

C. 鉱山排水処理

C-1 酸性水汚染緩和対策

1. 技術の選択

01. 本章の目的はカウンターパートに酸性排水処理技術を技術移転するという観点から、この地方の復旧のための酸性水汚染緩和策の明確な概念を述べることである。FS サイトなどの廃棄炭鉱サイトのほか、稼働炭鉱・選炭場などの全区域の復旧対策案について、設計基準を含めて述べている。

02. 各 FS サイトにおいて最も有効な酸性水緩和対策技術と、それらの技術の適用によって必要となる費用については、FS サイト調査に示した。

全区域の酸性水汚染緩和策の立案は、各 FS サイトにおいて選択された技術を、稼働炭鉱を含む全ての酸性水汚染域に適用できるとして検討する。各技術の適用可能性は、各 FS サイトでそれぞれの技術が適用された状態をカテゴリー化することで決定する。したがって、FS サイトの技術が全域における同じ条件の場所に適用される。

03. 表 C-I-1 に各 FS サイトに対して行われた評価に基づき、選択された酸性水汚染緩和策を要約した。表中のこれらの技術は対費用効果が最も高いと判断された技術である。FS サイトは稼働炭鉱および選炭施設を完全な形で代表するものではないが、各 FS サイトにおいて選定された酸性水汚染緩和技術は一般的に稼働炭鉱や炭鉱施設にも適用可能であると考えられる。しかしながら、酸性水生成防止技術は稼働炭鉱には導入可能かもしれないが、廃棄炭鉱区域には一般には適用できないので、FS サイトの検討には入っていない稼働炭鉱での使用可能な酸性水生成防止技術も表 C-I-1 に含まれている。

2. 全区域における酸性水処理計画の検討

04. ここでは全区域における酸性水処理計画について述べる。詳細設計については後述する。

表 C-I-1

FS サイトの酸性水処理対策

General Response Action	Selected Technologies	Applicability
ARD Prevention	Biocide treatment	For use during deposition of new coarse rejects at active mine sites before the onset of ARD
	Lime treatment	For use at active mines during deposition of new coarse rejects before the onset of ARD
	Capillary barriers or wet covers	For use at active mines during deposition of new coarse tailings before the onset of ARD
ARD Control	Limited excavation and on-site disposal	For limited use in removing reactive wastes from streams or river channels
	Capillary barriers or wet soil cover systems	Applicable for active and abandoned waste piles where ARD has the potential to affect surface and ground water
	Compacted clay or dry soil cover systems	Applicable for active and abandoned waste piles where ARD may not affect surface or ground water
	Vegetative cover systems	Used in conjunction with all types of cover systems to prevent surface erosion
	Surface drainage and erosion controls	Used in conjunction with all cover systems to prevent surface erosion
	Clean water diversions	Applicable at sites where relatively clean streams or rivers flow through ARD source areas
	Stream and river channel erosion controls	Applicable at sites where streams or rivers have the potential to erode reactive waste piles
	Draining, filling, and capping surface impoundments	Applicable at active or abandoned rewashing facilities with surface impoundments
ARD Treatment	Ground water controls, such as cut-off walls or French drains	Applicable at sites where ground water infiltrates through reactive waste piles, such as valley fill deposits
	Active chemical neutralization	Applicable at sites with acidic ground water discharging from active or abandoned mines where land area is not sufficient for passive treatment systems
	Passive anaerobic treatment systems	Applicable for adding alkalinity to net-acidic surface-water or ground-water at sites with adequate land availability
	Passive aerobic treatment systems	Used for metals removal down stream of anaerobic treatment systems or at sites with net-alkaline water.
	Open limestone channels	Applicable at sites with small ARD sources and no land available for anaerobic treatment systems

05. 酸性水処理計画検討に当たって、JICA 調査団の作成した稼働、廃棄炭鉱の分類のデータベースを使用した。これを使用し、グループ毎の酸性水緩和対策を検討した。表 C-I-2 は調査地域の分類毎の酸性水緩和対策の概要である。これらの計画は酸性水源に適用的な技術と各サイトの条件の組み合わせからなっている。

表 C-I-2

酸性水緩和対策

Site Category Description	Mitigation Plan Description
Active Mines and Coal Washing Plants with Potential Impacts on Rivers and Ground Water	<ul style="list-style-type: none"> • Cover wastes with a “wet” soil cover systems during the deposition process • Install a vegetative cover on the waste dumps during final closure • Install surface drainage and erosion controls on covered waste dumps • Treat acidic drainage and seepage from waste dumps with passive anaerobic and aerobic wetland treatment systems • Implement true closed-circuit coal washing systems or treat acidic or metal-laden waters discharged from washing plants with passive anaerobic and aerobic treatment systems
Active Mines Disposing of Rejects without Direct Impacts to Rivers	<ul style="list-style-type: none"> • Cover waste dumps with a “dry” soil cover systems during active operation • Reclaim waste dumps by installing vegetative covers during closure • Install surface drainage and erosion controls on covered waste dumps • Treat acidic drainage and seepage from waste dumps with passive anaerobic and aerobic wetland treatment systems
Active Mines Discharging Acidic or Metal-Laden Ground Water to Rivers	<ul style="list-style-type: none"> • Treat water to comply with Brazilian standards using passive anaerobic and aerobic wetland treatment systems. • If land is not available for wetlands, construct active chemical neutralization treatment plants
Active Re-washing Facility	<ul style="list-style-type: none"> • Same as active mining and coal washing facilities
Abandoned Mines and Coal Washing Facilities with Potential Impacts on Rivers and Ground Water	<ul style="list-style-type: none"> • Selectively excavate pyretic wastes in contact with surface waters and dispose of on site • Re-grade and re-contour abandoned waste dumps and install capillary barriers or “wet” soil cover systems to reduce acid drainage • Reclaim the covered waste dumps by installing vegetative cover systems • Install surface drainage systems to prevent erosion of soil covers • Drain, fill, and cap any existing acidic ponds • Divert streams or rivers with clean water around sources of ARD contamination

表 C-I-2

酸性水緩和対策

Site Category Description	Mitigation Plan Description
Abandoned Mines and Coal Washing Facilities with Potential Impacts on Rivers and Ground Water	<ul style="list-style-type: none"> • Collect acidic or metal-laden seeps and treat using passive anaerobic and aerobic wetland treatment systems • Stabilize river channels by constructing revetment, rip-rap, or concrete retaining walls, as needed • Prevent ground water from seeping through waste dumps by constructing cutoff walls or subsurface drains.
Abandoned Mines or Wash Plants without Ground Water Impacts	<ul style="list-style-type: none"> • Re-grade and re-contour abandoned waste dumps and install "dry" compacted clay cover systems to control acid drainage • Reclaim the covered waste dumps by installing vegetative cover systems • Install surface drainage systems to prevent erosion of soil covers • Drain, fill, and cap any existing acid ponds to prevent infiltration • Collect acidic seeps and neutralize the acidity using constructed wetland treatment systems
Abandoned Sites Discharging Acidic or Metal-Laden Ground Water to Rivers	<ul style="list-style-type: none"> • Treat water to comply with Brazilian standards using passive anaerobic and aerobic wetland treatment systems.

06. 表 C-I-2 は調査対象域内の鉱山酸性排水汚染の可能性のある全ての区域を示している。黒ボタを産する稼動及び廃棄された炭鉱サイトは、潜在的に酸性水が排出される可能性があるものと仮定した。表 C-I-2 は酸性水を生成しない砂岩の表土を含むサイトについては言及していない。活性の高い黄鉄鉱を含まないサイトは、表土のピイルを単にならし、植栽するだけで修復できる。

3. 酸性水生成緩和対策の詳細

07. この章では、酸性水生成緩和対策の詳細について述べる。これらの詳細な記述の目的は、酸性排水処理の技術と情報をブラジルのカウンターパートに技術移転し、環境修復の見積作成に十分な情報を提供するためである。

3.1 キャピラリーバリアまたは湿式被覆システムの設計と施工

08. 本項では稼働炭鉱、廃棄炭鉱および洗炭場のボタ山から発生する酸性水を減少させることを目的とした、湿式被覆システムの設計と施工について記載する。

(a) 概要

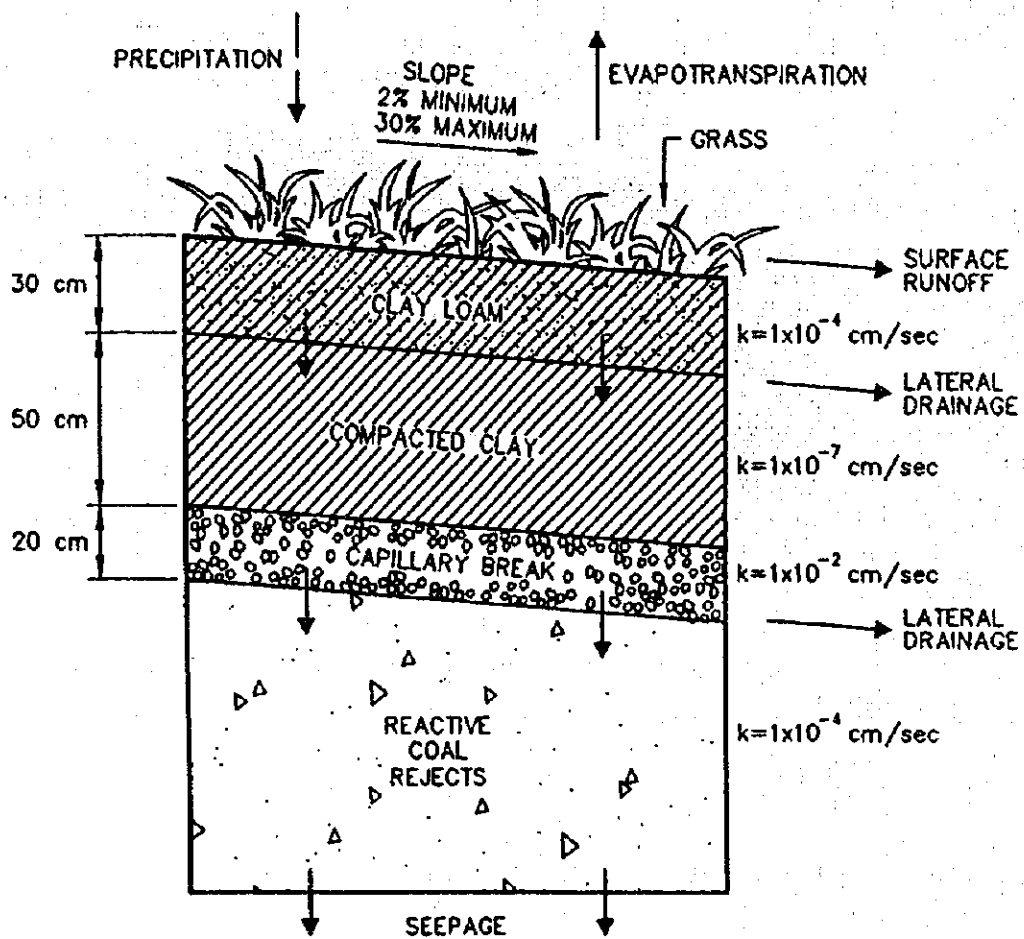
09. 湿式被覆システムはキャピラリーバリアとも呼ばれ、埋設された廃棄物に空気と水が浸透することを減少またはゼロとさせるために設計された土壌バリアである。湿式被覆と呼ばれる理由は、年間の降雨量が蒸発量を上回るような湿った気候下を再現する様に設計され、また、雨期、乾期を通して、被覆が濡れているような状況を維持するように設計されているためである。各地域の気候条件に合致した覆土設計の重要性については、Swanson ら (1997) により議論されている。

10. 図 C-I-1 には JICA プロジェクト地域を対象に設計された湿式被覆システムの特徴を示した。キャピラリーバリアまたは湿式被覆システムは、下記のような土壌層から成り立っている。

- ・第1層 - 厚さ 30cm の締め固められていない土壌層であり、浅根性の土着芝種による表上の植栽被覆を成長させるのに適する。第1層の目的は、浸食から下層を保護するとともに、表層の雨水排出を容易にし、雨水の蒸発を促進することにある。
- ・第2層 - 厚さ 50cm の低浸透性の密な粘土層であり、埋められた廃棄物に雨水が浸透するのを遅らせ、あるいは防ぐ層である。また、第3層とともに土壌の湿度を保ち、酸素の廃棄物への侵入を妨げる。
- ・第3層 - 厚さ 10cm~20cm の粗砂または砂利の層であり、廃棄物と粘土の層の間に位置し、毛管現象を防ぐ働きをする。キャピラリーバリアの機能的なメカニズムと有効性については、Stormont ら (1996) によって詳細に記載されている。すなわち、大きな間隙と高い浸透性によって、低浸透性の層と埋設された廃棄物の間の細かい空隙を不連続化し、毛細管現象を遮断する働きをする。湿度の高い状態下にあっては、この不連続層は、廃棄物が土中の水分を吸い上げるのを防ぎ、それによって、非常に低い浸透性の障壁を形成する。一方、乾燥した状態下では、毛管現象遮断層は上方への蒸発と下方への毛管浸透とをバランスさせることで、粘土層の湿度を長期間保つ働きをする。

(b) 設計目的

11. 湿式被覆は、採掘、選炭地域において下記に示すように設置、施行される。



☒ C-I-1 ウェットカバーシステム・キャピラリバリア

NOTE:

K = IN-PLACE PERMEABILITY
OR HYDRAULIC CONDUCTIVITY

- ・透水性の低い防水壁を形成することにより、雨水がボタに浸透することを防ぎ、黄鉄鉱の酸化物や廃棄物からの酸性排水の浸出を減少させる。
- ・効果的な気体の遮断層を設置することにより、大気中の酸素が廃棄物に流入することを制限する。これにより、黄鉄鉱の酸化速度を遅らせるか、または停止させる。
- ・浸透を低下させるための補助的メカニズムとして、側面からの排水および表層からの蒸発を促進する。

12. 湿式被覆システムは、年間の雨期、乾期を通して、これらの目的に合うように設計される必要がある。キャピラリーバリアは乾期においても土壤が湿性を保つのを助けることで、粘土層の乾燥によるひび割れを防止する。このため、乾式被覆システム以上のより高い効果が得られる。

(c) 期待される効果

13. 的確に設計、施工されたキャピラリーバリアは、保護されていない黄鉄鉱廃棄場と比較して、90～95%の酸性水の発生の減少を期待できる。したがって、湿式被覆システムは、表面及び地下水から酸を減少させるのに、最も有効なものの一つである。しかしながら、これらのカバーシステムが有効に機能するためには、高いレベルの品質保証試験・検査が必要であることに留意する必要がある。

(d) 設計の詳細と基準

14. 湿式被覆システムの設計の詳細と基準は、以下の通りである。

- ・植栽土壌 - 第1層には、植物成長に有効な植栽土壌を使用する。土壌を、植物の成長に有効なものにするために、化学肥料、有機物、石灰等の土壌改良法について、EPAGRIの助言を得ること。
- ・播種法 - 浅根、多年生の土着芝種による表土の植栽被覆を行うこと。種子は播種機を用いて、被覆斜面に対して垂直に列をつくるように植栽すること。種子吹き付けを行う場合には、雨による流亡を防ぐために、一般に行われているように斜面に畝を設けること。

- ・被覆面の傾斜 - 被覆面の傾斜は、適切な表面排水を行うために、2%未満であってはならない。また、覆上の施工性を確保するためと、雨水流出速度が早くなりすぎることを防ぐため、斜面は30%をこえてはならない。傾斜30%以上の斜面では有効な覆土を行うことは、難しい。
- ・粘土層 - 第2層には、締め固め後の現場における透水係数が 10^{-7} cm/sec以下の粘土を使用すること。粘土は、均等な深さに広げ、10cm以上持ち上がらないように締め固めること。粘土層の厚さは均等に50cmになるように仕上げなければならない。パイブレーディングシープスフットまたは同様の装置により、粘土を標準プロクター密度の95%まで締め固めること。また、建設中および建設後を通じて、最適な水分含有量を維持すること。粘土は、締め固め作業中および作業後を通じて、乾燥させてはならない。
- ・毛管現象遮断層 - 第3層の毛管現象遮断に使われる材料は、保水性がなく、高い透水性を有するものでなければならない。この層の透水係数は、 10^{-2} cm/secよりも大きくなければならない。適切な材料として、粗～極粗砂(1～2mm)、細砂利(4～8mm)または中～粗砂利(8～32mm)等があげられる。材料は、十分な品質で(well-graded)で、篩掛けされ、細かい粒は除かれていなければならない。
- ・地盤用シート - 毛管現象防止層に細かい粒子が侵入することを防ぐことは重要である。毛管現象遮断のために用いられる材質の粒径と均質性によっては、締め固められた粘土層と毛管現象遮断層との間に、地盤用シートを設置することが必要になる可能性もある。

15. 表 C-I-3 に、上述したキャピラリーバリアあるいは湿式被覆システムの設計基準を示す。

表 C-I-3
 湿式被覆システムの設計基準

Design Criterion	Vegetative Soil Layer	Low Permeability Clay Layer	Capillary Break
Purpose	Plant growth medium, erosion control, and lateral drainage	Infiltration and oxygen barrier	Capillary break
Common Description	Clay loam or sandy clay loam	Inorganic clay or silty clay	Very coarse sand to medium gravel
Unified Soil Classification	SM or SC	CH or MH	GP or SP
In-Place Permeability	10^{-3} to 10^{-4} cm/sec	10^{-7} cm/sec	$> 10^{-2}$ cm/sec
Grain Size Distribution	< 50% passing No. 200 Sieve	100% passing No. 200 Sieve	0% passing No. 200 Sieve, 90% retained by No. 20 Sieve
Compaction Standard	Light compaction	95% standard Proctor density	Not compacted
Plasticity Index	Low or Non-Plastic	High	Non-plastic
Liquid Limits	<50%	>50%	Non-liquid
In-Place Layer Thickness	30 cm	50 cm	20 cm

(c) 施工時の品質保証

16. 覆土による透水遮断壁の有効性は、施工の品質に大きく依存する。覆土が設計仕様に従って行われていることを保証するために、厳密な施工品質の検査・試験が必要となる。少なくとも、以下に示すような検査・試験を満たす覆土システムの施工が要求される。

- ・材料の選定および試験 - 覆土材料は、設計仕様を満足しているかどうか、基礎土木技術的な指標を試験によって、確認されなければならない。最低限必要な検査要求項目として、粒度組成、アッター・ベルグ限界、飽和水力伝導率および標準プロクター・湿密度テスト等があげられる。
- ・施工中における試験 - 施工中に建設材料を無作為抽出し、上記の土木技術的パラメータの項目について分析を行うべきである。持ち込まれた材料の品質により、100~500m³毎に1つのサンプルを抽出し、材料が仕様と合っていることを確認する必要がある。

- ・ 目視検査 - 施工技師は、現場に到着した材料が基本的な品質基準に合っていることを確認するために、目視による検査を行わなければならない。目視検査により、多数の情報を得ることができる。もし技師が材料が仕様に合っていないと疑問に思う場合は、その材料は検査される必要がある。
- ・ 現場密度試験 - 圧縮試験または現地密度試験は、低浸透性粘土層の施工時に特に重要である。携帯用核密度試験計の使用を推薦する。
- ・ 現地調査 - 現場技師は、各土層の厚さを一貫して測定しなければならない。土層が一定の厚さであり、設計仕様に合っていることは、覆土の機能を確保する上で重要である。

(i) その他の提案

17. 湿式被覆システムの設計と施工に関するその他の提案としては、以下のようなものがある。

- ・ 毛管現象の防止に用いることのできる安価な代替材料を検討すること。調査対象地域では、砂利は比較的高価であることから、安価で入手が容易であり、かつ適切な代替材料を検討することを勧める。砂利の代替品として、土壤改良材、表層砂岩を砕いたもの、篩分け洗浄した黒ボタ等が考えられる。
- ・ 稼働鉱山におけるボタ山の大きさを、酸性排水の発生開始を防ぐために、縮小する必要がある。現在、黄鉄鉱を含む廃棄物は、大きなひと山として廃棄、堆積している。このため、廃棄物は、覆土されるまでの長期間、酸素や雨水にさらされている。廃棄物が覆われるまでの間に、酸性排水によって化学反応が進行し、防止や制御が難しく、費用がかかる段階に進んでいる。
- ・ 数週間以上、空気と水にさらされたパイライトを含む廃棄物は、酸性排水の発生を防ぐため、殺菌剤あるいは石灰等で処理しなければならない。

3.2 乾式被覆システムの設計および施工

18. 本節では、JICA 酸性水緩和対策において検討された乾式被覆システムの設計および施工法について述べる。

(a) 設計目的

19. 乾式被覆は、採鉱、鉱業地域において下記に示すような目的に合致するように設計、施工する。

- ・透水性の低い防水層を形成することにより、雨水がボタに浸透することを防ぎ、黄鉄鉱酸化物や廃棄物からの酸性排水の浸出を減少させる。
- ・浸透を低下させるための補助的メカニズムとして、側面からの排水および表層からの蒸発を促進する。

20. 湿式被覆および乾式被覆は、いずれも浸透バリアにより、効果的に地下への雨水浸透を遅らせるシステムである。湿式被覆と異なり、乾式被覆は雨期に水分を蓄え、乾期にこれを放出するようデザインされている。したがって、ドライカバーは、酸素遮断層 (oxygen barrier) としての効果はやや低く、乾期には締め固められた粘土層に乾燥亀裂が生じやすくなると考えられる。

(b) 期待される効果

21. 適切に設計・施工された乾式被覆は、未対策時に比べて、黄鉄鉱を含むボタからの酸性水の発生を 70~75%削減することができる。したがって、乾式被覆も表層水および地下水への酸性水の負荷を減少させる上で有効であるといえるが、湿式被覆に比べた場合やや効果が劣るのは否めない。湿式被覆同様、乾式被覆が有効に機能するためには、建設期間を通じての高いレベルの品質保証テストと検査が必要である。乾式被覆は効果があまり大きくないことから、表流水あるいは地下水への酸性水の影響が少ないか、全くないサイトへの適用が適切であると考えられる。

22. 70~75%の負荷を削減するためには、図 C-I-2 に示すような 2層乾式被覆が推奨される。

(c) 設計の詳細および規準

23. 乾式被覆は、毛管現象遮断層 (capillary break layer) が無い点を除けば、細部まで湿式被覆またはキャピラリーバリアと同じである。したがって、設計の詳細および

規準については 3.1 に述べたウェットカバーのものから、毛管現象遮断層を除いたものと同じになる。

(d) 施工時の品質保証

24. 3.1 に示された湿式被覆システムに関する施工時の品質保証は乾式被覆システムにもあてはまる。

3.3 パンプウェットランドシステムの設計および施工

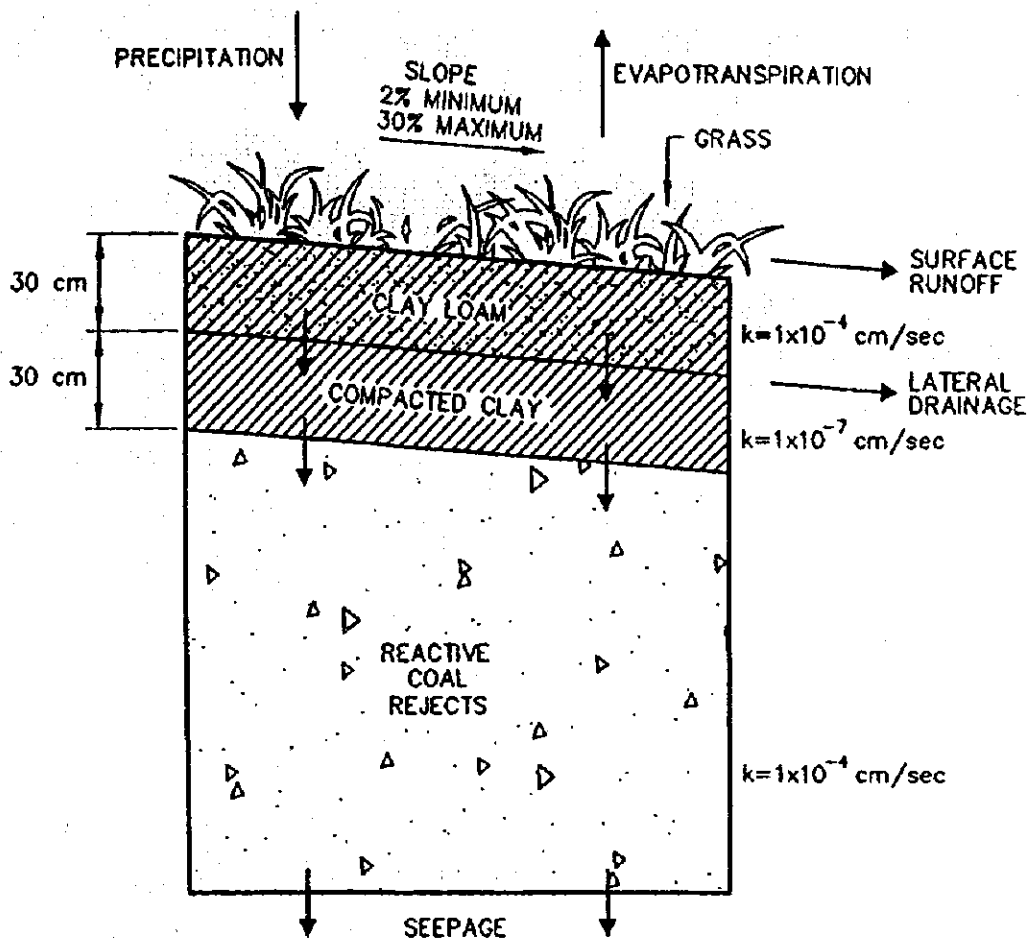
25. 本章では、JICA プロジェクトの調査対象域内での酸性水処理法として適用が妥当であると考えられるパンプシステムの設計および施工法の詳細について記載する。

