

第7章 既設廃水処理施設の改善計画

第7章 既設廃水処理施設の改善計画

既設廃水処理施設については、プロセスおよび設備の両面について改善計画を提案した。

プロセスとしては、処理廃水の発生源である楊桃塢酸性水ダムから、処理施設の末端にいたるまで各工程毎に、現地調査に基づき操業の現状を把握するとともに、問題点を抽出し、基礎的な試験も加えて検討し、改善計画を提案した。

設備面については、処理場の各機械設備の仕様調査を行うとともに、設備保全状況についても調査し、改善計画の提案を行った。

まず、プロセスについて、既設廃水処理施設の概要と、設置以来の経緯を要約すれば、下記の通りである。

当初の処理プロセスは、三段階の工程から構成されている。

第一段の除鉄工程では、pH2.5前後の酸性廃水に消石灰を加え、pH3.5～3.7に調節して、主として酸性廃水中の第二鉄 (Fe^{3+}) を沈澱除去する。

第二段の脱銅工程では、硫化剤を添加して廃水中の銅イオンを硫化銅として回収除去する。

第三段の中和工程では、脱銅後液に第一、二選鉱の高pHの精鉱溢流を混合し、pHを6.5～9に中和して、残りの第一鉄 (Fe^{2+}) を沈澱分離するものである。精鉱溢流だけで中和不足の場合はさらに消石灰を補充する。

しかし、脱銅工程から硫化水素を外部に逸流させたため公害問題となり、1992年4月に硫化法を中止し、鉄スクラップによる銅置換法に変更するため、酸性廃水の一部を使用して試験操業を行っていたが、1994年7月の調査では全面的に切り替えられた。

従って、現状では、第一段の除鉄工程は省略され、酸性廃水が全量鉄スクラップ取銅工程に入り、脱銅後、第三段中和工程に入るプロセスに変更されている。

しかし、この変更プロセスは当初プロセスより、技術的にも経済的にもより進歩したプロセスとは認めがたい。むしろ、止むを得ない暫定的な処理プロセスということができる。

従って、中国側の要望もあり、当初プロセスを対象とし、その操業を改善することを前提として調査し、改善計画を提案することとした。

7-1 操業状況

主として、1993年7月の現地調査の結果について説明するとともに、その後のプロセス変更については、補充的に説明を行うこととする。

「図 7-1-1 既設廃水処理施設系統図、(1993年7月調査)」参照。

(1) 楊桃場酸性水ダム

楊桃場廃石堆積場からの酸性浸透水は貯水ダムに一旦貯えられる。ダムの型式はロックフィル式ダムであり、堰堤上流側法面に不透水層として粘土を張り付けている。

貯水容量は当初設計で96万 m^3 (有効調節容量76万 m^3)であった。

このダムには常用の排水用の斜樋管と非常用の立管とがある。斜樋管は堰堤下のずい道を通してコンクリート製の流送配管に連絡する。このずい道の出口付近にバルブがあって拔出し流量の調節を行う。コンクリート製流送配管の内径は500mmで、大塙川の河床に沿って延長約7kmに亘って敷設され、大塙川の流れと同様に北上して処理施設に達する。

楊桃場の酸性廃水ダムの貯水能力としては、2年に一回の確率で非常用排水立管から溢流することを前提として設計してあるとのことである。しかし、現状では湛水面を上下流に二分して道路が敷設され、祝家廃石堆積場への運搬路となっているため、当初設計容量の3/5になっているとのことである。非常用排水立管からの流出水は、堰堤下部のずい道を経由して大塙川に放水される。

ダム周辺はいたるところで、ダム酸性廃水を利用して、いわゆる農民による沈澱銅採取が行われ、その分、銅含有量が低下し、その廃水がダムにくり返されるため鉄濃度の上昇となって、廃水処理施設の操業に悪影響を与えていることは明かである。

(2) 第一段除鉄工程

楊桃場からパイプ流送されてきた酸性廃水は、一旦地下式のコンクリート製貯液槽に入る。この貯液槽の容量は700 m^3 で1.4時間分の貯液能力がある。

貯液槽の上面が地並レベルであり、ここに縦型ポンプ3台と横型ポンプ4台が設置されている。この縦型ポンプが中和処理施設向送水用で、横型ポンプの方が選鉱場向け送水用である。選鉱場では硫化鉄鉱の浮選pH調節用に使用される設計である。

縦型ポンプの送水能力は $190.8\text{m}^3/\text{時}/\text{台}$ であり、流量計は当初設置したが、現在は使用されておらず、処理量はポンプの運転台数と運転時間によって管理している。

処理原水は一旦四階にある高位槽に送られる。この高位槽は、本来ならば次の三階に設置されている除鉄反応槽に処理原水を分配する役割を果たすものであるが、1993年7月調査時点では反応槽を運転していないため、反応槽は単なる通水路となっており、次ぎの隔板混合槽で直接消石灰が投入される。

また、高位槽から一部原水が、除鉄工程を経由しないで直接鉄スクラップによる沈澱銅回収工程に分配されている。

操業の方針として、処理原水のSS（懸濁物質）が高い時には除鉄工程を経由して、SSを沈降させてから沈澱銅回収工程に回すが、SSが低い時には直接沈澱銅採取工程へもっていく流量を増やすとのことである。また、処理水量が多いときには、両工程に分配するとのことである。

1993年7月8日の測定では、廃水処理量（ポンプ1台運転= $190.8\text{m}^3/\text{時}$ ）に対し、中和除鉄処理量が約 $130\text{m}^3/\text{時}$ であった。また、三日後の7月12日では同様に約 $110\text{m}^3/\text{時}$ であったので、沈澱銅採取工程には $60\sim 80\text{m}^3/\text{時}$ と全量の約3～4割が直接流入しているものと推定される。

隔板混合槽は、当初設計にはなく、その後設置されたもので、幅1m、延長3mの槽に流れ方向に対し、斜めに交互に交差する邪魔板を4枚付けたもので、処理原水と消石灰がここを経由する極めて短い時間に、乱流混合することを意図したものと見える。

この隔板混合槽から幅1mの樋で約3mほど流れて建物の外に出たところで、分配槽（幅1.4m、長さ2m、高さ1.4m）に入り、20mシクナ一二基に分配される。

この分配槽にpHメーターの電極が設置されている。指示計は近くに無く、建物一階に設置されている。この中和除鉄工程でのpHの管理値は3.5～3.7であるが、pHメーターが正常に作動していないため、もっぱら作業員がリトマス試験紙によってpHを測定し、消石灰の調節バルブの操作をおこなっている。

凝集剤は同じ三階の中段に攪拌槽（ $2\text{m}\phi \times 2\text{mH}$, 2台）が設置され、ここで溶解して隔板混合槽に添加される。凝集剤の種類は#3と称されているが、非イオン性の高分子凝集剤である（白銀製）。その溶解濃度は $1.1\text{g}/\text{L}$ である（粉状の#3、1袋 25kg の $1/4$ 即ち 6.25kg を 5.6m^3 容量の攪拌槽に投入して溶解している）。

1993年7月22日、現場測定の結果では処理水量が $3.2\text{m}^3/\text{分}$ であり、凝集剤の添加量

がほぼ規定通り1200ml/分となっており、処理水中の凝集剤濃度は約0.4ppm(mg/l)であった。

第一段除鉄工程のシックナー溢流は次の工程の沈澱銅回収工程に行くが、スピゴット(底流)は第三段中和工程の分配槽に入る。(スピゴットの抜き出しは間欠運転である)

(3) 第二段沈澱銅採取工程

本来のプロセス設計では、第一段除鉄工程のシックナー溢流に、選鉱のMo分離工程から発生する廃液に硫化ソーダを含むことからこの廃液を添加し、不足分は硫化ソーダ溶液を調合して補充し、廃水中の銅を硫化銅として回収するプロセスであったが、Mo分離工程が廃止されたため廃液がなくなり(1990年)、硫化ソーダ添加に切替え操業したが(1991~1992年)、硫化水素の発生により周辺民家に対し公害被害を与えたこと(1992年4月)が直接の原因となって、現在は硫化銅の採取を中止し、鉄スクラップ置換法による沈澱銅採取方式に変更するため、試験操業を行っている。(1993年7月調査)

設備としては幅55cm、深さ10cm、長さ約9mのコンクリート製樋に、若干の流路勾配をつけて総数32本の樋を並べ、頭には液の分配槽を配置したものである。

操業としては、定期的に樋に沈澱した銅を人力で回収することと、スクラップの補給をすることである。銅の回収成績としては銅の品位が30~40%で、採取率は30%とのことである。

このため、現状では硫化ソーダの貯液槽および反応槽が遊休化している。

沈澱銅は自然脱水されるが、廃液は一旦旧硫化銅回収用のシックナー(20mφ)に貯水され、次工程の第三段中和処理工程の混合池に流入する。

(4) 第三段中和処理工程

この処理工程では、中和剤として選鉱精鉱シックナーの溢流と消石灰を使用する。シックナーの溢流としては第一および第二選鉱の銅、硫化鉄精鉱の溢流であり、そのpH値は約10~11である。

この精鉱シックナー溢流は、沈澱銅採取方法の変更により遊休化した20mシックナーに入り、約300ppmのSSを沈降分離して銅精鉱として回収し、同じく遊休化したフィルタープレスで間欠的に脱水している。

一方、このシックナー溢流は安定池（10mφ×4.5mH）に入り、次の混合池（7m×10.5m×1.5m=110m³）で沈澱銅廃液と一緒に中和剤として使用される。この中和廃液は次の分配槽で二分されてシックナー（30mφ×2基）に流入する。この分配槽には、第一段除鉄工程のシックナーのスビゴット（底流）が入るとともに、不足分の消石灰が添加される。分配槽からシックナーに流入する途中にpH計の電極が設置されているが、第一段工程と同様、正常に作動していない。ここでのpHの管理値は6.5～9の範囲とのことである。

シックナーの溢流は貯槽（8m×20m×2m=320m³）に入り、選鉱の繰り返し用水（回水）として流送される。一方、スビゴットは第二選鉱場の尾鉱加圧ポンプ室に送られ、選鉱廃さいと一緒に廃さいダムに流送され堆積される。

処理施設の主要な設備を、「表 7-1-1 既設廃水処理施設の主要機器表」に示す。

（5）その後のプロセス変更

1994年7月の調査では、銅回収方式が本格的に鉄スクラップによる沈澱銅回収に切り替えられている。硫化銅回収方式では、前処理工程として第二鉄を除去する第一段の除鉄工程が必要としたが、沈澱銅回収方式ではこの工程が不要なため、酸性廃水は直接沈澱銅回収工程に全量入ることになる。沈澱銅回収後の廃液処理は変わらない。

処理系統図として示せば、「図 7-1-2 既設廃水処理施設系統図、（1994年7月調査）」の通りである。

（6）処理原水の水質と水量

中国側提供資料および試験用試料として採取分析した結果から、楊桃塢酸性廃水の水質は、「表 7-1-2 楊桃塢酸性廃水の水質」に示す。中国側提供資料としては、污染源監視統計表によるものと、廃水中和処理施設の原水分析データによる二種類がある。この他に廃水処理試験のため、楊桃塢酸性水ダムの上流部から直接浸透水を採取したが、この浸透水のCu濃度は約150ppm、TFe濃度は約1800ppmであり、廃水処理施設の原水はこれよりCuが25～35ppmほど低く、逆にTFeは600～800ppmほど高い。

（1992年実績）この原因としては酸性水ダム周辺全域に亘って、いわゆる農民が沈澱銅を回収していることから、銅置換に使用するスクラップ鉄の溶解が影響していることが考えられる。

また、廃水中和処理施設の処理原水の分析値（1回/週）から月別の推移をみれば、「図 7-1-3 処理原水水質の月別推移（1991～1992年実績）」に示す通りである。月

によって分析値が無いことや、データの数が一つしか無いこともあって解析は難しいが、夏期（雨期）には第二鉄（ Fe^{3+} ）と銅濃度がやや高くなるように思われる。

楊桃塢廃石堆積場から発生する酸性水量は、豊水年基準で296.10万 m^3 、即ち8112 m^3 /日であり、処理設計能力である12000 m^3 /日からすれば約66%に相当する。

また、当初設計では、約4000 m^3 /日の酸性水を選鉱の硫化鉄浮選に使用するものとしており、中和処理対象水の設計能力は残りの約8000 m^3 /日である。

しかし、1993年7月調査時点の処理水量は約5000～6000 m^3 /日であり、中和対象水量に対しては約68%程度となっている。この原因としては一段目の除鉄工程におけるシックナー処理能力が不足していること、設備に対するスケール付着があること、停電が多いこと等によるとのことであった。

（7）処理排水の水量と水質

中国側の当初設計では、第三段目の最終中和処理工程で、中和剤として選鉱精鉱シックナーの高pHオーバフローを利用し、不足分を消石灰で補い最終pHを6.5～9.0の範囲に調節して固液分離を行うことになっている。

中和剤としての精鉱シックナーのオーバフローの水量は約10000 m^3 /日であり、処理酸性水量の約8000 m^3 /日と合わせ約18000 m^3 /日の処理水量となり、最終シックナーでは約14000 m^3 /日の最終排水と約4000 m^3 /日の穀物とになる。

排水の水質としては、選鉱用水（回水）の一部として使用されるため、排水基準を上回っても直接河川に対する影響はないが、pH値が変動し不安定であることは否めない。

図 7-1-1 既設廃水処理施設系統図 (1993年7月調査)

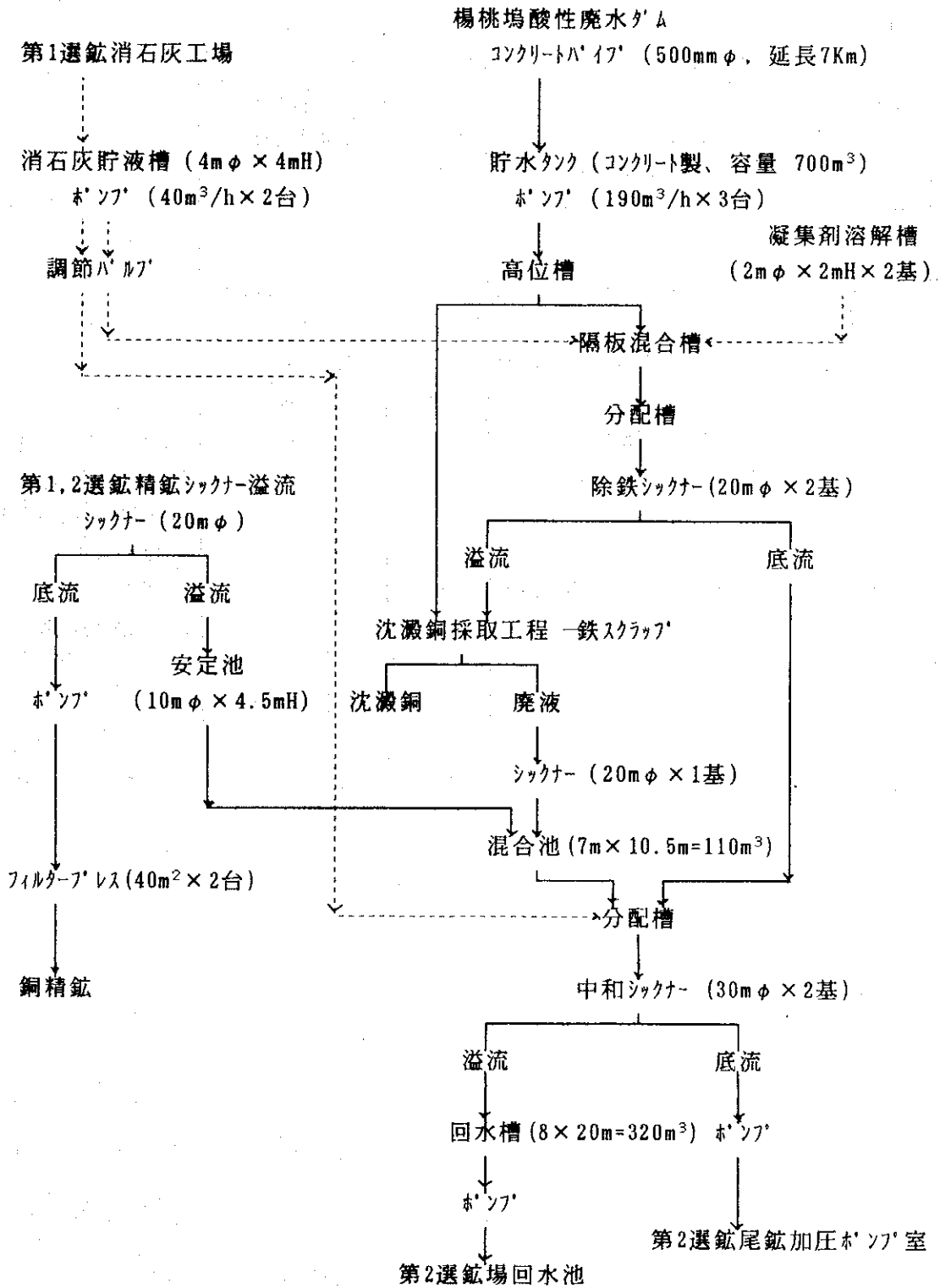


表 7-1-1 既設廃水処理施設の主要機器表

(1993年7月調査)

機器名	寸法 (型式)	台数	用途	備考
遠心ポンプ (縦型)	DB150FY-35型	3	中和処理送液	
〃 (横型)	FB 80- 60型	4	選鉱場送液	
消石灰貯槽	4000φ×4000mmH=45m ³	1		
凝集剤溶解槽	2000φ×2000mmH=5.6m ³	2		
隔板混合槽	1000w ×3000L×1500mmH	1	第一段除鉄工程	
シックナー	NZF-20 (20m φ)	2	〃	
沈澱銅置換機	500幅×100深さ×9000mm		第二段脱銅工程	
	長さ	32(本)	〃	
シックナー	NZF-20 (20m φ)	2	〃	1基は鉄スラック 収銅廃液貯槽用、1基は選鉱精鉱シックナー溢流SS沈降用として使用
フィルタプレス	XMGZ40/810-20 (40m ² , 6kg/cm ²)	2	〃	1台遊休 1台銅精鉱脱水用
シックナー	NZF-30 (30m φ)	2	第三段中和工程	

図 7-1-2 既設廃水処理施設系統図 (1994年7月調査)

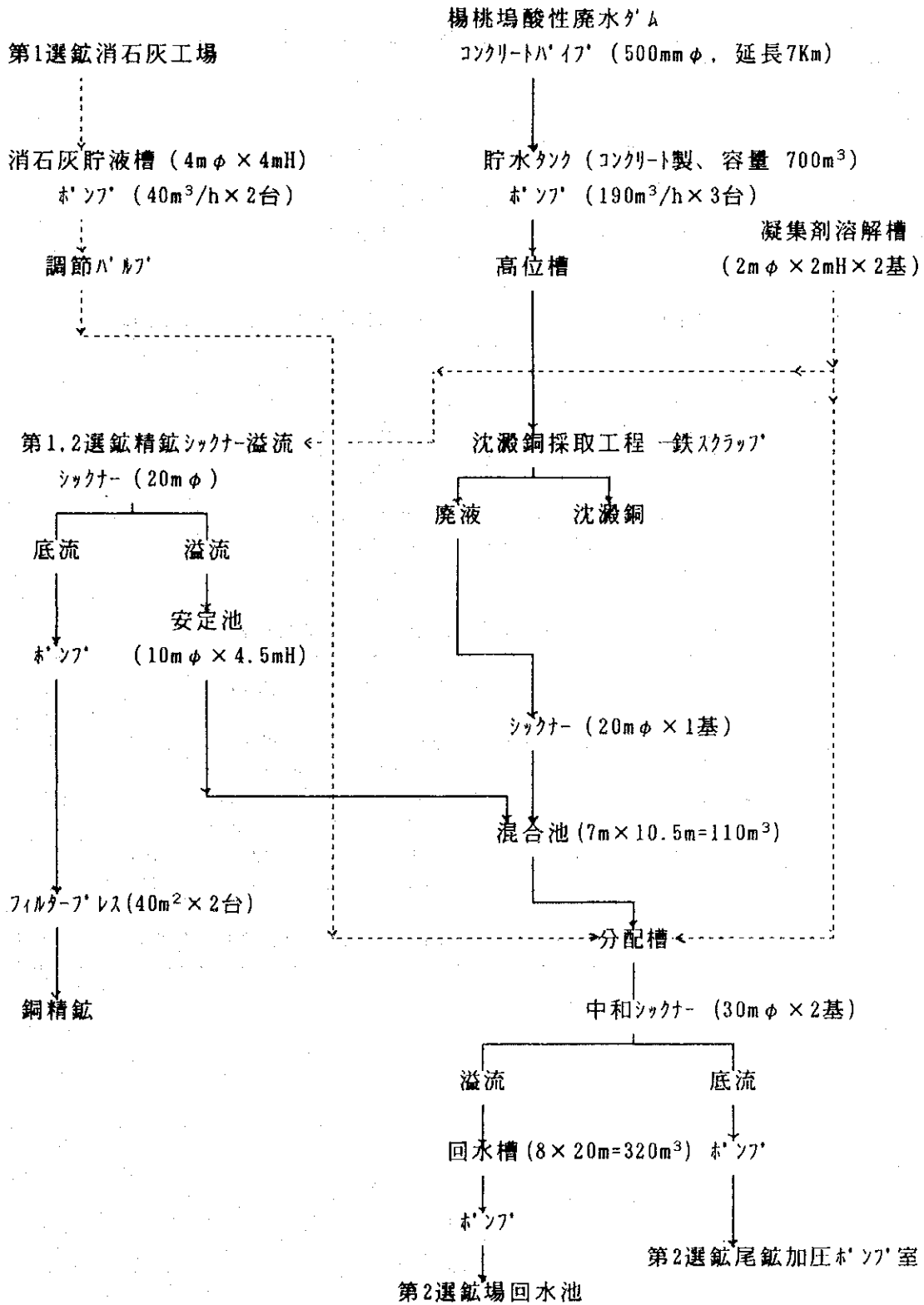


表 7-1-2 楊桃塢酸性廃水の水質

(1) 徳興銅鉛廃水汚染源監視統計表による (中国側提供 1993.3.26) (単位: ppm)

年	pH	Cu ⁺⁺	TFe	Fe ⁺⁺	SS
1989	2.47	110.01	2015.2	195.36	212.89
1990	2.51	89.91	1555.3	154.06	340.99
1991	2.56	138.02	2029.3	194.10	622.64
1992	3.02	82.07	1835.1	540.38	658.10

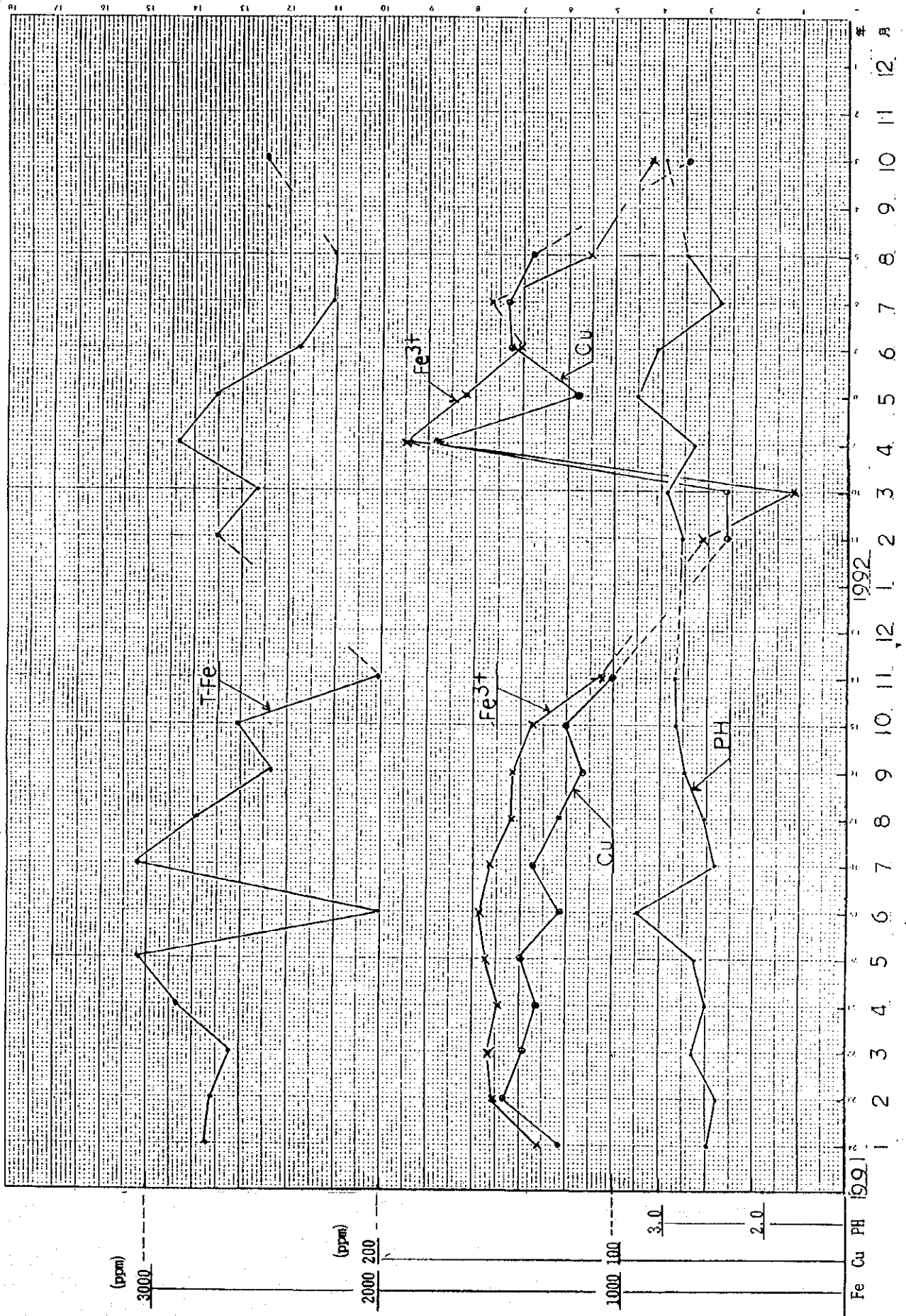
(2) 既設廃水中和処理施設原水水質分析データによる (中国側提供 1993.6.) (単位: ppm)

年		pH	Cu ⁺⁺	TFe	Fe ⁺⁺	備考
1991	平均値	2.667	126.394	2671.99	1372.90	n=38~40
	標準偏差	0.244	17.002	599.94	319.08	
1992	平均値	2.844	114.490	2421.04	1189.27	n=25~31
	標準偏差	0.278	45.466	225.06	448.36	

(3) 試験用試料として上流浸透水を直接採取。(ただし沈澱銅採取の影響若干あり)

サンプル採取日		分析日	分析成分 (単位: ppm)							
月	日	日	pH	Cu ²⁺	TFe	Fe ²⁺	Al ³⁺	SO ₄ ²⁻	8.4AX	SS
6	11	11	2.42	143	1999	917	1101	9768		117
9	6	6	2.38	148	1775	1029	813	12780	9750	
9	13	13	2.36	154	1659	1018		12760	11050	
9	16	16	2.56	159	1641	1031	872	13048	9490	
平均値			2.430	151.0	1768.5	998.8	928.7	12089.0	10096.7	117

