

# 石炭スラリーの海上輸送に関する研究

山内保文\* 岡田正次郎\*\* 菅井和夫\*  
菅 信\* 野中晃二\*

On the Transportation of Coal Slurry by Ship  
by

Yasufumi Yamanouchi, Shōjirō Okada, Kazuo Sugai,  
Makoto Kan and Kōji Nonaka

この研究は、工業技術院資源技術試験所で行なわれたスラリーの調整ならびに性状およびその流送に関する研究と共に、昭和39年度科学技術庁特別研究促進調整費による「スラリー輸送に関する研究」として行なったものである。当所の研究は、資源技術試験所の性状試験の結果にもとづいてスラリーの性状を推定して行なったもので、同試験所の協力を謝するものである。

The main reason to introduce the slurry form in coal transportation is to reduce its transport cost. The coal slurry is to be transported by special ship desined for this purpose, and a few problems that come from the peculiar characters of the coal slurry will arise concerning the safety of this type of ship on the sea, as well as the unloading technique of slurry at the terminal.

Model tests were carried out on the rolling of the ships to investigate the safety of the ship on the sea, and also on the pumping system to get the basic data for design of unloading equipment.

As to the ship, now two slurry tank arrangements are considered, and model tests showed that B type arrangement with the tanks divided by the center bulkhead was better than a type with the wide tanks that spread from side to side of the ship, in view of the safety, As to unloading equipment, it was shown that pumping of 70% weight coal slurry was possible and the conveyer system was helpful to gather up the sediment of coal slurry.

## I 石炭スラリー専用船の模型試験

### 1. ま え が き

スラリーによる石炭利用方式の主なねらいは、輸送コストの画期的な低減にある。石炭スラリーの海上輸送は、その輸送経路全体に対する割合から見ても明かなようになりに重要な問題である。海上輸送には専用船を建造して利用するわけであるが、その性能の如何は直接輸送コストにはね返ってくる。

石炭スラリーを海上輸送する際、その性状は、石炭スラリー本来の性質としての流動、沈降等の現象の他に船自身の動揺、振動等の影響を受けて変化し、船体の動揺性能に大きな強響を与えるものと考えられる。

「石炭輸送方法の経済性調査」に述べられている海上輸送の方法は次のようなものである。まずパイプラインで積地まで陸送された重量比石炭60：水40の石炭スラリーを、石炭70：水30に濃縮してスラリー専用船に積み込み、揚地の火力発電所に海送する。専用船は積地、揚地の港湾水深を考慮してDW10,000トン型とし、年間430万トンの石炭スラリーを8隻の専用船をもって輸送する計画である。同調査で考えられている

\* 運動性能部 \*\* 日立造船株式会社

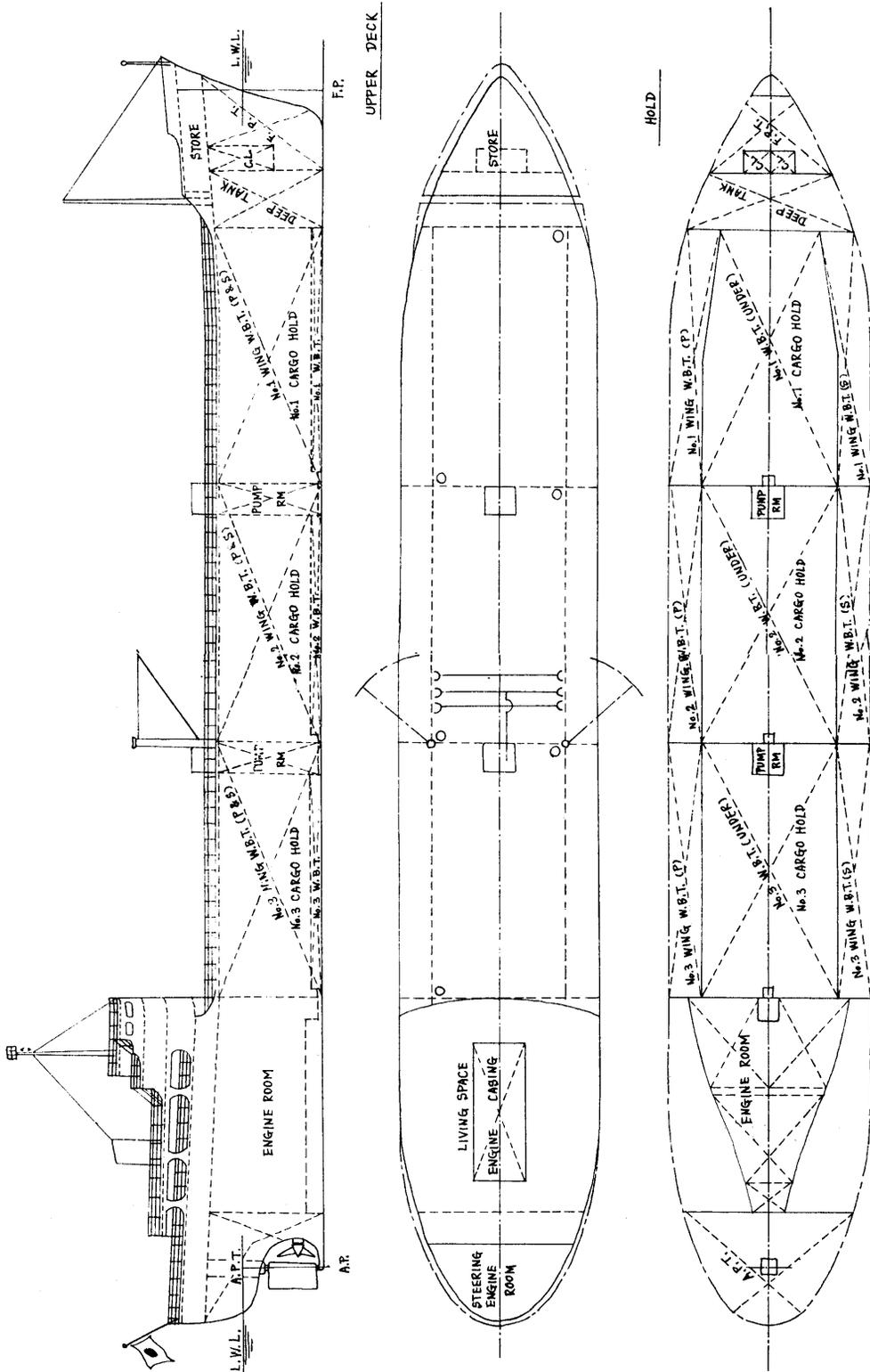


図 1 石炭スララー専用船

表 1 10,000トン型石炭スラリー専用船要目  
(荷役装置付)

長さ(垂線間)	115.00m
幅(型)	11.40m
深さ(型)	10.00m
計画満載吃水	7.65m
船級	NK, NS, MNS
船型	船尾機関, 1層甲板型
航行区域	沿海
資格	第一級船
載貨重量	約 10,170トン
総トン数	約 6,740トン
満載航海速力	12.5 knot
スラリー倉容積	約 8,500m <sup>3</sup>
スラリー載貨重量	10,000トン
主機械	ディーゼル機関1基, 4,400ps×217rpm
発電機	120kW×2
補助缶	1基
スラリーポンプ	300m <sup>3</sup> /h×6kg/cm <sup>2</sup> ×3 (スラリー時)
同上用モーター	90kW×3(陸上電源による)

表 2 運航計画基礎数値

項目	内容
1. スラリー	
石炭, 水の混合比	石炭70:水30(重量比)
比重	1.25
年間輸送量	430万トン
2. 専用船	
航路	苫小牧~本州
距離	547 sea mile(京浜まで)
速力	12.5 knot(往復平均)
航海日数	航海 3.9日 碇泊 2.1日(含予備0.2日) 合計 6.0日
荷役時間	8.9~10時間
年間航海月数	11.3ヶ月
日数	344日
度数	57航海/隻
所要隻数	8隻

DW10,000トン型石炭スラリー専用船の一般配置図, 要目及びその運航計画の基礎数値を図1, 表1, 表2に示す。但し専用船の断面の形は, スラリータンクを中央部に一個にしたもの(A型)と, 左右二つに分けたもの(B型)の二種類が考えられている。

## 2. 石炭スラリーの性状

### 2.1 静置時の性状

石炭スラリーの性状については, 資源技術試験所で粒度一定のスラリー及び流送に適した粒度分布をもつ混合スラリーにつき, 濃度をいろいろに変えて研究されている。<sup>1), 2)</sup>

最も問題となるのは沈降を起すかどうかという事だが, 専用船で輸送予定の濃度70%の混合スラリーには沈降は殆んど見られず, それより濃度の低いものは沈降が起り上澄み液と沈積物の二層に分かれている。しかし, これは小さな試験容器内での現象であって, 船のタンク内でも沈降を起さないとは断定できない。沈降が起った場合の沈積物の密度は下層部ほど及び濃度の高いほど大きくなっている。上澄み液は密度1.0の水である。

### 2.2 動揺, 振動時の性状

試料の石炭スラリーの濃度は68%, その粒度構成を図2に, 動揺実験装置を図4に, 振動実験装置を図5に示す。

動揺状態では, 目に見えるような沈降現象は見られず, むしろ攪拌作用の方が強いように観察された。しかし, 粘度計測結果により, 下層部の方が上層部に比べて粘度がかなり高い事がわかり, 下層部ほど密度が高くなっている事が推測される。

振動時の実験結果を図6に示す。この場合は壁面に粒子が網構造を作り非常にかたい層を形成する。しかし, タンク中央部では最初の状態に近いスラリー状を呈している。振動加速度の増加と共に沈降率も増加する傾向が見られる。

