

## 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 25 年 8 月 30 日 25 水港第 1798 号  
国土交通省北海道開発局農業水産部水産課長、  
内閣府沖縄総合事務局農林水産部長林務水産課長  
関係都道府県水産関係担当主務部長あて  
水産庁漁港漁場整備部整備課長通知

最終改正 平成 26 年 1 月 23 日 25 水港第 2583 号

### 1. はじめに

平成 23 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災においては、東北地方太平洋沿岸を中心に、水産関係に甚大な被害が発生し、その被害総額は 1 兆 2 千億円を超えた。特に、北海道から千葉県の 7 道県は、我が国の漁業生産量の約 5 割を占める地域であり、被災地の水産業の早期復興は、地域経済や生活基盤の復興に直結するだけでなく、国民に対する水産物の安定供給を確保する上でも極めて重要である。

水産庁では、水産分野の復興に向け、国や地元が講ずる個々の具体的施策の指針となるよう、全体的な方向性を示した「水産復興マスタープラン」を震災後速やかに策定・公表（平成 23 年 6 月 28 日）した。復興の基本的方向の一つとして、基盤となる拠点漁港の緊急的な復旧・復興事業の実施と、さらなる流通機能・防災機能の高度化等を推進していくこととしている。

また、震災をうけて開催された中央防災会議「東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会」より、平成 23 年 9 月 28 日に報告書（以下、「中央防災会議報告」という。）が公表された。この中で、今後は比較的頻度の高い一定程度の津波に対して海岸保全施設等の整備を進めていくことが示された。

一方、近い将来に発生が確実視されている東海・東南海・南海地震等の地震・津波対策について、今般の被害を教訓として早期に進めていく必要がある。

これらを踏まえ、被災地の漁港の早期復旧・復興及び大規模地震が予想される地域の早期対策に資する観点から、被災地の現地調査や分析の結果を踏まえ、現時点における漁港施設の地震・津波対策の基本的な考え方（以下「基本的な考え方」）を示すものである。なお、この基本的な考え方では、漁港施設のなかでも、安全かつ円滑な漁港の利用に特に不可欠な施設であるとともに、一旦被災すると、その復旧に長期間を要し漁業活動に多大な影響を及ぼす防波堤及び岸壁（物揚場を含む。以下同じ。）に関して取りまとめている。岸壁に隣接する護岸や道路等についても、本対策方針に即し、必要に応じ岸壁と一体的に対策を行うことが望ましい。

### 2. 東日本大震災における漁港施設被害の概要

東日本大震災により被災した漁港は、北海道から千葉県までの 7 道県の 319 漁港に及び、これは全国の 2,914 漁港（震災発生当時）の約 1 割に相当する。特に、岩手県、宮城県、福島県の 3 県では、ほぼ全ての漁港で被害を受けた。ここでは、漁港の施設のうち防波堤及び岸壁について、その被害の概要を述べる。

防波堤については、地震よりも津波によって大きく被害を受けたと考えられ、津波の直接的な力により傾斜又は倒壊するもの、津波の流れによって基礎部分が洗掘され安定性が損なわれて傾斜又

は倒壊する事例がみられた。また、北海道や千葉県など、津波の波高がそれほど大きくない地域であっても、津波による防波堤の被災がみられた。

完全な倒壊を免れた防波堤については、津波来襲時において、浸水時間遅延による避難時間の確保、流入量低減による被害の軽減、第2波以降の津波に対する減災等の効果が現れたと考えられる他、被災後の施設の早期復旧や漁港の暫定的な利用再開時における港内の静穏度の確保、台風・高潮等に対する二次災害の防止といった一定の機能を発揮している。一方、倒壊した防波堤については、こうした効果が低いことが確認された。また、施設の復旧までに長期間を要しているほか、倒壊施設の取り壊しにより発生した災害廃棄物の処分等、より多くの課題がある。

岸壁については、地震による影響として、想定以上の地震外力が構造物自体及び背後の土圧に作用したことで海側に傾斜したものや、広域な範囲において埋立地内で液状化が発生し、著しい不同沈下や恒常的な冠水被害が生じた。また、広域にわたって地殻変動に伴う地盤沈下が発生したことも特徴的である。更に、津波による影響として、押し波や引き波により倒壊するもの、津波の流れが作用することで施設前面が洗掘されたことにより、施設背後の裏込め材が吸い出しを受け陥没する事例、地震により構造物として安定性が損なわれた後に津波によって被害が増幅したと考えられる事例がみられた。なお、耐震強化岸壁については被害がなく、耐震性だけでなく耐津波性も確認され、その効果が検証された。

構造物の傾斜が軽微であるもの又は埋立地の沈下が局所的であるものについては、被災後の応急的な復旧により利用を再開することが可能であったが、構造物が倒壊したもの又は広域に沈下が生じたものは復旧に時間を要するため速やかな利用再開が困難な状況となっている。特に、宮城県気仙沼漁港や石巻漁港などの生産及び流通の拠点的な漁港では、全国各地の漁船が利用するほか、首都圏や近畿圏など大消費地に水産物を提供する役割を担っており、漁港利用の早急な再開が強く求められた。

### 3. 今般の東日本大震災の被害状況を踏まえた地震・津波対策の基本的な考え方

これまで、漁港の防波堤や岸壁を整備する際は、防波堤については主に波浪による外力、岸壁については主に地震力を考慮して施設設計を行ってきた。これらの外力に適応した設計を行うことで、津波の外力に対しても一定の耐力を有すると考えられたためである。しかしながら、今般、津波によって大きな被害が生じることが明らかとなり、津波対策の考え方の見直しの必要性が認識された。今般の被害の状況を踏まえた見直しのポイントを以下に述べる。

#### (1) 漁港の役割や施設の機能に応じた対策の考え方

今般の震災において、宮城県閑上漁港の耐震強化岸壁では地震及び津波による被害がなく、災害廃棄物搬出のための岸壁として利用されるなど、災害直後から復旧・復興に大きく貢献している。他方、水産物の生産や流通の拠点となる宮城県石巻漁港などでは、防波堤や陸揚岸壁の甚大な被災により漁港利用に支障を生じ、漁業活動再開の遅れによる地域経済への影響だけでなく全国的な食料供給に多大な影響を及ぼした。

こうした経験を踏まえ、地震・津波対策については、圏域計画における水産物流通生産・流通拠点漁港、地域防災計画等に位置づけられた防災上重要な漁港（防災拠点漁港）、さらには特に早急に防災対策の推進を図ることが必要な地域に位置する漁港において、以下で示す（3）の対策方針の達成に不可欠な防波堤や岸壁を選定した上で、耐震・耐津波の強化対策に重点的に対応することとする（参考資料1参照）。

## （２）中央防災会議報告における津波対策の考え方

中央防災会議報告において、今後の津波対策を構築するにあたっては、基本的に、発生頻度は極めて低いものの発生すれば甚大な被害をもたらす最大クラスの津波（以下、「最大クラスの津波」という。）と、最大クラスの津波に比べて発生頻度は高く津波高さは低いものの大きな被害をもたらす津波（以下、「発生頻度の高い津波」という。）の二つのレベルの津波を想定する必要があるとされている。その上で、最大クラスの津波に備えて、海岸保全施設等の整備の対象とする津波高を大幅に高くすることは、施設整備に必要な費用、海岸の環境や利用に及ぼす影響などの観点から現実的ではない。したがって、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、発生頻度の高い津波に対して海岸保全施設等の整備を進めていくことが求められるとされている。

## （３）地震・津波の発生頻度や規模に応じた対策の考え方

水産物生産・流通拠点漁港及び防災拠点漁港等における地震・津波対策については、大きな被害をもたらす地震やその地震に伴って発生する津波に対しても考慮することとし、漁業活動の安定化や効率的な生産・流通拠点の確保の観点から、漁港施設の被害を最小限に抑えけるとともに、地震・津波の発生後も波浪等に対して漁港施設の機能を維持できるよう、漁業活動の早期かつ安定した再開に寄与する対策に重点をおく必要がある。

このため、緊急物資の輸送や生産・流通機能の維持・継続に資するなど、復旧・復興等を促進する上で重要度の高い防波堤や岸壁に対して対策を行うこととする。

特に津波対策については、防波堤については、これまでと同様に波浪等に対する耐性を有することに加え、発生頻度の高い津波に対し構造物の安定性を確保するよう計画・設計を行うこととし、岸壁については、これまでと同様に地震力に対する耐性を有することに加え、発生頻度の高い津波に対し構造物の安定性を確保するよう計画・設計を行うこととする。また、津波に対する安定性を確保することにより、漁港利用者の安全確保にも資することができる。なお、最大クラスの津波に対しては、被害の最小化を主眼とする減災の考え方にに基づき、漁港利用者等の避難を軸としたソフト対策を中心に、土地利用、避難施設、防災施設などを組み合わせて、とりうる手段を尽くした総合的な対策を講じるものとする。（参考資料２参照）

## （４）防波堤や岸壁の粘り強い構造

今般の被災の事例にあるように、完全に倒壊しなかった防波堤や岸壁については、地震や津波発生時及び発生後において一定の機能を保ち、背後地域の被害軽減や災害後の施設利用の早期再開に寄与したことがわかっている。このため、発生頻度の高い津波を超える津波に対しても、可能な限り、被害を受けたとしても全壊しにくく、全壊に至る時間を少しでも長く延ばし早期復旧が可能となる構造上の工夫（「粘り強い構造」）を検討することが必要である。粘り強い構造の具体的な対策としては、防波堤については堤体の滑動・転倒抑制対策や基礎部分の洗掘防止対策など、岸壁については堤体の傾斜抑制策や前面の洗掘防止対策などがある。

## （５）防波堤と防潮堤による多重防護の活用

今般の震災では、漁港の防波堤があることで、漁港背後の津波浸水深の低下や津波流速の低減など、背後地域に対する被害減災効果が多数見受けられたことから、漁業地域の防災・減災対策の実施にあたっては、こうした漁港施設が有する減災効果を含め、漁業地域の防災・減災対策について総合的に検討を行うことが必要である。

具体的には、漁港漁村の中には、こうした多重防護を活用することで、津波に対して防災・減災対策を効率的かつ効果的に進めることができる場合があり、このような地域では積極的に多重

防護を活用した防災・減災対策に取り組むことが重要である。

なお、防波堤と防潮堤による多重防護とは、防波堤によって堤外地の水産関連施設や漁船等の減災を図るとともに、防波堤と防潮堤を組み合わせることで堤内地の人命・財産等の防災・減災を図ることである。（参考資料 3）

#### 4. 防波堤・岸壁における耐震・耐津波強化対策に関する設計の考え方

3 で示した地震・津波対策の基本的な考え方を進める上で、防波堤及び岸壁を設計する際の考え方を以下に示す。（参考資料 4 参照）

##### （1）設計の対象とする津波

津波については、3.（3）で示したとおり、漁業活動の安定化や効率的な生産・流通拠点の確保の観点から、施設が被災した場合の社会経済的な影響の大きさと施設の耐用年数の関係、波浪や地震等の他の外力における設計の考え方等を考慮して、発生頻度の高い津波を設計の対象とする。（参考資料 2 参照）

##### （2）設計の対象とする地震

地震については、これまでと同様、漁港の役割や施設の機能に応じて、再現期間が概ね 75 年の中規模地震動（以下、「レベル 1 地震動」という。）又は再現期間が数百年以上の大規模地震動（以下、「レベル 2 地震動」という。）を設計の対象とする

これに加え、設計対象津波が到達する前に施設の機能が損なわれないようにする必要があるため、発生頻度の高い津波を生じさせる地震も設計の対象とする。（参考資料 2 参照）

##### （3）防波堤における耐震・耐津波強化対策に関する設計の考え方

地震対策については、既定の耐震設計の考え方等を踏襲することとし、レベル 1 地震動に加え、発生頻度の高い津波を生じさせる地震動に対しても、耐震性を確保する。

津波対策については、発生頻度の高い津波による外力（波力、流体力）に対する堤体の安定性（①滑動、②転倒、③基礎の支持力）や流体力に対する根固・被覆ブロックの安定性等を確保する。なお、津波に対する設計方法と津波の外力及び流体力の算定式並びに安定計算に必要と思われる式の例を参考資料 5 に、地震に対する設計方法を参考資料 7 にそれぞれ示す。

さらに、発生頻度の高い津波を超える津波に対しても、施設の機能を維持し続けることで減災効果を期待する観点から、粘り強い構造（堤体の滑動・転倒の抑制及び基礎部分の洗掘防止等の対策）について検討し、必要に応じて対策を講じる。なお、粘り強い構造の検討にあたっては、漁港施設の利用状況、工事施工上の制約、費用対効果等を総合的に勘案し、効果が高いものを採用する。

現時点で考えられる対策手法の例を参考資料 6 に示す。

##### （4）岸壁における耐震・耐津波強化対策に関する設計の考え方

地震対策については、既定の耐震設計の考え方等を踏襲することとし、3.（1）で示した漁港の役割や施設の機能に応じ、所要の地震動に対する耐震性を確保する。なお、漁港の役割や施設の機能に応じた地震動及び設計方法を参考資料 7 に示す。

津波対策については、引き波時の水位が低下した状態に対する岸壁の安定性（①滑動、②転倒、③基礎の支持力）を確保するとともに、発生頻度の高い津波の外力（流体力）に対する根固・被

覆ブロックの安定性を確保する。(参考資料5参照)

さらに、発生頻度の高い津波を超える津波に対しても、粘り強く施設の機能を維持し減災効果を期待する観点から、粘り強い構造(堤体の傾斜抑制及び前面の洗掘防止等の対策)について検討し、必要に応じて対策を講じる。なお、粘り強い構造の検討にあたっては、漁港施設の利用状況、工事施工上の制約、費用対効果等を総合的に勘案し、効果が高いものを採用する。

現時点で考えられる津波の対策手法の例を参考資料6に、地震の対策手法の例を参考資料8にそれぞれ示す。

#### (5) 配慮事項

地震・津波対策を行うにあたっては、地方公共団体が行うハザードマップ作成といったソフト施策、水産関係施設等の地震・津波対策の実施状況を把握し、それらと連携した総合的な対策を検討し、これを通じて設計の適正化・効率化を図ることが重要である。その際には、隣接する海岸保全施設と一体的に整備する等、他の公共施設との相乗効果の発揮の可能性を検討することも重要である。また、被災後の施設の早期復旧、周辺の漁場環境の早期回復等を図る観点から、被災した施設を有効に活用する、水産資源の生育環境に配慮した構造にするなど、環境に配慮した設計とすることも望まれる。

また、今般の震災で発生したような、地殻変動に伴う広域にわたる地盤沈下が予測される場合、あらかじめ、沈下量に見合う嵩上げ分を加味して算定した構造断面で整備を行い、実際に地盤沈下が生じた際は、嵩上げ等の簡便な対策を行うことで迅速に施設の効用を回復させ、供用再開を図ることも早期復旧の観点から有効な対策として考えられる。ただし、この手法を用いて施設を整備する際は、沈下量を適切に推定するとともに、地盤沈下の再現期間と施設の耐用年数の比較、軽量材を用いた嵩上げ等、他の沈下対策工法との比較等を行い、当該手法を用いることの妥当性を明らかにした上で実施する必要がある。

## 5. おわりに

この基本的な考え方では、「はじめに」で述べたとおり、被災地の漁港の復旧・復興及び大規模地震が予想される地域の対策が急がれることに鑑み、現時点における地震・津波対策に関する基本的な考え方を示したものであり、今後、内容の精査・検証を行うこととしている。

特に、津波に対する設計の考え方については、現時点で設計実績が十分ではないことから、水理模型実験や数値シミュレーションを通じた妥当性の検証が望まれる。また、粘り強い構造の設計にあたっては、構造物が保持すべき機能や要求される性能を明確にする必要があるとともに、その効果の定量的な評価手法を検討していかなければならない。そのために、性能設計手法を導入するなど、より合理的な設計体系の確立が望まれる。

最後に、この基本的な考え方が、現在、各被災漁港において行われている復旧・復興対策の推進に寄与するとともに、全国の漁港における地震・津波対策のあり方の再検討に資することを期待する。

## 参考資料一覧

- ＜参考資料 1＞ 重点的に地震・津波対策の強化を行うべき漁港施設
- ＜参考資料 2＞ 津波の分類と津波対策の考え方及び設計対象とする津波・地震動と設計目標
- ＜参考資料 3＞ 防波堤と防潮堤による多重防護の活用（案）
- ＜参考資料 4＞ 漁港施設の地震・津波対策における設計の基本的な手順
- ＜参考資料 5＞ 津波に対する防波堤・岸壁の設計方法
- ＜参考資料 6＞ 津波による被災要因と対策手法の例
- ＜参考資料 7＞ 地震に対する防波堤・岸壁の設計方法
- ＜参考資料 8＞ 地震による被災要因と対策手法の例

## <参考資料 1> 重点的に地震・津波対策の強化を行うべき漁港施設

重点的に地震・津波対策の強化を行うべき漁港施設は次のとおりである。

### (1) 対象とする漁港

- ① 地域防災計画等に位置づけられた防災上重要な漁港（「防災拠点漁港」）
- ② 圏域計画における水産物生産・流通拠点漁港  
水産物流通拠点漁港：主要な水産物の産地市場を開設している漁港  
水産物生産拠点漁港：中核的に漁業生産活動や操業準備活動等が行われる漁港
- ※ 水産復興マスタープランにおける全国的な水産物の生産・流通拠点漁港及び地域水産業の生産・流通拠点漁港に該当
- ③ 上記①②の他、特に早急に防災対策の推進を図ることが必要な地域に位置する漁港  
具体的には、以下の地域に位置する漁港とする。
  - ・大規模地震対策特別措置法の地域防災対策強化地域
  - ・東南海・南海地震防災対策推進地域
  - ・日本海溝・千島海溝周辺海溝地震防災対策推進地域
  - ・大規模地震が過去に発生または今後発生するおそれの高い地域
  - ・その他防災対策上特に必要と認める地域

### (2) 対象とする漁港施設

- ① 耐震強化岸壁：「防災拠点漁港」において、震災直後の緊急物資や避難者の海上輸送等を考慮し、特に通常の岸壁よりも耐震性を強化した岸壁
- ② 水産物生産・流通拠点漁港における主要な陸揚岸壁等（係留施設）
- ③ 上記①②の岸壁前面の泊地や航路の安全な利用を確保するために必要な主要な防波堤（外郭施設）
- ④ 海岸保全施設（防潮堤）と組み合わせた総合的な防災対策が不可欠な防波堤（外郭施設）

<参考資料 2> 津波の分類と津波対策の考え方及び設計対象とする津波・地震動と設計目標

1. 津波の分類と津波対策の考え方

津波の分類	漁港（防波堤・岸壁）の津波対策の考え方	中央防災会議報告 における津波対策の考え方
発生頻度の高い津波	<p>漁業活動の安定化や効率的な生産・流通拠点の確保の観点から、防波堤、岸壁の整備による対策</p> <p>※これにより、漁港施設の被害を最小限に抑えるとともに、津波発生後の波浪等に対して漁港施設の機能を維持し、漁業活動の早期かつ安定した再開を図る。また、津波に対する安定性確保により漁港利用者の安全確保にも努める</p>	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、海岸保全施設等の整備による対策（堤内地の保護）
最大クラスの津波	漁港利用者等の避難を軸としたソフト対策を中心に、土地利用、避難施設、防災施設などを組み合わせて、とりうる手段を尽くした総合的な対策	住民等の避難を軸に、土地利用、避難施設、防災施設などを組み合わせて、とりうる手段を尽くした総合的な津波対策

2. 設計対象とする津波・地震動と設計目標

設計対象	設計目標
発生頻度の高い津波	構造物の機能が確保されるように設計
発生頻度の高い津波を生じさせる地震	構造物の機能が確保されるように設計

（漁港・漁場の施設の設計の手引における規定）

設計対象	発生頻度	設計目標
レベル 1 地震動 （中規模地震動）	再現期間が概ね 75 年	構造物の機能が確保されるように設計
レベル 2 地震動 （大規模地震動）	再現期間が数百年以上	ある程度の被災は許すがそれが軽微であり速やかに機能が回復できる状態であるように設計

注）具体的な耐震設計の手法については、参考資料 7、漁港・漁場の施設の設計の手引 2003 年版（社団法人全国漁港漁場協会）を参照

(参考：漁港海岸保全施設の耐震性能設計のガイドライン（案）における規定)

地震動の分類	地震動の規模	設計目標
レベル1 地震動	施設の供用期間中に 1～2度発生する確 率を有する地震動	所要の構造の安全を確保し、かつ、海岸保全施設 の機能を損なわない
レベル2 地震動	現在から将来にわた って当該地点で考え られる最大級の強さ を持つ地震動	生じる被害が軽微であり、かつ、地震後の速やか な機能の回復が可能なもの

注) 具体的な耐震設計の手法については、漁港海岸保全施設の耐震性能設計のガイドライン（案）  
（平成22年3月水産庁漁港漁場整備部防災漁村課）を参照

## 防波堤と防潮堤による多重防護の活用

平成 26 年 1 月

水産庁漁港漁場整備部

## 目 次

- 1 はじめに
- 2 多重防護による漁港漁村の防災・減災対策のあり方
  - 2.1 多重防護による防災・減災対策の目的
  - 2.2 防波堤と防潮堤による多重防護の考え方
  - 2.3 多重防護による主な効果
  - 2.4 多重防護における防災・減災目標の考え方
  - 2.5 多重防護の具体的な対策
    - (1) 多重防護による津波低減効果の発現特性
    - (2) 多重防護の具体的な対策
- 3 多重防護による漁港漁村の便益（費用対効果分析に係る便益）
  - 3.1 多重防護による効果とその便益
    - (1) 多重防護による効果とその便益の考え方
    - (2) 物的被害
    - (3) 人的被害
    - (4) 漁業生産被害
  - 3.2 発生確率の異なる複数の津波の津波低減便益算定手法
- 4 おわりに

## 1 はじめに

平成 23 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災により被災した漁港は、北海道から千葉県までの 7 道県の 319 漁港に及んだ。これは全国の 2,914 漁港（震災発生当時）の約 1 割に相当する。特に、岩手県、宮城県、福島県の 3 県では、ほぼ全ての漁港で被害を受けた。

津波により多くの防波堤が倒壊した一方、倒壊を免れた防波堤については、津波浸水高や流速の低減による水産関係施設等の被害の低減、津波到達時間を遅延させたことによる避難時間の確保といった防災・減災に資する効果を発揮した事例もあることが確認されている。

また、中央防災会議では、2 種類の津波（発生頻度の高い津波、最大クラスの津波）を想定し、発生頻度の高い津波については人命保護に加え、住民財産の保護、地域の経済活動の安定化等を図り、また最大クラスの津波については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図る方針が示されている。

このことを踏まえると、これまで防波堤は津波について十分に検討されていなかったが、今般の震災では防波堤による津波低減効果が確認できたことから、津波に対する防波堤の防災・減災に資する効果を最大限考慮することで、社会的な要請に適切に対応していくことが重要である。

こうした動きを受けて、水産庁では、学識経験者から構成される「漁港・漁村の津波防災・減災対策に関する専門部会（座長：磯部雅彦・高知工科大学副学長）」からの助言をいただきながら、防波堤と防潮堤による多重防護の考え方、効果及び具体的な対策や津波低減による漁港漁村への効果とその便益等について検討し、多重防護による漁港漁村の防災・減災対策をとりまとめたものである。

なお、本編では、防波堤による津波低減効果に主眼を置いて防災・減災対策の検討を行っており、漁港施設（防波堤等）を主とした対策についてとりまとめた。

### 漁港・漁村の津波防災・減災対策に関する専門部会 委員

区 分	所 属 ・ 役 職	氏 名
委員長	高知工科大学 副学長	磯部 雅彦
委 員	東京海洋大学 海洋科学部海洋環境学科 教授	岡安 章夫
委 員	早稲田大学 創造理工学部社会環境工学科 教授	清宮 理
委 員	防衛大学校 システム工学群建設環境工学科 教授	藤間 功司
委 員	公立はこだて未来大学 名誉教授	長野 章

## 2 多重防護による漁港漁村の防災・減災対策のあり方

### 2.1 多重防護による防災・減災対策の目的

漁港漁村では、東日本大震災における津波によって、防波堤、岸壁等の漁港施設や市場・荷さばき所・加工場等の水産関連施設、背後集落の人家等も大きな被害を受けるとともに、多数の人命が失われた。また、復旧に長時間を要し、生活や生業（漁業活動等）の再開が遅れたことによって、地域経済や全国的な食料供給に多大な影響を及ぼした。

このため、漁港漁村における防災・減災対策は、高潮・波浪に加えて、津波についてもより効果的なものとするのが重要であり、漁業活動の安定化及び水産物の生産・流通機能の確保と漁港漁村の人命・財産の防護の両方の観点から、主として、堤外地では水産関連施設・漁船等の被害軽減とともに、漁業関係者等の避難の確保を、堤内地では人家等財産の保全とともに、住民等の避難の確保を目的とする。

#### 【解説】

元来、漁港の防波堤は、台風や低気圧に伴う高潮・波浪に対して港内の静穏度の向上等を図り、漁船の安全性の確保、荷役作業等の港内作業の円滑化、岸壁・護岸等の港内施設や漁港の背後地（人家等）の防護を図ることを主たる目的としてきた。また、漁村については、防潮堤等によって、台風・低気圧に伴う高潮・波浪や津波から漁村の生命・財産を防護することを目的としてきた。

しかし、東日本大震災では、地震や来襲した大津波によって、防波堤・岸壁等の基本施設だけでなく、荷さばき所・製氷、冷凍及び冷蔵施設、加工場等の機能施設や背後の漁村も合わせて被災し、これに伴って漁業活動や地域の経済・生活、さらには国民に対する水産物の安定供給に多大な影響を及ぼした。

その一方で、完全な倒壊を免れた防波堤については、津波来襲時において、浸水時間遅延による避難時間の確保、流入量低減による被害の軽減、第2波以降の津波に対する減災等の効果が確認されている。

こうしたことから、漁港漁村においては、津波に対する防災・減災についても適切に対応することが社会的な要請でもあり、防波堤の津波低減効果を最大限に考慮して、対策を推進することが重要である。

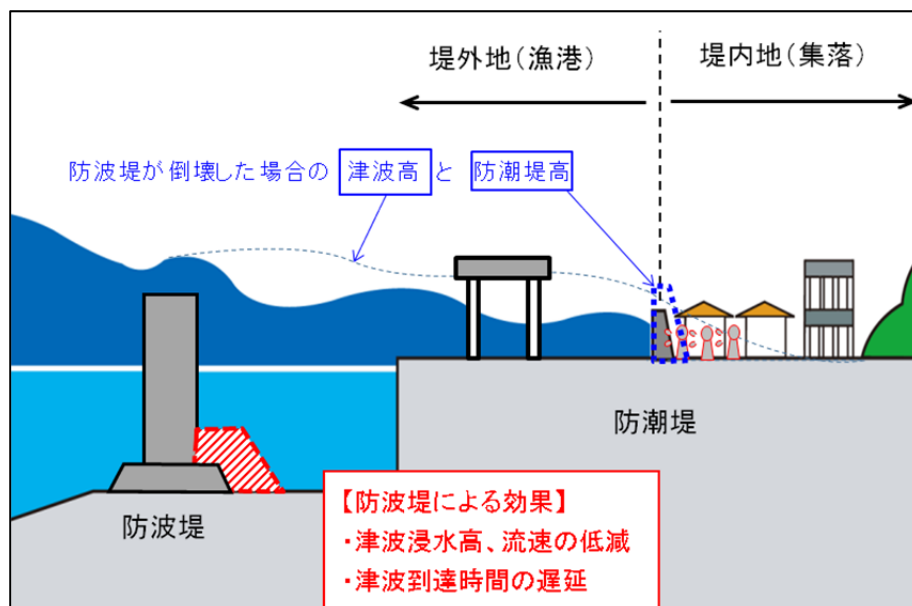
## 2.2 防波堤と防潮堤による多重防護の考え方

防波堤と防潮堤による多重防護とは、防波堤によって堤外地の水産関連施設や漁船等の減災を図るとともに、防波堤と防潮堤を組み合わせることで堤内地の人命・財産等の防災・減災を図ることである。

漁港漁村の中には、こうした多重防護を活用することで、津波に対して防災・減災対策を効果的かつ効果的に進めることができる場合があり、このような地域では積極的に多重防護を活用した防災・減災対策に取り組むことが重要である。

### 【解説】

防波堤と防潮堤による多重防護のイメージを以下に示す。



防波堤と防潮堤による多重防護のイメージ

漁港漁村の特徴としては、以下のことが挙げられる。

- (1) 堤外地（漁港）に多くの水産業関係者等が滞在
- (2) 津波高に対して防潮堤の高さが不足
- (3) 背後集落の立地、地形の制約（例えば、防潮堤の直背後に集落が立地、集落背後に山が迫っている等）から防潮堤の嵩上げが困難

こうした漁港漁村の特徴を踏まえると、多重防護の活用が有効となるのは、次のような場合が考えられる。

- ・ 防潮堤のみでの対応が困難な場合
- ・ 堤外地で大きな防災・減災効果が得られる場合

## 2.3 多重防護による主な効果

漁港漁村において防波堤と防潮堤による多重防護を活用することによって、堤外地では、防波堤が津波浸水高や流速を低減することによる水産関連施設・漁船等被害の低減、堤内地では防潮堤高さを抑えることによる背後用地の利活用、漁業活動・生活の利便性の向上、集落景観の維持、また、浸水範囲の減少等による一般資産被害の低減等の効果が期待できる。

また、堤外地及び堤内地では、防波堤が津波到達時間を遅延し、避難時間が増加することによる避難可能人数の増大が期待できる。

### 【解説】

漁港漁村において防波堤と防潮堤による多重防護を活用することによって、堤内・堤外地で以下に示すような効果が期待できる。

#### 【堤外地（主として漁港）での効果】

- (1) 津波浸水高や流速を低減することによる、水産関連施設・漁船等被害の低減
- (2) 津波到達時間を遅延し、避難時間が増加することによる避難可能人数の増大



堤外地の物的・人的被害の低減、水産業の早期再開

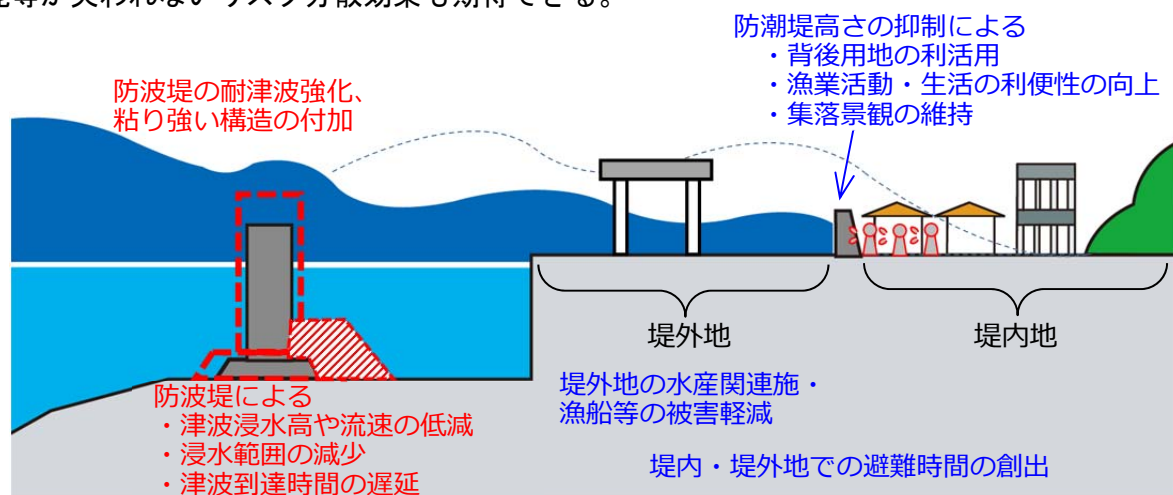
#### 【堤内地（主として集落）での効果】

- (1) 防潮堤の高さを抑えることによる、背後用地の利活用、漁業活動・生活の利便性の向上、集落景観の維持
- (2) 浸水範囲の減少等による、家屋、事業所、家庭用品等の一般資産被害の低減
- (3) 津波到達時間を遅延し、避難時間が増加することによる避難可能人数の増大



堤内地の物的・人的被害、地域に与える損害の低減

また、多重防護を活用することで、仮に片方が損壊しても、もう片方が残ることで完全に防護機能等が失われないリスク分散効果も期待できる。



## 2.4 多重防護における防災・減災目標の考え方

多重防護による防災・減災対策については、発生頻度の高い津波に対して、漁業活動の安定化及び水産物の生産・流通拠点の確保の観点並びに漁業関係者等の避難の確保の観点から、津波浸水高に対する被災率など過去の知見や避難シミュレーション等に基づき、堤外地では被害を低減できる高さまで津波を低減するとともに、堤内地では津波の浸入を防止し、また、堤外地及び堤内地では避難時間の確保に資するなど、適切な防災・減災目標の目安を設定することが望ましい。

また、発生頻度の高い津波を超える津波についても、防波堤等へ粘り強い構造を付加することにより、発生頻度の高い津波と同様の観点から、堤内地及び堤外地では、被害を軽減できる高さまで津波を低減するとともに、避難時間の確保に資するなど、適切な減災目標の目安を設定することが望ましい。

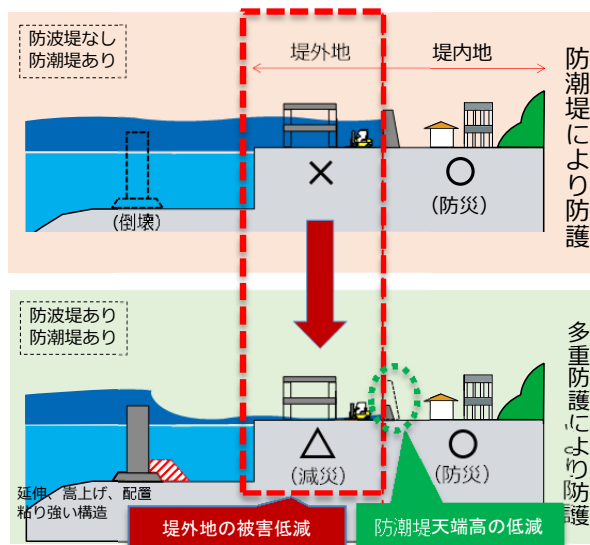
なお、多重防護における防災・減災目標の設定にあたっては、多重防護による減災効果を適切に評価し、対策に要する費用や得られる便益等を総合的に勘案することが重要である。

