

港内消波工の反射波特性について

(独) 土木研究所 寒地土木研究所 寒冷沿岸域チーム ○上久保勝美
 (独) 土木研究所 寒地土木研究所 寒冷沿岸域チーム 酒井 和彦
 北海道開発局 港湾空港部 港湾建設課 林 誉命

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。通常、消波工形状は本体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、本体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費の縮減が可能である。本報告では、港内消波工の反射波特性について報告する。検討の結果、ブロック天端高さを水面として、波長に対する相対天端幅 $B_0/L_{1/3}=0.063$ で $K_R=0.6$ 、 $B_0/L_{1/3}=0.111$ で $K_R=0.4$ 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 $B_0/L_{1/3}=0.063$ では $L=300\text{m}$ 、 $B_0/L_{1/3}=0.111$ では $L=200\text{m}$ が必要となる。双方のコスト比較を行った結果、 $B_0/L_{1/3}=0.111$ の条件で $L=200\text{m}$ 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，消波ブロック天端幅，消波ブロック天端高

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、**写真-1**に示すように本体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、本体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できたり、消波工天端幅による反射率が明らかになることによって、消波工延長を短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。

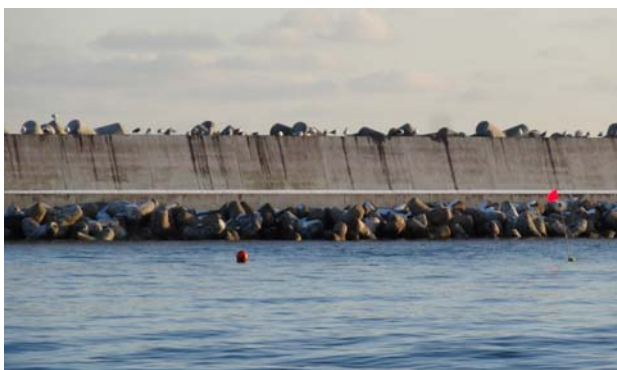


写真-1 港内消波工の設置事例

2. 実験の方法

断面実験は、**図-1**に示す、長さ 28.0m、幅 0.8m、高さ 1.0m の造波水路を使用した。水路内には勾配 $i=1/100$ の一様斜面を設け、その上に堤体模型を設置した。堤体前面から 1 波長分の距離をおいて波高計を 2 本設置し、反射率を測定した。実験縮尺は 1/40 とした。

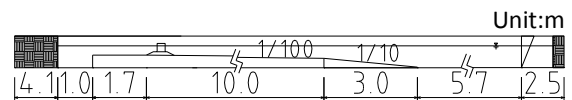


図-1 断面水路

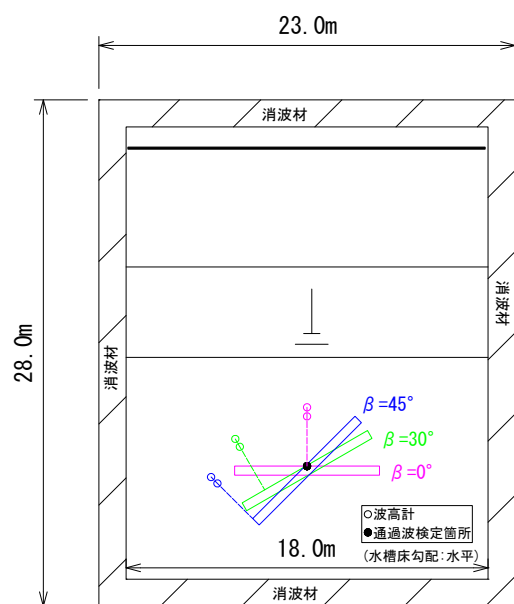


図-2 平面水槽

平面実験は、図-2に示す、長さ28m、幅23m、高さ1m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 $\beta=0, 30$ および 45° の3段階に変化させた。波高計は堤体模型から3m程度離れた位置に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。

3. 反射特性

3-1 断面実験

実験波は Bretschneider・光易型のスペクトルを有する不規則波を用いた。周期を $T_{1/3}=8, 10, 12$ および $14s$ に変化させた。波高は $H_{1/3}=2, 3$ および $4m$ の3種類とした。水深は $h=8m$ で一定とした。1波群の作用波数は150波とした。

