

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

(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

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、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も高まっている。今後、港湾・漁港の防波堤においても老朽化施設に対する改良が増加すると見込まれ、コストの縮減は重要な課題である。本報告では、小港湾の防波堤の改良における課題を整理するとともに、有効な改良方策について実験を行った。コンクリート単塊式防波堤の現状を整理した結果、維持管理、長寿命化等の緊急度の高い構造であることがわかった。消波ブロック被覆堤に消波ブロック 3 層厚の前面小段を配置した実験を行い、沖波波長の 0.15 倍よりも長い前面小段を配置した場合に波力を 2 割程度低減する効果が得られ、有効な改良方策になることを確認した。

キーワード：防波堤、防波堤改良、コンクリート単塊式、波力増大、消波ブロック

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。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。

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）における防波堤は、設置水深が浅い箇所に外郭施設を建設する場合が多く、コンクリート単塊式防波堤（以下、単塊式）が多く採用されており、減価償却資産の耐用年数を基本とした設計供用期間は30年である。一般的に、設計供用期間を経過した防波堤においては、コンクリート劣化と波浪の作用による上部工の欠損や消波ブロックの沈下などが見受けられる。このような老朽化による堤体重量の減少に加えて、水位上昇による波力の増大等が生じた場合には、安定性能及び越波抑制性能が大きく低下すると予想される。

本報告では、小港湾の防波堤の改良における課題を整理するとともに、有効な改良方策について検討するものである。

2. 小港湾における防波堤改良の課題

(1) コンクリート単塊式防波堤の現状

我が国は約3万5千kmの海岸線を有し、その内、北海道は約3,000kmと長大で、全国の海岸線延長の9%を占める。全国の沿岸部には、地方港湾は942港、漁港は2,914港あり（重要港湾・地方港湾）、その内、北海道沿岸には地方港湾41港、漁港282港が存在する¹⁾。北海道の海岸延長1000km当たりの小港湾数（表-1）を見ると、合計では全国の港数とほぼ同じであるが、地方港湾数は全国の約3割、漁港数は全国の1.5倍と逆転しており、北海道は全国に比べて、施設規模の小さい港が多いと言える。

表-1 小港湾に関する全国と北海道の比較¹⁾

	全 国		北海道	
	港数	/1000km	港数	/1000km
地方港湾	942	26.9	24	8.0
漁港	2,914	83.3	282	94.0
合計	3,856	110.2	306	102.0

本研究で対象とする単塊式は、日当たりコンクリート施工量から基礎捨石マウンド上面の水深4～5m程度と考えられ、北海道の直轄整備港湾及び漁港の基礎捨石マウンド最小厚さが1.5mであることを踏まえると、堤体設置水深の限界は約-6m以浅と見込まれる。北海道の小港湾における外郭延長の平均値（表-2）に近い延長を有するA港湾（図-1）とB漁港（図-2）を例として、単塊式の現状を述べる。

A港湾における外郭施設延長4,276mの内、後に述べる水位上昇の影響を大きく受ける港外に面した防波堤2,047mについて考える。単塊式の延長は444mで、港外に面した防波堤の2割を占めており、設置水深の最大値は約5mである。残る1,603mはケーソン式であり、港外に面

していたことや施工延長が長い等の施工性や経済性の面で単塊式よりも優位であったことが予想される。一方、B漁港における外郭施設延長3,638mの内、港外に面した外郭施設延長は1,475mである。単塊式の延長は1,040mで、港外に面した防波堤の7割を占めており、設置水深の最大値は5.5mである。

表-2 小港湾の外郭施設の平均延長¹⁾

	全 国 (m/港)	北海道 (m/港)
地方港湾	3,727	4,328
漁港	3,885	2,851
第3種漁港	4,720	3,698
第4種漁港	2,799	2,158

