

運輸省港湾技術研究所

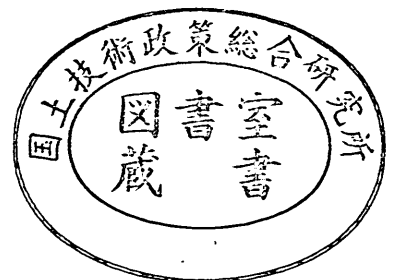
港湾技術研究所 報告

REPORT OF
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH
INSTITUTE

MINISTRY OF TRANSPORT

VOL. 24 NO. 2 JUNE 1985

NAGASE, YOKOSUKA, JAPAN



港湾技術研究所報告 (REPORT OF P.H.R.I.)

第24巻 第2号 (Vol. 24, No. 2) 1985年6月 (June 1985)

目 次 (CONTENTS)

1. An Effective Stress Analysis of Liquefaction at Ishinomaki Port during 1978 Miyagi-ken-oki Earthquake
..... Susumu IAI, Hajime TSUCHIDA and W. D. Liam Finn..... 3
(1978年宮城県沖地震の石巻港における液状化現象の有効応力解析
..... 井合 進・土田 肇・W. D. Liam Finn)
2. 不規則波に対する消波ブロックの安定性に関する実験的考察
..... 谷本勝利・原中祐人・山崎一雄.....85
(Experimental Study on the Stability of Wave Dissipating Concrete
Blocks against Irregular Waves.....Katsutoshi TANIMOTO,
Suketo HARANAKA and Kazuo YAMAZAKI)
3. 砂れん上の底質の浮遊過程を考慮した漂砂観測法に関する実験的研究
..... 入江 功・寺崎賢次・加藤一正... 123
(Laboratory Study on the Observation Methods of Sediment Transport
as Focussed on Suspension of Sediment above Sand Ripples
..... Isao IRIE, Kenji TERASAKI and Kazumasa KATOH)
4. 底質の移流沈降過程を入れた航路・港内埋没の予測
..... 入江 功・栗山善昭... 157
(Prediction of the Rate of Sedimentation in Channels and Basins by
Considering the Deposition Process Due to Convective Move of Bed
Materials..... Isao IRIE, Yoshiaki KURIYAMA)
5. 波力発電ケーソンに設置されたウェルズタービンの出力計算法
——波エネルギーに関する研究 第4報——
..... 高橋重雄・鈴木諭史・明瀬一行... 205
(Turbine Power of Pneumatic-type Wave Power Extractors Utilizing
Caisson Breakwaters
——A Study on Development of Wave Power, 4th Report——
..... Shigeo TAKAHASHI, Satoshi SUZUMURA and Kazuyuki MYOSE)
6. 淡塩二層密度界面の抵抗と混合特性.....中野 晋・鶴谷広一・一戸秀久... 239
(Friction and Entrainment at the Interface of Two-Layered Stratified
Flow Susumu NAKANO, Hiroichi TSURUYA and Hidehisa ICHINOHE)

7. コンクリートかさ上げの付着特性……………林 洋介・佐藤勝久… 275
(Bond Characteristics of Concrete Overlays
…………… Yousuke HAYASHI and Katsuhisa SATO)
8. 飽和砂地盤上の盛土の破壊振動実験と円形すべり安定解析
……………上部達生・北澤壮介・檜垣典弘… 305
(Shaking Table Tests and Circular Arc Analysis for Large Models
of Embankment of Saturated Sand Layers……………Tatsuo UWABE,
Sosuke KITAZAWA and Norihiro HIGAKI)
9. 土砂輸送パイプの摩耗に関する研究 (第2報)
——大口径ポリウレタンライニング管の耐摩耗性に関する現地実験
(苫小牧, 岸和田)——……………岡山義邦・浜田賢二・釜場和宏・中村裕二… 361
(Study on the Wear of Slurry Pipelines (2nd Report)——Field Tests
on Wear Resistance of Large Polyurethane Lined Pipe——
……………Yoshikuni OKAYAMA, Kenji HAMADA, Kazuhiro UKEBA
and Yuji NAKAMURA)

9. 土砂輸送パイプの摩耗に関する研究 (第2報) —大口径ポリウレタンライニング管の耐摩耗性に関する現地実験 (苫小牧, 岸和田)—

岡山義邦*・浜田賢二**・釜場和宏***・中村裕二***

要 旨

大口径鋼管 ($D=0.75\text{m}$) とポリウレタンライニング管 (ライニング厚 6mm) に対する摩耗調査を際の実稼動中のポンプ浚渫船により実施した。

現地実験は苫小牧と岸和田の2箇所で行った。それぞれの土質は苫小牧が砂及び砂質シルトであり摩耗期間中の総通過土量は約 173万m^3 であった。岸和田の場合は礫主体の土質であり、 116万m^3 の土砂が摩耗期間中に通過している。

この報告では鋼管及びポリウレタンライニング管の詳細な管断面に対する摩耗量分布を示すと同時にポリウレタンの耐摩耗性を明らかにしている。さらに、ポリウレタンの耐摩耗性が流動パターンにより著しく影響されることによる摩耗パターンの違いを論じ、ポリウレタンライニング管を浚渫用配管としてあるいは一般の摩耗性の高い物質のスリラー輸送に使用する場合の有利性及び問題点を指授している。

* 機材部 流体輸送研究室長

** 機材部 主任研究官 (水力浚渫担当)

*** 機材部 流体輸送研究室

9. Study on the Wear of Slurry Pipelines (2nd Report) —Field Tests on Wear Resistance of Large Polyurethane Lined Pipe—

Yoshikuni OKAYAMA*

Kenji HAMADA**

Kazuhiro UKEBA***

Yuji NAKAMURA****

Synopsis

Wear of large steel pipe ($D=0.75\text{m}$) and polyurethane lined pipe (6 mm in liner thickness), of which length was 1 m respectively, in dredge pipelines were investigated under real operational conditions.

The field tests were performed for two kinds of materials transported at different dredge site and the total solid output of dredge was 1.73 million m^3 for sand and 1.16 million m^3 for gravel. Throughout the tests, several on-site wear observations were conducted and the dredging operational data were also obtained simultaneously.

This report describes the details of circumferential wear distribution for each test pipe according to the dredge executions and the wear resistance of polyurethane lined pipe by comparing with wear of steel pipe. The wear distribution for polyurethane lined pipe shows the circumferential variation on wear resistance because of vertical change of flow patterns. Further, the result of the tests clarifies some basic requirements on the usage of polyurethane lined pipe for actual dredging activities and also for general abrasive slurry transportations.

* Chief of Hydraulic Transportation Laboratory, Machinery Division

** Senior Research Engineer, Machinery Division

*** Member of Hydraulic Transportation Laboratory, Machinery Division

目 次

要 旨	361
1. ま え が き	365
2. 現地実験の概要	366
3. 苫小牧における摩耗調査	370
3.1 摩耗計測管と取付方法	370
3.2 摩耗計測管の材質	372
3.3 ポリウレタンのライニング方法	373
3.4 土質条件	373
3.5 ポンプ船の運転状況	377
3.6 苫小牧における摩耗の状況	378
4. 岸和田における摩耗調査	385
4.1 摩耗計測管と取付方法	385
4.2 流送条件の測定方法	386
4.3 土質条件	387
4.4 ポンプ船の運転状況と流送条件の推定	388
4.5 岸和田における摩耗の状況	397
5. 摩耗調査結果の検討	400
5.1 通過土量当たり摩耗量	400
5.2 ポリウレタンの摩耗の特徴と耐摩耗性	405
5.3 摩耗計測値に与える流れ方向の影響	409
5.4 ライニング初期肉厚の影響	409
5.5 ライニング強度	411
5.6 摩耗期間中の流送条件の推定	411
6. 結 論	412
7. あ と が き	413
参 考 文 献	413

1. まえがき

スラリー輸送用パイプラインの耐摩耗性を向上させその寿命延長を図ることは、大量の土砂輸送を経済的なものとすると同時に、長距離の地中管や海底埋設管などを利用したスラリー輸送を実現させるための主要課題のひとつである。このために、土砂あるいは鉱物資源等のスラリーに対する耐摩耗性の高い管材質ならびにライニング材の開発研究が進められている。

管材質については室内ループテストや現地実験を通して土砂に対する耐摩耗性調査が行われている^{1),2),3),4)}。

ライニング材に関しては、Oswald ら⁵⁾が10mm以下の粗粒子を含むアツシュスラリーに対し、エポキシ樹脂にセラミックビーズを混入したライニング材と鋼およびステンレスとの定量的摩耗比較を行っている。また、Ganga ら⁶⁾はポリアミド11の砂スラリーに対する耐摩耗性をテストループにより確認している。

ポリウレタンライニングについては、Munro⁷⁾が石英スラリーに対する10インチ鋼管とポリウレタンライニング管の摩耗比較を行っており、Nguyen ら⁸⁾はポリウレタンを含めた各種エラストマーの耐摩耗性をループテストで確認するとともに36インチ径、長さ200mの実管テストラインに対する使用実績を報告している。さらに、村上⁹⁾はダム堆砂輸送を目的としてテストプラントによりポリウレタンライニング管の耐摩耗性を調べている。

これらの研究を通じてポリウレタンエラストマーのスラリー輸送における耐摩耗性は非常に高いということが明らかにされてきている。しかしながら、一方では従来の研究による評価が粒径の比較的小さい(平均粒径として0.3~0.4mm以下)、流れとしては浮遊流、摩耗のしかたからいえば衝突摩耗に近いスラリー流動の範囲に限定されたものが多い。したがって、港湾建設、特に浚渫・埋立の分野で要請される粗大粒子を含んだ土砂スラリーに対してもこの評価が有効であるとは限らない。

特に、礫や地山からの切り出し土砂の管内流れはほとんどの場合しゅう動流が主となり、上述の衝突摩耗の割合が減少ししゅう動摩耗形態が主体になるものと考えられる。一般的にこの種の摩耗形態においては、固体が管壁を“こする”現象ないしは衝突角度の小さい衝突が生じ、この状況下での軟らかい管材質および弾性材料の耐摩耗性の低さはWiedenroth¹⁰⁾、Bitter¹¹⁾、橋本¹²⁾等が示しているように顕著である。しかし、このことは通常使用される鋼管と比較したポリウレタンライニングの耐摩耗性が、細粒子浮遊流の場合より粗大粒子しゅう動流

の場合のほうが低下することを示すものであっても、しゅう動摩耗形態で通常鋼より絶対摩耗量が大きくなるという意味ではない。

したがって、ポリウレタンのような弾性材料にとって比較的弱い領域と考えられる粗大粒子によるしゅう動摩耗形態においても、通常鋼管と比較した耐摩耗性の程度によってはライニング材として十分実用化しうると考えられる。この点を明らかにするために、昭和54年度から昭和56年度にかけて、水平ドラム式摩耗試験機を利用した平均粒径4~20mmの粗大粒子に対するポリウレタンの耐摩耗性を調べた。この結果は既報^{13),14)}にとりまとめられているが、普通鋼(SS41)と比較した耐摩耗性倍数は粒径によって大きく変化し、数倍から数十倍という結果が得られている。

この室内実験における摩耗の形態は、粗大粒子の流動状況を考慮したしゅう動摩耗にかなり近いものであったといえるが、試験装置の特性上管壁と固体粒子(地山切り出し直後の砕石)との相対速度がかなり小さいこと等のために衝突摩耗を部分的に含んだ実際の大口径管内のしゅう動摩耗形態と相似でない面も多い。また、流送条件と摩耗のパターンの関係に関しては、Karabelas¹⁵⁾、Kazanskij¹⁶⁾、岡山¹⁷⁾らの報告にみられるように土質を含めた流送条件の違いにより管の上下方向で摩耗のパターンが相当異なっており、ライニング部の摩耗についても平均的にとらえることは難しいと考えることができる。

したがってポリウレタンライニングを大口径管に適用する場合、室内実験におけるポリウレタンの基本的耐摩耗特性と実管における摩耗パターン(または耐摩耗のパターン)ならびにその流送条件との関係等をあわせて考慮する必要がある。それと同時に大口径管(例えば管径500~600mm以上)に対するライニング手法の妥当性、実際の土砂流送条件下に長時間さらされた場合のライニング強度の変化等を確認する必要がある。このような理由から、管径750mmの大口径管およびパイプ全周にポリウレタンライニングを施した摩耗計測管を実際に稼働中の大型ポンプ浚渫船の排砂管に取り付け、長期間にわたる摩耗量を調査した。

本報告は昭和57年度から昭和59年度にかけて、土質の異なる箇所で行った現地実験のうち、昭和57年度および昭和58年度に行った実験結果に関するものである。なお本研究は(社)鋼材倶楽部との共同研究として昭和54年度から行っている一連の摩耗に関する研究の一部である。

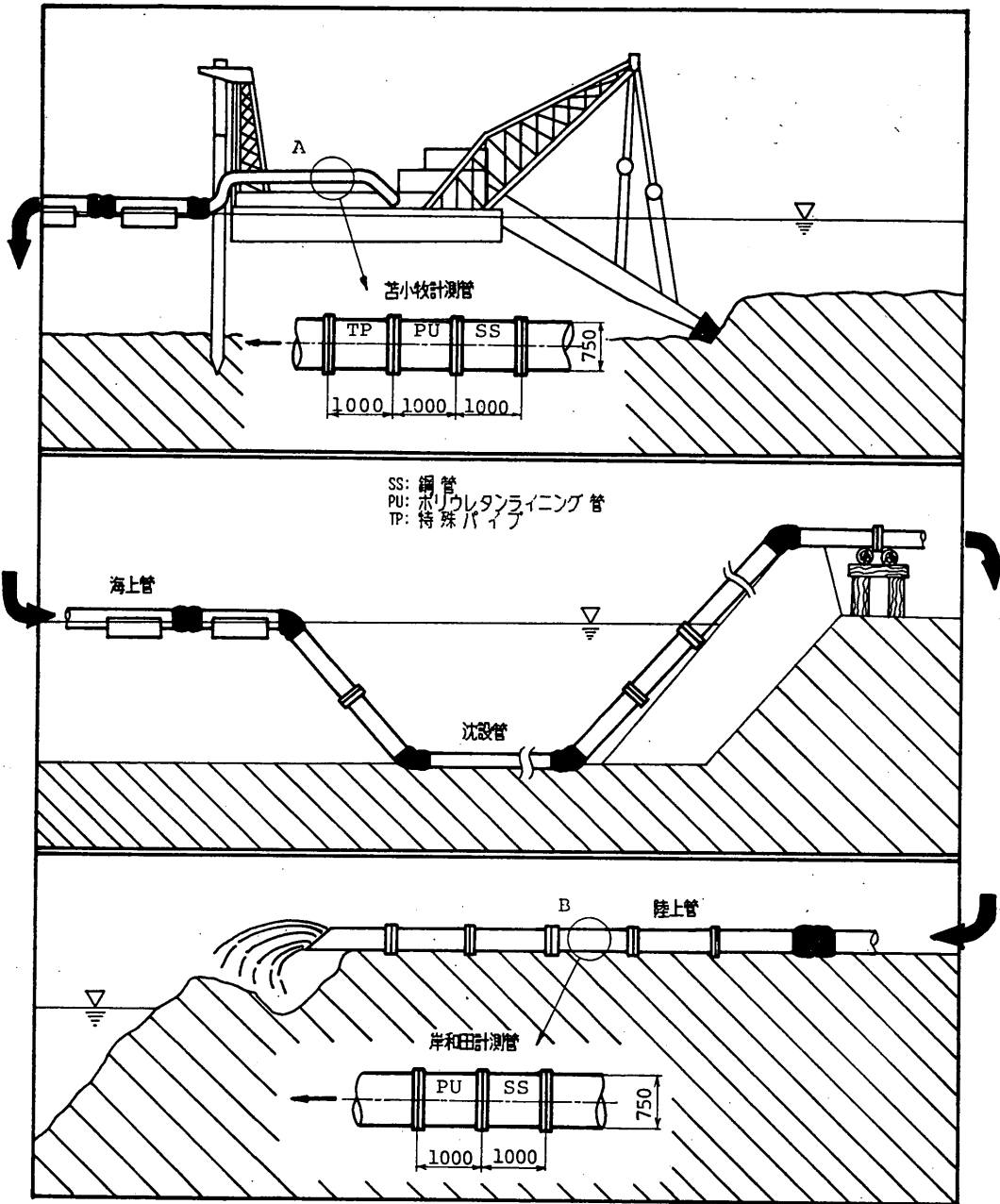


図-1 浚渫船の配管状況図

2. 現地実験の概要

実船調査は昭和57年度ならびに昭和58年度の2回にわたり実際に稼働中の大型ポンプ浚渫船を利用して行われた。埋立浚渫工事において稼働中のポンプ浚渫船の配管

システムは一般に図-1に示すとおりである。海底土砂を船内ポンプで浚渫吸引したのち、海面上を一定区間フローターで浮かせた海上管で土砂を埋立地へ輸送する。他の船舶通航等の関係によっては、図-1に示すように海底管が途中に組み込まれる。埋立地内のパイプラインは陸上

土砂輸送パイプの摩耗に関する研究 (第2報)

表-1 千代田丸の諸元

船 体 部	全 長	117.5m
	船体の長さ	70 m
	幅 度	18.4m
	深 さ	4.6m
	主機関最大出力	8,200馬力
	連続最大出力	7,260馬力
	公称浚渫能力	1,600m ³ /h
	排送距離	6,000m
浚渫深度 (ラダー角45°)	32m	
浚 渫 機 部	浚渫ポンプ型式	横型片吸込渦巻式 二重ケーシング
	口 径	吸込φ850mm, 吐出φ750mm
	容 量	7,600m ³ /h (排送距離3,000m)
	全 揚 程	105m (")
	所要馬力	5,600馬力 (")
	ブースタポンプ型式	横型斜流式特殊水中ポンプ
	口 径	φ850mm
	揚 量	10,000m ³ /h×3.5m
電 動 機	AC 440 V 200kW	

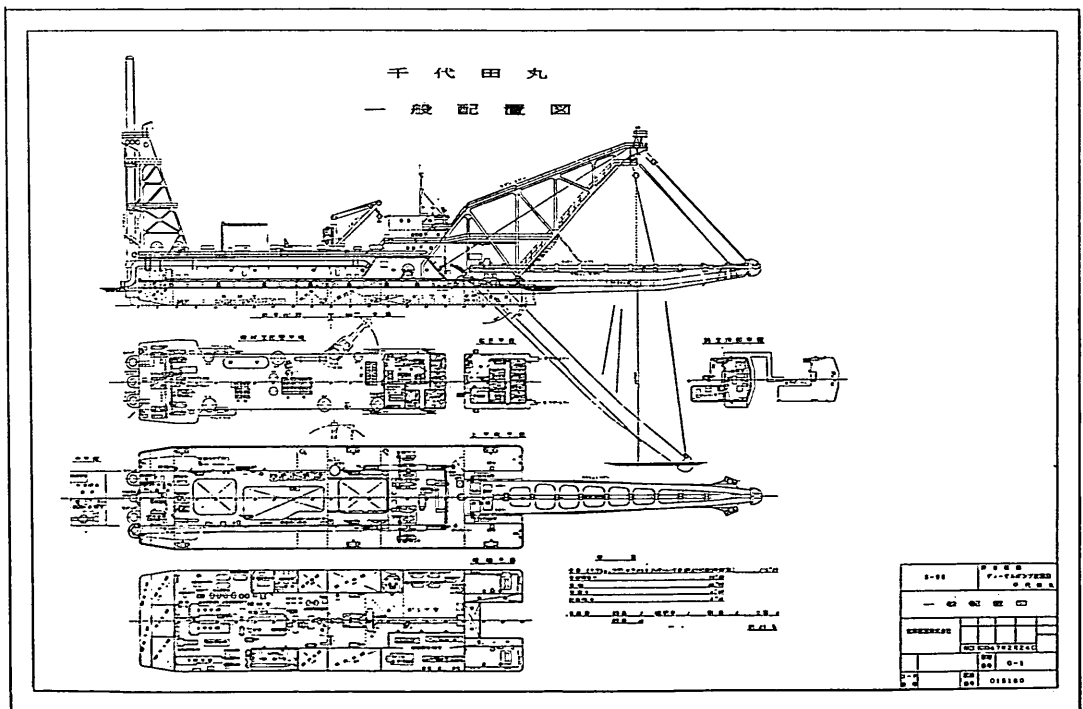


図-2 千代田丸一般配置図

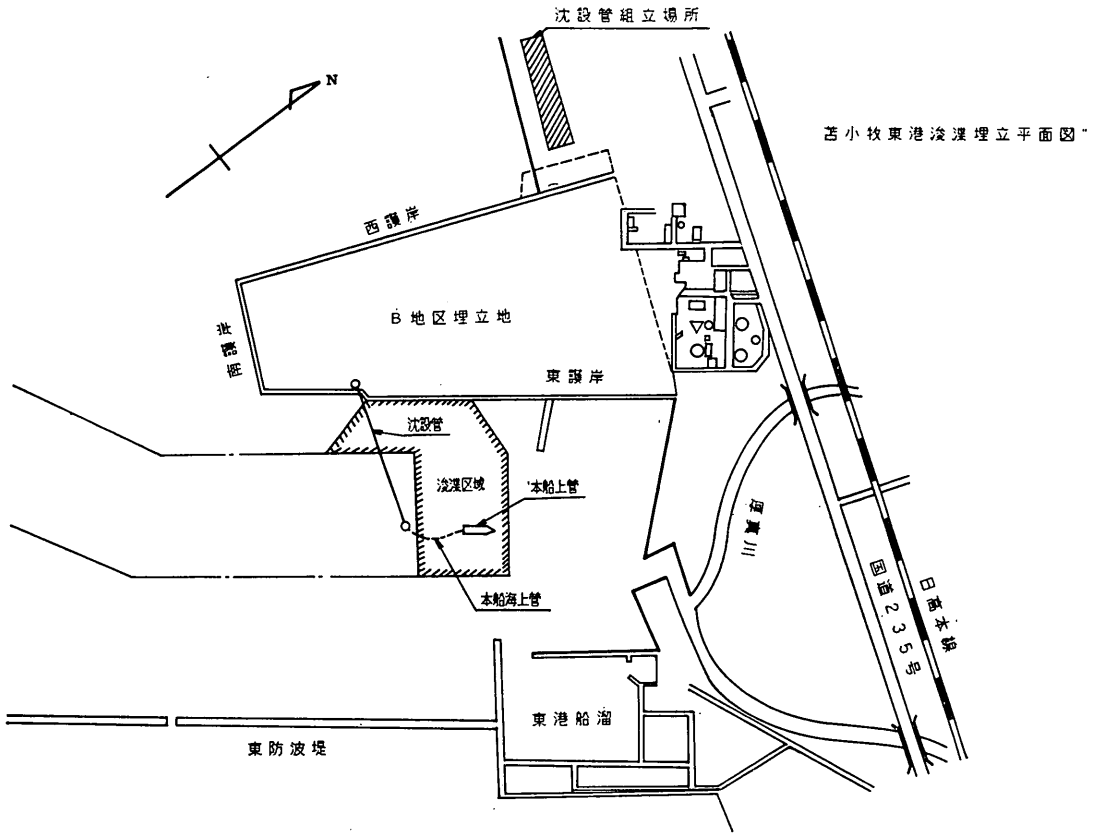


図-3 苦小牧東港埋立平面図

管と称され埋立の進行状況に応じて延長，経路変更等がかなり頻繁に行われる。海上管および海底管についても，浚渫工事の進行に応じて経路変更が行われるが陸上管ほど頻繁ではない。

今回の調査のうち，第1回については摩耗試験用に製作した摩耗計測管を船内管（図-1 A地点）に取り付けた。この地点は船内浚渫ポンプの下流側約10mの位置に相当する。第2回の実船調査では陸上管部（図-1B地点）に取り付け一定期間土砂が通過したのちこれを取り外してパイプ摩耗量を計測した。

本調査で使用したポンプ浚渫船は，1回め，2回めともに東洋建設（株）所属の大型ポンプ浚渫船千代田丸である。ただし，調査地点は第1回めが苦小牧東港，第2回めが岸和田沖である。千代田丸の主要目を表-1に示し，一般配置を図-2に示す。

第1回めの調査は苦小牧東港において昭和57年7月22日より同11月3日にかけて実施した。図-3は当時の浚渫

埋立平面図である。本工事は苦小牧東部開発株式会社の進めている苦小牧東部工業基地開発計画のうちの東港B1埋立浚渫工事の一部であった。

パイプ摩耗量の計測は摩耗計測管取付前と試験終了後については川崎市の計測管製作工場内で行い，一次摩耗量は8月31日～9月1日にかけて現地本船上で計測した。なお，摩耗期間中の配管状況は図-3と異なり，沈設管は用いられておらず海上管からダイレクトに陸上管へ結合されている。また，一次摩耗計測時にあわせて流速条件も測定する予定であったが，気象条件不良のため本船が稼働できず，流速データを直接得ることはできなかった。

摩耗計測管は，浚渫船の排砂管に適合させた長さ1mの鋼管1本と鋼管の内壁をポリウレタンで全周ライニングしたもの1本を用いた。このほか苦小牧の場合は室内摩耗実験で使用した鋼材ならびにポリウレタンテストピースと同サイズの試験片を管内壁に取り付けた特殊パイ

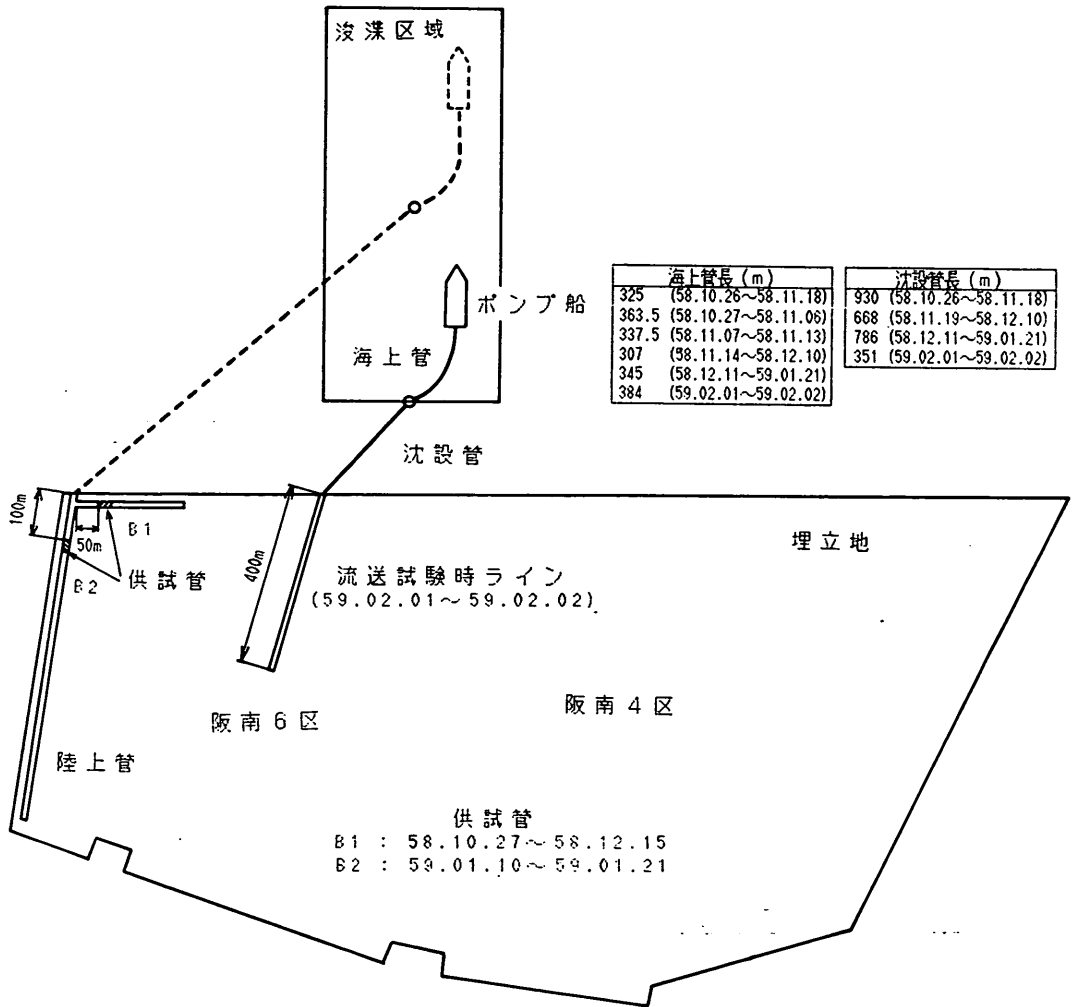


図-4 岸和田浚渫埋立平面図

プも使用した。

第2回めの調査は、昭和58年10月27日から昭和59年1月21日にかけて岸和田沖の埋立浚渫工事の中で行われた。これは大阪府の進めている阪南土地造成事業の一部である阪南4・6区埋立浚渫工事の一部であった。