### 【解説】

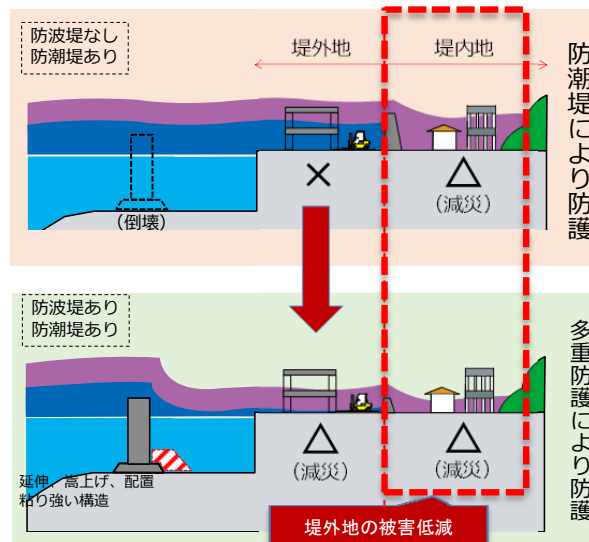
多重防護による防災・減災対策については、「発生頻度の高い津波」、「発生頻度の高い津波を超える津波」の2種類の津波を設定し、適切な防災・減災目標の設定することが望ましい。

「発生頻度の高い津波」に対しては、防波堤と防潮堤によって堤内地への津波の侵入を抑止し、背後集落の人命・財産を防護することに加え、防波堤によって堤外地での津波を低減し、水産関連施設等の被害軽減や漁港内の水産業従事者の避難時間の確保を図ることが基本的な考え方となる。

また、防波堤や防潮堤を粘り強い構造とすることで、発生頻度の高い津波（設計津波）を超える津波に対しても、可能な限り、堤外地・堤内地の水産関連施設・人家等の被害軽減や漁港内の水産業従事者や集落住民等の避難時間の確保を図ることができる。

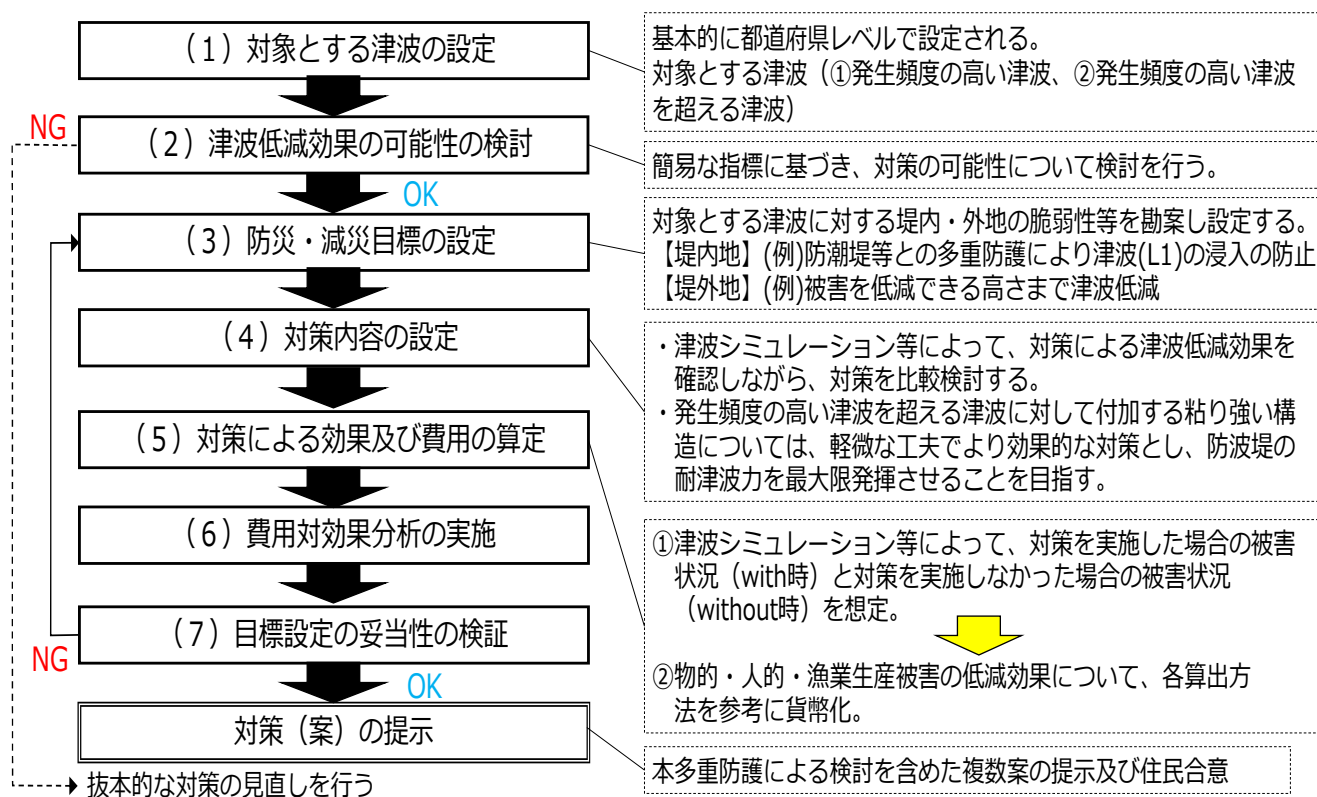


「発生頻度の高い津波」に対する防災・減災の基本的な考え方



### 「発生頻度の高い津波を超える津波」に対する減災の基本的な考え方

防災・減災目標の設定については、上記の基本的な考え方を踏まえ、多重防護による効果を適切に評価し、対策に要する費用や得られる便益等を総合的に勘案し、設定することが重要であり、その手順は以下のフローを参考にすることができる。



また、漁港漁村における具体的な目標設定については、漁港にある施設の中でも重要度の高い施設・場所を対象として、設定することが有効な方法と考えられる。

重要度の高い施設・場所としては、以下のものを挙げることができる。

- 1) 重要な施設（市場、種苗生産施設など）
- 2) 早期復旧に重要な施設
- 3) 来訪者が集まる場所 など

#### 1) 重要な施設



##### （例）荷捌き所

- ・ベルトコンベアは荷捌きに必要の機器であり、その被害は漁業生産に影響を与える。
- ・地盤から0.5m 高くなっている場合、浸水深 0.5m 以下であれば、そこにベルトコンベアが設置されているため減災効果が想定される。

#### 2) 早期復旧に重要な施設



##### （例）冷蔵・冷凍庫

- ・冷蔵冷凍庫、製氷施設は、漁獲物の鮮度保持のために重要な施設である。
- ・施設によっては、室外水冷機、電源を 2F 等高い位置に配置しており、減災対策が図られている。

#### 3) 来訪者が集まる場所



##### （例）レジャー施設

- ・緊急避難施設である。
- ・プール営業に必要な給水ポンプ室が 1F にあり、機器が地盤から 0.5m の部分である場合、浸水深 0.5m 以上で営業停止となることが想定される。

目標設定に当たっては、以下の視点を勘案し、①施設の重要度に応じて個別に目標を設定する方法と、②堤外地全体に対して一律で設定する方法等が考えられる。

#### 【目標設定の視点】

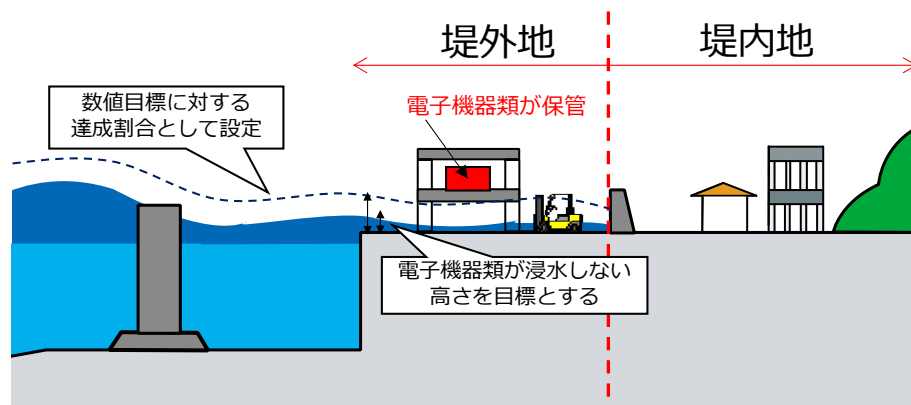
- ・発生頻度の高い津波から堤内地を守る（防潮堤等との多重防護により堤内地への津波の浸入防止を図る）。
- ・堤外地の被害を低減できる高さまで津波を低減することを念頭に置いた防災・減災目標を設定する。

#### （①の例）

堤外地の市場の前面では、データ等が保管された電子機器類が 2 階に設置されていることを考慮し、電子機器類が浸水しない高さを目標とする。

#### （②の例）

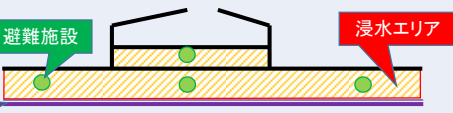
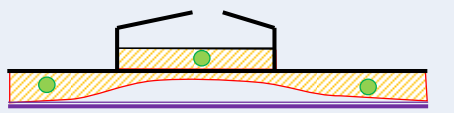
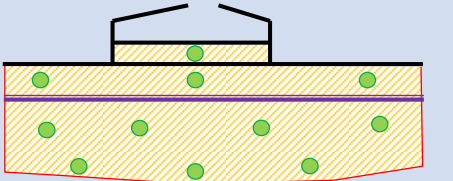
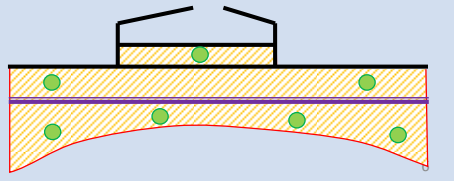
堤外地全体において、定量的な数値目標に対する達成割合として設定する。



なお、具体的な目標値の設定には、後に示す「■目標値の設定に関する参考データ」を参考にできる。

また、水産基盤整備事業では、防波堤による津波低減効果によって、漁港漁村における水産業関係者や住民の避難に対しても効果が得られる場合があるので、その際には、下表で示す「多重防護による人的被害の範囲と必要となる避難施設の考え方」を参考にして、必要な避難対策を検討することが望ましい。

多重防護による人的被害の範囲と必要となる避難施設の考え方

		防潮堤		防波堤及び防潮堤による多重防護	
		財産	人命	財産	人命
堤外		× 効果なし	× 効果なし	○ 被害の低減	○ ・避難可能人数の増大 ・避難不可能者も浸水深低減により死亡率が低減
堤内		○ 被害の低減	○ ・避難可能人数の増大 ・避難不可能者も浸水深低減により死亡率が低減	○ 被害の低減	○ ・避難可能人数の増大 ・避難不可能者も浸水深低減により死亡率が低減
		海岸保全施設＋避難施設		多重防護＋避難施設	
避難施設数		[堤外地]×変化なし、 [堤内地] ○施設数の減少		[堤外地]○施設数の減少、 [堤内地]○施設数の減少	
避難施設数イメージ	(L1津波に対して)				
	(L2津波に対して)				

## ■目標値の設定に関する参考データ

- ・東日本大震災による被災現況調査結果（第1次報告）によると「浸水深2m」を境に、被害状況に大きな差があり、浸水深2m以下の場合には建物が全壊となる割合は大幅に低下する傾向にあることが確認されたことから、津波浸水深「2m超」を市街地（集落）の壊滅的な被害をもたらす目安として設定している（図1）。
- ・内閣府が設定した浸水深別の死者率関数によると、津波に巻き込まれた場合、津波浸水深「30cm超」を死亡者が発生する目安として設定している（図2）。
- ・「津波強度と被害程度の関係（首藤）」では、津波高「2m超」を木造家屋が全面破壊する目安としている（図3）。
- ・上記の既往実績を参考に、目標の目安を設定してもよい。
- ・また、津波浸水深ごとの建物被害率（中央防災会議）を参考に、目標の目安を設定してもよい（図4）。
- ・その他、堤外地における避難可能人数等の減災効果により目安を設定しても良い。

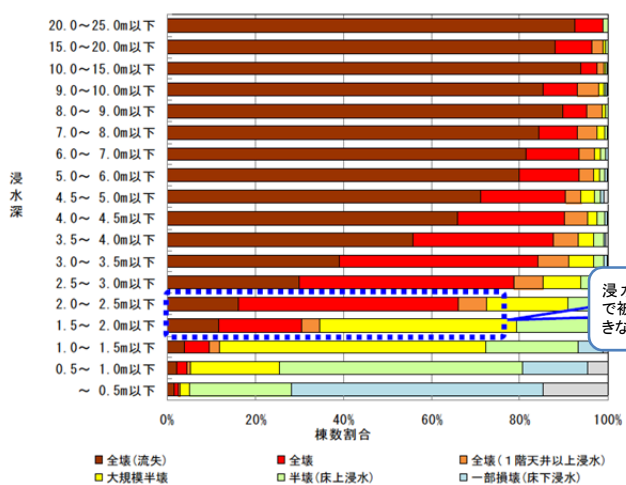


図1 浸水深と建物被災状況の関係（浸水区域全域）  
（国土交通省都市局（2011年））

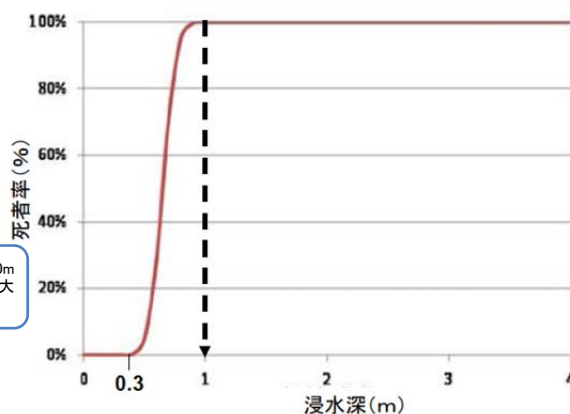


図2 津波に巻き込まれた場合の死者率  
（内閣府（2012年））

津波強度	0	1	2	3	4	5
津波高 (m)	1	2	4	8	16	32
津波形態	緩斜面 急斜面	岸で盛上がる 速い潮沙	沖でも水の壁 速い潮沙	先端に砕波を伴う ものが増える。	第一波でも 巻き波砕波を 起こす。	
音響			全面砕波による連続音 (海鳴り、暴風雨)	浜での巻き波砕波による大音響 (雷鳴。遠方では認識されない)	崖に衝突する大音響 (遠雷。発破。かなり遠くまで聞こえる)	
木造家屋	部分的破壊	全面破壊				
石造家屋		持ちこたえる	(資料無し)	全面破壊		
鉄・コン・ビツ		持ちこたえる	(資料無し)	全面破壊		
漁船		被害発生	被害率50%	被害率100%		
防樹林被害 防樹林効果		被害軽減 津波軽減	潮流物阻止	部分的被害 潮流物阻止	全面的被害 無効果	
養殖筏		被害発生				
沿岸集落		被害発生	被害率50%	被害率100%		
打上高 (m)	1	2	4	8	16	32

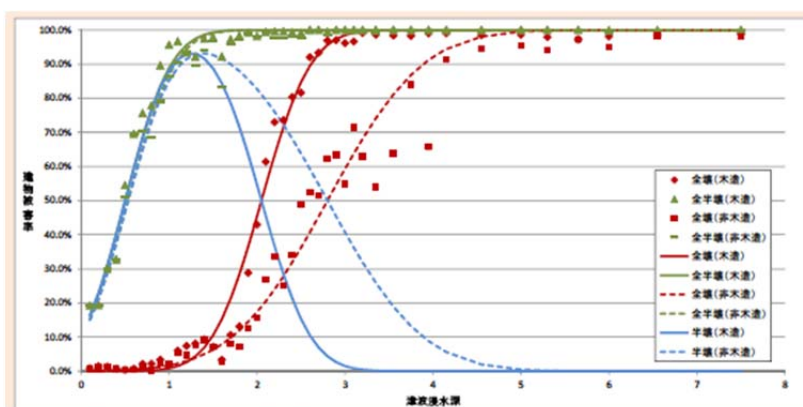


図4 津波浸水深ごとの建物被害（人口集中地区）  
（中央防災会議（内閣府、2012年））

←図3 津波強度と被害  
（首藤伸夫（1992年））

## 2.5 多重防護の具体的な対策

### (1) 多重防護による津波低減効果の発現特性

多重防護による津波低減効果の発現特性については、東日本大震災の事例を含めた既往の津波実績から、以下の傾向が見られる。

- 1) 津波低減効果は、漁港への津波の流入量と漁港の泊地の広さ等に大きく影響を受ける。
- 2) 漁港への津波の流入量は、来襲津波に対する防波堤等による平面遮蔽性（港口の狭さなど）、鉛直遮蔽性（防波堤の天端の高さや設置水深の深さ）が高いほど、低減される傾向がある。
- 3) 来襲する津波の周期にも大きく影響され、津波の周期が短いほど、低減される傾向がある。  
津波の片周期が10分以下であると、防波堤等による津波低減効果は大きくなる。
- 4) 防波堤背後の泊地面積が広いほど、津波低減効果が高くなる傾向がある。
- 5) 漁港背後の陸域では、漁港施設有りの場合、流速が全体的に減少する傾向がある
- 6) 小規模な漁港においては、減災効果は得られにくい傾向がある。

このように、防波堤による津波低減効果は、来襲する津波周期、高さ、漁港の形状、規模、位置する地形等によって発現特性が異なるため、津波シミュレーションや水理模型実験等による詳細な検討に先立って、既往の津波に基づいて検討された指標を用いた簡便な手法によって、津波低減効果の可能性を検討することが望ましい。

また、既往の津波に基づいて検討された指標を用いた簡便な手法の詳細について今後とも調査・検討を行う必要がある。

#### 【解説】

防波堤等の漁港施設による津波低減効果については、以下に示す簡便な手法を活用することによって、津波低減の可能性を検討することができる。

**手法1**：港内面積と開口部断面積比による効果把握

**手法2**：津波水位と平均天端高比による効果把握

**手法3**：流入量比による効果把握

**手法4**：流入量比と開口比による効果把握

なお、これらの手法は、既存漁港による津波低減の可能性の検討に活用が可能であることはもとより、新たに防波堤等を整備（延伸）し、大きく港形を変えた場合や部分的に開口部を狭くした場合、さらには既存防波堤の天端高を高くした場合による津波低減の可能性の検討にも役立つものである。

**手法 1**：港内面積と開口部断面積比による効果把握（明田ら（1994）より）

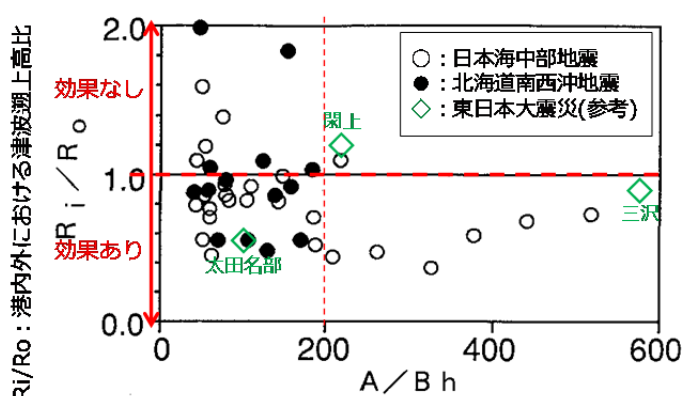
日本海中部地震、北海道南西沖地震の実績（明田ら（1994））を踏まえて、港内面積と開口部断面積比（下図）より漁港施設の効果を把握する。

【傾向】

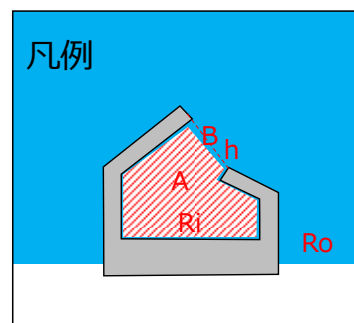
- ・ 港内面積が大きく、港口断面積が小さいほど効果がある。
- ・ 港口断面積に対し港内面積が小さい港では、津波を増大させる場合がある。
- ・ 小規模な港では、外郭施設による津波低減効果は期待できない。

【留意点】

- ・ 港内面積と開口部断面積比が 200 未満のときに、効果の有無が判断し難い。



A: 港内面積、B: 港口幅、h: 港口の水深



**手法 2**：津波水位と平均天端高比による効果把握

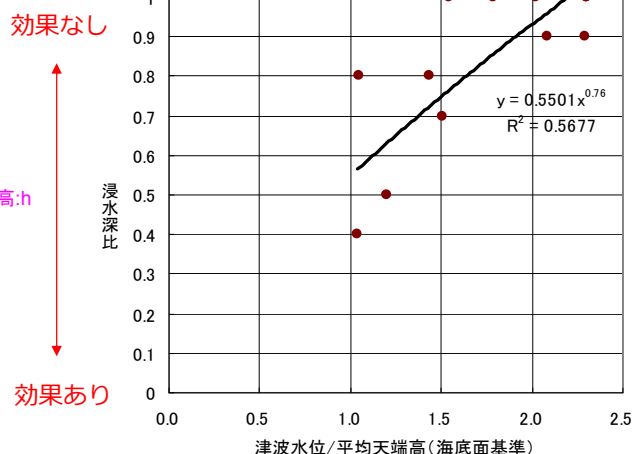
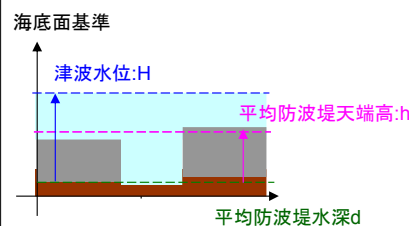
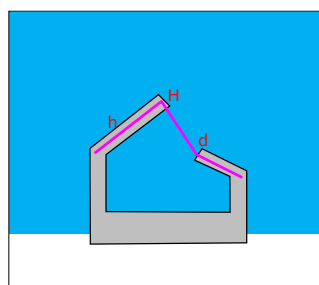
東日本大震災の実績（代表的な 13 漁港における津波解析結果）を踏まえて、津波水位と平均天端高比（下図）より漁港施設の効果を把握する。

【傾向】

- ・ 津波水位と漁港施設の平均天端高が同程度のときに、浸水深を半分程度に低減する効果が見られる場合がある。
- ・ 津波水位と平均天端高比が 1.5 を超える場合は、効果があまり期待できない。

【留意点】

- ・ 津波水位と平均天端高比が 1.0 以下のデータが不足しており傾向が確認できない。
- ・ 長大な海岸上に位置する漁港などでは、津波が漁港の両側から侵入してくるため、その場合には漁港施設の効果を本手法では評価し難い。



### 手法③：流入量比による効果把握

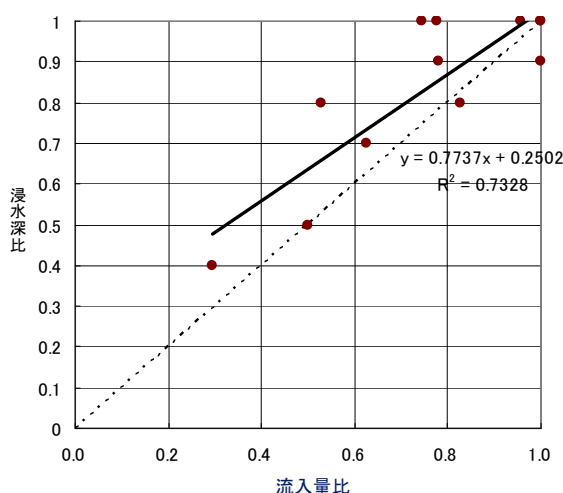
東日本大震災の実績（代表的な 13 漁港における津波解析結果）を踏まえて、漁港施設が有る場合と無い場合の流入量比（下式・下図）より漁港施設の効果を把握する。

#### 【傾向】

- ・流入量比が小さいと、浸水深比も小さくなり、津波低減効果が見られる傾向がある。

#### 【留意点】

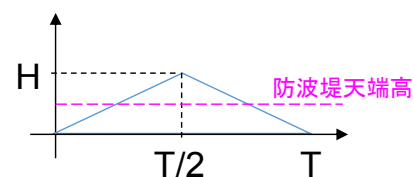
- ・長大な海岸上に位置する漁港などでは、津波が漁港の両側から侵入してくるため、その場合には漁港施設の効果を本手法では評価し難い。
- ・当該手法を用いると、津波低減効果を過大に評価する傾向がある。



$$\text{流入量比} = \frac{\text{流入量（漁港有）}}{\text{流入量（漁港無）}}$$

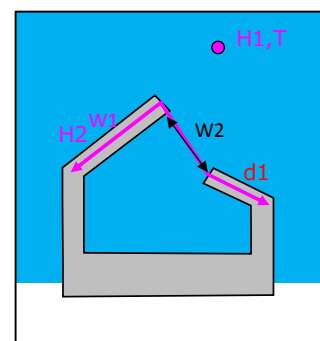
#### ＜流入量比の算出手法の解説＞

- ・防波堤前面での津波波形を三角形近似し、施設有無による漁港内への流入量を推算。
- ・この方法で、施設の有無による流入量比を算出。



#### 手順①：漁港条件の抽出

- ・ H2：防波堤の平均天端高
- ・ d1：防波堤の平均設置水深
- ・ W1：漁港部分における津波が防波堤を越流した場合の海水の流入幅→右図のピンク線部分
- ・ W2：漁港部分における津波が防波堤を越流しない場合の海水の流入幅（＝開口幅）→右図の黒線部分



**手順②**：津波外力の設定

- ・ 抽出水深  $d2$ ：既往の検討結果より設定。
- ・ 前面津波高  $H1$ ：抽出水深が沖合であれば、グリーンの法則によって施設前面での津波高を算出。
- ・ 津波周期  $T$ （片周期）：既往の検討結果より設定。

**手順③**：漁港への流入量を推算

- ・ 開口部・沿岸への流入量  $Q1 = \int_0^T (H(t) + d1) \times H(t) \times \sqrt{g / (H(t) + d1)} \times (W1 \text{ または } W2) dt$
- ・ 防波堤を越流する流入量  $Q2 = \int_0^T 0.35 \times (H(t) - H2) \sqrt{2g(H(t) - H2)} \times (W1 - W2) dt$   
(本間の越流公式, 完全越流)

#### 手法4：流入量比と開口比による効果把握

手法2、手法3で用いた津波水位/平均天端や流入量比を含めた5つのパラメーター（流入量比、通過断面積比、津波水位/平均天端、開口比、湾の奥行/湾の幅）について、東日本大震災の実績（代表的な13漁港における津波解析結果）を基に多変量解析（重回帰分析）を実施した。（詳細については、「■ 5つのパラメーターによる多変量解析結果」を参照）

その結果、流入量比と開口比が津波シミュレーションから得られる浸水深比との相関の高いことが確認でき、流入量比（A）と開口比（D）の2つのパラメーターを用いた次式によって、より適切に津波減災効果指標となる浸水深比を把握することができる。

$$\text{浸水深比} = 0.923A - 0.202D + 0.249$$

なお、上式は、回帰統計上、重相関係数  $R=0.942$ 、決定係数  $R^2=0.887$  である。

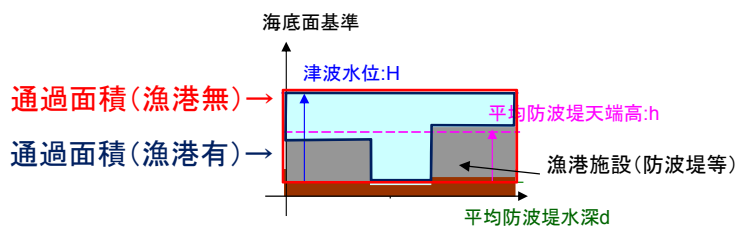
ここで、多変量解析を実施した5つのパラメーターについて説明する。

##### A：流入量比

漁港施設が有る場合と無い場合の流入量の比である。前述の手法3を参照とする。

##### B：通過面積比

漁港施設が有る場合と無い場合の水塊の面積比であり、下図のとおりである。



##### C：津波水位/平均天端

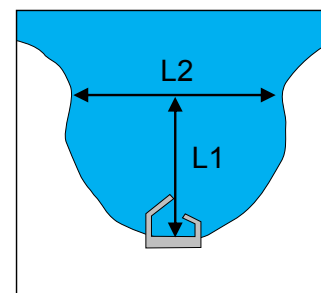
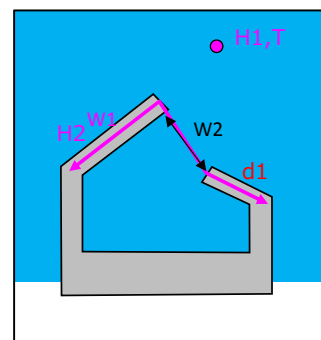
来襲する津波水位と漁港施設の平均天端高との比である。前述の手法2を参照とする。

##### D：開口比（W1/W2）

漁港の港口幅（W2）と、漁港に対して津波が侵入（流入）する部分の幅（W1）との比であり、右図のとおりである。

##### E：湾の奥行/奥の幅（L1/L2）

湾の奥行（L1）と、湾の幅（L2）との比であり、右図のとおりである。



■ 5つのパラメーターによる多変量解析結果

	係数	標準誤差	t	P-値
切片	0.018	0.139	0.132	0.899
A：流入量比	1.192	0.241	4.947	0.003
B：通過面積比	0.347	0.228	1.521	0.179
C：津波水位/平均天端	-0.080	0.043	-1.864	0.112
D：開口比 (W1/W2)	-0.161	0.065	-2.498	0.047
E：湾の奥行/湾の幅 (L1/L2)	-0.017	0.013	-1.357	0.224

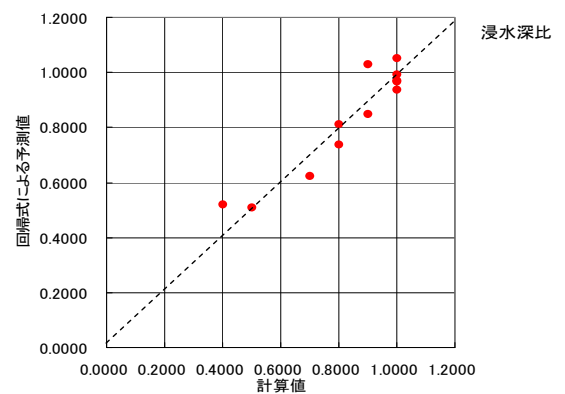


5つのパラメーターによる解析結果より、浸水深比との相関の高い（P-値が小さい）2項目（A,D）で再度、重回帰分析を実施

	係数	標準誤差	t	P-値
切片	0.249	0.079	3.135	0.012
A：流入量比	0.923	0.110	8.404	0.000
D：開口比 (W1/W2)	-0.202	0.058	-3.507	0.007

**回帰式=0.923A-0.202D+0.249**

回帰統計	
重相関 R	0.942
重決定 R2	0.887
補正 R2	0.862
標準誤差	0.077
観測数	12



## ■津波低減効果の算定手法と主な計算条件の設定

### 1) 津波低減効果の算定手法

対策による効果の算定手法としては、津波シミュレーションや水理模型実験などがある。ここでは、津波シミュレーションによる津波低減効果の算定手法について述べる。

津波シミュレーションは、地震の断層モデルから計算された津波の発生プロセスを踏まえた初期水位のもとで、①外洋から沿岸への津波の伝播・到達、②沿岸から陸上への津波の遡上の一連の過程を連続して数値計算するものである。

津波シミュレーションは、海底での摩擦及び移流項を考慮した非線形長波理論（浅水理論）によることを基本とする。なお、シミュレーションに際しては、多重防護による津波低減の現象を適切に算定できるような条件設定を行うことが重要である。

津波浸水想定の設定の手引き（平成 24 年 10 月）では、主な計算条件の設定について次表の通り定めている。

主な計算条件の設定

計算条件	内 容
津波の初期水位（断層モデル）	津波の初期水位は、地震の断層モデルによって計算される海底基盤の鉛直変位分布（隆起や沈降）を海面に与える方法を用いることを基本とする。 津波の初期水位を与える断層モデルは、中央防災会議や地震調査研究推進本部等の公的な機関が妥当性を検証したものとして発表している断層モデルがあればこれも参考にして設定することができる。
潮位（天文潮）	津波浸水想定を設定するための津波シミュレーションにおける潮位（天文潮）は、朔望平均満潮位とすることを基本とする。
計算領域及び計算格子間隔※	津波シミュレーションの計算領域および計算格子間隔は、波源域の大きさ、津波の空間波形、海底・海岸地形の特徴、対象地区周辺の微地形、構造物等を考慮して、津波の挙動を精度良く推計できるよう適切に設定するものとする。
地形データ作成	海域や陸域の地形は津波の伝播や遡上に大きく影響を与えるため、こうした津波の挙動を予測するためには、地形に関する情報が不可欠であり、津波シミュレーションにおいても、格子状の数値情報からなる地形データを用いる。
粗度係数	津波が沿岸域に到達し、陸域に遡上する場合には、海底や地面による抵抗が無視できなくなるため、津波シミュレーションにおいて、粗度係数を用いて考慮することを基本とする。
地震による地盤変動	地震による陸域や海域の沈降が想定される場合、断層モデルから算出される沈降量を陸域や海域の地形データの高さから差し引くことを基本とする。 地震による陸域の隆起が想定される場合には、断層モデルから算出される隆起量を考慮しない。一方、海域の隆起が想定される場合には、断層モデルから算出される隆起量を考慮することを基本とする。
計算時間及び計算時間間隔	津波シミュレーションの計算時間は、津波の特性等を考慮して、最大の浸水の区域及び水深が得られるように設定するものとする。津波シミュレーションの計算時間間隔は、計算の安定性等を考慮して適切に設定するものとする。

※ 多重防護による津波低減の現象を適切に算定するため、漁港周辺の計算格子間隔を小さくして（例えば 5m 格子）対策の内容（漁港施設の改良等）をシミュレーションで再現することが望ましい。

