

那覇港防波堤（那覇）堤頭部における新形式防波堤の開発

沖縄総合事務局 那覇港湾・空港整備事務所 濱川 充典

1. 開発の目的と特徴

那覇港那覇防波堤は、急速な経済発展を遂げつつあるアジア・太平洋地域において、国際コンテナ輸送の中継拠点としてアジアの十字路を目指す那覇港における船舶航行や港湾荷役の安全性を保証することを目的に整備が進められている。この防波堤は小型船舶への反射波の影響を抑えるため、延長900mのすべての区間で消波機能を有する必要がある。

そのため、既に建設が終了した860m区間は消波ブロック被覆混成堤形式および消波ブロック被覆上部斜面堤形式が採用され、現在では図-1に示す南側堤頭部40m区間を残すのみとなっている。

本防波堤の南側堤頭部は、高波浪海域への整備であるとともに、図-2、3に示すとおり、隣接する那覇空港の制限進入表面直下に位置しているという特異な条件を有している。

そのため、隣接工区で採用されている消波ブロック被覆上部斜面堤形式では、この制限進入表面下における作業空間内において消波ブロックの安全な据付が困難であるとともに波作用時における波の打ち上げが那覇空港を利用する航空機に与える影響が懸念された。

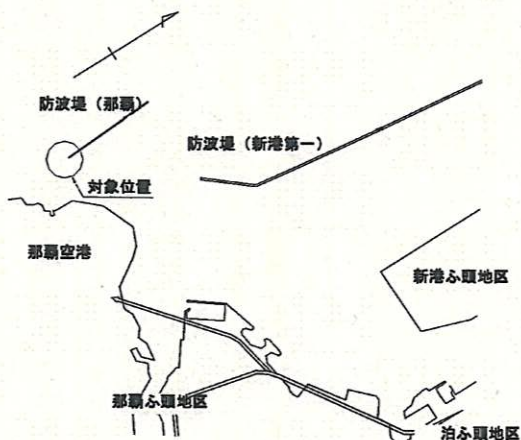


図-1 那覇港那覇防波堤位置図

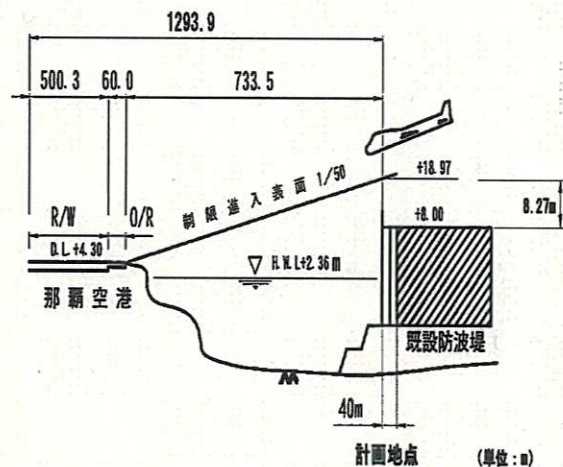


図-2 那覇空港制限進入表面

そこで、上記問題点に対応可能な新形式防波堤として、図-4に示す『斜面横スリット式上部斜面堤』を提案し、波の打ち上げ現象を水理模型実験により再現するとともに、主要部材の構造解析を実施し、水理的及び構造的な性能の確認を行った結果について報告する。



図-3 計画地点における航空機進入状況

2. 斜面横スリット式上部斜面堤の特徴

この新形式防波堤である斜面横スリット式上部斜面堤は次のような特徴を持つ。

2. 1、滑動抵抗力の増大

斜面スリットケーソンと同様、上部工およびスリット斜面が傾斜しており、作用波力の水平成分の減少および鉛直成分の増加より、滑動に対する抵抗力が増大する。

2. 2、消波ブロックを使用しない

直立スリットケーソンと同様、スリット開口部において消波する構造であるため、施工上の問題を有する消波ブロックを使用しない。

2. 3、打ち上げ高さの低減

波が斜面に作用することにより、打ち上げ方向が斜め後方へ卓越するため、通常の直立スリット堤に比べ、打ち上げ高さが低減される。

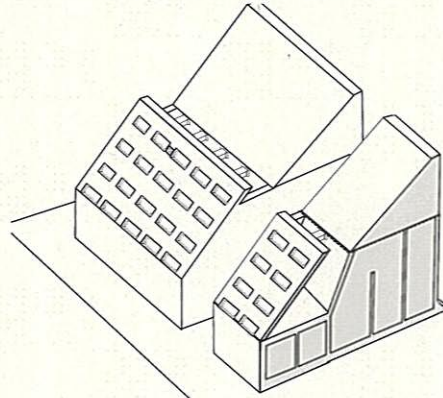


図-4 斜面横スリット式上部斜面堤イメージ図

3. 斜面横スリット式上部斜面堤の水理特性

3. 1、基本断面及び波圧分布

斜面横スリット式上部斜面堤基本断面を図-5に示す。堤体の安定計算に用いる波力は、関口らにより斜面スリット堤で提案された、直立スリット堤と上部斜面堤の波力算定式を組み合わせる式により算定を行う。

