

アメリカ政府内務省開拓局クリヤークリーク発電所納

120,000 HP フ ラ ン シ ス 水 車

120,000 HP Francis Turbines Delivered to the Clear Creek Power Plant,
U. S. Department of the Interior, Bureau of Reclamation, U. S. A.

外 岡 英 徳*

Hidenori Tonooka

伊 藤 栄 郎*

Hideo Itô

高 瀬 光 雄*

Mitsuo Takase

内 容 梗 概

アメリカ政府開拓局は目下カリフォルニア州のトリニティ河に Central Valley Project と称する水力開発計画を遂行中で、この一環となるクリヤークリーク発電所用 120,000 HP フランシス水車 2 台を日立製作所が受注し、昭和 37 年始めに完成納入した。

本水車は初めての対米プラント輸出ともいえるべく、なかんずく、斯界にその権威をうたわれる開拓局よりの受注ということで、その意義はまことに大きく、日立製作所はその全力をあげて、これが設計製作を推進したもので、その成果は、各方面より期待されているものである。

本稿は本水車の設計製作の特長をあげ、江湖の参考に供するものである。

1. 結 言

現在アメリカではカリフォルニア州のトリニティ河に Central Valley Project と称する電源開発計画を遂行中で、この開発を世界的にその権威をうたわれているアメリカ政府内務省開拓局(Bureau of Reclamation)が担当して実施中である。

日立製作所は、本 Project の一環をなすクリヤークリーク発電所用 120,000 HP フランシス水車 2 台を受注し鋭意製作中であつたが、このほど完成し、目下現地据付中の状態である。

アメリカ政府内務省開拓局は、かつてグランドクーリー (Grand Coulee)、フーバー (Hoover) など著名なダムおよび水力設備を建設し、土木および水力工学界でその実績と実力を高く評価されており、その独自の研究成果は従来数多く斯界に発表されて、国際的にも一つの指標を与えているほどの権威を誇っているが、日立製作所が、多くの困難を切り抜けて、同局より大容量水車の受注に成功したことは、水車製作に関する多年の研究と経験、アメリカコンサルタントを通じて輸出された水車の実績、もしくはインド・バークラ発電所用水車の設計製作実績がここに結実し、重電機品としての初の米国へのプラント輸出が実現したものとて、その意義は非常に大きなものがある。本 Project は現在 3 発電所が同時に建設され、イギリスおよびアメリカの同業メーカーが受注している事情もあって、その成果は、アメリカはじめ世界中の注目を受けているとともに、日立水車の今後の海外への飛躍的進出の画期的基礎となるものであると考えられ、これが設計製作には米国規格に準拠し、開拓局の仕様書に基づき、あらゆる点に万全を期したものであるが、今回、立会官の検査にも合格し、ここに完成を見たことは喜びにたえないところである。