## 3. 海上輸送の問題点

前節の資料からは, 海上輸送中に石炭スラリーが沈降を起すかどうかは明らかでない。

沈降が起らない場合は粘性流動体の問題となり, その安全性に与える影響は自由水の影響と同じようなものになる。<sup>4)</sup>

沈降が起った場合は, 上澄み液により自由水影響の他に沈積物による影響がある。沈積物の性質としては次の三つの場合が考えられる。

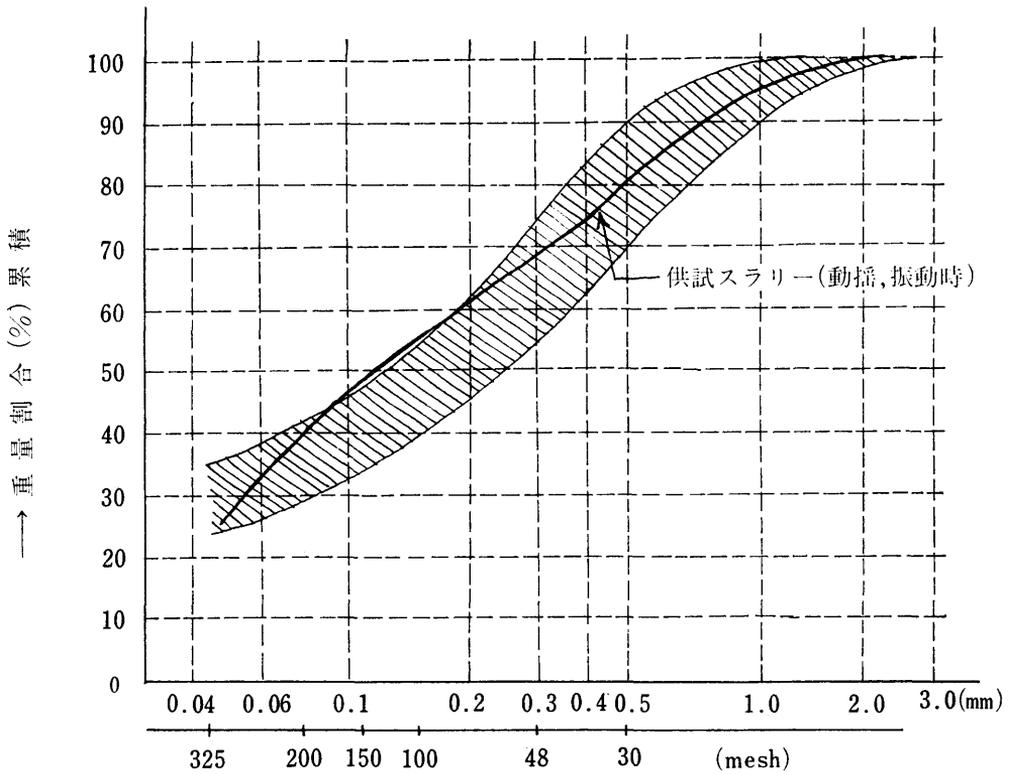


図 2 微粉炭粒度構成

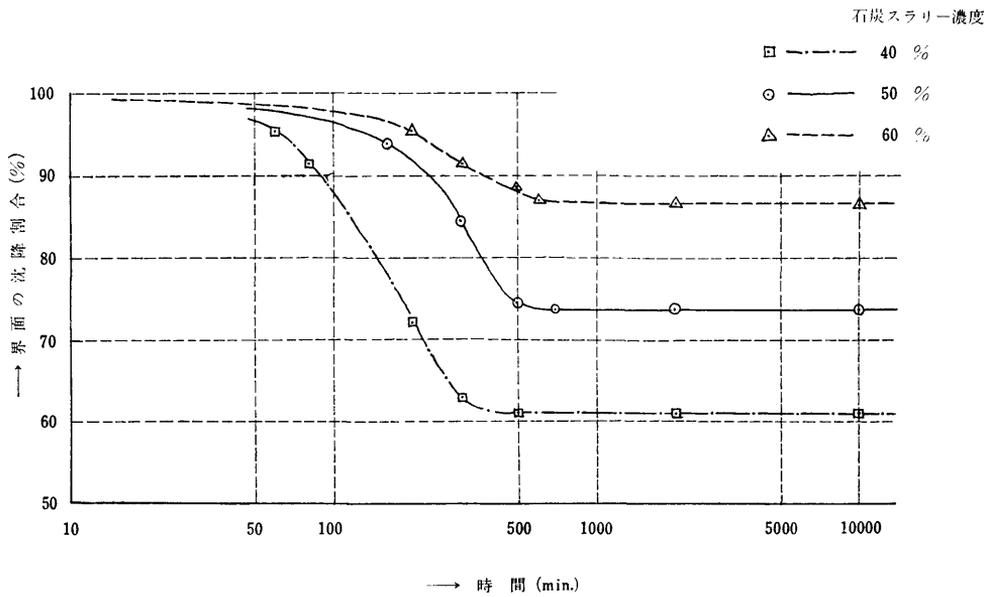


図 3 スラリー界面の沈降 (参考文献2)より転載)

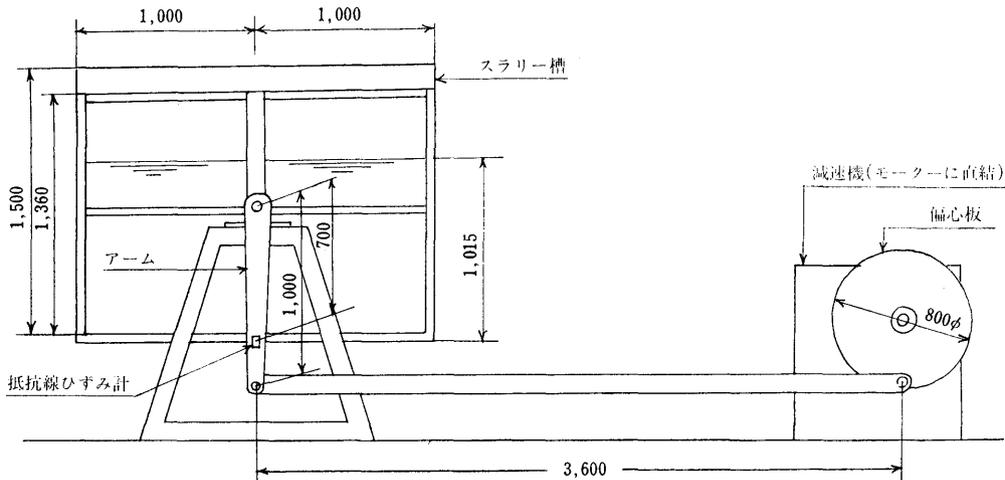


図4 動揺実験装置

松平式振動試験機

型式	UB-C-4
最大振動数	3300/min.
最大荷重	40kg
最大複振巾	10mm
モーター	0.5P.S

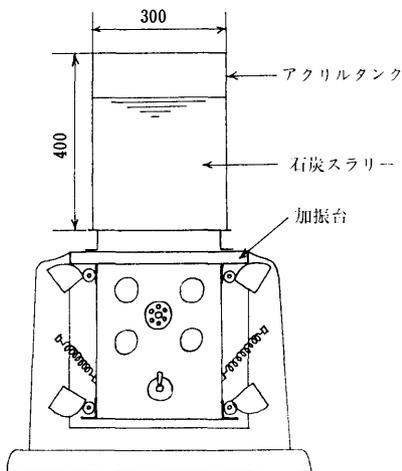


図5 振動実験装置

- (1) 固体
- (2) 流動体, 又は上層が流動体で下層が固体
- (3) 粒状貨物と同様な性質のもの

静的に考えれば, 沈積物の移動による片荷は船に heel を与え安全性を悪化させる。

(1)は自由水だけの影響となる。(2)については力学的安定な為の条件は流動体に自由表面補正と同様な補正をして求められるが<sup>4)</sup>, 沈降しない場合に比べ密度が

大きくなるので条件は悪くなる。(3)は安息角がわかれば荷崩れの起る加速度, 角度, 位置の関係がわかるが, 運動は不連続となり理論的取扱いは困難となる。

いずれにしても沈降が起った場合は, 自由水の影響の他に沈積物の移動による片荷の状態が考えられ, 沈降の起らない場合に比べて安全性は悪化するものと思われる。

そこで安全側をとり実験は沈降が起った場合についてやる事にしたが, (2)(3)の場合は沈積物の動的性質がわからず simulate が困窮な為, 結局(1)の場合について直立及び傾斜時の自由水の影響を調べる事にした。

(2)(3)の場合の取扱い方については, (2)の場合は参考文献(4)に詳しく述べられており, (3)については付録-2でその静的な取扱い方について述べる。

#### 4. 模型試験

模型船に上澄み液をいれるタンクをのせて横揺試験を行なった。なお, 70%スラリーでは沈降がみとめられないので沈降の起る severe side を取り 65%スラリーとし, この場合静置時の上澄み液の容積はスラリー全容積の約7%になる。タンクにはA型, B型の二種類を使用した。模型船及びタンクの主要寸法等を表3, 図7に示す。

まず自由水や沈積物がない場合の船固有の性質を調べるため, タンクに上澄み液と同じ重さだけの湿った砂をいれ動かないようにして, 波傾斜 2°, 3°, 4° で周期をかえて横揺試験を行なった。次に砂のかわりにタンクにスラリー全容積の7%にあたる水をいれ, 波

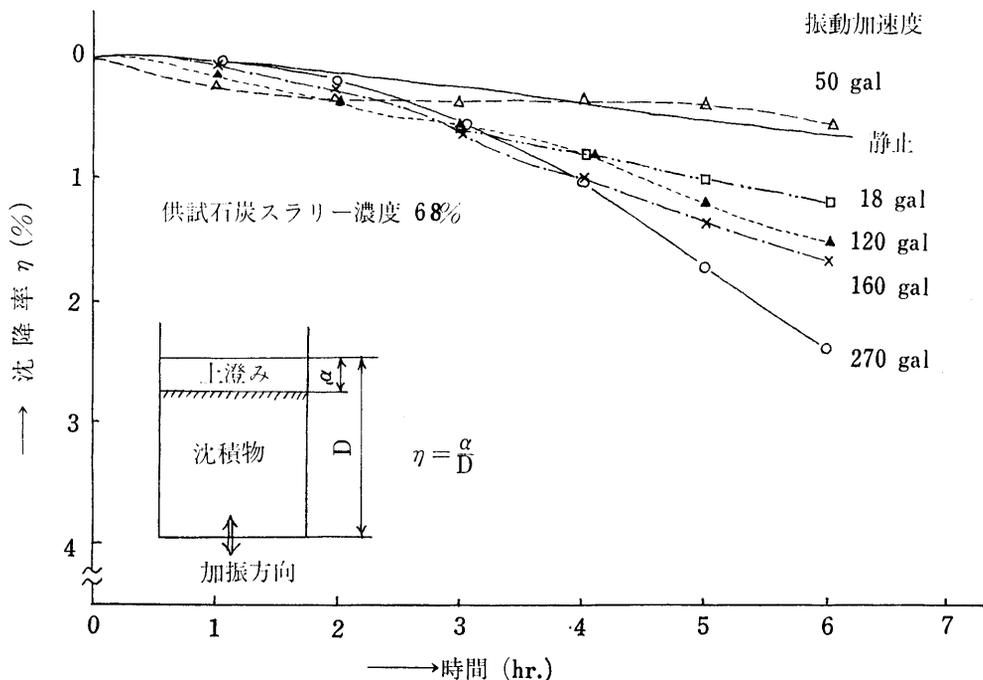


図6 沈降率 (パラメーター: 振動加速度)

