

細島港北沖防波堤における設計波浪検討調査

Design wave investigations for the north breakwater of Hososhima Port

古田 学*
FURUTA, Manabu

* (財) 沿岸開発技術研究センター 調査部 研究員

A three dimensional hydraulic model experiment was carried out to establish design criteria for the north breakwater of Hososhima Port. As the topography around the planned breakwater is quite complicated and partly shallow, waves passing through it are deformed considerably. Moreover, as the design height is high, a hydraulic model experiment was conducted. Based on the experimental data, a quite fine wave distribution along the breakwater was obtained.

Key Words : port of Hososhima, breakwater, wave deformation, water basin model experiment

1. はじめに

細島港は、背後に日向・延岡地区新産業都市を中心とした工業集積地を控え、県北地域の産業を支える流通拠点として重要な役割を果たしてきた。また近年では、平成5年に釜山との間にコンテナ定期航路が開設され、その後も台湾航路や香港航路の開設や増便が相次ぎ、取扱貨物量は順調に伸びてきている。

しかしながら細島港は、直接外洋に面していることから、港内静穏度の確保が強く要望されており、うねりを防ぐ沖合い防波堤の整備が急務となっている。このような経緯により、沖防波堤が検討され、平成9年度7月港湾審議会第163回計画部会により、北沖防波堤750m、南沖防波堤600mの計画が決定した。

北沖防波堤の設置箇所は、30m以上の大水深部や急勾配の海底地形を含む浅瀬上に計画されており、波浪変形が極めて複雑で波高も大きいことから、水理模型実験を実施し、専門の有識者による検討会を開催し、安全で経済的な北沖防波堤の構造検討を行った。

本報告は、これら検討の内、主に三次元平面実験による設計波浪を決定する手法についてとりまとめたものである。

2. 実験概要

2.1 実験目的

北沖防波堤は水深が急激に変化する浅瀬上に建設されるため、波浪変形が極めて複雑となる。また、設計沖波が13mを越える大波浪海域であり、防波堤への到達波高も10mを越えることが予想されるため、一般的な消波ブロックを適用すると消波ブロックの所要質量は100t以上必要になると予想されている。

このように、北沖防波堤は特殊な環境条件下にあるため、水理模型実験を行って、諸技術課題に対する検討を行う必要がある。本調査で実施した主要な検討項目と実験の種類は、表-1のとおりである。

表-1 検討項目と実験種類

検討項目	実験種類
①設計沖波作用時の到達波高（設計波）の確認	三次元平面実験
②防波堤天端高の検討	二次元断面実験
③消波ブロックの安定性の検討	三次元断面実験 二次元平面実験
④被覆ブロックの安定性の検討	三次元断面実験 二次元平面実験
⑤設計波作用時の堤体の耐波安定性の検討	三次元断面実験 二次元平面実験
⑥堤体に作用する波圧・波力の把握	二次元断面実験

2.2 実験手順と検討内容

実験の手順及び検討内容について図-1に示す。

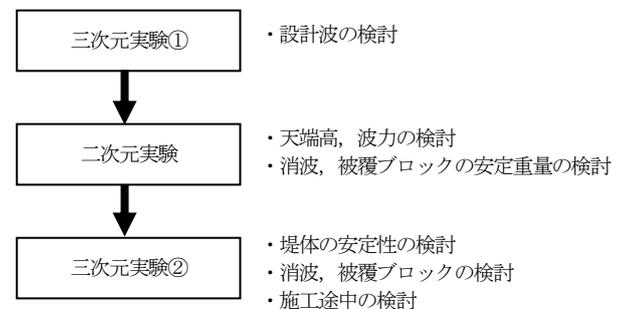


図-1 実験の手順と検討内容

3. 三次元実験

3.1 実験条件

(1) 実験施設

実験に用いた水槽は、(独)港湾空港技術研究所が所有する表-2 に示す水槽諸元及び造波性能を有する多方向不規則波造波水槽を使用した。

表-2 水槽諸元及び造波性能

水槽諸元	幅 長さ 高さ 22.8m × 46.0m × 1.0m
造波装置	1)型式：ピストン型 2)板長：30.0m 3)造波板高さ：1.0m 4)発生波：規則波、不規則波、多方向不規則波 5)最大発生波高：25.0cm 6)最大水深：70cm

(2) 模型縮尺・模型床

模型縮尺は、実験水槽の規模、造波機能、ブロック模型の大きさ、ならびに波浪条件を総合的に勘案して $S=1/100$ とした。また、現地の海底地形は、深浅測量の結果をもとにモルタル固定床として作製した。(写真-1)