## (2) 多重防護の具体的な対策

多重防護の対策は、上記の津波低減効果の発現特性を十分に勘案した上で、検討することが重要である。

対策の実施にあたっては、来襲する津波の特性（方向、周期）や漁港の位置する地形、規模及び形状等によって、防波堤による津波低減効果が大きく変化することを踏まえ、津波シミュレーション等によってその効果の程度を確認し、対策を検討することが重要である。

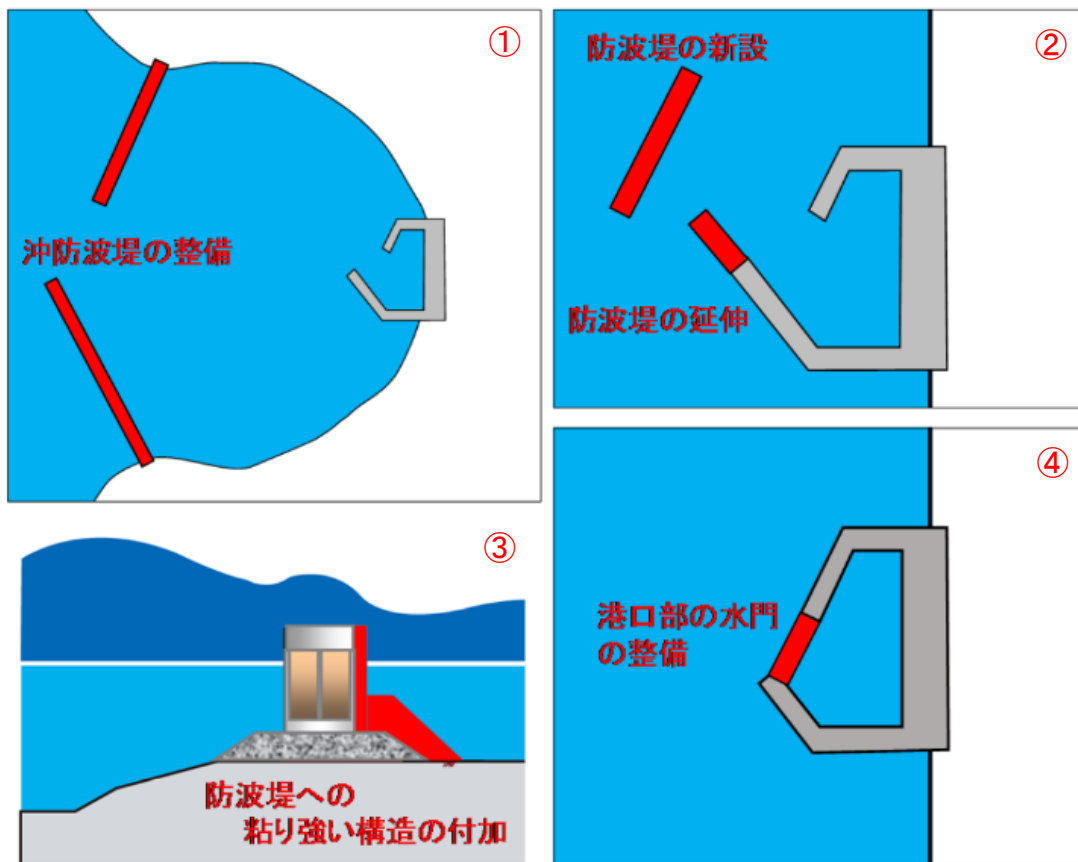
具体的な対策としては、沖防波堤や港口部の水門の整備、防波堤の新設・延伸及び嵩上げなどに加え、防波堤や防潮堤への粘り強い構造の付加などの対策が考えられる。

なお、防波堤の整備等によって、新たに津波が収斂する場所が発生する場合があること、水域の閉鎖性が強くなり水質環境の悪化させる場合があることに留意することが必要である。

### 【解説】

多重防護の対策イメージは次のようなものが考えられる。

- ① 防波堤の整備
- ② 波堤の新設・延伸及び嵩上げ
- ③ 防波堤や防潮堤への粘り強い構造の付加
- ④ 港口部の水門の整備



### 3 多重防護による漁港漁村の便益（費用対効果分析に係る便益）

#### 3.1 多重防護による効果とその便益

##### (1) 多重防護による効果とその便益の考え方

「水産基盤整備事業費用対効果分析のガイドライン」（水産庁漁港漁場整備部）では、費用対効果分析の対象とする効果を、①実用的な範囲内で貨幣換算が可能な効果、②それ以外の定量的または定性的に把握する効果（貨幣換算が困難な効果）としており、多重防護を活用した防災・減災対策事業の費用対効果分析についても同様に考えることができる。

多重防護による効果については、A) 水産関連施設・漁船等の物的被害の軽減に係る効果、B) 避難可能人数の増大に伴う漁業関係者・住民等の人的被害の軽減に係る効果、C) 漁港、漁船、市場及び加工場など漁業生産機能等の維持に伴う漁業・水産加工業の生産被害の軽減に係る効果、D) 防潮堤の高さを低く抑えることに伴う、背後用地の利活用、漁業活動・生活の利便性の向上及び集落景観の維持に係る効果など多様な効果が考えられる。

このため、多重防護による便益（貨幣換算が可能な効果）については、物的被害、人的被害及び漁業生産被害の軽減に係る便益が考えられ、その総和とする。

#### 【解説】

津波対策を講じた場合の、物的被害、人的被害及び漁業生産被害に係る便益の捉え方は、次表のとおり整理することができる

被害種別	便益の捉え方
物的被害	津波シミュレーション等を用いて、多重防護による対策前後の浸水域の範囲や浸水高等から被害額の差を便益として捉えることができる。
人的被害	津波の到達時間の遅延等によって被災を免れる人（避難可能人数）の増加分を便益として捉えることができる。ここで、人的被害を貨幣化し便益として計上する際には、対策後において避難不可能な人がどの位置に何人残るのかを明確にし、さらなる対策を検討する材料として活用することを条件とする。
漁業生産被害	津波対策を講じた場合と対策を講じない場合の漁業生産被害等の差を便益として捉えることができる。なお、漁業生産被害に係る効果については、漁業者等民間の自主的な対策（例えば、荷さばき所内の設備を津波浸水高以上のところに設置するなど）を併せて実施することで、より効果（便益）が大きくなることが期待できる。

対策を講じることによって想定される便益額は、次式にて算定する。

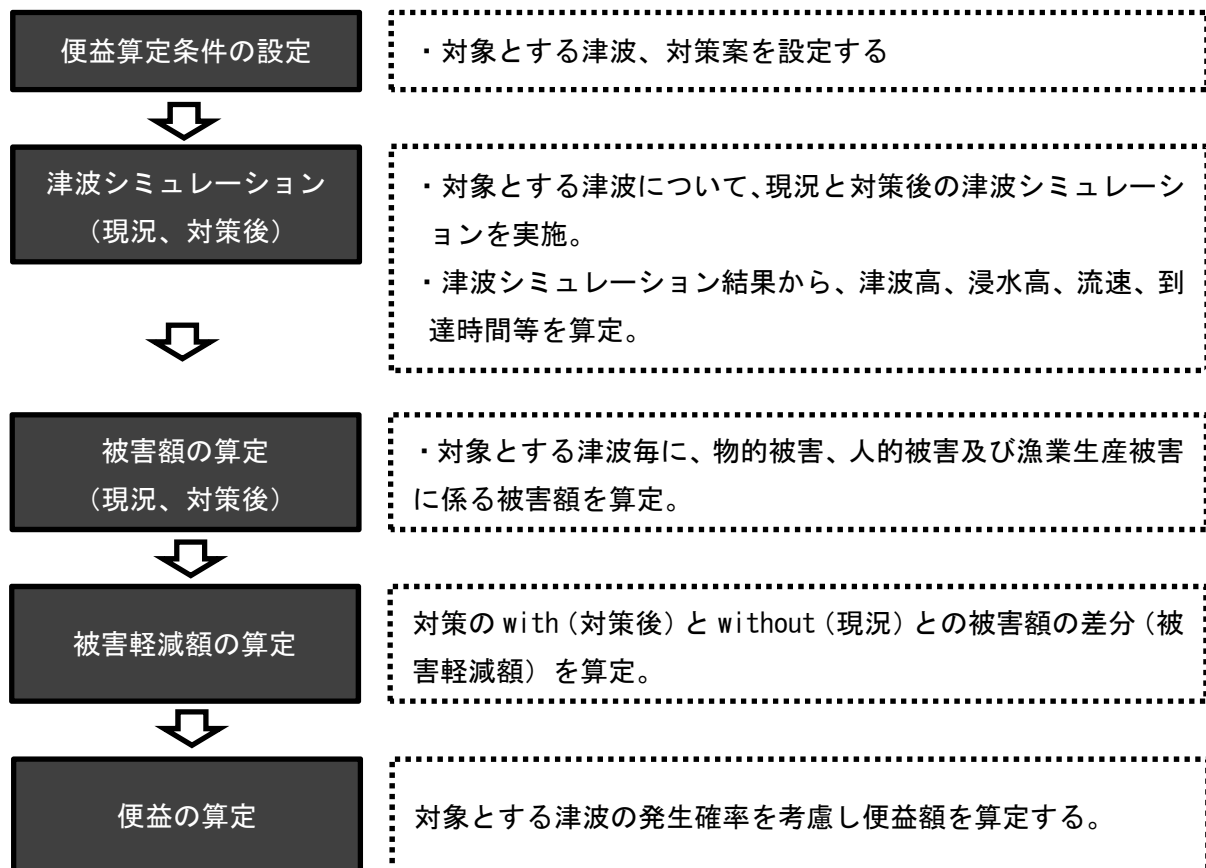
$$\begin{aligned}\text{便益額 (B)} &= \text{対象とする津波に対する、発生確率を考慮した被害軽減額の総和} \\ &= \sum ((d1 - d2) \times \text{発生確率})\end{aligned}$$

ここで、

d1 : 対象とする津波に対する、発生確率を考慮した without 時（現況）の被害額（円）

d2 : 対象とする津波に対する、発生確率を考慮した with 時（対策後）の被害額（円）

#### <便益算定フロー>



## (2) 物的被害

防波堤、防潮堤等によって津波を低減することで、漁港施設（機能施設を含む。）、漁港施設以外の公共土木施設、漁船、家屋、事業所、農地等の資産を保全する効果が考えられる。

具体的には、防波堤等が津波浸水高や流速を低減し、浸水範囲の減少が図られることにより、各種資産の被害額が減少する効果が期待される。

効果計測の対象とする項目としては、以下のものを基本とする。

- |                 |                 |
|-----------------|-----------------|
| 1) 一般資産額（家屋等）   | 4) 一般資産額（農漁家資産） |
| 2) 一般資産額（家庭用品等） | 5) 農産物被害        |
| 3) 一般資産額（事業所資産） | 6) 公共土木施設等被害    |

### 【解説】

#### 1) 一般資産額（家屋等）

一般資産額（家屋等）は、海岸事業の費用便益分析指針に示された次式にて算定する。

$$\text{家屋等} = \text{家屋等平均床面積} \times \text{家屋等数} \times \text{家屋等 } 1\text{m}^2 \text{ 当り単価} \times \text{被害率}$$

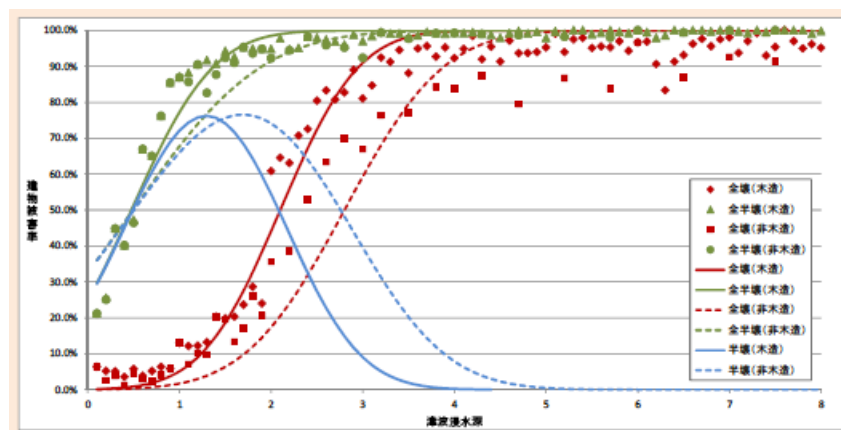
ここで、

家屋等平均床面積：県・市町村統計書データ

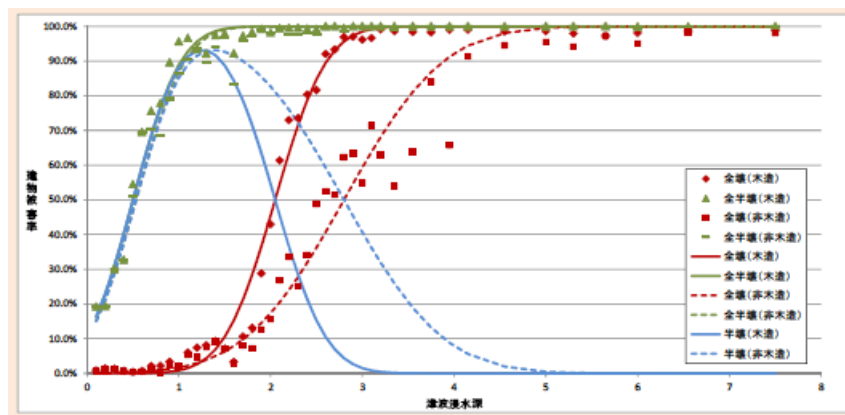
家屋等  $1\text{m}^2$  当り単価：治水経済調査マニュアル（案）数値

被害率：中央防災会議 内閣府、2012 年）「南海トラフの巨大地震建物被害・人的被害の被害想定項目及び手法の概要」での調査結果を参考にすることができる。

＜人口集中地区外の木造損壊割合＞



### ＜人口集中地区の木造損壊割合＞

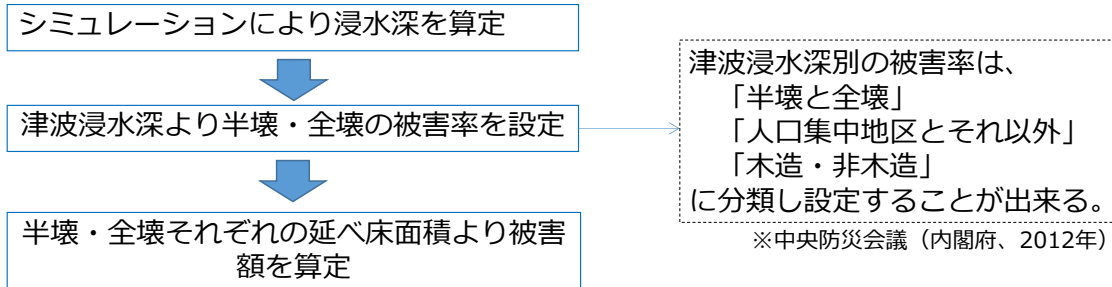


### ■具体的算定方法（家屋被害）

家屋被害額の算定に用いる被害率は、既往の知見による調査結果を踏まえて設定する。

ここで、中央防災会議（内閣府、2012年）により、津波浸水深と被害率について背後の状況により、「半壊と全壊」「人口集中地区と人口集中地区以外」、及び「木造と木造以外」で分類し調査が行われている。

被害額算定にあたっては、津波浸水深による被害額の変化を設定する必要があることから、上記調査結果を踏まえ、また、半壊の被害額が全壊の半分であると仮定し被害率を設定し、被害額を算定することができる。



### ◇半壊家屋、全壊家屋の延床面積算定

#### 【算定例】

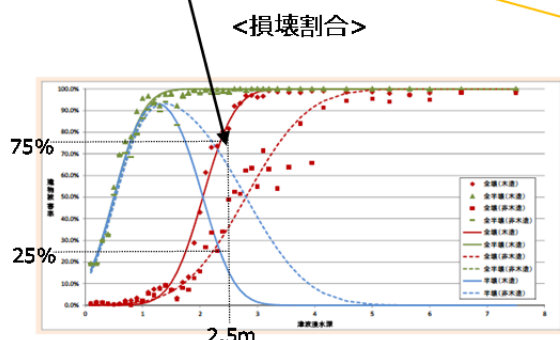
・対象エリアの浸水深から、図＜損壊割合＞を用いて半壊家屋の割合、全壊家屋の割合を設定する。

・例えば、浸水深が2.5mの区域は、半壊が25%、全壊が75%の割合であることが分かる。

- ・ 浸水深2.5mの区域の家屋延床面積が120m<sup>2</sup>の場合

$$\begin{aligned} \text{半壊家屋の延床面積} &= \text{区域の家屋延床面積} \\ &\times \text{半壊の割合} \\ &= 120 \times 0.25 = 30\text{m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{全壊家屋の延床面積} &= \text{区域の家屋延床面積} \\ &\times \text{全壊の割合} \\ &= 120 \times 0.75 = 90\text{m}^2 \end{aligned}$$



- ・ 区域毎に、その区域の浸水深に対する損壊割合を用いて、上記の計算を行い、それを積算することで、全体の半壊・全壊家屋の延床面積を算定する。

出典：中央防災会議（内閣府、2012年）  
（南海トラフの巨大地震建物被害・人的被害の被害想定項目及び手法の概要）

# ◇家屋被害額の算定

- 家屋被害額は、半壊の場合は建設費の半額、全壊の場合は建設費の全額であると設定し、2つを足し合わせて算定する。
- 浸水域の半壊家屋の延床面積が300m<sup>2</sup>、全壊家屋の延床面積が900m<sup>2</sup>の場合、(1m<sup>2</sup>当たり単価が16万円として)

家屋被害額 = 1m<sup>2</sup>当たり単価 × 半壊家屋延床面積 × 0.5

半壊は建設費の半額

+ 1m<sup>2</sup>当たり単価 × 全壊家屋延床面積 × 1.0

全壊は建設費の全額

= 16 × 30 × 0.5 + 16 × 90 × 1.0  
= 1,680万円



浸水域の半壊家屋の延床面積300m<sup>2</sup>  
浸水域の全壊家屋の延床面積900m<sup>2</sup>

- 更に、木造・非木造について、別々に半壊・全壊の割合を設定し、木造・非木造の違いを考慮する。

## ■一般資産の被害算定に必要なデータ

一般資産の各項目に対する被害算定のため、以下のデータを収集する。

被害項目	必要データ項目	各データの収集先(事例)
(1) 家屋	① メッシュ内家屋延床面積[m <sup>2</sup> ]	(一財)日本建設情報総合センター 延床面積データ (100mメッシュ)
	② 家屋1m <sup>2</sup> 当たり単価[千円/m <sup>2</sup> ]	各種資産評価単価及びデフレーターp.1
(2) 家庭用品	① 世帯数[世帯]	(公財)統計情報研究開発センター 地域統計メッシュ統計国勢調査 (500mメッシュ)
	② 1世帯当たり家庭用品評価額[千円/世帯]	各種資産評価単価及びデフレーターp.1
(3) 事業所資産	① 産業大分類別従業者数[人]	(公財)統計情報研究開発センター 地域統計メッシュ統計企業調査 (500mメッシュ)
	② 産業大分類別作業員1人当たり償却・在庫資産単価[千円/人]	各種資産評価単価及びデフレーターp.4.5の表
(4) 農漁家資産	① 農漁家数[戸]	(公財)統計情報研究開発センター 地域統計メッシュ統計国勢調査 (500mメッシュ)
	②-1 農漁家1戸当たり償却資産単価[千円/戸]	各種資産評価単価及びデフレーターp.8
	②-2 農漁家1戸当たり在庫資産単価[千円/戸]	各種資産評価単価及びデフレーターp.8

## 【参考】地震保険の損害度合いによる保険金支払い額

半損の保険金の支払い額が全損の 50%であることから、半壊の被害額を全壊の 50%に設定できる。

	建物・家財	基準
全損	ご契約金額の 100% (時価が限度)	地震等により損害を受け、主要構造部(土台、柱、壁、屋根等)の損害額が、時価の 50%以上である損害、または焼失もしくは流失した部分の床面積が、その建物の延床面積の 70%以上である損害
半損	ご契約金額の 50% (時価の 50%が限度)	地震等により損害を受け、主要構造部(土台、柱、壁、屋根等)の損害額が、時価の 20%以上 50%未満である損害、または焼失もしくは流失した部分の床面積が、その建物の延床面積の 20%以上 70%未満である損害
一部損	ご契約金額の 5% (時価の 5%が限度)	地震等により損害を受け、主要構造部(土台、柱、壁、屋根等)の損害額が、時価の 3%以上 20%未満である損害、または建物が床上浸水もしくは地盤面より 45cm をこえる浸水を受け損害が生じた場合で、全損・半損に至らないとき

財務省HPより

## 2) 一般資産額（家庭用品）

一般資産額（家庭用品）は、海岸事業の費用便益分析指針に示された下式にて算定する。

$$\text{家庭用品} = \text{世帯数(家屋等数)} \times 1 \text{ 世帯当り家庭用品評価額} \times \text{被害率}$$

ここで、

世帯数：県・市町村統計データ

1 世帯当り家庭用品評価額：治水経済調査マニュアル（案）数値

被害率：中央防災会議（内閣府、2012 年）「南海トラフの巨大地震建物被害・人的被害の被害想定項目及び手法の概要」での調査結果を参考にすることができる。

## 3) 一般資産額（事業所資産）

一般資産額（事業所資産）は、海岸事業の費用便益分析指針に示された下式にて算定する。

$$\text{事業所資産被害} = \text{従業員数} \times \text{従業員 1 人当たり平均事業所資産額} \times \text{被害率}$$

$$= \left\{ \sum_{\text{産業大分類}} (\text{産業大分類別従業員数} \times \text{産業大分類別従業員 1 人当たり償却・在庫資産単価}) \right\} \times \text{被害率} \quad \text{※メッシュ毎のデータが入手できる場合}$$

ここで、

従業員 1 人当たり平均事業所資産額 =  $\Sigma$ （産業大分類別従業員 1 人当たり償却・在庫資産単価 ×（当該市町村産業別従業員数 ÷ 当該県・市町村従業員総数））

産業大分類別従業員 1 人当たり償却・在庫資産単価：治水経済調査マニュアル（案）数値

当該市町村産業別従業員数：県・市町村統計書データ

当該県・市町村従業員総数：県・市町村統計書データ

被害率：中央防災会議（内閣府、2012 年）「南海トラフの巨大地震建物被害・人的被害の被害想定項目及び手法の概要」での調査結果を参考にすることができる。

一般資産の各項目に対する被害算定に際しては、前述の「■一般資産の被害算定に必要なデータ」を収集する。

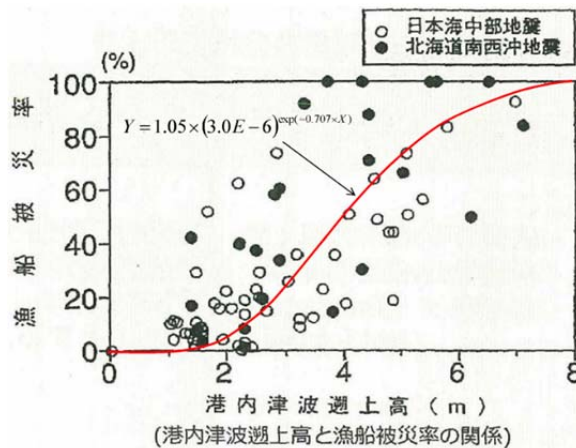
#### 4) 一般資産額（農漁家資産）

- ① 一般資産額（農漁家資産）のうち、漁船被害額は下式にて算定する。

$$\text{漁船被害額} = \text{漁船トン数} \times \text{漁船建造費（1トン数当たりの建造費）} \times \text{被害率}$$

ここで、

被害率：明田らの調査結果を参考にすることができる。



出典：明田ら「防波堤による津波被害の低減効果について」  
(1994年、開発土木研究所月報 No. 494) に一部加筆

#### ■ 具体的算定方法（漁船被害）

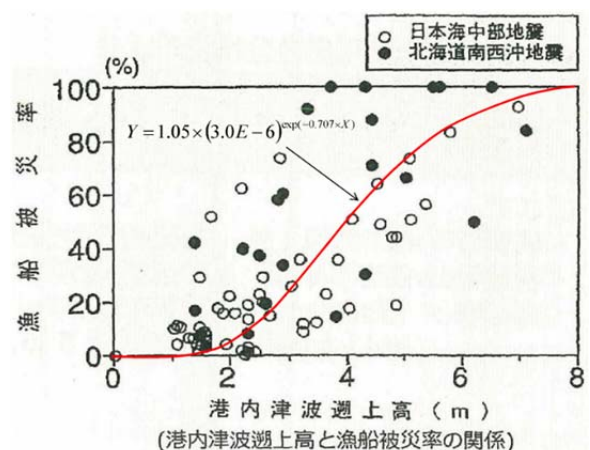
漁船被害額の算定に用いる被害率は、最新の知見による調査結果を踏まえて設定する。

ここで、明田ら（1994年）により、港内津波遡上高と漁船被害率について調査が行われている。被害額算定にあたっては、港内津波遡上高による被害額の変化を設定する必要があることから、上記調査結果を踏まえ被害率を設定し、被害額を算定してもよい。

シミュレーションにより港内津波遡上高を算定

港内津波遡上高より漁船被害率を設定

対象水域に停泊している漁船隻数及び漁船単価に被害率を乗じて被害額を算定



#### 被災した漁船総トン数

- ・ヒアリング、現地調査により、係留されている場所での漁船トン数データを整理する（下表）。
- ・各区域の津波高を、予測結果から抽出し、津波高に応じて被害率を判定し、各区域の漁船トン数と被害率を乗じて、被害を受けた漁船トン数を算定する。

(例)

港区	種類	平均規模 (t/隻)	隻	t数	津波高 (m)	被害率	被害t数
東側	船外機船	1	61	61	4.89	0.70	321
	3t程度	3	65	195			
	5t程度	5	40	200			
	小計		166	456			
中央	船外機船	1	37	37	4.16	0.54	136
	3t程度	3	49	147			
	5t程度	5	14	70			
	小計		100	254			
西側	船外機船	1	36	36	5.02	0.73	109
	3t程度	3	28	84			
	5t程度	5	6	30			
	小計		70	150			
合計			336	860			566

#### 被害額の算定

・被害を受けた漁船トン数に、漁船建造費を乗じて、漁船被害費を算定する。

※ 漁船建造費（1トン数当たりの建造費） 3,690 千円/トン 出典：漁船第 311 号

② 一般資産額（農漁家資産）のうち、蓄養殖施設被害額は下式にて算定する。

$$\text{蓄養殖施設被害額} = \text{被害蓄養殖施設数} \times \text{施設単価} \times \text{被害率}$$

ここで、

被害率：流速 1m/s 未満→被害無し、流速 1m/s 以上→被害率 1（流失による全損）

（参考文献：首藤（2000）「津波対策小史」）

蓄養殖施設が流出したことによる、被災後の生産被害についても考慮する。

#### ■具体的算定方法（蓄養殖施設被害）

- ・ 漁港内又は漁港近傍に蓄養殖施設（下図）がある等、整備により流失の被害軽減効果が考えられる場合には、それを便益に換算する。
- ・ 蓄養殖施設だけでなく、蓄養殖している魚介類の損失も被害として考慮する。
- ・ 流速 1m/s 以上で係留物の流失が発生するため、被害率は、以下のように設定する。ここで、蓄養殖施設がロープ等で一体的に連結している場合等には、1つの施設が被災すると連動して被災することに留意する。



③ その他農漁家資産については、海岸事業の費用便益分析指針より下式にて算定する。

$$\text{農漁家資産} = \text{農漁家 1 戸当たり償却} \cdot \text{在庫資産単価} \times \text{農漁家数} \times \text{被害率}$$

ここで、

農漁家 1 戸当たり償却・在庫資産単価：治水経済調査マニュアル(案)数値

被害率：中央防災会議（内閣府、2012 年）「南海トラフの巨大地震建物被害・人的被害の被害想定項目及び手法の概要」での調査結果を参考にすることができる。

## 5) 農産物被害

農作物に関連する被害として、以下の3項目があり、次式にて算定する。

- ① 農作物：津波来襲時に栽培していた作物の被害額
- ② 農地被害額：津波によるほ場の損壊に対する復旧費
- ③ 「海水冠水による農地被害」：津波来襲後の生産量減少に関する被害額

農作物＝農作物単価×農作物面積当たり収穫量×耕作面積（田、畑別）×被害率

農地被害額＝単位面積当たりほ場整備費（田、畑別）×耕作面積（田、畑別）×36.1%

海水冠水による農地被害＝農作物単価×農作物面積当たり収穫量×耕作面積（田、畑別）×3

ここで、

農作物単価：治水経済調査マニュアル(案)数値

農作物面積当たり収穫量：農林水産統計データ

農作物の被害率：海水による冠水の場合は通常“1.0”として計測する。

農地被害額の“36.1%”は、被害率（浸水した耕作面積に対し被害を受けた耕作面積の割合）である。

⇒現在、高潮・津波による被害率の研究データは存在しないため、暫定的に「河川堤防決壊による農地災害の復旧に関する調査」示された被害率である36.1%を使用するとしている。

海水冠水による農地被害の“3”は、被災年の被害額（①農作物）とは別に、翌年から将来5年間にわたり合計3年分の減収となることを表している。

⇒出典：「干拓地の営農確率をめざして」の減収率の関係。

### ■農地資産の被害算定に必要なデータ

農地資産の各項目に対する被害算定のため、以下のデータを収集する。

被害項目	必要データ項目	各データの収集先(事例)
(1) 農作物	① 耕作面積(田畑別) 田[m <sup>2</sup> ]	国土交通省国土政策局 国土数値情報 土地利用細分メッシュデータ
	畑[m <sup>2</sup> ]	国土交通省国土政策局 国土数値情報 土地利用細分メッシュデータ
	② 農作物面積当たり収穫量(田畑別) 田[t/m <sup>2</sup> ]	農林水産省HPの当該市データと各種資産評価単価及びデフレーターより算出
	畑[t/m <sup>2</sup> ]	農林水産省HPの当該市データと各種資産評価単価及びデフレーターより算出
	③ 農作物単価(田畑別) 田[千円/t]	各種資産評価単価及びデフレーターp.10
	畑[千円/t]	各種資産評価単価及びデフレーターp.10
(2) 農地被害額	① 浸水区域内面積(田畑別) 田[m <sup>2</sup> ]	国土交通省国土政策局 国土数値情報 土地利用細分メッシュデータ
	畑[m <sup>2</sup> ]	国土交通省国土政策局 国土数値情報 土地利用細分メッシュデータ
	② 単位面積当たりほ場整備費(田畑別) 田[千円/m <sup>2</sup> ]	当該市の農業の振興に関する計画等の値等より算出
	畑[千円/m <sup>2</sup> ]	当該市の農業の振興に関する計画等の値等より算出
(3) 海水冠水による農地被害額	① 耕作面積(田畑別) 田[m <sup>2</sup> ]	国土交通省国土政策局 国土数値情報 土地利用細分メッシュデータ
	畑[m <sup>2</sup> ]	国土交通省国土政策局 国土数値情報 土地利用細分メッシュデータ
	② 農作物面積当たり収穫量 田[t/m <sup>2</sup> ]	農林水産省HPの当該市データと各種資産評価単価及びデフレーターより算出
	畑[t/m <sup>2</sup> ]	農林水産省HPの当該市データと各種資産評価単価及びデフレーターより算出
	③ 農作物単価(田畑別) 田[千円/t]	各種資産評価単価及びデフレーターp.10
	畑[千円/t]	各種資産評価単価及びデフレーターp.10

## 6) 公共土木施設等被害

公共土木施設等被害は、海岸事業の費用便益分析指針より、防護地域内に存在する資産額を積み上げることににより算出することとしているが、概して積み上げ方式による算出が困難のため、一般資産被害額との比率により算定している。積み上げ方式による算出が困難な場合は、水害統計に記載されている水害のうち、海岸災害（波浪、津波、高潮）による一般資産被害額と、公共土木施設被害額、公益事業等被害額（営業停止額を除く）の間の過去 26 年間の平均比率を便宜的に使用し、公共土木施設被害額、公益事業等被害額を算定する（下表）。

被害率の比率【全国】（過去 26 年間の平均値）

一般資産等被害額	公共土木施設被害額	公益事業等被害額
100	180	3

注 1：一般資産被害額を 100 とした場合の各資産被害額の比率（％）

注 2：被害額は、公共事業のデフレーターを用いて補正

漁港の構造物、海岸保全施設については、積み上げ方式により算出する。予測により、構造物の越流水深で、構造物の損壊判定を行い、下式により被害額を算定する。

$$\text{被害額} = \sum \text{損壊した施設延長 (m)} \times \text{単位延長当たりの事業費 (千円/m)}$$

### ■ 公共土木施設等の被害算定に必要なデータ

公共土木施設（漁港施設、海岸保全施設等）の被害算定のため、以下のデータを収集する。

被害項目	必要データ項目	各データの収集先（事例）
岸壁	① 単位延長当たりの事業費[千円/m]	漁港施設台帳
外郭施設	① 単位延長当たりの事業費[千円/m]	漁港施設台帳
海岸保全施設	① 単位延長当たりの事業費[千円/m]	漁港施設台帳

### (3) 人的被害

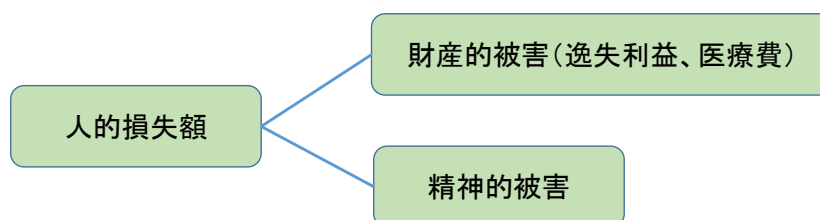
防波堤、防潮堤等によって津波を低減することで、被災を免れる人（避難可能人数）が増加する効果が考えられる。具体的には、防波堤等が津波到達時間を遅延させ、避難時間が増加することによって、避難可能人数の増大効果が期待される。

