

東京都港湾局辰巳排水機場納 高潮対策用 2,300mm 立形軸流ポンプ

2,300 mm Vertical Type Axial Flow Pump of Tatsumi Pumping Station for Anti-high Tide

森 本 浩 史*
Hiroshi Morimoto

内 容 梗 概

東京都港湾局に納入した 2,300 mm 立形固定翼軸流ポンプは、高潮対策ポンプとして代表的なものであり、使用目的上種々の特長をもっている。本稿はその内容について述べるものであるが、本設備はすでに据付けを完了し、現地試運転も終わり高潮襲来時にはいつでもその任務を果たし、江東地区の排水に威力を発揮することになっている。

1. 緒 言

東京都の荒川放水路と隅田川との間にはさまれた面積約 35 平方 km の江東地区は、いわゆるゼロメートル地帯と呼ばれる市街地で大部分の地域が平常でも満潮面よりも低く、内部には縦横に水路があり、この水路は自然排水路、および運河として利用されている。地区内はこれらの水路と水路で区切られた数多くの輪中から成り立っており、輪中にはそれぞれ輪中内の排水ポンプがすでに設置されているかまたは今後設置される予定である。しかし、一度伊勢湾台風級の台風が東京を襲うとすれば異常高潮と豪雨のため水路の水位が高くなり、自然排水はもちろん輪中内の排水ポンプも排水能力を失うとともに、海水が輪中内の堤防をこえて浸入し、江東地区は完全に浸水の憂き目にあうことは必然である（第 2 図）。

東京都では、東京港湾特別高潮対策事業計画の一環として、江東地区における異常高潮時の排水用として地区のまわりに新たに防潮堤を建設し、防潮堤内の水を堤外（東京湾）に排水する大容量の排水ポンプ設備を計画している。今回完成した辰巳排水機場の設備はその一部であり、機械および電気設備を日立製作所が納入している。ここにその内容を紹介する。

2. 排水ポンプ設備計画の概要

本設備は緒言にも述べたように東京近辺に伊勢湾台風級の台風が襲った場合のような 25 年から 50 年に一度という確率で起こりうる災害に対して計画されたものであり、計画上は過去のキティ台風や狩野川台風の資料を参考としている。

(1) 計画排水量

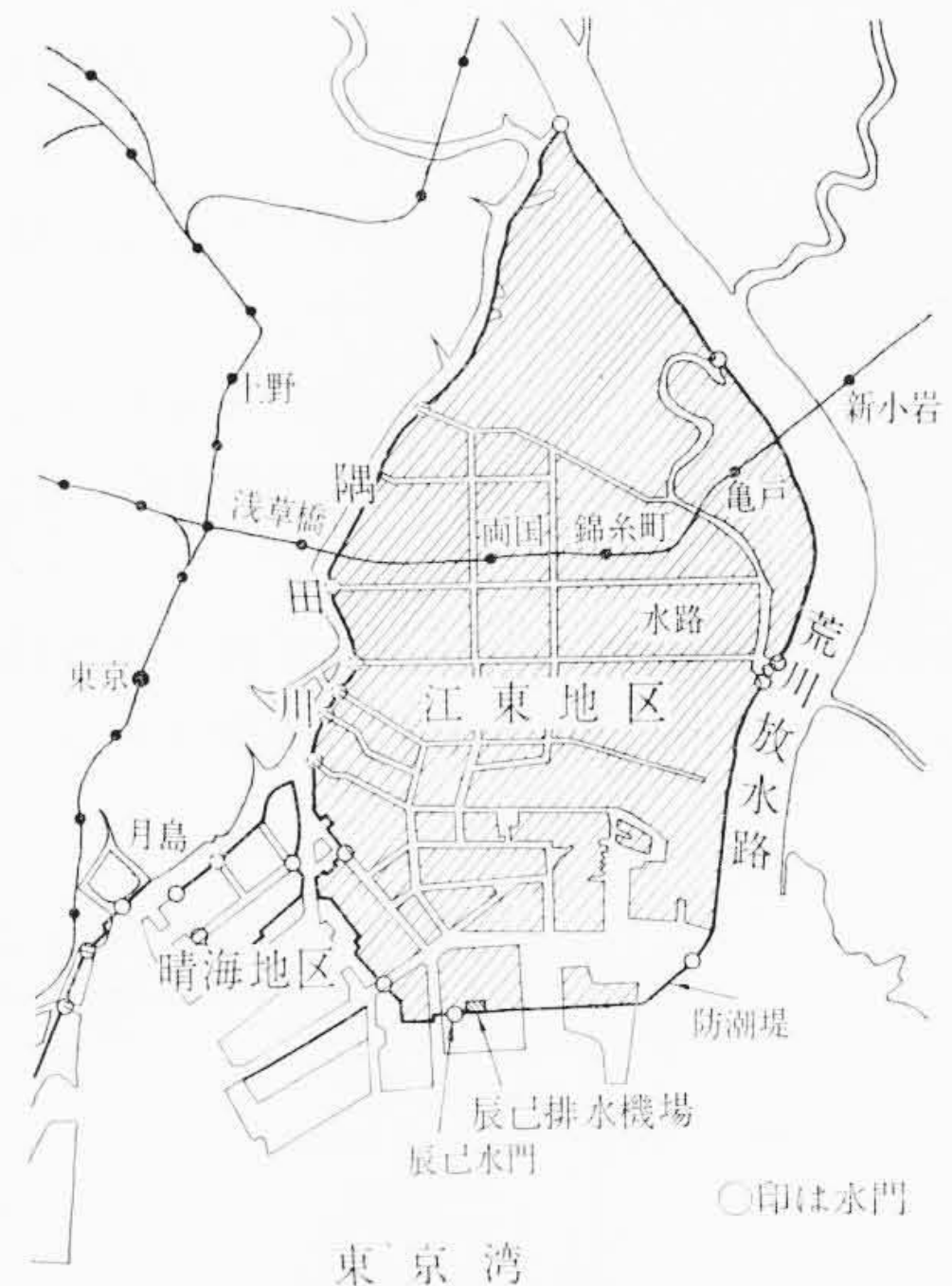
江東地区は 30 余の運河群によって個々に輪中が形成され、これらの輪中内に滞水する雨水は、地盤沈下の進行とともに逐次建設された大小 50 個所のポンプ場から運河に排水されている。現在の排水能力は約 $200 \text{ m}^3/\text{s}$ であるが将来は $323 \text{ m}^3/\text{s}$ に増強される予定である。このうち $44 \text{ m}^3/\text{s}$ は自然排水が可能であるので残りの $279 \text{ m}^3/\text{s}$ をいったん堤内運河に貯留しこれを高潮対策用ポンプで間接排水しようとするものである。したがってポンプ排水設備の容量は運河内への降雨量のほかは直接に降雨量や滞水面積に影響されず、間接排水区域内の下水道局のポンプ容量 $279 \text{ m}^3/\text{s}$ と運河の湛水容量とに左右される。輪中内の護岸は $A \cdot P + 3.00 \text{ m}$ に維持され、湛水限度を $A \cdot P + 2.50 \text{ m}$ を標準とされたので、江東地区における外部堤防事業として設備の容量は $190 \text{ m}^3/\text{s}$ となり、このうち本設備で分担するものが約 23% の $44 \text{ m}^3/\text{s}$ である。