ポンプ浚渫船は第1回めと同じ千代田丸である。本船の浚渫区域ならびに埋立地への排砂管ルートの大略を図-4に示す。

摩耗計測管は現地取り付け前に製作工物内でベースデータを測定し、現地においては10月27日から12月25日までの一次摩耗計測を12月27日に行った。昭和59年1月10日から1月21日までの二次期間では摩耗計測管を天地替

えし、一次期間と異なる場所に取り付けた。この二次期間の摩耗量は2月1日から2月2日にかけて行った浚渫船の流送条件測定時に並行して行われた。摩耗計測管の埋立地内での取り付け位置は図-4に示されている。

流送条件の測定は稼働中のポンプ浚渫船におけるスラリー流速、含泥率、ライン中の各所圧力等を測定し、測定時の土質条件に対する浚渫ポンプ特性の変化と日報による土量等のデータから摩耗全期間内の流送条件を推定するために行ったものである。

なお、以上の調査における鋼管およびポリウレタンライニング管の摩耗量は、苫小牧におけるテストピースを除いていずれも厚さの直接測定値から計算した。

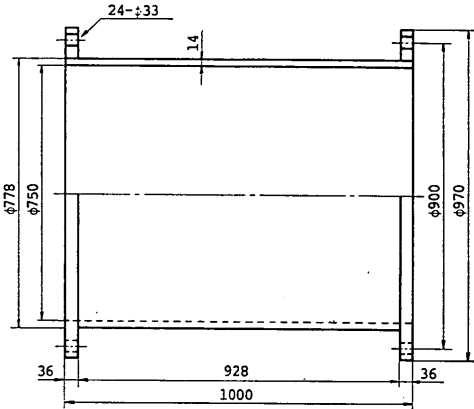


図-5 鋼管寸法 (苫小牧)

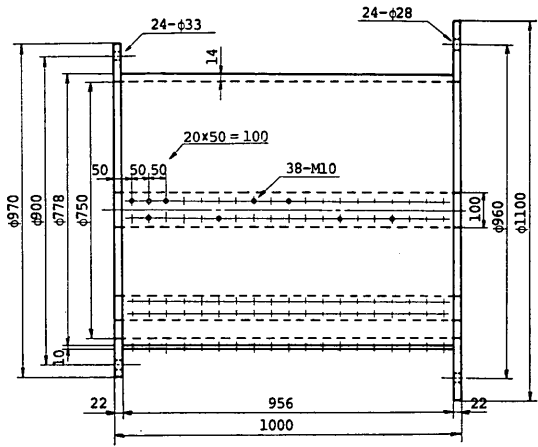


図-8 特殊管の寸法

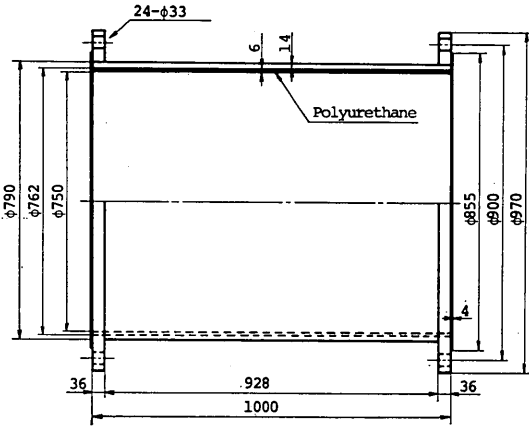


図-6 ライニング管寸法 (苫小牧)

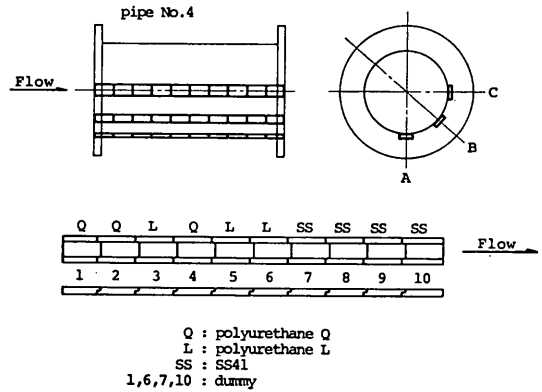


図-9 テストピースの配列

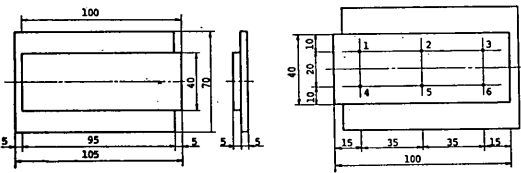


図-7 テストピースの形状・寸法

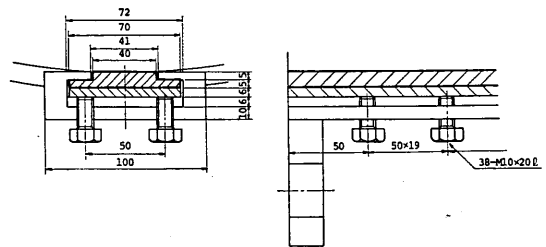


図-10 テストピース固定方法

このようにして得た鋼管とポリウレタンライニング管の同一摩擦箇所におけるそれぞれの摩耗量を比較することによりポリウレタンの耐摩耗性を検討した。

3. 苫小牧における摩耗調査

3.1 摩耗計測管と取付方法

図-5及び図-6に摩耗計測管として使用した鋼管とポリウレタンライニング管の諸寸法を示す。鋼管の内径はポンプ浚渫船吐出管に合わせて750mmとしている。肉厚は14mmである。

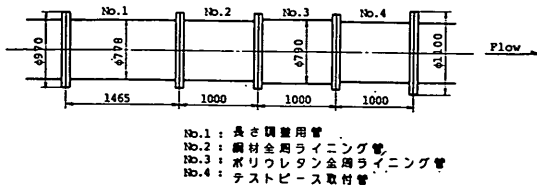


図-11 摩耗計測管の結合状況

ポリウレタンライニング管は、内径762mmの鋼管に厚さ6mmのポリウレタンを全周にライニングし、内径が750mmになるように設計されている。

苫小牧においてはこのほかに図-7に示す鋼材及びポリウレタンのテストピースを管壁の一部を構成するように取り付けした特殊なパイプも使用した。この特殊管は図-8に示すとおりであり、そこには鋼材及びポリウレタンテストピースの一定の組み合わせからなる板が流れ方向に3列取り付けられている。このようすを図-9に示す。各列は図-10に示すように押え板をパイプ外側から40本のボルトで押し付ける構造になっている。これらテストピース1個の重量は鋼材で約430g、ポリウレタンの場合約60gである。

これらのテストピースを用いることは摩耗量が非常に少なく、厚さの直接測定では誤差が大きすぎる場合の対策である。摩耗量が小さい場合にテストピースの重量減少から板厚減少量を得ることの有効性は前報¹⁸⁾に示す室内実験結果のひとつの結論でもある。しかしながら、結果的にいえばポリウレタンの摩耗が大きな切り傷が多数存在する異常な摩耗であり、重量減少と板厚減少との関係が一定しないという理由から本報告の摩耗量解析に

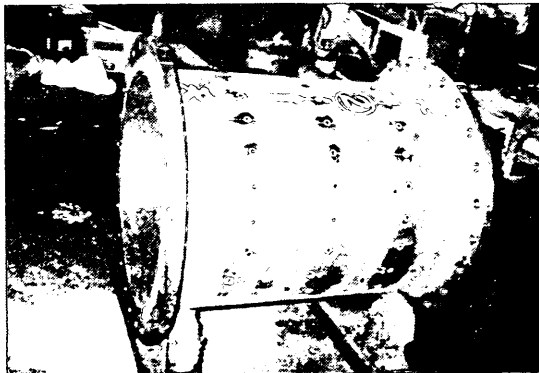


写真-1 鋼管の外観 (苫小牧)

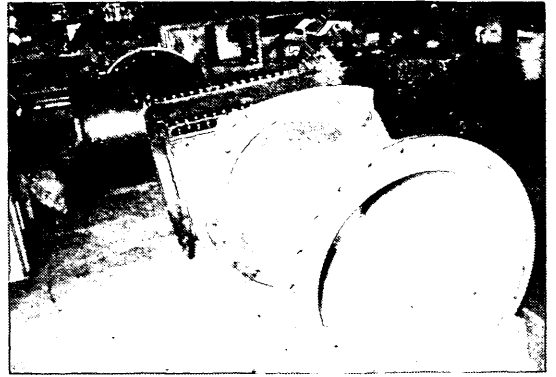


写真-2 ライニング管の外観 (苫小牧)

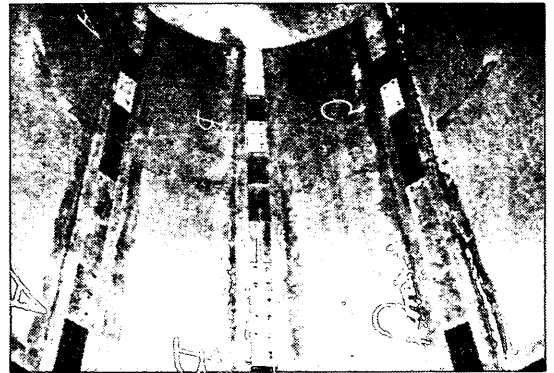


写真-3 特殊管内のテストピース配列状況

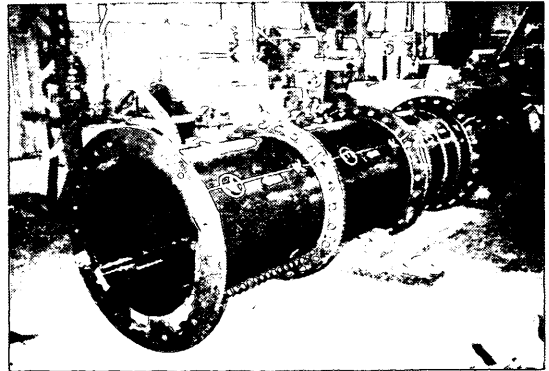


写真-4 摩耗計測管の連結状況 (苫小牧)

はこのテストピース測定結果を使用せず、摩耗表面の観察において主として用いている。

以上述べた3本の摩耗計測管は図-11に示す順序で長さ調整管とともに結合され本船船内の吐出管に取り付け

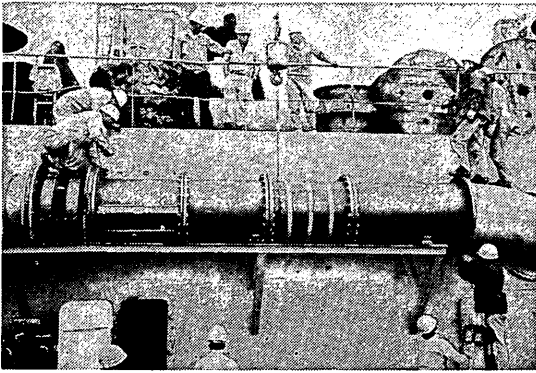


写真-5 ポンプ浚渫船内の摩耗計測管取付状況

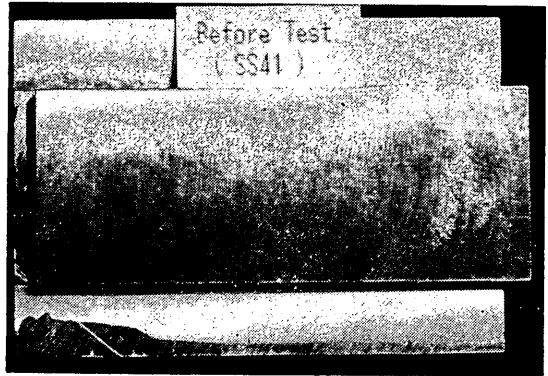


写真-6 テストピース（摩耗前）

られた。写真-1~3は鋼管、ライニング管及び特殊管の外観を示し、写真-4に結合状況、写真-5にこれが取り付けられたポンプ浚渫船吐出管の状況を示す。

3.2 摩耗計測管の材質

鋼管及び特殊管に取り付けた鋼材テストピースの材質はSS41である。ポリウレタンについては、テストピースとしてQ583(Q)とL2705(L)の2種類を製作した。ライニング管に使用したポリウレタンはこのうちの

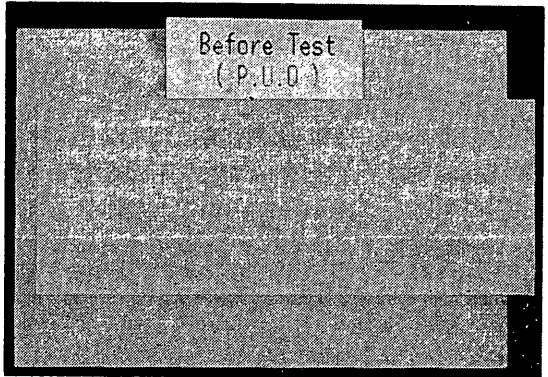


写真-7 テストピース（ポリウレタンQ 摩耗前）

表-2 ポリウレタン仕様

		L 2705	Q 583
配合比	主 剤	100	124
	硬化剤	8	87(HC-623) 13(HC-623-05)
混合時 温度(°C)	主 剤	110	30
	硬化剤	120	30
硬化条件	一 次	110°C × 60分	60°C × 15分
	二 次	110°C × 180分	—
使用プライマー	B U-1 A/B	1-A	
硬度 (JISA)		80	83
100% MO(kg/cm ²)		36	52
300% MO(kg/cm ²)		58	104
引張強度(kg/cm ²)		402	350
伸び (%)		551	470
引張強度(kg/cm ²)		46	77
テーパー摩耗 (mg)	(H-18)71	(H-22)23	
吸水率 (W t%)	25°C × 1 か月 1.28	70°C × 7 日 1.45	23°C × 1 か月 1.0
			70°C × 1 か月 1.5
	アジブレンL-100 8個(内2個子備)	三井日曹中温硬化 品 8個(内2個子備)	

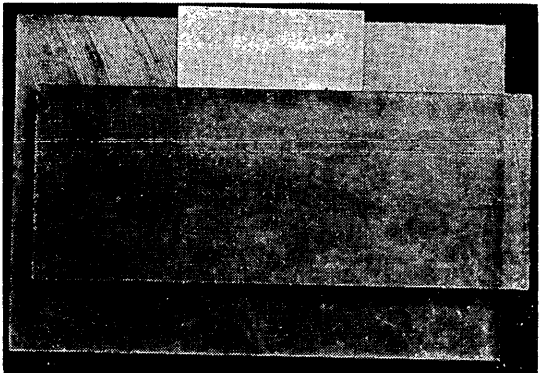


写真-8 テストピース（ポリウレタンL 摩耗前）

Q583と同種である。表-2にポリウレタンのおもな仕様を示した。写真-6, 7, 8はSS41, ポリウレタンQそしてポリウレタンLのテストピース表面で、これが摩耗前の状況である。

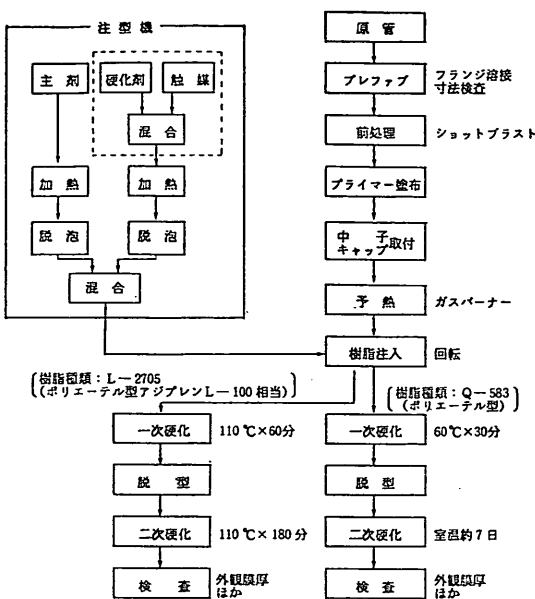


図-12 ポリウレタンライニング工程

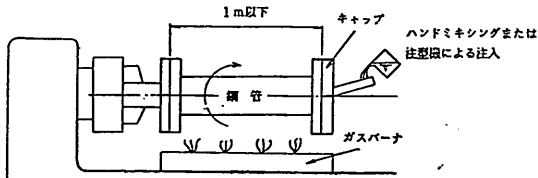


図-13 ポリウレタンライニング装置概略図

3.3 ポリウレタンのライニング方法

本調査で使用したポリウレタンQ-583 (ポリエーテル型) およびL-2705 (ポリエーテル型アジブレンL-100相当品) の2種類について加工工程を 図-12 に示す。両タイプとも主剤と硬化剤の2液反応により硬化するものであるが、表-2の仕様からわかるように混合時の温度および硬化条件が異なっている。

QタイプはLタイプに比べ硬化剤として特定化学物質を使用しないこと、混合時の加熱温度が30℃と低いこと、1次硬化は60℃×30分で短時間であること、ならびに2次硬化は加熱を必要とせず室温で可能である等の特徴をもっている。Qタイプについては特に2次硬化が室温で可能であり、実際のライニング管として使用する場合施工性が高いということを考慮して摩耗計測管として

試作したライニング管にはQタイプを採用した。

ライニング方法としては金型(中子)を使用する注型法と回転により円周方向の膜厚を均一にする遠心成型法がある。異形管についてはほとんど中子を用いた注型法が用いられるが、今回使用したライニング管は直管でありかつフランジ外径が1mであるので遠心成型法とし回転装置として大型旋盤を用いた。その方法を 図-13 に示した。なお、テストピースについては注型法で行っている。

図-12および図-13について簡単に説明する。ポリウレタンは鋼管との自己接着性がなく、また透水性があるので接着及び鋼管の防食を行うため専用のプライマーを母鋼管表面に塗布する。つぎに、フランジ面にライニングを折り返すためキャップ(金型)を製作しフランジのボルトを使用して鋼管の両端に固定する。回転装置に片持ちでチャッキングし樹脂を注入し回転させ、ガスバーナ加熱により1次硬化までを回転中に行う。遠心注型法の場合はライニング膜厚から必要樹脂量を計算で求めておき、この量を計量しながら注入する必要がある。2次硬化後、目視によりピンホール、有害なふくれ、へこみ、しわ、剝離等の欠点のないことを検査するとともに電磁膜厚計により膜厚測定を行う。

3.4 土質条件

図-14は苫小牧東港浚渫区域と浚渫工事に先立ってボーリング調査の行われたポイントを示している。もちろん、これらの点以外にも多数ボーリングが行われているがここでは関連区域内に限って表示している。これら6点のボーリング調査結果を 図-15~20 に示す。

No. 49の2m以深とNo. 52の表層部に2~10mmφの礫の混入が見られるほかはいずれも砂、シルト及び粘土の組み合わせで構成された土質といえる。また、全般的に貝がらの混入が多いことがひとつの特徴である。

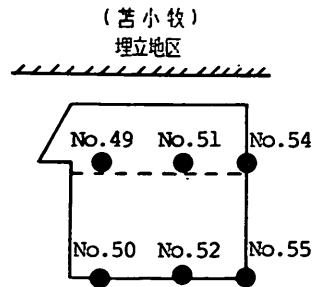


図-14 ボーリング調査点(苫小牧)

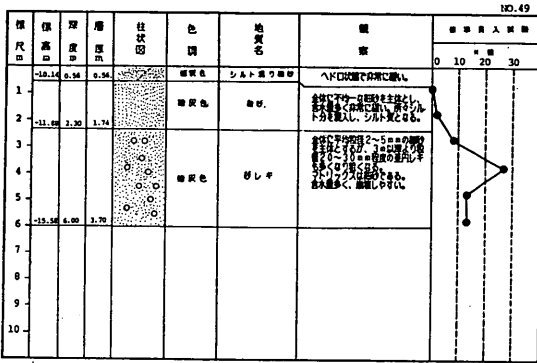


図-15 浚渫地盤の土質 (苫小牧 No. 49)

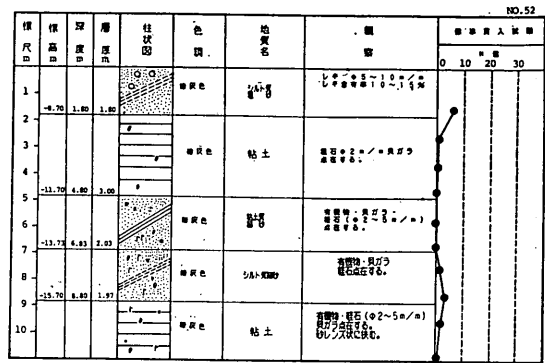


図-18 浚渫地盤の土質 (苫小牧 No. 52)

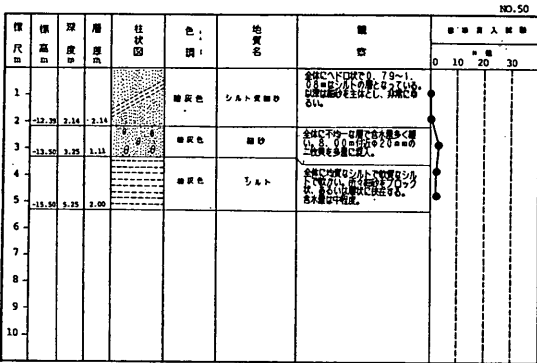


図-16 浚渫地盤の土質 (苫小牧 No. 50)

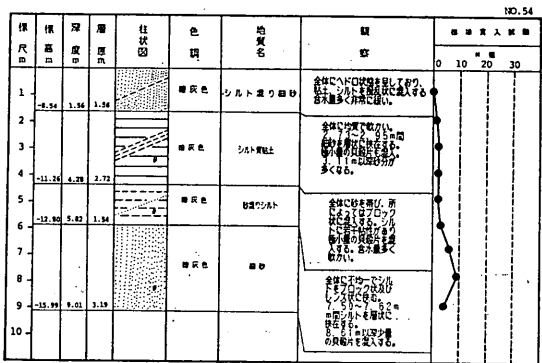


図-19 浚渫地盤の土質 (苫小牧 No. 54)

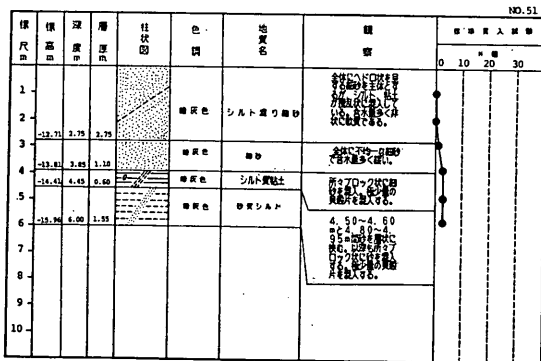


図-17 浚渫地盤の土質 (苫小牧 No. 51)

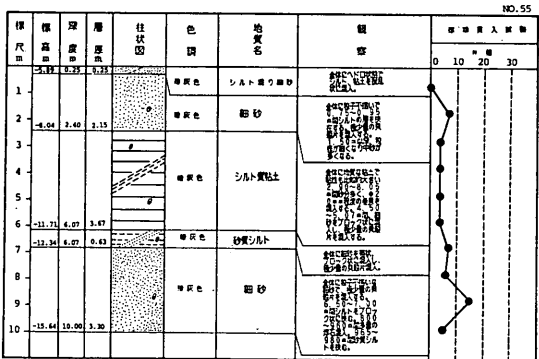


図-20 浚渫地盤の土質 (苫小牧 No. 55)

苫小牧東部開発(株)の埋立内訳によれば、図-14に示す区画において点線より上部については粘土および粘土質シルトが14.7%、残りの85.3%が砂および砂質シルトの構成となっている。また点線より下については粘土

および粘土質シルトが29.7%、残り70.3%が砂および砂質シルトという構成である。したがって、この区域全体の土質条件をひとこと言い表せば、貝がら混じりの砂および砂質シルトと表現することができよう。

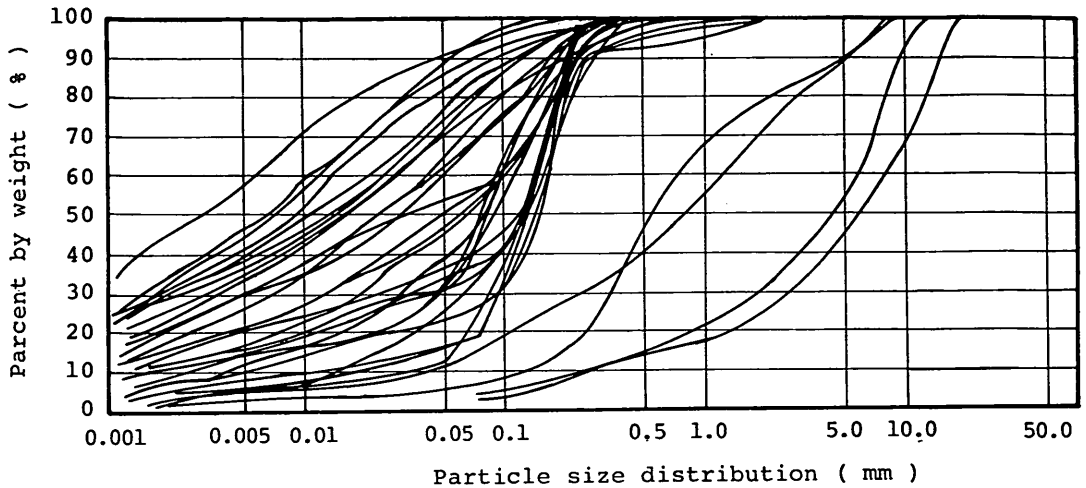


図-21 粒度分布 (苦小牧)

