

港湾空港技術研究所 資料

TECHNICAL NOTE
OF
THE PORT AND AIRPORT RESEARCH INSTITUTE

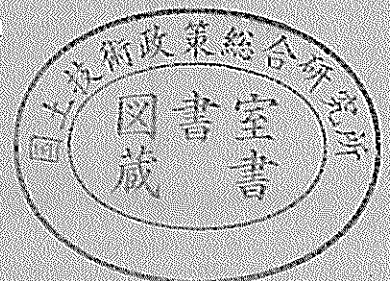
No.1086 September 2004

自沈式有孔管を用いたサンドバイパス工法の開発

野口 仁志

藤田 雄治

独立行政法人 港湾空港技術研究所
Independent Administrative Institution,
Port and Airport Research Institute, Japan



目 次

要 旨	3
1. まえがき	4
2. 自沈式有孔管を用いたサンドバイパス工法の概要	4
2.1 工法の概要	4
2.2 期待される効果及び特長	5
3. 前提条件及び実験装置仕様	5
3.1 前提条件	5
3.2 実験における諸元の設定	5
3.3 砂集積実験装置概要	7
4. 海中における砂集積実験	9
4.1 実験目的	9
4.2 実験場所	9
4.3 実験方法	9
4.4 実験結果	10
4.5 考察	11
5. 砂浜における砂集積実験	11
5.1 実験目的	11
5.2 実験場所	11
5.3 実験方法	11
5.4 実験結果	12
5.5 考察	13
6. まとめ	14
参考文献	14

Development of a Self-Sinking Sand Bypassing System Using a Suction Pipe with Holes

Hitoshi NOGUCHI*
Yuji FUJITA**

Synopsis

Many coastal areas in Japan are in a distressed condition due to beach erosion, making beach preservation and restoration important issues. Sand bypassing systems offer one countermeasure for beach erosion. A typical example of conventional sand bypassing is collecting sand with an excavator and transporting it by dump truck. However, this method requires some mechanism to move the shovel used to collect the sand and considerable manpower, including dump truck drivers. Moreover, truck transportation also causes air pollution, noise, and other environmental problems.

This paper proposes a new sand bypassing system of simple composition comprised of a suction pipe with holes, on which a slurry pump is mounted. A water jet pipe is attached to the underside of the suction pipe. The pump inlet is connected to the suction pipe, and the outlet is connected to a sand discharge pipe.

The device is placed on an area where sand has accumulated and water jets out from the water jet pipe, fluidizing the surrounding sand, which is then drawn into the suction pipe together with seawater. As the sand is fluidized, the suction pipe/pump assembly sinks into the sand under its own weight, enabling continuous collection/transportation of sand.

A prototype experimental device was test-manufactured and used in field experiments. In continuous operation for approximately 1 hour, it was possible to collect/transport 200-500 l/m of sand, which is roughly equivalent to 50,000 m³ in a 3-month period.

Key Words: Suction pipe with holes, Sand bypassing, Beach nourishment

* Head, Fluid Mechanics Division, Construction and Control Systems Department
** Trainee of Fluid Mechanics Division, Construction and Control Systems Department
3-1-1 Nagase, Yokosuka, 239-0826 Japan
Phone : +81-468-445065 Fax : +81-468-440575 e-mail:noguchi@pari.go.jp

自沈式有孔管を用いたサンドバイパス工法の開発

野口 仁志*
藤田 雄治**

要 旨

我が国においては砂浜の侵食に苦慮する海岸が多く、砂浜の保全及び再生回復が課題となっている。そしてその対策の1つとしてサンドバイパス工法がある。従来の典型的なサンドバイパス工法の例としては、ショベルカーにより砂を集積しダンプカーにより輸送する方法である。この方法は、砂の集積装置であるショベルを前後左右上下に動かすための移動機構や、ダンプカーの運転手等を含め多くの作業員を必要とする。また、ダンプカー輸送による大気汚染、騒音等の環境面でも課題がある。

そのため、新たなサンドバイパスシステムを提案する。システムの構成は簡易なものである。有孔管に泥水ポンプが搭載され、有孔管はポンプ吸入口に接続されポンプ出口は、排砂管へと繋がっている。有孔管の下部には水ジェット管が取り付けられている。

砂の上に装置を置く。水ジェット管から水を噴出させ、周囲の砂を流動化させて有孔管内に砂を海水とともに取り込む。砂が流動化することでポンプを搭載した有孔管はその重量のため、砂の中に沈んでいく。このようにして砂を集積しながら、砂の中に沈んでいくことで連続的に砂を集積して輸送するものである。

プロトタイプ実験装置を試作し現地実験を行った。約1時間の連続運転において、200～500l/minの砂量を集積・輸送することが出来た。この量は、約3ヶ月間の連続運転において約50,000m³に相当する量である。

キーワード：有孔管、サンドバイパス、養浜

* 施工・制御技術部 流体技術研究室長

** 施工・制御技術部 流体技術研究室研修員(東洋建設株式会社)

〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1 独立行政法人 港湾空港技術研究所
電話：046-844-5065 Fax：046-844-0575 e-mail:noguchi@pari.go.jp

1. まえがき

我が国においては砂浜の侵食に苦慮する海岸が多く、砂浜の保全及び再生回復が課題となっている。砂浜侵食の防止工法としては、突堤、離岸堤などの構造物を設け砂が波に流されないようにする方法及び、定期的に砂を補給し続けるサンドバイパス工法等がある。

従来のサンドバイパス工法では、砂の集積方法は、海面上の場所ではショベルカーにより、海面下においては、浚渫船により砂を集積している。この方法は、静止している砂に対して、集積装置であるショベルや浚渫ヘッドを前後左右上下に動かして広い範囲から砂を集める形態となっている。そのため、集積装置を前後左右上下に動かすための移動機構や車両や船舶等の移動体が不可欠となり、さらにその移動機構、移動体を操作する作業員が必要となる。

また、輸送において、ダンプトラックによるピストン輸送を繰り返す場合は、ダンプ1台毎に1人の運転手を必要とすること及び戻りは空荷となることから、非効率のとなり、環境面においても、大気汚染、交通量の増大等から好ましくないと考えられる。

そのため、移動機構を有しない簡易な砂集積機構で砂を集め、そのままパイプラインにより排出場所まで輸送できれば、効率的、経済的になることが期待できると考えた。

サンドバイパス工法において、固定設備により砂を集積しパイプラインにより輸送を行っている事例としては、ゴールドコーストがある¹⁾。ここでは、砂を集積するために長さ500mの栈橋に10台のジェットポンプを設け海面下-11mからを用いて砂を引き上げ、年間50万m³の砂を輸送している。この方法は、設備は固定されており、10台の砂集積設備を順番に稼働させるものである。非稼働の設備の周囲にはその間に再び砂を堆積させる運用を行っている。

またダム堆砂防除対策として、あらかじめダムの底部にスリットを持つ管を敷設し、スリットから流入する土砂を水とともに下流に輸送する方法が研究されている。²⁾

本研究では、可搬式の砂集積装置を用いて砂を連続的に集積しながら周囲の地形変化に合わせて沈降していくコンパクトで簡易なシステムによるサンドバイパス工法の開発に取り組んだ。

