

國際協力事業団

No. 36

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

要約編

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

鉍調資

J R

95-112

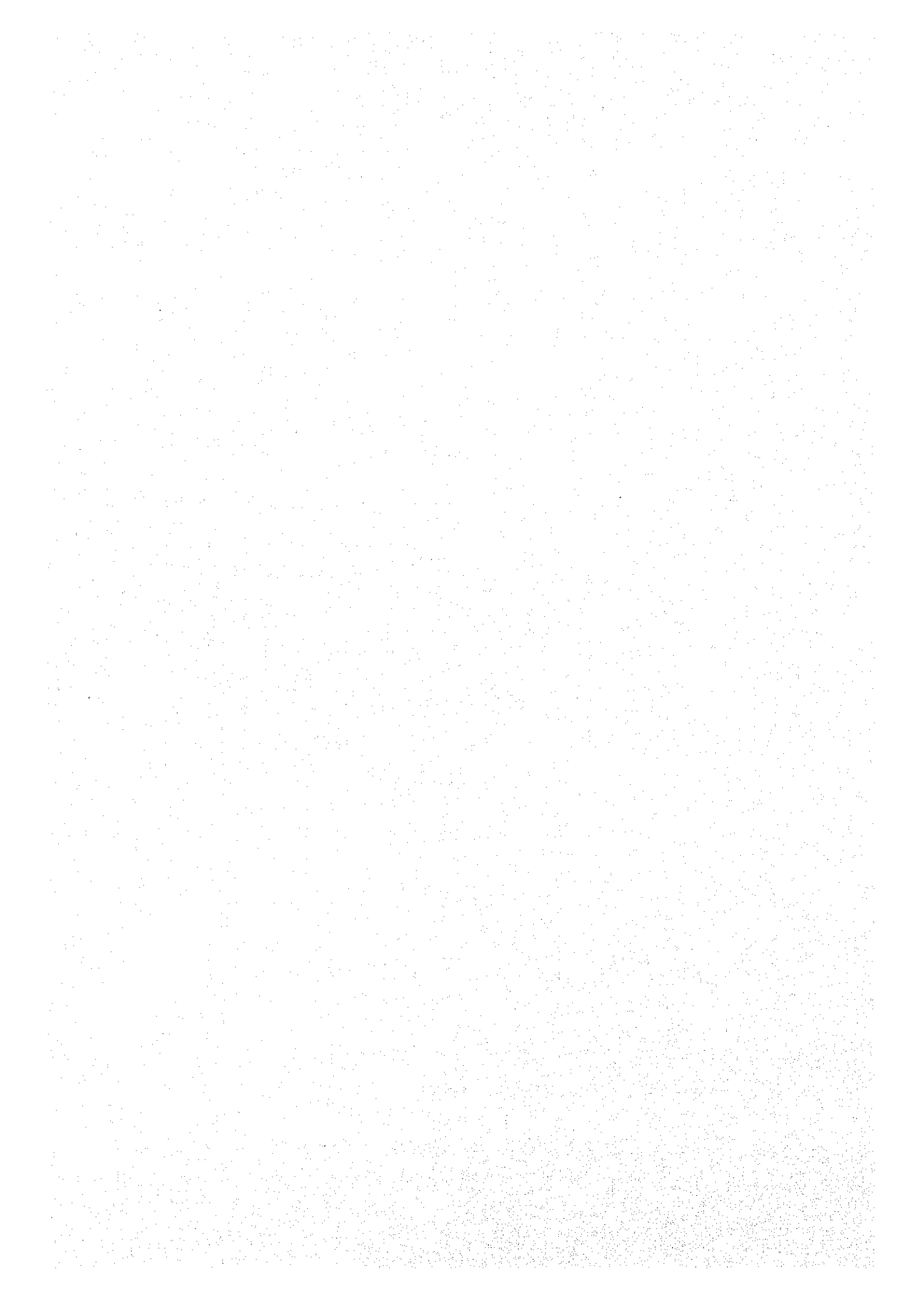
中華人民共和國德興銅鉍山鉍廢水處理計畫調查


最終報告書要約編

1995年3月

國際協力事業団





JICA LIBRARY

1122601 (6)

28492

國際協力事業団
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
要約編

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

29002

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鉱山の鉱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。

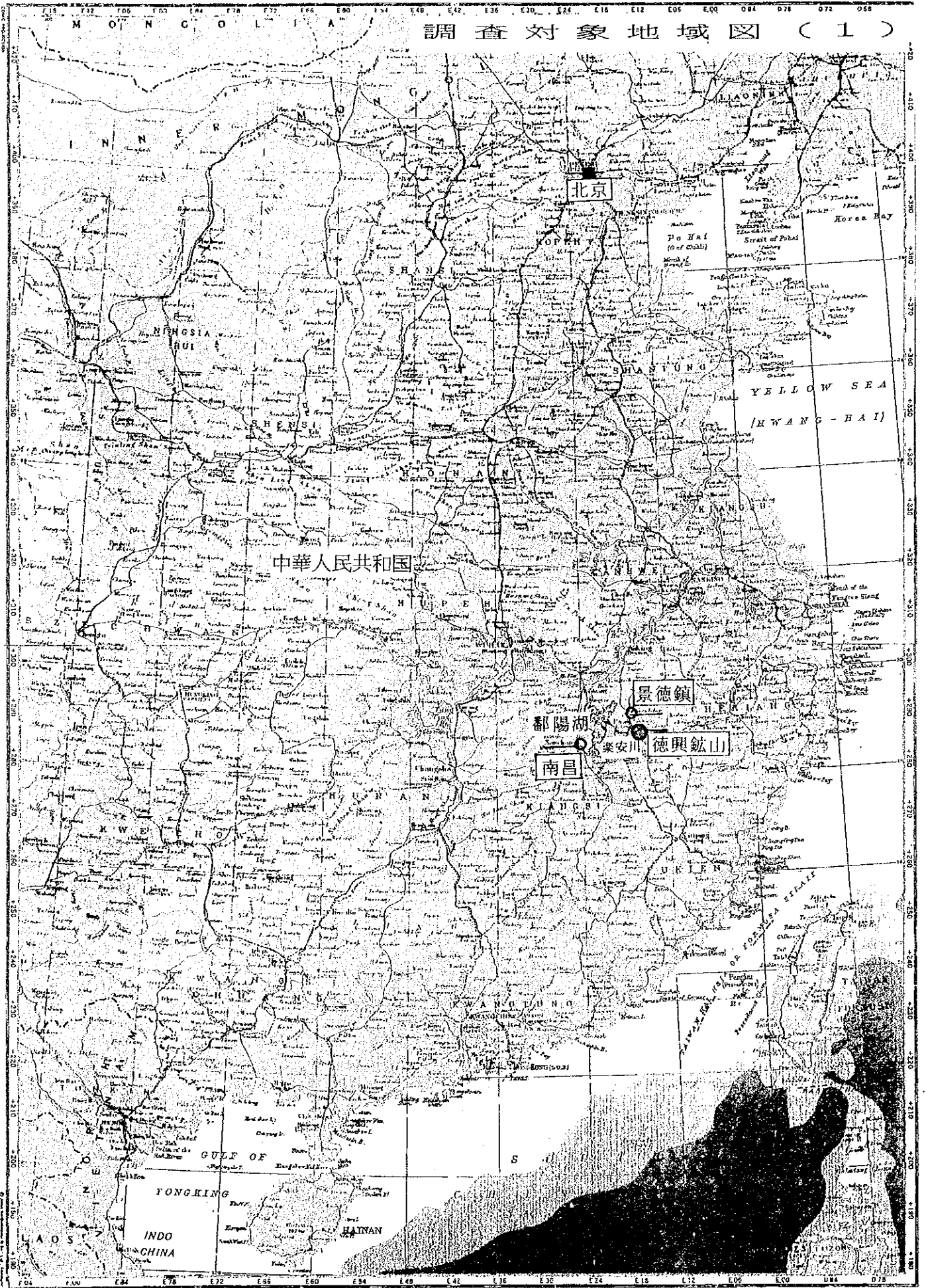
この報告書が、中華人民共和国政府の鉱廃水処理計画の推進に寄与するとともに、両国の友好・親善の一層の発展に役立つことを願うものであります。

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。

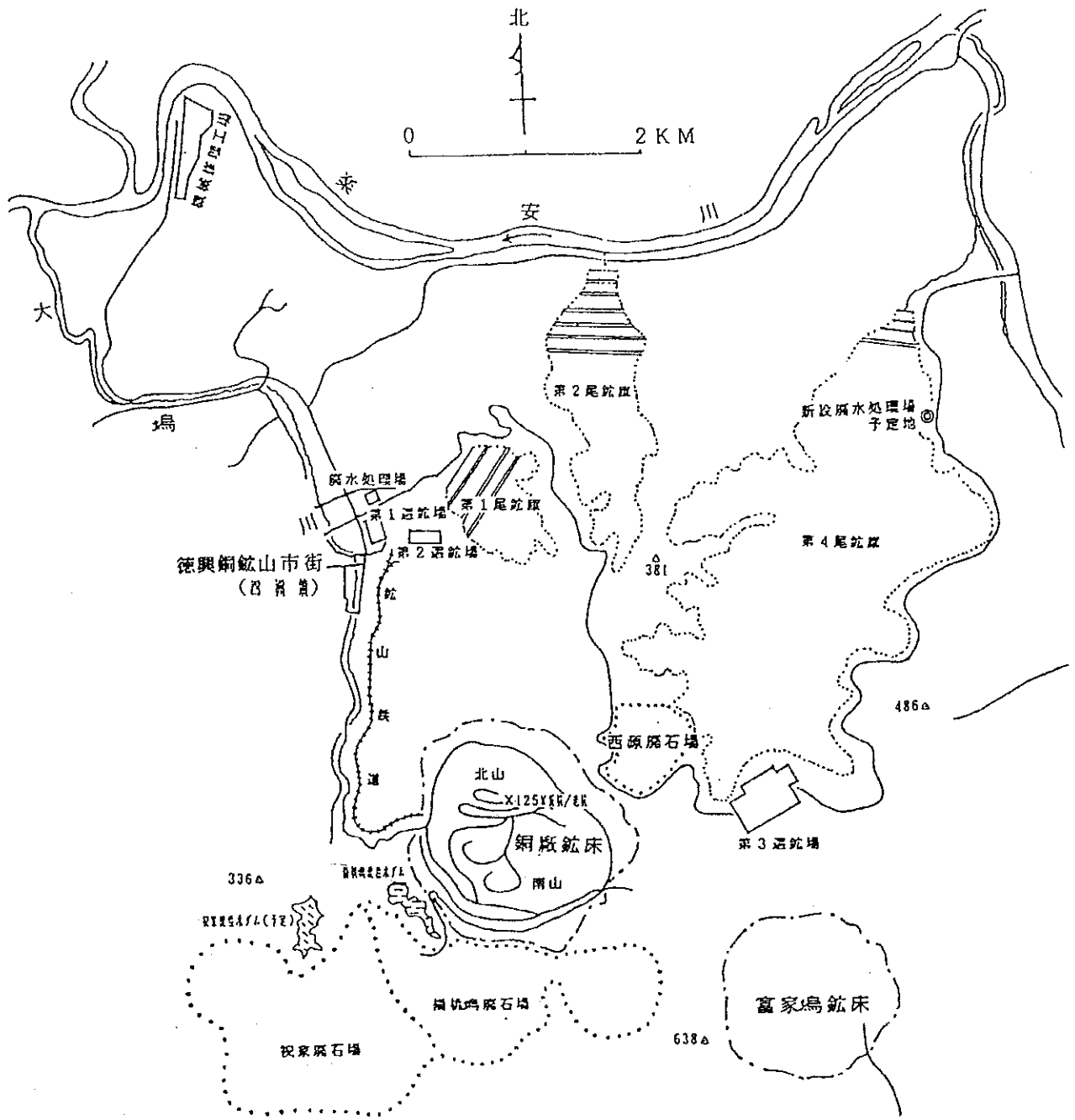
平成7年3月

国際協力事業団
総裁 藤田公郎

調查對象地域圖 (1)



德興銅鉞山概要図



中国徳興銅鉍山鉍廃水処理計画調査
最終報告書 要約編
目次

第1章	序章	
1-1	調査の目的・経緯・内容	1
第2章	中国における環境問題	
2-1	公鉍害の現状と環境政策・組織	3
第3章	徳興鉍山の概要	
3-1	徳興鉍山概況	5
3-2	鉍廃水処理の現状	6
3-3	周辺環境の現状	9
第4章	鉍廃水の処理量と性状の検討	
4-1	降雨と排水系	15
4-2	廃水処理量の計算	19
4-3	廃水処理試験 I：基礎試験	24
4-4	廃水処理試験 II：連続試験	28
第5章	鉍廃水処理基本計画	
5-1	処理水量・水質の決定	37
5-2	廃水処理基本技術の選定	43
5-3	廃水処理全体計画	44
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	47
6-2	プロセスの選定と設計諸元	53
6-3	機械等設備	57
6-4	電気・計装設備	63
6-5	土木・建築設備	69
6-6	操業計画	75
第7章	既設廃水処理施設の改善計画	
7-1	操業の現況	77
7-2	機器保全の現況	77
7-3	問題点の抽出	79
7-4	問題点の検討	80