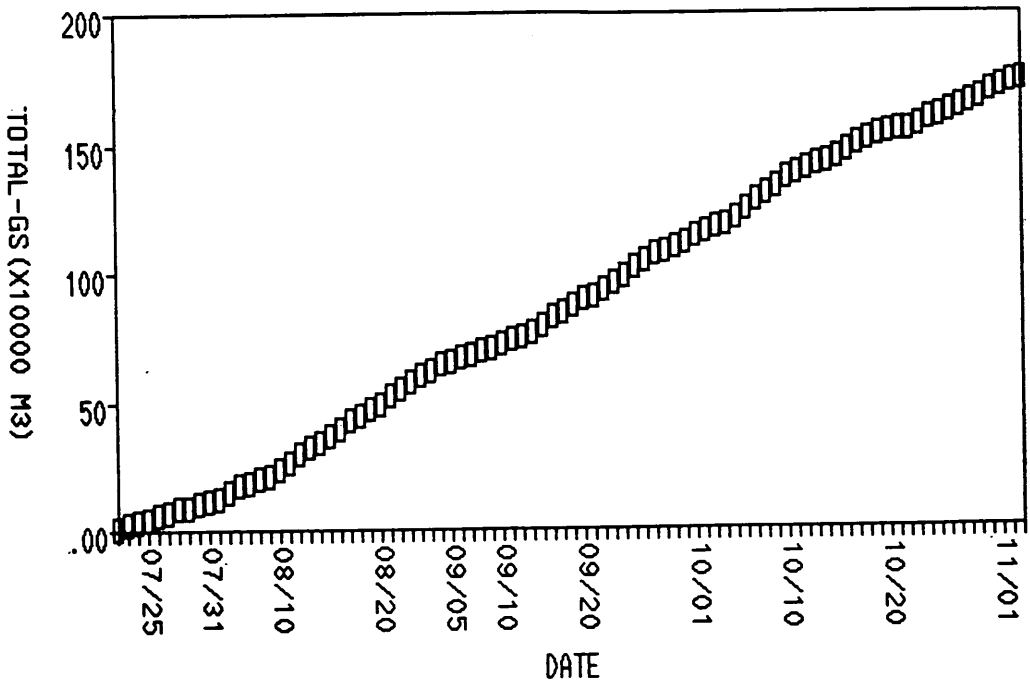


図-22 累計土量変化 (苦小牧)

つぎに土砂の粒度分布をみてる。図-21は上記ボーリングにおいて一定の深さごとに得られたサンプルに対する粒径加積曲線を示している。図中、50%平均粒径が1mm超のデータはNo.49に対するものである。これを除いて考えると、50%平均粒径はほぼシルトから粗砂の

範囲に分布している。このように広い分布のデータから平均粒径を求めることは困難であるが、土砂による摩耗という点を点し、データのより集中している部分を考えて上であえて平均粒径を求めるとはほぼ0.1~0.2mmと考えることができるだろう。なお、一次摩耗計測時に埋

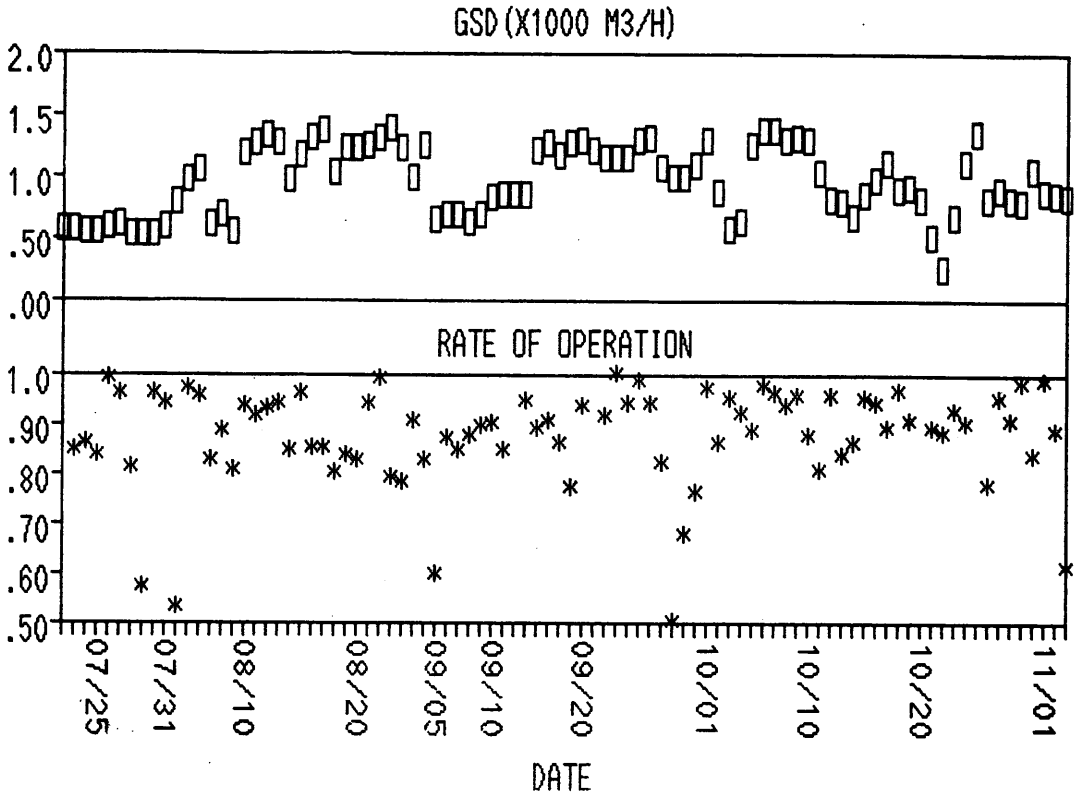
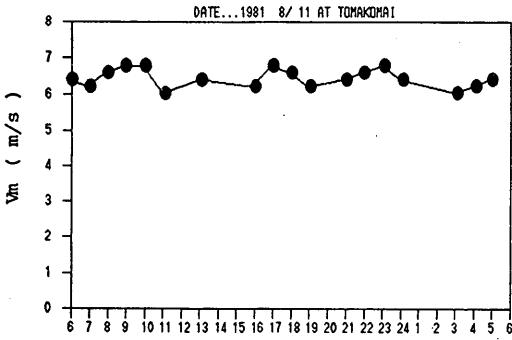
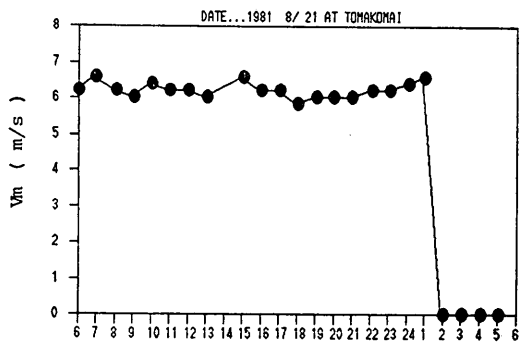


図-23 揚土量と稼働率の変化 (苫小牧)



時刻



時刻

図-24 流速の日間変化例

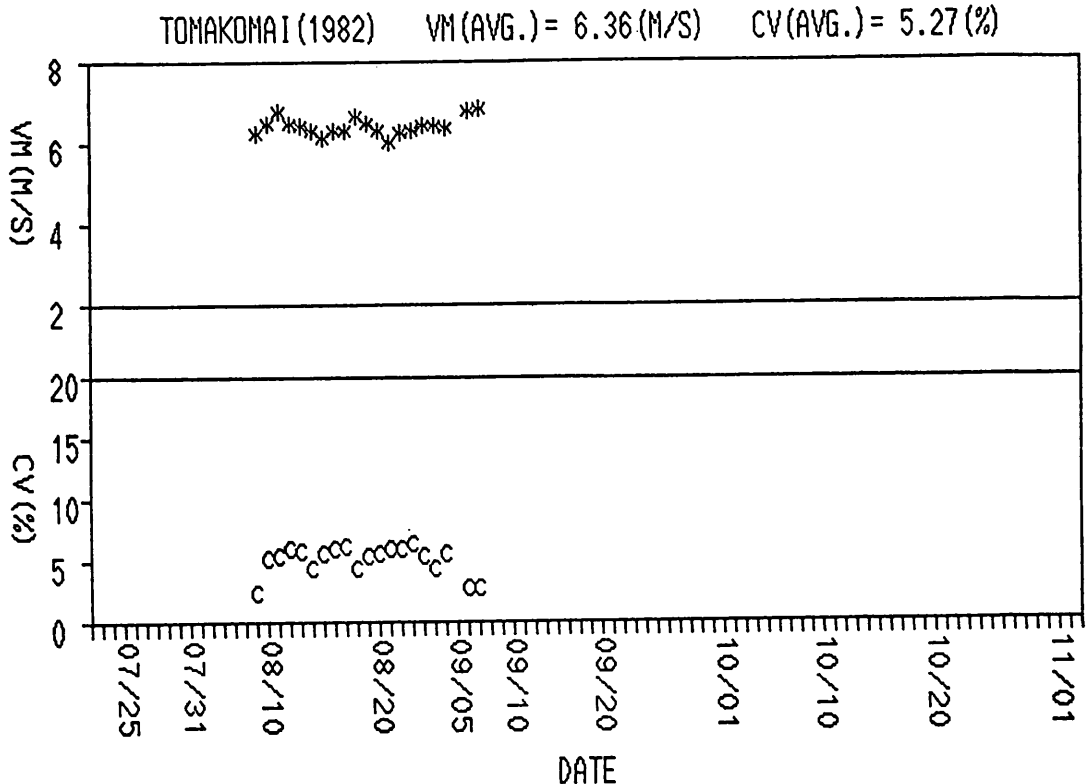


図-25 摩耗期間内の V_m と C_v の変化 (苫小牧, 推定値)

立地内でサンプリングした浚渫土砂の真比重は 2.767 であった。

3.5 ポンプ船の運転状況

摩耗計測管を取り付けたのは 7 月 22 日であり、これから 11 月 3 日までが摩耗期間である。この間摩耗計測管を通過した累積土量の変化を 図-22 に示す。取付開始より最終日までの通過土量は約 173 万 m^3 となっている。

一次摩耗量の計測は 8 月 31 日～9 月 1 日にかけて行っており開始よりこの時点までの通過土量は約 63 万 m^3 である。したがって、一次摩耗計測以後最終日までの通過土量は約 110 万 m^3 となる。なお、この土量は日報に計上されたポンプ浚渫船の毎日の前進量、浚渫土厚、そして浚渫幅から計算したものである。

図-23 は、摩耗計測期間中の運転時間当たり揚土量 GSD (m^3/h) と稼働率の変化を示している。ここで、 GSD はある浚渫日 1 日のうち浚渫ポンプが運転されている時間を T_d とし、前述の 1 日当たり土量を GS とすれば

$$GSD = GS / T_d \quad (3.1)$$

と定義され、稼働率は $T_d/24$ と定義している。

これによりある一定期間内の浚渫作業の状態がどの程度変動しているかということがわかる。図において 7 月中の揚土量が低い値となっているのは埋立の都合上浚渫の多い地点を集中的に浚渫したためである。8 月以降についてはかなり揚土量に変動が大きい。これはこの期間の浚渫土厚に変動が大きく、これを反映したものであると考えられる。

つぎに摩耗期間中のスラリー濃度および流速について触れる。調査概要でも述べたように一次摩耗量測定時に流送条件に関するデータも得る予定であった。しかしながら、台風接近による気象条件の悪化のため本船が稼働できる状態でなく浚渫時の流送条件を直接計測することはできなかった。

一方、本船においては 8 月 9 日～9 月 7 日にかけて毎日ではないけれどもブリッジ計器によりポンプ流量等を 1 日に数回読み取っていた。このデータと日報による土量データから含泥率を推定した。図-24 は本船でメータから読み取った流速の例であり、一日のうちの流速変動

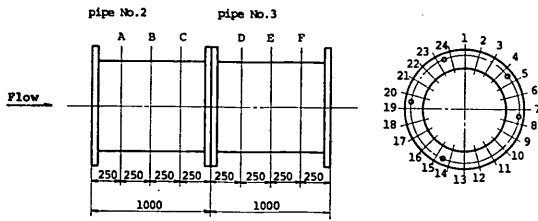


図-26 摩耗計測管の測定位置

表-3 厚さ測定器の仕様

超音波厚さ計	メーカー	東京計器株
	型式	UTM20B
	測定方式	パルス反計方式
	使用周波数	5 MHz
	表示方式	デジタル方式
	表示桁数	4桁 (最小単位 0.1mm)
	測定範囲	1.5~200mm
電磁膜厚計	精度	0.1mm
	誤差	0.1mm
	} 使用プローブ 5 Z 10ND T-1	
電磁膜厚計	メーカー	株サンコウ電子研究所
	型式	SL-120C
	表示方式	アナログ方式
	測定範囲	4レンジ
		2~4 mm 1目盛 0.1mm
		*5~7 mm 1目盛 0.2mm
		7~10mm 1目盛 0.5mm
		10~15mm 1目盛 1.0mm
	精度	指示値の5%
	標準片	ポリウレタン2 mm及び5 mm
	*本実験使用レンジ	

の程度を示している。

いま上記流速データの平均値を V_m (m/s), 1日当たりの土量を GS (m³), 浚渫ポンプの稼動時間を Td (h), 海底状態基準の見かけ含泥率を C_A とすると

$$GS = AR \cdot V_m \cdot Td \cdot C_A \quad (3.2)$$

が成立する。ここで AR は管断面積である。

一方, C_A を真容積含泥率 C_V で表すと

$$C_A = C_V \frac{(\gamma_s - \gamma_w)}{(\gamma_a - \gamma_w)} \quad (3.3)$$

となり, 式 (3.2) および (3.3) により

$$C_V = \frac{GS}{AR \cdot V_m \cdot Td} \frac{(\gamma_a - \gamma_w)}{(\gamma_s - \gamma_w)} \quad (3.4)$$

が得られ。ここで γ_a は海底土の見かけ単位体積重量で 1850 (kgf/m³), γ_s は土粒子の単位体積重量で 2767 (kgf/m³) である。 γ_w は海水の単位体積重量で, ここでは 1025 (kgf/m³) としている。この結果を図-25 に示す。

図-23 の摩耗全期間にわたっての浚渫状況の変動を考えると, 図-25 に示すデータの存在区間で全体を類推することは難しいが単純に平均すると $V_m = 6.4$ m/s, $C_V = 5.3\%$ となっている。本報告ではこの数値を摩耗期間中の流送条件とみなすことにした。

3.6 苫小牧における摩耗の状況

1 摩耗量の計測方法

鋼管については製作時パイプ外側に測定点と測定番号を示しておき, それらの点の肉厚を超音波厚み計で計測した。ポリウレタンライニング管については, パイプ外側から測定できないためパイプ内壁 (ポリウレタン表面) に通常のサインペンでマークしておき, この点のポリウレタンの厚さを電磁膜厚計で計測した。ポリウレタンにおいては, このように施されたマークはかなり深く浸透し表面がある程度摩耗してもマークは残るといった性質をもっている。したがって, 摩耗試験後においても測定点がずれる恐れはほとんどない。

摩耗計測管の測定箇所を図-26 に示す。各管とも上流側から3か所 (鋼管: A, B, C ライニング管: D, E, F の順) とり, 各位置において全周を 15° ピッチで分けた24点を摩耗計測点とした。計測点の番号は下流側よりみて時計回りにとしている。したがって, ポイント1が管頂部, 13が管底部, 7および19が管側部を意味する。厚さ測定に使用した超音波厚さ計および電磁膜厚計のおもな仕様が表-3に示されている。

苫小牧で特に使用した鋼材およびポリウレタンテストピースの重量測定には電子天びんを用いた。鋼材の場合容量 1 kg, 精度 10mg のものを用い, ポリウレタンについては容量 200g, 精度 1 mg の装置を使用した。これらの電子天びんは定置式であるため, 摩耗試験前と最終計測においては港湾技術研究所で測定し, 一次摩耗計測時には室蘭工業大学開発工学科の装置を使用させてもらった。

2 一次摩耗計測結果

一次摩耗量の計測は8月31日から9月1日にかけて行った。ここでまず指適しなければならない点はポリウレタンの摩耗状況の異常さである。土質としては前述のように部分的に礫が混入しているものの主体はシルトおよび砂であったが, 摩耗したポリウレタンの表面には鋭角な物質でカッティングしたような跡がかなり多く残って



写真-9 一次摩耗後のライニング表面 (苫小牧)

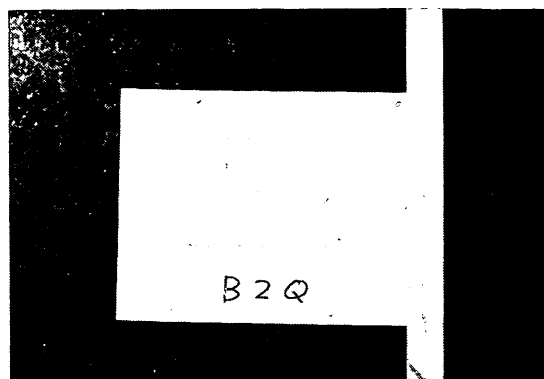


写真-12 一次摩耗後のテストピース表面 (B-2-Q)

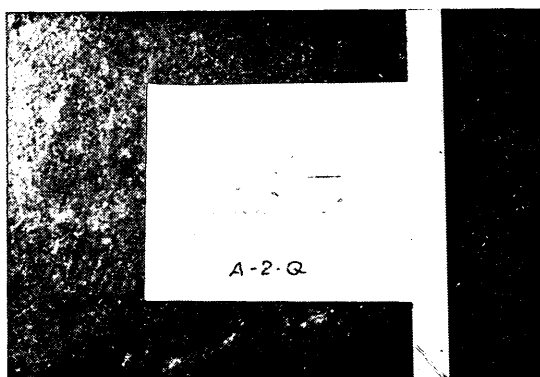


写真-10 一次摩耗後のテストピース表面 (A-2-Q)

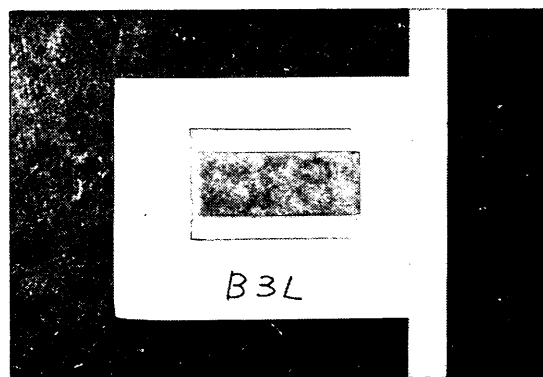


写真-13 一次摩耗後のテストピース表面 (B-3-L)

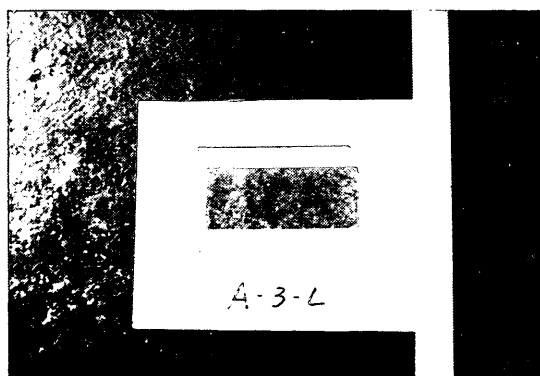


写真-11 一次摩耗後のテストピース表面 (A-3-L)

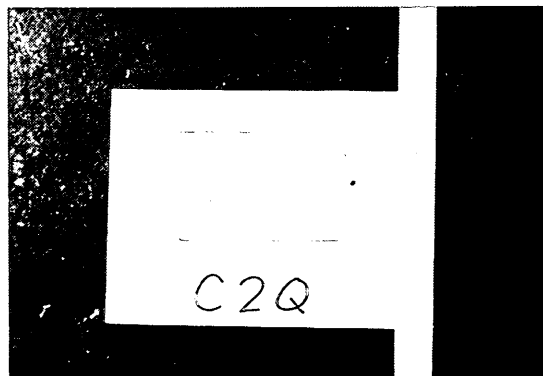


写真-14 一次摩耗後のテストピース表面 (C-2-Q)

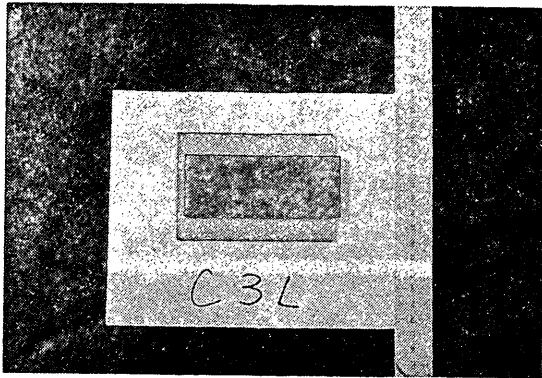


写真-15 一次摩耗後のテストピース表面 (C-3-L)

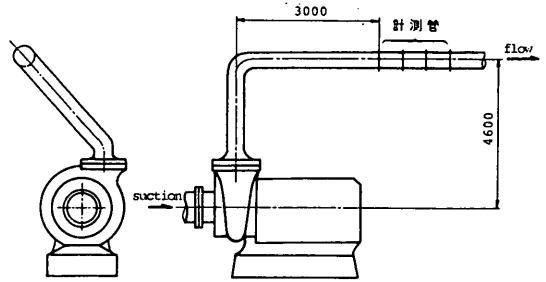


図-28 摩耗計測管と浚渫ポンプの位置関係

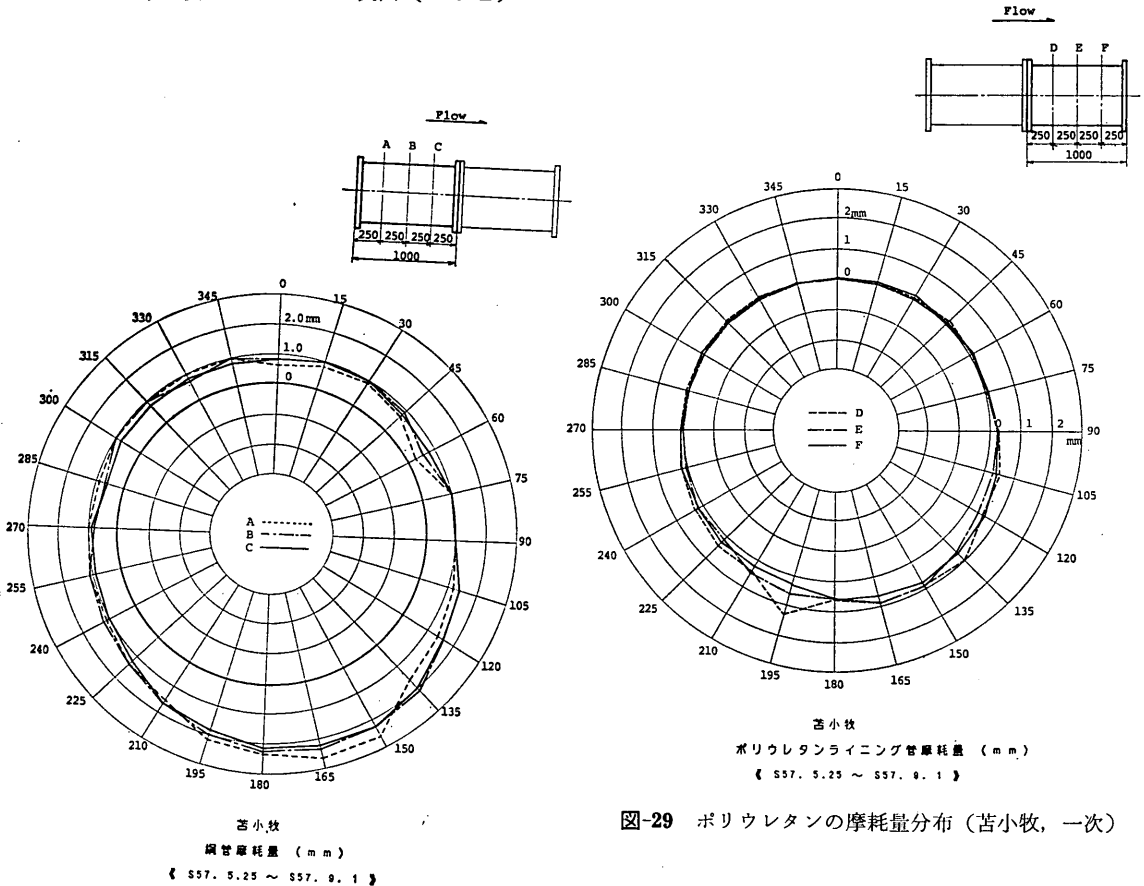


図-27 鋼管の摩耗量分布 (苫小牧, 一次)

おり, ポリウレタンのような弾性体にとって苛酷な摩耗条件が土質以外に存在したと考えられる。

写真-9はポリウレタンライニング管の摩耗表面でありかなり深い傷が見られる。また写真-10-15はテストピー

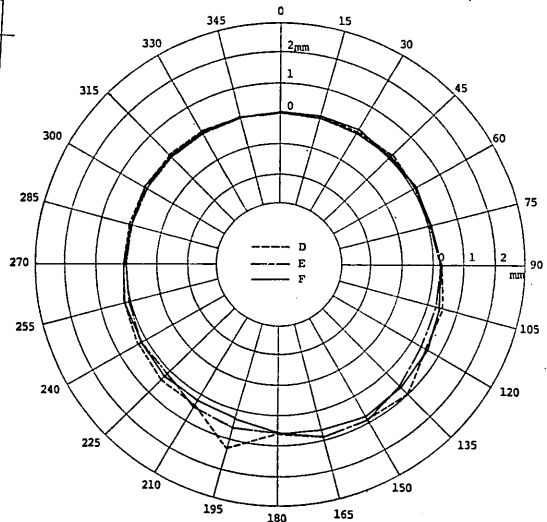
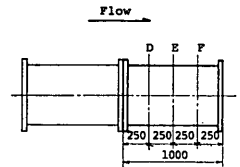
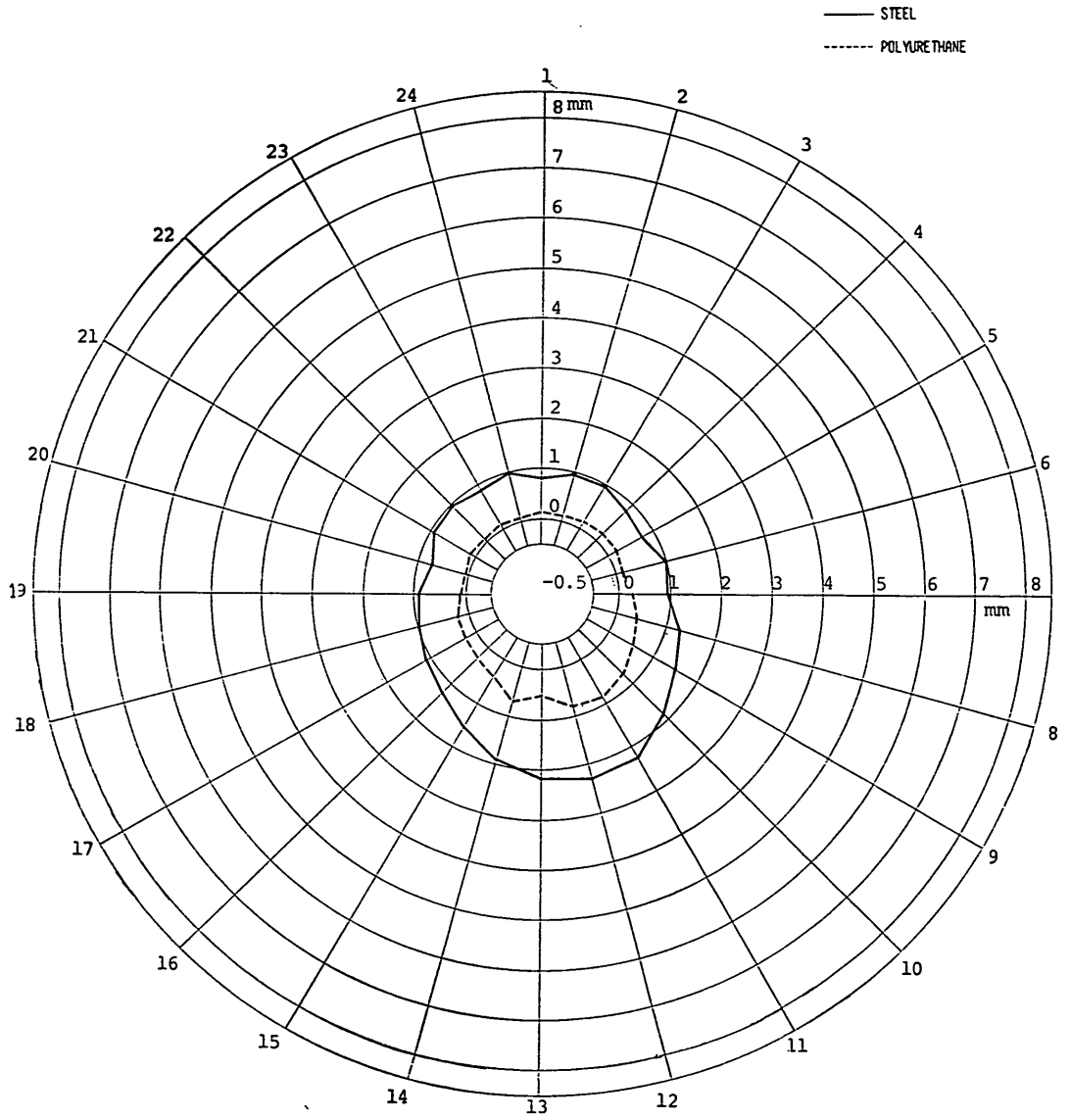