(2) 計画実揚程および最高効率点

* 日立製作所亀有工場



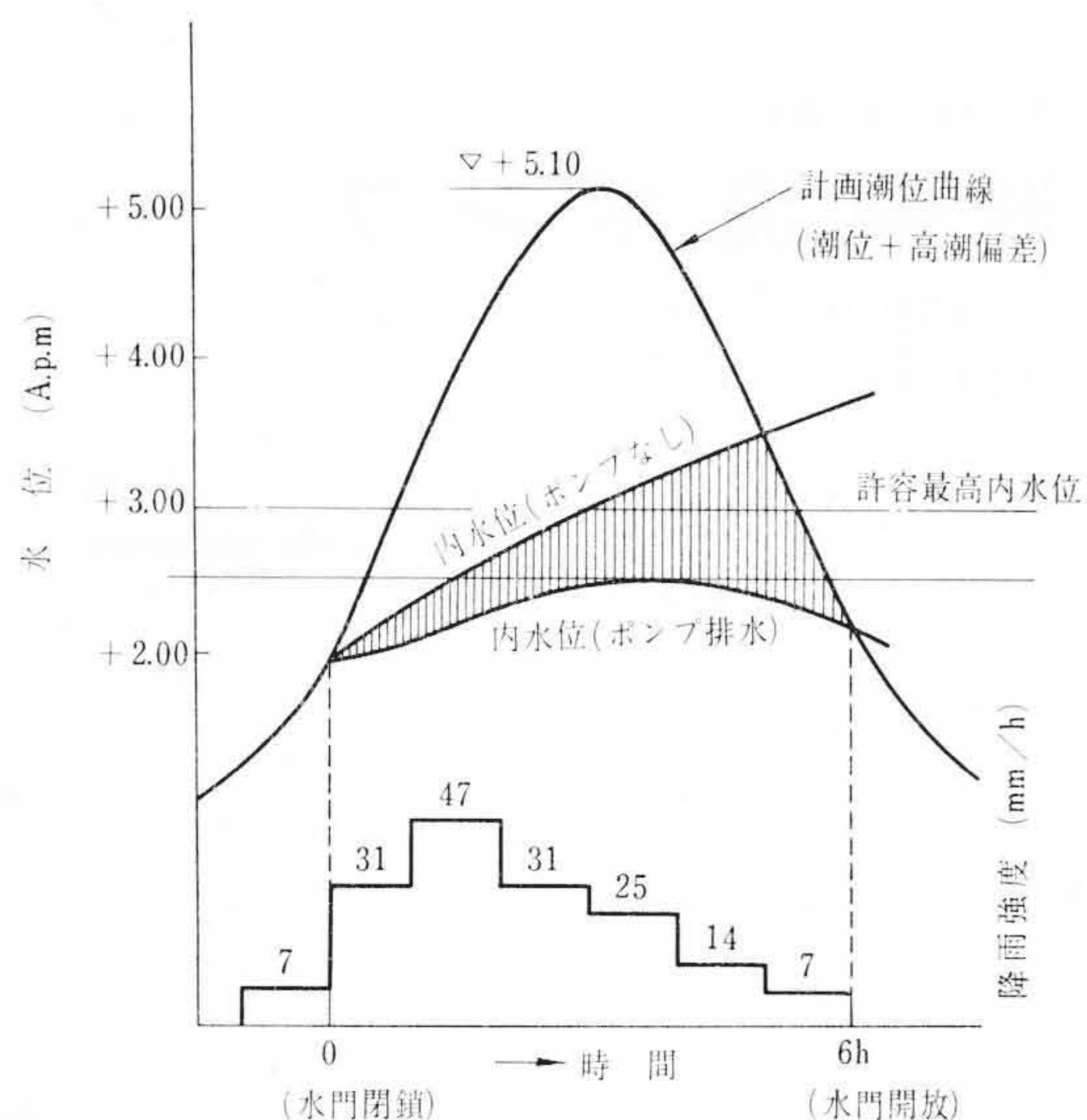
第 1 図 排水ポンプ場



第 2 図 江東地区略図

本排水設備は高潮発生時において内外水位が $A \cdot P + 2.00 \text{ m}$ になると同時に防潮堤に設けられた水門が閉鎖されてポンプの運転が開始される。そして内水位が $+1.50 \text{ m}$ まで低下しても排水可能なように、また外水位が最大計画水位 $+5.10 \text{ m}$ にても排水が可能なような設計条件となっている。さらに本設備は常時の訓練運転の場合をも考慮して内、外水位とも $A \cdot P + 1.00 \text{ m}$ における実揚程 0 の状態にても運転が可能なるよう設計されている。

この結果、内外水位差は $0 \sim 3.6 \text{ m}$ の範囲で変動し、かつ計画内



第3図 排水計画曲線

水位の上昇限度を $A \cdot P + 2.50$ m に保ち、計画上高さ 1 m、1 周期 6~7 秒の波浪による揚程上昇に伴う吐出量の減少を考慮した最も経済的なポンプとして計画されており、計画実揚程は 3.1 m、その点におけるポンプ排水量は $48 \text{ m}^3/\text{s}$ で、この点において最高効率を発揮するよう指定されている。

以上の事項を図示すると第3図のようになる。

(3) 排水設備計画条件

排水設備の設計・製作について検討された基本的な条件は次のとおりである。

(i) 排水機場の地盤は非常に軟弱であるので、土木工事との関係上機器設備の平面積はできる限り小さくてかつ軽量であること。地盤沈下が生じても、機器に支障のないよう考慮すること。

(ii) 排水機場は堤防上におかれるので、吸込側および吐出側排水水路はすべてオープンチャンネルとすること。

(iii) 排水ポンプ台数は、機場の能率的な保守、機械の危険分散、建設費の経済性見地から 4 台とすること。

(iv) ポンプ形式は、低揚程でかつ揚程の変動が大きい大口径ポンプとして吸込性能および経済性の両者から、立形軸流ポンプとする。

(v) 排水ポンプ用吐出弁は開閉操作が速く操作が簡単な油圧蝶形弁とし、ポンプ起動停止の操作と連動させる。なお吐出口

にフラップ弁を用いることについては、波浪のため維持困難が予想されるので本設備では採用されない。

(vi) 排水ポンプ駆動用原動機については、本設備が台風時の異常高潮、豪雨という非常時に運転されるもので、第二室戸台風の経験からも、電動機駆動の場合には、電源確保の信頼に困難性があるので駆動機関としてディーゼル機関を採用する。また補機駆動は電動機によるものとし、ディーゼル発電機を電源とすること。

(vii) 海水に汚水が混入した水を取り扱うものであるから排水ポンプは耐蝕性について十分考慮すること。

(4) 排水設備機器仕様

本排水設備のおもな機器は次のとおりである (第4図)。

(i) 主排水ポンプ~4台

口 径	2,300 mm
形 式	立形固定翼軸流ポンプ
吐 出 量	$720 \text{ m}^3/\text{min}$
全 揚 程	3.7 m
回 転 数	160 rpm

(ii) 主排水ポンプ駆動用ディーゼル機関~4基

形 式	立形単動4サイクルディーゼル機関
シリンダ数	6
回 転 数	720 rpm
過給方式	排気タービン過給器
冷却方式	ポンプによる強制水冷却
起動方式	圧縮空気始動方式

