

II—1

砂マウンド式混成堤実証実験について

北海道開発局室蘭開発建設部苫小牧港湾建設事務所

正員 中島 靖

”

佐々木秀郎

”

(現留萌開発建設部) 正員 渡辺 栄一

1. はじめに

近年、従来より水深の深い海域で防波堤が建設されるようになり、ケーソンの製作限界等から、高マウンドの構造になることが多くなっている。このため、防波堤全体の工費に占める基礎捨石マウンドの築造費の割合が高いものとなりつつある。

そこで、苫小牧港のように水路の掘り込みや、航路泊地の浚渫により良質の土砂を大量に入手できる港湾では、捨石の代わりに浚渫砂をマウンドの一部に活用できれば、建設費の低減並びに浚渫土砂の処分上メリットが大きいと考えられる。

しかしながら、この砂マウンド式混成堤の採用にあたっては、数多くの技術的課題があるため、苫小牧港湾建設事務所では昭和61年度より苫小牧東港の中防波堤建設計画位置に砂マウンドを造成、ケーソン2函を設置し、漂砂・洗掘状況の観測など現地実験を実施している。

本報告は、この砂マウンド式混成堤の施工及び調査の内容、結果など実証実験の概要を取りまとめたものである。

2. 開発課題と調査体系

砂マウンド式混成堤の実用化に向けて解決せねばならない課題は、大きく分類すると5つになった。1つは、設計時において、従来の捨石マウンドに比較し、長大な緩傾斜のマウンドとなるため堤体に衝撃砕波圧が生ずる恐れがあったこと。2番目は、砂を所定の断面に成形できるか否か、また、土砂投入時の汚濁を抑えられるかといった施工技术に関するもの。そして3番目は、施工されたマウンドの強度や沈下量に関するもの。4番目は最も重要な点であるが、施工後、波浪や流れによる漂砂・洗掘に対し砂マウンドがどの程度安定に保たれるかという点である。そして、最後の課題は地震時において、砂マウンドが液状化し、防波堤が大きく沈下しないかといった点である。

これらの課題解決のため、既存資料の収集・解析、水理模型実験、各種シミュレーション、追跡調査を総合的に実施してきているが、これらの全体フローを図-1に示す。

3. 設計・施工

[1] 設計概要

(1) 設計条件

実証実験の実施位置は、図-2に示すとおり、苫小牧東港中防波堤計画法線上の東側屈曲部近傍、水深 -16.2m

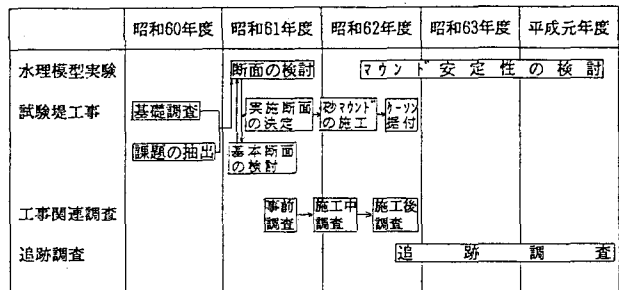


図-1 実証実験全体フロー

Field Experiment of the Composite Breakwater Constructed on Sand Mound

by Yasushi NAKAJIMA, Hideo SASAKI, Eiichi WATANABE

の地点である。設計波としては、実験堤ということで10年確率の波を用い、波向 $S10^{\circ} E$ 、 $H1/3=5.7m$ 、 $H_{max}=10.3m$ 、 $T=13s$ とした。

施工箇所の土質は、標高-24m~-28mまでの約4mが沖積粘性土層、-35m~-41mまでが洪積粘性土層であり、それ以外は、表層の一部を除いて良く締まった砂質土層であった。

砂マウンド材には、図-2に示す東航路-14.0mの浚渫土砂と陸上に数年間野積みされ、粒径の粗くなった浚渫土砂である-12.0m東岸壁の載荷盛土材を用いることとした。粒径の粗い載荷盛土材は、マウンド支持力の増強、洗掘防止のため、堤体下部から後方及びマウンド前面斜面の表層に投入することとした。これら砂マウンド材の平均粒度分布と粒径を表-1に示す。

