

環境共生型防波堤の開発

與那嶺和史¹・川原弘靖¹

¹ 沖縄総合事務局 開発建設部 港湾計画課 (〒900-0006 沖縄県那覇市おもろまち2-1-1)

那覇港浦添第一防波堤の北側延伸区間を、サンゴ着生促進に配慮した「環境共生型防波堤」として整備するために、整備が先行する200mを試験施工区間として位置づけ、本検討ではこの区間に適用する防波堤構造を検討した。サンゴ着生の環境共生機能に関する要素技術の事例収集を行い、当該防波堤に適する技術を選定し、それらを採用した標準断面を設定した。標準断面において消波ブロック及び被覆ブロックの安定性が課題となるため、これらの安定性を水理模型実験で検証した。本検討により、複数の環境共生機能の要素技術を取り入れることにより、従来型防波堤よりもサンゴ着生面積を増やすことが期待できる防波堤構造を決定した。

キーワード 環境共生型防波堤、港内側嵩上げマウンド、タイドプール、通水孔、消波ブロック凹凸配置、モニタリング計画

1. はじめに

近年、社会資本整備において環境への配慮が特に強く求められており、今後の港湾整備においても、これまでに以上に周辺環境に配慮した整備手法が求められている。

このような背景の中で、那覇港浦添第一防波堤の北側延伸区間(図-1 参照)においては、本来の防波堤機能にサンゴ着生促進機能を付加した「環境共生型防波堤」として整備することとなり、その開発を進めている。北側延伸区間の全整備延長3,110mのうち、先行する200mを試験施工区間と位置づけて構造を検討し、環境共生型防波堤を開発してきた。本検討では、環境共生型の新たな構造を検討するとともに、施工後のモニタリング計画を策定することを目的とした。

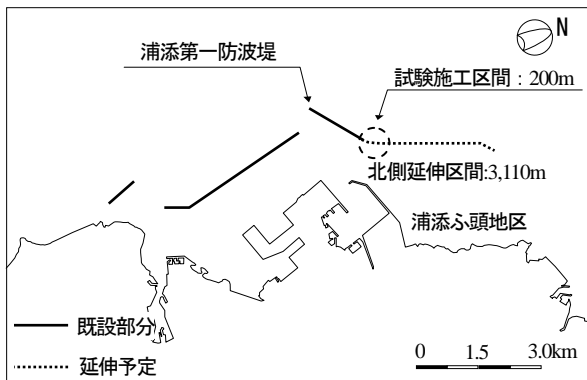


図-1 検討対象施設の位置図(那覇港)

2. 環境共生要素技術の検討

サンゴの生息や成長に影響を及ぼす環境条件としては、水質(水温、塩分、光量、濁り、栄養塩類等)、物理環境(流れ等)、生息基盤(形状、生息面積等)、生物によるインパクト(オニヒトデによる捕食等)などがある。これらの条件の違いにより、サンゴ群集の発達や回復状況が異なると言われている。

環境共生要素技術は、これらの環境条件を可能な範囲で制御することにより、サンゴの生息・成長を促進しようとするものである。本検討では、主に沖縄総合事務局で開発してきた要素技術を従来型の上部斜面堤に適用し、環境共生型防波堤にすることとした。

環境共生機能の要素技術の適用箇所のイメージを図-2に示す。

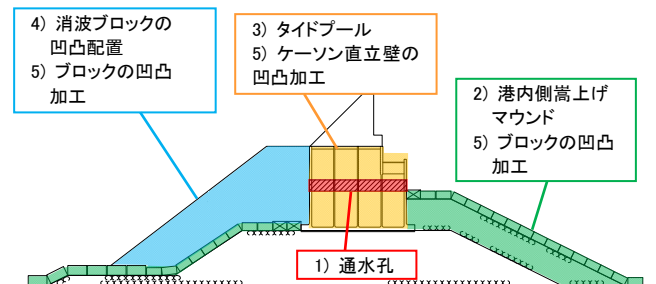


図-2 要素技術の適用箇所のイメージ

環境共生機能要素技術の設定根拠を以下に示す。

(1) 通水孔

防波堤の本体工に通水孔を設けて港外側から港内側への海水流入を促進させ、サンゴの生息環境の改善やサンゴ幼生の流入を期待する。施工性等を考慮して孔の幅を1mとし、通水可能なことを水理模型実験で確認した。

(2) 港内側嵩上げマウンド

従来、サンゴの生息に適した光量がほとんど得られなかった港内側のマウンドを嵩上げし、サンゴの着生・成長を促進する。浦添第一防波堤の既設部分で調査したサンゴ被度（単位面積に占めるサンゴ面積の割合）と水深の関係を分析し、D.L.-7m 以浅であれば効果的にサンゴの着生・成長を促すことができると判断した。