7-5	改善計画の提案	83
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	87
8-2	酸性廃水貯水計画	88
8-3	送水ルート計画	93
8-4	消石灰施設に関する改善提案	94
第9章	環境モニタリング計画	
9-1	環境モニタリング計画	101
第10章	代替案と将来計画への提言	
10-1	代替案との比較検討	103
10-2	覆土・植栽及び清水と濁水との分離	105
10-3	基本設計または詳細設計への助言	106
第11章	経済性の検討	
11-1	建設費用	111
11-2	操業費用	111
11-3	経済・財務分析	114
第12章	結論と提言	115

表

表4-2-1	河川廃水量解析結果一覧表	21
表4-2-2	廃水処理量解析結果一覧表	22
表4-2-3	廃水量解析結果比較一覧表	23
表4-4-15	連続中和試験に使用した混合酸性水の水質	31
表4-4-46	連続中和試験総括表	32
表4-4-49~4-4-50	尾鉱分級濃度および溢流の分析調査表	34
表4-4-14	連続試験分析一覧表	35
表5-1-2	酸性水の処理量	40
表5-1-3	酸性廃水の水質	40
表5-1-4	選鉱尾鉱マイクロ分級バランス	41
表6-2-1	選鉱尾鉱溢流量の変動範囲	55
表6-2-2	酸性廃水量と尾鉱分級溢流量の比率	55
表10-1-1	代替案との比較表	104
表11-2-1	総投資額	111

表11-3-1	年間操業費	112
表11-5-1	水量と運転費用	113
表11-6-2	経済費用	114

図

調査対象地域図(1)

調査対象地域図(2)

第3-2-1図	徳興鉱山地質・鉱床図	7
図3-2-1	現状の廃水系統概要図	10
徳興-地質評価-002		13
図4-1-1	河川廃水・坑内廃水調査位置図	16
図4-1-2	選鉱工程廃水調査位置図	17
図4-3-3~4-3-10	基礎試験結果グラフ	26
図4-4-1~4-4-3	連続試験結果グラフ	33
図5-3-1	廃水処理全体計画水量バランス	46
図6-1-1	新設排水処理場建設候補地点断面図	49
徳興-地質評価-003		51
図6-2-1	新設廃水処理施設流量バランスシート	56
徳興-設備設計A-001		59
徳興-設備設計A-003		61
徳興-電気・計装-001		65
徳興-電気・計装-003		67
徳興-ダム・土建-001		71
徳興-ダム・土建-005		73
図7-1-2	既設廃水処理施設系統図	78
図7-4-3~7-4-6	既設廃水処理施設試験結果グラフ	82
徳興-ダム・土建-014		89
徳興-ダム・土建-016		91
徳興-ダム・土建-017		95
図8-4-1	既設消石灰工場フロー	98
図8-4-2~8-4-3	消石灰工場改善提案フロー	99
図10-1-2	尾鉱溢流pHと混合比	103
徳興-ダム・土建-019		107
徳興-ダム・土建-020		109

第 1 章 序 章

第 1 章 序章

1-1 調査の目的・経緯・内容

(1) 調査の目的

本調査は徳興銅鉱山において適切な廃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。

(2) 調査の経緯

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年代には既に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。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。

一方では、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、鉱業区の中心を流れる大塢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はん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などから今日に至るまで抜本対策が立てられていない。かかる事態を重く見た中国政府は、徳興鉱山廃水処理対策に関する技術協力を日本政府に要請越した。

日本政府は、中国政府の要請に応じて1991年7月に調査団を派遣し、本件を正式協力事業とする旨確認した。

更に、1992年 3月に予備調査団が具体的内容の確認、サイト調査を行い、「低品位銅鉱石のダンプリーチング」計画等を考慮した廃水処理設備について技術協力することが合意され、1992年11月に実施細則（S/W）が結ばれて本格的調査実施の運びとなったものである。

（3）調査の内容

調査は次の4段階に分けて実施された。

第1段階	現地概況把握調査	1993年 3月
第2段階	現地詳細調査	1993年 6月～ 9月
第3段階	廃水処理の基本方針の策定	1993年10月～12月
第4段階	概念設計	1994年 7月～1995年3月

第2章 中国における環境問題

THE UNIVERSITY OF CHICAGO

第2章 中国における環境問題

2-1 公鉱害の現状と環境政策・組織

中国の鉱工業は、対外解放政策が軌道に乗り始めた1980年代に入って急テンポの発展を遂げた。しかし、生産設備は老朽化し、技術導入の遅れから、エネルギー効率の悪化→汚染物質排出量の増加は当然の帰結と言えよう。水質環境でみれば、大河川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深刻な問題となっている。中国の内陸部ではしばしば洪水が発生するが、冠水した農耕地への汚染拡大が危惧されている。海域の水質は大部分で良好だが、港湾や河口および南部の沿岸地区で汚染が進んでいる。その他にも乱開発による森林や草原の破壊や退化、土石の流出や土地の砂漠化等生態環境の破壊が大きな問題となっている。

これら広範な環境問題を認識しつつ中国政府は、環境汚染の抑制と都市環境の質的向上並びに生態系の悪化を防止しながら、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ようと計画している。

環境関連法規は1970年以降整備され、重点的汚染規制産業分野は化学工業、冶金工業、建材、軽工業で、有害物除去、排ガス処理率向上、廃水処理率および廃水循環率の向上、粉塵排出量削減、汚染物質排出量削減が重点項目である。

また、中国政府は排出汚染物量のレベルを現状維持する政策で、省政府の排出基準オーバー分に対する汚染物質排出料金の徴収をその対象を拡大し、更に汚染物質排出権として取引可能とさせる動きもある。

政府関係の環境組織は各分野毎に環境保護局や観測ステーションをもち、垂直的には国家、省、都市、県（鎮）の4つの階層に分化、それぞれが環境保護局や環境処を設置し活動している。それらの組織は各階層で分離独立し、国家環境保護局は法律を制定し、省や市の組織に対する技術的指導を行なうが、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を決定する等の業務区分をしている。上位の組織が下位の組織に技術的な指導は行なうが、直接の指示権は無く、それぞれの地方政府に定められた業務を実施している。工場の新設や増設には環境保護局が開発建築環境影響報告書を審査し、許可することが必要である。

国家環境保護局の組織は10司、40処、職員総数280人である。江西省環境保護局は5処（開発監督処、汚染管理処、法律企画処、科学管理教育処、総合科学試験処）、人員50人である。その他観測ステーション、環境科学研究所および汚染費用を徴収する汚染排出監督管理処と情報センターがある。一般的な人員は、省段階で通常30

～40人程度(最大70名程度)、都市段階で20～30人程度、県段階で通常 3～30人程度である。

環境保全技術者が不足し、かつ環境関連法規を守らなかったり、守る場合でも厳格でない状況や環境管理活動の意識水準の低さが見かけられ、厳密な意味での環境監視や測定システムが、未だ整備されていない。

環境保全への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、地域或いは経済の発展段階による差はあるが、国の要求する水準を95%達成した。

国家の環境保護支出実績は、1990年、1991年、1992年はそれぞれG N Pの0.62%、0.79%、0.80%で、投資割合の実績は開発建設方面(25%)、汚染処理方面(40%)、大都市の基本建設方面(35%)である。1990年から既に200億元投資がされている。環境への投資は総投資額の約5%で、今次の5ヶ年計画で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。

中国は経済発展と環境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を解決する方針である。

第3章 徳興鉞山の概要



第3章 徳興鋳山の概要

3-1 徳興鋳山概況

徳興鋳山は正式には江西銅業公司徳興銅鋳と称し、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鋳山である。

鋳山の組織として、鋳山長の下に、総工程師室、採鋳課、選鋳課、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。

所在は中国南西部、江西省上饒地区徳興県泗州鎮にあり、省都南昌の東北東、直線距離にして約160Km、道路距離にして約300Kmに位置する。

鋳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。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ない。

徳興鋳山は丘陵地帯にあり、海拔400m～600mの山々の間に鋳染状の銅鋳化体が賦存する。徳興鋳床の中心をなす銅廠鋳体のほぼ中央部をNWW←SEE方向に大塢川が横切り、その北側を北山、南側を南山と称している。

鋳化帯の存在は1,000年以上前から知られ、唐～宗時代(618年～1279年)に銅廠鋳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、探鋳が実施され現在の各鋳体が確認された。

建設は1958年に開始され、銅廠鋳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/日を産出した。1967年に入って銅廠鋳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選鋳場の建設に着手した。1971年に第1選鋳場が完成したが、実際にはこれを充たす操業には至らなかった。その後、1974年には坑内出鋳を全廃し、露天掘採掘だけで実質的に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鋳系統5,000T/日を第1選鋳場内に増設し、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選鋳場の建設に着手し、1986年に完成した。これにより、選鋳処理能力は合計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。この完成によって選鉱処理能力は90,000t/日となるが、採掘量の方は逐次増産させ、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。

徳興鉱山付近の地質は先カンブリア時代後期の震旦(シアン)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、これに、前期燕山期(ジュラ期中期)頃、花崗閃緑斑岩類(1.6～1.7億年前)が貫入して銅鉱床ができあがったと考えられている。

鉱床は規模の大きなものから銅廠、富家場及び珠砂紅の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いる。3つの鉱床の内、最大規模で現在稼行中の銅廠鉱床は、埋蔵鉱量10.48億t、銅品位0.402%である。

3-2 鉱廃水処理の現況

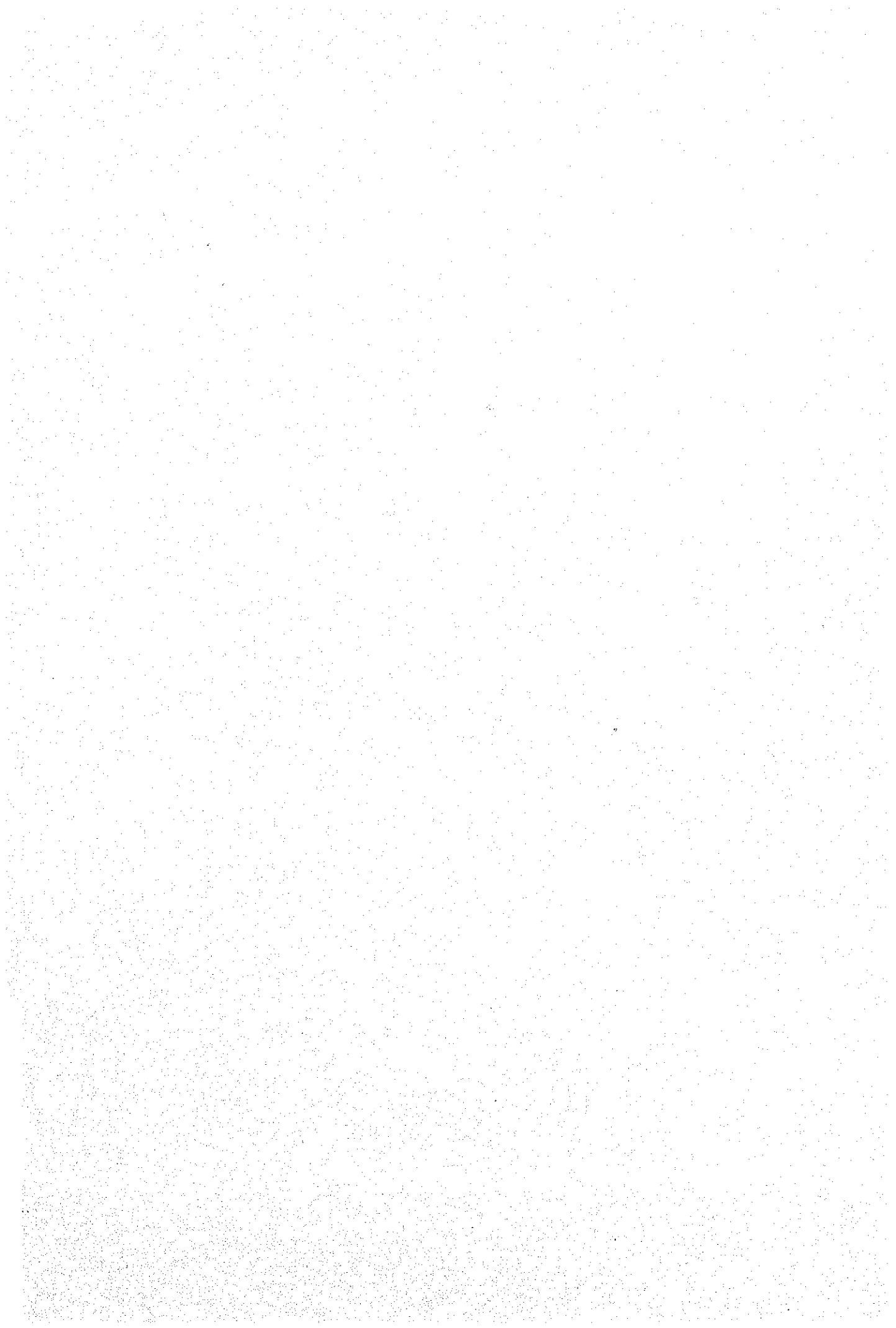
(1) 廃水の概要 (「図 3-2-1 現状の廃水系統概要図」参照)

徳興鉱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。さらに、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、選鉱工程で大量の消石灰を使用することから、廃滓堆積場(尾鉱庫)の上澄水として発生するとともに、精鉱シックナー・オーバーフロー(溢流)として発生する。