図-29 ポリウレタンの摩耗量分布 (苫小牧, 一次)

スの摩耗表面である。ここでAは管底部, Cは管側部そしてBはその中間の位置を表している。ポリウレタンQ, LともA~Cすべてに同じような表面傷が見られることから, 苛酷な摩耗を与える物質がパイプ断面全体にわたって輸送されていたと考えられる。

このような異常摩耗を今回の土質条件から考えると浚渫区域全般にわたり貝がらが混入しており, 鋭い貝がら

土砂輸送パイプの摩耗に関する研究 (第2報)



苫小牧

計測管平均摩耗量 (mm)

《 S57. 5. 25 ~ S57. 9. 1 》

図-30 平均摩耗量分布 (苫小牧, 一次)

表-4 苫小牧における平均摩耗量一覧

TOMAKOMAI (STEEL)-mm-TOMAKOMAI (POLYURETHANE D-F)							
				1 : BASE DATA			
				2 : FIRST DATA			
				3 : FINAL DATA			
PNTS	1-2	1-3	2-3	PNTS	1-2	1-3	2-3
1	0.733	2.400	1.667	1	0.033	0.067	0.033
2	0.933	2.533	1.600	2	0.067	0.067	0.000
3	0.967	2.567	1.600	3	0.100	0.100	0.000
4	0.800	2.533	1.733	4	0.133	0.133	0.000
5	0.767	2.700	1.933	5	0.133	0.233	0.100
6	1.000	2.833	1.833	6	0.100	0.333	0.233
7	1.000	3.000	2.000	7	0.267	0.533	0.267
8	1.333	3.533	2.200	8	0.400	0.900	0.500
9	1.533	4.333	2.800	9	0.500	1.400	0.900
10	1.900	5.400	3.500	10	0.767	2.233	1.467
11	2.333	6.200	3.867	11	0.867	2.667	1.800
12	2.367	6.633	4.267	12	0.833	3.167	2.333
13	2.200	6.467	4.267	13	0.633	2.500	1.867
14	1.967	5.767	3.800	14	0.767	2.100	1.333
15	1.567	4.700	3.133	15	0.400	1.467	1.067
16	1.267	3.800	2.533	16	0.300	1.133	0.833
17	1.100	3.200	2.100	17	0.233	0.700	0.467
18	1.033	2.833	1.800	18	0.167	0.467	0.300
19	0.900	2.633	1.733	19	0.067	0.300	0.233
20	0.733	2.600	1.867	20	0.033	0.167	0.133
21	0.900	2.500	1.600	21	0.067	0.167	0.100
22	0.900	2.400	1.500	22	0.033	0.100	0.067
23	0.800	2.433	1.633	23	0.033	0.067	0.033
24	0.867	2.433	1.567	24	0.000	0.067	0.067

片によりポリウレタン表面が切削された可能性があることが指適される。また土質以外の要因として、カッターおよびポンプ吸入管中につまったきょう雑物の中にワイヤ、鉄片等の鉄屑類がかなり確認されており、これによる異常摩耗の可能性も十分考えられる。それとともに、流送速度が比較的高く、さらに摩耗計測管がポンプ出口に非常に近いために流れも不安定であったこともこのような現象を促進したといえる。

この結果、ポリウレタンテストピースについては重量減少量で板厚の変化を計算すると傷の程度によるばらつきが大きく、必ずしも妥当な摩耗量を代表し得ないことがわかったため摩耗量の検討には特殊パイプに対する結果を使用しないこととした。

図-27 は鋼管に対する摩耗量の円周方向分布を示したものである。この図には流れ方向3か所の分布が同時に示されているが、フランジ結合部の影響等流れ方向の差はほとんどみられない。また、摩耗の最も大きな部位が管底部（ポイント13）より15°~30°右へ偏っていることがわかる。これは摩耗計測管の約3m上流側にベンドがありこの影響による流動土砂の偏向のためと思われる。ベンドの曲げ方向と計測管の位置関係を図-28に示す。

図-29 はポリウレタンライニング管に対する摩耗量分布である。分布の傾向は鋼管とはほぼ同様であり、最高摩耗点も管底部ではなく15°~30°右側へ偏っている。

また、流れ方向にほとんど差はみられないため、測定位置A, B, CおよびD, E, Fに対する平均値で摩耗

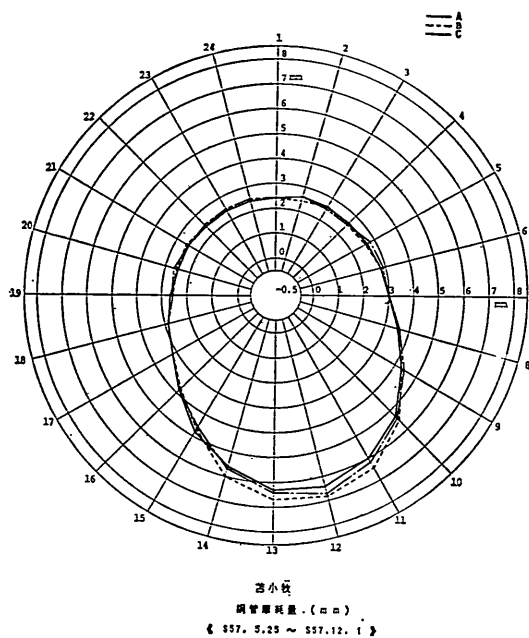


図-31 鋼管の摩耗量分布 (苦小牧, 最終)

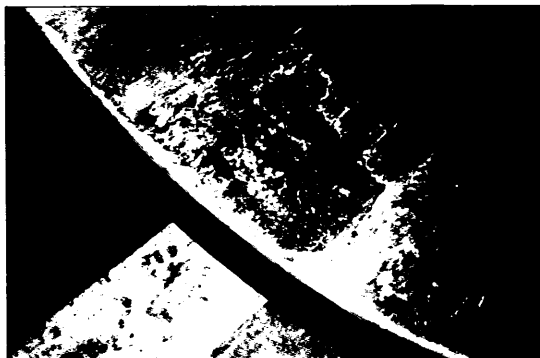


写真-16 最終摩耗後のライニング表面 (苦小牧)

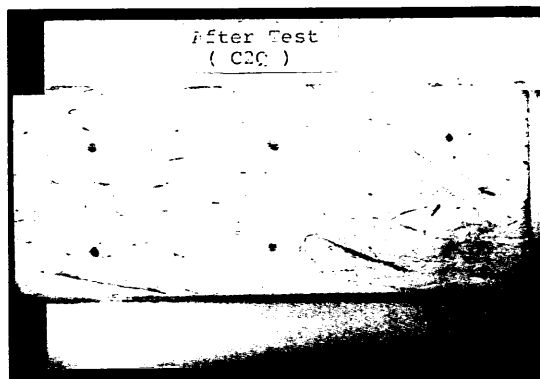


写真-17 最終摩耗後のテストピース表面 (C-2-Q)

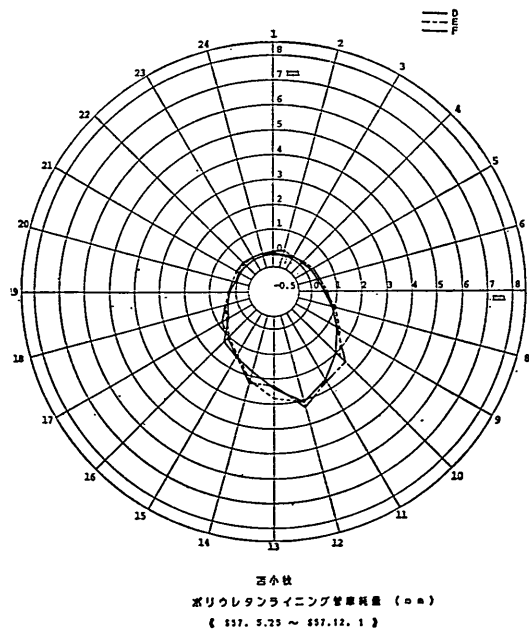


図-32 ポリウレタンの摩耗量分布 (苦小牧, 最終)

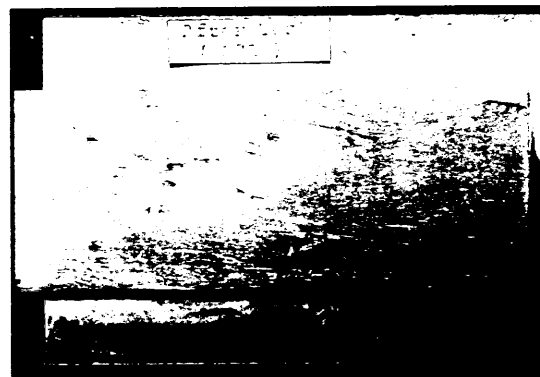
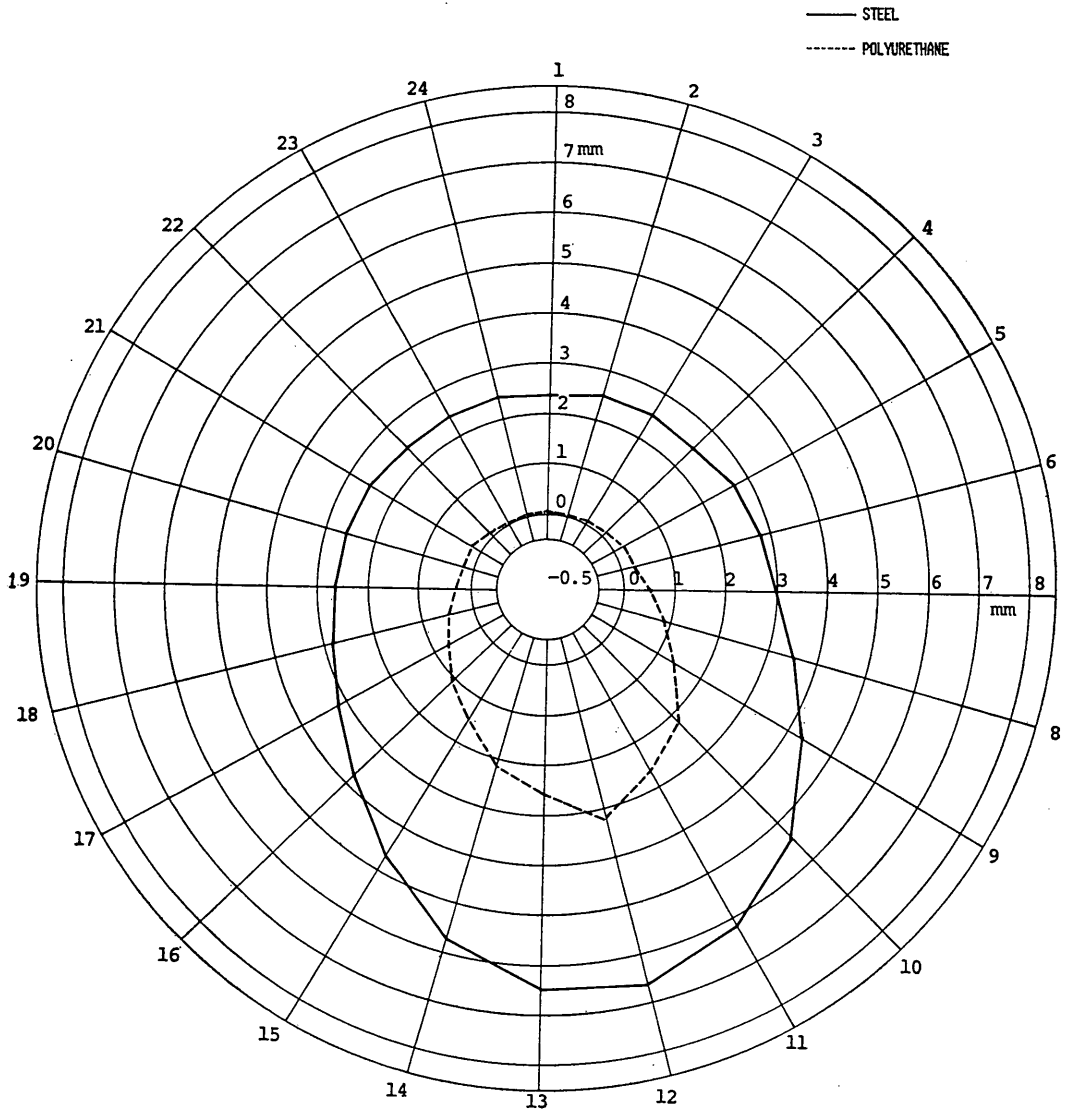


写真-18 最終摩耗後のテストピース表面 (C-3-L)



苫小牧

計測管平均摩耗量 (mm)

《 S57.5.25 ~ S57.12.1 》

図-33 平均摩耗量分布 (苫小牧, 最終)

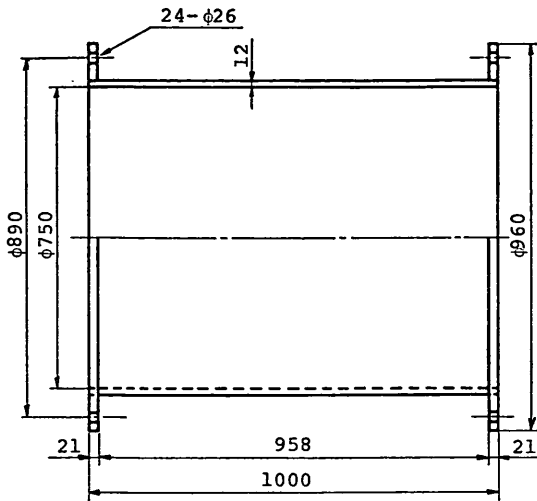


図-34 鋼管寸法 (岸和田)

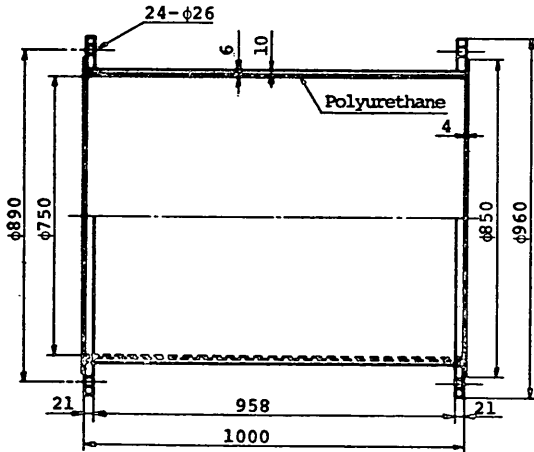


図-35 ライニング管寸法 (岸和田)

量の分布を示すと図-30のようになる。最大摩耗量は鋼管で2.37mm、ポリウレタンの場合0.87mmとなっている。これらの平均摩耗量は表-3 (1-2) のにおいて示されている。

3 最終摩耗計測結果

苫小牧における千代田丸の浚渫工事は昭和57年11月3日に終了し、同時に摩耗計測管を取り外した。この計測管に対する摩耗量計測は12月1日、川崎市内の計測管製作工場内に持ち込んで行った。

表-4は流れ方向に平均化した摩耗量の一覧である。ここで(1-2)は一次摩耗、(1-3)は最終摩耗量を表し、(2-3)は一次摩耗計測以後最終摩耗までの平均摩耗量を示している。

図-31に鋼管に対する最終摩耗量の分布を、図-32にポリウレタンライニング管に対する分布をそれぞれ流れ方向3点の測定点別に示している。また、図-33は流れ方向に関する測定位置A, B, CならびにD, E, Fの平均値(表-4中の値)を使った分布を示している。分布の傾向は一次摩耗のそれとほぼ同じである。最大摩耗点の管底部からの偏向も同様であり約15°管底より右へずれている。

摩耗量の大きい鋼管においては、礫輸送時の傾向と異なり管頂部の摩耗量もかなり大きいことがわかる。一方、ポリウレタンにおいては鋼管のこのような傾向と異なり、管側部より上方での摩耗は非常に少ない。このように管壁と土砂の接触のしかたが同じでも鋼管とポリウレタンにおける耐摩耗性にはかなり差があることがわかる。

最大摩耗量は鋼管で6.63mm、ポリウレタンライニング管の場合3.17mmとなっている。

写真-16はポリウレタンライニング管の最終状態を示すものである。一次摩耗の観察結果と同様に刃物でカッティングしたような傷跡が無数に存在する。また、管底部にほとんど母鋼管表面が露出した部分があるが、これはフランジ結合された上流部の鋼管における摩耗の進行がポリウレタンより早く、この結果段差が生じこれによってライニング材の摩耗が急速に進行したためと考えられる。最終状態の摩耗量からすると初期に同一レベルにあった鋼管とポリウレタン内面は最終的に3.4mmの段差をもつことになる。

なお、特殊パイプに取り付けたテストピースのうちで管底部A列の鋼材、ポリウレタンはテストピース押さえ部分の肉厚が摩耗によって消滅し、そのため大部分が流出していた。残りのB列、C列のうちC列(管側部)に取り付けたポリウレタンテストピースの最終表面を写真-17および写真-18に示す。この例から、ポリウレタンに対する摩耗状況が若しく苛酷であったことが理解される。

4. 岸和田における摩耗調査

4.1 摩耗計測管と取付方法

図-34及び、35に摩耗計測管の諸寸法を示す。基本的に苫小牧の場合と同じであるが鋼管の肉厚を12mmとし、ポリウレタンライニング管の外側鋼管の厚さを10

表-5 連続計測項目

項目 番号	計測項目	計測器	計器取 付場所	備考
1	含泥率	フロート式 含泥率計	海上管 フロータ	
2	ポンプ吸入圧	ひずみゲ ージ式圧力計	ポンプ入口	
3	ポンプ吐出圧	ひずみゲ ージ式圧力計	ポンプ出口	
4	ポンプ流量	電磁流量計	船内排砂管	本船装備
5	浚渫深度	ひずみゲ ージ式圧力計	ラダー	
6	陸上管差圧	ひずみゲ ージ式圧力計	陸上管	計測区間 86m

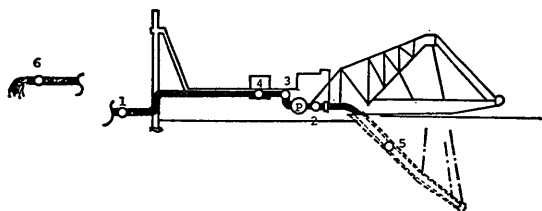


図-36 連続計測点 (岸和田)

mmに若干小さく設計している。ただし、ポリウレタンの肉厚は苦小牧の場合と同様に6mmとした。

今回の調査においては、苦小牧において直接厚さを測定することで十分信頼性のあるデータが得られることがわかったためテストピースを用いた特殊管は使用しなかった。

摩耗計測管は、埋立地内の排砂管へ上流側から鋼管及びライニング管の順序で組み込んだ。この取付箇所は図-4に示すように一次摩耗計測以前と以後とで変更している。また、一次摩耗計測時に摩耗量が予想以上に大きいことがわかり、このため一次摩耗計測後は鋼管及びライニング管ともに天地替えを行った。

摩耗計測管の材質は鋼管及びポリウレタンライニング管とも苦小牧の場合と同じである。

4.2 流送条件の測定方法

管の摩耗に影響する因子のうち、管及びライニング材の材質を別にとると、土質、流速そして濃度の3点が挙げられる。特に流速、濃度については従来の摩耗に関する実船規模の調査において不明確な場合が多く、これらの調査で得られた摩耗データを相互に比較検討することが困難であった。

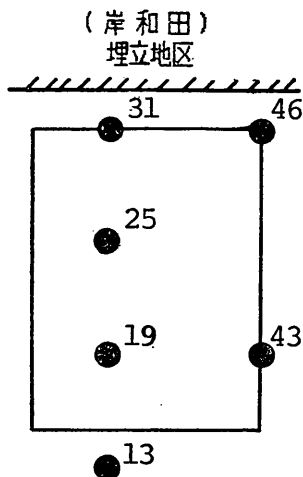


図-37 ボーリング調査点 (岸和田)

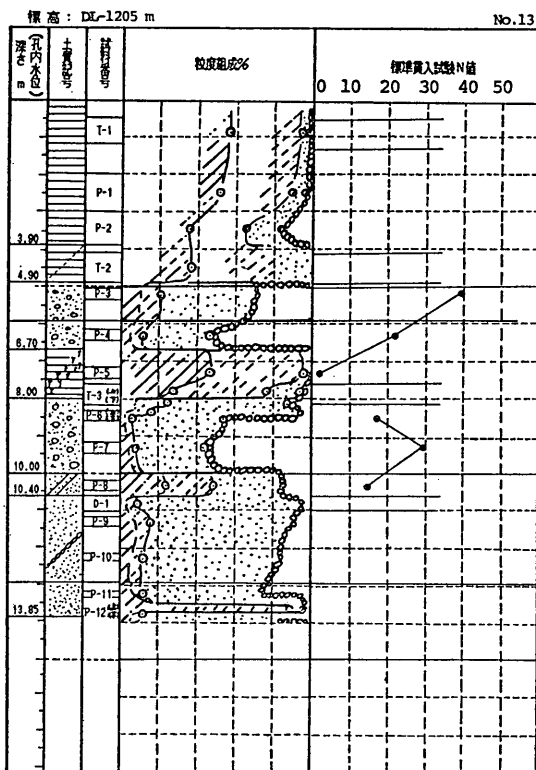


図-38 浚渫地盤の土質 (岸和田 No. 13)

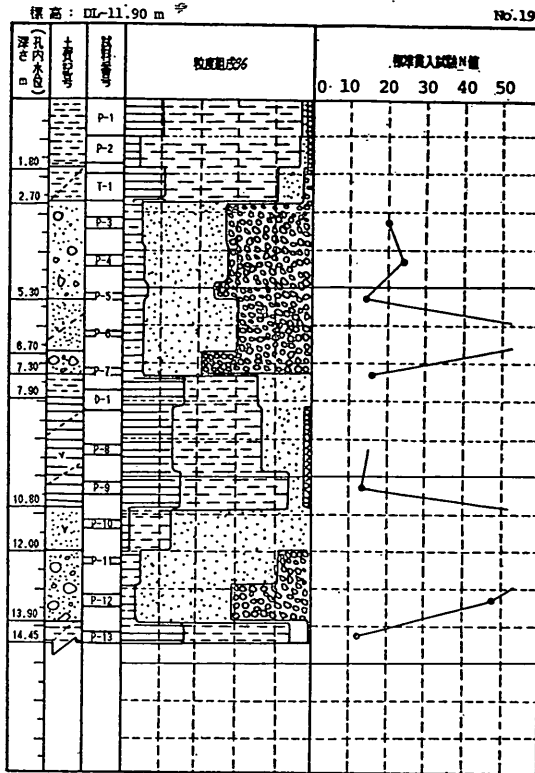


図-39 浚渫地盤の土質 (岸和田 No. 19)

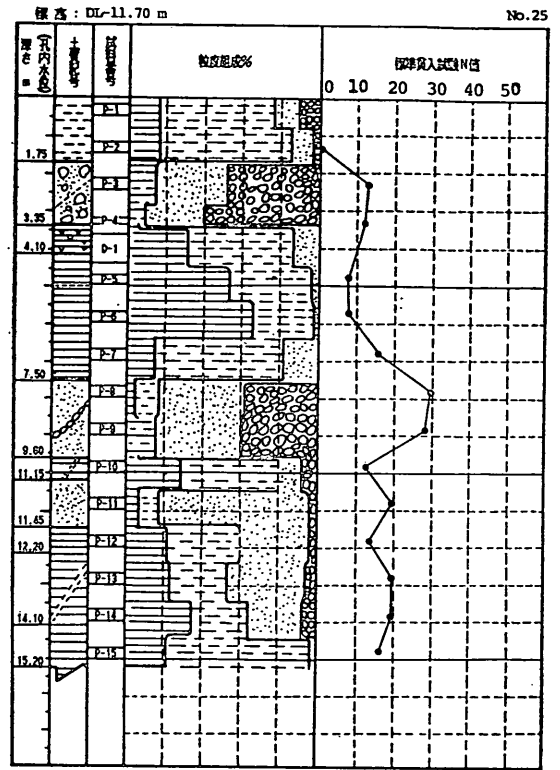


図-40 浚渫地盤の土質 (岸和田 No. 25)

この点を改善する目的で、浚渫作業時の流速、含泥率等摩耗に関連ある量を直接計測し、摩耗全期間内の流速条件の推定を試みた。この測定は昭和59年2月1日～2月2日にかけて実施した。

ここで連続計測した項目は、浚渫深度、浚渫ポンプ吸入圧、吐出圧、ポンプ流量、含泥率そして陸上管圧力損失である。そのほか、ブリッジにおいて上記項目以外のカット電流、スイング電流、スイング角度等をメータから読み取った。この読取間隔は5分である。表-5に連続計測の項目を示し、図-36にそれぞれの計測箇所を示した。

4.3 土質条件

図-37は浚渫工事に先立って行われたボーリング調査点のうち今回の調査に関連のある6点の位置を示している。これら6点に対する土質調査結果を図-38～43に示す。

全般的にみて、粘土、シルト、砂及び礫がほぼ均等な割合であり、摩耗という点から考えると礫の割合がかな

り大きく土質からみた摩耗条件としてはかなり厳しいことが予想される。いま、浚渫工事における浚渫深度を標高-20m程度と考えて、これら6点の調査資料から粒土組成を算出してみると、粘土17.4%、シルト27.2%、砂33.2%そして礫が22.2%となる。シルト・粘土と砂・礫の割合はそれぞれ45%、55%となっている。

一方、これらを受け入れる側である阪南4、6区における埋立土層に関する調査では「埋立土の平均粒土組成は大略礫分40%、砂分45%、シルト・粘土分15%で砂質土、砂礫系地盤となっており、浚渫埋立時に分層、流出したシルト、粘土分は埋立地内水面下にへどろ状に堆積している状況にある」という結果が得られている。特にパイプ摩耗に影響の大きい礫分については10mmφ前後ものが主体であり、最大礫は50mmφ程度となっている。また、礫分については粗砂が主であり、細砂の割合は少ないと報告されている。