写真-1 模型床

(3) 波浪条件

細島港の沖波条件は表-3 のとおりである。この表から沖波波高が最も大きいのは波向き SE であり、設計沖波は有義波高 13.5m (有義波周期 14.5s) となる。ただし、浅瀬部での波浪変形状況によっては、波向き ESE 等のほうが堤体の安定に対する影響が大きくなる可能性もあるため波向きとしては ESE と SE の 2 波向について実験を実施した。

表-3 沖波条件 (数値は現地の値)

確率年	波向諸元	E	ESE	SE	SSE	S
50年	H_0 (m)	11.4	12.9	13.5	12.8	13.3
	T(s)	13.8	14.3	14.5	14.2	14.2
10年	H_0 (m)	9.4	10.7	10.9	10.8	10.9
	T(s)	12.6	13.1	13.1	13.1	13.0

波浪変形実験では、防波堤の設計波となる 50 年確率波と施工途中の設計波となる 10 年確率波について実験を行った。波浪変形計算結果をもとに、造波機前面の水深部 (D.L. -50m) の波高を表-4 のとおり設定した。なお、造波機前面の水深を現地に換算すると 50m であるので、2m 程度の水深の違いでは波高に差が現れないため、造波機前面での波高については H.W.L. と L.W.L. で同じ波高を適用した。なお、作用波については多方向不規則波とした。

表-4 波浪変形計算で推定した造波機前面波高 (数値は現地の値)

波浪諸元	沖波の波向	ESE	SE
	50年確率波	波高(m)	12.1
	周期(s)	14.3	14.5
10年確率波	波高(m)	10.0	9.9
	周期(s)	13.1	13.1

次に、方向集中度をもとめるため、波浪変形計算で図-2 に示す 5 地点での方向関数の計算結果を出力した。そのうち、実験対象となる防波堤前面海域にあたる B~D 地点の計算結果と S_{max} の理論値¹⁾を比較した。その結果、 $S_{max}=10$ の理論値が計算結果と最もフィットしていたため(図-3)、多方向不規則波実験で沖側境界から与える方向集中度は $S_{max}=10$ に設定した。

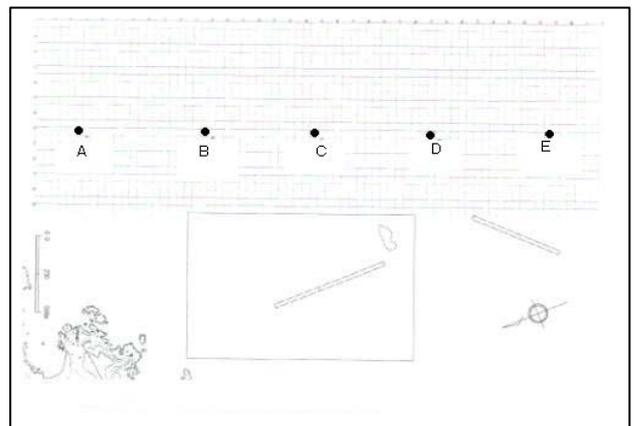


図-2 方向関数の計算結果出力地点 (波浪変形計算領域図)

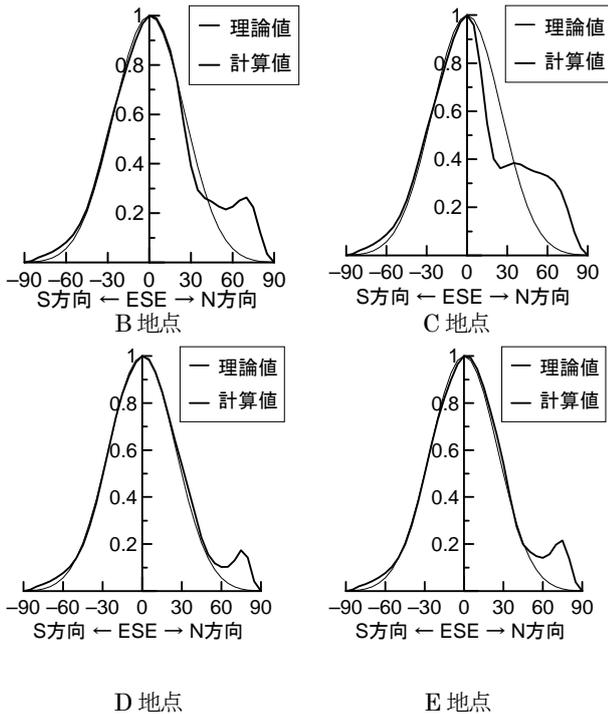


図-4 波浪変形計算結果による方向関数と $S_{max} = 10$ の理論値との関係

実験で作用させる波浪は、修正ブレットシュナイダー・光易型の周波数スペクトルをもつ不規則波とした。修正ブレットシュナイダー・光易型の周波数スペクトルは次式¹⁾により表される。

