

建設工事における廃泥水の処理 ——日立P4C排水浄化装置の実績——

Treatment of Mudwater at Construction Worksite —— Example of Hitachi P4C Mudwater Treatment Apparatus ——

久保寺敬蔵* Kubodera Keizō

近年、建設工事により発生する大量の廃泥水の処理が問題になっている。建設工事のうち、特に高濃度の泥水が発生する泥水循環掘削工法（リバース サーキュレーション ドリル工法、連続壁工法、泥水シールド工法）に適用する現場設置式廃泥水処理装置を開発し、これを適用したところ泥水処理量 $15\sim 30\text{m}^3/\text{h}$ （濃度 $8\sim 30\%$ wt、固体量 $2\sim 3\text{t/h}$ ）の能力で処理水、SS（浮遊固形物） 100ppm 以下、排出土の含水率 $40\sim 60\%$ wtとなり好調に稼動した。

これらの経験に基づき、泥水の発生状況、土粒子の粒度分布、濃度などを考察し、各工法に適用した場合の処理システム、処理装置の構造、特長及びリバース工事現場の実績について紹介する。

1 緒 言

無騒音基礎工法の一環として、現場打ち杭工法が広く普及した。この工法では掘削自体は無騒音・無振動であるが、掘削に伴って発生する大量の廃泥水の処理が問題となってきた。

従来、廃泥水は適当な投棄場所まで、バキュームカー、又は特殊なダンプトラックで運搬し投棄していたが、最近では埋立投棄場所もしだいに狭小となり、一方、海洋・河川への投棄も当該水域汚染の原因となり廃泥水の投棄処理は全く不可能な状態となった。

このような情勢にあって、廃泥水を固形物と清浄水とに分離処理し、公害を発生させることなく建設工事を行なうことが必要になった。

本稿はリバース サーキュレーション ドリル工法（以下、リバース工法と呼ぶ）を中心に、地下連続壁工法、アースドリル工法など、場所打ち基礎及びトンネルの泥水シールド工法などの掘削に伴い発生する廃泥水の処理について、日立

P4C排水浄化装置を使用した処理システム、及びその実績について述べる。

2 現場処理システムの開発要点

建設工事現場用として次の条件を満足するよう留意し開発を進めた。

- (1) 2ヶ月～半年ごとに現場移動があり、現場内の移設もあるため、組立・分解・輸送が容易でコンパクトであること。
- (2) 操作が建設機械並みに容易で、特殊なメンテナンスの必要がなく、安全に運転できること。
- (3) 現場設置のため風雨、塵埃などに対し十分耐え、信頼性の高いこと。
- (4) 処理水量、濃度、粒径、pHなどの変動幅が大きく、作業時間の制約も大きいので、変動に対してフレキシブルに追従できるシステムであること。

3 廃泥水の状況

建設工事現場から排出される廃泥水は、掘削中に掘削土中の微細粒子が浮上し、固形物濃度がしだいに加積されて高くなり、掘削に不適な泥水となったものである（濃度 $10\sim 50\%$ wt）。打設するコンクリートとの接触、又は混入により一般にアルカリ性（pH $8\sim 13$ ）である。

図1に浮遊粒子の粒度分布を示す。施工地点の土質や各工法による相違はあるが、掘削作業のための沈殿槽の大きさ（容積）が決まると、土粒子の沈降速度は粒径により決まり、循環泥水の滞留時間により沈降粒子が決定するため（実際には沈殿槽の構造も影響する）、浮遊粒子の粒度はおのずから決定する。現場による差異は少ない。土質の差異は循環泥水の濃度上昇率に主に影響する。当然、粘土、シルトの多い土質では掘削に伴う泥水の濃度上昇は大きい。

一般に現場に設置する沈降槽の大きさでは、 50μ 以下の粒子（沈降速度約 7m/h ）を自然沈降分離することは困難である。ベントナイト泥水を掘削に使用する場合は、粘性が上がり、

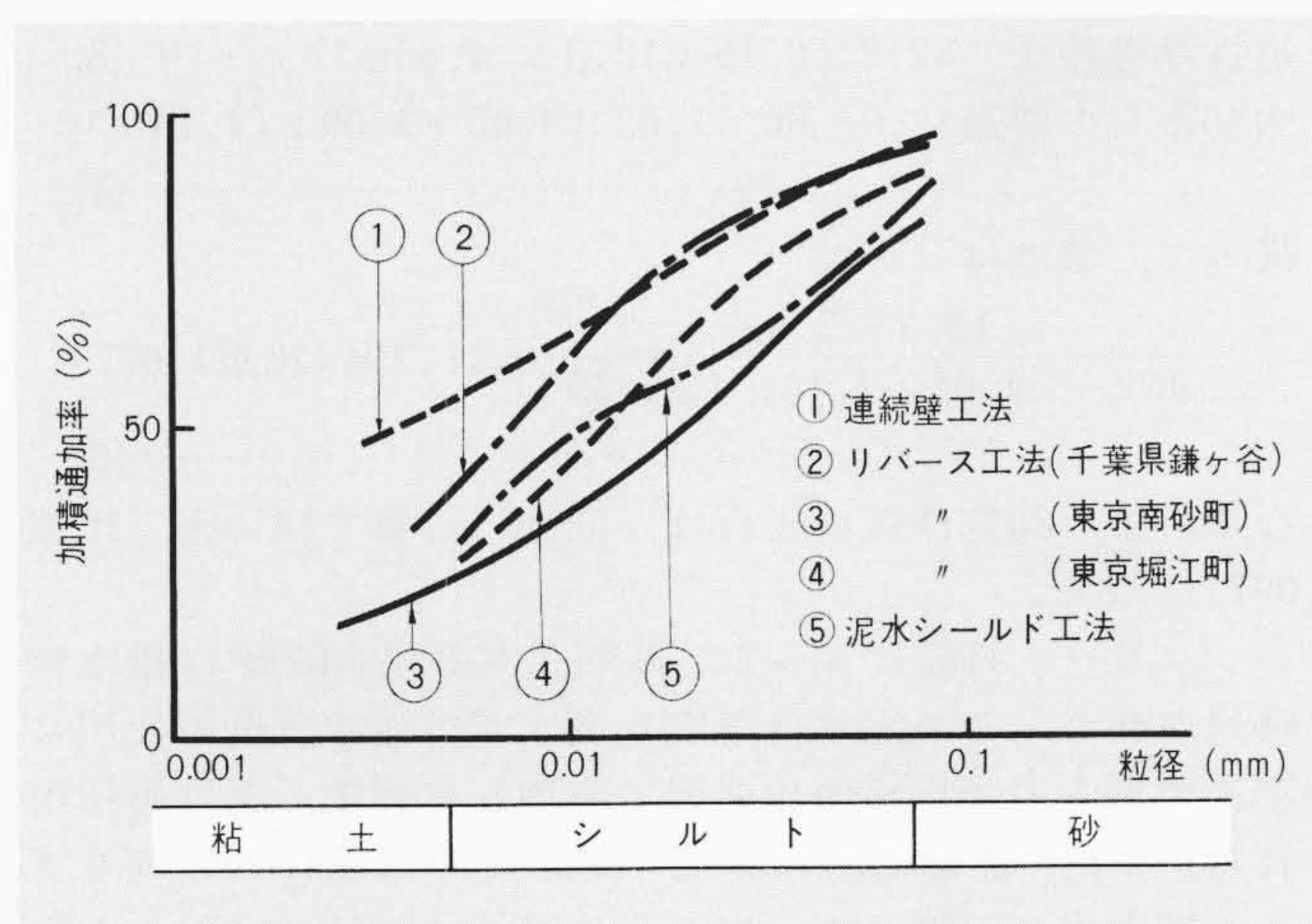


図1 泥水中の土粒子分布 現場の土質により粒度分布は異なる。概略粘土 $25\sim 45\%$ 、シルト $40\sim 50\%$ 、砂 $5\sim 20\%$ の割合である。

