

# 水深の浅い消波ブロック被覆防波堤における 法先被害とその対策について

(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防波堤に着目し、水位上昇と沖波増大を要因とした設計波高の変化とそれに伴い必要となる消波ブロック被覆堤の改良について整理した。さらに、水理模型実験を実施し、水深の浅い条件で生じた消波ブロックの法先被害について、発生要因を考察するとともにその対策を提案した。

キーワード：水位上昇、沖波増大、防波堤、改良、消波ブロック

## 1. はじめに

地球温暖化に伴う水面上昇は、気候変動に関する政府間パネル (IPCC) の2013年第5次報告書<sup>1)</sup>において、シナリオによる世界平均海面水位上昇の変化予測を行い、水位上昇が最大になるシナリオCRP8.5の予測値は0.45m～0.82mであると報告されている。一方、北海道沿岸における波浪の増大の検討については、山之内ら<sup>2)</sup>による近年の50年確率波高の増加量に関する検討 (図-1) や菅原ら<sup>3)</sup>による現在気候に対する50年確率波高の将来変化に関する検討 (図-2) があり、いずれも北海道沿岸の50年確率波高が増加することを示唆している。そのため、近年、港湾や漁港の防波堤に対する水位上昇や波浪増大への備えが急務と考えられる。

このような気候の変動により、港湾や漁港の防波堤において、設計波高である有義波高 $H_{1/3}$ および最高波高 $H_{max}$  (以下、設計波高という) の増加と防波堤の安定性の低下が予想される。このような気候変動を対象とした既往の研究には、地球温暖化による外力変化を考慮して防波堤の安定性を検討した例 (例えば、酒井ら<sup>4)</sup>) や、外力の変化と滑動量解析による補修費を考慮した消波ブロック被覆堤の設計に関する提案 (辻尾ら<sup>5)</sup>) などあるが、これらの検討に用いている滑動量の解析は、一般的な防波堤の設計と比べて非常に高度な設計法であり、実務での適用はごく限られた施設になる。また、既存施設の改良や補修費用の算定においては、施工規模や地域による間接費の影響が大きくなるため、実務での適用を考慮すると、一般的に用いる手法であることが望ましい。

また、後述する設計波高の変化による影響で、浅い水深において消波ブロックの入れ替えが多くなることから、

経済的な対策が求められる。しかしながら、浅い水深での消波ブロックの被災パターン一つとして、上久保ら<sup>6)</sup>は、法先の消波ブロックが沖側に移動することを示した。さらに、海底勾配が $i = 1/20$ の急勾配で、水深が浅い $h/H_0 = 0.5$ 程度の条件では、必要質量が過小に評価される場合があるため、消波ブロックの必要質量の割増方法を

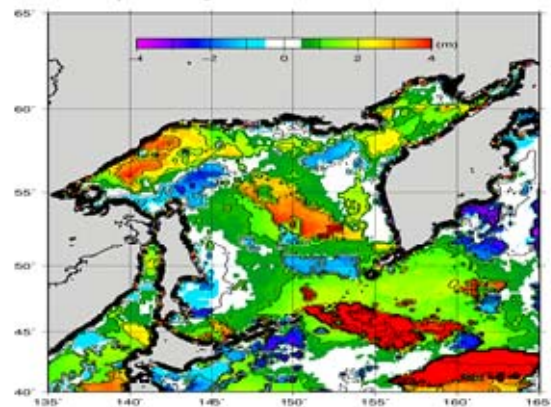
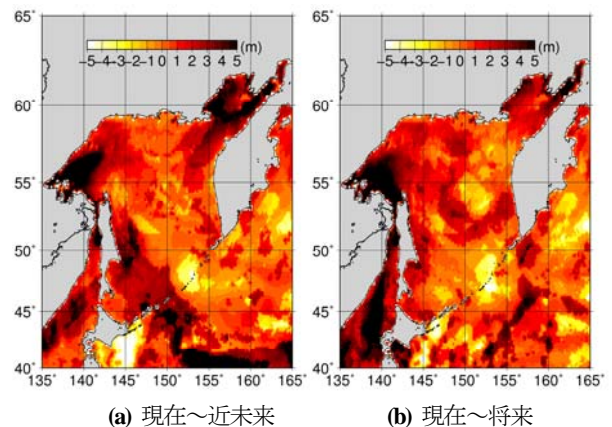


図-1 50年確率波高の増加量  
(1994～2008年推算値－1979～2008年推算値)



