

国際協力事業団
中華人民共和国
有色金属工業總公司

No. 36

中華人民共和国德興銅鉍山 鉍廢水處理計畫調查

最終報告書

1995年3月

德興銅鉍山鉍廢水處理計畫調查共同企業体
代表者 三井金屬資源開發株式会社
構成員 同和工營株式会社

鉍調査
J R
95-111

中華人民共和国德興銅鉍山鉍廢水處理計畫調查

最終報告書

1995
年
3
月

國際協

JICA

105

66.1

MPN

LIBRARY

JICA LIBRARY

1122460 [7]

28461

國際協力事業團

中華人民共和國

有色金屬工業總公司

中華人民共和國德興銅鉍山

鉍廢水處理計畫調查

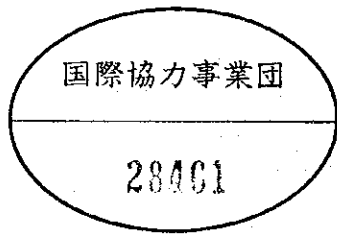
最終報告書

1995年3月

德興銅鉍山鉍廢水處理計畫調查共同企業體

代表者 三井金屬資源開發株式會社

構成員 同和工營株式會社



国際協力事業団

28461

序文

日本国政府は中華人民共和国政府の要請に基づき、同国江西省徳興県にある徳興銅鉍山の鉍廃水処理計画の調査を行うことを決定し、国際協力事業団がこの調査を実施しました。

当事業団は、平成5年3月から平成7年1月までの間、7回にわたり三井金属資源開発株式会社の長濱達也氏を団長とする調査団を現地に派遣しました。

調査団は中華人民共和国政府関係者との協議を行うとともに、現地における調査を実施、帰国後の国内作業を経て、ここに本報告書完成の運びとなりました。

この報告書が、中華人民共和国政府の鉍廃水処理計画の推進に寄与するとともに、両国の友好・親善の一層の発展に役立つことを願うものであります。

おわりに、調査にご協力とご支援をいただいた関係各位に対し、心から感謝申し上げます。

平成7年3月

国際協力事業団
総裁 藤田公郎

国際協力事業団
総裁 藤田 公郎殿

伝達状

拝啓 貴事業団益々御清栄の段大慶に存じ上げます。

ここに謹んで、中華人民共和国徳興銅鉱山鉱廃水処理計画調査に関する報告書を提出いたします。本報告書には、新規廃水処理施設の概念設計を中心とした廃水処理全体計画、環境モニタリング計画および将来を含めた廃水処理と環境改善とに関する提言を示しております。本報告書は、本編、資料編および要約編からなり、本年 1月北京において実施された報告書(案)協議結果も含んでいます。

新規廃水処理場の最適プロセスとして、酸性廃水を、アルカリ廃水である選鉱廃滓溢流を以て中和する 2段中和法を採用しましたが、その第一次中和には、同溢流中に含まれる原鉱由来の炭酸カルシウム分を利用するという画期的なプロセスを開発しました。また、中和攪拌用に空気攪拌を採用したこと、およびプロセス制御のために計装を充実したこと等、いずれも中国側から高い評価を受けております。

どこの国にも似たような事情がありますが、中国においても中央政府の環境に対する厳しい姿勢にも拘らず、現業の第一線では環境への取り組みが緒についたばかりであり、乗り越えねばならない問題が山積しています。それらを解決するためのステップまたはヒントとなるような改善計画や提言にも紙面を割きました。

本プロジェクトは、技術的にはもちろん実現可能であり、経済的にも当事者にとって無理のない建設費、操業費の範囲に収まったものと理解しています。環境改善の面からも是非実現すべきと考えます。

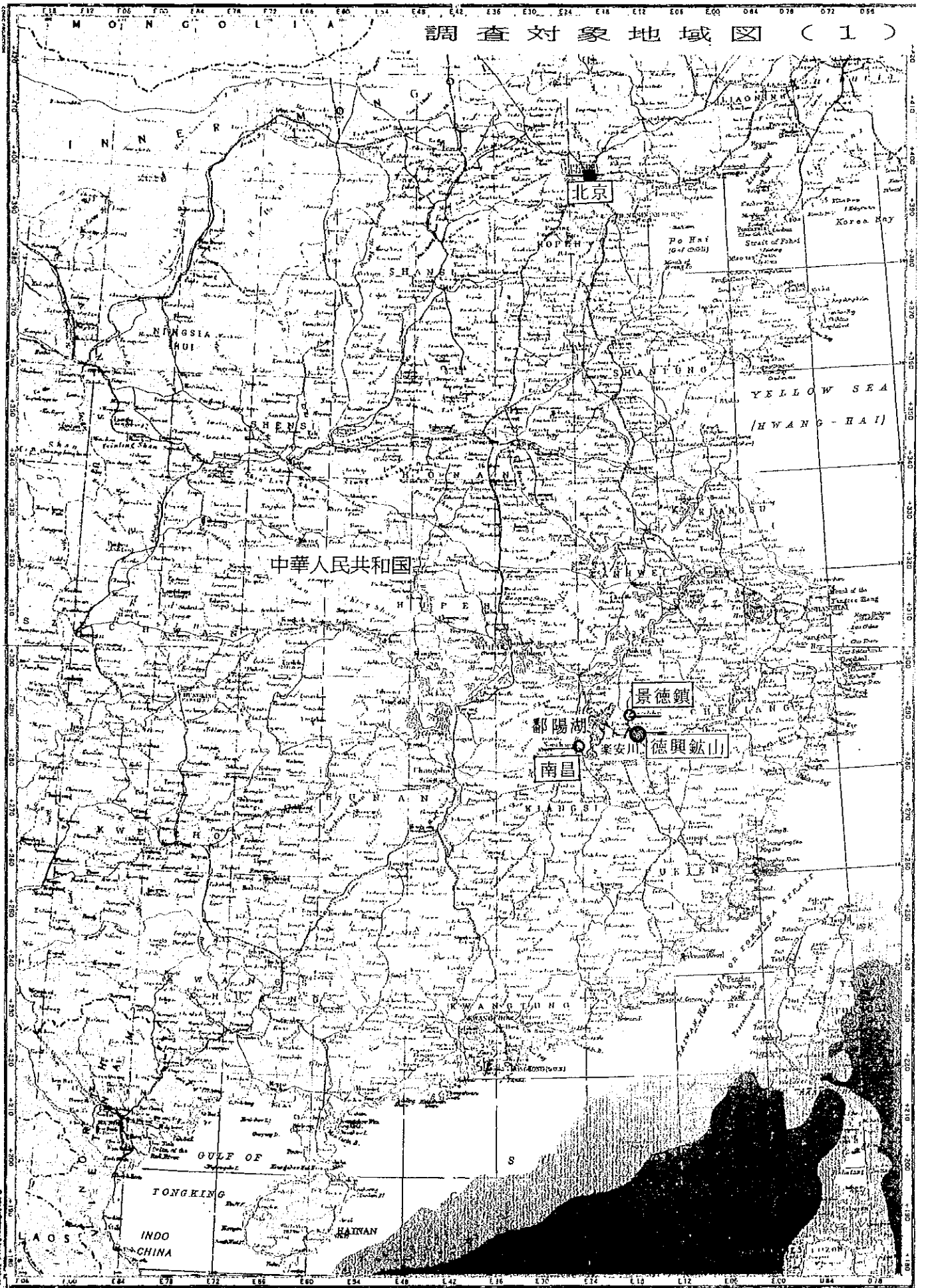
この様な意義のあるプロジェクトに参加する機会を与えて頂いたことに、先ず感謝申し上げますとともに、二年間の長きに亘り御指導、御激励、御協力を頂いた外務省、通産省、国際協力事業団および有色金属工業総公司をはじめとする中国側関係者各位に深甚の謝意を表します。

敬具

1995年 3月

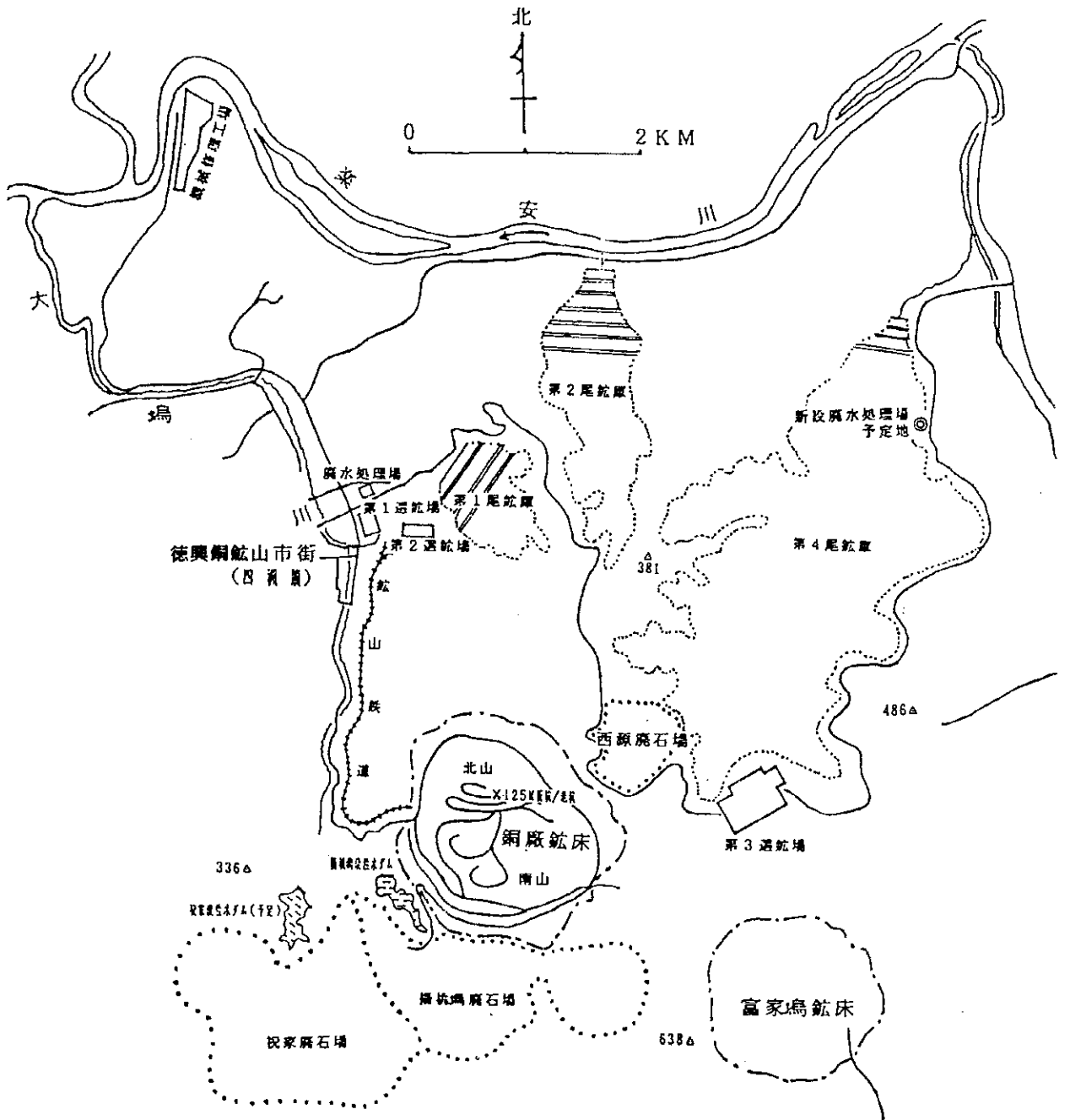
中国 徳興銅鉱山
鉱廃水処理計画調査団
団長 長濱 達也

調查對象地域圖 (1)



調查對象地域圖 (2)

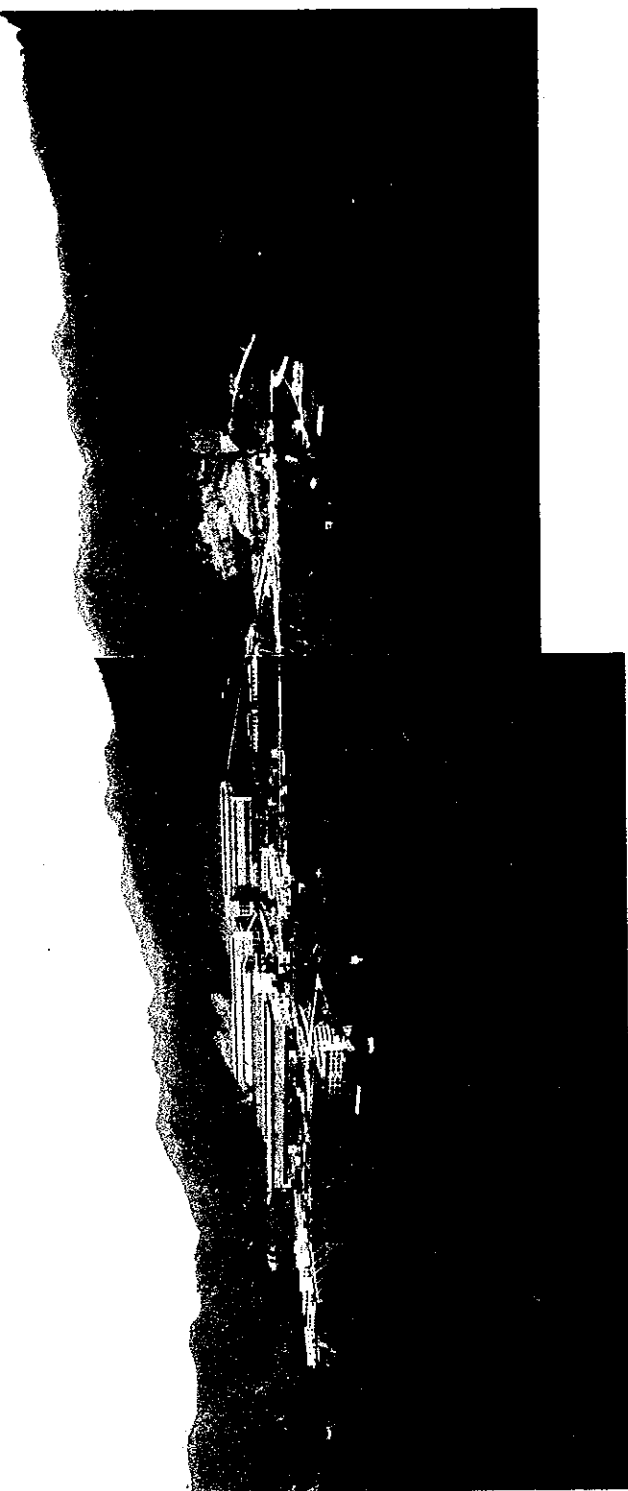
德興銅鉞山概要圖

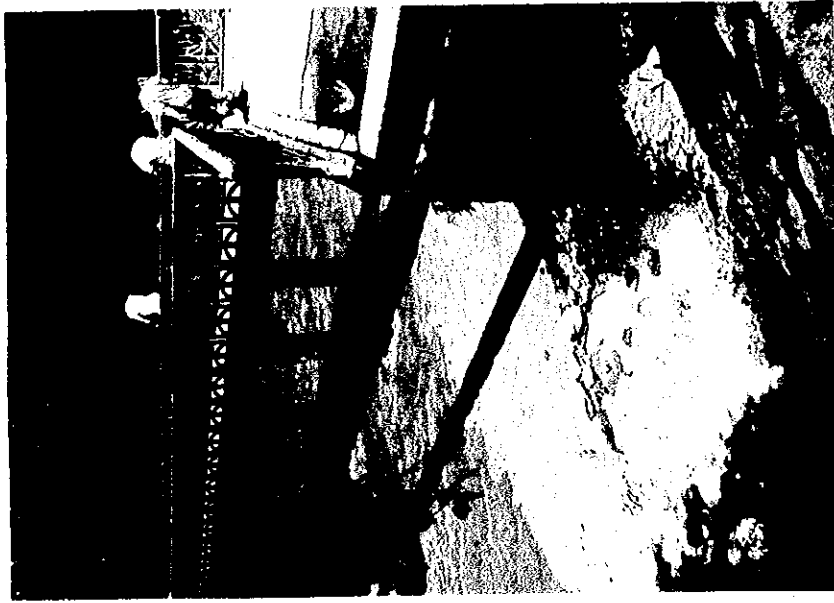


露天掘発破風景



最新鋭の第三選鉱場





選鉱場廃水(手前)が
大塙川(赤茶色)に合流



選鉱場廃水の
大塙川への放流状況



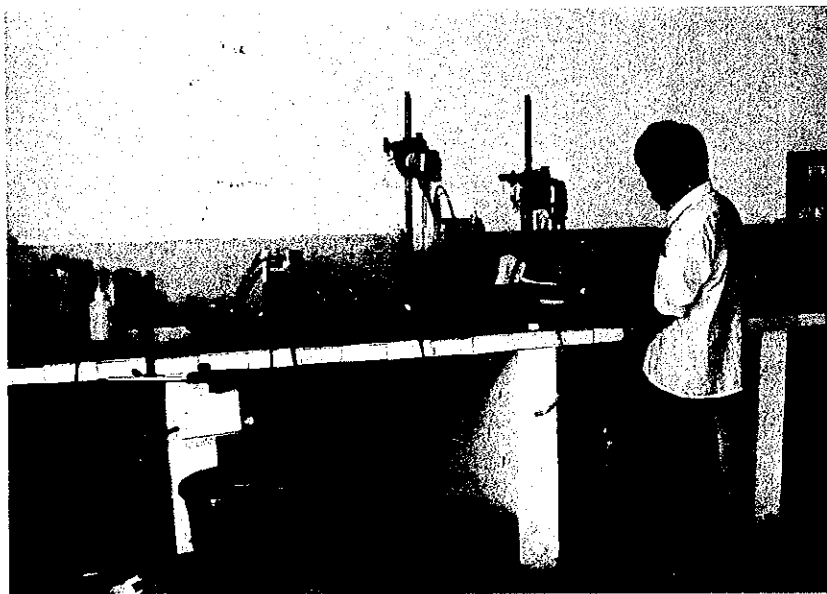
大塙川最上流の旧坑群
(調査範囲外)



周辺水系の
水質調査(1)



周辺水系の
水質調査(2)



処理プロセス選定の
ための連続試験

中国徳興銅鉍山鉍廃水処理計画調査 最終報告書

目次

序文

伝達状

調査地域図(1)、(2)

第1章 序論

1-1 調査の目的	1
1-2 調査の背景・経緯	1
1-3 調査の範囲と内容	4
1-4 調査団の編成と日程	7

第2章 中国における環境問題

2-1 公鉍害の現状	11
2-2 中国の環境政策と組織	13

第3章 徳興鉍山の概要

3-1 徳興鉍山の概況	17
3-2 鉍廃水処理の現状	25
3-3 周辺環境の現状	28
3-4 環境関連法規	35

第4章 鉍廃水の処理量と性状の検討

4-1 降雨と排水系	41
4-2 廃水処理量の計算	54
4-3 廃水処理試験 I：基礎試験	60
4-4 廃水処理試験 II：連続試験	75

第5章 鉍廃水処理基本計画

5-1 処理水量・水質の決定	101
5-2 廃水処理基本技術の選定	117
5-3 廃水処理全体計画	120

第6章 新規廃水処理施設の概念設計

6-1 設計範囲と立地選定	127
6-2 プロセスの選定と設計諸元	139
6-3 機械等設備	147
6-4 電気・計装設備	171
6-5 土木・建築設備	201

6-6	操業計画	202
第7章	既設廃水処理施設の改善計画	
7-1	操業状況	208
7-2	機器保全の現況	218
7-3	問題点の抽出	222
7-4	問題点の検討	231
7-5	改善計画の提案	250
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の検討	259
8-2	酸性廃水貯水計画	265
8-3	送水ルート計画	267
8-4	消石灰施設に関する改善提案	268
第9章	環境モニタリング計画	
9-1	環境監視態勢の現状	281
9-2	環境モニタリングの留意点と問題点	281
9-3	環境モニタリング計画	283
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	287
10-2	覆土・植栽および清水と濁水との分離	292
10-3	基本設計または詳細設計への助言	297
第11章	経済性の検討	
11-1	中国における経済状況	299
11-2	建設費用の積算	303
11-3	操業費用の概算	316
11-4	支出計画	323
11-5	感度分析	324
11-6	経済・財務分析について	326
第12章	結論と提言	335

添付資料

- 添付資料 I 参考文献
- 添付資料 II 中国側提供資料
- 添付資料 III 面談者リスト

資料編目次

別冊資料 鉄酸化バクテリア法についての検討結果

表関係

第4章

- 河川等排水系の水量水質測定結果一覧表 (表4-1-1～表4-1-3)
- 雨量および蒸発量の測定解析結果一覧表 (表4-1-4～表4-1-6)
- 流出量、処理量解析結果一覧表 (表4-2-1～表4-2-3)
- 中和処理連続試験結果表 (1993年9月実施) (表4-4-6～表4-4-12)
- 中和処理連続試験結果表 (1994年7月実施) (表4-4-16～表4-4-30)
- 連続中和試験バランスシート (表4-4-31～表4-4-45)

第7章

- 機器仕様書 (7-5-2(a))
- 機械設備運転管理基準書 (7-5-2(b))
- 機械設備点検管理基準書 (7-5-2(c))
- 点検設備日誌 (7-5-2(d))

図面関係 (別函入り)

I 地質評価関係

第3章 3-3-2

- 北山・南山採掘場水質調査結果図 徳興一 地質評価一001
- 祝家廃石場水質調査結果図 徳興一 地質評価一002

第6章 6-1

- 新設廃水処理場建設候補地点調査結果図 徳興一 地質評価一003

II 機械等設備関係

第6章 6-3

- 新規廃水処理場フローシート 徳興一 設備設計A-001
- 新規廃水処理場位置図 徳興一 設備設計A-002
- 新規廃水処理場配置図 徳興一 設備設計A-003
- 新規廃水処理場設備概略図
 - a 2次中和混合槽 徳興一 設備設計A-004
 - b 溢流分配槽付き水門ゲート 徳興一 設備設計A-005
 - c 空冷塔及び循環槽 徳興一 設備設計A-006
 - d 6.ℓ 軽油屋外貯蔵タンク及び防油堤 徳興一 設備設計A-007
 - e 1次中和槽返送ポンプ回り 徳興一 設備設計A-008
 - f 溢流液流送樋 徳興一 設備設計A-009
 - g 新規廃水処理場歩廊 徳興一 設備設計A-010

h	1次中和槽攪拌空気配管	.....	徳興一設備設計A-011
i	機械基礎基概略設計仕様	.....	徳興一設備設計A-012
第7章	7-2		
	既設廃水処理場現状フローシート	.....	徳興一設備設計A-001
III	電気・計装関係		
第6章	6-4		
	新規廃水処理場PID	.....	徳興一電気・計装-001
	単線結線図	.....	徳興一電気・計装-002
	システム構成図(1/2)	.....	徳興一電気・計装-003
	システム構成図(2/2)	.....	徳興一電気・計装-004
	電気室配線図	.....	徳興一電気・計装-005
IV	ダム・土建関係		
第6章	6-5		
(1)	土木関係		
	敷地造成平面図	.....	徳興一ダム・土建-001
	敷地造成縦断面図	.....	徳興一ダム・土建-002
	敷地造成横断面図	.....	徳興一ダム・土建-003
(2)	建築関係		
	ブローワー・コンプレッサー室建屋		
	平面図、立面図、断面図	.....	徳興一ダム・土建-004
	発電機室、電気室及び事務所建家		
	平面図、立面図、断面図	.....	徳興一ダム・土建-005
	修理工場	平面図、立面図、断面図	.....
	車庫棟	平面図、立面図、断面図	.....
	原水受け槽、溢流分配槽及び中和槽		
	平面図、断面図	.....	徳興一ダム・土建-008
	主要機器基礎図	.....	徳興一ダム・土建-009
第7章	7-5-3		
	楊桃塙酸性水貯留ダム	平面図	.....
	楊桃塙酸性水貯留ダム	断面図	.....
第8章	8-2		
	西源酸性水貯留ダム	平面図	.....
	西源酸性水貯留ダム	断面図	.....
	露天堀り廃水用沈砂池配置図	.....	徳興一ダム・土建-015
	露天堀り廃水用沈砂池設計図	.....	徳興一ダム・土建-016
第8章	8-3		
	送水概要図	.....	徳興一ダム・土建-017
	送水ルート平面図	.....	徳興一ダム・土建-018
第10章	10-2		
	1、2号尾鉱庫覆土・植栽計画図	.....	徳興一ダム・土建-019

