

電源開発株式会社 納  
**田子倉ダム用セメントの空気輸送設備**  
 Pneumatic Conveyor System for Cement Transportation  
 Installed at Tagokura Dam

西岡 富士夫\*  
 Fujio Nishioka

内 容 梗 概

一般にダム工事ではセメント、フライアッシュなどの長距離、大容量の輸送が必要となり、これには空気輸送機がしばしば使用されているが、今回電源開発株式会社の田子倉ダム建設用に、本邦における記録的輸送距離のセメント輸送設備一式を納入した。これらは全部で4系統よりなり水平距離において、650m という記録設備で、コンクリートの連続打設に応じられるよう、連続安全運転、自動運転を旨として計画され現在その任にあたって運転中である。本設備はダム建設用に多くの特長をもっているで、これらについてその概要を述べる。

〔I〕 緒 言

ダム工事には砂、セメントなど大量の骨材輸送を要するが、なかでも飛散しやすいセメントやフライアッシュの輸送は難問題の一つである。電源開発用の大規模なダムになるとそのコンクリート用に 100,000 t 以上のセメントを必要とし、これらは袋詰しないでバラセメントのまま生産工場からダム近くの側線まで輸送されているが、この合理的なバラ輸送に対して側線からダム現場までの輸送機として空気輸送機はきわめて有利な輸送機である。すなわち空気輸送設備はパイプ1本の輸送路を断崖、絶壁などのある複雑な地形に設置できることに大きな特長をもっている。また一般に大規模なダムになるほどダム地点は引込線から離れ、いきおいバッチャプラントまでの長距離輸送が必要となり、外国の例では約2,000 mの距離を輸送しているものがあるが、国内では田子倉ダムにおける 650m が記録的輸送距離である。

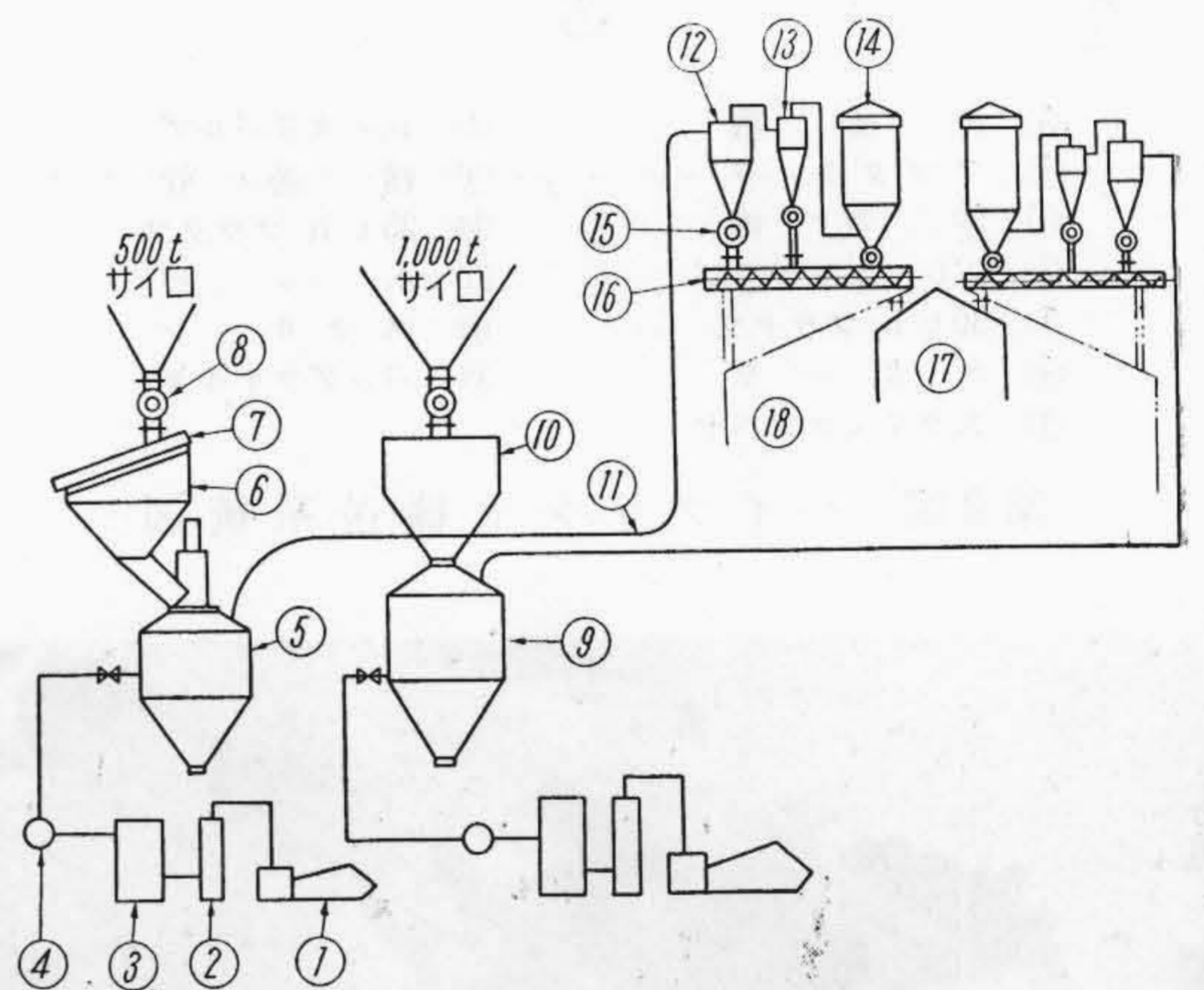
日立製作所では昭和26年以来各所のダム用セメントの輸送を行い逐次輸送距離の記録を更新してきたが、今回本邦の記録的輸送設備を田子倉ダム建設用に納入したので、その設備の概要を紹介するとともに、フラクソ式空気輸送機の一般特性について言及する。

ちなみに田子倉ダムは 1,940,000 m<sup>3</sup> のコンクリートを要し、発電出力 380,000 kW を出す大規模なもので、これに要するセメントは約 400,000 t である。

