

表 II-2
汚染された 3 河川の現状

パラメータ	非汚染地域 ^{a)}	汚染地域 ^{b)}	ブラジル環境基準 ^{c)}
pH	6 to 7	2 to 4	6 to 9
Iron(mg/l)	less than 4	10 to 190	5
Sulfate(mg/l)	8 to 25	100 to 2,000	250
Aluminum(mg/l)	less than 0.5	10 to 100	0.1

^{a)} 稼動炭鉱及び採掘跡の上流

^{b)} 稼動炭鉱及び採掘跡の下流

^{c)} ブラジル水質環境基準 Class 4

2.10 鉛、クロム、マンガンは硫酸イオン、鉄、アルミニウムと同じパターンを示す。例えば、汚染地域のその値は高く、いずれもブラジル基準（鉛：0.05mg/l、クロム：Cr³⁺0.5mg/l、マンガン：0.5mg/l）を越える。しかし、亜鉛（Zn）および銅（Cu）は、いずれの河川においても鉱山域で濃度が増加しているが、おおむねいずれの地点も基準値（亜鉛 5mg/l、銅 0.5mg/l）を超過していない。ヒ素（As）、カドミウム（Cd）、水銀（Hg）はいずれの河川においてもほとんど検出されていない。底質中の重金属濃度はいずれの河川においても鉱山域で濃度が急激に増加するが、天然賦存量と比較すると、どの重金属も通常の濃度範囲内かそれ以下である。

3. 稼動炭鉱地域

2.11 JICA チームは、1984 年 SEMA の規則に従って ZETA 及び IESA 社によって作られた ZETA/IESA ガイドラインの妥当性を評価するとともに、現在稼働中の鉱山会社 3 社において行われているボタの処分方法を調査した。ZETA/IESA ガイドラインは、酸性水防止、制御システムのためのもので、サンタカタリーナ州の鉱山会社と契約したコンサルタント会社が作成したものである。視察調査概要を以下に述べる。

2.12 全ての会社は選炭用水等を再使用するために、沈殿池を持っている。彼らはこの水循環システムをクローズドサーキットシステムと呼んでいるが、実際にはそうっていない。池からの放流水の pH は 3 以下で、基準の 6-9 に達していない。pH に関しては、放流先の河川も既に汚染されており、選炭場からの排水と河川に大きな違いはない。稼動鉱山からの排水の平均的水質を表 II-3 に示す。

表 II-3
稼働炭鉱からの排水

パラメータ	平均的稼働炭鉱排水 ^a	サンタカタリーナ州排水基準
pH	2.9	5 to 9
Iron(mg/l)	473	15
Sulfate(mg/l)	3,2748	1 ^b
Aluminum(mg/l)	117	0.1 ^c

^a 1997年1月、2月、5月に稼働7炭鉱で採取。

^b サンタカタリーナ州は Sulfate の基準がないため、連邦の基準。

^c サンタカタリーナ州は Aluminum の基準がないため、連邦の基準。

2.13 JICA チームは、ZETA/IESA ガイドラインをサンタカタリーナ州南部の鉱山ボタ処理の信頼出来る良いサンプルとみなしており、これを基に追加の提案を行った。しかし、実際には、どの炭鉱も FATMA 発行の環境許可で ZETA/IESA ガイドラインの実施を要求されているにも拘わらず、このガイドラインに従っていない。

C. FS サイト調査

1. 酸性水処理

(a) 炭鉱廃棄物の化学的評価

(i) 目的

2.14 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。

(ii) 方法

2.15 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。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(Electric Conductivity - EC)、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 (クリシウマ大学) /UNESC (南サンタカタリーナ大学) に輸送された。サンプルの一部は、US EPA Method 1312 (以下 EPA1312) を用いて全金属、溶出可能金属を分

析した。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。

(iii) 鉱山廃棄物の化学的特徴

2.16 FS サイトで採取した炭鉱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。露天掘削土(砂岩)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。ほとんどの黒ボタのサンプルが、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。また、FS サイト毎に化学的特徴が見られた。

(b) 処理試験結果

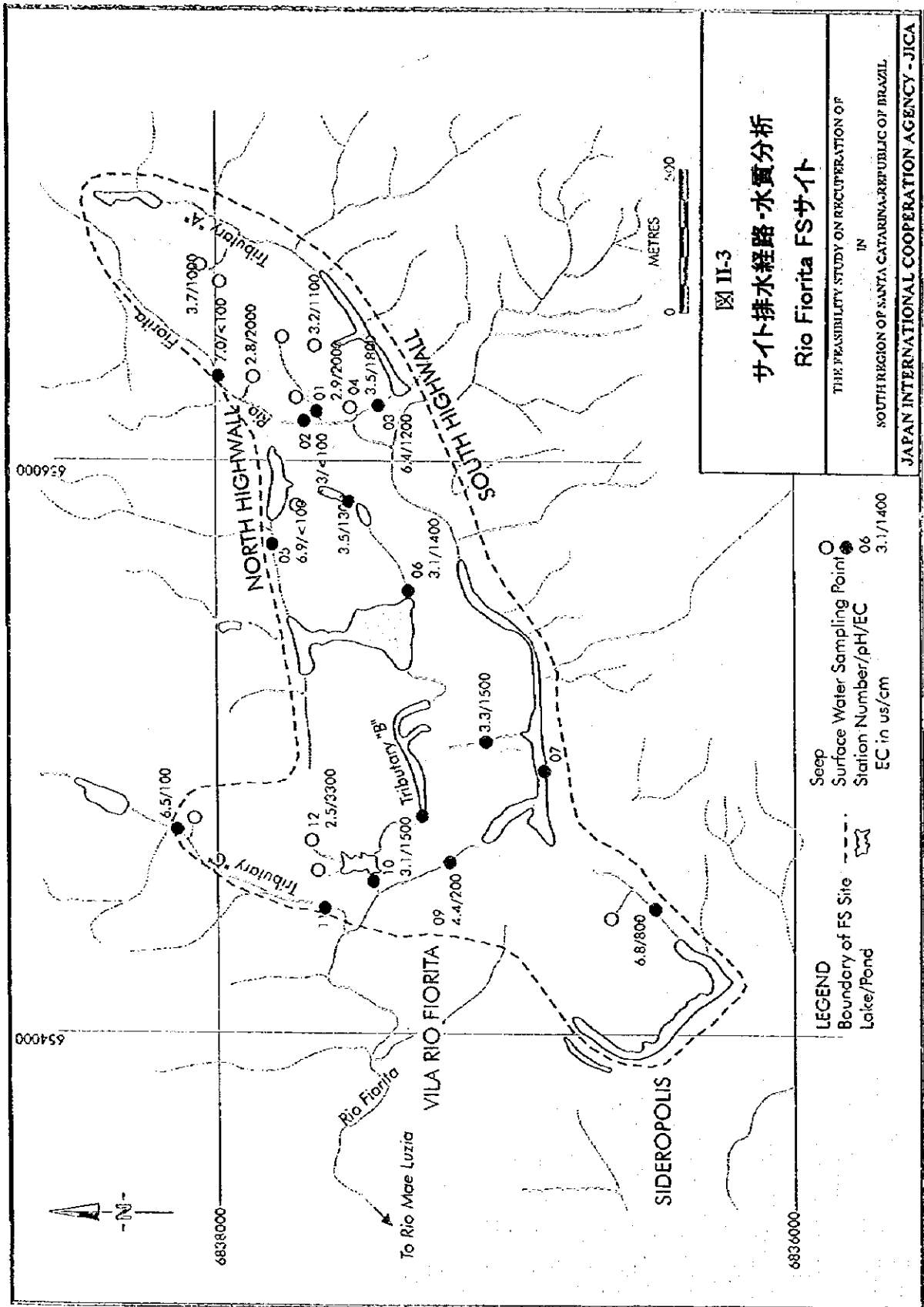
2.17 室内処理試験は、1997年2月から3月にかけて FUCRI/UNESC の環境研究センターで行われた。ここで述べる処理試験は廃棄物中和実験、殺生物剤処理実験、酸性水中和・沈殿実験、パッシブな方法による生物処理実験である。

2. FS サイト復旧対策代替案

(a) Rio Fiorita 復旧対策代替案

(i) 詳細

2.18 採炭跡の復旧(リクレーション)が行われなかったために、ドラッ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、その総面積は230haにも及ぶ(図II-3)。また、池や湖が北側や南側の最終残壁沿い、或いはボタ山周辺に残っているサイト内の道路や小川沿いには、黒ボタや選炭ボタが堆積している。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。



2.19 砂岩には黄鉄鉱は含まれておらず、酸性水発生源ではない。更に、固い砂岩のため、露天掘削土は長年放置されたままであるが、崩壊や川床上昇の原因となる侵食が見られず、安定した状況にある。Rio Fiorita FS サイトの復旧では、この問題に対する防護策は必要ない。そのため露天掘削土の復旧は、土地利用と景観の観点からのみ考慮すればよい。それで、このサイトの復旧対策代替案として、(i) 地表整地と植生のための表土被覆、(ii) そのまま放置の2案を検討した。

2.20 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。

2.21 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(薬品・機械設備等を用いない)処理と白ボタ堆積の復旧である(図 II-4)。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1m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 を施した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(図 II-5)。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的処理をする(図 II-6)。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。

1. 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
2. 現地にある池での水中処理
3. サイト内ボタ貯蔵所の構築
4. ウエットランドシステムの建設
5. 流水路の浸食防止と瀑気段差機構の建設
6. 清水の迂回路
7. 白ボタの復旧(単層乾式被覆)

2.22 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、パッシブな処理並びに白ボタの堆積復旧である(図 II-7)。代替案 1と大きく異なる点は汚

