

熊本港における軟着堤の高度化に関する検討

Study of the Advanced Design Method of the Wide Footed Breakwater on Soft Bed in Kumamoto port

内田賢一*・山谷弘幸**

UCHIDA, Kenichi and YAMAYA, Hiroyuki

* (財) 沿岸開発技術研究センター 調査部 研究員

** (財) 沿岸開発技術研究センター 調査部 第一調査部長

This paper presents the comparative study of design method of the wide footed breakwater on soft bed in the Kumamoto port, and planning of experiment plan that proves it.

Key Words; Kumamoto Port, wide footed breakwater, soft ground, Broms, Vaughan, pile

1. はじめに

熊本港は、有明海に流入する白川と緑川に挟まれた熊飽海岸の地先で、人口島形式による物流港湾として建設されている重要港湾である。熊本港周辺海域は、港を建設するうえで全国的にも希な厳しい自然条件（超軟弱地盤〔層厚40m〕、潮位差〔4.5m〕）であるが、土木技術の発達によりこうした厳しい自然条件下でも港湾建設が可能となり、昭和49年4月に重要港湾の指定を受けて建設が始まった。

熊本港の防波堤（南）は、軟弱な未改良の地盤に直接堤体を据え付けるという我が国では初めての構造物で、この構造形式を軟着堤（軟弱地盤着定式防波堤）と呼んでいる。この軟着堤は、昭和62年度に工事着手され、現在まで10年余、図-1に示すとおり1900mの施工を行っており、この間に様々な課題も明らかになってきている。

このような背景のもと、昭和62年以降の10余年間を試験期間と考え、今後施工の予想される条件での諸問題、ならびにコスト縮減に対応しながら、より現地適用性が高い堤体の開発が求められている。

(財) 沿岸開発技術研究センターでは、国土交通省九州地方整備局下関港湾空港技術調査事務所より調査業務を受託し、より経済的な軟着堤の開発を目的とした検討を行ってきた。

本稿は、そのうち「平成13年度 軟着堤の高度化に関する検討調査 報告書」のうち新設計法およびその検証方法に関する検討成果を紹介したものである。

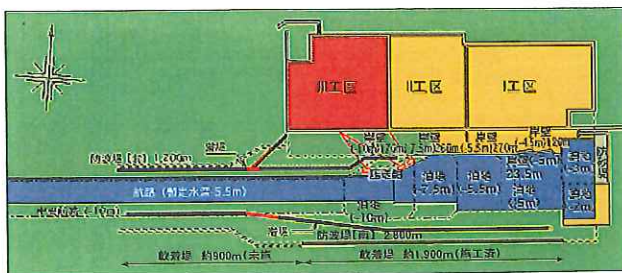


図-1 熊本港平面図

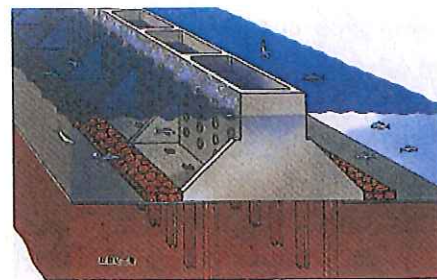


図-2 熊本港の軟着堤のイメージ図

2. 熊本港の軟着堤について

2.1 軟着堤の特徴

軟着堤は、図-2に示すように軟弱地盤上に重量の軽い堤体を直接設置し、堤体底面と粘性土表層との粘着力により水平外力に抵抗する構造物で、比較的波高が小さく、表層地盤がある程度の強度を持つ粘性土地盤上に適した防波堤である。

特徴としては地盤改良を必要としないため、軟弱地盤上の防波堤の建設費のコスト縮減及び工期の短縮が期待できることにある。

構造形式としては、図-3に示す滑動に対して底面のみで抵抗する「平型」と、図-4に示す地盤に打設された短い杭の横抵抗力で抵抗する「くし型」に大別される。熊本港では原地盤粘着力が小さく、「平型」とした場合の必要堤体幅が20m以上となり、「くし型」に比べて施工性・経済性に劣るため、逆π型の「くし型」が採用されている。本論文では、図-4示す熊本港で施工されている短い杭を用いた逆π型の「くし型」軟着堤について述べる。

