

消波ブロック被覆防波堤の後部パラペット構造 による改良について —適用の課題に対する実験的研究—

(独) 土木研究所 寒地土木研究所 寒冷沿岸域チーム ○本山 賢司
上久保 勝美
山本 泰司

近年、港湾における防波堤に対して、地球温暖化に伴う水面上昇や波浪増大への備えが急務とされている。著者らは、北海道の小港湾に多く見られる消波ブロック被覆コンクリート単塊式防波堤の波力を低減する改良手法として、位相差による波力の低減が期待できる後部パラペット構造に着目した。

本研究では、後部パラペット構造を消波ブロック被覆コンクリート単塊式の改良に適用する場合の課題を整理し、水理模型実験によって検討した。

キーワード：長寿命化、設計・施工、消波ブロック被覆堤、後部パラペット、波力

1. はじめに

地球規模の環境の変化が叫ばれる中で、水位上昇や高波浪の出現など、防波堤に作用する外力が増大するリスクが高まっていると考えられる¹⁾。さらに、我が国における既存ストックの維持管理更新費用の増大が大きな社会問題となっており、港湾・漁港における防波堤においても、老朽化施設の改良が増加すると見込まれ、コストの縮減は重要な課題になっている。そのため、既設構造を最大限活用しつつ、波力を低減する改良手法の検討が急務とされている。

北海道における主に小型の船舶や漁船が利用する地方港湾及び漁港など（以下、小港湾という）の防波堤で多くみられる消波ブロック被覆コンクリート単塊式防波堤（以下、単塊式防波堤という）²⁾の波力低減を図る改良手法として、位相差により波力の低減が期待できる後部パラペット構造に着目し、単塊式防波堤の改良に同構造を適用する場合の課題を整理し、水理模型実験によって検討した。

2. 後部パラペット構造による改良の課題

(1) 後部パラペット構造について

後部パラペット構造は、図-1に示すとおり、従来使用されている防波堤や護岸の構造のうち、背後への越波を防ぐパラペット部分を背後側に後退させたものである。

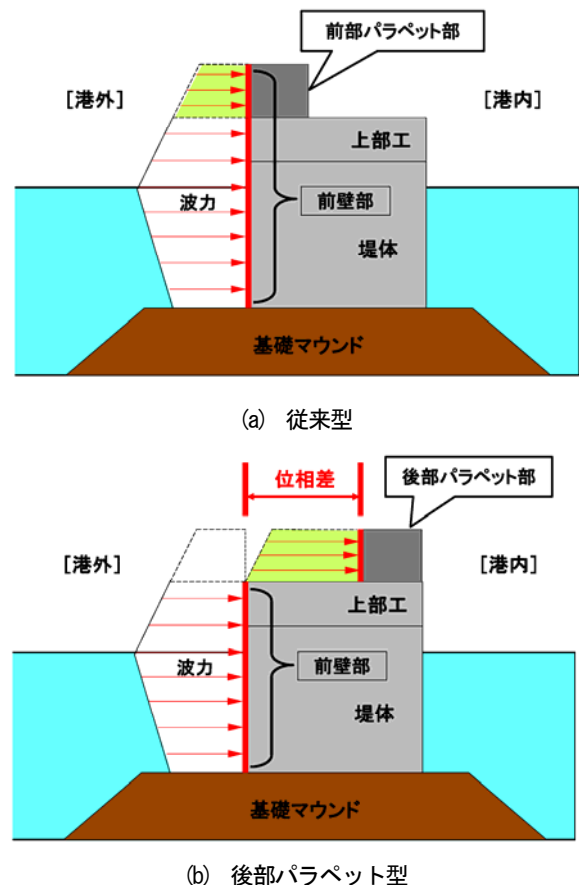


図-1 後部パラペット構造の防波堤に作用する波力
(イメージ)

泉田ら³⁾は、直江津港に建設した後部パラペット型防波堤の事例を踏まえて、本構造の特徴を以下のようにま

とめている。

- ① 後部パラペット型防波堤は、堤体前壁部と後部パラペット部に発生する波力に時間差（位相差）が発生するため、設計波力が小さくなり堤体幅及び基礎マウンド幅を縮小でき、建設コストが縮減される。
- ② 後部パラペット型防波堤は、従来型防波堤に比べて港外側天端高が低くなるため、消波ブロックの設置個数を縮減できる。
- ③ 後部パラペット型防波堤の問題点である、波高伝達率の増加及び後部パラペット部への衝撃的な波力の発生については、上部工にスポットリーフを設置することで低減することが可能である。