〔II〕 仕様および系統

本ダムの建設機械の仮設備は建設の工事の都合により、ロープラント (Low Plant) とハイプラント (High Plant) の二つに分けて建設された。ロープラントは約 400,000 m<sup>3</sup> のコンクリート打設用で右岸の低位置に、ハイプラントは約 1,600,000 m<sup>3</sup> のコンクリート打設用に左岸高位置に設置されている。それぞれに対するセメン

\* 日立製作所川崎工場



- |                  |            |
|------------------|------------|
| ① 空気圧縮機          | ⑩ スターラ     |
| ② アフタークーラ        | ⑪ 輸送管      |
| ③ レシーバ           | ⑫ 1次サイクロン  |
| ④ ドレントラップ        | ⑬ 2次サイクロン  |
| ⑤ 13 t/h フラクソ    | ⑭ バッグフィルタ  |
| ⑥ ホッパ            | ⑮ ロータリバルブ  |
| ⑦ パイプレーティングスクリーン | ⑯ スクリュコンベヤ |
| ⑧ ロータリバルブ        | ⑰ セメントビン   |
| ⑨ 30 t/h フラクソ    | ⑱ バッチャプラント |

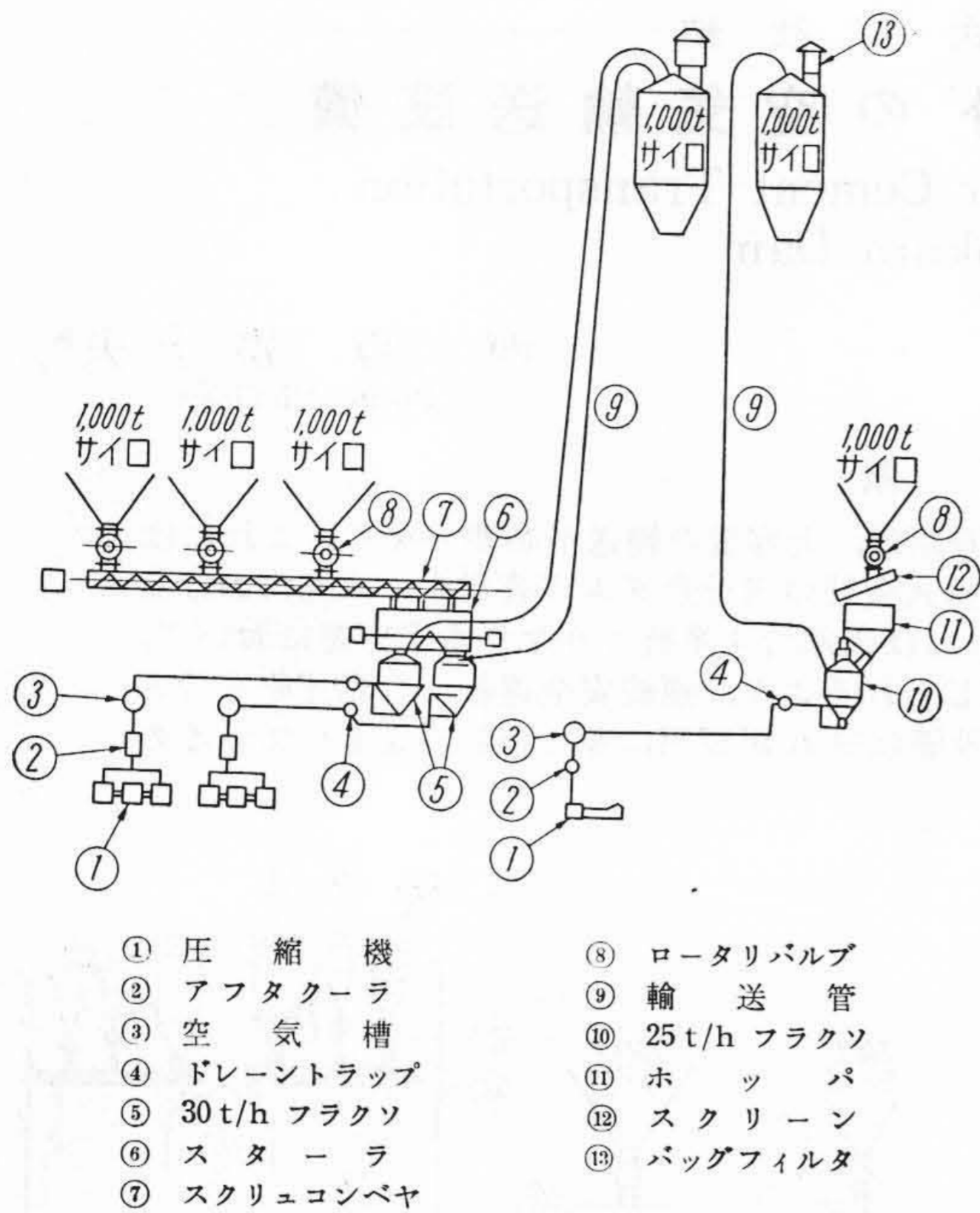
第1図 ロープラント輸送系統図

ト、フライアッシュ輸送設備は次のとおりである。

(1) ロープラント用 (56切バッチャプラント用)

| 輸送物  | セメント   | フライアッシュ |
|------|--------|---------|
| 輸送方式 | フラクソ方式 | フラクソ方式  |
| 輸送距離 | 650m   | 635m    |
| 輸送量  | 30 t/h | 13 t/h  |
| 圧縮機  | 400 HP | 200 HP  |

本設備内容は第1図のとおりでセメント系統は 1,000t サイロより、フライアッシュは 500 t サイロより、それぞれ56切バッチャプラントのタンクまで圧送するものである。1,000 サイロ下にはロータリバルブを置いてセメントの定量的排出を計り、その下部には輸送機の圧送中セメントを貯めるためのスターラ (攪拌機付ホッパ) を



