

港内消波工の天端幅および高さが 反射率におよぼす影響

(独) 土木研究所 寒地土木研究所 ○上久保勝美
山本 泰司
北海道開発局 小樽港湾事務所 長谷 一矢

港内静穏度の向上を目指した対策として、防波堤の背面に消波ブロックを設置する例が少なくない。本土工よりも消波工の天端高さを所期の機能を有する範囲で低くすることができれば建設コストの縮減が可能である。本研究では、港内消波工の天端幅および高さが反射率におよぼす影響について実験を行った。検討の結果、ブロック天端高さを水面として、天端幅 2 個並びで $K_R=0.4$ 、3 個並びで $K_R=0.3$ を期待できる。必要な静穏度を確保するための消波工の延長が 2 個並びでは $L=900\text{m}$ 、3 個並びでは $L=700\text{m}$ が必要となる。双方のコスト比較を行った結果、3 個並びで $L=700\text{m}$ を行った場合、コストが 10% 程度低減できる。

キーワード：港内消波工、反射率、ブロック天端幅、ブロック天端高さ

1. まえがき

近年、公共事業に対する高付加価値化、低コスト化が強く求められているなか、港内静穏度の向上を目指した対策として、防波堤の背面に消波ブロックを設置する事例が少なくない。通常、消波工形状は、本土工の天端高さまで十分に被覆されていることが一般的な構造形式である。しかしながら、本土工よりも消波工の天端高さを所期の機能を有する範囲で低くすることができれば建設コストの縮減が可能である。本報告では、港内消波工の天端幅および高さが反射率におよぼす影響について報告するとともに、必要な静穏度を確保するための消波工の延長について工費比較を行った。

2. 実験の方法

断面実験は、図-1に示す、長さ27m、幅0.6m、高さ1.2mの造波水路を使用した。水路内には勾配 $i=1/100$ の一様斜面に続く水平床を設け、その上に堤体模型を設置した。堤体前面から2波長分の距離において波高計を2本設置し、反射率を測定した。実験縮尺は 1/50 とした。

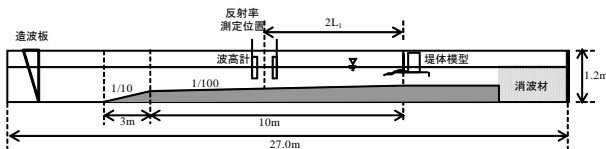


図-1 断面水路

平面実験は、図-2に示す、長さ28m、幅23m、高さ1.0mの水槽を使用し、堤体模型と波高計の設置位置を示している。波の入射角度を $\beta=0, 30, 45$ および 60° の 4 段階に変化させた。波高計は堤体模型から 4m 程度離れた位置 ($\beta=60^\circ$ を除く) に 2 本設置した。地形床勾配は水平とした。実験縮尺は 1/40 とした。