図 7-1-3 処理原水水質の月別推移 1991～1992年実績



7-2 機器保全の現況

(1) 既設廃水処理場現状フローシート

1993年7月調査時のフローシートを「図 徳興-設備設計A-000」(別冊資料編)に示す。

(2) 調査機器仕様書

既設廃水処理場の施設および設置機器全般について、その仕様を調査した。調査した機器名は下表の通りである。それぞれの各機器の詳細な仕様は、別途資料集に示す。

No.	機 器 名	No.	機 器 名
1	立型揚水ポンプ	16	石灰乳高位槽
2	横型揚水ポンプ	17	Cu-Mo貯槽
3	酸性廃水ポンプ室ホイス	18	Na ₂ S貯槽
4	石灰乳貯槽	19	φ20m除鉄濃縮池
5	石灰乳ポンプ	20	φ20m沈殿銅濃縮池
6	空気圧縮機	21	2段北濃縮池底渣ポンプ
7	半自動フィルタープレス	22	φ9m銅渣濃縮池
8	脱銅反応槽	23	銅底渣ポンプ(フィルター供給ポンプ)
9	φ1.6m攪拌槽	24	銅底渣ポンプ用シール水ポンプ
10	脱銅反応槽上ホイス	25	銅底渣ポンプ室ホイス
11	凝集剤溶解・溶液槽	26	φ30m中和濃縮池
12	除鉄反応槽	27	3段底渣ポンプ
13	除鉄反応槽上ホイス	28	3段底渣ポンプ室汚水ポンプ
14	1~3階荷揚げ用ホイス	29	3段底渣ポンプ室ホイス
15	H ₂ S吸引ファン	30	清澄水ポンプ

(3) 年間廃水処理場停止原因調査

1) 停止原因・時間

期間：1992年(1年間)

調査：中国側提出資料(1993年7月)

- (1) 消石灰無し：1785時間
 - (2) 年次休止点検：1091時間(主として10月以降)
 - (3) 一般点検修理：940時間
 - (4) 酸性廃水無し：1145時間(イ、処理酸性水量の減少 ロ、農民が酸性配管路破壊)
- 合計 4961時間

2) 運転時間 3791時間

3) 処理場年間運転時間率

$$3791 / (3791 + 4961) = 43.3\%$$

(4) 廃水処理場主要機器部品交換頻度

期間：ここ数年間の平均

調査：中国側提出資料(1993年7月)

機器名称	部品名称	材質	交換頻度
清澄水ポンプ (型式:10SH-6)	軸	炭素鋼 ZG	24ヶ月
	インペラー	鑄鉄 HT	6
	シールリング	鑄鉄 HT	6
	軸スリーブ	鑄鉄 HT	6
3段底渣ポンプ (型式:4PNJFA)	インペラー	耐酸ゴム	12ヶ月
	フレームプレート	耐酸ゴム	12
	カバープレート	耐酸ゴム	12
銅底渣ポンプ 石灰乳ポンプ (型式:2PNJFA)	インペラー	耐酸ゴム	12ヶ月
	フレームプレート	耐酸ゴム	12
	カバープレート	耐酸ゴム	12

注記：1) 部品交換頻度はポンプ1台当たりを示す。

2) 設備担当者によると3段底渣ポンプ、銅底渣ポンプ、石灰乳ポンプの部品交換頻度は上記表とは異なり6ヶ月位。

3) 各ポンプ毎の点検修理記録簿はない。

(5) 廃水処理場内配管補修調査表

期間：1992年度

調査：中国側提出資料(1993年7月)

発生 月日	スケール付着部	破損箇所	閉塞箇所	手入れ 頻度	備考
6月 5日			#2,3澄清水ポンプ吸込み側配管閉塞	1	1の方処理
6月 9日	1段濃縮池前樹脂製分配槽の南北面にスケール付着し清掃時破損			1	10~12日迄修理
6月15日		3段南池底渣ポンプ吐出配管腐食破損			

発生 月日	スケール付着部	破損箇所	閉塞箇所	手入れ 頻度	備考
6月24日	1段南池給液用樹脂 管にスケール付着			1	
7月 1日			選鉱場～処理場間石 灰乳送液配管閉塞	1	
7月13日			1段濃縮池前分配槽 南面閉塞	1	
7月14日			1段南池給液用樹脂 管閉塞	1	
8月 4日	1段濃縮池前樹脂製 分配槽の南面にスケ ール付着			1	
8月14日			1段北濃縮池ス'ゴ'ット 部、3段北濃縮池ス' ゴ'ット部閉塞	1 1	1日2箇所
8月17日		薬剤脱水所3階分配 槽前酸性水配管破損		1	
8月20日		薬剤脱水所3階消石 灰給液配管破損		1	
8月29日			3階南濃縮池～3階No 1底渣ホ'ソ'間配管	1	
8月30日		3段北濃縮池～3段#3 底渣ホ'ソ'間配管		1	
9月 1日		酸性水揚水ホ'ソ'吐 出側ベ'ント'部ゴ'ムライ 配管破損		1	
9月18日			2段北濃縮池ス'ゴ'ット 部閉塞	1	20～29日 迄手入れ

発生 月日	スケール付着部	破損箇所	閉塞箇所	手入れ 頻度	備考
9月18日		薬剤脱水所3階分配 槽破損		1	
10月 7日		酸性廃水横型揚水ボ ンブ 吐出側配管破損		1	
10月26日	薬剤脱水所3階樹脂 製混合槽スケール清掃時 破損			1	26~29日 迄修理
合計	4回	7回	8回	19回	

注記: 1) 1段濃縮池樹脂製分配槽・配管の改造

改造点 : 分配槽材質 樹脂 → ステンレス
配管材質 樹脂製管 → ステンレス製樋

改造年月日 : 1993年1月

2) 薬剤・脱水所3階、酸性廃水と消石灰液との混合槽の改造

改造点 : 樹脂製 → ステンレス製

改造年月日 : 1993年1月

3) 薬剤・脱水所3階、酸性廃水分配槽の改造

改造点 : 樹脂製 → ステンレス製

改造年月日 : 1993年1月

7-3 問題点の抽出

(1) 楊桃塙酸性水ダム

(a) 堰堤から浸透水の流出

堰堤からの浸透水の流量は降雨によって大きく変動し、最小 $1\text{m}^3/\text{Hr}$ から、最大 $150\text{m}^3/\text{Hr}$ と二桁の開きがある。水質は水量ほど変動がなく、pH値が $2.5\sim 2.8$ であり、銅は $1\sim 27\text{ppm}$ 、全鉄は $300\sim 970\text{ppm}$ 、 $(\text{Fe}^{++}280\sim 890\text{ppm})$ の値が得られている。この浸透水はそのまま大塙川に流出する。

(b) 酸性水ダムの貯水容量の減少

祝家廃石堆積場用の運搬道路で酸性水ダムが上下流に二分されている。このため貯水容量もその分少なくなり（設計値に対し約 $3/5$ ）、非常排水管からの溢流頻度が増えるとともに、水質にも影響を与えているものと考えられる。

(c) 農民による沈澱銅採取

これはダムから酸性水を汲み上げ、その廃液をまたダムに排出したり大塙川に放出している。このため中和処理場では鉄濃度が高くなるとともに銅濃度が低下し、操業に悪い影響を与えている。

(2) 第一段除鉄工程

(a) 中和処理に使用する消石灰の供給途絶

消石灰の供給が止まった場合でも、酸性廃水はそのまま流れている。従って数時間に亘って無処理の状態になることがある。

期間中に携帯型pHメーターを使用して分配槽のpH値を連続測定したところ、「図 7-3-1 第一段除鉄工程のpH連続測定 (1)」に示す通り、午後3時過ぎになると消石灰が無くなった。

(b) 消石灰の品質変動

「表 7-3-1 消石灰分析値」に示す通り、粒度が粗い（ $+200\text{mesh}50\%$ になることもある）。

また、濃度の変動も大きい（重量濃度 $2\sim 17\%$ ）。

純度の低いのは自然条件に左右されるためある程度止む得ないが、バラツキが極

めて大きい（有効CaO分 35～60%）。

消石灰乳濃度が高く、粒度が粗くなると調節バルブの詰まりや、流送ポンプモーターの発熱等の原因となり、pH値が大きく乱れる。この状況は、「図 7-3-2 第一段除鉄工程のpH連続測定(2)」に示す通りである。

(c) pHメーターによる自動測定および制御

電極全体が頑丈な塩ビ製カバーで保護され、簡単に取り外しができないようになっているため、殆ど電極の洗浄は日常行われていない。当然標準液による日常の校正も行われていない。pHメーターの電極の近くに指示計が無い。従って標準液による校正は無理である。このため、作業員はリトマス試験紙を携帯し、間欠的に測定し消石灰のバルブ調節を行っているが、消石灰の粒度の粗いことと、濃度変化があることから判断して、長時間に亘って pH値を決められた管理範囲内に維持することは難しいと思われる。

(d) 凝集剤の添加位置

中和装置に相当する隔板混合桶の入り口に、消石灰とともに凝集剤が添加されているが、順序としては、消石灰との中和反応後に、凝集剤が添加されるべきである。

(e) 凝集剤の種類と添加量

既設廃水処理施設の処理能力不足の原因として、第一段中和工程におけるシックナーの処理能力不足が中国側より提起されている。

処理能力を改善するために、シックナーを大きくすることは設備配置上難しい。最も簡単な解決法は凝集剤による沈降速度の改善である。現在使用中の#3非イロ型凝集剤の他に、その他中国製、および比較のため日本で実績のある凝集剤について比較試験を行うとともに、廃水処理場の実態調査を行った。試験結果および処理能力については次節で説明する。

(3) 第二段脱銅工程

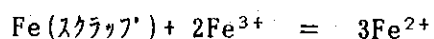
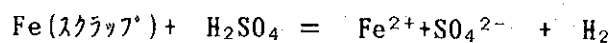
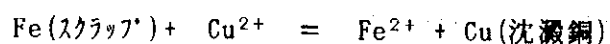
(a) 鉄スクラップ取銅法

中和処理場として本来の設計プロセスとは異なり、銅の回収方法として鉄スクラップ法に変更されている。この方法は銅と鉄の置換による方法であるが、スクラップ鉄は銅とだけ反応するだけではなく、廃水中の硫酸および第二鉄とも反応するため、楊桃場廃水のように、銅よりも硫酸や第二鉄がはるかに高い酸性廃水の場合は

スクラップ鉄を多量に消費することになる。

従って、溶出した鉄の再処理を含めたプロセスとしてみた場合には問題がある。

即ち、スクラップ鉄が消費される反応式としては、



である。

一例として鉄スクラップ取銅前後に置ける処理水の分析例から、鉄の消費量を計算すれば、「表 7-3-2 置換前後における液分析例」に示す通り、採取銅量に対する鉄スクラップ消費量は約6倍になっている。

なお、この他に鉄スクラップ銅回収法は固体・液体の反応であり、硫化法の場合は液・液反応であるから反応効率の面でも不利である。

また、スクラップの搬入、反応槽への装入、および沈澱銅の回収に至るまで自動化することは極めて困難である。一方、硫化法の自動化は容易である。

排出基準が年々厳しくなることを考えれば将来性のあるプロセスとはいえない。

(b) 硫化水素による鉍（公）害発生

酸性水に対し硫化ソーダを添加した場合、若干の硫化水素の発生が考えられるが、公害問題になるほど多量に発生するのは、過剰に添加されているとしか考えられない。

前段の除鉄工程におけるpH制御が安定していて、硫化ソーダの添加量が適正であれば硫化水素の過剰な発生はあり得ない。

(c) 硫化銅の沈降性

硫化銅の沈降性が良くなかったことが中国側から提起されている。

廃水中の銅濃度によって硫化銅の生成する粒度にも差があり、沈降性も異なるが、凝集剤の使用によって相当改善されることも考えられる。

硫化法による脱銅については、現在操業が行われていないので、調査はできなかったが、1994年7月に回分試験（静態試験）を実施したので、試験の結果と検討は次節で説明する。

(4) 第三段中和工程

(a) pHメーターによる自動測定および制御

pH値の管理範囲は6.5～9であるが、精鉱シックナー溢流だけでは不足する場合、消石灰を分配槽に添加している。しかし、その調節バルブは第一段除鉄工程の消石灰添加用の調節バルブと同じ位置にあるため、添加場所まで約60m離れており、高さでも建物の三階から地並みまでの差があるので、その調節は困難である。この工程の中和シックナに流入する液についても連続でpH値を実測したが、「図 7-3-3 第三段中和工程のpH連続測定」に示す通り、管理限界を大きくずれている。

この他に第一段と同様pHメーターそのものにも問題がある。

調査期間中の主要箇所の液分析例（中国側採取）を示せば、「表 7-3-3 各段における液分析例」に示す通りである。

この分析例でも、最終排水の水質は排出基準をはるかに超えている。実際には排出されずに繰り返し用水（回水）として利用されるが、このような水質は選鉱操業にとっても好ましいとはいえない。

(b) 選鉱精鉱溢流による中和と処理能力

この工程の処理能力不足についても中国側から問題点として提起されている。

現場調査は操業が安定していないことと、流量測定ができないため難しい。

選鉱精鉱溢流を中和剤として使用するため、通常の消石灰乳による場合に比較して処理流量が多くなり、設備容量が不足することが考えられる。

この問題についても、1994年7月に回分試験により調査を行ったので、試験結果と検討は次節で行う。

図 7-3-1 第一段除鉄工程のpH連続測定 (1)

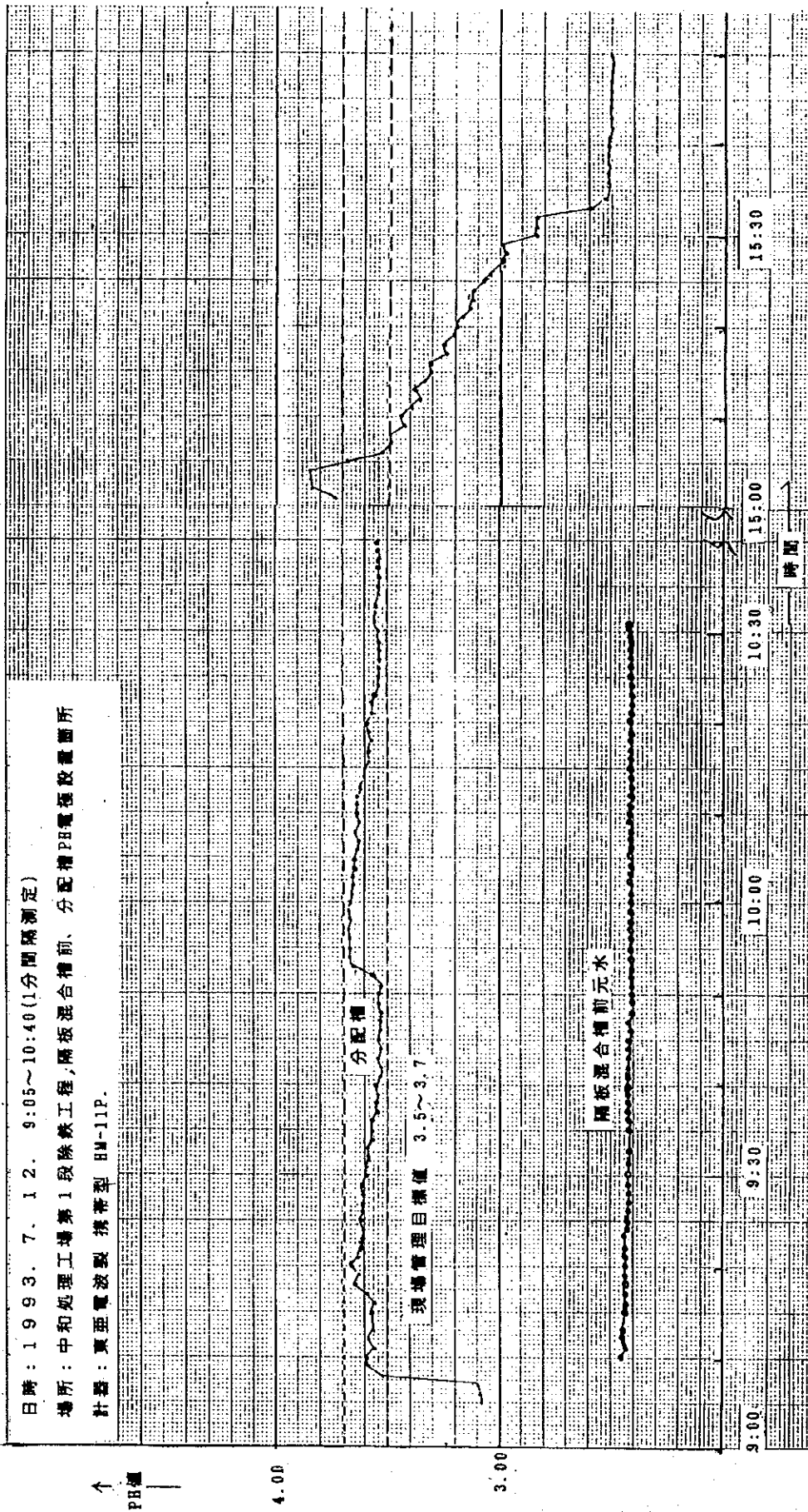


表 7-3-1 消石灰の分析値

1. 徳興銅鉱での分析

試料採取日			重量濃度	+200mesh	有効CaO		Ca(OH) ₂ 純度
月	日	時	(%)	(%)	¹ (乾燥物%)	(乳状態g/L)	(%)
7	8	午前	16.96	44.16	58.05	78.40	76.7
7	9	"	4.31	19.81	46.75	33.65	61.8
7	14	"	2.70	7.19	50.74	14.80	67.0
7	16	"	2.26	50.00	35.00	15.81	46.3
7	19	"	3.61	18.89	56.72	26.92	75.0
7	21	午後	11.76	* 85.53	55.93	* 76.04	73.9
7	22	"	6.35	* 42.86	39.23	* 37.99	51.8
平均値			6.850	38.346	48.917	40.515	64.62
標準偏差			5.096	24.228	8.358	24.515	11.02

2. 北京有色冶金設計研究總院での分析

試料採取日			成分 (%)				備考
月	日	時	SiO ₂	MgO	CaO	有効CaO	
7	8	午前	16.99	2.83	48.31	36.45	1. 試料は現地で同時に二つの容器に採取し、一つは徳興現地で分析しもう一つを北京で分析したものである。従って同一成分で差があるのは主としてサブリング誤差と考えられる。 2. 上表の *印だけは北京で分析した値である。
7	9	"	4.75	0.88	59.57	35.40	
7	14	"	4.56	8.19	53.60	35.16	
7	16	"	19.16	4.24	44.17	29.34	
7	19	"	4.02	3.32	62.96	51.66	
7	21	午後	7.18	5.17	57.67	45.39	
7	22	"	13.16	1.27	52.44	36.73	
平均値			9.974	3.700	54.102	38.590	
標準偏差			5.899	2.310	6.056	6.893	

3. 日本国内分析

(単位:%)

試料	CaO	Ig-loss	SiO ₂	MgO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO ₂	TiO ₂	S	CO ₂
7.16.午前	41.68	20.12	18.88	4.62	8.92	1.07	0.01	0.28	0.27	5.59

図 7-3-2 第一段除鉄工程のpH連続測定 (2)

日時：1993. 7. 8. 14:36~16:30(1分間隔測定)

場所：中和処理工場 第1段除鉄工程 分配槽pH電極設置箇所

計器：東亜電波製 携帯型 HM-11P.

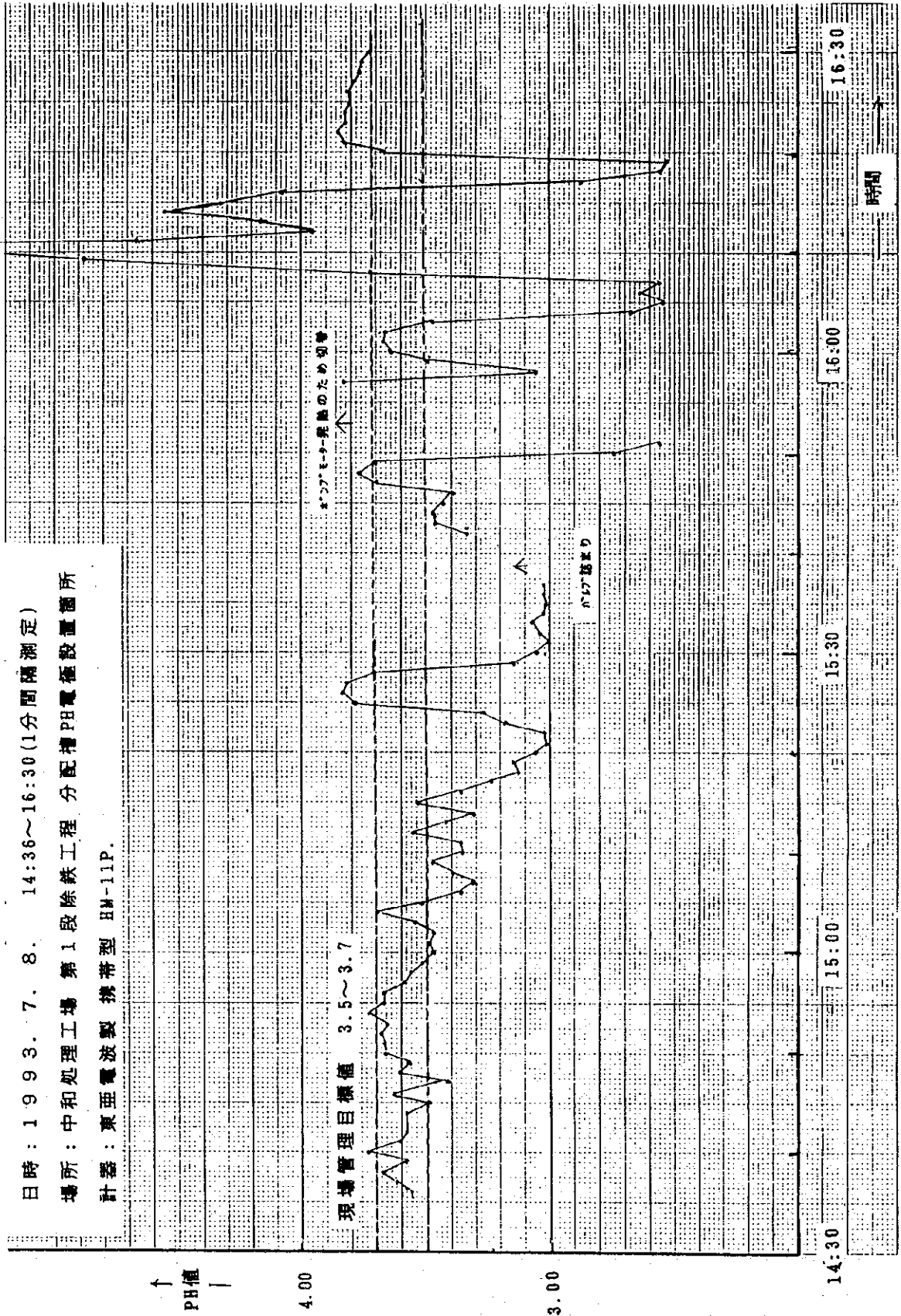


表 7-3-2 置換前後における液分析例

(単位: ppm)

鉄スクラップ	Cu ²⁺	TFe	Fe ⁺⁺	Fe ⁺⁺⁺	SO ₄ ⁻⁻	pH	備考
置換前	89.22	957.72	555.54	402.18	9847.53	2.80	1993.7.9
置換後	63.83	1105.64	852.06	253.58	9847.53	2.82	サンプルリク

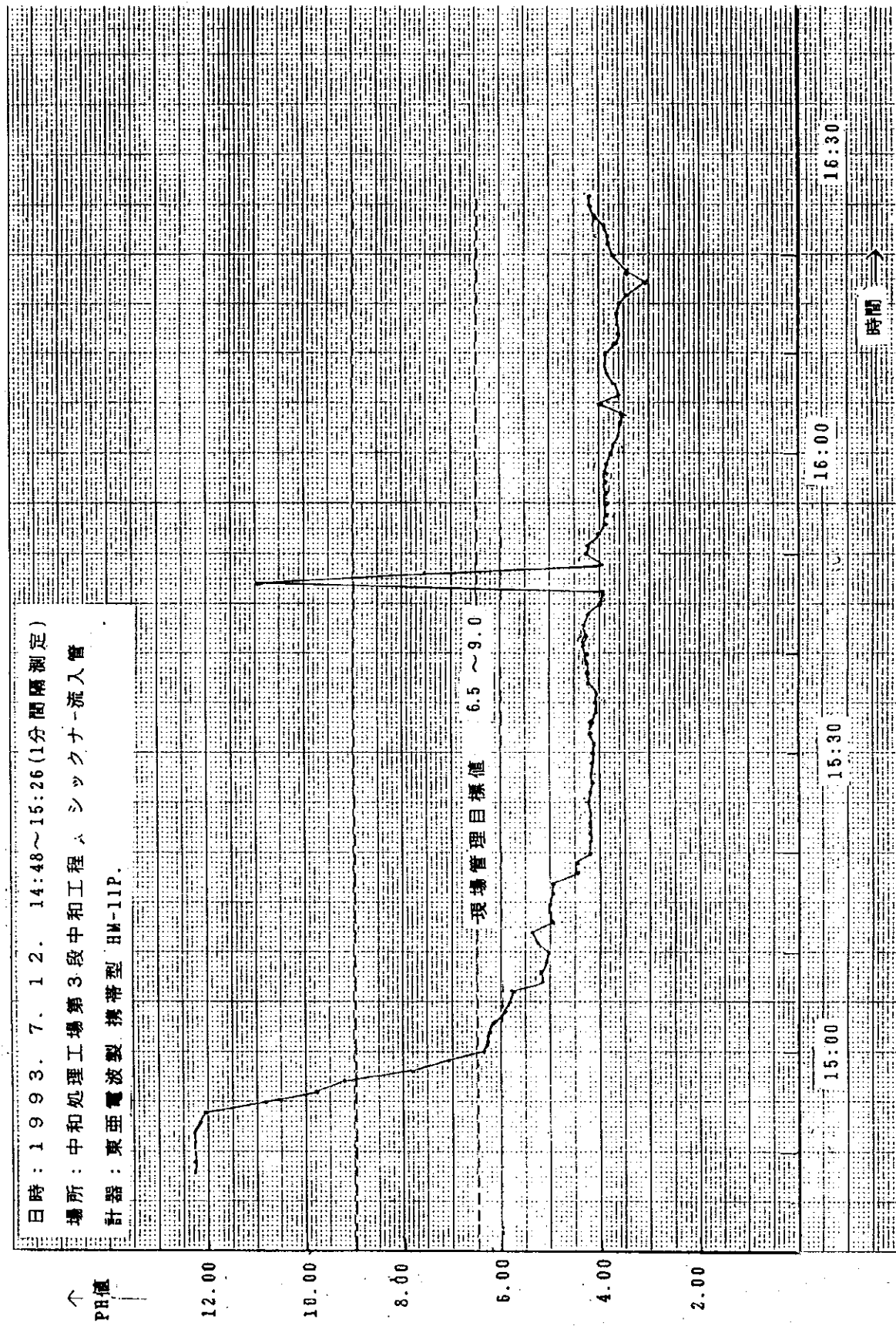
$$TFe/Cu^{2+} = (1105.64 - 957.72) / (89.22 - 63.83) = 5.8$$

