

【参考資料】

防潮堤等の地震・津波による被災事例と
耐津波設計を行う上での留意点

目 次

I-1	本資料の位置づけ	1
I-2	防潮堤等の地震・津波による被害	2
2.1	はじめに	2
2.2	東北地方太平洋沖地震およびそれに伴う津波による被災	3
(1)	被災調査の概要	3
(2)	被災結果	6
2.3	兵庫県南部地震による防潮堤等の被災	16
2.4	防潮堤等の地震・津波による被害のまとめ	18
(1)	津波による被害	18
(2)	地震による被害	18
I-3	東日本大震災における防潮堤等の被災分析	19
3.1	被災分析	19
(1)	はじめに	19
(2)	分析方法	19
(3)	分析結果	22
3.2	胸壁の安定性	29
(1)	分析対象データ	29
(2)	分析方法	30
(3)	結果	31
I-4	防潮堤等の耐津波設計を行う上での留意点	33
(1)	津波に対する留意点	33
(2)	地震に対する留意点	33

I - 1 本資料の位置づけ

平成23年（2011年）3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震およびそれに伴う津波によって、多くの港湾構造物が被災したことから、「港湾における防潮堤（胸壁）の耐津波設計ガイドライン」では、港湾施設の外郭施設である防潮堤、護岸、堤防、胸壁（以下、「防潮堤等」という。）のうち、津波から背後地を防護する機能を有する防潮堤等を対象として、その耐津波設計の基本的考え方を示している。

本資料は、「港湾における防潮堤（胸壁）の耐津波設計ガイドライン」の中の性能照査において参考となる防潮堤等の地震・津波による被災状況等を取りまとめたものである。なお、防潮堤等の構造形式における被災形態を把握する上では、港湾施設としての防潮堤等のみでは施設数が少なく不十分であることから、港湾区域だけでなく漁港区域の海岸保全施設も含めて取りまとめ、整理している。

防潮堤等の性能照査を行う際は、本資料を参考としつつも、最新の知見に基づき適切に対応する必要があることに留意されたい。

I - 2 防潮堤等の地震・津波による被害

2. 1 はじめに

本章では、東北地方太平洋沖地震及びそれに伴う津波による防潮堤等の被害(熊谷ら(2011、2013) 他を引用) と兵庫県南部地震による防潮堤等の被害(稲富ら(1997)) を示し、防潮堤等の耐津波設計を行う上での重要となる知見をとりまとめている。

2. 2 東北地方太平洋沖地震およびそれに伴う津波による被災

(1) 被災調査の概要

東北地方太平洋沖地震及びそれに伴う津波による防潮堤等の被災について、熊谷ら(2011、2013)に加えて、別途調査した結果をまとめる。

調査を行った港湾の場所及び港湾周辺の地形について、それぞれ図-I-2.1と図-I-2.2に示す。



図-I-2.1 東北地方太平洋沖地震によって被災した防潮堤等の被災状況を整理した港湾



図-I-2.2(a) 八木港



図-I-2.2(b) 久慈港



図-I-2.2(c) 釜石港



図-I-2.2(d) 大船渡港



図-I-2.2(e) 気仙沼港

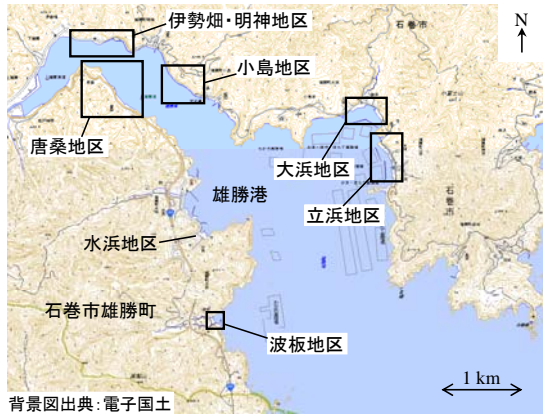


図-I-2.2(f) 雄勝港



図-I-2.2(g) 女川港

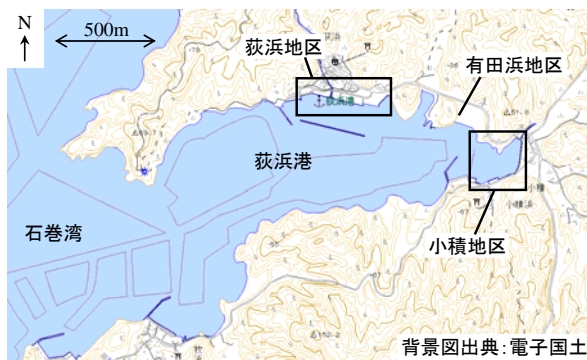


図-I-2.2(h) 荻浜港



図-I-2.2(i) 松島港



図-I-2.2(j) 仙台塩釜港

(2) 被災結果

(a) 八木港

八木港は北港地区および南港地区の二地区に分かれている。

北港地区では、護岸のパラペットが広い範囲で流出しており、国土地理院の空撮写真（被災地域の斜め写真、<http://saigai.gsi.go.jp/20110311eqObliquePhoto/index.html>）をもとに推定したところ、推定区間約 430 m に対して約 270 m（約 6 割）が流出していた。

南港地区では、既存資料（「岩手県海岸保全施設等天端一覧表」（岩手県農林水産部農村建設課他，平成 14 年 1 月））で示されている天端高さ T.P. +3.78 m の護岸において水準測量した結果、地震後の天端高さは T.P. +3.76 m であった。これより、南港地区における地震による護岸の沈下量は小さかったものと考えられる。

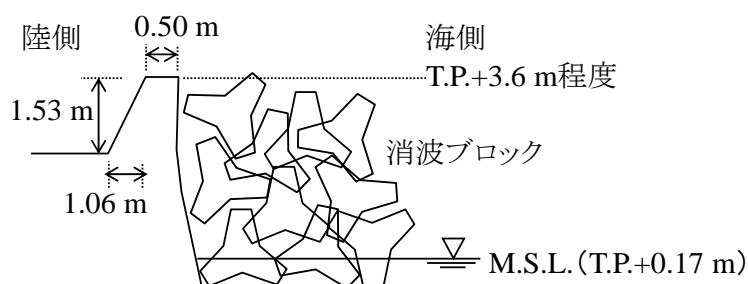


図-I-2.3(a) 八木港北港地区における護岸パラペット（左：写真、下：断面図）とパラペットの被災区間（右）

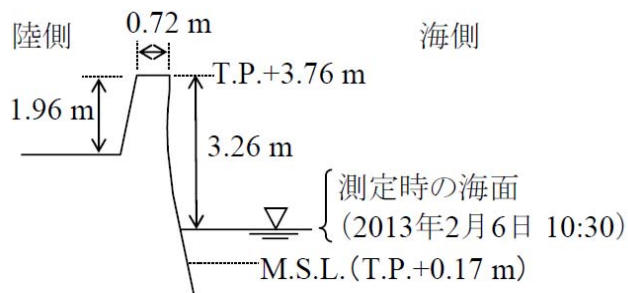


図-I-2.3(b) 八木港南港地区における護岸の断面図と写真

(b) 久慈港

久慈港は、諏訪下地区に胸壁と堤防等があり、半崎地区に護岸と離岸堤がある。

諏訪下地区の胸壁堤体は、水域を囲むように設けられているが(図-I-2.4(a)左)、一部で漂流物による小規模な欠損があったのを例外として、被害は発生していない。それに対し、胸壁陸側の水叩き部分は、地点 2-b から地点 2-g までの範囲で洗掘が発生し、地点 2-f 周辺から地点 2-g の範囲においては、特に大きな洗掘が見られた。最大の洗掘深は、地点 2-g における約 1.1 m であった(図-I-2.4(a)右)。

半崎地区においては、一部の護岸のパラペットが延長約 29 m にわたって流出していた(図-I-2.4(b))。パラペット部は、元の位置から陸側に移動していたため、津波の押し波で流出したものと推定される。