2. 自沈式有孔管によるサンドバイパス工法の概要

サンドバイパス工法において、砂の集積場所は砂が堆積している場所に設定される。砂の堆積場所は地形及び海象条件等において砂が集積しやすい場所であるから、それらの自然力等を利用して、砂を集積機構に集まるようにする。砂の集積機構は原則として移動せず、集まる砂を海水とともに集積機構内に取り組み、そのまま土砂水流として、パイプラインを用いたスラリー輸送を行うことができれば、効率的、経済的になることが期待できる(図-1)。

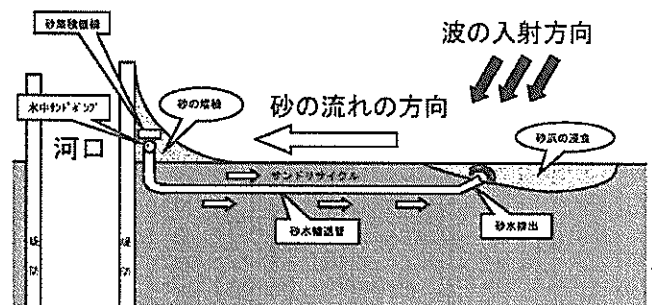


図-1 自沈式有孔管を用いたサンドバイパス工法全体図

2.1 工法の概要

砂の集積に用いる有孔管の下部に、沈設及び周囲の砂を流動化させるための水ジェット噴出管を設置しておく(図-2)。

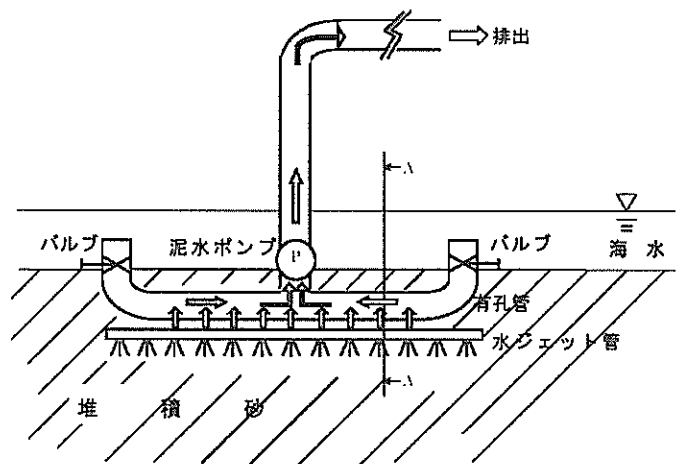


図-2 工法概要(正面断面図)

有孔管の一端は開閉バルブを通じて海水中につながっており、他端は泥水用ポンプに接続されている。噴出管よりジェット水を噴出させると、下部の砂が流動化し、有孔管がその自重(含むポンプ等重量)により砂の中へ沈設していく。そして泥水用ポンプを稼働させると、流動化した砂が、有孔管の孔を通して、管内に海水と混合して流入する(図-3)。

土砂水のスラリーは、有孔管内を流れて、泥水ポンプに吸入され泥水ポンプから排砂管をとおして排砂場所までパイプ輸送され排出される。

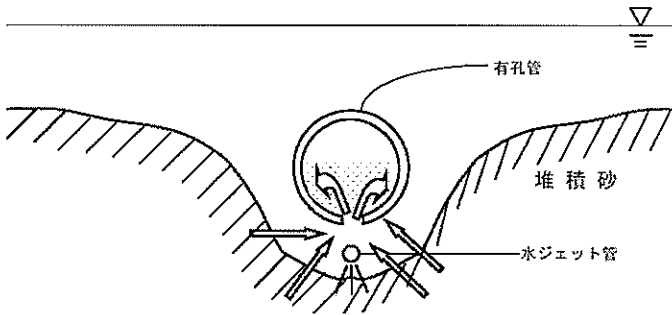


図-3 工法概要 (A-A 断面図)

2.2 期待される効果及び特長

- ・砂集積効果が継続的に発揮される。
- ・砂集積装置の移動機構は基本的には不要である。
- ・基本的な動力は、土砂水流の吸引・排出及びジェット水等の供給のためのポンプ動力だけであり、駆動部の少ない簡易な工法である。

3. 前提条件及び実験装置仕様

3.1 前提条件

本工法を用いて、砂が連続的に安定して集積可能かどうかを検証する現地実験に当たり、想定される工事のイメージ、諸条件を下記のように想定した。

- ・輸送砂量：約50,000m³/年

この値は幅100m×長さ500mの砂浜に、毎年、層厚1mの砂を輸送することに相当する (図-4)。

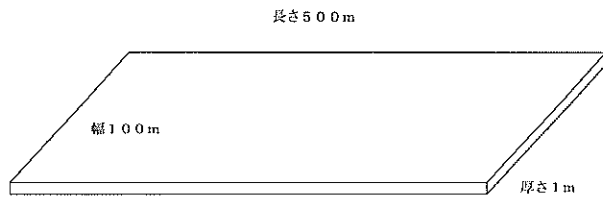


図-4 5万 m³ の砂量イメージ図

- ・輸送距離：約2km
 - ・年間当たりの輸送工事期間：約3ヶ月
- 期間については、海水浴シーズンにおける利用を考慮し、海開き前の3ヶ月間に砂を輸送するものと想定した
- ・砂粒径：細砂
 - ・砂集積位置：海中の砂及び陸上の砂浜の2ケースを想定。

海中の砂を集積する場合は、波の力による砂の集積効果を期待できるが、陸上の砂浜では期待できない。陸上の砂浜の砂においても、海側から順次砂を集積していき、波が及ぶ状況になってから集積すれば波の効果が期待できる状況になるが、砂質等の現場の条件より、陸の砂だけを集積・輸送するような条件が課される場合も想定した。

そして上記の条件を基に実験諸条件を設定した。

3.2 実験における諸元の設定

(1) 輸送スラリー (泥水) の含泥率

設備の面からは高含泥率であればパイプ径等が小さくなることから有利であるが、パイプ輸送距離が2kmとある程度の距離を有するものなので、高含泥率で輸送すると砂の管内沈降及び管内閉塞も危惧されることから、含泥率としては、見かけ容積濃度表示で10~20%を想定する。

(2) 管径

含泥率を10~20%の平均15%の場合を想定して必要な管径を試算する。管内径を100mm、150mm、200mm、250mmのケースについて試算する。

①標準管内速度

一般にスラリー輸送を行う際に、管内に土砂が沈降しない標準的速度を示す目安の式として下記の式がある。³⁾ 標準管内速度 V_{co} は、

$$V_{co} = \sqrt{D / 0.5} \times \sqrt[3]{(Ca / 0.1)} \times V_{op}$$

ここで、D：管内径 (m)、Ca：見かけ容積濃度、 V_{op} ：標準速度で、細砂、D=500mm、Ca=0.1の場合は3.5m/s 上式を用いて各管径の標準管内速度を算出し、対象砂量5万m³の輸送必要時間・日数を算出する。なお、必要日数の算出では、休止等は考慮せず24時間連続運転とした。

