

第 2, 3 号機カーテンウォール

図 4.2-16 (5) 発電所構内における人工構造物 (調査分類 A)

表 4.2-4(1) 発電所構内における人工構造物（調査分類A）の主な諸元

| No. | 名 称 | 設置レベル | 形状* | 主材料 | 重量 | 数量 |
|-----|----------------------------|----------------------------|----------------------------------------|-----------|--------------------|----|
| 1 | 北防波堤導標 敷地側導標 | O. P. +4.5m O. P. +2.5m | 約 5m×φ約 0.5m 約 11m×φ約 0.6m | 鋼材 | 約 0.5 t 約 0.2 t | 2 |
| 2 | 東防波堤灯台 | O. P. +4.0m | 11.69m×φ 2m | RC | 約 30 t | 1 |
| 3 | 第 3 号機放水路サンプリング建屋 | O. P. +4.0m | 4.8m×71.51 m ² , 平屋建 RC 造 | RC (RC 造) | 約 185 t | 1 |
| 4 | 第 2 号機放水口モニタ建屋 | O. P. +4.0m | 4.813m×65.52 m ² , 平屋建 RC 造 | RC (RC 造) | 約 224 t | 1 |
| 5 | 第 2 号機放流管真空ポンプ室 | O. P. +4.0m | 4.2m×38.95 m ² , 平屋建 RC 造 | RC (RC 造) | 約 136 t | 1 |
| 6 | 第 1 号機放水路サンプリング室（排水路試料採取室） | O. P. +7.0m | 3.08m×12 m ² , 平屋建 RC 造 | RC (RC 造) | — | 1 |
| 7 | 第 1 号機放水口モニタ建屋 | O. P. +7.0m | 4.02m×54 m ² , 平屋建 RC 造 | RC (RC 造) | — | 1 |
| 8 | 港湾作業管理詰所 | O. P. +2.5m | 7.75m×142.38 m ² , 2 階建鉄骨造 | 鋼材（鉄骨造） | — | 1 |
| 9 | オイルフェンス格納倉庫 | O. P. +2.5m | 3.813m×136.77 m ² , 平屋建鉄骨造 | 鋼材（鉄骨造） | — | 1 |
| 10 | 屋外電動機等点検建屋 | O. P. +2.5m | 13.49m×940.21 m ² , 平屋建鉄骨造 | 鋼材（鉄骨造） | — | 1 |
| 11 | 配電柱 | O. P. +2.5m 以上 | 8m×φ 0.25m | コンクリート | 390kg/本 | 多数 |

注記 * : 最大規模の形状を記載

表 4.2-4(2) 発電所構内における人工構造物（調査分類A）の主な諸元

| No. | 名称 | 設置レベル | 形状* | 主材料 | 重量 | 数量 |
|-----|-----------------------------------------|--------------------------------|-------------------------|--------|----------|-----|
| 12 | 車両 | 0. P. +2. 5m 以上 | 約 15. 2m×約 3m×約 3m | 鋼材 | — | — |
| 13 | 第 2 号機カーテンウォール (PC 板) | 0. P. -11. 5m～ 0. P. +3. 5m | 4. 98m×2. 25m×0. 25m | PC | 約 6t | 30 |
| 14 | 第 2 号機カーテンウォール (H 型鋼) | | 0. 43m×0. 41m×9m | 鋼材 | 約 2. 5t | 16 |
| 15 | 第 2 号機カーテンウォール (上部コンクリート) | | 2m×2m×50m | コンクリート | 約 9t/m | 1 |
| 16 | 第 1 号機及び第 2, 3 号機カーテンウォール (PC 板) | | 4. 9m×2. 33m×0. 3m | PC | 約 8t | 124 |
| 17 | 第 1 号機及び第 2, 3 号機カーテンウォール (鋼製トラス) | | φ 0. 32～0. 61m, H13. 5m | 鋼材 | 約 40～60t | 11 |
| 18 | 第 1 号機及び第 2, 3 号機カーテンウォール (上部コンクリート) | | 4. 8m×1. 5m×176m | コンクリート | 約 17t/m | 1 |
| 19 | 屋外キュービクル | 0. P. +2. 5m 以上 | 1. 2m×7. 0m×1. 0m | 鋼材 | 1t 未満 | 1 |
| 20 | 屋外中継盤 | 0. P. +2. 5m 以上 | 2. 0×7. 0m×0. 7m | 鋼材 | 1t 未満 | 2 |
| 21 | 海上レーダー中継盤 | 0. P. +2. 5m | 2. 4m×1. 5m×0. 8m | 鋼材 | 1t 未満 | 2 |
| 22 | 海側設備分電盤 | 0. P. +2. 5m | 2. 4m×1. 2m×0. 8m | 鋼材 | 1t 未満 | 1 |
| 23 | 電気中継盤 | 0. P. +2. 5m | 2. 3m×4. 7m×1. 3m | 鋼材 | 約 5t | 1 |
| 24 | 角落し | 0. P. +2. 5m 以上 | 15m×4. 94m×0. 3m | PC | 約 7t | 多数 |

注記 * : 最大規模の形状を記載

表 4.2-4(3) 発電所構内における人工構造物（調査分類A）の主な諸元

| No. | 名 称 | 設置レベル | 形状* | 主材料 | 重量 | 数量 |
|-----|---------------------------|-----------------|-------------------|--------|----|----|
| 25 | 第3号機放水口モニタリング架台 | 0. P. +4. 0m | 2. 5m×1. 2m×2. 5m | 鋼材 | — | 1 |
| 26 | 海上レーダー支柱 | 0. P. +2. 5m | 12. 57m, φ 406 | コンクリート | — | 1 |
| 27 | 鋼製ゲート | 0. P. +2. 5m 以上 | — | 鋼材 | — | 9 |
| 28 | 警備用カメラ支柱 | 0. P. +2. 5m | 6. 25m, φ 165. 2 | 鋼材 | — | 3 |
| 29 | 排水路フラップゲート巡視路 | 0. P. +2. 5m 以上 | — | 鋼材 | — | 2 |
| 30 | ペーシング支柱 | 0. P. +2. 5m 以上 | 6. 25m, φ 165. 2 | 鋼材 | — | 5 |
| 31 | 照明支柱 | 0. P. +2. 5m 以上 | 9. 8m, φ 0. 121 | 鋼材 | — | 9 |
| 32 | 立入制限区域柵 | 0. P. +2. 5m 以上 | 2. 576m, φ 60 | 鋼材 | — | 多数 |
| 33 | マンホール | 0. P. +2. 5m 以上 | — | 鋼材 | — | 多数 |
| 34 | グレーチング | 0. P. +2. 5m 以上 | — | 鋼材 | — | 多数 |
| 35 | バッチャープラント (コンクリート製造設備) | 0. P. +4. 0m | — | 鋼材 | — | 1 |
| 36 | 工事中仮設物及び建物 | 0. P. +2. 5m 以上 | — | — | — | 多数 |

注記 * : 最大規模の形状を記載

表 4.2-4(4) 発電所構内における人工構造物（調査分類A）の主な諸元

| No. | 名 称 | 設置レベル | 形状* | 主材料 | 重量 | 数量 |
|-----|---------------|--------------------------------|---------------|--------|-----------|----|
| 37 | 防波堤（ケーソン） | 0. P. -12. 5m～ 0. P. +5. 5m | 15m×10m×9. 5m | コンクリート | 約 3, 000t | 24 |
| 38 | 防波堤（上部コンクリート） | | 14. 5m×3. 5m | コンクリート | 約 100t/m | 2 |
| 39 | 防波堤（消波ブロック） | | 6～30t 級 | コンクリート | 30t | 多数 |
| 40 | 防波堤（被覆石） | | — | 石材 | 500kg/個以上 | 多数 |
| 41 | 防波堤（捨石） | | — | 石材 | 5～100kg/個 | 多数 |

注記 *：最大規模の形状を記載

検討対象施設・設備として抽出されたものについて、図 4.2-14 に示す漂流物の選定・影響確認フローに従って、漂流する可能性 (Step1)、到達する可能性 (Step2) 及び閉塞する可能性 (Step3) の検討を行い、取水性への影響を評価した。

なお、調査分類Aについては、発電所敷地内の設備であることから、漂流する可能性 (Step1) において、滑動する可能性の検討を行った。滑動する可能性を検討する上で用いる流速は、取水口が港湾内に位置することを踏まえ、発電所の港湾内最大流速とする (図 4.2-17)。また、評価にあたっては、「港湾の施設の技術上の基準・同解説 (日本港湾協会, 平成 19 年 7 月)」に準じて、イスバッシュ式を用いた。この式は米国の海岸工学研究センターが潮流による洗堀を防止するための捨石質量として示したものであり、水に対する被覆材の安定質量を求めるものであることから、津波来襲時における対象物の滑動可能性評価に適用可能であると考え。イスバッシュの定数はマウンド被覆材が露出した状態に相当する 0.86 とする。

「港湾の施設の技術上の基準・同解説 (日本港湾協会, 平成 19 年 7 月)」のイスバッシュ式

$$M_d = \frac{\pi \rho_r U_d^6}{48g^3(y_d)^6(S_r - 1)^3(\cos\theta - \sin\theta)^3}$$

| | |
|----------|----------------------------------------------------|
| M_d | 捨石等の安定質量 (t) |
| ρ_r | 捨石等の密度 (t/m ³) |
| U_d | 捨石等の上面における水の流れの速度 (m/s) |
| g | 重力加速度 (m/s ²) |
| y_d | イスバッシュ (Isbash) の定数 (埋め込まれた石は 1.2, 露出した石は 0.86) |
| S_r | 捨石等の水に対する比重 |
| θ | 水路床の軸方向の斜面の勾配 (°) |

イスバッシュ式をもとに、対象物が水の流れによって動かない最大流速 (以下「安定流速」という) を算出し、遡上解析による流速が安定流速以下であることを確認する。遡上解析による流速が安定流速を上回る場合には、上回る継続時間を確認し滑動の移動距離を評価することで取水口前面に到達する可能性を評価した。安定流速は以下の式により算出される。

$$U_{ds} = \sqrt[6]{\frac{48Mg^3(y_d)^6(S_r - 1)^3(\cos\theta - \sin\theta)^3}{\pi\rho_r}}$$

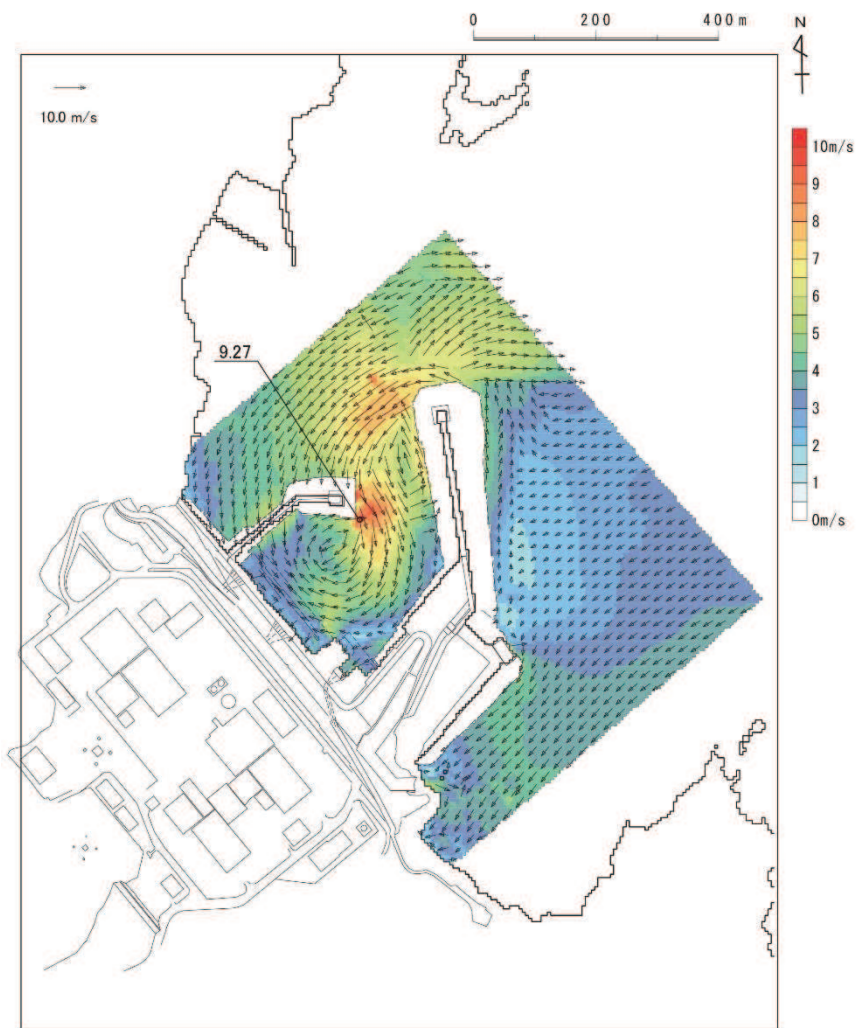


図 4.2-17(1) 発電所の港湾内最大流速分布図

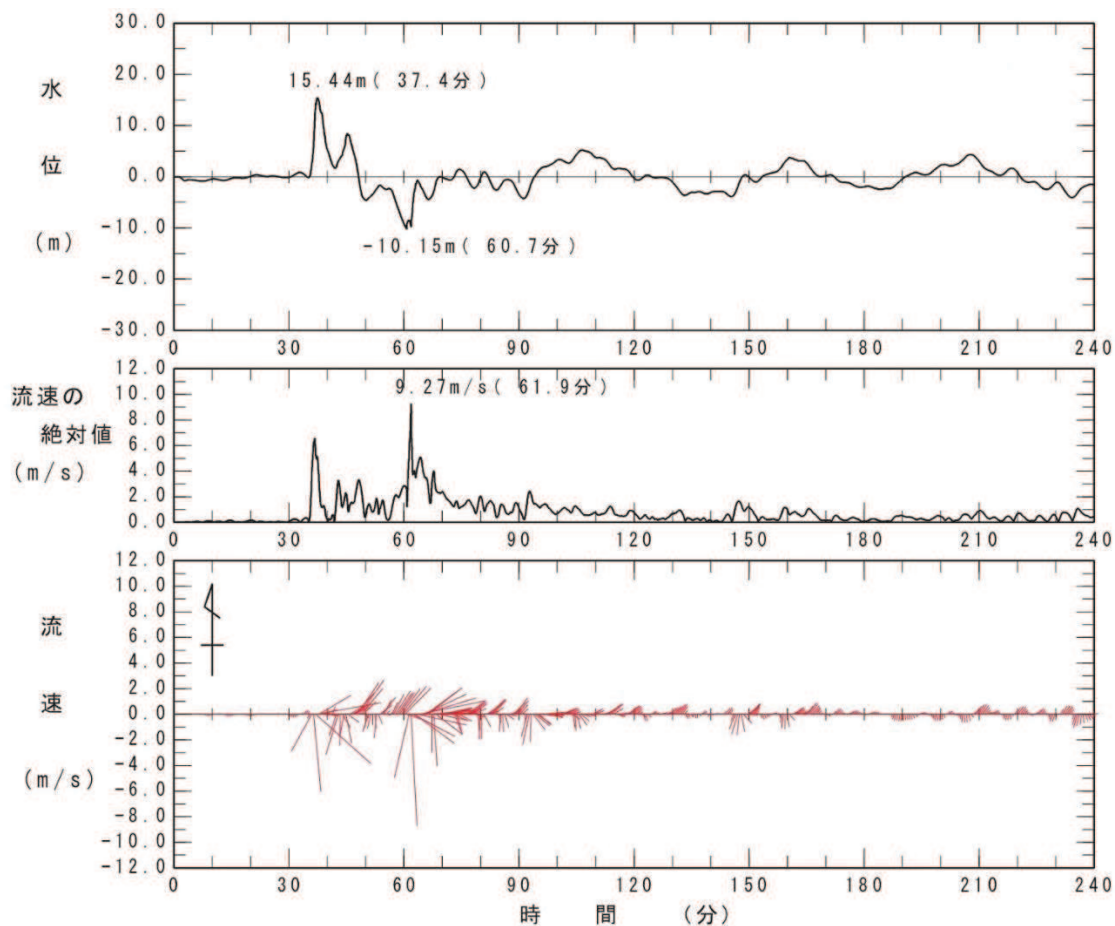


図 4.2-17(2) 発電所の港湾内最大流速地点における水位・絶対流速・流向の時刻歴波形
(下降側基準津波)

北防波堤導標・敷地側導標 (No. 1) については、主材料である鋼材の比重 (7.85) と海水の比重 (1.03) を比較した結果、当該設備の比重の方が大きいことから漂流物とはならないと評価した。滑動する可能性については、当該設備が細長い円筒形であり、津波波力を受けにくい構造であることから、滑動しないと評価した。

東防波堤灯台 (No. 2)、第 3 号機放水路サンプリング建屋 (No. 3)、第 2 号機放水口モニタ建屋 (No. 4)、第 2 号機放流管真空ポンプ室 (No. 5)、第 1 号機放水路サンプリング室 (排水路試料採取室) (No. 6) 及び第 1 号機放水口モニタ建屋 (No. 7) については、いずれも RC 造の建物で、扉や窓等の開口部が地震又は津波波力により破損して気密性が喪失し、施設内部に津波が流入すると考えられるが、東北地方太平洋沖地震に伴う津波の実績を踏まえ、開口部上端から天井までの空間は空気の層が残り、浮力として作用することを考慮する (図 4.2-18)。一方、東防波堤灯台 (No. 2) は開口部上端から天井までの空間がほとんどなく、第 1 号機放水路サンプリング室 (排水路試料採取室) (No. 6) 及び第 1 号機放水口モニタ建屋 (No. 7) は津波の流況や取水口との位置関係 (図 4.2-19) を踏まえ、第 3 号機放水路サンプリング建屋 (No. 3)、第 2 号機放水口モニタ建屋 (No. 4) 及び第 2 号機放流管真空ポンプ室 (No. 5) の 3 棟を

代表に漂流する可能性の評価を行った。これら 3 棟の開口部から天井までの空間を含めた施設体積をもとにした比重 (1.16~1.34) は海水の比重 (1.03) を上回っていることから、漂流しない評価となる (表 4.2-5)。また、滑動する可能性については、これらの施設が直接基礎又は杭基礎構造であることから、滑動しにくいと考えられるものの、東北地方太平洋沖地震に伴う津波の事例では、4 階建ての RC 造の建物が約 70m 移動したとの報告があることを踏まえ、滑動することを考慮する。ただし、これらの施設が滑動する経路上の地面の段差や発電所の港湾内に沈む過程において施設が傾いたり転倒することで、開口部上端から天井までの空気の層は失われ、主材料であるコンクリートの比重になると考えられる。そのため、主材料であるコンクリートの比重 (2.34) とそれぞれの施設重量から算出される安定流速 (9.4~10.2m/s) (表 4.2-5) と港湾内の最大流速 (9.3m/s) を比較した。その結果、設置位置からは滑動するものの、発電所の港湾内に沈んだ後には滑動しないため、取水口前面に到達する可能性はないと評価した。なお、仮に、「4.3 漂流物による衝突荷重について」の図 4.3-9 に示すように、発電所の陸域で生じる最大流速 13m/s を保守的に適用した場合には滑動する評価となるが、取水口は港湾内よりも約 4m 高い位置にあることから、取水口前面には到達しない。



図 4.2-18 開口部が破損して建物内部に津波が流入しても内空として考慮する空間の例 (第 2 号機放流管真空ポンプ室 (No. 5) の例)

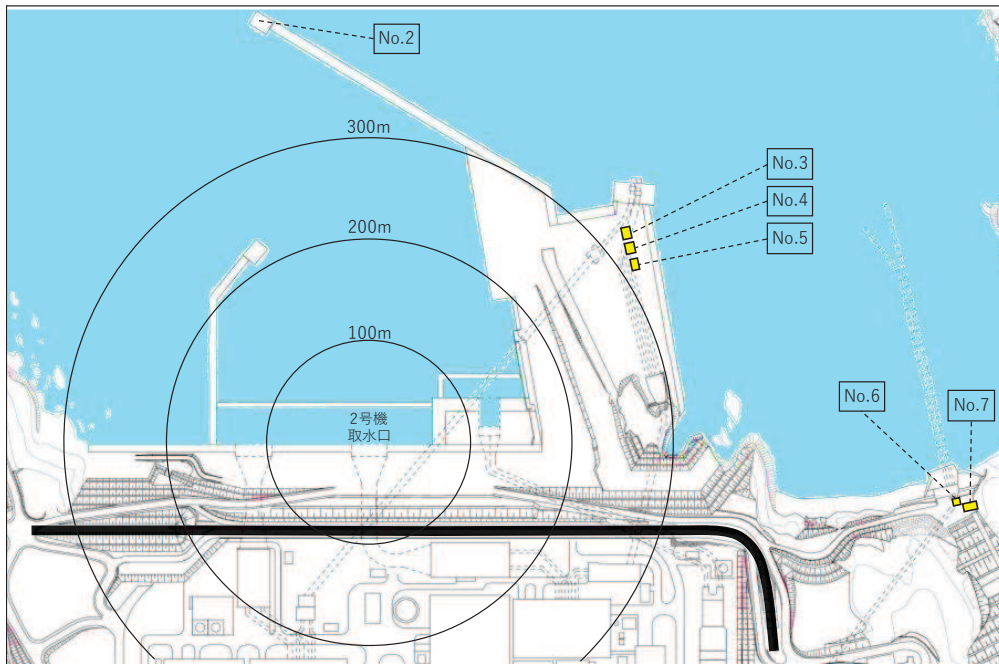


図 4.2-19 取水口と防潮堤区画外の RC 造の建物の位置関係

表 4.2-5 開口部上端から天井までの空間を内空として考慮した場合の比重

| 施設名称 | 寸法 | ①重量 (kN) | ②躯体体積 (コンクリート) (m ³) | ③開口部上部 体積 (m ³) | 比重 (①/g ^{*1})/(②+③) | 安定流速 ^{*2} (m/s) |
|-----------------------|------------------------------|-------------|-------------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|
| 第 3 号機放水路 サンプリング建屋 | 4.8m × 71.51m ² | 1,824 | 79.31 | 58.87 | 1.34 | 9.9 |
| 第 2 号機放水口 モニタ建屋 | 4.813m × 65.52m ² | 2,205 | 95.91 | 97.39 | 1.16 | 10.2 |
| 第 2 号機放流管 真空ポンプ室 | 4.2m × 38.95m ² | 1,336 | 58.09 | 50.78 | 1.25 | 9.4 |

注記 *1 g: 重力加速度 (9.80665m/s²)

*2 開口部上端から天井までの空気の層が滑動中に失われるため、主材料であるコンクリート比重から算出

港湾作業管理詰所 (No. 8), オイルフェンス格納倉庫 (No. 9) 及び屋外電動機等点検建屋 (No. 10) については, いずれも鉄骨造の建物で, 扉や窓等の開口部及び壁材が地震又は津波波力により破損して気密性が喪失し, 施設内部に津波が流入すると考えられる。また, 東北地方太平洋沖地震に伴う津波の漂流物の実績から, 鉄骨造の建物は津波波力により壁材等が施設本体から分離して漂流物となったが建物自体は漂流していないこと, 主材料である鋼材の比重 (7.85) が海水の比重 (1.03) を上回っていることから, 施設本体は漂流物とはならないと評価した。また, 施設本体の滑動についても, 施設本体が鉄骨であり, 津波波力を受けにくい構造であること, 東北地方太平洋沖地震に伴う津波の漂流物の実績でも鉄骨造の建物本体が漂流していないことから, 滑動しないと評価した。なお, 港湾内に沈んだ後, 滑動することを保守的に想定したとしても, 取水口は港湾内よりも約 4m 高い位置にあることから, 取水口前面には到達しない。一方, 施設本体から分離した壁材等についてはがれき化して漂流物となること, さらに取水口前面に到達することを考慮するが, 想定しているがれきは壁材等で軽量物 (比重 1.03 以下) であり, 水面に浮遊することから, 取水口を閉塞することはないと評価した。

配電柱 (No. 11) については, 主材料であるコンクリートの比重 (2.34) と海水の比重 (1.03) を比較した結果, 当該設備の比重の方が大きいことから漂流物とはならないと評価した。滑動する可能性については, 当該設備が細長い円筒形であり, 津波波力を受けにくい構造であることから, 滑動しないと評価した。

車両 (No. 12) については, 巡視点検用車両 (軽・普通乗用車, ワンボックス, 吸引車等), 車両系重機 (ダンプトラック, バックホウ, ラフタークレーン等) 及び燃料等輸送車両 (使用済燃料輸送車両, LLW輸送車両) に分類して評価を行った。これらの車両は, 地震又は津波波力を受けた後も車内の内空は保持されと考えられるため, 車内の内空を含めた当該設備の比重を算出した結果, 巡視点検用車両は 0.2~0.57, 車両系重機は 1.11~3.36, 燃料等輸送車両は 1.25~1.36 であったことから, 巡視点検用車両について漂流物として評価するとともに, 取水口前面に到達する可能性も考慮した。一方, 車両系重機及び燃料等輸送車両は, 漂流しない評価となった (発電所敷地前面海域の海岸線付近は岩礁域となっており, 沿岸部は岩, 礫及び砂が堆積していることを踏まえ, 基準津波時における上限浮遊砂体積濃度 (1%) を考慮した海水比重 1.05 (通常時の海水の密度 $1.03\text{g}/\text{cm}^3 \times 100\% + \text{敷地前面海域の底質土砂の密度 } 2.716\text{g}/\text{cm}^3 \times 1\%$ より算出) を適用したとしても, 最小の比重は 1.11 (車両系重機) であることから, 評価結果には影響しない)。車両系重機及び燃料等輸送車両の滑動評価に当たっては, これらの車両が津波襲来時において防潮堤の海側エリアのどの地点で駐停車又は移動中であるか確定できないことから, 安全側の評価となるよう, 取水口付近に駐停車又は移動中であることを想定した。取水口付近での流速は, 引き波時 (防潮堤から外海に向かう方向) で $1\sim 2\text{m}/\text{s}$ 程度であるのに対して, 車両系重機及び燃料等輸送車両の安定流速は, 取水口閉塞の観点から, 最も形状の大きい車両として使用済燃料輸送車両を想定すると, 約 $4.1\text{m}/\text{s}$ (津波の流体力によって滑動

する可能性について、「港湾の施設の技術上の基準・同解説」の流れに対するブロックの所要質量の評価手法に基づき評価)である。したがって、図 4.2-20 のように取水口前面へ滑動することは考えにくいですが、車両は地盤に固定されていないことを踏まえ、安全側の評価となるよう、滑動すること及び取水口前面に到達することを考慮する。以上から、すべての車両について、閉塞する可能性を検討する必要があるが、車両形状が最大である燃料輸送車両を代表に検討を行った。その結果、燃料輸送車両の最大投影面積(約 15.2m×約 3m)に対して、取水口の取水面積 は十分大きいことから、取水口を閉塞することはないと評価した(図 4.2-21)。なお、東北地方太平洋沖地震に伴う津波で遼上域にある駐車場に停車中の車両が漂流したことを踏まえ、現在は防潮堤区画内に駐車場を移設し、防潮堤区画外には駐車場を整備していない。

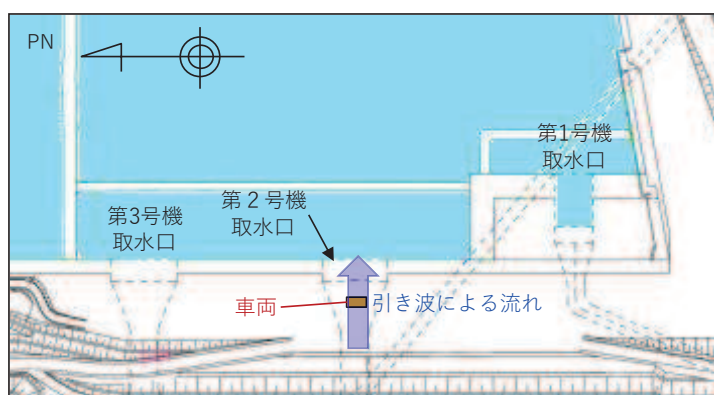


図 4.2-20 引き波によって車両が取水口に沈む場合の概念図

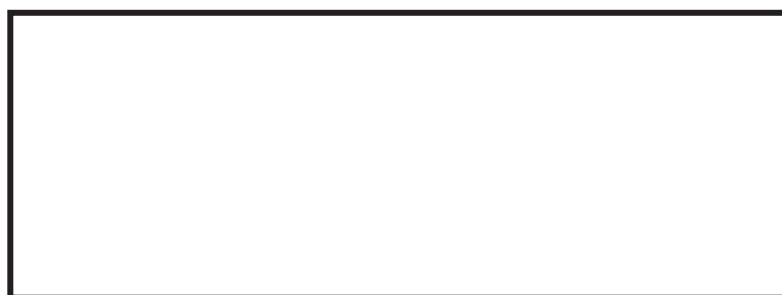


図 4.2-21 取水口前面に車両が沈んだ場合の概念図

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

第2号機カーテンウォール (No. 13~15) については、PC板、H型鋼及び上部コンクリートで構成されているが、いずれも安全対策工事完了時まで撤去する予定であることから、漂流物とはならず、滑動もしない。

第1号機及び第2, 3号機カーテンウォール (No. 16~18) については、図4.2-22に示すとおりPC板、鋼製トラス及び上部コンクリートで構成されており、いずれの設備も主材料の比重(PC:2.49, 鋼材:7.85, コンクリート:2.34)と海水の比重(1.03)を比較した結果、当該設備の比重の方が大きいことから漂流物とはならないと評価した。滑動する可能性については、鋼製トラスは線状構造であり、津波波力を受けにくい構造であることから、滑動しないと評価した。一方、PC板及び上部コンクリートは、港湾内の最大流速(9.3m/s)に対して、それぞれの安定流速が約6.2m/s及び10.4m/sであったことから、PC板は滑動し、上部コンクリートは滑動しないと評価した。また、港湾内の最大流速となる位置での時刻歴波形からPC板の安定流速を超える時間を確認した結果(図4.2-23)、PC板の滑動距離は約450mとなる。カーテンウォール設置位置と取水口前面の離隔距離は約40m(図4.2-24)であることから、PC板は取水口に到達すると評価した。ただし、PC板の形状(4.9m×2.33m×0.3m)に対して、取水口の取水面積 は十分大きいことから、取水口を閉塞することはないと評価した。

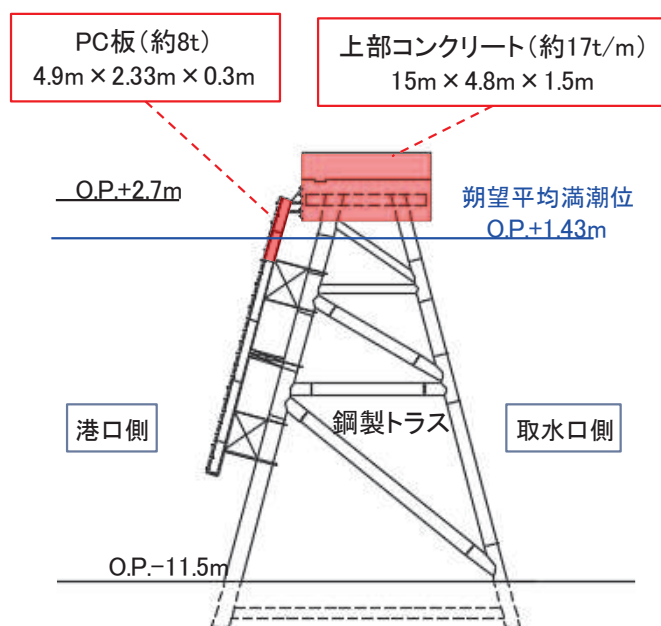


図4.2-22 第2, 3号機カーテンウォール断面図

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

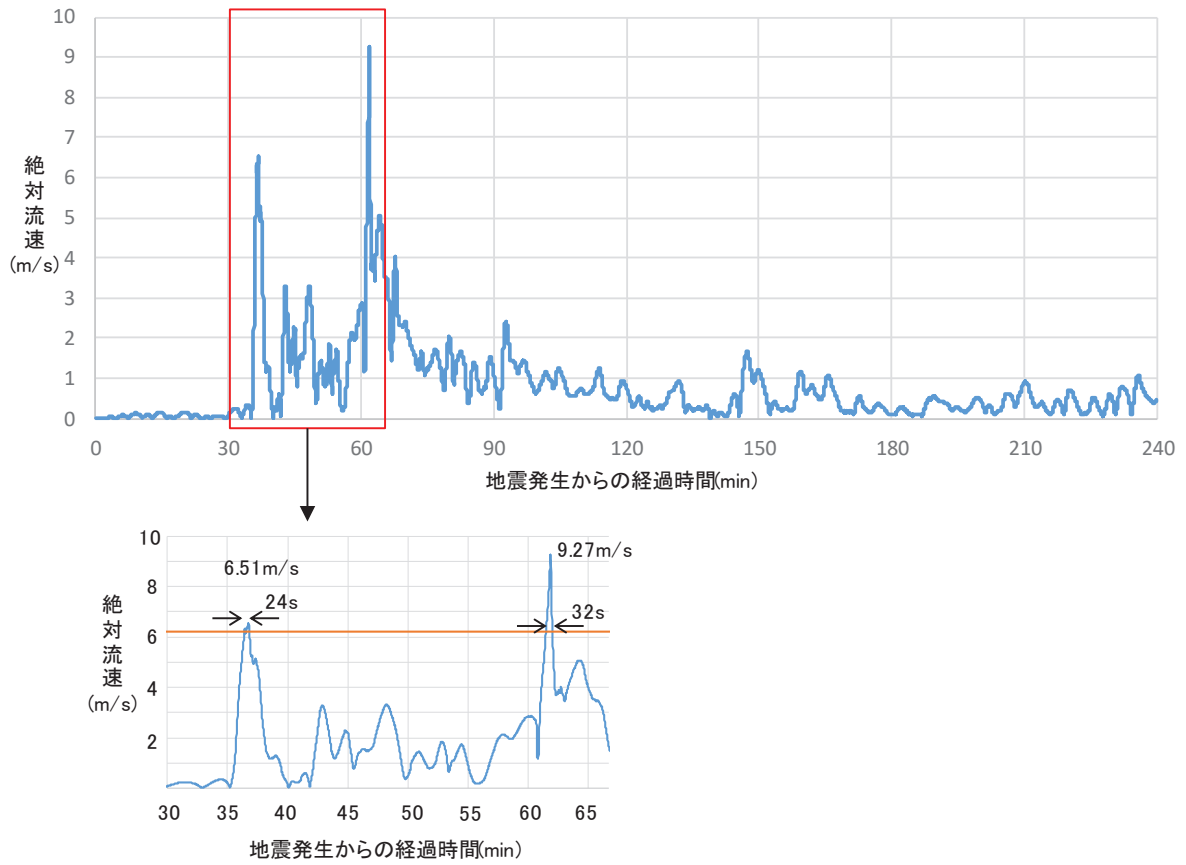


図 4.2-23 発電所港湾内の最大流速が生じる位置での絶対流速の時刻歴波形（地震発生 30 分後から 65 分後）

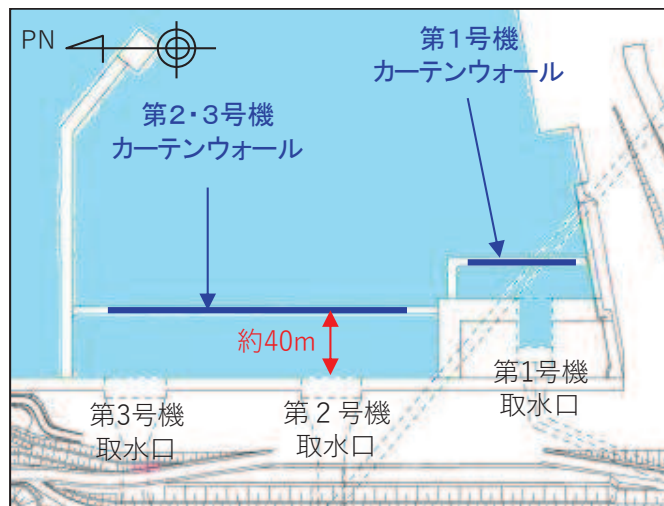


図 4.2-24 第 2, 3 号機カーテンウォールと取水口の隔離

屋外キュービクル (No. 19), 屋外中継盤 (No. 20), 海上レーダー中継盤 (No. 21), 海側設備分電盤 (No. 22) 及び電気中継盤 (No. 23) については, いずれも扉等の開口部が地震又は津波波力により破損して設備内部に津波が流入し, 内部を構成する部材が設備本体から分離してがれき化したものが漂流して, 取水口前面に到達することを考慮するが, 想定しているがれきは軽量物 (比重 1.03 以下) であり, 水面に浮遊することから, 取水口を閉塞することはないと評価した。一方, 設備本体については, 鋼材の比重 (7.85) と海水の比重 (1.03) を比較した結果, 当該設備の比重の方が大きいことから漂流物とはならないが, 同種材料である車両で代表させ, 滑動すること及び取水口に到達することを考慮した。ただし, 当該設備本体の最大形状 (電気中継盤: 2.3m×4.7m×1.3m) に対して, 取水口の取水面積 は十分大きいことから, 取水口を閉塞することはないと評価した。

角落し (No. 24) については, 主材料である PC の比重 (2.49) と海水の比重 (1.03) を比較した結果, 当該設備の比重の方が大きいことから漂流物とはならないが, 同種設備である第 1 号機及び第 2, 3 号機カーテンウォール PC 板で代表させ, 滑動すること及び取水口に到達することを考慮した。ただし, 当該設備の最大形状 (15m×4.94m×0.3m) に対して, 取水口の取水面積 は十分大きいことから, 取水口を閉塞することはないと評価した。

第 3 号機放水口モニタリング架台 (No. 25) については主材料である鋼材の比重 (7.85) と海水の比重 (1.03) を比較した結果, 当該設備の比重の方が大きいことから漂流物とはならないが, 同種材料である車両で代表させ, 滑動すること及び取水口に到達することを考慮した。ただし, 第 3 号機放水口モニタリング架台の形状 (2.5m×1.2m×2.5m) に対して, 取水口の取水面積の方が十分大きいことから, 取水口を閉塞することはないと評価した。

海上レーダー支柱 (No. 26) については, 主材料である鋼材の比重 (7.85) と海水の比重 (1.03) を比較した結果, 当該設備の比重の方が大きいことから漂流物とはならないと評価した。滑動する可能性については, 当該設備が細長い円筒形であり, 津波波力を受けにくい構造であることから, 滑動しないと評価した。

鋼製ゲート (No. 27) については, 主材料である鋼材の比重 (7.85) と海水の比重 (1.03) を比較した結果, 当該設備の比重の方が大きいことから漂流物とはならないと評価した。滑動する可能性については, 当該設備が格子状であり, 津波波力を受けにくい構造であることから, 滑動しないと評価した。

警備用カメラ支柱 (No. 28) については, 主材料である鋼材の比重 (7.85) と海水の比重 (1.03) を比較した結果, 当該設備の比重の方が大きいことから漂流物とはならないと評価した。滑動する可能性については, 当該設備が細長い円筒形であり, 津波波力を受けにくい構造であることから, 滑動しないと評価した。

排水路フラップゲート巡視路 (No. 29) については, 主材料である鋼材の比重 (7.85) と海水の比重 (1.03) を比較した結果, 当該設備の比重の方が大きいことから漂流物とはならないと評価した。滑動する可能性については, 当該設備が細長い円筒形で格

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

子状に設置されており、津波波力を受けにくい構造であることから、滑動しないと評価した。

ページング支柱 (No. 30) 及び照明柱 (No. 31) については、主材料である鋼材の比重 (7.85) と海水の比重 (1.03) を比較した結果、当該設備の比重の方が大きいことから漂流物とはならないと評価した。滑動する可能性については、当該設備が細長い円筒形であり、津波波力を受けにくい構造であることから、滑動しないと評価した。

立入制限区域柵 (No. 32) 及びグレーチング (No. 34) については、主材料である鋼材の比重 (7.85) と海水の比重 (1.03) を比較した結果、当該設備の比重の方が大きいことから漂流物とはならないと評価した。滑動する可能性については、当該設備が格子状であり、津波波力を受けにくい構造であることから、滑動しないと評価した。

マンホール (No. 33) については、主材料である鋼材の比重 (7.85) と海水の比重 (1.03) を比較した結果、当該設備の比重の方が大きいことから漂流物とはならないと評価した。滑動する可能性については、当該設備が地面に設置されており、津波波力を受けにくいことから、滑動しないと評価した。

バッチャープラント (コンクリート製造設備) (No. 35) 及び工事用仮設物及び建物 (No. 36) については、いずれも安全対策工事完了時までに撤去する予定であることから、漂流物とはならず、滑動もしない。

防波堤 (No. 37~41) については、ケーソン、上部コンクリート、消波ブロック、被覆石及び捨石で構成され、いずれの設備も主材料の比重 (コンクリート: 2.34, 石材: 2.29) と海水の比重 (1.03) を比較した結果、当該設備の比重の方が大きいことから漂流物とはならないと評価した。滑動する可能性については、ケーソンが 15.7m/s、上部コンクリートが 13.1m/s、消波ブロックが 5.2~7.3m/s、被覆石が 3.6m/s、捨石が 1.6~2.7m/s であることから、ケーソン及び上部コンクリートは滑動せず、消波ブロック、被覆石及び捨石が滑動する結果となった。ただし、取水口前面は発電所港湾内に比べ、約 4m 高い位置にある (図 4.2-25) ことから、取水口に到達しないと評価した。なお、評価の詳細については、参考 2 に示す。

なお、北防波堤導標・敷地側導標 (No. 1)、配電柱 (No. 11)、海上レーダー支柱 (No. 26)、警備用カメラ支柱 (No. 28)、排水路フラップゲート巡視路 (No. 29)、ページング支柱 (No. 30) 及び照明柱 (No. 31) については、内空を有する構造であるため、津波波力によって破損して地面又は本体設備から離れた後、浮遊する可能性があるが、破損した部分からすぐに海水が流入し、浮遊できる時間はごくわずかであることから、海水の比重 (1.03) と比較し、漂流物とはならないと評価している。

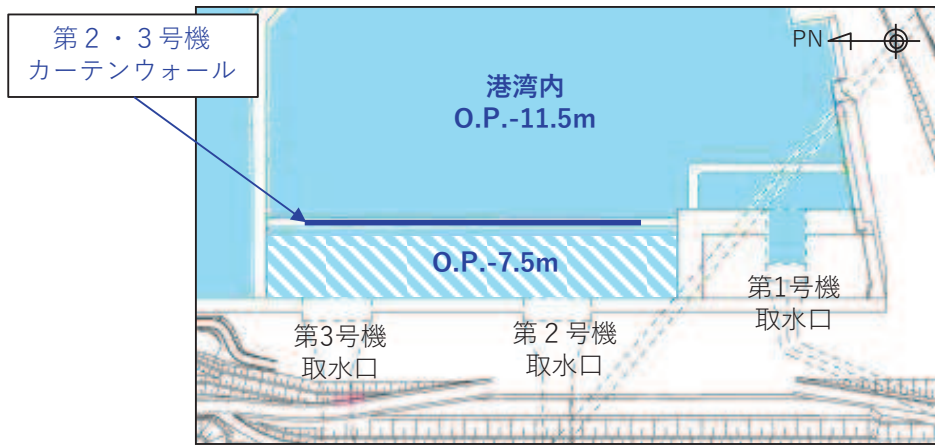


図 4.2-25 取水口前面と港湾内の高低差

以上のことから、調査分類Aとして抽出されたものについては、いずれも取水性への影響はないことを確認した。

調査分類Aの各施設・設備の評価結果を表 4.2-6 に示す。

表 4.2-6(1) 発電所構内における人工構造物（調査分類A）の評価結果（Step1）

| No. | 名称 | 主材料 | 重量 | Step1（漂流する可能性） | | | | 評価*1 |
|-----|--------------------------------|------------------|--------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|--------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| | | | | 漂流 | | 滑動 | | |
| | | | | 検討結果*1 | 比重*2 | 設置場所 | 検討結果*1 | |
| 1 | 北防波堤導標 敷地側導標 | 鋼材 | 約 0.5 t 約 0.2 t | 【判断基準：b】 当該設備の比重と海水の比重を比較した結果、漂流物とはならない。*3 | 鋼材比重 【7.85】 | 発電所敷地内 | 【判断基準：e】 細長い円筒形の構造であり、津波波力を受けにくいいため、滑動しない。 | II |
| 2 | 東防波堤灯台 | RC | 約 30 t | 【判断基準：b】 No. 3～5 の施設を代表に評価を行った。扉や窓等の開口部が地震又は津波波力により破損して気密性が喪失し、施設内部に津波が流入する。ただし、3.11 地震に伴う津波の実績を踏まえ、開口部上端から天井までの空間を含めた施設体積を算出し、当該設備の比重と海水の比重を比較した結果、漂流物とはならない。 | (3.11 地震に伴う津波の実績を踏まえ、開口部上端から天井までの空間を含めた施設体積と重量から算出) 【1.16～1.34】 | 発電所敷地内 | これらの施設は直接基礎又は杭基礎構造であることから、滑動しにくいと考えられるが、3.11 地震に伴う津波の事例では、4 階建ての RC 造の建物が約 70m 移動したとの報告があることから、滑動することを考慮する。 | Step2 (滑動) |
| 3 | 第 3 号機放水路サンプリング建屋 | RC (RC 造) | 約 185 t | | | | | |
| 4 | 第 2 号機放水口モニタ建屋 | RC (RC 造) | 約 224 t | | | | | |
| 5 | 第 2 号機放流管真空ポンプ室 | RC (RC 造) | 約 136 t | | | | | |
| 6 | 第 1 号機放水路サンプリング室 (排水路試料採取室) | RC (RC 造) | — | | | | | |
| 7 | 第 1 号機放水口モニタ建屋 | RC (RC 造) | — | 【判断基準：b, c】 扉や窓等の開口部及び壁材が地震又は津波波力により破損して気密性が喪失し、施設内部に津波が流入する。このことを踏まえ、施設本体については主材料である鋼材の比重から漂流物とはならない。一方、地震又は津波波力により施設本体から分離した壁材等についてはがれき化して漂流物となる。 | 《施設本体》 鋼材比重 【7.85】 | 発電所敷地内 | 【判断基準：e, g】 施設本体（鉄骨のみ）は、津波波力を受けにくい構造であるとともに、3.11 地震に伴う津波の実績から滑動しない。 | II |
| 8 | 港湾作業管理詰所 | 鋼材（鉄骨造） 石膏ボード | — | | | | | |
| 9 | オイルフェンス格納倉庫 | 鋼材（鉄骨造） 石膏ボード | — | | | | | |
| 10 | 屋外電動機等点検建屋 | 鋼材（鉄骨造） 石膏ボード | — | 《施設本体以外》 石膏ボード比重 【0.65】 | 発電所敷地内 | — | Step2 (漂流) | |

注記 *1：判断基準（No の場合）及び評価については図 4.2-14 を参照。

*2：鋼材及びコンクリートの比重は道路橋示方書・同解説より設定、石膏ボードの比重は J I S A6901 より設定。

*3：内空を有する構造であるため、津波波力によって破損して地面又は本体設備から離れた後、浮遊する可能性があるが、破損した部分からすぐに海水が流入し、浮遊できる時間はごくわずかであることから、海水の比重と比較し、漂流物とはならないと評価している。

表 4.2-6(2) 発電所構内における人工構造物（調査分類A）の評価結果（Step1）

| No. | 名称 | 主材料 | 重量 | Step1（漂流する可能性） | | | | 評価*1 |
|-----|------------------------|----------|------------|--------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|--------|-------------------------------------------------------------|-----------|
| | | | | 漂流 | | 滑動 | | |
| | | | | 検討結果*1 | 比重*2 | 設置場所 | 検討結果*1 | |
| 11 | 配電柱 | コンクリート | 390kg/本 | 【判断基準：b】 当該設備の比重と海水の比重を比較した結果、漂流物とはならない。*4 | コンクリート比重 【2.34】 | 発電所敷地内 | 細長い円筒形の構造であり、津波波力を受けにくいいため、滑動しない。 | II |
| 12 | 車両 | 巡視点検用車両等 | 約0.7～2.1t | 地震又は津波波力を受けた後も内空は保持されるため、内空を含めた当該設備の比重を算出し、海水の比重と比較した結果、漂流物となる。 | （軽・普通乗用車，ワンボックス，吸引車*2等を想定し，重量と体積から算出） 【0.2～0.57】 | 発電所敷地内 | — | Step2（漂流） |
| | | 車両系重機 | 約2.7～41.2t | 【判断基準：b】 地震又は津波波力を受けた後も内空は保持されるため、内空を含めた当該設備の比重を算出し、海水の比重と比較した結果、漂流物とはならない。 | （ダンプトラック，バックホウ，ラフタークレーン等を想定し，重量と体積から算出） 【1.11*3～3.36】 | 発電所敷地内 | 当該設備の最大形状の車両として使用済燃料輸送車両を代表とする。車両は地盤等に固定されていないことから、滑動を考慮する。 | Step2（滑動） |
| | | 燃料等輸送車両 | 約9.7～34t | | （使用済燃料・LLW輸送車両） 【1.25～1.36】 | 発電所敷地内 | | Step2（滑動） |
| 13 | 第2号機カーテンウォール（PC板） | PC | 約6t | 【判断基準：a】 安全対策工事完了時までに撤去する予定であることから、漂流物とはならない。 | PC比重 【2.49】 | 発電所敷地内 | 【判断基準：a】 安全対策工事完了時までに撤去する予定であることから、滑動しない（漂流物とはならない）。 | II |
| 14 | 第2号機カーテンウォール（H型鋼） | 鋼材 | 約2.5t | | 鋼材比重 【7.85】 | 発電所敷地内 | | II |
| 15 | 第2号機カーテンウォール（上部コンクリート） | コンクリート | 約9t/m | | コンクリート比重 【2.34】 | 発電所敷地内 | | II |

注記 *1：判断基準（Noの場合）及び評価については図4.2-14を参照。

*2：鋼材，コンクリート及びPCの比重は道路橋示方書・同解説より設定。

*3：漂流物評価において，基準津波時における上限浮遊砂体積濃度（1%）を考慮した海水比重1.05を適用した場合においても，「漂流物とはならない」と評価したもののうち，最小の比重は1.11（車両系重機）であることから，評価結果には影響しない。

*4：内空を有する構造であるため，津波波力によって破損して地面又は本体設備から離れた後，浮遊する可能性があるが，破損した部分からすぐに海水が流入し，浮遊できる時間はごくわずかであることから，海水の比重と比較し，漂流物とはならないと評価している。

表 4.2-6(3) 発電所構内における人工構造物（調査分類A）の評価結果（Step1）

| No. | 名 称 | 主材料 | 重量 | Step1（漂流する可能性） | | | | 評価*1 |
|-----|-----------------------------------------|--------|---------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|--------|--------------------------------------------------------------------|---------------|
| | | | | 漂流 | | 滑動 | | |
| | | | | 検討結果*1 | 比重*2 | 設置場所 | 検討結果*1 | |
| 16 | 第1号機及び第2, 3号機 カーテンウォール (PC板) | PC | 約8t | 【判断基準：b】 当該設備の比重と海水の比重を比較した結果、漂流物とはならない。 | PC比重 【2.49】 | 発電所敷地内 | 発電所の港湾内の最大流速9.3m/sに対して、当該設備の安定流速は6.2m/sであることから、滑動する。 | Step2 (滑動) |
| 17 | 第1号機及び第2, 3号機 カーテンウォール (鋼製トラス) | 鋼材 | 約40~60t | | 鋼材比重 【7.85】 | 発電所敷地内 | 【判断基準：e】 線状構造であり、津波波力を受けにくいいため、滑動しない。 | II |
| 18 | 第1号機及び第2, 3号機 カーテンウォール (上部コンクリート) | コンクリート | 約17t/m | | コンクリート比重 【2.34】 | 発電所敷地内 | 【判断基準：f】 発電所の港湾内の最大流速9.3m/sに対して、当該設備の安定流速は10.4m/sであることから、滑動しない。 | II |
| 19 | 屋外キュービクル | 鋼材 | 1t未満 | 【判断基準：b】 扉等の開口部が地震又は津波波力により破損して施設内部に津波が流入し、内部を構成する部材が設備本体から分離して漂流物となる。一方、設備本体については鋼材の比重から漂流物とはならない。 | 《設備本体》 鋼材比重 【7.85】 | 発電所敷地内 | 主材料が同じ（鋼材）である車両（車両系重機及び（燃料等輸送車両）で代表させ、滑動することを考慮する。 | Step2 (滑動) |
| 20 | 屋外中継盤 | 鋼材 | 1t未満 | | | | | |
| 21 | 海上レーダー中継盤 | 鋼材 | 1t未満 | | 《設備本体以外》 漂流することを考慮 | 発電所敷地内 | — | Step2 (漂流) |
| 22 | 海側設備分電盤 | 鋼材 | 1t未満 | | | | | |
| 23 | 電気中継盤 | 鋼材 | 約5t | | | | | |

注記 *1：判断基準（Noの場合）及び評価については図4.2-14を参照。

*2：鋼材、コンクリート及びPCの比重は道路橋示方書・同解説より設定。

表 4.2-6(4) 発電所構内における人工構造物（調査分類A）の評価結果（Step1）

| No. | 名称 | 主材料 | 重量 | Step1（漂流する可能性） | | | | 評価*1 |
|-----|-----------------|--------|------|-----------------------------------------------|--------------------|--------|-----------------------------------------------------|---------------|
| | | | | 漂流 | | 滑動 | | |
| | | | | 検討結果*1 | 比重*2 | 設置場所 | 検討結果*1 | |
| 24 | 角落し | PC | 約 7t | 【判断基準：b】 当該設備の比重と海水の比重を比較した結果、漂流物とはならない。*3 | PC 比重 【2.49】 | 発電所敷地内 | 同種設備であるカーテンウォールのPC板で代表させ、滑動することを考慮する。 | Step2 (滑動) |
| 25 | 第3号機放水口モニタリング架台 | 鋼材 | — | | 鋼材比重 【7.85】 | 発電所敷地内 | 主材料が同じ（鋼材）である車両（車両系重機及び（燃料等輸送車両）で代表させ、滑動することを考慮する。 | Step2 (滑動) |
| 26 | 海上レーダー支柱 | コンクリート | — | | コンクリート比重 【2.34】 | 発電所敷地内 | 【判断基準：e】 細長い円筒形の構造であり、津波波力を受けにくいいため、滑動しない。 | II |
| 27 | 鋼製ゲート | 鋼材 | — | | 鋼材比重 【7.85】 | 発電所敷地内 | 【判断基準：e】 格子状の構造であり、津波波力を受けにくいいため、滑動しない。 | II |
| 28 | 警備用カメラ支柱 | 鋼材 | — | | 鋼材比重 【7.85】 | 発電所敷地内 | 【判断基準：e】 細長い円筒形の構造であり、津波波力を受けにくいいため、滑動しない。 | II |
| 29 | 排水路フラップゲート巡視路 | 鋼材 | — | | 鋼材比重 【7.85】 | 発電所敷地内 | 【判断基準：e】 細長い円筒形で格子状に設置されており、津波波力を受けにくいいため、滑動しない。 | II |

注記 *1：判断基準（No の場合）及び評価については図 4.2-14 を参照。

*2：鋼材、コンクリート及びPCの比重は道路橋示方書・同解説より設定。

*3：海上レーダー支柱、警備用カメラ支柱及び排水路フラップゲート巡視路は、内空を有する構造であるため、津波波力によって破損して地面又は本体設備から離れた後、浮遊する可能性があるが、破損した部分からすぐに海水が流入し、浮遊できる時間はごくわずかであることから、海水の比重と比較し、漂流物とはならないと評価している。

表 4.2-6(5) 発電所構内における人工構造物（調査分類A）の評価結果（Step1）

| No. | 名称 | 主材料 | 重量 | Step1（漂流する可能性） | | | | | |
|-----|---------------------------|-----|----|-------------------------------------------------------------------------------|----------------|--------|--------------------------------------------------------------------------------------|----|------|
| | | | | 漂流 | | 設置場所 | 滑動 | | 評価*1 |
| | | | | 検討結果*1 | 比重*2 | | 検討結果*1 | | |
| 30 | ペーシング支柱 | 鋼材 | — | 【判断基準：b】 当該設備の比重と海水の比重を比較した結果、漂流物とはならない。*3 | 鋼材比重 【7.85】 | 発電所敷地内 | 【判断基準：e】 細長い円筒形の構造であり、津波波力を受けにくいため、滑動しない。 | II | |
| 31 | 照明支柱 | 鋼材 | — | | 鋼材比重 【7.85】 | 発電所敷地内 | 【判断基準：e】 細長い円筒形の構造であり、津波波力を受けにくいため、滑動しない。 | II | |
| 32 | 立入制限区域柵 | 鋼材 | — | | 鋼材比重 【7.85】 | 発電所敷地内 | 【判断基準：e】 格子状の構造であり、津波波力を受けにくいいため、滑動しない。 | II | |
| 33 | マンホール | 鋼材 | — | | 鋼材比重 【7.85】 | 発電所敷地内 | 【判断基準：e】 地面に設置されており、津波波力を受けにくいことから、滑動しない。 | II | |
| 34 | グレーチング | 鋼材 | — | | 鋼材比重 【7.85】 | 発電所敷地内 | 【判断基準：e】 格子状の構造であり、津波波力を受けにくいいため、滑動しない。 | II | |
| 35 | バッチャープラント （コンクリート製造設備） | 鋼材 | — | 【判断基準：a】 バッチャープラント、工事用仮設物及び建物は、仮設備であり、安全対策工事完了時までに撤去する予定であることから、漂流物とはならない。 | 鋼材比重 【7.85】 | 発電所敷地内 | 【判断基準：a】 バッチャープラント、工事用仮設物及び建物は、仮設備であり、安全対策工事完了時までに撤去する予定であることから、滑動しない（漂流物とはならない）。 | II | |
| 36 | 工事用仮設物及び建物 | — | — | | — | 発電所敷地内 | | II | |

注記 *1：判断基準（Noの場合）及び評価については図 4.2-14 を参照。

*2：鋼材の比重は道路橋示方書・同解説より設定。

*3：ペーシング支柱及び照明支柱は、内空を有する構造であるため、津波波力によって破損して地面又は本体設備から離れた後、浮遊する可能性があるが、破損した部分からすぐに海水が流入し、浮遊できる時間はごくわずかであることから、海水の比重と比較し、漂流物とはならないと評価している。

表 4.2-6(6) 発電所構内における人工構造物（調査分類A）の評価結果（Step1）

| No. | 名称 | 主材料 | 重量 | Step1（漂流する可能性） | | | | 評価*1 |
|-----|---------------|--------|-----------|---------------------------------------------|--------------------|--------|------------------------------------------------------------------------|---------------|
| | | | | 漂流 | | 滑動 | | |
| | | | | 検討結果*1 | 比重*2 | 設置場所 | 検討結果*1 | |
| 37 | 防波堤（ケーソン） | コンクリート | 約 3,000t | 【判断基準：b】 当該設備の比重と海水の比重を比較した結果、漂流物とはならない。 | コンクリート比重 【2.34】 | 発電所敷地内 | 【判断基準：f】 発電所の港湾内の最大流速 9.3m/s に対して、当該設備の安定流速は 15.7m/s であることから、滑動しない。 | II |
| 38 | 防波堤（上部コンクリート） | コンクリート | 約 100t/m | | コンクリート比重 【2.34】 | 発電所敷地内 | 【判断基準：f】 発電所の港湾内の最大流速 9.3m/s に対して、当該設備の安定流速は 13.1m/s であることから、滑動しない。 | II |
| 39 | 防波堤（消波ブロック） | コンクリート | 30t | | コンクリート比重 【2.34】 | 発電所敷地内 | 発電所の港湾内の最大流速 9.3m/s に対して、当該設備の安定流速は 5.2～7.3m/s であることから、滑動する。 | Step2 (滑動) |
| 40 | 防波堤（被覆石） | 石 | 500kg/個以上 | | 石材比重 【2.29】 | 発電所敷地内 | 発電所の港湾内の最大流速 9.3m/s に対して、当該設備の安定流速は 3.6m/s であることから、滑動する。 | Step2 (滑動) |
| 41 | 防波堤（捨石） | 石 | 5～100kg/個 | | 石材比重 【2.29】 | 発電所敷地内 | 発電所の港湾内の最大流速 9.3m/s に対して、当該設備の安定流速は 1.6～2.7m/s であることから、滑動する。 | Step2 (滑動) |

注記 *1：判断基準（No の場合）及び評価については図 4.2-14 を参照。

*2：コンクリートの比重は道路橋示方書・同解説より設定，石材の比重は「港湾の施設の技術上の基準・同解説（2007）」より設定。

表 4. 2-6 (7) 発電所構内における人工構造物（調査分類A）の評価結果（Step2～3）

| No. | 名称 | 主材料 | 重量 | Step1 の結果 | Step2（到達する可能性）* | Step3（閉塞する可能性）* | 評価* |
|-----|----------------------------|------------------|-----------------|--------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 2 | 東防波堤灯台 | RC | 約 30 t | 3. 11 地震に伴う津波の事例では、4 階建ての RC 造の建物が約 70m 移動したとの報告があることから、滑動することを考慮する。 | 【判断基準：i】 開口部上端から天井までに空気の層を考慮しているが、地面の段差等によって滑動中に傾いたり、港湾内に沈む過程でこの空気の層は失われ、主材料であるコンクリートの比重になると考えられる。 主材料であるコンクリートの比重を用いた安定流速（9.4～10.2m/s）は港湾内の最大流速 9.3m/s よりも大きくなるため、港湾内に沈んだ後には滑動しないことから、第 2 号機取水口前面には到達しない。 | - | III |
| 3 | 第 3 号機放水路サンプリング建屋 | RC (RC 造) | - | | | | |
| 4 | 第 2 号機放水口モニタ建屋 | RC (RC 造) | - | | | | |
| 5 | 第 2 号機炉放流管真空ポンプ室 | RC (RC 造) | - | | | | |
| 6 | 第 1 号機放水路サンプリング室（排水路試料採取室） | RC (RC 造) | - | | | | |
| 7 | 第 1 号機放水口モニタ建屋 | RC (RC 造) | - | | | | |
| 8 | 港湾作業管理詰所 | 鋼材（鉄骨造） 石膏ボード | - | | | | |
| 9 | オイルフェンス格納倉庫 | 鋼材（鉄骨造） 石膏ボード | - | | | | |
| 10 | 屋外電動機等点検建屋 | 鋼材（鉄骨造） 石膏ボード | - | | | | |
| 12 | 車両 | 巡視点検用車両等 | 約 0.7～ 2.15t | 内空を含めた当該設備の比重と海水の比重の関係から、漂流する。 | 到達を考慮する。 | 【判断基準：j】 車両の中で最も形状の大きい使用済燃料輸送車両（全長：約 15.2m，全幅：約 3m）が取水口前面に到達したとしても、取水口の取水面積の方が十分大きいことから、取水口を閉塞することはない。 | IV |
| | | 車両系重機 | 約 2.7～ 41.2t | 最大形状の使用済燃料輸送車両を代表に評価した。 上記車両の安定流速は 4.1m/s であり、車両は地盤等に固定されていないため、滑動する。 | | | |
| | | 燃料等輸送車両 | 約 9.7～ 34t | | | | |