斜面スリット堤の設計で考慮する波圧は、押し波時で3種類、引き波時で3種類の合計6種類の位相について考え、ケーソンの安定上最も厳しくなるように設定する。

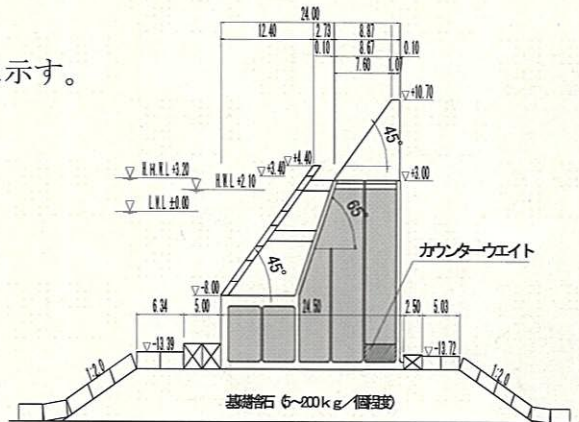


図-5 斜面横スリット式上部斜面堤の基本断面

押し波時における波圧分布を表-1に示す。

表-1 斜面スリットケーソン堤の波圧分布（押し波時）

押し波時Ⅰ： スリット部の波力が最大となる位相		
押し波時Ⅱa： 遊水室後壁に衝撃的な波力のピークが現れる位相		
押し波時Ⅱb： 遊水室後壁に比較的ゆるやかに変化する波力のピークが現れる位相		

3. 2、水理模型実験

水理模型実験は、長さ105m、幅3mの2次元造波水路を用いて行った。実験時の模型及び計測器の配置状況を図-6に示す。縮尺は1/50で、仮設床は2種類の斜面部（1/15勾配4.0m、1/100勾配37.5m）と一様水深部（6.0m以上）から構成される。斜面端部から0.3m離れた位置がのり先となるように砕石マウンド（0.14m厚）を作製し、その上に模型堤体を設置した。斜面横スリット式上部斜面堤の模型断面は図-7に示すとおりである。

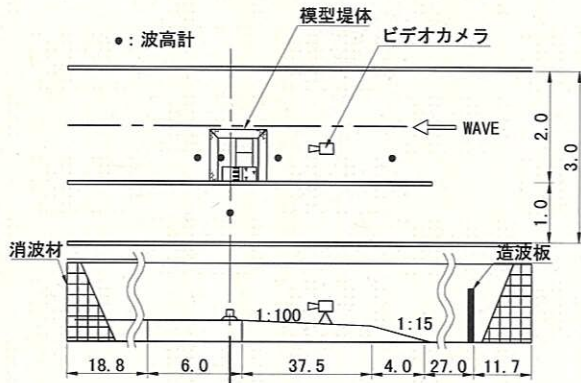


図-6 実験断面

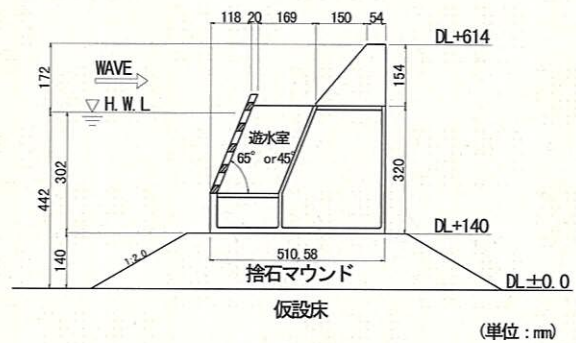


図-7 模型断面

3. 3、実験ケース

打ち上げ高さ測定時の波浪ケースは、表-2に示す3ケースであり、那覇港において最近5年間に観測された年最大実測波（ただし、台風により那覇空港が閉鎖された期間に観測された波を除く）に基づいて設定した。また、スリット角度ケースとして、前面スリット角度の効果を評価することを目的に、スリット角度65度の基本ケース以外にスリット角度を45度とした場合も対象とした。

表-2 波浪ケース

ケース	H (cm)	T (s)	波向	観測年度
1	14.0	1.4	45°	1997年
2	17.0	1.5	0°	1998年
3	14.0	1.2	67.5°	2000年



写真-1 打ち上げ高さ

3. 4、実験結果

実験においては、静水面から連続する水面の上昇量及び静水面から離脱する水塊の打ち上げ高さに着目し、それぞれについて上部工天端から最高到達までの距離を打ち上げ高さとして計測した。写真-1に計測の一例を示す。