(3) タイドプール

宮古島で設置されたタイドプール状の構造物にサンゴが高被度で生息していた事例¹⁾を参考に、底面天端高がD.L.+0.5m 前後、水深0.6m のタイドプールを設けることとした。タイドプールを設けることにより、干潮時にもサンゴが生息可能な場が創出できる。

(4) 消波工の凹凸配置

サンゴの生息面積をできるだけ増大させるために、消波工の法面が平面的に凹凸形状を成すように消波ブロックを配置する。

(5) ブロック・ケーソン直立壁の凹凸加工

サンゴの着生促進を目的とした研究事例²⁾等に基づき、サンゴの着生と成長に効果的な5～10mm の凹凸加工を消波ブロック・根固ブロック・被覆ブロックおよびケーソン直立壁面に施すこととした。

3. 要素技術を取り入れた基本設計

(1) 港外側マウンドの形状について

港外側のマウンドの形状は、当該管内の既往の水理模型実験の結果を参考に、図-3 に示すように消波ブロックの法先部に小段を設けた形状とする。これは、消波ブロックの安定性と被覆ブロックの安定性を向上させるための手法である。

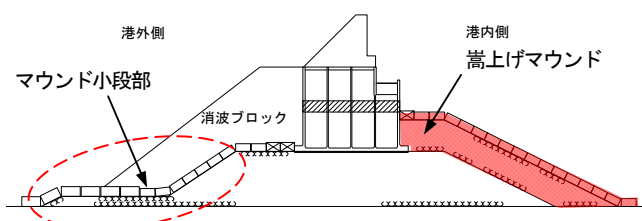


図-3 港外側マウンドと港内側嵩上げマウンドの形状

(2) 嵩上マウンドについて

基盤の高さがD.L.-3m 以浅で高被度となっているが、水深が浅いと防波堤を越波した水塊によってサンゴが飛散すること、嵩上マウンド被覆材の所要質量増加により不経済となることが想定される。そこで、嵩上マウンドの天端高はD.L.-5m とD.L.-7m を設定した。

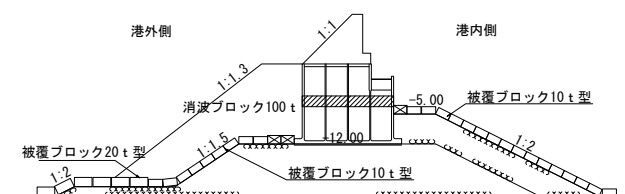
技術基準³⁾を適用すると、嵩上マウンドは滑動抵抗として堤体の安定性向上に寄与する。滑動抵抗として考慮するためには、補強体の高さは直立部の高さの1/3 以上、上幅は高さと同様以上とする必要がある。嵩上げマウンドの天端高D.L.-5.0m はこの条件を満たすが、嵩上げマウンドの天端高D.L.-7.0m はこの条件を満たさないため、滑動抵抗力として考慮することは出来ない。

(3) 消波ブロックおよび被覆ブロックの設定

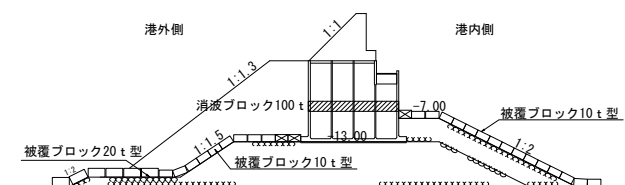
消波ブロックおよび被覆ブロックの所要質量は、消波ブロックおよび港外側の消波工下の被覆ブロックは安定数Ns によるハドソン式で、港外側の消波工下の被覆ブロックおよび港内側の被覆ブロックについては港外側被覆ブロックの1/2 質量を満足するものとして算定した。ここで、消波ブロックは経済的な大型無筋ブロックの100t 型、港外側被覆ブロックは当該防波堤で実績のあるブロックの20 t 型、消波工下の被覆ブロックおよび港内側被覆ブロックは10 t 型とした。

(4) 経済性の追求

消波ブロック被覆上部斜面堤の採用により、一般的な矩形状の消波ブロック被覆堤に比べ消波ブロックの数量を減らすこと、斜面状の上部工に作用する水平波力を低減するとともに、作用する波力の一部を鉛直下向きの波力として取り込むことで滑動安定上有利になり、堤体幅を小さくすること、により経済的な断面とした。さらに最も経済的となるマウンド水深を検討し、嵩上マウンドD.L.-5.0m の断面はD.L.-12.0m、嵩上マウンドD.L.-7.0m の断面はD.L.-13.0m とした。



(1) 嵩上マウンド D.L. -5.0m



(2) 嵩上マウンド D.L. -7.0m

図-4 標準断面図

(5) 標準断面および平面配置の設定

標準断面図および平面配置を図-4、図-5に示す。ここで、要素技術の通水孔の設置水深については、嵩上マウンドの天端水深に合わせてD.L.-5.0mおよびD.L.-7.0mと設定した。

