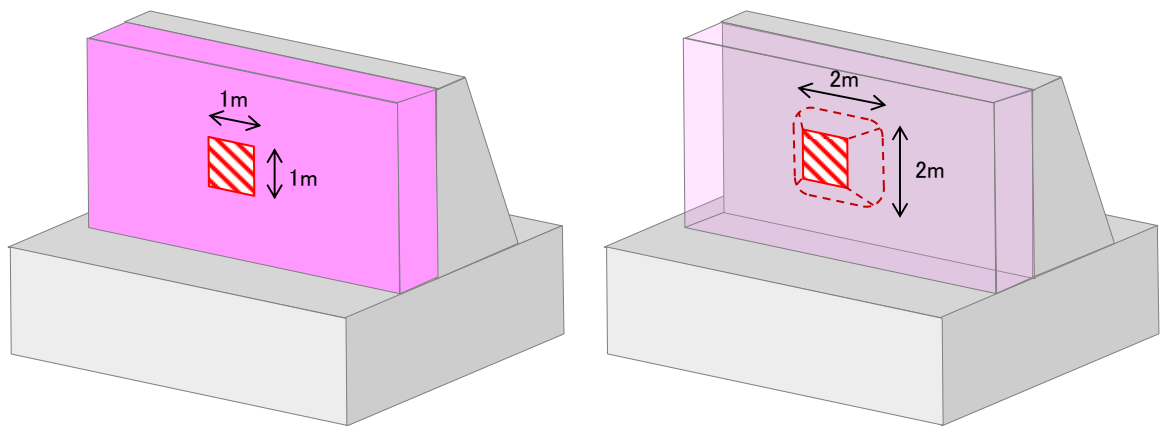
また、局所的な衝突荷重を考慮する場合、漂流物対策工に幅 1m × 高さ 1m で衝突する。コンクリート版の厚さを 50cm とした場合は、漂流物対策工を介して 45° で荷重分散されることから、防波壁には幅 2m × 高さ 2m で衝突荷重が伝達される。



(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)

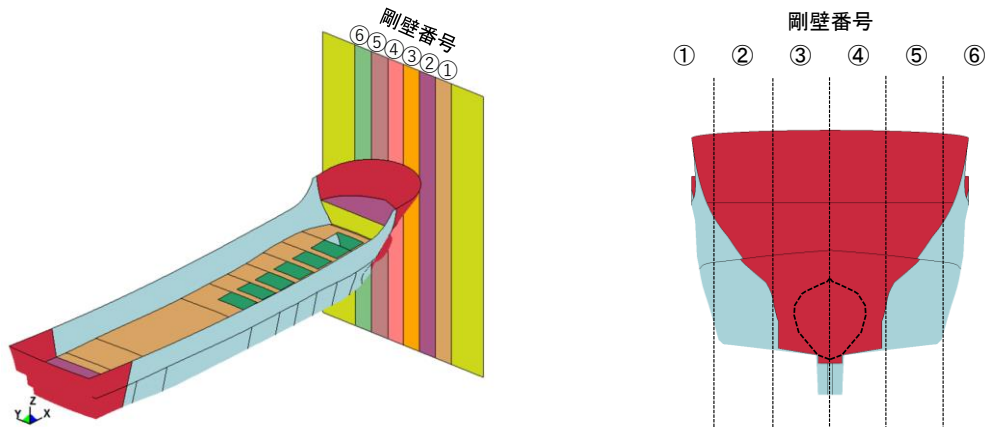
剛壁配置による衝突荷重への影響確認

1. 概要

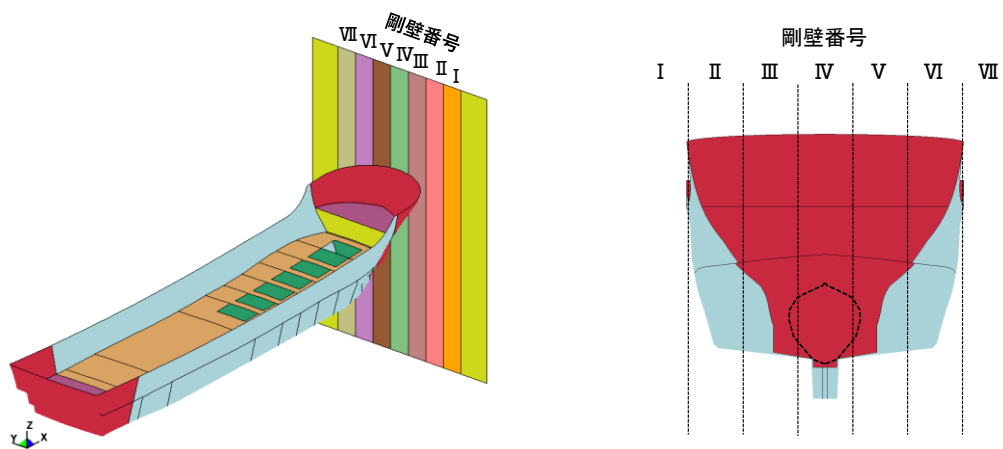
船舶（総トン数19トン）における衝突荷重は、「衝突解析」により「局所的な衝突荷重」を設定している。「局所的な衝突荷重」においては、各衝突形態のうち、剛壁1mあたりに対して最大となる衝突荷重が発生する船首方向からの衝突を考慮している。

「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)



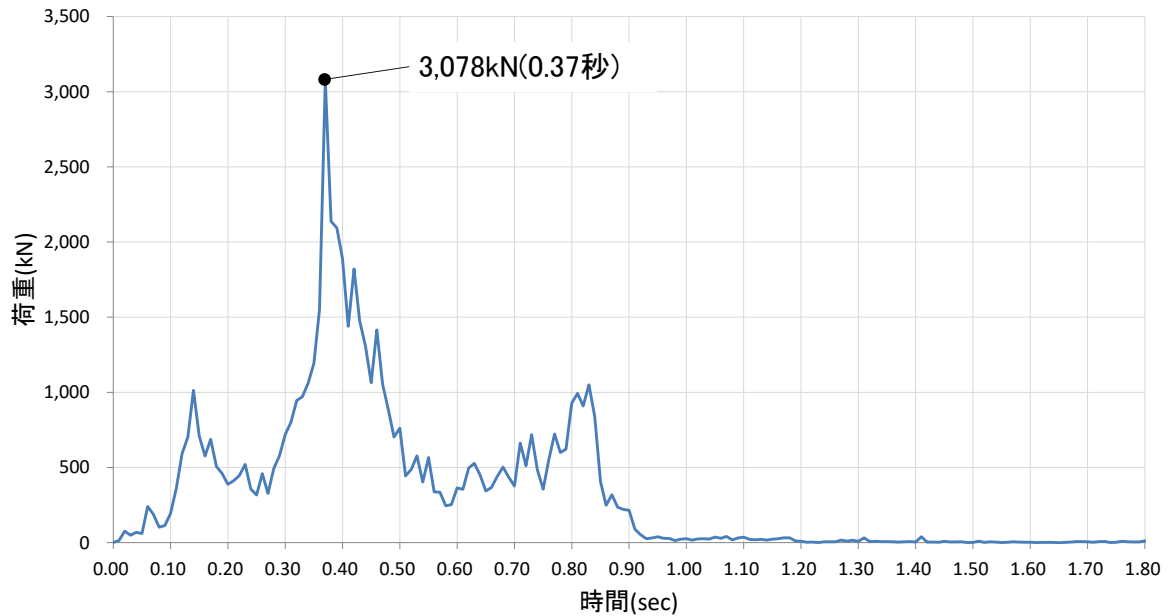
(本資料における衝突解析)

図 1-1 衝突解析における剛壁の配置状況

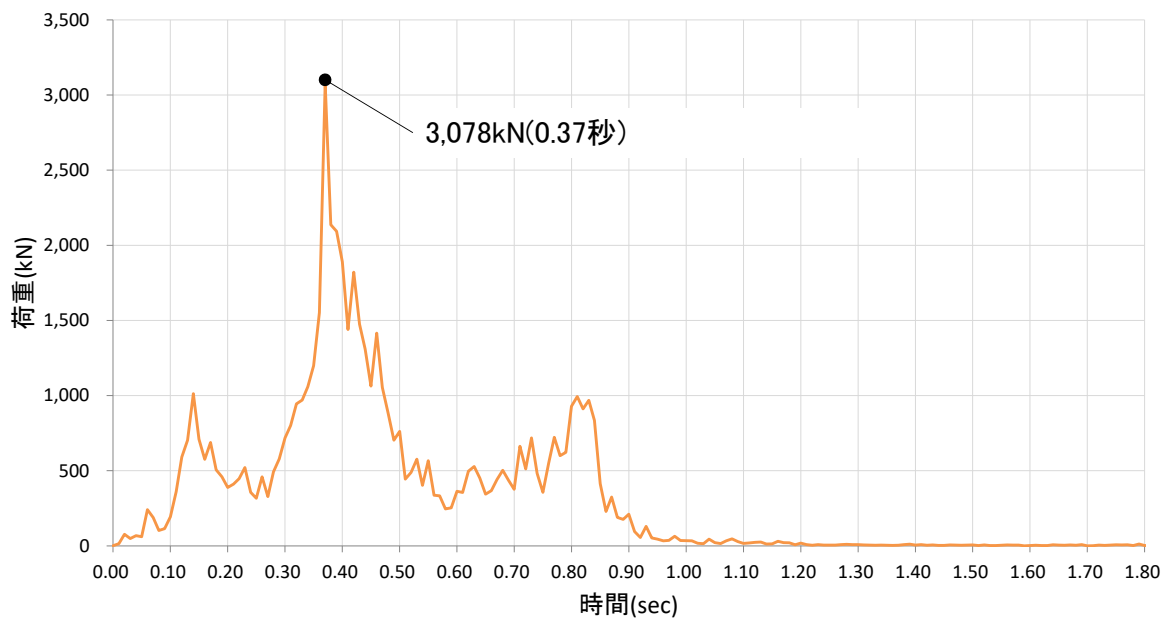
## 2. 剛壁の配置を見直した衝突解析結果

「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)



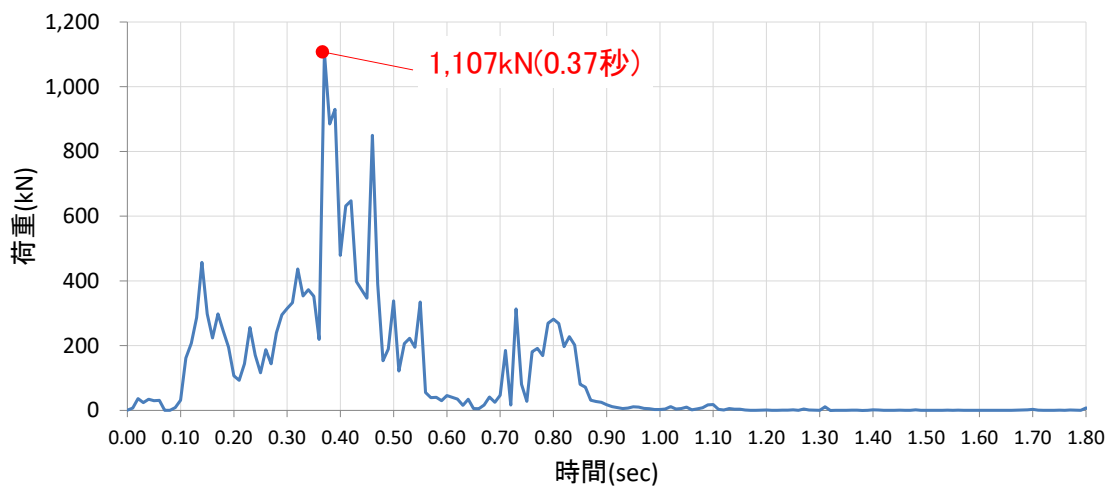
(本資料における剛壁の配置を見直した衝突解析)

図 2-1 各剛壁の衝突荷重を集計した時刻歴

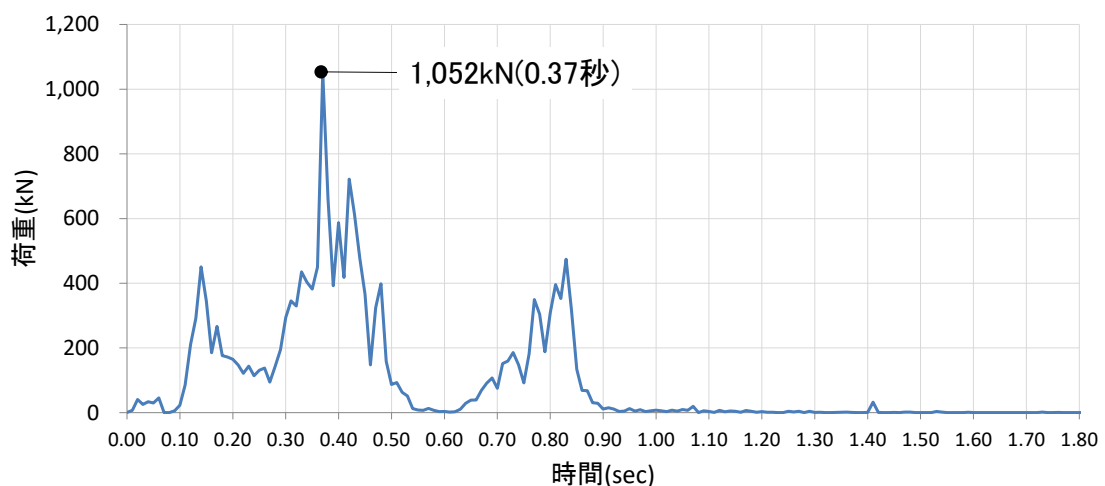
剛壁1mあたりの衝突荷重の解析結果として、「4.5.6 漂流物による衝突荷重の算定」では、剛壁③において衝突後0.37秒で剛壁1mあたりの最大衝突荷重1,107kNが発生しており、隣接する剛壁④で2番目に大きな衝突荷重1,052kNが発生している。一方、剛壁の配置を見直した衝突解析では、剛壁IVにおいて衝突後0.37秒で剛壁1mあたりの最大衝突荷重1,008kNが発生している。剛壁③、④及びIVにおける衝突荷重の時刻歴を図2-2に示す。

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1mあ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1mあ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



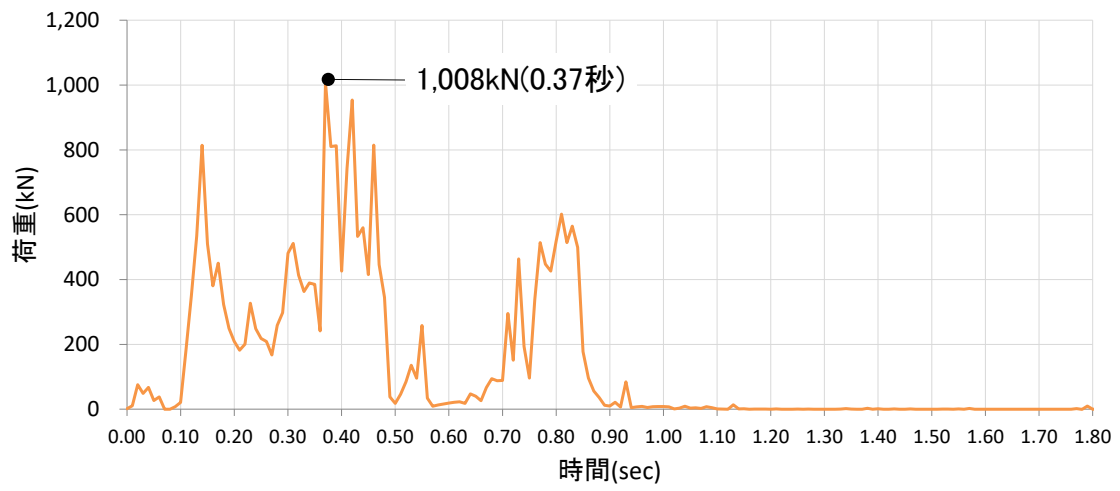
### 剛壁番号④



(「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 剛壁 1mあたりの衝突荷重の時刻歴 (1/2)

## 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 剛壁 1mあたりの衝突荷重の時刻歴 (2/2)

## 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。

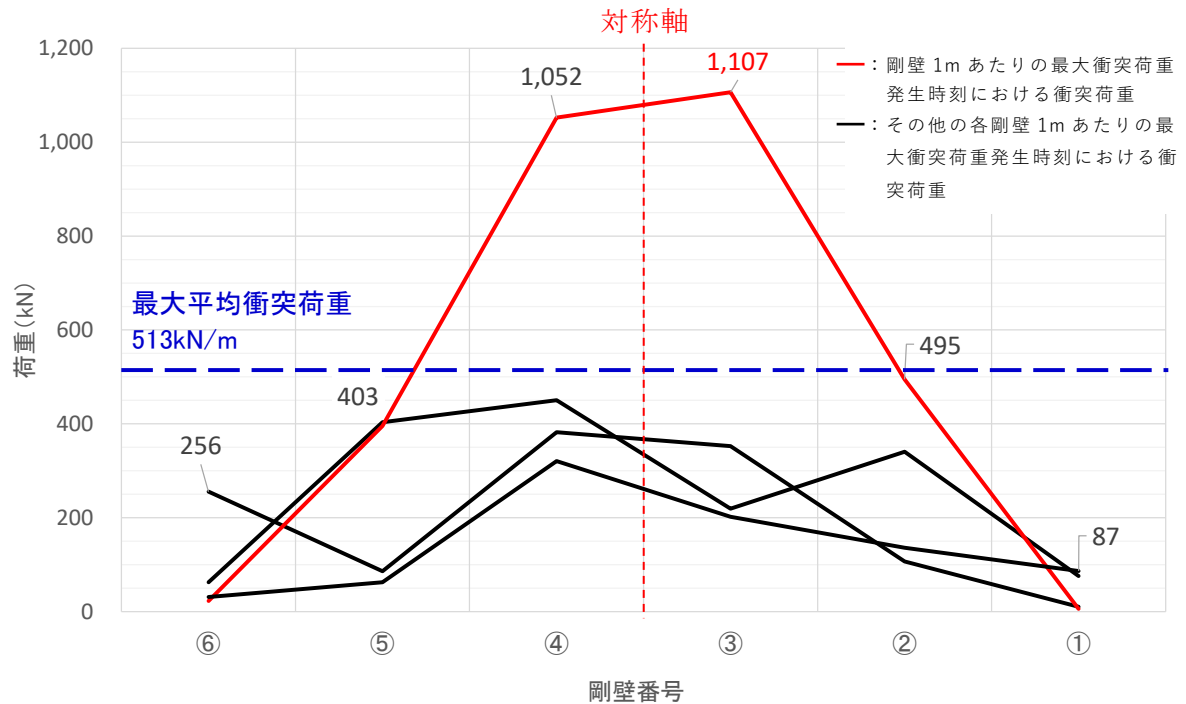


図 1 衝突荷重分布（例：船首方向から衝突）

「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。

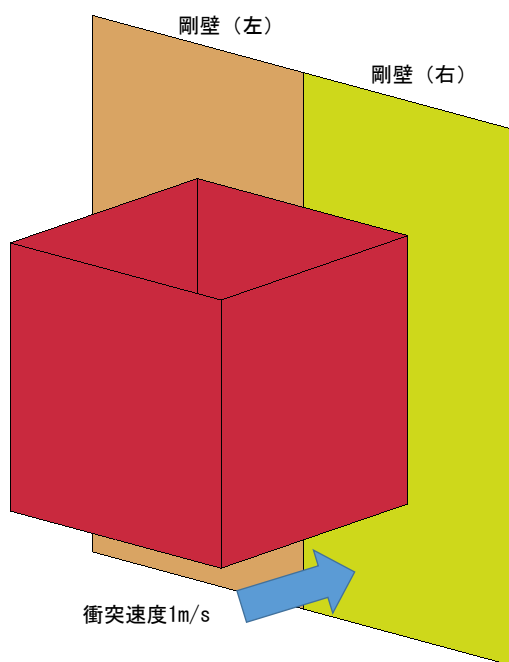


図1-1 単純形状の衝突物における衝突解析イメージ

表1-1 FRPの物性値

項目	単位	採用値
ヤング率 (曲げ弾性)	G P a	12
ポアソン比	—	0.358
曲げ強度	M P a	260
単位体積重量	t/m <sup>3</sup>	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。

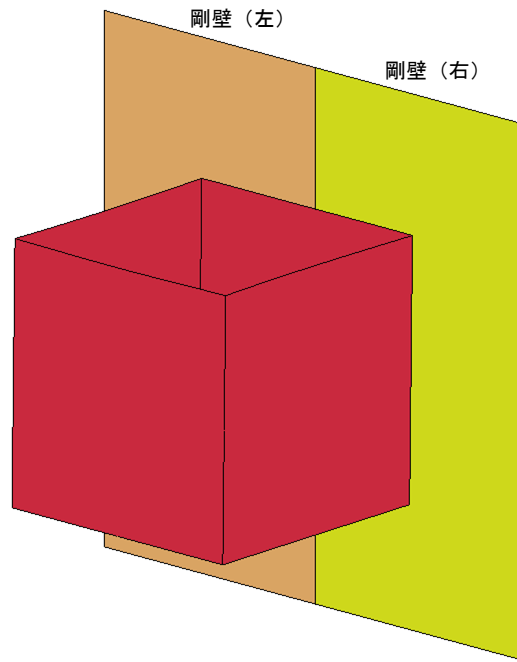


図 1-2 単純形状の衝突物による衝突状況

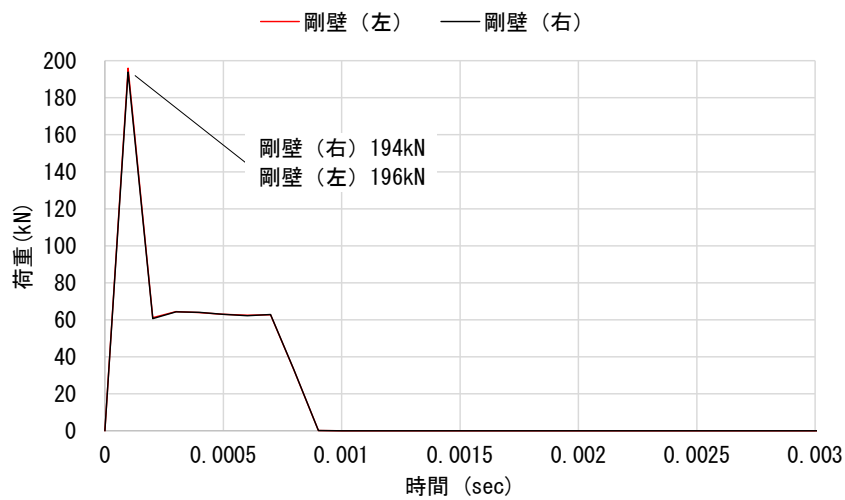


図 1-3 単純形状の衝突物による衝突荷重

## 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

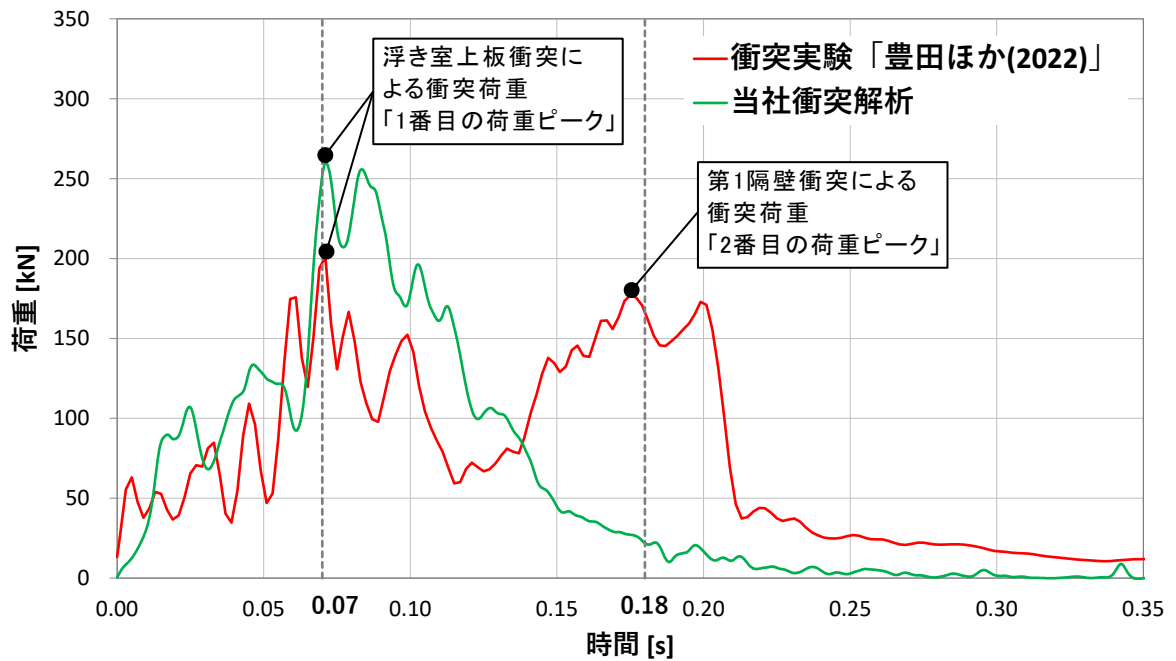
「豊田ほか(2022)」における衝突実験及び当社衝突解析による衝突荷重の時刻歴波形と衝突状況を図2-1に示す。

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			密度	kg/m <sup>3</sup>	1,860
船側	デッキ デッキ端部 側板 ブルワーク	密度	kg/m <sup>3</sup>	1,860	船底	浮き室上板 隔壁 キール 底板	軸方向ヤング率	GPa	15.679
		軸方向ヤング率	GPa	10.269			横方向ヤング率	GPa	13.980
		横方向ヤング率	GPa	9.574			せん断弾性係数	GPa	4.045
		せん断弾性係数	GPa	3.520			軸方向強度	MPa	274
		軸方向強度	MPa	184			横方向強度	MPa	253
		横方向強度	MPa	146			破壊ひずみ	軸方向…9% 横方向…10% ※ひずみ2%で 曲げ強度到達	
		破壊ひずみ		軸方向…6% 横方向…5% ※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 <sup>3</sup>	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。

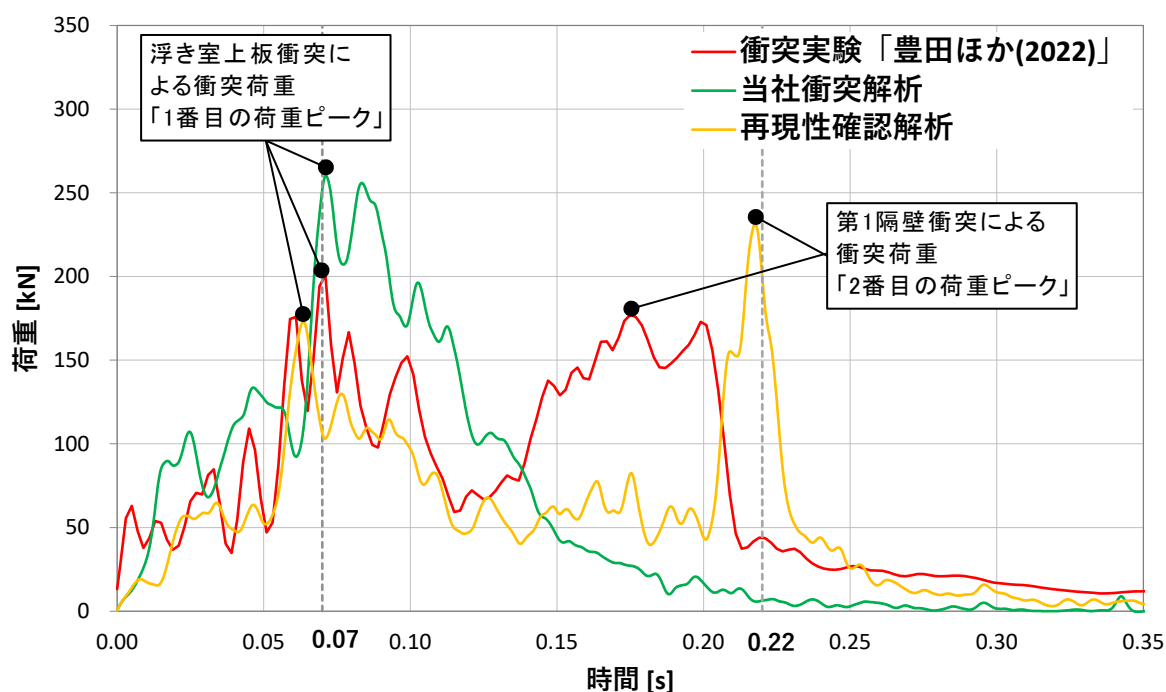


図3-1 衝突実験、当社衝突解析及び再現性確認解析の衝突荷重時刻歴  
(衝突実験：「豊田ほか(2022)」を基に作成)

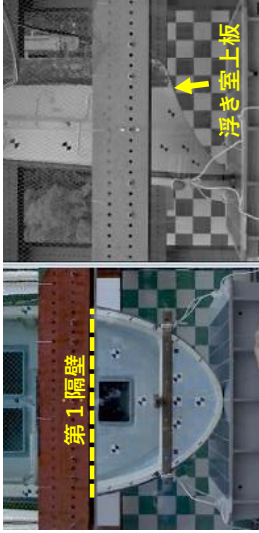
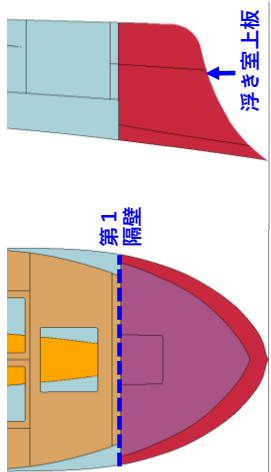
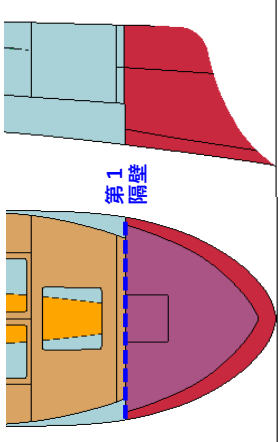
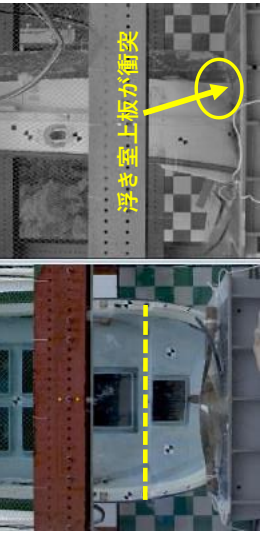
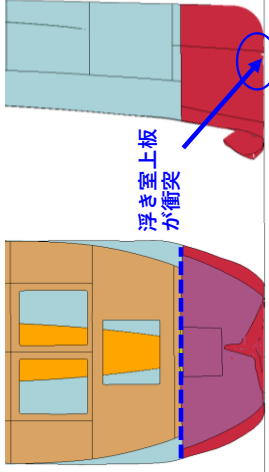
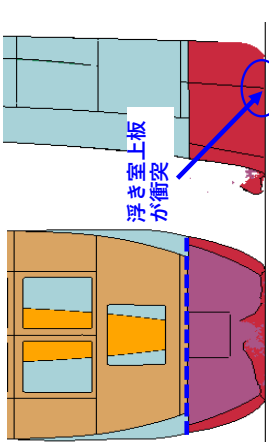
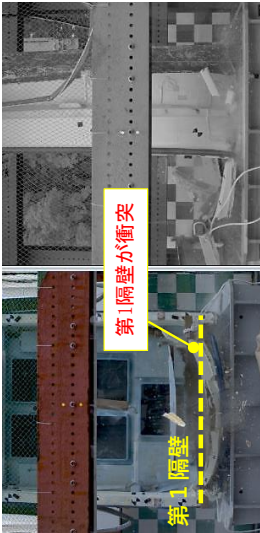
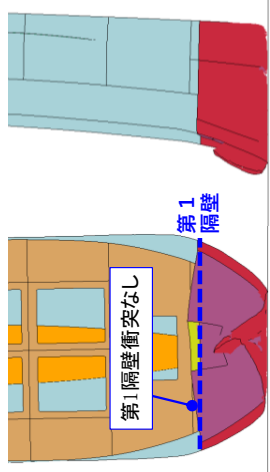
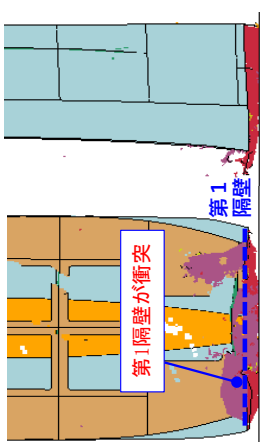
衝突時刻	衝突実験「豊田ほか(2022)」	当社衝突解析	再現性確認解析
0.00秒			
0.07秒			
0.18秒			

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)」に加筆)



#### 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。衝突荷重の整理にあたっては、「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あたり、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。

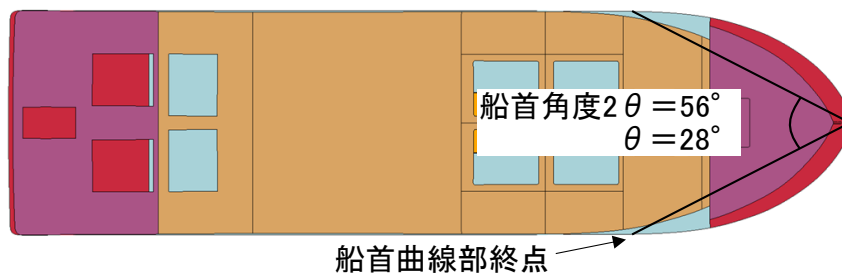
注記\*：豊田真・南波宏介・甲斐田秀樹・栗山透 FRP船舶の衝突解析手法に関する研究，土木学会論文集A1（構造・地震工学），Vol.78, No.2, 301-315, 2022.

