

港 灣 技 研 資 料

TECHNICAL NOTE OF
PORT AND HARBOUR RESEARCH INSTITUTE
MINISTRY OF TRANSPORT, JAPAN

No. 60 Sept. 1968

高压噴流の構造に関する実験結果，及び

モルタル試料掘削実験結果について

……………藤 井 喜一郎・守 口 照 明・近 藤 基

金沢港におけるポンプ船試験報告

(ブースタポンプを使用した長距離輸送について)

……………八 木 得 次・宮 崎 昭 児・是 石 昭 夫

運輸省港湾技術研究所



総 目 次

高圧噴流の構造に関する実験結果、及び モルタル試料掘削実験結果について.....	藤井喜一郎・守口 近藤 基	照..... 3
金沢港におけるポンプ船試験報告 (ブースタポンプを使用した長距離輸送について)	八木 得次・宮崎 是石 昭夫	昭児.....45

金沢港におけるポンプ船試験報告

(ブースタポンプを使用した長距離輸送について)

目 次

要 旨

1. ま え が き	47
2. 供試船の要目と配置	49
3. 試験方法と測定項目	49
4. 土 質	51
5. 送 水 試 験	55
5.1 測 定 概 要	55
5.2 吸 込 圧 力	58
5.3 ポ ン プ 特 性	58
5.4 排 送 距 離	59
6. 浚 渫 試 験	60
6.1 測 定 概 要	60
6.2 吸込圧力と吸泥能力	61
6.3 流 速 低 下	61
6.4 実 用 性 能	62
7. 運 転 実 績	65
7.1 就業時間の構成	65
7.2 電力消費量と能力	67
8. 今後の工事計画についての検討	70
8.1 各工事区分の排送距離について	71
8.2 ポンプ使用点と動水こう配	73
8.3 ブースタポンプの位置	73
8.4 能力の推定	79
9. ま と め	81
10. あ と が き	82
参 考 文 献	82
記 号 表	82
写 真	85

REPORT ON THE TEST OF A PUMP DREDGER AT PORT KANAZAWA

—Long-distance transportation of soil through pipe with the aid of booster pumps—

Tokuji Yagi*
Shoji Miyazaki**
Akio Koreishi**

Synopsis

There are few practical examples and technical notes in our country on a long-distance transportation of soil through pipe with the aid of booster pumps. Dredging and reclamation work at Port Kanazawa, Ishikawa Prefecture, started in December, 1967 is carried out by a dredger and four booster pumps connected in series as a discharge length is about seven kilometres at the longest.

This report discusses the characteristics of the pumping system with booster pumps, its dredging capacities, and a future dredging program on the basis of a field test done in February, 1968, and the operated records.

Such related items as both pressures and power of pump, and density of mixture were measured through water transporting and dredging tests to grasp the present actual states of the work and obtain a practical performance diagram showing a capacity of the system. Capacity limit is mainly determined by a critical velocity which represents the transportability of soil, and a restriction of the power of pumps. In this case, however, the power of the dredger's pump was a ruling factor. The test revealed that compared with a critical consistency up to 11 per cent at the test, mean consistency calculated from the operated records was 8.3 per cent. and there would be some room for improvement in dredging capacity.

According to the construction program of Port Kanazawa, the distance between both areas of dredging and reclamation will get shorter with the progress of the work, so assuming the typical discharge length in each dredging section, authors examined the optimum arrangements of booster pumps and the dredging capacities for each cases under the result of the test.

* Chief, Hydraulic Transportation Laboratory, Machinery Division

** Member of Hydraulic Transportation Laboratory, Machinery Division

金沢港におけるポンプ船試験報告

(ブースタポンプを使用した長距離輸送について)

八 木 得 次*
宮 崎 昭 晃**
是 石 昭 夫**

要 旨

ブースタポンプを使用して土砂を長距離輸送する作業形態は、我が国においては施工例が少なく、実績資料も乏しい。

金沢港における浚渫埋立工事は、最長時約7kmの輸送距離があって、浚渫船の他ブースタ船を4隻直列に連れて行くものであって、昭和42年12月より開始された。

本資料は、去る昭和43年2月に行った現地試験および運転実績にもとずいて、ブースタポンプを使用した場合のポンプ管路系の特性、施行能力および今後の工事計画等について検討したものである。

試験の種類は送水および浚渫試験であって、ポンプ圧力、電力、含泥率等の関連項目を測定して、現在の作業条件下での実態を把握し、これらをもとに実用性能図を作成して能力限界を明示した。能力限界は主として土砂の輸送性を代表する限界流速と、ポンプの動力限界によって決められるが、本例では浚渫船のポンプ電力が支配的要素になっている。また浚渫試験時の含泥率は約11%ではほぼ限界であるが、運転実績から得た平均含泥率は約8.3%でなお若干の能力向上の余地がある。

金沢港の工事計画によれば、工事の進ちょくとともに、浚渫および埋立区域の距離は順次短くなる。そこで各工事区分別の代表的な排送距離を設定し、試験結果をもとに、それぞれの場合におけるブースタ船の適正位置および施工能力等について検討した。

1. ま え が き

金沢港は昭和39年度より新規着工した掘込港湾で、防波堤工事の進ちょくとともに、昭和42年12月より浚渫工事に着手している。

一般に掘込港湾は浚渫土層が厚いため、取扱う土量も膨大なものとなり、これらの処理能力は工事の進行に重要な影響をもたらすことになる。

本港における昭和43年度を初年度とする新港湾整備5ヶ年計画によると、航路、泊地等の浚渫土量は739万 m^3 にも達し、浚渫関係に要する費用は全体の50%強を占めている。さらに、これらの土砂は大野川沿いおよび河北潟南部の工業用地造成土として活用されることになっており、その輸送距離は最長7kmに及ぶものである。

第一港湾建設局では土砂輸送の方式を種々検討した結果、ポンプ船にブースタポンプを直列につなぐ、いわゆるブースタ方式を採用することに決定した。このような長距離にブースタ方式を用いた例は我が国では少なく、本港の工事形態の大きな特色の一つになっている。なお、本工事においては、大野川にかかる橋脚間隔、受電設備、工事量等の現場条件に適するのは、2,000PS以下の浚渫船であるとの結論に達し、浚渫船、ブースタ船共900kWの電動ポンプ船を用いている。

本港の土質は計画水深までは大部分が砂質土（内陸部にシルト分が含まれる）であって崩れやすく、掘削性からみた能力限定の要因は殆んど考えられないが、輸送距離が長いことから排送性に問題が誘起されてくると思われる。さらにブースタ方式を採用していることと、埋立

* 機材部流体輸送研究室長
** 機材部流体輸送研究室

区域が大幅に変わる等から考えて、ポンプ個々の特性よりむしろポンプ間の関連性、すなわち全ポンプ系としての問題が重要な要素となろう。

以上のようなことから、去る昭和43年2月、現地において若干の調査試験を行い、その結果から施工能力の検

討および今後の工事計画に対する資料を得ようとしたものである。

なお、本試験は僅か3日間で、しかも特定の条件下で行ったものである。したがって記録の整理に当って過去の資料その他を参考にして拡大解釈を行っている所もか

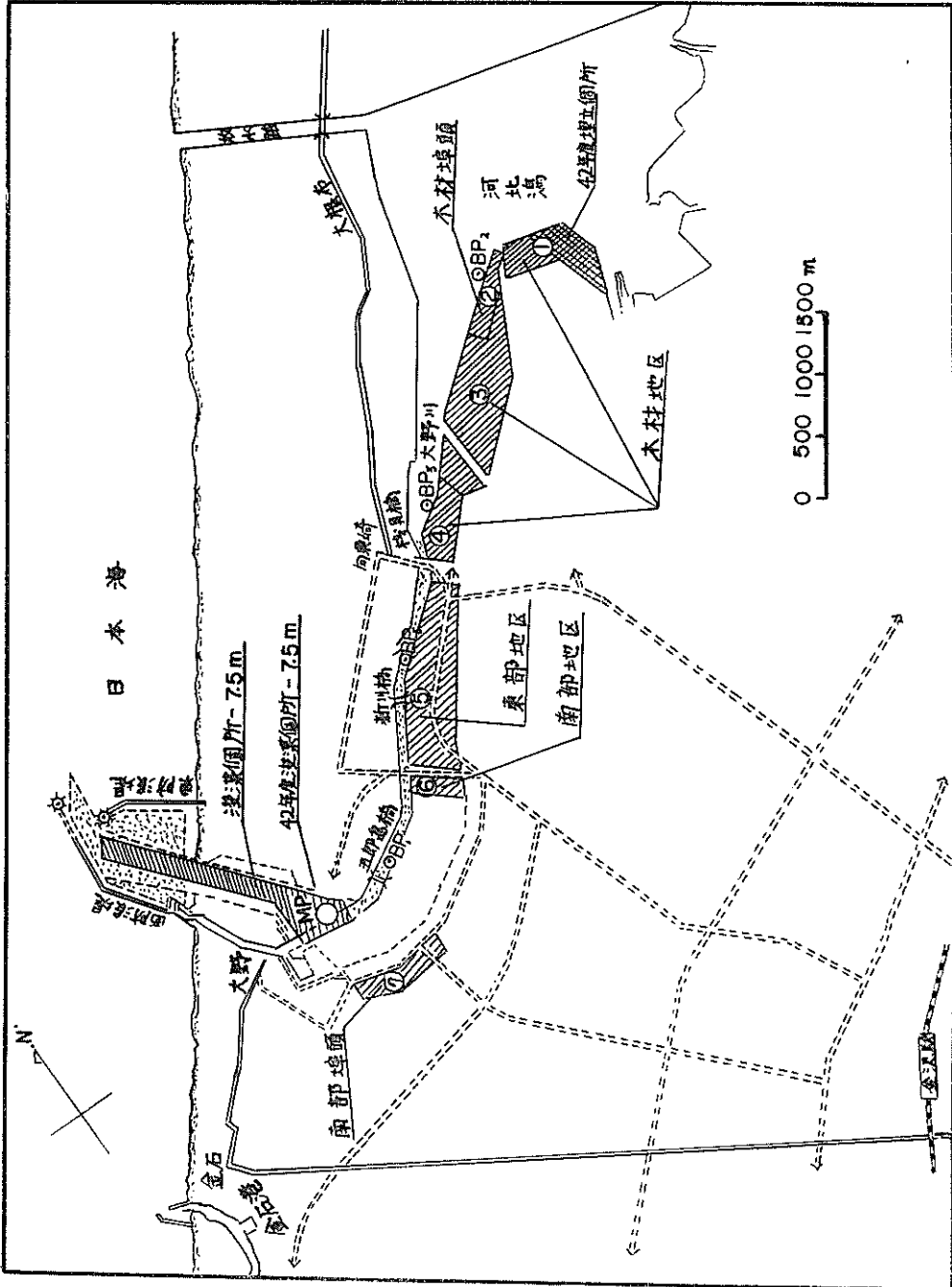


図1-1 金沢港平面図

なりある。

2. 供試船の要目と配置

本試験に用いられた船は、東洋建設株式会社所属のポンプ船団で、浚渫船愛知丸およびブースタ船 No1, No5 No3, No2 の5隻の主要目を表2-1に示す。

次に、試験時の供試状態と配管系を表2-2と図2-1に示す。

3. 試験方法と測定項目

本試験は、ブースタ方式による土砂の長距離輸送に対する適切な資料を得る目的で、送水試験および浚渫試験を行った。

送水試験は、送水時における浚渫ポンプ特性を知るために行ったもので、現状のパイプラインのまま、通常の運転状態において、管内流速、圧力、電力等を2回にわたって測定した。管内流速は、吸込管の途中から紅ガラを投入し、これの管内通過時間から求め、その他の測定項目は通過時間中5分おきに記録した。なお広範囲の流速試験は日時、天候等により出来なかった。

浚渫試験は、土砂の輸送性を検討する資料を得るためのもので、通常の浚渫作業状態とさらに含泥率を上げた作業状態とで行い、圧力、電力および含泥率等の関連項目を1～5分毎に測定した。なお、含泥率を上げた運転状態では、試験中排砂管の土砂つまりを呈し、BP₃、BP₂の残圧が大きな負圧となったので、急ぎ送水運転に切換

表 2-1 供 試 船 の 要 目

			愛知丸	ブースタ船				備 考
				No. 1	No. 5	No. 3	No. 2	
船 体 部	船 体 寸 法	長 　　さ(m)	38.6	25.0	20.0	18.0	20.0	
		巾 　　(m)	10.0	8.5	7.5	6.4	7.5	
		深 　　さ(m)	3.00	1.75	1.75	2.25	1.75	
浚 渫 機	主 ボ ン プ	インペラ径(mm)	1,450	1,400	1,650	1,400	1,370	試験時 (内巾)
		〃　　巾(mm)	381	468	395	464	200	
		〃　　枚 数	5	5	5	4	4	
		揚 水 量(m ³ /H)	3,400	3,100	3,100	3,600	3,100	
		揚 程(m)	50	50	40	42	50	
		回 転 数(r. p. m)	360	360	240	350	360	
		口 径(mm)	560	560	560	560	560	吸込, 吐出共 同じ
機 部	主 ボ ン プ 電 動 機	出 力(kW)	900	900	900	900	900	
		電 圧(V)	3,300	3,000	3,000	3,300	3,300	
		電 流(A)	171	206	226	193	170	
		回 転 数(r. p. m)	870	580	244	352	880	
		サイクル×極 数	60×8	50×10	50×24	60×20	60×8	
機 部	カ ツ タ ー 機	出 力(kW)	220					
		電 圧(V)	3,300					
		電 流(A)	36					
		回 転 数(r. p. m)	875					
機 部	補 助 電 動 機	ラダーホイスト (kW)	75					
		スイングウインチ (〃)	37					
		スパッドウインチ (〃)	37					
		サービスポンプ (〃)	37	22	22	30	37	
		そ の 他(〃)	37.35	4.8	2.2	1.5	4.4	

但し、ブースタ船のNo.は現地の呼称番号に合せた。

表 2-2 供 試 状 態

		MP	BP ₁	BP ₅	BP ₃	BP ₂	計
船 内 管	吸込側 管長	30※(10)	(9)	(7)	(9)		
	吐出側 管長	27	19	14	14	16	
	計	57	29	23	21	25	155
浮上管長		169	—	—	—	—	169
沈設管長		916.5	1392	1414.5	1414.5	129	5266.5
陸上管長		30	—	—	—	972	1,002
合 計		1172.5	1421	1437.5	1435.5	1126	6592.5
※※ ポンプ位置		-0.1	2.27	0.45	1.70	0.61	吐出口 2.3

※ ブースタ船の吸込側管長は、沈設管との接合部よりとする。

※※ 水面を基準にしたポンプセンターの位置

えた。土砂混合水の流速試験は、送水時と同様紅ガラ投入により、これの管内通過時間から求めた。

各試験中に測定した項目を表3-1に示す。

含泥率の測定は、簡易式含泥量測定器を用いて1分おきに記録し、回転数については、ブースタ船に回転計がないため、携帯用回転計を用いて順次計測した。さらに吐出口では5分おきに吐出流線を撮影し、管内流速の資料にするとともに、吐出土砂を浚渫終了後採取した。

試験日程を図3-1に示す。なお2月7日は、排砂管の水吹きおよびBP₂の故障のため復旧待期となり試験が出来なかった。

表 3-1 測 定 項 目

測定項目	測定場所		測定方法	
	愛知丸	各ブースター船		
主ポンプ	吸込圧力	運転室 ポンプ室	ポンプ室	吸込圧力計
	吐出圧力	〃	〃	吐出圧力計
主ポンプ電動機	電 流	〃	〃	電 流 計
	電 圧	ポンプ室	〃	電 圧 計
	電 力	〃	〃	積算電力計
	回 転 数	〃	〃	回 転 計
カ 機 ッ 電 タ 動	電 流	運 転 室 運 轉 室	—	電 流 計
含 泥 率	浮上管	—	—	簡易式含泥量測定器
流 速	(投入場所) 吸込管	—	—	紅ガラ法 流線撮影
そ の 他	吐出口	—	—	吐出状況および土砂採取
総 轄	運 転 室	—	—	浚渫深度、 スイングその他

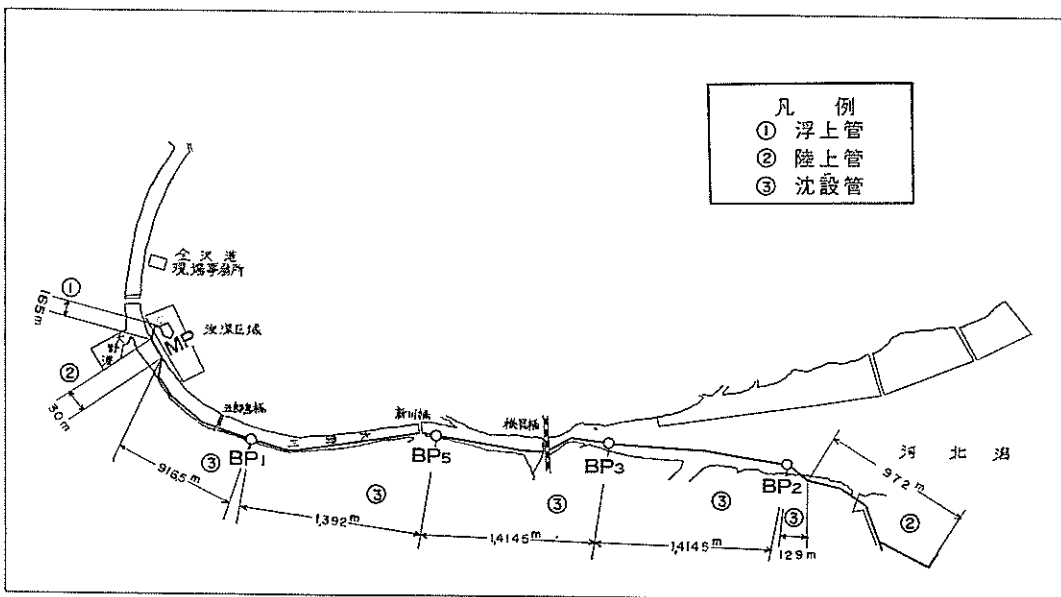


図2-1 配 管 系 統 図

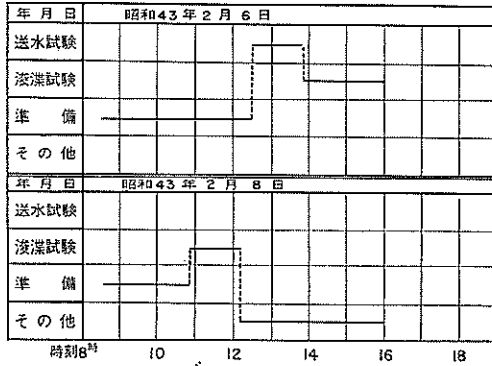


図3-1 試験日程

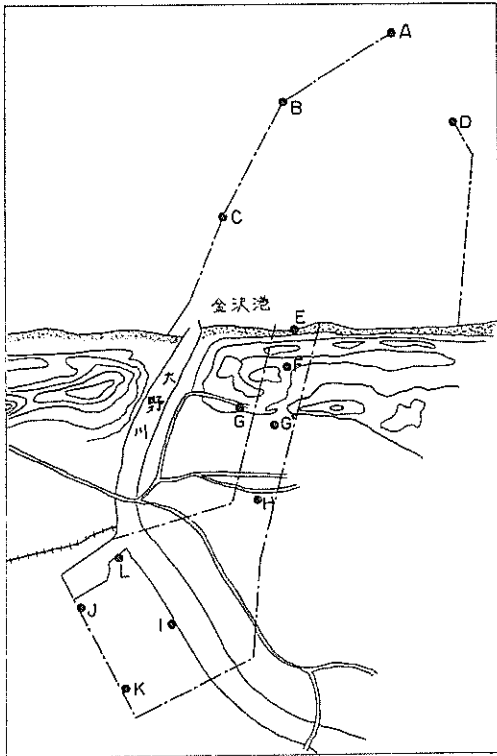


図4-1 ボーリング地点図

4. 土 質

金沢港の土質は殆んどが砂質土であるが、ボーリング資料および試験時に採取した土砂の分析結果から詳しく述べてみよう。

(1) 土質柱状図¹⁾

ボーリング地点は、図4-1に示すように13点であり、この中で関係あると思われる地点の土質柱状図を図4-2～7に示す。計画水深は -7.5～-10mであるから、H以北は殆んど砂層であり、以南は砂、シルト、シルト質砂等の互層をなしている。いずれもN値<50であるが汀線附近が最も締っている。

本試験における浚渫場所は、県道および大野川に囲まれた区域で、上層(-5m)は砂、下層はシルトまたは砂質シルトである。

七尾港工事事務所では、浚渫区域を4区分に分け、上記ボーリング資料からそれぞれの平均的な土質として表示している。一方試験時の土砂は、吐出口での流出土砂カッタに附着した土砂および浚渫区域の土砂(水面上のもの)を採取して秤量分析を行った。以下これらについて記す。

(2) 比重

採取土砂の真比重および見掛比重(空隙に水が飽和した状態)の試験結果は表4-1に示す通りである。

表 4-1 採取土砂の比重

採取日	2月6日		2月7日		2月8日	平均
	資料No.		No.1	No.2	No.3	
真比重(γ_s)	2.65	2.65	2.60	2.68	2.67	2.65
見掛比重(γ_a)	1.96	1.84	2.06	1.91	2.02	1.96