実験結果より、スリット角度が45度の場合に打ち上げ高さは全てのケースにおいて許容値（16.5cm）以下となることが確認された。（図-8参照）

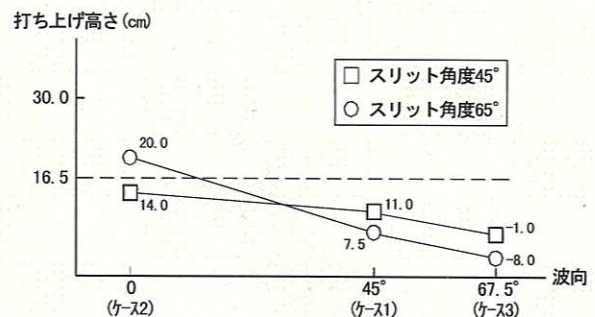


図-8 波向別スリット角度別打ち上げ高さ

4. 斜面横スリットケーソン式上部斜面堤の構造解析

4. 1、構造概要

斜面横スリット式上部斜面堤は、スリット部に立体ラーメン構造を採用しているとともに、スリットおよび遊水室後壁が斜角を有する構造のため、側壁が異型になる。

つまり、従来のケーソンに比べて特殊な構造形状を有していることになる。このため、構造設計においては、スリット部を図-9に示す三次元の立体フレームで、また、特殊形状の側壁・隔壁部材をシェル要素でモデル化し、二次元線形FEM解析を実施した。

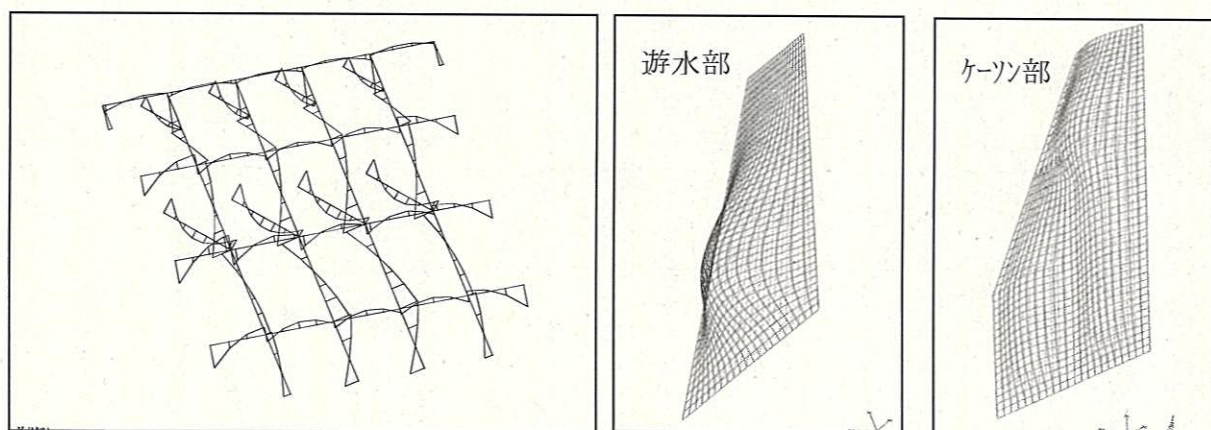


図-9 三次元立体フレーム解析結果(曲げモーメント)およびFEM解析結果(変形図)

4. 2、解析結果

スリット部材に三次元の立体フレーム解析を採用したことにより、各スリット部材を両端固定梁にモデル化する従来の設計手法に比べて、最大モーメントで約2割ほど小さくなることが確認された。同様に、遊水部およびケーソン部の異型側壁についても、従来の矩形版を対象とする計算数表を便宜的に用いた計算結果と比べて、最大モーメントで約半分になることが確認された。

これらの解析結果に基づき、図-10に示すスリット

部材およびその周辺の仮想梁部材には、鉄筋コンクリートに比べて耐荷性能に優れる鉄骨鉄筋コンクリートを採用することとした。

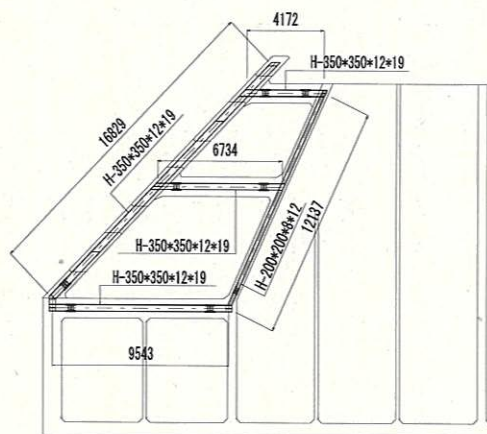


図-10 鉄骨鉄筋コンクリート採用位置

5. まとめ

空港制限表面直下という特異な条件において適用可能な新形式防波堤として斜面横スリット式上部斜面堤を抽出し、打ち上げ高さについて水理模型実験による検証を行った。その結果、本防波堤形式は打ち上げ高さの低減効果に優れ、設定した波浪条件において、打ち上げ高さ(水面値)を空港制限表面以下に抑えることが可能であることを確認した。

今後、現地計測による部材応力と設計応力の比較等を実施し、より合理的で安全な防波堤形式を実現するための検討を継続したいと考えている。