

①改訂区分：B17

②改訂項目：改訂項目：改訂項目：第 3 章設計条件 3-1 総説【現手引： pp.52
-】

3-1. 総説

～ 中略 ～

3-1-8 粘り強い構造

海岸保全施設の背後地の状況等を考慮して、設計高潮位を超える潮位の海水若しくは設計波を超える波浪又は設計津波を超える津波（以下、設計津波を超える津波等）の作用に対して、堤防等の損傷等を軽減する機能を有するものとし、その機能を有する「粘り強い構造」の基本的な考え方は、施設が破壊、倒壊するまでの時間を少しでも長くする、あるいは、施設が完全に流出した状態である全壊に至る可能性を少しでも減らすといった構造上の工夫を施すことである。施設の効果が粘り強く発揮された場合には、背後地における浸水までの時間を遅らせることにより避難に費やすことができる時間を長くする効果、浸水量が減ることにより浸水面積や浸水深を低減し、浸水被害を軽減する効果等の減災効果が期待される。さらに、施設が全壊に至らず、一部残存した場合には、迅速な復旧が可能となり二次災害のリスクが減る効果や、復旧費用を低減する効果が期待される。

水産庁では、平成 23 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震による漁港海岸保全施設の被災調査を実施した。施設の種類毎の被災要因の分析を行い、被災メカニズムの分類を行っている。図 3-1-1-3～図 3-1-1-5 は、施設毎の被災パターンを示したものである。

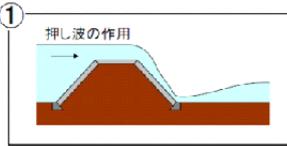
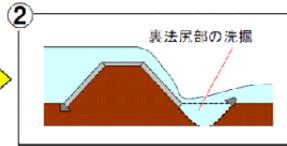
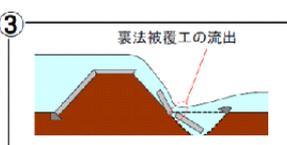
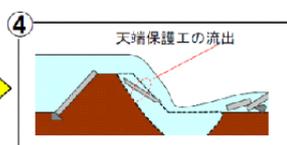
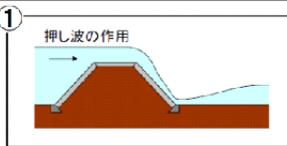
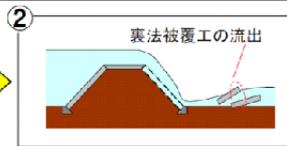
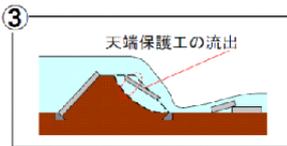
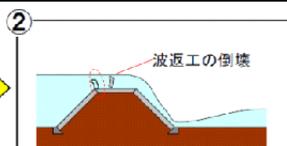
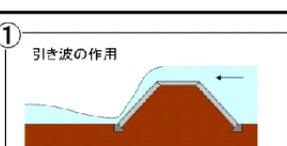
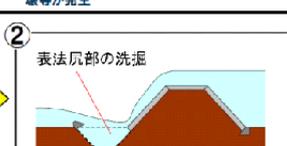
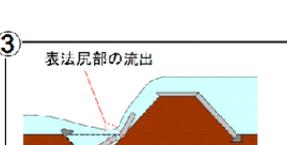
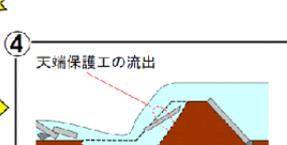
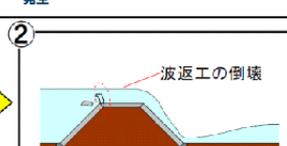
施設区分	主要因	被災パターン	被災メカニズム
堤防	押し波	押し波による裏法尻の洗掘からの被災	 <p>① 押し波の作用 来襲した津波の水流が海岸堤防を越流</p>  <p>② 裏法尻部の洗掘 裏法を下し流速が速くなった状態で裏法尻部の地面に衝突し、洗掘が発生</p>  <p>③ 裏法被覆工の流出 裏法尻部の洗掘をきっかけとする裏法被覆工の損壊、流失等の発生</p>  <p>④ 天端保護工の流出 さらに、天端保護工の流失や堤体土の流失等が発生</p>
		押し波による天端、裏法肩からの被災（裏法尻の洗掘なし）	 <p>① 押し波の作用 来襲した津波の水流が海岸堤防を越流</p>  <p>② 裏法被覆工の流出 水流が天端部で高速となることにより、裏法被覆工等が流失</p>  <p>③ 天端保護工の流出 さらに、天端保護工の流失や、被覆工の隙間からの堤体土の吸い出し等が発生</p>
		押し波による波返工の破壊	 <p>① 押し波の作用 来襲した津波の水流が海岸堤防を越流</p>  <p>② 波返工の倒壊 津波の波圧が作用することにより、波返工の倒壊等が発生</p>
		引き波による表法尻の洗掘からの被災	 <p>① 引き波の作用 来襲した津波の水流が海岸堤防を逆流</p>  <p>② 表法尻部の洗掘 表法を下し流速が速くなった状態で表法尻部の地面に衝突し、洗掘が発生</p>  <p>③ 表法尻部の流出 表法尻部の洗掘をきっかけとする表法被覆工の損壊、流失等の発生</p>  <p>④ 天端保護工の流出 さらに、天端保護工の流失や堤体土の流失等が発生</p>
	引き波による波返工の破壊	 <p>① 引き波の作用 来襲した津波の水流が海岸堤防を逆流</p>  <p>② 波返工の倒壊 津波の波圧が作用することにより、波返工の倒壊等が発生</p>	

