

投稿論文 (和文報告)

**TECHNICAL
REPORT**

軟弱な干潟における港湾の建設

渡邊具能*・小笹博昭**・吉永清人***・
岩崎峯夫****

熊本港のある有明海は、40 mにも及ぶ軟弱地盤層、4.5 mに達する大潮位差、1/1000という超緩海底勾配、さらに周囲には壮大な海苔漁場が広がる干潟海域である。熊本港は、このように港湾を建設するには厳しい自然条件を自然との共生という形で克服し、第1期工事終了後、平成5年3月にフェリー就航を迎えた。建設にあたっては、「軟弱地盤着底式防波堤」「航路埋没防止潜堤」「高濃度空気圧送工法」といった新技術、新工法の開発、導入が行われた。

Key Words : Kumamoto Port, soft ground dike, waterway submerged dike, high-density air-compressed transport

1. はじめに

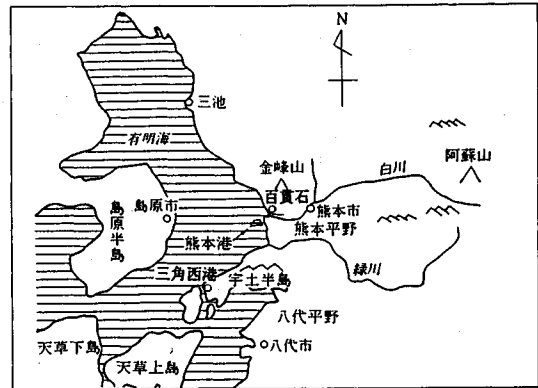
熊本港は有明海に流入する白川、緑川の河口にはさまれた熊飽海岸に人工島形式で計画された港湾である。この海岸はわが国でも特異な干潟海域にあり、有明粘土と呼ばれる超軟弱粘土が層厚約40 mにもわたって堆積しているほか、4 mを超える大潮位差、周辺に広がる壮大な海苔漁場など、港湾建設のためには他に例のない厳しい自然条件である。このようななかで、背後の熊本都市圏の発展を願って新技術、新工法を開発し、それを駆使しながら平成4年のフェリーバースの供用を目指して鋭意工事を推進している。

本稿は、熊本港の建設にあたって、運輸省第四港湾建設局を中心に開発してきた①軟弱地盤においても地盤改良を必要としない新形式の防波堤である「軟弱地盤着底式防波堤」、②シルト質海域における航路埋没防止対策施設としての「航路潜堤」、③埋立処分地の容量が確保でき、余水による海域汚染のない浚渫土砂の運搬工法である「高濃度空気圧送工法」の概要を紹介するものである。

2. 熊本港の計画と自然条件

(1) 熊本港計画の経緯

熊本港建設は明治13年に熊本県が坪井川河口の百貫石に港湾の建設を計画し、内務省に請願したことにはじまる。内務省から派遣されたオランダ人の水理工士ムドルは熊本県が計画した百貫石を実地検分したが、百貫石は坪井川河口部にあって南には干潟が形成されていることから、当時の土木技術では大きな船が入り出できる港



図—1 熊本港位置図

を建設する地としては不適當と判断し、やむなく、天然の良港である三角港（重要港湾：三角西港）を適地として選定した。三角西港は明治17年に着工、20年に竣工している。しかし、三角西港は背後地が狭く、また、熊本都市圏から40 kmも離れていることもあって、今後の大きな発展が望めないことから、昭和41年より再び熊本港の建設が計画された。三角西港竣工以来100年余りの歳月を経て、港湾建設技術の着実な実績の積み重ねと、それをもとにした近年の様々な技術開発により熊本港の建設が実現することになった。

(2) 熊本港の計画

熊本港は図—1に示すように九州の中央部に位置する熊本平野に開けた熊本市の地先にある。熊本平野の東部および北部の地域は肥後台地と称される洪積台地で、主として白川の造った古い扇状地である。この台地の西端に熊本県の経済・文化の中心である人口約63万人を有し、緑と水に恵まれた熊本市がある。熊本港は、熊本市の中心から約14 kmの位置にあり、阿蘇に源を発する白川と九州山地を源とする緑川の間にはさまれた海岸に計画されたものである。

* 前運輸省第四港湾建設局長

(〒70 山口県下関市竹崎町4丁目6-1)