表 7-3-3 各段における液分析例

(単位: ppm)

採取場所	Cu ²⁺	TFe	Fe ²⁺	備考
酸性廃水	89.29	1591.65	892.96	1993.7.12.
一段シクナー溢流	86.91	837.74	657.79	サンプルリク
スクラップ取銅後液	54.59	1829.55	1472.36	
三段中和排水	17.35	350.37	327.19	

図 7-3-3 第三段中和工程のpH連続測定



7-4 問題点の検討

(1) 楊桃塙酸性水ダム

(a) 堰堤の浸透水

ダム貯水水位の変化が余りないのに対し、浸透水の流量が降雨量によって大きく変化することと(1~150m³/Hr)、ダム内酸性水の銅濃度(>50ppm)に比較して浸透水の銅濃度が半分以下(<27ppm)であることから、ダム内部の酸性水が堰堤を通して浸透してきていることには疑問がある。浸透水の大部分は堤体材そのものが廃石のため、また周辺岩盤が鉱染されているため、降雨時に急激に汚染浸透水量が増加し、逆に、乾期には極端に減少するものと考えられる。

以上のような現象であるとするれば、堰堤内側に不透水層を増築しても余り効果が期待できないことになる。

現段階では浸透水を集水し、現流送配管に挿入し中和処理場へ送水するか、ダムへ繰返す方法が考えられる。

(b) ダムの貯水容量

当初設計では容量 96万m³、デッドスペース 20万m³、有効容積 76万m³であり、二年に一度の割合でダムから溢流することとしているが、現状では貯水容量が3/5になっているとのことである。楊桃塙廃石堆積場は、既に堆積が終了しているのだから、発生源対策として覆土植生と排水溝を敷設して雨水の浸透を防ぎ、浸透水の減少をはかるとともに、酸性水ダムとして必要な貯水容積を検討すべきと考えられる。

(c) 農民による沈澱銅採取

貯水ダム周辺では、いわゆる農民によって、鉄スクラップ収銅がおこなわれている。これによる影響は、酸性水中の銅濃度の低下と鉄濃度の増加となって、中和処理場の操業に影響している。

既述した通り、楊桃塙酸性水ダムの上流部の廃石堆積場からの浸透水の水質は、銅が約150ppmなのに対し、実際の処理場原水の銅濃度は1992年の実績で114.5ppmと約2/3となっているが、逆に鉄濃度は1770ppmに対し、2420ppmと約37%増加している。

もし、年間の酸性水量が平水年ベースの2百万m³とすれば、銅量減が約71tなのに対し、鉄の増加量は1300tに達する。このように膨大な量の鉄を中和処理場で余計に負担しているのが現状である。(「表 7-1-2. (2), (3)」数値参照)

(2) 第一段除鉄工程

(a) 消石灰の供給中断

中和処理にとって消石灰の供給が途切れることは致命的な問題である。聞き取り調査によれば供給能力の不足よりも、組織上、消石灰工場が選鉱の付属工場となっているため、選鉱操業優先の供給体制となっているところに問題点があるように思われる。したがって、中和処理場直属の消石灰工場を建設することも考えられるが、相当な投資を伴うので必ずしも得策ではない。

(b) 消石灰の品質

消石灰の品質としては、購入生石灰の純度と、消石灰工場での加工品質、例えば粉砕粒径、乳濃度等があるが、粉砕粒径は購入生石灰の焼成度及び不純分（例えば SiO_2 ）の多少によって影響を受けるので、基本的には購入生石灰の品質が重要である。

(c) pHの測定と自動制御

酸性水の水質、水量が比較的安定しているため、中和剤としての消石灰の品質を改善し安定させれば、pHの自動制御は比較的容易であると考えられる。

自動制御の方式としては、現状のようにpHメーターと調節弁による方法が一般的であるが、粗粒が多い場合は消石灰が詰まる恐れがある。

なお、計装機器そのものも信頼性がなければならないが、日常の保守管理も大切である。電極の洗浄作業およびpH値の校正作業も定期的に行う必要がある。

(d) 凝集剤の添加位置

添加位置としては、酸性水と消石灰の反応後の位置に添加することが原則である。

(e) 凝集剤の添加量

現場での簡単な回分試験結果から、凝集剤の添加量を増やせば増処理は可能である。凝集剤を増やさずに、現設備の20m径シクナーをより大きい設備にすることは、設備配置上余地がなく無理である。凝集剤による沈降速度の改善が望ましい。なぜなら、処理能力不足になるのは豊水年だけであって、平水年の酸性水量は約 5500m^3 /日であり、現状でも処理は可能である。

1993年7月の調査では、凝集剤について現使用品（#3非イソ型）の他に、中国製三

種類を選び比較沈降試験を行った。試験の結果は、「図 7-4-1 各種凝集剤の沈降比較試験 1993.7.」に示す通りである。即ち、沈降速度の大きい順に並べれば、

非イオン型（蘇州製） \geq 非イオン型（白銀製#3現使用品） $>$ 陽イオン型 $>>$ 陰イオン型 $=$ 無添加

このように、非イオン型が現使用品を含めて適しているといえる。さらに、この非イオン型の二種類について、添加量を変えて（1および2ppm）試験した結果は、「図 7-4-2 凝集剤の種類と添加量による沈降比較試験」に示す通り、蘇州製のほうが、沈降速度および上澄水中の Fe^{3+} 濃度が低いことから、やや良好な結果が得られたが、大きな差は認められない。

従って、現使用品の#3凝集剤は一応妥当な種類の一つといえる。

さらに、処理場の第一段除鉄工程で凝集剤の添加量について現場調査を行った。

除鉄工程での処理廃水中の凝集剤濃度は 0.4ppmであった。（処理水量 3.2m³/分、#3添加流量 1235ml/分、溶解濃度 1.1g/l、）これに対し、#3凝集剤の添加濃度を 1.0ppmになるように追加添加して両者の沈降速度を比較した結果では、「図 7-4-3 #3凝集剤の添加量による沈降速度比較試験」に示すように、1.0ppmの添加量のほうが約3倍の沈降速度を示した。即ち、沈降速度としては 0.15mm/sec.に対し、0.47mm/sec.となった。

現状の沈降速度（0.15mm/sec.）で 20mシックナー 2基で処理できる廃水量はほぼ 5000~6000m³/日である。即ち、概算的な処理能力を試算すれば、

$$\begin{aligned} A &= (Q/R) f & A &= \text{シックナー面積 (m}^2\text{)} = (20^2 \times 3.14/4) \times 2 = 628 \text{ (m}^2\text{)} \\ R &= \text{沈降速度 (m/Hr)} = 0.15 \text{ (mm/sec.)} = 0.54 \text{ (m/Hr)} \\ Q &= AR/f & Q &= \text{処理量 (m}^3\text{/Hr)} \\ f &= \text{係数} = 1.3 \sim 1.6 \text{ (経験値)} \end{aligned}$$

$$Q = 628 \times 0.54 / (1.3 \sim 1.6) = 260 \sim 211 \text{ (m}^3\text{/Hr)} = 6240 \sim 5064 \text{ (m}^3\text{/日)}$$

一般的な凝集剤の添加濃度としては 0.4mg/lは少ない。通常は 1.0~3.0ppmと言われており、コストの問題があるが添加量としては少ない。

1994年7月の調査（試験）では、酸性廃水として楊桃塢廃石堆積場の浸透水を最上流部から採取し、回分（静態）試験により第一段の中和処理を行い、生成殿物の沈降試験をした。試験に共した酸性水の水質は、「表 7-4-1 酸性水試料の水質」に示す通り、第二鉄の濃度が低いため、殿物の生成量も少なく、沈降試験では沈降界面が明瞭でなかったため、沈降試験としては 1L容量のメスシリンダーを用い、5分間静置後に上から400mlの上澄液を採取し、その液のSSおよび液中溶解成分を分析し解析を行った。

1L容量のメスシリンダーの液高は313mmであり、上から400mlの液高は112mmなので5分間静置での沈降速度は、 $112\text{mm}/5\text{分} = 0.373\text{mm}/\text{sec}$.相当となる。

試験としては前年の試験結果を参考に、各種凝集剤の種類として、現使用品（#3）と成績の良かった中国製（蘇州製）、並びに、参考として日本で実績のあるA-95（松尾使用品）、N-520P（K製錬使用品）の四種類について比較沈降試験を行った。

試験結果は、「表 7-4-2 各種凝集剤の比較試験(1994.7.)」に示す通りである。

この試験の結果から、沈降成績の良い凝集剤は、#3現使用品とN520Pである。

さらに、この二種類について添加量を変えて沈降速度を比較する試験を行った。試験結果は、「表 7-4-3 #3凝集剤の添加量別沈降比較試験(1994.7.)」および「表 7-4-4 N-520P凝集剤の添加量別沈降比較試験(1994.7.)」に示す通りである。

特に、#3凝集剤については、添加濃度が 1.0~1.5ppm で液中の Fe^{3+} および SS濃度が低くなることから、添加濃度としては、昨年(1993.7.)調査と同様、処理量を増やすために、凝集剤添加量を若干増やすことが良いと考えられる。

再確認のため、凝集剤の種類と使用量（#3およびN-520P）の比較試験を繰り返した。試験の結果は、「表 7-4-5 各種凝集剤の添加量別沈降比較試験」に示す。

試験の結果、一番成績の良かったのはN-520Pであったが、次いで、#3も良い成績であった。また、添加量としては少なくとも1.5ppm以上必要である。

(3) 第二段脱銅工程

(a) 鉄スクラップによる銅の置換回収法

日本では今から約30年前までは、鉱山廃水を対象として銅回収のための鉄スクラップ法を採用することは極めて普通であったが、1960年代前半を境にして、排水規

制が厳しくなり、処理費も高むようになったことから殆ど廃止された。

例えば、H鉱山の場合、試験研究の結果、硫化法に切替え成果を上げたが、その後、銅濃度の低下もあって中和法になった。K鉱山では、旧くから坑内廃水に鉄スクラップ法が適用されていたが、1947年から、採掘の終了した露天掘跡を利用して、インプーレスリーチングが採用され、積極的に沈澱銅回収が行われ、最盛時には銅量で約1400t/年に達した。しかし、その後、排水規制が厳しくなり、鉄スクラップ法の後工程に硫化法を増設するプロセスに変更されたが、その後銅濃度も次第に低下し、1960年代後半には、インプーレスリーチングも中止され、廃水処理法も中和法に切り替わった。

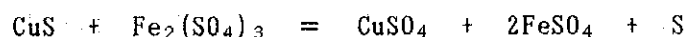
このように、鉄スクラップ法は廃水処理法としては、鉄を再溶解させることから好ましい方法ではない。また、銅を排水基準以下に維持することは、硫化法より難しく、将来、徳興でも排水規制が厳しくなるにつれて、適用が難しくなることが考えられる。

(b) 硫化法による脱銅処理

当初設計の硫化法による銅回収から、鉄スクラップ取銅法に切替えた理由は、硫化剤として使用していた選鉱のMo分離工程廃液が、工程の変更によってなくなったこともあるが、直接的には硫化水素による鉱(公)害問題による。これは明らかに硫化ソーダが過剰に添加されたためと考えられる。

一般的に、酸性水に対し硫化ソーダを添加すれば、多少の硫化水素の発生は避けられない。しかし、硫化水素の発生は、pH、酸化還元電位(ORP)管理、硫化ソーダの添加装置(定量ポンプ)の採用によって最小限に抑えることは可能であり、若干発生する分については、簡素な除害塔(苛性ソーダによるガス洗浄)を設置することで解決は可能である。硫化法は一般的に採用されており実績のある方法である。

硫化銅として脱銅率を確保するためには、前提条件として前工程である除鉄工程のpHを規定通りに安定させることが大切である。なぜなら、規定を下回ると Fe^{3+} が完全に沈澱できずに残ることになる。このような状態で硫化ソーダが添加されると、銅よりも優先的に Fe^{3+} と反応することと、また、 CuS が生成しても Fe^{3+} が存在すると、次式の反応がおきて CuS が再溶解する。



逆に、除鉄工程でpHが規定を超えて高くなると、当然Cuの一部がCu(OH)₂となってFe(OH)₃と同じく沈澱するため、二段目の銅回収工程へ入ってくる銅の量が少なくなり銅の収率に影響する。

今回の処理施設での現場調査では、硫化処理法が行われていなかったため実測できなかったが、酸化還元電位は反応指標の一つとなる。

1994年7月調査（試験）では、回分（静態）試験により硫化ソーダの添加量と脱銅率の関係と、その時の酸化還元電位を測定した。試料としては一段除鉄工程の中和（pH3.7）上澄液を使用した。

試験結果は、「表 7-4-6 硫化反応試験結果一覧表」に示す通りである。

硫化ソーダの添加量を変えた場合、液中の銅量に対する当量で1.15添加した場合、最も脱銅率が高くなり、硫化銅として固定される銅の割合は98%に達する。これは「図 7-4-4 Na₂S添加量と脱銅率」に示す通りである。

また、上澄液中の銅濃度は、「図 7-4-5 Na₂S添加量と処理液中の銅濃度」に示す通り、元液の銅濃度179ppmから0.4ppmまで低下する。

一方、硫化ソーダの添加量と酸化還元電位（ORP）の関係は、「図 7-4-6 Na₂S添加量と酸化還元電位」に示すように、添加当量が最も良いところ（1.15）で急に変化することが認められる。従って、ORP計により酸化還元電位を測定することによって、最も適当な硫化ソーダの添加量を制御することが可能となる。即ち、過剰な硫化ソーダの添加は避けられ、硫化水素の発生は最小限に抑制することができる。

なお、硫化ソーダが1.15当量より過剰に添加された場合は、急激に残渣（硫化銅）の銅品位が低下する。分析の結果、Caが18.63%、Alが1.15%検出された。

Caは石膏（CaSO₄）として晶出沈澱したものと考えられる。石膏の溶解度は約2g/lといわれており、硫化ソーダの過剰添加によって、過飽和状態の石膏が急激に晶出沈澱したものと考えられる。

(c) 硫化銅の沈降性

硫化ソーダを添加すれば直ちに黒色の硫化銅が生成するが、その粒度は比較的大きく沈降性も悪くはないことが肉眼的にも観察される。

1994年7月の試験では、脱銅率の最も良い条件（Na₂S当量1.15）を選んで、各種凝集剤による沈降試験を行った。実際には沈降界面が明瞭でないため、1分静置後に上

澄水を採取しSS濃度を分析し比較を行った。

試験の結果は、「表 7-4-7 硫化銅の沈降性に対する各種凝集剤の効果」に示す。

この試験の結果でも現有の#3凝集剤がA-95とともに成績が良い。

SSの銅品位が30%とすれば、凝集剤無添加の場合、上澄水中の銅濃度は36ppm (=120×30%) であるが、#3凝集剤を0.5ppmの濃度になるように添加した場合は2.5ppm (8.7×30%) となる。

この時の沈降速度は1.87mm/sec.相当であるから、凝集剤を使用することによって硫化銅の沈降性が大幅に改善されるものと考えられる。

(4) 第三段中和工程

(a) pHの測定と自動制御

pHの測定および自動制御については、第一段の除鉄工程と同じ問題がある。

特に、現状の鉄スクラップ取銅を採用している限り、第三段における鉄濃度が増加するのでpHコントロールは重要である。

(b) 選鉱溢流による中和

第三段の中和では、第一、二選鉱の精鉱シックナーの溢流を中和剤として利用し、不足分を消石灰で補うことになっている。

1994年7月の調査(試験)の結果では、第一、二選鉱の精鉱シックナーの溢流はpHが10.45であり、特に、4.3BXは46.1ppmと低いので、中和剤としては大量に使用してもpHを上げることは難しい。

「表 7-4-8 試験試料分析」に示す通り、むしろ、第三選鉱の銅精鉱シックナーの溢流はpHが11.92であり、4.3BXも748ppmと比較的高い。

第二段脱銅廃液(pH3.67)に対し、第三選鉱精鉱溢流を添加し中和した場合の結果を、「表 7-4-9 溢流添加量と中和pH値の関係」に示す。

また、グラフに示せば、「図 7-4-7 溢流添加量と中和pH値」の通りである。

この結果から、脱銅廃液に対する精鉱溢流の添加比が2~3倍でも中和pH値は4前後であり、とうてい基準である中和pH値(6.5~9)には達しない。精鉱溢流の生成量は最大でも10000m³/日程度であるから脱銅廃液量に対し1~2倍程度である。

生石灰添加量と中和pHの関係を試験した結果は、「表 7-4-10 溢流添加量と中和

pH値の関係」、および「図 7-4-8 CaOの添加量と中和値」に示す通りである。

この試験の結果から、中和剤として精鉱溢流の代わりに生石灰で中和すれば、pHを3.61から8.4まで中和するためにCaOとして、約6g/l必要とする。

しかし、試験に使用した二段脱銅上澄水の8.4AX値が5571ppmなので、この値に比較すれば、CaOの添加量としては過剰である。

CaO値6g/lを8.4AX値(CaCO₃)に換算すれば、約10700ppmとなるので1.9倍となり、新設廃水処理試験と同様にCaO試薬の変質が考えられる。

(c) シックナーの処理能力

1994年7月の調査(試験)の結果、pHを6~9に中和したときの濃物の沈降速度を、「表 7-4-11 中和pH値と沈降速度」に示す。沈降速度としては0.71~1.01m/Hr.であり、平均としては0.83m/Hr.である。

シックナーの沈降面積(Am²)は30m径2基であるから、約1400m²である。

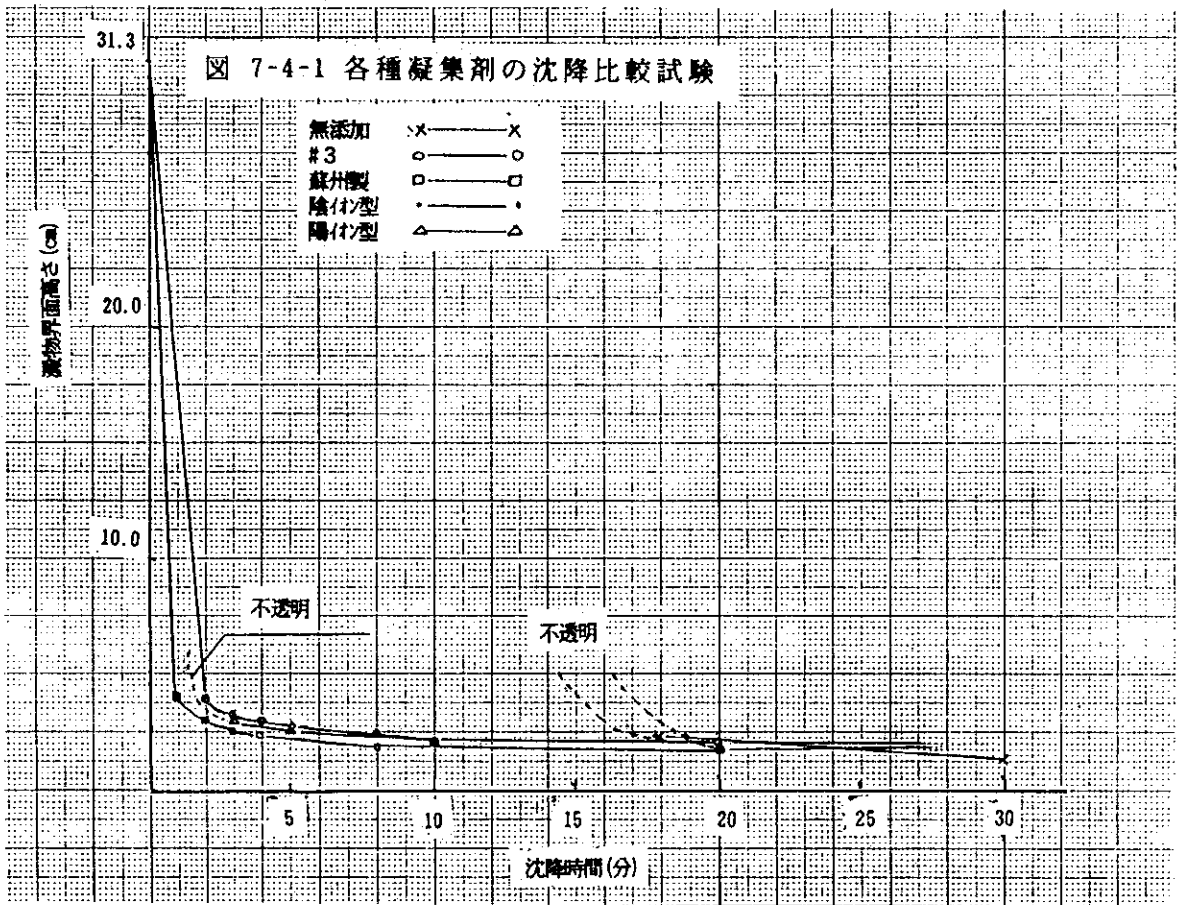
従って、処理能力(Qm³/日)としては、

$$Q = AR/f \times 24 = 1400 \times 0.83 / (1.3 \sim 1.6) \times 24 = 21000 \sim 17000 \text{ (m}^3\text{/日)}$$

であり、豊水年相当の酸性水量(8000m³/日)と選鉱溢流量(10000m³/日)との合計量として18000m³/日とするとほぼ処理能力と合致する。

若干不足する分は凝集剤の添加により十分処理可能と考えられる。

なお、「表 7-4-12 中和後(pH9)の排水の水質」に示すように、pH8.8まで中和すれば、排水基準をはるかに下回る水質となる。



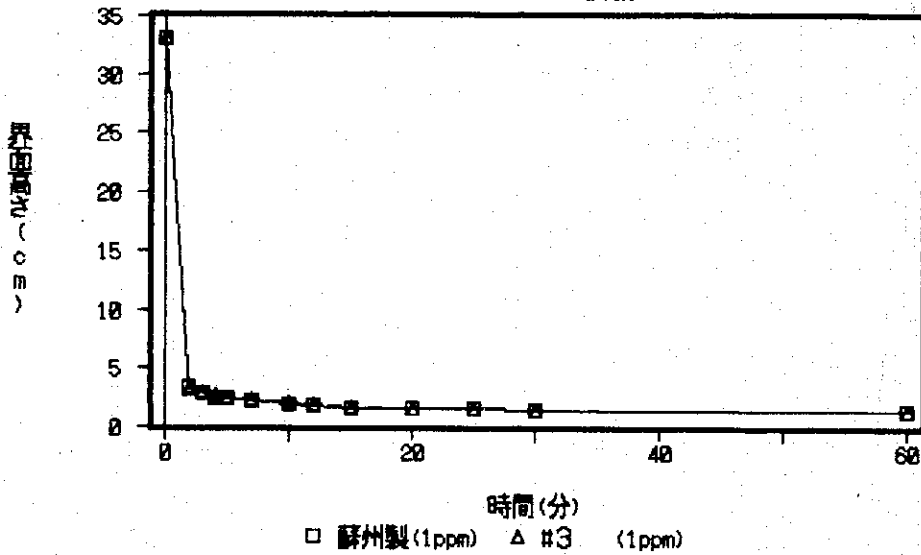
試料 : 楊桃塢酸性廃水 + 消石灰 = pH3.51

凝集剤添加量 3ppm

各種凝集剤の沈降比較試験

時間(分)	凝集剤の種類と濁物の界面高さ (cm)				
	無添加	#3	蘇州製	陰付型	陽付型
0	31.3	31.3	31.3	31.3	31.3
1	不透明		3.8	不透明	不透明
2	〃	3.8	2.8	〃	〃
3	〃	3.1	2.5	〃	3
4	〃	2.8	2.4	〃	2.8
5	〃	2.7	2.3	〃	2.5
6	〃	2.5	2.2	〃	2.5
7	〃	2.5	2.2	〃	2.3
8	〃	2.4	2.1	〃	2.2
9	〃	2.3	2	〃	2.2
10	〃	2.2	2	〃	2
12	〃	2.2	2	〃	2
15	〃	2.2	2	〃	1.9
18	2.2	2.1	1.9	〃	1.9
20	1.6	2.1	1.9	1.9	1.9
25	1.6	2	1.9	1.9	1.7
30	1.6	2	1.9	1.7	1.7
40	1.6	2	1.9	1.7	1.6
50	1.6	2	1.9	1.7	1.6
60	1.6	2	1.9	1.7	1.5
90	1.6	1.9	1.9	1.7	1.5
120	1.6	1.9	1.9	1.7	1.5

図 7-4-2 凝集剤の種類と添加量
による沈降比較試験(1993.7.20)



凝集剤の種類別沈降試験(1993.7)

時間(分)	蘇州(1ppm) #3 (1ppm)	
	界面高(cm)	界面高(cm)
0	33	33
2	3.3	3.2
3	2.9	3
4	2.5	2.7
5	2.4	2.5
7	2.2	2.3
10	2	2.1
12	1.8	2
15	1.6	1.7
20	1.5	1.6
25	1.5	1.5
30	1.4	1.4
60	1.4	1.4

上澄水の水質分析結果(単位:ppm)

	Cu	Fe ²⁺	Fe ³⁺
原水	130.03	1094.31	607.25
蘇州(1ppm)	124.6	1023.26	31.01
#3(1ppm)	129.69	1048.07	52.71
蘇州(2ppm)	125.62	1024.81	17.06
#3(2ppm)	129.01	1039.54	54.26

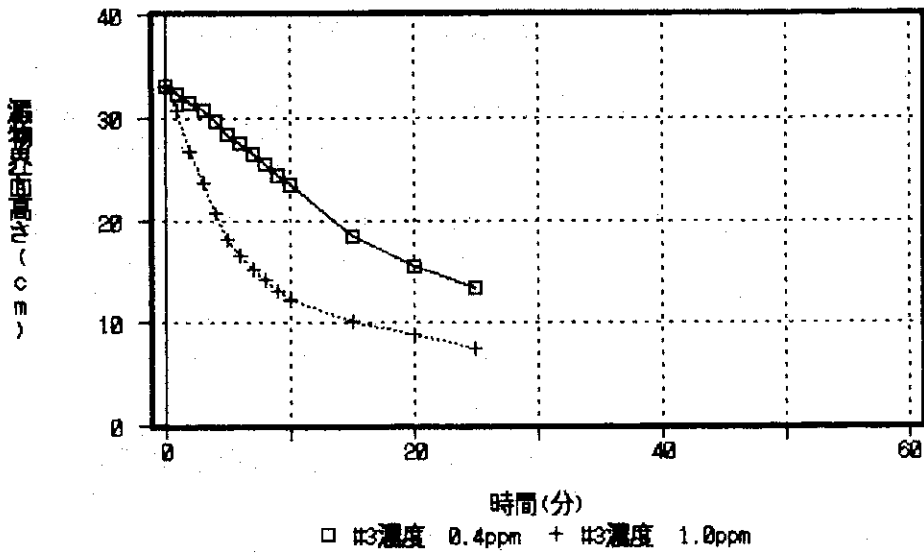
試料: 原水(楊桃塢酸性水) + 消石灰 = pH3.55

凝集剤2ppm添加のグラフは省略

上澄水の透明度観察結果

蘇州製(1ppm) > 蘇州製(2ppm) > #3(1ppm) > #3(2ppm)

