

水力による固形物の輸送について

Hydraulic Transport of Solid Materials

寺 田 進*
Susumu Terada

内 容 梗 概

流媒として液体を使った管路による固体の水力輸送法がこの数年来各方面で盛んに利用されるようになってきた。その著しい特長は、従来にあまり例を見なかったほどの遠距離や高圧下に行われること、管内径に比べて割合に大きな寸法のかたまりが送られること、高い固体含有濃度とされることである。そのために、今まで使われていた普通のサンドポンプやスライムポンプととなえられる渦巻形あるいは往復形のポンプ類では役にたたなくなつて、新しい形の水力輸送装置が生れた。ひとつはブレードレスポンプと呼ばれる完全な無閉塞性能の渦巻ポンプであり、別のものは筆者がハイドロホイストと呼ぶ装置である。後者の仲間、石炭の水力輸送装置として世界的に注目され、各国で競って開発されはじめた。わが国においても、垂直持上高さ 530 m、管路延長 1,100 m 余という世界最高記録のものの実用運転が始まった。

1. 緒 言

固体の圧力管路輸送が従来よりも広範囲に行われる傾向が強く現われてきた。流媒として空気を使う方法も近ごろいっそうの進展をみせているが、空気よりも比重の大きな液体を利用する方が有利な場合の方が多い。

液体を利用する方法としては、サンドポンプあるいはパルプポンプと呼ばれる渦巻ポンプやスライムポンプあるいはコンクリートポンプととなえられるピストン形またはプランジャ形の往復ポンプが、構造や運転操作の簡便さのために、かなり以前から広く活用されてきた。

しかし、被輸送物の形状・性質や輸送条件によっては上のような形式の各種ポンプでは、本質的にあるいは経済的に処理のむずかしい場合が多い。特に、従来別の輸送方法によっていたものが、経済条件の変動によって、管路輸送の方法に切換えを迫られた場合のごときには、在来の構造のポンプ利用の方式によっては手の施しようもないのが普通である。たとえば、本文中に詳しく述べるように、炭車巻上法によっていた坑内からの石炭の搬出を管路輸送法に改める場合など、できうる限りの大きなかたまりのまま、かつ流媒の量をなるべく減らしながら、垂直数百メートル、水平数千メートルにわたっても輸送するには、在来の観念のどんなポンプを持ってきても、経済的に役だつものは見当らなかった。それで、なにか新しいものをとの要求が叫ばれはじめた。このような要求が強まるにつれて、特殊の用途に利用されていた直接ポンプを使わない各種の流媒利用輸送法が各国で再検討されるようになった。さて、各種の在来の輸送装置は、いずれもそれぞれの特殊のせまい範囲内に限って使われているので、新しく要求される広範な使用条件にかなうためには、普遍性を与えるための研究が必要なことがわか

った。少しでも利用率を広げようとする、未知の壁が至るところに立ちふさがっている。たとえば、一定比重および寸法の固体粒子の群粒を所定の濃度で流媒に混じて送る場合に、必要最小寸法の管径はどんなものであるか、経済流速はいくらであるか、そのときの管路抵抗の大きさはどれほどかなどさえ、なにもわかつてはいなかった。筆者たちがそれらの研究に着手してからもすでに7年を経ている。期せずして各国がそれと前後して研究を始め、その成果の発表が専門誌をにぎわしはじめており、わが国でも昨今の関係各学会の大会ごとにいくつかの報告がそろって行われるようになってきている。しかしながら、未知の壁は至るところにぎっしりと厚く張りめぐらされていて、開通された突破口はまだきわめて少ない。文字どおりどろんこになりながら血のにじむ努力を続けて、新しい要求に応じうる範囲を広めるために筆者たちも戦っている。ここには、その目標や得られた効果の一部を紹介したい。

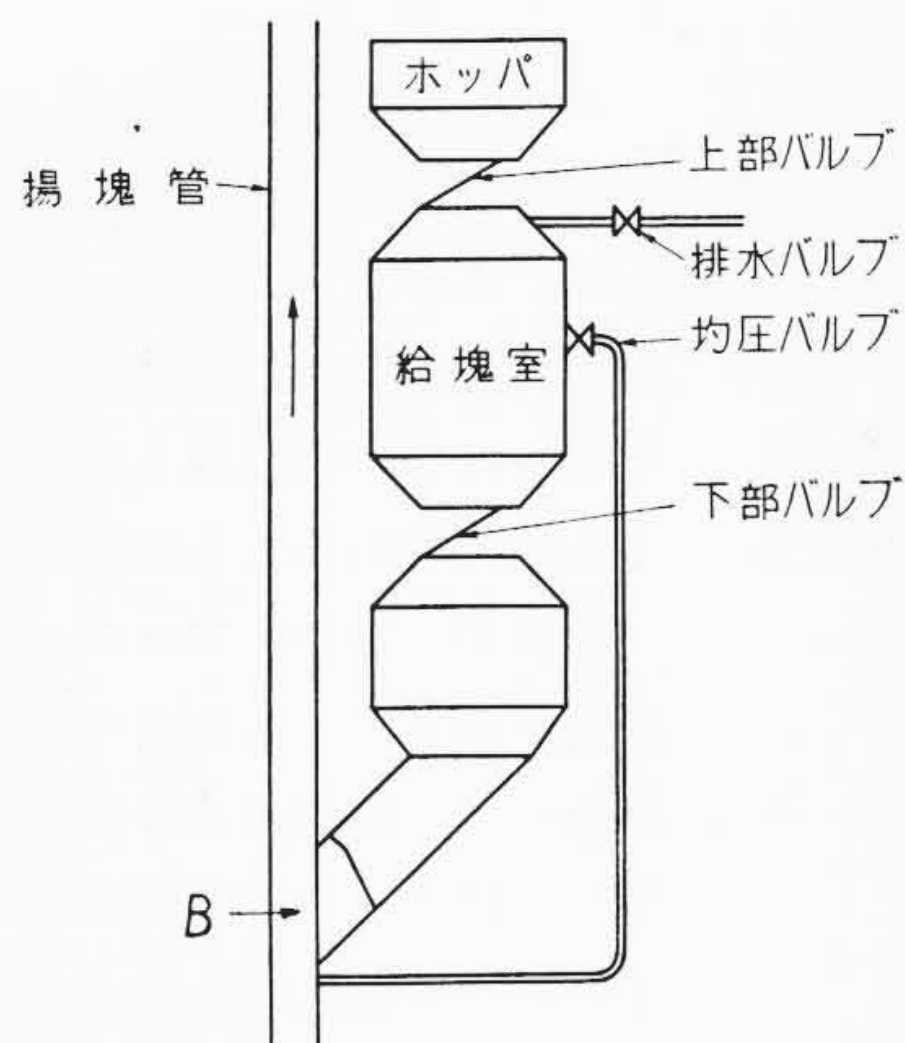
2. 管路による固体の水力輸送装置の作用原理

この装置で固体を輸送するには、流媒に動的圧力を与えねばならないことはすぐに考えつくが、固体に対してもその固体が圧力流媒中に混ぜられて排除する体積に相当する体積の流媒が持っているはずの圧力エネルギーを加えなければ、圧力のある流媒中に固体を混ぜることはできない。

2.1 ハイドロホイスト

第1図は坑内の排水ポンプによって押し上げられている管内の圧力水中に、亜鉛鉱石塊を投入して、その水とともに高所の坑口まで持ち上げる装置である⁽¹⁾。筆者は、このようにポンプの吐出側で高圧管路中に固体を混じて水力輸送する装置を一般に“ハイドロホイスト”と呼び、その中でこの例のようなものを側筒重力式ハイドロホイ

* 日立製作所亀有工場



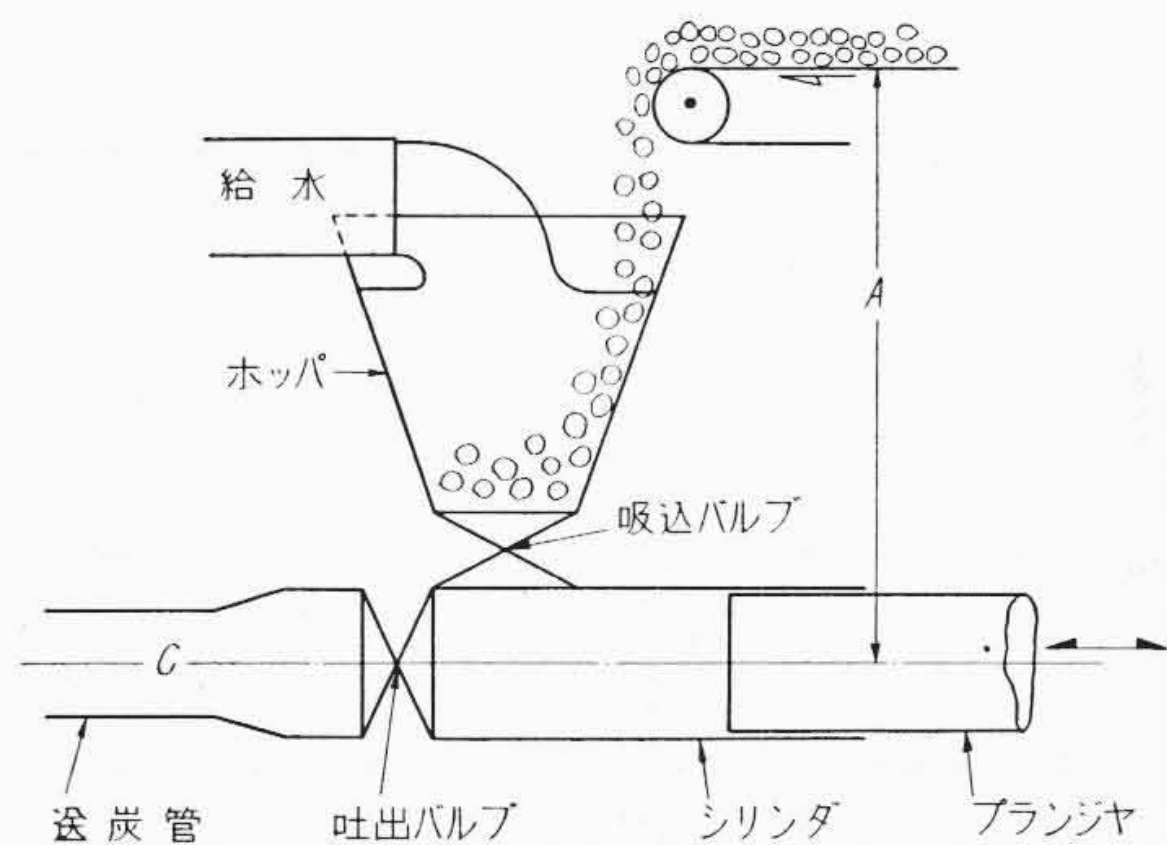
第1図 側筒重力式ハイドロホイスト

ストととなえることにする。

まず最初は、揚塊管中を高圧の水だけが上方に向かって流れている。均圧バルブを開いておくと、給塊室中も下部バルブ室中も揚塊管中と同じ圧力の水が満ちている。ホッパ中に鉱石塊を入れておいて、均圧バルブを閉じ、次いで排水バルブを開くと、給塊室中の圧力が消えるので、上部バルブが開いて、鉱石塊は給塊室中に落ち込むが、下部バルブは圧力差のためにとじていて、鉱石塊は給塊室中にとまっている。一方、その鉱石塊によって排除された水は排水バルブを経て外に捨てられる。次に、排水バルブをとじ、均圧バルブをひらくと、下部バルブがひらき、鉱石塊は下部バルブ室を経て揚塊管中に落下し、流水に乗って上方に運ばれる。給塊室から鉱石塊が出た跡へは均圧バルブを経て高圧の水が補充される。これで、この装置の作用サイクルがひとつ済んだことになる。このように、各サイクルごとに、揚塊管中に投じられた鉱石塊の体積に等しい高圧水を排水バルブから捨てる必要がある。

上の装置においては、固体を輸送するためのエネルギーは清水ポンプによってまず水に与えられ、できた高圧水の一部を減圧して捨てることによって、固体を高圧水中に混入する。

この装置の出力は、B点での流媒と固体との混合液の圧力を P 、単位時間中に流れ去る混合液の体積を Q とすれば、出力 $=QP$ によって与えられる。一方、入力 $Q=Q_w+Q_s$ （ただし Q_w =混合液中の流媒の体積、 Q_s =固体の体積）とすれば、流媒用清水ポンプの効率 η_p 、混合点での流媒と固体との合流の方向によって決まる流媒の初めの圧力と混合後の圧力との差 αP 、各バルブからの漏れの体積 Q_l 、固体を混合点Bの位置からホッパまで持ち上げる仕事 $Q_f A/\eta$ （ただし η =持上効率）などによって決まる。すなわち、



第2図 往復形サンドポンプ

$$\text{入力} = Q_w P(1+\alpha)/\eta_p + (Q_s + Q_l) \cdot P(1+\alpha)/\eta_p + Q_f A/\eta$$