次に浚渫区域別の平均値と比較して見ると表4-2の如くなる。

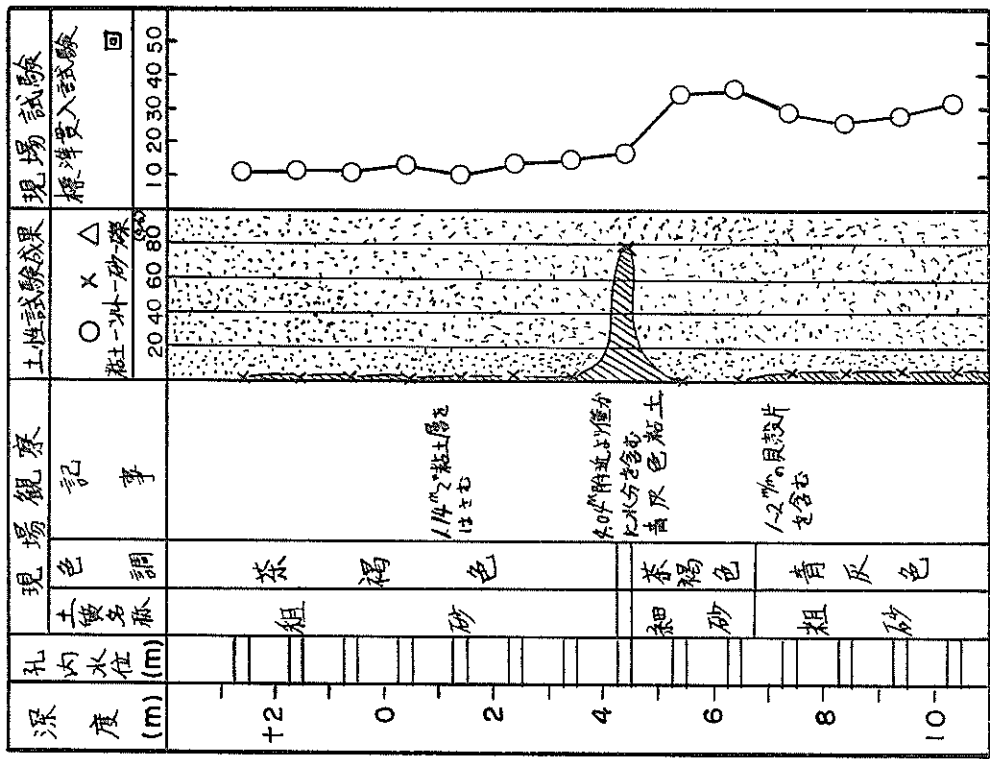


圖4-3 土質柱狀圖 (地点F)

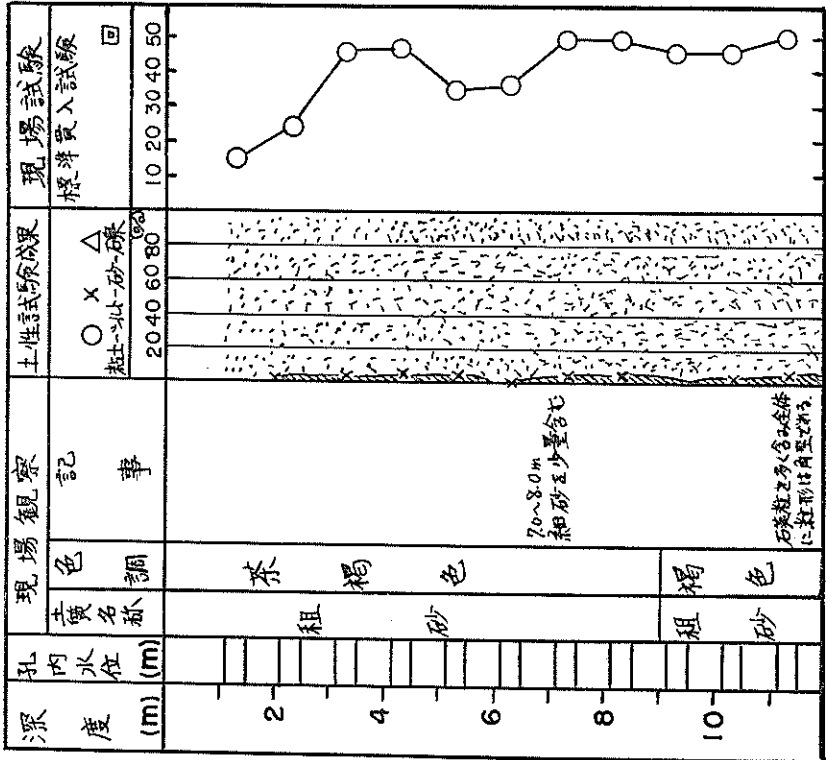


圖4-2 土質柱狀圖 (地点E)

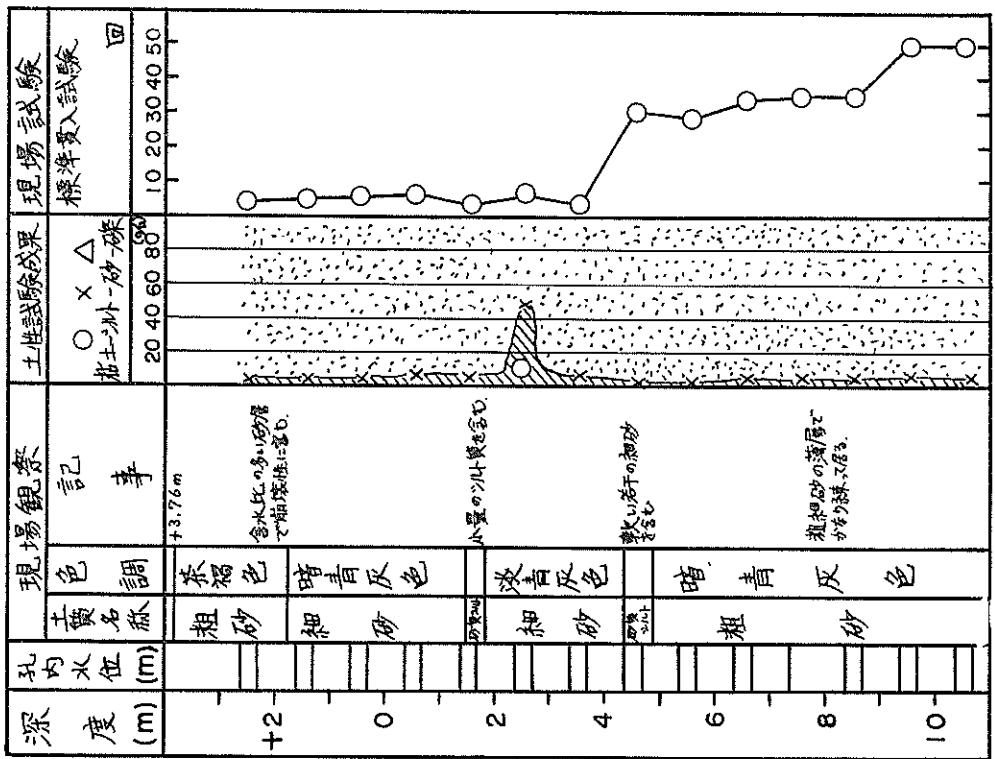


図4—4 土質柱状図 (地点G)

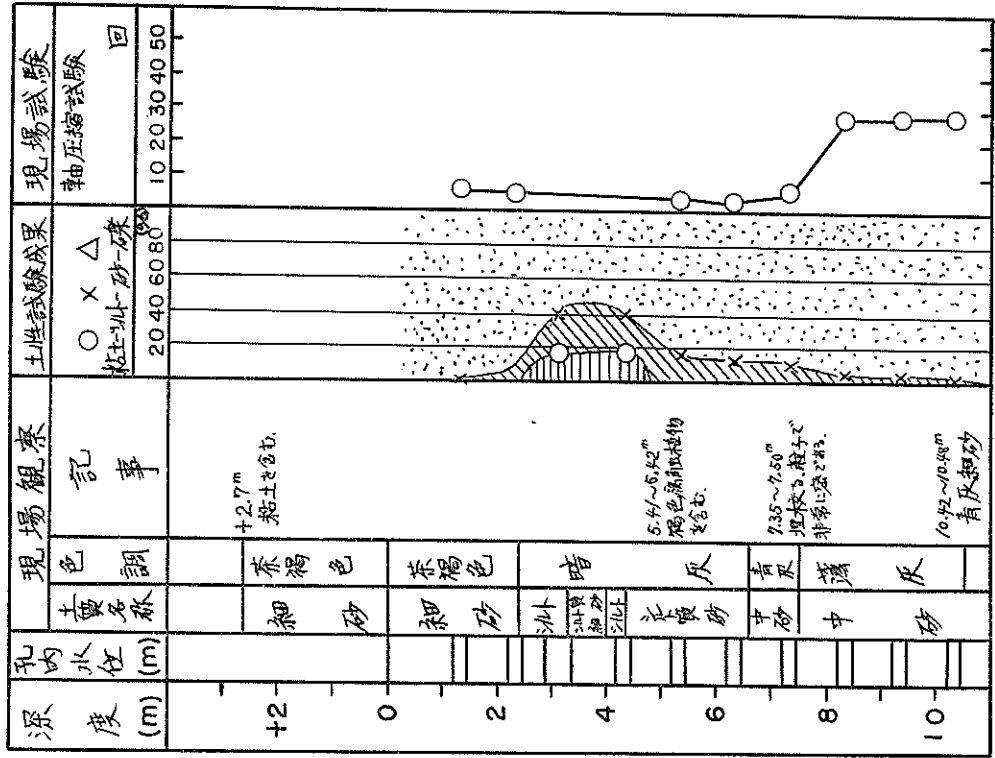


図4—5 土質柱状図 (地点G')

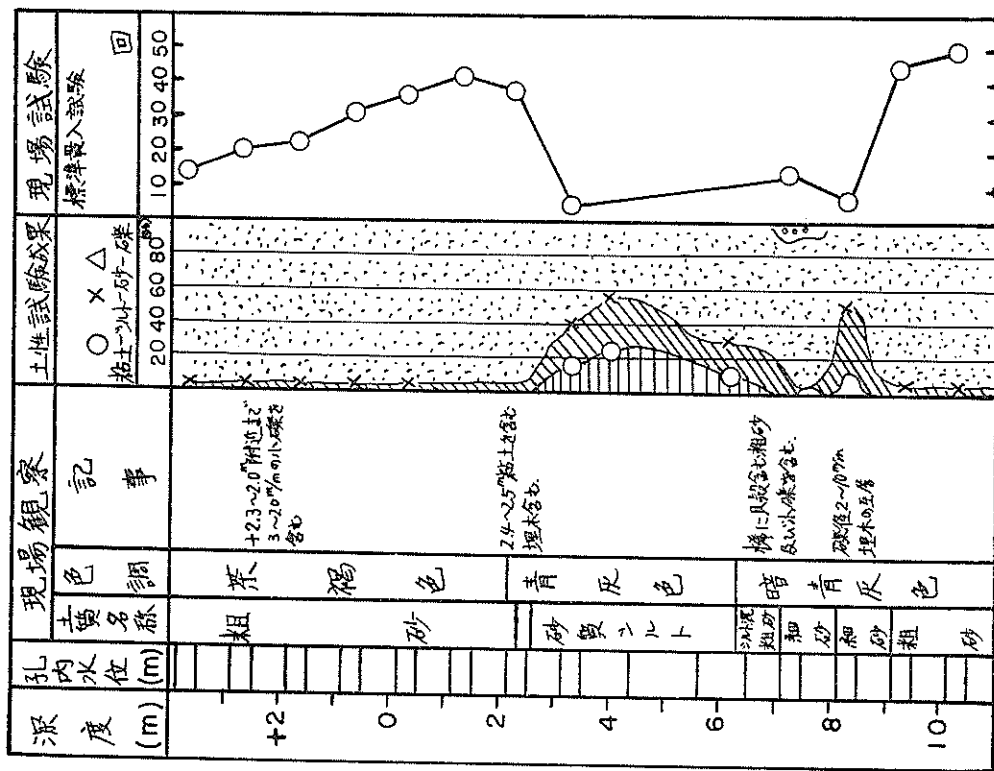


図4-6 土質柱状図 (地点II)

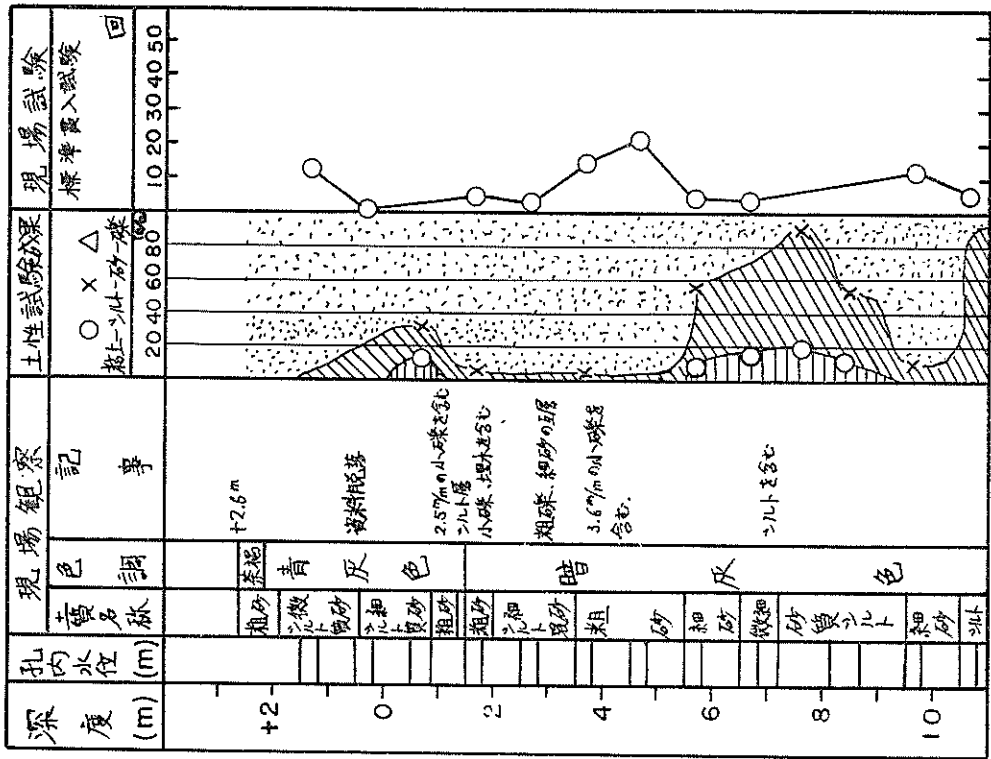


図4-7 土質柱状図 (地点I)

表 4-2 地区別土質の比重

	区 分	ボーリング No.	真 比 重 (γ_s)	見 掛 比 重 (γ_a)	間 隙 率 (P_v)
ボ ー リ ン グ 料	①	A, B, C, Dの平均	2.634	2.05	0.36
	②	E, Fの平均	2.649	2.04	0.37
	③	G, G', Hの平均	2.635	1.85	0.48
	④	I, J, K, Lの平均	2.642	1.69	0.58
採土 取砂	⑤	No. 1, 2, 3, 4, 5の平均	2.65	1.96	0.42

(3) 粒度分布

土質区分①～④について七尾港工事事務所での資料によれば、次のように表示されている。

表 4-3 地区別土質成分表

区分	平均粒径 d (mm)	シルト s ₁ (%)	砂 s ₂ (%)	粗 砂 s ₃ (%)
①	0.30	2	88	10
②	0.40	5	85	10
③	0.25	12	78	10
④	0.25	30	68	5

但し シルト 0.2mm以下
砂 0.2～0.7mm
粗 砂 0.7mm以上

上記の土質表示は規格表示と異っているが、スモルドイレフ氏の限界流速の式計算における土質分類に対応

させて表示したものとある。この土質表示を別とし、表4-3から想定した粒径加積曲線を図4-8に示した。この図より土質の規格から表示をするなら、細砂に若干粗砂が混ったものである。

一方試験時における採取土砂は、図4-9の如くなり、 $d < 0.25\text{mm}$ のものは数%に過ぎない。これは吐出口およびカッタでの採取土砂において、微細粒径のものは流れ去ったものであり、また浚渫区域で採集したのも、水面上であることからして殆んど砂であることが背ける。

5. 送 水 試 験

5.1 測定概要

浚渫時の能力その他を検討するに当っては、ポンプおよび管路系の送水時の特性を知らねばならない。本例の如く浚渫船の他ブースタ船が4隻もある場合には、その

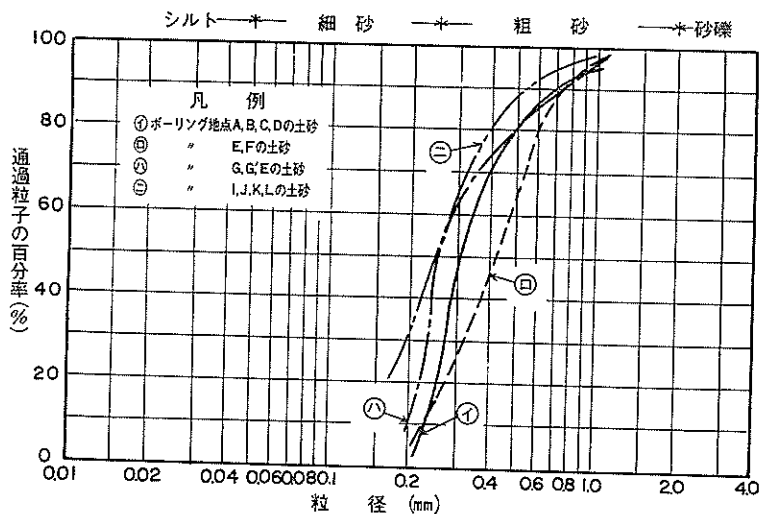


図4-8 粒径加積曲線図 (第6回管内報告会資料)

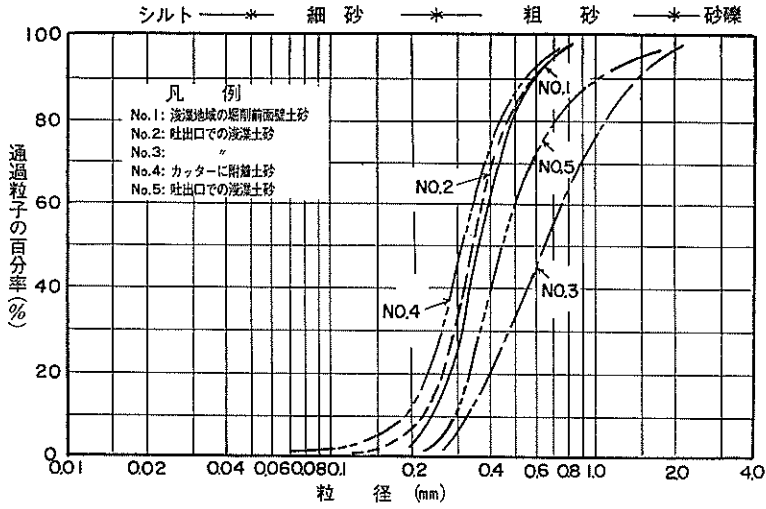


図4-9 粒径加積曲線図 (試験時採取資料)

各々のポンプ特性を知って、これらを合成するのが一般的な方法ではあるが、すでに管路系の一部として設置してあるため、個々のテストは不可能である。さらにこのような供試状態において排送距離を若干変えたり、絞り板を付けたりすることは、すでに長距離の配管系をもつ本例ではその意味も少ない。

したがって、本試験では現況のまま送水試験を行ない、ポンプの特性等は、試験結果とその他の資料より類推することにした。

送水試験は、紅ガラ法により流速を求めると共に、各船のポンプ圧力、電力、回転数等を計測した。

表5-1は2回行った測定値の平均で示した。

- ① プースタポンプの番号は現地の呼称番号に合せた。
- ② 管径はすべてD=0.56mであり、紅ガラ投入口はサクンヨウマウスから28mの点である。
- ③ 流量(Q_w)は次式より求めた。

$$Q_w = \frac{\pi}{4} D^2 \frac{(L_T - 28)}{t} \times 3.600 \dots\dots\dots (5-1)$$

ただし、D：管径

L_T：全実管長

t：紅ガラ通過時間

- ④ 吸込管内および吐出管内流速 (v_s, v_d) については、管径がすべて同じであるからv_s=v_dとなる。

$$v_s = v_d = \frac{Q_w}{\frac{\pi}{4} D^2 \times 3.600} \dots\dots\dots (5-2)$$

- ⑤ 吸込圧力および吐出圧力は、すべてポンプ室で測定した値を用い、各ポンプセンターを基準面として圧力計位置補正を行った。図5-1に各ポンプの圧力導管図を示した。この図を参照して基準面に換算した吸込圧力 (h_{sw}) および吐出圧力 (h_{dw}) を求めれば次式となる。