工期を概ね3ヶ月(90日)と想定していることから、表-1より管内径は150mmとして実験を行うこととした。

表-1 管内径別の必要輸送日数の試算

管内径：D	100mm	150mm	200mm	250mm
見かけ容積濃度：Ca	0.15	0.15	0.15	0.15
標準管内速度： V_{co}	1.79m/s	2.19m/s	2.53m/s	2.83m/s
分当たり砂流量	127 l/min	349 l/min	716 l/min	1,252 l/min
砂5万m ³ 輸送必要時間 (日数)	6,580時間 (274日)	2,388時間 (99日)	1,163時間 (48日)	666時間 (28日)

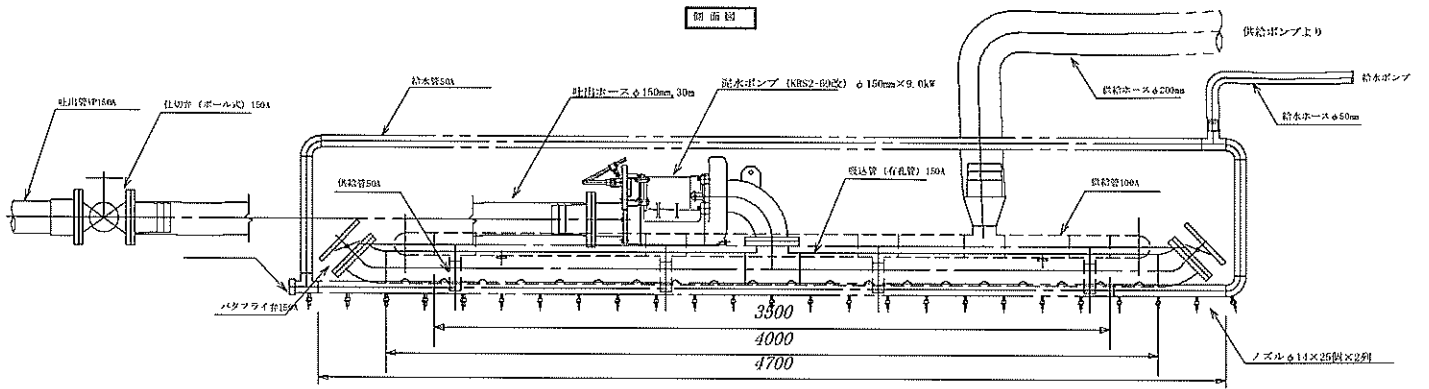


図-5 砂集積実験装置正面図

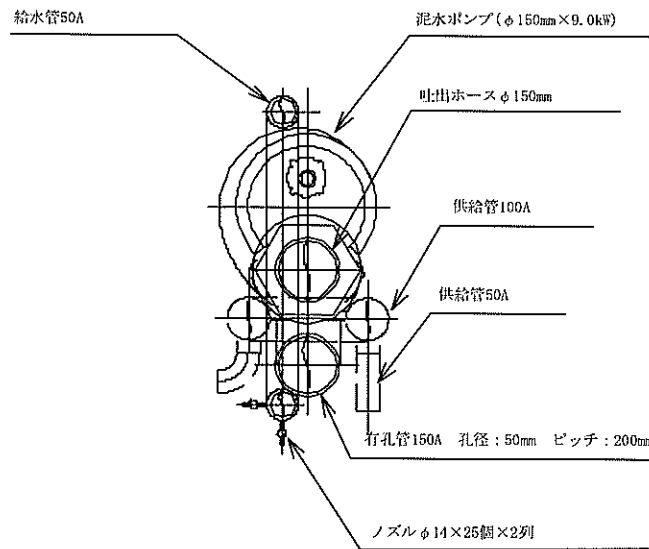


図-6 砂集積実験装置断面図

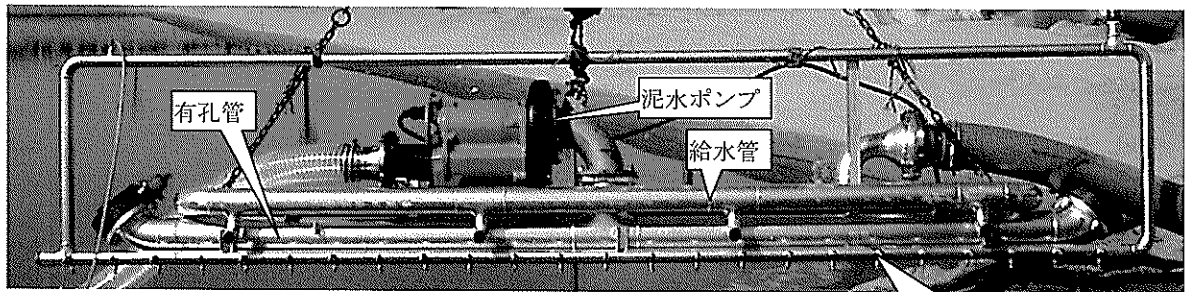


写真-1 砂集積実験装置全景



写真-2 砂集積実験装置有孔管部

3.3 砂集積実験装置概要

砂集積実験装置全体の概要を図-5, 6及び写真-1, 2に示す。以下、装置の主な仕様等について説明する。

(1) 沈設有孔管

①管長

砂の集積効果の点からは、有孔管が長いとより広範囲から砂を集積できる利点はある。

しかし、管が長いと管の長手方向の位置によって吸引圧力に差が生じやすく、管全体の円滑な沈設が困難になること及び管の設置・移設等における扱い易さ等の施工性の点から約4m程度とした。