である。右辺の最後の項は事実上は省略することができて、固体の比重の大きいことは、入力に対しては P の増大に応ずる程度以上には影響しない。

2.2 往復形サンドポンプ

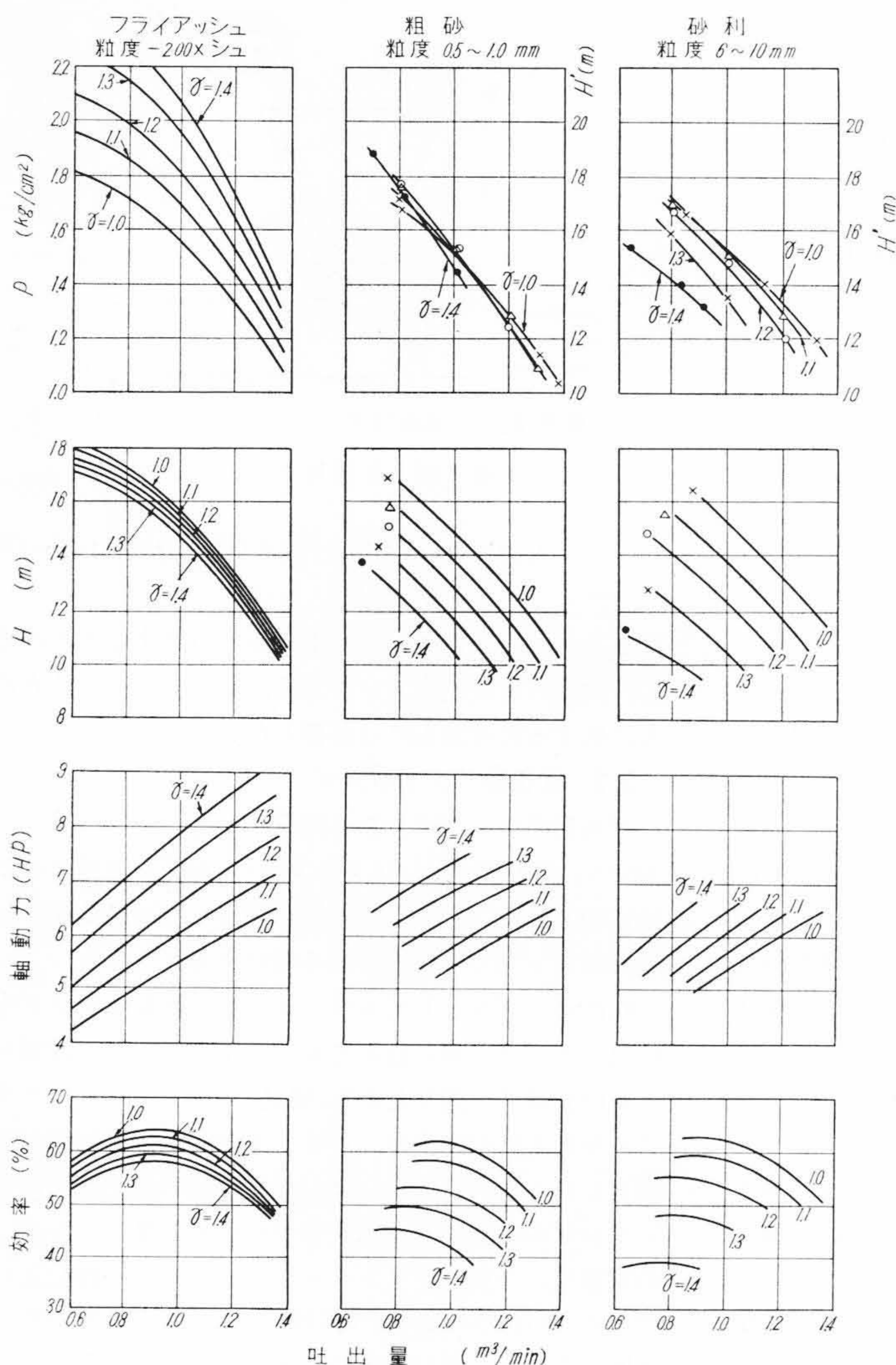
在来形のポンプは、水と固体とを低圧下で一緒にしておいて、ポンプに吸い込ませてから、加圧し流動させるために使われる。その最も簡単な例として、第2図のような往復ポンプで石炭塊を送る場合を考えてみる。

吐出バルブをとじておき、プランジャをシリンダ中で吐出バルブまで押し込んでおく。ホッパ中へ石炭塊と水とを所要量ずつ送りながら、吸込バルブをひらき、プランジャを外方に引き出す。シリンダ中へ所定量の混合液を満したのちに、吸込バルブをとじ、吐出バルブをひらくとシリンダ中の混合液は送炭管中の高圧と等しくなる。その状態で、今度はプランジャをシリンダ中に押し込んでやると、混合液は送炭管中に吐出され、C点において一定速度をうれば、混合液中の石炭は途中で沈でんすることなく、流媒とともに送られる。送炭管中の圧力を P 、単位時間中にシリンダから吐出される混合液の体積を Q とすれば、この装置の出力は QP によって示される。入力 $Q=Q_w+Q_s$ とする。流媒だけを送る場合のポンプの効率を η_p とすれば、流媒に対する入力 $Q_w P/\eta_p$ である。固体に対しては、 $Q_s P/\eta_p$ のほかに、流媒よりも重い固体を静止状態から流動状態にまで加速するのに必要な仕事のための追加入力が必要であり、また固体を混じったためのプランジャとシリンダとの間の摩擦力の増加や、各バルブでの漏量の増加のためなどの入力増加が見込まれる。

しかし、この場合にも、圧力 P が相当に高いと、固体の比重の大きいための入力増加の量は P に応ずるもの以外は無視してもよい程度となる。

2.3 渦巻形サンドポンプ

この場合には、前の二つの例とはかなり異なってい



第3図 渦巻形サンドポンプの性能

る。第3図は、口径80 mmの渦巻ポンプで各種の固体を送ったときの長谷川氏の実験結果である⁽²⁾。吐出量を種々変えた場合の吐出圧力 P の変化を各種固体の各濃度(混合液の比重 γ で示してある)ごとに示してある。この図は、サンドポンプの広範囲にわたる性能をよく示しているものであって、粒子の大きさの影響が実に明らかに説明される。-200メッシュの粒度の極微粉であるフライアッシュの場合には、濃度が高まるにつれて、混合液の比重にほぼ比例して吐出圧力が高まっていく。粒度が0.5~1.0 mmの粗砂の場合には、濃度があまり烈しく高まらない範囲内($\gamma=1.3$ まで)では、吐出圧力は水だけの場合とあまり変わらない。これに反して、粒度が6~10 mmの砂利では、 $\gamma>1.1$ になると、濃度が高まるにつれて、吐出圧力は逆に減じ、吐出量も減っていくことが

わかる。

ポンプの所要軸動力は、いずれの場合にも混合液の比重にほぼ比例してふえているが、フライアッシュの場合には極微粒のための粘性増加の影響も少し現われて、それ以上に軸動力が増加する傾向のあることがわかる。

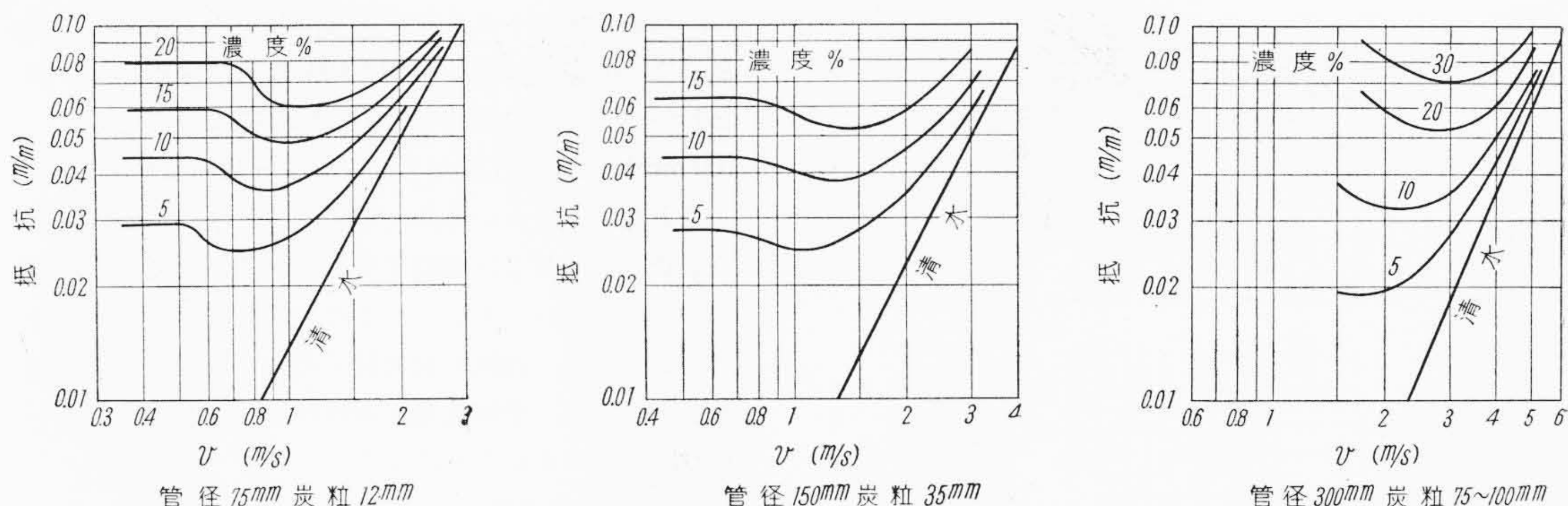
それで、フライアッシュの場合には濃度が高まってあまり効率は低くならないが、砂利のときには著しく低くなり、粗砂はその中間となっている。さらに、全般的にみると、濃度があまり高くない範囲内においては、効率の最高となる吐出量がほぼ一定しており、一定以上の濃度になるとその吐出量が小さくなっていくことが認められる。

次に、従来習慣的に使われていた方法すなわち渦巻ポンプの発生揚程を混合液の液柱 H で表わす方法で示すと第3図中の上から2番目の各図となる。この図が示すことは、フライアッシュの場合には、濃度が大幅に変わっても H はあまり大幅には変わらないが、粗砂や砂利のときには、 H は濃度の高まるとともに逆に低下し、特に砂利のときには低下の度が烈しいということである。

さて、最近では、固形物を含む液を管路輸送する場合の所要抵抗を、混合液の液柱ではなく母液の液柱で表わすことがしだいに多くなってきていることに関連して、サンドポンプの揚程を

相変らず混合液の液柱で示すことに疑問を持った筆者は、以上の状況そのほかから、次のような結論を出すに至った。

-200メッシュ以下の極微粒子になってくると、その混合液はコロイド状を呈してくる。それで、混合液が粘性を帯びないかぎりにおいては、比重の大きな均等質液を扱うときと同じ状況をポンプが呈し、ポンプの吐出揚程を混合液柱で表わすと、濃度の高低にかかわらず、常にほぼ一定の揚程数値が得られるし、抵抗を無視すれば実際にその高さまで垂直に混合液を上げることもできるはずである。固体の粒度があらくなって、コロイド状に遠ざかると、母液と固体との間にすべりが生ずるので、混合液中での実際の濃度は、混合液の刻々の流速の変化に応じて変り、しかも管路からの吐出端で実際に容器に受



第4図 石炭塊混合水の管路抵抗

けて測定される混合濃度（一般に濃度とはこれを指し、混合液比重 γ もその場合のものである）とは一致しない。それで、混合液柱で揚程を示しても、この場合には実際上は意味のないものとなる。確実なものは、ポンプの吐出口で測定できる圧力の数値であって、これは絶対的なものである。したがって、サンドポンプの揚程は圧力で示すことが正しいことになる。もし、しいて液柱で示すとなれば、母液の液柱 H' で示すことも一つの方法であり、これは確定のできる数値である。そして、前に述べたような、管路の抵抗を母液の液柱で示す方法とも一致する。母液の液柱で示すとなれば、第3図の最上段の砂と砂利の場合には、 H' で表わした数字がそれに相当する。母液とは、-200メッシュ以下の極微粒子を均等に含んだコロイド状液をさすことが實際上適当であるから⁽³⁾、フライアッシュのときには、第2段目の図の H がそれに相当する。-200メッシュの極微粒子とそれよりもあらい粒子とが混合しているときには、それぞれの場合に応じた一定濃度をこえない範囲内では、-200メッシュの極微粒子と初めの母液とが均一に混じて、第2母液となったものとみなせば、混合液でポンプが発生する圧力は、その第2母液だけで発生する圧力に等しくなる。それで、混合液を渦巻ポンプで送るときには、その固体中のなるべく多量を-200メッシュまで粉砕するほうが高い発生圧力が得られ、一方粉砕によって管内流速を低くすることができるので抵抗が減じ、両者相まって輸送動力が少なくなることになる。