第 1 章 序 論

第 1 章 序 論

1-1 調査の目的

本調査は徳興銅鉱山において適切な排水処理対策計画を策定し中国側に提案することを目的とする。具体的には、現地詳細調査を実施し、技術的・経済的・環境的見地から廃水処理に対する合理的な計画を策定し、概念設計を行い調査報告書に添付するものとする。

さらに調査の各手順・過程を通じ日本の先端鉱害対策関連技術を中国側技術者へ移転することにより、同国の鉱山鉱害対策計画を推進実行する人材を育成し、中国が有する類似鉱山の鉱害対策を実施する時の中心的役割を担うよう期待するものである。

1-2 調査の背景・経緯

工業原材料の根幹を担う鉱業は、国の経済発展の基礎となる重要な構成部分であり、世界の各工業大国は鉱業を中心に据えて周辺工業を發展させ現在の繁栄を見るに至っている。

そして現在發展途上国がこの軌跡を追い、鉱工業の前進と国の経済力アップに注力している。中国もその典型であり建国以来着実な経済成長をたどっているが、市場経済を目指している近年の成長は特に著しい。

例えば、中国税関總署の統計によると、次表で見るように、1993年の輸出入総額では、1981年に対し、5倍近い伸びを示している。これを年率に直すと、13.24%

年(月)	輸出入総額	輸入	輸出	備 考
1981	440	220	220	単位：億ドル
1982	416	223	193	
1983	436	222	214	
1984	535	261	274	
1985	696	273	423	
1986	738	309	429	
1987	826	394	432	
1988	1,028	475	553	
1989	1,117	525	592	
1990	1,154	621	533	
1991	1,357	719	638	
1992	1,655	849	806	
1993	1,957	918	1,039	
1994 (1月～8月)	1,378	690	688		前年同期 総額1106 輸入524 輸出582

成長率を示し、更に1990年以降でみると、実に19.25%の高成長を記録した事になる。1994年も、依然高成長期にあり、前年同月比で20%以上の伸びを維持しながら推移している。

一方、環境問題については、中国は比較的取組みが早く、すぐ隣りにある日本の公害問題にも刺激されて、1970年代には故周恩来首相の呼びかけによって全国規模の環境会議が開かれ、1979年には環境保護法（試行）が公布された。しかし、本格的な取組みは、1984年環境保護局の設置を待たねばならなかった。そしてその後相次いで、環境に関する法規が整備制定され、1989年環境保護法、1992年鉱山安全法に至っている。また、第8次5ヶ年計画の重要課題の一つに環境保護が加えられ、1992年共産党大会でも十大政策の一つに取上げられている。具体的には、公害防止に関しては、「三同時」（生産と公害防止とは、同時に計画し、施工し、そして稼働させる）が義務付けられている。これに違反した企業には罰則が適用され、最悪の場合は、生産停止に追い込まれる。

また、国家計画委員会と環境保護局との連名により中国全国の公鉱害排出工場、事業場のリストが公表され、緊急に対策を講ずべき旨の指示が出されている。その中で徳興鉱山は、鉱廃水処理が指摘されており、現在計画または実施中の増産工事と併せ、緊急の課題となっている。事実、周辺の水環境汚染と土壌汚染とが拡大し農作物の被害、住民の健康に深刻な影響を与えるとの指摘もある。また、鉱業区を中心を流れる大鳩川はすでに生物は住めない環境であり、合流する楽安河の魚類の生息も減少し、さらに下流にある中国最大の淡水湖である陽湖への影響が顕在化しつつある。

しかしながら、同鉱山では鉱害防止に対する技術の蓄積が少ないこと及び市場経済化による独立採算制により資金が不十分であることから、見掛けの設備は完成しても、操業管理や設備保全のノウハウ不足による故障が繁発したり、基礎的な調査が不十分なために生産操業との整合性に不具合が発生したり等の問題が生じている。したがって、徳興鉱山の生産規模及び増産計画に対応した廃水処理の抜本対策が未完である。

中国最大の鉱山のかかる事態を重く見た中国政府は、日本政府に対し以下のような協力を要請した。

- (1) 水質環境の実態調査
- (2) 廃水処理技術の選定及び技術の提供
 - ・ バクテリア酸化法
 - ・ 中和法

- ・ 泡沫処理
 - ・ 溶媒抽出法
 - ・ プロセスの自動制御
- (3) 実験室規模の基礎試験
 - (4) 現場での拡大試験
 - (5) 機材の供与

本件採択の可能性について1991年度日中年次協議において議論され、その議論を踏まえて、1991年7月日本政府は鉱工業環境プロジェクト確認調査団を派遣した。折悪しく、長江流域の大洪水と時期が重なったため、サイト調査は実現せず北京において関係者からの事情聴取にとどまった。しかし、同調査の結果、3件あった候補案件の内、本件が最も内容に具体性があるものとして、1件に絞り込まれることとなった。

1992年3月、日本国際協力事業団（JICA）は予備調査団を派遣し懸案のサイト調査を実施して、現地視察、資料収集を行なった。さらに北京において協議議事録に署名し、今後本件実施に向けて、協議を継続する旨確認された。

前回協議議事録の前提条件となっていたダンプリーチング計画の送付を受けたJICAは、同計画内容の検討を経て、1993年11月、事前調査団を派遣した。ここで、本件の実施範囲・内容等について具体的に協議され、実施細則（S/W）及び協議議事録が作成され、それぞれ確認、署名された。

これらを受けて、1993年3月より本格調査が開始された。

1993年12月までに5次に亘る現地調査が実施されたがその間、S/Wの根幹の一つである「概念設計」というコンセプトについて日中間で解釈の相異のあることが顕在化し、調査の進行に支障が生じかねない状況となった。中国側では「概念設計」を「初歩設計」と中国語流に解釈していたが、この「初歩設計」は日本語では「基本設計」に相当する。そのため、1994年3月JICAは特に監理ミッションを派遣し、日中間で生じている解釈の相異を調整した。その後の調査は極めて順調に推移し、本最終報告書のとりまとめに至った。

1-3 調査の範囲と内容

調査対象地域は、中国江西省徳興県内の徳興銅鉍山を中心とした、約10km×10kmの範囲に広がる。対象河川としては、中国最大の淡水湖である鄱陽湖に注ぐ楽安川およびその支流である大塢川である。ただし、楽安川については、大塢川の合流点から上流8km、下流13kmの間に調査地域を限定するよう、中国側から希望された。

調査範囲は1992年11月20日付合意締結されたS/Wおよび1994年3月30日付の合意議事録に基き、実効性のある廃水処理計画を策定し、新規廃水処理施設の概念設計並びに既設廃水処理施設の改善提案を行う。

調査工程は次の四段階に分かれる。

- 第一段階 現地概況把握調査
- 第二段階 現地詳細調査
- 第三段階 廃水処理の基本方針の策定
- 第四段階 概念設計

具体的には次下の通りである。

(1) 国内準備作業

- a) 本調査に関連した既存の資料、報告書等の収集とレビュー
- b) 現地調査に必要な資機材の検討、調達
- c) 調査計画の策定、および着手報告書の作成

(2) 第1次現地調査（現地概況把握調査）

- a) 着手報告書について中国側への説明、調査方針、計画についての協議
- b) 鉍山の増産拡張計画、採鉍・選鉍計画等、鉍山操業全般に関する情報収集
- c) 環境関連法規、公害規則、開発計画等の資料入手および水文、気象、既設処理施設に関する既存情報の収集、レビュー
- d) 酸性水発生源アルカリ性廃水発生源の調査、試料採取、および気象、水文、公害状況に関する状況調査と地質踏査
- e) 既設廃水処理施設の稼働状況調査
- f) 廃水の処理目標水質にかかる予備調査・検討
- g) 現地詳細調査の作業計画の策定

(3) 第2次現地調査（現地詳細調査：前半）

- a) 鉍山周辺水系の水文、水質調査および環境影響の概況把握
- b) 各廃水源の水量、水質調査
- c) 廃水中和試験
- d) 水文水質調査結果および、鉍山側将来計画の検討に基づく設計基本数値の

確定

- e) 新規廃水処理施設にかかわる要素技術の検討と基本フロー案の策定
- f) 既設廃水処理施設の現況調査と問題抽出、処理工程改善の基本案の作成
- g) 地質調査、測量調査

(4) 第1次国内作業

- a) 収集資料の整理、分析
- b) 現地詳細調査計画の見直し
- c) 現地調査用資機材の調達

(5) 第3次現地調査(現地詳細調査:後半)

- a) 鉾山地域内排水系の水量・水質調査・測定
- b) 各廃水の中和繰返し試験
- c) 廃水処理要素技術、基本フローの検討結果協議
- d) 鉾山周辺河川の環境実態調査
- e) 酸性廃水汚染源の踏査

(6) 第2次国内作業

- a) 廃水処理全体計画の基本方針案の策定
- b) 新規廃水処理技術の検討
- c) 新規廃水処理施設の建設計画地点の検討
- d) 新規廃水処理施設に関する要素技術の選定
- e) 既設廃水処理工程の最適化の検討
- f) 地質、地形図の整理
- g) 進捗報告書の作成

(7) 第4次現地調査(廃水処理の基本方針の策定)

- a) 水系ごとの水質、水量に基づく物量バランスの検討と全体計画基本方針の策定
- b) 新規廃水処理施設の建設計画候補地点の選定
- c) 新規廃水処理方式の検討
- d) 概念設計に必要な設計諸元の検討
- e) 既設廃水処理施設の最適化についての基本計画策定
- f) 進捗報告書の中国側への説明と協議

(8) 第3次国内作業

- a) 収集資料、調査データの取りまとめ
- b) 調査基本方針、概念設計に関する調査項目、調査工程の検討

- (9) 第5次現地調査(概念設計)
 - a) 廃水処理全体計画案の策定
 - b) 廃水発生源対策の策定
 - c) 新規廃水処理施設の建設計画地点の選定
 - d) 新規廃水処理工程および処理施設の技術的、経済的検討
 - e) 新規廃水処理場の機械、電気、計装、土木関連施設の検討
 - f) 概念設計に必要な設計諸元の決定
 - g) 既設廃水処理場の処理工程基礎試験
 - h) 環境現況把握およびモニタリング計画の検討
- (10) 第4次国内作業
 - a) 新規廃水処理施設要素技術の検討
 - b) 新規廃水処理方式の決定
 - c) 新規廃水処理施設の設計諸元の決定
 - d) 廃水処理全体計画の策定
 - e) 既設廃水処理施設の改善計画の方針検討
 - f) 中間報告書の作成
- (11) 第6次現地調査(中間報告説明)
 - a) 中間報告書の説明、協議
 - b) 経済性の試算
 - c) 概念設計関連施設の図面作成
 - d) セミナーの開催
- (12) 第5次国内作業
 - a) 新規廃水処理場の概念設計
 - b) 既設廃水処理施設の改善計画の策定
 - c) 操業計画の策定
 - d) 経済・財務分析
 - e) 環境モニタリング計画の提言の作成
 - f) 最終報告書案の作成
- (13) 第7次現地調査(最終報告書案説明)
 - a) 最終報告書案の説明、協議
- (14) 第6次国内作業
 - a) 最終報告書の作成と提出

1-4 調査団の編成と日程

調査団の編成は表1-4-1に示す通りである。当初通訳、業務調整を含めて11名で調査を進めていたが、1994年3月30日付日中協議議事録によって、設計B、電気・計装、ダム・土建およびバクテリア酸化の4部門4名が補強され、15名となった。但し、途中、糸川辰男（環境）が急病のため、止むなく交替したほか、1994年度は日本政府の予算執行の遅れから、日程的な調整がとれず、水文A、地質、通訳および業務調整で団員が入れ替わった。

主要な現地調査を実施した団員は、いずれも10年以上の専門分野の経験を有する技術者を配置した。

調査団の日程を表1-4-2に示す。調査範囲が広大で且つ、廃水発生源、廃水流送系統が複雑に入り組んでいる本調査地域では、極めて厳しい調査日程であった。しかし、中国側のC/Pの積極的な協力によって、調査目標はほぼ達成できたものと考えている。

調査団の編成

氏名	担当	主たる業務内容及び任務	所属
長浜 達也	団長・総括	(1) 調査全体の総括調整 (2) 全体計画の基本方針の企画調整 (3) 報告書作成、報告、説明	三井金属資源開発(株)
鈴木富美男	廃水処理計画	(1) 廃水処理のプロセスの企画 (2) 廃水処理計画の策定及び設計 (3) 総括補佐	同和工管(株)
秋元 喜栄	廃水処理設計 A	(1) 廃水処理施設の設計 (2) 設計計画書、数量表、図面の作成 (3) 主要設備仕様書の作成	同和工管(株)
小田桐 隆	廃水処理設計 B	(1) 消石灰工程現状調査 (2) 受入生石灰の性状調査 (3) 処理工程計画策定	同和工管(株)
島山 良一	電気・計測	(1) 電気・計装関係現状調査 (2) 同上 設計基本方針策定 (3) 同上 機器選定調査	同和工管(株)
石倉 和夫	ダム・土建	(1) 発生源調査、対策案策定 (2) 新設処理場土建設計 (3) 尾鉱庫の安定性検討	三井金属エンジニアリング(株)
柴田 和人	水文 A	(1) 廃水の変動調査 (2) 中和条件試験・沈降試験 (3) 廃水処理の技術選定試験	同和工管(株)
(金龍 之緒) 1994年3月まで 松本 一郎	水文 B	(1) 周辺水系の概要調査 (2) 廃水源の水量水質調査 (3) 気象、地表水理等の解析	同和工管(株)
(福元 勝治) 1994年3月まで 佐久間 昭	地質評価	(1) 周辺地質環境の概況調査 (2) 廃水処理施設建設候補地点の地質評価 (3) 周辺水文調査補佐	三井金属資源開発(株)
大橋 正	測量	(1) 調査に関する地域の地形図整備 (2) 廃水処理施設建設に関する測量指導、 図面作成	三井金属資源開発(株)
桑原 和彦	経済・財務	(1) 廃水処理施設建設の積算 (2) 支出計画 (3) 感度分析	三井金属資源開発(株)
(桑川 辰男) 1993年3月まで 村田 眞利	環境	(1) 周辺環境概況調査 (2) 環境モニタリング計画立案 (3) 気象、水文等の業務補佐	三井金属資源開発(株)
大木 久光	バクテリア 酸化	(1) バクテリア生息環境調査 (2) 本法適用の場合の検討資料 (3) 概略プラントレイアウト策定	三井金属資源開発(株)
(何 培明) 1994年3月まで 鄭 紅	通訳	(1) 会議、作業打合時通訳 (2) 現地調査重点部門通訳 (3) 中国提供資料の翻訳	三井金属資源開発(株)
(佐久間 昭) 1994年3月まで 松浦 治男	業務調整	(1) 現地業務調整 (2) 現地再委託業務接渉 (3) 日程・会議・セミナー等業務調整	三井金属資源開発(株)

表 1-4-1

調 査 日 程

段 階	現地調査		概 念 設 計												
	現地調査	現地調査	概 念 設 計												
現地調査	概 念 設 計												最終報告書		
現地調査	概 念 設 計												最終報告書		
レポート提出	現地調査												最終報告書		
月報	現地調査												最終報告書		
分野	現地調査												最終報告書		
機活(団長)	現地調査												最終報告書		
プロセス設計	現地調査												最終報告書		
設備設計 A	現地調査												最終報告書		
設備設計 B	現地調査												最終報告書		
電気・計装	現地調査												最終報告書		
ダム・土建	現地調査												最終報告書		
水文 A	現地調査												最終報告書		
水文 B	現地調査												最終報告書		
地 質	現地調査												最終報告書		
測 量	現地調査												最終報告書		
経済・財務	現地調査												最終報告書		
環 境	現地調査												最終報告書		
パッケージ化	現地調査												最終報告書		
通 訳	現地調査												最終報告書		
業務調整	現地調査												最終報告書		

表 1-4-2

第 2 章 中国における環境問題

第2章 中国における環境問題

2-1 公鉱害の現状

中国の工業は1980年代に入って、急テンポの発展をとげ、1990年の工業総生産額は1980年の3.3倍に増加し、年平均成長率は12%にもなっている。しかし、その急成長の裏では、生産設備が老朽化し、技術導入も遅れている工場が多く、製品単位当たりのエネルギー消費量や汚染物排出量は増大傾向にある。また、化学や冶金工業の分野では、有害な廃棄物が未処理のまま放置されている場合もあり、一部地域では健康問題も発生している。中国国内に広く分布している郷鎮企業等多くの中小企業は、中国経済の重要な構成部分をなしているが、同時に汚染物の管理や汚染の抑制に大きな問題を起こしやすく、重大な環境汚染源と見做されている。

汚染負荷の大きな産業としては、やはり化学工業や冶金工業で、排ガス中の粉塵や二酸化硫黄、廃水中の重金属を含む有害物質等が問題であり、それらの除去率の向上や廃水の循環率の改善が大きなテーマである。また、中国では電力エネルギーの70%が石炭火力であるため石炭の消費量は莫大であるが、産炭地の炭坑廃水や選炭場廃水、消費地発電所の排ガスや廃水も問題となっている。セメント工業の排ガス中の粉塵や軽工業における汚染物排出量も増加が著しい。

また、鉱山では鉱山廃水以外にも露天掘では落石や山崩れ、坑内掘では崩落があり、その他廃さいダムの崩壊等の問題がある。辺地に存在していても開発により生態系を含む周囲の環境に影響を及ぼしている。

都市環境の問題としては、飲料水源の確保に困難が多く、下水処理網の立ち遅れ、都市ゴミや汚水の処理能力の不足等から、排水中のCODが増加傾向にある。また、工業および車の廃ガスによる大気汚染や各種の騒音等も問題となっている。

中国の河川は水害防止基準が低いため、洪水がしばしば発生している。大河川の水質にも影響が出始めており、特に支流部や都市区域の汚染はかなり深刻になっている。そのため、洪水の被災地区へ汚染が拡大することが危惧されている。大部分の海域では水質は良好であるが、港湾や河口および南部の沿岸地区では汚染が進んでいる。

その他、経済発展と生態環境保全に役立つ森林資源は、もともと中国の国土面積に対して少ないが、乱開発による草原破壊や退化、土石の流出や土地の砂漠化等による生態環境の破壊が大きな問題となっている。

環境関連法規は1970年以降整備されてきたが、法を守らなかったり、守る場合で

も厳格でない状況は現在でも存在している。同時に環境保全技術者が不足しており、かつ環境管理活動の意識水準が低く、環境監視や測定システムが厳密な意味では、未だ整備されていない。

しかし、全般的には、環境保全に対する取り組みは強化され、1983年から1984年の間で大きく改善された。地域或いは、経済の発展段階によって違いはあるが、国の要求する水準の95%は達成したものと評価されている。

2-2 中国の環境政策と組織

2-2-1 環境政策

中国国家環境保護局と国家計画委員会が作成した「中国環境保全行動計画」によれば、①人口の抑制、②環境管理の強化、③環境関連法規の整備とその実施強化を基本政策として、環境汚染の抑制、都市環境の質的向上、生態系の悪化防止をしながら、環境保全と経済発展の調和をはかり、2000年の国民総生産額を1980年の4倍に、21世紀半ばには国民1人当たりの国民総生産額を中進国レベルに引き上げる目標を掲げている。

目標達成のため、①経済建設、②環境建設、③都市・農村建設を同時に計画し、同時に実施し、同時に発展させる三同歩の原則を指導方針として、環境保全を経済および社会発展の重要な構成要素と位置づけた。また、環境保全を厳格に実施させる目的から、工場・事業場の新增設時には、設計→施工→運転の各段階で生産設備と環境保護設備とを同時併行的に進めるべしとした三同時の原則を採択した。また、1980年代に環境保護法に開発建築環境影響報告書の制度を作り、①プロセスの廃棄物の汚染強度、②汚染された面積、規模、深さ等、③汚染についての対策を明記させて、新汚染発生源を規制している。さらに、今までの汚染を解決しない既存企業に対しては、工場の新増設を認可しないこと、工場建設に環境保護局の審査と許可を必要としたことなど、環境保護に関する諸政策を打ち出し、実行に移している。

具体的には、プラントの建設から終了まで汚染物の処理計画を明確にするように義務づけ、廃棄汚染物の十分な処理能力を有する工場だけに建設を許可している。その一方で、1993年に環境保護委員会を発足させ、法律等の制定を指導しかつ法律の執行部門である各地方政府と環境保護局の法執行状況を監督検査する責務を担わせ、既存汚染源の対応策について期限をつけさせ、汚染者が汚染防止をする原則を徹底させようとしている。

中国政府は排出汚染物量を現状のレベルで維持する政策を取り、省政府が排出廃棄物総量を許可し、現在排出基準のオーバー分に対して汚染物質排出料金を徴収している。今後、汚染物質排出料金を徴収できる対象を拡大し、または汚染物質排出権として取引できるようにしようとする動きもある。

汚染規制の重点産業分野は化学工業（有害物除去、廃水循環率の向上、排ガス処理率の向上、粉塵排出量の削減）、冶金工業（廃水処理率の向上、排ガス処理率の向上、粉塵排出量の削減）、建材（粉塵排出量の削減）、軽工業（汚染物排出量の削減）であり、各分野毎に優先プロジェクトを選定し、環境問題解決に弾みを付ける政策を採っている。

環境問題を解決するために、有害物質排出の消滅、生産額一万元当たりの汚染物排出量の減少、廃水中のCOD排出増加傾向の抑制、二酸化硫黄の処理能力増強、工業固体廃棄物総合利用率の向上、有害廃棄物集中処理の進行等の目標を掲げ、そのため廃水の浄化やリサイクル技術と排煙脱硫技術等の環境保全技術や処理技術の開発、廃棄物の再資源化技術や有用物質の分離回収技術の開発、省エネ技術の開発や設備の導入を進めるとともに、汚染が発生しやすい業種からの転換や生産方式を見直し、廃棄物の発生が少ないクリーンな生産を推進するよう指導している。

他方、環境保全に最適な実用技術を選定し、これを普及させること、環境保全産業を育成すること、環境管理活動の技術規則と標準の制定し、監視・測定活動の強化のために監視、測定システムを整備し、環境保全技術者の育成をはかろうとしている。

環境保護に使用した国家支出の実績は、1990年、1991年、1992年はそれぞれGNPの0.62%、0.79%、0.80%となっている。投資割合の実績は①開発建設方面、②汚染処理方面、③大都市の基本建設方面の3方面でそれぞれ、25%、40%、35%となっている。1992年実績値ではそれぞれ27.8%、33.68%、39%で、部門①③が近年増大している。1990年から既に200億元の投資がなされている。環境に対する投資は総投資額の約5%であるが、今次5ヶ年計画では7%に上げようとしている。今後も投資環境を改善し、世界銀行とアジア開発銀行から環境保全のための融資を獲得して、環境保全技術を導入する方針である。

江西省環境保護局は、本調査対象の徳興地域の汚染について、鉱山廃水による汚染が酷く、周囲の農民に被害を及ぼしていることから、問題解決のため、1986年に法律を出して、①汚染防止の計画を作成すること、②増産する時には処理を含めて全て計画どおりに実施すること、③汚水を処理し、毎年2回現地測定をすること、④汚染費用を負担すること等を定め、地域の環境を厳しく監理する方針を取っている。

江西省は発達の遅れている地域であり、鉱業の発展と環境保護の調和を図りながら問題を解決するために、別個に①開発計画についての法律、②汚染に応じた費用徴収（罰金）について独自の法律案を制定しようとしている。

中国は経済の発展と環境の保全の均衡をはかりながら、今後も経済開放の方針を堅持し、経済技術協力と交流を行いつつ、国際社会と緊密に協力しながら環境問題の解決に前進する方針である。