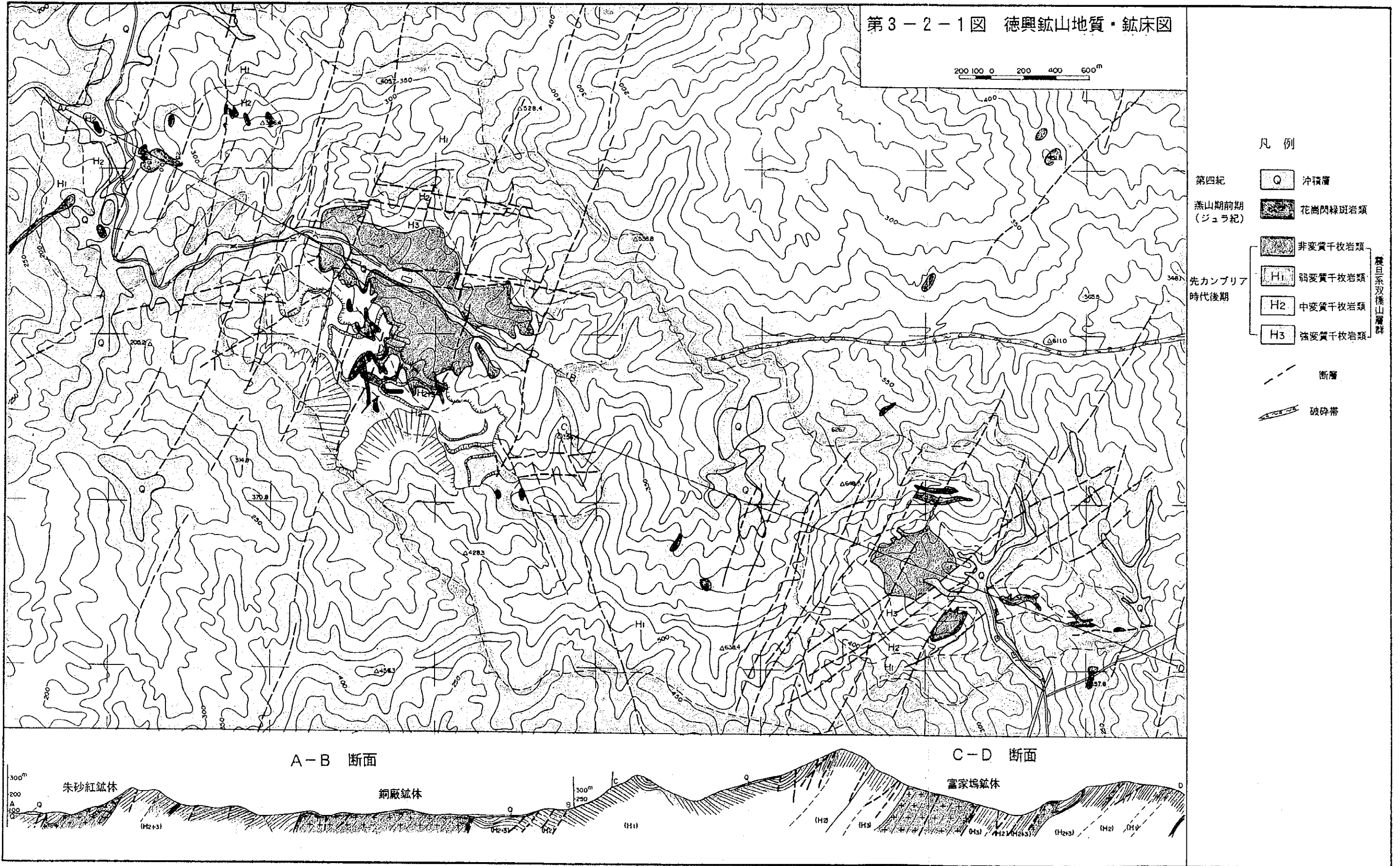
酸性廃水のうち、楊桃場廃石堆積場の廃水のみが、現有(既設)廃水処理場で処理されるが、その他の酸性廃水は、未処理のまま大塙川および四号尾鉱庫に流出している。また、祝家廃石堆積場では、ダンプリーチングによる銅回収が計画されている。(SX-EW法の採用)

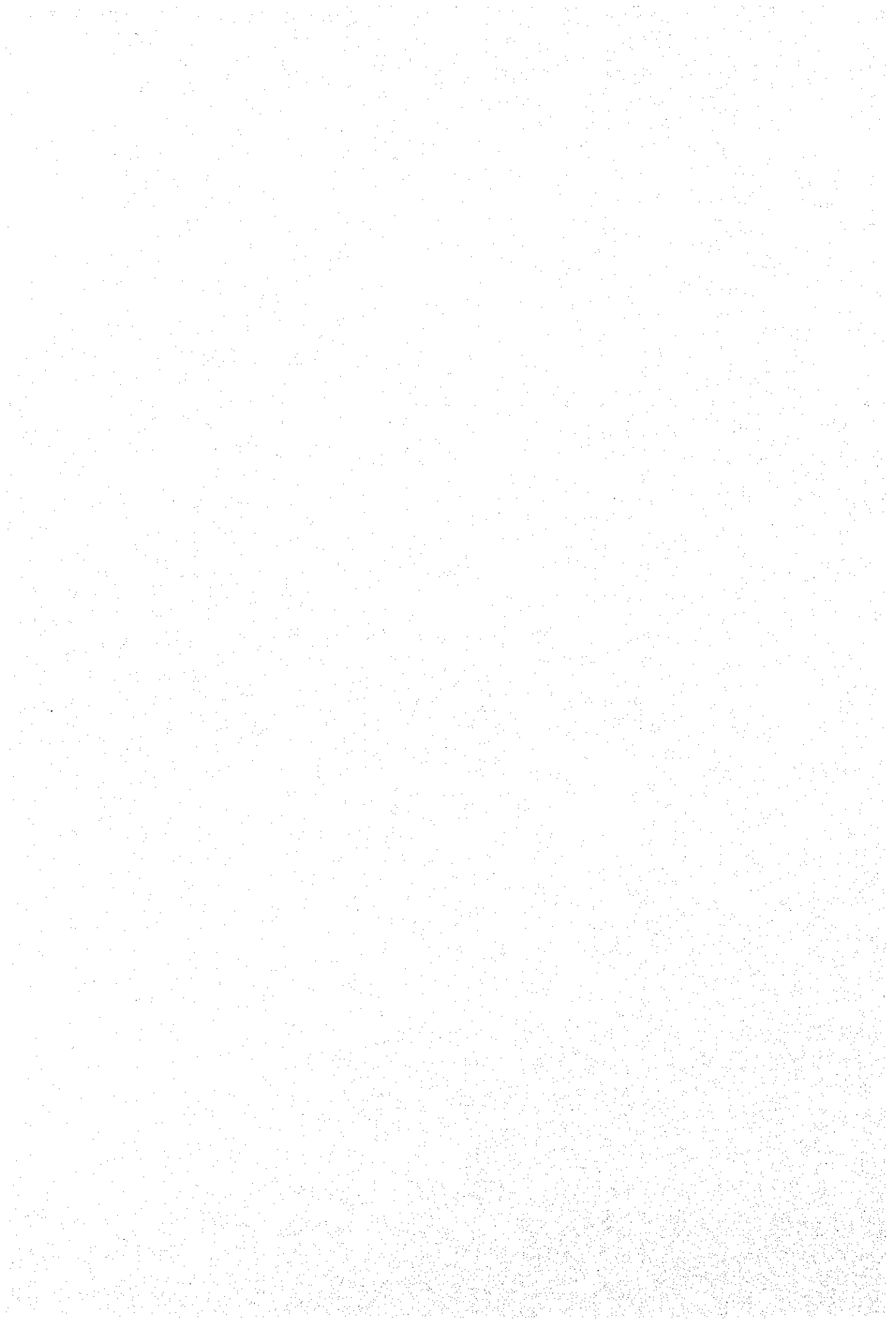
アルカリ性廃水の大部分は、二号および四号尾鉱庫の上澄水として発生し、その約2/3は選鉱の繰返し用水(回水)として利用されるが、余剰分は大塙川および楽安川(河)に放流されている。

また、精鉱シックナー・オーバーフローのうち、第一、二選鉱(泗州鎮)から発



第3-2-1図 徳興鉍山地質・鉍床図





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、第三選鉱（大山）の銅精鉱シックナー・オーバーフローは、未処理のまま大塙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、二選鉱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塙川に流出している。

この他、第一、二選鉱の事故池からのオーバーフローが、大塙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、主として楊桃塙廃石堆積場から発生する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。

処理プロセスは、中和法と硫化法の組合わせにより、廃水中の銅、鉄を処理する。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 /日が廃水処理される設計設備仕様となっている。しかし、処理能力不足を初めとして、種々な問題点が認められ、改善を求められている。

処理場は第一、二選鉱場の北側数百メートルのところに位置する。

3-3 周辺環境の現状

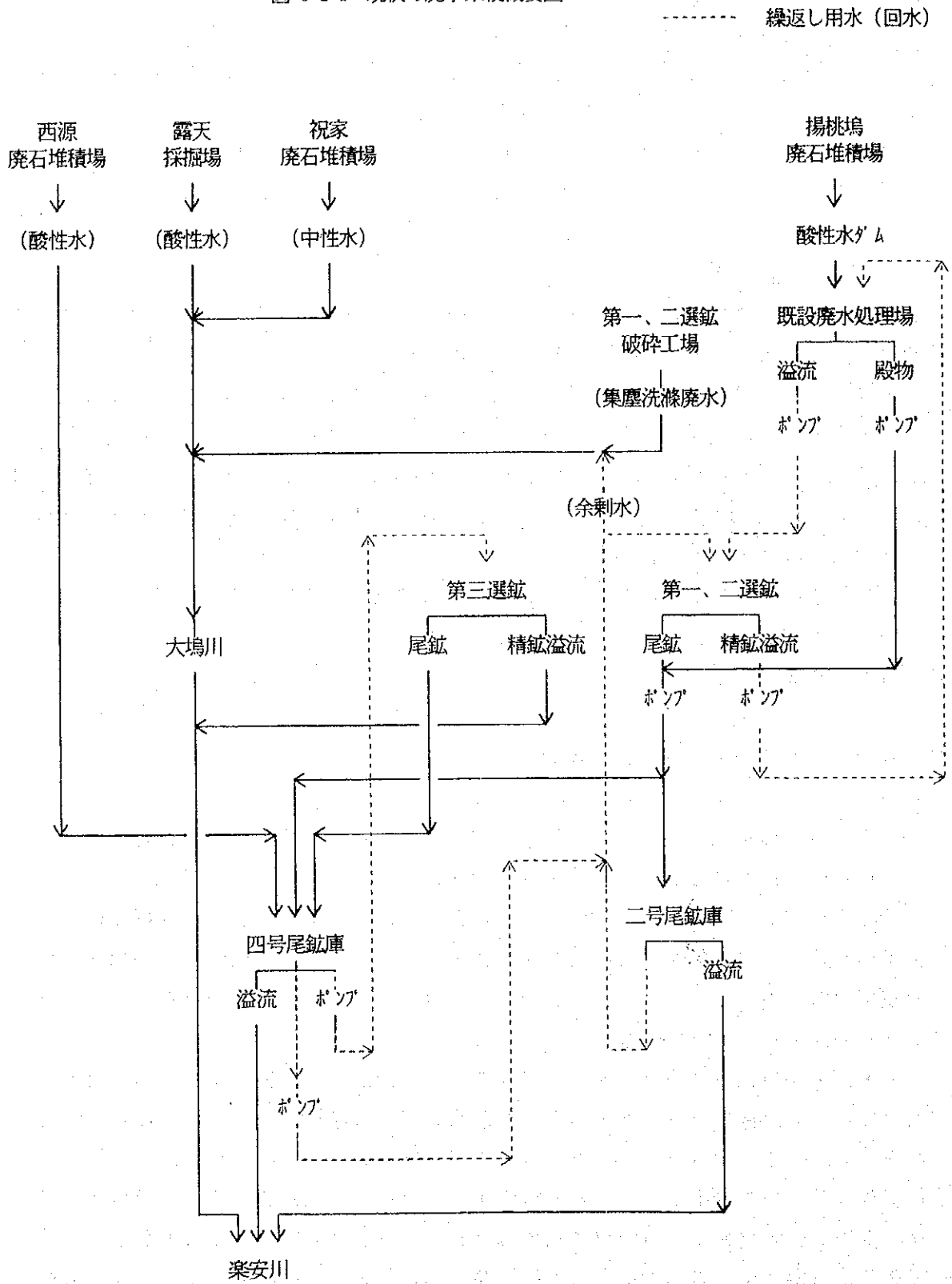
3-3-1 自然環境（河川、動植物等）

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、徳興鉱山の排水溝の一つと考えられている。

その大塙川は、流量0.5~2.0 m^3 /sで徳興銅鉱山区域に流入し、露天採掘場排水、工場群や都市部の雑排水を呑み込んで、濁流のまま楽安川に合流する全長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。その流量は、本調査区内の下流部で101~110 m^3 /分であった。楽安川上流は植物の被覆率が高い森林と農田が多く、自然環境は美しく、雨量も豊富で漁業資源は豊富である。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山等の鉱山が本格的に開発され、急速に汚染が進んだ。汚染制限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

図 3-2-1 現状の廃水系統概要図



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されて、沿岸の農業や漁業に悪影響を与えている。江西省環境保護局によれば、具体的な汚染被害調査を徳興付近と下流域において実施しているが、調査が未完のため公表できる資料はないとのことであった。

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。

(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）の分布状況を調査した。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。（徳興一地質評価-001……北山・南山採掘場水質調査結果）

(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pH 5.5~6.0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。