2.4 渦巻形サンドポンプの効率

従来、サンドポンプの効率としては、 $\eta_p' = (QH'\gamma/SHP)C$ （ただし、 η_p' = サンドポンプの効率、 Q = ポンプより単位時間中に吐出された混合液の全体積、 H' = 混合液柱で表わした全揚程、 γ = 混合液の比重、 SHP = 軸動力、 C = 定数）が使われているが、以上に述べたような理由によって、これはコロイド状の均等質液をなす-200メッシュの極微粒子の場合にはよいが、それよりもあらく

て不均等質液をなす粗砂や砂利のときには不都合な式であることになる。

それで

$$\eta_p' = (QP/SHP)C' \dots\dots\dots (A)$$

または

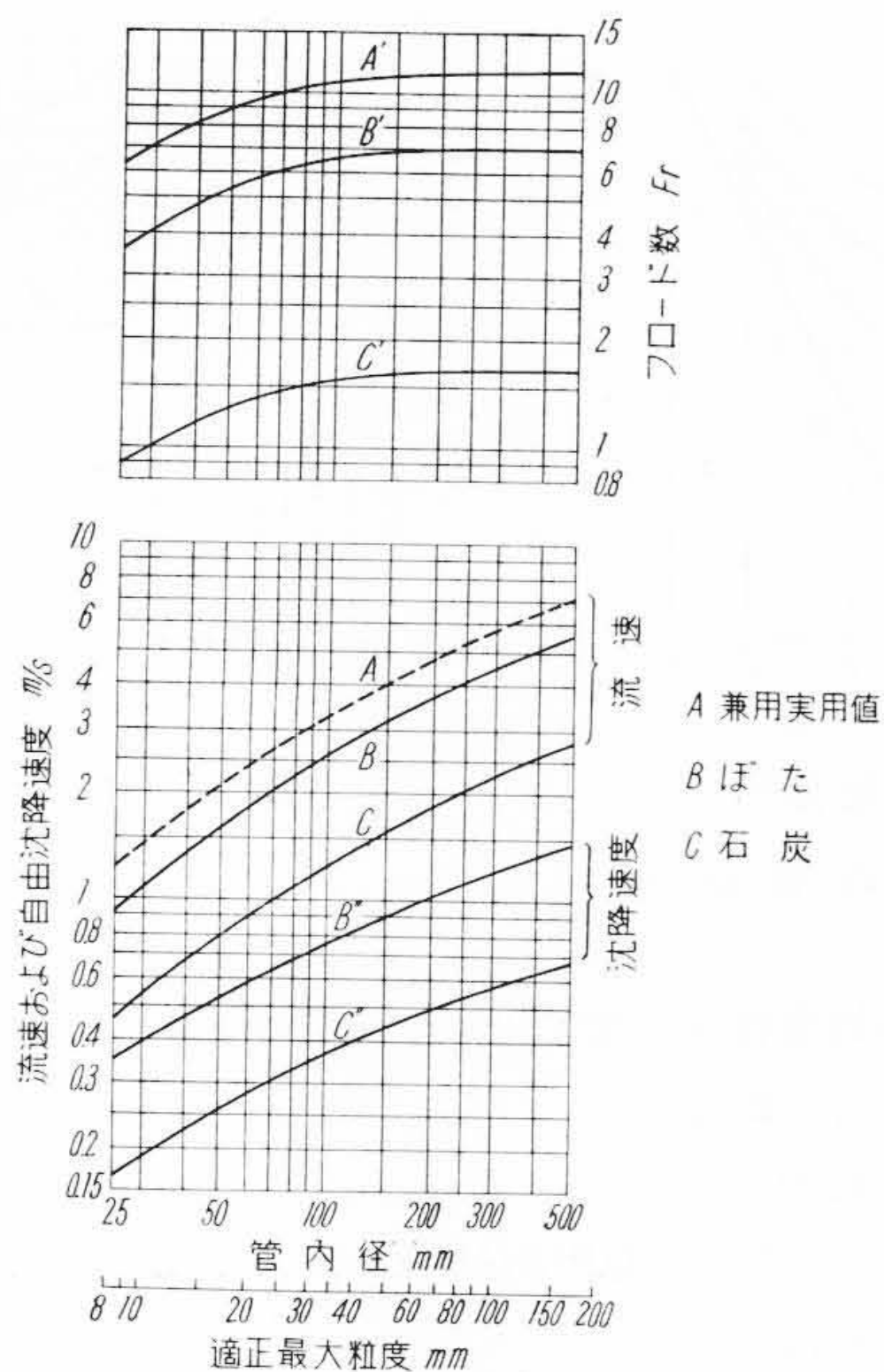
$$\eta_p' = (QH'\gamma'/SHP)C \dots\dots\dots (B)$$

（ただし、 P = ポンプの吐出圧力、 H' = 混合液中の母液の液柱で表わした全揚程 = $(P/\gamma')K$ 、 γ' = 母液の比重、 C' = 定数、 K = 定数）が考えられる。これらは、いずれも直接にまたは間接ながら正確不動のものが求められる。(A)は、(1)および(2)と同一表示法であって、渦巻ポンプの作用をポンプの吐出口での排除作用の点からだけみれば納得することができる。(B)は、ポンプの発生圧力は、母液の発生する揚程によって決まるということに関連して一応の説明はつくが、特別高濃度のときの現象を考えると必ずしも完全な式ではない。それで、(A)の式が普遍性のあるものとなる。

さて、渦巻ポンプは遠心力作用によって圧力を発生する。清水やコロイド液はその比重がそのまま発生圧力に利用されるが、すべりの生ずる不均等質混合液ではそれができない。重い混合液を振り回すに要する力は、混合液の比重に比例した軸動力として要求されるが、発生圧力は、最高の場合にも、母液が発生する圧力以上にはならない。したがって、あらい粒子を含む混合液の場合には渦巻形のサンドポンプは所要動力からみた効率上では不経済なことになる。

3. 管径、流速、粒度および濃度

これらの選定が固体の水力輸送の安全性および経済性を左右する大切な要素となっているが、実際にはそれぞれの作業のせまい範囲の経験値しか知られていないし、広範囲に活用しうる理論も完成してはいない。特に、本文でのおもな対象としている粗粒子の場合においては、経験がほとんどなく、実験結果の発表されたものもきわ



第5図 石炭塊混合水の実用速度

めて少ない。

3.1 ウォルスター氏の実験⁽⁴⁾その他

3.1.1 水平管の場合

これは、主として石炭の場合について行っている。管径 75, 150 および 300 mm のそれぞれの場合のものが第4図に示してある。横軸に混合液の平均流速が、縦軸に長さ 1 m あたりの抵抗が、母液（ここでは水柱）の高さで表わしてある。濃度は真体積でのものである。抵抗が最低となる流速 v は、濃度が高まるにつれて大きくなるが、同一濃度であっても、管径 D が太くなるにつれて大きくなる。流速をこの点よりも小さくすると、管内で固体の沈でんが始まり、母液の正味速度はかえって大きくなるので、抵抗はまた高まる。

この最低抵抗のところの速度と管径との関係を図示すると第5図のようになる。曲線Cは石炭のとき、曲線Bは礫（ぼた）のときのものである。フロード数 $Fr = v^2/gD$ で整理してみると、 C' および B' となり、 D が 100 mm 以上の場合には Fr がほぼ一定値となっている。この v に対して安全のために余裕を 30% つけると、石炭のときに $Fr = 2.7$ となる。オランダのフォンタイン氏は少量のぼたを含むことのある原炭に対しては $Fr = 2.2$ をすすめている⁽⁵⁾。しかし、これはヨーロッパの別のある資料において、同様条件の場合のものに対して、 $v = 5\sqrt{D}$ すなわち $Fr = 2.55$ としている⁽⁶⁾ものに比べて小さい。

一般に、炭畝においては、原炭輸送のほかに、ぼただけを単独輸送する必要があることが多い。そのため

に、ハイドロホイストを原炭とぼたの両者に兼用するとして、曲線Bに対して30%増したAにすることが望ましい。このAに相当する Fr は A' によって示され、100 mm以上の管路に対してはおよそ11の数値となる。

以上の流速においては、水平管のときに、固体は管の下底を撓動および転動するものが多く、完全浮遊するものは少ない。そして、このような状態で混合液を流す場合には、固体の最大粒子の大きさが管内径の $1/3$ 以下とすれば、平均流速は固体の自由沈降速度の 5 ~ 6 倍にとればよいことになる。

3.1.2 垂直管の場合

30%程度の濃度の群粒のときには、自由沈降速度の 70%の平均流速を与えれば、固体を浮遊上昇させることができるし、一度浮遊速度に達すれば、それより高い速度になる途中で抵抗が小さくなることもない。しかし、混合液中の大形粒子が単独で浮遊する必要のあるときもあり、諸種の条件を考えて、少なくとも水平管のときの最低抵抗値に相当する流速（自由沈降速度の約 3 ~ 4 倍）にすることが好ましく、実際上は、曲管や水平と垂直との組合せ配管の事情を考慮して、水平管同様の流速にまで高めるのが普通である。

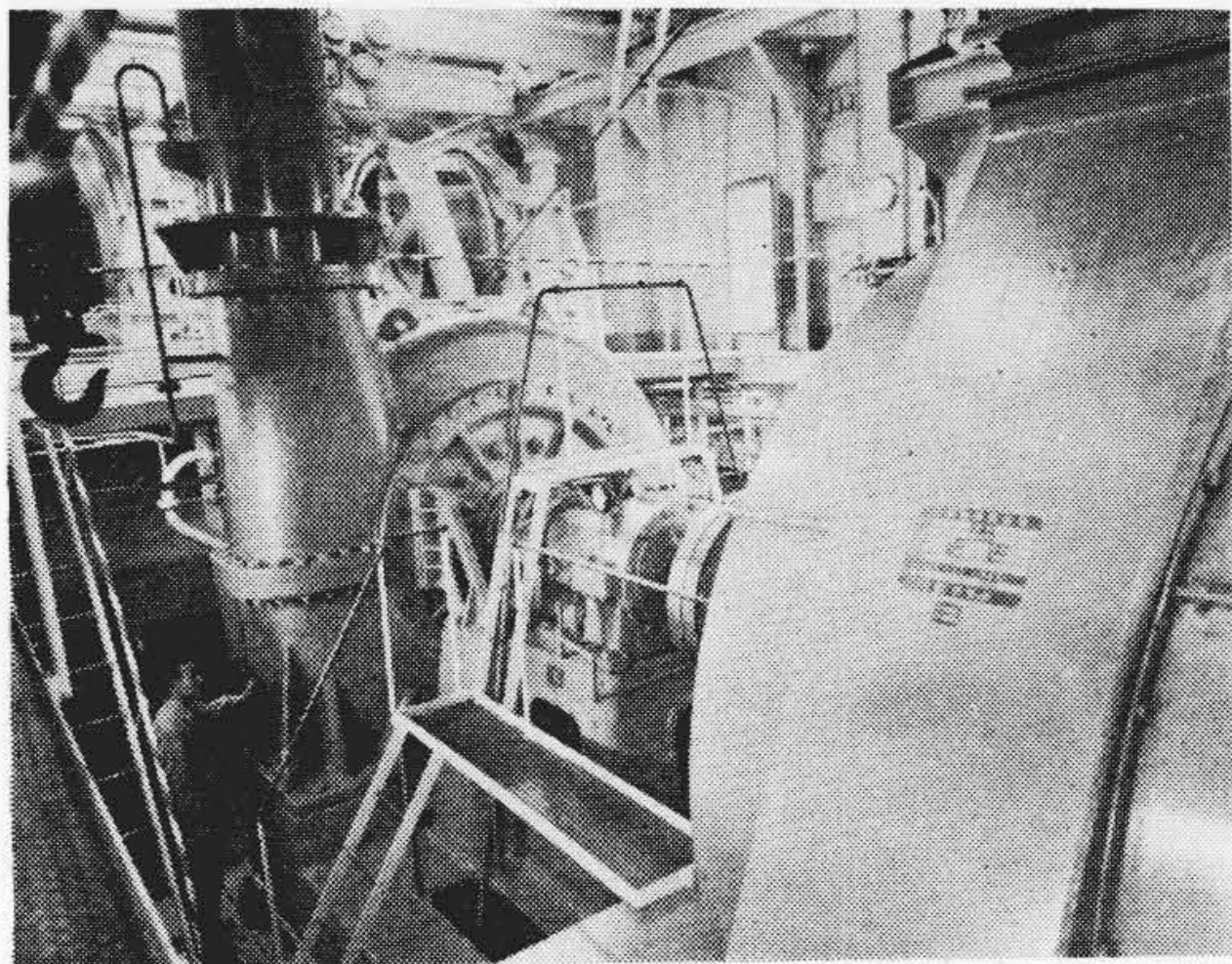
3.1.3 重液利用

ソビエトにおいては、比重 1.35 の塩化カルシウム溶液を使って坑内から原炭を搬出し、選炭場において比重 1.8 ~ 1.9 の同じ重液を使って、ぼたを石炭と片刃とから分離するという新しい方法を準備中であるという⁽⁷⁾。この結果、混合液中の固体量を従来の 13 ~ 17% から 35% 濃度にも高めることができ、流速を 2.5 ~ 3.35 m/s から 0.5 ~ 0.7 m/s に下げることができて、そのために管の摩滅が減り、また抵抗の減少による消費動力の節約が行われる。地上で水を加えて石炭を分離した重液は、遠心分離機および蒸発器を経て、もとの比重(1.35)にもどり、高圧ポンプによって、坑内に下げられる。降下管と押上管とは原炭の含有分による圧力の差が生ずるだけである。