2-2-2 環境関係の組織

政府関係の環境組織は金属関係だけでなく、海洋や農業等の分野毎にそれぞれ環境保護局や観測ステーションがあり、環境に対する取り組みがなされている。またそれらの組織は、国家、省、都市、県（鎮）の4つの階層に分かれ、それぞれに環境保護局または環境処が設置されている。

環境関係の組織は各階層で分離独立しており、例えば、国家環境保護局は法律を制定したり、省や市の組織に対して技術的指導を行ったりするが、省の環境保護局は、法律に従がい具体的な類型や基準等の適用の決定を行う等の業務を実施している。工場の新設や増設等に必要の開発建築環境影響報告書は、投資金額により提出する窓口が決められている。環境保護局や環境処は公安や税務関係の組織と異なり、上位階層の組織が下位組織に対して技術的な指導は行うが、直接の指示権は無く、それぞれの地方政府に属し、業務内容は属する地方政府毎に異なる場合もある。

観測ステーションは監督制度として重要な位置を占め、国家レベルの総ステーションと、省・都市レベルの中心ステーションとにわけられる。市等の観測ステーションで測定されたデータは省の観測ステーションに報告され、それらがまとめられて総ステーションに報告されてくる。

国の段階では国の研究所の他に大学や国家科学院の中にも環境の部門があり、中国全体にわたる環境問題の解決や標準的な汚染物処理法の確立のためを研究を行っている。省の段階以下でも研究所はあり、地域的な環境問題の解決にあたっている。その他には、環境保護学会や環境保護協会、設備関係の産業協会という組織もあり、相互に協力している。これらの研究機関等相互間での研究テーマの重複など無駄を省き、人的資源や経営資源の有効活用を図る必要から、それら大局的な調整は国家環境保護局が行っている。

他方国营企業内にも政府機関と同様に環境処が設置されている。中小企業の場合、環境処が設置されていなくても環境保護員がおり、環境に対する取り組みがなされている。

国家環境保護局自体の組織は10司、40処の部署があり、職員は総勢280人である。江西省環境保護局の組織は①開発監督処、②汚染管理処（既存汚染源の管理）、③法律企画処、④科学管理教育処、⑤総合科学試験処の5処で、人員は50人である。その他に観測ステーションと環境科学研究所および汚染費用の徴収を行う汚染排出監督管理処と情報センターがある。

人員としては、一般的に省段階で通常30～40人程度、最大70名程度であり、都市段階で通常20～30人程度、県段階で通常3～30人程度である。

第 3 章 徳興鉾山の概要

第3章 徳興鉍山の概要

3-1 徳興鉍山概況

3-1-1 一般概況

徳興鉍山は正式には江西銅業公司徳興銅鉍と称し、中国有色金属工業總公司傘下の江西銅業公司に属する中国最大の露天掘鉍山である。

鉍山の組織として、鉍山長の下に、総工程師室、採鉍課、選鉍課、施設課などのライン部門及び技術サービス課、経営課、人事課、環境保護課などのスタッフ部門の外、学校、病院を含み、総従業員は約12,000人という。

(1) 位置・交通

徳興鉍山は江西省上饒地区徳興県泗州鎮に所在し、鉍山事務所は標高80mの所にある。

交通は、北京から省都南昌市まで航空便があり所要時間は2時間である。南昌から鉍山までは約300kmの道程であるが、現在拡巾、舗装工事が進められている箇所もあり、車で5～5.5時間を要する。

鉄道は、西と南に幹線が走り、急行停車駅としては、それぞれ楽平および上饒である。最近になって、楽平から徳興迄の鉄道が敷設され、貨物や精鉍の輸送は開始されたが、人員輸送は実施されていない。

(2) 気 候

鉍山付近の気候は温暖で雨量多く四季がはっきりしている。

気温は、夏期の8月が最も高く、最高40℃まで上昇し、冬季の1～2月が最も低く、最低-9℃まで下る。昼夜の温度差が大きく、夏期で約10度、冬期で7～8度の差がある。

降雨量は年間平均約2,000mmである。雨期は4月～7月で、この時期に降雨が集中し、最高1日100mmを超える。乾期の8月～11月には降雨は殆んど見られず、又12月～3月の間は降っても小雨程度である。

(3) 地 形

徳興鉍山は丘陵地帯にあり、付近で最も高い山は現在稼行中の銅廠鉍体の南

約600m地点にある標高630mの官帽山である。

徳興鉱床の中心をなす銅廠鉱体のほぼ中央部をNWW←SEE方向に大塙川が横切り、その北側を北山、南側を南山と称している。

(4) 沿革

鉱化帯の存在は1,000年以上前から知られ、唐～宗時代(618年～1279年)に銅廠鉱体で小規模の採掘が行われていた。

1950年代に入って、組織的な調査、探鉱が国務院地質産部の江西省支局によって実施され、現在の各鉱体が確認された。

1958年に建設が開始され、銅廠鉱体北山で坑内採掘が行われたが、その後文化大革命等により一時中断した。

本格的操業を再開したのは、1965年で、北山から坑内採掘によって、2,500T/日を産出し、1968年には選鉱能力を3,500T/日に拡張した。

1967年に入って銅廠鉱体南山の露天掘採掘の建設を開始し、1969年には第Ⅰ期工事として10,000T/日能力の第1選鉱場の建設に着手した。1971年に第1選鉱場が完成し、同時に露天掘出鉱を開始した。露天掘採掘は6,500T/日規模であり、坑内採掘の3,500T/日と合わせ、約10,000T/日出鉱体制が備ったが、実際にはこれを充たす操業には至らなかった。その後坑内出鉱を逐次減少させ、1974年には坑内出鉱を全廃し、代わりに露天掘採掘を増産して10,000T/日とした。実質的に10,000T/日操業に入ったのは1979年のことである。

1982年に自生粉碎を取入れた選鉱系統5,000T/日を第1選鉱場内に増設し、処理能力は15,000T/日となった。

1983年に第Ⅱ期工事として15,000T/日能力の第2選鉱場の建設に着手し、1986年に完成した。これにより、選鉱処理能力は合計30,000T/日となった。

さらに、第Ⅲ期工事として60,000T/日能力の第3選鉱場の建設を開始、1994年度中には完成する。この完成によって処理能力は90,000T/日となるが、採掘量は暫増させ、現在60,000T/日の規模を3～4年かけて90,000T/日とする予定である。第3選鉱場の下流域に当る溪谷部に第4廃滓堆積場を建設、さらに露天採掘場南西方向にある祝家谷にダンプリーチングを前提とした祝家廃石場を建設した。なお、本プロジェクトである鉱廃水処理計画も、この第Ⅲ期工事の一部と位置づけられている。

3-1-2 地質・鉱床

(1) 地質

徳興鉱山付近の地質は先カンブリア時代後期の震旦(シエソ)系双橋山層群に属する低変成の凝灰質岩類起源の岩石が多く、主として絹雲母千枚岩、結晶凝灰質千枚岩、シルト質千枚岩からなり、部分的に中・粗粒石英砂岩、夾炭粘板岩、含礫砂岩を夾む。地層の一般走向はE-W、傾斜は20°~30°Nである。

これらの岩石は先カンブリア時代の末期に南北方向の圧縮を受け、九嶺(チュリン)構造と呼ばれる東西系の褶曲や断層を生じた。この構造は燕山(ヤンシャソ)期に北北東方向の新華夏(シンホアシャ)系断層帯によって切られ、両者の交叉部に前期燕山期(ジュラ期中期)の花崗閃緑斑岩類(1.6~1.7億年前)が貫入している。花崗閃緑斑岩類は、それぞれ0.06、0.7及び0.16km²の露出面積を持つ3つの岩株状貫入岩体をなし、北東から南東に配列する。これらが徳興鉱山のポーフィリー型銅・モリブデン鉱化作用をもたらした火成岩体である。各岩体は北西に40°~60°傾斜し、北西側深部から南東側上部に向かって貫入している。

花崗閃緑斑岩類は、花崗閃緑斑岩を主とし、他に少量の石英閃緑斑岩と閃緑斑岩の支脈を伴っている。貫入岩と千枚岩類との境界は明瞭で、境界面は不規則である。

花崗閃緑斑岩は完晶質斑状の岩石で、斑晶は径1~6mm、主として斜長石、石英及び黒雲母からなり、カリ長石を伴う。斑晶の量は岩石の40~60%を占める。基質には斜長石と正長石が認められる。燐灰石に富む特徴があり、しばしば斑晶状に産する。千枚岩類は花崗閃緑斑岩の貫入により接触変成を受け、接触部周辺部はホルンフェルス帯を形成し、その外側は黒雲母斑点状千枚岩帯を形成している。

(2) 鉱床

鉱床は規模の大きなものから銅廠(トウチャン)、富家塢(フジャウ)及び珠砂紅(チュシャホン)の3つの鉱床からなる。

鉱床は花崗閃緑斑岩の周囲を取り囲むように中空のパイプ状に分布しており、北西に傾斜し、銅廠鉱体の場合、上部では緩く(15°)、下部では急(40°~50°)である。

鉱体の2/3は千枚岩類中に賦存し、貫入岩体側には1/3で、銅品位は千枚岩類中の方がやや高い。貫入岩体の中心部は低品位鉱あるいは不毛帯となっている。

各鉱体の鉱床規模は次のとおりである。

- 銅廠 鉱体 — 鉱体面積：約 4 km²(2.4km×1.6km)、垂直延長：600m以上
- 富家塢 鉱体 — 鉱体面積：約 2 km²、垂直延長：平均100m
- 珠砂紅 鉱体 — 小規模

徳興鉱床の変質累帯は貫入岩の接触面を中心とした配列を示す。

鉱化熱水変質は、花崗閃緑斑岩と千枚岩類の接触部で最も強く、石英-絹雲母帯を形成している。鉱化作用は変質強度と一致しており、石英-絹雲母帯にみられる。

主要鉱石鉱物は黄鉄鉱、黄銅鉱、輝水鉛鉱で、少量の砒四面銅鉱、四面銅鉱、方鉛鉱、閃亜鉛鉱、黝銅鉱、輝銅鉱、斑銅鉱、磁鉄鉱、菱鉄鉱を伴い、微量の自然金、硫砒ニッケル鉱を含有する。

脈石鉱物は、石英、絹雲母、カリ長石、方解石、緑泥石、緑れん石、イライト等である。

銅品位は珠砂紅鉱体0.4%、銅廠鉱体0.47%、富家塙鉱体0.5%で北西から南東に向かって高くなる。Cu:Mo比は珠砂紅43:1、銅廠45:1、富家塙15.1:1となっている(朱ほか、1983)。鉱石鉱物も貫入岩体の接触面を中心として累帯分布をなしており、中心部に輝水鉛鉱、やや外側に黄銅鉱、黄鉄鉱は更に外側に広範囲に分布する。輝水鉛鉱/黄銅鉱比は下部に向かって上昇する傾向が認められる。

鉱体の産状は母岩と花崗閃緑斑岩の接触帯を中心とする強鉱化帯では鉱染状~細脈状である。鉱染状の場合は、平均粒径0.05~0.1mmの黄銅鉱、黄鉄鉱が散在している。

細脈は脈幅1~10mmで輝水鉛鉱はこの産状が多い。鉱化帯の外縁及びその外側になると脈幅1~10cm程度の黄鉄鉱脈が現れてくる。

鉱体の地表下0m~20mは溶脱帯であり、低品位酸化帯を形成している。2次富化帯は上記溶脱帯の下部0~30mであり、銅品位は初生帯の約2倍を示す。いずれにしても、溶脱帯、2次富化帯ともその発達は悪い。

銅廠鉱体の鉱量は鉱山側の説明によると、Cu限界品位0.3%として10.48億tが計上され、その品位はCu 0.402%、Mo 0.011%、S 1.99%、Au 0.19g/t、Ag 1g/tである。

富家塙鉱体の鉱量は、4.65億t、Cu 0.42%が計上されている。

3-1-3 採鉱

銅廠鉱床を南北に分断していた大塙川は暗渠によって切替えられ、南山、北山一体とした露天掘が進められている。最終ピットは、平面的には2.3km×2.4kmと円形に近く、高さは、最高海拔400mから最下底マイナス220mまでの620mに達し、その時のピットスロープは34~36度となる。

カットオフ品位はCu 0.3%で、0.3%以下の廃石は楊桃塙、西源、祝家にそれぞれ堆積している。現在60,000t/日の鉱石産出量に対し、ストリップレション(剝土

比、鉱石：廃石比率) 1:1.5である。今後、増産に伴って剥土比は逐次増加し、最終的には1:2.0となる。採掘された鉱石は、ピット内に設けられた2ヶ所の破碎場で破碎され、第一および第二選鉱場へは鉱車積で、第三選鉱場へはベルトコンベアで各々輸送されている。

廃水は現在のところ自然流送であるが、4～5年後には、ポンプアップが必要となる。

3-1-4 選鉱

3選鉱場で受入れられた原鉱は3-1-4図に示すフローシートに従って処理される。すなわち細碎工程を経て、自生粉碎ミルまたは、ボールミルによって200メッシュ(75 μ m以下)65%に磨鉱され、浮選工程に導かれる。

浮選系統は先ずpH8～9の粗選で銅、硫化鉱のバルク精鉱を回収する。バルク精鉱は一部再磨鉱されてから、硫化鉱を抑制するために石灰を添加し、pHを12.5まで上げて銅分離浮選を行い、浮鉱を銅精鉱として回収している。沈鉱は酸性水でpHを再び下げてから硫化精選を行い硫化精鉱を回収している。

現在はMoの分離工程は休転しているが、Moの価格が上昇して来たので近い将来、銅精鉱からMo精鉱を回収する予定である。

3選鉱場の操業成績の一例を次表に示す。操業計画日数は330日/年である。

	受入原鉱			銅精鉱		尾鉱	
	鉱量t/日	銅品位 %	硫黄品位 %	銅品位 %	硫黄品位 %	銅品位 %	硫黄品位 %
第1選鉱場	11600	0.47	2.47	24.1	31.8	0.074	2.08
第2選鉱場	11600	0.47	2.47	24.1	31.8	0.074	2.08
第3選鉱場	31800	0.47	2.47	23.6		0.085	2.08

選鉱操業成績

但し、銅精鉱量、硫化精鉱量、硫化精鉱の品位等は提示されないため採取率は算出できない。

第1、2選鉱場の尾鉱はポンプアップされ、2号および4号廃滓堆積場に各々50%ずつ堆積される。第3選鉱場の尾鉱は自然流送で流下させ4号廃滓堆積場に堆積されている。

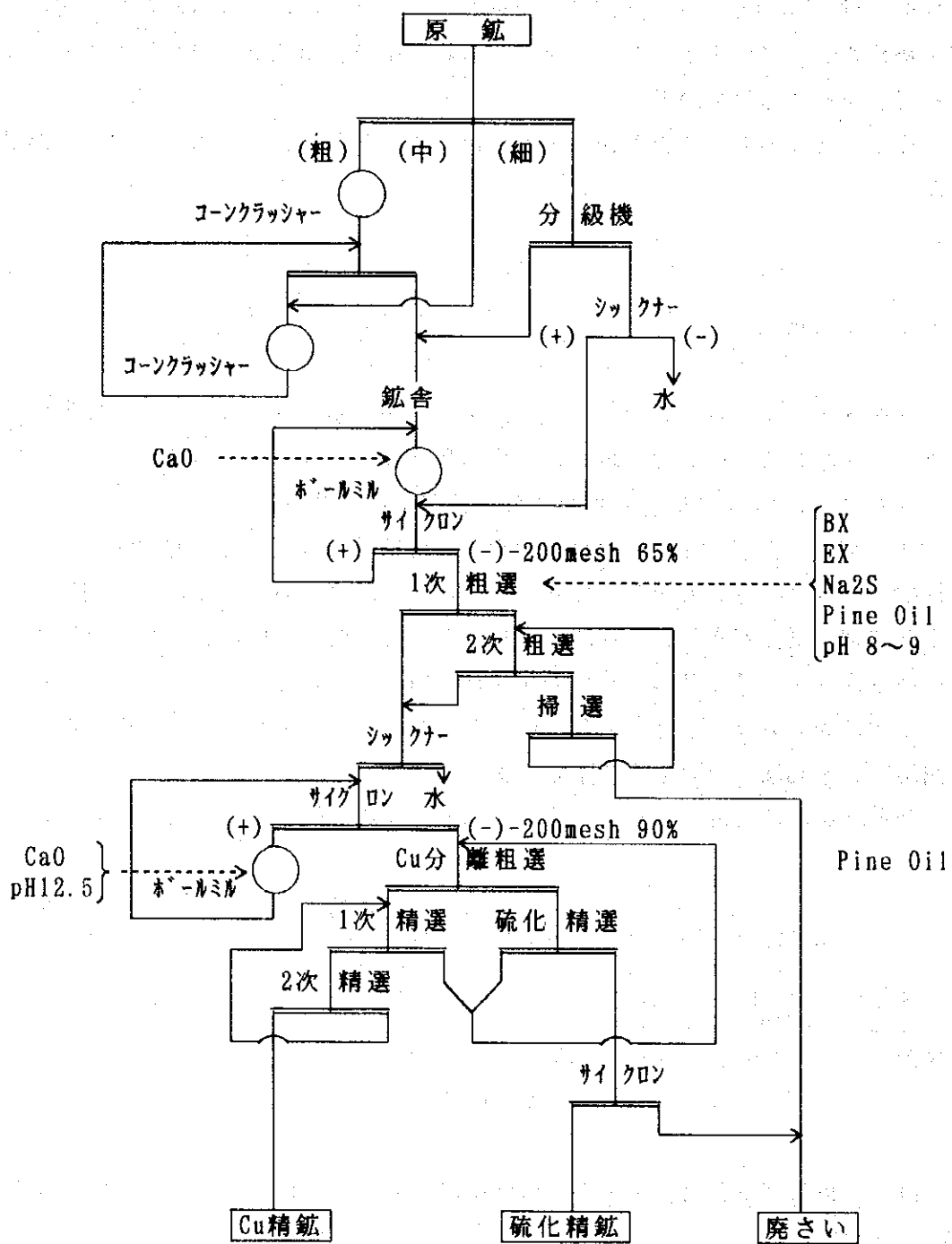


図 3-1-4 選鉱フローシート

3-2 鉍廃水処理の現状

(1) 鉍廃水の概要

徳興鉍山の廃水を水質で大別すれば、主として酸性廃水とアルカリ性廃水がある。酸性廃水は発生源別にみると、露天採掘場、旧坑、および廃石堆積場になる。

一方、アルカリ性廃水は、選鉍工程で大量の消石灰を使用することから、廃さい堆積場（尾鉍庫）の上澄水として発生するとともに、精鉍シックナー・オーバーフロー（溢流）として発生する。「図 3-2-1 現状の廃水系統概要図」参照。

露天採掘場およびその旧坑から発生する酸性水は、未処理のまま大場川に流出している。

廃石堆積場の廃水のうち、楊桃場廃石堆積場から浸透水として発生する酸性水のみが、現有（既設）廃水処理場で中和処理されている。

西源廃石堆積場は露天採掘場の剥土を堆積しているが、四号尾鉍庫（廃さい堆積場）の上流域に接して位置しており、貯水ダムもないことから、その浸透酸性水は廃さい堆積場に直接流入している。

祝家廃石堆積場は、将来ダンプリーチングによる銅回収を予定し（SX-EW法）、既に酸性水貯水ダムの構築は完成しているが、廃石を堆積して間もないため、現状ではまだ酸性水は発生していない。

アルカリ性廃水の大部分は、二号および四号尾鉍庫の上澄水として発生し、その約2/3は選鉍の繰返し用水（回水）として利用されるが、余剰分は大場川および楽安川に放流されている。

また、銅および硫化鉄精鉍のシックナー・オーバーフローのうち、第一、二選鉍から発生する分は、既設廃水処理場の中和剤として利用されているが、第三選鉍の銅精鉍シックナー・オーバーフローは、未処理のまま大場川に放流されている。

また、水質としては中性であるが、第一、二選鉍破碎工程の湿式集塵機から洗滌廃水が処理不十分のまま大場川に流出している。

この他、第一、二選鉍の事故池からのオーバーフローが大場川に流出する場合があるが、水質的にはアルカリ性であり、且つ濁度の高い廃水となる。

(2) 廃水処理の概要

現有（既設）廃水処理場は、楊桃場廃石堆積場から発生する酸性水と、旧坑（Aお

よびB、中国側呼称は125Aおよび125B)からの酸性水処理を目的として計画され、1988年5月から操業を開始している。

設計処理能力は約12千 m^3 /日であり、そのうち、約4千 m^3 /日は選鉱場の硫化鉄浮選回路のpH調節剤として硫酸の代わりに使用され、残り約8千 m^3 /日が中和処理される設計設備仕様となっている。

処理工場の位置は、第二選鉱場の北方約300mのところであって、その設備の敷地面積は約1.7万 m^2 (110m×150m)である。

処理廃水の水質は、pHが2.5～3.0で、Cuを100～150ppm、Feを2000ppm程度含む硫酸酸性水である。(1993年7月調査)

当初の廃水処理プロセスは、三段階の工程を経て処理される設計になっている。

即ち、第一段は除鉄中和工程であり、消石灰添加によりpHを3.5～3.7に調節し、主に、第二鉄(Fe^{3+})を水酸化第二鉄($Fe(OH)_3$)として固液分離する工程である。

第二段の工程は、この分離液に選鉱のMo分離工程で発生する硫化ソーダ(Na_2S)を含む廃液を添加して、液中の銅と反応させ硫化銅(CuS)として沈澱回収する工程である。廃液が不足する場合は、硫化ソーダを溶液として添加する。

第三段の工程は、廃液のpHを更に上げて6.5～9程度とし、第一鉄を(Fe^{2+})水酸化第一鉄($Fe(OH)_2$)として沈澱除去する工程である。ここでは中和剤として選鉱から発生する銅および硫化鉄精鉱シックナーの溢流水を利用し、不足分を消石灰で補うこととしている。

最終工程を経た排水は、選鉱場に送水され回収水として再利用され、鉄澱物は選鉱の尾鉱流送設備に送られ、廃さい堆積場に選鉱尾鉱とともに流送される。

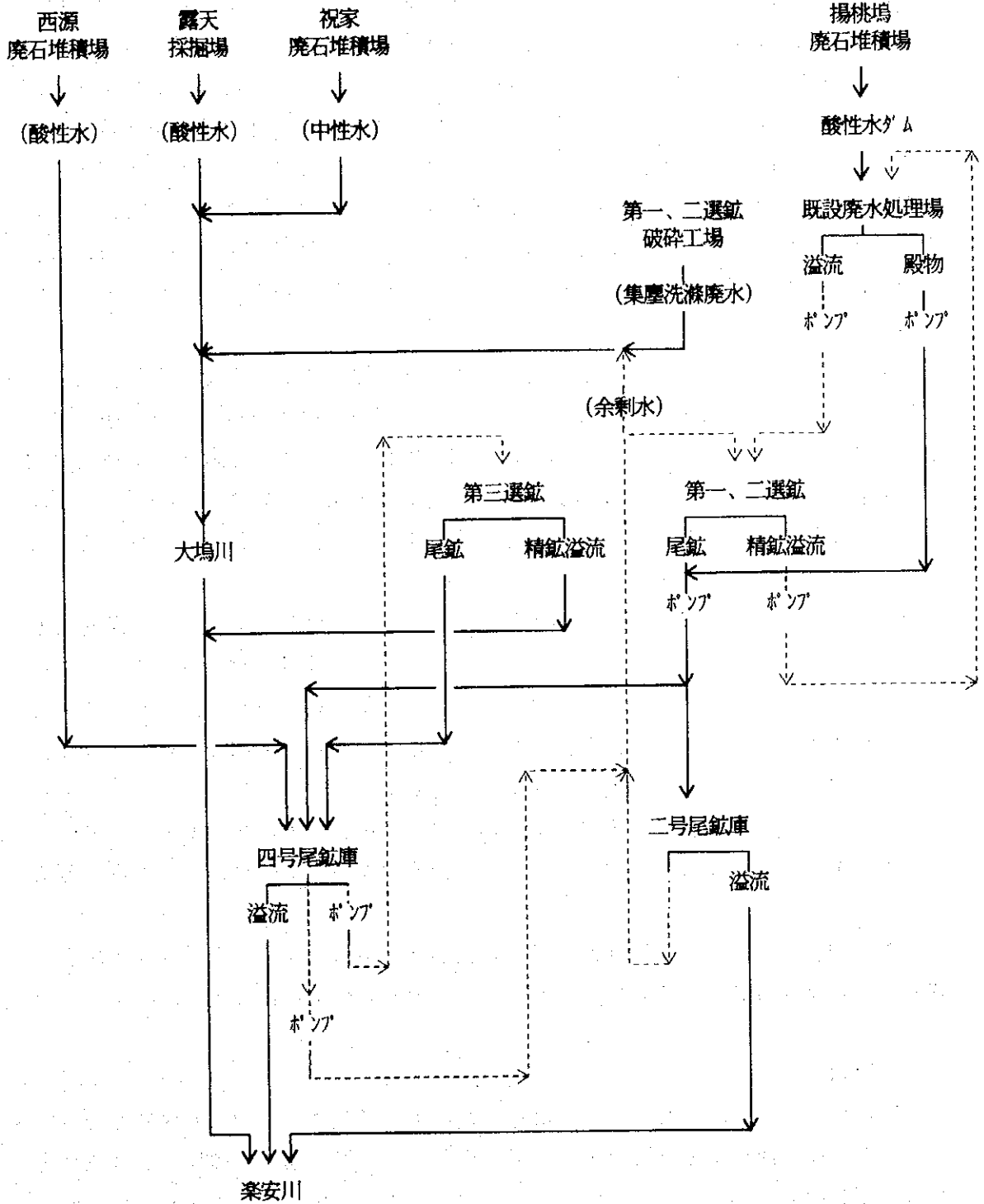
しかし、以上は当初設計であり、現状では、

- ①選鉱のMo分離工程が廃止され、その廃液がなくなったこと、
 - ②硫化ソーダの使用による硫化水素公害の発生があったこと、
 - ③酸性廃水中のCu濃度が50～60ppmに低下してきたこと、(1994年7月調査)
- により、硫化銅の回収が難しくなった。