図-44は、流送条件測定時に埋立地よりサンプリングした試料に対する粒径加積曲線を示している。50%平均

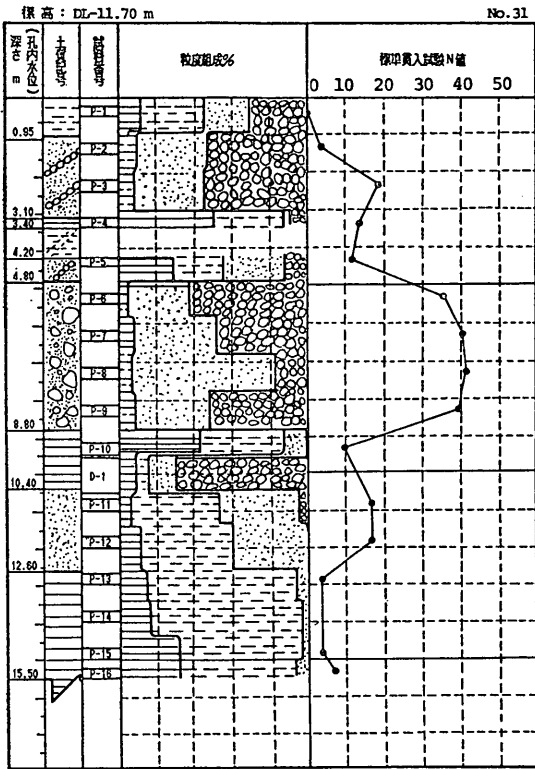


図-41 浚渫地盤の土質 (岸和田 No. 31)

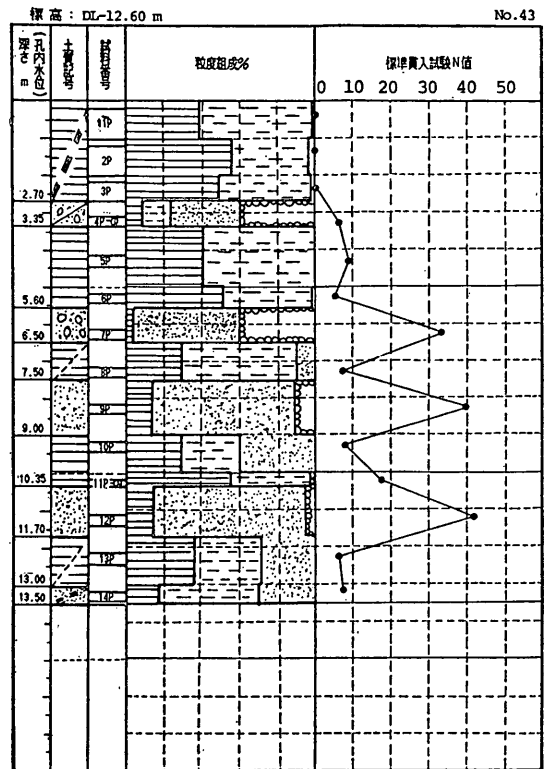


図-42 浚渫地盤の土質 (岸和田 No. 43)

粒径の範囲をみると 1 mm から 10 mm のいわゆる粗砂及び礫の部分に相当し、上記調査結果とはほぼ同様な結果となっている。

すなわち、岸和田における土質条件は摩耗を主体に考えると粘土・シルト混じり砂礫と表現するのが妥当であろうと考えられる。また、平均粒径としては粘土、シルト分を除いた状態で 3 ~ 4 mm となる。この粒度分布と同時に測定した土砂の真比重は 2.663 であった。

4.4 ポンプ船の運転状況と流送条件の推定

1 運転状況

摩耗計測管の取り付け日は 10 月 27 日であり、一次摩耗計測のために取り外したのは 12 月 15 日である。また摩耗計測後のパイプを天地替えて取り付けたのが翌年の 1 月 10 日である。その後 11 日間摩耗試験に供したのち 1 月 21 日に最終計測のため取り外している。これらの期間に通過した累積土量の変化を図-45 に示す。

毎日の浚渫土量 GS (m^3) は施工日報の浚渫幅 B (m) 浚渫土厚 D (m) 及び前進距離 F (m) を用いて次式で計

算した。

$$GS = B \cdot D \cdot F \quad (4.1)$$

図-45 でみると、一次摩耗計測までに約 93 万 m^3 流送されており、一次から最終までの通過土量が約 23 万 m^3 である。したがって、岸和田の摩耗調査期間の総通過土量は約 116 万 m^3 となる。

図-46 は摩耗計測期間中の一日の浚渫時間当たり揚土量 GSD (m^3/h) と稼働率の変化を示している。稼働率は一日のうち浚渫ポンプが運転されている時間の割合、すなわち Net の浚渫時間 T_d の割合と定義している。時間当たり揚土量 GSD は式 (4.1) の GS とここで定義した T_d を用いて

$$GSD = GS / T_d \quad (4.2)$$

と表される。

なお、2 月 1 日、2 月 2 日の両日については摩耗計測期間外であるが、この時期に流送条件の測定を行って

土砂輸送パイプの摩耗に関する研究 (第2報)

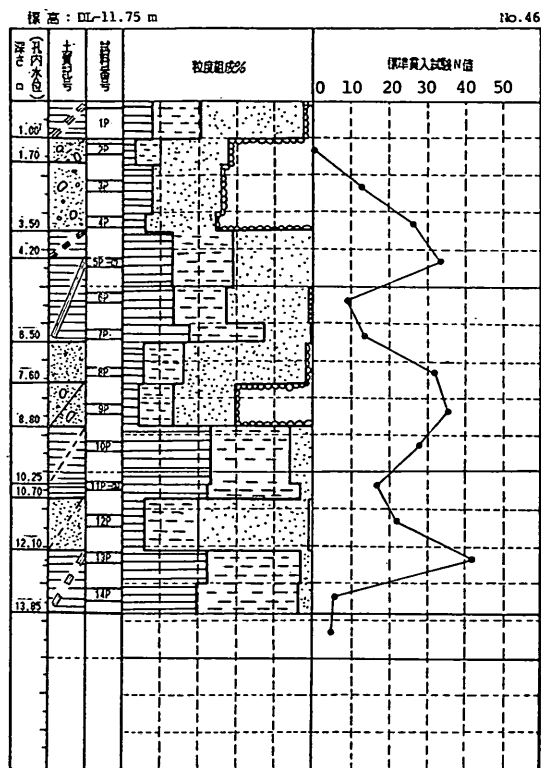


図-43 浚渫地盤の土質 (岸和田 No. 46)

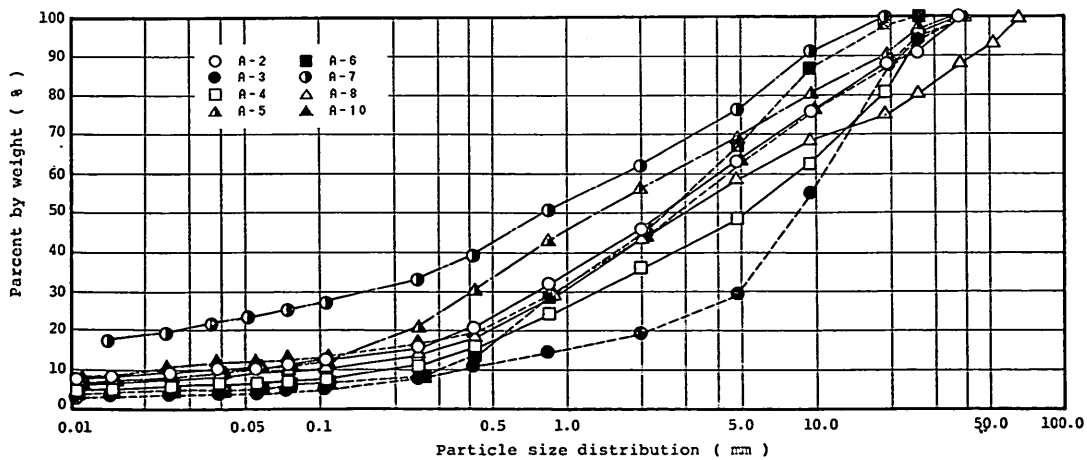


図-44 粒度分布 (岸和田)

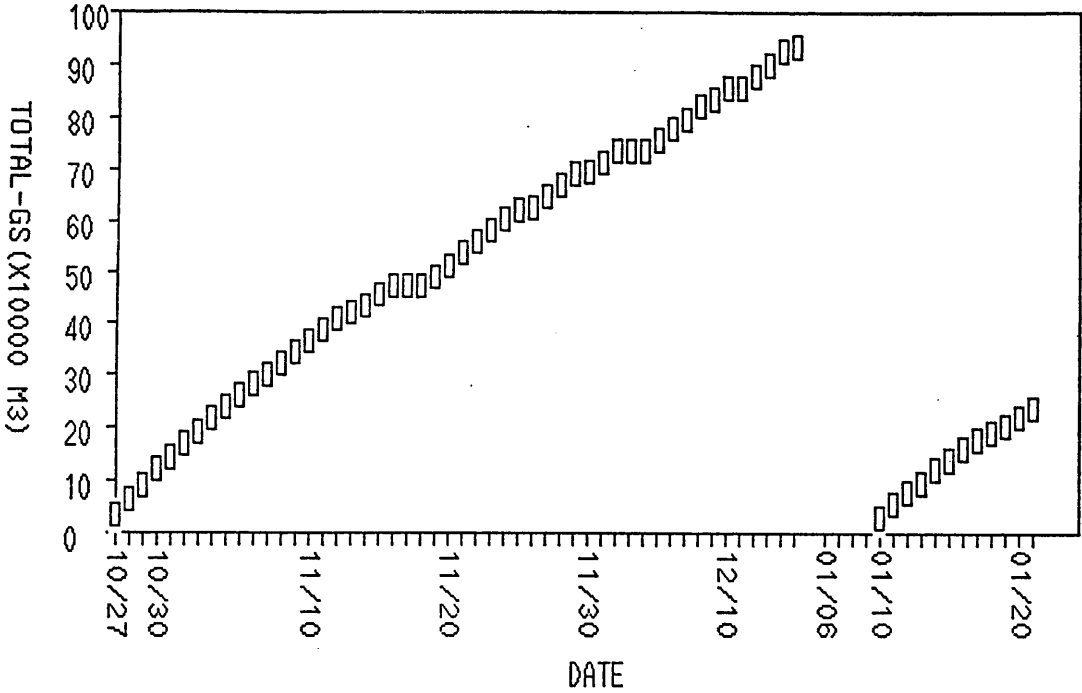


図-45 累計土量変化 (岸和田)

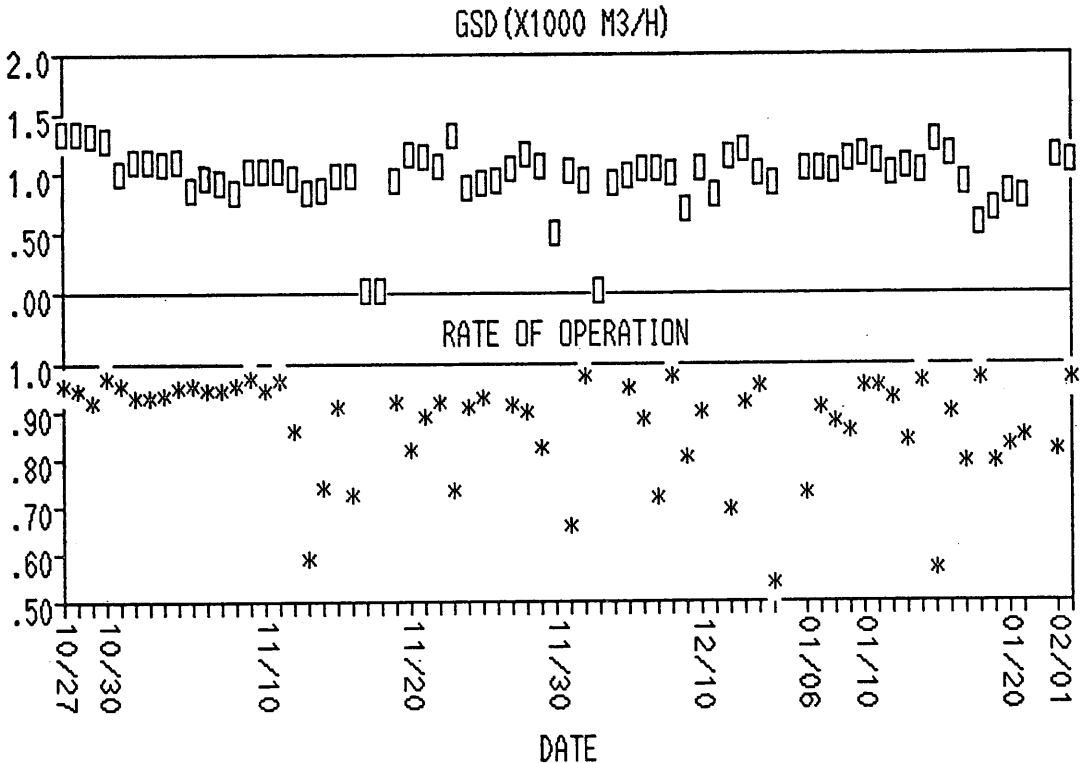


図-46 揚土量と稼働率の変化 (岸和田)

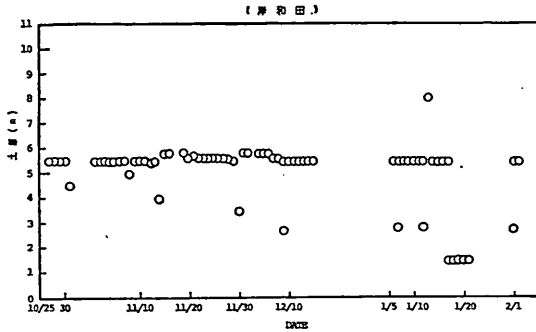


図-47 浚渫土厚の変化 (岸和田)

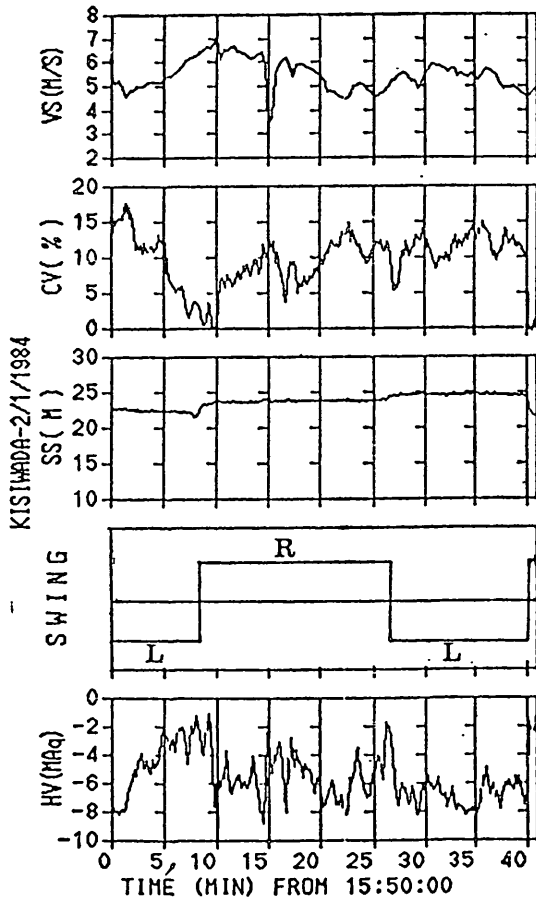


図-48 連続測定結果 (岸和田 2/1)

る。全般的にみて流送条件測定時の浚渫状況が特に摩耗期間中の状態と異なっている傾向は見受けられない。

揚土量については、ほぼ $1000\text{m}^3/\text{h}$ 程度で全期間を通じてあまり大きな変動はない。この傾向は苦小牧の浚渫状況とかなり異なっているが、これは図-47に示すように浚渫土厚が 5.5m 付近に安定していたことによるものと考えられる。稼働率については10月27日～11月10日にかけて90%以上で安定しており、他の期間とかなり異なっている。日報によると陸上管延長等による休止時間はほかの期間と同じであるが、この期間の特徴としてカッター刃及びポンプ、プスターポンプ羽根修理等による休止時間が比較的少ない。恐らく、この期間においては礫或割合が他の期間に比べ少なかったものと考えられる。なお、11月10日以降、稼働率が75%以下のケースはほとんどの場合天候不良による休止のためである。

つぎに、流送データについて述べる。これは摩耗期間中の流送条件を推定するために連続計測されたものである。

流送条件を測定した2月1日及び翌2月2日に得られた連続測定結果の一部を図-48及び49示す。ここで示しているのは上から、吐出管内流速 $VS(\text{m/s})$ 、含泥率 CV (真容積濃度 %), 浚渫深度 $SS(\text{m})$, 主ポンプ吸入圧 $H_V(\text{mAg})$ をらびにスイング状況である。

スイング状況図の中で、Lは左スイングをまたRは右スイングを示している。またSはスパッド打ち替え期をさす。寄り切り(浚渫幅の左右端)から寄り切りまでの浚渫時間はほぼ10～15分であり、スパッド打替間隔は約50分となっている。このような作業条件により連続計測データも大きく変動する。パイプの摩耗に特に関係のある流送条件となる流速と含泥率の平均値は2月1日に対し、 5.5m/s ならびに9.6%である。2月2日については、流速の平均値が 5.4m/s 、含泥率が9.6%であり平均値でみれば両日もほとんど差はない。ただし、この値は短時間平均値であり日間平均値と考えることはできない。両者を結びつけるためには日間の稼働率の変化、堆積土砂排送の回数、時間等を考慮することが必要である。

2 土質によるポンプ流量の低下

一般にポンプ浚渫船のポンプ流量は負荷、すなわち含泥率が増加すると低下する傾向を示す。この低下傾向は浚渫土質に大きく影響される。逆にいえば、浚渫土質がほぼ一定と考えられるならばこの低下傾向も同様なものとなる。したがって、流送条件測定時の土質条件が全摩耗期間を通じてほぼ一定であると仮定すれば、図-47及び48を使用して流量低下傾向を求め、最終的に日報に計上された浚渫土量から摩耗期間中のスラリー流速及び

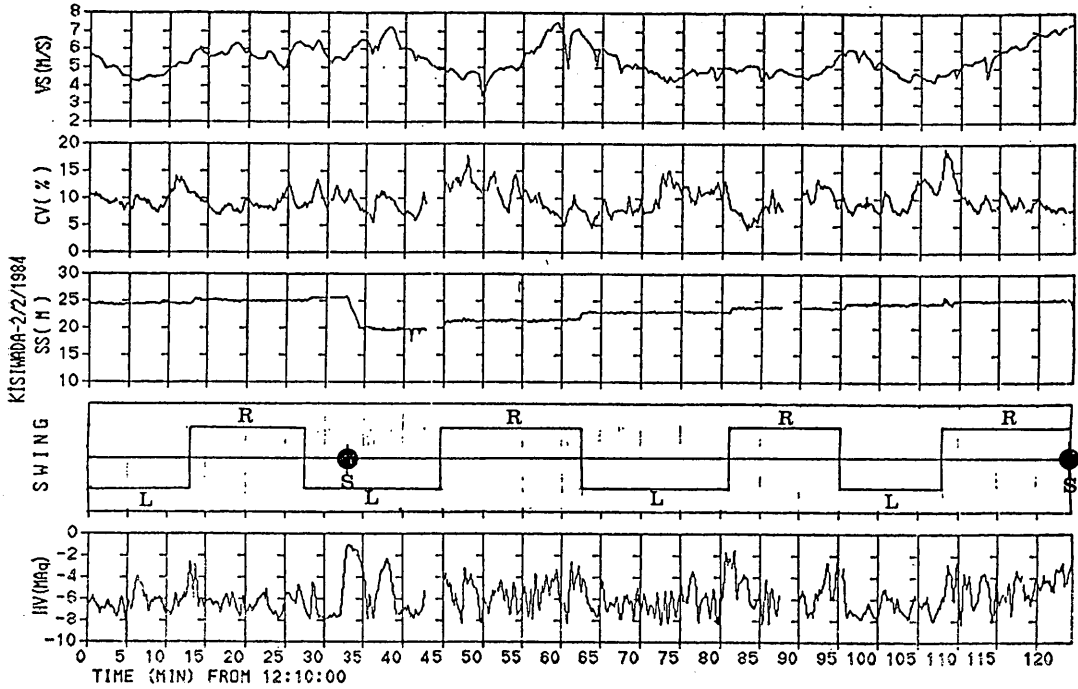


図-49 連続測定結果 (岸和田 2/2)

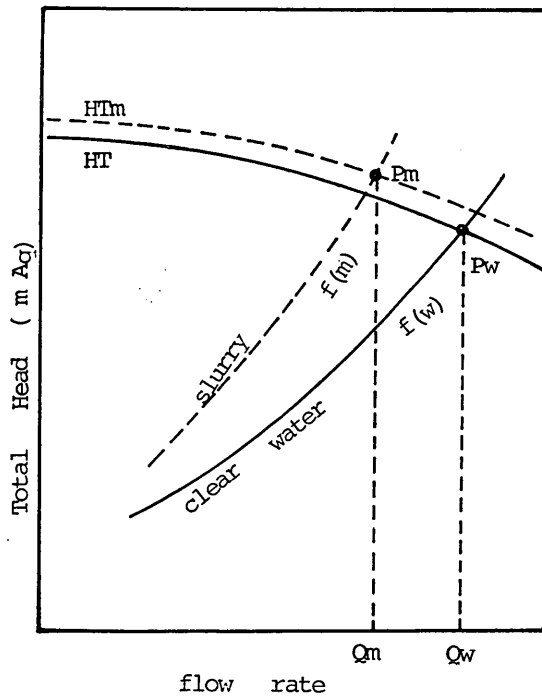


図-50 送泥運転時のポンプ運転点のシフト

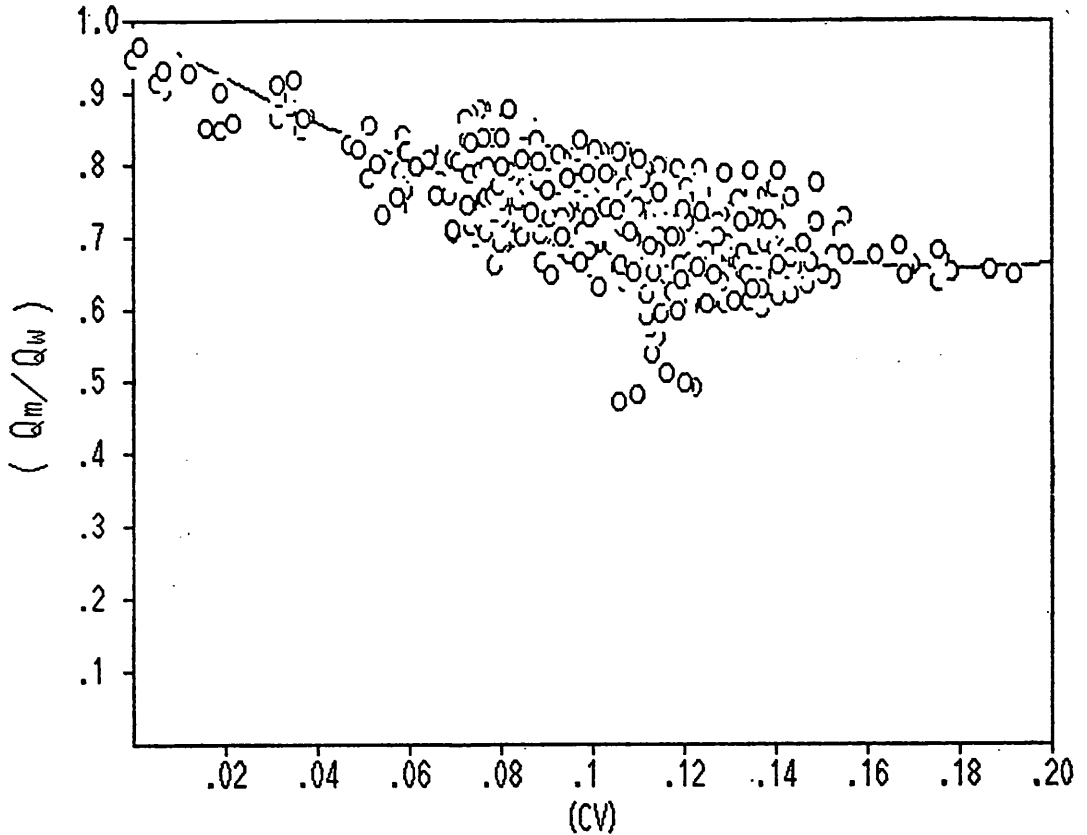


図-51 浚渫ポンプの流量低下カーブ

含泥率を推定することができる。この概念図を図-50に示す。

図-51は連続計測データの流速と含泥率を10秒ごとにサンプリングし、計測日の配管に対する清水流量 Q_w で泥水時流量 Q_m を除した流量低下 (Q_m/Q_w) を含泥率 C_v に対しプロットしたものである。清水流量 Q_w については後述の λ_i を求める図-53から清水時流速を 7.2 m/s と仮定し決めたものである。

この関係を求めると

$$(Q_m/Q_w) = 0.993 - 3.747 \cdot C_v + 10.48 C_v^2 \quad (4.3)$$

が得られる。

3 任意管路に対する清水流量の求め方

プースタポンプを含めた浚渫ポンプの全揚程 H_T を

$$H_T = A_0 + b_0(Q - Q_0) \quad (4.4)$$

と仮定する。建造時において(4.4)式は確定しているが、長期間使用された後の、実際の浚渫時においてはインペ

ラ径の違い、回転数の変動等を考慮して送水試験により決定する必要がある。しかしながら、このような送水試験を現地で、短時間に行うことは難しい。ここで行う全揚程カーブを用いた推定法においては建造時全揚程カーブの形のみを考慮し、

$$\left. \begin{aligned} b_0 &= -0.1662 \times 10^{-6} \\ Q_0 &= 2993 \text{ m}^3/\text{h} \\ A_0 &= \text{不定} \end{aligned} \right\} \quad (4.5)$$

としている。

図-52において、パイプラインL1に対する抵抗損失 $f(L1)$ (mAq) は

$$\begin{aligned} f(L1) &= \left[h_d + h_u + \lambda_i \{ K_S \cdot L_S + K_M \cdot L_M \right. \\ &\quad \left. + K_F \cdot L_F + K_B \cdot L_B + L_L \right] \times \frac{V^2}{2gD} \\ &\quad \times \left(\frac{I_w}{I_{w0}} \right) \end{aligned} \quad (4.6)$$

