

漁港の津波漂流物対策施設設計ガイドライン（案）

平成28年12月

水産庁漁港漁場整備部

はじめに

これまで、津波による漂流物は、東北地方太平洋沖地震津波や日本海中部地震津波などにより、漁港施設や水産施設、漁港背後の集落などに多くの被害を与えてきました。また、近い将来、発生が危惧されている南海トラフ巨大地震等の日本近海で発生が予測される津波においても、船舶などの漂流物による陸上施設への被害が予想されています。そのような背景から、その被害を最小限にするための漂流物対策は重要かつ緊急な課題です。

これらの状況に鑑み、技術研究の分野においては、津波による漂流物の漂流状況の数値計算や構造物に作用する外力などについて、多くの研究が進められており、先に港湾分野において、「津波漂流物対策施設設計ガイドライン」(平成26年8月 一般社団法人沿岸技術研究センター)が提案・作成されました。

これら研究成果や他分野の事例等の知見を踏まえ、今般、漁港特有の施設配置等の特性を整理し、「漁港の津波漂流物対策施設設計ガイドライン(案)」を作成いたしました。

なお、本ガイドライン(案)は、「平成27年度津波漂流物対策の技術検討調査委員会」(委員長：松富英夫 秋田大学大学院理工学研究科 教授)においてご検討いただき、とりまとめを行ったものです。ここに記し、松富委員長はじめ委員各位に深甚なる謝意を表します。

今後、本ガイドラインを活用し、漁港における津波に対する防災・減災対策がより一層進められ、安全な漁村の形成の一助となることを願います。

平成28年12月 水産庁 漁港漁場整備部

序

津波発生時の漂流物が問題視されてから長い年月が経ちます。

1896年明治三陸地震津波に襲われた宮古の鍬ヶ崎で漂流帆船による半壊家屋が写真に残されています。爾来、1933年昭和三陸地震津波、1960年チリ地震津波、1968年十勝沖地震津波などにおいて漂流物による被害が報告されています。しかし、漂流物の衝突力や移流・拡散といった研究は1970年代後半まで行われていませんでした。漂流物対策施設のガイドラインに至っては2004年インド洋大津波後の2006年まで待つことになりましたが、このガイドラインは漁港の特性を踏まえたものではありませんでした。

津波による漂流物は様々です。漂流物被害の発現形態、対象施設・範囲も様々です。しかし、現状の漂流物被害の議論は限られた条件下にとどまっています。

このような状況に基づき、水産庁により有識者からなる技術検討調査委員会が設置され、漁港の津波漂流物対策に関する技術的な検討調査を行ってきました。そしてその結果を「漁港の津波漂流物対策施設設計ガイドライン（案）」としてとりまとめました。

本ガイドライン（案）は漁港の特性を踏まえ、漂流物として漁船、車両、養殖施設、対象範囲として荷捌き所や水域施設など守るべき重要な施設が含まれる範囲を基本としています。また、2012年3月に変更された「漁港漁場整備事業の推進に関する基本方針」に従い、性能規定型の設計体系となっています。さらに、最新の知見が反映されたものとなっています。しかし、対象の漂流物や範囲が限定的であるなど、本ガイドライン（案）は発展途上です。今後の発展・充実を期待します。

本ガイドライン（案）が漁港や海岸に携わる管理者または興味がある技術者、研究者、学生の皆様に愛用され、有用なものとなれば幸いです。また、漁港や漁村の津波の防災・減災につながることを切に希望します。

平成 27 年度津波漂流物対策の技術検討調査委員会 委員長

秋田大学大学院 理工学研究科 教授 松富 英夫

平成 27 年度 津波漂流物対策の技術検討調査検討委員会 委員名簿

【委員】

氏 名	所 属
委員長 松富 英夫	秋田大学大学院 工学資源学研究科 土木環境工学専攻 教授
八木 宏	防衛大学校 システム工学群 建設環境工学科 教授
越村 俊一	東北大学 災害科学国際研究所 災害リスク研究部門 広域被害把握研究分野 教授
阿部 幸樹	岩手県 農林水産部漁港漁村課 課長

【事務局】

氏 名	所 属
吉塚 靖浩	水産庁 漁港漁場整備部 整備課 課長
内田 智	水産庁 漁港漁場整備部 整備課 課長補佐
朝倉 邦友	水産庁 漁港漁場整備部 整備課 漁港漁場専門官
西崎 孝之	一般財団法人 漁港漁場漁村総合研究所 第1調査研究部 部長
加藤 広之	一般財団法人 漁港漁場漁村総合研究所 第1調査研究部 主席主任研究員
竹原 洋一郎	一般財団法人 漁港漁場漁村総合研究所 第1調査研究部 主任研究員
奥野 正洋	株式会社 アルファ水工コンサルタンツ 東京本部 副本部長
西崎 孝之	株式会社 アルファ水工コンサルタンツ 東京本部 技術部 部長
富澤 信樹	株式会社 アルファ水工コンサルタンツ 東京本部 技術部 チームリーダー
五十嵐 雄介	株式会社 アルファ水工コンサルタンツ 東京本部 技術部 主任

目次

1	ガイドラインについて	1
1.1	ガイドラインの目的	1
1.2	ガイドラインの位置づけ	1
1.3	ガイドラインの適用	1
1.4	ガイドラインの構成	3
1.5	用語の定義	4
2	漁港の漂流物対策の考え方	5
2.1	漁港の漂流物対策の考え方	5
2.2	漁港の漂流物対策の対象範囲	7
2.3	対象施設（守るべき施設）	8
3	津波漂流物対策施設	9
3.1	津波漂流物対策施設の考え方	9
3.1.1	津波漂流物対策施設の考え方	9
3.1.2	津波漂流物対策施設の役割	9
3.2	津波漂流物対策施設の配置・工法の検討	10
3.2.1	検討の手順	10
3.2.2	基本条件の把握	12
3.2.3	配置・工法の検討	14
3.3	津波漂流物対策施設の設計	22
3.3.1	設計の考え方	22
3.3.2	設計条件の設定	22
3.3.3	作用	22
3.3.4	性能照査	27
4	津波漂流物対策施設の設計例	46
4.1	直接基礎＋ワイヤロープ形式の施設での事例	46
4.1.1	構造図	46
4.1.2	設計条件	46
4.1.3	設計計算例	47
参考資料-1.	過去の津波災害での津波漂流物について	57
参考資料-2.	津波漂流物対策施設の事例について	77
参考資料-3.	モデル地区における漂流シミュレーション	80

1 ガイドラインについて

1.1 ガイドラインの目的

先に発生した東北地方太平洋沖地震津波（2011年3月）や日本海中部地震津波（1983年5月）では、津波に起因する漂流物が漁港施設や水産施設、漁港背後の集落などに多くの被害をもたらした。近い将来に起こる可能性が高い東海・東南海・南海地震等においても、船舶をはじめとした漂流物が、陸上施設に甚大な被害をもたらすことが想定され、その被害を最小限にするためにも漂流物対策は重要かつ喫緊の課題である。

本ガイドラインは、漁港の特性を踏まえた津波による漂流物対策のための施設（以下、津波漂流物対策施設）の配置計画及び設計手法に係る基本的な考え方をとりまとめたものである。

1.2 ガイドラインの位置づけ

本ガイドラインは、「災害に強い漁業地域づくりガイドライン¹」中の“IV 周到的災害予防 3. 漁港・漁村の防災力の向上 3-6 漂流物による被害の拡大防止”について、具体的手法の1つを示したものである。

1.3 ガイドラインの適用

本ガイドラインは、漁港管理者が、主に海岸保全施設で防護されていない堤外地等について、津波発生時の漂流物による被害から重要な漁港機能を守るための災害予防対策を講ずる際に活用されるものとして取りまとめている。

(1) 対象とする範囲

本ガイドラインの主な対象範囲は、図 1-1 に示すように荷捌き所や水域施設など、重要な守るべき施設が含まれる範囲を基本とする。

(2) 対象とする者

本ガイドラインの主な対象者は、漁港管理者とする。

(3) 対象とする漂流物

漁港で発生する主な漂流物としては、船舶、車両、養殖施設、漁具、防潮林、貯留木材、石油タンク等が挙げられる。本ガイドラインでは、上記の中でも比較的被害事例の多い、船舶・車両・養殖施設の3つを対象とする（写真 1-1）。

¹ 「災害に強い漁業地域づくりガイドライン」平成24年3月、(社)全国漁港漁場協会

(4) 対象津波

本ガイドラインでは、漂流物対策の検討（津波漂流物対策施設の配置・設計 ※後述参照）において、対象とする津波を「発生頻度の高い津波（L1）」を基本とする。

対象津波の発生頻度は、地域性や施設の重要度、耐用年数、費用対効果を勘案し、漁港管理者が判断してもよいものとする。

ここで、漂流物対策における費用対効果の考え方は、「平成 23 年東日本大震災を踏まえた漁港施設の地震・津波対策の基本的な考え方²」中の“参考資料 3 防波堤と防潮堤による多重防護の活用”を参考とする。



写真 1-1 漁港で発生する主な漂流物

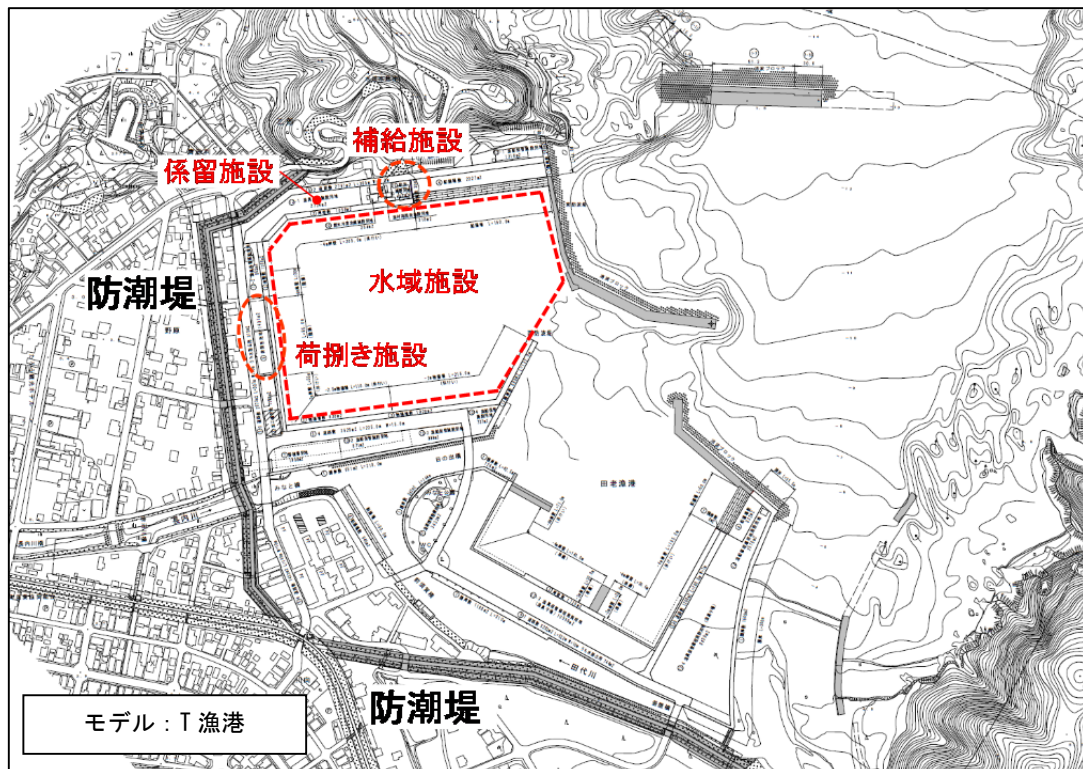


図 1-1 本ガイドラインの主な対象範囲

² 「平成 23 年東日本大震災を踏まえた漁港施設の地震・津波対策の基本的な考え方」平成 26 年 1 月、水産庁

1.4 ガイドラインの構成

本ガイドラインは、漁港の特性を踏まえた漂流物対策及び津波漂流物対策施設に係る基本的な考え方を以下の構成で示すものである。

表 1-1 ガイドラインの構成

章	頁	内 容
第1章	1~4	ガイドラインの位置づけ、対象、構成、用語の定義について説明
第2章	5~8	漁港の漂流物対策の基本的な考え方、対策によって防護する範囲と施設について説明
第3章	9~45	津波漂流物対策施設の基本的な考え方、配置計画ならびに設計手法等について説明
第4章	46~56	モデル地区を対象とした津波漂流物対策施設の設計例の紹介
参考資料	57~119	過去の津波災害から見る漂流物、津波漂流物対策施設の事例、モデル地区における漂流シミュレーション

本ガイドラインは、基本的考え方、解説、参考情報およびコラムを以下の記述方法で記載している。

【基本的考え方】

各項目の冒頭に必要に応じて基本的考え方を整理

【解 説】

基本的考え方を文章、図表、写真等で解説

【参考情報】

・事例、参考データ等を掲載する場合はこの枠囲み

1.5 用語の定義

本ガイドラインの記載内容に関して、基本的な用語を以下に解説する。

- 漂流物
津波により浮遊・漂流する物質のうち、海上の漁船や養殖筏、陸上の車両や市場内の資機材等、周辺に物理的な影響を及ぼすおそれがあるもの。
- 津波漂流物対策施設
漂流物化した漁船や車両等の衝突による被害を軽減する、また漂流物の漁港内（係留施設、水域施設、荷捌き施設、補給施設）への拡散・滞留被害を軽減することを目的とした施設。代表的なものとして漂流防止柵や杭などがある。
- 設計津波
漁港・漁場の施設の設計においては、特に断らない限り「発生頻度の高い津波」を用いることを原則とする。なお、中央防災会議では、下表のような津波対策を構築する際の考え方を示している。

「中央防災会議報告」における想定津波の考え方

津波レベル	発生頻度	整備・対策の考え方
発生頻度の高い津波	発生頻度は高く、津波高は低いものの大きな被害をもたらす津波	人命保護に加え、住民財産の保護、地域の経済活動の安定化、効率的な生産拠点の確保の観点から、海岸保全施設等を整備
最大クラスの津波	発生頻度は極めて低いものの、甚大な被害をもたらす最大クラスの津波	住民等の生命を守ることを最優先とし、住民の避難を軸に、とりうる手段を尽くした総合的な津波対策を確立

- 津波伝播シミュレーション
津波の波源から外洋伝播、陸上への遡上までを連続して計算し、平面的に水位、流速の変動を予測するモデル。引き続いて行われる漂流シミュレーションや避難シミュレーションの入力条件(水位、流速、到達時間)にも利用される。
- 漂流シミュレーション
津波来襲時に漂流物となる恐れのある漁船やプレジャーボート、養殖施設、漁具、車両等が、実際に漂流するかの検証や、漂流した場合の移動方向や滞留場所を予測するモデルであり、津波伝播シミュレーションから水位・流速の計算結果を引き継いで計算される。このモデルは、漂流による被害の予測や各種漂流防止対策を行った場合の効果の予測に用いられる。

2 漁港の漂流物対策の考え方

2.1 漁港の漂流物対策の考え方

【基本的考え方】

漁港の漂流物対策は、①漂流発生防止対策、②衝突防止対策、③拡散・滞留防止対策に大別される。本ガイドラインでは、②衝突防止と③拡散・滞留防止を目的とした主にハード面での対策を中心に記載するものとする。

【解説】

(1) 対策

① 漂流発生防止対策

「災害に強い漁業地域づくりガイドライン」では、漂流物の発生を防止するための事前の対策として、以下に示す主にソフト面での取り組みの推進を掲げている。

- 漁船やプレジャーボート、養殖イケス等の係留ロープを太くするなど係留方法の強化（係留ロープの強化による効果について）
- 漁船やプレジャーボート等の保管場所・方法の変更
- 漁間期の小型漁船などの高所保管
- 放置艇対策の徹底
- 車両の保管位置、駐車位置の変更 など

本ガイドラインでは、後述の衝突防止及び拡散・滞留防止を目的とした主にハード面での対策を中心に記載するものとし、本項に示すソフト対策については、上記ガイドラインもしくは「漁業地域の減災計画策定マニュアル～みんなで作る減災計画～³」を参照とする。

② 衝突防止対策

東北地方太平洋沖地震津波では、津波の直接的な外力はもとより、漂流物化した漁船や車両等の衝突により、人やモノが損傷、倒壊した事例が数多く報じられている。

漁港には、係留施設（耐震岸壁等）や背後の荷捌き施設、補給施設（給油施設等）など、水産物の生産・流通機能を確保するのに重要な役割を担う施設が存在する。

そこで、漂流物がこれらの施設に衝突して諸機能が損なわれる事態を回避するための対策、すなわち衝突防災対策を講じることが重要である。

例えば、給油施設に漂流物が衝突して二次災害が発生する可能性を軽減するために、施設を漂流防止柵等で囲うといったことが挙げられる。

³ 「漁業地域の減災計画策定マニュアル～みんなで作る減災計画～」平成24年3月、(社)全国漁港漁場協会

③ 拡散・滞留防止対策

東北地方太平洋沖地震津波では、津波による漂流物が漁港内の泊地や航路に漂着・滞留し、岸壁の利用に多大な支障を及ぼしたことは記憶に新しい（写真 2-1）。

このような漂流物の漁港内（係留施設、水域施設、荷捌き施設、補給施設）への拡散・滞留被害を軽減するために、漂流源を対策施設で包囲するといった拡散・滞留防止対策を講じることが重要である。

例えば、駐車場に停車している車両が津波によって水域施設に流入しないよう、駐車場（漂流物発生源）の周囲を漂流防止柵等で囲うといったことが挙げられる。



写真 2-1 木材により埋め尽くされた漁港水域施設（宮城県石巻市）

2.2 漁港の漂流物対策の対象範囲

【基本的考え方】

本ガイドラインでは、漂流物対策の対象範囲について、荷捌き所や水域施設など重要な守るべき施設が含まれる範囲を基本とする。

【解 説】

「1.3(1)対象とする範囲」で述べたように、本ガイドラインの主な対象範囲は、荷捌き所や水域施設など重要な守るべき施設が含まれる範囲を基本とする。

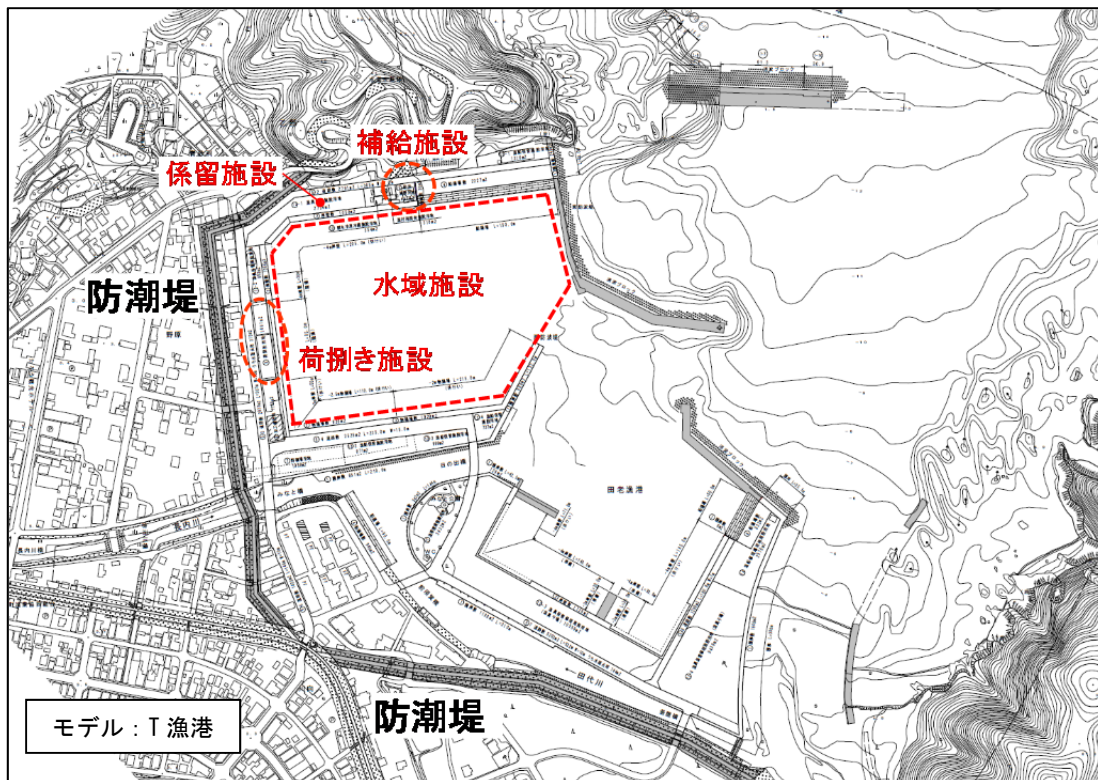


図 2-1 漂流物対策の対象範囲（再掲）

2.3 対象施設（守るべき施設）

【基本的考え方】

漂流物対策により“守るべき施設”は、水産物の生産・流通機能を確保するのに重要な役割を担う諸施設とする。

【解説】

「災害に強い漁業地域づくりガイドライン」では、“3つの観点2つの柱”として“水産物生産・流通機能の確保”の重要性を説いている（図 2-2 参照）。

これを踏まえると、漂流物対策により“守るべき機能”ならびに“守るべき施設”は以下の通りである。

- 守るべき機能

水産物の生産・流通機能

- 守るべき施設

重要な係留施設（耐震岸壁等）、これに付随する水域施設（泊地・航路）、背後の荷捌き施設、補給施設（給油施設等）

※上記機能の確保に重要な役割を担う諸施設

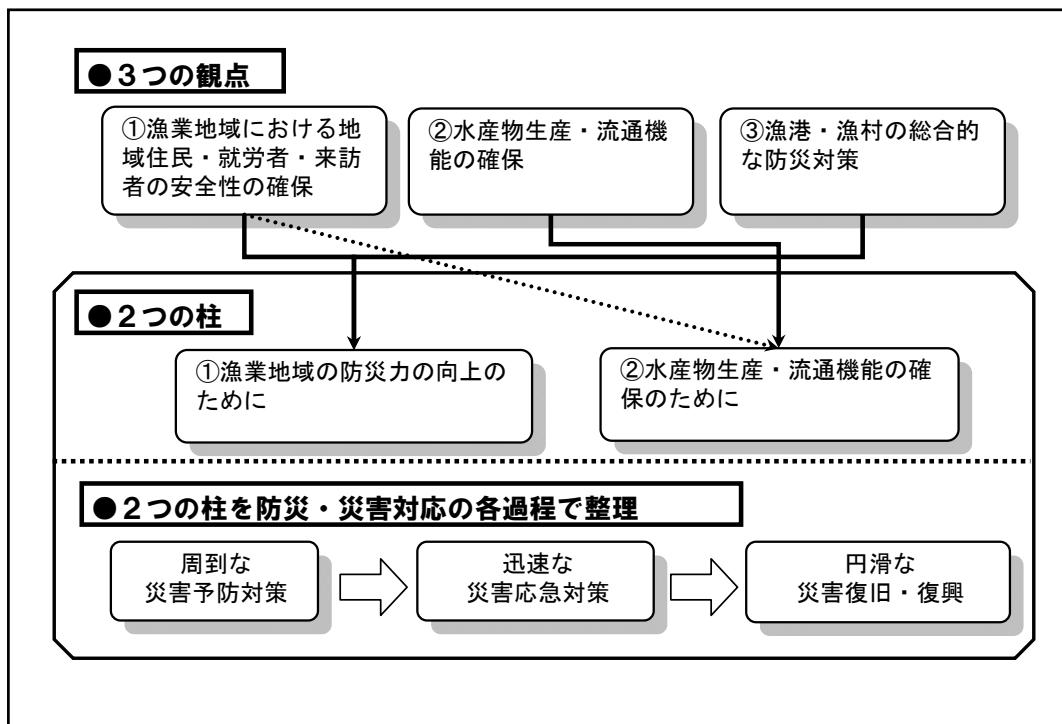


図 2-2 3つの観点2つの柱（災害に強い漁業地域づくりガイドラインより）

3 津波漂流物対策施設

3.1 津波漂流物対策施設の考え方

【基本的考え方】

津波漂流物対策施設は、漂流物化した漁船や車両、養殖施設等の衝突による被害を軽減する、また漁港内（係留施設、水域施設、荷捌き施設、補給施設）への拡散・滞留被害を軽減することを目的とした施設であり、代表的なものとして漂流防止柵や杭などが挙げられる。

【解説】

3.1.1 津波漂流物対策施設の考え方

本ガイドラインで扱う津波漂流物対策施設は、漂流物化した漁船や車両、養殖施設等の衝突による被害を軽減する、また漁港内（係留施設、水域施設、荷捌き施設、補給施設）への拡散・滞留被害を軽減することを目的とした施設であり、代表的なものとして漂流防止柵や杭などが挙げられる。

同施設の設置にあたっては、岸壁、護岸等の施設の利用目的や背後施設の用地利用に配慮し防護対象を明確にした上で、岸壁、背後施設等の利用者と日常的な利用に関する協議を踏まえ配置計画を立てるほか、想定される津波の高さやそれに伴う流れの速さ、想定される漂流防止対象物等に関する検討が必要である（「災害に強い漁業地域づくりガイドライン」より）。

3.1.2 津波漂流物対策施設の役割

津波漂流物対策施設の役割について以下に示す。

(1) 目的

漂流物化した漁船や車両、養殖施設等の衝突による被害を軽減すること、また漁港内（係留施設、水域施設、荷捌き施設、補給施設）への拡散・滞留被害を軽減すること。

(2) 要求性能

津波漂流物対策施設の要求性能は、以下の要件を満たしていること。

- ・ 漂流物の衝突による被害を軽減することが出来るよう適切なものとする。
- ・ 拡散・滞留被害を軽減すること出来るよう適切なものとする。

(3) 性能規定

津波波力、衝突力、地震力に対して安定性・機能性を維持すること。

3.2 津波漂流物対策施設の配置・工法の検討

【基本的考え方】

津波漂流物対策施設の配置・工法については、対象とする漁港の整備方針や利用状況、周辺状況、そして当該漁港に影響を及ぼし得る漂流源などの基礎的な条件について把握した上で、数値シミュレーションを活用して検討するものとする。

【解説】

3.2.1 検討の手順

津波漂流物対策施設の配置・工法の検討は、以下の2つの方法を基本とする。図 3-1～図 3-2 に各方法の検討フローを示すとともに、表 3-1 には各方法の考え方ならびに特徴・課題を示す。

- (1) 既往の津波伝播シミュレーション結果を活用する方法
- (2) 新たに漂流シミュレーションを活用する方法

なお、検討に際しては、津波伝播シミュレーションの結果が不可欠であるが、漂流シミュレーションの実施は必須ではない。

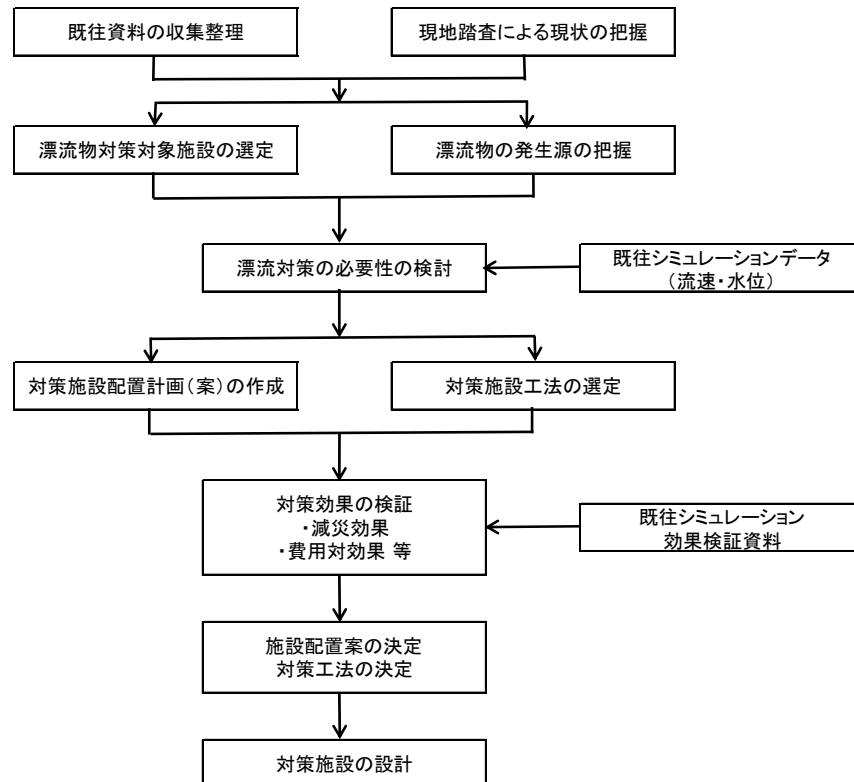


図 3-1 検討フロー（既往の津波伝播シミュレーション結果を活用する方法）

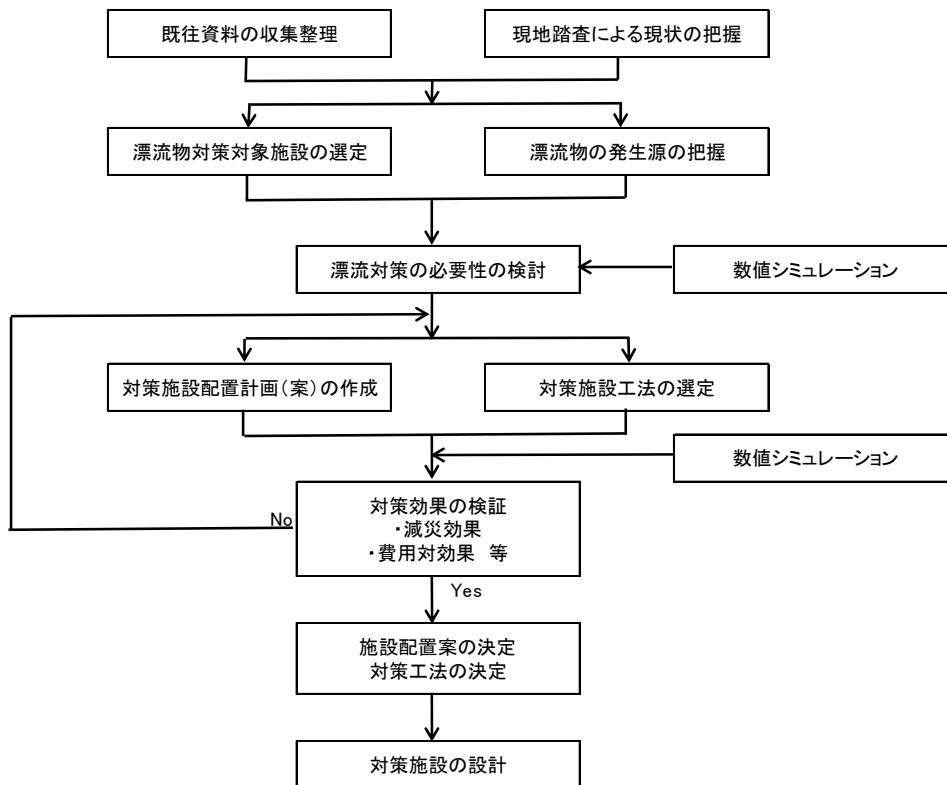


図 3-2 検討フロー（新たに漂流シミュレーションを活用する方法）

表 3-1 各方法の考え方ならびに特徴・課題

方法	考え方	特徴・課題
既往の津波伝播シミュレーション結果を活用する方法	最大水位、最大流速分布を使用する。 最大流速により漂流の可能性を判定する。 施設位置の流速・方向により衝突力と範囲を算定する。	新たな漂流シミュレーションを行わないので比較的簡便に計画が可能である。 対策施設の規模・範囲が過大となる恐れがある。
新たに漂流シミュレーションを活用する方法	漂流物の移動範囲、速度が計算されるので、衝突力と範囲をよりの確に推定できる。	対策施設の規模・範囲をより合理的に設定できる。 漂流シミュレーションに期間・費用が必要となる。

3.2.2 基本条件の把握

津波漂流物対策施設の配置・工法の検討に先立ち、対象とする漁港の整備方針や利用状況、周辺状況、そして当該漁港に影響を及ぼし得る漂流源などの基礎的な条件について把握する。

(1) 漁港整備方針・利用状況の把握

① 漁港整備方針の把握

津波漂流物対策施設の配置・工法の検討に先立ち、対象とする漁港の整備事業基本計画書にある“整備の方針”を把握して、漂流物対策が当初方針に対して齟齬等ないかを確認する。

② 漁港利用状況の把握

当該漁港の利用実態を把握する。着眼点としては、本ガイドラインで漂流対象物として扱う船舶、車両、養殖施設等の存在状況を正確に把握することである。

具体的には、漁港内に存在する船舶、車両、養殖施設等に対して、以下の観点で整理することが、より効果的かつ効率的な津波漂流物対策施設の配置・工法の検討、設計に資する上でも重要となる。

- ・ どのような種類の船舶、車両、養殖施設が
- ・ いつ
- ・ どこに
- ・ どれだけ存在するか

(2) 漁港周辺状況の把握

漁港内の津波漂流物対策施設の位置を検討するための条件となる漁港周辺の地形、防潮堤(海岸堤防)の位置及び関連する周辺の整備・開発計画について整理する。

① 漁港周辺の地形

漁港及び周囲の地形を踏まえて、漂流物の衝突可能性の範囲及び漁港内(係留施設、水域施設、荷捌き施設、補給施設)への拡散・滞留可能性の範囲を基礎資料(計画平面図、地形図等)や現地踏査によって確認する。

② 構造物の状況

本ガイドラインの対象範囲に存在する防潮堤、防波堤等の構造物について、高さ・幅員・延長・構造形式を台帳等の基礎資料や現地踏査によって把握する。

③ 周辺の整備・開発計画

現状の把握に加え、今後の整備・開発の計画(復旧・復興整備を含む)についても把握する。

(3) 漁港の漂流源の把握（種類・位置など）

漂流物対策の基本条件である漂流源（漂流物となり得る対象物）について把握する。具体的には、本ガイドラインで対象とする漂流物である船舶や車両、さらには養殖施設の種類・位置について、基礎資料（港勢調査、漁場図等）や現地踏査によって確認する。

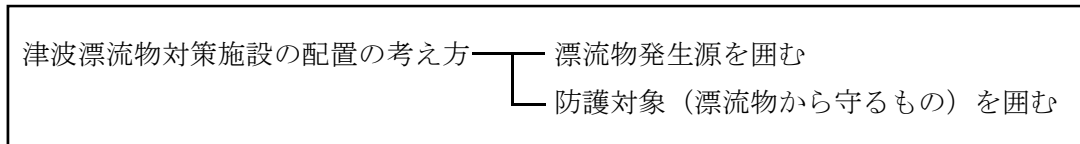
(4) 対象施設の選定（守るべき施設の選定）

前述の漁港整備方針・利用状況を踏まえて、対象とする漁港において守るべき施設（重要な係留施設、これに付随する水域施設、背後の荷捌き施設、補給施設）を選定する。

3.2.3 配置・工法の検討

「3.2.1 検討の手順」に沿って津波漂流物対策施設の配置・工法の検討を行う。検討に際しては、前述の通り“既往の津波伝播シミュレーション結果を活用する方法”もしくは“新たに漂流シミュレーションを活用する方法”を用いる。

なお、津波漂流物対策施設の配置の基本的な考え方について、「災害に強い漁業地域づくりガイドライン」で以下に示す2通りとしており、本ガイドラインにおいてもこの考え方を基本とする。



(1) 検討の概要

基本条件の把握で得られた結果ならびに数値シミュレーション結果に基づき、漂流物対策の必要性について検討を行う。

例えば、数値シミュレーションで漂流する結果となっても、当該漁港で守るべき施設がない場合は、基本的に漂流物対策は必要なしと判断される。逆に、守るべき施設が存在しても数値シミュレーションで漂流しない結果となった場合は、同様に漂流物対策は基本的に必要なしとなる。

守るべき施設が存在し、かつ数値シミュレーション結果より漂流の恐れがある場合、漂流物対策が必要と判断され、数値シミュレーション結果を踏まえて対策施設の配置計画（案）の作成および工法の選定を並行して実施し、検討した津波漂流物対策施設の対策効果（減災効果、費用対効果）の検証を通じて、施設の配置・工法を決定する。

(2) 漂流物対策方針の設定

漂流物対策は、漂流物の衝突、拡散・滞留可能性の範囲（防護範囲）と、漂流物の移動速度・方向等条件（外力条件）を適切に考慮して、現地状況に応じた対策方針を設定する。また、漁港利用者をはじめとする地域住民との合意形成を通じて、環境面（景観を含む）や利用面（漁業活動に支障を来さない配置等）にも十分に配慮することが望ましい。

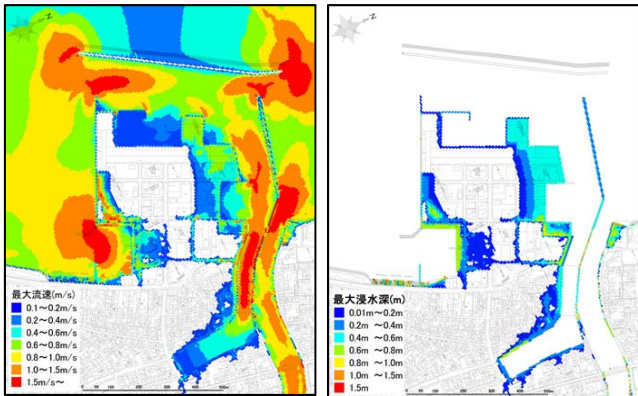
(3) 漂流物対策施設の配置・工法の検討

① 漂流物対策の必要性の検討

i) 既往の津波伝播シミュレーション結果を活用する方法

対象とする漁港において守るべき施設が存在する場合、当該地域で過去に実施した津波伝播シミュレーション結果（最大水位・最大流速分布）を使用し漂流物になり得る対象物（船舶・車両・養殖施設）の漂流の可能性を判定し、漂流物対策の必要性を検討する。以降に、既往の津波伝播シミュレーション結果を活用する場合の検討例を示す。