(2)砂マウンド法勾配と基本断面

砂マウンド法勾配は、過去に底開式土運船で土砂投入を行ったときの実績を基に、主法面を1:15、法尻部を1:45と設定した。しかし、この断面に対し北海道開発局土木試験所（現開発土木研究所）において波圧に関する水理模型実験（2次元水路による規則波での実験）を行ったところ、通常の波圧の約3倍程度の衝撃砕波圧が生ずることが判明した。このため、上部工、捨石、砂マウンドの各天端高及び砂マウンド肩幅をパラメーターにとり同様の実験を行い、図-3に示す断面を実施断面とした。また、この波圧実験のほかに不規則波による洗掘実験、平面水槽による洗掘実験等も実施した。

〔2〕砂マウンドの施工概要

試験堤の施工は、昭和61年11月にマウンドの造成に着手し、昭和62年8月及び9月にケーソン設置、10月に全工程を終了した。ここでは、通常の混成堤の場合と異なる砂マウンドの施工方法について紹介する。

(1)土砂投入

土砂投入は、測量船に設置した電波測位機により、土運船の位置が計画位置となるように定規台船の位置を決定してから、底開式土運船で行った。投入終了後、投入位置高さを音響測深機により測定し、設置高さまで投入を続行した。また、当日の作業終了後、投入区域付近の深浅測量を行い、堆積形状を求め、翌日の投入計画を策定した。

(2)マウンド砂均し

砂マウンドの出来形精度は、天端面については±30cm以内、法面については±50cm以下とした。基本的には、土運船の積込量と深浅測量による堆積状況管理により、許容誤差範囲内に入るよう投入を行ったが、大

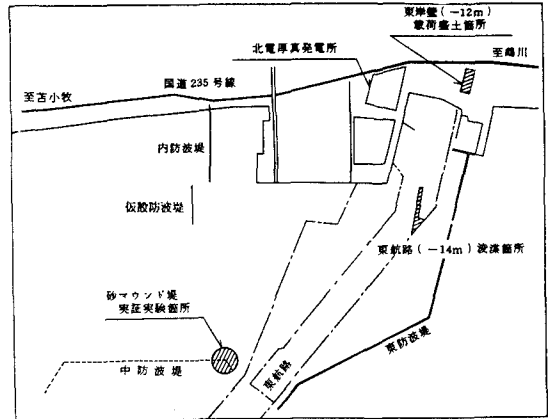


図-2 実証実験位置（苫小牧東港）

表-1 砂マウンド材料

材 料	粒 度 組 成 (%)				平均粒径	平均 N 値
	レキ	土 砂	シルト	粘 土		
浚渫材	12.9	61.6	12.6	12.9	0.6mm	14.7
盛土材	42.9	52.2		4.9	1.6mm	7.5

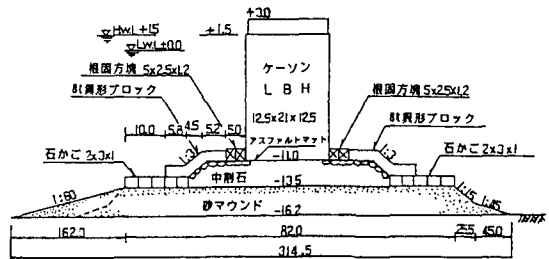


図-3 実証実験断面図

小の凹凸があり出来形精度を満足できない部分については、起重機船によりバケット、ブレードを用いたほか、観測機器を設置した近傍はエアリフトを用いて潜水土により砂均しを行った。

[3] 施工法に関する調査

(1) 土砂堆積形状調査

1回の投入による土砂の堆積形状を把握するため、第1～10投目までについて1投ごとに深淺測量を実施するとともに、各土運船ごとに試料採取を行い粒度・比重試験を行った。その後、深淺測量については土砂投入約3万 m^3 ごと、粒度・比重試験については約5千 m^3 ごとに実施した。

この結果、投入位置と最大堆積地点には多少のずれがあるものの、ほぼ計画通り堆積させることが可能であることが判明した。また、流速が10cm/s程度以下であれば、土砂の落下速度が大きいため、堆積形状にはあまり影響しないこと、最大堆積厚、堆積範囲は投入土量、水深、粒度の影響を大きく受けることが判った。