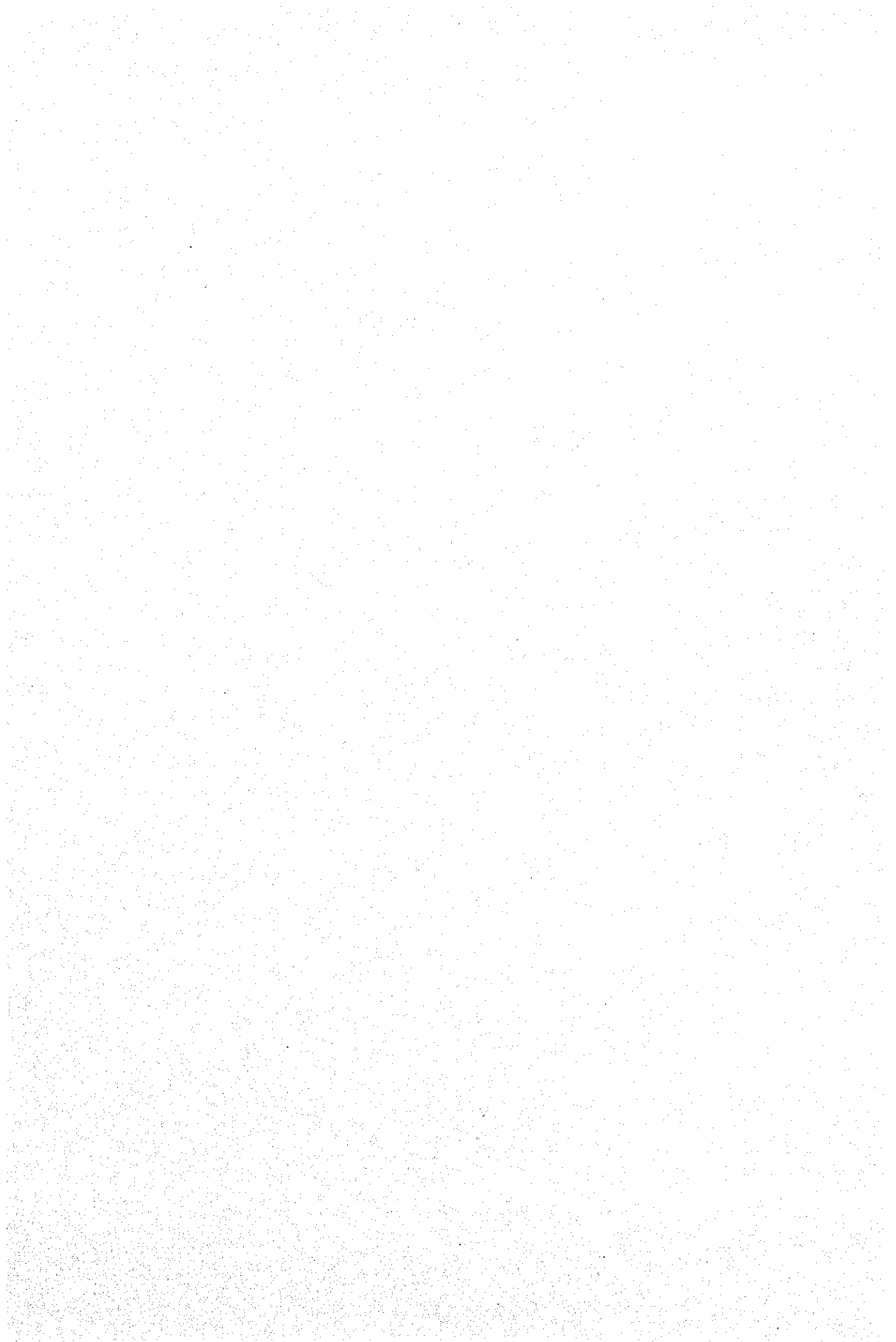
(b) 北山・南山採掘場内及び周辺では水質の良い水と悪い水が一緒になって楊桃塢酸性水ダムあるいは大塢川に流入している。現地詳細調査では、水質の良い水と悪い水を分けることは可能なので、廃石のある沢では上流の良い水が直接廃石に触れないよう、山腹水路等のバイパスで直接大塢川に排出させる必要がある。

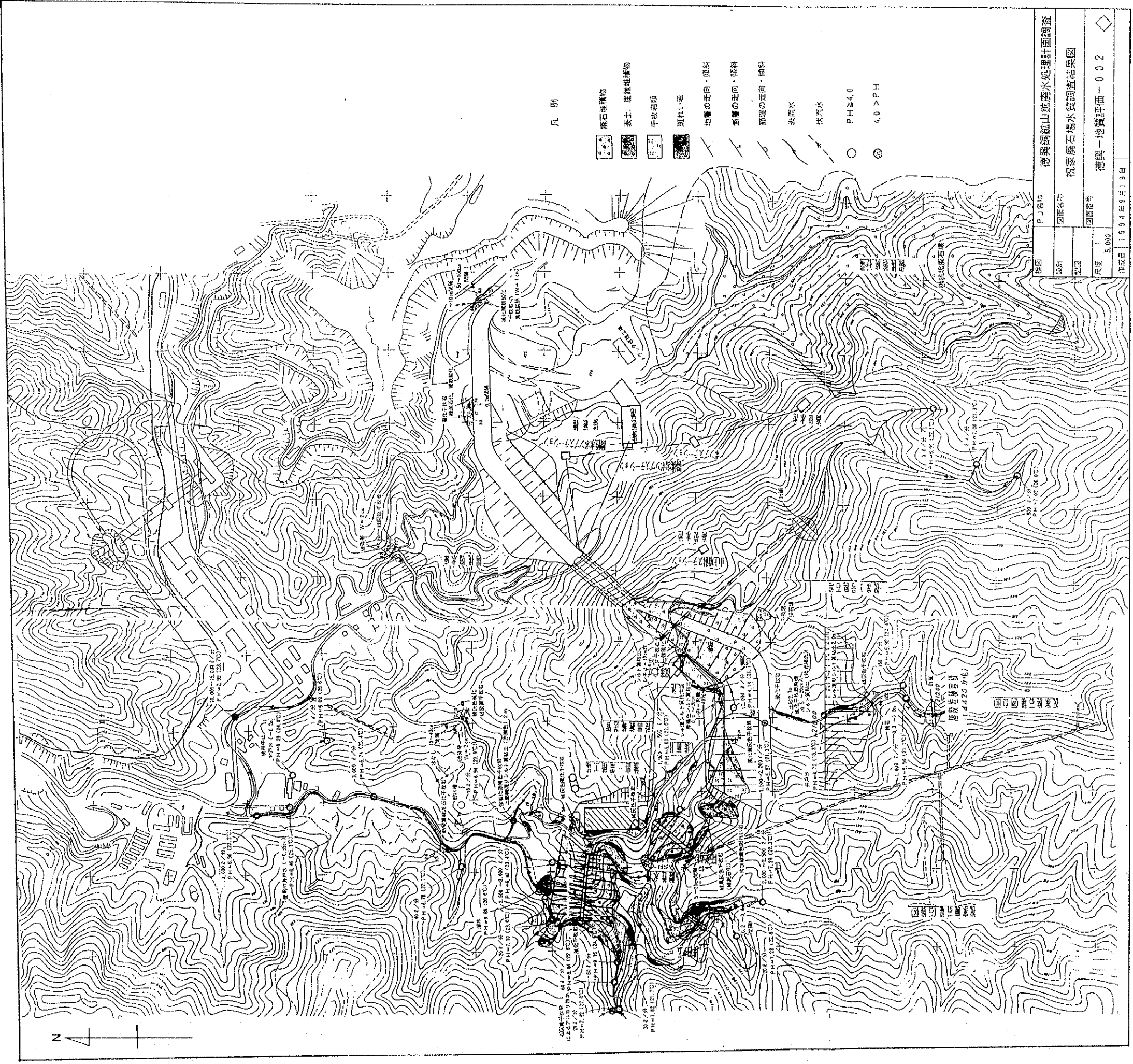
(c) 楊桃塢廃石場，水龍山廃石場等の使用済みの廃石場が無処置で放置されてお

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。





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

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

(1) 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(河川1, 2地点)、楊桃塙廃石場(河川3, 4地点)、西源廃石場(河川5地点)がある。

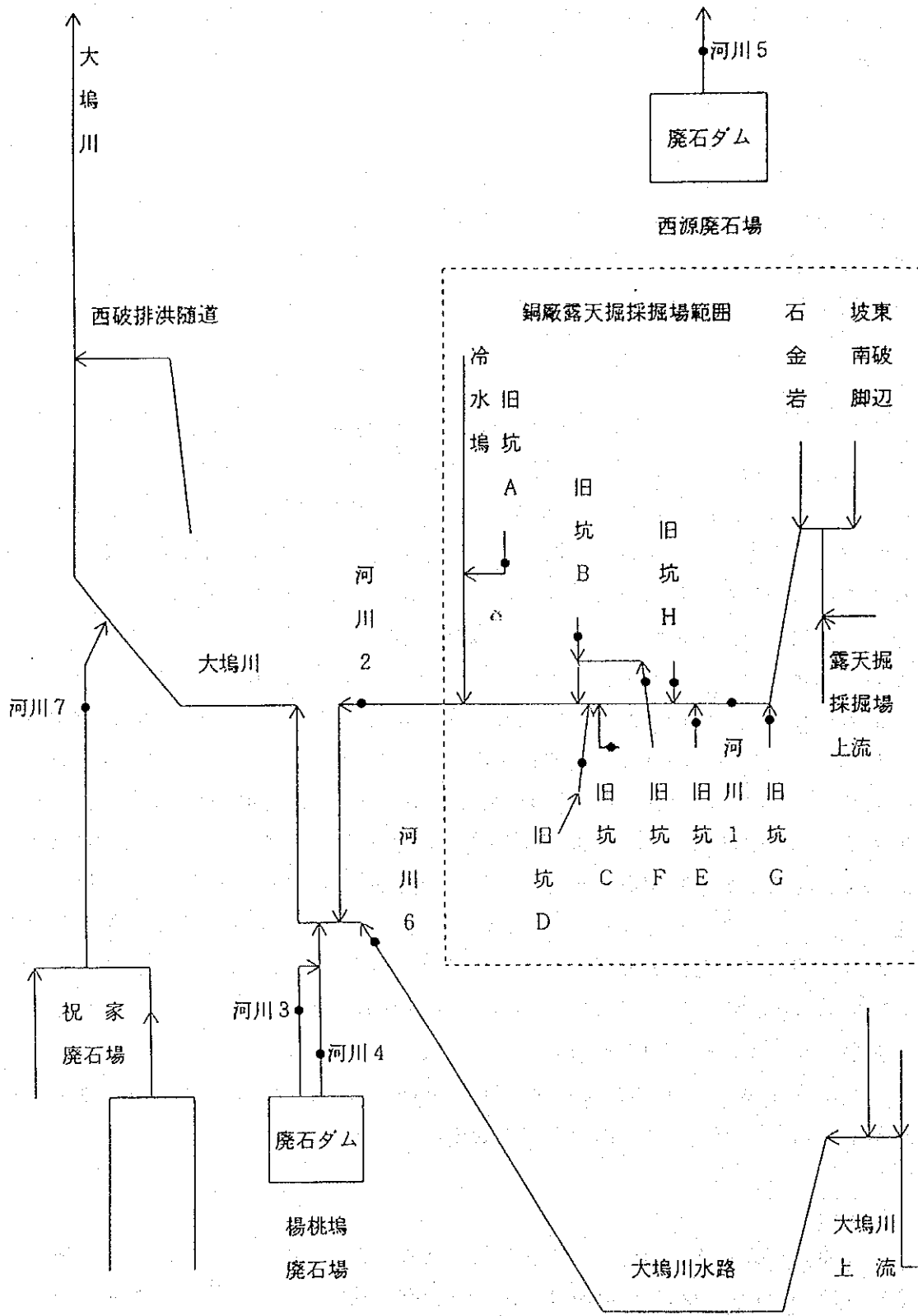
河川1, 2地点の流出量は $1\sim 415\text{m}^3/\text{分}$ であり、流出量は、降雨により大きな差が生じる。河川3地点の流出量は $0.01\sim 2.6\text{m}^3/\text{分}$ である。この廃水は楊桃塙廃石場の透水性の低い堤体を浸透した表流水なので、降雨による流出量の差はあまり生じていない。河川5地点の流出量は $0.7\sim 66\text{m}^3/\text{分}$ である。この廃水は、西源廃石場の透水性の高い堤体を浸透した表流水なので、降雨による流出量の差が大きい。

河川1, 2地点のpHは $2.59\sim 4.08$ 、Cuは $4\sim 36\text{ppm}$ 、 Fe^{3+} は $6\sim 1,186\text{ppm}$ 、 Fe^{2+} は $17\sim 353\text{ppm}$ 、SSは $3\sim 29,685\text{ppm}$ の範囲にある。河川3地点のpHは $2.53\sim 2.77$ 、Cuは $1\sim 27\text{ppm}$ 、 Fe^{3+} は $283\sim 888\text{ppm}$ 、 Fe^{2+} は $4\sim 78\text{ppm}$ 、SSは $1\sim 124\text{ppm}$ の範囲にある。これら地点では、雨季は乾季より廃水のpHが低く、溶存物質の含有量も多い。河川4地点は楊桃塙廃石場洪水時の溢流水で、これと浸透水(河川3地点)とでは $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ 比が逆転している。溢流水で Fe^{2+} が高いのは、鉄クズによる溶存銅回収で、銅と置換された鉄分が溶解したためと考えられる。河川5地点の廃水は浸透水であるため、楊桃塙廃石(河川3地点)と同様に、雨季のほうが乾季よりpHがやや低いが、溶存成分濃度のバラツキは露天掘採掘場(河川1, 2)ほど大きくはない。