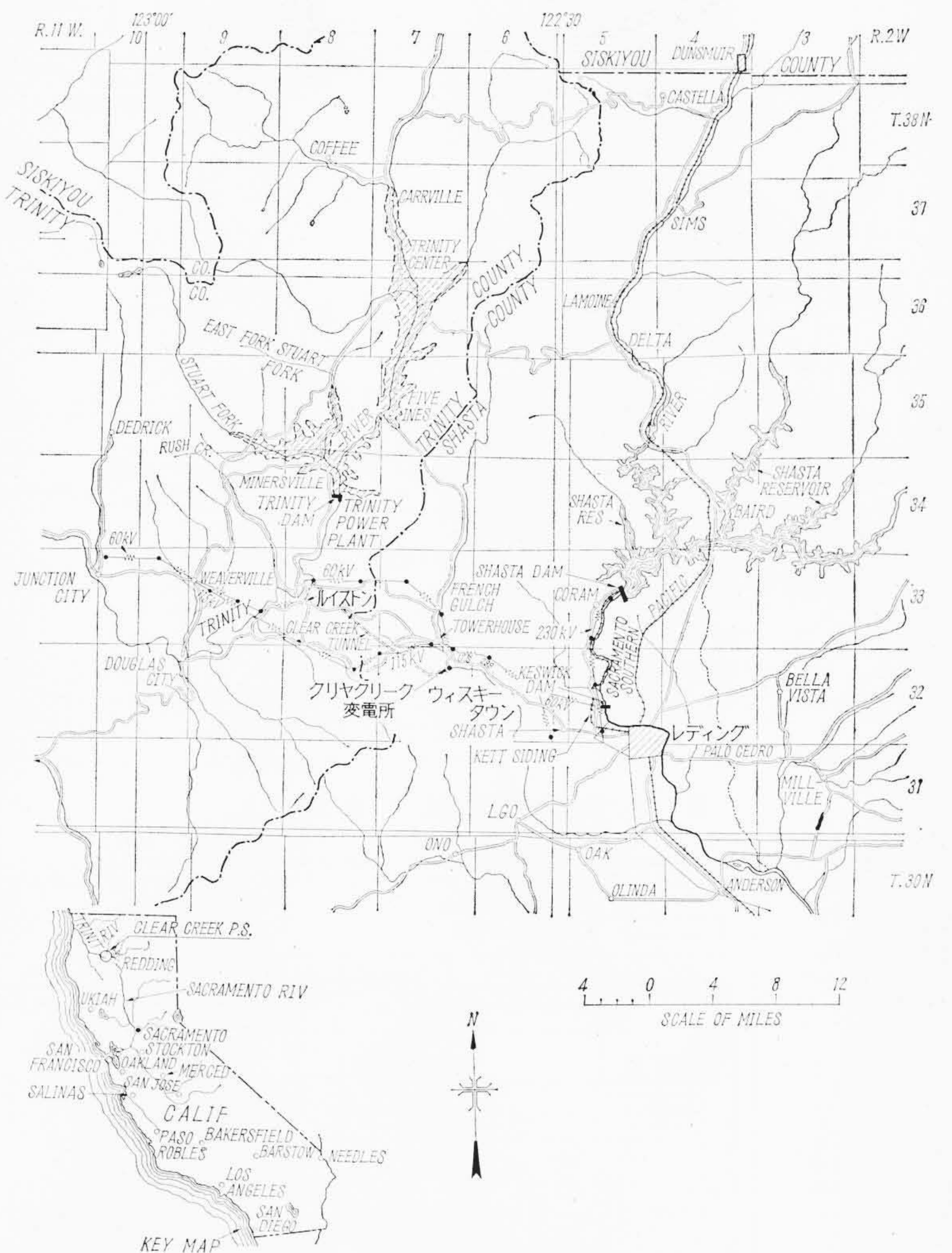
以下本水車の設計製作の概要について紹介し参考に供したい。

2. クリヤークリーク発電所の概要

2.1 発電所計画の概要

クリヤークリーク発電所は第 1 図に示すように、カリフォルニア

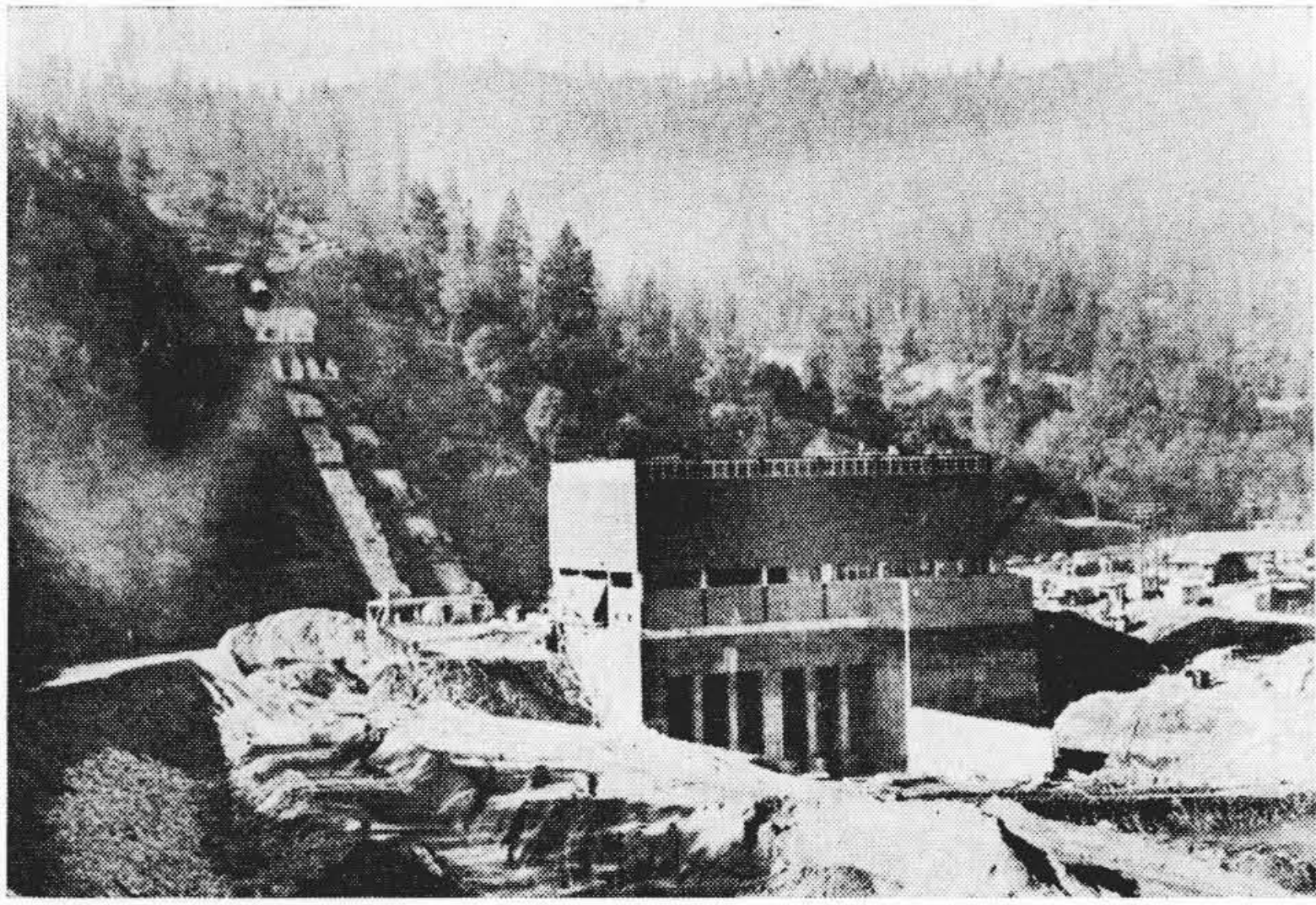
* 日立製作所日立工場



第 1 図 クリヤークリーク発電所付近位置図

州の西海岸に流出するトリニティ河に建設されたルイストン貯水池より取水し、サクラメント河の支流クリヤークリークのウイスキータウン貯水池に放水するため、レディングの西約 12 マイル、ルイストンの南東約 12 マイルに位置しており、著名なシャスタ発電所もその近辺にある。

開拓局は Central Valley Project の一環として Trinity River Division の担当の下に本クリヤークリーク発電所のほかにトリニテ



第2図 建設中のクリーヤクリーク発電所

イ、スプリングクリークの2発電所も同時に建設中であり、クリヤークリーク発電所の建設、機器据え付け（ケーシング据え付けを除く）は、Gunther-Shirley-Lane (Joint Venture)により行なわれる。

クリヤークリーク発電所用水車2台のための水は10門のスライド・ゲートを有する朝顔形取入口より取水され、径17 ft 6 in.、長さ約56,400 ftのコンクリートトンネル一本により導水され、途中に差働形サージタンクを有し、これより385 ft下流で、径15 ft 8 in.より10 ft 6 in.の鉄管2本に分岐して水車に導入される。各鉄管は分岐後その上端付近に鉄管弁を有しているが、水車入口弁は設置されない。

日立製作所はサーボモータを含む水車本体を受注したものであるが、発電機、调速機、給排水装置などの補機類は製作者が異なるため、機器の配置計画はすべて開拓局で行ない、配管に関しても、水車メーカーは単に水車に付属する配管をピット内のみ納入し、外部配管および操作用油管はすべて他の契約者により行なわれることになった。

なお後述するように、日立製作所はケーシングの据え付けおよび現地水圧試験、発電機軸とのリーマ通し作業も行なうこととなっており、前者はアメリカ国内下請業者を選定し、後者は作業上の都合も考え、発電機メーカーに外注した。

本水車に直結される74,444 kVA, p. f. 0.9, 13.8 kV, 225 rpm 発電機はGeneral Electric社製で、また调速機を含む調整装置はBaldwin-Lima-Hamilton社のPelton Divisionが受注製作したものである。

水車中心標高はEL. 1,195.0 ftでボール方式で据え付けられ、第6図に示すように、水車軸と発電機軸はEL. 1,209.25 ftで直結される。

また上水位および放水位の変動状況は下記のとおりである。

上水位

最高洪水位 EL. 1,911.0 ft
最高水位 EL. 1,902.0 ft
荷重平均水位 EL. 1,900.0 ft
最低水位 EL. 1,898.0 ft

