

水理模型実験による反射波低減構造の検証について

北陸地方整備局 新潟港湾空港技術調査事務所 非会員 高縁夕羽希
 北陸地方整備局 新潟港湾空港技術調査事務所 非会員 伊賀浩之
 北陸地方整備局 新潟港湾空港技術調査事務所 非会員 早田泰子

1.はじめに

北陸管内の港湾では、荷役障害の事例が確認されており、フェリー岸壁及びコンテナ岸壁での荷役時の安定性向上のため、港内静穏度の確保が求められている。

荷役障害の要因のひとつとして、港内における防波堤等からの反射波の影響による港内擾乱が考えられている。

そこで、低反射構造防波堤断面として、一般型反射波対策工断面及び没水型反射波対策工断面を対象とし、二次元造波水路を用いて反射波実験および安定実験を行い、反射波低減効果の確認及び消波ブロックや被覆石等の安定性を把握することを目的とする水理模型実験を行った。

今回の構造検討対象施設については図-1に示すとおり、敦賀港の川崎・松栄地区防波堤を対象とした。



図-1 検討施設位置図

2.実験条件

(1)使用施設, 模型縮尺及び海底勾配

実験施設は、長さ59.0m、幅1.25mの二次元造波水路を使用し、仕切り板により幅0.8mとした水路で実験を行った。

実験の模型縮尺は、実験対象波、現地断面規模を考慮し、1/25(歪み無し)とした。また、関係する諸量はフルード相似則(歪み無し)に従った。

設計波算定に用いられた海底勾配条件が1/153であったことを考慮して、本実験における二次元造波水路の海底勾配も同様とした。

(2)潮位条件及び波浪条件

潮位条件については、「反射波実験」における潮位はM.S.L(+0.2m)とし、「安定実験」における潮位はL.W.L(±0.0m)とした。

実験波浪条件は、表-1のとおりであり、対象区間の設計水深-19.0mとして算定されている。作用させる波浪は全て不規則波とした。

表-1 実験波浪条件

実験項目	潮位	波の種類	波浪条件				
			種類	有義波高 $H_{1/3}$		有義周期 $T_{1/3}$	
				現地 (m)	模型 (cm)	現地 (s)	模型 (s)
反射波実験	M.S.L. (+0.2m)	不規則波	消波対象波	0.42	1.68	8.0	1.60
				0.42	1.68	10.0	2.00
安定実験	L.W.L. (±0.0m)	不規則波	設計波	0.98	3.92	12.7	2.54

(3)実験断面条件

実験断面は、過年度の検討業務において、目標反射率を満足し、かつ経済性に優れた対策工を選定し、「数値波動水路プログラム(CADMAS SURF)」を用いて構造の詳細な検討を行った解析結果から選定された、「一般型反射波対策工断面」と「没水型反射波対策工断面」の2断面とした。

防波堤構造を選定した際のポイントは「設計波に対して安定した構造」、「反射率0.3程度を目標とした低反射構造断面」、「地域のその他事業（建設残土（ずり石）の有効活用等）にも配慮した構造・施工検討」の3つである。

目標反射率0.3については、過年度の検討より、反射率0.3に改良するとコンテナ取扱岸壁である鞍山南岸壁では通年で1.9%、冬期で4.4%の向上が期待出来るという結果を得たことから設定した。

対象区間の既設断面から対策工を施工し改良を行った断面イメージを図-2に示す。

①一般型反射波対策工断面：消波ブロック天端が静水面上の断面【高空隙の消波ブロック（空隙率60%以上）の使用を基本とするが、高空隙消波ブロックの反射波低減効果検証のために一般空隙の消波ブロック（空隙率50%程度）についても反射率を測定する。】