** 前運輸省第四港湾建設局 下関調査設計事務所長

*** 運輸省第四港湾建設局 熊本港工事事務所長

**** 前運輸省第四港湾建設局 下関機械整備事務所長

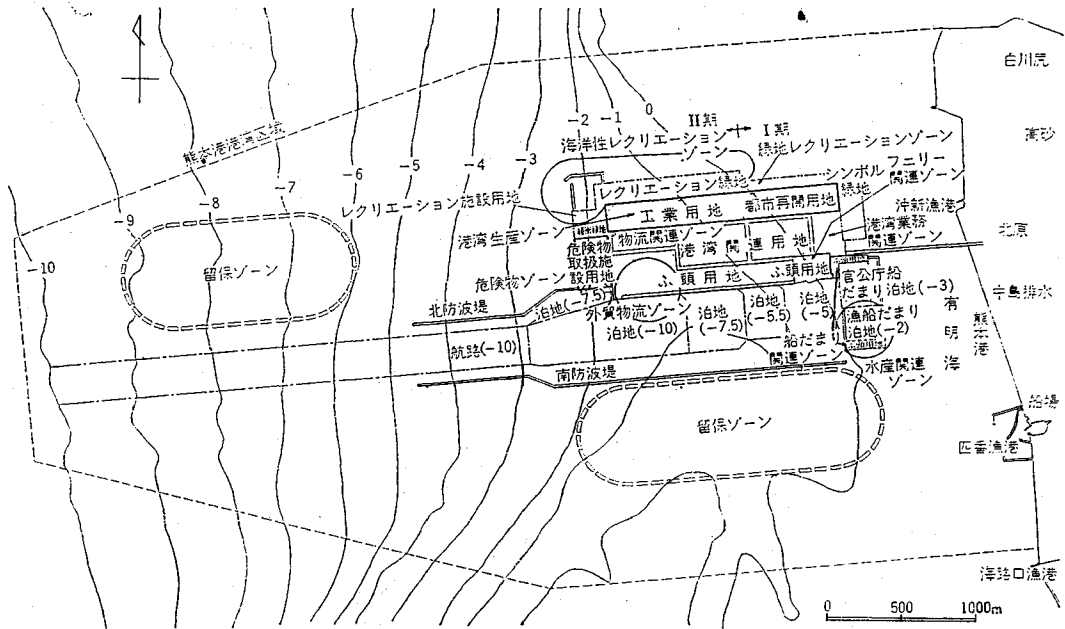


図-2 熊本港港湾計画図

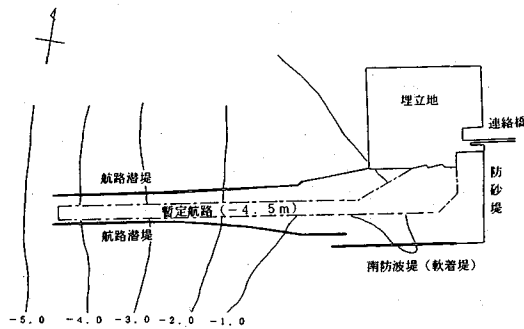
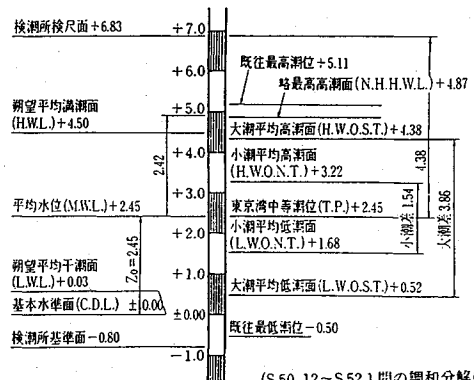


図-3 熊本港暫定供用時平面図(平成4年)

熊本港港湾計画は昭和49年1月に運輸大臣に承認され、同年4月には重要港湾に指定されている。この当初計画に基づいて昭和54年の連絡橋工事への着手以来、物揚場(-3m)、埋立護岸、フェリー岸壁などの工事が進められたが、昭和62年11月にその後の産業構造の転換などの社会情勢の変化を考慮し、現在の港湾計画に改訂された。現港湾計画を図-2に示す。

熊本港は、

- ①県内唯一のコンテナ岸壁を有する熊本都市圏の流通拠点
- ②マリナー、人工海浜、緑地など、熊本都市圏唯一の海洋性レクリエーション基地
- ③高速艇、フェリーなどの海上交通の拠点
- ④熊本中心市街地の補完的機能を果たす広大な都市機能用地
- ⑤LNGを中心とする熊本都市圏のエネルギー供給基



(S 50.12~S 52.1間の調和分解による)

図-4 熊本港潮位

地

として位置づけられている。現在は、図-3に示す第一期部分の完成を目指しており、平成4年のフェリーバス供用(-4.5m)に向け鋭意整備を進めている。

(3) 自然条件

熊本港が建設されている有明海は、島原半島、宇土半島、さらには天草の島々によって囲まれた内湾であり、対岸距離も短く(最大はSW方向の45km)、また外海からのうねりの進入についても地形的に影響は少なく、有義波高0.4m~1.0m、周期3~4secであり、比較的穏やかな海域である。

図-4に朝夕の調和分解の結果と基本水準面などを示す。熊本港は潮位差(H.W.LとL.W.Lの差)が約4.5mもあり、わが国でも有数の大潮位差海域であ

表一 熊本港の地層の概要

地層名	土質名	記号	層厚(m)	N 値の範囲						層相
				10	20	30	40	50	60	
沖積層	上部 シルト質砂	.....	0.05~1.50							海底面に薄く砂質シルトと互層状に堆積、沖に行くにともない消滅する。全体に貝殻片混入。
	有明粘土	=====	37.10~39.20							貝殻片腐食片を混入した軟弱粘土層で、上層は砂分が多く下層になるにともない少なくなる。
上部 洪積層	腐食土	|||||	0.30~1.20							黒色を呈する硬い粘性土で、有機物含有量が多く比重の小さい土。全体に硬質。
	微細砂 ~ 細砂	.....	0.20~2.20							火山灰質土でシルト分混入多し(硬粘土層と互層をなす)1~3層を形成する中位の締まりの層
	硬粘土	=====	0.50~5.80							一部固結土状を呈す。微細砂~細砂との互層を成し1~3層より成る。
	シルト質砂	.....	0.35~1.40							全体にシルト分を多く混入し全域にわたって堆積。中位の締まりの層。
	砂礫	.....	(4.80)							礫層で密な締まりを示しわずかながら沖方向へ傾斜している。地下水を多く含む層。
中部 洪積層	軽石混砂	o.....	5.5m以上							N値>4.0と密な締まりの層で軽石の混入の少ない火山灰質土。

る。表一に熊本港建設海域の地層構成の概要を示す。海底下には40mにもおよぶ有明粘土と呼ばれる軟弱土層が存在している。さらに熊本港は、全国一の規模を誇る有明海の干潟の中心に位置しており、海岸線より約1000m沖の地盤高が±0mと非常に緩やかな勾配となっている。

以上のように、熊本港建設海域は閉鎖性内湾の特異な自然条件であるため、工事の施工計画、熊本港整備の全体計画の立案において特別慎重な配慮が必要なほか、特異な自然条件にあわせた独自の新技術、新工法の開発、利用が必要不可欠である。地盤改良を必要としない軟弱地盤着底式防波堤、航路埋没防止対策としての潜堤、浚渫土の高濃度空気圧送工法など、わが国で初めての技術を開発・実用化しながら熊本港の整備が進められている。