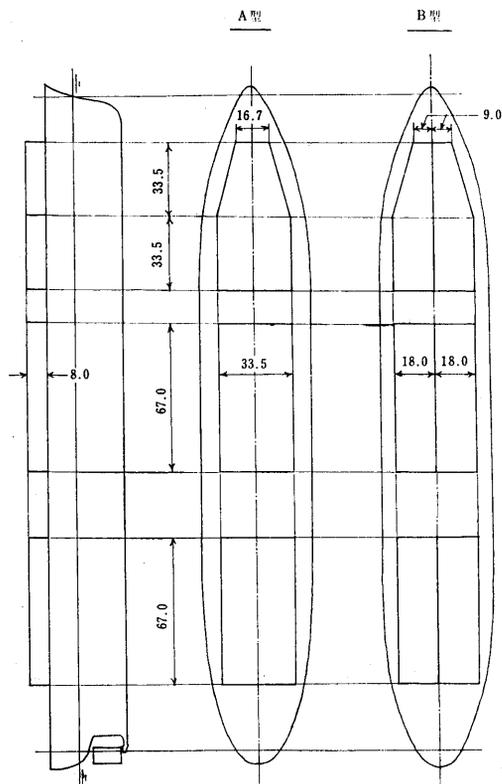


図7 模型船とタンク

表3 模型船の主要寸法

$L_{pp}$	= 3.000m
$B$	= 0.440m
$d$	= 0.192m
排水量	= 189.1 kg
$KG$	= 0.152m
$GM$	= 0.036m

傾斜 3° で周期をかえて自由水の影響を調べた。終りに沈積物の移動による影響を調べるため、タンクに水のはいった状態で風下側に heel を与えて横揺試験を行なった。

これらの実験結果を図8~10に示す。図8はタンクに砂をいれた時の横揺の同調曲線を示し、図9はA型タンクに水をいれた場合と heel を与えた場合の同調曲線を、図10はB型タンクに水をいれた場合と heel を与えた場合の同調曲線を示す。図9、10中の点線はタンクに水をいれた時の波傾斜 3° の同調曲線を示す。

5. 考察

横揺と安全性とは付録一に述べるように密接な関係があり、この報告は横揺実験により船の安全性を調

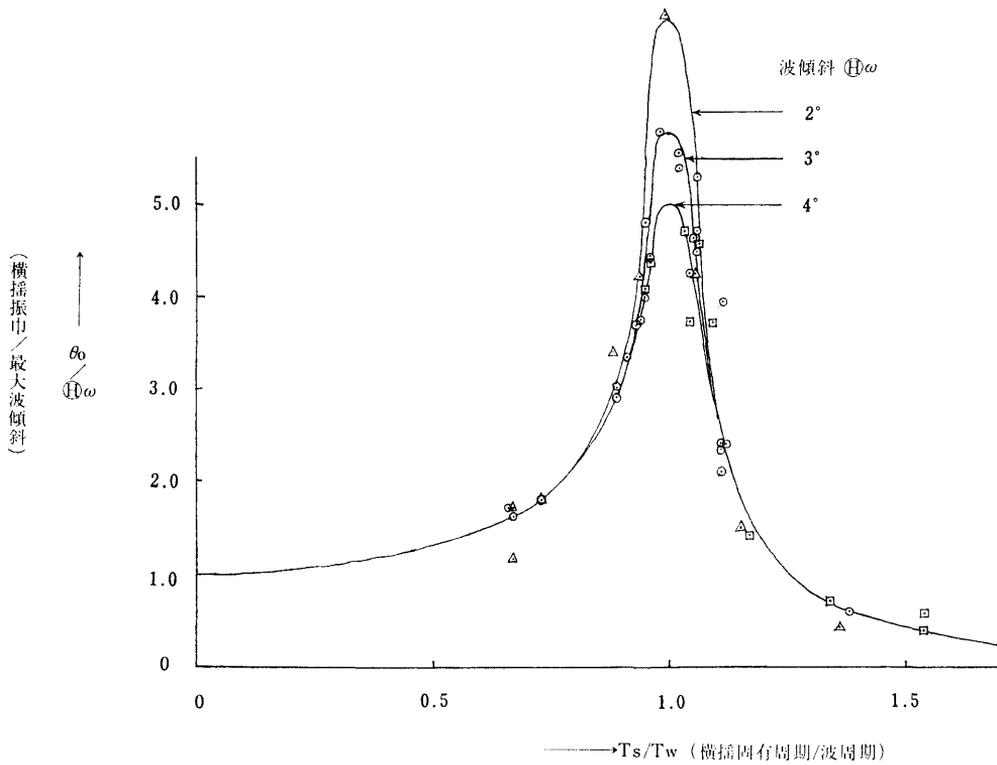


図 8 横揺同調曲線 (自由水なし)

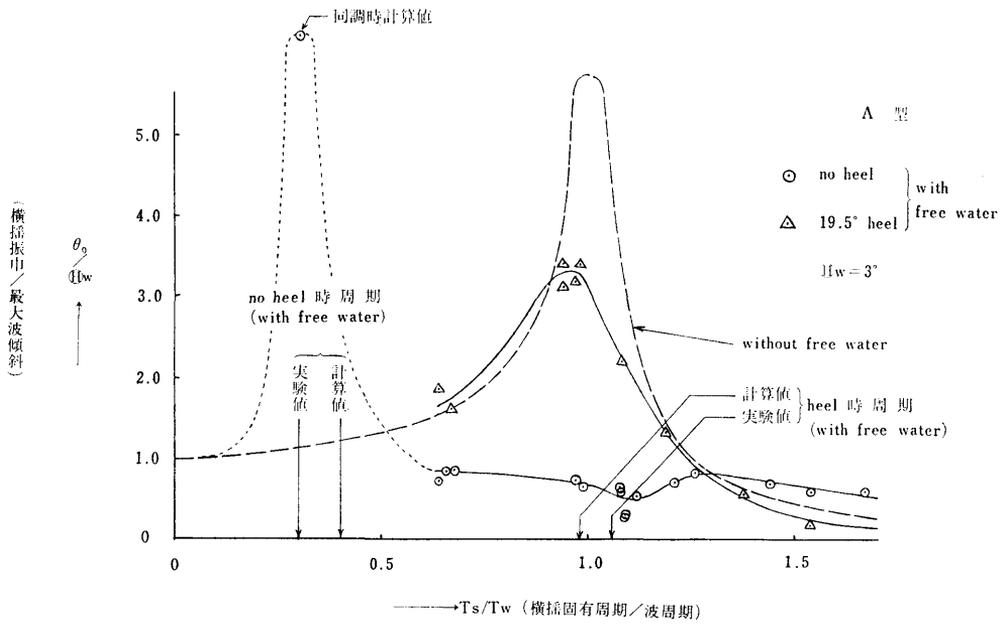


図 9 横揺同調曲線 (A型タンク)

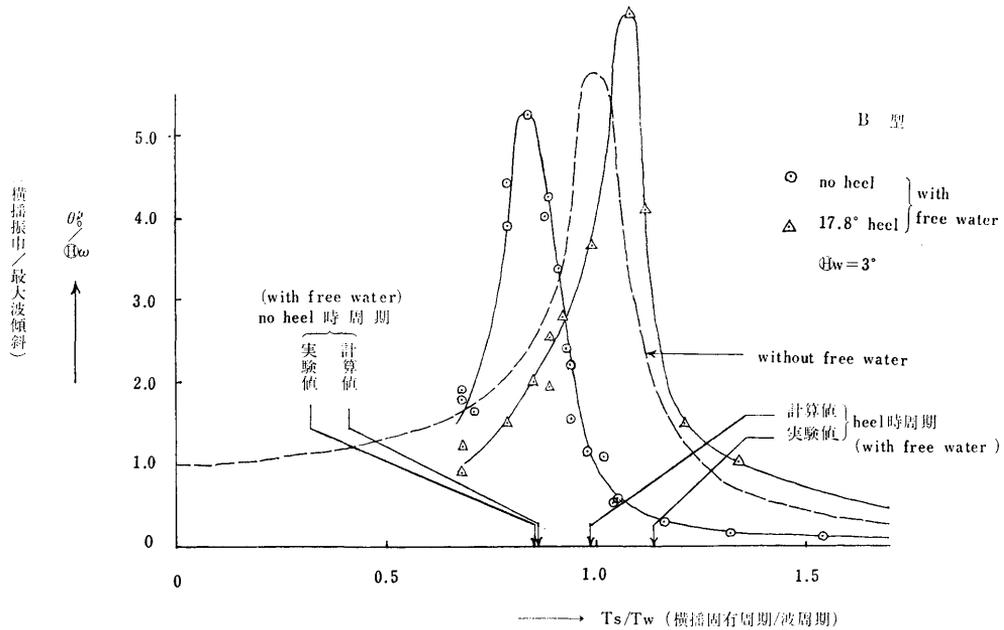


図 10 横揺同調曲線 (B型タンク)

べたものである。

静的に考えれば上澄み液つまり自由水の影響はGMに自由表面補正をする事であらわせる。自由表面補正をしたGMの値を用いて出した横揺周期は自由横揺より計測した周期とはB型の heel してない場合を除いてはあまり一致していない (図11, 12)。自由表面補正後のGM及び周期を表4に示す。