排水基準はpHが $6\sim 9$ 、 $\text{SS}<300\text{ppm}$ 、 $\text{Cu}<2.0\text{ppm}$ であり、測定したpHとCuの多くは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。

(2) 坑内水

旧坑内廃水は旧坑A~H地点で実施した。調査位置を図4-1-1に示す。旧坑A地点の流出量は $0.38\sim 1.42\text{m}^3/\text{分}$ であり、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、河川廃水より変動が少ない。その他の旧坑も旧坑Aと同様に、流出量の変動が河川廃水より少ない。



● : 調査地点

図 4 - 1 - 1 河川廃水・坑内廃水調査位置図

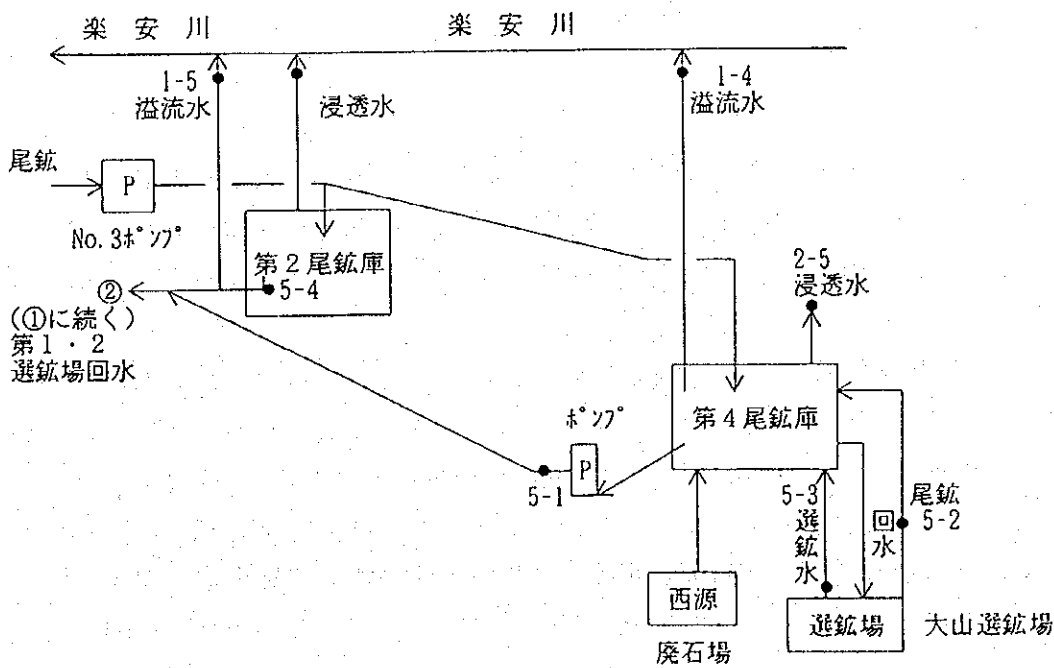
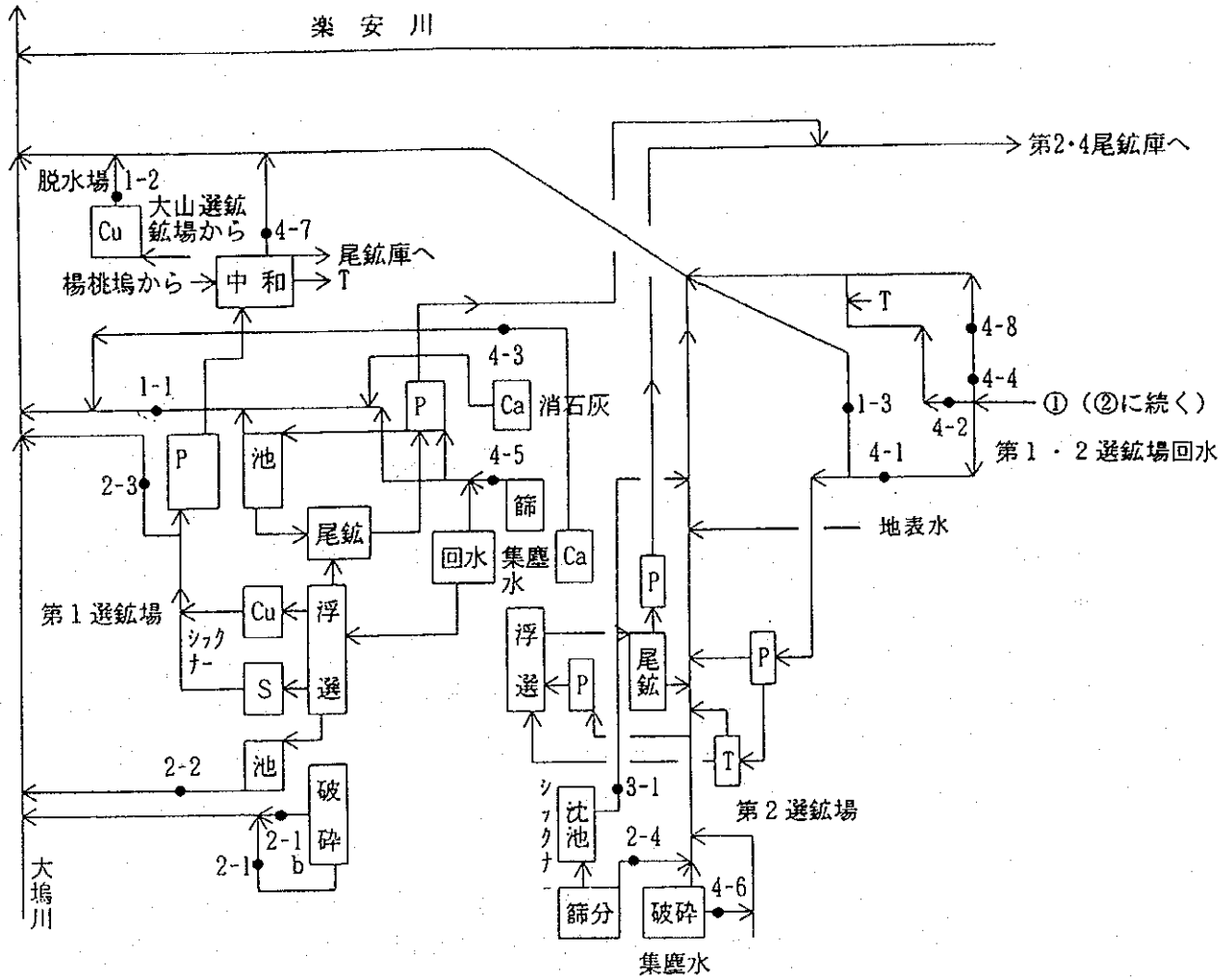


図4-1-2 選鉱工程廃水調査位置図

旧坑A地点のpHは2.73～3.27、Cuは1～136ppm、Fe³⁺は144～352ppm、Fe²⁺は8～243ppm、SSは42～12,060ppm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、pH2～3の値を示すものが多い。溶存成分の含有量も、雨季には乾季に比べ多くなる傾向にある。一方、河川廃水と比較すると、pHや溶存成分の変動幅にはそれほど違いがない。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。pHとCuが排水基準を越える場合が多いが、SSでは基準を越えるものが少ない。

(3) 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尾鉱庫周辺で実施した。選鉱工程廃水の調査位置を図4-1-2に示す。

調査地点1-1, 2-2, 2-3, 1-2には第1,2選鉱場廃水、大山選鉱場廃水が排出する。流出量は0.23～6.05m³/分、pHは9.26～12.30、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2-1, 2-1b, 2-4, 3-1, 4-5, 4-6には第1,2選鉱場破碎工程の集塵・篩分機廃水が排出する。流出量は0.43～22.00m³/分、pHは4.96～8.47、SSは149～3,710ppmであり、SSが排水基準を越える場合が多い。

調査地点1-4, 1-5には第2および第4尾鉱庫の溢流水が排出する。流出量は0.54～151.81m³/分、pHは7.94～11.46、SSは12～2,043ppm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。雨季に流出量が多くなり、pHとSSも排水基準を越える場合が多い。

4-1-2 周辺水系の現状

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(河川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。

河川6地点の流出量は3～112m³/分の範囲にある。河川7地点の流出量は2～209m³/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。

河川6地点のpHは2.40～2.86、Cuは0.2～7.5ppm、Fe³⁺は67～221ppm、Fe²⁺は3～15ppm、SSは17～3,662ppmの範囲にあり、pHとCuが排水基準を越える場合が多い。また雨季にはSSが基準を越える。水質の悪化は、大塙川上流の富家塙鉱床に起因する。

河川7地点のpHは6.37～7.34、Cuは<1ppm、Fe³⁺は<1～134ppm、Fe²⁺は<1～12ppm、

SSは2~1,175ppm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の変動には差がない。排水基準を越える項目は少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 河川廃水量

河川流出量を基に10年確率雨量に対応する廃水量を算出し、表4-2-1に示す。銅廠露天掘採掘場の集水面積は1996年に1.73km²、2003年に3.21km²、最終年に2.71km²となる。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/年となる。1996年の月廃水量は、6月で最大51.4万m³/月、11月で最小4.5万m³/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。年廃水量は、1996年に258万m³/年、2003年に430万m³/年となる。1996年の月廃水量は、6月で最大44.6万m³/月、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、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、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。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年の月廃水量は、6月で最大50.5万m³/月、11月で最小4.4万m³/月となる。

4-2-2 河川廃水処理量

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、等量処理されるものとし、処理水量を計算し、表4-2-2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。

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。

祝家の年廃水量は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。この廃水の一部がリーチングに使用され、その量は1996年には171万m³/年、2003年以降は171万m³/年または342万m³/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、1996年で10.2万m³/月、2003年で

14.5万 m^3 /月または0.2万 m^3 /月の月処理量となる。

楊桃塢廃石場の年廃水量は309万 m^3 /年なので、これらを全量処理するには、25.8万 m^3 /月の月処理量となる。

4-2-3 既存算出廃水量との比較

中国の既往調査と本調査の廃水量解析結果の比較を表4-2-3に示す。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。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0.72、既往調査で0.7となり、両調査結果で良い一致を示す。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。

本調査による楊桃塢、西源、祝家の豊水年廃水量は、既往調査と比較して4%ほど多いが、良い一致を示している。一方、平水年と渇水年廃水量は既往調査と比較して、それぞれ10%、37%多い。これは、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既往調査より高いことによる。

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おり、本調査の豊水年廃水量と比較すると30~50%多い。

表 4-2-1-1 河川廃水量解析結果一覽表

銅廠露天掘採掘場 (10年確率雨量)				楊桃塙廢石場 (10年確率雨量)			
月	流出量 mm	集水面積 km ²	廃水量 万m ³	集水面積 km ²	集水面積 km ²	集水面積 km ²	廃水量 万m ³
1	82	1.73	14.2	3.21	2.71	1.80	14.8
2	142	1.73	24.6	3.21	2.71	1.80	25.6
3	250	1.73	43.3	3.21	2.71	1.80	45.0
4	270	1.73	46.7	3.21	2.71	1.80	48.6
5	288	1.73	49.8	3.21	2.71	1.80	51.8
6	297	1.73	51.4	3.21	2.71	1.80	53.5
7	128	1.73	22.1	3.21	2.71	1.80	23.0
8	59	1.73	10.2	3.21	2.71	1.80	10.6
9	110	1.73	19.0	3.21	2.71	1.80	19.8
10	36	1.73	6.2	3.21	2.71	1.80	6.5
11	26	1.73	4.5	3.21	2.71	1.80	4.7
12	32	1.73	5.5	3.21	2.71	1.80	5.8
合計	1,723		297	552		1,723	309

西源廢石場 (10年確率雨量)				祝家廢石場予定地 (10年確率雨量)			
月	流出量 mm	集水面積 km ²	廃水量 万m ³	集水面積 km ²	集水面積 km ²	集水面積 km ²	廃水量 万m ³
1	82	1.50	12.3	2.50	1.70	2.00	16.4
2	142	1.50	21.3	2.50	1.70	2.00	28.4
3	250	1.50	37.5	2.50	1.70	2.00	50.0
4	270	1.50	40.5	2.50	1.70	2.00	54.0
5	288	1.50	43.2	2.50	1.70	2.00	57.6
6	297	1.50	44.6	2.50	1.70	2.00	59.4
7	128	1.50	19.2	2.50	1.70	2.00	25.6
8	59	1.50	8.9	2.50	1.70	2.00	11.8
9	110	1.50	16.5	2.50	1.70	2.00	22.0
10	36	1.50	5.4	2.50	1.70	2.00	7.2
11	26	1.50	3.9	2.50	1.70	2.00	5.2
12	32	1.50	4.8	2.50	1.70	2.00	6.4
合計	1,723		258	430		1,723	344

