

「防波堤の耐津波設計の基本的考え方」

国土交通省 国土技術政策総合研究所
港湾研究部 港湾施設研究室
宮田正史

発表の流れ

- (0) 「防波堤の耐津波設計」の検討の位置づけ
- (1) 東日本大震災における防波堤の津波被災から得られた教訓
- (2) 防波堤に作用する津波越流時の波力評価と防波堤の安定性照査手法
- (3) 防波堤の耐津波設計の基本的考え方

「防波堤の耐津波設計」の検討の位置づけ ～ 震災後から今後に向けて～

東日本大震災直後の課題

近代港湾へ想定を大きく上回る津波が来襲

第1線防波堤の大規模被害(港湾活動の早期復旧の妨げ)

・復旧事業への対応

→防波堤の耐津波設計の考え方の再構築

これまでの取組・成果

港湾における地震・津波対策のあり方(答申) (H24.6: 交通政策審議会 港湾分科会 防災部会)

防波堤については、設計津波高を越える津波に対しても
壊滅的な倒壊はしにくい「粘り強い構造」を目指すべき

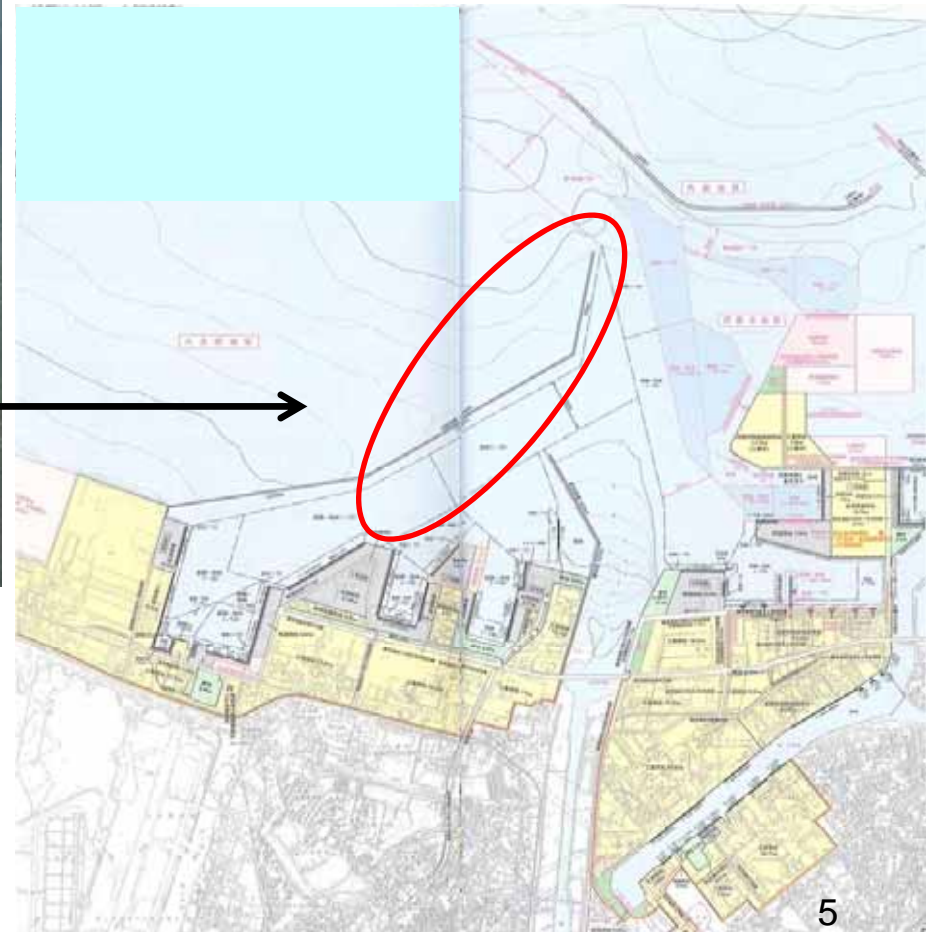
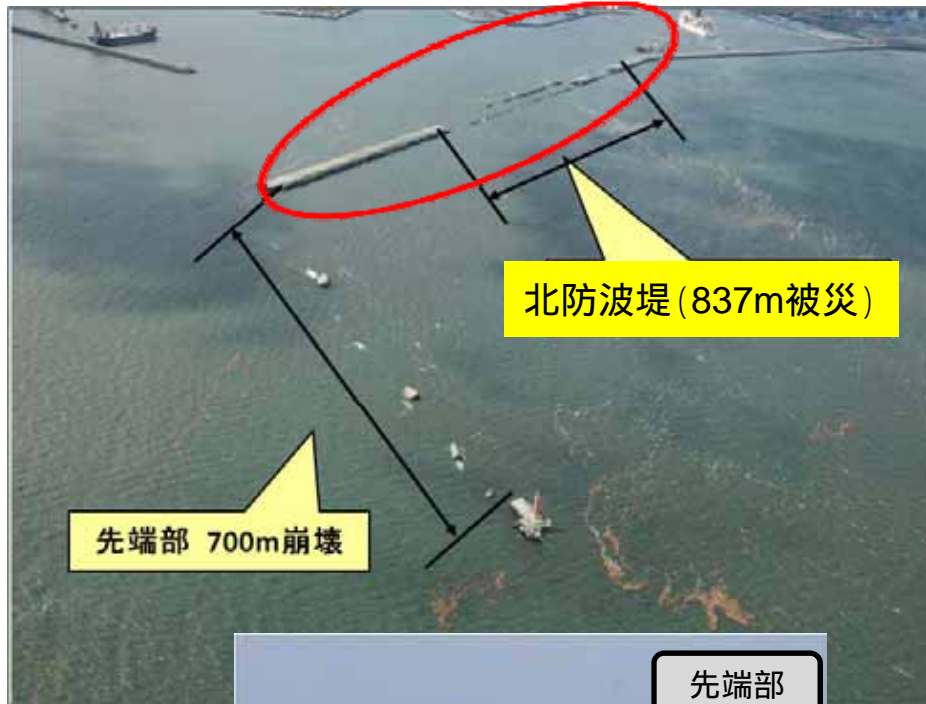
「防波堤の耐津波設計ガイドライン(案)」(国交省港湾局)(H25.1)