A型 (図11) の場合は、自由水だけの場合はGMが非常に小さくなり固有周期が非常に長くなるが、当所の造波装置ではそのような長い波を作れないため同調付近の様子はわからなかった。heelした場合は自由表面の慣性モーメントがかなりへるため固有周期は殆んどもとのと同じになっているが、同調曲線は同調点で約半分の大きさになっている。なお、heelした場合

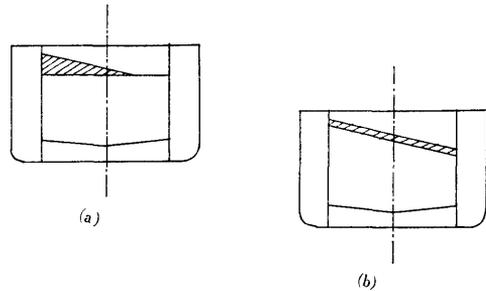


図 12

の実験は図12(a)の状態で行なったが、実際は(b)のような状態に近いと思われ、固有周期は実験で求めたものより長くなる。

B型 (図12) の場合は、自由水がある時は固有周期

表 4 自由横揺周期

	T (sec) 計測値	自由表面補正をしたGM(cm)	T (sec) 計算値
A型 砂	1.82	—	—
A型 水 直立時	6.09	0.60	4.49
” 19.5°heel	1.72	3.52	1.85
B型 水 直立時	2.13	2.67	2.12
” 17.8°heel	1.60	3.52	1.85

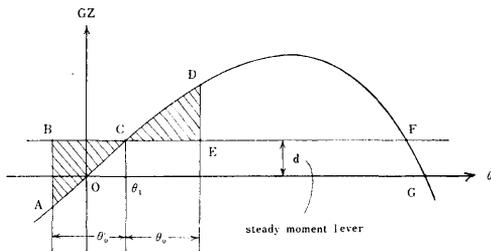


図 11 復原力曲線

が長く、自由水がありかつ heel している場合は逆に固有周期が短くなるだけで、同調曲線の大きさはものとあまり変っていない。

タンク内の上澄み液の運動を考えた場合、その自由波動周期は mode が奇数の場合は表5のような<sup>3)</sup>。mode が偶数の場合は波動はタンクの中央に関して対称となり転覆モーメントには影響を与えない。上澄み液の波動周期はA型、B型ともに船の固有周期に比べて非常に短いため、上澄み液が激しい同調運動を起す事はないと思われる。特にA型直立時の場合、自由水の波動周期は船の固有周期に比べて非常に短いため、自由水の水面が常に水平と仮定して簡単な計算を行なうと同調時の振幅は  $\theta_0/\omega = 6.3$  となり、自由水のない場合とはほぼ同じ振幅になる。

表 5 自由水の波動周期

	$T_1$ (sec)	$T_3$	$T_5$
A型 直立時	1.72	0.59	0.37
B型 直立時	0.93	0.34	0.23

一般に横揺は自由横揺と強制横揺とからなり、強制横揺は波の周期に等しい周期と外力によってきまる振幅を持つ運動であるが、自由横揺は初期条件によってきまる運動で、普通の場合は  $e^{-at}$  の項はいるため時間と共に消失するが、場合によっては  $e^{at}$  の形ものが現われる事があり、この場合は傾斜は時間と共に増加して船は転覆してしまう。自由水がある場合、自由横揺に  $e^{at}$  のような項が現われないための条件は自由表面補正後のGMが正であればよいという事が求められている。A型、B型共に自由表面補正後のGMは正だから力学的に安定で、これは静水中での自由横揺試験で動揺が減衰する事からも見られる。

粒状貨物の船舶による輸送においては貨物の移動による復原性の悪化が問題になっており事故例も報告されているが、石炭スラリーの沈積物に対しても同様の懸念が持たれる。しかし、これに対する運動力学的取扱いは現状では不可能で、静力学的な考え方にもとづいた解法が試みられているにすぎない。その概要を粒状貨物の場合について付録一2に述べる。粒状貨物はある角度以上傾斜してないと移動を起さないため、運動は不連続となり理論的取扱いは困難である。一般に貨物が移動すれば、船は角度  $\theta_i$  だけ heel し、その状態で  $\theta_0$  の横揺、つまり  $\theta_i \pm \theta_0$  の運動をする。大凡  $\theta_0 > \mu$  ( $\mu$  = 安息角) の場合は  $\theta_i$  の如何にかかわらず貨物の移動が起るが、 $\theta_0 < \mu$  の場合は安定した横

揺状態になる  $\theta_i$  が存在する。また、シフティングボードを入れたり、トリミングハッチをつけたり、フリーボードを増す事により非常に安定性を増す事が出来るので、貨物の移動が起っても必ずしも危険になるとは限らない。

## 6. 結論

直立及び傾斜時の自由水が船の動揺、安全性に与える影響を調べるために行なった実験から、次のような事がわかった。

1. A型、B型船型ともに自由表面補正をしたGMは正で、自由横揺を考えた時力学的に安定である。
2. タンク内の上澄み液の自由波動周期は船の固有周期に比べてかなり短いため、上澄み液が激しい同調運動を起す事はない。
3. A型  
直立時は上澄み液による慣性モーメントが大きい  
ためGMが非常に小さくなる。傾斜時はGMは再び  
大きくなり、同調曲線は同調点で自由水のない直立  
時に比べて小さくなっており、動揺性能は良くなっ  
ている。
4. B型  
タンク中央の仕切りにより上澄み液の慣性モー  
メントがかなり小さくなるためGMの減少は小さい。  
動揺性能は、固有周期と同調曲線の大きさが少しか  
わるだけで大きな差はない。従って自由水のない場  
合に比べて安全性は大差ない。
5. 最も安全性が問題となるのは同調時で、傾斜時は  
A型が振幅は小さいが、これは図12(a)の状態であ  
って、実際ありそうな(b)の場合をもっと直立時の性質  
に近いと思われる。直立時はA型、B型ともに振幅  
は同じくらいで、GMはA型がかなり小さい。従  
ってB型の方が安全であると思われる。

## 参考文献

- 1) 田中和美外「石炭のスラリー輸送に関する研究とその考察」資源技術試験所報告第68号、昭和42年
- 2) 瀬川、森、峰、吉清水、中下「石炭スラリーに関する研究」芝浦工大卒業論文、昭和41年
- 3) Lamb「Hydrodynamics」
- 4) 渡辺忠弘「自由表面補正の力学的意義と粘性流動貨物運搬船の不安定について」造船協会誌 419号

## 付録一 横揺と安全性

横揺と安全性との関係について簡単に述べてみる。

傾斜角  $\theta$  を横軸に、復原挺  $GZ$  を縦軸にかいた曲線 (図11) が復原力曲線で、この曲線のかこむ面積に排水量  $W$  をかけたもの

$$\int W \cdot GZ \cdot d\theta$$

がその船のもつ安全性の potential energy を示し、転覆しないためにはこれで外力の仕事を取り除かなければならない。

積荷の移動や定常風のため船にある moment が働き  $\theta_1$  なる steady heel を起し、波のため  $\theta_1$  を中心として動揺しているとする。安全性の potential energy は steady heel のため  $\theta_0$  より  $\theta_1$  に減少し、 $\theta_1$  を中心として動揺をするため波によりなされる仕事は

$$\int_{\theta_1-\theta_0'}^{\theta_1} W \cdot (d-GZ) d\theta = \int_{\theta_1}^{\theta_1+\theta_0} W \cdot (GZ-d) d\theta$$

となり、この仕事のため常に  $\theta_1$  の energy が使われている事になり、船が実際に持っている有効な potential energy は  $\theta_1$  となる。この energy で突風等による仕事を吸収しなければならない。

従って安全性の面からは一般に  $GM$  が大きく heel がなくかつ横揺れ振幅が小さい事が望ましい。

付録-2 粒状貨物の移動

粒状貨物の斜面  $AB$  上の一点を考える (図13)。

こらせる力  $P_f = P_t = P \cdot \sin \phi$

こりを止める力  $P_s = C \cdot P_n = C \cdot P \cdot \cos \phi$

移動しない条件は  $P_f > P_s$

$$\therefore C \equiv \tan \mu > \frac{P_t}{P_n} = \tan \phi \quad \mu: \text{安息角}$$

横揺している場合は、

$$P_n = m(g \cos \theta - r\ddot{\theta} \sin \alpha - r\dot{\theta}^2 \cos \alpha)$$

$$P_t = m(g \sin \theta + r\ddot{\theta} \cos \alpha - r\dot{\theta}^2 \sin \alpha)$$

上式中、第2項は慣性力、第3項は遠心力を表す。移動は一般に swing end で起る。そこで  $\theta = \theta_0$ ,  $\dot{\theta} = 0$ ,  $\ddot{\theta} = \ddot{\theta}_0$  とおくと、移動が起らないための条件は

$$C \equiv \tan \mu > \frac{\sin \theta_0 + \frac{h}{g} \ddot{\theta}_0}{\cos \theta_0 - \frac{x}{g} \ddot{\theta}_0}$$

となる。従って、 $x$  が大つまり舷側に近いほど、 $h$  が大つまり  $G$  より高いほど、また  $\theta_0$ ,  $\ddot{\theta}_0$  が大きいほど移動しやすい事がわかる。

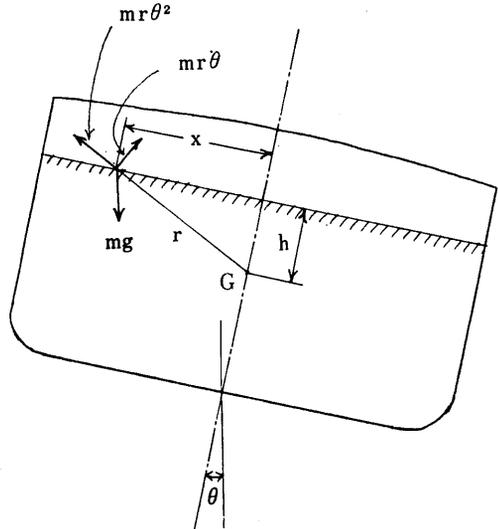
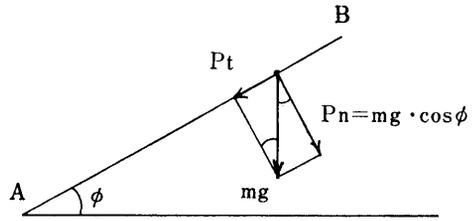