注記 *：判断基準（No の場合）及び評価については図 4. 2-14 を参照。

表 4.2-6(8) 発電所構内における人工構造物（調査分類A）の評価結果（Step2～3）

| No. | 名称 | 主材料 | 重量 | Step1 の結果 | Step2（到達する可能性）* | Step3（閉塞する可能性）* | 評価* |
|-----|----------------------------|-----|-----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 16 | 第1号機及び第2, 3号機カーテンウォール（PC板） | PC | 約8t | 当該設備の安定流速6.2m/sと発電所の港湾内の最大流速9.3m/sを比較した結果、滑動する。 | 当該設備と取水口前面の離隔は約40mであるのに対して、安定流速が港湾内の最大流速を超える時間から算出される滑動距離は約450mであることから、到達を考慮する。 | 【判断基準：j】 PC板の形状に対して、取水口の取水面積の方が十分大きいことから、取水口を閉塞することはない。 | IV |
| 19 | 屋外キュービクル | 鋼材 | — | ≪施設本体≫ 主材料が同じ（鋼材）である車両（車両系重機及び（燃料等輸送車両）で代表させ、滑動することを考慮する。 ≪施設本体以外≫ 内部を構成する部材が設備本体から分離して漂流物となる。 | ≪施設本体≫ 車両（車両系重機及び（燃料等輸送車両）と同様に到達を考慮する。 ≪施設本体以外≫ 到達を考慮する。 | ≪施設本体≫ 【判断基準：j】 当該設備本体の形状（2.3m×4.7m×1.3m）に対して、取水口の取水面積の方が十分大きいことから、取水口を閉塞することはない。 ≪施設本体以外≫ 【判断基準：j】 想定しているがれき（内部を構成する部材）は、軽量物であり、水面に浮遊することから、取水口を閉塞することはない。 | IV |
| 20 | 屋外中継盤 | 鋼材 | — | | | | |
| 21 | 海上レーダー中継盤 | 鋼材 | — | | | | |
| 22 | 海側設備分電盤 | 鋼材 | — | | | | |
| 23 | 電気中継盤 | 鋼材 | — | | | | |
| 24 | 角落し | PC | — | 同種設備であるカーテンウォールのPC板で代表させ、滑動することを考慮する。 | カーテンウォールのPC板と同様に到達を考慮する。 | 【判断基準：j】 角落しの形状（15m×4.94m×0.3m）に対して、取水口の取水面積の方が十分大きいことから、取水口を閉塞することはない。 | IV |

注記 *：判断基準（Noの場合）及び評価については図4.2-14を参照。

表 4.2-6(9) 発電所構内における人工構造物（調査分類A）の評価結果（Step2～3）

| No. | 名称 | 主材料 | 重量 | Step1 の結果 | Step2（到達する可能性）* | Step3（閉塞する可能性）* | 評価* |
|-----|-----------------|--------|-----------|----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 25 | 第3号機放水口モニタリング架台 | 鋼材 | — | 主材料が同じ（鋼材）である車両（車両系重機及び（燃料等輸送車両）で代表させ、滑動することを考慮する。 | 車両（車両系重機及び（燃料等輸送車両）と同様に到達を考慮する。 | 【判断基準：j】 第3号機放水口モニタリング架台の形状（2.5m×1.2m×2.5m）に対して、取水口の取水面積の方が十分大きいことから、取水口を閉塞することはない。 | IV |
| 39 | 防波堤（消波ブロック） | コンクリート | 30t | 各設備の安定流速と発電所の港湾内の最大流速 9.3m/s を比較した結果、滑動する。 | 【判断基準：i】 各設備は滑動するものの、取水口は発電所港湾内に比べ、約4m高い位置にあることから、到達しない。 | — | III |
| 40 | 防波堤（被覆石） | 石材 | 500kg/個以上 | | | | |
| 41 | 防波堤（捨石） | 石材 | 5～100kg/個 | | | | |

注記 *：判断基準（No の場合）及び評価については図 4.2-14 を参照。

②漁港・集落・海岸線の人工構造物の調査結果（調査分類B）

調査分類Bの調査範囲を図4.2-26に示す。

調査分類Bについては、現地確認のほかに、机上調査として東北地方太平洋沖地震発生前及び発生後の国土地理院の地形図により、漁港・集落として寺間地区、竹浦地区、桐ヶ崎地区、石浜地区、女川地区、小乗浜地区、高白浜地区、横浦地区、大石原浜地区、野々浜地区、飯子浜地区、塚浜地区及び小屋取地区が存在することを確認した。また、女川町のホームページ、国土地理院の地理院地図（Web）、海上保安庁海洋情報部の沿岸海域環境保全情報（Ceis Net）等についても調査を行った。



図4.2-26 漁港・集落・海岸線の人工構造物（調査分類B）の調査範囲

これらの調査の結果、調査分類Bで確認された施設・設備を表4.2-7及び図4.2-27に示す。また、これらの施設・設備の主な諸元を表4.2-8に示す。

表 4.2-7 漁港・集落・海岸線における人工構造物（調査分類B）の調査結果

| No. | 名 称 | 小屋取 | 塚浜 | 飯子浜 | 野々浜 | 大石原浜 | 横浦 | 高白浜 | 小乗浜 | 女川 | 石浜 | 桐ヶ崎 | 竹浦 | 寺間 |
|-----|-------------------|-----|----|-----|-----|------|----|-----|-----|----|----|-----|----|----|
| 1 | 車両 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 2 | コンテナ・ユニットハウス | — | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 3 | 油槽所（軽油・重油タンク） | — | — | — | — | — | — | — | ① | — | — | — | — | — |
| 4 | 漁具 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 5 | 工事用資機材 | — | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | — | ○ | ○ |
| 6 | 排水処理施設 | — | — | — | — | — | — | — | — | ① | — | — | — | — |
| 7 | 家屋 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 8 | ガソリンスタンド | — | — | — | — | ① | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 9 | 商業施設 | — | — | — | — | — | — | — | — | ○ | — | — | — | — |
| 10 | 工業施設（魚市場・水産加工施設等） | — | — | — | — | — | — | — | ○ | ○ | — | — | — | — |
| 11 | 宿泊施設 | — | — | — | ① | — | — | — | — | ① | — | — | — | — |
| 12 | 砕石プラント | — | — | — | — | — | — | — | ① | — | — | — | — | — |
| 13 | 病院 | — | — | — | — | — | — | — | — | ① | — | — | — | — |
| 14 | 学校 | — | — | — | — | — | — | — | — | ② | — | — | — | — |
| 15 | 駅舎 | — | — | — | — | — | — | — | — | ① | — | — | — | — |
| 16 | その他公共施設 | — | — | — | — | — | — | — | — | ○ | — | — | — | — |
| 17 | けい留施設・防波堤・護岸 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 18 | 物揚クレーン | ○ | ○ | ○ | ○ | — | ○ | — | — | — | — | ○ | ○ | ○ |
| 19 | 配電柱・街灯・信号機 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 20 | 通信用鉄塔 | ① | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 21 | 灯台・航路標識 | — | ○ | ○ | ○ | — | ○ | — | — | ○ | ○ | ○ | — | ○ |

○：机上調査・現地調査により設置が確認されたもの
 （○の中の数値は確認できた数量を示す）

—：机上調査・現地調査により設置が確認されなかったもの

| | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>写真なし</p> |  |  |  |
| <p>No. 1 車両</p> | <p>No. 2 コンテナ・ユニットハウス (横浦地区：コンテナ)</p> | <p>No. 2 コンテナ・ユニットハウス (石浜地区：コンテナ)</p> | <p>No. 3 油槽所（軽油・重油タンク） (小乗浜地区)</p> |
|  |  |  | <p>写真なし</p> |
| <p>No. 4 漁具 (桐ヶ崎地区)</p> | <p>No. 5 工事用資機材 (女川地区)</p> | <p>No. 6 排水処理施設 (女川地区)</p> | <p>No. 7 家屋</p> |
|  |  |  |  |
| <p>No. 8 ガソリンスタンド (大石原浜地区)</p> | <p>No. 9 商業施設 (女川地区)</p> | <p>No. 10 工業施設（魚市場・水産加工施設等） (小乗浜地区：かき加工場)</p> | <p>No. 11 宿泊施設 (女川地区)</p> |

図 4.2-27(1) 漁港・集落・海岸線における人工構造物（調査分類B）

| | | | |
|----------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------|
| | | | |
| <p>No. 12 砕石プラント (小乗浜地区)</p> | <p>No. 13 病院 (女川地区)</p> | <p>No. 14 学校 (女川地区)</p> | <p>No. 14 学校 (女川地区)</p> |
| | | | |
| <p>No. 15 駅舎 (女川地区)</p> | <p>No. 16 その他公共施設 (女川地区：女川町役場)</p> | <p>No. 17 係留施設・防波堤・護岸 (小乗地区：係留施設・護岸)</p> | <p>No. 18 物揚クレーン (小屋取地区)</p> |
| | | | |
| <p>No. 18 物揚クレーン (竹浦地区)</p> | <p>No. 19 配電柱・街灯・信号機 (小屋取地区)</p> | <p>No. 20 通信用鉄塔 (小屋取地区)</p> | <p>No. 21 灯台・航路標識 (女川港口防波堤灯台)</p> |

図 4.2-27(2) 漁港・集落・海岸線における人工構造物 (調査分類B)

表 4.2-8(1) 漁港・集落・海岸線における人工構造物（調査分類B）の主な諸元

| No. | 名 称 | 形状等* | 主材料 | 重量 | 数量 |
|-----|-------------------|----------------------------|-------------------|--------|----|
| 1 | 車両 | — | 鋼材 | — | 多数 |
| 2 | コンテナ・ユニットハウス | — | 鋼材等 | 約 30t | 多数 |
| 3 | 油槽所（軽油・重油タンク） | 容量 200kl | 鋼材 | 22t 以下 | 1 |
| 4 | 漁具 | — | — | — | 多数 |
| 5 | 工事用資機材 | — | — | — | 多数 |
| 6 | 排水処理施設 | 延床面積：約 550m ² | RC（RC 造） | — | 1 |
| 7 | 家屋 | — | — | — | 多数 |
| 8 | ガソリンスタンド | 敷地面積：約 500m ² | RC（RC 造） | — | 1 |
| 9 | 商業施設 | — | RC，鋼材を想定 | — | 多数 |
| 10 | 工業施設（魚市場・水産加工施設等） | — | RC，鋼材を想定 | — | 多数 |
| 11 | 宿泊施設 | 約 18m ² /棟 | RC，鋼材を想定 | 約 7t/棟 | 2 |
| 12 | 砕石プラント | — | 鋼材 | — | 1 |
| 13 | 病院 | — | RC，鋼材（RC 造，一部鉄骨造） | — | 1 |
| 14 | 学校 | 敷地面積：約 5,500m ² | RC（RC 造） | — | 2 |
| 15 | 駅舎 | — | 鋼材（鉄骨造） | — | 1 |
| 16 | その他公共施設（町役場を想定） | — | 鋼材，RC（鉄骨造，RC 造） | — | 多数 |

注記 *：最大規模の形状を記載

表 4.2-8(2) 漁港・集落・海岸線における人工構造物（調査分類B）の主な諸元

| No. | 名 称 | 形状等* | 主材料 | 重量 | 数量 |
|-----|--------------|------|------------|----------|----|
| 17 | けい留施設・防波堤・護岸 | — | コンクリート, 鋼材 | — | 多数 |
| 18 | 物揚クレーン | — | 鋼材 | — | 多数 |
| 19 | 配電柱・街灯・信号機 | — | 鋼材, コンクリート | 約 1.6t/基 | 多数 |
| 20 | 通信用鉄塔 | — | 鋼材 | — | 1 |
| 21 | 灯台・航路標識 | — | RC, 鋼材 | 約 60t/基 | 多数 |

注記 * : 最大規模の形状を記載

調査分類Bから抽出されたものについて、図 4.2-14 に示す漂流物の選定・影響確認フローに従って、漂流する可能性 (Step1)、到達する可能性 (Step2) 及び閉塞する可能性 (Step3) の検討を行い、取水性への影響を評価した。

車両 (No. 1) については、地震又は津波波力を受けた後も車内の内空は保持されるため、漂流物となり、取水口前面に到達することを想定する。ただし、調査分類Aの車両の最大形状である使用済燃料輸送車両 (全長：約 15.2m, 全幅：約 3m) と同等の車両を想定したとしても、取水口の取水面積の方が十分大きいことから、取水口を閉塞することはないと評価した。

コンテナ・ユニットハウス (No. 2) については、地震又は津波波力を受けた後も内空は保持されるため、漂流物となり、取水口前面に到達することを想定する。ただし、想定するコンテナの形状 (12.2m×2.5m×2.9m) に対して、取水口の取水面積の方が十分大きいことから、取水口を閉塞することはないと評価した。

油槽所 (軽油・重油タンク) (No. 3) については、地震又は津波波力を受けた後も内空は保持されるため、漂流物となり、取水口前面に到達することを想定する。なお、女川湾と類似した地形を有する気仙沼市の漂流物の特徴を踏まえ、女川地区で抽出されたものの最大規模 (200k1) を考慮する。ただし、タンク形状は円形であるのに対して、取水口は平面状となっていることから、タンクが取水口を完全に閉塞することはないと評価した。

漁具 (No. 4) 及び工事事資機材 (No. 5) については、地震又は津波波力によって、当該設備は損傷すると考えられ、損傷で生じた木片、廃プラスチック類等のがれきが漂流物となり、取水口前面に到達することを想定する。ただし、想定しているがれき (木片、廃プラスチック類等) は、軽量物であり、水面に浮遊することから取水口を閉塞することはないと評価した。一方、コンクリート及び鋼材を主材料とするものについては、それぞれの比重と海水の比重を比較した結果、漂流物とはならないと評価した。

排水処理施設 (No. 6) については、扉や窓等の開口部が地震又は津波波力により破損して気密性が喪失し、施設内部に津波が流入すると考えられる。このことを踏まえ、施設本体については主材料であるコンクリートの比重 (2.34) と海水の比重 (1.03) を比較した結果、当該設備の比重の方が大きいことから漂流物とはならないと評価した。また、東北地方太平洋沖地震に伴う津波の事例では、4階建てのRC造の建物が約70m移動したとの報告があるが、当該施設は女川地区にあり、発電所までの距離は十分離れていることから、漂流物とはならないと評価した。一方、地震又は津波波力により施設本体から分離したものががれき化して漂流物となり、取水口前面に到達することを想定する可能性があるが、想定しているがれきは、軽量物であり、水面に浮遊することから取水口を閉塞することはないと評価した。

家屋 (No. 7) については、東北地方太平洋沖地震に伴う津波の漂流物の特徴を踏まえ、地震又は津波波力によって、当該設備は損傷すると考えられるため、建物の形状を維持したまま漂流物となることはないと評価した。また、損傷で生じたコンクリート及び鋼材を主材料とするものについては、それぞれの比重 (2.34, 7.85) と海水の

比重 (1.03) を比較した結果、漂流物とはならないと評価した。一方、木片、壁材等についてはがれき化して漂流物となり、取水口前面に到達することを想定する可能性があるが、想定しているがれき (木片、廃プラスチック類等) は、軽量物であり、水面に浮遊することから取水口を閉塞することはないと評価した。

ガソリンスタンド (No. 8)、商業施設 (No. 9)、工業施設 (魚市場、水産加工施設等) (No. 10)、宿泊施設 (No. 11)、砕石プラント (No. 12)、病院 (No. 13)、学校 (No. 14)、駅舎 (No. 15) 及びその他公共施設 (No. 16) については、扉や窓等の開口部が地震又は津波波力により破損して気密性が喪失し、施設内部に津波が流入すると考えられる。このことを踏まえ、施設本体については主材料であるコンクリートの比重 (2.34) 又は鋼材の比重 (7.85) と海水の比重 (1.03) を比較した結果、当該設備の比重の方が大きいことから漂流物とはならないと評価した。また、東北地方太平洋沖地震に伴う津波の事例では、4階建てのRC造の建物が約70m移動したとの報告があるが、当該施設から発電所までの距離は十分離れていることから、漂流物とはならないと評価した。また、鉄骨造の建物は津波波力により壁材等が施設本体から分離して漂流物となったことが報告されていることを踏まえ、壁材等が漂流し、取水口前面に到達することを想定する可能性があるが、想定しているがれきは、軽量物であり、水面に浮遊することから取水口を閉塞することはないと評価した。

けい留施設・防波堤・護岸 (No. 17)、物揚クレーン (No. 18)、配電柱・街灯・信号機 (No. 19)、通信用鉄塔 (No. 20) 及び灯台・航路標識 (No. 21) については、当該施設の比重 (コンクリート : 2.34、鋼材 : 7.85) と海水の比重を比較した結果、漂流物とはならないと評価した。

以上のことから、調査分類Bとして抽出されたものについては、いずれも取水性への影響はないことを確認した。

調査分類Bの各施設・設備の評価結果を表4.2-9に示す。

表 4.2-9(1) 漁港・集落・海岸線における人工構造物（調査分類B）の評価結果

| No. | 名 称 | 主材料 | 重量 | Step1（漂流する可能性） | | Step2 （到達する可能性）* | Step3 （閉塞する可能性）* | 評価* |
|-----|-------------------|-----|-------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| | | | | 検討結果* | 比重 | | | |
| 1 | 車両 | 鋼材 | — | 地震又は津波波力を受けた後も内空は保持されるため、漂流物となることを想定する。 | — | 到達を考慮する。 | 【判断基準：j】 調査分類Aの車両で最も形状の大きい使用済燃料輸送車両（全長：約15.2m，全幅：約3m）と同等を想定したとしても，取水口の取水面積の方が十分大きいことから，取水口を閉塞することはない。 | IV |
| 2 | コンテナ・ ユニットハウス | 鋼材等 | 約30t | | — | | 【判断基準：j】 想定するコンテナの形状（12.2m×2.5m×2.9m）に対して，取水口の取水面積の方が十分大きいことから，取水口を閉塞することはない。 | IV |
| 3 | 油槽所 （軽油・重油タンク） | 鋼材 | 22t以下 （容量 約200kl） | 内地震又は津波波力を受けた後も内空は保持されるため，漂流物となることを想定する。 なお，類似地形からの検討結果から最大規模を考慮する。 | — | | 【判断基準：j】 タンク形状は円形であるのに対して，取水口は平面状となっていることから，タンクが取水口を完全に閉塞することはない。 | IV |
| 4 | 漁具 | — | — | 【判断基準：b】 地震又は津波波力によって，当該設備は損傷すると考えられ，損傷で生じた木片，廃プラスチック類等のがれきが漂流物となる。 一方，コンクリート及び鋼材を主材料とするものについては，それぞれの比重と海水の比重を比較した結果，漂流物とはならない。 | コンクリート比重 【2.34】 鋼材比重 【7.85】 | 木片，廃プラスチック類等のがれきについて，到達を考慮する。 | 【判断基準：j】 想定しているがれき（木片，廃プラスチック類等）は，軽量物であり，水面に浮遊することから取水口を閉塞することはない。 | IV |
| 5 | 工事用資機材 | RC | — | | | | | |

注記 *：判断基準（Noの場合）及び評価については図4.2-14を参照。

表 4.2-9(2) 漁港・集落・海岸線における人工構造物（調査分類B）の評価結果

| No. | 名 称 | 主材料 | 重量 | Step1（漂流する可能性） | | Step2 （到達する可能性）* | Step3（閉塞する可能性）* | 評価* |
|-----|--------|-------------|-----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|-----------------------------------------------------------------|-----|
| | | | | 検討結果* | 比重 | | | |
| 6 | 排水処理施設 | RC (RC造) | 延床面積 約 550m ² | 【判断基準：b, c】 扉や窓等の開口部が地震又は津波波力により破損して気密性が喪失し、施設内部に津波が流入する。このことを踏まえ、施設本体については主材料の比重から漂流物とはならない。 一方、地震又は津波波力により施設本体から分離したものががれき化して漂流物となる。 | 《施設本体》 コンクリート比重 【2.34】 | — | — | I |
| | | | | | 《施設本体以外》 漂流することを考慮 | 到達を考慮する。 | 【判断基準：j】 想定しているがれきは、軽量物であり、水面に浮遊することから取水口を閉塞することはない。 | IV |
| 7 | 家屋 | — | — | 【判断基準：b】 地震又は津波波力によって、当該設備は損傷すると考えられるため、建物の形状を維持したまま漂流物となることはない。 ただし、損傷で生じたコンクリート及び鋼材を主材料とするものについては、それぞれの比重と海水の比重を比較した結果、漂流物とはならないが、木片、壁材等についてはがれき化して漂流物となる。 | コンクリート比重 【2.34】 鋼材比重 【7.85】 | 木片、壁材等のがれきについて、到達を考慮する。 | 【判断基準：j】 想定しているがれき（木片、壁材等）は、軽量物であり、水面に浮遊することから取水口を閉塞することはない。 | IV |

注記 *：判断基準（No の場合）及び評価については図 4.2-14 を参照。

表 4.2-9(3) 漁港・集落・海岸線における人工構造物（調査分類B）の評価結果

| No. | 名称 | 主材料 | 重量 | Step1（漂流する可能性） | | Step2（到達する可能性）* | Step3（閉塞する可能性）* | 評価* | | | | |
|-----|---------------------------|---------------------------|-------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|-----------------------|------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| | | | | 検討結果* | 比重 | | | | | | | |
| 8 | ガソリンスタンド | RC | 敷地面積 約 500m ² | <p>【判断基準：b, c】 扉や窓等の開口部及び壁材が地震又は津波波力により破損して気密性が喪失し、施設内部に津波が流入する。このことを踏まえ、施設本体については主材料の比重から漂流物とはならない。 一方、地震又は津波波力により施設本体から分離した壁材等の軽量物についてはがれき化して漂流物となる。</p> | <p>《施設本体》 コンクリート【2.34】 鋼材比重【7.85】</p> | <p>《施設本体》 —</p> | <p>《施設本体》 —</p> | <p>《施設本体》 I</p> | | | | |
| 9 | 商業施設 | RC, 鋼材を想定 (RC造, 鉄骨造) | | | | | | | | | | |
| 10 | 工業施設 (魚市場・ 水産加工施設等) | RC, 鋼材を想定 (RC造, 鉄骨造) | | | | | | | | | | |
| 11 | 宿泊施設 | RC, 鋼材を想定 (RC造, 鉄骨造) | 約 7t/棟 | | | | | | | | | |
| 12 | 砕石プラント | 鋼材 | | | | | | | <p>《施設本体以外》 —</p> | <p>《施設本体以外》 壁材等のがれきについて、到達を考慮する。</p> | <p>《施設本体以外》 【判断基準：j】 想定しているがれき（壁材等）は、軽量物であり、水面に浮遊することから取水口を閉塞することはない。</p> | <p>《施設本体以外》 IV</p> |
| 13 | 病院 | RC, 鋼材 (RC造, 一部鉄骨造) | | | | | | | | | | |
| 14 | 学校 | RC (RC造) | 敷地面積 約 5,500m ² | | | | | | | | | |
| 15 | 駅舎 | 鋼材 (鉄骨造) | | | | | | | | | | |
| 16 | その他公共施設 (町役場を想定) | RC, 鋼材 (RC造, 一部鉄骨造) | | | | | | | | | | |

注記 *：判断基準（No の場合）及び評価については図 4.2-14 を参照。

表 4.2-9(4) 漁港・集落・海岸線における人工構造物（調査分類B）の評価結果

| No. | 名 称 | 主材料 | 重量 | Step1（漂流する可能性） | | Step2 （到達する可能性）* | Step3（閉塞する可能性）* | 評価 |
|-----|--------------|--------------|----------|---------------------------------------------|--------------------------------------|---------------------|-----------------|----|
| | | | | 検討結果* | 比重 | | | |
| 17 | けい留施設・防波堤・護岸 | コンクリート 鋼材 | — | 【判断基準：b】 当該施設の比重と海水の比重を比較した結果、漂流物とはならない。 | コンクリート比重 【2.34】 鋼材比重 【7.85】 | — | — | I |
| 18 | 物揚クレーン | 鋼材 | — | | 鋼材比重 【7.85】 | | | |
| 19 | 配電柱・街灯・信号機 | 鋼材 コンクリート | 約 1.6t/基 | | コンクリート比重 【2.34】 鋼材比重 【7.85】 | | | |
| 20 | 通信用鉄塔 | 鋼材 | — | | 鋼材比重 【7.85】 | | | |
| 21 | 灯台・航路標識 | RC, 鋼材 | 約 60t/基 | | コンクリート比重 【2.34】 鋼材比重 【7.85】 | | | |

注記 *：判断基準（No の場合）及び評価については図 4.2-14 を参照。

③海上に設置された人工構造物の抽出（調査分類C）

調査分類Cの調査範囲を図4.2-28に示す。

調査分類Cについては、聞き取り調査のほかに、机上調査として、女川町のホームページ、農林水産省のホームページ、国土交通省のホームページ、海上保安庁海洋情報部の沿岸海域環境保全情報（Ceis Net）等により、調査対象範囲内の係留漁船及び養殖漁業施設並びに発電所港湾関係設備（標識ブイ等）等を調査した。

■ 調査分類C（沖合側（東側）の範囲については海上設置物の設置状況を考慮して設定）

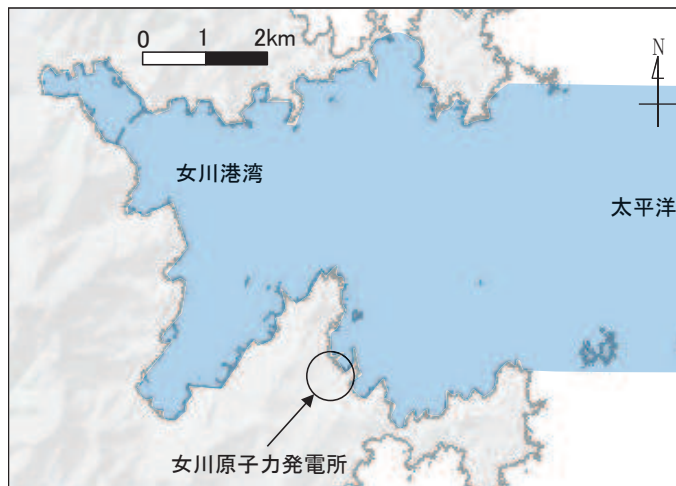


図4.2-28 海上設置物（調査分類C）の調査範囲

調査分類Cで確認された施設・設備を表4.2-10及び図4.2-29に示す。また、これらの施設・設備の主な諸元を表4.2-11に示す。

なお、発電所から最も近い漁港である小屋取漁港及び養殖漁業施設について、写真4.2-2と写真4.2-3に示す。

表4.2-10 海上設置物（調査分類C）の抽出結果

| 分類 | No. | 名称 |
|-----------|-----|---------------------------------|
| 女川発電所港湾関係 | 1 | 漁業権消滅範囲標識ブイ |
| | 2 | 航路標識ブイ |
| | 3 | 海水温度観測用浮標 |
| | 4 | 海水温度観測鉄塔 |
| 係留漁船 | 5 | 係留漁船（発電所敷地前面海域， 発電所敷地前面海域以外） |
| | 6 | 係留大型漁船（女川港のみ） |
| 養殖漁業施設 | 7 | 養殖筏 |
| その他 | 8 | 標識ブイ |

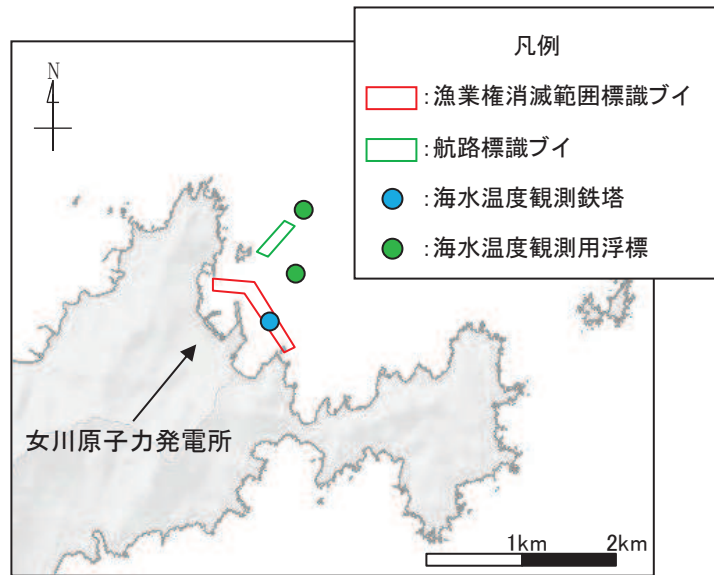


図 4. 2-29(1) 海上設置物（調査分類C：発電所前面海域）の配置概要図

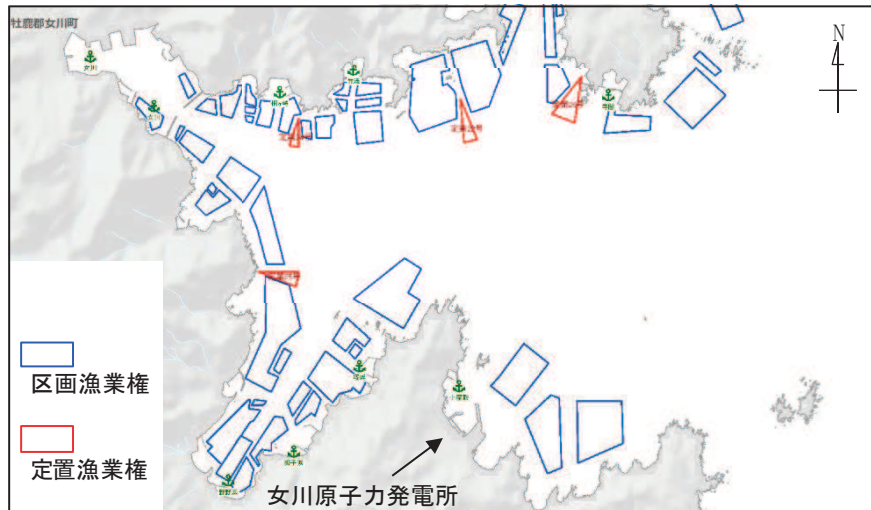


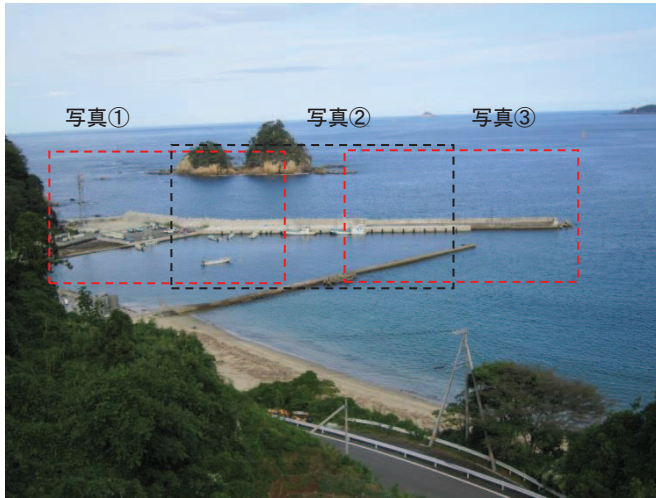
図 4. 2-29(2) 海上設置物（調査分類C）の配置概要図

表 4.2-11 海上設置物（調査分類C）の主な諸元

| 分類 | No. | 名 称 | 形状* | 主材料 | 重量 | 数量 |
|-----------|-----|-------------------|-------------------|----------------|---------------------------------------------------------|----|
| 女川発電所港湾関係 | 1 | 漁業権消滅範囲標識ブイ | φ 0.76m（球体） | FRP | 1t 未満 | 5 |
| | 2 | 航路標識ブイ | 33.56m × φ 0.914m | 鋼材 | 5t 未満 | 4 |
| | 3 | 海水温度観測用浮標 | 26.63m × φ 0.914m | 鋼材 | 5t 未満 | 1 |
| | 4 | 海水温度観測鉄塔 | 約 22m × 11m × 11m | 鋼材 | — | 1 |
| 係留漁船 | 5 | 係留漁船 | — | FRP | 発電所敷地前面海域 ：約 5t（総トン数） 発電所敷地前面海域以外 ：約 19t（総トン数） | 多数 |
| | 6 | 係留大型漁船 （女川港のみ） | — | 鋼材 | 約 3,000 t （重量トン数） | — |
| 養殖漁業施設 | 7 | 養殖筏 | — | フオートロープ° 木材 | 1t 未満 | 多数 |
| その他 | 8 | 標識ブイ | — | FRP （想定） | — | 多数 |

注記 *：最大規模の形状を記載

【小屋取地区港湾部全景】



【写真①】



【写真②】



【写真③】



写真 4. 2-2 小屋取漁港

①ホヤ養殖施設（1）



②ホヤ養殖施設（2）



③小型定置網（1）



④小型定置網（2）



⑤大型定置網（1）



⑥大型定置網（2）



写真 4. 2-3 養殖漁業施設概要写真

調査分類Cから抽出されたものについて、図 4.2-14 に示す漂流物の選定・影響確認フローに従って、漂流する可能性 (Step1)、到達する可能性 (Step2) 及び閉塞する可能性 (Step3) の検討を行い、取水性への影響を評価した。

漁業権消滅範囲標識ブイ (No. 1) については、アンカー等で係留されているが、津波の波力によりアンカー等が破断・破損するおそれがあることから、漂流物となり、取水口前面に到達することを想定する。ただし、想定する漂流物はFRPを主材料とするものであり、水面に浮遊することから、取水口を閉塞することはないと評価した。

航路標識ブイ (No. 2) 及び海水温度観測用浮標 (No. 3) については、アンカー等で係留されているが、津波の波力によりアンカー等が破断・破損し、浮標部の気密性も喪失する。そのため、設備本体については主材料である鋼材の比重 (7.85) と海水の比重 (1.03) を比較した結果、漂流物とはならないと評価した。一方、上部の軽量物が漂流物となり、取水口前面に到達することを想定する。ただし、想定する漂流物は軽量物であり、水面に浮遊することから、取水口を閉塞することはないと評価した。

海水温度観測鉄塔 (No. 4) については、津波の波力により部分的に破損するおそれがあるが、主材料である鋼材の比重 (7.85) と海水の比重 (1.03) を比較した結果、漂流物とはならないと評価した。

係留漁船 (No. 5) については、係留索により係留されているが、津波波力により係留索が破損することで、漂流物となり、取水口前面に到達することを想定する。なお、航行中の漁船も係留漁船と同様に漂流物となり、取水口前面に到達することを想定する。これらの係留漁船のうち最大規模は約 19t (総トン数) であり、その形状は「漁港・漁場の施設の設計参考図書 (水産庁, 2015 年版)」から、喫水深約 2m, 船体長さ約 20m, 幅約 5m であるに対して、取水口の取水面積 は十分大きいことから、取水口を閉塞することはないと評価した (図 4.2-30)。なお、「補足-600-4 下位クラス施設の波及的影響の検討について」において、地震時に取水口側面の未固結の土砂が取水口前面側に流出することを想定しているため、これらの土砂 (284m³) が取水口前面に堆積した状態で係留漁船が取水口に到達することも検討したが、図 4.2-30 のとおり、取水口を閉塞することはないと評価した。

係留大型漁船 (No. 6) については、女川港にのみ確認されており、女川港を船籍港としている最大規模の船舶は約 499t (総トン数) の漁船であるが、女川港の岸壁は約 3,000 重量トン級であることから、今後寄港して係留する可能性のある最大の船舶として、約 3,000 重量トンの大型船舶を想定する。この係留大型船舶は、係留索により係留されているが、津波波力により係留索が破損することで、漂流物となることを想定する。到達する可能性に関しては、東北地方太平洋沖地震に伴う津波の漂流物の特徴から、大型船舶が津波の襲来により被災するパターンとしては、①押し波による陸上への乗り上げ、②引き波による水位低下に伴う転覆・座礁・沈没することが考えられる。そのため、基準津波の第一波の寄せ波によって陸上へ乗り上げるおそれがあり、発電所には到達しない。また、陸上へ乗り上げなかった場合については、引き波による水位低下に伴い転覆・座礁・沈没するおそれがあるため、発電所には到達しない。仮に女川港湾内に漂流したとしても女川港には湾口防波堤があり、港外へ漂流

しにくい構造となっていること、港外へ漂流したとしても、基準津波の流向の特徴から、女川港から沖側への流れは西から東に向かう流れが卓越していることから、発電所には到達しない。以上のことから、係留大型漁船については、漂流したとしても発電所には到達しないと評価した。

養殖筏 (No. 7) 及び標識ブイ (No. 8) については、アンカー等で係留されているが、津波の波力によりアンカー等が破断・破損するおそれがあることから、当該設備が損傷して木片等のがれきが漂流物となり、取水口前面に到達することを想定する。ただし、想定する漂流物は軽量物であり、水面に浮遊することから、取水口を閉塞することはないと評価した。

以上のことから、調査分類Cとして抽出されたものについては、いずれも取水性への影響はないことを確認した。

調査分類Cの各施設・設備の評価結果を表 4.2-12 に示す。

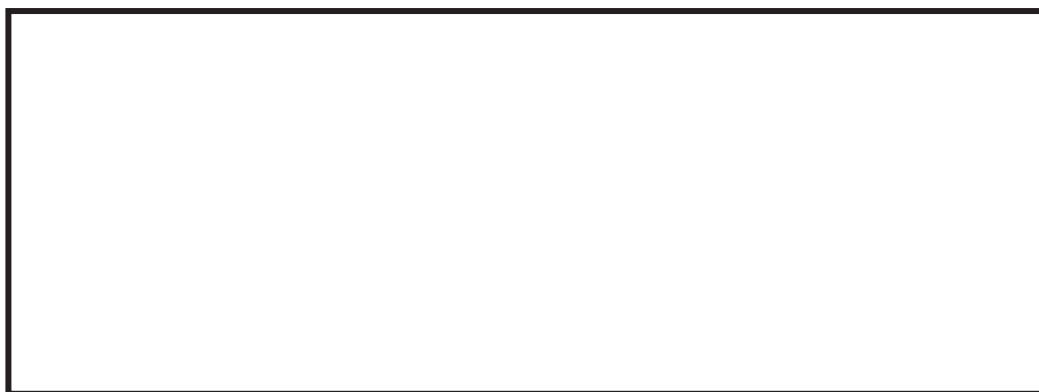


図 4.2-30(1) 取水口前面形状と係留漁船の関係

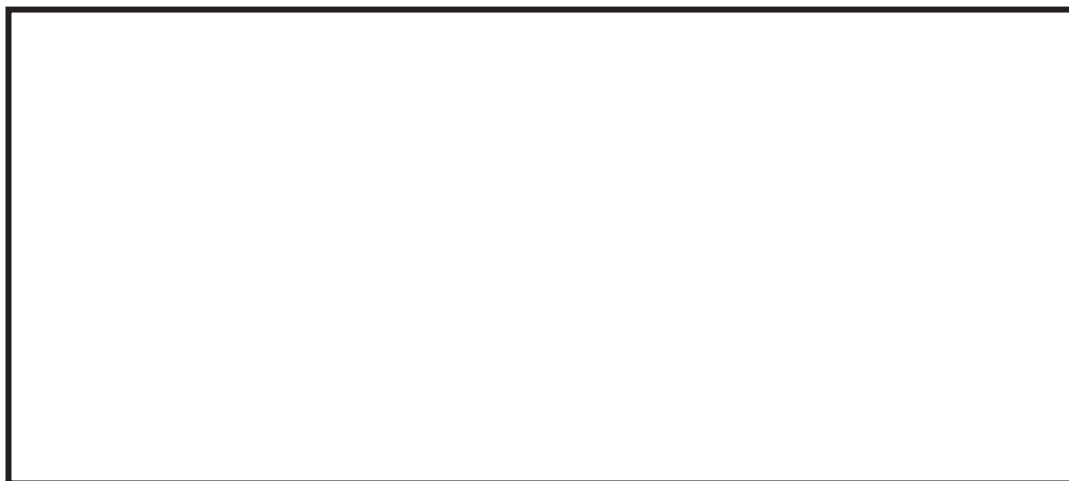


図 4.2-30(2) 取水口前面形状と係留漁船の関係

(地震時に取水口側面の未固結の土砂が取水口前面に堆積した場合を想定)

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

表 4.2-12(1) 海上設置物（調査分類C）の評価結果

| No. | 名 称 | 主材料 | 重量 | Step1（漂流する可能性） | | Step2 （到達する可能性）* | Step3 （閉塞する可能性）* | 評価* |
|-----|-----------------|----------------|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|----------------------|----------------------------------------------------------------|-----|
| | | | | 検討結果* | 比重 | | | |
| 1 | 漁業権消滅範囲標識 ブイ | FRP | 1t 未満 | アンカー等で係留されているが、津波波力によりアンカー等が破断・破損おそれがあることから、漂流物となる。 | — | 到達を考慮する。 | 【判断基準：j】 想定しているがれき（FRP 材）は、軽量物であり、水面に浮遊することから取水口を閉塞することはない。 | IV |
| 2 | 航路標識ブイ | 鋼材 | 5t 未満 | 【判断基準：b】 アンカー等で係留されているが、津波波力によりアンカー等が破断・破損し、浮標部の気密性も喪失する。このことを踏まえ、設備本体については主材料の比重と海水の比重を比較した結果、漂流物とはならない。一方、上部の軽量物が漂流物となる可能性がある。 | 《設備本体》 鋼材比重 【7.85】 | — | — | I |
| 3 | 海水温度観測用浮標 | 鋼材 | 5t 未満 | | 上部材 漂流することを 考慮 | 上部材について、到達 を考慮する。 | 【判断基準：j】 想定しているがれきは、軽量物であり、水面に浮遊することから取水口を閉塞することはない。 | IV |
| 4 | 海水温度観測鉄塔 | 鋼材 | — | 【判断基準：b】 津波波力により部分的に損傷するおそれがあるが、鋼材を主材料とした重量物であるため、漂流物とならない。 | 鋼材比重 【7.85】 | — | — | I |
| 7 | 養殖筏 | フロートロー プ・木材 | 1t 未満 | アンカー等で係留されているが、津波波力によりアンカー等が破断・破損おそれがあり、当該設備が損傷して木片等のがれきが漂流物となる。 | — | 木片等のがれきについて、到達を考慮する。 | 【判断基準：j】 想定しているがれき（木片等）は、軽量物であり、水面に浮遊することから取水口を閉塞することはない。 | IV |
| 8 | 標識ブイ | FRP (想定) | — | | | | | |

注記 *：判断基準（No の場合）及び評価については図 4.2-14 を参照。

表 4.2-12(2) 海上設置物（調査分類C）の評価結果

| No. | 名 称 | 主材料 | 重 量 | Step1 (漂流する可能性) * | Step2 (到達する可能性) * | Step3 (閉塞する可能性) * | 評価* |
|-----|--------|-----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 5 | 係留漁船 | FRP | 発電所敷地前面海域 : 約 5t (総トン数) 発電所敷地前面海域以外 : 約 19t (総トン数) | 係留索により係留されているが、津波波力により係留索が破損することで、漂流物となる可能性がある。 | 到達を考慮する。 (航行中の漁船についても到達を考慮する。) | 【判断基準：j】 漁船の最大規模は約 19t (総トン数) であり、喫水深約 2m, 船体長さ約 20m, 幅約 5m であるのに対して、取水口の取水面積は十分に大きいことから、取水口を閉塞する可能性はない。 | IV |
| 6 | 係留大型漁船 | 鋼材 | 約 3,000t (重量トン数) 女川港を船籍港としている最大規模の船舶は約 499t (総トン数) の漁船であるが、女川港の岸壁は約 3,000 重量トン級であることから、今後寄港して係留する可能性のある最大の船舶として、約 3,000 重量トンの大型船舶を想定する。 | | 係留索により係留されているが、津波波力により係留索が破損することで、漂流物となる可能性がある。 | 【判断基準：h】 3.11 地震に伴う津波の漂流物の特徴から、大型船舶が津波の襲来により被災するパターンとしては、①押し波による陸上への乗り上げ、②引き波による水位低下に伴う転覆・座礁・沈没することが考えられる。そのため、津波の第一波の寄せ波によって陸上へ乗り上げのおそれがあるが、発電所には到達しない。また、陸上へ乗り上げなかった場合については、引き波による水位低下に伴い転覆・座礁・沈没のおそれがあるが、発電所には到達しない。仮に女川港湾内に漂流したとしても女川港には湾口防波堤があり、港外へ漂流しにくい構造となっていること、港外へ漂流したとしても、津波の流向の特徴から、女川港から沖側への流れは西から東に向かう流れが卓越していることから、発電所には到達しない。以上のことから、係留大型漁船については、取水口前面には到達しない。 | — |

注記 * : 判断基準 (No の場合) 及び評価については図 4.2-14 を参照。

④船舶の調査結果（調査分類D）

④－1 船舶（定期航路船舶等）

発電所周辺 5km 圏内及び沖合約 12km に定期船舶の航路が存在する。

該当する定期航路船舶を表 4.2-13 に示し、調査分類Dの範囲及び運航航路を図 4.2-31 に示す。

なお、東北地方太平洋沖地震に伴う津波では、「きたかみ」は仙台港に停泊中であつたものの、緊急出港して被災を免れている。「いしかり」は東京湾で内覧中であつたため被災を免れている。「きそ」は津波後に緊急輸送（「きたかみ」も同様）を行っていることから、被災はしていないと判断される。「しまなぎ」「ベガ」「アルティア」は、沖出し避難を行い、被災を免れている。避難海域は以前から指定していた出島の南沖合い（水深 40m）のポイントで漂泊し、被災を免れている。

また、女川湾を航行中の大型船舶についても評価を行った。

表 4.2-13 定期航路船舶一覧

| No. | 所属船名 | 航路 | 総トン数 | 運航会社 |
|-----|-------|------------|--------|----------|
| 1 | ベガ | ①女川～金華山 | 19 | 潮プランニング |
| 2 | アルティア | | 19 | |
| 3 | しまなぎ | ②女川～出島・江ノ島 | 62 | シーパル女川汽船 |
| 4 | いしかり | ③仙台～苫小牧 | 15,762 | 太平洋フェリー |
| 5 | きそ | | 15,795 | |
| 6 | きたかみ | | 13,694 | |



図 4.2-31 調査範囲及び運航航路

調査分類Dから抽出されたものについて、図 4.2-14 に示す漂流物の選定・影響確認フローに従って、漂流する可能性 (Step1)、到達する可能性 (Step2) 及び閉塞する可能性 (Step3) の検討を行い、取水性への影響を評価した。

定期航路船舶 (ベガ, アルティア, しまなぎ, いしかり, きそ, きたかみ) (No. 1~6) については、各運行会社への聞き取り調査の結果、常時津波警報等の情報収集を可能とする無線・電話等を搭載しており、津波警報発令時等には、退避措置が明確であり、安全な海域に速やかに退避する予定であることを確認した。よって、これら定期船舶は漂流物とはならない。

航行中の大型船舶については、女川港を船籍港としていないが、一時的に女川港に寄港する可能性のある船舶として、貨物船や復興工事関係の船舶が考えられることから、貨物船及び復興工事関連の船舶について、女川港の入港実績を聞き取り調査を行った。その結果、最大 750t (総トン数) の貨物船が 2018 年 7 月に入港した実績を確認した。ただし、女川港の岸壁は約 3,000 重量トン級であることから、今後寄港する可能性のある最大の船舶は、約 3,000 重量トンの大型船舶であることが想定される。以上を踏まえ、航行中の大型船舶については、この約 3,000 重量トンの大型船舶を想定し、検討を行った。

通常時、発電所よりも西側の港から出港した船舶 (大型船舶を含む) は、海上衝突予防法により船舶は右側通行が義務付けられていることを踏まえると、多くの船舶が発電所に近い南側 (発電所からの離隔は約 2km) を通って太平洋側へ航行することが想定され、女川から金華山の定期航路船舶の航路と同様のルートで航行すると考えられる (図 4.2-32)。なお、この南側のルートよりも更に南側では、大名計礁付近で水深が浅くなっていることや、寄磯崎と二股島間の早崎水道により流れが速くなっていることから、船舶の航行にはあまり適していないことを確認した (図 4.2-32)。

また、津波警報時においては、津波による被害を避けるために沖合へ退避する船舶が極めて多くなると考えられ、発電所前面海域では一時的に大型船舶を含めた船舶が密集することが懸念される。その際、発電所に最も近いルートは通常時のルートと同様 (発電所からの離隔は約 2km) であると考えられる。仮に、この発電所に近いルートを航行していたとしても、航行中であれば、津波襲来前に沖合への退避が十分可能であることから、航行中においても漂流物とはならない。

さらに、航行中に故障により操船ができなくなる可能性もあるが、総トン数 20 トン以上の大型船舶については、国土交通省による検査 (定期検査, 中間検査, 臨時検査及び臨時航行検査) が義務付けられていることから、航行中に故障等により操船できなくなることは考えにくい。

以上のことから、約 3,000 重量トンの大型船舶が発電所の前面を航行中であつたとしても、漂流物とはならないと考えられる。ただし、漂流する可能性については、完全に否定することは困難であるため、到達する可能性についても検討も踏まえて評価した。

到達する可能性については、発電所前面海域を航行中の船舶を対象に、津波警報時

の退避ルート及びその南側のルート上での流向、流速から評価するため、水粒子の動きを把握する方向として有効な軌跡解析を実施した。

まず、津波警報時の退避ルート上を想定した場合、軌跡解析の初期位置として、5つの位置（航路1～5）を設定（図4.2-32）するとともに、さらに南側の発電所に近いルートを想定（図4.2-33）し、大名計礁の南側及び早崎水道付近の2地点（航路6～7）を設定した。また、解析時間は流速の影響がほとんどなくなる地震発生から24時間とした。

その結果、津波警報時の退避ルートを想定した場合、いずれの点でも第一波の寄せ波と引き波でほぼ東西方向に移動し、その後の流速が遅くなった状況では、西側（航路4,5）では大貝崎の影響を受けながら女川湾内をゆっくりと移動し、東側（航路1,2）では早崎水道の影響を受けて沖合へ移動する特徴がある。一方、航路3では、両者の影響をそれほど受けず、発電所前面海域をゆっくりと移動する特徴があることを確認した。ルート上の5点がいずれも第一波で東西方向に移動する特徴は、退避ルートが津波の襲来方向と同じであることが要因である。また、その後の流速が遅くなってからは、周辺地形の影響を受けて、おおよそ3パターンの特徴があるが、発電所に漂流するような特徴がないことを確認した（図4.2-34、図4.2-35、図4.2-37）。

また、南側（発電所に近い側）のルートを想定した場合、2点（航路6,7）ともに、津波警報時の退避ルートの航路1～5と同様に津波の第一波で東西方向に移動する。その後、航路6は周辺地形の影響をあまり受けずに女川湾内を漂い、航路7は早崎水道に近いことからその影響を強く受けて沖合へ移動する特徴を確認した。ただし、発電所に漂流するような流れの特徴は確認されなかった（図4.2-36、図4.2-38）。

以上のことから、調査分類Dのうち定期航路船舶等として抽出されたものについては、いずれも取水性への影響はないことを確認した。

調査分類Dのうち定期航路船舶等の評価結果を表4.2-14に示す。

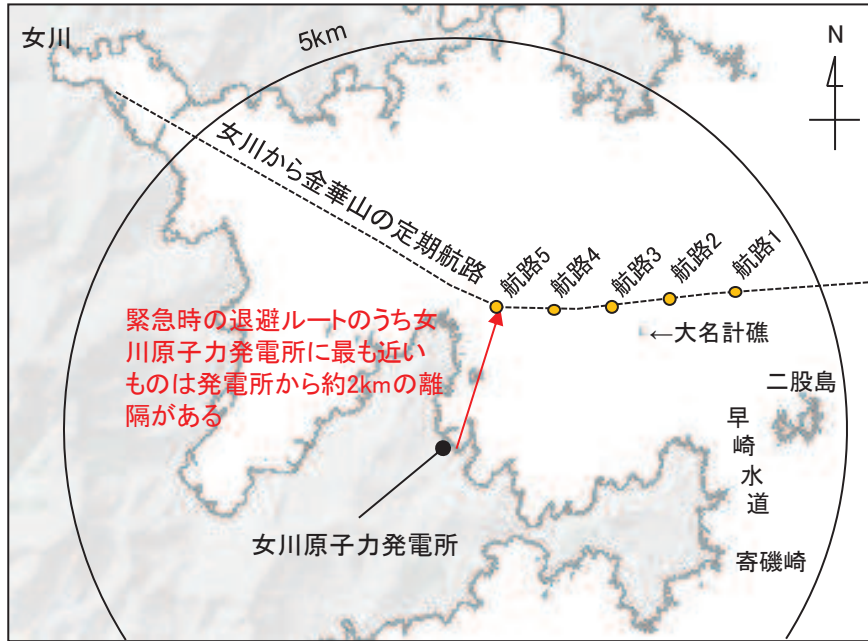


図 4. 2-32 津波警報時に想定される退避ルート及び軌跡解析の初期位置

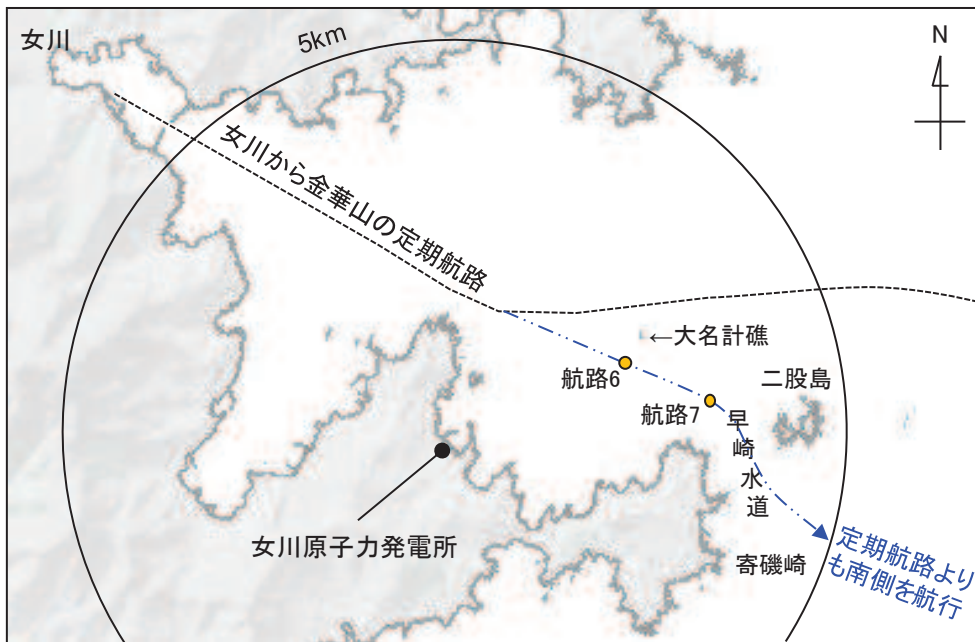


図 4. 2-33 想定される発電所側の退避ルート及び軌跡解析の初期位置

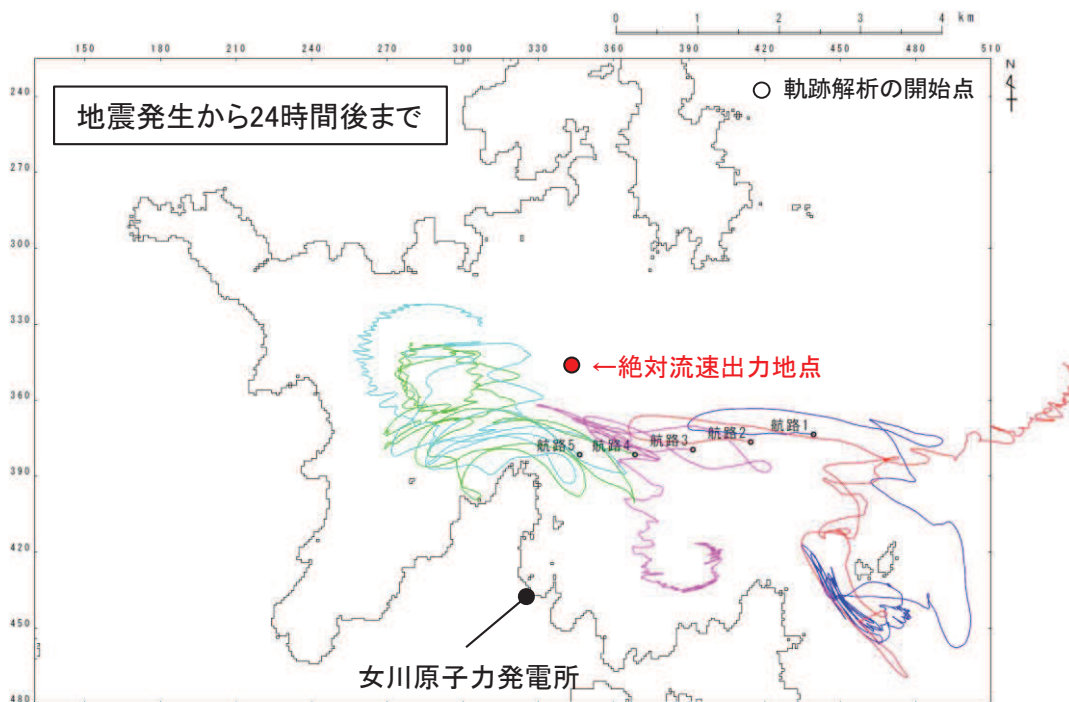
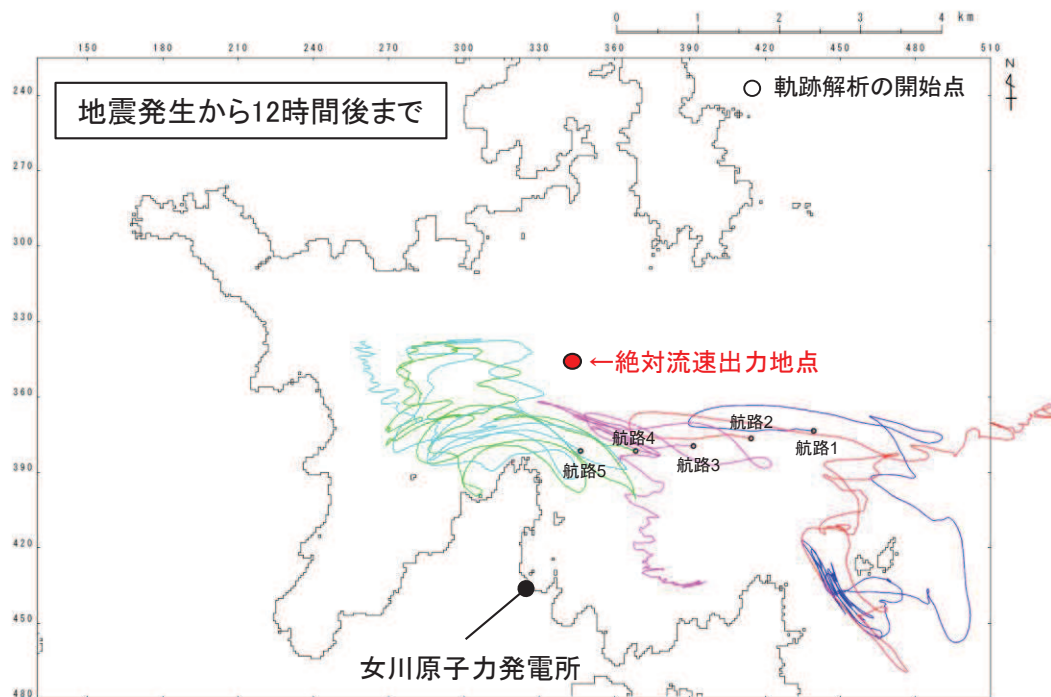


図 4.2-34 津波警報時に想定される退避ルート上からの軌跡解析結果
(上昇側基準津波)

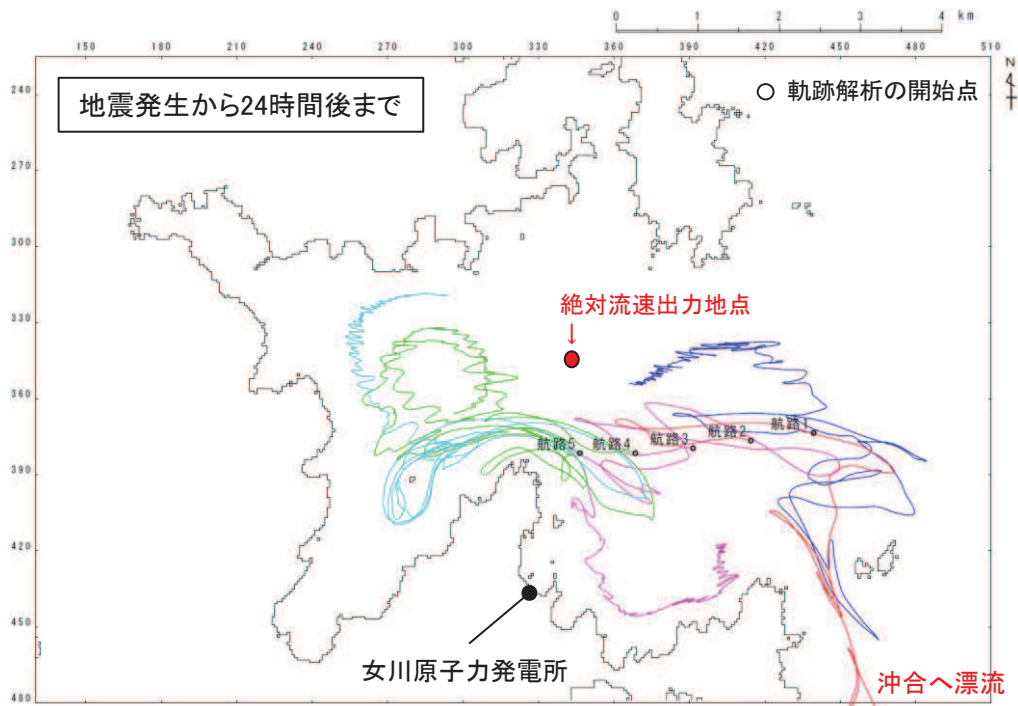
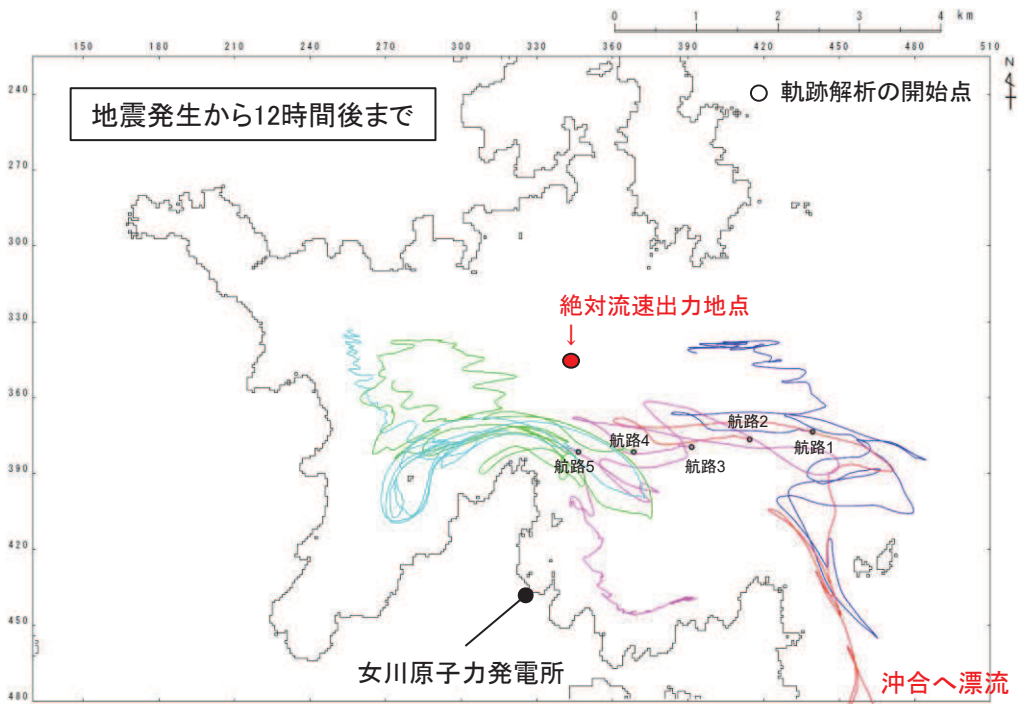