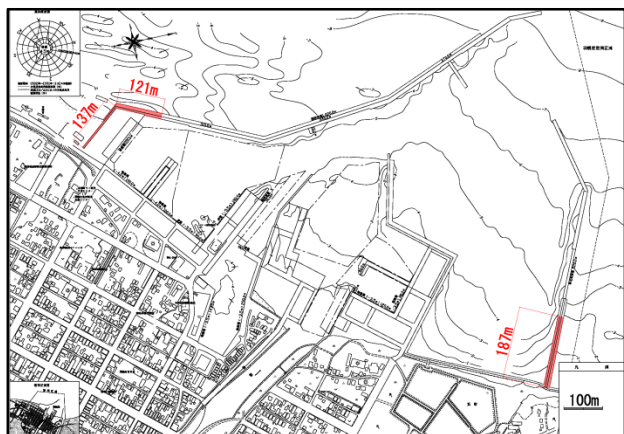


図-1 小港湾の事例1 (A港湾)

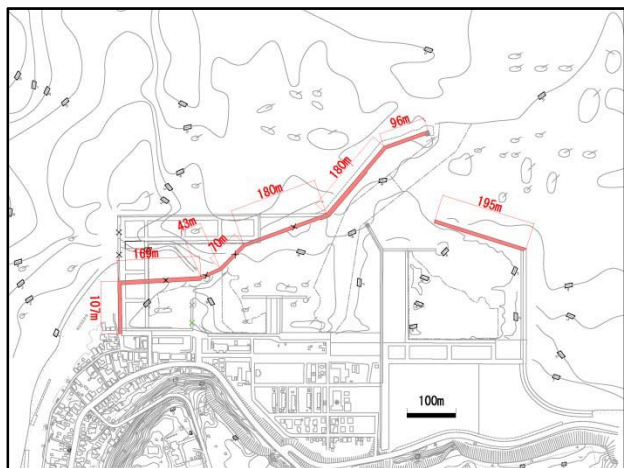


図-2 小港湾の事例2 (B漁港)

このように、地方港湾と漁港で単塊式が占める割合に差はあるものの、設置水深は想定した6m以浅で妥当であった。また、単塊式は、A港湾及びB漁港に限らず、施工性から防波堤の基部側に多く見られる。

単塊式の現状として、防波堤の基部に位置している施設が多いため、沖合防波堤で採用されるケーソン式防波堤（設計供用期間50年）に比べて施工年度が古い施設が多いと予想され、設計供用期間も短いことから、維持管理、長寿命化等の緊急度が高い施設が多いと考えられる。

また、小港湾周辺の浅海域は漁場として活用され、防波堤のほとんどが消波ブロック被覆堤を採用している。これは、消波ブロックにより波力を低減し断面を小さくする効果はあるが、防波堤前面への反射波を低減すると同時に、越波を抑制し、主に小型船が利用する水域の狭い港内の静穏を高める目的があるためと考えられる。

(2) 防波堤の改良の課題について

防波堤の改良は、老朽化した施設、外力の変更等により機能向上が必要となった施設、さらに計画の見直し等により利用条件が変更になった施設で実施され、周辺の水域で営まれる漁業への配慮も求められる。このうち、いずれの施設においても避けられない課題として、水位上昇による外力の増大、施設の老朽化がある。本研究においては、前者を対象として、機能低下する施設の改良方策について検討することとした。一方、施設の老朽化により改良を実施する場合にはコンクリート劣化判断が必要であるが、特に無筋コンクリートの劣化を判断するための知見が不足していると思われ、材料分野における今後の研究が期待される。

(3) 水位上昇による影響について

水位上昇は、IPCC第4次評価報告書（2007）²⁾によれば、21世紀末（2090～2099年）の世界平均の海面水位は、1980～1999年の平均海面水位に対して0.18～0.59m上昇すると予測されている。1993年から2003年にかけて年当たり 3.1 ± 0.7 mm増加しているとされ、今後も長期的に上昇すると過程した場合、30年後の水位上昇量は、0.07～0.11mと試算される。