また、土運船からの投入土砂の堆積過程を再現し、堆積形状を予測するためにMAC(Marker and Cell)法を用い、その計算値と深淺測量による実測値を比較して再現性を検討したところ、同方法が土砂投入計画作成の有力な手段となり得ることがわかった。

(2) 水質関連調査

土砂投入時における汚濁発生原単位及びその拡散状況を把握するために、濁度測定、流況測定を実施した。また、汚濁防止フェンスの効果についても確認することとした。

この結果、汚濁拡散は下層に集中すること、汚濁防止フェンスによる汚濁拡散防止効果が高いこと、汚濁は投入直後においても100m地点に達しており、流速に比べ初期拡散速度がかなり大きいこと等が判明した。

4. 各種調査

[1] 沈下及び砂マウンド強度に関する調査

(1) 沈下量測定

砂マウンド式混成堤の設置による原地盤の沈下量及び捨石、ケーソン設置による砂マウンドの圧縮量を測定するため、砂マウンド築造時に原地盤及び砂マウンド上面の計8点に沈下板を設置し、継続的に観測を行った。また、ケーソン設置後は捨石の圧縮量を把握するため、ケーソン天端高の水準測量も実施している。

その結果、原地盤及び砂マウンド上面の沈下板は、ケーソン等を乗せる前の9ヶ月間に数mm～100mm程度ゆっくり沈下し、ケーソン等を乗せた直後に急激に沈下した。その後は、1ヶ月に1mm～2mm程度とほとんど沈下していない。また、ケーソン上部工の測定においても西側ケーソンが東側に比べ若干沈下量が大きくなっているが、大きいところでも年間2cm～3cm程度である。

(2) 強度及び地質調査

砂マウンドの現位置での静的強度及び上載荷重による強度変化を把握するため、砂マウンド築造中から、スウェーデン式サウンディングにより継続的に調査した。また、捨石投入後においても捨石を掘削することなく地質調査ができるように施工時に直径約70cmの底のない管を砂マウンド上に6本設置し、この管を利用して標準貫入試験、凍結サンプリング工法による試料採取を行った。

図-4に昭和61年度におけるスウェーデン式サウンディング試験、昭和62年度の捨石1.5m投入後における標準貫入試験及び昭和63年度のケーソン据付後のケーソン直下の標準貫入試験の結果を示す。なお、スウェーデン式サウンディング試験結果のN値への換算には稻田の式を用いた。これにより、捨石の投入により平均N値が3程度から5程度に多少増加したことがわかる。また、各地

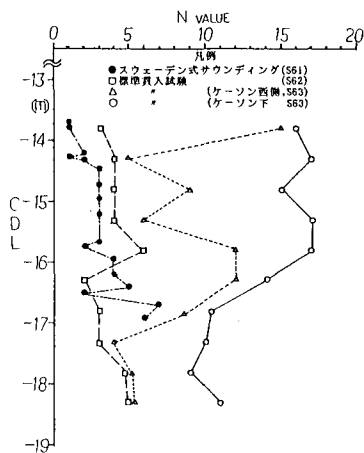


図-4 N値の深度分布

点でばらつきが大きいものの、ケーソン直下は他の地点よりもN値が大きいことがわかる。なお、乱さない状態の砂マウンド強度を把握し、さらに地震時のシミュレーションを行うため必要な定数を得るため、凍結サンプリング法によって採取した試料を用い、三軸圧縮試験、密度試験、振動三軸試験等を実施した。

〔2〕洗掘に関する調査

ケーソン設置後の砂マウンドの洗掘に対する安定性を検討するため、深浅測量、海底地盤高調査、洗掘防止工調査、サイドスキャンソナー調査、掃流砂調査等を実施している。なお、観測期間中の主な異常海象時の波浪条件は、昭和62年10月19日 ($H_{max}=5.4m$, $H1/3=3.2m$, $T1/3=6.2s$)、昭和63年9月16日 ($H_{max}=4.4m$, $H1/3=2.9m$, $T1/3=15.5s$)、昭和63年11月24日 ($H_{max}=7.7m$, $H1/3=4.0m$, $T1/3=8.0s$)であった。