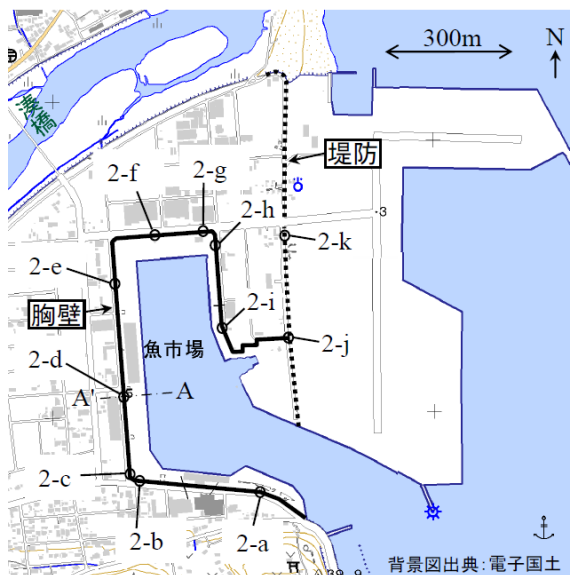


図-I-2.4(a) 久慈港諏訪下地区における胸壁の平面配置と写真

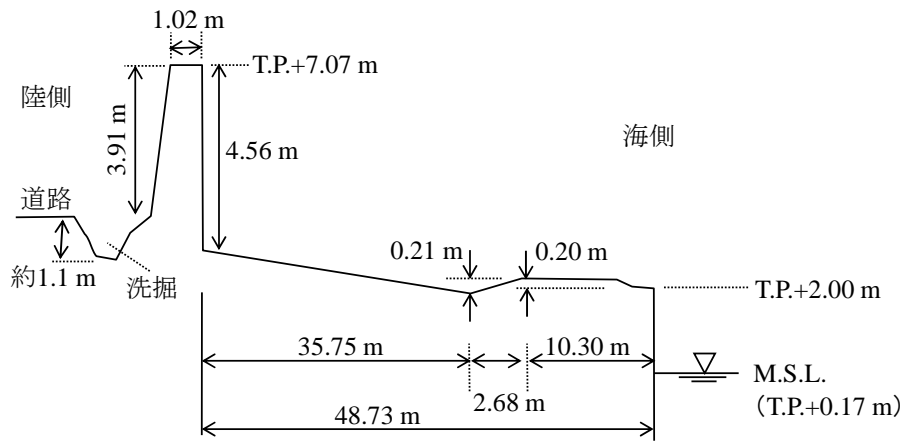


図-I-2.4(a2) 久慈港諏訪下地区（地点2-g付近）における胸壁の断面図

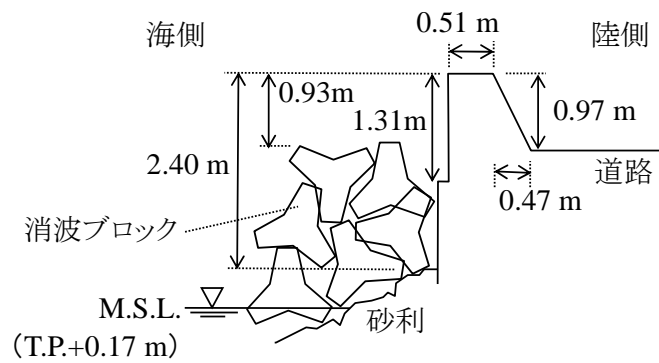


図-I-2.4(b) 久慈港半崎地区における護岸のパラペットの被災状況（左）と復旧後（右）の写真、下は護岸の断面図

(c) 釜石港

釜石港須賀地区では、引き波により隅角部に位置している堤体が海側に滑動し、隣接した堤体との間でずれが発生していた。また、胸壁の海側地盤が洗掘されていた（図-I-2.5(a)）。

また、引き波により海側地盤が洗掘されるとともに堤体が海側に傾斜するように変位した胸壁もあった。それに伴い隣接する堤体と接触して、堤体同士の接触による堤体の角部の欠損が生じていた（図-I-2.5(b)）。

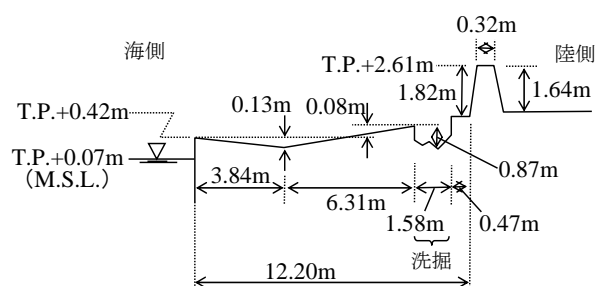


図-I-2.5(a) 釜石港須賀地区隅角部における被災状況（左）と被災断面図（右）

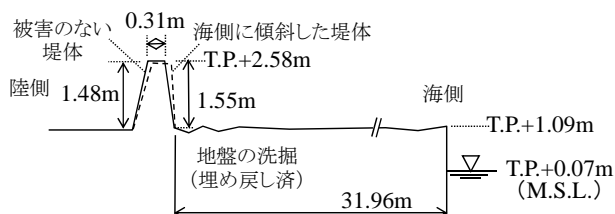


図-I-2.5(b) 釜石港須賀地区における角部の欠損状況（左）と被災断面図（右）

(d) 大船渡港

大船渡港山口地区の胸壁の堤体は、倒壊、クラック発生等の被害はみられなかったものの、胸壁前面側の物揚場の舗装の被害が生じていた（図-I-2.6(a)左）。この胸壁の天端高さは、被災後の測定によると T.P.+2.20m であった。設計天端高さは T.P.+3.00m なので、この場所では地震に伴い 0.80m の沈下が生じたことになる（図-I-2.6(a)右）。

大船渡港茶屋前地区においては、胸壁の背面側地盤が流出していた。また、堤体が

延長約 100m にわたって背面側に倒壊した胸壁があった。この区間は、L 型堤体・鋼矢板式基礎の胸壁である。一部の堤体は背面側に転倒し、基礎の鋼矢板は地中に残っていた (図-I-2.6(b)左)。天端高さは、未倒壊部分で T.P.+2.38m であった。設計天端高さは T.P.+3.40m なので、この場所では地震に伴い 1.02m の沈下が生じたことになる (図-I-2.6(b)右)。

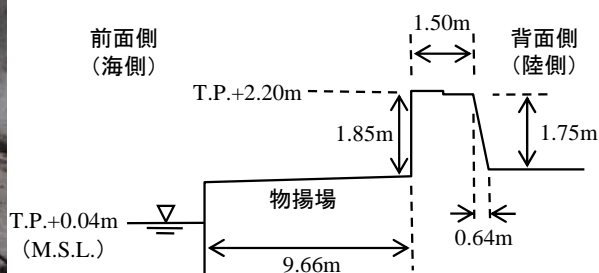


図-I-2.6(a) 大船渡港山口地区における物揚場舗装の被害 (左) とその被災断面図 (右)

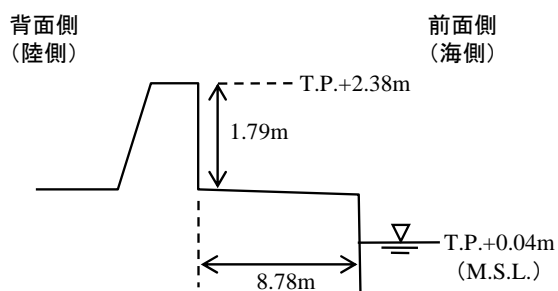


図-I-2.6(b) 大船渡港茶屋前地区における堤体の倒壊の状況 (左) と被災断面図 (右)

(e) 気仙沼港

気仙沼港朝日地区では、胸壁の堤体に大きな被害はなかったが、一部で欠損が発生した箇所が 2 箇所あった (図-I-2.7(a)左)。この欠損は、2 箇所とも平常時は門扉が収納されている場所の背面側 (陸側) に位置しており、海側から陸側にむかって削り取られるような形状であった (図-I-2.7(a)右)。

また、胸壁の堤体の直下を含めて地盤が流出していた箇所もあった (図-I-2.7(b)左)。堤体の天端高さの実測値は T.P.+2.45m であった。設計天端高さは T.P.+3.19m なので、この場所では地震に伴い 0.74m の沈下が生じたことになる (図-I-2.7(b)右)。

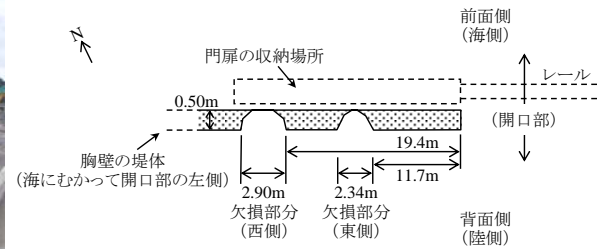


図-I-2.7(a) 気仙沼港朝日地区における一部欠損した胸壁の状況(左)と被災平面図(右)

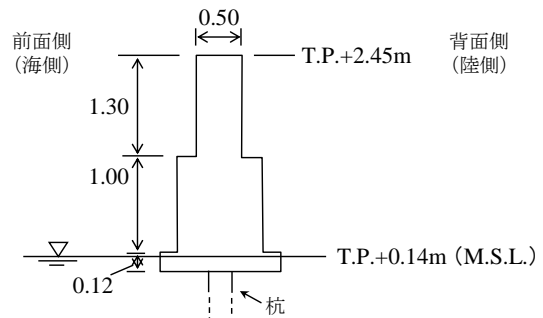


図-I-2.7(b) 気仙沼港朝日地区における胸壁堤体直下の地盤流出による被災状況(左)と被災断面図(右)

(f) 雄勝港

雄勝港大浜地区の西側の胸壁は、堤防構造の胸壁の堤体が延長約 60m にわたって前面側(海側)にむかって倒壊していた(図-I-2.8左)。

また、背面側地盤が洗掘され、調査時点でその部分に舗装が打ち直されていた。また、前面側の物揚場は約 0.7m の高さだけ応急的に嵩上げされていた(図-I-2.8右)。



図-I-2.8 雄勝港大浜地区における胸壁の倒壊(左)と胸壁背面側の洗掘(右)