便益計上の対象となる項目としては、軽減される人的損失額（逸失利益、精神的損害額）を基本とする。ただし、人的損失については、貨幣化を行うことができるものとするが、対策後において避難不可能な人がどの位置に何人残るのかを明確にし、さらなる対策を検討する材料として活用することを条件とする。

#### 【解説】

対策により被災を免れる人（避難可能人数）は、対策前後における数値シミュレーションにより算定する、対策を講じた場合と講じない場合の避難可能人数の差分により算定する。

ここで、人的損失額は、「水産基盤整備事業費用対効果分析のガイドライン」の“災害時の避難経路及び避難場所の確保効果”の考え方を基本とする。



ただし、津波による避難を対象としていることから、死亡のみを対象とし医療費については対象には入れていない。

対策を講じることによって想定される被害額は、水産基盤整備事業費用対効果分析のガイドライン（災害時の避難経路及び避難場所の確保効果）より下式にて算定する。

$$\text{被害額}(d) = N \times (dl + dm)$$

ここで、

N：避難可能人数の差分（人）※<sup>1</sup>

dl：1人当り逸失便益（円／人）※<sup>2</sup>

dm：1人当り精神的損害額（円／人）※<sup>3</sup>

※<sup>1</sup>：Nについては、津波対策を講じた場合と講じない場合を想定した津波シミュレーション結果等の差分から算定

※<sup>2</sup>：逸失便益＝ $\Sigma$ （年収－生活費）×（ライフニッツ係数\*）

※<sup>3</sup>：精神的損害額は、被災者やその家族及び友人等が被る痛み、苦しみ、悲しみ、生活の質の低下等の非金銭的損失

\* ライフニッツ係数は、住民データ等より、対象地域の平均年齢を区分別に算出し、ライフニッツ係数表より各区分の平均年齢に対応する値とする。

(千円)

区 分		使用する年収		生活費 控除割合	年収－ 生活費	平均 年齢	ライフニッツ 係数
地域住民	男性	男性労働者の全年齢平均賃金	4,348	45%	2,391	57歳	9.014
	女性	女性労働者の全年齢平均賃金	3,218	35%	2,092	60歳	9.815

1) 年収:厚生労働省大臣官房統計情報部「賃金構造基本統計調査

2) 生活費控除:(財)日弁連交通事故相談センター東京支部共編「民事交通事故訴訟損害賠償額算定基準」

水産基盤整備事業に係る人的被害の算定にあたっては、「公共事業評価の費用便益分析に関する技術指針（国土交通省）」の手法により貨幣化することを基本とする。

**精神的損害額**：「交通事故の被害・損失の経済分析に関する調査研究報告書（内閣府）」で  
取り纏められたCVMにより計測した額

**逸失便益**：ライフニッツ法

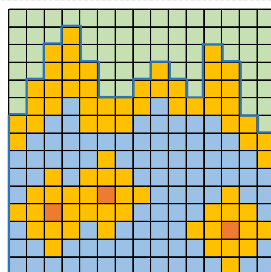
また、水産基盤整備事業における人的被害の取扱いについては、人的被害を定量化することは、貨幣化して便益として計上すること以外に、人的被害を算定する過程において、避難不可能な人がどの位置に何人残るのかを明確にすることができることから、事業評価を行う際には、費用対効果分析において貨幣化するだけでなく、人的被害の状況及びさらなる対策を検討する材料として活用することを条件とする。

(例)

費用対分析結果		人的被害状況			今後の検討方針
B/C	2.5	軽減死者数	L1	30人	避難不可能な200名を収容可能な避難施設整備を検討する。
B	2,000百万円		L2	100人	
(内人的損害額)	950百万円	避難不可能人数	L1	80人	
C	800百万円		L2	200人	

#### 【対策検討のイメージ】

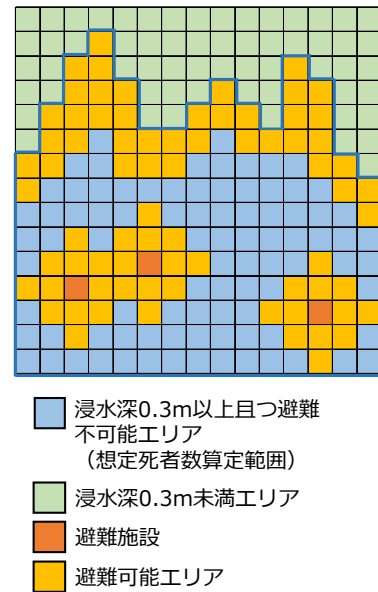
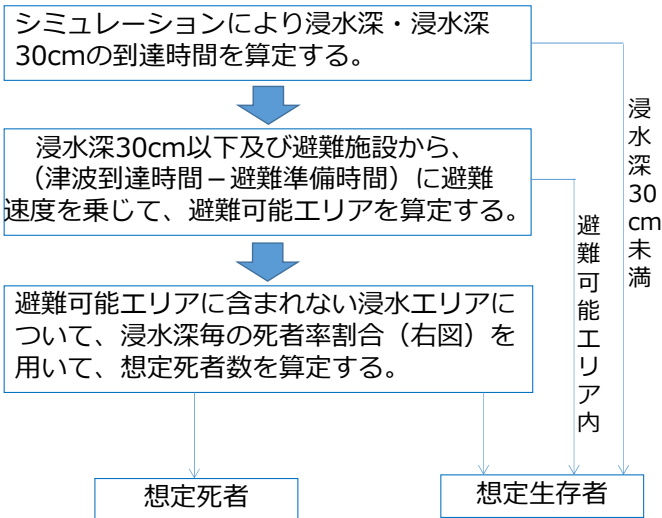
右図の青色のエリアが避難不可能エリアとなるので、青色のエリアが無くなるように避難施設を整備することも考えられる。



- 浸水深0.3m以上且つ避難不可能エリア  
(想定死者数算定範囲)
- 浸水深0.3m未満エリア
- 避難施設
- 避難可能エリア

## ■ 具体的算定方法（手法 1）

避難可能時間を踏まえた避難不可能人数を対象に、浸水深毎の死者の割合から算出する。



### ① 要避難エリアの算定

要避難エリアは、浸水深 0.3m 以上のエリアとする。

### ② 避難可能エリアの算定

避難可能エリアは、浸水深 30cm 以下及び避難施設から、（津波到達時間－避難準備時間）に避難速度を乗じた下式により算定する。

（津波到達時間－避難準備時間）×避難速度 ≥ 避難エリア外又は避難施設までの距離

#### 津波到達時間

- ・ 浸水深 30cm に達するまでの時間を津波到達時間とする。

#### 避難準備時間

- ・ 避難準備時間は、地震（津波）規模や地方自治体などの設定に基づき設定する。

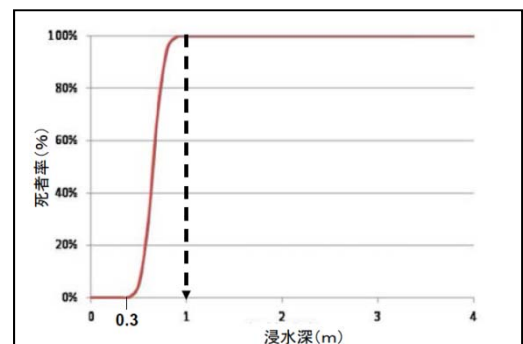
#### 避難速度

- ・ 防災計画等により設定されている避難速度を用いる。ここで、設定がなされていない場合には 2.65 km/h\*を参考としても良い。

\*中央防災会議（2012）、南海トラフ巨大地震の被害想定について（第一次報告、東日本大震災の実績）

### ③ 想定死者数の算定

避難不可能人数は、浸水深 30cm 以上から避難可能エリアを除いたエリア避難不可能人数を対象として、各地点の浸水深に浸水深別死者数率（右図）を用いて算定する。



津波に巻き込まれた場合の死者率（内閣府（2012年））

## ■ 人的被害の算定に必要なデータ

人的被害算定のため、以下のデータを収集する。

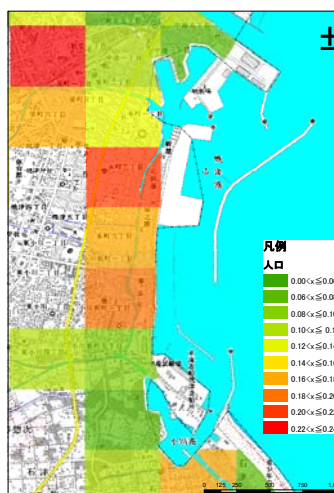
被害項目	必要データ項目	各データの収集先(事例)
人的被害	① 対象区域人口[人] (津波予測のメッシュ毎、または、施設毎)	(公財)統計情報研究開発センター 地域統計メッシュ統計国勢調査 (500mメッシュ) または、漁港管理者、関係者へのヒアリング
	② 避難可能人数[人] (浸水深区分毎に算出)	避難予測結果
	③ 避難場所位置 ※避難予測に用いる	当該市防災地図・避難タワーリスト(市より収集)
	④ 1人当たり精神的損失額(非金銭的損失)	交通事故の被害・損失の経済的分析に関する調査研究報告書 H19年 内閣府
	⑤ 平均収入[千円]	当該市の統計資料等より算出
	⑥ 平均年齢[歳] ※ライブニッツ係数算定に用いる	平成22年国勢調査人口等基本集計(総務省統計局)

### 対象区域の人口データ

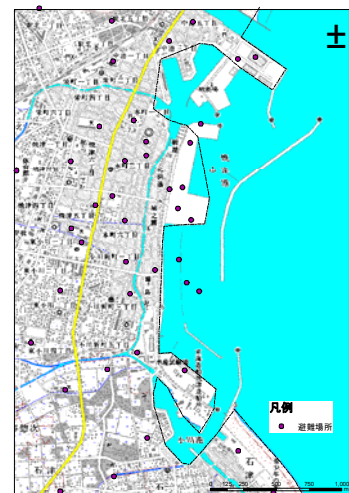
- 例えば、(公財)統計情報研究開発センターから提供される、500mメッシュの地域統計メッシュ統計国勢調査結果等の人口データを用い、予測メッシュサイズに按分する。

### 避難場所

- 地方自治体の地域防災計画、ヒアリング等により、避難場所のデータを手入・整理する。



人口データ



避難場所マップ

## ■ 具体的算定手法（手法2）

到達時間の違いによる避難不可能者数を計算せず、浸水深のみで避難不可能者数を算定する。

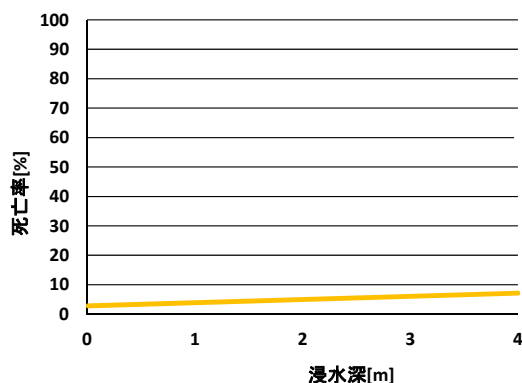
想定死者数は下式により算定する。

$$\text{想定死者数} = \sum (\text{浸水区域内人口} \times \text{死亡率})$$

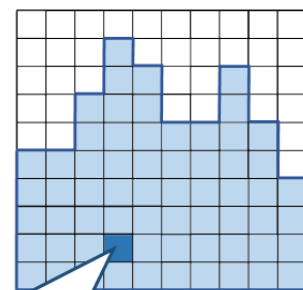
ここで、死亡率は下式により算定する。

$$\text{死亡率} = 0.0282 \times \exp(0.2328 \times \text{その区域の浸水深})$$

※出典：中央防災会議(2009)  
東南海、南海地震等に関する専門調査会



(例)



浸水区域内人口 100人  
浸水深 1.5m

左図より死亡率 4%  
→想定死者数を算定

#### (4) 漁業生産被害

防波堤、防潮堤等によって津波を低減することで、漁業生産機会の損失を軽減する効果やこれに伴って地域の経済活動の低下を抑制する効果が考えられる。

具体的には、防波堤等が津波浸水高や流速を低減し、浸水範囲の減少が図られることにより、漁業生産活動に必要な施設の被害が軽減され、漁業生産活動の停止期間の短縮による漁業生産機会損失額の軽減効果が期待されるとともに、水産物流通及び水産加工生産量の減少の軽減効果が期待される。

便益計上の対象となる項目としては、漁業生産額、漁業者所得、漁協及び関連する水産物流・加工業の売上等を基本とする。

#### 【解説】

対策を講じることによって想定される被害軽減額は、次式にて算定する。

$$\begin{aligned}\text{水産物生産の被害軽減額 (D)} &= \\ &= \sum (d1 - d2) \\ &= \sum \{(S - S1) - (S - S2)\} \\ &= \sum (S2 - S1)\end{aligned}$$

※ 一震災で生産被害を受けると想定される期間を対象に積分を行う

ここで、

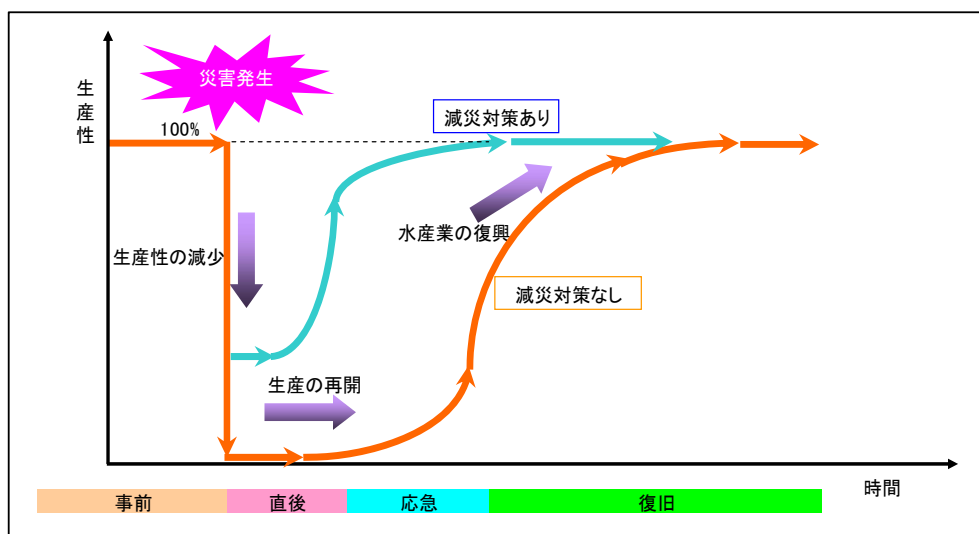
d1 : without (対策無し) 時の生産被害額 (円) [=S-S1]

d2 : with 時 (対策後) の生産被害額 (円) [=S-S2]

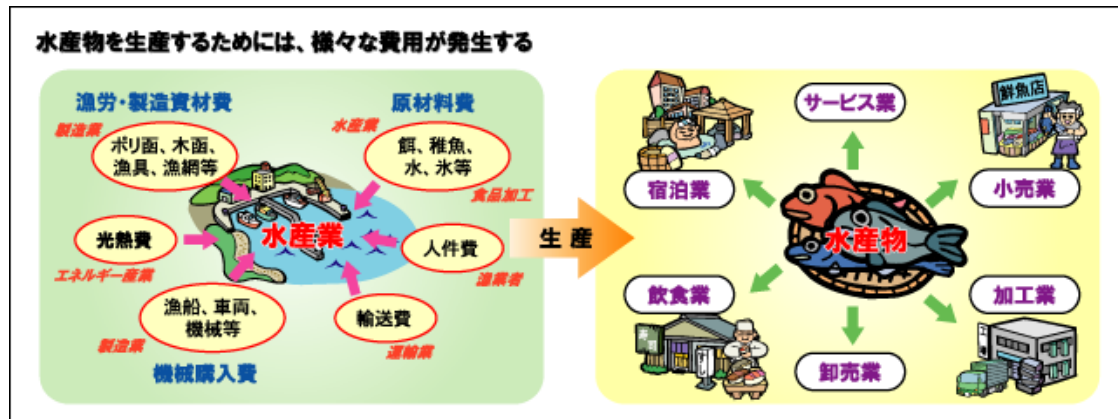
S : 常時の生産額 (円)

S1 : without (対策無し) 時の災害時の生産額 (円)

S2 : with 時 (対策後) の災害時の生産額 (円)

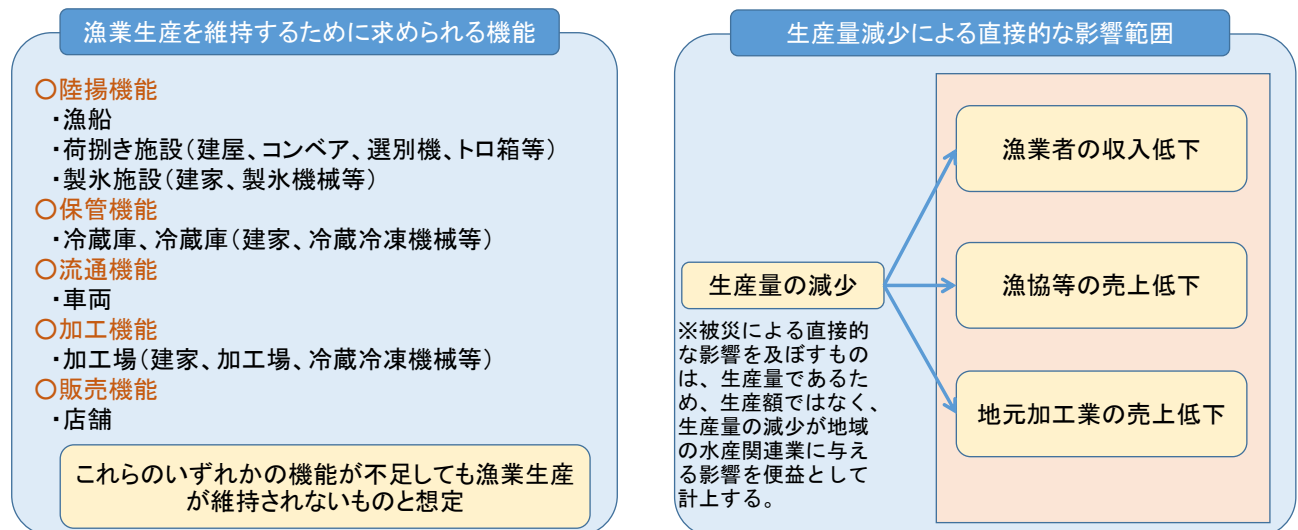


対策実施による漁業生産回復イメージ



漁業生産からの波及イメージ

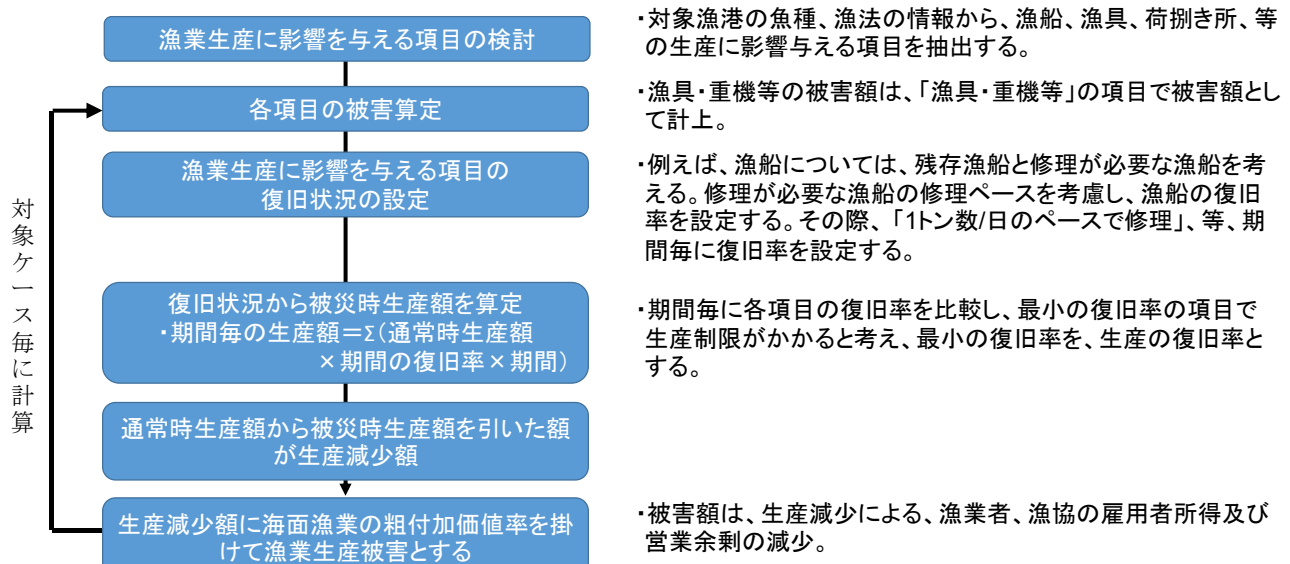
## ■ 具体的算定手法



### 1) 直接被害

漁業生産被害のうち、各ケース毎の直接被害の算定フローは以下のとおりである。

なお、算定に当たっては対象地区の近傍に漁港などの代替機能がある場合、これにより経済損失が軽減されることから、周辺の状態も考慮に入れて被害算定を行うものとする。



## 漁業生産に影響を与える項目の検討

### 【事例】A漁港

- ・活魚・鮮魚が主である。
- ・運送トラックへの積み込みは荷捌き所で行っている。
- ・漁具が漁港内に置かれている。



- ・荷捌き所が復旧していないと、発送ができないため、荷捌き所の復旧状況に影響を受ける。
- ・漁具が流失すれば、漁ができないため、漁具の復旧状況に影響を受ける。
- ・漁船の被害状況に影響を受ける。

## 各項目の被害算定（１） 荷捌き施設等（例）

- ・下表のように、生産に影響を与える施設について、ヒアリング等により、面積等のデータを収集する。
- ・浸水予測結果から、生産に影響を与える施設の被害状況を算定する。

### 【荷捌き所の被害状況】

港区	建物名	面積(m <sup>2</sup> )	浸水深(m)	被害率	被害面積(m <sup>2</sup> )
西側	荷捌き所	309	3.11	0.76	236
東側	荷捌き所	406	3.15	0.77	312
合計		715			548

- ・各荷捌き所の被害率から、全荷捌き所面積に対する、被害面積を算定する。
- ・被害率は、家屋被害の算定に準ずる。

## 各項目の被害算定（２） 漁具・重機等（例）

- ・生産に影響を与える漁具・重機等について、ヒアリング等により、設置高、被害率を設定する。

施設名	項目	種類	単価 [千円]	資産額 [千円]	被害率算定		浸水深 [m]	被害率	被害額 [千円]	施設合計 [千円]
					被害算定	被害率				
荷捌き所	トラック	1	10,000	10,000	0.5 全損	1	3.11	1.0	10,000	28,290
	普通車	5	2,000	10,000	0.5 全損	1		1.0	10,000	
	フォークリフト	1	3,000	3,000	0.5 全損	1		1.0	3,000	
	いけす	4	1,000	4,000	1 モーター、電線破損 修理費2500千円/台とする	0.5		1.0	4,000	
	海水ポンプ	1	500	500	2 喪失 全損	1	3.31	1.0	500	
	カゴ、バレット等			790	0.2 モーター破損 修理費200千円/台とする	0.4		1.0	790	
					1 転倒 全損	1		1.0	790	
冷凍庫	冷凍装置			28,066	0.6 受電施設修理	0.2	3.31	0.6	17,320	84,351
					1 室外機、受電施設修理	0.6				
					4 全損	1				
北岸壁	右岸			67,031	0.5 陥没	1		1.0	67,031.05	0
	漁具	0	200	0	1 全て流失	1	3.00	1.0	0	
	普通車	10	2,000	20,000	0.5 全損	1		1.0	20,000	

- ・被害を算定する重機等を設定し、浸水深 H に対する被害を設定する。

#### 例：冷凍装置

0.6 ≤ H < 1.0 受電施設浸水のため修理。費用は、冷凍装置資産額の20%

1.0 ≤ H < 4.0 更に、室外機浸水のため修理。費用は、資産額の50%

4 ≤ H 全損。費用は資産額の100%

なお、設置高が高ければ、その分、高い浸水深でも被害を受けないため、各設備の被害率設定では、設置高を考慮する。

例：写真の受電施設は地盤高から0.5m上に設置されている。浸水深がそこから0.1m深くなれば被害が発生するため、H ≥ (0.5+0.1=0.6m)から被害が発生する。

### 冷凍庫



冷凍庫の受電施設  
地盤から0.5m上に設置されている。

## 漁業生産に影響を与える項目の 復旧状況の設定

- ・影響を与える項目（事例では、荷捌き所、漁具、船舶）について復旧状況を算定する。

- ・復旧率は、ヒアリング、東日本大震災の事例、既往文献を参考に適切に設定する。

ここで、復旧状況は津波の規模により異なるので、被害額を算定するL1、L2それぞれ設定することが望ましい。ここでは、L1の事例が少ないため、東日本大震災の事例を踏まえ想定する。

### 【例：荷捌き所】

東日本大震災の事例によれば、約3ヶ月で市場再開を目標とし、荷捌き所を使用可能にできた例が多い。

出典：H22～H24年度水産白書（以下、水産白書）、

「東日本大震災による水産関連施設の地震・津波被害に関する調査報告」平成24年 水産総合研究センター

- ・対象漁港の西側荷捌き所は約300m<sup>2</sup>であり、3ヶ月にその復旧を目標とするとして、復旧シナリオを設定。

### 【例：漁具】

ロープ、定置網については震災1年後も不足している状況が見られた。出典：水産白書

- ・上記事例から、1年間で復旧できると設定した。

### 【例：船舶】

宮城県・岩手県にて修理所が設置され、9ヶ月後、約500隻の修理が完了した。出典：水産白書

北海道南西沖地震での復旧期間は、7ヶ月後、259隻、10ヶ月後322隻。出典：減災計画策定マニュアル

- ・上記事例から、1.0トン/日で復旧できると設定した。

(例)	項目	状況	規模	復旧シナリオ	経過日に対する復旧状況								
					発災～	0	30	90	180	360	720	1080	1800
					復旧～	0	30	90	180	360	720	1080	1800
荷捌き所 (m2)	被害無し	167	—	規模 3ヶ月(90日)で300m2復旧(3.3m2/日)	167	167	167	167	167	167	167	167	167
	被害	548			0	99	297	548	548	548	548	548	
	小計	715			復旧率	23	37	65	100	100	100	100	100

- ※ 対象とする津波及び対策ケースによる浸水被害の状況を踏まえ各ケースにおける復旧率を設定し被害額を算定する。ここで、現況（対策無し）における復旧率は東日本大震災の調査結果を参考とし、対策後の復旧率については、被災後の浸水状況を踏まえヒアリング等により設定する。

## 復旧状況から被災時生産額を算定

- ・期間毎の生産額 =  $\Sigma$ （通常時生産額 × 期間の復旧率 × 期間）

(例)

項目	経過日に対する復旧状況								
	発災～	0	30	90	180	360	720	1080	1800
	復旧～	0	30	90	180	360	720	1080	1800
荷捌き所 (m2)	復旧率	23	37	65	100	100	100	100	100
漁具 (千円)	復旧率	0	8	25	50	100	100	100	100
船舶 (トン数)	復旧率	34	38	45	55	76	100	100	100
全体復旧率	%	0	8	25	50	76	100	100	100
各期間漁業生産額	千円		1,154	9,233	31,161	104,718	292,531	332,384	664,767
被災時漁業生産額	千円				1,435,947				
漁業生産減少額	千円				225,971				
漁業被害額	千円				87,677				

- ・各期間の荷捌き所、漁具、船舶の復旧率から、最も低い復旧率を、漁業生産の復旧率とする。

例：180日後は、船舶が50%と最も復旧率が低い。そこで漁業生産の復旧率「全体復旧率」は、50%。

- ・各期間漁業生産額： 通常時漁業生産額が923千円/日である漁港の場合

90～180日の部分は、通常時漁業生産額（＝923千円/日）×（25%+50%の平均）×（180日-90日）＝31,161（千円）

通常時漁業生産額：港勢調査、漁業協同組合でのヒアリングによる数値 ※復旧シナリオに必要な数値(属地陸揚額、属人水揚額)を収集する。

- ・被災時漁業生産額：各期間漁業生産額の合計
- ・漁業被害額＝漁業生産減少額×粗付加価値額比率 粗付加価値額比率：産業連関表の数値

- ※ 各施設の復旧率の内、最も低い復旧率を用いて各ケースにおける漁業生産額を算定し、通常時との差分から各ケースの被害額を算定する。

## 2) 間接被害（被害の波及）

漁業生産の減少に伴い、水産物の流通が減少することにより、水産加工業の生産量が減少するなど、地域の経済活動が低下するというマイナスの波及効果（間接効果）が発生する。

通常、被災による波及効果を算定する場合は復旧に掛かる建設費等を含めて計算するため、平時と比較して GDP（国内総生産）が大きくなる傾向にある。

ここでは、漁業生産量の減少が地域経済へ波及する影響に限定して、地域のその他産業への波及被害を算定する。

直接被害として、漁業生産被害が発生したときに、その他産業への波及額を示した例  
出典：水産物産地市場の減災計画策定マニュアル（水産庁）

産業部門	水産物流通被害 低減額（千円）	波及効果	
		その他産業への 波及効果（千円）	個人消費への 波及効果（千円）
01 農業		11,496	17,325
02 林業		1,619	691
03 漁業	7,040,000	130,050	2,119
04 鉱業		2,415	1,125
05 食料品		177,162	95,766
06 繊維製品		8,251	16,652
07 パルプ・紙・木製品		11,602	5,717
08 化学製品		7,554	10,018
09 石油・石炭製品		40,212	13,939
10 窯業・土石製品		2,443	2,734
11 鉄鋼		4,111	1,472
12 非鉄金属		42	280
13 金属製品		6,033	3,014
14 一般機械		535	490
15 電気機械		753	23,503
16 輸送機械		51,005	17,545
17 精密機械		28	2,880
18 その他の製造工業製品		50,688	25,144
19 建設		23,021	15,967
20 電力・ガス・熱供給		35,538	28,473
21 水道・廃棄物処理		8,448	12,552
22 商業		414,184	173,821
23 金融・保険		193,931	75,588
24 不動産		29,476	179,932
25 運輸		245,471	76,880
26 通信・放送		58,151	42,349
27 公務		5,745	3,166
28 教育・研究		24,056	39,769
29 医療・保健・社会保障・介護		28	34,133
30 その他の公共サービス		13,249	11,672
31 対事業所サービス		185,729	86,584
32 对个人サービス		11,623	138,727
33 事務用品		11,546	2,446
34 分類不明		34,566	5,650
合計	7,040,000	1,798,762	1,168,122

漁業生産被害のうち、間接被害は次式にて算定する。

$$\begin{aligned} \text{波及被害額} &= (\text{水産原料減少量} \div \text{通常時原料購入量}) \\ &\quad \times \text{波及する産業の通常時生産額} \times \text{波及する産業の粗付加価値額比率} \\ \text{水産原料減少量} &= \text{漁業生産減少量} \times \text{他産業向け出荷比率} \times (1 - \text{補填率}) \end{aligned}$$

**他産業向け出荷比率**：漁業生産量に対し波及する産業への出荷量比率

**補填率**：他地域から減少分を補填できることを考慮するための係数

上式を変形すると、

$$\begin{aligned} \text{波及被害額} &= [\text{漁業生産減少額} \times \text{他産業向け出荷比率} \times (1 - \text{補填率}) \\ &\quad \div \text{他産業の水産原料比率}] \times \text{粗付加価値額比率} \end{aligned}$$

**他産業の水産原料比率**：売上額に対する水産原料費の割合

## ■ 漁業生産被害（間接被害）の算定に必要なデータ

漁業生産被害（間接被害）の算定のため、以下のデータを収集する。

被害項目	必要データ項目	各データの収集先（事例）
漁業生産被害 （間接被害）	① 漁業生産減少額[千円]	漁業生産被害結果を用いる
	② 他産業向け出荷比率（例えば、水産加工業）	産業連関表
	③ 補填率（例えば、水産加工業）	水産加工業者へのヒアリング
	④ 他産業の水産原料比率（例えば、水産加工業）	産業連関表
	⑤ 他産業の粗付加価値額比率（例えば、水産加工業）	産業連関表

3) 営業停止被害

漁業生産被害のうち、営業停止被害については、治水経済調査マニュアル（案）より、次式にて算定する。

$$\text{営業停止損失} = \Sigma \left( 1 \text{ 日当たり営業停止損失} \times \text{延べ損失日数} \right)$$

ここで、

$$1 \text{ 日当たり営業停止損失} = \Sigma \left( \text{産業分類別従業者数} \times \text{付加価値額} \right)$$

$$\text{延べ損失日数} = \text{営業停止日数} + \text{営業停滞日数} / 2 = 2 \times \text{営業停止日数}$$

産業分類別従業者数：国勢調査等

付加価値額：治水経済調査マニュアル(案)数値

営業停止日数：治水経済調査マニュアル(案)数値

■ 漁業生産被害（営業停止被害）の算定に必要なデータ

漁業生産被害（営業停止被害）の算定のため、以下のデータを収集する。

被害項目	必要データ項目	各データの収集先(事例)
営業停止損失	① 日当たり営業停止損失	①-1、①-2のデータを用い、 $\Sigma(\text{産業分類別従業者数} \times \text{付加価値額})$ によって算出
	①-1 産業大分類別従業者数	(公財)統計情報研究開発センター 地域統計メッシュ統計企業調査(500mメッシュ)
	①-2 産業大分類別付加価値額	各種資産評価単価及びデフレーターp.11
	② 営業停止日数[日]	治水経済調査マニュアル p.57

### 3.2 発生確率の異なる複数の津波の津波低減便益算定手法

津波低減便益の算定は、発生確率の異なる複数の津波に対する被害軽減額の総和を基本とする。

ただし、地域によって特定の震源による津波のみを対象とする場合にあっては、特定の震源による津波に対する被害軽減額を便益とすることができ、この場合、長期的な地震発生確率が設定できれば、これを考慮してもよい。

なお、防波堤や防潮堤等の複数施設により津波低減効果を発揮させる場合は、得られる便益を各々の施設整備の費用で按分する等して、各施設の整備事業の費用対便益分析において便益が二重に計上されないよう留意する。