(a) 現在～近未来 (b) 現在～将来

図-2 現在気候に対する50年確率波高の将来変化

提案しているものの、水深が連続的に変化する防波堤における、法先の消波ブロックが被災する条件が明らかになっていない。

そこで、本研究では、将来の水位上昇と沖波の増大を要因とした設計波高の変化と消波ブロック被覆防波堤（以下、消波被覆堤という）の安定性の変化について一般的な防波堤の設計手法を用い検討する。さらに、後述する検討において、浅い水深における消波ブロックの安定性の確保に向けて、同水深帯における消波ブロックの被災パターンの一つである法先部の被害の発生条件について、水理模型実験により検討し、その対策を提案する。

## 2. 水位上昇と波浪増大による設計波高の変化

### (1) 検討方法

設計波高を算定する条件は、近年から将来にわたり50年確率波高が増加すると見込まれる、北海道日本海北西部のA港の防波堤の設計資料を参考に設定する。次に、設計波高の算定は、防波堤の設計における一般的な手法に倣い、沖波に屈折係数 $K_r$ を乗じて換算沖波波高 $Ho'$ を求め、これに合田の砕波帯内の波高算定図<sup>7)</sup>から読み取った $H_{1/3}/Ho'$ 、 $H_{max}/Ho'$ を乗じて、 $H_{1/3}$ および $H_{max}$ を算定する。なお、水深 $h$ が $0.5Ho'$ よりも浅い水深では、波としての水位変化よりも流れのエネルギーが大きくなるため、防波堤の設置地点よりも沖側の $h=0.5Ho'$ の地点の波高を用いる<sup>7)</sup>。

### (2) 設計波高の算定条件

#### a) 水位の上昇

潮位 $WL$ には、A港の設計資料より、 $H.W.L.=0.5m$ を用いる。また、将来の水位上昇を考慮した検討には、世界平均海面上昇量の最大の予測値 $0.82m$ を $H.W.L.$ に加えた $H.W.L.*=1.32m$ を用いる。

#### b) 波浪の増大

A港の既設防波堤の設計資料より、1972年の沖波は波高 $Ho=6.0m$ 、周期 $To=11.7s$ 、1989年は $Ho=9.2m$ 、 $To=10.0s$ である。次に、山之内ら<sup>2)</sup>は、1994～2008年推算値から1979～2008年推算値を差し引くことで、近年の増加量を求めており、A港周辺では $2.1m$ であった（前出図-1）。また、菅原ら<sup>3)</sup>は、気象庁・気象研究所による超高解像度全球気候モデルの温暖化予測実験結果と、流水勢力の減少を考慮した波浪推算手法を用い、1979～2003年（現在気候）、2015～2039年（近未来気候）および2075～2099年（将来気候）各期間25年分について、近未来気候および将来気候の推算値と現在気候の推算値との差を求めている（前出図-2）。A港周辺では、近未来および将来の増加量はいずれも $1.6m$ であった。そこで、設計資料の沖波波高に、近年の増加量と将来の増加量を加えた

$6.0m$ 、 $9.2m$ 、 $11.3m$ 、 $12.9m$ で検討する。また、沖波周期については、文献中に記載が無かったため、A港の設計資料を参考にして、 $10.0s$ 、 $12.0s$ 、 $14.0s$ を用いる。

以上の水位上昇および波浪増大を踏まえ、設計波高の計算条件を表-1に示す。なお、海底勾配 $i$ および屈折係数 $K_r$ は、A港の設計資料を参考にした。

表-1 設計波高の計算条件

海底勾配 $i$	1/100
潮位 $WL$	$H.W.L.$ 0.5m
	$H.W.L.*$ 1.32m
水深 $h$	3m～15m(1m毎)
沖波波高 $Ho$	6.0m、9.2m、11.3m、12.9m
沖波周期 $To$	10.0s、12.0s、14.0s
屈折係数 $K_r$	0.97

