

既設改良時における消波ブロック被覆堤の水理特性について（その2）

（国研）土木研究所 寒地土木研究所 寒冷沿岸域チーム ○増田 亨
 上久保 勝美
 北海道開発局 港湾空港部 港湾建設課 船橋 雄大

消波ブロック被覆堤の嵩上げ等を行う改良においては、既設消波ブロック上により大きな規格の消波ブロックを設置する事例が多く、経済性や施工性で不利な場合がある。そこで、コスト削減を考慮した改良断面として、新設の消波ブロックを既設天端と同一高さまで2個並び以上で設置する断面が検討された。既報¹⁾では、コスト削減を考慮した改良断面について、一定の波浪条件下での各種断面形状における消波ブロックの安定性や水理特性等を明らかにした。本報告では、既報においてある程度有効性が確認された断面をベースに、波浪条件や断面形状を変えて水理模型実験を行い、消波ブロックの安定性や水理特性等について明らかにしたので既報に続き報告するものである。

キーワード：消波ブロック被覆堤、水理特性、ブロック安定性、コスト削減

1. はじめに

設計波の見直し等によって消波ブロック被覆堤の嵩上げ等を行う改良においては、**図-1**のように既設消波ブロック上により大きな規格の消波ブロックを設置する事例が多く、経済性や施工性で不利な場合がある。そこで、コスト削減を考慮した改良断面として、**図-2**に示すような新設の消波ブロックを既設天端と同一高さまで2個並び以上で設置する断面が検討された。

既報では、コスト削減を考慮した改良断面について、一定の波浪条件下で水理模型実験を行い、消波ブロックの天端高や天端幅、形状を変えた8種類の断面により、波高伝達特性及び波力特性を明らかとし、また、1種類の断面で消波ブロックの安定性を確認した。

本報告では、既報においてある程度有効性が確認された**図-2**の断面をベースに、波浪条件及び新設消波ブロッ

クの天端幅や質量の組合せを変えた場合における水理模型実験を実施し、消波ブロックの安定性や水理特性等について明らかにした。

2. 実験方法

(1) 実験水路概要

実験は、**図-3**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）で行った。実験縮尺は1/40とした。水路内に勾配1/10の海底を模した一様斜面とそれに続く水平床をモルタルにて設け、本実験で使用する防波堤の模型を水平床と斜面の境界に設置し実験を行った。なお、本報告で示す数値は、全て現地換算値である。

(2) 実験条件・模型諸元

本報告における水理模型実験の実験条件及び防波堤模型諸元の根拠を以下に示す。

a) 潮位

実験では日本海側をターゲットとし、その海域

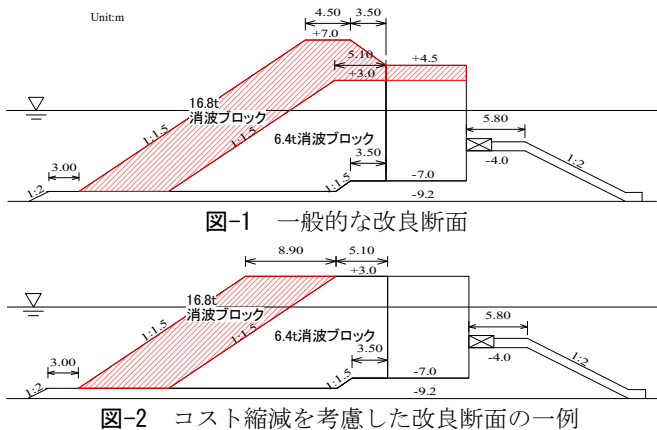


図-1 一般的な改良断面

図-2 コスト削減を考慮した改良断面の一例

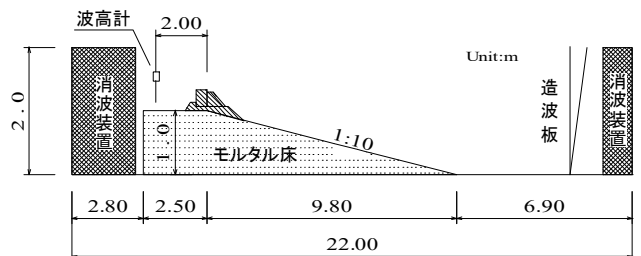


図-3 不規則波発生装置付き2次元造波水路概要

で最も高い設計潮位であるH.W.L.+0.6mとした。

b) 天端高hc

上記及び下記により天端高+3.6mとした。

- 潮位:A……………H.W.L.+0.6m
- 本体天端高:B…1.0m(日本海の一般的な天端高)
- 上部工厚:C…1.0m(実績による最低厚)
- 胸壁高:D……………1.0m(実績による最低高)
- 天端高:hc……………A+B+C+D=0.6+1.0+1.0+1.0=3.6m