図 7-4-3 #3凝集剤の添加量による沈降比較試験(1993.7.22)



試料：第一段除鉄中和液 (pH3.83)

#3凝集剤の添加量による沈降比較試験

時間(分)	0.4ppm	1.0ppm
0	33	33
1	32.3	30.7
2	31.4	26.7
3	30.7	23.6
4	29.7	20.6
5	28.4	18.1
6	27.4	16.5
7	26.4	15.2
8	25.4	14.2
9	24.3	13.2
10	23.4	12.2
15	18.5	10.2
20	15.5	8.9
25	13.5	7.6

表 7-4-1 酸性水試料の水質 (第一段除鉄工程試験)

試験 試料	液中成分 (単位:ppm)					
	pH	Cu ²⁺	TFe	Fe ²⁺	Fe ³⁺	8.4AX
楊桃塙酸性水	2.44	213.9	1627	1099	528	10609

表 7-4-2 各種凝集剤の比較試験 (第一段除鉄工程試験)

凝集剤 種類	SS (ppm) (沈降速度 0.373 mm/sec相当時)	液中成分 (単位:ppm)					備考
		pH	Cu ²⁺	TFe	Fe ²⁺	Fe ³⁺	
#3凝集剤	37.0	3.70	201.7	999.3	999.3	0	白銀製
N-520P	67.0	3.70	204.4	970.7	970.7	0	日本製
A-95	275.0	3.70	200.4	942.2	942.2	0	松尾使 用品
蘇州製	101.0	3.70	203.1	1014	1014	0	中国製

試験方法: 楊桃塙酸性水に消石灰を添加してPH3.7に調節し、これを沈降試験用試料とした。沈降試験としては1Lメシジャーを用い、5分間静置後に上から400mlの上澄水を採取しその液の分析を行った。メシジャーの1L容積は液高で313mmであり、上から400mlの液高は112mmなので5分間の静置での沈降速度は112mm/5分=0.373mm/sec.となる。

表 7-4-3 #3凝集剤の添加量別沈降比較試験 (第一段除鉄工程試験)

#3 凝集剤 添加量 (ppm)	SS (ppm) (沈降速度 0.373 mm/sec相当時)	液中成分 (単位:ppm)				沈澱 容積 (ml)	沈澱 重量 (g)
		Cu ²⁺	TFe	Fe ²⁺	Fe ³⁺		
0	1455	200.0	1370	999	371	40	3.33
0.5	389	196.3	1085	914	171	50	3.76
1.0	413	196.3	1028	999	29	55	4.06
1.5	239	199.0	1038	971	67	60	5.01

沈澱容積は静置17時間後の数値である。

表 7-4-4 N-520P凝集剤の添加量別沈降比較試験 (第一段除鉄工程試験)

N-520P凝集剤 添加量 (ppm)	SS (ppm) (沈降速度 0.373 mm/sec相当時)	液中成分 (単位:ppm)				沈澱 容積 (ml)	沈澱 重量 (g)
		Cu ²⁺	TFe	Fe ²⁺	Fe ³⁺		
0	1669	203	1170	600	570	45	4.45
0.5	210	199	685	600	85	60	5.21
1.0	141	201	771	600	171	65	5.27
1.5	125	201	657	571	86	70	5.40
2.0	59	197	600	600	0	75	5.65

沈澱容積は静置17時間後の数値である。

表 7-4-5 各種凝集剤の添加量別沈降比較試験

凝集剤種類	添加濃度 (ppm)	SS (ppm)	安定容積 (ml)
無使用	0	1370	20
#3凝集剤	0.5	163	40
	1.0	229	45
	1.5	159	50
N-520P	0.5	95	50
	1.0	63	55
	1.5	54	55
A-95	0.5	442	60
蘇州製	0.5	525	50

SSは5分間静置後、水面から400ml (112mm) 採取した分の濃度であり沈降速度としては0.373mm/sec.相当である。

表 7-4-6 硫化反應試驗結果一覽表 (第二段脫銅工程)

一段中和上澄水 (pH3.57) (ORP503mv) 5000ml

Na₂S (濃度50g/l)

	Cu ²⁺	TFe	Fe ²⁺	Fe ³⁺
ppm	179	834	727	107
含有量 (mg)	895	4170	3635	535
分布率 (%)	100	100	100	100

試驗 No.	添加量 (ml)	含有量 (mg)	當量
1	15	750	0.69
2	20	1000	0.92
3	25	1250	1.15
4	30	1500	1.38
5	40	2000	1.83

攪拌反應 (5分) 濾過脫水

濾液 (5000ml)

試驗 No.	pH	ORP (mv)	Cu ²⁺			TFe			Fe ²⁺			Fe ³⁺		
			ppm	mg	%	ppm	mg	%	ppm	mg	%	ppm	mg	%
1	3.60	443	62.7	314	35.0	775	3875	92.9	770	3850	106	3	15	2.8
2	3.61	430	23.3	117	13.0	781	3905	93.6	781	3905	107	0	0	0
3	3.64	333	0.41	2.05	0.2	781	3905	93.6	775	3875	107	6	30	5.6
4	3.70	299	0.06	0.28	0.03	775	3875	92.9	754	3770	104	21	105	19.0
5	3.75	72	0.05	0.25	0.02	749	3745	89.8	749	3745	103	0	0	0

残渣

試驗 No.	濕重量 (g/5l)	水分 (%)	乾重量 (g/5l)	Cu			Fe		
				%	mg	%	%	mg	%
1	10.57	59.6	4.27	12.8	546	61.0	4.51	192	4.6
2	8.82	64.5	3.13	23.1	724	81.0	6.85	214	5.1
3	10.64	73.1	2.86	30.7	878	98.1	6.87	197	4.7
4	19.54	62.0	7.43	11.3	837	93.5	3.86	287	6.9
5	21.75	60.2	8.65	9.4	813	90.8	3.78	327	7.8

Ca Al
18.63% 1.15%

图 7-4-4 Na₂S添加量と脱銅率
(第二段脱銅試験1994.7.)

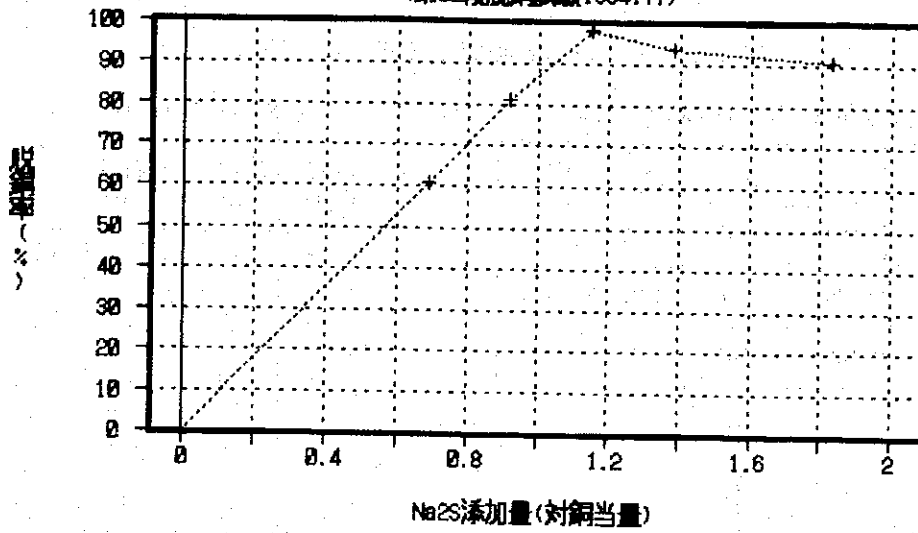


图 7-4-5 Na₂S添加量と処理液中銅濃度
(第二段脱銅試験1994.7.)

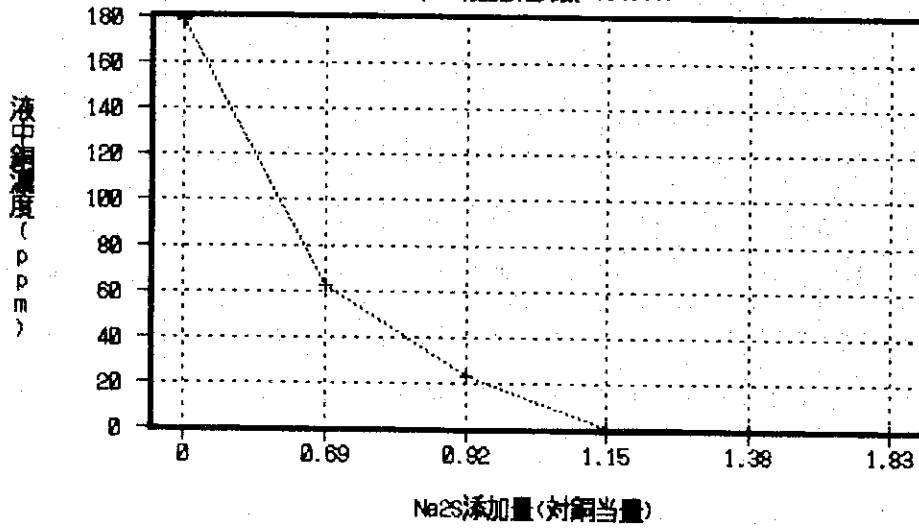


图 7-4-6 Na₂S添加量と酸化還元電位
(第二段脱銅試験1994.7.)

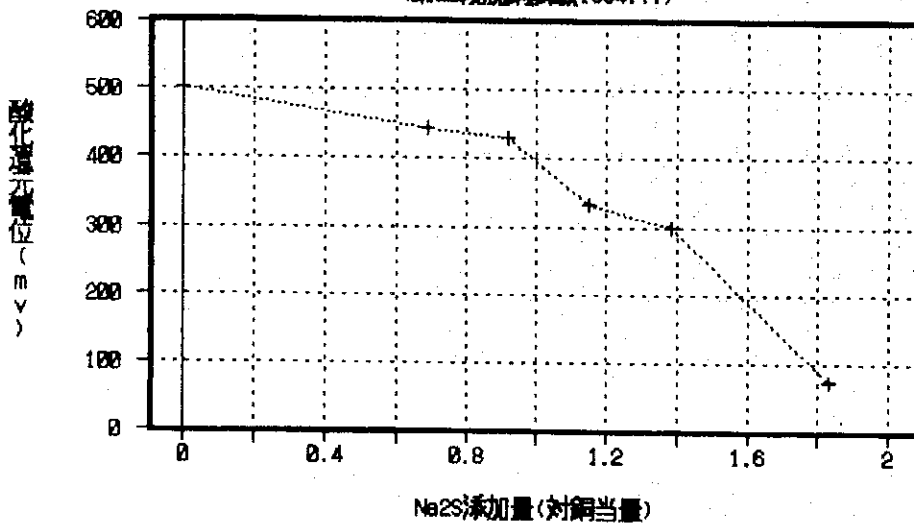


表 7-4-7 硫化銅の沈降性に対する各種凝集剤の効果 (第二段脱銅工程)

凝集剤の種類	無添加	#3凝集剤	N520-P	A-95	蘇州製
SS濃度 (mg/l) (沈降速度1.87mm/sec.)	120	8.3	59	7.7	58.3

廃液中の銅量にたいするNa₂S添加当量として、1.15の場合について試験

表 7-4-8 試験試料分析値 (第三段中和工程)

試験試料名	成分 (単位:ppm)					
	pH	Cu ²⁺	TFe	Fe ²⁺	8.4AX	4.3BX
第二段脱銅上澄水	3.67	6.77	524	524	5571	-
第一、二選鉍精鉍溢流	10.45	-	-	-	-	46.1
第三選鉍精鉍溢流	11.92	-	-	-	-	748.0

表 7-4-9 溢流添加量と中和pH値の関係 (第三段中和工程)

精鉍溢流	添加量 (ml)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	累計 (ml)	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
	流量比率	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
中和pH値		4.00	4.13	4.31	4.97	6.10	7.46	8.40	8.70	8.80	9.00

第二段脱銅工程上澄水 100mlに対する添加量

表 7-4-10 CaOの添加量と中和pH値の関係 (第三段中和工程)

CaO添加量 (g/l)	0	1	1	1	1	1	1	1	0.5	0.5
累計 (g/l)	0	1	2	3	4	5	6	7	7.5	8
中和pH値	3.61	3.90	4.08	4.30	6.00	8.00	8.50	8.60	8.80	9.45

第二段脱銅工程上澄水 100mlに対する添加量

表 7-4-11 中和pH値と沈降速度 (第三段中和工程)

中和pH値	6.0	7.0	8.0	9.0	平均
溢流混合比	5.03	5.60	7.77	10.0	
沈降速度 (m/Hr)	0.71	0.86	1.01	0.75	0.83
安定容積 (%)	15.0	13.8	9.0	11.0	

表 7-4-12 中和後 (pH9) の排水の水質 (第三段中和工程)

	成分 (単位:ppm)			
	pH	Cu ²⁺	TFe	Fe ²⁺
第三段中和排水	8.8	0.048	1.40	0.07

図 7-4-7 溢流添加量と中和pH値
(三段中和試験 1994.7)

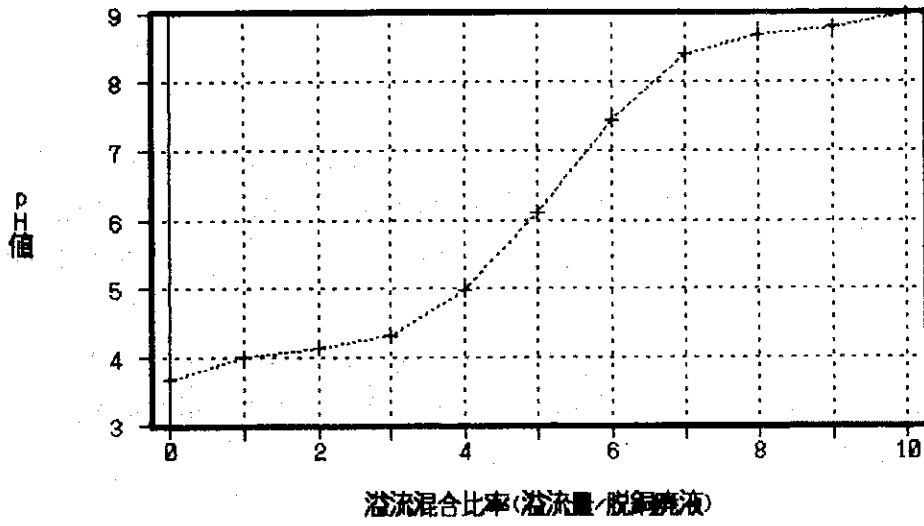
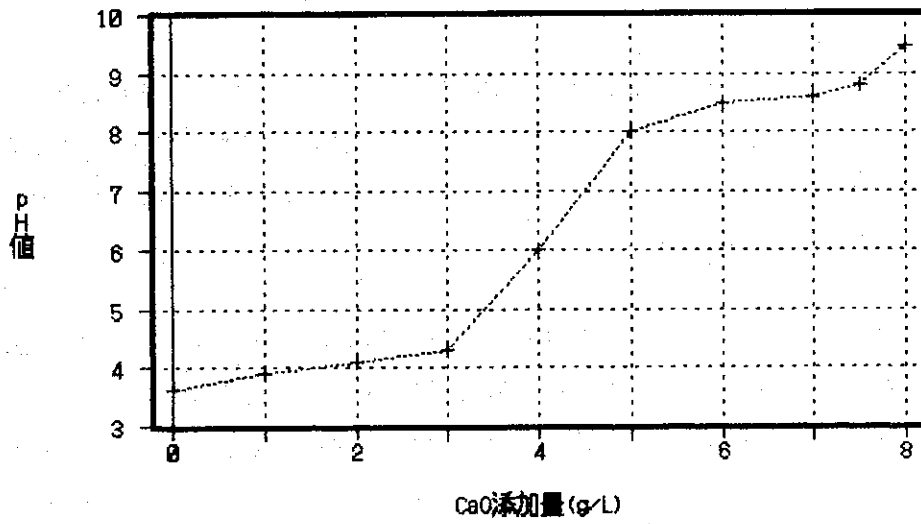


図 7-4-8 CaO添加量と中和pH値
(三段中和試験 1994.7)



7-5 改善計画の提案

7-5-1 プロセス

前節では、酸性水の発生源から処理プロセスに至るまでの問題点を抽出し、その内容について検討した。その結果、一般的には操業管理面に問題があるように思われる。操業の最適化をはかるために、プロセスについて以下のような改善計画を提案する。

なお、1994年7月の調査では、当初の硫化法による脱銅方式から、鉄スクラップによる沈澱銅回収方式に全面的に切り替わっているが、ここでは硫化法を前提として改善策を提案する。

(1) 第一段除鉄工程

(a) 処理能力

この工程の処理能力を増やすためには、試験の結果から凝集剤の使用量を若干増やすことを提案する。

現状では約0.4mg/lの添加濃度であるが、一般的な添加量と言われる1~3mg/lに比較すれば低い。試験の結果からも1mg/l程度に増やすことによって、沈降速度が約3倍になることから(0.15→0.47mm/sec.)当初設計能力である8000m³/日の処理は可能である。

凝集剤のタイプとしては現在使用中の#3凝集剤を含め、非イオン型の高分子凝集剤が適している。添加位置は隔板混合槽出口か分配槽とする。

なお、添加設備としては定量ポンプを採用し、添加量の管理を確実にすることが必要である。

(b) 消石灰の問題

消石灰の供給途絶の原因として、消石灰工場が選鉱の付属施設であり、選鉱生産優先供給になるため、廃水処理施設への供給が円滑にいかないと考えられる。消石灰工場を中立的な組織に変えることを提案する。

生石灰の品質の向上をはかるため、純度に応じた価格体系を確立して購買することも考えられる。また、「8-4 消石灰施設に関する改善提案」は既設廃水処理場にも適用できるものである。

(c) pH測定と自動制御

酸性廃水を中和処理するために、pHの自動制御は欠かせない大切な技術である。しかし、制御を行う前に、連続測定を確実にを行うことを提案する。連続測定が順調にできるようになってから、次に自動制御に移ったほうが円滑に進む。

調節弁による消石灰の自動制御の場合、消石灰の粒度は-200meshで、濃度は10%程度が一般的である。このような条件で消石灰乳の槽からポンプにより添加位置を経由して循環させる。

pH電極にはスケールの付着が早いので、頻繁に洗浄する必要がある。予備電極を準備して、3～4時間に一回程度、作業員が巡回時に5～10%塩酸水で洗浄することとする。また、定期的に(1回/日)標準液による校正が必要である。そのためには電極位置の近くにpH指示計が必要である。

電極の設置位置としては現状通り分配槽でよいが、作業のしやすさを考慮して電極保持具はボルト固定ではなく、簡単に取付取り外しができる器具を使用するようにする。

(2) 第二段脱銅工程

(a) 硫化法による脱銅

脱銅のためには、前工程である第一段の除鉄工程のpHを安定させることが先決である。

硫化水素の発生を抑制するために、適正な量の硫化ソーダを添加することが基本である。過剰添加を防止するためには、pHの測定と同様に、酸化還元電位の測定値が反応指標の一つとなるので測定する必要がある。そして、硫化ソーダの添加にはORP計と連動させ、定量ポンプを使用して添加量を制御すれば、過剰な添加は避けられるはずである。

硫化剤としてみた場合、硫化ソーダはアルカリ性なので、反応液のpHが上がり易い。

このため、過剰に添加された場合は銅のみならず、石膏の生成も試験では認められた。その結果、硫化銅の品位が逆に低下する。銅回収にも重点を置くならば、硫化水素が硫化剤としては最も良いが価格が高い。一般的には水硫化ソーダ(NaHS)が硫化ソーダより価格も安く、アルカリ度も比較的低いので、よく使用されている。

(b) 硫化銅の沈降性

試験の結果からも凝集剤の効果が大きい。無添加に比較し上澄水中のSS濃度は一桁改善される。しかも、現有 #3凝集剤の沈降成績は優れている。pH, ORP, および硫化ソーダの添加量等、条件が整えば現在の設備能力で十分処理することは可能である。

(3) 第三段中和工程

(a) pH測定と自動制御

第一段除鉄工程と同様である。

(b) 選鉱精鉱溢流の利用

現状では第一、二選鉱の精鉱シックナー溢流を中和剤として利用しているが、試験の結果からこの溢流は選鉱の回水として利用し、むしろ現在大場川に放流している第三選鉱の銅精鉱溢流を、この工程の中和剤として使用することを提案する。

(c) シックナーの処理能力

豊水年における酸性廃水量 $8000\text{m}^3/\text{日}$ に対し、銅精鉱溢流の発生量は $10000\text{m}^3/\text{日}$ であるから、その比率はほぼ $1 : 1$ である。試験結果によれば比較的 pH の高い第三選鉱の精鉱溢流でも $1 : 1$ では pH が 3.67 から 4.00 になっただけである。従って、規程の pH ($6.5 \sim 9$) まで中和するためには、消石灰の補充は避けられない。

試験結果による pH $6 \rightarrow 9$ まで中和したときの澱物の沈降速度 ($0.83\text{m}/\text{Hr}$) から試算して現有 30m シックナー 2 基の処理能力としてはほぼ適正である。万一、処理能力が不足する場合には若干の凝集剤を添加することを提案する。

7-5-2 機械等設備

(1) 設備改善提案

設備については、次の様な改善案が考えられる。

(a) 酸性廃水用電磁流量計：2 台

現在故障のため使用されておらず、酸性廃水処理量の把握は揚水ポンプの運転時間より推定している。

更新時 : 型式・国産の選択

取付位置 : 流量計前後の必要直線長さ

(b) pH自動調節計

現在故障のためpH調整は全て手動にて実施。

更新時 : 型式・国産の選択

取付位置 :

(c) 消石灰給液ポンプ

2台のポンプに対して吸い込み配管が共通のため配管内が閉塞しやすい。また、吐出側配管も閉塞しやすい。

改善策 : 1) 吸い込み配管の単独化

2) 吸吐曲がり部の曲率半径を配管径の5倍以上とする。

3) 消石灰液のポンプ吐出量とタンクへの戻り量比を10 : 5 ~ 8で検討する。

(d) 3段南φ30M濃縮池

SS製越流堰板が変形し、コンクリート製池本体と密着しておらず、SS製越流堰板の上・下面から上澄水がオーバーフローしている。

改善策 : SS製越流堰板の取り替えおよびコンクリートとの固定・シール施工方法の改善

(e) 濃縮池全般

コンクリート製の越流堰水平レベル精度が約±50mmくらいあり、上澄水が偏流している。

改善策 : 上記と同様にSSまたはSUS製の越流堰板を取付ける

(f) 薬剤脱水所内ホイスト

現在のホイストの設置状態では、機器の吊り上げ代および通り芯の関係上設備保全用としては役に立たないものが多い。

改善するとすれば、薬剤脱水所の建家を改造しなければならず、大幅な改造が必要となる。

(g) 階段・手摺り全般

各所に設置されている階段・手摺りの角度、寸法、仕様部材が統一されておらず、強度的にも不足と思われる。

(2) 設備管理規格書の作成整備（資料集参照）

設備管理規格書を作成し、廃水処理場運転員および設備担当者に対して運転管理および点検管理規格を認識・習得させ、廃水処理場稼働率の向上、機器故障の低減、異状の早期発見、機器整備費用の削減を目的とするものである。

ここに提案した規格書を参考とし、徳興銅鉱山既設廃水処理場の現状に即した様式・内容に中国側にて修正し、作成整備されることを希望する。

(a) 機器仕様書（第2次現地調査時調査機器仕様）

立型揚水ポンプ～澄清水ポンプ参照

(b) 機械設備運転管理基準書

ポンプ、ホイストクレーン参照

(c) 機械設備点検管理基準書

濃縮池～攪拌・溶解槽参照

(d) 点検・整備日誌

ポンプ～ホイスト・クレーン参照

(3) 設備点検・保全に必要な測定器及び工具

第2次現地詳細調査時、廃水処理場の保全班が所持している測定器および工具の概況を調査したが、現在所持しているほかに下記の測定器・工具を準備することを希望する。

測定器を使用する目的として、個人の感覚判断による誤差をできるだけ少なくし、判定基準を数値化し統一的な設備管理を確立することにより、設備担当者の技能向上の面からも必要である。

また、ステンレス材の使用が今後増えることが予想されるため、管・板材の切断機を準備されたい。

下記に示す測定器及び工具は、最小限必要と思われる。

番号	測定器・工具名	用途・目的
1	振動計	回転機械の振動測定。異常振動値の早期発見。
2	表面温度計	各種表面温度の測定。軸受・本体発熱温度管理。
3	超音波厚さ計	各種鋼製槽、配管の厚さ測定。腐食・磨耗状況把握。
4	超音波ドップラ流量計	配管内の流速、流量の測定。管内・ポンプ揚量性能確認
5	ヨーク式磁粉探傷器	鉄鋼材料および溶接部の表面傷擦傷。
6	超音波探傷器	鉄鋼材料および溶接部の表面傷擦傷。
7	外側マイクロメータ	軸等の外形測定(1/100mm)。はめ合い寸法測定
8	内側マイクロメータ	穴等の内径測定(1/100mm)。はめ合い寸法測定
9	ダイヤルゲージ	回転機械の芯だし等(1/100mm)。
10	エアープラズマ切断機	ステンレス、アルミ、軟鋼材の切断。

(4) 予防保全

廃水処理場において、設備機器が故障してから対処するよりも、故障する前にあるいは故障する時期を予想できると運転管理がしやすく、また、計画運転管理ができる。

このような考えに立ち、設備機器の予防保全に取り組むことが必要と思われる。

(a) 全員参加によるTQCの活用

現在、徳興銅鉱山においてTQC活動が実施されており、廃水処理場の運転管

理・設備保全にもTQCの手法導入を希望する。

設備機器故障時は次の点について運転側と設備側全員参加による検討会を開き、原因と対策の追求をし、廃水処理場の稼働率向上に結びつけて欲しい。

故障設備・機器名 :
故障日時 :
損傷箇所 :
故障・損傷原因 : 設計または機器選定の問題か、
機器構造上の問題か、
運転管理の問題か、部品の寿命か、
材質は適切か、組立寸法は適切か、
点検周期・個所に問題はないか、
その他
補修箇所・取替部品 : 部品番号・材質、製作所(メカ、自家製)、
製作・組立精度、数量、範囲、
補修時間 : 作業人員、作業時間、
補修費用 : 人件費、部品代、消耗雑品・工具損料
試運転結果 : 負荷電流、揚量、圧力、振動、軸受温度
異状音、漏れ等
運転期間・時間 : 前回補修時からの運転期間・時間
予備部品 : 在庫部品名・材質・数量、
不足部品名・材質・数量、
改善必要箇所 : 項目リストアップ、重点取り組み項目の
決定・取組担当者・班の決定、
(改善提案の推進および報奨金制度確立)
検討会内容記録 : 検討した内容を記録として残す

(b) 定期点検

メーカーの推奨する点検・交換周期と廃水処理場運転及び設備担当者の経験および実際の運転機器の状態を加味し、設備機器の点検周期・個所・方法・担当を決めるようにしたい。