既往の津波伝播シミュレーション結果
(発生頻度の高い津波(L1))より、最大
流速と最大浸水深を活用する。



●船舶

【係留時】

- ・係留が弱い場合（老朽化や不完全な係留）：流速 2m/s 以上
- ・係留方法を改善した場合：流速 4m/s 以上

【非係留時】

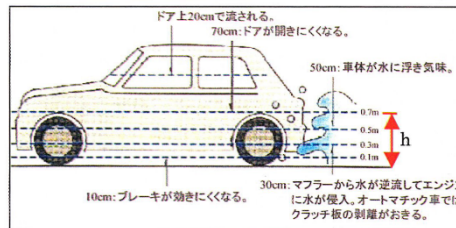
- ・浸水深が 1.5m 以上（小型漁船の喫水を想定）

●車両

- ・浸水深が 0.5m 以上（右図）

●養殖施設

- ・流速が 1.0m/s 以上



出典：災害に強い漁業地域づくりガイドライン

●守るべき施設

- ・水域施設（泊地・航路）：右図の水色範囲

●漂流物になり得る対象物

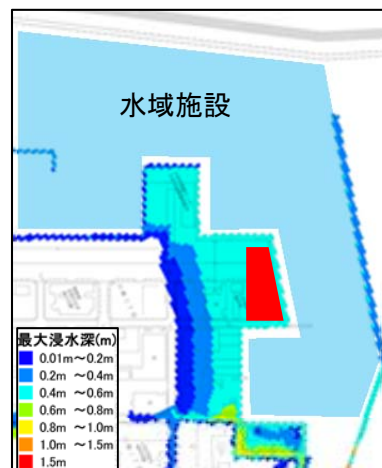
- ・車両：右図の赤色範囲に駐車

●漂流判定

- ・車両停車位置で浸水深 0.6m > 0.5m（判定基準）・・・漂流する



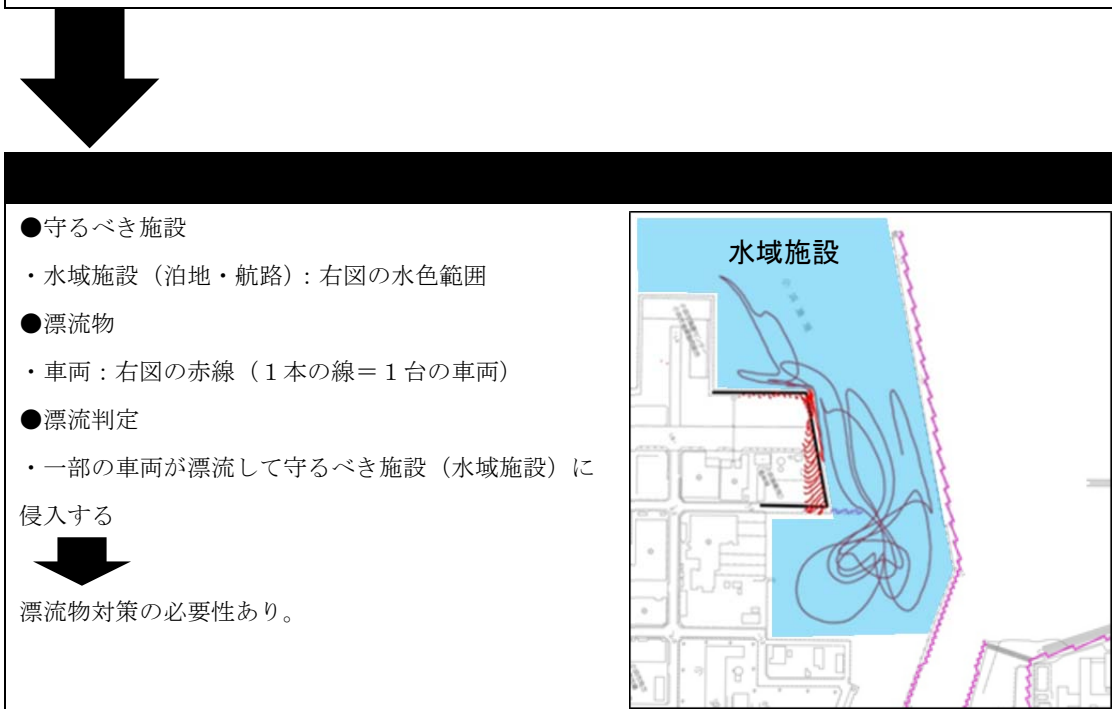
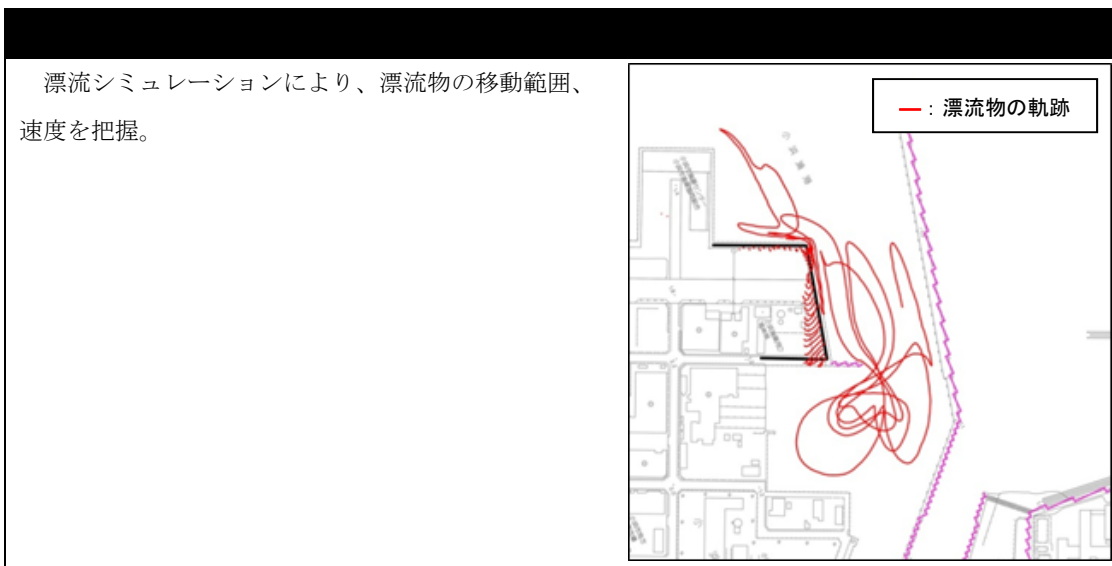
漂流物が守るべき施設（水域施設）に侵入する恐れがあることから、漂流物対策の必要性あり。



ii) 新たに漂流シミュレーションを活用する方法

対象とする漁港において漂流物対策の必要性を検討する際に、漂流シミュレーションを活用する方法もある。漂流シミュレーションは、漂流物の移動範囲、速度が計算されるため、衝突力と漂流範囲をよりの確に推定することが出来る。

以下に、漂流シミュレーションを活用する場合の検討例を示す。



② 対策施設の配置計画・工法選定

i) 既往の津波伝播シミュレーション結果を活用する方法

前段で「漂流物対策が必要」と判定された場合、守るべき施設（ここでは水域施設）と漂流物の位置関係や想定される流向を勘案して、津波漂流物対策施設の配置を検討するとともに、工法の選定を行う。

配置の検討は、前述したように①漂流物発生源を囲む、②防護対象（漂流物から守るもの）を囲む、の2通りを基本とし、現地状況ならびにシミュレーション結果を踏まえて適切に行うこととする。

また、工法の選定は、ここでは対策の目的即ち「衝突防止対策」あるいは「拡散・滞留防止対策」を選定するものであり、現地状況ならびにシミュレーション結果を踏まえて適切に行うこととする。

図 3-3 を例にすると、当該漁港では守るべき施設が水域施設であり、同施設への漂流物の侵入防止を第一義とすると、以下の方針となる。

- ・ 配置：漂流物発生源（＝駐車場）を囲む
- ・ 工法：漂流物（＝車両）の拡散・防止対策



図 3-3 津波漂流物対策施設の配置・工法の検討例
（既往の津波伝播シミュレーション結果に基づく）

ii) 新たに漂流シミュレーションを活用する方法

前段で「漂流物対策が必要」と判定された場合、シミュレーション結果を踏まえて、津波漂流物対策施設の配置を検討するとともに、工法の選定を行う。

配置の検討ならびに工法の選定に関する基本的な考え方は、「i) 既往の津波伝播シミュレーション結果を活用する方法」と同様である。

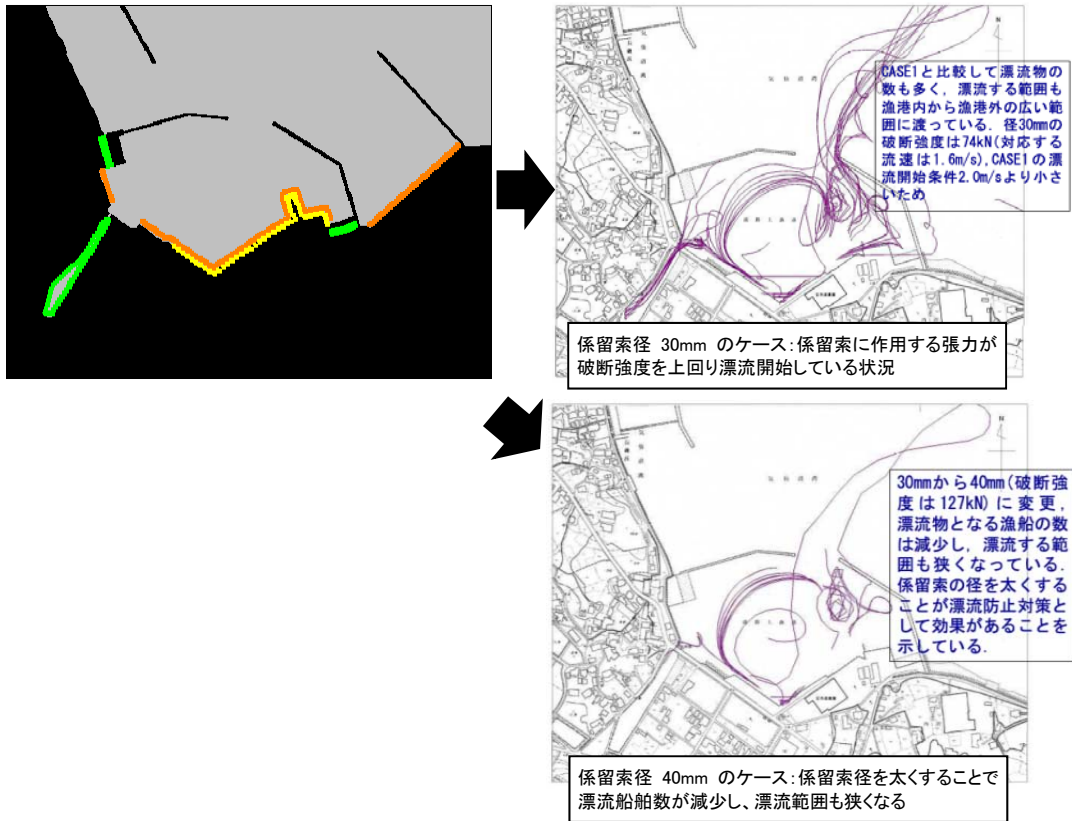


図 3-4 津波漂流物対策施設の配置案
(漂流シミュレーション結果に基づく)

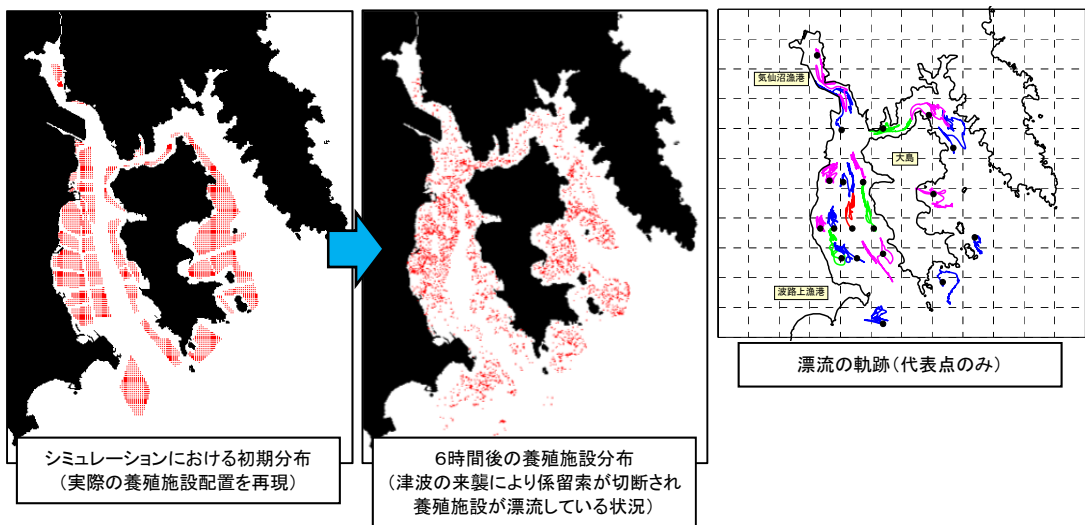
【参考情報】

前述の漂流シミュレーションを活用する方法では、対象とする漂流物を「車両」としているが、ここでは「船舶」ならびに「養殖施設」を対象とした漂流シミュレーションの事例を示す。詳細については、「災害に強い漁業地域づくりガイドライン」を参照されたい。

■船舶



■養殖施設



③ 対策施設の種類

津波漂流物対策施設の主な種類は下図に示す通りであり、捕捉する漂流物の種類や守るべき施設等に応じて適切に選定することが重要である。

例えば、主たる漂流物が船舶、車両、養殖施設など中小規模のものであれば、ガードケーブルタイプの漂流防止柵が適している（図 3-5）。逆に、主たる漂流物が比較的大きなものに限られる場合は、杭式が適している（図 3-6）。大きなものから中小規模のものまでを捕捉する場合は、フェンスタイプの漂流防止柵が適している（図 3-7）⁴。

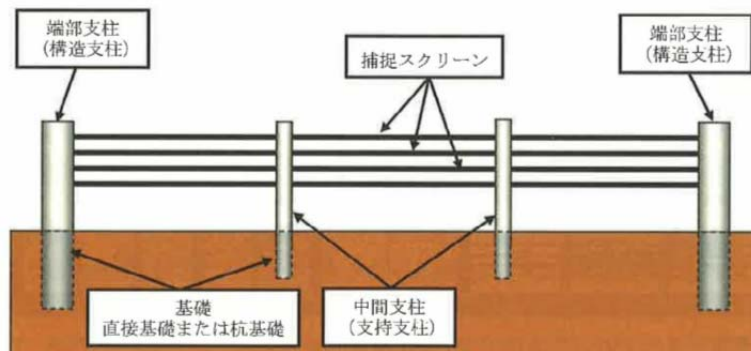


図 3-5 漂流防止柵（ガードケーブルタイプ）

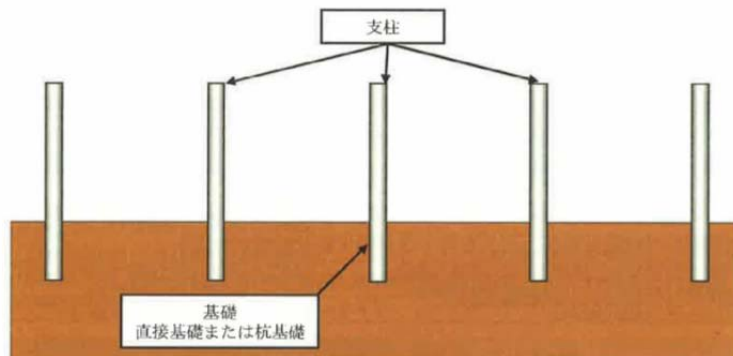


図 3-6 杭式

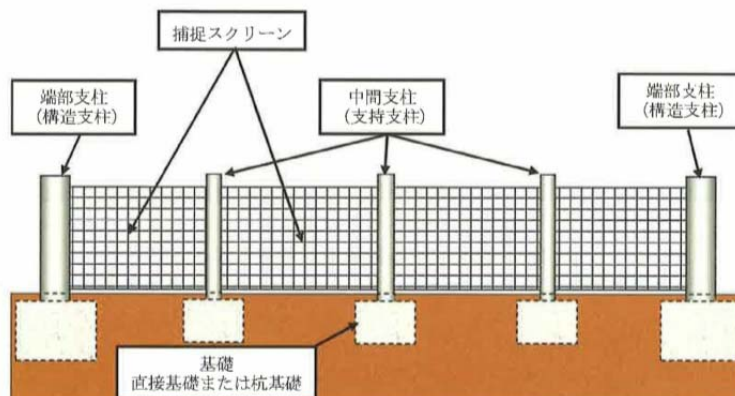


図 3-7 漂流防止柵（フェンスタイプ）

⁴ 「津波漂流物対策施設設計ガイドライン」平成 26 年 3 月、一般財団法人沿岸技術研究センターほか

④ 対策効果の検証

津波漂流物対策を講じることによる減災効果、費用対効果について、「平成 23 年東日本大震災を踏まえた漁港施設の地震・津波対策の基本的な考え方」中の“参考資料 3 防波堤と防潮堤による多重防護の活用”を参考に算定し、対策効果の検証を行う。

⑤ 対策施設配置・工法の決定

前述の一連の過程を経て、一定の対策効果が認められることを確認した上で、津波漂流物対策施設の配置と工法を最終決定する。

なお、環境面（景観を含む）や利用面（漁業活動に支障を来さない配置等）への配慮など、対策の検討段階から漁港利用者をはじめとする関係者との十分な合意形成を図ることが望ましい。

3.3 津波漂流物対策施設の設計

【基本的考え方】

津波漂流物対策施設の設計は、当該施設に作用する外力（地震力・津波波力・衝突力）を現地の特性に応じて適切に定め、対象津波来襲時にも漂流物対策としての機能を保持するように各種構造諸元を設定する。

【解説】

3.3.1 設計の考え方

津波漂流物対策施設の設計は、当該施設に作用する外力（後述の“3.3.3 作用”参照）を現地の特性に応じて適切に定め、対象津波来襲時にも漂流物対策としての機能を保持するように各種構造諸元を設定する。

3.3.2 設計条件の設定

津波漂流物対策施設の設計条件は、自然条件、経済的・社会的条件、自然環境に及ぼす影響、工事や施設の維持管理に係る経済性などを考慮して、施設の安全性と機能が確保されるよう適切に定める。

3.3.3 作用

本ガイドラインにて津波漂流物対策施設の設計に用いる作用の形態は、地震力、津波波力、漂流物の衝突力とし、これらを現地の特性に応じて適切に考慮するものとする。

(1) 作用津波の設定

作用津波は、前述の「1.3(4)対象津波」で述べたように「発生頻度の高い津波（L1）」とする。

(2) 地震力

地震力は、下記2つの設計震度のうち、大きい方を用いる[※]。

- a) 「漁港・漁場の施設の設計参考図書⁵⁾」の“第2編 設計条件 第11章 地震力”に示す震度（表 3-2）。
- b) 発生頻度の高い津波を生じさせる地震で求まる設計震度

※「漁港・漁場の施設の設計参考図書」中の“設計水平震度を定めることは、「来襲する地震動」の大きさにしたがって「構造物に働く地震力」を数値化することに該当する”に基づく

⁵⁾ 「漁港・漁場の施設の設計参考図書」平成28年3月、(公社)全国漁港漁場協会

表 3-2 地域別の工学的基盤最大加速度及び設計水平震度

	北海道(根室, 釧路, 十勝, 日高), 関東(千葉県, 東京都の八丈島及び小笠原諸島を除く地域, 神奈川県), 中部(福井県, 静岡県, 愛知県), 近畿(三重県, 滋賀県, 大阪府, 兵庫県, 和歌山県)	東北(青森県の尻屋崎以南の太平洋岸, 岩手県, 宮城県, 福島県), 近畿(京都府), 四国(徳島県, 高知県)	北海道(胆振, 渡島, 檜山), 東北(青森県の尻屋崎以南の太平洋岸を除く地域, 秋田県, 山形県), 中部(新潟県, 富山県, 石川県), 中国(鳥取県, 広島県), 四国(愛媛県), 九州(熊本県, 鹿児島県の奄美諸島)	北海道(網走, 後志, 石狩, 空知, 留萌), 中国(島根県, 岡山県), 四国(香川県), 九州(佐賀県, 長崎県の五島列島, 奄岐及び対馬を除く地域, 鹿児島県の奄美諸島を除く地域), 沖縄県の大東諸島を除く地域)	北海道(宗谷), 関東(東京都の八丈島及び小笠原諸島), 中国(山口県), 九州(福岡県, 長崎県の五島列島, 奄岐及び対馬, 沖縄県の大東諸島)
係留施設 A	0.18 (0.22)	0.16 (0.19)	0.14 (0.17)	0.13 (0.16)	0.10 (0.12)
親水施設	0.18 (0.22)	0.16 (0.19)	0.14 (0.17)	0.13 (0.16)	0.10 (0.12)
係留施設 B	0.15 (0.20)	0.13 (0.16)	0.12 (0.14)	0.11 (0.13)	0.08 (0.10)
外郭施設	0.15 (0.20)	0.13 (0.16)	0.12 (0.14)	0.11 (0.13)	0.08 (0.10)
工学的基盤の最大加速度(Ga1)	350	250	200	150	100

(注1) 第四紀層(沖積層, 洪積層)の厚さが, 下記のいずれかの場合は()書の設計水平震度を用いる。

① 一般の砂及び粘土地盤の厚さが25m以上の場合

② 軟弱地盤の厚さが5m以上の場合

ここでいう軟弱地盤とは, N値が4以下の砂地盤, または一軸圧縮強度が20 kPa以下の地盤であり, 通常の軟弱地盤の概念とは若干異なる。

(注2) 係留施設Aは, 耐震強化岸壁, 耐震強化岸壁に準じる岸壁及びその他の耐震性能を強化する岸壁, 又は定期船・フェリーが発着する岸壁であることを基本とする。係留施設Bは, 係留施設A以外の岸壁及び物揚場である。

(注3) 親水施設は, 親水性を考慮した護岸及び防波堤である。

(注4) 外郭施設は, 親水施設及び道路護岸を除く外郭施設である。

※漁港・漁場の施設の設計参考図書より引用

(3) 津波波力

津波波力については, 表 3-3 に示す既存のガイドライン、指針等で各々論じられている。具体の算定方法等は表 3-4 に示す通りであり、これらの中から対象とする漁港の適用条件に応じて適宜選択することとする。

表 3-3 津波波力の評価方法

ガイドライン・指針	算定方法	課題
①津波漂流物対策施設設計ガイドライン 【(財)沿岸技術研究センター、(社)寒地港湾技術研究センター】	抗力係数を使用した流速による抗力式で算定。 【対象】透過型漂流防止柵	波力の形態を考慮していない。支柱が対象であるため、鉛直方向の力を評価していない。
②漁港の津波避難に関するガイドライン 【水産庁】	浸水深に基づき津波の力を算定。 【対象】津波避難誘導デッキ	波力の形態を考慮していない。
③建築物荷重指針・同解説(2015) 【日本建築学会】	(1)水位・流速の時系列 (2)最大水位・最大流速がある場合、抗力式を使用 (3)最大浸水深のみの場合は静水圧型波力式で算定 【対象】建築物	

表 3-4 津波波力に関する既往算定式の一覧

No.	適用条件	評価式	変数	参考文献
①	支柱間が漂流物で遮られた場合の流れの力の算出方法として提示。	$F_D = C_D \frac{\gamma_w}{2g} AU^2$	C_D : 抗力係数 A : 流れ方向投影面積(m^2) γ_w : 海水の単位堆積重量(kN) g : 重力加速度(m/s^2) U : 津波流速(m/s)	一般的な抗力の式
②	津波避難施設の脚部に作用する波力として提示。	$\frac{P_{max}}{\rho g \eta_{max}} = 2.2 \left(1 - \frac{Z}{3\eta_{max}} \right)$	P_{max} : 最大津波波圧(N/m^2) ρ : 流体の密度(kg/m^3) g : 重力加速度(m/s^2) η_{max} : 最大遡上水深(m) Z : 陸上地面を基準とした上向き正の座標	谷本ら ⁶
③	津波先端部の水平力 (A) 浸水深と流速の時系列が利用できる場合(4通りの算定式を提示)	$F = C_{D1} \frac{\rho B (h(t)v(t)^2)_{max}}{2g}$ $C_{D1} = 2.0 + \frac{5.4h_{max}}{D} (0.01 < \frac{h_{max}}{D} < 0.17)$	B : 建築物の見付幅(m) W : 建築物の奥行幅(m) $h(t)$: 浸水深の時系列(m) $v(t)$: 流速の時系列(m/s)	ファウジら ⁷
		$F = \left(\frac{C_{D2}}{2} \rho B h(t)v(t)^2 + C_M \rho B W h(t) \frac{\partial v(t)}{\partial t} \right)$ $C_{D2} = 2.0, C_M = 1.0 (0.01 < \frac{h_{max}}{D} < 0.17)$	h_{max} : 最大浸水深(m) v_{max} : 最大流速(m/s) h_{vmax} : 最大流速時の浸水深(m)	東京大学 ⁸
		$F = \frac{a^2}{2} \rho B g h_{max}^2, a = 1.5, (F_r(t) < 1.0 \text{ の場合})$	g : 重力加速度(m/s^2) ρ : 海水密度(kg/m^3)	有川・大家ら ⁹
		$F = \frac{a^2}{2} \rho B g h_{max}^2$ $a = 1.7 \cdot 0.5(1 + \xi) F_r^2 (1 < F_r < 4, \xi = 0.4)$	D : 海岸線からの距離(m) p_m : 波圧(kN/m^2)	有川・大家ら ⁹
	(B) 最大浸水深と最大流速が利用できる場合(2通りの算定式を提示)	$F = \frac{C_{D3}}{2} \rho B h_{max} v_{max}^2, C_{D3} = 1.3 + 6.3 \frac{h_{max}}{D}$ $p_m = \begin{cases} \rho g (h_{fmax} - z) \\ \rho g (h_{fmax} - z) + \rho v_{max}^2 \end{cases}$	h_{fmax} : 構造物前面の最大浸水深(m) v_{max} : 構造物近傍の最大流速(m/s)	ファウジら ²
	(C) 最大浸水深が利用できる場合	$F = \frac{a^2}{2} \rho B g h_{max}^2$	z : 地面からの高さ(m) F_r : フルード数	国土交通省 ¹¹
津波非先端部の抗力	(A) 浸水深と流速の時系列が利用できる場合 $F_D = \frac{1}{2} \rho C_D (v(t)^2 h(t))_{max} B$ (B) 浸水深と流速の時系列が利用できる場合 $F_D = \frac{1}{2} \rho C_D v_{max}^2 A_{max}$ (C) 浸水深と流速の時系列が利用できる場合 $F_D = \frac{1}{2} \rho C_D v_{max}^2 A_{max}$ $v_{max} = F_r \sqrt{gh_{max}}$		一般的な抗力の式	

※表の No. は、前表 (表 3-3) のガイドライン・指針の番号と符合

⁶ 「1983 年日本海中部地震津波による津波力と埋立護岸の被災原因の検討、第 31 回海岸工学講演会論文集、pp.257-261」昭和 59 年、谷本勝利・鶴谷広位置・中野晋
⁷ 「陸上構造物に作用する津波波力の推定手法に関する考察、土木学会論文集 B2(海岸工学)、Vol.65、No.1、pp.321~325」平成 21 年、ファウジアフマド・嶋原良典・藤間功司・水谷法美
⁸ 「平成 23 年度建築基準整備促進事業 40 津波危険地帯における建築基準等の整備に資する検討中間報告書その 21」平成 23 年、東京大学生産技術研究所
⁹ 「防潮堤背後の建物に作用する津波力に関する実験的検討、土木学会論文集 B2(海岸工学)、Vol.70、No.2、pp.1-806~1-810」平成 26 年、有川太郎・大家隆行
¹⁰ 「構造物前面の浸水深と流速を用いた津波波圧の評価手法に関する水理実験、土木学会論文集 B2(海岸工学)、Vol.68、No.2、pp.1-776~1-780」平成 24 年、有光剛・大江位置也・川崎浩司
¹¹ 「津波浸水想定を設定する際に想定した津波に対して安全な構造方法等を定める件」平成 23 年、国土交通省告示第 1318 号

(4) 漂流物の衝突力

漂流物の衝突力については、表 3-5 に示す既存のガイドライン、指針等で各々論じられている。具体の算定方法等は表 3-6 に示す通りであり、これらの中から対象とする漁港の適用条件に応じて適宜選択することとする。

表 3-5 漂流物の衝突力の評価方法

ガイドライン・指針	算定方法	課題
①津波漂流物対策施設設計ガイドライン 【(財)沿岸技術研究センター、(社)寒地港湾技術研究センター】	漂流物による衝突エネルギーを漁船の接岸エネルギー準じて算定。 対策施設の変形による、吸収エネルギーが衝突エネルギー以上となるように設計し、漂流物を捕捉する。	主に防止柵への作用力が対象。衝撃的な力の算定法として過小評価の可能性がある。
②漁港の津波避難に関するガイドライン 【水産庁】	漂流物別に衝突力算定式を提示。 最大衝突力（最大流速時）を最も安定性が厳しくなる位置（津波水位の範囲内）に作用させる。	施設まで漂流される過程のシナリオを想定し、設計に用いる漂流物を選定する。最悪の状態を想定するため、過大評価となる恐れがある。
③建築物荷重指針・同解説(2015) 【日本建築学会】	流木・コンテナを対象とした6種類の評価式（松富，池野ら，水谷ら，有川ら，FEMA の式）を提示。	複数の算定式が提示されており、選択が難しい。

表 3-6 漂流物の衝突力に関する既往算定式の一覧

No.	ガイドラインにおける位置付け等	評価式 変数	対象 漂流物
①	漁港・漁場の施設の設計の手引(2003年度版)に示されている、接岸エネルギーの計算式を応用した式として、衝突エネルギー算定式を示している。	$W = W_0 + (\pi/4)D^2 L \gamma_w$ $D = WV^2 / 2g$	船舶
		上記の式において、 $D = \frac{W}{\gamma_w LB}$ とする。	車両
		上記の式を、木材・コンテナを船舶に見立てた上で、そのまま適用する。	流木・コンテナ
②	流木の衝突力算出方法として、松富の式 ¹² を示している。	$\frac{F_1}{rD^2L} = 1.6C_{MA} \left\{ \frac{v_{A0}}{(gD)^{0.5}} \right\}^{1.2} \left(\frac{\sigma_f}{\gamma L} \right)^{0.4}$	流木
	流木の衝突力算出方法として、池野らの式 ¹³ を示している。	$\frac{F_1}{gM} = SC_{MA} \left\{ \frac{V_H}{g^{0.5} D^{0.25} L^{0.25}} \right\}^{2.5}$	流木
③	松富の式を提示	上記と同じ	流木
	池野らの式を提示	上記と同じ	流木
	コンテナの衝突力算出方法として、水谷ら ^{14, 15} の式を提示。	$F_1 = 2\rho_w \eta_m B_c V_x^2 + \frac{WV_x}{gd_t}$	コンテナ
	流木・コンテナの衝突力算出方法として、有川らの式 ^{16, 17} を提示。	$F_1 = \gamma_p \chi^{2/5} \left(\frac{5}{4} \tilde{m} \right) v^{2/5} \quad \chi = \frac{4\sqrt{a}}{3\pi} \frac{1}{k_1 + k_2} \quad k = \frac{1-\nu^2}{\pi E} \quad \tilde{m} = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2}$	流木 コンテナ
流木・コンテナの衝突力算出方法として、FEMA 式 ¹⁸ を提示。	$F_1 = C_m u_{\max} \sqrt{km}$	流木 コンテナ	

※表の No. は、前表(表 3-5)のガイドライン・指針の番号と符合

¹² 「流木衝突力の実用的な評価式と変化特性、土木学会論文集、NO.621、pp.111~127」平成 11 年、松富英夫。

¹³ 「陸上遡上津波と漂流物の衝突力に関する実験的研究、海岸工学論文集、第 50 巻、pp.721~725」平成 15 年、池野正明ら

¹⁴ 「エプロン上のコンテナに作用する津波力と漂流衝突力に関する研究、海岸工学論文集、第 52 巻、pp.741~745」平成 17 年、水谷法美・高木祐介・白石和陸・宮島正悟・富田孝史

¹⁵ 「陸上遡上津波によるコンテナの漂流挙動と漂流衝突力に関する研究、海岸工学論文集、第 54 巻、pp.846~850」平成 19 年、康慶喜・水谷法美・白石和陸・宇佐美敦浩・宮島正悟・富田孝史

¹⁶ 「津波による漂流木のコンクリート壁面破壊に関する大規模実験、土木学会論文集 B2(海岸工学)、Vol.66、No.1、pp.781~785」平成 22 年、有川太郎・鷺崎誠

¹⁷ 「津波により転倒した建物の基礎について その 2)今後の津波対策への提言. シンポジウム 東日本大震災からの教訓 これからの新しい国づくり、pp.199~202」平成 24 年 3 月、杉村義広・三辻和弥

¹⁸ 「Guidelines for Design of Structures for Vertical Evacuation, FEMA P.646」2012 年、FEMA

3.3.4 性能照査

(1) 利用性に関する性能照査

支柱の高さ及び間隔は、対象漂流物の捕捉機能等を考慮し、適切に設定することを原則とする。

① 支柱の高さ

支柱の高さは、漂流物の喫水と津波の浸水深を考慮して適切に決めるものとする。

【解 説】

支柱の高さは、漂流物の喫水と津波の浸水深を考慮して適切に決めるものとする。例えば、船舶の場合¹⁹には、甲板面の高さは船の重心よりも上にあるので、支柱の高さが甲板面の高さ以上であれば漂流物が支柱を乗り越えないと考える。図 3 8 に船舶の事例を示す。

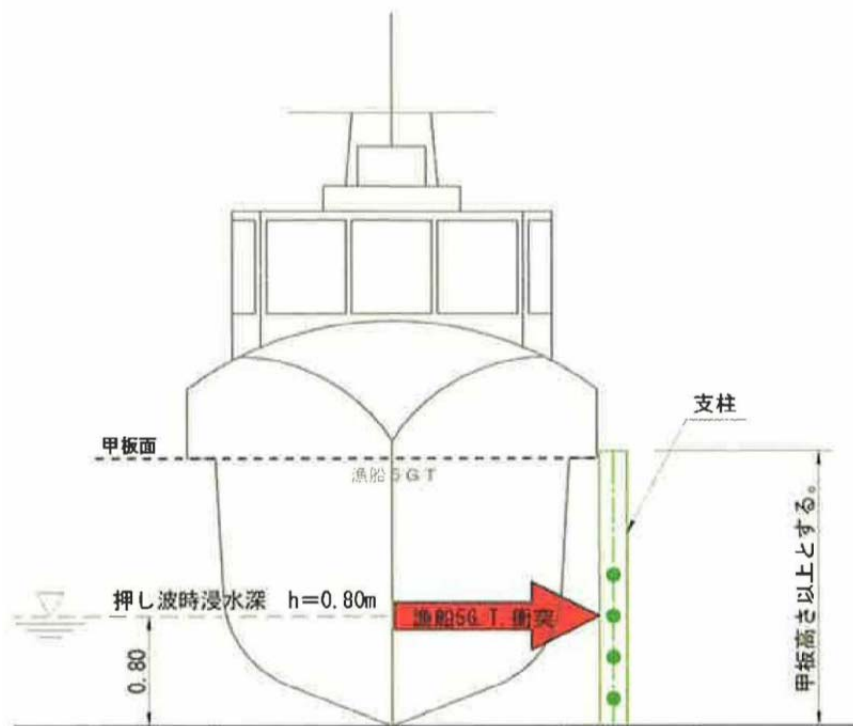


図 3-8 支柱の高さ(船舶の事例)

¹⁹ 「釧路港東港区津波漂流物対策施設実施設計業務」平成 18 年 11 月、北海道開発局

② 支柱間隔

支柱間隔は、対象漂流物が捕捉されるよう、対象漂流物の諸元や経済性により、適切に設定する。

【解 説】

支柱間隔は、対象漂流物諸元、設計浸水深、設計流速等から、経済性も考慮し適切に設定する必要がある。釧路港の事例では、支柱間隔の異なる 3 ケースについて支柱、捕捉スクリーン、支柱基礎コンクリートの総合比較を行い、支柱間隔を決定した。

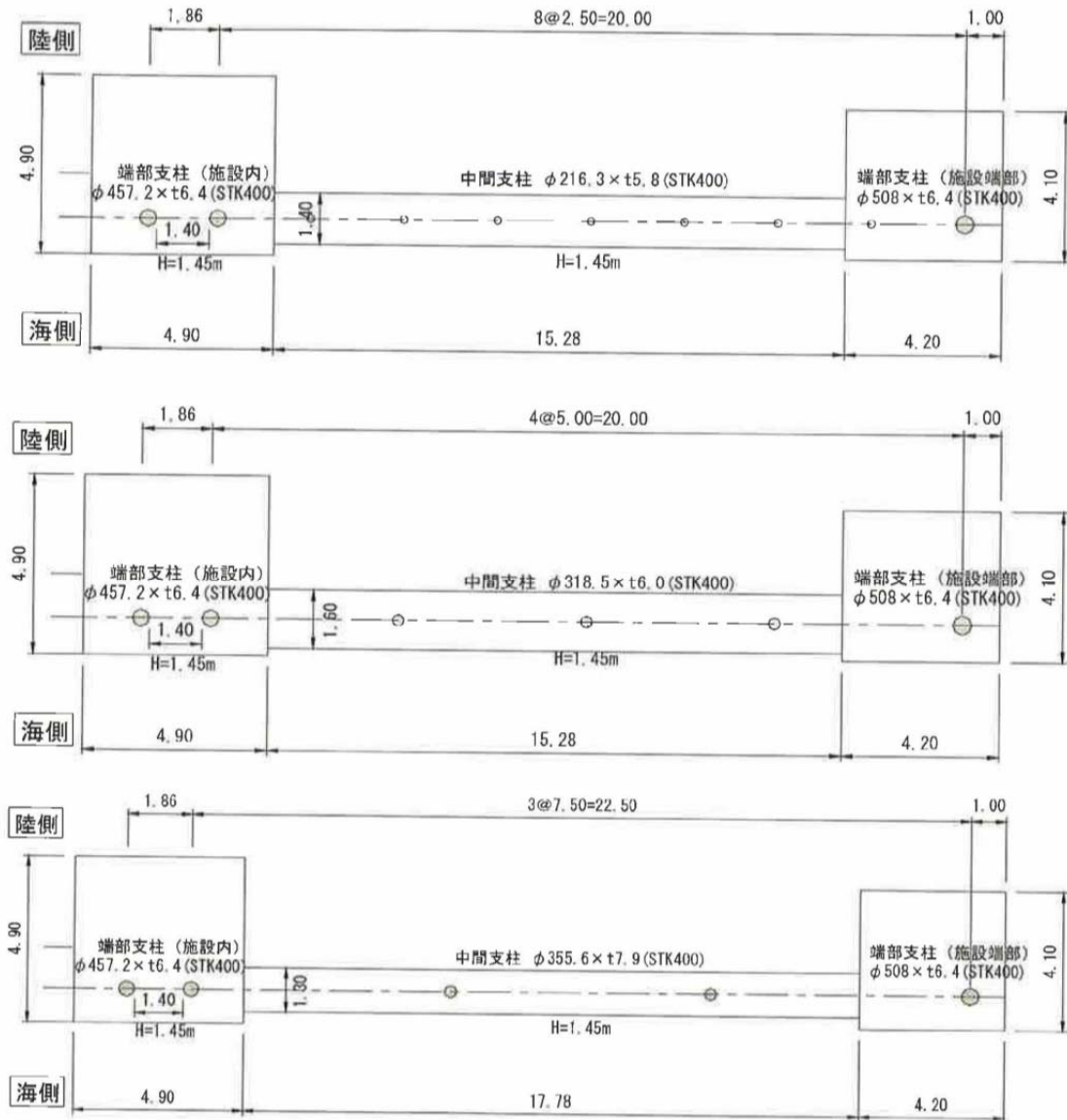


図 3-9 支柱間隔(釧路港の事例)

なお、ワイヤロープを設置する作業は人力で行っており、端部固定金具におけるロープ長の調整長が一般的には10数cmであることから、支柱間隔が大きくなりすぎると施工できないこととなる。

施工という観点から、「ロープの施工時のたるみ並びに設計初期引張り時の伸び」と「可能調整長」の関係や、過去の施工実績を考慮すると、標準的な中間支柱間隔は最大10m程度、端部支柱間隔は最大100m程度であると考えられる。

表 3-7 支柱間隔ごとの必要調整長（参考）

必用調整長 (mm)		端部支柱間隔 (m)		
鋼製φ10の場合		60	100	150
中間支柱 間隔 (m)	5	56	93	139
	10	63	104	157
	15	74	123	185
	20	90	150	225

必用調整長 (mm)		端部支柱間隔 (m)		
鋼製φ14の場合		60	100	150
中間支柱 間隔 (m)	5	36	60	90
	10	62	104	156
	15	106	177	266
	20	168	280	420

必用調整長 (mm)		端部支柱間隔 (m)		
鋼製φ18の場合		60	100	150
中間支柱 間隔 (m)	5	41	68	102
	10	113	189	283
	15	234	390	586
	20	404	673	1,009

表中、黄色の網掛け部分は、端部支柱での調整長に対して個別の配慮が必要となる。

(2) 安全性に関する性能照査

端部支柱及び中間支柱は、漂流物の衝突エネルギーを十分に吸収できるとともに、捕捉スクリーンからの伝達力に対して安全なものとする。

【解 説】

杭の性能照査については、弾性床上の片持ち梁とみなすことができる場合には、「漁港・漁場の施設的设计参考図書」に示される特性値を用いた杭の根入れ長及び発生応力の計算を行うものとしてよい。