(iii) 主吐出弁~4台

口 径	2,300 mm
形 式	油圧蝶形弁

(iv) 歯車減速機

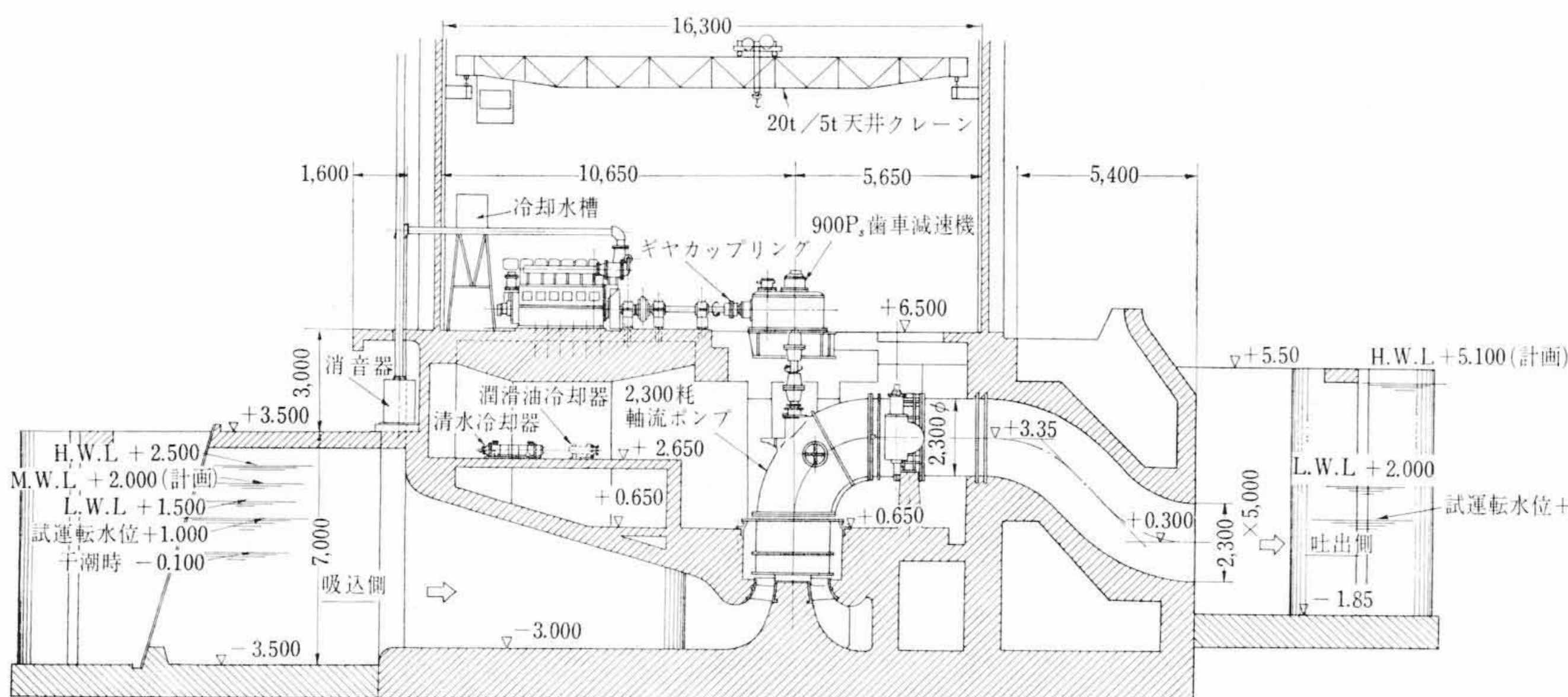
定 格	900 PS
形 式	傘歯車および平行軸歯車

(v) そ の 他

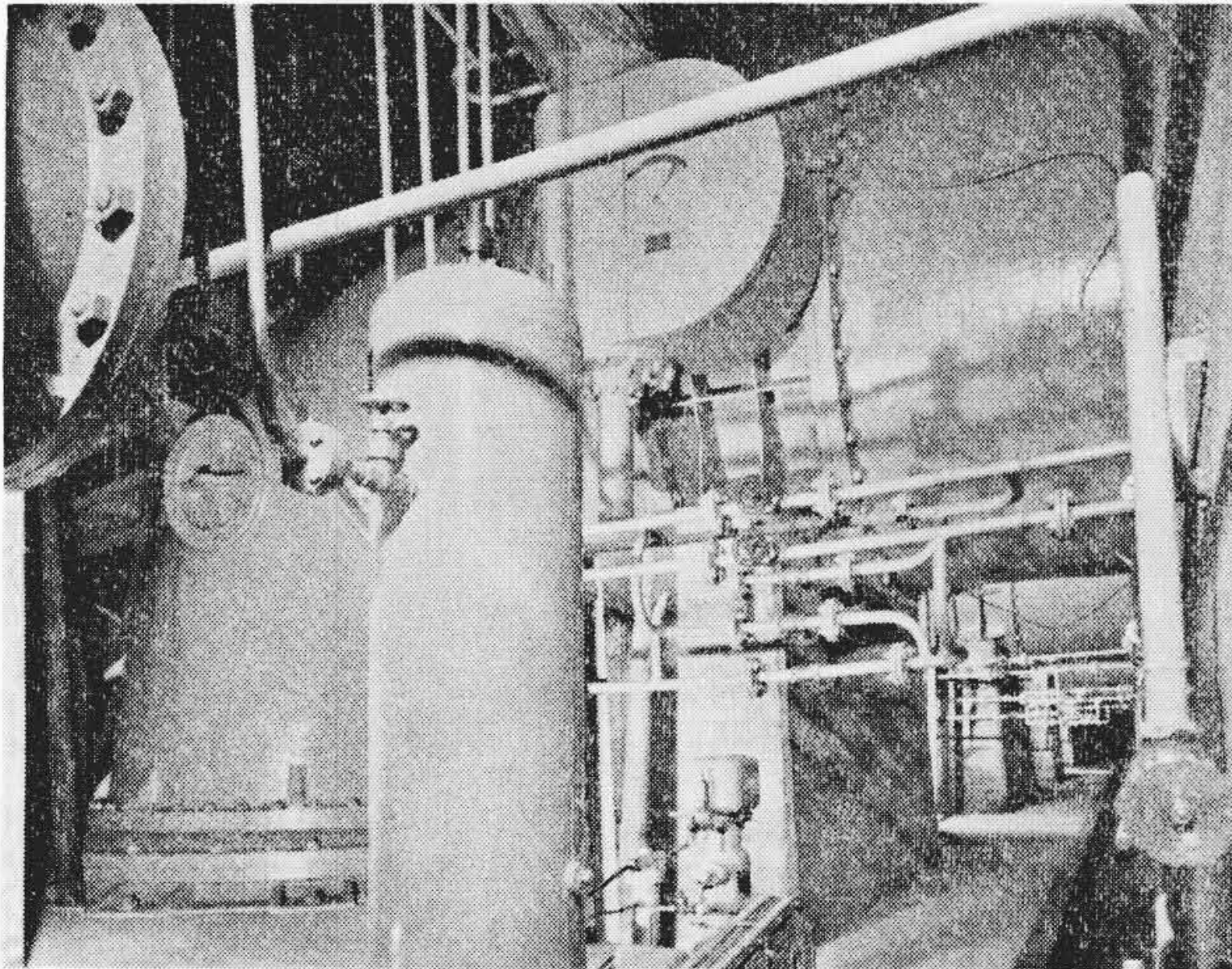
油圧蝶形弁用圧油設備	1 式
冷却水・潤滑水給水設備	1 式
補機電源用自家発電設備	1 式
操作盤・配電盤	1 式
ディーゼル機関用補機	1 式
20T電動天井走行クレーン	1 台

3. モデルポンプの試験

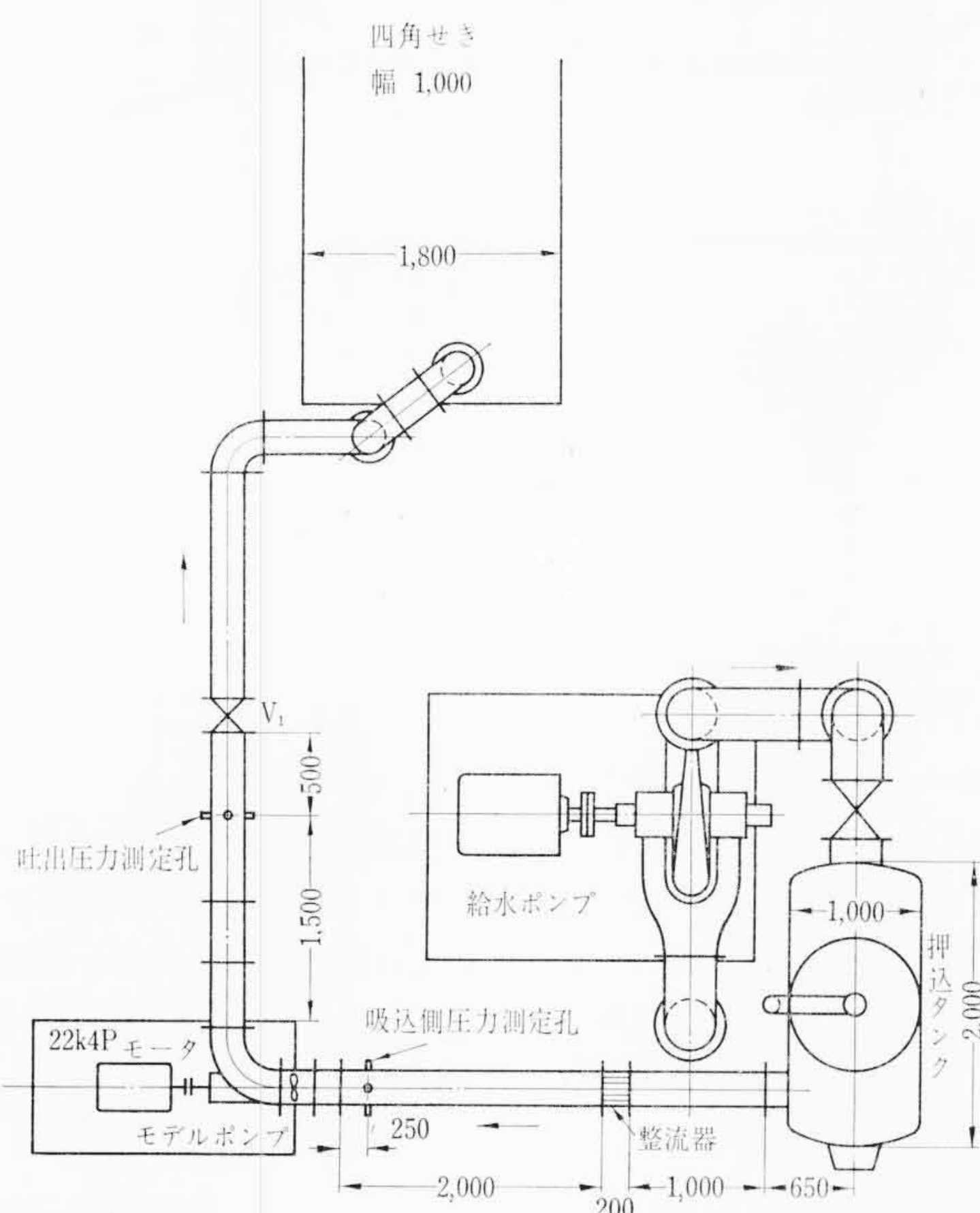
2,300 ミリの立形軸流ポンプは、ポンプの吸込口および吐出側配管の大部分をコンクリート構造としており、実物ポンプで工場内の性能試験をするためには、これらの配管を製作する必要があるが経済的でなく、かつポンプは低揚程大口径であるために測定上の問題も生じてくる。したがって今回の主排水ポンプの保証はモデルポンプの性能を測定し、この結果を実物ポンプに換算する方法がとられた。