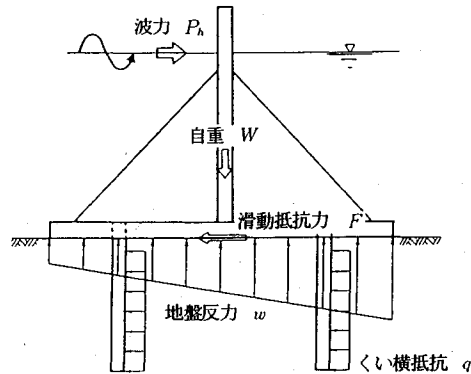
3. 新技術・新工法の開発とその実用化

(1) 軟弱地盤着底式防波堤

熊本港のような軟弱な地盤に従来形式の重力式防波堤を建設するためには、事前に本格的な地盤改良を必要とし、建設工事費が膨大なものとなり、また建設工期の長期化は避けられない。さらに地盤改良に伴い撤去する底泥の土捨て場の確保、環境対策への慎重な対応も必要となってくる。

このため、地盤改良を必要としない経済的な構造の防波堤の開発が必要不可欠な課題であった。熊本港の地域特性によく適合した軟弱地盤に直接設置する新しい構造の防波堤、軟弱地盤着底式防波堤(以下「軟着堤」という。)を開発し、実用化に成功した。

軟着堤の基本原則を図一5に示す。軟着堤は防波堤に働く水平波力に対し、堤体底版と粘性土層との付着力及



図一5 軟着堤の基本原則

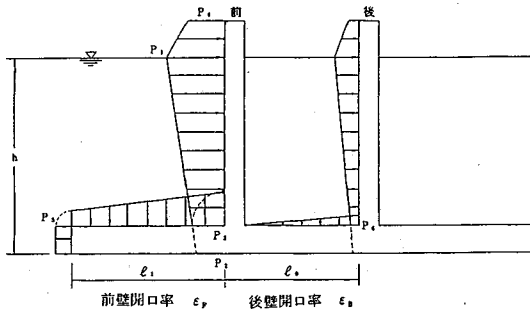
び底版から打設された杭による横抵抗によって安定性を確保するものであり、この構造の採用により堤体の重量を大幅に軽減できる。このため軟弱地盤においても地盤改良を行う必要がない画期的な構造となっている。

軟着堤の設計法の確立および実用化のための各課題の解明に向けて、昭和58年度より調査を開始している。波浪の作用に対しては水理模型実験を実施し、構造体の安定性および地盤特性については遠心載荷実験と静的・動的な室内実験を実施した。さらに、昭和60年度から63年度まで現地実証試験を実施し、実用性を確認している。

a) 調査・検討結果^{1)~4)}

① 水理特性

軟着堤は従来型の防波堤と違い粘性土地盤上に直接据え付けられ、また広い底版を有するため、堤体に作用する波圧分布、越波・伝達特性などを把握する必要がある。このため、水理模型実験により逆T型の上部構造を有するタイプについて基本的な特性を把握したのち、熊本港



前壁：合田波圧 × (1 - ε_f)
 後壁：合田波圧 × 0.15 × (1 - ε_b)

P1 ~ P4 は合田式で算定

$$P5 = P3 \times \cos\left(\frac{2\pi \ell_0}{L}\right) \quad L: \text{波長(底版上水深における)}$$

$$P6 = 0.15 \times P3$$

ただし、0.15は実験結果より決まる定数

図-6 波力の考え方(押し波時)

で採用した孔あきの二重壁からなる遊水室を有する逆π型の透過堤についての実験を行った。

逆T型軟着堤の場合、合田式に近い波圧分布を示し、底版に働く波圧については底版前端に向かい小さくなるが、越波については堤体幅が狭く、通常用いられる矩形の防波堤タイプに比べて大きくなるのがわかった。一方、逆π型の透過型軟着堤の場合、合田式に対して遊水室幅、前後壁の開口率、開口部の形状、および天端高の関数として波圧低減率を考慮すれば水平波圧分布を表現できることがわかった。図-6に押し波時の波力の考え方を示す。

② 地盤の支持力

粘性土地盤の支持力評価のために遠心載荷試験および現地載荷試験を実施した。これらの結果と各支持力式の比較を図-7に示す。熊本港建設海域のように正規圧密に近い地盤の支持力評価には、Vaughan 他⁵⁾の適用性がよい。

③ 滑動抵抗力

図-8に現地水平載荷試験による曲げひずみの鉛直分布と杭頭を固定した場合のBromsの極限抵抗の力の式で表される反力が作用した場合の曲げひずみ分布を示す。ここでBromsの式⁶⁾による理論値は、表層から-4mまでの一軸圧縮強度の平均値により求めた。これより、約190t 載荷された極限状態における後杭の横抵抗力はBromsの式がよく適合することが分かった。また、堤体に配置した2列の短杭のうち前列側(港外侧)の杭には引抜き力が作用するため、設計においては安全上、後列杭の抵抗だけを期待することとした。さらに、堤体底面と地盤との付着力については、通常の状態においては底面付着力は期待できるが、極限状態においては堤体