RIO FIORITA REMEDIAL ALTERNATIVE

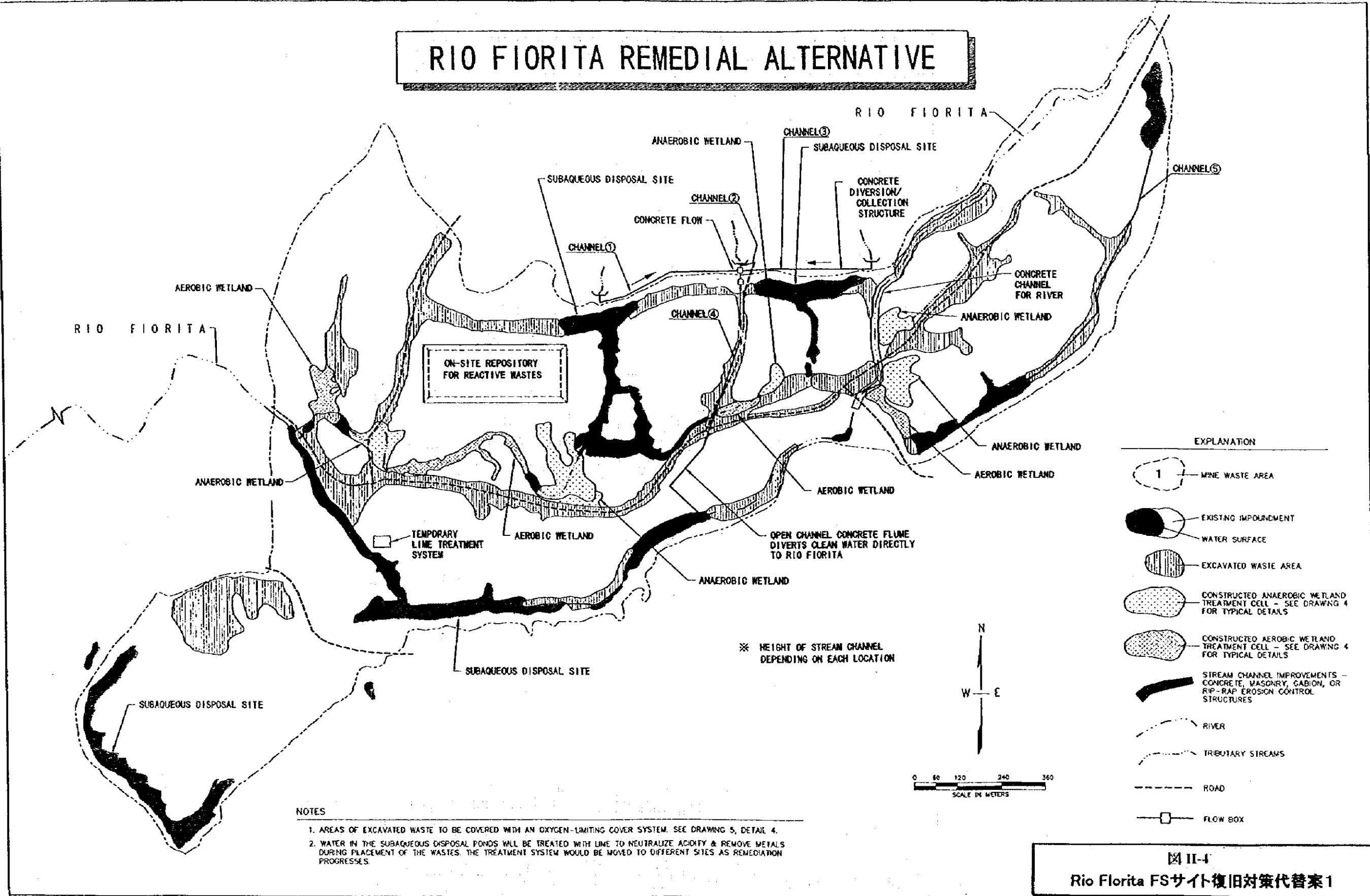
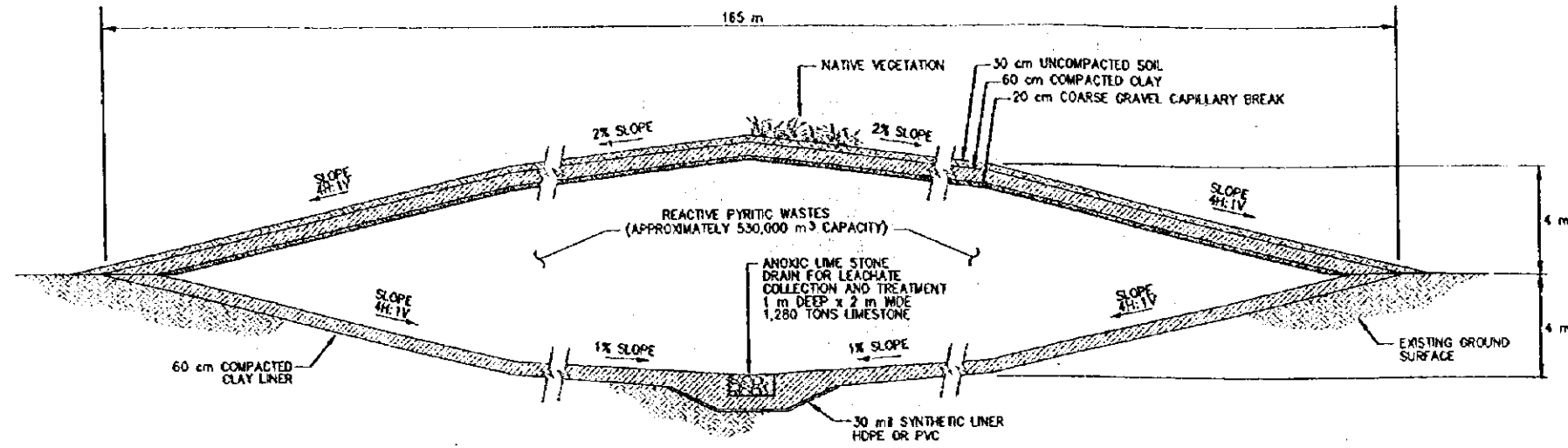
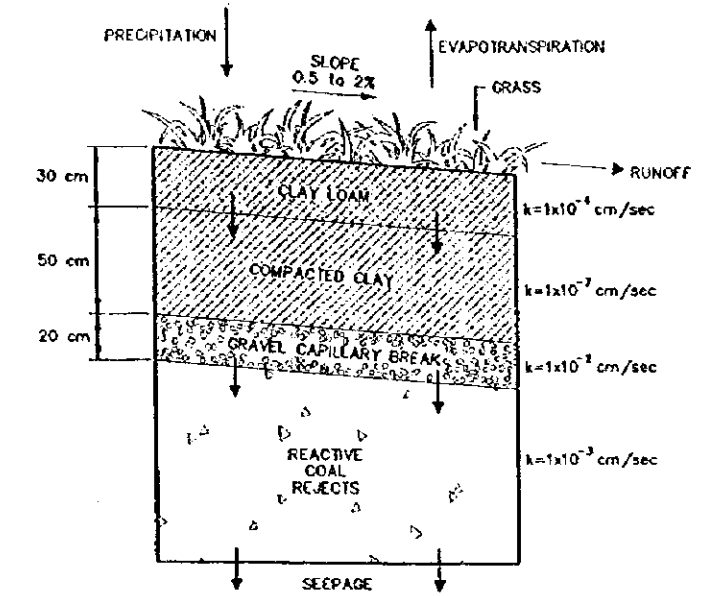