実験断面は、図-3および図-4に示すように水面での消波ブロックの幅 B_0 および消波ブロック高さ h_{CB} を変化させて行った。消波ブロックのみの断面と割石の表層に消波ブロックを2層被覆した2種類の断面について行った。また、港内では本土工の天端高さに比べて波高が相対的に低いことから、上久保ら¹⁾の断面条件とは異なり直立部の天端高さは越波を許容しない天端高さとした。

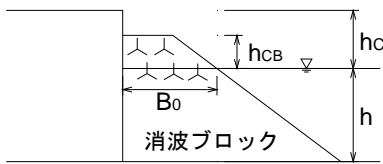


図-3 消波ブロックのみの断面

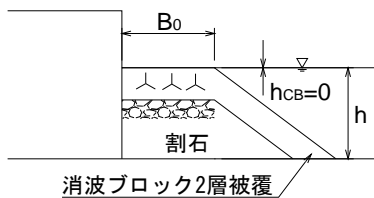


図-4 割石+消波ブロック2層被覆

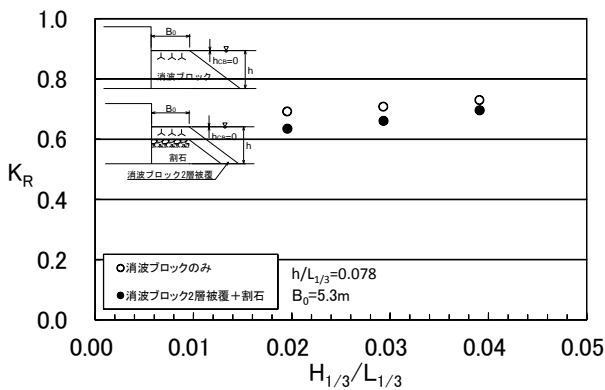


図-5 反射率と波高の関係

図-5および図-6は、ブロック天端高さを水面として、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-5は、 $T_{1/3}=12s$ で一定とし、 $H_{1/3}=2, 3$ および $4m$ に変化させた。

一方、図-6は、 $T_{1/3}=8, 10, 12$ および $14s$ に変化させ、 $H_{1/3}=3.0m$ で一定とした。何れも消波ブロック天端高さは水面とし、被覆幅 $B_0=5.3m$ で行った。図-5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-6は、周期が長くなるにしたがって、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、波高の変化が反射率におよぼす影響は少ないことがわかる。

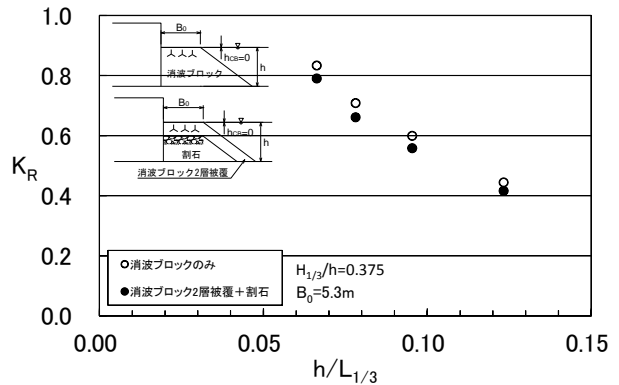


図-6 反射率と周期の関係

図-7は、 $T_{1/3}=8, 10, 12$ および $14s$ に変化させ、 $H_{1/3}=3.0m$ で一定としている。消波ブロック天端幅2個並びで h_{CB} が $1.0H_{1/3}$ の高さまで被覆した場合および $h_{CB}=0$ の条件で B_0 を3.3, 5.3, 7.3 および $9.3m$ に変化させた場合での反射率の違いを示している。 $h_{CB}=0$ の条件では、消波ブロック天端幅が長くなるにつれて反射率の低減がみられる。また、 h_{CB} を $1.0H_{1/3}$ の高さまで被覆した場合の B_0 は $7.1m$ で $h_{CB}=0$ の4個並び($B_0=7.3m$)に相当するが、反射率は h_{CB} が $1.0H_{1/3}$ の高さまで被覆した方が大きい値を示している。水面に天端を有している方が直立部に