第2図 ハイプラント輸送系統図

置き、その下にフラクソ式輸送機が設置されている。フライアッシュも 500 t サイロから同様の系統でバッチャまで送られている。輸送管はピット内、架橋上、または地上を配管し道路、河川を横断してサイロ部よりバッチャプラント部に至り、ここでバッチャ上部に設けた分離器に接続されている。分離器には一次、二次二つのサイクロンとバッグフィルタの三者を直列に使用している。それぞれの排出部にはロータリバルブを取付け、その下には 10 in のスクリュコンベヤを配置してセメント、フライアッシュをタンク内に投入している。圧縮空気は圧縮機、アフタクーラ、空気槽、ドレーントラップの順路でフラクソに供給されている。

(2) ハイプラント (112 切バッチャプラント用)

|      |          |         |
|------|----------|---------|
| 輸送物  | セメント     | フライアッシュ |
| 輸送方式 | フラクソ方式   | フラクソ方式  |
| 輸送距離 | 240m     | 290m    |
| 輸送量  | 30 t/h×2 | 25 t/h  |
| 圧縮機  | 300 HP×2 | 300 HP  |

本設備の内容は第2図のとおりである。セメント系統は 1,000 t サイロ 3 基のセメントをロータリバルブで定量的に排出してその下に設置したスクリュコンベヤで一端に集め、これをフラクソで 1,000 t サイロまで送る系統である。フライアッシュは 1,000 t サイロ 1 基より同様の系統でサイロまで送られている。輸送管は 3 基のフラクソから急角度に山の斜面を登り、112 切バッチャプラントそばにある 1,000 t サイロにそれぞれ配管されている。この場合終端の分離器としては大容量のサイロがあるため特に大掛りな機器を必要とせず、サイロ上にバッグフィルタのみを設置している。

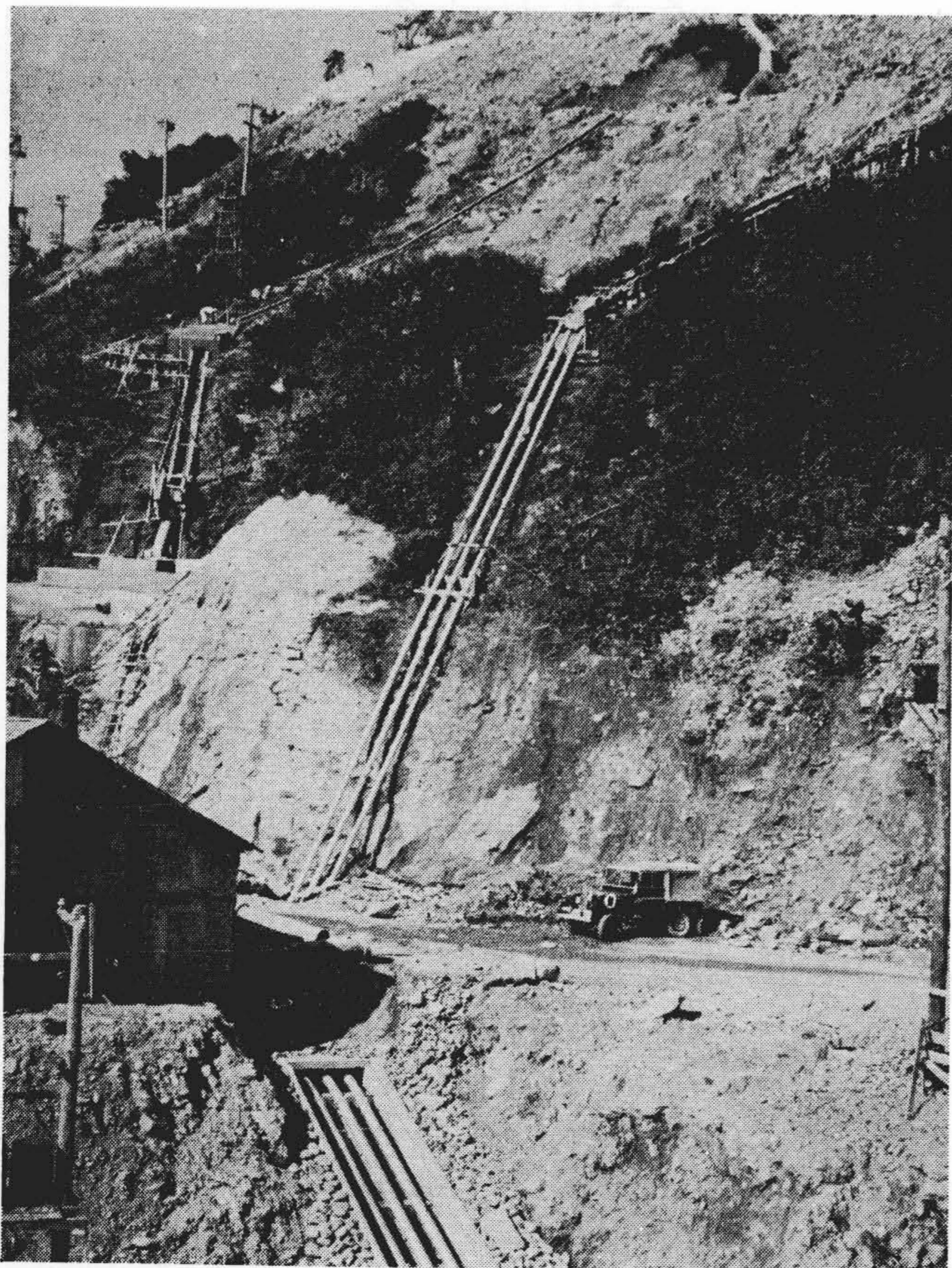
これらに使用している輸送機はすでに本誌で紹介<sup>(1)</sup>した微粉炭用の輸送機と同一のものであるから、その詳細については同稿を参照されたい。