第4図 排水設備主要機器



第5図 排水機場ポンプ室



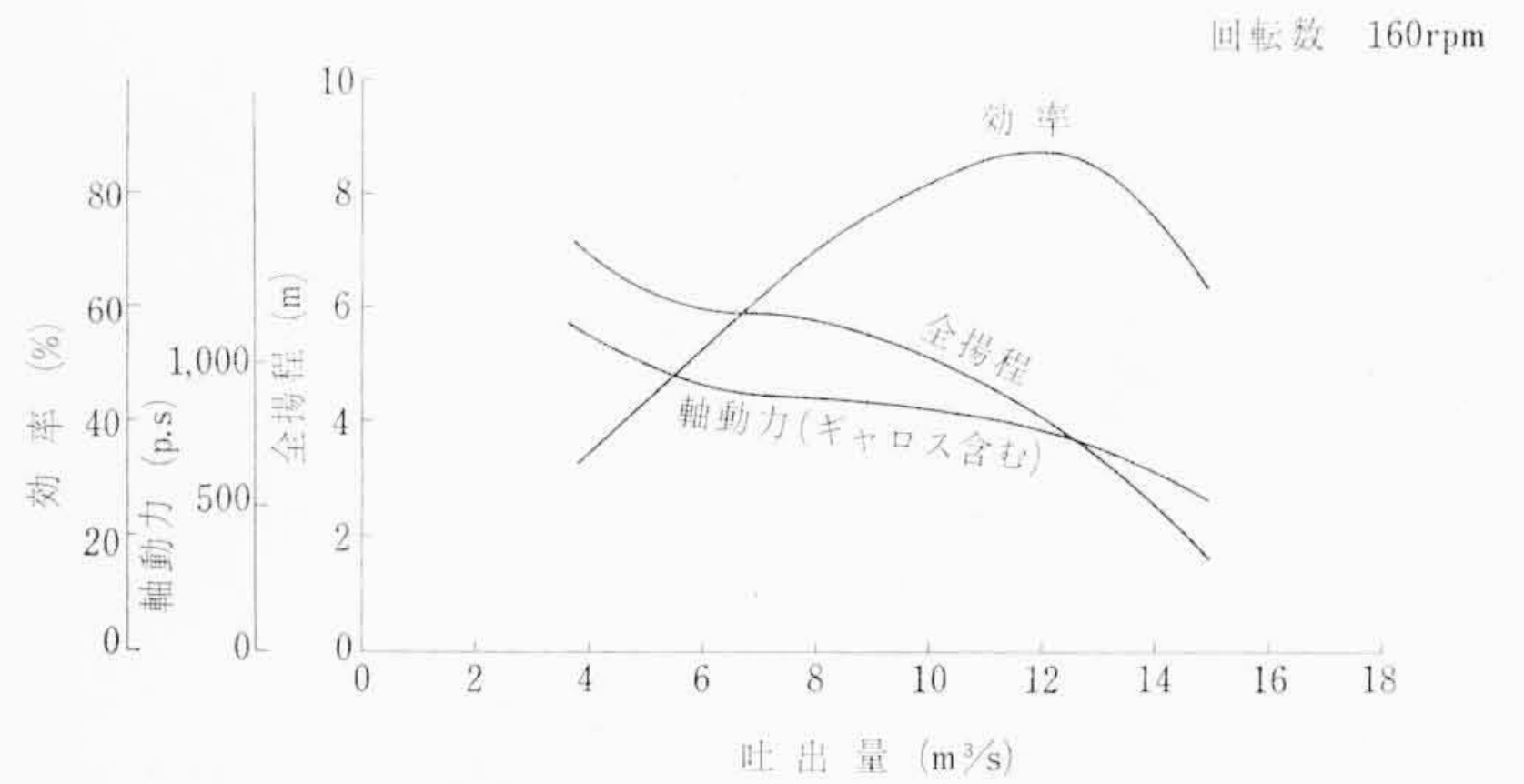
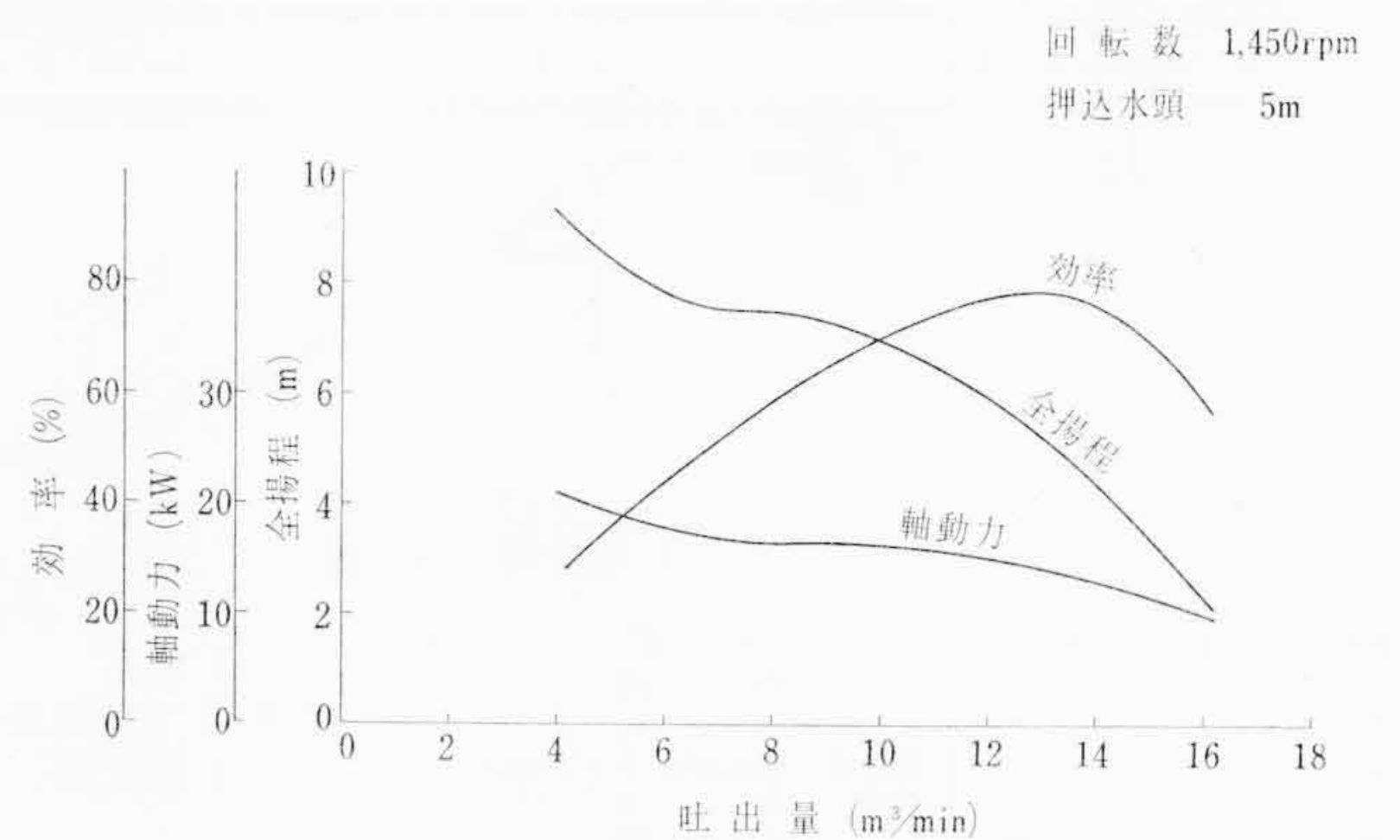
第6図 モデルポンプ試験装置