図 3-1-1-3 被災パターンの分類【堤防】

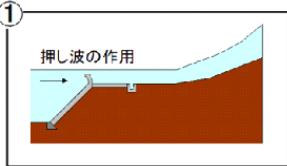
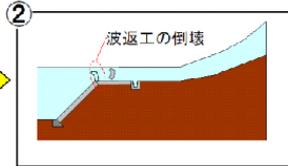
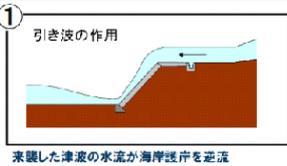
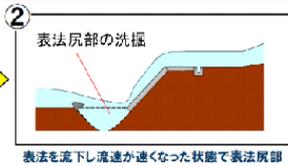
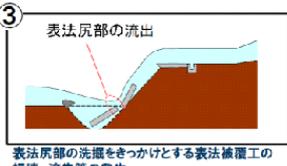
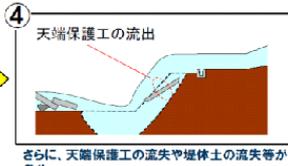
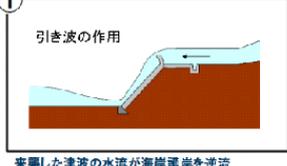
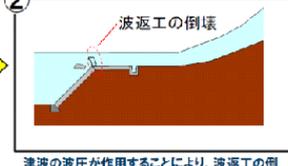
施設区分	主要因	被災パターン	被災メカニズム
護岸	押し波	押し波による波返工の破壊	 
	引き波	引き波による表法尻の洗掘からの被災	   
	引き波	引き波による波返工の破壊	 

図 3-1-1-4 被災パターンの分類【護岸】

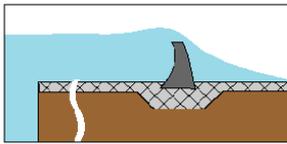
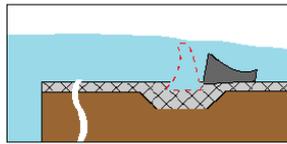
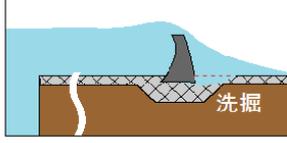
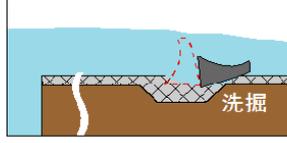
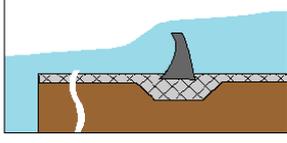
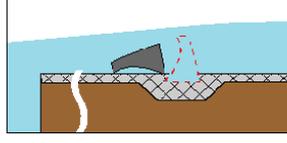
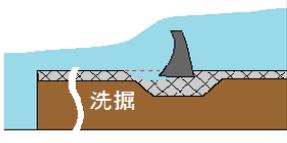
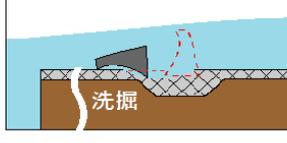
施設区分	主要因	被災パターン	被災メカニズム
胸壁	押し波	押し波による堤体への波力による被災	 
	押し波	押し波による堤体背後の洗掘からの被災	 
	引き波	引き波による堤体への波力による被災	 
	引き波	引き波による堤体前面の洗掘からの被災	 

図 3-1-1-5 被災パターンの分類【胸壁】

3-3-2 設計の方針

～ 中略 ～

(1) 構造型式の選定

胸壁の設計にあたっては、潮位、波(津波)、土質等の自然条件、背後地の資産、人口集中度、隣接する海岸保全施設との計画天端高や工法の整合性、周辺施設等の利用状況及び将来の利用計画等を十分考慮する必要がある。