〔III〕 特 長

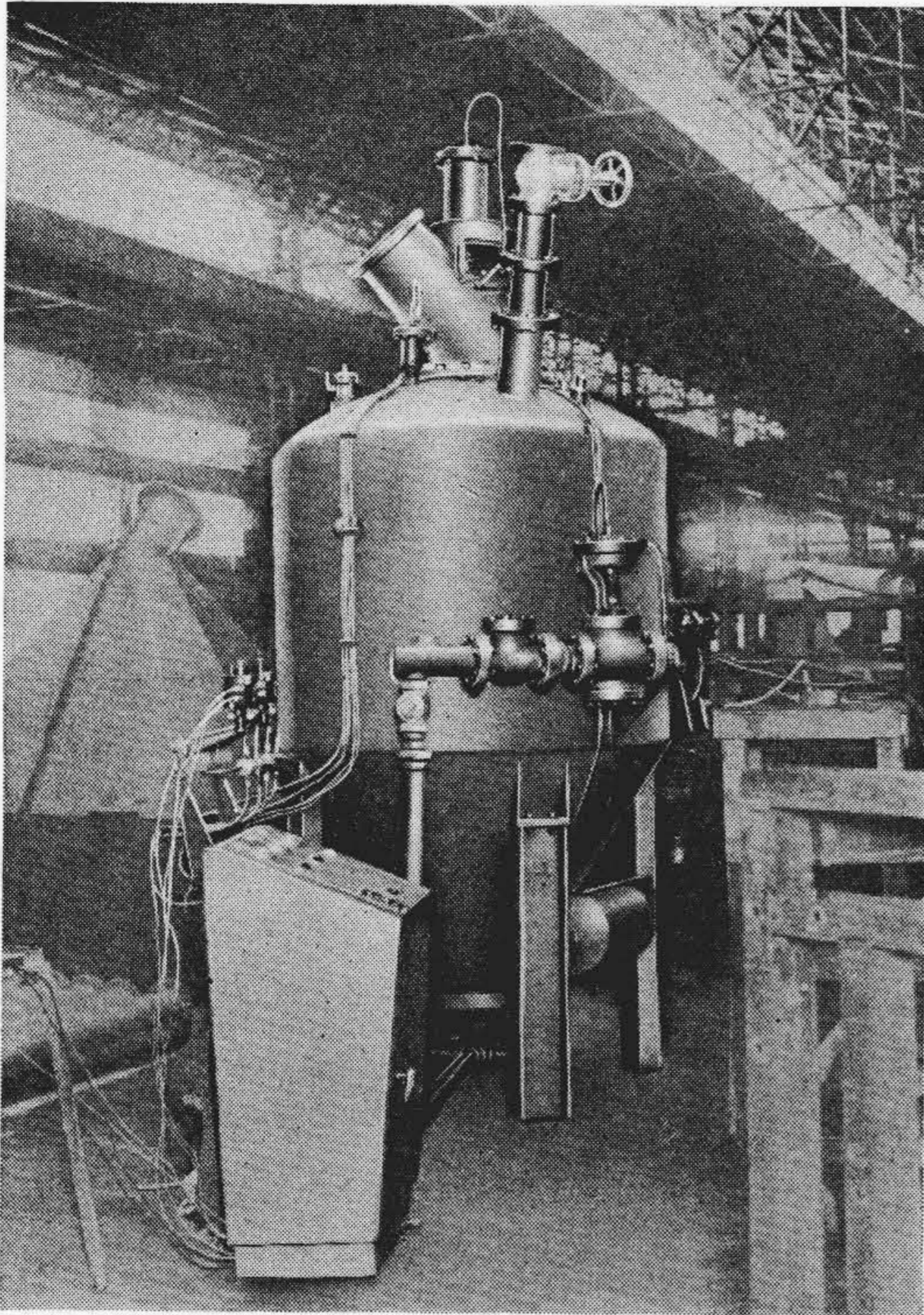
本設備はダム建設用のセメント輸送において多くの特長をもっているが、その主なものは次の諸点である。

(1) 長距離輸送が可能であること

ダム建設仮設備の計画にあたり、セメントサイロの位置はセメント輸送の鉄道側線の入り得る位置、地形、バッチャプラント位置などの条件により決定されるが、この中でバッチャまでの輸送距離に制約されずサイロ位置の決定ができるこ



第3図 ハイプラント輸送設備輸送管



第4図 フラクソ式空気輸送機

とは非常に有利な条件である。今回の田子倉ダムの場合も側線を入れることができ、大容量のサイロが設置できるという条件でサイロ位置が決定されたために650mという長距離輸送を行う結果となった。