後退距離とパラペット部に発生する波力に関する研究として、高田ら⁴⁾、森ら⁵⁾の研究があるが、消波ブロック被覆防波堤に関する検討は行われていない。また、津田ら⁶⁾の消波ブロック被覆後部パラペット式防波堤の水理特性に関する研究では、パラペット部の後退距離と作用波圧に関する系統立てた検討が行われていない。また、上部斜面防波堤に後部パラペット構造を用いた研究（例えば、田崎ら⁷⁾、岡部ら⁸⁾）や直立式混成堤に後部パラペット構造を用いた場合の防波堤背後への波の打ち込みに関する早川ら⁹⁾の研究においても、消波ブロック被覆防波堤の改良に関する検討が行われていない。そのため、後部パラペット構造で単塊式防波堤を改良する場合の課題について、検討が必要である。

(2) 後部パラペット構造に改良する場合の課題

水位上昇等により、単塊式防波堤に作用する波力が設計値以上に大きくなった場合を想定し、位相差による波力低減を期待した後部パラペット構造へ改良する場合の課題を整理する。

a) 後退距離と位相差による波力低減効果

津田ら⁶⁾は、後退距離が大きくなるにつれて、位相差が大きくなることを明らかにしているが、後退距離と位相差による波力低減効果に関する検討が行われていない。また、位相差による波力低減効果を得るために防波堤の拡幅が必要になる場合、改良コストが高くなるため、コスト縮減の観点から既設堤体幅の中で納めることが望ましい。そのため、パラペット部の後退距離と位相差による波力低減効果に関する検討が必要である。

b) 後退距離と作用波圧

パラペット部の設計を行うためには、後退距離と作用波圧の関係を知ることが重要である。前述2.(1)のとおり、既往の研究は直立堤に関するものであるため、消波ブロック被覆堤を対象とした後退距離と作用波圧に関する検討が必要である。

c) 衝撃砕波圧作用時のパラペット部の設計法

高橋ら¹⁰⁾は、防波堤に作用する衝撃波力に対して、基礎マウンド及び地盤に支持される混成堤が有する動的応

答効果により、防波堤底面での有効滑動力が減少することを明らかにしている。しかしながら、パラペット部は、混成堤の基礎部よりも硬いコンクリートで支えられており、防波堤底面の動的応答効果が異なると見込まれるため、衝撃砕波圧が作用するパラペット部の設計法の検討が必要である。

d) 反射波の変化

小港湾では、多くの防波堤が消波ブロックで被覆されている。これは、防波堤に作用する波力の低減のほか、防波堤付近を航行する船舶への反射波の抑制が目的である。単塊式防波堤を後部パラペット構造に改良した場合、パラペット部が消波ブロックに被覆されていない状態となるため、反射波の変化に関する検討が必要である。

3. 水理模型実験の概要

(1) 実験の概要

実験は、図-2に示す不規則波発生装置を備えた2次元造波水路（長さ22.0m、幅0.8m、深さ2.0m）で行い、実験縮尺は1/30とした。水路内には、海底勾配 $i=1/30$ の斜面を設け、造波機から12.9mの斜面上に図-3および図-4示す模型を設置し、滑動実験及び波圧測定実験を実施した。