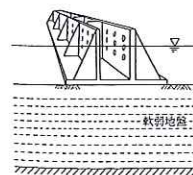


図-3 平型タイプ軟着堤

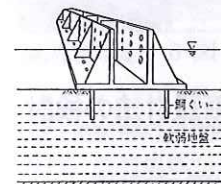


図-4 くし型タイプ軟着堤の一例

2.2 軟着堤の設置箇所

(1) 水深

軟着堤がこれまで設置されてきた箇所での現況水深は、図-5に示すとおり DL±0.0m~DL-2.0m 程度である。将来施工される箇所での水深は、沖合のため最大で DL-5.0m 程度まで深くなること分かる。

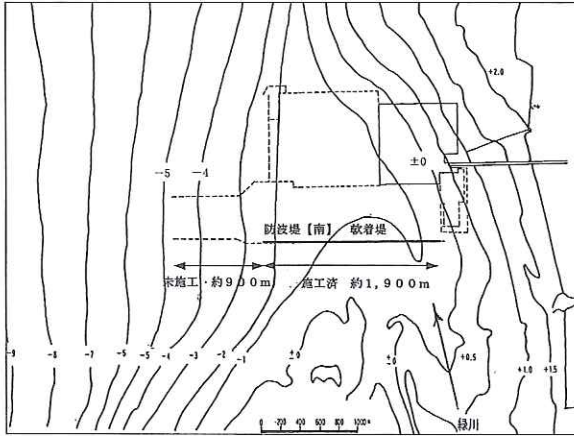


図-5 軟着堤設置個所の深浅図

(2) 有明粘土の土質特性

有明・不知火海沿岸域は、有明粘土と呼ばれる軟弱な粘土が広範囲に分布・堆積している。土質構成を図-6に示す。

- ① 粒度特性は、表層は比較的砂分が多く、深度方向に急激に減少している。湿潤密度は、約 $1.5\text{g}/\text{cm}^3$ 、土粒子密度は約 $2.6\sim 2.7\text{g}/\text{cm}^3$ である。自然含水比が液性限界を上回る場合が多く、鋭敏な状態にある。液性指数は、深度とともに直線的に減少する。
- ② 塑性図ではA線より下方に位置するデータが多く、工学的分類方法ではほとんどがMHに該当する。
- ③ 全深度にわたって正規圧密状態であり、せん断強度も深度にほぼ比例している。三軸圧縮強度およびベーンせん断強度の深度分布を図-7に示す。

標高	土質	N値
-2.0	砂質粘土	0
-8.0		
-40.1	シルト	0
-40.9		
	凝結シルト	50以上

図-6 土質構成

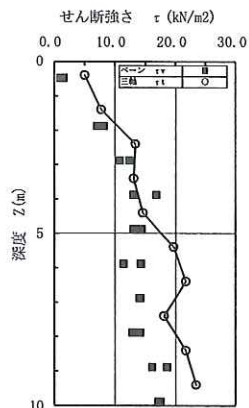


図-7 せん断強度の深度分布

熊本港で施工されている軟着堤の現行の設計フローは、図-8に示すとおりである。滑動に対しては「くし形」の杭を短い杭とし、Broms式による短杭の水平抵抗力の半分を滑動抵抗力と期待し、支持力に対しては、実験等によりVaughanの式で検証することとなっている。

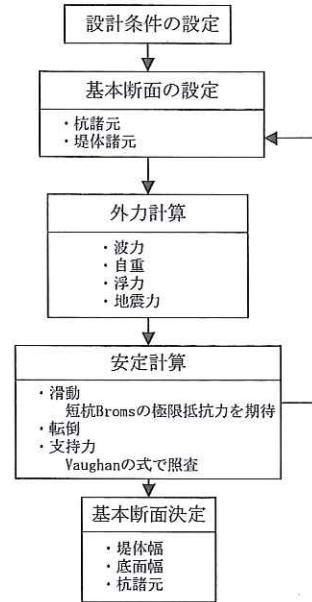


図-8 現行の軟着堤設計フロー

3.2 新設計法の検討

(1) 現行の設計法からの改良

検討にあたっては、水平抵抗メカニズムおよび鉛直支持メカニズムを主な着目点とし、現地適用性の向上を期待し、将来の設計条件下でも経済性を有する設計手法となるように考え、表-1に示すとおり、杭の設計手法および地盤支持力に対する設計手法を新設計法で見直すことと考えた。