海面上昇の最大値を潮位上昇（0.60m）と考えて、A港湾（図-3）及びB漁港（図-4）の防波堤の設計条件を基に試算した。波高は、A港湾の事例（沖波9.2m、周期10s、海底勾配は1/100、水深5.0m）で2%～8%、B漁港の事例（沖波8.7m、周期15.9s、海底勾配は1/100、水深5.5m）で0%～7%増加した。波圧合力は、A港湾で1%～12%、B漁港で3%～11%。このように小港湾の防波堤において、0.6m潮位が上昇した場合、波高と波力の上昇量は1割程度である。これは、水位上昇・波高・波圧合力は、相互に関係しており、設置水深の条件が近く、砕波帯であるため、ほぼ一定の傾向が得られたものである。

さらに、波高が高くなると越波及び伝達波も増大するため、潮位上昇0.6mに対応して防波堤を嵩上げ改良する場合が考えられる。嵩上げた場合の波圧合力を試算したところ、波力が1割～2割程度上昇した。このように、将来の水位上昇への対応を考える場合には、波高が増大し、波力、越波量及び伝達波が大きくなり、施設全体の安定性の低下が懸念される。波力低減する方策で施設の安定性を確保する場合には、波力を2割程度低減する必要がある。

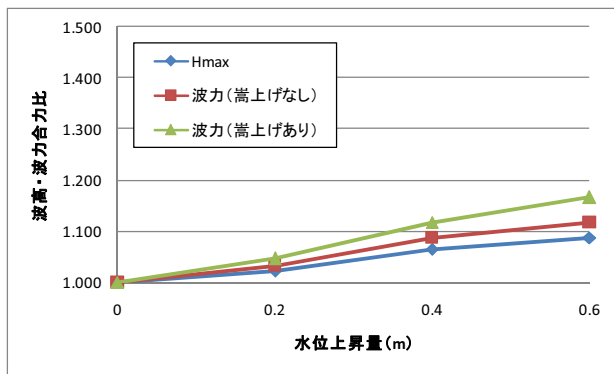


図-3 水位上昇による波高・波圧合力比 (A港湾)

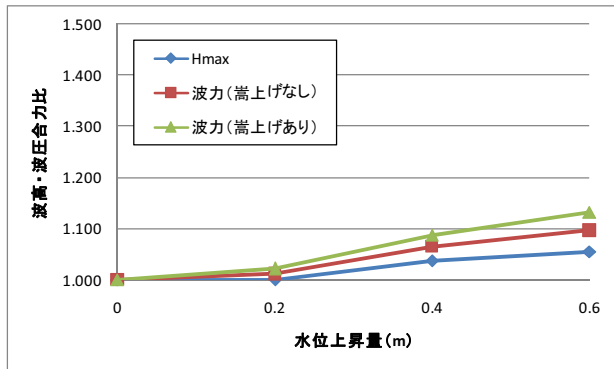


図-4 水位上昇による波高・波圧合力比 (B漁港)

3. 小港湾の防波堤の改良方策

(1) 小港湾の防波堤の改良方策

波高増大への対応としては、防波堤の嵩上げと拡幅による堤体重量の増加が一般的であるが、港内水域が狭くなる拡幅や入出港時の見通しが悪化する嵩上げを避けるような、小港湾の利用面を考えた改良が求められる場合がある。また、小港湾周辺の浅海域が漁場である場合には生物環境との調和にも配慮が求められるため、小港湾防波堤の改良方策の一つとして、図-5に示すような防波堤沖側の消波ブロック法先に小段を配置する構造(以下、前面小段という)について検討することとした。前面小段の水理特性については、須藤ら³⁾による反射特性に関する研究はあるものの、作用波力に関した知見はない。そこで、改良の有効性を確認するために、波力低減効果に関する水理模型実験を行った。

(2) 実験水路と模型

実験は、図-6に示す不規則波発生装置を備えた2次元造波水路(長さ28.0m、幅0.8m、深さ1.0m)で行い、実験縮尺は1/30とした。水路内には、海底勾配 $i=1/100$ の一樣斜面を設け、斜面上に図-7に示す堤体模型を設置し、2種類の前面小段を配置したケースと前面小段を配置しないケースの計3ケースを行った。前面小段の形状は、人工リーフの設計の手引き⁴⁾を参考とし、天端水深換算沖波比 $R/H_0'=0.69\sim1.80$ 、天端幅波長比 $B/L_0=0.41$ として、前面小段透過後の伝達率0.8程度を目標とした。