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	$\theta$	°	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

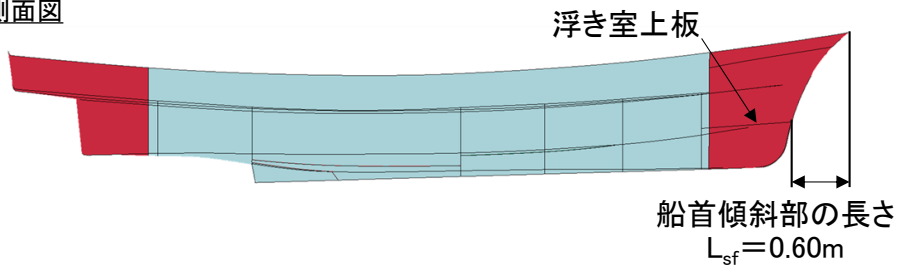


図 2-1 船首角度及び船首傾斜部の長さの設定根拠

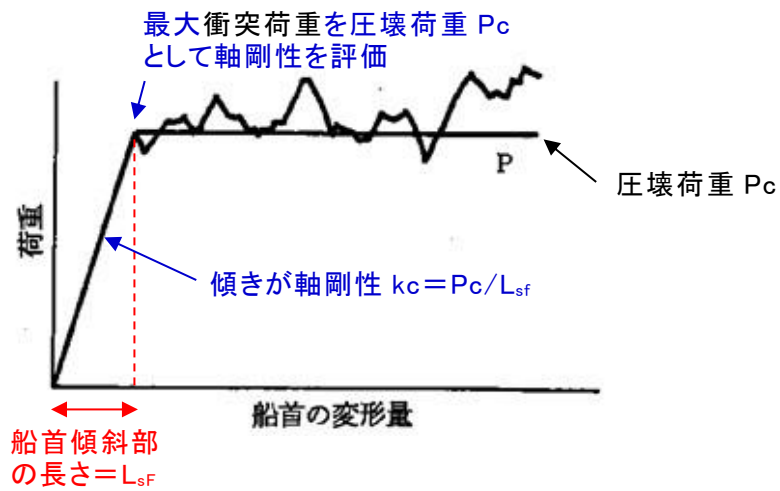


図 2-2 圧壊荷重と船首の変形量の関係  
 (「土木学会 (1994)」に一部加筆)

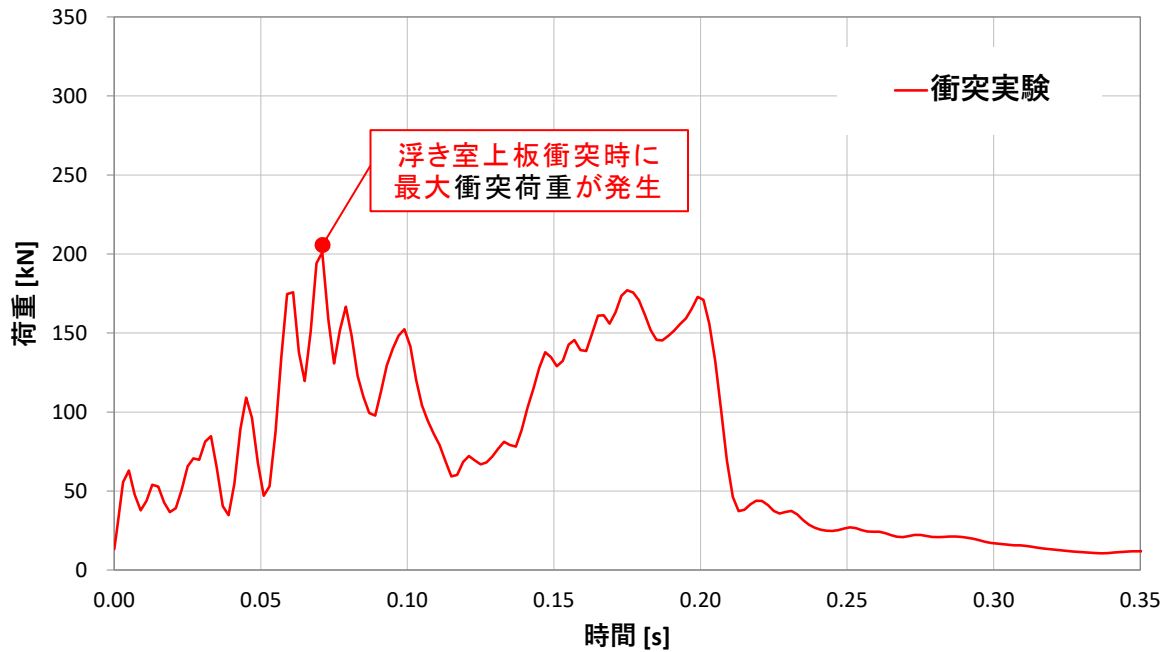


図 2-3 総トン数 2 トン船舶の衝突実験における衝突荷重の時刻歴

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	<sup>s</sup> (=a,b)	mm	500
	船首角度	2θ	°	56
	船首傾斜部 の長さ	L <sub>sf</sub>	m	0.60
材料物性	ヤング率 (曲げ弾性率)	E	tf/m <sup>2</sup>	1.22 × 10 <sup>6</sup>
	ポアソン比	ν	—	0.358
座屈強度	σ <sub>c</sub>	tf/m <sup>2</sup>	1,038	
圧壊荷重	P <sub>c</sub>	kN	83.7	
軸剛性(船首部)	k <sub>c</sub>	N/m	1.40 × 10 <sup>5</sup>	

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

σ<sub>c</sub> : 座屈強度 (tf/m<sup>2</sup>)  
 k : 座屈係数 (b/a+a/b)<sup>2</sup>  
 a : 横肋骨心距 (mm)  
 b : 縦肋骨心距 (mm)  
 E : ヤング率 (tf/m<sup>2</sup>)  
 ν : ポアソン比  
 t : 船側外板厚 (mm)

$$P_c = 2Dt(\cos\theta)\sigma_c$$

P<sub>c</sub> : 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<sub>c</sub> : 軸剛性 (N/m)  
 L<sub>sf</sub> : 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「F E M A (2012)」による衝突荷重の算定を行う。また、「F E M A (2012)」における衝突荷重の算定にあたっては、「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「F E M A (2012)」による衝突荷重の算定結果を表2-3に示す。

【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 2-3 総トン数 2 トン船舶の「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	9.9
軸剛性(船首部)	$k_C$	N/m	$1.40 \times 10^5$
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及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* <sup>1</sup> 【荷重ピーク値】	260* <sup>2</sup> 【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* <sup>1</sup> 【平均値】	—	3,078* <sup>2</sup> 【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。



## 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

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 F R P 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、F R P 製船舶の衝突荷重の算定にあたり、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 F R P 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「F E M A（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FRP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、FRP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FRP製船舶のFRP材料に対する材料試験が実施されており、FRP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。

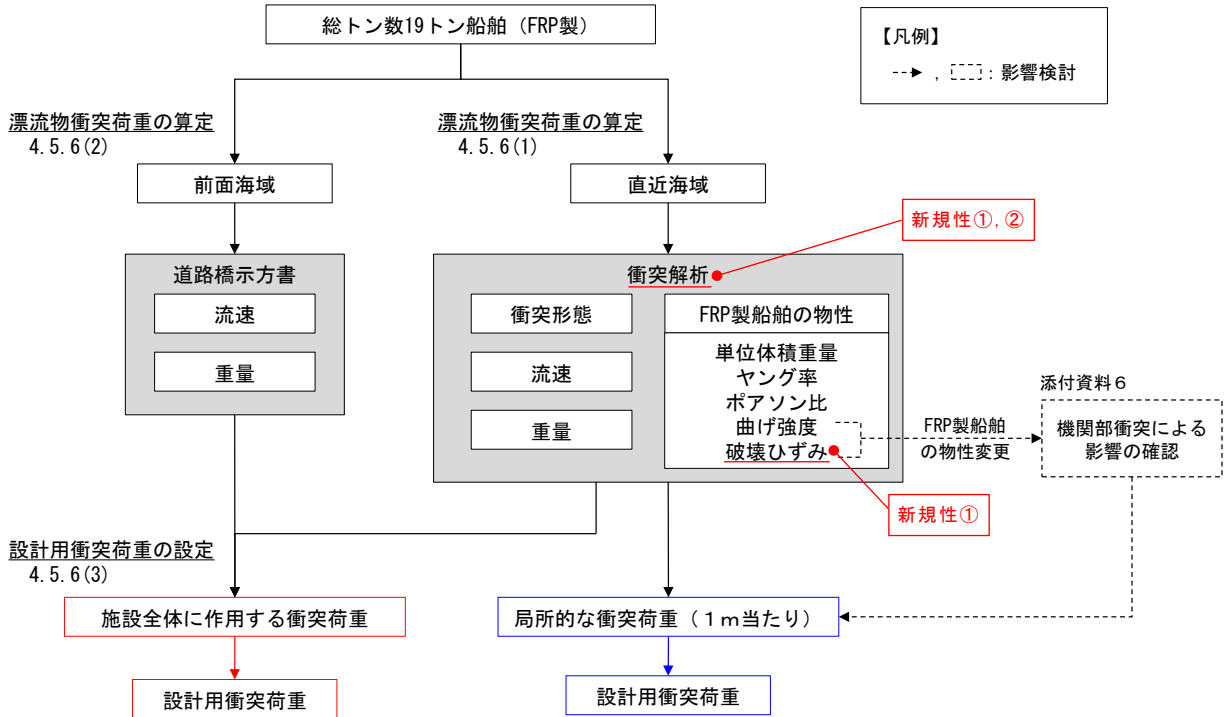
#### 新規性②：対象船舶に対する詳細調査結果の反映

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FEMモデルに反映した。

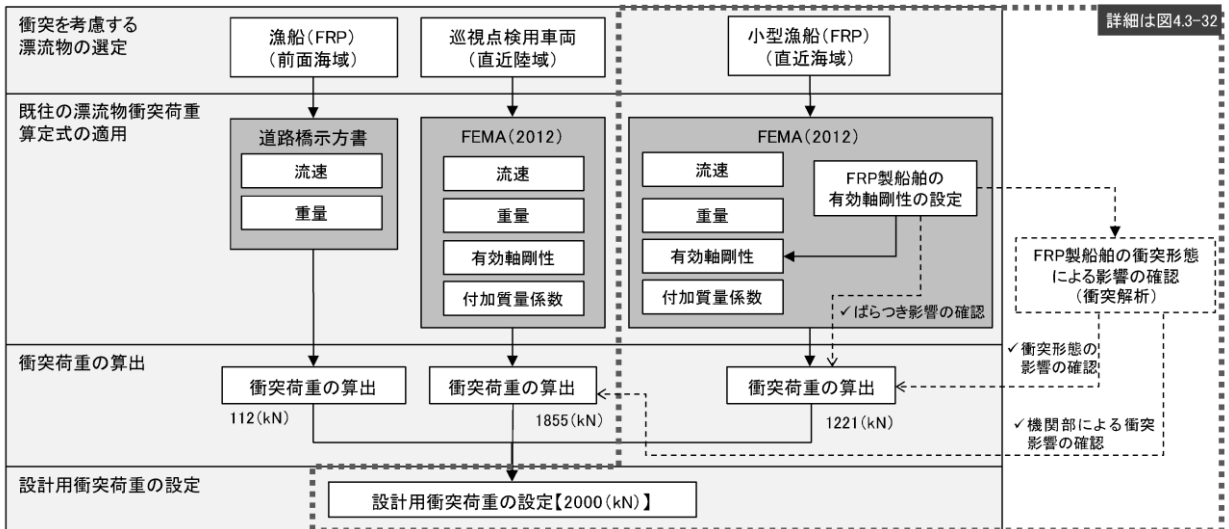
注記\*：豊田真・南波宏介・甲斐田秀樹・栗山透 FRP船舶の衝突解析手法に関する研究，土木学会論文集A1（構造・地震工学），Vol.78，No.2，301-315，2022.

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。

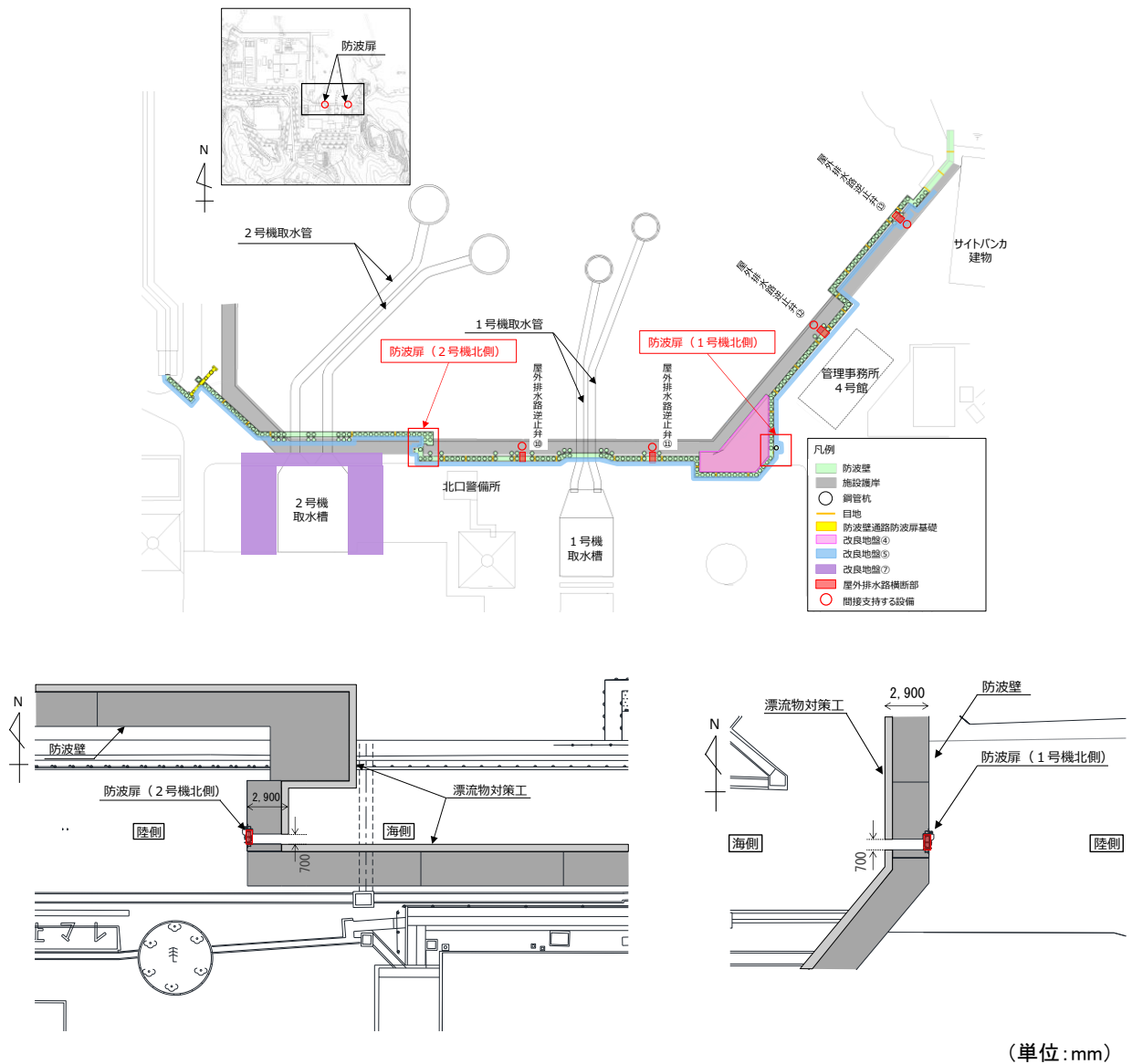


図 1-1 防波壁通路防波扉（1号機北側，2号機北側）の位置図

## 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(1/2)）。

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(2/2)）。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。

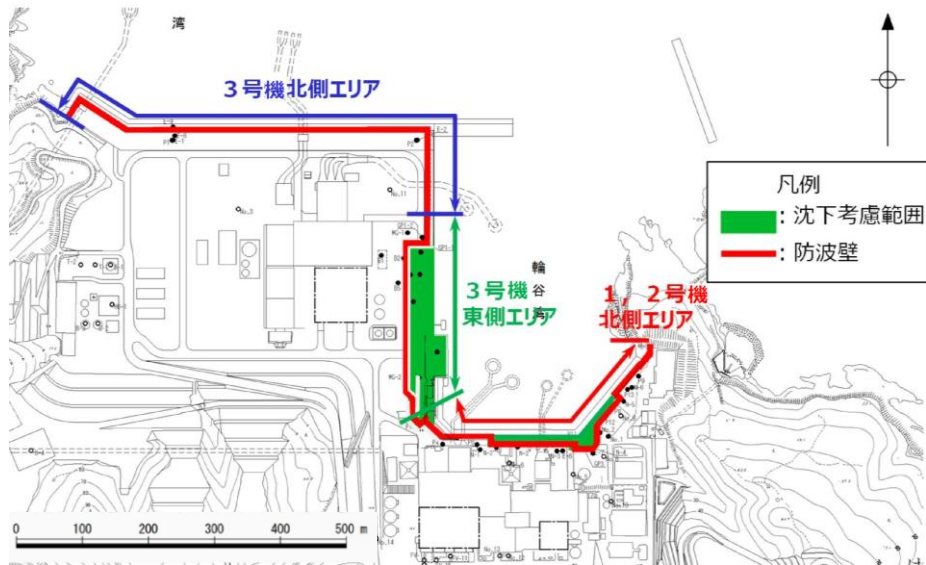
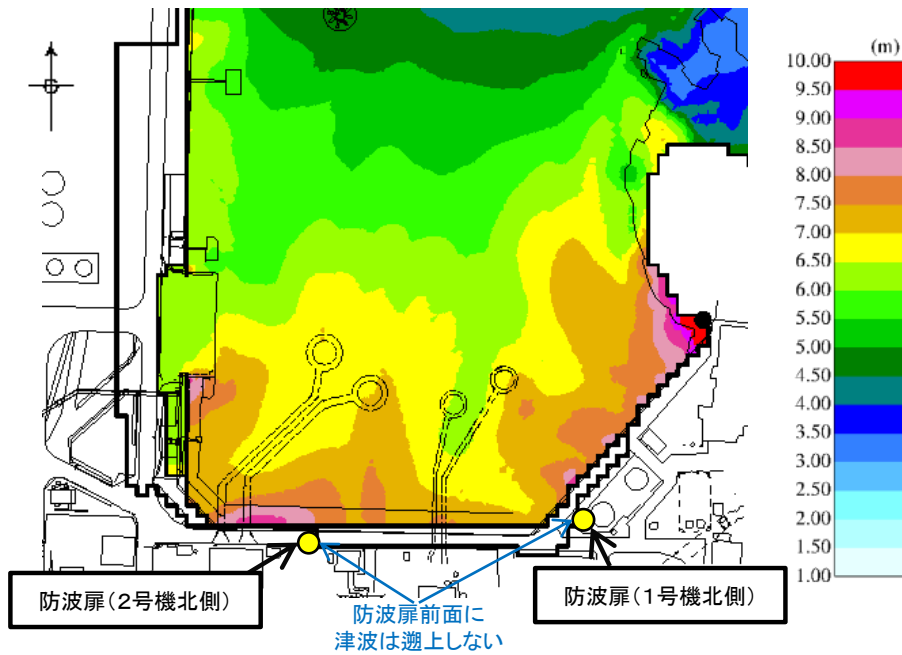
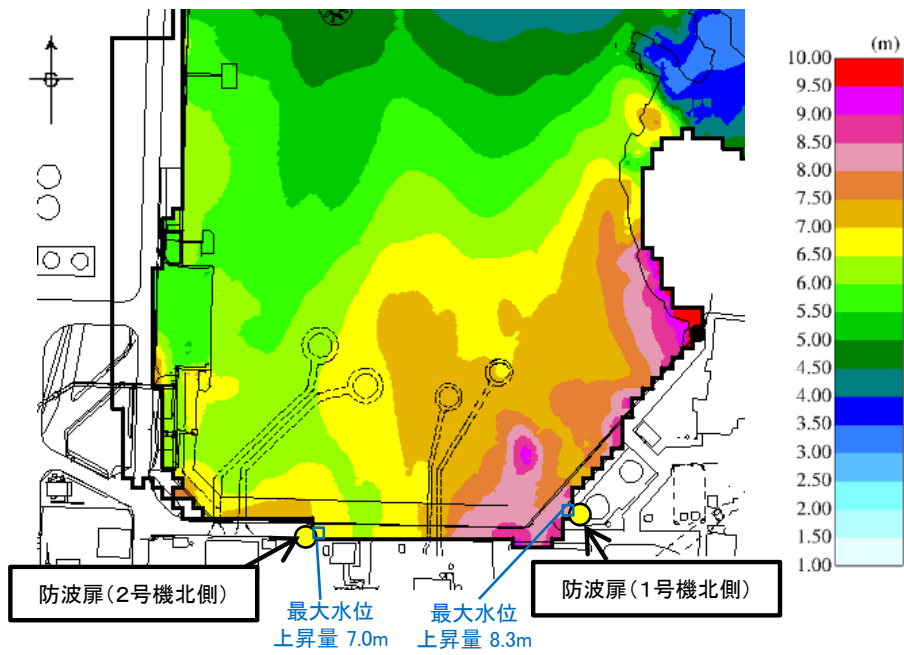


図 3-1 津波評価において沈下を考慮する範囲



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 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(1/2)



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: 1m沈下  
 1, 2号機北側エリア: 海底面まで沈下)

図 3-2 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(2/2)

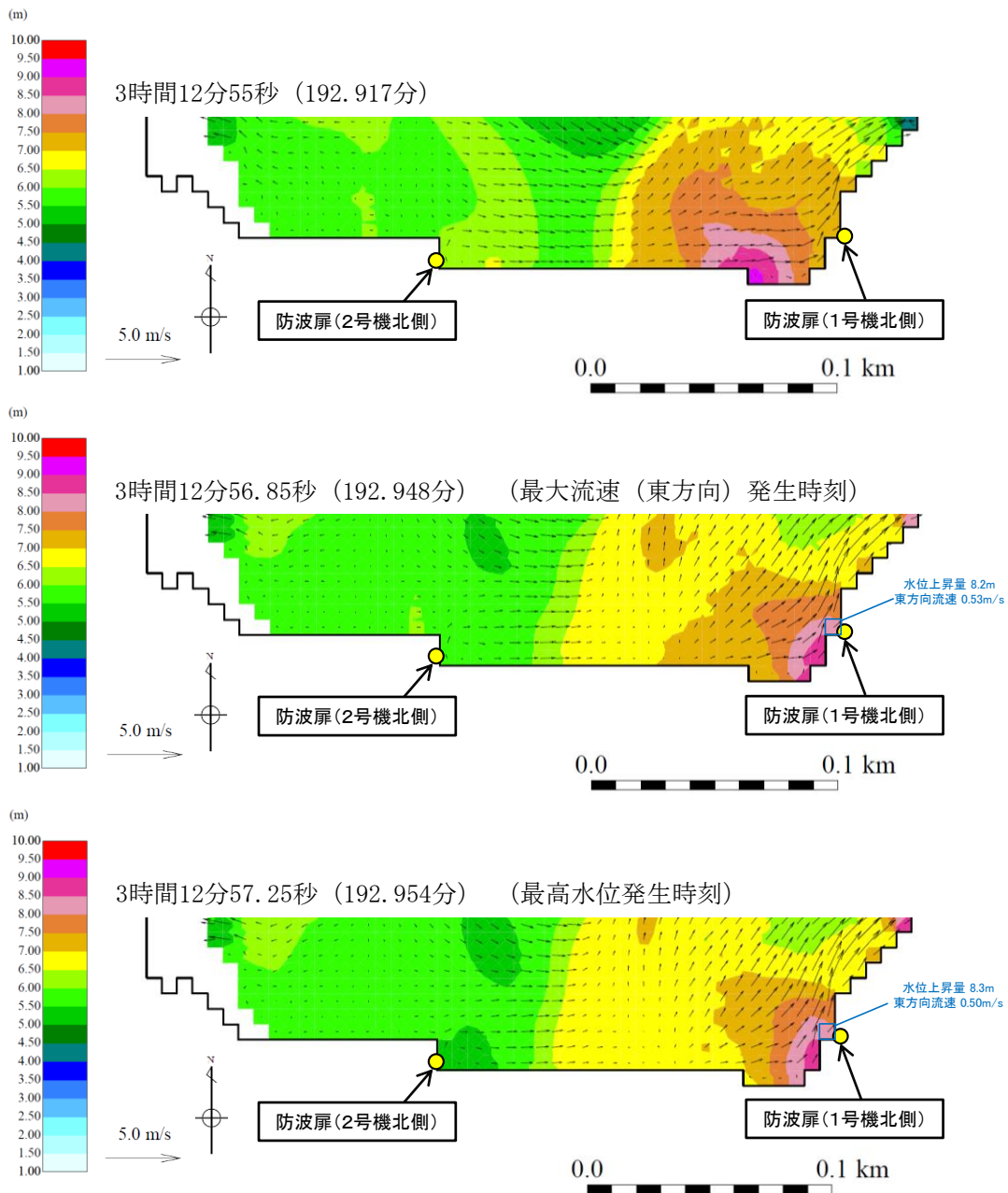
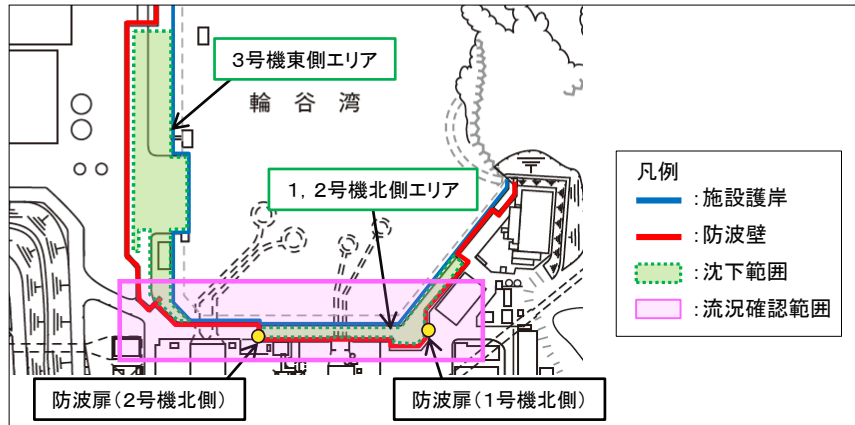
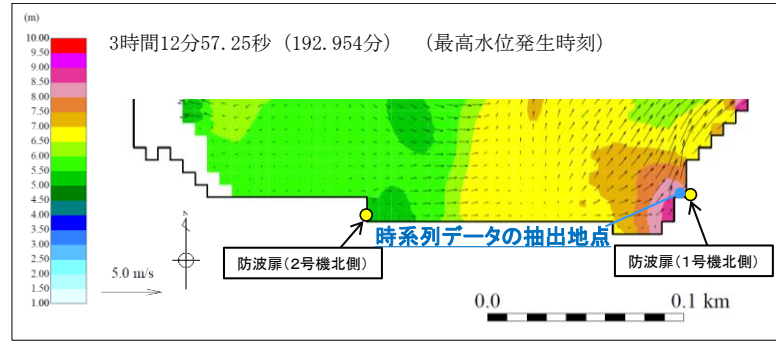
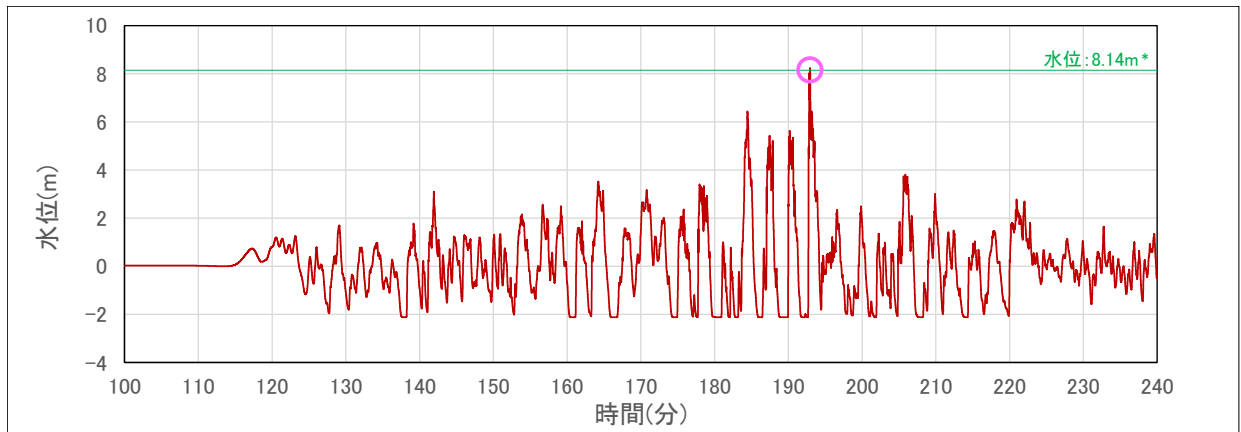


図 3-3 防波壁通路防波扉（1号機北側，2号機北側）前面における流況図  
 （3号機東側エリア：1m沈下，1，2号機北側エリア：海底面まで沈下）

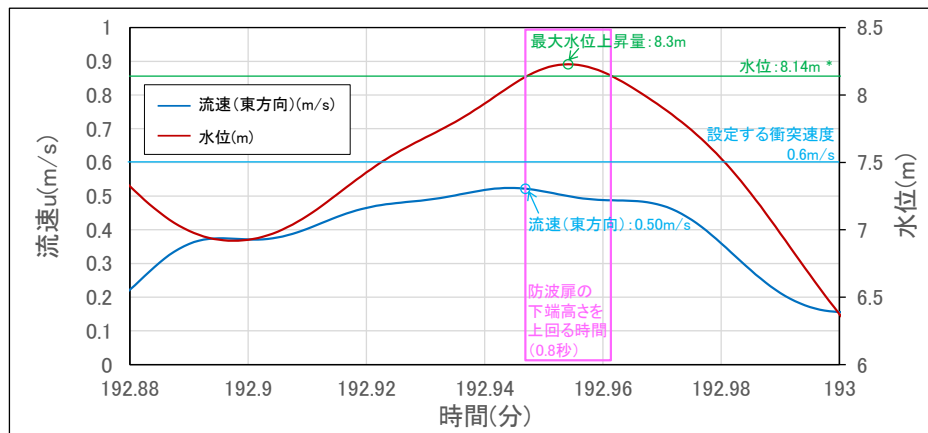




時系列データの抽出地点の位置図



防波扉（1号機北側）前面における水位の時系列データ



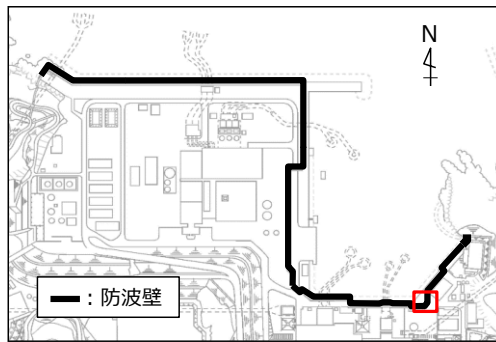
防波扉（1号機北側）前面における水位及び流速の時系列データ

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

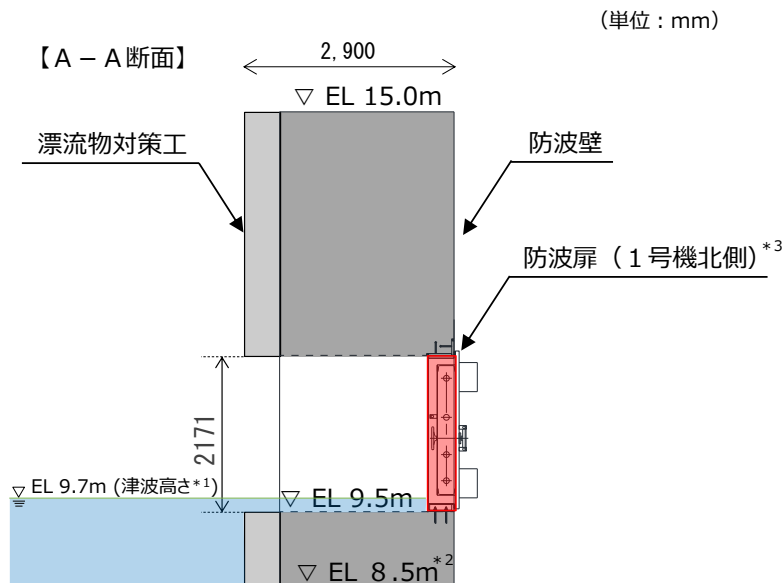
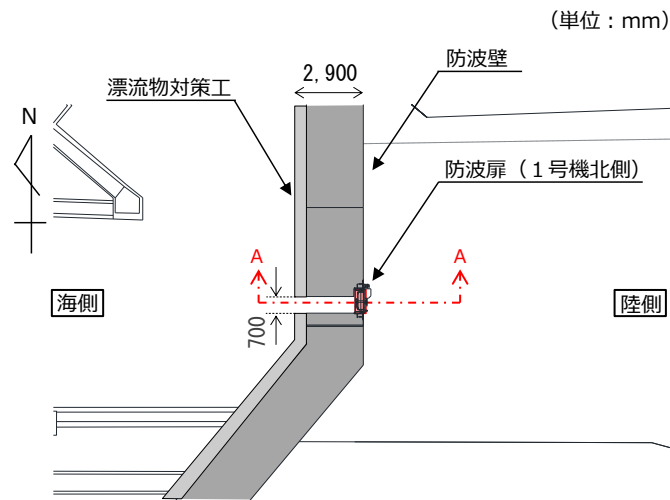
図 3-4 防波壁通路防波扉（1号機北側，2号機北側）前面における水位及び流速の時系列分布図