銅廠露天掘採掘場 (10年確率雨量)				楊桃塙廢石場 (10年確率雨量)			
月	流出量 mm	集水面積 km ²	集水面積 km ²	集水面積 km ²	集水面積 km ²	集水面積 km ²	廃水量 万m ³
1	82	1.73	14.2	3.21	2.71	1.80	14.8
2	142	1.73	24.6	3.21	2.71	1.80	25.6
3	250	1.73	43.3	3.21	2.71	1.80	45.0
4	270	1.73	46.7	3.21	2.71	1.80	48.6
5	288	1.73	49.8	3.21	2.71	1.80	51.8
6	297	1.73	51.4	3.21	2.71	1.80	53.5
7	128	1.73	22.1	3.21	2.71	1.80	23.0
8	59	1.73	10.2	3.21	2.71	1.80	10.6
9	110	1.73	19.0	3.21	2.71	1.80	19.8
10	36	1.73	6.2	3.21	2.71	1.80	6.5
11	26	1.73	4.5	3.21	2.71	1.80	4.7
12	32	1.73	5.5	3.21	2.71	1.80	5.8
合計	1,723		297	552		1,723	309

表 4-2-2 廃水処理量解析結果・覧表

柳原近床露天掘採場 (10年確立雨量時)																	
月	(1996年)		(1996年)		(2003年)		処理量		(2003年)		未処理量						
	万m ³	万m ³	万m ³	万m ³	万m ³	万m ³	万m ³	万m ³	万m ³	万m ³							
1	14.2	-24.8	0.1	26.3	-46.0	0.5	22.2	-38.8	0.9	13.9	-14.2	-10.2	-0.2	16.4	-14.2	-14.5	-0.1
2	24.6	-24.8	-0.1	45.6	-46.0	0.1	38.5	-38.8	0.6	24.1	-14.2	-10.2	-0.5	28.4	-14.2	-14.5	-0.4
3	43.3	-24.8	18.5	80.3	-46.0	34.3	67.8	-38.8	29.0	42.5	-14.2	-10.2	18.1	50.0	-14.2	-14.5	21.3
4	46.7	-24.8	40.4	86.7	-46.0	75.0	73.2	-38.8	63.4	45.9	-14.2	-10.2	39.6	54.0	-14.2	-14.5	46.6
5	49.8	-24.8	65.4	92.4	-46.0	121.4	78.0	-38.8	102.6	49.0	-14.2	-10.2	64.2	57.6	-14.2	-14.5	75.5
6	51.4	-24.8	92.0	95.3	-46.0	170.7	80.5	-38.8	144.3	50.5	-14.2	-10.2	90.3	59.4	-14.2	-14.5	106.2
7	22.1	-24.8	89.3	41.1	-46.0	165.8	34.7	-38.8	140.2	21.8	-14.2	-10.2	87.7	25.6	-14.2	-14.5	103.1
8	10.2	-24.8	74.7	18.9	-46.0	138.7	16.0	-38.8	117.4	10.0	-14.2	-10.2	73.3	11.8	-14.2	-14.5	86.2
9	19.0	-24.8	68.9	35.3	-46.0	128.0	29.8	-38.8	108.4	18.7	-14.2	-10.2	67.6	22.0	-14.2	-14.5	79.5
10	6.2	-24.8	50.3	11.6	-46.0	93.6	9.8	-38.8	79.4	6.1	-14.2	-10.2	49.3	7.2	-14.2	-14.5	58.0
11	4.5	-24.8	30.0	8.3	-46.0	55.9	7.0	-38.8	47.6	4.4	-14.2	-10.2	29.3	5.2	-14.2	-14.5	34.5
12	5.5	-24.8	10.7	10.3	-46.0	20.2	8.7	-38.8	17.5	5.4	-14.2	-10.2	10.3	6.4	-14.2	-14.5	12.2
合計	297	-297	552	552	-552	466	-466	466	466	292	-171	-121	344.0	-171	-171	-173	-173

祝家廃石場予定地 (10年確立降雨時)																	
月	(1996年)		(1996年)		(2003年)		処理量		(2003年)		未処理量						
	万m ³	万m ³	万m ³	万m ³	万m ³	万m ³	万m ³	万m ³	万m ³	万m ³							
1	12.3	-21.5	0.3	20.5	-35.8	0.8	16.4	-28.5	-0.2	-0.1	-0.1	14.8	-25.8	0.3			
2	21.3	-21.5	0.1	35.5	-35.8	0.5	28.4	-28.5	-0.2	-0.4	-0.4	25.6	-25.8	0.1			
3	37.5	-21.5	16.0	62.5	-35.8	26.7	50.0	-28.5	-0.2	21.3	21.3	45.0	-25.8	19.2			
4	40.5	-21.5	35.0	67.5	-35.8	58.4	54.0	-28.5	-0.2	46.6	46.6	48.6	-25.8	42.0			
5	43.2	-21.5	56.7	72.0	-35.8	94.6	57.6	-28.5	-0.2	75.5	75.5	51.8	-25.8	68.0			
6	44.6	-21.5	79.8	74.3	-35.8	133.1	59.4	-28.5	-0.2	106.2	106.2	53.5	-25.8	95.7			
7	19.2	-21.5	77.5	32.0	-35.8	129.3	25.6	-28.5	-0.2	103.1	103.1	23.0	-25.8	92.9			
8	8.9	-21.5	64.9	14.8	-35.8	108.3	11.8	-28.5	-0.2	86.2	86.2	10.6	-25.8	77.7			
9	16.5	-21.5	59.9	27.5	-35.8	100.0	22.0	-28.5	-0.2	79.5	79.5	19.8	-25.8	71.7			
10	5.4	-21.5	43.8	9.0	-35.8	73.2	7.2	-28.5	-0.2	58.0	58.0	6.5	-25.8	52.4			
11	3.9	-21.5	26.2	6.5	-35.8	43.9	5.2	-28.5	-0.2	34.5	34.5	4.7	-25.8	31.3			
12	4.8	-21.5	9.5	8.0	-35.8	16.1	6.4	-28.5	-0.2	12.2	12.2	5.8	-25.8	11.3			
合計	258	-258	430	430	-430	309	-309	309	309	252	-171	-121	344.0	-171	-173	-173	-173

祝家廃石場予定地 (10年確立降雨時)													
月	(2003年)		(2003年)		(2003年)		処理量		(2003年)		未処理量		
	万m ³	万m ³	万m ³	万m ³	万m ³	万m ³	万m ³	万m ³	万m ³	万m ³			
1	16.4	-28.5	-0.2	-0.1	-0.1	14.8	-25.8	0.3					
2	28.4	-28.5	-0.2	-0.4	-0.4	25.6	-25.8	0.1					
3	50.0	-28.5	-0.2	21.3	21.3	45.0	-25.8	19.2					
4	54.0	-28.5	-0.2	46.6	46.6	48.6	-25.8	42.0					
5	57.6	-28.5	-0.2	75.5	75.5	51.8	-25.8	68.0					
6	59.4	-28.5	-0.2	106.2	106.2	53.5	-25.8	95.7					
7	25.6	-28.5	-0.2	103.1	103.1	23.0	-25.8	92.9					
8	11.8	-28.5	-0.2	86.2	86.2	10.6	-25.8	77.7					
9	22.0	-28.5	-0.2	79.5	79.5	19.8	-25.8	71.7					
10	7.2	-28.5	-0.2	58.0	58.0	6.5	-25.8	52.4					
11	5.2	-28.5	-0.2	34.5	34.5	4.7	-25.8	31.3					
12	6.4	-28.5	-0.2	12.2	12.2	5.8	-25.8	11.3					
計	344.0	-342	-2	309	309	252	-171	-121	344.0	-171	-173	-173	-173

西源廃石場 (10年確立雨量時)																	
月	(1996年)		(1996年)		(2003年)		処理量		(2003年)		未処理量						
	万m ³	万m ³	万m ³	万m ³	万m ³	万m ³	万m ³	万m ³	万m ³	万m ³							
1	12.3	-21.5	0.3	20.5	-35.8	0.8	16.4	-28.5	-0.2	-0.1	-0.1	14.8	-25.8	0.3			
2	21.3	-21.5	0.1	35.5	-35.8	0.5	28.4	-28.5	-0.2	-0.4	-0.4	25.6	-25.8	0.1			
3	37.5	-21.5	16.0	62.5	-35.8	26.7	50.0	-28.5	-0.2	21.3	21.3	45.0	-25.8	19.2			
4	40.5	-21.5	35.0	67.5	-35.8	58.4	54.0	-28.5	-0.2	46.6	46.6	48.6	-25.8	42.0			
5	43.2	-21.5	56.7	72.0	-35.8	94.6	57.6	-28.5	-0.2	75.5	75.5	51.8	-25.8	68.0			
6	44.6	-21.5	79.8	74.3	-35.8	133.1	59.4	-28.5	-0.2	106.2	106.2	53.5	-25.8	95.7			
7	19.2	-21.5	77.5	32.0	-35.8	129.3	25.6	-28.5	-0.2	103.1	103.1	23.0	-25.8	92.9			
8	8.9	-21.5	64.9	14.8	-35.8	108.3	11.8	-28.5	-0.2	86.2	86.2	10.6	-25.8	77.7			
9	16.5	-21.5	59.9	27.5	-35.8	100.0	22.0	-28.5	-0.2	79.5	79.5	19.8	-25.8	71.7			
10	5.4	-21.5	43.8	9.0	-35.8	73.2	7.2	-28.5	-0.2	58.0	58.0	6.5	-25.8	52.4			
11	3.9	-21.5	26.2	6.5	-35.8	43.9	5.2	-28.5	-0.2	34.5	34.5	4.7	-25.8	31.3			
12	4.8	-21.5	9.5	8.0	-35.8	16.1	6.4	-28.5	-0.2	12.2	12.2	5.8	-25.8	11.3			
合計	258	-258	430	430	-430	309	-309	309	309	252	-171	-121	344.0	-171	-173	-173	-173

表4-2-3 廢水量解析結果比較一覽表

名 称	建設年	集水面積 (km ²)	本調查廢水量 (万m ³ /年)			既往調查廢水量 (万m ³ /年)		
			豐水年	平水年	渴水年	豐水年	平水年	渴水年
楊桃塢	完了	1.80	309	225	140	296.10	201.96	101.52
西 源	1996	1.50	258	187	116	246.75	168.30	84.60
西 源	2003	2.50	430	312	194	411.25	280.50	141.00
祝 家	1996	1.70	292	212	132	279.65	190.74	95.88
祝 家	2003	2.00	344	250	155	329.00	224.40	112.80
祝 家	最終	3.60	619	450	280	592.20	403.92	263.04

名 称	建設年	集水面積 (km ²)	本調查廢水量 (万m ³ /年)			既往調查廢水量 (万m ³ /年)
			豐水年	平水年	渴水年	正常廢水量
採掘場	1993	0.98	168	122	76	270.6
採掘場	1995	1.73	297	216	134	414.9
採掘場	2003	3.21	552	401	250	745.4
採掘場	最終	2.71	466	339	211	703.5

4-3. 廃水処理試験 I・・・基礎試験(1993年6~7月試験)

(1) 試験の概要

酸性およびアルカリ性廃水の中和滴定試験、混合中和試験、および中和殿物の沈降試験等を行った。

酸性廃水の試料としては、楊桃塙酸性廃水を廃石堆積場浸透水の代表試料とし、さらに、露天採掘場廃水と、ダンブリーチング銅抽出廃液の三種類とした。

また、それぞれの発生量比で混合した人工酸性試料を作成した。

アルカリ性廃水としては、選鉱尾鉱のサイクロン分級オーバーフロー(尾鉱溢流)を主とし、さらにその上澄水等を使用した。

(2) 酸性廃水及びアルカリ性廃水の中和特性

楊桃塙、露天掘、およびダンブリーチング銅抽出各酸性廃水について、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」、「図 4-3-5 リーチング廃液中和曲線」にそれぞれ示す通りである。

それぞれの8.4AX値は、楊桃塙が12300ppm、露天廃水が1560ppm、リーチング廃液が35000ppmとなり、リーチング廃液の8.4AXが極めて高い。

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。硫酸添加量を $CaCO_3$ 当量に換算して横軸に示すと、「図 4-3-6 サイクロン・オーバーフロー中和曲線」、「図 4-3-7 サイクロン・オーバーフロー上澄水中和曲線」の通りである。

これらの図に示す通り、初期pH値はいずれも12.09である。初めのうちは両液とも硫酸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、同じ硫酸の添加量でも($CaCO_3$ 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前後ではほぼ横這いに推移しながら下降する。

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。

(3) 酸・アルカリ性廃水の混合中和試験

酸性廃水として、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、少しづつ添加して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までさらに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まではこの差がもっと大きい。

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、固形分の中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、より少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考えられ、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。

なお、サイクロン・オーバーフローに対し、酸性水を少しづつ添加して pH12から逆に pH9に調節する試験を行った。

この逆中和試験の結果から、pH9まで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、酸性側からpH9まで中和する場合に比較して混合比が高い。この場合、サイクロン・オーバーフロー固形分中のアルカリ成分が、酸性側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考えられ、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。