放水位

最高洪水位 EL. 1,222.5 ft
最高水位 EL. 1,211.0 ft
荷重平均水位 EL. 1,205.0 ft
2台運転時最低水位

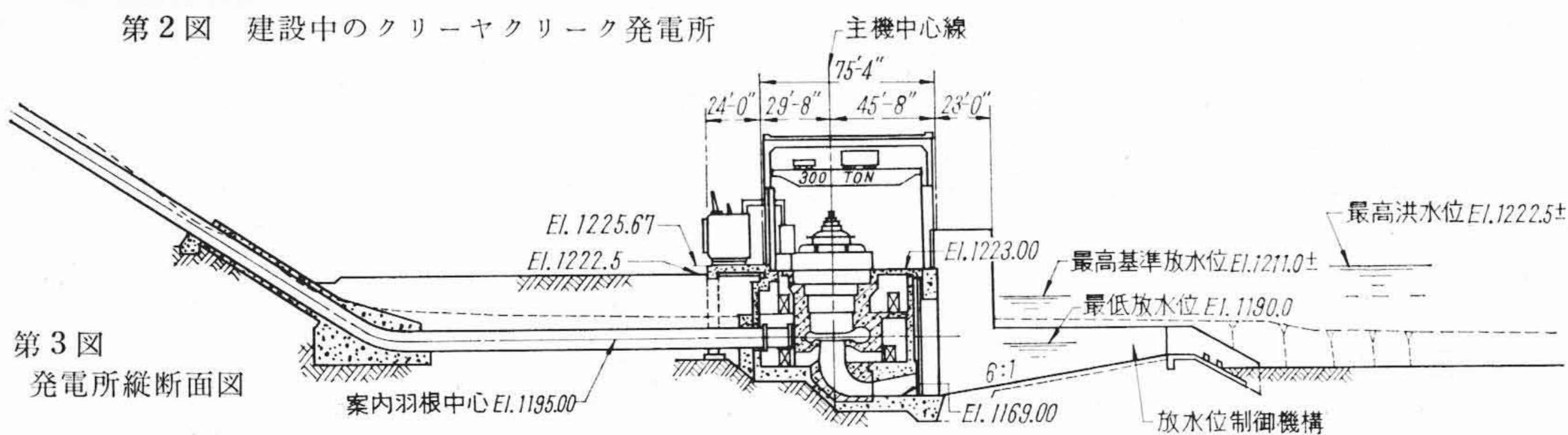
EL. 1,192.0 ft

1台運転時最低水位

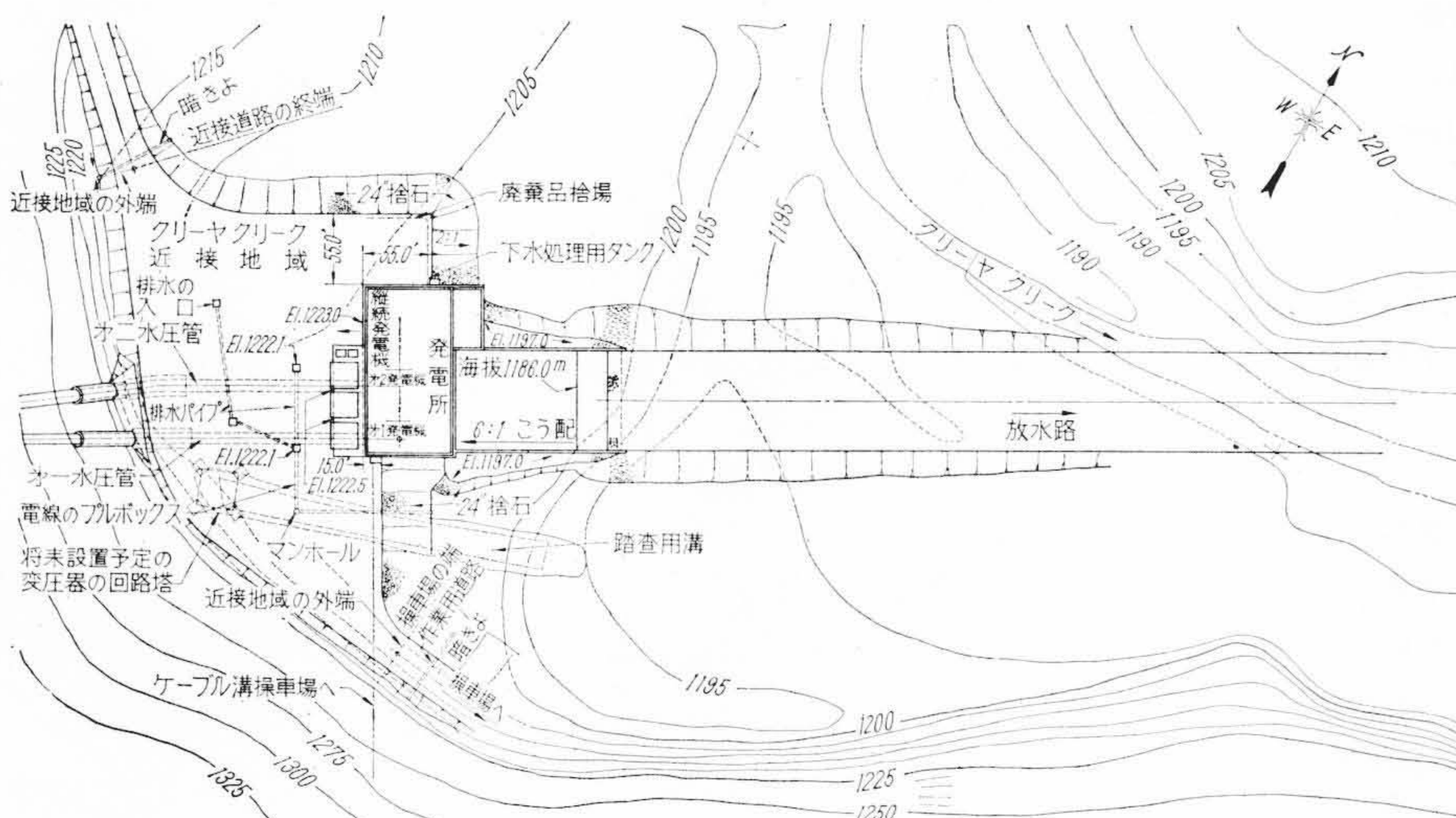
EL. 1,190.0 ft

2.2 輸送

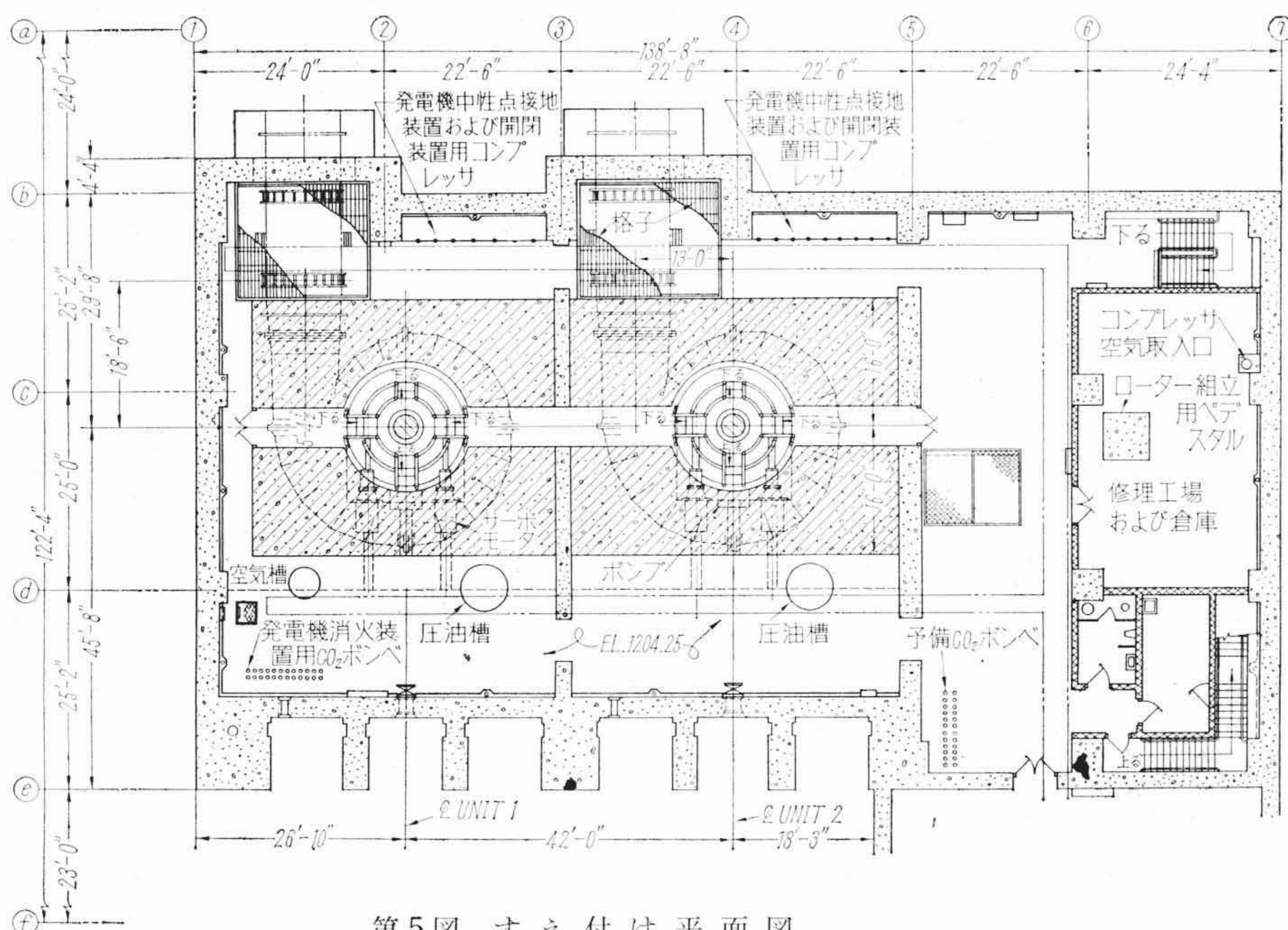
機器はすべてオークランド港に陸揚げされSouthern Pacific Railroadに