～ 中略 ～

漁港地域における胸壁は、背後地に集落等が多くあり、津波や地震等で被災することがあるとその影響は極めて大きい。設計津波を超える津波等が作用した場合には、胸壁は滑動、転倒、さらに津波が胸壁を越流することによる背後の洗掘等が生じる可能性がある。そのため、設計津波を超える津波等の作用に対する胸壁の検討にあたっては、可能な限り、堤体の倒壊を防止又は遅らせるように、胸壁に対し構造上の工夫(粘り強い構造)を図ることが必要である。

胸壁の構造型式は表 3-3-2-1 のとおり、大きく 4 つに分類される。まず堤体部の形状から単塊型と L 型・逆 T 型に分けられ、両者はさらに作用に対する支持形式から、重力式と杭式・鋼矢板式に分類される。各形式の一般的な適合条件は同表に示すとおりである。

表 3-3-2-1 堤体型式別による適合条件

堤体型	支持形式	適合条件
単塊式	重力式	用地が容易に得られる 基礎地盤が堅固
	杭式・鋼矢板式	用地が比較的容易に得られる 基礎地盤が軟弱
L型及び逆T型	重力式	用地が容易に得られない 基礎地盤が比較的軟弱
	杭式・鋼矢板式	用地が容易に得られない 基礎地盤が軟弱

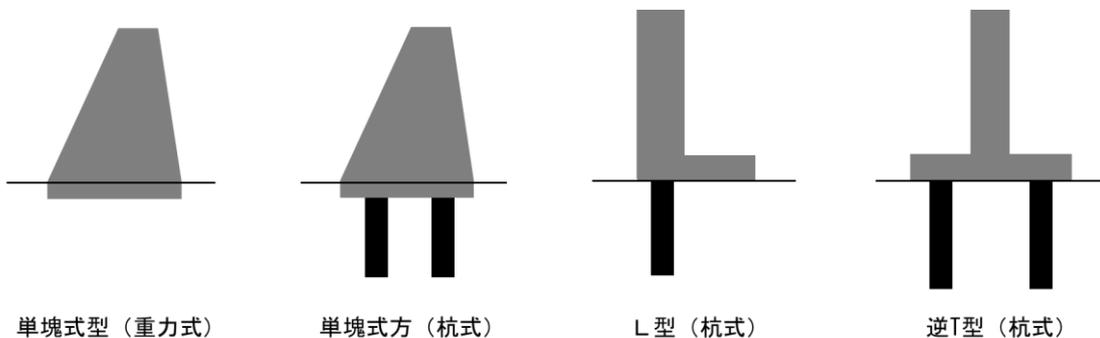


図 3-3-2-1 堤体型式別のイメージ

水産庁では、東日本大震災での復旧事例を含めた胸壁の整備事例についてアンケート調査を実施し、構造形式別の適用条件（津波高、地盤条件）と構造（本体構造、基礎構造）への採用実績が多い胸壁の構造断面（新技術工法を含む）を抽出した。表 3-3-2-2 は、整理した採用事例について、一般的な適用性などの工学的な判断を加味した上で、適用条件と胸壁構造のマトリックスとし、胸壁の本体構造と基礎構造の選定への参考となるように整理したものである。

杭式による津波に対する粘り強い構造形式とした胸壁の施工事例を図 3-3-2-3 及び図 3-3-2-4 に示す。

また、東日本大震災後の資機材や人手が不足により、具体的に工事着手に移せない等の問題を解決するため、鋼とコンクリートのハイブリッド構造のプレキャスト部材（底版・防波版）と基礎杭から構成され短期間での完成を可能とし、かつ部材を小型化、軽量化することにより狭隘地でも施工が可能とする、図 3-3-2-2 に示す「ハイブリッド防潮堤」（施工事例は図 3-3-2-5 を参照）が採用された例もある。