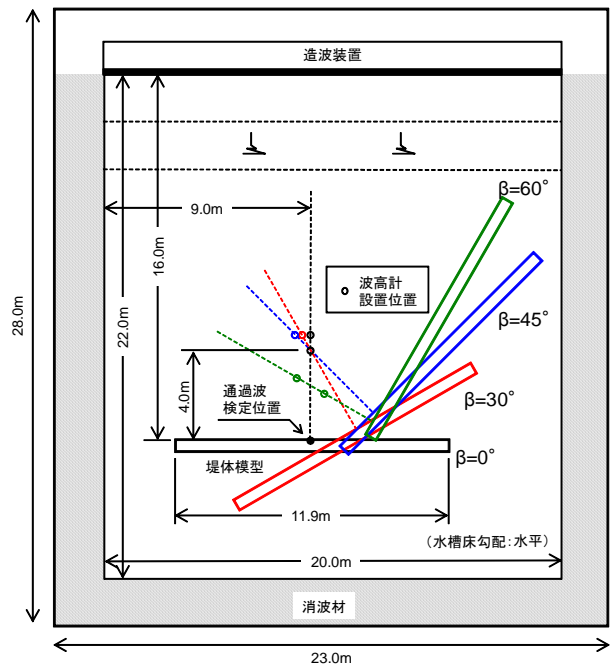


図-2 平面水槽

3. 反射特性

図-3および図-4は、ブロック天端高さ $h_{B1}=3.7\text{m}$ 、天端幅 5.5m (32t 型テトラポッド 2 個並び) の消波ブロック被覆堤における、波高および周期の変化による反射率の関係を示している。図-3は、 $H_{1/3}=2.0\sim 8.0\text{m}$ に変化させ、 $T_{1/3}=8.5\text{s}$ で一定とした。一方、図-4は、 $H_{1/3}=3.5\text{m}$ に一定とし、 $T_{1/3}=5.5\sim 14.5\text{s}$ に

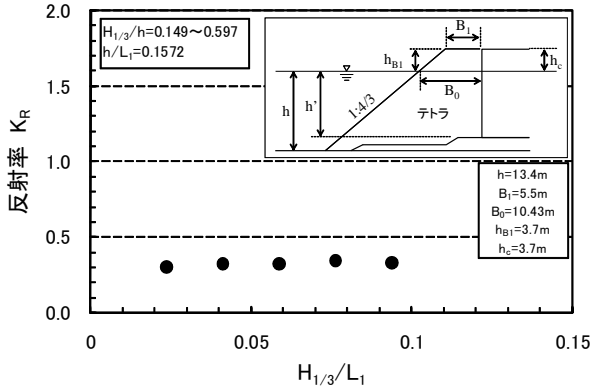


図-3 反射率と波高の関係

変化させた。図-3は、波高が変化しても、反射率は概ね一定値を示す傾向にあるが、図-4は、周期が長くなるに従って、反射率は大きくなる傾向を示す。双方の図から、周期の変化が反射率におよぼす影響は大きい、波高の変化におよぼす影響は小さいことがわかる。

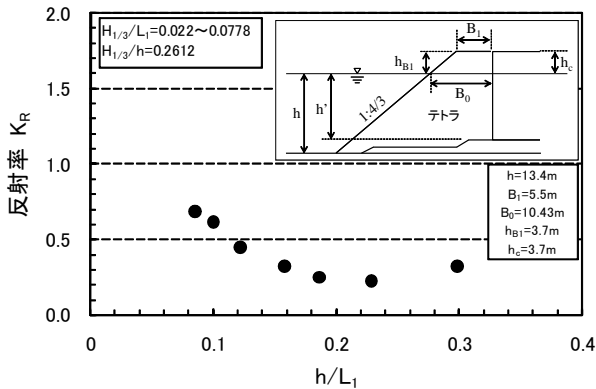


図-4 反射率と周期の関係

図-5は、消波ブロック天端高さ $h_{B1}=3.7\text{m}$ 、天端幅 $B_1=5.5\text{m}$ (32t 型テトラポッド 2 個並び) の消波ブロック被覆堤において、段階的に天端高さを下げた場合の反射率の影響を示している。 $T_{1/3}=5.5\sim 14.5\text{s}$ に変化させ、 $H_{1/3}=3.5\text{m}$ で一定とした。ブロックの天端高さが静水面にある状態を $h_{B1}/H_{1/3}=0$ として、ブロック天端高さが水面下にある場合は (-) の値を、水面上にある場合は (+) の値を示している。周期によるばらつきはあるものの、ブロック天端高

さが静水面付近で反射率が最も小さい値を示す傾向にある。また、ブロック天端高さが水面上にある場合は周期が長くなるほど反射率が高い傾向にある。ブロック天端高さが静水面付近で小さい傾向を示すのは、消波ブロック内を波が通過することによるエネルギー損失に加え、ブロック天端での碎波によるエネルギー損失によるものと考えられる。