c) 有義波高 $H_{1/3}$

北海道開発局では、設計波高 $H_{1/3}$ より天端高hcを $0.6H_{1/3} \sim 0.8H_{1/3}$ と設定する事例が多いことから、 $H_{1/3}=hc/(0.6 \sim 0.8)$ となる。従って、旧設計波高 $H_{1/3}$ は6.0m、5.1m、4.5mとなり、新設計波高、すなわち有義波高 $H_{1/3}$ はそれらより1.0m高くなると想定して7.0m、6.1m、5.5mとした。なお、ここでは、計算上旧設計波高がより大きくなり、かつ、実験条件として越波がし易く危険側となるL.W.L.±0.0mより旧設計波高を算定しており、有義波高 $H_{1/3}$ に対しては潮位(H.W.L.+0.6m)を考慮すると、 $hc=3.6-0.6=3.0m$ なので、本実験条件では $hc/H_{1/3}=0.43 \sim 0.54$ となる。

d) 有義波周期 $T_{1/3}$

ターゲットとした日本海側の海域における平均的な設計周期である12.0秒とした。

e) 海底勾配i

海底勾配は、日本海側においても設計の実績があり、最も急な勾配である1/10とした。

f) 構造物設置水深h・マウンド水深d

構造物設置水深は、中規模港湾における第一線防波堤に多い水深である8.0mとし、マウンド水深は、基礎マウンドの最低厚である1.5mを確保した6.5mとした。

g) 消波工法面勾配

消波工の法面勾配は、近年施工事例が増えてきた1:4/3とした。

h) 消波ブロック質量選定と組合せ

消波ブロックの種類は、テトラポッドと仮定し、法面勾配と新・旧設計波から、ハドソン式を用いてそれらに対応した消波ブロック質量を算定²⁾し組合せを設定した。

i) 消波工天端幅

消波工の天端幅は、上記消波ブロック(テトラポッド)の公称質量に対応した天端幅をカタログより引用して設定した。

以上をまとめると表-1のとおりとなり、実験断面は、伝達率実験が図-4(1)~(3)、消波ブロック安定実験が図-5(1)~(2)のとおりとした。

(3) 実験方法

本報告における水理模型実験の実験方法を以下に示す。

a) 伝達率実験

表-1 実験条件・模型諸元

実験条件	現地数値(m)				実験値(cm)	
	伝達率		消波ブロック安定			
潮位	0.6				1.5	
有義波高 $H_{1/3}$	5.5, 6.1, 7.0				13.8, 15.3, 17.5	
有義波周期 $T_{1/3}$	12.0(秒)				1.9(秒)	
設置水深h	8.0				20.0	
マウンド水深d	6.5				16.3	
天端高hc	3.6				9.0	
消波工天端幅	既設	新設	既設	新設	既設	新設
	2個並	2個並	2個並	2個並	10.00	27.13
	4.00	10.85	4.00	10.85	10.75	30.95
	4.30	12.38	2個並	3個並	10.75	34.05
消波ブロック質量	既設	新設	既設	新設	既設	新設
	12.5t型	25.0t型	12.5t型	25.0t型	195(g)	391(g)
	16.0t型	32.0t型	12.5t型	25.0t型	250(g)	500(g)
	32.0t型	50.0t型	12.5t型	25.0t型	500(g)	781(g)
海底勾配i	1/10				1/10	

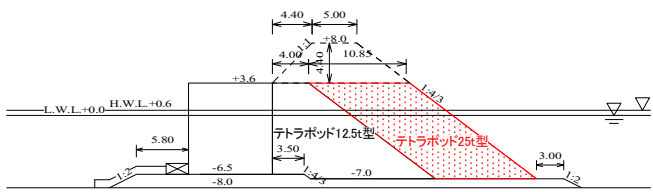


図-4(1) 伝達率実験断面(12.5t型+25.0t型:組合せA断面)