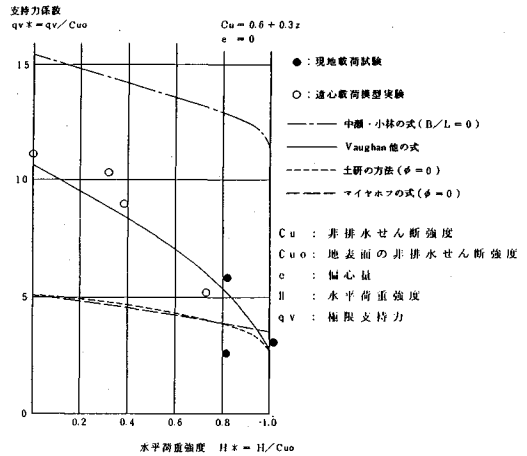


図-7 各支持力公式と実験結果の比較

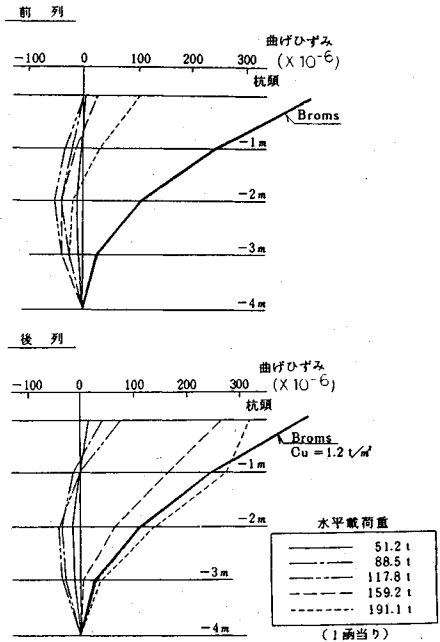


図-8 杭曲げひずみの鉛直分布

が傾斜し、付着力ではなく主に杭により抵抗していると考えられるため、設計上は見込まないこととした。

④ 繰返し載荷試験

波浪の繰返し載荷による堤体底面の粘性土地盤の強度低下を調べるため、繰返し三軸試験(周期5秒)と静的三軸試験(ひずみ速度1%/min)を行った。図-9はこれら2種類の三軸試験における強度比と繰返し三軸試験での発生両振幅ひずみの関係を示したものである。これより、強度低下率とひずみはほぼ直線関係にあり、両振幅軸ひずみが10%で強度比が0.7であるため、繰返し載荷による強度低下として3割程度見込む必要があることがわかった。

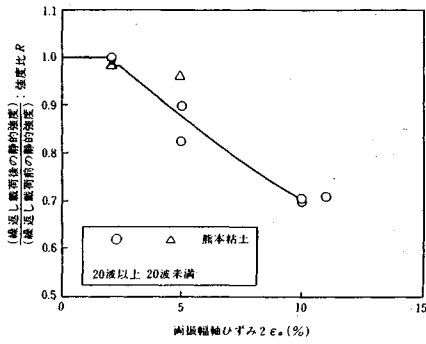


図-9 強度比 R と発生両振幅軸ひずみの関係

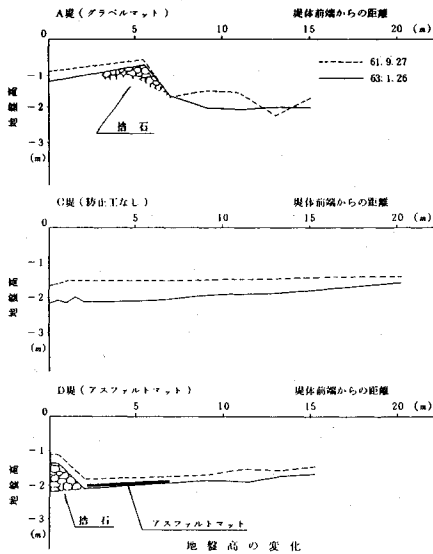


図-10 洗掘防止工の実験結果

	前面波(完成時)
波高	$H/3=2.12\text{m}$
周期	$T/3=5.44\text{s}$
波向	$\beta=0$
滑動	-
転倒	$1.2 < 1.87$
支持力	$2.329 < 2.376\text{ t/m}^2$

諸元	
$L \times B \times H$	$15.0 \times 10.6 \times 6.2\text{m}$
体積	177.7m^3
重量	435.4t

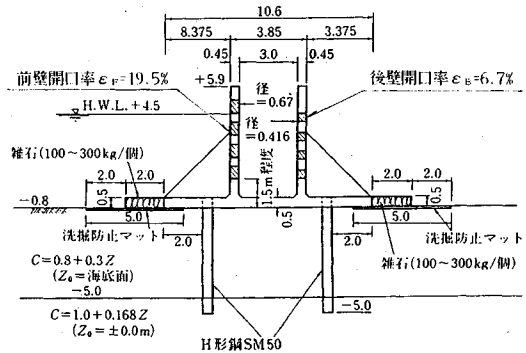


図-11 軟着堤の基本設計断面

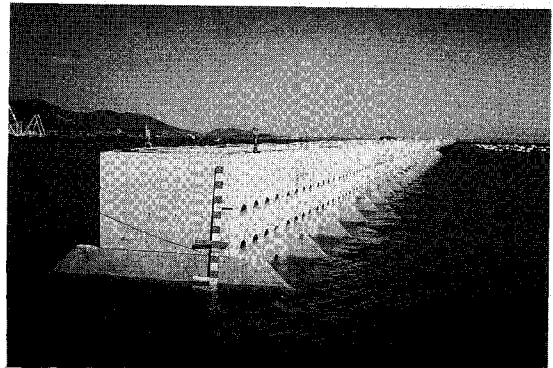


写真-1 熊本港に設置された軟着堤(南防波堤)

⑤ 洗掘防止工の検討

軟着堤に動く揚圧力防止のため洗掘対策は非常に重要である。このため、グラベルマット、アスファルトマットの敷設による対策を考え、対策工なしの場合と地盤高の変位の比較の現地試験を行った。図-10に結果を示す。アスファルトマットの場合に洗掘量が小さく、また地盤形状も安定していることから本工事においてはアスファルトマットを採用している。

b) 設計・施工

以上の検討により設計した熊本港南防波堤(軟着堤)の基本設計断面を図-11に示す。洗掘防止工としてはアスファルトマットを前面に敷き、マットの安定のための荷重として石籠を堤体基部に据付けることとした。なお、H型杭は通常使用されているものに比べて断面係数が大きく、また石籠についても防食のために亜鉛メッキを施した特殊なものを採用している。