防波堤の被災教訓を復旧事業や今後の事業に活かすための
技術的指針をとりまとめ

耐津波設計の基本的考え方、粘り強い構造の例示

(1) 東日本大震災における防波堤の津波被災 から得られた教訓

防波堤の代表的な被災事例(八戸港)

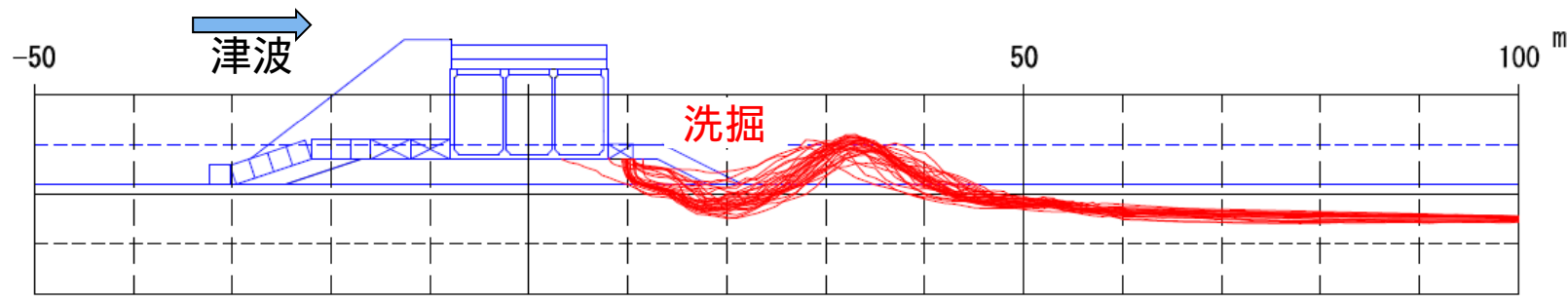


津波来襲時における防波堤の越流状況 (八戸港北防波堤)【動画】

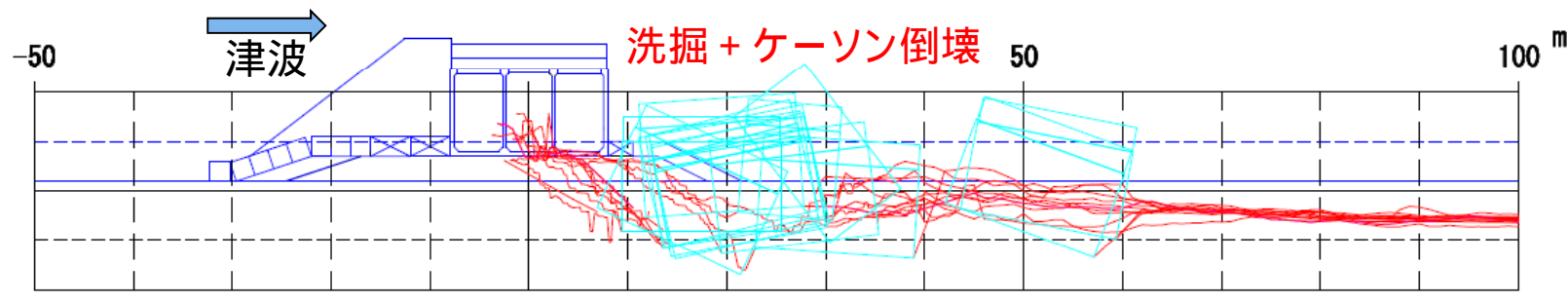
【動 画】

■津波が防波堤を越流する(乗り越える)ことによる洗掘被害

- 八戸港北防波堤における越流による被災事例 (図中赤線：被災後の地盤面)



(a) ケーソン残存部



(b) ケーソン滑落部

- 当該防波堤は、津波波力に対しては十分安定する幅を有していた。
- しかしながら、越流により防波堤背後の基礎や海底地盤が先行して洗掘されることにより、防波堤ケーソンが支持を失う形で倒壊。
 - 越流に対する洗掘対策を施すことにより、防波堤の保有している性能を最大限活かせるようにすることが重要！