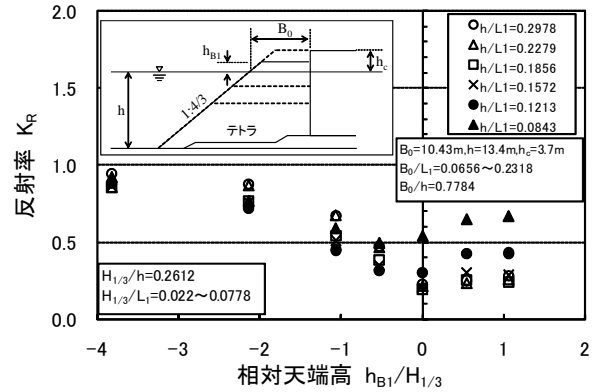


図-5 反射率とブロック天端高さの関係

図-6は、ブロック天端高さを $h_{B1}=0$ として、ブロック天端幅を $B_0=5.5\text{m}$ (2 個並び) $\sim 15.4\text{m}$ (6 個並び) に変化させた場合の反射率の影響を示している。 $T_{1/3}=5.5\sim 14.5\text{s}$ に変化させて、 $H_{1/3}=3.5\text{m}$ で一定とした。ブロック天端幅が長くなるほど、反射率は小さくなる傾向にあるが、 B_0/L_1 が 0.12 以上になると反射率は概ね一定の値を示す傾向にある。反射率減減に着目した場合、ブロック天端高さを静水面付近として、 $B_0/L_1=0.12$ を満たす長さにすることが望ましい。しかしながら、ブロック天端高さを静水面とすることは波力増大を引き起こす要因¹⁾となるため、設計を行う際には十分に注意する必要がある。

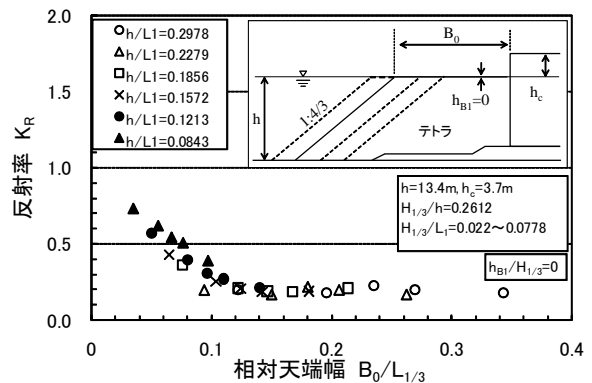


図-6 反射率とブロック天端幅の関係

図-7および図-8は、波の入射角度による反射率の影響を示したものである。図-7は、 $h_{B1}=3.7\text{m}$ 、 $B_1=5.5\text{m}$ (32t 型テトラポッド 2 個並び) の消波ブロック被覆堤 (以降、完全消波と称す)、図-8は、 $h_{B1}=0$ 、

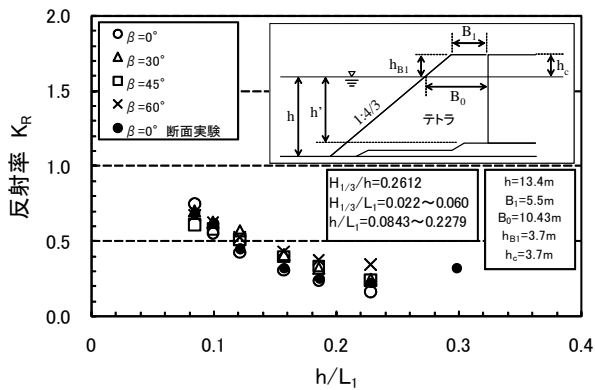


図-7 射率と周期の関係（完全消波）

$B_1=B_0=8.8\text{m}$ (32t 型テトラポッド 3 個並び) の消波ブロック被覆堤 (以降、不完全消波と称す) における波向および周期の影響について示している。 $\beta = 0, 30, 45$ および 60° の 4 段階、 $T_{1/3}=6.5\sim 14.5\text{s}$ に変化させ、 $H_{1/3}=3.5\text{m}$ で一定とした。また、図-7には図-4に示した断面実験結果 (●印) も併せて示している。図-7を見ると、 h/L_1 が小さくなるほど反射率が大きくなる傾向にある。また、ばらつきはあるものの β が大きいほど反射率が大きくなる傾向にある。図-8に示す不完全消波においても同様の傾向が見られる。