* 日立建機株式会社土浦工場

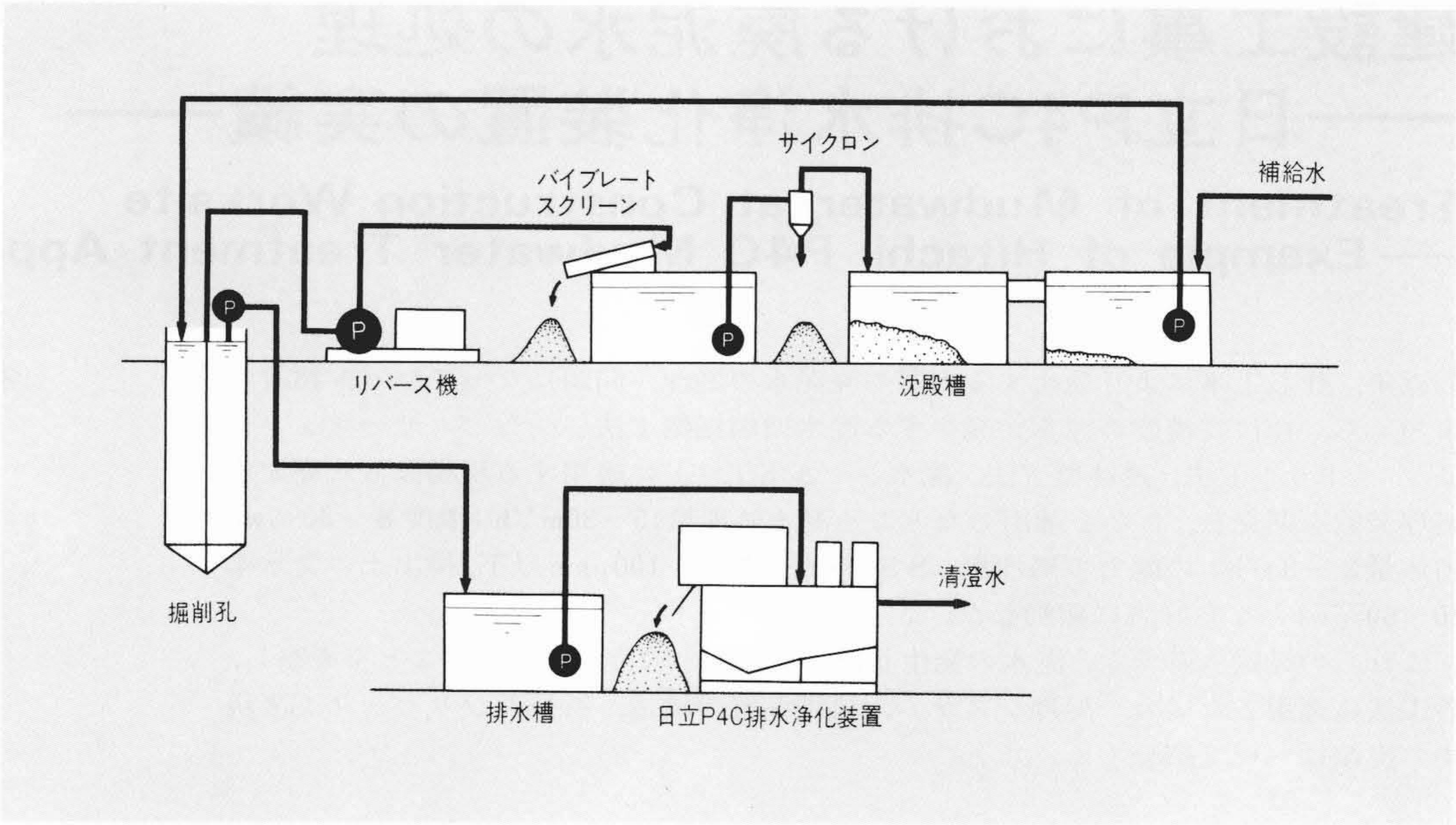


図2 リバース工法処理システム 掘削土の分離にバイプレートスクリーン、サイクロンを使用する場合である。掘削中に循環水の比重が上がりすぎの場合には、循環水の一部を処理装置にかけて比重を下げる。

沈降速度が下がるため濃度上昇が大きい。場合によっては砂分が多くなる。

各工法の循環システムの差により、廃泥水の濃度が異なる。概略は表1に示すとおりである。

4 処理システム

図2にリバース工法に適用した場合の施工説明図を示す(連続壁工法、シールド工法でも同じ)。リバースサーキュレーションドリルから排出される土砂を含んだ泥水は、まずマッドスクリーンで粗い粒子(砂)及び粘土、シルトなどの土塊が分離される。マッドスクリーンを通過した泥水はサイクロンにかけられ砂分に分離される。サイクロンのオーバフローは沈殿槽に流入し掘削孔に循環する。沈殿槽に沈殿分離する一部の微粒子はクラムシェルで取り出す。

一度浮遊した約50μ以下の粒子は大部分循環水に浮遊したままであり、掘削に従ってしだいに濃度は上昇する。図3に示すような容量バランスで掘削する場合の濃度上昇を試算してみる。掘削当初比重1.03(濃度5%)の泥水60m³が沈殿槽にたまっている。掘削孔から循環水とともに排出される土砂の体積分だけ補給水を補充してゆき、掘削完了時には孔内の62m³と沈殿槽の60m³、すなわち122m³の泥水となる(沈殿物の排出残がある場合はそれだけ体積は少ない)。この中に微細粒子が浮遊する。浮遊する割合は現場により異なるが、東京江東地区での実績は概略全掘削土砂の15~20%であった。15%とすると、

全土粒子体積 $62 \times \frac{1}{2} = 31\text{m}^3$ (体積含泥率50%)(1)

表1 廃泥水の濃度 リバース工法の場合が最も低濃度で、連続壁工法、泥水シールド工法がそれより多少高めである。アースドリル工法は循環工法でないため更に高濃度となる。

工 法	濃 度 (%wt)
リバース	10~25
連続壁	15~30
アースドリル	25~50
泥水シールド	15~30

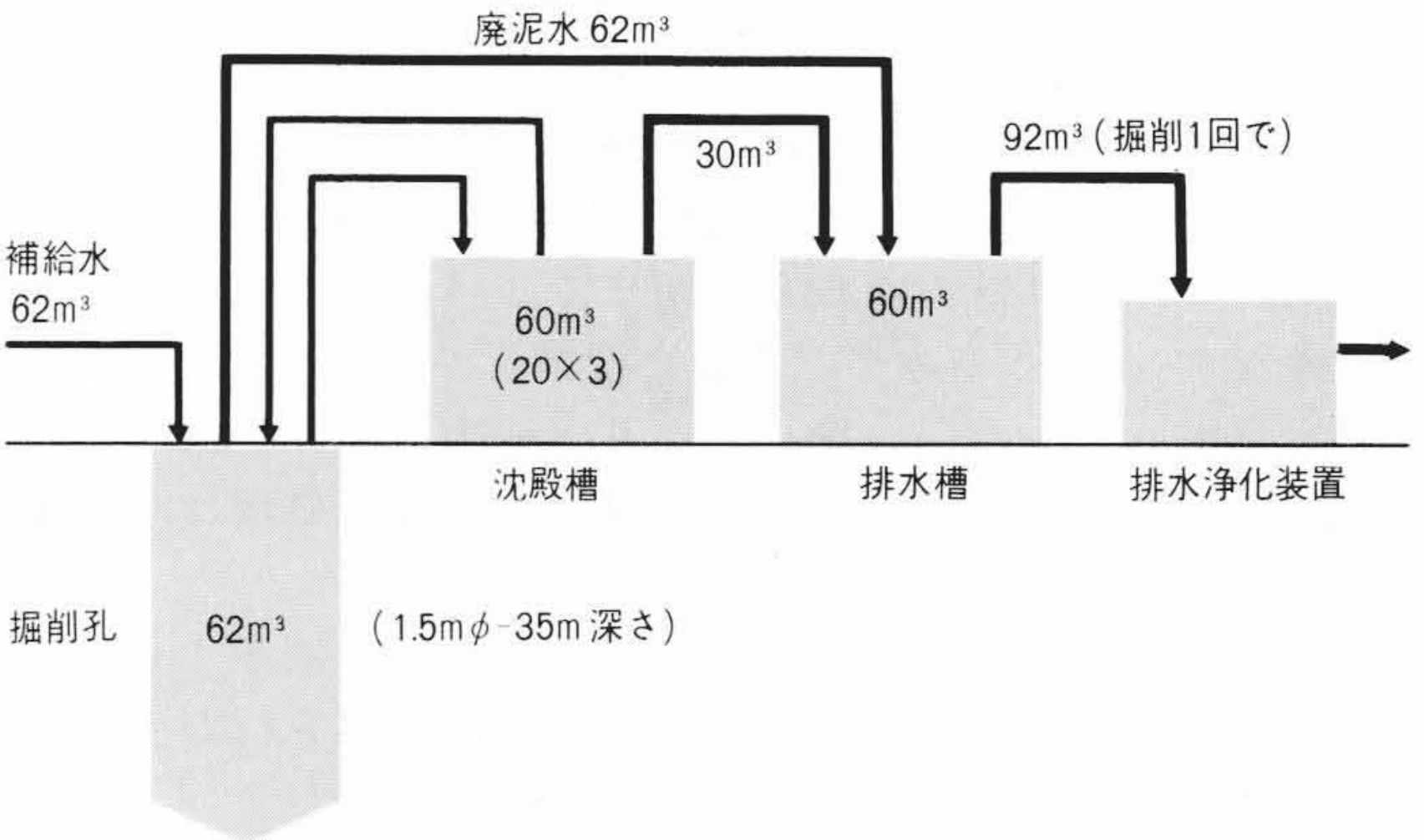


図3 リバース工法の処理容量バランス 沈殿槽60m³を用いて62m³の穴(1.5φ-35m深さ)を掘削すると、穴体積62m³と沈殿槽体積の約半分30m³の廃泥水を処理する必要がある。