②没水型反射波対策工断面：消波ブロック天端が静水面と一致する断面（H.W.L.時）

【一般空隙の消波ブロック（空隙率50%程度）を使用する。】

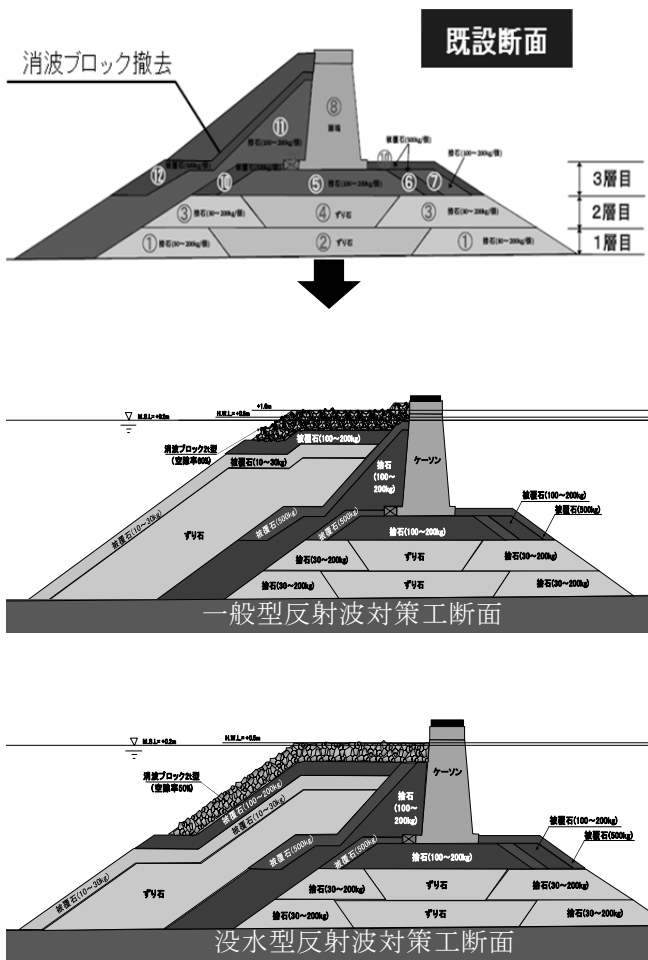


図-2 既設断面と改良断面イメージ

3. 実験方法

(1) 実験模型

本実験での消波ブロックは、高空隙消波ブロック（空隙率60%以上）として、空隙率60%消波ブロック typeA, typeBの2種類の模型を、一般的な空隙を有する消波ブロック（空隙率50%程度）として空隙率50%消波ブロックの模型を用いた。

(2) 反射波実験

消波ブロック前面、防波堤前壁面（反射面）より1.5波長の範囲に、サーボ式波高計（1.5波長測点）及び容量式波高計を0.25波長間隔（0.5, 0.75, 1.0, 1.25, 1.5波長）で各2台設置、計測して有義波高の岸・沖分布を求め、反射面近傍での波高変動を確認した。同時に波の入・反射分離解析を行い、反射率及び反射波高の岸・沖分布を求めた。

反射波実験では、防波堤からの反射波を測定し、反射波低減効果を確認することが主たる目的であり、防波堤から1.5波長離れた測点における反射率が主たる測点となるため、測定精度の最も高いサーボ式波高計を1.5波長測点に設置した。反射波測定時の波高計及び流速計の測定位置を図-3に示す。

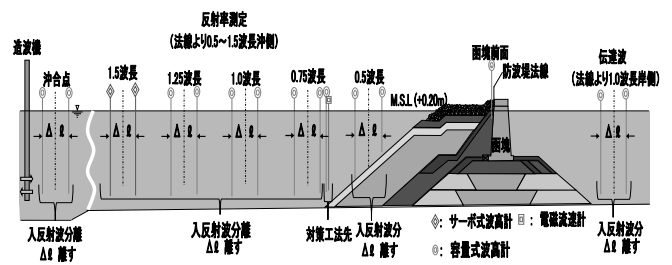


図-3 反射波実験時の波高測定位置

(3) 安定実験

挙動検査域は、水路幅80cm内の中央40cmの範囲の消波ブロック、石材（被覆石、ずり石、捨石）を対象とした。検査域の石材に着色し、検査域外の石材は着色しなかった。

石材の着色状況を写真-1に示す。

消波ブロックの挙動観察は、実験前の初期状況、波作用中および実験後（波作用終了時）に目視で行い、同時に写真、ビデオ撮影を行った。消波ブロックの挙動は移動と動揺に大別し、ブロック1/2個以上の移動を被害として扱った。

一方、石材については、非常に小さな質量の石を

使用することから、移動個数を特定することで被害率を算定し、安定性を評価することは困難である。そこで、図-4に示すように、砂面計を用いて波作用前の初期断面および波作用終了時の最終断面について複数測線の断面測定を行って断面変形量を求め、安定性を評価した。検査領域は、図-4に示す水路中央部の範囲とし、水路中央を含む5測線について測定を行った。