図 13 移動のメカニズム

II 石炭スラリーの揚陸装置の研究

1. 実験装置

図1は、実験装置の概要を示したものである。

船倉タンク模型は、その内部をさし板により3区画に縦割りとし、それぞれ、スクリュー式コンベア、チェーン式コンベアおよびジェット水の実験区画に当てられている。タンク的一端にはウエルを設置し、ここに石炭スラリーポンプ吸込管の開口を設けた。また、ウエルには石炭スラリーの沈殿をかくはんするために、ロッド式のアジテータが設置されている。

石炭スラリーポンプと、船倉タンクとの間の配管には 5"φ 管を使用し、管長は最も短いものが 1.5m、最も長いものは約 5m である。ただし、この最長管の開口は船倉タンク底中央に設け、開口部にはアジテータを設置していない。なお、本配管4本には、それぞれボールバルブを配し、ラインの切替ができるように

されている。

石炭スラリーポンプの吐出部と貯蔵タンクを結ぶラインには、3"φ管が使用されており、ポンプのシャフトセンターと、吐出用パイプラインの最頂部との差高は約9 mである。このパイプラインの貯蔵タンク側端末には、ポンプの流量調節のために仕切弁が設けられ

ている。

貯蔵タンクには、底部中央にウエルを設置し、その直下に175φの仕切弁を置き、その先に長さ約500mmの7"φ管が接続されている。この管と船倉タンクとの間はチャンネルで結ばれ、これらのパイプおよびチャンネルにより石炭スラリーの循環ラインが形成され

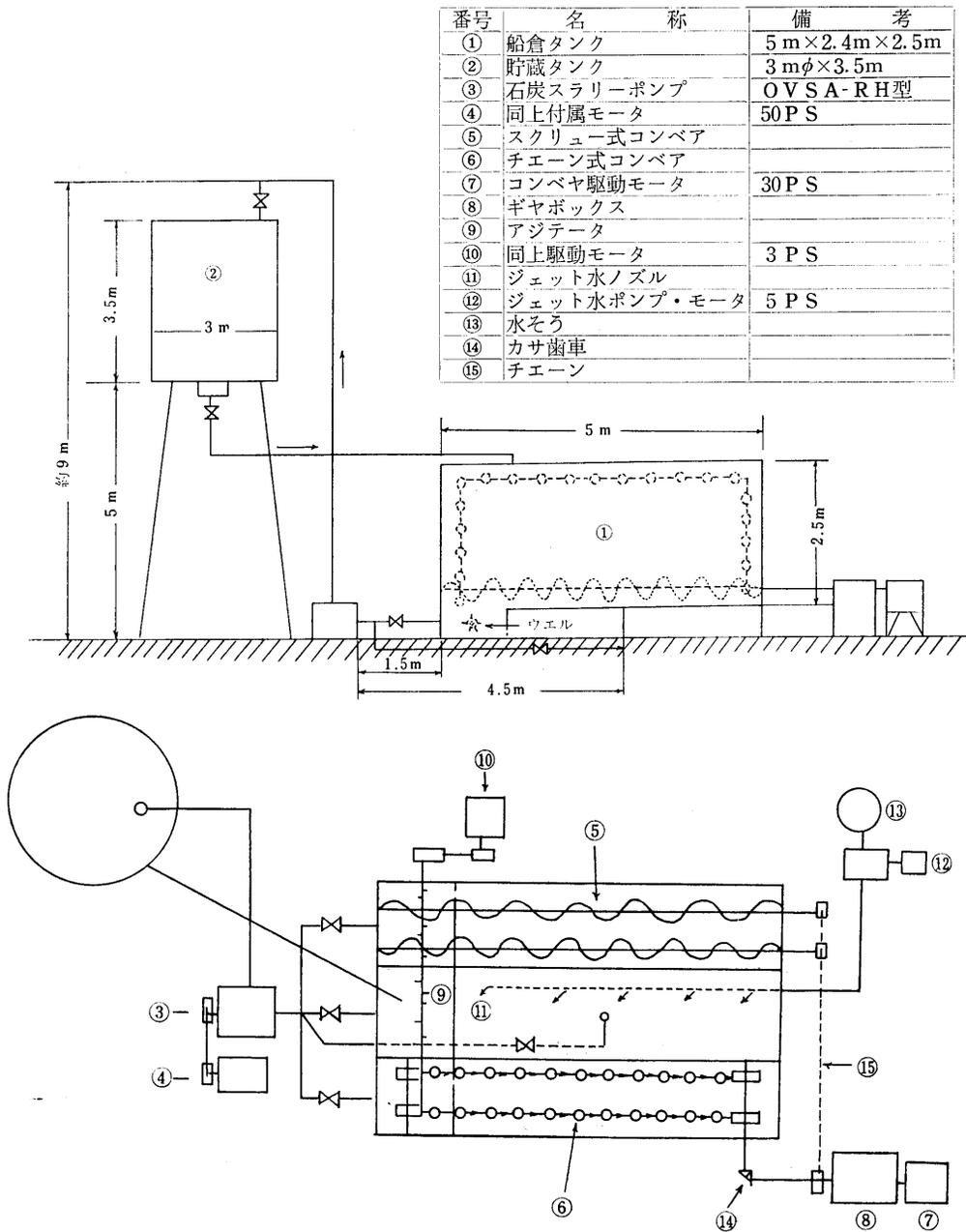


図 1 揚陸実験装置

ている。

石炭スラリーポンプおよびその駆動用モータの仕様はつぎのとおりである。

ポンプ仕様		モーター仕様	
形式	OVSA-RH	形式	EFOU-KK
吐出量	60m <sup>3</sup> /h	出力	50PS
全揚程	30m	電圧	200V
回転数	1,450rpm	電流	130A
		周波数	60 $\approx$
		回転数	1,730rpm

スクリーユ式およびチェーン式コンペアの駆動機構は、図2および図3に示したとおりである。

スクリーユ式コンペアのスクリーユは、直径 300

mm, ピッチ 300mm である。2本のスクリーユは、図に示したように、右ネジおよび左ネジになっているので、スクリーユが回転すると石炭スラリーは2本のスクリーユの間に巻き込まれ、左側に押し出されることになる。

チェーン式コンペアは、68.6 $\times$ 49のリングをベースとし、図に示したように、8個目ごと(約320mmピッチ)に、ピンポンのラケットに似たスクレーパ(100 $\times$ 120)がリングに溶接されている。

## 2. 供試石炭スラリー

供試石炭スラリーは、通産省資源技術試験所において調製されたもので、石炭分総量は約15トンである。

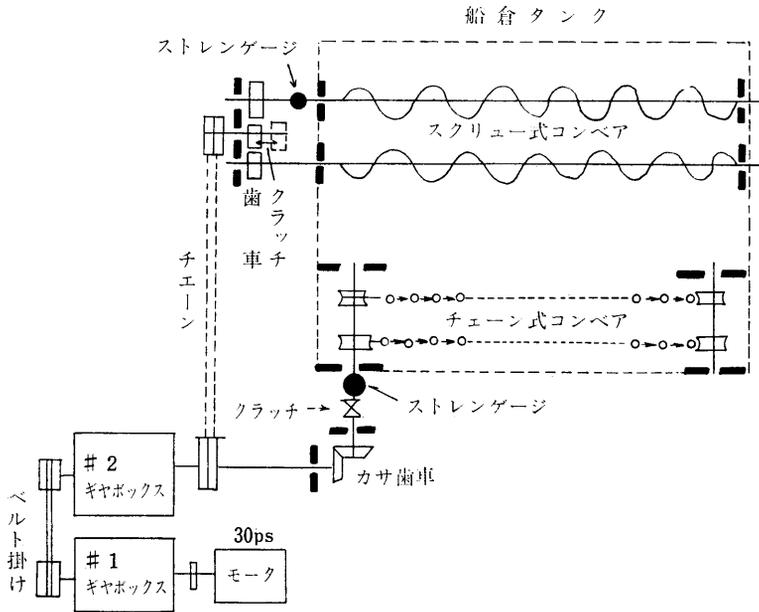


図 2

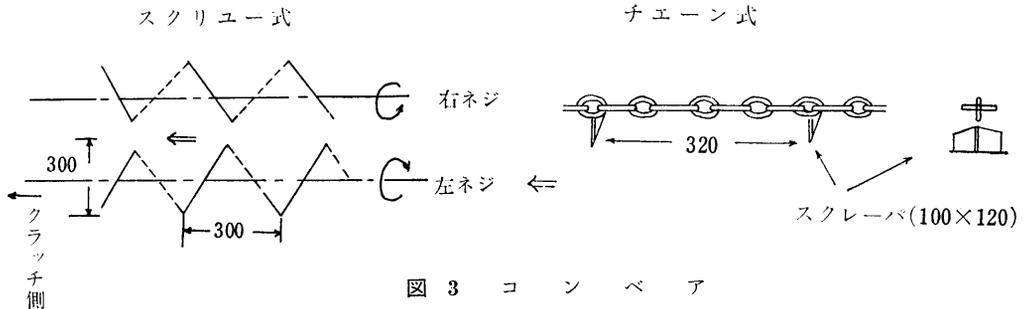


図 3 コ ン ペ ア

表 1 調製炭粒度分布

粒 度 (mesh)	#1 Prod.		#2 Prod.		#3 Prod.		調 製 ス ラ リ ー				
	wt%	Cum wt%	wt%	Cum wt%	wt%	Cum wt%	#1 Prod. 35%	#2 Prod. 25%	#3 Prod. 40%	Total wt%	Cum wt%
+8	2.5	2.5	—	—	—	—	0.9	—	—	0.9	0.9
8~14	42.7	45.2	—	—	—	—	15.0	—	—	15.0	15.9
14~28	36.7	81.9	—	—	—	—	12.8	—	—	12.8	28.7
28~48	15.2	97.1	14.8	14.8	—	—	5.3	3.7	—	9.0	37.7
48~100	0.5	97.6	28.2	43.0	11.5	11.5	0.2	7.1	4.6	11.9	49.6
100~200	2.4	100.0	21.9	64.9	28.0	39.5	0.8	5.5	11.2	17.5	67.1
200~325	—	—	10.1	85.0	19.1	58.6	—	2.5	7.6	10.1	77.2
-325	—	—	25.0	100.0	41.4	100.0	—	6.2	16.6	22.8	100.0