このため、1993年には試験的に鉄スクラップ置換沈澱銅回収方式へ転換をはかり、1994年7月の調査では、第一段の除鉄工程は廃止され、酸性廃水全量が鉄スクラップによる沈澱銅回収工程に入り、その廃液が従来の第三工程の中和処理にはいるプロセスに変更になっている。中和処理工場の操業は三直三交代であり、従業員数は管理監督6名、運転88名、合計94名である。(1993年7月調査)

図 3-2-1 現状の廃水系統概要図

----- 繰返し用水 (回水)



3-3 周辺環境の現状

3-3-1 自然環境（河川、動植物等）

鉱山からの汚染水が流入する河川は大塙川と楽安川である。ただし、行政管理上は大塙川は河川とはみなさず、徳興銅鉱山の排水溝の一つと考えられている。

その大塙川は山泉に源を発し、途中現在の徳興銅鉱山操業以前の休廃止坑や銅鉱化帯からの酸性浸出水を混合しながら、流量 $0.5\sim 2.0\text{m}^3/\text{s}$ で徳興銅鉱山区域に流入する。露天採掘場の下は暗渠で迂回するが、地表に出るとまず露天掘排水で濁らされた後、鉱山市街地でその生活廃水や選鉱場等の廃水を受け入れて、沽口において濁流のまま楽安川と合流している。全長は14kmの小規模河川である。この川にも、1964年頃までは魚が住んでいたというが、現在は魚はおろか水草一本すら生えていない。

一方、楽安川は安徽省と江西省の境である懷玉山脈の西麓に水源をもち、東から西に向かって務源、徳興、楽平および波陽県を経て鄱陽湖に至る全長279kmの中規模河川である。この川には徳興県内で徳興銅鉱堆積場のアルカリ廃水と徳興銅鉱地区を流れ酸性廃水を含んだ大塙川が流入する他に、上流域に鉛製錬所等の廃水が流入している泊水川と戴村で合流する。その後波陽県内で信江、昌江と前後して合流し、鄱陽湖に流入する。

楽安川上流は植物の被覆率が高い森林と農地が多く、雨量が豊富で、日照時間も長く、美しい自然環境とともに漁業資源は豊富である。務源県までは河川水に汚染を及ぼすような工業は今のところ存在しない。中流部に属する徳興県より下流域で1950年代末から、化学工業や徳興銅鉱を主とする鉱山が本格的に開発され急速に汚染が進んだ。汚染抑制対策が追いつかないこともあり、廃水は未処理或いは有効な処理を受けずに河川に直接排出されている。このため、程度の差はあるが楽安川下流域の生態環境は悪化或いは破壊が進んで、沿岸の農業や漁業に悪影響を与え始めている。

我々の調査範囲は徳興銅鉱区内で主に大塙川を主体に実施した。従って調査地域外の情報は公表された資料によった。以下に調査の結果を記述する。

(1) 大塙川

大塙川のpHは、鉱区上流部で既に酸性の浸出水を受入れて、2.7と酸性になっている。その後、四棟房で揚桃塙ダムの酸性水と露天掘採掘場からの廃水が合流するため、pH値は2.3~3.3と変化する。下流では沢水や生活用水が流入するため、pH値

は若干高くなる傾向にはあるが、酸性を維持している。導電率は下流になるにしたがって、pHとは逆に低くなる。選鉱場のアルカリ廃水(pH10~11程度、高濁度)が流入した後の張家橋では、pH値は2.6~11.8まで大きく変化している。硫酸根は鉱区上流部で26,960ppmと高いが、銅や鉄品位はそれぞれ1ppm、200ppm前後と低い。酸性水との合流点の四棟房においては銅、鉄が一番高く、硫酸根も高い。下流部の張家橋では銅、鉄、硫酸根は低く、SSのみが高い。濁度は主として露天掘採掘場からの廃水や雨水によって大きく変動する。同時に、下流域ではアルカリ廃水の流入により Fe^{2+} が酸化され、鉄水酸化物の懸濁物が形成される。アルカリ廃水の内、3箇所は廃滓(重金属鉱物粒)等を含み、これらが混合して流下するので、楽安川下流域の底質悪化の一因となっている。

揚桃塢酸性水ダムの中に貯蔵された酸性廃水は、通常既設廃水処理場で中和するので、そこから排出される水は中性になる。しかし、露天掘の廃水や点在する大小の廃石場から流出する酸性水はそのまま大塢川に流入する。

大塢川の流量は、上流部の四棟房では雨期で4~5 m^3 /分、乾期では1~2 m^3 /分程度であるが、その季節的変動より日々の天候の影響が大きい。下流部の張家橋では雨期で11~17 m^3 /分、乾期では6~11 m^3 /分であり、選鉱場からのアルカリ廃水量が大きく影響している。

徳興銅鉱では雨期には大雨が川の底を洗い、鉱山地区の大量な酸性汚染物(酸性水を含む)を流すので、河川水のpH値は乾期よりも低くなる。徳興銅鉱地区からの固体物としては露天採掘場からの砂礫粒と選鉱場からの尾鉱砂であるが、この対策として、砂礫に対しては沈砂池等の設置が必要であり、尾鉱砂に対しては現場管理を厳しくする必要がある。

(2) 楽安川

楽安川全般についてはユネスコと中国の共同調査で次のことが報告されている。

楽安川においては、沿岸のpH値の変化は沽口より上流で全て7程度であるが、大塢川の河川水が楽安川に合流する沽口ではpH値は4前後に急激に低下する。その後楽安川の河川水がもつ希釈緩衝作用によりpH値は中洲で6程度に回復するが、香屯街から戴村付近では採金業者の活動によってpH値は再び下がり、それ以降ではpH値は少しずつ回復する。しかし、雨期には沽口から蔡家湾に至るまで、河川水のpH値は国家基準の下限値の6.5より酸性に偏っている。楽安川の硫酸根濃度は沽口以降の各流域で高く、特に沽口で一番高くなっている。

金属濃度に関しては、浮溪口では亜鉛が若干高いことを除けば、その他の金属濃

度は一番低い値を示す。その原因は浮溪口上流の青崗山活性炭工場から亜鉛を含む排水が未処理のまま直接楽安川に排出しているためである。浮溪口から沽口の間には徳興銅鉱の廃滓ダムからアルカリ廃水（一部尾鉱砂を含む）が流入しているが、その影響は現在のところ明瞭には現れてはいない。銅濃度の最高値は沽口流域にあり、その後は中洲まで急速に低下する。香屯街から戴村の間ではやや上昇して、それ以降はだんだん低下していく。鉛および亜鉛の濃度は変化が多いが、沽口および楽安川と泊水川との合流点である戴村で上昇している。これは沽口流域では徳興銅鉱の、戴村以降では泊水川に排出された汚染物が影響しているものと考えられている。

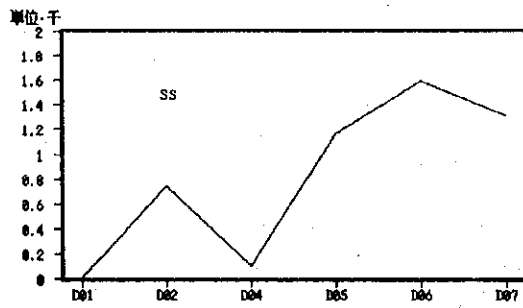
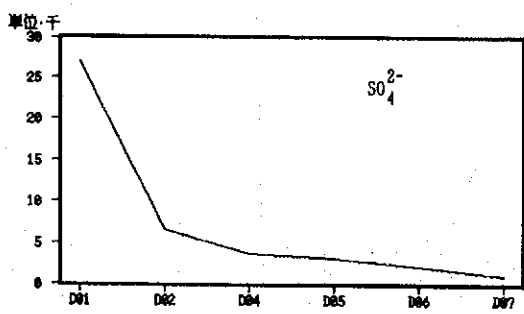
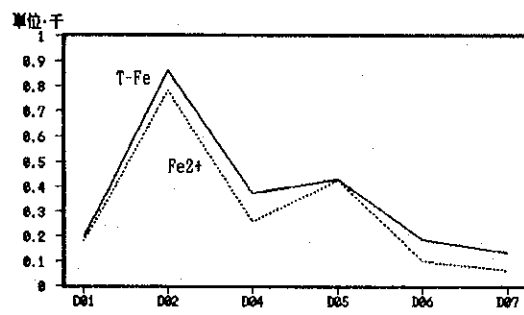
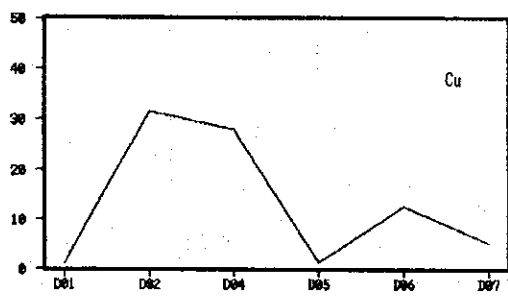
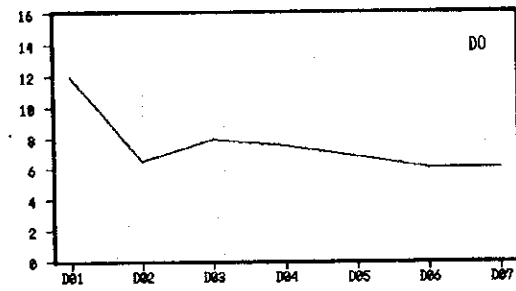
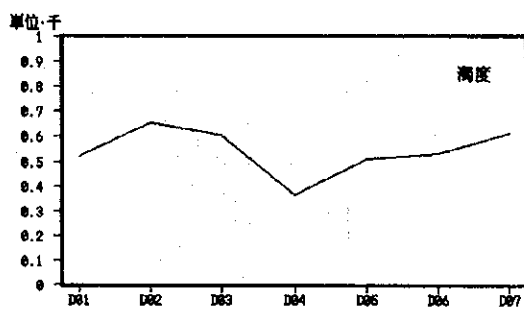
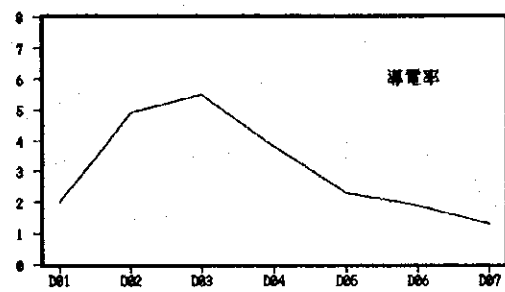
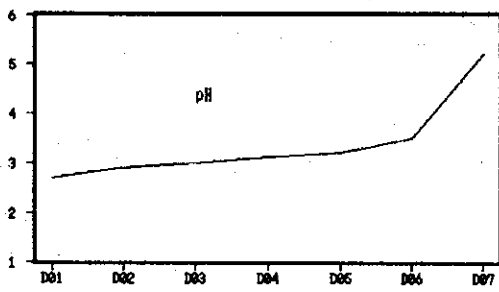
楽安川は山間地区を流れる河川の性質を持つ水系である。河川水は主に雨水と土壌に蓄えられた水に由来している。河床は主に礫や粗い砂と細かい砂とからなり、沈澱物中の粘土鉱物や緑泥石等の含有量はかなり低い。乾期では楽安川の川水に含まれる泥砂量や懸濁物質量は少なく、流量も少ないので、徳興銅鉱地域から排出された大部分の粒子様の金属汚染物は短距離間で速やかに沈降する。しかし、雨期では河川を流れる水量が大きく、激しい攪拌や洗い流しの作用を受けるため、河川水中の金属濃度は高くなりかつ遠くまで移動する。また、採金活動は河床の沈澱物を激しく攪拌し、水中の金属濃度を高めるため、採金活動の最も多い接渡ではその影響を著しく受けている。

楽安川は波陽県の蔡家湾で信江と合流し、鄱陽湖に入る。この付近の地勢は鄱陽湖の沖積平原に属し平坦なので、楽安川水中にある浮遊懸濁物の大部分はこの流域で沈積する。したがって、これらの汚泥堆積物にある重金属による汚染が心配されている。

我々の調査の中で生態に関して観察した結果は、夏期には生物活動が活発で、楽安川上流部（浮溪口、沽口）では河川の玉石に藻が相当付着し、繁殖していることが認められている。また、浅瀬には稚魚や昆虫類の生息が確認されており、浮溪口では鮒や鯿、螺の生息が確認されている。しかし、沽口より下流域の中州地区までは稚魚等の高等生物の存在は確認されなかったが、藻類の流下が確認できた。ただ中州地区までの水質汚染は酷いので、これらの藻類は中州地区付近の支流から流下したものであろう。

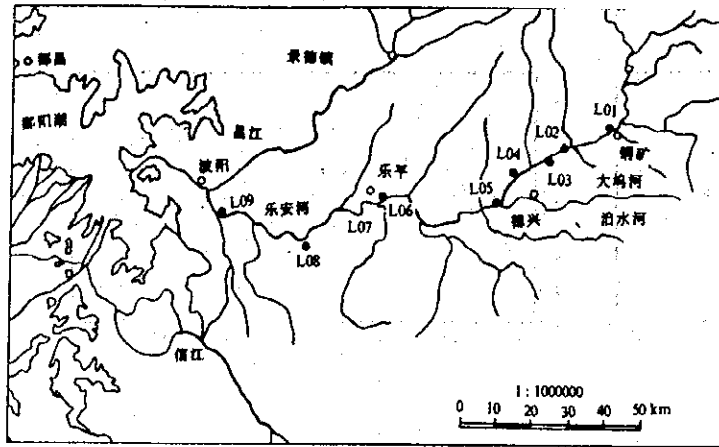
雨期における楽安川の冠水地域について重金属の汚染被害調査は、徳興銅鉱付近と下流域において調査を実施しているが、調査が終了していないため公表できる資料はない（江西省環境保護局長談）。

楽安川の流量は、徳興銅鉱調査区内の上流部である浮溪口では55~70m³/分、中



大場川水質測定結果

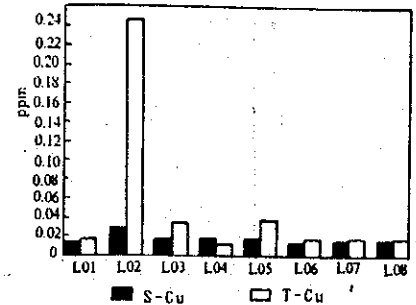
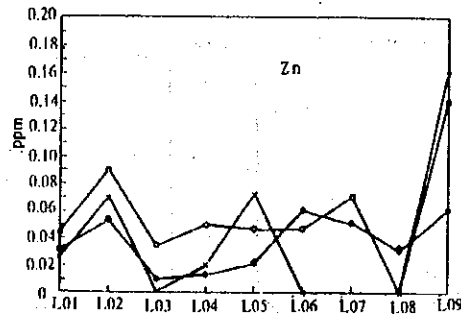
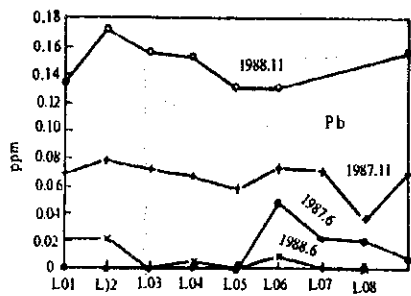
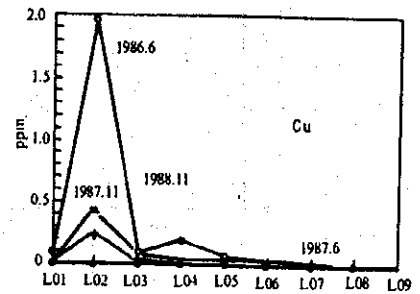
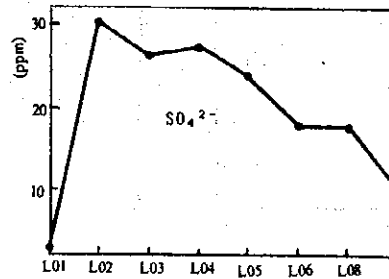
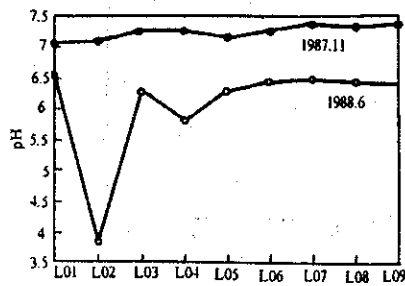
- 東岸上流 D01
- 四棟房 D02
- 朱砂紅 D03
- 大橋 D04
- 河東 D05
- 電子部 D06
- 張家橋 D07
- 沽口河口 D08



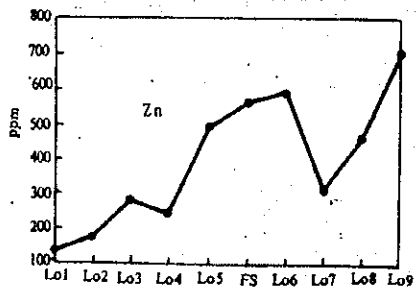
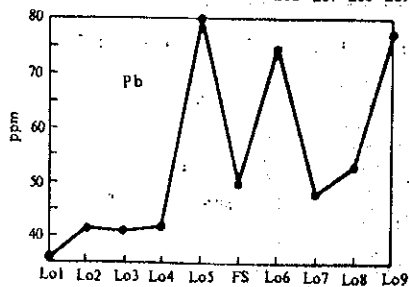
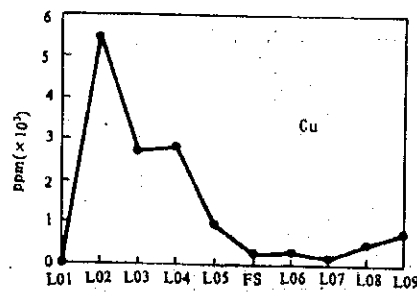
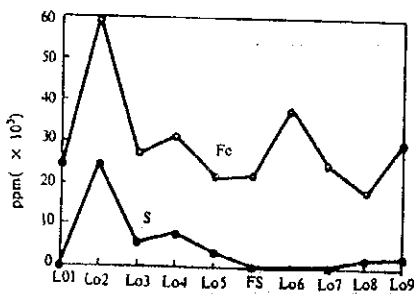
楽安川試料採取位置

- L01: 浮渡口 L02: 坊口 L03: 中洲
- L04: 香屯 L05: 蔭村 L06: 桂灘
- L07: 魏家灘 L08: 石鋪 L09: 曹家灘

楽安川河川水の重金属等の濃度変化



楽安川沈積物中の重金属濃度変化



FS: 虎山

流部の沽口では65~80m³/分、下流部の中州では101~110m³/分である。楽安川の流量測定に関しては、今年の雨期明けが早く調査時期には平水期に入っていた。そのため測定値は去年の乾期の測定値を下回っている。

楽安川の水質は上流部の浮溪口と下流部の中州と較べると、銅、鉄と硫酸根が中州の方が高くなっていて、大塙川の影響が認められる。特に銅について、今年は揚桃場ダムから酸性水が直接排出されていたので、その影響が現れている。

採金業者の活動は以前より活発になってきており、ドレッジャーの活動地域やその数が目立って増加している。また、単に金を採取するのみでなく、建築ブームの中で採砂（砂利を含む）を行っている業者もあり、一旦沈澱した重金属を含む泥を更に下流に拡散して、汚染域を拡大している状況が認められる。楽安川的环境改善にはこれら採金業者に対する規制や対策も必要であろう。

3-3-2 人工環境（旧坑，捨石堆積場等）

北山・南山採掘場，西源嶺廃石場及び祝家廃石場の内部及び周辺を流れる沢水のpH・温度を測定し，旧坑，捨石堆積場等が水質に与える影響を調査した。これと同時に，肉眼による見込みで水量（l/分）も調査し記載した。

調査結果図は何れも別冊資料編に収録してある。

徳興 地質評価-001 北山・南山採掘場水質調査結果図

徳興 地質評価-002 祝家廃石場水質調査結果図

以下若干の説明を加える。

(1) 調査結果

(a) 北山・南山採掘場

採掘場内及び周辺の良い水（pH 4 以上）と悪い水（pH 4 以下）の分布状況が明らかになった（地質評価-001）。特に北山の125A坑道の西の沢と東部破碎ステーションの北の沢は良い水で，集水面積が広く，水量も多い。また，東部破碎ステーションの東で，大塙川上流に東側から合流する沢水は，水量が多く（3,000~4,000 l/分），水質も良い（pH 6.0）。この良い水も大塙川上流の旧坑分布地域から流下してくる汚染水に合流することによって悪い水に変化し，北山・南山採掘場の上流で切り替え坑道に流入して，無処理のまま大塙川本流へ合流している。いずれの沢でも，良い水は廃石堆積物を通過することによって急速に水質を悪化している。水質悪化の主な要因は廃石堆積物であることが明らかになった。

(b) 西源嶺廃石場

廃石場に流れ込む沢は、現地調査期間中、いずれも水が枯れてしまっていたが、約700m下流のダム堤体からの漏水はpH 2.76、水量は約4,000 l/分である。

(c) 祝家廃石場

いずれの沢水もpH 6以上の良い水であるが、現在廃石を投下堆積中の幹線道路下流では、pH 4.14を示し、水質悪化の徴候がある（地質評価-002）。なお、河山区上流の沢はpH5.5~6を示し、他の沢よりもややpHが低い（原因は不明）。

(2) 水質汚染の原因となっている問題点

(a) 廃石が安易に沢へ捨てられて、沢水を汚染している。特に北山の125A坑道の西の沢と東部破碎ステーションの北の沢にはこれ以上廃石を捨てるべきではない。

(b) 北山・南山採掘場内及び周辺では水質の良い水と悪い水が一緒になって楊桃塙酸性水ダムあるいは大塙川に流入している。現地詳細調査では、水質の良い水と悪い水とを分けることは可能なので、廃石のある沢では、上流の良い水が直接廃石に触れないように山腹水路等のバイパスで直接大塙川に排出させる必要がある。これによって、酸性水ダムの容量と鉱廃水処理量を小さくすることが可能になる。

(c) 楊桃塙廃石場、水龍山廃石場等の使用済みの廃石場が無処置で放置されており、浸透水の殆どが楊桃塙酸性水ダムに流入している。使用済みの廃石場については、堆積面の平坦化、覆土・転圧等の処置をして雨水が浸透しないような対策をとると共に、山腹水路や場内排水路を設けて表流水を速やかに排出させる必要がある。