3.2 粒 度

上述の実験そのほかの報告および筆者の経験によると、全部が均一な形状粒度に選別されている場合には、群粒のときには、丸味を帯びた固体のときには管内径の $1/3$ の大きさまで、稜角のとがった扁平不規則な形状のときには $1/4 \sim 1/5$ までの寸法にとどめることが安全である。単独粒子または群粒中における最大粒子の混合割合がきわめて少ないときには、管内径の $2/3$ くらいまでの大きさのものを送ることができる。

ただし、曲管部においては、流れが乱れてふさがりやすいゆえ、その曲率の半径を管内径の 5 倍以上に保つように注意するとよい。



第 6 図 690mm, 2,200 kW (3,000 HP)
しゅんせつ用渦巻形サンドポンプ

石炭塊のように、流動中の破損を心配することがある場合には、最大粒度を管内径の $\frac{1}{6}$ 以下に保つほうがよいようである。

3.3 濃 度

これは、平均濃度と瞬間最大濃度とに分けて考えなければならない。母液と固体粒子との混合割合を、精密に連続確保できるときには、最大濃度と平均濃度とが接近するので、かなり高い稼動濃度とすることもできる。

おもなる固体粒子の稼動濃度は次のようである。濃度を見掛け体積式で表わすと、微粉炭のときには40%、粗塊炭のときには25%、混合炭のときには30%となり、さらに砂のときには40%、礫のときには20%、砂礫混合のときには30%とすることができる。

以上は、固体を輸送装置に対して流下押込式にして供給する場合のものであって、在来のしゅんせつ船のうちのカタ方式やジェット方式のもののように、吸砂管入口への固体粒子の均一濃度供給が不可能なものは、濃度に大きなむらが生じて、ポンプは瞬間最大濃度においてもへたばらないだけの各種能力を持っていたとしても、平均の稼動濃度は、上の数字よりはかなり下回るものとなる。

また、空気中で粉碎されたり、たくわえられていたりした固体粒子は、その周囲に多量の空気が付着しているのでポンプに対して流下押込式に供給する場合にも、押込水面を十分に高く保って、ポンプの吸込口で抵抗のための真空状態が発生しないようにしないと連続した高い濃度で送ることができなくなる。

粘土のときには、重量濃度のほうが扱いやすい。この場合には、濃度が40%をこえると急に粘度が高まることが多いので、客土用などに粘土水を遠距離まで送るときには、稼動濃度を30%に定めるのが普通である。

各種微粒子を送る場合に、高濃度になって粘度が急昇するときには、100センチポイズの粘度になる程度の濃

度でやめるのが自然的習慣のようである。

4. 実 例

広範囲に及ぶことができないので、最近の進歩についてだけ述べる。

4.1 しゅんせつ船用サンドポンプ

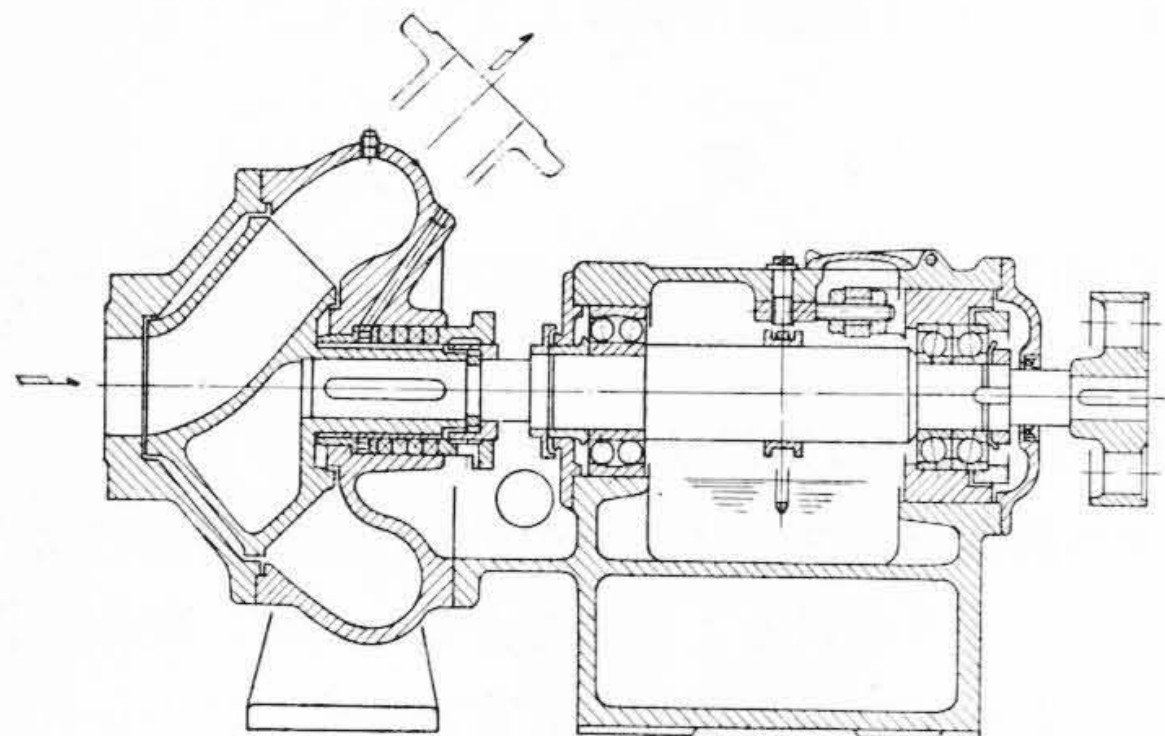
従来の渦巻ポンプでは、羽根車の通路の構造のために大きなかたまりを送ることができないので、研究の目標はもっぱらポンプの高揚程化と高濃度化とにおかれる。

高揚程化に関しては、羽根車やケーシング側面ライナの材質の選定によって、かなり揚程の高いものも実用になうようになってきている。アメリカでの大形カタ式ポンプしゅんせつ船では100mの全揚程のものも使われている。わが国においても、後に述べる2,200kW (3,000 HP) ポンプの実際設計は80mの全揚程として行われ、すでに1年余りも羽根車の取換えなしで運転されている。この場合、鋳鋼製羽根車の外周付近にはスチウダイトという特殊合金が熔着されて、注目すべき効果をあげている。小形のポンプにおいては、羽根車全体を24%クローム鋳鋼とし、ライナを鋼板心入りの軟質ゴムとすることによって、高濃度のもとに高揚程に経済的に耐えるようになってきた。

高濃度化に対しては、次のような動きがある。ポンプ自身としては、粒度が大きくないかぎりには、かなり高い濃度で運転することができるものであるが、濃度を高くすると、とたんに高い吸込真空度に面することになる。また送砂管の抵抗もふえて全揚程も高くなる。清水ポンプにおいてさえ、高い全揚程のものは高い吸込真空度には耐えにくい。したがって、送砂管延長が長く、またしゅんせつ深度の深い場合には、高濃度運転はなかなか実現が困難である。土運船に吐出したり、みずから土槽を持ったりしているホップドラッグ式吸上しゅんせつ船やジェット式吸上しゅんせつ船のときには、全揚程が低いのでずいぶん高い濃度として運転している場合もある。

カタ式しゅんせつ船は、送砂管の長さが長いものが多いが、元来カタの能力の研究がほとんど行われていなかった。上に述べたような、濃度と揚程との関係の限度に達するような高い能力を発揮するものはほとんどなく、その稼動平均濃度は5~10%という貧弱なものであった。少しの改良によってでも、それを2倍の高濃度能力のものにすることは容易なはずであり、各国で注目し研究に着手されはじめたところである。

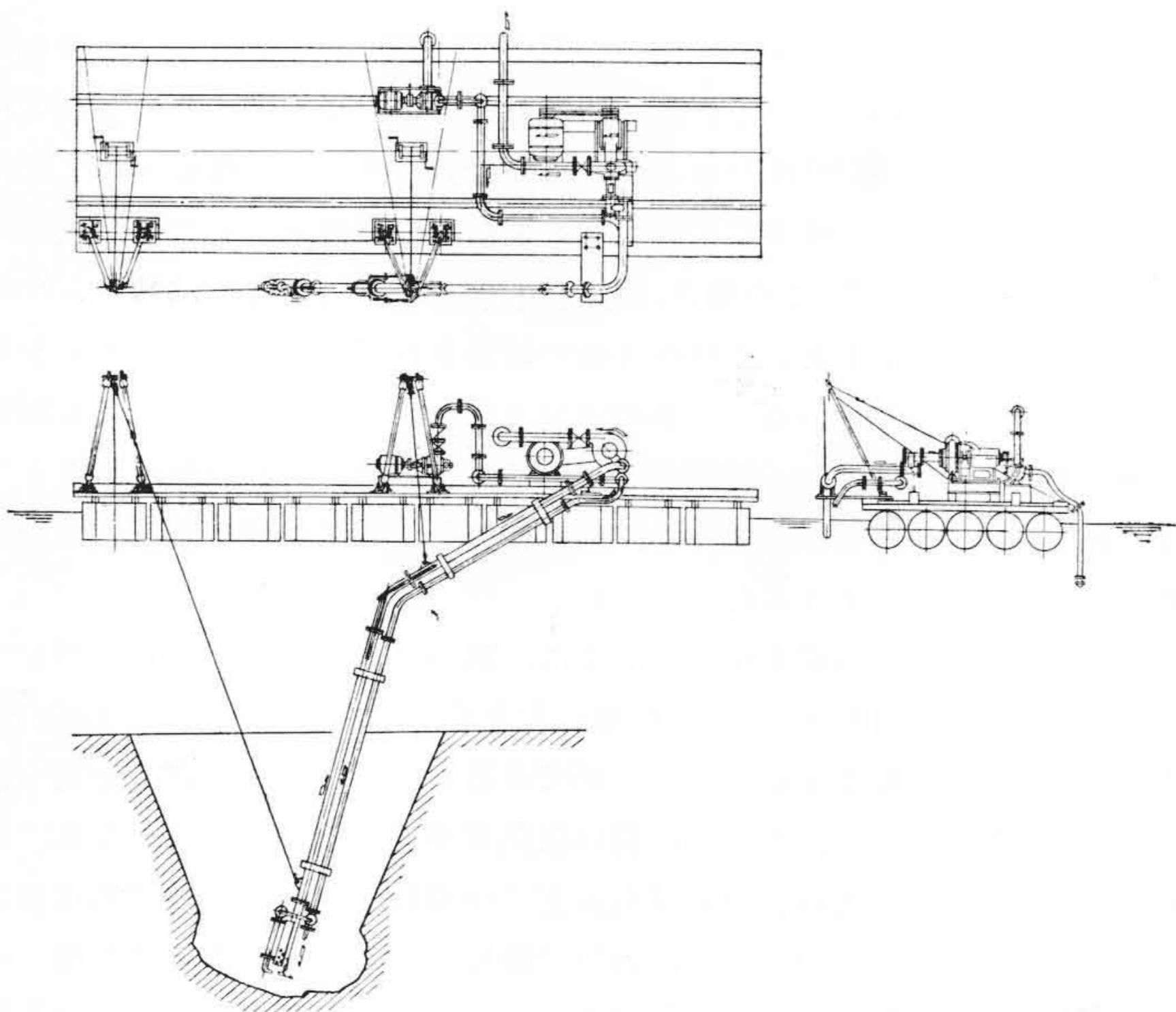
第6図は、カタ式しゅんせつ船用ポンプの一例であって、水野組所属船—安芸に据え付けられ、仕様は次のようである。主ポンプは、2,200kW (3,000 HP) の電動機と直結され、揚水量 102 m³/min, 全揚程 75m であって、カタはトルクコンバータを経て、520kW (700 HP) の