その粒度分布は、スラリーとしての安定性があり、流送に最適と考えられる構成に調製されている。これを表1に示す。

これに適当量の水を加えて、実験に必要な濃度のスラリーに調製した。

本実験に用いたスラリー濃度は50, 55, 60, 70重量パーセントである。しかし、つぎに述べるような事情から、実際に実験に用いたスラリーのうち、60および70重量パーセント濃度以外のものは、上記の粒度構成になっていない。すなわち、輸送上の理由から#3 Prod.のみをスラリー化し、#1, #2 Prod.は粉体のまま資源技術試験所から輸送されて、実験用スラリーとして調製された。したがって、スラリーの調製には、#3 Prod.スラリーに、適量の水と#1および#2 Prod.を加えて調製せざるを得なかったため、濃度の低い50および55重量パーセントスラリーにおいては、当然のことながら、微粉の比率が高くなっている。ただし、後述のように、サンプリング試料の分析結果では必ずしもこのような構成になっていない。

なお、本実験で調製した70重量パーセント濃度のスラリーは、実験室的スケールではほとんど流動性がなく、たとえば、1ℓビーカーに入れて容器ごと倒してもなかなか流出しない状態であった。

### 3. 実験内容および方法

石炭スラリーというものを取り扱うことは初めてであり、どのような状況を呈するか想像できなかったため、つぎの点に重点をおいて実験を行なった。

- (1) 石炭スラリーはポンピング可能かどうか。可能であれば、石炭スラリーの濃度とポンプの性能曲線の関係はどのようになるか。

- (2) 沈殿層移送用コンベアその他の有効性はどの程度か。

各実験項目の内容は、それぞれつぎのとおりである。

- (1) 石炭スラリーの濃度を、50, 55, 60および70重量パーセントとし、また、ポンプの回転数を1,450 rpm および1,600rpm とした場合のそれぞれについて、ポンプ性能に及ぼす影響を求めている。

これらの場合、吸込管の長さがポンプ性能曲線に及ぼす影響の程度を知る必要があるため、予備実験として、50重量パーセントスラリーを用い、4本の吸込管それぞれについて実験を実施した。しかし、実験結果に現われた吸込管の影響はきわめて小さく、ほとんど実験誤差の範囲内であると認められたため、以後の本実験においては、中央の最短ラインのみを使用している。

流量の調整は仕切弁によって行ない、流量の測定は船倉タンクにおける液面の降下速度から逆算して求めている。

また、ポンプの回転数は、径の異なるプーリを交換して使用することにより変化させた。

なお、石炭スラリーの濃度をチェックするために、各実験の途中でサンプリングを行なっている。

- (2) 沈殿層移送用コンベアその他の有効性を観察するとともに、伝達軸にストレンゲージを貼付し、そのねじりひずみをFM式ストレンメータを介して直視式電磁オツシログラフに記録させてトルクを計測している。

ストレンゲージの貼付位置は、各コンベアの軸のタンク貫通部のすぐ外側である。

4. 実験結果およびその考察

4.1 石炭スラリーのポンピング可否、ならびに、濃度とポンプの性能曲線との関係

試作ポリユート型ポンプは、70重量パーセント濃度の石炭スラリーでも支障なくポンプアップすることができた。各試験ごとの実験結果は図4～10図に示したとおりである。

このポンプの設計仕様は、清水仕様で  $60\text{m}^3/\text{h} \times 30\text{m} \times 1,450\text{rpm}$  であり、これは図中に▨印で示されている。また、図11は、本石炭スラリーポンプの設計時点における予想性能曲線を示したものである。ただし、この場合対象と考えたスラリーの濃度は68重量パーセント、比重は1.24であった。

実験の途中サンプリングした石炭スラリーの分析結果を表2に示した。

表2 供試石炭スラリーの分析結果

濃度 (wt%)		公称	50	55	60	70	沈殿層 70.8
		実測	50.5	55.2	59.5	69.8	
比 重			1.15	1.16	1.18	1.26	1.3
粒 度 構 成 (wt%)	+8メッシュ		0	0	0.3	0.3	0.3
	8 ~ 14		0.8	7.0	10.1	9.9	7.6
	14 ~ 28		1.6	9.5	15.5	23.2	17.5
	28 ~ 48		3.2	9.9	14.1	14.3	6.5
	48 ~ 100		41.3	21.9	19.9	17.5	29.6
	100 ~ 200		38.1	29.8	25.6	21.8	25.5
	200 ~ 325		13.8	14.5	10.1	10.2	8.9
	-325		1.2	7.4	4.4	2.8	4.0