1) 端部支柱の安全性能の照査

① 端部支柱による衝突エネルギーの吸収

端部支柱に衝突し捕捉された漂流物の衝突エネルギーは、支柱の梁変形と衝突点の支柱断面の局部変形(凹み)で吸収するものとする。

i) 梁変形による吸収エネルギー

梁変形による吸収エネルギーは(式 3.3.1)で計算できる。

$$E_p = P_o \delta_{pa} \quad (\text{式 3.3.1})$$

P_o は、衝突箇所で生じる反力の最大値で、支柱下端の曲げ降伏(全断面塑性条件)から決まる荷重であり、(式 3.3.2)によって算出される。

$$P_o = \frac{Z_p \sigma_{yd}}{H} \quad (\text{式 3.3.2})$$

ここに、

σ_{yd} : 動的降伏応力(=1.2 × σ_y)

σ_y : 静的降伏応力(式 3.3.3 参照)

Z_p : 支柱の塑性断面係数

H : 荷重作用高さ

支柱の静的降伏応力の算定については、鋼材の加工硬化を考慮し、次式で算出する。

$$\begin{aligned} \text{STK400 の場合} \quad \sigma_y &= 527.5 \left(\frac{D}{t_p} \right)^{-0.104} \quad (N/mm^2) \\ \text{STK490 の場合} \quad \sigma_y &= 527.5 \left(\frac{D}{t_p} \right)^{-0.104} \quad (N/mm^2) \end{aligned} \quad (\text{式 3.3.3})$$

なお、鋼材の加工硬化を考慮した（式 3.3.3）の適用範囲（実験範囲）は、管径／肉厚比（ D/t_p ）が $8 < D/t_p < 110$ の場合であり、この範囲を外れる支柱については別途、適切な検討を行うものとする。

端部支柱では、鋼管支柱の基部に局部座屈が発生する時を終局限界とする。局部座屈発生時の塑性変位量 δ_{pa} は、（式 3.3.4）によって求められる。また、 θ_{pa} は塑性回転角で、局部座屈が発生する限界角度を示している。

$$\delta_{pa} = \theta_{pa} H \quad (\text{式 3.3.4})$$

$$\theta_{pa} = \frac{1.355}{D/t_p} \quad (\text{式 3.3.5})$$

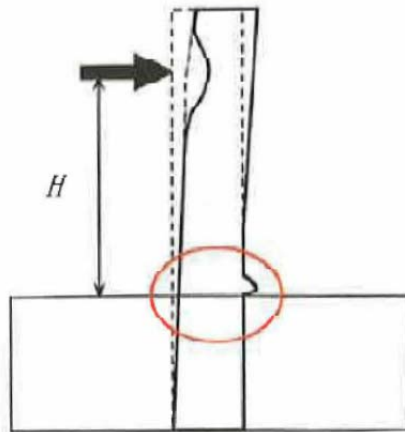


図 3-10 支柱下端の局部座屈の概念

ii) 局部変形(凹み)による吸収エネルギー

局部変形(凹み)による吸収エネルギーの最大値は、(式 3.3.6) で与えられる。

$$E_R = P_o \frac{\delta_{Lo}}{1.8} \quad (\text{式 3.3.6})$$

ここに、 P_o は、衝突箇所で生じる反力の最大値で、支柱下端の曲げ降伏(全断面塑性条件)から決まる荷重であり、(式 3.3.2) で算出できる。

また、 δ_{Lo} は、荷重 P_o に対する凹み量で、(式 3.3.7) で算出できる。

$$\delta_{Lo} = D \left\{ \frac{4(D-t_p)^2}{KHt_p} \right\}^{1.25} = D \left\{ \frac{4Z_p}{KHt_p^2} \right\}^{1.25} \quad (\text{式 3.3.7})$$

(式 3.3.7) は、荷重と凹み量の関係を示す修正 Ellinas 式と呼ばれる (式 3.3.8) と (式 3.3.2) から導かれたものである。

$$P = \frac{1}{4} K \sigma_{yd} t_p^2 \left(\frac{\delta_L}{D} \right)^{0.8} \quad (\text{式 3.3.8})$$

ここに、

- D : 鋼管径
- δ_L : 局部変形量($\leq D$ を適用範囲とする)
- t_p : 鋼管肉厚
- K : 実験定数($K=185$)
- σ_{yd} : 動的降伏応力($=1.2 \times \sigma_y$)
- σ_y : 静的降伏応力 ((式 3.3.3) 参照)
- Z_p : 支柱の塑性断面係数
- H : 荷重作用高さ

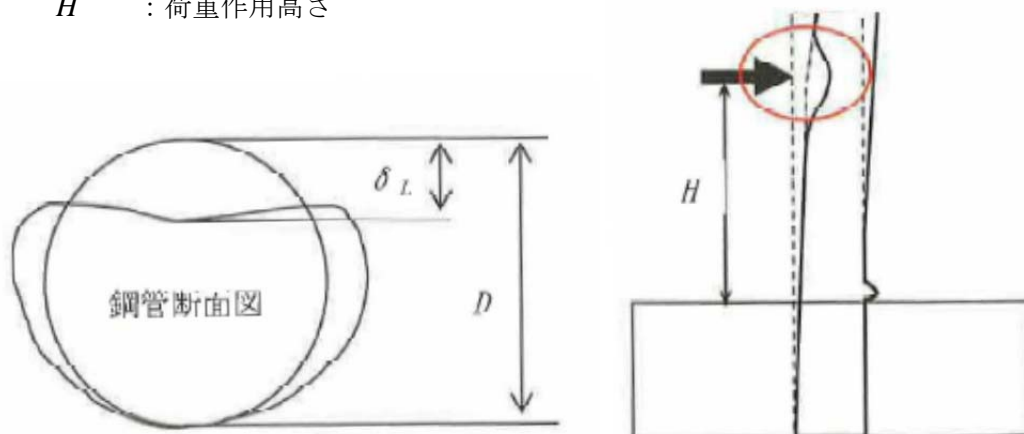


図 3-11 局部変形(凹み)の概念

iii) 衝突エネルギーに対する安定照査

端部支柱による吸収エネルギー E_T は、支柱の断面性能によって一義的に定まり、(式 3.3.9) で算出される。吸収エネルギーが漂流物の衝突エネルギーを超えていることを確認する。

$$E_T = E_R + E_p \quad (\text{式 3.3.9})$$

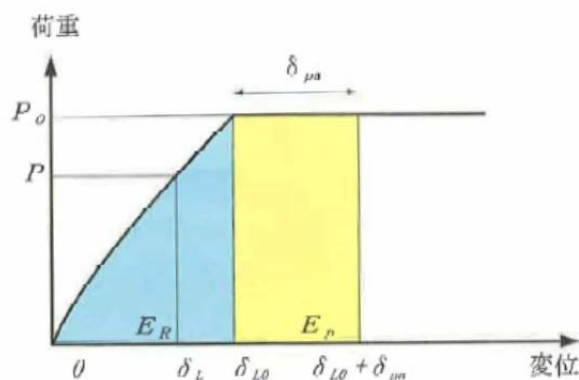


図 3-12 端部支柱による吸収エネルギー

② 捕捉スクリーンからの伝達力に対する検討

端部支柱には、捕捉スクリーンからの反力を保持する機能が必要である。そのために、捕捉スクリーンが抗力を受ける場合や漂流物を捕捉した場合の捕捉スクリーンからの反力に対して安全であることを確認しなければならない。

- 1) 捕捉スクリーンが抗力のみを受けている状態に対しては、支柱は静的設計を行うものとし、支柱の静的降伏応力に対する安定照査を行う。
- 2) 端部支柱あるいは捕捉スクリーンが漂流物を捕捉した状態については、支柱の塑性変形を許し、支柱の動的降伏応力を用いて安定性照査を行う。
- 3) 捕捉スクリーンからの反力として、張力ならびに捕捉スクリーン軸直角方向の反力が作用する。

2) 中央支柱の安全性能の照査

① 中間支柱による衝突エネルギーの吸収

中間支柱による吸収エネルギーは、中間支柱の梁変形によるものとする。補足スクリーンとしてワイヤロープ等を設置する場合は、ワイヤロープ等の伸びによるエネルギー吸収を見込むことができる。中間支柱の許容変形量は、中間支柱基部の柱傾斜角 15 度とする。

i) 梁変形による吸収エネルギー

柱基部が塑性変形する荷重 P_0 は、端部支柱と同様に (式 3.3.10) より算定される (各記号の説明は (式 3.3.2) 参照)。

$$P_0 = \frac{Z_p \sigma_{yd}}{H} \quad (\text{式 3.3.10})$$

支柱の漂流物衝突位置での変形量 δ_{15} は、

$$\delta_{15} = H \tan 15^\circ \quad (\text{式 3.3.11})$$

梁変形による吸収エネルギー E_{p15} は、

$$E_{p15} = P_0 \delta_{15} \quad (\text{式 3.3.12})$$

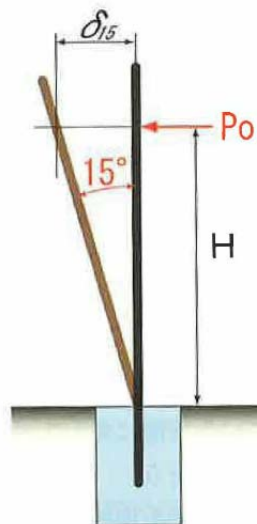


図 3-13 支柱の許容最大変位角

ii) 捕捉スクリーンによる吸収エネルギー

中間支柱に漂流物が衝突した場合には、中間支柱は捕捉スクリーンと一体となって変形する。補足スクリーンは、その両隣にある中間部支柱に支持されており、中間支柱の変形および捕捉スクリーンの伸びにより漂流物の衝突エネルギーを吸収する。

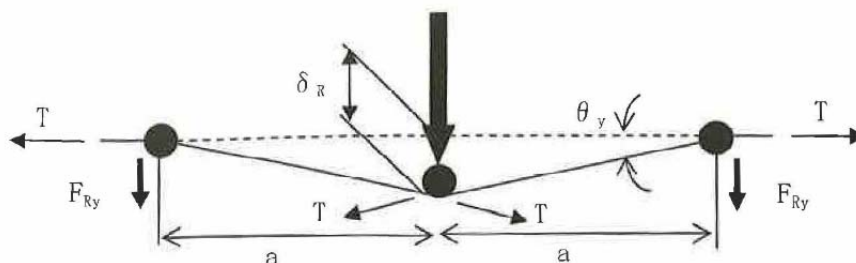


図 3-14 中間支柱に漂流物が衝突した場合の変形・荷重の概念図

このような状態での捕捉スクリーンによる吸収エネルギー $\sum ER_i$ は、変形による吸収エネルギー E_{p15} に比較して十分小さいと考えられる場合が多く、そのため設計業務では、多くの場合、捕捉スクリーンによる吸収エネルギー $\sum ER_i$ は無視される。

iii) その他の吸収エネルギー

端部支柱と同様に、局所変形（凹み）によるエネルギー吸収を見込むこともできる。ただし、このエネルギーは梁変形と比較して小さく、実務設計では考慮しないことが多い。

iv) 衝突エネルギーに対する安定照査

中間支柱による吸収エネルギー E_T は、(式 3.3.13) で算出される。この吸収エネルギー E_T が漂流物の衝突エネルギーを超えていることを確認する。

$$E_T = E_{p15} + \sum ER_i \quad (\text{式 3.3.13})$$

② 捕捉スクリーンからの伝達力に対する検討

中間支柱には、捕捉スクリーンからの反力を保持する機能が必要である。そのために、捕捉スクリーンが抗力を受ける場合や漂流物を捕捉した場合の捕捉スクリーンからの反力に対して安全であることを確認しなければならない。

- 1) 捕捉スクリーンが抗力のみを受けている状態に対しては、支柱は静的設計を行うものとし、支柱の静的降伏応力に対する安定照査を行う。
- 2) 中間支柱あるいは捕捉スクリーンが漂流物を捕捉した状態については、支柱の塑性変形を許し、支柱の動的降伏応力を用いて安定性照査を行う。
- 3) 中間支柱では補足スクリーンをスライド支承としており、補足スクリーンからの反力としては、捕捉スクリーン軸直角方向の反力のみが作用する。

3) 杭の部材性能の照査

① 杭基礎への衝突エネルギーに対する検討

杭基礎を用いる場合には、基礎杭自体の変形によるエネルギー吸収ならびに漂流物衝突位置での局部変形(凹み)によるエネルギー吸収を考慮することができる。

基礎杭の地上突出部は、浅い基礎の場合の支柱と同様の防衛機能を有するものであるが、基礎杭は弾性設計を行っており、支柱下端の曲げに対する塑性ヒンジの発生は期待できず、浅い基礎(コンクリート基礎)のように独立した支柱設計という概念は存在しない。杭(支柱)の局部変形(凹み)によるエネルギー吸収については、基礎杭の安全性を確保できる衝突部反力から計算される。

i) 杭の挙動解析法

■軸直角方向力を受ける単杭の挙動解析の基本式

杭の軸直角方向に働く力を受ける単杭の挙動は、杭を弾性支承上の梁として解析する方法が一般的である。弾性支承上の梁の基本式は、(式 3.3.14)、(式 3.3.15)で示される。

$$\text{地上部} \quad EI \frac{d^4 y}{dx_4} = 0 \quad (0 \geq x \geq -h) \quad (\text{式 3.3.14})$$

$$\text{地中部} \quad EI \frac{d^4 y}{dx_4} + E_s y = 0 \quad (x \geq 0) \quad (\text{式 3.3.15})$$

$$E_s = Bk_h$$

ここに、

E : 杭の弾性係数 (kN/ m²)

E_s : 地盤の弾性係数 (kN/ m²)

I : 杭の断面二次モーメント (m⁴)

x : 地表面からの深さ (m)

y : 深さ x における杭の水平変位 (m)

B : 杭幅 (m)

k_h : 横方向地盤反力係数 (kN/ m³)

h : 杭の地上部の長さ (m)

■軸直角方向力を受ける単杭の挙動の解析解

漁港の施設の照査においては、式の利便性、汎用性を考慮して、(式 3.3.14) をもとにした Chang (チャン) の方法を用いることができる。ただし、Chang の方法は、杭が無限長で、地盤の弾性係数 E_s が深さ方向に一定と仮定して、境界条件を考慮して解かれたものである。Chang の式の基本方程式及び境界条件を考慮した解は、「漁港・漁場の施設的设计参考図書」を参照されたい。

表 3-8 に、地上に突出している杭に対する解析解を示す。

表 3-8 地中に突出している杭の変形

	杭頭自由
杭頭変位 Y_{top}	$\frac{2(1+\beta h)^3+1}{6EI\beta^3} \cdot H$
地表面変位 Y_0	$\frac{1+\beta h}{2EI\beta^3} \cdot H$
杭頭拘束モーメント M_0	0
地中部最大曲げモーメント M_{max}	$-\left\{ \frac{\sqrt{(1+2\beta h)^2+1}}{2\beta h} \cdot \exp\left(-\tan^{-1} \frac{1}{1+2\beta h}\right) \right\} \cdot H \cdot h$
最大曲げモーメントを生ずる深さ $l_{m \max}$	$\frac{1}{\beta} \tan^{-1} \frac{1}{1+2\beta h}$
第1不動点の深さ l_{y1}	$\frac{1}{\beta} \tan^{-1} \frac{(1+\beta h)}{\beta h}$
曲げモーメントが0となる点の深さ l_{m1}	$\frac{1}{\beta} \left\{ \tan^{-1} \frac{-\beta h}{1+\beta h} + \pi \right\}$ (第1ゼロ点)
地上部最大曲げモーメント M_m	$-Hh$
杭各部の曲げモーメント M	(i)地上部 $-H(x+h)$ (ii)地中部 $-\frac{H}{\beta} e^{-\beta x} \{ \beta h \cos \beta x + (1+\beta h) \sin \beta x \}$

H : 杭の軸直角方向に作用する力 (kN)

この他の記号は、(式 3.3.14) に準じる。なお、特性値 β は、(式 3.3.16) で表される。

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{Es}{4EI}} \quad \text{(式 3.3.16)}$$

ii) 地盤の横抵抗定数

横山は、我が国で行われた鋼杭の横方向載荷試験結果を集めて k_h を逆算し、これと地表から β^{-1} までの深さの平均の N 値とを対比して図 3-15 を得た。この場合、粘性土に対しても砂質土に対しても (式 3.3.15) が成り立つものとし、また、 k_h 自体は B の影響を受けないものと考えている。また、実測値から逆算した k_h 値は荷重の増大とともに減少するが、図 3-15 は鋼材の曲げ応力が $100 \sim 150 \text{MN/m}^2$ になる荷重に対する k_h をとっている。図 3-15 は現地で載荷試験を行わないで、土質条件だけから E_s 値の概略を推定しようとする場合に利用することができる。

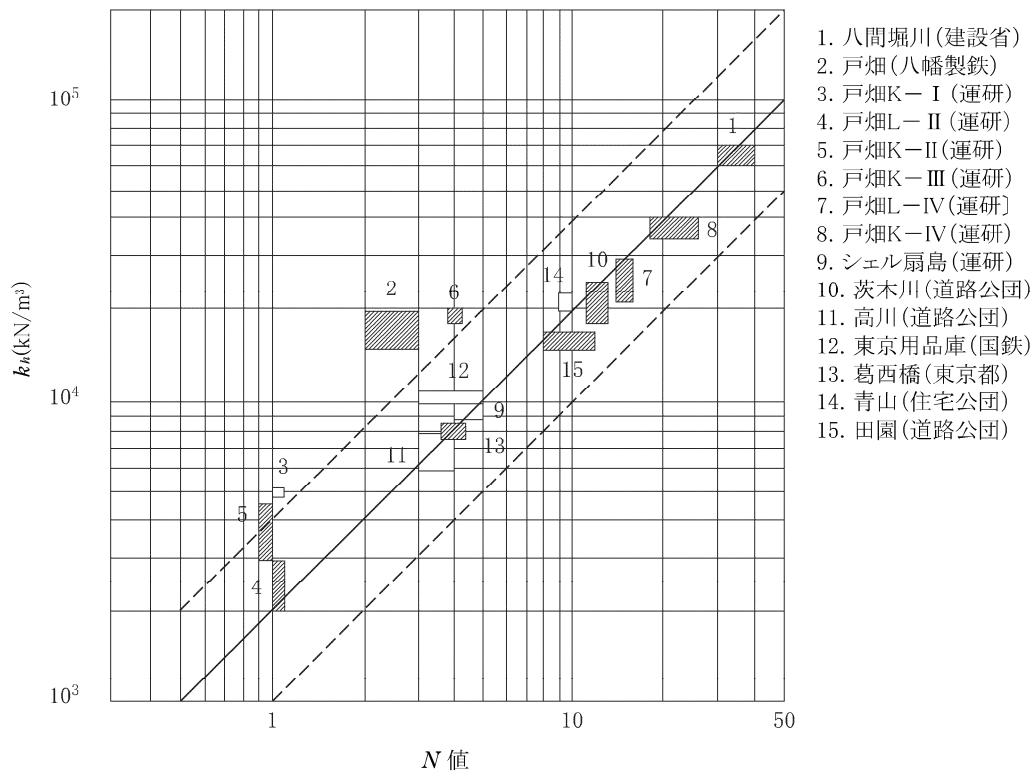


図 3-15 杭の水平載荷実験から逆算した k_h 値

ただし、軟弱地盤で N 値が得られない地盤の k_h を求める場合は、水平載荷試験を実施して k_h を求めることが望ましいが、「道路橋示方書・同解説IV下部構造編」等を参考としてもよい。

iii) Chang の方法による特性値 β と kh の関係の取り扱い

地盤調査の結果より、地盤を地表面から比較的均一の横方向地盤反力係数 k_h を持つ地層に分ける。これらの地層の特性を、地表面より次のように表す。

層厚	l_1, l_2, \dots, l_n	}	(式 3.3.17)
横方向地盤反力係数	$k_{h1}, k_{h2}, \dots, k_{hn}$		
地盤の弾性係数	$E_{S1}, E_{S2}, \dots, E_{Sn}$		
特性値	$\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$		

このとき、Chang の方法に用いる横方向地盤反力係数を、次のように決定するのがよい。

■ $1/\beta_1 \leq l_1$ のとき

杭の全区間が一様な $k_h (=k_{h1})$ を持つとして、Chang の方法により照査してもよい。

■ $1/\beta_1 > l_1$ のとき

図 3-16 のフローに従い、(式 3.3.15)、(式 3.3.16) を用いて平均的な横方向地盤反力係数 k_h 、及びこれに対応した特性値 β を算定するのがよい。このとき、杭の全区間がこのようにして決定した k_h 、 β を持つとして、Chang の方法により設計してもよい。

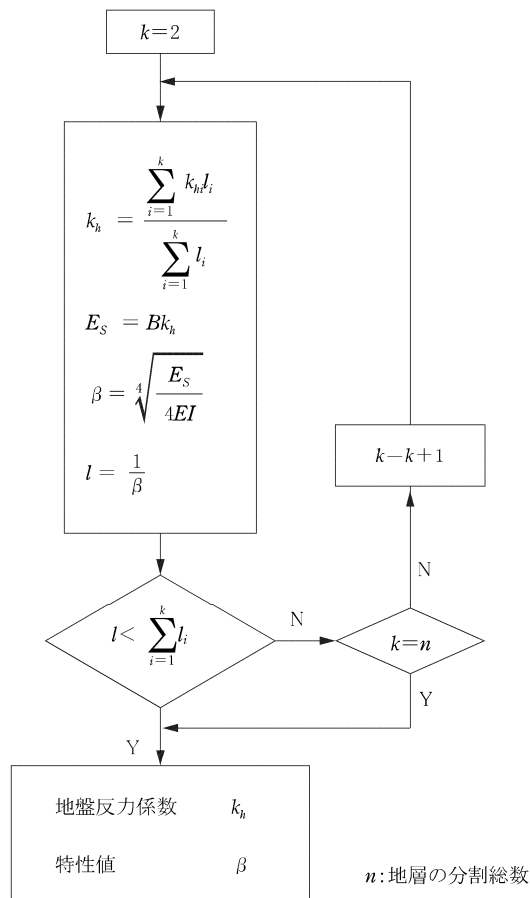


図 3-16 多層地盤の特性値 β の決定

表層部分が極めて軟弱で地盤強度が小さい場合は、表層部分を無視して表層より下に仮想地盤を仮定し、 k_h 、 β を決定することが望ましい。

iv) 杭の必要根入れ長 L

一般に作用に対して有効な抵抗をする杭の部分の長さを有効長という。ここでは、杭の根入れ長が有効長より長い杭を半無限長の杭、根入れ長が有効長より短い杭を有限長の杭とよぶ。

杭先端部と支持層の間の距離が比較的短い場合は、構造物の安定を考慮し支持層まで根入れすることが望ましい。

■半無限長の杭

○地表面から杭の全長にわたって地盤が一樣とみなせる場合

杭の根入れ長 L は (式 3.3.17) を満たすことが望ましい。L は地表面下の長さをいい、杭の突出の有無や杭頭条件 (自由、固定) によらない。

$$L \geq \frac{3}{\beta}$$

(式 3.3.18)

○地表面から杭の全長にわたって、地盤の性質が著しく変化する場合

(式 3.3.19) 及び (式 3.3.20) を満たすことが望ましい。

$$L=l_1+l_2+\cdots+l_n \quad (\text{式 3.3.19})$$

$$\beta_1 l_1 + \beta_2 l_2 + \cdots + \beta_n l_n \geq 3 \quad (\text{式 3.3.20})$$

ここに、(式 3.3.19)、(式 3.3.20) の記号は、(式 3.3.17) に準じる。

ただし、表層部分が極めて軟弱で地盤強度が小さい場合には表層部が塑性破壊を起こし、弾性体としての反力を期待できない危険があるので、表層を良好な砂、捨石等で置き換えるなどの対策を講じるか、または、それが困難な場合には、表層より下に仮想地盤面を仮定することができる。

■有限長の杭

杭の根入れ長が有限長となる場合 ($1/\beta < L < 3/\beta$) に、Chang の方法を用いると実際の挙動よりも危険側の数値が算出される。有限長の杭の横抵抗に関する概略的算定方法もあるので参考としてもよいが、照査上不明確な点があるので、杭長を $3/\beta$ 以上とすることが望ましい。

また、岩盤に根入れするような場合等において、やむを得ず杭の根入れ長が著しく短く、かつ杭の剛性が高い場合には、杭本体が剛体のように回転または移動する。このため地盤が杭全域にわたって破壊し、杭が転倒する可能性があるので、地盤の破壊強度についても考慮する必要がある。

■杭の支持層への根入れ長

○打込杭

鋼管杭の場合には、杭先端閉塞効果を考慮し、杭径の5倍以上根入れすることが望ましいが、無理に杭を貫入させ、杭本体を破損させないように注意する必要がある。杭径の5倍以上の根入れができない場合、動力的支持力公式等により所要の支持力が得られていることを確認することが望ましい。

その他の杭の場合には、支持力算定式より得られる根入れ長を確保する必要がある。ただし、鋼管杭と同様、動力的支持力公式により所要の支持力が確認される場合には、この限りではない。

○場所打ち杭、中掘り杭

杭径程度の根入れとしている場合が多い。

v) 計算の手順

図 3-17、図 3-18 に示すように本検討には繰り返し計算が必要で、まず、仮定とした杭の最大吸収エネルギーを算出するため、地中部に発生する杭の最大曲げモーメントと耐力モーメントが等しくなるような作用荷重 F_{max} を、試行錯誤法によって決定する。この F_{max} 作用時の E_n と E_R の合計が、仮定した杭の最大吸収エネルギーとなる。

仮定した杭の最大吸収エネルギー（杭の最大曲げモーメント＝耐力モーメントとなる作用荷重時）が漂流物の衝突エネルギーを超えるよう、杭の断面を変更し、所要の杭断面を決定する（図 3-17）。

次に、最大吸収エネルギーが漂流物の衝突エネルギーを上回ることが確認されたのち、衝突エネルギー作用時の杭の発生応力等を計算したい場合には、吸収エネルギーが衝突エネルギーに等しくなるような F を算出し、この F 作用時の杭の発生最大曲げモーメント M_{max} から、杭の発生応力を算出することができる（図 3-18）。

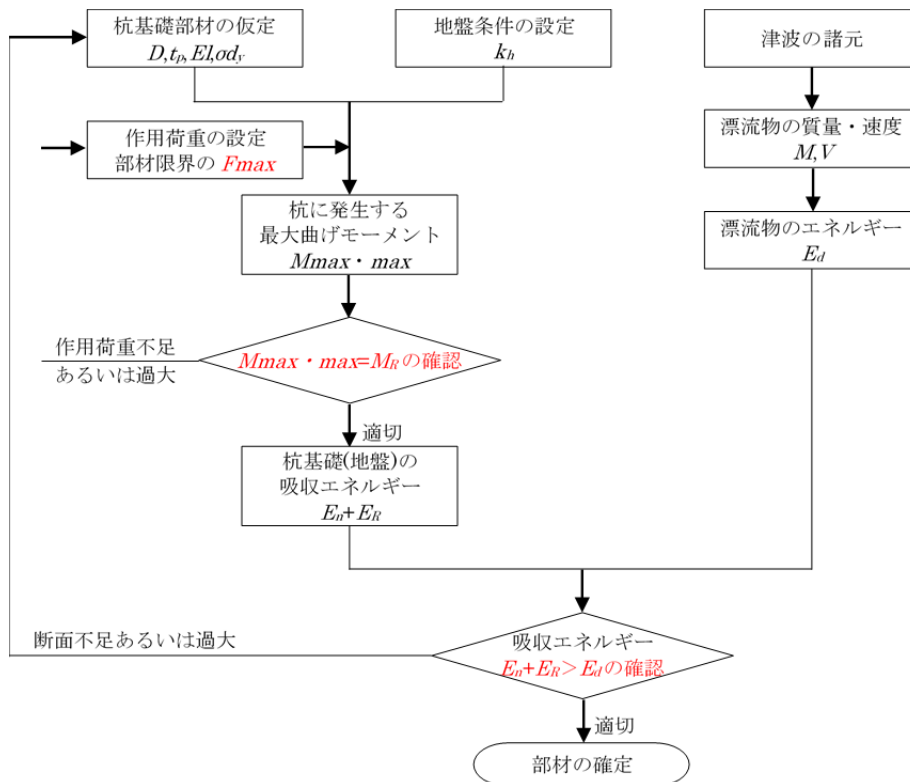


図 3-17 STEP-1: 部材確定の手順

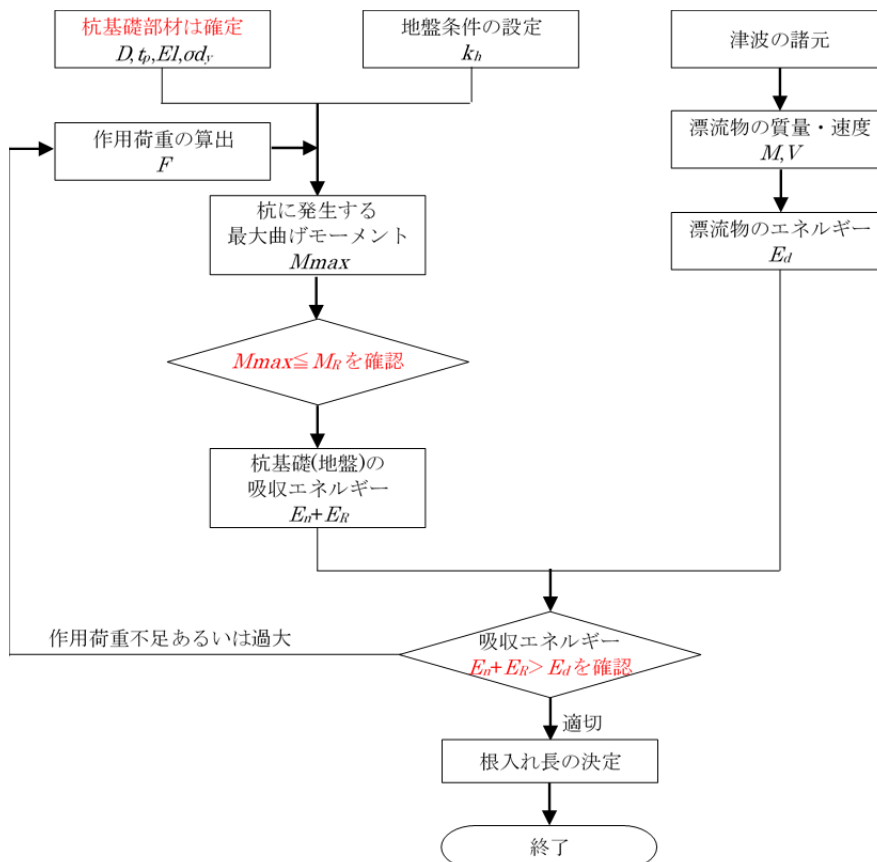


図 3-18 STEP-2: 作用荷重の決定、根入れ長の決定

杭を弾性体として取り扱っているので、杭の降伏モーメント M_R は以下の式で算出する。

$$M_R = Z\sigma_{dy} \quad (\text{式 3.3.21})$$

ここに、

Z : 杭の断面係数
 σ_{dy} : 鋼材の設計降伏応力

また、鋼材の設計降伏応力 σ_{dy} は、衝撃力に対する割り増しならびに鋼材の加工硬化を考慮し、次式で計算するものとする。

$$\sigma_{dy} = 1.2\sigma_y \quad (\text{式 3.3.22})$$

$$\begin{aligned} \text{STK400 の場合} \quad \sigma_y &= 527.5 \left(\frac{D}{t_p} \right)^{-0.104} \quad (N/mm^2) \\ \text{STK490 の場合} \quad \sigma_y &= 703.3 \left(\frac{D}{t_p} \right)^{-0.104} \quad (N/mm^2) \end{aligned} \quad (\text{式 3.3.23})$$

なお、鋼材の加工硬化を考慮した (式 3.3.23) の適用範囲は、 $8 < D/t_p < 110$ であるため、この範囲を外れる杭については、別途適切な検討を行うものとする。

vi) 基礎杭の吸収エネルギー

基礎杭全体の吸収エネルギーは、(式 3.3.2) に示した E_n に、(式 3.3.24) の E_R を加算して算出する。STEP-1 の検討では $F = F_{\max}$ として計算する。

$$E_R = \frac{1}{1.8} F \cdot \delta_L \quad (\text{式 3.3.24})$$

$$\delta_L = D \left\{ \frac{4F}{K\sigma_{yd}t_p^2} \right\}^{1.25} \quad (\text{式 3.3.25})$$

ここに

D : 鋼管径
 δ_L : 局部変形量 ($\leq D$ を適用範囲とする)
 t_p : 鋼管肉厚
 K : 実験定数 ($K=185$)
 σ_{yd} : 動的降伏応力 ($=1.2 \times \sigma_y$)
 σ_y : 動的降伏応力 (式 3.3.3 参照)

② スクリーンからの伝達力に対する検討

支柱の機能を併せ持つ基礎杭には、捕捉スクリーンからの反力を保持する機能が必要である。そのために、スクリーンが抗力を受ける場合や漂流物を捕捉した場合の捕捉スクリーンからの反力に対して安全であることを確認しなければならない。

【解 説】

- 1) スクリーンが抗力のみを受けている状態に対しては、基礎杭は「港湾の施設の技術上の基準・同解説」（平成19年7月：社団法人 日本港湾協会）の第4編第4章5.2.5「構造部材の性能照査(4)」等に準拠して解析し、杭に発生する応力が静的降伏応力を超過していないことを確認する。
- 2) スクリーンが漂流物を捕捉した状態については、支柱の動的降伏応力を用いて安定照査を行う。
- 3) 端部支柱として機能する基礎杭については、スクリーンからの反力として、張力ならびにスクリーン軸直角方向の反力が作用する。
- 4) 中間支柱として機能する基礎杭については、スクリーンからの反力としては、スクリーン軸直角方向の反力のみが作用する。

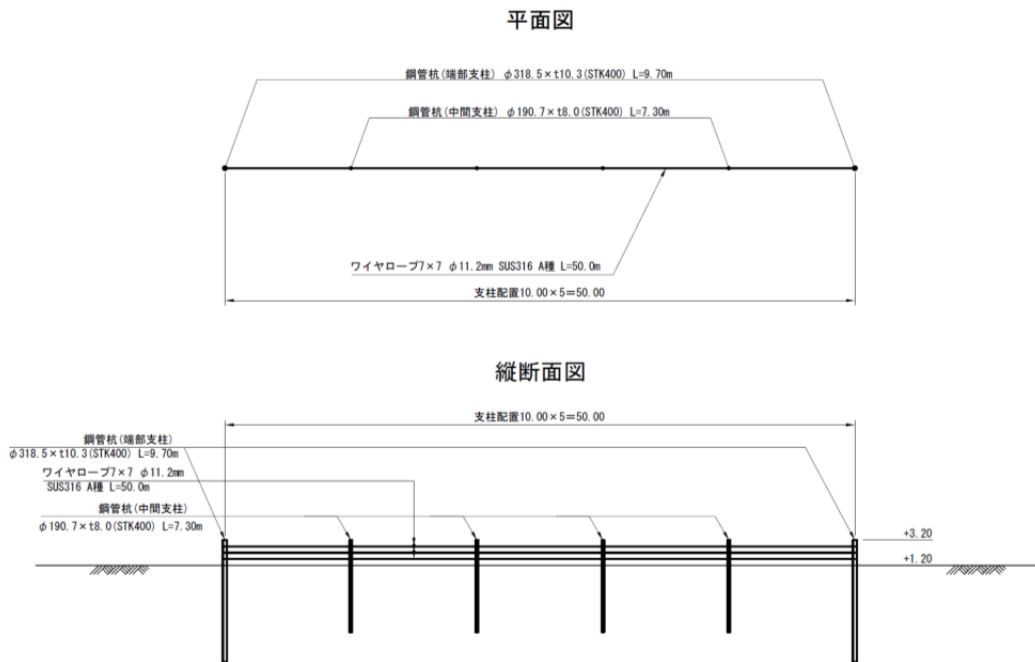
4 津波漂流物対策施設の設計例

前述の“3.3 津波漂流物対策施設の設計”の考え方に基づいて、具体的にモデル地区（0 漁港）を対象として津波漂流物対策施設の概略設計を実施した。

4.1 直接基礎＋ワイヤロープ形式の施設での事例

4.1.1 構造図

対象施設の構造図を以下に示す。



4.1.2 設計条件

- (1) 施設延長 : 50.0m
- (2) 天端高 : 地盤高=D.L. +1.2m, 支柱天端=D.L. +3.20m
- (3) 対象漂流物 : 車両
- (4) 津波諸元 : 浸水深=0.53m, 流速=0.72m/s
- (5) 地盤 : 砂質土(N値15相当, $\gamma' = 10.0 \text{ kN/m}^3$)
- (6) 腐食 : 腐食しろ $t=3.0\text{mm}$ (腐食速度 $0.1\text{mm/年} \times 30\text{年}$)
- (7) 衝突回数 : 想定した最大級の衝突が同一箇所複数回衝突する可能性は極めて低いので、複数回衝突は考慮しない。
- (8) 材料
 - 1) 支柱 : 一般構造用炭素鋼鋼管 (STK400) ※諸元は計算例に記載
 - 2) ワイヤロープ : スtrandロープ 7×7 SUS316 A種 ※諸元は計算例に記載
 - 3) コンクリート : $f'_{ck}=18\text{N/mm}^2$, $\gamma = 22.6\text{kN/m}^3$
 - 4) 海水 : $\gamma = 10.1\text{kN/m}^3$