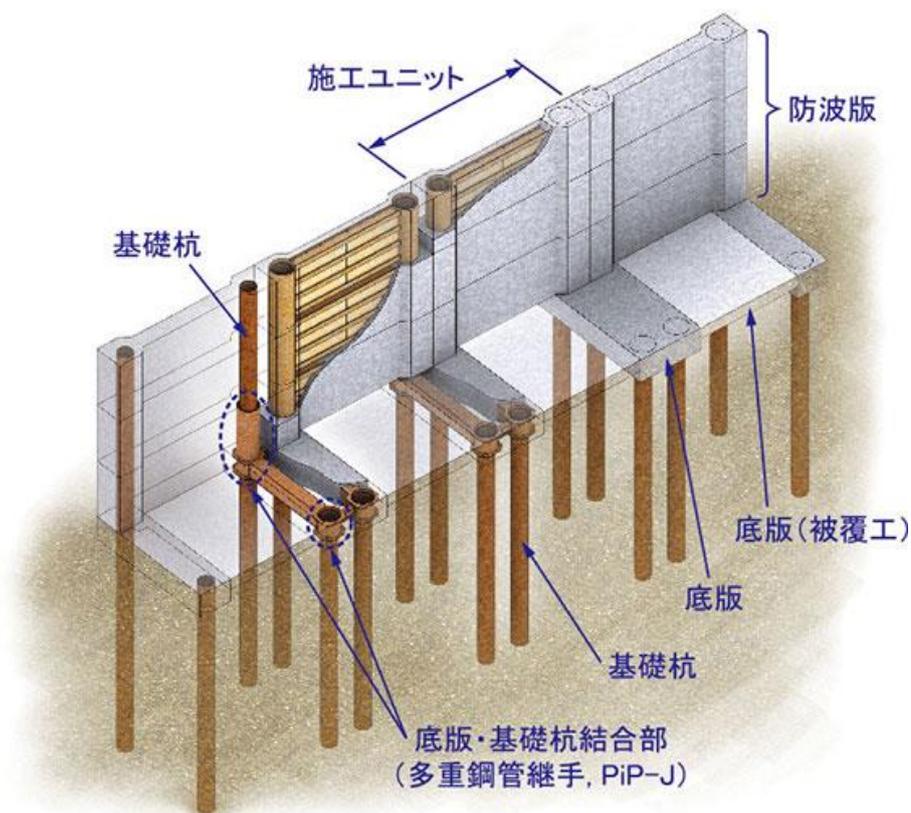


図 3-3-2-2 ハイブリッド防潮堤のイメージ
(新技術情報データベース NETIS プラスより引用)