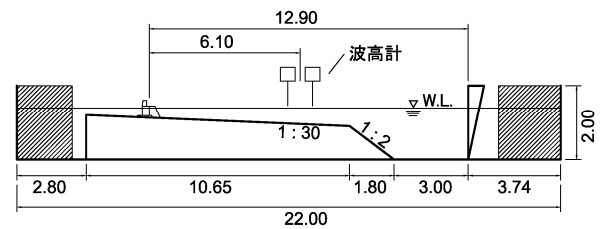
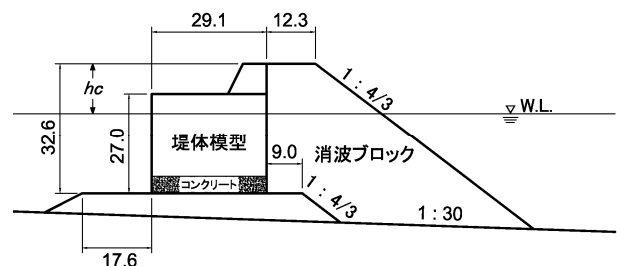
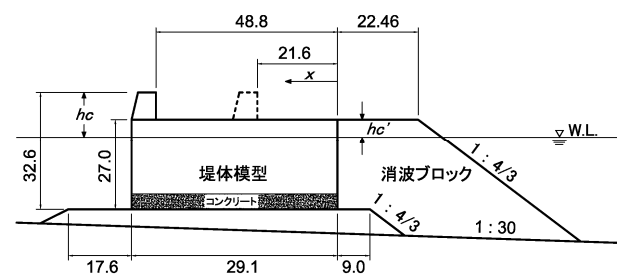


図-2 実験水路 (m)



(a) 通常型



(b) 後部パラペット型

図-3 滑動実験の模型断面 (cm)

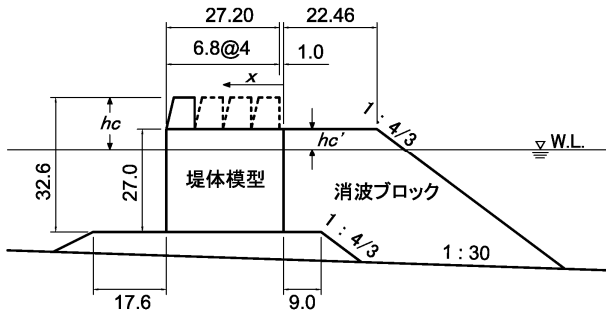


図-4 波圧測定実験の模型断面 (cm)

(2) 滑動実験

滑動実験に使用した波の諸元は、有義波高 $H_{1/3}=13.3\text{cm}$ 、周期 $T=2.19\text{s}$ の不規則波であり、1波群あたりの波数を150波とした。実験ケースは、通常型 (図-3(a)) 1ケース、後部パラペット型 (図-3(b)) 2ケース (パラペットの後退距離 $x=21.6\text{cm}$ 、 48.8cm) の合計3ケースとした。堤体模型の背後に変位計を設置し、1波群造波後の残留変位を滑動量として評価した。堤体模型の底面には厚さ30mmのコンクリート版を取り付けてあり、実験前に測定した底面のコンクリート版と基礎マウンドの摩擦係数 μ は、通常型、後部パラペット型いずれも0.56であった。

実験は、模型重量の調整、造波および変位計測を1サイクルとし、累積の滑動量が10cm程度まで繰り返した。実験開始時の堤体模型の水中重量を33.0kgに調整し、サイクル終了後におよそ1.5kgずつ減らした。

表-1 実験条件

周期 T (sec)	1.83	2.19	2.56
波長 L (cm)	280.1	341.0	402.7
$H_{1/3}$ (cm)	13.3		
H_{max} (cm)	20.3	24.2	19.9
$H_{1/3}/L$	0.047	0.039	0.033
h (cm)	26.7		
hc, hc' (cm)	12.6, 7.2		
x (cm)	1.0, 7.8, 14.6, 21.4		

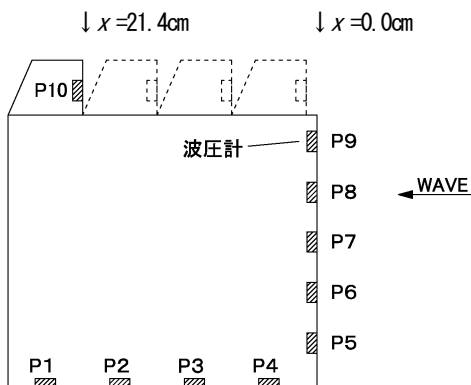


図-5 波圧測定実験の堤体模型

(3) 波圧測定実験

実験条件を表-1に示す。実験には、不規則波を使用し、1波群あたりの波数を150波とした。パラペット部の衝撃波力の変化を測定するために、堤体模型に波圧計を取り付け (図-5)、パラペット部の位置を段階的に後退させた。波圧の計測間隔は衝撃的な波圧を捉えるために1000Hzとした。