### (3) 設計波高の変化

#### a) 設計波高の算定結果

まず、潮位  $H.W.L.$ 時の各水深の設計波高の算定結果を沖波周期別に整理した（図-3～図-5）。図-3は  $To=10.0s$ の設計波高の算定結果であり、同一の沖波波高を直線（ $H_{max}$ ）及び破線（ $H_{1/3}$ ）で描いた。 $h=6m$ よりも浅い範囲は、沖波が増加する毎に設計波高も増加する。これは、 $0.5Ho'$ 地点の波高を用いているため、 $Ho$ の増加とともに設計波高も増加する。次に、 $Ho=9.2m$ 、 $11.3m$ 、 $12.9m$ では、 $h=6m$ よりも深い範囲の線がほぼ重なっており、この範囲の水深では、沖波が増大しても、砕波の影響によって設計波高はほとんど変化していない。これら沖波の波形勾配  $Ho'/Lo$ は、 $0.056\sim 0.078$ であった。また、 $Ho=6.0m$ の場合、砕波限界水深付近の  $h=8m$ から深い範囲では、砕波の影響が小さいために波高が減衰していない。砕波限界水深の違いはあるものの、このような傾向は  $To=12.0s$ （図-4）および  $14.0s$ （図-5）でも同様であった。

#### b) 水位上昇や波浪増大による設計波高の変化

設計波高の変化として、①過去の波浪増大、②水位上昇の変化、③近年の波浪増大、④将来の水位上昇および波浪増大について検討する。ここでは、A港の既設防波堤の設計資料にある  $Ho=9.2m$ 、 $To=10.0s$ 、 $W.L.=0.5m$ を基本とした。そして、①過去の波浪増大は  $Ho$ が  $6.0m$ から  $9.2m$ に、 $To$ が  $12.0s$ から  $10.0s$ に変化した条件、②将来の水位上昇は潮位が  $0.5m$ から  $1.32m$ に上昇した条件、③近年の波浪増大は  $Ho$ が  $9.2m$ から  $11.3m$ に増加した条件、④将来の水位上昇および波浪増大は  $Ho$ が  $9.2m$ から  $12.9m$ 、 $To$ が  $10.0s$ から  $14.0s$ 、 $W.L.$ が  $0.5m$ から  $1.32m$ に上昇した条件について、設計波高の差を整理することとした。各水深における有義波高の増加量を図-6に、各水深における最高波高の増加量を図-7に示す。

まず、図-6において、①過去の波浪増大により、 $h=9m$ よりも深い水深において  $H_{1/3}$ が  $0.5m$ から  $2.5m$ 程度増加している。この  $9m$ は沖波  $6.0m$ 、周期  $12.0s$ の砕波限界水深付近である。②水位の上昇のみでは、 $h=4m\sim$

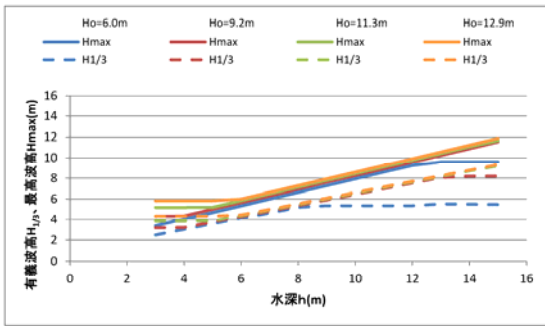


図-3 設計波高の変化 (H.WL=0.5m, To=10.0s)

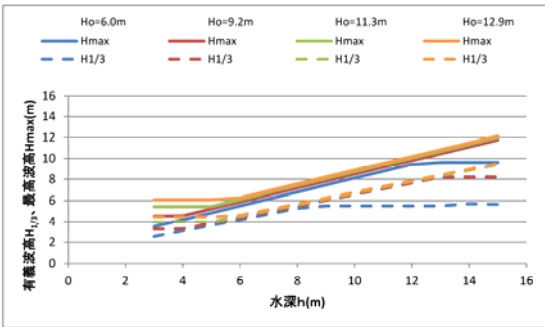


図-4 設計波高の変化 (H.WL=0.5m, To=12.0s)

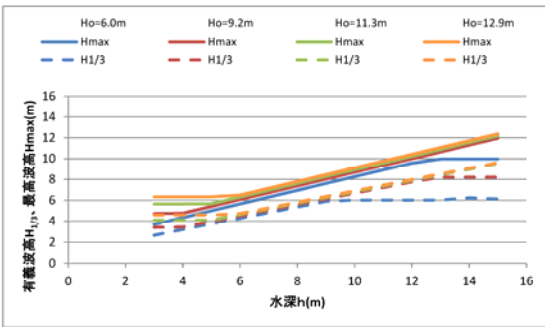


図-5 設計波高の変化 (H.WL=0.5m, To=14.0s)