(d) 大塙川上流には、かつて硫化鉄鉱を採掘した旧坑が多数存在している。これらの旧坑から排出される酸性水と廃石によって汚染された沢水は北山・南山採掘場の上流で切り替え坑道に入り、楊桃塙酸性水ダムの下流で無処理のまま大塙川に合流している。

また、北山採掘場の西方の沢にも多数の旧坑があって、汚染された沢水が無処理のまま大塙川に流入している。これら旧坑分布地域からの汚染水も大塙川汚染の大きな原因となっている。

3-4 環境関連法規

法体系としては基本的な国家基準としての法律と、これに基づく許認可を主とした地方機関（政府）による法規とに分かれる。

(1) 国家基準

中華人民共和国としての環境保護に関する主要法規としては以下の七種がある。

- ① 中華人民共和国環境保護法
- ② " 大気污染防治法
- ③ " 水法（水資源利用開発に関する法律）
- ④ " 水污染防治法（地表・地下水の汚染防止規定、汚染水処理法）
- ⑤ " 水污染防治実施細則
- ⑥ " 環境騒音污染防治条例
- ⑦ " 鉱山資源法（鉱山は国有なので開発に対する環境規制法）

水質に関しては、排出（水）基準と環境基準があるが、後者の環境基準については調査した時点（1994年10月）で適用される基準が、固まった状況である。

(a) 汚染水の排出（水）基準

排出基準については、普遍的な総合排出基準と、これに優先して適用される重金属工業を対象とした基準がある。

・汚染水総合排出基準

水污染防治法および実施細則に定められている総合廃水基準は排出先の水源の重要度に応じて3段階に分かれている。即ち、

- 1級：重点保護水源基準（例 鄱陽湖）
- 2級：一般保護水源基準（例 樂安川）
- 3級：都市の下水処理場に排出される工場廃水基準

徳興銅鉱の場合は2級に該当する。

更に、2級の中で汚染物質の許容濃度は物質の種類によって二種類に分けられる。

一類：毒性の強い物質（8種類）

（単位：ppm）

種類	T-Hg	有機Hg	T-Cd	Cr ⁶⁺	T-Cr	T-As	T-Pb	T-Ni
基準	0.05	検出されず	0.2	0.5	1.5	0.5	1.0	1.0

二類：一般物質

この適用対象も二分され、既設の企業に対する基準と、新設あるいは増設企業に対する基準とがある。徳興銅鉱の場合は後者に該当し、その基準は以下の通りである。

(単位:ppm)

種類	PH	T-Cu	T-Zn	S ²⁻	COD	SS
基準	6~9	1	4	1	150	200

・重有色金属工業汚染物排出基準

徳興銅鉱ではこの基準が優先的に適用され、対象成分がないものについては上記の汚染水総合排出基準が適用される。

この基準にも適用分野が二種類ある。即ち、鉱山、製錬、金属加工分野と軽金属加工分野であり、更にそれぞれ既設、新設と分かれる。徳興銅鉱の場合は当然鉱山の分野であり、しかも既設の場合に該当する。その基準は下表の通りである。

(単位:ppm)

種類	PH	Cu	Zn	As	SS	備考
新設			(省 略)			規制成分は他にもあるが徳興には関係しないので省略する。
既設	6~9	2.0	5	0.5	300	

・その他の国家基準

その他の水質基準として以下のものがある。

- ① 海水水質基準 (省略)
- ② 農田灌漑水水質基準 (省略)
- ③ 生活飲用水衛生基準 (省略)
- ④ 漁業水質基準 (省略)
- ⑤ 生活飲用水水源のBeの衛生基準 (省略)

この他に衛生部の定めた「工業衛生基準」に地表水の基準がある。

(b)環境水質基準 (地表水)

水源と河川を5種類に分けて異なる基準を適用する。

第一類：国家自然保護区に適用する基準 (省略)

第二類：大都会の生活用水の水源および貴重な魚類や養殖魚の生息している河川や湖に適用する基準 (省略)

第三類：一般の魚類保護の河川や湖に適用する基準（後述）

第四類：工業用水（直接人体に接触しない用水）（後述）

第五類：農業用水（省略）

徳興銅鉍の場合、楽安川の水質が環境基準の対象となる。どの基準が適用されるかの決定は地方政府（江西省）の環境保護局の権限である。中国科学院生態科学研究所の楽安川調査の結果では第三類に当てはまるという結果がでていますが、江西省環境保護局の決定は、第四類を適用することに決定した。第四類の基準は次の通りである。

（単位：ppm）

種類	PH	T-Cu	T-Zn	T-Pb	T-Cd	T-As	COD
基準	6.5～8.5	1	2	0.05	0.005	0.1	20

（２）地方機関の基準

国家基準を基礎にして地方機関の基準もある。徳興銅鉍に関係する規制は次の通りである。

- ① 江西省建設項目環境保護管理方法実施細則
- ② 江西省建設項目環境保護施設竣工検査臨時規程
- ③ 徳興市基準超過の場合の汚染排出費（排污費）基準

以下、各々の内容は下記の通りである。

① 江西省建設項目環境保護管理方法実施細則

この細則の主な内容は以下の通りである。

- (a) 生産施設と環境保護施設の建設は設計、施工、生産の各段階で同時でなければならない。（三同時の原則）
- (b) 環境保護施設は竣工時に検査を受けて認可を受ける必要がある。なお、施設の規模によっては国家機関か徳興市の認可が必要である。
- (c) 認可申請を怠った場合は罰則規定が適用される。（1万～10万元）

② 江西省建設項目環境保護施設竣工検査臨時規程

竣工検査の内容としては次のものがある。

- (a) 環境保護施設の全体の設計
- (b) 汚染物処理の技術規程
- (c) 三ヵ月間の試運転が必要でこの期間の処理データの報告義務がある。

以上の三条件を満たして合格証が得られると、排污費を支払う必要がない。

③ 徳興市基準超過の場合の汚染排出費（排汚費）基準

徳興銅鉱で排汚費の対象となるのは、廃水および廃さい堆積場である。基準となるのは酸性廃水の場合もっとも汚染の度合いが高い銅である。基準を超えている場合でも処理していれば適用が若干緩和されるが、3年経過してもなお基準を超えている場合は年率5%の割合で増える。

徳興銅鉱での排汚費の現状は年間約2百万元である。これは楊桃塢酸性水の排汚費が免除されたためで以前は約3百万元であった。しかし、四号尾鉱庫が今年度から支払の対象となり、年間1.6百万元増える見込みである。

現在、旧坑125Aが28,800元/月、旧坑125Bが35,500元/月、二号尾鉱庫が70,000元/月となっている。

(3) 環境管理目標

(a) 排出基準

排水の排出基準に関係する関連法規の調査から、徳興銅鉱に適用される排水基準としては、「重有色金属工業汚染物質排出基準」が優先され、これに規程されていない物質については一般的な「汚染総合排出基準」が適用される。

徳興銅鉱を対象として、通常考えられる汚染物質を種類毎に上記二基準に当てはめて纏めれば以下の表のようになる。

(単位:ppm)

種類	T-Hg	有機Hg	T-Cd	Cr ⁶⁺	T-Cr	T-As	T-Pb	T-Ni
基準	0.05	検出せず	0.2	0.5	1.5	0.5	1.0	1.0

種類	pH	T-Cu	T-Zn	S ²⁻	COD	SS
基準	6~9	2.0	5.0	1.0	150	300

廃水処理の目標水質としては、この国家基準を満足させることが絶対条件となる。徳興銅鉱の酸性廃水の水質として、ダンプリーチングの銅抽出廃水を別とすれば、毒性の強い物質（上段）のなかで基準を超えるのはNiのみと考えられる。

日本の排出基準で生活環境項目と言われる下段の成分については、pH, Cu, およびSSが問題となる。特に排出基準に直接基準がないが、徳興銅鉱の酸性廃水中にはFeとMnが高い。

日本の生活環境項目に準ずれば、溶解性鉄、マンガンについては基準として10

ppmを排出の目標水質として廃水処理プロセスの検討を行うこととする。

(b)排水および環境基準点

排水規制の基準点となる場所は大塙川への排水口ではなく、楽安川への放流地点である大塙川と楽安川の合流点である。なお、環境基準は楽安川に、第四類が適用される（江西省環境保護局長談）。環境基準点は排水基準点と同じ大塙川と楽安川の合流点が有力視されている。

第4章 鉍廃水の処理量と性状の検討

第4章 鉱廃水の処理量と性状の検討

4-1 降雨と排水系

4-1-1 鉱廃水の現状

徳興鉱山は中国最大の露天掘銅鉱山であるが、中国側資料によれば、現在、酸性廃水として2.1百万t/年、アルカリ性廃水として40.9百万t/年の重金属イオンを含む鉱廃水を産出し、大部分は未処理のまま付近の河川に放流されている。

一方、徳興鉱山は、近い将来さらに増産が見込まれており、その計画によれば、酸性廃水は14.8百万t/年に、アルカリ性廃水は62.16百万t/年にそれぞれ大幅に増加するという。本調査団による廃水処理計画策定に当っては、将来の廃水量を見込んだものとする必要があり、その廃水量・水質については中国側が提案することになっている。

本節より4-2節に亘る調査の目的は、鉱廃水の現況調査と、関連資料の収集によってその実態を把握し、それに基づいて中国側提案による将来廃水量・水質の妥当性を検討して、廃水処理の改善計画と概念設計の基礎資料を提供することである。

鉱廃水には露天掘採掘場、廃石場から河川に排出されるもの、旧坑内から排出されるものや、選鉱工程から排出されるものがある。これら鉱廃水を排出形態から、それぞれ河川廃水、坑内廃水、選鉱工程廃水に区分し、調査位置を図4-1-1と図4-1-2に示す。

(1) 鉱廃水の調査方法

鉱廃水源と鉱廃水の流出量・水質の現地調査を雨季（1993年6月）と乾季（1993年9月）に実施した。

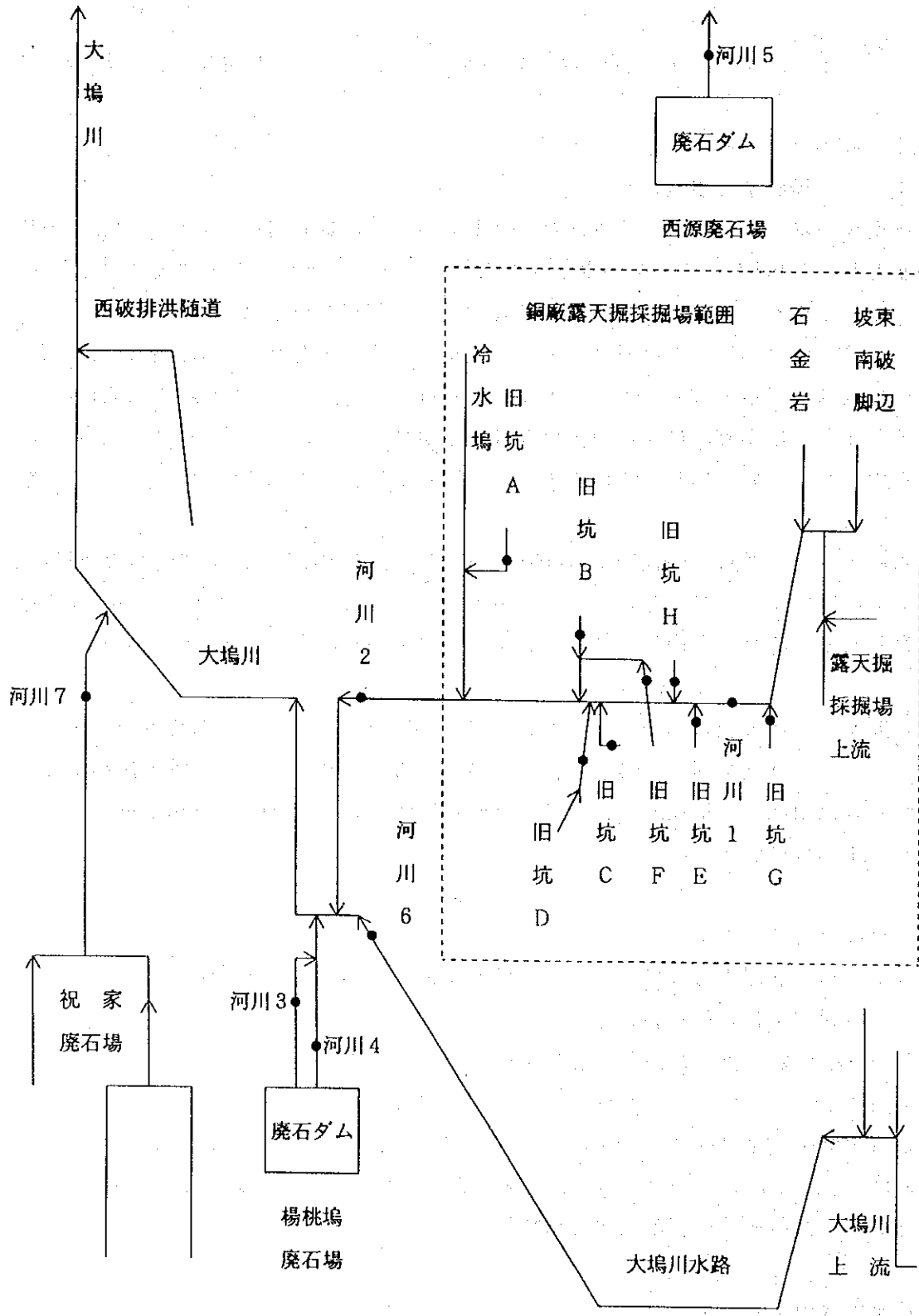
流出量は測定地点の河川断面と浮子法で測定した流速を用いて算出した。測定した河川幅は0.5～5m、浮子測定区間は流速や流路により1m～10mとした。

水質の測定項目は温度（水温）、pH、電気伝導度、化学分析からなる。化学分析では、廃水が酸性の場合はCu, TFe, Fe^{2+} , Fe^{3+} , SO_4 , SSを、アルカリ性の場合はCa, 4.3BX, SSを徳興銅鉱環境衛生部で測定した。

(2) 鉱廃水の調査結果

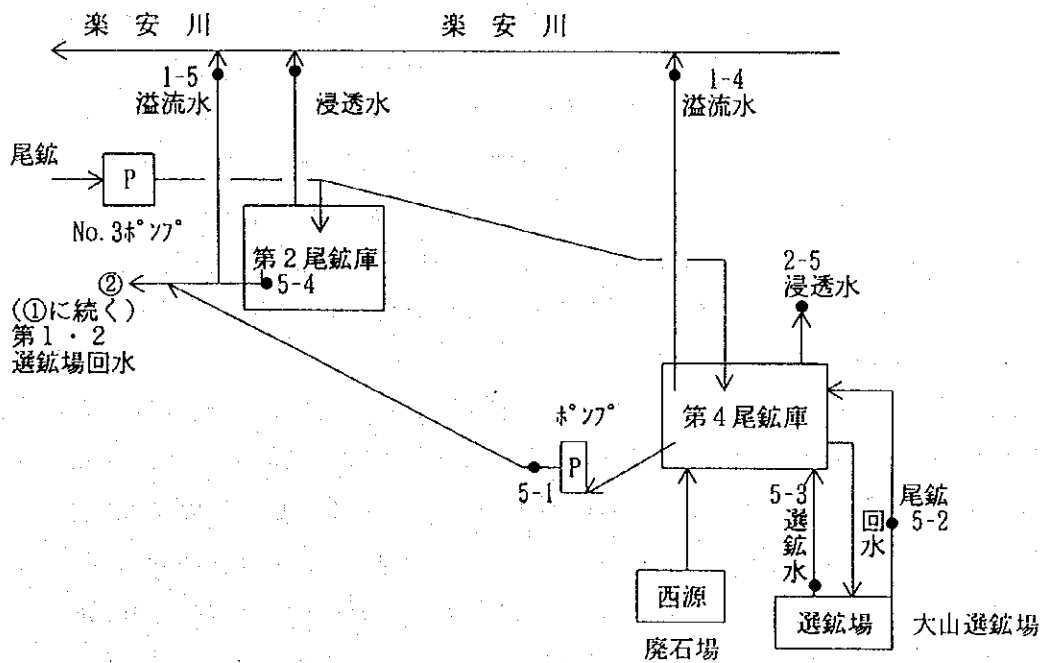
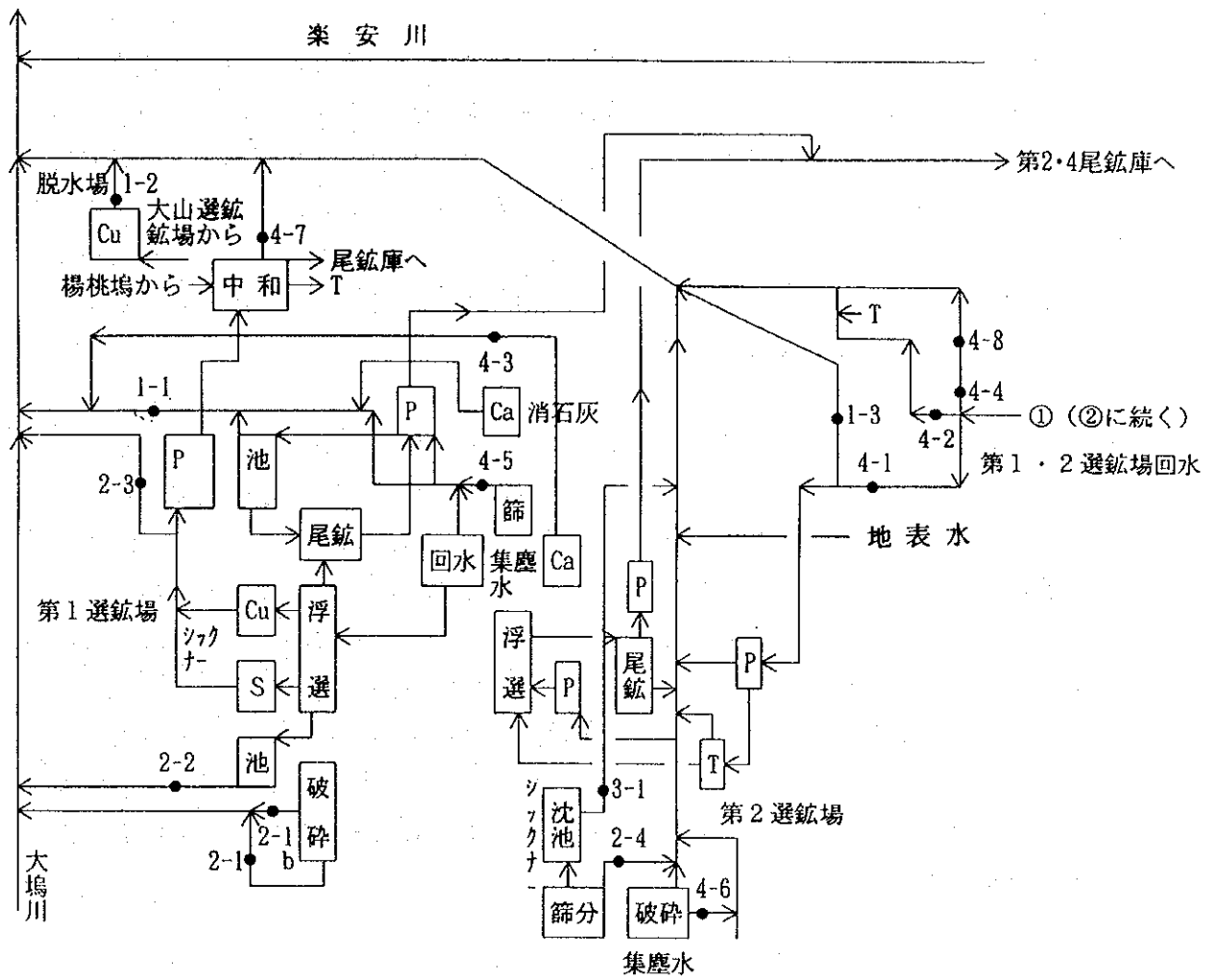
(a) 河川廃水

図4-1-1に示すように、河川廃水の発生源には銅廠露天掘採掘場、楊桃場廃石場、西源廃石場がある。



●：調査地点

図 4-1-1 河川廃水・坑内廃水調査位置図



T : タンク
P : ポンプ
● : 調査地点

図4-1-2 選鉱工程廃水調査位置図

銅廠露天掘採掘場鉱廃水の調査は河川1、2地点で実施した。河川1地点は河川2地点の上流に位置し、露天掘採掘場の南半部から集水する鉱廃水である。河川2地点では露天掘採掘場全体から集水するほか、坑内水も含まれる。楊桃塢廢石場鉱廃水の調査は河川3、4地点で実施した。河川3地点は楊桃塢廢石場の堤体浸透水が、表流水となり集水した地点で、河川4地点は洪水時に非常用豎管から溢流する廢水が集水する地点である。河川5地点は西源廢石場の堤体浸透水が表流水となり集水する地点である。

河川水流出量の測定結果を表4-1-1に示す。河川1地点の6月(雨季)の流出量は $5 \sim 214 \text{ m}^3/\text{分}$ 、9月(乾季)の流出量は $1 \sim 3 \text{ m}^3/\text{分}$ の範囲にある。河川2地点の6月の流出量は $14 \sim 415 \text{ m}^3/\text{分}$ 、9月の流出量は $6 \sim 14 \text{ m}^3/\text{分}$ の範囲にある。これら露天掘採掘場の鉱廃水の流出量は、降雨により流出量に大きな差が生じる。河川3地点の6月の流出量は $0.1 \sim 2.6 \text{ m}^3/\text{分}$ 、9月の流出量は $0.01 \sim 0.05 \text{ m}^3/\text{分}$ の範囲にある。この廢水は楊桃塢廢石場の透水性の低い堤体を浸透した後の表流水なので、降雨による流出量の差はあまり生じていない。河川5地点の6月の流出量は $66 \text{ m}^3/\text{分}$ 、9月の流出量は $0.7 \sim 0.8 \text{ m}^3/\text{分}$ となる。この廢水は、西源廢石場の透水性の高い堤体を浸透した後の表流水なので、降雨による流出量の差が大きい。

河川水の水質の測定結果を表4-1-1に示す。

河川1地点の6月(雨季)のpHは $2.59 \sim 4.08$ 、電気伝導度は $1.80 \sim 5.32 \text{ ms/cm}$ 、Cuは $15 \sim 36 \text{ ppm}$ 、TFeは $322 \sim 1,323 \text{ ppm}$ 、 Fe^{3+} は $108 \sim 1,186 \text{ ppm}$ 、 Fe^{2+} は $64 \sim 353 \text{ ppm}$ 、 SO_4 は $1,273 \sim 7,673 \text{ ppm}$ 、SSは $3,632 \sim 29,685 \text{ ppm}$ の範囲にある。一方、9月(乾季)にはpHは $3.31 \sim 3.93$ 、電気伝導度は $2.27 \sim 2.67 \text{ ms/cm}$ 、Cuは $24 \sim 34 \text{ ppm}$ 、TFeは $175 \sim 247 \text{ ppm}$ 、 Fe^{3+} は $8 \sim 18 \text{ ppm}$ 、 Fe^{2+} は $167 \sim 229 \text{ ppm}$ 、 SO_4 は $988 \sim 2,552 \text{ ppm}$ 、SSは $3 \sim 699 \text{ ppm}$ の範囲にある。このように、河川1地点では雨季のほうが乾季より廢水のpHが低く、電気伝導度が高い場合が多い。またこれに対応するように、雨季にはCu、Fe、 SO_4 などの溶存物質の含有量が多い。