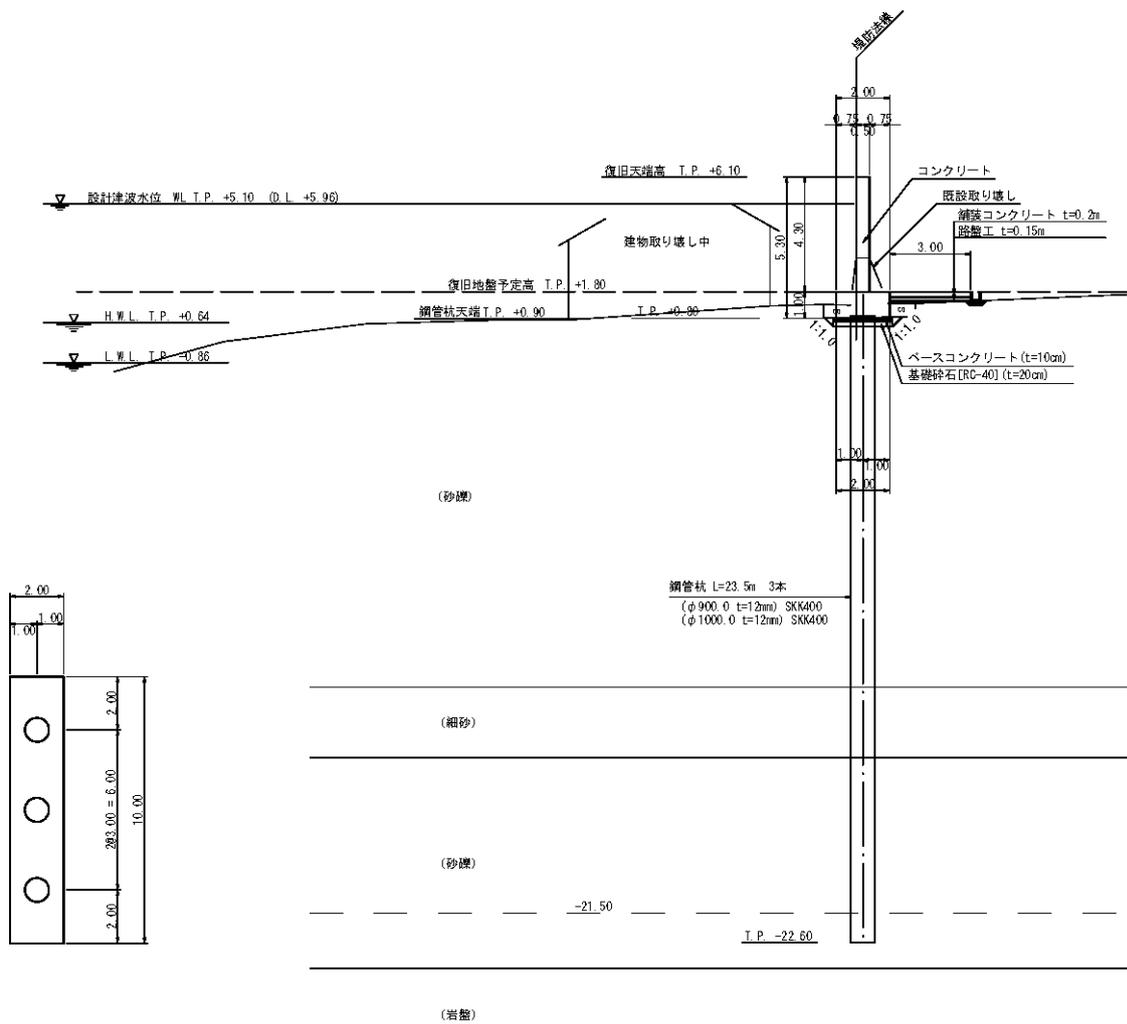


図 3-3-2-3 杭式による津波に対する粘り強い構造型式とした胸壁の施工事例
(岩手県嬉石漁港)

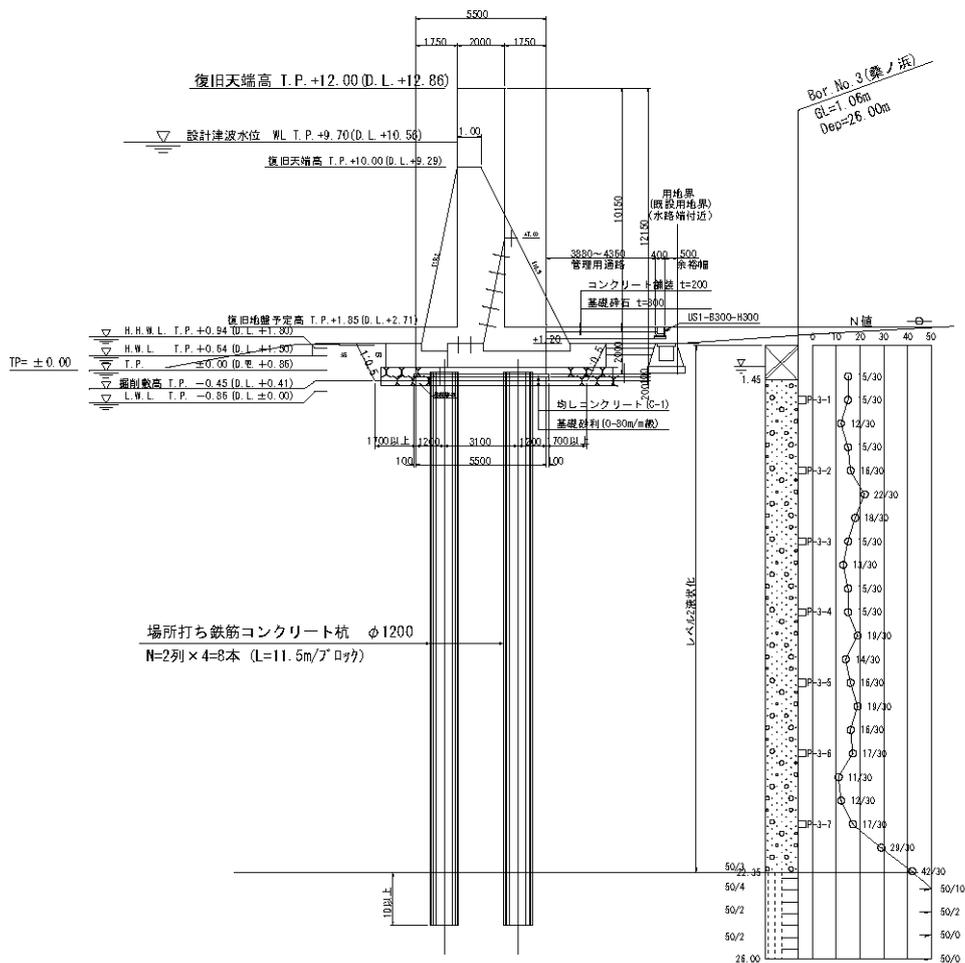


図 3-3-2-4 杭式による津波に対する粘り強い構造型式とした胸壁の施工事例
(岩手県桑ノ浜漁港海岸)