また、中国内の法規・規則に定められている設備機器に関してはその法規・規則に基づいて実施することになる。

7-5-3 楊桃塙酸性水貯留ダム

楊桃塙廃石堆積場には、既設の酸性水貯留ダムがあるが、祝家廃石場への運搬路築造により、貯水容量が半減しており、これを回復する必要がある。必要な貯水容量は、第4章、4-2によれば96万 m^3 である。既設堰堤の下流側には火薬工場があり、新たに堰堤を建設するスペースはない。よって、既設堰堤の嵩上げにより、貯水容量を増やすより方法はないが、地形上、嵩上げにも限度があり、不足分は、ダム内にせりだしている尾根を掘削することにより、貯水容量を確保する。

なお、下記計画図は別冊資料編を参照されたい。

徳興-ダム・土建-011 楊桃塙酸性水貯留ダム平面図

徳興-ダム・土建-012 楊桃塙酸性水貯留ダム断面図

堰堤には、浸透防止のため、遮水ゾーンを設ける。周辺部より浸出する酸性水は、ピットに集め、ポンプにてダム内に返送する。

堰堤の嵩上げにより、南山採掘場への運搬路が遮断されるので、堰堤の中腹を通り、ダムを迂回する道路を設置する。洪水吐（非常排水路）については、既設洪水吐（朝顔型）を補強、嵩上げして利用するものとする。

楊桃塙廃石場は既に堆積完了とのことであるが、第10章、10-2で後述するように、速やかに整形覆土、表面水排水溝設置、並びに植生工を実施の上、浸透水の減少をはかることが重要である。

第 8 章 付属設備および周辺施設 の検討と計画

第 8 章 付属設備および周辺施設の検討と計画

8-1 4号廃滓堆積場の安定性検討

4号尾鉱庫（廃滓堆積場）は、尾鉱の堆積場として設計されている。今回の廃水処理計画では、新たに中和澱物を尾鉱と共に堆積する為、堆積場の安定性に与える影響を検討する。

なお安定解析に使用する土質定数、浸潤水位等は、推定値によるものが多く、今後、詳細な調査、試験を実施し、現状に即した安定解析を行う必要がある。

(1) 地盤構成

本堆積場はサイクロン分級による分離堆積を行っており、検討地盤はアンダーフロー（サンド）を材料とした堤体部分と、オーバーフロー（尾鉱）の堆積部、及び原地盤から構成される。（図 8-1-1）

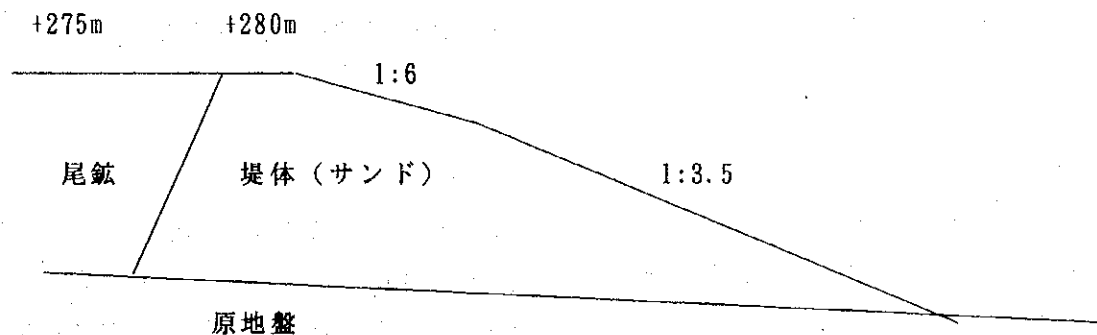


図 8-1-1 地盤構成

(2) 土質定数

(a) 堤体サンド

1994年8月に実施した土質試験報告書より下記のように設定した。

粘着力 C	: C = 0
内部摩擦角 ϕ	: $\phi = 30.5$ 度
飽和密度 γ_t	: $\gamma_t = 1.89$

飽和密度は土粒子の比重及び間隙比から、次式により、算定した。

$$\gamma_t = (G_s + e) \cdot \gamma_w / (1 + e) \quad (8-1-1 \text{式})$$

ここに、

G_s : 土粒子の比重 2.82 g/cm³

e : 間隙比 1.06

γ_w : 水の密度 1.0 g/cm³

(b) 尾鉱

尾鉱の土質データが皆無の為、下記のように推定した。

粘着力 C : $C = 0$

内部摩擦角 ϕ : $\phi = 30.5$ 度

飽和密度 γ_t : $\gamma_t = 1.89$ g/cm³

(c) 原地盤

原地盤は付近現地踏査の結果より、強風化岩と推定した。

粘着力 C : $C = 100$ tf/m²

内部摩擦角 ϕ : $\phi = 45$ 度

飽和密度 γ_t : $\gamma_t = 2.00$ g/cm³

(3) 設計震度 K_h

設計震度 K_h は、日本の弱震地域における堆積場建設基準値を採用した。

$$K_h = 0.12$$

(4) 浸潤水位

1994年8月に実施したボーリング調査によると、堤体部の浸潤水位は標高72m付近の旧河床部で観測された。これは、堤体材料の透水性がよいことと、旧河床部に敷設された排水層が有効に機能を果たしているからと思われる。今後も現在の水位を保持することが大切である。

今回の安定解析においては、浸潤水位を次のように推定した。

(a) 浸潤水位は、堤体中央部において原地盤まで低下するものとした。

(b) 尾鉱庫の最高水位を標高275mとし、堤体頂部から約400m上流側の位置から浸潤線が降下し始めるものとした。

(日本国内の類似の堆積場を参考にし、推定した。)

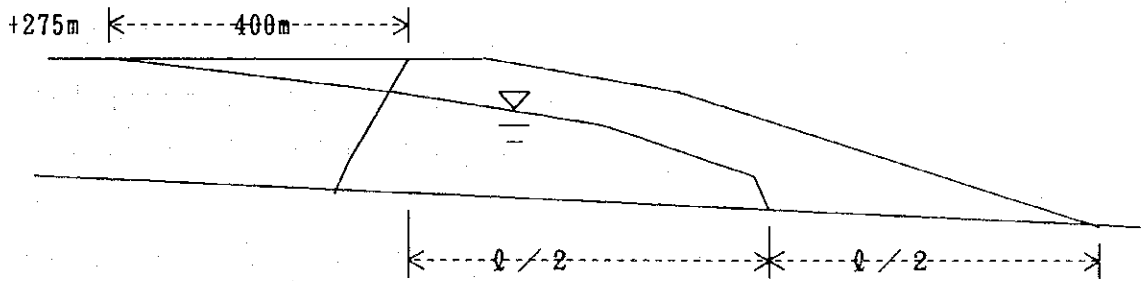


図 8-1-2 浸潤水位

(5) 中和澱物の堆積による影響

中和澱物の堆積が、尾鉱の物性に与える影響は、現段階では不明な点が多く、今後、調査・試験等により明らかにしていく必要がある。

今回、中和澱物の堆積による影響を下記のように推定した。

- (a) 中和澱物堆積後の尾鉱の飽和密度は、8-1-1式の γ_w （水の密度）が、中和澱物の密度（中和試験に関する報告書より、 1.25g/cm^3 とする。）に置き変わるものとし、次の値とした。

$$\gamma_t = 2.35\text{g/cm}^3$$

- (b) せん断強度は変わらないものとした。
(c) 浸潤水位は影響を受けないものとした。

(6) 解析結果

解析結果は次表に示すとおりである。

(図 8-1-3 安定計算図 1、及び 図 8-1-2 安定計算図 2 参照)

	スライムの密度 γ_t (g/cm^3)	最小安全率
中和澱物の堆積がない場合	1.89	1.88
中和澱物が堆積する場合	2.35	1.87

地震動による液状化については、堤体部における浸潤水位が地表面より40m以上下方にあるので、液状化の発生はないものと判断した。

(7) 考察

解析結果はどちらも日本国内における規準安全率1.2を上回った。また、中和澱物の堆積による差異はみられなかった。(これは、最小安全率を与えるすべり面が尾鉱堆積部をほとんど通らない為、中和澱物の堆積による尾鉱の密度差が安定計算に影響を及ぼさなかったことによる。)

しかしながら、今回の解析においては、使用した物性値の多くが推定値であり、あくまでも概念検討の枠を超えていないことに留意しなければならない。

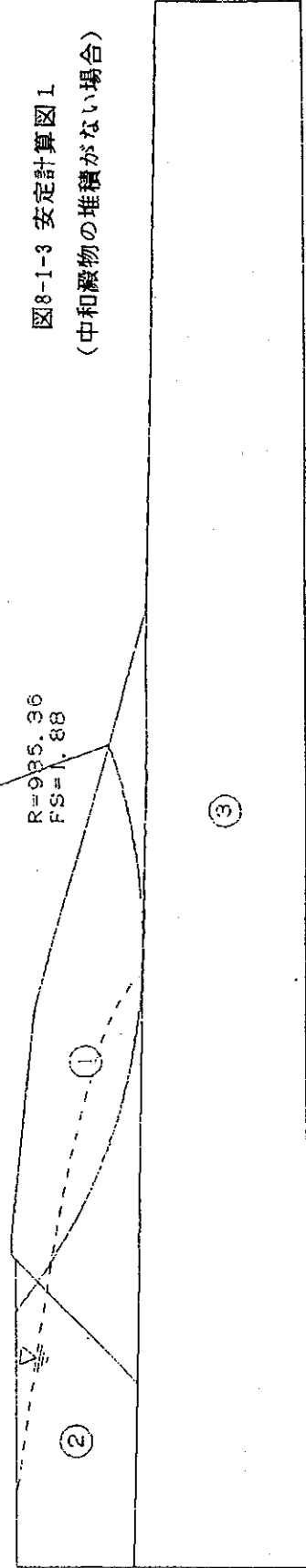
今後の詳細検討では、規模を考慮し、二次元動的有限要素法による解析検討が必要と思われ、必要な調査、試験を早期に実施する必要がある。

また、中和澱物の堆積が、堆積場の安定に与える影響についても今後、十分な調査が必要である。

徳興銅山安定検討
地震時 ($Kh=0.12$)

材料番号	空中単体重量 ($\gamma_{(H)}$)	水中飽和重量 ($\gamma_{(H)}$)	粘着力 (c)	せん断抵抗係 ($\tan\phi$)
①	1.89	1.89	0.00	30.5
②	1.89	1.89	0.00	30.5
③	2.00	2.00	1000.0	45.0

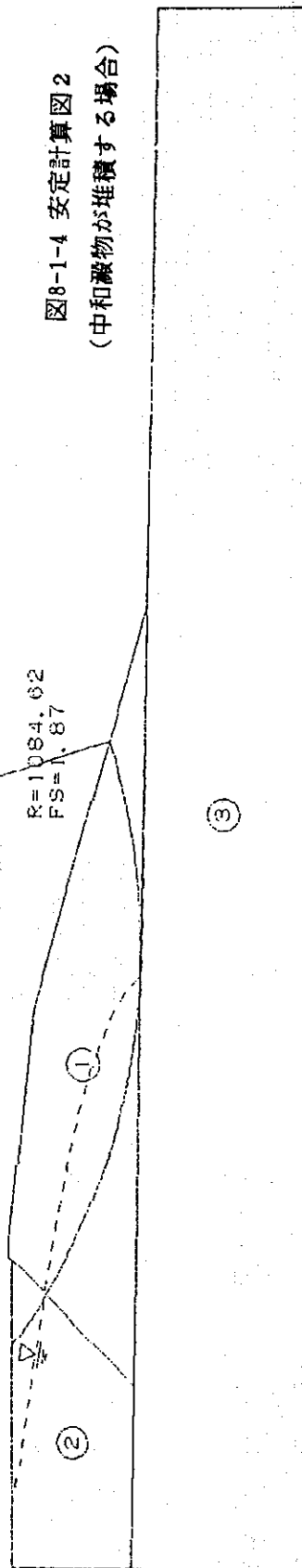
1.991.941.056.046.01
1.991.941.056.036.17
1.991.941.056.20.34
1.991.941.056.174.10
1.991.941.056.60.70



徳興銅山安定検討
地震時 ($Kh = 0.12$)

材料番号	空中単体重量 (γ_{air})	水中飽和重量 (γ_{sat})	粘着力 (c)	せん断底沈角 (θ_{crit})
①	1.89	1.89	0.00	30.5
②	2.35	2.35	0.00	30.5
③	2.00	2.00	1000.0	45.0

1.32	3.94	1.87	47.66
1.94	0.94	0.15	64.82
1.34	1.51	0.15	64.94
1.94	0.94	0.16	65.10
1.94	1.51	0.16	65.24



8-2 酸性廃水貯水計画

(1) 西源酸性水貯留ダム

西源廃石場からの浸透水（酸性水）を貯水するダムを設ける。このダムは降雨強度による酸性廃水の流量変動を均等化して、廃水処理設備容量の適正化を図るためのものであり、必要な貯水能力は第4章、4-2の検討結果により、133万 m^3 である。堰堤の建設位置は、廃石場の計画が2つの沢に跨っているため、沢の合流位置直下流の峡谷とする。必要な貯水容量を得られるダムの常時満水位を計算した結果、海拔150mであり、これに越流水深（2mと想定）と余裕高1mを加え、堰堤の高さを海拔153mとした。

ダムの型式は、規模を考慮し、中心遮水ゾーン型フィルダムとした。

概念設計図の仕上げは、現地コンサルタントに依頼した。（別冊資料編 参照）

徳興-ダム・土建-013 西源酸性水貯留ダム 平面図

徳興-ダム・土建-014 西源酸性水貯留ダム 断面図

なお、詳細設計に当たっては、地盤及び堤体材料の強度、圧密特性、透水性等について詳細な調査、試験を実施し、堤体断面、透水対策を決定する必要がある。

(2) 露天掘り廃水用沈砂池

露天採掘廃水には多量の土砂が混入しており、流送設備、廃水処理設備の摩耗防止、および沈澱防止のため、沈砂池を設置する。

沈砂池の設置場所としては、露天採掘範囲外であること、及び沈砂処理後の排水が自然落差で祝家廃水ルートに接続できることを考慮し、西部破碎場の東側、大塙川川岸に設置する。

なお、沈砂池の設計は、日本下水道協会 下水道施設設計指針を参考とした。

設計図の仕上げは、西源ダムと同様現地コンサルタントに委託した。（別冊資料集 参照）

徳興-ダム・土建-015 露天掘り廃水用沈砂池配置図

徳興-ダム・土建-016 露天掘り廃水用沈砂池設計図

本設備は文字どおり沈砂池であり、沈砂設備としては有効であるが、貯水容量はない。降雨時には余剰水が溢れる場合もあるが、数年を経ずして露天採掘場ピット

底は自然河川のレベルより下がることになり、直ちに大容量のダムを建設する必然性に乏しい。

(a) 設計条件

- ・最大流入量 $Q = 31,000\text{m}^3/\text{日}$ ($0.36\text{m}^3/\text{秒}$) とする。
- ・比重を2.65とし、径0.2mm以上相当の土砂を除去するものとする。
径0.2mm土粒子の沈降速度は21mm/秒であり、よって水面積負荷は、
 $v = 21 \times 3600 \times 24 / 1000 = 1814\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{日}$ 以下とする。
- ・沈砂池内平均流速は、0.3m/秒を標準とする。
- ・滞留時間は、30~60秒を標準とする。

(b) 沈砂池の設計

沈砂池の構造及び所要寸法は下記とする。

R C造、 $W = 3.0\text{m}$ 、 $L = 8.5\text{m}$ 、 $H = 0.472\text{m}$

(徳興-ダム・土建-016 参照)

水面積負荷；

$$v = Q / (L \cdot W) = 30000 / (3. \times 8.5) = 1176\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{日}$$

沈砂池内平均流速；

$$V = Q / (W \cdot H) = 0.36 / (3. \times 0.472) = 0.25\text{m}/\text{秒}$$

沈砂池内滞留時間；

$$t = (L \cdot W \cdot H) / Q = 8.5 \times 3. \times 0.472 / 0.347 = 35\text{秒}$$

よって、上記設計条件を満たしている。

(c) 排砂方法

砂だまり下部に排砂弁を取り付け、定期的に排出する。排出した土砂は、廃石場に運搬し堆積する。

8-3 送水ルート計画

祝家ダム、西源ダム、および露天掘り採掘場それぞれから、新規廃水処理場まで酸性廃水を送水する必要がある。

ルートとしては、新規廃水処理場から最も遠距離にある祝家ダムを起点として、1号廃滓堆積場、2号廃滓堆積場および4号廃滓堆積場堰堤下流側を迂回し、新規廃水処理場に至る全長約13kmのルートをメインルートとし、露天掘り採掘場からの送水と西源ダムからの送水が合流する形式とする。メインルートは途中で中継ポンプステーションを2ヶ所設置し、自然流送とポンプ揚水を繰り返しながら新規廃水処理場まで達する。なお、山越えとなる箇所は、適宜隧道を掘削しショートパスさせる。

以下計画図の仕上げは、現地コンサルタントに委託した。(別冊資料編収録)

徳興-ダム・土建-017 送水概要図

徳興-ダム・土建-018 送水ルート平面図

露天掘り採掘場からの廃水は沈砂池で土砂を除去した後、大場川に沿った流送樋で自然流送し、祝家廃水隧道出口でメインルートと合流する(全長約1km)。

西源ダムに貯留された酸性廃水は、浮船式ポンプステーションおよび中継ポンプステーションで第3選鉱場サイトまで揚水後、既設の第3選鉱銅精鉱流送用隧道を利用して1号廃滓堆積場付近まで自然流送されメインルートに入る(全長約6km)。

西源からのルートの選定にあたっては、第3選鉱場以降、4号廃滓堆積場の山腹に沿ったルート(第3選鉱場廃滓流送路と同じ)も考えられた。しかし、現地調査の結果、地形が急峻であり、現状以上に拡幅すると山腹崩壊の危険性が増大し、落石による閉塞事故の恐れもあるため、既設隧道利用案を採用した。

なお、メインルートの約8割程度は、中国側計画に基づき施工済みで、NO. 2ポンプステーションまで完成している。ただし、中国側計画では廃水処理施設を4号廃滓堆積場(以下号数だけで「廃滓堆積場」を省略)西岸に想定していたため、2号~4号間連絡隧道から先は、4号西岸を自然流送させるつもりでいた。しかし、本概念設計では新規排水処理場の立地は4号東岸と決定したため、ルートとしては前出2号~4号間連絡隧道出口から4号下流の谷部を横断して、東岸の処理場までポンプアップする送水設備を新設する必要がある。また、東岸は西岸に対して、一次分級ステーションのレベルが約60m高い位置(海拔160m→220m)にあるため、NO. 3ポンプステーションの中継ポンプを高揚程ポンプに置き換える必要がある。

8-4 消石灰施設に関する改善提案

8-4-1 既設消石灰工場調査結果

(1) 既設消石灰工場の概要

(図 8-4-1 既設消石灰工場フロー：別添 資料集)

(表 8-4-1 既設消石灰工場機器仕様：別添 資料集)

現在、消石灰工場は各選鉱場毎に第1, 第2, 第3とあり、第1, 第2は2系列、第3は1系列の設備となっている。各工場とも消石灰乳の製造工程は同じである。工程の概略は次の様になっている。

山元より生石灰を10TON ダンプトラックにて搬入し、直接生石灰ホッパーに投入する。ホッパー下部より抽出しフィーダーにて原料を抽出し、フィーダー出口部にて水を加えシュートにてボールミルに入る。ボールミル内にて粉碎、消化を行い、乳状でスパイラル分級機に入る。掻き上げられた分は再度シュートにてボールミルに入る。溢流分はポンプタンクに入り、ポンプにてサイクロンに送られ分級される。

サイクロンオーバーフロー分は、消石灰乳として攪拌機付ポンプタンクに入り、ポンプにて選鉱場に送られる。サイクロンアンダーフロー分は、再度ボールミルに入り粉碎工程より繰り返される。

(2) 既設消石灰工場の操業状況

既設消石灰工場の操業状況は概略以下の通りである。

(a) 原料購入先及び運搬

現在原料購入先は16ヶ所あり、特定されていない。

10TON ダンプトラックに直接生石灰を積んで運び各消石灰工場の生石灰ホッパーへ直接投入している。

原料粒度は不揃いで、粉状のものから150mm~200mm以上の塊状までが混入しており、山元での粒度調整は行われていない。又、入荷した原料生石灰の品位等の分析は行っていない。

(b) 生石灰の供給量のコントロール

抽出しフィーダーの回転数(VSモータ使用)のみにて行い、メリックスケール等測定器に依る供給量の管理は行っていない。オペレータの経験にてコントロールを行っている。

図 8-4-1

既設消石灰工場フロー

第3消石灰工場フロー (2系列)

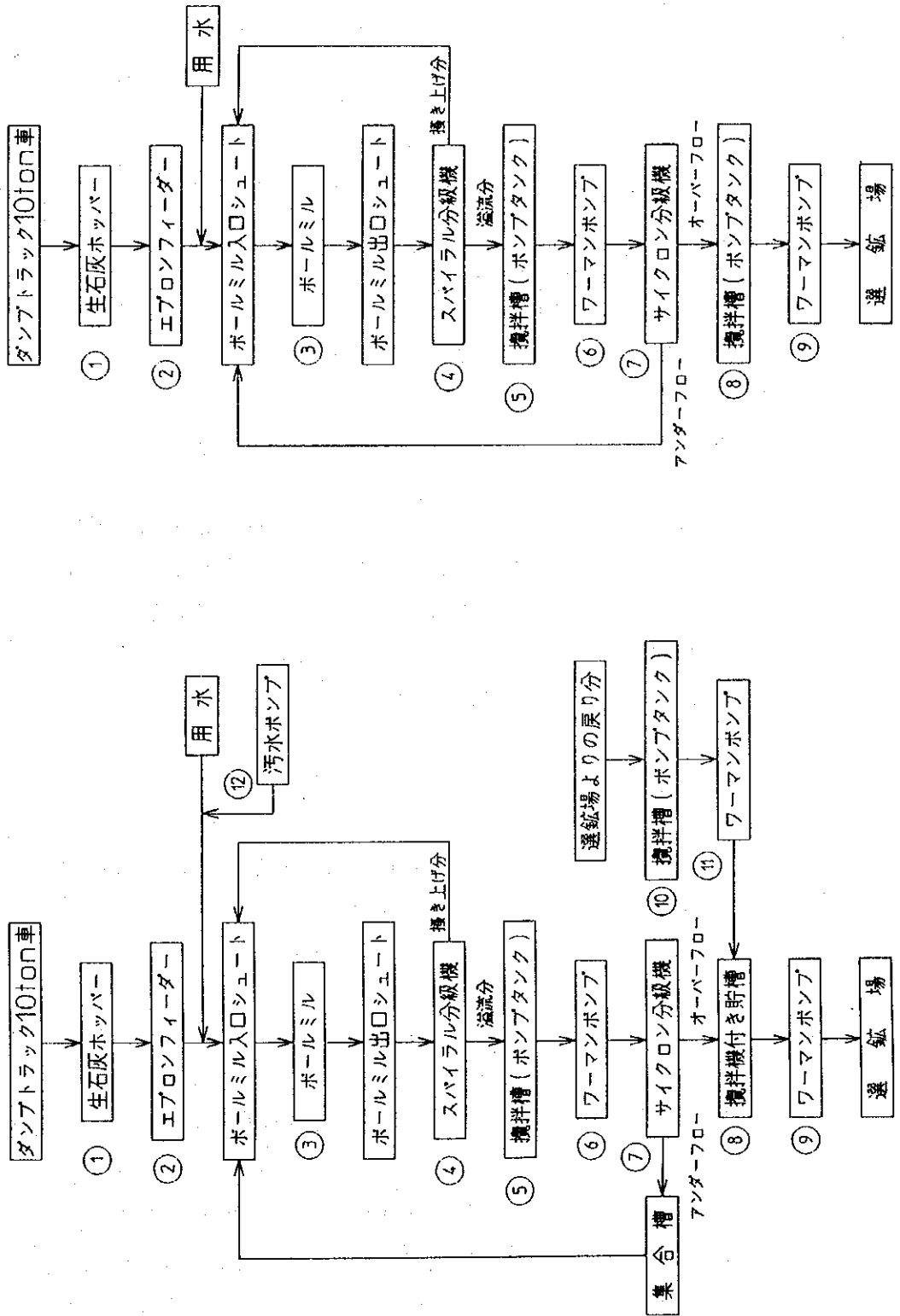


表8-4-1 既設消石灰工場機器仕様

第2消石灰工場設備仕様

- ① 生石灰ホッパー 1基
- | | | |
|--------|--|--|
| 材質 | コンクリート製 | |
| サイズ | 6000 ^W ×5450 ^W ×10000 ^H | |
| 容量 | 180~200TON | |
| ホッパー下部 | SS製シュート | |
| サイズ | 700 ^W ×3000 ^L | |
| | 内面ライナー張り、厚さ20tボルト止め | |
- ② エプロンフィーダー 1台
- | | | |
|-------|-------------------------------------|--|
| 型式 | BL800-6Ⅱ | |
| サイズ | 800 ^W ×6000 ^L | |
| 抜出し速度 | V=0.025~0.05m/sec 可変 | |
| モータ | VSモータ 3kW 120~1200rpm | |
| 減速機 | XWE47-106-1/595 | |
| 輸送能力 | 8.0~20.0TON/H | |
| 搬送粒度 | ≤150mm | |
- ③ ボールミル 1台
- | | | |
|----------|-------------------------|--|
| 型式 | MQG 2100×300 | |
| サイズ | 2100φ×3000 ^L | |
| モータ | 210kW 380V 735rpm | |
| 減速機 | 減速比1/4 | |
| ミル回転数 | 約24.1rpm | |
| 使用ボールサイズ | 100mm | |
- ④ スパイラル分級機 1台
- | | | |
|------|--------------------------|---------|
| 型式 | FG-20 | |
| サイズ | 2000φ×約8500 ^L | |
| 傾斜角度 | 18° | |
| 動力 | 回転用 11kW | 昇降用 3kW |
| 回転数 | 約3.7rpm | |

- ⑤ 攪拌機 (ポンプタンク) 1基
 サイズ 2500φ×3150^H
 攪拌機 2段 パドル径950φ 回転数 58.8rpm
 動力 4kW
- ⑥ 送液用ワーマンポンプ (サイクロンへの送液) 2台
 型式 4/3C-AH ZV配置 1600rpm
 モータ 30kW
- ⑦ サイクロン分級器 2基
 サイズ 350φ×1800^H
- ⑧ 攪拌機付き貯槽 1基
 サイズ 9000φ×9500^H
 攪拌機 30kW 980rpm 減速機 1/40 回転数 24.5rpm
- ⑨ 送液用ワーマンポンプ 2台
 型式 6/4E-AE ZV配置 1400rpm y=48%
 モータ 55kW
- ⑩ 攪拌槽 (ポンプタンク) 1基
 ⑤に同じ
 選鉱よりの戻り分の受けタンク
- ⑪ 送液ワーマンポンプ 2台 (⑧攪拌機付き貯槽への送液用)
 ⑥に同じ
- ⑫ 汚水ポンプ (場内洗浄排水用)
 サイズ 3/2C-AH 1500rpm y=36%
 モータ 7.5kW