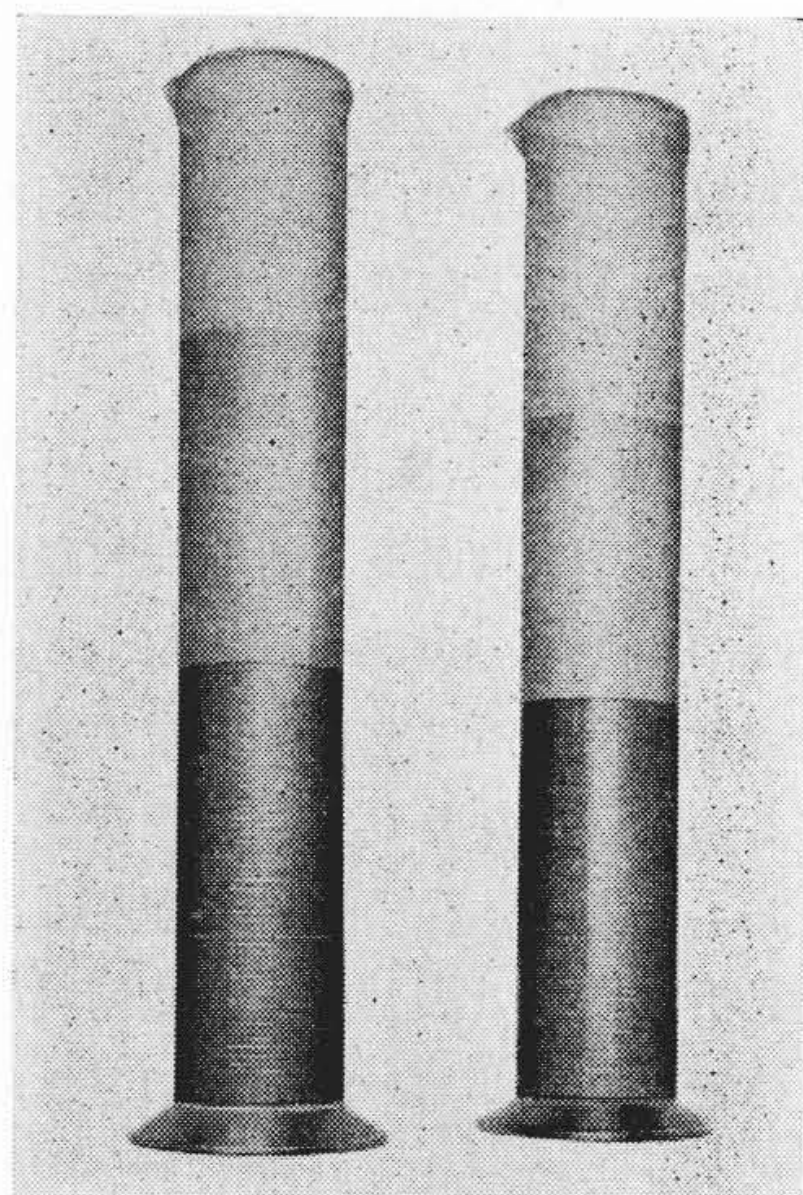
第7図 斜流ブレードレスポンプ



第8図 100mm 斜流ブレードレスポンプに送られているさんま群



第9図 ブレードレスサンドポンプによる大井ダムしゅんせつ装置



第10図 ブレードレスサンドポンプよりの排砂状態

電動機によって運転される。昨年春から八幡製鉄所の戸畑港のしゅんせつ工事の主力として活躍している。従来の740kW(1,000 HP)級をもってしては不可能であった硬土磐質の海底のしゅんせつにも成功し、その後は普通土質のところの作業に当たっている。送泥管の延長が3,000 mのときの送泥量が750 m³/hというすぐれた実績を出し、計画の2,500 m延長においては1,000 m³/hをこえることができる。これは平均体積濃度16%に当る。

本ポンプの吸込管は740 mm, 吐出管は690 mmとなっている。このように、吸込管のほうが太いのは、前に述べたように、水平な送砂管に比べると、垂直に近い吸砂管のほうが低流速でも安全送砂を行いうるからであり、かつポンプの吸込真空度を少しでも下げたいためである。しかし、浅いところを掘るときには、吸砂管の傾きはかなり水平に近づくこともあるゆえ、あまり低流速にしすぎることは危険である。

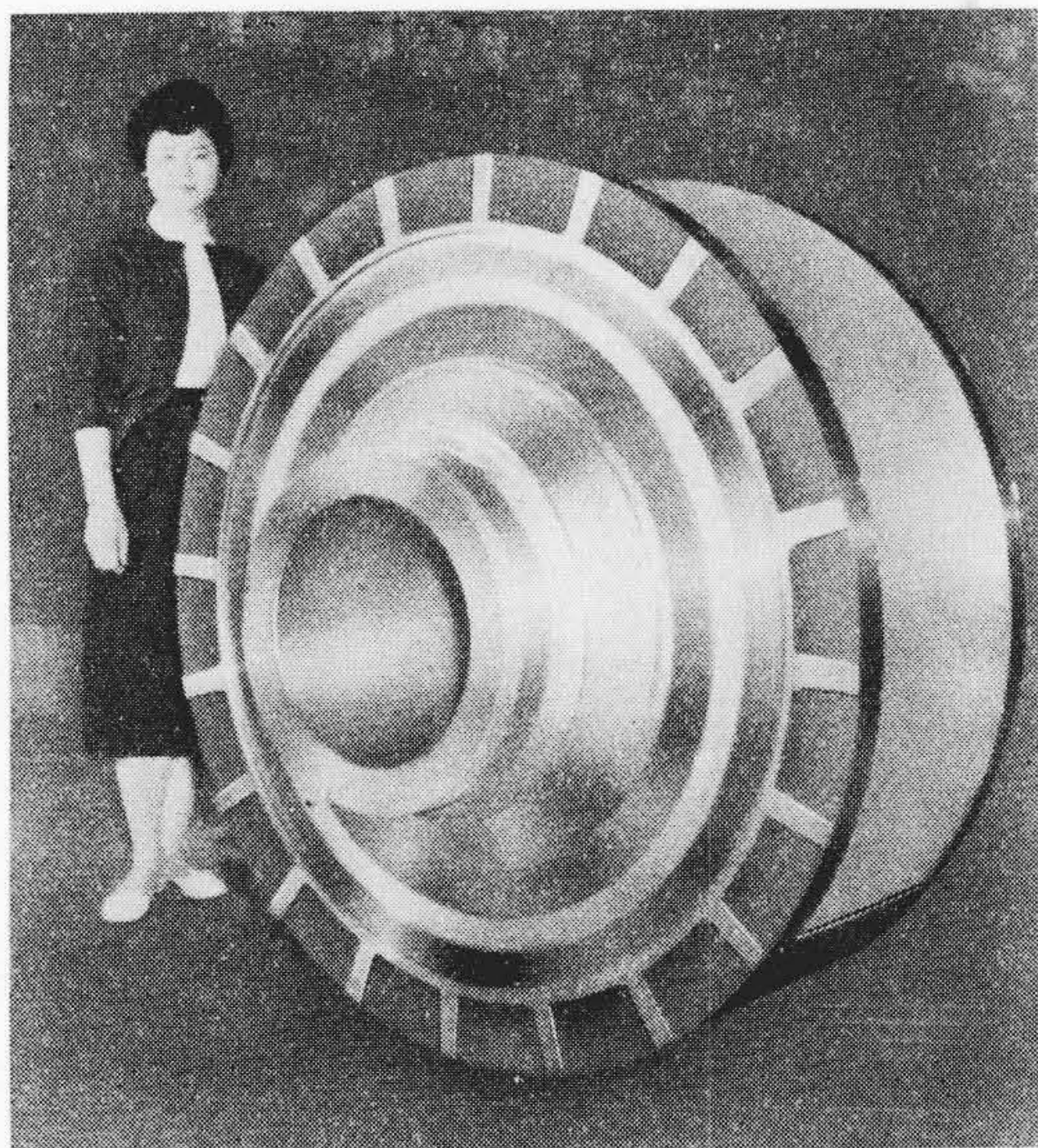
わが国で従来のしゅんせつ船の送砂管内の計画流速は次のように低いものであった⁽⁸⁾。それに比べると、アメリカの最近の実例は相当に高い。これは、高濃度に対応し、また時おり混入する大塊をも楽に送るためであろうと思う。この2,200kW(3,000 HP)ポンプの送砂管での流速は、4.6 m/s と従来の例よりはやや高く選定された。

土 質	管 径 (mm)						
	300	350	400	450	520	560	600
泥 土	—	—	—	—	2.1	—	2.1
細 砂	—	2.1	2.2	2.3	—	2.4	2.4
粗 砂	2.7	2.8	2.8	—	2.9	2.9	2.9
砂 礫	—	—	3.5	—	—	3.6	—
アメリカ	4.5	—	—	—	—	—	5.7