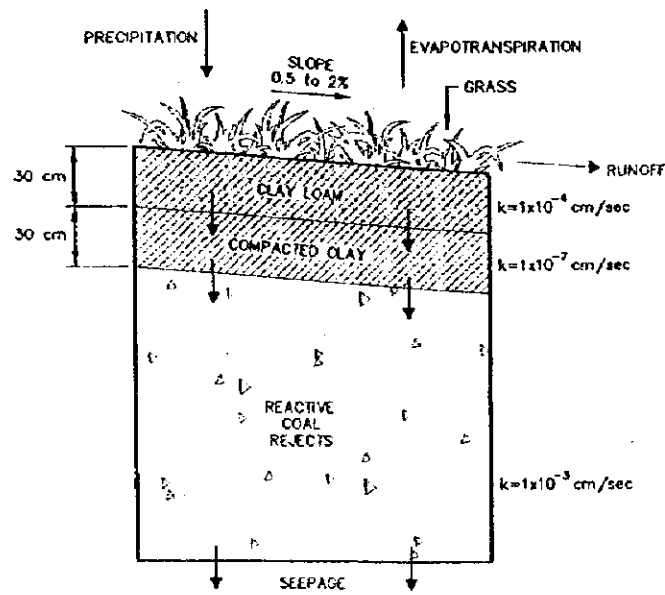
図 II-4
Rio Fiorita FSサイト復旧対策代替案1



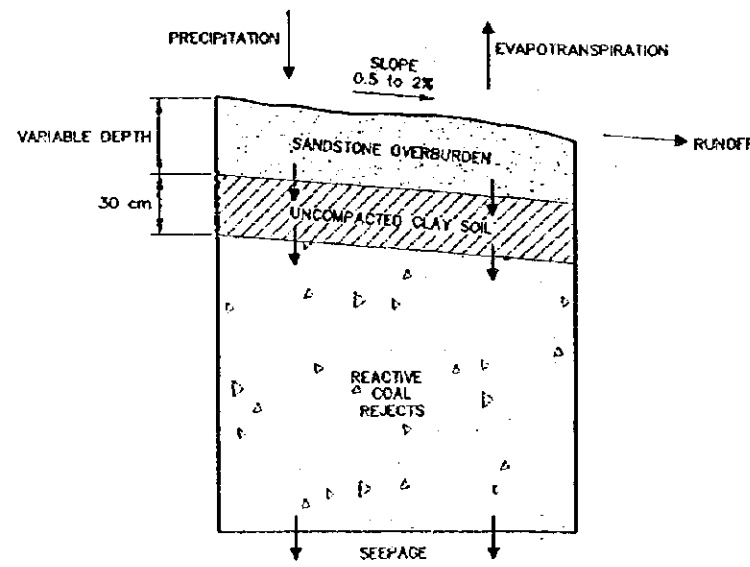
SECTION A
NOT TO SCALE



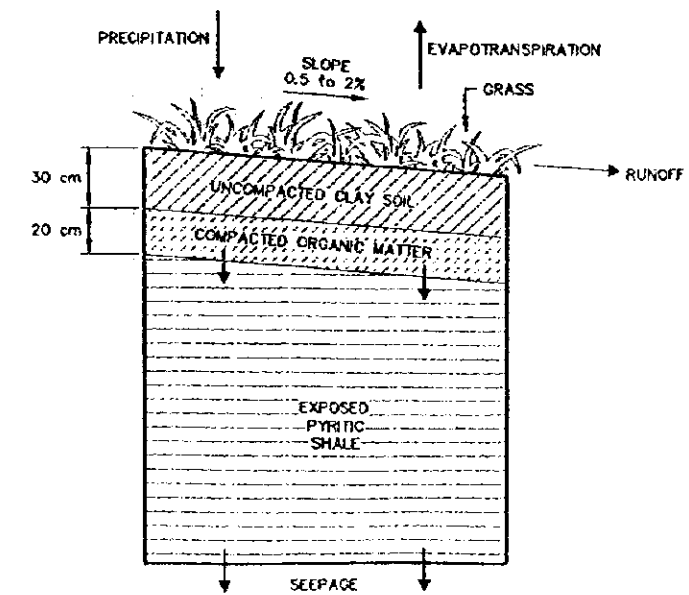
DETAIL 1
TYPICAL WET COVER SYSTEM



DETAIL 2
TYPE I DRY COVER SYSTEM



DETAIL 3
TYPE II DRY COVER SYSTEM



DETAIL 4
OXYGEN-LIMITING COVER SYSTEM

図 II-5
Rio Fiorita FSサイトにおける被覆の種類

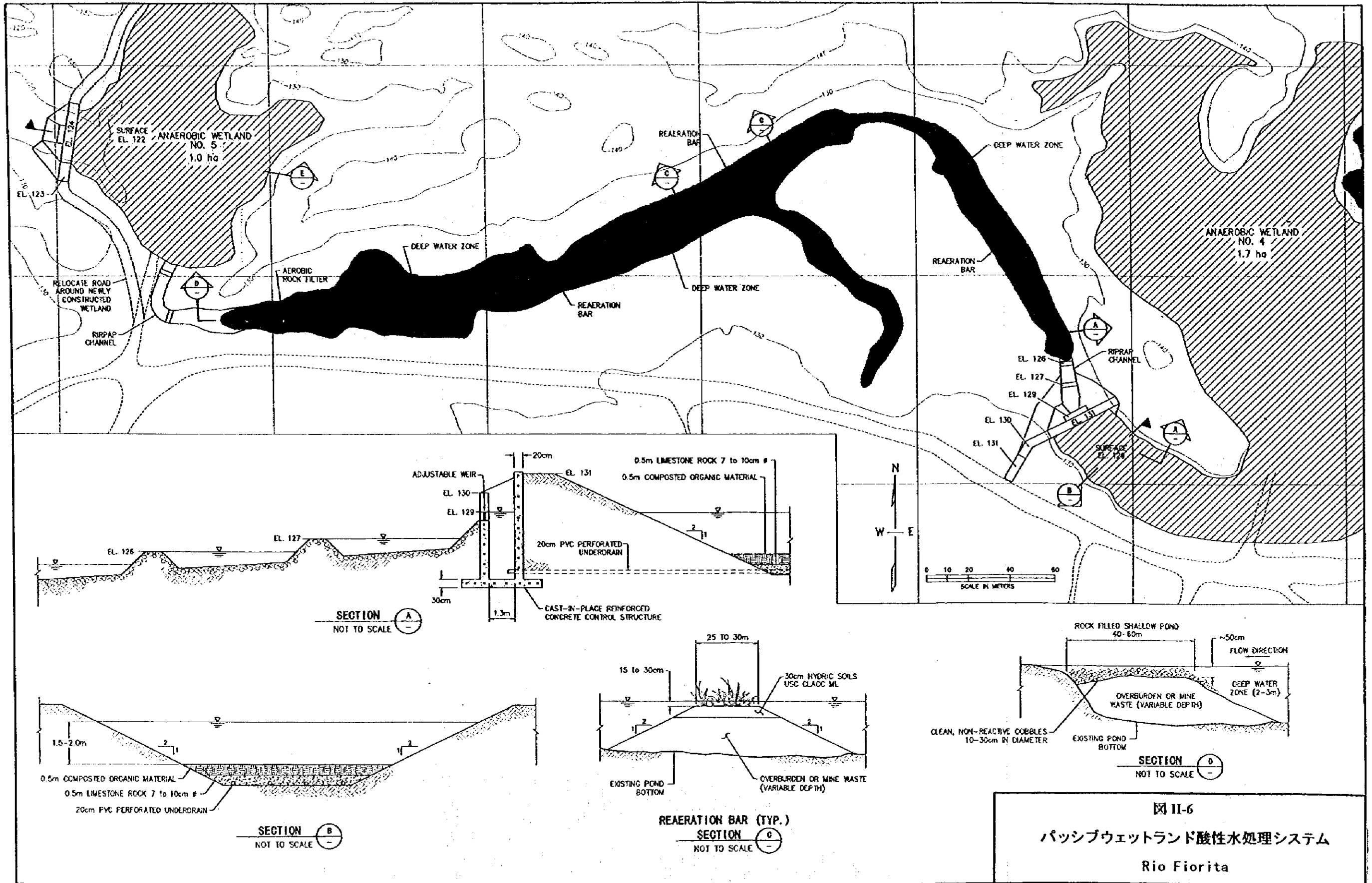


図 II-6
 パッシブウェットランド酸性水処理システム
 Rio Fiorita

RIO FIORITA REMEDIAL ALTERNATIVE

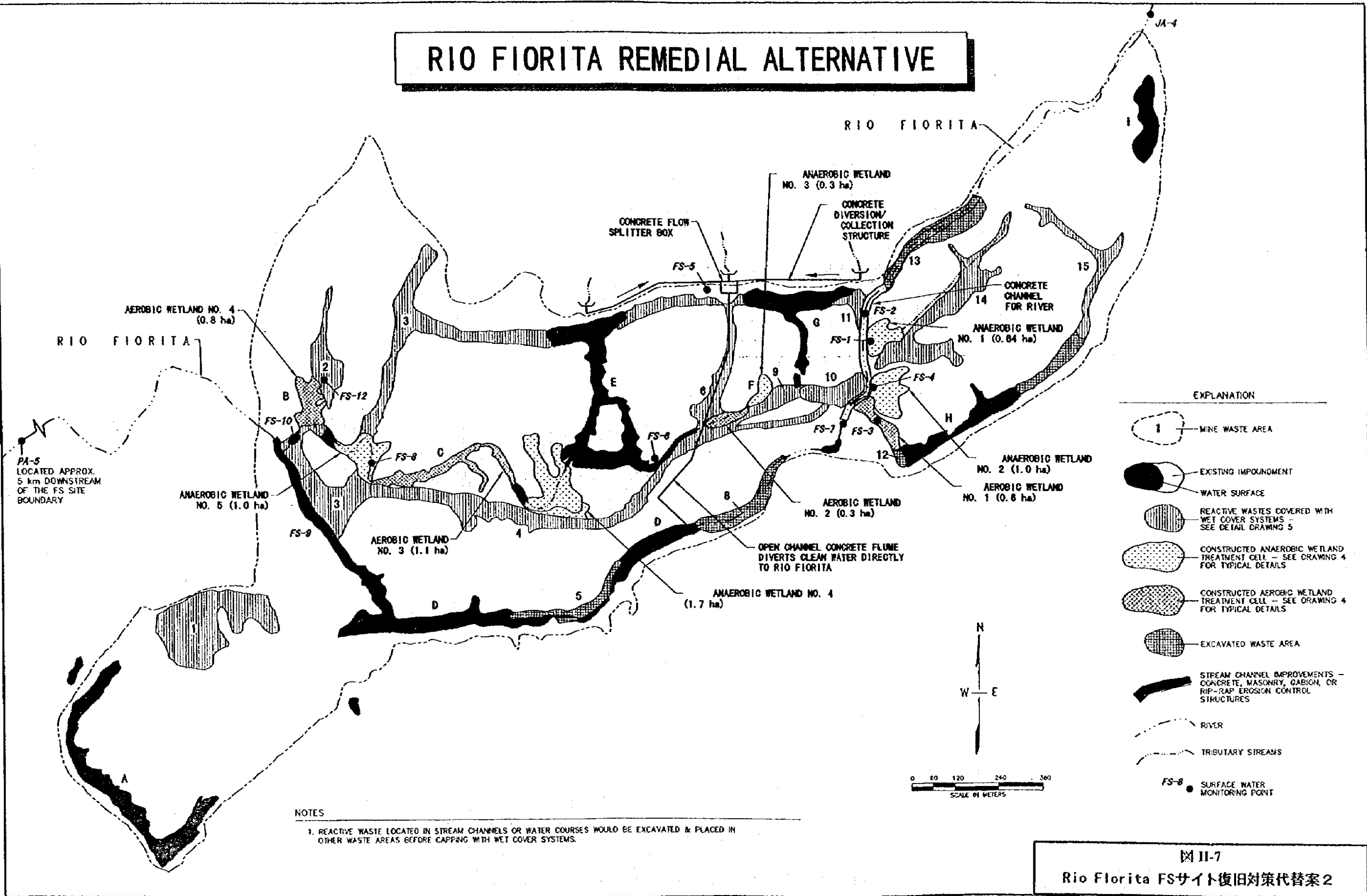
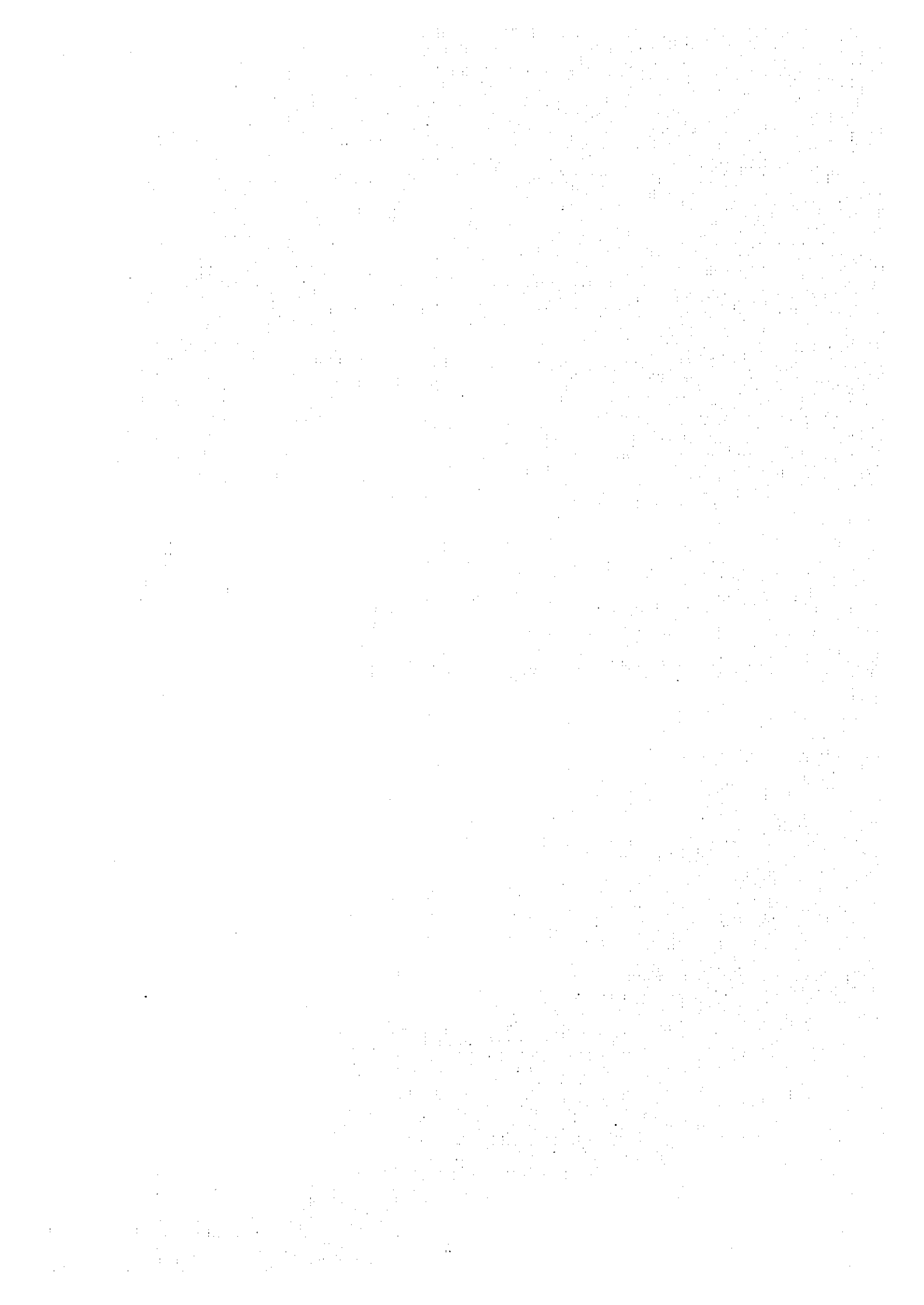


図 II-7
Rio Fiorita FSサイト復旧対策代替案2



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、その場で湿式被覆で覆う。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。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。

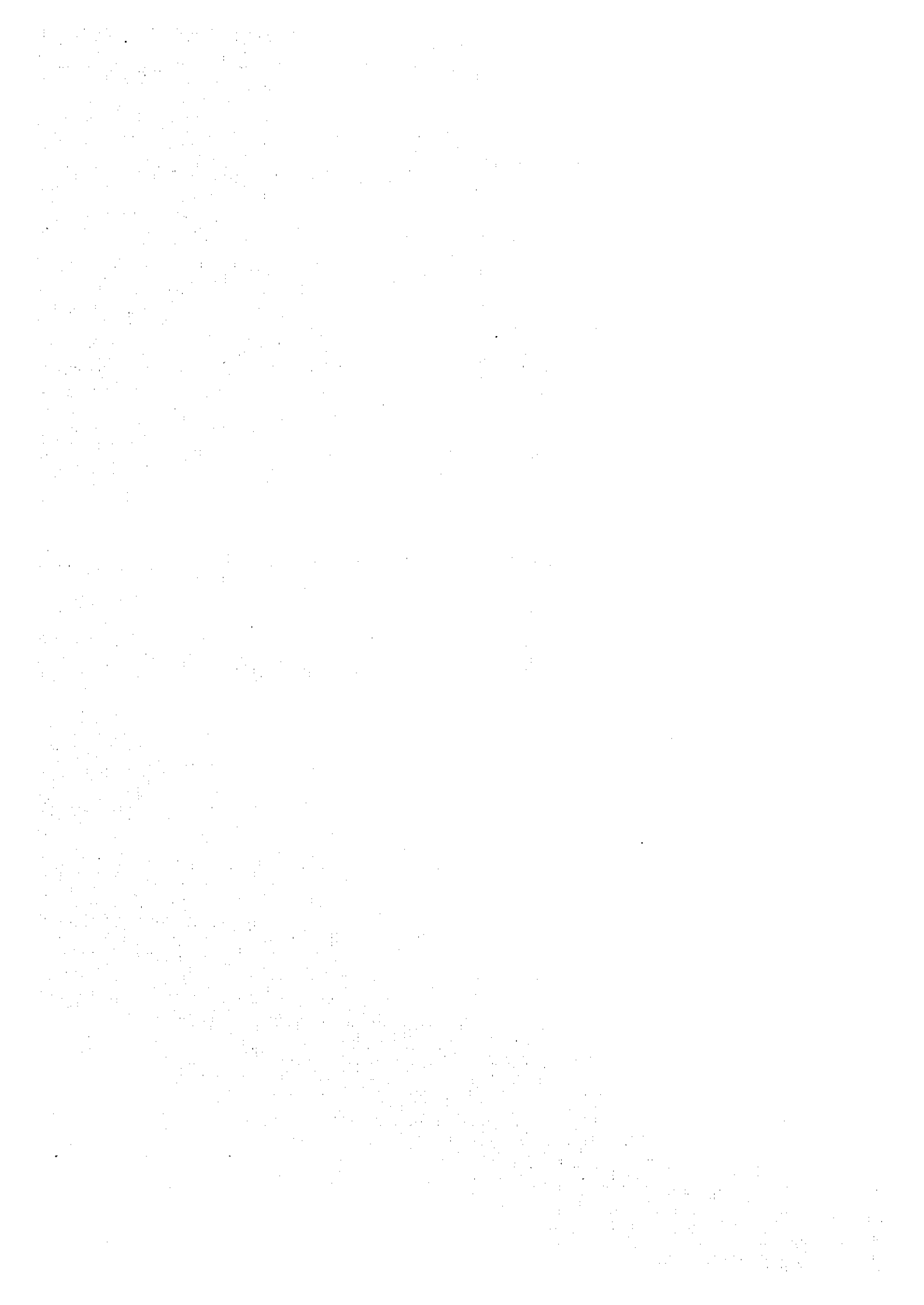
1. 湿式被覆システムによる汚染原因ボタの被覆
2. 限定された汚染原因ボタの掘り起こしとサイト内処分
3. パッシブウエットランドシステムの建設
4. 流水路の浸食防止と曝気段差機構
5. 清水の迂回路
6. 白ボタの復旧