釜石港湾口防波堤の滑動実験（縮尺1/20）

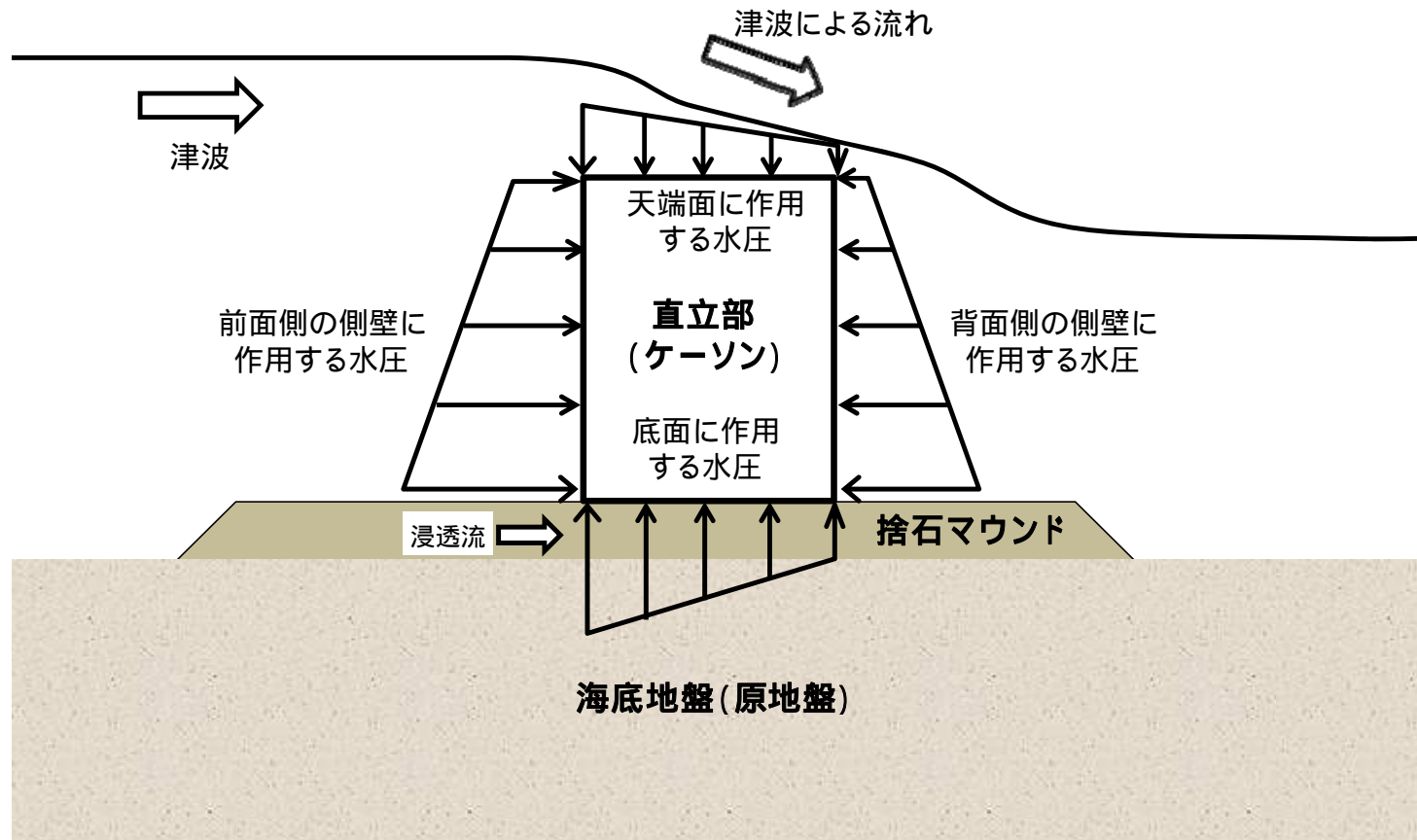
（港湾空港技術研究所，有川ら（2013））

【動画】



(2) 防波堤に作用する津波越流時の波力評価 と防波堤の安定性照査手法

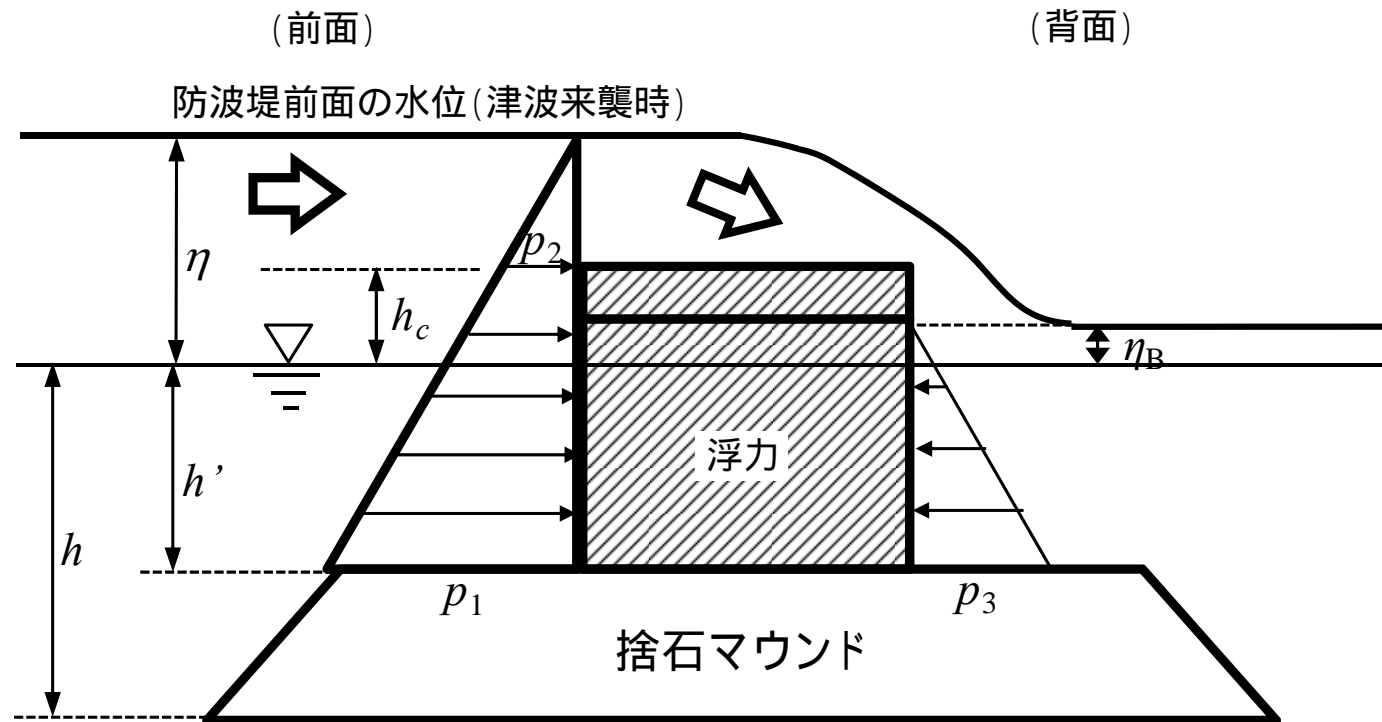
津波越流時に防波堤に作用する水圧（イメージ）



直立部（防波堤ケーソン）の安定性（滑動、支持力、転倒）の照査のポイントは、まず津波波力を適切に評価・設定すること！

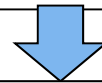
津波波力と安定性照査（越流する場合）

- 防波堤前面と背面の最大水位差を算出し、防波堤の前背面における静水圧差を用いて防波堤の安定性を確認する。
- 水理模型実験等による結果に基づき、現時点では、**前面の静水圧に $\alpha_f = 1.05$ 倍、背面の静水圧に $\alpha_r = 0.9$ 倍した静水圧を用いる。**