モデルポンプは実物ポンプに対しモデル比（羽根車外径比）が1:8.2であり、ポンプの吸込側フランジから吐出側管出口フランジ部までは水力学的主要寸法が幾何的に相似になるよう製作された。第6図はモデルポンプ試験装置で、その仕様は下記のとおりである。

形 式	横形電動機直結式軸流ポンプ
口 径	300 mm
吐 出 量	13 m ³ /min
全 揚 程	4.8 m
回 転 数	1,450 rpm
原 動 機	22 kW 電動機

モデルポンプに対しては性能試験のほかにキャビテーション試験を行なった。実物ポンプには排水機場内外水位が+1.00mの実揚程0 mの運転（訓練運転）があるためである。

(1) モデルポンプの試験は JIS B 8301 に準じて行ない、試験結果を実物ポンプ性能に換算する換算式はさきに農林省に納入した2,800 mm 立形可動翼軸流ポンプ設備の際採用された次式によった。

第7図 2,300 mm 立形軸流ポンプ性能曲線
(モデルポンプ性能から換算したもの)

第8図 モデルポンプ性能曲線

$$\text{吐 出 量} \quad Q = \varepsilon_1 \left(\frac{N}{N_m} \right) \left(\frac{D}{D_m} \right)^3 Q_m$$

$$\text{全 揚 程} \quad H = \varepsilon_2 \left(\frac{N}{N_m} \right)^2 \left(\frac{D}{D_m} \right)^2 H_m$$

$$\text{軸 動 力} \quad P = \varepsilon_3 \left(\frac{N}{N_m} \right)^3 \left(\frac{D}{D_m} \right)^5 P_m$$

$$\text{ポンプ効率} \quad \eta = \eta_m \left(\frac{\eta_{\max}}{\eta_{m\max}} \right)$$

$$\text{ポンプ最高効率} \quad \eta_{\max} = 1 - (1 - \eta_{m\max}) \left(\frac{D_m}{D} \right)^{\frac{1}{4}} \left(\frac{H_m}{H} \right)^{\frac{1}{10}}$$

ここに

Q : 実物ポンプの吐出量

H : 実物ポンプの全揚程

P : 実物ポンプの軸動力

η : 実物ポンプの効率

$\eta_{\max}$: 実物ポンプの最高効率

N : 実物ポンプの回転数

D : 実物ポンプの代表寸法（羽根車外径）

$$\varepsilon_1: \text{吐出量補正係数} \quad \left(\frac{\eta}{\eta_m} \right)^{\frac{3}{5}}$$

$$\varepsilon_2: \text{全揚程補正係数} \quad \left(\frac{\eta}{\eta_m} \right)^{\frac{2}{5}}$$

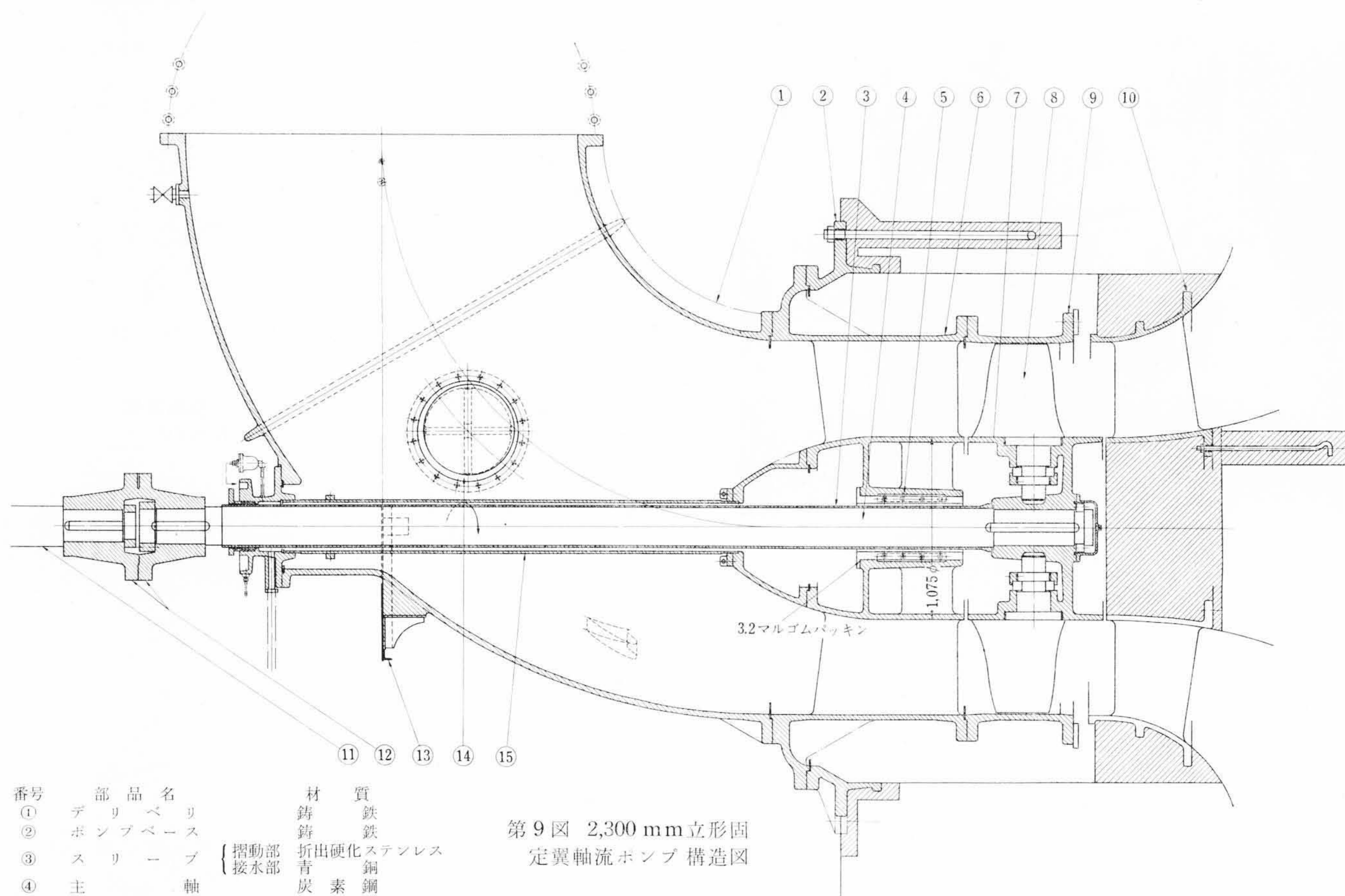
$$\varepsilon_3: \text{軸動力補正係数} \quad 1$$

添字 m はモデルを示す。

モデルポンプの性能試験結果および実物ポンプへ換算したものを第7図、第8図に示す。実物ポンプの保証効率は仕様点で85%であり、換算の結果87.5%を得たので保証値を満足している。

(2) キャビテーション試験

実物ポンプの最低水位に相当する吸込揚程について試験を行ない、実物ポンプの運転相当範囲でキャビテーションによる性能低



番号	部品名	材質
①	デリベリ	鉄
②	ポンプベース	鉄
③	スリーブ	折出硬化ステンレス
④	主軸	炭素鋼
⑤	水中軸受	カッタレスゴム
⑥	ケーシング	鉄
⑦	ランナボス	銅
⑧	ランナベ	ステンレス
⑨	ケーシングライナ	鉄
⑩	サクション	鉄
⑪	中間軸	炭素鋼
⑫	カップリング	銅
⑬	プラットフォーム	鋼板
⑭	マンホールカバー	鉄
⑮	保護管	ステンレス