2.23 代替案 3: 本案の特徴は、汚染源のコントロール、パッシブな処理、白ボタの堆積復旧である(図 H-8)。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。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。

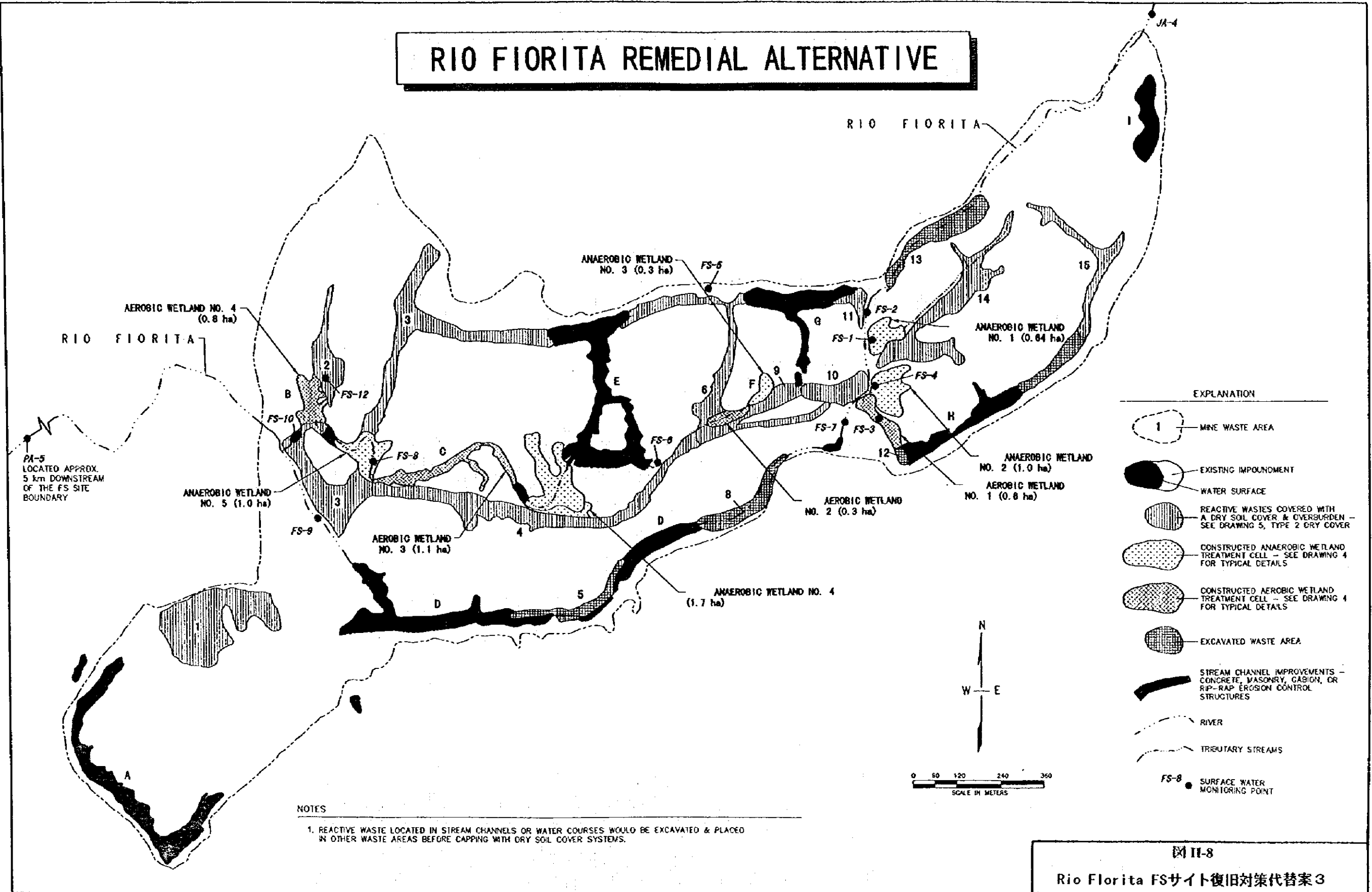
1. 乾式土壌被覆法による汚染原因ボタの被覆
2. 限定された汚染原因ボタの掘り起こしとサイト内処理
3. パッシブウエットランドの建設
4. 流水路の浸食防止と曝気段差機構の建設
5. 清水の迂回路
6. 白ボタの復旧(単層乾式被覆)

2.24 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。

(ii) 復旧コストと有効性評価

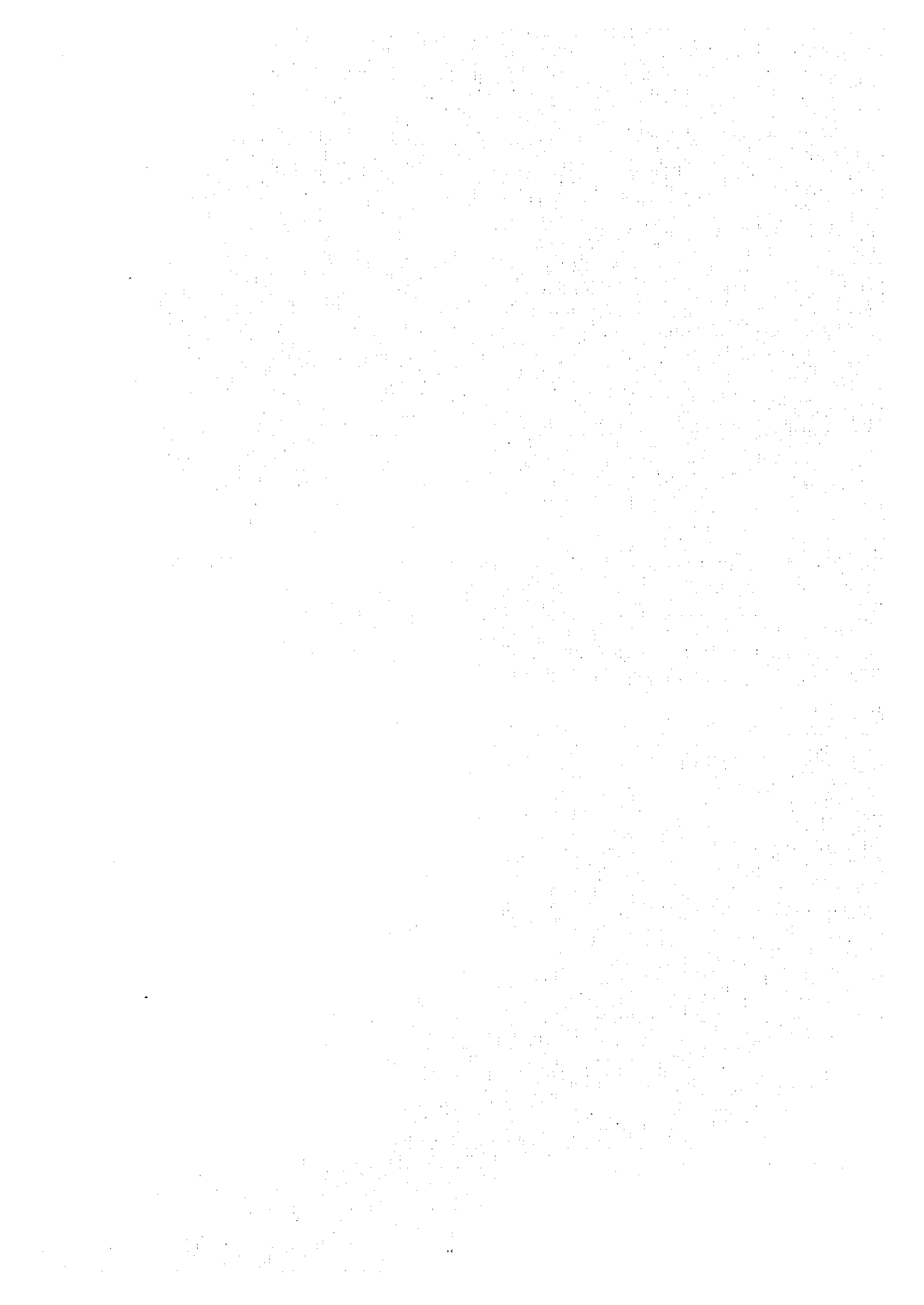


RIO FIORITA REMEDIAL ALTERNATIVE



NOTES
 1. REACTIVE WASTE LOCATED IN STREAM CHANNELS OR WATER COURSES WOULD BE EXCAVATED & PLACED IN OTHER WASTE AREAS BEFORE CAPPING WITH DRY SOIL COVER SYSTEMS.

図 II-8
 Rio Fiorita FSサイト復旧対策代替案3



2.25 Rio Fiorita FSサイトの復旧対策後の水質予測のためにいくつかのケースを設け、数値シミュレーションを行った。同時に、負荷減少効果とコストも検討した。その結果を表 II-4に示す。

表 II-4
Rio Fioritaの復旧コストと有効性

代替案	負荷減少率 (%)	pH*	費用(百万R\$)
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 (現状pH=3.5)

2.26 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、pHはブラジルの表流水の水質環境基準(6-9)に適合しない。白ボタの復旧の効果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 の夫々間に差違はでていない。