表 5-1 送水試験結果

	t (s)	Q _w (m ³ /H)	v _s (m/s)	v _d (m/s)	V _w (cm-Hg/cm ²)	h _{sw} (m)	P _w (kg/cm ²)	h _{dm} (m)	H _w (m)	np (r. p. m)	主ポンプ電動機		
											Ap _w (amp)	Vp _w (volt)	N _w (kw)
MP	1,440	4,050	4.56	4.56	-20	-2.44	4.0	44.20	46.64	360	160	3,300	900
BP ₁					0.55	5.78	4.7	45.80	40.02	360	176	3,120	860
BP ₅					0.7	8.10	5.0	50.85	42.75	295	200	3,110	860
BP ₃					0.1	1.28	4.3	45.78	44.50	356	140	3,120	820
BP ₂					-0.2	1.44	3.1	32.33	30.89	330	156	3,080	720
計								204.8					4,160

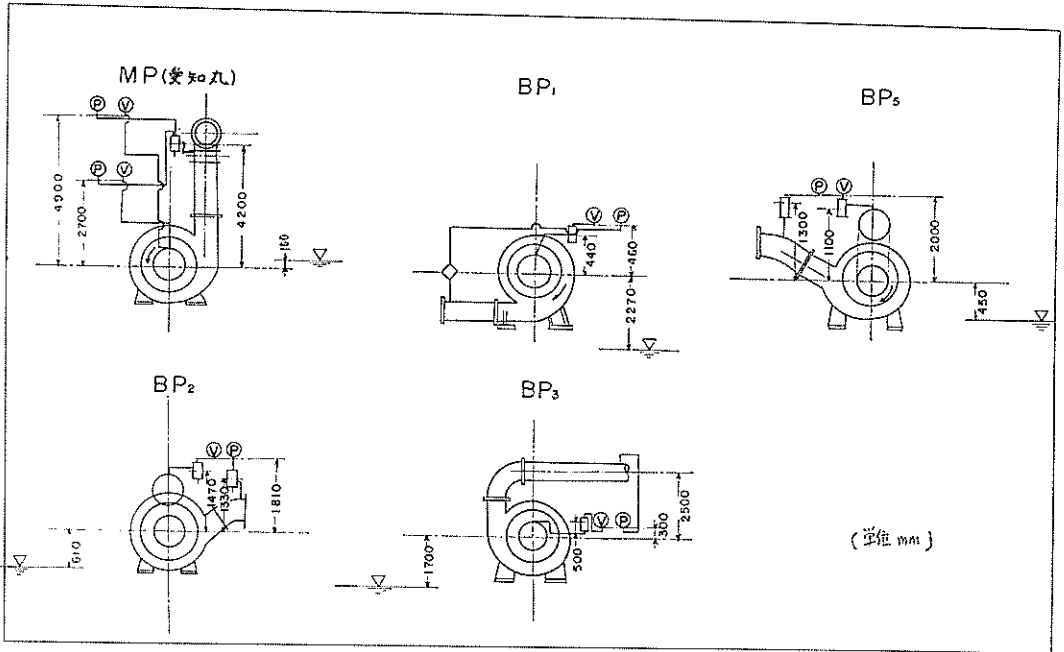


図5-1 各ポンプの圧力導管図

$$h_{sw} = \frac{13.6}{\rho_w} \cdot \frac{V_w}{100} + \frac{D}{2} \quad \dots\dots\dots (5-3)$$

$$h_{sw} = \frac{10 \cdot V_w}{\rho_w} + h_p$$

$$h_{dw} = \frac{10 \cdot V_w}{\rho_w} + h_p \quad \dots\dots\dots (5-4)$$

ただし、 ρ_w ：水の単位体積重量
 h_p ：ポンプセンタと圧力計の高低差
 この中で BP_2 の V_w は負圧を示しているが、圧力計位

置補正を行なうと押込圧になる。

⑥ 各ポンプの全揚程 (H_w) は

$$H_w = h_{dw} - h_{sw} + \left(\frac{v_d^2}{2g} - \frac{v_s^2}{2g} \right) \quad \dots\dots(5-5)$$

ただし、本例では $v_s = v_d$ であるため、第3項は0になる。

⑦ 主ポンプモータの電力については後述する。

以上の送水結果から動水こう配を示したのが図5-2である。

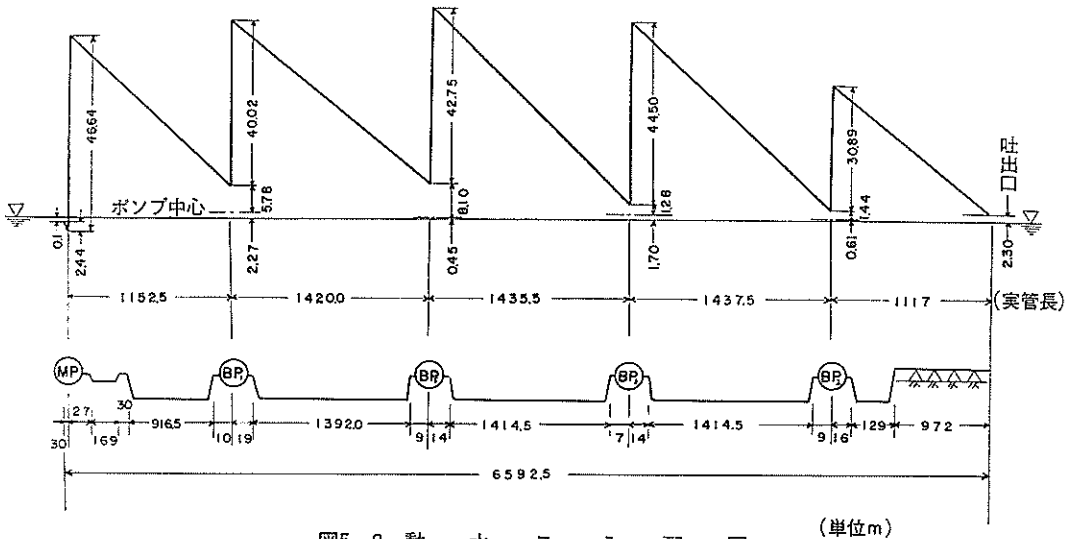


図5-2 動水こう配図 (単位m)

5.2 吸込圧力

浚渫船の吸込圧力 (h_{sw}) を、測定値と吸込実揚程から求めれば

$$h_{sw} = -[-0.1 + 0.122 v_s^2] \dots\dots\dots(5-6)$$

なる実験式が得られる。一方、 h_{sw} は理論的には次のようになる。

$$h_{sw} = -[h_{sa} + \{1 + \lambda_l \frac{L_s}{D_s} + f_s\} \frac{v_s^2}{2g}] \dots\dots(5-7)$$

ただし、 h_{sa} : 吸込実揚程-0.1m

L_s : 吸込管長

D_s : 吸込管径

f_s : 入口、曲管部等を含めた損失係数

λ_l : 摩擦損失係数 (陸上管)

式(5-6), (5-7)より f_s を求めてみると、 $f_s=0.59$ (ただし、 $\lambda_l=0.015$ とし、これについては後述する)であ

る。また、 f_s を摩擦損失に含め、吸込管の損失係数(λ_s)として求めると、 $\lambda_s=0.026$ となる。さらに速度水頭を含めた損失係数(λ_s')とすると、

$$\lambda_s' = \frac{2g(|h_{sw}| - h_{sw})}{v_s^2} \cdot \frac{D_s}{L_s} \dots\dots\dots(5-8)$$

$\lambda_s'=0.045$ である (従来²⁾の試験結果²⁾では $\lambda_s'=0.045 \sim 0.060$ 程度である)。

5.3 ポンプ特性

(1) Q-H特性

送水時のQ-H特性はすべての基本になるものであるが、本試験では僅か一点を得たのみで、その全体傾向はつかみえない。そこで、過去の試験資料或は同程度の大きさの建造時資料等を参考にして、測定値を通る特性を仮定した。浚渫船およびブースタ船を含めた総揚程は各ポンプ揚程の総和である。図5-3にその関係を示す。

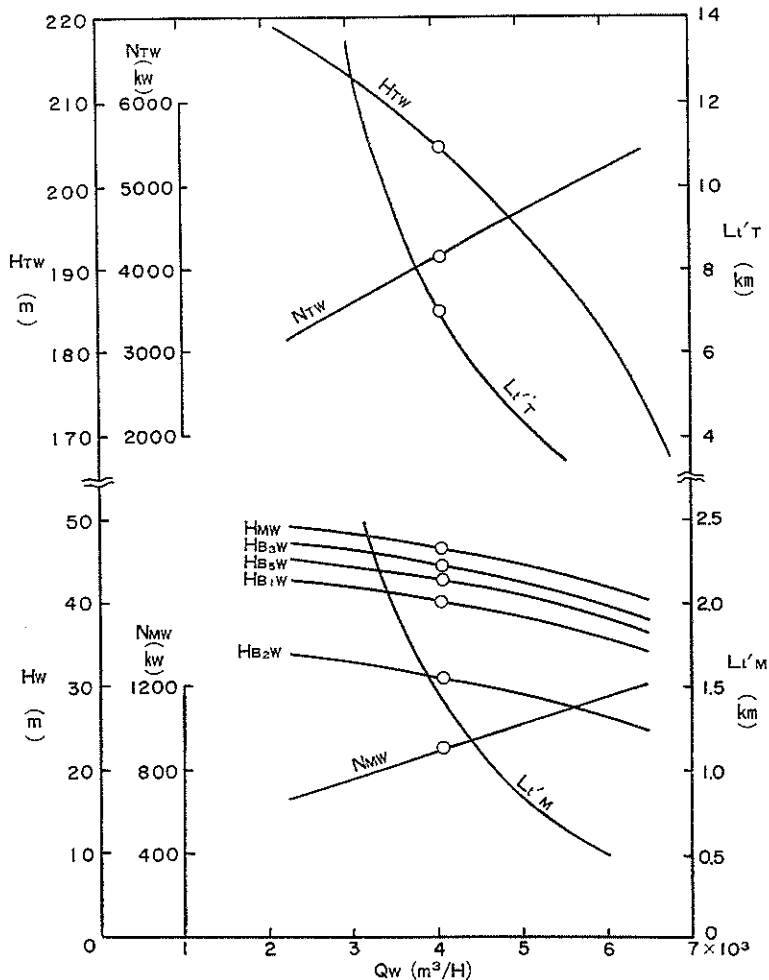


図5-3 ポンプ特性曲線

(2) Q-N特性

試験時には、各ポンプモータの電圧、電流および各船の電力消費量を測定したが、力率がわからないので、電圧、電流から各ポンプモータの電力を直接求めることは出来ない。そこで、力率(cosp)を想定し電圧、電流から電力を求めたものと、電力消費量から算出したものとを対比して示すと表5-2の通りである。

表 5-2 送水時の電力

	V _{p_w} (volt)	A _{p_w} (amp)	N' _w (kw)	No _w (kw)	N _A (kw)	N _w (kw)	η _w (%)
MP	3,300	160	733	975	75	900	57.0
BP ₁	3,120	176	761	890	30	860	51.2
BP ₂	3,110	200	863	890	30	860	54.6
BP ₃	3,120	140	606	850	30	820	59.7
BP ₂	3,080	156	667	760	40	720	47.3
計			3,630	4,365	235	4,160	54.1

但し、 $N'_w = \sqrt{3} V_{p_w} A_{p_w} \text{Cos}\phi$ (Cosφ=0.8)
 No_w : 各船の電力消費量から求めた全電力
 N_A : 主ポンプ以外の補機の電力合計
 ただし、BP₁, BP₂ のサービスポンプは約 10% のオーバーロードとした。
 $N_w = (No_w - N_A)$
 $\eta_w = \frac{0.163 Q_w H_w}{N_w} \cdot \frac{1}{60} \times 100$

以上のように N'_w と N_w とはかなりの差がある。ポンプ効率 η_w から検討してみると、N_w が過少であることが判る。これは cosp 又は A_p に問題があるものと思われる。又 H_w の測定値にも問題はあがるが、その誤差がポンプ効率に及ぼす影響は少ない。したがって、ここでは N_w を用いて以後の検討を進めることにし、全ポンプ電力と浚渫船ポンプ電力の特性曲線を想定して図5-3に併記した。

5.4 排送距離

管路は船内管、浮上管、沈設管および陸上管から構成されており、それぞれの摩擦損失係数が異なるので、これらを基準のものに換算して示すことが必要である。ここでは陸上管を基準とした換算排送距離をL_iとし、浚渫船々尾からの換算排送距離をL_i'とする。

(1) 摩擦損失係数

L_i または L_i' を求めるに当って先ず各管路の損失係数が必要である。浚渫船々内の吸込管損失係数は前項で求めた通り λ_s'=0.045である。船内吐出管は曲管部が3箇所 (R/D_a=2.32, 90°) あって、損失水頭(h_{f_a})は、

$$h_{f_a} = (3f_B + \lambda_i \frac{L_d}{D_a}) \frac{v_a^2}{2g} = \lambda_a \frac{L_d}{D_a} \cdot \frac{v_a^2}{2g} \dots (5-9)$$

とすると

$$\lambda_a = (3f_B + \lambda_i \frac{L_d}{D_a}) \frac{D_a}{L_d} \dots (5-10)$$

ただし、f_B : 曲管損失係数 0.142³⁾

D_a : 吐出管径

L_d : 船内吐出管長

λ_a : 船内吐出管損失係数

式(5-10)に各値を代入して求めると、λ_a=0.025である。したがって、浚渫船々内の吸込、吐出管を含めた損失係数(λ_M)は、

$$\lambda_M = \frac{(\lambda_s' L_s + \lambda_a L_a)}{L_s + L_a} \doteq 0.035$$

∴ λ_M/λ_i=2.34 (従来 λ_M/λ_i=2.4⁴⁾としている)

ブースタ船内の損失係数(λ_B)については、吸込側、吐出側共浚渫船の吐出管損失と同じ程度と考えて

$$\lambda_B = \lambda_a = 0.025$$

∴ λ_B/λ_i≒1.7

浮上管の損失係数(λ_f)は、ジョイントの種類によって異なるが、本例のようなゴムスリーブタイプでは λ_f/λ_i=1.3⁴⁾としている。次に沈設管の損失係数(λ_c)は、管そのものは陸上管と同様のものを使用しているが、5本毎にゴムスリーブが挿入されていることから λ_c/λ_i=1.06とする。

以上各管の損失係数は、いずれも陸上管損失係数 λ_i=0.015と仮定して求めたものである。そこで λ_i について送水試験結果から確認してみよう。

各ポンプの揚程を合計した総揚程(H_{T_w})は

$$H_{T_w} = h_{i_T} + \sum_{MP}^{BP_2} h_{f_w} \dots (5-11)$$

ただし、h_{i_T} : 総実揚程 2.30m

h_{f_w} : 各船間の損失水頭

$$\text{また、} \sum_{MP}^{BP_2} h_{f_w} = \lambda_i \frac{v^2}{2gD} \{ \frac{\lambda_M}{\lambda_i} L_M + \frac{\lambda_B}{\lambda_i} \sum L_B + \frac{\lambda_f}{\lambda_i}$$

$$\sum L_f + \frac{\lambda_c}{\lambda_i} \sum L_c + \sum L_i \}$$

$$= \lambda_i \frac{v^2}{2g} \cdot \frac{L_{i_T}}{D} \dots (5-12)$$

ただし、L_{i_T}=L'_M+∑L'_B+∑L'_f+∑L'_c+∑L_i

L' : 陸上管に換算した管長

したがって、

$$\lambda_i = \frac{H_{T_w} - h_{i_T}}{L_{i_T}} \cdot \frac{2gD}{v^2} \dots (5-13)$$

次に各ポンプ間の損失係数は、圧力差およびポンプセンタの高低差から別個に求めることが出来る。これを次式に示すと

表 5-3 陸上管損失係数

	h _{dW} (m)	h _{sW} (m)	Δht (m)	L _t (m)					λ _t
				L' _M · L' _B	L' _f	L' _c	L _t	L _t	
MP	44.20	5.78	2.37	※ 62.9	219.7	971.5	30.0	1,284	0.0148
BP ₁	45.80	8.10	-1.82	47.6	0	1,475.5	0	1,523	0.0137
BP ₅	50.85	1.28	1.25	35.7	0	1,499.4	0	1,535	0.0166
BP ₃	45.78	1.44	-1.09	39.1	0	1,499.4	0	1,539	0.0155
BP ₂	32.33	0	1.09	27.2	0	136.7	972.0	1,136	0.0150
								平均	0.0150
全 系	※※ 204.8		2.30	303.4	219.7	5,582.5	1,002.0	7,108	0.0149

※ L'_Mは浚渫船吸込管を除き、λ_d/λ_t=1.7 とした。
 ※※ ポンプ系全体の総揚程

$$\lambda_t = \frac{h_{dW} - h_{sW} - \Delta h_t}{L_t} \cdot \frac{2gD}{v^2} \dots \dots \dots (5-14)$$

ただし、Δh_t：ポンプ間の中心線の高低差
 L_t：ポンプ間の換算排送距離

式(5-13)、(5-14)に測定値を代入して求めると、表5-3のようになり、λ_t=0.015 の仮定は、ほぼ妥当なものであることが確認される。

(2) 換算排送距離と流量の関係

前項までのべたQ~H特性およびλ_tを用いれば、流量と換算排送距離の関係が求まる。

現状での全ポンプ系については

$$L'_T = L_{tT} - L'_M = \frac{H_{TW} - h_{tT}}{\lambda_t} \cdot \frac{2gD}{v^2} - L'_M \dots \dots \dots (5-15)$$

また、浚渫船単独の場合は

$$L'_M = L_{tM} - L'_M = \frac{H_{MW} - h_{tM}}{\lambda_t} \cdot \frac{2gD}{v^2} - L'_M \dots \dots \dots (5-16)$$

ただし、L'_T：浚渫船々尾からの全換算排送距離

(全系)

L'_M： ” (単独)

L_{tT}：浚渫船吸込口からの全換算排送距離

(全系)

L_{tM}： ” (単独)

L'_M：浚渫船々内管の換算管長(約137m)

図5-3にこれらの関係曲線を併記してある。

また、工事の進行とともに排送距離が短縮し、吐出側のブースタポンプを逐次撤去する場合は、撤去したポンプのQ~H曲線を現状のものから差引き、式(5-15)と同様にして、この関係を求めることが出来る。

6. 浚渫試験

6.1 測定概要

浚渫試験は土砂の排送性の限界を求めようとしたものであって、送水試験と同様な供試状態において、通常の浚渫作業を行い、各測定項目の変動状態を記録した。含泥率は頻繁に変動するので1分間隔に測定し、その他の項目は5分間隔とした。また浚渫時の管内流速は試験中随時紅ガラを投入して測定するとともに、吐出口の流線を撮影して参考とした。

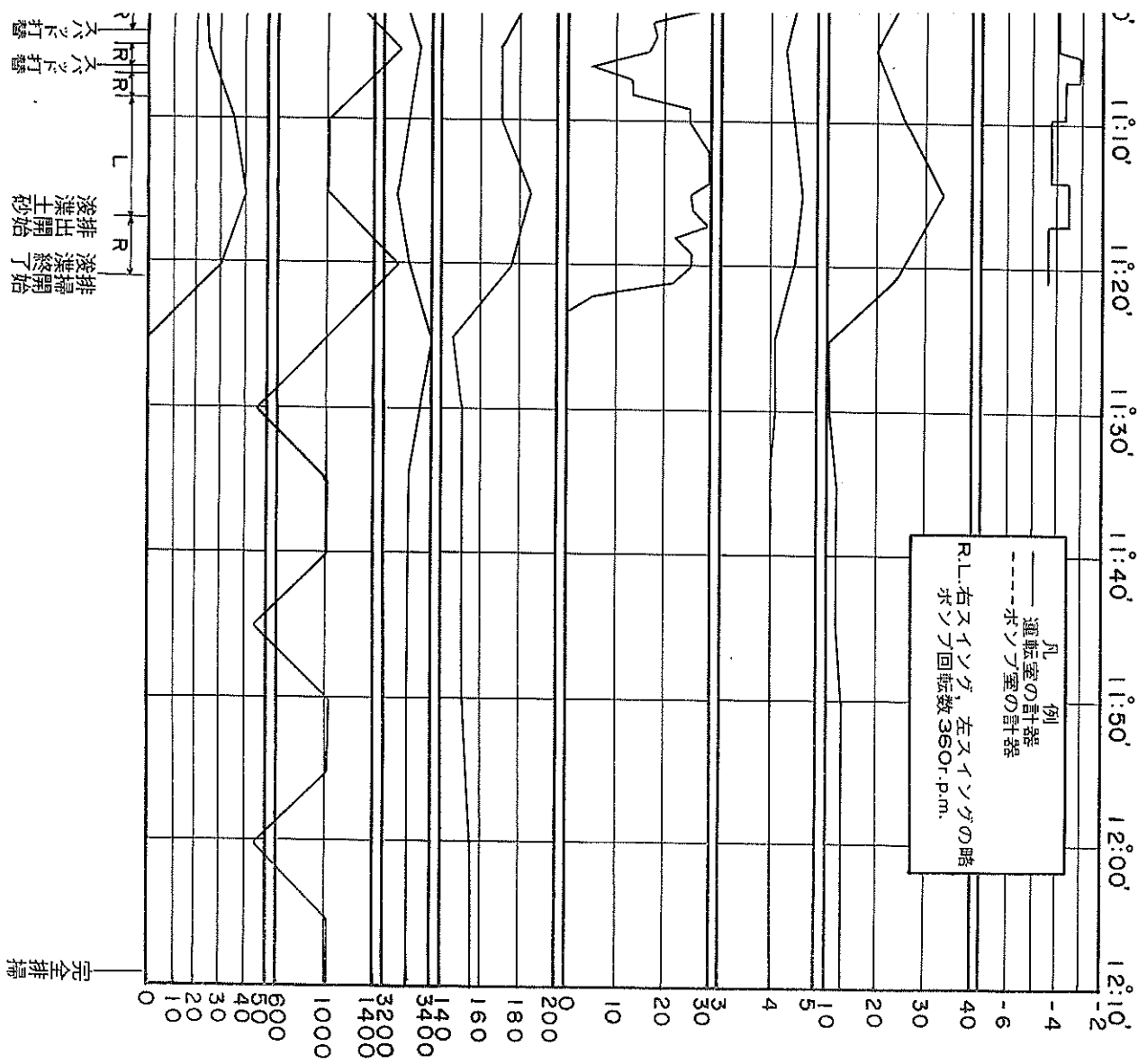
図6-1は浚渫船の測定記録を、図6-2は各ブースタ船のものを一括して示してある。ただし、図6-2は浚渫船の測定値と照合するため、ブースタポンプ一台につき、5分づつずらして示した。