#### 【解説】

我が国の沿岸に来襲する津波は震源や規模等が様々であることから、津波低減便益の算定は、高潮による浸水防護便益の算定の場合と同様、発生確率の異なる複数の津波に対する被害軽減額の総和を算定する手法（手法 1）によって行うことを基本とする。ただし、地域によって特定の震源による津波を対象とする場合にあっては、特定の震源による津波に対する被害軽減額を算定する手法（手法 2）を用いることができる。

#### 手法 1：発生確率の異なる複数の津波に対する被害軽減額の総和を算定する手法

対象とする津波に対して、事業を実施しない場合（without 時）に想定される被害額と事業を実施した場合（with 時）に想定される被害額の差を算定し、発生確率を考慮した被害軽減額の総和をとることで津波低減便益を算定する。

#### 手法 2：特定の震源による津波に対する被害軽減額を算定する手法

特定の震源による津波のみを対象とする場合は、特定の震源による津波に対して、事業を実施しない場合（without 時）に想定される被害額と事業を実施した場合（with 時）に想定される被害額の差を算定し、発生確率を考慮した津波低減便益を算定する。このうち、発生確率については、特定の震源による津波を対象としていることから、供用期間中に一度地震が発生するとエネルギーが解放され、それ以降は津波が発生しないことを想定したものをを用いることとする（手法 2-①）。ただし、特定の震源における長期評価確率が算定できる地域においては、長期評価確率を用いた発生確率を用いてもよい（手法 2-②）。

	手法 1	手法 2	
対象とする津波	発生確率の異なる複数の津波（例えば、被害が発生する津波、発生頻度の高い津波、粘り強い構造から推定される許容津波、最大クラスの津波など）	特定の震源による津波	
発生確率の考え方	供用期間中は、津波の発生確率は変化しない	供用期間中に一度地震が発生するとエネルギーが解放され、それ以降は津波が発生しない	
年次発生確率算 定式（再現期間 X 年の場合）	$P = 1/X$ （一定）	長期的な地震発生確率を考慮しない場合	長期的な地震発生確率を考慮する場合
		【手法 2-①】 t 年次後の発生確率 $P(t)$ $= (1-1/X)^{t-1} \times (1/X)$	【手法 2-②】 長期的な地震発生確率の評価式を用いて算定。詳細は以下を参照。

#### 【長期的な地震発生確率の評価式】

$$P(T, \Delta T) = 1 - \varphi(T + \Delta T) / \varphi(T)$$

$$\varphi(T) = 1 - \left[ \Phi(u_1(T)) + \exp(2/\alpha^2) \Phi(-u_2(T)) \right]$$

$$u_1(T) = \alpha^{-1} \left[ T^{1/2} \mu^{-1/2} - T^{-1/2} \mu^{1/2} \right]$$

$$u_2(T) = \alpha^{-1} \left[ T^{1/2} \mu^{-1/2} + T^{-1/2} \mu^{1/2} \right]$$

ここで、

$P(T, \Delta T)$  : 最新の地震発生から地震が発生せずに T 年経過した時点で、その後の  $\Delta T$  年間に地震が発生する確率

$\varphi(T)$  : 信頼度関数（次の地震が前回発生年から T 年以降に地震が発生する確率）

$\alpha$  : 活動間隔のばらつき

$\mu$  : 平均活動間隔（年）

$T$  : 経過時間（年）

上式は、地震調査委員会における長期的な地震発生確率の評価手法\*に基づいたものである。

各パラメータについては、地震調査研究推進本部ホームページを参照のこと。

また、 $\Phi(z)$  は、標準正規分布の累積分布関数を示し、次式で表される。なお、この関数値は正規分布表を用いるか、数値計算により算出する。

$$\Phi(z) = 1/(2\pi)^{1/2} \int_{-\infty}^z e^{-u^2/2} du$$

\*：長期的な地震発生確率の評価手法について：地震調査研究推進本部事務局、平成 13 年 6 月

### 手法 1

対象とする津波に対して、事業を実施しない場合（without 時）に想定される被害額と事業を実施した場合（with 時）に想定される被害額の差を算定し、発生確率を考慮した被害軽減額の総和をとることで津波低減便益を算定する。

$$B(H) = \int [(D_N(M) - D_S(M, H))p(M)]dM$$

ここで、

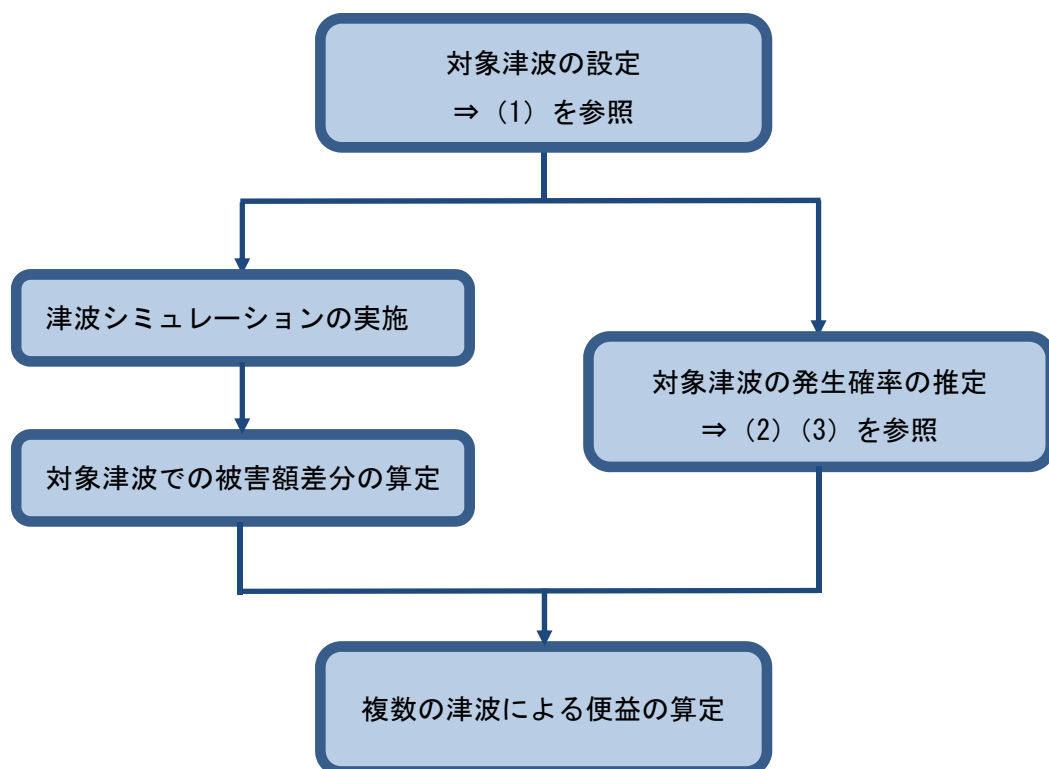
$B(H)$  : 対策 H をした場合の便益

$M$  : 想定する地震のモーメントマグニチュード※

$D_N(M)$  : 対策しなかった場合の被害額

$D_S(M, H)$  : 対策 H をした場合の被害額

$P(M)$  : 発生確率



※モーメントマグニチュードについて

モーメントマグニチュードは、Kanamori (1977) により、断層パラメータの諸量の関数として定義される地震モーメント  $M_0$  と直接関連付けられ、地震断層運動の規模を物理的に表現している（後述参照）。

なお、地震波の長周期成分（主に周期 10 秒程度以上）を反映し、津波のように波長の大きな現象をあらわすのに適切であることから、津波の数値計算による詳細評価のためには、地震規模をモーメントマグニチュードで表現することを基本としている。

一般にモーメントマグニチュードは、他のマグニチュード（津波マグニチュード  $M_t$ ）、気象庁マグニチュード  $M_j$ ）と識別するため、便宜的に  $M_w$  とされるが、本稿ではモーメントマグニチュードのみ扱っており、他のマグニチュードとの識別を要さないことから、 $M$  と表現している。

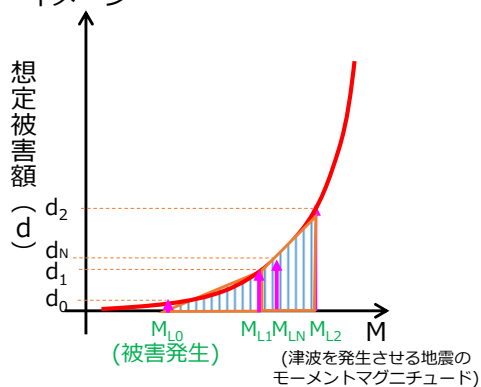
参考：『原子力発電所の津波評価技術』土木学会原子力土木委員会津波評価部会、平成 14 年 2 月

(1) 対象とする津波の設定

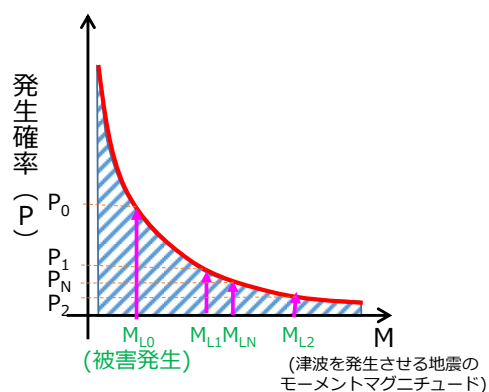
対象とする津波	設定手法	モーメントマグニチュード $M$	発生確率 $P$
被害が発生する津波	(1) 地震津波履歴・ヒアリングより、発生確率 $P_0$ を推定する。 (2) 岸壁を越える津波が来襲した時から被害が発生すると仮定し、岸壁天端高一潮位を津波高とする地震のモーメントマグニチュード $M_{L0}$ を推定（※注1）し、その発生確率 $P_0$ をグーテンベルグ・リヒター則（※注2）を用いて算出する。	$M_{L0}$	$P_0$
発生頻度の高い津波	想定津波の発生確率 $P_1$ が分かる場合は、当該発生確率を利用する。不明な場合は、 $P_1=1/100$ とする。	$M_{L1}$	$P_1$
粘り強い構造から推定される許容津波	粘り強い対策を受動土圧として考慮し、これに耐えうる波力に対応した津波高を算出（水工研提案式等を用いて推算）し、発生頻度の高い津波を基本として地震のモーメントマグニチュード $M_{LN}$ を推定し、その発生確率 $P_N$ をグーテンベルグ・リヒター則を用いて算出する。	$M_{LN}$	$P_N$
最大クラスの津波	想定津波の発生確率 $P_2$ が分かる場合は、当該発生確率を利用する。不明な場合は、発生頻度の高い津波を基本として、グーテンベルグ・リヒター則を用いて発生確率 $P_2$ を算出する。	$M_{L2}$	$P_2$

※注1、注2は次頁以降参照

地震（津波）規模に対応した想定被害額のイメージ



各地震（津波）規模の発生確率のイメージ



(※注 1) 以下の手法により、モーメントマグニチュード  $M$  を推定する。

①阿部 (1989) により、想定津波高における地震のモーメントマグニチュード  $M$  を推定する。

近地津波を対象とした予測式 (阿部、1989)

■太平洋側

$$\log H_t = M - \log \Delta - 5.55$$

■日本海側

$$\log H_t = M - \log \Delta - 5.35$$

ここで、

$H_t$  : 津波高 (m)

$M$  : 想定する地震のモーメントマグニチュード

$\Delta$  : 津波伝播距離 (km)、 $L1$  と同様と想定

②数値計算ですべり量調整により想定津波高を試算し、スケーリング則より地震のモーメントマグニチュード  $M$  を推定する。

■手順 1 : 目標とする津波高が得られるすべり量倍率  $\alpha$  を試計算により推定する。

■手順 2 : すべり量倍率  $\alpha$  をもとに、スケーリング則を適用して想定されるモーメントマグニチュードを算出する。

$$M_0 = \alpha D \mu L W \quad (D \mu L W \text{ は断層パラメーターで } L1 \text{ の諸元より決定})$$

$$M = \frac{9.1 - \log M_0}{1.5}$$

ここで、

$D$  : すべり量

$\mu$  : 震源付近の媒質の剛性率

$L$  : 断層長さ

$W$  : 断層幅

(※注 2) 前述の手法により推定したモーメントマグニチュード  $M$  をもとに、グーテンベルグ・リヒター則を用いて  $L1$  津波を発生させるモーメントマグニチュード  $M_{L1}$  から発生確率  $P$  を推定する。

$$n = 10^{(a-bM)}$$

$$P = P_{L1} \times n$$

ここで、

$a$  :  $L1$  津波を発生させるモーメントマグニチュード ( $=M_{L1}$ )

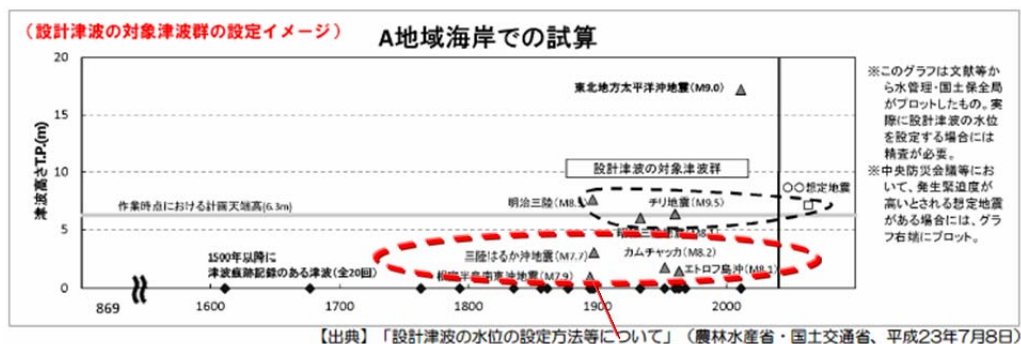
$bM$  : 推定したモーメントマグニチュード ( $=M$ )

$P_{L1}$  : モーメントマグニチュード  $M_{L1}$  の発生確率

$P$  : モーメントマグニチュード  $M$  の発生確率

## (2) 津波被害が発生する地震の発生確率 $P_0$ の推定

- 1) 地震津波履歴・ヒアリングより、発生確率  $P_0$  を推定する。
- 2) 岸壁を越える津波が来襲した時から被害が発生すると仮定し、岸壁天端高一潮位を津波高とする地震のモーメントマグニチュード  $M_L$  を推定し、その発生確率  $P_0$  をグーテンベルグ・リヒター則を用いて算出する。なお、モーメントマグニチュードの推定は前述の手法により行う。



津波被害が発生する地震の頻度を推定

## (3) 粘り強い構造から推定される許容津波の発生確率の推定方法

津波に粘り強い構造とすることで、設計津波（例えば、発生頻度の高い津波）よりも大きな津波に対して津波低減効果を発揮することとなる。

以下に、粘り強い構造としたことにより付加される耐津波特性を考慮した便益の算定方法を示す。

### ① 粘り強い構造の設定

粘り強い構造として防波堤背後に捨石の嵩上げを実施することにより、津波に対する滑動抵抗が増加する。

### ② 許容津波高の推算

防波堤背後に嵩上げた捨石による滑動抵抗により、粘り強い構造による耐津波特性を仮定し、粘り強い構造を付加した許容津波波高を推算する。

### ③ 地震のモーメントマグニチュードの推定

推算した許容津波高を発生させる地震のモーメントマグニチュードを算定する。

### ④ 発生確率の推定

算定した地震のモーメントマグニチュードの発生確率を推定する。

### ⑤ 便益の算出

ここまで算定した対象津波毎の被害額の差分と発生確率の積を積分することで、複数の津波による便益の総和を算出する。

① 粘り強い構造の設定  
例) 防波堤背後の捨石の嵩上げ  
背後の滑動抵抗力を、増加させる目的



$H_N$ : 受動抵抗を考慮した場合に安定する津波波高

② 粘り強い構造から推定される許容津波高 $H_N$ の推算  
【検討方針】  
護岸の暫定裏込めをした場合の安定計算と同様に考え、  
受動土圧合力として捨石の嵩上げの効果を考慮する。  
※ 漁港・漁場の施設の設計の手引(2003年版、p398)  
津波波圧算定には、非越流時は谷本式、越流時水工研  
提案式(SWL基準)を用いて、許容津波高 $H_N$ を推算する。

※計算値: 割石の滑動抵抗力 $R$   
 $R = W_s \tan(\theta + \phi)$   
 $\phi = \tan^{-1} f_1$  ( $f_1$ は内部摩擦係数、 $f_1 = 0.8$ )  
 $\theta$ : すべり面傾斜角  
( $\theta$ を試行的に変えて求められる $R$ の最小値を滑動抵抗力とする)  
滑動抵抗力=割石の滑動抵抗力 $R$  + 堤体の滑動抵抗力

※ここでは、粘り強い構造による滑動抵抗値を便宜上、  
上記のように取り扱うこととした。

③ 地震のモーメントマグニチュード $M_{LN}$ を推定  
【検討方針】  
推定した $H_N$ を発生させるモーメントマグニチュード $M_{LN}$ を算定する。  
(i) 阿部(1989)の予測式(右式参照)を用いる  
(ii) 数値計算による試算を実施する。  
【(i)の検討手順】  
i) 津波伝播距離 $\Delta$ を、 $L_1$ 条件( $M_{L1}$ と津波高[解析結果])をも  
とに予測式から逆算する。 $M_{L1} < M_{LN}$ の関係性を維持する。  
必要に応じて、 $L_2$ 条件でも算出する。  
 $\log \Delta = M_{L1} - \log H_t - 5.55$   
ii) 推定した $H_N$ を用いて、予測式を使って $M_{LN}$ を算出する。  
 $M_{LN} = \log \Delta + \log H_N + 5.55$

近地津波を対象とした予測式(阿部、1989)

■太平洋側

$$\log H_t = M - \log \Delta - 5.55$$

■日本海側

$$\log H_t = M - \log \Delta - 5.35$$

$H_t$ : 津波高(m)

$M$ : 想定する地震のモーメントマグニチュード

$\Delta$ : 津波伝播距離(km)、 $L_1$ と同様と想定

数値計算による地震のモーメントマグニチュード  
 $M$ の予測手法

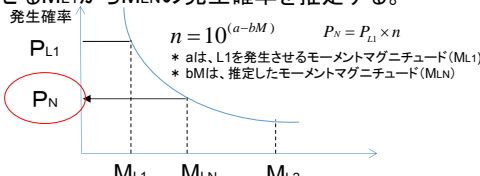
手順1: 目標とする津波高が得られるすべり量倍率 $\alpha$ を  
試算により推定する。

手順2: すべり量倍率 $\alpha$ をもとに、スケーリング則を適用  
して想定される $M$ を算出する。

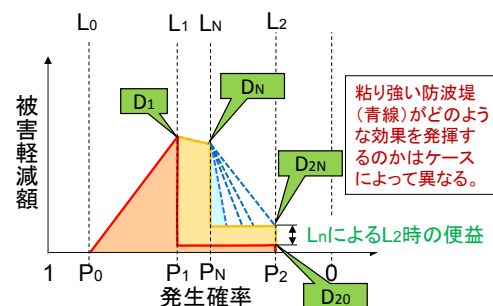
$$M_0 = \alpha D \mu L W \quad (D \mu L W \text{は} L_1 \text{より決定})$$

$$M = \frac{9.1 - \log M_0}{1.5}$$

④ 発生確率 $P_N$ の推定  
算定した $M_{LN}$ をもとに、グーテンベルグ・リヒター則を用いて  
 $L_1$ を発生させる $M_{L1}$ から $M_{LN}$ の発生確率を推定する。



⑤ 便益(被害低減)を算出  
年度別の平均便益の算定は代表的確率年(外力規模)毎の想定被害  
額に、それぞれの地震(津波)の発生確率を乗じて被害軽減額を算出  
し、これらの総和である平均被害軽減額を年度別の平均便益とする。  
【 $P_N$ 前後の被害軽減額推定手法】  
1) 粘り強い構造を考慮した $D_N$ を $L_N$ を想定したシミュレーションで算定  
2) 粘り強い構造を考慮した $D_{2N}$ を $L_2$ を想定したシミュレーションで算定  
※  $D_N, D_{2N}$ を算定しない場合は $P_1$ 以降の被害軽減額を $D_{20}$ とする。  
※  $P_N \sim P_2$ 間でシミュレーションを実施した場合には便益を追加してもよい。



年平均被害軽減額算出表

※対策が $L_1$ に対するものが基本であるため、 $L_1$ の条件をベースに $L_N$ を設定する。

津波規模	津波に対応する 想定被害軽減額	$L_n \sim L_{n+1}$ の発生確率	$L_n \sim L_{n+1}$ の平均被害軽減額	発生確率 × 平均被害軽減額
$L_1$ 以下( $L_0$ ) (被害発生レベル)	$D_0$	$P_0 - P_1$	$(D_0 + D_1)/2$	$(P_0 - P_1) \times (D_0 + D_1) / 2$
$L_1$	$D_1$	$P_1 - P_N$	$(D_1 + D_N)/2$	$(P_1 - P_N) \times (D_1 + D_N) / 2$
$L_N$	$D_N$	$P_N - P_2$	$D_{2N}$	$(P_N - P_2) \times D_{2N}$
$L_2$	$D_2$			

被害軽減額,  $D_i = (d_i \text{ with}) - (d_i \text{ without})$  ※  $d_i$ : 被害額

年平均便益額 =  $(P_0 - P_1) \times (D_0 + D_1) / 2 + (P_1 - P_N) \times (D_1 + D_N) / 2 + (P_N - P_2) \times D_{2N}$

## 手法 2

特定の震源による津波のみを対象とする場合は、特定の震源による津波に対して、事業を実施しない場合（without 時）に想定される被害額と事業を実施した場合（with 時）に想定される被害額の差を算定し、発生確率を考慮した津波低減便益を算定する。

手法 2-①：再現期間（発生確率）も用いる場合

手法 2-②：長期的な地震発生確率を用いる場合

### （手法 2-①の発生確率）

再現期間  $X$  年の地震により起因する津波の  $t$  年次に便益が発生する確率は以下の式により算定する。

$t$  年次に便益を発生させる確率

$$P(t) = (1 - 1/X)^{t-1} \times (1/X)$$

### （手法 2-②の発生確率）

地震の長期評価確率は、地震の平均活動間隔や前回活動時期からの経過時間を考慮して、今後その地震が発生する確率を評価するものである。

本事業における供用開始年以降の地震発生確率は、地震調査委員会における長期的な地震発生確率の評価手法（下式）に従い、長期評価確率を計算し、便益を算定する。

$$P(T, \Delta T) = 1 - \varphi(T + \Delta T) / \varphi(T)$$

$$\varphi(T) = 1 - \left[ \Phi(u_1(T)) + \exp(2/\alpha^2) \Phi(-u_2(T)) \right]$$

$$u_1(T) = \alpha^{-1} \left[ T^{1/2} \mu^{-1/2} - T^{-1/2} \mu^{1/2} \right]$$

$$u_2(T) = \alpha^{-1} \left[ T^{1/2} \mu^{-1/2} + T^{-1/2} \mu^{1/2} \right]$$

ここで、

$P(T, \Delta T)$ ：最新の地震発生から地震が発生せずに  $T$  年経過した時点で、

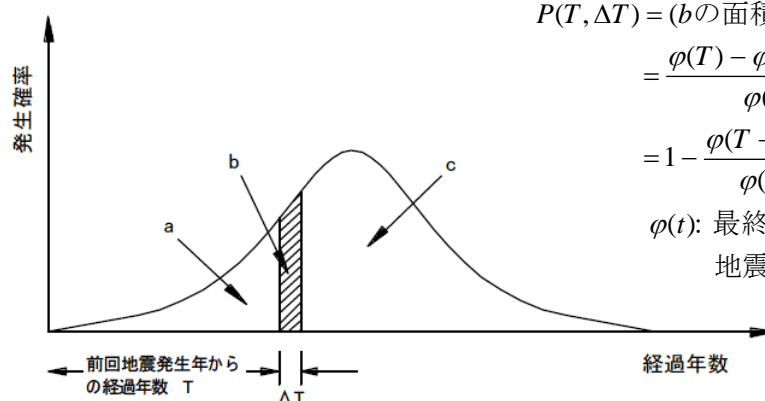
その後の  $\Delta T$  年間に地震が発生する確率

$\varphi(T)$ ：信頼度関数（次の地震が前回発生年から  $T$  年以降に地震が発生する確率）

$\alpha$ ：活動間隔のばらつき

$\mu$ ：平均活動間隔（年）

$T$ ：経過時間（年）



$$P(T, \Delta T) = (b \text{ の面積}) \div (b \text{ の面積} + c \text{ の面積})$$

$$= \frac{\varphi(T) - \varphi(T + \Delta T)}{\varphi(T)}$$

$$= 1 - \frac{\varphi(T + \Delta T)}{\varphi(T)}$$

$\varphi(t)$ : 最終発生年から  $t$  年以降に地震が発生する確率

## 4 おわりに

本編は、東日本大震災以降の津波災害に対する社会的な要請に対して、漁港漁村においても適切な対応を図るべく、防波堤の有する防災・減災に資する効果（津波低減効果）に着目し、これら効果を最大限に活用し効率的かつ効果的な防災・減災対策に取り組む上で重要となる防波堤と防潮堤による多重防護について、現時点の知見等を踏まえ、そのあり方や便益の考え方等についてとりまとめたものである。

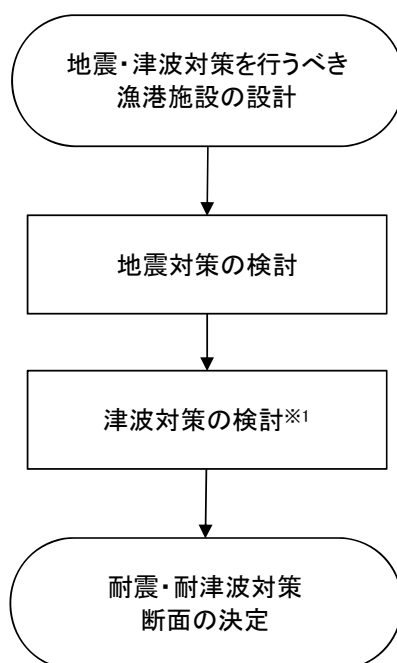
今後も引き続き、防波堤による津波低減効果の知見の高度化等の津波に対する漁港漁村の防災・減災対策について調査・研究を進めるとともに、現場での実施事例などを踏まえ、適宜、内容の充実を図ることが重要であると考えている。

現在、水産庁では、東海、東南海・南海地震の防災対策推進地域等において、地震・津波対策に対する漁港の防災対策に係る緊急整備に取り組んでいるところであり、漁港施設の耐震・耐津波強化対策と合わせて、本編でとりまとめた多重防護による漁港漁村の防災・減災対策について、積極的かつ緊急に推進することが重要である。本編が、全国の津波被害が懸念される漁港漁村の防災・減災対策の検討に際して、役に立てていただけることを期待している。

最後に、本編をとりまとめるに当たっては、大変短い検討期間の中で、「漁港・漁村の津波防災・減災対策に関する専門部会」の委員の皆様から貴重なご助言を頂いた。委員の皆様には、心より感謝の意を表す。

#### <参考資料4> 漁港施設の地震・津波対策における設計の基本的な手順

漁港施設の地震・津波対策の設計においては、基本的には地震、津波の順で双方を検討することにより、耐震・耐津波強化対策断面を決定することとする。



※1：津波対策の検討段階で基本断面が変わる場合は地震対策の検討にフィードバックし、その断面の耐震性を検証することとする。

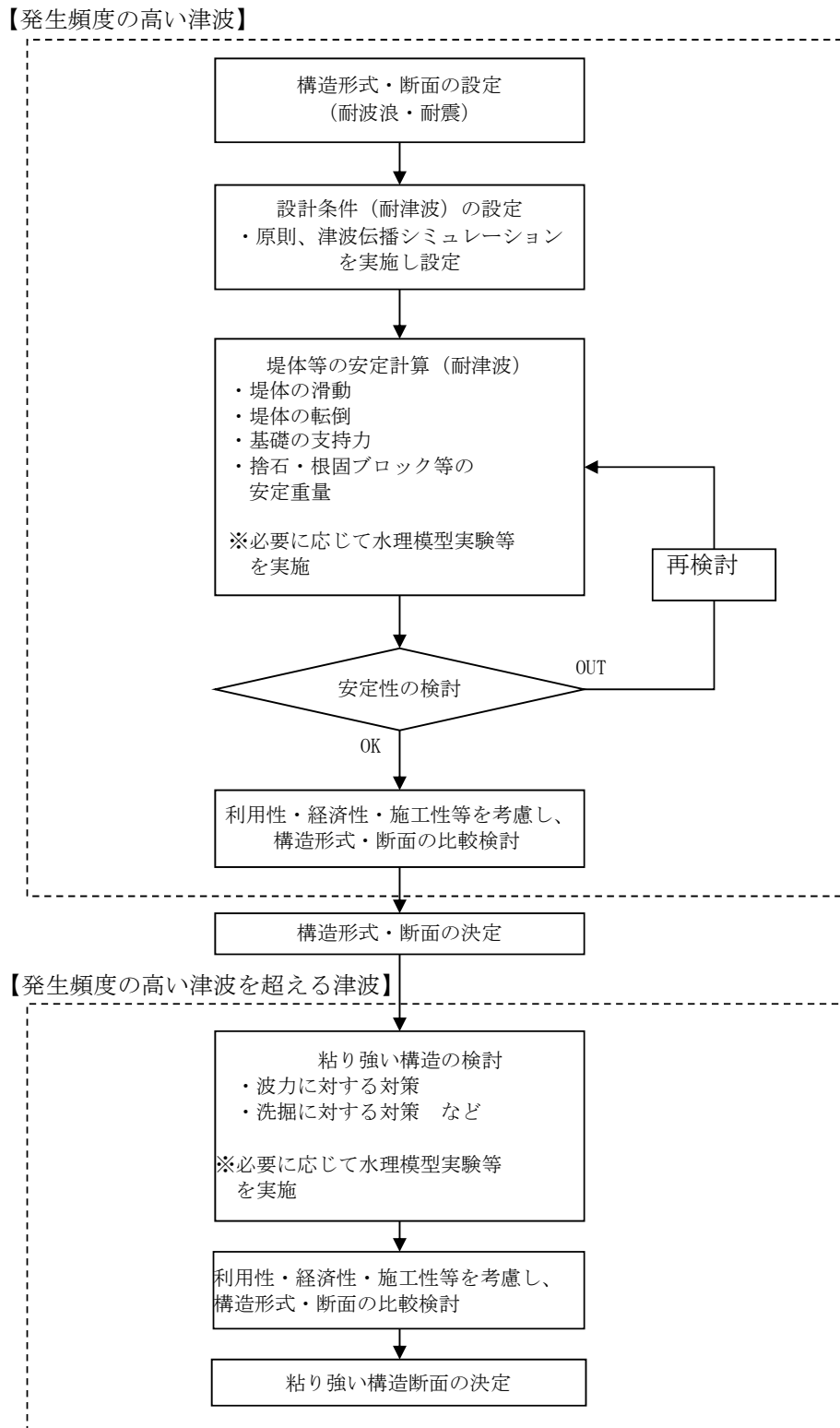
#### 地震・津波対策を行うべき漁港施設の設計フロー図

具体的な防波堤と岸壁に対する耐津波・耐震強化のための設計方法については、<参考資料5>以降で示す。

## <参考資料5> 津波に対する防波堤・岸壁の設計方法

### 1. 津波に対する防波堤の設計フロー

津波に対する防波堤の設計フローを下図に示す。

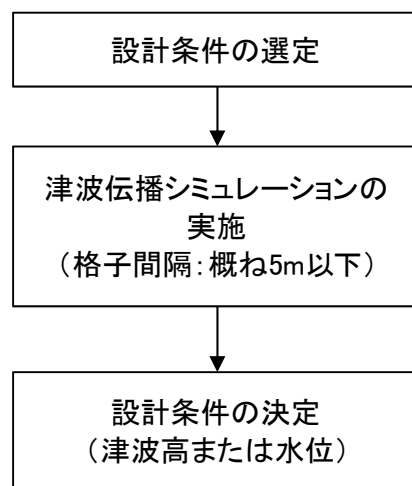


防波堤の設計フロー図

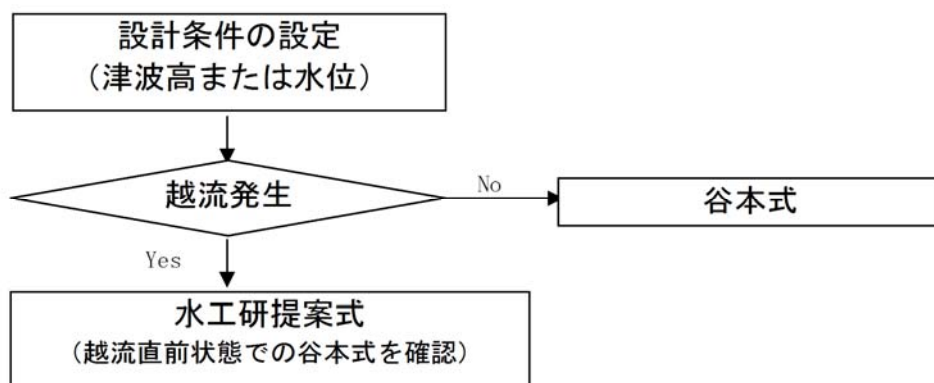
## ア) 設計条件の設定方法

防波堤の耐津波強化対策における津波高または水位の設定は、漁港の規模、形状、構造物の寸法等を考慮すると津波伝播シミュレーションの格子間隔は概ね 5m 以下が望ましいことから、格子間隔 5m 以下の既往の調査結果がない場合には、原則津波伝播シミュレーションを実施することとする。

津波波圧の算定には、現状では非越流時の算定方法として実績のある a) 谷本式を標準式として用いることとする。一方で、谷本式の適応範囲を超えた施設背後に越流するような場合は背後水位の変動を考慮していないため波力を過大に算定する場合もある。したがって、前面波圧分布を静水圧と仮定し背後水位の変動を考慮した b) 水工研提案式による波圧算定手法と比較検討した上で、防波堤に作用する波圧を決定するものとする。