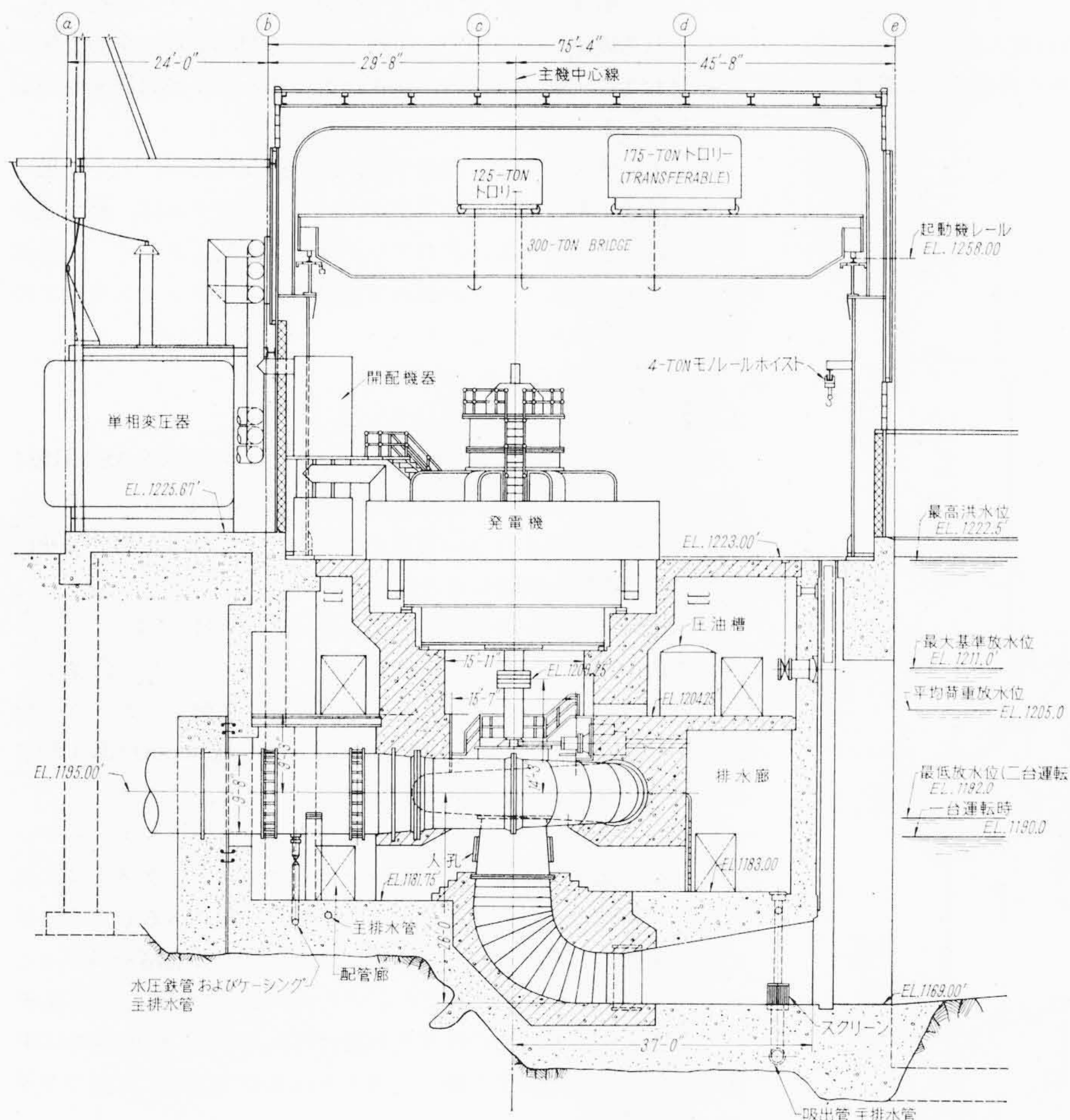
第3図 発電所縦断面図



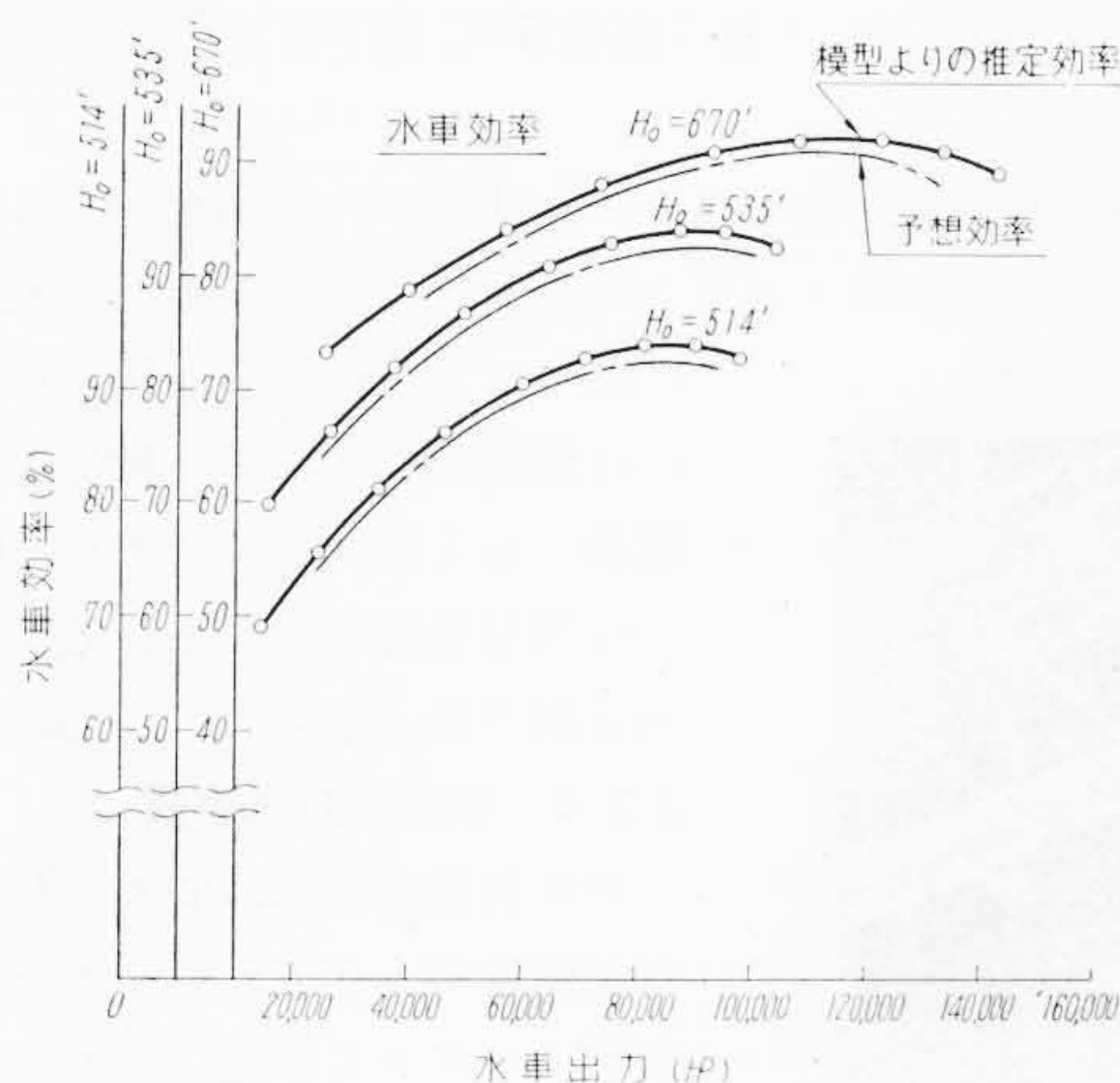
第4図 発電所付近平面図



第5図 すえ付け平面図



第6図 すえ付け断面図



第7図 水車効率推定曲線

てレディングまで陸上輸送され、レディング貨車乗渡として契約された。

3. 120,000 HP (89,500 kW) 水車

3.1 水車仕様

水車出力	最高落差時制限出力	120,000 HP (89,500 kW)
	設計落差時全開出力	100,000 HP (74,600 kW)
	基準落差時全開出力	93,500 HP (69,723 kW)
	最低落差時全開出力	89,400 HP (66,800 kW)
落差	最高	670 ft (204 m)

設計	基準	535 ft (163 m)
基準	最低	514 ft (156.8 m)
最低	流量	500 ft (152.5 m)
最高落差時制限	設計落差時	1,745 cfs (49.4 m ³ /s)
設計落差時	基準落差時	1,795 cfs (50.8 m ³ /s)
基準落差時	最低落差時	1,740 cfs (49.3 m ³ /s)
最低落差時	回転数	1,712 cfs (48.5 m ³ /s)
回転数	比速度	225 rpm
比速度	形式	105.5 (m-kW)
形式	台数	VF-1 RS (立軸フランシス水車)
台数	回転方向	2台
回転方向	設計水圧	反時計方向
設計水圧	無拘束速度	465 psi (32.7 kg/cm ²)
無拘束速度	全開にて	最高落差 670 ft,
		192.5% (433 rpm)

なお本水車は最高落差時において全開水量 2,010 cfs (57.0 m³/s) で 134,000 HP (100,000 kW) 出しうる容量をもっているが、発電機容量の点より 120,000 HP で制限され、回転部強度は 120,000 HP で設計された。

3.2 水車の特性

水車特性上の保証事項としては、効率に対しては基準落差 535 ft, 93,500 HP におけるただ一点のみ保証され、ASME 規格による塩水速度法または他の適当な方法による現地試験のみで判定され、模型試験は特に要求されていない。またキャビテーションに対しても、1 年間の潰食量として $\frac{0.6 D^2}{8,000}$ ポンド/1 時間 (D はランナ出口径 ft) が保証されているのみで、もちろんこれに対しては、落差、負荷の変動に対して条件付きとなっている。

日立製作所では特に模型試験を行ない、第7図のように十分満足しうる性能を有していることを確認した。

3.3 水車構造上の特長

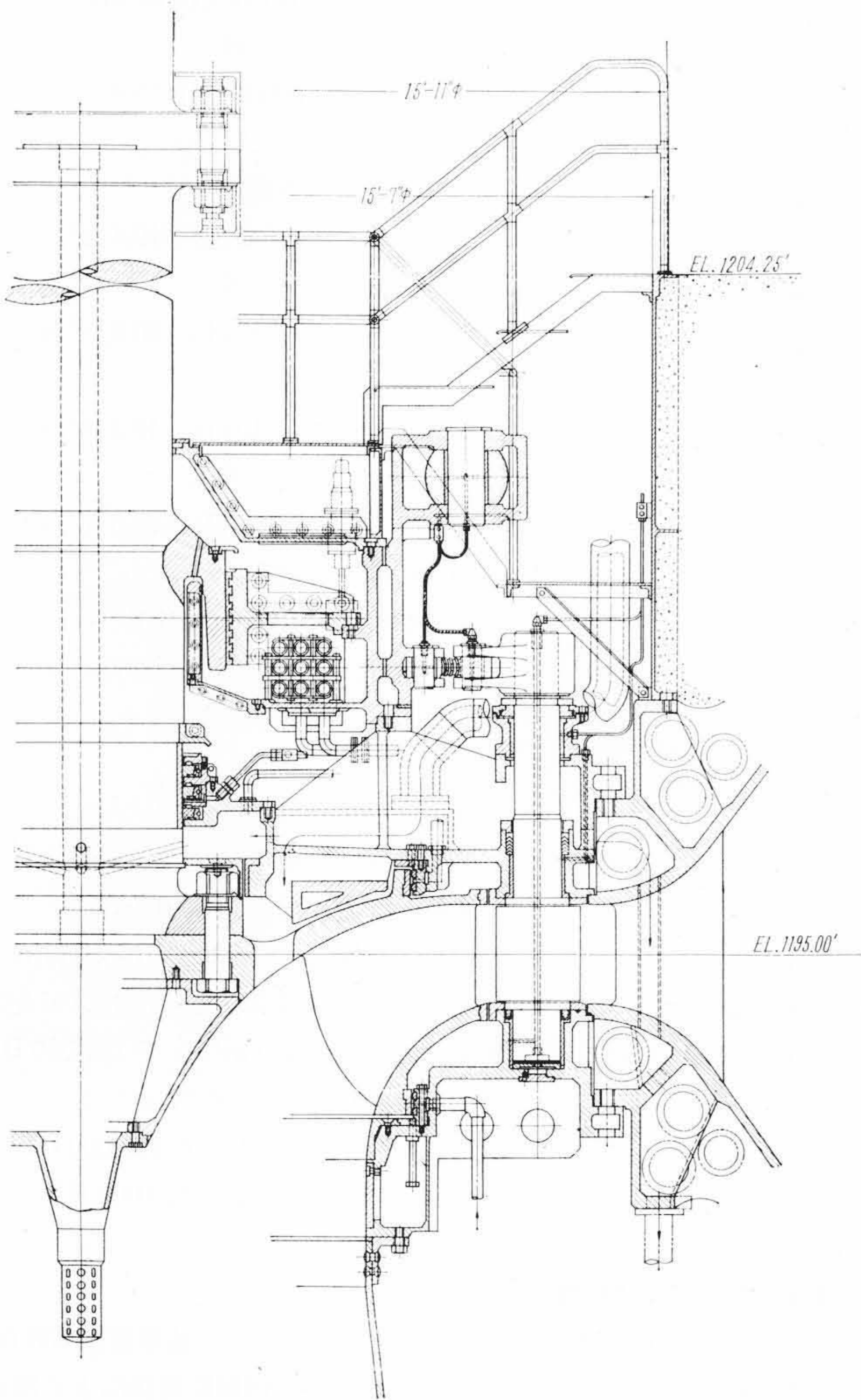
先述したとおり、顧客仕様書はアメリカ国内メーカーの標準的構造を主体として折り込んだもので、もちろん顧客としては従来の十分な運転経験を持っていることから当然と考えられるが、これよりの変更、省略は原則として認められないことになっており、構造、材質など日立製作所の従来の標準構造とはやや異なる部分も少なくないが、これらに対しては従来の経験を生かし、十分検討し採用した。