第3 消石灰工場設備仕様 (2系列)

- ① 生石灰ホッパー 2基
- | | |
|-----|--|
| 材質 | コンクリート製 |
| サイズ | 6000 ^W ×6000 ^W ×13600 ^H |
| 容量 | 180~200TON |
- ホッパー下部 S S製シュート
- | | |
|----------|-------------------------------------|
| サイズ | 700 ^W ×3000 ^L |
| 内面ライナー張り | 厚さ20t ボルト止め |
- ② エプロンフィーダー 2台
- | | |
|-------|-------------------------------------|
| 型式 | BL800-6I |
| サイズ | 800 ^W ×6000 ^L |
| 抜出し速度 | V=0.025~0.05m/sec 可変 |
| モータ | V Sモータ 3kW 120~1200rpm |
| 減速機 | XWE4-106-1/595 |
| 輸送能力 | 8.0~20.0 TON/H |
| 搬送粒度 | ≤150mm |
- ③ ボールミル 2台
- | | |
|----------|-------------------------|
| 型式 | MQG2100×3000 |
| サイズ | 2100φ×3000 ^L |
| モータ | 210kW 380V 735rpm |
| 減速機 | 減速比 1/4 |
| ミル回転数 | 約 24.1rpm |
| 使用ボールサイズ | 100mm |
- ④ スパイラル分級機 2台
- | | |
|------|---------------------------|
| 型式 | FG-20 |
| サイズ | 2000φ×約 8500 ^L |
| 傾斜角度 | 18° |
| 動力 | 回転用 11kW 昇降用 3kW |
| 回転数 | 約 3.7rpm |
- ⑤ 攪拌槽 (ポンプタンク) 2基
- | | |
|-----|------------------------------|
| サイズ | 2500φ×2500 ^H 攪拌機付 |
| モータ | 7.5kW |

- ⑥ 送液用ワーマンポンプ (サイクロンへの送液) 4台
 型式 4/3C-AH ZV配置 1600rpm
 モータ 22kW
- ⑦ サイクロン分級器 4基
 サイズ 350φ×1800^H
- ⑧ 攪拌槽 (ポンプタンク)
 サイズ 2500φ×2500^H 攪拌機付
 モータ 7.5kW
- ⑨ 送液用ワーマンポンプ (選鉱場への送液) 2台
 型式 6/4D-AH 1100rpm
 モータ 30kW

(c) 消石灰乳用の水量コントロール

拔出しフィーダー出口部で生石灰に水を供給し、シュートでボールミルに投入しているが、供給水量は拔出しフィーダーの回転数に合わせて手動にてバルブ調整しており、流量計、調整弁等に依るコントロールはしていない。消石灰乳の濃度チェックは、1日1回程度行っており目標値としては10%重量濃度としているとの事である。

(d) 作業環境

ホッパー投入口、ホッパー下部拔出しフィーダー及びフィーダー出口水供給部等の粉塵発生箇所については集塵設備が無い為、作業環境は悪い。しかし、その他の作業床等は清掃も行われ比較的良好である。

(e) その他

設備機器については、スパイラル分級機、攪拌槽等にスケールの付着が多分に見られた。定期的な清掃が行われる事を望む。

8-4-2 消石灰工場の改善案

(1) 使用原料の溶解分級、試験及び分析

現在使用されている生石灰をビーカーにて水と混合攪拌し消石灰乳化した後、標準篩にて分級を行い各分級サイズ毎に成分分析を行った。

分析結果は、表 8-4-2に示す。

(2) 改善の要点

表 8-4-2で明らかなようにいずれの試験でもCaO以外の挟雑物は、分級粒度が小さい程少なくなってくる。特に $150\mu\text{m}\sim 75\mu\text{m}$ で SiO_2 、 CO_2 （残留 CaCO_3 の程度を示す）の含有率の上がり方が大きいため、 $150\mu\text{m}$ （100メッシュ）を分級点と定め、以下の改善フローを考えることとする。

(3) 新設廃水処理設備用消石灰工場改善提案

新設廃水処理設備用の消石灰施設改善提案フローを図 8-4-4に示す。

本来、廃水処理の中和で必要なのは消石灰乳であるので、より品位の高い消石灰乳とすることを目的に改善案を提案する。工程としては次の様になっている。

(a) フロー（その1） 図 8-4-2

原料生石灰は、ホッパーにて直接受ける。ホッパー下部より拔出しフィーダーにて原料を抽出した後、スクリーンを通し原料の大きさを一定サイズ以下とする。スクリーンオーバー分については、クラッシャーを通し粉碎し、スクリーンアンダーと一緒にする。次に、メリックスケール付コンベヤにて供給量を測定しリバルパータンクに投入する。リバルパータンクにおいては、測定重量に合った水を供給し、消石灰乳化を行う。乳化されたリバルパータンクオーバーフロー分はスクリーンを通し、アンダー分は消石灰乳として濃度調整タンクに入る。ここで、目的の濃度に調整後、廃水処理設備側消石灰乳タンクへポンプにて送る。スクリーンオーバー分については、ボールミルに水と共に入れ湿式粉碎後スクリーンを通し、アンダー分は炭カル乳として使用、オーバー分は不純物として廃石する。

また、工程中、発塵の考えられるホッパー投入口，拔出しフィーダー出口，スクリーン，クラッシャー部は、フード等に依り囲み集塵を行い、ダスト分は洗浄塔にて水洗する。洗浄水は、リバルパータンク用水として使用する。

(b) フロー（その2） 図 8-4-3

建設コストを下げる事を目的にリバルパー後の乳の粗粒分（ $1\text{mm} \gg 150\mu\text{m}$ ）をそのまま炭カルミルクとして使用する為、スクリーンを2段としボールミルを無くし、 1mm 以上のサイズものは廃石とし、中間部を炭カル乳、スクリーンアンダーを消石灰乳として使用するものである。

以上が消石灰工場改善提案であるが、新設廃水処理場の消石灰工場の稼働日数は、廃水処理プロセスよりみると選鉱場の休転時及び停電時であり、その日数は35日及び20日の年間55日と設定され、稼働率としては15%（年間）である。従って、稼働率，建設費を考えた場合、原料コストは上がっても袋詰め消石灰粉を購入し貯蔵ビン及び倉庫にストックしておき、必要時にビンより拔出しフィーダーにて抜き出しリバルパータンクにて乳化し使用する方式をフロー（その3）図 8-4-4として提案するものである。

表 8-4-2 生石灰サンプル溶解分級分析値

(試験1) 生石灰 200g+水466g 重量濃度 30% 攪拌時間 30分					
スクリーンサイズ*	> 1 mm	1mm>> 300 μm	300 μm>> 150 μm	150 μm>> 75 μm	75 μm>
重量	55.62	10.45	14.12	21.63	78.60
CaO %	48.81	56.91	61.23	64.89	66.97
SiO ₂ %	12.79	7.98	5.15	2.20	0.76
Al ₂ O ₃ %	5.12	4.03	2.72	1.94	1.57
MgO %	0.46	0.58	0.54	0.48	0.44
CO ₂ %	9.9	6.6	5.7	5.1	4.4
lg-Loss %	25.90	24.76	24.82	24.79	25.18

(試験2) 生石灰 200g+水466g 重量濃度 30% 攪拌時間 15分					
スクリーンサイズ*	> 1 mm	1mm>> 300 μm	300 μm>> 150 μm	150 μm>> 75 μm	75 μm>
重量	65.55	10.79	14.10	34.55	51.74
CaO %	55.65	60.00	64.40	64.61	66.40
SiO ₂ %	10.91	7.33	2.91	1.48	0.98
Al ₂ O ₃ %	4.20	3.51	2.38	1.74	1.59
MgO %	0.51	0.63	0.58	0.53	0.49
CO ₂ %	8.5	6.5	5.2	5.2	2.0
lg-Loss %	25.54	24.11	23.93	24.06	23.66

(試験3) 生石灰 200g+水800g 重量濃度 20% 攪拌時間 30分					
スクリーンサイズ*	> 1 mm	1mm>> 300 μm	300 μm>> 150 μm	150 μm>> 75 μm	75 μm>
重量	71.08	15.73	19.41	64.17	49.15
CaO %	42.84	64.36	66.89	68.70	69.12
SiO ₂ %	20.07	3.62	1.04	0.48	0.48
Al ₂ O ₃ %	9.82	3.04	2.07	1.59	1.50
MgO %	0.73	0.35	0.27	0.22	0.21
CO ₂ %	4.2	5.4	3.2	1.5	2.0
lg-Loss %	15.58	22.14	21.92	21.94	22.09

(試験4) 生石灰 200g+水800g 重量濃度 20% 攪拌時間 15分					
スクリーンサイズ*	> 1 mm	1mm>> 300μm	300μm>> 150μm	150μm>> 75μm	75μm>
重量	108.07	12.91	11.55	30.43	50.50
CaO %	45.25	63.18	63.98	65.72	67.81
SiO ₂ %	19.91	3.75	1.95	0.92	0.36
Al ₂ O ₃ %	9.67	3.02	2.40	1.88	1.63
MgO %	0.61	0.43	0.51	0.56	0.56
CO ₂ %	3.5	3.9	5.2	3.7	2.3
lg-Loss %	14.49	24.11	24.89	25.16	24.66

(試験5) 生石灰 100g+水900g 重量濃度 10% 攪拌時間 15分					
スクリーンサイズ*	> 1 mm	1mm>> 300μm	300μm>> 150μm	150μm>> 75μm	75μm>
重量	3.78	3.53	4.77	29.51	74.72
CaO %	66.75	65.45	64.89	66.99	67.58
SiO ₂ %	0.12	0.44	0.48	0.08	0.08
Al ₂ O ₃ %	1.38	1.53	1.60	1.35	1.36
MgO %	0.17	0.16	0.17	0.17	0.18
CO ₂ %	6.8	5.0	5.5	2.6	1.5
lg-Loss %	27.44	26.66	26.58	23.92	23.30

図 8-4-2

消石灰工場改善提案フロー（その1）

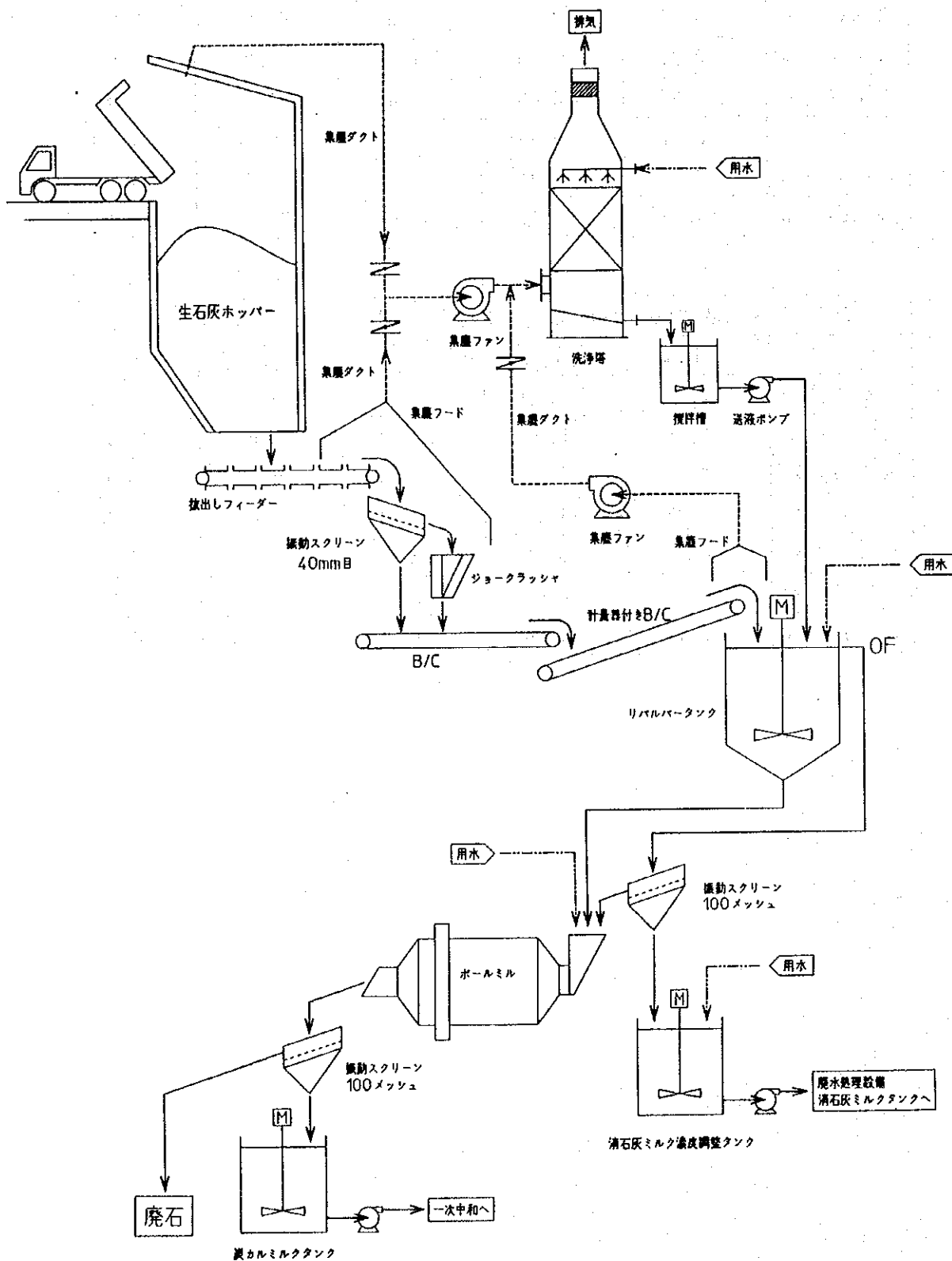


図 8-4-3

消石灰工場改善提案フロー(その2)

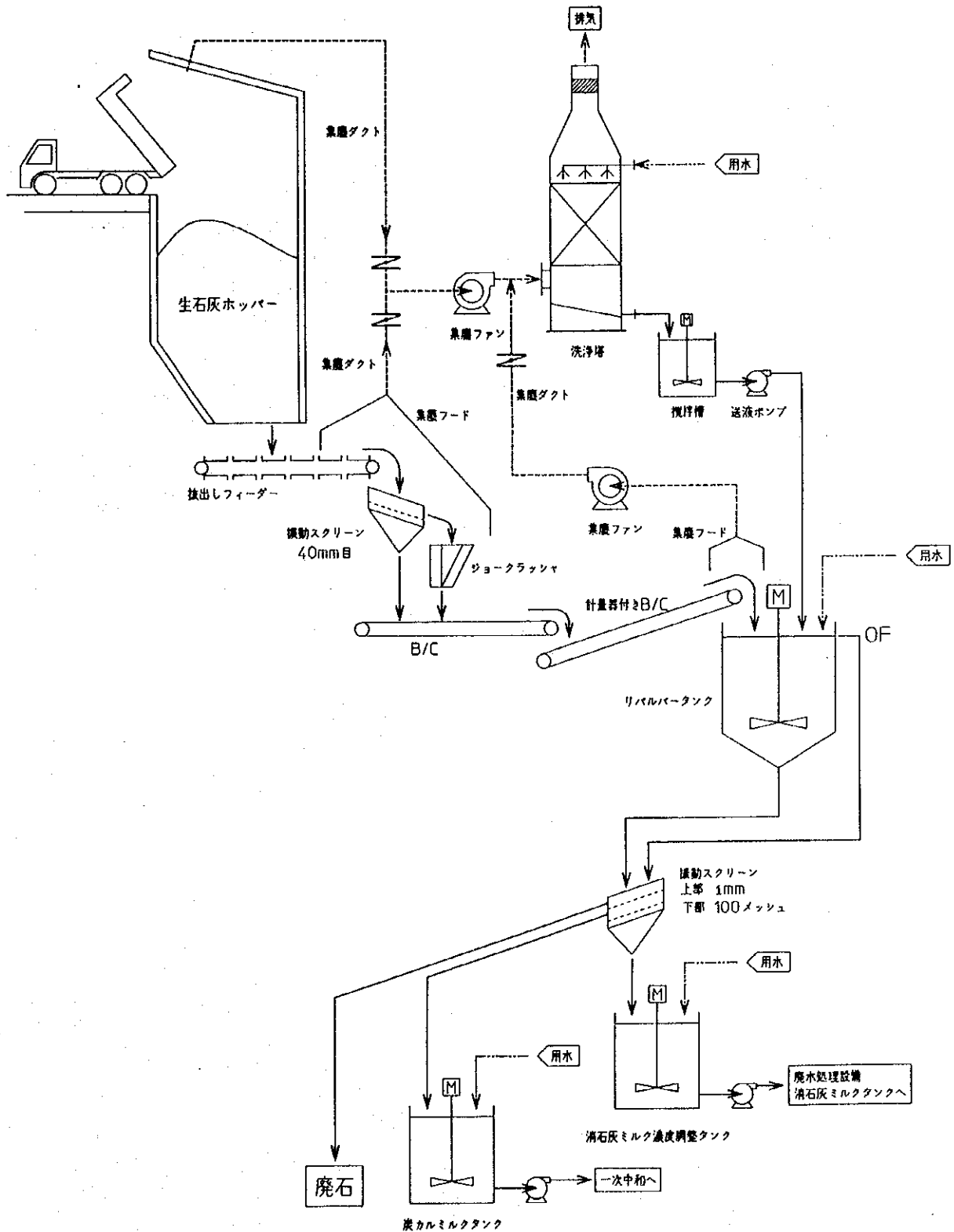
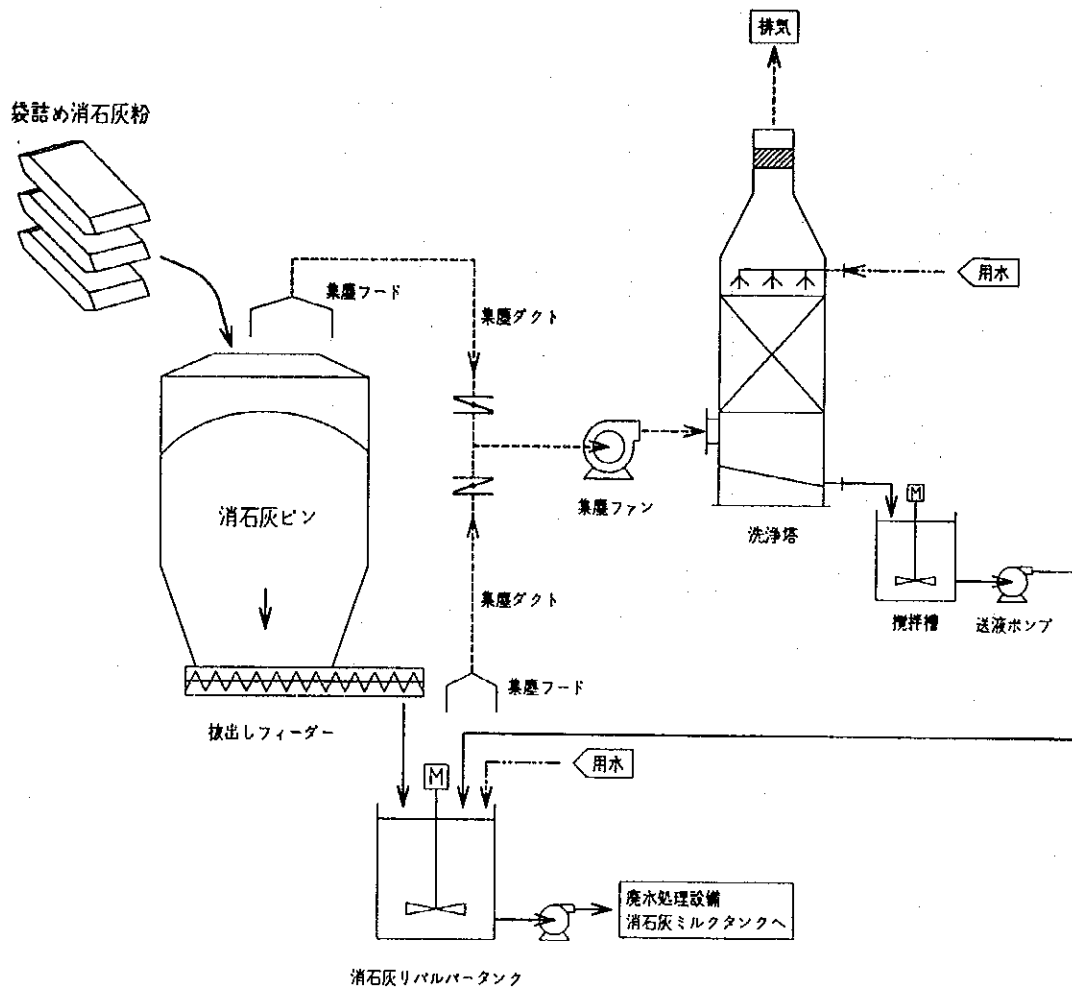


図 8-4-4 消石灰工場改善提案フロー(その3)



第 9 章 環境モニタリング計画

第9章 環境モニタリング計画

9-1 環境監視態勢の現状

我々の調査やユネスコの調査による測定とは別に、徳興銅鉱側は有色金属工業総公司からの指示により、鉱山からの廃水を、月に3回測定し報告している。それらの個所を含め、その他に鉱山が独自に測定している個所もあり、現在では測定個所は露天採掘場内（2個所）、揚桃塢、祝家廃石場、大塢川（5個所、採掘場廃水や張家橋を含む）、選鉱場廃水（13個所）、廃滓堆積場廃水（2個所）および楽安川（5個所）の計29個所になっている。この内の主要個所で、pH、SS、Cu、Pb、Zn、Cd、Cr、As、CaO、 SO_4^{2-} 、 S^{2-} 、 Al^{3+} 、T-Fe、 Fe^{3+} 、酸度、アルカリ度の中から必要な項目を測定するようになった。

他方、江西省の環境保護局は徳興銅鉱において、年2回直接廃水を採取し、分析を実施する。また、徳興市も独自に廃水を測定して、その測定値は江西省の環境保護局に報告されるようになっている。

9-2 モニタリングの留意点と問題点

徳興周辺は汚染の歴史が長く、しかも鉱山以外にも汚染源が存在するため、今ではバックグラウンド値を把握することは困難である。したがって今回のモニタリングには二つの目的がある。一つは処理設備の効果を実際に確認することであり、もう一つは処理設備だけで汚染をどこまで改善できるか予測し、さらに必要な処置を行うために基礎データを収集することである。

この目的のために、水質に関しては少なくとも次の4カ所についてはモニタリングする必要がある。

・大塢川水系では

- (a) 徳興銅鉱山の操業の影響がなく、鉱山以外の汚染部の影響が把握される鉱山区域上流側の地点
- (b) 徳興銅鉱山の廃水が流入した後でかつ楽安川と合流する以前の大塢川河川水と廃水が混合した地点

・楽安川水系では

- (c) 徳興銅鉱山の廃水が流入する以前のバックグラウンド値が把握される地点
- (d) 徳興銅鉱山の廃水および大塢川の河川水が流入した後でかつ楽安川と大塢川および廃水の3つの水が混合した地点

モニタリング地点の選定上の問題は、楽安川はその水量が大塢川より多く川幅も

広くかつ流速が遅いため、大塙川の河川水と合流してから混合するまでかなりの距離を要することである。モニタリング地点の候補地として合流点から坑口、中州、香屯の3箇所を検討した。坑口では時期によってはその分析結果が下流の中州と逆転した値を示す場合もあり、混合不足の可能性があることが分かった。中州と香屯では混合には問題がないが、香屯付近では採金業者の活動が活発なことおよび徳興銅鉱側から交通等の便宜上の理由で中州の方が好ましいとの意見があり、中州を選定した。

結果的に大塙川水系では鉱山区域上流側の地点と張家橋の2箇所、楽安川水系では浮溪口、中州の2箇所の計4箇所を選定した。選定したモニタリング地点を図9-1に示す。

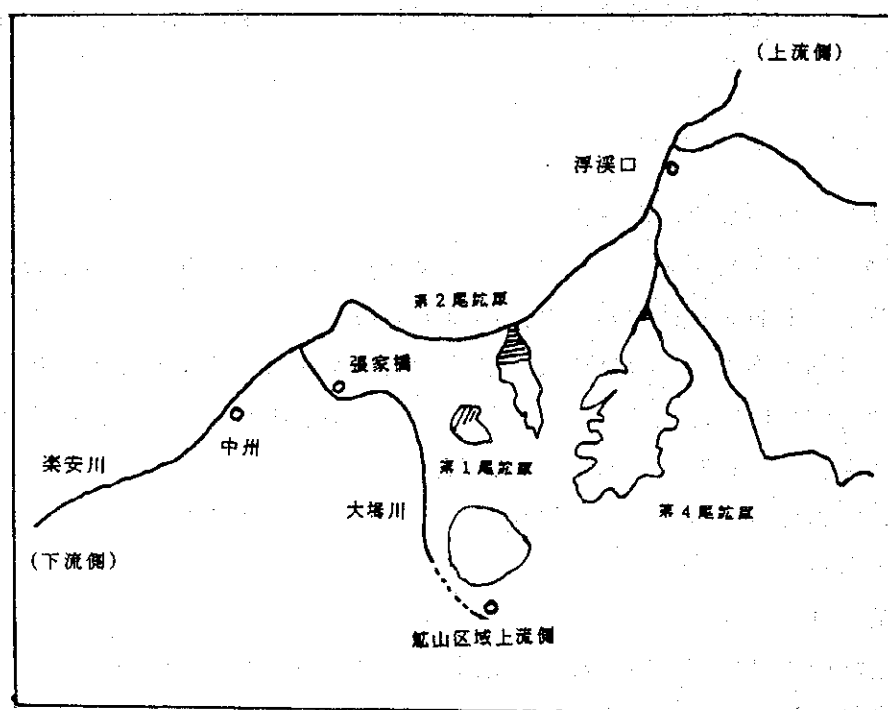


図9-1 モニタリング選定地点位置図

排出基準について、河川に流入する以前に基準値を満足するように規制している日本とは異なり、徳興銅鉱では酸性水やアルカリ水をそのまま河川に排出し、川の流れの中で中和させている現状にある。この点に関しても、近い将来には日本同様に排出口における規制になると予想される。将来的に徳興銅鉱も沈澱地の整備または増設および水路等の整備統合等をおこない、清水と濁水を分離して、排水口の統合廃合を実現するなどの廃水管理を容易にする施策を逐次実施していく気運にある。

9-3 モニタリング計画

上記の4ヶ所のモニタリング地点では、一般に下記の内容を常時監視とするモニタリングを行うことを提言する。また、これらの地点では毎日分析する項目の試料については瞬時試料ではなく、日または週平均試料を採取して分析することが望ましい。

これらの地点以外に、第2および第4 廃滓堆積場の溢流排水については、その排出口（楽安川）に到る間に、少なくともpHは常時測定してこれからの操業を管理する体制を整備すべきである。