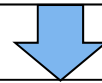


実被災事例に基づく津波波力式の検証 および防波堤の安定性照査手法の妥当性の確認

Step : 各港・各防波堤に來襲した津波の再現計算により、防波堤の前面と背面で発生する津波による最大水位差を計算



Step : 各防波堤の工区ごとに、先述した津波波力式を用いて津波越流時に作用した津波波力を計算
(対象防波堤: 被災した6港湾の第1線防波堤)

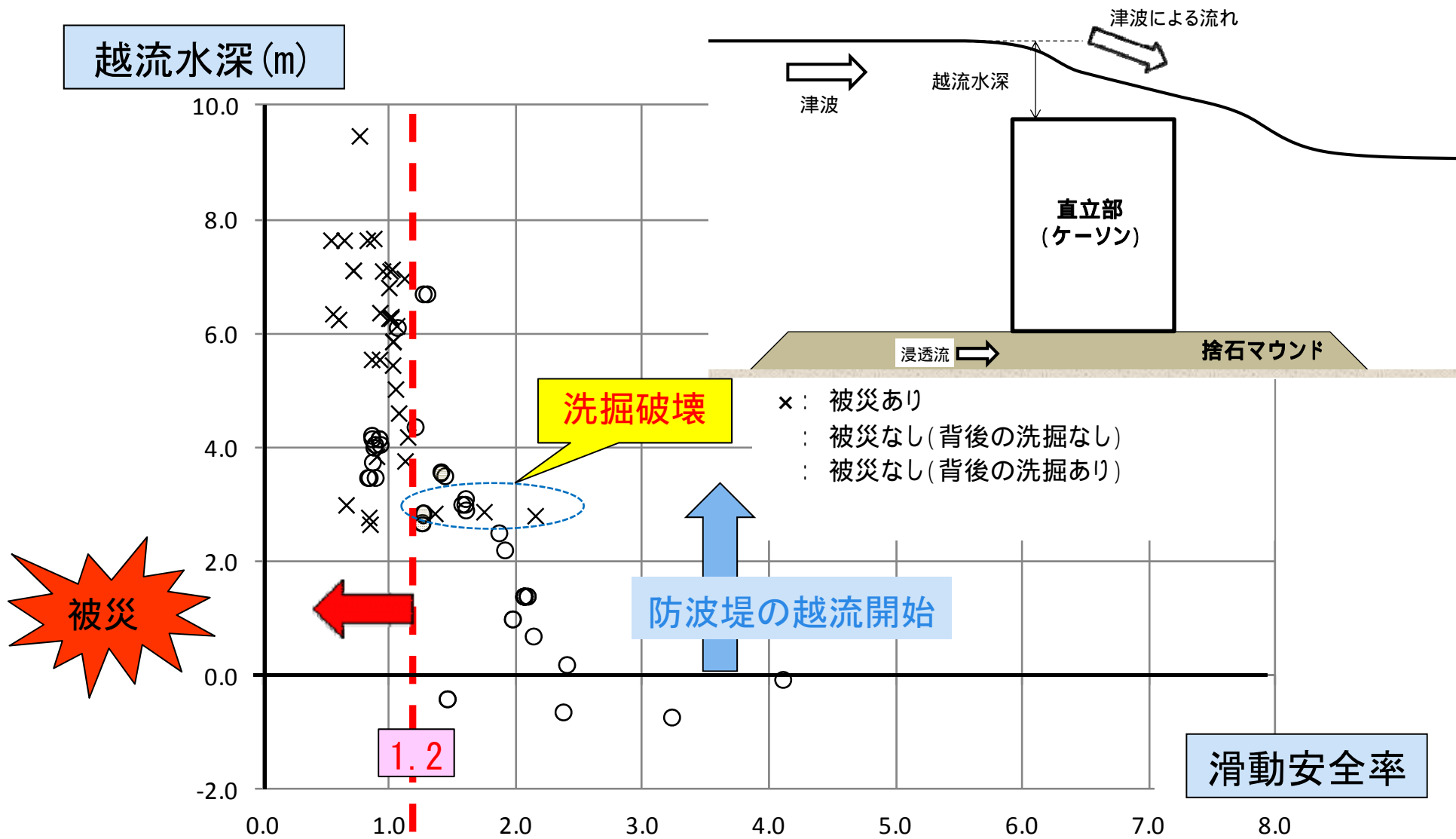


Step : 各防波堤の工区ごとに、安全率(=耐力/津波作用)を算定する。(今回は、滑動安全率の結果を示す)



Step : 津波波力式および安定性照査方法の妥当性を確認。
さらに、安全率の目安を設定。

越流水深と滑動安全率の関係における防波堤の被災有無 (2011年東北地方太平洋沖地震の被災事例)