第9図 2,300 mm立形固定翼軸流ポンプ構造図

下のことを確認した。実物とモデル間の吸込揚程換算はキャビテーション係数 σ を同一とした。なお実物ポンプにおける水温は20℃、大気圧760 mmHgと仮定した。

$$H_{sv} = (B_a - D_a) + h_s + \frac{V_s^2}{2g}$$

$$= B_a - D_a + H_{as}$$

ここに B_a : 絶対大気圧 D_a : 水の悪気圧
 h_s : 吸込圧力(ゲージ圧) V_s : 吸込側の流速
 g : 重力の加速度 H_{as} : 吸込全揚程

実物ポンプの最低水位は羽根車中心から水面まで0.35 mである。これをモデルの吸込揚程に換算すると約3.8 mとなり、このときのモデルのキャビテーション発生状況を外部よりストロボにて観察した。試験の結果キャビテーションの発生はみられず実物ポンプが実揚程0 mの運転でも支障ないことを確認した。

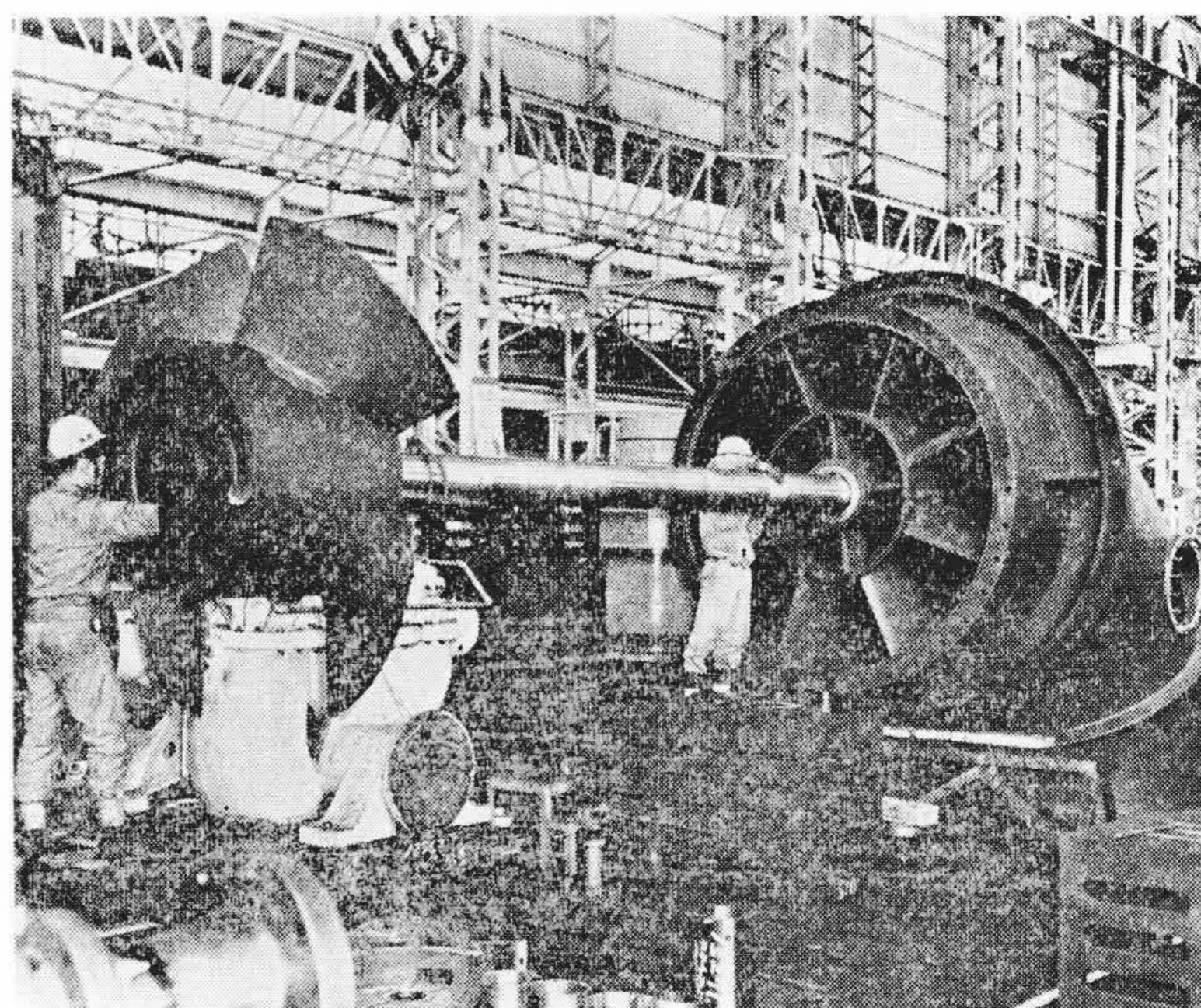
4. 排水ポンプ設備機器の概要

(1) 主排水ポンプ

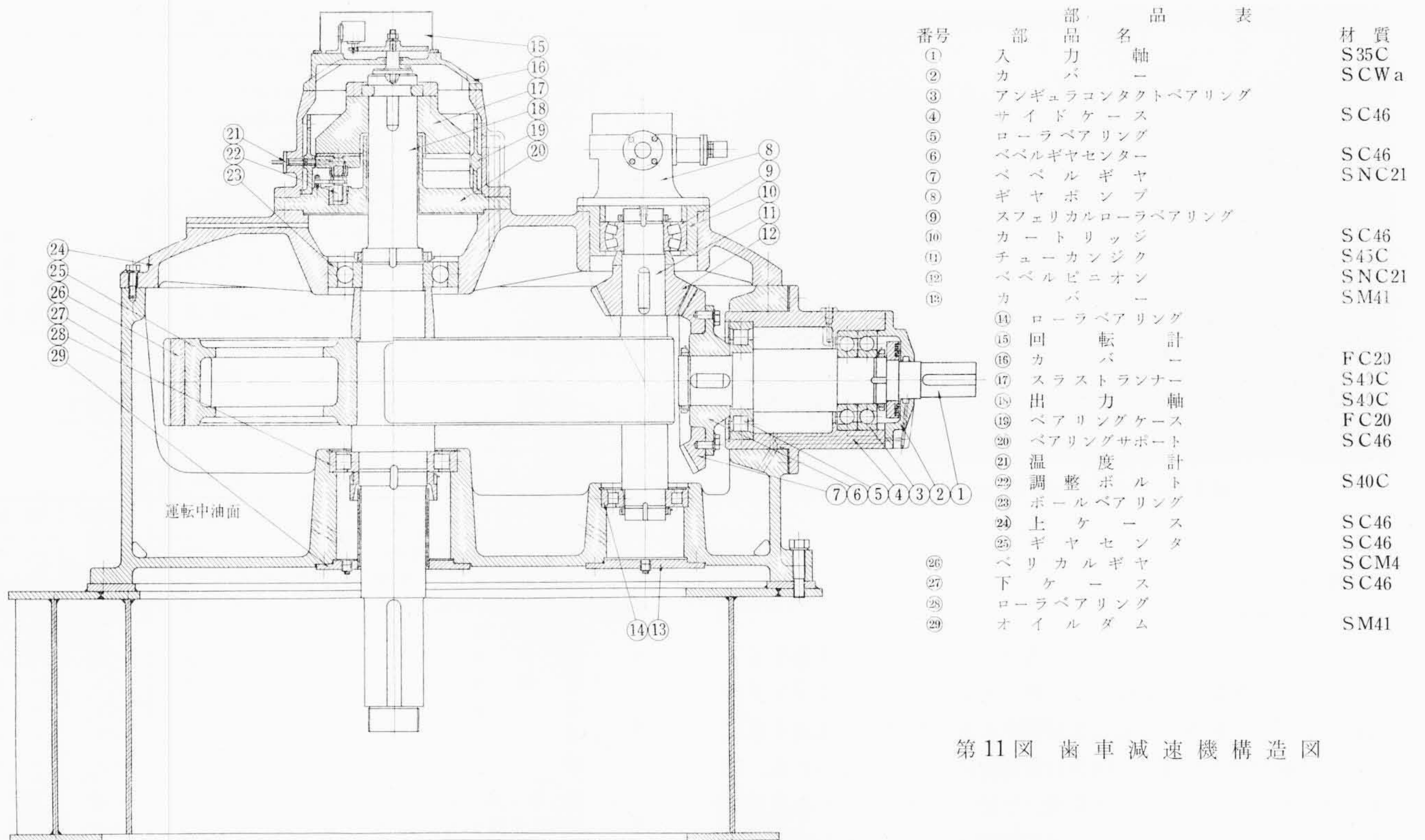
排水ポンプは二床式立形固定翼軸流ポンプである。その構造図を第9図に示す。本設備では排水機場周辺の地盤が軟弱であるのでポンプは極力軽量のものとしてある。従来大口径の軸流ポンプの上部吐出ケーシングは、かさ形構造(例、農林省印幡安食機場納2,800 mm可動翼軸流ポンプ)が一般的であるが本ポンプではさきに四日市市役所に納入した1,800 mm立形固定翼軸流ポンプと同じベンド形構造とした。吐出ケーシングをベンド形構造とし