河川2地点の6月のpHは $2.70 \sim 3.53$ 、電気伝導度は $2.24 \sim 3.31 \text{ ms/cm}$ 、Cuは $15 \sim 29 \text{ ppm}$ 、TFeは $156 \sim 1,171 \text{ ppm}$ 、 Fe^{3+} は $28 \sim 1,107 \text{ ppm}$ 、 Fe^{2+} は $37 \sim 134 \text{ ppm}$ 、 SO_4 は $986 \sim 3,067 \text{ ppm}$ 、SSは $274 \sim 14,948 \text{ ppm}$ の範囲にある。一方、9月(乾季)にはpHは $2.65 \sim 3.84$ 、電気伝導度は $2.27 \sim 2.47 \text{ ms/cm}$ 、Cuは $21 \sim 24 \text{ ppm}$ 、TFeは $71 \sim 75 \text{ ppm}$ 、 Fe^{3+} は $6 \sim 10 \text{ ppm}$ 、 Fe^{2+} は $17 \sim 65 \text{ ppm}$ 、 SO_4 は $700 \sim 1,893 \text{ ppm}$ 、SSは $264 \sim 1,729 \text{ ppm}$ の範囲にある。河川1地点と同様に、雨季のほうが乾季より廢水のpHは低く、電気伝

導度は高い場合が多い。またこれに対応するように、雨季にはCu, Fe, SO₄などの溶存物質の含有量が多い。

河川3地点の6月のpHは2.53~2.70、電気伝導度は2.21~4.87ms/cm、Cuは1~27ppm、TFeは300~966ppm、Fe³⁺は283~888ppm、Fe²⁺は6~78ppm、SO₄は4,528~6,585ppm、SSは16~124ppmの範囲にある。一方、9月(乾季)にはpHは2.65~2.77、電気伝導度は2.47~3.78ms/cm、Cuは15~17ppm、TFeは305~359ppm、Fe³⁺は300~352ppm、Fe²⁺は4~7ppm、SO₄は2,799~4,301ppm、SSは1~58ppmの範囲にある。雨季のほうが乾季よりややpHは低く、電気伝導度は高くなるが、廃水源は浸透水なので、溶存成分濃度のバラツキは廃水源が露天掘採掘場である河川1、2ほど大きくはない。

河川4地点では楊桃塙廃石場洪水時の溢流水を測定している。この溢流水と浸透水(河川3地点)とではFe³⁺/Fe²⁺比が逆転し、溢流水ではFe²⁺がFe³⁺より高く、浸透水ではFe²⁺がFe³⁺より低い。溢流水でFe²⁺が高いのは、楊桃塙廃石場池で鉄クズを用いて溶存銅を回収してるため、銅と置換されFe²⁺溶解したためと考えられる。

河川5地点の廃水源は西源廃石場の浸透水であるため、楊桃塙廃石場の浸透水(河川3地点)と同様に、雨季のほうが乾季よりややpHが低いが、溶存成分濃度のバラツキは露天掘採掘場の河川1、2ほど大きくはない。

徳興銅鉱の排水基準はpHが6~9、SS<300ppm、Cu<2.0ppmであり、測定したpHとCuはほとんどすべて排水基準を越えている。SSは露天掘採掘場の河川廃水が排水基準を越えている。

(b) 坑内水

旧坑内鉱廃水は旧坑A~H地点で実施した。鉱廃水源の一つとなっている銅廠鉱体は、現在露天掘で採掘されているが、1950年代以前は、坑内採掘が行われていた。現在の露天掘により、以前地下にあった旧坑が地表に露出し、その旧坑口から酸性廃水が流出している。上記旧坑A~Hの8地点がその流出箇所である。

坑内廃水の調査位置を図4-1-1に、坑内水測定結果を表4-1-2に示す。旧坑A地点の6月(雨季)の流出量は0.84~1.42m³/分、9月(乾季)の流出量は0.38~0.97m³/分である。雨季は乾季に比べ流出量がやや増加するが、地下を浸透しそれが旧坑沿いに流出したものであるため、表流水より変動が少ない。その他

の旧坑も旧坑Aと同様に、流出量の変動が表流水より少ない。流出量の多い箇所は旧坑B、旧坑F地点であり、それぞれ1.7~5.9m³/分、2.4~15.5m³/分の範囲にある。旧坑B、F地点での流出量が他の旧坑より多いのは、鉱山資料によると、これら旧坑周辺がかって大規模に稼行され、坑内空洞が多数分布するため、集水状況が良好になっていることに起因していると思われる。

旧坑A地点の6月(雨季)のpHは2.73~3.27、電気伝導度は4.69~8.38ms/cm、Cuは77~136ppm、TFeは353~410ppm、Fe³⁺は167~352ppm、Fe²⁺は15~243ppm、SO₄は7,866ppm、SSは42~12,060ppmの範囲にある。9月(乾季)のpHは3.02~3.03、電気伝導度は3.90~5.33ms/cmである。Cuは1~74ppm、TFeは162~172ppm、Fe³⁺は144~154ppm、Fe²⁺は8~28ppm、SO₄は5,721~7,203ppm、SSは106~220ppmの範囲にある。

雨季は乾季に比べpHの低いものが多い。その他の旧坑も同様な傾向を示し、pH 2~3の値を示すものが多い。電気伝導度に関しては、雨季では乾季に比べ値の高い場合が多い。このことは、Cu、Fe、SO₄などの溶存成分の含有量が、雨季では乾季に比べ多いことと対応している。

旧坑D地点ではその他の旧坑と異なり、Fe²⁺がFe³⁺より高い値を示している。この旧坑でも鉄クズにより坑内水から銅を回収しているため、河川4(楊桃塙溢流水)と同様に、銅と置換されたFe²⁺溶解したためと考えられる。

このような旧坑DでのFe濃度の人工的な変動を除けば、坑内水の水質は上述した河川水と比較しても、pH、電気伝導度や溶存成分の変動幅にそれほどの違いがない。このことは河川水や地下水が、銅廠鉱体という同じ鉱化帯を通過し、類似した水・岩石反応をしていることに対応する。

徳興銅鉱の排水基準項目のうちpH(6~9)とCu(<2.0ppm)のほとんどすべてが基準を越えている。SS(<300ppm)は雨季採取試料の一部が基準を越えてるが、乾季試料では基準を越えるものがない。

(c) 選鉱工程廃水

選鉱工程の廃水は第1、2選鉱場、大山選鉱場や第2、4尾鉱庫周辺の24地点で実施した。選鉱工程廃水の調査位置を図4-1-2に示す。選鉱工程廃水の測定結果を表4-1-3に示す。

調査地点1-1には第1選鉱場選鉱水と第2選鉱場廃水が排出する。流出量は2.43~6.05m³/分、pHは9.26~11.66、Caは22~133ppm、SSは49~1,058ppmである。

pHのすべてとSSの一部が排水基準を越えている。

調査地点2-2, 2-3 には第1選鉱場廃水が排出する。流出量は $0.23\sim 4.10\text{m}^3/\text{分}$ 、pHは $10.80\sim 12.22$ 、Caは $41\sim 201\text{ppm}$ 、SSは $112\sim 573\text{ppm}$ である。pHのすべてとSSの一部が排水基準を越えている。

調査地点2-1, 2-1bには第1選鉱場破碎机廃水が排出する。地点2-1では、流出量は $1.40\sim 2.74\text{m}^3/\text{分}$ 、pHは $7.88\sim 8.15$ 、Caは $12\sim 29\text{ppm}$ 、SSは $293\sim 3,710\text{ppm}$ である。地点2-1bでは、流出量は $0.43\sim 0.95\text{m}^3/\text{分}$ 、pHは $7.40\sim 8.38$ 、Caは $13\sim 21\text{ppm}$ 、SSは $295\sim 1,137\text{ppm}$ である。両地点ではSSが排水基準を越える場合がある。

調査地点4-5には第1選鉱場篩分廃水が排出する。流出量は $0.63\sim 5.46\text{m}^3/\text{分}$ 、pHは $7.83\sim 8.89$ 、Caは $10\sim 15\text{ppm}$ 、SSは $209\sim 246\text{ppm}$ である。本調査では排水基準を越えるものは認められなかった。

調査地点4-6には第2選鉱場破碎机廃水が排出する。流出量は $1.54\text{m}^3/\text{分}$ 、pHは 7.07 、Caは 14ppm 、SSは 148ppm である。本調査では排水基準を越えるものは認められなかった。

調査地点2-4, 3-1 には第2選鉱場篩分廃水が排出する。地点2-4 では、流出量は $9.54\sim 22.00\text{m}^3/\text{分}$ 、pHは $4.96\sim 8.47$ 、Caは $48\sim 248\text{ppm}$ 、SSは $979\sim 1,712\text{ppm}$ である。地点3-1 では、流出量は $3.09\sim 4.07\text{m}^3/\text{分}$ 、pHは $6.88\sim 8.35$ 、Caは $42\sim 178\text{ppm}$ 、SSは $149\sim 1,642\text{ppm}$ である。SSは排水基準を越えることが多い。pHは中性を示す場合が多いが、排水基準を越えるpH値(4.96)も計測している。

調査地点4-3 には消石灰工場の廃水は排出する。流出量は $0.34\sim 2.40\text{m}^3/\text{分}$ 、pHは $10.20\sim 11.73$ 、Caは $30\sim 109\text{ppm}$ 、SSは $170\sim 627\text{ppm}$ である。pHとSSが排水基準を越えている。

調査地点1-2 には大山選鉱場銅精鉱溢流水が排出する。流出量は $2.96\sim 5.65\text{m}^3/\text{分}$ 、pHは $10.90\sim 12.30$ 、Caは $266\sim 585\text{ppm}$ 、SSは $94\sim 262\text{ppm}$ である。pHが排水基準を越えている。

調査地点4-7 には既設中和処理場の廃水が排出する。流出量は $4.07\sim 7.53\text{m}^3/\text{分}$ 、pHは $3.52\sim 6.64$ である。この中和処理場は楊桃塙廃石場の酸性廃水を処理する施設であるが、廃水が排水基準を越えて排出されることもある。

調査地点5-4 では第2尾鉱庫から第1、2選鉱場への回水が流送している。調

査地点1-5 では地点5-4回水が選鉱用水量以上になった場合に溢流し、楽安川に直接放流される。地点1-5 の雨季（6月）の流出量は $28.01\sim 30.71\text{m}^3/\text{分}$ 、pHは $10.05\sim 10.28$ 、Caは $16\sim 53\text{ppm}$ 、SSは $319\sim 1,105\text{ppm}$ である。乾季（9月）の流出量は $9.06\sim 15.50\text{m}^3/\text{分}$ 、pHは $7.94\sim 10.56$ 、Caは $111\sim 141\text{ppm}$ 、SSは $1,702\sim 2,043\text{ppm}$ である。乾季には溢流し楽安川に放流される水量は減少するが、雨季・乾季ともpHとSSは排水基準を越える。

調査地点5-1 では第4尾鉱庫から第1・2選鉱場への回水が流送している。流出量は $37.69\text{m}^3/\text{分}$ である。第4尾鉱庫からはポンプ揚水しているのので、この流出量はほぼ一定である。この回水は第2尾鉱庫（5-4地点）の回水と合流し、4-1地点を通り、第1、2選鉱場に供給される。

調査地点1-4 では第4尾鉱庫の溢流水が排出している。雨季（6月）の流出量は $150.47\sim 151.81\text{m}^3/\text{分}$ 、pHは $10.57\sim 10.81$ である。乾季（9月）の流出量は $0.54\sim 0.86\text{m}^3/\text{分}$ 、pHは $8.67\sim 11.46$ 、SSは $272\sim 19,808\text{ppm}$ である。雨季と乾季で流出量に大きな違いがある。pHとSSは排水基準を越える場合が多い。

調査地点2-5 では第4尾鉱庫の浸透水が排出する。雨季（6月）の流出量は $29.66\sim 40.19\text{m}^3/\text{分}$ 、pHは $6.77\sim 7.91$ 、Caは 54ppm 、SSは 76ppm である。乾季（9月）の流出量は $4.14\sim 5.87\text{m}^3/\text{分}$ 、pHは $8.13\sim 8.23$ 、Caは $115\sim 119\text{ppm}$ 、SSは $12\sim 20\text{ppm}$ である。雨季と乾季では流出量に差はある。pHやSSは排水基準を越えない。

調査地点4-1 では第2、第4尾鉱庫から第1、第2選鉱場への回水が流送している。調査地点5-1と5-4の回水が合わさり、地点4-1を通過し、第1、2選鉱場に流送される。この回水は、降雨時のような許容量または選鉱用水量以上の回水が流送した場合、4-2地点、4-4地点、4-8地点、1-3地点の排水路へ溢流し、大塙川に直接放流される。4-1地点の雨季（6月）流出量は $54.57\sim 73.11\text{m}^3/\text{分}$ 、乾季（9月）流出量は $52.32\sim 57.87\text{m}^3/\text{分}$ であり、回水がほぼ一定量に選鉱場へ流送されている。しかし、雨季のpHは $4.06\sim 9.34$ と酸性からアルカリ性の範囲で大きく変動する。一方、乾季のpHは $11.00\sim 11.31$ とほぼ一定である。4-2地点、4-4地点、4-8地点及び1-3地点など溢流排水のpHも、雨季には酸性～アルカリ性と変動が大きく、特に4-8地点ではpH3.73を計測している。乾季ではこれら溢流排水はアルカリ性のpHで安定している。これら回水がアルカリ性の時はCaが $64\sim 235\text{ppm}$ 、Sが $19\sim 169\text{ppm}$ となり、酸性の時はCuが $0.17\sim 0.62\text{ppm}$ 、TFeが $0.57\sim 0.82\text{ppm}$ 、 SO_4 が $217\sim 363\text{ppm}$ 、SSが $46\sim 92\text{ppm}$ となる。つまりアルカリ性の時も酸性の時もpHが排水基準を越える場合がある。

調査地点5-2, 5-3は、それぞれ大山選鉱場の尾鉱廃水と選鉱廃水が流送する箇所であるが、調査中（雨季）は運転休止中で第4尾鉱庫からの回水が循環排出されており、その時pHはそれぞれ4.88、4.69と酸性を示した。

尾鉱庫からの回水は雨季に酸性化する現象は次のように想定される。第4尾鉱庫の上流域には西源廃石場がある。これを通過した河川水は前項で述べたように強酸性となる。第4尾鉱庫は乾季には選鉱廃水が多量に流入するためアルカリ性であるが、雨季には西源起源の酸性水が上流側から大量に第4尾鉱庫に流入し、上流側から徐々に酸性に変化する。従って、第4尾鉱庫の上流域から揚水された回水（地点5-2、5-3、4-1）は酸性であり。第4尾鉱庫の下流域からの溢流水（地点1-4）はアルカリ性を示す。

4-1-2 降雨量・蒸発量

(1) 降雨量

鉦廃水量の統計的算出のために降雨量を調査した。雨量は6月と9月の現地調査時に計測するとともに、本調査以前のは徳興気象站の観測データを用いた。本調査で用いた雨量計は0.5mm転倒ます型自記雨量計で、露天掘採掘場内にある銅廠鉦床鉦山鉄道制御室の屋上に設置した。徳興気象站の雨量計は0.1mm転倒ます自記雨量計で、徳興銅鉦山市街（四洲鎮）に設置されている。

雨量の測定結果を表4-1-4に示す。銅廠鉦床鉦山鉄道制御室の雨量計によれば、1993年雨季（6月）調査期間の降雨日数は9日である。6月の月雨量303mmで、日最大雨量は52mmである。1993年乾季（9月）には降雨は記録されていない。徳興気象站の雨量計によれば、雨季（6月）調査期間の降雨日数は10日が記録された。6月の月雨量296mmで、日最大雨量は57.9mmである。乾季（9月）には降雨は記録されていない。銅廠鉦床と徳興鉦山市街の日雨量を比較すると、両者の雨量差は少ない。

徳興気象站の雨量資料解析結果を表4-1-5に示す。1983年～1992年の過去10年間の年・月雨量のほか、これらの平均、標準偏差、月雨量比率を示す。過去10年間のうち年最大雨量は1983年に2,457.7mmを記録している。年雨量の平均は1,901.6mmである。月最大雨量は1992年6月に509.6mmを記録している。月雨量の平均は12月に最小（47.4mm）を、6月に最大（294.3mm）を示す。降雨は3～6月に集中し、この4カ月（雨季）で年雨量の56%を占める。

(2) 年確率雨量

徳興気象站の1983年～1992年の10年間の年雨量（表4-1-5）から、年確率雨量を算出した。10%超過確率雨量を豊水年雨量、50%超過確率雨量を平水年雨量、90%超過確率雨量を渇水年雨量とする。10%超過確率雨量は10年確率雨量に相当する。

計算には次の水文確率解析のための一般方程式を用いた。

$$X_{10} = \mu + \sigma \times K_{10}$$

X_{10} : 10%超過確率雨量(mm)

μ : 年雨量平均値(mm)

σ : 年雨量の標準偏差(mm)

K_{10} : 度数係数

この方程式を用いると、

10%超過確率雨量（豊水年雨量）は2,374mmとなる。

$$X_{10}: 2,374 \text{ mm}$$

$$\mu : 1,902 \text{ mm}$$

$$\sigma : 368 \text{ mm}$$

$$K_{10}: 1.282$$

50%超過確率雨量（平水年雨量）は1,902mmとなる。

$$X_{50}: 1,902 \text{ mm}$$

$$\mu : 1,902 \text{ mm}$$

$$\sigma : 368 \text{ mm}$$

$$K_{50}: 0$$

90%超過確率雨量（渇水年雨量）は1,430mmとなる。

$$X_{90}: 1,430 \text{ mm}$$

$$\mu : 1,902 \text{ mm}$$

$$\sigma : 368 \text{ mm}$$

$$K_{90}: -1.282$$

平水年雨量は豊水年雨量の80%、渇水年雨量は豊水年雨量の60%となる。

(3) 蒸発量

鉱廃水量の統計的算出のために蒸発量を調査した。蒸発量は徳興気象站到設置している蒸発計の観測データを用いて解析した。蒸発量の解析結果を表4-1-6に示す。1983年～1992年の過去10年間の年・月蒸発量のほかに、これらの平均や有効蒸発量を示す。過去10年間のうち、年最大蒸発計蒸発量は1991年に1,415.7mmを記録している。月最大蒸発計蒸発量は1990年7月に255.7mmを記録している。蒸発計蒸発量の月平均は1月に最小（40mm）を、8月に最大（197mm）を示す。

蒸発計蒸発量に蒸発計係数（0.5）を乗じたものが有効蒸発量（以後この有効蒸発量を蒸発量と呼称する）である。

過去10年間を平均した年蒸発量は651mmである。月蒸発量の平均は1月に最小（20mm）を、8月に最大（99mm）を示す。

4-1-3 周辺水系の現状

徳興銅鉱山に関連する鉱廃水調査のほか、周辺の水系の水文調査も実施した。調査位置を図4-1-1に示す。調査地点は大塙川上流（河川6地点）と祝家河川（調査7地点）である。河川6地点では銅廠露天掘採掘場より上流（大塙川上流域）の河川水が集水する。河川7地点上流には現在建設中の祝家廃石場が位置し、将来は集水域の大部分が廃石場となる。

周辺水系の流出量と水質の現地調査は雨季（1993年6月）と乾季（1993年9月）に実施した。流出量は測定地点の河川断面と浮子法やプライス流速計で測定した流速を用いて算出した。測定した河川幅は2~5m、浮子測定区間は流速や流路により5m~10mとした。水質の測定項目は温度（水温）、pH、電気伝導度、化学分析からなる。化学分析ではCu、TFe、 Fe^{2+} 、 Fe^{3+} 、 SO_4 、SSを測定した。

河川水流出量の測定結果を表4-1-1に示す。河川6地点の6月（雨季）の流出量は10~112m³/分、9月（乾季）の流出量は3~4m³/分の範囲にある。河川7地点の6月の流出量は12~209m³/分、9月の流出量は2~11m³/分の範囲にある。これら水系の流出量は、降雨により大きな差が生じる。

水質の測定結果を表4-1-1に示す。河川6地点の6月（雨季）のpHは2.40~2.84、電気伝導度は0.96~1.67ms/cm、Cuは0.2~3ppm、TFeは70~224ppm、 Fe^{3+} は67~221ppm、 Fe^{2+} は3~15ppm、 SO_4 は457~1,087ppm、SSは276~3,662ppmの範囲にある。一方、9月（乾季）にはpHは2.74~2.86、電気伝導度は1.45~1.86ms/cm、Cuは4.4~7.5ppm、TFeは72~222ppm、 Fe^{3+} は68~217ppm、 Fe^{2+} は4~11ppm、 SO_4 は123~1,294ppm、SSは17~66ppmの範囲にある。

このように、河川6地点では徳興銅鉱の排水基準を比較すると、pH(6~9)とCu(<2.0ppm)がその基準を越える場合が多い。また雨季にはSS(<300ppm)が基準を越える。大塙川上流域には徳興銅鉱山とは経営主体の異なる富家塙鉱床あり、このような水質の悪化は、この鉱床に関係する廃水に起因すると思われる。

河川7地点の6月のpHは6.37~7.10、電気伝導度は60~99 μ s/cm、Cuは0~1ppm、TFeは2~146ppm、 Fe^{3+} は2~134ppm、 Fe^{2+} は0~12ppm、 SO_4 は16~123ppm、SSは22~1,175ppmの範囲にある。一方、9月（乾季）にはpHは6.66~7.34、電気伝導度は100~270 μ s/cm、Cuは<1ppm、TFeは<1ppm、 Fe^{3+} は<1ppm、 Fe^{2+} は<1ppm、 SO_4 は5~18ppm、SSは2~7ppmの範囲にある。雨季のほうが乾季よりやや溶存成分が多くなるが、

pHの変動には違いがない。徳興銅鉱の排水基準を比較すると、基準を越える項目はなく汚染はまだ進んでいない。

4-2 廃水処理量の計算

4-2-1 河川廃水の流出量

鉱廃水には降雨量や蒸発量に影響される河川廃水と、鉱山の操業計画に影響される選鉱工程廃水がある。河川廃水の処理水量算出のため、河川廃水の流出量、流出係数を次のように求めた。

ある期間について考えてみると、近似的に次の水文方程式が成り立つ。

$$P = D + E + \Delta G + \Delta M$$

P : 雨量(mm)

D : 流出量(流出高)(mm)

E : 蒸発量(mm)

ΔG : 地下水の増加量(mm)

ΔM : 地下水以外の地中水の増加量(mm)

しかし、期間として1水年というような周期性のある期間を取り、しかも出発点を適当な季節、例えば最乾燥終期に選べば、 ΔG と ΔM はほぼ0と考えることができる。従って、上式は

$$P = D + E$$

$$D = P - E$$

P : 雨量

D : 流出量(流出高)

E : 蒸発量

となる。すなわち、1水年という単位で考えれば、流出量は雨量から蒸発量を引いた値となる。

流出係数とは本来1つの雨に対して用いるものであるが、1水年単位で用いるとすれば、「年流出係数」という言葉を使い次のように定義することができる。

$$F = D / P$$

$$= (P - E) / P$$

F : 年流出係数

P : 年雨量

D : 年流出量

E : 年蒸発量

つまり、年流出係数は年雨量と年蒸発量がわかれば上の式から求まる。このような計算式を用いて算出した豊水年、平水年、渇水年の年流出量と年流出係数を表4-2-1に示す。

豊水年の流出量（流出高）は1,723mm、平水年の流出量は1,251mm、渇水年の流出量は779mmとなる。年流出係数は豊水年で0.72、平水年で0.65、渇水年で0.54となる。

豊水年（10年確率雨量）に対する月雨量(P_i)、月流出量(D_i)、月流出係数(F_i)を求め、表4-2-1に示した。

各月雨量の平均値を月雨量(r_i)、月雨量の総計を年雨量(P_y)とし、この月雨量を年雨量で除したものを月雨量の割合(R_i)とした。

$$R_i = r_i / P_y \quad (i=1\sim 12\text{月})$$

従って、豊水年（10年確率雨量： X_{10} ）の月雨量(P_i)は次のように求めた。

$$P_i = X_{10} \times R_i \quad (i=1\sim 12\text{月})$$

月流出量は次の水文方程式のなかで、

$$P = D + E + \Delta G + \Delta M$$

P : 雨量

D : 流出量

E : 蒸発量

ΔG : 地下水の増加量

ΔM : 地下水以外の地中水の増加量

月単位での ΔG と ΔM の変動も少ないので、年流出量に対して適用される次の関係式

$$D = P - E$$

P : 雨量

D : 流出量

E : 蒸発量

を月流出量にも適用した。

$$D_i = P_i - E_i$$

P_i : 月雨量

D_i : 月流出量

E_i : 月蒸発量

また、月流出係数も年流出係数の考え方を適用した。

$$F_i = D_i / P_i \\ = (P_i - E_i) / P_i$$

F_i : 月流出係数

P_i : 月雨量

D_i : 月流出量

E_i : 月蒸発量

これらの計算から、豊水年の月雨量は6月で最大367mm、12月で最小59mmとなる。流出量は6月で最大297mm、12月で最小32mmとなる。流出係数は3月で最大0.88、8月で最小0.37となる。豊水年3～6月(雨季)の月流出量は200mmを越え、この4カ月で年流出量の64%を占める。