材料は ASTM 規格、ネジ、ボルト、ナット、フランジなど機械要素部品は ASA 規格、塗料は Federal 規格、アメリカ陸軍規格、開拓局規格、各部品の許容応力、溶接構造の特殊要求は ASME 規格などすべてアメリカ規格が適用された。また部品に対しては可能な限り鋼板溶接構造を採用した。第8図は水車構造図、第9図は工場組立完成した水車である。

3.3.1 ランナ

ランナは最大外径 3,380 mm で、羽根部は 18-8 鋳鋼、クラウン

およびリングは鋳鋼の溶接構造製で、クラウン、リングの要部には不しゅう鋼肉盛を施した。このような材質の組み合わせの溶接ランナにおいて、熱膨張係数の差による溶接後の残留応力の除去、



第8図 水車構造図

18-8 鋳鋼の耐食性能の改善など、焼鈍温度およびその保持時間に影響される要素につき研究、原料、機械部門関係者の全力をあげて検討および実験を行ない、適正な溶接棒および熱処理条件の選定を行なった。

ランナ完成後は静的、動的平衡試験を行なったが、この結果によると静的平衡試験で十分アンバランスを修正すれば、動的試験では修正を必要とするほどのアンバランスは殆んどなく、静的試験のみで十分であることが改めて確認された。ランナと主軸との結合はリーマボルトによった。

第10図は完成したランナを示す。

3.3.2 主 軸

主軸は直径30"で発電機軸との接続フランジ寸法はASA B49.1規格により決定された。主軸原料は自家製で、中心部に6"の孔をあけて、孔内検査を行ない材質を確認し、水車軸は工場で単独に旋盤上でNEMA規格により振れ見を行なった。

発電機軸とのリーマ通しは、水車受注者の責任においてアメリカ大陸内工場を使用して、実施することとなっており、作業上の都合もあって、発電機製作者であるGE社に依頼したので水車軸はリーマ孔に仕上しろを付したままいったんSchenectady工場に送り、リーマ通しおよび直結振れ見を行なった。

ドラフトチューブへの空気導入は上カバーよりランナのバランスホールを通ずる経路と、水車軸のパッキングボックス下部にあけられた半径方向の孔を通し、ボスカバー下端につるした垂直管の下方側壁にあけられた孔より吸気する経路の2通路を設けることに規定され、水車軸の下部カップリングのやや上部に中心部6"孔と貫通する半径方向の吸気孔が設けられたので、停止時には6"孔の内部は水が充満する機会も考えられるので上端には盲プラグがはめ込まれた。

3.3.3 主 軸 受

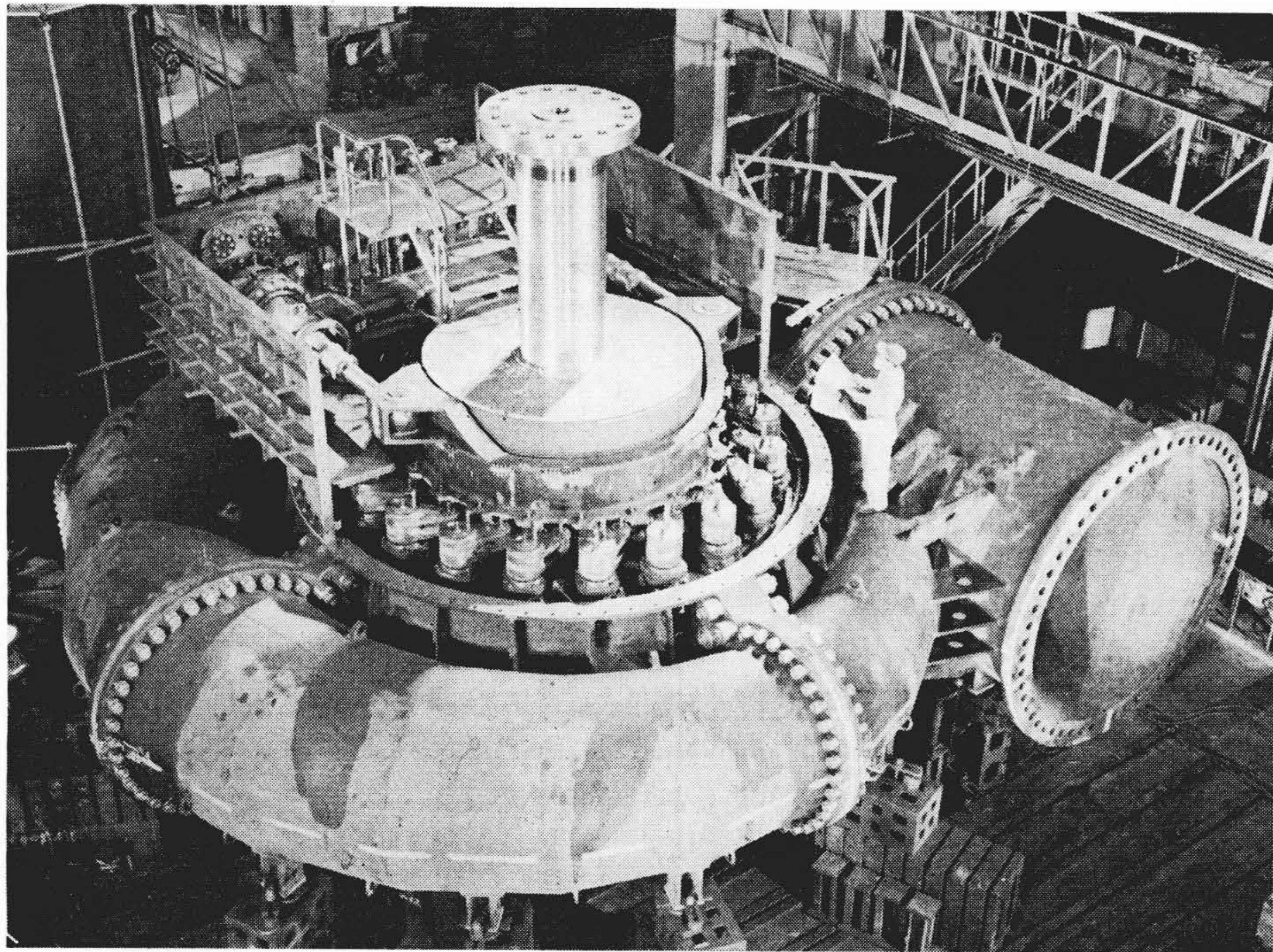
主軸受には自蔵式円筒軸受が使用された。主軸受は冷却水温最高20°C、水圧50 psiで軸受温度60°C以下という条件で設計された。