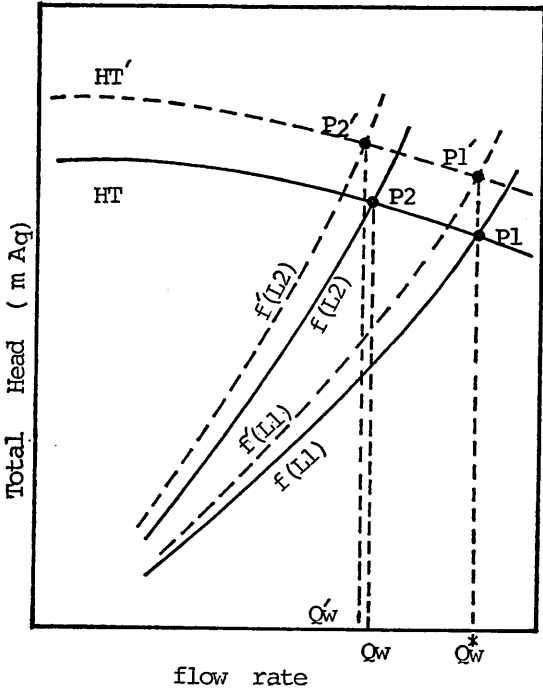


図-52 異なる配管系に対するポンプ清水流量の変化

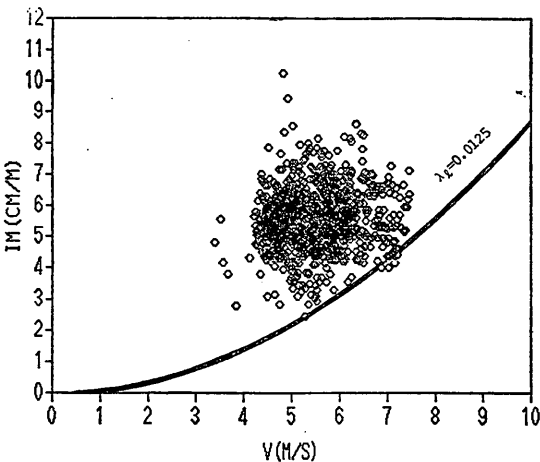


図-53 送水時管摩擦損失係数の決定

となる。ここで*は図中の清水流量 Q_w^* に対応したものの、もしくは Q_w^* が得られたときの状態を示している。また

- h_d : 吐出実揚程 (mAq)
- h_u : 吸入実揚程 (mAq)
- λ_l : 陸上管部清水時管摩擦損失係数
- L_S : 吸入管長 (m)
- K_S : 吸入管抵抗換算係数
- L_M : 船内管長 (m)
- K_M : 船内管抵抗換算係数
- L_F : 海上管長 (m)
- K_F : 海上管抵抗換算係数
- L_B : 沈設管長 (m)
- K_B : 沈設管抵抗換算係数
- L_L : 陸上管長 (m)
- V : 陸上管における流速 (m/s)
- D : 陸上管内径 (m)
- γ_w : 海水の比重量 (kgf/m³)
- γ_{w0} : 水の比重量 (kgf/m³)

である。

抵抗換算係数はパイプラインのある部分の全抵抗 (エレベーションを除く) を陸上管基準でとらえたものである。海上管部を例にとると、この部分の全抵抗 f_{FL} (mAq)は、

$$f_{FL} = \left(\lambda_l \frac{L_F}{D_F} + \sum f_i \right) \frac{V_F^2}{2g} \left(\frac{\gamma_w}{\gamma_{w0}} \right) \quad (4.7)$$

となる。ここで D_F : 海上管径 (m)

V_F : 海上管における流速 (m/s)

$\sum f_i$: ベンド, ゴムスリーブ等の抵抗係数の和

である。一方、式 (4.7) を陸上管の条件 D, V 及び K_F を用いて表すと

$$f_{FL} = K_F \cdot \frac{\lambda_0 L_F}{2gD} V^2 \left(\frac{\gamma_w}{\gamma_{w0}} \right) \quad (4.8)$$

であるから、 K_F のもつ意味は

$$K_F = \left(1 + \frac{D_F \sum f_i}{\lambda_l L_F} \right) \left(\frac{D}{D_F} \right)^5 \quad (4.9)$$

ということになる。

このような抵抗換算係数ならびに管摩擦損失係数を定めると、図-52に示すP1点は式 (4.4) 及び (4.6) により決定される。この段階で A_0 が一定定まることにより全行程カーブ H_T が確定する。

したがって、配管状況 L2 の任意の波濺日における清水流量 Q_w が式 (4.4) と (4.6) を用いて決定できることになる。これがP2点である。

4 λ_l 及び抵抗換算係数の設定

式 (4.6) で使用される λ_l は清水流送時の陸上管にお

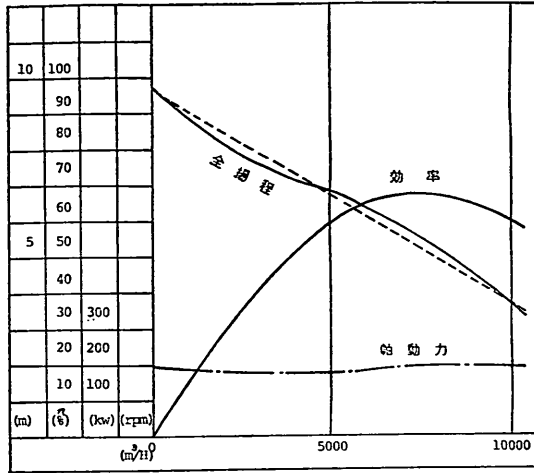


図-54 ブースタポンプの特性

ける単位長さ当たり圧力損失を i_w (cm/m) とすると次式で定義される。

$$i_w = \lambda_l \frac{V^2}{2gD} \left(\frac{\gamma_w}{\gamma_{w0}} \right) \quad (4.10)$$

今回の流速条件測定時には完全な送水試験を行っていない。しかしながら、浚渫船の運転においてはスパッド打ち替え等のように送水状態に近い場合も存在し、土砂混入時の単位長さ当たり圧力損失 i_m には、(4.10) を表すデータも含まれていると考えられる。

i_m と流速の関係をプロットすると図-53が得られる。これらのデータの最下端を通過する式 (4.10) を表すカーブを想定すると、これから

$$\lambda_l = 0.0125 \quad (4.11)$$

が得られる。また清水時流速は 7.2m/s と推察される。

抵抗換算係数については従来の実験調査を通じて次のような値が使用されている。すなわち

$$K_F = K_B = 1.2 \quad K_M = 1.3 \quad (4.12)$$

である。 K_s についても 2 に近い値が使用されているがここで実際の浚渫条件をもとにチェックしてみた。

吸入管内の送水時流動抵抗 h_{rw} (mAq) は

$$h_{rw} = \left(1 + f_s + \lambda_l \frac{L_s}{D_s} \right) \frac{V_s^2}{2g} \left(\frac{\gamma_w}{\gamma_{w0}} \right) \quad (4.13)$$

である。ここで f_s はカッターヘッド吸入部等の損失抵抗係数であり、1.0程度である。

$$(4.13) \text{ 式において, } f_s = 1.0$$

$$\lambda_l = 0.0125$$

$$L_s = 70 \text{ (m)}$$

$$D_s = 0.85 \text{ (m)}$$

とおき、 K_s を用いた式

$$h_{rw} = K_s \frac{\lambda_l V^2 L_s}{2gD} \quad (4.14)$$

と比較すると

$$K_s = 1.6$$

が得られる。ここでは、ブースタポンプ抵抗及び現場条件を考慮して $K_s = 2$ とした。

次にこの K_s を用いて送泥時の吸入負圧計測値と計算値を比較してみる。計算による吸入負圧 h_{VC} (mAq) は

$$h_{VC} = h_{SB} - (h_u + S) \frac{\gamma_m}{\gamma_{w0}} + S \frac{\gamma_w}{\gamma_{w0}} - h_{rw} \times \left\{ 1 + \beta \left(\frac{\gamma_m}{\gamma_w} - 1 \right) \right\} \frac{\gamma_w}{\gamma_{w0}} \quad (4.15)$$

で表される。ここで

S : 浚渫深度 (m)

γ_m : 泥水比重量 (kgf/m³)

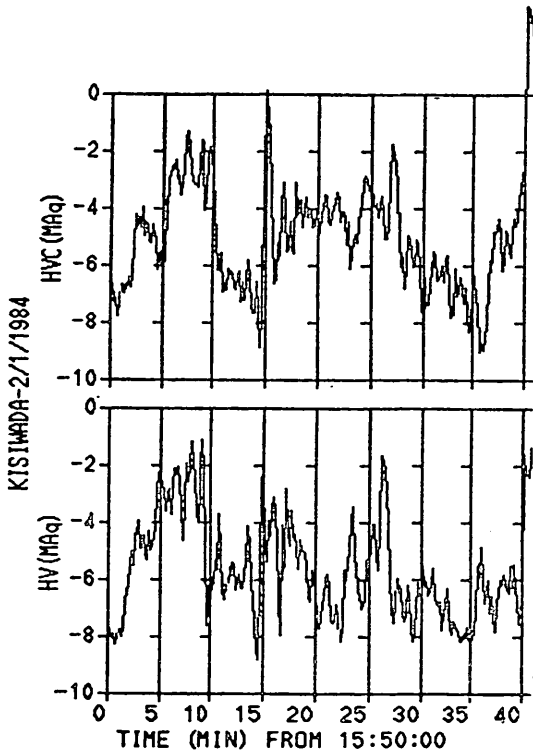


図-55 吸入負圧の計算値と実測値との比較

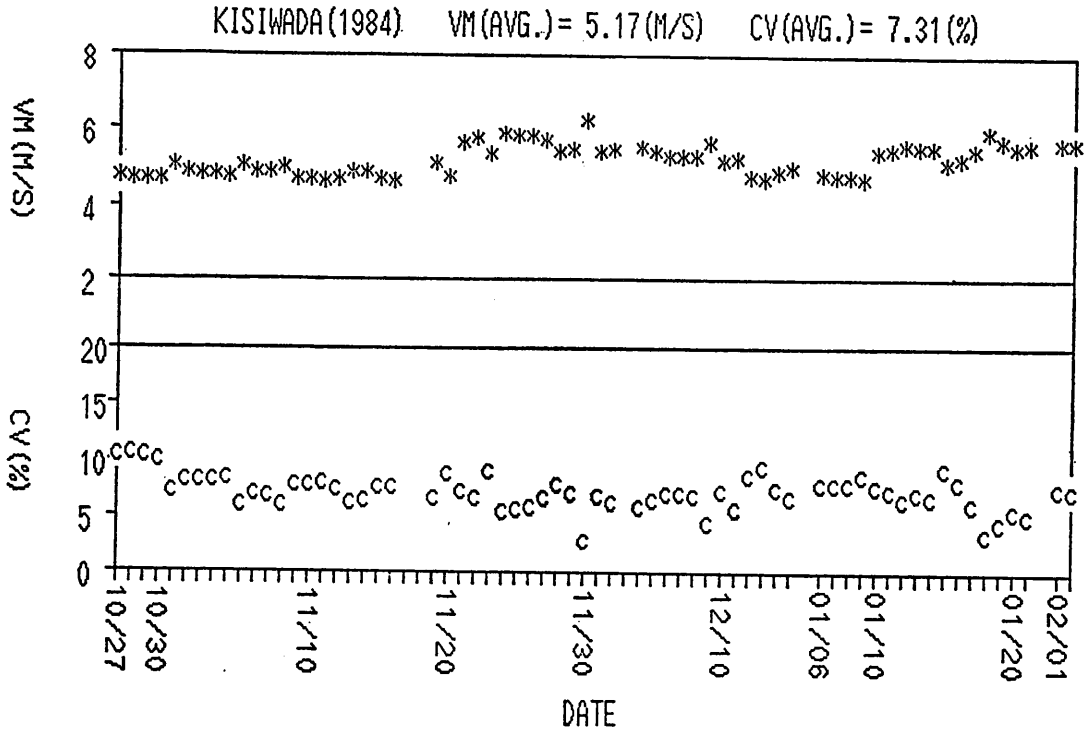


図-56 摩耗期間内の V_m と C_v の変化 (岸和田 推定値)

$$\gamma_m = C_v(\gamma_s - \gamma_w) + \gamma_w$$

γ_s : 土砂真比重量 (kgf/m³)

C_v : 含泥率

β : 土質係数 (=3)

h_{rw} : 式 (4.14)

プースタポンプ加圧量 h_{SB} は、図-54 の点線近似より

$$h_{SB} = C_0 + C_1 Q \quad (4.16)$$

$$C_0 = 9.7 (\text{mAq}) \quad C_1 = 0.0006$$

である。式 (4.15) と実測負圧 h_v の比較が 図-55 に示されている。全般的に負圧の変動傾向を比較的よくとらえているといえる。

(5) 流送条件の推定と推定の幅

ある浚渫施工日の平均時間当たり揚土量 $GSD (\text{m}^3/\text{h})$ は、平均流速 V_m 及び平均含泥率 C_A (海底状態基準) により

$$GSD = Q_m \cdot C_A \quad (4.17)$$

で表される。 Q_m は式 (4.3) で示す流量低下式及びある管路状態での清水流量 Q_w を使用して

$$Q_m = Q_w (0.993 - 3.747 \cdot C_v + 10.48 C_v^2) \quad (4.18)$$

とおくことができ、また C_A は

$$C_A = \left(\frac{\gamma_s - \gamma_w}{\gamma_a - \gamma_w} \right) \cdot C_v \quad (4.19)$$

であるから式 (4.17) は

$$GSD = Q_w (0.993 - 3.747 \cdot C_v + 10.48 C_v^2) \times \left(\frac{\gamma_s - \gamma_w}{\gamma_a - \gamma_w} \right) C_v \quad (4.20)$$

となる。ここで $\gamma_s = 2663 (\text{kgf/m}^3)$

$$\gamma_a = 2000 (\text{kgf/m}^3)$$

である。 GSD は日報に計上されており、またそのときの配管状況から Q_w が求められるため、式 (4.20) を解くことにより含泥率が求められる。さらに、含泥率から、式 (4.18) を用いることにより平均流速 V_m が決定される。このようにして得た摩耗期間内の流速と含泥率を図-56に示す。全平均をとると流速が5.2m/s、含泥率が7.3%となる。この値を今回の摩耗試験における流送条件とした。

このような推定には誤差の入る余地が多い。ポンプ回転数の変動、吸入抵抗の大小等によっても影響を受ける。これらを除いて考えると、ここで用いた推定法にお

土砂輸送パイプの摩耗に関する研究 (第2報)

表-6 清水流量の推定幅

	換算抵抗係数			管 路 条 件					推定清水流量 (m^3/H)		全揚程 (mAq)	
				海上管長 (m)	沈設管長 (m)		陸上管長 (m)	総和(m)	QSTR:実測値			
流送条件 計測時	K S	K M	K F	L F S	L B S	L F S B	L L S	L T D S	Q S T R		H S T R	
	2.00	1.30	1.20	384.0	351.0	735.0	443.0	1178.0	11451.1		75.1	
	1.50	1.20	1.10	384.0	351.0	735.0	443.0	1178.0	11451.1		69.3	
	2.50	1.50	1.30	384.0	351.0	735.0	443.0	1178.0	11451.1		80.3	
推 定 ケ ー ス	(1)	K S	K M	K F	L F	L B	L F + L B	L L	L T D	R Q	Q Q	H 1
		2.00	1.30	1.20	384.0	351.0	735.0	14.0	749.0	1.137	13025.0	70.2
		1.50	1.20	1.10	384.0	351.0	735.0	14.0	749.0	1.428	13149.4	64.6
		2.50	1.50	1.30	384.0	351.0	735.0	14.0	749.0	1.128	12916.1	75.8
	(2)	K S	K M	K F	L F	L B	L F + L B	L L	L T D	R Q	Q Q	H 1
		2.00	1.30	1.20	384.0	351.0	735.0	642.0	1377.0	0.951	10888.7	76.6
		1.50	1.20	1.10	384.0	351.0	735.0	642.0	1377.0	0.948	10855.0	71.5
		2.50	1.50	1.30	384.0	351.0	735.0	642.0	1377.0	0.954	10919.3	81.7
	(3)	K S	K M	K F	L F	L B	L F + L B	L L	L T D	R Q	Q Q	H 1
		2.00	1.30	1.20	363.5	930.0	1293.5	14.0	1307.5	0.941	10779.5	76.9
		1.50	1.20	1.10	363.5	930.0	1293.5	14.0	1307.5	0.951	10893.0	71.4
		2.50	1.50	1.30	363.5	930.0	1293.5	14.0	1307.5	0.933	10682.6	82.4
(4)	K S	K M	K F	L F	L B	L F + L B	L L	L T D	R Q	Q Q	H 1	
	2.00	1.30	1.20	363.5	930.0	1293.5	642.0	1935.5	0.826	9460.7	84.0	
	1.50	1.20	1.10	363.5	930.0	1293.5	642.0	1935.5	0.827	9465.7	74.8	
	2.50	1.50	1.30	363.5	930.0	1293.5	642.0	1935.5	0.826	9457.7	85.2	



写真-19 一次摩耗後のライニング表面 (岸和田)

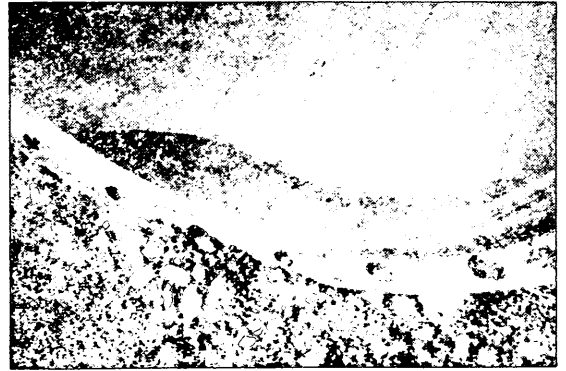


写真-20 フランジ付近のライニングの摩減 (一次摩耗後 岸和田)

いてはある管路条件に対する清水流量を求める部分と土質による流量低下の関係を求める部分に大きく分けられる。前者について、特に管抵抗の評価の仕方によって清水流量の推定幅がどの程度影響を受けるかを表-6に示した。すなわち、 $K_S \sim K_B$ の値を低く設定した場合と高く設定した場合の計算結果を種々の管路条件に対して示し

たものである。大きいところでQQで示される清水流量に200~250 m^3/h の差が見られる。すなわち2%程度の差となっている。このような抵抗系が変化したときのポンプ運転点のシフトのようすは図-51に示されている。

4.5 岸和田における摩耗の状況

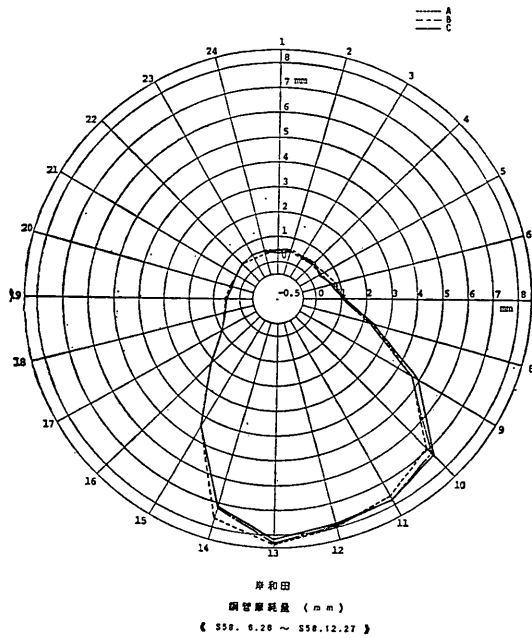


図-57 鋼管の摩耗量分布 (岸和田 一次)

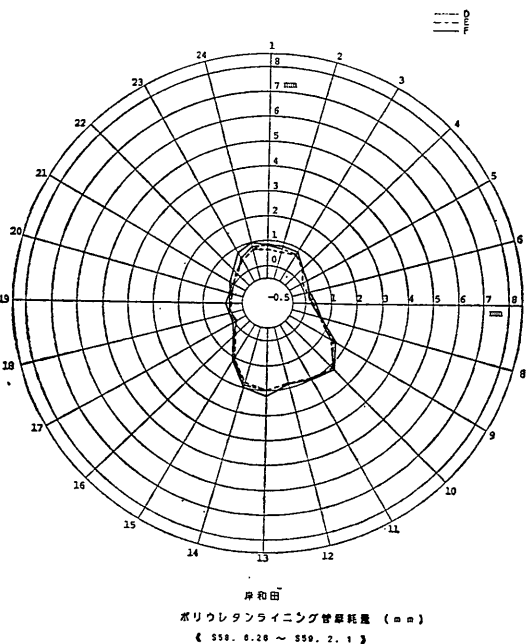


図-58 ポリウレタンの摩耗量分布 (岸和田 一次)

1 摩耗量の計測方法

摩耗計測管として製作した長さ1mの鋼管及びポリウレタンライニング管は一部の肉厚を除き、基本的に苦小牧で使用した摩耗計測管と同じである。また、摩耗測定点の位置も同じであり計測器も同一のものを使用している。

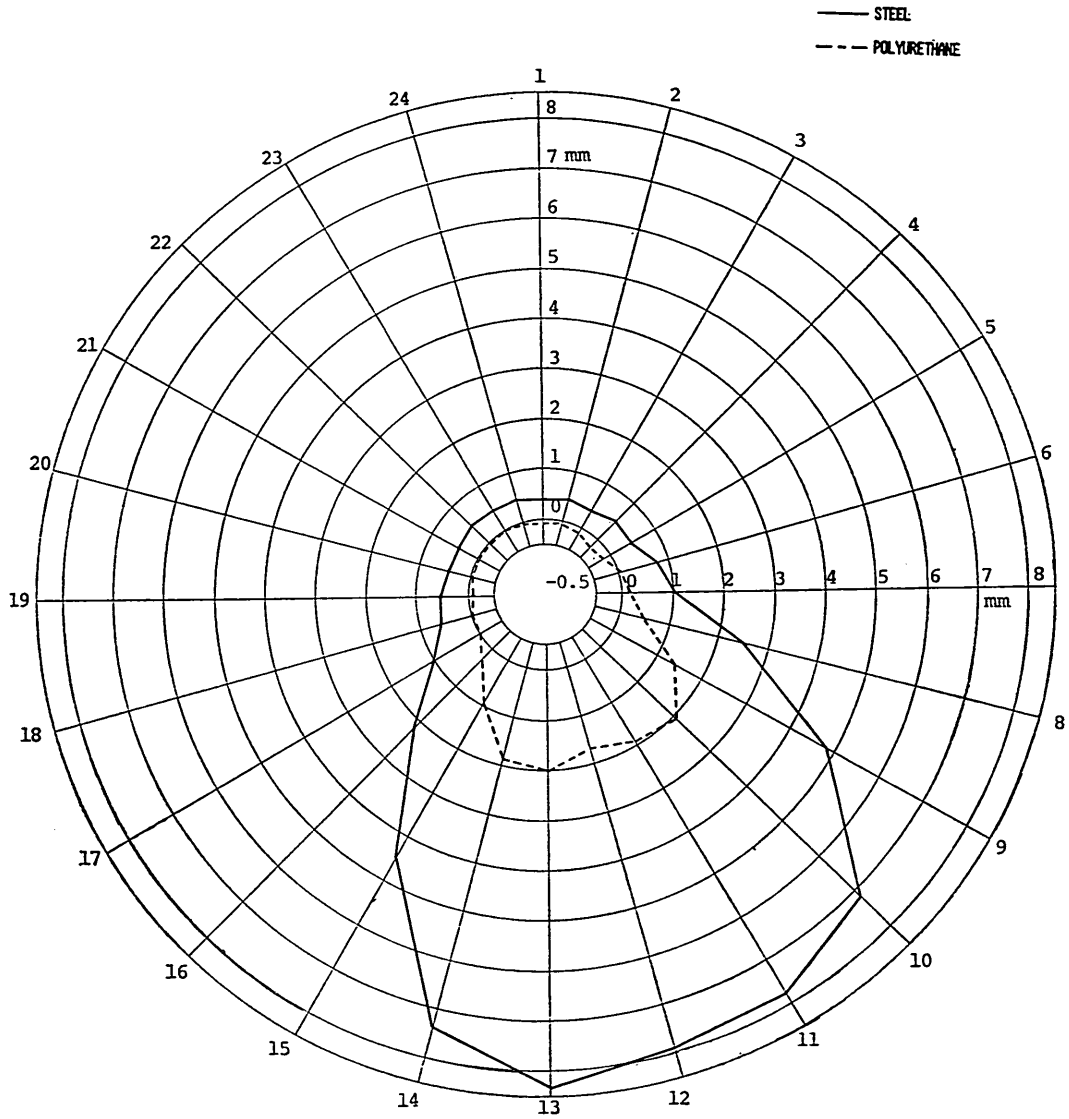
製作直後のベースデータは川崎市内の製作工場において昭和58年6月に測定し、一次摩耗量を12月27日、また最終摩耗量を昭和59年2月1日にそれぞれ現地で計測した。今回はダミー試験片を用いていないが、一次摩耗計測時及び最終摩耗計測時ともに排送管ラインから取り外したのち1週間以上経過しているために吸水による影響はベースデータを含めて同一であると仮定した。

2 一次摩耗計測結果

一次摩耗量の計測は12月27日に行った。ポリウレタンライニング管の摩耗後の表面は苦小牧の場合と異なり、全体的に表面の摩耗が進行したと考えられる状況であり、カッティングしたような傷跡はほとんど観察されなかった。しかしながら、苦小牧の場合と同様に管底部の鋼管部とフランジ結合されている部分では完全に鋼材が露出しており、上流側鋼管の管底部との段差によるポリウレタンの摩耗速度の早さがうかがわれた。写真-19にポリウレタンライニング管の摩耗後の状態を示し、写真-20にフランジ結合部付近のポリウレタンの摩耗状況を示す。

図-57は鋼管に対する一次摩耗量を円周方向の分布で表している。ポリウレタンに対する分布が図-58である。これらの図において、A、B、C及びD、E、Fという記号はそれぞれ上流側からの測定位置の違いを示している。苦小牧の場合と同じく流れ方向の計測位置による摩耗量の差はほとんどみられない。そこで、流れ方向の各測定点における摩耗量の平均値を計算し鋼管及びポリウレタンライニング管の一次摩耗量を同時に示したのが図-59である。管底部(ポイント13)が最も摩耗量が大きいという常識の結果にはなっているが、分布の傾向からいえば若干右側にふくらんだ分布を示している。すなわち、下流側からみて右側の摩耗量が大きいことである。摩耗計測管は陸上部のストレートラインに組み込まれており、ベンドなどのように流れを偏向させる具体的な要因のないことを考えると摩耗計測管と既設排砂管との結合部に面違い、あるいはパッキンの張り出し等が存在したとしか考えられない。

苦小牧の場合と最も異なる点は、管底部の摩耗量に対し管頂部の摩耗量が非常に小さいことであり、土砂の浮遊する割合が小さくほとんどしゅう動しながら土砂が輸



岸和田

計測管平均摩耗量 (mm)

《 S58. 6.26 ~ S58.12.27 》

図-59 平均摩耗量分布 (岸和田 一次)

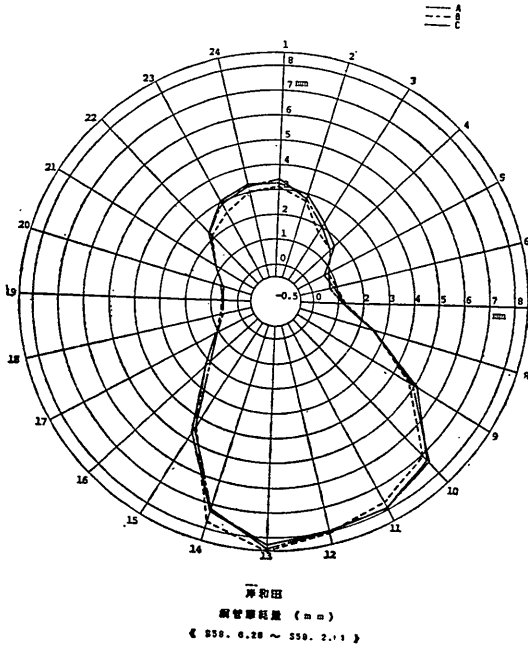


図-60 鋼管の摩耗量分布 (岸和田 最終)