(a) 設計目的

26. パンプウェットランドシステム(PATS)は人工池および湿地より構成され、無機および生物由来の源からアルカリ分を付加することで、酸性水の中和を行うために設計・建設されるものである。したがって、PATS が JICA の調査対象サイトに施工される目的は、酸性分の中和のために重炭素塩アルカリ分を添加する点にあるといえる。アルカリ分を添加することは、pH を上昇させ、嫌気的な湿地の中で鉄、マンガン、アルミ等の除去が行われるための環境を整えるために必要である。

27. PATS は、稼働の鉱山や廃棄鉱山からの排水やボタ山からの浸出水等を処理するために適用される。これらのシステムが受動的と言われる所以は、これらの技術が建設後は人的操作の必要が殆どないか、あるいは全く必要ないためであり、能動的な処理である化学的中和法に比べて長期的に大幅な処理費の削減が可能である。反面、PATS は能動的な化学的処理法に比べれば、より広い土地面積を必要とする。

28. PATS はアルカリ分を二つの方法により添加するように設計されている。すなわち、石灰岩 (limestone) の溶入によるものと、微生物的な硫酸還元過程において副生される重炭酸イオンの生成によるものである。これらのシステムが嫌気処理と呼ばれる理由は、それらが無酸素の状態で機能するように設計されているためである。酸素が存在しないことは、重炭酸性のアルカリ分を生成する硫酸還元菌群 (SRBs) のために重要な環境条件で



NOTE:

K = IN-PLACE PERMEABILITY
OR HYDRAULIC CONDUCTIVITY

☒ C-1-2 ドライカバーシステム

ある。さらに、PATS 内の強い還元状態は、石灰岩の表面を被覆して溶存の妨げとなる第二鉄イオン(Fe^{13}) の形成阻害を促進する。このため、システム内の溶存鉄は pH8~9 以下の条件下で高い溶解度を示す第一鉄イオン(Fe^{12}) の状態に保たれる。

(b) 期待される効果

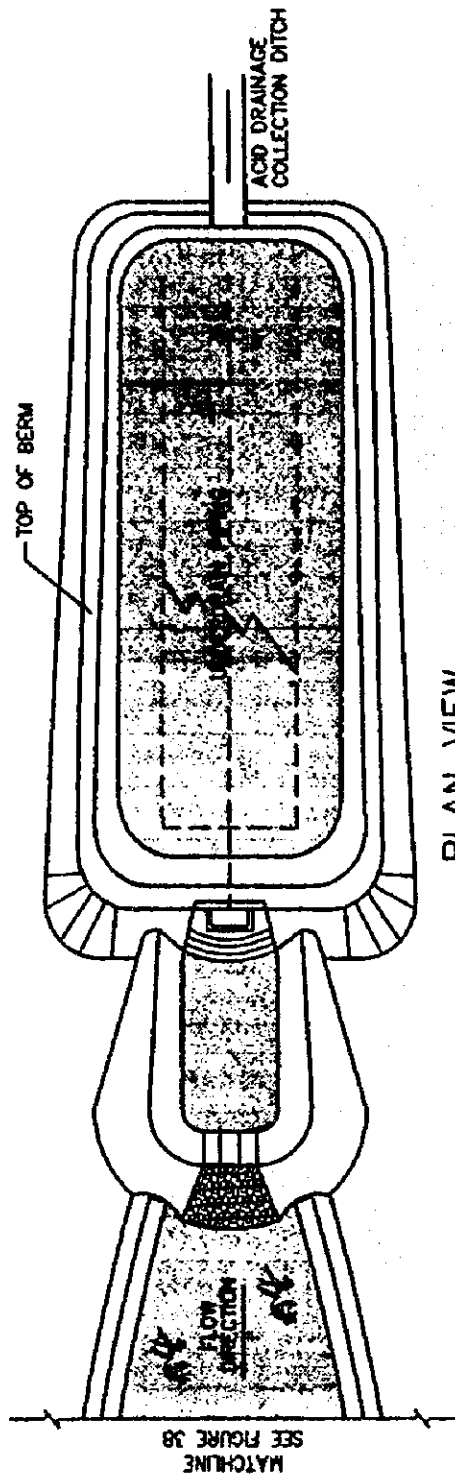
29. 廃棄鉱山からの酸性排水は CaCO_3 換算で 100~600mg/l の酸性度を示している。稼働の鉱山および洗炭施設からの排水の酸性度は、 CaCO_3 換算で最大 2,500mg/l までの範囲にある。PATS はこれらの酸性度を最大 90%まで除去 (中和) するように設計されている。さらに、強い中和効果が必要な場合には、好氣的湿地と一連となった PATS とリンクさせることも可能である。高い除去効果を達成するためには、以下に述べるように、PATS を処理対象となる排水の全酸度と同等またはそれ以上のアルカリ分を加えるように設計することが重要である。

(c) 設計の詳細および規準

30. 図 C-I-3A に示したパッシブウェットランドシステムは、JICA 調査対象域での酸性水処理のための PATS の一般的概念を示したものである。本図から分かるように、PATS は生分解性有機物を備えた水深のある開放系の貯水池と、その下に石灰岩層、暗渠を備え、水理的コントロールを行う構造物から成っている。これらの各部分は以下のような機能を有している。

31. 貯水池 - PATS の水深は、池底の有機物層に大気中の酸素が拡散することを防ぐために最低 1 m に保たれている。水深の維持は、池の放流口部において土盛りの堤防と水理制御構造物により行われる。池内の流れは下向流となっている。硫酸還元菌群は底層部で最も活動的になるため、PATS の能力が発揮されるためには有機物層が酸素の拡散から遮断されていることが重要である。また、水深が深くなるほど、石灰岩層における CO_2 分圧が高くなる。 CO_2 分圧を高く維持することで CaCO_3 の溶解性が高まり、石灰岩によるアルカリ分溶出が増すことになる。最後に、溜められた水は下層と石灰岩層を通して水を下方に流すのに必要な水頭を与える。

32. 下部有機物層 - 図 3A の下部有機物層は厚さ 2 m の動植物性廃棄物より成っている。しかし、有機物層の厚さは 0.5~2 m の範囲で変更することができる。設計上の要



PLAN VIEW

SHALLOW MARSH

- OXIDATION
- IRON REMOVAL

DEEP POND

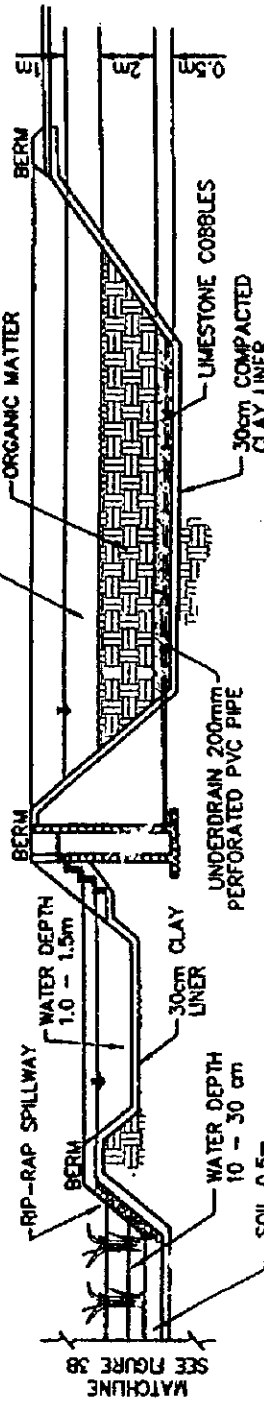
- SETTLING
- TSS REMOVAL
- METALS REMOVAL

DROP STRUCTURE

- AERATION

PASSIVE ANAEROBIC TREATMENT SYSTEM

- ALKALINITY ADDITION



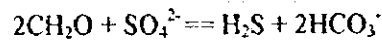
SECTION VIEW

NOT TO SCALE
VERTICAL SCALE IS APPROX. 10x HORIZONTAL

☒ CI-3A パッシブアエロビオシステム

点は処理対象となる酸性度を中和するに十分な量の有機物を与えることである。有機物層の目的は溶存酸素を消費することによって、還元・嫌気的環境を造りだすとともに、硫酸還元菌群に必要な食料およびエネルギー源を与えることにある。

生物的硫酸還元反応の過程における副産物は重炭酸イオンであり、以下の反応式で表される。



33. この反応式で表される反応は PATS において付加されるアルカリ分の約半分を担っている。溶存酸素の存在は SRB_s の活動を妨げることから、下部有機物層が水中の溶存酸素を消費するのに十分な生物的酸素要求量(BOD)を有していることは重要な要因である。この条件が満たされなければ、生物的なアルカリ分の生成は止まってしまう。

34. 重炭酸塩の生成によって、有機物層を通過した水の pH は、たとえ pH2.5 程度の低い pH の水であっても一般に中性化する。しかし、通常 pH が中性の時早く進行する酸化・沈殿反応は、溶存酸素の欠乏により妨げられることから、第二鉄イオンの沈殿がシステムの能力に影響を及ぼす心配はない。

35. 経験的設計規準は、Wildeman ら(1993)によって示されている。アメリカ、カナダの鉱山域における経験から、SRBs は 1m³ 当りの有機物から、重炭酸塩アルカリ度換算で日に 0.6mol のアルカリ分を生成する。この関係は PATS によって酸性水を中和するのに必要な有機物量を算出する上で最も有用な規準となる。必要な有機物量を計算するための酸性負荷は以下のように決められる。

$$\text{酸性成分の負荷 (moles/day)} = \frac{\text{全酸度 (mg/L as CaCO}_3\text{)} \times \text{流量 (L/day)}}{\text{CaCO}_3\text{ (mg/mole) の分子量}}$$

これより、有機物量は以下の式で求められる。

$$\text{有機物量 (m}^3\text{)} = \text{酸性成分の負荷 (moles/day)} / 0.6 \text{ moles/m}^3\text{/day}$$

36. SRBs の短期的および長期的な炭素源を提供するため、可溶性と不溶性の有機物の混合が必要である。一般に混合物は、その場で利用可能な材料を用いてつくられる。したがって、有機物の選定に厳密なガイドラインはない。一般的な混合物は下記に示すような、1/3 程度の可溶性有機物と 2/3 程度の不溶性有機物よりなっている。

- ・動物性廃棄物、ブタ、ヒツジ、ウシ、家禽類の糞等は容易に利用可能な生物性材料であり、SRBsの炭素源としての役割を果たす。
- ・干し草、麦わら、わら等の植物のような中程度の可溶性を示す材料またはマッシュルーム、堆肥、もみがら等を含む食品加工廃棄物等。
- ・木屑、おがくずのような不溶性の有機物。

37. 石灰層 - 高品質の石灰の栗石を有機物層の下に設ける。石灰石は排水層としての機能に加えて、PATS 全体としてのアルカリ度上昇に寄与する。十分な対流時間を与えることによって、生物的硫酸還元によって生成される重炭酸塩と石灰石に含まれる固体の CaCO_3 との間に化学的平衡状態が形成される。もし、硫酸還元による重炭酸塩の濃度が平衡状態よりも低い場合には、石灰石が溶出し、その差を埋める。また、有機物層の分解は CO_2 分圧を高め、これが炭酸塩および重炭酸塩の平衡濃度を増加させる。Kepler and McCleary (1994) はPATSにより、75 mg/l~300 mg/lのアルカリ度の付加が可能であることを示した。酸性度の半分を中和するために必要な石灰の量は、Hedinら(1994)による経験式により計算することができる。

38. 下部排水管および水理的制御 - 下部排水管と水理的制御は池底部の有機物層および石灰石層を通る鉛直方向の下向流を助長するように設計される。排水管は大径のPVCパイプに穴をあけたものから成る。排水管は土盛りの堤防を貫いて設置され、コンクリート製の水理制御構造物の内側につながる。制御構造物としてはさまざまなタイプのものが使用可能である。たとえば、図 C-I-3A に示したような水位を安価なコンクリート性の堰で調整してよい。

39. 粘土の不透水層 - 粘土層を漏出を防ぐため嫌氣的池の底部及び側面に設ける。粘土層は浸透性が $10^{-7} \text{cm}^2/\text{sec}$ 以下の圧密された厚さ 30cm の粘土から成る。この層は流量が減少する時期に、処理に必要とされる一定の水位を保つために必要である。もし、過大な漏水が生じた場合には、水位が下がり、有機物層が酸素にさらされる可能性がある。

40. 図 C-I-3A に示した PATS の設計に用いられる規準を表 C-I-4 に要約した。

表 C-I-4

パッシブ嫌氣的ウェットランドシステム設計基準

Criterion Description	Recommended Design Value
Design Life Cycle	20 to 30 years
Hydraulic Loading Rate	20 m ² /L/sec
Hydraulic Retention Time - Organic Layer	60 to 120 hours
Hydraulic Retention Time - Limestone Layer	24 hours
Acidity Loading Rate - Organic Layer	0.6 moles/ m ³ /day
Acidity Loading Rate - Limestone Layer	See Appendix B
Depth of Standing Water	1.0 meter minimum
Depth of Organic Layer	0.5 to 2.0 meters
Depth of Limestone Layer	0.5 to 1.0 meters
Type of Organic Matter	See above discussion
Limestone Quality	90 percent CaCO ₃ minimum
Limestone Size	75 to 200 mm
Underdrain Piping	200 mm perforated PVC or HDPE
Pond Liner	30 cm compacted clay

(d) その他の提案

41. 本節では、JICA 調査対象域での PATS 設計および運転の適正化を図るため、次のことを推奨する。

- ・ 地域の特性に合った設計規準検討のためのパイロットスケールの実証試験の実施を行う。これらのパイロットスケールでは、異なる種類の有機物層を試験するために用い、長期のモニタリングを行うべきである。モニタリングデータは主な反応剤と生物的硫酸還元および石灰の溶解生成物のマスバランスに用いられる。
- ・ 有機物としての養豚廃棄物の利用可能性について検討する。養豚場からの廃棄物はサンタカタリナ州南部で容易に入手可能である。実際、養豚場からの廃棄物の処理および処分は調査地域内において深刻な環境問題となっている。養豚廃棄物は一般に液状で入手されるため、何らかの前処理無しでは溶存性が高すぎて利用できない。また、養豚場廃棄物は人間への病原体伝搬の可能性もあることから、導入に際しては十分に注意を払うことが必要である。これらの問題は、液状の養豚廃棄物をより安定した固形物とするために、オガクズのような他のタイプの有機物と合わせてコンポスト化することにより、解決できる可能性がある。

42. もし、利用が可能であれば、JICA 調査地域内での PATS の建設において、養豚廃棄物が安価な有機物として利用できる。また、養豚廃棄物の有効利用は、養豚施設による環境影響に対する有効な対策の一助となるものと考えられる。

3.4 パッシブな好氣的ウェットランドによる処理システムの設計及び施工

43. パッシブな好氣的ウェットランドの設計及び導入について述べる。

(a) 設計の目的

44. 調査対象域におけるパッシブな好氣的ウェットランドによる処理システムの設計及び建設の目的は以下に示すとおりである。

- ・非生物及び生物的に行われる広範囲な化学的反応を促進することによる鉄、マンガン、アルミニウム等の溶存態金属の除去
- ・水質改善のための金属及び浮遊物質の沈殿除去

45. 好氣的ウェットランドは酸性度に比べよりアルカリ度の高い排水の処理に向いている。JICA 調査地域では、事前に PATS において処理を行った排水だけがアルカリになると予想される。米国東部の炭田地域では、好氣的ウェットランドによる処理施設の建設は炭坑廃水に含まれる鉱物性酸性廃水及び溶存態金属の除去に有効であると証明されている。好氣的ウェットランドでは広範囲の非生物的、生物的な化学反応及び通気、酸化、沈殿、キレート化、吸着、錯化、ろ過、細菌触媒による酸化、植物体による摂取といった処理過程の促進が可能である。

(b) 予想される効果

46. もし十分な土地が利用できるならば、好氣的ウェットランドにおいて炭坑廃水中に含まれる鉄、マンガン、アルミニウムの 90%以上を除去することが可能である。好氣的ウェットランドは、廃水が嫌氣的処理施設において事前に処理されるか、アルカリ性である場合には、JICA FS サイトの条件下で有効であり適用可能であると考えられる。いくつかのサイト内には多数の自然のウェットランド及び池沼が存在しており、好氣的ウェットランドによる処理の実施に適している。しかし、サイト内で処理を必要とする酸性廃水は強い

酸性であるため、パッシブな化学的処理もしくは生物的処理を通してアルカリ性にする事ができれば、好氣的ウエットランドは、非常に効果を高められると予想される。

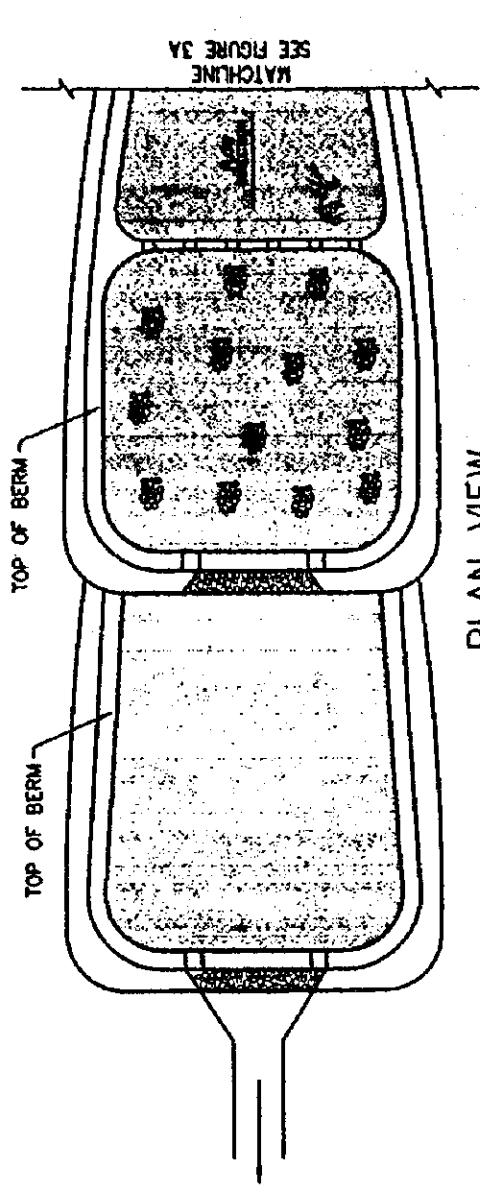
(c) 詳細設計及び基準

47. アルカリ性の廃水に対しては、単に金属の除去反応が起こるのに必要とされる滞留時間を持たせた好氣的ウエットランドを設けることで十分な処理結果を得ることができる。ウエットランドは沈殿池としての機能を持たせて建設され、それ故沈殿した金属は廃水から有効に除去され、処理施設内に保持される。酸性廃水は金属除去処理手段として好氣的ウエットランドを利用して有効に処理される。しかし、顕著な pH の低下が予想される場合には、PATS のようなアルカリ度を生成するシステムを好氣的処理施設と組み合わせることにより pH の低下を妨ぐる必要がある。

48. FS サイト内におけるほとんどの廃水は酸性であると予想されるため、好氣的ウエットランドによる処理システムは廃水をアルカリ性にする効果のある PATS の下流に導入することが必要である。そのため、好氣的ウエットランドは一般的に金属及び酸性除去のための完全な好氣的及び嫌氣的処理施設の構成要素の一つとして見なされている。こうしたシステムの好氣的施設は多くの既存の深い池及び自然のウエットランドを改良することで設けられる。既存のウエットランドが存在しない場合、深い部分と浅い部分を設けた沼地、深い池、好氣的なロックフィルターといった人工的な水域を建設することで可能である。

49. 図 C-4-3B には、パッシブな嫌氣的及び好氣的ウエットランドによる処理施設として、PATS と共に用いられる一般的なパッシブな好氣的ウエットランドによる処理施設の設計を示した。金属及び酸性除去に用いられる一般的な設計構造を以下に示す。

- ・ 機械的曝気 - 機械的な曝気を行うための水理的落差構造及び人工的な浅瀬
- ・ 酸化池 - 大気中の酸素を取り入れるため広い表面積を取った水深 10~30cm の浅い沼。また、ガマ、アシ、イグサといった水生植物から成るウエットランド生態系は、浅い水系に酸素を与えるのに有効であり、細菌による酸化プロセス及び浮遊物質のろ過を行う場所を提供する。
- ・ 深い池沼 - 金属の沈殿及び堆積に必要な十分な滞留時間を確保するための水深の深い部



PLAN VIEW

DISCHARGE

DEEP POND

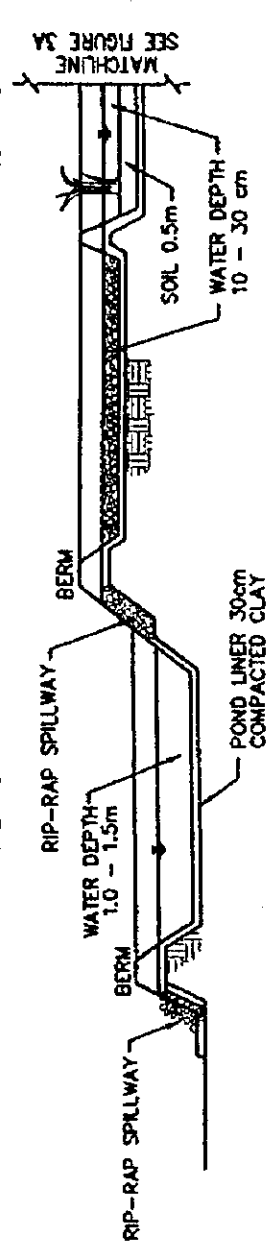
- FINAL SETTLING
- METALS REMOVAL

AEROBIC ROCK FILTER

- MANGANESE REMOVAL

SHALLOW MARSH

- OXIDATION
- IRON REMOVAL



NOT TO SCALE
VERTICAL SCALE IS APPROX. 10x. HORIZONTAL

SECTION VIEW

☒ C-I-3B バッブウエットランドシステム

分。深い水域として 30~200cm までの様々な水深に設計される。

- ・好氣的ロックフィルタ - 好氣的ロックフィルタは生物的なマンガン除去を促進するための、丸石や玉石を満たした浅い池から成る。水中に沈めた丸石や玉石は生物的にマンガン酸化菌の増加を助ける働きをする。
- ・水理制御施設 - 降雨時の流出水による影響を防ぐための捨て石構造の水路および排水路、雨季及び乾季を通して必要な水位を保持するための水位制御施設を含む。
- ・粘土の不透過層 - 粘土層は漏水を防ぐため好氣的池の底部及び側面に設ける。粘土層は浸透性が 10^{-7} cm/sec 以下の圧密された厚さ 30cm の粘土から成る。この層は流量が減少する時期に、処理池に必要とされる一定の水位を保つために要求されるものである。

50. 好氣的ウェットランド処理システムにおける金属除去のための設計基準には以下のものがある。

- ・金属負荷量 - 効果的な好氣的ウェットランドによる処理システムの設計に用いられる金属負荷量は、米国鉱業局 (BOM) (Hedin et al., 1994) 及びテネシー渓谷局 (TVA) (Brodie, 1995) より示されている。米国の鉄及びマンガンの基準を達成するために、こうした行政担当局の報告によると、好氣的ウェットランドは、処理系に流入する鉄 1 g/日当たり表面積 $0.05 \sim 0.1 \text{ m}^2$ 、溶存態マンガン 1 g/日当たり表面積 $1 \sim 2 \text{ m}^2$ となるように設定されなければならない。また異なった数値であるが、米国 BOM 及び TVA において用いられている金属負荷基準は、鉄は $10 \sim 20 \text{ g/d/m}^2$ 、マンガンは $0.5 \sim 1.0 \text{ g/d/m}^2$ である。
- ・溶存酸素濃度 - 十分な溶存酸素の量が欠乏すると、好氣的ウェットランドによる処理システムの有効性が制限される。Hedin et al (1994) 及び Brodie (1995) により行われた調査では、単純に十分な溶存酸素を供給することで、約 50 mg/l の Fe^{2+} が酸化されることを示した。そのため、有効な好氣的ウェットランドの設計には廃水中の鉄 50 mg/l 当たり一つの曝気ゾーンを取り入れている。
- ・水位保持時間 - TVA は溶存態鉄の酸化及び沈殿を促進するために、最低でも 24 時間の滞留時間を設けるための浅い酸化池を建設することを勧告している。好氣的ロックフィルタは約 16 時間の滞留時間を取るよう設計される。深い池は約 24 時間の滞留時間をもって