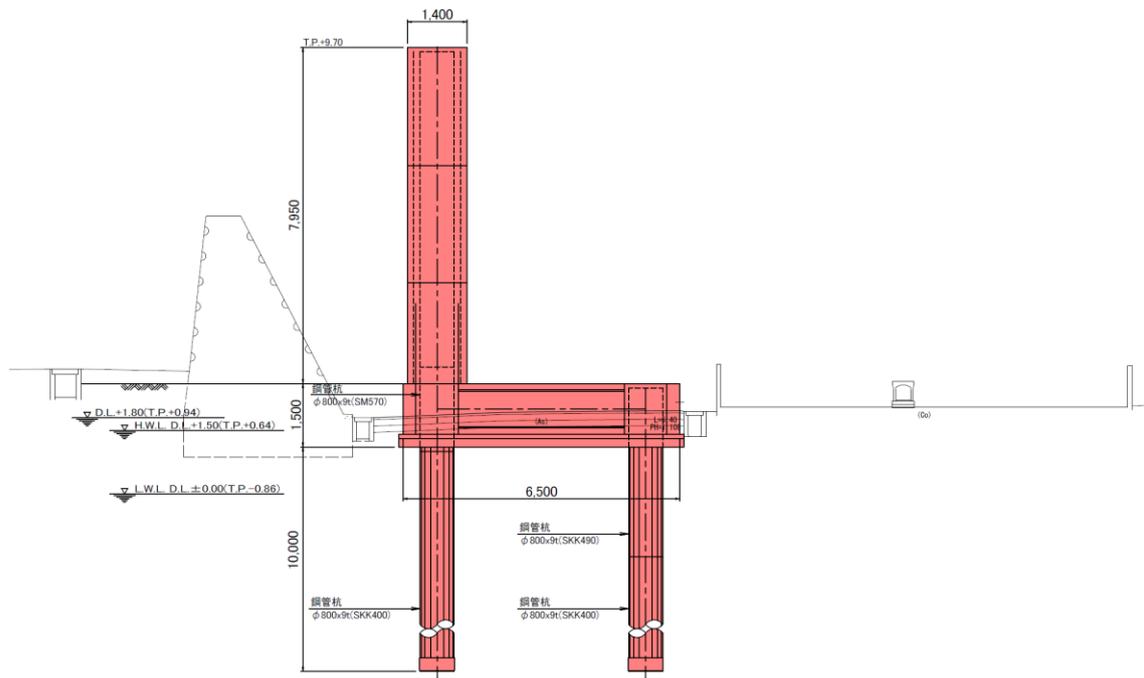


図 3-3-2-5 ハイブリッド防潮堤の施工事例（岩手県山田漁港）

①改訂区分：C04

②改訂項目：改訂項目：第 3 章漁港海岸保全施設 設の設計 3-3 胸壁 3-3-7
津波に対する構造上の工夫 【現手引： p. 155-156】

3-3-7 津波に対する構造上の工夫

津波に対する構造上の工夫として、以下のような検討を行う必要がある。

- ・前後の舗装やフーチング形式の採用等による基礎部の洗掘や吸出しからの保護
- ・平面的に津波の集中しやすい箇所における補強

津波に対する照査にあたっては、以下の点に留意する必要がある。

i) 平面的な津波の流れ

津波の集中しやすい箇所については、平面的な地形や構造物の形状等を考慮した水理模型実験、あるいは津波シミュレーションを行うことにより精度よく現象を把握することが望ましい。

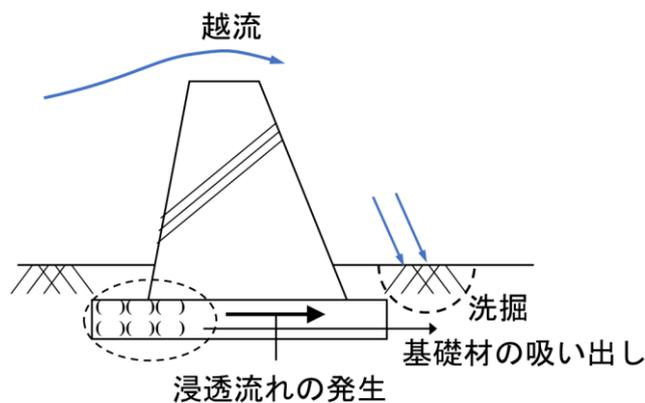
ii) 津波波圧の評価

胸壁に作用する津波波圧は、流れに伴う動的あるいは作用の継続時間による影響が考えられることから、模型実験や数値計算によって評価することが望ましい。「2-4-5 津波の波力」で提示した新たな津波波力の算定式は、動水圧による水平波力の増大を考慮したものであり、この算定式を用いた場合には、安定計算の安全率を 1.2 としてもよい。(ただし、津波が衝撃段波やソリトン分裂波の形態で胸壁に作用するような場合には、別途詳細な検討が必要である。) なお、これまでの設計では水位の上昇による静水圧として評価されてきた場合が多く、その際に行われる安定計算では、安全率を 1.5 以上とする場合もある。