(a) 常時監視項目

pH、温度、濁度、導電率、溶存酸素

(b) 日または週平均試料測定項目

銅、鉛、亜鉛、総鉄、溶解性鉄、SS、硫酸根

(c) 月一回測定項目

総砒素、総カドミウム、総クロム、総水銀、総ニッケル、総硫黄、COD、

(d) 年四回測定項目

溶解性マンガン、六価クロム、塩素、フッ素、セレン

(e) 年一回測定項目

シアン、アルキル水銀、有機リン、ノルマルヘキサン抽出物質（油分）、フェノール類、大腸菌群数、有機塩素類

(f) 底質測定項目（年二回）

底質の測定では直接底質を分析する他に底質の溶出試験分析も実施する必要がある。分析項目としては下記の項目とする。

銅、鉛、亜鉛、総鉄、総砒素、総カドミウム、総クロム、総水銀、総ニッケル、総硫黄、総マンガン

なお、常時監視する設備は一般に水質モニターと呼ばれ、その仕様およびフローを図9-2に示す。

モニタリングには、当然のことながら環境を保護するための意味も重なることから、鉱山廃水に直接関係しない一般的な生活項目も含んだ測定をすることが望ましい。但し、実施に当たっては徳興銅鉱で全ての項目を測定することは分析設備等の点から困難であり、徳興銅鉱からの廃水に関する項目以外の一般的な生活項目等の測定については江西省人民政府等の協力が必要であろう。

モニタリングはできるだけ多く、長期間にわたって測定する必要がある。徳興銅鉱独自の測定点でもある大塢川の四棟房、工行、電子部前および楽安川の第二尾鉱庫前と大塢川との合流前になる太白においても、今後共継続して測定することが望ましい。

また、長期にわたる汚染をモニタリングするには対象が廃水だけでなく、汚染物が沈澱して形成される底質物およびそれからの溶出成分も測定する必要がある。従って大塢川水系では張家橋、楽安川水系では中州の2箇所の底質の測定と溶出試験も必要である。

モニタリング内容について徳興銅鉱側は、日本側が提案する常時監視方式や日平均試料への切り替えおよび分析項目の拡大については好ましいが、鉱山は営利企業であることや施設維持管理の問題を理由に、やれるものとやれないものとの選別が必要であるとの考え方を示している。

施設の維持に関する問題では、現在でも廃滓から有価金属を回収するため、農民と称する人々が廃滓流送樋等に穴を開ける等施設の破壊行動が見かけられる。中国では資源の効率的回収について、国や国営鉱山企業は民間の行為に対し積極的に支持援助しなければならない由にて、鉱山側がこの事態をコントロールできない現状にある。この他にも地域住民に対する複雑な政策的意図もあるようで、部外者には理解できない問題がある。そのためモニタリング施設を作っても、ポンプ等の施設の一部が持ち去られたり、壊されたりすることを予測せざるを得ず、中国側は施設の維持が不能と判断している。従って、中国側は高価な施設は目の届く範囲に限定したい意向である。このような状況は、中国側において今後改善されて行く方向にあると思われるが、当分はこの様な問題が発生すると予想される。

環境に対する排出水の影響を管理するためには、排出口を出る前に排出基準を満足させることが必要である。そのためには廃水に応じ操業を変更させるような管理体制を採用するなり、各排出口、特に選鉱場や廃滓堆積場の排水口について、pH等を常時計測してその変化程度を把握し、廃水の自動制御を実施する必要性を判断しなければならない。

水質モニターの測定項目と仕様	
pH	ガラス電極法 pH 2 ~ 12
電導度	二極法 0 ~ 20 μ S/cm
温度	サーミスタ式 0 ~ 50°C
溶存酸素	隔膜電極法 0 ~ 20mg/L
濁度	透過法 0 ~ 200/2000NTU

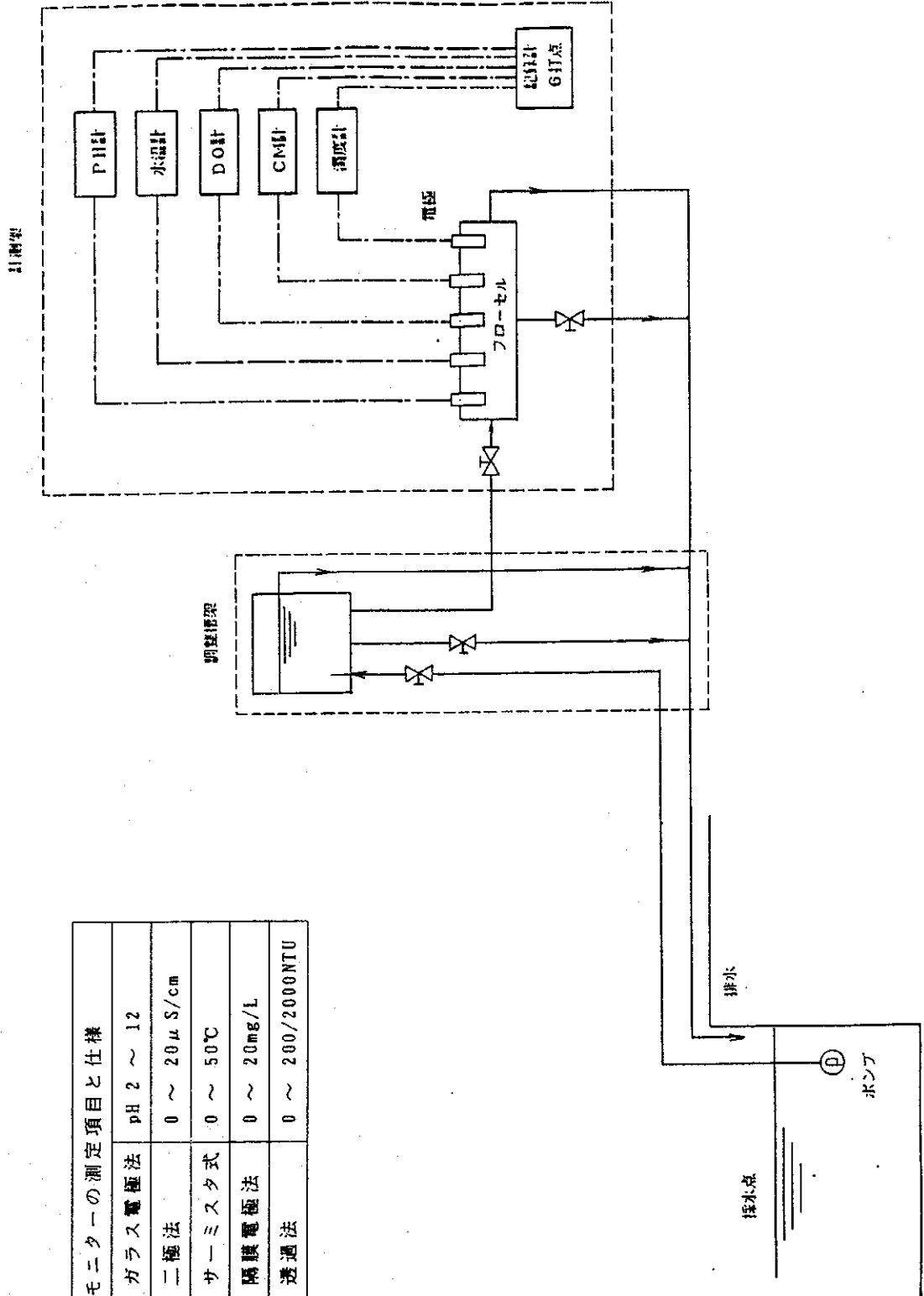


図 9-2 水質モニターの仕様とフロー

第10章 代替案と将来計画への提言

第 10 章 代替案と将来計画への提言

10-1 廃水処理プロセス代替案の検討

徳興銅鉱の酸性廃水に対して経済性を考慮すれば、中和処理法が最も妥当な処理方法であること、また、中和剤として、高アルカリ性の選鉱尾鉱溢流を利用すること、また、中和法の中でも二段中和法を採用することは、既に廃水処理の基本技術の選定で説明した通りである。

これに対し、中国側では早くから尾鉱溢流を中和剤として利用する一段中和法について、基礎試験から比較的規模の大きいパイロット・プラントによる連続試験まで行っており、その結果については報告書として調査団にも提供されている。

(「酸アルカリ性廃水総合処理および復水利用の研究」1992年4月 および「酸アルカリ性廃水総合処理および復水利用の研究に関する総報告書」1992年12月)

ここでは、この報告書に基づき、代替案として一段中和法を対象として選び、二段中和法との比較検討を行うこととする。

一段中和法では、酸性廃水と尾鉱溢流を自然落差を利用し、流れに対し乱流を発生させて両者を混合し、滞留時間を10~20秒程度(流速1m/sec.)で中和反応させる。

乱流を発生させるためには、いわゆる隔板混合槽を使用する。従って、動力を殆ど使用せず、中和処理設備も極めて単純であり、設備費が最も安い処理法といえることができる。(「図 10-1-1 一段中和処理流量バランスシート」参照)

一段中和法では、選鉱で使用する消石灰が尾鉱溢流中に残っているため、この消石灰分を利用する方法であり、試験の結果では、尾鉱溢流のpHが12.5前後の場合、混合比が4~6でpH9まで中和できる。しかし、尾鉱溢流のpHが11.5程度になると混合比が約15と急激に増加する。中国側の試験の結果から、尾鉱溢流pHと混合比の関係は「図 10-1-2 尾鉱溢流pHと混合比」に示す通りである。

一方、尾鉱溢流の調査結果、「表 4-4-49 尾鉱分級濃度および溢流分析調査表(東方分級)」に示す通り、東方溢流のpHは平均11.97であるから、この場合の混合比は、図から約12となる。更に、酸性廃水の発生量に対する尾鉱溢流量の比率は、「表 6-2-2 酸性廃水量と尾鉱分級溢流量の比率」に示す通り、2003年、豊水年のケースでは混合比は平均 7であり、混合比で約 5だけ不足することになる。

昨年度(1993年9月)の連続試験の結果では、二段目のpH4からpH9まで中和するた

めに必要な溢流の混合比は5.5であり、同じくCaOで中和するとすれば、 4.3kg/m^3 必要とする。（「表 4-4-9 試験結果一覧表(1993年9月)」資料集参照）

従って、混合比 5の不足分に相当するCaOとして $3.9\text{kg/m}^3 (=4.3 \times 5/5.5)$ を添加する必要がある。（中和pHと溢流混合比がほぼ比例するものとして）

一方、1993年9月の試験に用いた混合酸性水は、2003年、豊水年、リーチング銅として4000t/年の場合であり、その水質を代表する 8.4AXは11000ppmである。これに対し、最終的な廃水処理計画の酸性廃水は、2003年、豊水年、リーチング銅2000t/年のケースであり、その8.4AXはほぼ8500ppmであるから、この混合酸性水を一段中和で処理するとすれば、必要なCaO量は $3.0\text{kg/m}^3 (=3.9 \times 8500/11000)$ となる。

酸性廃水の処理量は約 $4\text{万m}^3/\text{日}$ であるから、一日当たり必要とするCaO量は、 $120\text{t}/\text{日} (=3.0\text{kg/m}^3 \times 4\text{万m}^3/\text{日})$ である。

試験の結果、この混合酸性水にたいして、二段中和ではCaOは全く必要としないことから、一段中和に比較して $120\text{t}/\text{日}$ のCaO量が節減できることになる。

また、二段中和の試験では、尾鉱溢流中の炭酸カルシウムの消費量は 5kg/m^3 であり、一日当たりの処理酸性廃水量を約 4万m^3 とすれば、 CaCO_3 量として $200\text{t}/\text{日} (=5\text{kg/m}^3 \times 4\text{万m}^3)$ となる。

節減できるCaO量 $120\text{t}/\text{日}$ を理論的に CaCO_3 量に換算すれば、 $214\text{t}/\text{日} (=120\text{t}/\text{日} \times 100/56)$ となるので、両者がほぼ一致する。

このように、二段中和ではCaO量として $120\text{t}/\text{日}$ が節減できる見込みであるが、これを、徳興で使用中の純度約70%のCaOに換算すると、 $171\text{t}/\text{日} (=120/0.7)$ となる。

さらに、二段中和では、消石灰粉碎工場を必要としないことと、その運転経費も必要としないこと、等の利点が考えられる。

また、試験結果から、尾鉱溢流中の炭酸カルシウムの利用率は約50%程度であり、もっとこの利用率を上げ得る可能性がある。

混合酸性水の酸性度が強くなった場合、あるいは逆に、選鉱での消石灰の使用量が減少した場合、一段中和では混合比が更に高くなるが、二段中和では炭酸カルシウムの利用率が上がるので、混合比は一段中和に比較してそれほど高くないと考えられる。このように、二段中和は処理条件が厳しくなっても対応性があると考えられる。

両者の比較を纏めれば、「表 10-1-1 代替案との比較表」に示す通りである。

図 10-1-1 一段中和処理流量バランスシート
 (2003年、豊水年、リチング銅 2000t/年)
 [酸性水:尾鉱溢流合計= 1 : 7]

数字は流量 万 m^3 /日
 ()内は m^3 /分
 [:]内は 酸水:溢流比

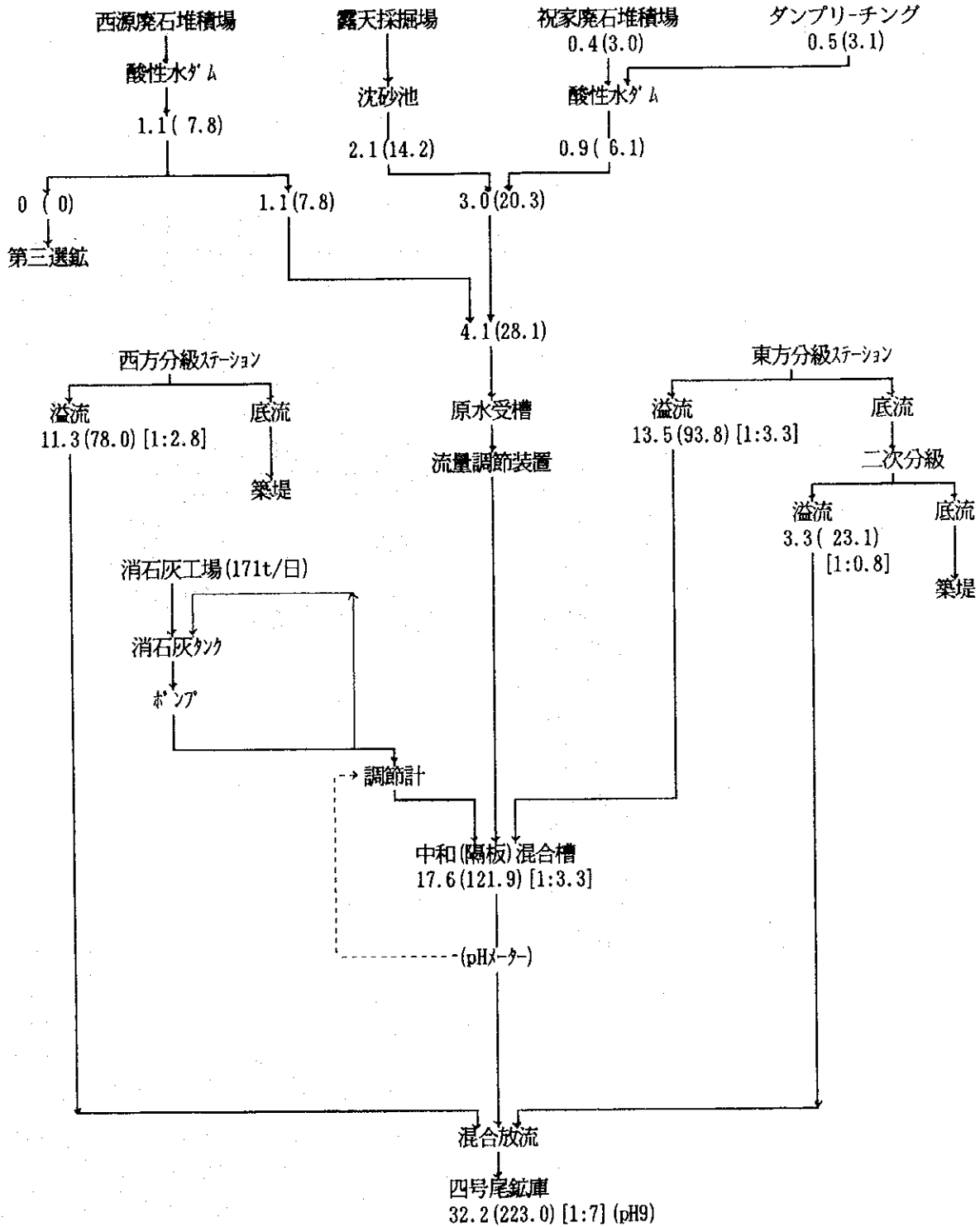
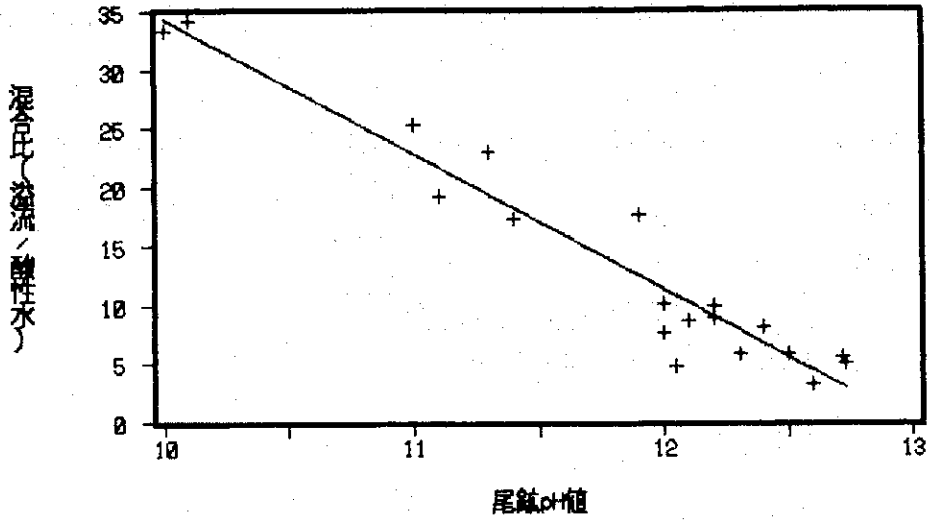


図 10-1-2 尾鉾溢流pHと混合比
北京有色設計院K0452002試験データ



尾鉾溢流pHと混合比

尾鉾溢流pH	混合比	Y=aX+b
12.2	8.9	9.0359473
12.2	10	9.0359473
12.2	9.9	9.0359473
12.4	8.2	6.7360570
12	10.1	11.335837
11.1	19.2	21.685343
11	25.3	22.835288
10.1	34.2	33.184794
10	33.3	34.334739
11.3	23	19.385453
12	7.6	11.335837
11.4	17.3	18.235508
12.3	5.8	7.8860021
12.1	8.6	10.185892
12.6	3.2	4.4361668
12.5	5.8	5.5861119
11.9	17.7	12.485782
12.05	4.8	10.760864
12.73	5	2.9412381
12.72	5.5	3.0562327

回帰分析の結果:

Y 切片 (b)	149.32925
Y 評価値の標準誤差	2.6828737
R ² 乗	0.9235117
標本数	20
自由度	18
X 係数 (a)	-11.49945
X 係数の標準誤差	0.7800404

表 10-1-1 代替案との比較表

項 目		二段中和法	代替案 (一段中和法)
処理法の概要		酸性廃水と第三選鉱尾鉱溢流をほぼ1:1の割合でpH4に保ち、30分強制攪拌する(一次中和)。余剰の溢流は更に自然落差を利用して混合し、堆積場に放流するが、この時、第一、二選鉱尾鉱溢流と混合放流し、pH9にする(二次中和)。バランス上溢流量は不足しない。 (混合比=溢流量/酸性水量=7)	酸性廃水と選鉱尾鉱溢流を混合して、一気に pH9に中和する。混合方法としては、自然落差を利用して乱流をつくり、そのまま、堆積場に混合放流堆積する。バランス上、溢流が不足するので、その分は消石灰を補充する。 (混合比=溢流量/酸性水量=12)
設備投資		一次中和装置を余分に必要とする。	隔板混合槽が主要設備となる。消石灰工場を必要とする。
操業費	電力	一次中和槽での攪拌用動力、及び槽下底抜き出し繰り返し用ポンプ動力を必要とする。 2003年、豊水年で、14400kWh/日	消石灰工場用の電力以外は電力を必要としない。
	中和剤	溢流中の炭酸カルシウムを利用するので、酸性水と溢流の量は7でバランスしpH9になる。従って、溢流だけで中和できる。	溢流中の消石灰だけしか利用できないので、不足分を補充する必要がある。 2003年、豊水年、リナグ銅、2000t/年の補充生石灰量は、171t/日(純度70%)
将来性及び対応性		酸性廃水の酸性度が強くなった場合や、溢流のアルカリ度が低下した場合でも、炭酸カルシウムの反応率が上がる可能性があるため、水質変動に対し対応性がある。	酸性廃水の水質が悪化したり、尾鉱溢流中の消石灰分が不足した場合は、消石灰を増やす必要がある。

10-2 覆土・植栽及び清水と濁水との分離

10-2-1 廃滓堆積場の覆土・植栽

徳鉱銅鉱山では、1965年に1号廃滓堆積場の初期ダム築造、堆積が開始され、1986年に堆積を終了している。また、現在使用中の2号廃滓堆積場は、1984年初期ダムを築造、2005年には堆積を終了する予定である。これらの廃滓堆積場は内盛式堆積場で、堤体下流法面は、覆土（約50cm）が実施されて、周囲から種子（割芒草他）が飛来し、徐々にではあるが自然緑化が進んでいる。しかし、放置されている堆積部には降雨の度に水溜まりができ、自然緑化も進んでいない。

堆積終了後の廃滓堆積場は、速やかに覆土植生工および表面水排水溝工事を施し、雨水による堆積物の洗掘・流出の防止、風による堆積物の飛散防止、並びに、浸透水の減少を図り、地山化を促進することが望ましい。そのまま放置すれば、洗掘・流出が繰り返され浸透水の増加と相俟って、やがてはダムの決壊事故を引き起こす危険がある。したがって、日本においては使用済み堆積場は必ず覆土・植栽等の整備工事が実施されており、過去の休廃止鉱山については政府が勢力的に整備事業に取り組んでいる。

徳興一ダム・土建-019 1、2号廃滓堆積場覆土・植栽計画図
(別冊資料編 参照)

10-2-2 廃石場の覆土・植栽

第3章3-3-2に述べた通り、西源、楊桃塙、祝家等主要な廃石場以外にも、往時の坑内堀の廃石を含め、大小幾つかの廃石場が点在している。沢水は、これらの廃石場を通過すると酸性に変化し、重金属を溶解して流下する。したがって、雨水、沢水をこれら廃石に触れることなく、河川まで導いてやれば、酸性水量を減少させるのみならず、河川の浄化にも大きく寄与できる筈である。

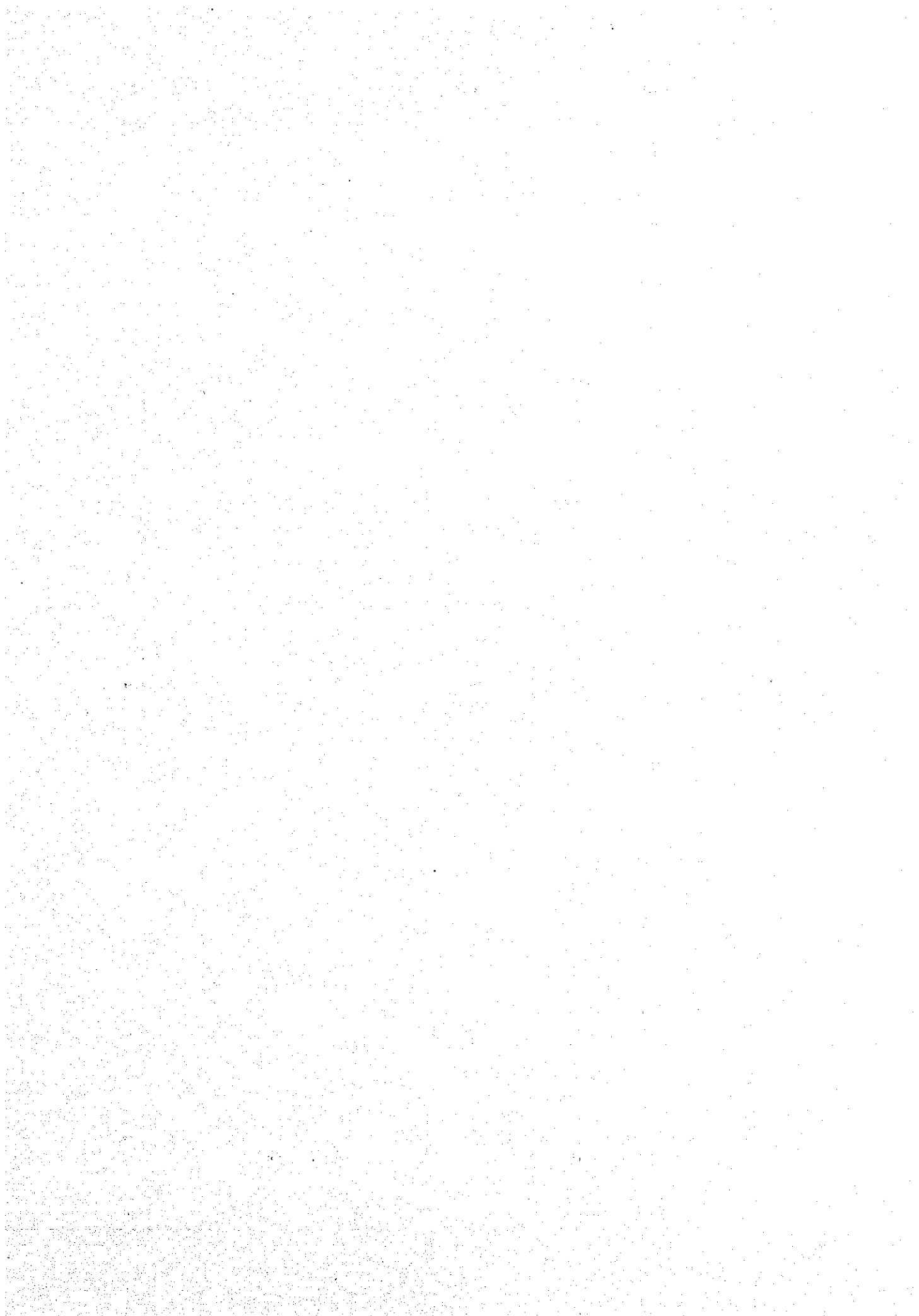
しかし、現状のまま山腹水路等によって沢水（清水）を分離しようとするれば、そのための水路の総延長は莫大なものとなる。そこで、各廃石場の整地、覆土、植栽を進めることによって清水の集水系統を単純化し、かつ、廃石場への浸透水の減少によって酸性水の発生を抑制することが可能になる。その一例として、楊桃塙廃石場について検討した。

徳興一ダム・土建-020 楊桃塙廃石場覆土・植栽計画図

ここでは、上流部の堆積済部分の整地を実施後、覆土・植栽して雨水・表流水をできるだけ浸透させずに排水路に集め、場内水路および山腹水路を経て大塚川まで導こうとするものである。更に今後、下流部の堆積が進めば、完了した部分から都度同様な工事を施工して、清水を集め、この山腹水路に合流させればよいことになる。