軟着堤の施工は昭和62年度から開始され、昭和62年度に10函の製作・据付、昭和63年度に47函の製作、

平成2年度に47函の据え付けを完了し、平成3年度現在までに57函、延長約858mが完成している。

また、経済性については、地盤改良を要する従来型の重力式防波堤と比較して、1/5~1/7と大幅に工費が削減されている。

さらに、今後予想される、より地盤条件の悪い工事に対応するため、平成2年度には底版から打設された杭を長くするとともに剛性を低くした長杭式軟着堤の現地静的水平載荷試験および繰り返し載荷試験等を実施している。長杭式軟着堤は、水平外力に対して前後2列の杭が均一に抵抗し、底版の傾斜が小さくなることなどより安定した抵抗特性を示した。また、繰り返し荷重が作用することにより杭周辺および堤体直下の地盤が劣化することなどが確認された⁷⁾。

(2) 航路潜堤

熊本港周辺海域にはシルト及び粘土質の軟弱な底質が広範囲にわたって分布しており、その底質が波や流れによって運ばれ航路や泊地に堆積するシルテーションがお

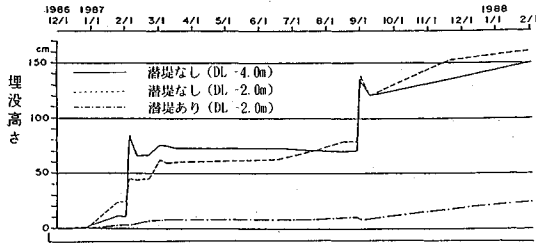


図-12 ポケット浚渫地中央部での埋没量の経時変化

こり、この結果、船舶の航行や岸壁への船舶の離着岸に支障をもたらすことが懸念された。そこで昭和60年度より、軟弱地盤海域におけるシルテーション防止対策工法の開発を行ってきた。

a) ポケット浚渫地での観測

昭和62～63年度において熊本港海域に3つのポケットを浚渫(幅30m×長さ50m×深さ2m)し、埋没状況の観測を行った。図-12に観測結果を示す。潜堤で囲んでいないポケット浚渫地が1年間で150cm程度埋没したのに対して、高さ1mの潜堤で囲んだポケット浚渫地は、荒天時でも特に顕著な埋没は見られなかった。このことより、潜堤の設置がシルテーション防止のうえで非常に効果的であることが確認された。

b) シルテーションの予測

① 埋没量予測シミュレーションモデルの開発

潜堤の設置によるシルテーション防止効果を予測するため、数値シミュレーションプログラムを開発し、潜堤の効果的な配置について検討した。シミュレーションの実行に際しては、底泥の物理特性に係る室内実験及びポケット浚渫地における現地観測等より得られた埋没現象に対する知見にもとづき行った。開発したモデルは港研モデルと四建モデルの2モデルであり、その概要は次の通りである。

<四建モデル>

浚渫地の埋没を底層に沿うSS高濃度層の密度流的な流動によるものとしてとらえ、海底近傍の浮泥層濃度を一定濃度に固定し、浮泥量の増減を層厚の増減として表す2層レイヤーモデル。

<港研モデル>⁹⁾

3次元の流動計算と浮泥の移流拡散計算を連立させた7層レベルモデル。

② 潜堤の最適配置の検討¹⁰⁾

熊本港の平成4年度暫定供用時における航路・泊地に対して最も効果的な潜堤の配置を検討するため、潜堤の配置及び高さを図-13に示すように4種類設定し、潜堤を設置しない場合とあわせて四建モデル及び港研モデルにより埋没量の予測計算を行った。波浪・潮位は1987年8月31日の時化とした。四建モデルは図-12に示す荒天時における潜堤の埋没防止効果を明瞭に表す計

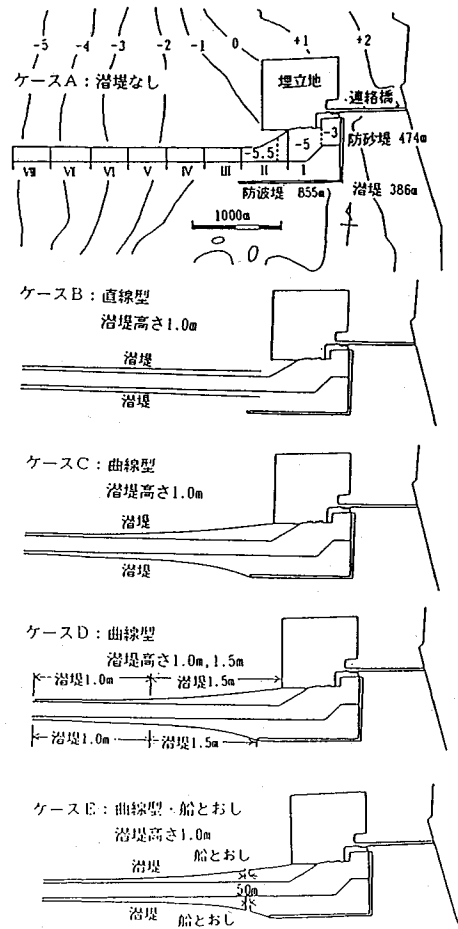


図-13 計算ケース

算モデルであることから、潜堤の配置の差があらわれる四建モデルの計算結果を図-14、表-2に示す。2層レイヤーの層厚は、図-12に示す現地実験結果でのキャリブレーションにより決定している。また、計算は潜堤、航路付近のメッシュを細かくしたネスティドグリッドを用いた。潜堤を設置することにより、どのケースにおいても埋没量は潜堤がない場合の1/4～1/13と大幅に削減されている。最も埋没量の少ないケースは、引き潮時に浮泥を強制的に沖へと押し流すフラッシュ効果を期待した曲線型で、さらに、水深が浅く浮泥の流動が激しい岸側の潜堤高さを1.0mから1.5mにかき上げたケースDである。以上より、潜堤の基本的配置は浮泥の流入を効果的に防止し、流入した浮泥も効果的に排出できるケースDとした。

c) 潜堤の航路埋没防止効果に関する現地実証試験⁹⁾

これまでの調査結果に基づき、熊本港においては水深4.5m、幅100mの航路の両側約1,000mに潜堤を設置し(潜堤の配置を図-3に示す。潜堤は平成3年7月に設置終了)、航路・泊地の浚渫を行ってきた。潜堤