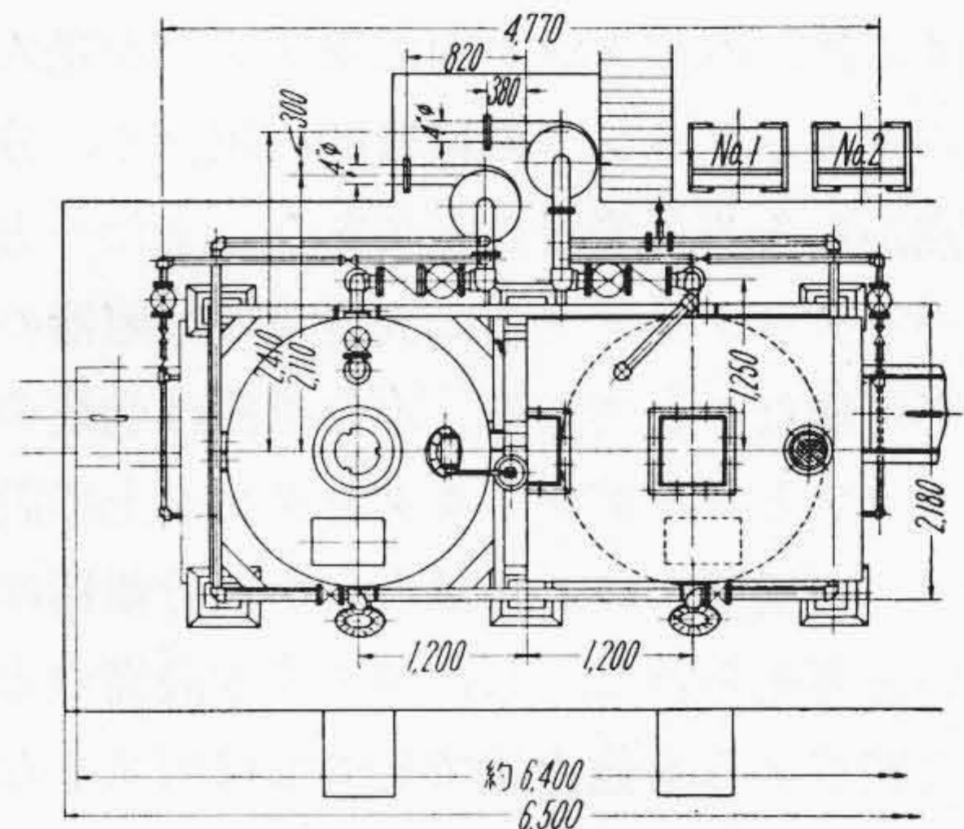
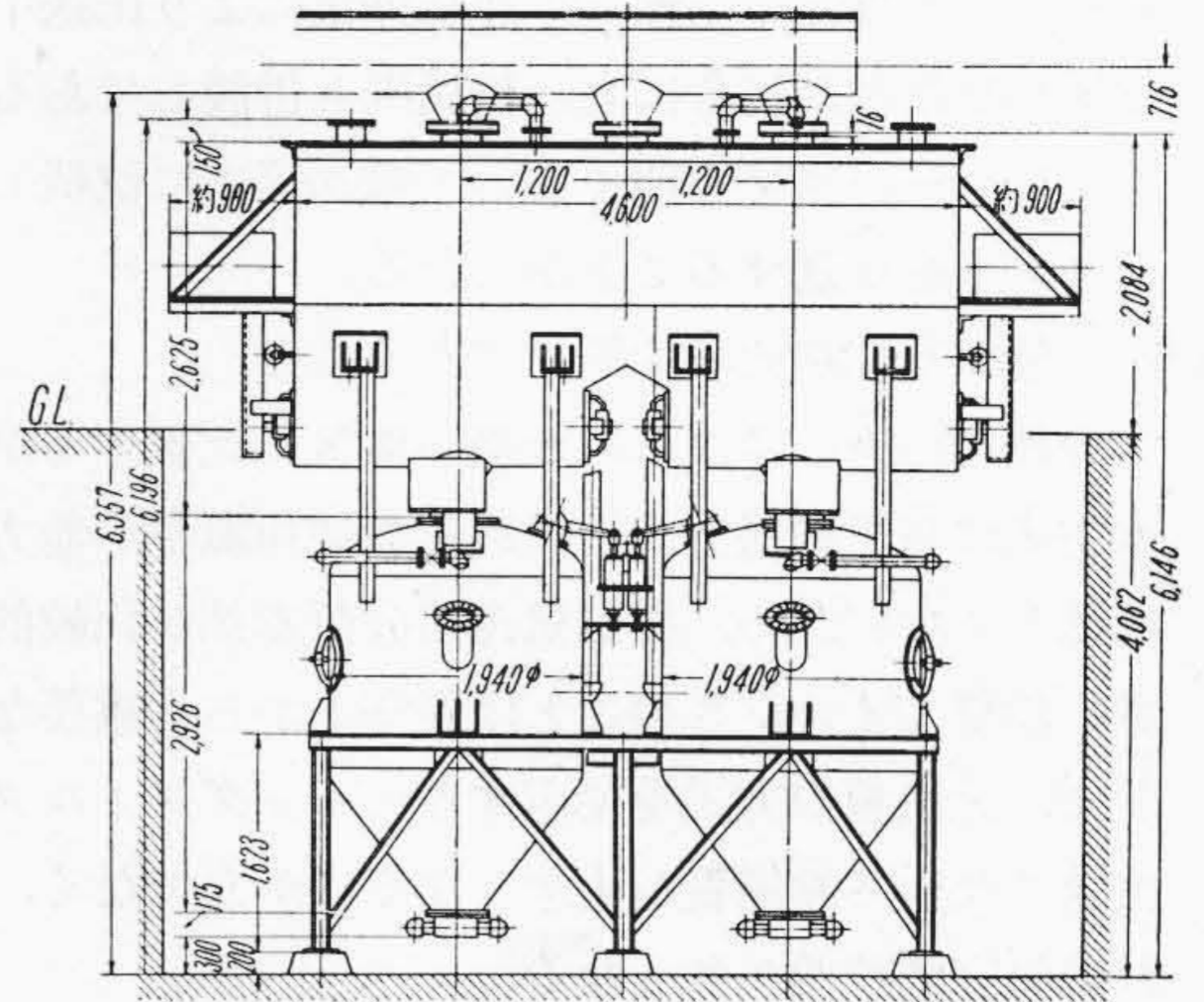
(2) 輸送が複雑な地形にわざわざされないこと

輸送路を山肌の凹凸の多い地形に設置するといきおい屈曲が多くなるが、本輸送機はパイプ1本の輸送路であるためその設置が容易である。実際の配管では山腹の凸起部を削って堀割りを作り、道路横断にはヒューム管を設けてできるだけ直線系路になるように配管している。しかしこのような場合、一般に200~300mの輸送距離で10箇所程度の屈曲は免れ得ない。また大きな河幅をもつ河川の横断の際、ベルトコンベヤなどの機械式輸送機を採用した場合は頑丈な架橋が必要になるが、この輸送管設置の場合は簡単な吊橋を設けてその上に配管できるのでこの点も大きな特長の一つである。

本設備では川幅約100mの只見川を横断するため簡単な吊橋を設けて配管し、その輸送管の一部には長さ約1mのフレキシブルホースを挿入して、吊橋の横振れにより配管の破損が生じないように考慮してある。

(3) 天候に左右されない

本設備の輸送路はパイプ一本であるため風雨や雪にわざわざされることがない。特に田子倉のように



第5図 ハイプラント用スター付フラクソ式空気輸送機 (30 t/h×2 系統)

多雪地の場合、雪崩れに対しても途中の輸送路が安全である。このことは連続運転を要求されるダム建設用にはぜひとも必要な項目の一つである。

(4) 輸送圧力を高くとりうる

本機は輸送機部の高い輸送圧力を封ずることが容易であり、圧縮機を使用すれば相当の高い圧力を使用できるため、輸送圧力を高くとることができ、前述のように屈曲の多い長距離の輸送路においてもほかの方式に比べて確実な輸送ができる。このことは配管計画に際して、配管に容易な経路選定ができることを意味している。また高圧の空気を使うため使用風量が少なくて済み、輸送管径も低圧方式に比して小さくてよいため、これらの経費が軽減され、かつ据付関係も容易になる。