設計条件選定フロー図



津波波圧算定フロー図

ここで、津波波圧を算定する際に設定する基準水面は、堤体の安定性が最も低くなる場合とする。一般的には、朔望平均満潮面（H.W.L.）とする場合が多い。

また、引き波時に堤体前面の水位が大きく下がることで堤体の安定性が危険となる場合があるように、堤体の安定性が最も低くなる状態は、必ずしも堤体前面の水位が最高の時点とは限らないことに留意する必要がある。

このため、津波伝播シミュレーションにより時々刻々と変化する前面及び背後の水位の組み合わせ（押し波から引き波まで）の中から、堤体の安全率が最も低くなる状態を抽出して設計計算を行う必要がある。

## イ) 堤体の安定計算

### 1) 堤体に作用する波圧の算定

#### a) 谷本式による波力の算定方法（「港湾の技術基準・同解説」参照）

直立壁に作用する波力は、作用点を  $\eta^*(p=0)$  とし、静水面で  $p_1=2.2\rho_0ga$  となる直線分布で、静水面以下は一様な波圧分布となる。

$$\eta^* = 3a$$

$$p_1 = 2.2\rho_0ga$$

$$p_2 = (1 - h^*/\eta^*)p_1$$

$$p_u = p_1$$

$$h^* = \min(h_c, \eta^*)$$

ここで、

$\eta^*$  : 静水面上の波圧作用高さ (m)

$a$  : 入射津波の静水面上の高さ（振幅）(m)

$h'$  : 堤体の前面における水深 (m)

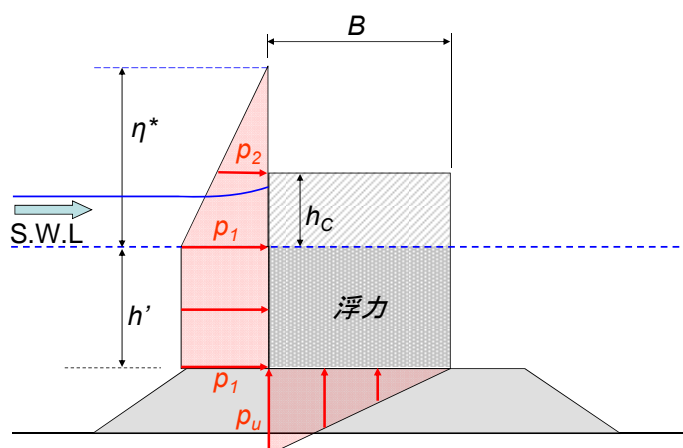
$h_c$  : 堤体の静水面上の高さ (m)

$\rho_0g$  : 海水の単位体積重量 (kN/m<sup>3</sup>)

$p_1$  : 静水面における波圧強度 (kN/m<sup>2</sup>)

$p_2$  : 堤体上端部における波圧強度 (kN/m<sup>2</sup>)

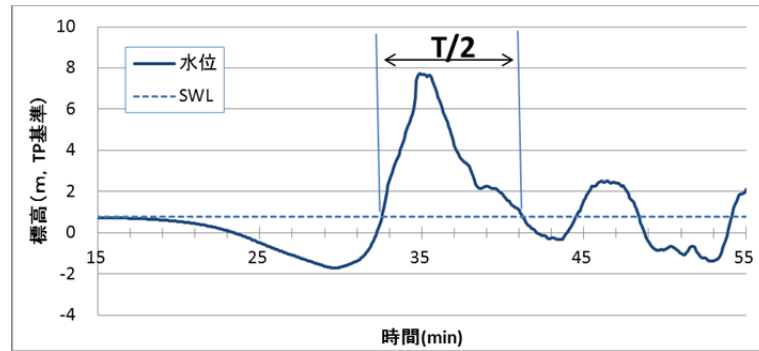
$p_u$  : 前面下端における揚圧力 (kN/m<sup>2</sup>)



防波堤に作用する波圧分布図（谷本式）

なお、ソリトン分裂が発生し分裂波による波圧の増加が考えられるような条件下 ( $h/L \geq 0.005$ ,  $h$  は静水位時の水深、 $L$  は津波の波長) においては、 $p_1=3.0\rho_0ga$  として設定する（津波評価手法の高精度化研究、原子力土木委員会 津波評価部会、土木学会論文集 B Vol. 63 No. 2）。津波波

長しは、次図に示すように最大波の波形の静水位上の時間を半周期 ( $T/2$ ) として  $L = \sqrt{gh} \cdot T$  より算定する。



周期  $T$  の設定方法

防波堤がある条件での津波伝播シミュレーション結果を用いる場合には、堤体前面では反射波により津波波高は、防波堤のない場合のほぼ2倍（重複波）になるため、 $\eta$ （堤前の静水面からの津波高） $= 2a$  として取り扱う。設定水位は、津波来襲時の水位を基準とする。

b) 背後水位の上昇を考慮した波圧分布算定式の提案（水工研提案式）

直立壁に作用する波力の算定の際に、施設前後における波圧分布を静水压分布形（三角形分布）と仮定し、前面及び背面における水位変動を考慮した圧力バランスを検討することとする。ここで、流れの影響等による動水圧による影響は、係数（ $a_I$  及び  $a_{IB}$ ）により与えることとし、これまでの調査結果や港湾等の水理模型実験により、施設前面の波圧は  $a_I = 1.1$ 、背後圧は  $a_{IB} = 0.9$  として設定することとする。

この提案式は、非越流時・越流時に同様の波圧式を用いる形となっている。また、堤体上面と下面に作用する圧力を直接評価することで、浮力及び越流時に流れの作用によって生じる揚力は、揚圧力合力  $P_u$  として一体として評価される形となっており、別途、浮力や揚力を評価する必要はない（揚圧合力に浮力、揚力が含まれる）。また、引き波時の波圧の算定にもこの波圧式を用いることができる。その場合、引き波時の主方向側を前面波圧側とし、津波伝播シミュレーションより求められる施設前後の水位から波圧を算定する。

○前面波力  $P_I$  の算定（非越流時は  $p_2=0$ ）

$$p_1 = \rho_0 g (h' + \eta) \times a_I \quad , \quad p_2 = (\eta - h_C^*) / (h' + \eta) p_1 \quad , \quad h_C^* = \min(\eta, h_C)$$

$$P_I = \frac{1}{2} (p_1 + p_2) (h' + h_C^*)$$

○背面波力  $P_B$  の算定（非越流時は  $p_4=0$ ）

$$p_3 = \rho_0 g (h' + \eta_B) \times a_{IB} \quad , \quad p_4 = (\eta_B - h_{CB}^*) / (h' + \eta_B) p_3 \quad , \quad h_{CB}^* = \min(\eta_B, h_C)$$

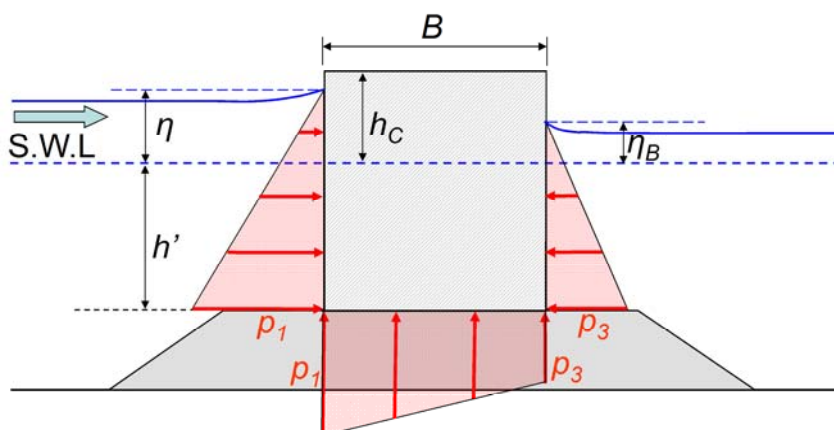
$$P_B = \frac{1}{2} (p_3 + p_4) (h' + h_{CB}^*)$$

○揚圧力合力  $P_U$  の算定（浮力、揚力を含む）

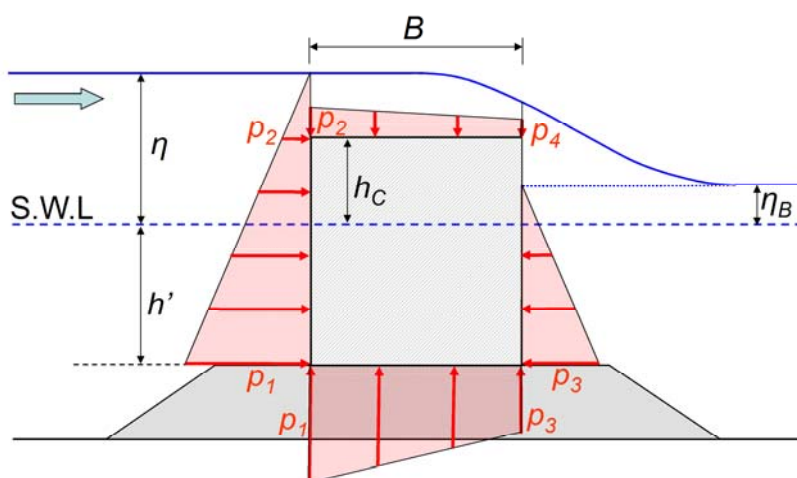
$$P_U = \frac{1}{2}(p_1 + p_3)B - \frac{1}{2}(p_2 + p_4)B$$

ここで、

- $\eta$  : 静水面上の前面の津波高さ (m)
- $\eta_B$  : 静水面上の背面の津波高さ (m)
- $h'$  : 堤体の前面における水深 (m)
- $\rho_{0g}$  : 海水の単位体積重量 (kN/m<sup>3</sup>)
- $p_1$  : 静水面における前面波圧強度 (kN/ m<sup>2</sup>)
- $p_2$  : 堤体上端部における前面波圧強度 (kN/ m<sup>2</sup>)
- $p_3$  : 静水面における背面波圧強度 (kN/ m<sup>2</sup>)
- $p_4$  : 堤体上端部における背面波圧強度 (kN/ m<sup>2</sup>)
- $B$  : 堤体幅 (m)



防波堤に作用する波圧分布図（非越流時）



防波堤に作用する波圧分布図（越流時）

越流時における堤体背面の静水面上の水位  $\eta_B$  は津波水塊の落下位置よりも後ろの水面が平

らとなる位置での水位を与えるものとする。

また、堤体上面に作用する水圧（ $p_2$ 及び  $p_4$ からなる台形分布）は、上図では堤体の前面から背面において変化する水位を考慮した形として示しているが、津波伝播シミュレーションのメッシュサイズと構造物の寸法から考えて  $p_2$ 及び  $p_4$ を精度よく算出することが難しいと判断される場合は、防波堤上の平均的な水位による一様分布として扱ってよいものとする。

なお、津波波力や段波・ソリトン分裂の影響等については知見が十分でないことから、今後も水理模型実験または数値シミュレーション(断面)による検証事例の蓄積を図るものとする。

## 2) 安定計算の方法

1) で算出された波圧合力を用いた堤体の滑動と転倒に対する安定計算に必要な式を以下に示す。

### a) 堤体の滑動

津波を外力とした場合でも波浪を外力とした場合と同様に取り扱いし、以下の式を用いて検討することとする。

$$F \leq \frac{\mu(W - P_u)}{P}$$

ここに、

$W$ : 堤体重量 (kN) (谷本式を用いる場合は浮力を差し引いた重量とする。水工研提案式を用いる場合は、揚圧力合力に浮力も考慮されているので、堤体重量から差し引く必要はない。)

$P$ : 堤体に働く波圧合力 (kN)

$P_u$ : 堤体底面に働く揚圧力合力 (kN)

$\mu$ : 静止摩擦係数

$F$ : 安全率

### b) 堤体の転倒

津波を外力とした場合でも波浪を外力とした場合と同様に取り扱いし、以下の式を用いて検討することとする。

$$F \leq \frac{Wt_1 - P_u t_2}{Pl}$$

ここに、

$W$ : 堤体重量 (kN) (谷本式を用いる場合は浮力を差し引いた重量とする。水工研提案式を用いる場合は、揚圧力に浮力が考慮されているので堤体重量から差し引く必要はない。)

$P$ : 堤体に働く波圧合力 (kN)

$P_u$ : 堤体底面に働く揚圧力合力 (kN)

$t_1$ : 堤体後趾より  $W$  の作用線までの距離 (m)

$t_2$ : 堤体後趾より  $P_u$  の作用線までの距離 (m)

$l$ : 堤体の底面から堤体に働く波圧合力の作用点までの距離 (m)

$F$ : 安全率

## 3) 求められる安全率と許容値

求められる滑動と転倒に対する安全率を下表に示す。

求められる安全率一覧	
滑動安全率	転倒安全率
1. 2 以上	1. 2 以上

上表の安全率については、東北地方太平洋沖地震に伴う津波（以下、今次津波という。）が来襲した地域の漁港防波堤について、津波伝播シミュレーションによる今次津波の津波高を用いて、

谷本式又は水工研提案式から津波外力を算定し、その外力に対する防波堤の安定性（滑動又は転倒）に関する安全率と被災有無の検証結果から、概ね安全率が 1.2 以上で被災している事例が少ないことが検証されたことを踏まえ、設定している。なお、この安全率には、津波外力算定の不確実性についても含まれると解することができる。

## ウ) 根固・被覆ブロックの安定計算

### 1) 津波の流速の算定

津波の流速は、原則、沿岸地形の影響などによる流速の変化を考慮できる津波伝播シミュレーションによって算定する。ただし、津波伝播シミュレーションの流速算定の精度についてはまだ知見は十分ではないため、今後も水理模型実験や数値シミュレーションによる検証事例の蓄積を図ることが重要である。

防波堤等を越流する場合の港内側の流速については、津波伝播シミュレーションでは越流現象が考慮されず適正な流速とならない場合が多いことから、水理模型実験又は水理実験で十分に精度を検証された数値波動水路によって求めることが望ましい。

### 2) 安定計算の方法

根固め・被覆ブロック等の安定質量は、イスバッシュにより提案されている捨石等の安定質量算定式（以下、イスバッシュ式という）又は水理模型実験によって定めることができる。

津波が防波堤を越流しない場合の根固・被覆ブロック等の安定質量については、イスバッシュの式によって算定することができる。イスバッシュ式を用いて防波堤等の根固・被覆ブロック等の安定質量を算定する場合、潜堤マウンドの被覆材における岩崎らの検証結果を参考とすることができ、イスバッシュの定数 1.08 を用いることができる。本式が適用できる捨石法面の角度は、 $\theta = 45^\circ$  よりも緩い場合（法勾配 1:1.0 よりも緩い勾配）に限られる。

また、防波堤等を越流する場合の根固・被覆ブロック等の安定質量については、堤体の前面では津波の流れの上昇に伴い流れが複雑となり、堤体の背面では防波堤を越流した津波水塊の打ち込み等が生じることとなるため、水理模型実験によって設定することが望ましい。

$$M = \frac{\pi \rho_r U^6}{48 g^3 y^6 (S_r - 1)^3 (\cos \theta - \sin \theta)^3}$$

ここに、

$M$ : 安定質量 (t)

$\rho_r$ : 捨石等の密度 (t/m<sup>3</sup>)

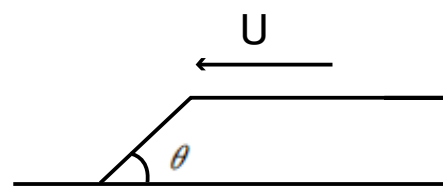
$U$ : 捨石等の上面における水の流れの速度 (m/s)

$g$ : 重力加速度 (m/s<sup>2</sup>)

$y$ : イスバッシュの定数

$S_r$ : 捨石等の水に対する比重

$\theta$ : 水路床の軸方向の斜面の勾配 (°)



根固・被覆ブロックの概念図

津波の流れに対する防波堤等の根固・被覆ブロック等の安定質量算定へのイスバッシュ式の適用については、イスバッシュ定数や流速など、まだ知見は十分ではないため、今後も水理模型実験や数値シミュレーションによる検証事例の蓄積を図ることが重要である。

さらに、根固・被覆ブロック等の安定性は、部材の構造や形状、積み方などに大きく依存するため、民間企業等の最新の知見を参考にすることも重要である。

## エ) 平面基礎の支持力に対する検討

### 1) 最大反力の算定手法

壁体底面における地盤反力を算定する。壁体平面における合力Rの偏心率eの位置を判別して、以下の式により最大反力ならびに最小反力を求める。最大地盤反力と許容端趾圧とを比較する。  
(「漁港・漁場の施設の設計の手引 2003 年版」参照)

$$e = \frac{b}{2} - \frac{M_V - M_H}{V}$$

(i) ケース 1 :  $e \leq \frac{1}{6}b$  の場合

$$\text{最大反力 } p_1 = \left(1 + 6\frac{e}{b}\right) \frac{V}{A}$$

$$\text{最小反力 } p_2 = \left(1 - 6\frac{e}{b}\right) \frac{V}{A}$$

(ii) ケース 2 :  $e > \frac{1}{6}b$  の場合

$$\text{最大反力 } p_1 = \frac{2}{3\left(\frac{1}{2} - \frac{e}{b}\right)} \frac{V}{A}$$

$$\text{分布幅 } b' = 3\left(\frac{b}{2} - e\right)$$

ここで、 $p_1$  : 壁体底面における最大地盤反力 (kN/m<sup>2</sup>)

$p_2$  : 壁体底面における最小地盤反力 (kN/m<sup>2</sup>)

$b$  : 壁体の底面幅 (m)

$V$  : 荷重の鉛直分力 (kN)

$H$  : 荷重の水平分力 (kN)

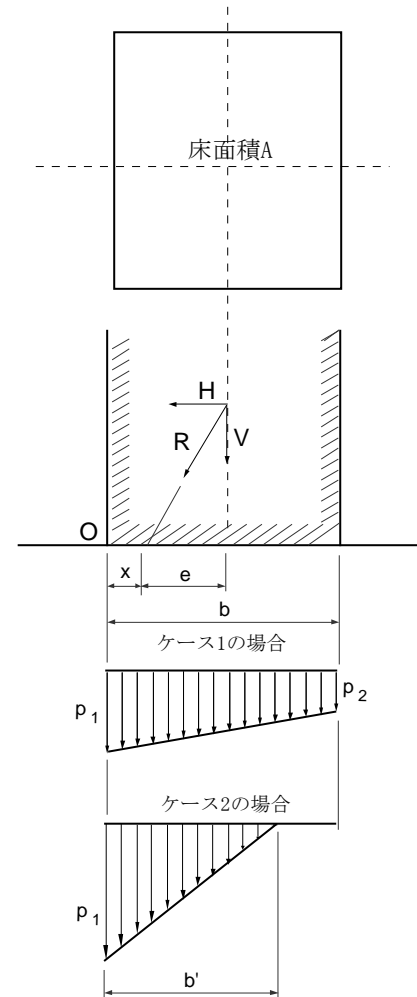
$A$  : 長方形基礎の底面積 (m<sup>2</sup>)

$b'$  :  $e > \frac{1}{6}b$  の場合の地盤反力の分布幅 (m)

$M_V$  : 壁体下端 (O点) の鉛直合力によるモーメント (kN・m)

$M_H$  : 壁体下端 (O点) の水平合力によるモーメント (kN・m)

$e$  : 荷重合力 R の偏心率 (m)



支持力の概念図

求められる許容端趾圧は、500kN/m<sup>2</sup>以下とする。

### 2) 偏心傾斜荷重に対する支持力

偏心傾斜荷重に対する支持力の評価は、簡易ビショップ法による円形すべり計算を行うものとしてよい。(「漁港・漁場の施設の設計の手引 2003 年版 p. 200～」参照)

オ) 杭・矢板の設計

ア) による津波波圧の作用を考慮し、杭・矢板の必要根入れ長、発生応力、頭部変位に対する検討を行う。（「漁港・漁場の施設の設計の手引 2003 年版 p. 335～」参照）

## カ) 防波堤の粘り強い構造の検討方法

### 1) 発生頻度の高い津波を超える津波に対する弱点の抽出

東日本大震災による被災事例を踏まえ、発生頻度の高い津波に対して決定された防波堤の断面を基にして、発生頻度の高い津波を超える津波に対する構造上の弱点を検討する。

検討にあたっては、津波の規模に応じた防波堤の破壊形態を検討し、構造上の弱点を抽出する。その際、下記の①～④の被災形態を総合的に勘案し検討されるべきものである。

津波の規模としては、発生頻度の高い津波を踏まえ想定することとする。なお、発生頻度の高い津波に対して弱点を有しないことが想定される場合には、①については、今次津波が来襲した地域の漁港防波堤について津波外力に対する安定性（滑動又は転倒）に関する安全率と被災有無の検証結果から、安定性（滑動又は転倒）に関する安全率が概ね 1.2 以上で被災している事例が少なくなることが明らかになっているので、これを踏まえ津波の規模を想定し、弱点を検討することができる。

なお、津波に対する防波堤の構造上の弱点については、以下に示す東日本大震災における津波による防波堤の被災形態を参考とすることができる。

- ① 直接的な津波力（内外水位、段波等を含む。）により、施設の安定性が損なわれた被災
- ② 越流により、防波堤の背面の基礎マウンド、海底地盤が洗掘され、施設の安定性が損なわれた被災
- ③ 開口部、堤頭部、ケーソン目地からの強い流れにより、基礎マウンド等が洗掘され、施設の安定性が損なわれた被災
- ④ 防波堤の前面と背面の水位差の発生に伴い生じる基礎マウンドや海底地盤内の浸透流により基礎の支持力が低下し、施設の安定性が損なわれた被災

### 2) 粘り強い構造の検討

1) で抽出した発生頻度の高い津波を超える津波の規模に応じた防波堤の構造上の弱点を踏まえ、粘り強い構造について検討し、漁港施設の利用状況、工事施工上の制約及び費用対効果等を総合的に勘案し、対策を決定する。津波に対する防波堤の粘り強い構造としては、現時点で<参考資料 6>に示すようなものが考えられる。

粘り強い構造については、画一的なものではなく、津波の特性、防波堤の諸元等に応じて設定されるべきものであることから、設計者が創意工夫をこらし、現場状況に応じた対策を検討することが重要である。また、その効果については、水理模型実験及び数値シミュレーションを活用し検証することが望ましい。

### 3) 当面の粘り強い構造の進め方

漁港の防波堤は、比較的、水深が浅いところに位置し、設計波も小さい傾向にあるといった特徴を考慮すると、1) で示した津波に対する防波堤の 4 つの構造上の弱点の中でも、特に①及び②については粘り強い構造の発現に向け、当面の間、モデル的に対応し、知見を得ていくことが重要である。

このため、当面の間、漁港の防波堤の粘り強い構造については、主に 1) の①及び②に対応する対応策を先行して実施してもよいものとする。

1) の①及び②に対応する具体的な対応策については、防波堤の港内側捨石の嵩上げ（腹付工の付加）や堤体上部工形状の工夫が有効である。これらの対応策の検討にあたっては、これまでの水産庁調査によって得られている以下の成果を参考にすることができる。

- 防波堤の港内側捨石の嵩上げ厚さについては、堤体高の1/3程度とすることで、防波堤の堤体及びマウンドの変形に対する粘り強さが向上する。ただし、粘り強い構造とするための嵩上げ分については、構造上、余盛りとみなし、通常の安定計算では考慮しない。
- 防波堤の港内側捨石の嵩上げ部の天端幅については、「漁港・漁場の施設の設計の手引 2003 年版 p. 322」に示されるように、設計波高に応じて定めてよい。なお、肩幅が広すぎるにより、津波の流れが防波堤の天端を越流した際に、水塊の落下の影響を受け被覆材が被災しやすくなり堤体に影響を及ぼすおそれがあることに留意が必要である。（水産庁調査の水理模型実験によると、捨石厚を堤体高の1/3とし、天端幅をブロック2個分と3個分の2ケースについて被覆材の安定性を検証したところ、3個分の方が同じ流速の条件下での被覆材の被災率が高まる傾向が見られた。）
- 捨石の嵩上げ厚さが高くなるに連れ、被覆材の安定性が低下すること、また、ひとたび被覆材が流失してしまうと捨石部も連続して流失することとなるため、被覆材の重量算定にあたっては、越流等による影響を水理模型実験や数値シミュレーション等によって十分に検証し、設定することが重要である。
- 越流に対する洗掘対策については、堤体上部工形状の工夫によって、堤体背後に越流した水塊等の落下位置をマウンドからずらすことも有効である。

また、1) で示した構造上の弱点のうち、1) の③、④に対応する対策としては、以下のようものが考えられる。

- 建設資材（洗掘防止マット、矢板等）の特性を応用した対策
- 被覆材重量の増強
- 使用部材の増強 など

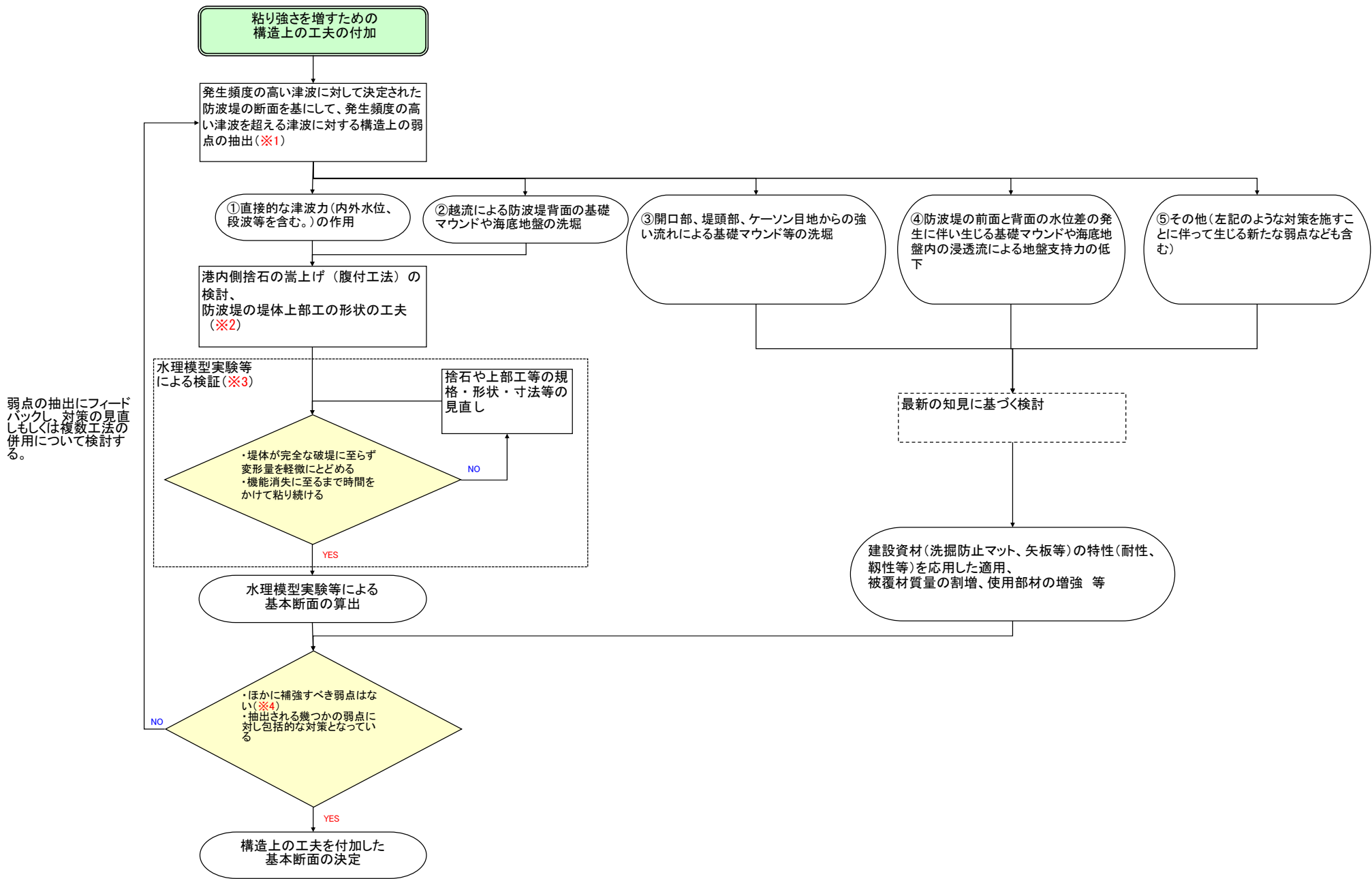
#### 4) 粘り強い構造の検討に当たっての留意事項

粘り強い構造については、先に述べたように、防波堤の港内側捨石の嵩上げによって、防波堤の堤体及びマウンドの変形に対する粘り強さが向上する一方で、捨石天端や法面が越流に伴う水塊等の影響を受けやすくなり、被覆材の安定性が低下するなど、粘り強い構造とする対策によって、新たに弱点を生じさせる可能性がある。

このため、粘り強い構造の検討に当たっては、抽出される弱点に対して包括的な対策となっていることに留意し、必要に応じて、1) にフィードバックし、対策を検討することが重要である。

#### 5) 防波堤の粘り強い構造の検討フロー

1) ～ 4) の検討に当たってのフローを次頁に示す。



※1 フロー図の①～④の被災形態を総合的に勘案し検討されるべきものである。

※2 対策工法を検討するにあたっては、工法選択の可否に影響を与える以下の事項について整理しておくものとする。

- ・施設及びその周辺の利用上の制約
- ・経済性
- ・施工性 等

※3 防波堤の港内側捨石の嵩上げ(腹付工の付加)や堤体上部工形状の工夫の検討にあたっては、これまでの水産庁調査によって得られている以下の成果を参考にすることができる。

- ・防波堤の港内側捨石の嵩上げ厚さについては、堤体高の1／3程度とすることで、防波堤の堤体及びマウンドの変形に対する粘り強さが向上する。ただし、粘り強い構造とするための嵩上げ分については、構造上、余盛りとみなし、通常の安定計算では考慮しない。
- ・防波堤の港内側捨石の嵩上げ部の天端幅については、「漁港・漁場の施設の設計の手引 2003年版 p.322」に示されるように、設計波高に応じて定めてよい。なお、肩幅が広すぎることにより、津波の流れが防波堤の天端を越流した際に、水塊の落下の影響を受け被覆材が被災しやすくなり堤体に影響を及ぼすおそれがあることに留意が必要である。(水産庁調査の水理模型実験によると、捨石厚を堤体高の1／3とし、天端幅をブロック2個分と3個分の2ケースについて被覆材の安定性を検証したところ、3個分の方が同じ流速の条件下での被覆材の被災率が高まる傾向が見られた。)
- ・捨石の嵩上げ厚さが高くなるに連れ、被覆材の安定性が低下すること、また、ひとたび被覆材が流失してしまうと捨石部も連続して流失することとなるため、被覆材の重量算定にあたっては、越流等による影響を水理模型実験や数値シミュレーション等によって十分に検証し、設定することが重要である。
- ・越流に対する洗掘対策については、堤体上部工形状の工夫によって、堤体背後に越流した水塊等の落下位置をマウンドからずらすことも有効である。

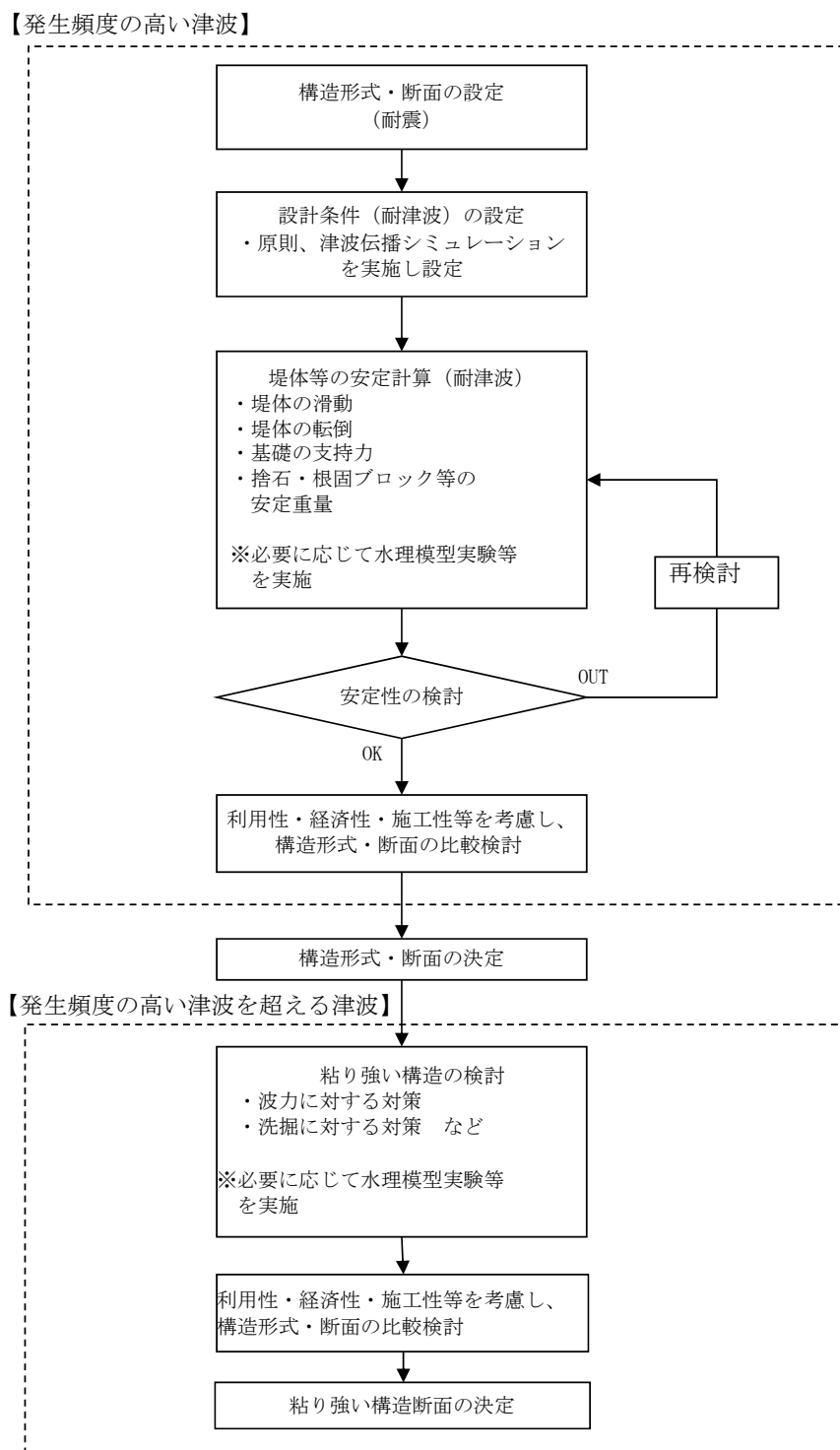
※4 ある対策を施すことに伴い、さらに新たな弱点を生じさせる可能性があることにも留意する。(例として、捨石の嵩上げに伴い捨石天端や法面が越流水塊の衝突の影響を受けやすくなり、被覆材が飛散するリスクが高まることなどが挙げられる。そのような場合には、洗掘防止マット敷設等の他工法を併用するなどの工夫を必要に応じて加えることが望ましい。)