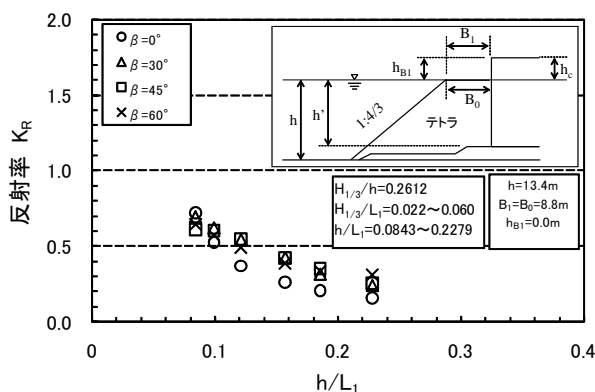


図-8 反射率と周期の関係（不完全消波）

4. 波力特性

写真-1に示すように波力測定用の消波ブロック模型 (全高 9.7 cm, 589g 相当) を分力計の先端に固定して 3 方向の波力を直接計測した。測定位置は法先、水面および法肩の 3 箇所とした。なお、波力を測定するブロックが他のブロックと接触するのを防ぐために、周囲を 3 個のダミーブロックで保護した。波力計のサンプリング周期は 200Hz とした。波力の計測位置は、図-9に示す st.1 ~ st.6 の 6 箇所の法肩について行った。 $T_{1/3}=11.0, 12.7$ および 15.0s 、 $H_{1/3}=2.7, 4.0$ および 5.3m に変化させて行った。水深は $h=8.3\text{m}$

で一定とした。

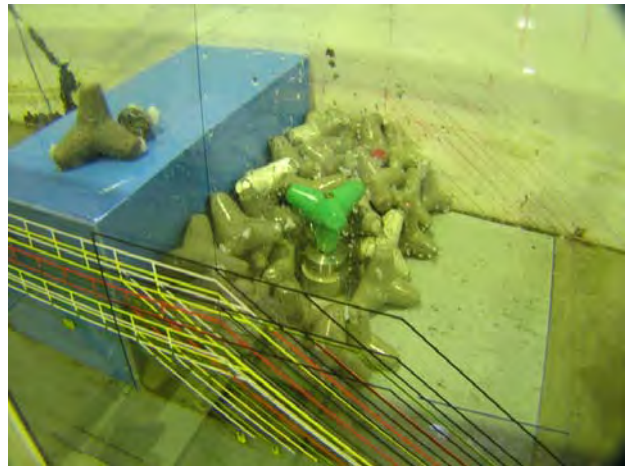


写真-1 波力計の設置状況

波力の計測位置は、図-9に示す 6 箇所の法肩について行った。 $T_{1/3}=11.0, 12.7$ および 15.0s 、 $H_{1/3}=2.7, 4.0$ および 5.3m に変化させて行った。水深は $h=8.3\text{m}$ で一定とした。

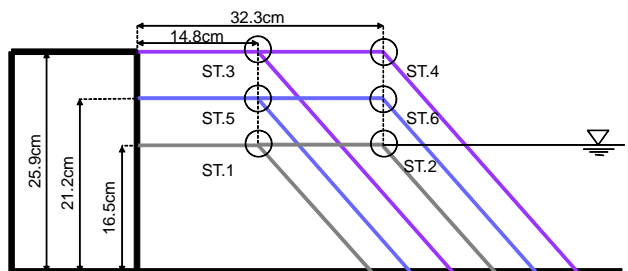
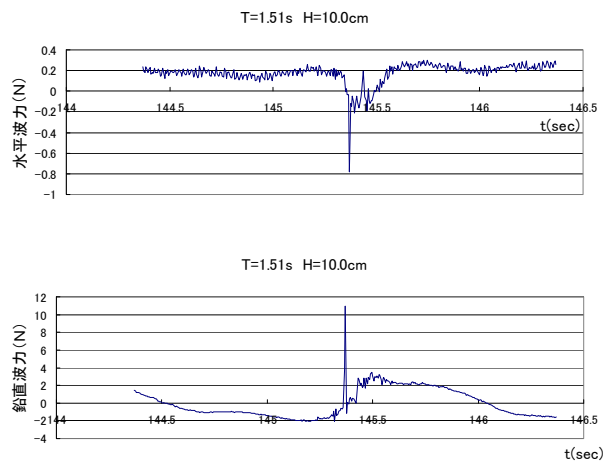