- ・ 滑動安全率が概ね 1.2 を下回ると被災発生
- ・ 越流による洗掘破壊の先行を防ぐことが重要

設計津波に対する当面の安定性照査手法

- 既存の「直立部の滑動、転倒及び基礎の支持力に対する安定性照査手法」を適用。
- 許容安全率（構造解析係数）については、下表に示す値を参考（最小値）とする。

表 3-1 構造解析係数の参考値

照査項目	構造解析係数
直立部の滑動	1.2
直立部の転倒	1.2
基礎の支持力	1.0

(3) 防波堤の耐津波設計の基本的考え方

～「防波堤の耐津波設計ガイドライン(案)」～
(国土交通省港湾局, H25.1)

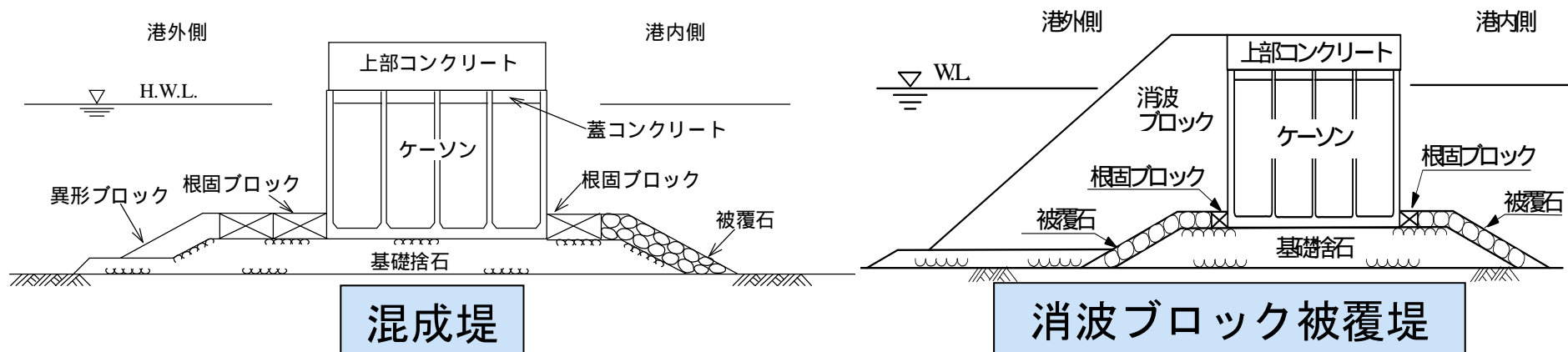
対象防波堤

対象防波堤

- ・港湾機能を維持するために津波発災直後から波浪に対して一定の港内静穏度を確保する必要がある防波堤
- ・津波を低減する効果を期待する防波堤

構造形式

主に、混成堤及び消波ブロック被覆堤を対象。



海上輸送ネットワークの核となる施設における耐震性・耐津波性の向上 国土交通省

- 幹線貨物輸送ネットワークの拠点となるコンテナターミナル、フェリー・RORO船ターミナル等については、耐震強化を推進。
- 地震・津波による被災リスクや費用対効果を勘案しつつ、耐震性・耐水性を有する荷役機械、背後の埠頭用地・臨港道路の耐震化・液状化等の対策を適切に講じる。



② 2つの想定津波レベル

■発生頻度の高い津波

偶発作用として対象施設を設置する地点に到達すると想定される津波のうち、「最大クラスの津波」と比較して発生頻度が高く、かつ、人命、財産又は社会経済活動に重大な影響を及ぼす恐れのある規模の津波

⇒ **防波堤の耐津波設計で対象とする津波**であり、地域防災計画等を踏まえて設定。ただし、背後の構造物等の重要度に応じて、「発生頻度の高い津波」から「最大クラスの津波」までの間で設計対象とする津波を設定することも可能。

■最大クラスの津波

偶発作用として対象施設を設置する地点に到達すると想定される津波のうち、発生頻度は極めて低いものの、人命、財産又は社会経済活動に極めて重大な影響を及ぼす最大規模の津波。

⇒ **設計対象とする津波を上回る規模の津波に対して防波堤の「粘り強い構造」を検討する際に考慮する津波**

⇒ 内閣府における設定等を想定

③防波堤の耐津波設計の基本的考え方

防波堤の耐津波設計にあたっては、設計津波（≡「発生頻度の高い津波」）に対して防波堤に求められる機能が維持されるとともに、「設計津波」を超える規模の津波が来襲する場合であっても、防波堤に求められる機能が可能な限り維持されるように津波に対して倒壊しにくい「粘り強い構造」を目指すものとする