含泥率と浚渫船の吸込圧力は、一般に同じような位相で変動するものであるが、本例では測定間隔が異なるため、これらの関係は不明確である。また、2月8日に行った浚渫試験は含泥率を意識的に増加させたものであるが、浚渫開始後間もなく堆積現象を示し、約30分後には掃排運転に入らざるを得なかった。この現象を如実に示すものは吸込圧力で、BP₅およびBP₂では堆積が始まると負圧側になり、掃排運転が進むにつれて順次回復している。

表6-1は紅ガラによる流速試験結果と、これが通過時中の圧力、電力、含泥率等の平均指示値である。

(1) 吸込圧力および吐出圧力は、すべてポンプ室での測定値を用い、各ポンプ中心を基準面として圧力計の位置補正を行った。

年月日 S43. 2. 8



1)

測定年月日 S43. 2. 6

測定年月日 S43. 2. 8

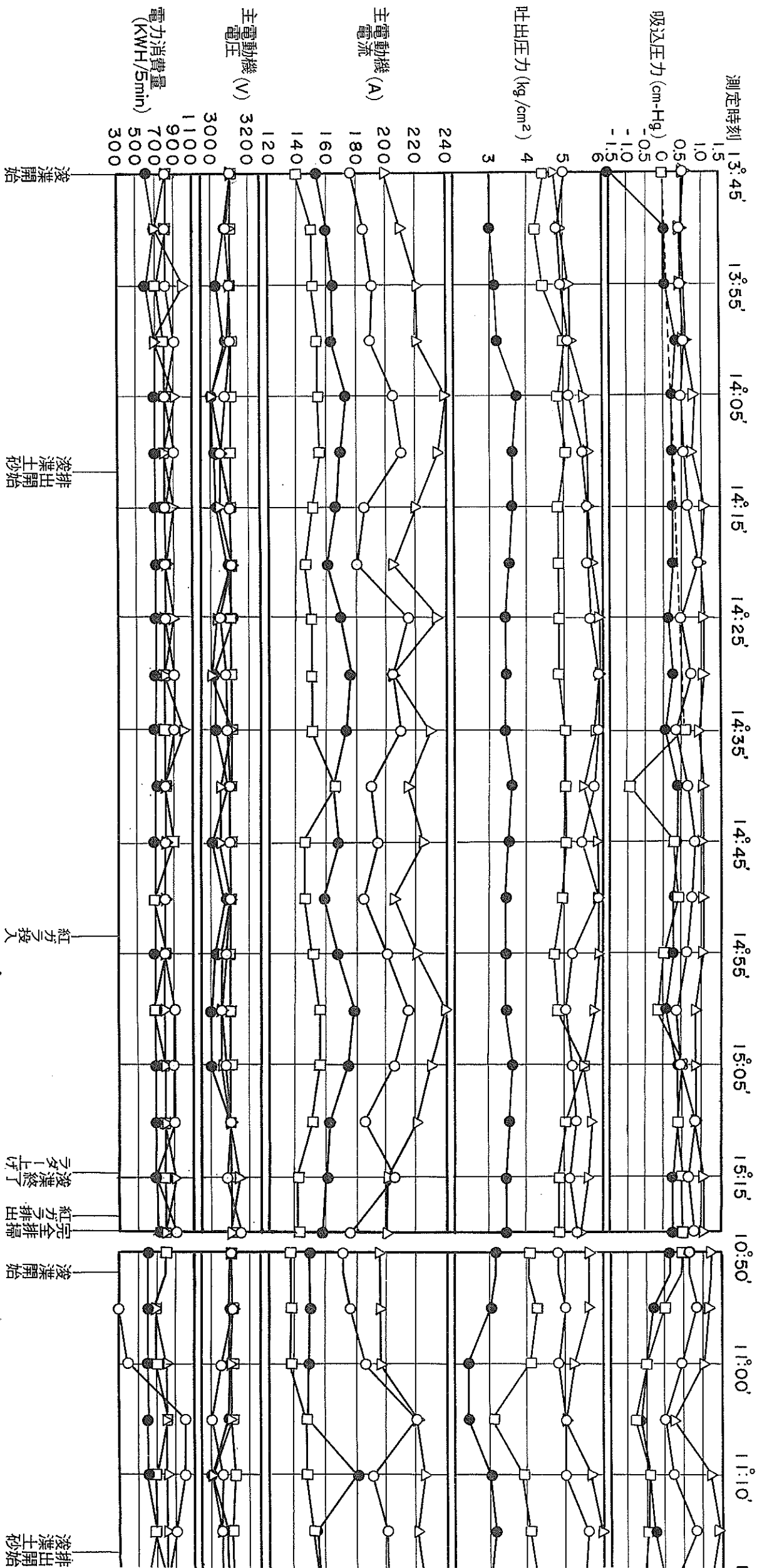


図6-2 浚渫試験記録 (ブラスター船)

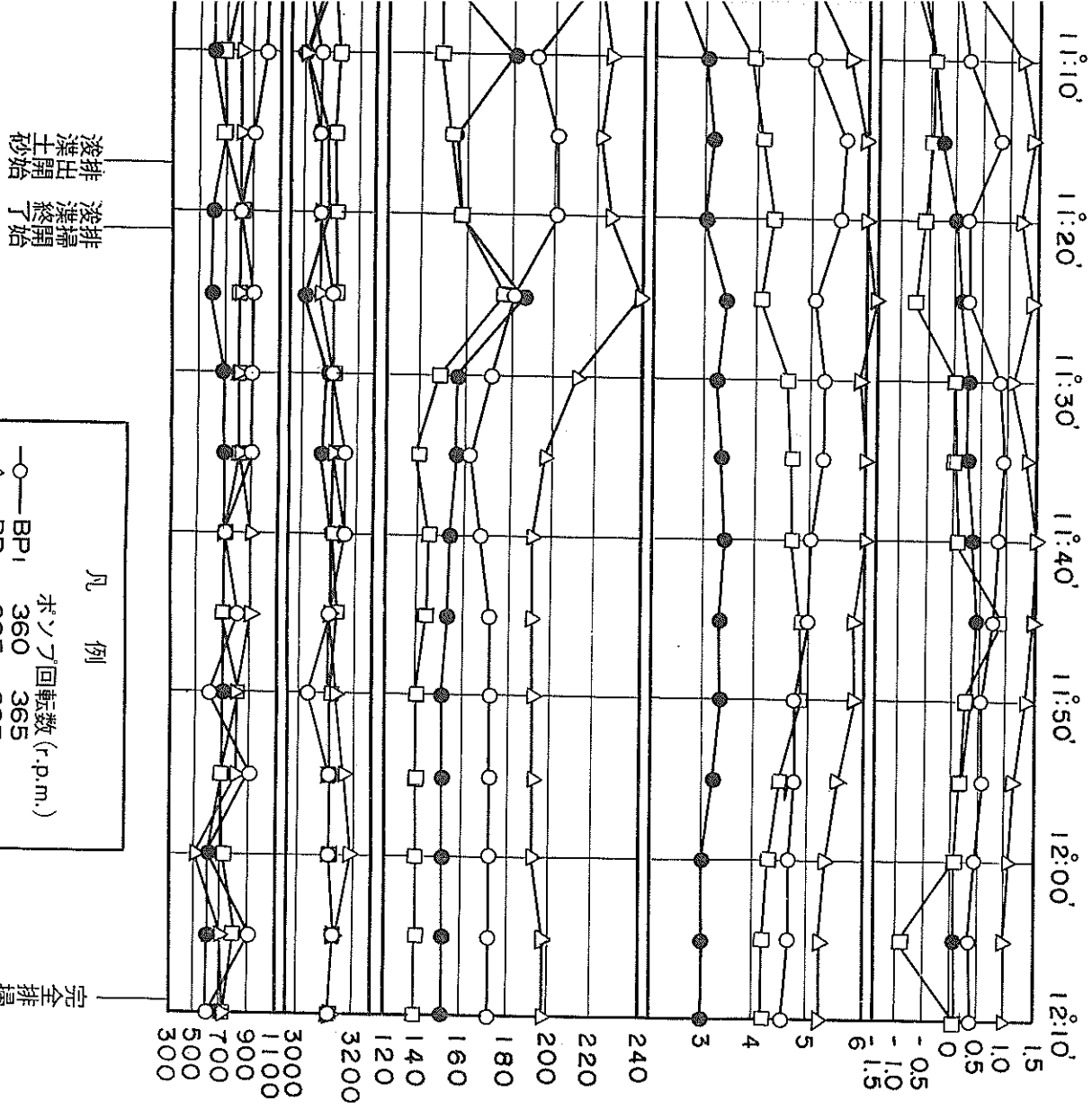


表 6-1 浚渫試験結果(2月6日)

	t (sec)	Q _m (m ³ /H)	v (m/s)	x _a (%)	V _m (cm-Hg) (kg/cm ²)	h _{sm} (m)	P _m (kg/cm ²)	h _{dm} (m)	H _m (m)	np (r. p. m)	主ポンプモータ		
											A _{p_m} (amp)	V _{p_m} (volt)	N _m (kw)
MP					-2.8	-3.50	4.40	48.66	52.16	360	177	3290	985
B P ₁					0.7	7.31	5.26	51.27	43.96	360	196	3090	940
B P ₅	1,500	3,890	4.38	11.0	0.9	10.22	5.70	57.94	47.72	295	222	3060	940
B P ₃					0.2	2.51	4.96	52.69	50.18	356	152	3100	910
B P ₂					0.1	2.63	3.54	36.88	34.25	325	168	3060	790
計									228.27				4,565

$$h_{sm} = \frac{13.6}{\rho_w} \cdot \frac{V_m}{100} + \gamma_m \frac{D}{2} \quad (6-1)$$

$$h_{sm} = \frac{10}{\rho_w} \cdot V_m + h_p$$

$$h_{dm} = \frac{10}{\rho_w} \cdot P_m + h_p \quad (6-2)$$

ただし、 $\gamma_m = \gamma_a \frac{x_a}{100} + (1 - \frac{x_a}{100})$

γ_m : 土砂水の混合比重

x_a : 見掛含泥率

(2) 各ポンプの全揚程は次式による。

$$H_m = h_{dm} - h_{sm} \quad (6-3)$$

(3) 主ポンプモータ電力は、電力消費量から求めたもので後述する。

6.2 吸込圧力と吸泥能力

浚渫時の吸込圧力が送水時のものと異なる点は、懸垂揚程と管路抵抗であって、前者は吸込管内外の比重差、後者は土質によって決められてくる。これらを式で表わせば、

$$h_{sm} = -[\gamma_m h_{sa} + (\gamma_m - 1)h_u + \{1 + \beta(\gamma_m - 1)\} h_{fsw}] \quad (6-4)$$

ただし、 h_u : 浚渫深度 (平均 5.5m とする)

β : 土質係数 (細砂の場合 3)

h_{fsw} : 送水時の吸込管の損失水頭 (式 (5-4) より $0.122 v_s^2$)

式(6-4)において諸数値を与え、含泥率をパラメータとして示したのが図6-3である。図中の○印は、表5-1および表6-1の実測値をプロットしたもので、浚渫時の平均含泥率、吸込圧力および流速の関係は、式(6-4)で求めた計算値とほぼ合致していることが判る。

浚渫船の能力は吸込圧力と極めて密接な関係にあることは、含泥率と吸込圧力の変動が位相的に近似していることから明白である。

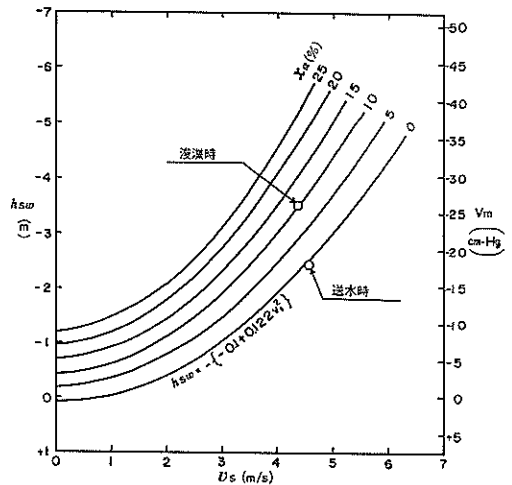


図6-3 吸込圧力線図

図6-3において、任意の点の含泥率および流速を知れば、吸込土量(G_D)は、 $G_D = \frac{\pi}{4} D_s^2 \cdot v_s \cdot x_a \times 3600$ (m³/H)として求めることが出来る。

図6-4は吸込圧力をパラメータとして、 $Q-G_D$ の関係を示したものである。吸泥能力はポンプに対する土砂の供給が十分に行なわれた場合のものであって、浚渫船としての施工能力を求めるには、これに掘削性、排送性、動力限界等を加味して検討しなければならない。

6.3 流速低下

送水運転から浚渫運転に入ると、土砂混入による抵抗増加のために、管内流速が低下し $Q-H$ 特性上のポンプ使用点は移動する。この移動は土砂混合時の揚程曲線および抵抗曲線のバランスによって決められるものであるが、これらはポンプの形状、土質、含泥率等の要因に影響され、実験的に求めざるを得ない。

ここでは、送水および浚渫試験から得た揚程と、従来から用いられている抵抗計算式⁹⁾の両者から使用点の移

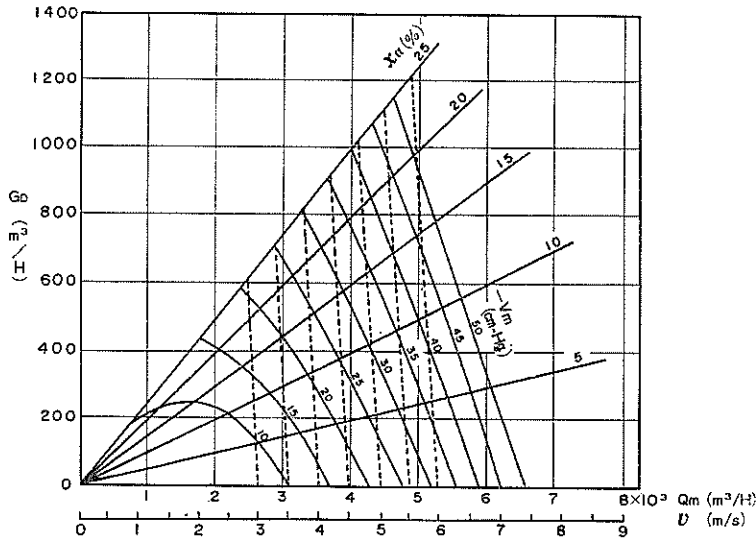


図6-4 吸泥能力線図

動を求め、流速試験および吐出流線から得たものと比較した。

さて、送水時において流量(Q_w)の時、揚程は H_w であったとする。ここで混合比重(γ_m)なる理想的な均質流体を揚水した場合の揚程は、同一流量上で $\gamma_m H_w$ になる。ところが実際の土粒子を混入すると粒子間或は粒子とポンプ壁面との衝突等の損失のために、揚程は $\gamma_m H_w$ より下廻り H_m となる。両者の比 $H_m/\gamma_m H_w$ は土質一定の場合、ほぼ含泥率の関数と考えて差支えない。本例の場合は、送水時および浚渫時の測点は一点であるので、含泥率の影響は判らないが、実際の運転中における平均含泥率の変動範囲は狭いものであるから、ここでは含泥率の影響を無視する。

一方、浚渫時の管路の損失水頭は

$$\sum_{MP}^{BP_2} h_{fm} = \gamma_m h_{lt} + (\gamma_m - 1) h_u + \{1 + \beta(\gamma_m - 1)\} \sum_{MP}^{BP_2} h_{fw} \quad \dots\dots\dots(6-5)$$

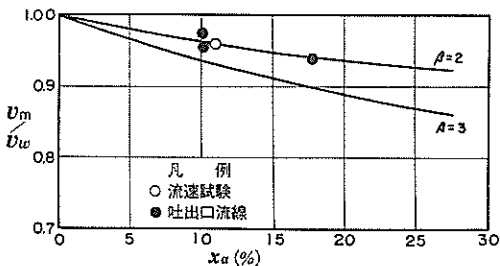


図6-5 含泥率に対する流速低下率

ただし、 h_{fm} ：各船間の浚渫時の損失水頭
式(6-5)より h_{fm} を計算し、先に述べた揚程曲線との交点からポンプの使用点を求め、流速低下率として示したのが、図6-5である。図には $\beta=2$ およびの場合の低下率曲線を示したが、吐出口の流線および流速試験の結果とは、 $\beta=2$ において近似する。したがって、以下 $\beta=2$ の低下率曲線を用いて検討を進めることにし、図6-4に流速の低下率曲線を併記した。

6.4 実用性能

図6-4の吸泥能力線図のQ軸を図5-3の $Q-L_t/T$ の関係から排送距離に書き直したのが実用性能図であって、図6-6に示す。また図6-7は浚渫船単独の場合のものである。ブースタポンプは排砂管(ここでいう排砂管は吸込口から吐出口までである)の中途に挿入され、減圧した土砂混合水を再び加圧して送り出すもので、管路の延長に対してのみ有効に働き、流量、含泥率等はあくまで浚渫船の能力に依存するものである。

実用性能図は $G_D \sim L_t/T$ の関係を基準として、吸込圧力、管内流速、含泥率等をパラメータとして入れてある。本図は吸泥能力線図を転写したものであって、図上いかなる点でも運転出来るとは限らず、種々の制限が加わっておのずから使用可能な領域は限定されてくる。

浚渫船単独で運転する場合の制限項目は、掘削能力、吸込圧力、限界流速、動力限界等であるが、ブースタ方式の場合にはこの他ポンプ系全体としての最大流量または最短排送距離を考慮しなければならない。すなわち各ブースタポンプの吸込側圧力がマイナスにならない限度である。

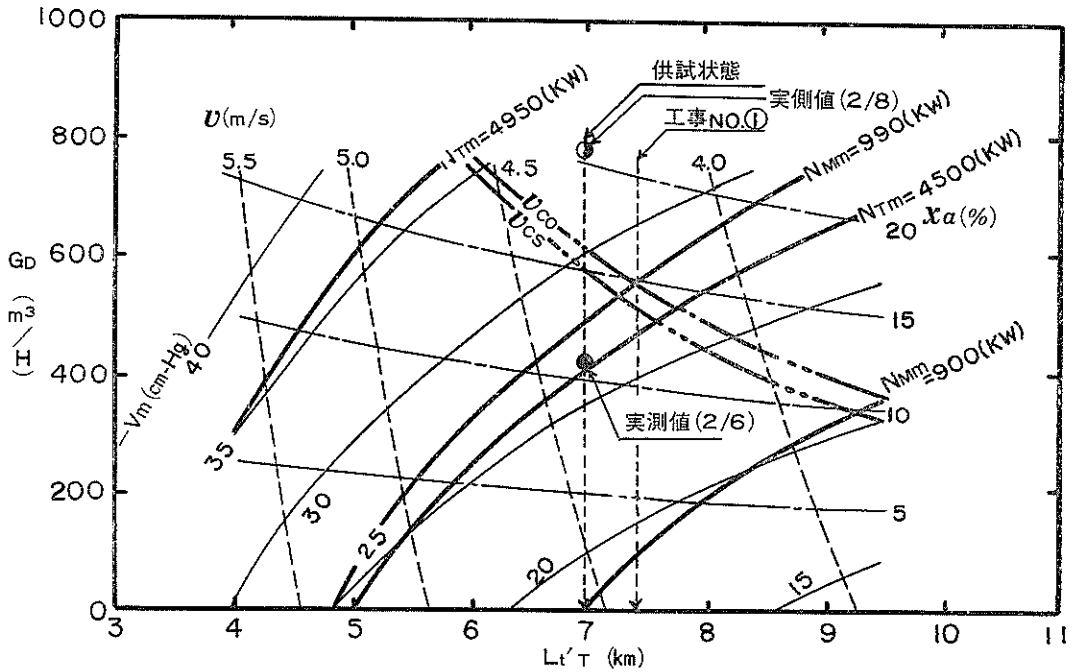


図6-6 実用性能図 (工事区分 No① : MP→BP₂)