4.1.3 設計計算例

(1) 支柱の配置

支柱の配置(間隔)は下図のとおりとした。

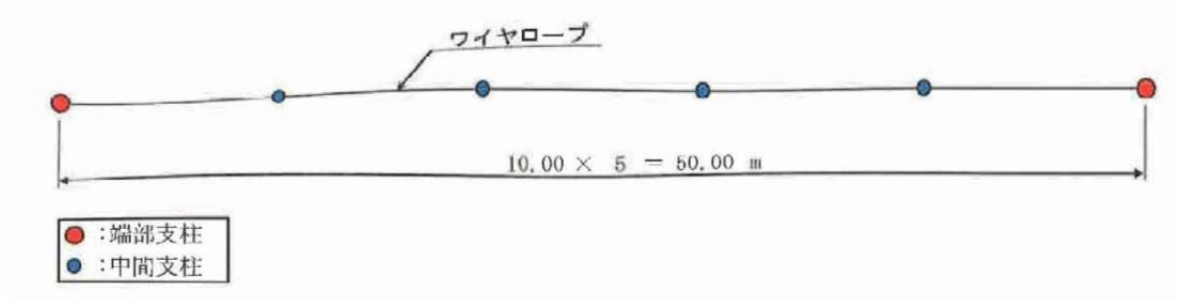


図- 4-1 支柱の配置

支柱の高さは下図のとおり、漂流物(車両)の高さを包括するものとし、杭の地表面からの突出長を2.00mとした。

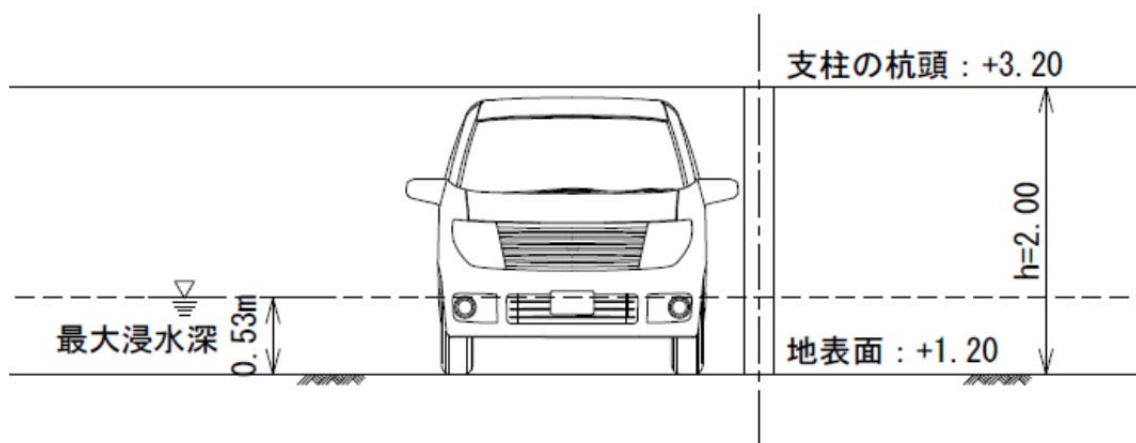


図- 4-2 支柱の高さ

(2) 端部支柱の設計

1) 衝突形態

本設計例では、以下に示す条件で端部支柱の設計を行う。

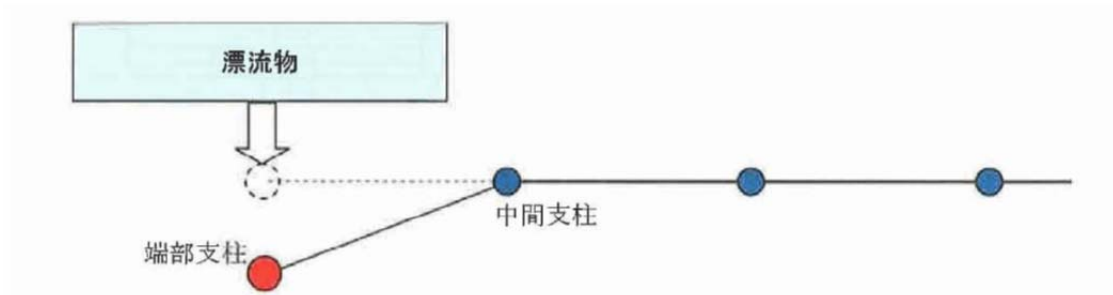


図- 4-3 衝突形態

- ・ 漂流物が端部支柱に衝突する場合について検討する。
- ・ 端部支柱への漂流物の衝突に対しては、その衝突エネルギーを端部支柱単独で負担する。
- ・ 端部支柱の吸収エネルギーは、「星川辰夫(鋼製透過型砂防ダムの動的塑性回転容量に基づく耐衝撃設計法に関する研究)」に準拠する。
- ・ 支柱の梁変形および局部変形(凹み)で衝突エネルギーを吸収する。
- ・ 支柱の梁変形は、支柱基部に局部産屈が発生した時の支柱の傾斜角とする。
- ・ 支柱の局部変形(凹み)は、塑性変形まで考慮する。
- ・ 端部支柱は、ロープを固定しているため、ロープ張力に対しても応力照査を行う。

2) 計算条件

a) 杭・地盤の条件

・杭の条件

杭の材質	STK	400	
ヤング率	E=	2.00E+08	kN/m ²
管径	D=	318.5	mm
肉厚	t=	10.3	mm
腐食代		3.00	mm (0.1mm/年×30年)

・地盤の条件

地盤定数		30,000	kN/m ⁴ (N値15の砂地盤相当)
------	--	--------	--------------------------------

・作用の条件

衝突エネルギー	Ed=	0.885	kN・m
衝突位置	h=	2.00	m

b) 杭の性能、地盤の特性値

記号	値	単位	説明	摘要
E	2.00E+08	kN/m ²	杭の弾性係数	STK400
E_s	9.38E+03	kN/m ²	地盤の弾性係数	$B \times k_b$
I_o	5.05E-04	m ⁴	杭の断面二次モーメント(腐食前)	$\phi=318.5\text{mm}$ 、 $t=10.3\text{mm}$
I	8.15E-05	m ⁴	杭の断面二次モーメント(腐食後)	$\Delta t=3.0\text{mm}$ (腐食しろ、0.3mm/年×30年)
Z	5.22E-04	m ³	杭の断面係数	
B	0.313	m	杭幅	
k_b	3.00E+04	kN/m ²	横方向地盤反力係数	N値15、設計参考図書P.267 図4-3-4
h	2.000	m	杭の地上部の長さ	
β_o	3.90E-01	m ⁻¹	特性値(腐食前)	杭の必要根入れ長算定用
β	6.16E-01	m ⁻¹	特性値(腐食後)	杭の耐力照査用

c) 降伏応力

降伏応力 $\sigma_y = 527.5 \left(\frac{D}{t_p} \right)^{-0.104}$ ※1. SK400 の場合
 ※2. $8 < D/t_p < 110$

= 369,177 kN/m²

動的降伏応力 $\sigma_{y_d} = 1.2 \times \sigma_y$

= 443,012 kN/m²

d) 衝突エネルギー

(池野の式による)

$E_o = 0.885 \text{ kN} \cdot \text{m}$

3) STEP-1 : 部材の確定

・杭に発生する反力

衝突荷重 (仮定)	TP(F) =	104.49 kN		
発生応力	$\sigma_{max} =$	442,434 kN/m ²	←	Mmax = 230.894 kN・m
設計降伏応力	$\sigma_{dy} =$	443,012 kN/m ²	→	M _R = 231.196 kN・m
				M _R / Mmax = 1.001

所要根入れ長 $l_{m1} = 7.690$ m

・吸収エネルギー

$y_{top} =$	0.106 m	局部変形	$\sigma_{Lo} =$	0.01663 m
$E_n =$	5.551 kN・m		$E_R =$	0.966 kN・m

吸収エネルギー $E_n + E_R = 6.516$

衝突エネルギー $E_d = 0.885$ $(E_n + E_R) / E_d = 7.363$

ここに、

$$\begin{aligned}
 \text{杭頭変位 } Y_{top} &= \frac{2(1 + \beta h)^3 + 1}{6EI\beta^3} \cdot H \\
 &= \underline{1.06E-01 \text{ m}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{地中部最大曲げモーメント } M_{max} &= - \frac{(1 + 2\beta h)^2 + 1}{2\beta h} \cdot \exp\left(-\tan^{-1} \frac{1}{1 + 2\beta h}\right) \cdot H \cdot h \\
 &= \underline{2.31E+02 \text{ kN}\cdot\text{m}}
 \end{aligned}$$

4) STEP-2 : 部材の確定

・杭に発生する反力

衝突荷重(仮定)	TP(F)=	39.15	kN			
発生応力	σ_{max} =	165,781	kN/m ²	←	Mmax=	86.517 kN・m
設計降伏応力	σ_{dy} =	443,012	kN/m ²	→	M _R =	231.196 kN・m
					M _R / Mmax=	2.672

所要根入れ長 $l_{m1} = 7.690$ m

・吸収エネルギー

	y _{top} =	0.040	m	局部変形	σ_{LO} =	0.00488	m
	E _n =	0.779	kN・m		E _R =	0.106	kN・m

吸収エネルギー $E_n + E_R = 0.885$

衝突エネルギー $E_d = 0.885$ $(E_n + E_R) / E_d = 1.000$

ここに、

$$\begin{aligned} \text{杭の必要根入れ長 } L &= \frac{3}{\beta} \\ &= 7.69E+00 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{杭頭変位 } Y_{top} &= \frac{2(1 + \beta h)^3 + 1}{6EI\beta^3} \cdot H \\ &= 3.98E-02 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{地中部最大曲げモーメント } M_{max} &= - \frac{(1 + 2\beta h)^2 + 1}{2\beta h} \cdot \exp\left(-\tan^{-1} \frac{1}{1 + 2\beta h}\right) \cdot H \cdot h \\ &= 8.65E+01 \text{ kN・m} \end{aligned}$$

5) ロープ張力による端部支柱の応力照査

本設計例では、ロープ張力に対する端部支柱の応力照査を以下の通り行う。

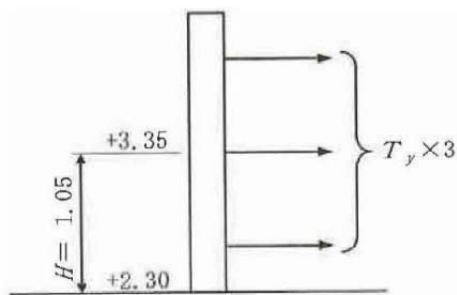
抗力作用時においてロープ張力による端部支柱の応力照査を行う。

検討は、全てのロープに降伏張力 T_y が作用した最も危険な状態について行う。

ロープ張力の合力は、全てのロープの中心高に作用するものとする。

また、端部支柱の応力照査には鋼管の降伏応力を用いるが、抗力作用時は、衝突時と異なり、その作用時間が比較的長いため、衝撃割り増し($1.2 \times \sigma_y$)は行わない。

なお、下式中の Z_p (塑性時断面係数)、 σ_y (鋼管の降伏応力) は、「2. 端部支柱の設計」より引用した。



$$T_y = 51.80 \text{ kN} \rightarrow 3 \times T_y = 155.40 \text{ kN}$$

$$M = 3 \times T_y \times H = 155.40 \times 1.05 = 163.17 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\sigma = \frac{M}{Z_p} = \frac{163.17}{9.315 \text{E} - 04}$$

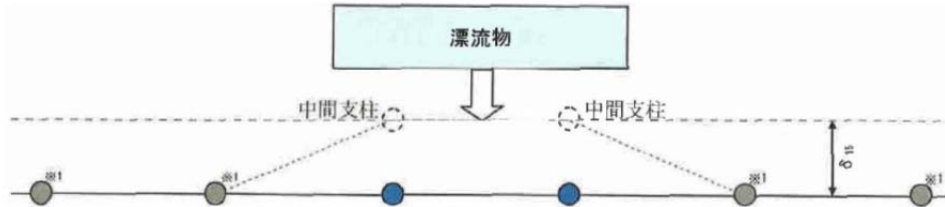
$$= 175169 \text{ kN/m}^2$$

$$= 175.2 \text{ N/mm}^2 < \sigma_y \leq 340.8 \text{ N/mm}^2 \cdots \text{O.K.}$$

(3) 中間支柱の設計

1) 衝突形態

本設計例では、以下に示す条件で中間支柱の設計を行う。



※1. 隣接する中間支柱は、先に漂流物の衝突を受け、塑性変形した状態を想定。

図- 4-4 衝突形態

- ・ 漂流物が中間支柱に衝突する場合について検討する。
- ・ 中間支柱の設計には、支柱 1 本当りの衝突エネルギーが最大となる様に外力を設定する。
中間支柱では、漂流物の長さおよび衝突形態によって中間支柱の負担本数が異なるため、重量が小さな漂流物でも支柱 1 本に対する衝突エネルギーが大きくなる場合もある。
本計算例では、漁船 20G.T の衝突を中間支柱 2 本で負担する場合を想定する。
- ・ 中間支柱の吸収エネルギーは、「落石対策便覧」に準拠する。
- ・ 中間支柱については、梁変形で衝突エネルギーを吸収する。
なお、本計算例では隣接する中間支柱が既に塑性変形していることを想定して(上図参照)ロープによるエネルギー吸収は考慮しない。
- ・ 中間支柱にはロープを通すため、ロープに漂流物が衝突した時の反力に対しても応力照査を行う。
- ・ 中間支柱の染変形は、柱傾斜角を 15° とする。

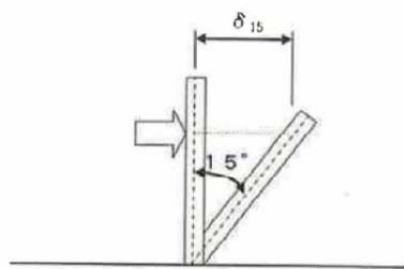


図- 4-5 柱傾斜角

2) 津波の諸元

津波の諸元は下表の通りとする。

表- 4.1 津波諸元

〇〇沖地震	
浸水深 h (m)	流速 V (m/sec)
0.53	0.72

3) 計算条件

a) 杭・地盤の条件

・杭の条件

杭の材質	STK	400	
ヤング率	E=	2.00E+08	kN/m ²
管径	D=	190.7	mm
肉厚	t=	8.0	mm
腐食代		3.00	mm (0.1mm/年×30年)

・地盤の条件

地盤定数		30,000	kN/m ⁴ (N値15の砂地盤相当)
------	--	--------	--------------------------------

・作用の条件

衝突エネルギー	Ed=	0.885	kN・m (排水トン数15T相当)
衝突位置	h=	2.00	m

b) 杭の性能、地盤の特性値

記号	値	単位	説明	摘要
E	2.00E+08	kN/m ²	杭の弾性係数	STK400
E_s	5.54E+03	kN/m ²	地盤の弾性係数	$B \times k_h$
I_o	6.49E-05	m ⁴	杭の断面二次モーメント(腐食前)	$\phi=190.7\text{mm}, t=8.0\text{mm}$
I	1.14E-05	m ⁴	杭の断面二次モーメント(腐食後)	$\Delta t=3.0\text{mm}$ (腐食しろ、0.3mm/年×30年)
Z	1.23E-04	m ⁴	杭の断面係数(腐食後)	$\Delta t=3.0\text{mm}$ (腐食しろ、0.3mm/年×30年)
Z_p	1.62E-04	m ³	杭の塑性断面係数	
σ_{yd}	4.55E+05	kN/m ²	杭の動的降伏応力	
B	0.185	m	杭幅	
k_h	3.00E+04	kN/m ²	横方向地盤反力係数	N値15、設計参考図書P.267 図4-3-4
h	2.000	m	杭の地上部の長さ	
β_o	5.72E-01	m ⁻¹	特性値(腐食前)	
β	8.83E-01	m ⁻¹	特性値(腐食後)	

c) 降伏応力

$$\text{降伏応力} \quad \sigma_y = 527.5 \left(\frac{D}{t_p} \right)^{-0.104} \quad \begin{array}{l} \text{※1. SK400 の場合} \\ \text{※2. } 8 < D/t_p < 110 \end{array}$$

$$= 379,304 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{動的降伏応力} \quad \sigma_{yd} = 1.2 \times \sigma_y$$

$$= 455,165 \text{ kN/m}^2$$

d) 衝突エネルギー

(池野の式による)

$$E_o = 0.885 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

4) STEP-1 : 部材の確定

・杭に発生する反力

衝突荷重 (仮定)	TP(F)=	60.135 kN			
発生応力	σ_{max} =	454,682 kN/m ²	←	Mmax=	56.141 kN・m
設計降伏応力	σ_{dy} =	455,165 kN/m ²	→	M _R =	56.201 kN・m
				M _R / Mmax=	1.001

所要根入れ長 $l_{m1} = 5.250$ m

・吸収エネルギー

$y_{top} = 0.536$ m
 $E_n = 16.116$ kN・m

ここに、

杭頭変位 $\delta_{15} = H \times \tan 15^\circ$
 $= 0.536$ m

地中部最大曲げ
 モーメント $M_{max} = - \left[\frac{(1+2\beta h)^2 + 1}{2\beta h} \cdot \exp \left\{ -\tan^{-1} \frac{1}{1+2\beta h} \right\} \right] \cdot H \cdot h$
 $= 5.61E+01$ kN・m

5) STEP-2 : 部材の確定

・杭に発生する反力

衝突荷重 (仮定)	TP(F) =	3.306 kN		
発生応力	$\sigma_{max} =$	24,993 kN/m ²	←	Mmax = 3.086 kN・m
設計降伏応力	$\sigma_{dy} =$	455,165 kN/m ²	→	M _R = 56.201 kN・m
				M _R / Mmax = 18.211

所要根入れ長 $l_{m1} = 5.250$ m

・吸収エネルギー

$$y_{top} = 0.536 \text{ m}$$

$$E_n = 0.886 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

吸収エネルギー $E_n = 0.886$

衝突エネルギー $E_d = 0.885$ $(E_n) / E_d = 1.001$

ここに、

$$\begin{aligned} \text{杭の必要根入れ長 } L &= \frac{3}{\beta} \\ &= 5.25E+00 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{杭頭変位 } \delta_{15} &= H \times \tan 15^\circ \\ &= 0.536 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{地中部最大曲げモーメント } M_{max} &= - \left[\frac{\sqrt{(1+2\beta h)^2 + 1}}{2\beta h} \cdot \exp \left[-\tan^{-1} \frac{1}{1+2\beta h} \right] \right] \cdot H \cdot h \\ &= 3.09E+00 \text{ kN} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

(4) ワイヤロープの設計(一部閉塞時の検討)

ワイヤロープについては、漂流物(船舶、車両、養殖施設等)が衝突した後にロープに滞留し、閉塞状態となることにより受ける効力に対して照査を行うものとする。照査の方法については、津波漂流物対策施設設計ガイドライン(案)の資料編を参考としてよい。

参考資料-1. 過去の津波災害での津波漂流物について

漁港等における津波漂流物の発生事例について

津波の来襲に伴って、漁港や港湾等で生じた津波漂流物に関する資料(調査報告書、新聞記事、雑文等)を収集整理し、表- 1.1～表- 1.8にとりまとめた。

表- 1.1 船舶(漁船等)の漂流事例 1

年	名称	場所 (地名)	津波高 (m)	漂流物の 種類	漂流物による 被害の概要	写真 番号
1944	昭和東南海 地震津波	三重県 尾鷲市	津波高 6m	小型船 ²⁰ (船種不明)	・小型船が陸に打ち上がり、家屋に衝突した ・「住民の話によれば、港内の多数の船がこの地域 に乗り上げ、被害を増加させたという」(原文引用)	写- 1.1
1946	昭和南海 地震津波	和歌山県 海南市	津波高 3m	小型船 ⁶ (漁船)	・漁船が陸に打ち上げられ、家屋等に衝突した	写- 1.2
1946	昭和南海 地震津波	和歌山県 田辺市	津波高 5m	小型船 ²¹ (漁船)	・漁船が市街地に打上げられ、家屋に衝突した	写- 1.3
1960	チリ 地震津波	北海道 霧多市	津波高 4m	小型船 ²² (漁船)	・市街地に漁船・木材が漂流し、家屋に衝突した	写- 1.4
1960	チリ 地震津波	青森県 八戸市	津波高 5m	小型船 ²³ (漁船)	・漁船が背後地へ打ち上げられた。	写- 1.5
1960	チリ 地震津波	岩手県 大槌町	津波高 4m	小型船 (漁船) ²⁴	・道路に漁船が乗り上げた	写- 1.6
1960	チリ 地震津波	岩手県 大船渡市	津波高 5m	大型船 ⁴	・300t級の機帆船が岸壁に乗り上げた	写- 1.7
1968	十勝沖 地震津波	北海道 十勝港	全振幅 3m	大型船 ²⁵ (漁船)	・津波により漁船が岸壁に打ち上げられた	写- 1.8
1983	日本海中部 地震津波	秋田県 能代港	津波高 5m	小型船 ⁶ (漁船)	・津波により漁船が対岸に打ち上げられた	写- 1.9
1993	北海道南西 沖地震津波	北海道 青苗漁港	津波高 12m	漁船・ 車両 ^{3,26}	・漁船・車両が家屋に衝突し、破壊する被害が生じ た	写- 1.10
1993	北海道南西 沖地震津波	北海道 奥尻港	津波高 4m	漁船 ²⁷	・奥尻港において、津波により漁船が打上げられ、 転覆した	写- 1.11

²⁰羽鳥ら(1981):尾鷲市に遡上した津波の調査-1944年東南海・1960チリおよび1854安政津波、地震研究所旬報、Vol.56、pp.245-263

²¹南海道地震の被害について(<http://www.pref.wakayama.lg.jp/prefg/080100/saigai/saigai05.htm>)、和歌山県県土整備部

²²管内港湾漁港波浪津波対策検討業務、平成19年3月、(社)寒地港湾技術研究センター

²³土木技術、1960年、土木技術社

²⁴チリ地震津波誌、岩手県大槌町、1961

²⁵港湾と背後地域における間接被害を含めた津波被害波及過程及びその評価方法、平成18年6月、国土技術政策総合研究所資料

²⁶北海道南西沖地震災害と復興の概要の紹介(<http://www.pref.hokkaido.lg.jp/sr/gkg/hokkaidonanseiokijisin.htm>)、北海道水産林務部漁港漁村課

²⁷港湾と背後地域における間接被害を含めた津波被害波及過程及びその評価方法、平成18年6月、国土技術政策総合研究所資料

表- 1.2 船舶(漁船等)の漂流事例 2

年	名称	場所 (地名)	津波高 (m)	漂流物の 種類	漂流物による 被害の概要	写真番 号
2004	インド 洋津波	インドネシア国 ペルワラ漁港	津波高 20m	小型船 ²⁸ (漁船)	・ 漁船が押し波によって海岸に打ち寄せられた	なし
2004	インド 洋津波	インドネシア国 バンダアチエ市	津波高 20m	大型船 ¹ (発電船)	・ 発電船(長さ 60m、幅 20m)が係留地点から 3km 内陸まで打上げられた	写- 1.12
2011	東北地方太平 洋沖地震津波	北海道 厚岸漁港	津波高 4m	小型 ²⁹ (漁船)	・ 港内に停泊中の漁船が背後地に漂流した	写- 1.13
2011	東北地方太平 洋沖地震津波	北海道 大津漁港	津波高 4m	小型 ³⁰ (漁船)	・ 船揚場の上架漁船の転倒、岸壁係留漁船の転 覆・接触	写- 1.14
2011	東北地方太平 洋沖地震津波	青森県 八戸港	津波高 6m	大型船 ³¹	・ 大型船舶が陸に打ち上げられ、家屋に衝突し た	写- 1.15
2011	東北地方太平 洋沖地震津波	青森県 八戸漁港	津波高 6m	大型 ³² (漁船)	・ 津波により漁船が街内に進入した。	写- 1.16
2011	東北地方太平 洋沖地震津波	岩手県 釜石港	津波高 16m	大型船 ^{3.33}	・ 釜石港で大型船が岸壁に打上げられた	写- 1.17
2011	東北地方太平 洋沖地震津波	岩手県 釜石市	津波高 21m	大型船 ³⁴ (漁船)	・ 漁船がケーソンに衝突した	写- 1.18
2011	東北地方太平 洋沖地震津波	宮城県 石巻市	津波高 8m	小型船 ³⁵ (ボート)	・ 陸上に打ち上げられた船が、石巻商工信用組 合の建物に衝突した	写- 1.19
2011	東北地方太平 洋沖地震津波	宮城県 気仙沼港	津波高 9m	大型船 ⁷ (マグロ 漁船)	・ 津波により、約 400t のマグロ漁船が陸に打ち 上げられた	写- 1.20

²⁸新たな津波被害予測に関する研究、平成 18 年 10 月、国土交通省国土技術研究会資料

²⁹朝倉、寺田(2012)：東日本大震災における厚岸漁港の被害と今後の漁港防災対策について、平成 23 年度技術研究発表
会(寒地土木研究所)

³⁰

³¹津波被害の概要と安全対策、平成 23 年 10 月、北海道運輸局中小造船業・船用工業経営技術講習会資料

³²2011 年 3 月 11 日(<https://www.toonippo.co.jp/tokushuu/20110311jishin/20110311.html>)、東奥日報

³³釜石湾口防波堤の被災メカニズム

(http://www.scopenet.or.jp/main/h_shinsai/pdf/07_hisaizyoukyou/hisaino_tokucho.pdf)、(一財)港湾空港総合技
術センター

³⁴東日本大震災による被害の状況(http://www.jfa.maff.go.jp/j/kikaku/wpaper/h22_h/trend/1/shinsai.html)、水産庁

³⁵「3.11 キヲクのキロク、そしてイマ。」(<http://www.20thcas.org/?cat=11>)、気仙沼市



出典：羽鳥ら(1981)：尾鷲市に遡上した津波の調査-1944年東南海・1960チリおよび1854安政津波、地震研究所旬報、Vol.56、pp.245-263

- ・ 小型船が陸に打ち上がり、家屋に衝突した
- ・ 「住民の話によれば、港内の多数の船がこの地域に乗上げ、被害を増加させたという」(原文引用)

写- 1.1 1944年昭和東南海地震津波による小型船漂流(三重県尾鷲市)



出典：南海道地震の被害について
(<http://www.pref.wakayama.lg.jp/prefg/080100/saigai/saigai05.htm>)、和歌山県県土整備部

- ・ 漁船が陸に打ち上げられた

写- 1.2 1946年昭和南海地震津波による小型船打上げ(和歌山県海南市)



出典：羽鳥ら(1981)：尾鷲市に遡上した津波の調査-1944年東南海・1960チリおよび1854安政津波、地震研究所旬報、Vol.56、pp.245-263

・漁船が市街地に打上げられ、家屋に衝突した

写- 1.3 1946年昭和南海地震津波による小型船漂流(和歌山県田辺市)



出典：管内港湾漁港波浪津波対策検討業務、平成19年3月、(社)寒地港湾技術研究センター

・漁船が市街地へ打ち上げられ、家屋等に被害を与えた

写- 1.4 1960年チリ地震津波による小型船の市街地への打上げ(北海道霧多市)



出典：羽鳥ら(1981)：尾鷲市に遡上した津波の調査-1944年東南海・1960チリおよび1854安政津波、地震研究所旬報、Vol.56、pp.245-263

・漁船が市街地に打上げられ、家屋に衝突した

写- 1.5 1960年チリ地震津波による小型船漂流(青森県八戸市)



出典：チリ地震津波誌、岩手県大槌町、1961

・漁船が市街地へ進入した

写- 1.6 1960年チリ地震津波による小型船漂流(岩手県大槌町)



出典：土木技術、1960年、土木技術社

・漁船が市街地に打上げられ、家屋に衝突した

写- 1.7 1960年チリ地震津波による大型船打上げ(岩手県大船渡市)



出典：港湾と背後地域における間接被害を含めた津波被害波及過程及びその評価方法、平成18年6月、国土技術政策総合研究所資料

・十勝港で岸壁に上げられた漁船

写- 1.8 1968年十勝沖地震津波による漁船打上げ(北海道十勝港)



出典：港湾と背後地域における間接被害を含めた津波被害波及過程及びその評価方法、平成 18 年 6 月、国土技術政策総合研究所資料

- ・能代港を遡上する津波(数波目で漁船が対岸に打上げられている)

写- 1.9 1983 年日本海中部地震津波による漁船打上げ(秋田県能代港)



津波により打ち上げられた漁船(奥尻町青苗)【北海道新聞社提供】

出典：北海道南西沖地震災害と復興の概要の紹介
 (http://www.pref.hokkaido.lg.jp/sr/gkg/hokkaidonanseiokijisin.htm)、北海道水産林務部漁港漁村課

- ・津波により漂流し、家屋に衝突した車両や漁船

写- 1.10 1993 年北海道南西沖地震津波による漁船打上げ(北海道青苗漁港)



出典：港湾と背後地域における間接被害を含めた津波被害波及過程及びその評価方法、平成 18 年 6 月、国土技術政策総合研究所資料

・奥尻港において、津波により漁船が打上げられ、転覆した

写- 1.11 1993 年北海道南西沖地震津波による漁船打上げ・転覆(北海道奥尻港)



出典：新たな津波被害予測に関する研究、平成 18 年 10 月、国土交通省国土技術研究会資料

・内陸 3km まで打上げられた大型船舶(発電船)

写- 1.12 2004 年インド洋津波による大型船舶(発電船)の打ち上げ(インドネシア国バンダアチェ市)



写- 1.13 2011年東北地方太平洋沖地震津波による漁船の打ち上げ(北海道厚岸漁港)



写- 1.14 2011年東北地方太平洋沖地震津波による漁船の衝突被害(北海道大津漁港)



写- 1.15 2011年東北地方太平洋沖地震津波による漁船の打ち上げ(青森県八戸漁港)



出典：2011年3月11日 (<https://www.toonippo.co.jp/tokushuu/20110311jishin/20110311.html>)、東奥日報

・八戸港で岸壁に打上げられた漁船

写- 1.16 2011年東北地方太平洋沖地震津波による漁船の打ち上げ(青森県八戸漁港)



出典：津波被害の概要と安全対策、平成23年10月、北海道運輸局中小造船業・船用工業経営技術講習会資料
 ：釜石湾口防波堤の被災メカニズム
 (http://www.scopenet.or.jp/main/h_shinsai/pdf/07_hisaizyoukyou/hisaino_tokucho.pdf)、(一財)港湾
 空港総合技術センター

・釜石港で岸壁に打上げられた漁船

写- 1.17 2011年東北地方太平洋沖地震津波による漁船の打ち上げ(岩手県釜石港)



出典：東日本大震災による被害の状況
(http://www.jfa.maff.go.jp/j/kikaku/wpaper/h22_h/trend/1/shinsai.html)、水産庁

・漂流した漁船がケーソンに衝突した

写- 1.18 2011年東北地方太平洋沖地震津波による漁船の打ち上げ(岩手県釜石港)



出典：「3.11 キラクのキロク、そしてイマ。」(<http://www.20thcas.org/?cat=11>)、気仙沼市

・陸上に打ち上げられた船が、石巻商工信用組合の建物に衝突した

写- 1.19 2011年東北地方太平洋沖地震津波により打ち上げられた漁船の衝突(宮城県石巻市)



出典：「3.11 キラクのキルク、そしてイマ。」(<http://www.20thcas.org/?cat=11>)、気仙沼市

・約 400 トンのマグロ漁船が、岸壁に打上げられた

写- 1.20 2011 年東北地方太平洋沖地震津波による大型漁船の打ち上げ(宮城県気仙沼港)

表- 1.3 車両の漂流事例

年	名称	場所 (地名)	津波高 (m)	漂流物 の種類	漂流物による 被害の概要	写真 番号
1993	北海道 南西沖地震津波	北海道 青苗漁港	津波高 12m	漁船・ 車両 ^{36,37}	・漁船・車両が家屋に衝突した	写- 1.10
1993	北海道 南西沖地震津波	北海道 奥尻港	津波高 4m	工事車両 ³⁸	・奥尻港において、停泊中の工事車両が津波漂流物となって港内に流入し、港湾機能や災害復旧活動の大きな支障となった	写- 1.21
2011	東北地方太平洋沖 地震津波	青森県 尻労漁港	津波高 3m	車両 ³⁹	・津波により、車両が港内に移動した	写- 1.22
2011	東北地方太平洋沖 地震津波	宮城県 塩釜港	津波高 7m	車両 ⁴⁰	・車両が塩釜港湾事務所の建物に衝突した	写- 1.23



写- 1.21 2011 年東北地方太平洋沖地震津波による大型漁船の打ち上げ(北海道奥尻島)

³⁶北海道南西沖地震災害と復興の概要の紹介(<http://www.pref.hokkaido.lg.jp/sr/gkg/hokkaidonanseiokijisin.htm>)、北海道水産林務部漁港漁村課

³⁷管内港湾漁港波浪津波対策検討業務、平成 19 年 3 月、(社)寒地港湾技術研究センター

³⁸釧路港における津波漂流物対策の取り組みについて、平成 19 年 10 月、国土交通省国土技術研究会資料

³⁹2011 年 3 月 12 日(<https://www.toonippo.co.jp/tokushuu/20110311jishin/20110311.html>)、東奥日報

⁴⁰釜石湾口防波堤の被災メカニズム

(http://www.scopenet.or.jp/main/h_shinsai/pdf/07_hisaizyoukyou/hisaino_tokucho.pdf)、(一財)港湾空港総合技術センター



出典：2011年3月12日 (<https://www.toonippo.co.jp/tokushuu/20110311jishin/20110311.html>)、東奥日報

・港内より、車両が引き上げられている様子

写- 1.22 2011年東北地方太平洋沖地震津波による車両の港内への転落(青森県尻労漁港)



出典：釜石湾口防波堤の被災メカニズム (http://www.scopenet.or.jp/main/h_shinsai/pdf/07_hisaizyoukyou/hisaino_tokucho.pdf)、(一財)港湾空港総合技術センター

・車両が塩釜港湾事務所の建物に衝突した

写- 1.23 2011年東北地方太平洋沖地震津波による車両の打ち上げ(宮城県塩釜港)

表- 1.4 木材の漂流事例

年	名称	場所 (地名)	津波高 (m)	漂流物 の種類	漂流物による 被害の概要	写真番号
1946	昭和南海 地震津波	高知県 須崎市	津波高 2m	木材 ^{41, 42}	<ul style="list-style-type: none"> ・湾奥にあった貯木場の木材が津波の引き波で流出したものが市街地に流入し被害を一層大きくさせた。 ・街の中は、棧橋付近から原町辺りまで流れ出た木材の山でした。亡くなった人は、木材にさらわれた人が多かったようです。(原文引用) 	写- 1.24
1993	北海道南西沖 地震津波	北海道 青苗漁港	津波高 12m	木材 ⁴³	<ul style="list-style-type: none"> ・木材が流出し、背後地への散乱や水域施設への流入が生じた 	写- 1.25



出典：漂流物対策(<http://www.city.susaki.lg.jp/life/detail.php?pcflg=PC&hdnKey=429>)、須崎市役所

・須崎港背後地における木材の漂流状況

写- 1.24 1946年昭和南海地震津波による木材の流出(高知県須崎港)

⁴¹漂流物対策(<http://www.city.susaki.lg.jp/life/detail.php?pcflg=PC&hdnKey=429>)、須崎市役所

⁴²津波被災者のお話(<http://www.pa.skr.mlit.go.jp/kouchi/minatosyukai/susakikou/hisaishanoohanashi.html>)、須崎港

⁴³北海道南西沖地震災害と復興の概要の紹介(<http://www.pref.hokkaido.lg.jp/sr/gkg/hokkaidonanseiokijisin.htm>)、北海道水産林務部漁港漁村課



奥尻町青苗漁港で行方不明者の捜索を実施する海上保安庁潜水士〔北海道新聞社提供〕

出典：北海道南西沖地震災害と復興の概要の紹介
(<http://www.pref.hokkaido.lg.jp/sr/gkg/hokkaidonanseiokijisin.htm>)、北海道水産林務部漁港漁村課

・青苗漁港港内に、大量の木材が流入した

写- 1.25 2011年東北地方太平洋沖地震津波による木材の港内への流入(北海道青苗漁港)

表- 1.5 オイルタンクの漂流事例

年	名称	場所 (地名)	津波高 (m)	漂流物 の種類	漂流物による 被害の概要	写真番号
1944	昭和東南海 地震津波	三重県 二木島	津波高 7m	石油 タンク ⁴⁴	・重油タンクが、津波により 300m 以上押し 流された	なし
2004	インド洋 津波	インドネシア国 クルエンヤラ	津波高 20m	オイル タンク ⁴⁵	・オイルタンク(高さ 11m、直径 17m)が、津 波により 300m 移動した	写- 1.26
2011	東北地方 太平洋沖 地震津波	宮城県 気仙沼港	津波高 9m	オイル タンク ⁴⁶	・オイルタンクの漂流により火災が発生し た	写- 1.27



出典：新たな津波被害予測に関する研究、平成 18 年 10 月、国土交通省国土技術研究会資料

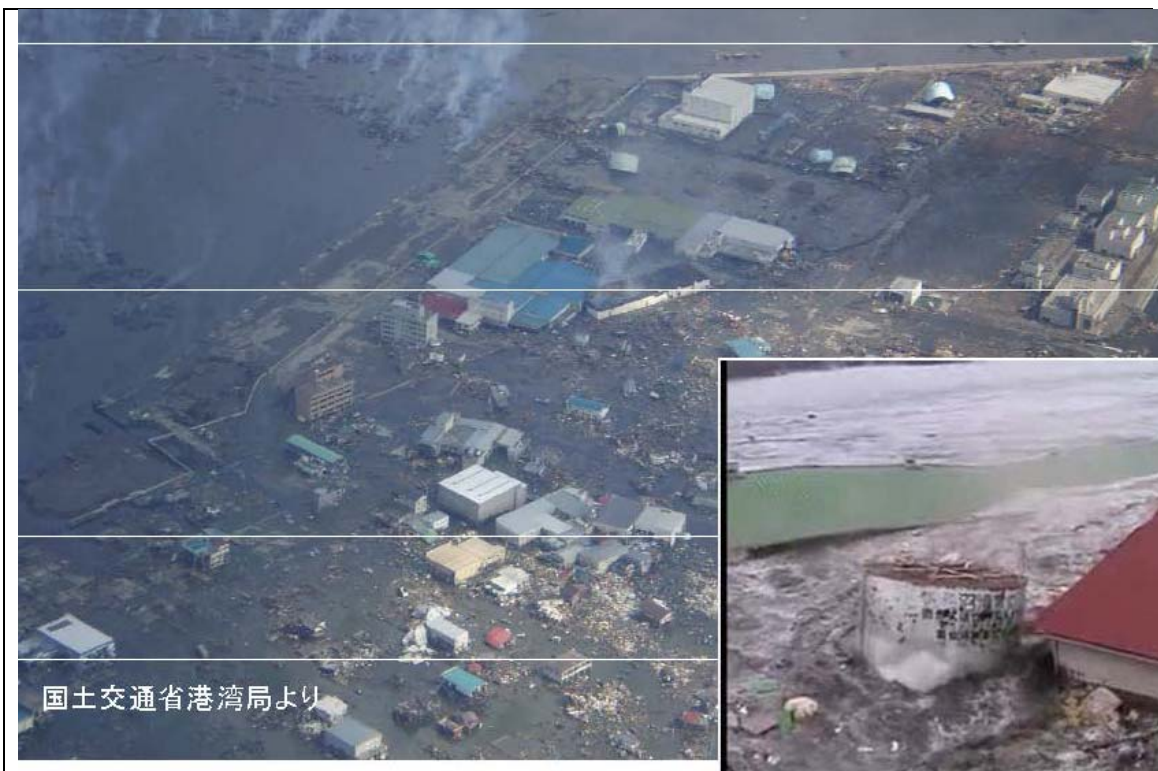
・インドネシアでは、津波によりオイルタンクが移動した

写- 1.26 2004 年スマトラ沖地震津波によるオイルタンクの移動(インドネシア国クルエンヤラ)

⁴⁴藤井、今村(2010):津波に伴う屋外タンクと漂流物による被害に関する実用的評価手法の提案、自然災害科学 J.JSND 28-4 371-386

⁴⁵新たな津波被害予測に関する研究、平成 18 年 10 月、国土交通省国土技術研究会資料

⁴⁶津波被害の概要と安全対策、平成 23 年 10 月、北海道運輸局中小造船業・船用工業経営技術講習会資料



出典：漂流物対策(<http://www.city.susaki.lg.jp/life/detail.php?pcflg=PC&hdnKey=429>)、須崎市役所

・オイルタンクの漂流に伴う火災の発生

写- 1.27 2011年東北地方太平洋沖地震津波によるオイルタンクの漂流(宮城県気仙沼港)

表- 1.6 養殖筏の漂流事例

年	名称	場所 (地名)	津波高 (m)	漂流物 の種類	漂流物による 被害の概要	写真番号
2010	チリ地震津波	宮城県 気仙沼湾	津波高 1~2m	養殖筏 ⁴⁷	・養殖施設等が固まりとなり湾内を漂流することで、船舶航行の妨げとなる。	写- 1.28



写- 1.28 2010年チリ地震津波に伴う養殖筏の漂流による、航路泊地の埋塞(宮城県気仙沼市)

⁴⁷津波による養殖施設の漂流対策（2010年チリ津波調査結果報告）、（一財）漁港漁場漁村総合研究所 平成21年度調査研究論文集 No.21

表- 1.7 漁具等の漂流事例

年	名称	場所 (地名)	津波高 (m)	漂流物 の種類	漂流物による 被害の概要	写真 番号
2011	東北地方 太平洋沖 地震津波	北海道 大津漁港	津波高 4m	漁具 ¹	平成 23 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震に伴う津波は、本漁港にも大きな被害をもたらし、約 4.4m の津波が来襲、係留中の漁船はもとより、用地（漁船保管用地）に上架している漁船や漁具等をも漂流させ、漁船の衝突や転覆等の損害を与えた。また流出した漁具等が泊地を埋没させるなど、漁業活動の早期再開が妨げられた	なし