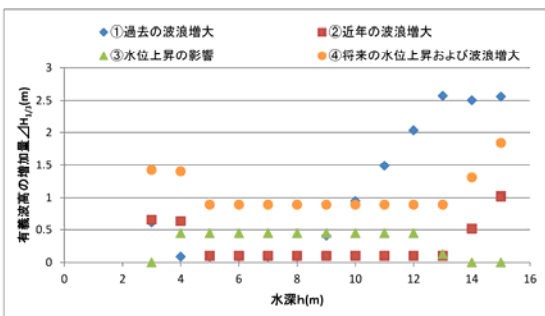


図-6 有義波高 H1/3 の変化

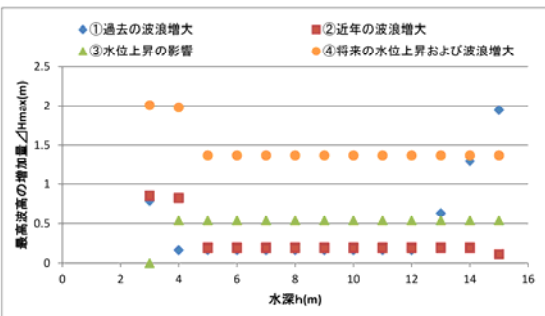


図-7 最高波高 Hmax の変化

12mの  $H_{1/3}$  がおよそ 0.5m 増加している。③近年の波浪増大および④将来の水位上昇と波高増大では、 $h=4m$  よりも浅い水深と 14m よりも深い水深において  $H_{1/3}$  が増加する。浅い水深は、波浪増大後の波の  $0.5H_0'$  付近であり、深い方の水深は、波浪増大前の波の砕波限界水深付近である。

次に、図-7 において、 $h=4m$  よりも浅い範囲における  $H_{max}$  の変化は、 $H_{1/3}$  の傾向と変わらない。しかしながら、 $h=5m$  よりも深い範囲では  $H_{max}$  の増加は 1m 程度のまま推移しており、 $h=14m$  よりも深い水深で増加した  $H_{1/3}$  の傾向と若干異なっている。これは、波浪増大後の波の砕波限界水深が 15m よりも深いためである。

以上より、設計波高の変化は、波浪増大後の波の  $0.5H_0'$  よりも浅い水深、波浪増大前の波の砕波限界水深付近から深い水深において大きくなる。

### 3. 水位上昇および波浪増大による消波ブロック被覆防波堤の安定性等の変化

#### (1) 検討方法

前述した設計波高の増加により、消波被覆堤の伝達波高の増加が見込まれるほか、防波堤本体および消波ブロックの安定性が低下する。そこで、表-2に示す現在の波浪条件で防波堤の当初断面を想定し、将来の水位上昇および波浪増大後の波高伝達率、防波堤本体の滑動および転倒の安全率、消波ブロックの所要質量の変化をそれぞれ比較する。

図-8は、水深5mにおける消波被覆堤の当初断面である。この断面は、有義波高の0.6倍で天端高を設定し、合田式を準用する方法で計算した波力に対して、滑動および転倒の安全率がそれぞれ1.2以上確保した断面を想定した。波力算定における波力低減係数  $\lambda$  は、高橋ら<sup>8)</sup>の堤案式を用いた。また、本体の構造形式は、水深3m

表-2 消波ブロック被覆防波堤の安定性に関する検討条件

	現在の波浪	将来の波浪
水深 $h$	3m, 5m, 7m, 10m, 15m	
海底勾配 $i$	1/100	
潮位 WL	0.5m	1.32m
沖波波高 $H_0$	9.2m	12.9m
沖波周期 $T_0$	10.0s	14.0s
屈折係数 $K_r$	0.97	

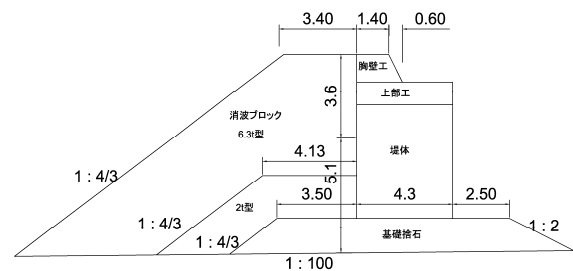


図-8 水深5mにおける当初断面

および5mはコンクリート単塊式、7m以深はケーソン式で検討し、上部の構造は胸壁タイプとした。なお、消波ブロックの所要質量の算定はハドソン式を用いており、消波ブロックのKd値=8.3、 $\cot \theta = 4/3$ の条件で算定した。