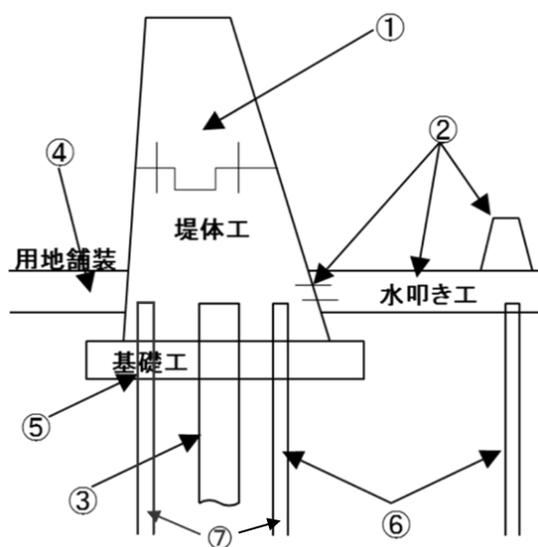
津波の流れの作用により生じる基礎地盤の洗掘や基礎部浸透流の発生に対して、以下のような工夫や対策を考えることが望ましい。(図 3-3-7-1 中の①～⑥を参照のこと。)

- ・堤体前後の舗装
- ・管理用道路を兼用する水叩きの設置
- ・フーチング形式や、杭・矢板基礎の採用 など

(被災メカニズム)



(対策)



	検討箇所	対策内容
①	堤体工	ホゾや用心鉄筋により堤体上部の欠損リスクを低減
②	水叩き工	越流に対する護床工として水叩き舗装厚を強化 堤体工と一体化させ構造強化 強制的な跳水（シル、ピア）
③	基礎工	杭基礎により堤体の滑動及び転倒の安定性を強化
④	基礎工	As 舗装は、路盤の安定処理により洗掘・吸い出しを防止
⑤	基礎工	碎石のセメント注入固化などで、基礎の洗掘・吸い出しを防止
⑥	洗掘対策工	矢板等を設置して洗掘や吸い出しが堤体直下に及ばないように制御
⑦	浸透流対策工	矢板等を設置して津波浸透流による揚圧力が堤体下に及ばないように制御

図 3-3-7-1 津波による胸壁の被災メカニズムと構造上の工夫

水叩工の設置検討にあたっては、CADMAS-SURD/2D による数値シミュレーションから求められた落水圧力および落水位置の関係式が参考となる。

① 胸壁高および越流水深と落水作用圧力の関係

図 3-3-7-2 は、横軸に越流水深 h_{up} を胸壁高 H で除した無次元量 h_{up}/H と縦軸に最大の落水作用圧力 P_{max} と胸壁高 H の静水圧 ρgh で除した無次元量 $P_{max}/\rho gh$ の関係を整理した結果である。ここで、 ρ は海水密度、 g は重力加速度である。

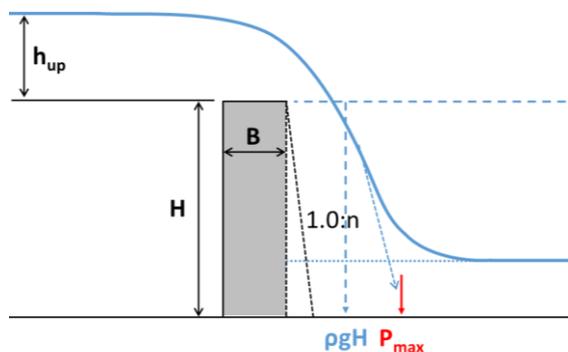


図 3-3-7-2 関係式のパラメータ

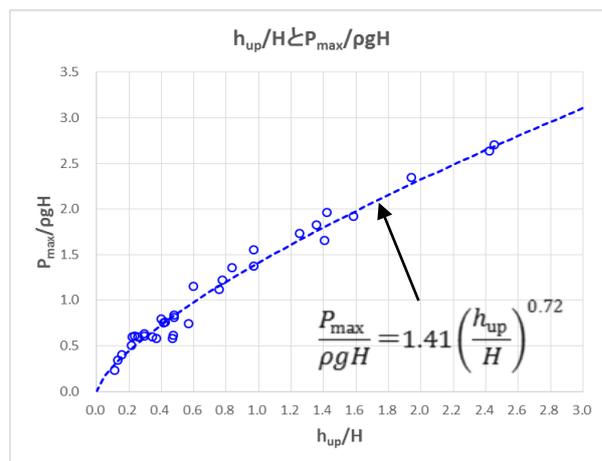


図 3-3-7-3 h_{up}/H と $P_{max}/\rho gH$ の関係

② 胸壁高および越流水深と落水距離の関係

図 3-3-7-3 は、横軸に越流水深 h_{up} を胸壁高 H で除した無次元量 h_{up}/H と縦軸に落水距離 L (水面形状の変曲点接戦と下流水面延長線との交点で定義) を胸壁高 H で除した無次元量 L/H の関係を整理した結果である。ここで、 ρ は海水密度、 g は重力加速度である。なお、同図中の直線は、小泉・松富 (2017) による水理実験からの結果を示している。