4-2-2 河川廃水量

上述した流出量を基に河川廃水量を算出した。河川廃水源となる場所は銅廠露天掘採掘場(廃水は河川1、2を流下)、西源廃石場(廃水は河川5を流下)、楊桃塙採掘場(廃水は河川3、4を流下)、及び祝家廃石場予定地(廃水は河川7を流下)である。露天掘採掘場や西源廃石場は今後の採掘計画により集水面積が変化する。祝家廃石場は現在建設中で、既に述べた河川水質では汚染は確認されていないが、建設が進むに連れて、楊桃塙廃石場のような水質の変化が予想される。一方、楊桃塙廃石場はすでに廃石堆積が終了している。

年廃水量は年流出量に集水面積を掛けたものである。

$$V = 0.1 \times D \times A$$

V : 年廃水量(万 km^3)

D : 年流出量(mm)

A : 集水面積(km^2)

廃水源の月廃水量は月流出量に集水面積を掛けたものである。

$$V_i = 0.1 \times D_i \times A$$

V_i : 月廃水量

D_i : 月流出量

A : 集水面積

鉱廃水量の算出結果を表4-2-2に示す。

銅廠露天掘採掘場は採掘計画によれば、集水面積が1996年には1.73 km^2 、2003年には3.21 km^2 、最終年には2.71 km^2 となる。10年確率雨量時の流出量1,723mmに対応する年廃水量は、1996年に297万 m^3 /年、2003年に552万 m^3 /年、最終年に466万 m^3 /年となる。1996年の月廃水量を見ると、6月で最大51.4万 m^3 /月となり、11月で最小4.5万 m^3 /月となる。

西源廃石場の集水面積は1996年には1.50km²、2003年には2.50km²となる。10年確率雨量時の流出量1,723mmに対応する年廃水量は、1996年に258万m³/年、2003年に430万m³/年となる。1996年の月廃水量を見ると、6月で最大44.6万m³/月となり、11月で最小3.9万m³/月となる。

楊桃塙廃石場は堆積が終了しており、流出量1,720mmに対応する年廃水量は309万m³/年となる。月廃水量は6月で最大53.5万m³/月となり、11月で最小4.7万m³/月となる。

祝家廃石場予定地の集水面積は1996年には1.70km²、2003年には2.00km²、最終年には3.60km²となる。流出量1,723mmに対応する年廃水量は、1996年に292万m³/年、2003年には344万m³/年、最終年には619万m³/年となる。1996年の月廃水量を見ると、6月で最大50.5万m³/月となり、11月で最小4.4万m³/月となる。

4-2-3 河川廃水処理量

上述した河川廃水量を基に処理水量を求めた。各廃水源の年廃水量は全量、通年等量処理されるものとし、処理水量を計算し、表4-2-3に示した。

銅廠露天掘採掘場の年廃水量は、1996年に297万m³/年、2003年に552万m³/年、最終年に466万m³/年なので、これらを全量処理するには、1996年で24.8万m³/月、2003年で46.6万m³/月、最終年で38.8万m³/月の月処理量となる。これらを月処理量とすると、雨季の6月に1996年で92.0万m³、2003年で170.7万m³、最終年で144.3万m³が未処理量として残るが、それぞれ乾季の2月には廃水量全量が処理される計算となる。

西源廃石場の年廃水量は、1996年に258万m³/年、2003年に430万m³/年なので、これらを全量処理するには、1996年で21.5万m³/月、2003年で35.8万m³/月の月処理量となる。これらの月処理量とすると、雨季の6月に1996年で79.8万m³、2003年で133.1万m³が未処理量として残るが、それぞれ乾季の2月には廃水量全量が処理される計算となる。

祝家に廃石場が建設されると、その年廃水量は1996年に292万m³/年、2003年に344万m³/年、最終年に619万m³/年となる。この廃石場にはダンプリーチングによる

銅回収施設が建設予定されており、この廃水の一部がリーチングに使用される。その使用量は1996年には171万 m^3 /年、2003年以降は171万 m^3 /年または342万 m^3 /年が計画されている。従って、廃水量からリーチング使用量を差し引いた分が処理されなければならない。この残量を処理するには、1996年で10.2万 m^3 /月、2003年で14.5万 m^3 /月または0.2 m^3 万/月の月処理量が必要となる。これらを月処理量とすると、雨季の6月に1996年で90.3万 m^3 、2003年で106.2万 m^3 が未処理量として残るが、それぞれ乾季の2月には廃水量全量が処理される計算となる。

楊桃塢廃石場は既に廃石堆積が終了している。年廃水量は309万 m^3 /年なので、これらを全量処理するには、25.8 m^3 万/月の月処理量となる。この月処理量とすると、雨季の6月に1996年で95.7万 m^3 が未処理量として残るが、乾季の2月には廃水量全量が処理される計算となる。

4-2-4 既存算出廃水量との比較

中国では徳興銅鉱山建設時に各種水文量を算出している。この算出に用いられているデータのうち、雨量は1957～1959年、1963～1978年に楽安川沿いの海口村で、河川流量は1957～1970年、1972～1975年、1977年に楽安川沿い香屯村で、蒸発量は1958～1962年、1964～1978年徳興で、それぞれ観測されたデータである。

これら観測値を用いて解析された水文量のうち、

豊水年雨量（10%超過確率雨量）は2,350mm

平水年雨量（50%超過確率雨量）は1,870mm

渇水年雨量（90%超過確率雨量）は1,410mmである。

豊水年の流出係数は0.7

平水年の流出係数は0.5

渇水年の流出係数は0.4である。

本調査に用いたデータは徳興気象站資料と本調査時に徳興銅鉱山で観測したものである。

豊水年雨量は本調査では2,374mm、既往調査では2,350mmとなり、観測年度や観測場所に差があるものの、両者の豊水年雨量は良い一致を示す。また、平水年雨量は本調査では1,902mm、既往調査では1,870mmとなり、渇水年雨量は本調査では1,430mm、既往調査では1,410mmとなり、平水年雨量と渇水年雨量も両調査結果を比較すると良い一致を示す。

また、豊水年の流出係数は本調査では0.72、既往調査では0.7、平水年の流出係数は本調査では0.65、既往調査では0.5、渇水年の流出係数は本調査では0.54、既往調査では0.4である。豊水年の流出係数は両調査結果で良い一致を示すが、平水年と渇水年の流出係数は既往調査の方が本調査に比べ0.15ポイントほど低い。

本調査と既往調査の廃水量解析結果の比較を表4-2-4に示す。廃水量は集水面積×年流出量(=集水面積×年雨量×流出係数)である。本調査による楊桃塙、西源、祝家の豊水年廃水量は、既往調査の廃水量と比較して4%ほど多いが、良い一致を示している。一方、本調査による楊桃塙、西源、祝家の平水年と渇水年廃水量は既往調査の廃水量と比較して、それぞれ10%、37%多い。これは、既往調査と比較して、本調査の平水年雨量・平水年流出係数、渇水年雨量・渇水年流出係数の解析値が高いことによる。

採掘場(銅廠露天掘採掘場)の廃水量は、既往調査では中国の露天掘採掘場の流出量計算法に準拠して算出している(ここではこれを正常廃水量と呼ぶ)。これによれば正常廃水量算出に用いる年雨量は雨季日平均雨量×365日で計算されており、本調査の豊水年廃水量と比較すると30~50%多い。

4-3 廃水処理試験 I・・・基礎試験

廃水の基礎的特性、処理条件を把握するため各種酸性廃水の水質分析、酸性およびアルカリ性廃水の中和滴定試験、酸性およびアルカリ性廃水の混合中和試験、中和殿物の沈降試験、酸性廃水の空気吹き込みによる酸化試験等を行った。

(1) 各酸性廃水の水質分析

基礎試験に用いた酸性廃水の水質分析結果は、「表 4-3-1 試験に用いた各酸性廃水の水質」に示す通りである。

廃石堆積場の浸透水を代表する廃水として、楊桃塙廃石場浸透酸性水を基礎試験の試料として使用した。

試料採取場所としては、農民による沈澱銅採取の影響を避けるため、廃石堆積場最上流の浸透水を採取したが、採取作業が困難なため、後には既設廃水処理場の処理原水を試料として使用した。両者の間には成分濃度に若干の差があるが、基本的な特性には差がないと考えられる。

露天掘廃水は採掘場の末端で採取した。その水質は採取時の降雨状況によって左右される。当然SSの濃度に変化がある。水文Bによる調査の結果と対比すれば、試料は鉄濃度が少し低い、変動の範囲内と思われる。

ダンブリーチング銅抽出廃液は、以前に中国側が試験を行った当時から保管されていた酸性水試料に、抽出剤を添加して脱銅調整した廃液であり、廃水諸元として提示された水質に比較すれば、鉄濃度が少し低いようである。特に第一鉄 (Fe^{2+}) 濃度が低いので、1993年6月30日の調整試料では硫酸第一鉄を添加した。

楊桃塙および露天掘廃水を採取したまま静置し、日数とともに分析した結果では鉄酸化が容易に進むことから、比較的鉄酸化され易い水質であるとみられる。「図 4-3-1 酸性水中の第一鉄の経時変化」参照。

廃水処理の現況で述べた通り、楊桃塙酸性廃水は既設廃水処理場で処理されている。その他の廃石堆積場である祝家および西源の酸性水の水質も、いずれ楊桃塙廃水と同様になるものと想定し、これら酸性廃水は、露天掘廃水、およびダンブリー

チング銅抽出廃液と合わせて新規廃水処理場で処理する。処理廃水の降雨量による流況（豊水、平水、渇水）および、ダンプリーチングの銅生産高（2000t/年、4000t/年）による廃液量を勘案し、それぞれのケースについて、流量比に応じた混合酸性水を作成し、分析した結果は、「表 4-3-2 混合酸性水の水質」に示す通りである。

混合酸性水の水質は、主としてダンプリーチング銅抽出廃液と露天掘廃水の流量割合によって左右される。その関係は、「図 4-3-2 リーチング廃液/露天廃水比対8.4AXの相関」に示す。

リーチング銅抽出廃液は工場から排出されるため、液量、液質ともほぼ一定とみられるが、露天掘廃水はその時の雨量によって水量、水質とも変動することが考えられる。従って、露天掘廃水量が多いときには8.4AXが低くなり、逆に水量が少ないときには比較的8.4AXが高くなることが予測される。

(2) 酸性廃水及びアルカリ廃水の中和特性

楊桃塙、露天掘、およびダンプリーチング銅抽出各酸性廃水について、苛性ソーダ（NaOH）による中和滴定を行い、添加量とpHの関係を試験した。NaOHを炭酸カルシウム（CaCO₃）の当量に換算して横軸に取り、pH値を縦軸とする中和曲線を示せば、「図 4-3-3 楊桃塙廃水中和曲線」、「図 4-3-4 露天採掘場廃水中和曲線」および「図 4-3-5 リーチング廃液中和曲線」の通りである。

この中和試験に用いた各酸性水の初期pH値と、第二鉄（Fe³⁺）、アルミニウム濃度および、8.4AX（酸度）、並びにpH4まで中和するのに要するCaCO₃量を示せば次の通りである。

(単位:ppm)

種類	pH	Fe ³⁺	Al ³⁺	8.4AX	(pH4まで)	採取分析
楊桃塙廃水	2.42	1082	1101	12300	5500	6月11日
露天掘廃水	3.10	65	194	1560	400	6月11日
リーチング廃液	1.97	10900	496	33994	26000	6月21日

8.4AXには各酸性水毎に大きな差があり、中和処理する場合、単位流量当たりで比較してpH8.4まで中和するためには、リーチング銅抽出廃液は、楊桃塙廃水の約3倍の中和剤を必要とし、逆に露天廃水は楊桃塙廃水の約1/8の中和剤で済むことになる。

さらに、pH4まで中和するために必要な中和剤の量は、この傾向がもっと強く現れている。各中和曲線でもpH4になるまでは緩やかな勾配の曲線を示すことは、主としてこの間で中和沈澱を生ずる水酸化第二鉄と、アルミニウム化合物を主とする成分の反応生成によるものと考えられる。

一方、アルカリ性廃水源である選鉱尾鉱のサイクロン・オーバーフロー（尾鉱溢流）について、逆に硫酸（ H_2SO_4 ）を添加して滴定を行い中和滴定曲線を作成した。比較のため尾鉱サイクロン・オーバーフローの上澄水（繰返し用水）についても同様に滴定試験を行った。アルカリ度を示す指標として $CaCO_3$ 当量に換算して示すと、「図 4-3-6 サイクロンオーバーフロー中和曲線」と、「図 4-3-7 サイクロンオーバーフロー上澄水中和曲線」に示す通りである。

初期pH値は、溢流もその上澄水も、12.09である。初めのうちは、両液とも H_2SO_4 の添加とともに次第にpH値が緩やかに下降するが、pHが10前後から上澄水のpHは、急激に低下しpH3に達する。しかし、サイクロン・オーバーフローの場合は、同じ H_2SO_4 の添加量でも（ $CaCO_3$ 当量で約1200ppm）比較的緩やかに下降し続け、pH値で8.5程度に下がるだけで、pH4.5前後ではほぼ水平に推移する。

4.3BXの値で比較すれば、サイクロン・オーバーフローは約2100ppmなのに対して、その上澄水は半分以下の約850ppmである。

このことは、溢流中の固形分中に硫酸を消費するアルカリ性成分が存在することを推定させるものである。

従って、酸性水の中和剤として、尾鉱溢流の方がその上澄水よりも少なく済むものと考えられる。

(3) 酸・アルカリ性廃水の混合中和試験

酸性廃水としては、豊水年でダンプリーチング銅生産高 4000t/年のケースに相当する混合酸性水を対象とし、廃さい堆積場上澄水（回水）と、第三選鉱尾鉱サイクロン分級オーバーフローを中和剤として、それぞれ混合した場合の試験を行った。

尾鉱溢流を混合する場合には、少しずつ添加してpH9まで中和するのと、pH4のところで30分間攪拌してから、pH9まで中和する場合について試験した。

各試験とも横軸に酸性水量に対する中和剤の流量混合比を取り、縦軸にpH値をとれば、「図 4-3-8 サイクロンオーバーフロー上澄水による酸性水の中和」、「図 4-3-9 サイクロンオーバーフローによる酸性水の中和」および、「図 4-3-10 サイクロンオーバーフローによる酸性水の

中和 (PH4で30分攪拌)」に示す通りである。

これらの各試験について、pHと混合比の関係を示せば下表の通りである。

中和剤	混合酸性水 PH	混合比 (中和剤添加量/酸性水)		
		PH2.13→PH4	PH4 →PH9	計
上澄水	2.13	9.0	6.7	15.7
サイクロンオーバー	2.13	3.8	7.4	11.2
サイクロンオーバー (二段中和)	2.13	2.3	5.2	7.5

この結果から混合酸性水をPH9まで中和するのに、上澄水では酸性水量の15.7倍必要とするが、サイクロン・オーバーフローではその約2/3で済み、さらに一旦pH4で30分攪拌する二段階中和の場合には、上澄水の場合の約半分の量で済むことが示されている。

特にpH4まで中和するのに要する中和剤の量はこの傾向が更に著しく、上澄水の場合が酸性水量に対し9倍必要とするのに対し、サイクロン・オーバーフローはその約1/2、さらに二段階中和の場合は1/4の量で済む。

上澄水の場合、アルカリ性成分は液中に溶存しているものだけであるが、サイクロンオーバーフロー中には、固形分のなかにもアルカリ性成分が含まれているため、それが酸性水と反応して、混合比がより少なくて済む結果になっているものと考えられる。

さらに、pH4で30分攪拌することによって、固形分中のアルカリ成分の中和反応が一層進むものとみられ、中和反応としては液・液反応の他に固・液反応が行われていることが考えられる。

次に、二段階中和によりpH9まで中和するのに必要な溢流量と同じ量の溢流を、最初から一度に酸性水に加え中和したが、この場合は60分攪拌を継続してもpH値が7.78までしか上がらず、pH値が一気に酸性域を超えた場合は、サイクロン・オーバーフロー中のアルカリ性成分の一部に、中和反応に与らない成分が存在するものと推定される。

なお、サイクロン・オーバーフローに対し、酸性水を少しずつ添加してpH12から逆にpH9に調節する試験を行った結果を、「図 4-3-11 酸性水添加による逆中和」に示す。

この試験の結果から、pH9までに中和するのに必要な、酸性水量とサイクロン・オーバーフローの混合比は約14.3となり、pHの低い方からpH9まで中和する場合に比較して混合比が高い。この試験では、サイクロン・オーバーフロー固形分中のアルカリ成分が低pH領域で反応することがないため、液・液反応主体の中和しか起きなかったためとみられ、サイクロン・オーバーフロー中の固形物中に炭酸カルシウムのようなアルカリ成分の存在を裏付ける結果とも考えられる。

(4) 中和による水質試験

酸性廃水中の銅、鉄を中和反応で沈澱除去する場合のpH値を把握するために、二段中和試験を行った。一段目は炭酸カルシウムでpH4まで中和し(30分攪拌)、二段目は消石灰でpH値を6,7,8,9に中和する条件を設定した。

酸性水としては混合酸性水を用いた。更に、中和剤として尾鉱サイクロン・オーバーフロー(第三選鉱)を使用して、同じように二段中和試験を行った。それぞれの試験結果は、「表 4-3-3 $\text{CaCO}_3, \text{Ca}(\text{OH})_2$ の二段階中和による排水の水質」と、「表 4-3-4 尾鉱サイクロン・オーバーフローの二段階中和による排水の水質」に示す通りである。

いずれの試験結果からみても、中和pH値が上がるにつれて銅、鉄とも急激に沈澱分離される。徳興銅鉱の排水基準は、銅が2mg/1であるから、安全をみればpH8以上で十分条件を満たすことができる。鉄については排水基準が規定されていないが、溶解性鉄として10mg/1(日本の排水基準)とすれば、銅と同様に、pH8以上あれば十分基準を満たすことができる。

理論的に銅の2mg/1の排水基準を満たすpH値は6.86であるが、炭酸カルシウム・消石灰を使用した二段中和では、pH6で既に0.4mg/1まで下がっている。鉄、アルミニウム等の種々な溶存成分もあるので共沈効果も考えられる。

(5) 中和澱物の沈降試験

楊桃塢廃水、リーチング銅抽出廃液および混合酸性水(豊水年、銅4000t/年)を試料として、中和澱物の沈降試験を種々行った。代表例として混合酸性水に対し、炭酸カルシウム、消石灰による二段中和の処理液の沈降試験結果を、沈降曲線図で示せば、「図 4-3-12 沈降速度試験」に示す通りである。

試験条件は、混合酸性水の8.4AX(9100mg/1)に対し、1当量および0.7当量の炭酸

カルシウムを添加し約60分～80分攪拌し、以後pH9になるように消石灰を添加し、二段階中和した。結果としては、沈降速度が0.036mm/sec., 安定容積(20時間後)が約34%, 圧密濃度は65g/lであった。

なお、各種凝集剤の比較沈降試験も行ったが、楊桃塙酸性水を消石灰でpH9に中和した場合は、非イオン型の高分子凝集剤が成績が良い。

(6) 空気酸化試験

楊桃塙および露天掘廃水を採取し、そのまま静置した場合、酸性水中の第一鉄の経時変化を調査した結果は既に述べた通り、日数とともに鉄酸化が進み易い。

更に、空気を吹き込んで強制的に酸化した場合の試験を行った。

酸性水試料としては楊桃塙廃水を使用した。試験機は攪拌器(2000rpm)付きで槽容量1L(径153mm)の大きさである。

試験条件としては、消石灰によりPHを段階的に設定し(PH3.8, 5, 6, 7)、空気量を1000l/分/m²吹き込んで、反応時間と液中の酸化還元電位をORP計で測定し、同時に、鉄濃度を分析したものである。なお、空気吹き込み中のpH微調整には、水酸化ナトリウムを使用した。試験の結果は、「図 4-3-13 PH別、空気酸化時間による液中第一鉄の酸化」に示す通りである。

この図から酸性廃水のpHが酸性域では、空気を大量に吹き込んでも鉄酸化はあまり進まないが、pHが上がるにつれて酸化が進む傾向が認められた。

また、酸化還元電位の変化は、「図 4-3-14 pH別、空気酸化時間による酸化還元電位の変化」に示す。即ち、PH3.8の酸性領域では、殆ど酸化還元電位の変化は認められないが、pH値が上がると酸化還元電位の変化も大きくなる。

表 4-3-1 試験に用いた各酸性廃水の水質 (1993年6~7月)

(1) 楊桃場廃石堆積場廃水

サンプル採取日		分析日	試料採取場所	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	上流	2.42	143	1999	917	1101	9768		117
7	5	5	処理場	2.80	106	1522	754			7889	
7	12	13	//	2.78	96	1590	751				
7	17	17	//	2.65	144	1769	1102	1122	14694	10742	
7	19	19	//	2.45	125	1737	1163				253

(2) 露天掘廃水

サンプル採取日		分析日	試料採取場所	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	上流	3.10	19.5	237	172	194	2832	2035	688
7	3	5	//	2.85	31.5	247	15.4			952	
7	12	13	//	2.82	35.9	251	150				
7	17	17	//	3.07	37.9	157	110	203	2449	2326	
7	19	19	//	3.11	21.5	184	60			596	15740

(3) ダンプリーチンク銅抽出廃液

サンプル調整日		分析日	試料採取場所	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	21	21	試験	1.97	98.4	10921	20.6	496	53508	33994	
6	30	30	試験 試料	1.80	103	11466	242	820	37100	36194	

表 4-3-2 混合酸性水の水質

混合酸性水		混合比				分析値 (単位: ppm)						
銅量	流況	(a)	(b)	(c)	(c)/(b)	PH	Cu ²⁺	TFe	Fe ²⁺	Al ³⁺	SO ₄ ²⁻	8.4AX
1996～2003年 (2000t/年)												
	豊水	1	1.5	0.3	0.20	2.10	56.4	1869	120	590	10022	9129
	平水	1	1.6	0.4	0.25	2.11	14.3	1974	122	586	10290	9659
	濁水	1	2.5	0.9	0.36	1.95	13.4	2617	90	557	12266	11476
2003年～ (4000t/年)												
	豊水	1	3.4	1.1	0.32	2.00	29.6	2680	71	530	11113	10015
	平水	1	5.0	2.1	0.42	1.94	20.8	3071	47	526	12883	11636
	濁水	0	1.0	0.5	0.5	1.78	45.9	3805	11	502	14859	13271

銅量：ダンプリーチングによる年間電解銅生産高 (t/年)

- (a) 楊桃場廃石場酸性水
- (b) 露天掘酸性水
- (c) ダンプリーチング銅抽出廃液

混合比例：2003年、豊水型、ダンプリーチング銅生産高 4000t/年
 廃石堆積場廃水 (272.86万m³)、露天掘酸性水 (937.27万m³)、リーチング廃液 (290.54万m³) = 1:3.4:1.1

各廃水量は当初中国側が提示した数値に基づいているが、その後、この廃水量は修正されている。

図 4-3-1 酸性水中の第一鉄の経時変化
基礎試験(1993.6.~7.)

