

防波堤における津波越流時の被覆ブロック空隙率の効果

国土交通省 四国地方整備局 高松港湾空港技術調査事務所 正会員 ○竹田晃 富本正
(独)港湾空港技術研究所 正会員 有川太郎 岡田克寛

1. はじめに

須崎港湾口地区防波堤（東防波堤 960m, 西防波堤 480m）は、外郭施設として港内の静穏度の確保と、背後地を津波の被害から防護することを目的とした津波防波堤として整備している。一方、津波が防波堤を越流する場合の洗掘対策として、腹付工の設置を基本とした洗掘対策が倒壊しにくい構造として知られている¹⁾が、適用可能な津波水位等については明らかにされていない。本稿では、水理模型実験により本防波堤の津波に対する粘り強さと、被覆ブロックの空隙率の違いによる効果を報告する。

2. 要求性能

本防波堤において、二つのレベルの津波を設定している。一つは発生頻度の高い津波として東南海・南海地震津波（2003 年中央防災会議）、もう一つは最大クラスの津波として南海トラフ巨大地震津波（2012 年内閣府）としている。設計津波については、越流は許容しつつも防波堤の堤体の安定を保つことを目的とし、設計津波を超える津波については、粘り強さを付与することでできる限りその場に止まり、背後地への津波到達時間の遅延や被災後の港湾機能の早期復旧を目的として、地震に伴う沈下を事前対策として嵩上げすることとしている。

3. 洗掘対策工について

津波による防波堤の倒壊は、越流により防波堤背後の基礎マウンド等が洗掘されて安定性を失うことで生じる可能性があり、洗掘及び基礎の破壊が生じないように適切な対策を施すことが重要である¹⁾。そこで、本防波堤においては堤体の安定と洗掘対策を兼ねた腹付工を施し、腹付工の上には越流する流速に対して必要質量を満たした被覆ブロックを敷設することを計画した。次に、水理模型実験により本防波堤の津波に対する粘り強さと、被覆ブロックの空隙率の違いによる効果を確認することとした。

4. 水理模型実験²⁾

1) 水理模型実験の概要

水理模型実験は（独）港湾空港技術研究所所有の大規模波動地盤総合水路（長さ 184.0 m, 幅 3.5 m, 高さ 12.0 m）を使用し、津波高さや堤内外の水位差を変えて、基礎マウンドの被害率を確認する。模型断面は現地の 1/12.5 の縮尺（図 1）とし、ケーソン背後の腹付工の上には被覆ブロックを敷設した。実験においては、空隙率が 0%, 8%, 24%となる 3 種類の被覆ブロックを用いて行った。形状の影響を受けないよう一般的な直方体とした。各ブロックの重量がそれぞれ約 3.1kg（厚みは 5.2cm で一定）となるよう重量を調整したものを用いた（写真 2）。

2) 津波条件



写真 1 須崎港湾口地区防波堤

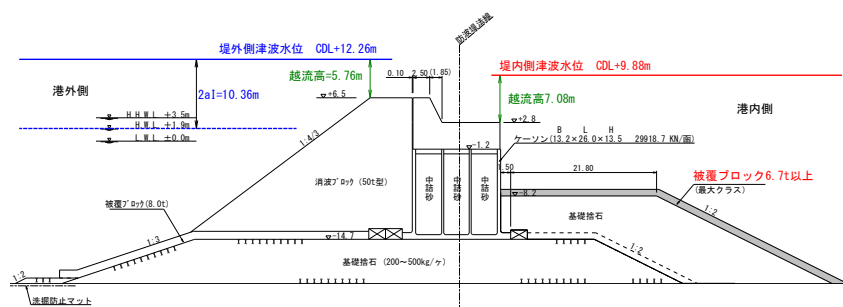


図 1 須崎港湾口地区防波堤断面（代表断面）



写真 2 被覆ブロック模型（左から空隙率 0, 8, 24%）

実験に用いる津波水位は、津波シミュレーションから設定した。最大クラスの津波の結果を図2に示す。シミュレーションから地震発生後40分に堤外側最大水位12.26m、堤内側水位9.88mとなり、水位差2.38mとなる。なお、境界条件として、防波堤に対して水位が大きくなるように背後の防潮堤は無限高に設定した。

3) 防波堤の安定照査

実験に先立ち安定照査を行った結果を表1に示す。なお、津波波力の計算は、国土交通省港湾局「防波堤の耐津波設計ガイドライン」に示される方法に則り、変動状態の波浪の計算は、港湾の技術基準(平成19年7月)に示される方法に則り照査した。これを見ると偶発状態の安全率に余裕がある一方で、沈下後の変動状態は耐力側に余裕がないことが分かる。これは、要求性能で述べた地震に伴う事前嵩上げで堤体が安定することを目的としていることにあり、また、港内外の津波水位差が小さいことから越流した後の津波波力がそれほど大きくないことが要因と考える。