(1)深浅測量

砂マウンド全体の地形変化を把握するために、 $500m \times 600m$ の範囲を5mメッシュ1素子で深浅測量を実施した。図-5にケーソン据付直後の昭和62年9月28日から平成元年8月22日までの比較及び図-6にケーソン据付半年経過後の昭和63年2月12日から平成元年8月22日までの比較の結果を示す。前図では、南・東側及び北東側に比較的大きな侵食域がある。しかし、後図においては西側で若干の侵食を受けたほかは地盤高変化が認められないことから、砂マウンドはケーソン据付前後に侵食を受けた後はほぼ安定しているものと考えられる。なお、図中の西側の堆積は、中防波堤の施工によるものである。

(2)海底地盤高調査

砂マウンドの変形状況をより正確に調べるために、ケーソンを中心に放射状の8測線にロープを張り、10mピッチの位置で水圧計により水位を測定した。波の影響を取り除くため30秒間測定し、潮位の補正を行った。また、ロープ杭の杭頭の測定も行い基準高とした。その1例を図-7に示すが、全体的な変化は小さく、砂の移動範囲は大きくないものと考えられる。

また、洗掘防止工の効果を把握するために、砂マウンド東側に石かご、グラベルマット、コンクリートマット、アスファルトマットの4種類の調査工を設置し、変形状況を観測したが、洗掘防止工北

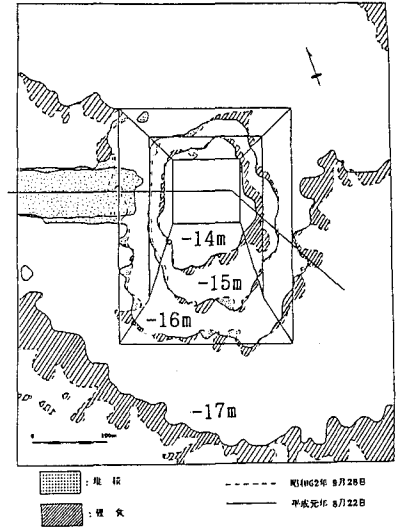


図-5 砂マウンドの侵食・堆積 (S62. 9.28~H1.8.22)

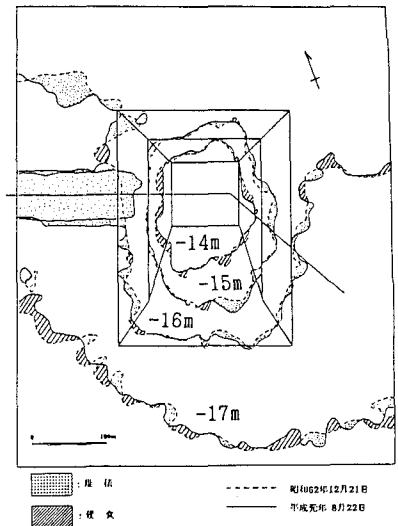


図-6 砂マウンドの侵食・堆積 (S62. 12.21~H1.8.22)

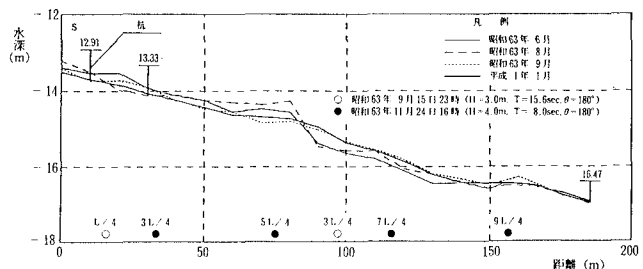


図-7 海底地盤高調査結果 (S測線)

側の角付近で最大1m程度の洗掘が確認されたが、各洗掘防止工による差は明確ではなかった。

(3) サイドスキャンソナー

砂マウンドの低質分布変化やケーソン・石かごの設置状況を確認するため、砂マウンドを中心として500m×500mの範囲内をサイドスキャンソナーにより測定した。サイドスキャンソナーとは、調査船より曳航されたトウフィッシュから100kHz及び500kHzの音波を300mの範囲に発信し、その反射波を受信し海底面上の状況を面的に把握する手法である。

このサイドスキャンソナーを用いて作成した砂マウンドの合成図を図-8に示す。また、底質分布について図-9に昭和62年9月と昭和63年11月の状況を示す。砂マウンド全体としては、大きな変化をしていないことが判る。