全土粒子重量 $31 \times 2.65 = 82.2 \text{ t}$ (2)
追加浮遊粒子 $82.2 \times 0.15 = 12.3 \text{ t}$ (4.65m³)(3)
当初からの浮遊粒子 $60 \times 1.03 \times 0.05 = 3.09 \text{ t}$ (1.14m³)(4)

従って、濃度は
$$\frac{12.3 + 3.09}{122 - (4.65 + 1.14) + 15.39} = 11.7\% \text{ (比重1.077)}$$
(5)

となる。また20%浮遊の場合は、同様の計算で14.5%(比重1.097)となる。

コンクリート打設によって、掘削孔内の泥水62m³は排水槽に移送される。この泥水は濃度が高すぎて泥水掘削再使用には不適であるので排水浄化装置で処理して放流、又は再使用される。また、沈殿槽内の泥水も30m³処理し全体の濃度を下げる必要がある。従って、穴の容積の約1.5倍の廃泥水が発生することになる(ポンプサクション式のため、比重1.03~1.05が掘削上最も好ましい)。浄化装置内で分離された泥分は脱水機により脱水されて排出され、トラックで運搬される。

ベントナイト泥水(ベントナイト8%の溶液)を使用する連続壁工法の場合は、掘削壁体積だけ貯槽の泥水が送り出され

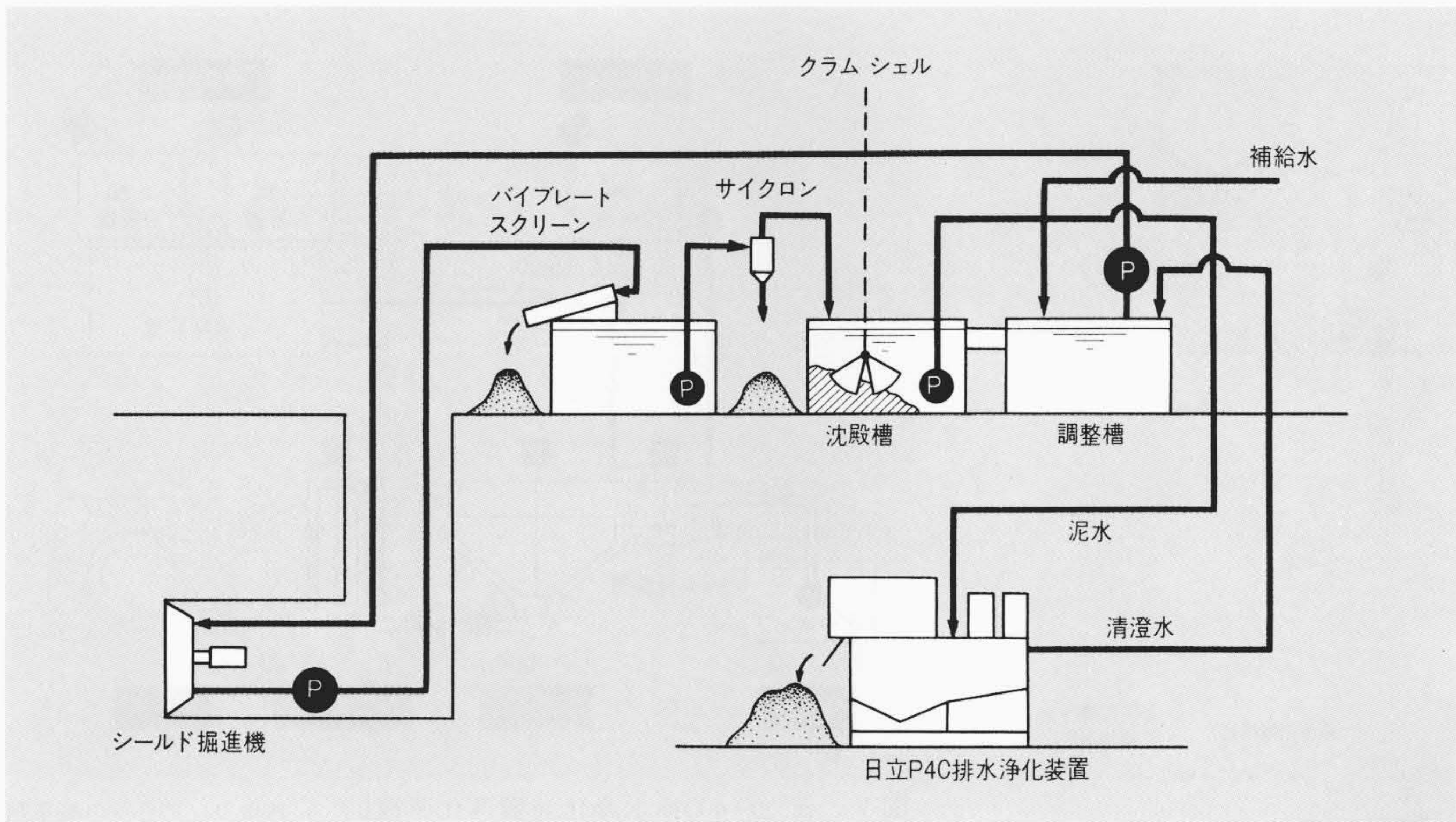


図4 泥水シールド処理システム 循環水の一部を処理装置にかけ、常時浮遊物を分離して比重を下げる。

る。前と同様に20%の土粒子が浮遊する場合は、濃度19.2%（比重1.134）となる。コンクリート打設により孔内泥水62m³は貯槽に戻される。上記の濃度(19.2%)程度の泥水は、連続壁工法の場合(主にエアリフト方式のため)掘削に支障はない。再度使用すると同様の計算で29.0%（比重1.217）となり、コンクリートとの接触によるゲル化も激しく、流動性が悪く再度使用できない。掘削孔及び沈殿槽内の泥水は排水浄化装置を通して放流する。従って、62m³の穴の掘削2回で122m²、すなわち掘削体積とほぼ同量の廃泥水を処理する必要がある。

アースドリル工法の場合もベントナイト泥水を使用するが、循環工法でないため泥水の濃度上昇は小さく、高濃度でも掘削に支障がないため、廃泥水の濃度は30～50%にもなる。

泥水シールド工法の場合を図4に示す。この場合は、コンクリート打設による一時的な廃泥水の発生はなく、連続的に循環水の一部を浄化装置にかけ、清水にして循環水に戻入する。図5はシールド径3.5mφで、30分掘削、30分段取り、1サイクル60分の場合のマスバランスを示す。

比重1.1で掘進機に送水、比重1.16で排泥される。これをマッドスクリーン、サイクロンにかけて全体の2/3の土粒子を分離する。沈殿槽に沈殿した土砂はクラムシェルで排出する。循環水の一部（約13m³）を浄化装置で処理し、浮遊固形物（SS）2.3t/hを分離する。処理水が沈殿槽に戻ると、送水の比重は1.1に戻る。以上は砂層の場合で浮遊土粒子を1/3と考えたが、粘土シルト層の場合には更に増加する。カッタの構造、排泥管の長さなどの違いによってリバース工法、連続壁工法に比べ浮遊する割合は大きい。