（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）】



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

##### (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。

##### (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「a. 津波が発生する場合」と「b. 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。

##### (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) 評価内容

###### a. 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	漂流物対策工開	漂流物対策工閉	防波扉閉								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	漂流物対策工開	漂流物対策工閉	防波扉閉								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	漂流物対策工開	漂流物対策工閉	防波扉閉								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	漂流物対策工開	漂流物対策工閉	防波扉閉								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	漂流物対策工開	漂流物対策工閉	防波扉閉								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	漂流物対策工開	漂流物対策工閉	防波扉閉								約70分	
④防眩材設置作業	電動操作	防波扉開	車両退避	漂流物対策工開	漂流物対策工閉	防波扉閉									約30分	○ 【約110分までに退避可能】
	手動操作	防波扉開	漂流物対策工開	車両退避	漂流物対策工閉	防波扉閉									約70分	

図 4.6-1 荷揚場作業における退避に要する時間

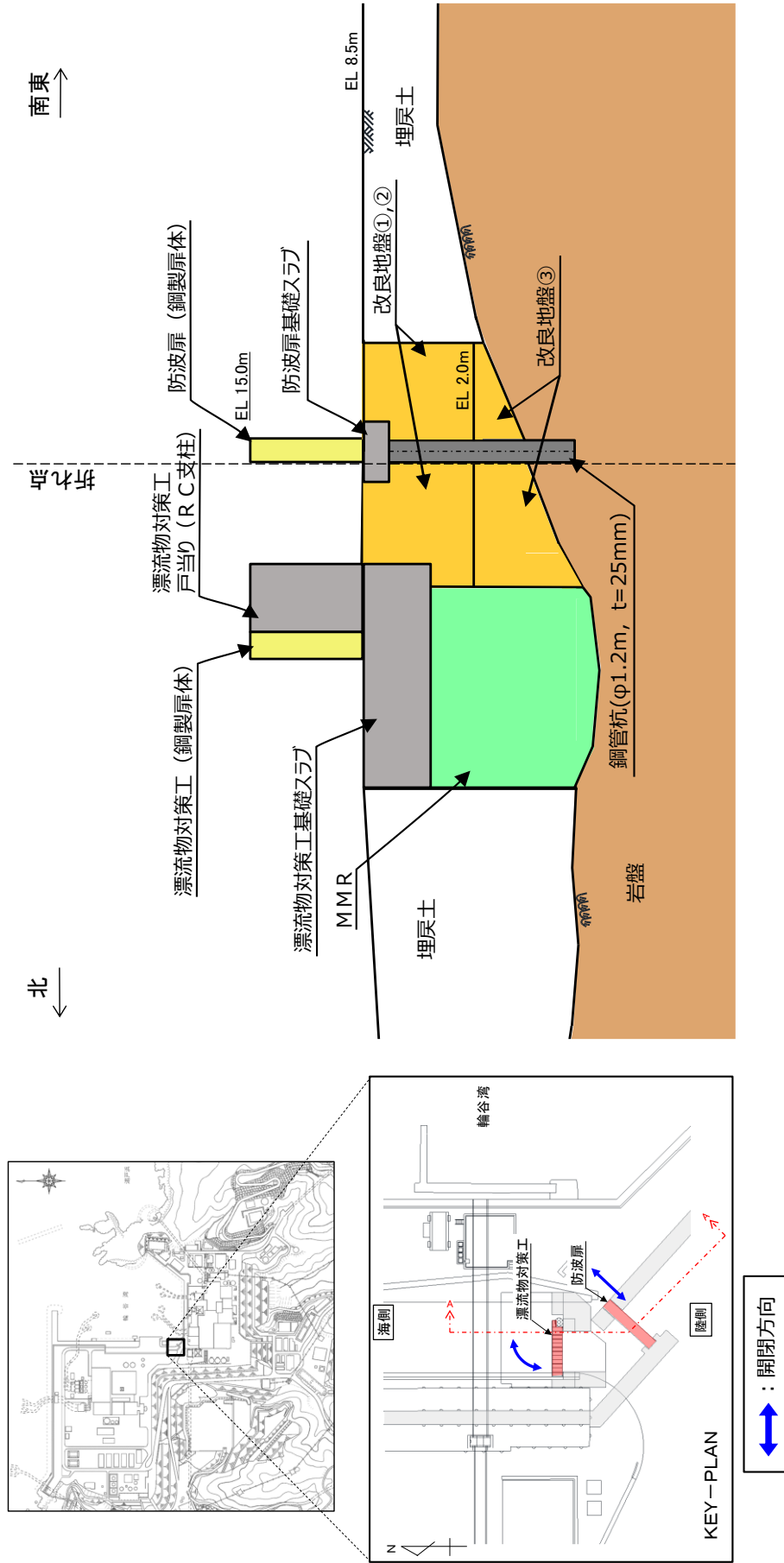
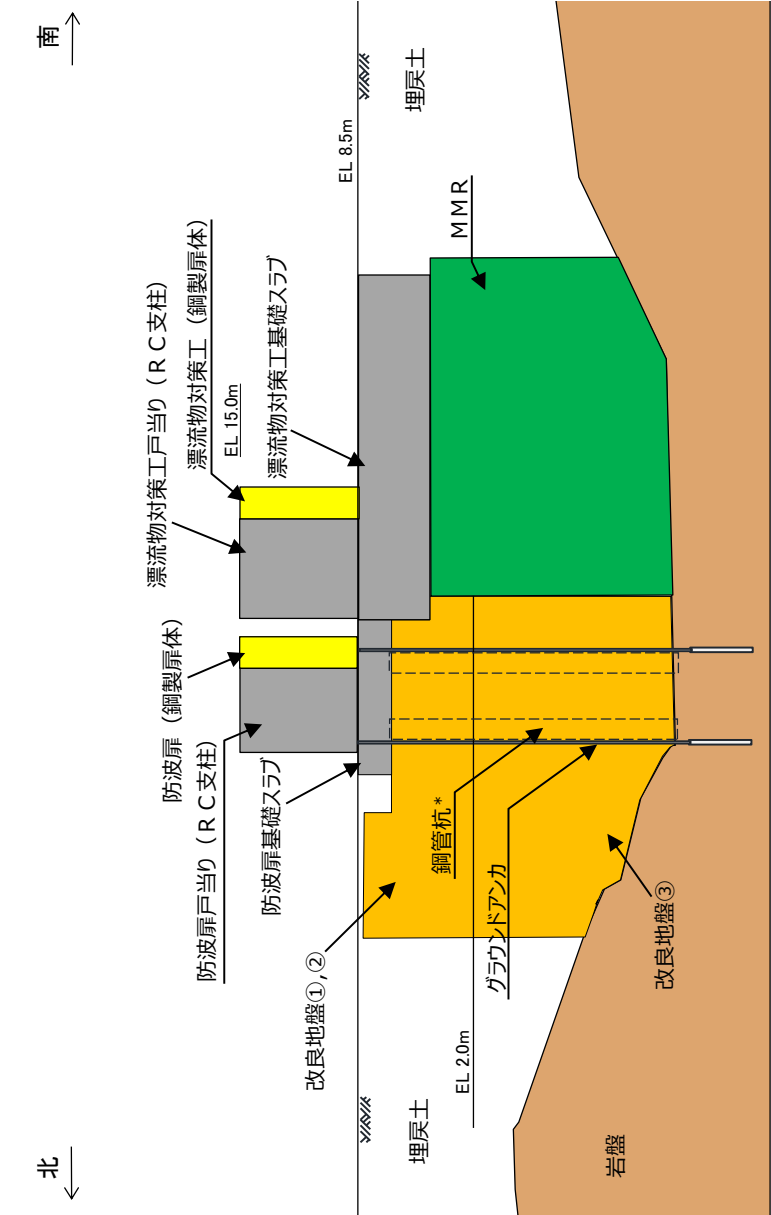


図 4.6-2(1) 防波扉 (荷揚場南) の構造概要図



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。

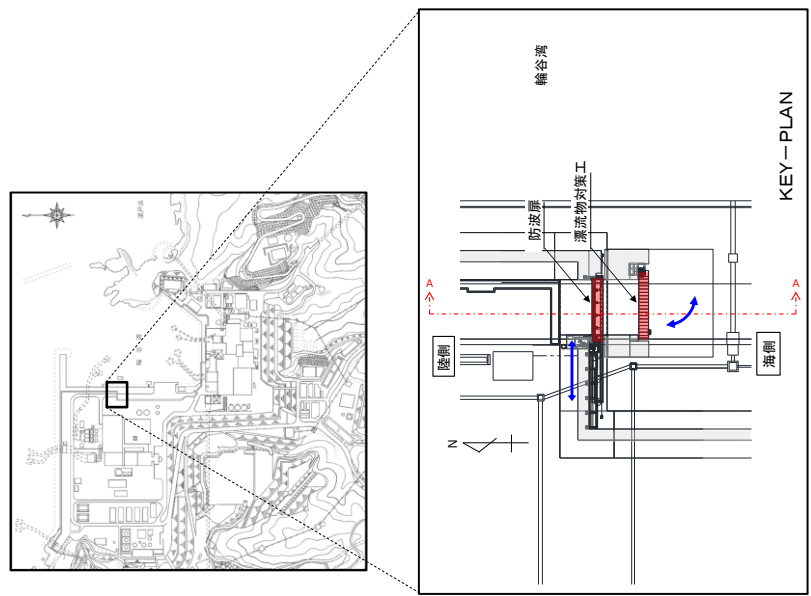


図 4.6-2(2) 防波扉（3号機東側）の構造概要図



b. 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、以下のイ.～ニ.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。

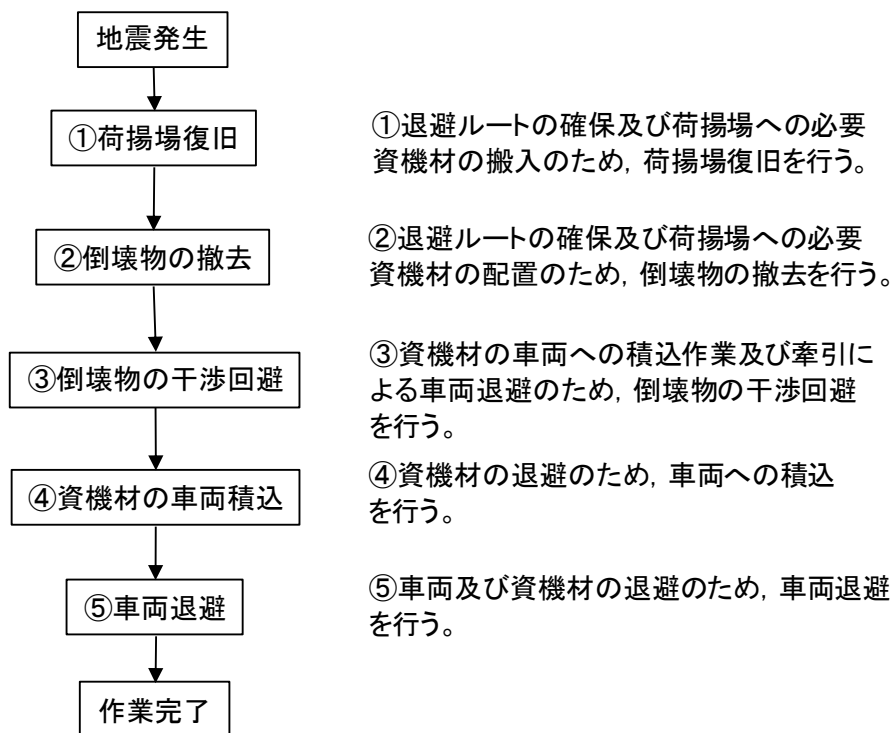


図 4.6-3 荷揚場からの車両・資機材の退避作業手順

#### イ. 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

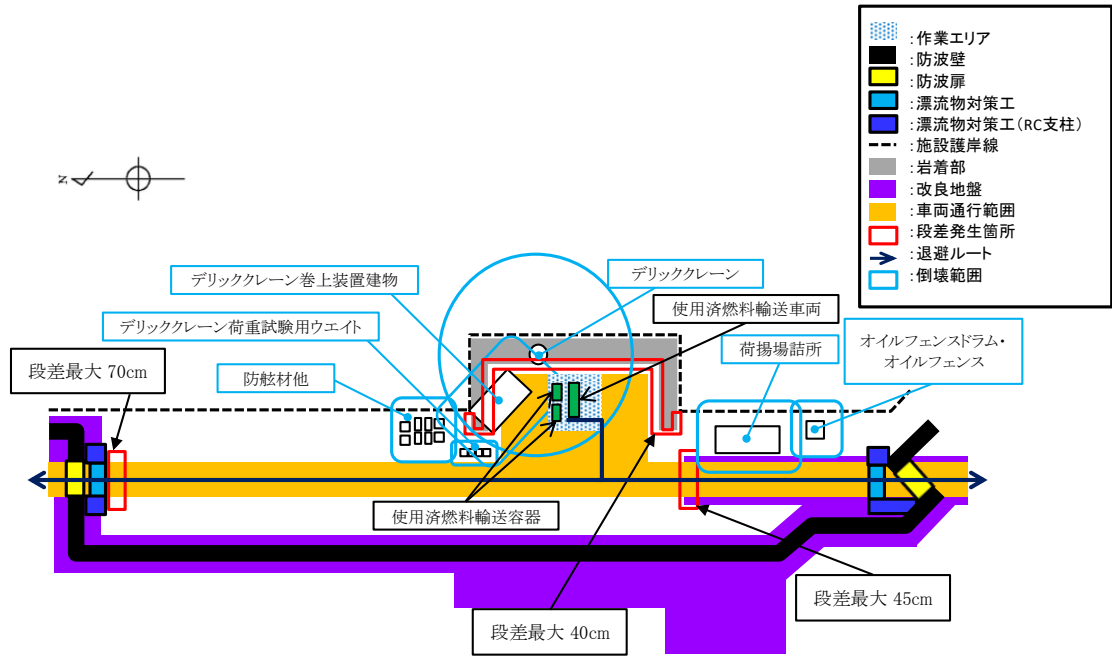


図 4.6-4 使用済燃料輸送作業の荷揚場作業と退避ルートの概要図

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 碎石積込 碎石運搬 碎石敷設等	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 4.6-5 退避作業に係る時系列 (使用済燃料輸送作業)

ロ. 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	・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

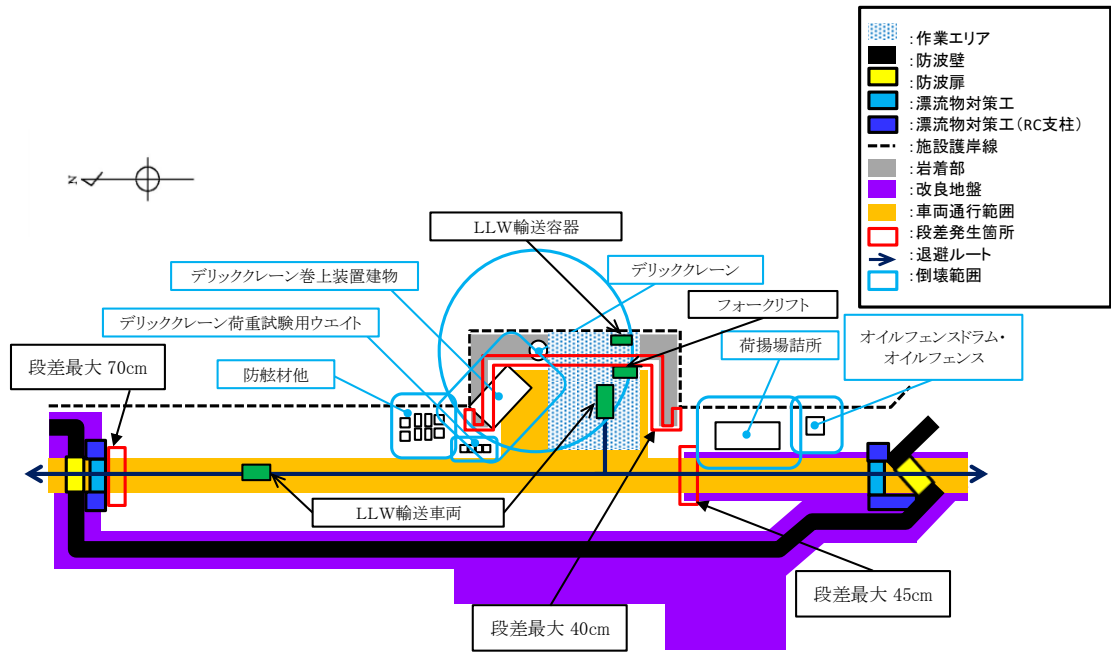


図 4.6-6 LLW 搬出作業の荷揚場作業と退避ルートの概要図

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)

ハ. 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

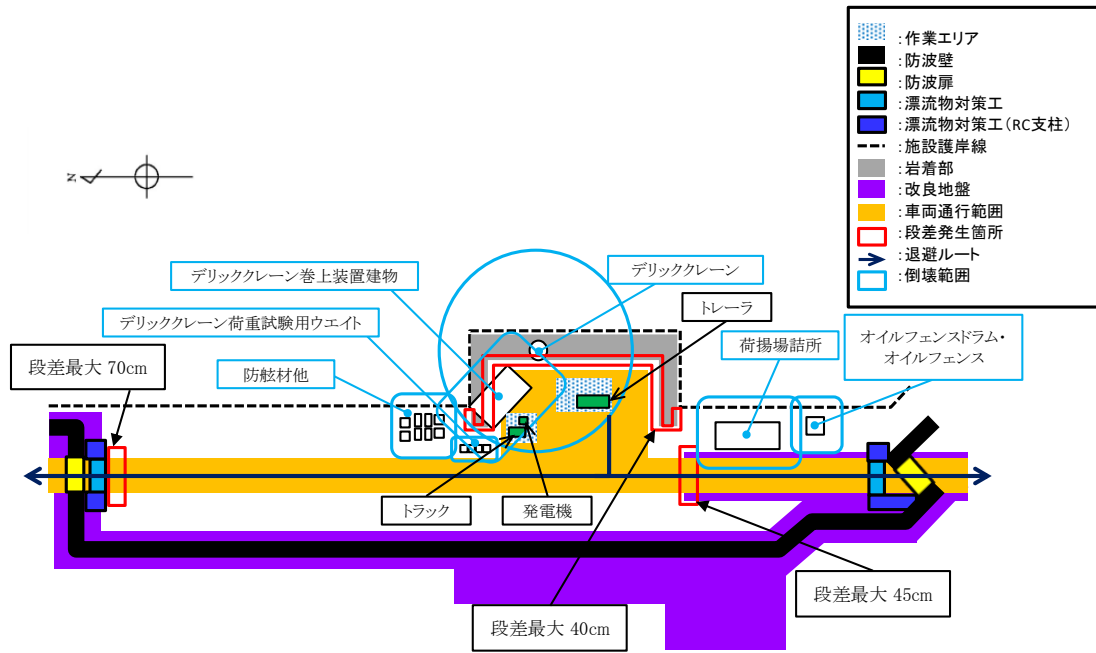


図 4.6-8 デリッククレーン点検作業の荷揚場作業と退避ルートの概要図

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	■			
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 4.6-9 退避作業に係る時系列 (デリッククレーン点検作業)



## 二. 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

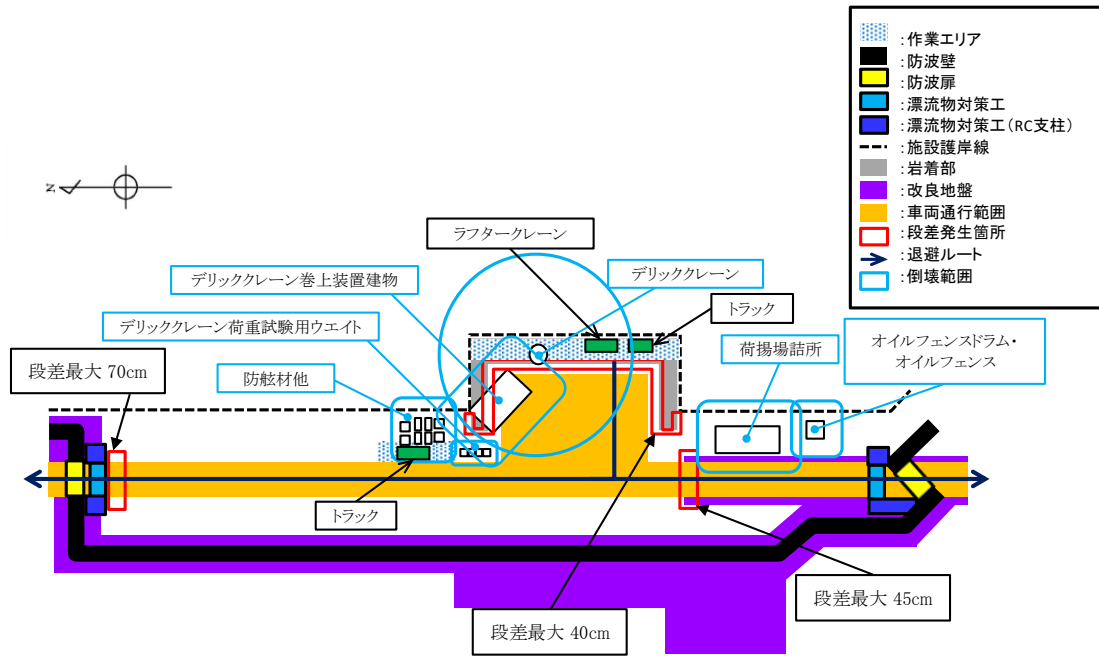


図 4.6-10 防舷材設置作業の荷揚場作業と退避ルートの概要図

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 碎石積込 碎石運搬 碎石敷設等	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車両・資機材退避 作業車両移動 車両接続 牽引等	3				■

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)。

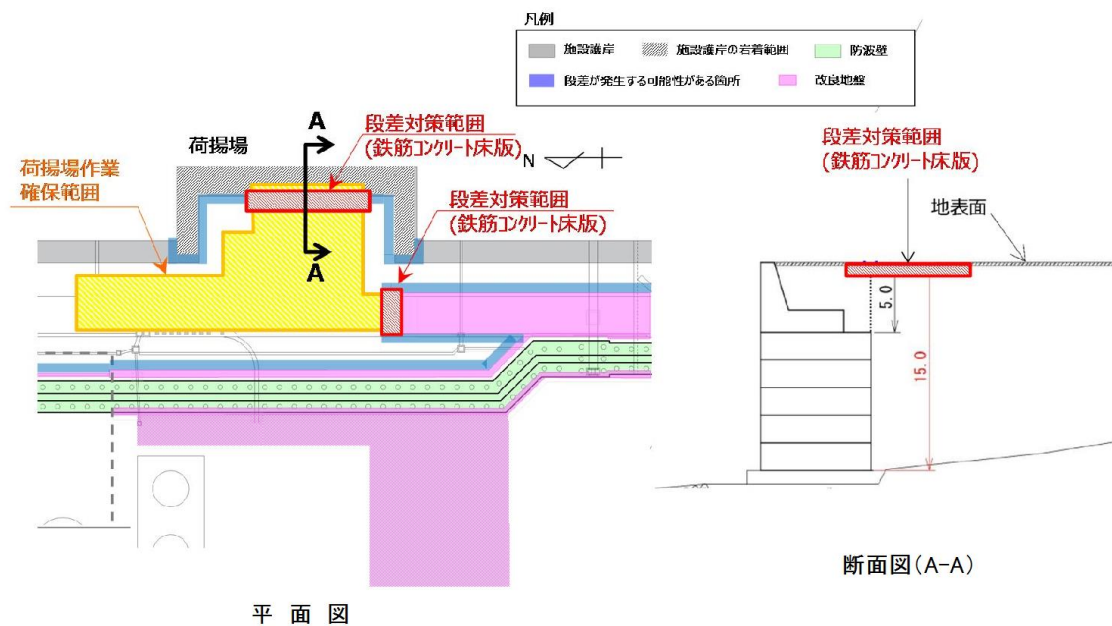


図 4.6-12 段差対策範囲

(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、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

##### (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。

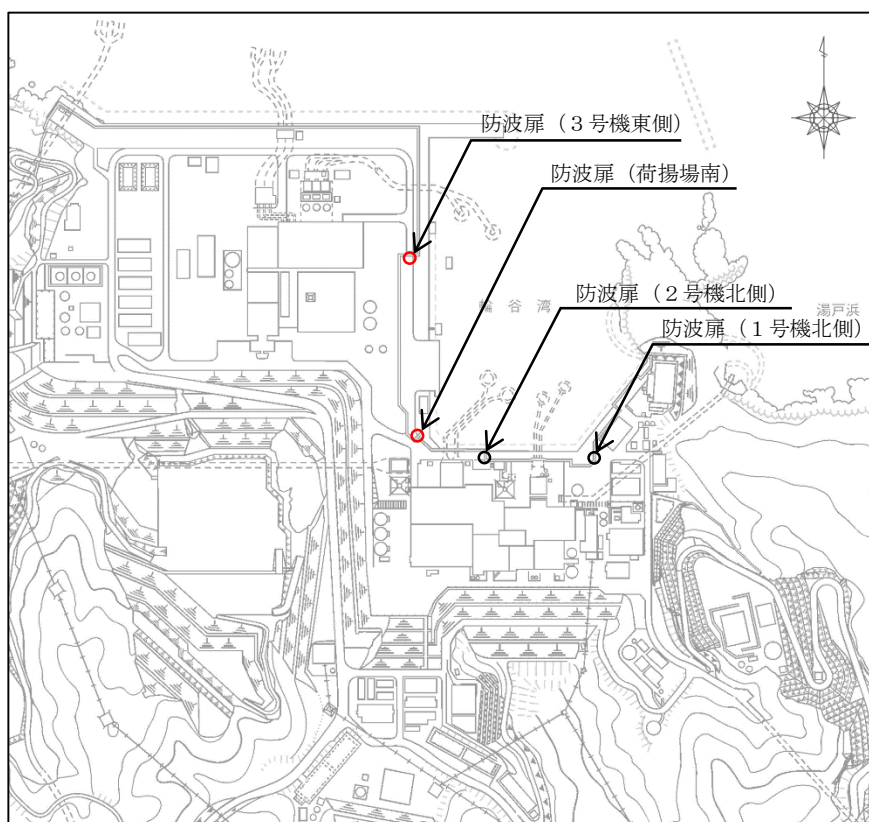


図 4.7.1-1 防波扉の配置図

## (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。

## (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) 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

## 5. 浸水防護施設の設計における補足説明

### 5.1 耐津波設計における現場確認プロセス

#### (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

##### a. 基準要求

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。

##### b. 作成プロセス

上記要求事項を満足するために，図 5.1-1 に示すフローに従って敷地モデルを作成した。次の(a)～(d)にプロセスの具体的内容を示す。

#### (a) 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。

#### (b) 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既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，安全側の評価となるよう対象外とした。

イ. 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。

ロ. 現場調査

上記イ. 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、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。

(c) 敷地モデルの作成

(b) 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。

(d) 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(a)及び(b)に戻り再度モデルを構築する。

c. 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。

d. 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。



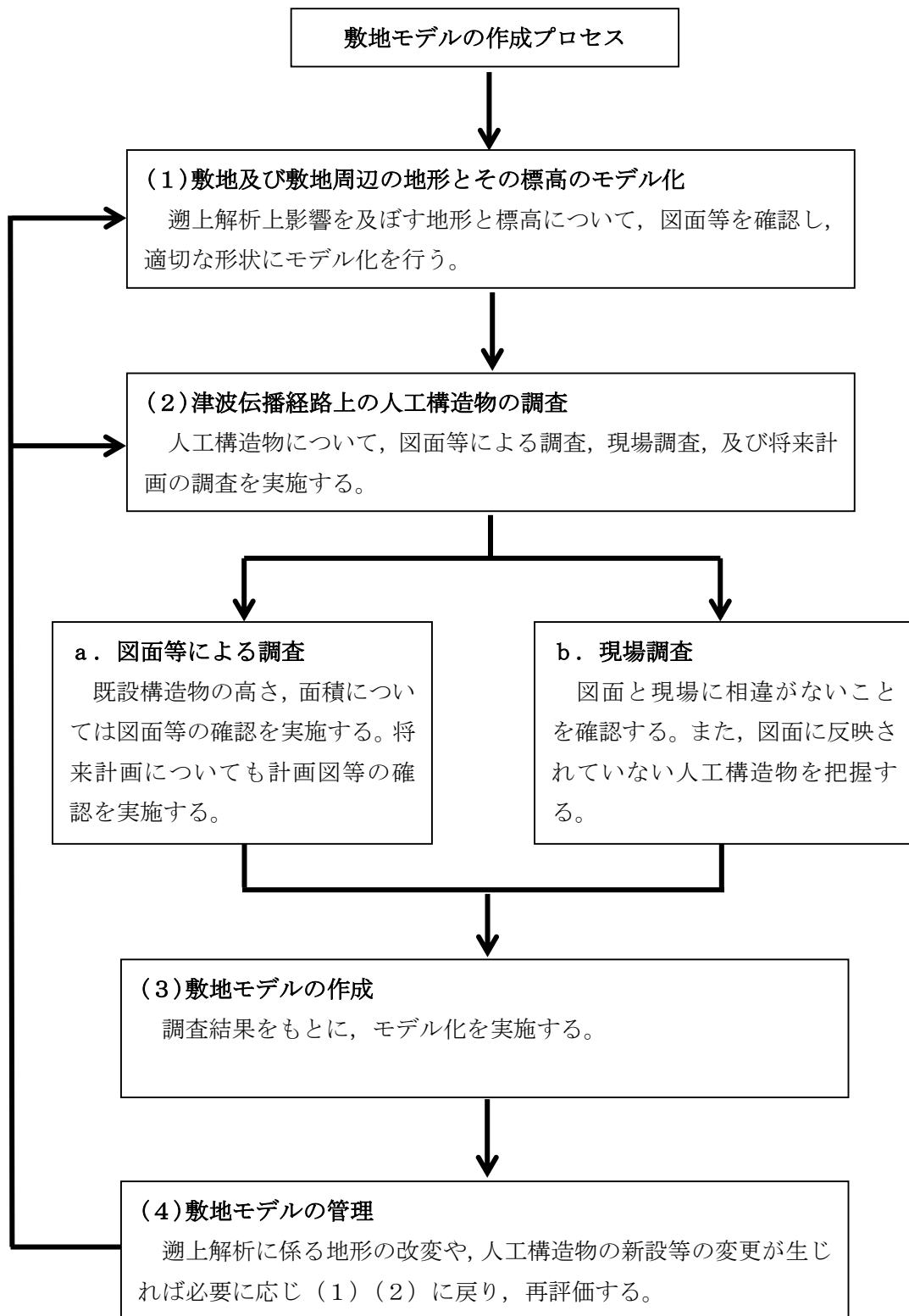


図 5.1-1 敷地モデル作成に関する現場確認プロセスフロー図

### (3) 耐津波設計に関する入力条件等の設定プロセス

#### a. 基準要求

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。

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に準じている。

#### b. 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 5.1-2 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(a)～(c)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。

#### (a) 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。

##### イ. 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箇所・寸法等を確認し、入力条件等を設定する。

##### ロ. 現場調査

イ. 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。

#### (イ) 津波防護対象設備

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。

(ロ) 外郭防護 1 (遡上波の地上部からの到達及び流入防止)

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、又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。

(ハ) 外郭防護 1 (取水路、放水路等の経路からの流入防止)

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、津波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。

(ニ) 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。

(ホ) 内郭防護 (重要な安全機能を有する施設の隔離)

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。

(ヘ) 漂流物

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、津波防護施設、浸水防止設

備及び津波監視設備に対する漂流物を選定するとともに、取水性に影響を与えないことを確認する。

(b) 耐津波設計の成立性の確認

上記(a)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、新たに流入防止が必要となる場合は、対策を実施する。

(c) 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、再確認する。

c. 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。

d. 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、必要に応じて入力条件等の再設定・再確認を実施する。