## (2) 防波堤の安定性の変化

### a) 波高伝達率の変化

波高伝達率の推定は、近藤ら<sup>9)</sup>の規則波による結果と谷本ら<sup>10)</sup>の不規則波による結果では大きな違いがなかったことから、近藤ら<sup>9)</sup>の堤案式を用いる。また、天端高の嵩上げ量は、将来の有義波高で必要になる天端高と当初断面の天端高の差でもとめる。

図-9は、各水深の波高伝達率を示しており、右縦軸には当初の波高伝達率を確保するために必要な天端の嵩上げ量を示している。すべての水深で設計波高は大きくなっているため、当然、波高伝達率は当初の0.15から0.2程度まで大きくなっている。一方、将来の波高に対して、波高伝達率を0.15程度まで抑制するためには天端の嵩上げが必要である。天端高の嵩上げ量は、 $h=15\text{m}$  で最大1.1mであるが、次に嵩上げが大きいのは $h=3\text{m}$ の条件で嵩上げ量は0.8mになった。

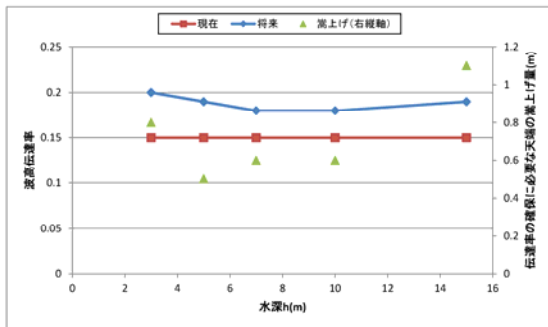


図-9 波高伝達率の変化

### b) 滑動および転倒の安定性の変化

各断面の滑動および転倒の安全率の変化を図-10に示す。滑動および転倒の安全率をそれぞれ1.2以上確保した現在条件の断面を将来条件で検討すると、安全率は0.5~0.8に低下したため、安定性の確保が必要になる。その対策として、水面上の施工となる上部工の全断面改良を想定し、安全率を再計算した。前述した波高伝達率を抑制する天端高の嵩上げも考慮している。その結果、 $h=3\text{m}$ および $5\text{m}$ では全断面改良しても安全率1.2を確保することができないため、堤体の拡幅などによる改良が必要になった。

### c) 消波ブロックの所要質量の変化

図-11は、各水深における消波ブロックの所要質量を示している。右縦軸の消波ブロック規格の差は、現在と将来の所要質量の直近上位の消波ブロック規格を採用すると仮定し、消波ブロック重量の規格が何段階変化するかを示している。たとえば、 $h=3\text{m}$ の現在の消波ブロック所要質量は3.25tで、直近上位規格は4型になる。一方、

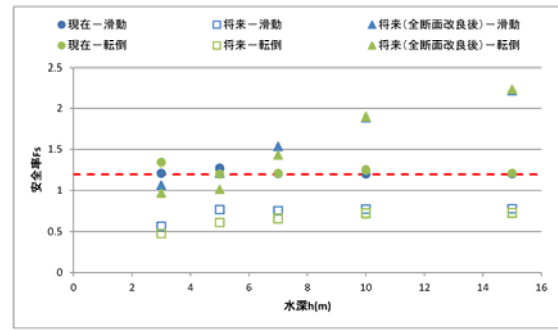


図-10 滑動および転倒安全率の変化

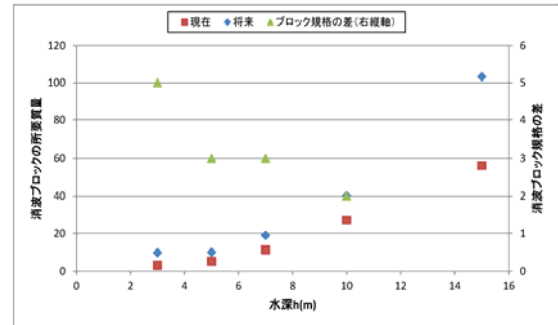


図-11 消波ブロックの所要質量の変化

将来の条件での所要質量は9.85tで、直近上位の規格は12.5t型になる。この4型から12.5t型までの中間の規格は5t型、6.3t型、8t型、10t型の4つがあり、規格の差が5つになっている。この規格の差が2つ以上ある場合には、消波ブロック2層分の厚さの入れ替えを行っており、ランクが大きいほど消波ブロックの改良時の撤去するブロック個数が多くなると考えられる。