(g) 女川港

女川港大石原地区では、長さ 10m の区間で胸壁の上部が折れ、折れた部分が背面側に倒れていた（図-I-2.9 左）。折れた部分の切断面の高さは不均一であり、被害の無かった部分の天端高さに比べて南側の端は 0.78m 低く、北側の端は 1.08m 低くなっていた。なお、折れた部分の前面側（海側）及び背面側（陸側）の地盤の洗掘は生じていなかった。

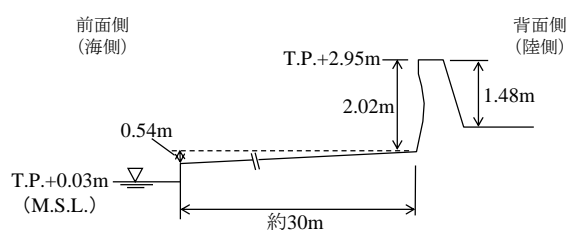


図-I-2.9 女川港大石原地区における胸壁の被災状況（左）と被災断面図（右）

(h) 荻浜港

荻浜港荻浜地区では、9.82m の延長で胸壁の上部が折れ、折れた部分が前面側（海側）に落ちていた。折れた部分は、ちょうど盛り土部分の天端より上にある部分である（図-I-2.10）。また、胸壁の背後にあった家屋群はほとんど全ての家屋が流失していた。

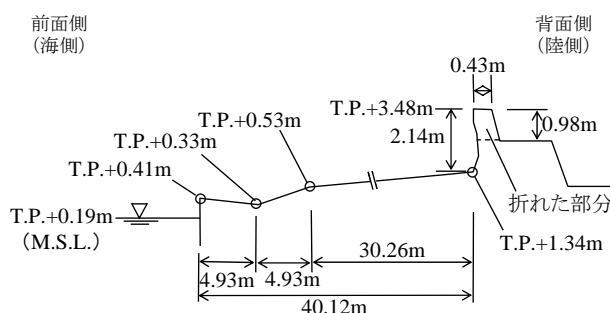


図-I-2.10 荻浜港荻浜地区における胸壁の被災状況（左）と被災断面図（右）

(i) 松島港

松島港海岸前地区では、胸壁の表面に貼り付けられた厚さ約 8cm の化粧板が剥がれコンクリート製基部が一部で露出していた（図-I-2.11）。

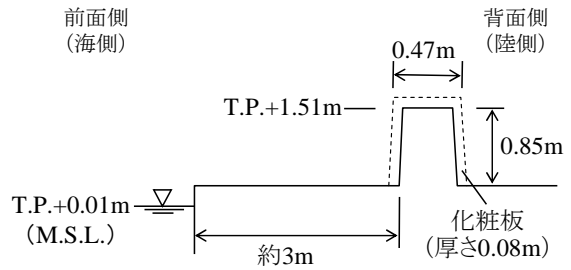


図-I-2.11 松島港海岸前地区における胸壁の化粧板の剥がれ（左）と被災断面図（右）

(j) 仙台塩釜港塩釜港区

仙台塩釜港塩釜港区港地区では、胸壁の海側および陸側の両方の地盤において洗掘被害が見られた（図-I-2.12）。海側地盤の不同沈下が全面的に発生した箇所もあり（図-I-2.13 左）、上記の部分と比較して被害が大きくなっている。この部分の胸壁の天端高さは2.27 mであった。陸側地盤の舗装にも被害が発生している。



図-I-2.12 仙台塩釜港塩釜港区港地区における胸壁周辺の海側地盤の洗掘（左）と陸側地盤の洗掘（右）

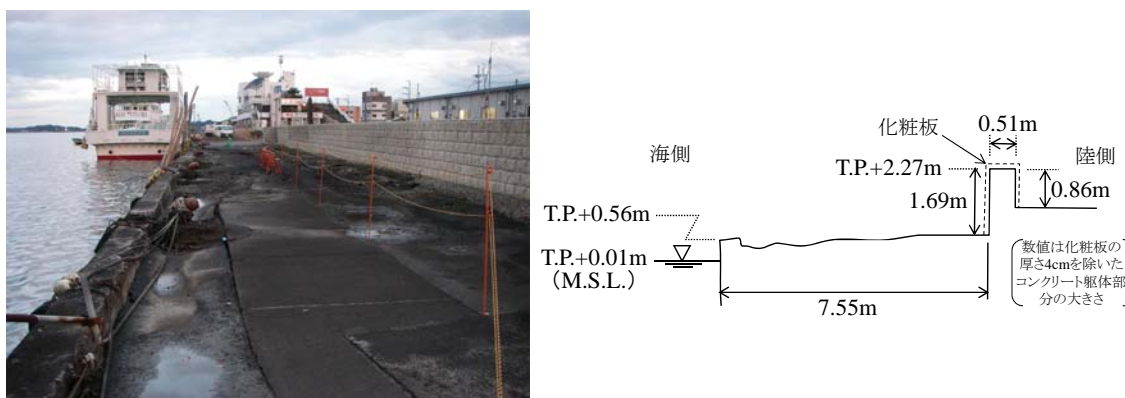


図-I-2.13 仙台塩釜港塩釜港区港地区における胸壁前面の
海側地盤の不同沈下（左）と被災断面図（右）

(k) その他の場所における被災

石巻港雲雀野地区の防潮堤（比高=1.4m）においては、基礎地盤とともに堤体が流出していた（写真-I-2.1）。これは、先行する地震の影響でゆるんだ地盤に津波が来襲した可能性が考えられる。

山田漁港の胸壁は、堤体背後に越流によるものと思われる激しい洗掘の跡が見られる（写真-I-2.2）。



写真-I-2.1 石巻港雲雀野地区における防潮堤の被災事例



写真- I -2. 2 山田漁港における胸壁の被災事例

2. 3 兵庫県南部地震による防潮堤等の被災

兵庫県南部地震においては、神戸港及び周辺の防潮堤等が被災した（写真-I-2.3）。



写真-I-2.3(a) 護岸被害（大高洲）



写真-I-2.3(b) 護岸被害（兵庫運河）



写真-I-2.3(c) 護岸被害



写真-I-2.3(d) 物揚場被害（島上町地区洲）



写真-I-2.3(e) 護岸被害（灘浜地区）

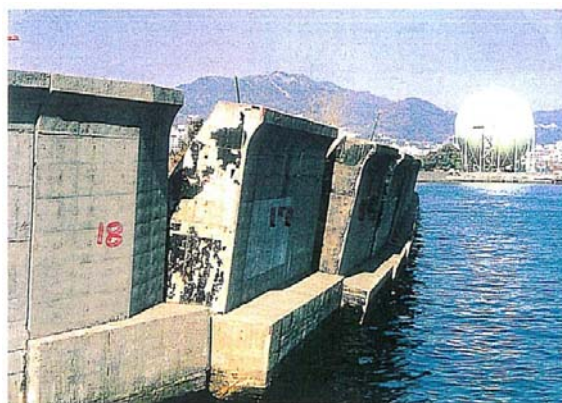


写真-I-2.3(f) 防潮堤被害（長田東工区）

護岸の被害については、護岸の構造形式によって異なる。例えば、ブロック積式の直立型護岸の場合、各ブロックの噛み合わせが外れると大きく変形し、崩壊に至る（図-I-2.14）。この場合の特徴としては、水平変位と鉛直変位が同時に発生する点にある。