表- 1.8 プレハブ・コンテナ等の漂流事例

年	名称	場所 (地名)	津波高 (m)	漂流物 の種類	漂流物による 被害の概要	写真番号
2011	東北地方太平 洋沖地震津波	北海道 大津漁港	津波高 4m	プレハブ 倉庫 ⁴⁸	プレハブ建屋が 200m 程度流されて移動した	写- 1.29



出典：平成 23 年東北地方太平洋沖地震による北海道沿岸の港湾・漁港等被害調査速報、2011 年 3 月、寒地土木研究所

・プレハブ建屋(直売所)が 200m 以上流された後、横転した。

写- 1.29 2011 年東北地方太平洋沖地震津波に伴うプレハブ小屋の漂流(北海道大津漁港)

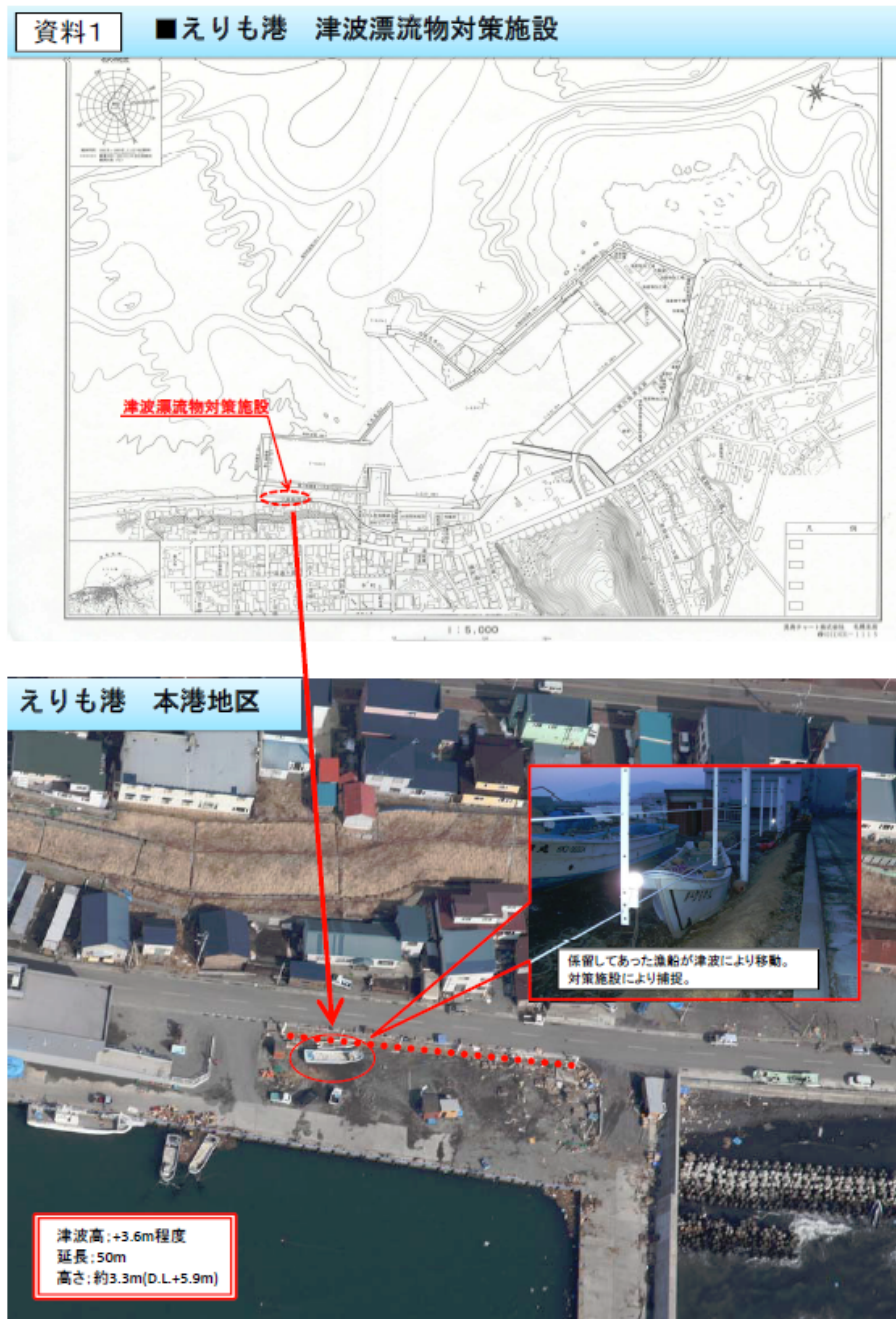
⁴⁸平成 23 年東北地方太平洋沖地震による北海道沿岸の港湾・漁港等被害調査速報、2011 年 3 月、寒地土木研究所

参考資料-2. 津波漂流物対策施設の事例について

津波漂流物対策施設の効果の事例

北海道の3港において津波漂流物対策施設の効果が報告されている。（「東北地方太平洋沖地震による津波における津波漂流物対策の効果について」北海道開発局）

(1) えりも港



係留してあった漁船が津波により移動。対策施設により捕捉。

津波高 ; +3.6m 程度 延長 ; 50m 高さ ; 約 3.3m (D.L.+5.9m)

(2)十勝港



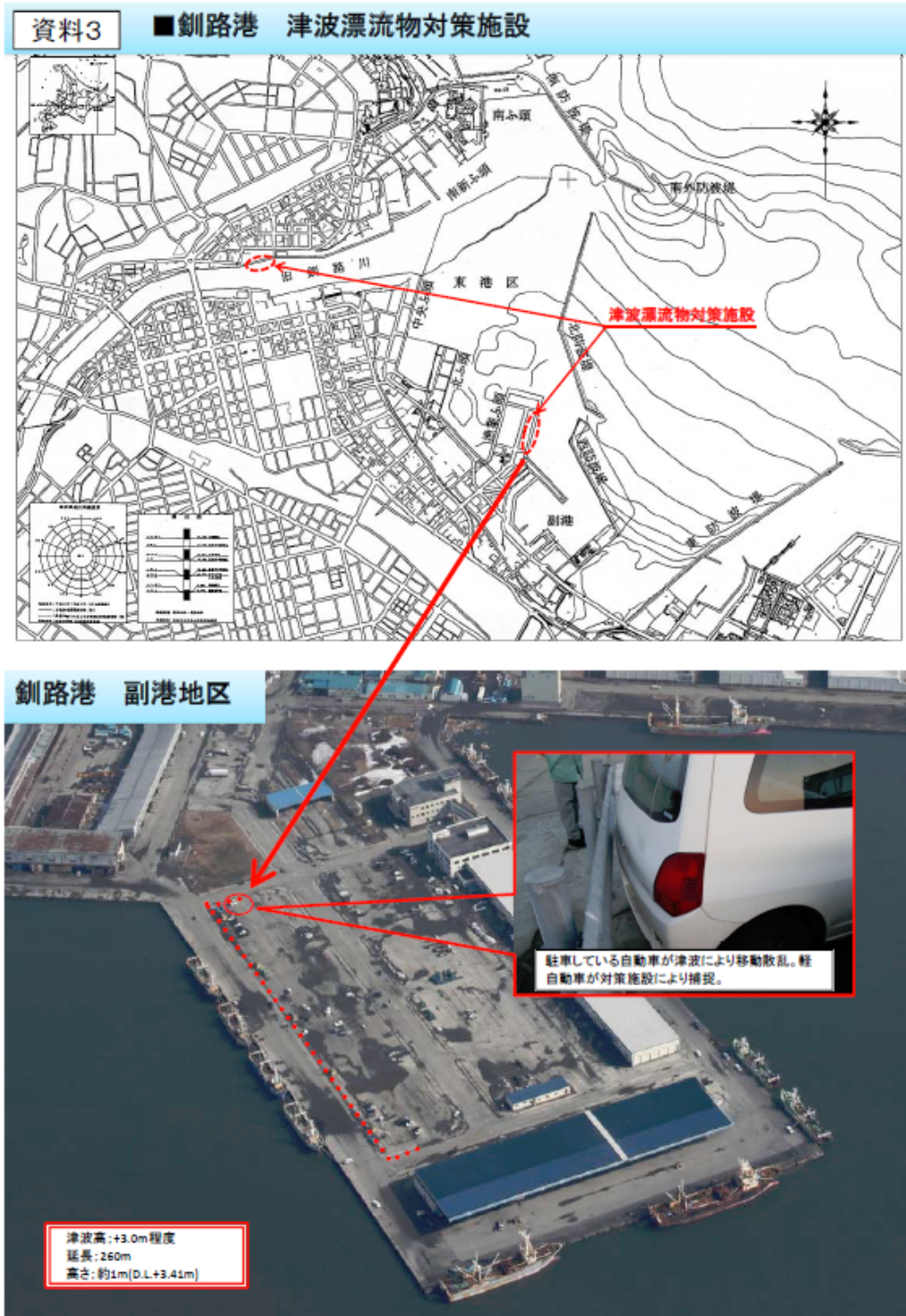
係留してあった漁船が津波により移動。対策施設により捕捉。

津波高 ; +3.7m 以上

〔タンク側〕 延長 ; 72.2m 高さ ; 2.2m (D.L.+4.80m)

〔船揚場側〕 延長 ; 69.3m 高さ ; 4.6m (D.L.+7.20m) ~3.0m (D.L.+5.60m)

(3) 釧路港



駐車している自動車が津波により移動散乱。軽自動車に対策施設により捕捉。
津波高; +3.0m程度 延長; 260m 高さ; 約 1m (D.L.+3.41m)

参考資料-3. モデル地区における漂流シミュレーション

1. 津波漂流物解析の概要

1.1 検討の流れ

モデル地区を対象とした津波漂流物解析の流れを図-3.1 に示す。ここで、津波伝播遡上解析の基礎式として非線形長波方程式を、津波漂流物解析の基礎式として後藤のモデル^{*)}及び鳴原のモデル^{**)}を用いた。

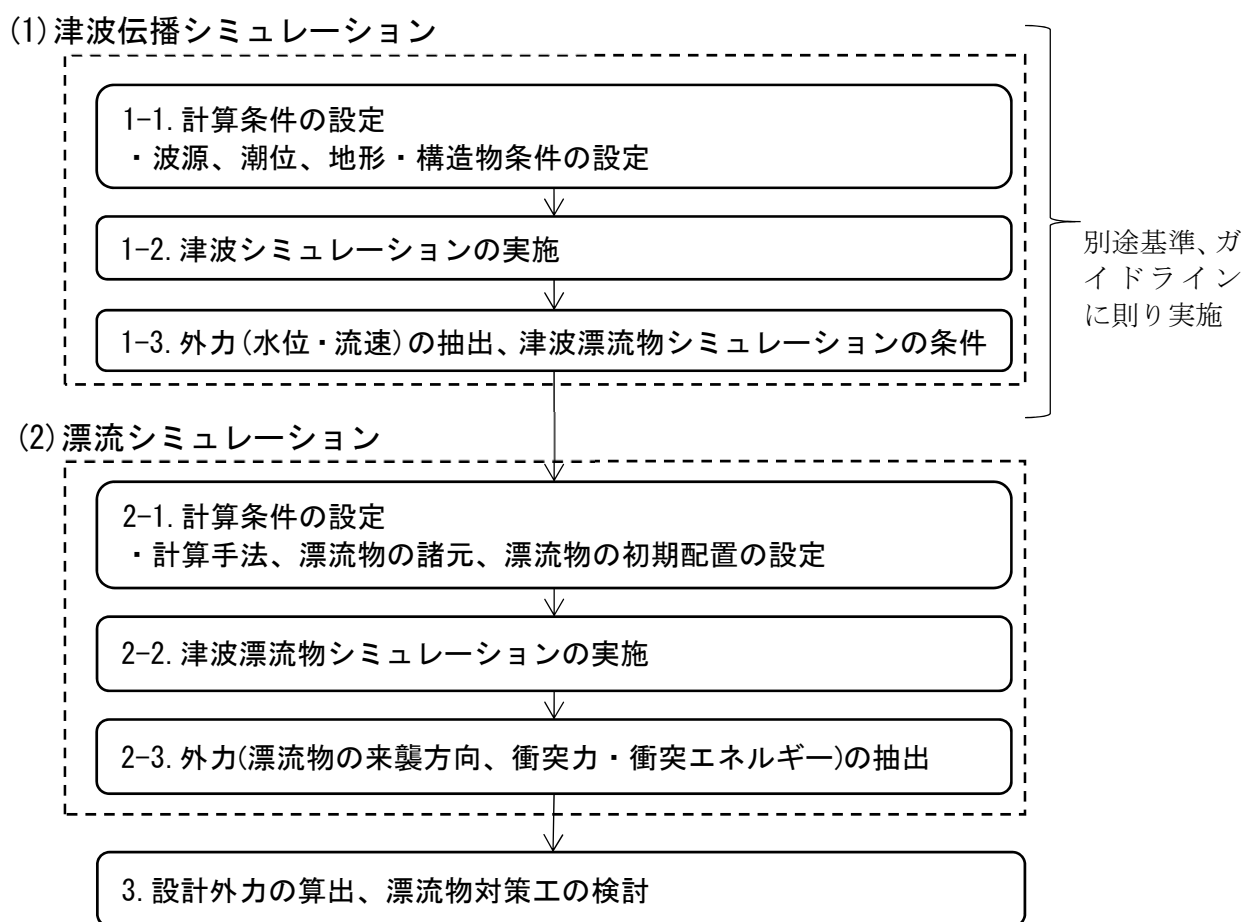


図- 3.1 検討フロー図

*)後藤(1983) 海岸工学講演会論文集

***)加藤・鳴原・丹治(2013)漁港漁場漁村研究所調査研究論文集

2. 計算モデルの構築

2.1 モデル地区と検討ケース

浸水規模の異なる2つのモデル地区・波源の組合せのそれぞれについて、津波漂流物対策を実施する場合としない場合の検討を実施した。検討ケースは下表に示すとおりである。

また、対象漁港の概観及び津波漂流物対策の概要を図- 3.2～図- 3.3に示す。

表- 3.1 検討ケース

番号	対象漁港	対象波源	津波漂流物対策の有無	漂流物配置数	計算手法等
1	A 漁港 (太平洋側)	モデル地震津波 昭和三陸地震の すべり量を0.5倍 最大浸水深： 4.0m程度	・対策なし (現況)	係留船(10t)： 245隻 上架船(5t)： 62隻	計算手法 ・後藤のモデル ・鳴原のモデル の2通り パラメータ設定 ・後藤モデル ：乱数9種類 ・鳴原モデル ：船首角7種類
2			・漂流物衝突 防止柵 ・漂流物流出 防止柵	車両： 160台	
3	B 漁港 (日本海側)	庄内沖地震津波 (発生頻度の高い 津波) 最大浸水深： 1.0m程度	・対策なし (現況)	係留船(20t)： 35隻 係留船(10t)： 293隻	
4			・漂流物流出 防止柵	車両： 216台	



図- 3.2 防護対象施設と対策工(A 漁港)

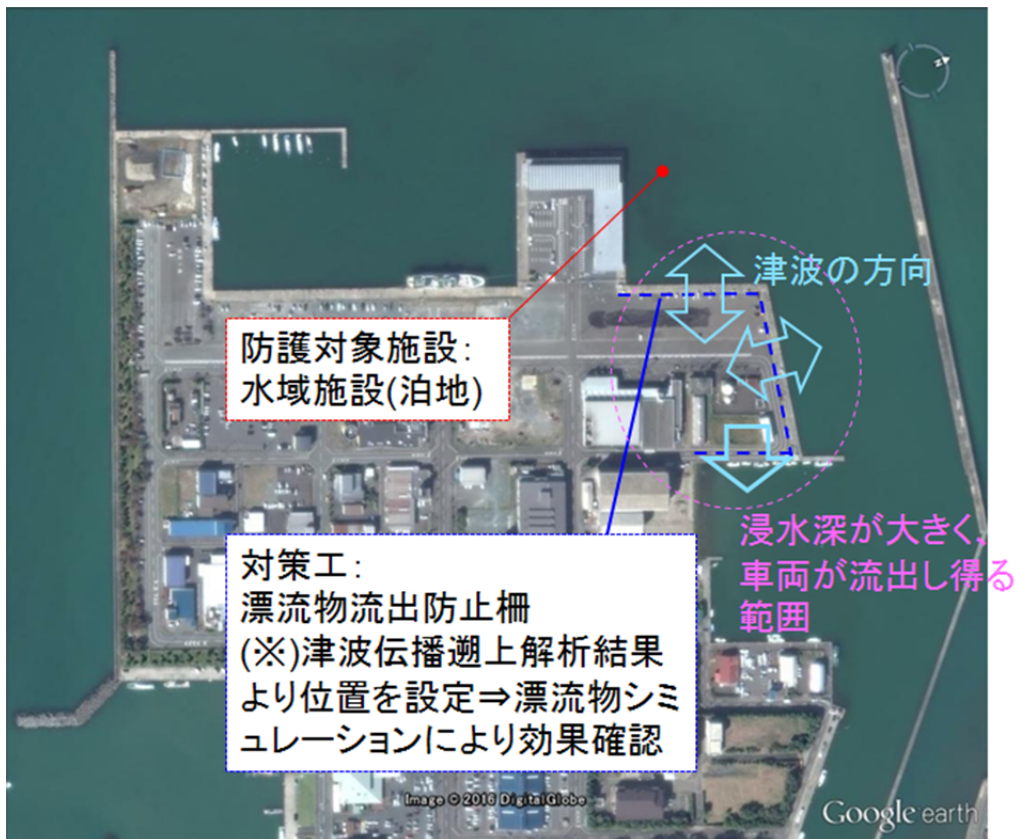


図- 3.3 防護対象施設と対策工(B 漁港)

2.2 津波伝播解析条件

(1) 解析条件の概要

津波伝播解析モデルの計算条件の概要を表- 3.2、表- 3.3 に示す。

表- 3.2 津波伝播解析モデル 計算条件概要 (A 漁港)

		再現計算	
計算手法	基礎方程式	非線形長波方程式	
	差分法	時間差分：Leap-Flog 差分法 空間差分：スタッガード格子による差分 移流項：一次風上差分 摩擦項：陰的差分	
	境界条件	沖側	無反射・透過境界
		陸側	遡上境界(全格子領域について遡上境界を設定)
		越流	本間の越流公式(1940)
	先端条件	岩崎・真野(1979)の方法 最小水深：0.01m	
	領域接続条件	地形の接続：柴木(2004)の方法を採用。 水位・流量の接続：柴木(2004)の方法を採用。	
その他の設定	コリオリ力等は考慮しない		
計算条件	波源条件	モデル津波波源 断層パラメータ：相田(1977)のモデルのすべり量を0.5倍	
	潮位条件	潮位 (T. P. +0.80m、危険側の潮位として朔望平均満潮位を設定)	
	計算領域	東北地方～北海道を含む日本沿岸全域	
	計算格子間隔	1350m-450m-150m-50m-10m	
	計算時間	3時間	
	計算時間間隔	1350m～5m：0.1sec	
	地形条件	GEBCO(全球水深データ)、海底地形デジタルデータ(M7000シリーズ)(日本水路協会)、A漁港計画平面図、数値標高モデル(5m格子)(国土地理院)	
	粗度条件	小谷ら(1998)**の指標に基づき、土地利用状況に応じて設定。	
	構造物条件	対象	海岸堤防、河川堤防、漁港・港湾施設
		破堤条件	なし
	河川の水位条件	河川流は考慮しない (漂流物に作用する漂流力の評価には影響しないと判断した)	

** 小谷美佐・今村文彦・首藤伸夫：GIS を利用した津波遡上計算と被害推定法，海岸工学論文集，第 45 巻，pp.356-360，1998.

表- 3.3 津波伝播解析モデル 計算条件概要 (B漁港)

		再現計算	
計算手法	基礎方程式	非線形長波方程式	
	差分法	時間差分：Leap-Flog 差分法 空間差分：スタッガード格子による差分 移流項：一次風上差分 摩擦項：陰的差分	
	境界条件	沖側	無反射・透過境界
		陸側	遡上境界(全格子領域について遡上境界を設定)
		越流	本間の越流公式(1940)
		先端条件	岩崎・真野(1979)の方法 最小水深：0.01m
	領域接続条件	地形の接続：柴木(2004)の方法を採用。 水位・流量の接続：柴木(2004)の方法を採用。	
その他の設定	コリオリ力等は考慮しない		
計算条件	波源条件	庄内沖(1833)地震津波(発生頻度の高い津波) 断層パラメータ：相田(1989)のモデル	
	潮位条件	潮位 (T. P. +0.50m、危険側の潮位として朔望平均満潮位を設定)	
	計算領域	日本海と北海道～北九州までの日本海側沿岸部を含む領域	
	計算格子間隔	1350m-450m-150m-50m-10m-5m	
	計算時間	12 時間	
	計算時間間隔	領域 1:2.7s、領域 2:0.9s、領域 3:0.3s、領域 4～領域 6:0.1s	
	地形条件	GEBCO(全球水深データ) 海底地形デジタルデータ(M7000 シリーズ)(日本水路協会) B漁港計画平面図、B漁港漁港台帳 数値標高モデル(5m 格子)(国土地理院)	
	粗度条件	小谷ら(1998)**の指標に基づき、土地利用状況に応じて設定。	
	構造物条件	データ化対象	海岸堤防、河川堤防、漁港・港湾施設
		破堤条件	なし
	河川の水位条件	河川流は考慮しない (漂流物に作用する漂流力の評価には影響しないと判断した)	

** 小谷美佐・今村文彦・首藤伸夫：GIS を利用した津波遡上計算と被害推定法，海岸工学論文集，第 45 巻，pp.356-360，1998.

(2) 波源モデル

A漁港では、モデル地震津波を対象とした。モデル地震津波では、A漁港の設計津波(発生頻度の高い津波)である昭和三陸地震津波のすべり量を0.5倍とした。断層パラメータを表- 3.4 に示し、初期水位分布図を図- 3.4 に示す。

表- 3.4 断層パラメータ(モデル地震津波)

緯度(°)	経度(°)	深さ(km)	走向(°)	傾斜角(°)	すべり角(°)	断層長(km)	断層幅(km)	すべり量(m)
40.16	144.50	1.0	180.0°	45.0°	270°	185.0	50.0	3.3

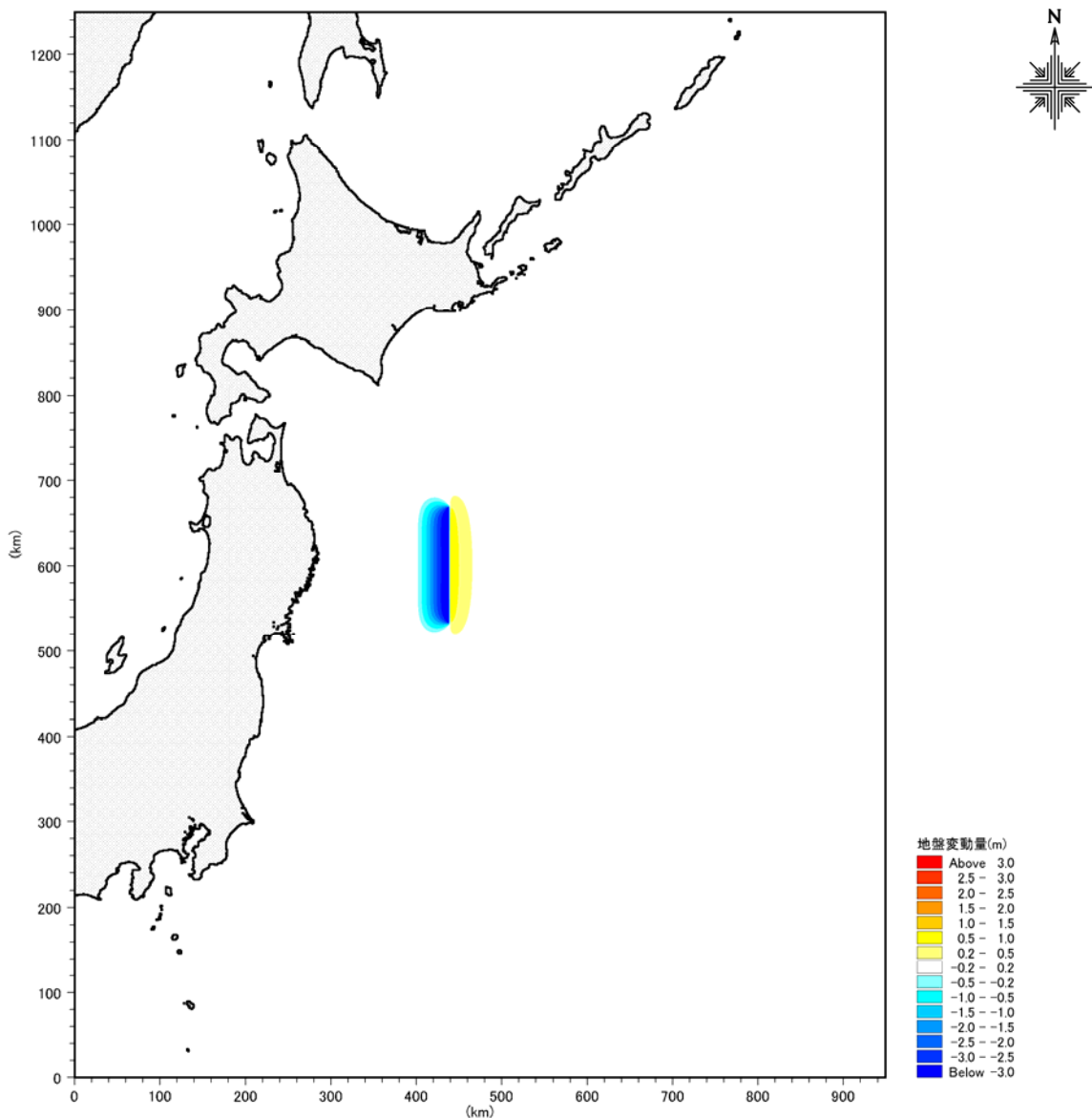


図- 3.4 初期水位分布図(モデル地震津波)

B漁港では、設計津波(発生頻度の高い津波)である庄内沖地震津波を対象とした。断層パラメータ(表- 3.5)と初期水位分布図(図- 3.5)は次の通りである。

表- 3.5 断層パラメータ(庄内沖地震津波)

緯度(°)	経度(°)	深さ(km)	走向(°)	傾斜角(°)	すべり角(°)	断層長(km)	断層幅(km)	すべり量(m)
39.00	139.425	2.0	10.0°	60.0°	90°	50.0	40.0	7.95
38.50	138.900	2.0	40.0°	60.0°	61°	70.0	40.0	7.95

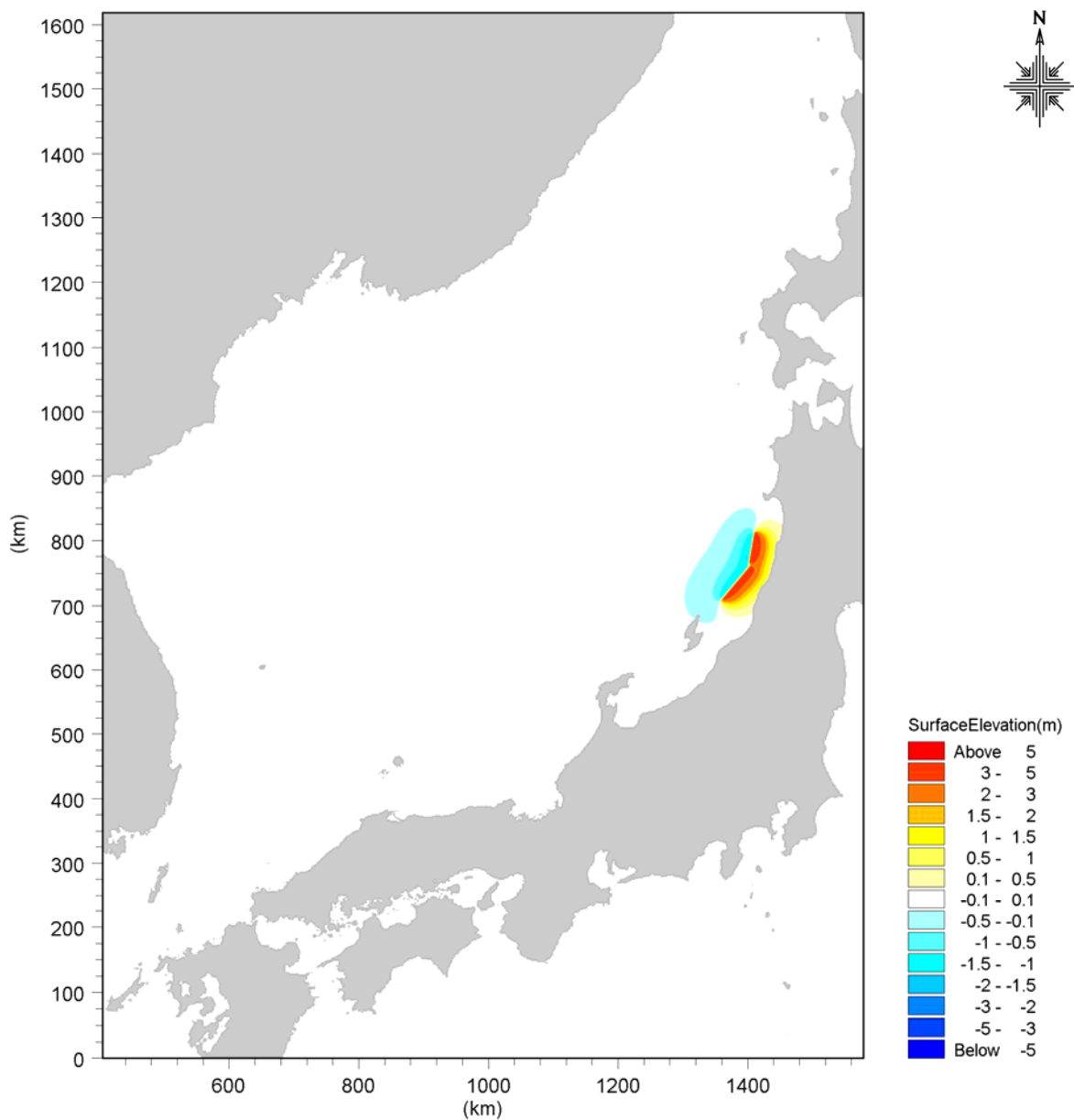


図- 3.5 初期水位分布図(庄内沖地震津波)

(3) 計算領域及び地形条件

1) A 漁港

本計算に用いた計算格子間隔及び地形データは、表- 3.6 及び図- 3.6～図- 3.8 に示す通りである。波源域から検討対象周辺までの津波の伝播は、1350m 格子間隔～5m 格子間隔のモデルにより非線形長波方程式に基づいて解析した。ネスティングにより沖合から検討対象に向かって格子間隔を小さくしていくことで、波源域を計算領域に含めつつ、検討対象域であるA漁港周辺を精度よく計算できるように設定した。

表- 3.6 計算領域と計算格子間隔

計算領域	計算格子間隔	基礎方程式	基礎データ
波源域 ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ A 漁港	1350m	線形長波方程式	<ul style="list-style-type: none"> ・ GEBCO(全球水深データ) ・ 海底地形デジタルデータ (M7000 シリーズ) ・ A 漁港計画平面図 ・ 数値標高モデル (5m 格子、国土地理院)
	450m	非線形長波方程式	
	150m		
	50m		
	25m		
	5m		

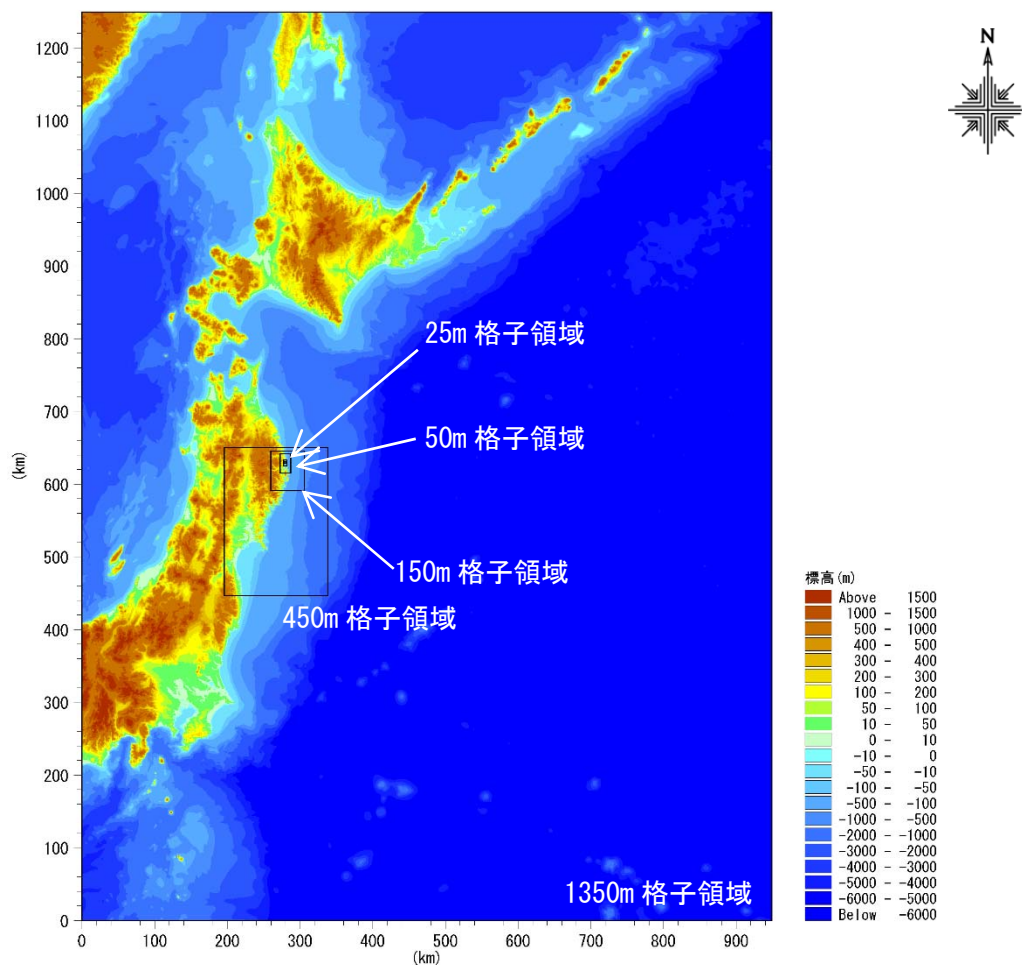


図- 3.6 計算に用いた地形データと計算領域の配置(1350m 格子領域～25m 格子領域)

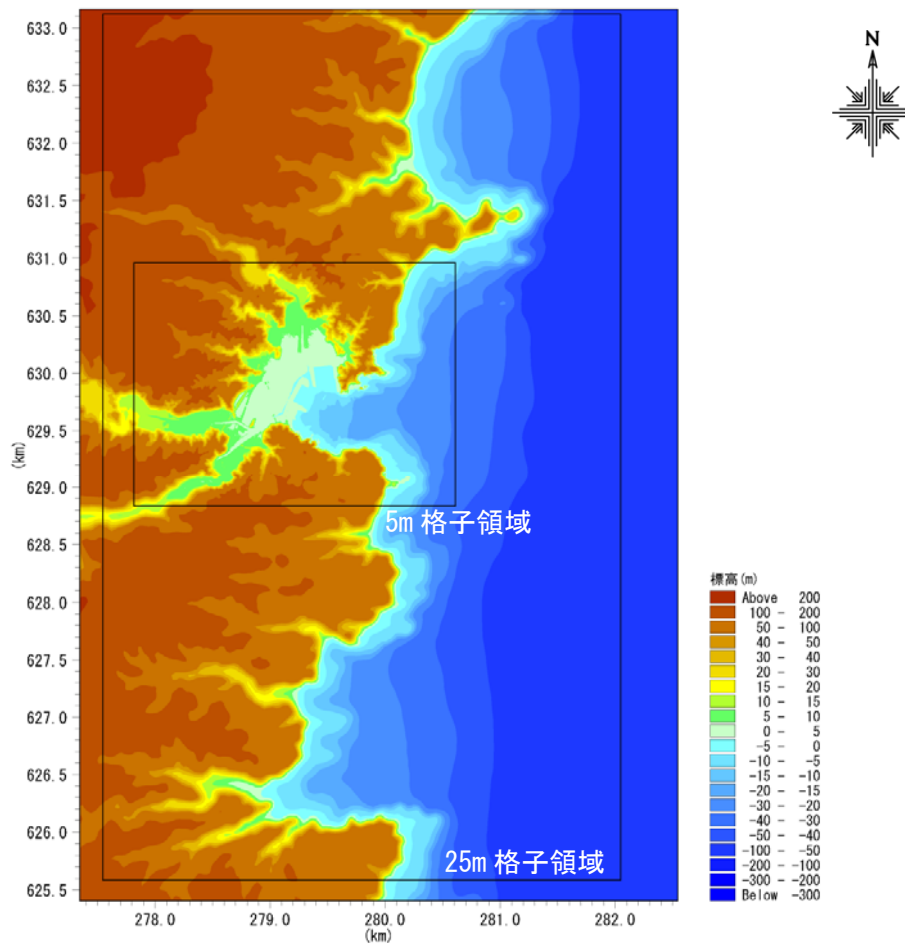


図- 3.7 計算に用いた地形データと計算領域の配置(25m 格子領域～5m 格子領域)

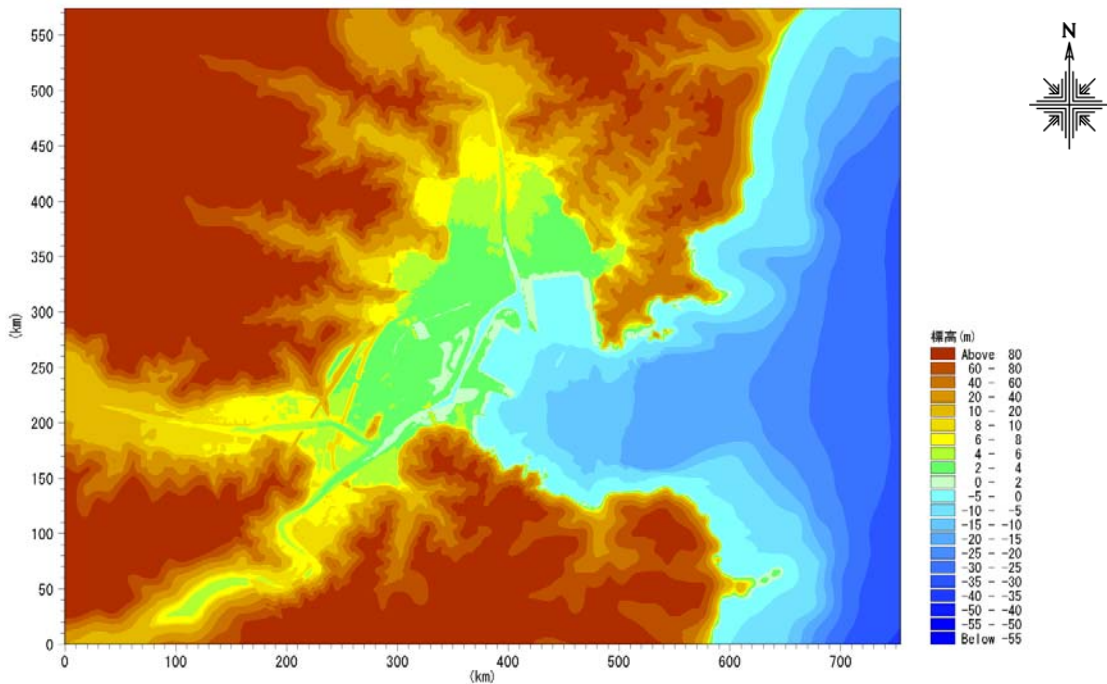


図- 3.8 計算に用いた地形データと計算領域の配置(5m 格子領域)