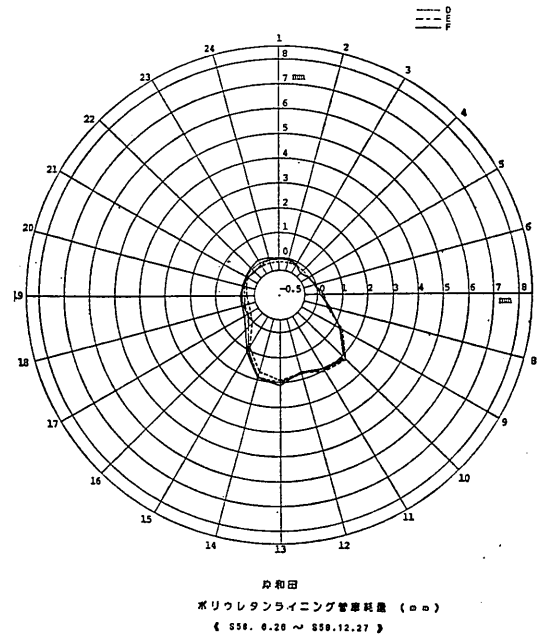


図-61 ポリウレタンの摩耗量分布 (岸和田 最終)

送されていたと考えられる。これは土質条件の項でも触れたような礫分の多い土砂輸送の状態を摩耗の面から裏付けるものであろう。また、今回の土質としては粘土、シルト分もかなり多く、これらは浮遊状態で輸送されるけれども摩耗にはほとんど寄与していないことが明らかである。

最大摩耗量としては鋼管の場合 8.3mm, ポリウレタンライニング管に対して 2.18mm という値が得られている。鋼管の初期肉厚は 12mm であるから残厚は 3.7mm しかないことになる。このことが、以後の摩耗試験において天地替えを行った理由である。ポリウレタンについても同様に天地替えを行った。これらの平均摩耗量については表-7の (1-2) で区分された部分に示されている。

3 最終摩耗計測結果

最終摩耗量の計測は昭和59年2月1日、流送条件計測と並行して行った。図-60に試験開始からの鋼管の円周方向摩耗量分布を示し、図-61にポリウレタンライニング管の摩耗量分布を示す。また、図-62は測定位置A, B, C及びD, E, Fについて平均値を鋼管及びライニング管それぞれについて計算した結果である。

一次摩耗計測後に天地替えをしているから、それ以後

についてはポイント1が管底部、ポイント13が管頂部となっているため、試験開始からの通算摩耗量を示す図-62はひょうたん形の分布を示している。この分布から、図-59に示す一次摩耗分布をさし引くと、一次摩耗計測以後の摩耗量分布が得られる。これを図-63に示す。

これから一次摩耗計測以後の最大摩耗量として、鋼管に対し 2.8mm, ポリウレタンに対し 0.87mm という値が得られる。また、この期間の輸送土量が少ないこと、ならびに摩耗が極端に管底部に集中する傾向をもっているため管側部より上方(ポイント7~19)はほとんど摩耗していないことがわかる。ポリウレタンライニング表面の最終摩耗状況は写真-21に示されている。

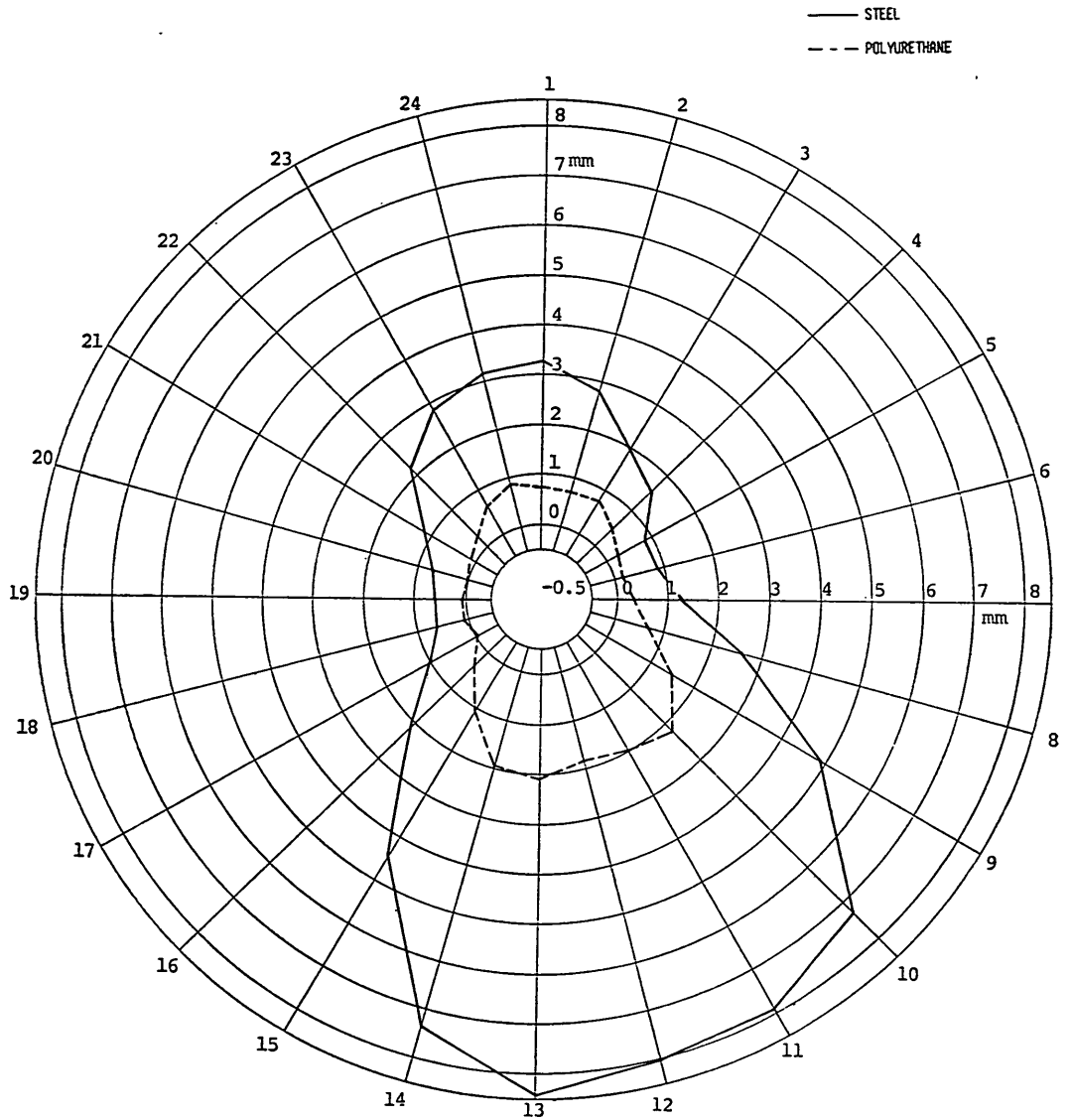
なお、一次摩耗量を含めた平均摩耗量の一覧が表-7である。

5. 摩耗調査結果の検討

5.1 通過土量当たり摩耗量

図-64は苦小牧における摩耗量を通過土量に対して示したものである。管断面に対して最大摩耗の部分、管底より45°上部、管の側面部のそれぞれについて摩耗の速度がかなり異なっていることがわかる。

摩耗結果で触れたように、苦小牧の場合は最大摩耗箇

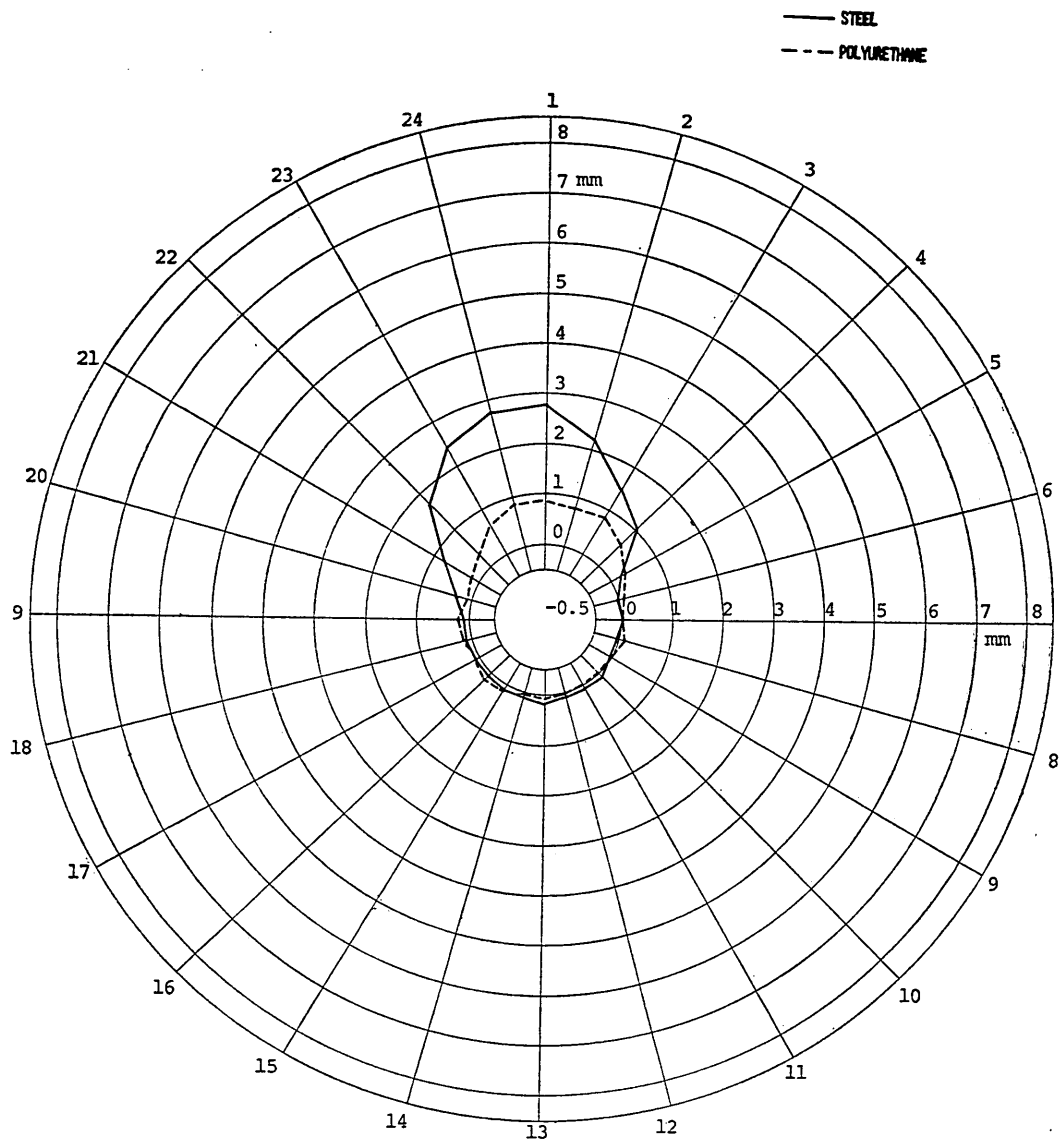


岸和田

計測管平均摩耗量 (mm)

《 S58. 6.26 ~ S59. 2. 1 》

図-62 平均摩耗量分布 (岸和田 最終)



岸和田

計測管平均摩耗量 (mm)

《 S58.12.27 ~ S59.2.1 》

図-63 平均摩耗量分布(岸和田 一次~最終)

土砂輸送パイプの摩耗に関する研究（第2報）

表-7 岸和田における平均摩耗量一覧

KISHIWADA (STEEL)-mm-KISHIWADA (POLYURETHANE D-F)							
				1 : BASE DATA			
				2 : FIRST DATA			
				3 : FINAL DATA			
PNTS	1-2	1-3	2-3	PNTS	1-2	1-3	2-3
1	0.467	3.267	2.800	1	-0.050	0.767	0.817
2	0.517	2.817	2.300	2	-0.033	0.733	0.767
3	0.467	1.983	1.517	3	-0.083	0.783	0.867
4	0.533	1.583	1.050	4	-0.200	0.450	0.650
5	0.533	0.817	0.283	5	-0.100	0.233	0.333
6	0.833	0.867	0.033	6	0.017	0.167	0.150
7	1.150	1.250	0.100	7	0.233	0.317	0.083
8	2.533	2.583	0.050	8	0.567	0.683	0.117
9	4.850	4.883	0.033	9	1.483	1.500	0.017
10	7.150	7.273	0.123	10	2.183	2.183	0.000
11	7.733	7.833	0.100	11	1.950	1.950	0.000
12	7.933	8.033	0.100	12	1.733	1.800	0.067
13	8.300	8.433	0.133	13	2.017	2.083	0.067
14	7.333	7.417	0.083	14	1.833	1.900	0.067
15	4.417	4.500	0.083	15	0.983	1.083	0.100
16	2.150	2.200	0.050	16	0.233	0.350	0.117
17	1.000	1.083	0.083	17	-0.083	0.017	0.067
18	0.617	0.667	0.050	18	-0.083	0.033	0.117
19	0.517	0.600	0.083	19	-0.117	0.033	0.150
20	0.417	0.717	0.300	20	-0.067	0.000	0.067
21	0.400	1.200	0.800	21	-0.033	0.117	0.150
22	0.500	2.233	1.733	22	-0.067	0.267	0.333
23	0.467	2.900	2.433	23	0.000	0.633	0.633
24	0.467	3.217	2.750	4	0.000	0.867	0.678

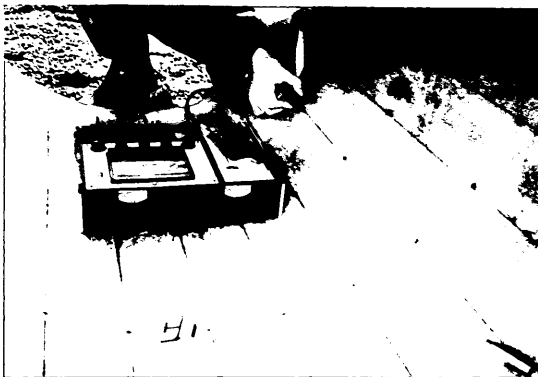


写真-21 最終摩耗後のライニング表面（岸和田）

所が約15°偏っているが、この偏りは管の側面部にまで及んでおり流れ全体が管の海側へ押し付けられている傾向が示されている。このような個々の特徴はあるが、全般的に鋼管及びポリウレタンのいずれにおいても摩耗量の増加は摩耗試験期間中はほぼ一定の割合で増加している。

図-65 は岸和田における結果である。途中で天地替えをしているために一次摩耗と一次から最終までの分を分けて示した。また、管の側面については前述したように摩耗分布に左右対称性が見られなかったためにここに示してはいない。管底部の最大摩耗箇所のみを示した。苦小牧と比べて浚渫土質が礫主体であったために、図-64と比較すると通過土量に対する摩耗割合は鋼管についてかなり大きくなっている。しかしながら、ポリウレタンについては苦小牧の場合よりも高い割合ではあるが鋼管

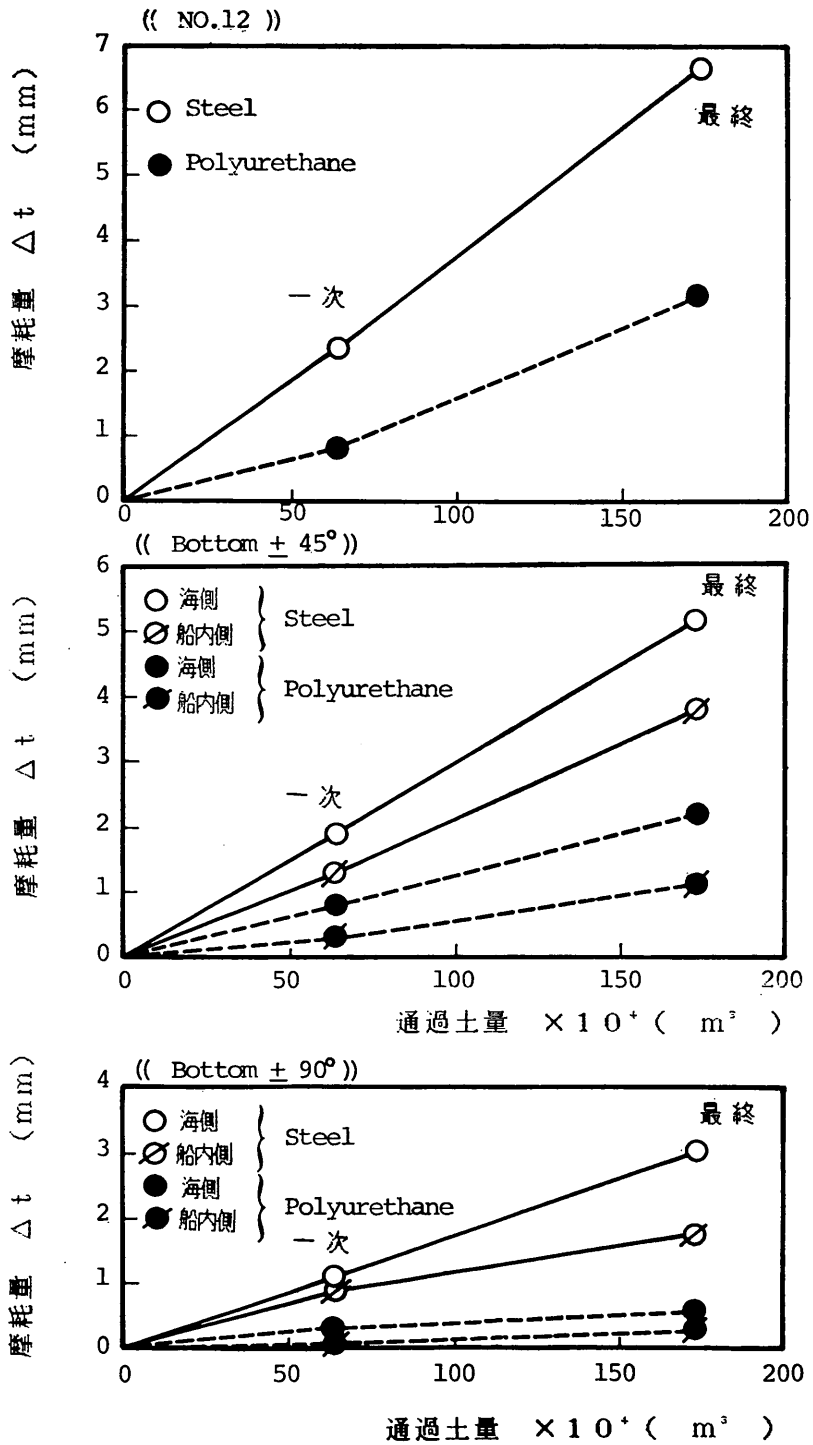


図-64 通過土量当たり摩擦量(苫小牧)

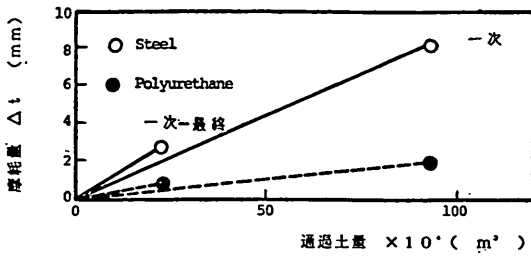


図-65 通過土量当たり摩耗量 (岸和田)

ほどの差はない。これは、苫小牧におけるポリウレタンの摩耗が土質条件以外の要因によって異常に大きかったためと考えられる。

この異常摩耗は、苫小牧における摩耗面観察結果からもわかるように切削傷を主体としたものであった。貝殻片、ワイヤ、鉄片等種々考えられるが、いずれが主要因かについては断定できない。ただし、苫小牧のポリウレタンの摩耗が通過土量と関連の深いことから考えると、これらの切削傷の発生によってポリウレタン表面の全般的摩耗を促進した可能性も強い。

図-65 の岸和田における通過土量当たりの摩耗量が一次摩耗のほうが天地替え後の摩耗量よりやや低くなっている。これは運転状況の項でも触れたように10月27日から11月10日にかけて礫分の少ない土質に対して浚渫排送を行ったことによるものと思われる。

以上の通過土量当たりの摩耗量について表-8及び表-9の摩耗集計表にそれぞれの摩耗量計測時の値が示されている。

5.2 ポリウレタンの摩耗の特徴と耐摩耗性

図-66 は苫小牧における鋼管及びポリウレタンライニング管の円周方向摩耗量分布である。図中の①は一次摩耗量を示し、③は最終摩耗量に対応している。また②は一次摩耗計測後の摩耗量に対応したものである。

ポイント12にピークがあり、最大摩耗箇所は管底部より約15°偏っていることがわかる。①～③のいずれに対しても管の側面より下方(ポイント7～19)において摩耗量が急激に大きくなっている。

ポリウレタンの耐摩耗性倍率は管断面に対しての同一測定場所における鋼管の摩耗量とポリウレタンの摩耗量の比で定義される。この値も図-66に示されている。測定位置によってこの値は大きく変化し、10倍以上の耐摩耗性が見られるのはポイント6あるいはポイント19より上方である。管底部では特に小さく、最大摩耗の発生しているポイント12では1.5～2という値になっている。

図-67 は岸和田における実験結果に対するものである。天地替えを途中でやっているため、それ以後の管底部がポイント13からポイント1に変わっている。このため③に対しては摩耗のピークが2個存在する。図中の記号①～③は前述のとおりである。

岸和田の場合は、天地替えによる摩耗パターンの特徴のほか鋼管の管側面より上方に対する摩耗度が著しく少ないという傾向を示している。例えば①におけるポイント4ならびにポイント17より上方、また②におけるポイント6からポイント19の範囲がそれに相当する。

ポリウレタンの耐摩耗性倍率は一次摩耗①についてみるとポイント6及び16より上方では10倍以上の値となっている。しかしながら、管底部付近では3～4倍に低下する。

一般にある粒度分布をもつ土砂の管内流れにおいては、管の上下方向に分級作用があり、フローパターンも異なったものとなる。例えば苫小牧のように平均粒径の小さい土砂であってもそれに含まれる粗大粒子分は管底しゅう動ながら輸送されるであろうし、逆に小さな粒径のものは浮遊して流送され管壁との衝突の割合も多くなると考えられる。すなわち、管側部あるいは管頂部と管底部の摩耗量の違いは流動パターン、いいかえると摩耗形態の違いを表すと同時に土粒子の大小にも影響されることになる。したがって、苫小牧を例にとると、平均的土質が浮遊しやすい砂であったとしても管底部を通過する粒子は平均的にそれよりもかなり大きいことになり、このことが、結果的に管底部の摩耗量増加を促進すると考えられる。

このような流動パターンの違いによる摩耗の違いを示したのが図-68である。ここでは、苫小牧の最終摩耗量と岸和田における一次摩耗量に対し、最大摩耗量を1にとって他の測定箇所の摩耗量を基準化したものである。まず鋼管についてみると、苫小牧と岸和田の土質の違いによる摩耗パターンの差がよくわかる。管の底面と管の側面の摩耗量の比で鋼材摩耗量比を定義すると、苫小牧の場合2.3～2.5、岸和田の場合約12程度であり礫主体の摩耗形態では土砂がほとんど管底部を集中的に流送されることがわかる。

ポリウレタンについては、苫小牧、岸和田ともに鋼管ほどの差はみられない。いいかえると、苫小牧でみられるように鋼管の摩耗が側面より上方でもかなり存在したとしても、この付近での衝突摩耗主体の摩耗形態(あるいは粒子が小さい場合の摩耗形態)に対するポリウレタンの耐摩耗性が高く、結果的に摩耗が進行しにくいと考えることができよう。

(苦 小 牧)

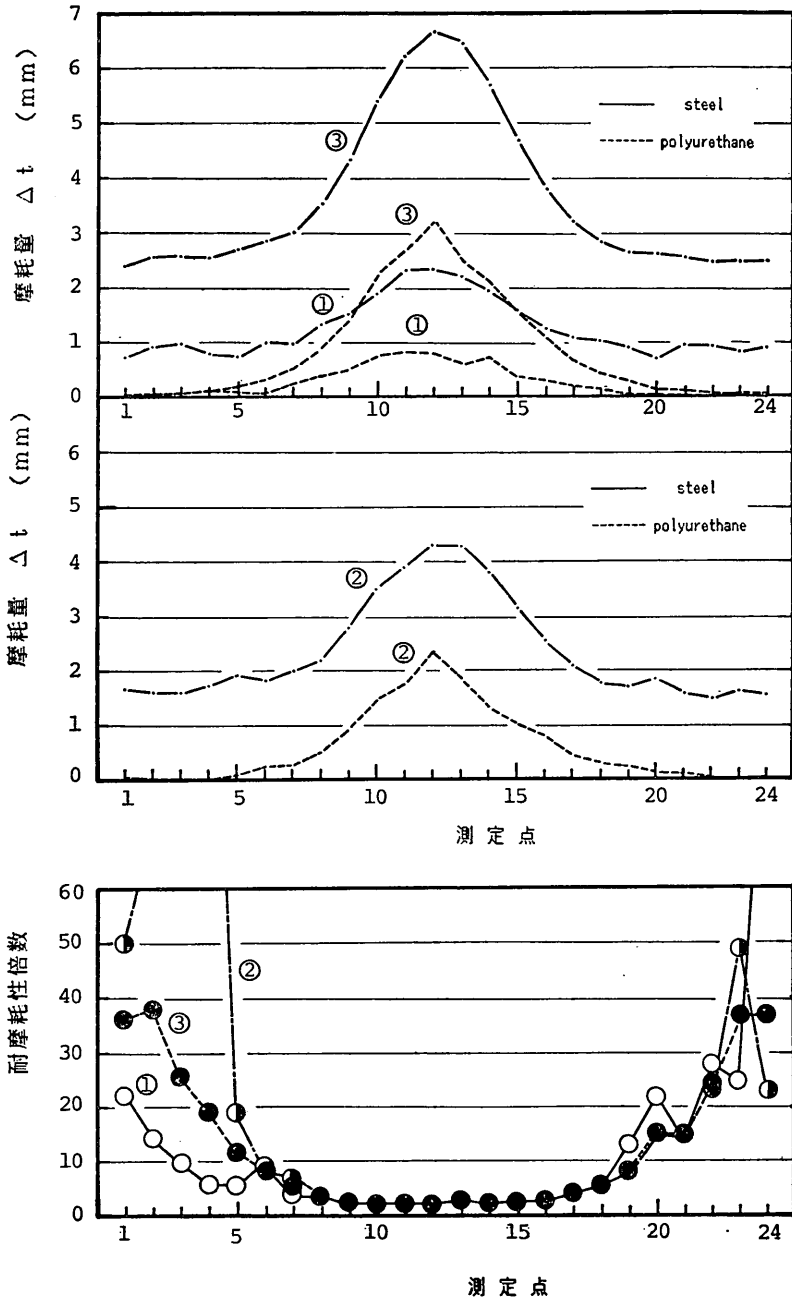


図-66 苦小牧における摩耗量と耐摩耗特性

(岸 和 田)