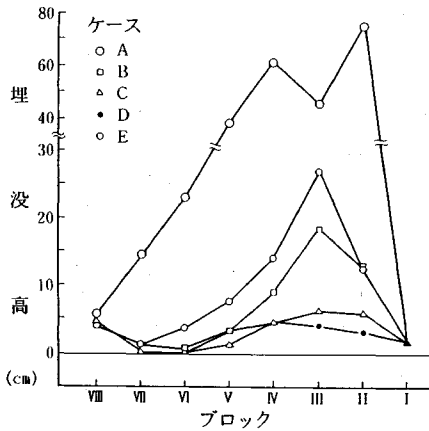
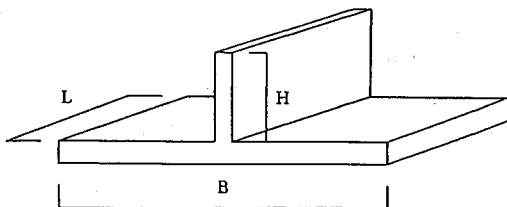


図-14 ブロック別埋没高さ

表-2 潜堤の配置と埋没量

ケース	潜堤形状	潜堤高 (m)	総埋没量 (m ³)
A	なし	—	19.6
B	直線型	1.0	3.9
C	曲線型	1.0	1.9
D	曲線型	1.0, 1.5	1.5
E	曲線型 船とおし	1.0	5.1



L (m)	B (m)	H (m)
4.5 ~7.0	4.0 ~9.0	1.0 ~1.5

図-15 潜堤ブロック

の構造は経済性、施工性を勘案し、図-15に示す逆T型のコンクリートブロック構造とし、各ブロック間の隙間には通常目地材として用いられる目地版により不透過とした。潜堤は、潜堤が不透過の構造を維持できる間は十分に機能を果たすと考えられる。現在設置している熊本港の潜堤は、現地実証試験ということもあり、10年間の仮設構造物として設計している。

実海域における潜堤の航路埋没防止効果を確認するため、平成3年度より流速計及び濁度計による浮泥の流動

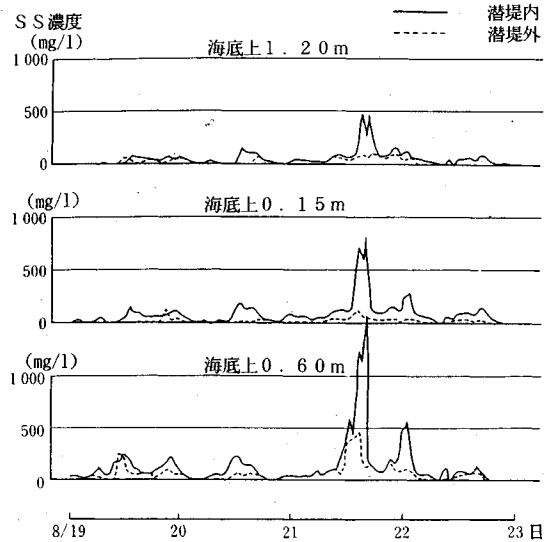


図-16 台風12号時のSS濃度の経時変化

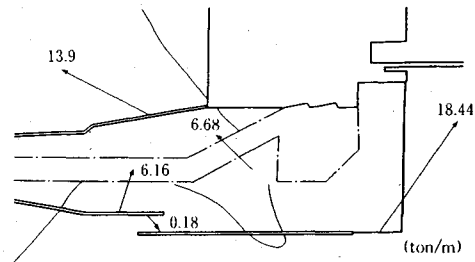


図-17 台風19号時の全SSフラックス

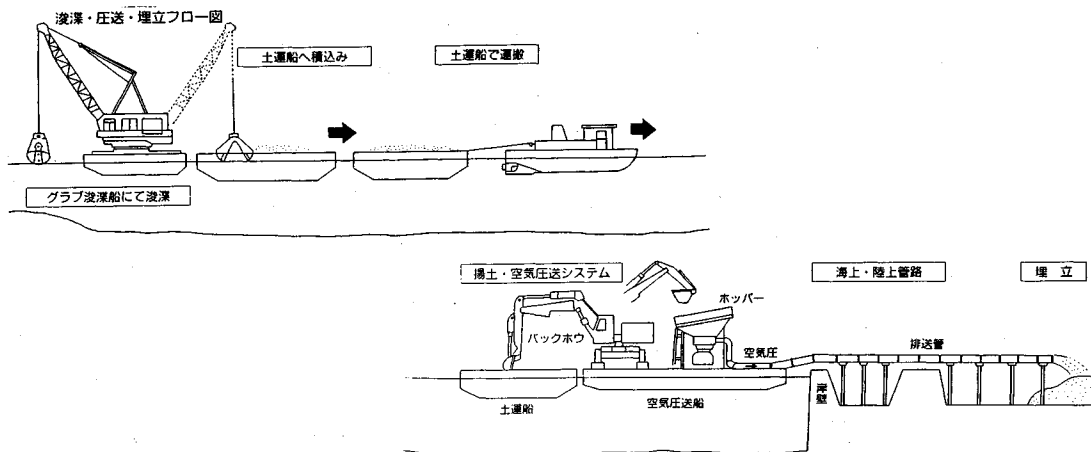
状況の計測、音響測深機及び埋没板による航路埋没量の計測、潜堤の安定性の観測等を実施している。平成3年度は、先行して浚渫が行われた岸側において、航路埋没に支配的であると考えられる荒天時の浮泥の流動状況と埋没量を観測している。