図-9 波力の計測位置

図-10は、水平および鉛直波力の合力が最大となった $T_{1/3}=11.0\text{s}$ 、 $H_{1/3}=5.3\text{m}$ の条件における法肩ブロックに作用する波力の時間変化を示したものである。法肩ブロックに最大合成波力が作用した 145.4s に着目すると水平波力は、わずかではあるが堤体側に向かう波力が 0.8N 作用し、鉛直波力は、上向きに 11N 程度の大きな力が作用している。



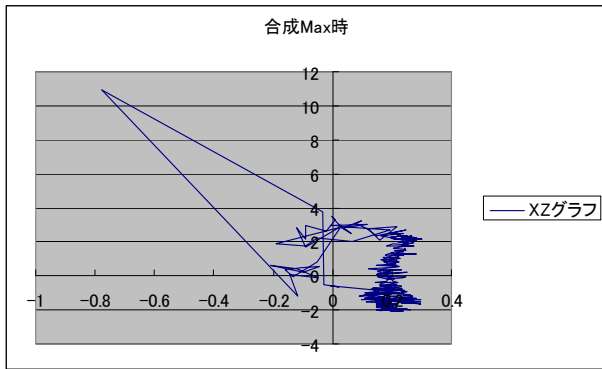


図-10 波力の時系列データ

図-11は、法肩ブロックに働く波力に対する周期の影響を示したものである。ブロック相当質量以上の波力が作用していることがわかる。水面付近に天端高さを有する消波ブロックは、上方からの拘束力がないために不安定になりやすくなることが考えられる。また、ばらつきはあるものの $h/L_{1/3}$ が小さいほど波力が大きくなる傾向がある。

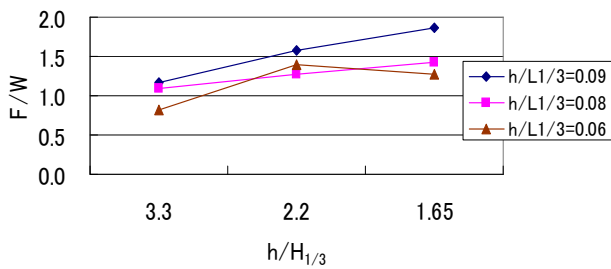


図-11 波力の時系列データ

5. 港内消波工の延長と工費の比較

(1) 岸壁前面での波高

ある港形を想定して、水域1～3の岸壁前面での波高を低減させる方策として、汀線より沖側に延伸している延長900mの防波堤の港内側に消波ブロックを設置した。図-12-(1)はブロック天端高さを水面として、天端幅を2個並で延長 $L=900\text{m}$ 、図-12-(2)は天端幅を3個並びとして延長 $L=700\text{m}$ を設置した。反射率は図-6の結果からブロック天端高さを水面として、天端幅を2個並びとした場合の反射率は $Kr=0.4$ 、3個並びとした場合は $Kr=0.3$ となる。表-1は夫々の港内消波を設けた場合の水域1～3に

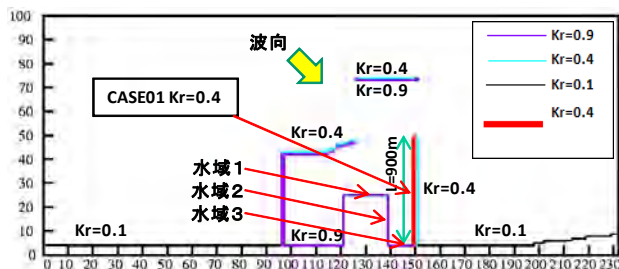


図-12-(1) 港内消波(2個並び900m)