流 速 m/s

4.2 ブレードレス (斜流ブレードレス) ポンプ

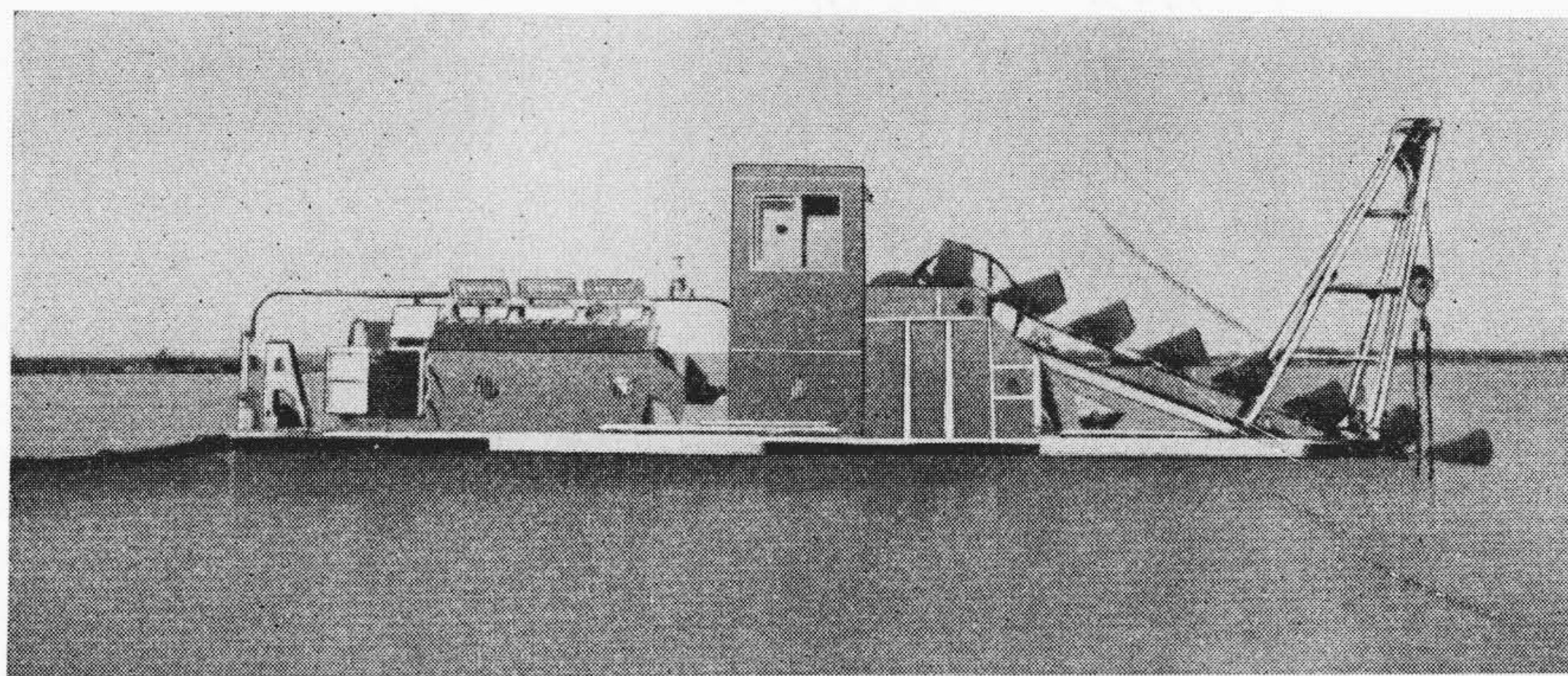
これは大きなかたまりや長いせんい製品を含む水を送



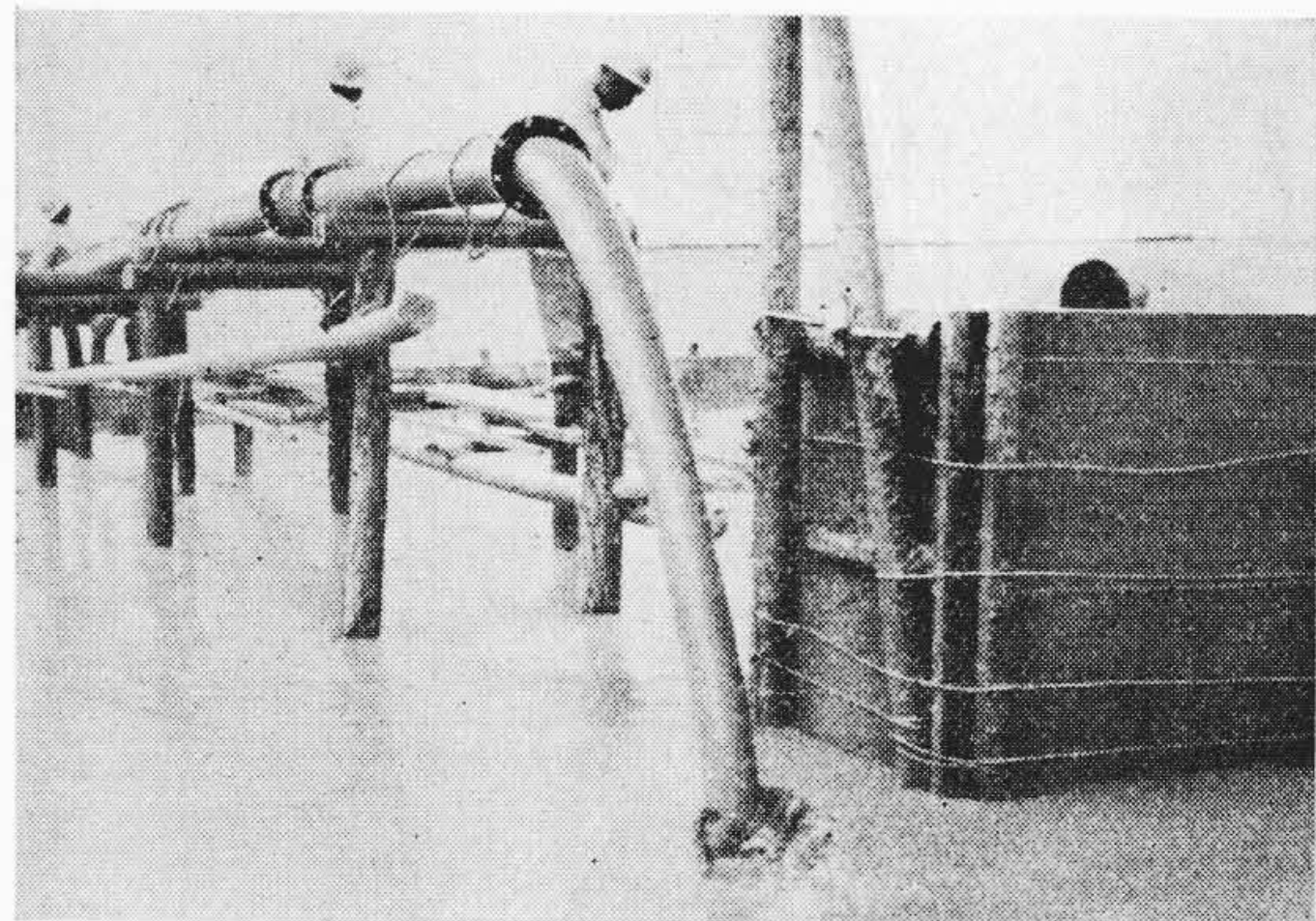
第11図 400 mm 450 kW (600 HP) ブレードレスサンドポンプ用羽根車

るものとして近年急に発達してきた。ホース状のただ1本の羽根車通路を持っているだけであるので、吸込管を流れて来るかぎりの大きさのかたまりを難なく通し、また高い真空度吸上げに耐え、特に高濃度の土砂や粘土水を効率良く送ることができる。これをいっそう改良した斜流ブレードレスポンプは第7図のような構造をしているので、生きたままの魚体を単独にあるいは群れをなして無きずのまま送ることができる。第8図は口径100 mmのこのポンプが、さんまを 15 t/h の割合で船艙から水揚げしているところである。さんま1に対して水2の割合でよい⁽⁹⁾。

このポンプは生汚物、土砂、砂礫、泥土、粘土、へどろ、石炭、ぼた、鉱石、食品原料、生魚、鮮魚、結晶、ごみ、紙屑、せんい、浴湯などの輸送に無限の応用例を見出している⁽¹⁰⁾。



第13図 児島湾干拓地におけるバケットブレードレスポンプ
組合せ形しゅんせつ船

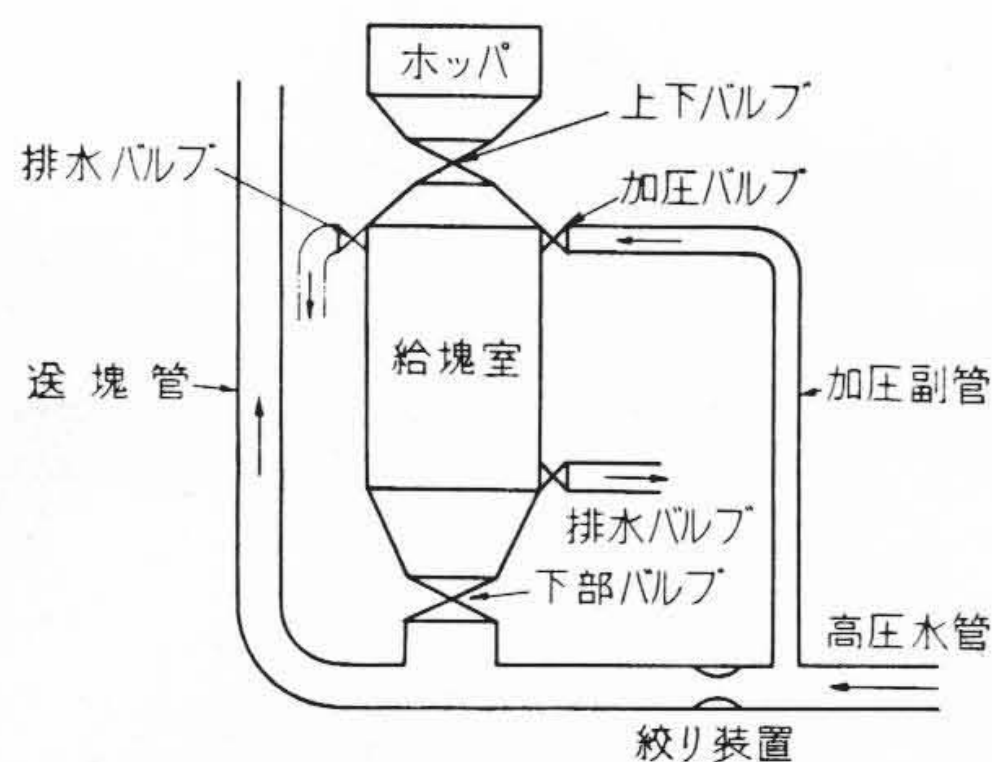


第12図 バケット式コンバインド形しゅんせつ船からの排泥

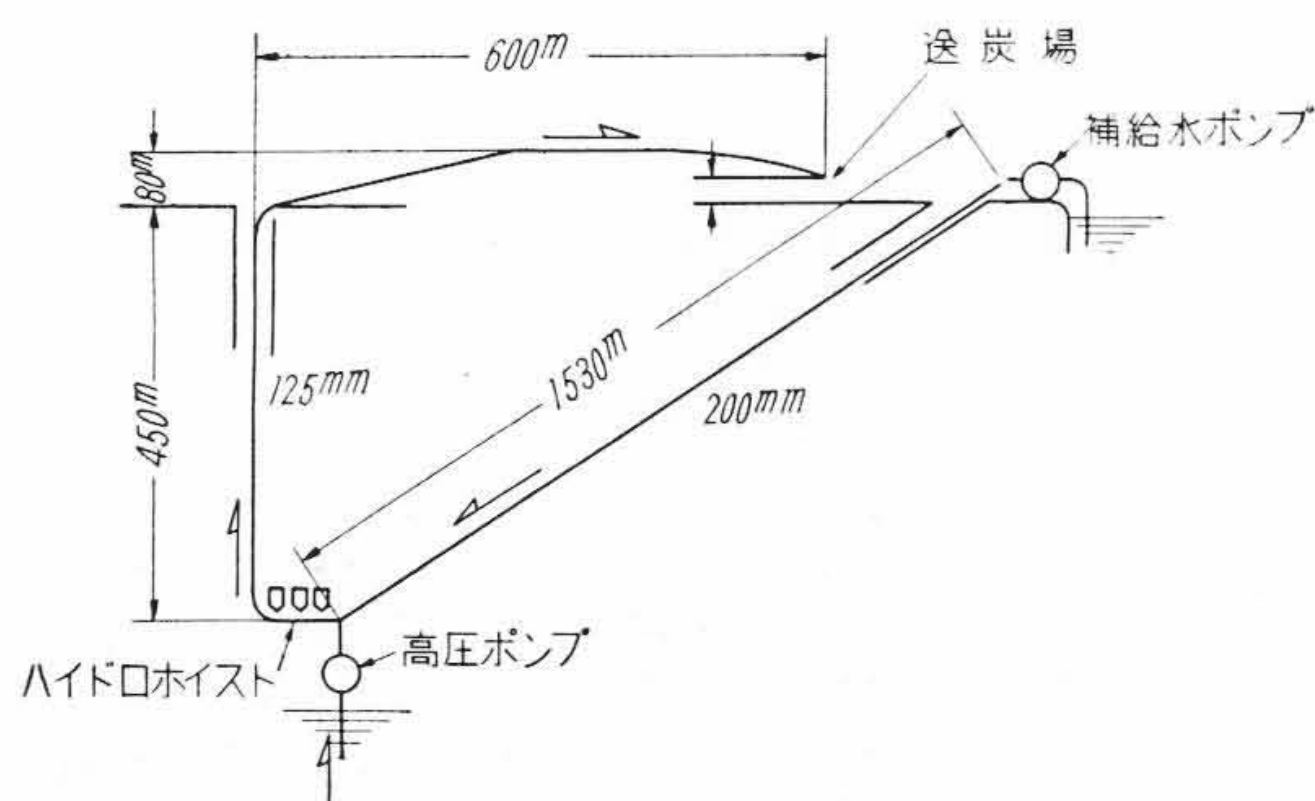
砂床に適するジェット噴射式しゅんせつ装置は、このポンプの活用によってその本領を発揮する。第9図は大井ダムの若返りのための 5,000m³ 試験しゅんせつを昨年現地で行ったときの装置である。100 mmブレードレスサンドポンプを 37kW (50HP) 電動機で運転し、別に 5.5kW (7.5HP)、30mのジェット用小形タービンポンプを設ける。吸砂管の入口端付近の砂がジェット水に噴射されて吸い上げられてその部分に空洞ができると、あり地獄状の周壁が自然にくずれ落ち、ポンプは十分に高い濃度の砂水を吸い上げることができる。見掛体積濃度30%の平均値を確保することは容易である⁽¹¹⁾。第10図は八郎潟の干拓工事のための予備実験を現地で行ったときの排送濃度である。なお、第11図は本年2月に現地に納入される口径400 mm、445kW(600HP)のブレードレスサンドポンプの羽根車である。このような高濃度であってしかも深いしゅんせつ深度であると、前に述べたように、ポンプの吸込真空度はほとんど10mに近づくようになる。それで、送砂距離が遠いときには、土運船を使う必要が生じてくる。

粘性の高いシルト地帯になると、カタ式ではもちろん高濃度は望めないし、ジェット式でもあり地獄状には

ならなくて15%以上の稼動濃度は困難になる。それで、バケット式ポンプしゅんせつ船が生れた。第12図は、日立製作所と浦賀船渠株式会社との共同製作によって、児島湾の干拓地に納められたこの形の装置から送られる混合液の吐出状況であり、重量濃度で70%のありさまを示している。ポンプは 160mm、67.5kW