図 4. 2-35 津波警報時に想定される退避ルート上からの軌跡解析結果
(下降側基準津波)

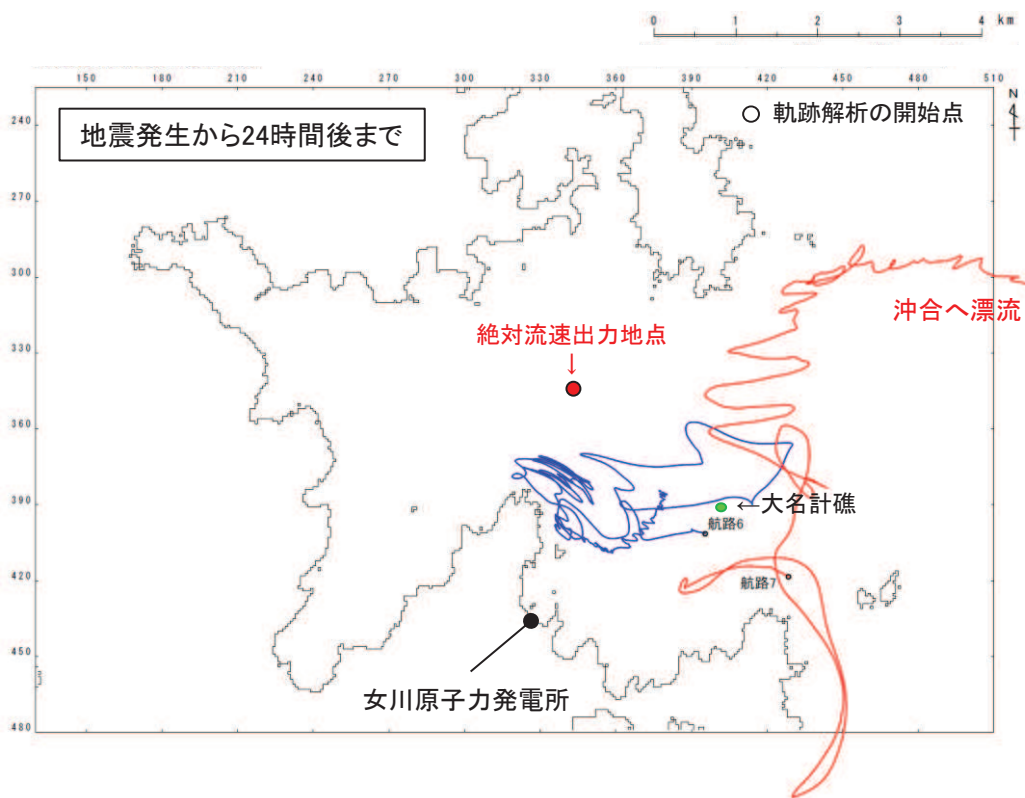
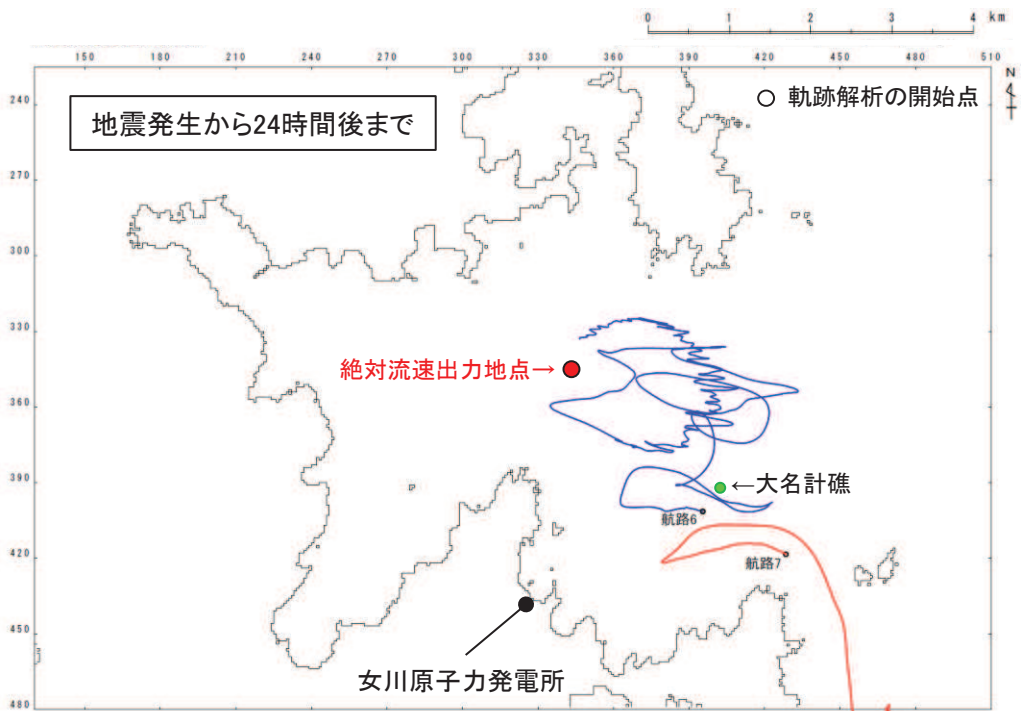


図 4. 2-36 南側の退避ルート上からの軌跡解析結果（南側ルート）
（上：上昇側基準津波，下：下降側基準津波）

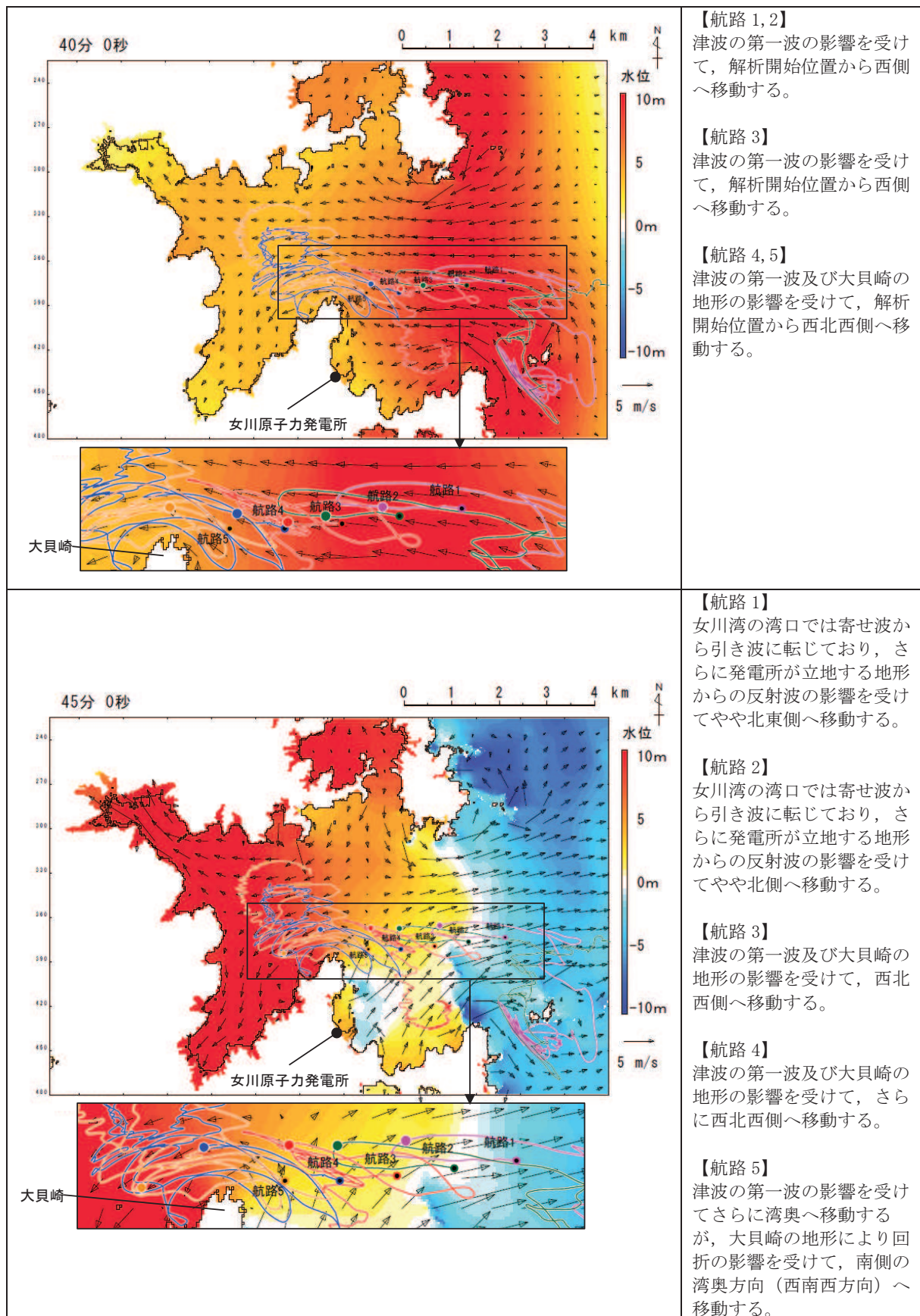


図 4.2-37(1) 津波警報時に想定される退避ルート上からの軌跡解析結果の詳細
(上昇側基準津波)

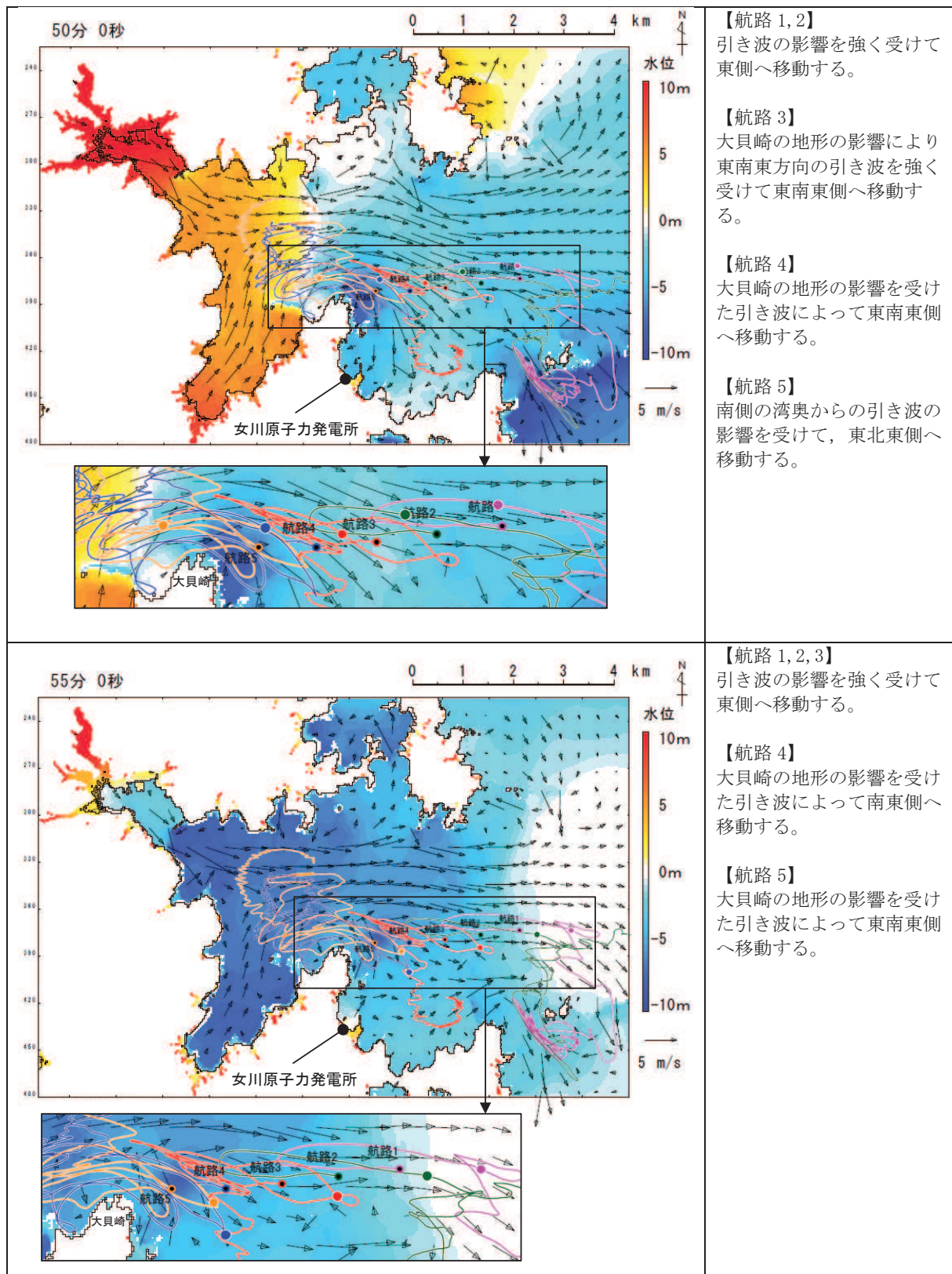


図 4.2-37(2) 津波警報時に想定される退避ルート上からの軌跡解析結果の詳細
(上昇側基準津波)

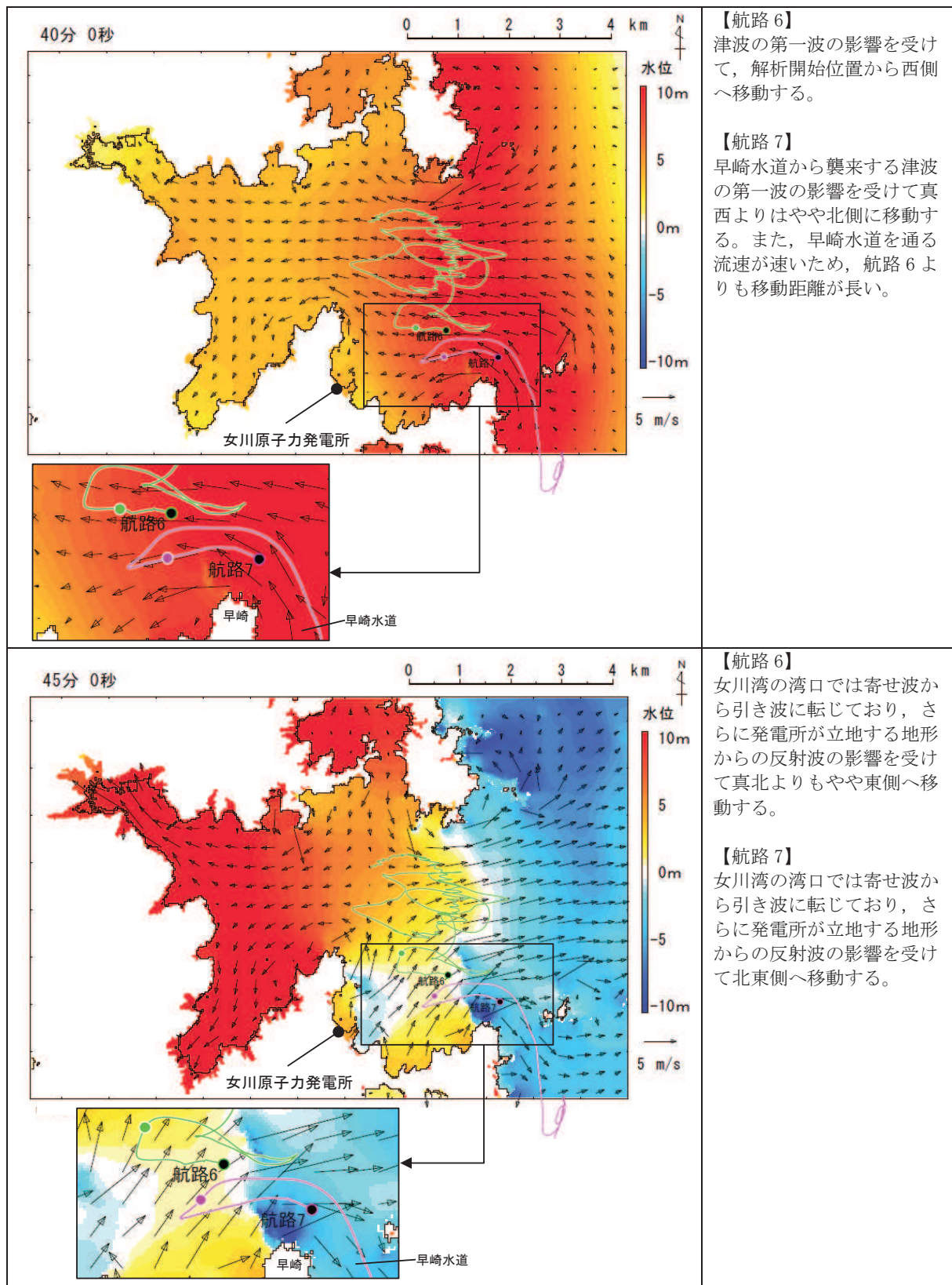


図 4. 2-38(1) 南側の退避ルート上からの軌跡解析結果の詳細 (上昇側基準津波)

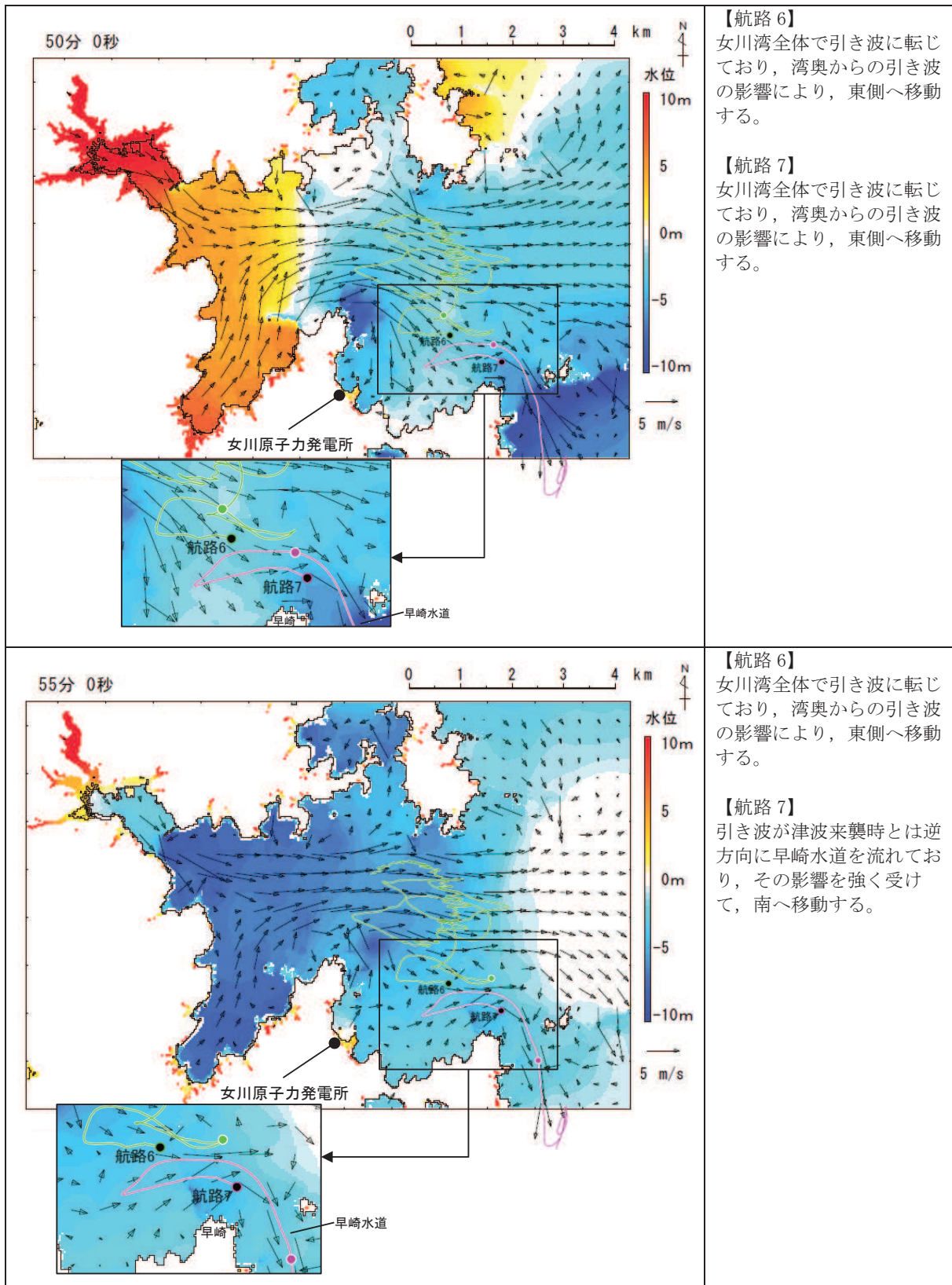


図 4. 2-38 (2) 南側の退避ルート上からの軌跡解析結果の詳細 (上昇側基準津波)

表 4.2-14(1) 定期航路船舶等（調査分類D）の評価結果

| No. | 名 称 | | 主材料 | 重量 (総トン数) | Step1 (漂流する可能性)* | Step2 (到達する可能性)* | Step3 (閉塞する可能性)* | 評価* |
|-----|-------|-------------------------|-----|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|---------------------|-----|
| 1 | ベガ | 女川～金華山 (潮プランニング) | 鋼材 | 19 | <p>【判断基準：d】 津波警報等の情報収集を可能とする無線・電話等を搭載しており、津波警報発令時等の退避措置が明確であり、安全な海域に速やかに退避する予定であることを確認した。よって、これら定期船舶は漂流物とはならない。 また、定期航路船舶は、東北地方太平洋沖地震に伴う津波時には、沖合いへの退避等を行い、津波による被災を免れていることを確認した。</p> | - | - | I |
| 2 | アルティア | | 鋼材 | 19 | | | | |
| 3 | しまなぎ | 女川～出島・江ノ島 (シーパル女川汽船) | 鋼材 | 62 | | | | |
| 4 | いしかり | 仙台～苫小牧 (太平洋フェリー) | 鋼材 | 15,762 | | | | |
| 5 | きそ | | 鋼材 | 15,795 | | | | |
| 6 | きたかみ | | 鋼材 | 13,694 | | | | |

注記 *：判断基準（No の場合）及び評価については図 4.2-14 を参照。

表 4. 2-14(2) 定期航路船舶等（調査分類D）の評価結果

| No. | 名 称 | 主材料 | 重量 | Step1 (漂流する可能性) * | Step2 (到達する可能性) * | Step3 (閉塞する可能性) * | 評価* |
|-----|---------------|-----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|-----|
| 7 | 大型漁船 (航行中) | 鋼材 | 約 3,000t (重量トン数) 女川港を船籍港としている最大規模の船舶は約 499t (総トン数) の漁船であるが、女川港の岸壁は約 3,000 重量トン級であることから、今後寄港して係留する可能性のある最大の船舶として、約 3,000 重量トンの大型船舶を想定する。 | 発電所との離隔が最短で約 2km の沖合を航行している状況を想定するが、航行中であれば、津波襲来前に沖合への退避が十分可能である。さらに、総トン数 20 トン以上の大型船舶については、国土交通省による検査（定期検査、中間検査、臨時検査及び臨時航行検査）が義務付けられており、故障等により操船できなくなるとは考えにくいことから、漂流する可能性は低いと考えられる。 ただし、漂流する可能性を完全に否定することはできないため、Step2（到達する可能性）の検討も踏まえて評価する。 | 【判断基準：h】 通常の退避ルート上からの軌跡解析を行い、発電所に漂流するような特徴的な流れがないことを確認した。 また、発電所に近いルートを航行することを想定し、同様の軌跡解析を行ったが、発電所に漂流するような特徴的な流れがないことを確認した。 以上から、発電所に到達しない。 | — | Ⅲ |

注記 * : 判断基準 (No の場合) 及び評価については図 4. 2-14 を参照。

④-2 船舶（燃料等輸送船）

発電所敷地内の港湾施設として荷揚岸壁があり，燃料等輸送船が停泊する。図 4.2-39 に燃料等輸送船の入港から出港までの主な輸送に係る工程を示す。

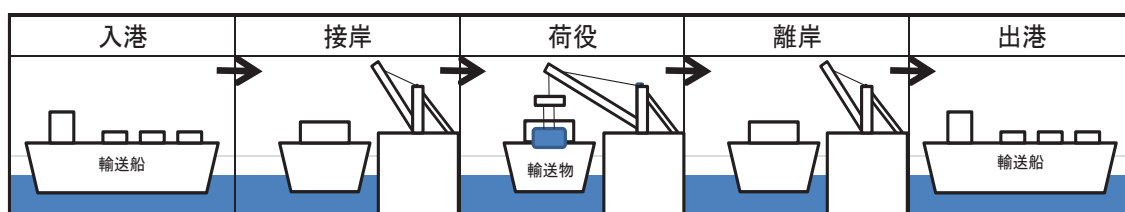


図4.2-39 燃料等輸送船の主な輸送に係る工程

燃料等輸送船は，港湾施設に停泊中に大津波警報，津波警報又は津波注意報（以下「津波警報等」という。）発令時には，原則として緊急退避を行うこととしており，東北地方太平洋沖地震以降に，図4.2-40に示す緊急退避フローを取り込んだマニュアルを整備している。

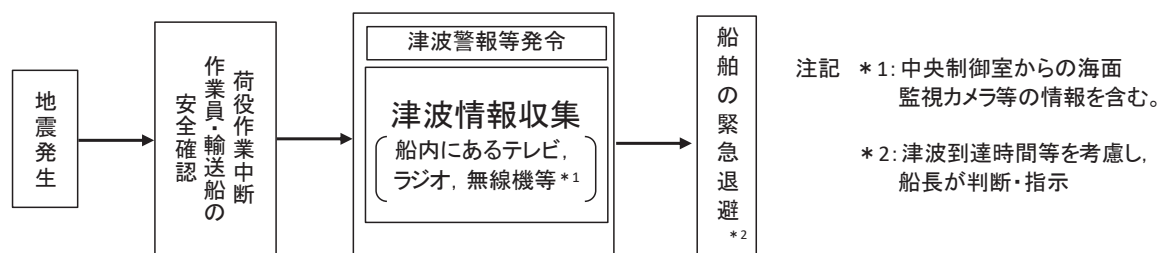


図4.2-40 船舶の緊急退避フロー図

また，燃料等輸送船の緊急退避についての当社と船会社の対応分担は図4.2-41のとおりであり，これら一連の対応を行うため，当社は，当社と船会社並びに荷役作業会社との連絡体制を整備するとともに，輸送ごとに地震・津波発生時の対応を定め，緊急退避訓練を実施している。

燃料等輸送船の緊急退避は船会社が実施するため，当社は輸送契約を締結している船会社に対して，緊急対応の措置の状況を監査や訓練報告書等により確認することで，緊急退避の実効性を確認している。

輸送物の緊急退避については，契約時に荷役作業会社に対して退避措置を徹底するとともに，女川原子力発電所敷地内における緊急退避訓練の実施状況によりその実効性を確認する。

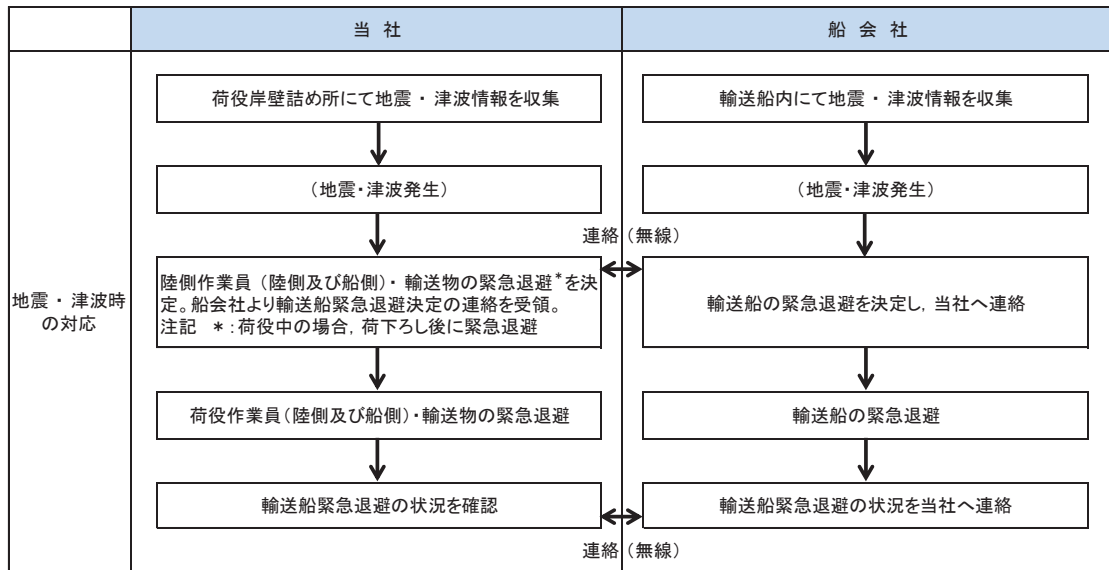


図4.2-41 輸送船緊急退避時の当社と船会社の運用の関係性

輸送船と輸送物の干渉がない「荷役」以外の工程が、輸送工程の大部分を占めており、津波警報等が発令された場合は、数分で緊急退避が可能である。

輸送船と輸送物が干渉しうる「荷役」工程は、これよりも退避までに時間を要するが、輸送工程の中で極めて短時間であること、さらに緊急離岸が可能となる時間(係留索解らん完了)は地震発生後、約13分であり、基準津波到達までに緊急退避が可能であることから、輸送船は漂流物とはならない。図4.2-42に津波襲来時の輸送船の緊急退避時間を、図4.2-43に基準津波の波形を示す。

また、基準津波以外の「津波地震による津波」及び「海洋プレート内地震による津波」は、いずれも波源位置が日本海溝近傍であり、津波の到達時間が基準津波よりも遅いため、緊急退避が可能である。

さらに、基準津波より到達が早い津波は、海域活断層(「F-5断層」及び「F-2断層・F-4断層」)による地震に起因する津波があるが、これらについても津波の到達時間と緊急離岸までの時間の関係から緊急退避が可能である。

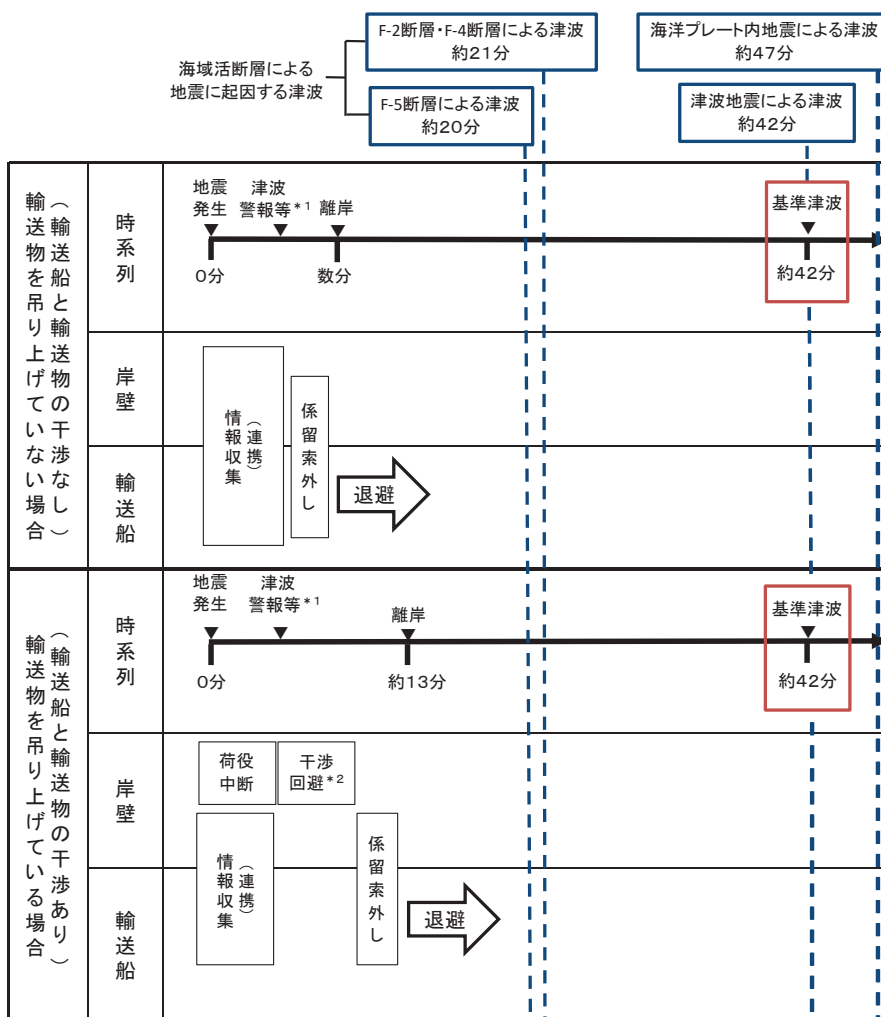
また、基準地震動 S_s が発生した場合は、輸送船の係留索を固定する係船柱について、係留機能が維持できなくなる可能性がある。しかし、万が一、係船柱の係留機能が維持できなくなった場合についても、以下の理由から輸送船は退避可能である。

- ・係留索が係船柱から取り外せない場合でも、船内からの切断が可能である。
- ・船内には乗組員が常に待機しており、操舵に必要な人員が常に確保されていることから、緊急退避の対応が可能である。

なお、係船柱が健全であれば、緊急退避ができない不測の事態を考え、輸送船が岸壁に係留されている状態で、基準津波より到達が早い海域活断層による地震に起因する津波を受けた場合においても、以下の理由から輸送船は航行不能とならず、漂流物とはならないことを確認している。

- ・津波の流圧力に対する係留索の耐力評価より、輸送船は係留力により岸壁に留まることができる（詳細については参考3）。
- ・輸送船の喫水と津波高さの関係より、輸送船は岸壁に乗り上げることはなく、また着底・座礁しない（詳細については参考4）。
- ・岸壁に接触しても防げん材を有しており、かつ法令（危険物船舶運送及び貯蔵規則）に基づく二重船殻構造等十分な船体強度を有している。

以上より、想定される全ての津波に対し、燃料等輸送船は緊急退避が可能である。調査分類Dのうち燃料等輸送船の評価結果を表4.2-16に示す。



注記 *1:地震発生3分後(気象庁HPに記載の発表目標時間)に津波警報が発令する
*2:(燃料輸送の場合)輸送物が船倉へ荷下ろし中の場合も、原則として、輸送物を巻上げて陸側に移動する(LLW輸送の場合)輸送物が陸側へ荷下ろし中の場合も、原則として、輸送物を巻上げて船側に移動する

図4.2-42 津波襲来と緊急退避時間（輸送船）

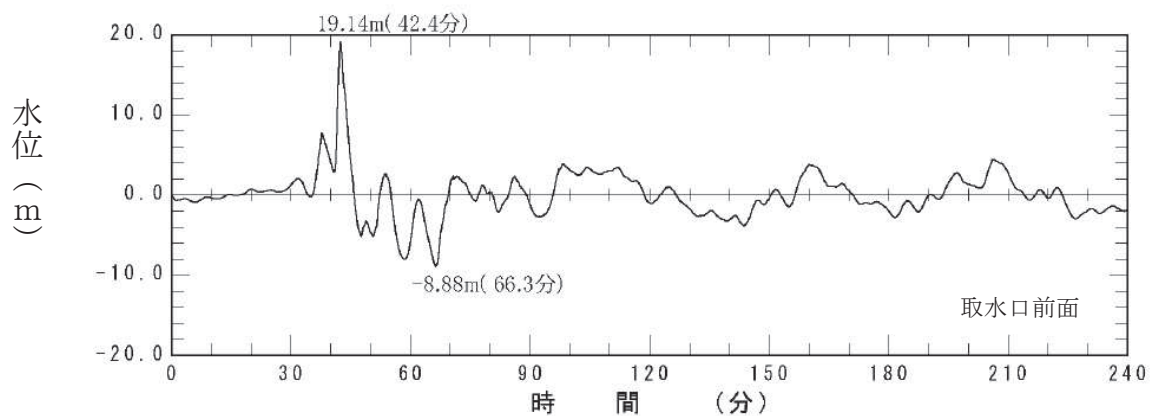


図4.2-43 基準津波（水位上昇側）の水位時刻歴波形（取水口前面）

また、津波警報等が発令された場合は、陸側にある輸送物は原則として、輸送車両とともに、当社敷地内の津波が到達しない場所へ退避する。輸送物には、使用済燃料（以下「燃料」という。）と低レベル放射性廃棄物（以下「LLW」という。）があり、図4.2-44に津波襲来時の陸側にある輸送物の退避の考え方を示す。

輸送車両の退避の考え方については、退避ルートが、基準地震動 S_s に対する耐震性が確保されていないことを踏まえ、発電所震度5弱以上*の地震時においては、退避ルートは健全でないと判断し、輸送車両の退避は行わない。

注記 *：発電所の震度情報については、原子力発電所に保安確認用の地震計を設置していることから、速やかに情報を入手することが可能である。女川原子力発電所では、震度5弱以上の地震で地震後のパトロールを実施しており、過去最大規模の東北地方太平洋沖地震（震度6弱）でも、車両の通行に支障をきたすような道路の段差等は発生していないことを確認しているが、保守的に震度5弱を退避ルートの健全性の判断基準とした。

発電所震度5弱未満の地震時においては、退避ルート上に配置される誘導員が、地震発生後速やかに、車両の通行の支障となり得る10cmを超える段差等が発生していないことを確認し、車両の通行可否について判断する。誘導員は車両の通行可否を、岸壁の作業責任者へ携帯する通信連絡設備により報告する。また、輸送車両についても、運転者が表4.2-15のとおり車両の状態確認を実施し、走行の可否について作業責任者に報告する。なお、女川原子力発電所において、東北地方太平洋沖地震（震度6弱）の際、輸送車両について走行に支障をきたす異常はなかったことを確認している。

燃料輸送車両は、地震等により退避ルートが健全でないと判断した場合の他、輸送物の吊り上げ作業中に津波警報又は大津波警報が発令された場合は、基準津波より早い津波（寄せ波高さ0.P.+3.05m）が燃料輸送車両発進とほぼ同時刻に到達し、岸壁高さ（0.P.+3.5m）を超えることはないが退避ルートの一部（0.P.+2.5m）が浸水する可能性があること及び退避ルートの途中で津波防護施設が隣接していることを踏まえ、輸送物及び燃料輸送車両は退避しない。津波注意報が発令された場合は、津波の

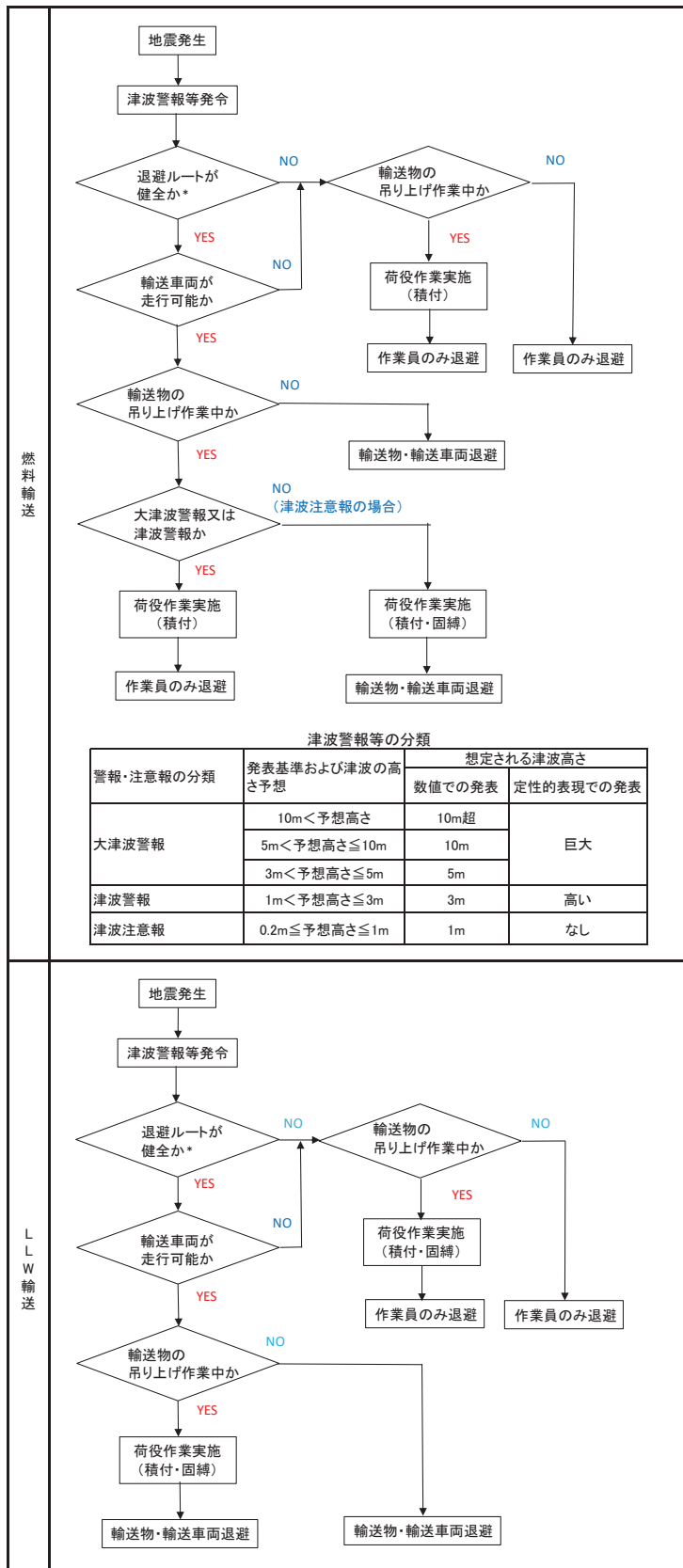
高さ予想は1m以下であり、退避ルートを浸水することはないことから、輸送車両は退避が可能である。

L L W輸送車両は、L L W輸送容器の空容器を発電所へ受け入れる場合は、船側に設置されたクレーンでL L W輸送容器を吊り上げ、船側からL L W輸送車両へ直接移動させた後、荷揚岸壁から固体廃棄物貯蔵所へ走行する。また、廃棄体を収納したL L W輸送容器を発電所外へ搬出する場合は、固体廃棄物貯蔵所でL L W輸送容器を積み込み、荷揚岸壁へ走行した後、船側に設置されたクレーンでL L W輸送容器を吊り上げ、L L W輸送車両から船側へ直接移動させる。なお、L L W輸送容器の空容器を発電所へ受け入れる作業と廃棄体を収納したL L W輸送容器を発電所外へ搬出する作業は別々に行う。輸送物の吊り上げ作業中でも地震発生から約15分でL L W輸送車両の退避が完了することから、基準津波より到達が早い津波が到達するまでに退避時間に余裕があるため、退避ルートが健全であれば退避が可能である。また、輸送物の吊り上げ作業前後でL L W輸送車両にL L W輸送容器が固縛されずに積載されている場合、固縛作業後に退避する。固縛作業時間は、確認作業を含めて7分以内であり、地震発生から約15分以内に退避が可能である。

図4. 2-45に津波襲来時の輸送車両等の緊急退避時間を示す。

退避できない場合でも、燃料の輸送容器（約 80t：空状態）及び輸送車両（約 34. 0t）は、重量物であり、津波を受けても、漂流物とはならない（輸送容器の浮力は 24. 9t、輸送車両の浮力は 25. 7t）。

L L W輸送車両は漂流物とはならないが、最も浮力が大きくなるL L W輸送容器の空容器を2個積載した場合、車両総重量（約 12t）に対し、浮力（約 20t）の方が大きい。また、廃棄体を収納したL L W輸送容器をL L W輸送車両へ積載した場合においても、車両総重量に対し浮力の方が大きくなることがある。このため、作業員のみが退避する場合は、L L W輸送容器をL L W輸送車両に固縛し、浮力を上回るようなウェイトを積載する対策を実施することで、漂流物とはしない方針とする。評価の詳細について、参考5に示す。

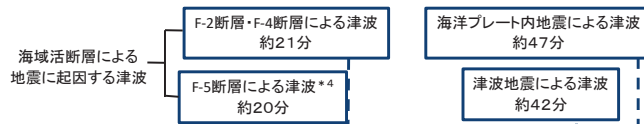


注記 * : 退避ルートが健全でないと判定する基準
 発電所震度5弱以上の場合または発電所震度5弱未満において道路に10cmを超える段差等を確認した場合

図 4.2-44 陸側にある輸送物の退避の考え方

表 4. 2-15 地震時の輸送車両の確認項目

| 確認箇所 | 確認内容 |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| 車両全般 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 構造部の損傷・亀裂・変形 ・ 油漏れ |
| 走行装置 | <ul style="list-style-type: none"> ・ タイヤのパンクの有無 |
| 原動機 | <ul style="list-style-type: none"> ・ エンジンが始動するか |
| 制動装置 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 空気圧力の確認 ・ ブレーキペダルの踏みしろの確認 |



| | | | |
|-------|------------|--------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| 燃料輸送 | 吊り上げていない場合 | 時系列 | 地震発生 0分 津波警報等*1 退避開始 輸送車両退避完了 約15分 基準津波 約42分 |
| | 輸送車両 | 情報(連携)収集 → 退避 | |
| 燃料輸送 | 吊り上げている場合 | 時系列 | 地震発生 0分 津波警報等*1 退避開始 約16分 作業員退避開始 約21分 輸送車両退避開始 約33分 輸送車両退避完了 約33分 基準津波 約42分 |
| | 輸送車両のみ | 情報(連携)収集 → 輸送物積付・固縛*2 → 退避 輸送物積付*3 → 退避 | |
| LLW輸送 | 吊り上げていない場合 | 時系列 | 地震発生 0分 津波警報等*1 退避開始 輸送車両退避完了 約8分 基準津波 約42分 |
| | 輸送車両 | 情報(連携)収集 → 退避 | |
| LLW輸送 | 吊り上げている場合 | 時系列 | 地震発生 0分 津波警報等*1 退避開始 約10分 輸送車両退避完了 約15分 基準津波 約42分 |
| | 輸送車両 | 情報(連携)収集 → 輸送物積付・固縛*2 → 退避 | |
| 退避ルート | | [Blank box for evacuation route] | |

- 注記 *1: 地震発生後の3分後(気象庁HPに記載の発表目標時間)に津波警報等が発令する
 *2: (燃料輸送の場合)吊り上げ作業実施中は、原則として、輸送物を巻上げて陸側に移動し積付・固縛する(作業時間18分)
 (LLW輸送の場合)吊り上げ作業実施中は、原則として、輸送物を巻上げて船側に移動し積付・固縛する(作業時間7分)
 *3: F-2断層・F-4断層による津波が退避ルート(OP+2.5m)に到達する前に、作業員は輸送物の積付(作業時間13分)を行い退避する
 *4: F-5断層による津波は退避ルート(OP+2.5m)を超えることはない

図 4.2-45 津波襲来と緊急退避時間(輸送車両等)

枠囲みの内容は防護上の観点から公開できません。

表 4.2-16 燃料等輸送船（調査分類D）の評価結果

| No. | 名 称 | 主材料 | 重量 | Step1 (漂流する可能性)* | Step2 (到達する可能性)* | Step3 (閉塞する可能性)* | 評価* |
|-----|--------|-----|---------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|---------------------|-----|
| 1 | 燃料等輸送船 | 鋼材 | 約 3,000t (重量トン数) | <p>【判断基準：d】 津波警報等報発令時には、原則として緊急退避を行うため漂流物とはならない。緊急退避にあたっては、当社と船会社並びに荷役作業会社との連絡体制を整備するとともに、輸送ごとに地震・津波発生時の対応を定め緊急退避訓練を実施している。また、当社は輸送契約を締結している船会社に対して、緊急対応の措置の状況を監査や訓練報告書により確認することで、緊急退避の実効性を確認している。</p> | — | — | I |

注記 *：判断基準（No の場合）及び評価については図 4.2-14 を参照。

④-3 船舶（作業船、貨物船等）

発電所港湾には、あらかじめ許可を受けた船舶のみが入港できる運用としており、発電所港湾に入港する船は、主に燃料等輸送船である。

燃料等輸送船以外に入港する可能性がある作業船、貨物船等としては、重油運搬船、浚渫関連作業船、港湾設備保守点検作業船、海洋環境監視調査船及び工事事資機材運搬作業船が挙げられる。

重油運搬船については、1号機補助ボイラー設備用として屋外に設置されていた重油タンクへの供給として約1000tの重油運搬船が入港していたが、東北地方太平洋沖地震に伴う津波の被害（漂流物化）により重油タンクは撤去したため、重油運搬船は今後入港する予定はない。

また、浚渫関連作業船については、第3号機の建設時に海底面を掘り下げるため一度浚渫を実施しているものの、発電所港湾は砂が堆積するような位置に立地していないため、第3号機の建設時以降は浚渫作業を実施したことはない。今後も浚渫関連作業船が入港する予定はない。

港湾設備保守点検作業船については、女川専用港湾の防波堤やカーテンウォール、防舷材、岸壁の点検のための総トン数20t未満の船舶で、1年に1度（それぞれ数日程度入港）程度入港する。

海洋環境監視調査船については、温排水の環境への影響を確認するための総トン数20t未満の船舶で、1年に1度（それぞれ数日程度入港）程度入港する。

工事事資機材運搬作業船については、現在は計画されていないものの、将来発生する改良工事により資機材の運搬するために入港する可能性のある船舶であり、発電所港湾設備は約3000t級の船舶が入港可能であることから、この最大クラスの船舶が入港する可能性がある。

以上のことから、燃料等輸送船以外に入港する可能性がある船舶としては、工事事資機材運搬作業船（約3000t）を想定する。なお、船舶が大きくなるほど、係留設備も増えて退避時の離岸に時間を要すること、また、大型の船舶では離岸の際に曳船により旋回するため、退避するまでに時間を要することから、最大クラスの約3000t級を評価代表船舶に選定した。

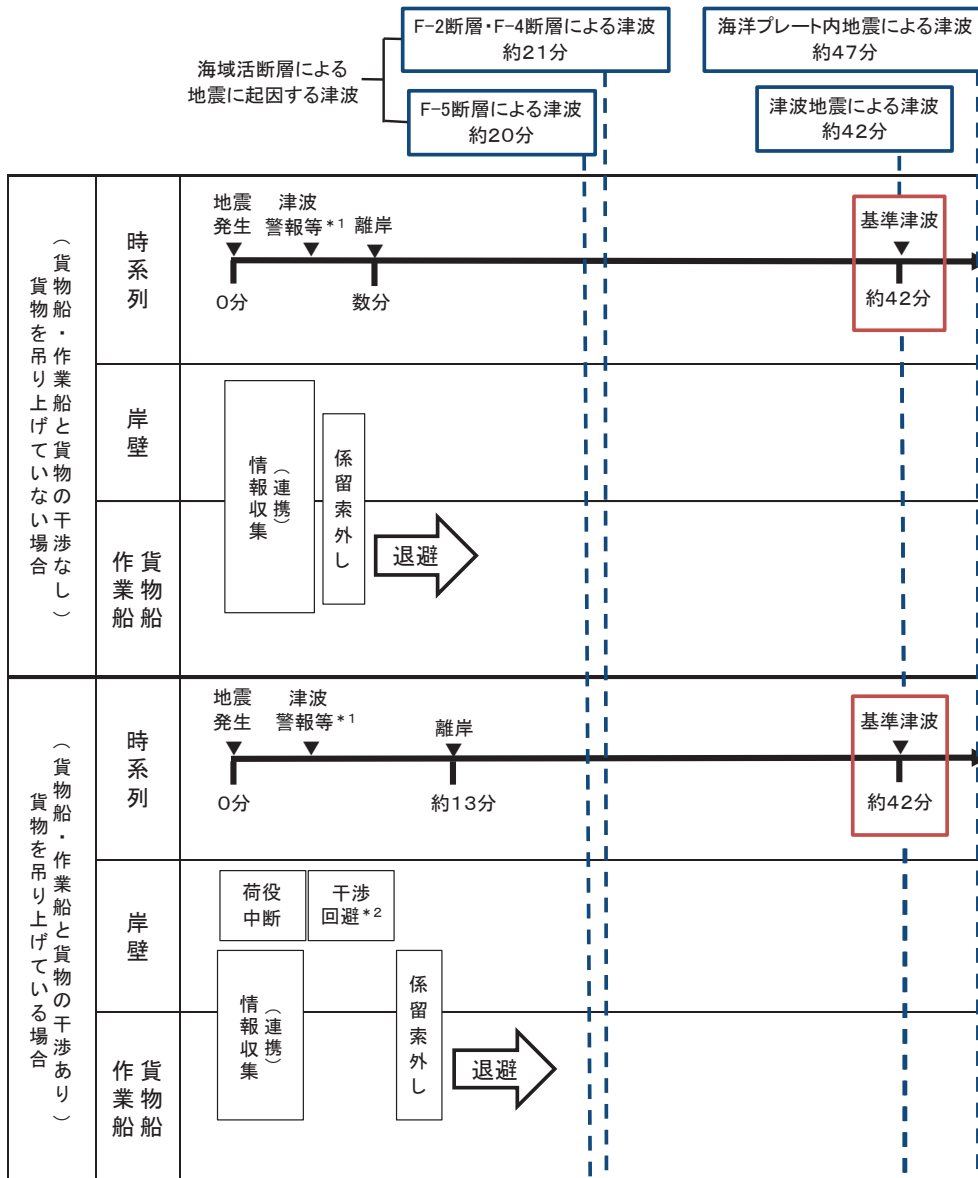
津波警報等発令時には、予め施工者が定めて当社が承認した安全計画書に基づき、作業を中断し、陸側作業員及び輸送物を退避させるとともに、緊急離岸する船側と退避状況に関する情報連絡を行う手順を定めることとする。なお、図4.2-46に示すとおり、工事事資機材運搬作業船（約3000t）の退避に関しては、重量トン数が同じである燃料等輸送船と同様であると考えられ基準津波及び基準津波よりも到達が早い津波に対して十分に退避可能である。

また、発電所港湾内で作業する船舶の退避にあたっては、図4.2-47に示すとおり港口付近は約160mの幅で、最も大きいと想定している燃料輸送船でも幅は16.5m（参考3）であるため、船舶の大きさと比較すると十分に広いことから、複数船舶が同時に退避することは可能である。なお、船舶退避の実効性を高める観点から、燃料等の輸送作業とその他港湾内作業は同時期に実施しない運用とする。

発電所港湾内のうち、2号機及び3号機取水口前面の2、3号機カーテンウォール内には特に船舶が入ることは想定していないが、この範囲は、2、3号機カーテンウォールが障害物となることで、船舶を用いての退避が困難となり、船舶をカーテンウォール内に残置して人員のみ発電所敷地（陸域）に避難する可能性がある。その場合、当該船舶が2号機取水口に到達する可能性があるとともに、防潮堤、屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）及び貯留堰に衝突する可能性があるため、衝突影響の観点も鑑みたりスク低減として、2、3号機カーテンウォール内での作業にあたっては、剛性が比較的小さく貯留堰に有意な影響を与える漂流物とならないゴムボート以外は入港禁止とする運用とする（図4.2-47参照）。

以上のことから、2、3号機カーテンウォール内での作業に用いるゴムボート以外の船舶は津波時に退避するため、港湾内を漂う漂流物になることはない。一方、2、3号機カーテンウォール内での作業に用いるゴムボートについては、2号機取水口に到達する可能性があるため、検討対象漂流物として整理する。

調査分類Dのうち作業船、貨物船等の評価結果を表4.2-17に示す。



注記 *1:地震発生の3分後(気象庁HPに記載の発表目標時間)に津波警報が発令する
 *2:貨物が陸側へ荷下ろし中の場合も、原則として、貨物を巻上げて船側に移動する

図 4.2-46 津波襲来と緊急退避時間 (作業船, 貨物船等)

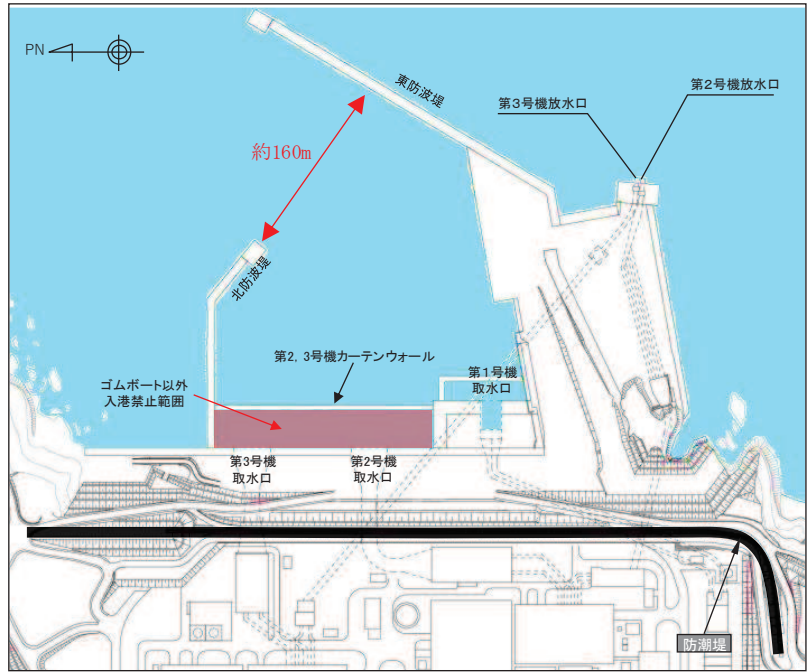


図 4. 2-47 発電所港湾内のうちゴムボート以外の入港を禁止する範囲

表 4.2-17 作業船, 貨物船等 (調査分類D) の評価結果

| No. | 名 称 | 主材料 | 重量 | Step1 (漂流する可能性) * | Step2 (到達する可能性) * | Step3 (閉塞する可能性) * | 評価* |
|-----|-----------------------|-----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 1 | 作業船 (ゴムボート以外), 貨物船 | 鋼材 | 約 3,000t (重量トン数) 発電所港湾の岸壁は約 3,000 重量トン級であることから, 入港する可能性のある最大の 船舶として, 約 3,000 重量ト ンの船舶を想定する。 | 【判断基準 : d】 津波警報等発令時には, 原則として緊急 退避を行うため漂流物とはならない。 なお, 緊急退避にあたっては, 当社と船 会社並びに荷役作業会社との連絡体制 を整備するとともに, 輸送ごとに地震・ 津波発生時の対応を保安規定に定めて 管理することとしている。 | — | — | I |
| 2 | 作業船 (ゴムボート) | ゴム | 1t 未満 | 2・3号機カーテンウォールが障害物と なり, 沖合いへの退避が困難であるた め, 漂流を考慮する。 | 到達を考慮する。 | 【判断基準 : j】 調査分類Cの係留小 型船舶 (約 19t : 総 トン数) と同等を想 定したとしても, 取 水口の取水面積の方 が十分大きいことか ら, 取水口を閉塞す ることはない。 | IV |

注記 * : 判断基準 (No の場合) 及び評価については図 4.2-14 を参照

4.2.4 漂流物に対する取水性への影響評価

発電所周辺を含め、基準津波により漂流物となる可能性がある施設・設備について、漂流（滑動を含む）する可能性、取水口前面に到達する可能性及び取水口前面が閉塞する可能性についてそれぞれ検討を行い、原子炉補機冷却海水系及び高圧炉心スプレイ補機冷却海水系の取水性確保に影響を及ぼさないことを確認した。

さらに、非常用系取水設備である取水口は、循環水ポンプの取水路を兼ねており、全体流量に対する海水ポンプ流量の比（約2%）から、漂流物により通水面積の約98%が閉塞されない限り、取水機能が失われることはないため、複数の漂流物が同時に漂着しないことを確認する必要がある。確認した結果を以下に示す。

津波は流向を有していることから、漂流物がすべて取水口前面に到達する可能性は低いと考える。万が一、漂流物のすべてが取水口前面に集約された場合を想定しても、漂流物が隙間なく整列することは考えにくい。また、漂流物の形状から取水口に密着することは考えにくく、取水口を完全に閉塞させることはないと考えられるため、非常用海水ポンプの取水は可能である。

また、これらの漂流物が設置されている場所は女川地区をはじめとする広範囲に分散されているため、漂流物が同時に取水口前面に到達することはないと考える。万が一、漂流物のすべてが取水口前面に集約された場合を想定しても、漂流物が隙間なく整列することは考えにくい。また、漂流物の形状から取水口に密着することは考えにくく、取水口を完全に閉塞させることはないと考えられるため、非常用海水ポンプの取水は可能である。

なお、東北地方太平洋沖地震に伴う津波の実績を踏まえ、津波襲来後には必要に応じて漂流物を撤去する方針であることから、非常用海水ポンプの取水は可能である。

(参考1) 津波漂流物の調査要領について

1. はじめに

「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（平成25年7月8日施行）」の第五条において、基準津波に対して設計基準対象施設が安全機能を損なわれるおそれがないことが求められており、同解釈の別記3において、基準津波による水位変動に伴う漂流物に対して取水口及び取水路の通水性が確保できる設計であることが要求されている。

本書は、同要求に対する適合性を示すにあたり実施した「基準津波により漂流物となる可能性がある施設・設備等」の調査の、調査要領を示すものである。

2. 調査要領

(1) 調査範囲

発電所周辺地形及び基準津波の流向・流速を確認し、以下の特徴を把握した。

【発電所周辺地形の把握】

- ✓ 発電所はリアス海岸の特徴を有する女川湾の湾口部に位置し、発電所よりも西側の湾の奥側には複数の漁港や女川町等の市街地が形成されている。

【基準津波の流向・流速の把握】

- ✓ 女川湾に襲来した津波は、引き波に転じた後、津波襲来方向と逆方向に流れており、東西方向の流れが支配的である。
- ✓ また、その逆方向の流れの一部は、周辺地形の影響を受けて女川原子力発電所へ向かう流れもある。
- ✓ 軌跡解析の結果、女川湾内の海岸線にある施設・設備は湾内を漂流する可能性がある。

これらの特徴を踏まえ、検討対象施設・設備の調査範囲については、図1のとおり発電所よりも西側の湾の奥側も含めた女川湾全体とする。なお、沖合側（東側）については、海上設置物の設置状況及び定期航路船舶の航路を考慮して設定する。