おける波高を示したものである。各水域における岸壁前面での波高が同程度になることがわかる。

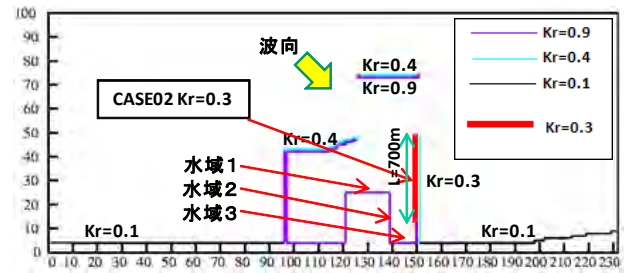


図-12-(2) 港内消波(3個並び700m)

表-1 各水域における波高

ケース名	港内消波施設延長(m)	反射率 Kr	水域1 波高(m)	水域2 波高(m)	水域3 波高(m)
CASE01	900	0.4	1.67	2.03	1.42
CASE02	700	0.3	1.7	1.99	1.27
CASE01-CASE02 (m)			-0.03	0.04	0.15

(2) 工費の比較

図-13に示すブロック天端高さを水面として、2個並びおよび3個並びの各断面について、ブロック製作費および据え付けの概算工費を算出した。その結果を表-2に示す。2個並びで $L=900\text{m}$ 設置した場合に比べて3個並びで延長 $L=700\text{m}$ 設置した場合の方がおおよそ10%程度の工費削減が期待できる。

4 t テトラポッド
天端 2個並び
 $L = 900\text{ m}$

4 t テトラポッド
天端 3個並び
 $L = 700\text{ m}$

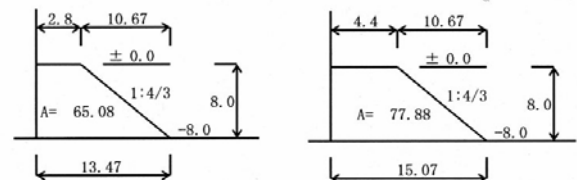


図-13 消波ブロックの標準断面

表-2 概算工費の比較

	港内消波延長	概算工費
Case1	900m(天端高さ水面・2個並)	1,039,500千円
Case2	700m(天端高さ水面・3個並)	967,400千円
	Case2/Case1	0.93

6. まとめ

- ①ブロック天端高さを静水面付近とした場合、ブロック天端幅 B_0 を $B_0/L_1=0.12$ 以上にする事によって反射率 $Kr=0.3$ 程度期待できる。
- ②平面条件においても h/L_1 が大きくなるに連れ

て反射率が低くなる傾向を示す。

- ③水面付近の法肩ブロックにはブロック質量の1.5倍程度の波力が作用していることがわかった。
- ④ブロック天端高さを水面として、天端幅2個並びで $K_r=0.4$ 、3個並びで $K_r=0.3$ を期待できることがわかった。
- ⑤必要な静穏度を確保するための消波工の延長が2個並びでは $L=900\text{m}$ 、3個並びでは $L=700\text{m}$ が必要となる。双方のコスト比較を行った結果、3個並びで $L=700\text{m}$ を行った場合、コストが10%程度低減できる。

おわりに

水面付近に天端高さを有する消波ブロックは、上方からの拘束がないために不安定になりやすくな

ることから、今後は水面付近におけるブロックの安定性の検討が必要と考えている。

参考文献

- 1) 上久保勝美・山本泰司・梅沢信敏・木村克俊・土井善和：消波工と本体工の天端高さが異なる消波ブロック被覆堤の水理特性，海岸工学論文集，第48回，pp706-710，2001.

謝辞：本報告をまとめるにあたっては、室蘭工業大学大学院木村克俊教授に多大なご指導を頂いた。また、波力実験の実施および解析にあたっては室蘭工業大学大学院博士前期課程の丸山和英君に行って頂いた。末筆ながらここに記して深く感謝を申し上げます。