2) B漁港

本計算に用いた計算格子間隔及び地形データは、表- 3.7 及び図- 3.9～図- 3.11 に示す通りである。波源域から検討対象周辺までの津波の伝播は、1350m 格子間隔～5m 格子間隔のモデルにより非線形長波方程式に基づいて解析した。ネスティングにより沖合から検討対象に向かって格子間隔を小さくしていくことで、波源域を計算領域に含めつつ、検討対象域であるB漁港周辺を精度よく計算できるように設定した。

表- 3.7 計算領域と計算格子間隔(B漁港)

計算領域	計算格子間隔	基礎方程式	基礎データ
波源域 ↓ ↓ ↓ ↓ B漁港	1350m	線形長波方程式	<ul style="list-style-type: none"> ・ GEBCO(全球水深データ) ・ 海底地形デジタルデータ(M7000 シリーズ)(日本水路協会) ・ B漁港計画平面図、B漁港漁港台帳 ・ 数値標高モデル(5m 格子)(国土地理院)
	450m	非線形長波方程式	
	150m		
	50m		
	25m		
	5m		

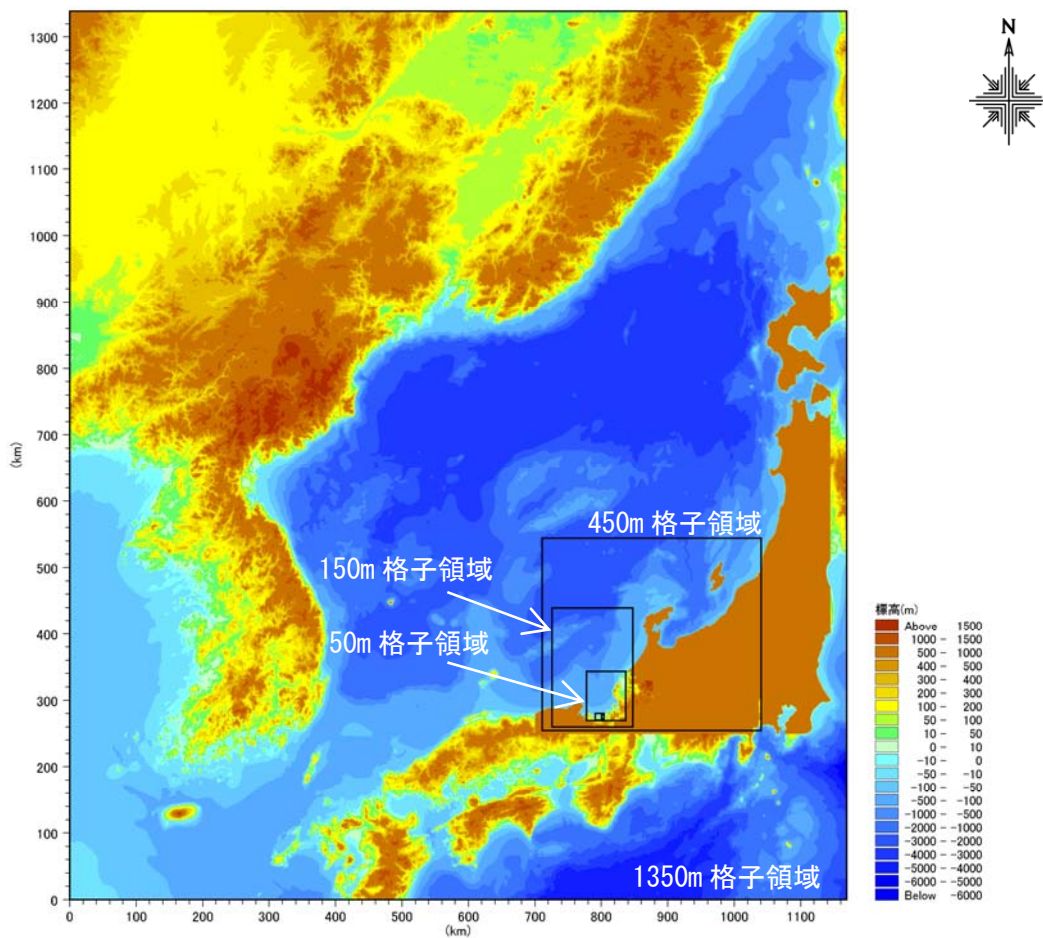


図- 3.9 計算に用いた地形データと計算領域の配置(1350m 格子領域～25m 格子領域)

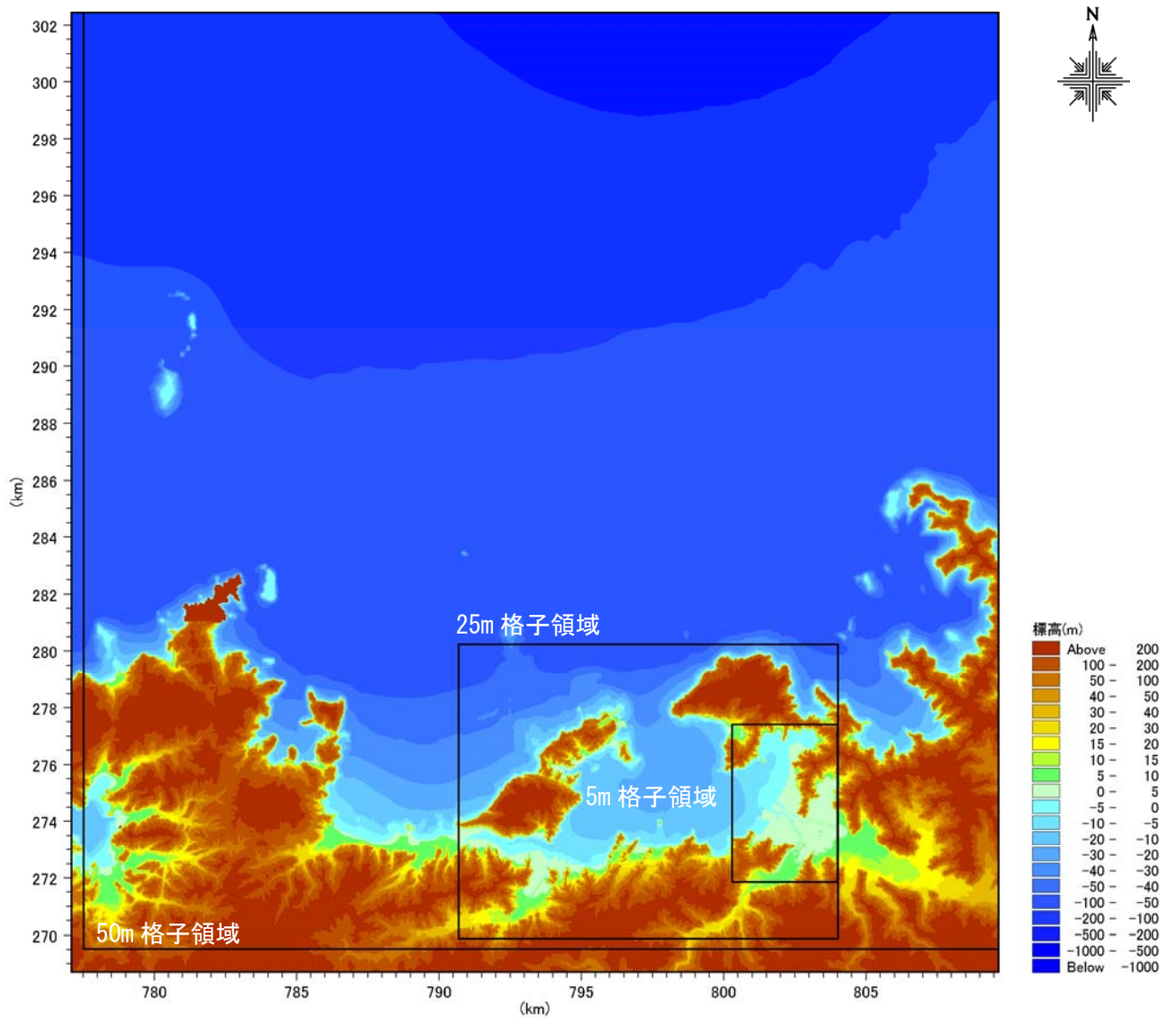


図- 3.10 計算に用いた地形データと計算領域の配置(25m 格子領域～5m 格子領域)

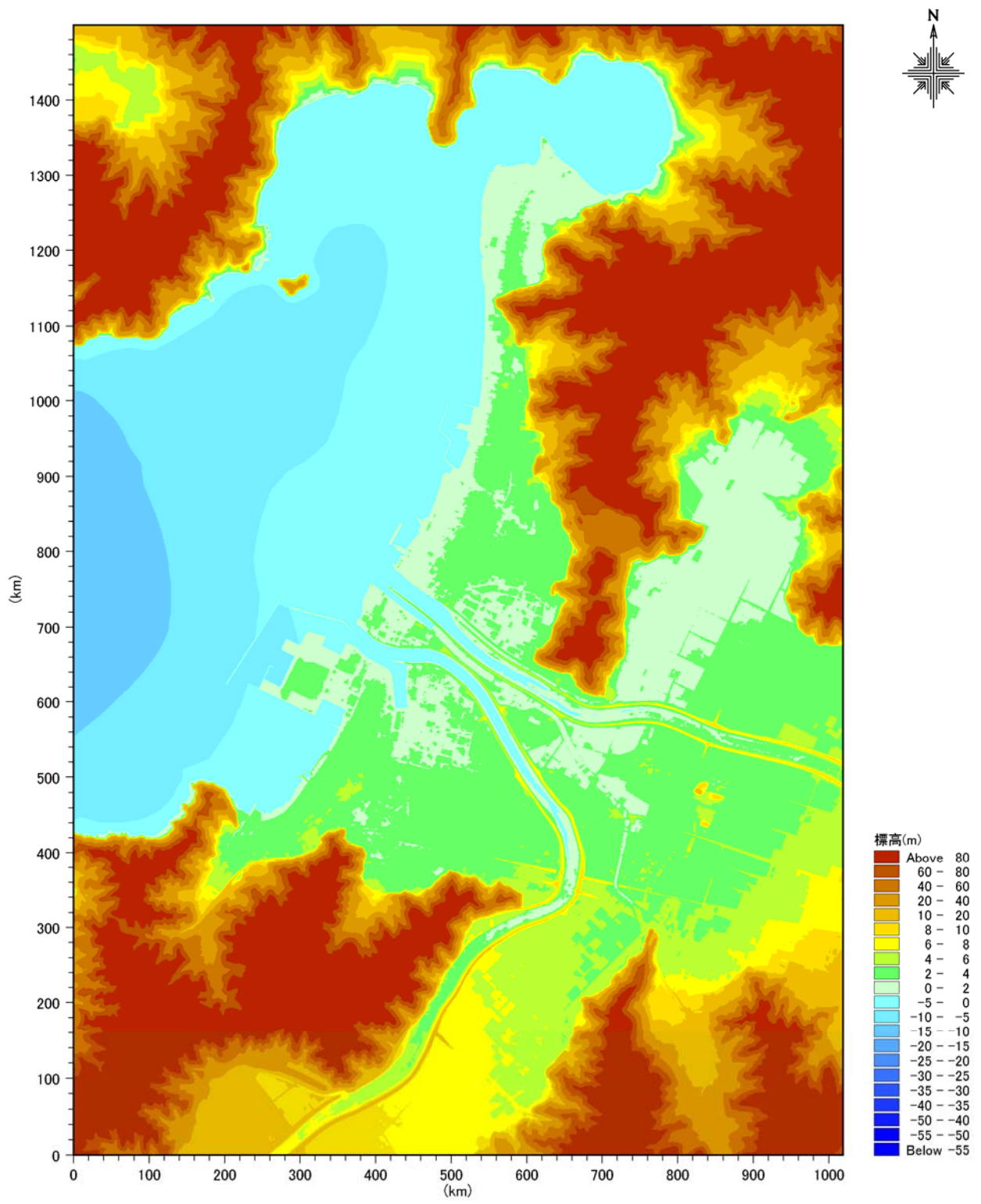


図- 3.11 計算に用いた地形データと計算領域の配置(5m 格子領域)

(4) 構造物条件

5m 格子領域内に位置する漁港・港湾・海岸施設のうち、線的構造物を構造物データとして設定した。A漁港の構造物データの配置及び高さの分布を図- 3.12 に示す。図- 3.13 にB漁港の構造物データを示す。

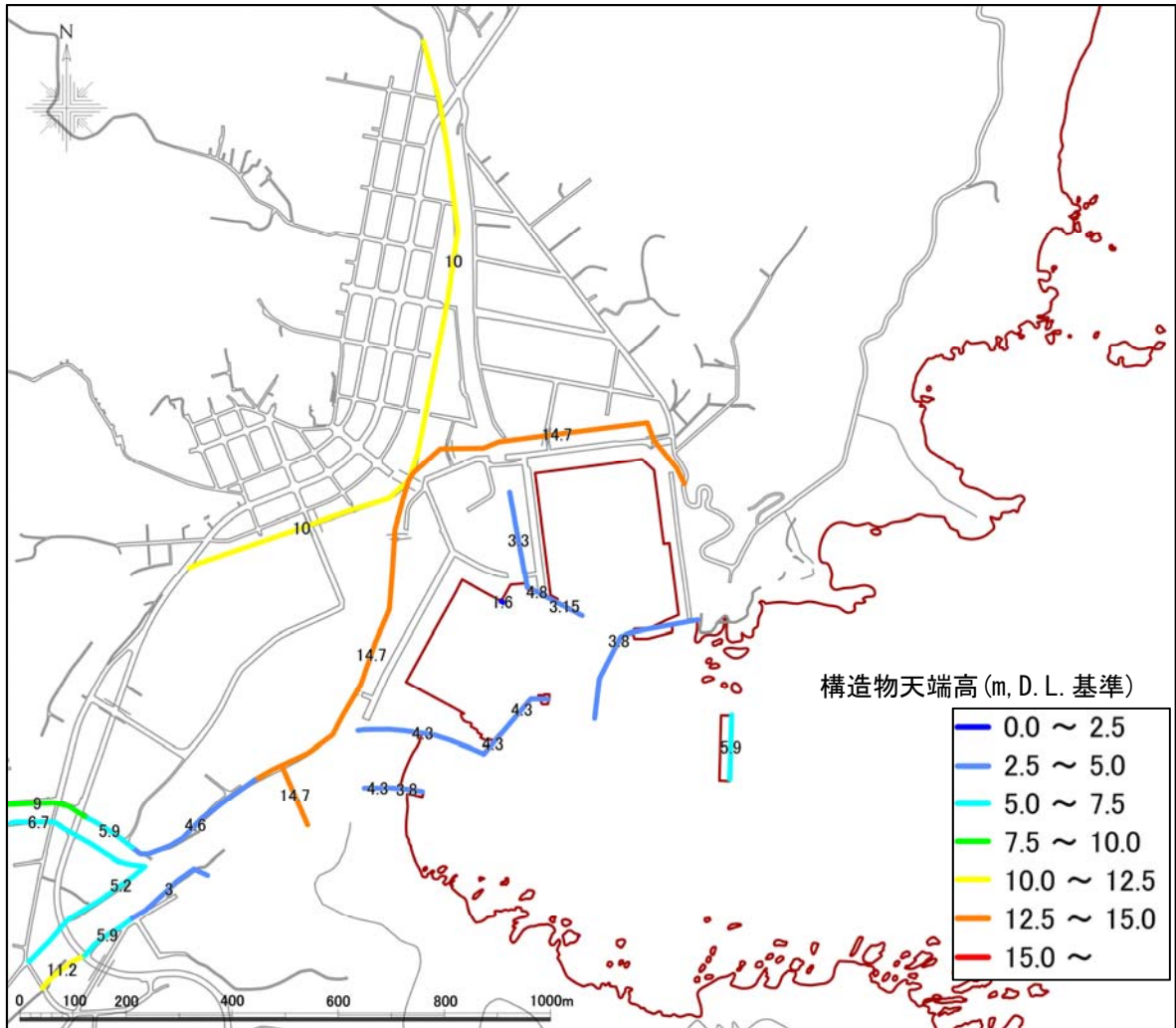


図- 3.12 構造物データ設定図 (A漁港)

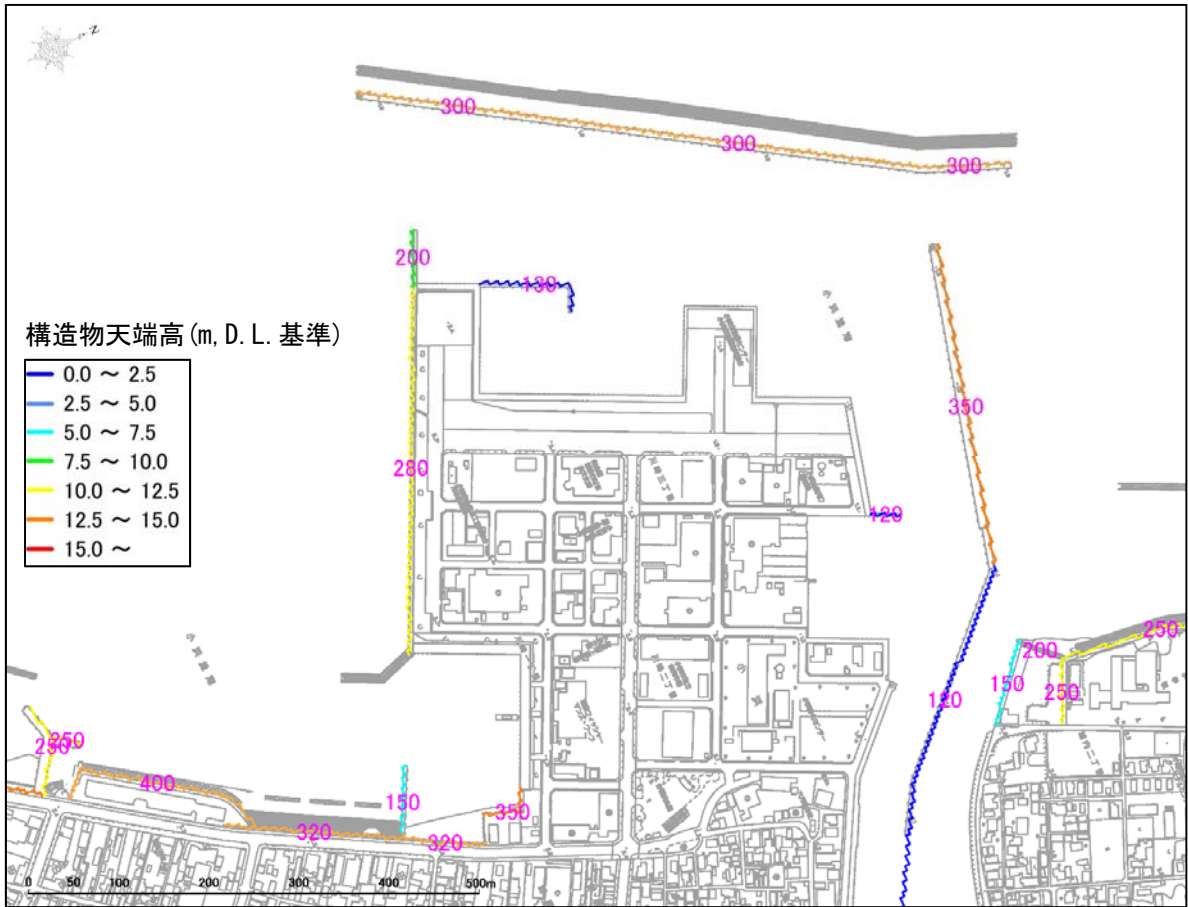


図- 3.13 構造物データ設定図(B漁港)

2.3 津波漂流物の検討条件

(1) A漁港

津波漂流物解析の対象漂流物は、衝突エネルギーが比較的大きいと考えられる、車両、船舶(係留、上架)とした。漂流物の諸元は、船舶については「漁港・漁場の施設の設計参考図書、2015年度版、pp.194」を、車両については「自動車ガイドブック、(社)日本自動車工業会」を参考に、表- 3.8に示すとおりを設定した。

漂流物の初期配置は、図- 3.14に示すとおりを設定した。

表- 3.8 漂流物(船舶)諸元

項目	設定値		
	係留船	上架船	車両
漂流物種別	10t 船	5t 船	普通乗用車
配置箇所	○船舶の係留実態がある岸壁に、等間隔に船舶を配置した。	○現地で実際に船舶が上架している船揚場・用地に、等間隔に船舶を配置した。	○現地で実際に車両が駐車しているエリアに、等間隔に車両を配置した。 ○将来、駐車場としての利用が見込まれている図- 3.14①のエリアに、等間隔に車両を配置した。
船長(m)	13.0m (※1)	11.0m (※1)	5.0m (※2)
船幅(m)	3.5m (※1)	2.8m (※1)	2.0m (※2)
喫水(m)	1.9m(空載時) (※1)	1.8m(空載時) (※1)	0.5m (※2)
重量(kg)	30,000kg (※3)	15,000kg (※3)	2,500kg (※2)
漂流開始条件	後藤のモデル：水深が喫水以上(危険側を考慮して船舶係留は考慮しない) 嶋原のモデル：津波漂流力が静止摩擦力以上		

※1)「漁港・漁場の施設の設計の手引き、2015年度版、pp.194」に記載される値を準用した。

※2)「自動車ガイドブック、(社)日本自動車工業会」を参考に設定した。

※3)「漁港・漁場の施設の設計参考図書、2015年度版、pp.195」より、漁船の重量は総トン数の3倍で設定した。

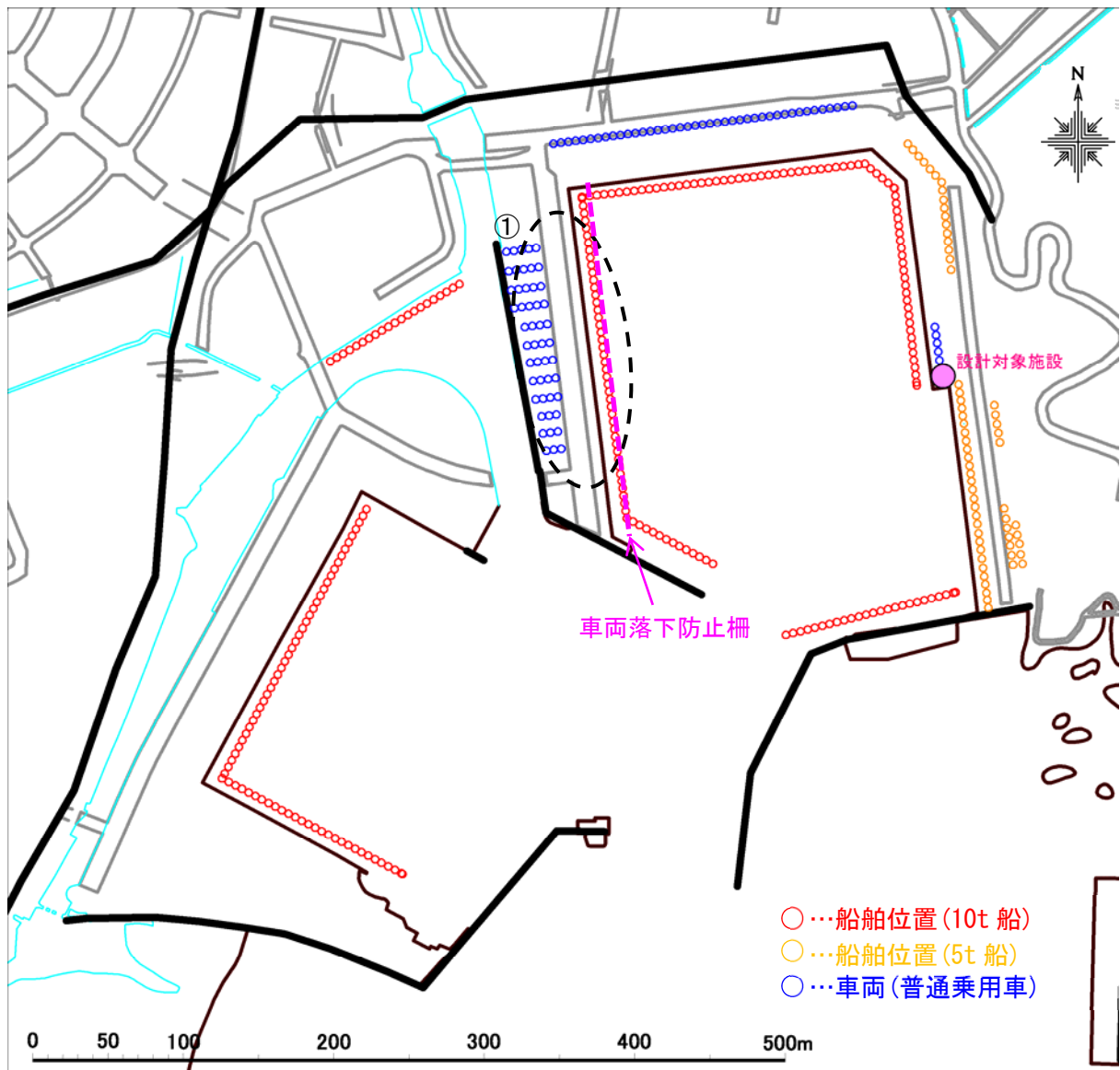


図- 3.14 津波漂流物初期配置と想定対策工（A漁港）

(2) B漁港

津波漂流物解析の対象漂流物は、衝突エネルギーが比較的大きいと考えられる、車両、船舶(係留)とした。その諸元は、当該漁港の利用漁船の代表的諸元として、10t 船のものを採用した。また、漁港内に係留されているほとんどの船舶が空載状態にある実態から、本検討においても漁船の諸元として空載時のものを採用した。諸元の一覧を表- 3.9 に示し、漂流物の初期配置を図- 3.15 に示す。

漂流物の諸元については、船舶については「漁港・漁場の施設の設計の手引き、2015年度版、pp.194」を、車両については「自動車ガイドブック、(社)日本自動車工業会」を参考に設定した。

表- 3.9 漂流物諸元(B漁港)

項目	設定値		
	係留船	係留船 (K岸壁)	車両
漂流物種別	10t 船	20t 船	普通乗用車
船長(m)	13.0m	17.0m	5.0m
船幅(m)	3.5m	4.7m	2.0m
喫水(m)	1.9m(空載時)	2.1m(空載時)	0.5m
重量(kg)	30,000*kg	60,000*kg	2,500kg
漂流開始条件	水深が喫水以上 (危険側を考慮して船舶係留は考慮しない)		

*:「漁港・漁場の施設の設計参考図書、2015年度版、pp.195」より、漁船の重量は総トン数の3倍で設定した。

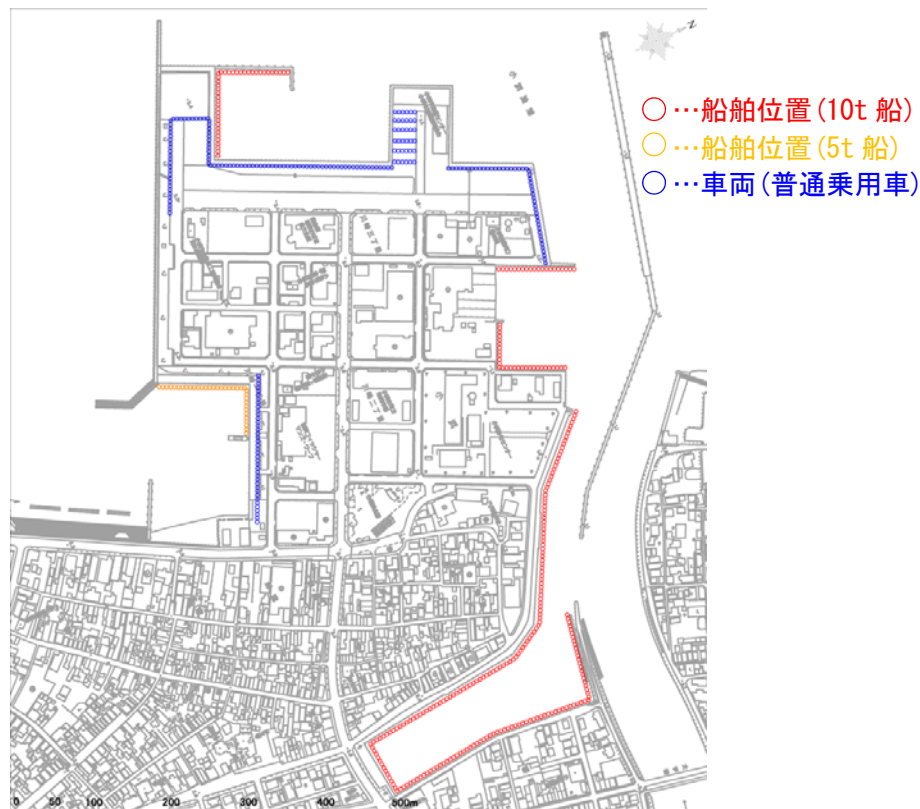


図- 3.15 津波漂流物(船舶)初期配置

3. 計算結果の整理

3.1 津波伝播遡上解析結果(A漁港、モデル地震津波)

津波伝播解析の結果として、最高水位分布、最大浸水深、最大流速分布を図- 3.16～
図- 3.18 に示し、水位・流速の経時変化図を図- 3.19～図- 3.21 に示す。

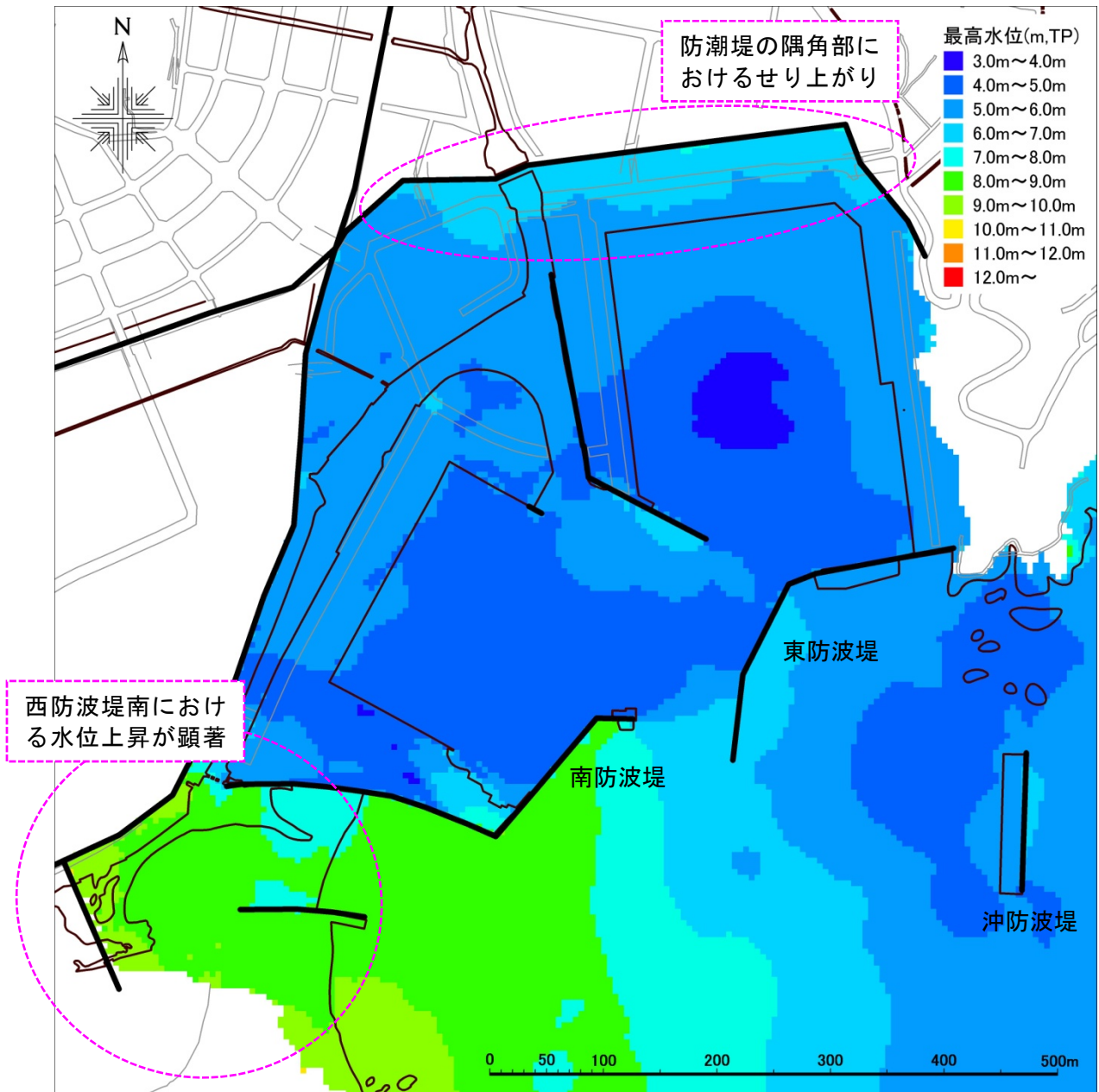


図- 3.16 最高水位分布図(A漁港)

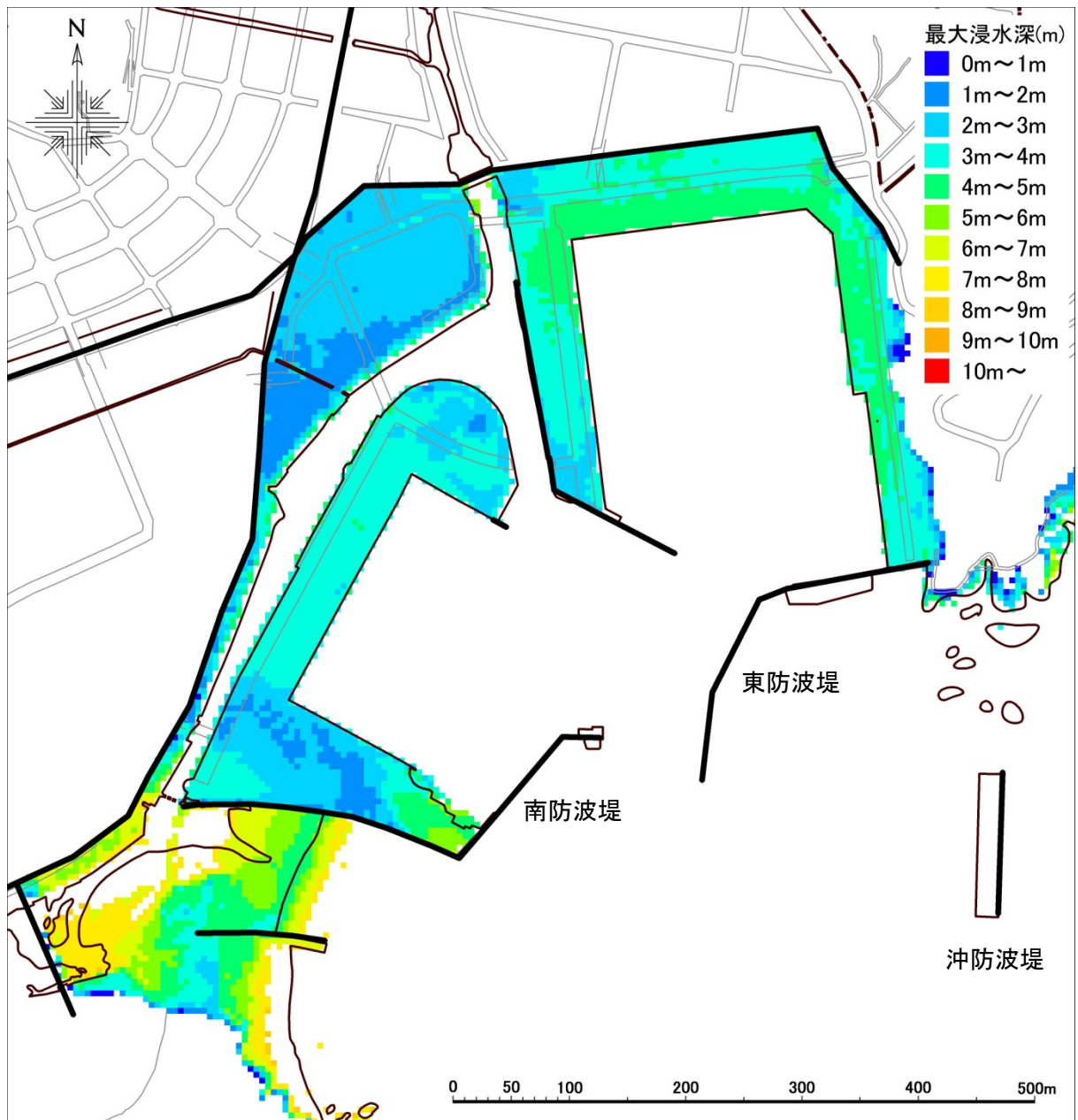


图- 3.17 最大浸水深分布图(A漁港)

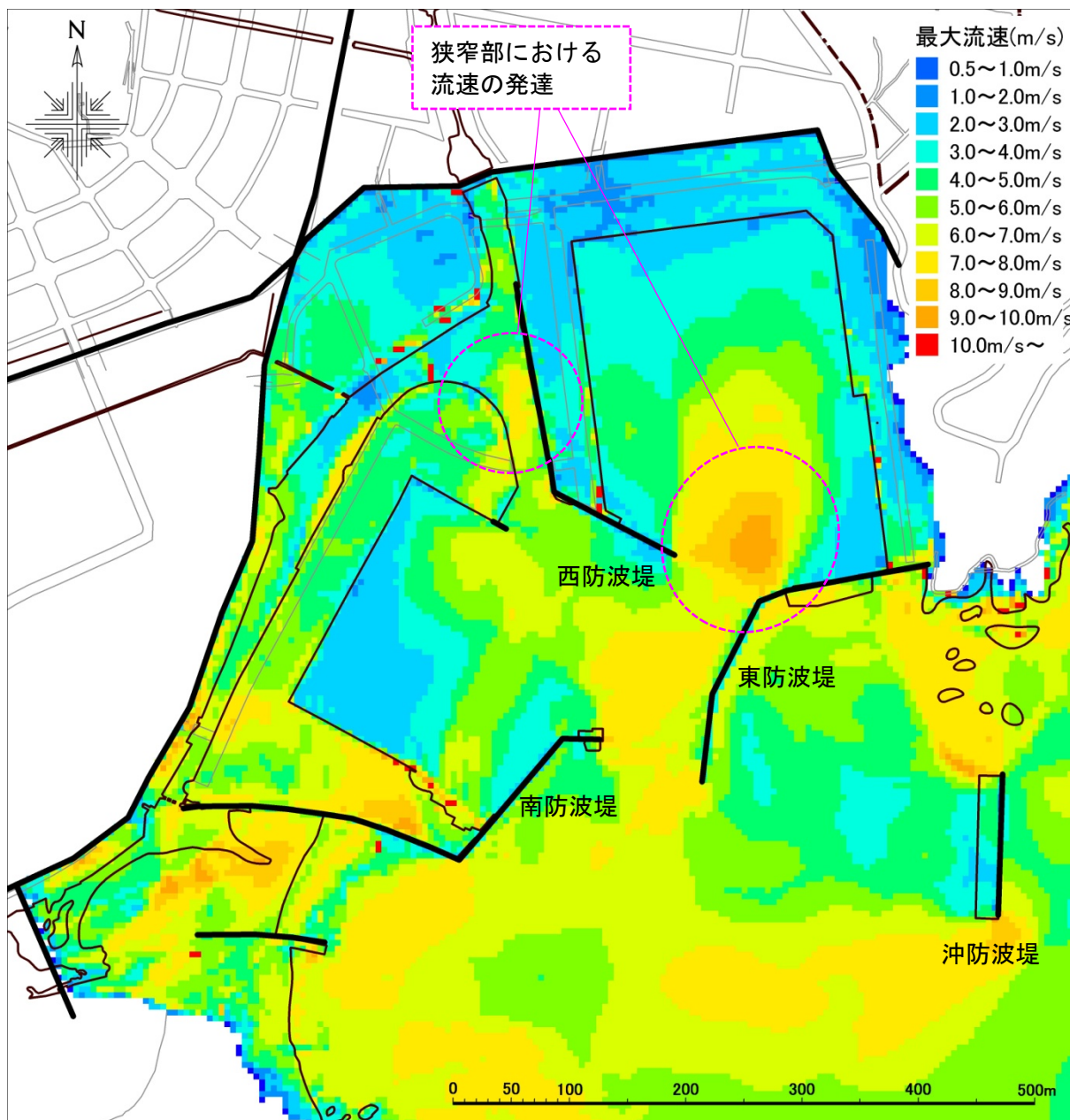


図- 3.18 最大流速分布図(A漁港)