また、より適用性を広くすることを目的に波浪による繰り返し荷重により生じる表層地盤の強度低下および杭と堤体結合部の実際の固定度〔剛結、ピン、その中間〕を設計に取り入れることも念頭に入れている。

表-1 新設計法の概要

着目点	現状	新設計法
水平抵抗メカニズム	短杭を想定 Broms式の極限抵抗力 杭本数の半分で抵抗	港研式を適用 全杭で抵抗
鉛直支持メカニズム	Vaughnの式で評価	Vaughnの式で評価 杭周面摩擦抵抗を期待
繰り返し荷重による地盤強度低下	考慮なし	考慮する
杭と底版の結合状態	剛結	実証試験により設定 (剛結・ピン・中間)

① 水平抵抗

変更点としては地盤と杭の計算に港研式を考え、杭根入れを長くすることができる点である。

また、水平力の杭への分担については、既往室内実験結果から杭の前後比が均等という知見も得られているが、過去の熊本港現地実験では大きな偏差があるとの結果もあるため、現行の設計法においては水平力に対し、杭はBroms式による抵抗力の半分で抵抗するものとなっている。新設計法では、この点を水平力に対して、すべての杭が均等に抵抗すると考えた。

② 鉛直抵抗

短杭を想定した現行の設計法では堤体の抵抗要素として、杭の周面摩擦力を考慮していないが、新設計法では根入れが長い杭を想定していることもあり、考慮すると考えた。

③ 繰り返し荷重による地盤強度の低下

図-9のように波浪により繰り返し作用する底面反力に起因する地盤表層の強度低下を考慮する。

④ 杭頭固定度

杭と底版の結合部については現行設計法では剛結合として設計を行っているが、新設計法では実証試験により挙動を把握し、新設計法へ反映させることとした。

4. 新設計法検証方法の検討

4.1 実験概要

新設計法の検証手法として図-9に示す単杭の水平載荷試験と図-10に示す実証試験堤の水平載荷試験を考え、実験計画の検討を行った。

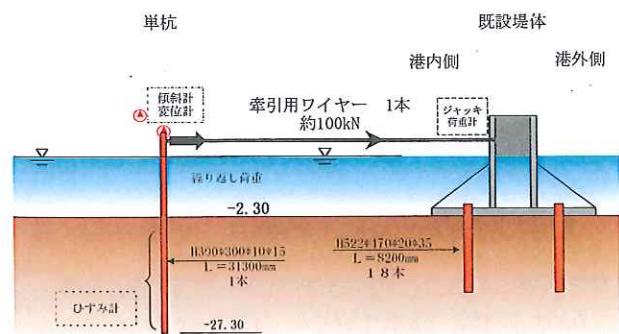


図-9 単杭の水平載荷試験の概要

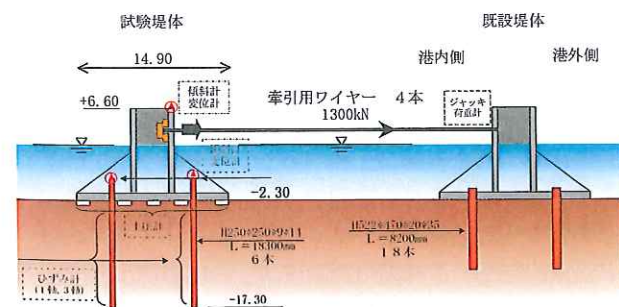


図-10 実証試験堤の水平載荷試験の概要

4.2 検証項目と計測項目

現地実証実験で新設計法を検証するために必要な計測項目は、単杭の水平載荷試験では表-3に示すとおり杭の曲げモーメント、せん断力、変位である。また、実験結果の分析を正確に行うために計測結果より水平方向の地盤反力係数を求めることとした。

表-3 単杭の水平載荷試験における検証項目

検証項目	計測項目	
	計測	計器
水平方向地盤反力係数	変位 杭の曲げモーメント分布 杭のせん断力分布	変位計 杭: ひずみゲージ
繰り返し荷重による影響 地盤強度の劣化	変位 杭の曲げモーメント分布 杭のせん断力分布	杭: ひずみゲージ