基礎が杭式である胸壁については、地震動によって大きく倒壊する事例はあまり見られないものの、沈下するケースが見られた（図-I-2.15）。

なお、護岸近傍にある陸間、護岸の被災により可動できなくなるケースが多かった。

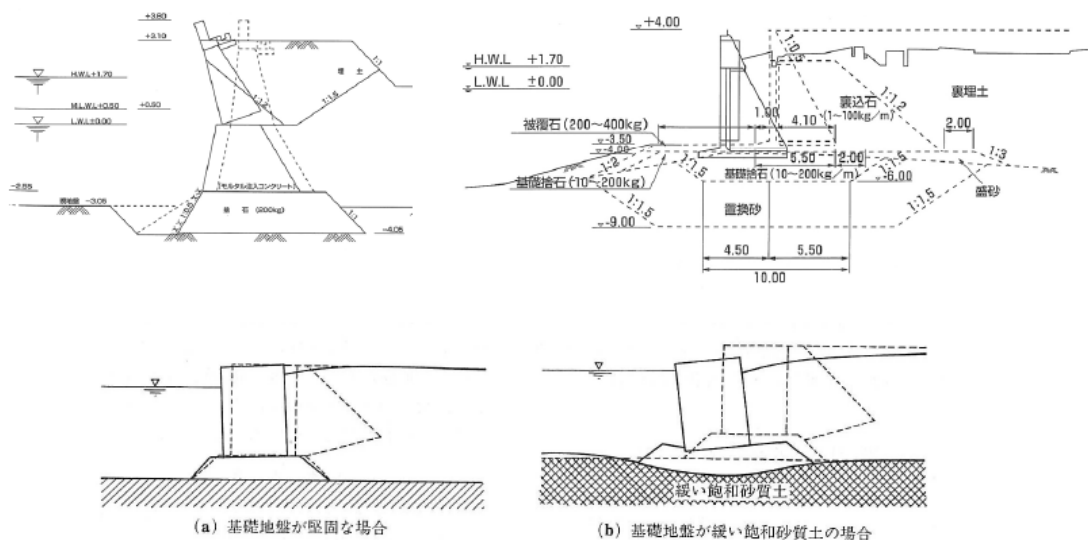


図-I-2.14 直立型護岸（ブロック積式）の地震動による崩壊パターン

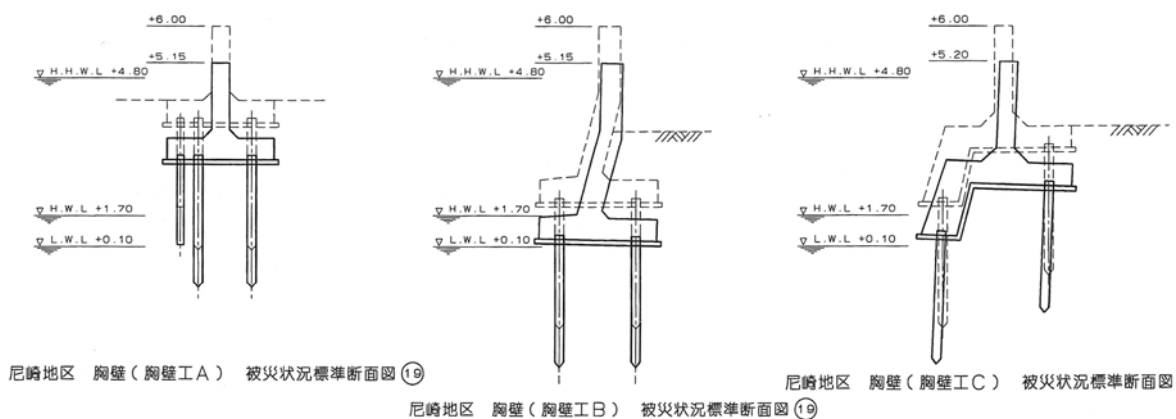


図-I-2.15 胸壁の被災状況標準断面（尼崎地区）

2. 4 防潮堤等の地震・津波による被害のまとめ

地震・津波による防潮堤等の被害は、以下のとおりまとめられる。

(1) 津波による被害

- ・津波による防潮堤等の被害は、堤体の欠損（化粧板の剥がれ等含む）、堤体周辺の地盤流出および水叩き部の洗掘、堤体の倒壊、もしくはこれらの複合被害であった。
- ・海側への堤体滑動が見られた場所もあり、引き波による被害も推測された。
- ・防潮堤等に被害はないものの、堤外側にある物揚場舗装に被害が生じている場所があった。

(2) 地震による被害

- ・ブロック積式の直立護岸等は、地震によって一箇所が損傷し、その結果、全体が大きく倒壊に至る場合がある。
- ・基礎が杭式である胸壁においては、滑動や転倒は生じないものの、沈下による被害が生じる場合がある。

I—3 東日本大震災における防潮堤等の被災分析

3. 1 被災分析

(1) はじめに

本章においては、防潮堤等のうち港湾と漁港にある胸壁について、東北地方太平洋沖地震とこれに伴う津波における被災状況の分析を実施した。

なお、海岸堤防、護岸の被災状況については、海岸における津波対策検討委員会（2011）において、とりまとめられている。

(2) 分析方法

被災状況の分析については、港湾管理者等による港湾の被災調査結果と水産庁ほかによる漁港の緊急調査結果等を用いた（表-I-3.1）。このうち、被災調査等においてデータが取得されている項目を分析に用いている。なお、津波の浸水高と構造諸元等の各調査項目の定義は、図-I-3.1のとおりである。

ここに、本調査における津波の浸水高は、施設近傍における痕跡高を用い、地盤高は被災前の地盤高を用いた。また、海岸線からの距離は前面の岸壁等からの距離である。

表-I-3.1 被災調査結果の収集項目

	被災調査結果の収集項目
施設名	港名，施設名
施設の種類	胸壁/堤防/護岸の別
計画津波高	計画津波高
構造諸元	延長，施設高，裏法地盤高，比高（＝（施設高）－（裏法地盤高）），海岸線からの距離，前面の水深
津波高	浸水高，越流水深（＝（浸水高）－（施設高））
被災状況	被災延長
	被災の種類（移動/転倒/洗掘/沈下/クラック/目地開き/目地ずれ等）
	陸閘の有無，陸閘の被災の有無
	胸壁前面および背後の舗装状況，舗装厚み，被災の有無
その他	胸壁前面の防波堤および構造物の有無

分析の対象は、岩手県、宮城県の胸壁が設置されている港湾（岩手県 4 港，宮城県 4 港）および漁港（岩手県 30 港，宮城県 29 港）を対象とした（表-I-3.2）。

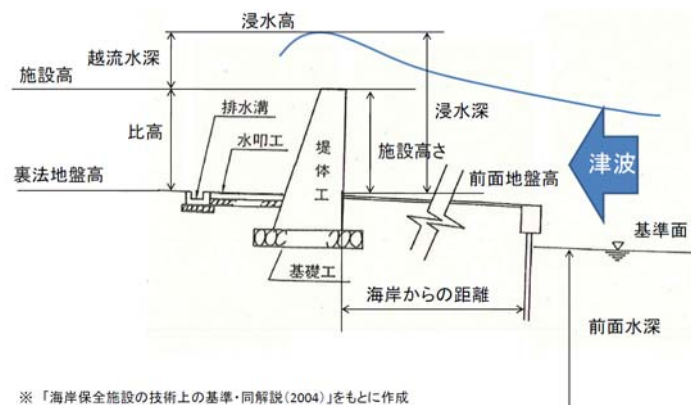


図-I-3.1 津波の浸水高，構造諸元等の定義

表-I-3.2 分析の対象とした港湾及び漁港の一覧

港 湾	
岩手県	久慈，宮古，釜石，大船渡
宮城県	気仙沼，石巻，仙台塩釜，松島
漁 港	
(岩手県)	
洋野町	種市
田野畑村	島の越
宮古市	津軽石，音部
山田町	織笠，大沢，船越，山田
大槌町	大槌
釜石市	室浜，桑ノ浜，平田，佐須，箱崎，白浜（鶴住居），両石，小白浜，釜石
大船渡市	小石浜，蛸ノ浦，泊里，越喜来，綾里，門之浜，大船渡
陸前高田市	只出，根岬，大陽，広田，長部
(宮城県)	
気仙沼市	鶴ヶ浦，川原，横沼，駒形，鮎立，松岩，波路上，気仙沼
南三陸町	港，田浦，ばなな，葦浜，細浦，清水，荒砥，平磯，水戸辺，伊里前，志津川，波伝谷
石巻市	小淵，給分，侍浜，雄勝，桃の浦
松島町	磯崎
塩竈市	寒風沢
七ヶ浜町	菖蒲田
亘理町	荒浜

表- I -3.3 港湾における胸壁の延長と津波浸水高
 (下段のカッコ内は同一市町村にある漁港の値)

県	港名	市町村	胸壁延長 (km)	浸水高 (m)		
				最大	最小	平均
岩手県	宮古港	宮古市	1.406	9.58	9.58	9.58
			(0.736)	(13.84)	(13.84)	(13.84)
	釜石港	釜石市	1.947	10.17	9.77	9.87
			(3.767)	(17.89)	(9.51)	(11.97)
	大船渡港	大船渡市	3.285	10.77	7.88	9.27
			(3.576)	(16.37)	(8.72)	(12.14)
久慈港	久慈市	2.625	8.55	6.02	7.90	
		(-)	(-)	(-)	(-)	
小計			9.263	港湾局所管海岸線延長の約 15%		
宮城県	気仙沼港	気仙沼市	0.579	11.79	3.79	7.72
			(3.164)	(12.17)	(6.45)	(9.86)
	石巻港	東松島市, 石巻市	3.813	6.27	3.43	4.62
			(1.520)	(16.25)	(7.66)	(12.57)
	仙台塩釜港	塩竈市, 七ヶ浜長, 仙台市	11.248	2.89	2.48	2.74
			(0.660)	(7.86)	(7.86)	(7.86)
松島港	松島町	0.787	22.79	3.79	7.72	
		(0.329)	(2.21)	(2.21)	(2.21)	
小計			16.427	港湾局所管海岸線延長の約 13%		
合計			25.690			

岩手県と宮城県における港湾内の胸壁延長は、それぞれ 9.3 km と 16.4 km であり、総延長で 25.7 km であった (表- I -3.3)。両県における港湾局所管の海岸線延長は、185km であることから、約 14%の港湾局所管の海岸線に胸壁が設置されていたことになる。

(3) 分析結果

(a) 被災パターン分析

港湾および漁港における胸壁の被災は、延長に着目して整理しており、例えば、移動・転倒した施設およびその周辺の洗掘を受けた施設は、その被災部分のみが被災延長として計上される。

港湾および漁港における胸壁の被災割合は、全体の施設延長に対して約 1/4 (24.9%) であった (図-I-3.2)。移動及び転倒に限ると、全体に対する被災割合は 9.1%であった。