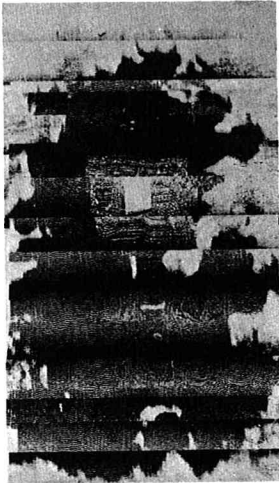


図-8 サイドスキャンソナー調査結果

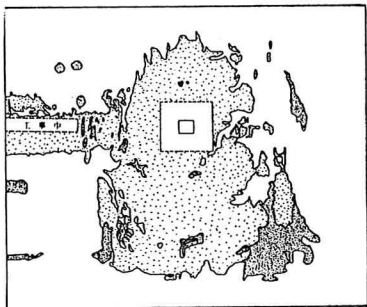
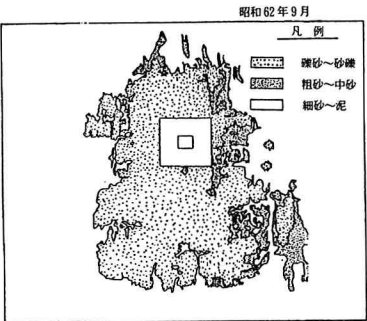


図-9 底質分布

(4) 掃流砂調査

掃流砂の量及び方向を把握するために、直径40cmの捕砂器と流速計を砂マウンド上の10点に位置に設置し、一定期間の捕砂量の測定を行った。なお、このうち4点には図-10に示すような捕砂器にロードセルと記録部を組み込んだ掃流砂量自動捕砂器を設置し、15分間隔で観測を行い、捕砂量の経時変化を記録した。

この結果、砂は全体としてマウンドの南側から北側方向に動いていることが確認された。また、各捕砂器の捕砂量及びレキ分の割合は、期間中の波が大きいほど増加する傾向にあった。図-11に自動捕砂器による捕砂量と波高の関係について時系列的に整理した例を示す。

[3] 地震時における安定性の検討

砂マウンド式混成堤の液状化強度については、従来のN値と振動三軸試験による手法から液状化の可能性が高いと判断された。このため室内土質実験と既存の各種解析方法を組み合わせ、過剰間隙水圧の発生・消散を考慮した2次元の

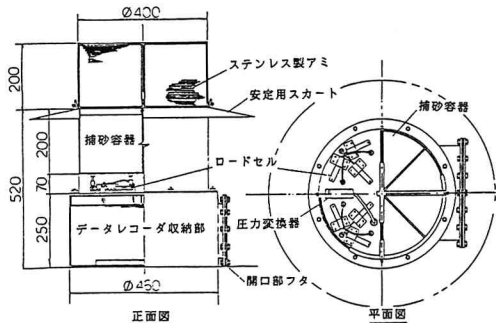


図-10 掃流砂量自動計測装置

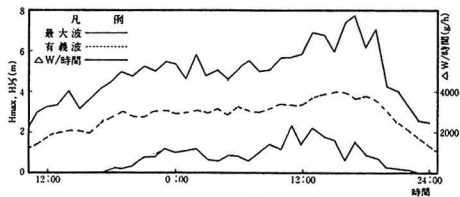


図-11 波高と掃流砂量の変化 (S63.11.23,24)

有効応力解析を行った。その詳細については省略するが、波形十勝沖地震、基盤入力最大振幅200galのケースにおけるケーソンの残留変形量は、3cm（ケーソン直下Dr=60%）～6.5cm（Dr=40%）と予測され、防波堤の構造に欠陥を与えるほどの値ではないと判断される。

5. あとがき

砂マウンド式混成堤の実用化に向けての課題のうち、短期的な安定性を中心にその多くは今回の実証実験で解決できたと考えられるが、今後残された課題として、設計波程度の高波浪時におけるマウンドの洗掘に対する安定性の確認がある。特に、現在の試験堤は孤立堤であるが、将来中防波堤の一部に取り込まれると重複波が発生し、大きな洗掘が発生する可能性があり、今後も調査を継続する必要があると考えられる。

今回の実証実験の実施に当たっては、尾崎晃北海道大学名誉教授を委員長とする苫小牧海域委員会の各委員からご指導、ご助言をいただいたことを記して謝意を表します。