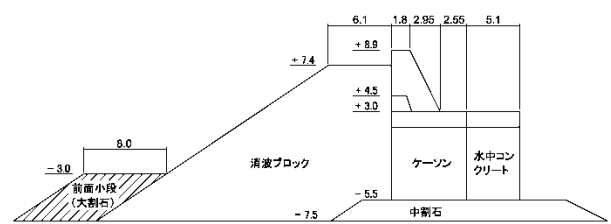


図-5 C港湾における前面小段の配置例

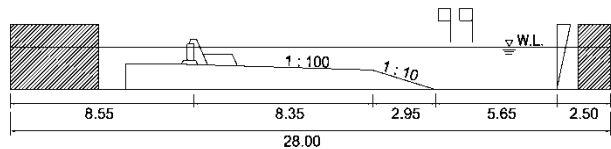


図-6 実験水路

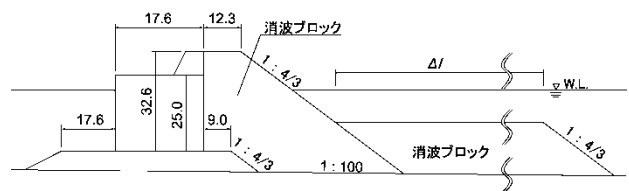


図-7 模型断面

(3) 波力測定実験の条件と測定方法

波力測定実験に用いた波は、全て不規則波であり、有義波周期1.83s、2.19s、2.56s(現地換算10s、12s、14s)、有義波高6.7cm、10.0cm、13.3cm(現地換算2m、3m、4m)である。前面小段の長さ、0cm(小段無し)、68.2cm、136.4cm(現地換算0m、20.5m、40.9m)、前面小段の厚さは、消波ブロックの3層厚とした。

実験は、波を作用させ、図-8に示す位置に配置した波圧計で前面に働く波力を0.05s間隔で測定した。

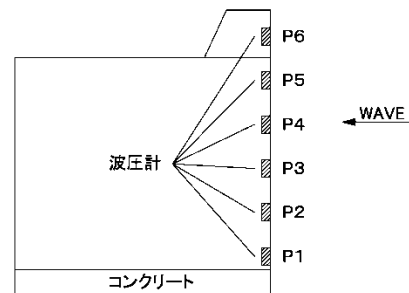


図-8 堤体断面

(4) 実験結果と波力低減率

表-3は、各条件における波圧測定実験で得られた最大合成波圧と前面小段による波力低減率をまとめたものである。この波力低減率は、前面小段を設置した場合と小段なしの場合の最大合成波圧の比で求めたものである。図-9は、波力低減率を波高 $H_{1/3}$ と水深 h の比でプロットしたものである。前面小段を長くすると波力低減効果が高いこと、前面小段が短い場合に波力低減効果がほとんど得られない条件があることがわかる。一方、図-10は、波

力低減率を前面小段長さBと沖波波長 L_o の比でプロットしたものである。 B/L_o が0.15以上の場合に波力低減率が0.8程度以下となることが明らかとなり、波力を低減する改良方策としての有効性が確認できた。