水車長期停止の場合のように、油温が一定温度以下に低下する場合、油槽下部に設けられた電熱器によりできるだけ油温を一定

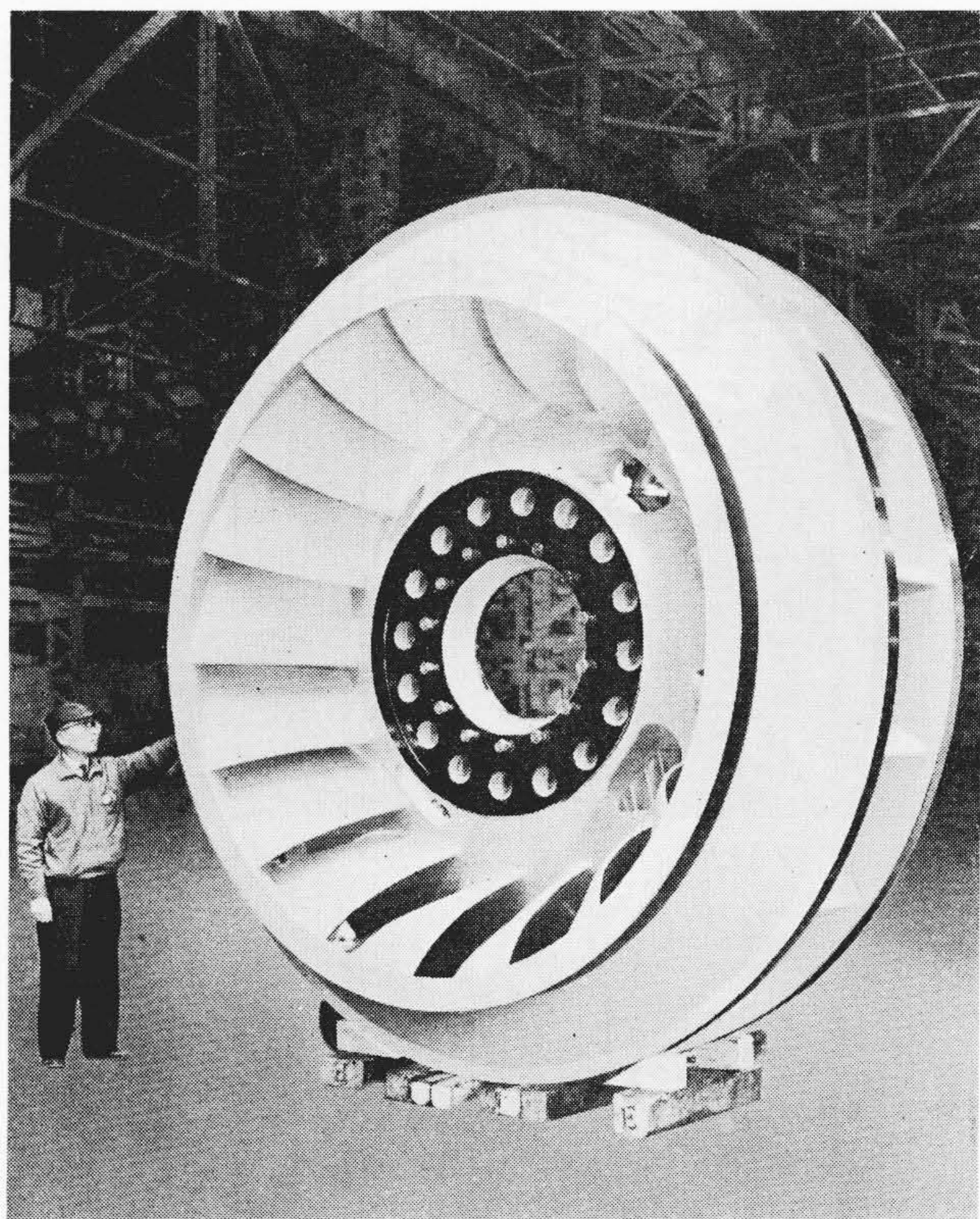
に保つような構造が採用された。軸受には保護装置として、軸受部に温度継電器、およびサーチャイル、油槽には、油温用温度継電器および丸形温度計、油面継電器、油面計などを備えている。

3.3.4 水車軸封水装置

封水装置は常時は清水、長期停止後の起動時のみグリースを注入する三段分割パッキング構造で、パッキングの最下段は濁水用として、帆布をフラン樹脂で処理成形したLF-54 Nを、第二、三段目には清水用として、炭素焼成後真空炉中でフラン樹脂を含浸させたHCB-7 Fを使用した。これらパッキングの材質は土砂の摩耗に対する耐久性および潤滑性が最も問題となるところであるが、研究の結果開発し、良好な実績を得ているこれら組み合わせを採用したものである。パッキングボックスには温度継電器が取り付けられている。



第9図 工場組立完成した水車



第10図 ランナ

3.3.5 スピードリングおよびケーシング

ケーシングは入口径 9'-8" (2,946 mm), ケーシング・スピードリングは一体溶接とし, 分割部はフランジ接続構造となっている。

分割数は5個で, 入口管の埋込部にはスラストカラーを設け鉄管側水圧からの推力によるケーシングの移動, 回転を防止する構造となっている。入口弁は設置されず, 鉄管とは他社製のスリーブ形継手を介し, 現地溶接される。

ケーシング各ピースの接続フランジは, 鋳鋼製のネック形フランジを胴板に突合わせ溶接で取り付ける構造とした。下表は高落差大容量水車のケーシングの例であるが, この表からも本水車ケーシングの強度上の容量の大きさがうかがえる。

第1表 ケーシング設計例

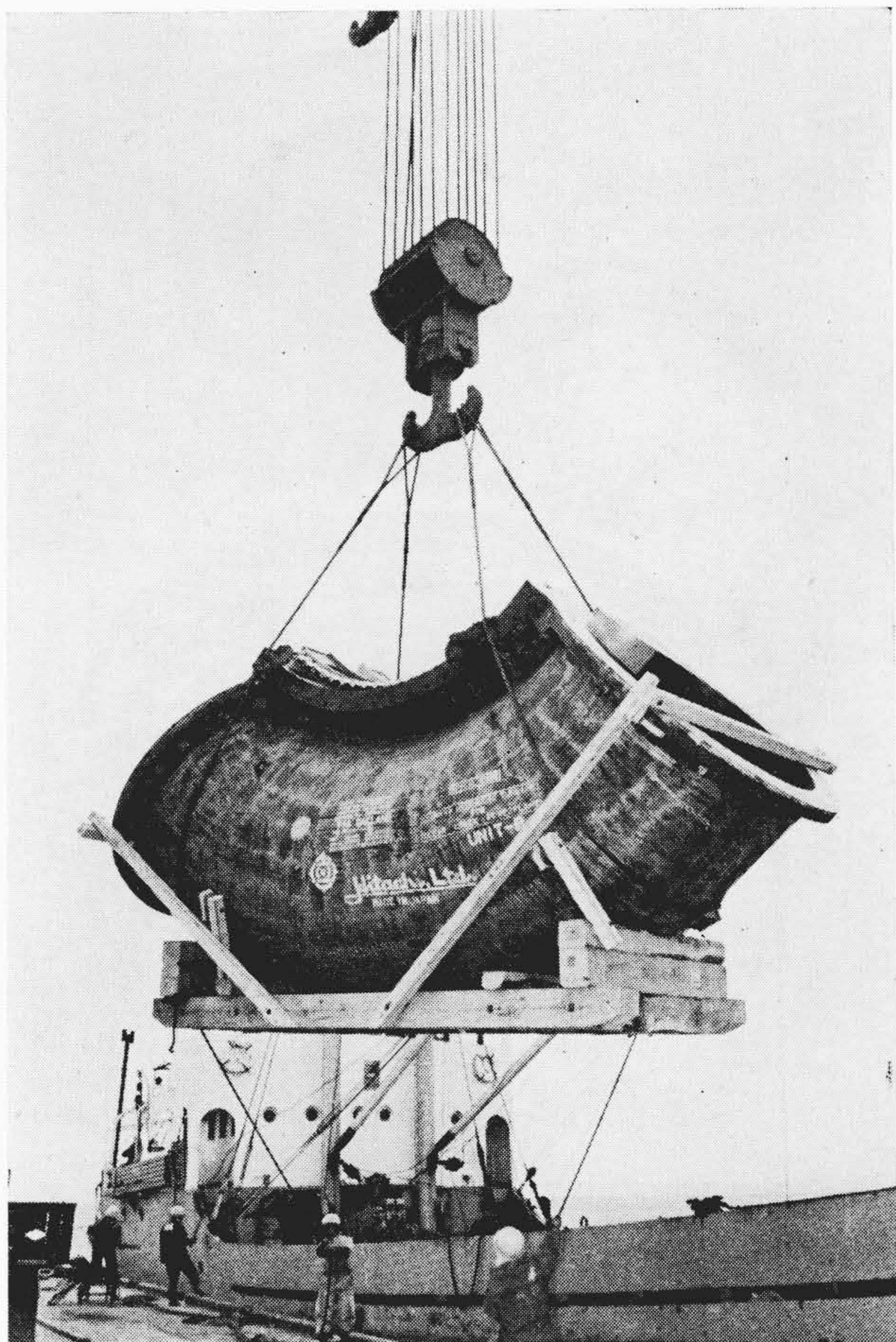
	クリヤークリーク	黒部川第四	パークラ	バミフオール	デズ	滝山川	御母衣
D =入口径 (m)	9'-8" (2,946)	1.65	3.96	4.15	2.80	1.50	3.35
P =設計水圧 (kg/cm ²)	32.7	67.0	20.7	15.4	23.8	43	26.0
$P \times D$ (kg-m/cm ²)	96.5	110.5	82.0	64.0	66.6	64.5	87.1

ケーシングマンホールは内側開きとし, ちょうつがいを上流側に設け, 万一全開中に流水がはいってきても水圧で自動的に閉じ, かつ水密をより完全ならしめる構造とされた。

ケーシング・スピードリングの設計水圧は 465 psi (32.7 kg/cm²) で, 現地で組立て後, 水圧試験 700 psi (49.1 kg/cm²) を実施されることとなっており, またケーシングに水圧 230 psi (16.2 kg/cm²) をかけたまま, コンクリート打設を行なうため水圧用カバーおよびシリンダ各1組も納入した。

工場水圧試験は特に要求されないが, 念のため1号機のみ工場水圧試験を実施し, 強度, 水密とも優秀な成績を収めた。

ケーシングの現地据え付けおよび水圧試験は日立製作所の責任で実施されることとなっているが, 日立製作所は指導員のみ派遣し, 作業, 工具の準備などはいっさいアメリカ業者を選定し, 請



第11図 日立港船積中のケーシング

負わせることとした。第11図は日立港で船積中, 第12図は現地据付中のケーシングである。

3.3.6 上, 下カバーおよびライナ類

上, 下カバーとも鋼板溶接製とし, 案内羽根ピッチ円より外側は 465 psi (32.7 kg/cm²), ピッチ円よりランナの封水部まではその 70%, 封水部より内側は放水位より生ずる back-water 圧力がかかるとして設計された。下カバーのドラフトパイプへの接続はフランジ接続とし, フランジとドラフトパイプ胴板は現地で調整後リベット接続とされている。