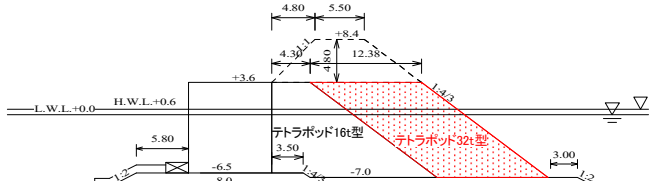


図-4(2) 伝達率実験断面(16.0t型+32.0t型:組合せB断面)

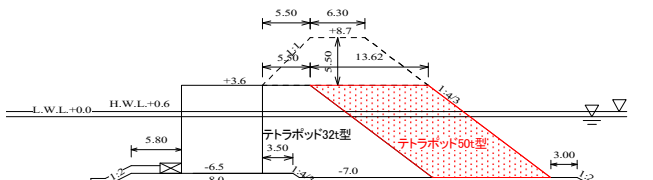


図-4(3) 伝達率実験断面(32.0t型+50.0t型:組合せC断面)

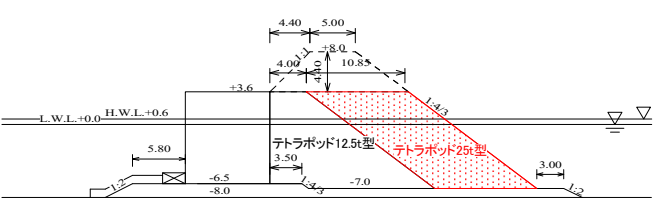


図-5(1) 消波ブロック安定実験断面(既設2個並+新設2個並)

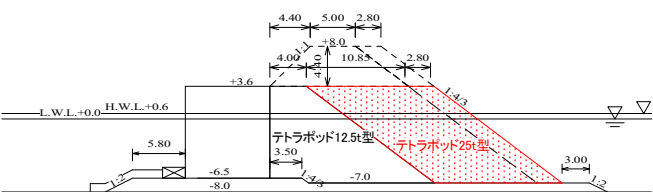


図-5(2) 消波ブロック安定実験断面(既設2個並+新設3個並)

消波工天端幅を3種類に変化(図-4(1)~(3))させ、表-1に示す実験波を作用させて伝達率実験を行った。防波堤模型を設置すると共に、波高計を防波堤模型の背後40m及び80mに設置し、150波を作

用させ、それぞれの伝達波高を測定し、伝達率を算定した。

b) 消波ブロック安定実験

消波工天端幅の組合せを既設2個並+新設2個並と既設2個並+新設3個並の2種類(図-5(1)~(2))に変化させ、表-1に示す実験波を作用させて消波ブロック安定実験を行った。それぞれの実験断面において、所定の形状・寸法に消波ブロックを設置した後、1000波を作用させて被災(移動)した消波ブロックの個数を数えて被災度を算定した³⁾。

3. 実験結果

上記の実験方法により行った伝達率実験及び消波ブロック安定実験の結果を下記に示す。

(1) 伝達率実験

図-6は、図-4(1)の12.5 t型+25.0 t型(組合せA断面)、図-4(2)の16.0 t型+32.0 t型(組合せB断面)、図-4(3)の32.0 t型+50.0 t型(組合せC断面)及び近藤らの伝達率の提案式による計算値⁴⁾において有義波高を変化させたときの伝達率($kt=$ 伝達波高/ $H_{1/3}$)を縦軸にとりグラフ化したもので、上段(図-6(1))が背後40m、下段(図-6(2))が背後80mにおける伝達率実験の結果を示している。図中には消波ブロック被覆堤の天端高 $hc=0.8H_{1/3}$ における伝達率の目標値0.1を示している。なお、計算値は、背後40m及び背後80mとも同一値である。