表-3 最大合成波圧と波力低減率

波高(cm)	周期(s)	前面小段長さ(cm)	最大合成波圧(kN/m)	波力低減率
6.7	1.83	0.0	302.89	1.00
6.7	1.83	68.2	283.42	0.94
6.7	1.83	136.4	206.9	0.68
6.7	2.19	0.0	328.88	1.00
6.7	2.19	68.2	333.48	1.01
6.7	2.19	136.4	237.08	0.72
6.7	2.56	0.0	331.87	1.00
6.7	2.56	68.2	311.84	0.94
6.7	2.56	136.4	282.13	0.85
10.0	1.83	0.0	436.61	1.00
10.0	1.83	68.2	344.17	0.79
10.0	1.83	136.4	291.33	0.67
10.0	2.19	0.0	522.52	1.00
10.0	2.19	68.2	431.72	0.83
10.0	2.19	136.4	426.02	0.82
10.0	2.56	0.0	555.25	1.00
10.0	2.56	68.2	485.07	0.87
10.0	2.56	136.4	436.89	0.79
13.3	1.83	0.0	513.2	1.00
13.3	1.83	68.2	461.95	0.90
13.3	1.83	136.4	397.26	0.77
13.3	2.19	0.0	546.47	1.00
13.3	2.19	68.2	525.74	0.96
13.3	2.19	136.4	450.71	0.82
13.3	2.56	0.0	607.45	1.00
13.3	2.56	68.2	521.15	0.86
13.3	2.56	136.4	535.73	0.88

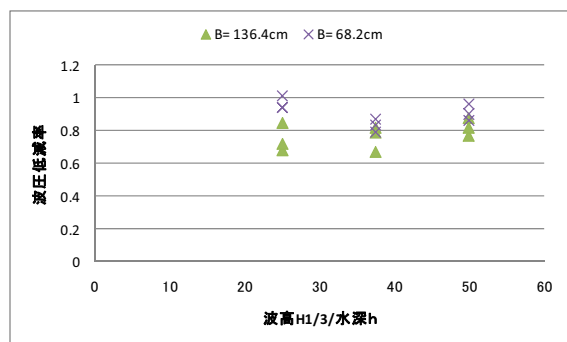


図-9 波力低減率と $H_{1/3}/h$

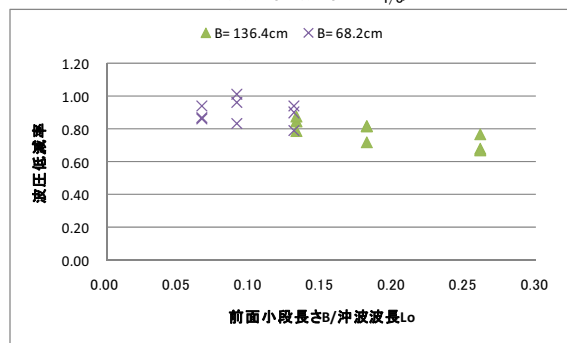


図-10 波力低減率と B/L_o

図-11～13は、最大合成波圧作用時の波圧分布を示したもので、小段無しが最も大きい波圧分布となり、 $B=68.2\text{cm}$ 、 $B=136.2\text{cm}$ の順に低くなる傾向が見られる。しかしながら、波力低減率 >0.8 になる条件（例えば、図-11(1)小段長さ $B=68.2\text{cm}$ ）では、小段なし（実験値）と同じような波圧分布となっていた。また、小段無しの場合において、水面上で衝撃砕波圧の様な大きな波圧が計測されていた（例えば、図-11(3)）。これらは、今後検討が必要な事項である。