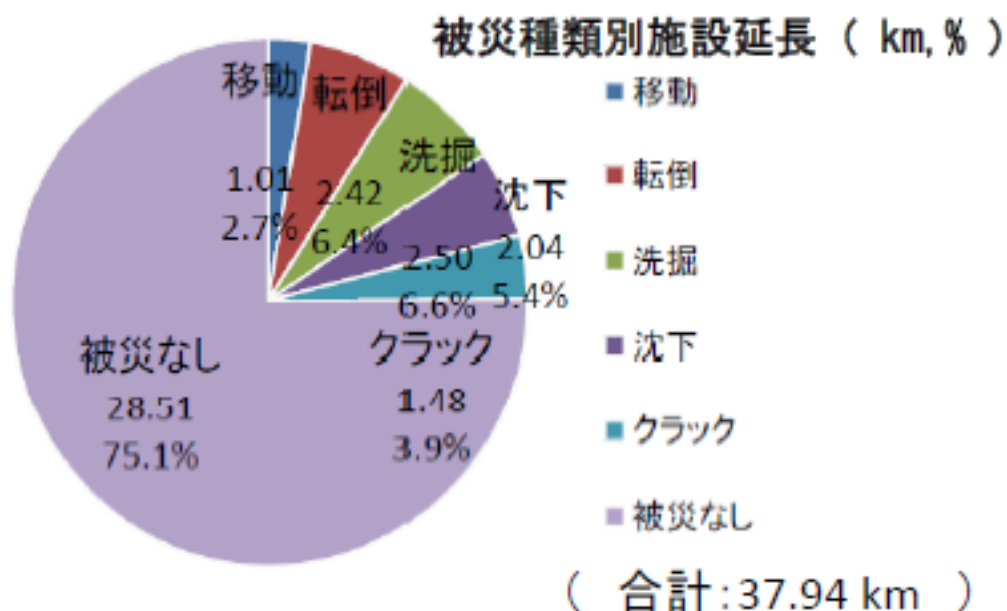
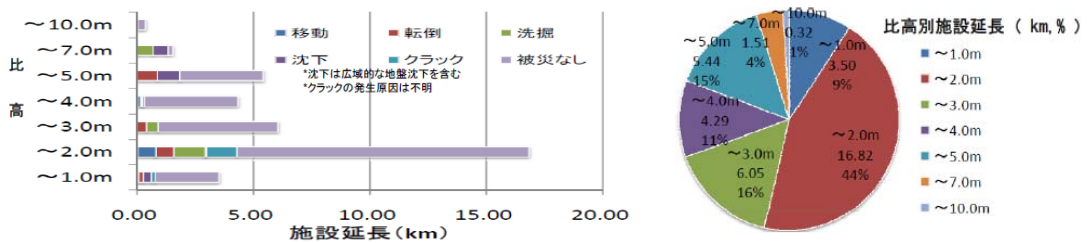


図-I-3.2 港湾と漁港における胸壁の被災パターンとその延長割合

次に、比高別の胸壁の被災割合を示す。図-I-3.3 (a) は胸壁の比高別の施設延長を示し、図-I-3.3 (b) は比高別の施設延長の割合を示している。図-I-3.3 (c) は、比高別に見た被災割合（施設延長ベース）を示している。

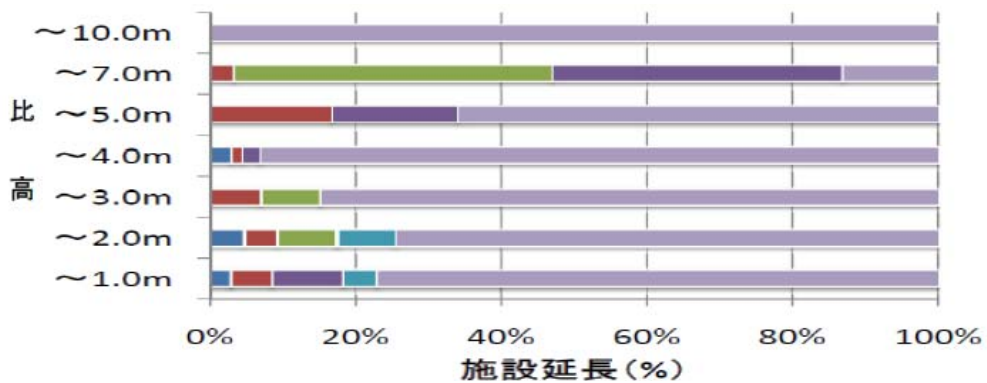
調査対象施設では、比高 2.0m 以下の施設が 20.3 km であり、全体の 1/2 強（53%）を占めていた（図-I-3.3 (a) 及び (b)）。また、比高 5.0m 以下の施設が 95%を占めていた。

比高に着目した被災パターンについては、比高が 5.0 m から 7.0 m までの施設（「～7.0 m」と表記）においては、洗掘及び沈下による被災が施設延長割合として高いが、全体としては図から明確な傾向は見られない（図-I-3.3 (c)）。



(a) 比高別の施設延長 (km)

(b) 比高別の施設延長割合



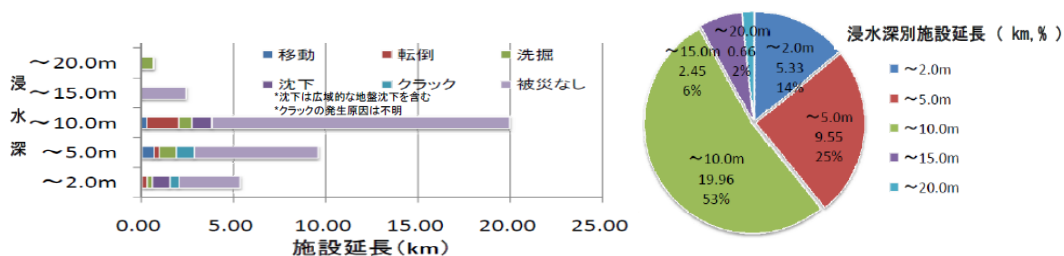
(c) 比高別の被災パターンの割合 (%)

図-I-3.3 胸壁の比高別に見た施設延長と被災パターン

浸水深別に胸壁の被災割合を示す。図-I-3.4 (a) は胸壁の浸水深別の施設延長を示し、図-I-3.4 (b) は浸水深別の施設延長の割合を示している。図-I-3.4 (c) は、浸水深別に見た被災割合（施設延長ベース）を示している。

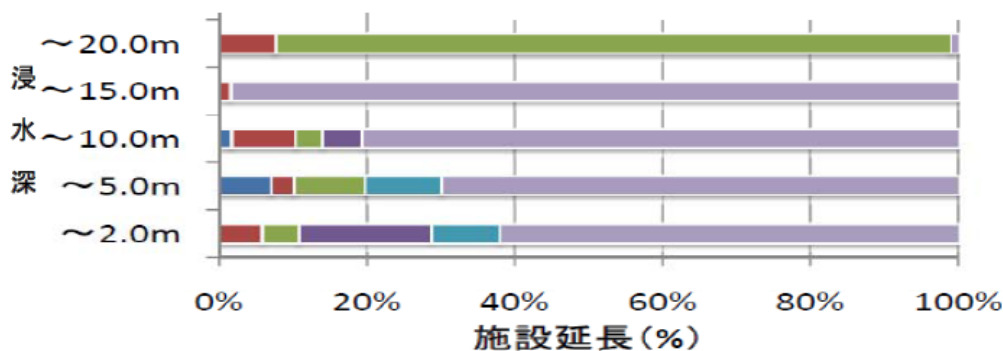
調査対象施設では、浸水深が 5.0 m から 10.0 m までの施設（「～10.0 m」と表記）が 19.96 km（53%）であり最も長かった（図-I-3.4 (a) 及び (b)）。また、浸水深が 5m 以下であった施設が全体の約 4 割（39%）を占め、浸水深が 10m 以下の施設がほとんど（92%）であった。

浸水深に着目した被災は、浸水深が 15.0 m から 20.0 m までの施設（「～20.0 m」と表記）においては、洗掘で被災しているものがほとんどであったが、全体として明確な傾向は見られない（図-I-3.4 (c)）。



(a) 浸水深別の施設延長 (km)

(b) 浸水深別の施設延長割合



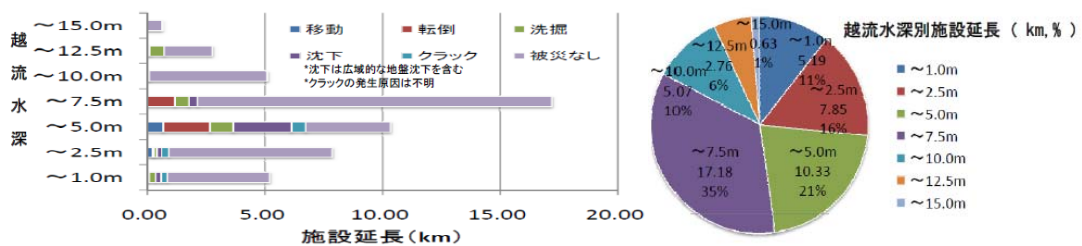
(c) 浸水深別の被災パターンの割合 (%)