(5) 保守、運転管理が容易であること

本設備においては輸送途中の管路に給油箇所がないため、輸送機と分離器部のみを保守すればよく、また運転もすべて自動的に行いうるため運転管理も容易である。なお運転中、異物の侵入やセメントの性状変化によつて、輸送に脈動流が生じ、輸送圧力に変動が起つても輸送圧力が高いためその変動率が少なく、したがって輸送管閉塞にいたることが少

い。万一誤操作や圧縮機の運転停止により圧送中空気源が断たれた場合にも、輸送機と併設してある清掃用ブロアパイプを開くことで輸送管内に沈積したセメントを圧送することができる。

#### (6) 分離器部が比較的簡単であること

分離器の大きさはその取扱い風量に比例するが、本方式は高圧輸送方式のためその使用風量他方式に比して少いため、排気処理用分離器部が比較的小さい設備でよい。このことは保守上からも重要なことで、大風量の方式を使用するとバッグフィルタが大きくなつて設備費が大きくなるばかりでなく、これの保守維持費が多くなる。

本設備中ロープラントのように小容量のタンクに輸送する際、直接タンク内にセメントを送入することはバッチプラントの秤量機の都合や、分離作用の観点からも不可能なことであり、また一方場所の狭いバッチプラント上に大容量の分離器の設置はまず不可能なことである。本分離器は前述のようにサイクロンとバッグフィルタをタンク上に設けているが、この場所にはこれ以上大きな分離器は設置できないと考えられる。したがつて本設備の方式は分離器の観点からも他方式でもつて代用できない唯一のものといえる。

#### (7) 定量輸送ができること

本設備の輸送は粉体をタンクに入れて一槽ごとに送るためその輸送回数を積算することで、ある一定時間内の輸送量が算出できる。このことは日々の輸送管理上非常に好都合なことである。

以上はフラクソ方式を使つた場合の一般的特長であるが、本設備としては次の諸点にも考慮を払つている。

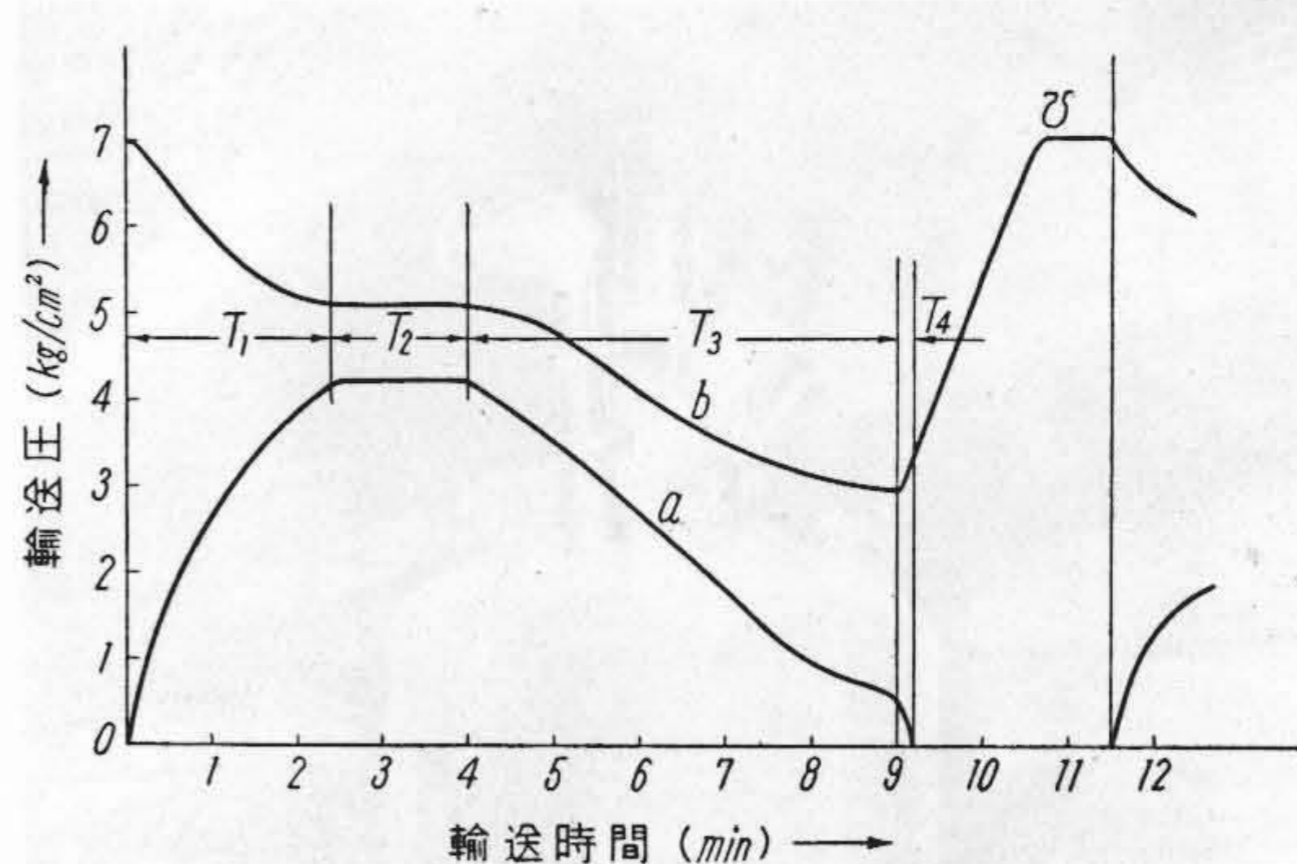
##### (i) 圧縮空気回路について

5台の輸送機に対して圧縮空気源としては7台、1,500HPの圧縮機が据付けられているが、万一圧縮機の一部が事故の際はこれらの空気源ができるだけお互いに流用できるように、それぞれの空気供給管が空気槽以降の配管でバルブを介して連絡してある。

なお輸送に使用する空気は十分脱水する必要があるので圧縮機の吐出部にアフタクーラを設け、さらにフラクソ部近くにサイクロン式ドレーントラップを使用して空気中の水分を除去している。