水深が深くなるごとに、ブロックの所要質量の差は大きくなっている。しかしながら、消波ブロック規格の差は水深が浅いほど大きくなっており、水位上昇および波浪増大の影響は浅い水深ほど影響が多きいと考えられる。なお、 $h=15\text{m}$ において将来の所要質量を満足するブロックの規格が無いことから、消波ブロックの高比重化や作用波高を低減する対策が必要になると考える。

以上の検討から、将来の水位上昇および波浪増大により、消波被覆堤における伝達率の増加、堤体の安定性の低下および消波ブロックの所要質量不足を確認した。今回、経済性の観点では比較していない。しかしながら、5mよりも浅い水深では、上部工の嵩上げのみでは堤体の安定性を確保できず、さらに、消波ブロックの入れ替えが多くなることから、将来の水位上昇および波浪増大の影響は、浅い水深ほど大きいと考える。

## 4. 浅い水深における消波ブロックの法先被害とその対策について

上久保ら<sup>9)</sup>が明らかにした消波ブロックの法先被害は、防波護岸を対象としており、一般的な防波堤に比べて海

底勾配が急な条件が多い。そこで、防波堤としては比較的急な勾配であるが、海底勾配 $i=1/30$ 、 $h/Ho'=0.5$ 程度の条件において、消波ブロックの安定実験を行い、消波ブロックの法先被害が生じる条件を検討する。

### (1) 水理模型実験の概要

水理模型実験は、図-12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）を使用し、海底勾配 $i=1/30$ の斜面の水路床を設けた。なお、実験縮尺は1/40を想定している。

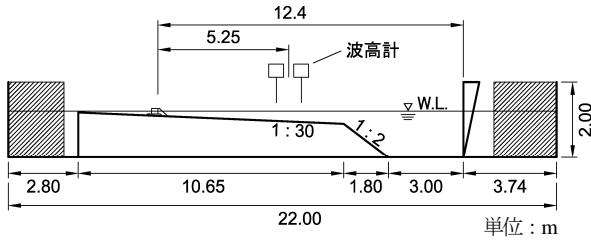


図-12 2次元造波水路

実験波は、Bretschneider・光易型のスペクトルを有する現地周期 $To=10s$ 、 $12s$ 、 $14s$ の不規則波を、換算沖波波高 $Ho'=3m\sim 8m$ を1m刻みで作成した。消波ブロックはテトラポッド（現地換算重量 $W=3.8t\sim 14.4t$ ）を使用し、図-13に示す模型断面を造波機から12.4mの斜面上に模型を設置した。堤体模型前面の水深は、12.5cmである。

実験は、模型設置後に準備波（ブロックに被害生じない程度の低い波）を200波程度作用させ、その後、1波群あたりの作用波数を1000波として、ブロックの並び替えを行わずに、所定の波高を小さい波から段階的に作用させる段階波実験を行った。被害の判定は、1000波作用後に1個長以上移動したブロックとし、浮動などが生じても、元の位置から1個以上移動していないブロックは被害個数に含めていない。被害ブロックの計測では、小さい波高の被害ブロックも累計した。なお、被害の計測を容易にするために、表面から2層厚分のブロックを赤色（水面上のブロック）、黄色（底面から2層厚分）、白色（水中の黄色以外）に着色し、表層2層以外は無着色のブロックを配置した。

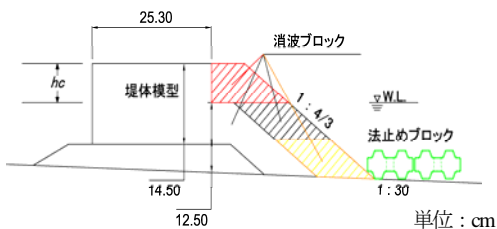


図-13 消波ブロック被覆防波堤の模型断面

### (2) 浅い水深の防波堤に設置した消波ブロックの安定性について

#### a) 消波ブロックの被害状況

図-14(a)は、実験 $To=14.0s$ 、 $W=8.0t$ のケースにおける準備波作用後の状況であり、図-14(b)は、 $Ho'=3m\sim 8m$ の7波群の実験波を作用させた後の状況である。本ケースの

法先ブロック（黄色）の被害は7個であった。また、水上ブロック（赤色）は斜面から崩落したものと防波堤背後に移動したものを合わせた被害は21個、さらに、水中ブロック（白色）の被害は8個、総被害個数は36個であり、本ケースの被害率 $D$ は、断面の総個数315個で除して、 $D=11.4\%$ が得られた。