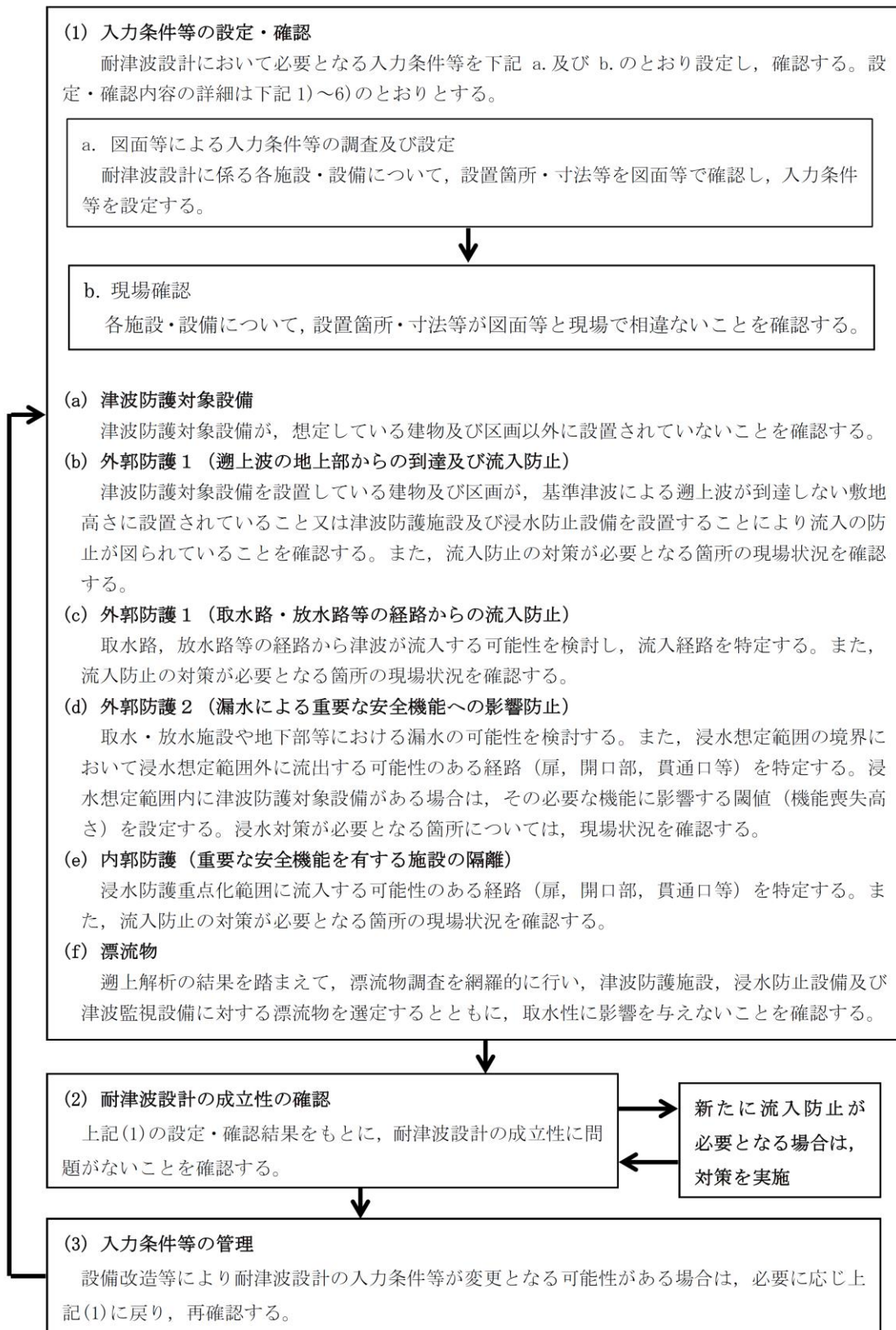


図 5.1-2 耐津波設計の入力条件等の設定・確認フロー図

## 5.2 津波監視設備の設備構成及び電源構成

本資料は、津波監視設備の中央制御室における監視機能及び非常用電源設備からの給電について説明するものである。

### (1) 津波監視設備の設計

「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則」の主な要求事項と対応する設計内容を以下に記載する。

#### ○第四条（地震による損傷の防止）

耐震重要施設である津波監視設備（敷地における津波監視機能を有する施設）は、耐震重要度Sクラス設計とし、下位クラスに属するものの波及的影響により機能が損なわれないこと。また、常時作用している荷重及び運転時に作用する荷重等と基準地震動による地震力の組合せに対して、設備に要求される機能を保持し、必要に応じて津波による荷重の組合せを考慮すること。

#### 【設計内容】

津波監視設備は耐震重要度Sクラスの設計とする。

電源については、耐震性を有する、非常用所内電気設備及び非常用直流電源設備から受電する設計とする。

#### ○第五条（津波による損傷防止）

入力津波に対して津波監視機能が保持できること。なお、「津波監視設備」とは、取水槽水位計、並びに津波の来襲状況を把握できる津波監視カメラをいう。

津波の影響（波力及び漂流物の衝突等）に対して、影響を受けにくい位置への設置及び影響の防止策・緩和策等を検討し、入力津波に対して津波監視機能が十分に保持できるよう設計すること。

#### 【設計内容】

津波監視カメラは基準津波の影響を受けない高所の2号機排気筒（EL 64.3m）、3号機北側の防波壁上部東側（EL 15.0m）及び3号機北側の防波壁上部西側（EL 15.0m）に設置する設計とする。

取水槽水位計は、基準津波の圧力に十分に耐えられる設計とする。また、漂流物が衝突する恐れのない位置に設置する。

#### ○第二十六条（原子炉制御室等）

原子炉制御室から、発電用原子炉施設に影響を及ぼす可能性のある自然現象等（津波含む）を把握できること。

#### 【設計内容】

中央制御室は、発電用原子炉施設の外の状況を把握するために、2号機排気塔、3号機北側の防波壁上部東側及び3号機北側の防波壁上部西側に設置する津波監視カメラの可視光及び赤外線映像により、自然現象等の外部事象を昼夜にわたり監視できる設計とする。

(2) 津波監視設備の設備構成

津波監視設備の映像及び観測データは中央制御室で監視可能な設計とする。津波監視設備の映像及び観測データの伝送方法を表 5.2-1, 津波監視カメラの概略構成図及び取水槽水位計の概略構成図を図 5.2-1 及び図 5.2-2 に示す。

表 5.2-1 津波監視設備の映像及び観測データの伝送方法

津波監視設備	設置場所	数量	伝送方法
津波監視カメラ	2号機排気塔	1	有線
	3号機北側の防波壁上部東側	1	
	3号機北側の防波壁上部西側	1	
取水槽水位計	2号機取水槽	2	有線

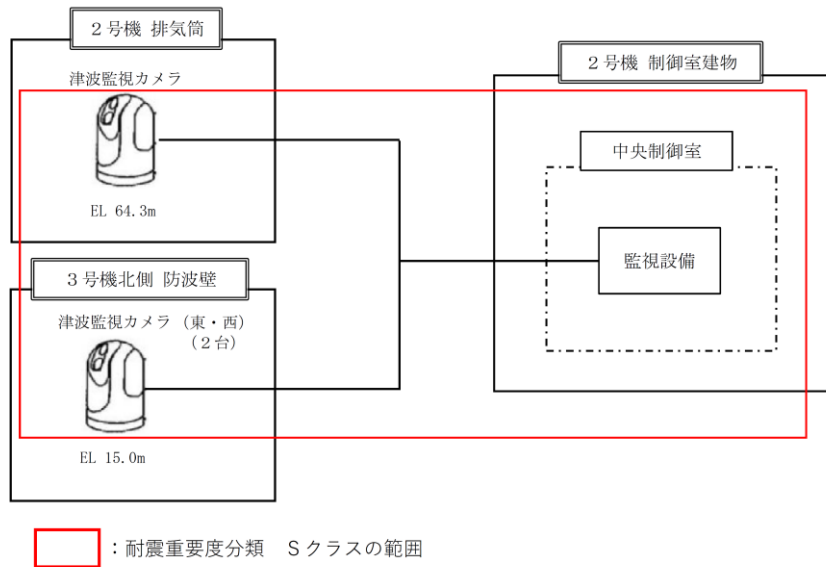


図 5.2-1 津波監視カメラの概略構成図

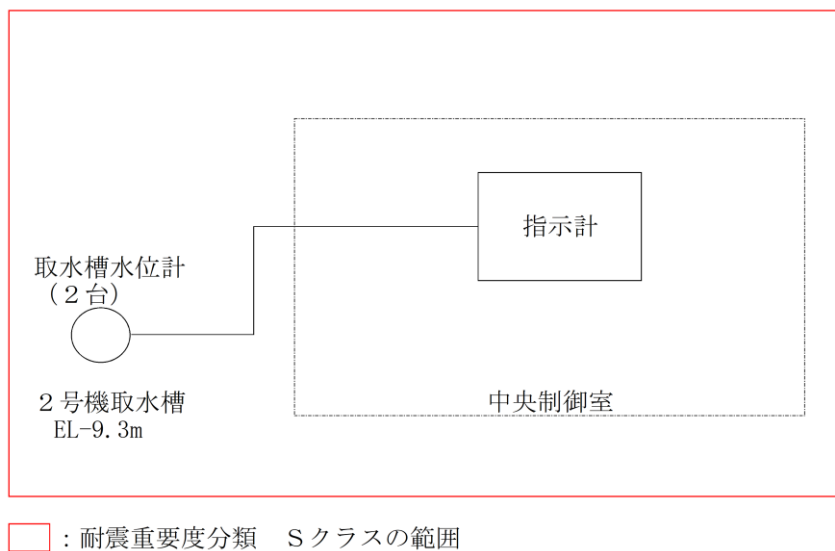


図 5.2-2 取水槽水位計の概略構成図



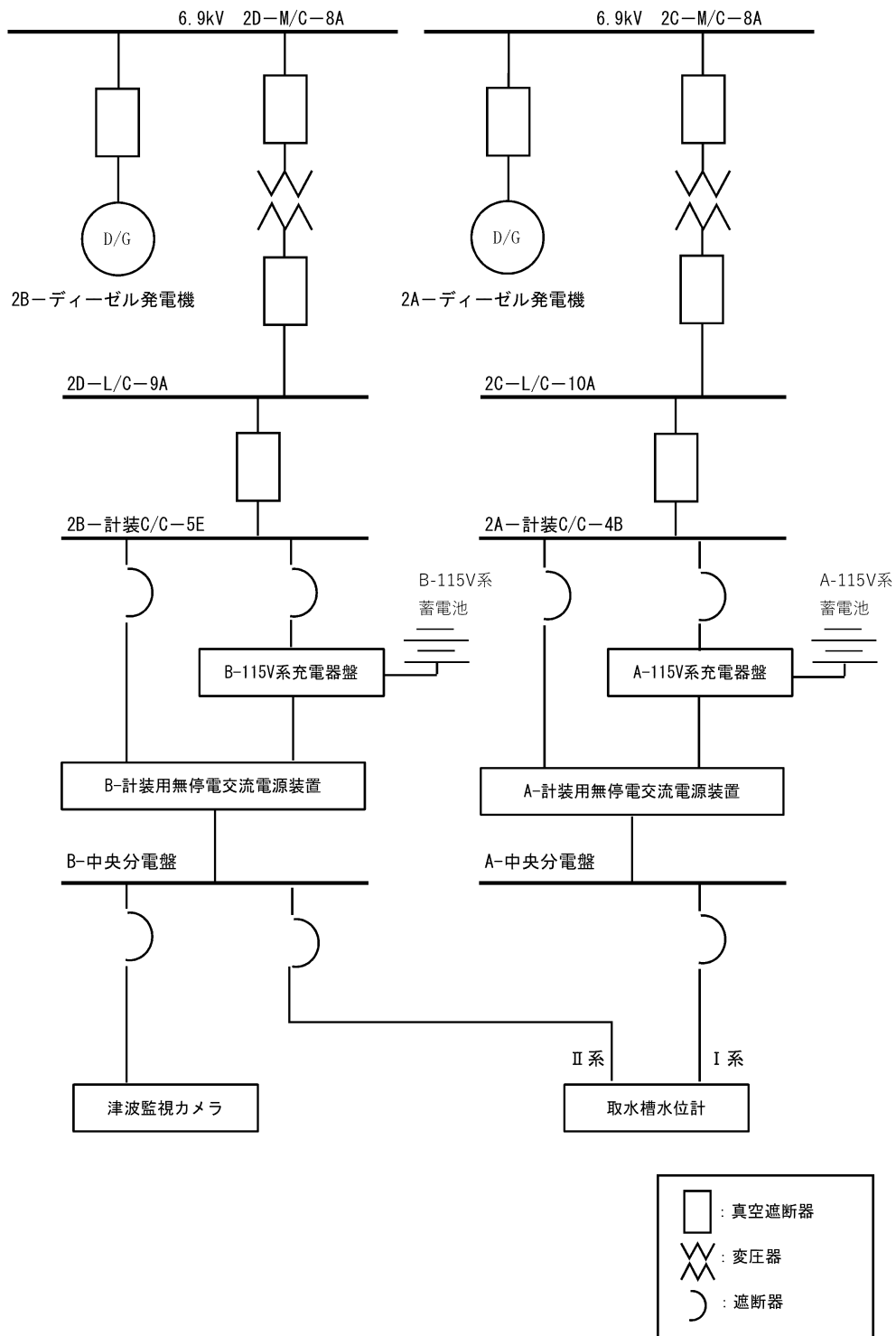
(3) 津波監視設備の電源

津波監視設備の電源は通常時、非常用所内電気設備から受電し、全交流動力電源喪失時は非常用直流電源設備から8時間受電可能な設計とする。また、常設代替交流電源設備を起動し、約70分後から受電することで、継続して監視可能な設計とする。

津波監視設備の電源供給を表5.2-2、津波監視設備の概略電源構成図及び配置図を図5.2-3及び図5.2-4、津波監視カメラの映像イメージを図5.2-5に示す。

表5.2-2 津波監視設備の電源供給

津波監視設備	設置場所	数量	電源	
			通常時	SBO時
津波監視カメラ	2号機排気筒	1	非常用所内 電気設備	非常用直流 電源設備
	3号機北側の防波壁上部東側	1		
	3号機北側の防波壁上部西側	1		
取水槽水位計	2号機取水槽	2		



注：M/C はメタルクラッドスイッチの略称  
 L/C はロードセンタの略称  
 C/C はコントロールセンタの略称

図 5.2-3 津波監視設備の概略電源構成図

津波監視カメラ

設置位置: 2号機排気筒 EL 64.3m

3号機北側の防波壁上部(東・西) EL 15.0m

視野角: 360° , 垂直±90° (排気筒による死角を除く)

図中矢印はカメラの監視範囲を示す。

取水槽水位計

設置位置: 2号機取水槽 EL-9.3m

測定範囲: EL 10.7m~EL-9.3m

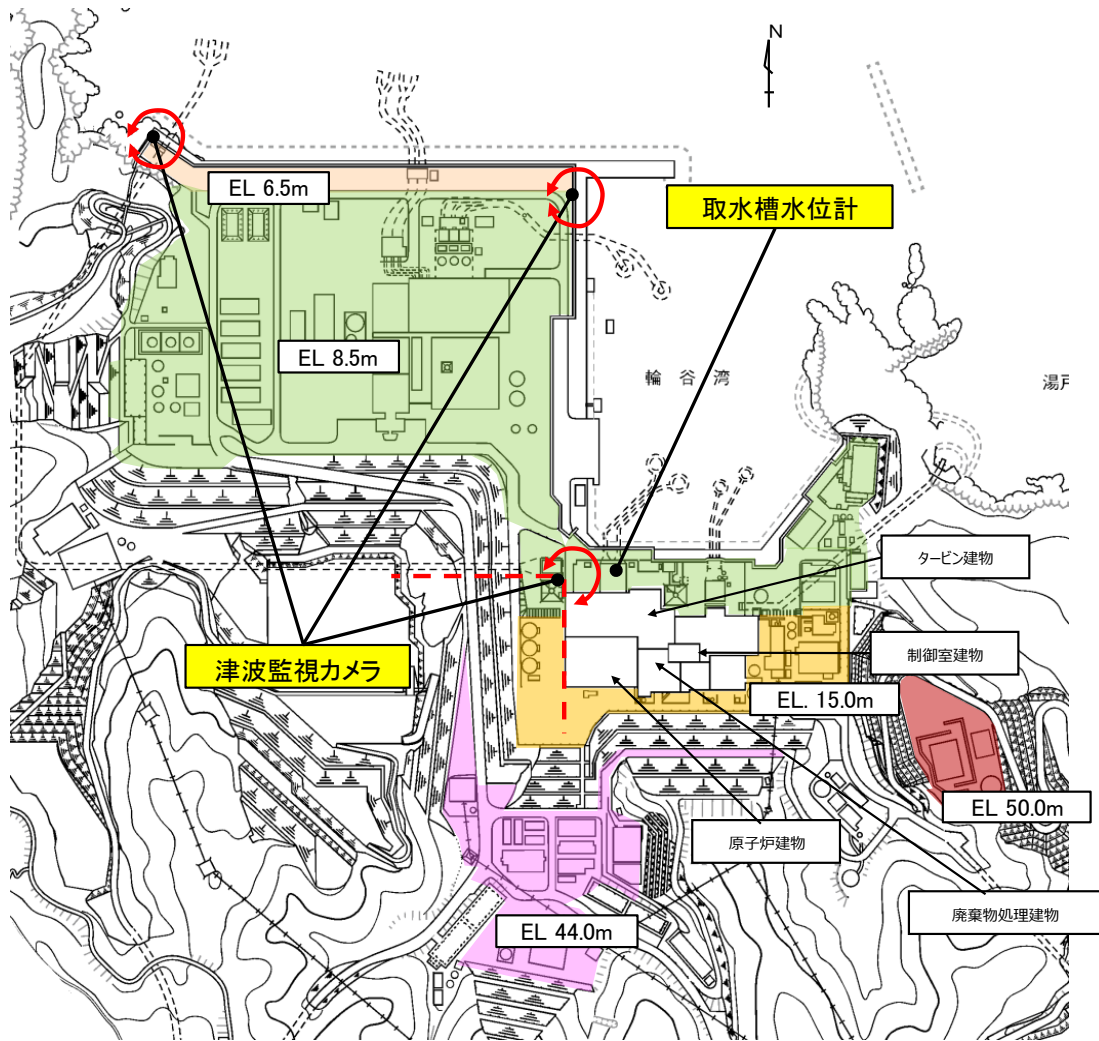


図 5.2-4 津波監視設備の配置図

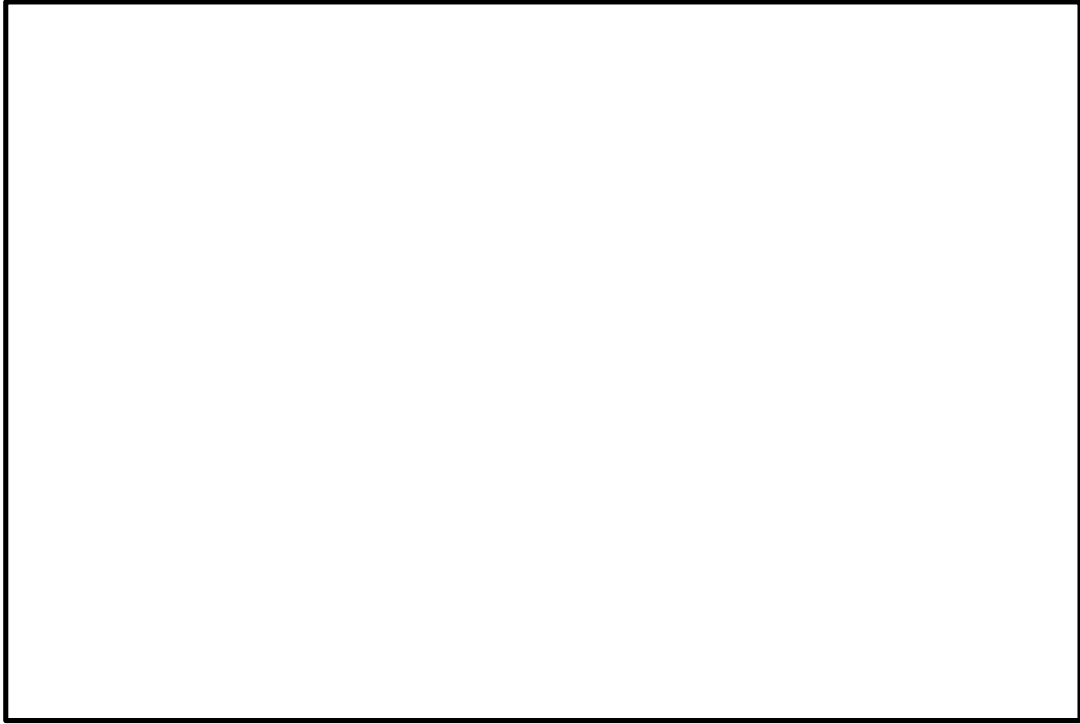


図5.2-5(1) 津波監視カメラ映像イメージ (排気筒EL 64.0mからの視野)

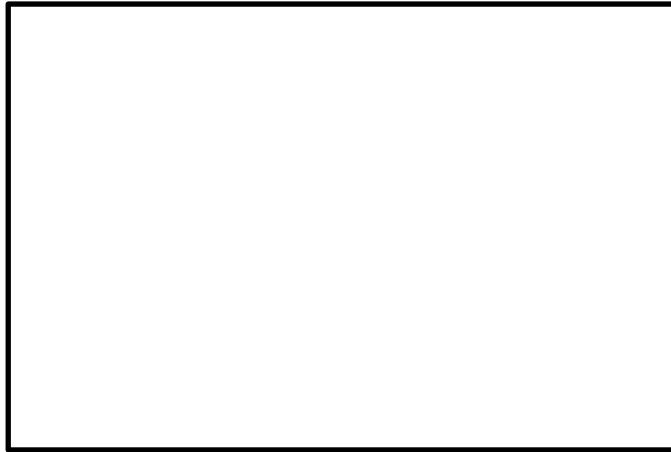


図5.2-5(2) 津波監視カメラ映像イメージ (暗視映像)

### 津波監視設備の緊急時対策所での監視について

#### (1) 津波監視設備の設計について

津波監視設備は、耐津波設計に係る設工認審査ガイドで要求されている、以下の【規制基準における要求事項等】を満足させる設計とする必要がある。

#### 【規制基準における要求事項等】

津波監視設備については、津波の影響（波力、漂流物の衝突等）に対して、影響を受けにくい位置への設置、影響の防止策・緩和策等を検討し、入力津波に対して津波監視機能が十分に保持できるよう設計すること。

そのため、島根2号機では上記要求を満足する津波監視設備として、津波監視カメラ及び取水槽水位計を設置することとしており、監視場所は運転及び事故時操作を行う中央制御室としている。

津波監視カメラは、中央制御室にて監視することを基本としているが、緊急時対策所でも現場状況の確認が可能となるように、緊急時対策所に自主設備として監視設備を設置する。なお、中央制御室における監視機能（上位クラス）から緊急時対策所における監視機能（下位クラス）に伝送するラインは、下位クラスの故障が上位クラスに波及することがない設計としていることから、中央制御室での監視に影響を及ぼさない。図1に概要図を示す。

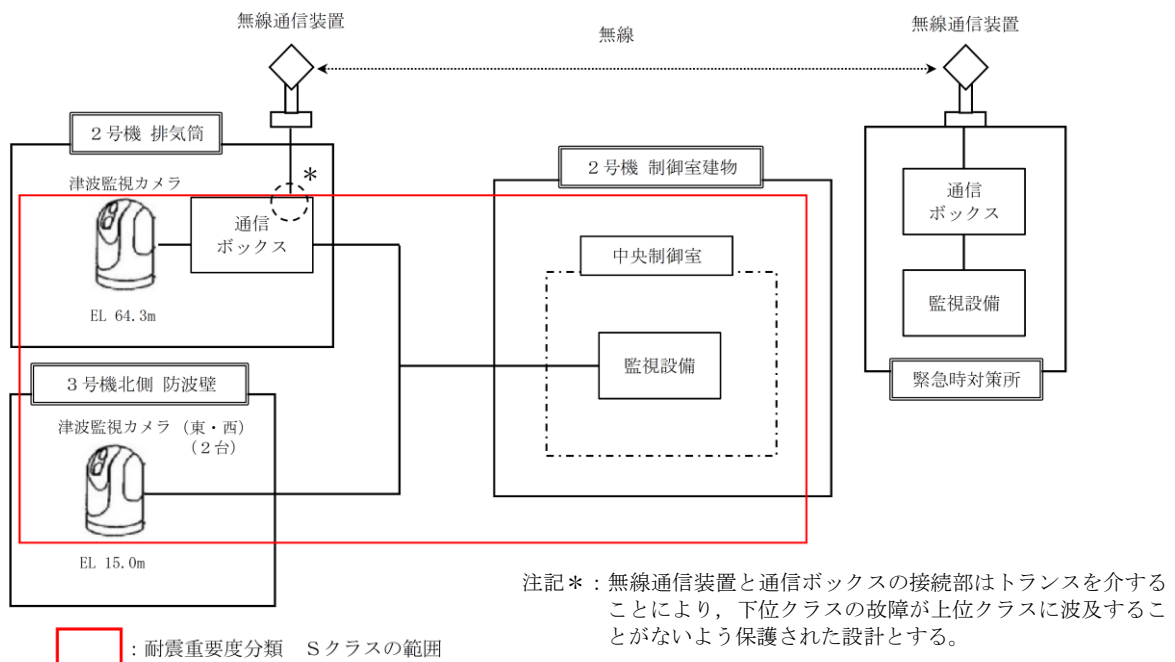


図1 津波監視カメラの概略構成図（緊急時対策所）

### 5.3 津波による溢水に対して浸水対策を実施する範囲の考え方

タービン建物内の浸水防護重点化範囲に対して、循環水系配管の破損個所から津波が流入しないよう復水器を設置するエリアとの境界に防水壁等を設置することとしている。

設工認申請段階として、タービン補機海水系インターロックによる弁閉止時間等を設定し、浸水防護重点化範囲の境界における浸水水位等の再評価を行った。

ここでは、以下の4項目について設置許可変更申請段階の説明内容との変更箇所を整理し、説明する。

- (1)タービン建物（復水器を設置するエリア）等の浸水防護重点化範囲の変更
- (2)タービン建物（復水器を設置するエリア）の評価
- (3)タービン建物（Sクラスの設備を設置するエリア（西））の評価
- (4)取水槽循環水ポンプエリアの評価

：「島根原子力発電所2号炉 津波による損傷の防止」記載内容（抜粋）  
 水色着色：変更箇所 ①等で識別

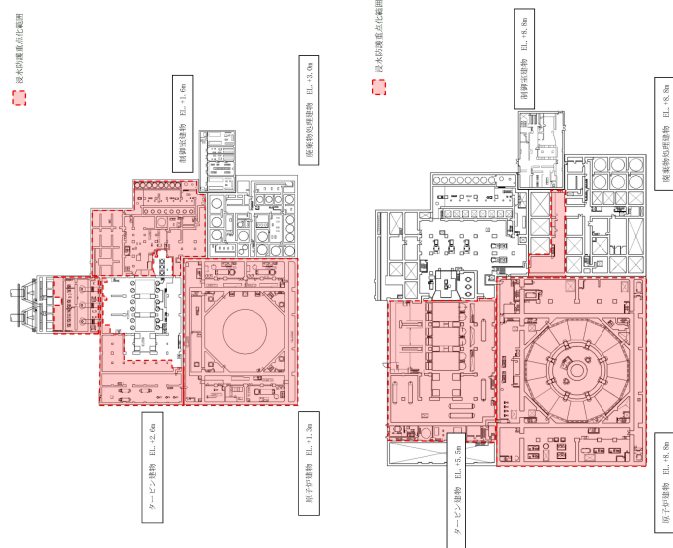
：添付書類VI-1-1-3-2-4「入力津波による津波防護対象設備への影響評価」（抜粋）  
 赤下線：今回の評価における追加内容 ①等で識別

(1) タービン建物（復水器を設置するエリア）等の浸水防護重点化範囲の変更

設置許可申請段階の評価内容

P. 5 条一別添 1- II -2-51, 54, 55, 57

2.4.1 浸水防護重点化範囲の設定



第 2.4-2 図(1) 浸水防護重点化範囲（平面図）

今回の評価内容

P. 47, 50, 51

(3) 評価結果

a. 浸水防護重点化範囲の設定

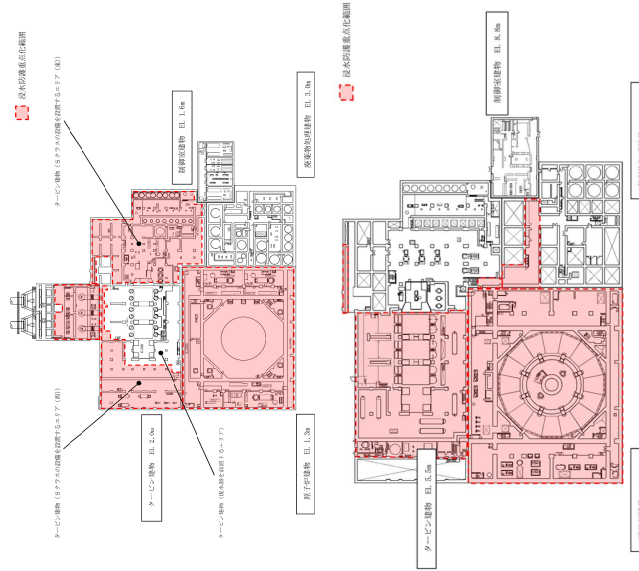
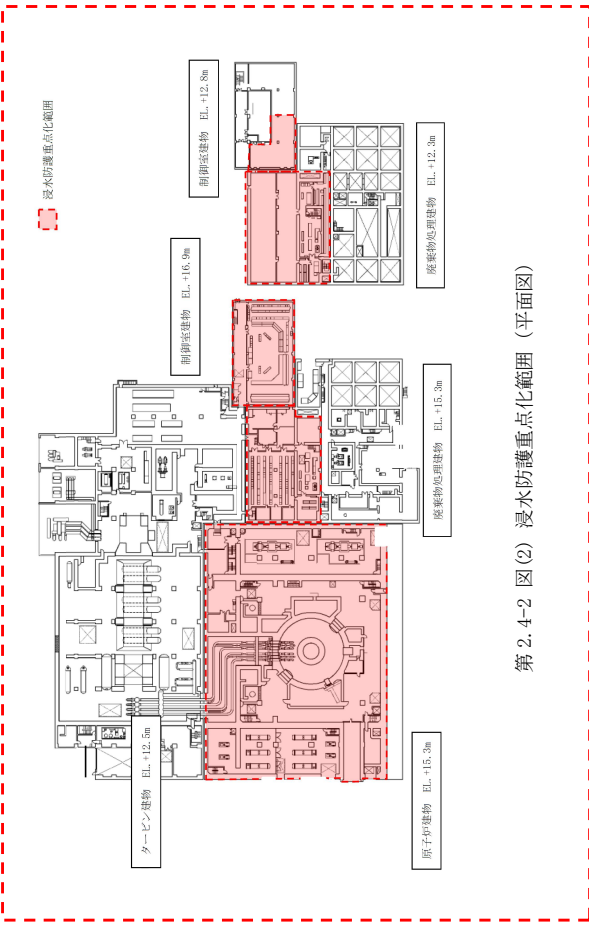


図 3-29(1) 浸水防護重点化範囲（平面図）（1/4）

設置許可申請段階の評価内容



第 2.4-2 図(2) 浸水防護重点化範囲 (平面図)

今回の評価内容

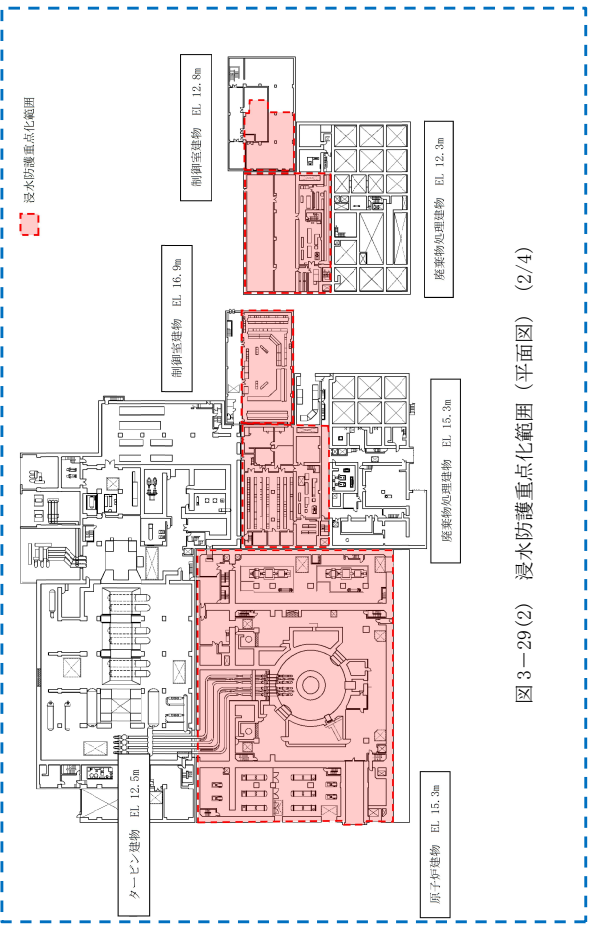


図 3-29(2) 浸水防護重点化範囲 (平面図) (2/4)

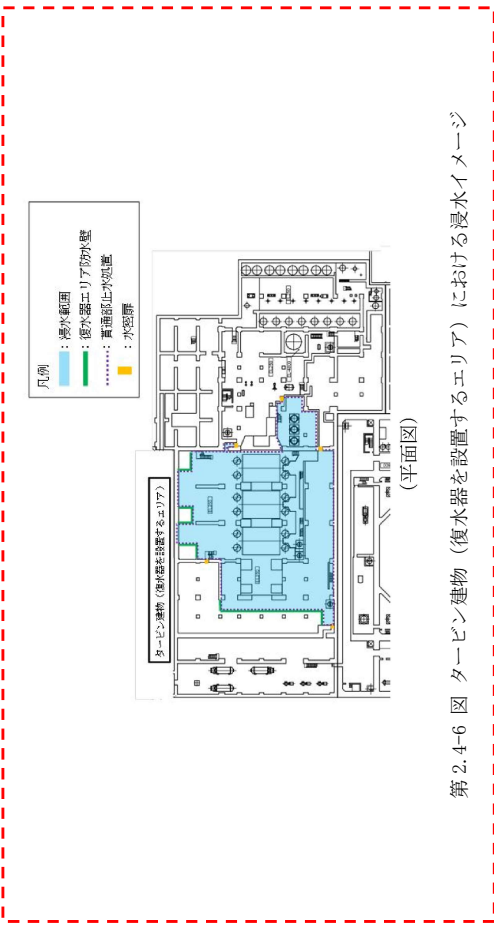
【変更内容】

・タービン建物 (復水器を設置するエリア) 等の浸水防護重点化範囲の変更

【変更理由】

- ・タービン建物 (復水器を設置するエリア) の浸水高さが上階 EL. 5.5mに到達しないよう復水ポンプ室を同エリアに含め滞留可能容積を確保していたが、タービン補機海水系の弁閉止インタンローックに係る詳細設計の反映 (漏えい検知高さの設定) による溢水量の低減及び防水壁の設計反映を踏まえた容積の見直しにより、復水器を設置するエリアに復水ポンプ室を含めることなく、浸水高さを EL. 5.5m以下にできることを確認したため
- ・タービン建物 (EL. 5.5m)、廃棄物処理建物 (EL. 15.3m) 及び制御室建物 (EL. 12.8m) の一部に S クラスの設備 (電路) の敷設を確認したため
- ・タービン建物 (S クラスの設備を設置するエリア (東)) 及び制御室建物 (EL. 16.9m) のうち、S クラスの設備を設置していないエリアを確認したため