写真-1 石材着色状況

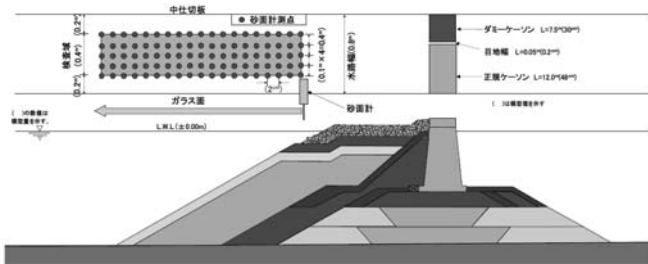


図-4 砂面計配置図及び検査領域図

4. 反射波実験結果

(1) 反射に基づく断面の機能評価

反射波実験の結果については、表-2のとおりである。

(a) 消波ブロックの空隙率(一般型反射波対策工断面)

一般型反射波対策工断面の反射率は空隙率50%、60%のいずれのケースにおいても全ての消波対象波において目標反射率0.3を超過した。

しかし、消波ブロックの空隙率を大きくすると、反射率が低くなる結果となった。消波ブロックの空隙率を大きくすることで、消波ブロック内のエネルギー減少に伴い、沖側へ向かう波エネルギーが減少し、反射率が低減したと考えられる。

(b) 一般型と没水型の比較

消波ブロック空隙率を50%で統一し、波高0.42m、周期10秒での一般型反射波対策工断面と没水型反射波対策工断面の反射率を比較した。

全ての消波対象波で目標反射率0.3を超過した一般型反射波対策工に対して、没水型反射波対策工の反射率は全ての消波対象波において目標反射率0.3を満足し、高い消波性能を示した。反射波対策工断面では、消波ブロックを積み上げることで天端に凹凸面が形成され、天端上を進行する際に波エネルギーが効果的に減少するため、反射率が小さくなったと考えられる。

表-2 反射波実験結果

実験断面	消波ブロック規格	波浪・潮位条件					水理機能			
		潮位	波高 $H_{1/3}$	周期 $T_{1/3}$	スペクトル		反射率 (1.5波長沖)	機能評価 (目標反射率:0.3)		
					形状	γ 値			波群	波数
一般型反射波対策工	消波ブロック typeA 2t型 (空隙率60%)	M.S.L. (+0.2m)	0.42m	8.0s	JONSWAP型	10.0	1	200	0.314	×
							2	0.331	×	
							3	0.323	×	
		M.S.L. (+0.2m)	0.42m	10.0s	JONSWAP型	10.0	200	1	0.376	×
								2	0.381	×
								3	0.357	×
一般型反射波対策工	消波ブロック typeB 2t型 (空隙率60%)	M.S.L. (+0.2m)	0.42m	8.0s	JONSWAP型	10.0	1	200	0.301	×
							2	0.315	×	
							3	0.311	×	
		M.S.L. (+0.2m)	0.42m	10.0s	JONSWAP型	10.0	200	1	0.353	×
								2	0.362	×
								3	0.344	×
一般型反射波対策工	消波ブロック 2t型 (空隙率50%)	M.S.L. (+0.2m)	0.42m	8.0s	JONSWAP型	10.0	1	200	0.369	×
							2	0.384	×	
							3	0.379	×	
		M.S.L. (+0.2m)	0.42m	10.0s	JONSWAP型	10.0	200	1	0.428	×
								2	0.439	×
								3	0.412	×
没水型反射波対策工	消波ブロック 2t型 (空隙率50%)	M.S.L. (+0.2m)	0.42m	8.0s	JONSWAP型	10.0	1	200	0.190	○
							2	0.211	○	
							3	0.194	○	
		H.W.L. (+0.5m)	0.42m	10.0s	JONSWAP型	10.0	200	1	0.140	—
								2	0.263	○
								3	0.271	○
M.S.L. (+0.2m)	0.42m	10.0s	JONSWAP型	10.0	200	1	0.266	○		
						2	0.188	—		
						3				