##### (ii) ハイプラントの輸送量について

セメント輸送量60 t/hの輸送系統に対して、これを容量60 t/hの一系統にしないで30 t/hの二系統に分割して輸送している。このため万一、一方の系統の事故の場合も最小限の輸送ができ、連続輸送を要するセメント系統に対してその輸送管理が完全である。



第6図 フラクソ式空気輸送機特性曲線

#### (iii) 輸送の自動化について

バッチプラントのセメントは昼夜をわかつたず連続的に使用されているため、そのタンク内には常に一定量のセメントが必要である。このため輸送先のセメントタンクには上位と下位とにレベルスイッチを取付けセメントのレベルが上位のスイッチに達すると輸送を停止し、下位まで下ると自動的に輸送を始めるようにしてタンク内のセメントの輸送管理を行つている。

### [IV] 運 転 特 性

本フラクソ式輸送機の輸送特性曲線の一例は第6図のとおりである。この曲線は横軸に時間軸をとり縦軸に輸送タンク内の圧力変化をとつたもので、フラクソ式のようなブロータンク方式輸送機の場合、距離、使用風量により多少の変化はあるがおおむねこれと類似の特性を示す。

一定容積をもつタンク内に一定量の粉体を入れて圧縮空気を吹込んだ際、輸送管から吹出す粉体の量については計算上決定することは非常に困難なことであるが、その実験的一例が上記の特性曲線で、この曲線は粉体の吹出量の変化をそのまま示している。この曲線からブロータンク方式の特性は定性的に次のように説明できる。

- (1) 圧縮空気がタンク内に入り始めた時、タンク内の粉体が完全に空気中で攪拌されその混合空気流が輸送管の終端に達するまでは輸送圧力は上昇を続ける。これが図中  $T_1$  の期間で主として輸送距離によりその長短がきまる。
- (2) 比較的短い時間ではあるが圧力一定の  $T_2$  の期間がある。これはタンクからの吹出量、すなわち粉体と空気との混合比が一定の期間で輸送機としてはこの時間の長いほど効率がよいことになる。この混合比はタンク内の吹出管部の粉体と空気との混合状態できまるが、タンク内の粉体は時々刻々減少するためこの混合状態を一定に保つことは一般に困難で

ある。

(3) 図中  $T_3$  の期間は混合比の減少期間で長距離輸送になるほどこの時間が長くなる。混合比は輸送管入口部近くで空気を吹き出すか、遠くで吹き出すかによっても若干変化がみられるが、この混合比の減少の割合も空気の吹き出し方に影響を受ける。特に輸送終り近くなつていつまでも圧力が下り切らぬことがあるが、これは粉体がタンク内をぐるぐる回りして徐々にしか輸送管内に入つてゆかぬことに原因している。

(4) 図中  $T_4$  は圧送終了後タンク圧力の低下時間で、これは圧力が輸送管を通つて抜けるため輸送管が長いほど、またタンク内に粉体残量が多いほどこの時間が長くかかる。

(5) 粉体の圧送中吹き出し空気の圧力は  $b$  曲線のように変化する。すなわち  $b$  点は圧縮機がアンロードする圧力で、輸送が始まるとこの点から圧力が下りはじめ、 $T_2$  の期間はほぼ一定の圧力を示し、 $T_3$  の期間は槽内圧力の低下とともに徐々に下つてゆくが、この間吹き出し損失  $\Delta p$  は徐々に大きくなつてゆく。

(6) 長距離輸送になると輸送管の終端に近づくほど、輸送中の管内の脈動流が激しくなりその部の圧力変化が大きくなる。このため輸送管の圧力変化は場所によつてそれぞれ異なり、またその部の圧力の

脈動率も異なつている。

本輸送設備は、運転結果よりその仕様値を満足していることが証明されているが、前記の特性曲線から同機の輸送量は次のとおりとなる。

タンク内への受入時間： 2.3 分

タンクの圧送時間： 9.0 分

圧送から受入への切替時間： 0.2 分

したがつて輸送の1サイクルに要する時間は11.5分で1時間には約5.2回送る割合になり、その輸送量は31.4t/hとなる。

〔V〕 結 言

以上田子倉ダム建設用に使用した空気輸送設備についてその概要を述べ、かつブロータンク方式の一般特性について述べた。本設備はわが国の記録的大がかりな設備であるが運転結果からみてその輸送の确实性が立証されており、かつ多くの特長がいかに発揮されている。

なお本方式は輸送距離の増大した場合にもその唯一の輸送機として使用されるゆえ、今後ともダム建設やそのほか工場間の粉体の長距離輸送に本方式を貢献させてゆきたいと念願している。

参 考 文 献

(1) 西岡：日立評論 38, 1481 (昭 39-12)



日立製作所社員社外講演一覽

(昭和32年8月受付分)

| 講演月日      | 主 催    | 演 題                       | 所 属   | 講 演 者                |
|-----------|--------|---------------------------|-------|----------------------|
| 10. 12~15 | 日本金属学会 | 水蒸気中加熱による鋳鋼の機械性の変化        | 日立研究所 | 小野健二<br>佐々木良一        |
| 10. 12~15 | 日本金属学会 | 長時間加熱による鋳鋼の機械性の変化         | 日立研究所 | 小野健二<br>佐々木良一        |
| 11. 9.10  | 電気学会   | 広角度自動移相器                  | 日立研究所 | 小野田芳光                |
| 11. 9.10  | 電気学会   | 磁氣的フリップフロップの解析            | 日立研究所 | 前川敏明                 |
| 11. 9.10  | 電気学会   | 水銀整流器における格子偏荷電圧による陽極電流の遮断 | 日立研究所 | 金沢信二                 |
| 11. 9.10  | 電気学会   | 湿式電気集塵装置による放射性煙霧質の分離除去    | 日立研究所 | 木村鐘治<br>諫早典夫         |
| 11. 9.10  | 電気学会   | 電子式方向距離継電器                | 日立研究所 | 小野邦男<br>山田新一         |
| 11. 9.10  | 電気学会   | 送電線に接続された同期機の電氣的振動        | 日立研究所 | 奥田健三                 |
| 11. 9.10  | 電気学会   | アルミ鋳込回転子のトルクの計算           | 日立研究所 | 片木劍三郎                |
| 11. 9.10  | 電気学会   | 水銀逆変換装置の重なり角について          | 日立研究所 | 高林乍人                 |
| 11. 9.10  | 電気学会   | ゲルマニウム整流器を用いた磁気増幅器の特性     | 日立研究所 | 今尾隆浩<br>有賀清一<br>三浦政隆 |
| 11. 9.10  | 電気学会   | 電鉄用トロリ線の摺動接触面と磨耗量との関係     | 日立研究所 | 武政隆一                 |
| 11. 9.10  | 電気学会   | 高高度航空機用刷子の研究 (第2報)        | 日立研究所 | 花園文照<br>一木利信         |