第 2.4-6 図 タービン建物 (復水器を設置するエリア) における浸水イメージ (平面図)

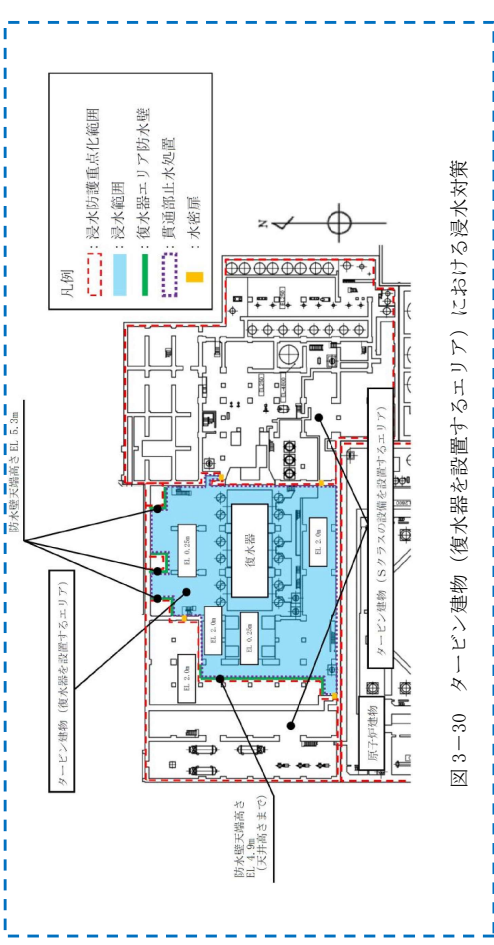


図 3-30 タービン建物 (復水器を設置するエリア) における浸水対策

【変更内容】

- ・復水ポンプ室北東水密扉の削除
- 【変更理由】
- ・タービン建物 (復水器を設置するエリア) の範囲を見直したため

(2) タービン建物（復水器を設置するエリア）の評価

設置許可申請時の評価内容

P. 5 条-別添 1-II-2-63, 64

(2) 浸水量評価

a. タービン建物（復水器を設置するエリア）における溢水

本事業による浸水量評価については、「設置許可基準規則第9条（溢水による損傷の防止等）」に対する適合性（参考資料2第9章9.1）において「復水器エリアにおける溢水」として説明している。

評価条件、評価結果等の具体的な内容を添付資料H10に抜粋して示す。

添付資料H10に示すとおり、本事業による浸水位は第2.4-5図のとおりとなる（「設置許可基準規則第9条（溢水による損傷の防止等）」に対する適合性（第9章9.1）表9-12より転載）。また、浸水イメージは第2.4-6図のとおりとなる。

なお、評価にあたっては「設置許可基準規則第9条（溢水による損傷の防止等）」における対策である循環水系に追設する循環水ポンプ出口弁、復水器水室出入口弁を閉止するインターロック（原子炉をスクラムさせる地震大信号及びタービン建物又は取水槽循環水ポンプエリアの漏えい検知信号で作動）を前提としている。

(2) 地震起因による浸水影響評価結果

地震起因による溢水量(5,989m<sup>3</sup>)は、復水器エリアの貯留可能容積(6,680m<sup>3</sup>)より小さいことから(溢水位EL4.8m)、復水器エリアに貯留可能で、原子炉建物、廃棄物処理建物及び制御室建物へ溢水の流出がないことを確認した。溢水水位の算出結果を表9-12に示す。

④ 5,989m<sup>3</sup> < 6,680m<sup>3</sup>  
(復水器エリアの貯留可能容積)

表9-12 地震起因による溢水水位算出結果

諸元	値
①EL2.0mより上部に滞留する溢水量*1	4,162[m <sup>3</sup> ]
②EL2.0mにおける復水器エリアの滞留面積	1,546[m <sup>2</sup> ]
③水上高さ	0.075[m]
④EL2.0mより上部に滞留する溢水水位*2	2.8[m] (EL4.8m)

※1 地震による溢水量(5,989m<sup>3</sup>)から表9-9におけるEL2.0m以下の空間容積(1,827m<sup>3</sup>)を差し引いた値

※2 以下の式より算出

$$\text{④} = \text{①} / \text{②} + \text{③}$$

第2.4-5図タービン建物（復水器を設置するエリア）における地震起因による溢水評価

また、津波の流入に対しては、「設置許可基準規則第9条（溢水による損傷の防止等）」に対する適合性（第9章9.1）における「復水器エリアにおける溢水」に示すとおり、循環水系に追加設置するインターロック（原子炉をスクラムさせる地震大信号及びタービン建物又は取水槽循環水ポンプエ

今回の評価内容

P. 54, 55, 56

b. 浸水防護重点化範囲の境界における浸水評価

(a) タービン建物（復水器を設置するエリア）における溢水の評価タービン建物（復水器を設置するエリア）における溢水の影響については、タービン補機海水ポンプ出口弁の弁閉止インターロックにより、タービン建物（復水器を設置するエリア）における溢水による浸水位が復水器エリア防水壁の高さを超えないことを評価する。

イ. タービン補機海水系配管の損傷箇所からの津波の流入量タービン補機海水系配管の損傷箇所からの溢水の漏えい検知時間は、溢水量、漏えい検知器設置高さ及びタービン建物（復水器を設置するエリア）の床面積から算出する。溢水量2,100m<sup>3</sup>/h×2台（タービン補機海水系の定格流量）、漏えい検知器設置高さ50mm及びタービン建物（復水器を設置するエリア）の床面積（表3-13）より、漏えい検知時間は約45秒となる。タービン補機海水ポンプ出口弁の閉止時間約60秒を考慮すると、地震発生から破損箇所隔離までの時間は約105秒となり、海域活断層から想定される地震による津波の到達（約3分）前にタービン補機海水ポンプ出口弁を閉止でき、津波の流入はない。①

表3-1 タービン建物（復水器を設置するエリア）の床面積及び容積\*

高さ(m)	面積(m <sup>2</sup> )	容積(m <sup>3</sup> )
EL 0.25~EL 2.0	約1,027	約1,798
EL 2.0~EL 4.9	約1,535	約4,452
EL 4.9~EL 5.3	約1,027	約411

注記\*：表の値は、算出結果に対して小数点以下を切り捨てた値を示す。

ロ. 循環水系配管の伸縮継手の損傷箇所からの津波の流入量

循環水系配管の伸縮継手の損傷箇所からの溢水の漏えい検知時間は、溢水量、漏えい検知器設置高さ及びタービン建物（復水器を設置するエリア）の床面積から算出する。

溢水量約233,534m<sup>3</sup>/h（表3-14）、漏えい検知器設置高さ50mm及びタービン建物（復水器を設置するエリア）の床面積（表3-13）より、漏えい検知時間は約1秒となる。②

循環水ポンプ出口弁及び復水器水室出入口弁の閉止時間約55秒を考慮すると、地震発生から破損箇所隔離までの時間は約56秒となり、海域活断層から想定される地震による津波の到達（約3分）前に循環水ポンプ出口弁及び復水器水室出入口弁を閉止でき、津波の流入はない。

表3-14 循環水系配管伸縮継手からの溢水流量

部位	部位数	内径 (mm)	破損幅 (mm)	溢水流量 (m <sup>3</sup> /h)
復水器水室出入口部	12	2,200	50	約233,534
復水器室連絡管部	6	2,100	50	

設置許可申請時の評価内容

アの漏えい検知信号で作動)により、津波来襲前に循環水ポンプの出口弁及び復水器水室出口弁の全閉により自動隔離し、また、第2.4-7 図(「設置許可基準規則第9条(漏水による損傷の防止等)」に対する適合性(第9章9.1)図9-3より転載)に示す範囲の配管及び弁について基準地震動Ssによる地震力に対してバウンダリ機能を保持することから、津波はタービン建物(復水器を設置するエリア)に流入しない。また、当該弁は津波来襲前に閉止しているため、津波による荷重が作用することから、津波時にも閉止状態を保持できる設計とし、評価方法等については、詳細設計段階で説明する。

P. 5条-別添1-添付10-2

(2) 地震起因による溢水量

循環水系配管の伸縮継手部からの溢水量に加え、タービン建物内の耐震B,Cクラス機器の保有水量から算出した。隔離時間は、地震発生から復水器エリアの漏えい検知インテックによる循環水ポンプ停止及び復水器水室出入口弁の閉止までの時間とした。算出した溢水量、隔離時間及び溢水量をそれぞれ表9-6~8に示す。

表9-6 伸縮継手部からの溢流量

部位	部位数	内径[mm]	破損幅[mm]	溢流量[m <sup>3</sup> /h]
復水器水室出入口部	12	2,200	50	233,534
復水器水室連絡管部	6	2,100	50	

表9-7 伸縮継手部の破損から隔離までの時間及び漏えい検知方法

項目	時間[min]
地震発生から漏えい検知インテックによる循環水ポンプ停止及び復水器水室出入口弁の閉止までの時間	1*
漏えい検知方法	漏えい検知器
漏えい検知器設定値	床面+100[mm]

\* 漏えい検知時間3.1[sec] + 弁閉止時間55[sec]を切り上げた値

表9-8 地震起因による溢水量

項目	溢水量[m <sup>3</sup> ]
地震発生から漏えい検知インテックによる循環水ポンプ停止及び復水器水室出入口弁の閉止までの溢水量	2,047*
循環水系の保有水量	1,083
耐震B,Cクラス機器の保有水量	2,859
合計	5,989

\* 233,534[m<sup>3</sup>/h] × 3.1[sec] + 233,534[m<sup>3</sup>/h] × (60 - 3.1)[sec] ÷ 2 = 2,047[m<sup>3</sup>]

今回の評価内容

ハ. タービン建物(復水器を設置するエリア)における浸水量

タービン建物(復水器を設置するエリア)における地震による浸水量評価を以下に示す。

(イ) 循環水系配管の伸縮継手及びタービン補機海水系配管の損傷箇所からの溢水量循環水系配管の伸縮継手及びタービン補機海水系配管の損傷箇所からの溢水量は、溢水時間から算出する。

循環水系配管の伸縮継手の損傷箇所からの溢水量については、溢水流量、漏えい検知時間及び弁閉止時間から、約1,849m<sup>3</sup>となり、系統保有水量約1,083m<sup>3</sup>と合計を算出すると2,932m<sup>3</sup>となる。②

タービン補機海水系配管の損傷箇所からの溢水量については、溢水流量、漏えい検知時間及び弁閉止時間から、約85m<sup>3</sup>となり、系統保有水量約129m<sup>3</sup>と合計を算出すると217m<sup>3</sup>となる。①

(ロ) B, Cクラスの機器・配管の保有水から算出した溢水量

B, Cクラスの機器・配管(イ)を除く)の損傷による溢水量は2,818m<sup>3</sup>となる。③

④

以上より、タービン建物(復水器を設置するエリア)における溢水量の合計は約5,967m<sup>3</sup>となる。表3-13に示すタービン建物(復水器を設置するエリア)の容積から、地震に起因する溢水によるタービン建物(復水器を設置するエリア)における浸水水位は、EL 4.8mとなり、復水器エリア防水壁の高さ(EL 5.3m)を超えることはなく、タービン建物(復水器を設置するエリア)における溢水が隣接する浸水防護重点化範囲へ流入することはない。評価結果を表3-15に示す。

表3-15 タービン建物(復水器を設置するエリア)における溢水量及び浸水水位

名称	区画		溢水量① (m <sup>3</sup> )	床面積② (m <sup>2</sup> )	浸水水位 ①/② (m)
	基準床レベル (m)				
タービン建物(復水器を設置するエリア)	EL 0.25 ~EL 2.0		約5,967 ④	約1,027	EL 4.8*
	EL 2.0 ~EL 4.9			約1,535	
	EL 4.9 ~EL 5.3			約1,027	

注記\*: 浸水水位の算出にあたって床勾配(0.05m)及び建築施工公差(0.025m)を考慮し、水上高さ(0.075m)を浸水水位算出の基準点とした値

設置許可申請時の評価内容

P. 5 条-別添1-添付10-8

9. 1.3 復水器エリアにおける溢水影響評価結果  
 復水器エリアの溢水事象により浸水する範囲について、溢水防衛対象設備が設置されている原子炉建物、廃棄物処理建物及び制御室建物との境界貫通部に対して止水処置を施すことにより、溢水防衛対象設備への影響がないことを確認した。各溢水事象における評価結果を以下に示す。

P. 5 条-別添1-添付10-9

表 9-9 復水器エリアの溢水を貯留できる空間容積

範囲	空間容積[m <sup>3</sup> ]
EL0.25~EL2.0m	1,827
EL2.0 ~EL5.3m	4,853
合計	6,680

P. 5 条-別添1-添付10-10 (P. 5 条-別添1-II-2-63 再掲)

(2) 地震起因による没水影響評価結果

地震起因による溢水量(5,989m<sup>3</sup>)は、復水器エリアの貯留可能容積(6,680m<sup>3</sup>)より小さいことから(溢水水位 EL4.8m)、復水器エリアに貯留可能で、原子炉建物、廃棄物処理建物及び制御室建物へ溢水の流出がないことを確認した。溢水水位の算出結果を表 9-12 に示す。

5,989m<sup>3</sup> < 6,680m<sup>3</sup>  
 (地震起因による溢水量) (復水器エリアの貯留可能容積)

表 9-12 地震起因による溢水水位算出結果

諸元	値
①EL2.0mより上部に滞留する溢水量*1	4,162[m <sup>3</sup> ]
②EL2.0mにおける復水器エリアの滞留面積	1,546[m <sup>2</sup> ]
③水上高さ	0.075[m]
④EL2.0mより上部に滞留する溢水水位*2	2.8[m] (EL4.8m)

\*1 地震による溢水量(5,989m<sup>3</sup>)から表9-9におけるEL2.0m以下の空間容積(1,827m<sup>3</sup>)を差し引いた値

\*2 以下の式より算出

$$\text{④} = \text{①} / \text{②} + \text{③}$$

9条-別添1-9-12

今回の評価内容

【変更内容①】

- ・漏えい検知高さを設定 設置高さ50mm
- ・タービン補機海水系溢水量 129m<sup>3</sup> → 217m<sup>3</sup>

【変更理由①】

- ・タービン補機海水系の弁閉止インタンローックに係る詳細設計の反映
- ・安全側に地震後もタービン補機海水ポンプの運転を考慮し弁閉止までの溢水量を追加

【変更内容②】

- ・漏えい検知高さ 100mm → 50mm
- ・循環水系溢水量 3130m<sup>3</sup> (=2047+1083) → 2932m<sup>3</sup>

【変更理由②】

- ・タービン補機海水系の弁閉止インタンローックに係る詳細設計の反映
- ・漏えい検知高さ変更により循環水系伸縮継手部からの漏えい量を見直した

【変更内容③】

- ・BCクラス機器保有水量の変更 2859m<sup>3</sup> → 2818m<sup>3</sup>

【変更理由③】

- ・タービン補機海水系を別計算としたこと(129m<sup>3</sup>の減)及び隣接建物からの溢水伝播を追加考慮したこと(88m<sup>3</sup>の増)による変更

【変更内容④】

- ・復水器を設置するエリアにおける溢水量(合計) 5989m<sup>3</sup> → 5967m<sup>3</sup>

【変更理由④】

- ・変更内容①～③の反映

【変更内容⑤】

- ・空間容積の見直し 6680m<sup>3</sup> → 6661m<sup>3</sup> (=1798+4452+411)

【変更理由⑤】

- ・タービン建物(復水器を設置するエリア)の範囲変更及び防水壁設置位置の反映



(3) タービン建物（Sクラスの設備を設置するエリア（西））の評価

設置許可申請時の評価内容

P. 5条-別添1-II-2-65

b. タービン建物（耐震Sクラスの設備を設置するエリア）における溢水地震に起因し、タービン建物（耐震Sクラスの設備を設置するエリア）の低耐震クラスの配管であるタービン補機海水系配管、原子炉補機海水系配管（放水配管）、高圧炉心スプレイト補機海水系配管（放水配管）、液体廃棄物処理系配管の破損により、津波が損傷箇所を介してタービン建物（耐震Sクラスの設備を設置するエリア）に流入することを防止するため、以下の対策を実施する。

対策の詳細は添付資料27に示す。  
 ・原子炉補機海水系配管（放水配管）、高圧炉心スプレイト補機海水系配管（放水配管）の基準地震動Ssによる地震力に対するバウンダリ機能保持  
 ・タービン補機海水系配管、液体廃棄物処理系配管への逆止弁設置

上記対策により、同区画は「津波の流入」に該当する事象（津波来襲下において海水が流入する事象）は生じない。

P. 5条-別添1-添付10-14

(2) 耐震Sクラスエリア（西）

b. 地震起因による没水影響評価結果

地震起因による溢水量（1,332m<sup>3</sup>）（溢水水位 EL3.4m）は、想定破損による溢水量（1,646m<sup>3</sup>）より小さいことから、想定破損による溢水評価に包含され、原子炉建物、廃棄物処理建物及び制御室建物へ溢水の流出がないことを確認した。溢水水位の算出結果を表9-18に示す。

9条-別添1-9-16

P. 5条-別添1-添付10-15

表 9-18 地震起因による溢水水位算出結果

諸元	値
①EL2.0mより上部に滞留する溢水量	1,332[m <sup>3</sup> ]
②EL2.0mにおける耐震Sクラスエリア（西）の滞留面積	1,080[m <sup>2</sup> ] <sup>②</sup>
③水上高さ	0.075[m]
④EL2.0mより上部に滞留する溢水水位 <sup>※1</sup>	1.4[m] (EL3.4m)

※1 以下の式より算出

$$④ = ① / ② + ③$$

今回の評価内容

P. 56

(b) 浸水防護重点化範囲のうちタービン建物（Sクラスの設備を設置するエリア（西））における溢水の影響

浸水防護重点化範囲のうちタービン建物（Sクラスの設備を設置するエリア（西））における溢水の影響については、タービン補機海水ポンプ出口弁の弁閉止インタンローックにより、タービン補機海水系が、地震発生から津波到達までに隔離可能であり津波の流入がないことを評価する。

タービン補機海水系配管の損傷箇所からの溢水の漏えい検知時間は、溢水流量、漏えい検知器設置高さ及びタービン建物（Sクラスの設備を設置するエリア（西））の床面積から算出する。溢水流量<sup>①</sup> 2,100m<sup>3</sup>/h×2台（タービン補機海水系の定格流量）、漏えい検知器設置高さ50mm及びタービン建物（Sクラスの設備を設置するエリア（西））の床面積（約352m<sup>2</sup>（管理区域）、約779m<sup>2</sup>（非管理区域））より、漏えい検知時間は各々、約16秒（管理区域）、約34秒（非管理区域）となる。<sup>②</sup>

タービン補機海水ポンプ出口弁の閉止時間約60秒を考慮すると、地震発生から破損箇所隔離までの時間は最大で約94秒となり、海域活断層から想定される地震による津波の到達（約3分）前にタービン補機海水ポンプ出口弁を閉止できるため、津波の流入はない。<sup>③</sup>

【変更内容①】

・漏えい検知高さを設定 設置高さ50mm

【変更理由①】

・タービン補機海水系の弁閉止インタンローックに係る詳細設計の反映

【変更内容②】

・床面積の変更 1080m<sup>2</sup> → 1131m<sup>2</sup>

【変更理由②】

・防水壁設置位置等の反映

【変更内容③】

・タービン補機海水系の弁隔離までの溢水量を追加するとともに、隔離時間から津波流入防止が可能であることを説明

【変更理由③】

・漏えい検知高さの反映等により具体的な隔離時間が算出可能となったため。

(4) 取水槽循環水ポンプエリアの評価

設置許可申請時の評価内容

P. 5 条別添 1-II-2-66

c. 取水槽循環水ポンプエリアにおける溢水

地震に起因し、取水槽循環水ポンプエリアに敷設する循環水配管伸縮継手の破損及び低耐震クラスの機器及び配管の損傷により、津波がその損傷箇所を介して、取水槽循環水ポンプエリア内に流入すること  
を防止するため、以下の対策を実施する。対策の詳細は添付資料27 に示す。

・循環水系の機器及び配管の基準地震動 $S_s$  による地震力に対するバウンダリ機能保持

・タービン補機海水ポンプ出口弁（インターロックによる弁閉止）

上記対策により、同区画は「津波の流入」（津波来襲下において海水が流入する事象）に該当する事象は生じない。

また、取水槽循環水ポンプエリアに設置する耐震Sクラスの設備に対する浸水影響について、添付資料28 に示す。

P.5 条別添1-添付10-18

4. 取水槽循環水ポンプエリアにおける溢水（事象c.）

9.5 取水槽循環水ポンプエリアにおける溢水

取水槽海水ポンプエリアに隣接する取水槽循環水ポンプエリアの循環水系配管の伸縮継手部の全周囲の破損を想定し、取水槽海水ポンプエリアへの溢水影響を評価した。算出した溢水流量を表9-21に、溢水影響評価結果を表9-22に示す。越流水深の算出にあたっては、Govinda Rao の式（補足説明資料-30 参照）を使用した。

取水槽海水ポンプエリアに設置している取水槽海水ポンプエリア防水壁（EL10.8m）は、取水槽循環水ポンプエリア天端（EL8.8m）より2.0m 高く設計しており、隣接する取水槽循環水ポンプエリア天端の想定破損により溢水が発生した場合においても、取水槽循環水ポンプエリア天端の越流水深は0.24m であることから、取水槽海水ポンプエリア防水壁を越流して隣接する取水槽海水ポンプエリアに流入することはない。循環水系配管破損時の平面図を図9-12に、断面図を図9-13に示す。

表 9-21 循環水系配管の伸縮継手部の溢水流量

部位	内径 [mm]	破損幅 [mm]	溢水流量 [m <sup>3</sup> /h]
循環水ポンプ出口配管伸縮継手部	2,600	50	15,590

今回の評価内容

P. 56

(c) 浸水防護重点化範囲のうち取水槽循環水ポンプエリアにおける溢水の影響

浸水防護重点化範囲のうち取水槽循環水ポンプエリアにおける溢水の影響については、タービン補機海水ポンプ出口弁の弁閉止インターロックにより、タービン補機海水系が、地震発生から津波到達までに隔離可能であり津波の流入がないことを評価する。

タービン補機海水系配管の損傷箇所からの溢水に対する漏えい検知時間は、溢水流量2,100m<sup>3</sup>/h×2.台①（タービン補機海水系の定格流量）、漏えい検知器設置高さ50mm及び取水槽循環水ポンプエリアの床面積約265m<sup>2</sup>より、漏えい検知時間は約12 秒となる。

タービン補機海水ポンプ出口弁の閉止時間約60秒を考慮すると、地震発生から破損箇所隔離までの時間は約72秒となり、海城活断層から想定される地震による津波の到達（約3分）前にタービン補機海水ポンプ出口弁を閉止でききため、津波の流入はない。

【変更内容①】

・漏えい検知高さを設定 設置高さ50mm

【変更理由①】

・タービン補機海水系の弁閉止インターロックに係る詳細設計の反映

【変更内容②】

・タービン補機海水系の弁隔離までの溢水量を追加するとともに、タービン補機海水系隔離時間から津波流入防止が可能であることを説明

【変更理由②】

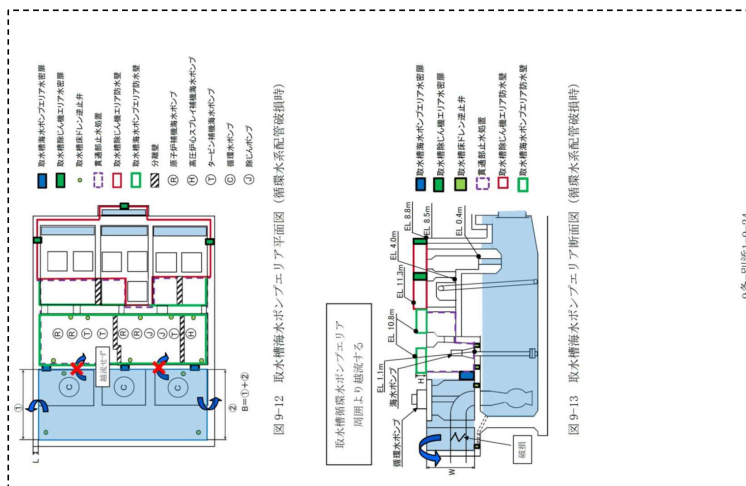
・漏えい検知高さの反映等により具体的な隔離時間が算出可能となったため

P.5条-別添1-添付10-18

表 9-22 取水槽循環水ポンプエリアの溢水影響評価結果

W	取水槽循環水ポンプエリア壁の高さ [m]	7.7
B	排出を期待する開口長さ [m]	23.6
L	取水槽循環水ポンプエリア壁の幅 [m]	1.0
Q	エリア内の溢水流量 [m <sup>3</sup> /h]	15,590
h	越流水深 [m]	0.24
H	許容越流水深 [m]	2.0
評価結果(判定基準: H ≥ h)		○

P.5条-別添1-添付10-19



## 5.4 循環水ポンプ出口弁及び復水器水室出口弁の津波に対する健全性

### (1) 概要

本資料は、添付書類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」の3.4 重要な安全機能及び重大事故等に対処するために必要な機能を有する施設の隔離（内郭防護）に係る評価（4）津波防護対策で、津波到達時においても弁の閉止状態が維持可能な設計とする弁のうち、内部溢水対策として循環水ポンプ出口弁及び復水器水室出口弁が閉止した後に、これらの弁が津波荷重及び余震荷重に対して構造健全性を有することを確認するものである。

### (2) 一般事項

#### a. 配置計画

評価対象となる循環水ポンプ出口弁及び復水器水室出口弁の配置計画を図5.4-1に示す。

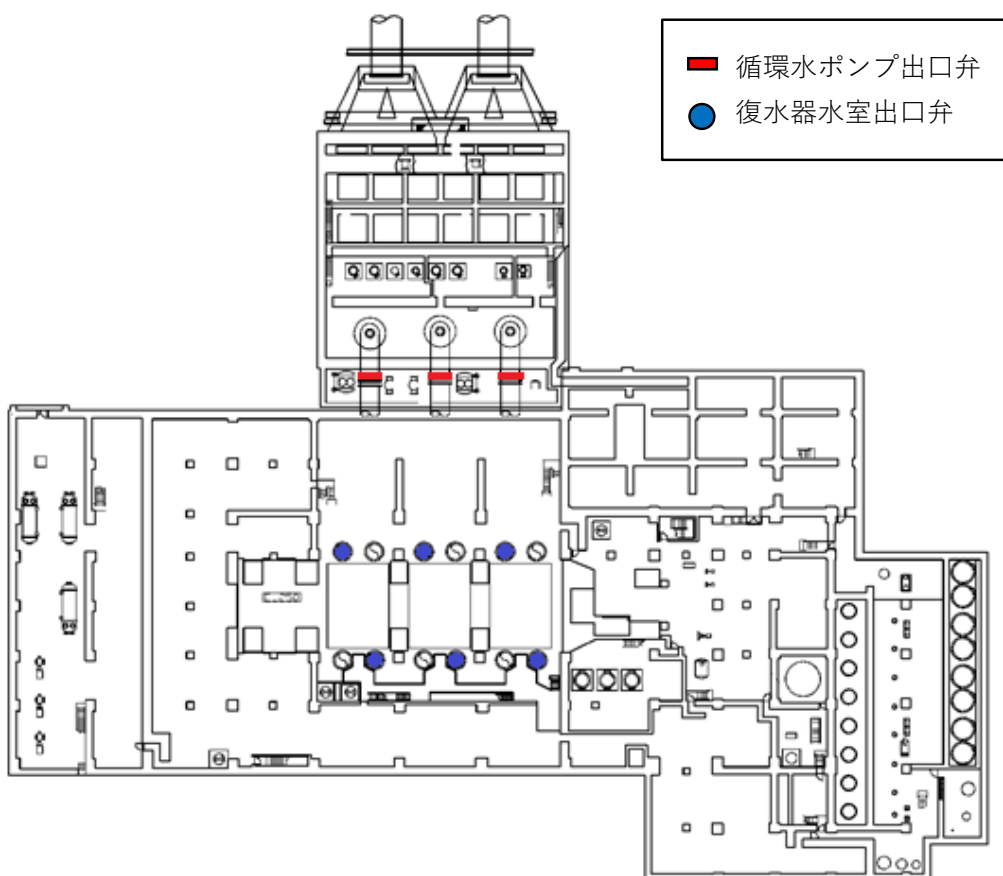


図5.4-1 配置計画



b. 構造計画

循環水ポンプ出口弁及び復水器水室出口弁は、電動バタフライ弁であり、弁体を回転し弁座に密着することで止水する。電動バタフライ弁の構造計画を表5.4-1に示す。

表5.4-1 構造計画

評価対象	計画の概要			概略構造図
	型式	主要構造	支持構造	
循環水ポンプ出口弁	電動バタフライ弁	弁体を含む弁本体、弁体を電動にて駆動する駆動部で構成する。	循環水系配管及び支持構造物に固定する。	
復水器水室出口弁	電動バタフライ弁	弁体を含む弁本体、弁体を電動にて駆動する駆動部で構成する。	循環水系配管に固定する。	

(3) 評価用地震力

本計算書において考慮する評価用地震力は、添付書類VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。また、減衰定数は添付書類VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に示す減衰定数を用いる。

循環水ポンプ出口弁及び復水器水室出口弁の設置条件、固有周期及び評価用地震力を表5.4-2、表5.4-3及び表5.4-4に示す。

表5.4-2 循環水ポンプ出口弁及び復水器水室出口弁の設置条件

評価対象	据付場所	床面高さ(m)
循環水ポンプ出口弁	取水槽	EL 1.1 (EL 8.8*)
復水器水室出口弁	タービン建物	EL 0.25 (EL 2.0*)

注記\*：基準床レベルを示す。

表5.4-3 循環水ポンプ出口弁及び復水器水室出口弁の固有周期

評価対象	循環水ポンプ出口弁	復水器水室出口弁
固有周期(s)	0.05以下*	0.05以下*

注記\*：弁の固有周期の算出方法については添付書類VI-2-別添2-6「循環水ポンプ出口弁及び復水器水室出入口弁の耐震性についての計算書」にて示す。

表5.4-4 循環水ポンプ出口弁及び復水器水室出口弁の評価用地震力

評価対象	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub>		
	水平方向震度*		鉛直方向震度*
	NS方向	EW方向	
循環水ポンプ出口弁	0.77	1.75	0.89
復水器水室出口弁	0.59	0.58	0.36

注記\*：剛領域の振動モードの影響を考慮する観点から設置床の最大応答加速度を1.2倍した震度(1.2ZPA)を示す。また、設計用震度Iを上回る値である。

(4) 構造強度評価

a. 荷重の設定

(a) 津波荷重 ( $P_t$ )

津波荷重として、経路からの津波に伴う水位を用いた静水圧を考慮し、以下の式より算出する。

$$P_t = \rho_0 \cdot g \cdot H$$

$P_t$  : 津波荷重

$\rho_0$  : 海水の密度

$g$  : 重力加速度

$H$  : 評価高さ (最高津波高さ－設置位置高さ)

(b) 余震荷重 ( $K_{sd}$ )

余震荷重として、弾性設計用地震動  $S_d$  を考慮する。余震に伴う加速度で弁体に発生する慣性力と、余震による動水圧荷重を考慮し、弁の設置方向により以下の式を用いて算出し、弁体 (閉止状態) 及び配管の内面に加わる圧力荷重として評価する。ここで、余震と組み合わせる津波は海域活断層に想定される津波であるが、安全側に日本海東縁部に想定される津波を用いる。

$$K_{sd1} = m \cdot g \cdot \alpha_H / A + \rho_0 \cdot \alpha_V \cdot g \cdot H$$

$K_{sd1}$  : 余震荷重 (循環水ポンプ出口弁)

$m$  : 弁体部質量

$g$  : 重力加速度

$\alpha_H$  : 弁体部の配管軸方向余震震度

$A$  : 弁体受圧面投影面積 ( $= \pi D_i^2 / 4$   $D_i$  : 配管内径)

$\rho_0$  : 海水の密度

$\alpha_V$  : 弁体部の鉛直方向余震震度

$H$  : 評価高さ (最高津波高さ－設置位置高さ)

$$K_{sd2} = m \cdot g \cdot \alpha_V / A + \rho_0 \cdot \alpha_V \cdot g \cdot H$$

$K_{sd2}$  : 余震荷重 (復水器水室出口弁)

$m$  : 弁体部質量

$g$  : 重力加速度

$\alpha_V$  : 弁体部の鉛直方向余震震度

$A$  : 弁体受圧面投影面積 ( $= \pi D_i^2 / 4$   $D_i$  : 配管内径)