設計される。そのため、好氣的ウェットランドによる処理システム全体の水滞留時間は最低でも 64 時間を取るよう設計されなければならない。

- ・ ウェットランド小区画の配置 - 科学的に設計された好氣的ウェットランドは処理を効果的に行うのに必要とされる機能を得るため、様々な区画または小部屋を設けるのが特徴となっている。好氣的小区画の構造は以下のように設計される。
 - 酸化及び沈殿プロセスを共に促進するための様々な流速
 - 様々な除去プロセスを促進するための多様な水深
 - 好氣的装置として機能するための区画間の位置関係
 - 金属スラッジの蓄積のため最低でも 1 m の余裕を持つ深い堆積池
- ・ 水力制御 - 水位及び流量の制御はウェットランドシステムの十分な機能発揮のために必要とされる。土製の堤防、バーム、岩石による頭壁、小規模なコンクリート製ダム等の水力制御施設の設置には注意深い分析が必要であり、長期的な効果を持続させるためウェットランドによる処理システムの中に組み込まれる必要がある。それぞれのサイトにおける陸水学的分析が必要とされ、場所毎に固有な水理設計の検討が求められる。

51. 表 C-1-5 に上記に示したような好氣的ウェットランドによる処理システムの設計基準について示した。

表 C-1-5

好氣的ウェットランドシステムの設計基準

Design Criterion	Design Value
Iron Loading Rate	10 to 20 (gram/day/m ²)
Manganese Loading Rate	0.5 to 1.0 (gram/day/m ²)
Hydraulic Retention Time - Oxidation Ponds	24 hours
Hydraulic Retention Time - Deep Ponds	24 hours
Hydraulic Retention Time - Aerobic Rock Filter	16 hours
Static Water Depth - Oxidation Ponds	10 to 30 cm
Static Water Depth - Deep Ponds	30 to 200 cm
Static Water Depth - Rock Filters	10 to 30 cm
Pond Liner Material	Compacted Clay
Liner Thickness	30 cm
Number of Oxidation Cells	One per 50 mg/L dissolved iron

3.5 表土浸食制御施設の設計及び施工

52. 本節では、JICA 調査地域全域に対する酸性水生成緩和対策として規定された表土浸食制御施設の設計及び施工の詳細について述べる。表土浸食制御は降雨時の表流水流出によって起こる土壌の流亡を防ぐこと技術的方法によって行う。浸食制御施設は直接的な酸性水生成の緩和のための手段として設計されたものではなく、酸性水生成抑制の鍵となる土壌被覆を保持するという点で必須なものである。また、効果的な浸食制御施設は表面からの蒸発や排水を促進するように働き、それによって被覆土壌及び埋められた廃棄物への雨水の浸透を抑制する。

53. 有効な植栽による被覆は、表土浸食から被覆土壌を保護する第一のラインである。密生した植生で構成されたマットは絡まり合った根によって上部の土壌の大部分を保持することにより土壌の流亡を防ぐ。再植栽による土壌被覆として理想的な種については章 G 及び ZETA/ESA ガイドラインに詳細が示されている。要約すると、被覆土壌への植栽には根の浅い、イネ科及びそれ以外の草本で、一年生及び多年生の植物を混栽すると良い。根の深い樹木及び低木は植栽には適していない。また、効果的な植生被覆設置を成功させるには被覆土壌の十分な準備が必要である。土壌の準備のためには以下のような事項がある。

- ・植物に必要な基本的栄養分を供給するための化学肥料の添加
- ・土壌構造及び湿度保持力を高めるための有機物添加
- ・石灰添加による土壌 pH の調整
- ・必要に応じてカルシウム及びマグネシウムの添加による陽イオン交換能の向上を図る

54. 効果的な植生被覆を設置するのに加えて、被覆土壌の保持のため表面流水の集水及び排水のための水路を設置することが重要である。被覆から降雨水を集水し、安全に排水するための排水路が設置されないと、浸食溝が速やかに形成され、被覆土壌の層の中に切り込んでいくことになる。図 C-I-4 に表土浸食制御及び排水施設の詳細設計を、図 C-I-5 に表流水排水施設の詳細を図解し、降雨水が土壌浸食の原因とならないよう集水し、排水するための代表的な表面排水施設の設計を示した。

55. 図 C-I-4 に示したように、被覆されるボタは過度に長い斜面を形成するのを防ぎ、斜面に雨水を集水する地点を設けるために雛壇式にする。側溝型排水路をそれぞれの段に設置する。これらの側溝型排水路で表面を流れる雨水を集水し、斜面の下部へ続く主

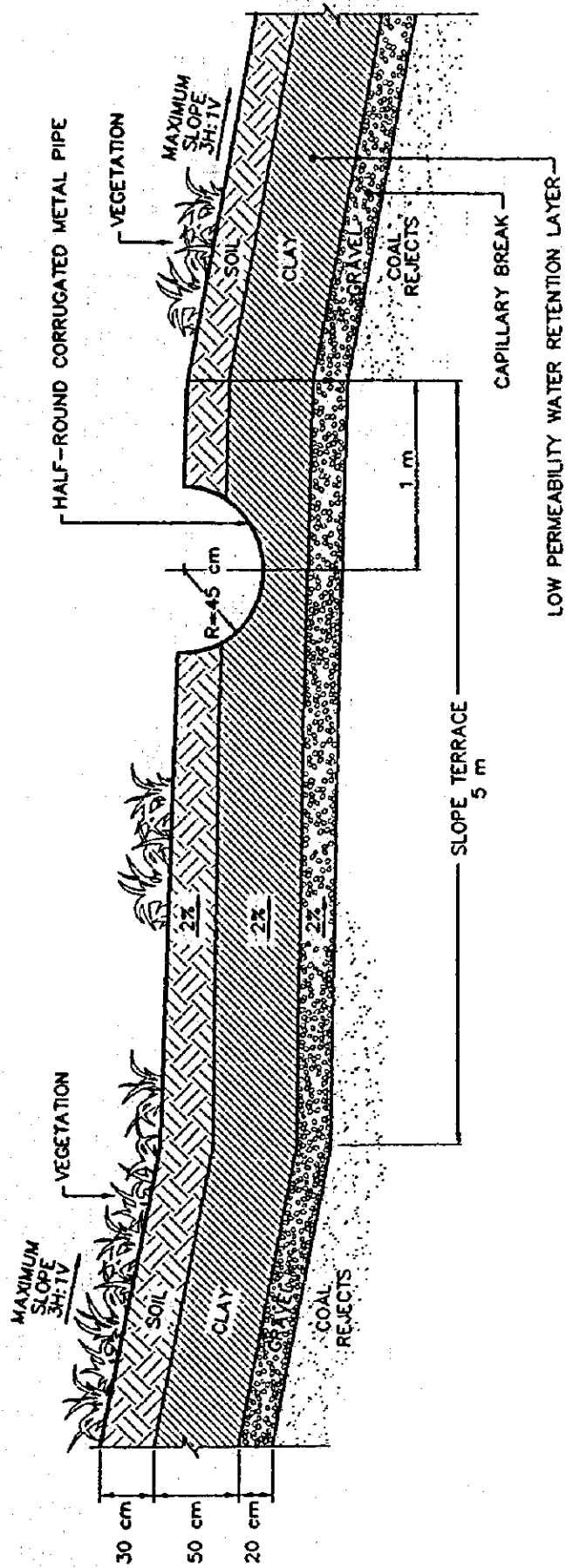


図 C-I-4 地表侵食防止と排水

水路へ導く。図 C-I-5 に主要な中央水路の設計を示す。

3.6 清浄水の迂回施設の設計及び施工

56. 本節では、サイト全域に対する酸性水生成緩和対策として規定された清浄水の迂回施設の設計及び施工について要約する。汚染されていない水を周辺部へ迂回させるか、あるいは酸性水生成の原因物質となる可能性のある廃棄物中を安全に通過させることは、特に酸性水を生成している廃棄物が廃棄されている場所に存在する古い水路においては酸性水生成の制御の効果的な方法である。こうした迂回水路の目的は、酸性水生成の原因物質と清浄な表流水の間の直接的な接触を妨げることである。廃棄物処分場を迂回させることで、汚染されていない水が汚染されるのを防ぎ、それによって酸や金属の本流への負荷を減少させる。

57. 流水迂回施設は、迂回、集水、表流水の移動といった全ての利用できる手段を意味しており、以下に示すようなものがある。

- ・小規模な土あるいは岩石によるダム

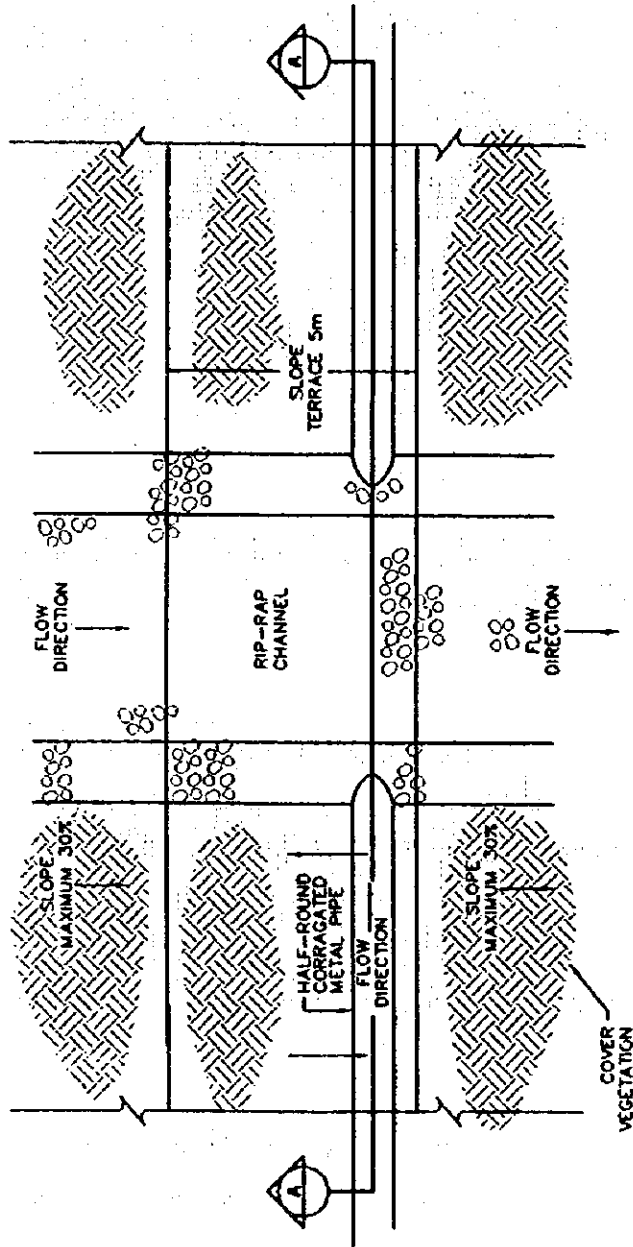
その場で型に流し込んで作られた、もしくは事前に作成されたコンクリート製の集水タンク

- ・開放系台形コンクリート水路
- ・波形の金属もしくはプラスチック製排水路及び水路
- ・コンクリート製箱形水路

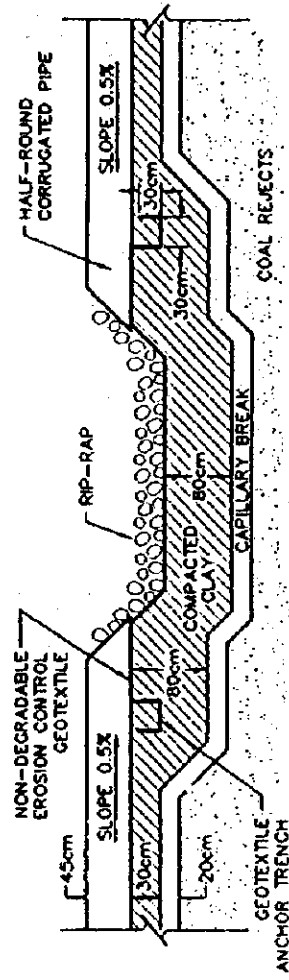
58. 清水迂回施設の設計は、場所ごとに固有のものとなる。そのため、本報告書において個々の特殊な設計の詳細について示すことは、この概念設計書の範囲外となる。しかし、標準迂回水路、集水路、通水路の構造設計については示した通りである。

3.7 水路及び河川流路の浸食制御施設の設計及び施工

59. 廃棄鉱山の存在する地域でしばしば見られるように、酸性水を生成する原因となる物質は水路及び河川の流路内に存在し、激しい降雨の際には浸食や流出が起こる。広範囲の地域への廃棄物の浸食及び下流への拡散は負の環境影響を緩和することを困難、もしくは不可能にする。水路内の浸食を制御することにより、降雨時の浮遊物質負荷を減少さ



PLAN
NOT TO SCALE



SECTION A-A
NOT TO SCALE

☒ C-I-5 地表水排水

せ、酸性水生成及び金属の負荷が続いている下流域への廃棄物の堆積を妨げることができる。

60. 水路浸食制御は、浸食防止及び酸性水生成原因物質の移動を防ぐ技術的方法による。こうした技術的制御法は現場打ちコンクリート護岸、石積み護岸もしくは堤防安定装置、開放系コンクリート水路、蛇籠壁、捨て石水路から成る。浸食制御水路の設計は、それぞれの場所毎に様々なアプローチが求められるため、場所毎に異なったものとなる。それぞれの詳細な設計については本報告所の範囲外となるが、基本的な護岸及び水路の構造設計については、章Dに示した通りである。

4. 参考文献

Hedin, R.S.; R. W. Narin; and L.P. Kleinmann. 1994. Passive Treatment of Coal Mine Drainage. U.S. Bureau of Mines Information Circular 9389.

Kepler, D.A. and E.C. McCleary. 1994. Successive alkalinity producing systems for the treatment of acidic mine drainage. Proceedings of the Third International Conference on the Abatement of Acid Rock Drainage. Pittsburgh, PA. 24-29 April, 1994.

Norecol Dames & Moore; Steffen Robertson Kirsten, Inc.; and Gormely Process Engineering. 1989. Draft Acid Rock Drainage Technical Guide, British Columbia Acid Mine Drainage Task Force Report. Prepared for the British Columbia Acid Mine Drainage Task Force. Vancouver, BC, Canada.

Stormont, J.C.; C.E. Morris; and R.E. Finley. 1996. Capillary barriers for covering mine wastes. Proceedings of the Third International Conference on Tailings and Mine Waste '96. Ft. Collins, Colorado. 16-19 January 1996.

Swanson, D.S.; S.L. Barbour; and G.W. Wilson. 1997. Dry versus wet-site cover design. Proceedings of the Fourth International Conference on Acid Rock Drainage. Vancouver, BC, Canada. May 31-June 6, 1997.

Wildeman, T.; G. Brodie; and J. Gusck. 1993. Wetland Design for Mining Operations. BiTech Publishers, Ltd. Richmond, B.C. Canada.

C-II FSサイト調査

1. 鉱害の特徴

01. FS 調査地はサンタカタリーナ州 Criciúma市の北及び西方に位置している。この地域は 1970年代の集中的な石炭採掘の結果、3つの水系で多くの川を酸性水の川にした。汚染を受けた流域は Tubarão、Urussanga、Araranguáの各水系である。Araranguá川は、特に汚染のひどいMão Luzia及び Sangãoの二本の支流を持つ。ここの川の水のpHは2~4である。採掘地域の更に上流又は鉱山活動と無関係の地域の川のpHは6~7の範囲にあり汚染を受けていない。汚染は単にpHが低いと言うだけではなく、高濃度の金属の溶出が認められ、鉛はブラジルの表流水の水質環境基準の数倍以上、マンガンは10倍、鉄及びアルミニウムは数倍から 10^3 倍の値が観測されている。その結果、幾つかの市では水源を失い、周辺の市からの供給に頼っている。

1.1 FSサイトの特徴

02. FSサイトの特徴：4ヶ所のFSサイトは、JICA指示書で特定され、地域全体の復旧に必要となる4つの典型例が選ばれている。

⇒ FioritaFSサイト：放棄露天採掘跡の例で、Rio Araranguá流域上流部のSiderópolis市に位置している。

⇒ RocinhaFSサイト：谷間を埋めた選炭黒ボタの堆積場で、Tubarão川上流域のLauro Müller市に位置する。

⇒ CarvãoFSサイト：放棄坑内掘炭鉱からの湧水で、Urussanga川上流部のUrussanga市に位置する。

⇒ CapivariFSサイト：広大な沈殿池でElectrosul発電所の近くの選炭ボタ捨て場で、Tubarão川下流部のCapivari de Baixo市に位置する。

(a) Fiorita FS サイト

03. 約230 haの露天採掘跡で、ドラグラインにより、Barro Branco層の石炭を Fiorita 川の川岸の露頭部から採掘を始め、川と川の間尾根全部を南北方向に、剥土の厚さが厚くなり経済性がなくなる所迄掘り進んだと推察される。南北の残壁が採掘範囲を明確に示している。残壁では砂岩の上にラテライト質の土壤が載っている。水に浸かっている場所では風化したBarro Branco層も見られる。

04. 採炭跡の復旧（リクレーション）が行われなかった為に、ドラグライン採掘の特徴的な粗大礫状砂岩からなるピラミッドが連続して、鋸の刃状となったボタ山がサイト全体に残されている。実際に採掘された面積は、約160haで、ボタ量は 27百万m³と推定され、露天採掘終掘跡やボタに囲まれてできた合計 16ha の湖沼群も残されている。旧切羽につながる道もあり、この道沿いや、浅い川に黒い選炭ボタが、推定 766千m³程度投棄されている。ここには、選炭工場はなかった所なので、FSサイト外より搬入し不法に投棄されたものと思われる。

05. ボタの種類は、選炭黒ボタ（頁岩）と剥岩白ボタ（砂岩）の2種類である。ここの基盤と頁岩は Rocinha 及び Capivari の粗粒黒ボタに匹敵する高い硫黄分を含んでおり、酸化の程度も余り進んでいない。これらの物質が本FSサイトの汚染源となっている。また、砂岩には殆ど硫黄は含まれておらず、中和能力も殆ど持っていないので、原因物質とは無関係で、むしろ建設土木材料に適していると考えられる。Fiorita 川への原因物質の負荷の供給は、FSサイトの中央部の南側残壁沿いが最大で、白ボタの下に隠れた黒ボタの存在によると考えられる。この事から、他の場所でも存在すると想定されるので、表面に見える黒ボタのみならず、隠れた黒ボタの存在にも十分に配慮すべきである。しかしながら、本サイトでの復旧で、最も力を入れるべき対象は黒ボタである。次に、露出した基盤の頁岩である。本サイトに流入している川の水の pH は中性の 7であるが、サイトを流れるうちに3から4程度まで低下する。

(b) Rocinha FS サイト

06. Rocinha FS サイトは約 71 ha の面積があり、Rocinha 川の兩岸亘っていて、かつて幾つかの選炭工場が操業していた。ここより約3kmの上流の北岸の坑内掘炭鉱から、

1975年 から1990年の間、本サイトの選炭工場に石炭が運ばれていた。粗粒の黒ボタは谷間や斜面の側面に集中的に捨てられた結果、小高い台地になってしまっている。細粒の黒ボタは明らかに Rocinha 川に直接投げ捨てられている。一部の細粒黒ボタは、多くの沈殿池に堆積している。最近、この粗粒黒ボタを採掘して再度選炭して石炭を回収し始め、ボタは元の堆積場に戻されたり、台地の斜面に投棄されたりしている。

07. Rocinha 川の支流である Rio Pazza Dez は 3.6百万m³の黒ボタが谷間の小石や砂利の上に捨てられ埋められたと見られるが、その過程で、川の水はせき止められたために、堀割りが作られて Rocinha 川に誘導された。元の谷の地形はわからなくなった。

08. 粗粒黒ボタは硫黄分が多く、約50% が酸化を受けている。これらの黒ボタは、長期間酸性水を作り出す潜在能力を持っている。水が浸透する様な復旧工事がなされると酸性水だけでなく、鉄分、アルミニウム、マンガンそして多分亜鉛の流出がいつまでも続くことになる。粗粒黒ボタは、量的にもそれが与える影響からも、復旧工事の最大の対象となる。Rocinha 川の支流のPazza Dez川からが最も大量の汚染物質が放出されている。Passa Dez川に汚染物質の溶出が復旧改善のために最も高い優先度が与えられる。サイトの上流側の頁岩質のボタは風化が進んでおり（100%に近い）非常に低い硫黄含有となっている。これらのボタの改善に対する優先度は非常に低い。FS サイトに流入する水のpHは約7で、Pazza Dez 川からの流入水により3から4の間に低下する。

(c) Carvão FS サイト

09. Carvão の特徴は廃棄された Santana 炭鉱の斜坑からの流出水である。斜坑は坑口より北北西方向に約2kmの延長である。Barro Branco 層が断層に達する手前まで、Plano II鉱で柱房式採炭法で採炭されていた。北側に傾斜する炭層採掘のために、他にもう1つの斜坑(Plano XV鉱)をもっていた。Santana 炭鉱は1970年代から1980年の間 Cia Carbonifera Urussanga社によって運営されていたが、坑内爆発により32人の鉱夫を失い閉山に至った。

10. 坑口は広場(2ha以内)に面しており粗粒ボタ及び廃棄された選炭施設で占有されている。これは、Carbonifera Treviso社によって1969年から1977年にわたって操業された小規模露天炭鉱のあった所である。現在、斜坑からの流出水は廃棄頁岩ボタ域を横切って小規模な流水路に排出されている。1997年初頃、頁岩ボタは土壌で被覆の後、ユーカリが植樹

され、池の大部分は埋戻されている。地表水は延長約100mのカルバート溝に排出される。カルバートは Carvão 川につながる谷に排出される。JICAチームが入手した資料で、坑口からの流出量は4.3から20m³分と変化する事が把握された。pHの値は比較的高く約4.5の水準である。

11. Santana 炭鉱からの坑内排水は必ずしも大きな鉱害源とは言えない。大規模な石炭ボタからの排水は、無名の沢の上流に位置して、この沢と Carvão 川の合流するすぐ下流で酸性負荷の 50%、アルミニウムの負荷量 89%、鉄分の負荷量 75%が供給されるが、その理由は現状残炭の回収のため再選炭が行われていることによる。この大きな汚染負荷の供給があるが、このボタ堆積は Rio Carvão FS サイトには含まれていない。

(d) Capivari FS サイト

12. このサイトは1940年代中頃から Eletrosulの石炭火力発電所近くで CSN に よって稼働されていた選炭場からの廃棄物を、Estiva dos Pregos 川を取り巻く湿地帯に投棄堆積したものである。大量のボタは鉄道によって輸送され、泥炭質の土壌からなる低地に投棄され、土壌が軟弱なため堆積ボタの荷重に耐えられず沈下して、広大な 80ha の酸性水湖が生じた。そのために、堤防が廃棄物を取り囲むように現位置に構築されている。粗粒ボタは CSNが再選炭を行った設備の廃墟の近くの、サイトの北側部分に残存している。1986年から1992年の間、民間会社すなわち現在の土地所有者により再び選炭が行われた。沈殿細粒ボタの堆積はサイトの南側下流部分にみられる。復旧を要する面積は酸性水の湖 80ha、ボタの分布する80ha、湖の南及び南東の土地は荒らされていないが鉱害が明らかな 80ha の合計240haである。

13. Estiva dos Pregos 川は、サイトの上流、ブラジルハイウェイ BR-101 の北で2排水路に分かれ、両路共サイトに流入する。西側の分流は国道 R-101の下を通り、ボタ堆積地域の北の境界に沿った堤防のすぐ近くを迂回する。この分流はサイトの北東隅の東側の分流と合流し、東側堤防を迂回して流れる。 Estiva dos Pregos 川はその後堤防から離れ北東に流れる排水路を形成する。膨大な Capivari 湖水の浸出は南側及び南東側堰堤を通して生じているが、湖の酸性水が川に直接排出されることはない。地下水位は全般にボタの地形変化に左右されるが非常に浅く、湖の北あるいは、北東の水路には殆ど湖からの浸透水は見られない。北から南に流下するにつれて水路の水量は大幅に減少していることと、pHが6から3

に変化している事実から、湖の北の水路の水位は湖の水位よりわずかに高いと考えられる。

1.2 鉱石の化学的評価

14. 以下にFSサイトにおける鉱山廃棄物の化学的特徴を述べる。

(a) 目的

15. サンタカタリーナ州南部の廃棄および操業中の炭鉱による酸性排水影響を緩和するための効果的な対策を検討する上で、必要な化学データを収集することを目的とする。

(b) 方法

16. 4ヶ所のFSサイトにおいて、バックホーを用いてサンプリングを行った。調査は1996年10月28～31日および11月4～7日に行った。深さ最大4mの試掘孔を設け、それぞれの試掘孔ごとに物質の種類、地下水位、pHおよび電気伝導率、試掘孔の最終深さについて記録し、廃棄物の種類、色、鉱物学的特徴、水分飽和度に従ってサンプルを収集した。全部で152のサンプルが採取され、分析のためFUCRI/UNESCに輸送された。