4. 水理模型実験の結果と考察

(1) 安定限界重量

滑動実験で得られた堤体重量 W と滑動量 S の関係を図-6に示す。

実験結果の検討にあたり、限界滑動量を3.33cm (現地10cm) に設定し、実験結果を比較することとした。限界滑動量から推定される堤体重量 (以下、限界重量という) は、通常型で21.8kg、後部パラペット型 $x=21.6\text{cm}$ で17.4kg、 $x=48.8\text{cm}$ で17.5kgであった。次に、通常型と後部パラペット型の限界重量に摩擦係数乗じた波力の比は0.80であり、これは模型前壁部の高さ (通常型32.6cm、後部パラペット型25.1cm) の比0.83とほぼ同じ値である。前述の波力を前壁部の高さで除して平均波圧を比較すると、通常型は14.8g/cm²、後部パラペット型は14.4g/cm²となり、前壁部には同程度の平均波圧であったことがわかる。このことから、限界重量の差は、パラペット部の後退による波力が低減した効果と考えられる。

以上より、 $x=21.6\text{cm}$ 以上の場合には、パラペット後退による位相差により波力の低減効果が得られることを確認した。 $x=21.6\text{cm}$ までの波力低減効果については、今後の検討課題である。

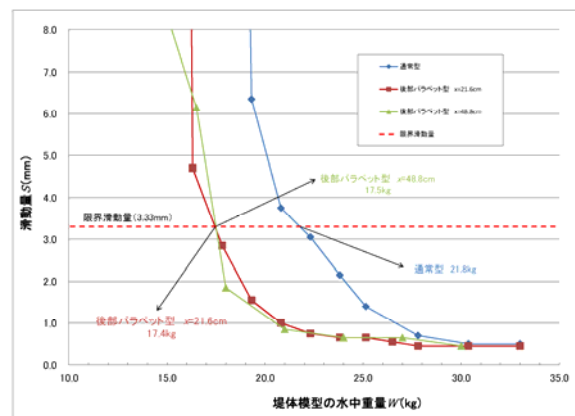


図-6 堤体重量 W と滑動量 S の関係

(2) パラペット部に作用する波圧強度

図-7は、計測した波圧強度の最大値 q を最高波高 H_{max} 水圧で除した無次元波圧 $q/w_d H_{max}$ と後退距離 x の関係を示している。また、図-8は、 $q/w_d H_{max}$ と後退距離 x と波長 L の比 x/L との関係で整理したものである。

まず、 x が同じ条件で比較した場合、 q/w_0H_{max} は H/L が小さい条件ほど大きい値を示した。 q/w_0H_{max} のピークは $x = 7.8\text{cm}$ ($x/L = 0.02 \sim 0.03$) で現れており、その後小さくなる。波圧がピークとなる位置について、 H/L による差は見受けられない。この結果は、消波ブロックで碎波した後にパラペット部に作用することを示唆しており、波形勾配の影響を受けるとした直立堤に関する実験(高田ら³⁾)と異なる結果が得られた。

次に、すべての波で、 $x = 21.4\text{cm}$ のときに q/w_0H_{max} が最小になっていたことから、 x が大きいと波力は小さくなるがわかる。ただし、このときの q/w_0H_{max} は 2.92 ~ 4.93 と大きい衝撃的な波圧が作用しており、現地への適用を考えた場合、パラペット部の動的応答効果に関する検討やパラペット部に作用する波圧を減らす構造的検討が必要である。