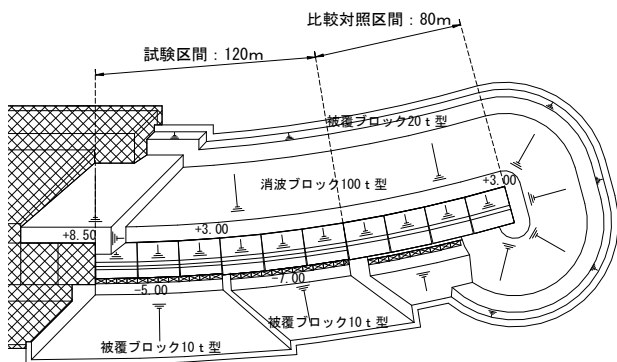


図-5 試験施工区間の平面配置

4. 消波・被覆ブロックの安定性の検証

那覇港で使用実績がない大型無筋ブロックの安定性と、港外側被覆ブロックの1/2とした港内側嵩上げマウンドの被覆ブロックの安定性を検証するために、水理模型実験を実施した。また、環境共生機能をより高めるための消波ブロックによる凹凸配置についても安定性を検証した。

水理模型実験は、長さ50m、幅1.0m、高さ1.5mの2次元水路で模型縮尺1/47.5で実施した。潮位はH.W.L.とL.W.L.の2種類とし、波高は5段階に徐々に大きくして、最後に設計波高を作用させた。

(1) 消波ブロックの安定性

ハドソン式に基づいて決定した規格で、大型無筋の消波ブロック2種類を用いて、ブロック安定実験を実施した。消波ブロックの被災度は表-1に示すとおりで、許容被災度の0.3以下を満足している。

表-1 消波ブロックの安定実験結果

ブロック規格	ブロックA 100t型		ブロックB 120t型	
	H.W.L.	L.W.L.	H.W.L.	L.W.L.
被災度 N_0	0.04	0.00	0.05	0.00
許容被災度	0.3			
判定	OK	OK	OK	OK

(2) 被覆ブロック（消波ブロック外）の安定性

港外側被覆ブロック（消波ブロック外）は、表-2に示すように、ブロック規格20t型で許容被害率1%以下を満足することを確認した。

表-2 港外側被覆ブロックの安定実験結果

ブロック規格	20t型	
潮位	H.W.L.	L.W.L.
被害率 D (%)	0.68	0.00
許容被害率(%)	1.0	
判定	OK	OK

(3) 被覆ブロック（港内側）の安定性

港内側嵩上げマウンド上の被覆ブロックについては、2種類の嵩上げ高について、ブロックの安定性を確認した。基本設計で決定したブロック規格10t型によるブロック安定実験結果は表-3に示すとおりで、嵩上げ高D.L.-7.0mは許容被害率1.0%以下を満足したが、嵩上げ高D.L.-5.0mは許容被害率1.0%を超えた。

被覆ブロックが安定しなかった嵩上げ高D.L.-5.0mについては、安定性向上策として被覆ブロックの大型化と図-6に示すようなブロックの配列方法の工夫による検討を実施した。その結果、30t型の横横縦横配列を採用すると、嵩上げ高D.L.-5.0mでも安定することを確認した。以上のように、港内側嵩上げマウンドの被覆材は、被覆材天端高D.L.-7.0mと-5.0mで安定限界の被覆ブロックの規格が異なることを確認した。

表-3 港内側被覆ブロックの安定実験結果

嵩上げ高	-7.0m		-5.0m			
ブロック規格	10t 型		20t 型		30t 型	
ブロック配列	縦置き			横置き		横横縦横
被害率(%)	0.25	13.08	6.80	2.81	1.47	0.00
許容被害率(%)	1.0					
判定	OK	Out	Out	Out	Out	OK

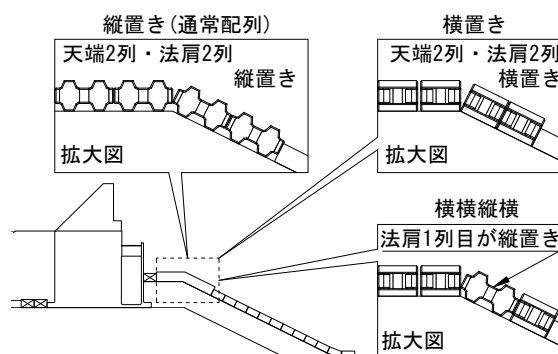


図-6 港内嵩上げマウンド上の被覆ブロックの配列法

(4) 消波ブロックの凹凸配置の安定性

環境共生機能をより高めるための消波ブロック凹凸配置における、消波ブロックの被災度は表-4に示すとおりである。実験結果より、H.W.L.では凸長さを15.2m（ブロックAの2個並びの2倍の長さ）まで長くしても許容