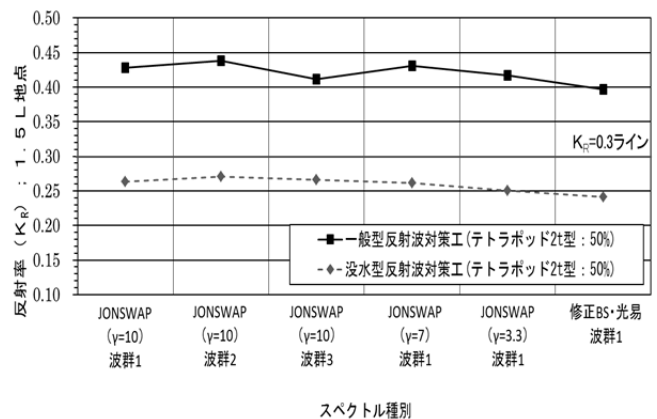


図-5 反射波対策工断面別・入射波スペクトル別の反射率比較

5. 安定実験結果

(1) 消波ブロック及び被覆石の安定評価

(a) 消波ブロックの安定評価

消波ブロックの挙動観察は、実験前の初期状況、波作用中及び波作用終了時に目視で行い、同時に写真、ビデオ撮影を行った。消波ブロックの移動と動揺の定義を表-3に示す。

表-3 消波ブロックの移動と動揺の定義

評価	挙動の種類	挙動の内容
安定	安定	波作用によって動揺しないもの
	動揺	波作用によって揺れ動くが、ほぼ元の位置にあるもの
被害	移動	波作用によって元の位置から1/2個以上移動するもの

消波ブロックの安定性は被害率をもとに評価した。被害率(D)は、以下の式(1)により求める。

$$D = \frac{n}{N_B} \times 100 \quad (1)$$

nは、検査領域内で移動したブロック個数、NBは検査領域内のブロックの総数である。本実験では、被害率1%を安定評価の許容値とした。

(b) 被覆石の安定評価

本実験では、被覆石100kg～200kg/個及び10～30kg/個を対象として安定性を評価した。

石材部5測線の測定結果をもとに、断面変化量の鳥瞰図、平面分布、石材部断面の横断図、石材部断面変化量図等を作成し、安定性を評価するための資料とした。

被覆石の安定性については、下記の基準を用いた。
 安定: 断面変形量は小さく、復旧が容易と判断される場合
 不安定: 断面変形量は大きく、復旧が困難と判断される場合

被覆石の1/2個程度の移動量に相当する±20cmを安定評価基準値とし、本実験では5測線の平均値の最大断面変形量が評価基準値を超過した場合に不安定とした。

(2) 実験断面別の安定実験結果

実験結果については表-4のとおりである。

設計波(H1/3=0.98m, T1/3=12.7s)の波群1及び波群2の作用に対して、没水型反射波対策工は消波ブロック及び被覆石ともに耐波安定性が確保された。一方、一般型反射波対策工では、消波ブロックの耐波安定性は確保されたものの、被覆石100～200kg/個の最大断面変形量は許容変形量を超過し、耐波安定性を確保することができなかった。

6. まとめ

没水型反射波対策工断面においては、目標反射率を満足するとともに、設計波に対して安定性が確保された。さらに、没水型反射波対策工断面においては、反射率に余裕があるため消波ブロック被覆範囲(堤幅及び下端高)を小規模化できれば、より経済的な断面の構築が可能となる。

一方、一般型反射波対策工断面においては、消波ブロック直下の被覆石100～200kg/個が耐波安定性を確保出来ず不安定であったため、消波ブロック下端の設置水深設定においては留意が必要であることがわかった。

目標反射率を確保する消波ブロックの堤幅とし、かつ消波ブロックおよびその下層の被覆石を含めた総合的な安定を確保する断面について、今後も引続き検討を行っていく予定である。

表-4 実験結果の一覧及び水理機能・安定性の評価結果

ケースNo.	主番	枝番	実験項目	実験断面	消波ブロック規格	波浪・潮位条件				耐波安定性の総合評価						
						種類	潮位	波高 H _{1/3}	周期 T _{1/3}	スペクトル波群	消波ブロックの耐波安定性		被覆石100～200kg/個の耐波安定性		被覆石10～30kg/個の耐波安定性	
											被害率(%)	安定評価(被害率:1.0%以下)	最大変形量(cm)	安定評価(許容値:±20cm以下)	最大変形量(cm)	安定評価(許容値:±20cm以下)
2-1	1	2	安定実験	一般型反射波対策工	消波ブロックtypeA 2t型(空隙率60%)	設計波	L.W.L.(±0.0m)	0.98m	12.7s	1	0.00	○	24.33	×	2.74	○
											2	0.00	○	13.11	○	4.27
2-2	1	2	安定実験	没水型反射波対策工	消波ブロック2t型(空隙率50%)	設計波	L.W.L.(±0.0m)	0.98m	12.7s	1	0.00	○	0.00	○	0.00	○
											2	0.00	○	2.74	○	3.96