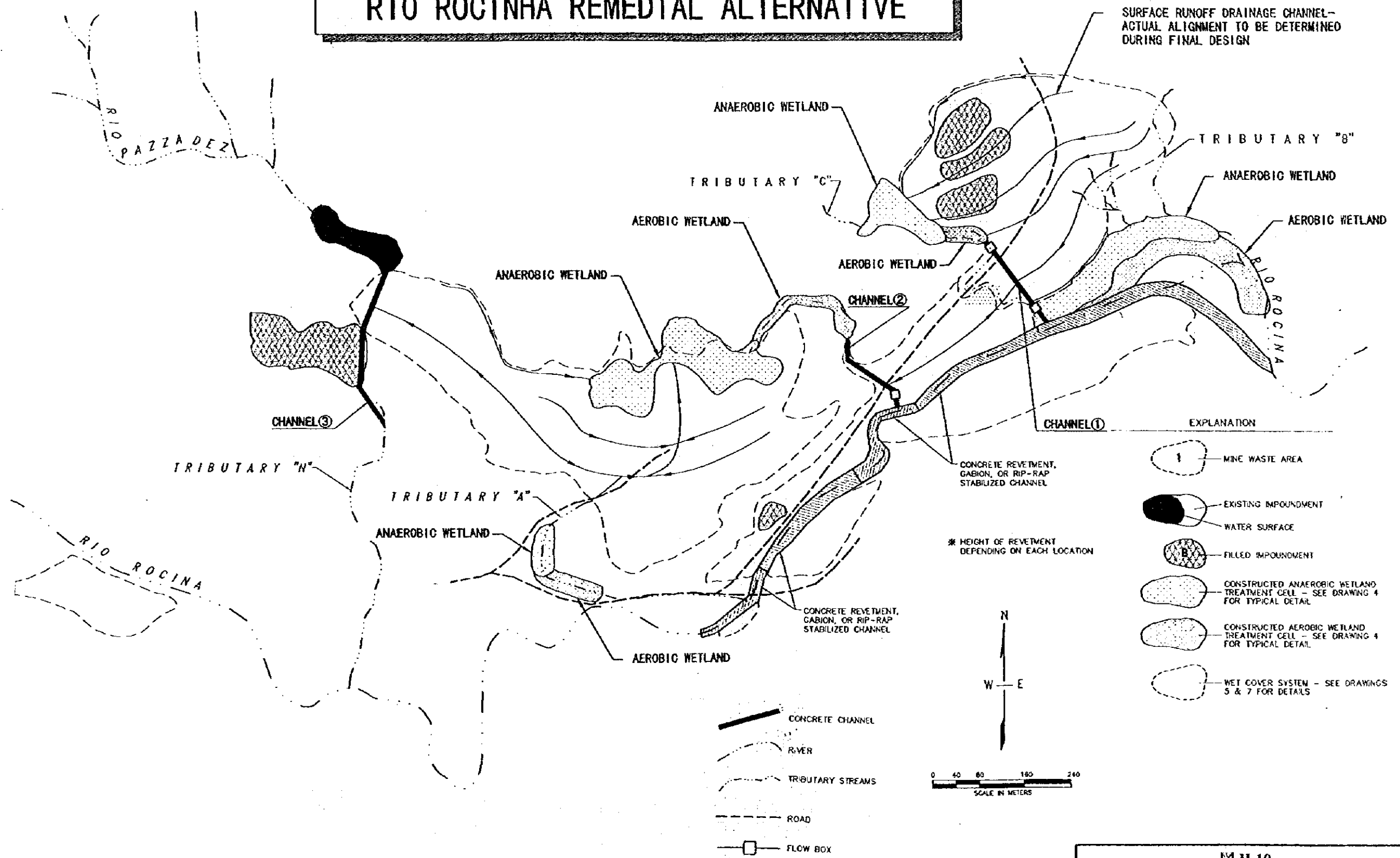
(b) Rocinha 復旧対策代替案

(i) 詳細

2.27 Rocinha FS サイトは約 71 ha の面積があり、Rocinha 川の兩岸に亘っていて、かつて幾つかの選炭工場が操業していた (図 II-9)。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。Rocinha 川の支流である Rio Pazza Dez は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。元の谷の地形は分からなくなった。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ている。

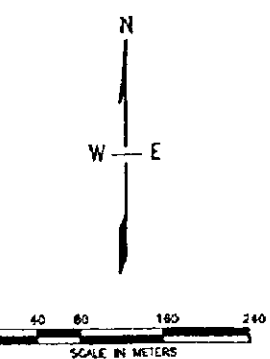
2.28 代替案 1: この代替案の特徴は鉱害源の封じ込め、パッシブな処理、浸食防止対策にある (図 II-10)。黄鉄鉱を含む黒ボタは平らにならし、その場で湿式被覆即ち

RIO ROCINHA REMEDIAL ALTERNATIVE



SURFACE RUNOFF DRAINAGE CHANNEL - ACTUAL ALIGNMENT TO BE DETERMINED DURING FINAL DESIGN

- EXPLANATION
- MINE WASTE AREA
 - EXISTING IMPOUNDMENT
 - WATER SURFACE
 - FILLED IMPOUNDMENT
 - CONSTRUCTED ANAEROBIC WETLAND TREATMENT CELL - SEE DRAWING 4 FOR TYPICAL DETAIL
 - CONSTRUCTED AEROBIC WETLAND TREATMENT CELL - SEE DRAWING 4 FOR TYPICAL DETAIL
 - WET COVER SYSTEM - SEE DRAWINGS 5 & 7 FOR DETAILS



- CONCRETE CHANNEL
- RIVER
- TRIBUTARY STREAMS
- ROAD
- FLOW BOX

図 II-10
Rio Rocinha FSサイト復旧対策代替案1

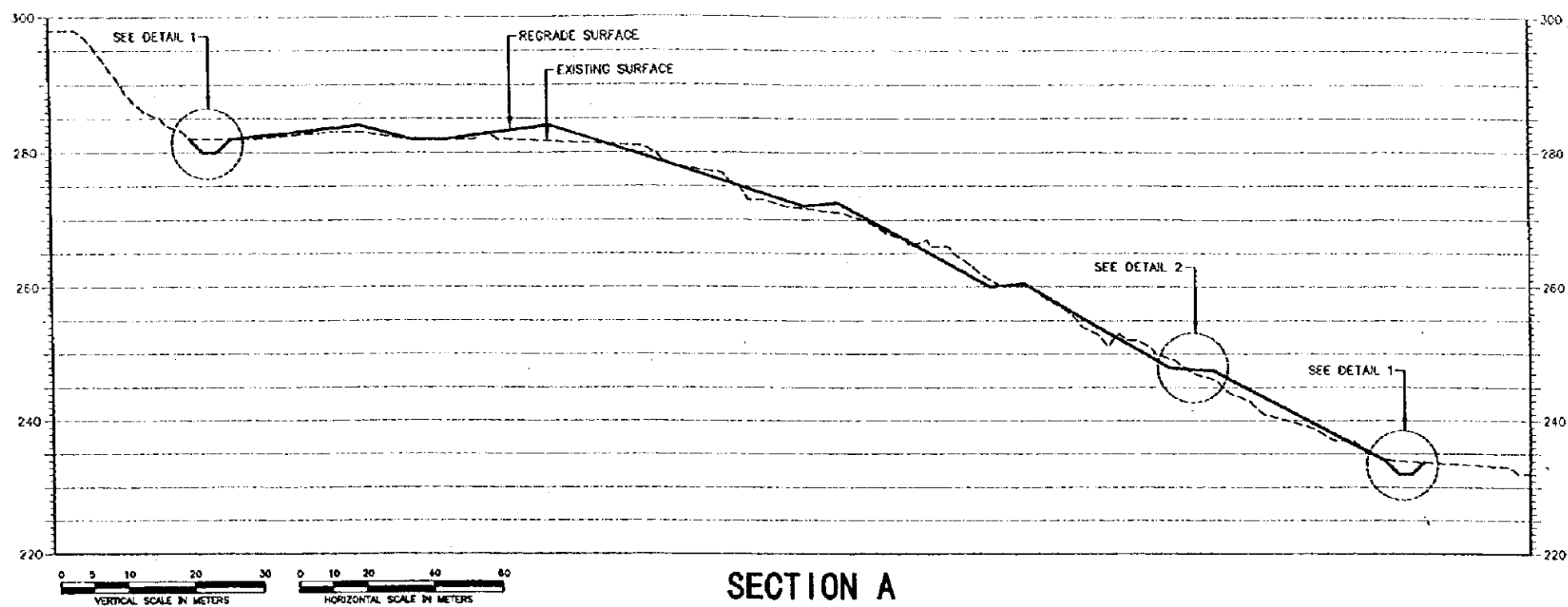
毛管バリアで覆う。地表の排水路は豪雨に対し浸食の低減をはかり、被覆した区域に入らぬ様に水流を導く（図 II-11）。被覆の前に汚染原因ボタの上に石灰層を形成する。現在ある沈殿池は排水され、その下に堆積するボタへの浸透を防ぐため埋め立てるが、池に溜まっている汚染水は好気性及び嫌気性のウエットランドを含むパッシブな生物学的方法で処理される。FS サイト上流の Pazza Dez 川を流れる清水は、途中からコンクリート排水溝で Rocinha 川に導水する。現在は、Pazza Rez 川の流れの一部は汚染原因ボタを通して伏流し、RS-9地点で排水されていると考えらる。本代替案の諸対策は、次の通りである。

1. 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
2. 汚染原因ボタの上に石灰層を形成
3. 限定された汚染原因ボタの掘り起こしとサイト内処理
4. 沈殿池の排水と埋め立て
5. パッシブウエットランドシステムの建設
6. 排水路の浸食防止と瀑気段差の設置
7. 清水路の迂回
8. Rocinha 川の改修

2.29 代替案 2: この案の特徴は、鉍害源の封じ込め、パッシブな処理、排水路による浸食防止にある（図 II-12）。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。

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

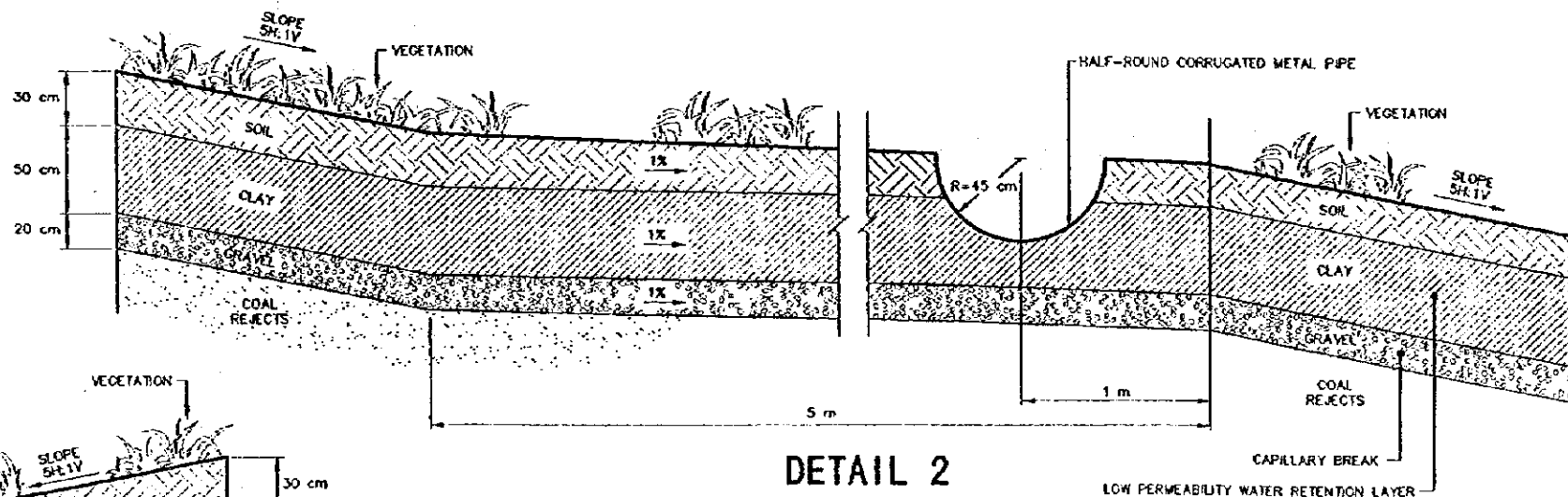
2.30 代替案 3: この案の特徴は、鉍害源の封じ込め、浸食防止を骨子とする（図 II-13）。代替案 1 及び 2 で提案したパッシブウエットランドによる処理システムは本案からは省かれている。本代替案の諸対策は、次の通りである。



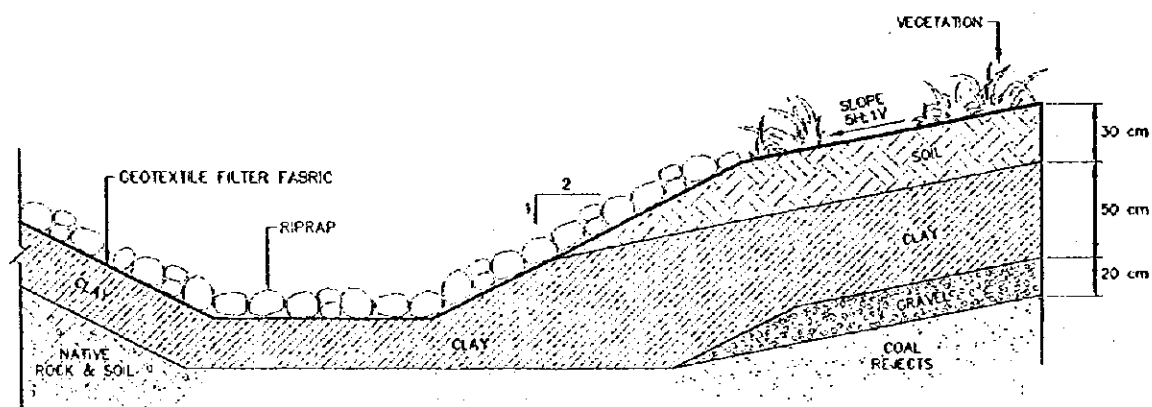
SECTION A

NOTE

1. APPLY HYDRATED LIME OR FINELY GROUND LIMESTONE TO THE SURFACE OF THE REACTIVE COAL REJECTS DURING FINAL GRADING PRIOR TO INSTALLATION OF THE WET COVER SYSTEM.