②孔の大きさ及び数

孔の大きさは、ゴミ、石等で詰まらないように大きめの直径5cmとした。孔の数は、管断面積のほぼ2倍に相当する20個として約20cm間隔に設けた。

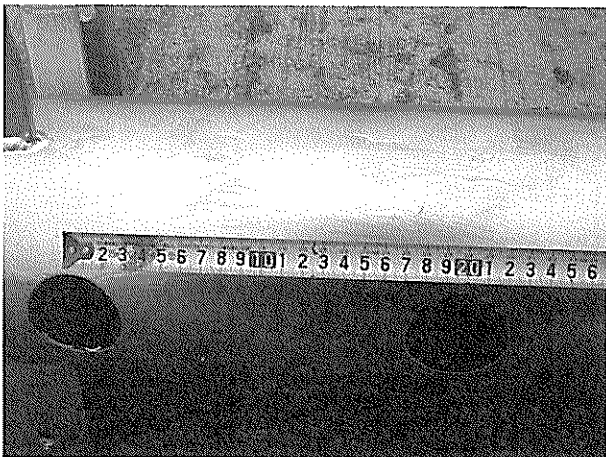


写真-3 5cm孔

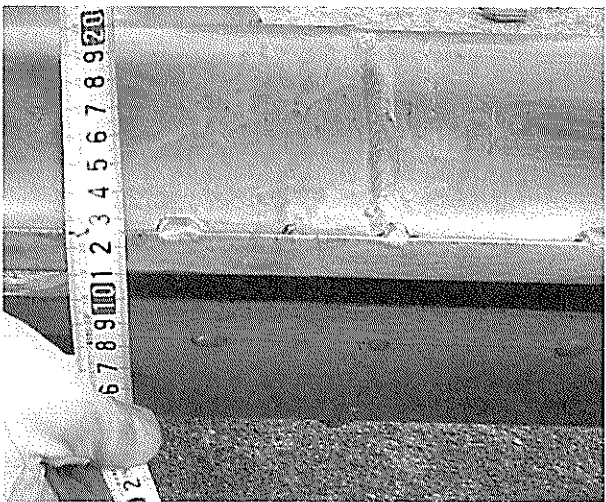


写真-4 幅1cmスリット

なお、予備実験においては、 $\phi 5\text{cm}$ の孔を20個、20cm間隔に開けたもの(写真-3)と、それと同等面積を有する幅約1cm×長さ4mのスリット(写真-4)について比較実験を行った。結果は $\phi 5\text{cm}$ 孔の方が、スリットよりやや含泥率が高かった。幅1cmのスリットでは、スリット部に小石等が挟まり、目詰まりを起こす可能性もあることも想定して、本実験は、孔形状で行うこととした。

③孔の配置

管の真下に位置するものとした。

幾つかの水槽実験及び現地実験において孔の位置を変化させた予備実験を行った。その結果、孔が管の上部に位置する場合、有孔管が周囲の砂を集積していくと孔を覆う砂が無くなり、孔から水だけを吸引し含泥率が落ちる現象がみられた。この現象の発生を避けるため、孔の位置は管の真下に設けることとした。

④両端部

両端部は開閉バルブを設けて海水中につながる構造とした。これは、孔からの海水の取り込みが不十分で高含泥率となりすぎて管内閉塞が生じる場合に備え、バルブを開くことで海水を管内に取り入れるようにしたものである。

なお、予備実験においては、両端を開放した状態において、適度な含泥率(20%程度)が保たれるケースがあったが、今回の本実験においては、高含泥率の状態が長時間継続するような状況はなく、常に閉じた状態であった。

⑤金網の取り付け

$\phi 5\text{cm}$ の孔から石等のゴミが管内に入らないように約2cmメッシュの金網を有孔管下部に取り付けた。

これは、孔は下方向を向いており、重力に逆らって大きな石等が管内に入り込むことは無いと考えていたが、予備実験において、金網を取り付けない状況では、数cmの石が管内に入りこみ、泥水ポンプ内で詰まる状況が発生したため、本実験においては、異物対策として金網を取り付けた。

(2) 泥水ポンプ

砂を海水とともに泥水として吸引し、そのまま排砂管へ送り出すためのポンプとして、出力(motor output)9.0kw、全揚程(total head)16m、吐出量(capacity)2.0m³/minの泥水ポンプ(図-7)を有孔管の上に搭載した。

有孔管に搭載したのは、有孔管と一体となって実験装置全体が扱い易いこと及び、その重量が有孔管の沈設に有効に作用すると思ったためである。

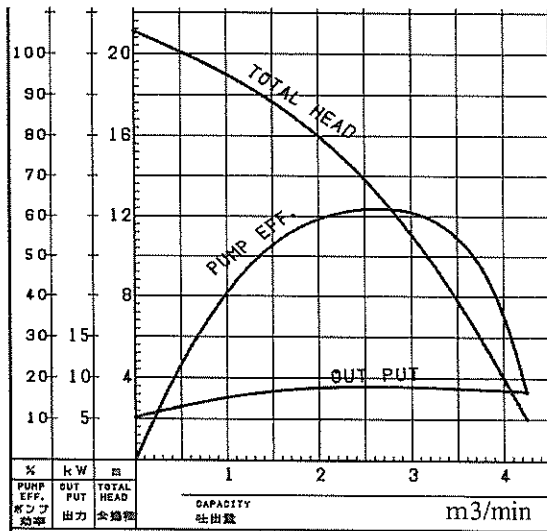


図-7 泥水ポンプ性能曲線図

ポンプを横に向けたのは、ポンプは水冷式のため、ポンプが稼働している状態の時は、常に海水中に没して加熱を防ぐためである。ポンプの羽根部を下向きにした縦置きとすると装置としては、左右対称となりバランスも良いのだが、羽根部が海水面下の状態になるとポンプとしては、稼働できる状態になるが、上部のモータ部が海水面下でない、モータが加熱して損傷する可能性があるため、本実験においては、横置きとした。

(3) 沈設用水ジェット管 (図-8)

沈設用水ジェット管は、周囲の砂を流動化させ、砂が孔を通して管内に流入すること及び、有孔管が周囲の砂を集積しながら沈下すること促進させるためのものである。内径50mmの鋼管を環状にし、下側に噴出口としてノズルを25カ所、約20cm間隔に、有孔管の孔の各中間点に相当する位置に取り付けた。この水ジェット管は、有孔管の下に取り付けた。

そして、この管に、出力3.7kw、全揚程80mのポンプより海水を供給した。

予備実験においては、もっと小さな能力のポンプを用い

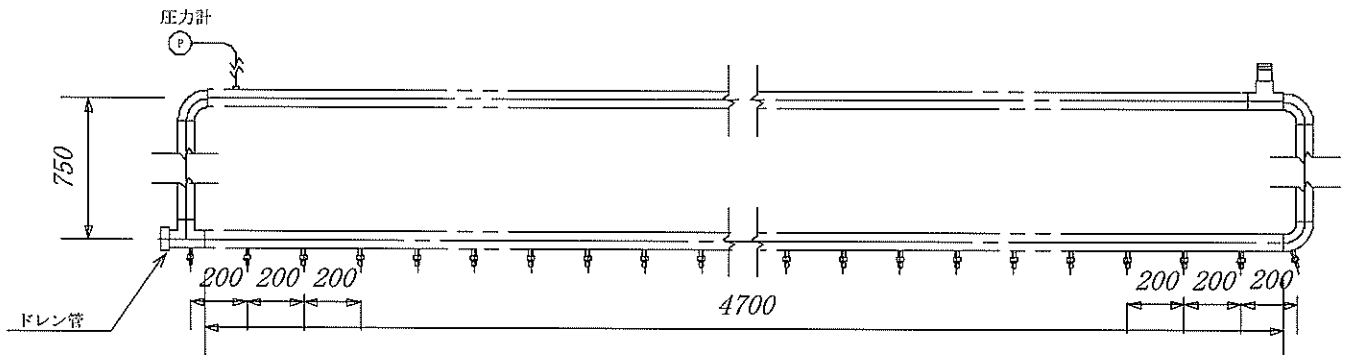


図-8 水ジェット管

たが、ジェットの力が弱く、管の下部の砂を十分流動化させるには至らなかった。空気中では十分な速度、勢いで噴出している、水中では、水の抵抗により速度は大きく減衰する。

(4) 給水管 (図-9)

陸上の砂浜において実験を行う場合、泥水ポンプが砂とともに周囲の海水も全て吸引して、砂集積実験装置が水面上に出てしまうことを防ぐために、海水を実験装置の周囲に補給するために設けたものである。砂浜実験においては、この管に、出力 (motor output) 9.0kw、全揚程 (total head) 8m、吐出量 4.0m³/min のポンプより海水を供給した。