また、発電所敷地内については、防潮堤の海側となる防潮堤区画外（津波遡上域）とする。発電所敷地内の調査範囲を図2に示す。

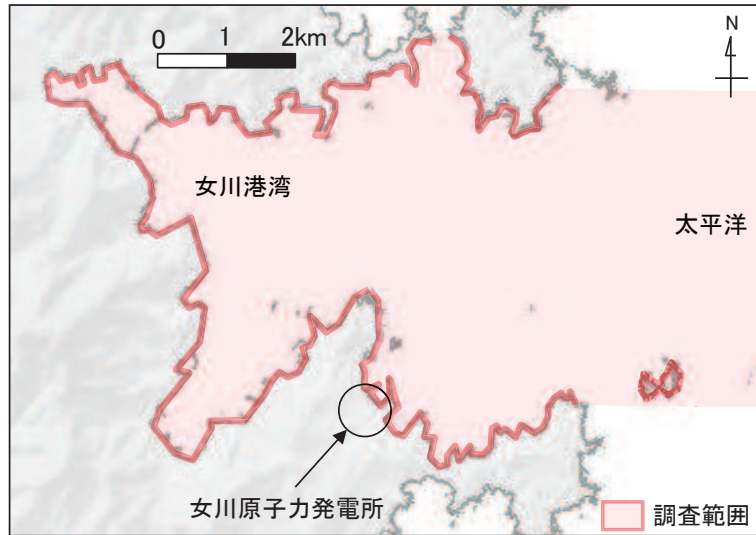


図1 漂流物調査範囲
 (沖合側(東側)の範囲は、海上設置物の設置状況及び
 定期航路船舶の航路を考慮して設定)

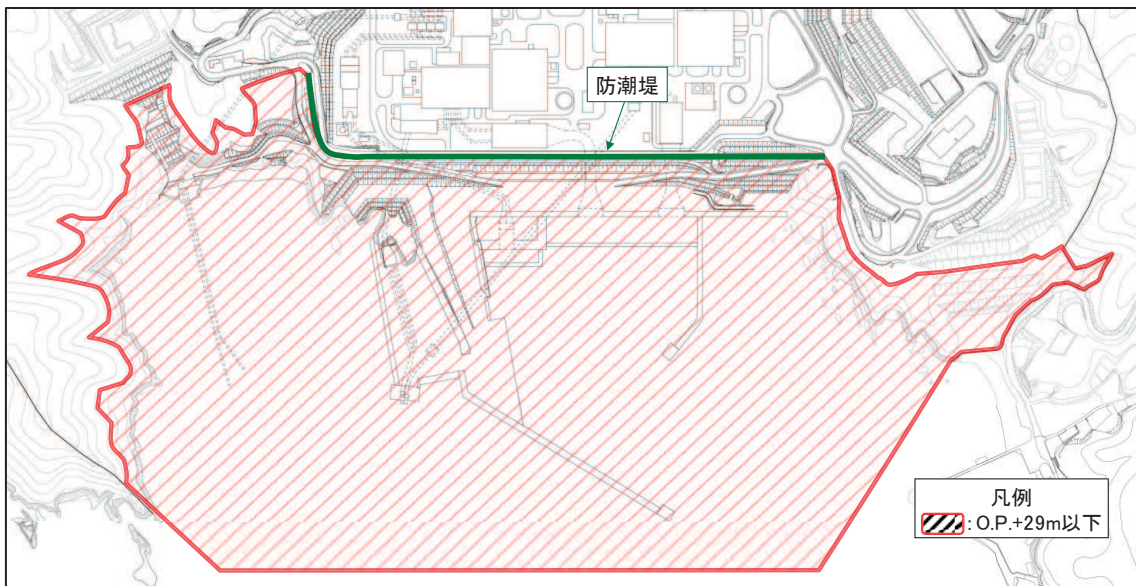


図2 発電所敷地内の調査範囲

(2) 調査方法

漂流物となる可能性のある施設・設備の配置特性を踏まえ、調査分類を4つに区分して調査を実施する。また、東北地方太平洋沖地震に伴う津波により発電所に漂流してきたものや発電所敷地内で漂流したもの、調査範囲とした女川湾と類似した地形を有する気仙沼市と南三陸町の漂流物についても調査対象とした。

これらの分類ごとの調査対象、調査方法を表1に示す。

表1 「漂流物となる可能性がある施設・設備等」の調査方法

| 調査分類 | | 調査方法 | | 記録項目 | |
|------|-------------------------------|-------------------------------|--------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| 分類 | 対象例 | 方法 | 概要 | | |
| A | 【敷地内：陸域】 発電所敷地内における人工構造物 | 港湾施設 建屋 等 | 机上調査 | プラント配置図等の資料を調査し、調査範囲内にある建屋、機器類等を抽出 | 名称，設置レベル，形状等 |
| | | | 現場調査 | 現場を調査し，対象設備を抽出 | |
| B | 【敷地外：陸・海域】 漁港・集落・海岸線の人工構造物 | 港湾施設 商・工業施設 家屋 等 | 机上調査 | 女川町のHP，国土地理院20万分の1地勢図（国土地理院電子国土Web等の空中写真等も参照），海上保安庁海洋情報部の沿岸海域環境保全情報（Ceis Net）等を調査し，調査範囲内にある集落及び施設を抽出 | 名称，形状，材料，重量等 |
| | | | 現場調査 | 現場を調査し，対象設備を抽出 | |
| C | 【敷地外：陸・海域】 海上設置物 | 係留漁船 養殖漁業施設 その他・発電所港湾施設 | 聞き取り調査 | 漁協及び自治体関係者への聞き取り調査並びに漁協，自治体管理資料，海上保安庁海洋情報部の沿岸海域環境保全情報（Ceis Net）等の調査により対象を抽出 | 名称，設置場所，形状等 |
| | | | 机上調査 | | |
| D | 【敷地外：陸・海域】 船舶 | 燃料等輸送船 定期航路船舶 | 聞き取り調査 | 漁協及び自治体関係者への聞き取り調査並びに漁協，自治体管理資料，海上保安庁海洋情報部の沿岸海域環境保全情報（Ceis Net）等の調査により対象を抽出 | 名称，重量，経路等 |
| | | | 机上調査 | | |

(3) 記録方法

調査結果記録は，表 1 の記録項目の内容について記録する。

(参考2) 津波の流況を踏まえた防波堤の取水口到達可能性評価について

1. はじめに

津波の流況を踏まえた漂流物の取水口到達可能性については、「4.2 取水口付近の漂流物に対する取水性」にて評価している。このうち、防波堤については、津波影響軽減施設としての設計は行っていないことも踏まえ、地震や津波波力、津波時の越流による洗掘により横転・滑落等が生じる可能性が考えられること、損傷した状態で津波による流圧力を受けることにより、漂流・滑動が生じる可能性を検討し、取水口への到達可能性について評価した。

2. 防波堤の被災メカニズム

(1) 防波堤構造

防波堤の構造として、防波堤と取水口の配置を図1に、東防波堤堤頭部のケーソン堤の構造を表1、図2に、消波ブロック被覆堤の構造を表2、図3に示す。

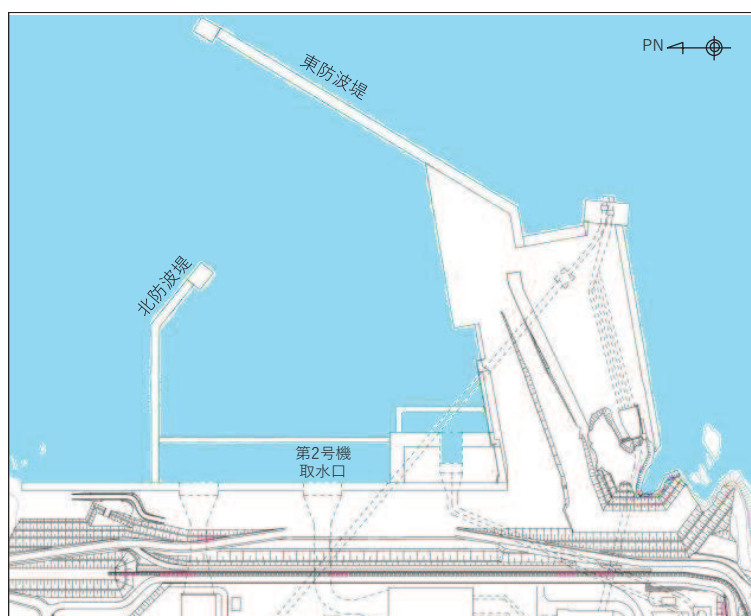
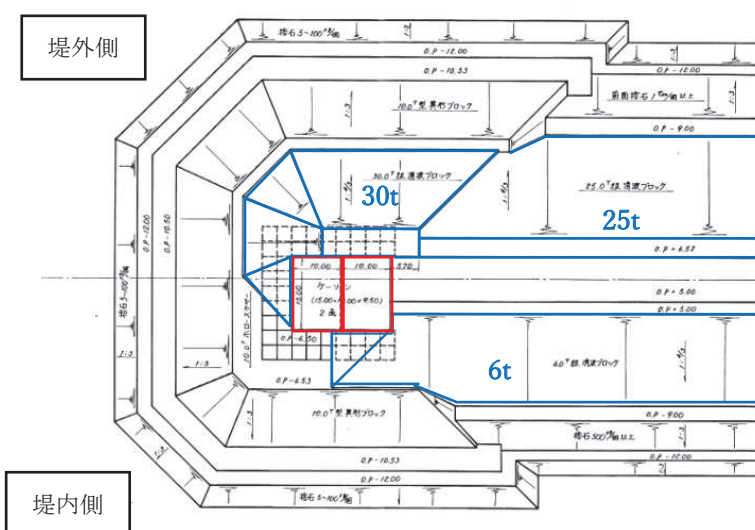


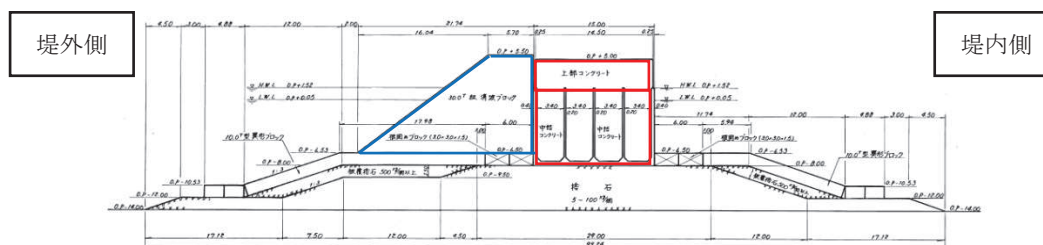
図1 防波堤と取水口の配置

表1 ケーソン堤構造

| 構造物 | 仕様 |
|-------------|-----------------------------------------------------------|
| ケーソン (直立部) | 北防波堤, 東防波堤 各2函 15m(B) × 10m(L) × 9.5m(H) : 3,000t 以上/函 |
| 上部コンクリート | 14.5m(B) × 3.5m(H) : 約 100t/m |
| 消波ブロック | 堤外側 : 25t, 30t (東防波堤), 15t (北防波堤) 堤内側 : 6t (東・北防波堤) |
| 被覆石 | 500kg/個以上 |
| 捨石 (基礎マウンド) | 5~100kg/個 |



(a) 東防波堤堤頭部平面図

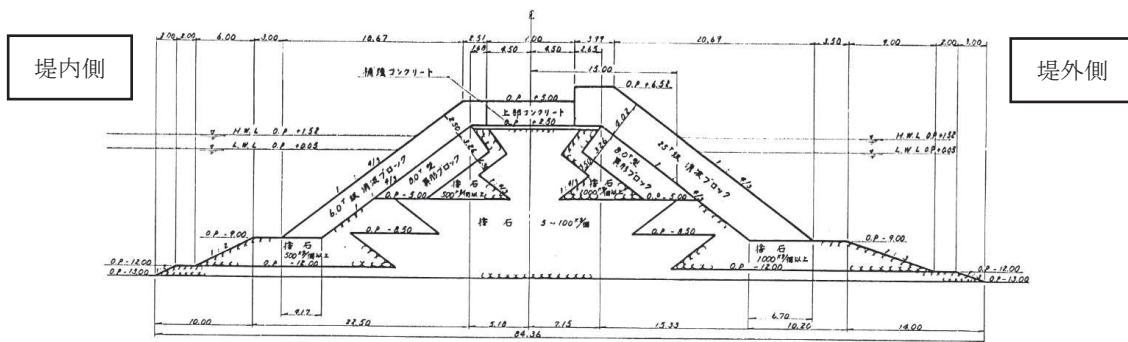


(b) 東防波堤堤頭部断面図

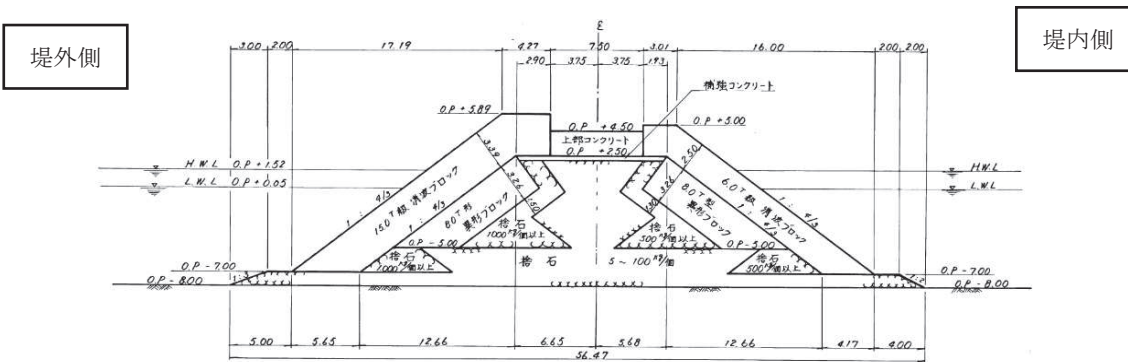
図2 ケーソン堤構造

表2 消波ブロック被覆堤構造

| 構造物 | 仕様 |
|-------------|----------------------------------------------------------------------|
| 上部コンクリート | 東防波堤：9.0m (B) × 2.5m (H)：約 50t/m 北防波堤：7.5m (B) × 2.0m (H)：約 30t/m |
| 消波ブロック | 堤外側：25t (東防波堤), 15t (北防波堤) 堤内側：6t (東防波堤), 4t, 6t, 8t (北防波堤) |
| 捨石 (基礎マウンド) | 5~100kg/個 |



(a) 東防波堤標準断面図



(b) 北防波堤標準断面図

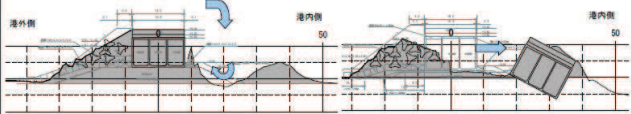
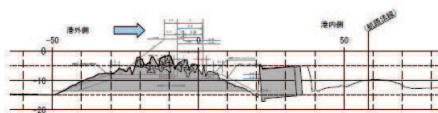

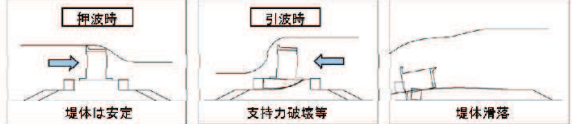
図3 消波ブロック被覆堤構造

(2) ケーソン堤の被災事例

東北地方太平洋沖地震及び津波によるケーソン堤被災の主な原因について、国土交通省港湾局（2015）¹⁾は、津波の波力による直立部の滑動、越流による港内側の基礎マウンドや海底地盤の洗掘による支持力の喪失、あるいはこれらの複合的な作用によるものとしている。

東北地方整備局港湾空港部（2011）²⁾では、数値シミュレーションに基づき津波波力を算出して断面照査を実施し、被災パターンを表3の4つに分類している。なお、下迫（2013）³⁾は、津波波力型について、「津波そのものの大きさよりも、防波堤の前面と背面の水位差がどれだけ大きくなるかが重要であり、防波堤法線に対して直角に近い角度の場合に水位差が大きくなりやすく被災を受けやすい。逆に言えば、非常に大きな津波でも、開口部等から港内にも津波が侵入し、水位差が大きくならない場合には、防波堤は移動しない。」としている。

表3 津波波力による防波堤の被災パターン²⁾

| | 分類 | 被災の概要 | 主な被災施設 | 被災状況 |
|-----|--------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 防波堤 | 越流洗掘型 | 内外水位差等による津波力だけでは、ケーソンの安定性に影響を与えるに至らないが、津波の流れや越流に伴う渦等の影響でケーソン背面(港内側)のマウンドまたは地盤面が洗掘を受け、最終的に堤体の支持力不足によりケーソンが滑動、滑落したもの | 八戸港八太郎防波堤(中央部) |  |
| | 津波波力型 | 内外水位差等による直接的な津波力により、ケーソンが不安定となり滑動、転倒、支持力破壊が生じたもの | 八戸港八太郎防波堤(ハ本部) 釜石港湾口防波堤(北) 大船渡港湾口防波堤 相馬港沖防波堤 |  |
| | 堤頭部洗掘型 | 堤頭部周辺の流れにより、基礎マウンドが洗掘を受け、ケーソンの滑落が生じたもの | 宮古港竜神崎防波堤 宮古港藤原防波堤 八戸港中央防波堤 八戸港第二中央防波堤 |  |
| | 引波水位差型 | 第一波の押波時の津波力や越流に伴う洗掘だけでは、不安定までには至らないが、引波時における内外水位差により、ケーソンが不安定となり滑動、転倒、支持力破壊が生じたもの | 女川港防波堤 |  |

(3) 消波ブロック被覆堤の被災事例

東北地方太平洋沖地震の地震及び津波による消波ブロック被覆堤の被災実績として、港湾技術研究所（2015）⁴⁾は図4、5に示す上部コンクリート、消波ブロックの倒壊や飛散が見られたとしている。

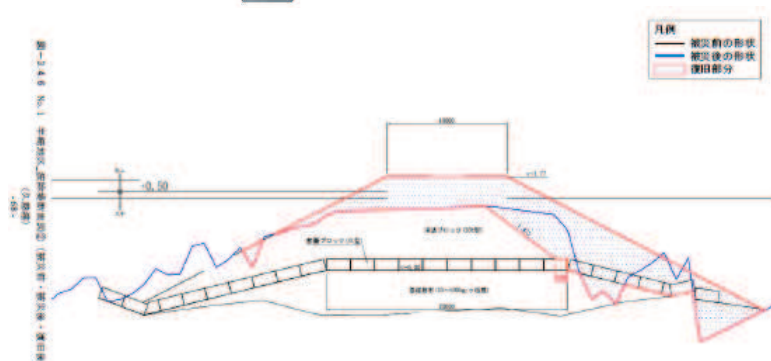
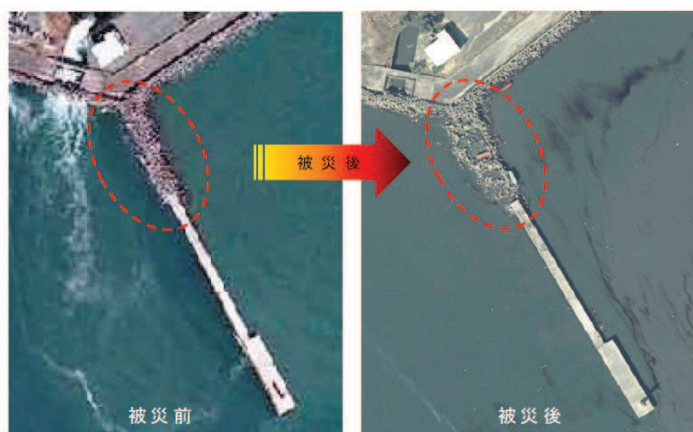


図4 久慈港半崎地区波除堤⁴⁾



外港地区 北防波堤
 (平成23年2月16日、3月12日撮影⑦)
 消波ブロック 飛散 (100m)

図5 仙台塩釜港 仙台港区 外港地区 北防波堤⁴⁾

(4) 水位上昇側基準津波時の流況

水位上昇側の基準津波の2号機取水口前面における水位を図6に、防波堤周辺の水位・流速・流向並びに海底地形変化を図7～10に示す。

水位上昇側の基準津波は第一波が到達する地震発生後約35分～42分にかけて急激に上昇し、約42分～50分にかけて急激に下降することから、防波堤の被災については、地震発生後35分～50分について評価する。

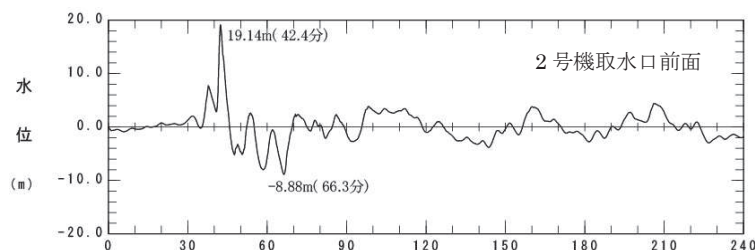


図6 基準津波（上昇側）による2号機取水口前面の水位変化

a. 水位上昇時の水位・流速・流向

基準津波は、外洋に面する東防波堤に対して直角方向に襲来するのではなく、港内に回り込みながら襲来することから、防波堤内外の水位差は小さく、かつ明瞭な水位差が発生する時間は地震発生後36分～37分の1分程度と短い。

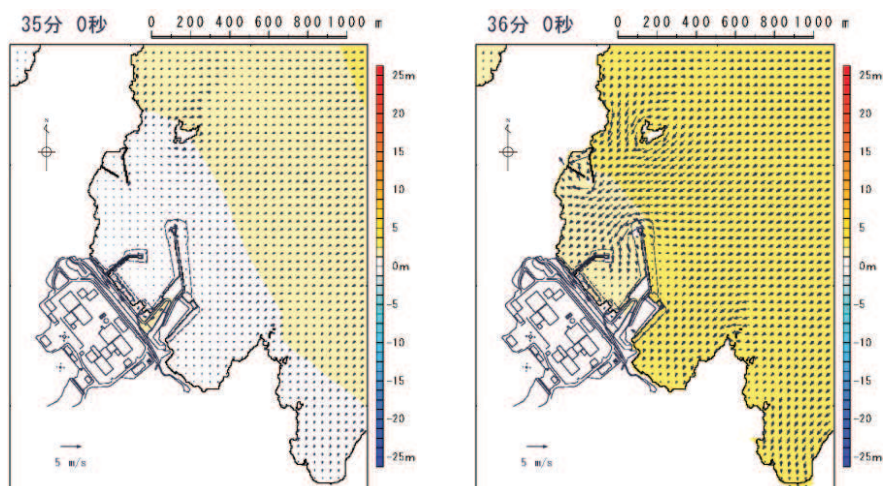


図7-1 基準津波（上昇側）による水位上昇時の水位・流速・流向
（地震発生後35分～42分のうち35分～36分）

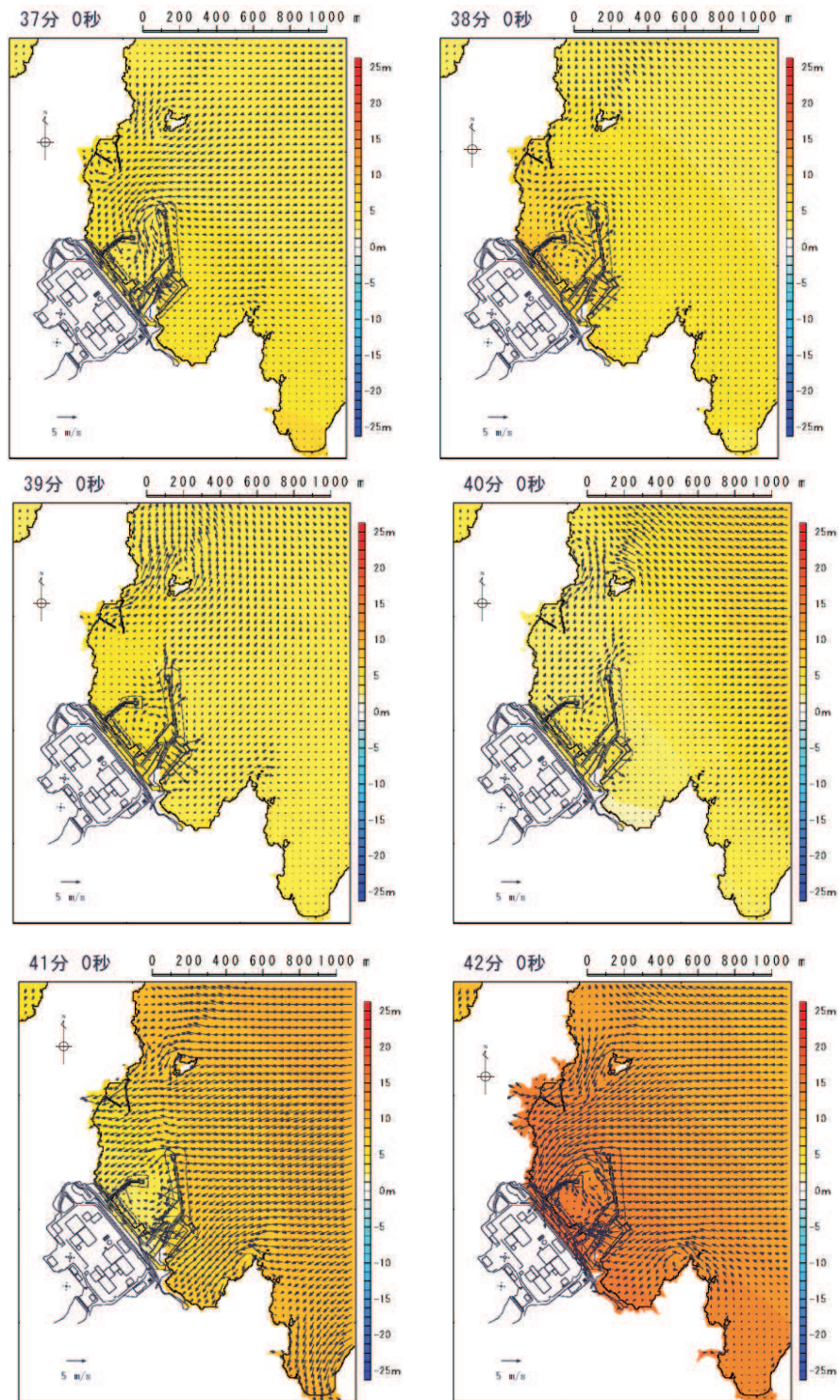


図 7-2 基準津波（上昇側）による水位上昇時の水位・流速・流向
（地震発生後 35 分～42 分のうち 37 分～42 分）

b. 水位上昇時の海底地形変化

基準津波が港内に防波堤堤頭部を回り込みながら進行する際に、防波堤堤頭部のケーソン堤付近の海底地盤が局所的に洗掘される。

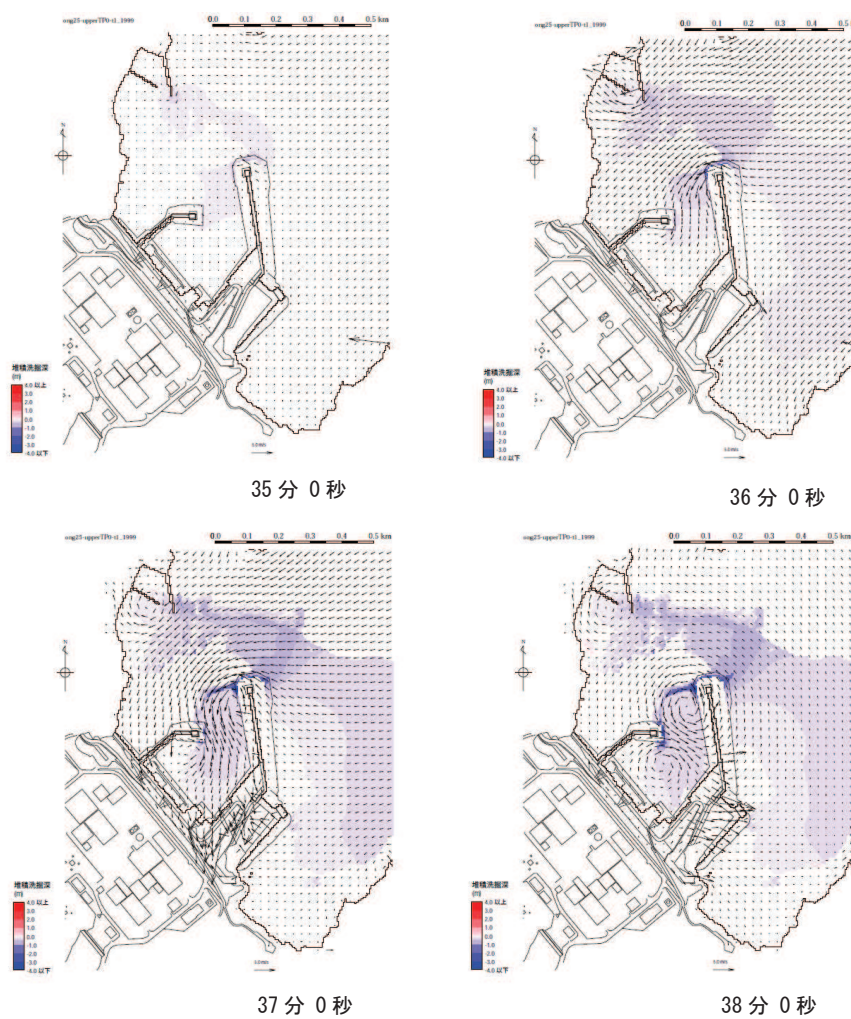
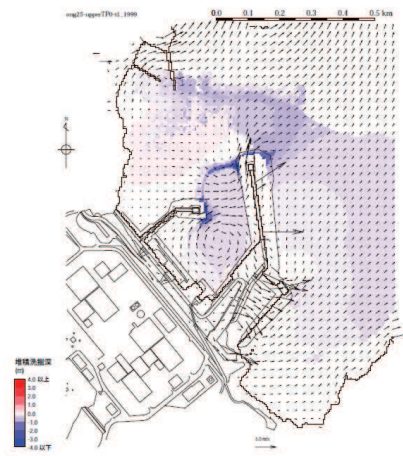
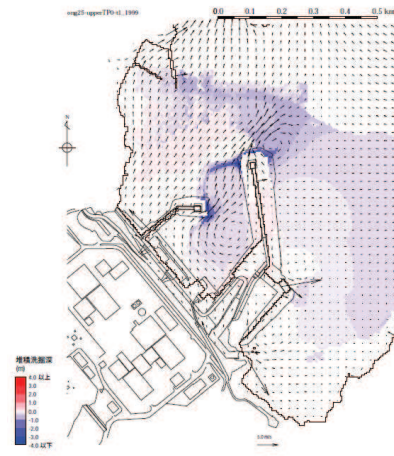


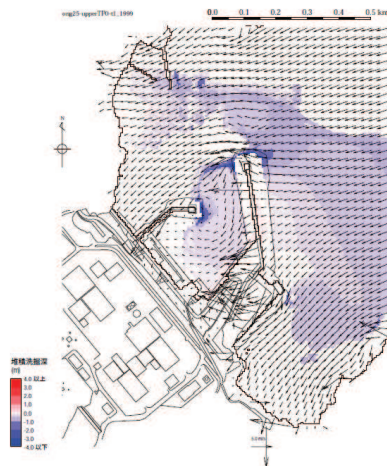
図8-1 基準津波（上昇側）による水位上昇時の海底地形変化
（地震発生後35分～42分のうち35分～38分）



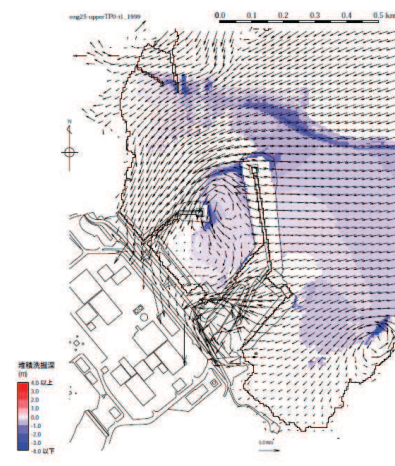
39分0秒



40分0秒



41分0秒



42分0秒

図8-2 基準津波（上昇側）による水位上昇時の海底地形変化
（地震発生後35分～42分のうち39分～42分）

c. 水位下降時の水位・流速・流向

水位低下に伴い防波堤に並行して沖側へ向かう流れが起こり、防波堤堤頭部付近で大きな流速が発生する。

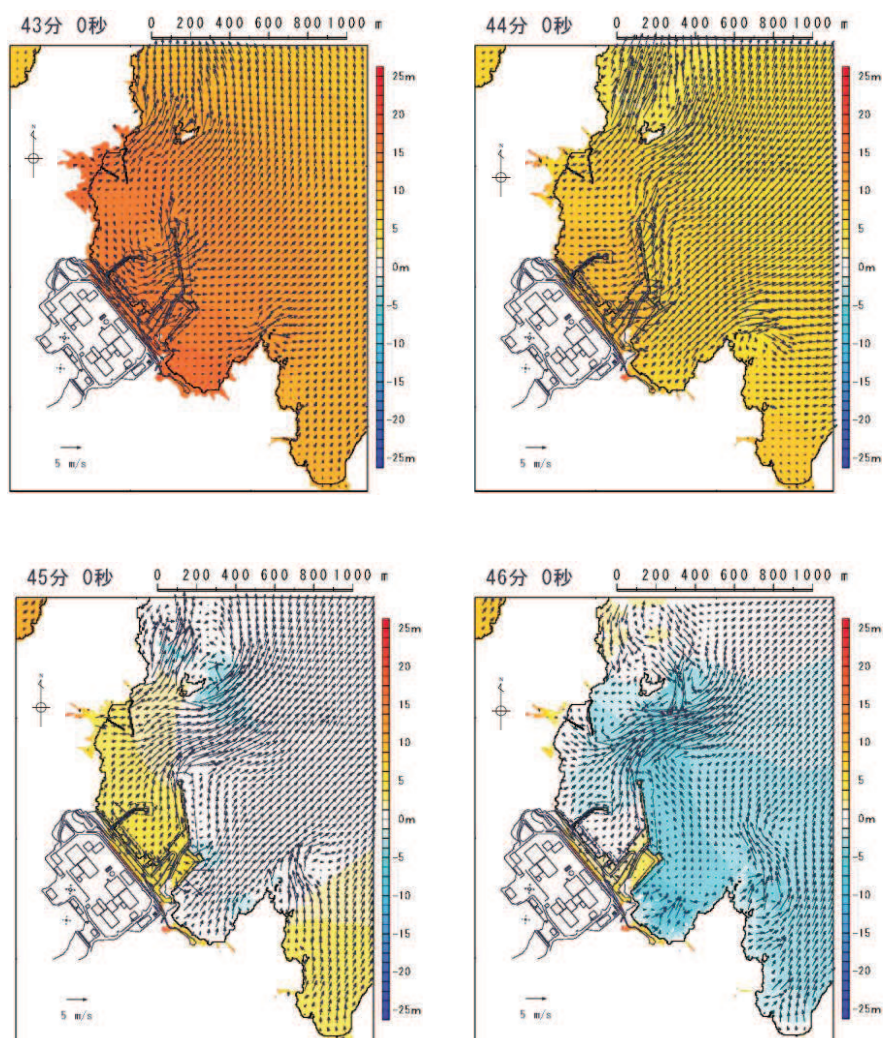


図9-1 基準津波（上昇側）による水位下降時の水位・流速・流向
(地震発生後43分～50分のうち43分～46分)

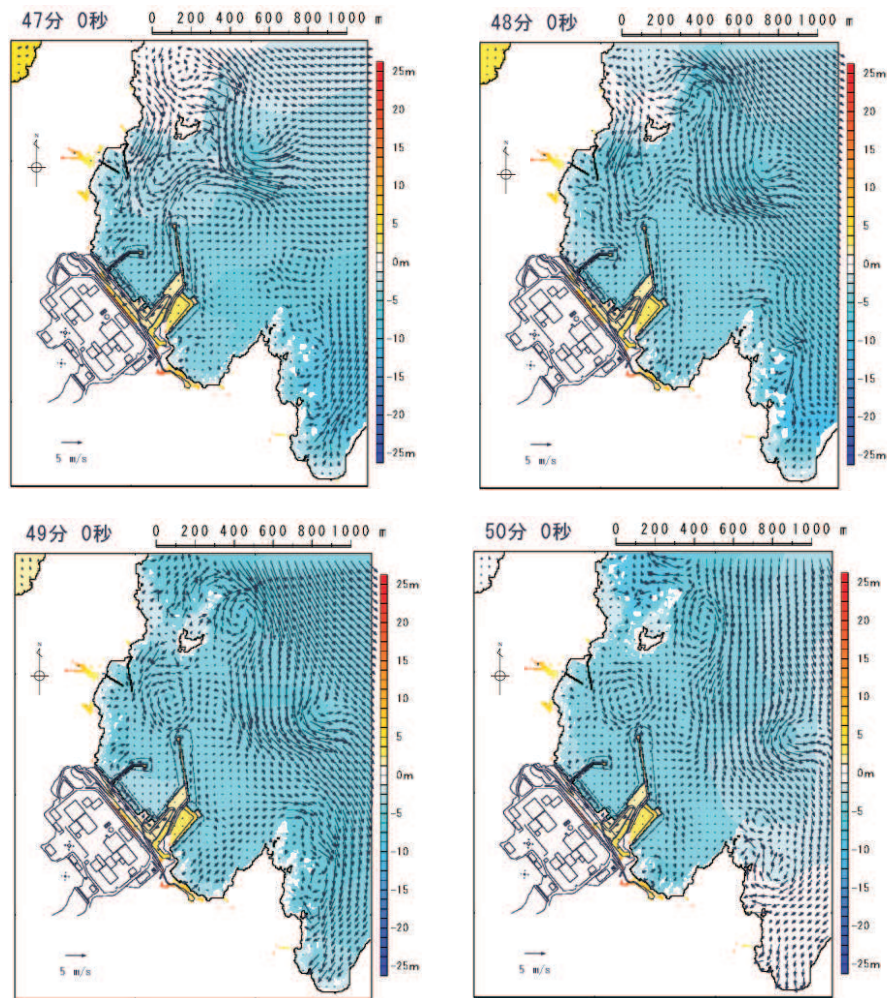


図9-2 基準津波（上昇側）による水位下降時の水位・流速・流向
 (地震発生後43分～50分のうち47分～50分)

d. 水位下降時の海底地形変化

引き波により港内中央部，捨石傾斜堤周辺及び沖合いの海底地盤の洗掘は進行するが，防波堤堤頭部付近の洗掘の進行は見られない。

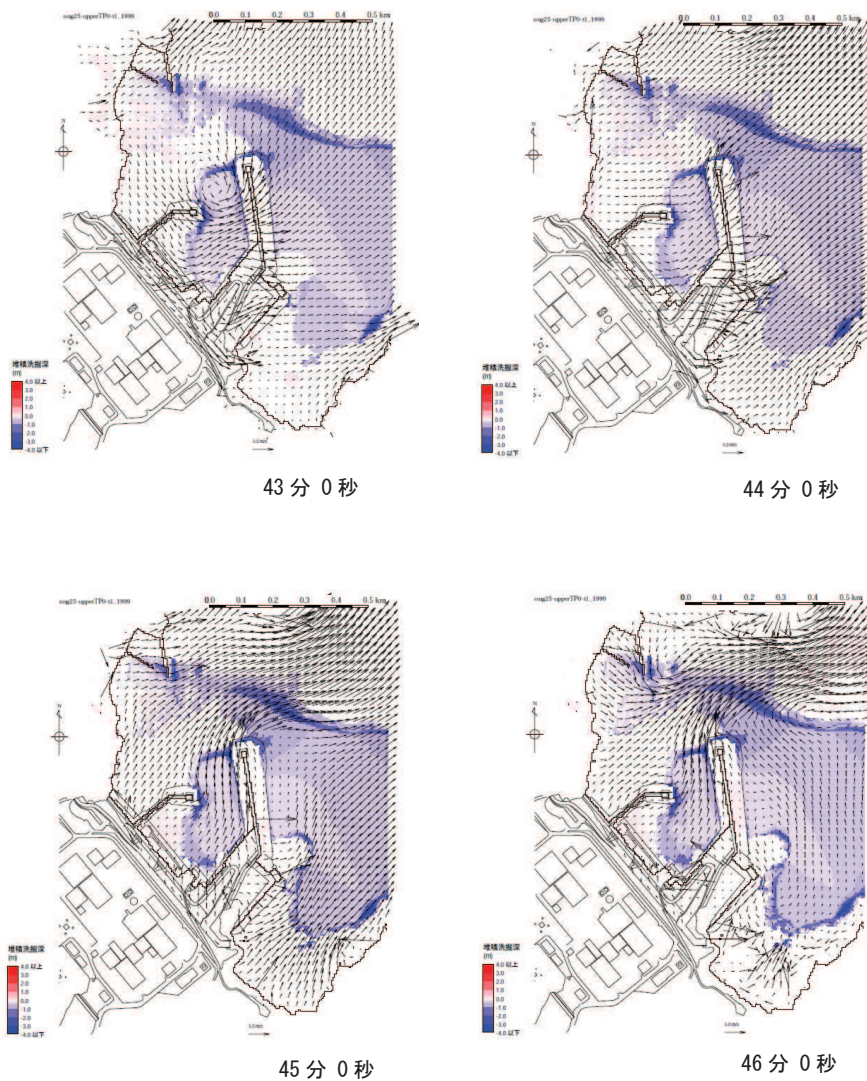
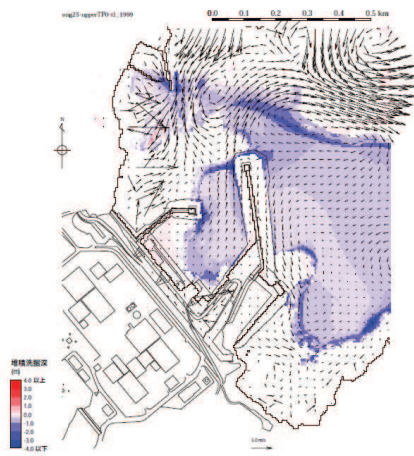
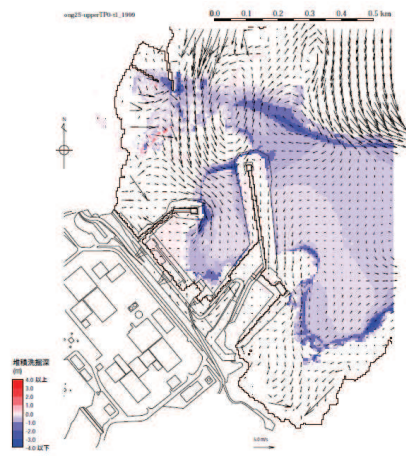


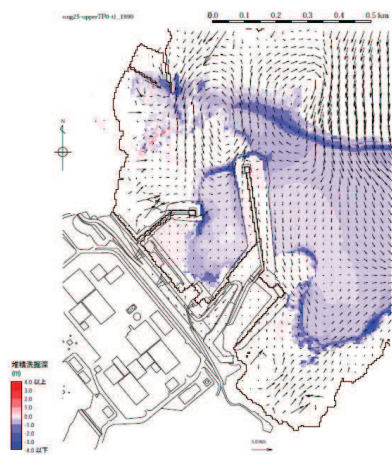
図 10-1 基準津波（上昇側）による水位下降時の海底地形変化
(地震発生後 43 分～50 分のうち 43 分～46 分)



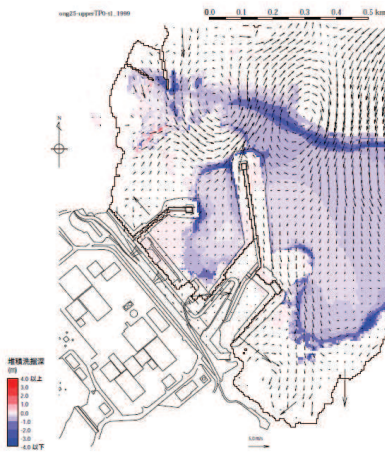
47分0秒



48分0秒



49分0秒



50分0秒

図10-2 基準津波（上昇側）による水位下降時の海底地形変化
（地震発生後43分～50分のうち47分～50分）

(5) 防波堤の被災形状の検討結果

東北地方太平洋沖地震及び津波による被災状況等に関する知見，基準津波襲来時の流況及び防波堤の構造的特徴を踏まえた想定される被災形状を表4に示す。

表4 防波堤の被災形状の想定

| 構造物 | 仕様 | 想定される被災形状 | 根拠 |
|---------------|--------------------------------------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ケーソン (直立部) | 北防波堤，東防波堤各2函： 15m(B)×10m(L)×9.5m(H)： 3,000t以上/函 | 基礎マウンド からの転倒・滑 動(堤頭部洗掘 型) | <ul style="list-style-type: none"> ・防波堤内外の水位差は小さく，有意な水位差が発生する時間は短い。 ・水位上昇時，防波堤堤頭部周辺の基礎マウンド部の洗掘が想定される。 |
| 上部コンクリート | 東防波堤：9.0m(B)× 2.5m(H)：約50t/m 北防波堤：7.5m(B)× 2.0m(H)：約30t/m | 飛散 | <ul style="list-style-type: none"> ・東北地方太平洋沖地震及び津波で被災実績あり。 |
| 消波ブロック | 堤内側：6t(東防波堤)， 4t，6t，8t(北防波堤) | 飛散 | <ul style="list-style-type: none"> ・東北地方太平洋沖地震及び津波で被災を受けた防波堤同様の被災が想定される。 |
| 被覆石 | 500kg/個以上 | 飛散 | <ul style="list-style-type: none"> ・東北地方太平洋沖地震及び津波で被災を受けた防波堤同様の被災が想定される。 |
| 捨石(基礎マウンド) | 5～100kg/個 | 飛散 | <ul style="list-style-type: none"> ・東北地方太平洋沖地震及び津波で被災を受けた防波堤同様の被災が想定される。 |

3. 防波堤の取水口到達可能性評価について

(1) 防波堤の取水口到達可能性

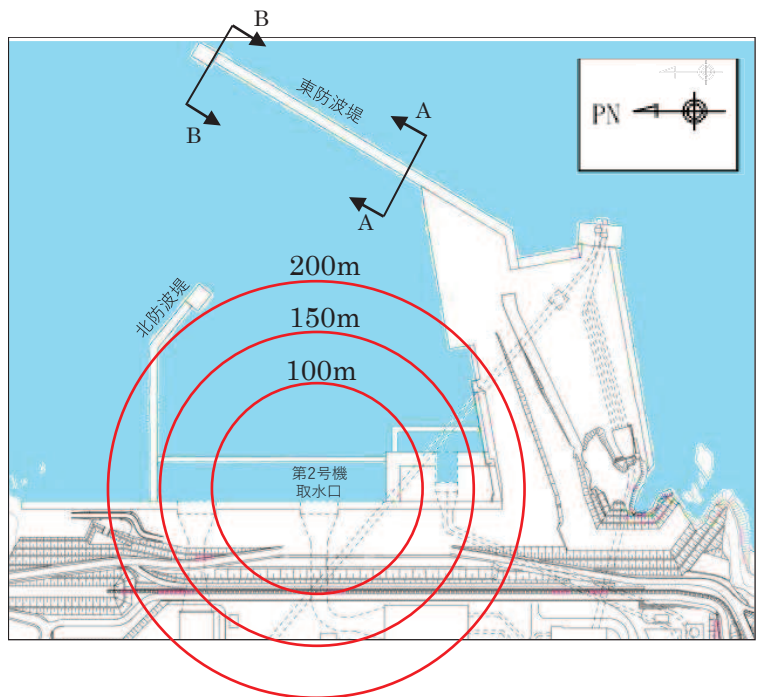
図 11 より、防波堤堤頭部と 2 号機取水口との間には約 200m の離隔があるが、基礎マウンドから横転・滑落等により損傷した防波堤ケーソンが漂流・滑動することにより取水口に到達する可能性を検討した。

漂流に対する検討結果（表 5）より、防波堤のケーソン、上部コンクリート、消波ブロック、被覆石及び捨石の比重は海水の比重より大きいことから、漂流して取水口に到達することはない。

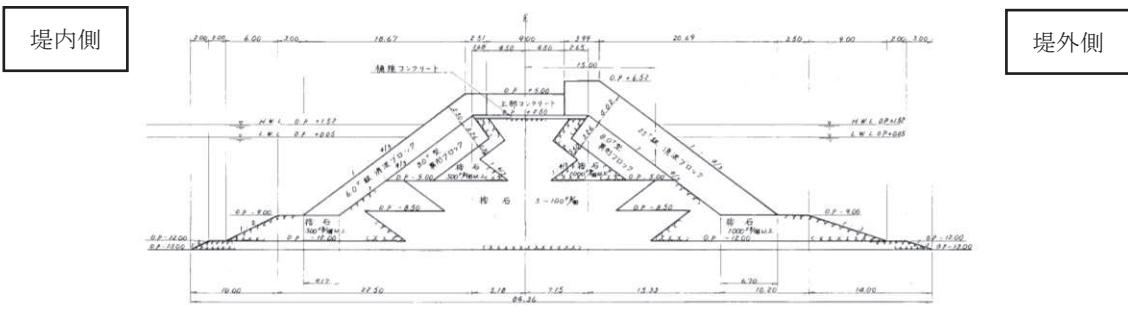
また、滑動に対する検討結果（表 6）より、防波堤のケーソン及び上部コンクリートの安定流速（対象物が水の流れによって動かない最大流速）は発電所の港湾内の最大流速 9.3m/s（図 7 及び図 4.2-17）よりも大きいことから、滑動して取水口に到達することはない。仮に、「4.3 漂流物による衝突荷重について」の図 4.3-9 に示すように、発電所の陸域で生じる最大流速 13m/s を適用したとしても、13m/s は安定流速よりも大きいことから、滑動して取水口に到達することはない。一方、防波堤の消波ブロック、被覆石及び捨石の安定流速は発電所の港湾内の最大流速 9.3m/s よりも小さいことから、滑動するものの、2 号機取水口は港湾内よりも約 4 m 高い位置にある（図 12）ことから、滑動して 2 号機取水口に到達することはない。

なお、滑動すると評価した消波ブロック、被覆石及び捨石のうち、最も軽量の捨石は上部工、消波ブロック及び被覆石の背面や下部に設置されていること、図 8, 10 の捨石よりも軽量の砂を対象とした海底地形変化においても取水口は閉塞していないことから、捨石により取水口が閉塞することはない。

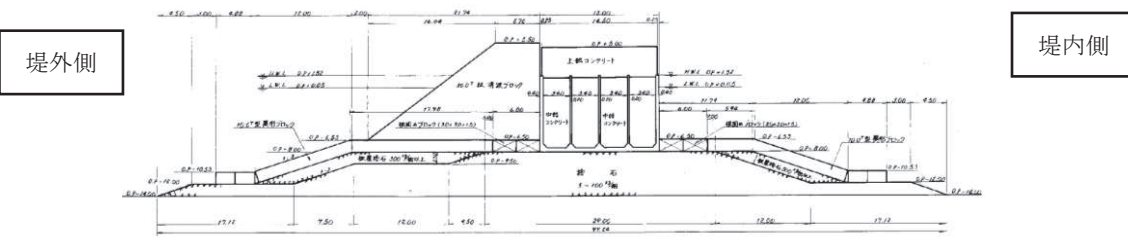
また、捨石の次に軽量の被覆石は安定流速である 3.6m/s 以上で滑動するため、防波堤周辺での流向・流速を把握する観点で、水粒子の軌跡解析を実施した。なお、安定流速が 3.6m/s であることを踏まえて水粒子の移動開始流速を 3m/s とした。その結果、北防波堤付近では被覆石が滑動するような流速にはほとんどならないこと、東防波堤付近では沖側へ移動するような流向・流速の特徴があることを確認した（図 13）。



(a) 防波堤と取水口の離隔



(b) 東防波堤 (A-A 断面) *



(c) 東防波堤ケーソン (B-B 断面) *

図 11 防波堤と取水口の離隔及び防波堤の構造

注記 * : H.W.L, L.W.L は 1 号機建設時のものである。

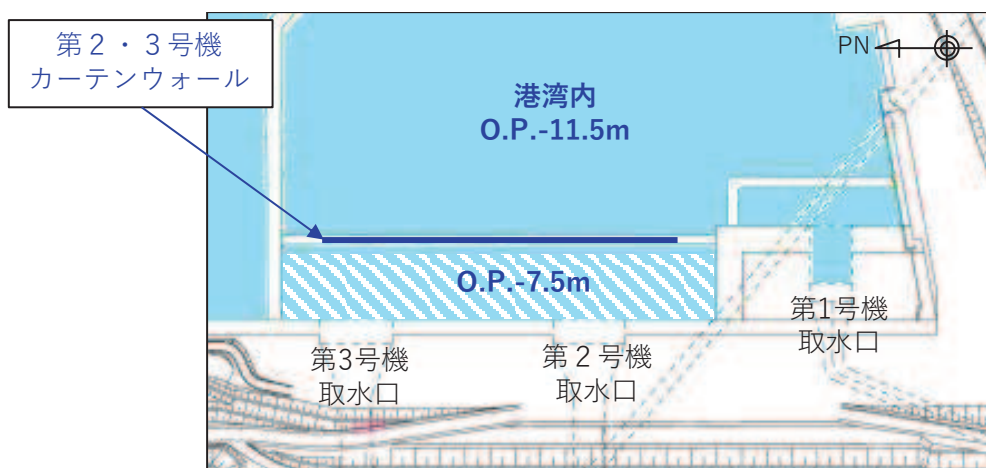


図 12 取水口前面と港湾内の高低差

表 5 漂流に対する検討結果

| 対象構造物 | 主材料 | 重量 | 比重* | 検討結果 |
|----------|--------|-----------|------|-----------------------------------|
| ケーソン | コンクリート | 約 3,000t | 2.34 | 海水の比重より大きいことから、漂流して取水口に到達することはない。 |
| 上部コンクリート | コンクリート | 約 100t/m | 2.34 | |
| 消波ブロック | コンクリート | 30t | 2.34 | |
| 被覆石 | 石 | 500kg/個以上 | 2.29 | |
| 捨石 | 石 | 5~100kg/個 | 2.29 | |

注記 * : コンクリートの比重は道路橋示方書・同解説より設定, 石材の比重は港湾の施設の技術上の基準・同解説 (2007) より設定。

(2) 防波堤構造物の安定流速

「港湾の施設の技術上の基準・同解説」⁵⁾の流れに対する被覆材の所要質量の評価手法に基づき、防波堤のケーソン、上部コンクリート、消波ブロック、被覆石及び捨石の安定流速を算定すると下表の結果となる。

なお、同手法は石を別の石の上に乗せた状態における流圧力と摩擦力のつり合い式及び流圧力と重力によるモーメントのつり合い式から導出されている。津波により損傷した防波堤は同手法の想定状態と類似していると考えられ、本手法を適用できる。

港湾の施設の技術上の基準・同解説（抜粋）

1. 7. 3 流れに対する被覆石及びブロックの所要質量

(1) 一般

水の流れに対するマウンドの捨石等の被覆材の所要質量は、一般的に、適切な水理模型実験又は次式によって算定することができる。式中において、記号 γ はその添字に関する部分係数であり、添字 k 及び d はそれぞれ特性値及び設計用値を示す。

$$M_d = \frac{\pi \rho_r U_d^6}{48 g^3 (\gamma_d)^6 (S_r - 1)^3 (\cos \theta - \sin \theta)^3} \quad (1. 7. 18)$$

ここに、

- M : 捨石等の安定質量 (t)
- ρ_r : 捨石等の密度 (t/m^3)
- U : 捨石等の上面における水の流れの速度 (m/s)
- g : 重力加速度 (m/s^2)
- γ : イスバッシュ(Isbash)の定数(埋め込まれた石にあつては 1.20, 露出した石にあつては 0.86)
- S_r : 捨石等の水に対する比重
- θ : 本路床の軸方向の斜面の勾配 ($^\circ$)

表6 滑動に対する検討結果（安定流速の算定）

| 対象構造物 | 密度 (t/m^3) | 質量 (t) | イスバッシュ の 定数 | 水に対する 比重 | 斜面の 勾配 ($^\circ$) | 安定流速 (m/s) |
|----------|-------------------|-----------|-------------------|-------------|---------------------------|---------------|
| ケーソン | 2.34 | 3,000 | 0.86 | 2.27 | 0 | 15.7 |
| 上部コンクリート | 2.34 | 1,000 | 0.86 | 2.27 | 0 | 13.1 |
| 消波ブロック | 2.34 | 4~30 | 0.86 | 2.27 | 0 | 5.2~7.3 |
| 被覆石 | 2.29 | 0.5 | 0.86 | 2.22 | 0 | 3.6 |
| 捨石 | 2.29 | 0.005~0.1 | 0.86 | 2.22 | 0 | 1.6~2.7 |

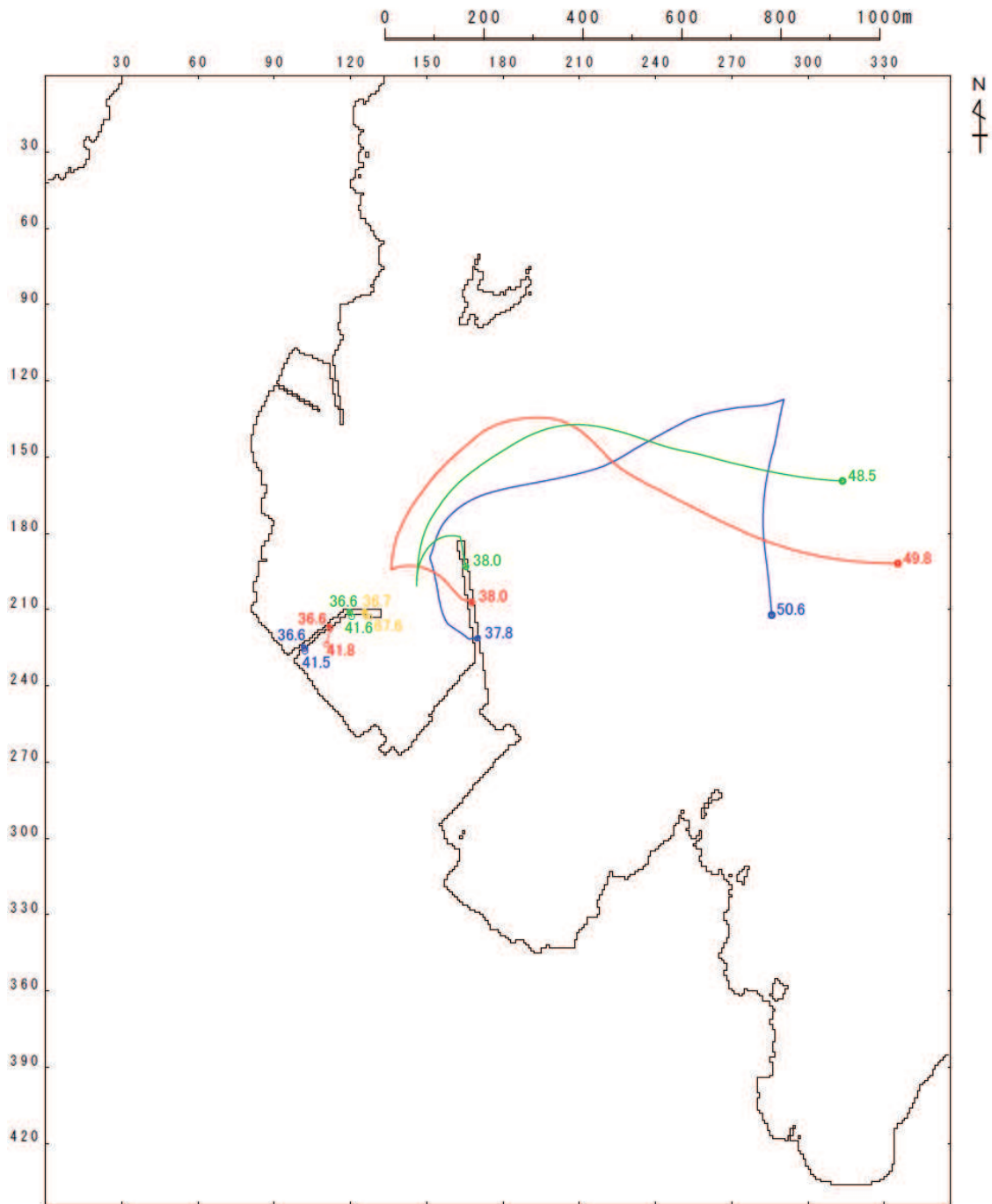


图 13-1 軌跡解析

(基準津波，上昇側，被覆石漂流開始流速 3m/s，地震発生後 0 分～240 分)

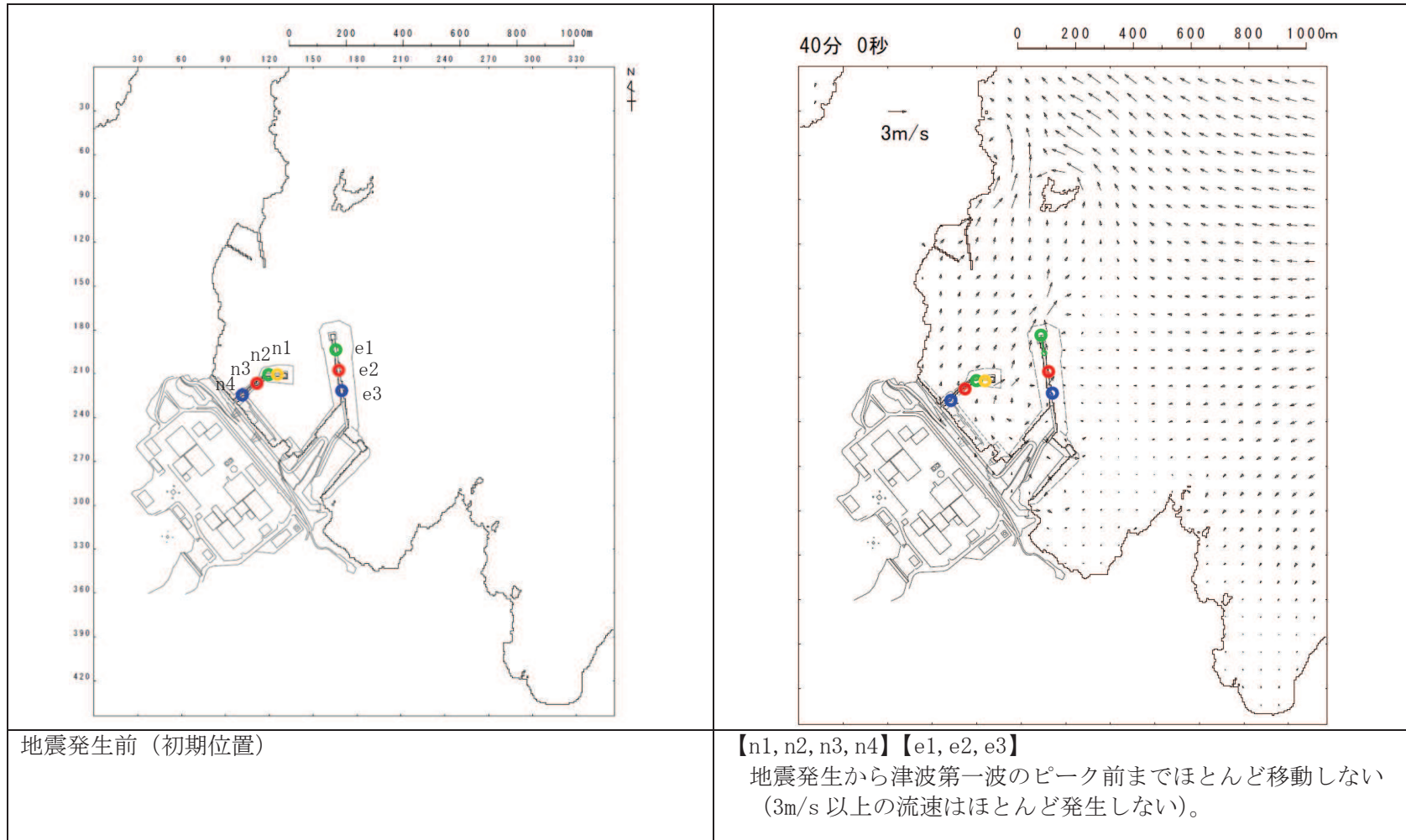


図 13-2 (1) 軌跡解析の詳細

基準津波，上昇側，被覆石漂流開始流速 3m/s，地震発生前（初期位置），地震発生後 42 分）

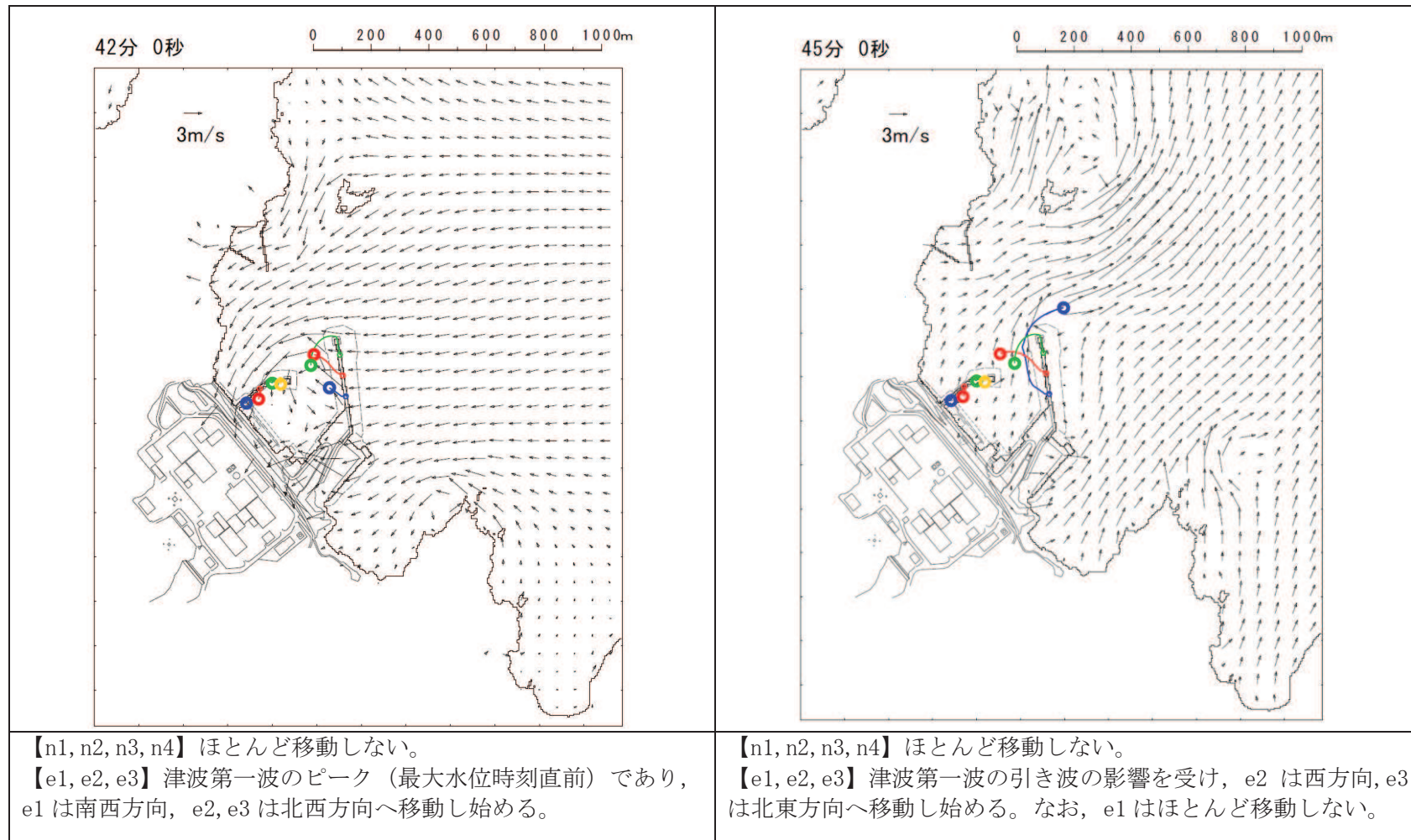


図 13-2(2) 軌跡解析の詳細

基準津波，上昇側，被覆石漂流開始流速 3m/s，地震発生後 42 分及び 45 分)

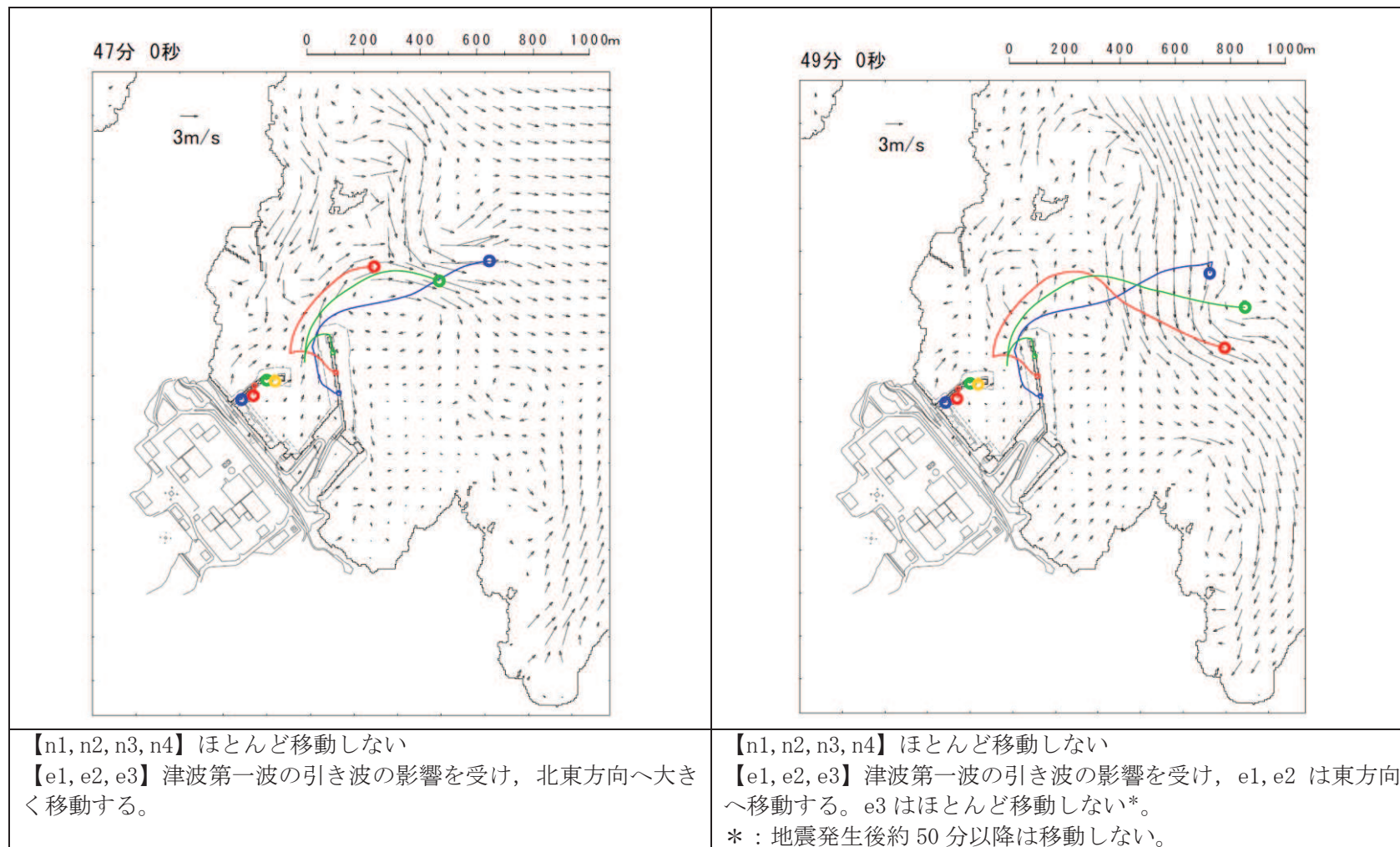


図13-2(3) 軌跡解析の詳細

基準津波，上昇側，被覆石漂流開始流速 3m/s，地震発生後 47 分及び 49 分)

【参考文献】

- 1) 国土交通省港湾局：防波堤の耐津波設計ガイドライン（平成 27 年 12 月一部改訂），2015.
- 2) 国土交通省 東北地方整備局 港湾空港部：第 3 回 東北港湾における津波・震災対策技術検討委員会，資料-3，pp. 2，2011.
- 3) 下迫健一郎：東北地方太平洋沖地震津波による防波堤の被災，ながれ第 32 巻，pp. 27-32，2013.
- 4) 港湾空港技術研究所：平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震による港湾施設等被害報告，港湾技術研究所資料，No. 1291，2015.
- 5) （社）日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説（下巻），pp. 561，2007.