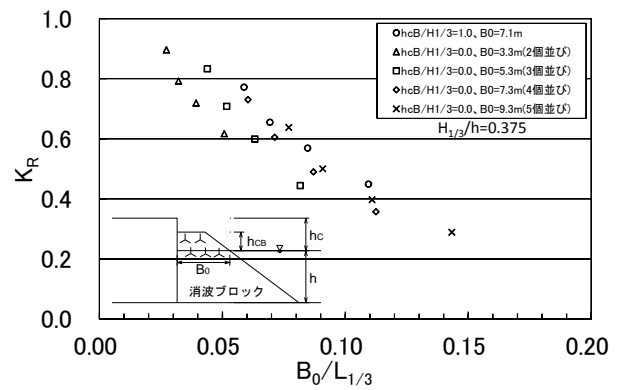


図-7 消波ブロック天端高さとして反射率

衝突した波面が反射する際に、消波ブロック天端面に落水することによって、さらに波高の減衰が助長されているものと考えられる。

図-8は、消波ブロック断面、図-9は、割石の表層に消波ブロックを2層被覆した断面における反射率の影響を示している。天端高さ $h_{B1}=0$ 、天端幅 B_0 を 3.3, 5.3, 7.3 および 9.3m に変化させた。 $T_{1/3}=8, 10, 12$ および 14s に変化させて、 $H_{1/3}=3.0\text{m}$ で一定とした。何れの断面においても相対的に天端幅が短く周期が長くなるにつれて反射率が大きくなる傾向を示している。また、消波ブロック断面よりも割石の表層に消波ブロックを2層被覆した断面の方が反射率は小さい傾向にある。

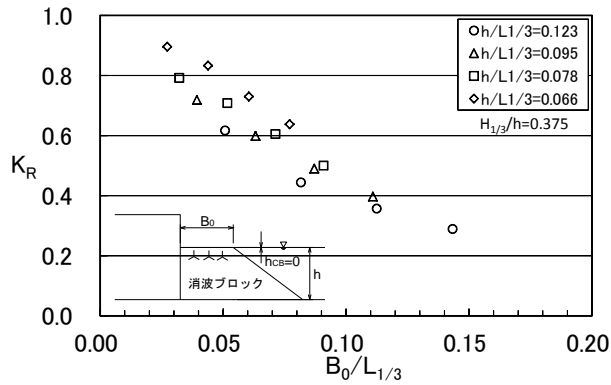


図-8 天端幅と反射率の関係 (消波ブロック)

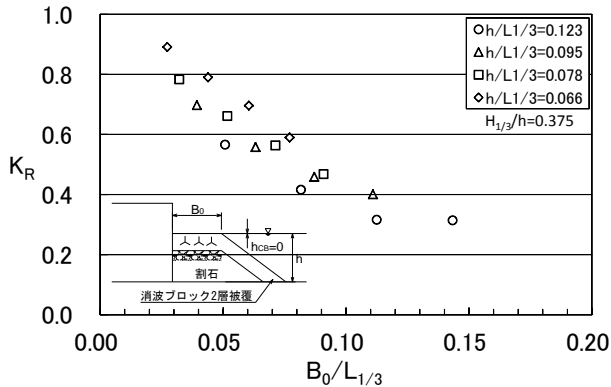


図-9 天端幅と反射率の関係 (割石+消波ブロック2層被覆)

3-2 平面実験

実験波は Bretschneider・光易型のスペクトルを有する不規則波を用いた。周期を $T_{1/3}=10, 12$ および 14s に変化させた。波高は $H_{1/3}=2, 3$ および 4m の 3 種類とした。水深は $h=8\text{m}$ で一定とした。1 波群の作用波数は 150 波とした。実験断面は、消波ブロック天端高さ $h_{CB}=0$ 、天端幅 $B_0=9.3\text{m}$ で一定とした。