また、この管から吐出される海水が、周囲の砂を流動化させる効果も期待して、排水口は有孔管の周囲 8 カ所に配置した。

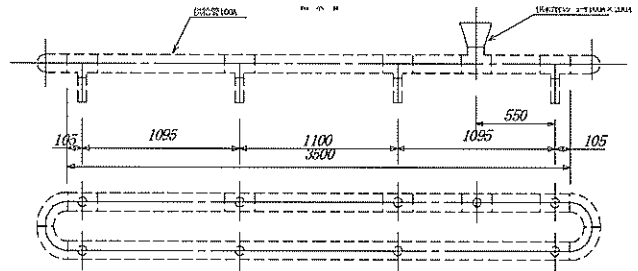


図-9 給水管

(5) 排砂管延長

実際の工事においては、約2km程度を想定しているが、含泥率10~20%程度の泥水のパイプ輸送は通常の浚渫工事で一般に行われているもので、特に大きな技術課題はないものとして、本実験においては、数十m程度の距離に留めた。距離が伸びるにつれてポンプ能力も大きなものが必要となるが、1台のポンプ能力で対応出来ない場合は必要に応じて中継ポンプを設けるものと想定している。また、パイプラインが敷設される場所は陸上の砂浜上が予想され、排泥場所まで大きな高低差もなく、管の湾曲部も少ないことが予想される。

4. 海中における砂集積実験

4.1 実験目的

波が作用する海域において海底に堆積している砂を本実験装置を用いて連続的に集積し、輸送できるかどうかを確認する。

4.2 実験場所

茨城県常陸那珂港南端海域（写真-5参照）

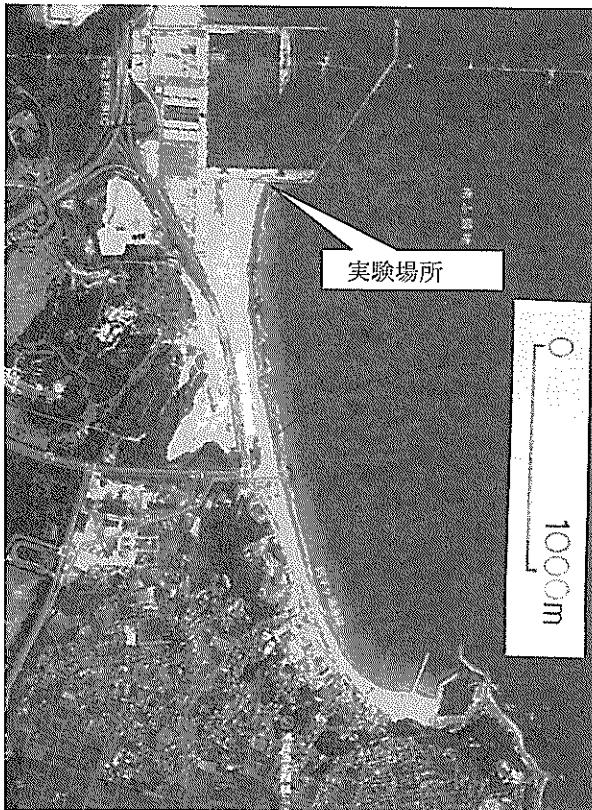


写真-5 実験場所（茨城県常陸那珂港南端）

実験場所のような水深の非常に浅い場所では、波の作用のため、底面近くを掃流状態で移動する砂の量は多くなる。そのため、砂集積実験装置は、汀線と平行の向きとした。水ジェット用ポンプをさせ、海底の堆積砂を掘削して装置を砂層の中に沈設させるとともに堆積砂を流動化させる。水ジェット管に取り付けられたノズル25個は全て下方向に向けた。

泥水ポンプを稼働させ流動化した砂を有孔管内に取り入れ、排砂管を経由して排出口より排出する。計測は、排砂管に取り付けた流量計、密度計より、流速及び（容積）含泥率を求めた。

海中における実験では、図-11に示すように、砂集積実験装置のある窪みに、流動化した掃流状態の砂が流れ込む。砂集積装置が流れ込んだ砂及び海底の砂を取り込みながら自重により鉛直下方向に徐々に沈み込む。

クレーンのワイヤーは、実験中は吊り荷重がかからないように緩めた状態にしておいた（図-11）。

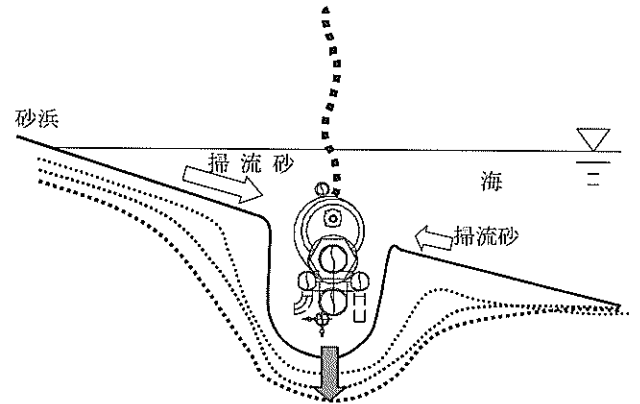


図-11 海中実験概要断面図

4.3 実験方法

図-10に示すように砂集積実験装置を岸壁上のクレーンから海底の堆積砂の上に降ろす。

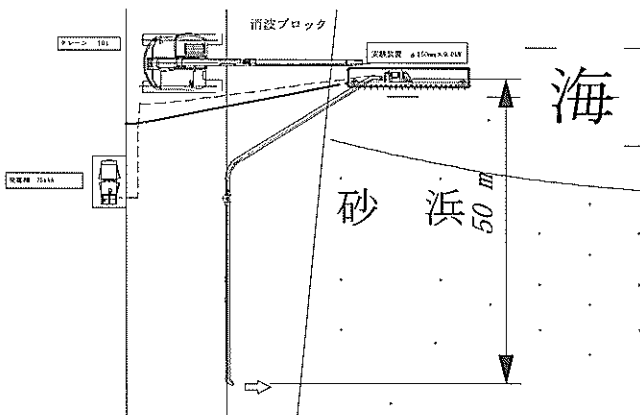


図-10 海中実験概要平面図



写真-6 実験概況

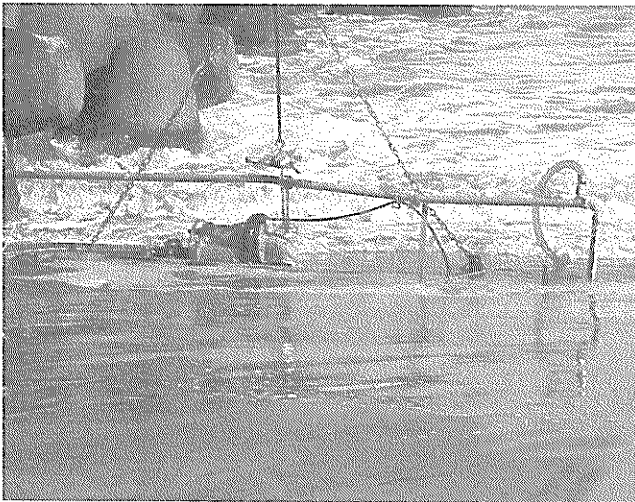


写真-7 実験状況(波が最も引いた状態)