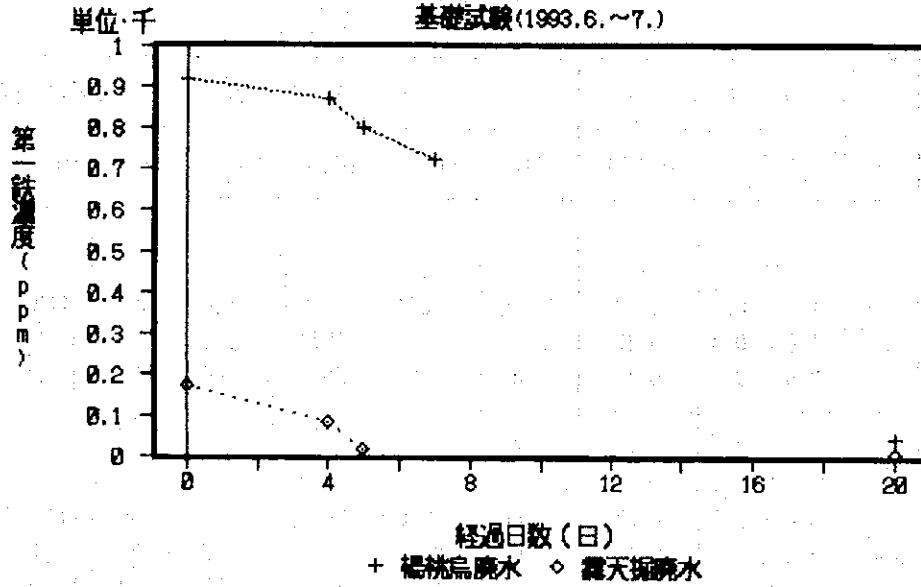
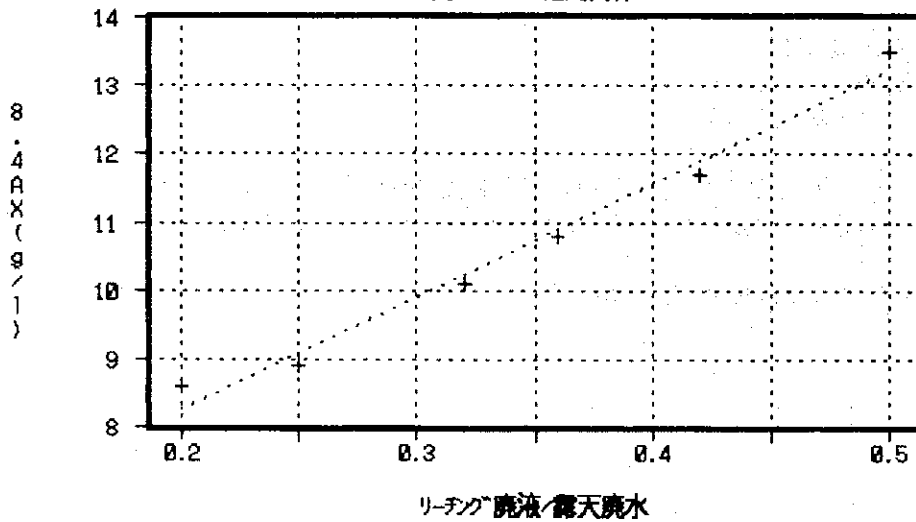


図 4-3-2 リーシング廃液/露天廃水比
対8.4AXの相関関係



水質条件			分析成分 (ppm)					混合比	
年度	流況	銅生産高	pH	Cu ²⁺	TFe	Fe ²⁺	8.4AX	(a):(b):(c)	(c)/(b)
1996	豊水	2000	2.1	56.4	1869	120	9129	1:1.5:0.3	0.2
2003	豊水	4000	2	29.6	2680	70.5	10015	1:3.4:1.1	0.32
1996	平水	2000	2.11	14.3	1974	122	9659	1:1.6:0.4	0.25
2003	平水	4000	1.94	20.8	3071	46.5	11636	1:5.0:2.1	0.42
1996	濁水	2000	1.95	13.4	2617	89.9	11476	1:2.5:0.9	0.36
2003	濁水	4000	1.78	45.9	3805	10.9	13271	0:1.0:0.5	0.5

図 4-3-3 橋杭掘廃水中和曲線

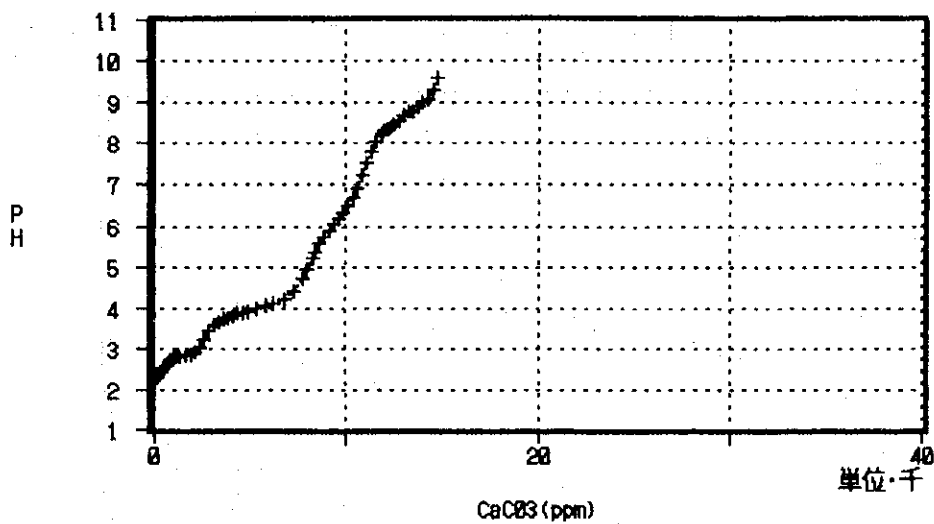


図 4-3-4 露天掘廃水中和曲線

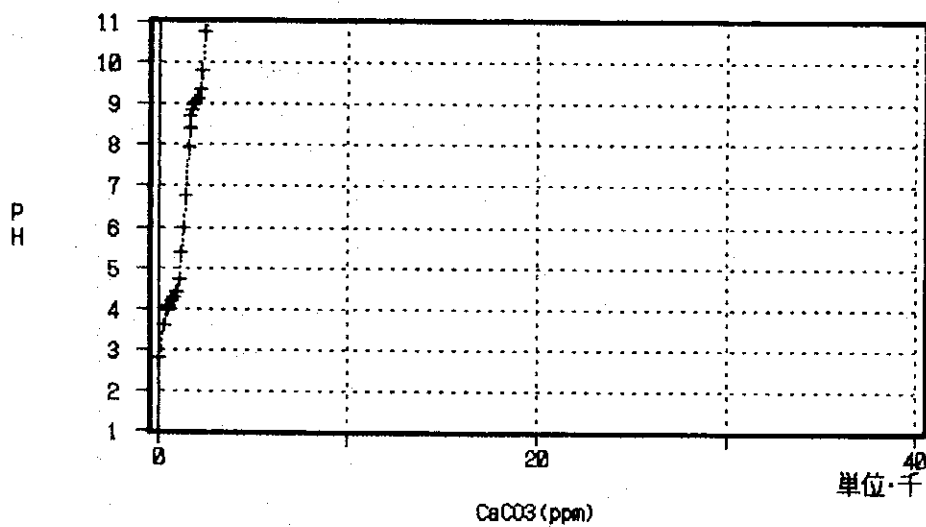


図 4-3-5 リーチンク廃液中和曲線
基礎試験(1993.6.~7.)

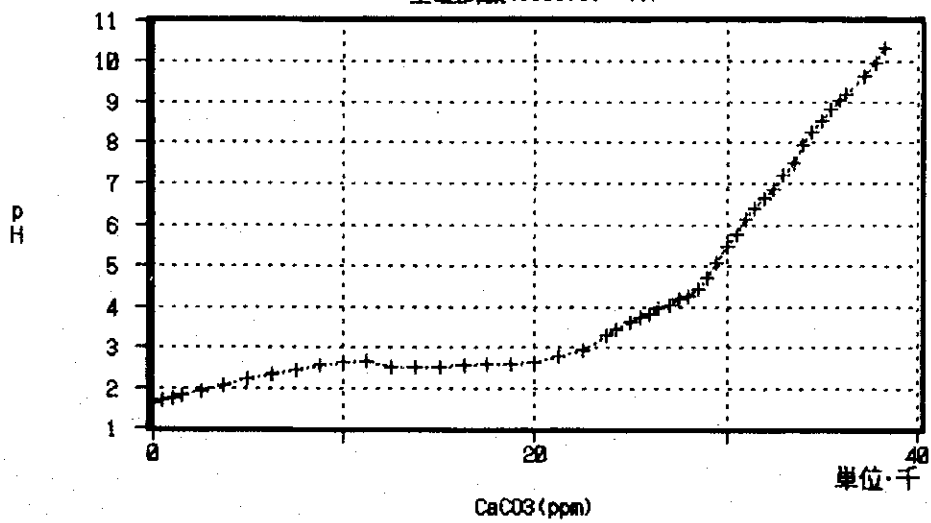


図 4-3-6 サイロ・オー・ア-ろ-中和曲線

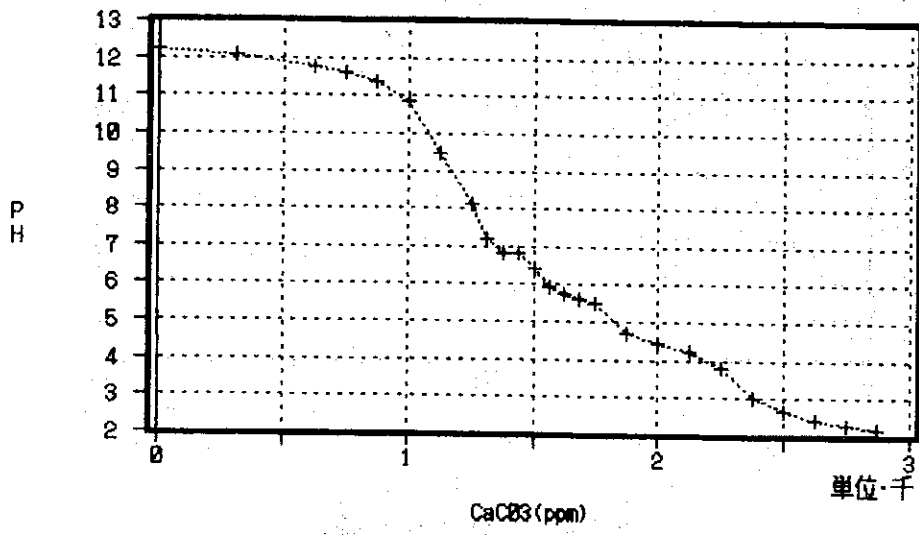


図 4-3-7 サイロ・オー・ア-ろ-上澄水の中和曲線

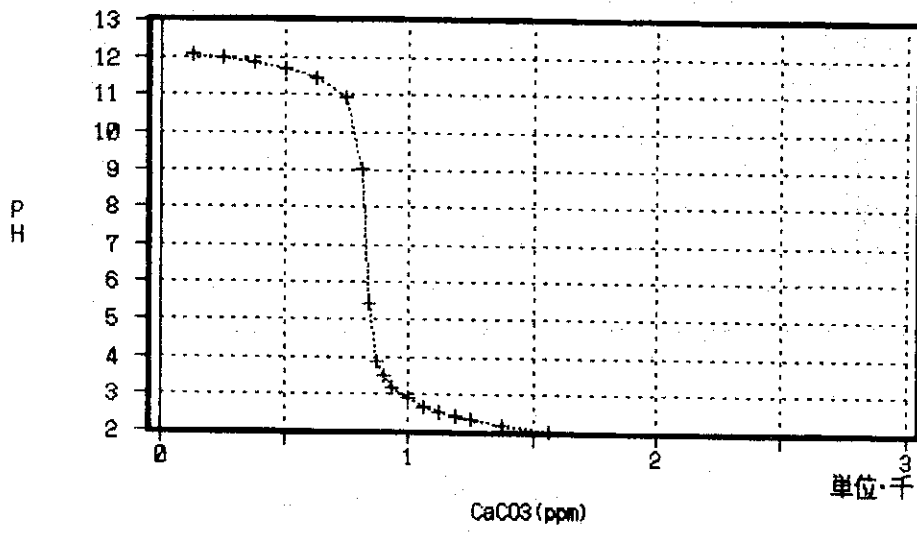


図 4-3-8 リクド・オノ・ア-上澄水
による酸性水の中和(1993.6.~7.)

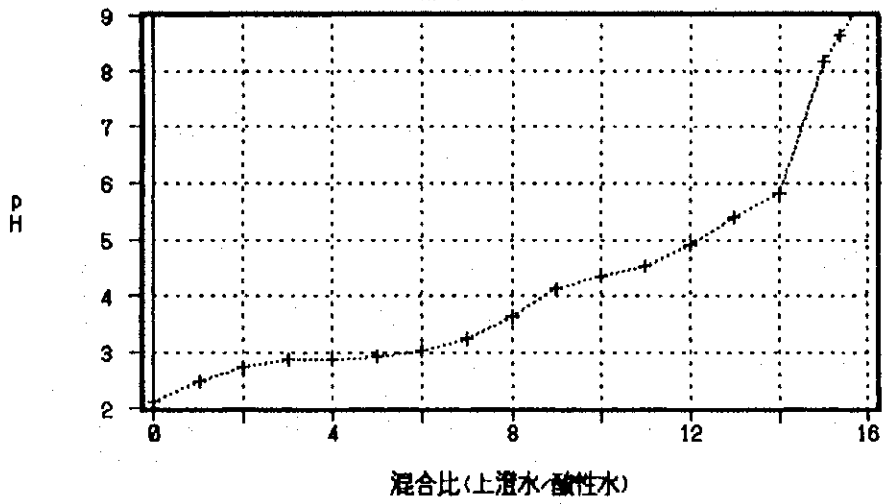


図 4-3-9 リクド・オノ・ア-
による酸性水の中和

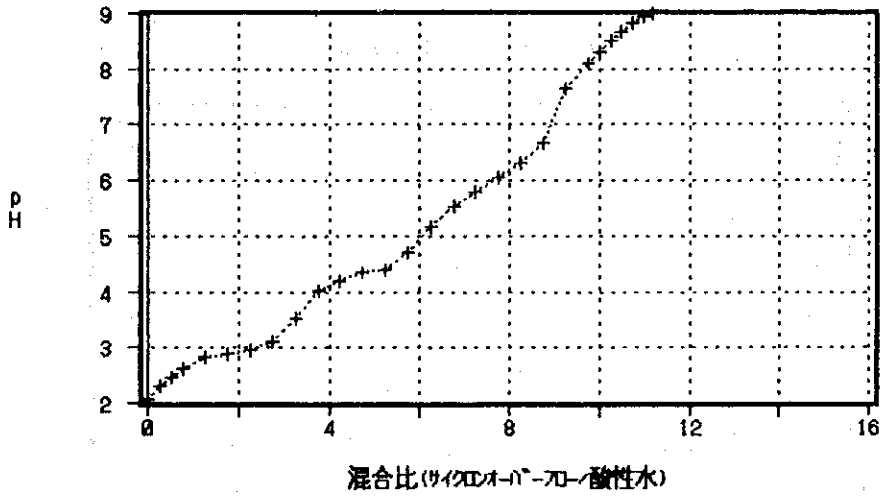


図 4-3-10 リクド・オノ・ア-による
酸性水の中和 (PH4で30分攪拌)

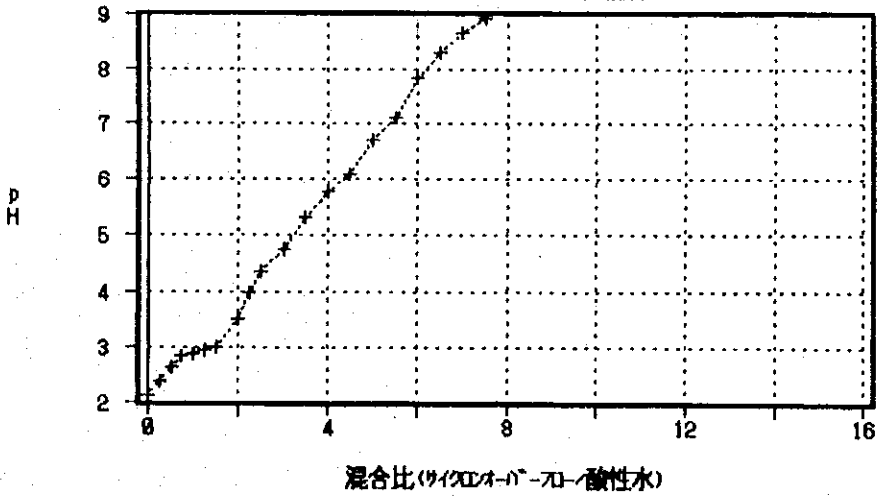


図 4-3-11 酸性水添加による逆中和
(サイクロン-170-500ml)

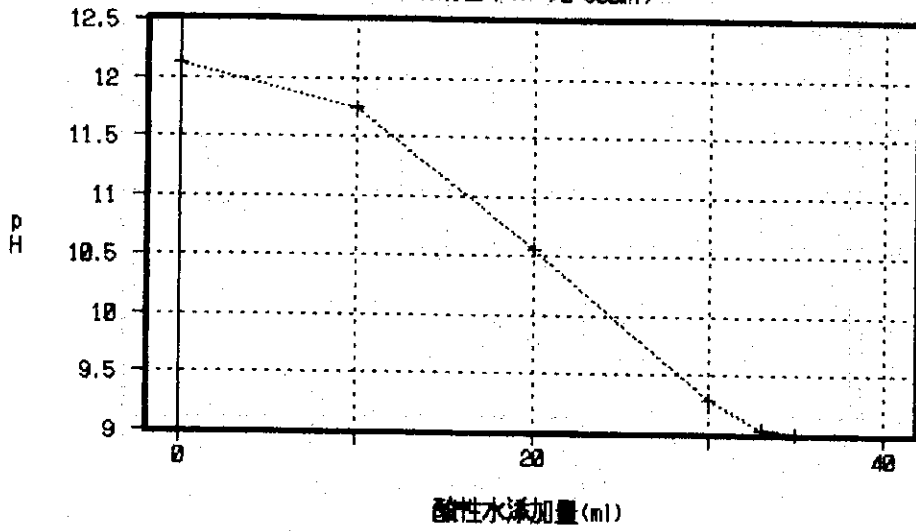


図 4-3-12 沈降速度試験

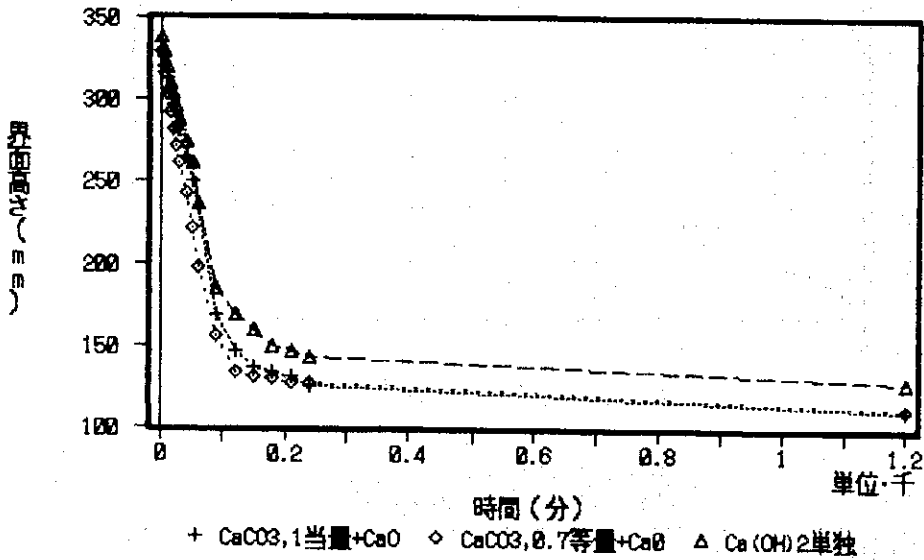
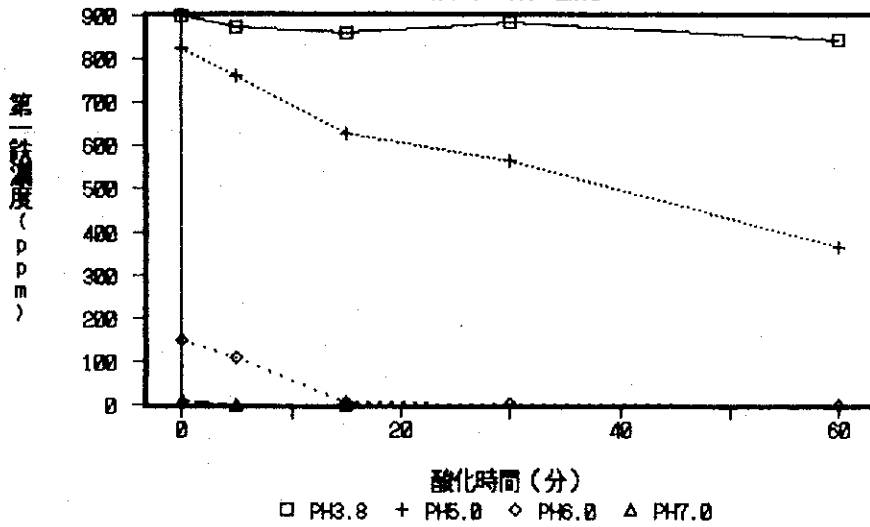


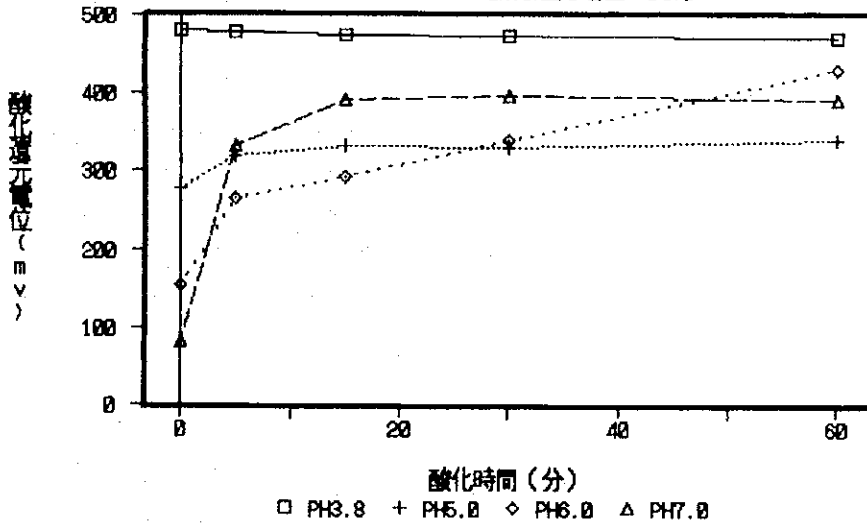
図 4-3-13 pH別、空気酸化時間による液中第一鉄の酸化



空気酸化による液中第一鉄の酸化

空気酸化時間 (分)	Fe ²⁺ (ppm)			
	PH3.8	PH5.0	PH6.0	PH7.0
原水	969	1189	1128	969
0	899	824	150	10.9
5	872	759	109	1.55
15	860	627	7.75	0
30	884	564	3.88	
60	842	365	0	

図 4-3-14 空気酸化による酸化還元電位の変化



空気酸化による酸化還元電位値の変化

空気酸化時間 (分)	ORP (mv)			
	PH3.8	PH5.0	PH6.0	PH7.0
原水	630	624	626	630
0	480	279	155	83
5	478	320	266	333
15	474	332	294	392
30	472	330	340	397
60	471	340	429	391

表 4-3-3 CaCO₃, Ca(OH)₂二段階中和による排水の水質

中和pH値	Cu ²⁺	TFe	Fe ²⁺	Fe ³⁺	備考
酸性水	55.0	2645	70.9	2574.1	pH2.01
pH 4	31.8	56.2	41.1	15.1	(単位:ppm)
6	0.4	8.8	1.9	6.9	
7	0.2	6.78	1.77	5.01	
8	0.12	4.38	1.42	2.96	
9	0.22	2.77	0.10	2.67	

表 4-3-4 尾鉱サイクロン・オーバーフローの二段階中和による排水の水質

中和pH値	Cu ²⁺	TFe	Fe ²⁺	Fe ³⁺	備考
酸性水	56.5	2724	236	2488	pH2.88
pH 4	20.2	208	78.3	129.7	(単位:ppm)
6	2.88	4.07	2.61	1.46	
7	1.30	1.64	0.56	1.08	
8	0.66	0.43	0.19	0.24	
9	0.13	2.49	0.01	2.48	