ライナ類は 13Cr 鋼板とし, ランナの封水部に面する固定部側にはランナライナと硬度の異なる 13Cr 製インサートを2段設け, ダブテールみぞに銅ニッケル合金のストリップでコーキングし固定する方式とされた。

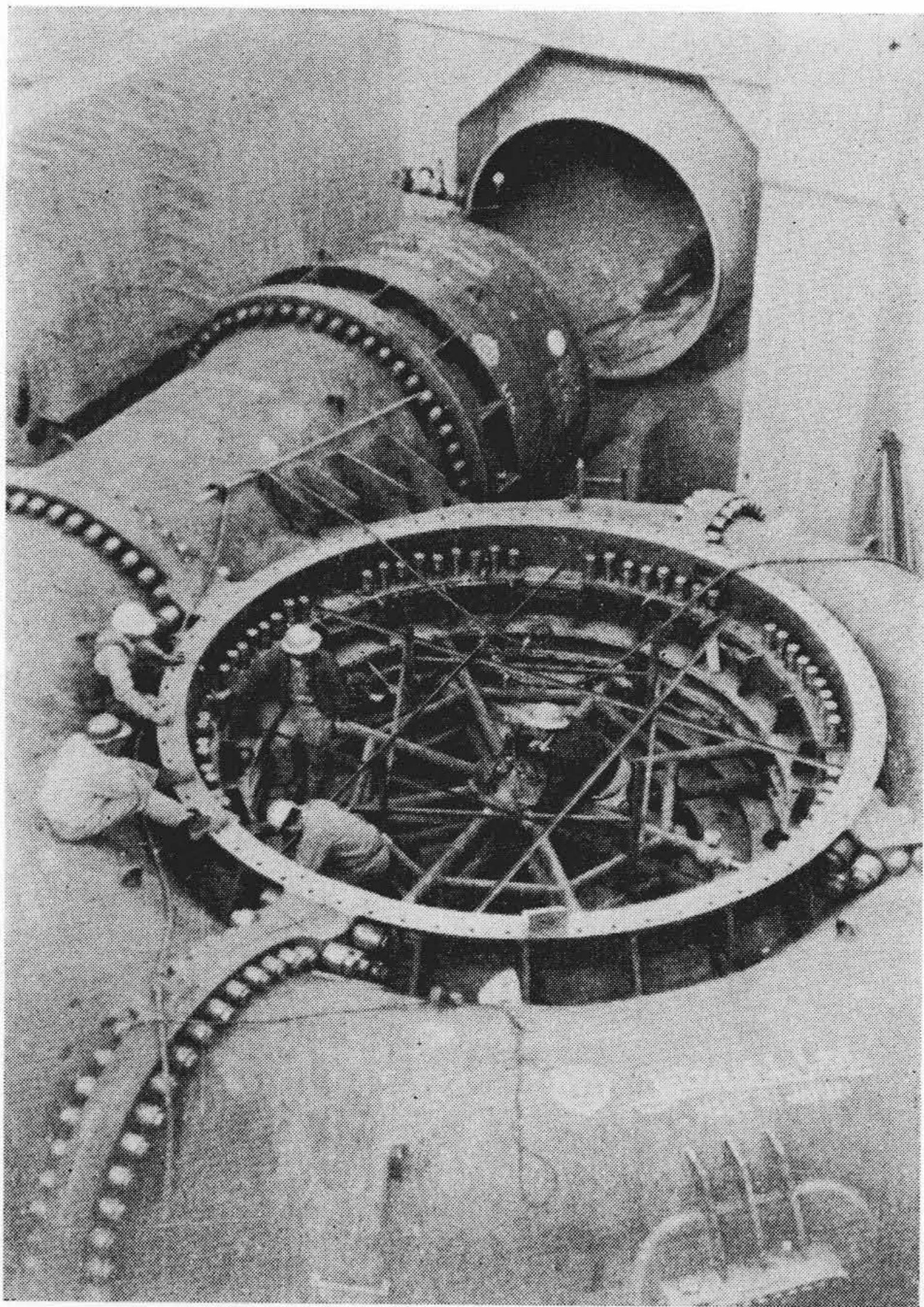
上下カバーには, ランナ外周間げきを測定できるような方式を備えている。

3.3.7 ガイドベーンおよび操作機構

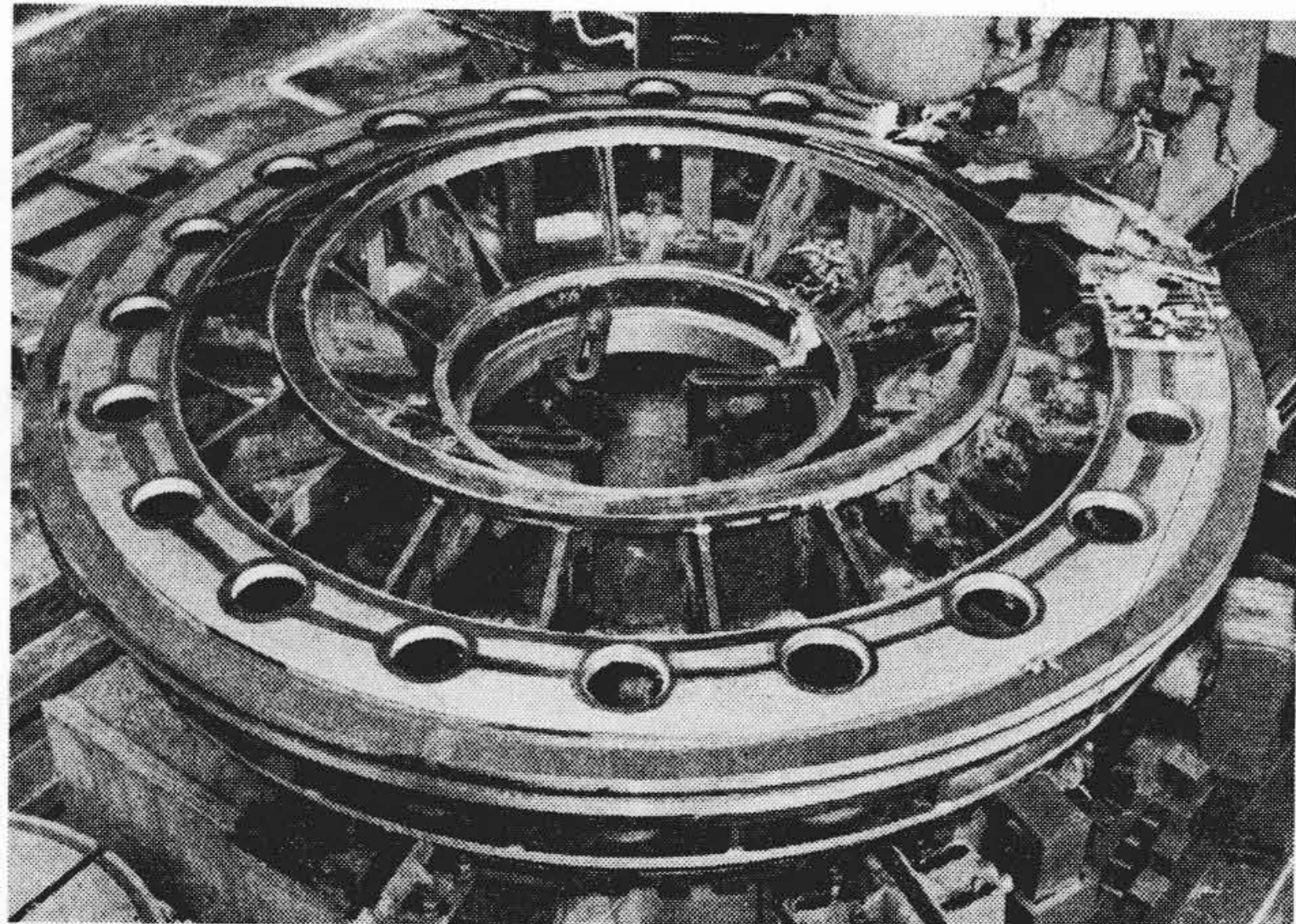
ガイドベーンは 13Cr 一体鋳鋼製で, 3軸受方式が採用され, ガイドベーンレバーを分解することなく, シェブロンパッキングの取り替えが行なえる構造である。ガイドベーン推力軸受は調整板により, 上下方向の調整を行なう方式とした。

サーボモータは, 動作軸圧 300 psi (21 kg/cm²) ~ 270 psi (19.0 kg/cm²) で設計され, ピットライナに直接取り付けられ, 操作推力はピットライナを介しコンクリートに伝達される構造である。

サーボモータピストンには3段のピストンリングを設け, 無負荷開度付近より全閉までのストローク間では閉鎖速度を伸ばす機構を付属している。また開方向の動作すなわち出力を制限する目的の調整可能なストップ, 全開, 全閉位置でのロッキング装置,