17. サンプルの一部は、US EPA（環境保護局）Method 1312（以下EPA1312）を用いて全金属、溶出可能金属を分析した。全金属濃度（5項目）は、サンプルの鉱物学的特徴と潜在的に溶出可能な金属の全量を評価するため使われた。溶出可能金属（6項目）は、廃棄物が水中または降雨に曝された場合、潜在的に溶出する可能性のある金属の量を示している。EPA Document EPA 600/2-78-054 MethodのAcid/Base Accounting(ABA) Programは選定された試料に対して実施された。その結果は以下の通り。

(c) 鉱山廃棄物の化学的特徴

18. FSサイトで採取した鉱山廃棄物について実施した全金属および溶出可能金属の分析結果とABA試験結果を以下に示す。

19. ほとんどのサンプルが、非酸化形態もしくは酸化形態の硫黄を高濃度で含有していた。また、一つのサンプルを除いてすべてわずかな中和能力しか持っていなかった。2、3のサンプルを除けば、負の中和能力を示し、空气中あるいは水中で酸性度を増加させる物質であることを示していた。Al、Ca、Fe、Mn、Cr、Zn は検出されたが、その濃度は一般に自然土壤中に賦存する量より低かった。As、Cd、Cu、Pb、Hg は検出下限値およびそれに近い値が多かった。EPA 1312 の操作で得た溶出液は、Al、Ca、Cu、Cr、Fe、Mn、Zn を検出可能な濃度で含んでいた。全金属濃度と溶出可能金属濃度の間には弱い相関が見られた。溶出可能な金属濃度は溶出液の pH との間に相関が見られた。

(d) 酸性排水対策の化学的な意味合い

20. FS サイトにおける鉱石の化学的特徴を酸性排水制御計画との関連性から以下に示す。

21. Rio Fiorita: 図 C-II-1 にサンプリングの位置を示す。Rio Fiorita の廃棄物は、頁岩と砂岩の2タイプが見られる。頁岩は Rio Rocinha および Capivari の洗炭ボタに匹敵するほどの高濃度の硫黄分を含有している。サイトの頁岩と岩盤は高濃度の硫黄分を含有しており、わずかに酸化されている。この物質が劣悪な水質の原因となっている。砂岩廃棄物は非常に硫黄成分が低濃度であり、中和能力はほとんどない。これらの廃棄物は劣悪な浸出水の原因ではなく建設資材として利用可能である。Rio Fiorita における最大の負荷源は FS-07 と FS-09 に間にある。これは、砂岩廃棄物によって覆われた黄鉄鉱含有頁岩からの浸出水が原因と考えられる。この負荷源の重要性、頁岩が埋設された地域が他にも存在する可能性を考慮した場合、酸性水を生成する頁岩対策において、露出した頁岩だけでなく埋設処分した頁岩廃棄物に対しても考慮する必要がある。このサイトで最も対策優先度が高いのは、黄鉄鉱を含む廃棄頁岩地域である。岩盤の露出も最小限にする必要がある。

22. Rio Rocinha: FS サイト2ヶ所から廃棄物を採取した (図 C-II-2)。放棄された洗炭施設からの洗炭ボタは高濃度の硫黄分を含んでいる。平均で硫黄の50%は酸化されている。こうした廃棄物は特に長期的に酸性水生成の可能性を有している。廃棄物に水分が浸透することになるような復旧対策では、酸性水の生成や鉄、アルミニウム、マンガンおよび亜鉛等の溶出につながることになる。物質の量および影響から考えて、これらの物質は最優先の復旧対象である。Rocinha 川に流入する Rio Pazzo Dez は、Rio Rocinha FS サイトから

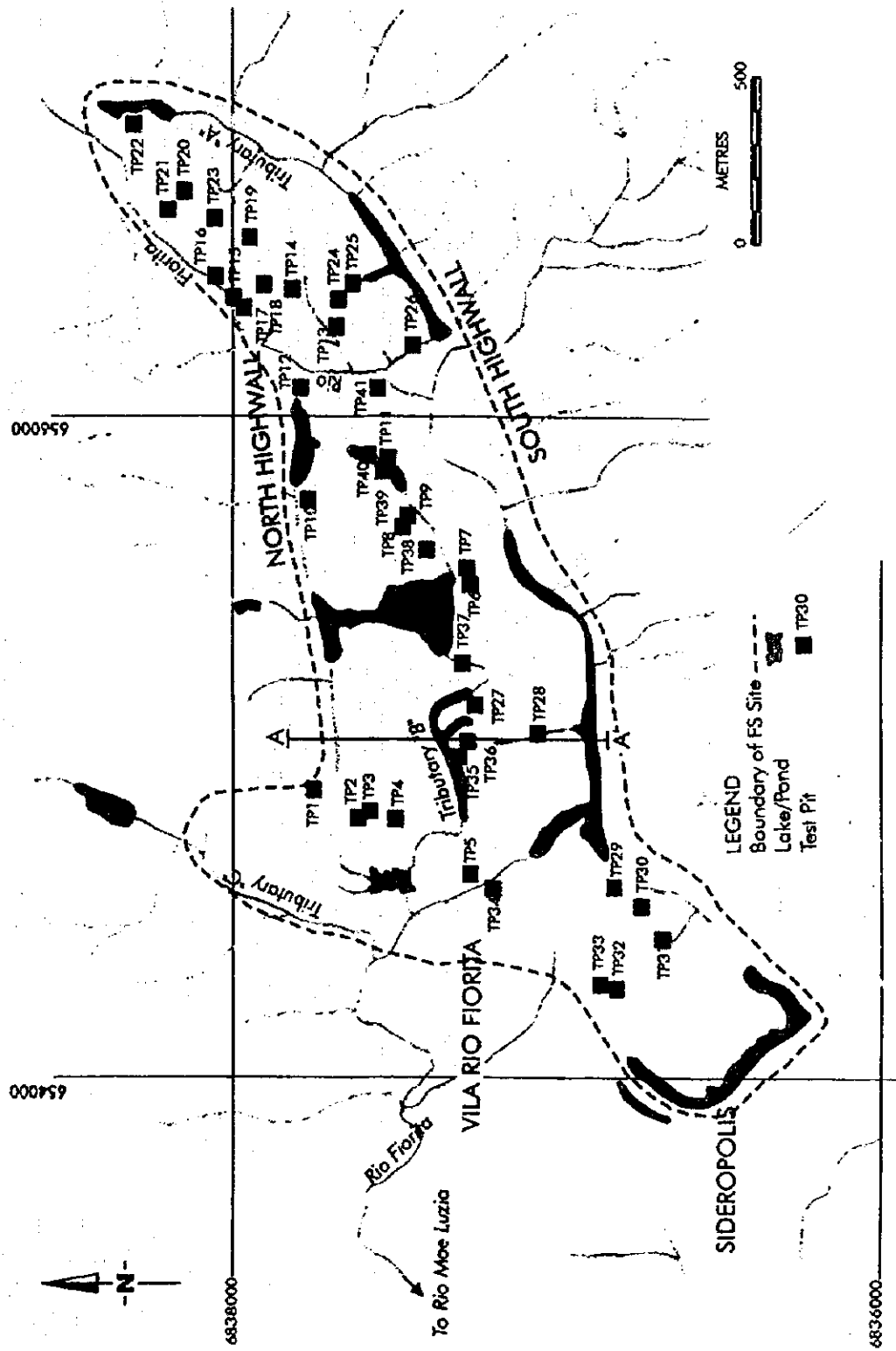


図 C-II-1 Fiorita FS サイト サンプルリング箇所

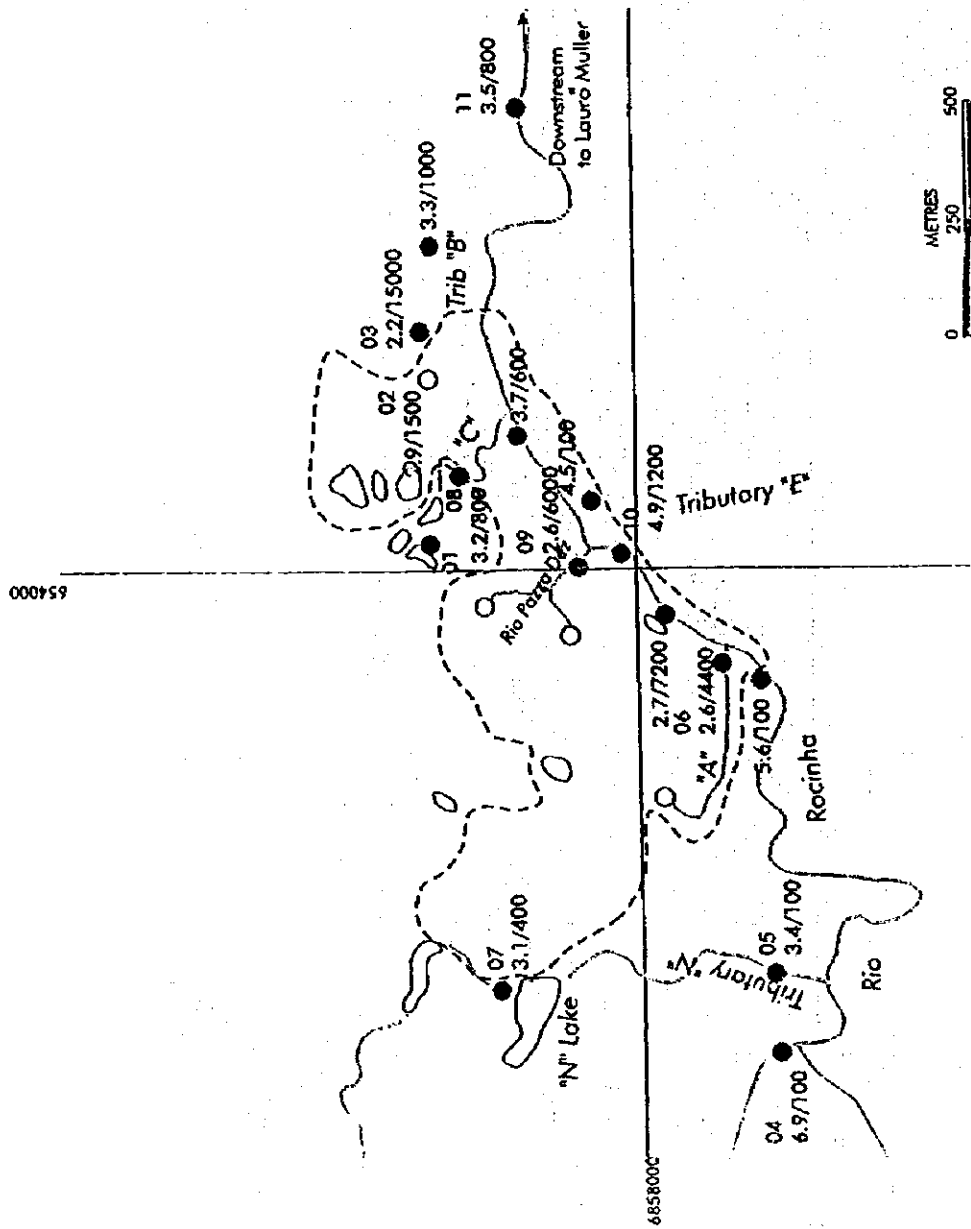


図 C-II-2 Rocinha FS サイトサンプリング箇所

Rocinha 川への汚染流出の最大の影響要因である。Rio Pazza Dez へ汚染物質を負荷する原因物質についても対策の優先度が極めて高い。サイトの上流部での頁岩廃棄物は非常に酸化が進んでおり（ほぼ 100%）、硫黄濃度が非常に小さい。これらの廃棄物の対策の優先度は非常に低いと考えられる。

23 Rio Carvão: Carvão でのサンプリング件数はあまり多くない（図 C-II-3）。いくつかのサンプルの分析結果によれば、坑口付近に廃棄されていた頁岩廃棄物は高濃度の硫黄分を含み、若干酸化を受けていた。坑口下流部のボタの Rio Carvão への負荷は、坑口からの排水よりも約 40 倍大きいと推察される。このような結果から、このサイトにおける復旧対策の優先順位は坑口下流部のボタであると考えられる。

24. Capivari: Capivari においても洗炭ボタが存在する。これらの物質の性状は、それほど酸化が進んでいないにも関わらず、Rio Rocinha に匹敵するものである。復旧対策の優先度も同様である。

1.3 処理試験結果

25. ここでは、酸性排水処理可能性調査の一環として行われた処理試験の結果を要約する。室内処理試験は、1997 年 2 月から 3 月にかけて FUCRI/UNESC の環境研究センターで行われた。ここで述べる処理試験は廃棄物中和実験、殺生物剤処理実験、酸性水中和・沈殿実験、パッシブな方法による生物処理実験である。これらの室内試験は FUCRI/UNESC と交わされた契約にある酸性水中和実験仕様書に従って行われた。処理試験の結果を以下に示す。

(a) 廃棄物中和実験結果

26. 廃棄物中和実験は、先にて述べた固体鉱山廃棄物の化学分析と acid/base accounting procedures の一部として行われた。acid/base accounting procedures によって正味の中和能力 (NNP) が決定された。この NNP の値は廃棄物から発生する酸の全量を中性化するために必要な炭酸カルシウムの量を示している。これらの結果は、酸性排水の抑制・制御の手法として、廃棄物の化学的中和の可能性を評価するのに用いることができる。

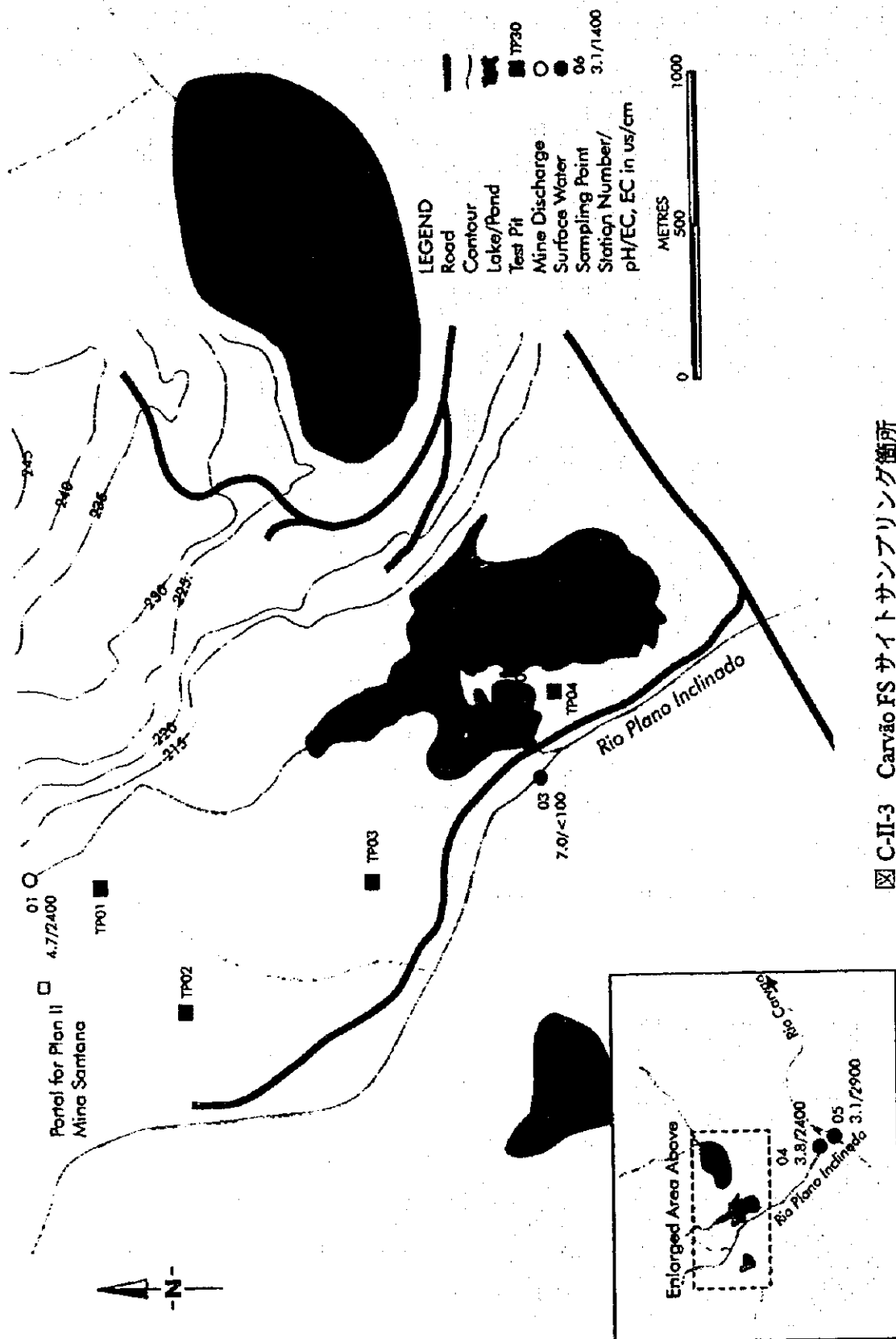


図 C-II-3 Carvão FS サイトサンプリング箇所

27. NNP 値は、サンプル中の硫黄の酸化によって発生する酸を中和するのに必要な廃棄物 1 トンあたりの炭酸カルシウムのキログラム数で表される。実験結果では、酸を生成するサンプルはわずかであり、水分含有あるいは非含有サンプルについて、NNP 値の範囲は-15.9~317kg/ton であった。これらのデータは酸生成抑制・制御に平均で 170kg/ton の炭酸カルシウムが必要であることを示唆している。

28. 稼働鉱山では、正の NNP を示す廃棄物は酸性排水を抑制するため酸生成物質と混合される。廃鉱山サイトでは、石灰石または他のアルカリ物質の表層散布が酸性排水の制御のために使用可能である。この技術の評価を以下に示す。

(b) 殺生物剤処理実験結果:

29. 黄鉄鉱を含む廃鉱石からの酸生成をコントロールする陰イオン系界面活性剤の殺生物剤としての適用可能性を評価するため、カラム浸出実験を行った。この試験に使用した界面活性剤はラウリル硫酸ナトリウム (SLS) である。この室内試験のサンプルは 1996 年 11 月に Rio Rocinha FS サイトから採取した。15kg の 5 つのサンプルをそれぞれ PVC カラム内に入れ、4 つのカラムについては 10 週間種々の濃度の SLS を含む試験水を用いて浸出実験を行った。これらのカラムの SLS 濃度は各々 60mg/l, 120mg/l, 120mg/l, 240mg/l である。5 つめのカラムはコントロールカラムとして界面活性剤を添加せずに実験を行った。

30. SLS カラム浸出試験では 10 週間の間にコントロールカラムを含む全てのカラムで Acidity、鉄、硫酸、ナトリウムの濃度が大幅に減少した。また、概ね全ての指標項目濃度の減少は SLS の量と比例していたが、カラム間の差は明確でなかった。試験中、カラム浸出水の pH はわずかに 1.5 から 2.0 に変化しただけであった。Acidity の減少率は概ね 98% から最大で 99% の範囲であった。鉄濃度の減少率は 98% (コントロール) から 99% (カラム 4) の範囲にあった。

31. これらのカラム試験の結果から、清浄な水による廃棄物の洗浄 (コントロール) は殺生物剤を添加したケースと同様な効果があることがわかった。さらに、全ての成分の濃度が大きく減少したにもかかわらず、カラムからの溶出は 10 週間の溶出試験の後でも pH、鉄、硫酸の水質基準を越えていた。これらの室内試験によって、殺生物剤処理の適用はパイライトを含むボタのサンプルから発生する酸性排水の制御に効果的ではないことが

わかった。

(c) 酸性水中和実験結果

32. 以下のアクティブ処理の室内実験を FUCRI/UNESC において実施した。

- ・ FS サイトからサンプリングした酸性水を試料とした 3 種類（苛性ソーダ、ソーダアッシュ、消石灰）の薬剤による中和実験
- ・ 金属除去実験に先立ち、金属を有効に酸化させる能力を評価するための 2 種類（次亜塩素酸カルシウム、過マンガン酸カリウム）の薬剤による酸化実験
- ・ FS サイトから採集したサンプル水について金属（アルミニウム、銅、鉄、マンガン、鉛）を取り除くための適切な薬剤、pH、投与量を決定するための 3 種類の薬剤による金属除去実験
- ・ 処理スラッジ生成量およびスラッジの沈殿特性に関する解析

以下に各実験結果の概要を述べる。

33. 酸性水中和実験結果: 3 種類の薬剤の中では消石灰が酸性水の pH を上げるのに最も効率が良かったことがわかった。消石灰は、苛性ソーダまたはソーダアッシュに比べ、少ない量で pH を 7.5 に上げることができた。また、石灰で中性化した酸性水は再酸性化しにくいことがわかった。石灰は苛性ソーダまたはソーダアッシュに比べ低コストである。

34. 金属酸化実験結果: 金属酸化はサンプルの初期 Acidity と金属濃度に大きく依存していた。次亜塩素酸カルシウムは過マンガン酸カリウムよりも鉄濃度を減少させるのにわずかに効果的であった。しかしながら、酸化剤の添加はアルミニウムの除去には有効な影響を与えなかった。

35. 金属除去実験結果: アルミニウム、銅、鉄、マグネシウム、亜鉛の除去率は初期濃度に依存しており、95%~99%の範囲にあった。ほとんど全ての項目について、pH を 10.5 に処理した後の金属濃度は水質基準値以下となった。金属除去実験の結果、アクティブ処理はサイトでの表流水の金属濃度を低下させるのに非常に有効であることがわかった。

36. スラッジ生成および特性実験結果: スラッジ生成実験結果によれば、pHを10.5に上昇させた時のスラッジ生成量は変動が大きい、初期pHの値に逆比例しているようにみえる。pHが比較的高いFS-9およびPT-14のサンプルでは15ml/lと少量のスラッジが生成されただけであったが、強く酸化されたFS-1、RS-9、CAS-4のサンプルからは各々246mg/l、329mg/l、321mg/lと大量のスラッジが生成した。この実験から、スラッジは処理水の1.5~30%の体積になることが示された。スラッジ体積の減少対策を確立しない限り、極少量の弱い酸性水の処分のみが対象となり、大量の水や酸性が強い水に対してアクティブ処理の利用を不可能にする可能性がある。

37. パッシブ生物処理実験: 鉱山酸性排水の処理において、硫黄還元菌の有効性については本JICAチームの他のメンバーによって実験されている。硫黄還元菌は嫌気状態で植物性セルロースのような炭素エネルギー源を添加すると、過剰な硫化物イオンを発生することが知られている。これらの微生物を適切な状態で使うことによって、酸性排水から金属を除去し、アルカリ度を上昇させることができる。処理実験では、pHの異なった4条件のもとで様々な炭素源を使った排水処理効果を、硫黄、全鉄の濃度を指標にして比較した。栄養源は土壌、牛糞、河床堆積物を使用した。実験結果によれば、牛糞、河床堆積物添加ケースでは硫黄、全鉄濃度を除去するのに十分な硫黄還元菌群数および有機炭素を含んでいた。これらの結果は、農業廃棄物のような容易に利用できる栄養源を用いた低コスト処理システムが酸性排水の中和および金属の除去に利用可能であることを示している。これらの実験結果については章Gで詳しく述べている。

2. FS サイトの復旧代替案

38. 各FS サイトに対し、酸性水処理のための3つの代替案について検討した。被覆ボタ即ち白ボタの堆積は Fiorita FS サイトのみであり、白ボタ堆積の復旧はこのサイトに限られ、Fiorita FS サイトのために6復旧代替案を策定した。

2.1 Fioritaの復旧代替案

(a) 復旧代替案の詳細

39. 代替案 1: 改善案の特徴は、汚染源の移動、サイト内での処分、パッシブ

な処理と白ボタ堆積の復旧である。黒ボタ及び地表に露出している黄鉄鉱を含む頁岩は Fiorita 川の酸性化と金属類溶出の発生源と考えられる。これらの発生源となる物質は掘り起し、現地の数カ所ある池に水深最低 1 m となる様に水中処理するが、残りは湿式被覆（ウエットカバー）つまり、Capillary barrier system を用いて技術的に設計された隔離場所に封じ込める対策を講じる。黄鉄鉱を含む頁岩の除去に続いて、掘り起こされた区域は整地し、更に下部に残されている可能性のある頁岩の酸化を防ぐために、植栽による酸素抑制タイプの被覆を行なう。Fiorita 川に注ぐ小規模な酸性水の浸出及び流れは、好気性又は嫌気性のウエットランドを構築、ここに集めてパッシブな生物学的処理をする。白ボタの堆積はならし、粘土をかぶせ、草種を蒔く。本代替案の諸対策は、次の通りである。