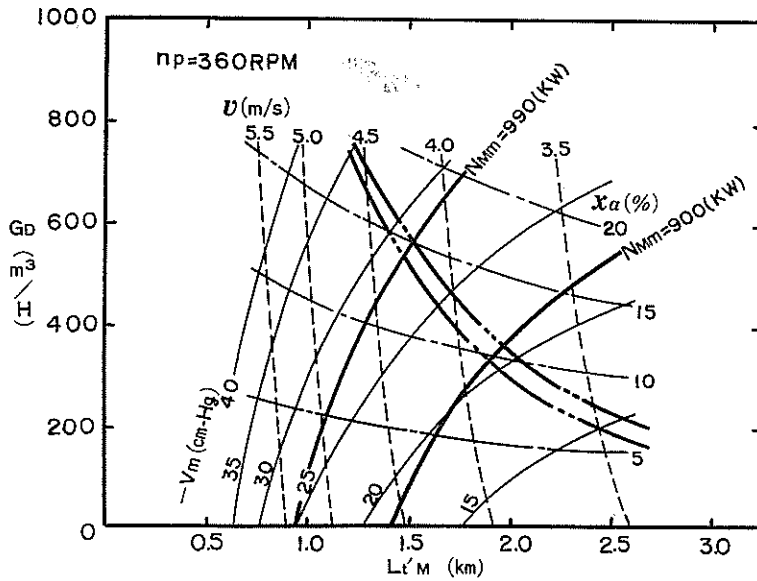


図6-7 実用性能図 (MP単独)

本例の場合、土砂は崩れ易いことから掘削性については、一応論外とし、主として排送面から見た限界流速、動力限界および最短排送距離を考慮して使用領域を検討してみよう。

土砂を停滞させることなく送り得る流速、すなわち限

界流速 (v_c) については、すでに種々の説があるものの、實際上直ちに適用出来る定説は未だ確立されていない。したがって、ここでは細砂の限界流速に適用出来るものと考えられるスモルドイレフ氏の式⁹⁾ (v_{cs}) と、従来の研究或は経験を加味した式⁷⁾ (v_{co}) を用いて、本例の土

砂にあてはめ計算し、実用性能図上に示した。 v_{cs} および v_{co} の式は次の通りである。

$$v_{cs} = C' \sqrt{D} \sqrt[3]{\frac{(\gamma_s - \gamma_w) \cdot C \cdot v_{sg}}{d}} \dots\dots(6-6)$$

$$v_{co} \propto D^{1/2} \cdot C^{1/3} \dots\dots(6-7)$$

- ただし、 C' : 常数
 C : 真体積含泥率
 D : 管径
 v_{sg} : 粒径の沈降速度
 d : 平均粒径

v_{cs} , v_{co} とほぼ近い値を示すが、管内流速がこれら v_c 以下になると（図上では v_c 線の上側）堆積現象が生じ、定常的な運転が出来ず能力が低下する。

次に動力限界であるが、まず浚渫試験時の各ポンプモータの平均電力を求めてみる。送水時の場合と同様に、モータの電流、電圧および電力消費量から算出したものを表6-2に示す。ただし、各船のモータ負荷は船間距離に応じてタイムラグが生ずるから、試験記録上明らかに送砂運転を行なっていると思われる時間内の平均値で示した。また浚渫船のカッターモータおよびスイングモータの電力は、試験時の各モータ電流値を参考にして求め、その他各船の補機類については送水時と同様とした。

表6-2で判るように $N'_m < N_m$ である。送水時の所でも述べたように、各船の主ポンプモータには力率改善用のコンデンサーがあるものとなないものがあり、電流、電圧から求めた電力は不明確である。また、次に述べる運転実績から求めた合計電力は、4,773kw±10%であり、一方浚渫試験結果から得たものは、4,870kwである。さらに試験時の純浚渫時間中の平均含泥率は11% ($\gamma_m = 1,106$) であり、 $N_m/N_w = 1,097$ である。これらのことから浚渫時

の各ポンプモータ電力 N_m はほぼ妥当なものであることが確認される。

そこで、 N_m をもとにして動力限界を検討してみよう。浚渫船および各ブースタ船のポンプモータの定格は、いずれも 900kw、合計 4,500kw であり、試験時の実績は、4,565kw であって、全体としては、ほぼフルロードであることが判る。次に個々のポンプ電力をみると、 $B P_2$ 以外はいずれも定格以上で、特に浚渫船にあっては約10%のオーバーロードを示している。ブースタ方式において、各ポンプの負荷を同一にすることは不可能であるから、動力限界は合計電力よりむしろ最も負荷の大きいポンプ電力に支配され、本例の場合浚渫船のポンプ電力によって規定される。図6-6には合計電力と浚渫船の電力の定格および10%オーバーロードの線を示してある。

以上のように、限界流速および動力限界 ($N_{Mm} = 990 \text{ k w}$ とする) で規定された使用領域は、三角形のものになり、 G_D の最大値は約 $530 \text{ m}^3/\text{H}$ である。また、この点の吸込圧力は約 28 cm-Hg であるから、吸込圧力による能力限界については、考慮する必要がないといえよう。

浚渫試験時の平均含泥率は11%であり、これを図上に示してあるが、この点の吸込圧力、電力および流速と表6-1で得た各値を比較してみると、ほぼ合致しており、供試状態下での限界能力であることが判る。また、2月8日の試験では、平均含泥率が約21%であって、遙かに v_c 線をオーバーし、完全に堆積領域に入っている。

次に前述したように、ブースタ方式の場合に考慮しなければならないのは、最短排送距離である。各ポンプ間の距離およびポンプ回転数、インペラ径が一定である場合に、全距離が短くなれば流量が増加し、動水こう配

表 6-2 浚 渫 時 の 電 力

	V_{pm} (volt)	A_{pm} (amp)	N'_m (k w)	N_{om} (k w)	N_c (k w)	N_s (k w)	N_A (k w)	N_m (k w)	N_m/N_w
M P	3290	177	808	1,210	120	30	75	385	1.094
B P ₁	3090	196	840	970	—	—	30	940	1.093
B P ₂	3060	222	940	970	—	—	30	940	1.093
B P ₃	3100	152	653	940	—	—	30	910	1.110
B P ₂	3060	168	713	830	—	—	40	790	1.097
計			3,954	4,920	120	30	235	4,565	1.097

ただし $N'_m = \sqrt{3} \cdot V_{pm} A_{pm} \cdot \text{Cos}\phi$ ($\text{Cos}\phi = 0.8$)
 N_{om} : 浚渫時における各船の電力 (補機を含む)
 N_c : カッターモータ電力 (定格 220kw)
 N_s : スイング, ウインチモータ電力 (定格 37kw)
 N_A : 補機類の電力 (送水時と同じ)
 $N_m = N_{om} - (N_c + N_s + N_A)$ ポンプモータ電力

の傾斜が増して、各ポンプ吸込側圧力(h_{sw})が減少してくる。ブースタ方式での運転を円滑に行うためには、 h_{sw} を常に正圧に保持しなければならない。したがっていずれかのポンプの h_{sw} が0になるような流量に相当する距離が、このポンプ系の最短排送距離として、一つの限界を示すことになる。

図5-2をみると、 h_{sw} がもっとも少ないのはBP₃であり、排送距離を短かくして行くと、このポンプが、まず $h_{sw}=0$ になることは容易に推定される。今ポンプ間距離および各ポンプの水面高低差を現状のままとし、 $\lambda_i=0.015$ とした場合の船尾からの換算排送距離($L_i'T$)と、各ポンプの h_{sw} の関係を求めてみると、図6-8のようになり、BP₃の $h_{sw}=0$ になる点は、 $L_i'T=6,890\text{m}$ で、こ

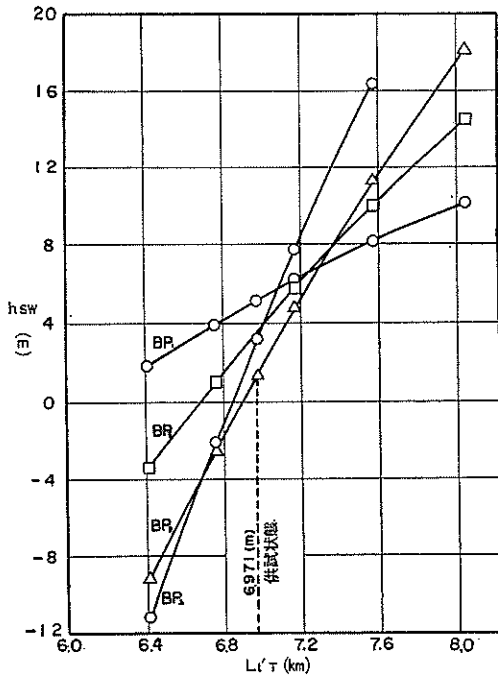


図6-8 排送距離に対する吸込側圧力の変化

れが一応の最短排送距離になることが判る。 $L_i'T < 6,890\text{m}$ の場合の対策としては、吐出口に絞り板をつけて見かけの $L_i'T$ を延長させる方法、或はBP₃の手前のポンプすなわちBP₂の回転数またはインペラ径(D_i)を増加させることが考えられる。 D_i を1,650mmから1,750mm(最大)にしても、 $L_i'T$ の限界は約130m程度短くなるに過ぎず、しかもポンプ電力が急増するから、実際にこの方法を用いることは出来ない。したがって、絞り板によるものが、簡単且つ確実な方法といえよう。

7. 運転実績

金沢港における浚渫埋立工事は昭和42年12月11日より

開始された。昭和42年度の浚渫区域は大野川石岸の県道にはさまれた個所で、約45,000m²、472,500m³であり、埋立区域は河北潟南端の木材埠頭地域である。

浚渫工事は未だその緒についたばかりで実績も少なく、一般的なことはつかみ得ないが、今後の工事の参考資料にという観点から、過去の実績(工事開始より昭和43年1月まで)の時間構成、土量、電力量および試験結果との関連について検討してみよう。

7.1 就業時間の構成

本工事は浚渫船の他ブースタ船を直列につないで行うので、浚渫船単独の場合に比べて時間構成も多少異なる面もあるが、ここでは浚渫船を主体として考える。

浚渫船の就役日数、就業時間等の内訳は次の通りとする⁸⁾。

就役日数(D_e) { 働日数(D_o)…運転時間があつた日数
 休止日数(D_r)…運転時間がなかつた日

運転時間(T_o) { 浚渫時間(T_D)
 掃排時間(T_C)
 前進時間(T_S)

就業時間(T_e) { 転錨、転船
 整備
 故障修理
 陸上作業
 その他

休止時間(T_r)

(1) 期間か動率(K_i)

$$K_i = D_o / D_e \dots\dots\dots (7-1)$$

表7-1は月別の期間か動率を示す。

表7-1 期間か動率

年月	D_e (day)	D_o (day)	D_r (day)	K_i (%)	休止日の内訳
42/12	20	14	6	70.0	排砂管故障 4 機械整備 2
43/1	31	25	6	80.7	排砂管故障 2 機械整備 4
計	51	39	12	76.5	

本工事の現段階においては、内陸部の浚渫であるため海気象条件による休止日はなかつた。機械の整備は主として摩耗部材の補修を定期的に行うもので、2週間毎2日の整備日が計画されている。排砂管の故障は全く偶発的に起るが、排送距離が長い為、その発生度合も浚渫船単独の場合より多くなり、ブースタポンプを併用する際の能力低下の一因になる。ただし、これらの故障修理に一日を要した場合は休止日となり、一日以内で完了すれば、休止時間に入れられている。したがって、排砂管故障による休止日は、次の運転時間率に含めた方が妥当

表7-2 運 転 時 間 率

年 日	T _e (H-min)	T _o (H-min)					K ₂ (%)				
		MP	B P ₁	B P ₅	B P ₃	B P ₂	MP	B P ₁	B P ₅	B P ₃	B P ₂
42/12	336 (432)	213-45	203-45	201-20	198-07	195-35	63.5 (49.5)	60.5 (47.1)	59.9 (46.6)	59.0 (45.8)	58.2 (45.3)
43/1	600 (648)	388-10	380-15	376-15	374-45	372-50	64.7 (59.9)	63.4 (58.7)	62.7 (58.1)	62.4 (57.8)	62.1 (57.4)
計	936 (1,080)	601-55	584-00	577-35	572-52	568-25	64.3 (55.8)	62.3 (54.0)	61.6 (53.5)	61.2 (53.0)	60.6 (52.6)

() 内は排砂管故障のための休止日数を就業時間に含めたもの。

であろう。

(2) 運転時間率(K₂)

$$K_2 = T_o / T_e \dots\dots\dots(7-2)$$

表7-2は月別の運転時間率を示す。

ブースタポンプを併用する場合は、ポンプの発停時刻がずれるから、各ポンプの運転時間は異なる。本例の場合は、吐出口に近くなるにしたがって K₂ が減少している。

(3) 休止時間の内訳

休止時間は全就業時間の約 1/3 であるが、その内訳は次の通りである。

表7-3 休止時間の内訳

年月	Tr (H-min)	故障 修理 (H- min)	整 備 (H- min)	転 錨 船 (H- min)	陸上作業 (H-min)	その他 (H-min)
42/12	122-15 (218-15)	7-05	0	2-10	95-05 (191-05)	17-55
43/1	221-50 (259-50)	39-30	11-35	17-30	65-15 (108-15)	78-00
計	334-05 (478-05)	46-35	11-35	19-40	160-20 (299-20)	95-55

() 内は排砂管故障のための休止日数を陸上作業の時間に含めたもの。

故障修理：浚渫船、ブースタ船の機器の故障修理
 整 備：浚渫船、ブースタ船の機器の点検整備
 転錨、転船：浚渫船の転錨、転船
 陸上作業：排砂管の移動、故障修理
 陸上作業は殆んど排砂管の故障修理のためであって、休止時間中に占める割合は約 1/2 である。昭和42年12月は工事開始当初であって、管布設状態が不安定であったためか陸上作業時間が多くなっている。また、工事の進捗につれて、各部の摩擦が目立つようになると、このロスタイムが増加してくることが考えられる。

(4) 運転時間の内訳

浚渫船の運転時間は通常、浚渫、掃排および前進時間

に分けられる。

試験結果および計算上から求まる時間当り土量は、浚渫時間当りのもの (G_D m³/H) であり、通常用いられる能力とは運転時間当りのもの (G_O m³/H) であるから、浚渫時間 (T_D) と運転時間 (T_O) の関係を求めておく必要があるが、本例ではたまたま、前進時間も含まれて浚渫時間 (T'_D) として整理してあるため、T_D/T_O (または G_O/G_D) の関係は不明である。

運転時間の内訳は土質によって異なるから、実績表の土質欄にもとずいて、「細砂」および「泥土混り細砂」の二種に分けて集計した。

また、日々の実績中運転時間が短いものは平常の運転状態として取扱うには難があるため、ここでは T_O < 10 H のものは削除した。

表7-4は運転時間の単純合計であるが、さらに浚渫船について日々の時間構成を検討してみよう。ただし細砂の場合のみ。

図7-1は運転時間に対する浚渫時間(前進時間を含む)

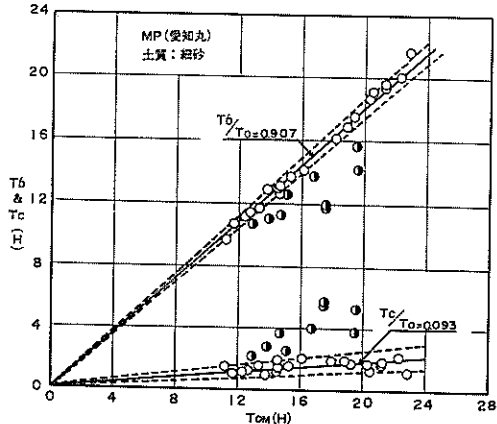


図7-1 運転時間に対する浚渫、掃排時間

と掃排時間の関係を示すものである。排砂管内における土砂の堆積その他のアクシデントがなければ、これらの関係はほぼ比例関係にあると云ってよい。ところが、図

表7-4 運 転 時 間 の 内 訳

土質		愛 知 丸			ブ ー ス タ ー 船			
		T _{D'}	T _c	T _o	B P ₁	B P _s	B P ₃	B P ₂
細砂	H-min	415-20	66-10	481-30	464-25	460-35	455-47	450-55
	%	86.3	13.7	100	96.5	95.6	94.6	93.6
泥 土 混 り 細 砂	H-min	87-25	4-20	91-45	90-40	90-20	88-55	89-45
	%	95.3	4.7	100	98.8	98.5	96.9	97.8
計	H-min	502-45	70-30	573-15	555-05	550-55	544-42	540-40
	%	87.7	12.3	100	96.8	96.1	95.0	94.3

T_o<10Hの日数は細砂で29日、泥土混り細砂は5日である。

中の●印のものはこの関係から逸脱しており、T_oに対してT_{D'}が少なく、T_cが過大である。しかもこれらの点は殆んど（9点中8点）昭和42年12月中に記録されていることから判るように、工事開始直後の運転の未調整段階にあることを示し、おそらく土砂の堆積によるものと推察される。したがって、昭和43年になって初めて円滑な運転に入ったと判断される。

T_{D'/T_o}、T_{c/T_o} が比例関係にある時間比は他港の実績⁷⁾と比較してみると表7-5の通りである。

7.2 電力消費量と能力

(1) 電力消費量

ここでいう電力消費量とは、各船の補機類を含めた全消費量であって、前項の運転時間構成、土質等によって

表7-5 運転時間の内訳時間比

港 名	土 質	T _c /T _o	T _D /T _o	T _{D'} /T _o	排送距離 (m)
金沢港	細 砂	0.09	—	0.91	7,000~7,400
鹿島港	細 砂	0.09	0.78	0.91	1,500~3,000
	砂利混り砂	0.32	0.61	0.68	1,750~3,000

異なる。

表7-6は土質別に求めた電力消費量、電力および電力消費率（1 m³当りの電力消費量）を示す。

なお、電力は各船の平均需要値を示すもので、契約電力に対する需要率も参考のために併記した。また本表に

表7-6 各 船 の 電 力 消 費 量

土質	土 量 (m ³)		愛知丸	ブ ー ス タ ー 船				合 計
				B P ₁	B P _s	B P ₃	B P ₂	
細砂	130,214	電力消費量 (KWH)	556,900	440,485	449,275	428,955	346,195	2,221,810
		電力 (KW)	1,157	948	975	938	768	4,786
		電力消費率 (KWH/m ³)	4.25	3.38	3.45	3.29	2.66	17.05
泥土混り細砂	33,209	電力消費量 (KWH)	107,550	34,150	83,950	80,860	69,350	425,860
		電力 (KW)	1,172	928	929	909	773	4,711
		電力消費率 (KWH/m ³)	3.24	2.53	2.53	2.43	2.09	12.82
計	163,423	電力消費量 (KWH)	664,450	524,635	533,225	509,815	415,545	2,647,670
		電力 (KW)	1,159	945	968	932	769	4,773
		電力消費率 (KWH/m ³)	4.07	3.21	4.26	3.12	2.54	16.20
		契約電力 (KW)	1,400	1,100	1,100	1,100	1,100	5,800
		需 要 率 (%)	82.8	85.9	88.0	84.7	79.9	82.3

は $T_0 < 10H$ のものは削除した。

各船のポンプモータは 900KWであり、この他愛知丸ではカッタ、ウインチ、その他の補機類を含めて約 400 KW (合計 1,300KW) ブースタ船では各船によって多少異なるが、おおむね30~40KW (合計930~940KW) の補機類を持っている。

これらと表7—6の電力を比べてみると、ブースタ船BP₁、BP₅およびBP₆についてはほぼフルロード運転であり、BP₂は受持ちの掃送距離がやや短かく回転数を若干下げて使用しているため実績は下廻る。また愛知丸については、カッタ、ラダー、スパッドの各モータの需要率が低いため実績値が少ないのは当然であろう。

しかしながな全般的にみて、各船の動力バランスおよび需要率は良好であるといえるだろう。

電力消費率は土質、排送距離等の要因が含まれているが、本例では排送距離その他の施行条件がほぼ同様であって、主として土質のみの相違が示されていると見てよい。泥土混り細砂の場合は、掃排時間も短かいため、細砂の約75%である。