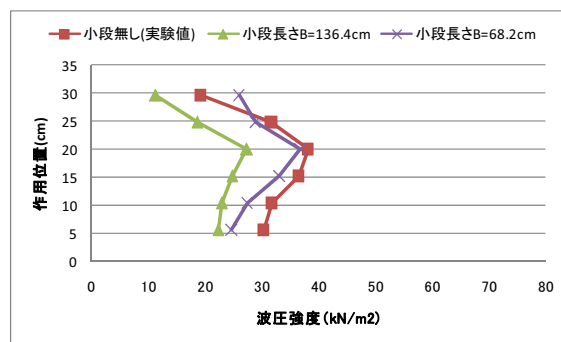


図-11(1) $H_{1/3} = 6.7\text{cm}$ 、 $T = 1.83\text{s}$ の波圧分布

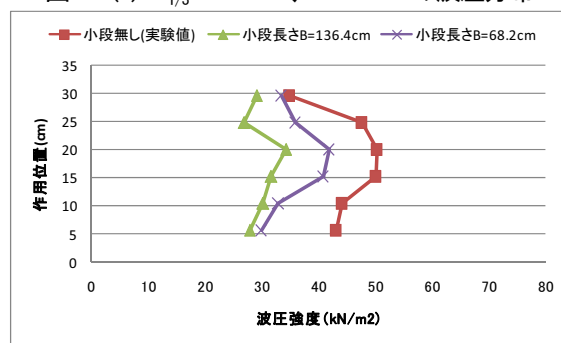


図-11(2) $H_{1/3} = 10.0\text{cm}$ 、 $T = 1.83\text{s}$ の波圧分布

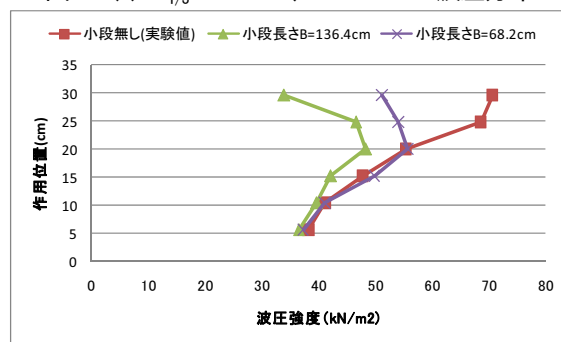


図-11(3) $H_{1/3} = 13.3\text{cm}$ 、 $T = 1.83\text{s}$ の波圧分布

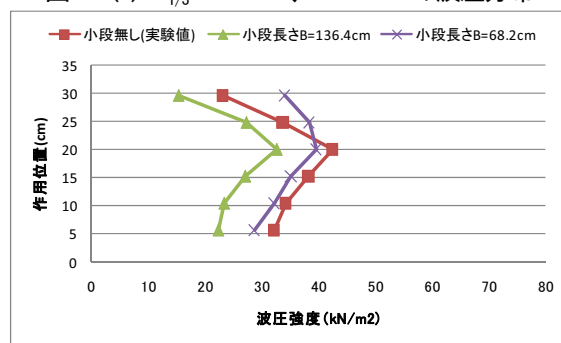


図-12(1) $H_{1/3} = 6.7\text{cm}$ 、 $T = 2.19\text{s}$ の波圧分布

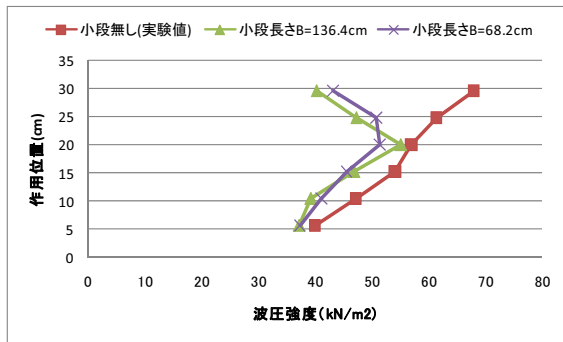


図-12(2) $H_{1/3}=10.0\text{cm}$ 、 $T=2.19\text{s}$ の波圧分布

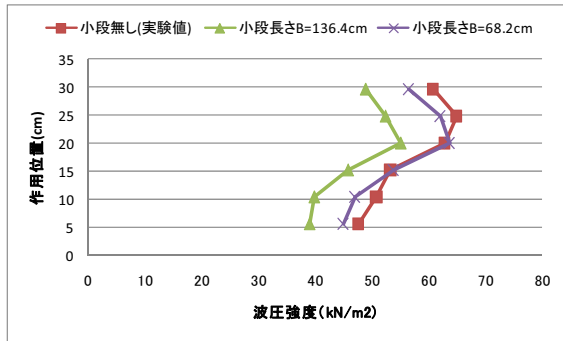


図-12(3) $H_{1/3}=13.3\text{cm}$ 、 $T=2.19\text{s}$ の波圧分布

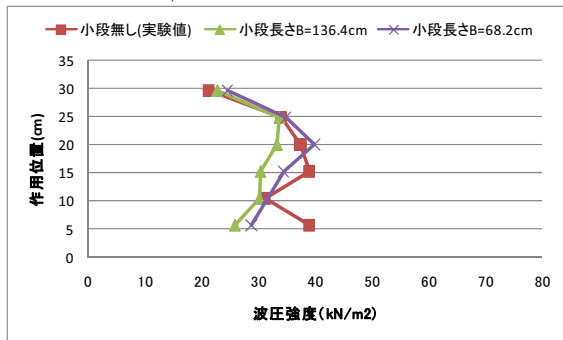


図-13(1) $H_{1/3}=6.7\text{cm}$ 、 $T=2.56\text{s}$ の波圧分布

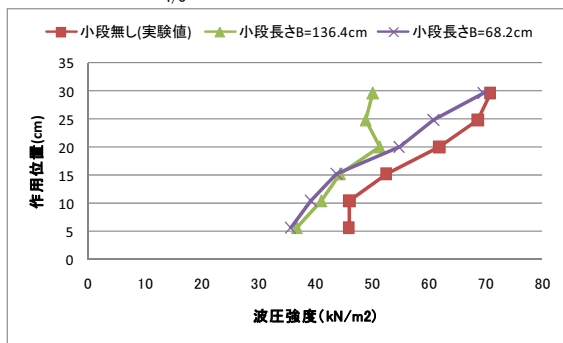


図-13(2) $H_{1/3}=10.0\text{cm}$ 、 $T=2.56\text{s}$ の波圧分布

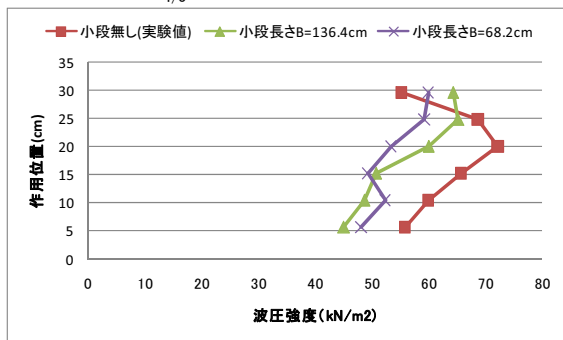