① 潜堤内・外におけるSS濃度の違い

平成3年8月に来襲した台風12号時 ($H_{1/3}=1.2\text{ m}$) に、-2 m 付近の南側潜堤近傍に流速計、濁度計を配置し、潜堤内・外における浮泥の流動状況を観測した。図-16にSS濃度経時変化を示す。8月21日に潜堤の外側で見られるSS濃度の鋭いピークは潜堤内では観測されず、約1/3の濃度となっており、潜堤により浮泥の流入を遮蔽していることがわかる。

② 荒天時における浮泥の流動状況

平成3年9月の台風19号時に浮泥の流入が予想される潜堤上、船どおしおよび潜堤内側に流速計、濁度計を配置し浮泥の流動状況を観測した。図-17に高濃度のSSが観測された期間におけるトータルのSSフラックスを示す。台風19号は12号と比較して勢力が非常に強かったため、潜堤上でも比較的高濃度のSSが計測され、



図一18 高濃度空気圧送工法の施工概要

また航路を横切るSSフラックスが観測された。このSSフラックスが航路部分にシルテーションを引き起こしていると考えられる。結果として、航路内に設置した埋没板で最大30cm程度の埋没が観測された。

また、潜堤は時化の後でも沈下、移動は観測されず安定している。なお、観測調査は平成5年度まで継続し、時化の規模と埋没量の関係を定量的に評価することとしている。

シルテーションによる航路埋没は、熊本港ばかりでなく熱帯モンスーンの東南アジア諸国の港湾で極めて深刻な問題となっており、熊本港の埋没防止対策技術の活用が大いに期待されている。

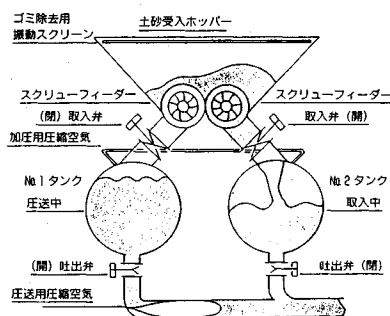
(3) 高濃度空気圧送工法

a) 高濃度空気圧送工法の開発

熊本港における浚渫・埋立にあたっては、以下に示す熊本港固有の諸条件を考慮する必要がある。

- 建設海域およびその周辺はわが国でも有数の海苔漁場であり、浚渫および埋立地からの余水による濁りに配慮する必要がある。
- 浚渫計画土量に対し処分場の受入容量に余裕が少ない。
- 埋立地の早期供用が望まれる社会条件が整っている。
- 浚渫・埋立及びそれともなう付帯工事全体の経済性が要求される。

従来の工法ではこれらの条件を満たさず、低い含水比の状態のまま排送できる新たな工法の開発が必要となった。このため、第四港湾建設局では昭和60年度より後に述べるスクリーフィーダー方式開発のための調査を開始し、昭和62、63年度には実験機による現地試験の実施により実海域における実用性を確認した。今回、熊本港で実用化した高濃度空気圧送工法は、この実験機を大型化し、ゴミ除去装置や施工管理計器をつけるなど高度にシステム化し、圧送船として実用化したものであ



図一19 圧送システム(タンク式)概念図

る。

本工法の特徴は、浚渫土に加水することなく、浚渫土をそのまま高濃度の状態で排送できるため、①余水の発生がなく、余水処理施設が不要なこと、②浚渫土の体積変化が小さく、埋立地の容量が小さくて済むこと、③埋立地の乾燥が早く早期利用が可能であることである。

b) 高濃度空気圧送工法の概要

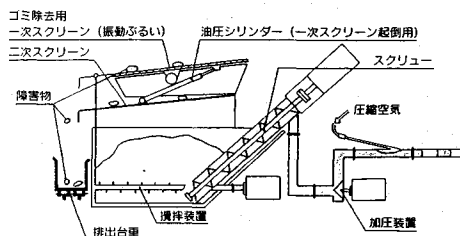
図一18に高濃度空気圧送工法の施工方法の概要を示す。まずGrab船で浚渫した土砂を土運船で岸壁前面に保留した空気圧送台船まで運搬する。次に、台船上のバックホーでホッパー内に揚土し、この土砂を配管を経由して空気の方で送泥するものである。

熊本港で実用化された空気圧送方式は基本的にはスクリーフィーダー方式(四建方式)とタンク方式に分類される。図一19にタンク方式の圧送システム概念図を示す。タンク方式は2個のタンクに軟泥土を入れ、それを交互に圧縮空気排送する工法である。これまでごく小規模のものについては湖沼やダムなどで実績があり、熊本港で実用化されたものはこれを大型化、システム化したものである。図一20にスクリーフィーダー方式の圧送システム概念図を示す。この方式の特徴はタンク方式が軟泥土をバッチ的に圧送するのに対し、連続的な