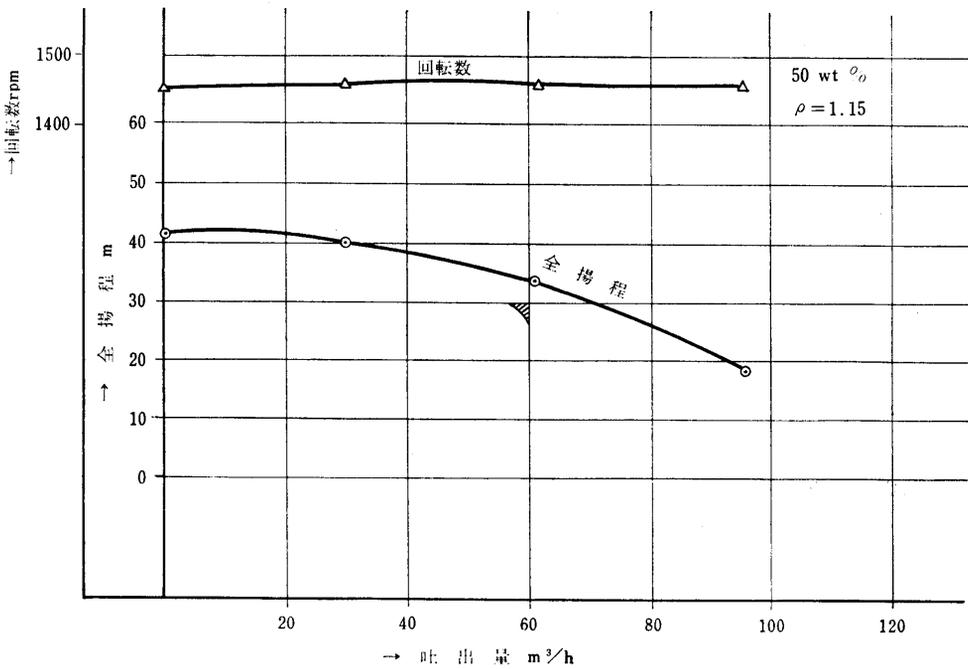


図 4

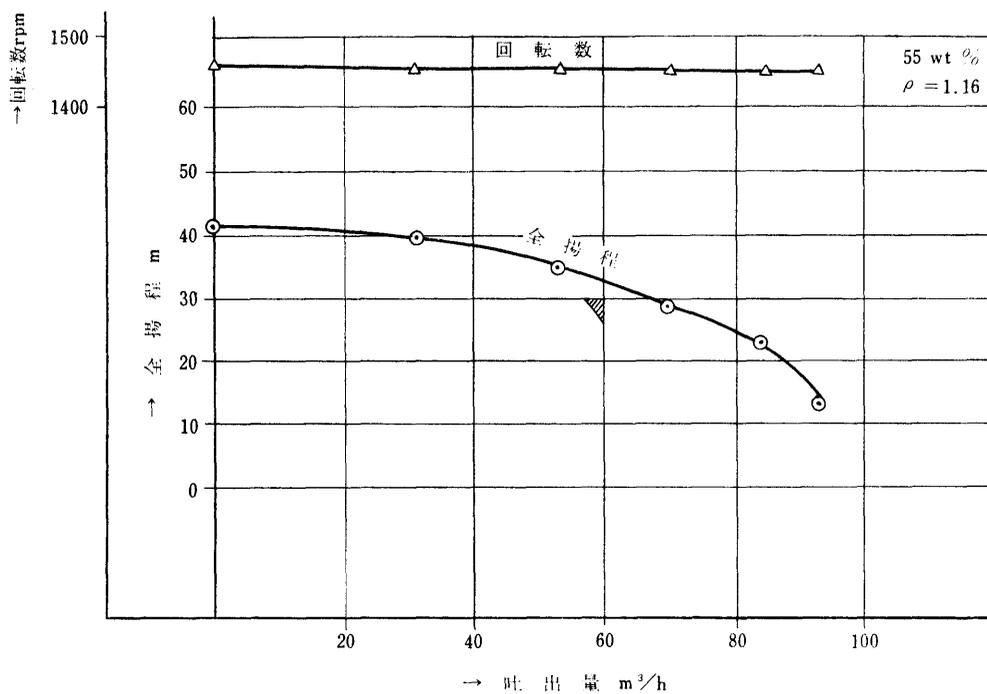


図 5

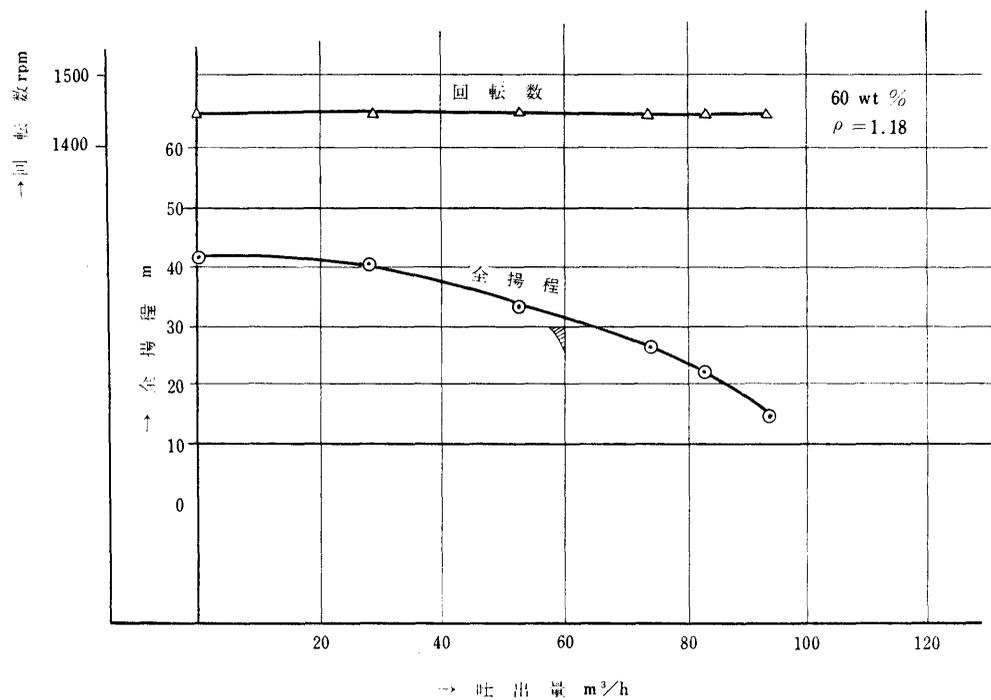


図 6

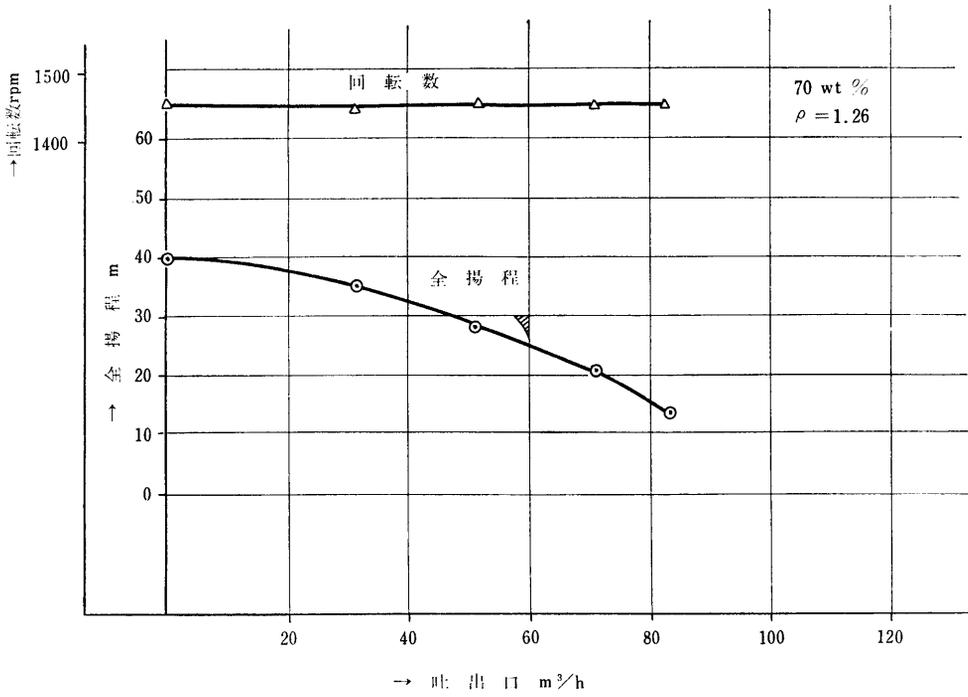


図 7

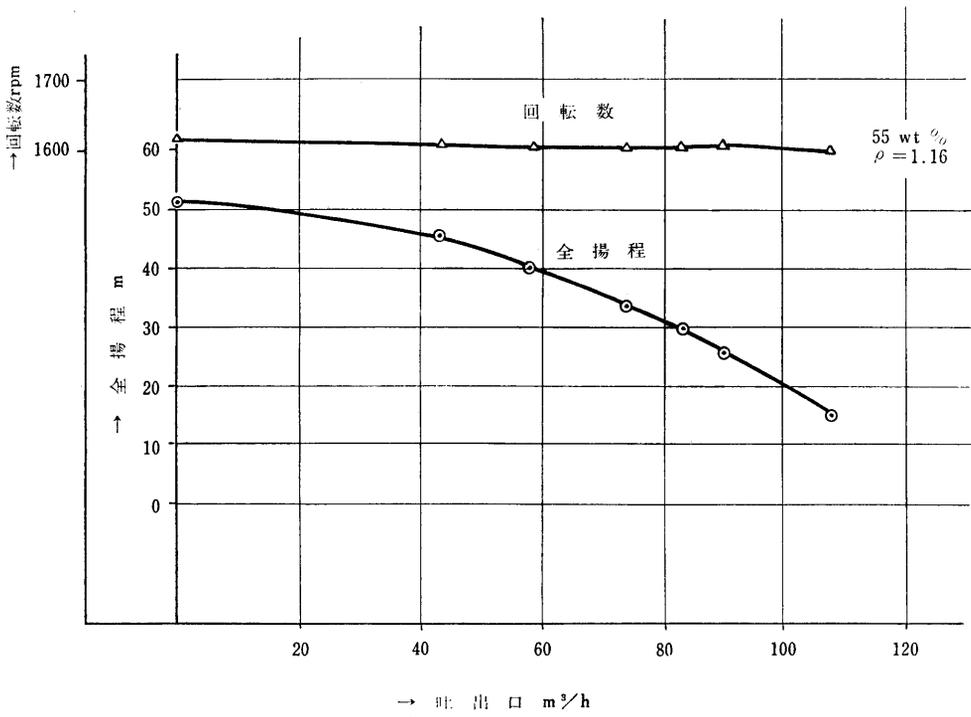


図 8

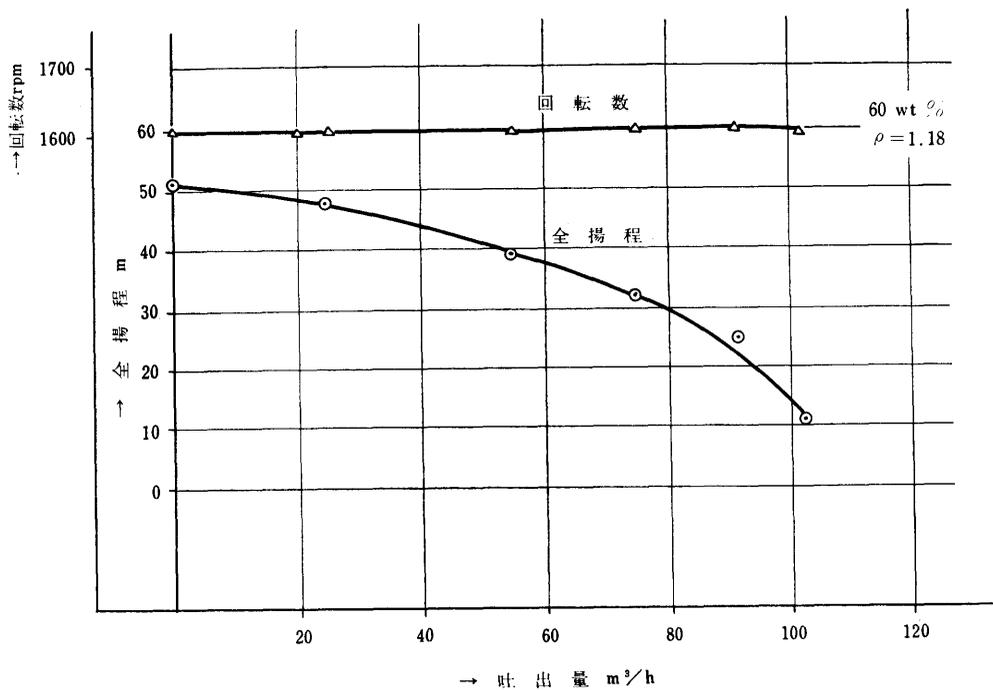


図 9

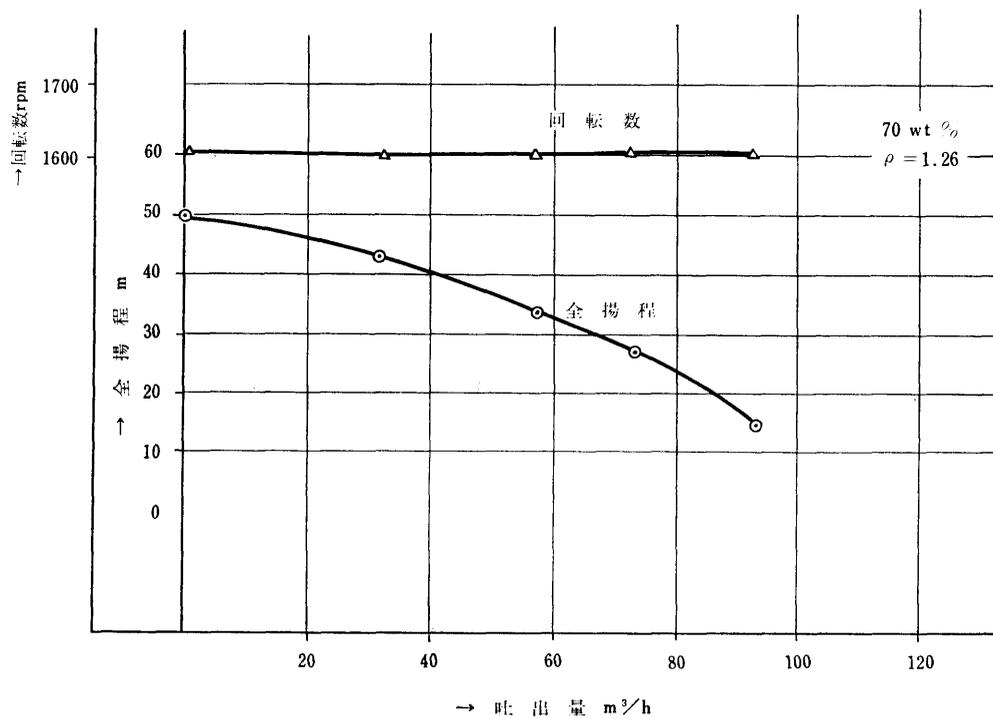


図 10

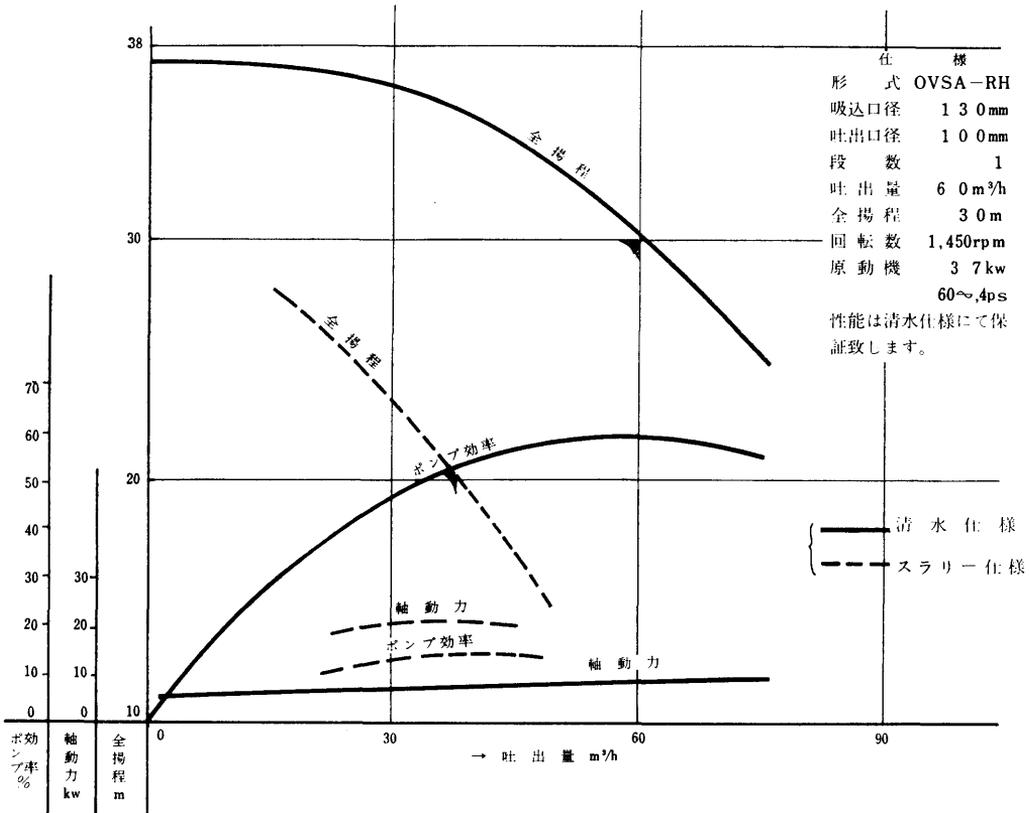


図 11 スラリーポンプ予想性能曲線図

4. 2 沈殿層移送用コンベアその他の有効性について

スクリー式コンベア, チェーン式コンベアの両者とも沈殿層をかき寄せるには有効であった。その運転に要するトルクについてはつぎのとおりである。

タンク新設時に, 軸受部のグリスなどが良好な状態で計測した結果を表3に示す。ただし, このときタンクはからであった。

表 3 コンベアの所要トルク

コンベア	起動時 kg m	停止時残留 (kg-m)
スクリー式	8.05	7.77
チェーン式	38.00	32.00

石炭スラリーによる実験は, スラリーの入手遅延その他の事情で装置設置後約6カ月経過した後に実施せざるを得なかったが, この間装置可動部の保守が十分でなかったことなどのため, コンベア駆動用モータの力量が不足し空倉状態でもオーバーロードとなり, 十

分な運転ができず, 残念ながら, 十分な資料をうる事ができなかった。

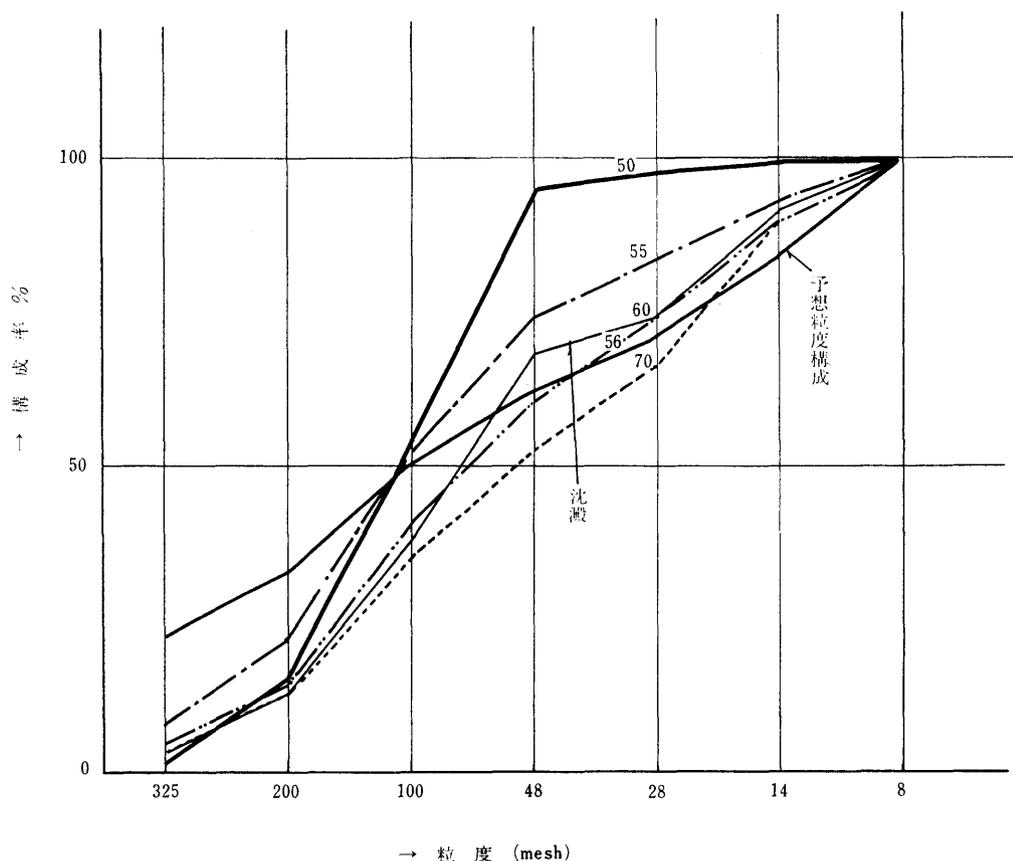
しかし, 観察結果によると, 両方式のコンベアともに沈殿層をかき寄せることはできたが, スクリュー式においては, スクリューにかからないコーナー部分, またチェーン式においては, スクレーパーにかからない部分に沈殿層が残存することになった。したがって両方式ともに, その形状については再検討の要があるものと思われる。

つぎに, ジェット水によって壁などに付着しているスラリーの洗い流しを試み十分可能であることを確認した。さらに沈殿層に対しても有効性を試みたが, 水タンクの容量が小さ過ぎたため小時間の噴射しかできず, その効果を確認するまでには至らなかった。

4. 3 供試石炭スラリーの粒度構成について

表1に示された調製石炭スラリーの粒度構成と, 表2に示したサンプリング試料の分析結果とを同一グラフ上で比較すると図12のようになる。

この図から, サンプリングされた供試スラリーでは



→ 粒度 (mesh)  
 図 12 石炭スラリーの粒度構成

200 メッシュ以下の粒度のものがきわめて少ないことが容易にわかる。特に、微粉スラリー (#3 Prod.) を主体とする 50 重量パーセントスラリーにおいては、200 メッシュ以下のものが著しく少なく、このことは奇異にさえ感じられる。