図 4-3-3 濃硫酸水中中和曲線

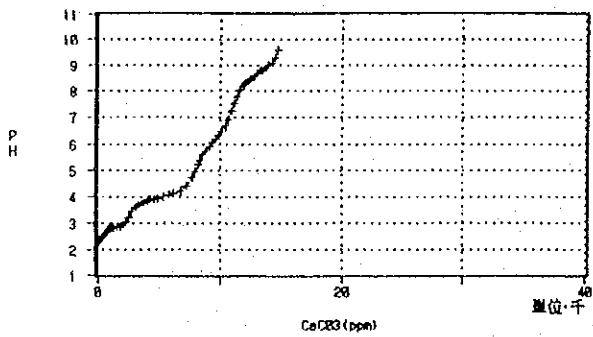


図 4-3-6 リン酸・1-N-70-中和曲線

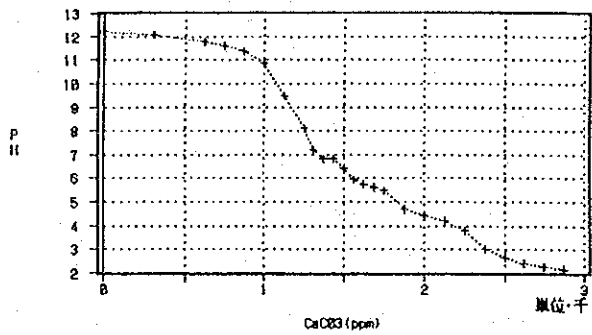


図 4-3-4 露天燐酸水中中和曲線

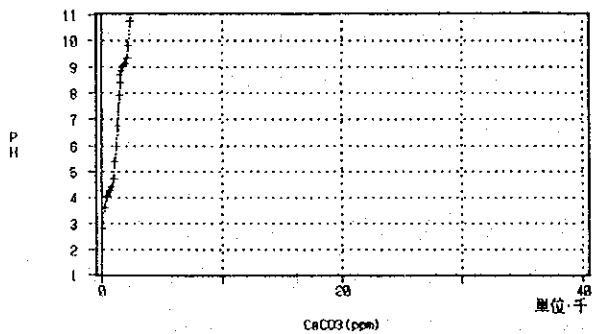


図 4-3-7 リン酸・1-N-70-上澄水の中和曲線

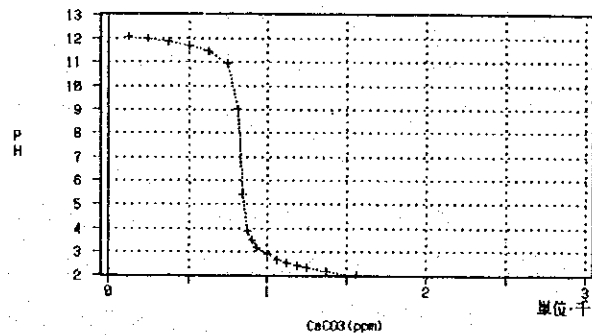


図 4-3-5 リン酸濃液中和曲線
基礎試験(1993.6.~7.)

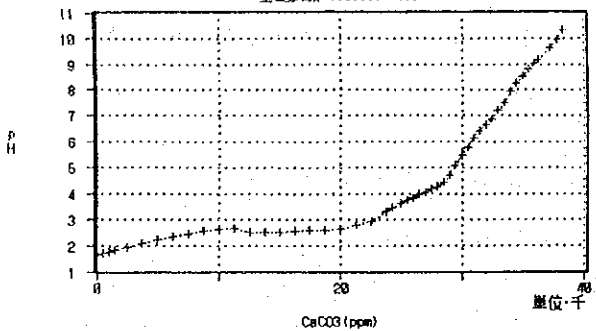


図 4-3-8 サイクロン・オーバードロ-上澄水
による酸性水の中和(1993.6.~7.)

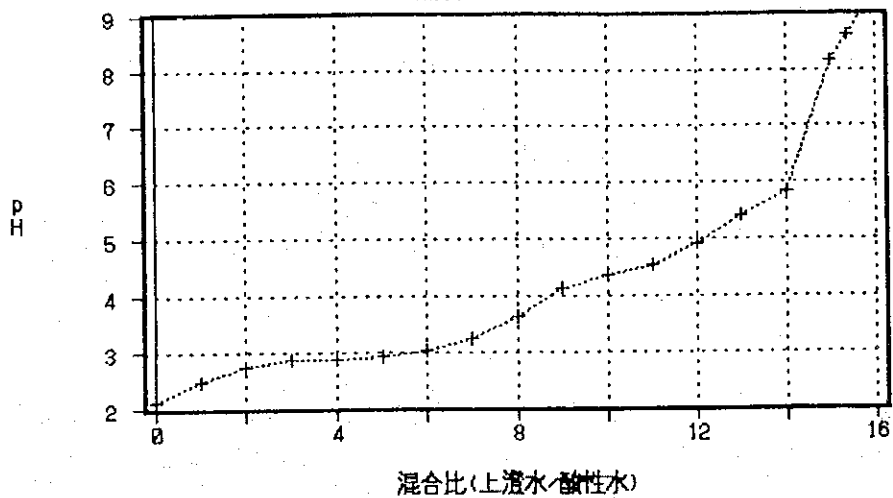


図 4-3-9 サイクロン・オーバードロ-
による酸性水の中和

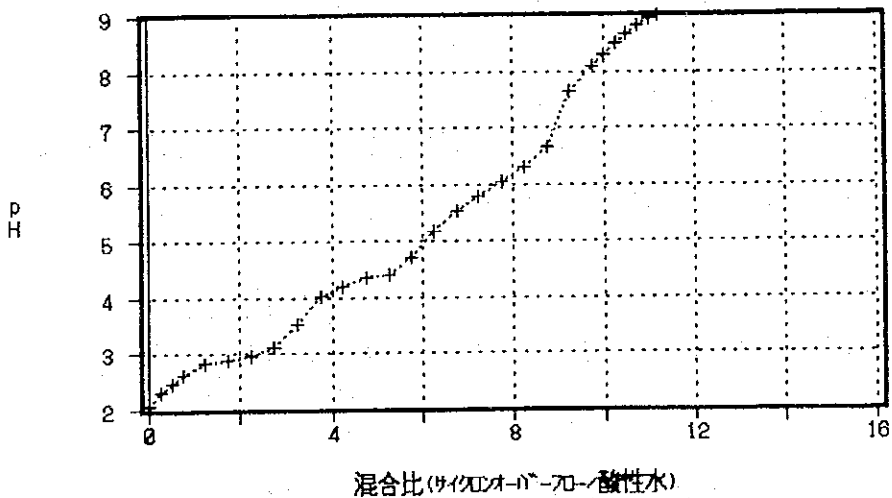
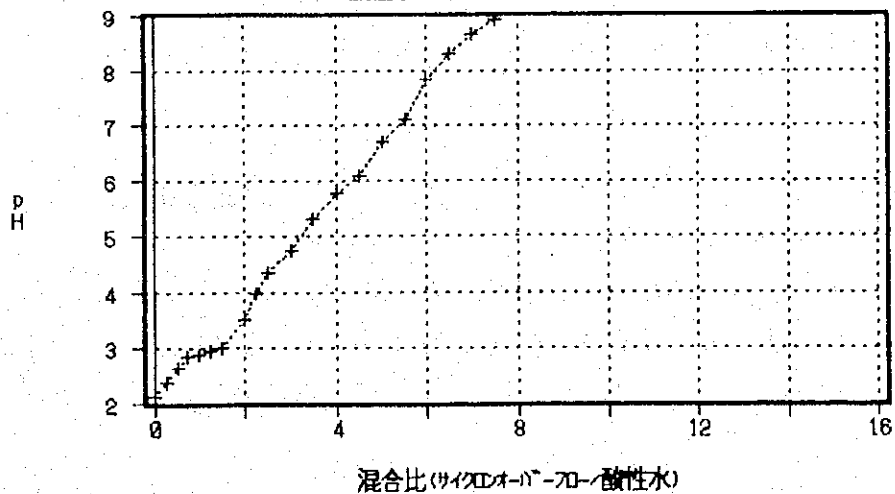


図 4-3-10 サイクロン・オーバードロ-による
酸性水の中和 (PH4で30分攪拌)



4-4 廃水処理試験 II・・・連続試験 (1994年7月試験)

新設の廃水処理施設として、尾鉱溢流を利用したプロセスを想定し、室内連続試験を計画した。

基本的には、日本でも実績のある炭酸カルシウム・消石灰二段中和法を応用し、一段目では中和pHを4程度に制御して、尾鉱中の炭酸カルシウムの反応を促進し、二段目ではpH9を目標として、尾鉱中の消石灰による中和反応を行うものである。

(1) 酸性廃水

試験に使用した酸性廃水は、混合酸性水を調合して使用した。混合比の条件としては、2003年、豊水年、ダンプリーチングによる電気鋼の生産高を2000t/年とした。この混合比は今後の設計諸元となるものである。

この混合酸性水の水質を、「表 4-4-15 連続中和試験に使用した混合酸性水の水質(1994年7月試験)」に示す。

(2) 炭酸カルシウムの分析方法

分析法としては、「シュレッター法」を採用した。この分析法は、JISK1451「炭酸水素アンモニウム」の品質規格中に規程されている。

(3) 試験結果

全体の試験結果を一覧表で示せば、「表 4-4-46 連続中和試験総括表」になる。

(a) 滞留時間

一次中和における滞留時間を調査するため、滞留時間を変えて行った試験の結果から、滞留時間と尾鉱溢流中の炭酸カルシウムの反応率の関係を示せば、「図 4-4-1 一次中和の滞留時間とCaCO₃の反応率」に示す通りである。

この試験の結果では、滞留時間として30分前後が良いと考えられる。

(b) 混合比

試験全体を通して、一次中和における酸性水と尾鉱溢流の混合比は、平均1.0であり、範囲としては0.8~1.3となる。

また、炭酸カルシウムの消費量は酸性水に対し5g/l (5kg/m³)となる。

二次中和の混合比は、試験の結果から(混合 1~4)、2.4~7.0と一次中和に比較すると変化の幅が広い。これは中和剤として、尾鉱溢流のアルカリ度の程度に幅

があるためと考えられる。尾鉍溢流のpHと二次中和の混合比の関係を示せば、「図 4-4-2 溢流pHと二次混合比の関係」の通りである。また、酸性廃水の8.4AXと尾鉍溢流の4.3BXの比に対する二次中和の混合比の関係を示せば、「図 4-4-3 溢流(4.3BX)/酸性水(8.4AX)と二次混合比の関係」に示す通りである。

尾鉍溢流の調査結果から、東方分級（第三選鉍）溢流pHの平均値が11.97であるから、このpH値に相当する二次混合比は約4となる。また、4.3BX（5642ppm）と8.4AX（8478ppm）との比0.67に対応する二次混合比は約7となる。両者の結果を総合的に判断して、二次混合比としては、余裕をみて6とするのが妥当と考える。

(c) その他

一次中和を空気攪拌した場合（空気 1）、尾鉍溢流中の炭酸カルシウムの消費量 4.55g/lは、他の同じ試料を使用した試験（混合 4、滞留 3-1）の3.85、3.48g/lに比較して良い結果が得られている。

空気攪拌の場合は、中和反応で生成する炭酸ガス（CO₂）が、曝気により外部に追いつき出されるので反応が更に進むことから、その効果とも考えられる。

最後に、一段だけでpH9まで中和する試験を行った（一段中和 1）。30分の滞留時間でpH9になるように尾鉍溢流量を調節した結果、混合比は3.8となった。同じ試料を使用して二段中和した場合（混合 4、空気 1、滞留 3-1）の混合比は、3.2、2.8、3.8であるから、二段中和の方がその混合比は小さいが、その差は少ない。

これは、尾鉍溢流中の消石灰濃度が高いときには、消石灰だけで中和が進むため、一段中和でも混合比が小さくて済むためと考えられる。

(4) 尾鉍溢流の調査結果

東西分級施設から日別のサイクロン分級オーバーフロー（溢流）試料を採取した。その調査結果を、「表 4-4-49 尾鉍分級濃度および溢流の分析調査表（東方分級）」と、「表 4-4-50 尾鉍分級濃度および溢流の分析調査表（西方分級）」に示す。

東西分級の比較では、西方分級（第一、二選鉍）の分級濃度が東方に比較して低い。このため、溢流の4.3BXが東方に比較して約半分となっている。当然濃度が低い分だけ流量が多くなっていることになる。これは、第一、二選鉍の操業濃度が第三選鉍に比較して低いためであり、さらに、尾鉍の流送条件が厳しいため、水を加えて濃度を低くしているためと考えられる。

従って、中和剤として考えた場合は、中和能力は低いですが、反面、流量が多くなっているため、含有アルカリ総量は変わらないと考えられる。

また、東方尾鉱溢流中の炭酸カルシウムの品位は、平均5.5%という結果であるが、変動幅は小さく安定している。これは鉄品位（4.74%）と同様に鉱石に由来する成分のためと考えられる。

西方分級は、操業が安定しないこともあってサンプル数は少ないが、東方と同様、炭酸カルシウムの品位は、全く同じ5.5%であり、これも鉱石由来のため、選鉱操業の条件とは無関係のためと考えられる。

（5）最終排水の水質

1993年7月の連続試験では、混合酸性水の水質が、ダンプリーチング廃液の比率が高いため、尾鉱溢流の中和混合比も8程度であったが、この時の最終排水について、微量成分の分析をおこなっているため、その結果を、「表4-4-14 連続試験分析一覧表」に示す。この結果では、徳興銅鉱の排水基準を、いずれの成分についても、下回っている。

表 4-4-15 連続中和試験に使用した混合酸性水の水質(1994年7月試験)

2003年、豊水型、リチング銅 2000t/年
 混合酸性水 (楊桃塢:露天掘:リチング廃液=1:1.3:0.3) (単位:ppm)