$\rho_0$  : 海水の密度

$H$  : 評価高さ (最高津波高さ－設置位置高さ)

(c) 固定荷重 ( $D$ )

常時作用する荷重として、弁体の自重を考慮する。

b. 荷重の組合せ

循環水ポンプ出口弁及び復水器水室出口弁の強度評価にて考慮する荷重の組合せを表5.4-5に示す。

表5.4-5 強度評価にて考慮する荷重の組合せ

施設区分	評価対象	荷重の組合せ
浸水防護施設	循環水ポンプ出口弁	$D + P_t + K_{sd1}^{*1, 2}$
	復水器水室出口弁	$D + P_t + K_{sd2}^{*1, 2}$

注記\*1：Dは固定荷重， $P_t$ は津波荷重， $K_{sd}$ は余震荷重を示す。

\*2：固定荷重（D）及び余震荷重（ $K_{sd}$ ）の組み合わせが，強度評価上，津波荷重（ $P_t$ ）を緩和する方向に作用する場合，安全側にこれらを組み合わせない評価を実施する。

c. 許容荷重

循環水ポンプ出口弁及び復水器水室出口弁については，表5.4-6に示す水圧試験により確認した圧力を許容限界とする。

表5.4-6 許容限界

評価対象	水圧試験の圧力 (MPa)
循環水ポンプ出口弁	0.47*
復水器水室出口弁	0.47*

注記\*：弁納入時の水圧試験圧力

d. 計算条件

循環水ポンプ出口弁及び復水器水室出口弁の構造健全性評価に用いる計算条件を表5.4-7及び表5.4-8に示す。

表5.4-7 循環水ポンプ出口弁及び復水器水室出口弁の構造健全性評価に用いる計算条件

評価対象	弁体の材質	弁体の質量 (kg)	弁体受圧面の外形 (配管内系) $D_1$ (mm)	重力加速度 $g$ ( $m/s^2$ )	海水の密度 $\rho_0$ ( $kg/m^3$ )
循環水ポンプ出口弁	SS400	9700	2600	9.80665	1030
復水器水室出口弁	SS400	6400	2200	9.80665	1030

表5.4-8 構造健全性評価に用いる評価高さ

評価対象	循環水ポンプ出口弁	復水器水室出口弁
最高津波高さ*1	EL 10.6m	EL 7.9m
設置位置高さ*2	EL 1.1m	EL 0.25m
評価高さH	9.5m	7.65m

注記\*1：基準津波1の取水槽又は放水槽における入力津波高さを示す。

\*2：安全側に弁を設置する床面高さとする。

(5) 評価結果

a. 構造健全性評価

循環水ポンプ出口弁及び復水器水室出口弁の構造健全性評価結果を表5.4-9に示す。発生圧力が、有意な変形及び著しい漏えいがないことを確認した水圧試験の圧力以下であることから、評価対象である弁体部が構造健全性を有することを確認した。

表5.4-9 構造健全性評価結果

評価対象	発生圧力 (MPa)	水圧試験の圧力 (MPa)
循環水ポンプ出口弁	0.22	0.47
復水器水室出口弁	0.12	0.47

取水槽へ津波浸入時の循環水ポンプ出口弁への影響について

(1) 2号機取水槽への影響

2号機取水槽への津波浸入時、図1～図3に示すとおり2号機取水槽の除じん機エリアには角落し用の経路があり、末端は天端開口となっていることから津波の押し波時の圧力を逃せる構造である。また、図4より基準津波来襲時の除じん機エリアの最大水位差が発生する際の水位上昇速度は0.2[m/s]程度であり、比較的緩やかである。

以上のことから、取水路へ浸入した津波により、循環水ポンプ出口弁に水撃作用による過大な圧力が生じる可能性は十分小さいと判断した。

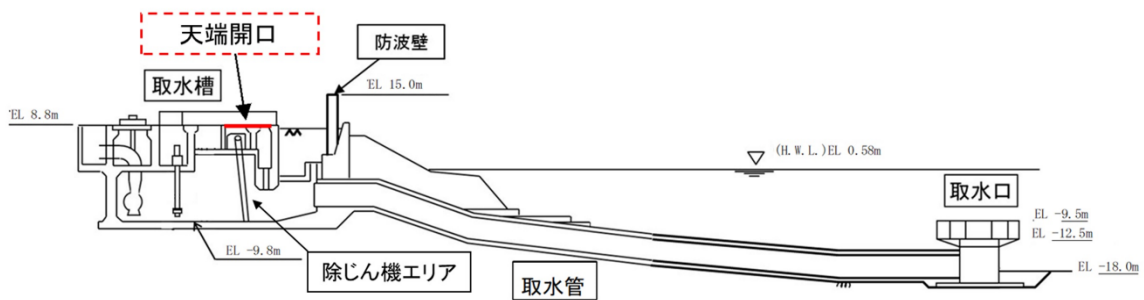


図1 2号機 取水施設断面図

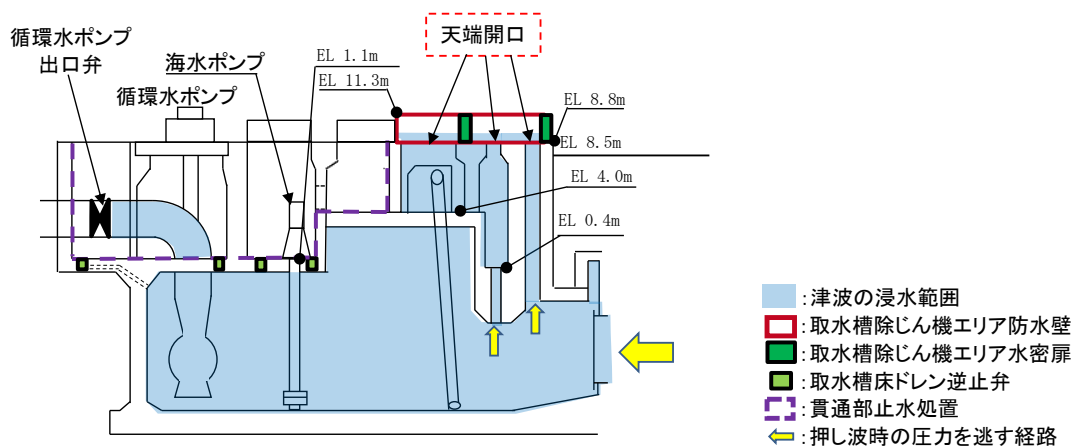


図2 取水槽の浸水対策の概要 (断面図)

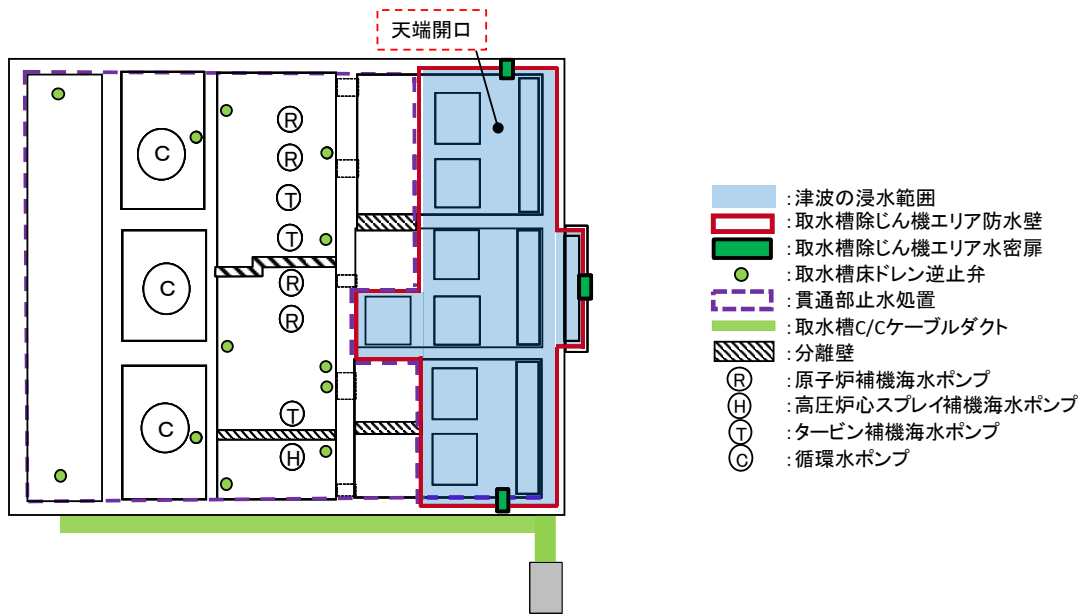


図3 取水槽の浸水対策の概要（平面図）

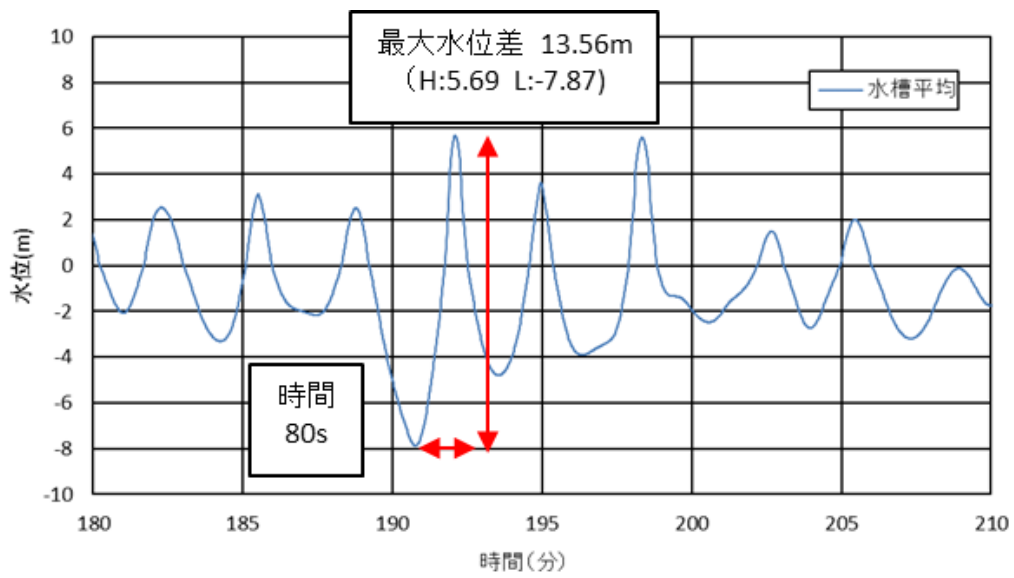


図4 除じん機エリアの水位

## 5.5 屋外タンク等からの溢水評価



## 目 次

5.5.1	評価条件	1
5.5.2	溢水評価	1
5.5.3	評価結果	1

別紙 タービン建物への溢水量の算出

## 5.5 屋外タンク等からの溢水評価

屋外タンク等の溢水として、地震による損傷が否定できない屋外タンク等からの溢水を考慮し、原子炉建物、タービン建物、廃棄物処理建物等の浸水防護重点化範囲を内包する建物に及ぼす影響を評価する。島根2号機構内で実施している第3系統直流電源設備設置工事等の安全対策に伴う掘削箇所への屋外タンク等の破損によって生じる溢水の流入を含めた評価の詳細は添付書類VI-1-1-9-4「溢水影響に関する評価」に示す。

### 5.5.1 評価条件

島根原子力発電所の敷地内に設置されている屋外タンク等のうち溢水源とする屋外タンク等を図5.5-1に示す選定フローにより抽出した。抽出結果及び抽出した屋外タンク等の配置図を表5.5-1及び図5.5-2に示す。また、評価の前提条件として以下を考慮する。

- a. 輪谷貯水槽（東側）は基準地震動 $S_s$ によって生じるスロッシングをスロッシング解析の溢水量（時刻歴）で模擬する。
- b. 2号復水貯蔵タンク、2号補助復水貯蔵タンク及び2号トラス水受入タンクは地震による損傷をタンクに接続するすべての配管の完全全周破断を模擬する。
- c. その他溢水源は地震による損傷をタンク側板全周が瞬時に消失するものとして模擬する。
- d. 構内排水路による排水機能及び敷地外への排出は期待しない。

### 5.5.2 溢水評価

屋外タンク等の破損により生じる溢水については、溢水源として屋外に設置されたタンク等を挙げた上で、浸水防護重点化範囲への影響評価を実施した。

代表箇所における浸水深の時刻歴を図5.5-3に、最大浸水深を表5.5-2に示す。

### 5.5.3 評価結果

以下に示すとおり、屋外タンク等の破損により生じる溢水が、浸水防護重点化範囲へ影響を与えることがないことを確認した。

・原子炉建物、廃棄物処理建物及びB-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽については、各扉付近の開口部の下端高さが溢水水位より高い位置にある。

・タービン建物については、外壁にある扉付近の水位が最大で0.48mであり、扉の設置位置（開口部下端高さ0.4m）を超えるが、開口部下端高さを超える水位の継続時間が短く、浸水深、開口部形状及び継続時間から水理公式（堰の越流量公式）\*を用いて算出した溢水量は約 $1\text{m}^3$ と少量であり、タービン建物の空間容積に対し、十分に小さい。また、タービン建物には浸水により機能喪失する設備が設置されていない。

・取水槽海水ポンプエリアについては防水壁を設置することにより、浸水を防止している。

・A-ディーゼル燃料移送ポンプ及び HPCS-ディーゼル燃料移送ポンプを設置するディーゼル燃料移送ポンプピットについては、防水壁及び水密扉を設置することにより、浸水を防止している。

注記\*：計算の詳細については別紙参照

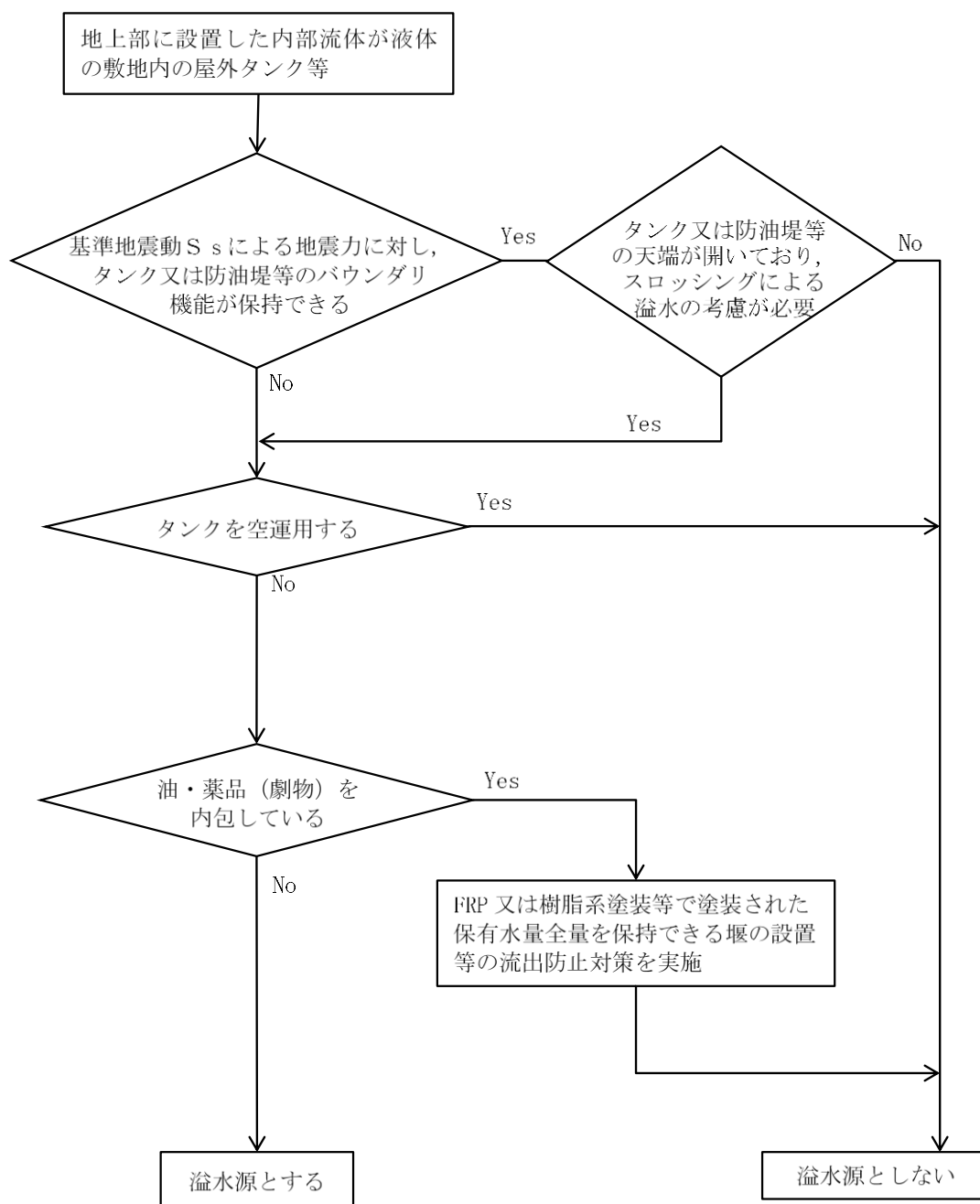


図 5.5-1 溢水源とする屋外タンク等の選定フロー

表 5.5-1 溢水源とする屋外タンク等(1/3)

No	名称*1	保有水量 (m <sup>3</sup> )	溢水伝播挙動 評価に用いる 溢水量 (m <sup>3</sup> )*2	配置 No	保有水量 20m <sup>3</sup> 以上（山間部 除く）の屋外 タンク等	エリア No	合計 保有水量 (m <sup>3</sup> )	溢水伝播挙動 評価に用いる 合計溢水量 (m <sup>3</sup> )*5
1	雑用水タンク	33	49	25	○	エリア ①	16,368	9,526 (8,486)
2	宇中系統中継水槽（西山水槽）	30	45	26	○			
3	碓子水洗タンク	146	161	22	○			
4	ガスタービン発電機用軽油タンク 用消火タンク	49	73	23	○			
5	A-44m 盤消火タンク	155	171	30	○			
6	B-44m 盤消火タンク	155	171	30	○			
7	輪谷貯水槽（東側）沈砂池	260	286	20	○			
8	原水 80t 水槽	80	120	24	○			
9	仮設水槽-1（2号西側法面付近）	20	30	39	○			
10	仮設水槽-2（2号西側法面付近）	20	30	40	○			
11	仮設水槽-3（2号西側法面付近）	20	30	45	○			
12	輪谷貯水槽（東側）	10,000	2,200*3	19	○			
13	2号復水貯蔵タンク	1,800	2,200*4	47	○			
14	2号補助復水貯蔵タンク	1,800	1,980	48	○			
15	2号トラス水受入タンク	1,800	1,980	49	○			
16	泡消火薬剤貯蔵槽（ガスタービン 発電機用軽油タンク）	1	—	n-43	—	162		
17	山林用防火水槽（スカイライン）	50	—	n-52	—			
18	山林用防火水槽（スカイライン）	50	—	n-52	—			
19	仮設水槽（2号西側法面付近）	2	—	n-59	—			
20	防火水槽	20	—	n-74	—			
21	防火水槽	20	—	n-73	—			
22	鉄イオン溶解タンク（2号）	19	—	n-9	—			

表 5.5-1 溢水源とする屋外タンク等(2/3)

No	名称*1	保有水量 (m <sup>3</sup> )	溢水伝播挙動 評価に用いる 溢水量 (m <sup>3</sup> )*2	配置 No	保有水量 20m <sup>3</sup> 以上 (山間部 除く) の屋外 タンク等	エリア No	合計 保有水量 (m <sup>3</sup> )	溢水伝播挙動 評価に用いる 合計溢水量 (m <sup>3</sup> )*5
23	純水タンク (A)	600	660	10	○	エリア ②	7,681	8,602 (7,741)
24	純水タンク (B)	600	660	10	○			
25	2号ろ過水タンク	3,000	3,300	11	○			
26	1号除だく槽	87	131	12	○			
27	1号ろ過器	62	93	13	○			
28	2号除だく槽	102	113	14	○			
29	2号ろ過器	36	54	15	○			
30	2号濃縮槽	30	45	16	○			
31	1号ろ過水タンク	3,000	3,300	17	○			
32	74m盤受水槽 (2槽)	60	90	27	○			
33	原水受槽	42	63	31	○			
34	22m盤受水槽	30	45	37	○			
35	59m盤トイレ用水貯槽	32	48	44	○			
36	補助ボイラープロータンク	1	—	n-24	—			
37	補助ボイラー冷却水冷却塔	1	—	n-24	—			
38	C-真空脱気塔	3	—	n-28	—			
39	D-真空脱気塔	3	—	n-28	—			
40	C/D用冷却水回収槽	2	—	n-28	—			
41	凝集処理槽	19	—	n-37	—			
42	汚泥槽	6	—	n-37	—			
43	ろ過器	3	—	n-37	—			
44	薬品貯槽	1	—	n-37	—			
45	A-真空脱気塔	2	—	n-38	—			
46	B-真空脱気塔	2	—	n-38	—			
47	冷却水回収槽	2	—	n-38	—			
48	1号除だく槽排水槽	7	—	n-41	—			
49	トイレ用ろ過水貯槽	8	—	n-41	—			
50	変圧器消火水槽	306	336	4	○	エリア ③	441	539 (455)
51	電解液受槽 (1号)	22	33	5	○			
52	A-サイトバンカ建物消火タンク	46	69	18	○			
53	B-サイトバンカ建物消火タンク	46	69	18	○			
54	管理事務所4号館用消火タンク	21	32	36	○			
55	電解液受槽 (2号)	10	—	n-8	—			
56	1号海水電解装置電解槽 (循環ライン 8槽)	2	—	n-8	—			
57	2号海水電解装置電解槽 (非循環ライン 12槽)	2	—	n-8	—			
							60	

表 5.5-1 溢水源とする屋外タンク等(3/3)

No	名称*1	保有水量 (m <sup>3</sup> )	溢水伝播挙動 評価に用いる 溢水量 (m <sup>3</sup> )*2	配置 No	保有水量 20m <sup>3</sup> 以上 (山間部 除く) の屋外 タンク等	エリア No	合計 保有水量 (m <sup>3</sup> )	溢水伝播挙動 評価に用いる 合計溢水量 (m <sup>3</sup> )*5
58	3号ろ過水タンク (A)	1,000	1,100	1	○	エリア ④	6,979	7,735 (7,023)
59	3号純水タンク (A)	1,000	1,100	2	○			
60	消火用水タンク (A)	1,200	1,320	3	○			
61	消火用水タンク (B)	1,200	1,320	3	○			
62	3号仮設海水淡水化装置 (海水受 水槽)	25	38	29	○			
63	仮設合併処理槽	31	46	34	○			
64	3号純水タンク (B)	1,000	1,100	32	○			
65	3号ろ過水タンク (B)	1,000	1,100	33	○			
66	A-45m 盤消火タンク	155	171	38	○			
67	B-45m 盤消火タンク	155	171	38	○			
68	宇中受水槽	24	36	46	○			
69	宇中合併浄化槽 (1)	63	94	42	○			
70	宇中合併浄化槽 (2)	126	139	43	○			
71	海水電解装置脱気槽	12	—	n-13	—			
72	補助ボイラー排水処理装置 排水 pH中和槽	3	—	n-14	—			
73	重油タンク用泡原液差圧調合槽	2	—	n-15	—			
74	補助ボイラー補機冷却水薬液注入 貯槽	1	—	n-14	—			
75	ブロータンク	1	—	n-14	—			
76	排水放流槽	1	—	n-14	—			
77	訓練用模擬水槽	4	—	n-58	—			
78	3号仮設海水淡水化装置 (RO 処理 水槽)	15	—	n-76	—			
79	3号仮設海水淡水化装置 (仮設純 水槽)	5	—	n-77	—			
80	管理事務所1号館東側調整池	1,520	1,672	9	○	エリア ⑤	1,830	2,014 (1,840)
81	A-50m 盤消火タンク	155	171	28	○			
82	B-50m 盤消火タンク	155	171	28	○			
83	濁水処理装置	10	—	n-71	—			
合 計							33,589	28,416 (25,545)

注記\*1: 屋外タンク等からの溢水評価においては島根原子力発電所の敷地内に設置している屋外タンク等を対象としているため、各号機の設備と識別するために2号機の設備であっても「2号」と記載する。

\*2: 評価に用いる溢水量は保有水量を以下の通とおりに増した。

20m<sup>3</sup>以上100m<sup>3</sup>以下の屋外タンク: 1.5倍

100m<sup>3</sup>を超える屋外タンク等: 1.1倍

\*3: 輪谷貯水槽のスロッシング解析値(1,778m<sup>3</sup>)を1.1倍し、切り上げた値である1,965を上回る2,200m<sup>3</sup>とした。

\*4: 2号復水貯蔵タンクの保有水量1,800m<sup>3</sup>を1.1倍した値である1,980m<sup>3</sup>を上回る2,200m<sup>3</sup>とした。

\*5: ()内はエリア内の溢水源とする屋外タンク等の合計保有水量を示す。ただし、輪谷貯水槽(東側)については1,956m<sup>3</sup>を合計した。

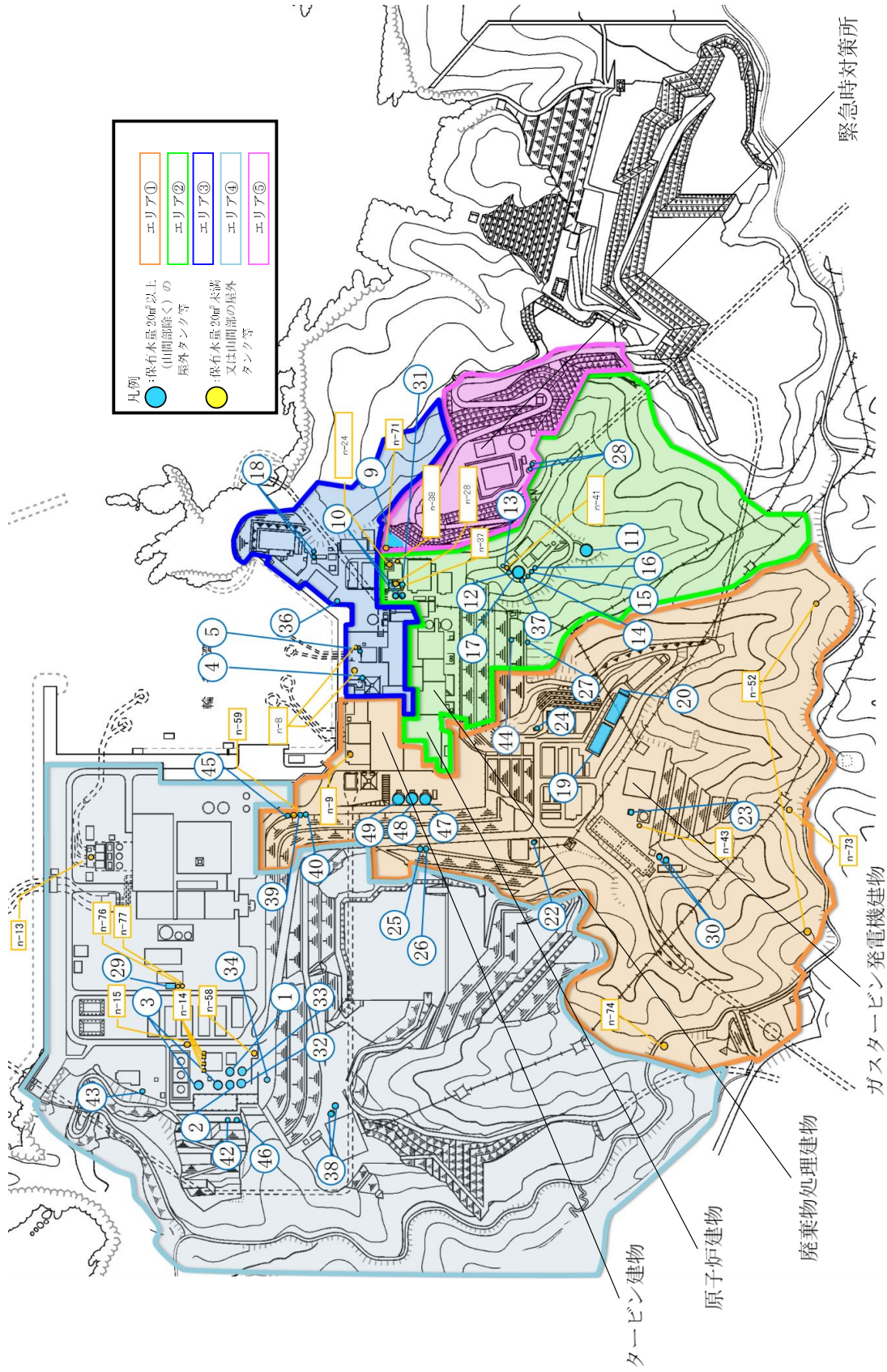


図 5.5-2 溢水源とする屋外タンク等の配置図

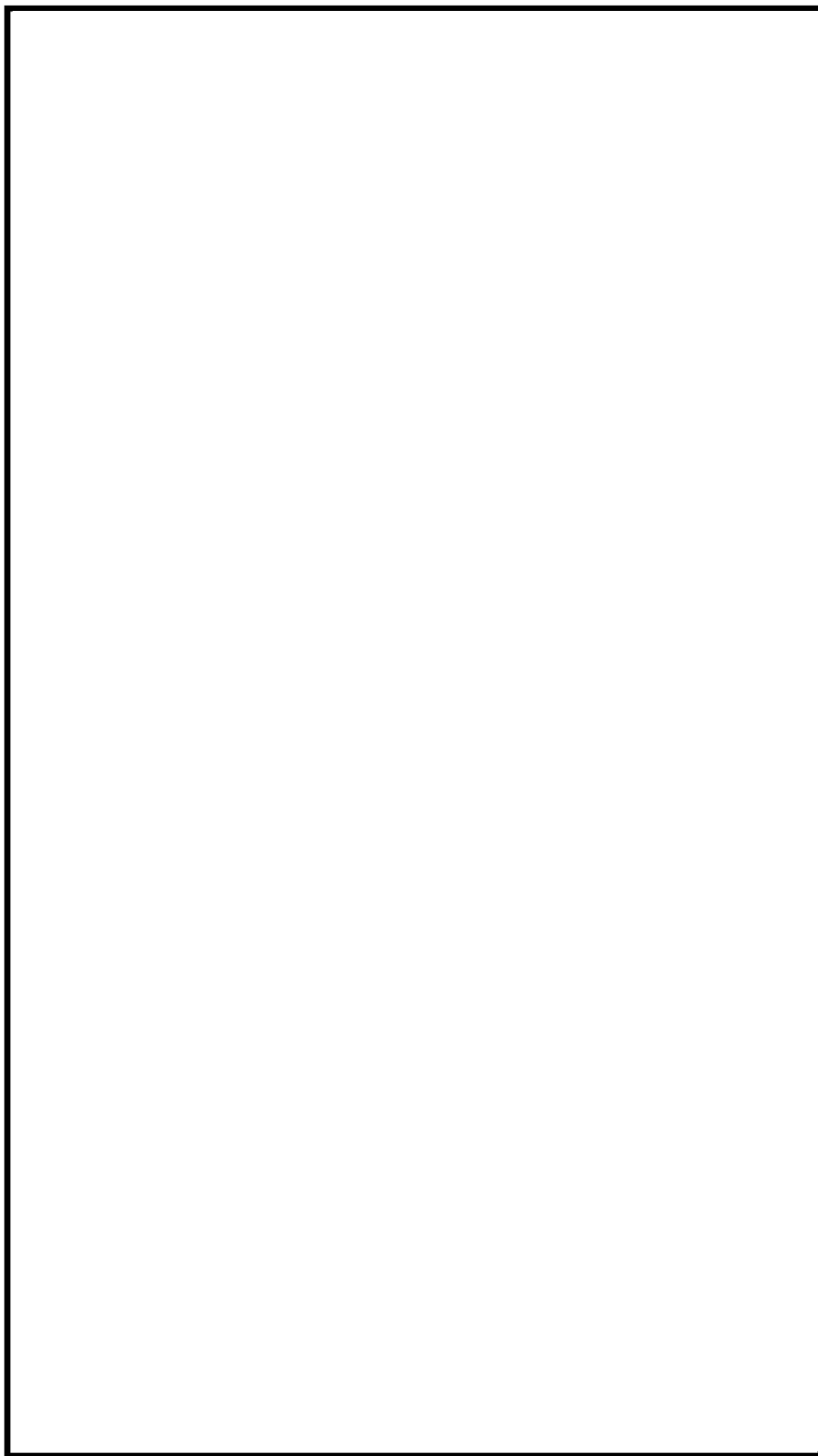


図 5.5-3 代表箇所における浸水深時刻歴(1/6)