図-10は、 $T_{1/3}=12\text{s}$ で一定とし、 $H_{1/3}=2, 3$ および 4m に変化させ場合の反射率の影響を示している。波形

勾配 $H_{1/3}/L_{1/3}$ が大きくなるほど反射率が大きくなる傾向がみられる。

図-11は、 $H_{1/3}=3\text{m}$ で一定とし、 $T_{1/3}=10, 12$ および 14s に変化させた場合の反射率の影響を示している。波の入射角度が大きくなるほど反射率は小さくなる傾向にあり、 $h/L_{1/3}$ が大きくなるほど反射率が小さくなる傾向がみられる。

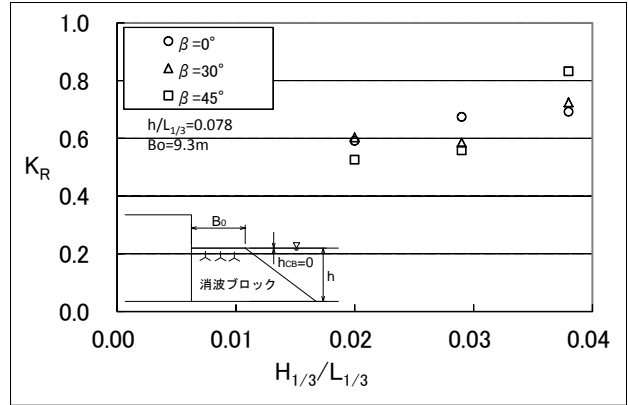


図-10 反射率と波高の関係

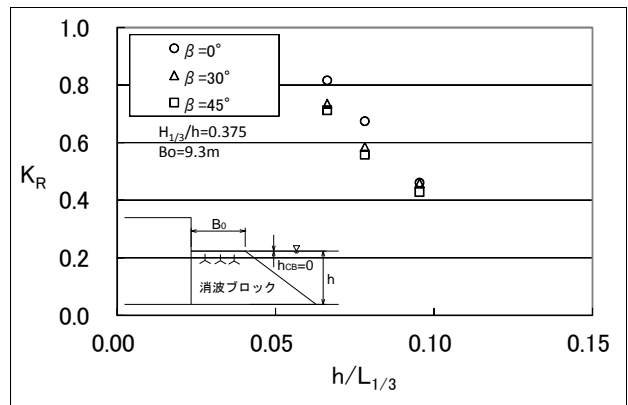


図-11 反射率と周期の関係

図-12は、 $B_0=9.3\text{m}$ 、 $H_{1/3}=3\text{m}$ 、 $T_{1/3}=10, 12$ および 14s に変化させて、 $\beta=0^\circ$ に対する 30 および 45° の反射率の影響を示したものである。斜め入射になるほど反射率が小さくなる傾向を示している。

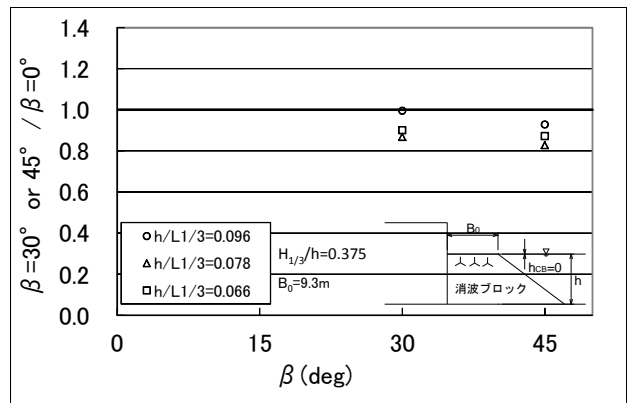


図-12 斜め入射および直角入射との関係

4. 港内消波工の延長と工費の比較

4-1 岸壁前面波高

ある港形を想定して、水域1および2の岸壁前面での波高を低減させる方策として、沖側に延伸している防波堤の港内側に消波ブロックを設置した。図-13は、ブロック天端高さを水面として、天端幅を3個並び($B_0=5.3\text{m}$)で延長 $L=300\text{m}$ 、図-14は、天端幅を5個並び($B_0=9.3\text{m}$)として延長 $L=200\text{m}$ を設置した。反射率は図-7の結果からブロック天端高さを水面として、 $h/L_{1/3}=0.095$ の条件では、天端幅を3個並び($B_0=5.3\text{m}$)とした場合の反射率は $K_r=0.6$ 、5個