4) 模型実験結果

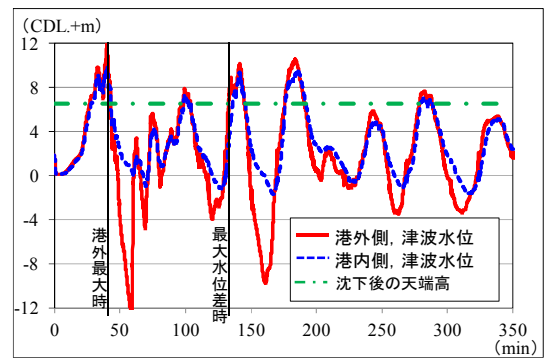
実験結果を図3に示す。ブロックの空隙率の違いと被害率の関係は、最大クラスの津波に対応した水位差0.2m(2.38m:現地スケールの数値)では、被覆ブロックに被害は見られない。実験では、空隙率0%は水位差0.41m(5.1m)、空隙率8%は水位差0.53m(6.6m)、空隙率24%は水位差0.63m(7.8m)までは被覆ブロックの被害が確認されていない。それ以上の水位差となった際に被覆ブロックの被害が始まるが、被害が始まると空隙率に関係なく、被害率が50%程度まで急激に上昇している。このことから、少しでも被害が始まると急激に拡大するが、空隙率8%のブロックは空隙率0%のブロックの約1.3倍、空隙率24%のブロックは約1.5倍の水位差まで被害を抑制することが確認できた。空隙率と被害率の関係には、空隙率が大きいものほど、被覆ブロック上下の圧力が連動することで被害が小さくなったと考えられる。なお、模型実験におけるケーソンの安定性は、3)防波堤の安定性照査と同じ結果を示し、最大クラスの津波相当では安定していた。

5. まとめ

水理模型実験から本防波堤の想定する二つのレベルの津波(設計津波、最大クラスの津波)に対して安定であることを確認した。しかし、想定津波とは異なる港内外の津波水位差が生じた場合、越流落下地点のブロック被害後の腹付工の洗掘による影響で、少しでも被害が始まると急激に拡大することが分かった。そして、空隙率が高いほど被害をある一定抑制できる効果を持っていることも分かった。本防波堤のように設計津波を超える津波作用を受けた場合でも減災効果の発揮が求められる防波堤においては、対策の確実性を可能な限り高めることが重要である。そのため、洗掘対策としての腹付工を基本とした対策には、被覆ブロックの空隙率が高いものほど有効であると考えられる。

参考文献

- 1) 国土交通省港湾局：防波堤の耐津波設計ガイドライン，平成25年9月。
- 2) 有川ら：防波堤の腹付け被覆ブロックの安定性，土木学会論文集B2(海岸工学)，Vol. 70，No. 2



ケース	堤外 (m)	堤内 (m)	水位差 (m)	時刻 (min)
設計津波				
港外最大時	10.27	8.89	1.38	35.6
最大水位差時	6.51	4.67	1.84	29.5
最大クラス				
港外最大時	12.26	9.88	2.38	40.0
最大水位差時	7.18	2.97	4.21	133.2

図2 津波シミュレーション(代表断面)

表1 安定照査結果(代表断面)

	偶発状態 地震後(設計津波)	偶発状態 地震後(最大クラスの津波)	変動状態 地震後(波浪, 50年確率波)
潮位	H.W.L	H.W.L	H.H.W.L
滑動	4.257 > 1.0	3.168 > 1.0	1.294 > 1.0
転倒	4.015 > 1.0	2.858 > 1.0	1.106 > 1.0

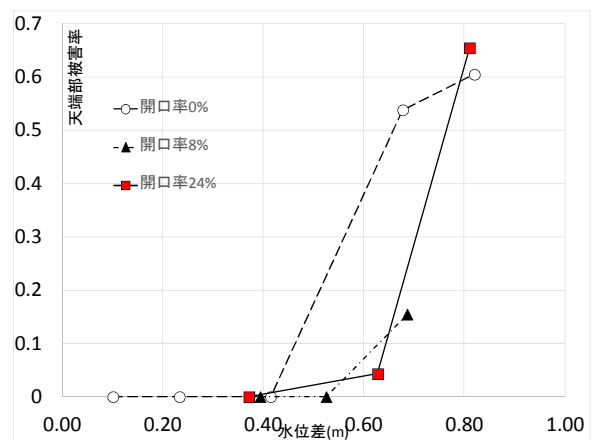


図3 模型実験結果