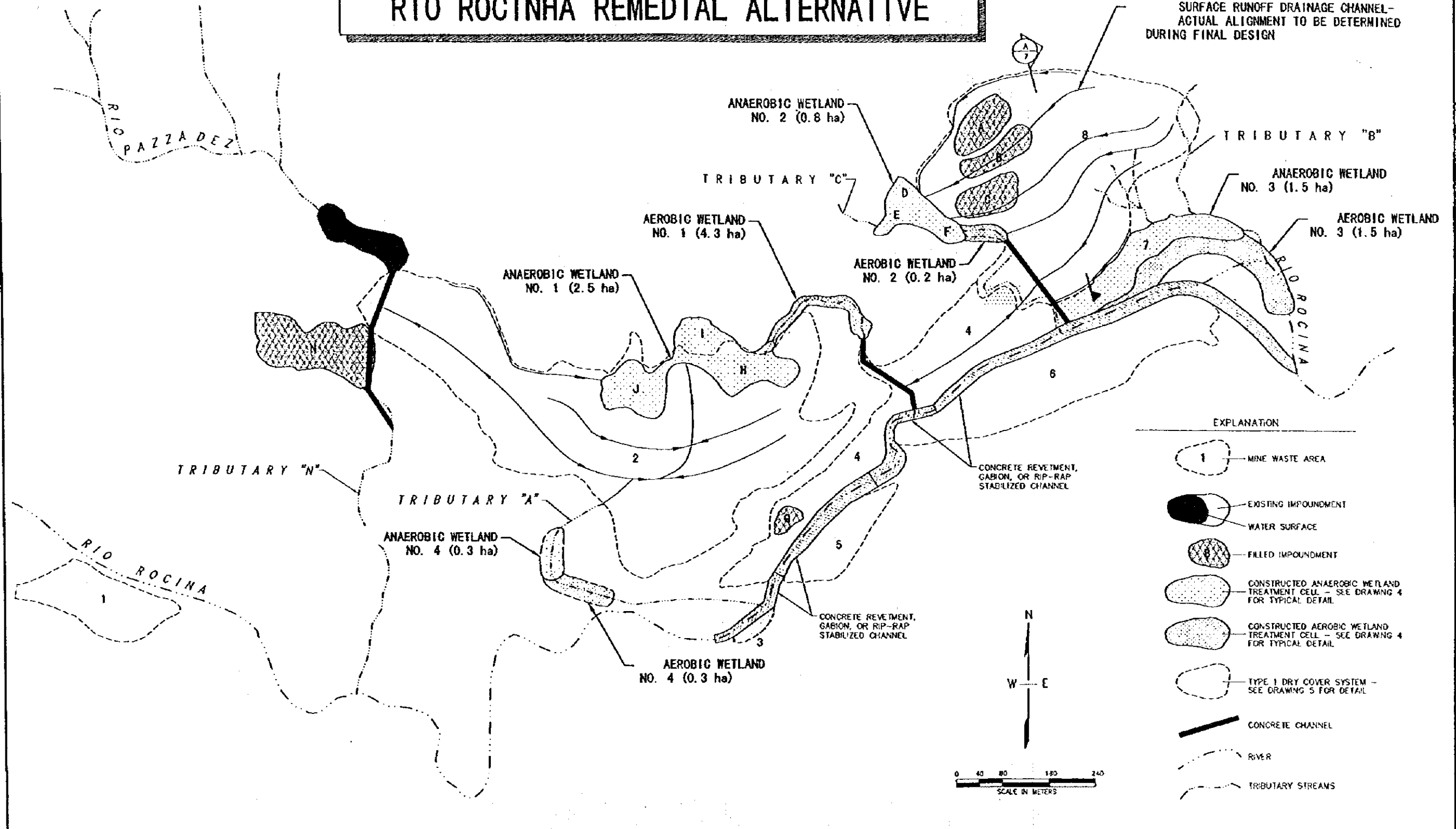
DETAIL 2



DETAIL 1

図 II-11
復旧対策代替案1 被覆設計図
Rio Rocinha FSサイト

RIO ROCINHA REMEDIAL ALTERNATIVE

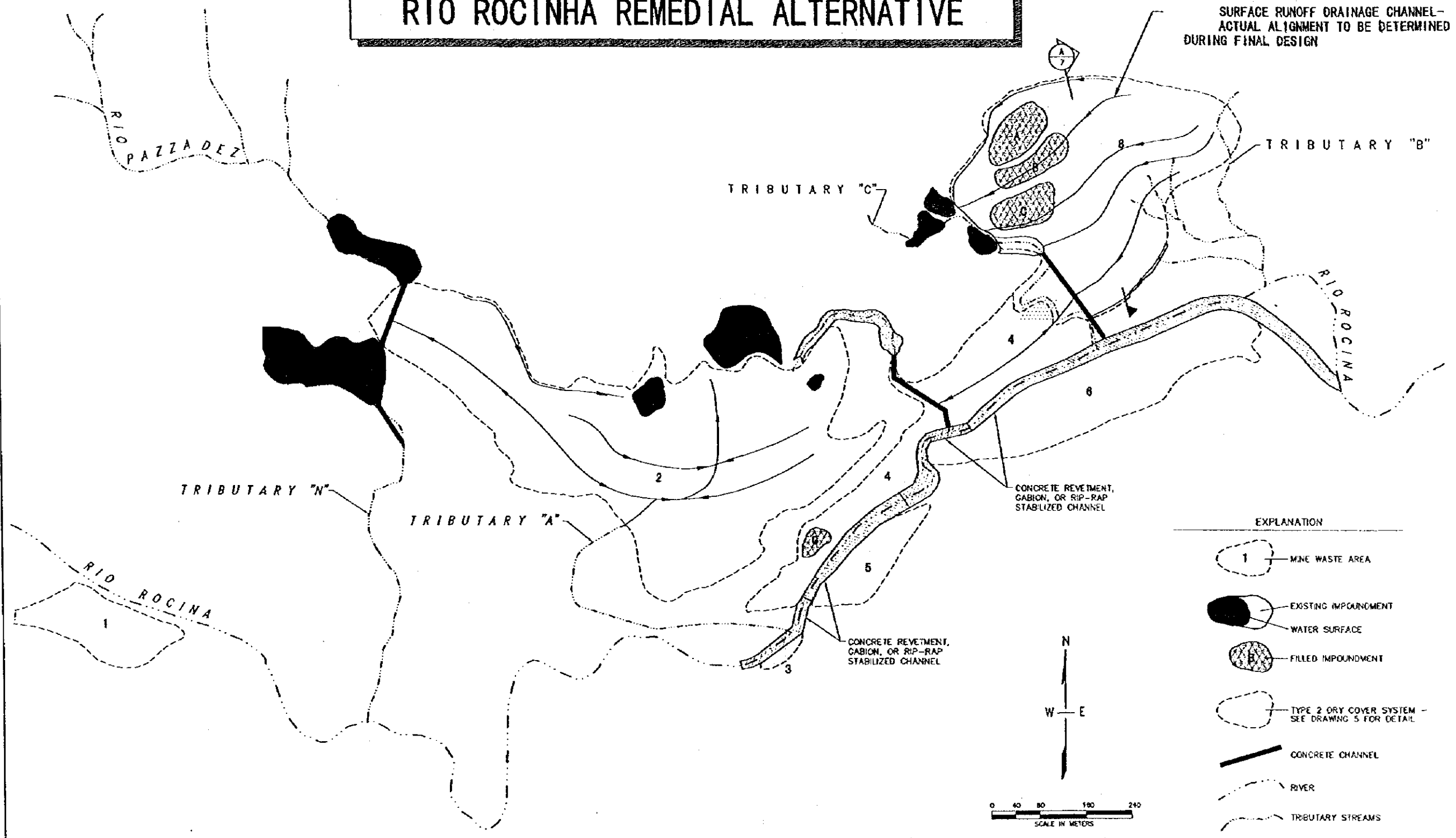


SURFACE RUNOFF DRAINAGE CHANNEL - ACTUAL ALIGNMENT TO BE DETERMINED DURING FINAL DESIGN

- EXPLANATION
- 1 MINE WASTE AREA
 - EXISTING IMPOUNDMENT
 - WATER SURFACE
 - FILLED IMPOUNDMENT
 - CONSTRUCTED ANAEROBIC WETLAND TREATMENT CELL - SEE DRAWING 4 FOR TYPICAL DETAIL
 - CONSTRUCTED AEROBIC WETLAND TREATMENT CELL - SEE DRAWING 4 FOR TYPICAL DETAIL
 - TYPE 1 DRY COVER SYSTEM - SEE DRAWING 5 FOR DETAIL
 - CONCRETE CHANNEL
 - RIVER
 - TRIBUTARY STREAMS

図 II-12
Rio Rocinha FSサイト復旧対策代替案2

RIO ROCINHA REMEDIAL ALTERNATIVE



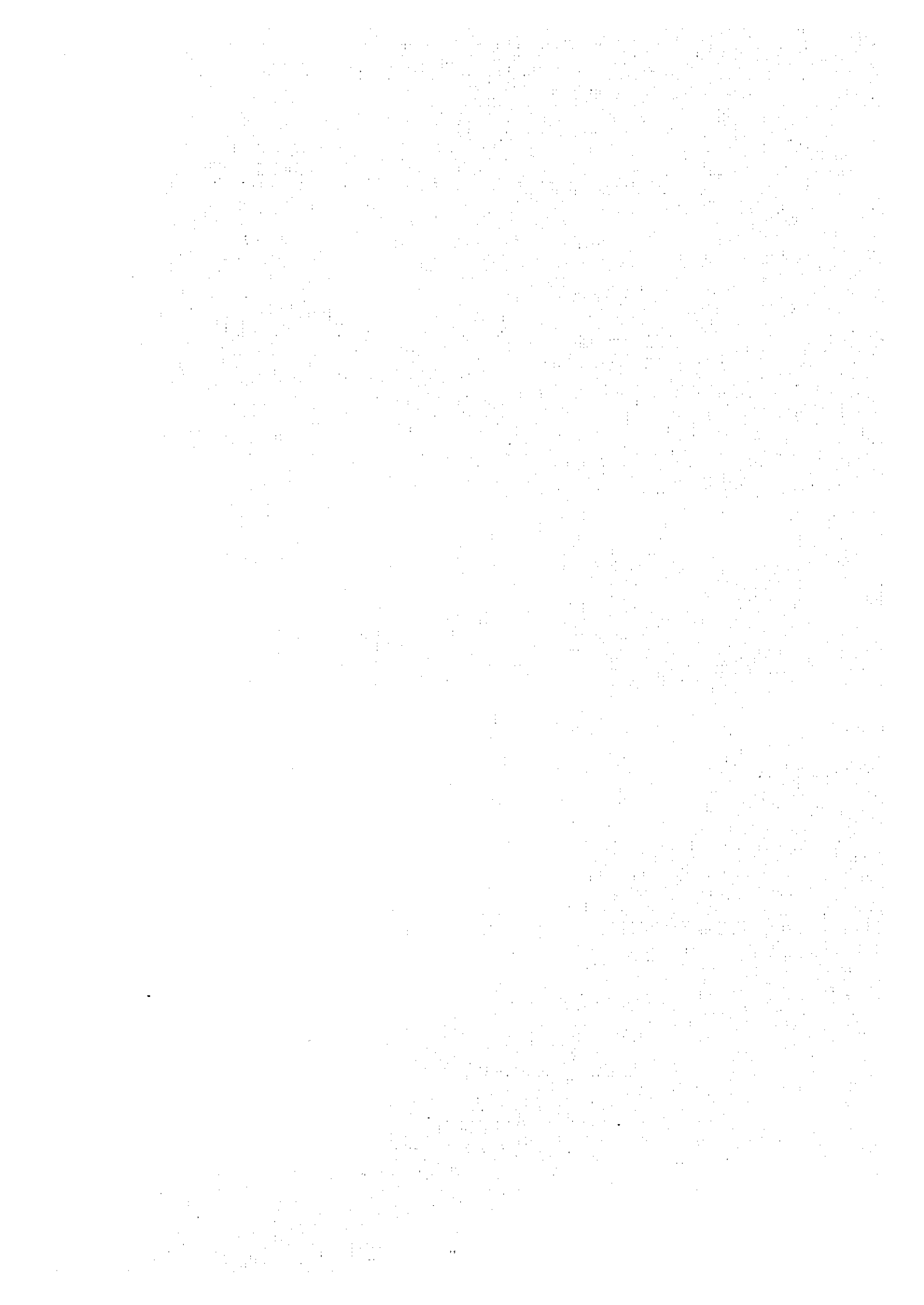
SURFACE RUNOFF DRAINAGE CHANNEL -
ACTUAL ALIGNMENT TO BE DETERMINED
DURING FINAL DESIGN