(参考3) 燃料等輸送船の係留索の耐力について

1. はじめに

燃料等輸送船（以下、「輸送船」という。）は、想定される全ての津波に対し、津波の到達時間と緊急離岸までの時間の関係から、緊急退避が可能である。

ここでは、輸送船の緊急退避ができない不測の事態を考慮する。係船柱が健全であり、輸送船が岸壁に係留されている状態で、基準津波より到達が早い海域活断層による地震に起因する津波を受けた場合を想定し、津波流向及び岸壁と取水口の位置関係を踏まえ、係留索の耐力について評価を実施する。

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

今回、輸送船が備えている係留索の係留力、及び流圧力について、石油会社国際海事評議会 OCIMF（Oil Companies International Marine Forum）の手法を用いて算出し、耐力評価を行う。

2. 評価

(1) 輸送船、係留索、係船柱

輸送船、係留索、係船柱の仕様を表1に、配置を図1に示す。

表1 輸送船、係留索、係船柱の仕様

| 項 目 | | 仕 様 |
|-----|----------|---------------------------|
| 輸送船 | 総トン数 | 約5,000t |
| | 載貨重量トン | 約3,000t |
| | 喫水 | 約5m |
| | 全長 | 100.0m（垂線間長：94.4m） |
| | 型幅 | 16.5m |
| | 形状 | （図1参照） |
| 係留索 | 直径 | 60mm（ノミナル値） |
| | 素材種別 | Polyethylene Rope Grade 1 |
| | 破断荷重 | 279kN（≒28.5tonf） |
| | 係船機ブレーキ力 | 28.5tonf×0.7≒20.0tonf |
| 係船柱 | 形状 | （図1参照） |
| | ビット数、位置 | （図1参照） |
| | 係留状態 | （図1参照） |
| | 強度 | （図1参照） |

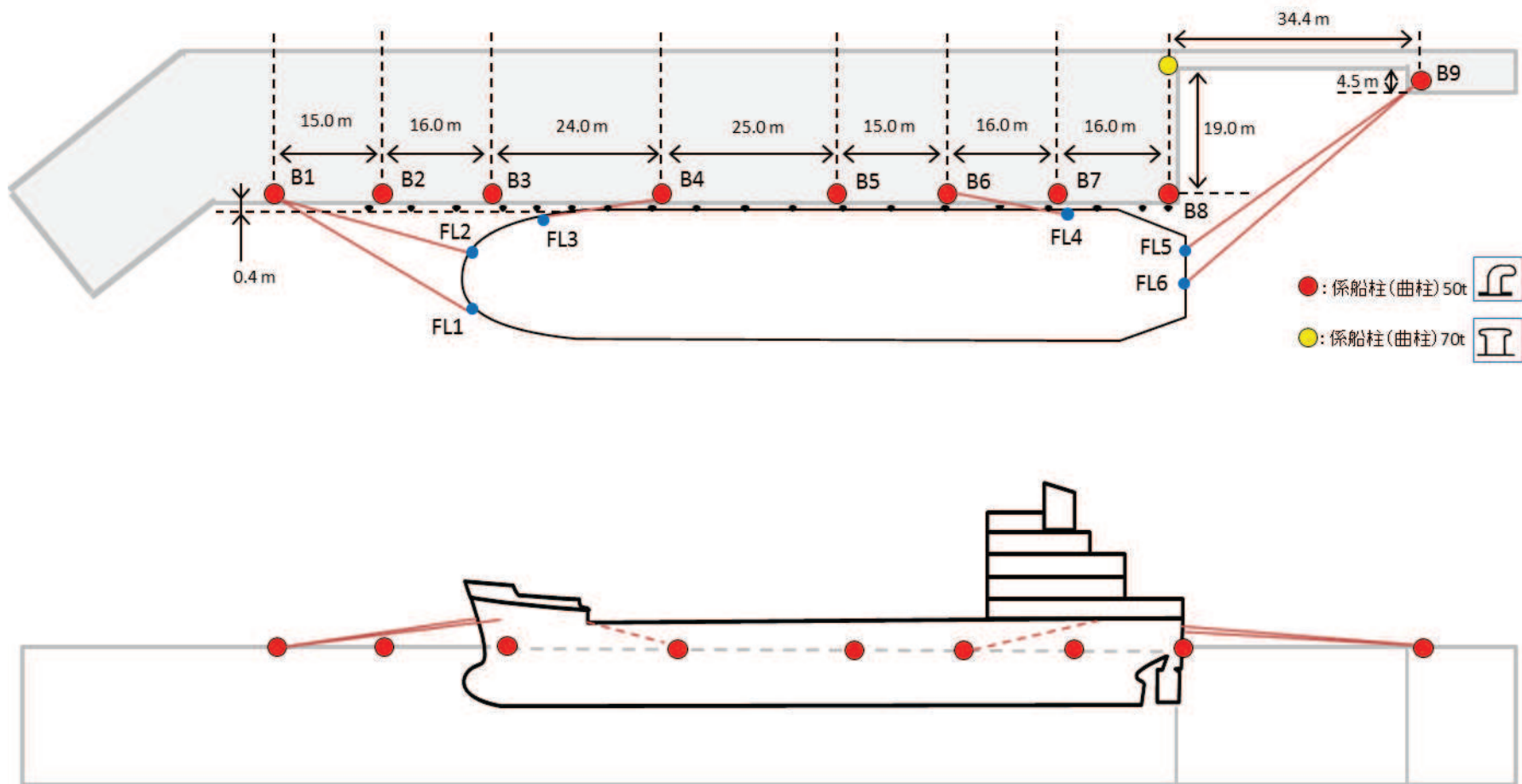


図1 輸送船, 係留索, 係船柱の配置

(2) 津波条件 (波形, 流向, 流速)

評価対象の津波として、基準津波より到達が早い海域活断層による地震に起因する津波を想定する。図2に、敷地周辺海域の海域活断層分布を示すが、敷地からの距離や津波の向きを考慮し、「F-2断層・F-4断層」「F-5断層」「F-6～F-9断層」による津波の中から、評価対象津波を選定する。

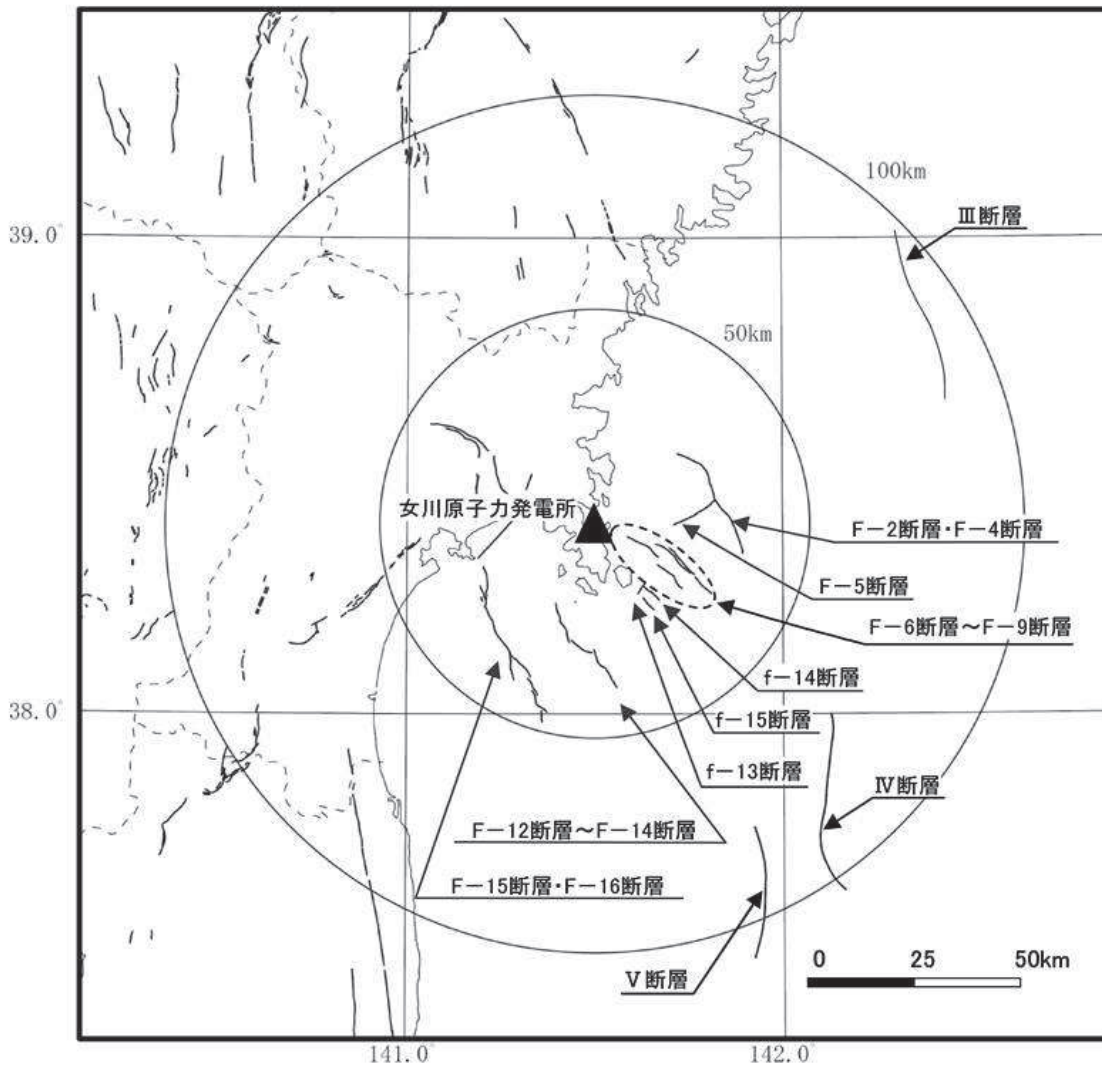


図2 敷地周辺海域の海域活断層分布

表2に、2号機取水口前面位置における各海域活断層の津波高さと到達時間の関係を示す。表2に示すとおり、いずれの津波においても、緊急退避時間との関係から、輸送船は津波到達前に退避可能であると考えられるものの、より保守的に考え、今回評価対象となる津波を抽出する。

F-5断層を波源とした津波は他の海域活断層を波源とした津波に比べて、最も早く到達するが、F-2断層・F-4断層を波源とした津波の到達時刻はほぼ同様であるため、ここでは保守的に最高水位が最も高く、また最低水位が最も低いF-2断層・F-4断層を波源とした津波を選定した。

表2 海域活断層と津波高さ・到達時間の関係

| 海域活断層名 | 寄せ波 | | 引き波 | |
|-------------|------------------|-------------|------------------|-------------|
| | 最高水位 (O.P. m) | 到達時間 (分) | 最低水位 (O.P. m) | 到達時間 (分) |
| F-2断層・F-4断層 | 2.28 | 21 | -0.83 | 18 |
| F-5断層 | 0.94 | 20 | 0.46 | 17 |
| F-6断層～F-9断層 | 1.21 | 88 | 0.05 | 110 |

評価対象津波の流向は、図3に示すとおり岸壁に対する接線方向の成分が支配的となる。これに対して、輸送船は岸壁と平行して接岸されることから、評価は輸送船の船首及び船尾方向それぞれの流圧力に対する係留索の耐力について実施する。

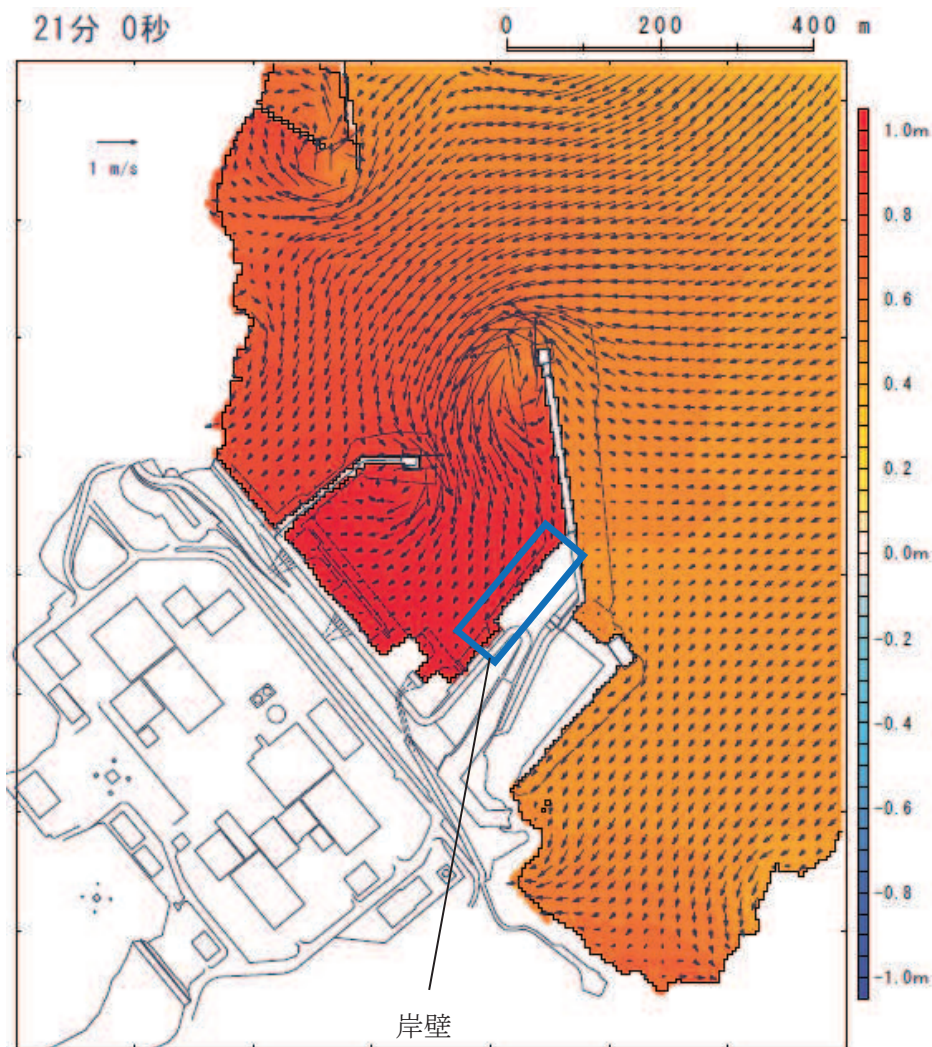


図3 評価対象津波の流向

評価対象津波の岸壁位置における水位及び流速を図4，図5に示す。

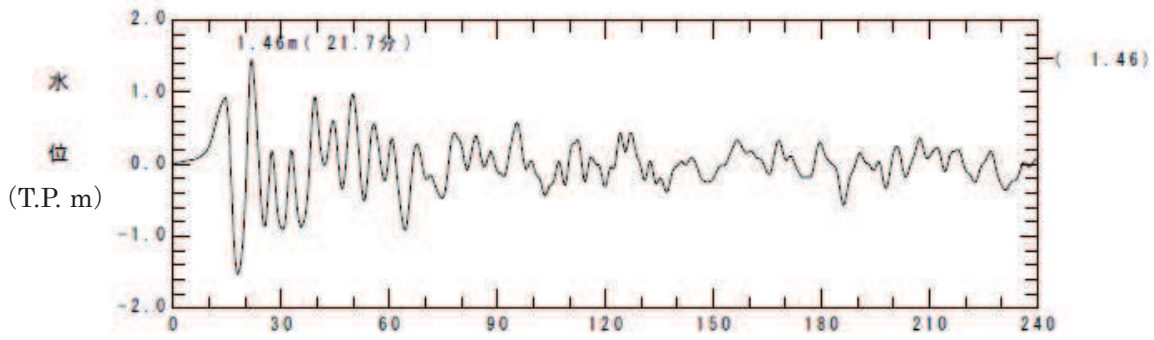


図4 評価対象津波の岸壁位置における水位

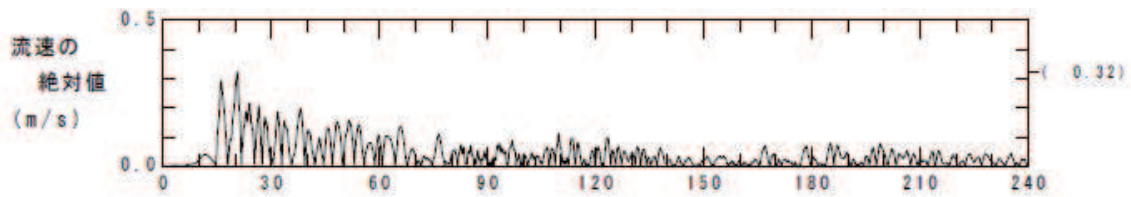


図5 評価対象津波の岸壁位置における流速

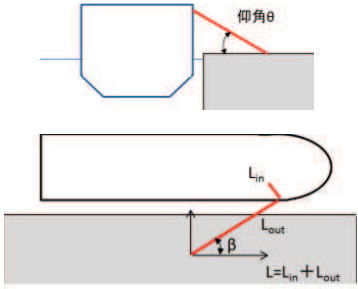
図4に示すとおり、評価対象津波は地震発生後約14分で第一波の最高点に到達後、引き波が発生し、地震発生後約21分の第二波で最高津波高さ（O.P.+3.05m（朔望平均満潮位（O.P.+1.43m）及び潮位のばらつき（+0.16m）考慮済み））に到達する。流速は図5に示すとおり、地震発生後約20分に最大0.32m/sに達する。

緊急退避可能時間を考慮すると、輸送船は最大流速到達前に退避可能であるものの、今回は係留による対応を仮定し、より保守的に考え、流速0.5m/sで生じる流圧力に対する係留力を評価する。

(3) 係留力

係留力の計算方法を表 3 に、計算結果を表 4、図 6 及び図 7 に示す。

表 3 係留力の計算方法

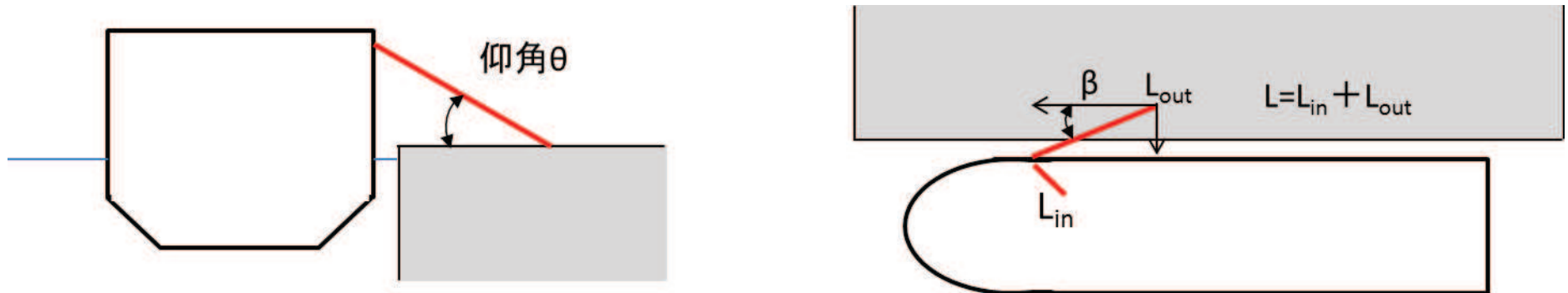
| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------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

(出典：係留設備に関する指針 OCIMF刊行)

表4 係留力の計算結果

| フェアリーダ | 係船索 | 係船柱 | 係船索長さ[m] | | 係留角[deg] | | 索張力 T [ton-f] | 係留力 前後 [ton-f] | Bitt Performance [ton-f] | | |
|--------|-------|-----|----------|--|----------|---------|------------------|-----------------------------|--------------------------|-------|-------|
| | | | 船外 | | θ | β | | | Bitt Load | 合計 | 係船柱強度 |
| FL1 | Line1 | B1 | 35.6 | | 27.4 | -23.6 | 20 | -16.28 | 20.00 | 34.46 | 50 |
| FL2 | Line2 | B1 | 33.2 | | 55.6 | -8.8 | 20 | -8.16 | 14.46 | | |
| | | | | | | | | -24.43 | | | |
| FL3 | Line3 | B4 | 15.0 | | 79.4 | 5.9 | 20 | 3.65 | 20.00 | 20.00 | 50 |
| | | | | | | | | 3.65 | | | |
| FL4 | Line4 | B6 | 28.5 | | 76.0 | -3.4 | 20 | -4.84 | 20.00 | 20.00 | 50 |
| | | | | | | | | -4.84 | | | |
| FL5 | Line5 | B9 | 39.6 | | 16.9 | 33.9 | 20 | 15.89 | 20.00 | 39.73 | 50 |
| FL6 | Line6 | B9 | 42.2 | | 14.1 | 39.0 | 20 | 13.67 | 19.73 | | |
| | | | | | | | | 29.56 | | | |
| | | | | | | | | 前後(+) 計 33.21 | | | |
| | | | | | | | | 前後(-) 計 -29.27 | | | |

4.2-164



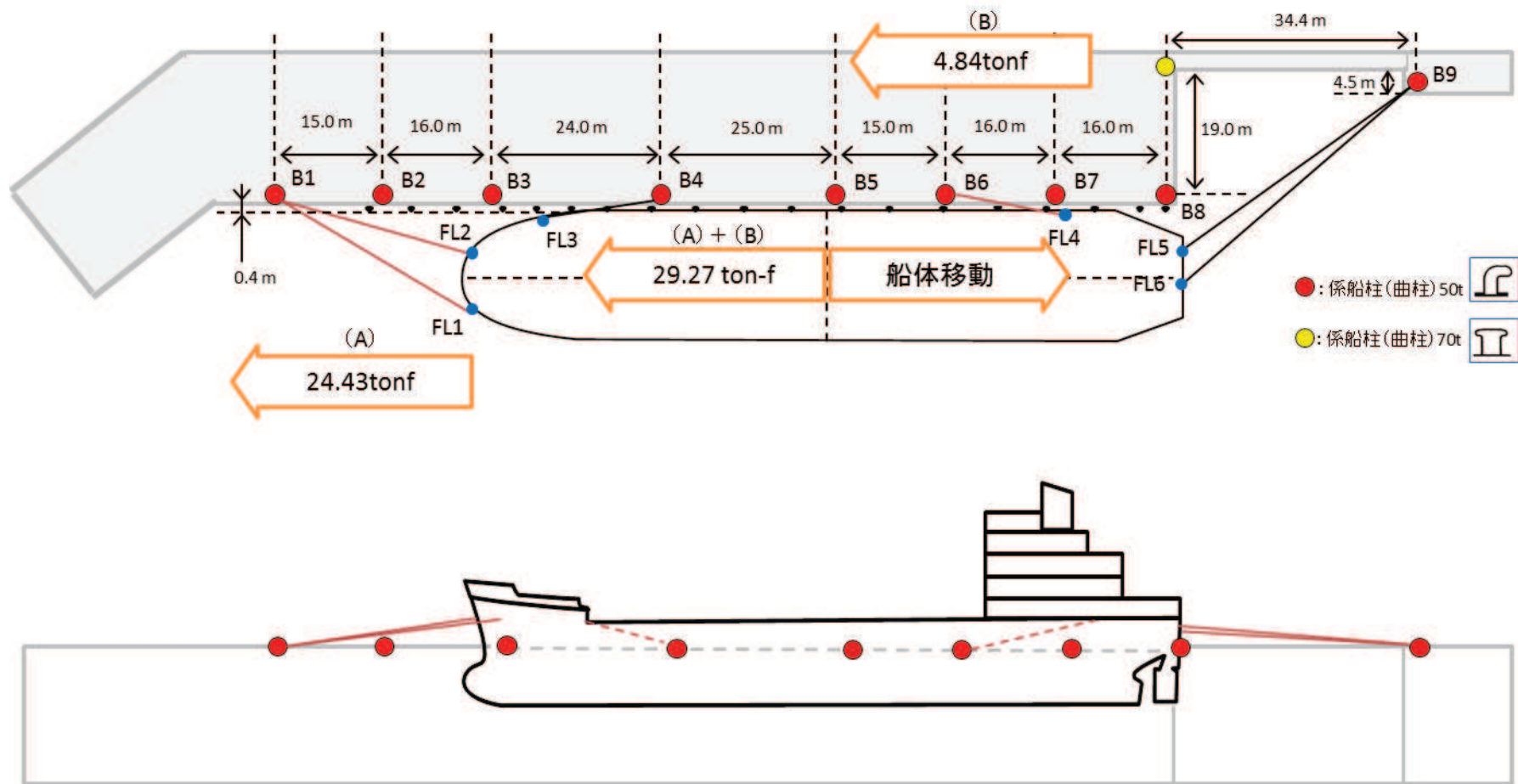


図6 船尾方向への移動に対する船首方向係留力

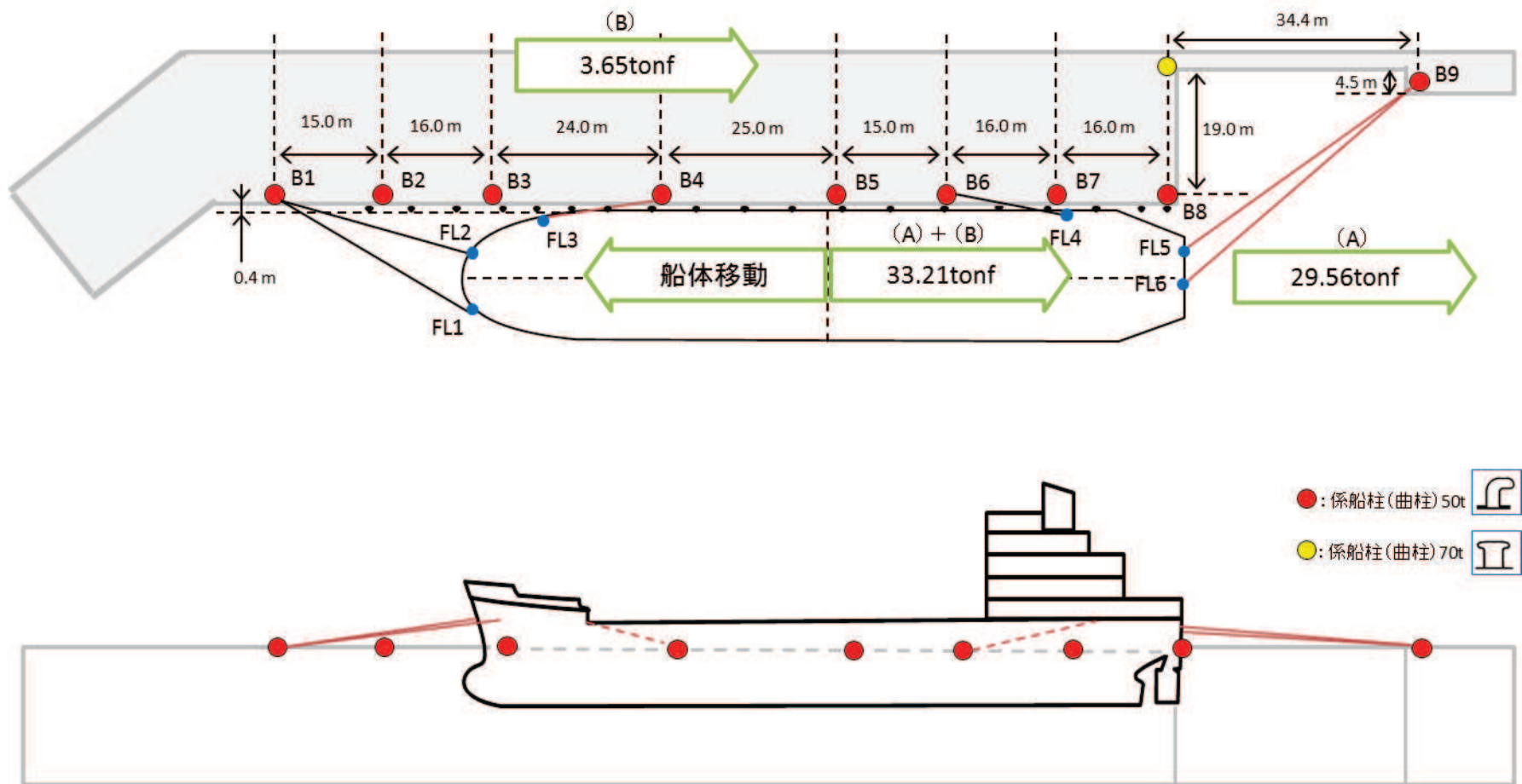


図7 船尾方向への移動に対する船尾方向係留力

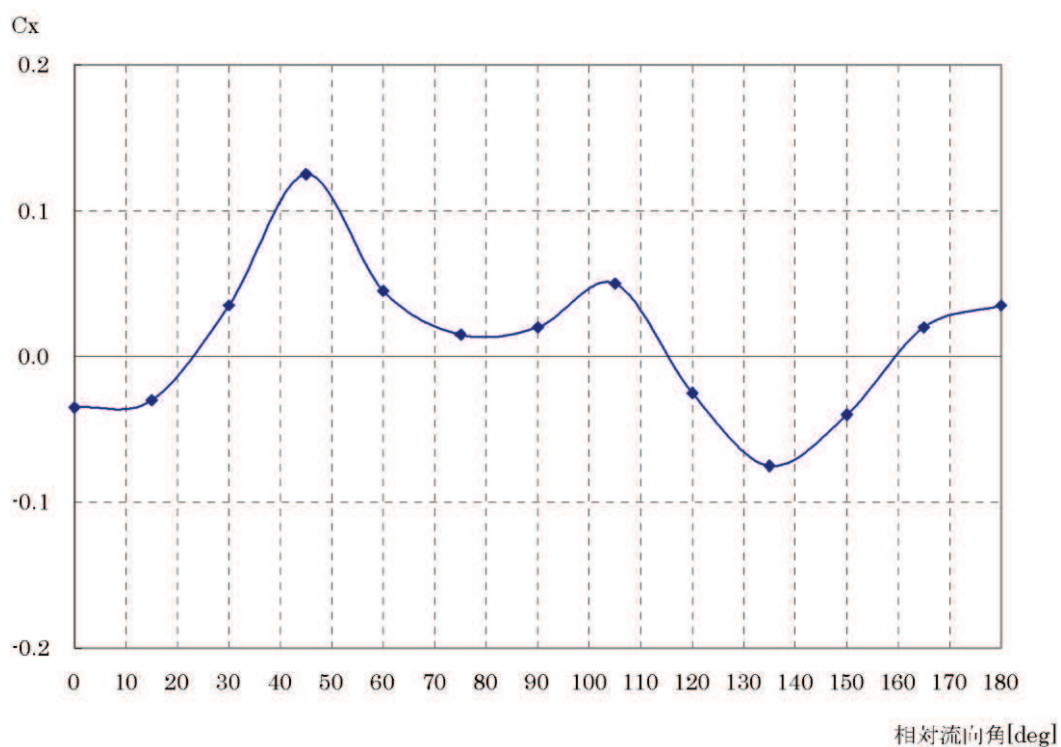
(4) 流圧力

流圧力の計算方法を表5に示す。計算結果について、2. (3) で求めた係留力と比較した結果を図8に示す。

表5 流圧力の計算方法

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>【流圧力計算式】</p> $F_{Xc} = \frac{1}{2} \times C_{Xc} \times \rho_c \times V_c^2 \times L_{PP} \times d$ | <p> F_{Xc} : 縦方向流圧力 [kgf] C_{Xc} : 縦方向流圧力係数 V_c : 流速 [m/s] L_{PP} : 垂線間長 [m] d : 喫水 [m] ρ_c : 水密度 [kg・sec²/m⁴] (=104.5kg・sec²/m⁴) </p> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

(出典：VLCCにおける風圧及び流圧の予測 OCIMF刊行)



(出典：VLCCにおける風圧及び流圧の予測 OCIMF刊行)

縦方向流圧力係数 [C_x]

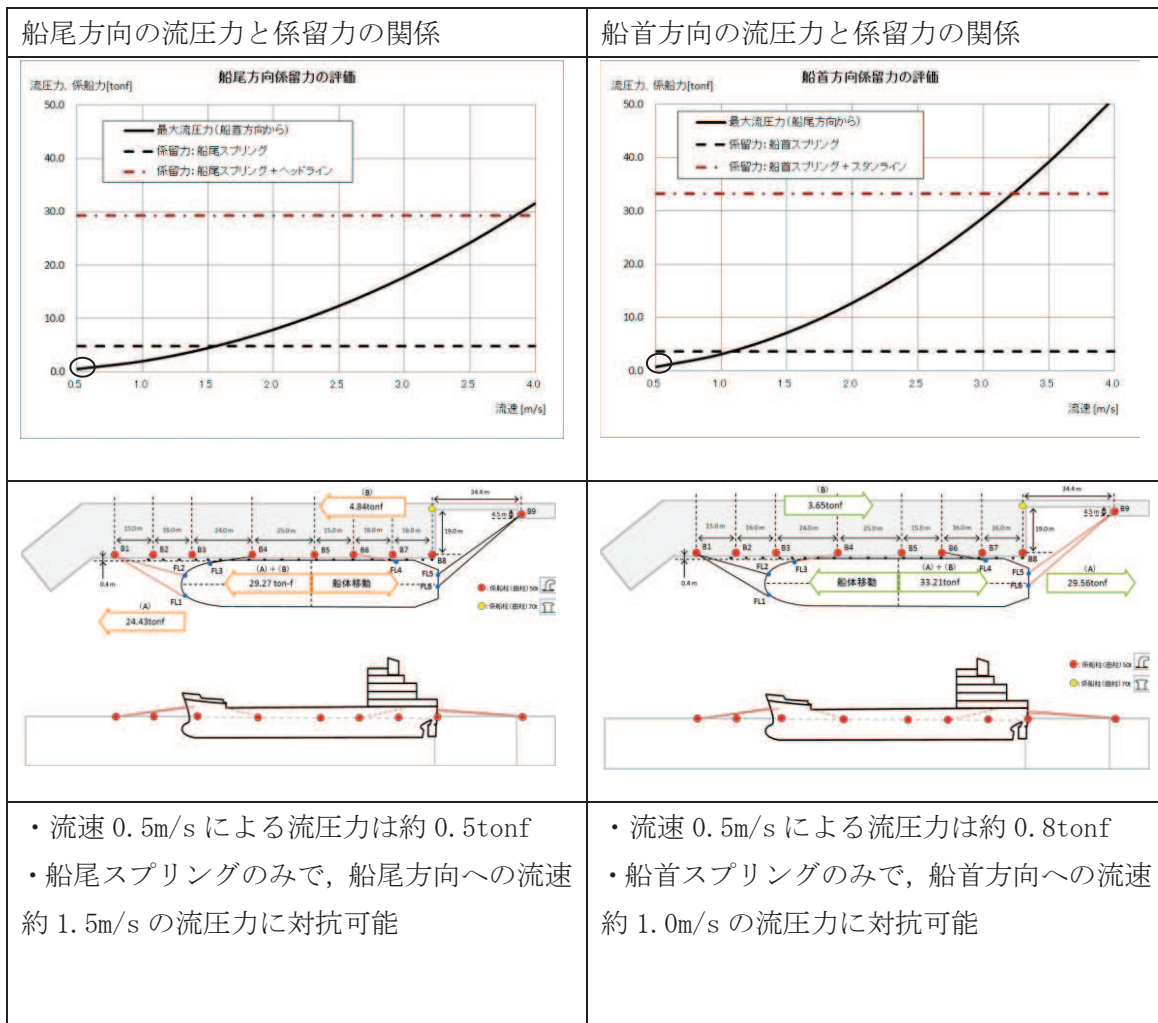


図8 流圧力と係留力比較

3. 結論

流速 0.5m/s の津波による流圧力に対し、係留力 (約 29~33tonf) が上回ることを確認した。したがって、係船柱が健全であれば、輸送船が岸壁に係留されている状態で、基準津波より到達が早い海域活断層による地震に起因する津波を受けた場合を仮定しても、係留力により岸壁に留まり続けることができる。

(参考4) 燃料等輸送船の喫水と津波高さの関係について

1. はじめに

燃料等輸送船（以下、「輸送船」という。）は、想定される全ての津波に対し、津波の到達時間と緊急離岸までの時間の関係から、緊急退避が可能である。

ここでは、輸送船の緊急退避ができない不測の事態を考慮する。輸送船が岸壁に係留されている状態で、基準津波より到達が早い海域活断層による地震に起因する津波を受けた場合を想定し、寄せ波により輸送船が岸壁に乗り上げることはないこと、引き波に対して座礁、転覆するおそれのないことを確認する。

2. 確認条件

評価対象の津波として、基準津波より到達が早い海域活断層による地震に起因する津波を想定する。図1に、敷地周辺海域の海域活断層分布を示すが、敷地からの距離や津波の向きを考慮し、「F-2断層・F-4断層」「F-5断層」「F-6～F-9断層」による津波の中から、評価対象津波を選定する。

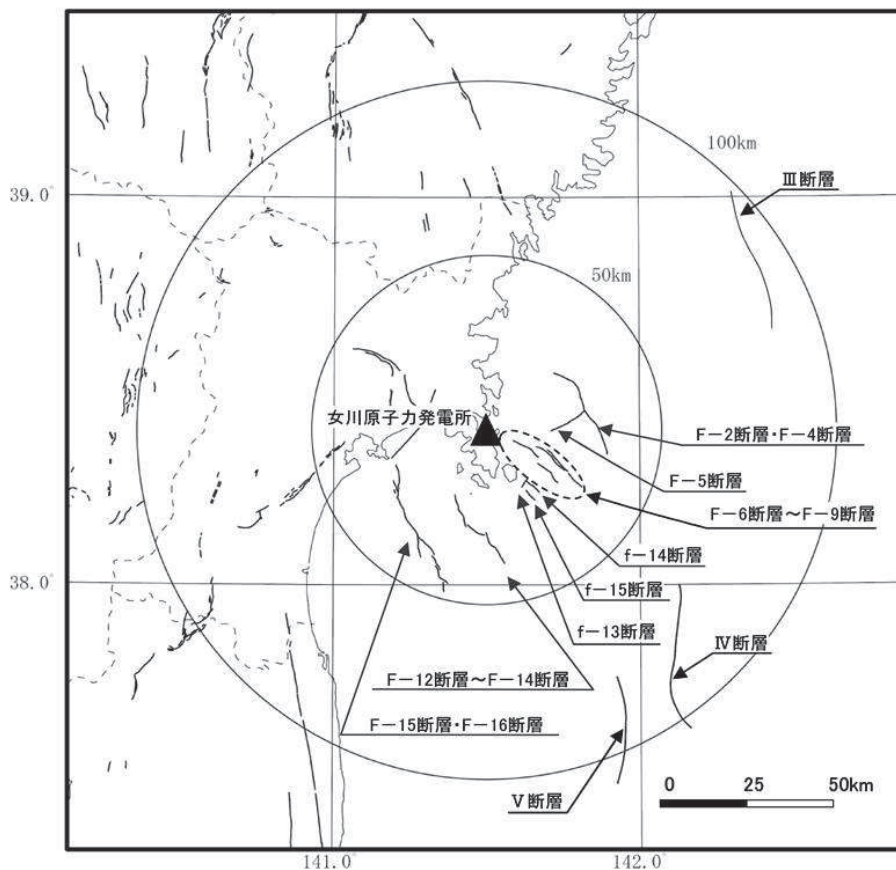


図1 敷地周辺海域の海域活断層分布

表1に、2号機取水口前面位置における各海域活断層の津波高さと到達時間の関係を示す。表1に示すとおり、いずれの津波においても、緊急時間との関係から、輸送船は津波到達前に退避可能であると考えられるものの、より保守的に考え、今回評価対象となる津波を抽出する。

F-5断層を波源とした津波は他の海域活断層を波源とした津波に比べて、最も早く到達するが、F-2断層・F-4断層を波源とした津波の到達時刻はほぼ同様であるため、ここでは保守的に最高水位が最も高く、また最低水位が最も低いF-2断層・F-4断層を波源とした津波を選定した。

表1 海域活断層と津波高さ・到達時間の関係

| 海域活断層名 | 寄せ波 | | 引き波 | |
|-------------|------------------|-------------|------------------|-------------|
| | 最高水位 (O.P. m) | 到達時間 (分) | 最低水位 (O.P. m) | 到達時間 (分) |
| F-2断層・F-4断層 | 2.28 | 21 | -0.83 | 18 |
| F-5断層 | 0.94 | 20 | 0.46 | 17 |
| F-6断層～F-9断層 | 1.21 | 88 | 0.05 | 110 |

図2に、評価対象津波の岸壁位置における波形を示す。図2に示すとおり地震発生後、約14分で第一波の最高点に到達後、引き波が発生し、地震発生後約18分に最低津波高さ（O.P. -1.77 m（朔望平均干潮位（O.P. -0.14m）及び潮位のばらつき（-0.10m）考慮済み））に達する。また、地震発生後約21分で最高津波高さ（O.P. +3.05m（朔望平均満潮位（O.P. +1.43m）及び潮位のばらつき（+0.16m）考慮済み））に達する。

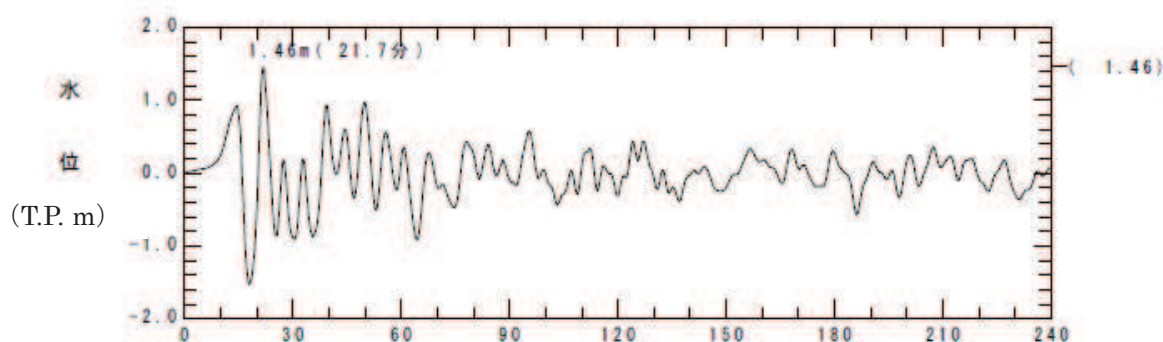


図2 評価対象津波の岸壁位置における水位

3. 確認結果

(1) 寄せ波による輸送船の岸壁への乗り上げ評価

寄せ波高さと喫水の関係を図3に示す。図3に示すとおり、輸送船は岸壁に乗り上げることはないことを確認した。

| | | | |
|----------------|--------|--------------------|--------|
| ① 寄せ波高さ (O.P.) | | ② 津波襲来時岸壁高さ (O.P.) | |
| ・ 寄せ波水位 | +1.46m | ・ 岸壁高さ (通常時) | +3.50m |
| ・ 朔望平均満潮位 | +1.43m | | |
| ・ 潮位のばらつき | +0.16m | | |
| <hr/> | | <hr/> | |
| (計) | +3.05m | (計) | +3.50m |

➡ ① - ② = -0.45m < 喫水 (4~5m)

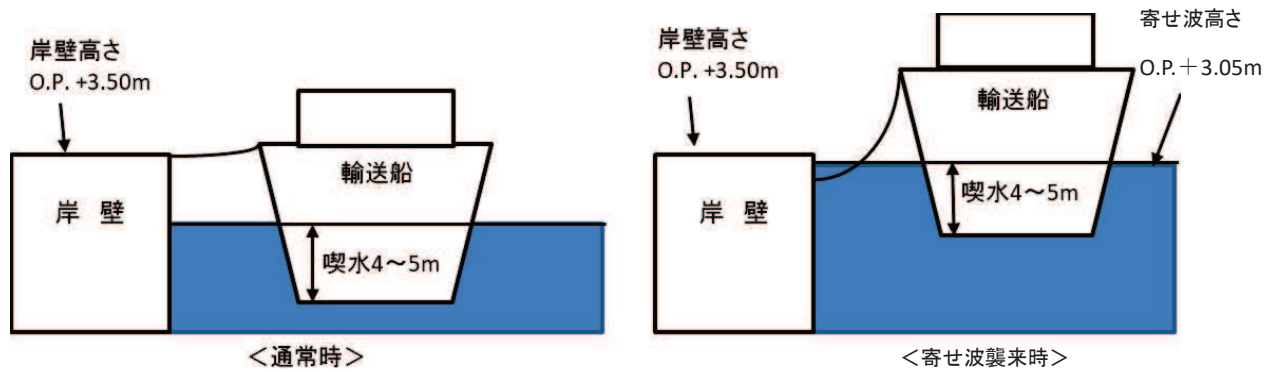


図3 寄せ波高さと喫水の関係

(備考)

- ・ 津波の原因となる地震による地盤隆起 (+0.02m) は、岸壁が高くなる方向に寄与するため、保守的に考え考慮しないこととした。
- ・ なお、輸送船の喫水は、積荷、バラスト水等で変動するが、積荷なしでも過去の実績により、およそ4m以上である。

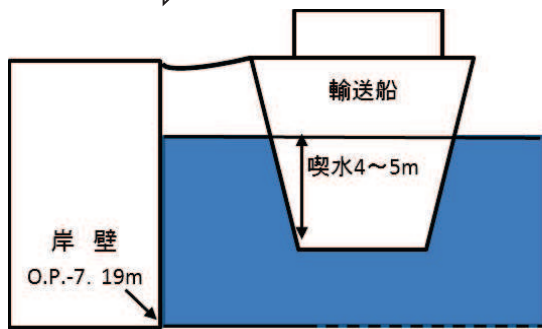
(2) 引き波による輸送船の着底・座礁評価

引き波高さとの関係を図4に示す。図4に示すとおり、引き波発生時において、輸送船は着底・座礁しない。

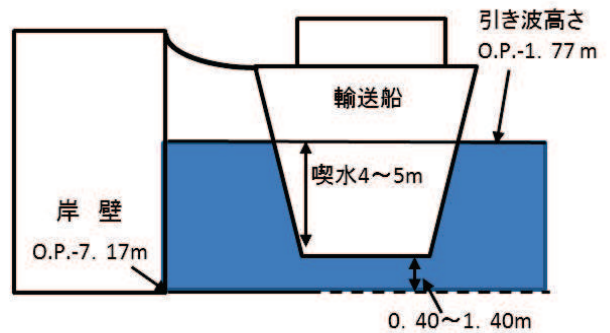
なお、仮に一時的な着底があったとしても、直ちに漂流するというものではなく、輸送船は二重船殻構造等、十分な船体強度を有しており、水位回復後に退避が可能であり、漂流物とはならない。

| | | | |
|----------------|--------|--------------------|--------|
| ① 引き波高さ (O.P.) | | ② 津波襲来時岸壁高さ (O.P.) | |
| ・ 引き波水位 | -1.53m | ・ 岸壁近傍の海底深さ | -7.19m |
| ・ 朔望平均干潮位 | -0.14m | ・ 地盤隆起量 | +0.02m |
| ・ 潮位のばらつき | -0.10m | | |
| ----- | | ----- | |
| (計) | -1.77m | (計) | -7.17m |

⇒ ①-②=5.40m > 喫水 (4~5m)



<通常時>



<引き波襲来時>

図4 引き波高さと喫水の関係

(備考)

- ・ 津波の原因となる地震による地盤隆起 (+0.02m) を考慮した。

4. 結論

朔望平均満潮位・干潮位等の保守的な条件を考慮し、輸送船が岸壁に係留されている状態で、基準津波より到達が早い海域活断層による地震に起因する津波を受けた場合を仮定しても、輸送船は、津波高さと喫水高さの関係から岸壁に乗り上げることはなく、また引き波発生時においても着底・座礁せず、漂流物とはならないことを確認した。

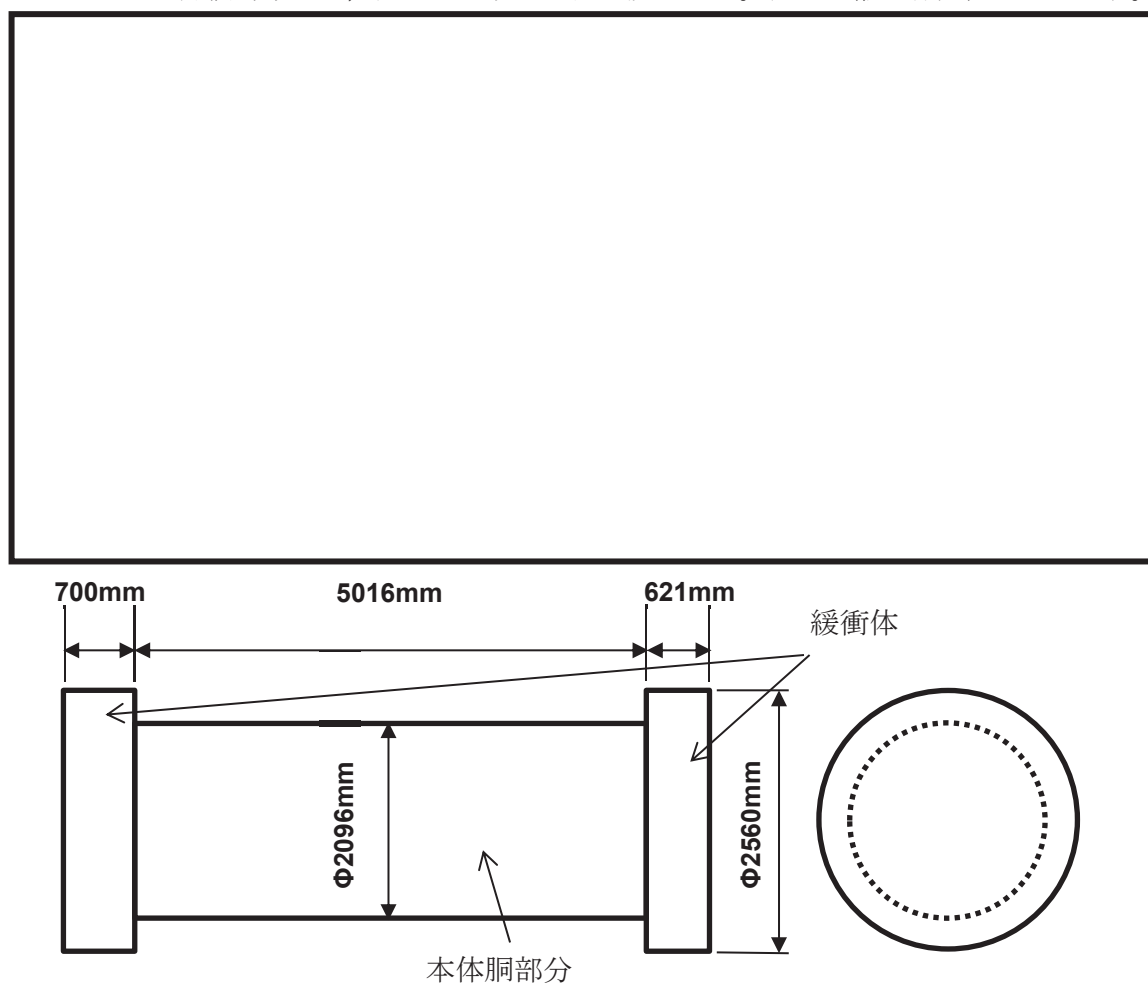
(参考5) 輸送物及び輸送車両の漂流物評価について

燃料等輸送船による輸送時の、陸側にある輸送物及び輸送車両の漂流物評価について以下のとおり示す。

1. 燃料輸送

(1) 使用済燃料輸送容器

女川原子力発電所において使用する使用済燃料輸送容器のうち最も小さい容器であるNF T-22B型を評価対象とし、図1のように寸法を設定した。表1に輸送容器総重量を示す。



- ・本体胴部分の外径については、保守的にフィンの外径値を使用している。
- ・緩衝体については中央に穴が開いた形状をしているが、保守的に円柱とする。
- ・架台 (10.0t 以下) については体積に含まない。

図1 体積計算に用いた使用済燃料輸送容器の模式図¹⁾

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表1 輸送容器総重量¹⁾

| 輸送容器各部名称 | 重量 (t) |
|--------------------|---------|
| A. 本体 | 72.0 以下 |
| B. 蓋 | 3.5 以下 |
| C. バスケット | 5.8 以下 |
| D. 緩衝体 | |
| ①上部緩衝体 (近接防止金網を含む) | 3.6 以下 |
| ②下部緩衝体 (近接防止金網を含む) | 3.2 以下 |
| 輸送容器総重量 (A+B+C+D) | 88.0 以下 |

a. 評価結果

(a) 重量

表1 輸送容器総重量 (88 t) より, 保守的に 80 t と設定。

(b) 体積

$$\frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot H = \frac{\pi}{4} \cdot (2.560)^2 \cdot (0.700) + \frac{\pi}{4} \cdot (2.096)^2 \cdot (5.016) + \frac{\pi}{4} \cdot (2.560)^2 \cdot (0.621) = 24.107 [\text{m}^3]$$

(c) 浮力

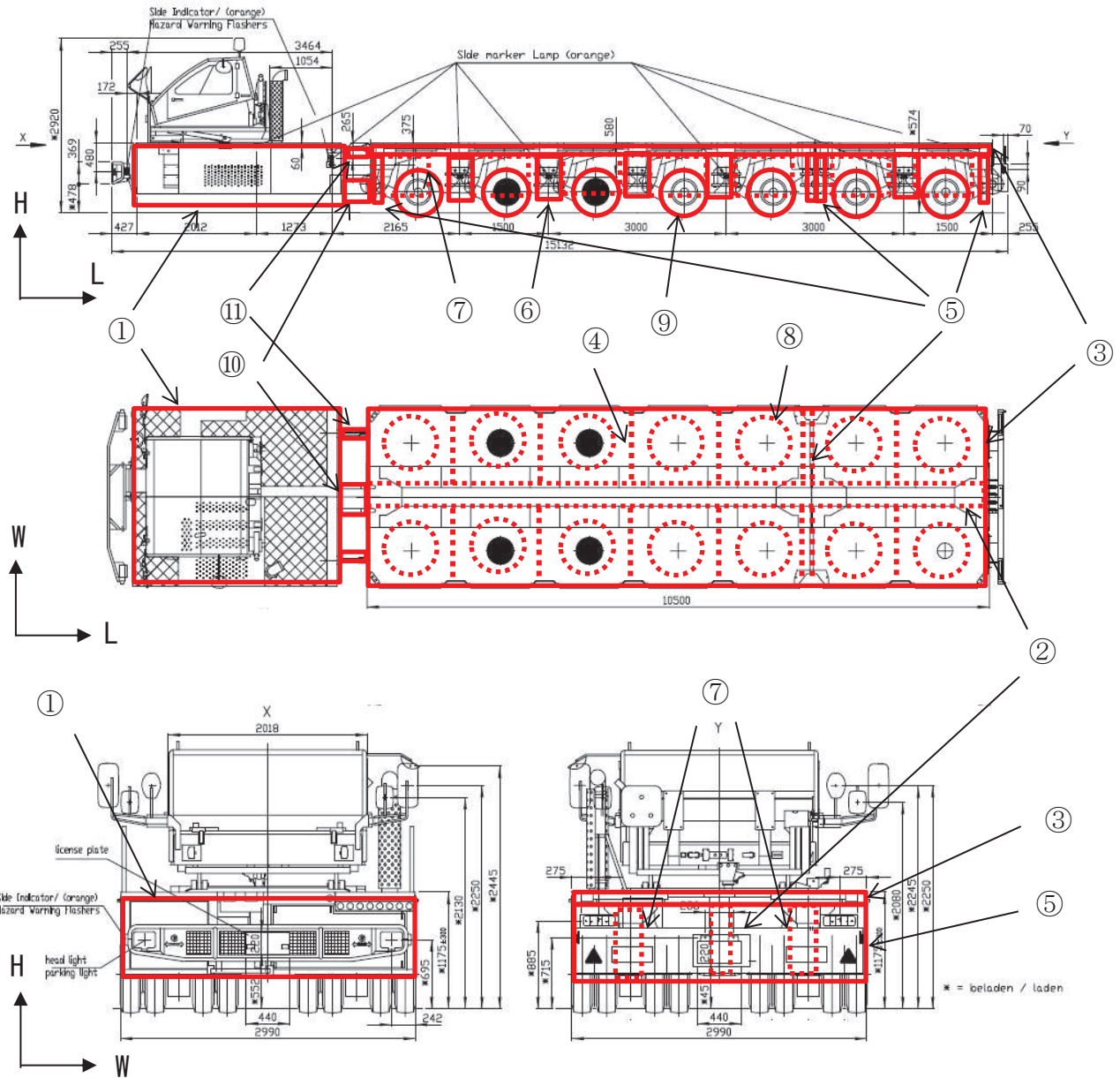
$$24.107 \times 1.03^* = 24.9 \text{ [t]} \text{ (小数点第2位以下切り上げ)}$$