## 粘り強さを増すための構造上の工夫の付加についての検討フロー

## 2. 津波に対する岸壁の設計方法

津波に対する岸壁の設計フローを下図に示す。

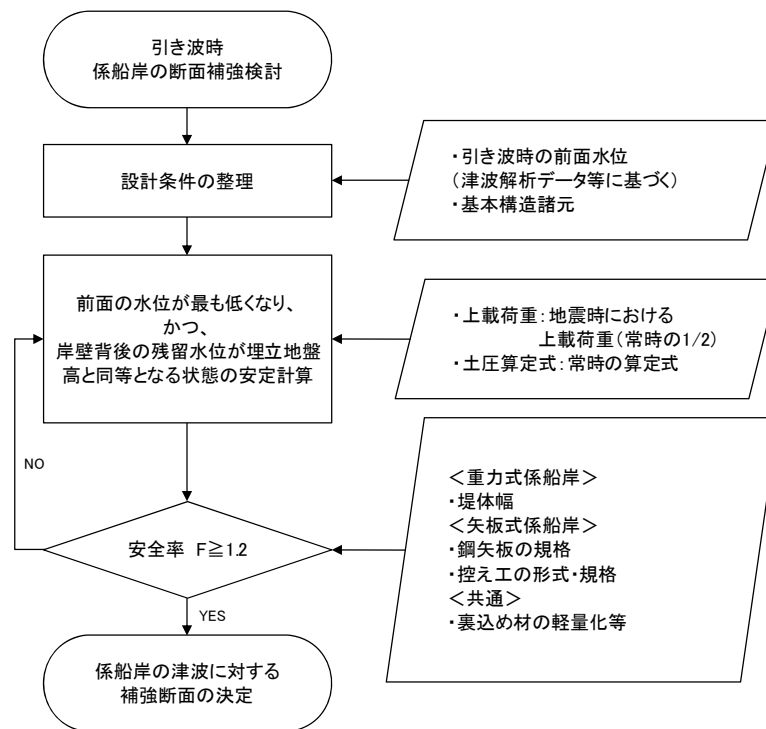
地震が発生する際の断層運動に伴う地殻変動等による広域の地盤沈下に対し、災害復旧時に天端の嵩上げを行うことが予め想定することができ、かつ、当該漁港の発生頻度の高い津波を再現する断層モデル等により沈下量を適切に算定することができる場合には、嵩上げに伴う自重の増大を考慮して対策断面を検討してよいものとする。



岸壁の設計フロー図

## ア) 設計条件の設定方法

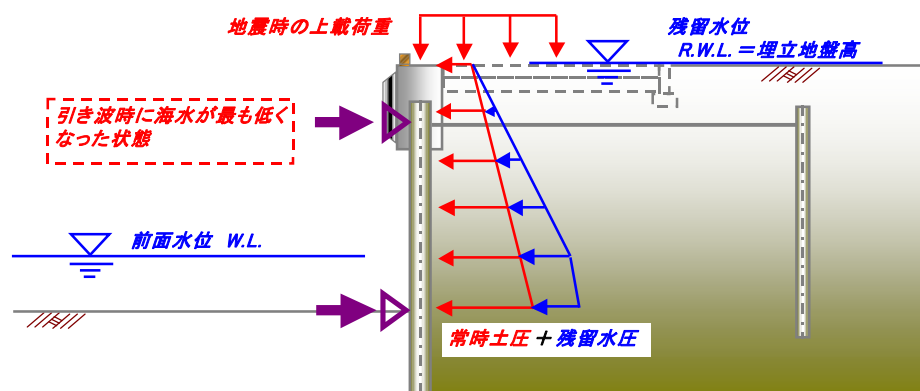
岸壁の耐津波強化対策においては、引き波時に前面の水位が最も低くなり、かつ、岸壁背後の残留水位が埋立地盤高と同等となる状態を想定し、安定計算を行う。津波伝播シミュレーションの結果を利用する場合には、L. W. L. 時として潮位を考慮することを基本とするが、H. W. L. 時の結果と大きな差がないと判断される場合にはその結果を代用させてもよい。



引き波時の安定性照査のフロー

設計荷重及び土圧分布の考え方は以下のとおりとする。

- ・ 土圧分布形状は、「漁港・漁場の施設の設計の手引 2003 年版 p. 111」に基づくものとする。
- ・ 上載荷重は、異常時であることを考慮して、地震時における上載荷重、すなわち常時の 1/2 を与える。（「漁港・漁場の施設の設計の手引 2003 年版 p. 146～147」より）
- ・ 土圧分布は、震度を考慮せず、常時の土圧算定式により与える。



矢板式岸壁の安定性検討のイメージ

## イ) 堤体の安定計算

上記ア) による設計荷重及び土圧分布を用いた堤体の滑動と転倒に対する安定計算を行う。  
求められる滑動と転倒に対する安全率を下表に示す。

求められる安全率一覧	
滑動安全率	転倒安全率
1. 2 以上	1. 2 以上

## ウ) 捨石・根固ブロック等の検討

津波の流れに対する根固・被覆ブロック等の安定質量については、原則、イスバッシュによって提案されている捨石等の安定質量算定式（以下、イスバッシュ式という）によって算定する。イスバッシュ式を用いて防波堤等の根固・被覆ブロック等の安定質量を算定する場合、潜堤マウンドの被覆材における岩崎らの検証結果を参考とすることができ、イスバッシュ定数 1.08 を用いることができる。

津波引き波時に岸壁から流下する強い流れに対する岸壁前面の根固・被覆ブロック等の安定質量については、防波堤を越流した津波水塊の打ち込みによる流速と同様、津波伝播シミュレーションで推定することが現時点では困難なため、水理模型実験によって設定することが望ましい。

## エ) 平面基礎の支持力に対する検討（本参考資料 p. 70 参照）

壁体底面における地盤反力を算定し、最大地盤反力と許容端趾圧とを比較する。許容端趾圧は、 $500\text{kN/m}^2$  以下とする。

偏心傾斜荷重に対する支持力の評価は、簡易ビショップ法による円形すべり計算を行うものとしてよい。（「漁港・漁場の施設の設計の手引 2003 年版 p. 200～」参照）

## オ) 杭・矢板の設計

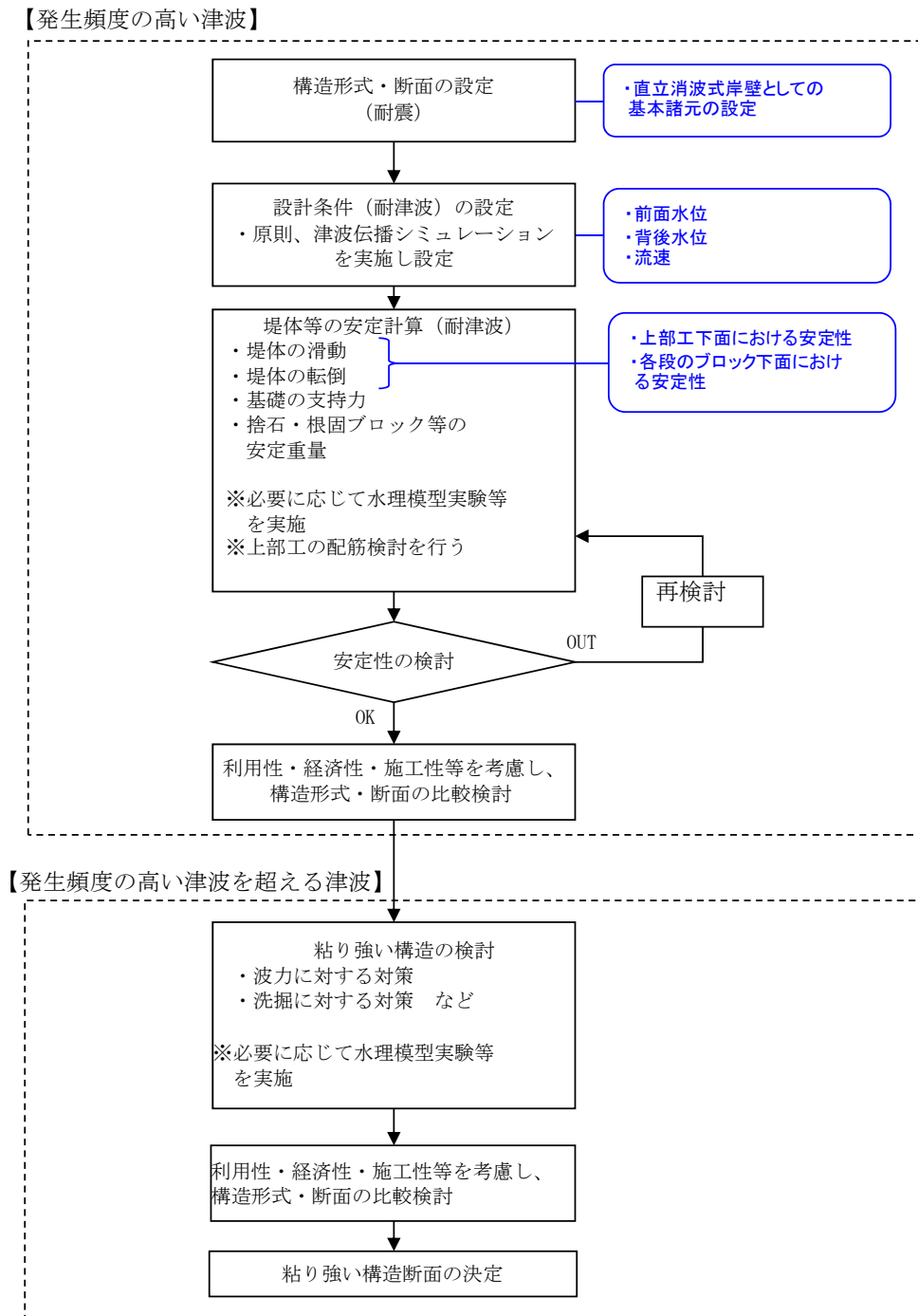
上記ア) による設計荷重及び土圧分布を用い、杭・矢板の必要根入れ長、発生応力、頭部変位に対する照査を行う。（「漁港・漁場の施設の設計の手引 2003 年版 p. 428～」参照）

## カ) 直立消波ブロック式係船岸における上部工及び直立消波ブロックの安定検討

直立消波ブロック式岸壁では、津波の作用に対し鉛直方向の抵抗力が小さい上部工や上段ブロックの被災が顕著であることから、その補強対策を講じる必要がある。

上部コンクリートや直立消波ブロックの飛散は、津波による揚圧力が要因として考えられることから、次頁に示す設計荷重を考慮した上部工及びブロックの安定性（転倒のみ）及び配筋検討を行うものとする。なお、滑動に対する安定性については、岸壁本体の安定計算の中で行うこととする。

以下に、上部工及び直立消波ブロックの安定検討について、現時点の考えに基づく検討フローを示す。



設計フロー図（直立消波岸壁）

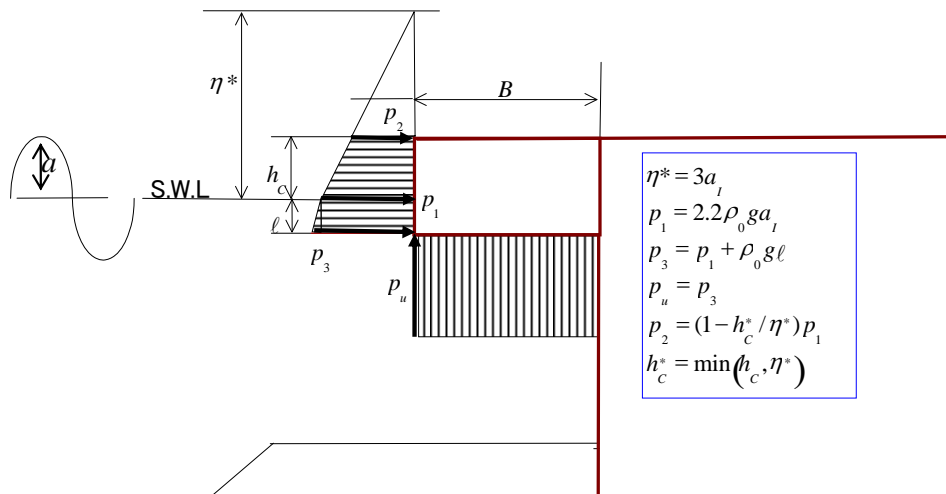
## (1) 設計荷重の考え方

設計荷重の考え方は、以下に示すとおりである。

### 1) 非越流時

- ・ 前面波圧分布は谷本式で算定
- ・ 上部工及びブロック下面に働く揚圧力は矩形分布とする。
- ・ 越流直前が最も厳しい状態となる

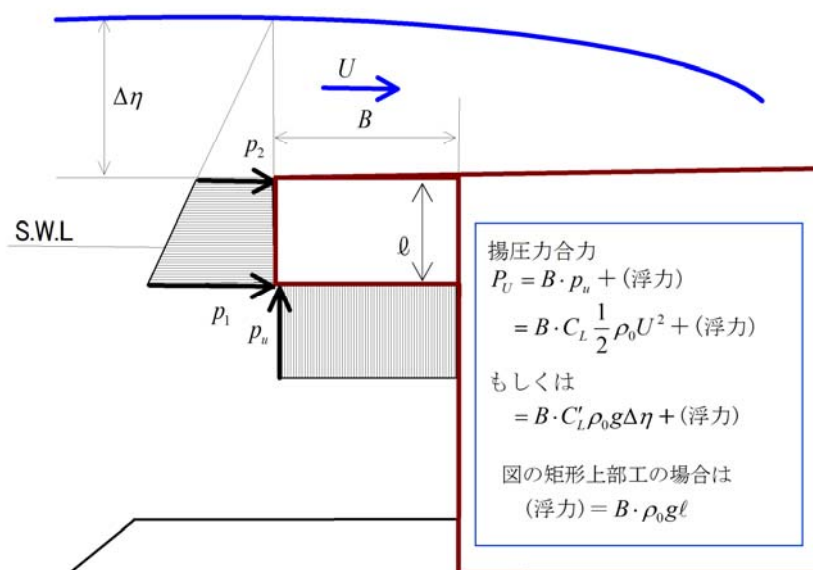
※ここでの揚圧力は浮力を含めたものと定義する。



荷重分布イメージ図（非越流時）

### 2) 越流時

- ・ 前面波圧分布は水工研提案式で算定
- ・ 上部工及びブロック下面に働く揚圧力は矩形分布とする。作用する圧力  $p_u$  は、越流流速  $U$  あるいは浸水深  $\Delta\eta$  より算定する。
- ・ 越流直前での谷本式と確認



荷重分布イメージ図（越流時）

津波が越流する場合の直立消波式岸壁の上部工及びブロックに作用する揚圧力合力は、原則、水理模型実験や数値波動水路の計算により求めることとする。

係数  $CL$  については、水産庁の調査によると、今次津波により発生する水位に対して係数を試算した結果、概ね  $C_L=2.4$  程度となる報告があるので、これを参考としてよいものとする。なお、係数  $CL$  は、前面水深-4.0m、天端高+2.5m、堤体幅 4.0~6.0m、上部工厚 0.5~1.0m、潮位+0.70m の条件で、数値波動水路により上部工の上下面に作用する圧力差より揚圧力合力を計算し、それより浮力を引いて求めた力（揚力）と上部工上の平均流速の関係を整理したものである。

## （２） 安定計算の方法

（１）で算出された設計荷重を用いた上部工及びブロックの安定計算に必要な式を以下に示す。

### ・転倒に対する検討

上部工及びブロックを陸側の上方へ転倒させようとする揚圧力（非越流時）、揚力（越流時）のモーメントに対し、抵抗モーメントが十分であるか否かを以下の式を用いて検討する。

$$F \leq \frac{Wt}{P_u t' - Pl}$$

ここに、

$W$ : 上部工及びブロックの重量(kN) (浮力は揚圧力により考慮されるので差し引く必要はない。)

$P$ : 上部工及びブロックに働く水平波圧合力 (kN)

$P_u$ : 上部工及びブロックに働く揚圧力合力（浮力を含む）(kN)

$t$  : 上部工及びブロックの後端より  $W$  の作用線までの距離 (m)

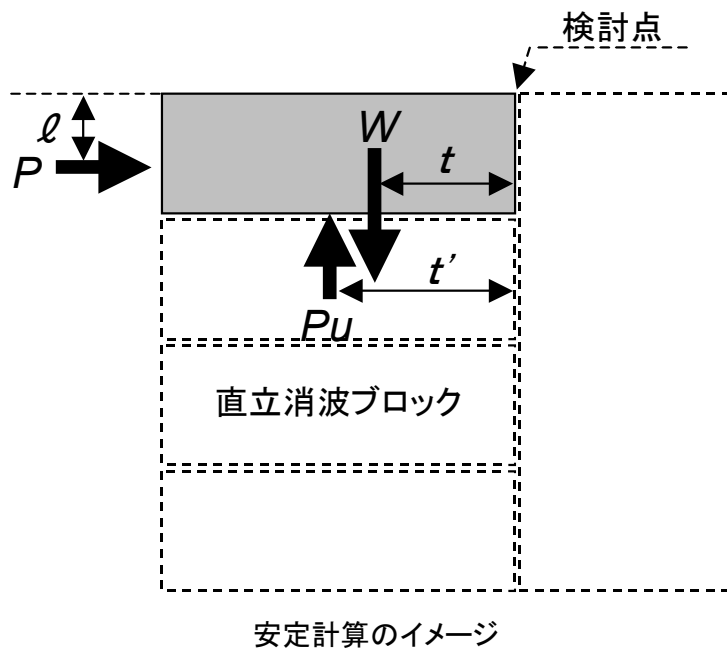
$t'$  : 上部工及びブロックの後端より  $P_u$  の作用線までの距離 (m)

$l$  : 上部工及びブロックの上面から波圧合力の作用点までの距離 (m)

$F$ : 安全率

### ・求められる安全率と許容値

求められる転倒に対する安全率は 1.2 以上とする。



#### キ) 岸壁の粘り強い構造の検討方法

##### 1) 発生頻度の高い津波を超える津波に対する弱点の抽出

東日本大震災による被災事例を踏まえ、発生頻度の高い津波を超える津波に対する構造上の弱点を検討する。

検討にあたっては、津波の規模に応じた防波堤の破壊形態の検討し、構造上の弱点を抽出する。津波に対する岸壁の構造上の弱点については、以下に示す東日本大震災における津波による岸壁の被災形態を参考とすることができる。

- ① 押し波の揚圧力等の直接的な力により、施設の安定性が損なわれた被災
- ② 引き波の速い流れ等の直接的な力により、施設の安定性が損なわれた被災
- ③ 前面が洗掘され、裏込め材が吸い出され、施設の安定性が損なわれた被災

##### 2) 粘り強い構造の検討

1) で抽出した発生頻度の高い津波を超える津波の規模に応じた岸壁の構造上の弱点を踏まえ、粘り強い構造について検討し、漁港施設の利用状況、工事施工上の制約及び費用対効果等を総合的に勘案し、対策を決定する。津波に対する岸壁の粘り強い構造としては、現時点で<参考資料6>に示すようなものが考えられる。

粘り強い構造については、画一的なものではなく、津波の特性、防波堤の諸元等に応じて設定されるべきものであることから、設計者が創意工夫をこらし、対策を検討することが重要である。また、その効果については、水理模型実験及び数値シミュレーションを活用し検証することが望ましい。

1) で示した津波に対する岸壁の3つの構造上の弱点のうち、①については発生頻度の高い津波に対する対策の中で検討することとなっていることから、ここでは②及び③について考えられる対策を以下に示す。

②の弱点に対する対策： 捨石の嵩上げ、拡幅による地盤支持力の増大

③の弱点に対する対策： エプロンの重量増大、部材強度の強化及び上部工等との一体化基礎捨石等の保護（鋼矢板打設 等）

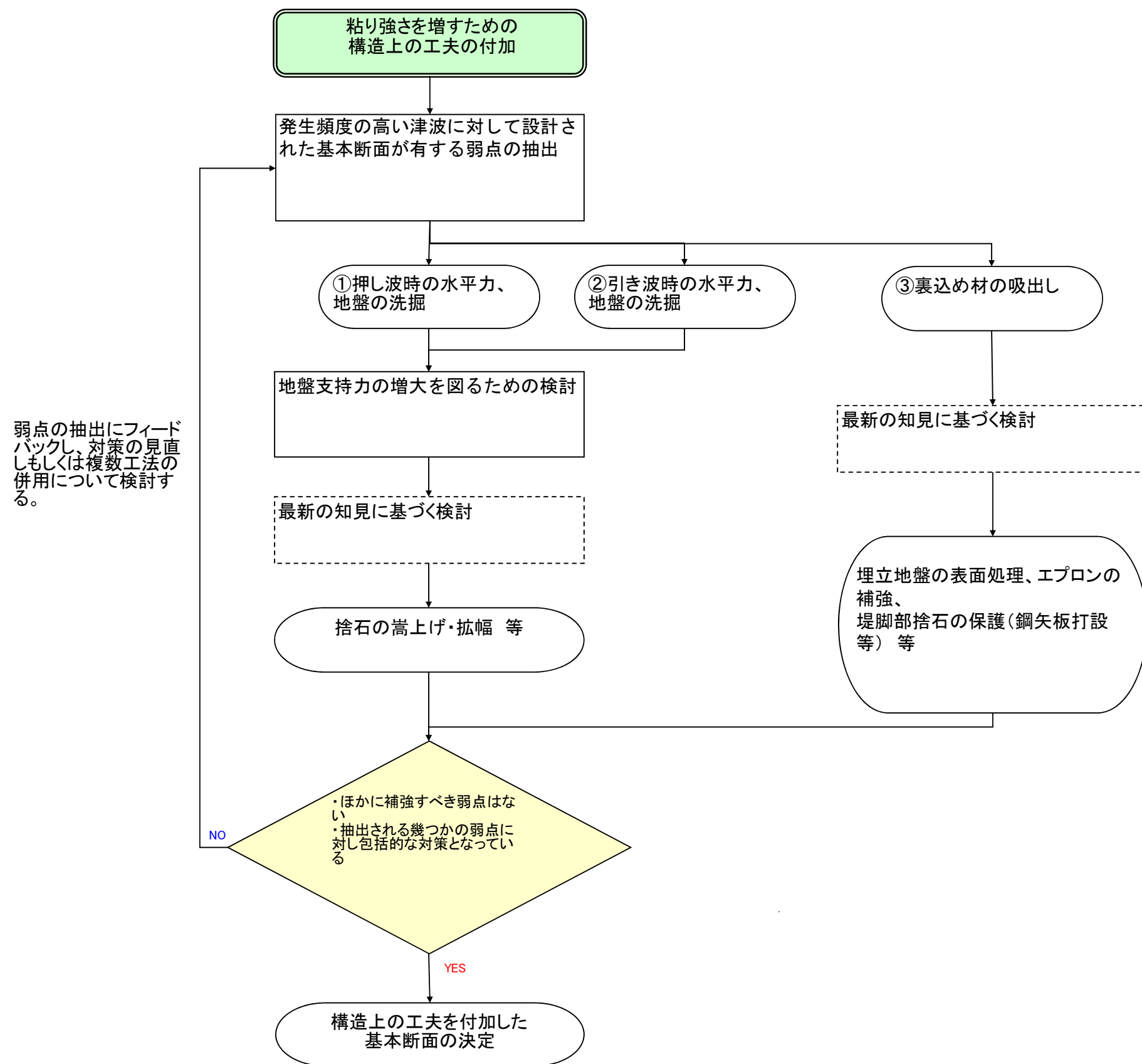
3) 粘り強い構造の検討に当たっての留意事項

粘り強い構造については、防波堤でも述べたように、粘り強い構造とする対策によって、新たに弱点を生じさせる可能性がある。

このため、粘り強い構造の検討に当たっては、抽出される弱点に対して包括的な対策となっていることに留意し、必要に応じて、1) にフィードバックし、対策を検討することが重要である。

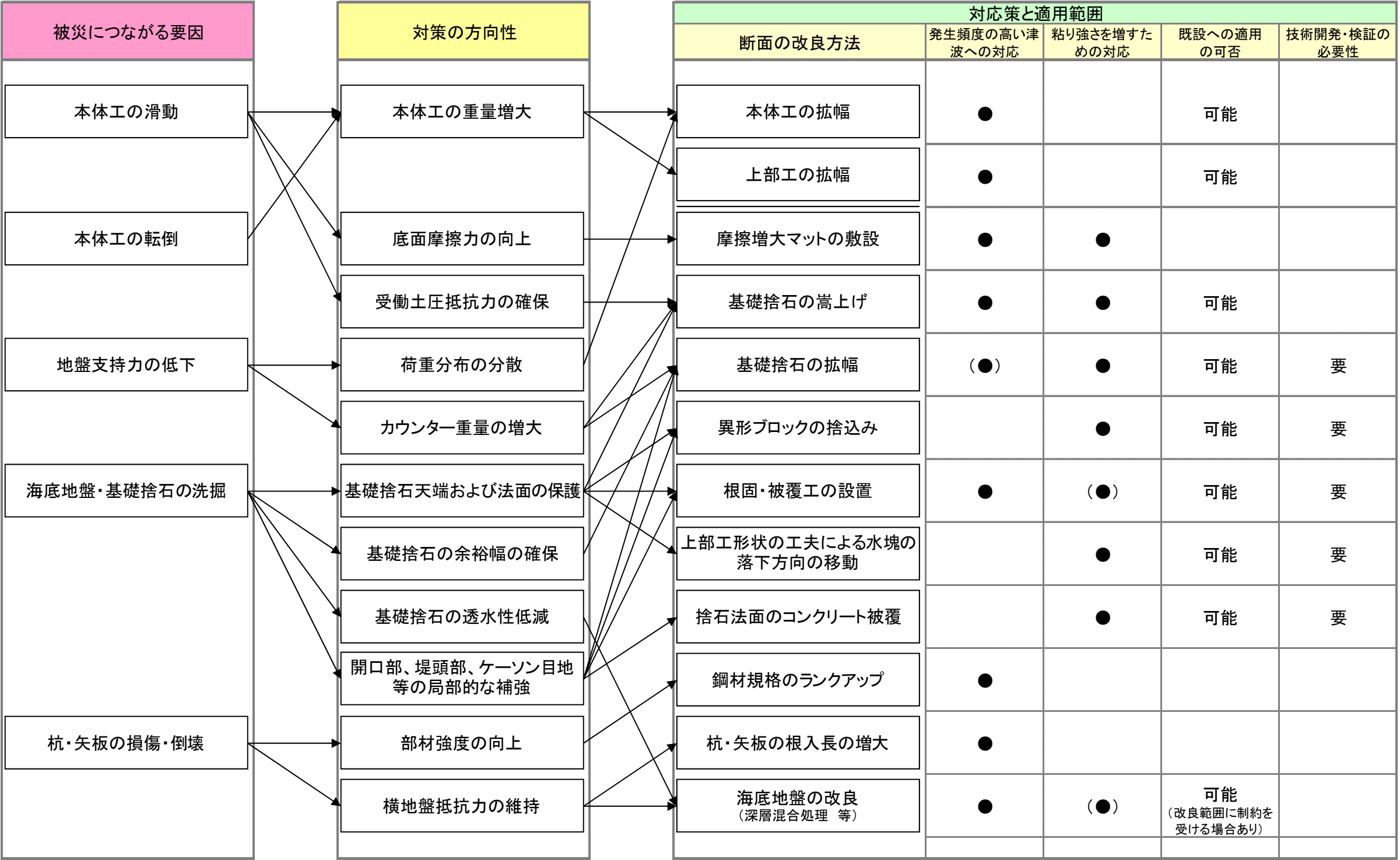
4) 岸壁の粘り強い構造の検討フロー

1) ～ 3) の検討に当たってのフローを次頁に示す。



粘り強さを増すための構造上の工夫の付加についての検討フロー

<参考資料 6> 津波による被災要因と対策手法の例  
 津波による被災につながる要因と対策の分類（防波堤）を下図に示す。



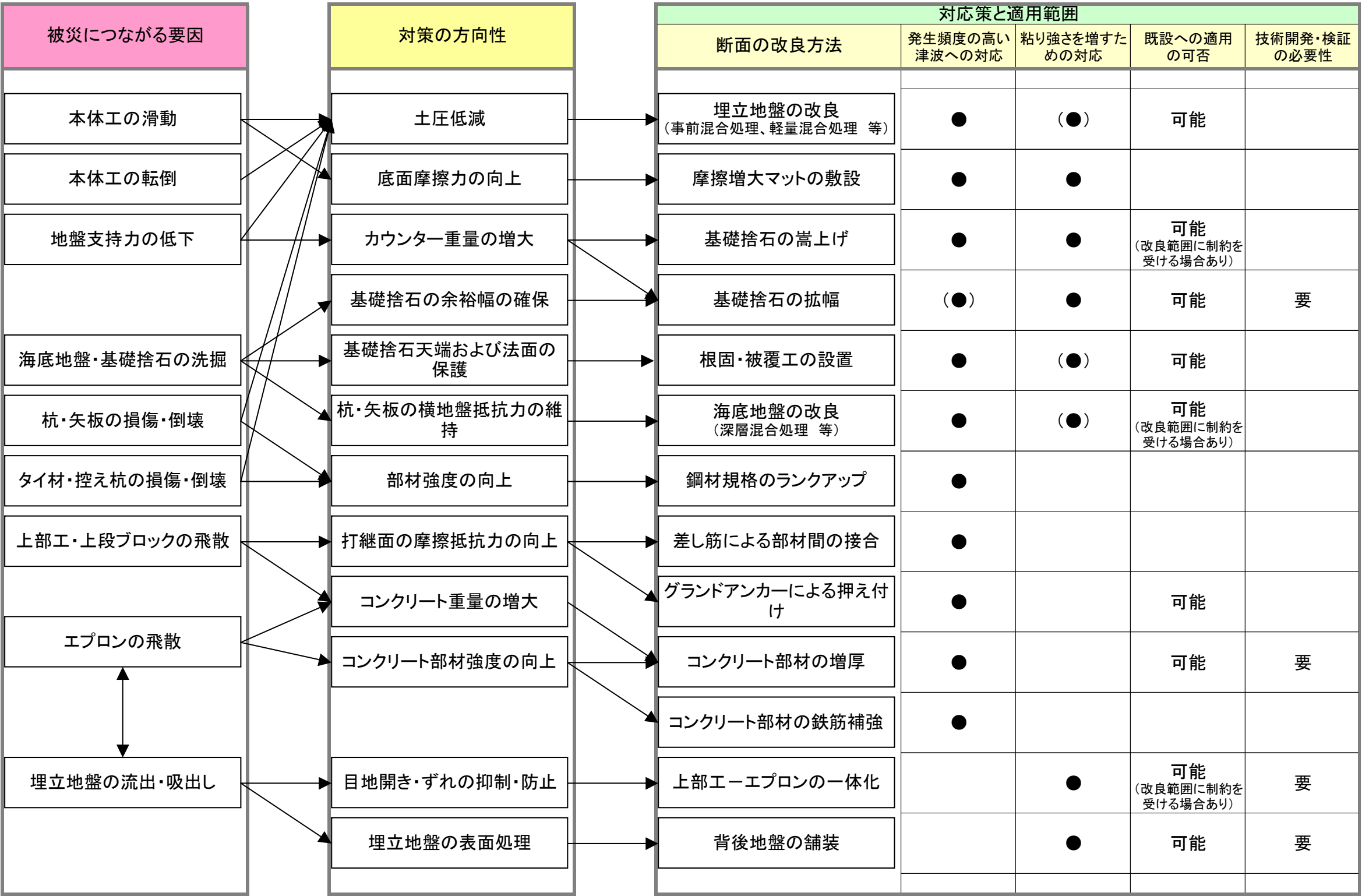
● :主目的として効果が期待できる  
 (●) :主目的ではないが効果が期待できる

津波による被災要因と対策とその適応範囲（防波堤）

津波に対する防波堤の対策手法の例を下図に示す。

対策の方向性 対応破堤メカニズム		波力に対する抵抗力の増加 津波波力型／引き波波力型	洗掘防止 堤頭部洗掘型／越流洗掘型
発生頻度の高い津波への対応策	イメージ図		
	対策例工法	押し波・引き波で同様の対策 ■堤体の拡幅、上部工の嵩上げ・拡幅(滑動・転倒に対する安全率を基準値以上とする) ■摩擦抵抗増加(摩擦マツ等を活用;滑動に対する安全率を基準値以上とする) ■杭・矢板の根入れ長の増大(所要根入れ長の照査) ■鉛直荷重の分散(底面反力を基準値以下とする)	押し波・引き波で同様の対策 ■洗掘防止工の設置(被覆材の安定重量を確保する)
粘り強さを増すための対応策	イメージ図		
	対策例工法	押し波・引き波で同様の対策 ■捨石の嵩上げ	押し波・引き波で同様の対策 ■異形ブロックによる衝撃力の抑制(堤頭部、堤体背後) ■捨石の嵩上げによる衝撃力の抑制 ■上部工形状の工夫 ■洗掘防止工の設置(法面のコンクリート被覆、鋼矢板打設 等)