被災度 0.3 以下を満足したが、L.W.L.では安定性が不足した。L.W.L.で消波ブロックの安定性が不足した要因は、消波工凸部端部の法先ブロックの移動であった。凸部の法先端部が隣り合う凸部の法先と重なるように、凸部を配置すると、消波ブロックによる凹凸配置を行っても消波ブロックの安定性を確保できる見込みである。

表-4 港外側消波ブロック凹凸配置の安定実験結果

ブロック規格	ブロック A 100t 型		
凸長さ(m)	7.6	15.2	
潮位	H.W.L.		L.W.L.
被災度 N_0	0.00	0.29	0.57
許容被災度	0.3		
判定	OK	OK	OUT

5. モニタリング計画

下記を目的として、試験施工区間200m（試験区間120m、比較対象区間80m）のモニタリング計画を立案した。

- ・比較対象区間との比較により、試験区間に適用した環境共生型防波堤の機能の発現状況を検証・評価する。
- ・各要素技術の問題点と課題を抽出して、北側延伸区間の環境共生型防波堤にフィードバックする。

(1) 評価指標および目標

a) 構造物全体

環境共生型防波堤の目的は、サンゴの着生・成長を促進することである。したがって、構造物全体の機能を評価する代表的な指標を「サンゴ面積」とした。

次に、防波堤の既設部でのサンゴ被度の実績を用いて、図-4で示した断面の場合に期待される防波堤単位延長当りのサンゴ面積を求め、計画延長に乗じて目標とした。

b) 要素技術別

要素技術の個別評価については、那覇港にて実績のあるものについては定量的な目標を、実績の無いものについては定性的な目標を設定した。

例えば、ブロックの凹凸加工の場合、導入後7～8年程度でサンゴの被度が60%程度となることを目標とした。実績の無い消波ブロックによる凹凸配置については、生物の多様性の向上などが期待されるため、面的かつ広範囲に調査したサンゴや魚類の種類数を対照区である通常の消波ブロック法面と比較し、対照区よりも生物の種類数が増えることなどを目標とした。

(2) 調査方法

調査方法については、手法の統一性や調査結果の汎用性を考慮して、基本的に沖縄の港湾におけるサンゴ礁調査の手引き⁴⁾に基づいて設定した。

(3) 調査期間

本検討では、那覇港の防波堤における生物相の遷移が

安定する期間が6～8年間であること⁵⁾を踏まえて「8年間」調査を行うことを提案した。スケジュールとしては、0年目に初期状態を把握し、4年目に中間評価、8年目に最終的な評価を行うこととした。

6. まとめ

本検討の成果は以下のとおりである。

- 1) 防波堤本来の機能にサンゴ着生促進機能を付加した環境共生型防波堤を開発した。試験施工区間に採用する環境共生技術は以下のとおりである。
①通水孔、②港内側嵩上げマウンド、③タイドプール
④ブロック及びケーソン壁の凹凸加工
- 2) 那覇港で使用実績のない大型無筋ブロックが安定となることを、水理模型実験で確認した。また、港内側嵩上げマウンドの被覆ブロックの規格を決定した。
- 3) 消波ブロックによる凹凸配置を行っても消波ブロックの安定性を確保できる結果を得たが、施工性及び経済性の観点から、試験施工区間には採用しない。
- 4) 環境共生機能の要素技術の内容を考慮して、モニタリング計画を策定した。

7. 展望

将来は、試験施工区間で設定した目標の達成状況をモニタリングで検証し、北側延伸区間の事業化に向けた課題と対応策を検討する必要がある。

本取り組みの成果は、近い将来、新設あるいは老朽化に伴って改修されるサンゴ礁海域の港湾等構造物に環境配慮を施す際にも役立つと期待される。

参考文献

- 1) 安藤 亘, 石岡 昇, 岩村俊平, 三宅崇智, 宮地健司: サンゴ増殖礁の開発を目的としたタカセガイ中間育成礁による検証実験, 海洋開発論文集 Vol.24, pp.813-818, 2008.
- 2) 三宅光一, 甲斐広文, 宮里高広, 國吉啓太, 山本秀一, 田村圭一, 岩村俊平: 人工構造物の表面加工によるサンゴ群集着生促進効果の評価, 海岸工学論文集 Vol.53, pp.1106-1110, 2006.
- 3) 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, p.837, 2007.
- 4) 沖縄総合事務局開発建設部: 沖縄の港湾におけるサンゴ礁調査の手引き, 143p, 2007.
- 5) 国土交通省港湾局 監修: 順応的管理による海辺の自然再生, 294p, 2007.