第14図 側筒加圧副管式ハイドロホイスト

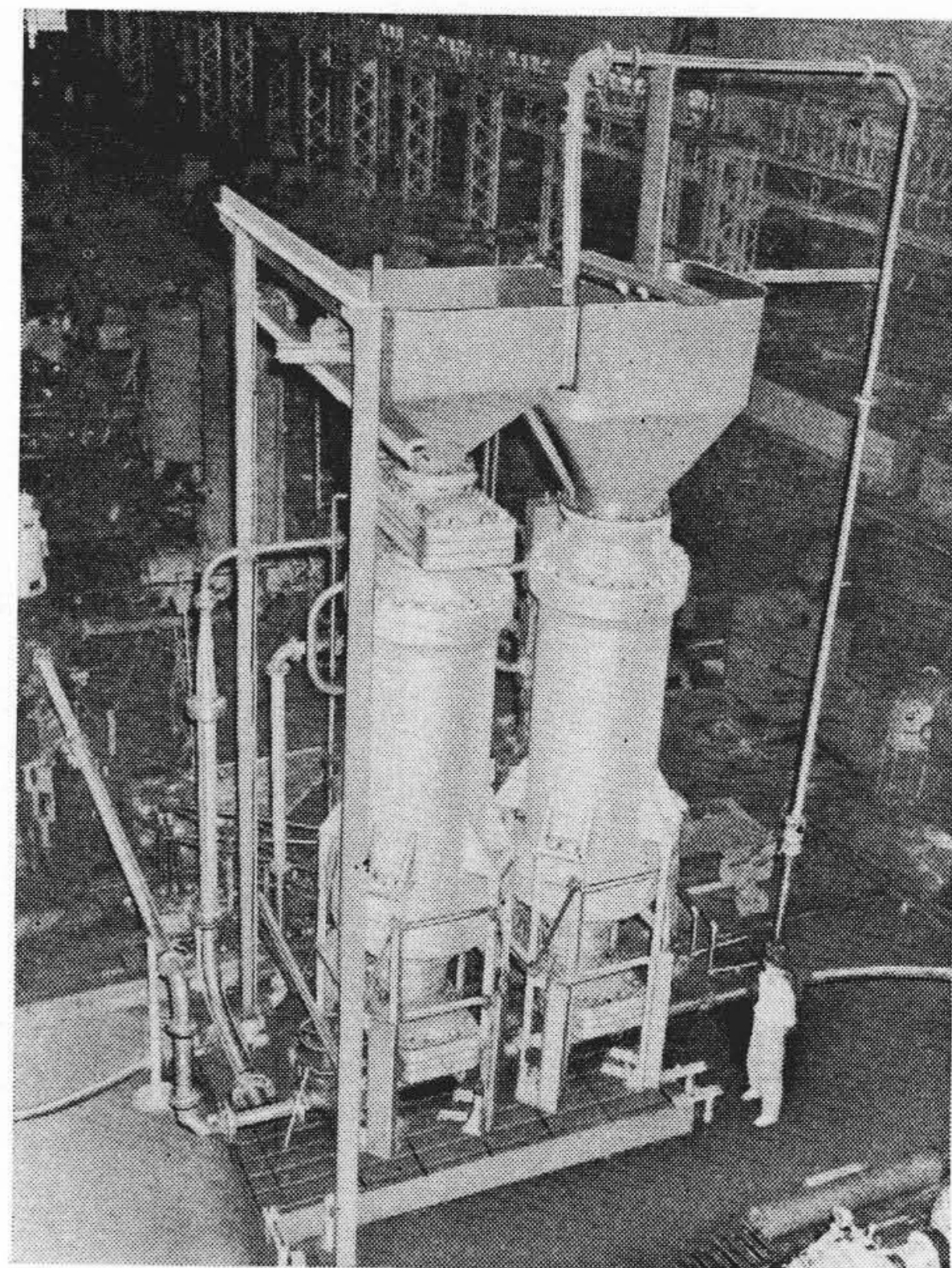
第15図 神林鉱業株式会社神林鉱業所
ハイドロホイスト概要

(90 HP), 吐出管延長 150m である。平均濃度が 50% 前後に達し、従来のカタ式によって送られたものは、60 日経過しても固まらないのに対して、この装置によってのものは 40 日後にはほとんど乾燥してその上部を歩くことができるほどの効果をあげている。土塊が粉碎されぬ状態でポンプの中を通り抜けるためである。第13図は、そのしゅんせつ船の外観である。

4.3 ハイドロホイスト

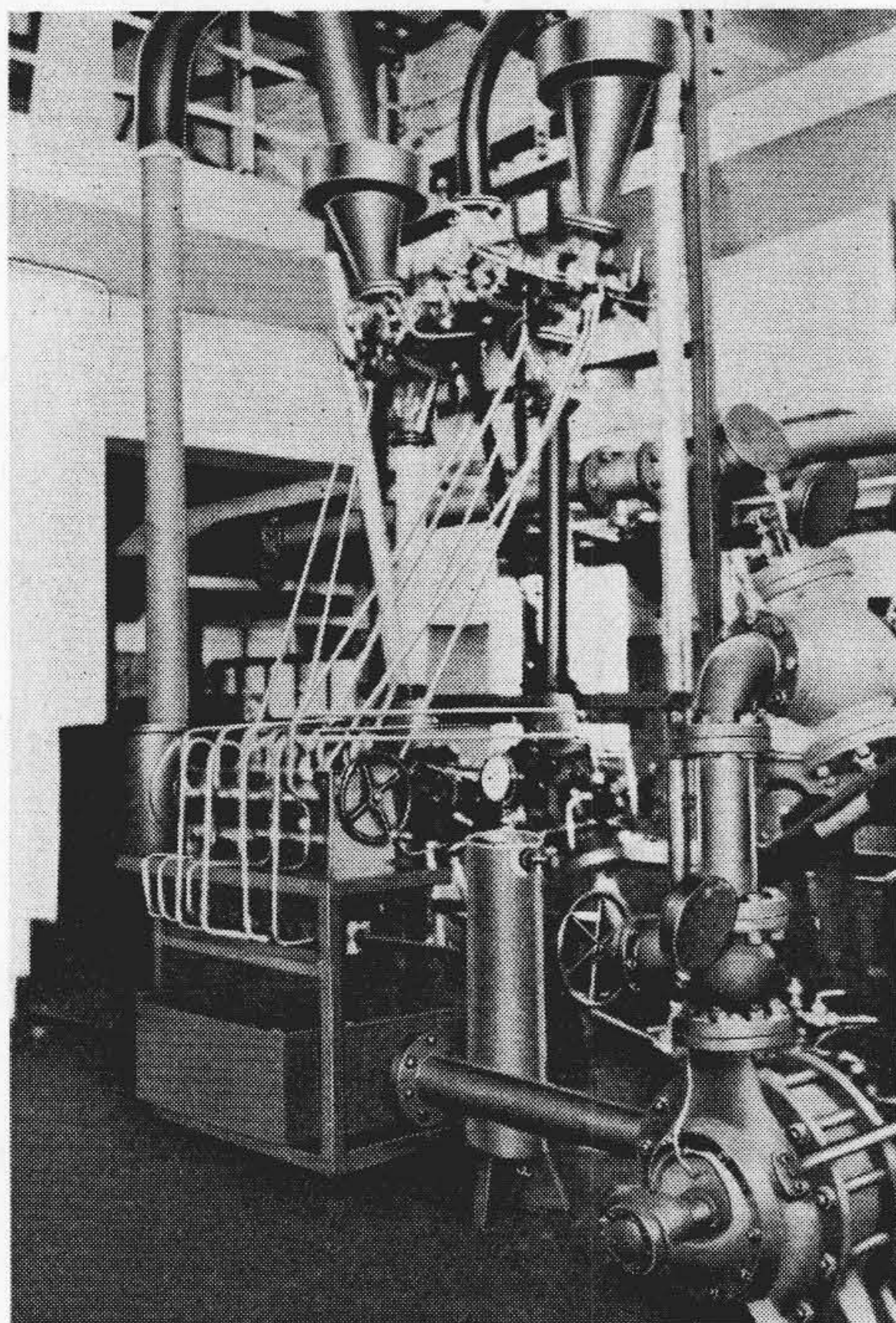
これは従来の渦巻ポンプでは送られないような大塊を高揚程で送るために発展しはじめている。にた構造のもの(フラッシュクリーン装置あるいはニューマチック・エゼタなど)は古くからあったし、その作用原理も簡単で、前にこまごまと述べた流れ方の基礎的事柄などよりはわかりやすい。

新しいものとして、まず第1図にすでに示した側筒重力式のハイドロホイストが現われた。しかし、比重の軽いものや微粉の場合には、この構造のままでは不完全であるので、改良して第14図のような側筒加圧副管式ハイドロホイストとなった⁽¹²⁾。これは、送塊本管の圧力よりも少し高い圧力水によって、側筒式給塊室内の混合液を一気に清掃して、その内容物を本管の流れに加えるものである。わが国においては、神林鉱業株式会社神林鉱業所において、坑外のぼた輸送ならびに坑内 140m の

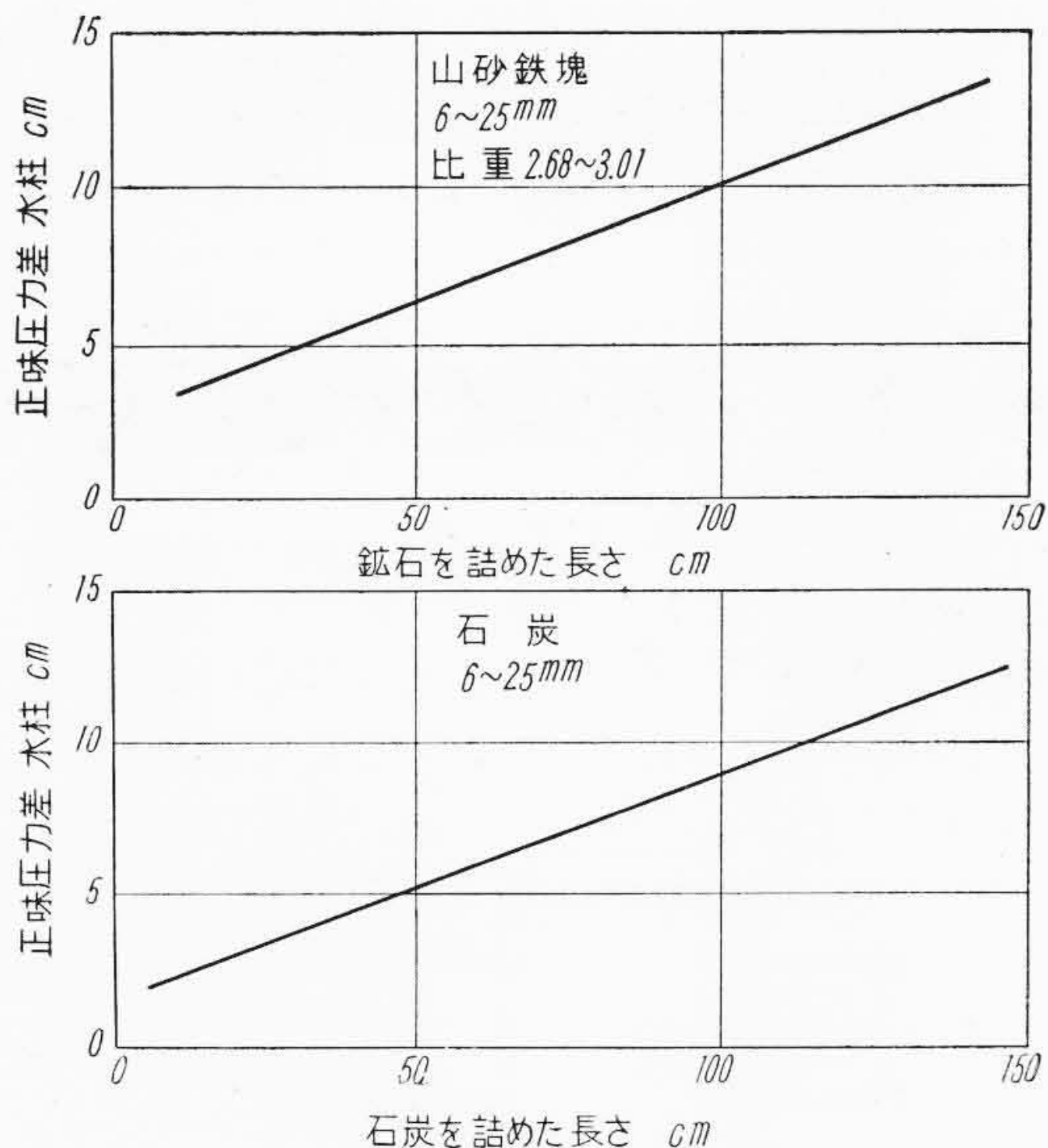
第16図 神林鉱業株式会社神林鉱業所
ハイドロホイスト給炭室

深所からの原炭およびぼたの搬出に、この装置の実用運転を行った。さらに今回は日立製作所と神林鉱業所とがそれぞれ独自に数年間にわたって実際に研究して来た経験を結集して、垂直 530 m, 管路延長 1,130 m, 輸送塊量 105 t/h, 管内径 125 mm, 最大粒度 42×60 mm, 体積濃度 25% のこの装置を設備し、本年 2 月末から運転にはいった。第15図は、その設備の概要を示すものである。使用される清水高圧ポンプは、 $3 \text{ m}^3/\text{min} \times 836 \text{ m} \times 650 \text{ kW}$ の輪切形多段タービンポンプであって、坑内ポンプとしての国内最高記録品である。この装置の特長の一つは、操作が自動的に行われて、人件費が大幅に節約されることである。第16図は、日立製作所亀有工場において調整運転を行っているところである。

筆者らは、上記方法のものの研究着手と同時に、主管圧送式ハイドロホイスト、並列多管式ハイドロホイストなどの基礎研究と実用試験とを行い、その成果のいくつかは、協同研究者である東京工業大学草間氏あるいは石炭総合研究所渡辺氏の名において、それぞれの学会誌や機関誌などに発表されている⁽¹³⁾。さらに、イギリスにおいていち早く研究に着手していたポケット付往復プランジャ式ハイドロホイスト、ポケット付回転円板式ハイドロホイストまたはポケット付回転円棒式ハイドロホイストなど、いずれも特殊の主管圧送式⁽¹⁴⁾のものについての運転研究を行った。しかし、結論として、並列多管式の主管圧送式のものが最もすぐれていることを認め、