(次頁へ続く)

日立製作所社員社外講演一覽

(前頁より続く)

(昭和32年8月受付分)

| 講演月日      | 主催                          | 演題   | 所属            | 講演者                                    |
|-----------|-----------------------------|--|---------------|--|
| 11. 9.10  | 電気学会                        | 充電電流遮断の等価試験                                  | 日立研究所         | 山崎 精二<br>高砂 常義                         |
| 11. 9.10  | 電気学会                        | 空気遮断器の気流中の放電                                 | 日立研究所         | 高砂 常義                                  |
| 11. 9.10  | 電気学会                        | 屋外型空気遮断器の現地試験                                | 日立研究所         | 細包 嘉弘<br>山崎 精二                         |
| 10. 25    | 日本機械学会                      | 超硬バイトの性能試験法に関する研究(第4報<br>工場実験によるバイトの磨耗比較について | 川崎工場          | 能谷 智徳<br>葛上 昉                          |
| 9. 21     | 日刊工業新聞社                     | 放射線による液面制御                                   | 多賀工場          | 鷺見 哲雄                                  |
| 10. 2     | 日本計測学会                      | 製品紹介(日立PHメーター)                               | 多賀工場          | 斎藤 致種                                  |
| 8. 30     | 日本シェルモード協会                  | プラスターモールドについて                                | 多賀工場          | 松本 誠夫                                  |
| 8. 29     | 東電新宿支社                      | 最近のアメリカの照明について                               | 亀戸工場          | 鈴木 繁好                                  |
| 8. 15     | 電気学会                        | 複式火花消去回路(第3報)                                | 戸塚工場          | 三谷 正一                                  |
| 11. 上旬    | 電気通信学会                      | パラジウム接点のグロー放電特性                              | 戸塚工場          | 三谷 正一                                  |
| 11. 9     | 電気通信学会                      | リレーの使用条件とチャッタとの関連                            | 戸塚工場          | 田島 興薫                                  |
| 11. 上旬    | 電気通信学会                      | トランジスタ水晶発振器について                              | 戸塚工場          | 白川 庸一                                  |
| 11. 上旬    | 電気通信学会                      | レゾルバーを用いた座標変換装置                              | 戸塚工場          | 小倉 正美                                  |
| 11. 9~10  | 電気学会                        | 酸化物陰極基体金属組織の寿命間における変化について                    | 茂原工場          | 千秋 英一                                  |
| 8. 19     | 日刊工業新聞社                     | 最近の絶縁塗料とその処理せる絶縁材料について                       | 絶縁物工場         | 日月 紋次                                  |
| 11. 9     | 電気学会                        | 高周波溶解炉の0.01%の温度制御                            | 中央研究所         | 沼倉 俊郎<br>上田 省浩<br>河井 陽二                |
| 11. 9     | 電気学会                        | 1/4~2乗差掛算器に用いる三角波発振回路の研究                     | 多賀工場<br>中央研究所 | 沼倉 俊郎<br>三河 浦部 武良<br>阿部 善右 雄一<br>衣川 武雄 |
| 11. 9     | 電気学会                        | 繰返型アナログ計算機のリセット誤差について                        | 中央研究所<br>昭和電子 | 三河 浦部 武重<br>沼倉 俊郎<br>阿部 善右 憲一          |
| 11. 9     | 電気学会                        | チョパ回路の伝達函数                                   | 中央研究所         | 沼倉 俊郎<br>阿部 善右 門<br>衣川 武雄              |
| 11. 9     | 電気学会                        | 走査型フォトフォーマ                                   | 中央研究所<br>昭和電子 | 三河 浦部 武良<br>長谷川 毅                      |
| 11. 9     | 電気学会                        | 低速度型アナログ計算機の総合演算誤差について                       | 中央研究所         | 三河 浦部 武重<br>阿部 善右 門<br>永田 稷彦           |
| 11. 9     | 電気学会                        | 低速度型アナログ計算機用演算増幅器の設計基準                       | 中央研究所         | 三河 浦部 武重<br>阿部 善右 門<br>永田 稷彦           |
| 10. 19    | 高分子学会                       | 固体表面吸着水の滲電吸収と水素結合との問題                        | 中央研究所         | 黒崎 重彦                                  |
| 10. 14.15 | 日本化学会<br>近畿化学工業会            | 赤外線吸収スペクトルによる有機チタネートおよびポリチタネートの研究            | 中央研究所         | 高谷 通                                   |
| 10. 10    | 鉄鋼の炭化物研究会                   | ニッケルおよびクロムを含む白銑のセメントイト                       | 中央研究所         | 北川 公夫<br>柴田 則夫                         |
| 11. 16    | 日本化学会<br>日本分析化学会<br>近畿工業化学会 | 鋼種簡易鑑別法                                      | 中央研究所         | 栗田 常雄                                  |
| 8. 27     | 日本科学技術連盟                    | 非線型演算器の原理と構造                                 | 中央研究所         | 沼倉 俊郎                                  |
| 8. 27     | 日本科学技術連盟                    | アナコンの自動制御への利用                                | 中央研究所         | 只野 文哉                                  |
| 7. 19     | 全国購買農業組合連合会                 | モートルの知識                                      | 本社            | 椿 健三                                   |
| 8. 1~2    | 東電茨城支店                      | 灌漑排水機の合理的取扱いについて                             | 本社            | 樋川 資朗                                  |