また、実証試験堤の水平載荷試験に必要な計測項目は、表-4に示すとおり杭の曲げモーメント、せん断力、軸力分布、変位、底面反力分布である。

表-4 実証試験堤の水平載荷試験における検証項目

検証項目	計測項目	
	計測	計器
水平抵抗メカニズム 港研式の適用性 杭への荷重分担	変位 杭の曲げモーメント分布 杭のせん断力分布	変位計 杭: ひずみゲージ
鉛直支持メカニズム 杭の周面摩擦力	杭の軸力分布 堤体の底面反力	杭: 3軸ひずみゲージ 底版: 土圧計
杭と底版の結合状態 杭頭の固定度	杭頭の傾斜 堤体の傾斜	杭: 傾斜計 堤体: 傾斜計

4.3 実験方法

(1) 実証試験堤

実証試験堤の設置場所は、将来施行予定海域近傍と設定した。また、実証試験堤は、試験後に南防波堤延伸部分に転用し、防波堤本体としても利用する計画となっている。そのため、転用される箇所的设计条件に対しても、現行設計法で満足する断面形状とした。

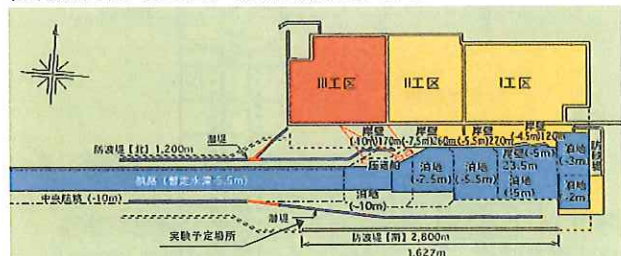


図-11 実験予定場所

実証試験堤は、既設堤体と平行に約20m離れた箇所に設置するよう計画した。堤体の延長は、既設堤体から載荷する荷重の制限、牽引する機材の制限より実堤体の延

長の1/3である。図-12に平成14年7月現在の製作された実証試験堤を図-13に既設堤体の写真を示す。

また、実証試験堤体の水平載荷試験の計画を図-15に示す。



図-12 実証試験堤



図-13 既設堤体

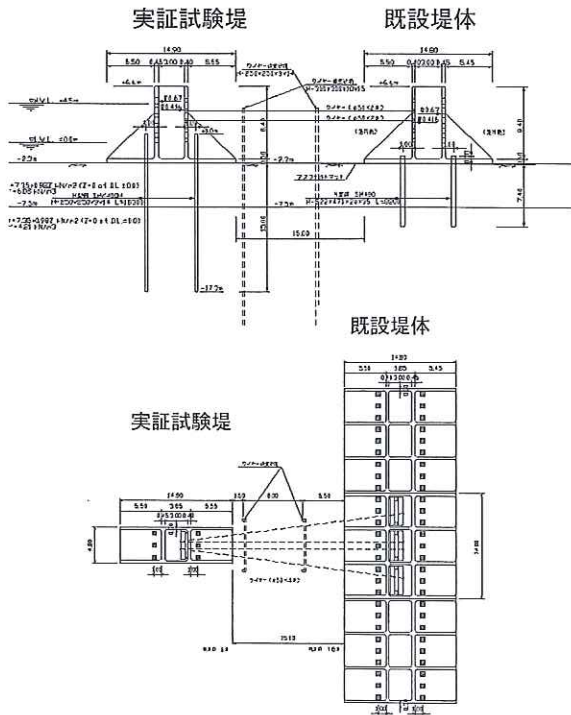


図-14 実証堤体の水平載荷試験の計画

5. おわりに

平成14年8月頃に熊本港においてここで紹介した現地実証実験が行われる予定となっている。引き続き国土交通省九州地方整備局からの受託調査として(財)沿岸開発技術研究センターでは、現地実証実験結果を踏まえ軟着堤の新設計法の確立を目的に検討を行っていく予定となっている。

謝辞

本検討は、「軟着堤の高度化に関する検討委員会(委員長:善 功 企 九州大学大学院工学研究院教授)」が設置され、関係者各位にご助言及びご指導をいただいている。ここに記して厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) (財)沿岸開発技術研究センター：新形式防波堤技術マニュアル, 240p., 1994.