たときの利点としては、

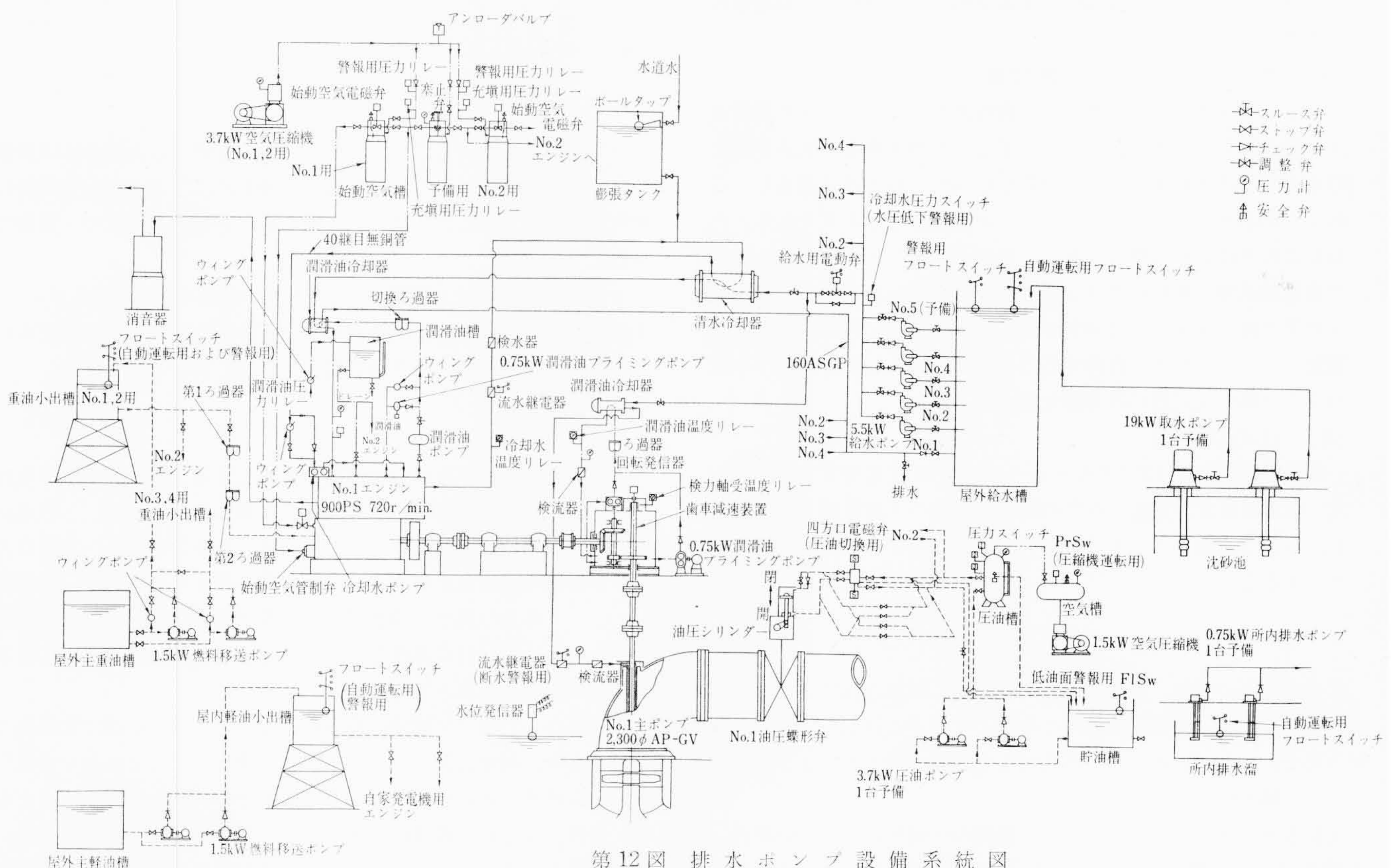
- (i) ポンプの構造と土木構造が簡単である。
 - (ii) ポンプ効率がかさ形構造に比べ約3%よい。
 - (iii) 口径2,300 mmのポンプで重量が約10%節減できる。
 - (iv) かさ形ポンプでは構造上吐出弁としてゲートを使用せざるをえない。したがって水路の吐出口にはフラップ弁を必要とするがベンド形では蝶形弁が使用できるのでその必要がない。
- などである。ポンプの吸込口はベルマウス構造で大部分はコンクリート構造となっている。下部ケーシングは羽根車外周部ライナと水中軸受を有する案内羽根部からなっている。水中軸受にはカッタレス軸受が使用され水潤滑される。ポンプ回転部は腐食防止のため、接水部には青銅製のスリーブを、しゅう動部には析出硬化性ステンレス製のスリーブでおおわれた炭素鋼製の主軸で構成