5 日立P4C排水浄化装置

図6に標準形の日立P4C排水浄化装置を、図7に浄化原理図を、図8に全容を示す。また表2はその仕様である。

水中ポンプで吸い上げた泥水は、流量調整弁を通り三角堰に入る。ここで原水の状況(濃度、pH)を調べ、流量を測定する(最大30m³/h)。それにより凝集剤の注入量を決める。三角堰を出て流下混合槽を通り一次凝集槽に流入する。この途中で無機凝集剤と高分子凝集剤を段階的に注入する。一次凝集槽では攪拌混合により凝集反応が起こり微粒子は大きなフロックとなり、シックナに流入する。このシックナは沈降性能

掘進条件		
シールド径 (mφ)		3.5
掘削断面積 (m ²)		9.6
1サイクル掘進長さ(m)		0.9
1サイクル掘削体積(m ³)		8.7
作業サイクル	掘進(分)	30
	その他(分)	30
地 層		砂 層

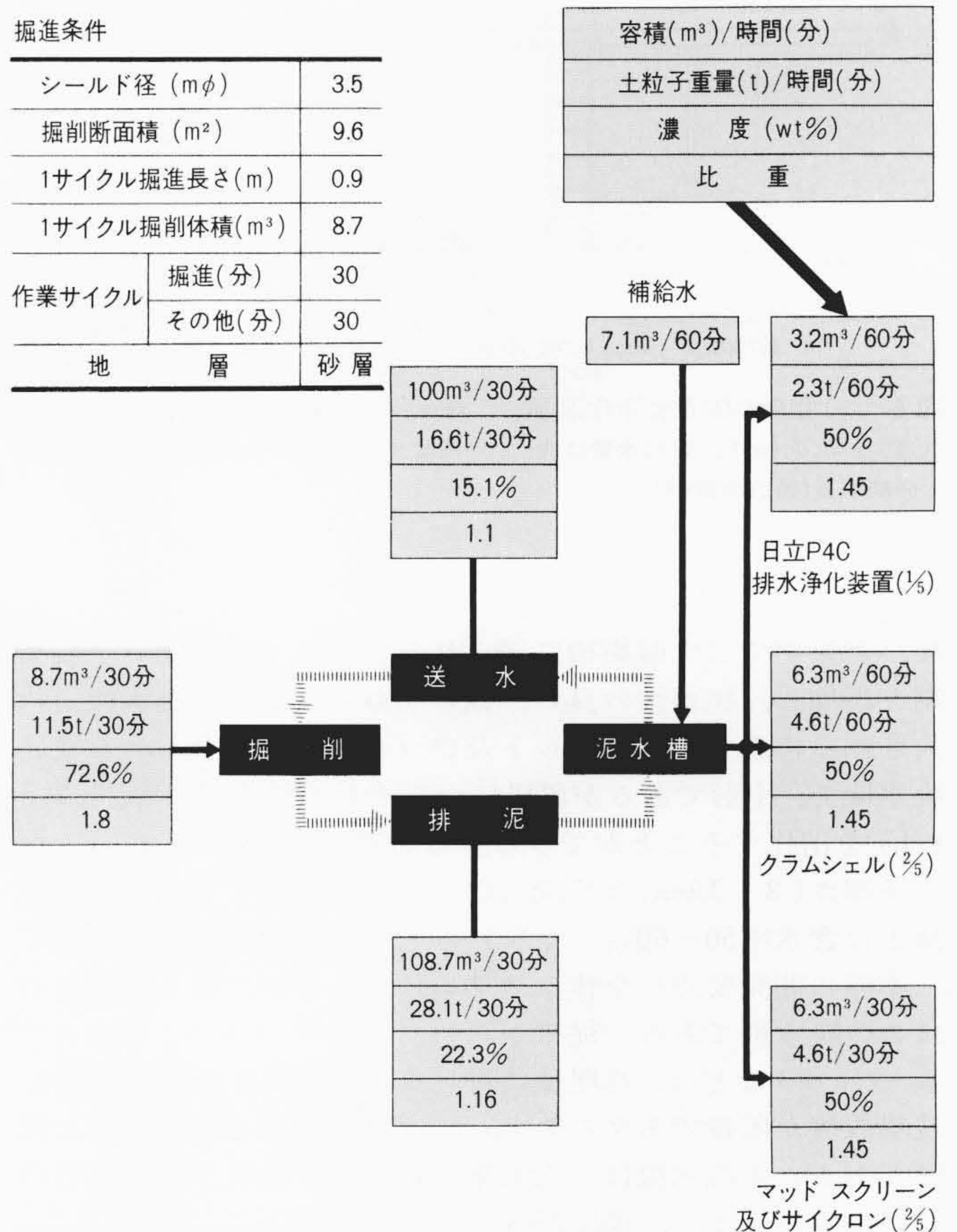


図5 泥水シールド マスバランス 送水の比重は1.1以上が好ましい。排泥の比重は1.16であるが、最高は1.2位となる。本図は砂層の場合でマッドスクリーン、サイクロンで2/3、クラムシェルで1/3、排水浄化装置で1/3処理するとした。

を確保するため設置面積にはほぼ等しいほどの大きな表面積としている。フロックは沈降分離し、処理水はシックナのオーバフローとして外部に排出される。排水基準（SS150ppm、pH5.4～8.6）内に浄化されており、放流又は再使用する。沈降して濃縮されたスラリーは円形部の中央にレーキで集めら

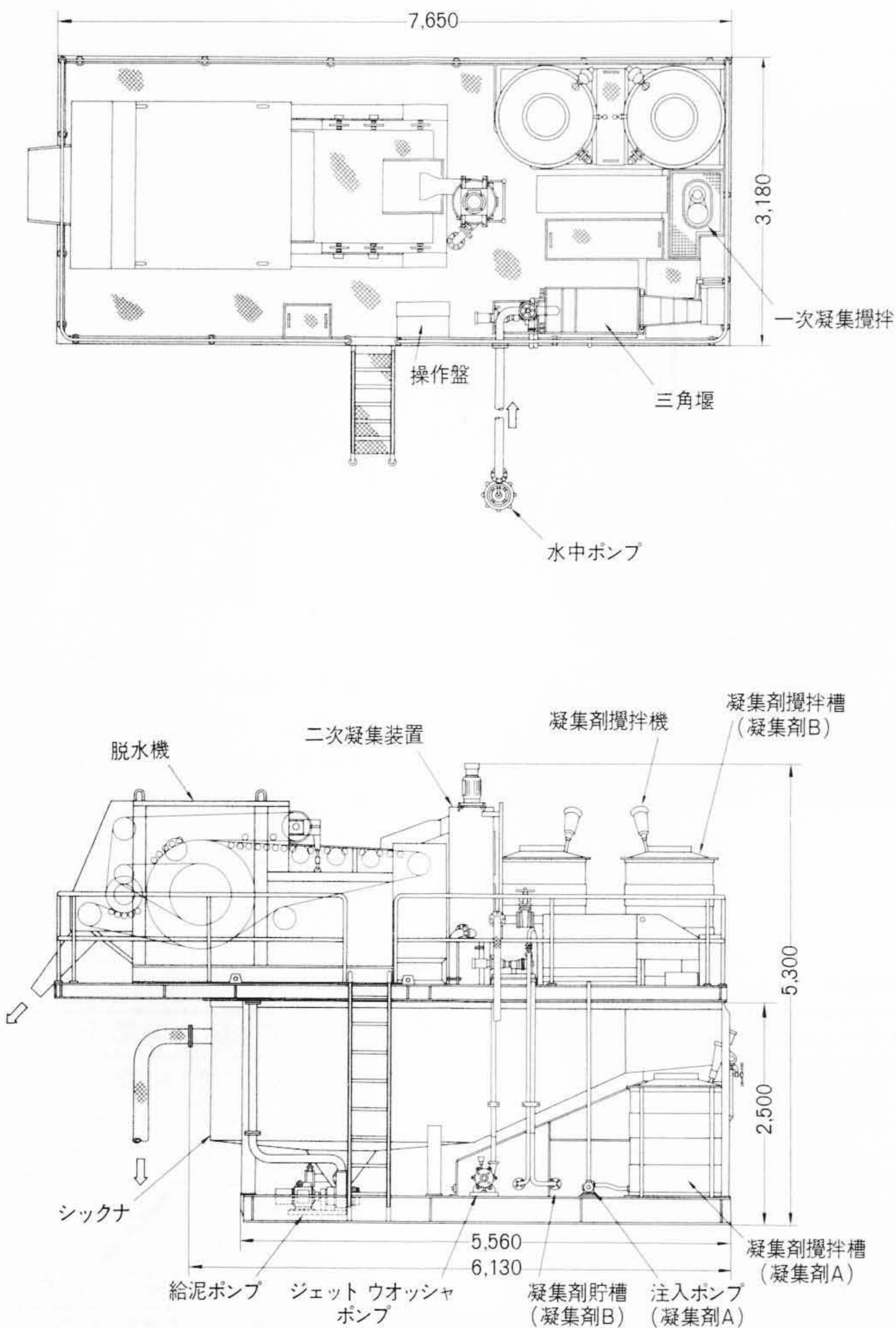


図6 日立P4C排水浄化装置 標準形の処理装置である。設置スペースは3.2m×7.6mで、処理水量は30m³/h(濃度8%)である。機械運搬時は上下2分割する(特許申請中)。