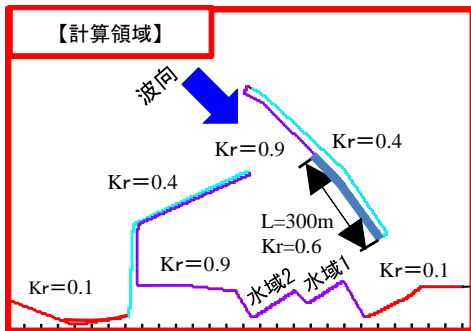


図-13 港内消波 (3個並び300m)

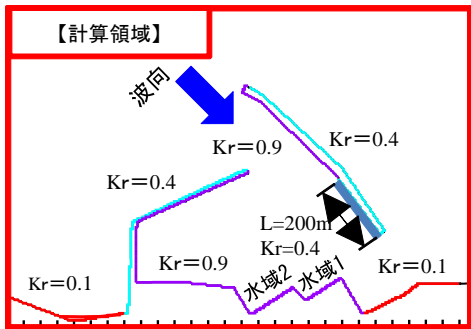


図-14 港内消波 (5個並び200m)

表-1 各水域における波高

CASE 1			
水域名	Kr=0.4 消波工延長200m		
	H=2.0m	H=3.0m	H=4.0m
水域1	1.05	1.41	1.74
水域2	0.90	1.23	1.50

CASE 2			
水域名	Kr=0.6 消波工延長300m		
	H=2.0m	H=3.0m	H=4.0m
水域1	1.06	1.42	1.75
水域2	0.92	1.22	1.51

水域名	CASE1 - CASE2		
	H=2.0m	H=3.0m	H=4.0m
水域1	-0.01	-0.01	-0.01
水域2	-0.01	0.01	-0.01

並び($B_0=9.3\text{m}$)とした場合は $K_r=0.4$ となる。表-1は、夫々の港内消波を設けた場合の水域1および2に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。

4-2 工費比較

図-15に示すブロック天端高さを水面として、3個並び($B_0=5.3\text{m}$)および5個並び($B_0=9.3\text{m}$)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。3個並び($B_0=5.3\text{m}$)で $L=300\text{m}$ 設置した場合に比べて5個並び($B_0=9.3\text{m}$)で延長 $L=200\text{m}$ 設置した場合の方がおよそ10%程度の工費削減が期待できる。

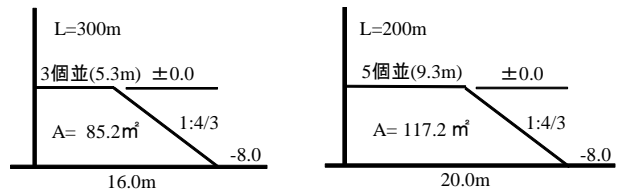


図-15 消波ブロックの標準断面

表-2 概算工費の比較

	港内消波工延長	概算工費 (直工)
CASE 1	300m(3個並)	121,446千円
CASE 2	200m(5個並)	111,425千円
	CASE2 / CASE1	0.92

5. まとめ

港内消波工の反射波特性について得られた主要な結論は以下のとおりである。

- ①ブロック天端高さを水面として、 $h/L_{1/3}=0.095$ の条件では、 $B_0/L_{1/3}=0.063$ で $K_r=0.6$ 、 $B_0/L_{1/3}=0.111$ で $K_r=0.4$ を期待できることがわかった。
- ②断面および平面条件において $h/L_{1/3}$ が大きくなるに連れて反射率が低くなる傾向を示す。
- ③ある港形を想定した試算によれば、必要な静穏度を確保するための消波工の延長が $B_0/L_{1/3}=0.063$ では $L=300\text{m}$ 、 $B_0/L_{1/3}=0.111$ では $L=200\text{m}$ が必要となる。双方のコスト比較を行った結果、 $B_0/L_{1/3}=0.111$ の条件で $L=200\text{m}$ を行った場合、コストが10%程度低減できる。

参考文献

- 1) 上久保勝美・山本泰司・長谷一矢：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、第54回北海道開発技術研究発表会，2011。