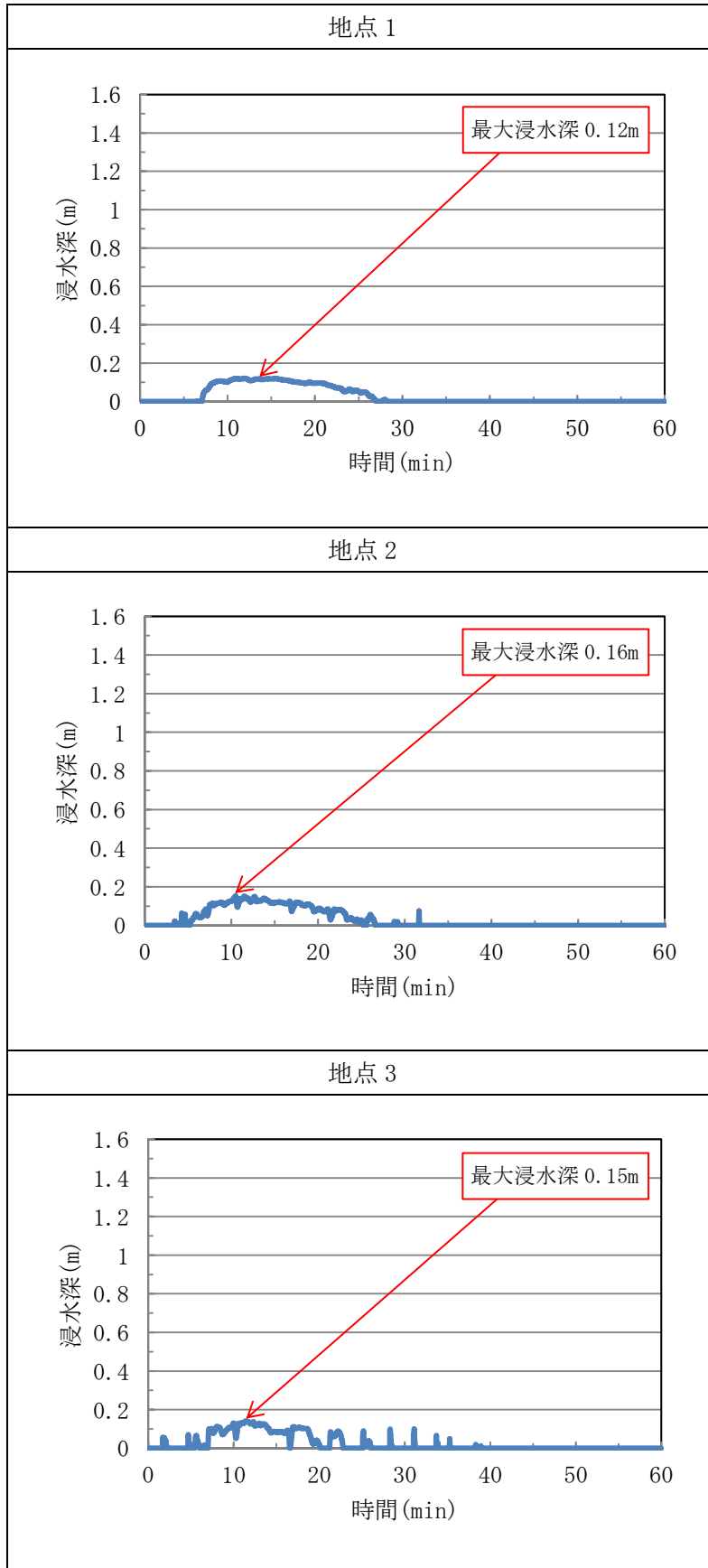


図 5.5-3 代表箇所における浸水深時刻歴(2/6)

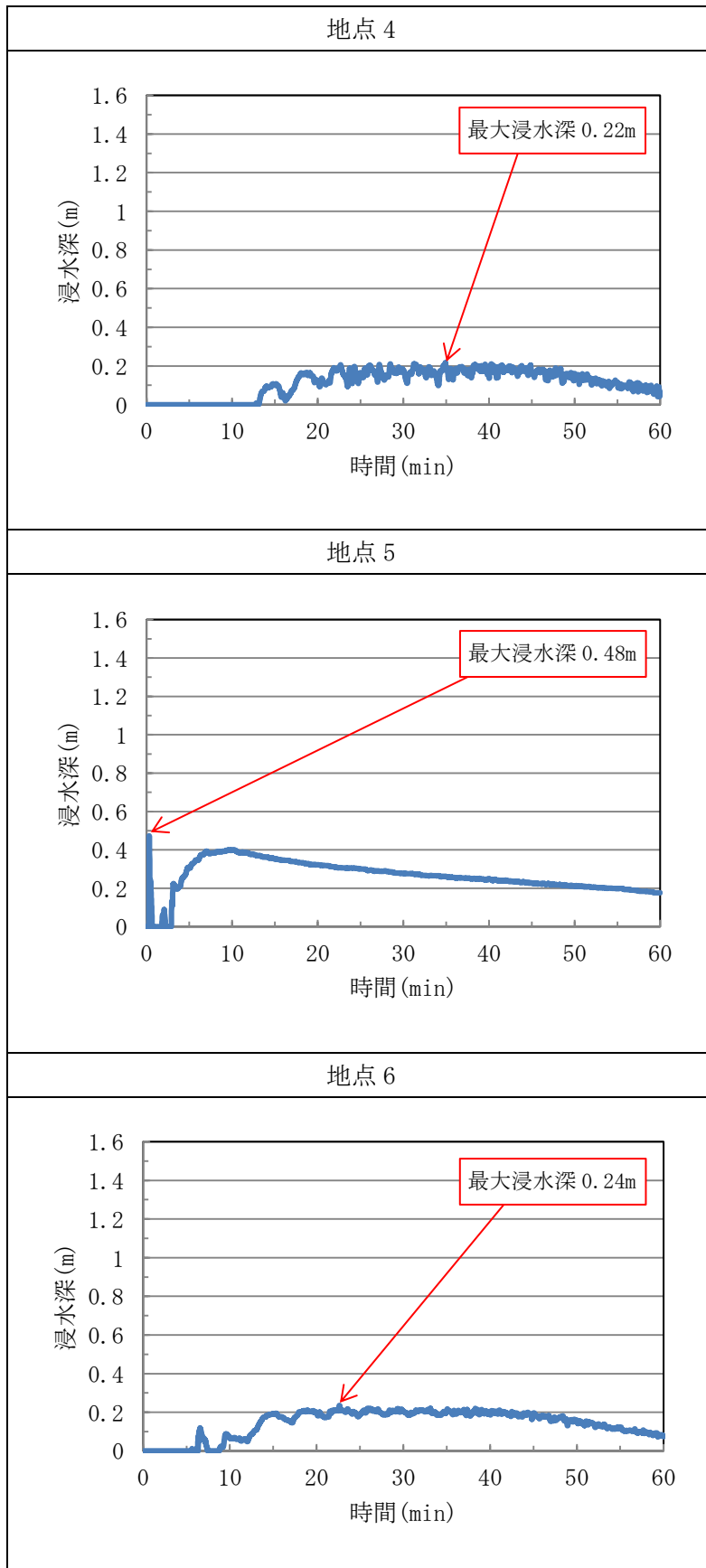


図 5.5-3 代表箇所における浸水深時刻歴(3/6)

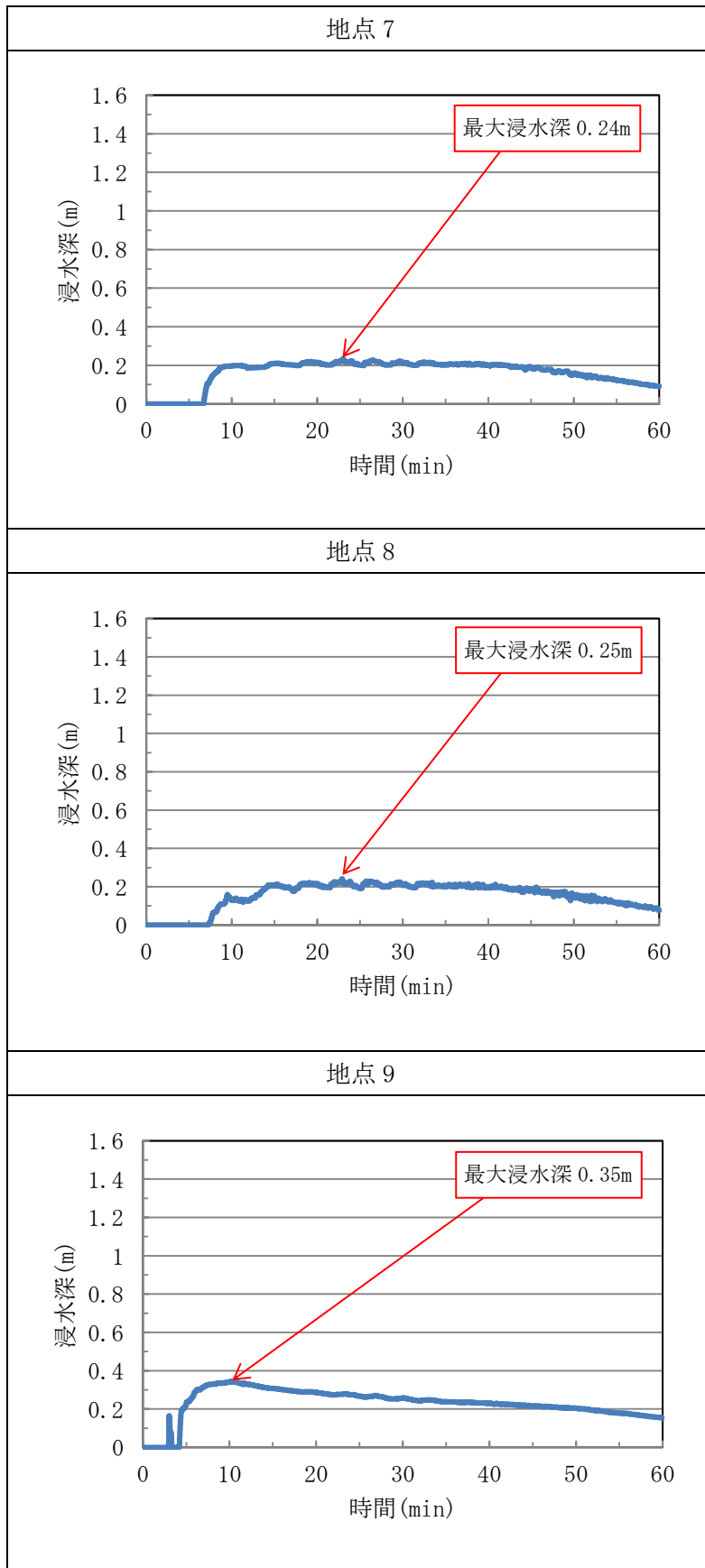


図 5.5-3 代表箇所における浸水深時刻歴(4/6)

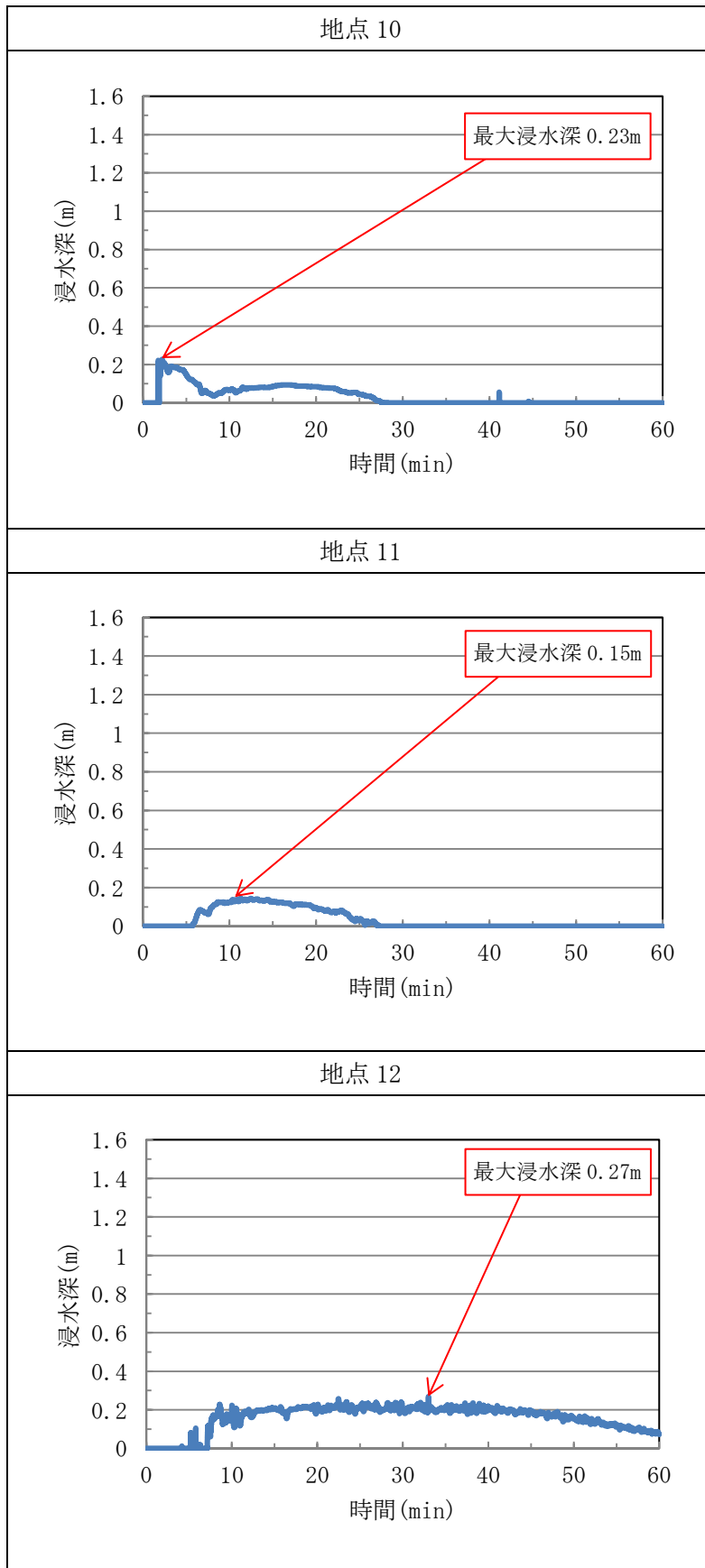


図 5.5-3 代表箇所における浸水深時刻歴(5/6)

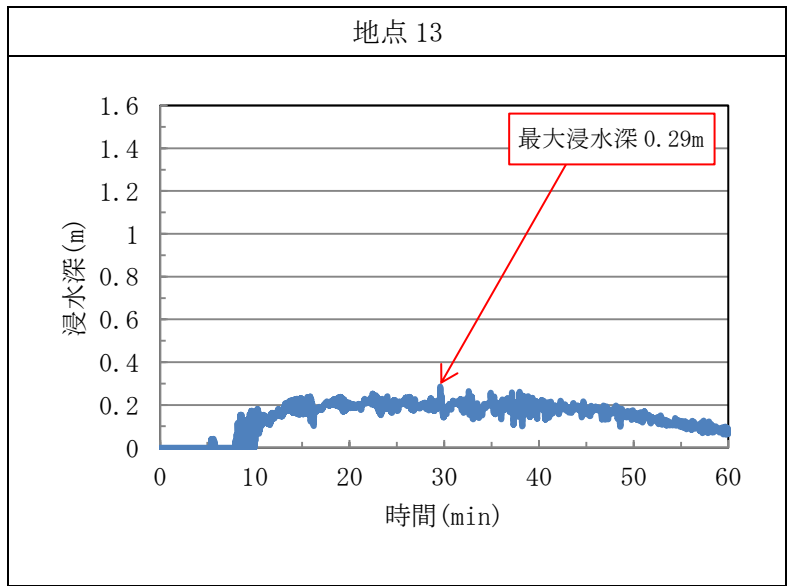


図 5.5-3 代表箇所における浸水深時刻歴(6/6)

表 5.5-2 代表箇所における最大浸水深

代表箇所		基準高さ EL (m) ①	最大 浸水深 (m) ②	建物外周扉 等の設置高 さ EL (m) ③	建物外周扉 等の設置高 さ ③-①	建物外周扉 等の設置高 さを超える もの*1 ③-①<②
地点 1	原子炉建物南面	15.0	0.12	15.3	0.3	—
地点 2	原子炉建物西面 1	15.0	0.16	15.3	0.3	—
地点 3	原子炉建物西面 2	15.0	0.15	15.3	0.3	—
地点 4	タービン建物北面 1	8.5	0.22	8.8	0.3	—
地点 5	タービン建物北面 2	8.5	0.48	8.9	0.4	○*2
地点 6	タービン建物北面 3	8.5	0.24	9.1	0.6	—
地点 7	タービン建物北面 4	8.5	0.24	9.26	0.76	—
地点 8	取水槽海水ポンプ エリア西面	8.5	0.25	8.8	0.3	—
地点 9	取水槽海水ポンプ エリア東面	8.5	0.35	8.8	0.3	○*3
地点 10	廃棄物処理建物 南面	15.0	0.23	15.35	0.35	—
地点 11	B-ディーゼル燃料貯蔵 タンク格納槽北面	15.0	0.15	15.35	0.35	—
地点 12	A-ディーゼル燃料移送 ポンプピット西面	8.5	0.27	8.7	0.2	○*3
地点 13	HPCS-ディーゼル燃料 移送ポンプピット西面	8.5	0.29	8.7	0.2	○*3

注記\*1：最大浸水深が建物外周扉等の設置高さより基準高さの差を超えないことから溢水が溢水防護区画へ伝播することなく、防護すべき設備が要求される機能を損なうおそれがないことを確認する。

「○」：最大浸水深が建物外周扉等の設置高さを超える場合

「—」：最大浸水深が建物外周扉等の設置高さを超えない場合

\*2：最大浸水深は建物外周扉等の設置高さを超えるが、開口部下端高さを超える水位の継続時間が短く、流入する溢水は約 1m<sup>3</sup>と少量である（詳細は別紙 2 参照）。タービン建物のうち耐震 S クラスエリア（東）内に流入した場合、耐震 S クラスエリア（東）における地震起因による溢水量（約 2,818m<sup>3</sup>）に含めても、耐震 S クラスエリア（東）の溢水を滞留できる滞留容積（約 6,560m<sup>3</sup>）より小さく貯留可能であることから溢水防護区画への伝播はない。

\*3：最大浸水深は建物外周扉等の設置高さを超えるが、当該地点には高さ 2m の取水槽海水ポンプエリア防護対策設備防水壁、ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備北側防水壁及び南側防水壁並びにディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備北側水密扉及び南側水密扉を設置するため、溢水防護区画への伝播はない。

## タービン建物への溢水量の算出

屋外タンク等の破損により生じるタービン建物への溢水量は、以下の堰の越流量公式\*を用いて算出する。溢水水位が開口部下端高さを複数回超える場合は、各溢水量を合計した値を溢水量とする。

注記\*：水理公式集（公益社団法人 土木学会）のうち長方形堰の越流量の算出方法を使用

溢水量 $=Q \times t$  【 $Q$ ：越流流量( $m^3/s$ )， $t$ ：継続時間( $s$ )】

$Q = CBh^{3/2}$  【 $C$ ：流量係数（越流水深と開口部形状によって定まる値），

$B$ ：開口部の幅( $m$ )， $h$ ：越流水深（浸水深と開口部下端高さの差）( $m$ )】

$C = 1.642(h/L)^{0.022}$  : ( $0 < h/L \leq 0.1$ ) 【 $L$ ：開口部の濡れ縁長さ( $m$ )】

$C = 1.552 + 0.083(h/L)$  : ( $0.1 < h/L \leq 0.4$ )

$C = 1.444 + 0.352(h/L)$  : ( $0.4 < h/L \leq (1.5 \sim 1.9)$ )

表 5.5-2 よりタービン建物（地点 4～地点 7）において溢水が発生するのは地点 5（タービン建物北面 2）のみである。地点 5 の浸水深時刻歴を図 1 に示す。

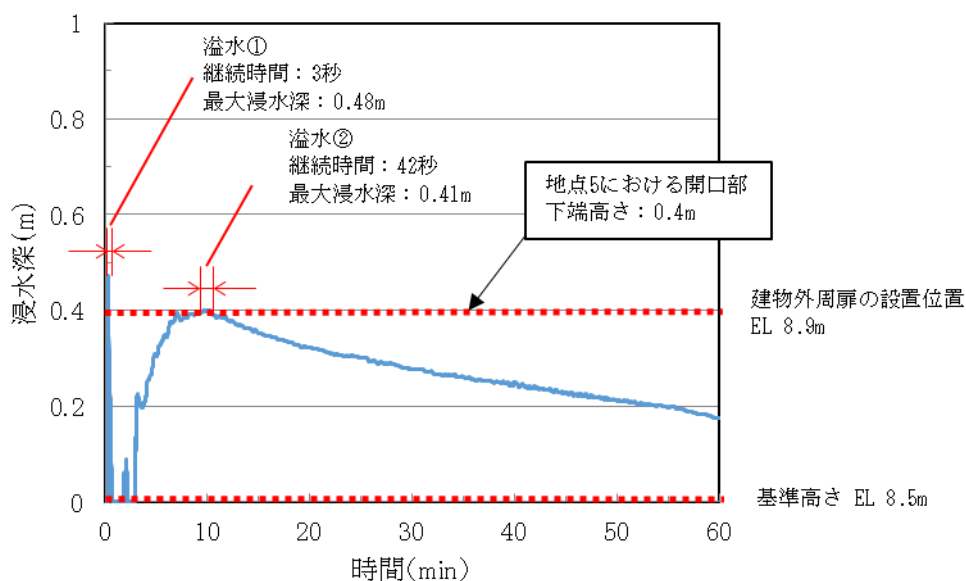


図 1 浸水深時刻歴（地点 5）

図1より開口部下端高さを超える溢水は2回発生し、最大浸水深はそれぞれ0.48m、0.41mである。浸水深は時間とともに変化するが、溢水の継続時間の間は最大浸水深の溢水が発生するものとして安全側に溢水量の算出を行う。結果を表1に示す。

表1 溢水量 (地点5)

			溢水①	溢水②
t	継続時間	s	3	42
C	流量係数	-	1.58	1.53
B	開口部の幅	m	2	2
L	開口部の濡れ縁長さ	m	0.3	0.3
h	越流水深	m	0.08	0.01
Q	越流流量	m <sup>3</sup> /s	0.08	0.01
-	溢水量	m <sup>3</sup>	0.24	0.42
合計			0.66m <sup>3</sup>	

表1よりタービン建物へ流入する溢水量は0.66m<sup>3</sup>であるが、安全側に切り上げて約1m<sup>3</sup>とする。



## 5.6 除じん系ポンプ他移設に関する影響評価

### (1) 概要

本資料は、取水槽海水ポンプエリアに設置されている除じん系ポンプ及び配管を取水槽除じん機エリアへ移設することに伴う影響について説明するものである。

### (2) 変更内容

除じん系ポンプ及び配管は、耐津波設計の設置変更許可段階において浸水防護重点化範囲である取水槽海水ポンプエリアに設置する計画であったため、基準地震動  $S_s$  による地震力に対してバウンダリ機能を保持し、津波を流入させない設計としていたが、詳細設計により浸水防護重点化範囲外である取水槽除じん機エリアへの移設が可能であることが判明したため移設する。移設に伴い、除じん系ポンプ及び配管は浸水防止設備の対象外となる。除じん系ポンプ及び配管の配置の変更概要を表 5.6-1 に示す。

### (3) 変更に伴う影響評価

除じん系ポンプ及び配管は、浸水防護重点化範囲外へ移設されるため、津波設計へ与える影響はない。また、移設に伴い発生する開口部（ポンプ取水管及び配管壁貫通部）については、周囲の躯体（中床版、隔壁及び側壁）と同等以上の設計強度、部材厚及び配筋とすることにより、躯体と一体として評価できるよう閉塞する。なお、周囲の取水槽の躯体（中床版、隔壁及び側壁）については、「補足 026-02 取水槽の地震応答計算書及び耐震性についての計算書に関する補足説明資料」のうち「参考 5 止水機能が要求される部材に対する漏水量評価について」において、津波による漏水に対して影響がないことを確認しているため、閉塞する開口部についても津波による漏水に対して影響はない。移設に伴う資料の主な変更箇所を表 5.6-2 に示す。

以上の評価結果から、除じん系ポンプ及び配管の移設に伴う影響はないことを確認している。

表 5.6-1 除じん系ポンプ及び配管の移設に伴う変更概要

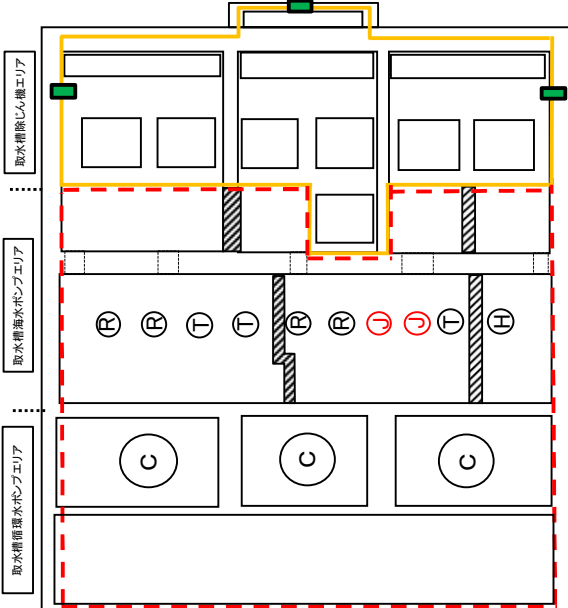
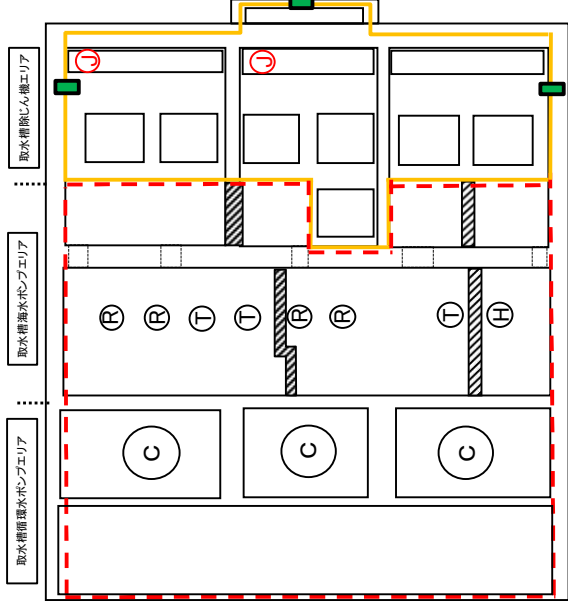
設置変更許可時	変更後
 <p>取水槽循環水ポンプエリア</p> <p>取水槽海水ポンプエリア</p> <p>取水槽除じん機エリア</p> <p>取水槽除じん機エリア水密扉 (R)</p> <p>浸水防護重点化範囲 (H)</p> <p>取水槽除じん機エリア防水壁 (T)</p> <p>分離壁 (C)</p> <p>原子炉補機海水ポンプ (R)</p> <p>高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ (H)</p> <p>タービン補機海水ポンプ (T)</p> <p>循環水ポンプ (C)</p> <p>除じんポンプ (J)</p>	 <p>取水槽循環水ポンプエリア</p> <p>取水槽海水ポンプエリア</p> <p>取水槽除じん機エリア</p> <p>取水槽除じん機エリア水密扉 (R)</p> <p>浸水防護重点化範囲 (H)</p> <p>取水槽除じん機エリア防水壁 (T)</p> <p>分離壁 (C)</p> <p>原子炉補機海水ポンプ (R)</p> <p>高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ (H)</p> <p>タービン補機海水ポンプ (T)</p> <p>循環水ポンプ (C)</p> <p>除じんポンプ (J)</p>
<p>変更概要</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・除じん系ポンプ及び配管を取水槽海水ポンプエリアから取水槽除じん機エリアへ移設する。</li> <li>・移設に伴い、除じん系ポンプ及び配管は浸水防止設備の対象外となる。</li> </ul>	

表 5.6-2 除じん系ポンプ及び配管の移設に伴う変更箇所 (1/5)

設置変更許可時		変更後	
1.5.1.3 敷地への流入防止 (外郭防護 1) (2) 取水路、放水路等の経路からの津波の流入防止 (P.5 条-32) 第 1.5-3 表 流入経路特定結果		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 3.2 敷地への流入防止 (外郭防護 1) に係る評価 (P.12) 表 3-2 流入経路特定結果	
流入経路 2号炉 ① 取水槽除じん機エリアと取水槽海水ポンプエリアとの貫通部 (EL.+6.3m~+7.3m) 取水槽除じん機エリアと取水槽C/Cケーブアルダクトとの貫通部 (EL.+6.2m~+6.5m) 床面開口部 (EL.+1.1m) 循環水系 原子炉補機海水ポンプ (据付部含む) 及び配管 (EL.+1.1m)*1 海水系 高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ (据付部含む) 及び配管 (EL.+1.1m)*1 タービン補機海水ポンプ (据付部含む) 及び配管 (EL.+1.1m)*1 ② 除じんポンプ (据付部含む) 及び配管 (EL.+1.1m)*1 取水槽天端開口部 (EL.+8.8m) 取水槽天端開口部 (EL.+8.8m) 取水路点検口天端開口部 (EL.+9.5m) 2号炉 放水槽天端開口部 (EL.+8.8m) 放水接合槽天端開口部 (EL.+8.0m) 放水槽と屋外配管ダクト (タービン建物~放水槽) との貫通部 (EL.+2.3~+4.5m) 循環水系配管 (EL.-2.8m)*2 原子炉補機海水系配管 (EL.+2.3m)*2 タービン補機海水系配管 (EL.+3.3m)*2 液体廃棄物処理系配管 (EL.+4.3m)*2 放水槽天端開口部 (EL.+8.8m) 冷却水排水槽天端開口部 (EL.+8.5m) マンホール天端開口部 (EL.+8.5m) 放水接合槽天端開口部 (EL.+9.0m) 放水槽天端開口部 (EL.+8.8m) 放水接合槽天端開口部 (EL.+8.5m) 3号炉 屋外排水路 (EL.+2.7~+7.3m)	流入経路 取水槽除じん機エリア天端開口部 (EL. 8.8m) ① 取水槽除じん機エリアと取水槽海水ポンプエリアとの貫通部 (EL. 6.5m~EL. 7.3m) 取水槽除じん機エリアと取水槽C/Cケーブアルダクトとの貫通部 (EL. 6.0m~EL. 6.7m) 床面開口部 (EL. 1.1m) 循環水系 原子炉補機海水ポンプ (据付部含む) 及び配管 (EL. 1.1m)*1 海水系 高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ (据付部含む) 及び配管 (EL. 1.1m)*1 タービン補機海水ポンプ (据付部含む) 及び配管 (EL. 1.1m)*1 ② 除じん系ポンプ 及び配管移設に伴う流入経路の削除	変更箇所 ① 配管移設に伴う流入高さの変更 取水槽除じん機エリアー取水槽海水ポンプエリアとの境界貫通部 EL. 6.3m~7.3m =>EL. 6.5m~7.3m ② 除じん系ポンプ及び配管移設に伴う流入経路の削除	
2号機 取水槽除じん機エリアと取水槽海水ポンプエリアとの貫通部 (EL. 8.8m) ① 取水槽除じん機エリアと取水槽海水ポンプエリアとの貫通部 (EL. 6.5m~EL. 7.3m) 取水槽除じん機エリアと取水槽C/Cケーブアルダクトとの貫通部 (EL. 6.0m~EL. 6.7m) 床面開口部 (EL. 1.1m) 循環水系 原子炉補機海水ポンプ (据付部含む) 及び配管 (EL. 1.1m)*1 海水系 高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ (据付部含む) 及び配管 (EL. 1.1m)*1 タービン補機海水ポンプ (据付部含む) 及び配管 (EL. 1.1m)*1 ② 除じん系ポンプ 及び配管移設に伴う流入経路の削除	流入経路 取水槽除じん機エリアと取水槽海水ポンプエリアとの貫通部 (EL. 8.8m) ① 取水槽除じん機エリアと取水槽海水ポンプエリアとの貫通部 (EL. 6.5m~EL. 7.3m) 取水槽除じん機エリアと取水槽C/Cケーブアルダクトとの貫通部 (EL. 6.0m~EL. 6.7m) 床面開口部 (EL. 1.1m) 循環水系 原子炉補機海水ポンプ (据付部含む) 及び配管 (EL. 1.1m)*1 海水系 高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ (据付部含む) 及び配管 (EL. 1.1m)*1 タービン補機海水ポンプ (据付部含む) 及び配管 (EL. 1.1m)*1 ② 除じん系ポンプ 及び配管移設に伴う流入経路の削除	変更箇所 ① 配管移設に伴う流入高さの変更 取水槽除じん機エリアー取水槽海水ポンプエリアとの境界貫通部 EL. 6.3m~7.3m =>EL. 6.5m~7.3m ② 除じん系ポンプ及び配管移設に伴う流入経路の削除	
1号機 放水槽天端開口部 (EL.+8.8m) 放水接合槽天端開口部 (EL.+8.0m) 放水槽と屋外配管ダクト (タービン建物~放水槽) との貫通部 (EL.+2.3~+4.5m) 循環水系配管 (EL.-2.8m)*2 原子炉補機海水系配管 (EL.+2.3m)*2 タービン補機海水系配管 (EL.+3.3m)*2 液体廃棄物処理系配管 (EL.+4.3m)*2 放水槽天端開口部 (EL.+8.8m) 冷却水排水槽天端開口部 (EL.+8.5m) マンホール天端開口部 (EL.+8.5m) 放水接合槽天端開口部 (EL.+9.0m) 放水槽天端開口部 (EL.+8.8m) 放水接合槽天端開口部 (EL.+8.5m) 3号機 屋外排水路 (EL.+2.7~+7.3m)	流入経路 放水槽天端開口部 (EL. 8.8m) 放水接合槽天端開口部 (EL. 8.0m) 放水槽と屋外配管ダクト (タービン建物~放水槽) との貫通部 (EL. 2.3~EL. 4.5m) 循環水系配管 (EL.-2.8m)*2 原子炉補機海水系配管 (EL. 2.3m)*2 タービン補機海水系配管 (EL. 3.3m)*2 液体廃棄物処理系配管 (EL. 4.3m)*2 放水槽天端開口部 (EL. 8.8m) 冷却水排水槽天端開口部 (EL. 8.5m) マンホール天端開口部 (EL. 8.5m) 放水接合槽天端開口部 (EL. 9.0m) 放水槽天端開口部 (EL. 8.8m) 放水接合槽天端開口部 (EL. 8.5m) 3号機 屋外排水路 (EL. 2.7~EL. 7.3m)	変更箇所 ① 配管移設に伴う流入高さの変更 取水槽除じん機エリアー取水槽海水ポンプエリアとの境界貫通部 EL. 6.3m~7.3m =>EL. 6.5m~7.3m ② 除じん系ポンプ及び配管移設に伴う流入経路の削除	