第10図 組立中の2,300 mm立形軸流ポンプ



第11図 歯車減速機構造図



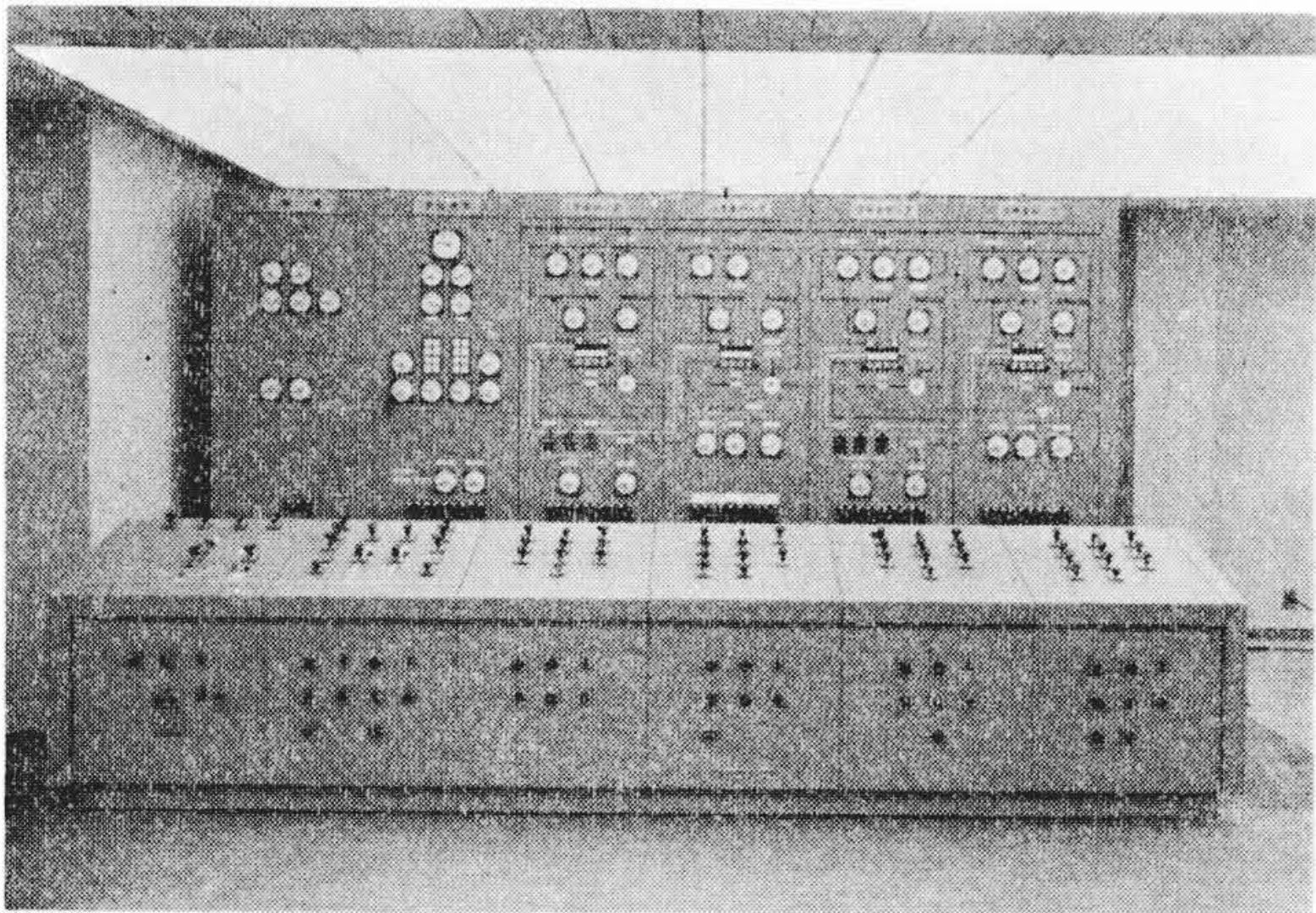
第12図 排水ポンプ設備系統図

されており、下部に羽根車、上部にリジット接手を有している。羽根車は13クロームステンレス製の羽根を鋳鋼製のボスに植込んだ構造で、羽根が摩耗腐食した場合は簡単に取替えることができるようになっている（第10図）。

ポンプの分解に際しては、上部吐出ケーシング部、下部ケーシング部、回転部と分けてつり上げることが可能である。

(2) 歯車減速機（第11図）

歯車減速機はポンプ側シングルヘリカル形と原動機側スパイラルベベル形歯車を使用した2段減速であり、歯車は同一ケースに収められている。歯車のかみ合い面および軸受部へはベベル歯車のピニオン軸の頂部に取り付けられた歯車ポンプにより強制給油されるようになっている。主ポンプの回転部の重量および水力軸推力は減速機内のミッチェル式推力軸受によりささえられる。ヘリカルギヤのギヤ軸頂部には回転発信器および推力軸受の温度発



第 13 図 排水機場操作室

信器が取り付けられている。

(3) 油圧蝶形弁

主ポンプ停止時の逆流防止用に各ポンプの吐出口には油圧ピストンによって開閉される蝶形弁が設けられている。この弁はポンプの起動および停止動作と連動して開閉される。開閉時間は約4分である。開閉動作の切替は四方口電磁弁によって行なわれる。圧油装置は圧油ポンプ、空気圧縮機、圧油タンクからなり空気圧縮機は圧油タンク内の油圧を常に規定範囲内に保つよう自動運転され圧油タンク内油圧が規定値以下に下がると、自動的に給油されるようになっている。

(4) 冷却および潤滑装置 (第 12 図)

ディーゼル機関および潤滑油の冷却水および主ポンプの潤滑水は、揚水を利用する方法とした。すなわち排水機場の吸込水路に取水口を設けて取水ポンプを設置しいったん給水槽に揚水し、これより給水ポンプにより各ポンプごとに給水する方式である。ただしこの水はいわば海水であり、冷却水用としてディーゼル機関や歯車減速機に直接給水するのは腐食の心配があるのでディーゼル機関の冷却水としては清水を使用して循環させ回路に冷却器を設置してこれを海水で冷却する二次冷却方式とした。歯車への潤滑油の冷却にも同様に冷却器を設けた。

(5) 自家発電設備

補機駆動用には 125 kVA ディーゼル機関発電機 2 基を設置した。これは買電停電時に所内の補機や照明の予備電源として使用し、いかなる場合にも主排水ポンプを運転できる体勢を保持しようとするものである。

5. 操作方式

本排水機場の監視、制御はすべて操作室に設置されている監視制御盤および現場の機側操作盤にて能率よく確実に運転できる一人制御方式であり、必要に応じて現場でも単独に操作できるようになっている (第 13 図)。

主排水ポンプは指令後ディーゼル機関の始動から吐出弁の開弁、主排水ポンプ起動完了までを約7分間を標準としてすべて順序よく、自動的に操作される。また主排水ポンプ吐出量を制御するためにディーゼル機関速度を 70~100% の範囲に調整することが可能である。ポンプの起動順序は第 1 表に示すとおりであり、監視制御盤にはこれらの運転順序を表示するランプが設けられ、操作、保守が容易にできるようになっている。

第 1 表 排水ポンプ起動順序

起動順序	操 作 内 容	被 制 御 機 器	条 件
1	起 動 準 備 操 作	潤滑・冷却水取水ポンプ 潤滑・冷却水給水ポンプ 圧 油 ポ ン プ 機 関 燃 料 移 送 ポ ン プ	起 動 起 動 起 動 起 動
2	インターロック条件の確認	機関起動用空気圧力 燃 料 小 出 槽 油 面 圧 油 装 置 圧 力 給 水 管 内 圧 力 各 種 閉 鎖 継 電 器	正 常 正 常 正 常 正 常 動作していないこと。
3	主排水ポンプ起動	ディーゼル機関起動 油 圧 蝶 形 弁 主 排 水 ポ ン プ	(閉 → 開) (起動完了)

第 2 表 警報および保護装置

	故 障 部 分	原 因	表 示	非常停止	警 報
重 故 障	ポンプ潤滑水および冷却水	断 水	○	○	ベル
	歯車減速装置潤滑油	温度上昇	○	○	ベル
	歯車減速装置推力軸受	温度上昇	○	○	ベル
	機 関 冷 却 水	温度上昇	○	○	ベル
	機 関 冷 却 水	断 水	○	○	ベル
	機 関 潤 滑 油	圧力低下	○	○	ベル
	吸 水 位	異常低下	○	○	ベル
	機 関	過 速 度	○	○	ベル
軽 故 障	機 関	起動渋滞	○	○	ベル
	蝶 形 弁 操 作 油	圧力低下	○	—	ブザー
	蝶 形 弁 操 作 油 貯 油 槽	油面低下	○	—	ブザー
	給 水 槽	水位低下	○	—	ブザー
	給 水 管	圧力低下	○	—	ブザー
	機 関 燃 料 小 出 槽	油面低下	○	—	ブザー
	空 気 槽	圧力低下	○	—	ブザー
	吸 水 位	低 下	○	—	ブザー

一方運転中において、ポンプに非常事態が発生した場合には保護装置が動作して警報を発し、重故障の場合には主ポンプを自動的に非常停止するようになっている。第 2 表は各種保護装置の一覧表である。

なお本排水機場には潤滑水、冷却水用の取水ポンプ、給水ポンプ、圧油装置、ディーゼル機関始動装置など各種多数の補機が駆使されているがこれらすべて中央制御盤から監視、制御される。

6. 結 言

災害対策ならびに復旧がわが国の重要な施策として取り上げられ全国各地で高潮対策用のポンプ設備が計画されつつある。このポンプは潮候周期の約 1/2~1 程度という比較的単時間に地区内降雨の大部分を排水することが要求されるため大口径となっている。設備としては、大容量の農地用排水ポンプ、都市雨水排水ポンプと本質的に変わらないが、特に高潮対策ポンプとして特異な点については本文 2 項で記したとおりである。

今回製作したポンプ設備は高潮対策用としてはわが国で代表的なものであり、排水設備に一つのモデルを確立したことになり今後広く応用されることと思われる。本設備がその真価を発揮するとともに、今後計画される機場に参考になることを切望する次第である。

本設備の計画に当たっては、この設備の顧客でありまた計画元である東京都港湾局が日本作業船協会に計画設計を委託し、同協会は都港湾局、運輸省港湾局、港湾コンサルタント、ポンプメーカー 3 社、そのほか学識経験者からなる設計委員会を組織した。その関係上、本機場の計画、機器の製作に当たっては関係各位のご指導を種々賜わった。ここに感謝の意を表する。