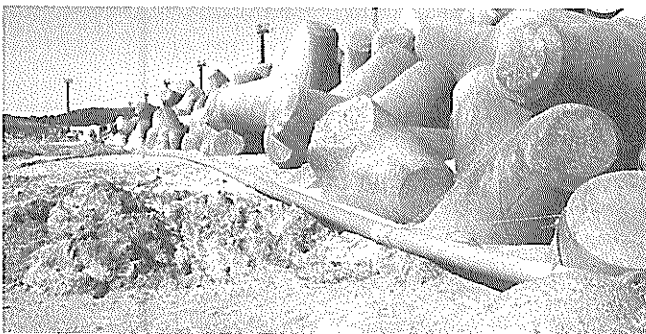


写真-8 排砂管敷設状況

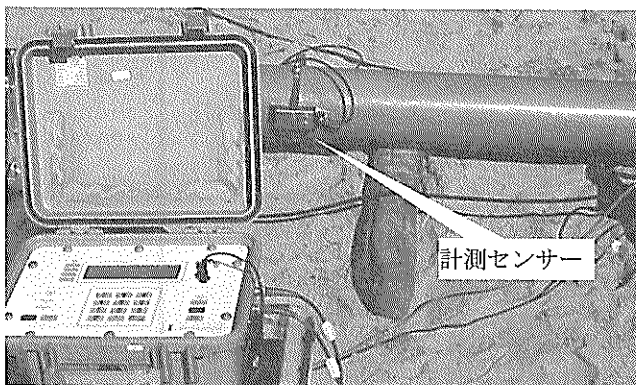


写真-9 超音波式流量計

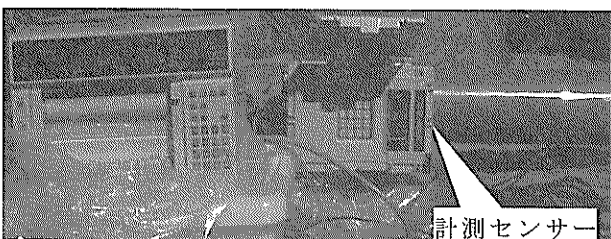


写真-10 γ 線式密度計



写真-11 排砂状況(海中実験)

砂の粒土組成はレキ(2~75mm)66%、砂(75 μ m~2mm)34%、50%粒径D50は3.3mmであった。

4.4 実験結果

図-12に排泥水密度の1時間の経時変化記録を示す。

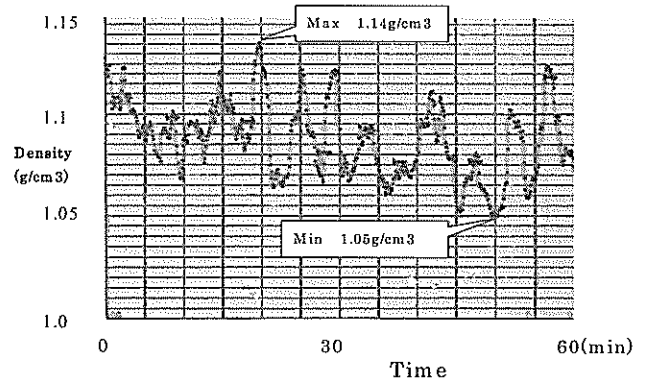


図-12 海中実験における密度の経時変化図

記録は計測値を15秒毎にプロットしたものである。なお、この間の砂集積実験装置の沈下量は概ね10cm程度であった。

密度は、概ね4分程度の周期で増減を繰り返している。現地において波の状況を見ていると、波高は目視で30cm程度で、大きな波が寄せた後、引いていくときに密度が高くなっているようである。

これは、大きな波は、海底の砂を巻き上げて押し寄せ装置の上を越えて浜に押し寄せる。そして波が引く時に、それらの砂の粒子は浜に落ちて、波が引く時に、水流と一緒に浜の上を転がりながら引いていく。そして実験装置のある窪みのところで、流れてきた砂が窪みに入りこんでいる状況である。この密度変化を5分間毎に平均し、含泥率の変化として表したのが図-13である。5分平均した含泥率では、4~11%の間で推移しており平均値は

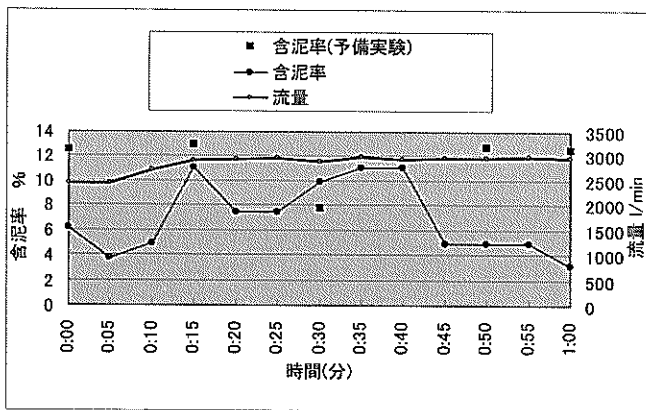


図-13 海中実験における含泥率及び流量の経時変化

7%であった。この値は、3.2節で想定した含泥率10~20%に比べると低いものである。

参考として、予備実験として行ったときの含泥率データを■印で示すが、約13%であった。予備実験のため、計測機器は設置せず、含泥率はサンプリングにより測定したもので連続性・正確性にはやや欠けるものである。予備実験時は、水ジェット用ポンプは本実験ケースより小さな能力のものを用いていたが、給水管を取り付けない状態であった。このことから、本実験では、給水管が抵抗となって沈設管が十分砂の中に沈まず、含泥率の低下を招いたことが一因として推測される。また、流量の経時変化も併せて図-13に示すが、流量は、約2,900l/min前後で安定していた。

4.5 考察

本実験において、砂集積装置を移動させることなく、約1時間連続的に砂を集積してパイプライン輸送することができた。その間の沈下量は約10cmであった。今回の実験は約1時間程度の期間であったが、さらに長期間稼働を継続すると、砂の集積により溝は広く深くなっていくことが予想される。溝が大きくなるにつれて集積される砂の量は多くなることが期待できるが、溝が深くなるにつれて土圧、水圧も高くなり、水ジェットの能力が一定であれば、流動化する砂の量は減少していき、ある限界の深さ以上では砂を集積することは困難となる状況が予測される。その場合は、砂集積装置を浅い陸側の位置に移動させる必要が生じよう。

今後は、1日及び数日に及ぶ長時間の実験を行い、干満による水深の変化の影響及び本装置が周囲の砂を集積することによる周囲の海底地形変形に対する影響等について検討しておく必要がある。その後、さらに長期間の実験によりシステム全体の耐久性や各種トラブルの発