- i) 酸性水の原因となる黒ボタの掘り起こしとサイト内処分
- ii) 現地にある池での水中処理
- iii) サイト内ボタ貯蔵所の構築
- iv) ウエットランドシステムの建設
- v) 流水路の浸食防止と瀑気段差機構の建設
- vi) 清水の迂回路建設
- vii) 白ボタの復旧

40. 代替案 2: 本案の特徴は、湿式被覆システムによる汚染源の封じ込め、パッシブ酸性水処理並びに白ボタの復旧である。代替案 1 と大きく異なる点は汚染物質の処置にある。黒ボタ及び黄鉄鉱を含む頁岩は移動することなく、その場で乾式被覆で覆う。しかし、将来問題と思われるもの、即ち、汚染原因ボタで水路にあるもの、水位変動により水侵の可能性のある区域、及び洪水で被覆に損害を被る所にあるものについては、限定された量であるが除去する事となる。湿式被覆システムは3層の土質からなる。このシステムの第一の目的は、埋められたボタから酸素を遮断し、酸化を抑制する事にある。第2には、ウエットカバーはボタ中の雨の浸透を著しく減少させ、従って、ボタから表流水及び地下水への酸化物質の運搬が減少又は阻止される。パッシブウエットランド処理、流水路、曝気段差機構、清水迂回路、白ボタの復旧は代替案 1 と同じである。本代替案の諸対策は、次の通りである。

- i) 湿式被覆システムによる汚染原因ボタの被覆
- ii) 限定された汚染原因ボタの掘り起こしとサイト内処分
- iii) パッシブウエットランドシステムの建設

- iv) 流水路の浸食防止と瀑気段差機構
- v) 清水の迂回路建設
- vi) 白ボタの復旧

41. 代替案 3: 本案の特徴は、汚染源のコントロール、パッシブ酸性水処理、白ボタの復旧である。代替案 2 との大きな相違点は汚染原因ボタの被覆方式にある。黒ボタ及び黄鉄鉱を含む頁岩はその場で乾式被覆によって覆う。将来問題となる限定された量の汚染原因ボタの除去と処理については、被覆の方法を除いて代替案 2 と同様である。乾式被覆は、草類の植生が可能な土壌と低透水性の粘土の2層の土質からなる。上部被層の目的は表流水による浸食から被覆を保護し、カバーする植生を通じ雨水の蒸発発散を調整する事にある。下部の粘土層は低透水性の遮水層として汚染原因ボタへの水の浸透を阻害する役割を有する。パッシブウエットランド及び白ボタの復旧については、代替案 1 及び 2 と同様である。本代替案の諸対策は、次の通りである。

- i) 乾式土壌被覆法による汚染原因ボタの被覆
- ii) 限定された汚染原因ボタの掘り起こしとサイト内処理
- iii) パッシブウエットランドの建設
- iv) 白ボタの復旧

42. その他の代替案: 代替案 4, 5 及び 6 は代替案 1, 2 及び 3 からそれぞれ白ボタの復旧工事を除いたものである。

(b) Rio Fiorita 代替案評価の結論

43. 有効性評価: 代替案 1 と 4、代替案 2 と 5、および代替案 3 と 6 の酸性水処理の差違はないため、最初の 3 案を述べる。Rio Fiorita 代替案の有効性評価は以下の通り。

- ・この対策案は 3 つ中で最も効果的なものである。ケース 1 を遂行すると、サイト内の表流水中の pH と金属の濃度は水質の目標値を達成することができると予想される。金属濃度と酸性度は 90~98% 減少させることができる。鉄とアルミニウムの濃度はバックグラウンド値かそれ以下にまでになると予想される。しかし、大量のボタがサイトの表面を覆う砂岩の下に埋まっていると考えられるため、露出したボタの除去を行っても酸性

水や金属汚染源の全てを解決できないと考えられる。

- ・ケース2：酸素を遮断する湿式カバーによる露出したボタのカバーリングはサイト境界において60～70%の酸性水や金属負荷を減少させることになる予想される。この負荷削減はボタの被覆によるものであり、ケース1に比べ効果が低い。しかし、酸性度と金属濃度は水質目標値をクリアすると予想される。
- ・ケース3：乾式被覆は、表流水への酸、金属負荷量の20～40%しか除くことができないと予想される。パッシブ処理システムは、被覆されたボタからの酸や金属の負荷量が多いため、効果が落ちると考えられる。この対策案ではサイト境界部において水質目標値を満たせないと予想される。

44. 実現性評価: 本サイトにおける3ケースの対策案はすべて容易に実現できると考えられる。計画している施設の多くは一般的に使われている土木工事やコンクリート建築技術で建設可能である。ウエットランドによる処理システムについては専門的な技術的監視によって正しく設計され、建設されているかどうかを確認することが必要であると考えられる。ケース1の対策でも地元の上木技術で設置可能である。しかし、ウエットランド設置については経験を積んだ技術者が少ないため、外部から技術的な補助を受けることが必要と考えられる。

45. 投資コスト: 投資コストは章Dに詳細を述べている。FSサイトの水質シミュレーションは章Bに詳細を述べている。それらのコスト積算の概要は下記の通り。

表C-II-I

代替案別負荷減少率とコスト

代替案	負荷減少率 (%)	pH*	費用(百万R\$ドル)
1	90 - 98	4.6 - 5.0	12.4
2	60 - 70	3.8 - 4.0	11.2
3	20 - 40	3.5 - 3.7	8.4
4	90 - 98	4.5 - 5.0	7.3
5	60 - 70	3.8 - 4.0	5.6
6	20 - 40	3.5 - 3.7	2.8

*FS サイトの下流境界点での試算

46. 最も効果的な代替案（代替案 1）で、金属類の溶出及び酸性度の濃度は90から98%程度の低減が期待出来る。しかしこれらの大きな減少にも拘わらず、ブラジルの表流水の水質環境基準に適合しない。特に pH については、サイトの境界で現状の3.5 が 4.6～5.0に改善される。これら金属類と酸性負荷量の残りの 2～10% が pH レベルの改善を妨害するに十分な量であることがその理由であろう。白ボタの下に埋設しているであろう汚染原因ボタからの負荷の影響は考慮していないため、pH については代替案 1,2,3 と4,5,6 のそれぞれの間に差はでていない。

2.2 Rocinha 復旧代替案

(a) 復旧代替案の詳細

47. 代替案 1: この代替案の特徴は鉍害源の封じ込め、パッシブな処理、浸食防止対策にある。黄鉄鉍を含む黒ボタは平らにならし、その場で湿式被覆即ち毛管バリアで覆う。地表の排水路は豪雨に対し浸食の低減をはかり、被覆した区域に入らぬ様に水流を導く。斜面にテラスを設けるのは、階段状テラスを設けて一段当たりの傾斜長の低減をはかり、水の運動エネルギーを減少させることにあり、斜面の流水による表土の流出を防止して安全に緩傾斜の排水溝に導くためである。被覆の前に汚染原因ボタの上に石灰層を形成する（10～15kg/m³）。現在ある沈殿池は排水され、その下に堆積するボタへの浸透を防ぐため埋め立てるが、池に溜まっている汚染水は石灰で中和してRocinha 川に排出される。又、干された

池は、ボタを堆積した面に合わせてならしその上を湿式被覆で覆う。幾つかの酸性水の浸出及び湧水は、好気性及び嫌気性のウエットランドを含むパッシブな生物学的方法で処理される。FS サイト上流の Pazza Dez 川を流れる清水は、途中からコンクリート排水溝で Rocinha 川に導水する。現在は、Pazza Rez 川の流れの一部は汚染原因ボタを通して伏流し、RS-9地点で排水されていると考えらる。本代替案の諸対策は、次の通りである。

- i) 酸素を遮断するための湿式方式による汚染原因ボタの被覆
- ii) 汚染原因ボタの上に石灰層の形成
- iii) 限定された汚染原因ボタの掘り起こしとサイト内処理
- iv) 沈殿池の排水と埋め立て
- v) パッシブウエットランドシステムの建設
- vi) 排水路の浸食防止と瀑気段差の設置
- vii) 清水路の迂回
- viii) Rocinha 川の改修

48. 代替案 2: この案の特徴は、鉱害源の封じ込め、パッシブな処理、排水路による浸食防止にある。その差異は代替案 1 で用いられた湿式被覆法の代わりに乾式被覆法で行うこと、ボタの上に石灰層の形成をしない事にある。本代替案の諸対策は、次の通りである。

- i) 乾式法による汚染原因ボタの被覆
- ii) 限定された汚染原因ボタの掘り起こしとサイト内処分
- iii) 沈殿池の排水と埋め立て
- iv) パッシブウエットランドシステムの建設
- v) 排水路の浸食防止と瀑気段差の設置
- vi) 清水路の迂回
- vii) Rocinha川の改修

49. 代替案 3: この案の特徴は、鉱害源の封じ込め、浸食防止を骨子とする。代替案 1 及び 2 で提案したパッシブウエットランドによる処理システムは本案からは省かれている。本代替案の諸対策は、次の通りである。

- i) 乾式法による汚染原因ボタの被覆
- ii) 限定された汚染原因ボタの掘り起こしとサイト内処分
- iii) 沈殿池の排水と埋め立て
- iv) 排水路の浸食防止と瀑気段差の設置
- v) 清水路の迂回
- vi) Rocinha川の改修

(b) Rocinha 代替案の評価

50. Rio Rocinha のFSサイトはボタを谷間に処分した例である。酸性水生成の削減効果は谷間の地形条件、サイト内のボタの量、復旧対策施設のための建設に利用できる地域が狭いことに厳しく制限される。ほとんどのボタはRio Rocinha溪谷の北側の急斜面に存在する。いくつかのボタ処分地は河川の流路にまで広がり、河川水に接触している。さらに、溪谷には浸食によって環境に深刻な影響を及ぼすと考えられるようなボタが含まれている場所がある。全ての復旧対策案は廃棄物処分方法および地形の条件によって制限される。

51. 有効性評価：自然に存在するウェットランドをパッシブ処理に利用できる可能性は少ない。本サイトで行われる対策の有効性は、現在サイト内で行われている石炭の再洗炭作業が終了するかどうかに係っている。現在行われている再洗炭作業により、復旧対策はサイトの半分以下の地域に制限され、自動車等の活動および廃棄物投棄により擾乱されることになると考えられる。

・代替案1：ケース1の対策を実施しても、Rio RocinhaにおけるRS-11の地点でpHと金属の濃度は水質の目標値を達成できないと予想される。95%まで金属と酸性度を減少させると見積もられているにも関わらず、アルミニウムと鉄の濃度はRS-11で目標値を超過すると予想される。しかし、アルミニウムを除いて、それ以外の水質目標値はPT-2では達成されると思われる。95%という除去率は上限であり、これ以上の金属除去は不可能であると考えられる。RS-10とRS-11の間からRio Rocinhaへ汚染水が流入しているため、酸性度、アルミニウム、鉄、マンガンの濃度はケース1の対策でもバックグラウンド値まで減少させることはできないと考えられる。

・代替案2：湿式被覆を乾式カバーに変えたことで、対策の効果は90~95%から60~70%

へと減少する。有効性の減少は乾式カバーではボタの酸素の遮断が完全には行えないこと、またボタへの水の浸透が増加する可能性があることから起こる。酸性度および金属の初期濃度が高いことから、60～70%の除去能力では、サイトの境界部に当たる RS-11 およびその下流にある PT-2 のどちらにおいても酸性度と金属濃度について水質の目標値を超過すると予想される。

- ・代替案3：ケース3では、ウェットランドによる処理システムを省略しているため、前2ケースよりも処理能力はかなり劣っている。被覆の下のボタを通過した地下水がそのまま Rio Rocinha に流入する。ケース3の場合、境界部における酸性度と金属濃度は25～30%減少すると予想される。

52. 実現性評価: Rio Rocinha 復旧代替案の評価の概要を以下に述べる。上記3つの対策案を実行することは被覆およびウェットランドを設置するための材料の不足と再洗炭作業が現在も継続しているため難しいと考えられる。被覆に使用される粘土は地元で入手可能であるが、植栽のための土壌については設計通りに完成させるだけの量を地元で入手することは困難である。これらの対策を成功させるには現在行われている再洗炭作業が終了することが必要である。再洗炭作業中には掘削、再洗炭、ボタの再投棄が行われるため、対策技術導入は不可能となる。計画している施設の多くは一般的に使われている土木工事やコンクリート建築技術で建設可能である。専門的な技術的監視によってウェットランドによる処理システムが正しく設計され、建設されているかどうかを確認することが必要であると考えられる。RS-11 の上流部に当たる Rio Rocinha 沿いに計画されているウェットランドによる処理システムの建設実現性は地質工学的技術能力、地下水量、洪水防止の問題のため疑わしい。

53. 投資コスト: 投資コストは章Dに詳細を述べている。FSサイトの水質シミュレーションは章Bに詳細を述べている。それらのコスト積算の概要は下記の通り。

表C-II-2

代替案別負荷減少率とコスト

代替案	負荷低減率 (%)	pH*	費用(百万US\$)
1	95%まで	4.5以下	8.1
2	60 - 70	3.6 - 3.8	5.1
3	25 - 30	3.5 以下	3.5

FS サイト境界の若干下流側RS-11のモニタリングポイントでの試算

54. 最も効果が期待される代替案 (代替案 1) で、金属類及び酸性度の濃度は 95%までの低減が期待される。それにも拘わらず、現在のブラジルの表流水の環境基準に適應しない。

2.3 Carvão 復旧代替案

(a) 代替案詳細

55. 代替案 1: この案は、能動的即ち化学的処理によるものである。坑内湧水毎分 25m³が処理可能な石灰による中和処理設備が坑口の近くに建設される。処理プラントは High Density Sludge (HDS) process として知られるものを想定している。

56. 代替案 2: この案は、パッシブウェットランド処理によるものである。Santana 坑からの排水を酸性度及び金属類の負荷を低減するため好気性及び嫌気性のウェットランドを利用して処理する。

57. 代替案 3: 本案の特徴は、解放型石灰水路によるパッシブな処理法である。石灰排水路は、石灰岩の蛇籠を設けた水路からなる。石灰石が酸性水に触れた場合、炭酸カルシウムの幾らかが溶解し、アルカリ化と水の酸性の中和を促す。解放型石灰水路の全体の延長は土地の制約があるため約 450mしか作れない。また、水路の幅は毎秒 2mの流速を保持するため、傾斜に応じて変化させる。

(b) Rio Carvão代替案評価

58. 3つの代替案に対する有効性、実現性は以下のように評価される。上記で述べたように、坑口からの流出水に対する対策のみでは、下流のモニタリング地点PU-2において酸性度および金属濃度の著しい減少は実現できないと予想される。CS-5の上流および下流に金属を含む酸性水の大規模な発生源が存在する。これらの発生源はMina Santana坑口からの鉱山廃水よりも影響が大きい。これらの原因物質に対する対策を行わなければ、坑口に対する復旧対策のみでは下流の水質を改善する効果はほとんど期待できない。

59. 有効性評価：Rio Carvão 復旧対策代替案の有効性について以下に述べる。

・代替案1：HDS 石灰による中和処理は鉱山廃水の処理に非常に有効に働く。この処理によってモニタリング地点 CS-4 において酸性度、アルミニウム、鉄、マンガンはほぼ100%除去されると予想される。その他の金属濃度も定量下限値以下まで低下すると思われる。消石灰による処理後は、CS-4 における水質は150~200mg/lのアルカリ度の超過が見られるかもしれない。そのため、処理廃水がRio Carvãoに流入することでpHが上昇し、無名の支流が合流する地点の下流部で金属の沈殿が見られるなど有益な影響が考えられる。しかし、酸性度、アルミニウム、鉄、マンガンの濃度は合流点の直下において40~50%減少するにすぎない。

・代替案2：パッシブなウェットランドによる処理システムは、効果的に設置された場合には問題となる物質を除去する能力を持つ。しかし、Rio Carvão FS サイトにおいてはウェットランドを設置可能である土地は処理のために必要とされる面積よりもかなり小さい。処理のために設けられるウェットランドの面積は、鉱山廃水の量が20m³/分の場合には約70ha必要とされるが、本サイトで建設可能な面積はわずか2~3haである。建設可能な面積を最大限に利用してウェットランドを設置しても、水量的および化学的に過負荷となるため、坑口からの廃水を効果的に処理することはできない。このようにウェットランドによる処理システムが過負荷となるため、CS-4の地点では酸性度および金属濃度の減少はわずかしか見られない。減少の割合は10%以下となるであろう。

・代替案3：開放的な石灰の排水路は、米国東部において酸性河川の処理に有効な手段であることが証明されている。しかし、このFSサイトでは図C-1-3に示した排水路の長さでは、十分な接触時間を設けることができないため、高い効果が期待できない。米国における石灰排水路の設計基準をRio Carvãoの流量の多さと物理的制限のため満たすこ

とはできない。CS-4における石灰排水路の酸性度、金属除去の効果は約25%と考えられている。この除去レベルの場合、Rio Carvãoと無名の支流が合流する地点の直下流での酸性度、アルミニウム、鉄、マンガンの濃度は10~15%低下する程度である。

60. 実現性評価

- ・代替案1：代替案1で想定されている処理システムの実現性は疑わしい。処理プラント、機械の土台や建屋、スラッジ処分地の建設は容易であり、運転要員についても地域あるいは国内で容易に確保できると考えられる。しかし、運転に必要な大量の消石灰の量や発生するスラッジの量を考慮すると、この対策案は実際的ではないと思われる。
- ・代替案2：代替案2もこのFSサイトでの実現性は低い。前述したように、このFSサイトで効果を達成できるだけの広さを持つウェットランドを設置することは不可能である。利用できる土地面積に応じて建設したウェットランドでは、實際上効果が望めない。こうした制限が厳しいため、この対策案は可能性がないと思われる。
- ・代替案3：代替案3の対策は容易に実行可能である。大量の石灰石を外部から搬入することが必要であるが、それ以外の資材は全て地元で入手可能である。開放系石灰水路は簡単な工法で建設可能である。この技術は完全にパッシブなものであり、10年間の水路の寿命まで特に作業を必要としない。石灰石が溶解した後、新たな石灰石を導入すればよい。利用可能な土地の面積のみでは、適切な規模の石灰水路を設置することはできないが、図7-13に示したシステムはRio Carvãoの河川水にアルカリ性物質を供給し酸性度および溶存金属の減少に有効に働くと考えられる。

61. 投資コスト：投資コストは章Dに詳細を述べている。FSサイトの水質シミュレーションは章Bに詳細を述べている。それらコスト積算の概要は下記の通り。

表C-II-3

代替案別負荷減少率とコスト

代替案	負荷減少率 (%)	pH*	費用(百万R\$)
1	100	4.6	6.1 +(0.7/ 年)**
2	-	-	(11.0)
3	10	4.0 以下	0.3

* CS04 モニタリングポイントでの試算(現状pH=4以下)

** 年間操業費用

62. 最も効果的な代替案 (代替案 1)で、金属濃度と酸性度は 100% 近くが低減される。しかしこの低減に係わらずブラジル表流水の水質環境基準に合致しない。特に、pH についてはモニタリング地点で4.0 から 4.6 の改善に止まっている。この理由は大量の酸および金属がモニタリング地点の上流の稼働中のコークス工場から排出されていることによる。この大きな鉱害源の対策が先ず立てられるべきであろう。又、水質は全体計画の検討の中で、上、下流の支流の影響を考えUrussanga川流域全体として評価されるべきである。代替案 2 は、ウエットランド建設のためには 70 ha が必要であるけれども、FS サイトに2~3 ha しか土地がないので、この案は物理的に不可能性である。全体の復旧プログラムの中では、代替案 3 のみが現実に即した対策案であろう。

2.4 Capivari 復旧代替案

(a) 代替案詳細

63. 代替案 1: 本代替案の特徴は、鉱害源の封じ込めと、池の閉鎖及びパッシブな処理である。地下水を遮断する地中壁を水溜池と汚染原因ボタを完全に取り囲んで建設する。この遮断壁の目的はサイト境界内の汚染された地下水を封じ、サイト内及び外に酸性及び金属類汚染水の移動を防ぐことにある。石灰による処理システムは強酸性の池水を消石灰で中和するために建設される。瀑気・混合水は処理システムを通り堰堤に沿った複数の場所にポンプで送られ池に戻される。池の水は埋立てる前に汲み上げられる。本代替案の諸対策は、次の通りである。

- i) 地下水遮断壁の建設
- ii) 不活性材料による池の埋立て
- iii) 埋め立て地と汚染原因ボタの湿式被覆
- iv) パッシブウエットランドシステムの建設

64. 代替案 2: この案の特徴は、表流水の迂回、汚染源の封じ込め、池の埋め立て及びパッシブな処理である。代替案 1での地下水遮断壁に替わって表面水の迂回路が取られる点で異なる。池の北端でのRio Dos Pregos川の水の池へ浸透あるいは、流入する表流水の低減のためにコンクリート開口水路を設け、迂回させる。川の迂回は、また池の東側を流れる間に池からの浸透水による汚染をなくす。本代替案の諸対策は、次の通りである。

- i) 清水流の迂回
- ii) 不活性物質による埋立て
- iii) 池と汚染原因ボタの湿式被覆
- iv) パッシブウエットランドシステムの建設

65. 代替案 3: この案の特徴は、汚染源の封じ込めと囲い込みである。代替案 2との違いは、代替案2から表流水の迂回水路およびパッシブウエットランド処理システムを除いたことにある。また、汚染原因ボタ及び埋め立てた池は代替案 1 及び 2 の湿式被覆ではなく、乾式土壌被覆で覆われる。本代替案の諸対策は、次の通りである。

- i) 池の不活性物質による埋め立て
- ii) 池と汚染原因ボタの乾式土壌被覆

(b) 有効性評価

66. 有効性評価：酸性、金属負荷量の低減のCapiuari復旧代替案評価の結果は次の通りである。

- ・代替案 1：この対策案を導入することで、Rio dos Pregos およびサイト内の地下水下流への酸性水生成および金属の負荷を減少させることができると予想される。上記の技術を組み合わせることにより、95%まで汚染物質を除くことができる。このレベルまで処理

を行うと、酸性度および金属濃度はモニタリング地点 PT-14 において、水質目標値を達成できると考えられる。ポンドの排水、埋立、被覆は、酸および金属を含むしみ出し水が地下水および表流水に流入することを減少させる効果がある。廃鉱石の被覆も汚染物質の負荷量を減少させるのに効果的である。地下水遮断壁については、サイト内の地下水の動態が明確でないため、有効性は確実ではない。

- ・代替案 2 : この対策案では、ケース 1 で用いられた地下水遮断壁を、表流水迂回施設に置き換える点だけがケース 1 と異なる。地下水遮断壁の効果は、地下水の動態あるいは水質に関する情報に制限があるため評価することが困難である。Rio Dos Pregos の清浄水の流路を Capivari ポンドの北東側で迂回させることで、サイト内の主要な表流水の汚染を防ぐことができると予想され、それによって酸性水生成および金属溶出を効果的に減少させることができると考えられる。Rio dos Pregos の迂回はまたポンド内への水の流入および浸出を減少させると考えられる。この対策案を実行した場合、90~98%の範囲で表流水から酸性度と金属濃度を減少させることができる。このレベルまで負荷を減少させた場合、PT-14 における水質は 98%の場合には水質目標値を達成できるが、90%の場合には目標値を上回ると予想される。地下水汚染に対する効果については不明である。
- ・代替案 3 : 廃鉱石およびポンドを乾式被覆による処理だけでは、汚染軽減の効果はかなり低下すると予想される。また、ウェットランドによるパッシブ処理および清浄水の迂回も行わないため、さらに効果は低下する。この対策案では Rio Dos Pregos への酸および金属の負荷減少率は 50%以下となり、PT-14 における金属濃度は水質目標値を超過すると考えられる。

67. 実現性評価: ケース 1 の地下水遮断壁建設を除いて、Capivari FS サイトに対する対策案は容易に実施可能であると予想される。被覆およびウェットランドによるパッシブ処理システムは従来の土木技術で建設可能である。ウェットランドによる処理システムが正しく設計され、建設されているかどうかを専門的な技術的監視によって確認することが必要であると考えられる。石灰による中和システムの建設および運転には特殊な装置の導入が必要となるが、容易に導入可能であると考えられる。

68. ケース 1 における地下水遮断壁の建設は、30m という予想深度のため困難であると考えられる。建設には特殊な掘削機器が必要であり、必要な機器が利用できるかど

うかは不確実である。また、建設に必要とする資材の量もかなり多くなると予想される。例えば、サイトの周囲を深さ 30m、幅 1 m のコンクリート性の遮断壁で完全に囲う場合、約 130,000m³のコンクリートが必要となる。このように大量のコンクリートを地元で入手できるかは不確実である。深層混合といった代替手法も考えられるが、特殊な機器が必要であるため、導入は不可能であるかもしれない。