なぜサンプリング試料に 200 メッシュ以下の微粉が少ないかについて、以下に若干の考察を試みる。

(1) サンプリング試料の信頼度について

表 2 に示された値は、各濃度の供試スラリーについて 2～3 回サンプリングしたものの平均値である。50 重量パーセントスラリーにおいて 325 メッシュ以下が極端に少ないことは、この場合サンプリングに偏りがあったのではないとも考えられる。しかし、図 12 に示されたように、全供試スラリーを通じて 200 メッシュ以下のものが表 1 の値を上回るサンプリング側が皆無であったことは、やはり供試石炭スラリー中に含まれる該当粒度のものの絶対量が少なかったと判断せざるを得ない。

なお、スラリーの一般的性質として、粒度の大きい

ものは沈殿しやすいことがいえるから、循環中のスラリーからサンプリングした試料では微細粒子の占める割合が実際よりもいく分上昇するものと考えられるので、上述の判断は誤りないと考えられる。

(2) 200 メッシュ以下が少ない理由

これについては種々の原因が考えられる。

(a) #3 Prod. は資源技術試験所においてスラリー化して送られてきたものであるが、これを主体として調製された 50 および 55 重量パーセントスラリーにおいて該当の粉子はかなり少ないことは、資源技術試験所におけるスラリー化の工程で飛散などによる相当量の損失があったのではないかと、ということを示唆する。この点については、スラリー化作業の実際がわからないので断定できないが、該当粒子が非常に微細でわずかな風が存在でも飛散しやすいことを考慮すれば可能性としては一番大きいように思われる。

(b) #2 Prod. については、前述のとおり、袋詰めにして輸送されており、したがって、袋詰め作業および開封作業の際該当粒子が空中に飛散したことは間

違くない。特に、開封作業は実験装置の側の吹きさらしの屋外で行なわれ、この際微細粒子が煙霧のように飛散することを防ぎ得なかったので、その損失はきわめて大きかったものと判断される。

(c) サンプル試料の脱水乾燥時における損失も考えられるが、この作業は相当注意深く行なわれており、もし損失があったとしても誤差範囲以内であろうと考えられる。

(d) ふるい分けの際、一部の微細粒子がそれよりも大きな粒子に付着したままふるい分けられなかったことも考えられる理由の一つであるが、作業の入念さから判断すれば、これによる差もまた誤差範囲内であろうと考えられる。

## 5. 結 言

以上を取りまとめるとつぎのようになる。

(1) 70重量パーセント濃度の石炭スラリーでもポンピングが可能である。

(2) 流送に最適といわれる粒度構成でも沈殿は避け得ない。沈殿層の生成は静置日数の初めの4～5日間に急速に進み、その後は緩慢になる。

(3) コンベアはいずれのタイプも沈殿層をかき寄せのに有効である。

(4) ジェット水噴射によって壁に付着したスラリーを洗い流すことは可能である。