れ、ポンプで二次凝集槽に送られる。ここで更に高分子凝集剤を添加し、脱水性の良い、強いフロックとして脱水機に投入される。重力ろ過とベルト及びローラを組み合わせた連続脱水機で、小形であるが現場にマッチした処理量(固定物2.5t/h)を消化することができる。ろ布速度(1.5~6m/s)、ケーキ厚さ(3~12mm)は状況に応じて調整することができる。排土は含水率50~60%となりトラック運搬容易な状態となる。

本機の開発要点は全体システムにもあるが、最も重要なのはこの脱水機である。従来からのフィルタプレス、バキュームフィルタなどは、処理量に対して非常に大きな設備となり、現場設置が困難でありスクリーデカンタなどは耐久性に問題がある。本脱水機は二次凝集装置により微粒子を脱水性の良いフロックとし、濃度25%〔重力ろ過〕→35%〔ベルトプレス〕→40%〔一次ローラ〕→45%〔二次ローラ〕→50%と1台で段階的に脱水する。ろ布はローラチェーンで両サイドをガイドしているため、蛇行の心配は全くなくプレス用のゴムベルトはローラで蛇行を防止している。現場での操作性、耐久性に重点を置き、ろ布も長寿命である。

本体の構成は上下二分割方式で、それぞれトレーラで運搬し、現場で容易に結合され運転できる状態となる。

各機器は電動式で操作盤で操作する。またシックナ内に沈降したフロックの界面を検出し、ある深さ以上(約2m)たまった場合にはフロックが溢流するおそれがあるので、自動的

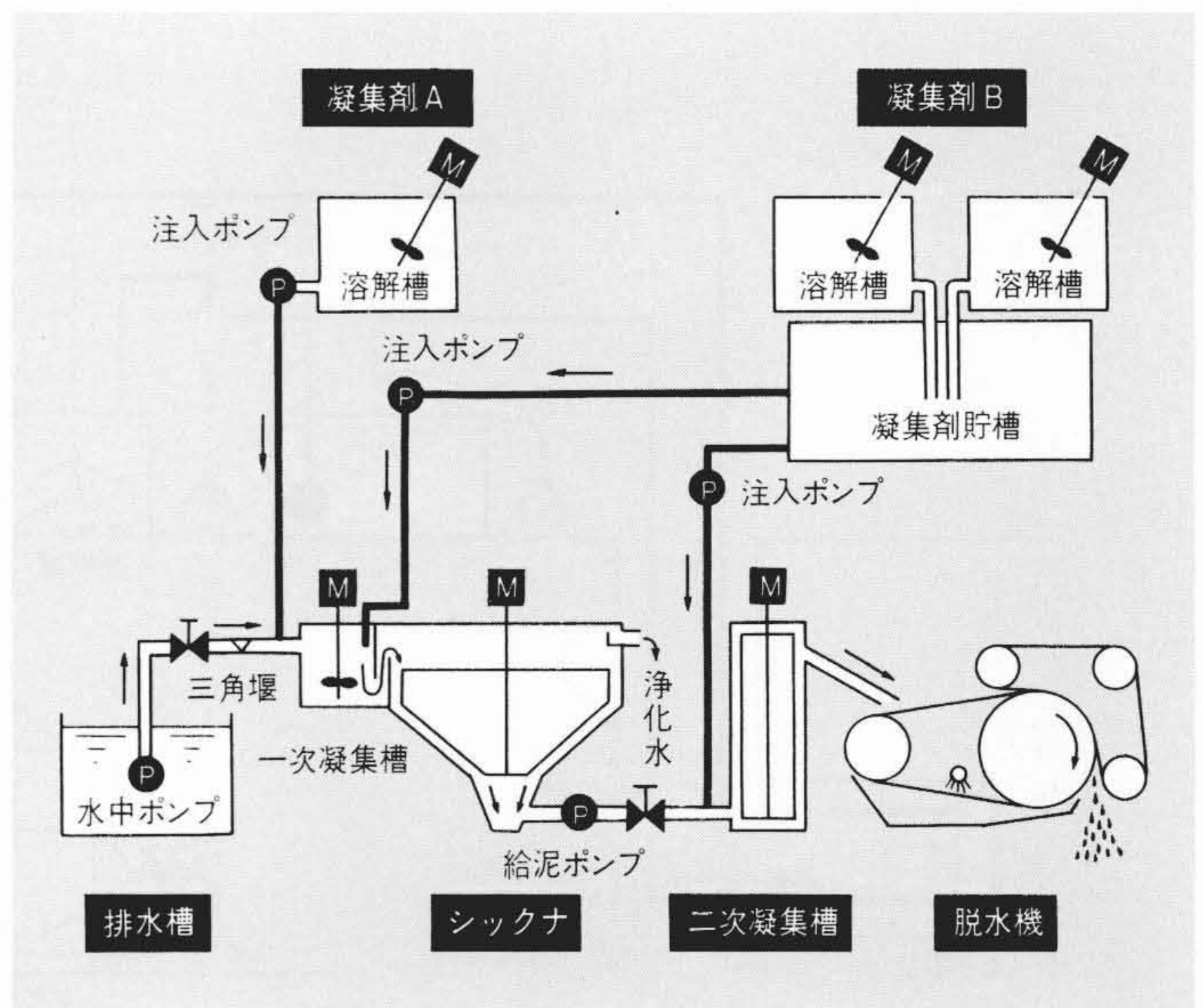


図7 日立P4C排水浄化装置浄化原理図 無機及び高分子の凝集剤を添加し、シックナで凝集沈殿させる。スラリーは二次凝集槽で更に高分子凝集剤を添加し脱水性を良くして、脱水機に送る。