生の可能性やその対応策についても検討を行っていくことも重要である。

また、含泥率は、波の大きさ等種々の要因に影響されることが予想されるので、各要因の影響の程度やそれらに対応して、簡易な方法で含泥率を管理・制御できるようにする検討が必要である。

5. 砂浜における砂集積実験

5.1 実験目的

波浪が全く作用しない状況や、諸条件の制約により陸上の砂浜に堆積している砂を集積しなければならない状況を想定して、そのような状況においても、本装置を用いて砂を連続的に集積し輸送できるかどうかを確認することを目的とする。

5.2 実験場所

茨城県常陸那珂港南端砂浜（写真-5参照）

5.3 実験方法

海域近傍（海岸線より約100m）の砂浜において、予め砂集積装置を沈設するための溝を掘る。溝は海水が沸き出す海面下の位置まで掘削した。

砂集積実験を重機で吊り下げ、海水供給ポンプ及び水ジェット管用ポンプを稼働させ予め掘っておいた溝の中に装置を降ろす（図-15）。水ジェットのノズル25個の向きは、下方向及び水平方向を交互に配した。歩行水ジェットそして溝の中に降ろしてから泥水ポンプを稼働させる。堆積砂を掘削して装置を砂層の中に沈設させるとともに堆積砂を流動化させる。流動化した砂を有孔管内に取り入れ、スラリー輸送化して排出口より排出するものである。

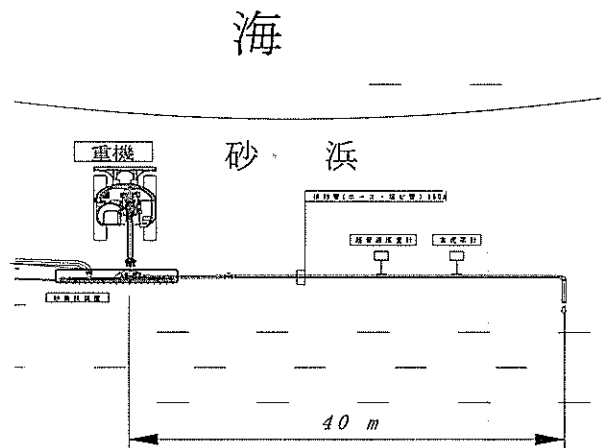


図-14 砂浜実験概要平面図

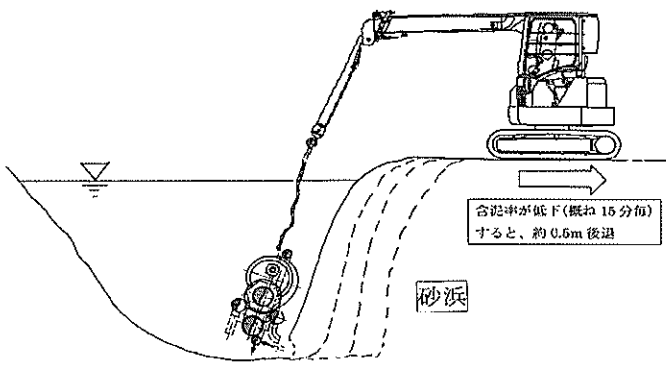


図-15 砂浜実験状況断面図

砂の粒土組成はレキ(2~75mm)6%、砂(75 μ m~2mm)93%、シルト(5~75 μ m)1%、50%粒径D50は0.2mmであった。

計測は、砂浜実験と同様に、輸送配管に流速計及び密度計を取り付け、それらの計測値から流量及び含泥率を算定した。

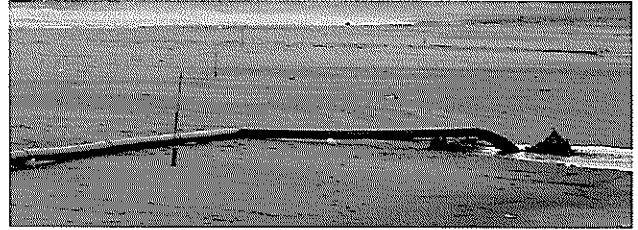


写真-15 排砂管敷設状況(砂浜実験)



写真-12 水ジェット噴射状況



写真-16 砂浜実験における排砂状況



写真-13 給水ポンプ稼働状況



写真-14 実験状況図(砂集積実験装置は水面下)

5.4 実験結果

実験の状況を以下に記す。

海水供給ポンプ及び水ジェット用水中ポンプを稼働させながらショベルカーのアームを下げ、溝の中に装置を下ろしていった。水面から約2m下までは、砂を取り込みながら沈んでいった。約2m沈んだ段階で、含泥率は下がり、ほとんど海水を排出するだけの状態となり、装置の沈下も止まった。

その状態で、ショベルカーを0.5m程後退させ、手前の砂壁にもたせかけたような状態で吊した状態とした(図-15参照)。すると、水平方向の水ジェットが砂壁下部を掘削し砂壁が約10cm程度の厚さで剥がれるように崩れ落ち、砂集積装置の上に覆い被さり、有孔管の中に吸い込まれていく。このようにしてしばらく砂壁を崩していくと、砂集積装置は砂壁にもたれかからない状態となり含泥率が下がっていく。

再びショベルカーを0.5m程後退させ、手前の砂壁にもたせかけたような状態で吊した状態とした。このような作業を概ね約15分毎に繰り返し行いながら実験を実施した。

図-16に排泥水密度の1時間の経時変化記録を示す。

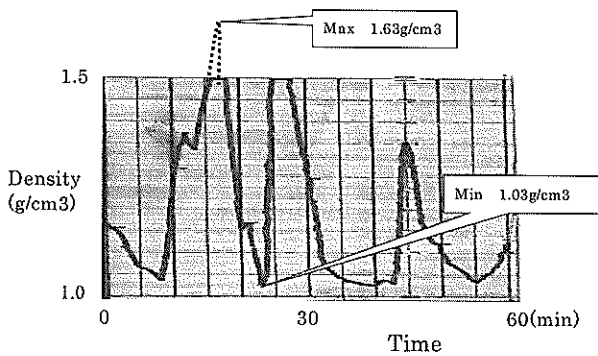


図-16 砂浜実験における排泥水密度の経時変化図

排泥水の密度は、海水と同様の 1.03g/cm^3 から 1.63g/cm^3 まで大きく変化している。排泥水の密度が下がった状況になるとショベルカーを約 50cm 程度後退させたが、その作業に対応して密度が大きく増減している状況が示されている。

この密度変化を5分間毎に平均し、含泥率の変化として表したのが図-17である。5分平均した含泥率では、0～52%の間で推移しており平均値は21%であった。この値は、3-2章で想定した含泥率10～20%のほぼ上限値に相当する。

また、流量の経時変化も併せて図-17に示す。流量は、含泥率が約30%までは、約 $3,000\text{l/min}$ 程度で安定しているが、含泥率がそれ以上に上がると低下し、最低 $1,500\text{l/min}$ まで落ち込んだ。これは、含泥率が高くなりすぎたため、排砂管内の抵抗が大きくなりすぎてポンプ能力の限界まで近づいたためであろう。