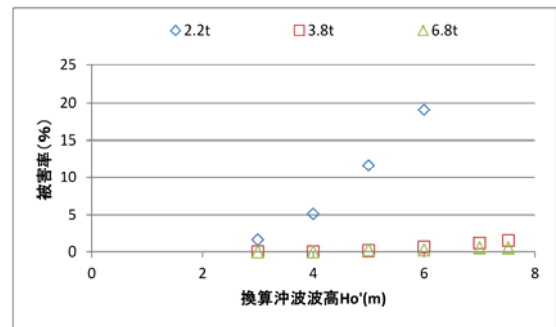
(a)準備波作用後（実験前）

(b)実験後

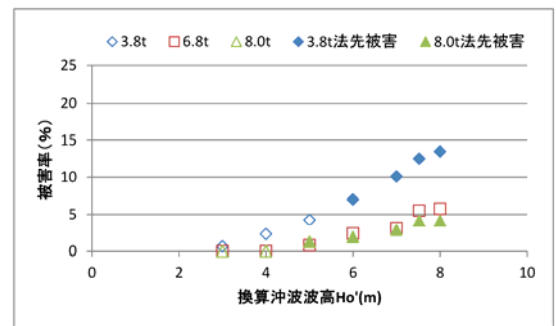
図-14 消波ブロックの安定実験の状況 ( $To=14.0s$ 、 $W=8.0t$ )

#### b) 波高と被害率の関係

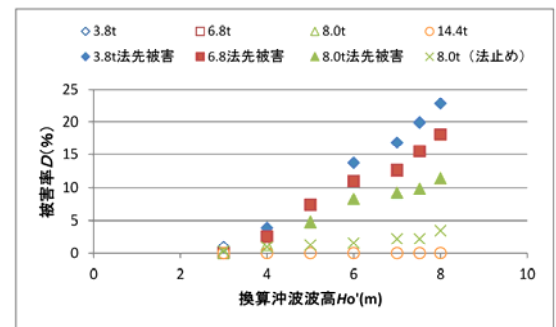
図-15(a)～(c)は、周期別の換算沖波波高 $Ho'$ と被害率 $D$ の関係を示している。図中の塗り潰したプロットは、法先被害が生じたケースである。まず、すべての図で $Ho'$ の増加とともに $D$ もが大きくなっている。そして、ブロック質量が重たいほど、被害率も低くなっており、安定性は向上している。次に、法先被害は $To=12.0s$ および $14.0s$ で発生し、 $To=10.0s$ では発生していないことから、



(a)  $To=10.0s$



(b)  $To=12.0s$



(c)  $To=14.0s$

図-15 換算沖波波高 $Ho'$ と被害率 $D$ の関係

法先被害の発生は周期の影響があるという、新たな知見を得た。さらに、法先被害が生じる図-15(c)の $W=3.8t$ 、 $6.8t$ 、 $8.0t$ のケースでは、 $H_0'$ が6.0m以上になると、被害率の伸びが抑えられている。これは、前出図-14(b)のように、法先に落ちたブロックが、法止めのような役割を果たしたものと推測される。そこで、法先被害の対策として、法先にブロックを配置することで、被害の抑制が可能か検討することとした。法止めのブロックには、 $K_D$ 値を用いた消波ブロックの所要質量に相当する平型ブロックを2列に配置した(図-16)。その結果、 $H_0'$ が増加しても、あまり被害率は大きく伸びず、全体の被害率が4分の1に低下した。このように、法先被害の防止は、全体の被害率の低減も有効であることを確認した。



図-16 法止め対策した消波ブロック(実験後)

### c) 実験結果から推定される消波ブロックの安定数 $N_s^3$

図-17は、水深と安定限界時(被害率 $D=1\%$ )の安定数 $N_s^3$ の関係を示している。 $K_D$ 値による計算値を直線で描き、高橋ら<sup>8)</sup>の算定法による計算値を白抜きでプロットした。さらに、海底勾配 $i=1/20$ ではあるが、上久保らの実験結果も重ねた。本実験結果から推定した安定限界時の安定数は、高橋ら<sup>7)</sup>の堤案式および $K_D$ 値による安定数を下回る値が得られた。そのため、浅い水深においては、 $K_D$ 値による所要質量を満足していても被害が生じる可能性があると考えられる。また、上久保ら<sup>9)</sup>の実験では、 $K_D$ 値による安定数よりも小さい安定数が得られていることから、本実験条件より浅い水深においても、消波ブロックの安定性の確認が必要である。