図-I-3.4 胸壁の浸水深別に見た施設延長と被災パターン

越流水深別に胸壁の被災割合を示す。図-I-3.5 (a) は胸壁の越流水深別の施設延長を示し、図-I-3.5 (b) は越流水深別の施設延長の割合を示している。図-I-3.5 (c) は、越流水深別に見た被災割合（施設延長ベース）を示している。

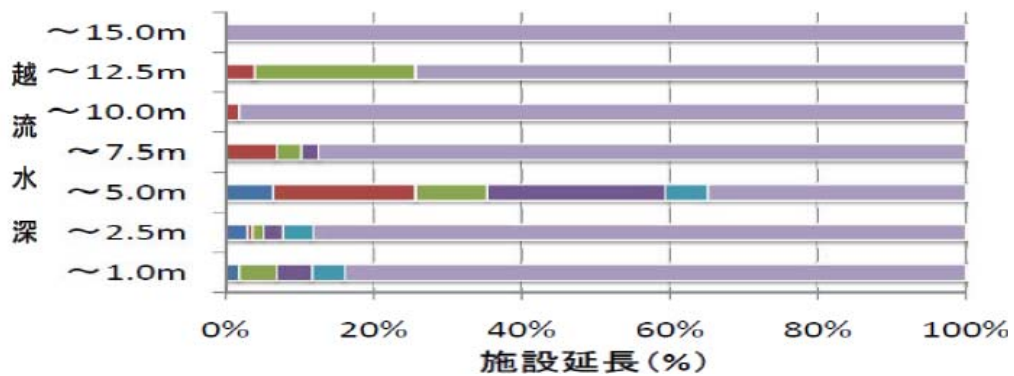
越流水深が 2.5m 以上の施設が 3/4 弱 (73%) であり、5m 以上の施設が約 1/2 (52%) であった (図-I-3.5 (a) 及び (b))。

越流水深に着目した被災は、越流水深 2.5m 以上の施設（「～1.0 m」及び「～2.5 m」を除いたもの）で被災の割合が比較的大きくなっているように見えるものの、その傾向の有意性は不明である。



(a) 越流水深別の施設延長 (km)

(b) 越流水深別の施設延長割合



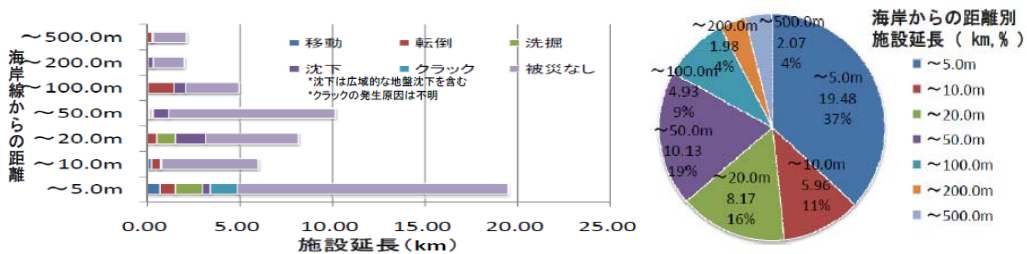
(c) 越流水深別の被災パターン割合 (%)

図-I-3.5 胸壁の被災パターン毎の施設延長及び割合 (越流水深別)

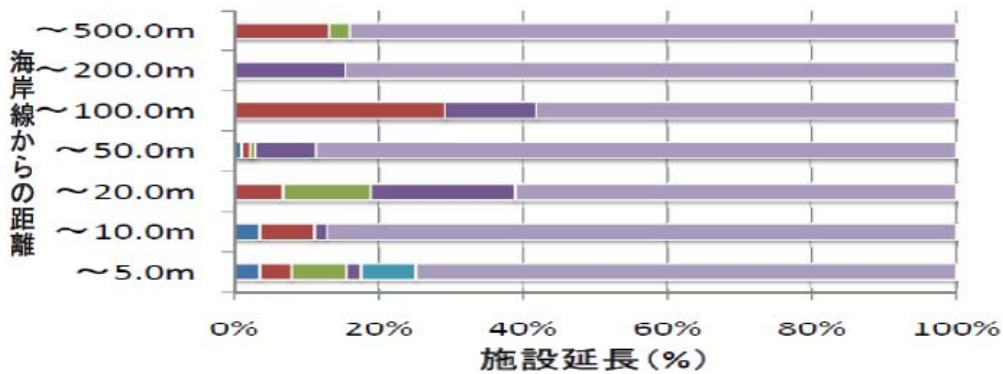
海岸線からの距離別に胸壁の被災割合を示す。図-I-3.6 (a) は胸壁の海岸線からの距離別の施設延長を示し、図-I-3.6 (b) は海岸線からの距離別の施設延長の割合を示している。図-I-3.6 (c) は、海岸線からの距離別に見た被災割合（施設延長ベース）を示している。

海岸線から胸壁の設置場所までの距離は最大で 500m であり、海岸線からの距離が 100m 以下の施設が全体の 9 割強（92%）を占め、10m 以下の施設で約 1/2（48%）であった（図-I-3.6 (a) 及び (b)）。

海岸線からの距離が最大となる 200.0m から 500.0m までの施設（「～500.0m」と表記）においても転倒による被災事例が見られているものの、全体として被災パターンに明確な傾向は見られない（図-I-3.6 (c)）。



(a) 海岸線からの距離別の施設延長 (km) (b) 海岸線からの距離別の施設延長割合



(c) 海岸線からの距離別の被災パターンの割合 (%)

図-I-3.6 胸壁の被災パターン毎の施設延長及び割合（海岸線からの距離別）

(b) 胸壁における浸水深と比高および海岸線からの距離との関係

胸壁における浸水深と比高との関係は、ほとんどの施設で (浸水深) / (比高) は 1.0 を超えていた (図-I-3.7)。このことから、津波が施設を越流していたことが分かる。

海岸線からの距離と浸水深の関係を見ると、海岸線からの距離と被災の傾向の差は認められない (図-I-3.8)。

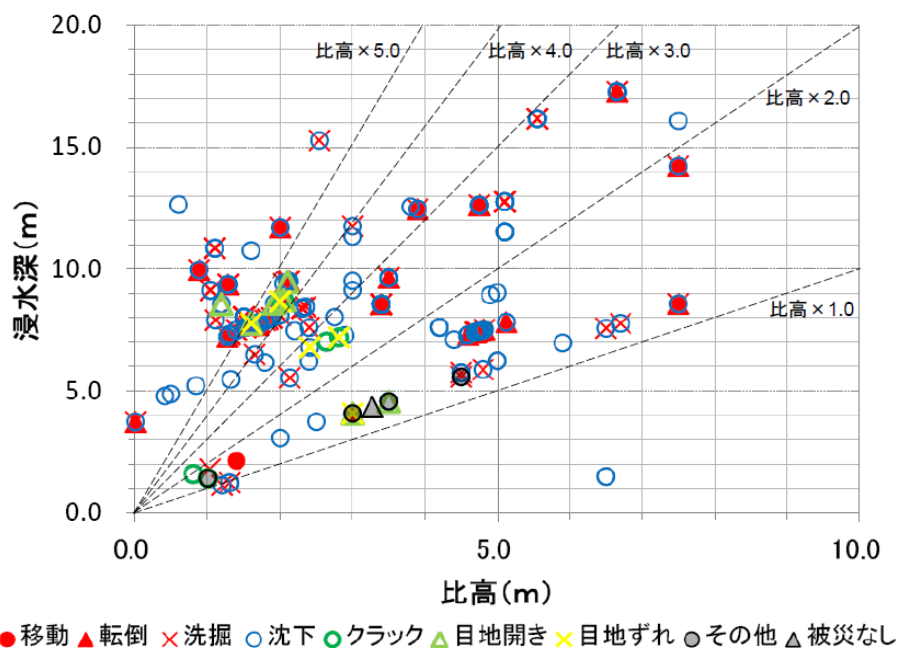


図-I-3.7 比高と浸水深の関係

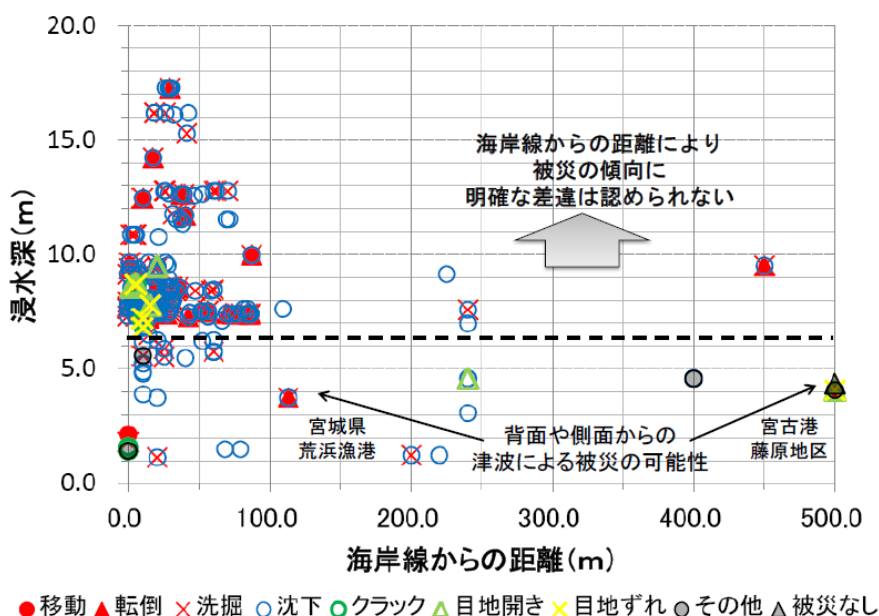


図-I-3.8 海岸線からの距離と浸水深の関係

(c) 山田漁港に着目した胸壁の被災の平面的な傾向

山田漁港においては、津波の浸水深は北側ほど小さくなっていった(図-I-3.9)。北側ではL字型の胸壁や上部がテラス構造となっている胸壁が転倒する等の被災しやすい傾向にあった。また、直接基礎の胸壁の被災も見られた。