注記 * : 海水の比重を 1.03 t/m³ とした。

(a) 重量 > (c) 浮力より, 使用済燃料輸送容器は, 漂流物とはならない。

(2) 使用済燃料輸送車両

使用済燃料輸送容器の輸送に使用する多軸自走車（200t 積載）を評価対象とする。体積については、図2のように使用済燃料輸送車両を構成する部材の体積を求め、これらの積算により算出した。



①パワーパック，②メインフレーム，③シャーシ（天板），④シャーシ（小梁），⑤シャーシ（前後板），⑥シャーシ（横板），⑦アーム，⑧ターンテーブル，⑨タイヤ，⑩連結部（下部），⑪連結部（上部）

- ・①については、冷却孔があるため気密性はないが、保守的に直方体とする。
- ・⑦については部材が連結した複雑な形状のため、保守的に直方体とする。
- ・キャビンについては、窓を開ける運用とし、気密性がないため体積には加えない。

図2 体積計算に用いた使用済燃料輸送車両の模式図

a. 評価結果

(a) 重量

車両重量 (34.0 t*)

注記 * : 実際に運用する車両の車検証の値を使用。

(b) 体積

| No. | 部 材 名 | L [mm] | W [mm] | H [mm] | 個数 | 体積[m ³] | 備 考 |
|-----|------------|--------|--------|--------|----|---------------------|-----|
| ① | パワーパック | 3450 | 2990 | 908 | 1 | 9.367 | |
| ② | メインフレーム | 11500 | 310 | 794 | 1 | 2.831 | |
| ③ | シャーシ (天板) | 11500 | 2990 | 50 | 1 | 1.720 | |
| ④ | シャーシ (小梁) | 15 | 1495 | 844 | 10 | 0.190 | |
| ⑤ | シャーシ (前後板) | 15 | 2990 | 844 | 4 | 0.152 | |
| ⑥ | シャーシ (横板) | 300 | 15 | 844 | 10 | 0.038 | |
| ⑦ | アーム | 1150 | 300 | 800 | 14 | 3.864 | |
| ⑧ | ターンテーブル | φ 1140 | φ 1140 | 70 | 14 | 1.001 | |
| ⑨ | タイヤ | φ 770 | 215 | φ 770 | 56 | 5.607 | |
| ⑩ | 連結部 (下部) | 500 | 550 | 330 | 1 | 0.091 | |
| ⑪ | 連結部 (上部) | 500 | 60 | 60 | 2 | 0.004 | |
| 合 計 | | | | | | 24.865 | |

(c) 浮力

$24.865 \times 1.03^* = 25.7$ [t] (小数点第2位以下切り上げ)

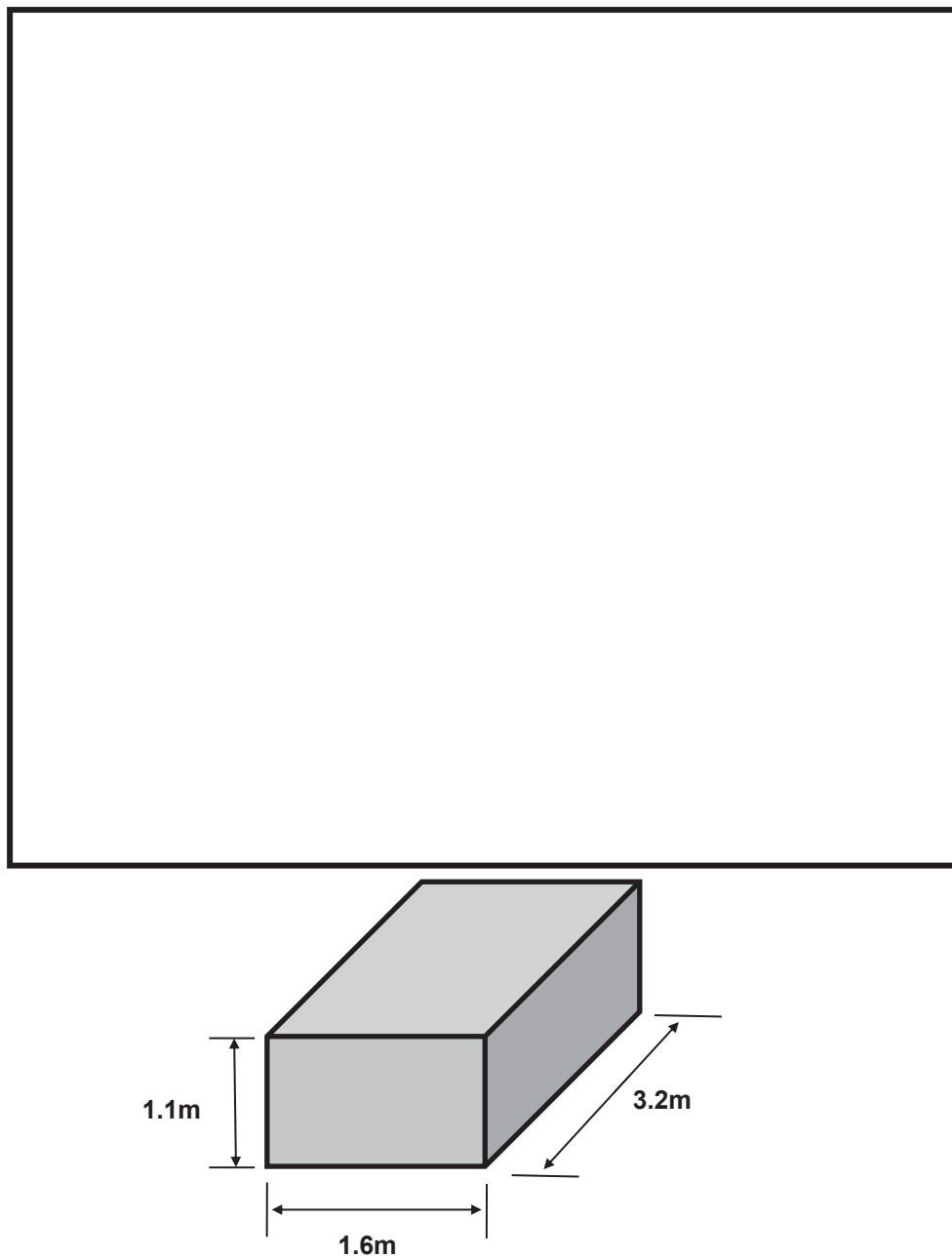
注記 * : 海水の比重を 1.03 t/m^3 とした。

(a) 重量 > (c) 浮力より, 使用済燃料輸送車両は, 漂流物とはならない。

2. LLW輸送

(1) LLW輸送容器

LLW輸送に使用するLLW-2型輸送容器を評価対象とし、図3のように寸法を設定した。表2に輸送容器重量を示す。



- ・ 上部隅金具，下部隅金具を含めた最大寸法を使用する。

図3 体積計算に用いたLLW輸送容器の模式図²⁾

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表2 LLW輸送容器重量及び寸法²⁾

| 型式 | LLW-2型 |
|--------|------------------------------------------|
| 主要寸法 | (長さ) 約 3.2m (幅) 約 1.6m (高さ) 約 1.1m |
| 輸送容器重量 | (タイプI) 1,190kg 以下 (タイプII) 1,200kg 以下 |

a. 評価結果

(a) 重量

表2 輸送容器重量より、保守的に1.1 tと設定。

(b) 体積

$$3.2 \times 1.6 \times 1.1 = 5.632[\text{m}^3]$$

(c) 浮力

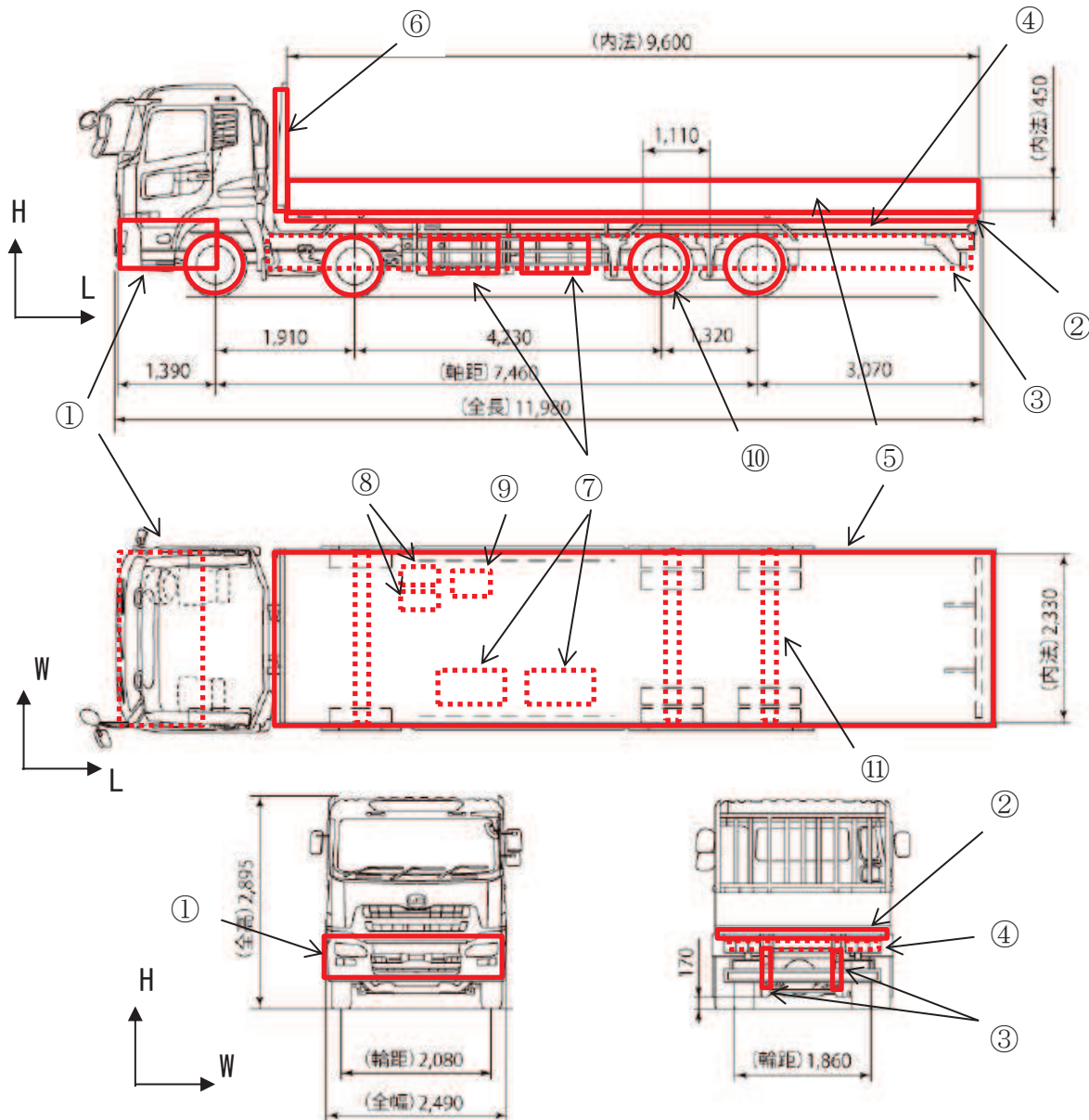
$$5.632 \times 1.03^* = 5.9[\text{t}] \text{ (小数点第2位以下切り上げ)}$$

注記 * : 海水の比重を1.03 t/m³とした。

(a) 重量 < (c) 浮力より、LLW輸送容器については、重量よりも水没時に作用する浮力が大きい。

(2) LLW輸送車両

LLW輸送容器の輸送に使用するトラック（15t 積載）を評価対象とする。体積については、図4のようにLLW輸送車両を構成する部材の体積を求め、これらの積算により算出した。



- ①エンジン部，②シャーシ（上部），③シャーシ（下部），④シャーシ（連結部），⑤架台（横），⑥架台（縦），⑦タンク1，⑧タンク2，⑨バッテリー，⑩タイヤ，⑪車軸

- ・部材寸法の測定については、図面からの引用の他、実測値を使用している。
- ・キャビンについては、窓を開ける運用とし、気密性がないため体積には加えない。

図4 体積計算に用いたLLW輸送車両の模式図

a. 評価結果

(a) 重量

車両重量 (9.7 t*)

注記 * : 実際に運用する車両の車検証の値を使用。

(b) 体積

| No. | 部 材 名 | L [mm] | W [mm] | H [mm] | 個数 | 体積[m ³] | 備 考 |
|-----|------------|--------|--------|--------|----|---------------------|-------|
| ① | エンジン部 | 1390 | 2490 | 800 | 1 | 2.769 | |
| ② | シャーシ (上部) | 9800 | 2530 | 9 | 1 | 0.224 | |
| ③ | シャーシ (下部) | 9600 | 480 | 6 | 2 | 0.056 | 板状で模擬 |
| ④ | シャーシ (連結部) | 210 | 2490 | 8 | 29 | 0.122 | 板状で模擬 |
| ⑤ | 架台 (横) | 10010 | 3150 | 40 | 1 | 1.262 | 板状で模擬 |
| ⑥ | 架台 (縦) | 100 | 2490 | 1740 | 1 | 0.434 | |
| ⑦ | タンク 1 | 1250 | 650 | 420 | 2 | 0.683 | |
| ⑧ | タンク 2 | 650 | φ 300 | φ 300 | 2 | 0.092 | |
| ⑨ | バッテリー | 600 | 500 | 300 | 1 | 0.090 | |
| ⑩ | タイヤ | φ 845 | 247 | φ 845 | 13 | 1.801 | |
| ⑪ | 車軸 | φ 150 | 2490 | φ 150 | 4 | 0.176 | |
| 合 計 | | | | | | 7.709 | |

(c) 浮力

$7.709 \times 1.03^* = 8.0$ [t] (小数点第 2 位以下切り上げ)

注記 * : 海水の比重を 1.03 t/m³ とした。

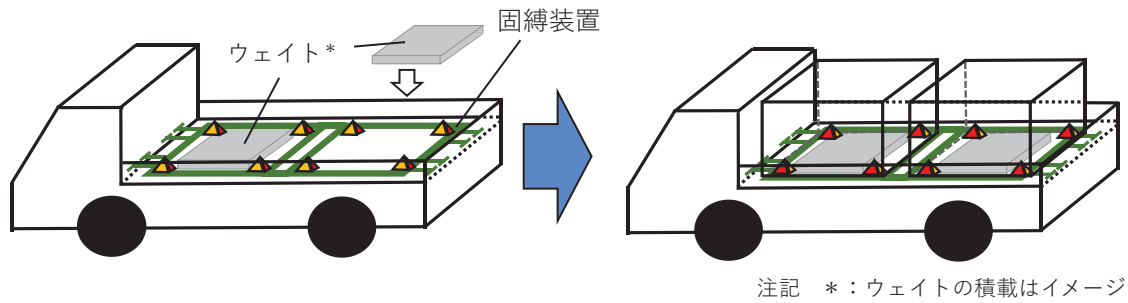
(a) 重量 > (c) 浮力より, LLW 輸送車両は, 漂流物とはならない。

(3) LLW 輸送の今後の運用について

LLW 輸送車両は漂流物とはならないが, 最も浮力が大きくなる LLW 輸送容器の空容器を 2 個積載した場合, 車両総重量 (約 12t) に対し, 浮力 (約 20t) の方が大きい。また, 廃棄体を収納した LLW 輸送容器を LLW 輸送車両へ積載した場合においても, 車両総重量に対し浮力の方が大きくなる可能性がある*¹。

このため, 作業員のみが退避する場合は, LLW 輸送容器を LLW 輸送車両に固縛し, 浮力を上回るようウェイトを積載する対策*²を実施することで, 漂流物とはしない方針とする。

なお, LLW 輸送車両への LLW 輸送容器の固縛については, LLW 輸送車両の固縛装置により行う (図 5 参照)。また, 固縛装置については, 図 6 ~ 8 に示す構造となっており, 固縛装置は車両固縛部等により LLW 輸送車両に固縛し, LLW 輸送容器は固縛装置のツイストロックで固縛装置に固縛する。



注記 *：ウェイトの積載はイメージ

図5 LLW輸送容器等の積載・固縛方法

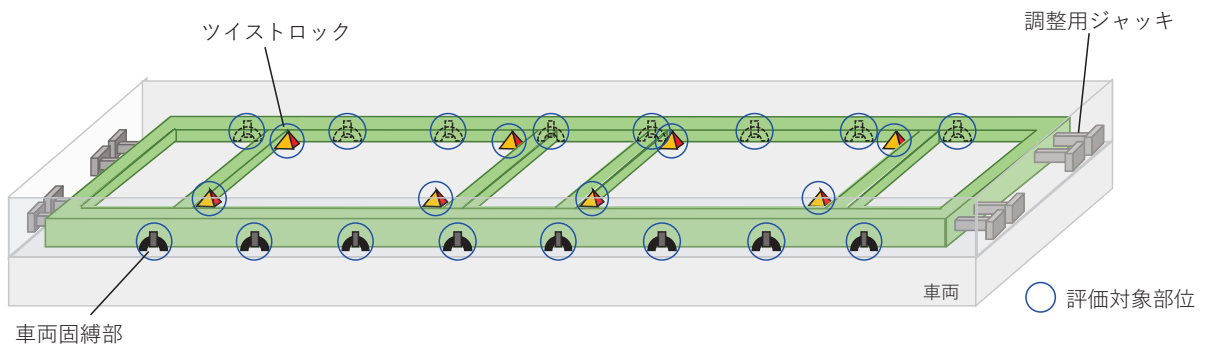


図6 固縛装置の概略図並びに評価対象部位

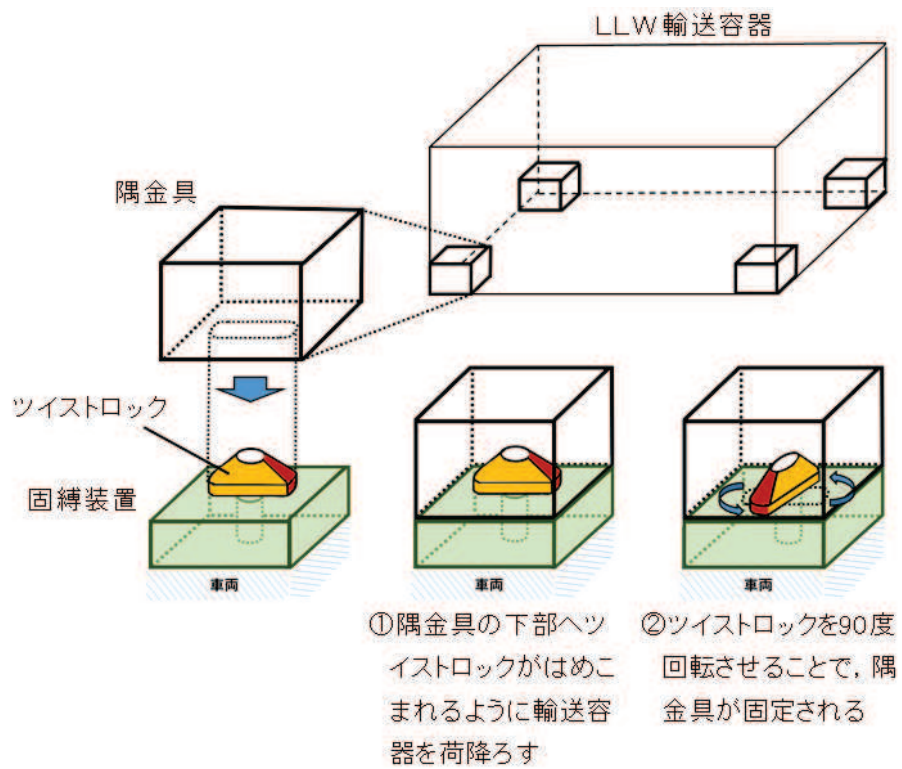


図7 固縛装置（ツイストロック）の概略図



図8 固縛装置（車両固縛部）の概略図

また、LLW輸送車両の固縛装置については、国土交通省「放射性物質の自動車運搬に係る積載方法の安全性に関する技術基準の適用指針」において、前後方向2G、左右方向1G、上下方向2Gの加速度が同時に作用する場合に発生する力に耐えうる強度を有することが要求されており、この条件に適合させ、十分な余裕を有した設計となっている。

これに対して、浮力によって発生する引張荷重は、上記指針の適合性確認で評価に用いる引張荷重の1/5程度であり、十分に余裕がある。

さらに、基準地震動 S_s 発生時に、LLW輸送車両の走行地点で想定される最大応答加速度が、加振試験により転倒しないこと及び固縛機能を維持できることを確認した加振台の最大加速度以下であることを確認した（図9、表3参照）。

以上より、固縛装置については十分な強度を有していることから、基準地震動 S_s 及び浮力によって固縛機能が損なわれることはないと考えられる。

注記 *1: LLW輸送容器へ収納する廃棄体の重量を、過去に搬出した廃棄体重量(最小)より約4.6tとした場合、車両総重量(約16t)に対し、浮力(約20t)の方が大きい。

*2: あらかじめ浮力を上回るようウェイトを積載したLLW輸送車両を使用する。



図9 加振試験時のLLW輸送車両

表3 加振試験による評価結果

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

| | 加振方向 | |
|-------------------------------|------|------|
| | 水平 | 鉛直 |
| 走行地点での S_s による 最大応答加速度*1 | 1.39 | 0.80 |
| 加振台の最大加速度*2 | 2.17 | 1.38 |
| 転倒評価結果 | ○ | |
| 固縛機能評価結果*3 | ○ | |

注記 *1：地震応答解析により求めた地表面の最大応答加速度。

*2：加振試験により計測された加振台の最大加速度。

*3：加振試験後の外観点検等により固縛装置（ウェイト含む。）
が健全であることを確認した。

参考文献

- 1) N F T-22B型 核燃料輸送物設計承認書，平成24年1月，原燃輸送株式会社
- 2) LLW-2型輸送容器取扱説明書，平成24年4月，原燃輸送株式会社

4.3 漂流物による衝突荷重について

4.3.1 衝突荷重を考慮する施設・設備の選定

津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備のうち、漂流物による衝突荷重を考慮する施設・設備については、各施設・設備の設置位置を踏まえて、防潮堤、屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）及び貯留堰を選定した。

津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備の平面位置図を図4.3-1に、漂流物による衝突荷重を考慮する施設・設備の選定フローを図4.3-2に、選定結果を表4.3-1に、選定された施設・設備の設置概念図を図4.3-3に示す。

なお、屋外排水路逆流防止設備（防潮堤南側）は、防潮堤よりも海側に設置しているものの、地中に設置しているため、漂流物による衝突荷重を考慮しないこととしており、設置概念図を参考1に示す。

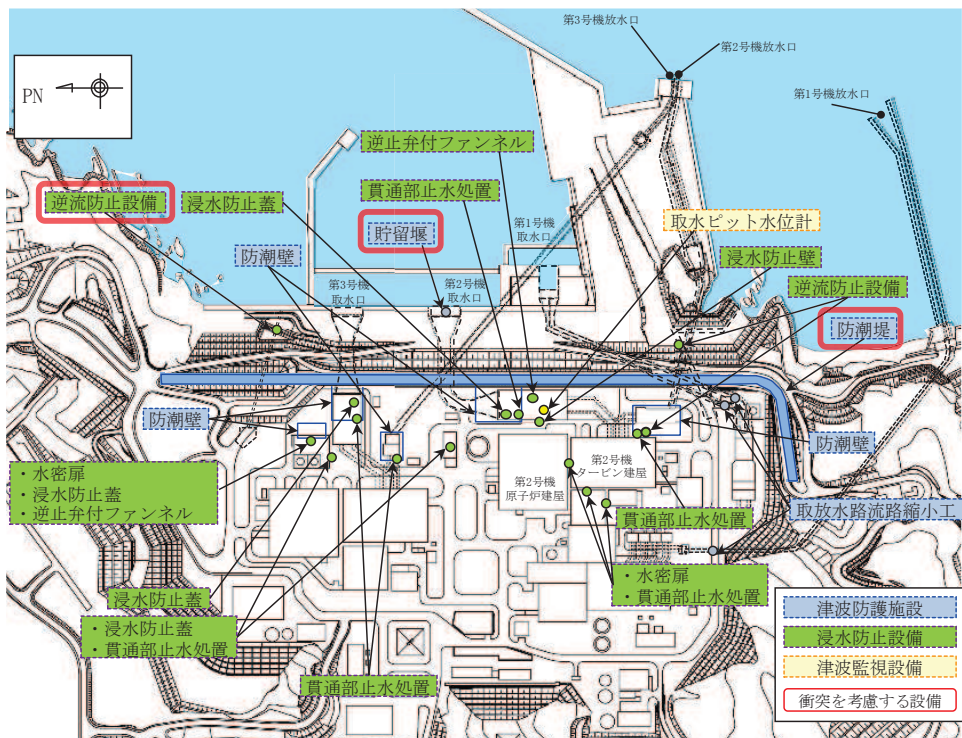


図 4.3-1 漂流物による衝突荷重を考慮する津波防護施設

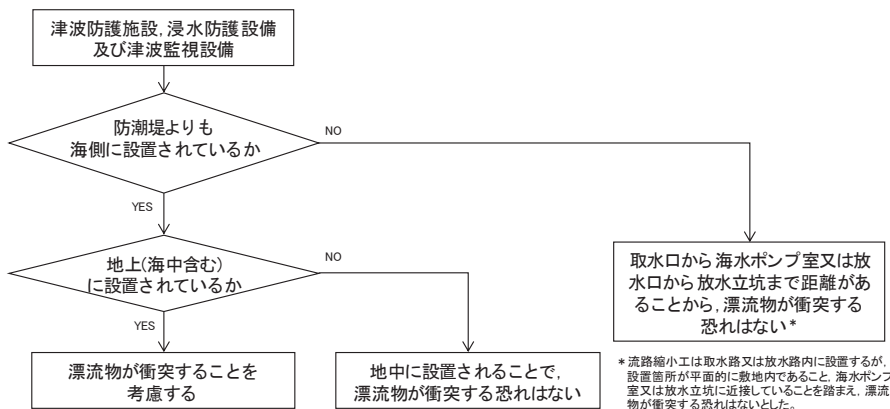


図 4.3-2 漂流物による衝突荷重を考慮する施設・設備の選定フロー

表 4.3-1 漂流物による衝突荷重を考慮する施設・設備の選定結果

| 施設・設備 | | 防潮堤よりも海側に設置されているか | 地上(海中含む)に設置されているか | 評価 (衝突荷重の考慮) | |
|--------|-----------|--------------------|-------------------|------------------------|---------|
| 津波防護施設 | 防潮堤 | 鋼管式鉛直壁 | — | 地上(露出部下端標高 O.P.+17.0m) | 考慮する*2 |
| | | 盛土堤防 | — | 地上(下端標高 O.P.+5.0m) | 考慮する |
| | 防潮壁 | | 敷地側 | —*1 | 考慮しない |
| | 取放水路流路縮小工 | | 敷地側 | —*1 | 考慮しない |
| | 貯留堰 | | 海側 | 海中 (天端標高 O.P.-6.3m) | 考慮する |
| 浸水防止設備 | 逆流防止設備 | 屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側) | 海側 | 地上 (下端標高 O.P.+5.7m) | 考慮する*2 |
| | | 屋外排水路逆流防止設備(防潮堤南側) | 海側 | 地中 | 考慮しない*2 |
| | | 補機冷却海水系放水路逆流防止設備 | 敷地側 | —*1 | 考慮しない |
| | 浸水防止蓋 | | 敷地側 | —*1 | 考慮しない |
| | 浸水防止壁 | | 敷地側 | —*1 | 考慮しない |
| | 水密扉 | | 敷地側 | —*1 | 考慮しない |
| | 貫通部止水処置 | | 敷地側 | —*1 | 考慮しない |
| 津波監視設備 | 取水ピット水位計 | | 敷地側 | —*1 | 考慮しない |

注記 *1: 防潮堤よりも敷地側に設置されており、漂流物は衝突しないため、評価不要。

*2: がれきの寸法の小さな漂流物による影響について評価を実施。

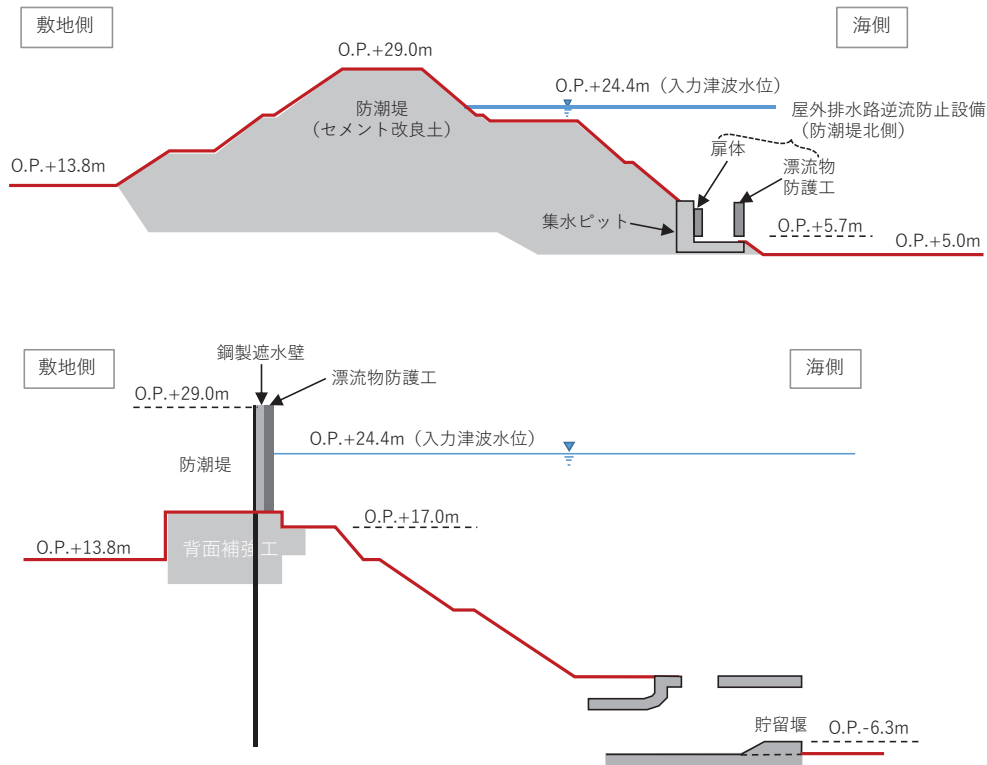


図 4.3-3 漂流物による衝突荷重を考慮する施設・設備の設置概念図

4.3.2 津波に関するサイト特性

① 発電所周辺地形の把握

発電所は、東北地方太平洋側のリアス海岸の南端部に位置する牡鹿半島の女川湾南側の小規模な湾奥に立地している。

また、発電所は女川湾の湾口部に位置し、発電所よりも西側の湾の奥側には複数の漁港や女川町等の市街地が形成されている。

発電所周辺地形を図 4.3-4 に示す。

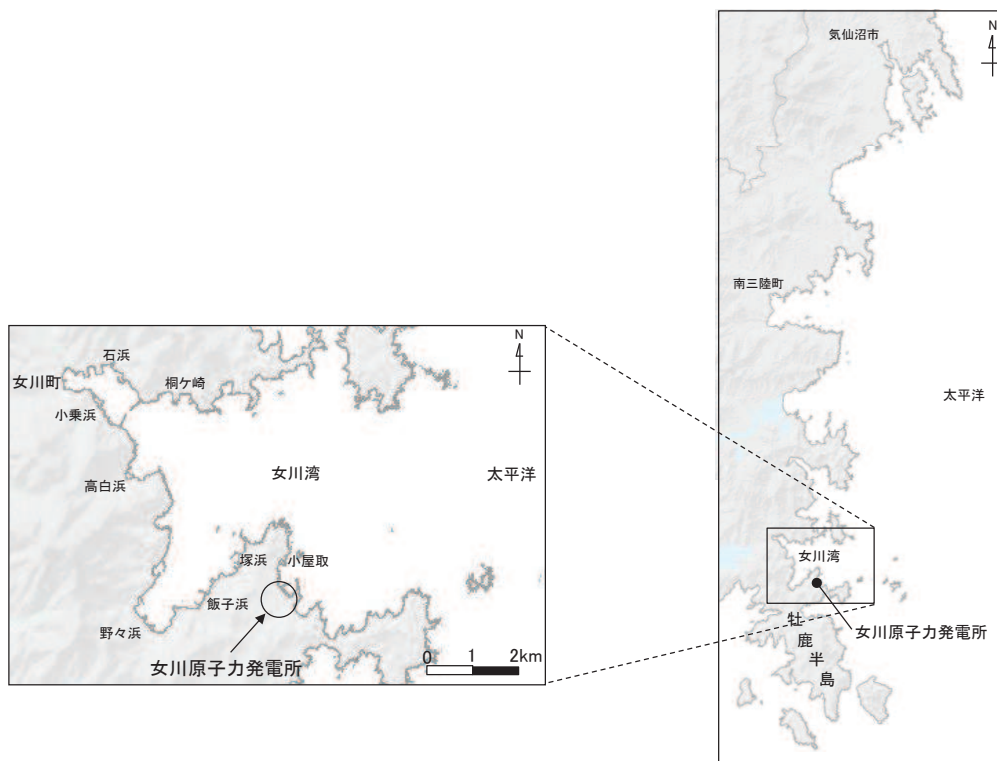


図 4.3-4 発電所周辺地形

② 基準津波の特徴（水位、流向及び流速）の把握

発電所を含む女川湾内の津波の特徴については、「4.2.1 ②基準津波の流速及び流向の把握」に示すとおりである。

これらの特徴から漂流物の衝突の観点で、特筆すべき内容を、女川湾における特徴及び発電所近傍における特徴に分けて整理した。

【女川湾内における特徴】

女川湾の中央付近の水位、流速の絶対値及び流向から、津波第一波の水位及び流速が支配的で、東西方向の流れが卓越している特徴がある（図 4.3-5）。また、第二波以降の水位及び流速は小さいが、東西方向の流れは繰り返されている。

- ✓ 水位時刻歴波形から、基準津波第一波の水位が支配的であり、第二波以降の水位は第一波に比べて低い。

- ✓ 流速の絶対値の時刻歴波形から、基準津波第一波の流速が支配的であり、第二波以降の流速は第一波に比べて遅い。
- ✓ 流向(流速)の時刻歴から、基準津波第一波の東西方向の流れが卓越しており、第二波以降の流速は遅いものの、東西方向の流れを繰り返している。

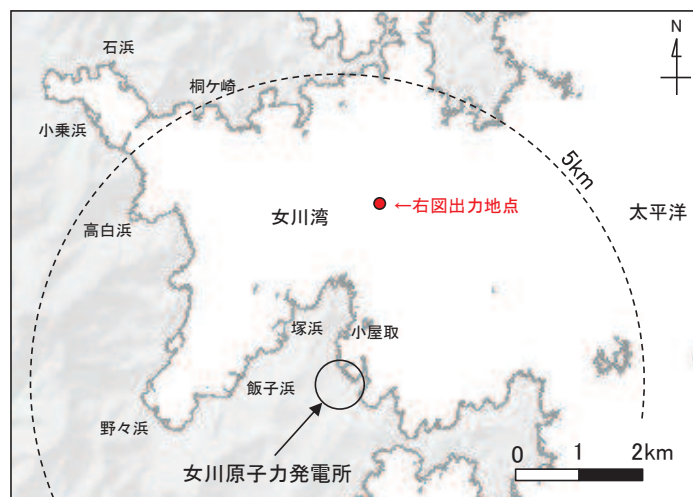
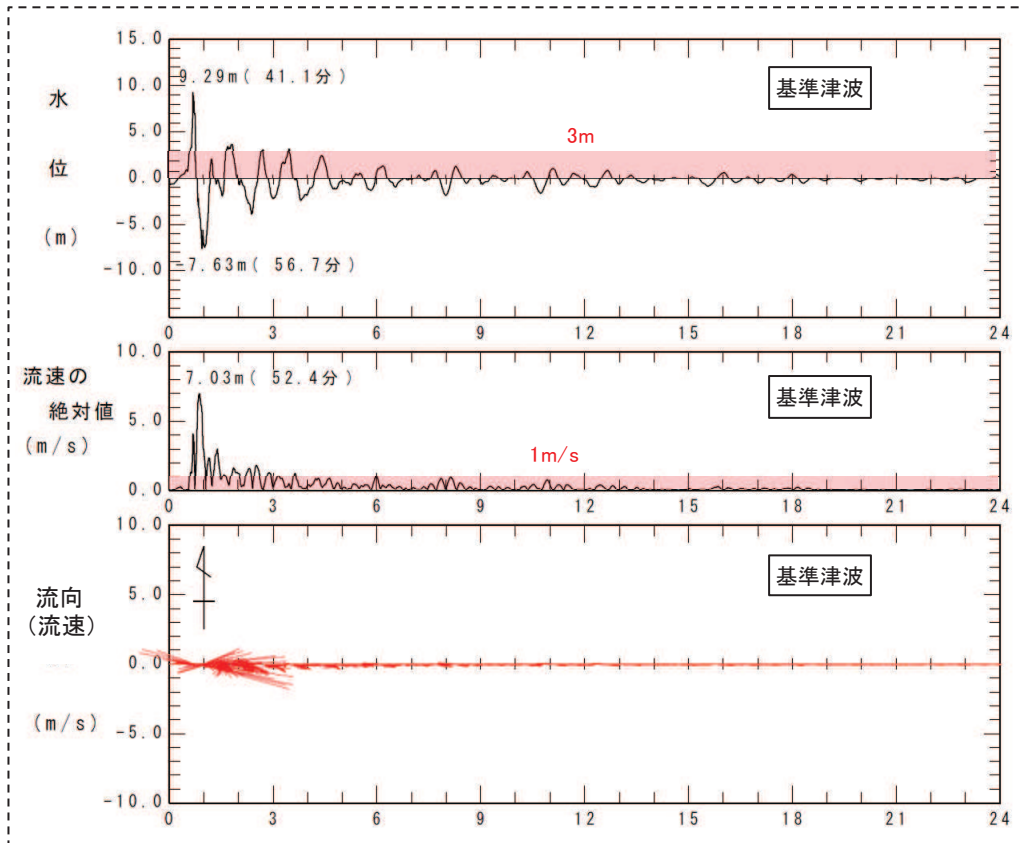


図 4.3-5 女川湾中央付近の水位，流速の絶対値及び流向（流速）

【発電所近傍における特徴】

敷地前面域における基準津波の最大水位上昇量分布（全時刻：地震発生から240分後まで）及び基準津波第一波（地震発生から約46分後まで）の最大水位上昇量分布を図4.3-6及び図4.3-7に示す。両者を比較すると、大きな違いは見られないことから、敷地前面域は第一波で最大水位になる。

防潮堤前面、屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）前面及び貯留堰（取水口）前面における水位時刻歴波形を図4.3-8、図4.3-9及び図4.3-10に示す。これらの図から、防潮堤前面、屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）前面及び貯留堰前面において水位が最大となる時間は、それぞれ地震発生から42.4分後、42.2分後及び42.4分後で、ほぼ同時刻であることから、いずれも基準津波の第一波により最大水位となる。

なお、防潮堤前面及び屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）前面に第二波以降の津波は到達しておらず、貯留堰については、第一波では露出せず、第二波以降に海中から露出することが確認される（図4.3-10）。

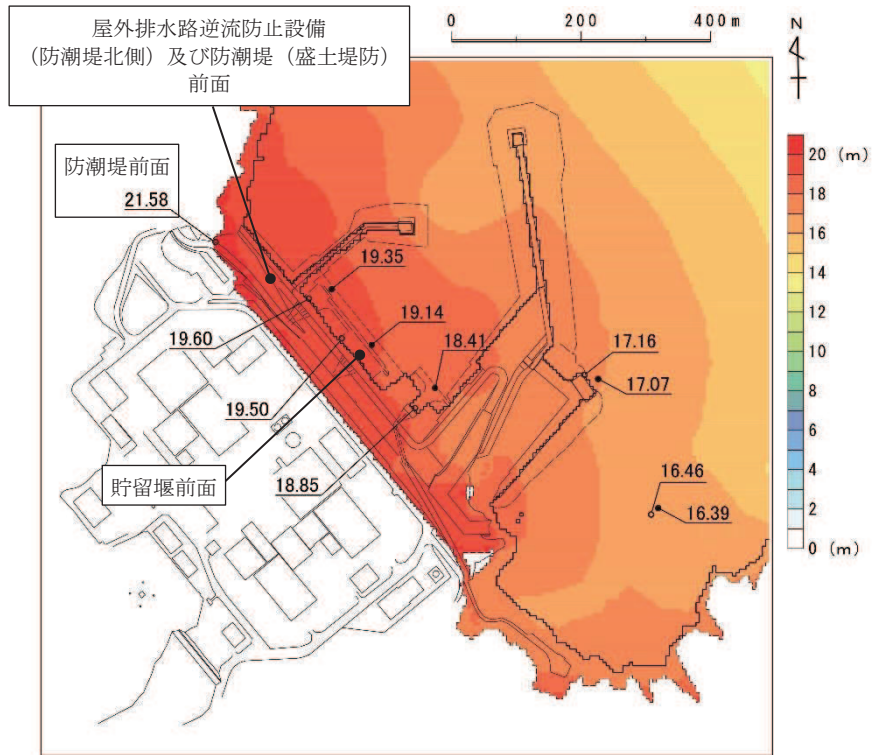


図 4.3-6 基準津波による最大水位上昇量分布
(防波堤あり，基準地震動 S_s による地盤沈下なし，全時刻)

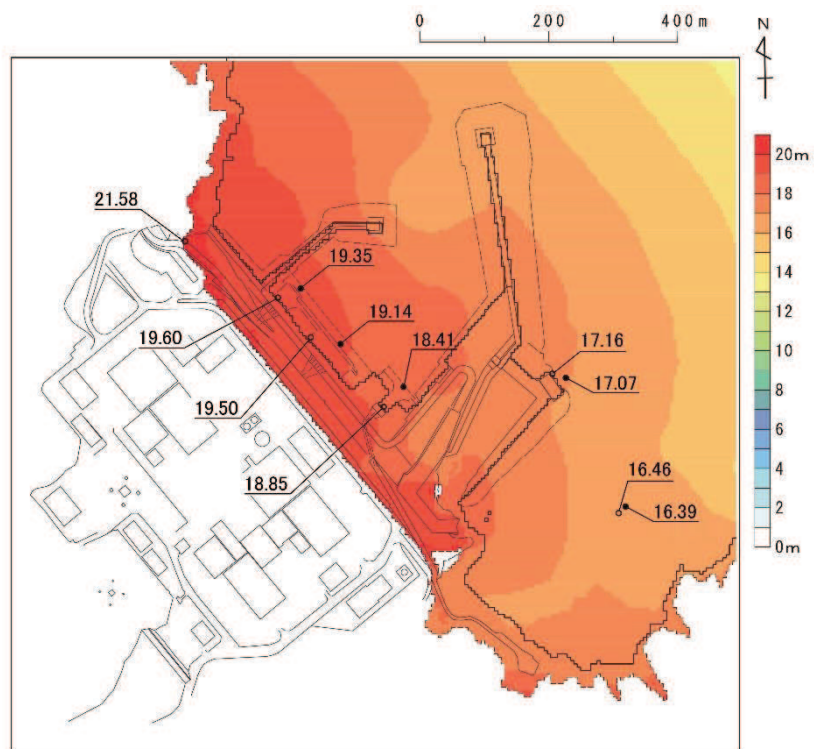


図 4.3-7 基準津波による最大水位上昇量分布
(防波堤あり，基準地震動 S_s による地盤沈下なし，第一波（地震発生から約 46 分後）)

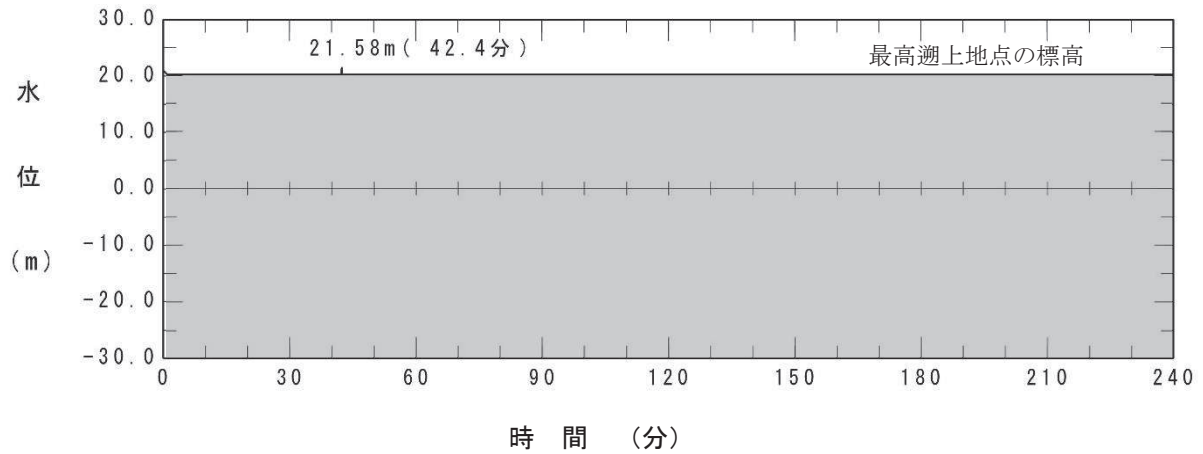


図 4.3-8 防潮堤前面の水位時刻歴
(防波堤あり，基準地震動 S_s による地盤沈下なし)

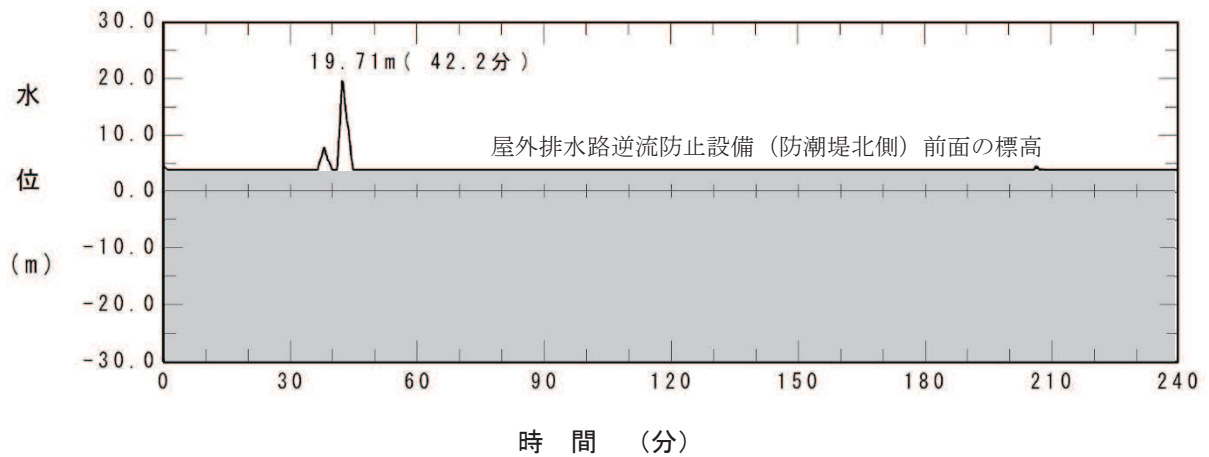


図 4.3-9 屋外排水路逆流防止設備 (防潮堤北側) 前面の水位時刻歴
(防波堤あり，基準地震動 S_s による地盤沈下なし)

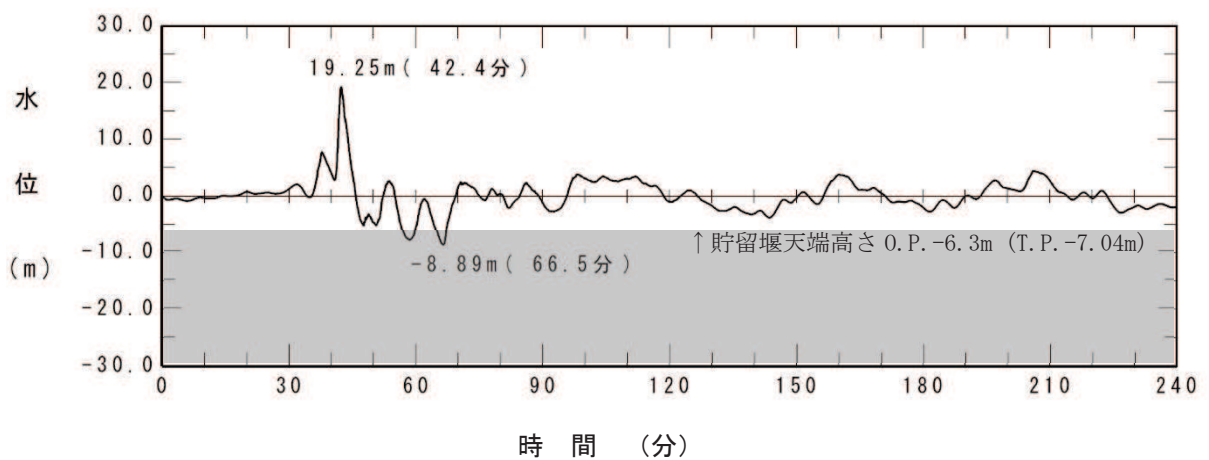


図 4.3-10 貯留堰 (取水口) 前面の水位時刻歴
(防波堤あり，基準地震動 S_s による地盤沈下なし)

次に、敷地前面域での流速の特徴について把握する。

図 4.3-11 に、敷地前面域での最大流速ベクトル分布（全時刻）、第一波（地震発生から約 46 分後まで）の最大流速ベクトル分布及び第二波以降（地震発生から約 46 分以降）の最大流速ベクトル分布を示す。

敷地前面域での最大流速は、第二波以降（地震発生から約 46 分以降）の東防波堤堤頭部付近で生じており、12.95m/s となっている。その方向は敷地に対して約 356°（敷地汀線方向を 0° とし、反時計回りの角度 図 4.3-12 参照）であり、発電所から離れる方向である。この最大流速位置における流速とベクトルの時刻歴データを図 4.3-13 に示す。この時刻歴データから、最大流速は、第一波来襲後の引き波で水位が最も低くなった際に生じている。

また、第一波（地震発生から約 46 分後まで）での最大流速は、第 1 号機取水口の東側で生じており、12.79m/s となっている。この方向は防潮堤に対して約 20°（図 4.3-12 参照）で、敷地に近づく方向である。この最大流速位置における流速とベクトルの時刻歴データを図 4.3-14 に示す。この時刻歴データから、第一波が第 1 号機放水口側から第 1 号機取水口の東側の敷地に遡上した際に発生したものと考えられる。

防潮堤前面及び屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）前面における最大流速は、いずれも第一波で生じており、それぞれ 4.86m/s 及び 2.81m/s である。また、その方向は、防潮堤に対して約 176°、屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）に対しては約 186° となっている（図 4.3-15 及び図 4.3-16）。

貯留堰については、海中に設置されていることを踏まえ、引き波により貯留堰が露出した後に来襲する津波の流速を対象とする。その際の最大流速は第二波の 1.81m/s であり、貯留堰に対して約 27°（貯留堰と平行方向を 0° とし、反時計回りの角度）となっている（図 4.3-17）。

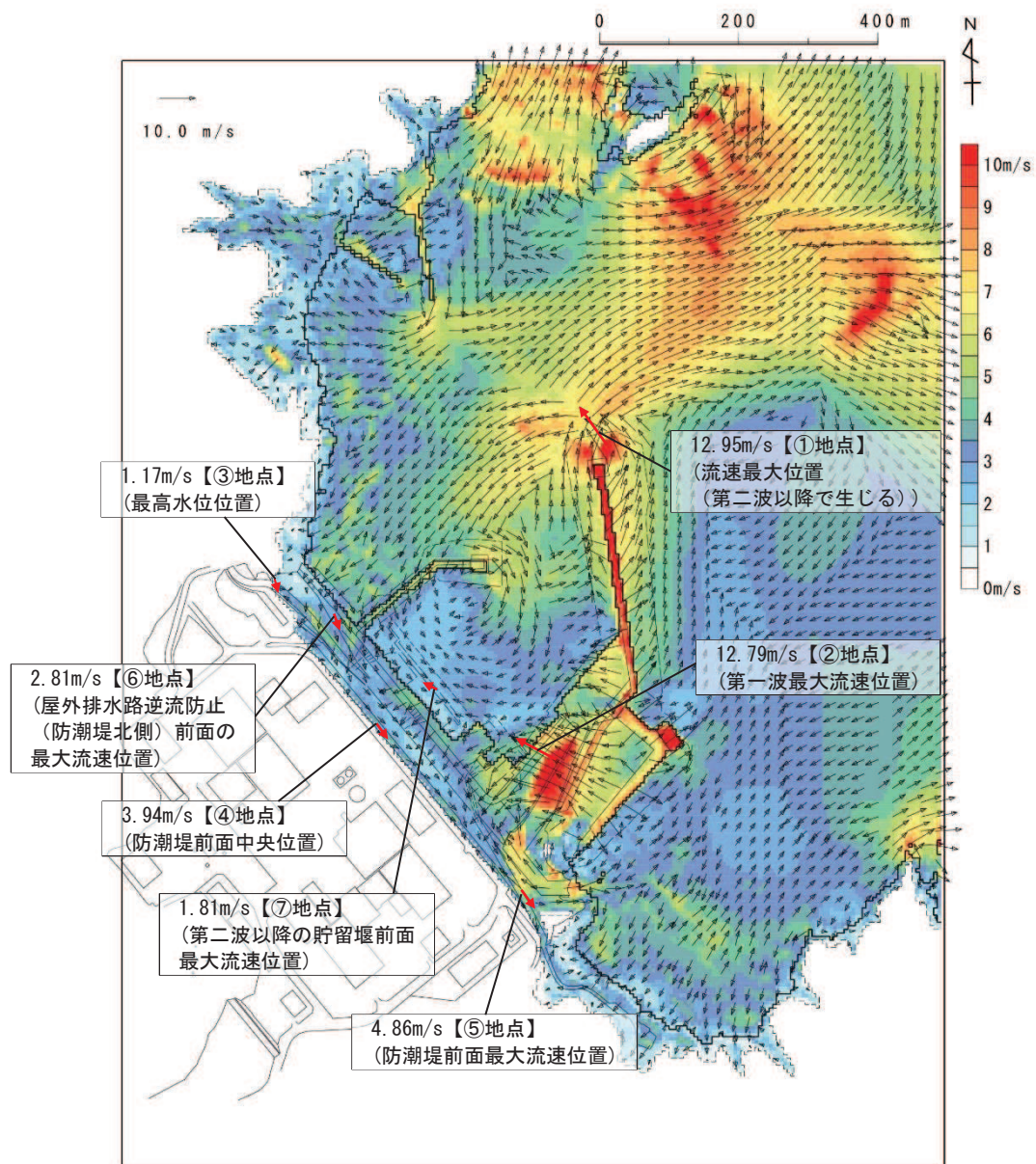


図 4.3-11(1) 基準津波における最大流速分布図
 (防波堤あり, 基準地震動 S_s による地盤沈下なし, 全時刻)

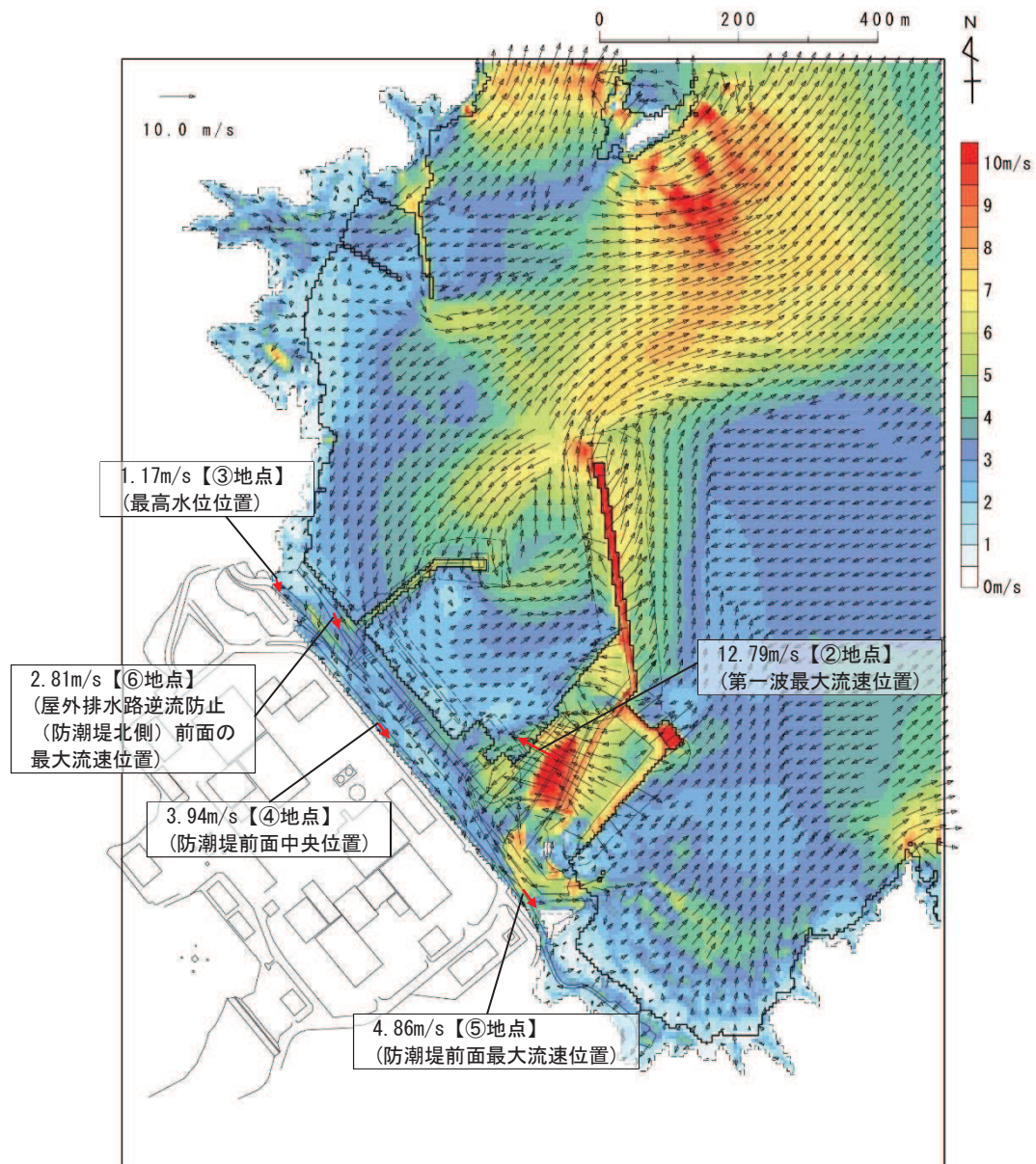


図 4.3-11(2) 基準津波における最大流速分布図
(防波堤あり，基準地震動 S_s による地盤沈下なし，地震発生から約 46 分後まで)

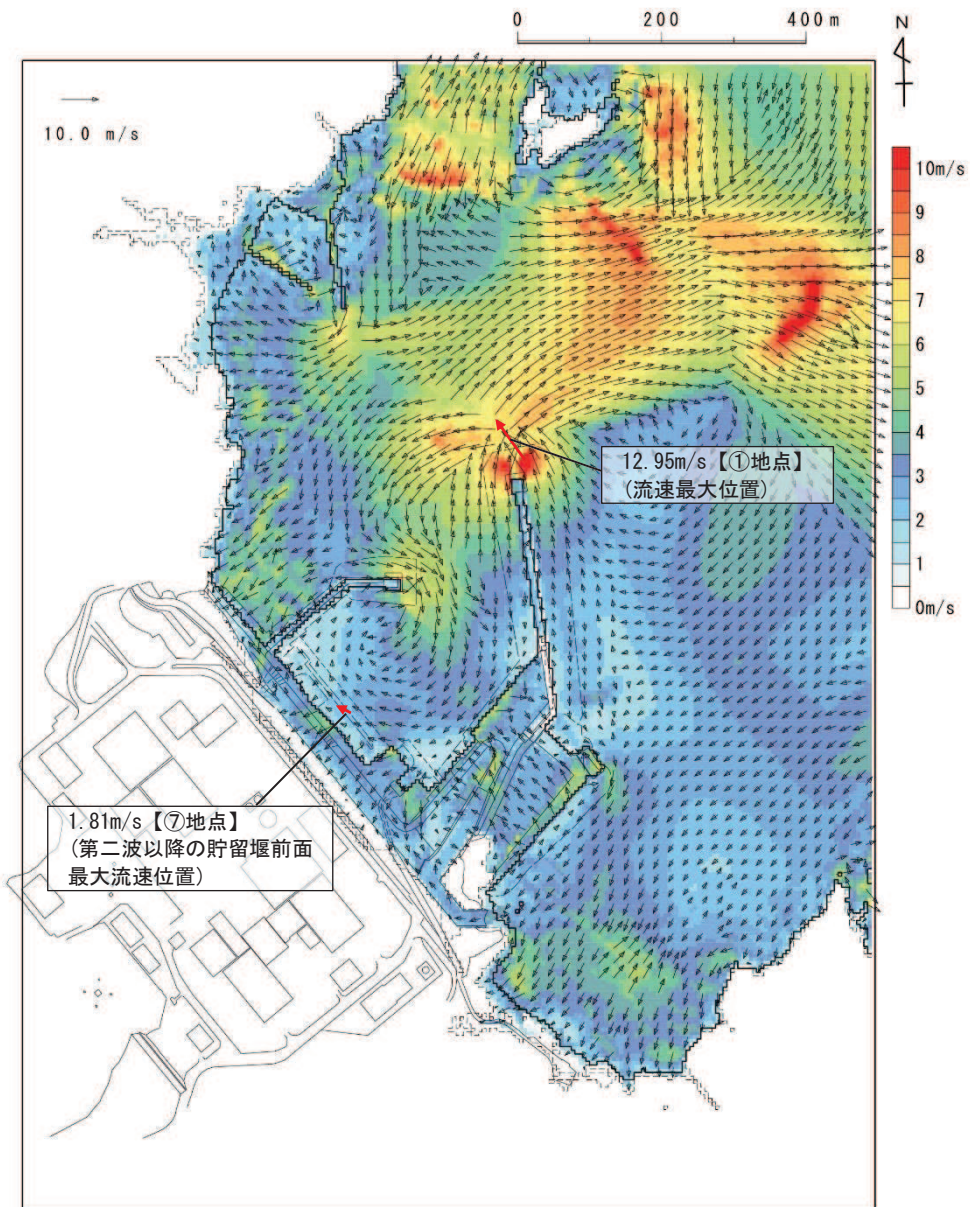


図 4.3-11 (3) 基準津波における最大流速分布図
(防波堤あり，基準地震動 S_s による地盤沈下なし，約 46 分以降)