69. ケース 1 で設置される湿式被覆に必要な資材は地元で入手可能である。しかし、既存の Capivari ポンドの埋立には 1,200,000m³の客土が必要となる。これだけの量の土を掘削し、運搬するとなると、完成まで数年を要することになると考えられる。さらに、それだけの量の土を採取する地域の造成は困難であり、費用がかかる。一方、ポンドの埋立に火力発電所のボトムアッシュを使用すれば、環境的にも有効である。

70. 投資コスト：投資コストは章Dに詳細を述べている。FSサイトの水質シミュレーションは章Bに詳細を述べている。それらコスト積算の概要は下記の通り。

表C-II-4
代替案別負荷減少率とコスト

代替案	負荷低減率(%)	pH*	費用 (百万US\$)
1	95 まで	5.3	56.7
2	90 - 98	5.0 - 5.7	18.5
3	50 以下	4.5 以下	14.5

* 下流FS サイト境界PT-14 モニタリングポイントでの試算

71. 代替案 1 での遮断壁の建設費用が非常に高いため、これに制約されるであろう。代替案 2は酸性度の減少が 90 から 98% 見込めるため、最も現実的で効果のある案であろう。しかし、この大きな低減率をもってしても、現ブラジル表流水の水質環境基準には適合しない。特に、pHについては下流 FS サイト境界で元の 3.7 から 5.7 への改善に止まる。しかし、pHがこの程度まで回復した場合、水草及びバクテリアの活性化等による自浄能力が水質を更に向上させることが期待される。しかし、これらの自浄能力をモデルで再現することは極めて困難である。

3. FSサイト調査の結論

72. 主要なFSサイト調査の結論は以下の通り。

- ⇒ FS サイトの検討は、最も経済的であつ、現地で一般的に使用されている乾式被覆による方法では、鉱害源から排出される酸性度と金属濃度が著しく高いため、現在のブラジル表流水の水質環境基準に適合する水質にはならない。従つて、乾式被覆では汚染源地域を復旧させることは不可能であることが示唆された。
- ⇒ 最も効果的な技術を駆使した湿式被覆即ち毛管バリアと、パッシブウェットランド処理を組み合わせた場合でも、酸性及び金属濃度を著しく低減させるけれども、汚染区域内で規制値に適合させることは極めて困難である。しかし、最も効果的な技術を使って低減された酸及び金属濃度の溶出のレベルでは、水性植物の成長、バクテリア活動の増大に起因する自然回復力が働き、更に水の中和化を促進することは期待される。選炭ボタ汚染の全体復旧は、ウェットカバーとパッシブウェットランドを組み合わせた対策を基本とすべきである。
- ⇒ アクティブな化学処理法はほぼ 100% 近い負荷低減を成し遂げる。しかし、Carvão FS サイトの場合は、そこでは酸性度及び金属溶出の大きな鉱害源に取り囲まれており化学的中和プラントの設置は効果的な解決法とはなり得ない。従つて、広範な鉱害源区域を第一に対策が立てられなければならない。
- ⇒ 水質については、上・下流の支流を考慮にいれて、全体復旧計画の中でそれぞれの川の流域全体を一体として評価すべきと結論される。
- ⇒ 露天掘剥土は酸性源でないとしたが、有効な土地利用のためにはボタ田造成、植生のための粘土による被覆が必要である。

D. 土木設計・積算

1. FS サイト復旧コスト積算

1.1 基本方針

01. 土木復旧工事計画は、以下の方針で立案した。

- i) 設計基準は、ZETA/IESA ガイドラインに基づくブラジルの現地の慣例と共に日本の道路土工指針および建設省河川砂防技術基準に基づく。
- ii) 工法については、主に現地の施工法に基づく。
- iii) 積算については、SETEP 社など現地建設会社の積算資料と共にサンタカタリーナ州道路局の準単価を参考とする。
- iv) 移動土量は、Capivari および Carvão FS サイトを除き、調査団が作成した縮尺 1:1,000 の図面を用いて、コンピュータにより算出する。
- v) 水路断面は、当中間報告書の水文調査に示す平均降雨強度を用い合理式で対象流量を決定する。
- vi) 全体の河川改修は行わず、水処理上必要な護岸工事を行う。

02. FS サイト毎の方針を次に示す。

Fiorita FS サイト：

- ・ 白ボタは汚染原因物質ではないとして扱われ、2 種類の土木復旧代替案が考えられる。
 - a) 地表整地および植生のための表土覆土 (30cm) 、
 - b) 現状のまま。
- ・ Pond H と Pond I の間に、表流水による表層覆土層の侵食防止を目的とする水路工を設ける。
- ・ 道路については、現状復旧とする。
- ・ 道路と Fiorita 川等との交差部は、現河川断面と同規模のボックスカルバートとする。

- ・水路の合流部および水路勾配の急な箇所には、柵を設ける。

Capivari FS サイト：

- ・地下水遮水壁建設の積算は、コンクリート構造物とする。しかし、通常使われている材料で pH3 に耐えうる耐酸性の材料は見当たらない。耐性のあるゴム、プラスチックまたはセラミックで施工した場合は、莫大な費用が見込まれる。
- ・池の埋立て材料は、Wetland 施工のための掘削土を使用する。埋立て土量と掘削土量はほぼ同量である。
- ・河川切替えのためのコンクリート水路断面は、現状の掘削り水路断面と同程度とする。

1.2 設計基準

03. 設計基準を次に示す。

- i) 整地：図 D-1 に示すように、白ボタ地域ののり面勾配は 2 割とし、植生のために 30cm 程の表土を被せる。池に接する部分には 4m 程の平坦地を設ける。
- ii) 道路復旧：図 D-2 に示すように、道路は幅員 4m の未舗装道路とし、道路両側に側溝を設ける。道路盛土材料として白ボタを用い、表層は十分な転圧を施した黒ボタ層とする。
- iii) 河川護岸工：図 D-3 に示すように、河川の浸食および黒ボタと河川水の接触を防止する目的で、練石積およびコンクリート護岸工を設ける。護岸工の形状は 10 年平均雨量強度から算出し、その形状は表 D-1 に示すとおり場所により異なる。
- iv) 水路工：図 D-4 から D-8 に示す水路等を、汚染源から河川水を分離するために、黒ボタ地域に清水が流入する箇所に設ける。水路工の形状は 10 年平均雨量強度から算出し、その形状は表 D-2 に示すとおり場所により異なる。

1.3 設計数量

04. 各 FS サイトの復旧対策代替案について、酸性水処理および上記設計基準を基に復旧作業のための工事数量を求める。

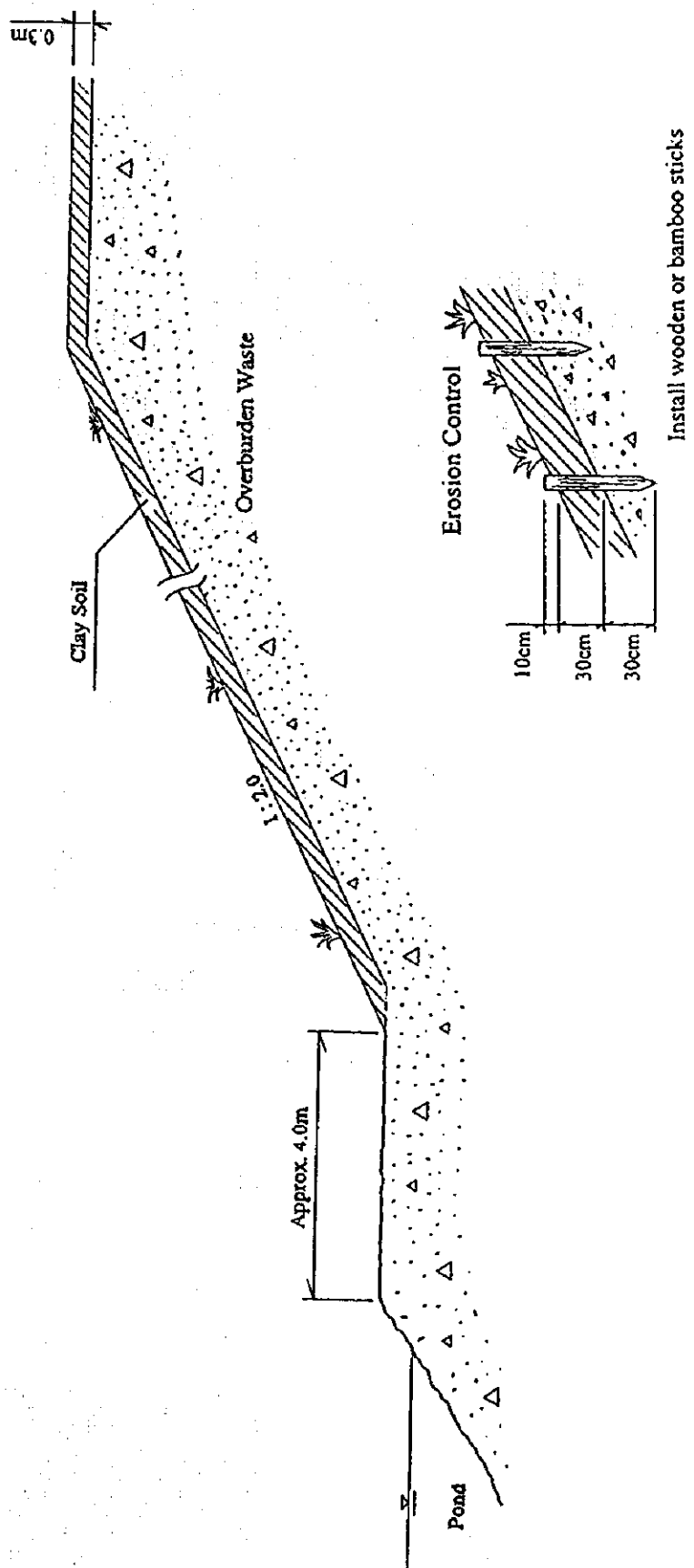


図 D-1 白ボタ地域の整形

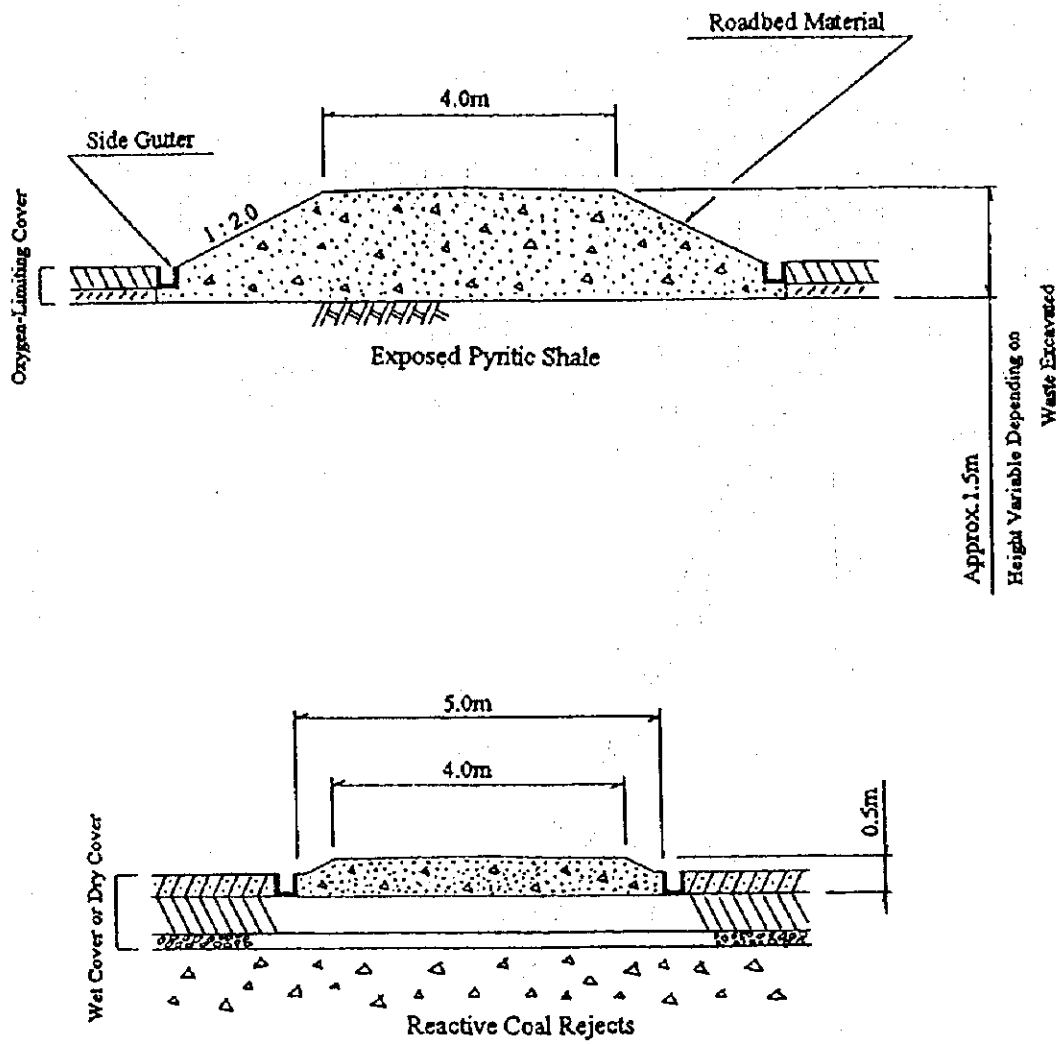
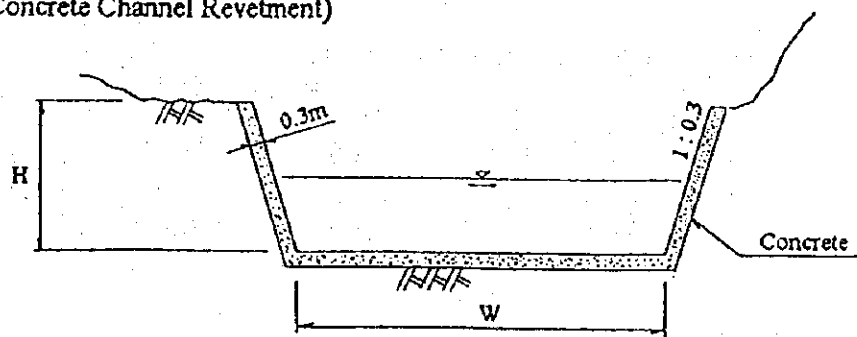
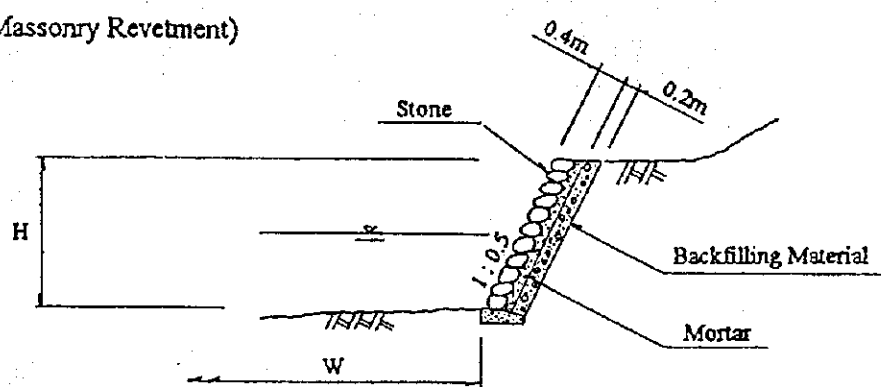


図 D-2 道路の標準断面

(Concrete Channel Revetment)



(Masonry Revetment)



(Concrete Revetment)

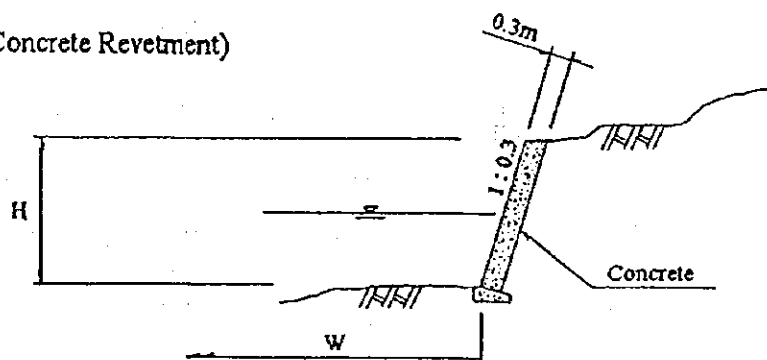


図 D-3 護岸工の標準断面

表 D-1
護岸工の形状

Concrete Channel Revetment for Rio Fiorita

<u>Case</u>	<u>(1)</u>	<u>(2)</u>	<u>(3)</u>
Width : W(m)	5.0	6.0	8.0
Height : H(m)	2.5	2.0	1.5
Length : L(m)	500	100	250

Masonry Revetment for Rio Fiorita

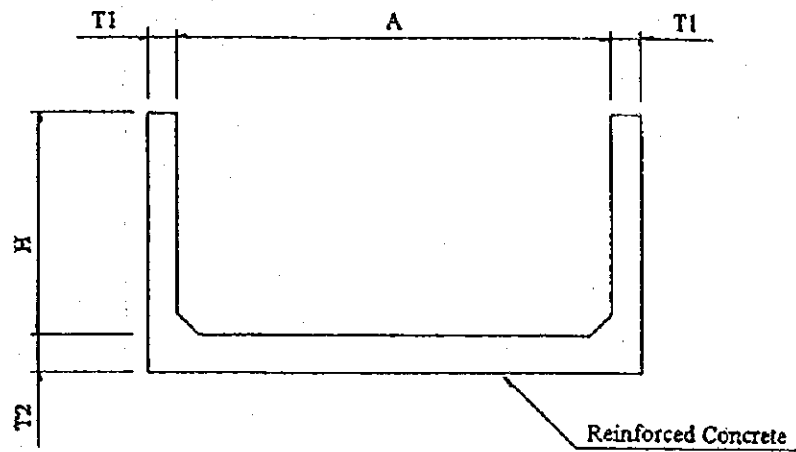
<u>Case</u>	<u>(1)</u>	<u>(2)</u>	<u>(3)</u>
Width : W(m)	6.0	7.0	8.0
Height : H(m)	4.0	3.5	3.0
Length : L(m)	420	—	—

Masonry Revetment for Rio Rocinha

<u>Case</u>	<u>(1)</u>	<u>(2)</u>	<u>(3)</u>
Width : W(m)	10.0	13.0	17.0
Height : H(m)	5.0	4.0	3.0
Length : L(m)	—	280	750

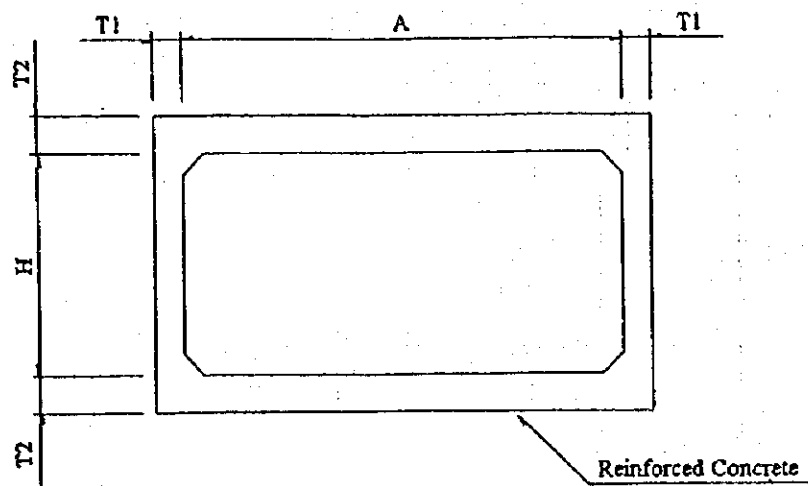
Concrete Revetment for Rio Rocinha

<u>Case</u>	<u>(1)</u>	<u>(2)</u>	<u>(3)</u>
Width : W(m)	8.0	10.0	13.0
Height : H(m)	6.0	5.0	4.0
Length : L(m)	—	200	200



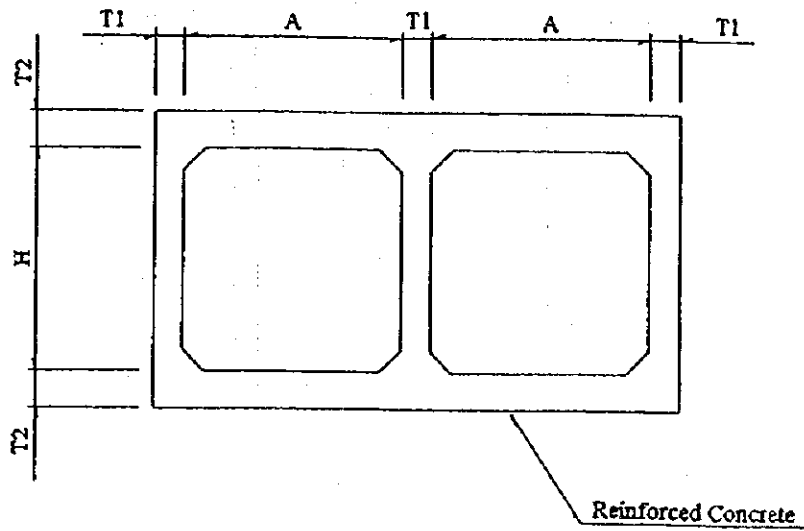
Rio Fiorita		A (mm)	H (mm)	T1 (mm)	T2 (mm)
	Channel①	1,400	700	70	90
	Channel②	1,500	750	80	90
	Channel③	1,000	500	70	90
	Channel④	2,000	1,000	95	115
	Channel⑤	2,000	1,000	95	115
Rio Rocinha		A (mm)	H (mm)	T1 (mm)	T2 (mm)
	Channel①	2,000	1,000	95	115
	Channel②	1,400	700	70	90
	Channel③	4,000	2,000	210	250
Capivari		A (mm)	H (mm)	T1 (mm)	T2 (mm)
	Channel①	3,000	2,000	210	240
Side Gutter		A (mm)	H (mm)	T1 (mm)	T2 (mm)
		300	300	50	60

図 D-4 開水路の標準断面



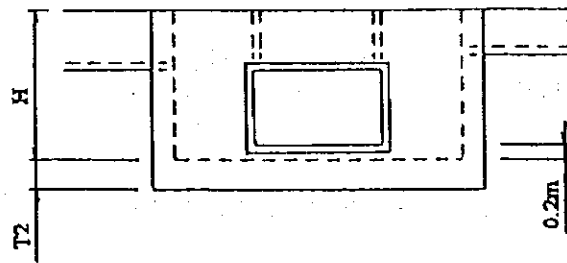
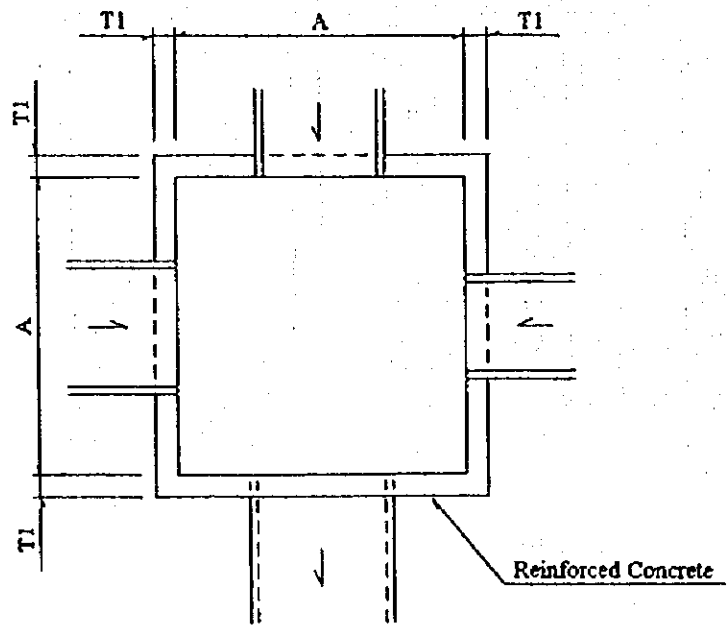
Rio Fiorita		A (mm)	H (mm)	T1 (mm)	T2 (mm)
Channel③		1,000	500	130	130
Channel④		2,000	1,000	140	180
Tributary		2,000	1,000	140	180
Rio Rocinha		A (mm)	H (mm)	T1 (mm)	T2 (mm)
Channel①		2,000	1,000	140	180
Channel②		1,400	700	130	150

図 D-5 ボックスカルバートの標準断面 (タイプ A)