本報告の実験条件は、天端高の一般的な設定値である $hc/H_{1/3}=0.6\sim 0.8$ を、 $hc/H_{1/3}=0.43\sim 0.54$ という危険側で行い、天端高が一般的な設定値と比較して低いにも関わらず、有義波高7.0m以外は伝達率の目標値とほぼ同等以下の伝達率となった。背後40mにおける伝達率は、有義波高が高くなるほど伝達率が大きくなる傾向にあり、消波工天端幅が広がる(組合せA断面→B断面→C断面)ほど伝達率が小さくなる傾向にある。背後80mにおける伝達率の結果は、背後40mにおける結果と同様の傾向を示し、僅かながら伝達率は小さな値となっている。以上から、新設の消波ブロックが設置された断面においては、消波工天端幅の変化よりも、有義波高が伝達率に及ぼす影響が大きいことが分かった。また、背後40mと背後80mにおける伝達率はさほど違いがないことが分かった。更に、実験値と計算値との比較では、有義波高が高くなるほど伝達率が大きくなる傾向は同じであるが、背後40mと背後80mとも計算値より実験値の方が伝達率が小さい傾向にある。これは、計算値を導いた実験が新設の消波ブロックが無い通常の消波工の断面で実験を行っていることから、消波工天端幅の違いが影響しているものと推察し、新設の消波ブロックが伝達率低減効果を有していることを示唆している。

(2) 消波ブロック安定実験

実験結果を表-2に、実験結果の一部を写真-1(1)~(3)に示す。消波ブロックの安定限界は被災度を指標とし、被災度0.3未満を安定、0.3以上を不安定とした²⁾。既設+新設2個並では、設置した消波ブロックの設計波を超過する $H_{1/3}=6.1m$ 及び $7.0m$ の条件でいずれも既設天端面の消波ブロックが不安定となり、被災度0.3以上の結果になった(写真-1(1)及び写真-1(2))。既設+新設3個並でも設置した消波ブロックの設計波を超過する $H_{1/3}=7.0m$ の条件で既設天端面の消波ブロックが不安定となり、被災度0.3以上の結果になった(写真-1(3))。この結果は、

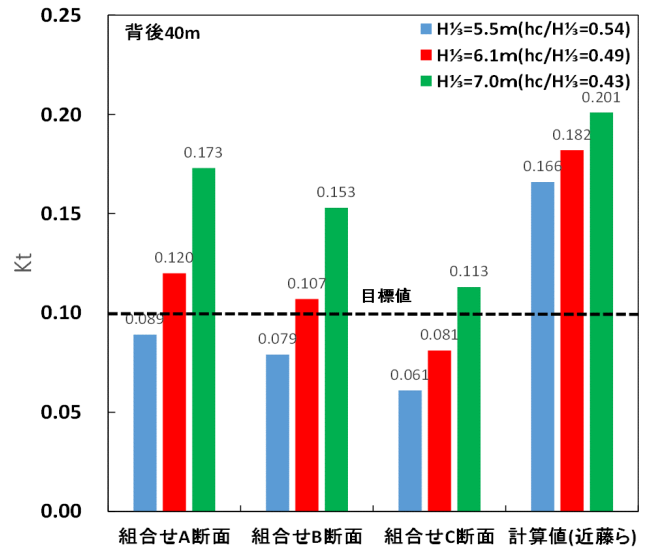


図-6(1) 伝達率実験結果(背後40m)

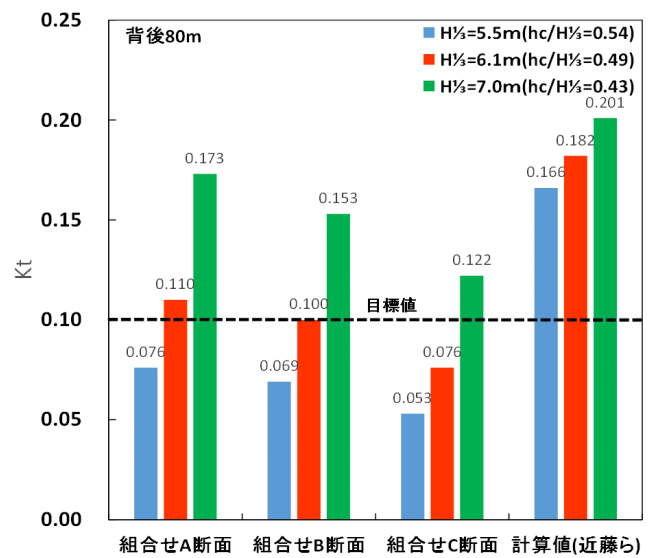


図-6(2) 伝達率実験結果(背後80m)