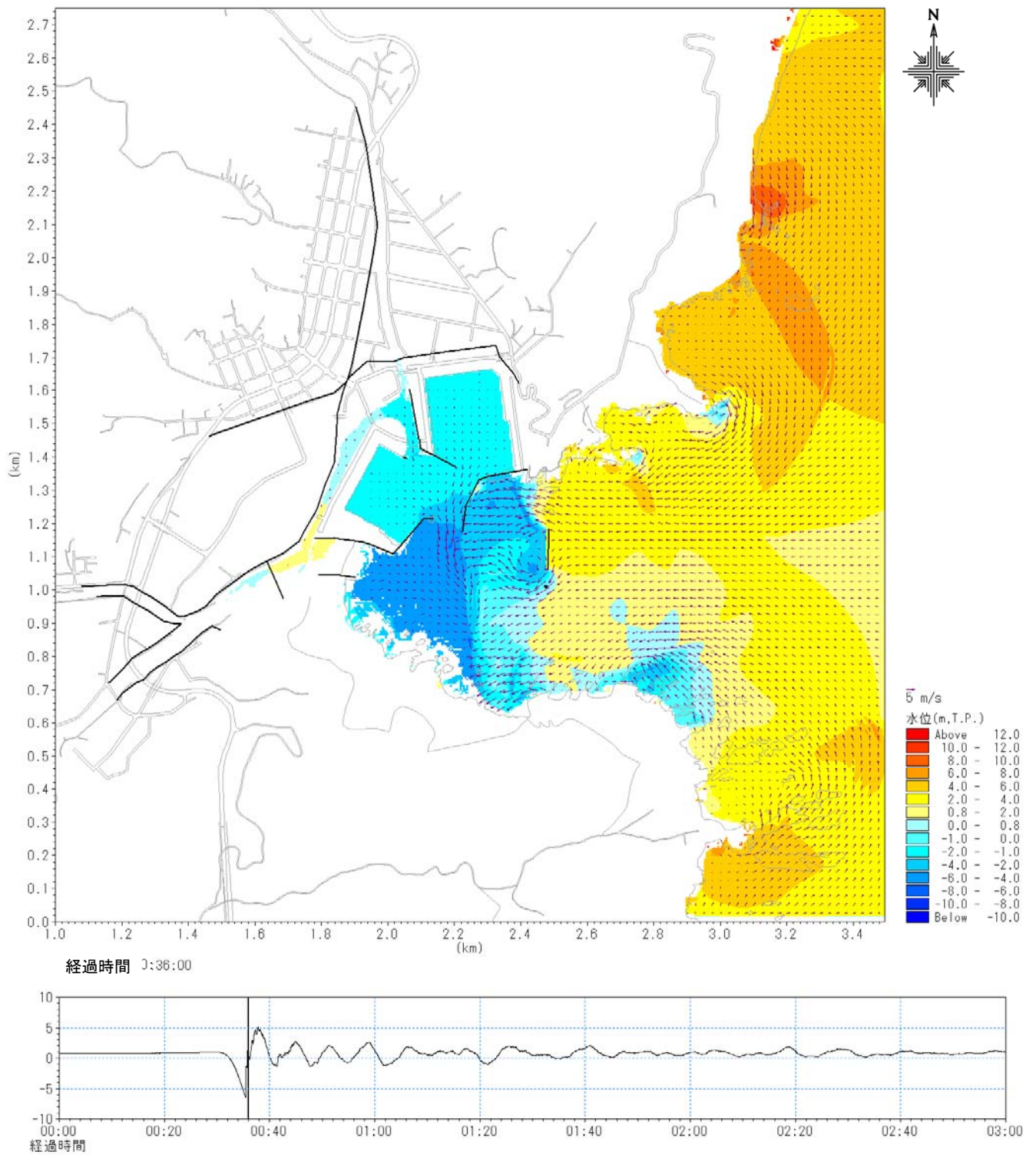


図- 3.19 発震 36 分後の水位・流速分布(A 漁港)

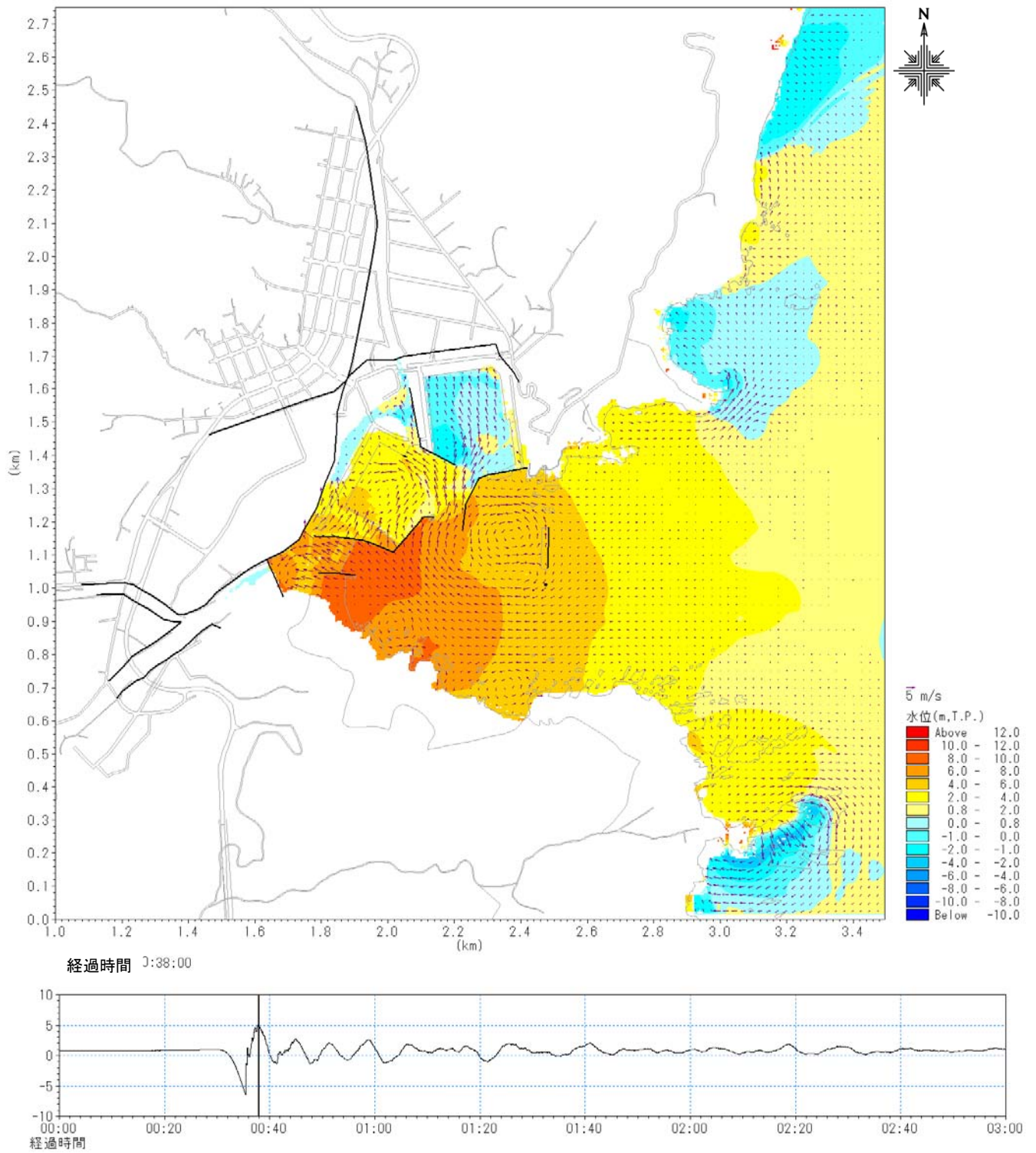


図- 3.20 発震 38 分後の水位・流速分布(A 漁港)

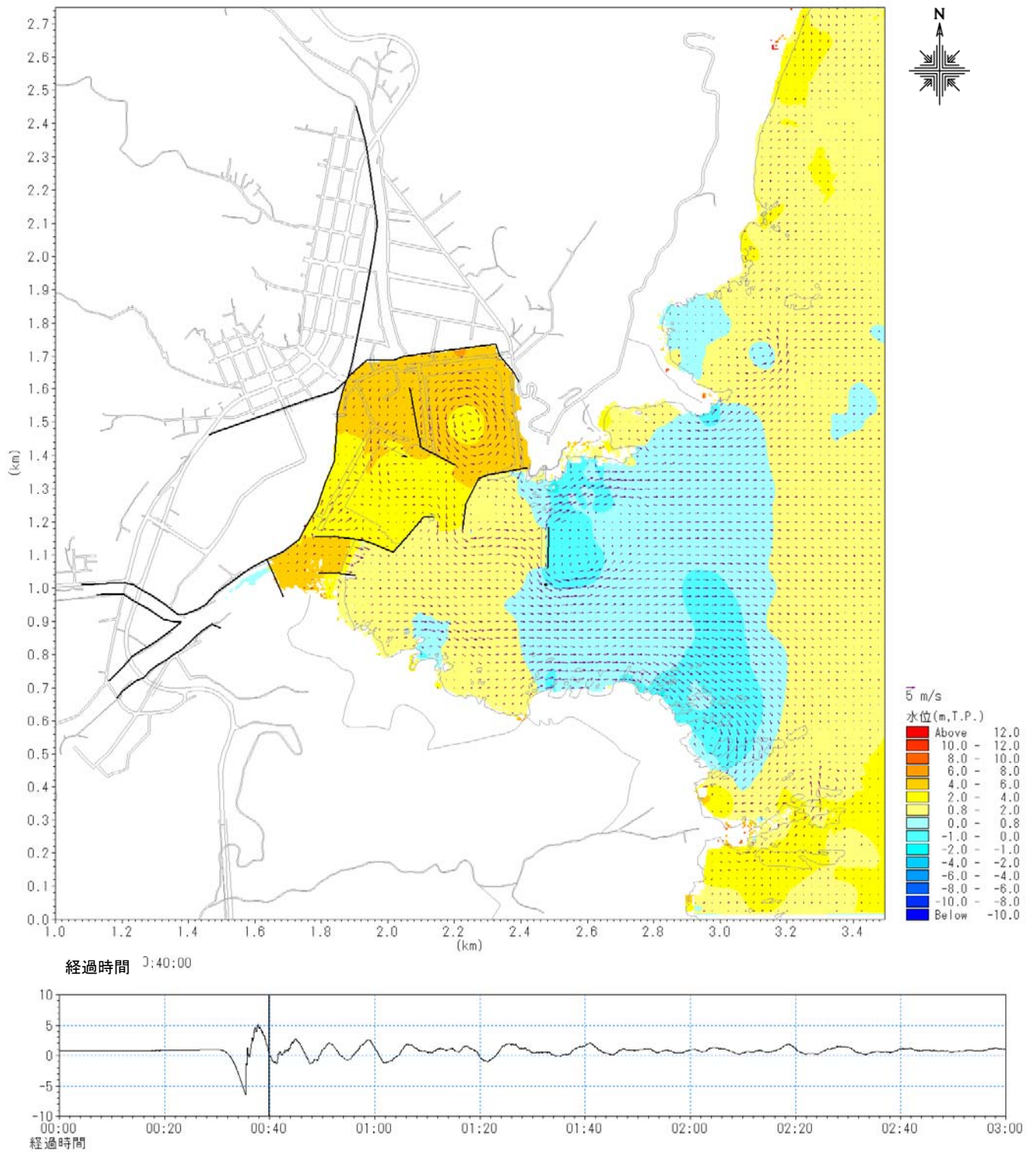


図- 3.21 発震 40 分後の水位・流速分布(A 漁港)

3.2 津波伝播遡上解析結果(B漁港、庄内沖地震津波)

B漁港周辺および設計対象施設周辺の、最高水位分布、最大浸水深分布、最大流速分布を図- 3.22～図- 3.24 に示す。

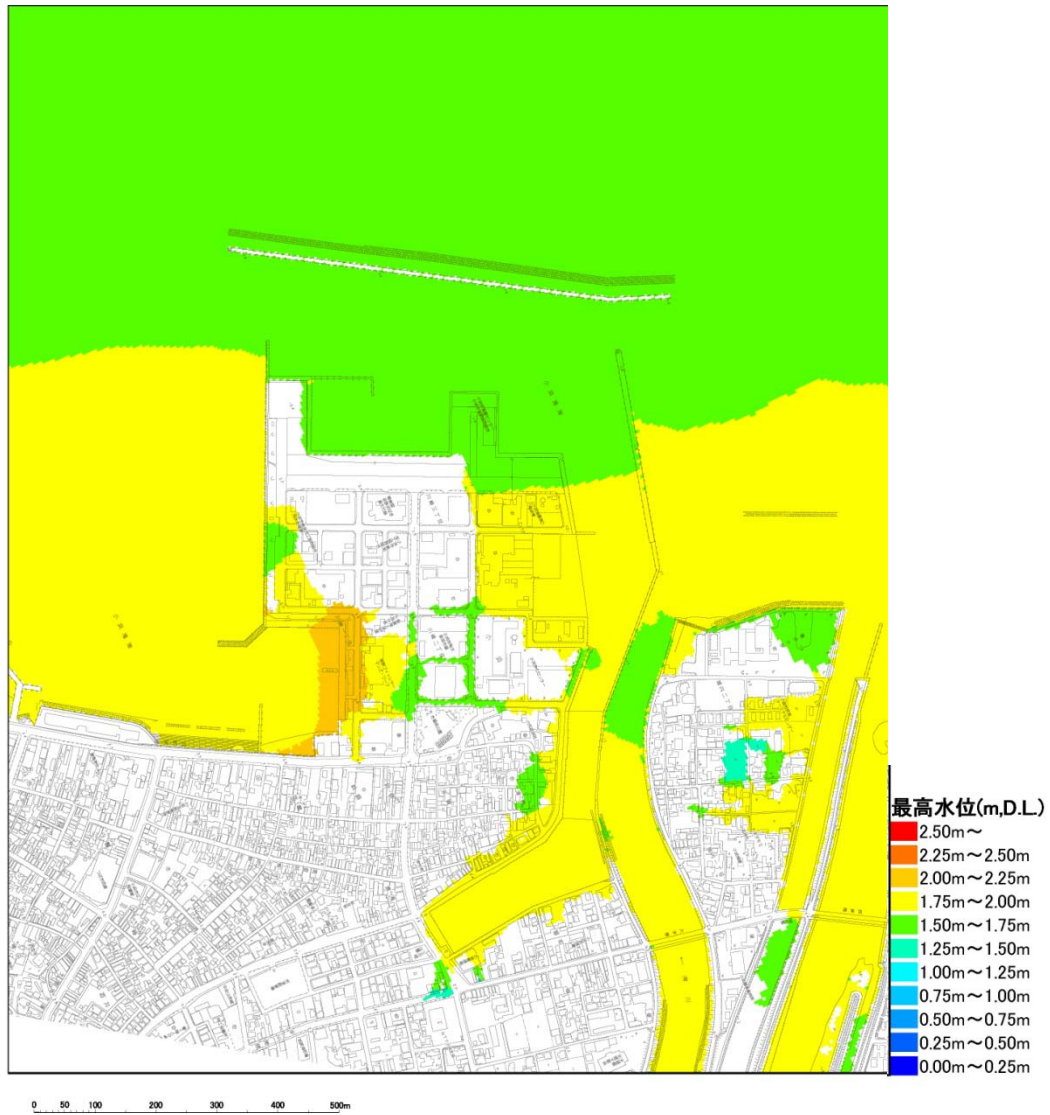


図- 3.22 最高水位分布図(B漁港)

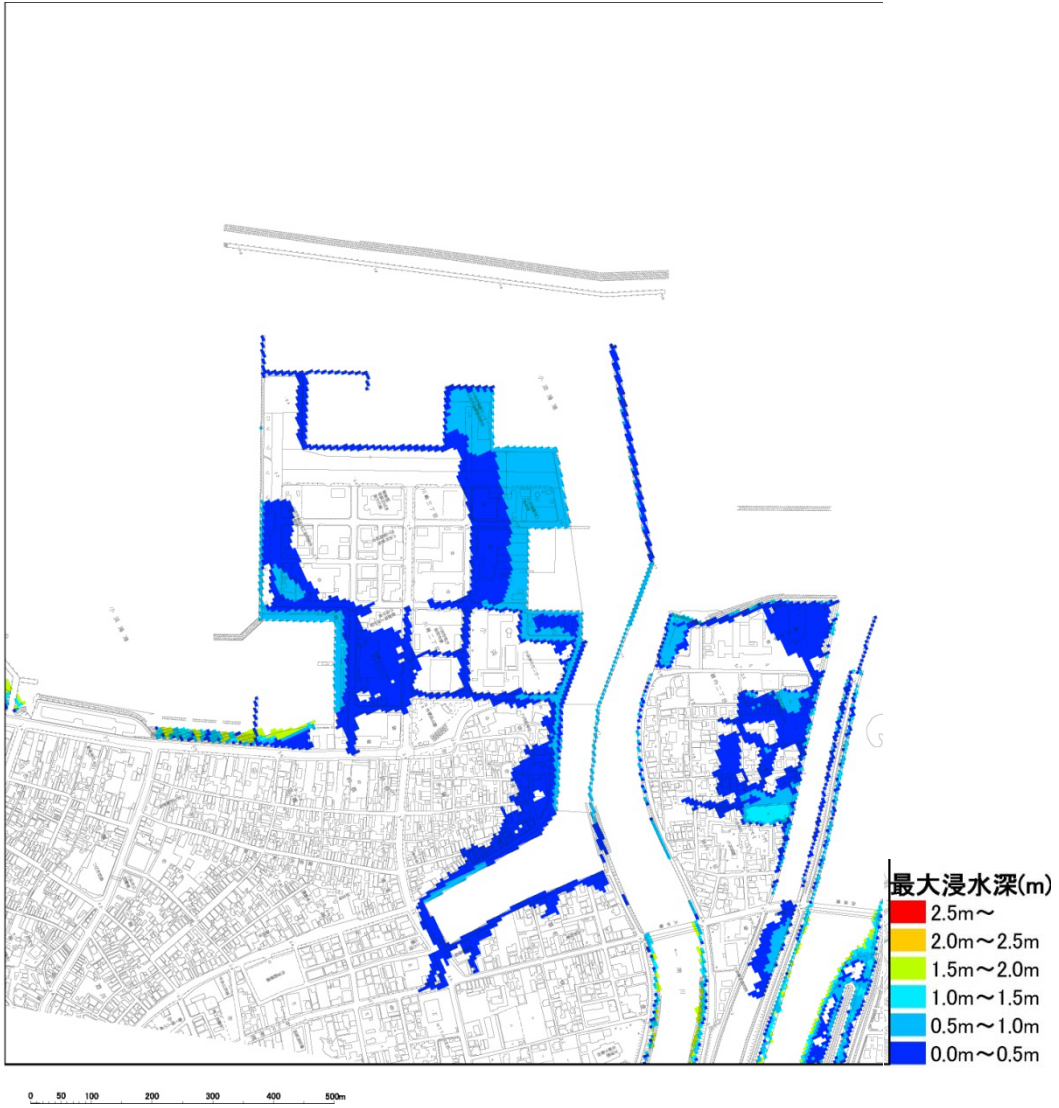


図- 3.23 最大浸水深分布図(B漁港)

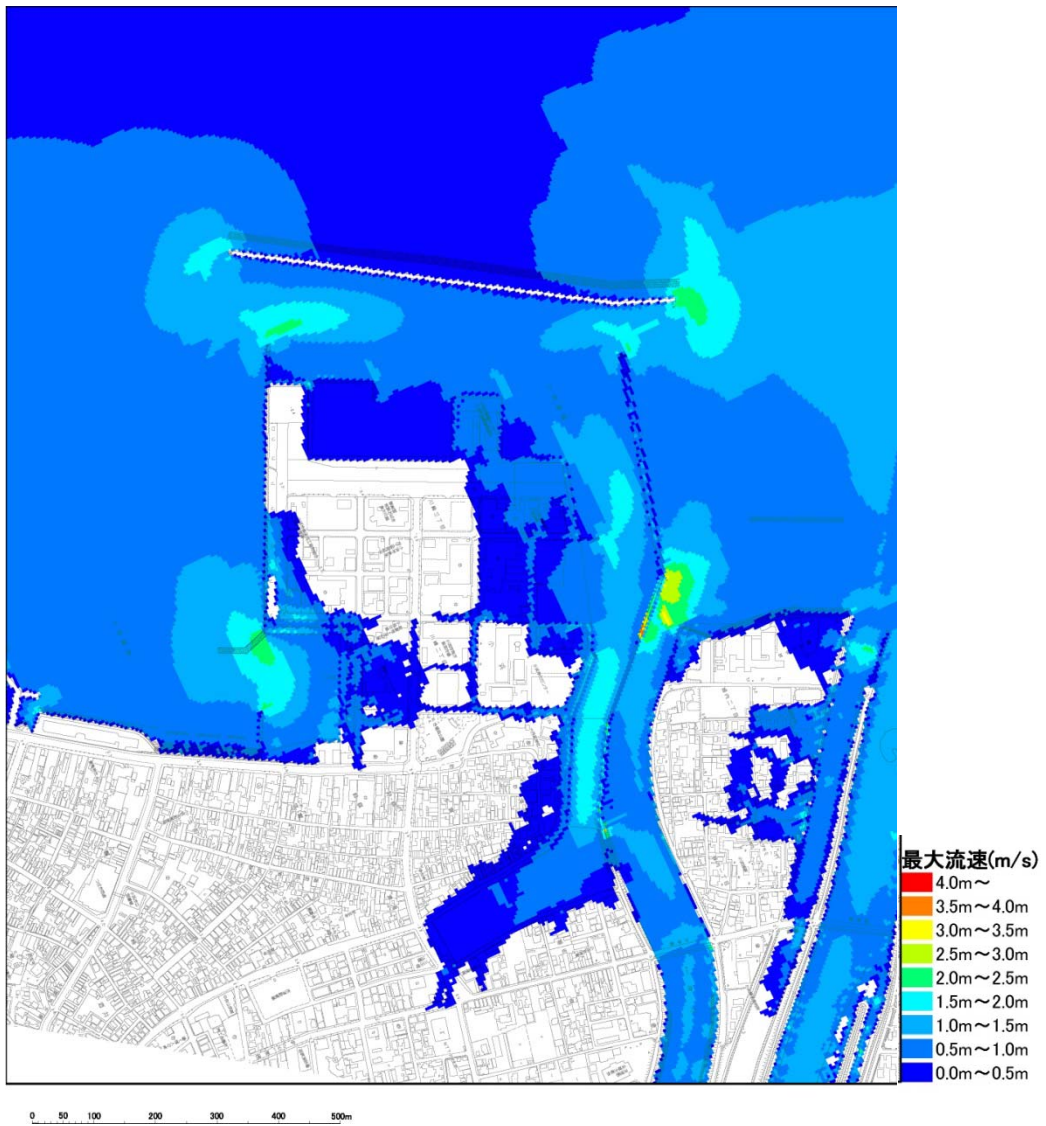


图- 3.24 最大流速分布图(B漁港)

4. 津波漂流物の解析結果

4.1 津波漂流物解析結果(A漁港)

(1) 漂流物軌跡の整理

代表的な漂流物の軌跡の比較図を図- 3.25～図- 3.30 に示す。

- 初期位置の違いや計算モデルの違いにより、軌跡が異なることを確認した。この傾向は、全ての漂流物種について確認できた。
- 係留船舶については、押し波により陸上の標高が高い箇所に打上げられてそこで停止する場合と、引き波により港外に流出し、漂流する場合の2通りが確認した。
- 上架船舶・車両についても、標高の高い位置で停止する場合と引き波により港外に流出する場合の2通りの軌跡パターンが確認できたが、初期位置が陸上にある分、陸上に打上げられる確率の方が大きかった。
- 漂流物に対して平均的(2～3メッシュ平均)な漂流力を作用させる嶋原モデルよりも、漂流物を質点として扱うために局所的な漂流力の変化の影響を受けやすく、さらに拡散係数を考慮している後藤モデルの方が、軌跡のばらつき(初期地形の僅かなずれに伴う軌跡の差)が大きかった。

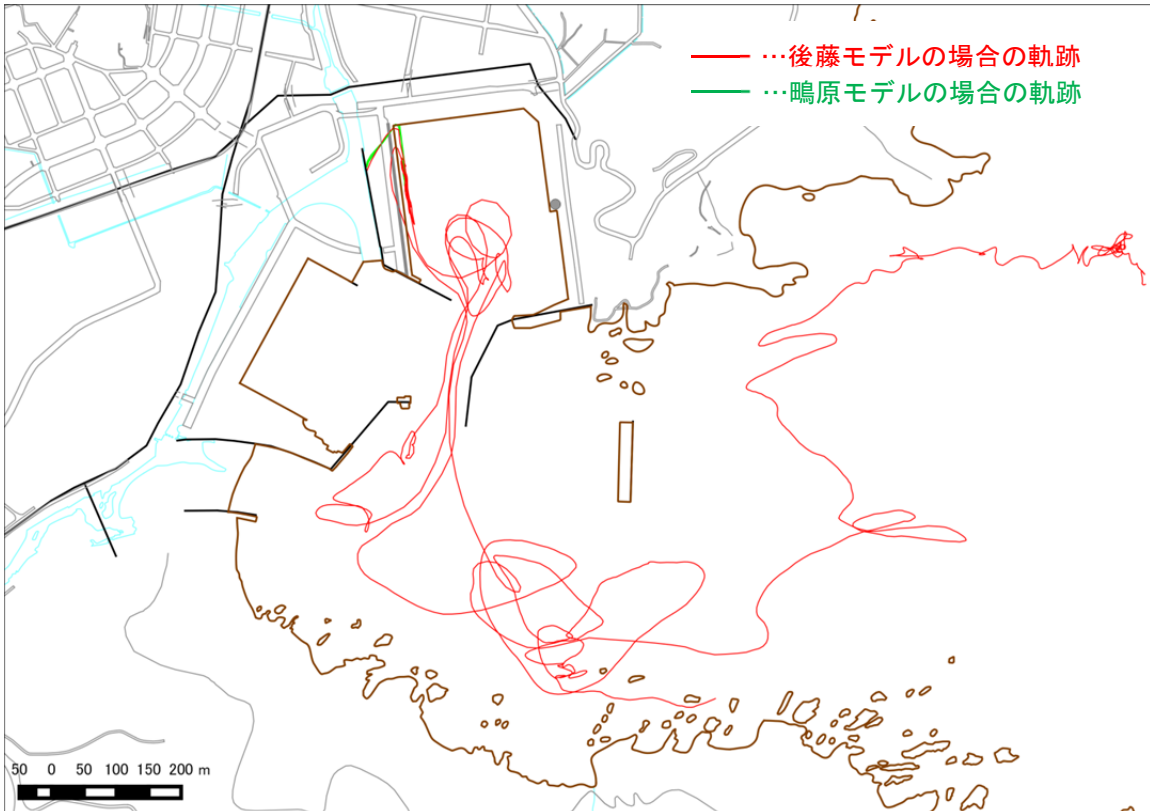


図- 3.25 津波漂流物計算による漂流物の軌跡例1 (係留船舶)

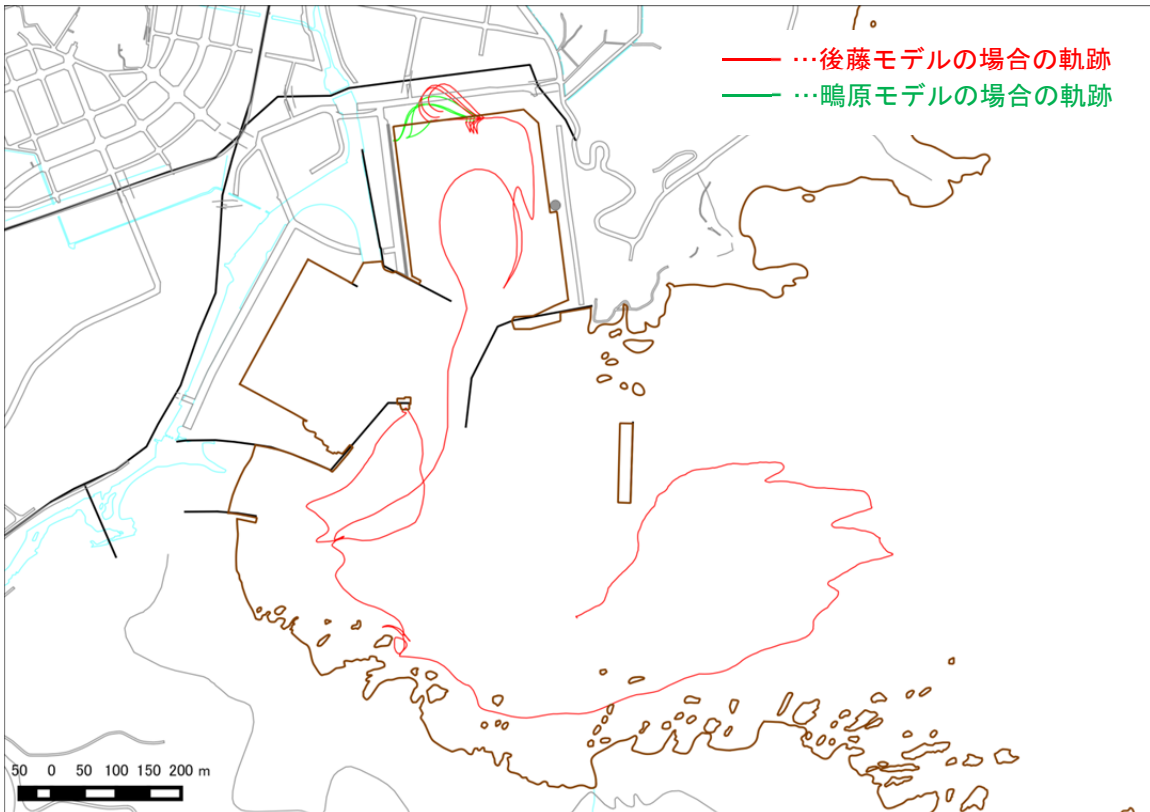


図- 3.26 津波漂流物計算による漂流物の軌跡例2 (係留船舶)

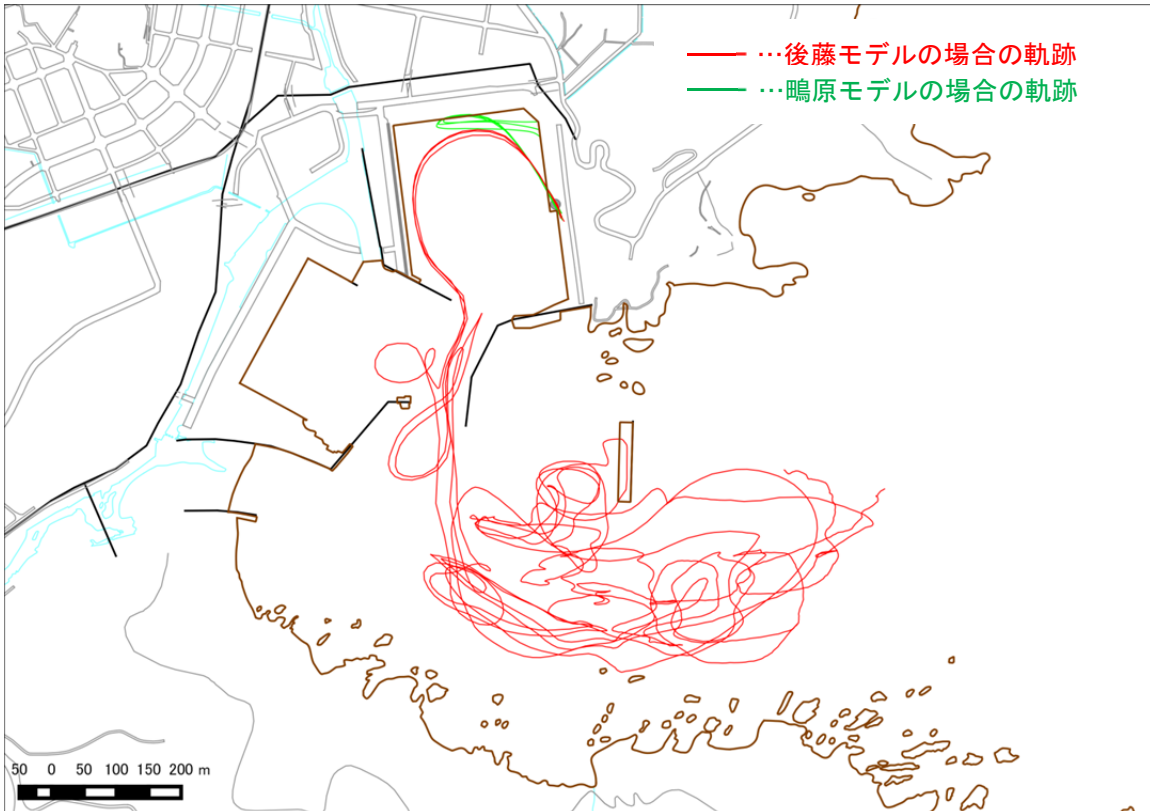


図- 3.27 津波漂流物計算による漂流物の軌跡例 3(上架船舶)

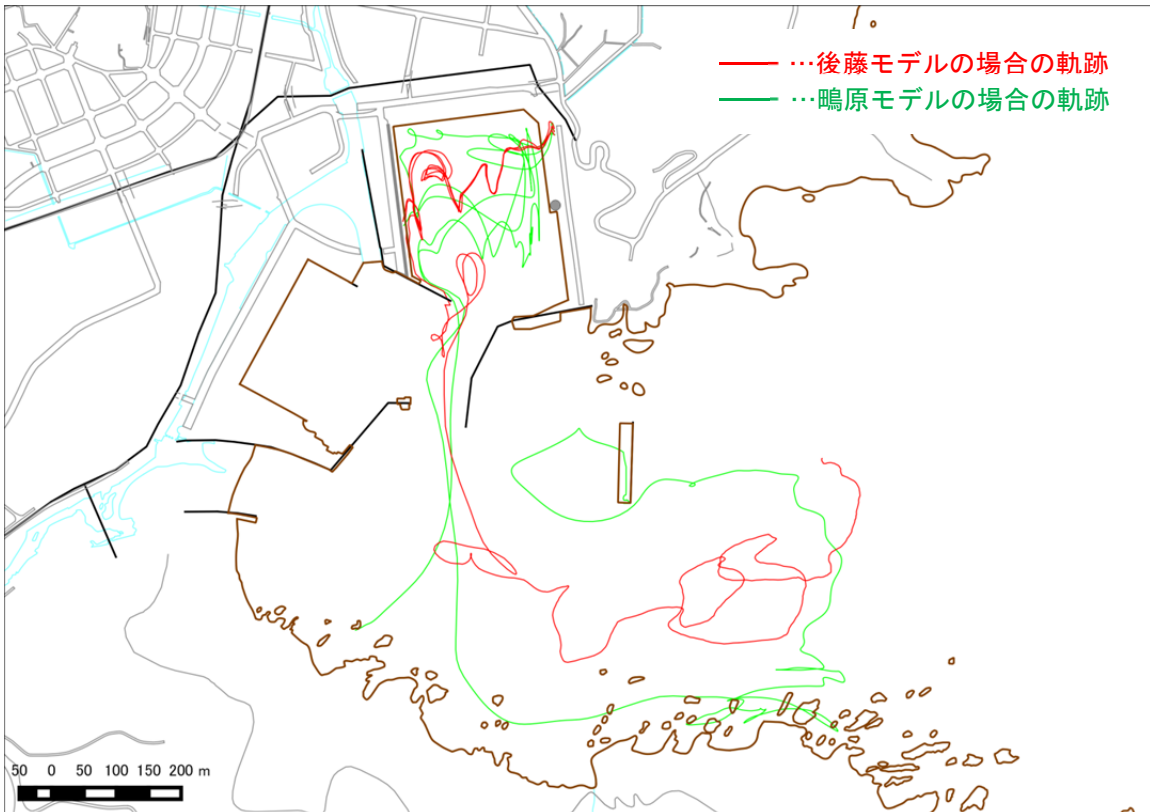


図- 3.28 津波漂流物計算による漂流物の軌跡例 4(上架船舶)

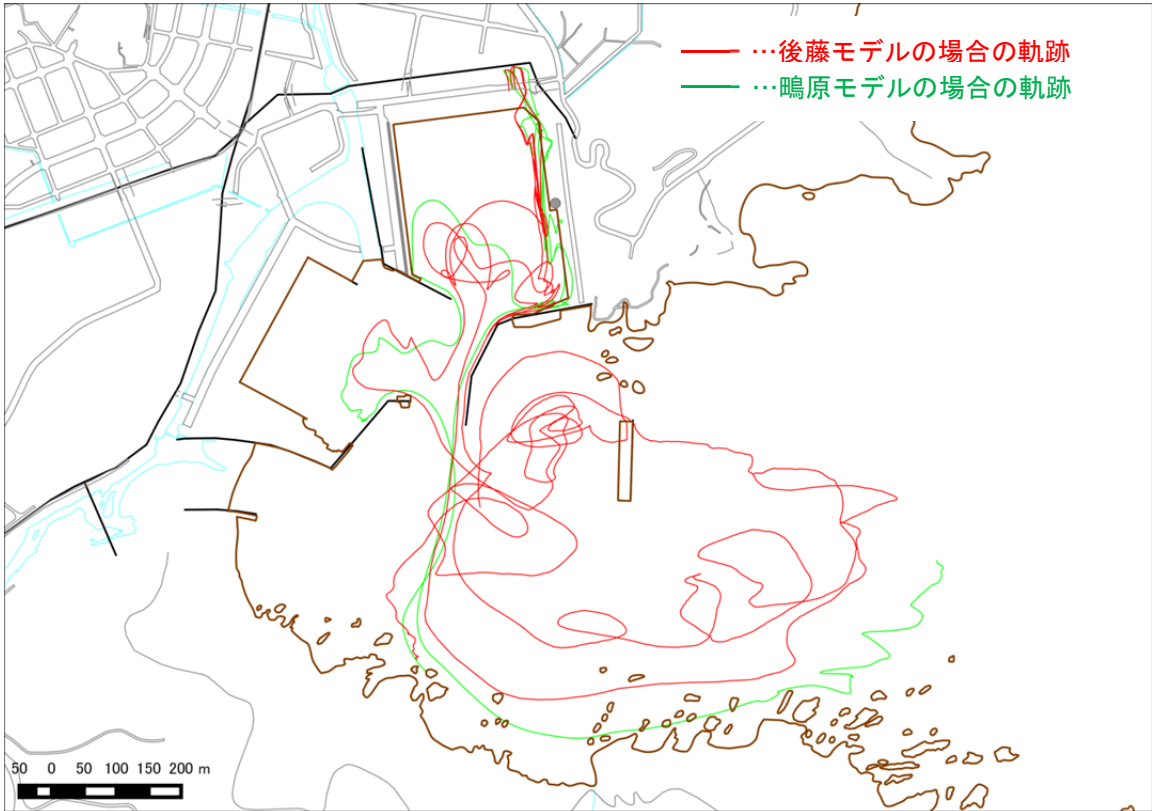


図- 3.29 津波漂流物計算による漂流物の軌跡例 5(車両)