$$S(f) = 0.205 H_{1/3}^2 \cdot T_{1/3}^{-4} \cdot f^{-5} \exp[-1.25(T_{1/3} \cdot f)^4] \quad (1)$$

ここに、 $H_{1/3}$ ：有義波高、 $T_{1/3}$ ：有義波周期、 f ：周波数である。

平面的な波高分布を把握する実験では、測定波数を250波とした。ただし設計波の検討においては H_{max} を把握する必要があるので、防波堤法線上と法線の60m沖側（およそ $5H_{1/3}$ 沖側に相当）においては550波の測定を行った。

潮位は、H.W.L. (D.L.+2.30m)とL.W.L. (D.L.+0.21m)の2条件とした。L.W.L.ではマウンド水深比 dh が小さくなって、港外側根固方塊の安定性が低くなりやすいが、H.W.L.では、到達波高や伝達波高が大きくなって堤体全体の安定に影響が大きくなると考えられる。また、潮位が高いほど堤体に作用する浮力が大きくなり、ケーソンの滑動安定性が厳しくなる。したがってH.W.L.を本実験における基本潮位条件とした。ただし、北沖防波堤を設置する海域は海底地形が複雑で急浅になる箇所もあるため、防波堤の安定性を検討する上では衝撃砕波力による堤体への影響の方が大きい可能性

もあるので、H.W.L.のほかに、L.W.L.の実験ケースも設定した。

3.2 波浪変形実験

波浪変形実験では、設計沖波を作用させた場合の浅瀬周辺の波高分布を測定し、工区別の設計波を求めるため、堤体を設置しない状態において多方向不規則波を作用させて通過波高分布を測定し、数値シミュレーション(波浪変形計算)結果との対比を行った。ここで得られた工区別の堤前波高を防波堤の設計に適用する設計波高とした。

表-5に波浪変形実験の実験条件、また図-4に波浪変形実験における工区分けを示す。

表-5 波浪変形実験の実験条件

防波堤	実験目的	波種類	波群	測定波数	波向	潮位	確率年
防波堤無し	設計波高検討	多方向不規則波	2種類	550波	ESE	H.W.L.	10年
						L.W.L.	50年
					SE	H.W.L.	10年
						L.W.L.	50年
						H.W.L.	10年
						L.W.L.	50年
防波堤無し	平面的波高分布把握	多方向不規則波	1種類	250波	ESE	H.W.L.	10年
						L.W.L.	50年
					SE	H.W.L.	10年
						L.W.L.	50年
						H.W.L.	10年
						L.W.L.	50年

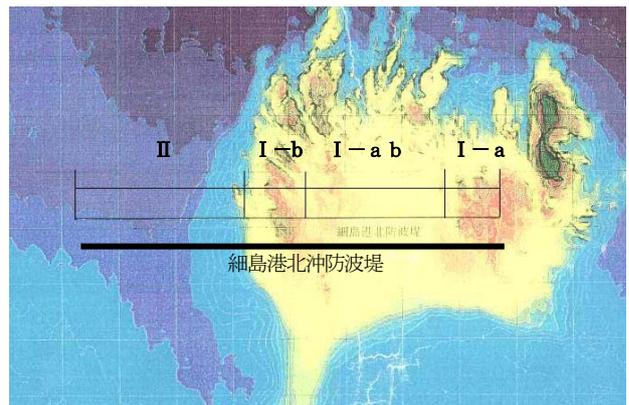


図-4 波浪変形実験における工区分け図

3.3 実験結果

(1) 浅瀬上の波浪変形状況

浅瀬周辺の波高を測定し、平面的に内挿補間を行って波高分布図とした結果から、浅瀬における波浪変形

の状況をまとめると以下のとおりである。

- ① 50年確率波ではH.W.L.で $H_{1/20}$ 以上、L.W.L.では $H_{1/10}$ 以上の波が浅瀬に乘上がる時に碎波する。また、浅瀬上に乗上げ、碎波した後に、浅瀬の中央付近で二次碎波することが多い。
- ② 浅瀬上では浅水変形、屈折効果、碎波変形などの影響によって、他の工区よりも全体的に波高が大きい。
- ③ I-a工区沖側の島状部において最も激しい碎波が生じ波高が大きくなるが、防波堤法線から離れているので、防波堤の安定性に直接的に影響を与える可能性は少ないと考えられる。
- ④ I-ab工区の前面には水深10m未満の部分はないが、法線前面に水深20m未満の部分があり、この部分で碎波した波が防波堤法線付近で碎波する。
- ⑤ I-b工区の法線上の浅瀬頂部では屈折効果や碎波変形で波高が大きくなりやすい。