楊桃塚堆積場では下流部に酸性水ダムがあるために山腹水路が長くなるが、通常の堆積済の廃石場であれば、整地済場内で直線的に水路を設け、自然の沢に放流することも可能である。廃石への浸透水が減少するので、酸性水の集水・送水も容易となる。また酸性水が減少すれば大塚川上流の旧坑からの汚染水を処理する余裕も出て来よう。

10年計画あるいは、10年以上の計画でもよいが、この様な工事を大小の廃石場に施工し、清水と緑の復元に努力されることを希望する。



10-3 基本設計または詳細設計への助言

(1) パイロットプラント試験

二段中和プロセスは、日本の柵原鉱山の廃水処理をはじめとして実績のある処理プロセスである。但し、今回の徳興銅鉱山の場合、中和剤として選鉱廃滓を利用して、ただ単にそれに含まれる残留消石灰分を活用するだけでなく、原鉱由来の炭酸カルシウム分をも活用することを特徴としている。この様なプロセス、しかも徳興の如き大容量のものは、従来例がなく、しかも、概念設計の基礎とした連続試験は、せいぜい500ml/分程度の容量で、実操業の約10万分の1の規模に過ぎない。

したがって、基本および詳細設計に当たっては、パイロットプラント規模の連続試験を行い、設計精度を高めることが是非必要である。

このパイロットプラント試験を通じ、特に尾鉱溢流を大量に使用することから、攪拌用空気量と沈降性との関係、あるいは中和槽の形状を検討し、適正な空気量を設定されるよう進言する。また同時に、適正な計装ポイントを探り出すことも重要である。

(2) 設計諸元変更への対応

本調査を通しての経験から、中国側から提示され、本概念設計の基礎となった設計諸元値は、時日が経過するにつれ情勢の変化や生産計画の変更その他で、修正を余儀なくされることも考えられる。また、調査団の現地調査の期間が限られていたため、例えば、越冬期の実績データが不足しているなどの問題もある。したがって、今後は徳興銅鉱山自体の調査能力、試験能力を充実して、より実態に合ったデータを収集蓄積することにより、今後の基本および詳細設計に活用されるよう勧めたい。

(3) 計装設備への対応

今度の概念設計では、廃水処理の管理技術の中心となる計装に相当重点を置いているが、計装設備の運用については操業担当者の経験が重要である。設備面の充実とともに、設備操作、運用技術の習得も欠かせない。事前の教育とモラルの向上が必要である。

その意味で、前記パイロットプラント試験は絶好の教育機会なので、試験担当者や一部の技術者だけでなく、本操業に配属予定の担当職員を含めて参加させるよう配慮すべきである。

(4) 既設廃水処理場の改善

廃水処理全体の中では、当然、既設廃水処理場の改善も取り上げられると思うが、第7章で述べた様に、安易な方策に流れることなく、7-5で記載された改善事項を十分中国側において検討され、生かされるよう希望する。

(5) 新規廃水処理場の立地選定

第6章6-1で述べた通り、詳細設計に当たっては4号廃滓堆積場の堆積速度を検討し、候補地点の広範囲な地盤調査（精査）を実施するなど、より慎重に立地選定を実施されるよう勧告する。

(6) ダム・沈砂池について

時間的な制約から、ダムや沈砂池の容量については、中国側の考え方を尊重した計画となっている。詳細設計では、特に、西源ダムの堤頂高と4号廃滓堆積場の堆積スピードとの関係、露天堀沈砂ダムについては、日または時間最大雨量と沈砂容量の問題等突っ込んだ検討の必要が望まれる。

第11章 経済性の検討

第 1 1 章 経済性の検討

1 1 - 1 中国における経済状況

(1) 経済政策

中国経済は経済改革が始まった1979年以来、改革・開放路線の下で急速な変化を示してきた。市場経済化を基本とする経済改革は、外資導入、国営企業の自主権の拡大と改組、人民公社の解体と個人農制、価格改革と自由市場の拡大、金融機構の改革、貿易管理体制の改革等を推進し、中国経済の急激な発展を生みだした。78年～92年の14年間の GNPの年平均成長率は9.0%(一人当たりでは 7.6%) という高率を示し、92年の GNPは実質ベースで78年のほぼ 3.3倍に増加している。加熱気味ともいえる中国経済は93年も活況を呈し、国内総生産は13.4%増を記録し、92年の12.8%を上回る高成長となった。

現在中国が進めている経済政策の基本は改革・開放路線の徹底化である。92年10月の共産党第14回大会で、経済政策の目標として「社会主義市場経済」というスローガンが打ち出され、93年11月の中共第14期 3中総会で「社会主義市場経済体制の確立にかかわる諸問題についての決定」が採択された。これは、企業、金融、財政、税制、所得分配、社会保障、貿易など各分野における今後の改革の方向と手段を示したものである。

以下に、「決定」で示された経済改革の主要課題と最近実施に移された経済政策の主なものを挙げる。

(a) 国有企業の改革

国有企業における自己責任制を確立し、政府による直接的コントロールを排除する。これにより近代的企業制度を確立する。具体的には、

- ・自らの財産に対する所有権の確立
- ・政府と企業の分離
- ・近代的な内部管理制度の確立
- ・新しい企業財務会計制度の確立

である。このため、国有企業は国家全額出資会社や一部出資する株式会社などに改造される。また、資本金の概念を導入するなど市場経済一般の制度導入を図る「企業会計準則」、「企業財務通則」が93年 7月より施行され、財務諸表の作り直しが始まっている。また、会社法が93年12月に公布された。

(b) 金融システムの改革

政府系銀行の中で混在している政策的業務と商業的業務を組織的に分離する（中国人民銀行は中央銀行としての業務に専念、政策銀行の設立等）。また、金融政策の実施手段を法定準備金や公定歩合操作、公開市場操作などに変えていく。

(c) 税制改革

複雑化した租税体系を統一・簡素化し、税負担の公平化を図る。

- ・ 税率がバラバラだった付加価値税と産品税を原則17%の付加価値税に統一。
- ・ 第三次産業の企業にかかる営業税を簡素化。
- ・ 外資系企業に対する工商統一税を廃止し、内資系企業と同じ付加価値税または営業税を課税。
- ・ 企業所得税は33%に統一。
- ・ 個人所得税は3種類あったが1種類に統一。

以上の新税制は94年元日より施行された。

(d) 対外経済面での改革開放の拡大

- ・ 全方位開放の推進
- ・ ガット加盟を目指し、国際的なルールに準拠した規制緩和（関税引き下げ、輸入障壁の削減等）
- ・ 為替制度の改革

中国人民銀行は1994年1月1日為替制度の改革を発表した。その骨子は：

- Ⅰ. 外貨兌換券の発行を停止し、為替レートを一本化
- Ⅱ. 新レートは1ドル = 8.7元（公定レートの33%切り下げ）
- Ⅲ. 銀行間取引の新外国為替取引市場を創設

銀行間取引による新しい外為市場は1994年4月に発足した。但し、外為市場に参加して人民元を外貨に換えられるのは中国の外為指定銀行のみで、外資系銀行は外貨を売って人民元を買うことしか出来ない。

(2) 徳興銅鉱への経済改革の影響

(新会計システムの導入)

徳興銅鉱山は江西銅業公司の一事業所であるため、徳興銅鉱自身としては貸借

対照表は作成していない。銀行借り入れ、主要な人事・経営意志決定も江西銅業公司が行っている。しかし、国营企業の改革が進む中で、1993年7月江西銅業公司にも新会計システムが導入されたことに伴い、徳興銅鉱でも新会計システムの下で経理処理が行われている。そして、国营企業の独立採算制導入に連動して、徳興銅鉱も従来行われていなかった一事業部としての収支計算を行う（内部利潤の算出）こととなり、一事業体としての経営責任が企業内部において強化されることとなった。売上げ収入計算のための銅価は LME 建値が使われている。内部利潤は次のようにして算出される：

収入
－ 製造コスト
－ 管理費
－ 金融費用
± 営業外収支（罰金支払等）
<u>± 投資収益（利益分配）</u>
計 内部利潤

（社宅の払い下げ）

中国では、企業が従業員を丸抱えて面倒を見るのが普通であり、社宅についても企業がただ同然の家賃で社宅を従業員に提供している。徳興銅鉱山では昨年社宅を有償で従業員に払い下げた。これは新しい従業員用の社宅建設資金が不足しているため社宅払い下げにより建設資金を集めようとするものである。この現象は独立採算制が導入され、資金調達も自己の責任で行わなければならなくなった結果と思われるが、一方で、このように従業員が自分の家を所有するということは今まで例のなかったことであり、中国の経済改革がもたらした新しい一面を示すものである。

（3）物価動向

「中国統計年鑑1993」によると全国小売り物価指数の推移は次の表11-1-1の通りである。

表11-1-1 全国小売物価総指数 (%)

1988	1989	1990	1991	1992	1993
18.5	17.8	2.1	2.9	5.4	13.0

経済が加熱気味に推移した93年は13.0%と高い上昇率を示した。とりわけ、価格自由化が行われつつある食糧、建築資材、燃料はそれぞれ 27.7%、28.8%、35.0%と大幅に上昇した。また、サービス価格も29.7%の高騰を示した。

現地調査時のヒアリングによると、この2年間の生活関連物価（南昌）は下表に示すように高い上昇率を示している。

表11-1-2 生活関連物価上昇率

	2年前	現在	上昇率
米	0.6元/kg	2.2元/kg	267%
豚肉	6元/kg	18元/kg	200%
食用油	4元/kg	8元/kg	100%
タバコ	3元	5元	67%
電気代	0.2元/kwh	0.43元/kwh	115%
ガソリン	1.2元/l	1.9元/l	58%
理髪代	0.5元	1.5元	200%
新聞	0.15元	0.4元	167%
汽車賃	17元	38元	124%
(南昌-上海)			

11-2 建設費用の積算

11-2-1 積算の基礎

新設廃水処理場の建設費は以下の前提条件及びデータに基づき算定した。

(1)税金関係

- ・ 増値税 (=付加増値税) 17% が財・サービスに対して課税される。(食品・木材は13%)。輸入品も課税対象であり、課税のベースはCIF + 関税。
- ・ 工事費見積額には、営業税 ((直接費 + 間接費) x 5%)、都市建設保護税 (営業税の5%)、教育費付加 (営業税の2%) が含まれる。
- ・ 所得税 800元/月以上に対して課税。

(2)輸入品

輸入品の価格は次により算出する：

$$\text{CIF} + \text{関税} + \text{増値税} ((\text{CIF} + \text{関税}) \times 17\%) + \text{商社口銭} (\text{CIF} \times 1.5\%) + \text{銀行手数料} (\text{FOB} \times 0.4\%) + \text{運賃} (\text{FOB} \times 2\%)$$

(3)国内調達品

江西省造値管理处 (建設庁の下部機関) が設定している建設関係積算基準値 (1994年 1月改訂) を適用。

(4)人件費

中国有色金属工業工程建設一級施工人事費標準に基づき7.5元/工・日で計算。

(5)工事費

工事費の内訳は次のとおり：

I. 直接費

- ①人件費
- ②材料費
- ③機械損料
- ④その他

II. 間接費

① 工事管理費

② その他

イ. 臨時施設費

ロ. 労働保護基金

ハ. 流動施工補助

ニ. 遠地施工増加費

III. 計画利潤

$(I + II) \times 7\%$

IV. 税金

$(I + II + III - \text{イ} - \text{ロ}) \times 3.31\%$

(6) 銀行借り入れ金利

鉱業セクターの銀行借り入れ金利は次の通り：

期間	金利
1 - 3 年	9.72%
3 - 5 年	10.98%
5年以上	11.16%

建設期間中の金利は11.16%を適用した。

(7) 建設期間と建設費の支出

2年。初年度60%、2年度40%を支出。

(8) 設備運搬費

設備価格の7%を計上。

(9) 間接費

直接費（＝建設費＋設備費＋据付費）の11.25%。

(10) 予備費

（直接費＋間接費）の15%及び建設期間中の物価上昇分（6%）を予備費として計上。

(11) 機械設備の購入

設置する機械設備は経済性を重視し、技術的に問題ない限り中国製を使用することとした。外国製（日本製）は電気・計装設備の一部及び環境モニタリング設備のみ。

(12) 輸入関税

日本からの輸入品に係る関税は12%～30%。

(13) 通貨

表示は全て中国元とする。外貨部分（日本円）の交換レートは、元＝12円とする。

11-2-2 総投資額

廃水処理場建設に係わる総投資額は表11-2-1に示すとおり9,953万元である。この内施設の範囲内に相当する投資額は5,101万元、範囲外の投資額は4,852万元である。なお、消石灰工場については、当面建設する計画ではないため総投資額からは除外してある。

表11-2-1 総投資額

(金額単位：万元)

摘 要	範囲内	範囲外	合 計
直 接 費			
工 事 費	1,765.12	2,791.80	4,556.92
設 備 費	1,444.68	239.14	1,683.82
据 付 費	85.12	70.95	156.07
小 計	3,294.92	3,101.89	6,396.81
その他費用			
間 接 費	370.68	348.96	719.64
予 備 費	549.84	517.63	1,067.47
同(価格アップ)	277.47	339.07	616.54
建 中 金 利	568.33	544.89	1,113.22
小 計	1,766.32	1,750.55	3,516.87
建 設 費 合 計	5,061.24	4,852.44	9,913.68
環境モニタリング設備費	39.47		39.47
総投資額	5,100.71	4,852.44	9,953.15

直接費の工事項目別内訳を表11-2-2に示す。また、直接費の中の設備費の内訳は表11-2-3のとおりである。

また、上記総投資額の中の外貨部分は表11-2-4に示すとおり1,007万円で、総投資額の10%を占める。外貨部分（日本価格見積）の項目別価格内訳を表11-2-5に示す。

表11-2-4 総投資額に占める外貨部分

摘 要	金 額 (万円)
1. 電気関連設備	967.89
2. 環境モニタリング設備	39.47
合 計	1,007.36

なお、今回の外貨部分とは積算において日本価格で見積もりを行った設備を示しており、厳密な意味での中国製、外国製の区分を示していない。すなわち、外国製であっても中国での購入価格が判るものは中国見積もりとし、逆に、中国製採用が有力であっても、概念設計だけでは中国で見積もり不可能なものは日本見積もりとしている。

表11-2-2 建設費内訳

(単位金額; 万元)

摘 要	建 設 費			計
	工事費	設備費	据付費	
〔範囲内〕				
1. 土木建築工事				
(1) 敷地造成工事				
土工事	668.49			668.49
砂利舗装工事	21.12			21.12
排水溝工事	8.29			8.29
法面工事	28.59			28.59
緑化工事	7.50			7.50
囲障工事	15.51			15.51
計	749.50			749.50
(2) 建築工事				
a. ブLOWER、コンプレッサー室建家				
一般土建	47.46			47.46
給排水	0.68			0.68
照明	1.36			1.36
小計	49.50			49.50
b. 電気、計装、試験、事務室建家				
一般土建	70.27			70.27
給排水	1.53			1.53
照明	2.45			2.45
小計	74.25			74.25
c. 工場内配管配線工事	309.41			309.41
d. 修理工場				
一般土建	30.32			30.32
給排水	0.57			0.57
照明	1.14			1.14
小計	32.03			32.03
e. 車庫				
一般土建	7.42			7.42
給排水	0.16			0.16
照明	0.32			0.32
小計	7.90			7.90
計	473.09			473.09
合計	1,222.59			1,222.59

摘 要	建 設 費			計
	工 事 費	設 備 費	据 付 費	
2. 機械工事				
(1) 原水受槽				
a. 一般土建	68.00			68.00
b. 修繕用作業床	2.38			2.38
c. 配 管	8.00			8.00
計	78.38			78.38
(2) 溢流分配槽				
a. 一般土建	33.40			33.40
b. 修繕用作業床	6.65			6.65
c. 鋼製溢流槽	20.40			20.40
d. 配 管	1.50			1.50
計	61.95			61.95
(3) 一次中和槽				
a. 一般土建	251.24			251.24
b. 修繕用作業床	85.50			85.50
c. 配 管	15.00			15.00
d. 機械設備及び据付		9.74	1.20	10.94
計	351.74	9.74	1.20	362.68
(4) 一次中和返送ポンプ				
a. 一般土建	12.56			12.56
b. 修繕用作業床	9.50			9.50
c. 鋼 材 枠	8.50			8.50
d. 配 管	3.70			3.70
e. 機械設備及び据付		6.66	0.67	7.33
f. 動力配線	1.69			1.69
計	35.95	6.66	0.67	43.28
(5) 二次中和混合槽				
a. 一般土建	27.14			27.14
b. 修繕用作業床	5.70			5.70
計	32.84			32.84
(6) 一次中和槽攪拌空気設備		240.75	15.84	256.59
(7) コンプレッサーエヤー設備		11.79	0.78	12.56
(8) 機器冷却水設備	3.00	11.13	3.49	17.62
(9) 天井走行クレーン		34.51		34.51
(10) 軽油タンク（発電機用）	0.56	1.77	0.79	3.12
合 計	542.53	316.35	44.66	903.54

摘 要	建 設 費			計
	工 事 費	設 備 費	据 付 費	
3. 電気設備及び据付費		565.80	17.55	583.35
4. 発電機設備及び据付費		418.07	3.80	421.87
5. 計装設備及び据付費		76.86	15.31	92.17
6. 修理工場用設備及び据付費		23.46	3.35	26.81
7. 試験用設備及び据付費		7.87	0.45	8.32
8. 運搬設備		36.27		36.27
総 計	1,765.12	1,444.68	85.12	3,294.92
〔 範 囲 外 〕				
1. 各ポンプステーション改造	17.48	239.14	70.95	327.57
2. 西源酸性水ダム構築	1,404.55			1,404.55
3. 露天沈砂池構築	8.50			8.50
4. 酸性水輸送配管工事	687.01			687.01
5. 生活、生産用給水配管工事	56.08			56.08
6. 送電線工事	77.00			77.00
7. 道路工事	541.18			541.18
合 計	2,791.80	239.14	70.95	3,101.89
総合計	4,556.92	1,683.82	156.07	6,396.81
参 考				
(既設廃水処理場関係)				
1. 楊桃場ダム嵩上工事				526.60
2. 間 接 費				59.25
3. 予 備 費				57.56
4. 同上価格アップ				87.88
5. 金 利				92.51
計				823.80
6. 設備等改善費用				(未計算)

表11-2-3 設備費内訳

(単位金額; 万円)

品名	数量	単価	金額	備考
〔範囲内〕 (機械設備)				
1. 一次中和槽				
(1) ブレーキ弁 400	3	0.37	1.11	
(2) " (耐酸) 400	4	1.02	4.08	
(3) " (耐酸) 500	1	2.12	2.12	
(4) バダフライ弁 300	9	0.27	2.43	
計			9.74	
2. 一次中和返送ポンプ設備				
(1) 一次中和返送ポンプ	6	1.07	6.42	
(2) 保全会用クレーン	1	0.24	0.24	
計			6.66	
3. 一次中和槽攪拌空気設備				
(1) 攪拌空気ブロワー	3	80.25	240.75	
4. コンプレッサーエヤー設備				
(1) 空気圧縮機 (水冷式1、空冷式1)	2	5.40	10.80	
(2) 圧縮空気脱湿機	1	0.45	0.45	
(3) レシーバータンク	1	0.54	0.54	
計			11.79	
5. 機器冷却水設備				
(1) 空冷塔	1	4.23	4.23	
(2) 冷却水給水ポンプ	2	1.75	3.50	
(3) 冷却水返送ポンプ	2	1.70	3.40	
計			11.13	
6. 天井走行クレーン	1	34.51	34.51	
7. 軽油タンク				
(1) 軽油タンク	1	1.07	1.07	
(2) 軽油送油ポンプ	2	0.35	0.70	
計			1.77	
合計			316.35	

品名	数量	単価	金額	備考
(電気設備)				
1. 受変電設備				
(1) 手動気負荷開閉器 (AS)	2	0.48	0.96	
(2) 自動真空負荷開閉器 (VAS)	2	19.33	38.65	日本製
(3) 受電盤	1	34.23	34.23	日本製
(4) 配電盤	1	189.06	189.06	日本製
(5) 変圧器 500KVA	1	6.55	6.55	
(6) 変圧器 100KVA	1	2.14	2.14	
(7) コンデンサ盤	1	5.36	5.36	
(8) 直流電源装置	1	82.91	82.91	日本製
計			359.86	
2. 動力設備				
(1) リアクトル起動盤	3	24.49	73.46	日本製
(2) モーターコントロールセンター	1	105.24	105.24	日本製
(3) 現場操作スイッチ盤	6	0.16	0.96	
(4) コントロールディスク	1	26.28	26.28	日本製
計			205.94	
3. 非常用発電機				
	1	418.07	418.07	日本製
(計装設備)				
合計				
			983.87	
1. 無停電電源装置	1	2.14	2.14	
2. PH計	6	5.89	35.34	
3. フランジ形差圧発信器	1	0.27	0.27	
4. 超音波式変換器	1	3.21	3.21	
5. フロート式スイッチ	1	0.32	0.32	
6. //	3	0.32	0.96	
7. 測温抵抗体温度計	2	0.03	0.06	
8. 電磁流量計	3	3.75	11.25	
9. 電磁弁	1	0.27	0.27	
10. バタフライ弁	3	2.14	6.42	
11. モトシール弁	3	1.61	4.83	
12. 計装盤	1	3.59	3.59	
13. 計装用空気圧力計	1	0.01	0.01	
14. オリフィスプレート	6	1.37	8.19	
計			76.86	

品名	数量	単価	金額	備考
(修理工場用設備)				
1. 施 盤	1	7.26	7.26	
2. ボール盤 φ15	1	0.23	0.23	
3. ボール盤 φ30	1	2.44	2.44	
4. 回転サンダー	1	0.17	0.17	
5. 取付け万力	2	0.05	0.10	
6. 電気溶接機	2	0.62	1.24	
7. フライス盤	1	11.74	11.74	
8. ガス溶接機	1	0.28	0.28	
計			23.46	
(試験用設備)				
1. 酸 度 計	3	0.12	0.36	
2. 分光光時計	1	0.30	0.30	
3. 原子吸収分光光度計	1	4.82	4.82	
4. 分析用天秤	1	0.39	0.39	
5. 電気冷蔵庫	1	0.41	0.41	
6. 電気ストーブ	4	0.02	0.08	
7. 電気乾燥箱	1	0.65	0.65	
8. 回転真空ポンプ	1	0.54	0.54	
9. 通風ダクト	1	0.32	0.32	
計			7.87	
(運搬設備)				
1. ワゴン車	1	8.78	8.78	
2. ダブルシートピックアップトラック	1	6.44	6.44	
3. 北京ジープ	1	21.05	21.05	
計			36.27	
総 計			1,444.68	
[範囲外]				
(各ポンプステーション改造設備)				
1. 浮船ポンプステーション				
(1) 水ポンプ浮船	1	9.36	9.36	
(2) 耐酸ポンプ	3	5.67	17.01	
(3) 真空ポンプ	1	0.27	0.27	

品名	数量	単価	金額	備考
(4) 手動ウィンチ 0.5t	1	0.04	0.04	
(5) 変圧器 200KVA	1	2.91	2.91	
(6) 負荷スイッチ FN5-10	1	0.22	0.22	
(7) 低圧配電盤	2	3.21	6.42	
(8) コントロールボックス	3	0.37	1.11	
(9) 超音波液面計	1	1.07	1.07	
(10) デジタル表示コントローラ	1	0.17	0.17	
(11) 電磁流量計	1	3.75	3.75	
(12) ボックス型計器盤	1	0.98	0.98	
(13) 警報器	3	0.12	0.36	
(14) 変圧器	1	1.56	1.56	
計			45.23	
2. 酸性水加圧ポンプステーション				
(1) 水ポンプ	3	5.55	16.65	
(2) ウィンチ用モノレール手動キャリア	1	0.24	0.24	
(3) 変圧器	1	5.65	5.65	
(4) 負荷スイッチ	1	0.32	0.32	
(5) 低圧スイッチ引出し	3	3.75	11.25	
(6) コントロールボックス	3	0.37	1.11	
(7) 超音波液面計	1	1.07	1.07	
(8) デジタル表示コントローラ	1	0.17	0.17	
(9) 電磁流量計	1	3.34	3.34	
(10) デジタル表示計	1	0.11	0.11	
(11) ボックス型計器盤	1	0.98	0.98	
(12) 警報器	3	0.12	0.36	
(13) 変圧器	1	1.56	1.56	
計			42.81	
3. 新2井スラリーポンプステーション				
(1) 水ポンプ	5	16.46	82.30	
(2) ウォーターハンマー緩衝器	1	1.35	1.35	
(3) 手動バタフライ弁 400	5	0.64	3.20	
(4) 手動バタフライ弁 600	1	1.28	1.28	
(5) 電動バタフライ弁 400	5	3.00	15.00	
(6) チェックバルブ	5	2.44	12.20	

品名	数量	単価	金額	備考
(7) 高圧スイッチボックス	6	4.28	25.68	
(8) コントロールボックス	5	0.44	2.20	
(9) 超音波液面計	1	1.07	1.07	
(10) デジタル表示コントローラ	1	0.17	0.17	
(11) 電磁流量計	1	3.75	3.75	
(12) ボックス型計器盤	1	0.98	0.98	
(13) 警報器	3	0.12	0.36	
(14) 変圧器	1	1.56	1.56	
計			151.10	
合計			239.14	
総計			1,683.82	
(環境モニタリング設備)			39.47	
改め総計			1,723.29	

表 11-2-5 輸入機械設備価格

摘要	数量	価格							山元価格 (万円)	
		FOB (万円)	CIF		関税 (万円)	増値税 (万円)	外貿手 続費 (万円)	銀行 費用 (万円)		国内 運賃 (万円)
			(万円)	(万円)						
自動真空負荷閉閉器	2 台	296	307	25.55	6.64	5.47	0.38	0.10	0.49	38.65
受電盤	1 面	294	305	25.38	3.05	4.83	0.38	0.10	0.49	34.23
配電盤	1 式	1,624	1,682	140.20	16.82	26.69	2.10	0.54	2.71	189.06
リアクトル起動盤	3 面	631	654	54.47	6.54	10.37	0.82	0.21	1.05	73.46
モーターコントロールセンター	1 式	904	936	78.04	9.36	14.86	1.17	0.30	1.51	105.24
コントロールスク	1 面	220	228	18.99	2.85	3.71	0.28	0.07	0.37	26.28
直流電源装置	1 台	616	638	53.18	15.95	11.75	0.80	0.21	1.03	82.91
非常用発電機	1 台	3,500	3,626	302.14	45.32	59.07	4.53	1.17	5.83	418.07
小計		8,085	8,375	697.95	106.54	136.76	10.47	2.70	13.48	967.89
環境モニタリング設備	1 式	339	351	29.26	3.51	5.57	0.44	0.11	0.57	39.47
合計		8,424	8,727	727.22	110.05	142.34	10.91	2.81	14.04	1,007.36

注) 海上運賃=FOB x 3.3%、海上保険料=FOB x 0.2924%

関税率=12%~30%、外貿手續費=CIF x 1.5%、銀行費用=FOB x 0.4%