- 設計津波に対して、しっかり設計！
⇒発災直後からの港内静穏度の確保、津波減災効果の発揮
- それをを超える規模の津波に対しても、できる限り倒壊しない「粘り強い」構造となるように努力する！
⇒できる限り軽微な構造上の工夫で対応

東北地方整備局による水理模型実験結果【動画】 (防波堤の上部パラペット形状が越流に及ぼす影響)

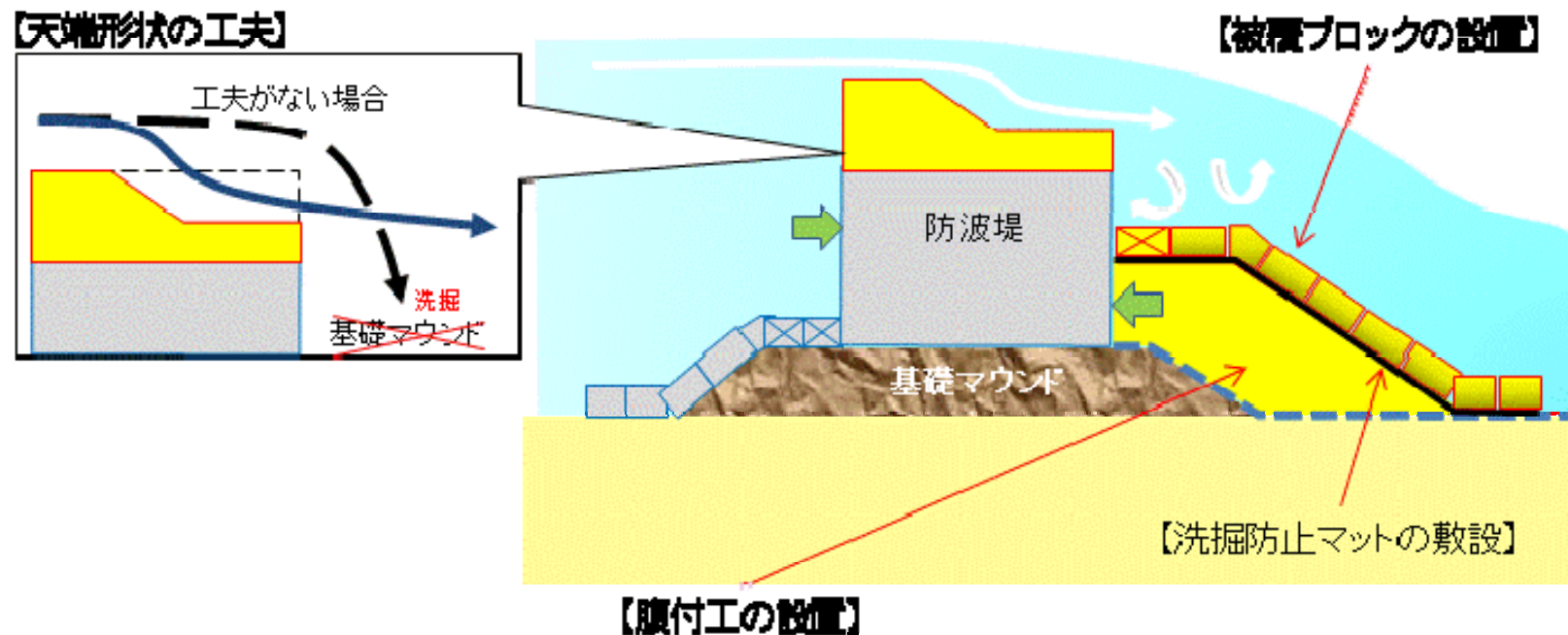
【動 画】

「防波堤の耐津波設計ガイドライン(案)」の概要

- ・防波堤の耐津波設計の基本的考え方を提示
- ・津波越流時に防波堤に作用する津波波力の評価方法を提示
- ・粘り強い防波堤を実現するための方向性や実験事例等を提示