図-13(3) $H_{1/3}=13.3\text{cm}$ 、 $T=2.56\text{s}$ の波圧分布

4. まとめ

本報告では、小港湾の防波堤の改良における課題を整理し、波力低減効果を有する改良方策について、水理模型実験を行い、有効性を検討した。以下に得られた知見をまとめる。

- ① 北海道における小港湾のコンクリート単塊式防波堤の現状を整理した結果、維持管理、長寿命化等の緊急度が高い構造であることがわかった。
- ② 小港湾の防波堤の改良における課題として、水位上昇による波高の増大は1割程度、波力の増大は2割と試算され、波力低減で施設の安定性を確保する場合ために、波力を2割低減する方策が必要である。
- ③ 消波ブロック被覆堤に消波ブロック3層厚の前面小段を配置した実験を行い、沖波波長の0.15倍よりも長い前面小段を配置した場合に波力を2割程度低減する効果が得られ、有効な改良方策になることを確認した。

今後の課題として、前面小段形状の違いによる波力低減効果と経済性の検討、波圧分布、越波及び波高伝達率の検討が挙げられる。また、波力を低減する他の改良方策についての検討も必要と考える。

謝辞：本研究を行うに当たり、留萌開発建設部留萌港湾事務所には、図面データをご提供頂きました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 国土数値情報、港湾データ及び漁港データ、平成18年度
- 2) IPCC 第4次評価報告書第1作業部会報告書 技術要約, pp30-54
- 3) 須藤賢哉, 菊池聡一, 山本泰司: 小段付き消波ブロック被覆堤の水理特性に関する研究, 北海道開発技術研究発表会 論文集, 第37回, 1994.
- 4) 人工リーフの設計の手引き (改訂版), 社団法人全国海岸協会, pp21-28
- 5) 高橋重雄・谷本勝利・下迫健一郎: 消波ブロック被覆堤直立部の滑動安定性に対する波力とブロック荷重, 港湾技術研究所報告, 第29巻, 第1号, pp. 53-75, 1990.