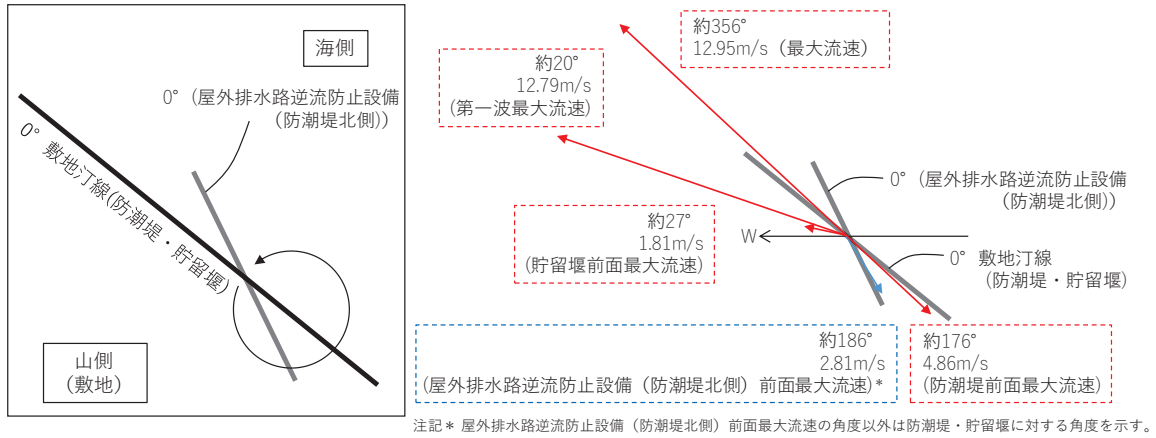


図 4.3-12 防潮堤・屋外排水路逆流防止設備 (防潮堤北側)・貯留堰に対する流向の角度

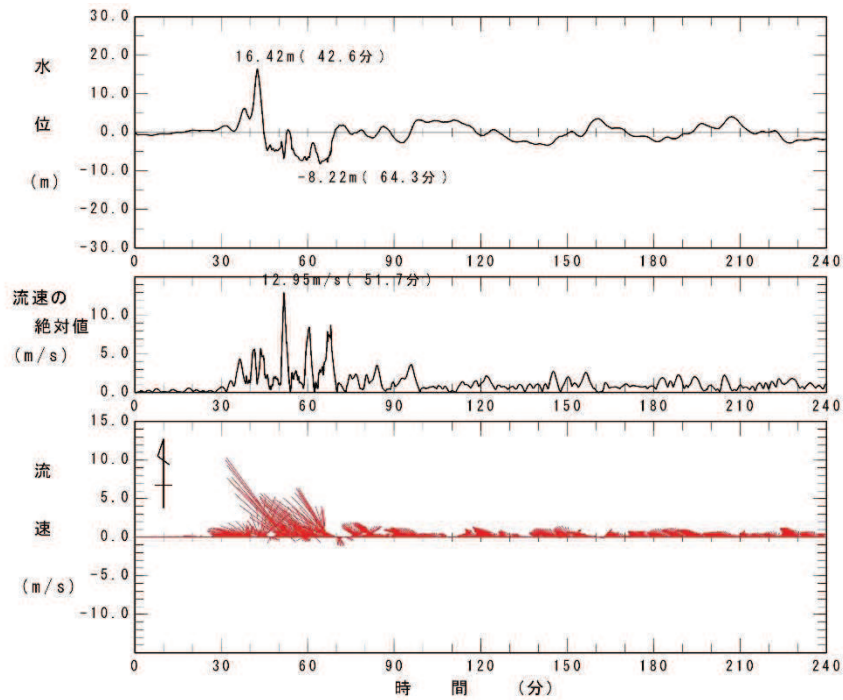


図 4.3-13 全時刻での最大流速位置の流速とベクトルの時刻歴データ
(①地点, 防波堤あり, 基準地震動 S_s による地盤沈下なし)

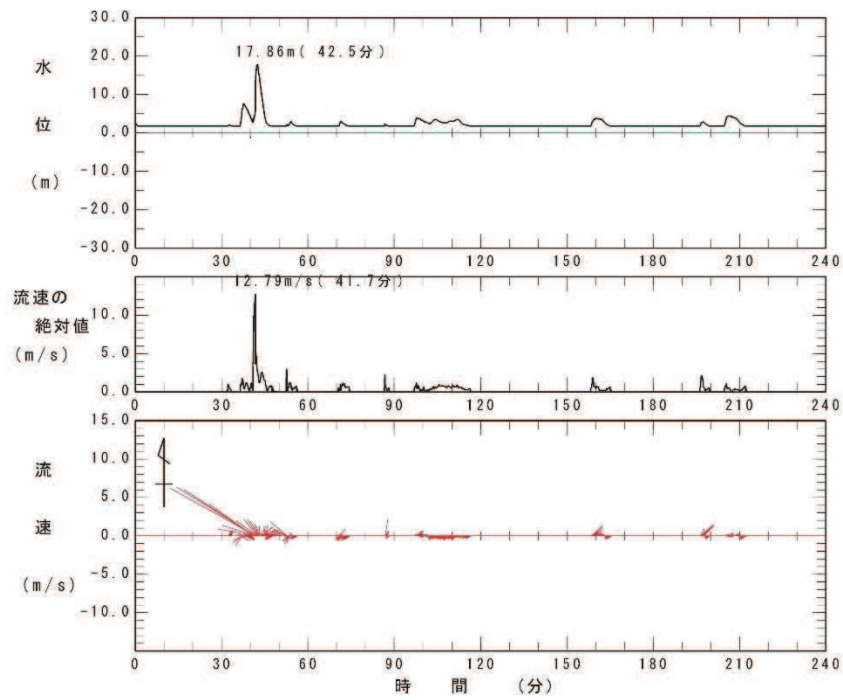


図 4.3-14 第一波での最大流速位置の流速とベクトルの時刻歴データ
 (②地点, 防波堤あり, 基準地震動 S_s による地盤沈下なし)

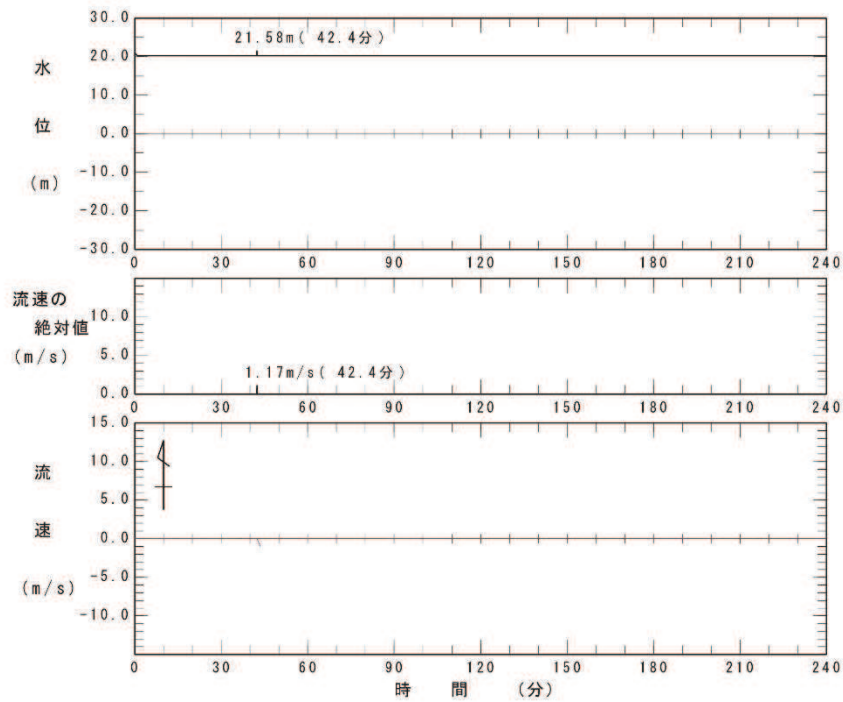


図 4.3-15(1) 防潮堤前面 (最高水位) 位置での流速とベクトルの時刻歴データ
 (③地点, 防波堤あり, 基準地震動 S_s による地盤沈下なし, 全時刻)

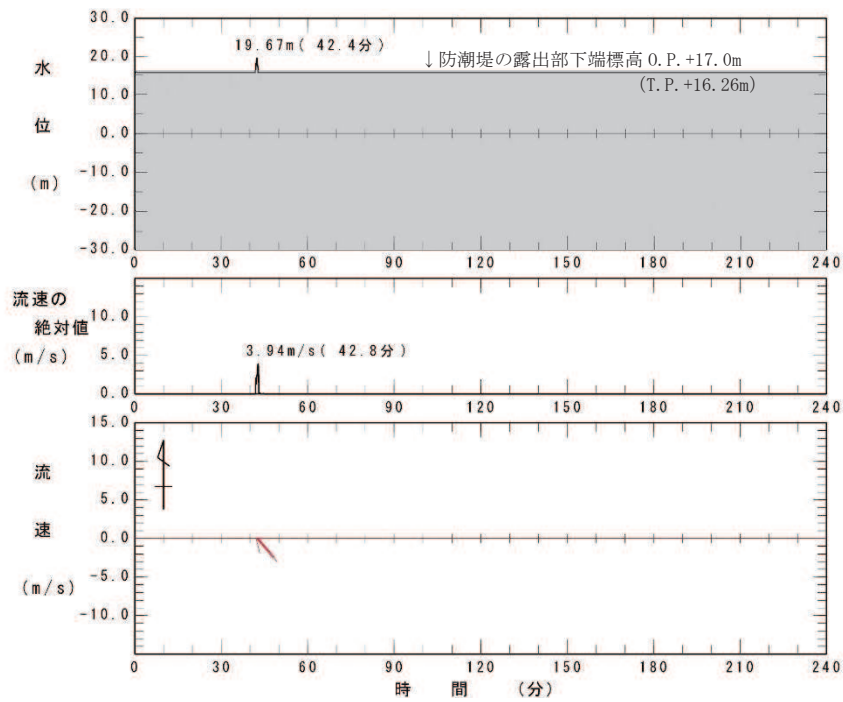


図 4.3-15(2) 防潮堤前面（中央位置）位置での流速とベクトルの時刻歴データ
 (④地点，防波堤あり，基準地震動S_sによる地盤沈下なし，全時刻)

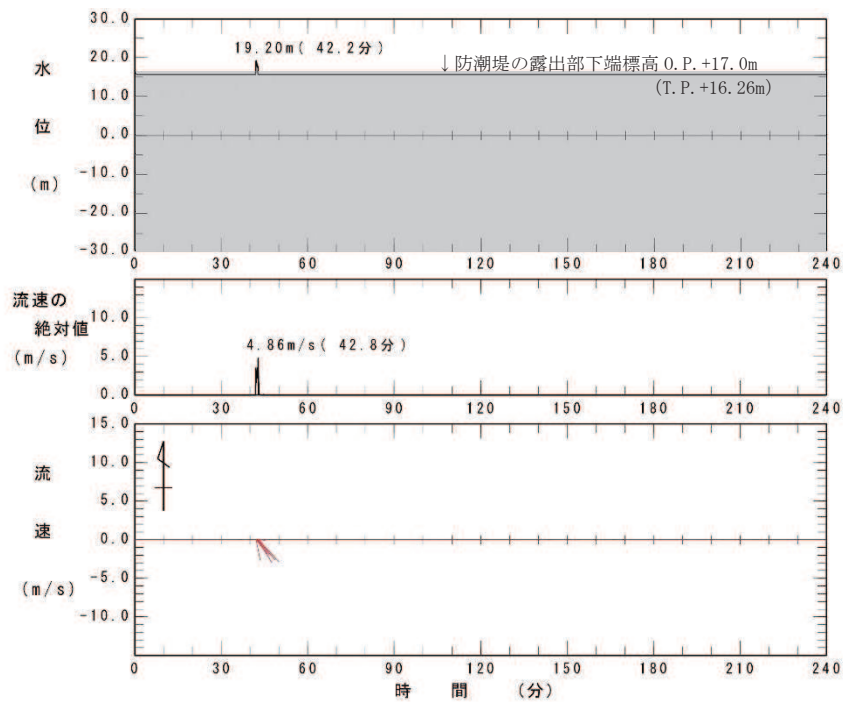


図 4.3-15(3) 防潮堤前面（最大流速）位置での流速とベクトルの時刻歴データ
 (⑤地点，防波堤あり，基準地震動S_sによる地盤沈下なし，全時刻)

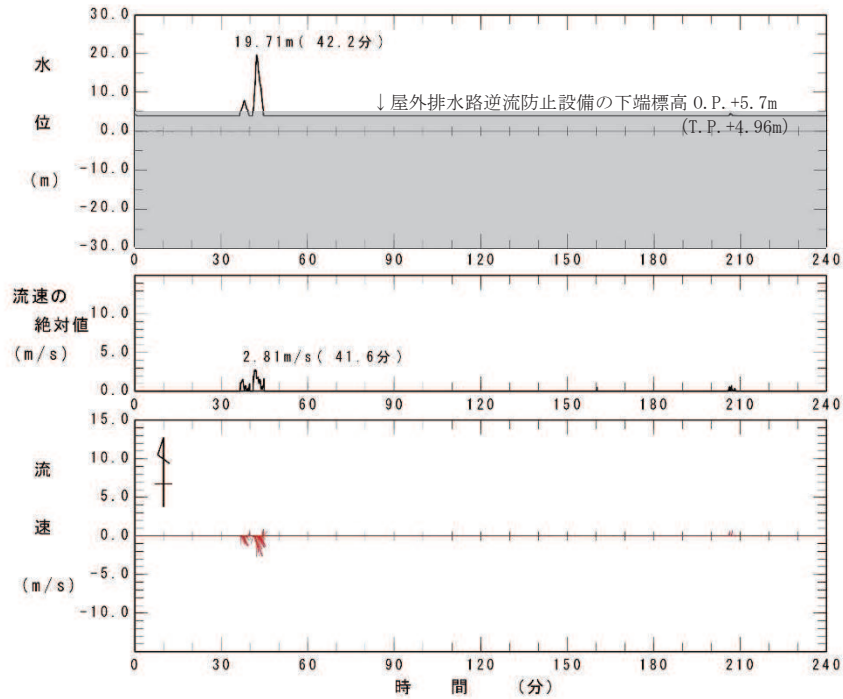


図 4.3-16 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）前面位置*での
流速とベクトルの時刻歴データ

(⑥地点，防波堤あり，基準地震動 S_s による地盤沈下なし，全時刻)

注記*：防潮堤（盛土堤防）の前面位置と同じ

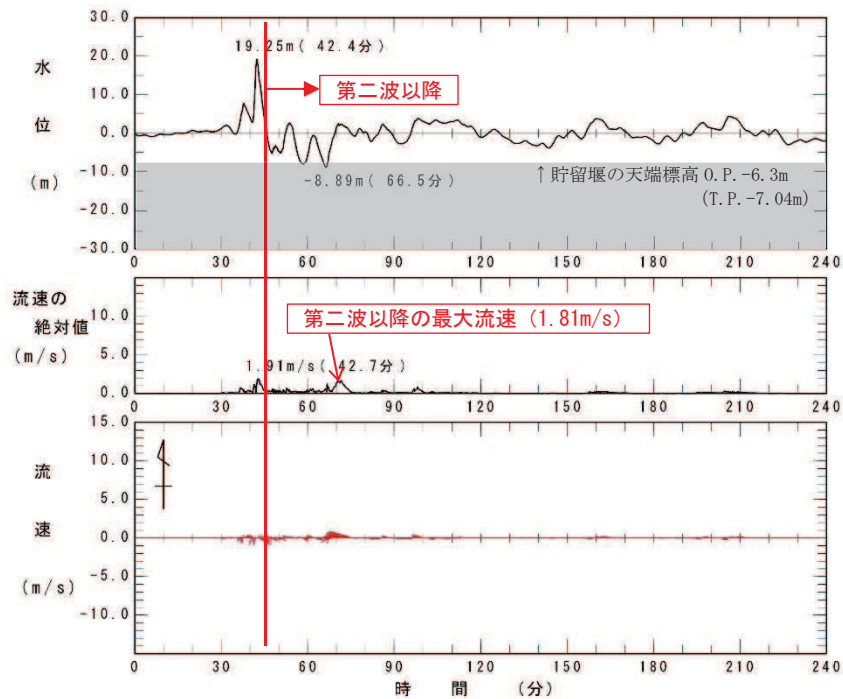


図 4.3-17 貯留堰前面位置での流速とベクトルの時刻歴データ

(⑦地点，防波堤あり，基準地震動 S_s による地盤沈下なし，全時刻)

4.3.3 衝突荷重として考慮する漂流物の選定

「4.2 取水口付近の漂流物に対する取水性」で取水口前面に到達する可能性があるとして評価した漂流物（表 4.3-2）の初期配置を整理した上で、衝突荷重として考慮する漂流物を選定した。

表4.3-2 取水口前面に到達する可能性があるとして評価した漂流物

| 調査範囲 | | 取水口へ到達する漂流物 | 重量等 | 取水口への到達形態 | |
|------|------------------|---------------------------------|--------------|-----------------------------------------|----|
| 敷地内 | 陸域 | 角落し | 約7t | 滑動 | |
| | | 第3号機モニタリング架台 | — | 滑動 | |
| | | 車両系重機・燃料等輸送車 | 2.7～41.2t | 滑動 | |
| | | PC板（カーテンウォール） | 約8t | 滑動 | |
| | | キュービクル類 | 約5t | 滑動 | |
| | | がれき | — | 浮遊 | |
| | 巡視点検用車両 | 2.15t | 浮遊 | | |
| | 海域 | ゴムボート | 1t未満 | 浮遊 | |
| 敷地外 | 小屋取地区 | 海域 | 小型漁船 | 総トン数：約5t* ¹ (排水トン数：約15t) | 浮遊 |
| | | | がれき | — | 浮遊 |
| | | 陸域 | がれき | — | 浮遊 |
| | | | 車両 | — | 浮遊 |
| | 小屋取地区以外 (女川等) | 海域 | がれき | — | 浮遊 |
| | | | 漁船 | 総トン数：約19t* ² (排水トン数：約57t) | 浮遊 |
| | | 陸域 | がれき | — | 浮遊 |
| | | | 車両 | — | 浮遊 |
| | | | コンテナ・ユニットハウス | 約30t | 浮遊 |
| | タンク | 22t以下* ³ (約200k1) | 浮遊 | | |

注記 *1：小屋取漁港の漁船は、隻数が18隻で、いずれもFRP製であり、総トン数は0.7～4.7tである。
 *2：小屋取地区以外の漁船は、約400隻であり、その9割以上が総トン数5t未満である。また、総トン数10～19tの漁船は5隻（塚浜：2隻、飯子浜：1隻、寺間：2隻）のみで、各漁港前面の区画漁業権範囲内で養殖を行っているか、女川湾よりも太平洋側で漁を行っている。
 *3：敷地外のタンクの重量は、発電所の軽油タンク（撤去済み：330k1）の重量が約22tであることを踏まえ、保守的にこれと同等として22tを考慮する。

① 漂流物の初期配置

漂流物による衝突荷重は、漂流物となるものが津波来襲時に配置されている場所（以下「初期配置」という。）が重要となるため、「4.2 取水口付近の漂流物に対する取水性」で取水口前面に到達する可能性があると評価した漂流物を対象に初期配置の区分を行った。

敷地内に初期配置されているものは、津波の第一波により漂流するため、衝突荷重への影響が大きいと判断し、「直近陸域」と設定した（図 4.3-18）。

「直近陸域」は図 4.3-18 に示すとおり防潮堤から約 500m の範囲内にあるため、屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）及び貯留堰も含めた 500m の海域内の漂流物も津波の第一波により漂流して衝突荷重に大きな影響を及ぼすと考え、この範囲内の海域を「直近海域」として設定した。また、「直近海域」よりも沖側を「前面海域」として設定した（図 4.3-19）。

なお、発電所周辺の流向・流速の観点から「直近海域」の特徴を確認した。図 4.3-20 に基準津波の第一波来襲時（地震発生から 40～43 分後）の流向・流速を、図 4.3-21 に地震発生から 46 分後までの発電所周辺の最大流速分布と「直近海域」の関係を示す。これらの図から、基準津波の第一波が来襲する数分間は発電所に一様に向かってくる状況となっており、地震発生から 46 分後までの発電所周辺の最大流速は概ね「直近海域」で生じていることから、「直近海域」からの漂流物の影響が大きくなることが考えられる。

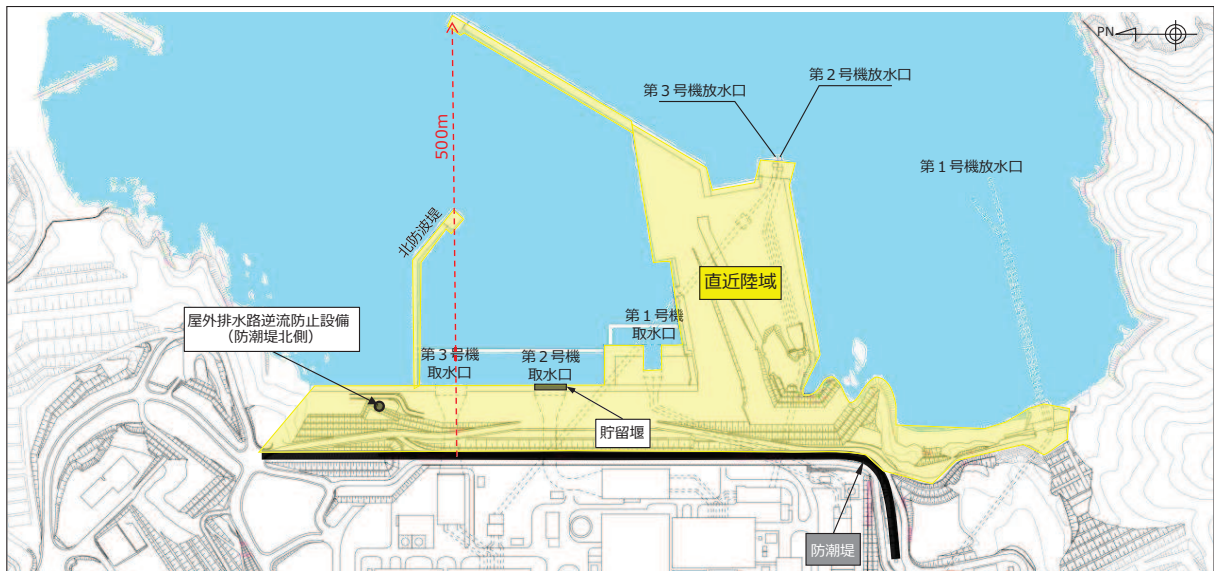


図 4.3-18 「直近陸域」の区分

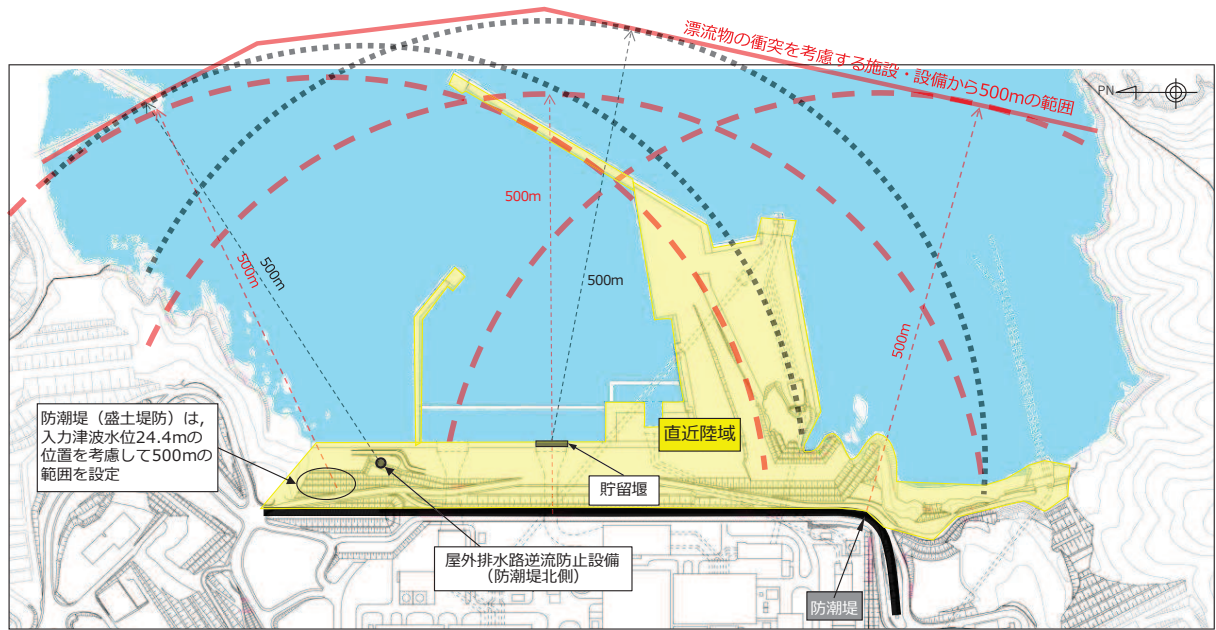


図 4.3-19(1) 「直近海域」の区分
 (防潮堤, 貯留堰及び屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側)から500mの隔離)

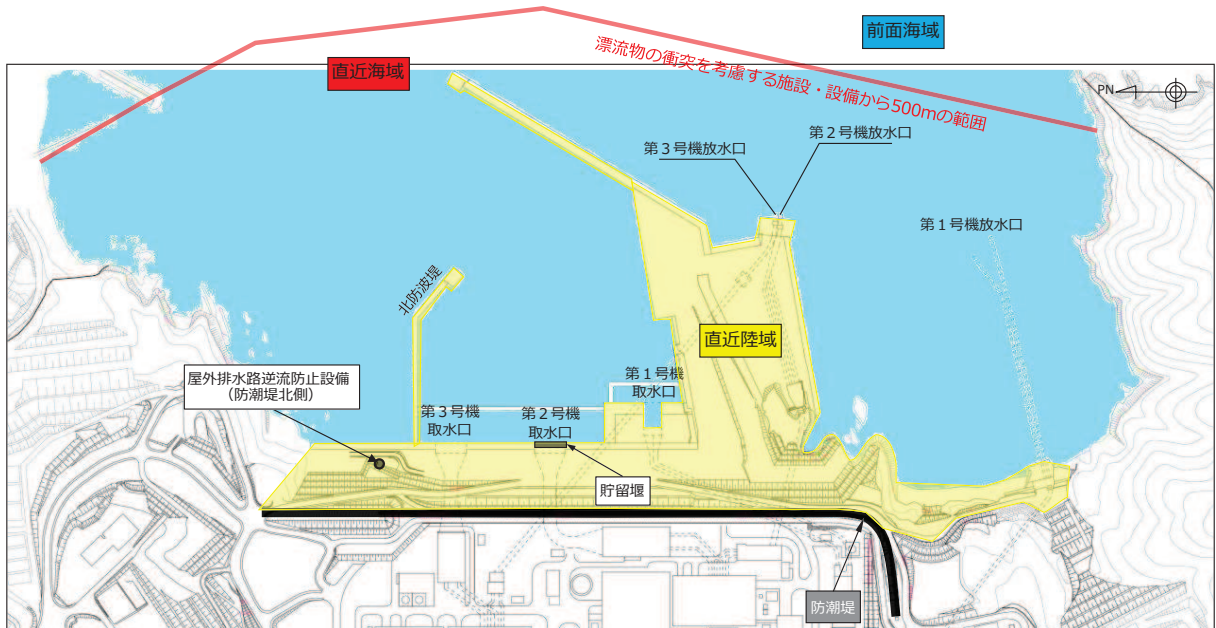


図 4.3-19(2) 「直近海域」の区分

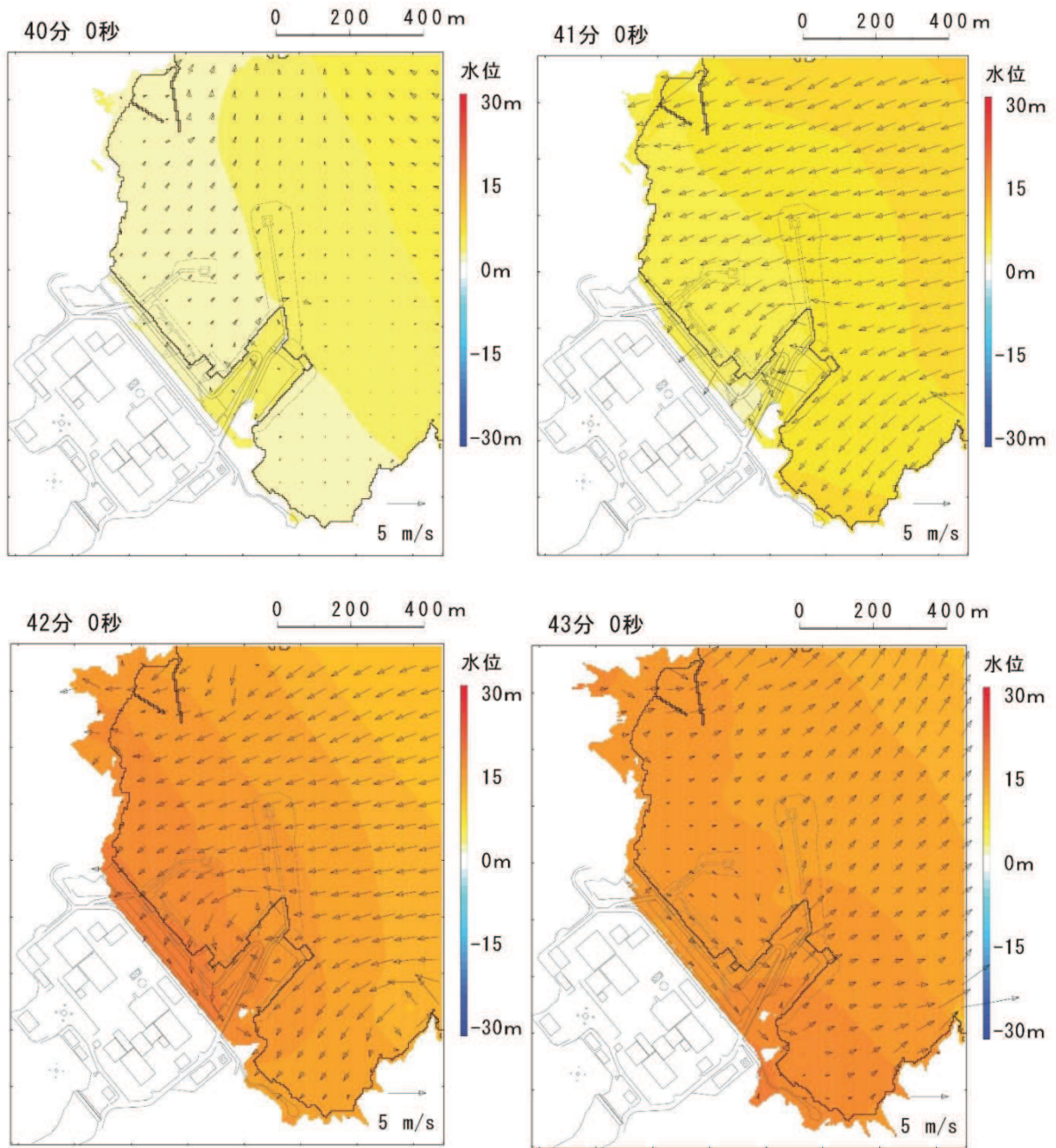


図 4.3-20 基準津波の第一波来襲時（地震発生から 40～43 分後）の流向・流速

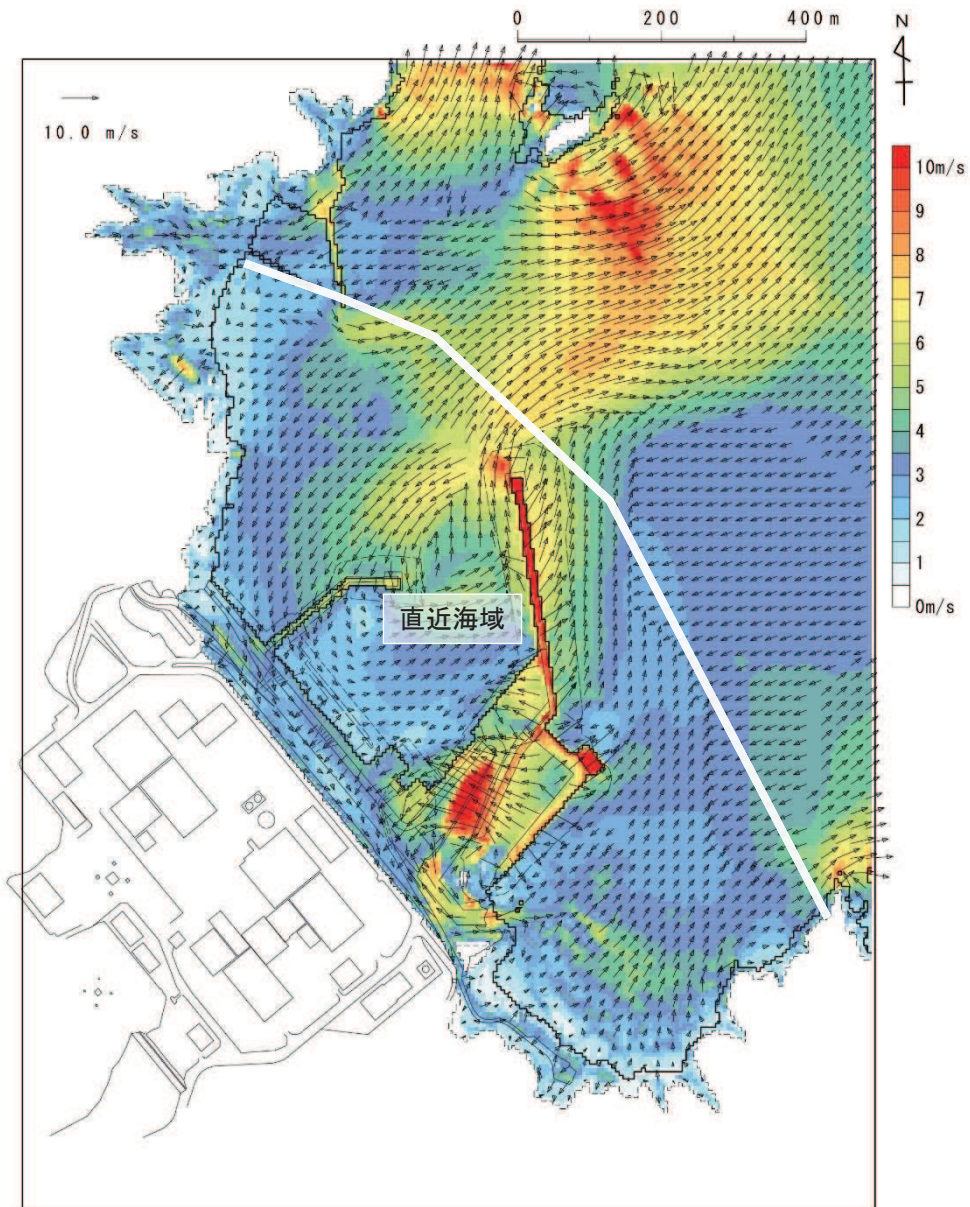


図 4.3-21 基準津波における最大流速分布図と「直近海域」の関係
(地震発生から約 46 分後まで)

a. 直近陸域

「直近陸域」は、図 4.3-18 に示す範囲であり、防潮堤よりも海側の敷地内であることから、「4.2 取水口付近の漂流物に対する取水性」で取水口前面に到達する可能性があるとして評価した漂流物のうち、敷地内として整理されているものが該当する。

b. 直近海域

防潮堤、屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）及び貯留堰からの離隔が 500m の範囲の海域が「直近海域」となるが、各地区（漁港含む）は該当しない。そのため、「直近海域」に該当する漂流物は、漁をしている漁船又は航行・退避中の漁船が考えられる。

また、図 4.3-22 に示すように、その大部分は漁業権消滅区域に設定されている。ただし、「直近海域」の北西部の一部（小屋取漁港の港口付近）において漁業権消滅区域ではない範囲がある（以下、「直近海域（北西部）」という。）。

このような状況を踏まえ、初期配置が「直近海域」となる漂流物について検討を行った。なお、発電所港湾に入出港する船舶については「4.2 取水口付近の漂流物に対する取水性」に示すとおり津波時に退避することから、発電所港湾に入出港する船舶以外の船舶を検討対象とした。

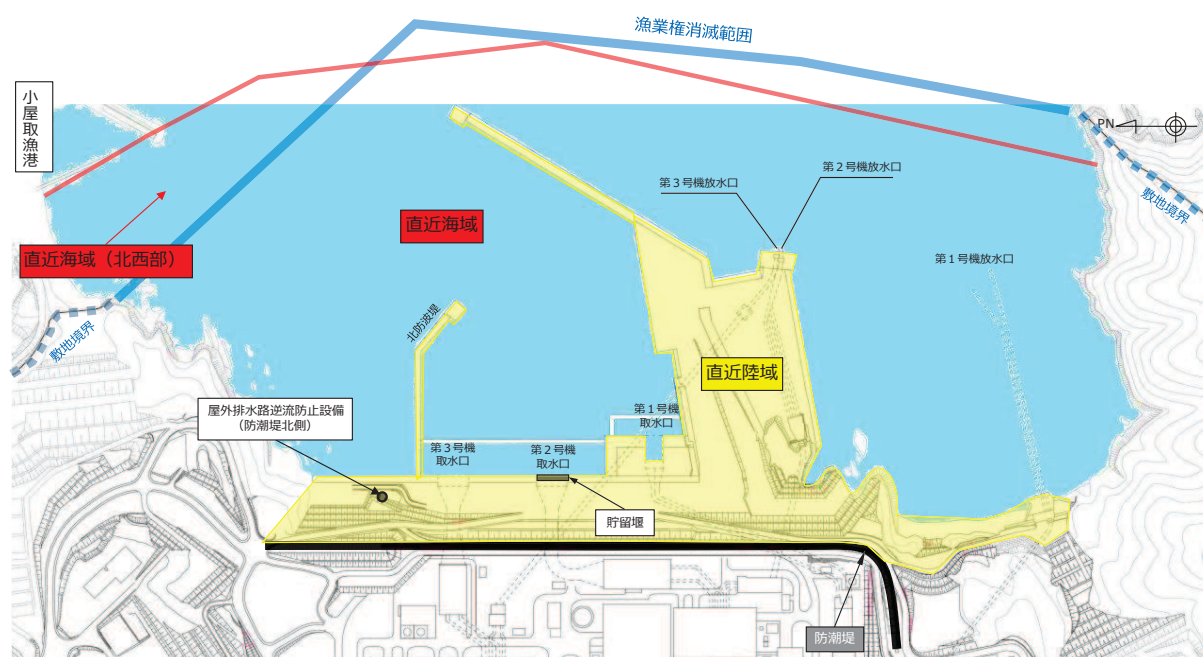


図 4.3-22 「直近海域」と漁業権消滅区域の関係

【漁を行っている漁船】

- ✓ 「直近海域」の大部分は漁業権消滅区域として設定されていることから、この範囲では漁が行われていない。
- ✓ 一方、「直近海域（北西部）」は漁業権があり、小屋取漁港の港口に位置していることから、小屋取漁港の小型漁船（FRP）が漁をしていることが想定される。ただし、図 4.3-23 に示すように、「直近海域（北西部）」近傍は発電所及び小屋取漁港の航路となっていることから、航行の安全面の観点で、小屋取漁港の小型漁船（FRP）以外が「直近海域（北西部）」で漁をしている可能性はない。

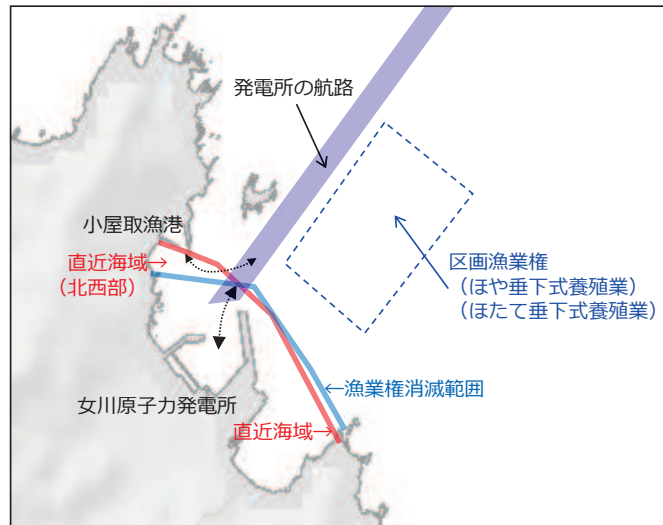


図 4.3-23 発電所前面の航路

【航行中の漁船】

- ✓ 「直近海域」は小屋取漁港の航路となっていることから、小屋取漁港の小型漁船 (FRP) は区画漁業権範囲内及び沖合へ移動する際に「直近海域」を航行することが想定される。
- ✓ 一方、発電所は小規模な湾の奥に立地していること、「直近海域 (北西部)」近傍は発電所及び小屋取漁港の航路となっていること及び発電所前には区画漁業権が設定されており、ほや、ほたて及びかき垂下式養殖による棚があることから、小屋取漁港以外の漁船が「直近海域」を航行することはない (図 4.3-24)。

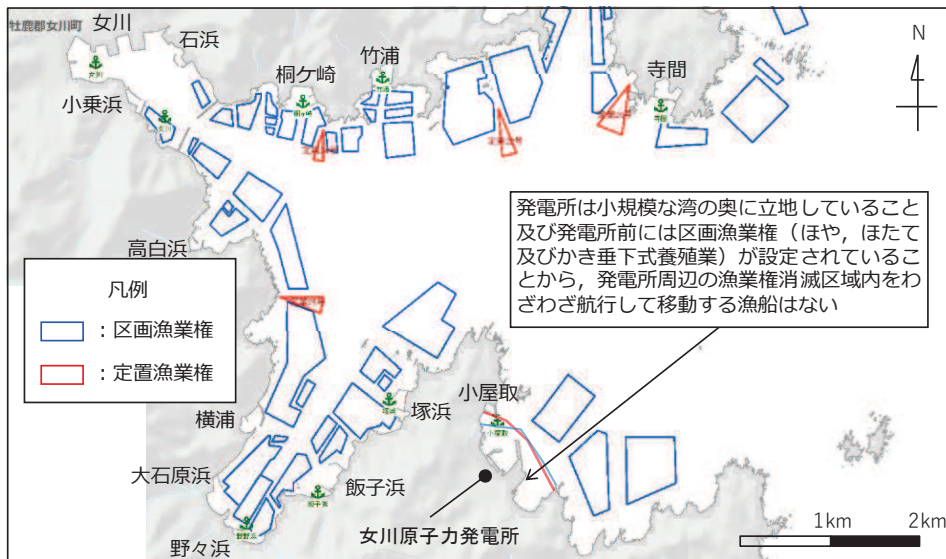


図 4.3-24 漁業権消滅区域を航行する可能性の検討

【退避中の漁船】

- ✓ 「直近海域」は小屋取漁港の港口であることから、津波来襲時に小屋取漁港で係留している漁船が沖へ退避する際に「直近海域」を航行する可能性がある（図 4.3-25）。
- ✓ また、「直近海域（北西部）」で漁を行っている漁船（小屋取漁港の小型漁船（FRP））についても沖へ退避する際に「直近海域」を航行する可能性がある（図 4.3-25）。
- ✓ 小屋取漁港以外の漁船については、発電所が小規模な湾の奥に立地していることから、津波来襲時に「直近海域」内を航行して退避することは時間的なロスとなるため、「直近海域」を航行せずに図 4.3-26 のとおり最短のルートで沖へ退避する。

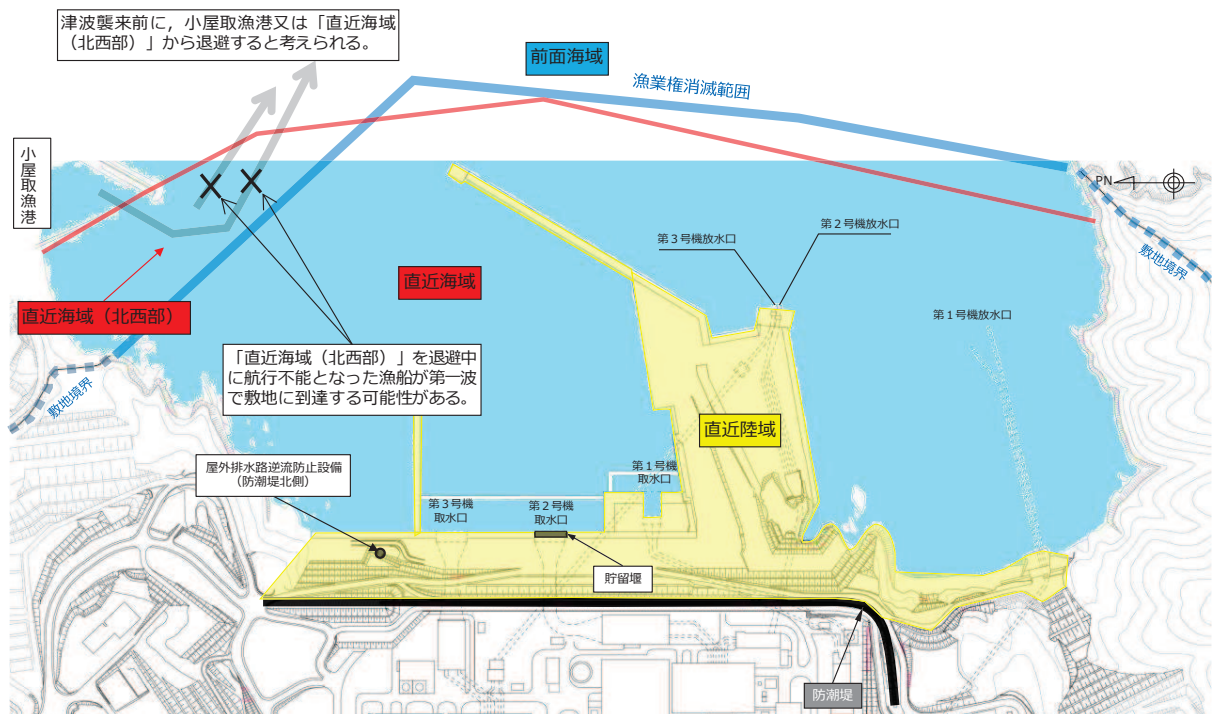


図 4.3-25 小屋取漁港及び「直近海域」から退避する場合の考え方

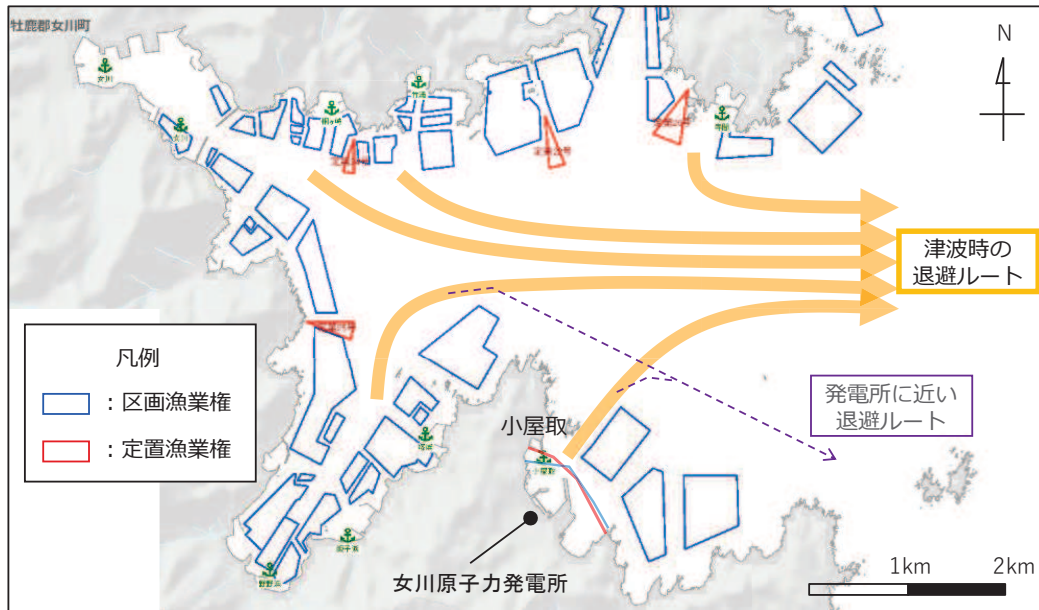


図 4.3-26 津波時における各漁港から沖へ向かう退避ルート

以上の検討から、「直近海域」には小屋取漁港の小型漁船（FRP）のみが整理されることから、これらの漁船が航行・退避中に航行不能となることを想定し、「直近海域」からの漂流物として選定する。

「直近海域（北西部）」又はそれよりも沖で漁を行っていた漁船が係留するために小屋取漁港に戻ることは漁船破損に繋がるため、沖に留まる可能性が高いが、仮に漁港に戻ることを想定したとしても、沖への退避中に航行不能となった場合と同様の評価であり、小屋取漁港の漁船が「直近海域」に該当する。

なお、「直近海域（北西部）」の流向・流速について、水粒子の動きを把握する方向として有効な軌跡解析を実施し、その特徴を確認した（詳細を参考2に示す）。

c. 前面海域

「4.3.2 ② 基準津波の特徴（水位、流向及び流速）の把握」から、女川湾を含む「前面海域」の特徴としては以下のことが挙げられる（図 4.3-27）。

- ✓ 津波は太平洋側から来襲して、女川湾内を東から西に向かって流れ、その後も東西方向の流れが繰り返す。
- ✓ 発電所は女川湾の湾口部に位置していることから、発電所に津波第一波が到達した時刻では発電所よりも西側には到達していない。
- ✓ 各地区（漁港含む）に津波第一波が到達した後は陸側の奥に津波が浸入している。

以上のような特徴から、小屋取地区の海域以外の漂流物に関しては、各地区の陸側奥へ漂流するか、女川湾を東西方向に漂流すると考えられ、津波第一波では発電所に到達せず、第二波以降も到達して衝突する可能性は非常に低い。

ただし、2011年東北地方太平洋沖地震による津波の実績から時間をかけてゆっくりと発電所に到達する漂流物もあったことから、念のため、これらの漂流物については「前面海域」からの漂流物として選定する。

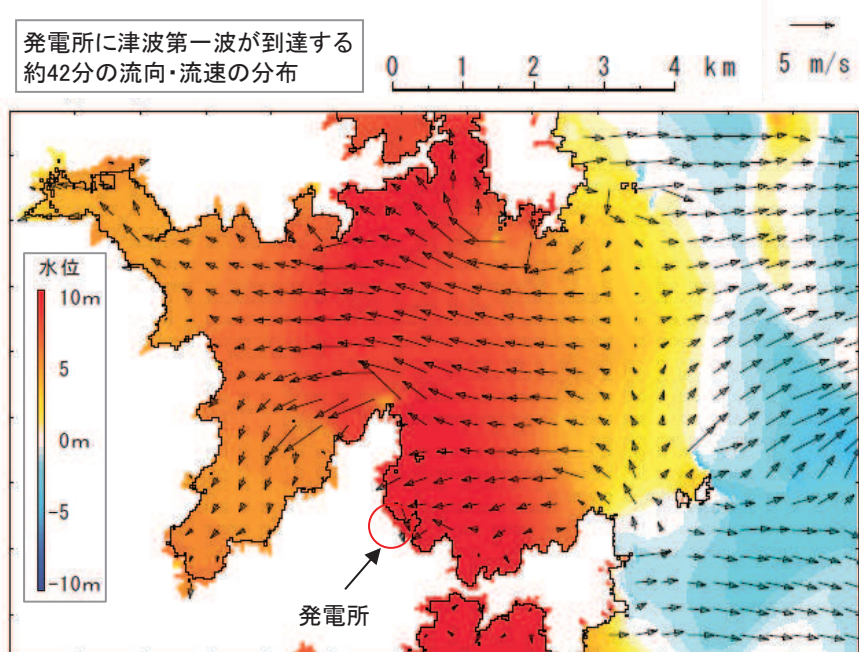


図 4.3-27 女川湾全体の流向・流速（地震発生後約 42 分）

衝突する可能性のある漂流物を「直近陸域」、「直近海域」及び「前面海域」に区分した上で、代表漂流物を選定した結果を表 4.3-3 に示す。

表4.3-3 衝突する可能性のある漂流物の初期配置及び代表漂流物

| 範囲 | | 漂流物 | 重量等 | 到達形態 | |
|-----|---------|---------------|--------------|------------------------|----|
| 敷地内 | 陸域 | 角落し | 約7t | 滑動 | |
| | | 第3号機モニタリング架台 | — *1 | 滑動 | |
| | | 車両系重機・燃料等輸送車 | 2.7~41.2t | 滑動 | |
| | | PC板(カーテンウォール) | 約8t | 滑動 | |
| | | キュービクル類 | 約5t | 滑動 | |
| | | がれき | — *2 | 浮遊 | |
| | | 巡視点検用車両 | 2.15t | 浮遊 | |
| | 海域 | ゴムボート | 1t未満 | 浮遊 | |
| 敷地外 | 小屋取地区 | 海域 | 小型漁船(FRP) | 総トン数5t (排水トン数:15t) | 浮遊 |
| | | 海域 | がれき | — *2 | 浮遊 |
| | 小屋取地区以外 | 陸域 | がれき | — *2 | 浮遊 |
| | | 陸域 | 車両 | — *3 | 浮遊 |
| | | 海域 | がれき | — *2 | 浮遊 |
| | | 海域 | 漁船(FRP) | 総トン数19t (排水トン数:57t) | 浮遊 |
| | | 陸域 | がれき | — *2 | 浮遊 |
| | | 陸域 | 車両 | — *3 | 浮遊 |
| | | 陸域 | コンテナ・ユニットハウス | 約30t | 浮遊 |
| | | 陸域 | タンク | 22t以下(約200kl) | 浮遊 |

「直近陸域」(滑動)からの漂流物に選定する。最も重量のある車両系重機(41.2t)を代表漂流物とする。

「直近陸域」(浮遊)からの漂流物に選定する。最も重量のある巡視点検用車両(2.15t)を代表漂流物とする。

「直近海域」からの漂流物に選定する。最も重量のある小型漁船(FRP, 排水トン数15t)を代表漂流物とする。

「前面海域」からの漂流物に選定する。最も重量のある漁船(FRP, 排水トン数57t)を代表漂流物とする。

注記 *1: 第3号機モニタリング架台はその形状から車両系重機の41.2tよりも軽いと評価。
 *2: がれきは、3.11地震に伴う津波で漂流したがれきを踏まえ、巡視点検用車両の2.15tよりも軽いと評価。
 *3: 敷地外の車両は、漁船の57tよりも軽いと評価。

② 衝突荷重として考慮する漂流物の選定

基準津波の特性，漂流形態（浮遊，滑動），漂流物の初期配置区分，衝突を考慮する施設の設置標高の観点から，防潮堤，屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）及び貯留堰に衝突する漂流物の選定を行った。選定フローを図 4.3-28 に示す。なお，防潮堤は構造の違いから防潮堤（鋼管式鉛直壁）と防潮堤（盛土堤防）に区分されることから，以降では2つに分けて評価を行うこととする。

Step1 として，「直近陸域」からの漂流物に整理されるものに関しては，いずれも津波第一波で到達すると考えられ，浮遊するものと滑動するものに区分される。このうち，浮遊するものに関しては，防潮堤（鋼管式鉛直壁），防潮堤（盛土堤防），屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）及び貯留堰に衝突する可能性があるとして整理した。一方，滑動するものに関しては，滑動するものが設置されていた標高よりも低い位置にある貯留堰に衝突する可能性があるとして整理した。なお，滑動するものが設置されていた標高よりも高い位置にある防潮堤（盛土堤防）及び屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）については，標高差に大きな差がないことから，念のため衝突する可能性があるとして整理した。滑動による漂流物が衝突する可能性のあるものの整理結果を表 4.3-4 に示す。

Step2 で「直近海域」からの漂流物として整理されたものに関しては，いずれも津波第一波で到達すると考えられ，防潮堤（鋼管式鉛直壁），防潮堤（盛土堤防），屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）及び貯留堰に衝突する可能性があるとして整理した。一方，Step2 で「前面海域」からの漂流物として整理されたものに関しては，図 4.3-20 及び図 4.3-21 の流向・流速の観点から，津波第一波で敷地に到達する可能性は低く，第二波以降で到達すると考えられる。そのため，設置高さを踏まえ，「前面海域」からの漂流物は貯留堰に衝突する可能性があるとして整理した。ただし，図 4.3-16 に示すとおり，第二波以降の津波水位と防潮堤（盛土堤防）及び屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の設置高さに大きな差がないことを踏まえ，防潮堤（盛土堤防）及び屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）については，念のため「前面海域」からの漂流物の衝突荷重が「直近海域」からの漂流物の衝突荷重よりも小さくなることを確認する。

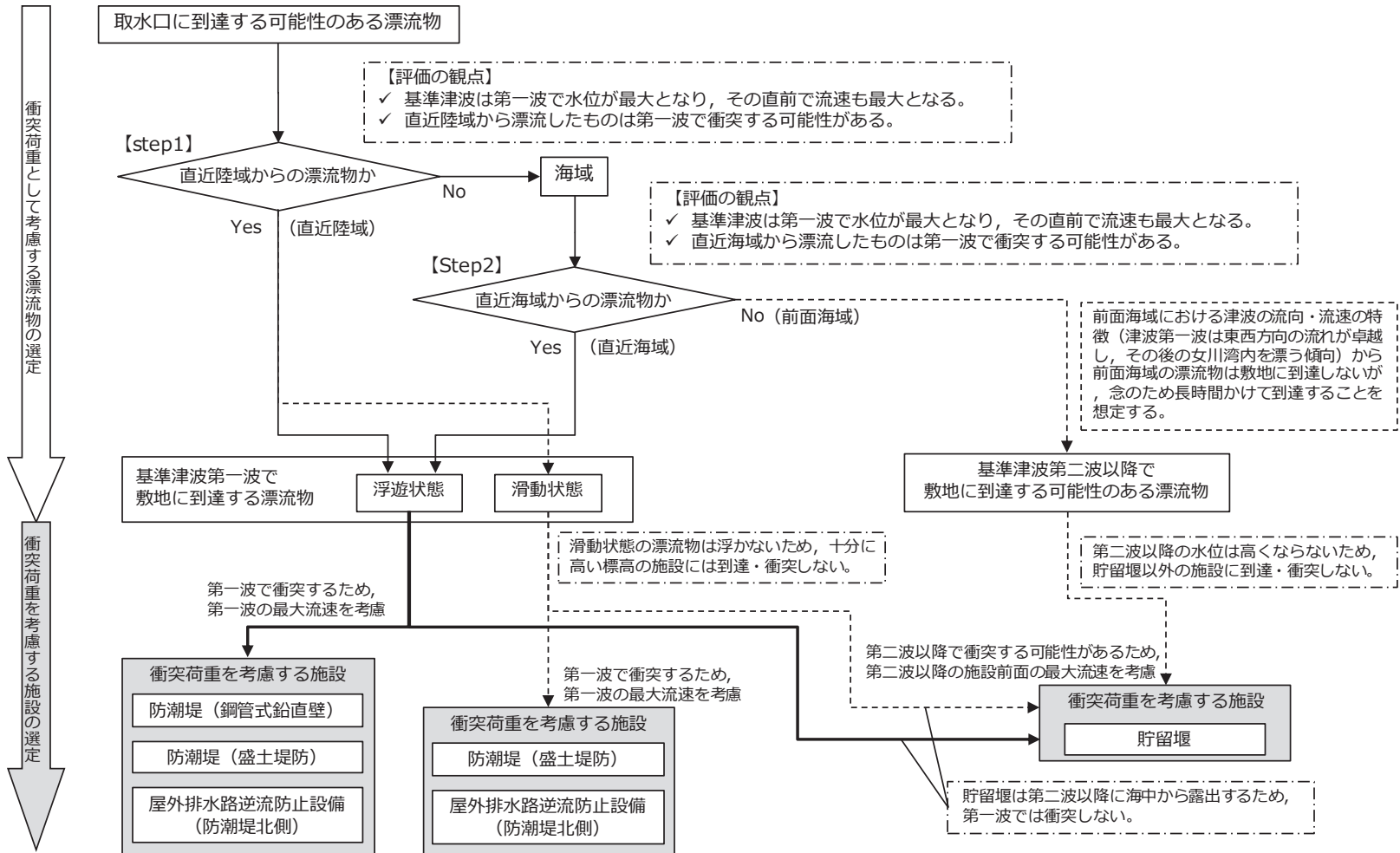


図 4.3-28 衝突荷重として考慮する漂流物の選定フロー

表4.3-4 衝突荷重として考慮する漂流物（Step1：直近陸域のうち滑動による漂流物）

| 調査範囲 | 取水口へ到達する漂流物 | 取水口への到達形態 | 設置標高 | 衝突荷重を考慮する施設・設備 | | | | |
|------|-------------|---------------|------|----------------------------------|-------------------------------|----------------------------------------|---------------------|-----|
| | | | | 防潮堤 (鋼管式鉛直壁) (O.P. +17.0m) | 防潮堤 (盛土堤防) (O.P. +5.0m) | 屋外排水路逆流防止設備 (防潮堤北側) (O.P. +5.7m) | 貯留堰 (O.P. -6.3m) | |
| 敷地内 | 陸域 | 角落し | 滑動 | 主にO.P. +2.5m ～O.P. +4.0m | ×*1 | ○*2 | ○*3 | ○*4 |
| | | 第3号機モニタリング架台 | 滑動 | | ×*1 | ○*2 | ○*3 | ○*4 |
| | | 車両系重機・燃料等輸送車 | 滑動 | | ×*1 | ○*2 | ○*3 | ○*4 |
| | | PC板（カーテンウォール） | 滑動 | | ×*1 | ○*2 | ○*3 | ○*4 |
| | | キュービクル類 | 滑動 | | ×*1 | ○*2 | ○*3 | ○*4 |

注記 *1：防潮堤（鋼管式鉛直壁）の露出部下端標高はO.P. +17.0mであり、滑動による漂流物の設置標高よりも十分に高い位置にあることから、衝突荷重を考慮する必要がないと判断。