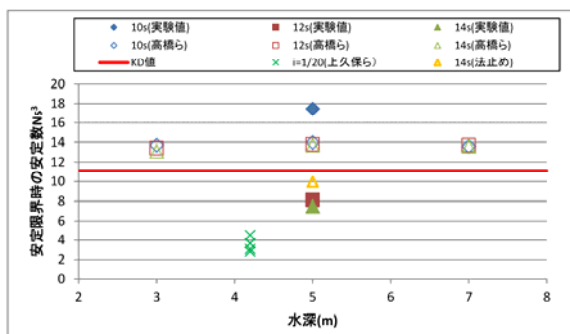


図-17 安定限界時(被害率 $D=1.0\%$ )の安定数 $N_s^3$

## 5. おわりに

北海道沿岸北西部のA港を事例として、水位上昇と沖波増大を要因とした設計波高の変化および消波ブロック被覆防波堤の安定性の影響を、以下にまとめる。

- ①設計波高の変化は、波浪増大後の波の $0.5H_0'$ よりも浅い水深、波浪増大前の波の砕波限界水深よりも

深い水深において大きくなる。

- ②将来の水位上昇および波浪増大により、波高伝達率は上昇し、防波堤本体の安定性は低下するが、水深 $h=7m$ よりも深い水深の防波堤は、上部工の嵩上げのみで防波堤本体の安定性を確保できた。
- ③一方、水深 $h=3m$ および $5m$ では、上部工の嵩上げのみでは堤体の安定性を確保できず、さらに、消波ブロックの入れ替えが多くなることから、将来の水位上昇および波浪増大の影響は、浅い水深ほど大きい。

次に、消波ブロックの安定実験により得られた、浅い条件の法先被害およびその対策について以下にまとめる。

- ④水深 $h=5m$ 、 $i=1/30$ においても、法先被害が生じることを確認し、さらに、周期の違いにより発生する場合と発生しない場合があることを明らかにした。
- ⑤消波ブロックの法先被害に対して、 $K_D$ 値を用いた消波ブロックの所要質量に相当する平型ブロックを、法先に配置することで、消波ブロックの被害を防ぎ、さらに被害率も低減できる。
- ⑥現地水深 $5m$ における安定限界時の安定数 $N_s^3$ は、高橋らの堤案式と $K_D$ 値による安定数を下回った。

今後は、法先被害の発生条件をより明確にするために、水深や海底勾配の影響について更なる検討が必要である。

## 参考文献

- 1) IPCC 第5次評価報告書 第1作業部会報告書 政策決定者向け要約。気象庁暫定訳(2013年10月17日版), pp.31-32
- 2) 山之内順, 菅原吉浩, 関口浩二: オホーツク海沿岸における流水勢力の変動と確率波高の変化について, 北海道開発技術研究発表会論文, 第55回, 2011.
- 3) 菅原吉浩, 山之内順, 山本泰司(2004): 土木学会論文集B2(海岸工学), Vol. 68, pp. 1221-1225.
- 4) 酒井和彦, 岡安章夫(2004): 温暖化による海面上昇を考慮した防波堤の信頼性設計法, 海岸工学論文集, 第51巻, pp. 686-690.
- 5) 辻尾大樹, 間瀬 肇, 森 信人, 安田誠宏(2012): 地球温暖化による沿岸外力の変化を考慮した消波ブロック被覆堤の最適設計, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), 第68巻, pp. 871-875.
- 6) 上久保勝美, 山本泰司, 木村克俊, 清水敏明, 吉野真史(2010): 急勾配海底条件下における消波護岸のブロック安定性, 海洋開発論文集, 第26巻, pp. 489-494.
- 7) 国土交通省港湾局監修(2007): 港湾の施設の技術上の基準・同解説, 社団法人日本港湾協会
- 8) 高橋重雄, 半沢 稔, 佐藤弘和, 五明美智男, 下迫健一郎, 寺内 潔, 高山知司, 谷本勝利(1998): 期待被災度を考慮した消波ブロックの安定重量, 港湾技術研究所報告, 第37巻, 第1号, pp. 3-32.
- 9) 近藤一郎, 佐藤 功(1964): 防波堤天端高に関する研究, 北海道開発局土木試験所月報, 第117号, pp. 1-5.
- 10) 谷本勝俊, 大里睦男(1979): 消波ブロック被覆堤の不規則伝達波について, 第26回海岸工学講演会論文集, pp. 309-313.