港内の胸壁の平面的な配置について見ると、防波堤の開口部(図の水色の点線部)の背後等において被災が見られている。これは、津波が胸壁に到達するまでに低減されずに入射したことが原因として考えられる。また、左及び下の写真では、防潮堤の隅角部で津波による流れが集中していた可能性がある。

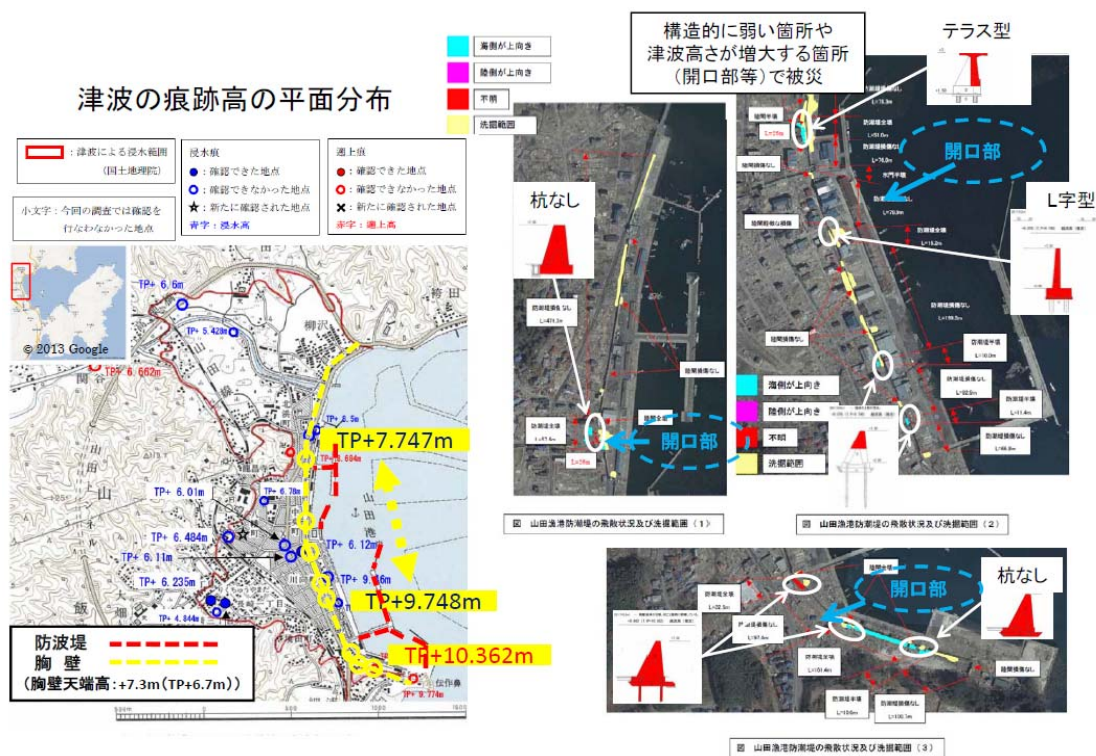


図-I-3.9 港内の被災分布の例(山田漁港)

3. 2 胸壁の安定性

(1) 分析対象データ

(a) 検討対象施設

岩手県における胸壁の施設のうち設計図面等から断面が明らかな 64 施設（表-I-3.4）を対象として、耐津波の特性を滑動および転倒の安全率の観点から検討した。

分析対象とした施設は、港湾局所管の施設と水産庁所管の施設に分類され、港湾局所管が 19 施設、水産庁所管が 45 施設であった。水産庁所管の施設のうち、比高が 4 から 5m のものが 31 施設あり、対象施設の半分程度を占めていた（図-I-3.10）。比高が 5m 以上の施設は、すべて水産庁所管のものであった。

表-I-3.4 対象とした施設

県	市町村	地区	海岸名	地区名	対象施設数
岩手県	久慈市		久慈港海岸	諏訪下地区	6
岩手県	大船渡市	茶屋前	大船渡海岸	茶屋前地区	1
岩手県	大船渡市	清水	大船渡海岸	清水地区	8
岩手県	釜石市		釜石港海岸	須賀地区	1
岩手県	宮古市		宮古港海岸	藤原地区	3
岩手県	宮古市		音部漁港		3
岩手県	山田町		大浦漁港海岸		5
岩手県	山田町		船越漁港海岸		5
岩手県	山田町		山田漁港海岸		12
岩手県	大槌町		大槌漁港海岸		10
岩手県	釜石市		白浜（鶴住居）漁港海岸		6
岩手県	釜石市		両石漁港海岸		1
岩手県	陸前高田市		広田漁港海岸		1
岩手県	陸前高田市		長部漁港海岸		2

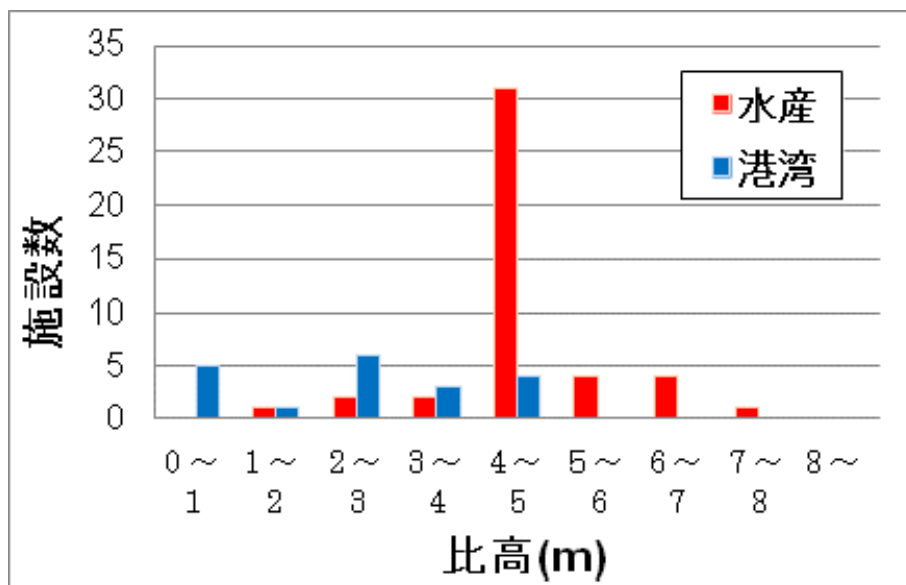


図-I-3.10 比高頻度分布図

表-I-3.5 対象とした施設の被災距離と被災率

施設延長(km)	被災(全壊)(km)	被災(一部)(km)	被災無し(km)
7.4357	0.9748	0.4529	6.008
被災率	13.11%	6.09%	80.80%

(b) 対象とした施設全体の被災率

対象施設のうち 80%程度の施設は被災無しであった(表-I-3.5)。この結果は、3.1で検討対象とした施設の被災無の割合とほぼ同程度であり、本分析で対象とした施設が持つ傾向は、3.1で対象とした施設の傾向と比べて偏りはないと判断できる。

(2) 分析方法

分析対象施設について、設計図面等から施設の断面形状、重量(重心)、滑動抵抗力を求め、津波波力(外力)に対する安定性を評価した。

津波の作用時の状態は、陸側が浸水する前の状態(陸側の水位なし)とし、想定波力については、港外側の水位を胸壁天端高とするケースと現地調査より得られた痕跡高とするケースの2つについて静水圧の作用を仮定して、求めた(図-I-3.11)。なお、分析対象施設における津波の痕跡高は、すべての断面において胸壁天端高よりも大きく、越流していたことが確認されている。

これらの諸元より、それぞれの断面について、滑動及び転倒の安全率を求めた。

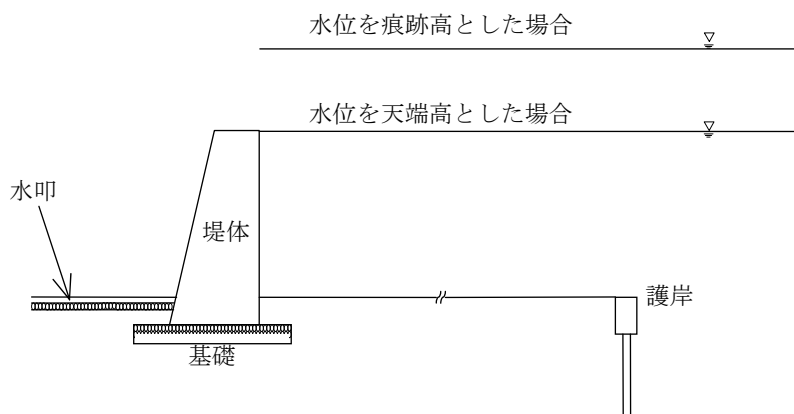


図-I-3.11 津波高さから断面の安定性を検討する概念図

(3) 結果

港外側の水位を胸壁天端高とした場合、対象施設の滑動安全率と転倒安全率を比較すると、ほとんどの断面において滑動安全率が低く（図-I-3.12）、施設の破壊については滑動モードが支配的であることが明らかとなった。