※ 1 施設、設備を設置した床面高さを記載

※ 2 放水槽への接続高さを記載

注記\*1：施設、設備を設置した床面高さを記載

\*2：放水槽への接続高さを記載

表 5.6-2 除じん系ポンプ及び配管の移設に伴う変更箇所 (2/5)

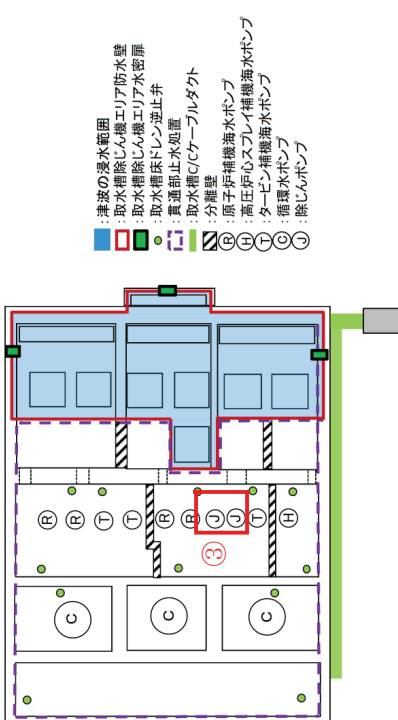
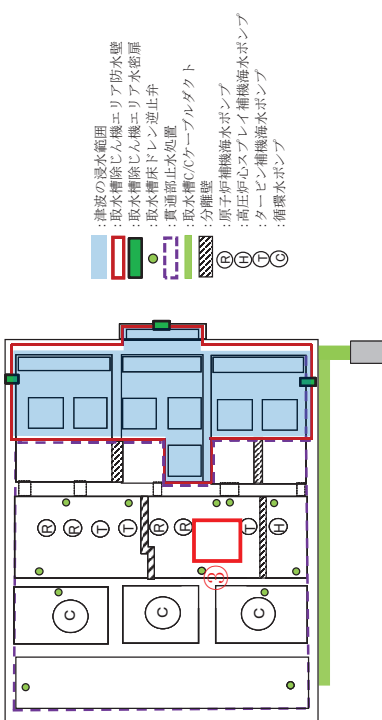
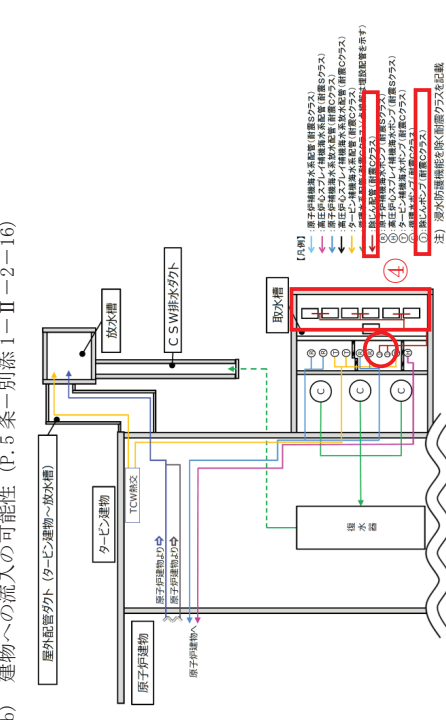
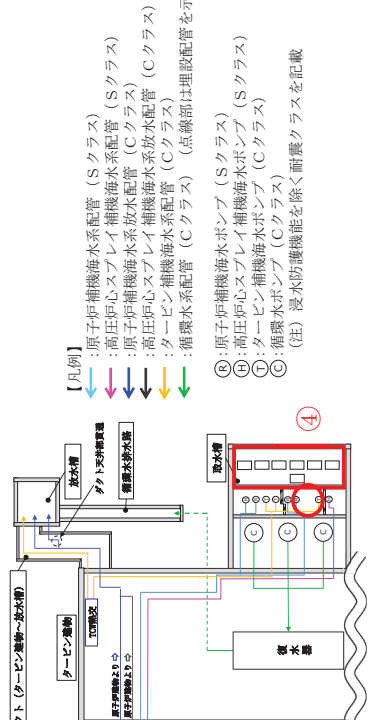
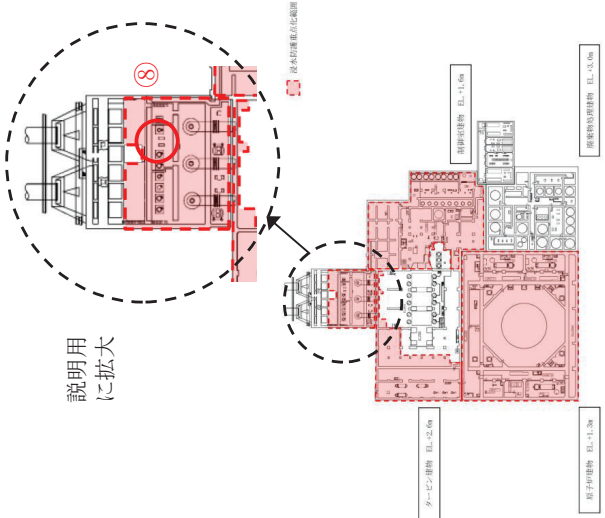
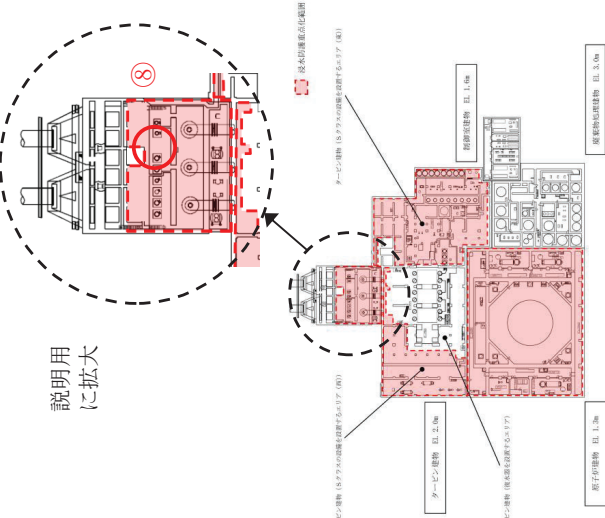
設置変更許可時	変更後	変更概要
<p>2.2.2 取水路、放水路等の経路からの津波の流入防止</p> <p>(2) 各経路に対する確認結果 a. 2号炉取水路</p> <p>(a) 敷地地上部への流入の可能性 (P.5条-別添1-Ⅱ-2-15)</p>  <p>第 2.2-8 図 取水槽の流入防止の対策の概要 (平面図)</p>	<p>VI-1-1-3-2-4 入力津波による津波防護対象設備への影響評価</p> <p>3.2 敷地への流入防止 (外郭防護 1) に係る評価 (P.17)</p>  <p>図 3-8 取水槽の浸水対策の概要 (平面図)</p>	<p>③除じん系ポンプ及び配管の移設に伴う除じん系ポンプの削除</p>
<p>2.2.2 取水路、放水路等の経路からの津波の流入防止</p> <p>(2) 各経路に対する確認結果 a. 2号炉取水路</p> <p>(b) 建物への流入の可能性 (P.5条-別添1-Ⅱ-2-16)</p>  <p>第 2.2-10 図 海水系配管及び循環水系配管経路概要図</p>	<p>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</p> <p>3.2 敷地への流入防止 (外郭防護 1) に係る評価 (P.18)</p>  <p>図 3-9 海水系配管及び循環水系配管経路概要図</p>	<p>④除じん系ポンプ及び配管の移設に伴う除じん系ポンプ及び配管の削除</p>

表 5.6-2 除じん系ポンプ及び配管の移設に伴う変更箇所 (3/5)

設置変更許可時		変更後		変更概要																																																																																																																																	
1.5.1.3 敷地への流入防止 (外部防護1) (2) 取水路、放水路等の経路からの津波の流入防止 (P.5 条-33)		MI-1-1-3-2-4 流入津波による津波防護対象設備への影響評価 3.2 敷地への流入防止 (外部防護1) に係る評価 (P.31)		⑤ 除じん系ポンプ及び配管の移設に伴う除じん系ポンプ及び配管の削除 ⑥ 配管移設に伴うエリア内の貫通部の最下端高さ及び貫通部止水処置の許容水頭圧高さの反映																																																																																																																																	
表 1.5-4 表 各経路からの流入評価結果 第 1.5-4 表 各経路からの流入評価結果		表 3-9 各経路からの流入評価結果(1/2)		注記*1: 取水槽除じん機エリア防水壁高さ *2: エリア内の貫通部の最下端高さEL. 6.5mに、貫通部止水処置の許容水頭圧高さ14.8mを加算した値 *3: エリア内の貫通部の最下端高さEL. 6.0mに、貫通部止水処置の許容水頭圧高さ14.8mを加算した値 *4: 取水槽床下へ逆止弁の設置高さEL. 1.1mに、取水槽床下へ逆止弁の許容水頭圧高さ29.7mを加算した値 *5: 1号機取水槽の天端開口高さ *6: 3号機取水槽の天端開口高さ *7: 3号機取水路点検口の天端開口高さ *8: 参照する標度(0.64m)を考慮しても余裕がある。																																																																																																																																	
<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">流入経路</th> <th rowspan="2">流入箇所</th> <th colspan="2">①入力津波 高さ(EL.)</th> <th colspan="2">②許容津波 標度(m)</th> <th rowspan="2">評価</th> </tr> <tr> <th>高さ(EL.)</th> <th>標度(m)</th> <th>高さ(EL.)</th> <th>標度(m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="10">取水路</td> <td rowspan="2">2号機</td> <td>取水槽除じん機エリア天端開口部</td> <td>11.5m<sup>1</sup></td> <td>0.7m<sup>2</sup></td> <td>11.3m<sup>1</sup></td> <td>0.7m<sup>2</sup></td> <td rowspan="10">                     内包流体に対するバンプが形成されており、津波は流入しない。                      原付補機海水ポンプ (掘付部含む) 及び配管                      高圧心スプレィ補機海水ポンプ (掘付部含む) 及び配管                      タービン補機海水ポンプ (掘付部含む) 及び配管                      除じんポンプ (掘付部含む) 及び配管                      取水槽床面開口部                      取水槽C/ケーブ/スクラト貫通部                      取水槽海水ポンプエリア                      取水槽C/ケーブ/スクラト貫通部                      取水槽床面開口部                 </td> </tr> <tr> <td rowspan="2">循環水系</td> <td>循環水ポンプ (掘付部含む) 及び配管</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>原付補機海水ポンプ (掘付部含む) 及び配管</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">海水系</td> <td>高圧心スプレィ補機海水ポンプ (掘付部含む) 及び配管</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>タービン補機海水ポンプ (掘付部含む) 及び配管</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">1号機</td> <td>取水槽天端開口部</td> <td>7.0m</td> <td>7.8m</td> <td>8.8m<sup>5</sup></td> <td>1.0m<sup>6</sup></td> <td rowspan="2">                     許容津波高さが入力津波高さを上回っており、津波は流入しない。                 </td> </tr> <tr> <td>取水路点検口天端開口部</td> <td>6.4m</td> <td>6.4m</td> <td>9.6m<sup>5</sup></td> <td>3.1m<sup>8</sup></td> </tr> <tr> <td rowspan="2">3号機</td> <td>取水槽天端開口部</td> <td>7.0m</td> <td>7.8m</td> <td>8.8m<sup>5</sup></td> <td>1.0m<sup>6</sup></td> <td rowspan="2">                     許容津波高さが入力津波高さを上回っており、津波は流入しない。                 </td> </tr> <tr> <td>取水路点検口天端開口部</td> <td>6.4m</td> <td>6.4m</td> <td>9.6m<sup>5</sup></td> <td>3.1m<sup>8</sup></td> </tr> </tbody> </table>		流入経路	流入箇所	①入力津波 高さ(EL.)		②許容津波 標度(m)		評価	高さ(EL.)	標度(m)	高さ(EL.)	標度(m)	取水路	2号機	取水槽除じん機エリア天端開口部	11.5m <sup>1</sup>	0.7m <sup>2</sup>	11.3m <sup>1</sup>	0.7m <sup>2</sup>	内包流体に対するバンプが形成されており、津波は流入しない。 原付補機海水ポンプ (掘付部含む) 及び配管 高圧心スプレィ補機海水ポンプ (掘付部含む) 及び配管 タービン補機海水ポンプ (掘付部含む) 及び配管 除じんポンプ (掘付部含む) 及び配管 取水槽床面開口部 取水槽C/ケーブ/スクラト貫通部 取水槽海水ポンプエリア 取水槽C/ケーブ/スクラト貫通部 取水槽床面開口部	循環水系	循環水ポンプ (掘付部含む) 及び配管	-	-	-	-	原付補機海水ポンプ (掘付部含む) 及び配管	-	-	-	-	海水系	高圧心スプレィ補機海水ポンプ (掘付部含む) 及び配管	-	-	-	-	タービン補機海水ポンプ (掘付部含む) 及び配管	-	-	-	-	1号機	取水槽天端開口部	7.0m	7.8m	8.8m <sup>5</sup>	1.0m <sup>6</sup>	許容津波高さが入力津波高さを上回っており、津波は流入しない。	取水路点検口天端開口部	6.4m	6.4m	9.6m <sup>5</sup>	3.1m <sup>8</sup>	3号機	取水槽天端開口部	7.0m	7.8m	8.8m <sup>5</sup>	1.0m <sup>6</sup>	許容津波高さが入力津波高さを上回っており、津波は流入しない。	取水路点検口天端開口部	6.4m	6.4m	9.6m <sup>5</sup>	3.1m <sup>8</sup>	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">流入経路</th> <th rowspan="2">流入箇所</th> <th colspan="2">①入力津波 高さ(EL.)</th> <th colspan="2">②許容津波 標度(m)</th> <th rowspan="2">評価</th> </tr> <tr> <th>高さ(EL.)</th> <th>標度(m)</th> <th>高さ(EL.)</th> <th>標度(m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="10">取水路</td> <td rowspan="2">2号機</td> <td>取水槽除じん機エリア天端開口部</td> <td>11.5m<sup>1</sup></td> <td>0.7m<sup>2</sup></td> <td>11.3m<sup>1</sup></td> <td>0.7m<sup>2</sup></td> <td rowspan="10">                     内包流体に対するバンプが形成されており、津波は流入しない。                      原付補機海水ポンプ (掘付部含む) 及び配管                      高圧心スプレィ補機海水ポンプ (掘付部含む) 及び配管                      タービン補機海水ポンプ (掘付部含む) 及び配管                      除じんポンプ (掘付部含む) 及び配管                      取水槽床面開口部                      取水槽C/ケーブ/スクラト貫通部                      取水槽海水ポンプエリア                      取水槽C/ケーブ/スクラト貫通部                      取水槽床面開口部                 </td> </tr> <tr> <td rowspan="2">循環水系</td> <td>循環水ポンプ (掘付部含む) 及び配管</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>原付補機海水ポンプ (掘付部含む) 及び配管</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">海水系</td> <td>高圧心スプレィ補機海水ポンプ (掘付部含む) 及び配管</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>タービン補機海水ポンプ (掘付部含む) 及び配管</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">1号機</td> <td>取水槽天端開口部</td> <td>7.0m</td> <td>7.8m</td> <td>8.8m<sup>5</sup></td> <td>1.0m<sup>6</sup></td> <td rowspan="2">                     許容津波高さが入力津波高さを上回っており、津波は流入しない。                 </td> </tr> <tr> <td>取水路点検口天端開口部</td> <td>6.4m</td> <td>6.4m</td> <td>9.6m<sup>5</sup></td> <td>3.1m<sup>8</sup></td> </tr> <tr> <td rowspan="2">3号機</td> <td>取水槽天端開口部</td> <td>7.0m</td> <td>7.8m</td> <td>8.8m<sup>5</sup></td> <td>1.0m<sup>6</sup></td> <td rowspan="2">                     許容津波高さが入力津波高さを上回っており、津波は流入しない。                 </td> </tr> <tr> <td>取水路点検口天端開口部</td> <td>6.4m</td> <td>6.4m</td> <td>9.6m<sup>5</sup></td> <td>3.1m<sup>8</sup></td> </tr> </tbody> </table>		流入経路	流入箇所	①入力津波 高さ(EL.)		②許容津波 標度(m)		評価	高さ(EL.)	標度(m)	高さ(EL.)	標度(m)	取水路	2号機	取水槽除じん機エリア天端開口部	11.5m <sup>1</sup>	0.7m <sup>2</sup>	11.3m <sup>1</sup>	0.7m <sup>2</sup>	内包流体に対するバンプが形成されており、津波は流入しない。 原付補機海水ポンプ (掘付部含む) 及び配管 高圧心スプレィ補機海水ポンプ (掘付部含む) 及び配管 タービン補機海水ポンプ (掘付部含む) 及び配管 除じんポンプ (掘付部含む) 及び配管 取水槽床面開口部 取水槽C/ケーブ/スクラト貫通部 取水槽海水ポンプエリア 取水槽C/ケーブ/スクラト貫通部 取水槽床面開口部	循環水系	循環水ポンプ (掘付部含む) 及び配管	-	-	-	-	原付補機海水ポンプ (掘付部含む) 及び配管	-	-	-	-	海水系	高圧心スプレィ補機海水ポンプ (掘付部含む) 及び配管	-	-	-	-	タービン補機海水ポンプ (掘付部含む) 及び配管	-	-	-	-	1号機	取水槽天端開口部	7.0m	7.8m	8.8m <sup>5</sup>	1.0m <sup>6</sup>	許容津波高さが入力津波高さを上回っており、津波は流入しない。	取水路点検口天端開口部	6.4m	6.4m	9.6m <sup>5</sup>	3.1m <sup>8</sup>	3号機	取水槽天端開口部	7.0m	7.8m	8.8m <sup>5</sup>	1.0m <sup>6</sup>	許容津波高さが入力津波高さを上回っており、津波は流入しない。	取水路点検口天端開口部	6.4m	6.4m	9.6m <sup>5</sup>	3.1m <sup>8</sup>
流入経路	流入箇所			①入力津波 高さ(EL.)		②許容津波 標度(m)			評価																																																																																																																												
		高さ(EL.)	標度(m)	高さ(EL.)	標度(m)																																																																																																																																
取水路	2号機	取水槽除じん機エリア天端開口部	11.5m <sup>1</sup>	0.7m <sup>2</sup>	11.3m <sup>1</sup>	0.7m <sup>2</sup>	内包流体に対するバンプが形成されており、津波は流入しない。 原付補機海水ポンプ (掘付部含む) 及び配管 高圧心スプレィ補機海水ポンプ (掘付部含む) 及び配管 タービン補機海水ポンプ (掘付部含む) 及び配管 除じんポンプ (掘付部含む) 及び配管 取水槽床面開口部 取水槽C/ケーブ/スクラト貫通部 取水槽海水ポンプエリア 取水槽C/ケーブ/スクラト貫通部 取水槽床面開口部																																																																																																																														
		循環水系	循環水ポンプ (掘付部含む) 及び配管	-	-	-		-																																																																																																																													
	原付補機海水ポンプ (掘付部含む) 及び配管		-	-	-	-																																																																																																																															
	海水系	高圧心スプレィ補機海水ポンプ (掘付部含む) 及び配管	-	-	-	-																																																																																																																															
		タービン補機海水ポンプ (掘付部含む) 及び配管	-	-	-	-																																																																																																																															
	1号機	取水槽天端開口部	7.0m	7.8m	8.8m <sup>5</sup>	1.0m <sup>6</sup>		許容津波高さが入力津波高さを上回っており、津波は流入しない。																																																																																																																													
		取水路点検口天端開口部	6.4m	6.4m	9.6m <sup>5</sup>	3.1m <sup>8</sup>																																																																																																																															
	3号機	取水槽天端開口部	7.0m	7.8m	8.8m <sup>5</sup>	1.0m <sup>6</sup>		許容津波高さが入力津波高さを上回っており、津波は流入しない。																																																																																																																													
		取水路点検口天端開口部	6.4m	6.4m	9.6m <sup>5</sup>	3.1m <sup>8</sup>																																																																																																																															
	流入経路	流入箇所	①入力津波 高さ(EL.)		②許容津波 標度(m)			評価																																																																																																																													
高さ(EL.)			標度(m)	高さ(EL.)	標度(m)																																																																																																																																
取水路	2号機	取水槽除じん機エリア天端開口部	11.5m <sup>1</sup>	0.7m <sup>2</sup>	11.3m <sup>1</sup>	0.7m <sup>2</sup>	内包流体に対するバンプが形成されており、津波は流入しない。 原付補機海水ポンプ (掘付部含む) 及び配管 高圧心スプレィ補機海水ポンプ (掘付部含む) 及び配管 タービン補機海水ポンプ (掘付部含む) 及び配管 除じんポンプ (掘付部含む) 及び配管 取水槽床面開口部 取水槽C/ケーブ/スクラト貫通部 取水槽海水ポンプエリア 取水槽C/ケーブ/スクラト貫通部 取水槽床面開口部																																																																																																																														
		循環水系	循環水ポンプ (掘付部含む) 及び配管	-	-	-		-																																																																																																																													
	原付補機海水ポンプ (掘付部含む) 及び配管		-	-	-	-																																																																																																																															
	海水系	高圧心スプレィ補機海水ポンプ (掘付部含む) 及び配管	-	-	-	-																																																																																																																															
		タービン補機海水ポンプ (掘付部含む) 及び配管	-	-	-	-																																																																																																																															
	1号機	取水槽天端開口部	7.0m	7.8m	8.8m <sup>5</sup>	1.0m <sup>6</sup>		許容津波高さが入力津波高さを上回っており、津波は流入しない。																																																																																																																													
		取水路点検口天端開口部	6.4m	6.4m	9.6m <sup>5</sup>	3.1m <sup>8</sup>																																																																																																																															
	3号機	取水槽天端開口部	7.0m	7.8m	8.8m <sup>5</sup>	1.0m <sup>6</sup>		許容津波高さが入力津波高さを上回っており、津波は流入しない。																																																																																																																													
		取水路点検口天端開口部	6.4m	6.4m	9.6m <sup>5</sup>	3.1m <sup>8</sup>																																																																																																																															

表 5.6-2 除じん系ポンプ及び配管の移設に伴う変更箇所 (4/5)

設置変更許可時	変更後	変更概要
<p>2.4.2 浸水防護重点化範囲の境界における浸水対策 (3) 浸水防護重点化範囲の境界における浸水対策 d. 取水槽海水ポンプエリアにおける溢水 (P.5 条一別添1-Ⅱ-2-71) d. 取水槽海水ポンプエリアにおける溢水 取水槽海水ポンプエリアにおける溢水については、浸水防護重点化範囲の境界に以下の流入防止の対策を行うことにより、浸水防護重点化範囲である取水槽海水ポンプエリアに津波の流入はない。詳細は添付資料-27に示す。 &lt;取水槽海水ポンプエリアに対する対策&gt; ・タービン補機海水系のポンプ及び配管、<b>除じん系のポンプ及び配管の基準地震動 Ss による地震力に対するバウンダリ機能保持</b> ⑦</p>	<p>VI-1-1-3-2-4 入り津波による津波防護対象設備への影響評価 3.4 重要な安全機能及び重大事故等に対処するために必要な機能を有する施設の隔離 (内郭防護) に係る評価 (P.46) (d) 浸水防護重点化範囲のうち取水槽海水ポンプエリアにおける溢水の影響 浸水防護重点化範囲のうち取水槽海水ポンプエリアにおける溢水の影響評価においては、地震に起因する取水槽海水ポンプエリアに敷設するタービン補機海水系の機器・配管の破損を想定すると、津波がタービン補機海水系の機器・配管に流れ込み、損傷箇所を介して、取水槽海水ポンプエリアに流入することが考えられる。⑦ このため、タービン補機海水系の機器・配管について基準地震動 Ss による地震力に対しバウンダリ機能を保持させる。⑦ これを踏まえると、取水槽海水ポンプエリアに津波の流入はない。</p>	<p>⑦ 除じん系ポンプ及び配管の移設に伴う除じん系ポンプ及び配管の削除</p>
<p>2.4.1 浸水防護重点化範囲の設定 (P.5 条一別添1-Ⅱ-2-64) ⑧</p>  <p>説明用に拡大</p>	<p>VI-1-1-3-2-4 入り津波による津波防護対象設備への影響評価 3.4 重要な安全機能及び重大事故等に対処するために必要な機能を有する施設の隔離 (内郭防護) に係る評価 (P.50) ⑧</p>  <p>説明用に拡大</p>	<p>⑧ 除じん系ポンプの移設に伴う除じん系ポンプの削除</p>

第 2.4-2 図 (1) 浸水防護重点化範囲 (平面図)

図 3-29(1) 浸水防護重点化範囲図 (平面図) (1/4)



表 5.6-2 除じん系ポンプ及び配管の移設に伴う変更箇所 (5/5)

設置変更許可時	変更後	変更概要
<p>2.4.2 浸水防護重点化範囲の境界における浸水対策                      (3) 浸水防護重点化範囲の境界における浸水対策 (P.5 条一別添1ーII-2ー75)</p> <p>第 2.4.4-9-3 図 浸水防護重点化範囲内に設置する海域と接続する低耐震クラスの機器及び配管への対策概要図 (取水槽廻り詳細図) (EL. +2.0m)</p>	<p>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                      3.4 重要な安全機能及び重大事故等に対処するために必要な機能を有する施設の隔離 (内郭防護) に係る評価 (P.62)</p> <p>図 3-34 浸水防護重点化範囲内に設置する海域と接続する低耐震クラスの機器・配管への対策概要図 (取水槽廻り詳細図) (EL. 1.1m)</p>	<p>⑨ 除じん系ポンプ及び配管の移設に伴う除じん系ポンプ及び配管の削除</p>

## 5.7 タービン補機海水ポンプ出口弁の地震起因による溢水に対する健全性

### (1) 概要

本資料は、添付書類VI-1-1-3-2-1「耐津波設計の基本方針」で、タービン補機海水出口弁は、地震時に想定される溢水に対して機能を保持する設計とするため、タービン補機海水ポンプ出口弁の止水性能の健全性を確認するものである。

タービン補機海水ポンプ出口弁は、タービン補機海水ポンプ出口弁とタービン補機海水ポンプ第二出口弁で構成される。タービン補機海水ポンプ出口弁は取水槽海水ポンプエリアに設置しており、当該エリアの溢水源となるB及びCクラスの機器は基準地震動  $S_s$  による地震力に対し耐震性を確保するため、ここでは、取水槽循環水ポンプエリアに設置するタービン補機海水ポンプ第二出口弁の溢水に対する健全性を確認する。

### (2) 配置概要

評価対象となるタービン補機海水ポンプ第二出口弁の配置計画を図5.7-1に示す。

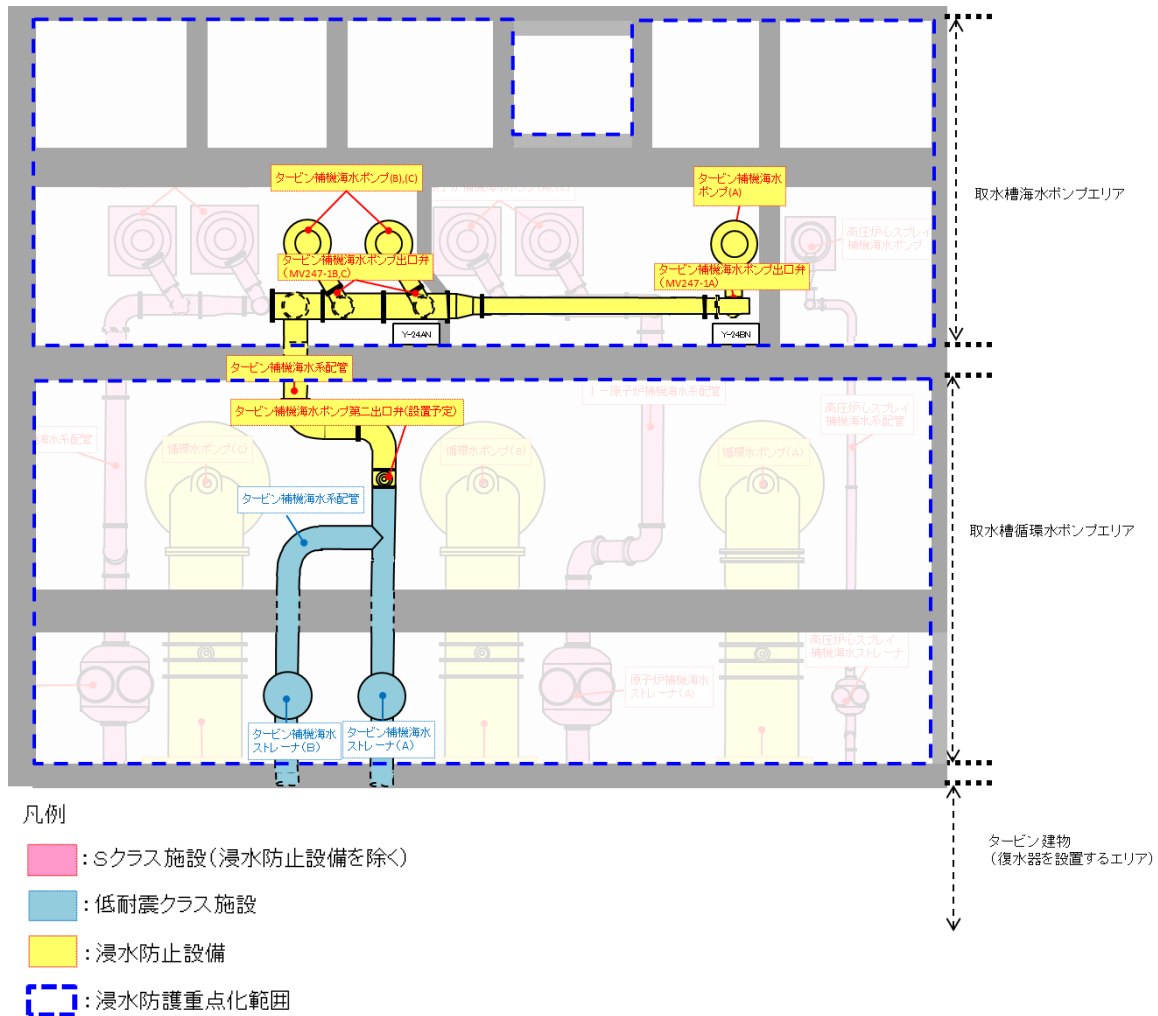


図5.7-1 配置計画 (EL 1.1m)



### (3) 溢水評価

#### a. 想定条件

地震起因による溢水によりタービン補機海水ポンプ第二出口弁を設置する取水槽循環水ポンプエリアは、天端高さEL 8.8mまで溢水が滞留することを想定する。

#### b. 耐水性確認試験

タービン補機海水ポンプ第二出口弁は、耐水仕様としており、想定する溢水水位に対して、「JIS Z 2330 非破壊試験-漏れ試験方法の種類及びその選択」に基づいた駆動部の気密試験により耐水性の確認を行った。なお、電動弁のシール部は内側と外側でシール材の形状が変わらないことから電動弁の内側（機械室及び電気室）を加圧した。図5.7-2に気密試験概略図を示す。

#### 【気密試験条件】

試験体加圧後 30 分間、圧力計に変化がないこと、発泡液をかけて漏えいが無いこと  
試験圧力：0.15MPa（気圧），保持時間：30 分間

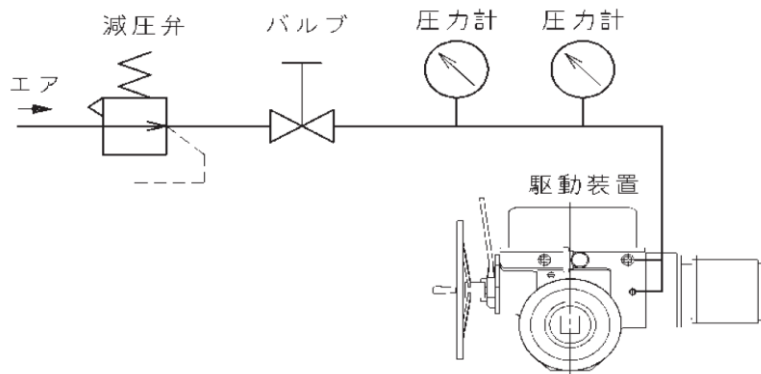


図 5.7-2 気密試験概略図

### (4) 溢水評価結果

タービン補機海水ポンプ第二出口弁はEL 4.0mに位置する配管に設置する計画であり、取水槽循環水ポンプエリアの天端（EL 8.8m）との水位差は4.8mとなることから、気密試験における圧力0.15MPa（水圧15m相当）を上回ることなく、地震起因による溢水に対して機能を保持することができる。

なお、タービン補機海水ポンプ第二出口弁は取水槽床面（EL 1.1m）から約 2.9m 以上の高さに設置することになるが、取水槽循環水ポンプエリアの地震起因による溢水が弁に到達するまで約 4 分\*かかることから、津波が到達する約 3 分以内に閉動作は完了する。

注記\*：4分 $\div$ 264m<sup>2</sup>（滞留面積） $\times$ 2.9m（弁の高さ） $\div$ 184m<sup>3</sup>/分（地震起因による溢水流量）