(2) 電力消費率と能力の関係

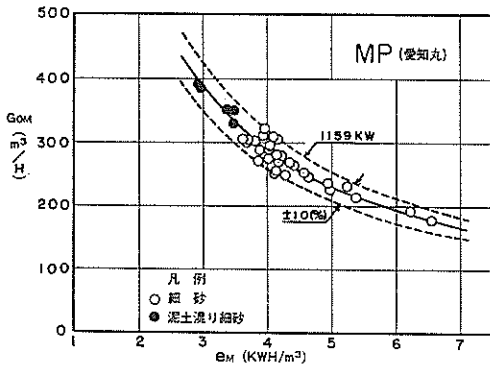


図7—2 電力消費率と浚渫能力

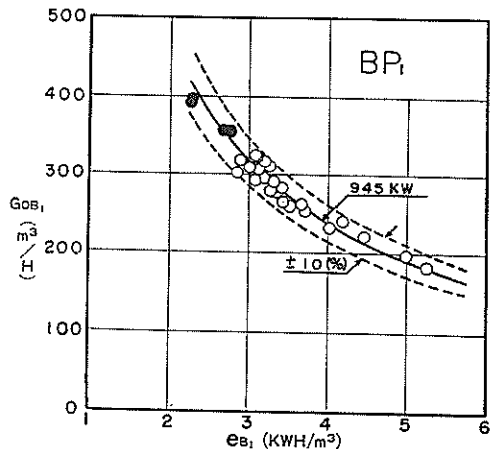


図7—3 電力消費率と浚渫能力

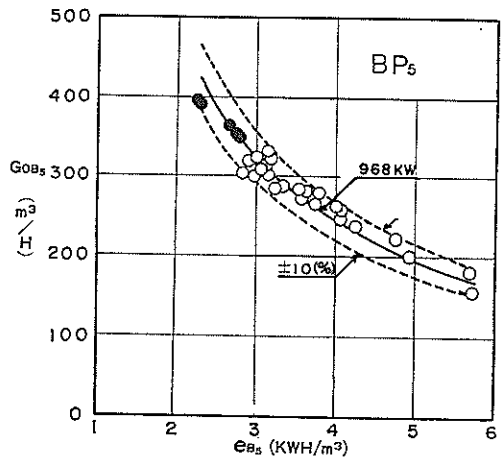


図7—4 電力消費率と浚渫能力

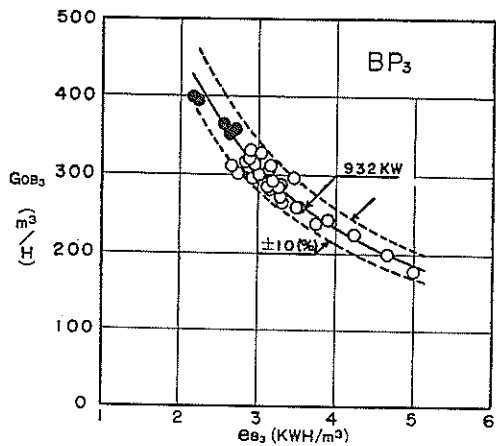


図7—5 電力消費率と浚渫能力

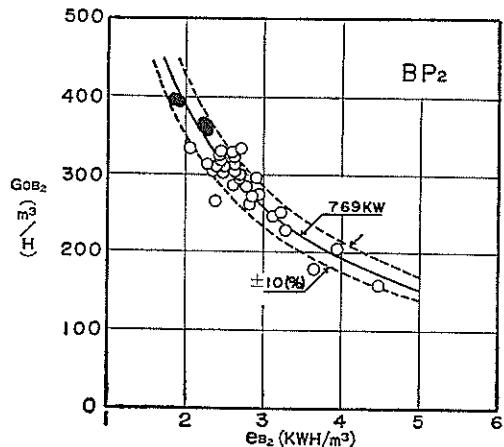


図7—6 電力消費率と浚渫能力

日々の実績から電力消費率($e\text{KWH}/\text{m}^3$)と運転時間当り土量($G_0\text{m}^3/\text{H}$)にプロットしたのが図7-2~7-6である。

各船の運転時間は前述の如く、浚渫船から吐出口にかけて漸減しているので各船の G_0 も異なってくる。これは一見奇異に思われるが、ブースタポンプを併用する場合、各ポンプの発停には当然時差が生ずるためであって、これが逆に浚渫船単独運転に比べて能力遅減の一因ともなっている。

さて、 $e \sim G_0$ の各図には表7-7で求めた平均電力と±10%の曲線が示してあり、いずれも実績値はこの範囲に入っている。

一般に浚渫船(ブースタ船を含む)の設備電力は既定のものであるから、人為的にオーバーロード或はパワァルロードにしなければ、おのずから一定電力の曲線上に乗るのが当然であり、±10%のバラツキは、運転技術の巧拙、土量算定のミス等によって生ずるものである。また各種の作業条件のものをプロットすると、 e の大きい方(土質が硬い粗い或は距離が長い等)では、通常平均電力曲線の上側に集まり、 e の小さい方では下側になることが多いが、本例ではそのような現象は見当らない。

次に浚渫船およびブースタ船を含めたポンプ全系について調べてみる。この場合電力および電力消費率は、それぞれの合計であるが、時間当り土量は各船とも異なる。そこで各船の平均的な時間当り土量(G_{or})を次のように表わす。

$$G_{or} = 5G / T_{or} \dots \dots \dots (7-3)$$

ただし、 T_{or} : 各船の運転時間の合計

図7-7は $G_{or} \sim e_r$ の関係を示すもので、本ポンプ系全体としては約 4,773KW で運転していることが判る。

このように運転実績から求めた各船および合計の平均電力と浚渫試験から得た電力を比較したのが表7-7である。

表7-7 試験および実績の電力の比較

	浚渫試験		実績	
	Nom (kW)	Nom' (kW)	Nom'' (kW)	Nom''/Nom'
愛知丸	1,210	1,190	1,159	1.03
B P ₁	970	960	945	1.01
B P ₅	970	960	968	0.99
B P ₃	940	935	932	1.00
B P ₂	830	825	769	1.07
合計	4,920	4,870	4,773	1.02

Nom : 浚渫時間中の電力

Nom' : 試験時間中の電力(掃排時間を含む)

Nom'' : 運転実績より求めた電力

(3) 能力および含泥率

能力は土質その他の施行条件によって大幅に変わってくるが、本例のように土質は砂で、長距離排送の場合は排送性の影響が著しく、掃排時間が長いもの程土砂の堆積が多く、運転時間当り土量は低下してくる。

図7-8は掃排時間比(T_c/T_o)と浚渫船の運転時間当り土量(G_{om})および浚渫時間当り土量(G_{DM})の関係を示したものである。本図から判るように、 $T_c/T_o > 0.15$ になると堆積現象が現われ G_{om} が低下してくるが、 G_{DM} は殆んど変わらない。また、図7-9は浚渫時間中の平均含泥率を示すもので、堆積の有無にかかわらず7.3~9.3%程度で運転されている。このように施工条件、運転条件が殆んど変わらないにもかかわらず堆積が生ずるのは、一時的な高含泥率の吸込みにより、部分的堆積が発生する結果であろうと思われる。

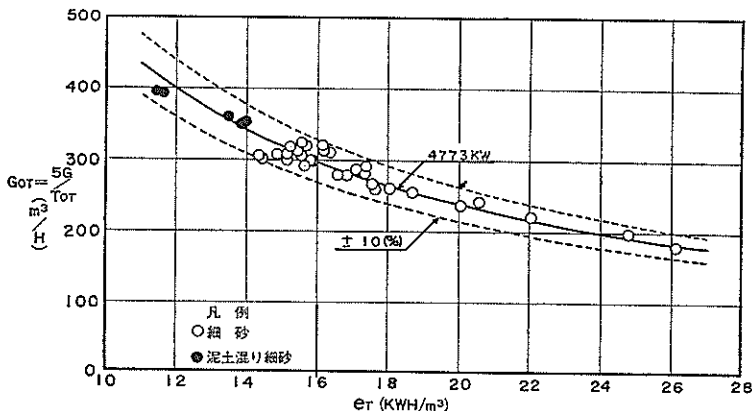


図7-7 電力消費率と浚渫能力(全系)

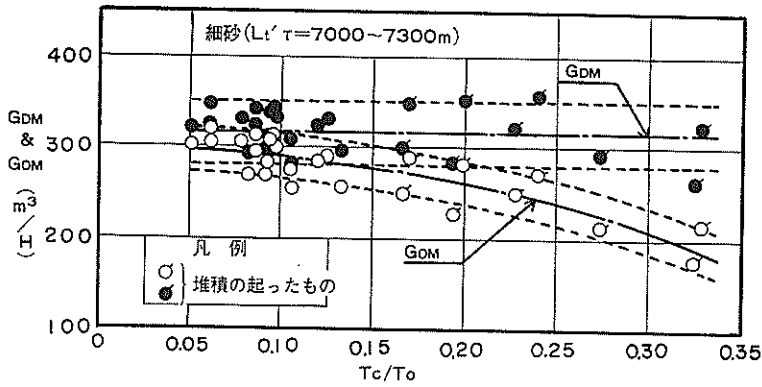


図7-8 掃排時間比と能力

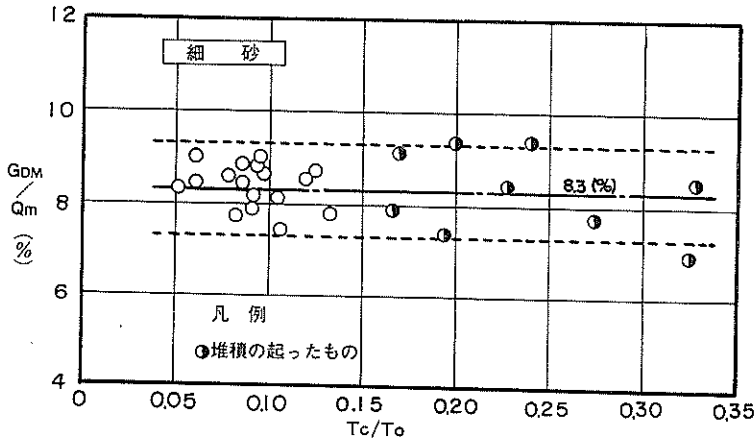


図7-9 掃排時間比と含泥率

表7-8 は細砂浚渫時の平均能力および含泥率を示す。

また図6-6の実用性能図上において、本実績の排送距離 ($L_s' r=7\sim 7.3$ km) 能力を調べてみると、 $x_a=8.3\%$ にて、 $G_{DM}=320\text{m}^3/\text{H}$ である。またポンプの合計電力は約4,400KWでこれに各船の補機類の電力約385KW (表6-2より)を加えると4,785KWになり、実績値とほぼ合致することが判る。

表7-8 能力と含泥率

	G_{OM} (m^3/H)	G_{DM} (m^3/H)	x_a (%)
堆積なし	290	320	8.3
堆積あり	242	316	8.3
比	0.83	0.99	1.00

8. 今後の工事計画についての検討

金沢港の浚渫埋立工事は昭和42年度から開始されているが、工事の進行とともに浚渫区域 (図4-1) および埋立区域 (図1-1) は逐次移行し、排送距離は大幅に変ってくる。さらにブースタ船の位置を現状のままとするとポンプ船と第一ブースタ船の距離或は最終ブースタ船と吐出口の距離はおのずから異なってくるから、各ポンプ

間の関連が適正であるかどうか検討しておく必要がある。

ここでは、管内工事資料¹⁾による各工事区分について代表的な工事条件を設定し、各ブースタ船の適正位置および能力について試験結果を参考にして検討してみよう。

既定港湾整備5ヶ年計画 (昭和40年~44年) の浚渫土量は、3,255,000 m^3 であるが、その全量は用地造成に活用される。

表8-1は各工事区分毎の計画である。埋立地は河北潟南部に始まって大野川沿いに下り、逐次ブースタ船を撤

去して行くことになっており、これに伴って浚渫区域も港外に向って掘り進む計画である

表8-1 5ケ年計画による浚渫埋立計画

埋立地 No.	面積 (m ²)	土量 (千m ³)	土質区分	距離 (m)	ブースターポンプの組合せ	施工年度
①	322,000	631	G G' H I J K L	6,800	MP — BP ₁ — BP ₂ — BP ₃ — BP ₂	42
②	82,700	162	I J K L	5,400	○—○—○—○—	43
③	454,300	892	I J K L	4,200	○—○—○—○—	43
④	156,610	307	E F G G' H	3,900	○—○—○—	44
⑤	538,230	968	E F	3,300	○—○—○—	44
⑥	83,490	150	A B C D	2,500	○—○—	44
⑦	81,670	147	A B C D	2,500	○—○—	44
計	1,719,000	3,255				

8.1 各工事区分の排送距離について

各工事区分の浚渫区域と埋立区域の関係は、表8-1および図1-1、4-1を見れば概略の見当はつくが、作業の実態を検討するに当っては、各管の構成（沈設管、浮上管、陸上管等）を知る必要がある。もちろん浚渫および埋立区域は、それぞれかなりの面積があるから、同一の工事区分にあっても管路構成は一定であることはな

い。そこで、ここでは各工事区分の代表的な管路構成を平面図から推定し、検討の基本とした。ただし、管路の推定には次の条件を前提とした。

- ① 各ブースタ船の位置は現状のままとする。
- ② 全排送距離は、浚渫および埋立区域のほぼ中心部間とする。
- ③ 浚渫区域がA, B, C, D或はE, F等の場合

表8-3 工事区分別の排送距離

No.		MP	BP ₁	BP ₂	BP ₃	BP ₂	計	
		①	L	30	1,154	1,420		1,436
	L _t	91	1,284	1,523	1,535	1,539	1,564	7,538
②	L	30	1,207	1,420	1,436	1,914		6,007
	L _t	91	1,344	1,523	1,535	2,008		6,501
③	L	30	1,007	1,420	1,436	1,014		4,907
	L _t	91	1,132	1,523	1,535	1,066		5,347
④	L	30	1,707	1,420	1,414		4,571	
	L _t	91	1,814	1,523	1,484		4,912	
⑤	L	30	2,007	1,420	514		3,971	
	L _t	91	2,114	1,523	524		4,252	
⑥	L	30	2,337	819			3,186	
	L _t	91	2,693	862			3,646	
⑦	L	30	2,337	1,019			3,386	
	L _t	91	2,693	1,062			3,846	

L : 実距離 (m)
L_t : 換算排送距離 (m)

表8-2 工事区別の排送距離の内訳(単位m)

No.	MP			BP1			BP5			BP3			BP2			計							
	L _M	L _J	L _t	L _B	L _B	L _t	L _B	L _B	L _t	L _B	L _B	L _t	L _B	L _B	L _t								
L	30	27	170	917	30	10	19	1,392	0	9	14	1,415	0	7	14	1,415	0	9	16	129	1,400	7,023	
L'	91	46	221	972	30	17	32	1,476	0	15	24	1,499	0	12	24	1,499	0	15	27	137	1,400		
L _t	91			1,286				1,523				1,535				1,539					1,564		7,538
L	30	27	170	1,000	0	10	19	1,392	0	9	14	1,415	0	7	14	1,400	500						6,007
L'	91	46	221	1,060	0	17	32	1,476	0	15	24	1,499	0	12	24	1,484	500						
L _t	91			1,344				1,523				1,535				2,008							6,501
L	30	27	170	800	0	10	19	1,392	0	9	14	1,415	0	7	14	700	300						4,901
L'	91	46	221	848	0	17	32	1,476	0	15	24	1,499	0	12	24	742	300						
L _t	91			1,132				1,523				1,535				1,066							5,341
L	30	27	170	500	1,000	10	19	1,392	0	9	14	1,000	400										4,571
L'	91	46	221	530	1,000	17	32	1,476	0	15	24	1,060	400										
L _t	91			1,814				1,523				1,484											4,912
L	30	27	170	500	1,300	10	19	1,392	0	9	14	0	500										3,971
L'	91	46	221	530	1,300	17	32	1,476	0	15	24	0	500										
L _t	91			2,114				1,523				524											4,252
L	30	27	500	500	1,300	10	19	500	300														3,186
L'	91	46	800	530	1,300	17	32	530	300														
L _t	91			2,693				862															3,646
L	30	27	500	500	1,300	10	19	500	500														3,386
L'	91	46	800	530	1,300	17	32	530	500														
L _t	91			2,693				1,062															3,846

L: 実管長 L': 陸上管に換算した管長 L_t: ポンプ間の換算排送距離 L_M: 浚築船々内管長 L_B: プルスター船々内管長
L_J: 浮上管長 L_c: 沈設管長 L_i: 陸上管長

のポンプ船と第一ブースタ船までの配管は、航路沿いに大野川まで陸上管を設置する。

以上のような条件で推定した管路構成を表8-2に、またこれから各ポンプ間の実距離および換算排送距離を抽出したのが表である。

8.2 ポンプ使用点と動水こう配

全管路の抵抗は、実揚程と各船間の損失水頭の合計であり、総揚程 (H_{rw}) は、試験結果をもとに各ブースタポンプの組合せによって求まるから、全ポンプ系の使用点 は、抵抗曲線と揚程曲線の交点として決められる。

表8-4は各工事区分別の送水時の流量、流速および総揚程を示す。ただし、実揚程はすべて2.3mとした。

表8-4 全ポンプ系の使用点

工 事 No.	H_{rw} (m)	Q_w (m^3/H)	v (m/s)	Σh_{fw} (m)
①	205.6	3,940	4.44	203.3
②	174.8	3,910	4.41	172.5
③	172.2	4,270	4.82	169.9
④	130.4	3,870	4.37	128.1
⑤	129.0	4,140	4.67	126.7
⑥	88.0	3,680	4.15	85.7
⑦	88.2	3,580	4.04	85.9

以上のように全ポンプ系の使用点が求まったとして、次に問題になるのは、各ポンプ間の関連性である。すなわち、各ポンプの設置場所が不相当であると、吸込側圧力 (h_{sw}) が負になったり、吐出側圧力 (P_w) が過大になったりする。これらをもっとも判り易く表わすのは動水こう配であって、図8-1~8-8に各工事区分および供試状態下のものを示す。供試状態におけるものは計算値と実測値を併記している。

なお、表8-5は表8-4で求めた全ポンプ系の使用点における各ポンプの揚程、吸込圧力、吐出圧力およびポンプ間の損失水頭を示す。

8.3 ブースタポンプの位置

一般にブースタポンプを用いる場合は、ポンプの吸込側圧力 (h_{sw}) が負になると円滑な運転を期待出来ない。金沢港の浚渫計画においてはブースタ船を現在地のままとすると、図8-2~8-8で判るように、工事区分 No. ③以降のものはいずれもこのような現象が起ることが予想される。特に No. ⑤, ⑥, ⑦では $h_{sw} < -10m$ になっており、事実上各ポンプ間の縁は完全に切れてしまい、直列運転の用をなさないことになる。 $h_{sw} < 0$ でその値が小さい場合は、手前のポンプ回転数或はインペラ径を増して揚程を高くする手段も考えられるが、これもモータ

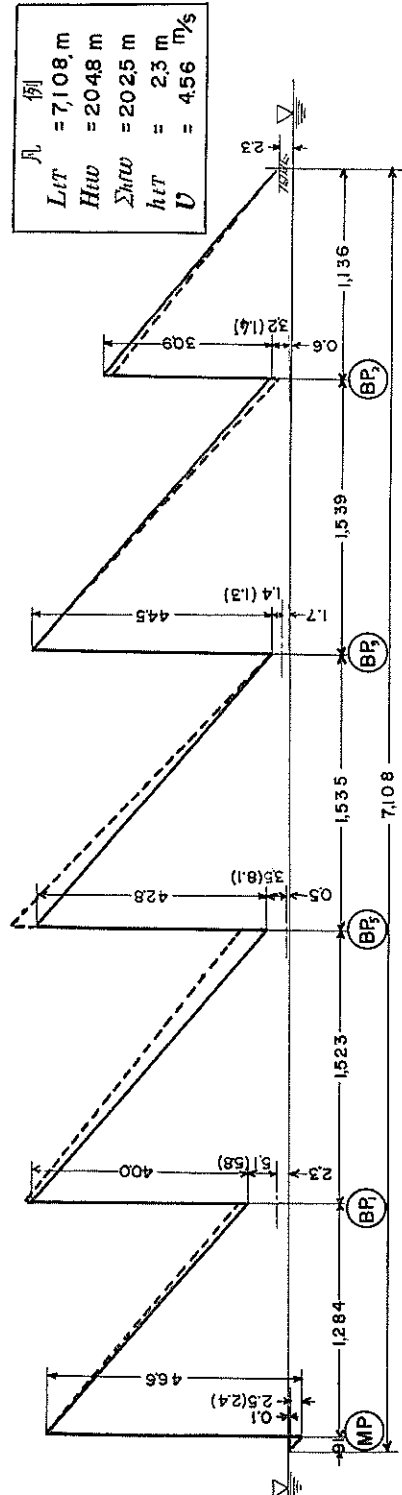


図8-1 動水こう配(供試状態、点線、括弧内は実測値)