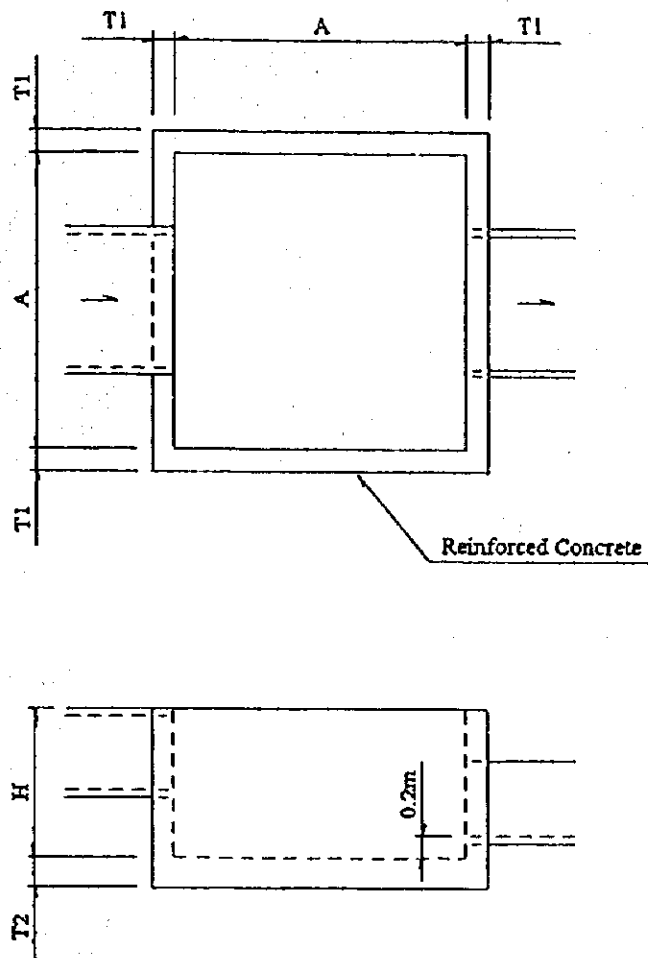
Rio Fiorita		A (mm)	H (mm)	T1 (mm)	T2 (mm)
	Main Stream	2,500	2,500	220	220
Capivari		A (mm)	H (mm)	T1 (mm)	T2 (mm)
	Channel①	1,500	2,000	150	170

☒ D-6 ボックスカルバートの標準断面 (タイプ B)



Rio Fiorita	A (mm)	H (mm)	T1 (mm)	T2 (mm)
Channel①-④	2,500	1,500	135	190

図 D-7 フローボックスの標準断面 (タイプ A)



Rio Fiorita		A (mm)	H (mm)	T1 (mm)	T2 (mm)
	Channel④	2,500	1,500	135	190
Rio Rocinha		A (mm)	H (mm)	T1 (mm)	T2 (mm)
	Channel①	2,500	1,500	135	190
	Channel②	1,900	1,200	110	150

図 D-8 フローボックスの標準断面(タイプ B)

表 D-2
水路工の形状

Open Channel for Rio Fiorita			
Location	Catchment Area (ha)	Section Form Width×Heigh (mm)	Length (m)
Channel ①	17	1400×700	400
Channel ②	34	1500×750	40
Channel ③	7	1000×500	450
Channel ④	58	2000×1000	750
Channel ⑤	61	2000×1000	780
Open Channel for Rio Rocinha			
Channel ①	85	2000×1000	250
Channel ②	24	1400×700	200
Channel ③	260	4000×2000	350
Open Channel for Capivari			
Channel ①		3000×2000	1,400
Open Channel for Side Gutter			
Rio Fiorita		300×300	10,000
Rio Rocinha		300×300	6,000
Box Culvert for Rio Fiorita			
Location	Type	Section Form Width×Heigh (mm)	Length (m)
Channel ③	A	1000×500	8
Channel ④	A	2000×1000	46
Main Stream	B	2500×2500	16
Tributary	A	2000×1000	8
Box Culvert for Rio Rocinha			
Channel ①	A	2000×1000	8
Channel ②	A	1400×700	8
Box Culvert for Capivari			
Channel ①	B	1500×2000	16
Flow Box for Rio Fiorita			
Location	Type	Section Form Width×Heigh (mm)	Quantity (set)
Channel ①・④	A	2500×1500	1
Channel ④	B	2500×1500	1
Flow Box for Rio Rocinha			
Channel ①	B	2500×1500	2
Channel ②	B	1900×1200	1

05. この地方にはカバー用の粘土の市場はないため、採掘・運搬コスト、ロイヤリティ（トン当たり 0.6R\$ のロイヤリティ及び 5% の販売ロイヤリティ）により粘土価格を推定した。砂利はこの地方では非常に高い（トン当たり 17R\$ プラス運搬コスト）ため、露天掘り剥土を破砕して使うこととする。採掘、破砕、運搬のコストから砂利コスト（トン当たり 12R\$）を推定した。詳細は表 D-3 及び D-4 に示す。

06. 全ての代替案のコスト積算を以下に示す。詳細は表 D-5 から D-19 に示す。

投資コストの概要

FS サイト	代替案	コスト (R\$ x 1000)	詳細
Fiorita	代替案 1	11,367	表 D-5
	代替案 2	9,900	表 D-6
	代替案 3	8,127	表 D-7
	代替案 4	6,319	表 D-8
	代替案 5	4,560	表 D-9
	代替案 6	2,705	表 D-10
Rocinha	代替案 1	6,174	表 D-11
	代替案 2	4,492	表 D-12
	代替案 3	2,942	表 D-13
Carvao	代替案 1	7,433	表 D-14
	代替案 2	10,473	表 D-15
	代替案 3	120	表 D-16
Capivari	代替案 1	57,243	表 D-17
	代替案 2	14,355	表 D-18
	代替案 3	13,752	表 D-19

2 全体復旧コスト積算

2.1 全体復旧計画の方法

07. 全体復旧計画はプレフィージビリティスタディであるため、全体復旧計画

表 D-3
粘土価格の推定

Clay Haul Distance		3.5 Km		
Equipment:	Quantity	Capacity (m³/hr)	Utilization (%)	Hourly Cost (R\$/hr)
Crawler Dozer	1	256	78.52	75.88
Wheel Loader CAT 966	1	201	100.00	54.28
Rear dump truck	10	220	91.36	212.23
(A) Sub total				342.39
Worker	Quantity	Salary Base	Hourly Cost	
Common Labor	0.20	7.50	1.50	
Operator	12	7.50	90.00	
Servant	1	2.25	2.25	
(B) Sub total				93.75
(C) Product of Team	201.00	m ³ /hr		
(D) Unit Cost (D)=((A)+(B))/(C)	2.17	R\$/m ³		
(E) Overhead Charge (37.8%)	0.82	R\$/m ³		
(F) Total of Direct Costs	2.99	R\$/m ³		
(F) Revegetation Costs (4% of Direct costs)	0.12	R\$/m ³		
Clay Royalty	R\$/ton	R\$/m³		
Royalty	0.60	0.89		
Sales Royalty	0.03	0.04		
(E) Sub total		0.93		
Total Unit Cost	4.04	R\$/M³		

表 D-4
砂利価格の推定

Equipment:	Quantity	Capacity (m ³ /H)	Utilization (%)	Hourly Cost (R\$/hr)
Crawler Dozer	1	256	66.74	78.31
Wheel Loader CAT 966	2	402	42.50	87.38
Jaw Crusher	1	171	100.00	88.52
Corn Crusher	1	114	100.00	64.71
Vibratory Screen	4	228	50.00	42.70
Belt Conveyoy	8	348	100.00	139.21
Rear dump truck	4	88	90.91	93.25
(A) Sub total				594.08

Worker	Quantity	Salary Base (R\$/hr)	Hourly Cost (R\$/hr)
Common Labor	1.00	7.50	7.50
Operator	8	7.50	60.00
Pointer	2	4.00	8.00
Servant	5	2.25	11.25
(B) Sub total			86.75

(C) Product of Team	80.00	m ³ /hr
(D) Unit Cost (D)=((A)+(B))/(C)	8.51	R\$/m ³
(E) Overhead Charge (37.78%)	3.22	R\$/m ³
Total Unit Cost	11.73	R\$/m ³

表 D-5

Rio Fiorita FS サイトの積算結果 (復旧対策案 1)

No.	Item	Unit	Quantity	Unit cost (R\$)	Total cost (1,000R\$)	
1	Mobilization, Demobilization and Site Preparation				469	5% of 2 through 11
2	Reactive Waste Excavation and Disposal Excavate, Load, Haul, and Dump Reactive Wastes	m3	766,000	1.61	1,232	
3	Place Reactive Waste to the Ponds Access Road Construct through the Ponds Place Reactive Waste to the Ponds	m m3	360,000	0.44	158	
4	Construct On-Site Repository					Repository site is 400m x 165m x 8m
4.1	Furnish Underdrain System	m	400	105.75	42	Place limestone in Underdrain
4.2	Place and Compact Clay layer	m3	41,820	0.74	31	
4.3	Wet Cover Grading Clay and Gravel Clay Compaction	m3 m3	34,850 41,820	0.37 0.74	13 31	
4.4	Material Clay Gravel	m3 m3	104,550 6,970	4.04 11.73	422 82	Excavate, haul, and place On site excavate, crush, and place
5	Regrading Overburden Waste	m3	5,178,300	0.37	1,926	Total area is 160ha
6	Road Construction					
6.1	Road Construction	m	3,000	12.60	63	Total road distance is 5000m
6.2	Side Gutter	m	10,000	23.90	239	Furnish side gutter both sides the road
7	Covering					
7.1	Clay Laying for Overburden Waste Area	m3	460,620	0.37	171	Total area is 153.4 ha
7.2	Reactive Waste Area (Oxygen Cover) Grading Clay and Organic Matter Organic Matter Compaction	m3 m3	76,890 51,260	0.37 0.74	29 38	Total area is 25.63ha
7.3	Material Clay Organic Matter	m3 m3	537,510 51,260	4.04 2.78	2,169 142	Excavate, haul, and place Purchase, haul, and place
8	Install River Channel Erosion Control Structure Revetment	m	850	743.53	632	Concrete channel revetment, Masonry revetment and Concrete Revetment
9	Install Clean Water Diversion Channels					
9.1	Open Channel	m	2,420	121.91	295	
9.2	Box culvert	m	78	611.92	48	
9.3	Flow Box	Lump sum	2	1,720.00	3	
10	Install Wetland Treatment System					
0.1	Excavate Wetland Pond Area	m3	46,400	1.19	55	
0.2	Construct Concrete Outlet Structure	Lump sum	4	31,347.50	125	
0.3	Rip-lap Channel	m3	540	53.83	29	
0.4	Place Limestone and Organic Materials Limestone Organic Material	m3 m3	46,400 23,200	0.44 33.10	20 768	Purchase, haul, and place Purchase, haul, and place
0.5	Construct Aerobic Rock Filter Place Cobble Cobble	m3 m3	3,000 3,000	0.44 6.33	1 19	
0.6	Construct Recreation Bar Place Recreation Bar Materials	m3	29,600	0.44	13	
11	Revegetation	m2	1,605,100	0.32	511	Total area is 160ha
12	Engineering and Construction Inspection				492	5% of 1 through 11
13	Contingencies				1,033	10% of total capital cost
Total					11,367	

表 D-6

Rio Fiorita FS サイトの積算結果 (復旧対策案 2)

No.	Item	Unit	Quantity	Unit cost (R\$)	Total cost (1,000R\$)	
1	Mobilization, Demobilization and Site Preparation				412	5% of 2 through 9
2	Reactive Waste Excavation and Disposal Excavate, Load, Haul, and Dump Reactive Wastes	m3	139,000	1.61	224	Reactive wastes only located in stream channels or water courses would be excavated
3	Regrading Overburden Waste	m3	51,783,000	0.37	1,926	
4	Road Construction					
4.1	Road Construction	m	5,000	3.02	15	Total road distance is 5000m
4.2	Side Gutter	m	10,000	23.89	239	Function side gutter both sides the road
5	Covering					
5.1	Clay Laying for Overburden Waste Area	m3	481,530	0.37	179	Total area is 180ha
5.2	Reactive Waste Area (Wet Cover) Grading Clay and Gravel	m3	105,050	0.37	39	Total area is 21.0 ha
	Compaction Clay	m3	105,050	0.74	77	
5.3	Material					
	Clay	m3	670,620	4.04	2,706	Excavate, haul, and place
	Gravel	m3	21,010	11.73	246	On site excavate, crush, and place
6	Install River Channel Erosion Control Structure Revetment	m	850	744.44	633	Concrete channel revetment, Masonry revetment and Concrete Revetment
7	Install Clean Water Diversion Channels					
7.1	Open Channel	m	2420	121.91	295	
7.2	Box culvert	m	78	611.92	48	
7.3	Flow Box	Lump sum	2	1,720.00	3	
8	Install Wetland Treatment System					
8.1	Excavate Wetland Pond Area	m3	46,400	1.19	55	
8.2	Construct Concrete Outlet Structure	Lump sum	4	31,482.19	126	
8.3	Rip-rap Channel	m3	540	53.83	29	
8.4	Place Limestone and Organic Materials	m3	46,400	0.44	20	
	Limestone	m3	23,200	33.10	768	Purchase, haul, and place
	Organic Material	m3	23,200	2.78	64	Purchase, haul, and place
8.5	Construct Aerobic Rock Filter					
	Place Cobble	m3	3,000	0.44	1	
	Cobble	m3	3,000	6.33	19	
8.6	Construct Reseration Bar					
	Place Reseration Bar Materials	m3	29,600	0.44	13	Use of native overburden
9	Revegetation	m2	1,605,100	0.32	511	Total area is 160ha
10	Engineering and Construction Inspection				432	5% of 1 through 9
11	Contingencies				908	10% of total capital cost
	Total				9,990	

表 D-7

Rio Fiorita FS サイトの積算結果 (復旧対策案 3)

No.	Item	Unit	Quantity	Unit cost (\$US)	Total cost (1,000\$US)	
1	Mobilization, Demobilization and Site Preparation				335	5% of 2 through 7
2	Reactive Waste Excavation and Disposal Excavate, Load, Haul, and Dump Reactive Wastes	m3	139,000	1.61	224	Reactive wastes only located in stream channels or water courses would be excavated
3	Regrading Overburden Waste	m3	5,178,300	0.37	1,926	
4	Road Construction					
4.1	Road Construction	m	5,000	3.02	15	Total road distance is 5000m
4.2	Side Gutter	m	10,000	23.89	239	Furnish side gutter both sides the road
5	Covering					
5.1	Clay Laying for Overburden Waste Area	m3	481,530	0.37	179	Total area is 150ha
5.2	Reactive Waste Area (Dry Cover II) Grading Clay	m3	126,060	0.37	47	Total area is 21.0 ha
5.3	Material Clay	m3	607,590	4.04	2,452	Excavate, haul, and place
6	Install Wetland Treatment System					
6.1	Excavate Wetland Pond Area	m3	46,400	1.19	55	
6.2	Construct Concrete Outlet Structure	Lump sum	4	31,482.19	126	
6.3	Rip-rap Channel	m3	540	53.83	29	
6.4	Place Limestone and Organic Materials	m3	46,400	0.44	20	
	Limestone	m3	23,200	33.10	768	Purchase, haul, and place
	Organic Material	m3	23,200	2.78	64	Purchase, haul, and place
6.5	Construct Aerobic Rock Filter					
	Place Cobble	m3	3,000	0.44	1	
	Cobble	m3	3,000	6.33	19	
6.6	Construct Reseration Bar					
	Place Reseration Bar Materials	m3	29,600	0.44	13	Use of native overburden
7	Revegetation	m2	1,605,100	0.32	511	Total area is 162ha
8	Engineering and Construction Inspection				351	5% of 1 through 7
9	Contingencies				737	10% of total capital cost
	Total				8,111	

表 D-8

Rio Fiorita FS サイトの積算結果 (復旧対策案 4)

No.	Item	Unit	Quantity	Unit cost (R\$)	Total cost (1,000R\$)	
1	Mobilization, Demobilization and Site Preparation				261	5% of 2 through 11
2	Reactive Waste Excavation and Disposal Excavate, Load, Haul, and Dump Reactive Wastes	m3	766,000	1.61	1,232	
3	Place Reactive Waste to the Ponds Access Road Construct through the Ponds Place Reactive Waste to the Ponds	m m3	3,500 360,000	1.73 0.44	6 158	
4	Construct On-Site Repository					Repository site is 400m x 165m x 8m
4.1	Furnish Underdrain System	m	400	105.75	42	Place lime stone in Underdrain
4.2	Place and Compact Clay layer	m3	41,820	0.74	31	
4.3	Wet Cover Grading Clay and Gravel Clay Compaction	m3 m3	34,850 41,820	0.37 0.74	13 31	
4.4	Material Clay Gravel	m3 m3	104,550 6,970	4.04 11.73	422 82	Excavate, haul, and place On site excavate, crush, and place
5	Regrading Overburden Waste	m3	582,557	0.37	217	Total area is 160ha
6	Road Construction					
6.1	Road Construction	m	5,000	12.60	63	Total road distance is 5000m
6.2	Side Gutter	m	10,000	23.90	239	Furnish side gutter both sides the road
7	Covering					
7.1	Reactive Waste Area (Oxygen Cover)					Total area is 25.63ha
7.2	Grading Clay and Organic Matter Organic Matter Compaction	m3 m3	76,890 51,260	0.37 0.74	29 38	
7.3	Material Clay Organic Matter	m3 m3	76,890 51,260	4.04 2.78	310 142	Excavate, haul, and place Purchase, haul, and place
8	Install River Channel Erosion Control Structure Revetment	m	850	743.53	632	Concrete channel revetment, Masonry revetment and Concrete Revetment
	Install Clean Water Diversion Channels					
9	Open Channel	m	2,420	121.91	295	
9.1	Box culvert	m	78	611.92	48	
9.2	Flow Box	Lump sum	2	1,720.00	3	
	Install Wetland Treatment System					
10	Excavate Wetland Pond Area	m3	46,400	1.19	55	
0.1	Construct Concrete Outlet Structure	Lump sum	4	31,347.50	125	
0.2	Rip-rap Channel	m3	540	53.83	29	
0.3	Place Limestone and Organic Materials Limestone Organic Material	m3 m3 m3	46,400 23,200 23,200	0.44 33.10 2.78	20 768 64	Purchase, haul, and place Purchase, haul, and place
0.4	Construct Aerobic Rock Filter Place Cobble Cobble	m3 m3 m3	3,000 3,000	0.44 6.33	1 19	
0.5	Construct Reaeration Bar Place Reaeration Bar Materials	m3	29,600	0.44	13	Use of native overburden
11	Revegetation	m2	256,300	0.32	82	Total area is 25.6 ha
12	Engineering and Construction Inspection				274	5% of 1 through 11
13	Contingencies				574	10% of total capital cost
	Total				6,319	

表 D-9

Rio Fiorita FS サイトの積算結果 (復旧対策案 5)

No.	Item	Unit	Quantity	Unit cost (R\$)	Total cost (1,000R\$)	
1	Mobilization, Demobilization and Site Preparation				188	5% of 1 through 8
2	Reactive Waste Excavation and Disposal Excavate, Load, Haul, and Dump Reactive Waste	m3	139,000	1.61	224	Reactive wastes only located in stream channels or water courses would be excavated
3	Road Construction					
3.1	Road Construction	m	5,000	3.02	15	Total road distance is 5000m
3.2	Side Gutter	m	10,000	23.89	239	Furnish side gutter both sides the road
4	Covering					
4.1	Reactive Waste Area (Wet Cover)					Total area is 21.0 ha
	Grading Clay and Gravel	m3	105,050	0.37	39	
	Compaction Clay	m3	105,050	0.74	77	
4.2	Material					
	Clay	m3	189,090	4.04	763	Excavate, haul, and place
	Gravel	m3	21,010	11.73	246	On site concrete, crush, and place
5	Install River Channel Erosion Control Structure Revetment	m	850	744.44	633	Concrete channel revetment, Masonry revetment and Concrete Revetment
6	Install Clean Water Diversion Channels					
6.1	Open Channel	m	2420	121.91	295	
6.2	Box culvert	m	78	611.92	48	
6.3	Flow Box	Lump sum	2	1,720.00	3	
7	Install Wetland Treatment System					
7.1	Excavate Wetland Pond Area	m3	46,400	1.19	55	
7.2	Construct Concrete Outlet Structure	Lump sum	4	31,482.19	126	
7.3	Rip-rap Channel	m3	540	53.83	29	
7.4	Place Limestone and Organic Materials					
	Limestone	m3	46,400	0.44	20	
	Organic Material	m3	23,200	33.10	768	Purchase, haul, and place
	Organic Material	m3	23,200	2.78	64	Purchase, haul, and place
7.5	Construct Aerobic Rock Filter					
	Place Cobble	m3	3,000	0.44	1	
	Cobble	m3	3,000	6.33	19	
7.6	Construct Retention Bar					
	Place Retention Bar Materials	m3	29,600	0.44	13	Use of native overburden
8	Revegetation	m2	256,300	0.32	82	Total area is 25.6 ha
9	Engineering and Construction Inspection				197	5% of 1 through 8
10	Contingencies				415	10% of total capital cost
	Total				4,560	

表 D-10

Rio Fiorita FS サイトの積算結果 (復旧対策案 6)

No.	Item	Unit	Quantity	Unit cost (\$US)	Total cost (1,000\$US)	
1	Mobilization, Demobilization and Site Preparation				112	5% of 2 through 6
2	Reactive Waste Excavation and Disposal Excavate, Load, Haul, and Dump Reactive Wastes	m3	139,000	1.61	224	Reactive wastes only located in stream channels or water courses would be excavated
3	Road Construction					
3.1	Road Construction	m	5,000	3.02	15	Total road distance is 5000m
3.2	Side Gutter	m	10,000	23.89	239	Furnish side gutter both sides the road
4	Covering					
4.1	Reactive Waste Area (Dry Cover II)					Total area is 21.0 ha
4.2	Grading Clay	m3	126,060	0.37	47	
4.3	Material Clay	m3	126,060	4.04	509	Excavate, haul, and place
5	Install Wetland Treatment System					
5.1	Excavate Wetland Pond Area	m3	46,400	1.19	55	
5.2	Construct Concrete Outlet Structure	Lump sum	4	31,482.19	126	
5.3	Rip-rap Channel	m3	540	53.83	29	
5.4	Place Limestone and Organic Materials	m3	46,400	0.44	20	
	Limestone	m3	23,200	33.10	768	Purchase, haul, and place
	Organic Material	m3	23,200	2.78	64	Purchase, haul, and place
5.5	Construct Aerobic Rock Filter					
	Place Cobble	m3	3,000	0.44	1	
	Cobble	m3	3,000	6.33	19	
5.6	Construct Recreation Bar					
	Place Recreation Bar Materials	m3	29,600	0.44	13	Use of native overburden
6	Revegetation	m2	256,300	0.32	82	Total area is 160ha
7	Engineering and Construction Inspection				116	5% of 1 through 6
8	Contingencies				244	10% of total capital cost
	Total				2,681	

表 D-11

Rio Rocinha FS サイトの積算結果 (復旧対策案 1)

No.	Item	Unit	Quantity	Unit cost (R\$)	Total cost (1,000R\$)	
1	Mobilization, Demobilization and Site Preparation				253	5% of 2 through 9
2	Backfilling for Pond	m3	20,000	0.37	7	
3	Regrading Reactive Reject	m3	459,600	0.37	171	
4	Road Construction					
4.1	Road Construction	m	3,000	3.02	9	Total road distance is 3,000m
4.2	Side Gutter	m	6,000		143	Furnish side gutter both sides the road
5	Install Wet Cover Systems over Reactive Wastes					
5.1	Clay Compaction	m3	225,200	0.74	166	Total area is 45 ha
	Clay, Gravel Laying	m3	225,200	0.37	84	
5.2	Material					
	Clay	m3	405,360	4.04	1,636	Excavate, haul, and place
	Gravel	m3	45,040	11.73	528	
	Limestone	m3	6,452	33.10	214	Purchase, haul, and place
6	Install River Channel Erosion Control Structures					
	Revetment	m	1,030	487.89	503	Concrete channel revetment, Masonry revetment and Concrete Revetment
7	Install Clean Water Diversion Channels					
7.1	Open channel	m	800	321.95	258	
7.2	Box Culvert	Lump sum	6		4	
7.3	Flow Box	Lump sum	2		4	
8	Install Wetland Treatment System					
8.1	Excavate Wetland Pond Area	m3	88,500	1.19	106	
8.2	Concrete Control Structure	Lump sum	4	31,482	125.93	
8.3	Rip-lap Channel	m3	360	53.83	19	
8.4	Place Limestone and Organic Materials					
	Limestone	m3	51,000	0.44	22	
	Organic Material	m3	25,500	33.10	844	Purchase, haul, and place
8.5	Construct Aerobic Rock Filter					
	Place Cobble	m3	3,000	2.78	71	Purchase, haul, and place
	Cobble	m3	3,000	0.44	1	
8.6	Construct Reaeration Bar					
	Place Reaeration Bar Materials	m3	3,000	6.33	19	
9	Revegetation	m2	450,400	0.44	13	
10	Revegetation				143	Total area is 45ha
10	Engineering and Construction Inspection				267	5% of 1 through 11
11	Contingencies				561	10% of total capital cost
	Total				6,174	

表 D-12

Rio Rocinha FS サイトの積算結果 (復旧対策案 2)