表-2 消波ブロック安定実験結果

消波ブロック諸元				被災度		
設置箇所	形状	寸法	質量	$H_{1/3}=5.5m$	$H_{1/3}=6.1m$	$H_{1/3}=7.0m$
既設	2個並	4.00m	12.5 t型	0.13	0.38	0.77
新設	2個並	10.85m	25.0 t型	0.06	0.00	0.30
既設	2個並	4.00m	12.5 t型	0.02	0.23	1.04
新設	3個並	13.65m	25.0 t型	0.03	0.03	0.06



写真-1(1) 既設+新設 2個並 ($H_{1/3}=6.1\text{m}$)

写真-1(2) 既設+新設 2個並 ($H_{1/3}=7.0\text{m}$)

写真-1(3) 既設+新設 3個並 ($H_{1/3}=7.0\text{m}$)

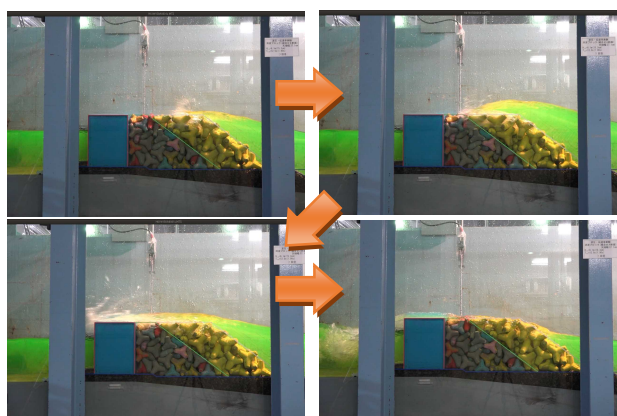


写真-2 波の作用状況 (既設+新設 2個並, $H_{1/3}=6.1\text{m}$)

写真-2に示すように消波工法面に作用した波面が既設天端面へ衝撃的に打ち込んでいる事も一因と推察される。なお、新設の消波ブロック質量 (25.0 t 型) の設計波に相当する $H_{1/3}=5.5\text{m}$ では、いずれの消波工天端幅においても、既設の消波ブロック (12.5 t 型) は安定することが確認できた。

4. まとめ

本報告では、消波ブロック被覆堤における改良断面の波高伝達特性及び消波ブロックの安定性について、水理模型実験により検討を行った。得られた主要な結果は以下のとおりである。

- (1) 伝達率実験では、有義波高が大きくなるほど伝達率が大きくなり、消波工天端幅が広がるほど伝達率

が小さくなる傾向にあった。

- (2) 伝達率実験では、計算値 (近藤ら) との比較から、新設の消波ブロックが伝達率低減効果を有していることが示唆された。
- (3) 伝達率実験では、背後40m及び背後80mにおける伝達率はさほど違いがないことが分かった。
- (4) 消波ブロック安定実験では、新設消波ブロックの設計波を超過する条件で既設の消波ブロックが不安定になる結果となった。
- (5) 消波ブロック安定実験において、既設天端面の消波ブロックが不安定となるのは、既設天端面への衝撃的な波の打ち込みが一因であると推察された。
- (6) 消波ブロック安定実験では、新設消波ブロックの設計波相当の条件で既設の消波ブロックが安定することが確認できた。

参考文献

- 1) 酒井和彦、上久保勝美、青井晃樹：既設改良時における消波ブロック被覆堤の水理特性について、平成27年度北海道開発局技術研究発表会論文集、2015
- 2) 国土交通省港湾局監修、港湾の施設の技術上の基準・同解説 (下巻)、pp551-558、2007
- 3) 丸山草平、松本 朗、半沢 稔：防波堤港内側マウンド被覆材の津波に対する安定性に関する実験、土木学会論文集 B3(海洋開発)、Vol. 68、No. 2、2012、I_7-I_12
- 4) 近藤二郎、佐藤 功：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 17 号、pp. 1-15、1963