EXPLANATION

- 1 MINE WASTE AREA
- EXISTING IMPOUNDMENT
- WATER SURFACE
- FILLED IMPOUNDMENT
- TYPE 2 DRY COVER SYSTEM -
SEE DRAWING 5 FOR DETAIL
- CONCRETE CHANNEL
- RIVER
- TRIBUTARY STREAMS

0 40 80 160 240
SCALE IN METERS

図 II-13
Rio Rocinha FSサイト復旧対策代替案3



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

(ii) 復旧コストと有効性評価

2.31 Rio Rocinha FSサイトの復旧対策後の水質予測のために数値シミュレーションを行った。同時に、負荷減少効果とコストも検討した。その結果を表 II-5に示す。

表 II-5
Rio Rocinhaの復旧コストと有効性

代替案	負荷低減率 (%)	pH*	費用(百万RS)
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 (現状pH = 3.1)

2.32 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、pHは現在のブラジルの表流水の環境基準まで回復しない。

(c) Carvão 復旧対策代替案

(i) 詳細

2.33 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。坑口は広場(2ha以内) に面してお

り、地表水は約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。坑口からの流出量は4.3から20m³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。

2.34 Santana 炭鉱からの坑内排水は決して大きな鉱害源ではない。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に再選炭が行われていることにある(図 II-14)。この大きな汚染負荷の供給があるにも拘わらず、このボタ堆積は Rio Carvão FS サイトに含まれていない。

2.35 代替案 1: この案は、アクティブ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(図 II-15)。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(図 II-16)。

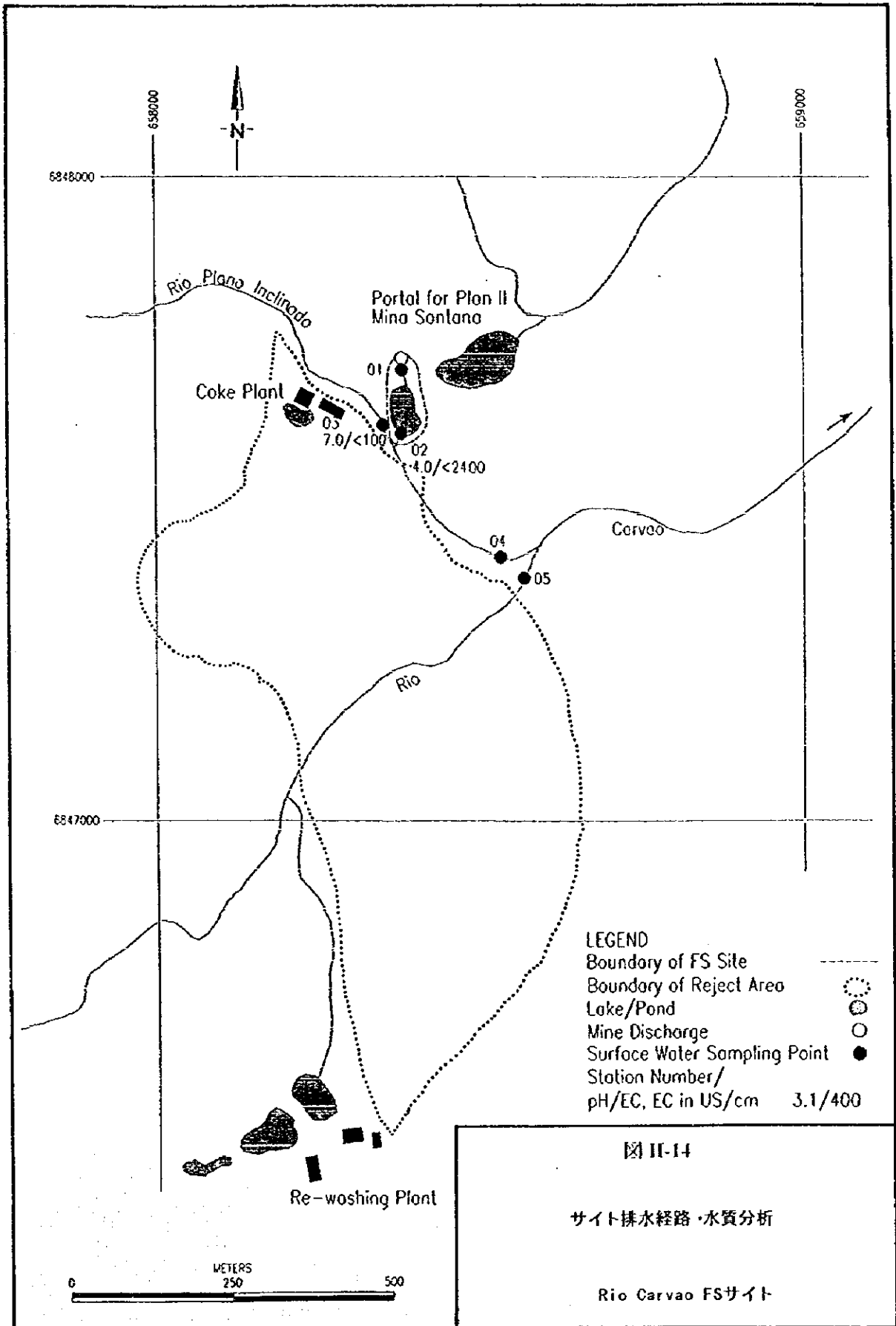
2.36 代替案 2: この案は、パッシブウエットランド処理によるものである。Santana 坑からの排水を酸性度及び金属類の負荷を低減するため好気性及び嫌気性のウエットランドを利用して処理する。

2.37 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(図 II-17)。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。