No.	Item	Unit	Quantity	Unit cost (R\$)	Total cost (1,000R\$)	
1	Mobilization, Demobilization and Site Preparation				185	5% of 2 through 9
2	Backfilling for Pond	m ³	20,000	0.37	7	
3	Regrading Reactive Reject	m ³	459,600	0.37	171	
4	Road Construction					
4.1	Road Construction	m	3,000	3.02	9	Total road distance is 3,000m
4.2	Side Gutter	m	6,000	23.89	143	Furnish side gutter both sides the road
5	Install Dry Cover I Systems over Reactive Wastes					
5.1	Clay Compaction	m ³	135,120	0.74	99	Total area is 45 ha
	Clay Laying	m ³	135,120	0.37	50	
5.2	Material Clay	m ³	270,240	4.04	1,091	Excavate, haul, and place
6	Install River Channel Erosion Control Structures					
	Revetment	m	1,030	487.89	503	Concrete channel revetment, Masonry revetment and Concrete Revetment
7	Install Clean Water Diversion Channels					
7.1	Open channel	m	800	321.95	258	
7.2	Box Culvert	Lump sum	6		4	
7.3	Flow Box	Lump sum	2		4	
8	Install Wetland Treatment System					
8.1	Excavate Wetland Pond Area	m ³	88,500	1.19	106	
8.2	Concrete Control Structure	Lump sum	4	31,482	125.93	
8.3	Rip-lap Channel	m ³	360	53.83	19	
8.4	Place Limestone and Organic Materials	m ³	51,000	0.44	22	
	Limestone	m ³	25,500	33.10	844	Purchase, haul, and place
	Organic Material	m ³	25,500	2.78	71	Purchase, haul, and place
8.5	Construct Aerobic Rock Filter					
	Place Cobble	m ³	3,000	0.44	1	
	Cobble	m ³	3,000	6.33	19	
8.6	Construct Reseration Bar					
	Place Reseration Bar Materials	m ³	29,600	0.44	13	
9	Revegetation	m ²	450,400	0.32	143	Total area is 45ha
10	Engineering and Construction Inspection				194	5% of 1 through 9
11	Contingencies				408	10% of total capital cost
	Total				4,492	

表 D-13

Rio Rocinha FS サイトの積算結果 (復旧対策案 3)

No.	Item	Unit	Quantity	Unit cost (R\$)	Total cost (1,000R\$)	
1	Mobilization, Demobilization and Site Preparation				121	5% of 1 through 7
2	Regrading Reactive Reject	m3	459,600	0.37	171	
3	Road Construction					
3.1	Road Construction	m	3,000	3.02	9	Total road distance is 3,000m
3.2	Side Gutter	m	6,000	23.89	143	Furnish side gutter both sides the road
4	Install Dry Cover II Systems over Reactive Wastes					
4.1	Clay Laying	m3	270,240	0.37	101	
4.2	Material Clay	m3	270,240	4.04	1,091	
5	Install River Channel Erosion Control Structures					
	Revetment	m	1,030	487.89	503	Concrete channel revetment, Masonry revetment and Concrete Revetment
6	Install Clean Water Diversion Channels					
6.1	Open channel	m	800	321.95	258	
6.2	Box Culvert	Lump sum	6		4	
6.3	Flow Box	Lump sum	2		4	
7	Revegetation	m2	450,400	0.32	143	Total area is 45ha
8	Engineering and Construction Inspection				127	5% of 1 through 7
9	Contingencies				267	10% of total capital cost
	Total				2,942	

表 D-14

Rio Carvao FS サイトの積算結果 (復旧対策案 1)

No.	Item	Unit	Quantity	Unit cost (R\$)	Total cost (1,000R\$)	
1	Mobilization, Demobilization and Site Preparation				306	5% of 2
2	Acid Water Neutralization Plant				6,129	
2.1	Mechanical Construction					
	Tanks	set	1		1,107	
	Pumps	set	1		512	
	Miscellaneous	set	1		1,609	
2.2	Civil Construction	Lump sum	1		1,603	
3	Engineering and Construction Inspection				322	5% of 1 through 2
4	Contingencies				676	10% of total capital cost
	Total				7,433	

Annual Operating and Maintenance Costs
for
Active Treatment

Item	Unit	Quantity	Unit cost (\$US)	Total cost (1,000\$US)
Annual O&M Costs				
Lime Regent	tons	5,475	70	383
Other Regents	Lump sum		45,000	45
Electric Energy	Lump sum		75,000	75
Operator Labor	Lump sum		52,800	53
Replacement Parts	Lump sum		120,000	120
Miscellaneous Unlisted Items	Lump sum		67,605	68
Total				744

表 D-15

Rio Carvao FS サイトの積算結果 (復旧対策案 2)

No.	Item	Unit	Quantity	Unit cost (R\$)	Total cost (1,000R\$)	
1	Mobilization, Demobilization and Site Preparation				432	5% of 2 through 4
2	Install Wetland Treatment System					
2.1	Excavating for Wet land	m3	1,641,127	1.19	1,957	
2.2	Concrete Control Structure	Lump sum	4	70,834.93	283	
2.3	Rip-rap Channel	m3	9,375	53.83	505	
2.4	Place Limestone and Organic Materials	m3	491,413	0.44	216	
	Limestone	m3	137,313	33.10	4,545	
	Organic Material	m3	354,100	2.78	984	
2.5	Construct Aerobic Rock Filter					
	Place Cobble	m3	10,000	1.19	12	
	Cobble	m3	10,000	6.33	63	
4	Revegetation	m2	224,727	0.32	71	
5	Engineering and Construction Inspection				453	5% of 1 through 4
6	Contingencies				952	10% of total capital cost
	Total				10,473	

表 D-16

Rio Carvao FS サイトの積算結果 (復旧対策案 3)

No.	Item	Unit	Quantity	Unit cost (R\$)	Total cost (1,000R\$)	
1	Mobilization, Demobilization and Site Preparation				5	5% of 2 through 2
2	Limestone Drains					
2.1	Excavating for Channel	m3	2,700	1.61	4	
2.2	Furnish and Install Geotextile	m2	5,400	0.75	4	
2.3	Limestone Laying	m3	2,700	0.44	1	
2.4	Limestone	m3	2,700	33.10	89	
3	Engineering and Construction Inspection				5	5% of 1 through 2
4	Contingencies				11	10% of total capital cost
5	Total				120	

表 D-17

Rio Capivari FS サイトの積算結果 (復旧対策案 1)

No.	Item	Unit	Quantity	Unit cost (RS)	Total cost (1,000RS)	
1	Mobilization, Demobilization and Site Preparation				2,113	5% of 2 through 7
2	Grand Water Cut-off Wall Cost	Lump sum	1	30,350,760.00	30,351	
3	Backfilling Capivari Lake	m3	1,890,000	0.37	703	
4	Regrading Reactive Reject	m3	800,000	0.37	298	
5	Install Wet Cover Systems over Reactive Wastes					Total area is 80 ha
5.1	Clay Soil Compaction	m3	400,000	0.74	294	
5.2	Clay, Gravel Laying Material	m3	400,000	0.37	149	
	Clay	m3	720,000	4.04	2,905	
	Gravel	m3	80,000	11.73	939	
6	Install Wetland Treatment System					
6.1	Excavate Wetland Pond Area	m3	1,890,000	1.61	3,039	
6.2	Concrete Control Structure	Lump sum	4	23,611.64	94	
6.3	Rip rap Channel	m3	270	53.83	15	
6.4	Place Limestone and Organic Materials	m3	150,000	0.44	66	
	Limestone	m3	75,000	33.10	2,483	
	Organic Material	m3	75,000	2.78	208	
6.5	Construct Aerobic Rock Filter					
	Place Cobble	m3	22,500	0.44	10	
	Cobble	m3	22,500	6.33	143	
6.6	Construct Reaeration Bar					
	Place Reaeration Bar Materials	m3	111,000	0.44	49	
7	Revegetation	m2	1,600,000	0.32	509	Total area is 160 ha
8	Engineering and Construction Inspection				2,218	5% of 1 through 7
9	Contingencies				4,558	10% of total capital cost
	Total				51,243	

表 D-18

Rio Capivari FS サイトの積算結果 (復旧対策案 2)

No.	Item	Unit	Quantity	Unit cost (R\$)	Total cost (1,000R\$)	
1	Mobilization, Demobilization and Site Preparation				592	5% of 2 through 7
2	Backfilling Capivari Lake	m ³	1,890,000	0.37	703	
3	Regrading Reactive Reject	m ³	800,000	0.37	298	
4	Install Wet Cover Systems over Reactive Wastes					Total area is 80 ha
4.1	Clay Soil Compaction	m ³	400,000	0.74	294	
	Clay, Gravel Laying	m ³	400,000	0.37	149	
4.2	Material					
	Clay	m ³	720,000	4.04	2,905	
	Gravel	m ³	80,000	11.73	939	
5	Install Clean Water Diversion Channels					
5.1	Excavating for Channel	m	1,400	9.65	14	
5.2	Open Channel	m	1,400	495.37	694	
5.3	Box Culvert	m	16	801.61	13	
6	Install Wetland Treatment System					
6.1	Excavate Wetland Pond Area	m ³	1,890,000	1.19	2,253	
6.2	Concrete Control Structure	Lump sum	3	31,482.19	94	
6.3	Rip rap Channel	m ³	270	53.83	15	
6.4	Place Limestone and Organic Materials					
	Limestone	m ³	150,000	0.44	66	
	Organic Material	m ³	75,000	33.10	2,483	
6.5	Construct Aerobic Rock Filter					
	Place Cobble	m ³	22,500	2.78	208	
	Cobble	m ³	22,500	0.44	10	
6.6	Construct Reaeration Bar					
	Place Reaeration Bar Materials	m ³	111,000	6.33	143	
7	Revegetation	m ²	1,600,000	0.44	49	Total area is 160 ha
8	Engineering and Construction Inspection				621	5% of 1 through 7
9	Contingencies				1,305	10% of total capital cost
	Total				14,355	

表 D-19

Rio Capivari ES サイトの積算結果 (復旧対策案 3)

No.	Item	Unit	Quantity	Unit cost (R\$)	Total cost (1,000R\$)	
1	Mobilization, Demobilization and Site Preparation (5% of 2 through 9)				567	5% of 2 through 5
2	Backfilling Capivari Lake	m3	1,890,000	0.37	703	
	Backfill Material - Granite	m3	1,890,000	4.04	7,627	
3	Regrading Reactive Reject	m3	800,000	0.37	298	Total area is 80 ha
4	Install Dry Cover 1 Systems over Reactive Wastes					
4.1	Clay Soil Compaction	m3	240,000	0.74	177	
	Clay Laying	m3	240,000	0.37	89	
4.2	Material					
	Clay	m3	480,000	4.04	1,937	
5	Revegetation	m2	1,600,000	0.32	509	Total area is 160 ha
6	Engineering and Construction Inspection				595	5% of 1 through 5
7	Contingencies				1,250	10% of total capital cost
	Total				13,752	

域内の露天掘剥土などの個々の汚染源を詳細に調査したものではなく、FSの結果から推論した。また、FSで調査した Carvão (坑内掘炭鉱からの大量の湧水) と Capivari(選炭ボタ捨場の巨大な池)に類似した箇所は、他には無かった。

08. 露天掘跡地の復旧計画は、Florita 調査の結果を基にした。しかし、Florita 以外の地域には選炭ボタが存在することは希であるので、選炭ボタの処理に関する調査は省いた。剥土のならし作業量はその地形的タイプによった。それは以下の3タイプに分類した。(i) 鋸状 (ドリグラインによる採掘跡) の係数は1.00、(ii) 山型堆積 (山型に積み重ねられたボタ) は0.75、平坦状 (平坦状に積みひろげられたボタ) は0.25。これらは更に、川あり、川なしの2タイプに分類した。この川あり、川なしの分類は、護岸工事の有無に関わる。復旧工事の内容は以下のとおりである。

- ・ 露天掘剥土慣らし作業
- ・ 道路建設
- ・ 乾式覆土
- ・ 植生
- ・ 護岸工事 (地域内に川がある場合)

09. 選炭ボタの全体復旧計画は Rocinha 調査を基にした。2タイプの地形的タイプがあり (i) 平坦地域、(ii) 傾斜地域)、慣らし作業コストが異なる。それ故、全体計画は2タイプに分類される。更に、それぞれ川ありと川なしに分類される。湿式被覆は比較的高価であるため、川及び地下水域に直接関係しない汚染地域の復旧には乾式被覆を用いた。条件によっては両者の効果の差は少なく、同程度の結果が期待されるため、合計 425 ha がその対象となった。復旧工事には以下のとおりである。

- (i) 湿式被覆とウェットランド
 - ・ 慣らし作業
 - ・ 道路建設
 - ・ 湿式被覆
 - ・ 水路建設
 - ・ ウェットランド建設
 - ・ 植生
 - ・ 護岸工事 (地域内に川がある場合)

(ii) 乾式被覆

これは川なしの露天掘削土復旧工事と同じものである。

- ・ 露天掘削土慣らし作業
- ・ 道路建設
- ・ 乾式被覆
- ・ 植生

2.2 全体復旧計画コスト積算

10. 上述の種々のタイプの工事単価概要を表 D-20 に示す。

表 D-20
全体計画復旧工事単価

ボタ	地形タイプ	川	工事単価(R\$1,000)
露天掘削土	鋸状	川あり	29.14
	鋸状	川なし	25.76
	山型堆積	川あり	26.57
	山型堆積	川なし	23.18
	平坦	川あり	20.90
	平坦	川なし	17.51
選炭ボタ	平坦	川あり	86.3
	平坦	川なし	77.7
	傾斜	川あり	87.9
	傾斜	川なし	79.3
	(川、地下水なし)		18.2

11. 全体計画復旧コストには廃棄炭鉱、稼働炭鉱、休止炭鉱の復旧コストが含まれている。しかし、復旧コストには稼働炭鉱、休止炭鉱の現在の操業上の環境改善コストは含まれていない。復旧コストは、炭鉱閉鎖時点に必要な最終復旧コストで、その地域の環境の復元のためのものである。

12. 復旧コスト積算は表 D-21 に示す。土地利用別によるコスト積算の湿式被覆によるものを表 D-22 に、湿式/乾式被覆によるものを表 D-23 に示す。

表 D-21

全体復旧コスト積算

項目	湿式被覆(R\$1000)	湿式/乾式被覆(R\$1000)
人件費	22,411	21,198
部品	10,125	9,654
タイヤ	553	520
燃料/潤滑油	10,430	9,950
償却費	6,327	6,027
セメント	4,145	3,878
モルタル	1,842	1,818
砂	528	493
玉石	2,129	1,997
粘土	57,209	52,371
粘土ロイヤリテイ	17,213	15,757
碎石	18,339	15,198
石灰石	36,974	30,666
板材	2,386	2,182
角材	259	237
釘	69	63
棒鋼	5,013	4,415
化学肥料	3,846	3,854
種子	1,006	1,008
セルローズ	2,663	2,668
混濁液	947	949
有機物質	2,681	2,256
仮設・撤収費(5%)	11,297	10,252
エンジンオイル(5%)	11,862	10,765
コンテナレンタル(10%)	24,909	22,607
合計	274,003	248,673

表 D-22

土地利用別全体復旧コスト積算 (Wet Cover System)

Unit: \$R x 1000

Municipality	Waste Type	Topo Type	River	Abandoned		Active		Inactive		Total	
				Area (ha)	\$R x 1000	Area (ha)	\$R x 1000	Area (ha)	\$R x 1000	Area (ha)	\$R x 1000
Capivari de Baixo	Black Shale	Flat	No river	80.0	7,177					80.0	7,177
	Water	Pond	No river	80.0	7,177					80.0	7,177
		Sub-total		160.0	14,353					160.0	14,353
Oricuma	Black Shale	Flat	No river	87.0	6,761					87.0	6,761
	Black Shale	Flat	River flow	582.2	50,247	163.0	14,068	93.9	8,104	839.1	72,419
	Black Shale	Slope	No river	12.0	951					12.0	951
	Black Shale	Slope	River flow	58.0	5,097					58.0	5,097
	White Waste	Flat	No river	39.0	683					39.0	683
	White Waste	Flat	River flow	29.5	617					29.5	617
		Sub-total		897.7	64,356	163.0	14,068	93.9	8,104	1,064.6	86,528
Forquilha	Black Shale	Flat	River flow	163.5	14,284	191.2	16,502			354.7	30,785
	Water	Pond(flatBS)	River flow			28.0	2,417			28.0	2,417
		Sub-total		163.5	14,284	219.2	18,918			382.7	33,203
Iaua	Black Shale	Flat	River flow	36.0	3,107	8.8	759			44.8	3,866
	Black Shale	Flat	No river	11.4	886					11.4	886
	Black Shale	Flat	River flow	42.7	3,585	56.8	4,921			99.5	8,607
	Black Shale	Heap	No river	8.0	634					8.0	634
	Black Shale	Heap	River flow	32.2	2,830					32.2	2,830
	Black Shale	River Bank	River flow			27.8	2,421			27.8	2,421
	Black Shale	Slope	No river			8.0	634			8.0	634
	Black Shale	Slope	River flow					16.8	1,463	16.8	1,463
	Water	Pond	River flow			0.5	44	0.8	70	1.3	113
		Pond(flatBS)	River flow	0.5	43	3.0	259			3.5	302
		White Waste	Flat	No river	8.0	140					8.0
	White Waste	Heap	No river	115.1	2,668	8.8	204			123.9	2,872
	White Waste	Heap	River flow	128.5	3,414					128.5	3,414
	White Waste	Saw	No river	5.0	129					5.0	129
	White Waste	Saw	River flow	31.8	2,093	64.4	1,877	18.0	525	114.2	4,494
		Sub-total		433.2	16,522	169.3	10,360	35.6	2,637	628.1	28,939
Sideropolis	Black Shale	Flat	No river	18.0	1,399	197.0	14,843			209.0	16,241
	Black Shale	Flat	River flow	8.5	734					8.5	734
	Water	Pond	River flow	15.0	752					15.0	752
		Pond(flatBS)	River flow			1.0	86			1.0	86
		Pond(saw)	No river	25.0	644					25.0	644
		Pond(saw)	River flow	61.0	1,778					61.0	1,778
	White Waste	Flat	River flow	10.0	209					10.0	209
	White Waste	Saw	No river	113.0	2,911					113.0	2,911
	White Waste	Saw	River flow	628.4	22,762					628.4	22,762
			Sub-total		878.9	31,188	197.0	14,929			1,075.9
Trevizo	Black Shale	Flat	No river			120.8	9,387			120.8	9,387
	Black Shale	Flat	River flow	28.6	2,486					28.6	2,486
	Water	Pond(flatBS)	No river			8.0	622			8.0	622
		Pond(flatBS)	River flow	6.0	518					6.0	518
		Pond(saw)	River flow			2.0	58	6.0	175	8.0	233
	White Waste	Saw	No river	50.0	1,288					50.0	1,288
	White Waste	Saw	River flow	47.0	1,370	108.2	3,153	104.6	3,048	259.8	7,572
		Sub-total		131.8	5,661	239.0	13,221	110.6	3,223	481.4	22,103
Urussanga	Black Shale	Flat	No river	20.8	1,616					20.8	1,616
	Black Shale	Flat	River flow	31.5	2,719	157.2	13,567			189.7	16,286
	Black Shale	Slope	River flow					36.7	3,225	36.7	3,225
	Water	Pond(flatBS)	River flow			4.0	345			4.0	345
		Pond(saw)	No river			1.0	26			1.0	26
		Pond(saw)	River flow	3.5	102					3.5	102
		Pond(slopeBS)	River flow					1.5	132	1.5	132
	White Waste	Flat	River flow	19.0	397					19.0	397
	White Waste	Heap	No river	7.0	162					7.0	162
	White Waste	Saw	No river	322.8	8,315					322.8	8,315
White Waste	Saw	River flow	284.3	8,286					284.3	8,286	
		Sub-total		688.9	21,397	162.2	13,938	38.2	3,357	889.3	38,892
		Grand Total		3,292.0	171,069	1,153.5	86,193	278.3	16,742	4,723.8	274,003

表 D-23

土地利用別全体復旧コスト積算 (Dry Cover System)

Unit: SR x 1000

Municipality	Waste Type	Topo Type	River	Abandoned		Active		Inactive		Total	
				Area (ha)	SRx1000	Area (ha)	SRx1000	Area (ha)	SRx1000	Area (ha)	SRx1000
Capivari de Baixo	Black Shale	Flat	No river	80.0	7,177					80.0	7,177
	Water	Pond	No river	80.0	7,177					80.0	7,177
		Sub-total		160.0	14,355					160.0	14,355
Criciúma	Black Shale	Flat	No river	87.0	1,581					87.0	1,581
	Black Shale	Flat	River flow	582.2	50,247	163.0	14,064	93.9	8,164	839.1	72,419
	Black Shale	Slope	No river	12.0	951					12.0	951
	Black Shale	Slope	River flow	58.0	5,097					58.0	5,097
	White Waste	Flat	No river	39.0	683					39.0	683
	White Waste	Flat	River flow	29.5	617					29.5	617
	Sub-total		897.7	59,176	163.0	14,064	93.9	8,164	1,064.6	81,348	
Forquilha	Black Shale	Flat	River flow	165.3	14,284	191.2	16,502			356.5	30,786
	Water	Pond(fatBS)	River flow			28.0	2,417			28.0	2,417
		Sub-total		165.3	14,284	219.2	18,919			384.5	33,205
Itaúna	Black Shale	Flat	River flow	36.0	3,107	8.8	759			44.8	3,866
	Black Shale	Flat	No river	11.4	207					11.4	207
Leuro Müller	Black Shale	Flat	River flow	42.7	3,685	56.8	4,921			99.5	8,607
	Black Shale	Heap	No river	8.0	145					8.0	145
	Black Shale	Heap	River flow	32.2	2,830					32.2	2,830
	Black Shale	River Bank	River flow			27.8	2,421			27.8	2,421
	Black Shale	Slope	No river			8.0	145			8.0	145
	Black Shale	Slope	River flow					16.8	1,463	16.8	1,463
	Water	Pond	River flow			0.5	44	0.8	70	1.3	114
		Pond(fatBS)	River flow	0.5	43	3.0	239			3.5	302
	White Waste	Flat	No river	8.0	140					8.0	140
	White Waste	Heap	No river	115.1	2,668	8.8	204			123.9	2,872
	White Waste	Heap	River flow	128.5	3,414					128.5	3,414
	White Waste	Saw	No river	5.0	129					5.0	129
	White Waste	Saw	River flow	71.8	2,093	64.4	1,877	18.0	523	154.2	4,494
		Sub-total		473.7	15,354	169.3	9,871	35.6	2,057	678.7	27,282
Siderópolis	Black Shale	Flat	No river	18.0	327	191.0	3,352			209.0	3,679
	Black Shale	Flat	River flow	8.5	734					8.5	734
	Water	Pond	River flow	15.0	752					15.0	752
		Pond(fatBS)	River flow			1.0	86			1.0	86
		Pond(saw)	No river	25.0	644					25.0	644
		Pond(saw)	River flow	61.0	1,778					61.0	1,778
	White Waste	Flat	River flow	10.0	209					10.0	209
	White Waste	Saw	No river	113.0	2,911					113.0	2,911
	White Waste	Saw	River flow	62.8	22,762					62.8	22,762
	Sub-total		478.9	30,118	192.0	3,938			1,070.9	36,057	
Trezisa	Black Shale	Flat	No river			120.8	2,195			120.8	2,195
	Black Shale	Flat	River flow	28.8	2,486					28.8	2,486
	Water	Pond(fatBS)	No river			8.0	622			8.0	622
		Pond(fatBS)	River flow	6.0	518					6.0	518
		Pond(saw)	River flow			2.0	58	6.0	175	8.0	233
	White Waste	Saw	No river	50.0	1,288					50.0	1,288
	White Waste	Saw	River flow	47.0	1,370	108.2	3,153	104.6	3,048	259.8	7,572
	Sub-total		131.8	5,661	239.0	6,028	110.6	3,223	481.4	14,913	
Urussanga	Black Shale	Flat	No river	20.8	378					20.8	378
	Black Shale	Flat	River flow	31.5	2,719	157.2	13,567			188.7	16,286
	Black Shale	Slope	River flow					36.7	3,225	36.7	3,225
	Water	Pond(fatBS)	River flow			4.0	345			4.0	345
		Pond(saw)	No river			1.0	26			1.0	26
		Pond(saw)	River flow	3.5	102					3.5	102
		Pond(slopeBS)	River flow					1.5	132	1.5	132
	White Waste	Flat	River flow	19.0	397					19.0	397
	White Waste	Heap	No river	7.0	162					7.0	162
	White Waste	Saw	No river	322.8	8,315					322.8	8,315
White Waste	Saw	River flow	284.3	8,286					284.3	8,286	
	Sub-total		688.9	20,358	162.2	15,938	38.2	3,357	889.3	37,653	
	Grand Total		5,292.0	162,411	1,153.5	69,521	278.3	16,742	4,723.8	248,673	