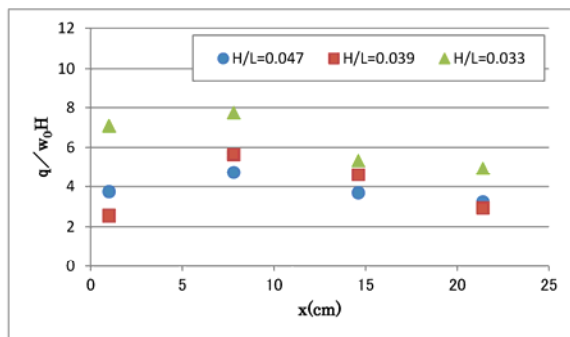


図-7 無次元波圧 q/w_0H_{max} と後退距離 x の関係

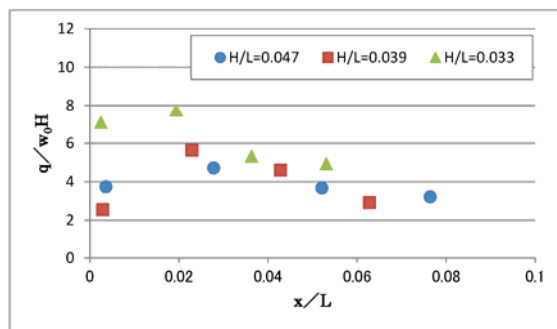


図-8 無次元波圧 q/w_0H_{max} と後退距離波長比 x/L の関係

5. まとめ

本研究の結果を以下にまとめる。

- ① 消波ブロック被覆コンクリート単塊式防波堤を後部パラペット構造で改良する場合の課題は、後退距離と位相差による波力低減効果の検討、後退距離と作用波圧の検討、反射波の変化に関する検討、衝撃砕

波圧作用時のパラペット部の設計法の検討である。

- ② 滑動実験により、パラペットの後退距離 x を21.6cm以上とした場合は、パラペット後退による位相差により波力の低減効果が得られることを確認した。なお、 $x = 21.6\text{cm}$ までの波力低減効果については、今後の検討課題である。
- ③ 波圧測定実験により、消波ブロックで碎波した後にパラペット部に作用するため、 q/w_0H_{max} のピークは $x = 7.8\text{cm}$ ($x/L = 0.02 \sim 0.03$) に現れ、その後、後退距離 x が大きくなるとともに q/w_0H_{max} は小さくなる。また、 $x = 21.4\text{cm}$ の場合に q/w_0H_{max} が最小になったことから、 x はできるだけ大きくすべきである

今後の現地での適用に向けて、パラペット部の後退距離と波力低減効果に関する検討、パラペット部の動的応答効果に関する検討およびパラペット部に作用する波圧を減らす構造的検討を行い、衝撃砕波圧作用時のパラペット部の設計法を確立したいと考えている。

参考文献

- 1) IPCC 第4次評価報告書第1作業部会報告書 技術要約, pp30-54
- 2) 本山賢司, 上久保勝美, 山本泰司: 小港湾の防波堤改良における課題と改良方策に関する検討, 北海道開発技術研究発表会論文集, 第55回, 2012.
- 3) 泉田裕, 尾山康弘, 長井一平: 新構造(後部パラペット型防波堤)の開発, 北陸地方整備局管内事業研究会, 2011.
- 4) 高田彰, 藤川浩正: パラペット後退型護岸のうちあげ, 越波および波圧の特性, 海岸工学論文集, 第25巻, pp. 283-287, 1978.
- 5) 森昌也, 木村克俊, 早川哲也: 後部パラペット堤の水理特性, 北海道開発技術研究発表会論文集, 第43回, pp. 361-366, 2000.
- 6) 津田修一, 船越青世: 後部パラペット型防波堤の水理特性について, 土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集, 第21巻, 212-213, 1994.
- 7) 田崎敏, 岡部成光, 池田浩一, 藤田 浩二, 榊山勉: 衝撃砕波力低減のための後部パラペット型ケーソンの開発, 海岸工学論文集, 第42巻, 911-915, 1995.
- 8) 岡部成光, 畑元浩樹, 白石貴司, 榊山勉, 清水琢三, 片山裕之: 急勾配海岸における後部パラペット型上部斜面堤の実用的な設計法について, 海岸工学論文集, 第44-2巻, 841-845, 1997.
- 9) 早川哲也, 木村克俊, 林忠志, 土井善和, 渡部靖憲: 後部パラペット堤の越波特性と背後マウンド部の安定性, 海洋開発論文集, 第15巻, 713-718, 1999.
- 10) 高橋重雄・下迫健一郎・上部達生・谷本勝利: 衝撃砕波力に対する混成防波堤の動的応答の計算, 海岸工学論文集, 第40巻, pp. 766-770, 1993.