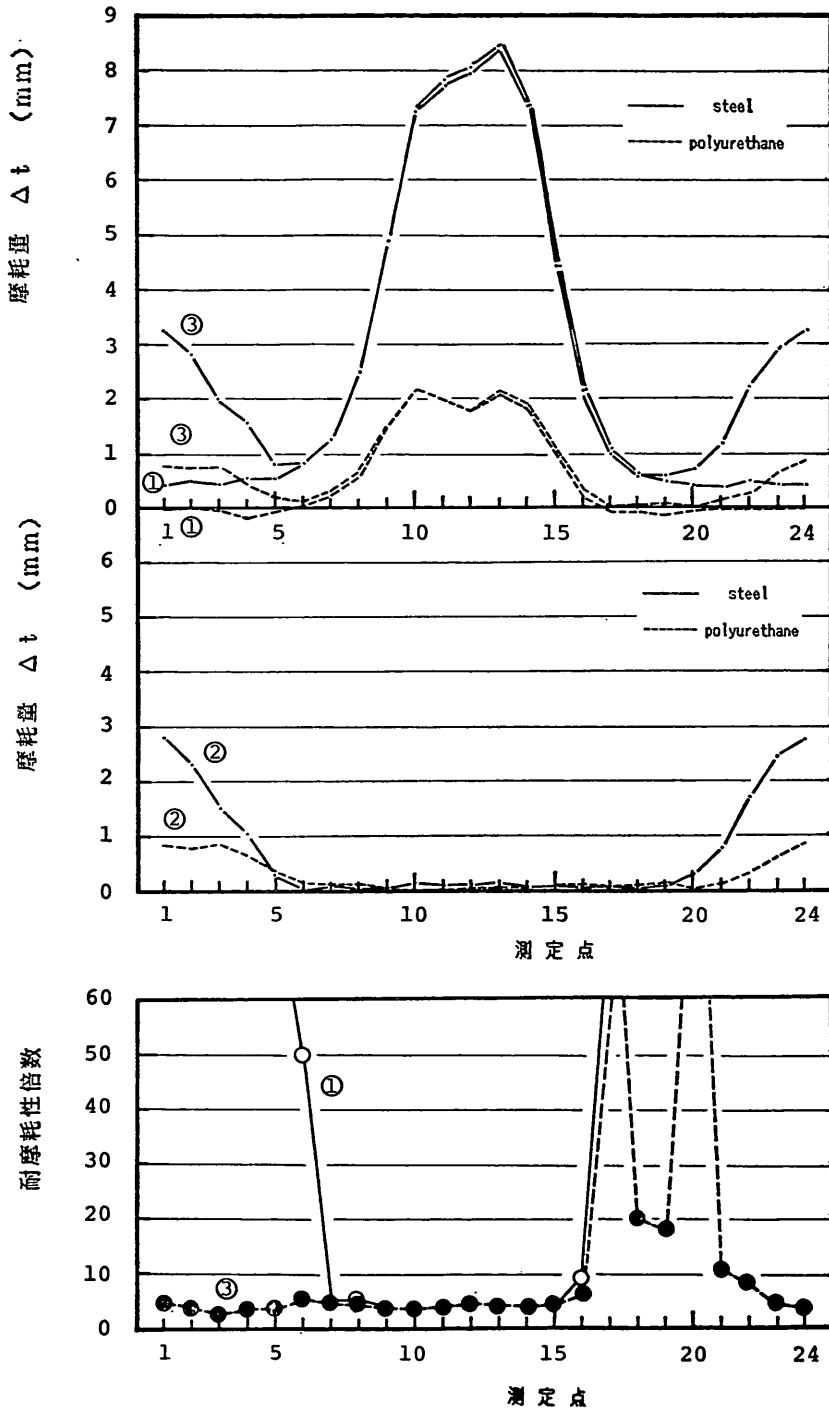
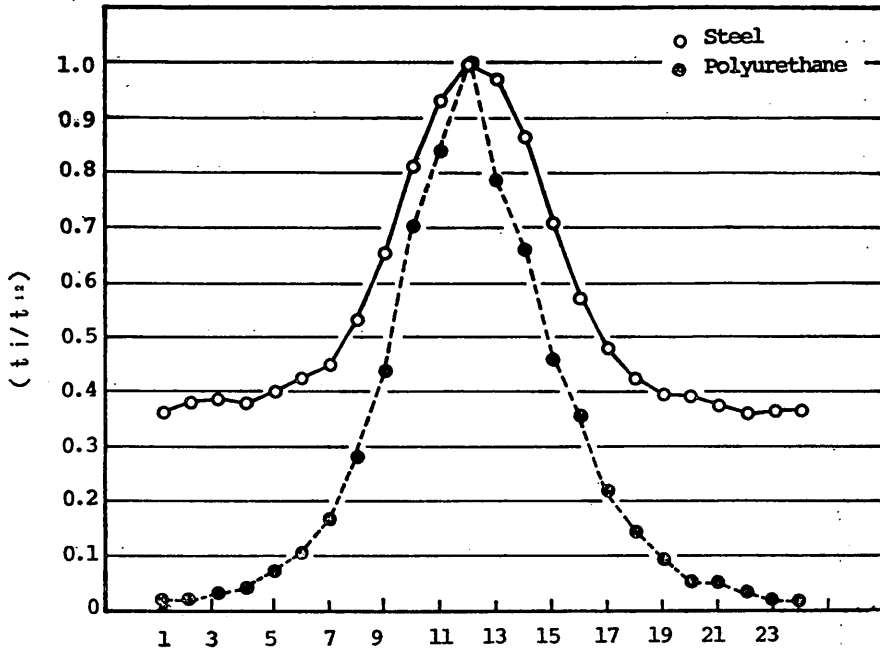


図-67 岸和田における摩耗量と耐摩耗特性

苫小牧 (最終)



岸和田 (一次)

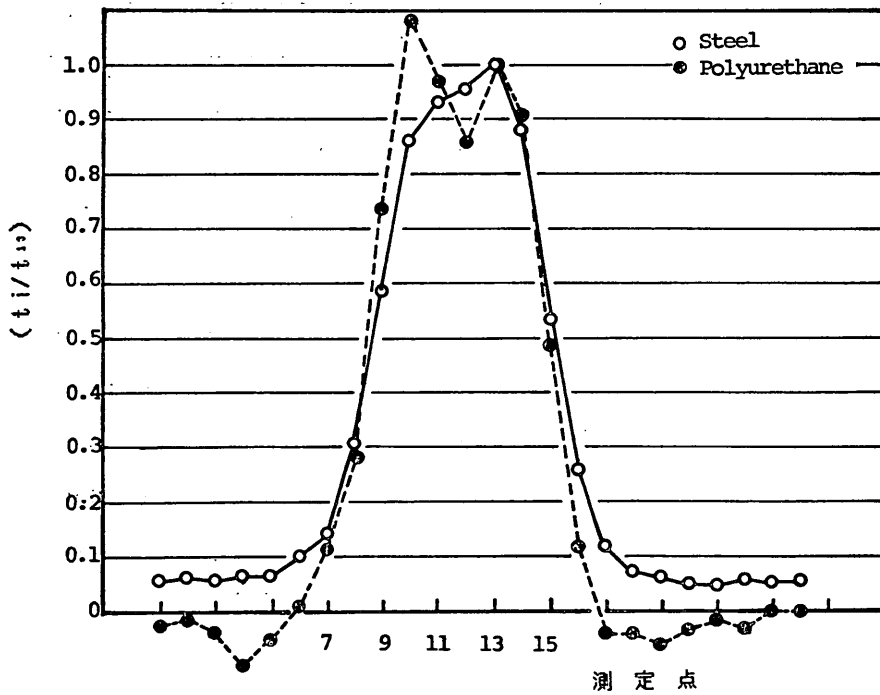


図-68 円周方向摩耗パターンと比較

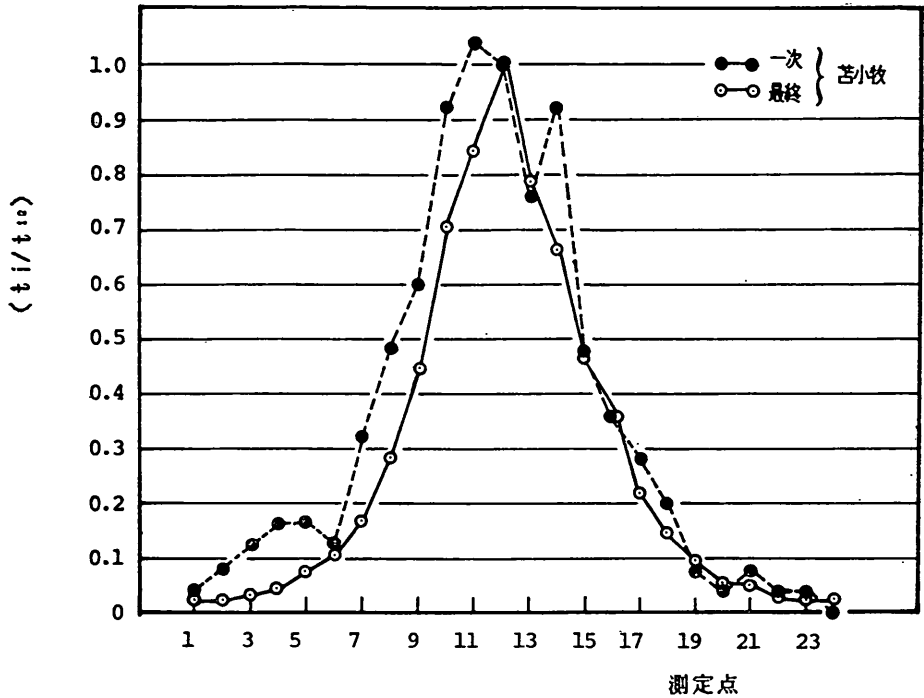


図-69 ポリウレタンの摩耗パターンに与える絶対摩耗量の影響

図-69は、図-68に経す方法で苦小牧のポリウレタン一次摩耗と最終摩耗の結果を比較したものである。一次摩耗におけるポイント12の摩耗量は0.833mmであり、最終摩耗のそれは3.167mmである。すなわち、この両者では絶対摩耗量として約4倍の差があるが、そのパターンはほぼ同じと考えることができる。このことから、ポリウレタンの表面摩耗は摩耗の進行につれて差が生じることはないこと、また一次摩耗程度の摩耗パターンについても信頼性は十分あるということがいえるであろう。

なお、上記に示した諸結果は表-8及び9にとりまとめられている。

5.3 摩耗計測値に与える流れ方向の影響

鋼管及びポリウレタンライニング管の測定位置は流れ方向にもそれぞれ3点とっている。例えば図-28及び29に示すようにそのピッチは250mmである。

本報告では図-28や29にみられるように、流れ方向の測定位置の違いによる摩耗量の差は平均的にみればないとして、主としてこれら3点の平均値で取り扱ってきた。図-70はこのことを統計的に調べてみたものである。

いまB点及びE点の摩耗量を0とし、これに対するA、C点及びD、F点の摩耗量の差の偏りが士どちら側

に集中しているかを管断面に対する測定位置、すなわちポイント1~24すべてについて示している。

A点及びD点は結合フランジにより最も影響を受けやすい部分であるが、この結果をみるかぎり士いずれの側にも同程度の偏りを示しており、これら点に対する平均値で摩耗量を議論しても特に問題はないといえる。また、苦小牧、岸和田いずれの場合にも上流側の鋼管と結合されたポリウレタンライニング管のフランジ部で完全な摩耗箇所があったが、これがA~C点及びD~F点の摩耗計測値に影響を与えてはいないこともわかる。

5.4 ライニング初期肉厚の影響

図-71は鋼管及びポリウレタンライニングの摩耗試験前の厚さを示している。鋼管の肉厚変化に比べポリウレタンライニング厚の変化がかなり大きいことがわかる。

ポリウレタンの場合、目標肉厚6mmに対し最大で約2mmの差がみられる。これはライニングを施す母鋼管の偏平度、ならびにライニング時の芯出しにおもな原因があると考えられる。特に一般的に製作されていない大口径管のライニングについて今回の場合試作品でもあり、今後ライニング施工が標準化される中で精度的にはかなりよくなる可能性はある。

苫小牧

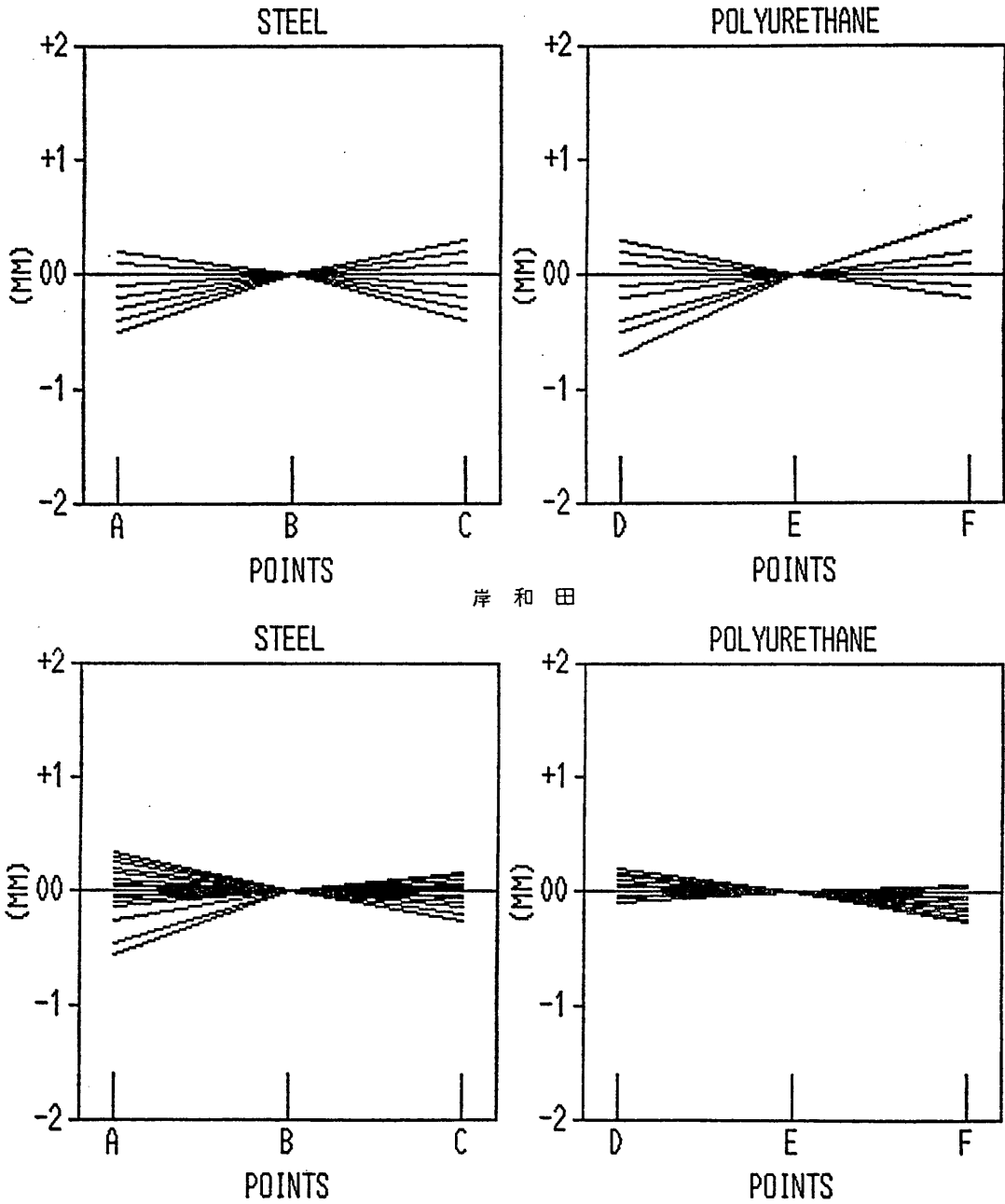


図-70 摩耗計測値における流れ方向計測点の違いによる影響

土砂輸送パイプの摩耗に関する研究 (第2報)

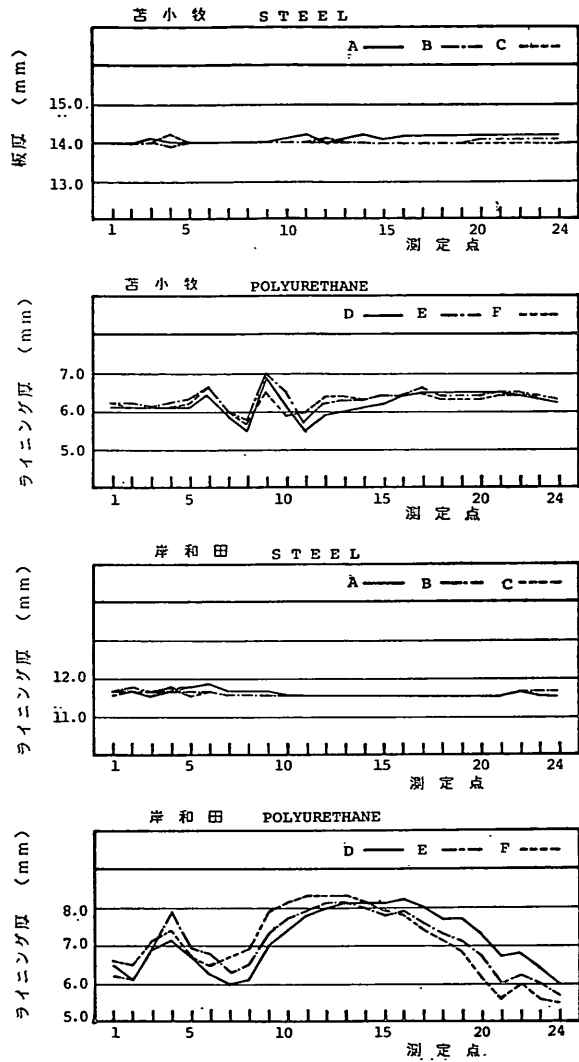


図-71 摩耗計測管の初期肉厚の変動

このような初期肉厚の差が摩耗に影響を与える可能性はあるが、今回の調査に限っていえば図-66及び67と図-71を比較してもわかるようにほとんど影響されていないと考えてよいであろう。

5.5 ライニング強度

苫小牧と岸和田の両調査とも、鋼管とポリウレタンライニング管の結合フランジ部においてライニング材が完全に摩滅し、母鋼管表面が露出している部分が発生した。これは上流側の鋼管とライニング管の摩耗速度に差があるため徐々に結合部に段差が生じ、この結果ライニング材の摩耗を著しく早めた結果と考えられる。

しかしながら、完全摩滅箇所とライニング材の接点はなめらかであり、そこを起点としてライニング材がはく離を起こしている徴候は全くみられなかった。

このことからみるかぎり、今回の調査で試作したライニング管のライニング用プライマ及びライニング方法は満足のゆくものであり、ライニング強度は十分実用に耐え得ることが確認されたといえる。

5.6 摩耗期間中の流送条件の推定

苫小牧の調査では天候事宿により流送条件を測定し得なかったが、岸和田においては初期の目的通り流送条件を測定し、この結果を利用してほぼ3か月近い摩耗期間

表-8 苫小牧における摩耗試験結果

流 送 条 件								
流速 (m/s)	含泥率*(%)	排送距離 (m)	浚渫深度 (m)	土 質				
				平均粒径 (mm)	真比重	性 状		
6.4	5.3	890~1,300	15~17	0.1~0.2	2.767	貝殻混り砂及び砂質シルト		
摩 耗 量								
摩耗期間 昭和57年	摩耗時間 (時間)	通過土量 (m ³)	最大摩耗量(mm)		土量当たり摩耗量 (mm/100万m ³)		耐摩耗性倍率 (最大摩耗位置)	鋼材摩耗量比 [管底部 管側部]
			鋼材	ポリウレタン	鋼材	ポリウレタン		
7/22~8/26	669.6	634,636	2.37	0.87	3.73	1.37	2.72	2.5
9/5~11/3	1147.3	1,099,874	4.27	2.33	3.88	2.12	1.83	2.31
7/22~11/3	1816.9	1,734,510	6.63	3.17	3.82	1.83	2.09	2.37

*真容積濃度

表-9 岸和田における摩耗試験結果

流 送 条 件								
流速 (m/s)	含泥率*(%)	排送距離 (m)	浚渫深度 (m)	土 質				
				平均粒径 (mm)	真比重	性 状		
5.2	7.3	1,100~1,900	20~25	3~4	2.663	粘土・シルト混り砂礫		
摩 耗 量								
摩耗期間 昭和58年~ 昭和59年	摩耗時間 (時間)	通過土量 (m ³)	最大摩耗量(mm)		土量当たり摩耗量 (mm/100万m ³)		耐摩耗性倍率 (最大摩耗位置)	鋼材摩耗量比 [管底部 管側部]
			鋼材	ポリウレタン	鋼材	ポリウレタン		
10/27~12/15	918.5	931,805	8.30	2.18	8.91	2.34	3.81	11.6
1/10~1/21	247.0	232,989	2.80	0.87	12.02	3.73	3.22	—

*真容積濃度

中の流送条件を推定し得た。このことにより摩耗データも今後の利用価値の高いものになったといえる。これらの集計表を表-8および9に示す。

6. 結論

本調査で得られた結論は概略次のとおりである。

1) 苫小牧においては、排送距離が短くこのため土砂の平均粒径が小さいわりに高い流速で土砂輸送が行われている。摩耗計測管は船内排砂管の一部に取り付けられていたが、この直前にバンドがあり最大摩耗点は流れが曲げられる方向に約15°偏っている。

2) 鋼管の管底摩耗量と管側摩耗量の比である鋼材摩耗比は、土砂の浮遊状況（またはしゅう動状況）を摩耗

の面からとらえた指標といえるが、苫小牧の場合この値は2.3~2.5とかなり低く、土砂の浮遊する割合は大きかったといえる。しかしながら全体的に浮遊状態で流れているとはいえ管の上下方向に土粒子に対する分級作用があり、比較的粗い粒子が管底部に集中する傾向は存在する。鋼材摩耗比が小さいということは、この傾向が少ないという意味でもある。摩耗データはこのような沈降性粒子の流動パターンの違いをよく反映しているといえる。

3) 苫小牧において特記すべき事項はポリウレタン表面の切削傷を主体とした異常摩耗である。土質条件および浚渫区域の状況から貝がら片ならびにワイヤ、鉄片等の鉄屑類による可能性が強いが本調査では断定すること

ができなかった。このため、ポリウレタンの管底部における耐摩耗倍数も1.8~2.7程度と、土質の平均粒径が比較的小さいにもかかわらずかなり低い値となっている。しかしながら、管の側面においては鋼管と比べポリウレタンの摩耗ははるかに低く、耐摩耗性倍数も10倍を超えている。

4) 苦小牧の場合、通過土量100万 m^3 当たりの最大摩耗量は鋼管で3.8mm、ポリウレタンで1.8mmであった。しかしながら2)で述べたように、この値が必ずしも平均粒径土砂に対応したものではないことに注意する必要がある。

5) 岸和田の場合、土質のみから判断した摩耗条件は苦小牧よりはるかに厳しい碟主体によるものであった。流速は苦小牧に比べかなり低く、全期間を通じて平均すると約5.2m/sである。このような流送条件下では土砂の浮遊割合も少なく、流動形態はしゅう動流が主と考えられるが、この点を反映して鋼材摩耗比は平均11.6と苦小牧に比べはるかに高い値を示している。

6) 岸和田におけるポリウレタンの耐摩耗性倍数は管底で3.22~3.81と必ずしも高い値ではないが、摩耗表面は均質であり室内実験における摩耗表面に近いものであった。

7) 両調査とも円周方向摩耗量分布から考えると、ポリウレタンの耐摩耗性に上下方向にかなりの差が現われている。すなわち、管底部付近のしゅう動摩耗と異なり管側部付近では衝突摩耗が増加する。この摩耗形態でのポリウレタンの耐摩耗性は非常に大きく耐摩耗性倍数も10倍以上を示している。

8) 両調査において、いずれの場合も鋼管とポリウレタンの結合フランジ部においてポリウレタンライニングが完全に摩滅する箇所があった。これは、鋼管とポリウレタンの摩滅速度の差により段差が生じライニングの摩滅を著しく早めたものと考えられる。

9) しかしながら、8)で述べる摩滅箇所とライニングの接点はなめらかであり、そこを起点としたライニング剝離の徴候は全くなく、ライニング強度は十分実用性に耐え得ることが確認された。

7. あとがき

昭和57、58両年度の現地実験を通じ、実際の流送条件下での大口徑鋼管およびポリウレタンの摩耗状況について貴重なデータが得られた。しかしながら、苦小牧実験における流送土砂は平均粒径の小さい砂質土であったが、ポリウレタンについてはその土質に応じた正常な摩耗であったとはいいがたい。この点を補完するために、

昭和59年度には能代において砂質土に対する現地実験を行っている(続報予定)。

両年度の調査を通じ、東洋建設株式会社には終始御協力を頂いた。特に現地においては千代田丸乗組員の方々ならびに苦小牧、岸和田における同社現地事務所の方々には種々の面で大変御世話になった。さらに、苦小牧東部開発株式会社には貴重な資料を提供して頂いたし、室蘭工業大学開発工学科徳田助教授には、計測器の借用に際し多大の御配慮を頂いた。ここに、関係者各位に対し厚く感謝する次第である。(1985年3月30日受付)

参 考 文 献

- 1) 宮崎昭児：排砂管の摩耗調査その1、その2、作業船、38号、pp.53~64、42号、pp.43~52、S42
- 2) I. B. Kazanskij H. J. Mathias and W. Kahle : Some Remarks on Pipe Materials in Connection Wear Resistance and Dredging Efficiency, *Third International Symposium on Dredging Technology* pp. 137~162, 1980
- 3) 宮崎昭児, 奥出律, 津村悦男 : 粗粒径土砂混合水による鋼材の摩耗特性について, 港湾技術研究所報告, Vol. 10, No. 2, pp. 161~175, 1971
- 4) I. Tarjan and E. Debrecenyi : Theoretical and Experimental Investigation on the Wear of Pipeline Caused by Hydraulic Transport, *Hydrotransport 2*, G1-1~G1-14, 1972
- 5) K. J. Oswald and W. E. Laster : The Performance of Fiberglass Systems in Abrasive Applications *Int. Conf. Wear. Mater.* No.2, 1979
- 6) R. A. Ganga and V. T. Nguyen : Use of Polyamide 11 AS Pipe Liner for Slurry Pipeline, *Proc of Third International Conference of the Internal and External Protection of Pipes*, pp. 157~pp. 162, 1979
- 7) C. E. Munro : Polyurethane Lined Pipelines, *Pipes & Pipelines*, pp. 16~pp. 33, March-April, 1974
- 8) V. T. Nguyen and F. Saey : Design for a Highly Abrasive and Corrosive Slurry, *Hydrotransport*, 6, pp. 367~pp. 378, 1969
- 9) S. Murakami, et al : Wear Test of Pipe Linings for Hydraulic Transport of Dum Deposit, *Hydrotransport 7*, pp. 315~pp. 330, 1980
- 10) W. Wiedenroth : The Influence of Sand and Gravel on the Characteristics of Centrifugal Pumps, Some Aspects of Wear in Hydraulic Transportation Installations, *Hydrotransport 1*, pp. E 1-1~E 1-28, 1970
- 11) J. G. A. Bitter : A study of Erosion Phenomena Part 1, *Wear* 6, pp. 5~pp. 21, 1963
- 12) 橋本建次 : スラリ輸送における摩耗の原因と対策, 建設機械 No. 7, pp. 46~pp. 54, 1976
- 13) 岡山義邦, 村上幸敏, 浜田賢二 : 土砂輸送パイプの

摩耗に関する研究—ライニング材としてのポリウレタンエラストマの耐摩耗性, 港湾技術研究所報告, Vol. 20, No. 2, pp. 271~pp. 311, 1981

- 14) 岡山義邦, 村上幸敏土砂混合物に対するポリウレタンの耐摩耗性, 日本鉱業会, 研究・業績発表講演会講演要旨集, pp. 83~84, 1983
- 15) A. J. Karabelas: An Experimental Study of Pipe

Erosion by Turbulent Slurry Flow, *Hydrofransport* 5, pp. E 2-15~E 2-24, 1978

- 16) 前出 2)
- 17) 岡山義邦: 土砂輸送用パイプの摩耗について, 昭和56年度港研講演会講演集, pp. 219~pp. 257, 1981
- 18) 前出 13)