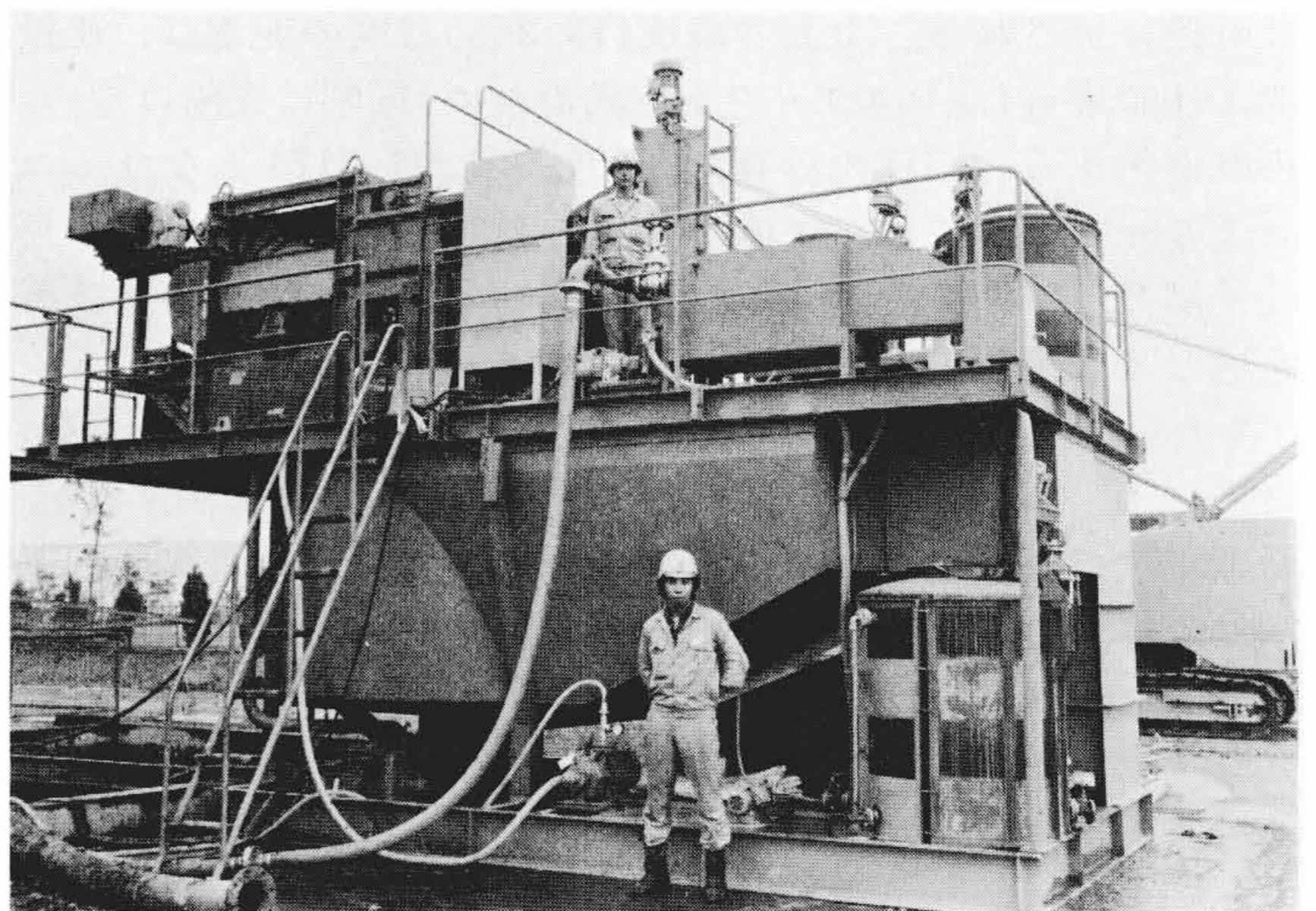


図8 日立P4C排水浄化装置 下部はシックナが大半を占め、その他に凝集剤貯槽、ポンプ類がある。上部には脱水機、凝集剤溶解槽及び制御盤があり、操作は上部で行なう。

に水中ポンプ、及び注入ポンプを停止させる。復帰は自動的に行なわれるため、脱水機を連続運転させておけば泥水の供給は自動的に行なわれる。泥水量が少なく脱水機に余裕のある場合には、スラリーは高濃度(20~30%)で投入するほうが好ましいので、シックナ内の濃縮スラリーの滞積状況により脱水機を運転する。

脱水機の処理量(固形物最大2.5t/h)に合わせて凝集剤の使用量を決めるが、ほぼ固形物量に比例する。無機凝集剤(硫酸バンド固形物相当で)3~5kg/t-sol、高分子凝集剤0.5~0.9kg/t-solが普通である。地質によっては無機凝集剤が不要の所もある。高分子凝集剤は弱アニオン、又はノニオンが一般的に良好であり、安全性も確認されている。

無機凝集剤は下部の溶解槽で溶解して注入され、高分子凝集剤は上部溶解槽2個で溶解し、下部の貯槽に蓄えておきここから注入される。主な操作はこの溶解作業であり、要する作業員は1~2名で他作業との兼務も可能である。

6 処理の実例

リバース工法の廃泥水の発生量は現場の大小にもよるが、一般には3,000～15,000m³であった。1日の処理量としては100～300m³/dである。表3は処理例を示すものであり、次に一、二の設置例を紹介する。

6.1 日本勤労者住宅協会・堀江町団地例

図9に現場配置図を、図10に土質柱状図を示す。杭径1.5～

表2 日立P4C排水浄化装置仕様 電動機13個(合計15kW)で操作する。総重量は14tである。

項		目	仕 様
浄 化 装 置	シ ッ ク ナ 容 量 (m ³)		15
	凝 集 剤 A	攪 拌 槽 容 量 (m ³)	1.0
		攪 拌 機	0.4kW/200V
		注 入 ポ ン プ	0.2kW/200V
	凝 集 剤 B	攪 拌 槽 容 量 (m ³)	1.0× 2
		貯 槽 容 量 (m ³)	3.2
		攪 拌 機	0.4kW/200V × 2
		注 入 ポ ン プ	0.2kW/200V
	給 泥 ポ ン プ		0.75kW/200V
	シ ッ ク ナ 集 泥 攪 拌 機		0.75kW/200V
シ ッ ク ナ 一 次 凝 集 攪 拌 機		0.4kW/200V	
二 次 凝 集 装 置	凝 集 槽 容 量 (m ³)		0.4
	攪 拌 機		0.4kW/200V
脱 水 機			幅1.2m (有効) 長3.5 m 1.5kW/200V
ジ ェ ッ ト ウ オ ッ シ ャ ポ ン プ			3.7kW/200V
水 中 ポ ン プ			5.5kW/200V
装 置 設 置 面 積 (mm)			3,200×7,600×5,500
装 置 総 重 量 (t)			14
能 力	泥 水 処 理 量 (m ³ /h)		30
	標 準 排 出 土 量 (m ³ /h)		3.5～4.7

表3 日立P4C排水浄化装置による処理例 泥水濃度は8～15%で処理量は100～300m³/dである。処理水のSS、pHともに規制値内である。凝集剤使用量も無機0.7kg/m³、高分子0.1kg/m³と良好である。

掘 削	掘 削 機	S300×2台	S300×6台	S200×1台
	掘 削 径 (mφ)	1.9	1.5～3.0	1.016
	掘 削 深 さ (m)	50	50～63	20
処 理 装 置		P4C×1台	P4C×1台	P4C×1台
原 水	処 理 量 (m ³)	6,000	15,000	2,500
	" (m ³ /d)	150～200	250～300	100～150
	濃 度 (%)	9～12	8～15	8～12
	pH	9.2～9.8	11～13	10～11
処 理 水	SS (opm)	50～170	70以下	100以下
	pH	6.4～7.6	6.8～7.2	8～9
	処 理	下水放流	河川放流	再使用
規 制	SS (ppm)	300以下	70以下	—
	pH	5.8～8.6	5.8～8.6	—
排 土	含 水 率 (%)	約50	50～60	約60
備 考	凝集剤使用量 無 機 (kg/m ³)	0.7	0.7	0.4
	高 分 子 (kg/m ³)	0.1	0.1	0.07
	土 質	粘土・シルト	粘土・シルト	砂質シルト

注：SS＝浮遊固形物

3mφ、掘削長55～63mの杭を合計158本施工した。リバースサーキュレーションドリル(S300)6台で施工し、共通の沈殿池(約2,000m³)及びコンクリート打設時の排水池(約800m³)を使用した。排水池の廃泥水の一部を排水浄化装置(日立P4C)で処理し放流した(約12,000m³)。排土はクラムシェルでトラック運搬し捨土した。日立P4C浄化装置は昼夜稼働で200～300m³/dの泥水を処理した(濃度8～15%、pH11～13)。

凝集剤使用量は排水当たり無機(硫酸バンド粉末)0.7kg/m³(4kg/t-sol)、高分子0.1kg/m³(0.7kg/t-sol)であり、放流水はSS70ppm以下、pH6.8～7.2で良好であった。排出土砂の含水率は50～60%でトラック運搬は容易である。