表—4 高濃度空気圧送工法による浚渫埋立工事実績

工 事 名	使用機械	土量 (NET)	公称能力	土 質	含 水 比 (吐出口平均)	管内径	圧送距離
熊本港 (本港地区) 航路 (-7.5m) 浚渫 試験工事	(タ)	8,743m ³	600m ³ /h	砂混り シルト	86.7%	340mm	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="font-size: 2em; margin-right: 5px;">{</div> <div style="margin-right: 5px;">300m</div> <div style="margin-right: 5px;">440m</div> <div style="margin-right: 5px;">630m</div> </div>
熊本港 (本港地区) 航路 (-7.5m) 浚渫 試験工事 (第2次)	(ス)	3,050m ³	200m ³ /h	砂混り シルト	87.7%	410mm		640m
熊本港改N第1-A 02工事	(タ)	107,630m ³	600m ³ /h	砂混り シルト	80~90%	350mm	600m
熊本港改N第1-A 03工事	(タ)	130,067m ³	600m ³ /h	砂混り シルト	80~90%	350mm	600m
熊本港 (本港地区) 泊地 (-5.5m) 外2件 浚渫工事	(ス)	162,849m ³	600m ³ /h	砂混り シルト	86.6%	710mm	340m
熊本港 (本港地区) 航路 (-7.5m) 外1件 浚渫工事	(ス)	135,858m ³	300m ³ /h ×2	粘土質 シルト	90.9%	300mm	360m
					91.3%	300mm	430m

注) タ.....タンク式 ス.....スクリーフイーダー方式



図—20 圧送システム (スクリーフ方式) 概念図

圧送が可能なことである。バックホーでホッパーに揚土された土砂はまずスクリーンにかけられ、ゴミなどの混在物を除去し、泥槽で攪拌したのちスクリーフイーダーで管路部に押し出される。次に、サンドポンプの加圧装置で配管に送られ、この入り口から注入される圧縮空気により軟泥土と空気部が交互になったプラグ流を形成しながら空气の膨張により移動し、吐出口から吐き出されるものである。空气注入ノズルより注入される空气圧は最大7 kgf/cm²であり、使用管径はφ300~φ350である。

c) 試験工事および施工実績

本工法の現場での適用性を確認するため平成2年末に熊本港で試験工事を実施した。その結果を表—3に示す。圧送時間当たりの土量は公称能力に対して平均で88~96%となっており、含水比は圧送前と比較し20%程度の増加にとどまり、吐出口で90%程度となっている。これは、機械的に必要となるシール水としての加水と、土運船内の上水を土砂とともにバックホウですくいホッ

表—3 試験工事結果の概要

船 名	公称能力	圧送土量 (平均)	圧送前 含水比	圧送後 含水比
タンク式	600 m ³ /h	532 m ³ /h	65.8%	86.7%
スクリーフ方式	200 m ³ /h	192 m ³ /h	64.4%	87.7%



写真—2 空気圧送船の施工状況

パーに揚土したためだと考えられる。

これまでの熊本港での施工実績 (平成3年10月現在) を表—4、施工中の状況を写真—2に示す。地山含水比約65%の砂混じりシルト (おおむね砂20%, シルト60%, 粘土20%) に対して、吐出口では含水比が80~90%

であり、施工効果は公称能力 (600 m³/h) に対して平均的には90%程度であり、当初の目標を達成している¹²⁾。

4. おわりに

熊本港は平成4年に1期工事が終了し、待望のフェリーが就航するが、平成5年度からは2期工事に着手する予定である。

熊本港の開発のために実用化された新技術の開発に向けて御指導をいただいた東京工業大学名誉教授中瀬明男氏ならびに九州大学教授入江功氏をはじめ港湾技術研究所の関係各位に深甚なる謝意を表する次第である。

参考文献

- 1) 木原力ら：軟弱地盤着底式防波堤の水理特性について，海岸工学論文集，第35巻，pp.631～635，1987.
- 2) 木原力ら：軟弱地盤着底式防波堤の開発について海岸工学論文集，第35巻，pp.742～746，1988.
- 3) 門司剛至ら：軟弱地盤着底式防波堤の開発について，海洋開発論文集，Vol.5，pp.103～107，1989.
- 4) 広瀬宗一ら：軟弱地盤着底式防波堤の設計と施工コンクリート工学，Vol.29，No.6，pp.35～45，1991.
- 5) Vaughan, P.R.et al. : Stability of Large Gravity Structures, BOSS'76, pp.467～487, 1976.
- 6) Broms, B.B. : Design of Laterally Loaded Piles : Proc. ASCE, Vol.91, No.SM3, pp.79～99, 1965.
- 7) H.Ozasa, S.Matamoto, I.Motono, S.Ose : Moundless Breakwater with Wide Footing on Soft Ground-Bending Type Pile-, Proc. Int. Conf. on Geotech. Eng. for Coastal Development, pp.725～730, 1991.
- 8) 小笹博昭ら：長杭式軟弱地盤着底式防波堤の開発について，土と基礎（投稿中）
- 9) 鶴谷広一・村上和男・入江功：Mathematical Modeling of Mud Transport in Ports with a Multi-layered Model-Application to Kumamoto Port, 港湾技術研究所報告，第29巻，第1号，pp.3～51，1990.
- 10) 小笹博昭ら：熊本港におけるシルテーション対策について，土木学会西部支部研究発表会講演概要集，pp.188～189，1991.
- 11) 小笹博昭ら：熊本港における航路埋没防止潜堤の実証試験について，第39回海岸工学講演会論文集（投稿中）.
- 12) 嶺泰宏：熊本港高濃度圧送工法による浚渫埋立工事，マリン・ボイス21，No.164，pp.35～44，1992. (1992.8.10 受付)

TECHNICAL DEVELOPMENT FOR CONSTRUCTION OF KUMAMOTO PORT

Tomoyoshi WATANABE, Hiroaki OZASA, Kiyoto YOSHINAGA
and Mineo IWASAKI

Kumamoto Port located on a tidal flat in Ariake Bay is being constructed under uniquely natural conditions ; 40 m soft ground layer, great tidal range of 4.5 m and mild slope of 1/1 000. To overcome technical difficulties, engineers have developed and introduced practical use, original technologies and methods such as : a new type of breakwater not requiring foundation improvement even on soft ground (Soft ground dike) ; the waterway submerged dike, a measure against waterway siltation ; and the high-density air-compressed transport process, a method of transporting dredged spoil pneumatically, thus reducing water content in the spoil and thereby preventing marine pollution.