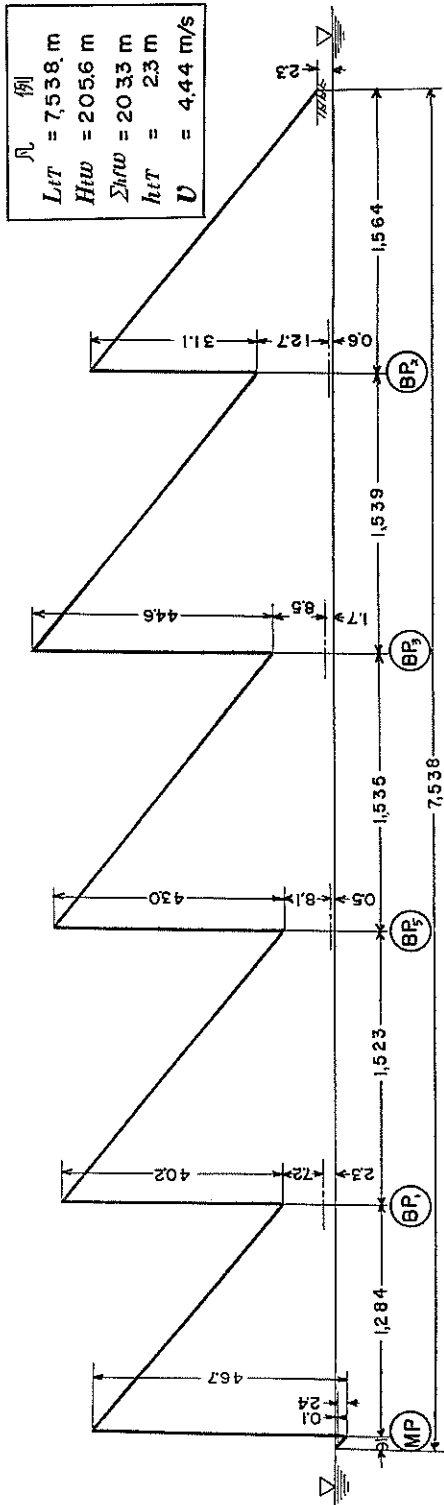


図8—2 動水こう配(工事区分 No. ①)

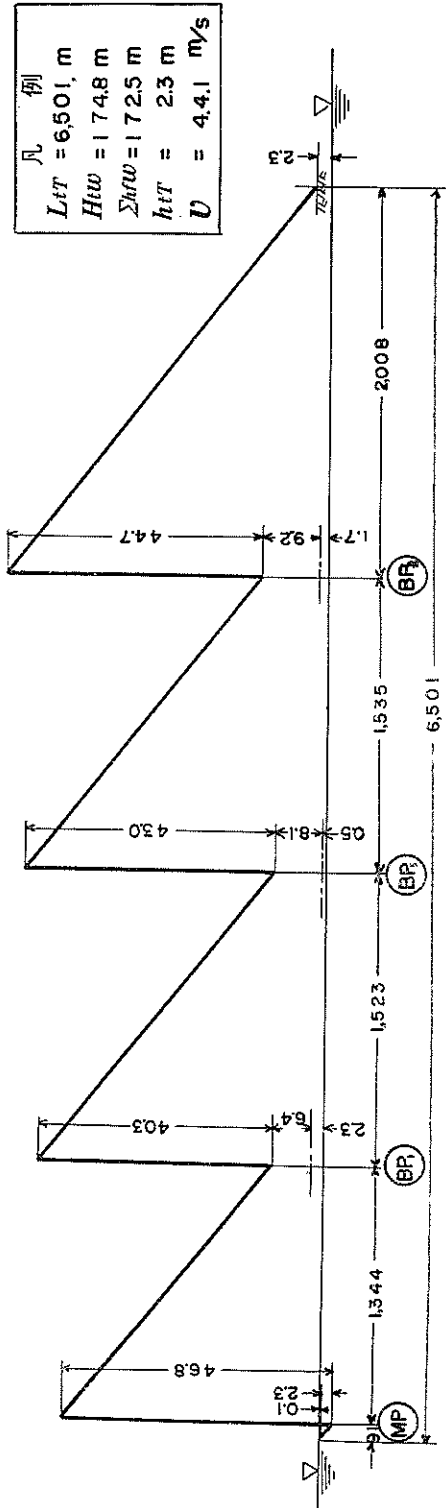


図8—3 動水こう配(工事区分 No. ②)

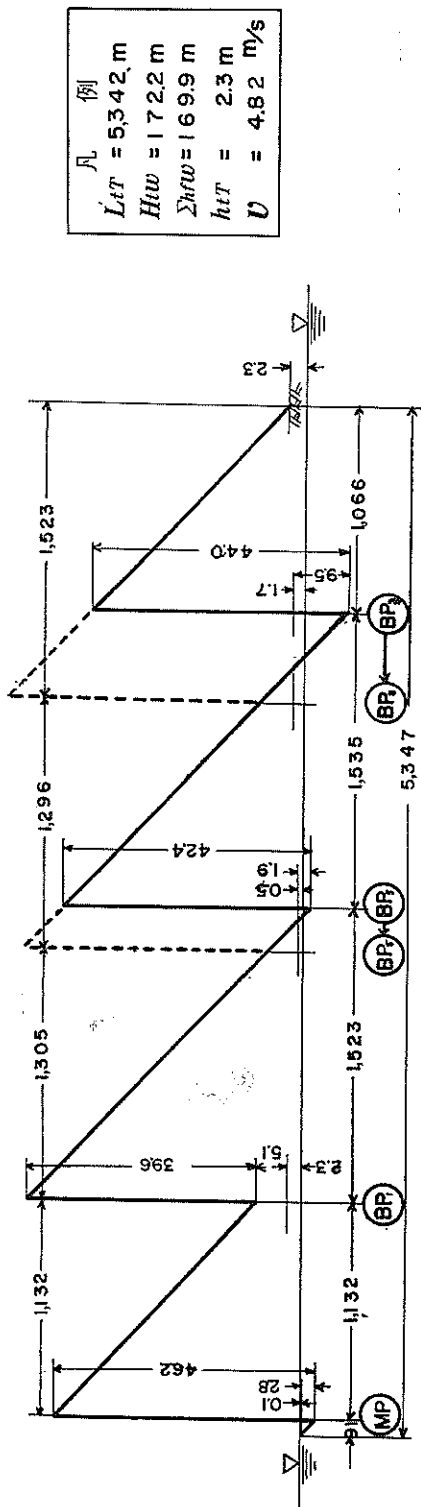


図8-4 動水こう配(工事区分 No. ③)

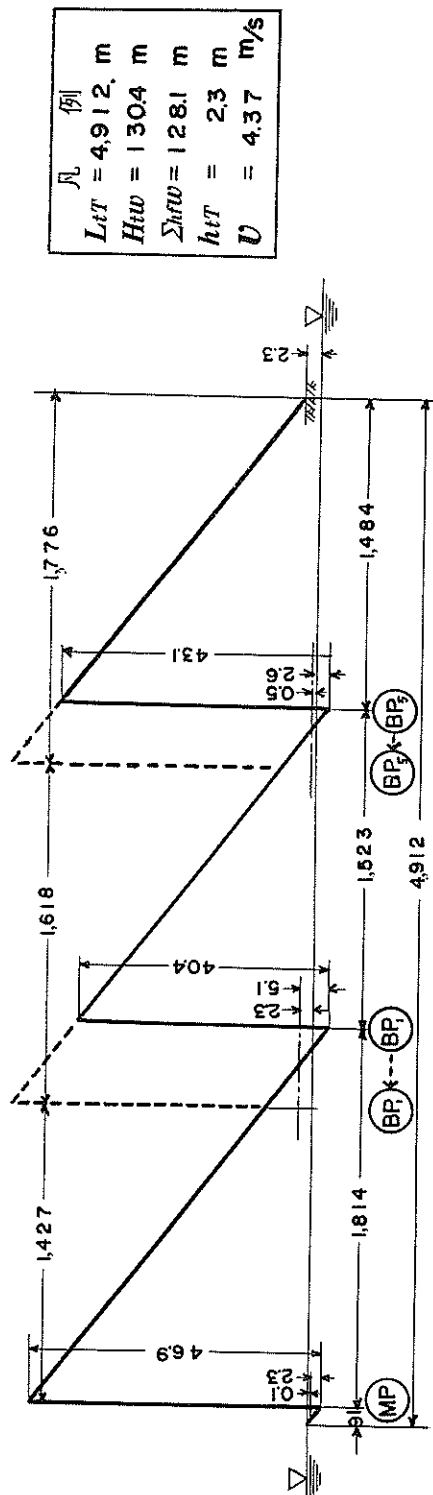


図8-5 動水こう配(工事区分 No. ④)

凡例
$L_{IT} = 4,252 \text{ m}$
$H_{hw} = 1,290 \text{ m}$
$\Sigma h_{rw} = 1,267 \text{ m}$
$h_{IT} = 2.3 \text{ m}$
$U = 4.67 \text{ m/s}$

凡例
$L_{IT} = 3,646 \text{ m}$
$H_{hw} = 88.0 \text{ m}$
$\Sigma h_{rw} = 80.7 \text{ m}$
$h_{IT} = 2.3 \text{ m}$
$U = 4.15 \text{ m/s}$

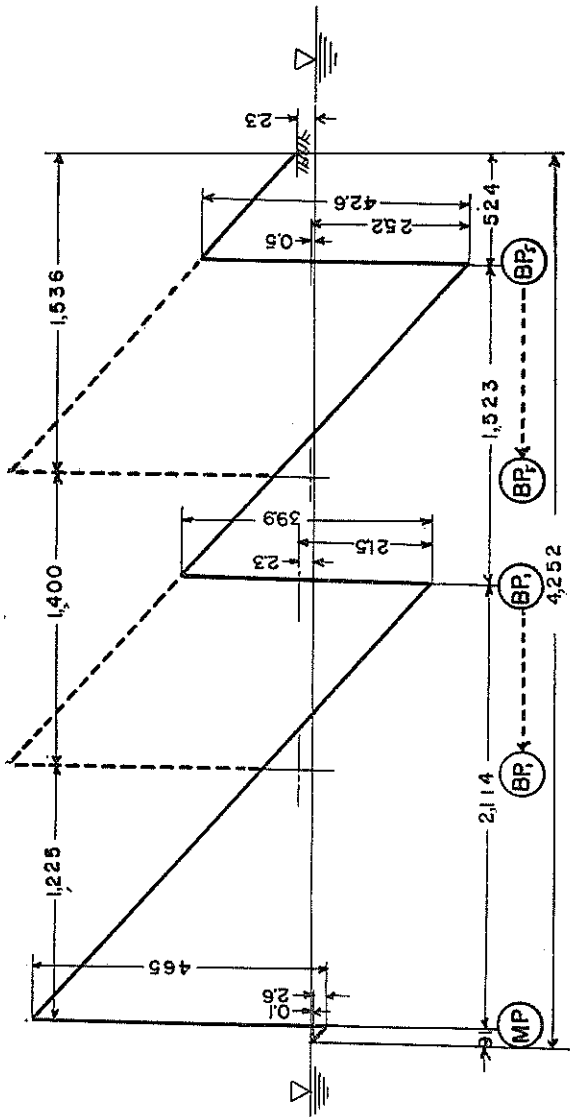


図8-6 動水こう配(工事区分 No. ⑤)

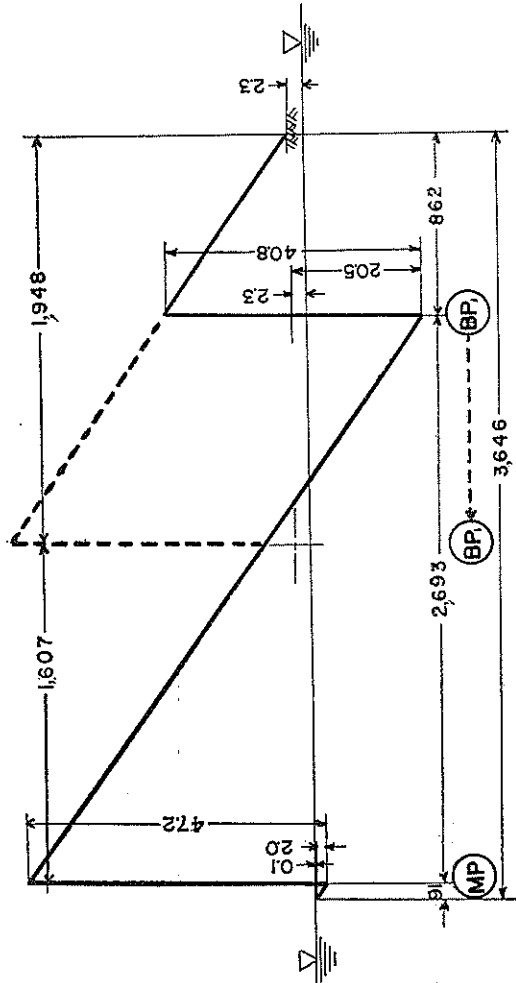


図8-7 動水こう配(工事区分 No. ⑥)

凡例	
$L_{IT} = 3,846 \text{ m}$	
$H_{tw} = 86.2 \text{ m}$	
$\Delta h_{tw} = 85.9 \text{ m}$	
$h_{IT} = 2.3 \text{ m}$	
$U = 4.04 \text{ m/s}$	

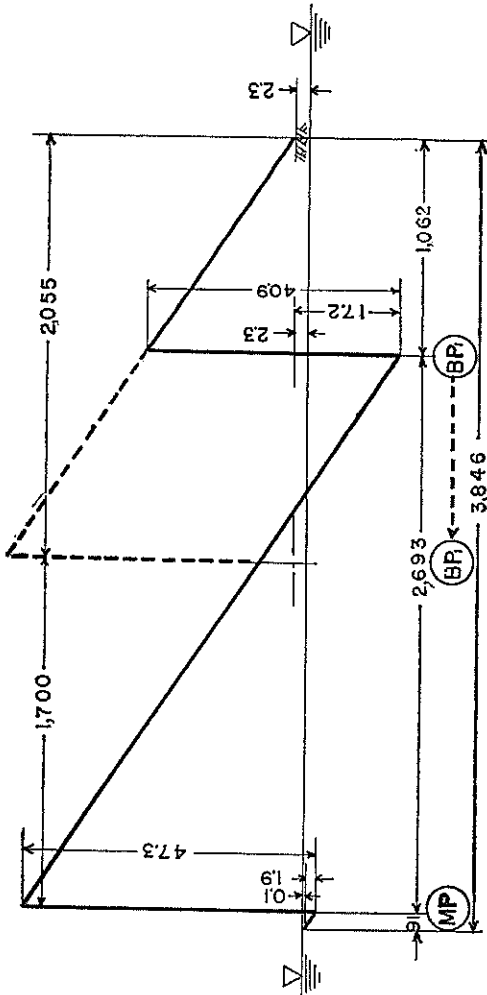


図8-8 動水こう配(工事区分 No. ⑦)

出力の範囲内で行えるに過ぎず、現状ではBP₂に若干のインペラ径の増加を望めるのみである。

以上のようなことから、No. ③以降の工事ではブースタ船の位置変更を余儀なくされるだろう。

図8-9において当初各ポンプが担当する距離を L_{tM} 、 L_{tB1} および L_{tB2} とすると、ブースタポンプの吸込側圧力は負になって円滑な運転が出来ない。そこでBP₁およびBP₂を移動して、各ポンプの担当距離を $(L_{tM})'$ 、 $(L_{tB1})'$ および $(L_{tB2})'$ にすると、動水こう配は図の点線の如くなり、 h_{sB1w} および h_{sB2w} は正圧になる。

この場合、各ポンプの揚程は次のように表わされる。

$$\left. \begin{aligned} H_{Mw} &= h_{tB1} + (h_{fM})' + (h_{sB1w})' \\ H_{B1w} &= (h_{tB2} - h_{tB1}) + (h_{fB1})' \\ &\quad + \{(h_{sB2w})' - (h_{sB1w})'\} \\ H_{B2w} &= (h_{IT} - h_{tB2}) + (h_{fB2})' - (h_{sB2w})' \end{aligned} \right\} \dots(8-1)$$

h_{fw} は各ポンプの担当距離における摩擦損失水頭である。

したがって、各ポンプ間の適正距離は次のようになる。

$$\left. \begin{aligned} (L_{tM})' &= \left\{ H_{Mw} - h_{tB1} - (h_{sB1w})' \right\} \frac{2 \cdot g \cdot D}{\lambda l \cdot v^2} \\ (L_{tB1})' &= \left\{ H_{B1w} - (h_{tB2} - h_{tB1}) - \{(h_{sB2w})' \right. \\ &\quad \left. - (h_{sB1w})'\} \right\} \frac{2 \cdot g \cdot D}{\lambda l \cdot v^2} \\ (L_{tB2})' &= \left\{ H_{B2w} - (h_{IT} - h_{tB2}) + (h_{sB2w})' \right\} \\ &\quad \frac{2 \cdot g \cdot D}{\lambda l \cdot v^2} \end{aligned} \right\} \dots(8-2)$$

BP₂以降になおポンプが連なっても同様に求めることが出来る。

さて、式(8-2)で問題になるのは $(h_{sw})'$ である。普通 $(h_{sw})' = 5 \text{ m}$ (0.5 kg/cm^2)程度が適当とされており、供試状態においては1.3~8.1mである。いま $(h_{sw})' = \text{const}$ とすれば、浚渫船および最先端のポンプを除く中間ポンプの $(L_{tB})'$ については、特に $(h_{sw})'$ を考慮して計算する必要はない。

ここでは、 $(h_{sw})' = 5 \text{ m}$ として各工事区分における適正距離を求め、その場合の動水こう配を図8-4~8-9に点線で示してある。

このようにして求めた適正距離は、次のような条件下のものである。

- ① 各ポンプの運転状態は試験時と同様とする。
- ② ブースタ船の配列順序は現状のままとする。
- ③ 各ポンプ中心線と水面間高さは現状のままとする。
- ④ 吐出口高さはすべて+2.3mとする。

各工事区分の排送距離は、それぞれの浚渫区域および埋立区域の中心部間のものについてであるが、実際には、

表8-5 各ポンプの圧力および損失水頭

工事 No.	項目	MP	BP ₁	BP ₃	BP ₃	BP ₂		計
供試 状態	H _w (m)	46.6	40.0	42.8	44.5	30.9		204.8
	h _{sw} (m)	-2.5	5.1	3.5	1.4	3.2		
	P _w (kg/cm ²)	4.41	4.51	4.63	4.59	3.41		
	h _{fw} (m)	2.6	36.6	43.4	43.7	43.8	32.4	202.5
①	H _w (m)	46.7	40.2	43.0	44.6	31.1		205.6
	h _{sw} (m)	-2.4	7.2	8.1	8.5	12.7		
	P _w (kg/cm ²)	4.43	4.74	5.11	5.31	4.38		
	h _{fw} (m)	2.5	34.7	41.1	41.4	41.5	42.1	203.3
②	H _w (m)	46.8	40.3	43.0	44.7			174.8
	h _{sw} (m)	-2.3	6.4	8.1	9.2			
	P _w (kg/cm ²)	4.45	4.67	5.11	5.39			
	h _{fw} (m)	2.4	35.7	40.4	40.7	53.3		172.5
③	H _w (m)	46.2	39.6	42.4	44.0			172.2
	h _{sw} (m)	-2.8	5.1	-1.9	-9.5			
	P _w (kg/cm ²)	4.34	4.47	4.05	3.45			
	h _{fw} (m)	2.9	35.9	48.4	48.8	33.9		169.9
④	H _w (m)	46.9	40.4	43.1				130.4
	h _{sw} (m)	-2.3	-5.1	-2.6				
	P _w (kg/cm ²)	4.46	3.53	4.05				
	h _{fw} (m)	2.4	47.3	39.7	38.7			128.1
⑤	H _w (m)	46.5	39.9	42.6				129.0
	h _{sw} (m)	-2.6	-21.5	-25.2				
	P _w (kg/cm ²)							
	h _{fw} (m)	2.7	63.0	45.4	15.6			126.7
⑥	H _w (m)	47.2	40.8					88.0
	h _{sw} (m)	-2.0	-20.5					
	P _w (kg/cm ²)	4.52	2.03					
	h _{fw} (m)	2.1	63.3	20.3				85.7
⑦	H _w (m)	47.3	40.9					88.2
	h _{sw} (m)	-1.9	-17.2					
	P _w (kg/cm ²)	4.54	2.37					
	h _{fw} (m)	2.0	60.2	23.7				85.9

H_w : 全揚程

h_{sw} : 吸込側圧力

P_w : 吐出側圧力

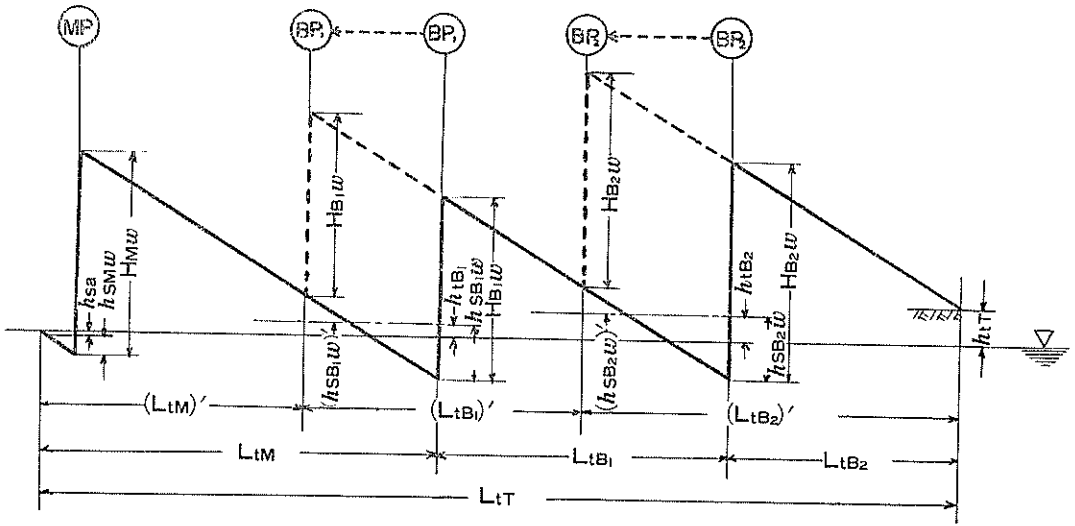


図8-9 ブースタ船の位置変更

土数百mの配管が考えられる。したがって、ブースタ船の変更位置の決定に当たっては、工事全体について詳細に検討し、位置変更がなるべく少なくなるようにすべきである。

8.4 能力の推定

以上のように各工事区分におけるブースタ船の組合せおよび排送距離が決められた場合、施工能力がどのようになるかを検討しておく必要がある。ただし、ここでいう施工能力とは、浚渫時間当りの能力 ($G_D m^3/H$) である。表8-2に示した排送距離は、それぞれの工事区分