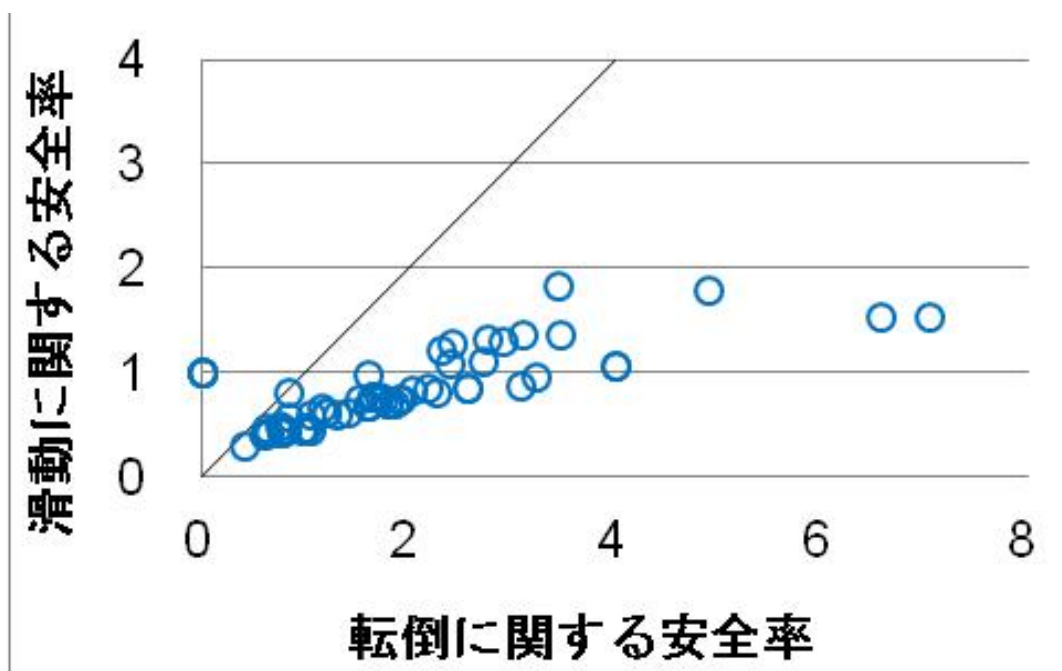


図-I-3.12 港外側の水位を胸壁天端高とした場合の滑動安全率と転倒安全率の比較

各施設における安全率を比高に対して見ると、港外側の水位を胸壁天端高とした場合、滑動安全率は、比高がおおよそ 3.0m 以上であれば、1.0 以下であった（図-I-3.13）。他方、転倒安全率が 1.0 を下回る断面は、比高がおおよそ 3.5m から 5.5m までのものの一部のみであった。

港外側の水位を痕跡高とした場合、すべての断面において、滑動安全率及び転倒安全率の両方がほぼ 0 となっていた（図-I-3.14）。

以上の結果は、津波高が胸壁天端高程度であれば、胸壁の破壊モードは滑動になる傾向にあるが、津波高が胸壁天端を上回ると、その傾向は明確ではなくなることを示している。3.1で示した東日本大震災における被災状況は、転倒による被災の割合が滑動（移動）によるものと同程度であったことから（図-I-3.2）、これらが天端高程度の津波高で被災したものとは考えにくく、天端を上回る津波が作用して破壊したものと考えられる。

津波の浸水深（港外側水位）が天端高よりも大きい場合の被災形態はさまざまであることから（図-I-3.7）、胸壁の津波による破壊は、津波高が天端高の場合における破壊モードによって決まらないものと考えられる。

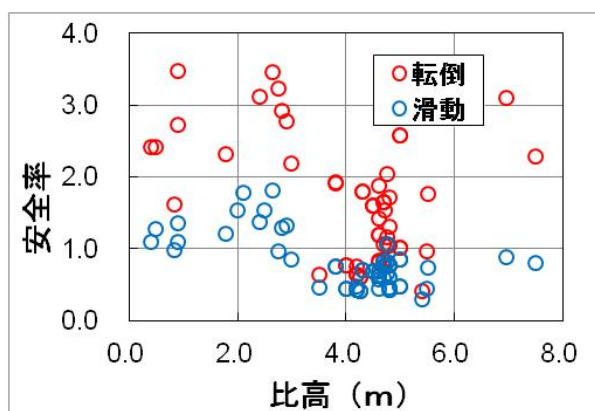


図-I-3.13 港外側の水位を胸壁天端高とした場合の滑動安全率と転倒安全率

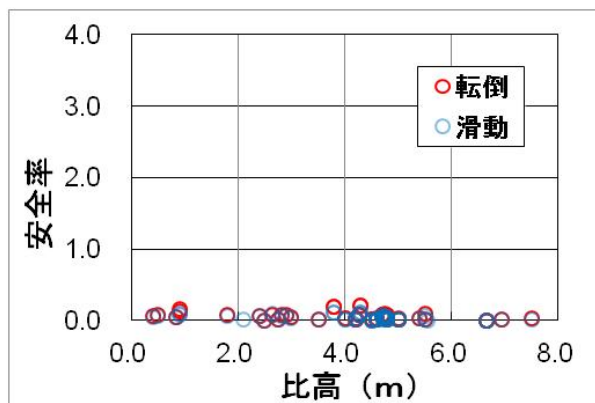


図-I-3.14 港外側の水位を痕跡高とした場合の滑動安全率と転倒安全率

I—4 防潮堤等の耐津波設計を行う上での留意点

本資料では、防潮堤等の地震・津波による被災事例をとりまとめ、かつ、被災データについて分析を行った。この結果、以下の留意点が考えられる。

(1) 津波に対する留意点

- ・津波による防潮堤等の被害は、堤体の欠損、堤体周辺の地盤流出や水叩き部の洗掘、堤体の倒壊もしくはこれらの複合被害であることを考慮する必要がある。
- ・引き波も防潮堤等への作用力として無視できないことも考慮する必要がある。
- ・防潮堤等の被災結果は、転倒の被災割合も滑動と同程度であった。
- ・防潮堤等の破壊は、水位によっていくつかモードが決まり、安定性の検討上、そのうち最も低い水位によって決まる破壊モードが支配的なモードとして扱われる場合もあるが、必ずしも支配的な破壊モードによって被災しない可能性を考慮する必要がある。

(2) 地震に対する留意点

- ・地震動の防潮堤等への影響は、その堤体部等の構造形式によって異なる可能性がある。

参考文献

- 1) 稲富隆昌、善功企、外山進一、上部達生、井合進、菅野高弘、寺内潔、横田弘、藤本健幸、田中祐人、山崎浩之、小泉哲也、長尾毅、野津厚、宮田正史、一井康二、森田年一、南兼一郎、及川研、松永康男、石井正樹、杉山盛行、高崎伸彦、小林 延行、岡下勝彦(1997):1995年兵庫県南部地震による港湾施設等被害報告、港湾技研資料、No.857、1762p.
- 2) 海岸における津波対策検討委員会(2011):平成23年東北地方太平洋沖地震及び津波により被災した海岸堤防等の復旧に関する基本的な考え方.
- 3) 熊谷兼太郎、渡邊祐二、長尾憲彦、鮎貝基和(2011):2011年東北地方太平洋沖地震津波による海岸保全施設の被害調査、国土技術政策総合研究所資料、No.658、39p.
- 4) 熊谷兼太郎、永廣迪、浅井正、宮田正史、松田茂、鷺谷忠彦、鎌木雅之(2013):2011年東北地方太平洋沖地震津波による海岸保全施設の被害調査(その2)、国土技術政策総合研究所資料、出版予定.
- 5) 国土交通省住宅局長(2011):津波に対し構造耐力上安全な建築物の設計法等に係る追加的知見について(技術的助言)、国住指第2570号.
- 6) 高橋重雄、戸田和彦、菊池喜昭、菅野高弘、栗山善昭、山崎浩之、長尾毅、下迫健一郎、根木貴史、菅野甚活、富田孝史、河合弘泰、中川康之、野津厚、岡本修、鈴木高二朗、森川嘉之、有川太郎、岩波光保、水谷崇亮、小濱英司、山路徹、熊谷兼太郎、辰巳大介、鷺崎誠、泉山拓也、関克己、廉慶善、竹信正寛、加島寛章、伴野雅之、福永勇介、作中淳一郎、渡邊祐二(2011):2011年東日本大震災による港湾・海岸・空港の地震・津波被害に関する調査速報、港湾空港技術研究所資料、No.1231、200p.