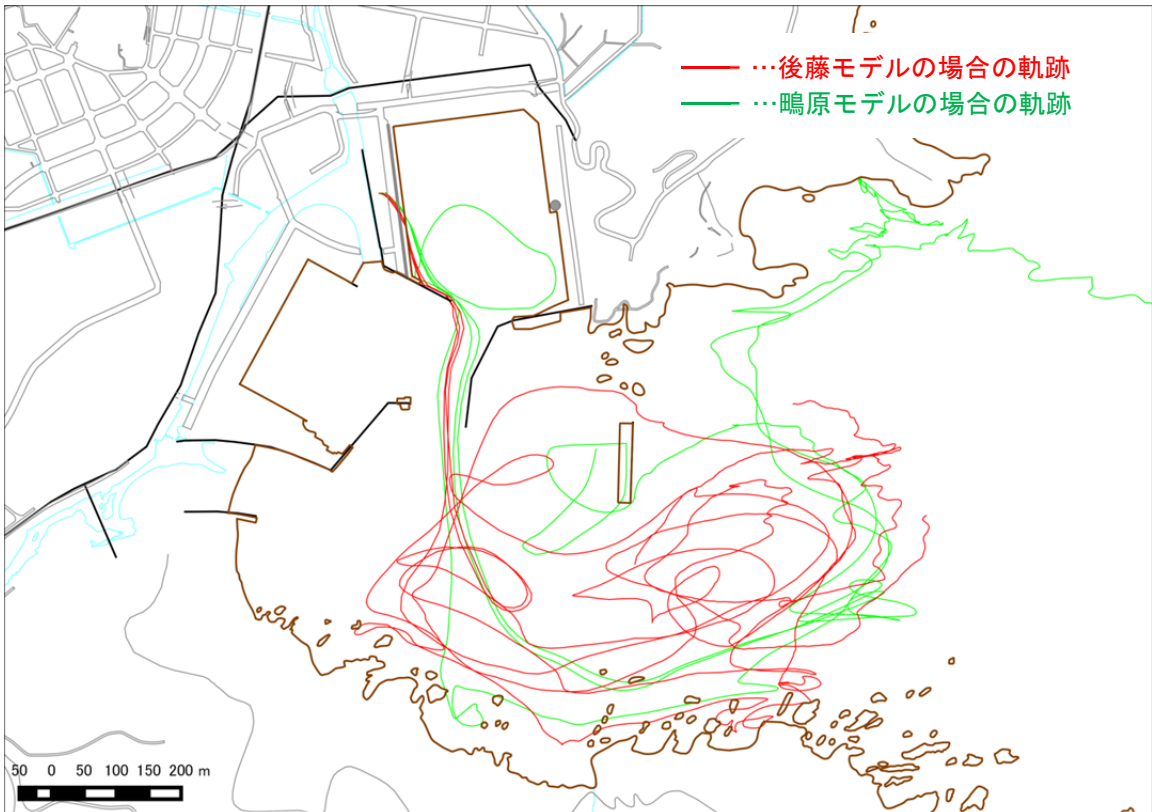


図- 3.30 津波漂流物計算による漂流物の軌跡例 6(車両)

(2) 衝突速度及び津波外力の算定結果

1) 衝突速度の算定結果

各施設に衝突した漂流物の代表的な軌跡を図- 3.31～図- 3.32 に示す。

- 石油タンク衝突防止柵については、上架船舶は押し波によって、車両については引き波によって泊地に流出する過程で衝突が生じていた。
- 車両流出防止柵については、車両の大部分が、西護岸を越流してきた押し波によって泊地に流出していた。
- 石油タンクに対する衝突速度は、後藤モデルが最大 5.0m/s で、鳴原モデルが最大 3.9m/s であり、概ね同程度であった。

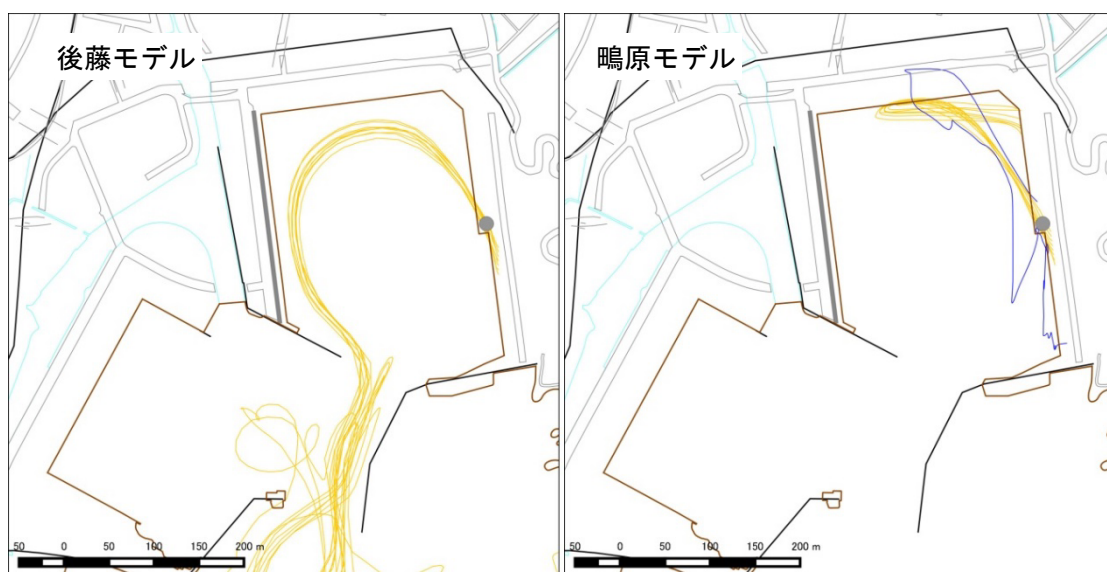


図- 3.31 石油タンク衝突防止柵への衝突漂流物の代表的な軌跡

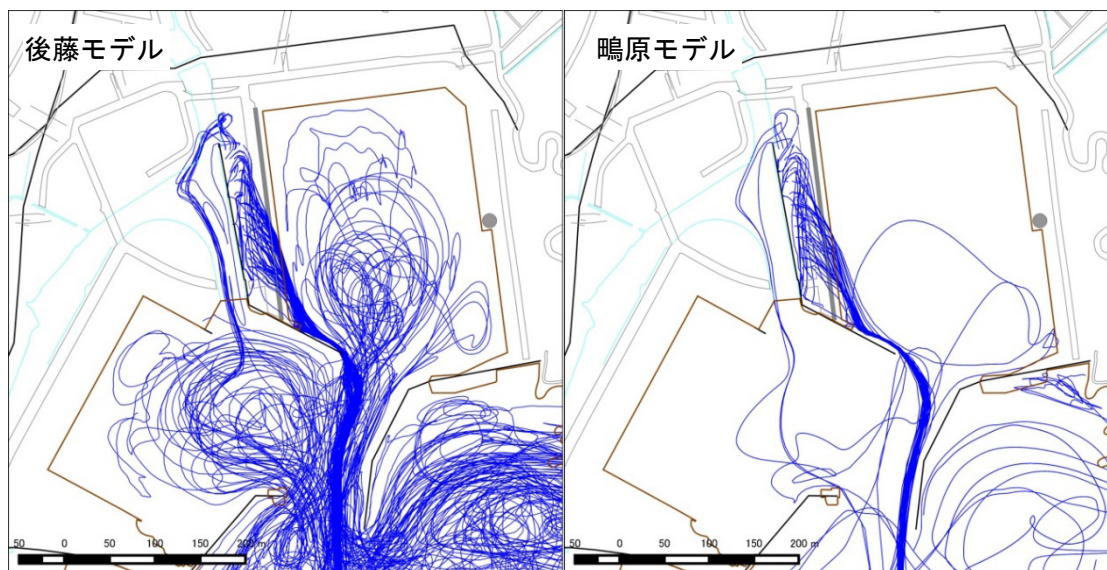


図- 3.32 車両流出防止柵への衝突漂流物の代表的な軌跡

2) 外力の算出結果

石油タンク衝突防止柵及び流出防止柵について、図- 3.33 と図- 3.34 に示す杭タイプを想定した。計算結果より津波諸元及び津波漂流物衝突に関する諸元を表- 3.10 と表- 3.12 に整理した。これらの数値を用いて漂流物衝突力を池野の式で、津波波圧を抗力式で算出して表- 3.11、表- 3.13 に整理した。

- ・石油タンク衝突防止柵の場合、衝突時の流速が最大津波流速と同程度であった。このため、最大浸水深及び最大流速に基づく津波波力(72.7kN/m)よりも、漂流物の衝突力と衝突時津波波力の和(585.5kN)よりも1オーダー程度大きくなった。
- ・車両流出防止柵の場合、最も衝突速度が大きくなった鳴原モデルの場合の衝突速度・衝突浸水深を用いて算出した漂流物の衝突力と衝突時津波波力の和(582.8kN)の方が、最大浸水深及び最大流速に基づく津波波力(34.5kN/m)よりも大きくなった。

【抗力式(出典：津波漂流物対策施設設計ガイドライン、本編表 3-4 より)】

$$F_D = C_D \frac{\gamma_w}{2g} hU^2 \dots\dots\dots(式 4.1)$$

ここで、 F_D ：単位幅当りの抗力(kN/m)、 C_D ：抗力係数(円柱：1.0、角柱：2.0 など)

γ_w ：海水の単位体積重量(=10.1kN/m³)、 h ：浸水深(m)、 U ：流速(m/s)

【池野らの式(出典：漁港の津波避難に関するガイドライン、本編表 3-6 より)】

$$F_H = gMSC_M \left(\frac{V}{g^{0.5} D^{0.25} L^{0.25}} \right)^{2.5} \dots\dots\dots(式 4.2)$$

ここで、 F_H ：漂流物の衝突力(kN)、 C_D ：抗力係数(円柱：1.0、角柱：2.0 など)

γ_w ：海水の単位体積重量(=10.1kN/m³)、 h ：浸水深(m)、 U ：流速(m/s)

津波漂流物対策施設(支柱タイプ)の模式図

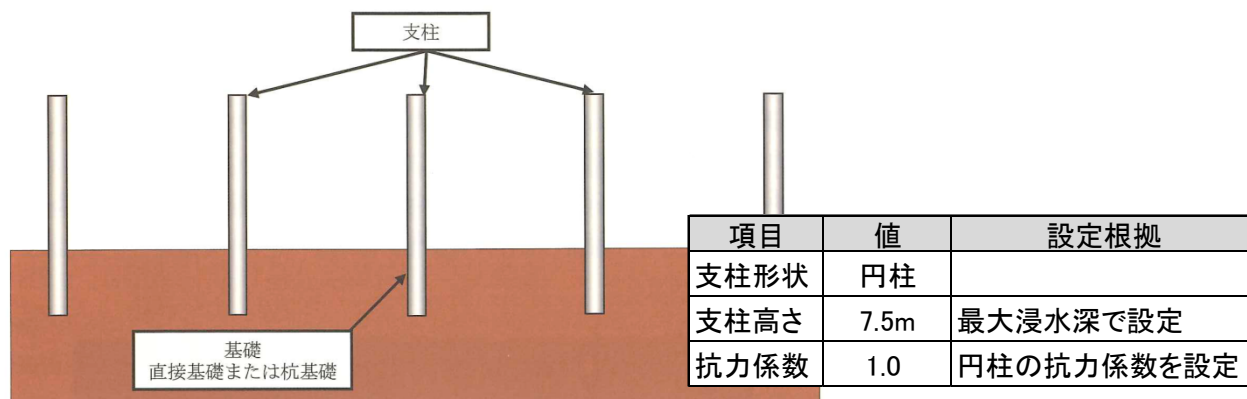


図- 3.33 想定した対策施設の基本的な構造と諸元(石油タンク衝突防止柵)

表- 3.10 対策施設に作用する外力に関する諸元(石油タンク衝突防止柵)

対象漂流物	最大衝突速度				最大津波流速 (m/s)	最大浸水深 (m)
	後藤モデル		嶋原モデル			
	最大衝突速度 (m/s)	衝突時浸水深 (m)	最大衝突速度 (m/s)	衝突時浸水深 (m)		
係留船舶	—	—	3.0	1.1	6.02	3.92
上架船舶	5.0	2.3	3.9	2.8		
車両	—	—	1.9	2.0		

表- 3.11 衝突力及び津波波力の算出結果(石油タンク衝突防止柵)

【津波衝突力と津波波力の比較】

対象漂流物	漂流物衝突力 (kN)			津波波力 (直径1.0m・高さ4.0mの円柱(C _D 値:1)) (kN)			津波波力+漂流物衝突力 (kN)	
	後藤モデルの衝突速度を用いる場合	嶋原モデルの衝突速度を用いる場合	津波諸元を用いる場合	後藤モデルの衝突時浸水深・流速	嶋原モデルの衝突時浸水深・流速	最大浸水深及び最大流速	後藤モデルの場合	嶋原モデルの場合
係留船舶	—	235.3	1386.9	—	4.7	72.7	—	240.0
上架船舶	556.4	289.8	885.0	29.4	21.1		585.8	311.0
車両	—	15.6	297.9	—	3.6		—	19.2

津波漂流物対策施設(支柱タイプ)の模式図

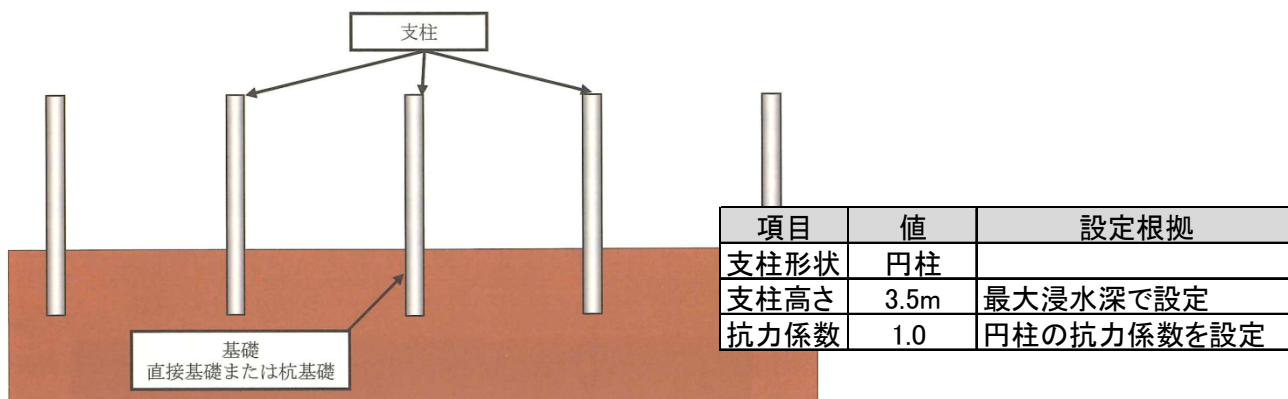


図- 3.34 想定した対策施設の基本的な構造と諸元(車両流出防止柵)

表- 3.12 対策施設に作用する外力に関する諸元(車両流出防止柵)

対象漂流物	最大衝突速度				最大津波流速 (m/s)	最大浸水深 (m)
	後藤モデル		嶋原モデル			
	最大衝突速度 (m/s)	衝突時浸水深 (m)	最大衝突速度 (m/s)	衝突時浸水深 (m)		
係留船舶	4.2	2.1	2.4	1.4	4.41	3.46
上架船舶	—	—	—	—		
車両	3.4	1.0	3.8	1.9		

表- 3.13 衝突力及び津波波力の算出結果(車両流出防止柵)

【津波衝突力と津波波力の比較】

対象漂流物	漂流物衝突力 (kN)			津波波力 (直径1m・高さ3.5mの円柱(C _D 値:1)) (kN)			津波波力+漂流物衝突力 (kN)	
	後藤モデルの 衝突速度 を用いる場合	嶋原モデルの 衝突速度 を用いる場合	津波諸元 を用いる場合	後藤モデルの 衝突時浸水深 ・流速	嶋原モデルの 衝突時浸水深 ・流速	最大浸水深 及び最大流速	後藤モデルの 場合	嶋原モデルの 場合
係留船舶	563.9	139.2	637.0	19.0	4.1	34.5	582.8	143.3
上架船舶	—	—	406.5	—	—		—	—
車両	71.4	94.3	136.8	5.9	14.0		77.3	108.4

(3) 対策工の効果

現況，対策実施後のの衝突漂流物の軌跡を図- 3.35～図- 3.36 に整理した。流出防止柵を設けることで、車両の泊地への流出を約 90%程度防ぐことができる結果を得た。

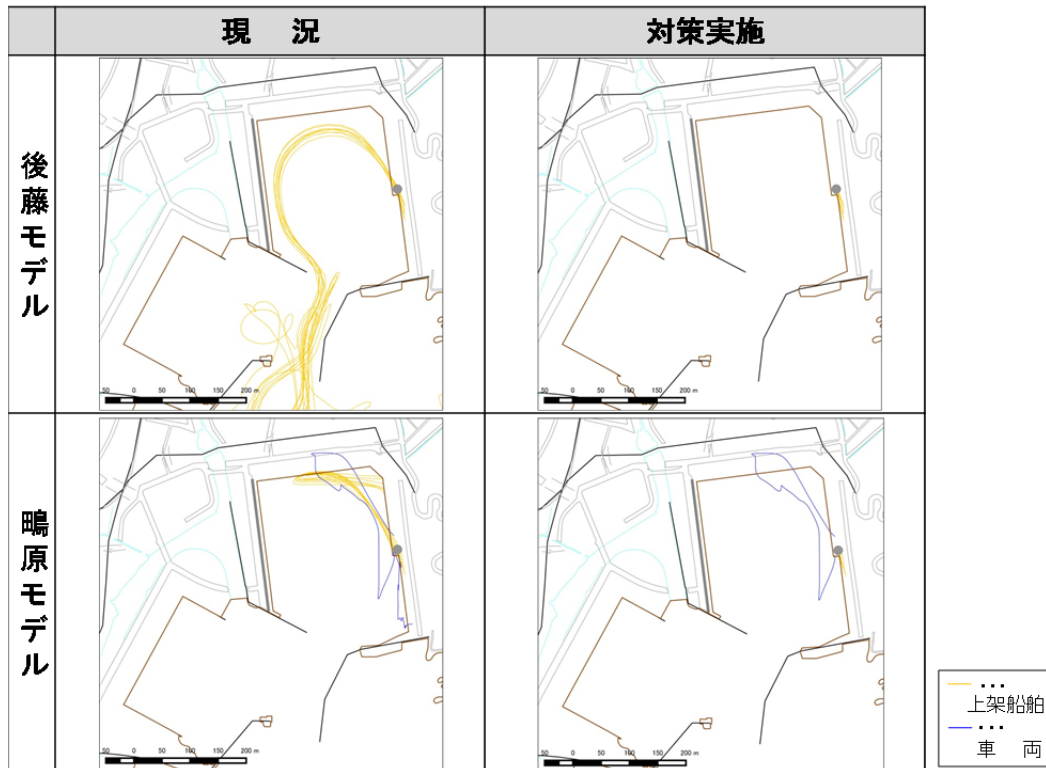


図- 3.35 石油タンクへの衝突漂流物の代表的な軌跡の、対策の有無による違い

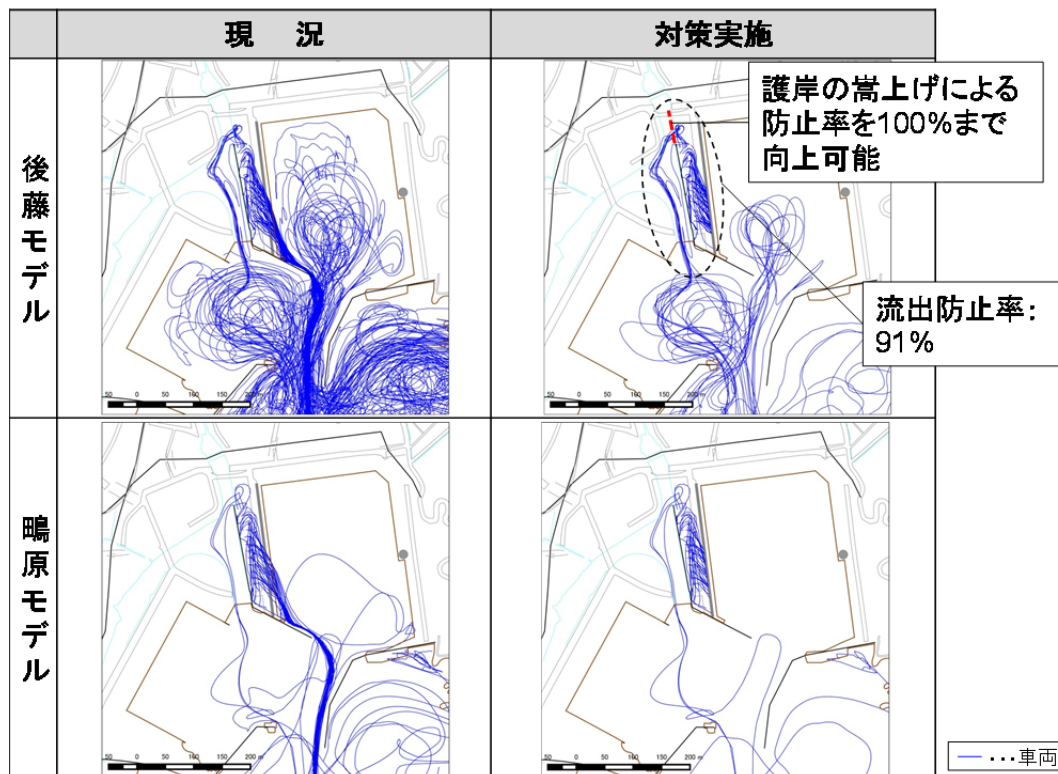


図- 3.36 流出防止柵への衝突漂流物の代表的な軌跡の、対策の有無による違い

4.2 津波漂流物解析結果(B漁港)

(1) 漂流物軌跡の整理

代表的な漂流物の軌跡の比較図を図- 3.37～図- 3.39 に示す。

- 船舶については、喫水に比べて陸上における浸水深が小さいため、船舶の打ち上がりは生じず、津波の来襲に伴って船舶が泊地を漂流する結果を得た。後藤のモデルの鳴原のモデルで漂流範囲が異なるのは、最低漂流流速の使用プログラムによる違いによるものである。
- 車両については、ほとんどの車両は押し波により内陸側に押し込まれた後に停止する挙動をとったが、浸水深の最も大きかった北側の用地において、後藤のモデルの場合に一部が引き波で泊地に流出する結果を得た。また、泊地に流出しないまでも、計算上押し波により岸壁の際まで移動した車両もあり、これらの車両については流出の懸念があるとする。

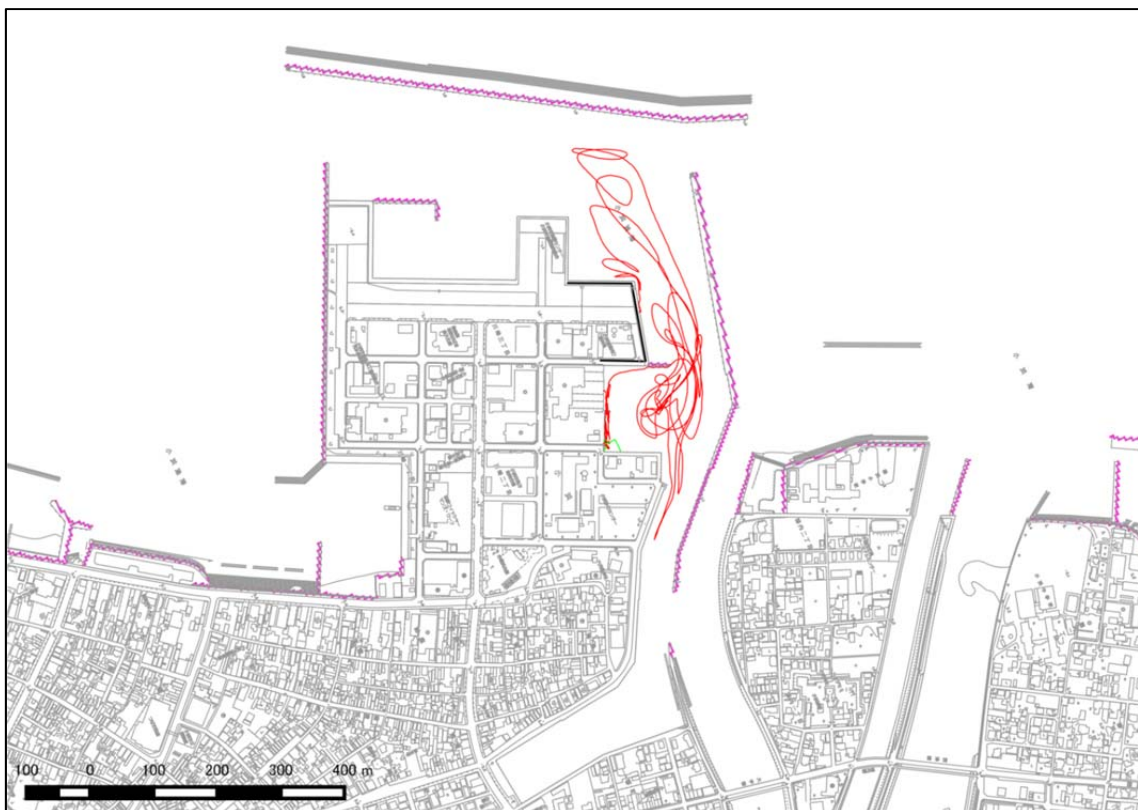


図- 3.37 津波漂流物解析結果における、代表的な漂流物(係留船舶)の軌跡

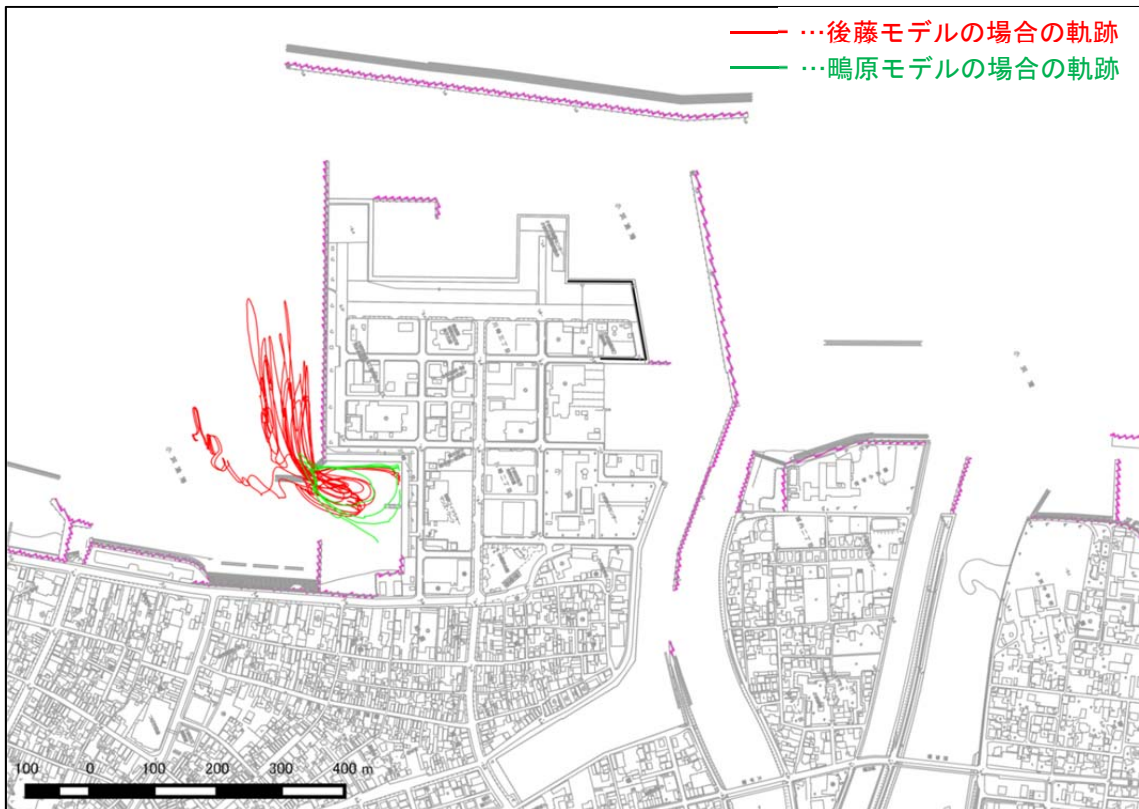


図- 3.38 津波漂流物解析結果における、代表的な漂流物(係留船舶)の軌跡

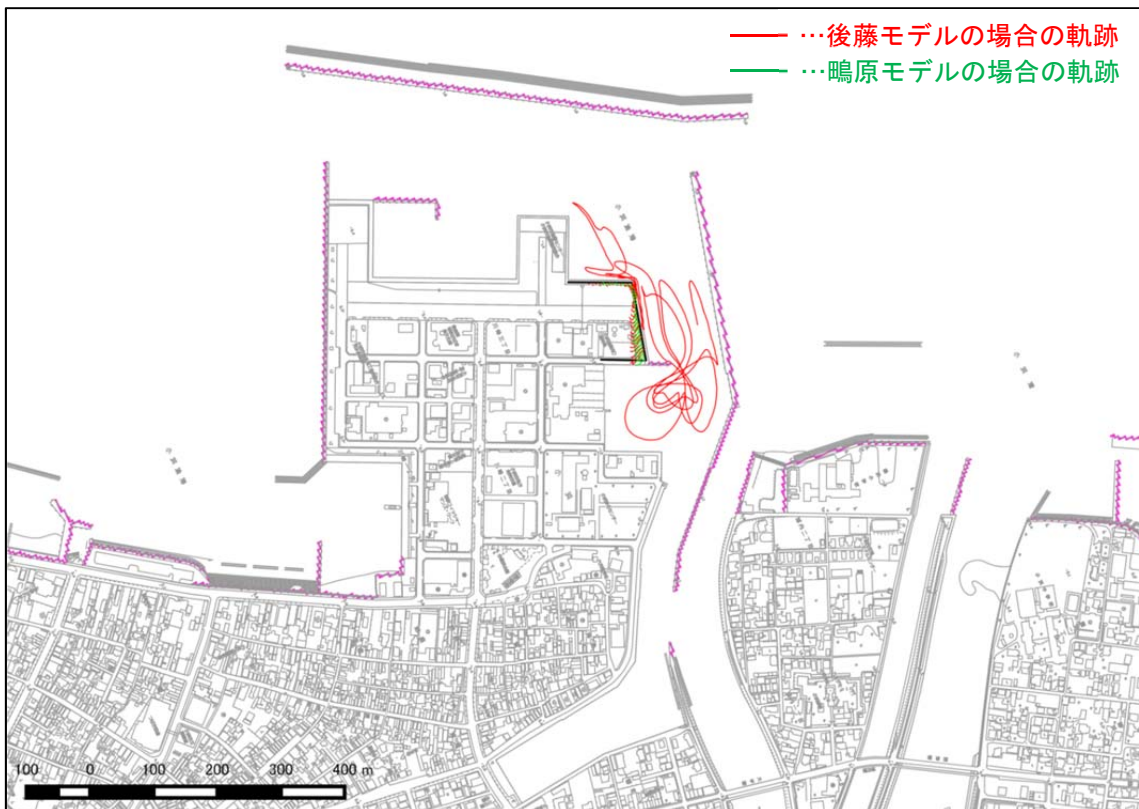


図- 3.39 津波漂流物解析結果における、代表的な漂流物(車両)の軌跡

(2) 衝突速度及び津波外力の集計結果

1) 衝突速度の集計結果

各施設に衝突した漂流物の代表的な軌跡(最大衝突速度を生じたパターンにおいて、当該施設に衝突した全漂流物の軌跡)を図- 3.40 に示す。

- 車両については、押し波或いは引き波によって車両が流出防止柵に衝突した。衝突速度は後藤のモデルの場合の方が大きく、最大で0.56m/sであった。
- 平均衝突回数については、後藤のモデルと鳴原モデルの場合で概ね一致していた。鳴原モデルの場合も、後藤のモデルと同様の軌跡をたどって岸壁際まで漂流した車両がいくつかあったためである。



図- 3.40 北側用地における津波漂流物(車両)の軌跡

2) 外力の算出結果

流出防止柵について、津波諸元及び津波漂流物衝突に関する諸元を表- 3. 14 に整理した。また、漂流物対策施設の諸元として杭タイプ(図- 3. 41 参照)を想定し、上記の数値を用いて漂流物衝突力を池野の式で、津波波圧を抗力式で算出して表- 3. 15 に整理した。

- ・最も衝突速度が大きくなった後藤モデルの場合の衝突速度・衝突浸水深を用いて算出した漂流物の衝突力と衝突時津波波力の和(1.7kN)の方が、最大浸水深及び最大流速に基づく津波波力(0.1kN/m)よりも大きくなった。

津波漂流物対策施設(支柱タイプ)の模式図

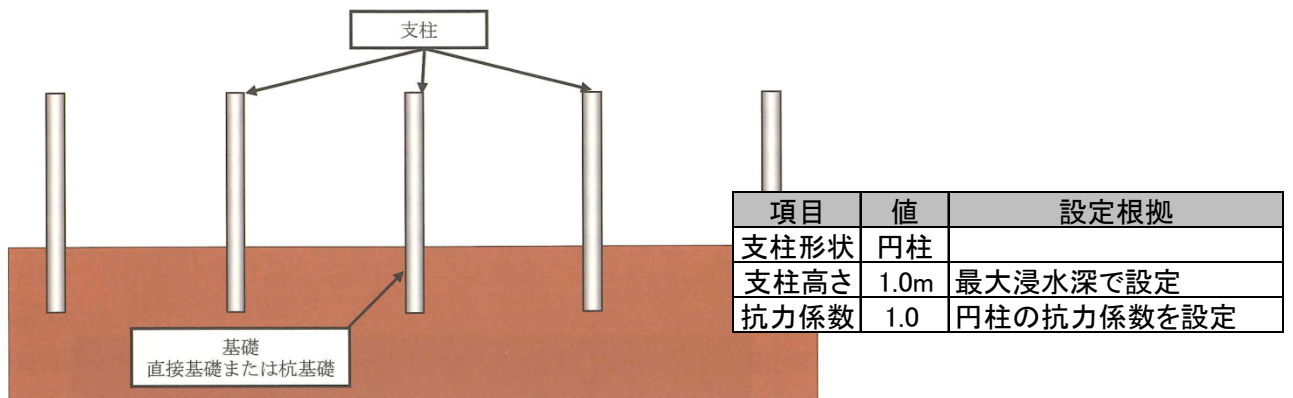


図- 3. 41 対策施設の基本的な構造と諸元(想定)

表- 3. 14 対策施設に作用する外力に関する諸元(流出防止柵)

対象漂流物	最大衝突速度				最大津波流速 (m/s)	最大浸水深 (m)
	後藤モデル		嶋原モデル			
	最大衝突速度 (m/s)	衝突時浸水深 (m)	最大衝突速度 (m/s)	衝突時浸水深 (m)		
車両	0.56	0.51	0.16	0.51	0.72	0.53

表- 3. 15 衝突力及び津波波力の算出結果(流出防止柵)

【津波衝突力と津波波力の比較】

対象漂流物	漂流物衝突力 (kN)			津波波力 (直径0.5m・高さ1.0mの円柱(C _D 値: 1)) (kN/m)			津波波力+漂流物衝突力 (kN)	
	後藤モデルの衝突速度を用いる場合	嶋原モデルの衝突速度を用いる場合	津波諸元を用いる場合	後藤モデルの衝突時浸水深・流速	嶋原モデルの衝突時浸水深・流速	最大浸水深及び最大流速	後藤モデルの場合	嶋原モデルの場合
車両	0.8	0.0	1.5	0.1	0.0	0.1	0.9	0.1

(3) 対策工の効果

各モデルについて、代表的なケース(最大衝突速度が生じたケース)における、各施設の衝突漂流物の軌跡を図- 3.42 に整理した。

- ・本ケースについては、流出防止柵を設けることで、車両の泊地への流出を 100%防ぐことができる結果を得た。

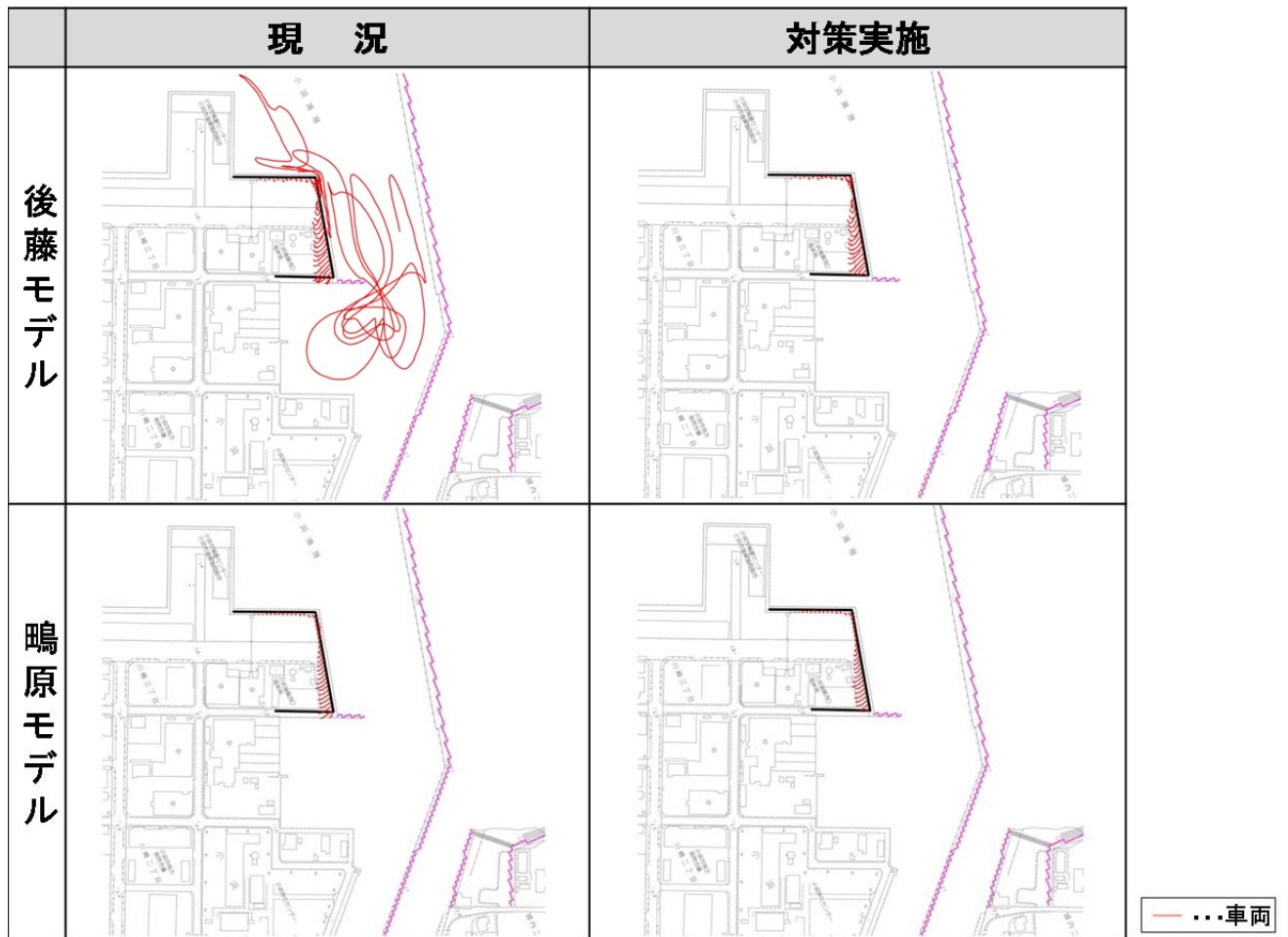


図- 3.42 流出防止柵への衝突漂流物の代表的な軌跡の、対策の有無による違い