*2：防潮堤（盛土堤防）の下端標高はO.P. +5.0mであり、滑動による漂流物の設置標高よりも高い位置にあるが、基準地震動S_sによる地盤沈下を考慮し、念のため、滑動による衝突荷重を考慮すると判断。

*3：屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の下端標高はO.P. +5.7mであり、滑動による漂流物の設置標高よりも高い位置にあるが、滑動する漂流物の寸法（高さを有すること）を踏まえ、念のため、滑動による衝突荷重を考慮すると判断。

*4：貯留堰の天端標高はO.P. -6.3mであり、滑動による漂流物の設置標高よりも低い位置にあることから、滑動による衝突荷重を考慮すると判断。

以上を踏まえ、衝突荷重として考慮する漂流物を表 4.3-5 に示す。また、各漂流物の重量の大小関係から、荷重算定に用いる代表漂流物を選定した結果を表 4.3-6 に示す。

防潮堤（鋼管式鉛直壁）、防潮堤（盛土堤防）及び屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）については、「直近陸域」の巡視点検用車両（2.15t）及び「直近海域」の小型漁船（総トン数 5t）を考慮する。また、貯留堰については、「直近陸域」の巡視点検用車両（2.15t）、「直近海域」の小型漁船（総トン数 5t）及び「前面海域」の漁船（総トン数 約 19t）を考慮する。なお、念のため、防潮堤（盛土堤防）及び屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）については、「前面海域」の漁船（総トン数 約 19t）による影響を確認することとする。滑動状態で衝突するものとしては、最大重量である「直近陸域」の車両系重機（41.2t）を防潮堤（盛土堤防）、屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）及び貯留堰に考慮する。

防潮堤（鋼管式鉛直壁）、防潮堤（盛土堤防）、屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）及び貯留堰の衝突荷重として考慮する巡視点検用車両（2.15t）については、2019年9月時点で発電所の入構許可証を発行している約 2600 台の車両から、最も重量のある巡視点検用の車両として選定したものであるため、今後これよりも重い巡視点検用の車両が入構してくる可能性は低いと考えられるが、念のため 2.15t を超える巡視点検用車両については入構しないよう保安規定に定めることとする。また、「直近海域」からの衝突を考慮する小型漁船（総トン数 5t）については、小屋取漁港にある 18 隻の漁船（総トン数 0.7～4.7t、いずれも FRP 製）のうち最大の漁船（総トン数 4.7t、FRP 製）を想定している。なお、今後鋼製漁船や現状よりも重い漁船に変更されることが考えられるが、FRP の特徴である軽量、耐久性、形状の自由度、防錆製及び通信電波の透過性の観点から FRP 漁船から変更される可能性は極めて低く、また小屋取漁港の漁船は、藻類漁業（のり、わかめ等）、小型定置漁業（いわし等）、雑魚せん漁業及びその他漁業（あわび、うに等）を営んでおり、これらの漁業形態から総トン数 5t を超える漁船に変更される可能性も低いと考える。

表4.3-5 衝突荷重として考慮する漂流物と衝突荷重として考慮する施設・設備

| 調査範囲 | | 衝突する可能性のある漂流物 | 重量等 | 取水口への到達形態 | 初期配置区分 | 漂流物が到達するタイミング | 衝突荷重を考慮する施設・設備 | |
|------|--------------|---------------|---------------------------|--------------------------|--------|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------|--------------------------------------------|
| 敷地内 | 陸域 | 角落し | 約7t | 滑動 | 直近陸域 | 第一波で到達 | 防潮堤（盛土堤防）*4 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）*4 貯留堰*4 | |
| | | 第3号機モニタリング架台 | —*1 | 滑動 | 直近陸域 | 第一波で到達 | | |
| | | 車両系重機・燃料等輸送車 | 2.7～41.2t | 滑動 | 直近陸域 | 第一波で到達 | | |
| | | PC板（カーテンウォール） | 約8t | 滑動 | 直近陸域 | 第一波で到達 | | |
| | | キュービクル類 | 約5t | 滑動 | 直近陸域 | 第一波で到達 | | |
| | | がれき | —*2 | 浮遊 | 直近陸域 | 第一波で到達 | | |
| | 巡視点検用車両 | 2.15t | 浮遊 | 直近陸域 | 第一波で到達 | 防潮堤（盛土堤防） 防潮堤（鋼管式鉛直壁） 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側） 貯留堰 | | |
| 海域 | ゴムボート | 1t未満 | 浮遊 | 直近海域 | 第一波で到達 | | | |
| 敷地外 | 小屋取地区 | 海域 | 小型漁船（FRP） | 総トン数：5t*6 （排水トン数：15t） | 浮遊 | 直近海域 | 第一波で到達 | 貯留堰 防潮堤（盛土堤防）*7 屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）*7 |
| | | 海域 | がれき | —*2 | 浮遊 | 前面海域 | 第二波以降で到達 | |
| | | 陸域 | がれき | —*2 | 浮遊 | 前面海域 | 第二波以降で到達 | |
| | 小屋取地区以外（女川等） | 海域 | 車両 | —*3 | 浮遊 | 前面海域 | 第二波以降で到達 | |
| | | | がれき | —*2 | 浮遊 | 前面海域 | 第二波以降で到達 | |
| | | 漁船（FRP） | 総トン数：約19t （排水トン数：約57t） | 浮遊 | 前面海域 | 第二波以降で到達 | | |
| | | 陸域 | がれき | —*2 | 浮遊 | 前面海域 | 第二波以降で到達 | |
| | | | 車両 | —*3 | 浮遊 | 前面海域 | 第二波以降で到達 | |
| | | | コンテナ・ユニットハウス | 約30t | 浮遊 | 前面海域 | 第二波以降で到達 | |
| | | | タンク | 22t以下*5 （約200k1） | 浮遊 | 前面海域 | 第二波以降で到達 | |

注記 *1：第3号機モニタリング架台はその形状から車両系重機の41.2tよりも軽いと評価。
 *2：がれきは、3.11地震に伴う津波で漂流したがれきを踏まえ、巡視点検用車両の2.15tよりも軽いと評価。
 *3：敷地外の車両は、漁船の57tよりも軽いと評価。
 *4：滑動状態で衝突することを踏まえ、0.P.+17.0m以上に設置される防潮堤（鋼管式鉛直壁）は対象外とする。
 *5：敷地外のタンクの重量は、発電所の軽油タンク（撤去済み：330k1）の重量が約22tであることを踏まえ、保守的にこれと同等として22tを考慮。
 *6：小屋取漁港の小型船舶は最大で総トン数4.7tであるが、保守的に総トン数5tとして評価する。
 *7：防潮堤（盛土堤防）及び屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）は、念のため第二波以降で敷地に到達する漂流物の影響を確認する。

表4.3-6 荷重算定に用いる代表漂流物の選定結果

| 衝突する可能性のある漂流物 | 重量等 | 到達形態 | 初期配置区分 | 衝突荷重を考慮する施設・設備 | | | |
|---------------|----------------------------|------|--------|-----------------|---------------|----------------------------|-----|
| | | | | 防潮堤 (鋼管式鉛直壁) | 防潮堤 (盛土堤防) | 屋外排水路 逆流防止設備 (防潮堤北側) | 貯留堰 |
| 車両系重機 | 41.2t | 滑動 | 直近陸域 | —*2 | ○ | ○ | ○ |
| 巡視点検用車両 | 2.15t | 浮遊 | 直近陸域 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 小型漁船 (FRP) | 総トン数：5t (排水トン数：15t*1) | 浮遊 | 直近海域 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 漁船 (FRP) | 総トン数：約19t (排水トン数：57t*1) | 浮遊 | 前面海域 | —*3 | —*3 | —*3 | ○ |

注記 *1：以降，漁船の重量は排水トン数で示す

*2：滑動状態の漂流物は浮かないため，防潮堤（鋼管式鉛直壁）には衝突しない。

*3：第二波以降の水位は高くないため，貯留堰以外の施設に到達・衝突しない。

4.3.4 浮遊状態の漂流物による衝突荷重の算定方法

① 規格・基準類及び既往の研究論文の整理

規格・基準類及び既往の研究論文の漂流物による衝突荷重算定式を表 4.3-7 に示す。

表 4.3-7(1) 規格・基準類及び既往の研究論文の漂流物による衝突荷重算定式の整理

| No. | 出典 | 種類 | 概要及び算定式 | 算定式の適用性が確認された範囲（実験条件等） |
|-----|---------------------------------------------------------------------------|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ① | 松富ほか（1999） | 流木 | <p>津波による流木の漂流荷重を提案している。本式は円柱形状の流木が縦向きに衝突する場合の漂流荷重算定式である。</p> $F_m / (\gamma D^2 L) = 1.6 C_{MA} \{v_{A0} / (gD)^{0.5}\}^{1.2} (\sigma_y / \gamma L)^{0.4}$ <p>F_m：衝突力，γ：流木の単位体積重量，D：木材の直径， L：木材の長さ，g：重力加速度，C_{MA}：見かけの質量係数（水の緩衝機能も加味），v_{A0}：衝突速度，σ_y：木材の降伏応力</p> | <p>「実験に基づく推定式」</p> <ul style="list-style-type: none"> ・見かけの質量係数に関する水路実験（水路：高さ0.5m，幅0.3m，長さ11.0m），流木（丸太）の直径：4.8cm～12cm，流木の重量：305～8615gf ・衝突荷重に関する空中での実験 <p>水理模型実験及び空中衝突実験において，流木（植生林ではない丸太）を被衝突体の前面（2.5m以内）に設置した状態で衝突させている。女川のサイト条件を踏まえると，被衝突体の直近に衝突体があることを仮定する場合に適用性がある可能性がある。個別の流木（丸太）の種類等に応じて，実現象を再現するようなパラメータを適切に定める必要がある。</p> |
| ② | 池野・田中（2003） | 流木 | <p>円柱以外にも角柱，球の形状をした木材による漂流荷重を提案している。</p> $F_H / (gM) = S \cdot C_{MA} \cdot \{V_H / (g^{0.5} D^{0.25} L^{0.25})\}^{2.5}$ <p>F_H：衝突力，g：重力加速度，M：漂流物の質量， S：係数（=5.0），C_{MA}：付加質量係数，V_H：漂流物移動速度， D：漂流物の直径（角柱の場合は正方形断面辺長），L：漂流物の長さ</p> | <p>「実験に基づく推定式」（縮尺1/100の模型実験）</p> <p>漂流物の形状：円柱，角柱，球 漂流物重量：0.588N～29.792N</p> <p>受圧板を陸上構造物と想定し，衝突体を受圧板前面80cm（現地換算80m）離れた位置に設置した状態で衝突させた実験である。模型縮尺（1/100）を考慮した場合，現地換算で直径2.6～8mの仮定となり，女川のサイト条件を考慮すると適用性が無いものと判断する。</p> |
| ③ | 道路橋示方書（2002） | 流木等 | <p>橋（橋脚）に自動車，流木あるいは船舶等による漂流荷重を定めている。</p> $P = 0.1WU$ <p>P：衝突力，W：流送物の重量，U：表面流速</p> | <p>新規基準に基づく審査において適用された実績がある。</p> <p>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荷重を算定できることから，被衝突体の前面海域からの漂流物を想定する場合に適用性があると判断する。</p> |
| ④ | FEMA 2 nd （2012） （FEMA：FEDERAL EMERGENCY MANAGEMENT AGENCY） | 流木 コンテナ | $F_i = 1.3u_{max}\sqrt{km_d(1+c)}$ <p>F_i：衝突力，c：付加質量係数， u_{max}：漂流物を運ぶ流体の最大流速，m_d：漂流物の質量， k：漂流物の有効軸剛性</p> | <p>「運動方程式に基づく衝突力方程式」</p> <p>非減衰系の振動方程式に基づいており，衝突体及び被衝突体の両方とも完全弾性体で，かつ衝突時のエネルギー減衰が一切考慮されていない前提条件での算定式であることから，衝突時に塑性変形を伴う漂流物の荷重算定では，個別の漂流物に対して，実現象を再現するような軸剛性を適切に定める必要がある。</p> <p>漂流物が地表面を転がるような場合は，衝突流速を50%として良い可能性があるとの記載がある。</p> |
| ⑤ | 水谷ほか（2005） | コンテナ | <p>漂流するコンテナの漂流荷重を提案している。</p> $F_m = 2\rho_w\eta_m B_c V_x^2 + \left(\frac{WV_x}{gdt}\right), \quad V_x \cong C_x = 2\sqrt{g\eta_m}$ <p>F_m：衝突力，g：重力加速度，W：コンテナの重量， B_c：コンテナ幅，η_m：最大遡上水位，dt：衝突時間， ρ_w：水の密度，V_x：コンテナの漂流速度，C_x：津波の遡上流速</p> | <p>「実験に基づく推定式」（縮尺1/75の模型実験）</p> <p>使用コンテナ：長さを20ftと40ft，コンテナ重量：0.2N～1.3N程度， 遡上流速：1.0m/s以下，材質：アクリル</p> <p>被衝突体の直近のエプロン上にコンテナを設置して衝突力を求めた算定式である。衝突体と水塊が一体となって衝突し，衝突前の運動量が全て力積として作用するものとして考えた算定式であり，右辺の第1項は付加質量による荷重を表している。</p> |

表 4.3-7(2) 規格・基準類及び既往の研究論文の漂流物による衝突荷重算定式の整理

| No. | 出典 | 種類 | 概要及び算定式 | 算定式の適用性が確認された範囲 (実験条件等) |
|-----|----------------------|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ⑥ | 有川ほか (2007, 2010) | 流木 コンテナ | <p>鋼製構造物 (コンテナ等) による漂流荷重を提案している。</p> $F = \gamma_p \chi^{\frac{2}{5}} \left(\frac{5}{4} \tilde{m} \right)^{\frac{3}{5}} v^{\frac{6}{5}}, \chi = \frac{4\sqrt{a}}{3\pi} \frac{1}{k_1 + k_2}, k = \frac{(1 - \nu^2)}{\pi E}, \tilde{m} = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2}$ <p>F : 衝突力 a : 衝突面半径の 1/2 (ここではコンテナ衝突面の縦横長さの平均の 1/4) , E : ヤング係数, ν : ポアソン比, m : 質量, v : 衝突速度, k : 衝突体の剛性, γ_p : 塑性によるエネルギー減衰効果, 添字 1, 2 は衝突体と被衝突体を表す。</p> | <p>「実験に基づく推定式」 (縮尺1/5 の模型実験) 使用コンテナ : 長さ1.21m, 高さ0.52m, 幅0.49m 衝突速度 : 1.0~2.5m/s 程度, 材質 : 鋼製 水理模型実験では, コンテナを被衝突体の前面1.21m (現地換算 6.05m) に設置して衝突力を求めた算定式である。 衝突体の剛性k_1 と被衝突体の剛性k_2 の両方がパラメータとして含ま れている算定式であり, 個別の漂流物に対して, 実現象を再現するよ うな剛性に係るk 値を適切に定める必要があるが, 対象としている種 類以外への適用性があるk 値に係るk_1及びk_2 の値, すなわち実験デー タを再現するよう同定された当該式の妥当なk_1及びk_2の値が不明であ るため, 現状では当該式は対象としている種類以外への適用は難しい と考える。</p> |

② 漂流物による衝突荷重算定式の適用について

「①規格・基準類及び既往の研究論文の整理」で示した論文に対して、「4.3.3 衝突荷重として考慮する漂流物の選定」において区分した、漂流物の初期配置（「直近陸域」、「直近海域」及び「前面海域」）及び適用流速の観点も加えた結果を表 4.3-8 に示す。

表 4. 3-8 規格・基準類及び既往の研究論文の漂流物による衝突荷重算定式の整理結果

| No. | 出典 | 種類 | 漂流物の初期配置 | 適用流速 | 適用性 |
|-----|-----------------------------------------------------------------------------|------------|--------------|---------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ① | 松富ほか (1999) | 流木 | 直近陸域 直近海域 | 衝突速度 | 個別の流木 (丸太) の種類等に応じて、実現象を再現するようなパラメータを適切に定める必要があるという課題はあるものの、「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。 なお、衝突荷重として考慮する漂流物に流木は選定していない。 |
| ② | 池野・田中 (2003) | 流木 | 直近陸域 | 漂流物の移動速度 | 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。 なお、衝突荷重として考慮する漂流物に流木は選定していない。 |
| ③ | 道路橋示方書 (2002) | 流木等 | 前面海域 | 表面流速 (津波流速) | 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荷重を算定できるため、「前面海域」からの漂流物に対して適用可能と判断する。 |
| ④ | FEMA 2 nd (2012) (FEMA : FEDERAL EMERGENCY MANAGEMENT AGENCY) | 流木 コンテナ | 直近陸域 | 漂流物を運ぶ流体の最大流速 | 個別の漂流物に対して、実現象を再現するような軸剛性を適切に定める必要があるという課題はあるものの、「直近陸域」又は「直近海域」からの漂流物に対して適用可能と判断する。 |
| ⑤ | 水谷ほか (2005) | コンテナ | 直近陸域 | 津波の遡上流速 | エプロン上にコンテナを設置して衝突力を求めるという特殊な実験により得られた式であることに留意する必要があるものの、「直近陸域」からのコンテナに対して適用可能と判断する。 |
| ⑥ | 有川ほか (2007, 2010) | 流木 コンテナ | 直近陸域 直近海域 | 衝突速度 | 剛性に係るk値を適切に定める必要があるが、対象としている種類以外への適用性があるk値に係る k_1 及び k_2 の値、すなわち実験データを再現するよう同定された当該式の妥当な k_1 及び k_2 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) 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」からの流木に対して適用可能と判断する。 なお、衝突荷重として考慮する漂流物に流木は選定していない。 |

また、「4.3.3 衝突荷重として考慮する漂流物の選定」及び表 4.3-8 から、漂流物による衝突荷重算定式の適用について以下のとおり評価した。

a. 巡視点検用車両（以下「車両」という。）

規格・基準類及び既往の研究論文の漂流物による衝突荷重算定式において、車両を対象とした算定式としては、「FEMA (2012) *¹」が新規基準に基づく審査において適用された実績がある。これ以外のものとして、対象種別がコンテナとされている算定式（水谷ほか、有川ほか、道路橋示方書）の車両への適用についても検討した。

「水谷ほか (2005)」の式は、入力パラメータの車両に対する実験での検証がされていないため、車両への適用は難しいと考える。よって、車両の衝突荷重の算定の対象外とする。

「有川ほか (2007, 2010)」の式では、入力パラメータとして、衝突面積、ヤング率、ポアソン比、塑性によるエネルギー減衰効果が必要になるが、車両の実験データを再現するよう同定された当該式の妥当なパラメータが不明であるため、現状では当該式は車両への適用は難しいと考える。よって、車両の衝突荷重の試算の対象外とする。

「道路橋示方書 (2002)」は、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荷重を算定でき、「前面海域」からの漂流物に対して適用可能と考えるが、評価対象の車両は「直近陸域」からの漂流物であるため、衝突荷重の試算の対象外とした。

以上から、車両については「FEMA (2012) *¹」を適用することとする。

b. 漁船（以下「船舶」という。）

基準津波の第一波で衝突する船舶（総トン数 5t, FRP 製）については、軸剛性を適切に設定した上で、上記車両と同様に「FEMA (2012) *¹」を適用することとする。なお、「FEMA (2012) *¹」以外の算定式として「水谷ほか (2005)」及び「有川ほか (2007, 2010)」があるが、上記車両と同様に船舶への適用は難しいと考え、対象外とした。

また、基準津波の第二波以降で衝突する船舶（総トン数 19t）については、新規基準に基づく審査において、船舶に適用された実績がある「道路橋示方書 (2002)」を適用することとする。「道路橋示方書 (2002)」は、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荷重を算定できることから、被衝突体の前面海域からの漂流物を想定する場合に適用性があると判断し、前面海域からの船舶の衝突による荷重算定に適用する。なお、評価対象である貯留堰の前面における最大流速が約 1.9m/s（図 4.3-17）であるのに対して、全時刻の発電所港湾を含めた敷地前面域から全ての方向の流速ベクトルを含めた中での最大流速の数値を切り上げた 13.0 m/s（1.9m/s の約 6.8 倍）を用いることで保守的な評価となるようにする。

4.3.5 滑動状態の漂流物による衝突荷重の算定方法

海底又は陸上を滑動するものの衝突荷重算定式に関する知見は比較的少ないが、「FEMA (2019) *2」によれば、漂流物の衝突に関して「ASCE (2016) *3」に従うよう記載されており、「ASCE (2016) *3」の中で、流速 4m/s の条件下で 2270kg の石材・コンクリート殻が海底を滑動する際の衝突荷重が例示されている。

この例示を参考に、滑動状態で衝突を考慮するもののうち、最も重量の大きい車両系重機 (41.2t) を対象に荷重を算定する (詳細を参考 3 に示す)。

なお、取水口付近の敷地陸域 (O.P.+2.5m) を滑動する漂流物が引き波により海側に滑動した場合、図 4.3-29 のように発電所港湾内に落下することが考えられるが、貯留堰は取水口の内側に設置されていることから、落下によって貯留堰に衝突することはない。

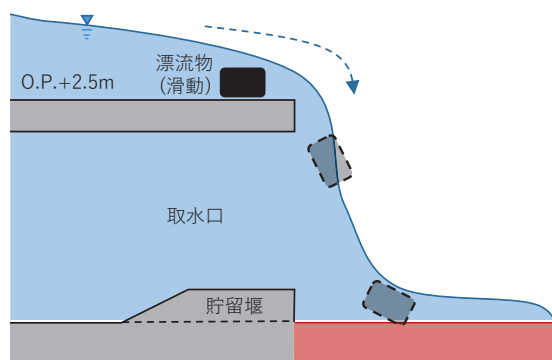


図 4.3-29 取水口付近の敷地陸域から滑動して発電所港湾内に落下する概念図

4.3.6 漂流物による衝突荷重の算定における設計上の配慮について

漂流物による衝突荷重の算定においては、各パラメータについて、以下の項目を考慮して設定する。

① 漂流物による衝突荷重算定用の流向

漂流物による衝突荷重は、漂流物が被衝突物に対して法線方向に作用する際に最大となると考えられる。「4.3.2 基準津波の特徴（水位、流向及び流速）の把握」で示したとおり、被衝突物である防潮堤、屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）及び貯留堰前面での最大流速は法線方向と一致していない。そのため、設計上の配慮として、漂流物は被衝突物に対して法線方向から衝突させる。

なお、後述の「4.3.7 ② e. 船舶の衝突形態の整理」において、津波により漂流した船舶の衝突形態は複雑な挙動となること、防潮堤（鋼管式鉛直壁）については漂流物が斜めから衝突することでねじれの影響があると考えられることを踏まえ、「6.1.2 防潮堤（鋼管式鉛直壁）の強度計算書に関する補足説明」においてその影響を確認することとする。

② 漂流物による衝突荷重算定用の流速

衝突する速度が大きくなれば衝突荷重としても大きくなる。また、基準津波は第一波の水位及び流速が支配的であるため、第一波で衝突する場合と第二波以降で衝突する場合に分けて以下の設計上の配慮を行う。

第一波で衝突する可能性のある漂流物の流速については、発電所港湾を含めた敷地前面域から全ての方向の流速ベクトルを含めた中での最大流速（12.79m/s）の数値を切り上げ、13.0m/sとする。なお、「4.3.2 基準津波の特徴（水位、流向及び流速）の把握」で示したとおり、第一波で漂流物の衝突を考慮する防潮堤及び屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）前面での最大流速は、約 4.9m/s 及び約 2.9m/s であり、13.0m/s は、その約 2.6 倍及び約 4.4 倍に相当する値である。

また、第二波以降の漂流物が衝突する際の流速については、寄せ波と引き波を繰り返していることから、被衝突物である貯留堰直前の最大流速（1.81m/s）の数値を切り上げ、2.0m/s とする。ただし、貯留堰については、第二波以降に海中から露出するため、2.0m/s の流速を適用することとなるが、直近陸域及び直近海域からの漂流物は、第一波で敷地に到達していることを踏まえ、これらの漂流物に対しては 13.0m/s を適用することとする。なお、「4.3.2 基準津波の特徴（水位、流向及び流速）の把握」で示したとおり、第二波以降で漂流物の衝突を考慮する貯留堰前面での最大流速は、約 1.9m/s であり、2.0m/s は約 1.05 倍、13.0m/s は約 6.8 倍に相当する値である。

③ 漂流物による衝突荷重と津波荷重との重畳

漂流物による衝突荷重と津波荷重の組合せについて、実際に施設に作用する荷重としては、津波による最大荷重と漂流物による最大荷重が同時に作用する可能性は

小さく、「ASCE (2016) *3」においても漂流物衝突と津波荷重の重畳は考慮する必要がないとされているものの、設計上の配慮として津波による最大荷重（最大波高時における波力）と漂流物による最大荷重（最大流速時における漂流物による衝突荷重）を重畳させる。

4.3.7 漂流物による衝突荷重の算定

衝突荷重として考慮する漂流物による衝突荷重算定条件を表 4.3-9 に示す。

衝突荷重として考慮する浮遊状態の漂流物として選定した船舶及び車両について、規格・基準類及び既往の研究論文の衝突荷重算定式の女川原子力発電所での適用性を考慮した上で、「直近陸域」の車両（2.15t）と「直近海域」の船舶（総トン数 5t）は「FEMA（2012）^{*1}」，「前面海域」の船舶（総トン数 19t）は道路橋示方書式を適用して衝突荷重を算定した。漂流物の衝突荷重算定フローを図 4.3-30 に示す。

また、「直近陸域」の車両（2.15t）と「直近海域」の船舶（総トン数 5t）の衝突荷重算定時に用いる「FEMA（2012）^{*1}」では、付加質量係数及び有効軸剛性が必要となる。このうち、付加質量係数 C は車両及び船舶ともに保守的に最大値の $C = 1$ を適用する。一方、有効軸剛性については、以下のとおり車両と船舶を別々に設定した。

なお、滑動状態で衝突を考慮する車両系重機（41.2t）は、「ASCE（2016）^{*3}」の例示を参考に、衝突荷重を算定した（詳細を参考 3 に示す）。

表4.3-9 衝突荷重として考慮する漂流物による衝突荷重算定条件

| 衝突する可能性のある漂流物 | 重量等 | 到達形態 | 流速 (衝突速度) | 初期配置 区分 | 適用式 | 衝突荷重を考慮する施設・設備 | | | |
|---------------|----------------------------|------|--------------|------------|------------|-----------------|---------------|----------------------------|-----|
| | | | | | | 防潮堤 (鋼管式鉛直壁) | 防潮堤 (盛土堤防) | 屋外排水路 逆流防止設備 (防潮堤北側) | 貯留堰 |
| 車両系重機*1 | 41.2t | 滑動 | 13m/s | 直近陸域 | ASCE(2016) | —*2 | ○ | ○ | ○*3 |
| 巡視点検用車両 | 2.15t | 浮遊 | 13m/s | 直近陸域 | FEMA(2012) | ○ | ○ | ○ | ○*3 |
| 小型漁船 (FRP) | 総トン数：5t (排水トン数：15t*4) | 浮遊 | 13m/s | 直近海域 | FEMA(2012) | ○ | ○ | ○ | ○*3 |
| 漁船 (FRP) | 総トン数：約19t (排水トン数：57t*4) | 浮遊 | 2m/s*5 | 前面海域 | 道路橋示方書 | —*6 | —*6 | —*6 | ○ |

注記 *1：滑動状態で衝突を考慮する車両系重機 (41.2t) は、「ASCE (2016)」を参考に、衝突荷重を算定する (詳細を参考3に示す)。

*2：滑動状態の漂流物は浮かないため、防潮堤 (鋼管式鉛直壁) には衝突しない。

*3：貯留堰は第二波以降に海中から露出するため、第二波以降に衝突するが、初期配置が「直近陸域」及び「直近海域」の漂流物は第一波で敷地に到達していることを踏まえ、流速13m/sを適用する。

*4：「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倍の重量として考慮する。

*5：発電所周辺の最大流速13m/sとした場合の影響についても確認する。

*6：第二波以降の水位は高くないため、貯留堰以外の施設に到達・衝突しない。

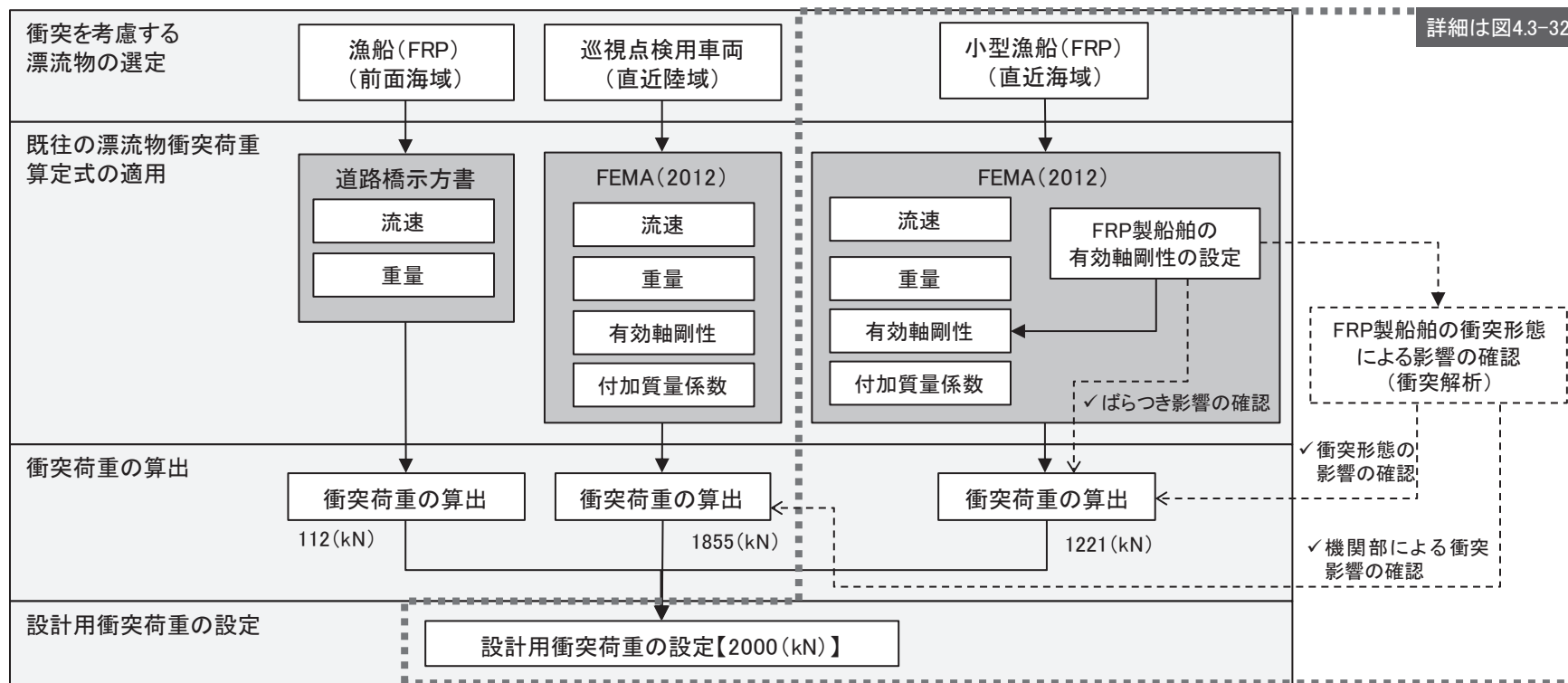


図4.3-30 衝突荷重として考慮する漂流物による衝突荷重算定フロー

① 車両

車両の軸剛性は、軽自動車 ($2.04 \times 10^6 \text{ N/m}$)、セダン型乗用車 ($2.4 \times 10^6 \text{ N/m}$) 及び大型乗用車 ($2.8 \times 10^6 \text{ N/m}$) から最大となる大型乗用車の軸剛性 ($2.8 \times 10^6 \text{ N/m}$) を用いるものとする。なお、軽自動車の $2.04 \times 10^6 \text{ N/m}$ は「高島ら (2015)」の実験により求められた3段階の軸剛性のうち、最も軸剛性が大きい3次剛性であり、セダン型乗用車の $2.4 \times 10^6 \text{ N/m}$ 及び大型乗用車の $2.8 \times 10^6 \text{ N/m}$ は、「高島ら (2015)」の衝突実験を「甲斐田・木原 (2017)」が再整理した $9.0 \times 10^5 \sim 2.4 \times 10^6 \text{ N/m}$ 及び $1.3 \times 10^6 \sim 2.8 \times 10^6 \text{ N/m}$ のそれぞれ最大値で、軽自動車の3次剛性 $2.04 \times 10^6 \text{ N/m}$ よりも大きい値である。

採用する軸剛性 $2.8 \times 10^6 \text{ N/m}$ は適用可能な衝突速度の上限が $5.1 \sim 8.4 \text{ m/s}$ とされており、評価に用いる衝突速度 13 m/s はこの適用可能な範囲を超えている。適用範囲を超えた速度に軸剛性を用いていることに検討を行った。図 4.3-31 に示すように、同じ軸剛性を適用範囲を超えた衝突速度でも用いることで、実際よりも被衝突物に与えるエネルギーが大きくなることから、エネルギーとしては保守的な評価となる。そのため、本衝突評価においては、保守性の観点から適用範囲を超えた速度にも適用し、軸剛性 $2.8 \times 10^6 \text{ N/m}$ を採用することとした。

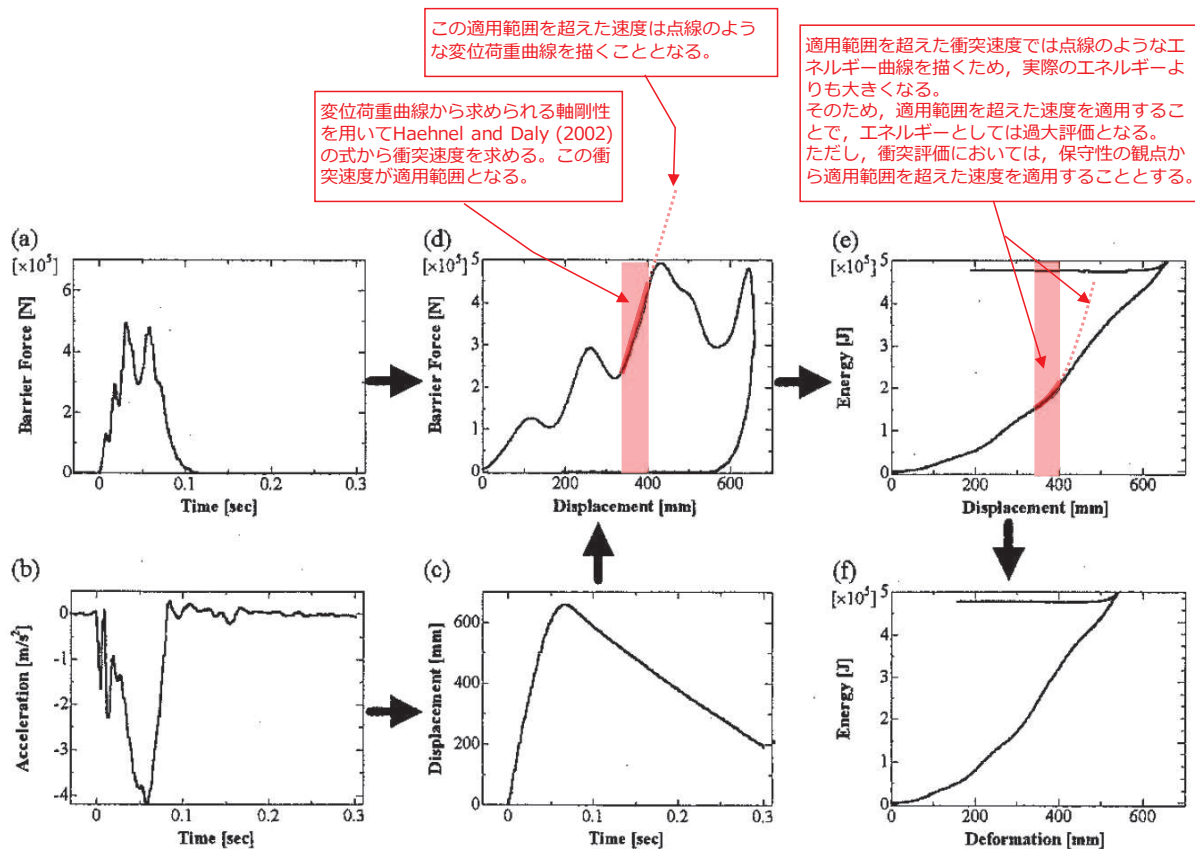


Fig.2 Calculation Process for Energy Absorption Characteristic

(エネルギー吸収特性の計算プロセス)

図 4.3-31 衝突速度の適用範囲を超えた場合のエネルギーへの影響（「自動車アセスメントの試験データを用いた変形エネルギー吸収分布図の作製（大賀ほか，2007）」に一部加筆）

② 船舶（総トン数 5t）

船舶の軸剛性としては、「甲斐田・木原（2017）」が既往の文献を整理し、総トン数 400～4000t の鋼製の大型船舶の有効軸剛性が示されている。一方、評価対象としている船舶は小屋取漁港の漁船で、最大の総トン数は約 5t であることから、大型船舶から小型船舶へ外挿する方法が考えられるが、小屋取漁港の小型漁船はいずれも FRP 製の船舶であるため、材質の違いにより外挿する方法は適用が困難であると考ええる。

このような状況を踏まえ、FRP 製の材質を考慮できる方法を用い、荷重-変位関係から軸剛性を算出することとした。

軸剛性の算出にあたっては、「FEMA（2012）*1」で示されている鋼製コンテナの軸剛性が短軸方向よりも長軸方向（船首方向に相当）の剛性が大きいこと、「甲斐田・木原（2017）」で示されている鋼製船舶の軸剛性が船首方向であることから、船首方向の軸剛性とする。ただし、鋼製と FRP 製の材質の違いやコンテナと船舶の構造の違いを踏まえ、船首以外の衝突形態による影響（不確かさ）について、衝突解析により確認する。

なお、後述のとおり、小型漁船（FRP）の軸剛性については、鋼製船舶を対象とした「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）の座屈強度を FRP 材料に置き換えて算出するため、FRP 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、軸剛性の算出における各パラメータのばらつきを考慮し、設計への適用性（軸剛性の設定の保守性）を確認することとする。

小型漁船（FRP）の衝突荷重算出の詳細フローを図 4.3-32 に示す。

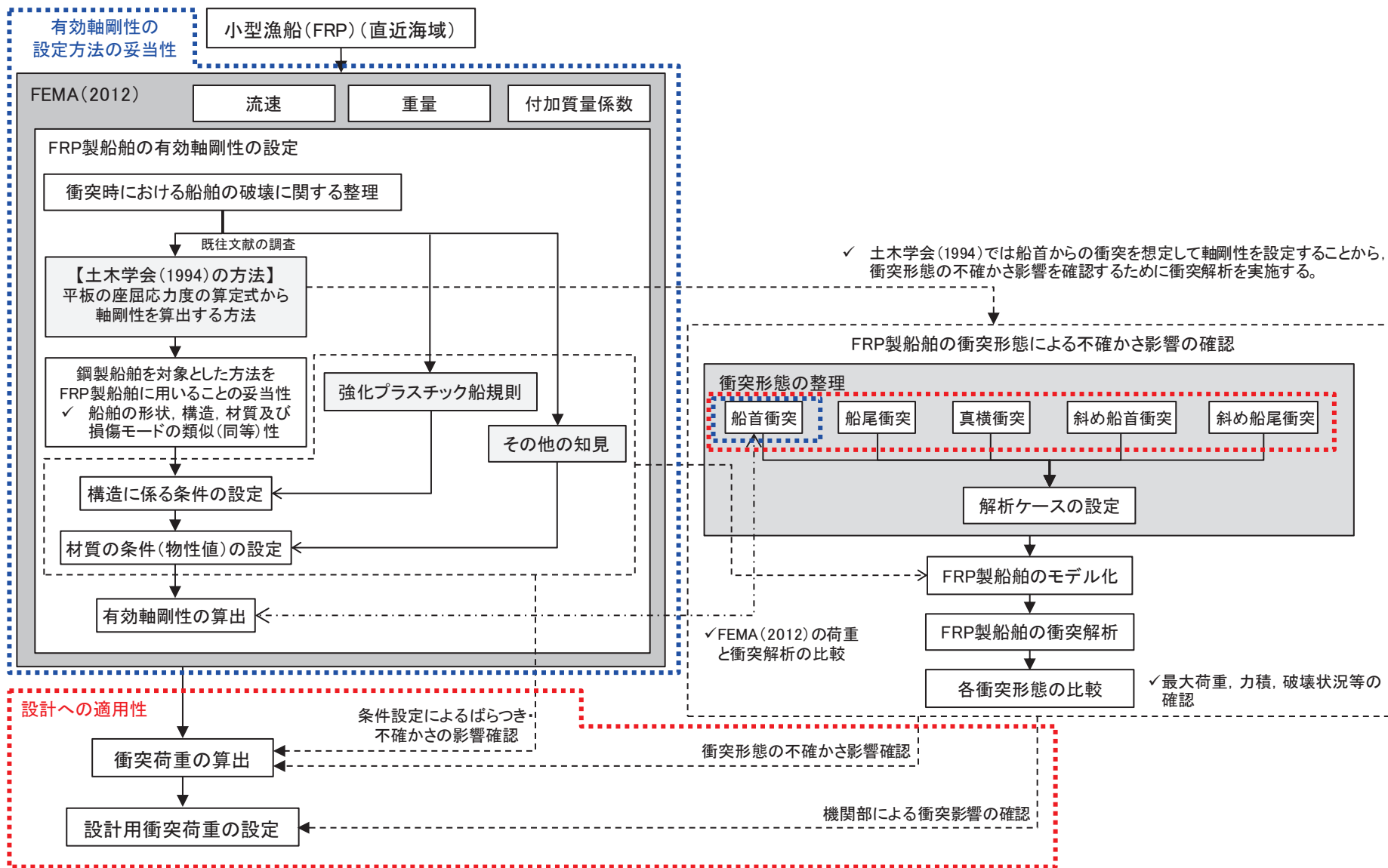


図4.3-32 小型漁船 (FRP) の衝突荷重算出の詳細フロー

a. 衝突時における船舶の破壊に関する整理

剛性及び強度が大きい浸水防護施設（防潮堤，屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）及び貯留堰）に対して，小型漁船（FRP）の座屈強度は小さいと考えられることから，「土木学会（1994）」で示されている破壊進展と同様に，FRP製船舶が圧壊していくこととなり，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浸水防護施設にその圧壊荷重（最大荷重）が作用する。

「土木学会（1994）」によれば，図 4.3-33 に示すように，剛性及び強度が大きい海洋構造物に対する船舶の圧壊荷重と変形量との関係が示されており，以下の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）はほぼ直線的に増加する。
- ✓ 船舶の破壊が進み，船首の傾斜部が全部破壊し，船体の全面が海洋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みることができるとされている。

以上を踏まえ，FRP製船舶の圧壊荷重を求めた上で，軸剛性を算出することとする。

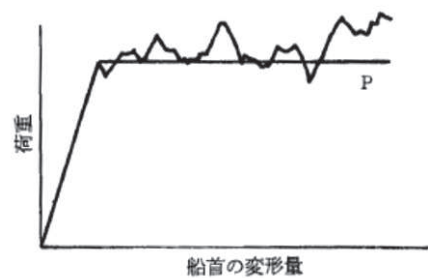


図 4.3-33(1) 荷重と船首の変形量（「土木学会（1994）」）

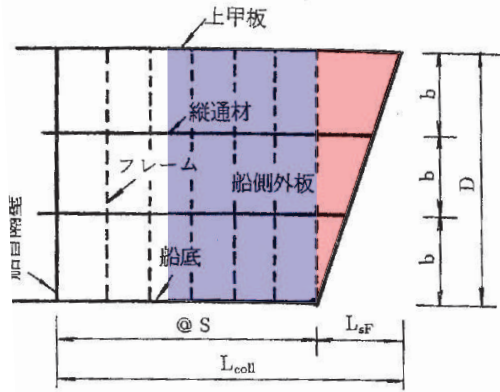


図 3.3 船首部の標準型

土木学会(1994)
「船が海洋構造物に船首衝突し、船首から圧壊が起こり食い込んで行くときは、まず船首前端から船首傾斜部が圧壊する。そして、さらに圧壊が進むと深さが一樣となる船首部の圧壊へと食い込みが拡大していく。」
「衝突船が海洋構造物に衝突し、船体が圧壊するときは、その衝突エネルギーは船首の圧壊によって吸収される。この船首の圧壊による吸収エネルギーは、図3.6の点線で囲まれる面積で求められる。」

【解釈】
図3.3の船首傾斜部(赤色部)が壊れる際には、図3.6及び図3.7の赤色部で示すように圧壊荷重及び船側の吸収エネルギーが増加する。一方、船首傾斜部が完全に壊れ、図3.3の船首傾斜部よりも船体側(青色部)が壊れ始めると、構造が長手方向に一樣であることから、図3.6のように圧壊荷重は一定となり、吸収エネルギーは図3.7のように線形に増加することとなる。

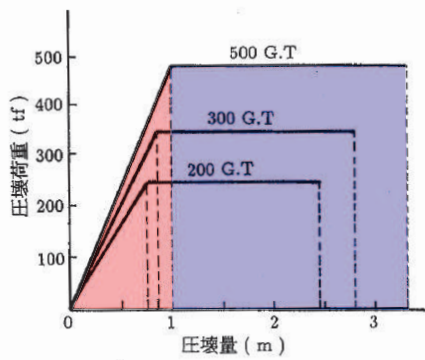


図 3.6 圧壊荷重と圧縮量

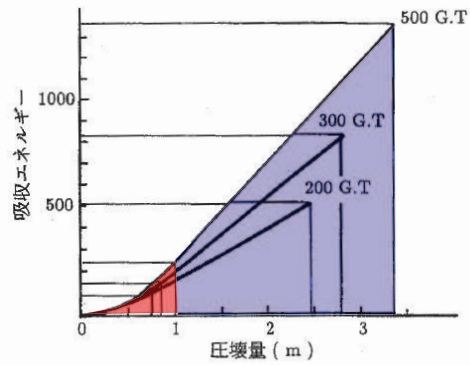


図 3.7 船側強度の算定

図 4.3-33(2) 荷重と船首の変形量 (「土木学会 (1994)」に一部加筆)

b. 土木学会（1994）の方法

「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 4.3-34 に示す平板の座屈応力度の算定式から座屈強度 σ_c を算出し、船首形状寸法等 を乗じることで求められるとしている。「土木学会（1994）」で検討対象として いる船舶は、大型の鋼製船舶ではあるが、座屈強度 σ_c の算定式は一般的な平板 の座屈応力度の算定式であることから、ヤング率とポアソン比で適切に考慮す 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）」によれば、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（図 4.3-35 参照）。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（大型の鋼製船舶を対象に、「甲斐田・木原（2017）」 で示されている軸剛性と土木学会（1994）により算出した軸剛性の比較を参考 4 に示す）。

ここで算出される軸剛性は、船首傾斜部のみに適用され、圧壊荷重に達した 後は衝突荷重は一定値となることが想定されるが、本評価では一定となる圧壊 荷重をそのまま衝突荷重とは考えずに、保守的に衝突速度に応じて荷重が増大 することを仮定し、衝突荷重を算出することとする。

なお、「基礎からわかる FRP（強化プラスチック協会編，2016）」によれば、「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である。

以上を踏まえ、「土木学会（1994）」に示された圧壊荷重の算出方法を用いて、 軸剛性を算出する。

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

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

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

| | | | |
|------------|-----------------------------|-----------|-----------------------------|
| σ_c | : 座屈強度 (tf/m ²) | P_c | : 圧壊荷重 (船首強度) (tf) |
| k_c | : 軸剛性 (tf/m) | E | : ヤング率 (tf/m ²) |
| ν | : ポアソン比 | a | : 横肋骨心距 (mm) |
| k | : 座屈係数 $((b/a + a/b)^2)$ | b | : 縦肋骨心距 (mm) |
| t | : 船側外板厚 (mm) | D | : 船の深さ (m) |
| L_{sf} | : 船首傾斜部の長さ (m) | 2θ | : 船首角度 (°) (35° ~ 70°) |

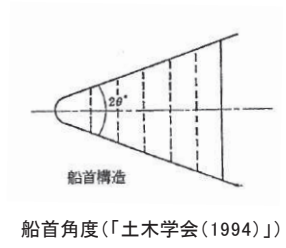
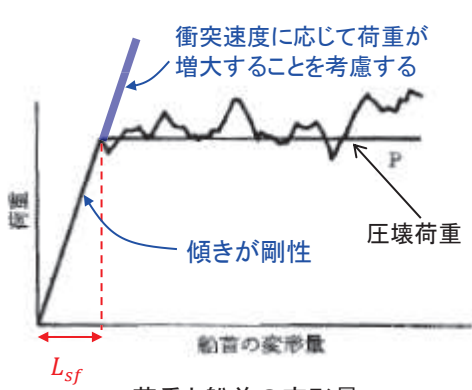
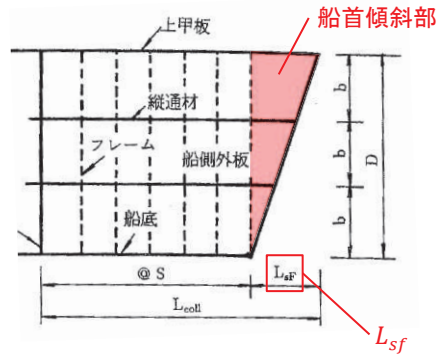


図 4.3-34 土木学会（1994）を用いた軸剛性の算定方法



荷重と船首の変形量
 (「土木学会(1994)」に一部加筆)



船首部の標準型
 (「土木学会(1994)」に一部加筆)

図 4.3-35 土木学会 (1994) を用いた軸剛性の考え方

c. 鋼製船舶を対象とした方法を FRP 製船舶に用いることの妥当性

「土木学会 (1994)」で示されている座屈強度 σ_c の算定式は一般的な平板の座屈応力度の算定式であるため、ヤング率とポアソン比で適切に考慮することで、FRP 製船舶に適用することが可能であると考えられるが、「土木学会 (1994)」で検討対象としている船舶が鋼製船舶であることを踏まえ、FRP 製船舶と鋼製船舶の形状、構造、材質及び損傷モードに関する類似 (同等) 性について検討を行った。

(a) 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、ほたての養殖に使用する総トン数 14t のアルミ合金漁船と FRP 製の船舶の図面が示されている (図 4. 3-36)。

これらの図面から、FRP 漁船とアルミ合金漁船の寸法、外形及び断面はほぼ同じであることが確認できる。なお、評価対象である小屋取漁港の小型漁船もほたての養殖を営んでいることから、これらの図面で示されている FRP 漁船と概ね同様の形状である。

以上から、FRP 製船舶と鋼製船舶の形状は類似性を有する。

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

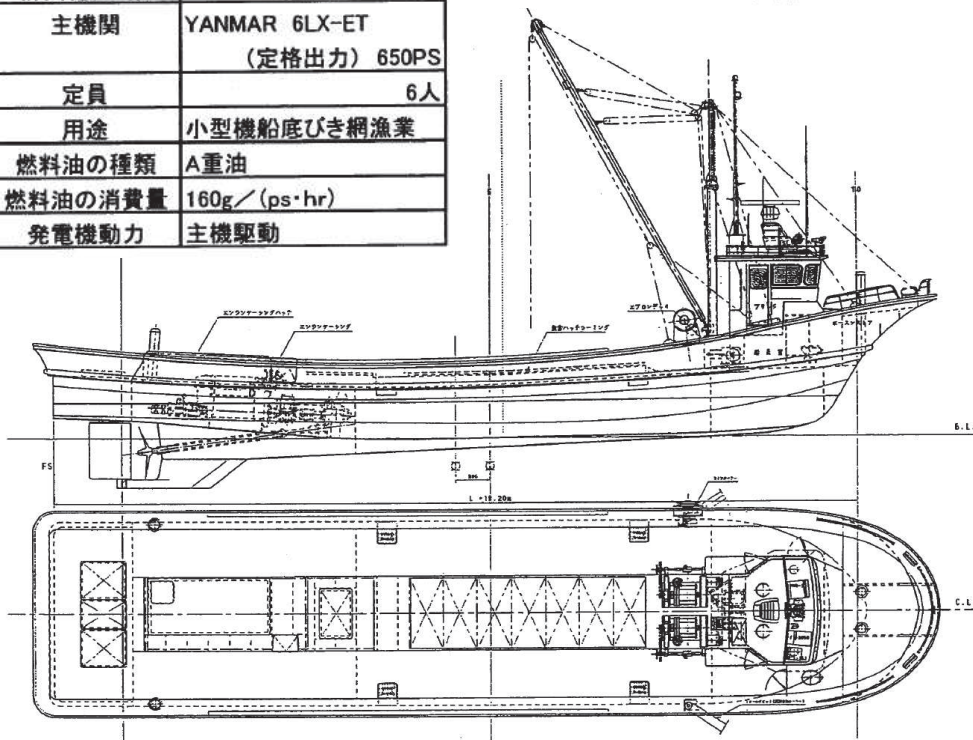


図-2.1 アルミ合金漁船の一般配置図

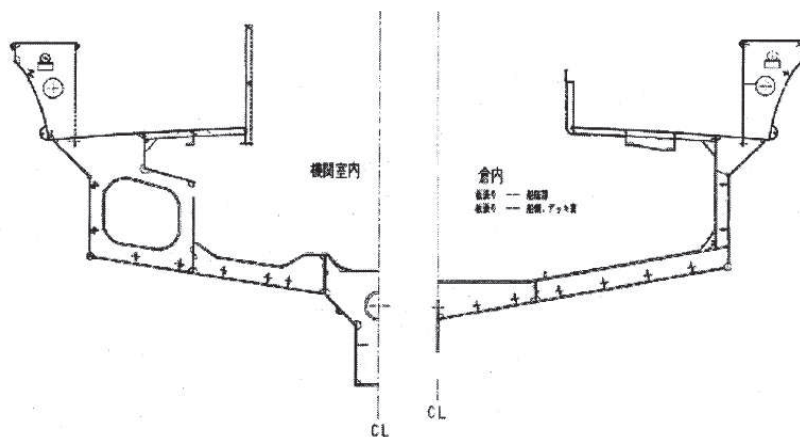


図-2.2 アルミ合金漁船の中央断面図

図 4.3-36(1) アルミ合金漁船 (「海技研報告 (平成 15 年)」)

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 |

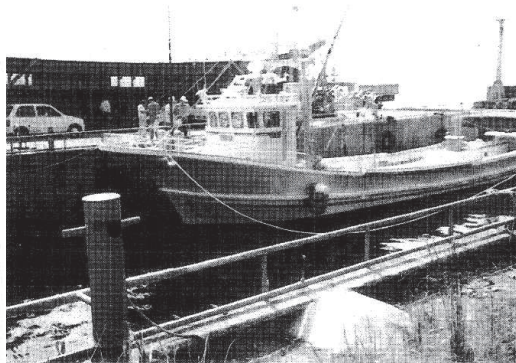


写真-2.2 FRP漁船

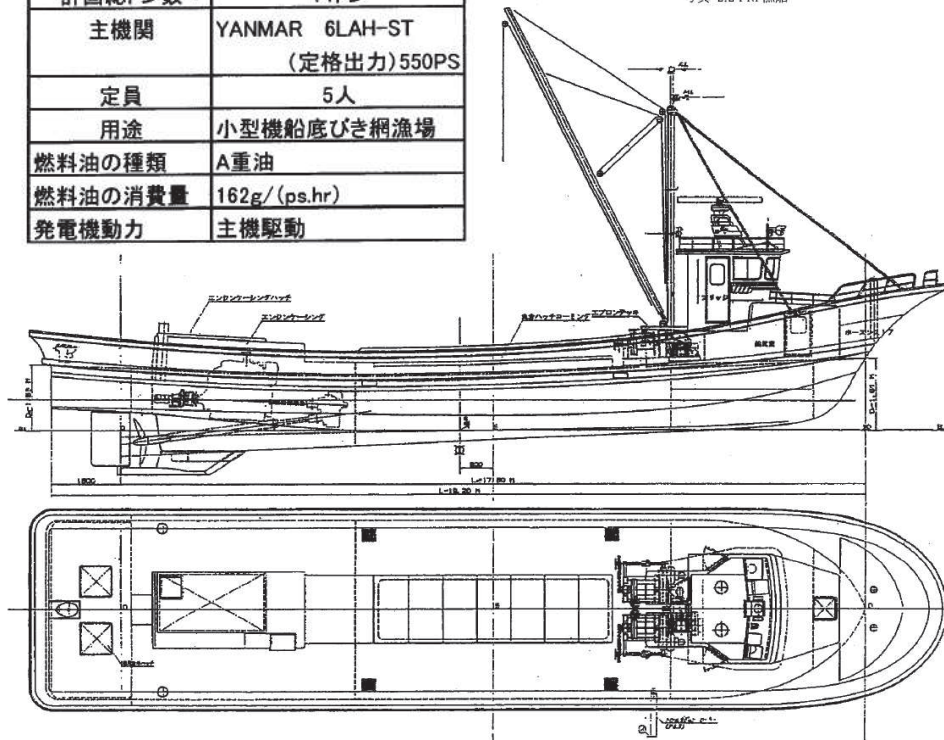


図-2.4 FRP漁船の一般配置図

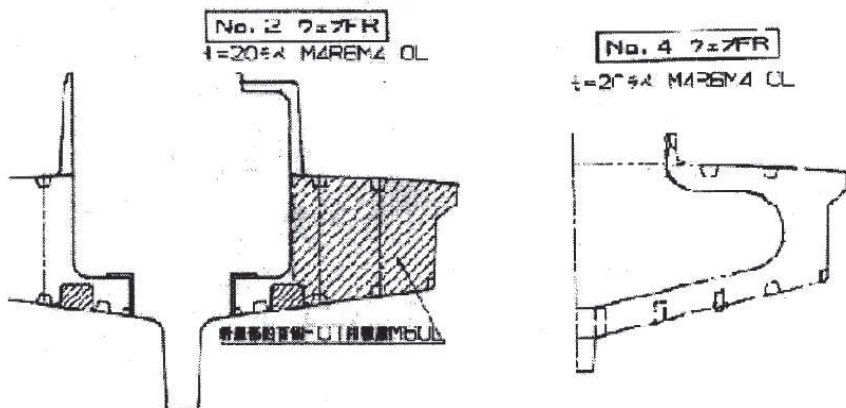


図-2.5 FRP漁船の横断面図

図 4. 3-36(2) FRP 漁船 (「海技研報告 (平成 15 年)」)

(b) 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 4.3-10）。

- ✓ 「強化プラスチック船規則（日本海事協会，2018）」によれば，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）とされている。この算定式に関しては，「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。」とされており，外板の厚さ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。」とあることから，FRP 製船舶の船側外板厚算定式は，鋼製船舶を基本にしていることから，両者は類似性を有する。
- ✓ また，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）」，「小型鋼製漁船（（社）漁船協会，昭和 46 年）」及び「小型鋼船構造規則（詳細不明）」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。

(c) 船舶の材質の力学特性の類似（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，それぞれの材料である鋼材と 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 4.3-10）。

- ✓ 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）」では，FRP の材料力学的特性の記載があり，「FRP 材料はガラス繊維，マトリックスの種類，組成，形体によってその特性が広範囲に変化する。例えば，無方向性のランダム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て成形される。
- ✓ 「基礎からわかる FRP（強化プラスチック協会編，2016）」によれば，「FRP は微視的には不均質材料であるが，巨視的には等方性または直

交異方性の力学特性を持つ均質材料として取り扱うことができる。このような場合には、等方性または直交異方性の座屈理論をそのまま利用できる。」としている（図 4.3-37）。上記と同様、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）」によれば、「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 4.3-38）。「基礎からわかる FRP（強化プラスチック協会編，2016）」及び「土木構造用 FRP 部材の設計基礎データ（土木学会，2014）」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。

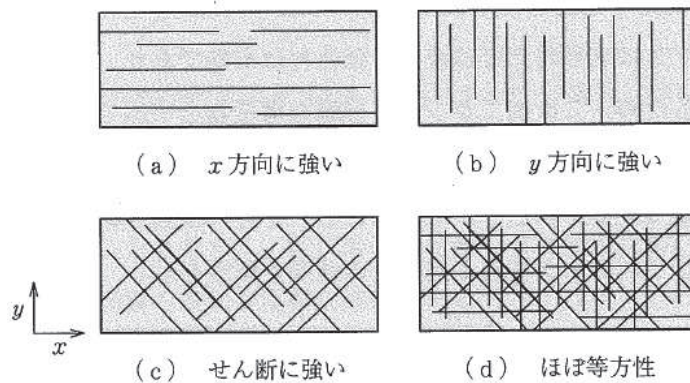


図 4.3-37 FRP の材料異方性（「基礎からわかる FRP（強化プラスチック協会編，2016）」）

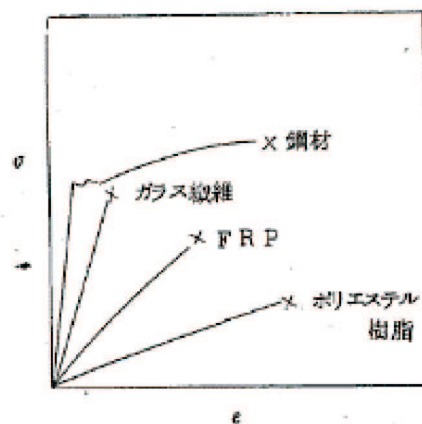


図 4.3-38 FRP の応力-ひずみ関係（「FRP 成形入門講座（日本プラスチック加工技術協会）」）

(d) 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 4.3-10）。

- ✓ 「FRP 構造設計便覧（強化プラスチック協会，1994）」によれば、「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。
- ✓ 評価対象している小型船舶の構造は半円筒形のような構造をしているが、甲板は船舶の全体の構造強度には寄与しておらず、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。
- ✓ また、船舶は 13m/s という高速度で被衝突体に衝突するため、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 13m/s と高速度で、船舶の重量が 15t であるため、このような局所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作用するため、せん断座屈やねじれ座屈のような事象も生じず、圧縮座屈が支配的となる。

表 4.3-10 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(同等)性 |
|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| 全体形状 | 「海技研報告（平成 15 年）」 | 文献に示されている FRP 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した。 | ○ |
| 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した。 | ○ |
| 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（日本海事協会会誌，1978）」 「鋼船規則（日本海事協会）」 「小型鋼製漁船（（社）漁船協会，昭和 46 年）」 「小型鋼船構造規則（詳細不明）」 | 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にしたり，同様の考えを採用していることを確認した。 | ○ |
| 材質の力学 特性 | 「基礎からわかる FRP（強化プラスチック協会編，2016）」 「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）」 | 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した。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した。 | ○ |
| 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した。 | ○ |

(e) 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

(a)～(d)の検討より、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。

d. FRP 製船舶の構造及び材質に係る条件の設定

(a) 妥当性確認ケース

FRP 製船舶の座屈強度を算出する際に必要となる船舶の構造条件、材料物性（ヤング率及びポアソン比）については、用いる文献の適用性を確認した上で、それぞれ表 4.3-11 及び表 4.3-12 のとおりとする。

これら表 4.3-11 及び表 4.3-12 に示した条件を「軸剛性の設定にあたり妥当性を確認したケース」とし、軸剛性を算出すると、 0.47×10^5 (N/m) となり、この軸剛性を用いて FEMA (2012) から衝突荷重を算出すると、635 (kN) となる（表 4.3-13）。