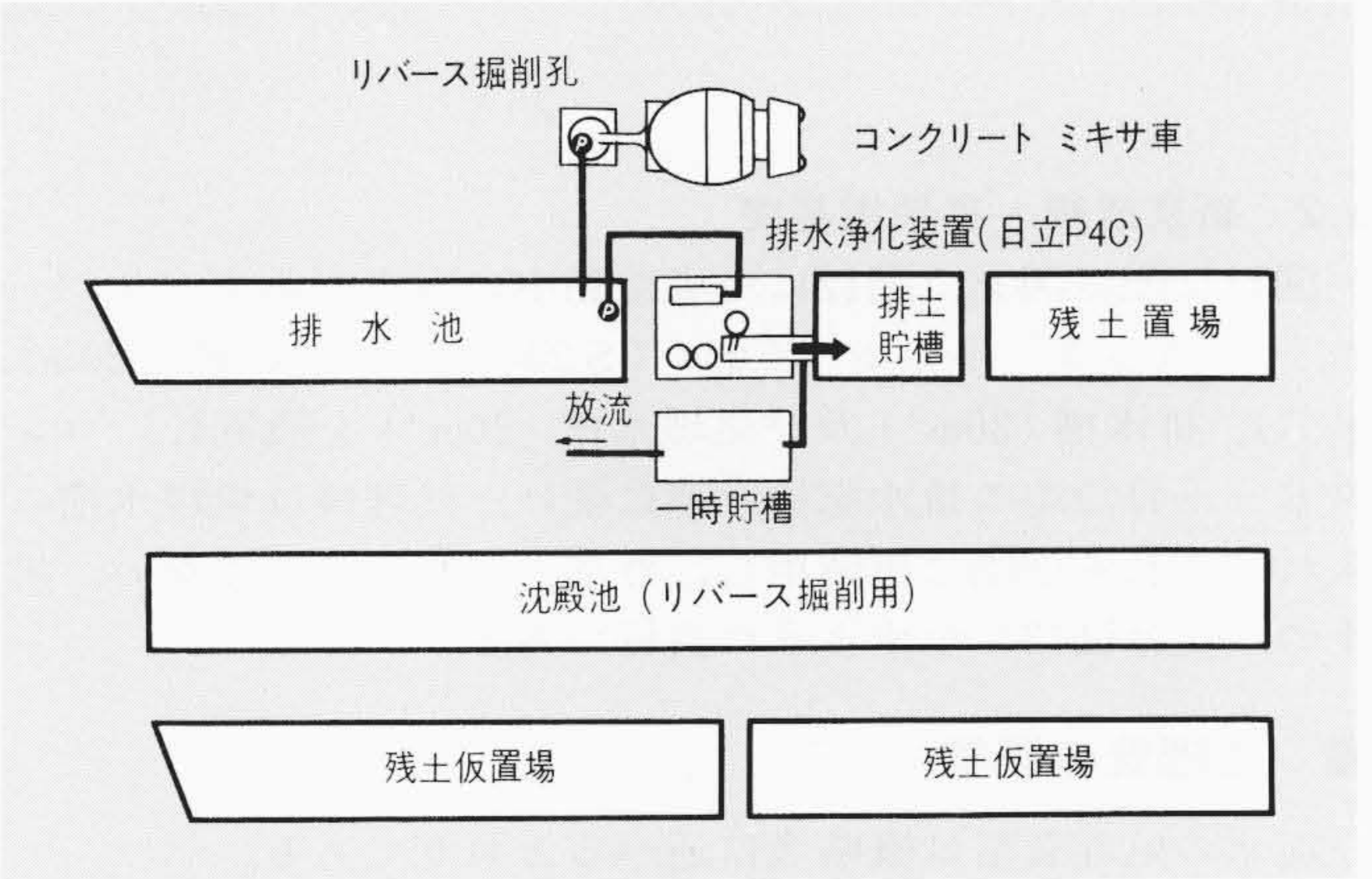


図9 現場配置図(1) 6台のリバースサーキュレーションドリルに対して、共通の沈殿池を使用した。循環水は江戸川より取り入れ、排水は処理して放流した。

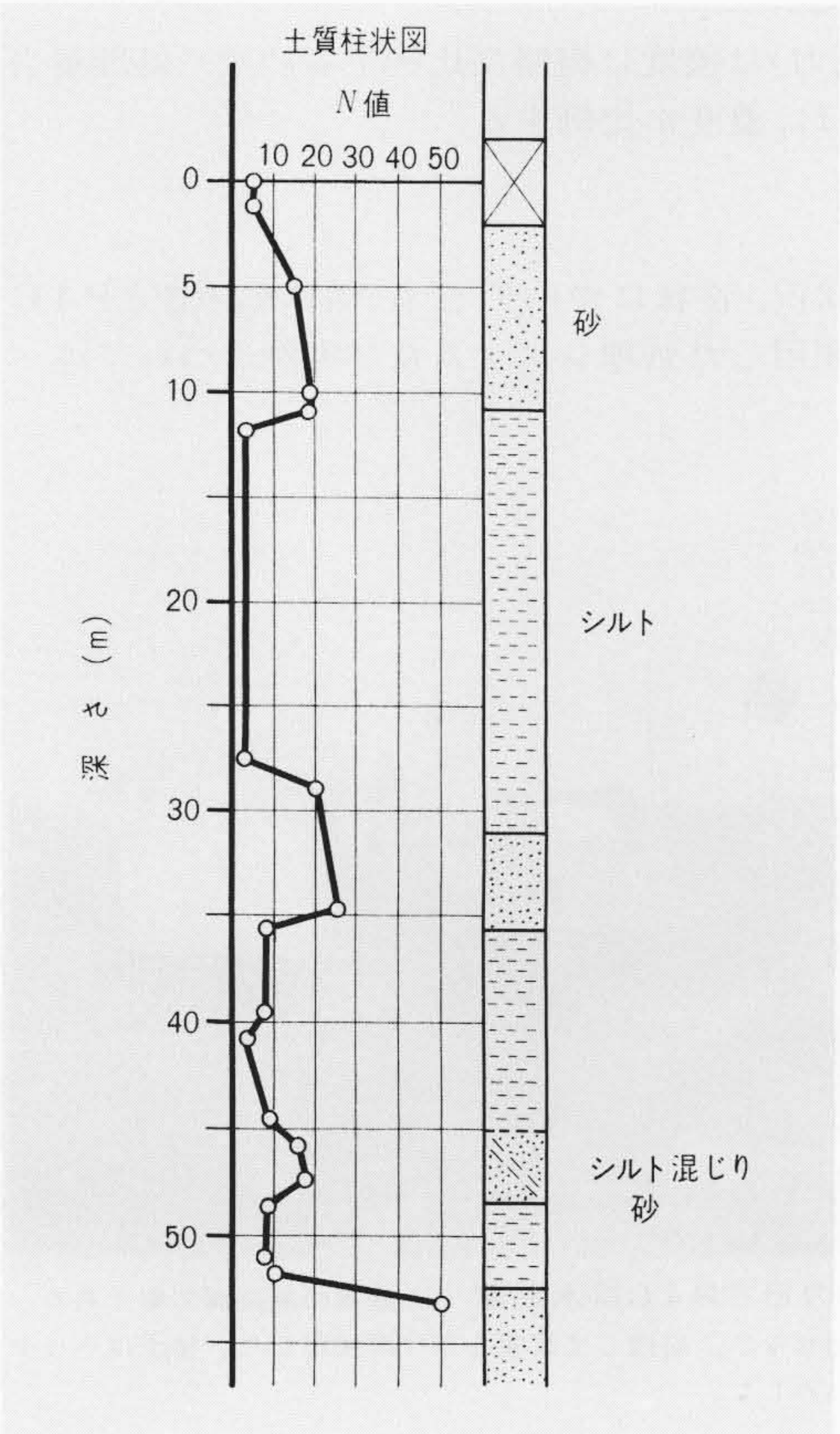


図10 土質柱状図 シルト質が主な地質である。N値も比較的小さく、この地質で浮遊粒子割合は15～20%である。

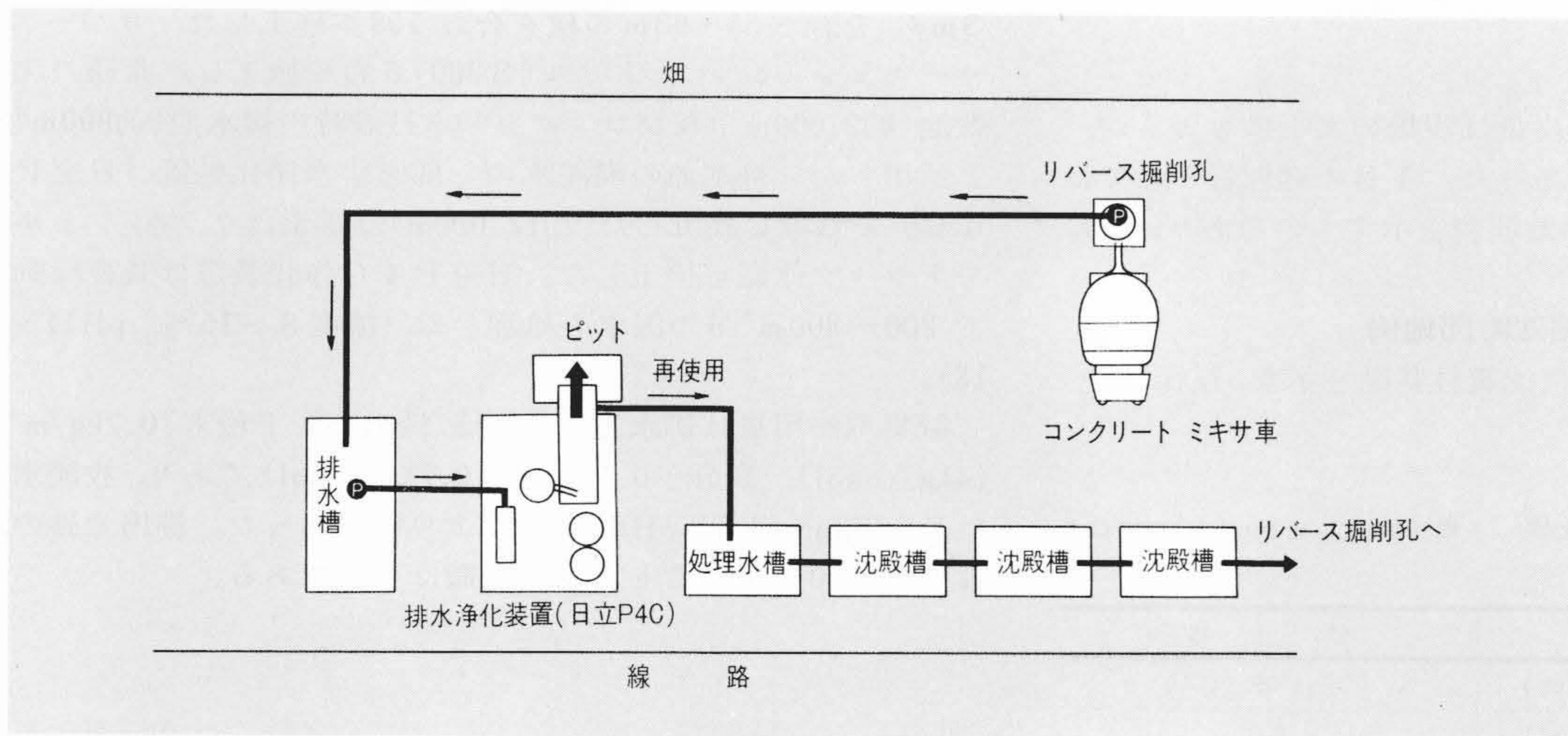


図11 現場配置図(2)

沈殿槽(20m³×3)を使用し、処理水は循環再使用した。

6.2 新京成線・高架橋基礎

図11に配置図を、図12に現場稼働中の写真を示す。リバースサーキュレーションドリル(S200)1台で沈殿槽(20m³×3)、排水槽(20m³)及び処理水槽(20m³)を設置し、コンクリート打設時の排水を排水槽に受け、処理後は処理水槽に入れてこれを掘削に再使用し、外部への排出は全くない。排土の状況は図13に示すように良好である。

7 処理費の概算

泥水の処理費用は概略次に述べるとおりである。

条件：比重1.1、濃度15%、処理量15m³/h

費用：機械費 400円/m³

薬剤費 200円/m³

労務費 300円/m³

これに捨土費、運賃、経費及びその他を含めると1,200～2,500円/m³となる。