(2) 設計波の検討結果

北沖防波堤に対する沖波波高はESEとSEが大きいですが、両者の波高の差は比較的小さく、堤体の安定性に対しては堤体に対して直角に近くなる波向の方が厳しくなる。したがって、ESEとSEについて防波堤に対する波作用角度を確認すると、表-6のようになった。

表-6 波作用角度の整理

		I-a	I-ab	I-b	II	平均
実験	ESE	17°	17°	18°	17°	17°
	SE	31°	31°	33°	30°	31°
計算	ESE	5°	14°	1°	18°	
	SE	10°	10°	10°	22°	

これにより、SEよりもESEの方が防波堤に対して直角に近い角度で作用することがわかり、この結果から設計波向きはESEとした。また、防波堤法線上及び $5H_{1/3}$ 沖側の波高測定結果からは下記の①、②が言え、水深が深いII工区においては H_{max} と $H_{1/3}$ の比が平均値で1.75~1.78であり、防波堤の設計に適用される1.8とほぼ同じ結果が得られた。

- ① 水深が深いII工区においても H_{max} と $H_{1/3}$ にややばらつきがあるのは、浅瀬の影響を多少は受けること、及び多方向不規則波の特性と考えられる。
- ② 浅瀬上の、特にI-b工区とI-ab工区では水深が深いII工区よりも H_{max} や $H_{1/3}$ が大きくなる。

これらより、設計波に関して次のような条件を与

えた。

- ① 北側端部からの距離300m位置は波高が大きいのでI-b工区として取り扱い、250mと300mの間でII工区とI-b工区を分けるものとする。
- ② より安全な施設を実現するという意味で各工区の最大値を設計波とする。ただし2波群の実験を行っているので、各波群中の最大値一つずつの計2個の平均値を採用する。

以上により、各工区の設計波を表-7のとおり設定した。なお、II工区は10年確率波でL.W.L.時の波高がH.W.L.時より明らかに小さかったが、水深が十分に深いことから安全側を考慮してH.W.L.と同じ波高とした。

表-7 三次元実験による設計波の提案 (単位:m)

沖波 波向	波 浪 条 件	場 所	諸 元	潮 位	I-a	I-ab	I-b	II
ESE	50 年 確 率 波	法線 上	$H_{1/3}$	H.W.L.	11.0	12.0	13.3	11.3
				L.W.L.	10.4	11.4	12.5	11.4
		60m 沖	$H_{1/3}$	H.W.L.	12.0	13.5	13.0	11.4
				L.W.L.	11.3	12.8	12.2	11.4
			H_{max}	H.W.L.	19.5	23.5	23.3	20.7
				L.W.L.	19.7	20.9	18.7	20.2
	10 年 確 率 波	法線 上	$H_{1/3}$	H.W.L.	9.8	10.8	12.3	9.7
				L.W.L.	9.3	10.2	11.4	9.7
		60m 沖	$H_{1/3}$	H.W.L.	9.9	11.7	11.7	9.8
				L.W.L.	9.3	10.7	10.7	9.8
			H_{max}	H.W.L.	17.1	19.1	21.3	18.1
				L.W.L.	17.6	18.3	18.3	18.1

4. おわりに

北沖防波堤の計画されている箇所は、海底地形が非常に複雑であることから、三次元水理模型実験を実施した。これにより、通常のエネルギー平衡方程式による波浪変形計算では求めることが難しい碎波による波高の減少や、逆に反射、回折や浅瀬部の影響による波高の増大等を確認することができた。

なお、本論文の執筆にあたっては、宮崎県土木部北部港湾事務所発注の調査を元に結果の一部を活用させていただいた。本実験の遂行にあたり、宮崎県土木部北部港湾事務所の関係各位をはじめ、種々の面からお世話になった方々に心から感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 田中良實: [増補改訂] 港湾構造物の耐波設計, 鹿島出版会, pp.17-22, 1990.