第 12 図 現地据付中のケーシング



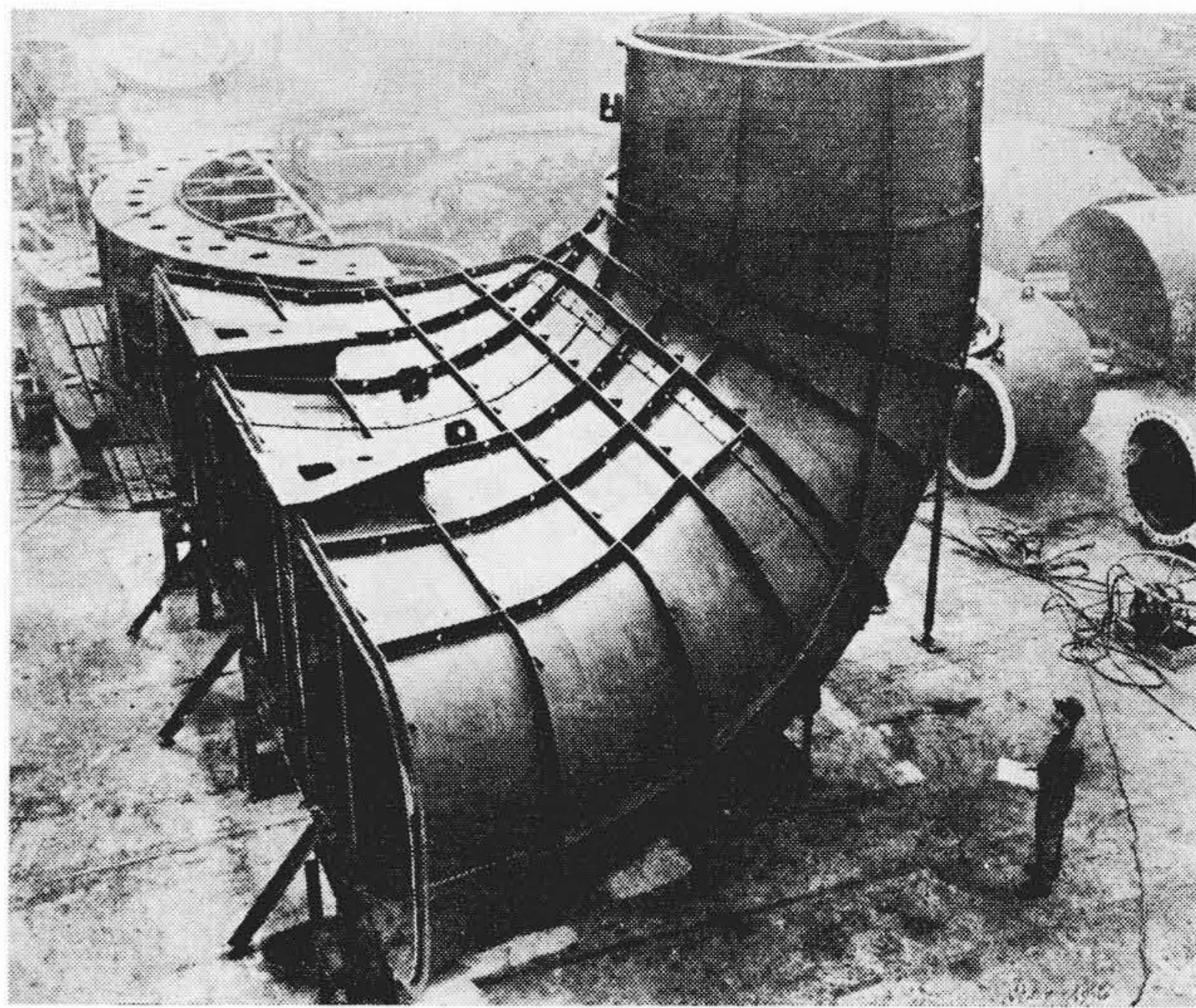
第 13 図 上 カ バ ー

取りはずし可能な開方向制限の馬蹄形ストッパを備えている。

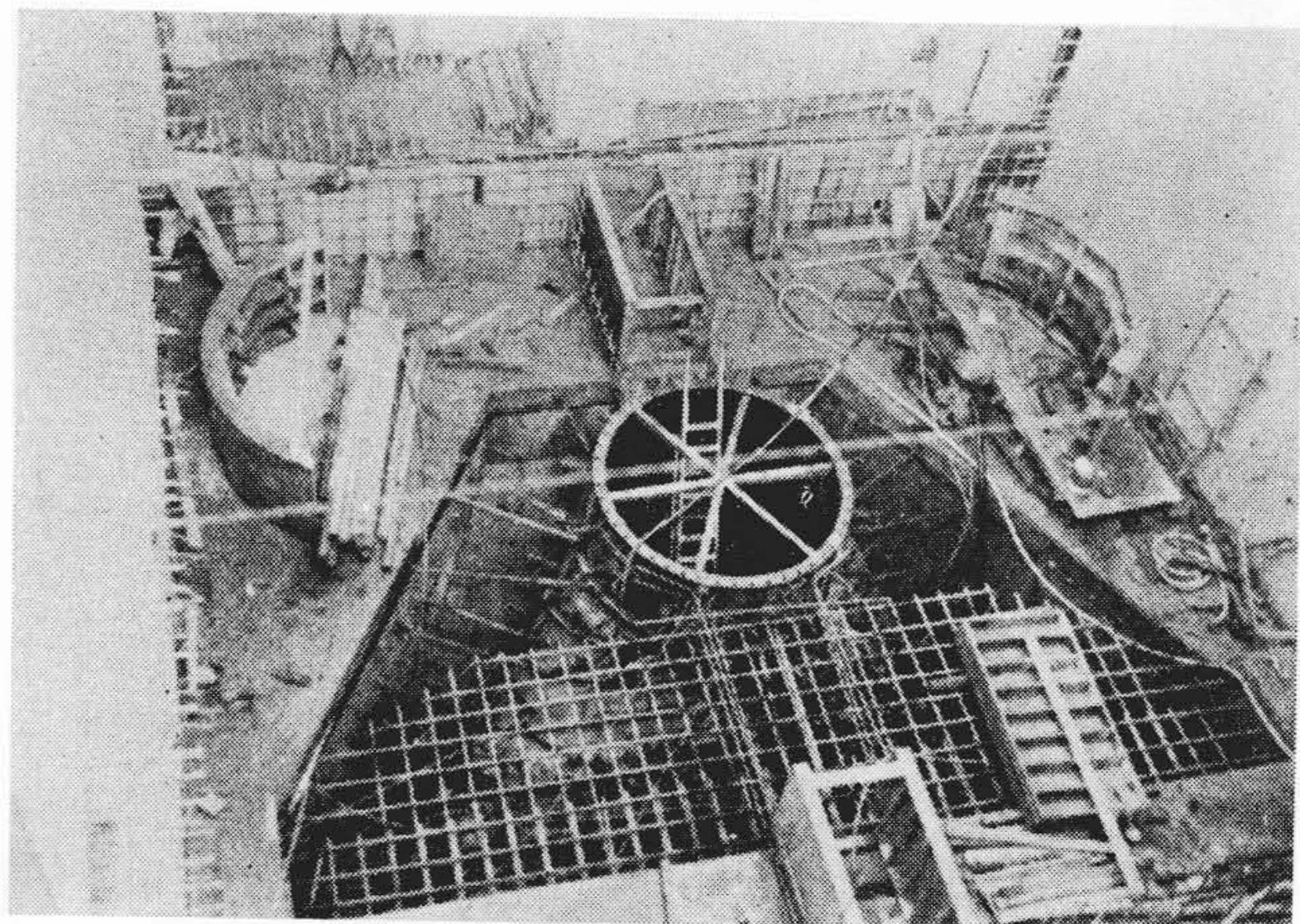
ガイドベーン開閉機構は集中グリース給油装置とされるが、タイマーなどによる分配弁を備えた自動グリース給油方式ではなく、数箇所の給油箇所をピットライナの適当な箇所のヘッダーに集め、これに可搬式グリースポンプからホースで給油して回る方式である。

3.3.8 ドラフトチューブライナ

ドラフトチューブライナは鋼板溶接製で、出口に 2 個のセンターピアを工場溶接された。ドラフトチューブライナは 3 分割で、現地接続部は外側目板突き合わせによる現地溶接構造とした。



第 14 図 ドラフトチューブライナ



第 15 図 現地据付中のドラフトチューブライナ

目板は工場で一方に仮付けし、他の一方と接続の際は仮締めボルトで組み合わされる。

ピアはおのおの 650,000 lb の荷重に耐えられるように設計された。ドラフトチューブライナの内面はコールタールペイントで塗装された。

第 14 図は工場完成したドラフトチューブライナ、第 15 図は現地据付中の状況を示す。

4. 結 言

日立製作所は、アメリカ政府内務省開拓局クリヤークリーク発電所納 120,000 HP フランシス水車 2 台を鋭意製作中であつたが、ここに完成を見たのでその全容を紹介した。これはアメリカへの初輸出品で、特にアメリカ政府向けのものであり、今後の輸出水車の試金石となるものとしてその設計製作には全力をあげて慎重を期したもので、その成果は各方面より期待されている。

終わりに、本水車の完成にあたり、当初より多大の助言と指導をいただいた開拓局の I. A. Winter, G. Bloodgood, R. A. Gullett, C. L. Tyler 各氏および検査官として日立工場に長期にわたり駐在し、懇切な助言を与えられた U. S. Army, Corps of Engineers の T. G. Carlson 氏に厚く感謝の意を表する。