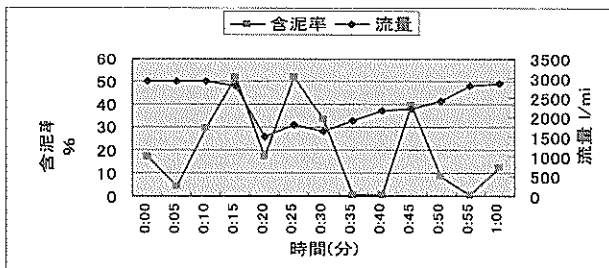


図-17 砂浜実験における含泥率及び流量の経時変化図

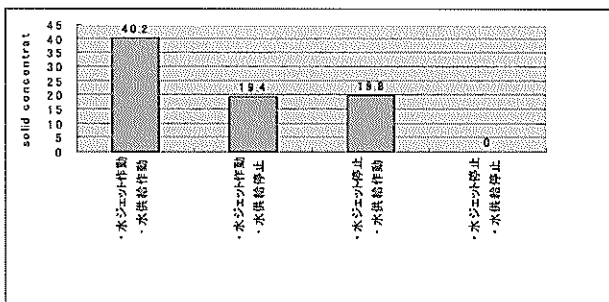


図-18 水ジェット等の効果比較

また、水ジェット及び水供給による砂の流動化の効果を確認するため、それぞれを停止した場合と比較した結果を図-18に示す。

この図に示されるように、両方のポンプを作動させているとき、含泥率が40%であったものが、どちらか一方を停止させると半分の約20%に低下し、両方停止させると0%となってしまった。このように、波が全く作用しない砂浜での実験では、水ジェット及び水供給による砂の流動化効果は不可欠である。

また、砂浜実験及び海浜実験における、1時間平均の砂流量を図-19に示す。

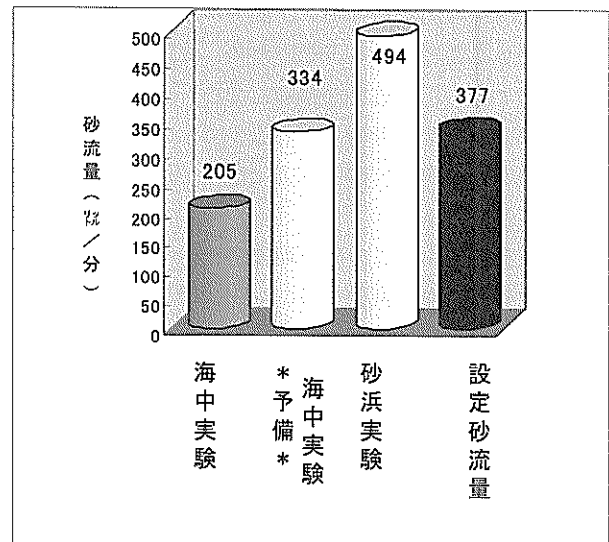


図-19 砂流量算定図

多少の増減はあるが、概ね砂 5万m^3 を3ヶ月で輸送することを想定した場合の砂の流量 377l/min と同程度の流量が本実験で得られた。

このように、本実験においては実用化を想定した規模の流量を1時間程度の連続的に集積・輸送することが出来た。

5.5 考察

波が作用しない状況では、砂を集積するとその場所に掘り跡が生じるだけで周囲の砂は移動しない。そのため、本装置を水平方向に動かさずに連続的に砂を集積するには、鉛直下方向に掘り下げるしかないが、今回の実験に用いた水ジェット用ポンプ能力では、約 2m の深さが限界であった。ポンプ能力を増加させれば、さらに深い層の砂を集積することは可能であるが、堆積している砂の層にも限界があることから大量の砂を集積する場合には、水平方向に移動させることは、不可避である。

本実験においては、波の作用が全くなくても、砂集積

(2004年5月14日受付)

装置を非常に単純で緩やかな移動（約50cmの水平方向移動を約15分毎に4回）を与えるだけで、約1時間連続的に砂を集積してパイプライン輸送することができた。

陸上において、一方向に、精度を必要とせず、ゆっくりとした速度で、本実験装置（重量数百kg）のようなものを動かすことは、技術的にもコスト的にも比較的容易なことと考えられる。例えば、やや離れた地点から、ウインチで一定荷重で牽引すること対応可能であろう。

平均含泥率は21%だったが、0~52%と変動の幅は大きかった。今回の実験ではパイプラインによる輸送距離は約50mと短かったため管内閉塞は生じなかったが、高含泥率の状況が長時間続くとポンプ能力の限界を超えて管内閉塞を生じることとなる。そのため、今後、含泥率を管理・制御することが重要な課題となる。水ジェット的作用が含泥率に大きく影響しているので水ジェットの調整は、含泥率の管理・制御に有効に活用できることが期待できると思われる。

今回の実験において、砂の粒度分布を海域実験のものと比較すると、海域実験では、レキが66%も含まれており砂浜に供給するにはあまり適切な粒度組成とは、言い難い。それに対して、砂浜のものは、レキが6%、砂が66%と海域に比べて土質は良い。そのため、陸域の砂浜の砂だけを集積して輸送する場合も十分想定され、そのような条件に備えた本実験のケースも有意義な実験であると考えられる。

6. まとめ

沈設用水ジェット噴出管付き有孔管を用いたサンドパイパス工法を提案し、海中及び砂浜において現地実験を行い、下記に示す成果を得た。

- 1) 波浪が作用する海中実験においては、実験装置を移動させない状態で約1時間連続的に、砂を集積・輸送することができた。なお、この間の実験装置の沈下量は約10cmであった。
- 2) 波浪が作用しない砂浜実験においては、砂集積装置を約15分毎に水平方向に約50cm程度移動させるだけで、約1時間連続的に、砂を集積・輸送することができた。

今後、実用化へ向けて研究を進めていくためには、さらに長時間の連続実験においてその効果が持続することや、耐久性等について確認・検討する必要がある。また、効率的で省力化されたシステムとするために、簡易な方法で含泥率を所定の値に制御・管理を行っていく必要がある。

参考文献

1. Stratcom Communique Australia, Sand Bypassing... the alternative to dredging to control unstable entrances on littoral shorelines, WORLD DREDGING Mining & Construction, pp10-22, July 1999
2. 片山裕之, マルチホールサクシオン排砂管の実験報告, 平成15年度ダム水源土砂対策技術発表会資料集, pp90-111, Nov 2002
3. 岡山義邦, 浚渫におけるスラリ輸送技術の展望, 港湾技術研究所講演会講演集, pp1-27, Dec 1989

港湾空港技術研究所資料 No.1086

2004.9

編集兼発行人 独立行政法人港湾空港技術研究所

発行所 独立行政法人港湾空港技術研究所
横須賀市長瀬3丁目1番1号
TEL. 046(844)5040 URL. <http://www.pari.go.jp/>

印刷所 株式会社 あんざい

Copyright © (2004) by PARI

All rights reserved. No part of this book must be reproduced by any means without the written permission of the President of PARI.

この資料は、港湾空港技術研究所理事長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部または一部の転載、複写は港湾空港技術研究所理事長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。