試験No.	pH	Cu ²⁺	TFe	Fe ²⁺	SO ₄ ²⁻	8.4AX
滞留1~3	2.25	122.1	1970	339.8	9261	8813
混合 1	2.20	105.0	1941	364.0	10496	8378
CaO 1	2.18	106.6	1896	340.4	10496	8628
混合 2	2.15	105.7	1850	308.5	10187	8628
CaO 3	2.28	101.0	1930	401.1	9570	8596
混合 4	2.27	100.7	1727	385.0	—	8269
CaCO ₃ 1	2.31	102.8	1732	288.8	10393	8324
空気 1	2.25	100.5	1754	320.8	11422	8487
滞留 3-1	2.22	100.2	1765	363.6	10084	8182
平均値	2.23	105.0	1841	345.8	10239	8478

楊桃塢

採取日	pH	Cu ²⁺	TFe	Fe ²⁺	SO ₄ ²⁻	8.4AX
7月11日	2.44	222.2	1613	1111	15092	10794
15日	2.44	202.8	1570	1099	15152	10032
22日	2.42	188.9	1412	983.9	13994	9706
平均値	2.43	204.6	1532	1065	14746	10177

露天掘

採取日	pH	Cu ²⁺	TFe	Fe ²⁺	SO ₄ ²⁻	8.4AX
7月11日	3.18	36.8	257	54.25	2778	1327
18日	3.20	42.3	128.5	71.38	5660	1110
22日	3.20	31.59	139	117.6	2006	1175
平均値	3.19	36.9	174.8	81.1	3481	1204

リチング廃液

調製日	pH	Cu ²⁺	TFe	Fe ²⁺	SO ₄ ²⁻	8.4AX
7月11日	1.65	110.7	10221	2.86	36015	33622
18日	1.58	42.84	11249	34.26	40234	35862
22日	1.62	98.18	9968	404.3	39102	37104
平均値	1.62	83.90	10479	147.14	38450	35529

表 4-4-46 連続中和試験総括表

(1994年7月~8月)

試験 月日	試験 No.	酸性水		東方分級溢流				滞留時間		混合比		消費量	
		pH	8.4AX (ppm)	pH	CaCO ₃ (%)	4.3BX (ppm)	濃度 (%)	一次 (分)	二次 (分)	一次	二次	CaCO ₃ (g/l)	8.4AX (g/l)
7.13.	滞留 1	2.25	8813	11.4	4.88	5478	19.3	8.7 (10)	12.0	1.0	2.9	3.41	7.76
7.14.	滞留 2	2.25	9086	12.2	4.88	4500	18.7	28.0 (30)	-	1.0	-	5.98	7.04
7.14.	滞留 3	2.25	9086	12.1	4.88	4500	18.7	57.0 (60)	-	0.8	-	3.20	6.82
7.16.	滞留2-1	2.25	8813	11.9	4.88	7578	18.7	29.4 (30)	-	0.9	-	4.99	6.83
7.18.	混合 1	2.20	8378	12.2	6.83	6462	16.7	28.8 (30)	3.6 (5)	1.2	3.7	6.58	6.28
7.19.	CaO 1	2.18	8628	12.1	6.83	6928	16.7	28.3 (30)	6.7 (5)	1.2	5.3 g/l	5.07	6.14
7.20.	混合 2	2.15	8628	11.7	5.02	5990	17.85	28.2 (30)	2.2 (5)	1.3	7.0	5.37	6.14
7.20.	CaO 2	2.15	8628	11.7	5.02	5990	17.1	30.3 (30)	6.7 (5)	1.2	6.1 g/l	4.18	5.90
7.22.	混合 3	2.23	8759	11.8	6.36	6400	16.12	27.6 (30)	2.8 (5)	1.0	4.8	4.00	6.62
7.21.	CaO 3	2.28	8596	12.0	6.36	6462	16.12	28.8 (30)	6.6 (5)	1.1	5.7 g/l	5.76	6.72
7.25.	混合 4	2.27	8269	12.1	5.15	6820	12.5	27.5 (30)	3.9 (5)	0.8	2.4	3.85	5.25
7.26.	CaCO ₃ 1	2.31	8324	12.1	5.15	6922	12.5	32.1 (30)	3.8 (5)	12.3 g/l	2.7	11.4	6.35
7.28.	空気 1	2.25	8487	11.9	5.15	5653	12.5	27.5 (30)	4.4 (5)	0.8	2.0	4.55	6.12
7.29.	滞留3-1	2.22	8182	11.7	5.15	6492	12.5	52.6 (60)	6.7 (5)	0.8	3.0	3.48	5.30
7.30.	一段 1	2.21	8161	11.7	5.15	7496	12.5	29.9	-	3.8	-	0	7.88

消費量は酸性水量にたいする元単位である。

図 4-4-1 一次中和の滞留(反応)時間と
CaCO₃の反応率(1994.7.)

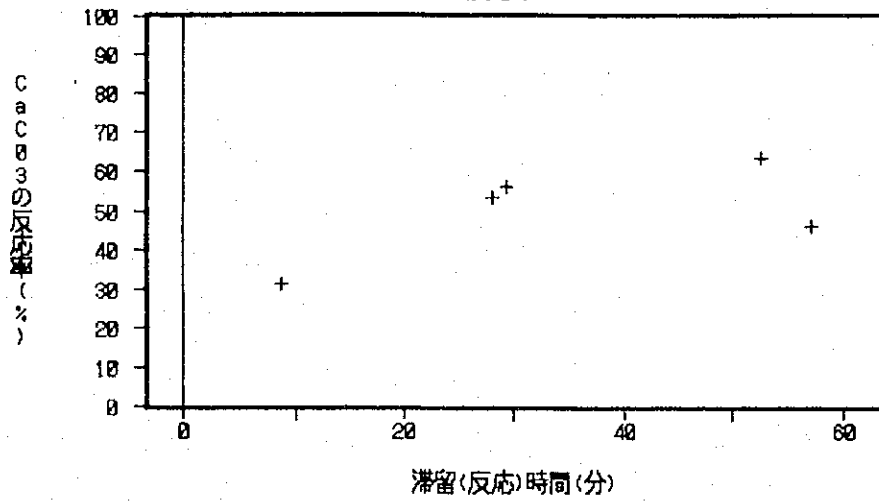


図 4-4-2 溢流pHと二次混合比の関係
1994年7月試験

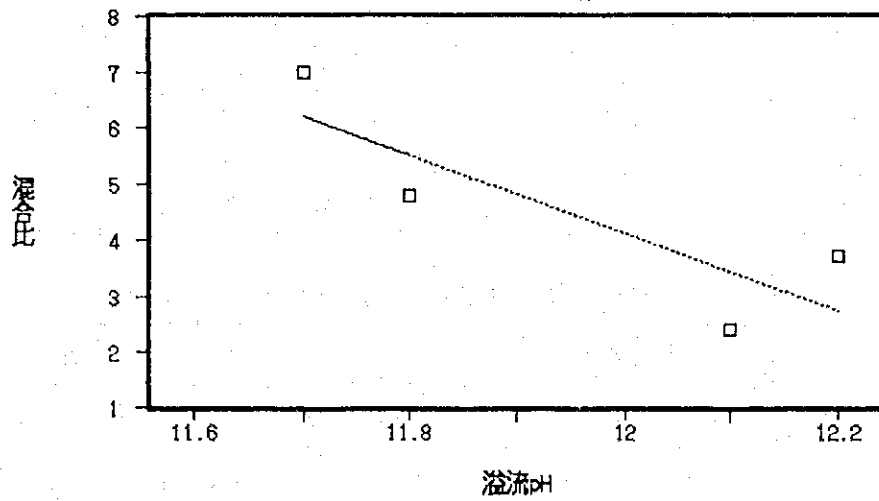


図 4-4-3 4.38X/8.4AXと二次混合比の関係
1994年7月試験

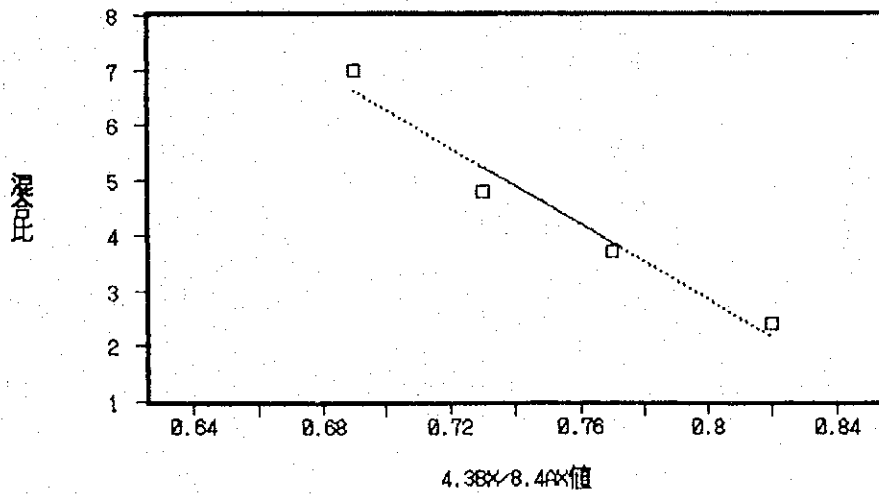


表 4-4-49 尾鉦分級濃度および溢流の分析調査表 (東方分級) (1994年7~8月調査)

試料採取月日	選鉦稼働状況	重量濃度			溢流					
		給液	底流	溢流	-200mesh	PH	4.3BX	CaO	CaCO ₃	Fe
		%	%	%	%		mg/l	%	%	%
7.13. 後	正常 BM3台	22	45	18.5	76.2	11.37	4813	1.80	3.95	4.01
7.14. 前	//	26	52	22	77.5	12.20	5898	2.60	6.83	4.59
7.15. 前	//	25	57	20	80.2	11.95	5366	2.00	4.54	4.70
7.16. 後	正常 BM4台	23	58	17	90.0	12.30	5284	2.37	4.68	4.57
7.18. 前	//	19	42	14	97.7	12.15	3917	2.46	6.33	4.16
7.19. 前	//	26	58	22	68.4	12.20	9882	2.20	5.02	3.82
7.21. 前	// 3台	21	26	17		11.99	6462	2.91	6.36	3.97
7.25. 前	// 3台	21	56	12	83.6	12.20	6820	2.71	5.15	5.41
8. 1. 前	// 4台	25	55	20	93.2	12.20	6758	2.70	5.88	4.47
8. 2. 前	// 4台	25	49	16	82.0	11.80	3287	1.72	5.88	6.72
8. 4. 前	// 4台	24	44	20	95.6	12.03	5284	1.47	6.51	4.74
8. 5. 前	// 4台	23	60	17	90.5	11.30	3942	2.85	5.11	5.72
	データ数	12	12	12	11	12	12	12	12	12
	合計	280	602	215.5	936.9	143.69	67713	27.79	66.24	56.88
	平均値	23.3	50.2	18.0	85.2	11.97	5642.8	2.32	5.52	4.74
	標準偏差	2.13	9.33	2.93	8.86	0.32	1677.8	0.46	0.90	0.80
	最大値	26	60	22	97.7	12.3	9882	2.91	6.83	6.72
	最小値	19	26	12	68.4	11.3	3287	1.47	3.95	3.82

表 4-4-50 尾鉦分級濃度および溢流の分析調査表 (西方分級)

試料採取月日	選鉦稼働状況	重量濃度			溢流					
		給液	底流	溢流	-200mesh	PH	4.3BX	CaO	CaCO ₃	Fe
		%	%	%	%		mg/l	%	%	%
7.14. 後	正常運転	8	44	4	98.5	11.94	2161	2.79	5.77	5.68
7.15. 後	//	11.5	54	6	98.7	11.84	3031	2.99	7.65	4.52
7.16. 前	//	14	61	6.5	98.5	12.10	3062	2.48	5.52	4.70
7.18. 後	//	16	46	9	99.0	11.20	2775	2.18	4.68	4.20
8. 1. 後	//	14	51	8	55.8	12.00	1853	1.92	5.11	4.05
8. 2. 後	//	15	37	10	50.1	11.30	1434	1.99	5.11	3.60
8. 4. 後	//	13	31	9	73.4	11.35	1710	1.92	4.95	3.40
	データ数	7	7	7	7	7	7	7	7	7
	合計	91.5	324	52.5	574	81.73	16020	16.27	38.80	30.15
	平均値	13.1	46.3	7.5	82.0	11.68	2289.4	2.32	5.54	4.31
	標準偏差	2.46	9.44	1.95	20.32	0.35	616.1	0.40	0.92	0.71
	最大値	16	61	10	99.0	12.1	3062	2.99	7.65	5.68
	最小値	8	31	4	50.1	11.2	1434	1.92	4.68	3.40

表 4-4-14 連続試験分析一覧表

(単位:ppm)

成分	混合酸性水	排水(上澄水)	排水基準	備考
pH	2.08	9.0	6~9	()は試験データの の平均値
Cu	76.11	0.21	2	
Fe ²⁺	146.70	(0.26)		
TFe	2615.02	0.39		
Al	568.21	3.98		
As	0.22	0.01	0.5	
Cr ⁺⁶			0.5	
SO ₄ ²⁻	10208.0	919.67		
Cl ⁻				
PO ₄ ³⁻				
Ca	308.23	660.51		
Mg	484.09	31.19		
S ⁻²		未検出	1.0	
NO ₃ ⁻				
Pb	0.78	0.24	1.0	
Mn	4.57	0.08		
Ni	0.46	0.11	1.0	
Cd	0.08	0.04	0.2	
Zn	0.33	0.28	5	
K	38.42	56.75		
Na	2.73	12.85		
Mo	0.23	0.24		
COD	38.34	24.72	150	
8.4AX	10725.0			
4.3BX				
SS			300	