の代表値であって、実際の距離は土数百mになるであろうことは前に述べた通りである。したがって排送距離が若干変わることも考えて、6.4で述べたと同様に実用性能図として示しておく。実用性能図は土質条件その他によって異なるが、ここでは試験時のものと同一条件として検討を進めることにした。

図8-10～8-12には各工事区分の実用性能図である。なお、工事区分①については、供試状態のもの（図6-7）に併記してある。

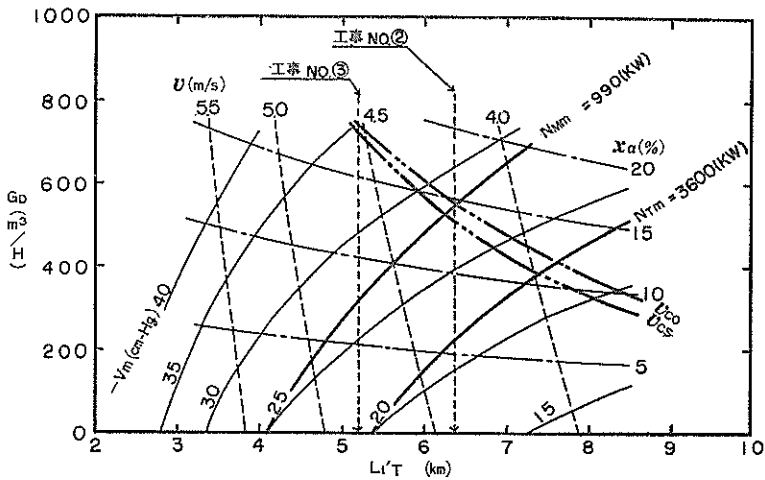


図8-10 実用性能図（工事区分 No. ②, ③ : MP→BP₃）

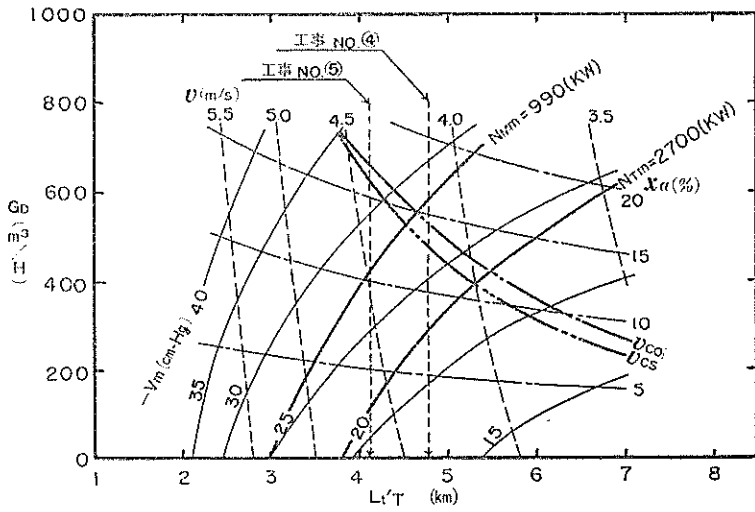


図8—11 実用性能図 (工事区分 No. ④, ⑤) : MP→BP₀)

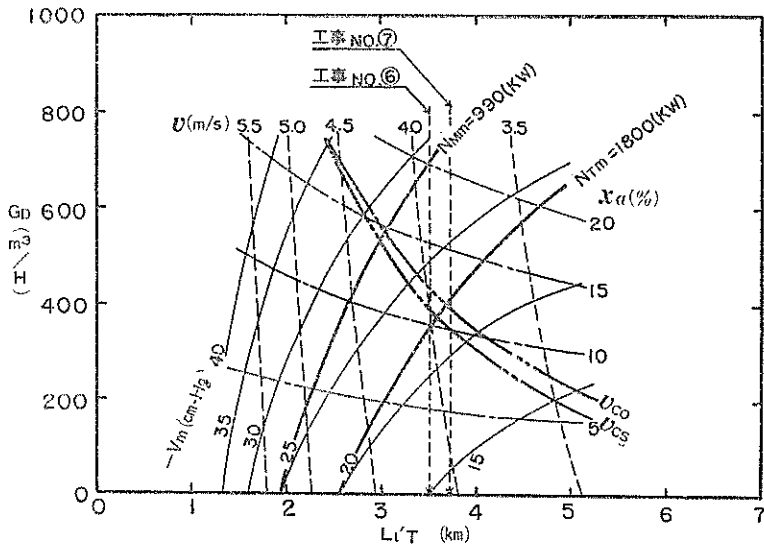


図8—12 実用性能図 (工事区分 No. ⑥, ⑦) : MP→BP₁)

さて、実用性能図上の使用領域を決定する制限要素は前にも述べた通り、本例の場合は限界流速と動力限界が主たるものである。そこで6.4と同様に、限界流速については、 v_{cs} および v_{co} 、動力限界は合計電力および浚渫船のポンプ電力で使用領域を示した。

以上のようにして求めた使用領域において各工事区別の限界能力を抽出すると次の通りである。ただし、限界能力は v_{cs} および $N_{Mm}=990\text{kW}$ によるものとした。

表8—6の G_D は純浚渫時間当りの能力で、しかも含泥率を常時保持し得た運転状態下におけるものであるが、実際にはスイングの切換えその他によって、このような定常状態を保つことは出来ないから、能力はこれらの値を下廻ることになる。また、運転時間当りの能力になると、この他スパッド打替え、掃排等の時間が加味されて、さらに能力は低下し、運転実績等から考えて、 $G_D=(0.7\sim 0.8)G_D$ 程度になるものと思われる。

表8-6 各工事区分の能力

工事区分 No.	L_t/r (m)	ブースター船の組合せ	G_D (m ³ /H)	x_a (%)	V_m (cm—Hg)	備考
供試状態	6,971	MP→BP ₂	425	11	27	$N_{Mm}=985kW$
①	7,401	MP→BP ₂	505	13	27	v_{cs} による制限
②	6,364	MP→BP ₃	505	13	27	v_{cs} による制限
③	5,210	MP→BP ₃	325	8	27	N_{Mm} による制限
④	4,775	MP→BP ₅	480	13	27	v_{cs} による制限
⑤	4,115	MP→BP ₅	425	11	27	N_{Mm} による制限
⑥	3,509	MP→BP ₁	395	11	22	v_{cs} による制限
⑦	3,709	MP→BP ₁	350	10	21	v_{cs} による制限

9 まとめ

金沢港の浚渫埋立工事は、その埋立地域が河北潟から大野川沿いに連なり、排送距離が長く最長時には4隻のブースター船を併用するという点が大きな特色となっている。

金沢港の浚渫土質は、おおむね砂質土であってくずれ易いため、施工能力は主として排送性に支配されるものと思われる。本試験は浚渫船およびブースター船を含めたポンプ系全体についての特性から能力の限界を求めて実績値との比較を行うとともに、これらをもとにして今後の工事計画に対する資料を得ようとしたものである。

なお試験は短時日でしかも限定された作業条件下のものについてのみ行ったので、特性把握については、他船のデータを参考にして検討を進めた。

以下本試験結果から得たものを要約すれば、次の通りである。

- 1) ブースターポンプを併用する際、管摩擦損失係数 (λ) の選定を誤ると、ポンプ系全体としての運転に支障を生ずるが、送水試験から $\lambda \approx 0.015$ の結果が得られ、本工事計画時のものと合致した。
- 2) 実用性能図上の使用領域を決める要因は、一般に動力限界、限界流速、吸込圧力および掘削能力であるが、本港の場合は、前二者によって規定されると考えてよい。ブースターポンプを併用する際の動力限界は、ポンプモータの合計電力はもちろんのこと、個々のポンプモータ電力についても検討しなければならない。本例では、各モータの定格電力は同じであるが、実績および試験結果によると浚渫船のものももっとも大きく、これによって動力限界が決められてくる。また、限界流速についてはスモールドイレ

フの式と従来使用されているものを比較したが、ほぼ近い値を示した。

- 3) 供試状態下での能力は、動力限界で規定され、浚渫試験で得た含泥率11%はほぼ限界であろう。また、運転実績から求めた浚渫時間当たり土量は320m³/Hであって、含泥率および電力関係から見ても、実用性能図上のものとほぼ合致し、若干の能力増加が見込まれることを示している。
- 4) 運転実績によれば、管内の土砂の堆積現象を生じたものは工事開始当初の昭和42年12月に集中しており、しかも堆積の有無にかかわらず平均含泥率はほとんど変わらないことから、一時的な高含泥率の吸引が堆積を招き、能力低下の一因になっているものと思われる。堆積を生じた場合の能力は、円滑に運転された場合の能力の約20%減になっている。
- 5) 各船の電力は、電力消費率および能力から求められ、平均電力の±10%のバラツキ内に納まり、合計電力は約4800kWである。また、これから各ポンプの電力を求めてみるとBP₂を除いてほぼ定格電力ないし若干のオーバーロードになっており、動力のバランスはおおむね良好といえる。
- 6) 浚渫区域と埋立区域の距離が短くなると逐次ブースターポンプを排除くことになるが、動水こう配は全排送距離に応じて変わってくる。この場合各ポンプの相互距離が適正でないとき、ブースターポンプの吸込側が負圧になって、全ポンプ系としての運転は円滑性を欠く。各船の位置を現状のままとして今後の工事計画のものを試算してみると、工事区分 No.③以降では、いずれも負圧現象が発生することになり、ブースター船の移動を考慮しなければならない。ただし、若干の負圧に対しては、絞板の装着や負圧の

前段ポンプの羽根径増等によって回避来よう。いずれにしても、ブースタ船の適正位置は、各工事区分毎になお詳細な検討を行なって決定すべきである。

また、各工事区分別の浚渫時間当りの限界能力を、実用性能図上から求めたが、実際の運転時間当りの能力としては、これらの70~80%程度にならう。

- 7) 長距離輸送においてもっとも懸念されることは、ブースタポンプを併用することによる能力低下であるが、本港の場合、ポンプの組合せの問題より、むしろ故障発生度合によるか動率の低下が問題であって、今後のか動実績に注目したい。

10 あとがき

金沢港の長距離輸送におけるポンプ管路系の特性および能力について、現地試験、運転実績等から検討したが、何分限定された条件下でのものであったため、今後の工事計画については、推定計算によった所も多い。浚渫埋立区域の異なった条件下での試験がさらに追加されれば、より確実な資料になり得ると考える。

本試験を実施するに当たり、格別の御協力を頂いた七尾港工事々務所および東洋建設株式会社の関係各位に深謝する次第である。

参 考 文 献

- (1) 第一港湾建設局：“金沢港浚渫工事について”，第6回管内工事報告会資料，1968年2月，P 67
- (2) 長谷川源太郎，八木得次：浚渫深度ならびに吸入管径が浚渫能力におよぼす影響，作業船協会ポンプ浚渫船研究資料，1958年8月，p 9
- (3) 寺田進：応用ポンプ工学，岩波書店，1954年8月，p 119
- (4) 八木得次：技術相談，作業船第14号，1961年3月，p 114
- (5) 長谷川源太郎，八木得次，徳永省三：浚渫ポンプの性格とその使用法，運輸技術研究所報告別冊，1958年2月，p 3
- (6) 渡辺慶輝：水力採炭，炭鉱双書技術書院，1962年10月，p 46
- (7) 八木得次，宮崎昭兒，入江義次，奥出律：鹿島港におけるポンプ船試験報告，港湾技研資料，No. 45，1968年3月，p 21，p 27
- (8) 港湾工事設計要覧（追加），日本港湾協会，1966年2月，p 1

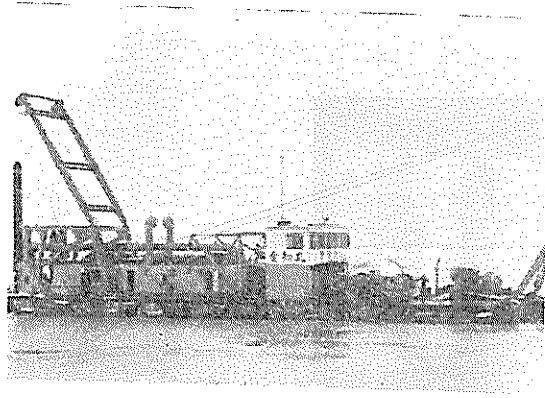
記 号 表

A_p :	ポンプモータ電流 amp
C :	真体積含泥率
C' :	式(6-6)の常数
D :	管径 m
D_o :	就役日数 day
D_o :	か動日数 day
D_r :	休止日数 day
d :	土砂の平均粒径 mm
e :	電力消費率 kWh/m ³
f_B :	曲管損失係数
f_s :	吸込管損失係数
G_D :	浚渫時間当り土量 m ³ /H
G_o :	運転時間当り土量 m ³ /H
g :	重力の加速度 m/s ²
H :	全揚程 m
h_d :	ポンプ基準面に換算した吐出圧力 m
h_f :	摩擦損失水頭 m
h_p :	ポンプセンタと圧力計の高低差 m
h_s :	ポンプ基準面に換算した吸込圧力 m
$h_{s,a}$:	吸込実揚程 m
h_t :	実揚程 m
Δh_t :	ポンプ間の中心線の高低差 m
h_u :	浚渫深度 m
K_1 :	期間か動率
K_2 :	運転時間率
L :	実管長 m
L' :	陸上管に換算した管長 m
L_t :	換算排送距離 m
L_t' :	浚渫船々尾からの換算排送距離 m
N :	主ポンプモータ電力 kW
N_A :	補機類モータ電力 kW
N_c :	カットモータ電力 kW
N_o :	各船の全電力 kW
N_s :	スイング，ウインチモータ電力 kW
n_p :	ポンプ回転数 r. p. m
P :	ポンプ吐出圧力 kg/cm ²
P_v :	間隙率
Q :	流量 m ³ /H
R :	曲管曲率半径 m
T_c :	掃排時間 H
T_D :	浚渫時間 H
T_e :	就業時間 H
T_o :	運転時間 H

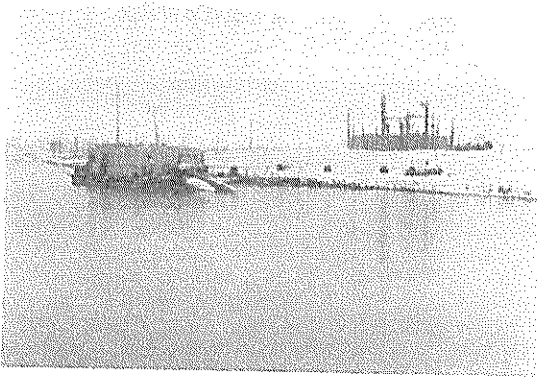
T_r : 休止時間 H
 T_s : 前進時間 H
 t : 缸ガラ通過時間 s
 V : ポンプ吸込圧力 cm—Hg, kg/cm²
 V_p : ポンプモータ電圧 volt
 v : 管内流速 m/s
 v_c : 限界流速 m/s
 v_{sg} : 粒群の沈降速度 m/s
 x_a : 見掛含泥率
 β : 土質係数
 γ_a : 土砂の見掛比重
 γ_s : 土砂の真比重
 γ_w : 水の比重
 η : ポンプ効率

λ : 管摩擦損失係数
 ρ_w : 水の単位体積重量 gr/cm³
添字
B : プースタ船
C : 沈設管
 d : 浚渫船吐出管
f : 浮上管
l : 陸上管
M : 浚渫船
m : 浚渫時
s : 浚渫船吸込管
T : 全ポンプ系
 w : 送水時

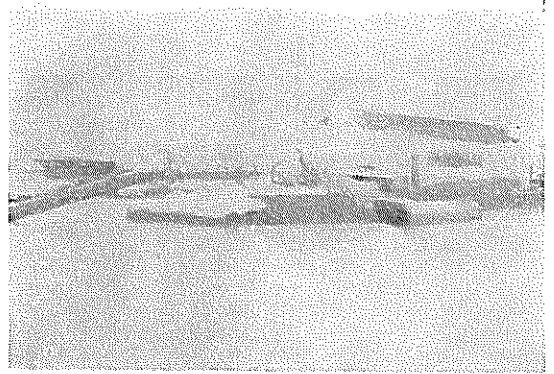
(1968・7・5受付)



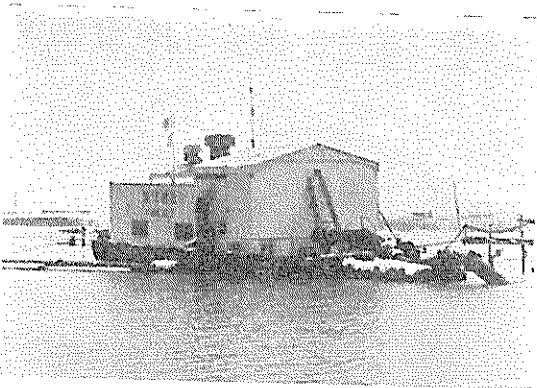
写真一 1 浚渫船（愛知丸）



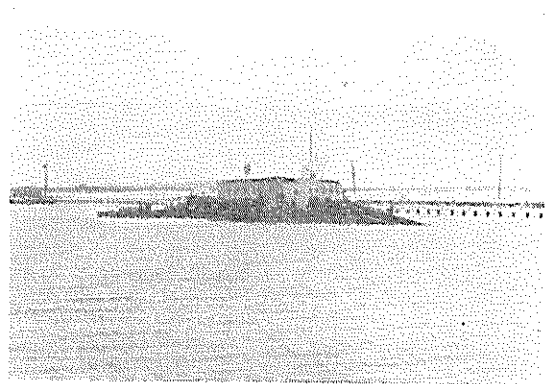
写真一 2 第1中継船



写真一 3 第5中継船



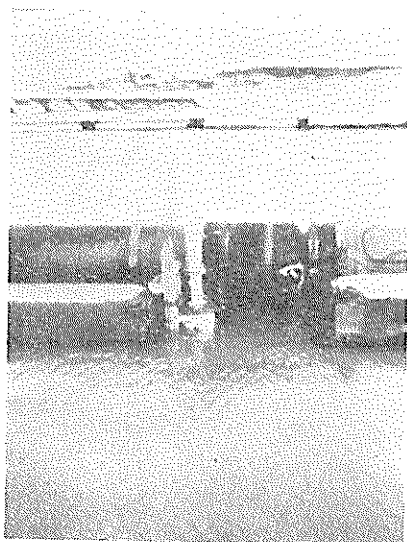
写真一 4 第3中継船



写真一 5 第2中継船



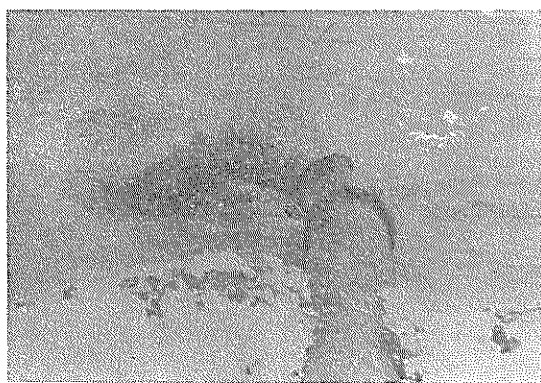
写真—6 運転室（愛知丸）



写真—7 簡易式含泥量器取付状況



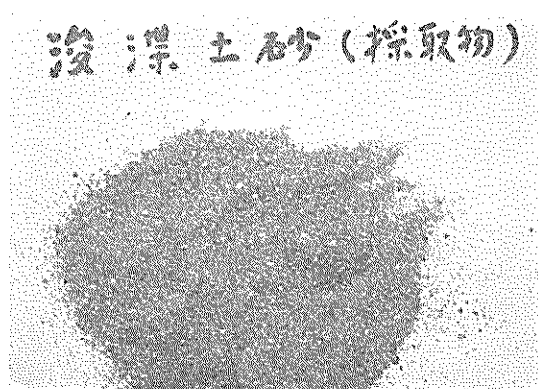
写真—8 含泥量測定状況



写真—9 排砂状況



写真—10 浚渫地域



写真—11 土砂

港 湾 技 研 資 料 No. 60

1 9 6 8 . 9

編集兼発行人 運輸省港湾技術研究所

発 行 所 運輸省港湾技術研究所
 横須賀市長瀬3丁目1番1号

印 刷 所 ヨシダ印刷株式会社亀戸工場