処理量(処理能力)は濃度に概略反比例するので、処理量当たりの処理費はほぼ濃度に比例する。

8 結 言

廃泥水の発生状況、性状について述べ、標準形の日立P4C排水浄化装置を使用した処理システム及び実例について述べ



図13 排土の状況 排土の状態は良好で、トラック運搬は容易である。

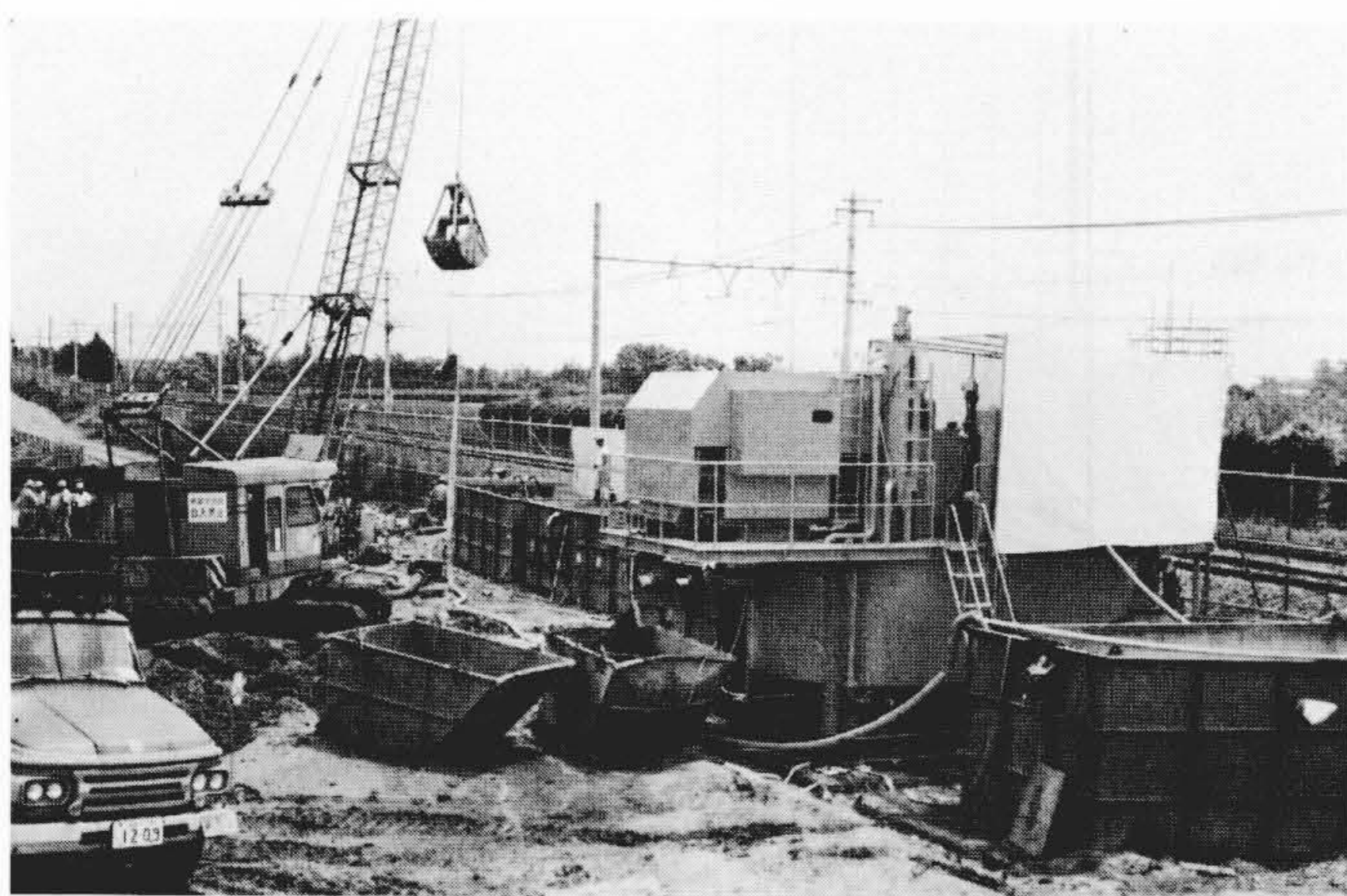


図12 現場稼働中の日立P4C排水装置 鉄道の高架橋工事である。周囲は農地で排水は出せない。処理して比重を下げ再使用した。排土はベッセルに受けトラック積み込みした。

た。日立P4C排水浄化装置は標準形として、シックナ、凝集剤注入装置及び脱水機の三つの主要機能を1システムにまとめたもので、現場設置面積を最小限にすることをねらいとし、性能・能力を最大限に大きくするため、寸法もトレーラ運搬可能な幅(3.3m)いっぱいにとっている。

更に、処理量を増す場合やトンネル湧水、骨材プラント排水などの濃度は薄い水量が多い場合、逆にへどろなど濃度の非常に濃い場合には、上記の3要素を分割し、それぞれの容量に合致したものを応用設計することで対処できる。

今後、環境保護のための規制強化は必至であり、処理すべき問題も山積している。よりいっそう現場に応じた経済的な処理方法の開発に鋭意取り組んでゆきたいと考えている。ユーザー各位の御指導を切望する次第である。

参考文献

- 1) 高岡ほか：「建設工事に伴う泥・廃水の処理」, 基礎工, Vol. 3, No. 5, 5・6月号(1975)