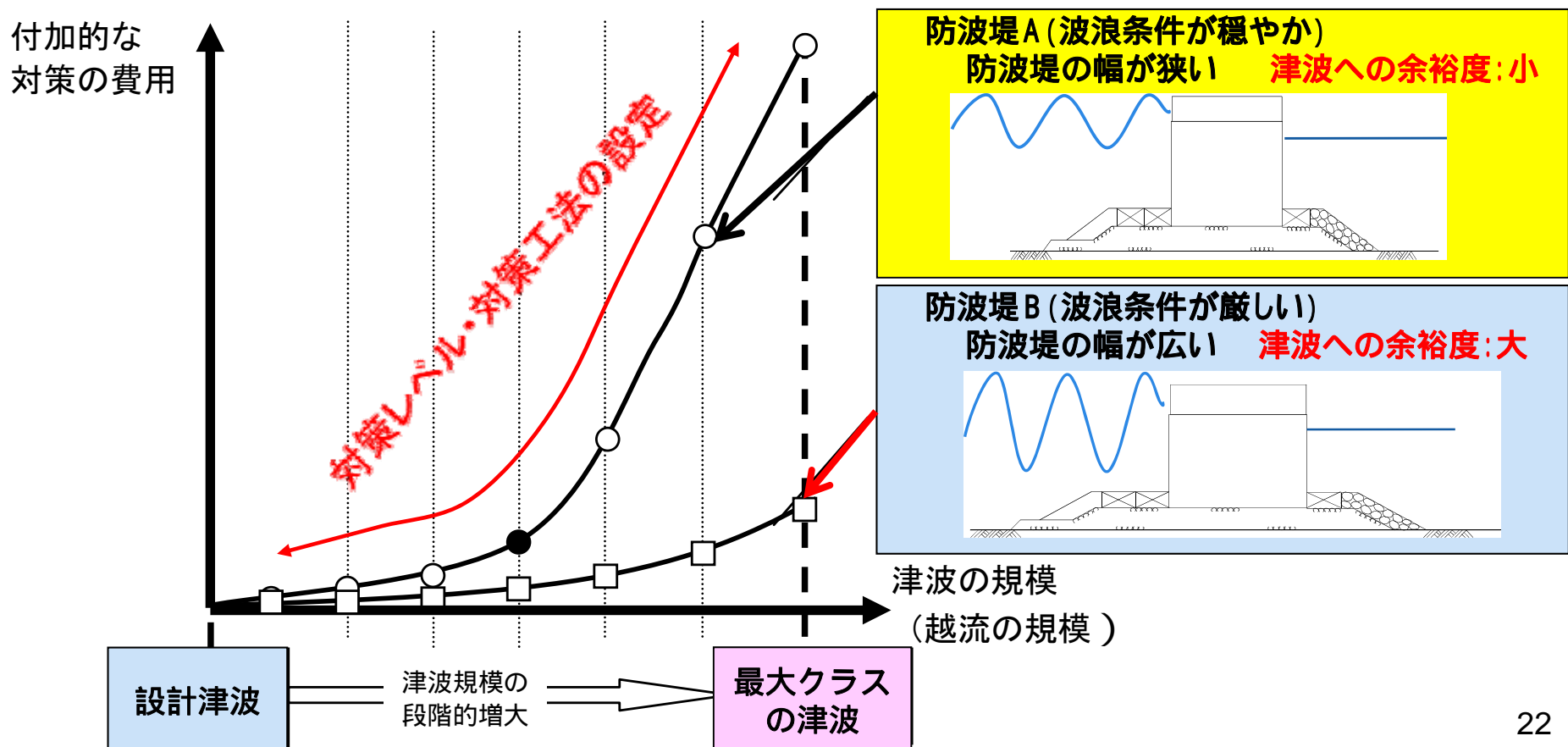
粘り強い防波堤の実現に向けた対策事例

→設計津波を超える規模の津波に対しても減災効果を発揮する防波堤



設計津波を超える規模の津波に対する「粘り強い構造」の検討

- 設計津波を超えて津波の規模が段階的に大きくなっていくことを想定し、**構造上の弱点部分に施す付加的な対策（構造上の工夫）の有効性を確認し、施設の重要度や費用対効果等を踏まえて具体的な対策断面を決定**
- 有効性の確認は、現段階では、水理模型実験や数値解析が必要となる。



今後に向けて

- 技術的課題は、まだまだ沢山残されている
- 粘り強い構造については、検討の第一歩を踏み出したに過ぎない
- 主要な技術課題例
 - ・ 津波に対する粘り強い構造の具体化 ⇒ 選択肢が必要
 - ・ マウンド浸透流の影響（支持力低下、パイピング等）
 - ・ 津波に先行して来襲する地震動の影響（沈下推定、水圧上昇）
 - ・ 越流洗掘に対する被覆ブロック等の安定性照査方法
- 今後の実設計における技術検討（水理模型実験、数値解析等を含む）や調査研究・技術開発（民間を含めて）の成果が得られ次第、柔軟にガイドラインに反映

⇒ 今後、ガイドライン（案）を改訂予定

ご清聴ありがとうございました。