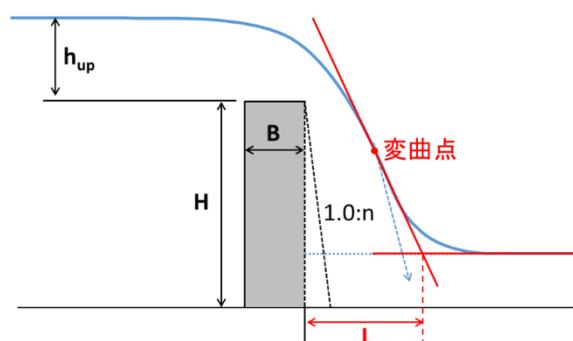


図 3-3-7-4 関係式のパラメータ

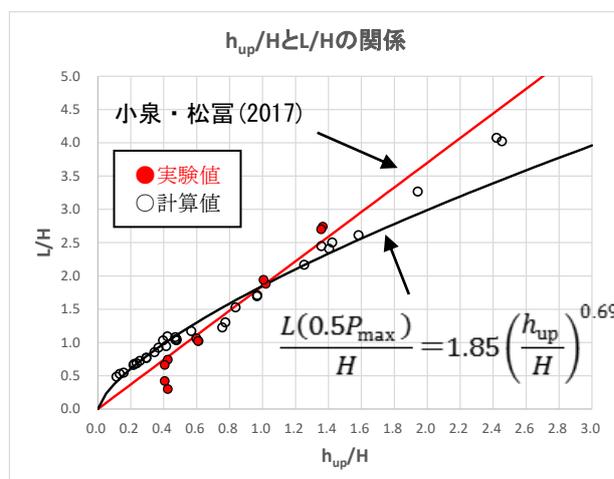


図 3-3-7-5 h_{up}/H と L/H の関係

施設の堤体基礎部で津波浸透流が発生するような場合では、堤体底面部に揚圧力が作用して堤体の安定性が著しく低下する。そのため、矢板等を設置して津波浸透流による揚圧力が堤体下に及ばないように制御するような対策（図 3-3-7-1 中の⑦を参照のこと。）の考慮にも留意が必要である。

なお、粘り強さを付加する構造上の工夫に関しては、東北地方太平洋沖地震の被災地における復旧事業を含め、今後増加していく施工事例も適宜参考とすることが望ましい。

①改訂区分：C04

②改訂項目：改訂項目：第 3 章漁港海岸保全施設 設の設計 3-3 胸壁 3-3-7 津波に対する構造上の工夫 【現手引： p. 155-156 】

(4) 設計計算例

～略～

3-9-7 その他【新設】

(1) サンドバイパス工法

海岸構造物等によって沿岸方向の漂砂が断たれた場合に、漂砂の上手側に堆積した砂を下手側へ輸送・供給し、海岸の砂浜を復元する方法をサンドバイパス工法と呼ぶ。なお、これとは逆に、漂砂の下手側の海岸に堆積した砂を、侵食されている上手側に戻して、砂浜を復元する方法はサンドリサイクルと呼ばれる。

静岡県 の 福田漁港、浅羽海岸では、固定施設で吸い上げた砂をパイプラインで輸送する「ジェットポンプ式サンドバイパスシステム工法」が採用された事例（図 3-9-7-1 を参照のこと。）がある。この工法では、砂を集めるためのショベルカーや砂の運搬用のためにダンプカーを必要としない。



図 3-9-7-1 福田漁港・浅羽海岸サンドバイパス工法
(伊藤ら (2016) ¹⁾ より引用)

(2) 海岸保全施設としての砂浜

砂浜の防護機能の重要性に鑑み、海岸法においては、一定の要件を満たした砂浜は海岸保全施設として管理できる。砂浜が海岸保全施設に指定された事例（図 3-9-7-2 を参照のこと。）として、石川県の石川海岸（松任工区）が挙げられる。

海岸の名称 : 加越沿岸松任海岸
(石川海岸直轄海岸保全施設整備事業を実施している松任工区)
地 先 名 : 石川県白山市徳光地先
指定する区域 : 下図の赤枠内の範囲



図 3-9-7-2 海岸保全施設として指定された砂浜の個所・範囲
（「一歩先を見据えた予防的な砂浜浸食対策へ」（国土交通省）より引用）

- 1) 伊藤鎌太郎：高塚博・戸田晃裕：福田漁港・浅羽海岸サンドバイパスシステムの取り組み，海洋開発シンポジウム講演集，S1-2，6p.，2016.