津波による被災につながる要因と対策の分類（岸壁）を下图に示す。



● :主目的として効果が期待できる  
(●) :主目的ではないが効果が期待できる

津波による被災要因と対策とその適応範囲（岸壁）

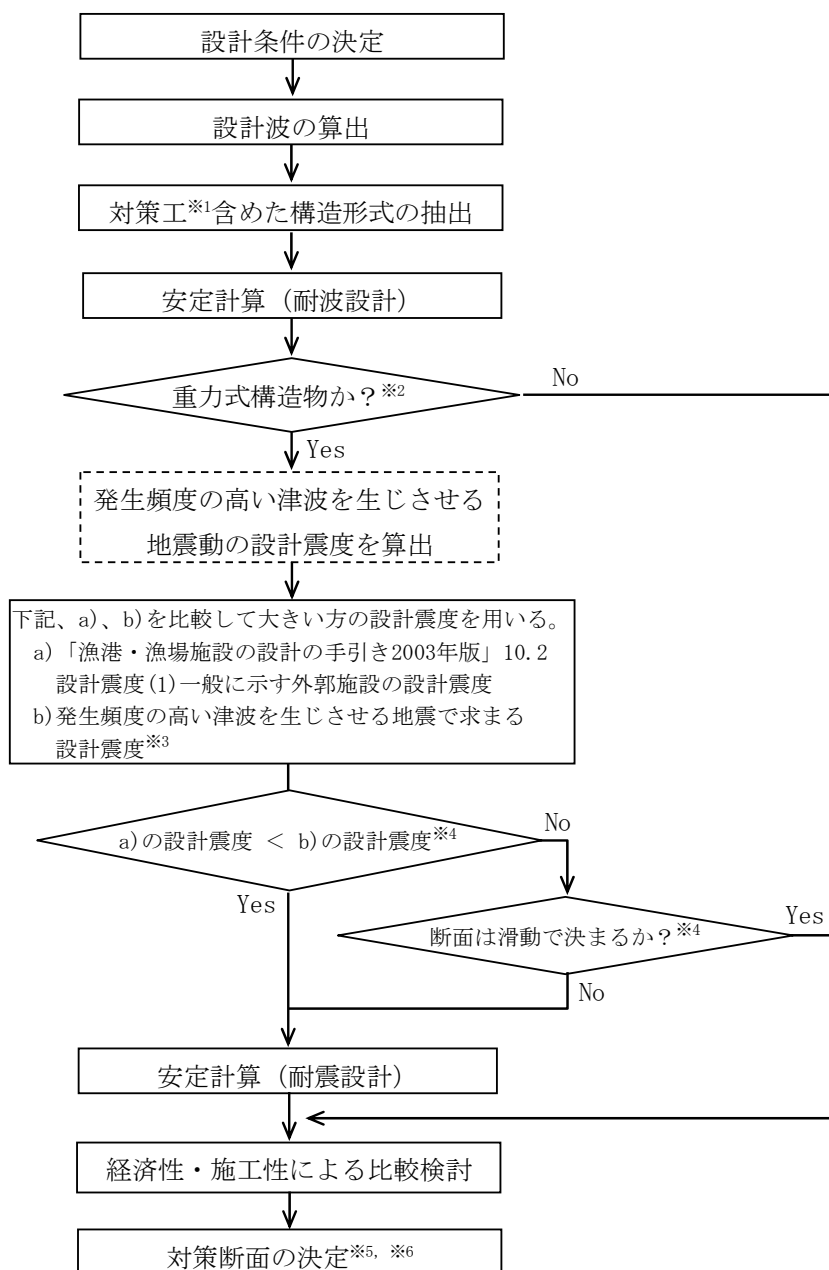
津波に対する岸壁の対策手法の例を下図に示す。

対策の方向性		波力に対する抵抗力の増加	洗掘防止
対応破壊メカニズム		津波波力型／引き波波力型	裏込材吸出型
発生頻度の高い津波への対応策	イメージ図		
	対策例工法	■部材強度の向上、埋立地盤の事前混合処理または軽量混合処理（土圧・水圧に対し部材発生強度を基準値以下とする） ■グラントアンカー、構造の一体化（引き波時等の滑動・転倒等の安全率を基準値以上とする） ■杭・矢板の根入れ長の増大（所要根入れ長の照査）	■洗掘防止工の設置（被覆材の流れに対する安定重量を確保する）
粘り強さを増すための対応策	イメージ図		
	対策例工法	■捨石の嵩上げ・拡幅による地盤支持力の増大	■埋立地盤の表面処理、エプロンの補強 ■堤脚部捨石の保護（鋼矢板打設 等）

## ＜参考資料 7＞ 地震に対する防波堤・岸壁の設計方法

### 1. 地震に対する防波堤の設計手法

防波堤に対する耐震設計は、次に示す方法で決定した設計震度を用いて安定計算を行うものとする。なお、防波堤の耐震設計では、重力式以外の構造形式の場合及び「漁港・漁場施設の設計の手引き 2003 年版」の表 2-10-1 の外郭施設の設計震度が発生頻度の高い津波を生じさせる地震動から求まる設計震度よりも大きく、さらに防波堤の断面が耐波設計において滑動に対する安定性で決まっている場合にあっては、耐震設計は省略できる。



※1：既往施設において、現行の設計外力の方が大きくなる場合の対策工の検討を表す。

※2：重力式以外の構造形式の場合には、地震時における安定計算は省略できる。

※3：発生頻度の高い津波を生じさせる地震動の設定にあたっては、中央防災会議等により適切な方法で設定された地震動を SMAC 相当フィルタで処理したものをを用いる。中央防災会議等により地震動が設定されていない場合には、「漁港・漁場施設の設計の手引き 2003 年版」(2)耐震強化岸壁に示されている手順に基づき設計震度を設定してもよい。ただし、この手順を用いることができるのは、地震学、地盤工学等の専門家のもとで発生頻度の高い津波を生じさせる地震動を引き起こす断層モデルのパラメータ（断層位置、断層の傾き、断層の長さ、マグニチュードなど）の妥当性を確認した場合に限るものとする。

※4：発生頻度の高い津波を生じさせる地震動から求まる設計震度が「漁港・漁場施設の設計の手引き 2003 年版」10.2 設計震度(1)一般に示す設計震度より大きい場合には、安定計算を実施する。ただし、「漁港・漁場施設の設計の手引き 2003 年版」10.2 設計震度(1)一般に示す設計震度の方が大きい場合でも、防波堤の断面が耐波設計において滑動に対する安定性で決まっていなかった場合には安定計算を実施する。

※5：断面の決定後、P. 61 のフロー図における津波に対する検討へ進む。ただし、津波対策の検討で断面形状が変更になった場合には、変更した断面で再度耐震性能の評価を実施すること。

※6：防波堤の基礎地盤（置換砂含む）に液状化が懸念される場合には、適切な方法で液状化による沈下量を検討し、津波対策の検討に反映させることが望ましい。

## 防波堤の検討フロー図

## 2 岸壁に適用する地震動と設計方法

岸壁の耐震強化対策においては、漁港の役割や施設の機能に応じた耐震性を確保することとする。具体的には、以下に示す地震動と設計方法を適用する。

漁港の役割や施設の機能に応じて区分した岸壁の設計地震動及び設計方法について下表に示すととともに、変形照査の際に用いる標準的な許容値について次項の表で示す。

重点的に地震・津波対策の強化を行うべき漁港施設における耐震設計の考え方

分類	対象施設	設計地震動	設計方法
耐震強化型	耐震強化岸壁 (防災拠点漁港)	レベル2地震動	<p>① 「漁港・漁場施設の設計の手引き 2003 年版」10.2 設計震度(1)一般に示す係留施設Aの震度を用いて構造断面を設計する。</p> <p>② 液状化対策：地震動の継続時間を考慮した液状化判定<sup>※1</sup>を実施し、地盤全体として液状化する場合には液状化対策を講ずる。液状化判定には、「漁港・漁場施設の設計の手引き 2003 年版」10.2 設計震度(1)の基盤最大加速度もしくは当該地区の設計供用中に発生する確率の高い地震動（レベル1地震動）をサイト特性を考慮して設定したものをを用いる。</p> <p>③ ①で決定した断面および②で決定した液状化対策を初期値として岸壁を設置する地点において発生する地震動のうち、最大規模の強さを有する地震動（レベル2地震動）による変形解析を行い、「漁港・漁場施設の設計の手引き 2003 年版」表 6-13-2 に示されている許容値以内にあるかを照査する。ただし、明らかにレベル2地震動でも液状化しない場合（岩盤上または、等価N値が25以上で如何なる地震でも液状化しない地盤に建設し、さらに埋立材料も液状化しない材料とする場合）には、地震時に地盤の軟化が生じないため震度法により設計した断面でレベル2地震動に対して所定の性能を満足していると思なすことができる。なお、レベル2地震動の設定に関しては、震源特性、伝播経路特性、サイト特性を考慮して作成した地震動もしくは既存のレベル2地震動の設定方法（「設計の手引き」第2編10.2設計震度（2）耐震強化岸壁に記載されている方法で作成した地震動または設計震度を用いてもよいものとする。</p> <p>④ ③で許容値以内でない場合には、断面あるいは液状化対策を見直し、許容値以内に収めるようにする。</p>
	水産物生産・流通拠点漁港における主要な陸揚岸壁	レベル2地震動	耐震強化岸壁の設計法に準じる。
	(1) 特定第3種漁港又は特定第3種以外の漁港であっても被災することによって広範囲に渡る経済活動に著しい影響を及ぼす恐れのある水産物生産・流通拠点漁港	レベル1地震動もしくは発生頻度の高い津波を生じさせる地震の大きい方の地震	<p>① a)、b)を比較して大きい方の設計震度を用いる。 a) 設計震度：「漁港・漁場施設の設計の手引き 2003 年版」10.2 設計震度(1)一般に示す係留施設Aの震度を用いる。 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を用いる。</p> <p>② 液状化対策：地震動の継続時間を考慮した液状化判定<sup>※1</sup>を実施し、地盤全体として液状化する場合には液状化対策を講ずる。液状化判定には、上記 a)、b)のうち大きい設計震度となる地震動を用いる。a)の場合には、「漁港・漁場施設の設計の手引き 2003 年版」10.2 設計震度(1)の基盤最大加速度を用いる。</p>

※1：山崎浩之、江本翔一：地震動波形の影響を考慮した液状化の予測・判定に関する提案、港湾空港技術研究所報告、第49巻、第3号、pp.79～109、2010

## 設計震度表（耐震強化岸壁は除く）

表 2-10-1 設計震度等（耐震強化岸壁は除く）

	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), 関東(茨城県), 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, 大分県, 宮崎県, 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)
基盤の最大加速度 (Gal)	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( ) 書の設計震度を用いる。

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, 主要な陸揚岸壁及び定期船・フェリーが発着する岸壁であり, 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・漁場の施設の設計の手引 2003 年版 p.118」より

## 変形照査の許容値一覧表

表 6-13-2 使用上の観点から見た変形照査の参考値

構造物	項 目	変形量
構造物本体	沈下量	25cm
	傾斜角	3 度
	法面の出入り	25cm
エプロン	沈下	30cm
	傾斜角	3 度

「漁港・漁場の施設の設計の手引 2003 年版 p.522」より

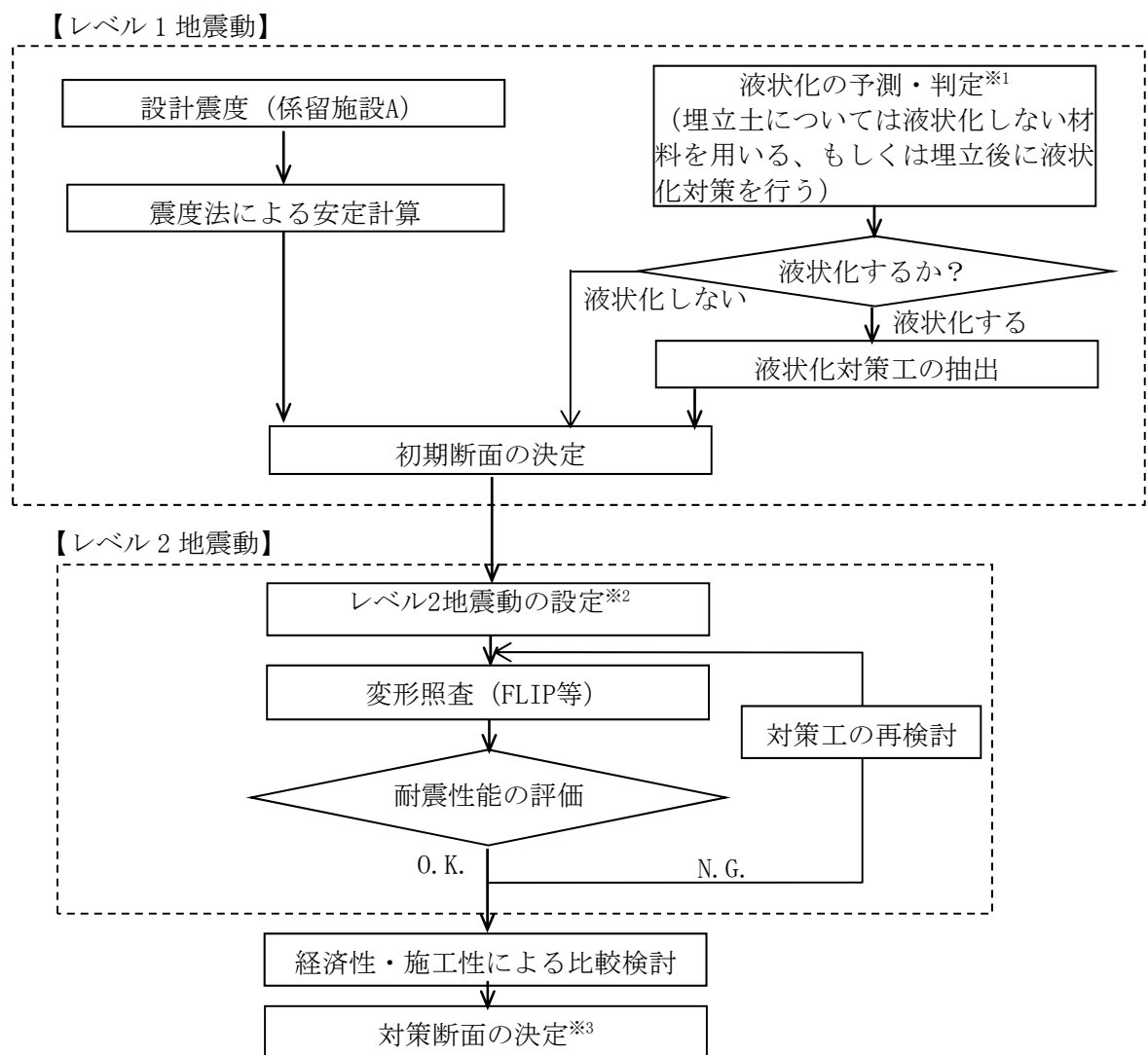
### 3. 地震に対する岸壁の設計手法

岸壁に対する耐震設計では、新設岸壁と既設岸壁とで検討手順が異なる。以下に、対象岸壁毎に新設及び既設の場合の耐震設計の検討フローを以下に示す。

- (1) 耐震強化岸壁 ((1) 特定第3種漁港又は特定第3種以外の漁港であっても被災することによって広範囲に渡る経済活動に著しい影響を及ぼす恐れのある水産物生産・流通拠点漁港を含む)

#### a) 新設岸壁の場合

耐震強化岸壁（新設岸壁）の検討フローを下图に示す。



※1：レベル1地震動（再現期間75年の基盤波形）を用いて、地震動の継続時間を考慮した液状化の予測・判定を行い、必要に応じて液状化対策を検討する。

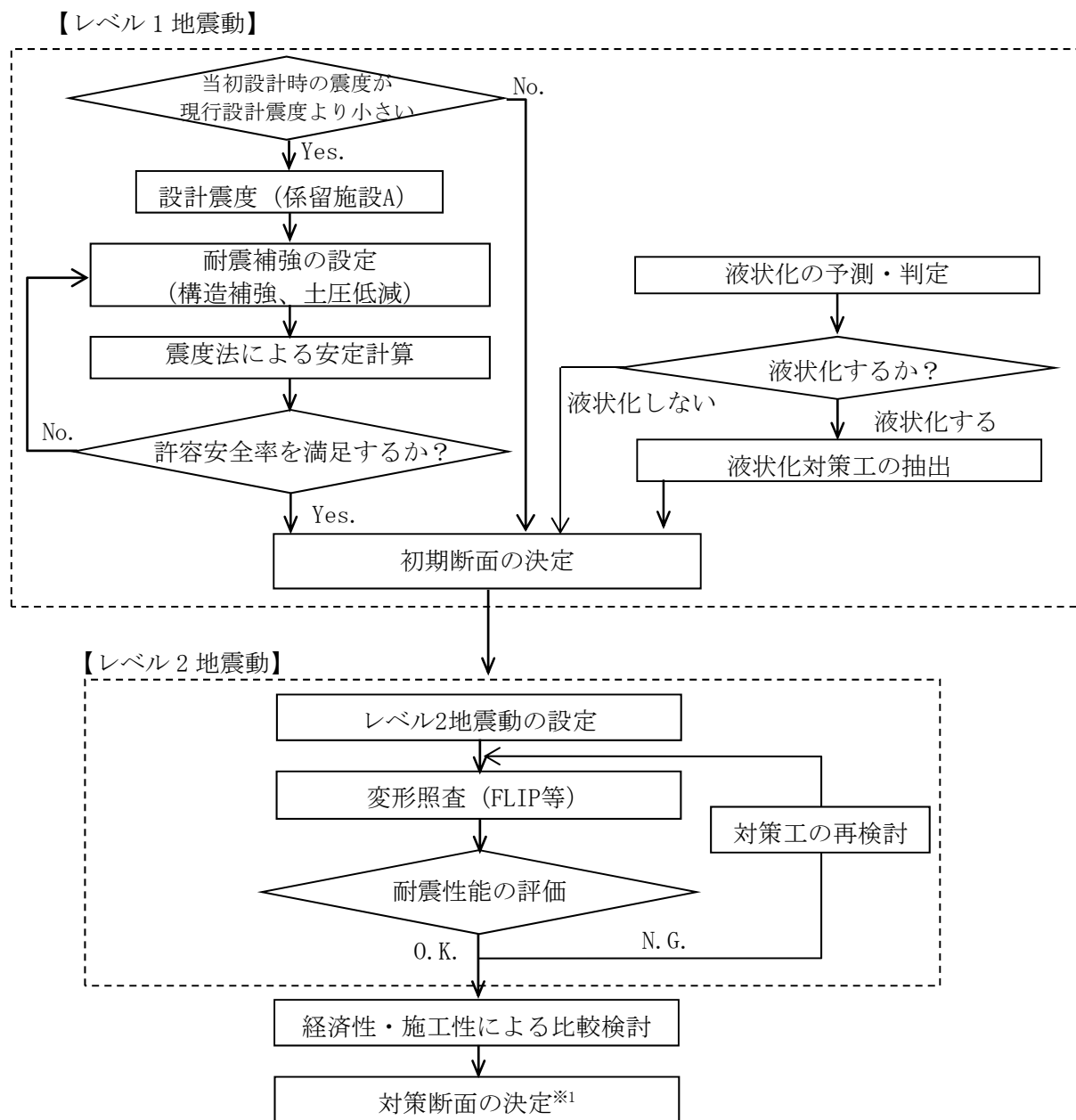
※2：レベル2地震動：岸壁を設置する地点において発生する地震動のうち、最大規模の強さを有する地震動。

※3：断面の決定後、P.75のフロー図における津波に対する検討へ進む。ただし、津波対策の検討で断面形状が変更になった場合には、変更した断面で再度耐震性能の評価を実施すること。

耐震強化岸壁の検討フロー図（新設岸壁）

b) 既設岸壁の場合

耐震強化岸壁（既設岸壁）の検討フローを下図に示す。



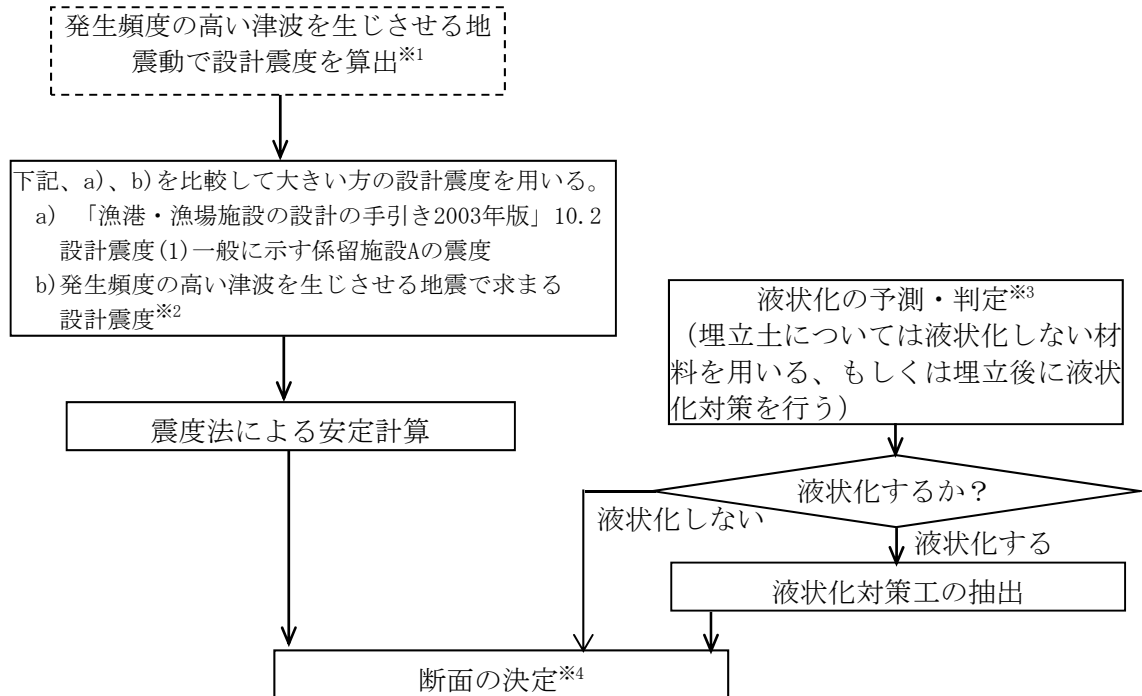
※1：断面の決定後、P. 75 のフロー図における津波に対する検討へ進む。ただし、津波対策の検討で断面形状が変更になった場合には、変更した断面で再度耐震性能の評価を実施すること。

耐震強化岸壁の検討フロー図（既設岸壁）

(2) (1) 以外の流通拠点漁港又は生産拠点漁港

a) 新設岸壁の場合

(1) 以外の水産物生産・流通拠点漁港の岸壁（新設岸壁）の検討フローを下図に示す。



※1：発生頻度の高い津波を生じさせる地震動から求まる震度が「漁港・漁場施設の設計の手引き 2003 年版」10.2 設計震度(1)一般に示す係留施設 A の震度よりも明らかに小さいことがわかっている場合には、省略してもよい。

※2：発生頻度の高い津波を生じさせる地震動の設定にあたっては、中央防災会議等により適切な方法で設定された地震動を SMAC 相当フィルタで処理したものをを用いる。中央防災会議等により地震動が設定されていない場合には、「漁港・漁場施設の設計の手引き 2003 年版」(2)耐震強化岸壁に示されている手順に基づき設計震度を設定してもよい。ただし、この手順を用いることができるのは、地震学、地盤工学等の専門家のもとで発生頻度の高い津波を生じさせる地震動を引き起こす断層モデルのパラメータ（断層位置、断層の傾き、断層の長さ、マグニチュードなど）の妥当性を確認した場合に限るものとする。

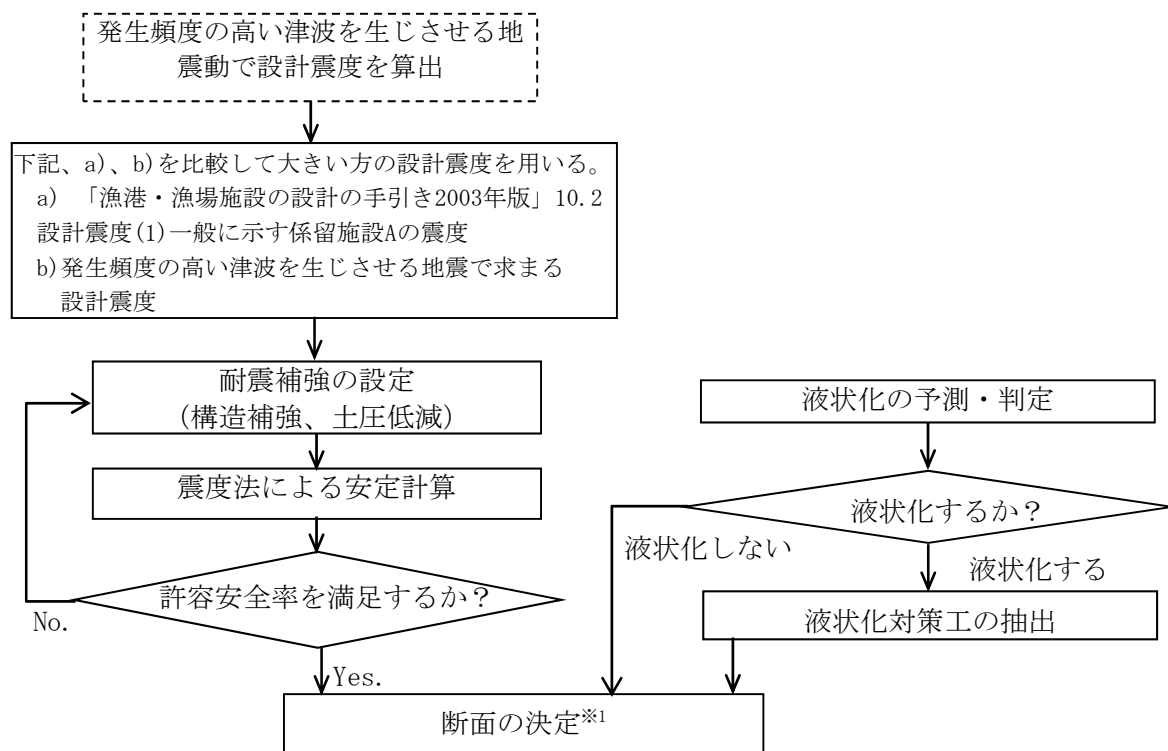
※3：レベル1地震動（再現期間 75 年の基盤波形）を用いて、地震動の継続時間を考慮した液状化の予測・判定を行い、必要に応じて液状化対策を検討する。

※4：断面の決定後、P. 75 のフロー図における津波に対する検討へ進む。ただし、津波対策の検討で断面形状が変更になった場合には、変更した断面で再度耐震性能の評価を実施すること。

(1) 以外の流通拠点漁港又は生産拠点漁港の岸壁の検討フロー図（新設岸壁）

b) 既設岸壁の場合

(1) 以外の水産物生産・流通拠点漁港の岸壁（既設岸壁）の検討フローを下图に示す。



※1：断面の決定後、P. 75 のフロー図における津波に対する検討へ進む。ただし、津波対策の検討で断面形状が変更になった場合には、変更した断面で再度耐震性能の評価を実施すること。

(1) 以外の流通拠点漁港又は生産拠点漁港の岸壁の検討フロー図（既設岸壁）

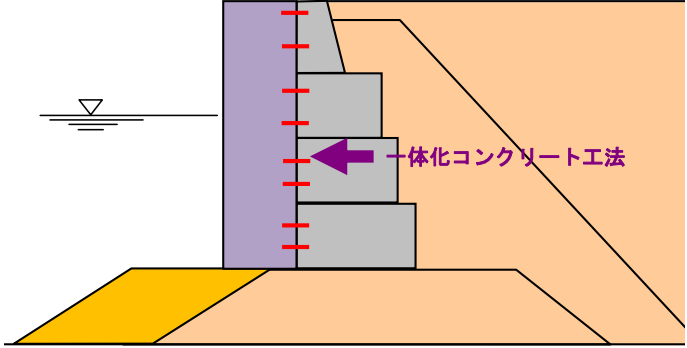
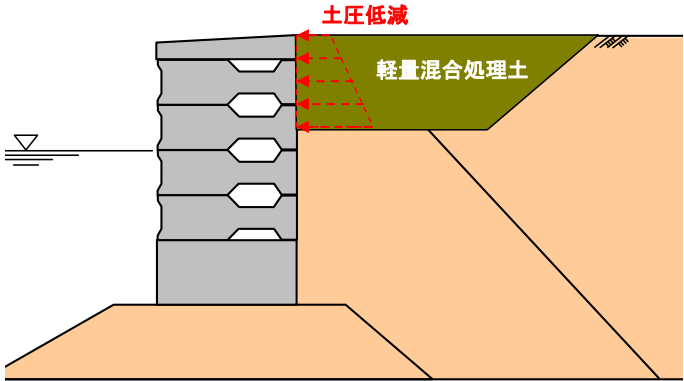
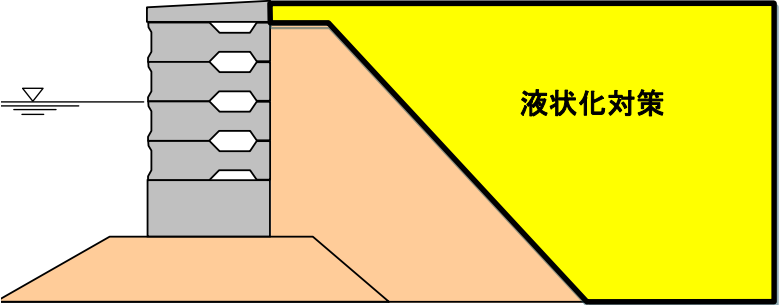
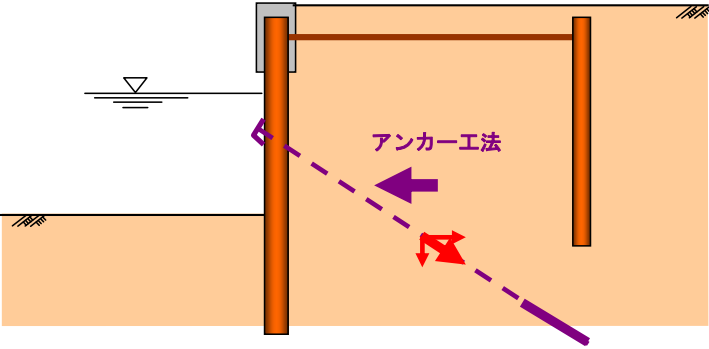
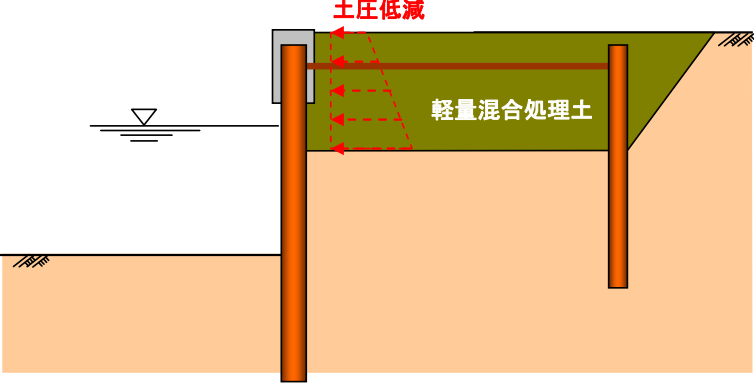
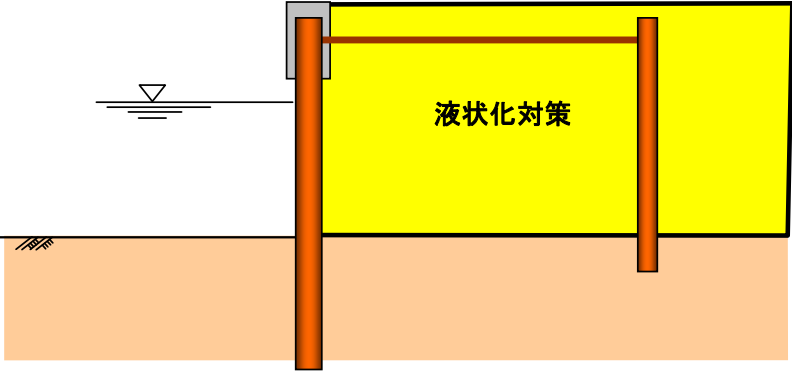
<参考資料 8> 地震による被災要因と対策手法の例

地震による被災要因を下表に示す。

地震による被災要因の分類表

被災要因	被災の概要	被災のイメージ図
① 構造物自体の慣性力増大	設計時に想定した震度よりも大きな震度が、構造物(栈橋、ケーソン、矢板)に作用したことにより被災したものの。	
② 構造物背後の土圧増加	設計時に想定した震度よりも大きな震度が、構造物背後(裏込め部)に作用したことにより、構造物(栈橋、ケーソン、矢板)に作用する土圧が想定よりも大きくなり被災したものの。	
③ 埋立地盤の液状化	構造物背後の埋立地盤が液状化したことにより構造物(栈橋、ケーソン、矢板)が被災するとともに、背後の埋立地盤で不陸が発生し被災したものの。	

地震に対する岸壁の対策手法の例を下図に示す。

対策方法		① 構造物補強による対策	② 土圧低減対策	③ 液状化対策
工法概要		一体化コンクリートや控えアンカー等により既設堤体を補強する。	裏込石等を撤去し、軽量混合処理土等に置換することにより、堤体に作用する土圧を低減する。	締固め工法や固結工法等により背後裏埋土等の液状化の発生防止を図る。
重力式	イメージ図			
	対策例工法	<ul style="list-style-type: none"><li>一体化コンクリート工法</li><li>控えアンカー工法</li><li>前出し工法（ブロック、ケーソン、矢板新設）</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>軽量混合処理土置換工法</li><li>事前混合処理土置換工法</li><li>水砕スラグ置換工法</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>サンドコンパクションパイル工法</li><li>深層混合処理工法</li><li>浸透固化処理工法</li></ul>
矢板式	イメージ図			
	対策例工法	<ul style="list-style-type: none"><li>控えアンカー工法</li><li>既設矢板補強工法</li><li>新設矢板一体化工法</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>軽量混合処理土置換工法</li><li>事前混合処理土置換工法</li><li>水砕スラグ置換工法</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>サンドコンパクションパイル工法</li><li>深層混合処理工法</li><li>浸透固化処理工法</li></ul>