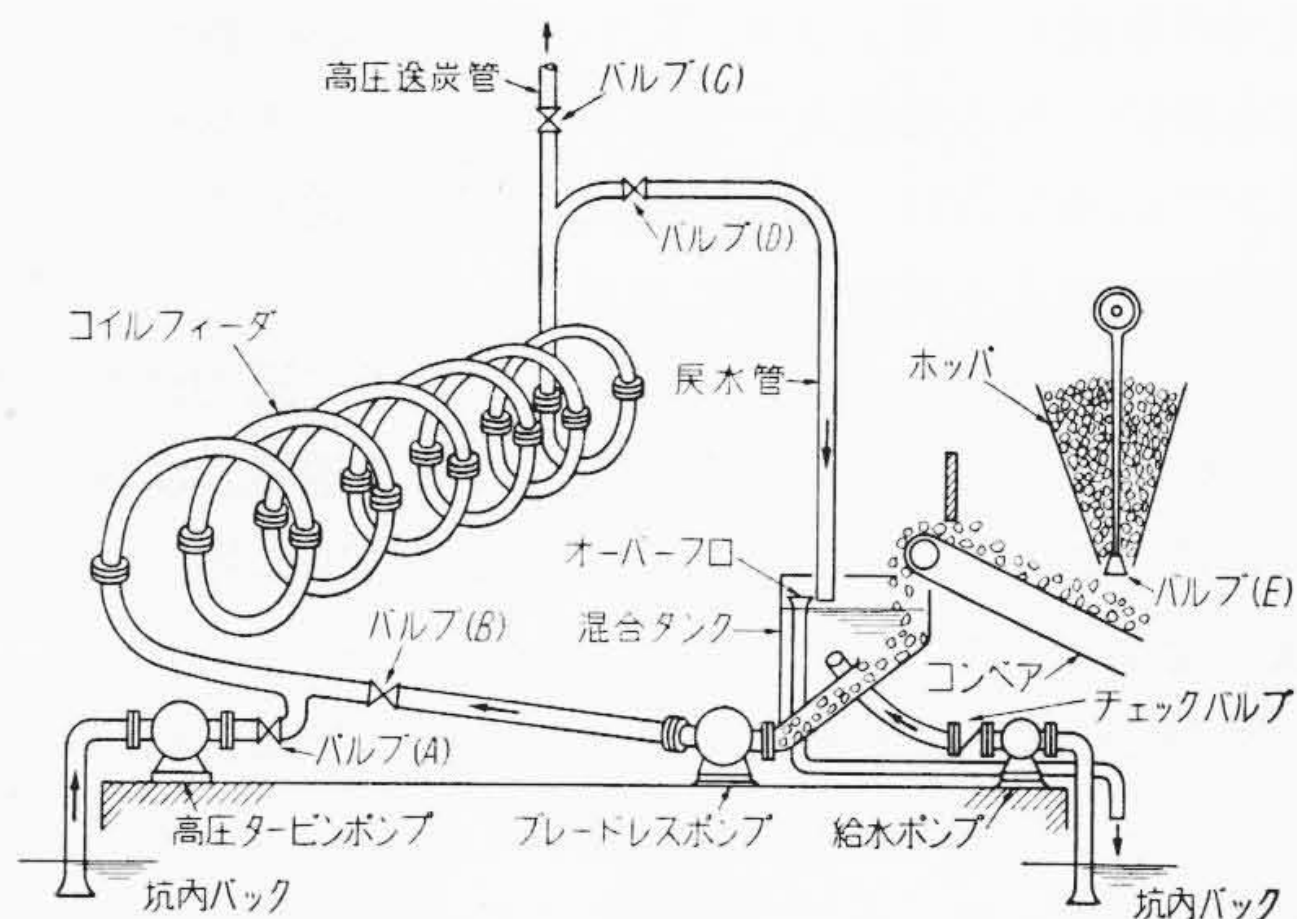


第17図 並列多管式ハイドロホイス

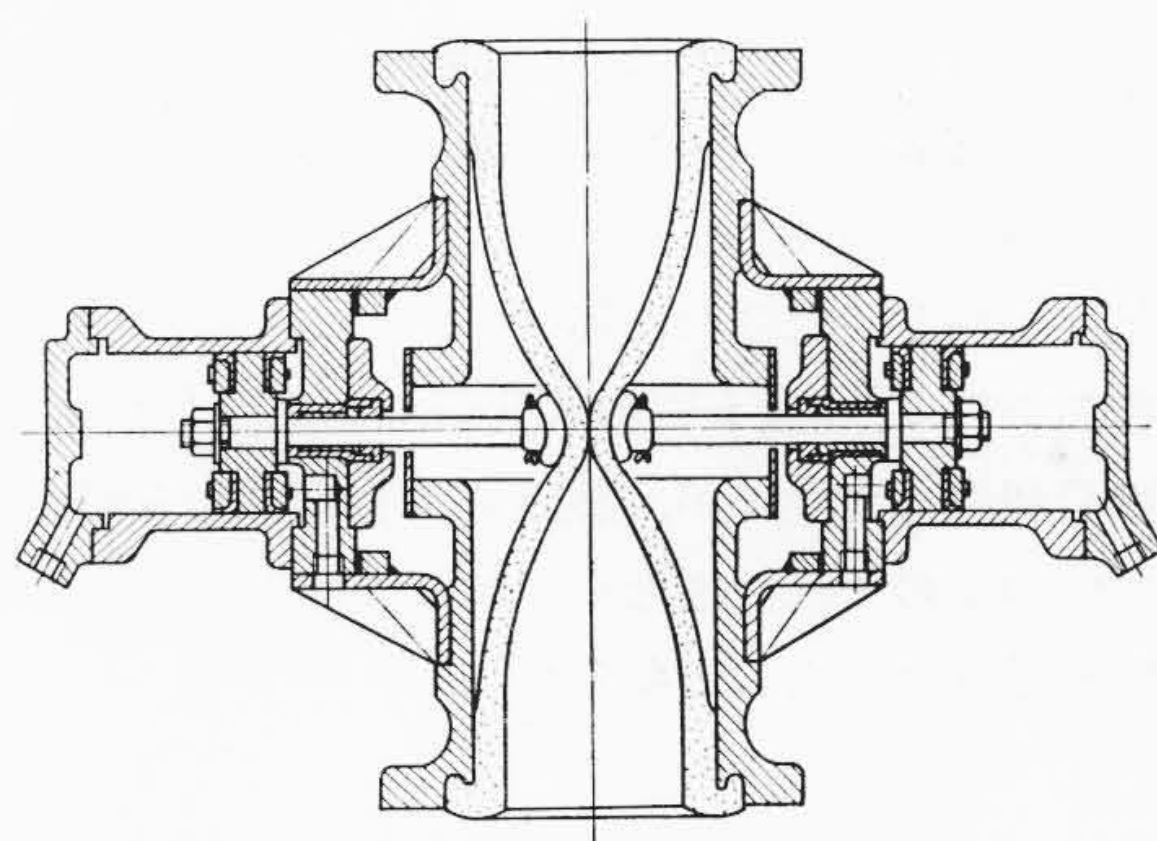


第18図 給塊室の抵抗

一昨年末にはこの方式で、管内径 100 mm のものの油圧利用全自動式の装置を作り、公開実演を行った。第17図は東京工業大学水力研究室での同装置である。第18図は給塊室内の固体粒子に運動を与えるための抵抗揚程であって、この実験数値によってわかるように、ほとんど無視しうる程度の微量なものである。前に述べた固体粒



第19図 スパイラル型コンバインド・ハイドロホイス



第20図 ピンチバルブ

子の輸送には渦巻ポンプよりもハイドロホイスのほうが所要動力的にも経済的であるということの実証である。近ごろになって、イギリス、オランダ続いてポーランドなどにおいてもこれと似たものが、最適形として採用されはじめた⁽¹⁵⁾。

この形の特長は、給塊室内の内径およびその前後のバルブの内径が、すべて送塊管内径とほとんど同一であるので、大きなかたまりの高い濃度のものを取り扱っても、閉塞現象を起さないこと、高圧の場合にも設備が小形軽量にできること、取扱操作が容易なこと、消耗部品の取換えに経済的なことなどである。

給塊器への固体の供給は、装置の設置場所の天井が高いときには、今まで述べたいずれの方法でも、自然落下式で流し込んでもよいが、粘性のある物質の場合や天井のきわめて低いときには、第19図のようなスパイラル形コンバインド・ハイドロホイスを使うとよい。前に述べたような理由で、コイルの直径が管内径の10倍以上のコイル状給塊器を2~3個並列して水平に横たえ、それと並べて高圧清水ポンプ、各バルブ用制御装置を設け、一方ブレードレスポンプとそれへの押込用混合槽をおく。この方法では、上方より固体の性質に応じて連続

または断続して落下させ、下方の樋状斜面を滑降させる。別に供給される母液と一定比率で混じて、ブレードレスポンプに流し込む。高い濃度でそれから送り出された混合液は、コイル状給塊器に充満し、それまであった清水を混合槽に押しもどしてしまう。次いで、圧力清水のプランジャ作用によって、濃度の高いまま送塊管に送り出される。このようにして、本装置では特別に摩滅作用を強く受けるところはどこにもない。

第 20 図は、常用圧力が 10 kg/cm^2 までに使われるピンチバルブであり、それよりも高い圧力の場合にはプレート形スルースバルブが使われている。

5. 結 言

この数年間に、固体の水力輸送の必要性が急速に叫ばれはじめた。日本機械学会の部門委員会の中に特殊流体抵抗小委員会が設けられたのもその現われであった。本文の中に述べたようなぐあいに、実用化が発達しはじめている。しかし、たびたび述べているように、いずれの方面においても、経験も資料も貧弱である。したがって、今後の発展性も大きい、関係者に要求される努力も並たいていのものでは済まない。お互に協力してみごとな実用化を計りたいものである。

参 考 文 献

- (1) R. S. Gardner: Engineering and Mining Journal, Vol. 153, No. 1 (1952-1) 95.

- (2) 長谷川, 八木, 徳永: 運輸技術研究所報告 Vol. 7, No. 6, 1 (1957-7)
 (3) 寺田: 日本機械学会 第 93 回講習会教材, 58 (1957)
 (4) R. C. Worster, D. F. Denny: The Institution of Mechanical Engineers, Proc., Vol. 169, No. 32, 560 (1955)
 (5) F. J. Fontein: Colliery Guardian Vol. 197, No. 5089, 1 (1958-9-11)
 (6) 日本石炭協会: 炭鉱における石炭およびズリの水力輸送 (1958)
 (7) グルックアウフ: Vol. 7, No. 3, 216 (1958)
 (8) 小川: ポンプしゅんせつ作業の効率化に関する研究 (1958)
 (9) 堀田: 港湾荷役 Vol. 3, No. 5, 532 (1958-9) 日立: 34 (1958-11)
 (10) 寺田: 日立評論 別冊 No. 19, 106 (1957) 寺田: 製紙工業 (1958-9) 33 寺田: 建設の機械化 No. 83, 21 (1957) 寺田: 化学工学 Vol. 21, No. 11, 747 (1957)
 (11) 浚渫治水協会: 貯水池内の堆砂処理の機械化の研究報告書 (続篇) (1958)
 (12) 寺田, 橋本: 特許 No. 207413 (1952-8-27 出願)
 (13) 草間: 文献(3)と同じ 33 文献(10)と同じ 85 渡辺: 炭研 Vol. 9, No. 2, 1 (1958-2)
 (14) G. A. Wauchope: Colliery Engineering 415 (1953-10) 文献(4)と同じ
 (15) Colliery Guardian 842 (1957-6-27) Colliery Guardian 409 (1958-3-27) Colliery Guardian 542 (1958-10-30) 文献(5)と同じ



特 許 の 紹 介



特 許 第 239287 号

安 河 内 春 雄

天 井 ク レ ー ン の ボ ッ ク ス ガ ー ダ

天井クレーンのガーダの撓みはガーダの高さに反比例するから、剛度を増すにはガーダの高さを大にすればよい。この発明はガーダの高さを大にするため、側面内プレートの高さを側面外プレートの高さより可及的大にとり、クラブの横行レールを側面内プレートの上に設けたもので、垂直荷重を主として側面内プレートに受けもたせ、ほかのプレートは単に走行慣性力に抵抗させるようにしたものである。

この発明によるとボックスが小形となり、ガーダが軽量となるばかりでなく、ボックスの下部に走行軸および走行モータを装備すると上面プレートがそのまま歩道として利用できるのでクレーン全体が簡潔になる。