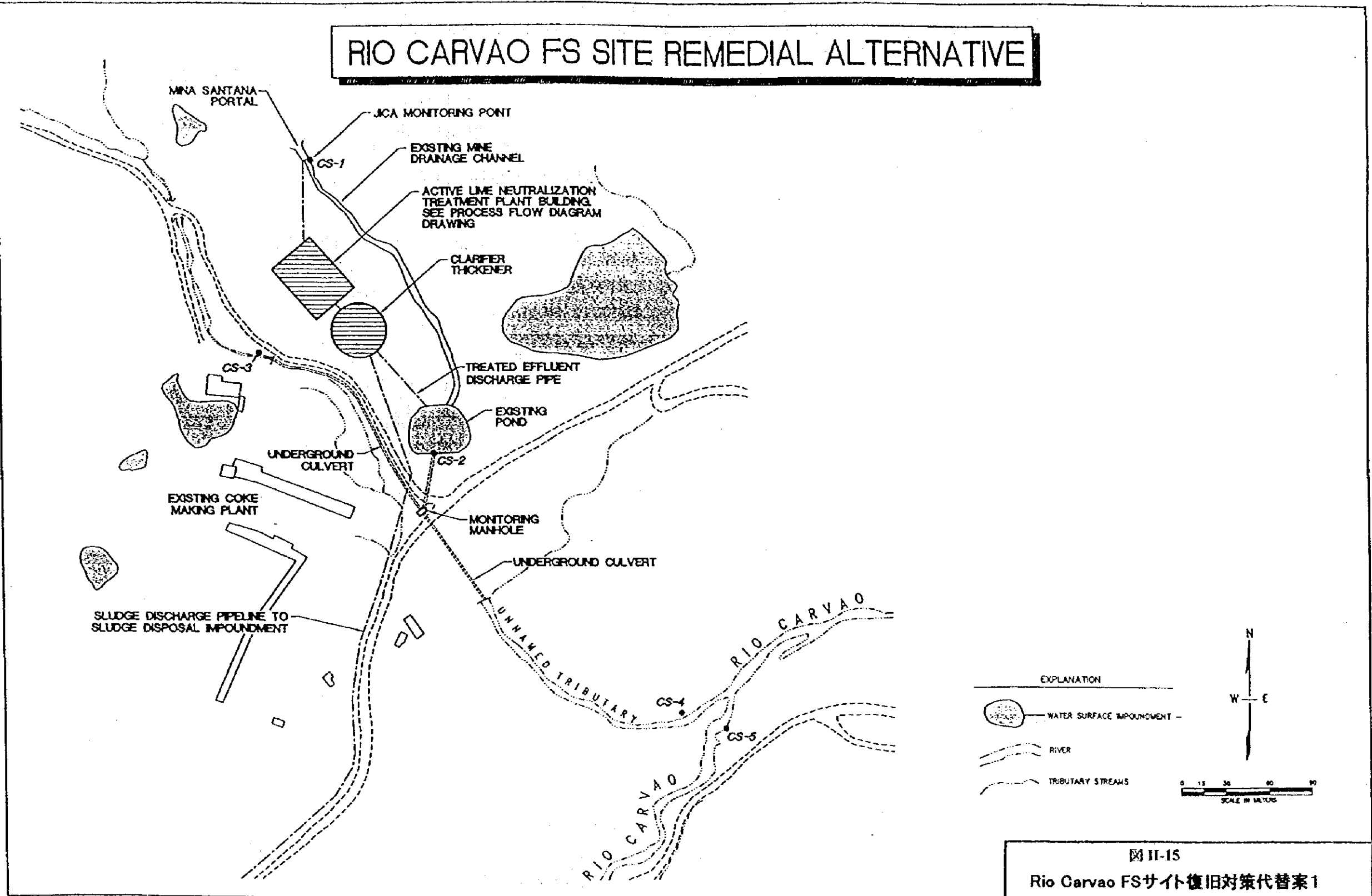
(ii) 復旧コストと有効性評価

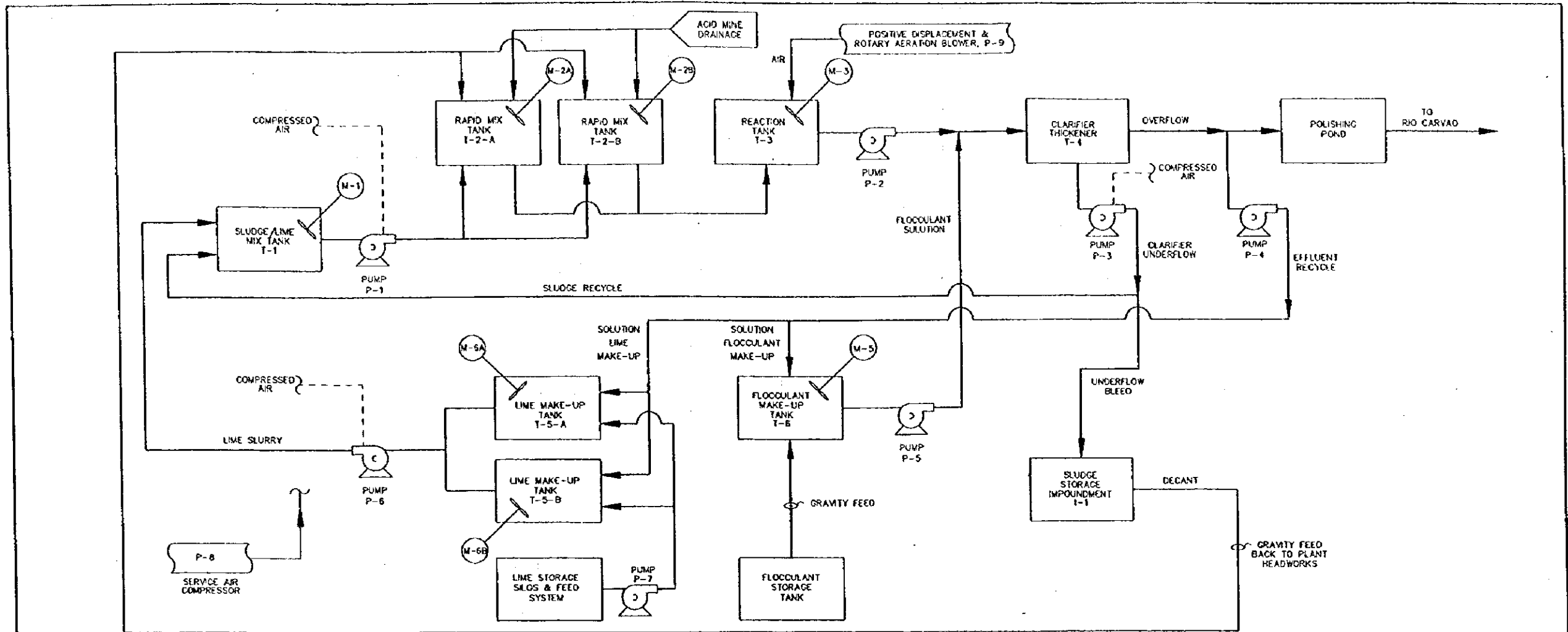
2.38 完全混合式によるシミュレーションを、Rio Carvão FSサイトの復旧対策後の水質予測のために行った。同時に、負荷減少効果とコストも検討した。その結果を表II-6に示す。

2.39 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の表流水の水質環境基準(連邦と州の基準があるが、いずれか厳しい方としている)に合致しない。この理由は大量の酸および金属の負荷源が



RIO CARVAO FS SITE REMEDIAL ALTERNATIVE





Equipment Number	Equipment Description	Size or Capacity	Materials of Construction	Hydraulic Retention Time	Inflow Rate	Overflow Rate	Underflow Rate	Height	Width or Diameter
T-1	Sludge and lime mix tank, 1 each	154 m ³	Epoxy coated steel	30 minutes	10.3 m ³ /min	10.3 m ³ /min	0 m ³ /min	5 m	D = 6.3 m
T-2 A&B	Rapid mix tanks, 2 each	15 m ³ ea	Epoxy coated steel	1 minute	30.7 m ³ /min	30.7 m ³ /min	0 m ³ /min	3 m	D = 2.5 m
T-3	Neutralization reaction tank, 1 each	307 m ³	Epoxy coated steel	10 minutes	30.7 m ³ /min	30.7 m ³ /min	0 m ³ /min	5 m	D = 9 m
T-4	Solids contact type clarifier/thickener	14738 m ³	Epoxy coated steel	8 hours	30.7 m ³ /min	30.7 m ³ /min	11.6 m ³ /min	10 m	D = 43 m
T-5 A&B	Lime slurry make up tanks, 2 each	24 m ³ ea	Fiber Reinforced Plastic	8 hours	0.1 m ³ /min	0.1 m ³ /min	0 m ³ /min	3 m	D = 3 m
T-6	Flocculant make up tank	1 m ³	Fiber Reinforced Plastic	24 hours	0.01 m ³ /min	0.01 m ³ /min	0 m ³ /min	1 m	D = 1.1 m
P-1	Reagent slurry transfer pump, 2 in parallel	12 m ³ /min	Dual diaphragm, 316 SS	NA	NA	NA	NA	NA	NA
P-2	Clarifier feed pumps, 2 in parallel	30.7 m ³ /min ea	Centrifugal, 304 SS	NA	NA	NA	NA	NA	NA
P-3	Sludge pump	11.6 m ³ /min	Dual diaphragm, SS	NA	NA	NA	NA	NA	NA
P-4	Make up water feed pump	1 m ³ /min	Centrifugal, 304 SS	NA	NA	NA	NA	NA	NA
P-5	Flocculant metering pump	0.1 m ³ /min	Piston type, plastic	NA	NA	NA	NA	NA	NA
P-6	Lime slurry feed pumps, 2 in parallel	1 m ³ /min ea	Dual diaphragm, 316 SS	NA	NA	NA	NA	NA	NA
P-7	Dry lime feed system	20 kg/min	Screw auger, carbon steel	NA	NA	NA	NA	NA	NA
P-8	Service air compressor, 2 in parallel	15000 L/min ea	Reciprocating type, air cooled	NA	NA	NA	NA	NA	NA
P-9	Reaction tank aeration blower	21000 L/min	Positive displacement	NA	NA	NA	NA	NA	NA
M-1	Sludge/lime tank motorized mixer	NA	High speed motorized mixer	NA	NA	NA	NA	NA	NA
M-2 A&B	Rapid motorized mixers, 1 each tank	NA	High speed motorized mixer	NA	NA	NA	NA	NA	NA
M-3	Reaction tank motorized mixer	NA	Slow speed motorized mixer	NA	NA	NA	NA	NA	NA
M-5	Flocculant tank motorized mixer	NA	Laboratory type mixer	NA	NA	NA	NA	NA	NA
M-6 A&B	Lime slurry motorized mixer, 1 each tank	NA	High speed motorized mixer	NA	NA	NA	NA	NA	NA
I-1	Sludge storage impoundment	95 hectares	Earthen impoundment with capacity for 20 years sludge production, assumes 10 meter depth						

図 II-16
石灰石中和処理フロー

RIO CARVAO FS SITE REMEDIAL ALTERNATIVE

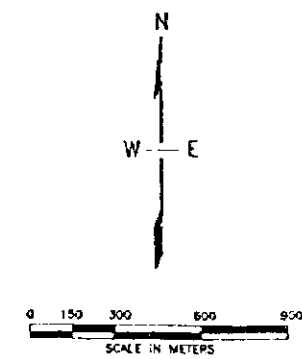
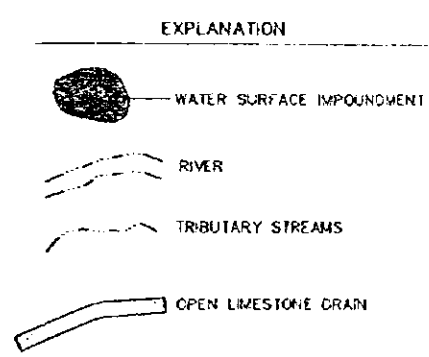
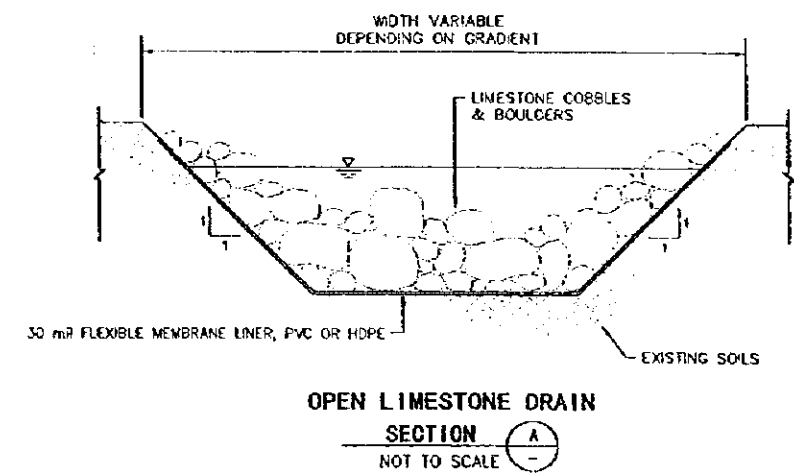
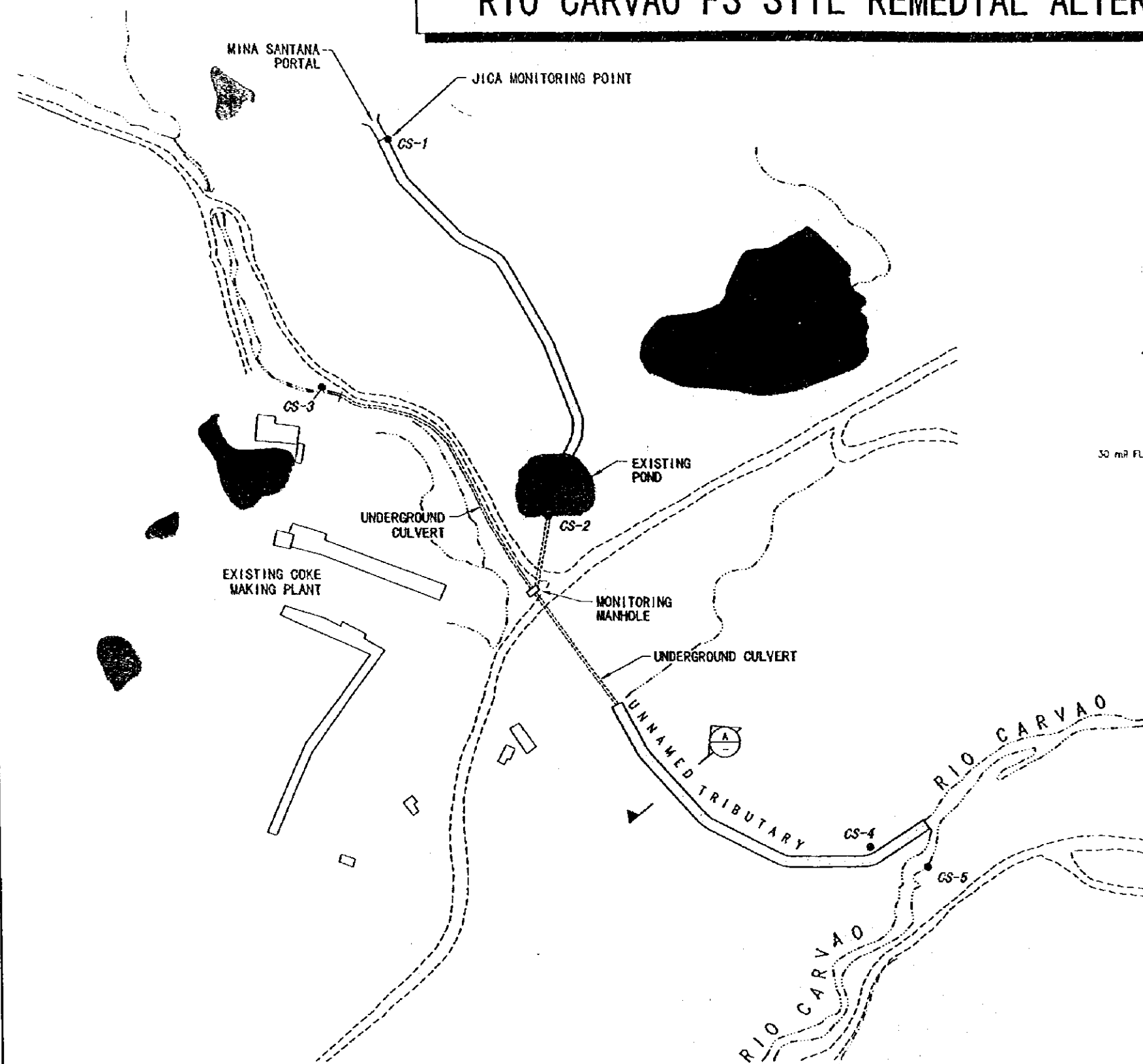
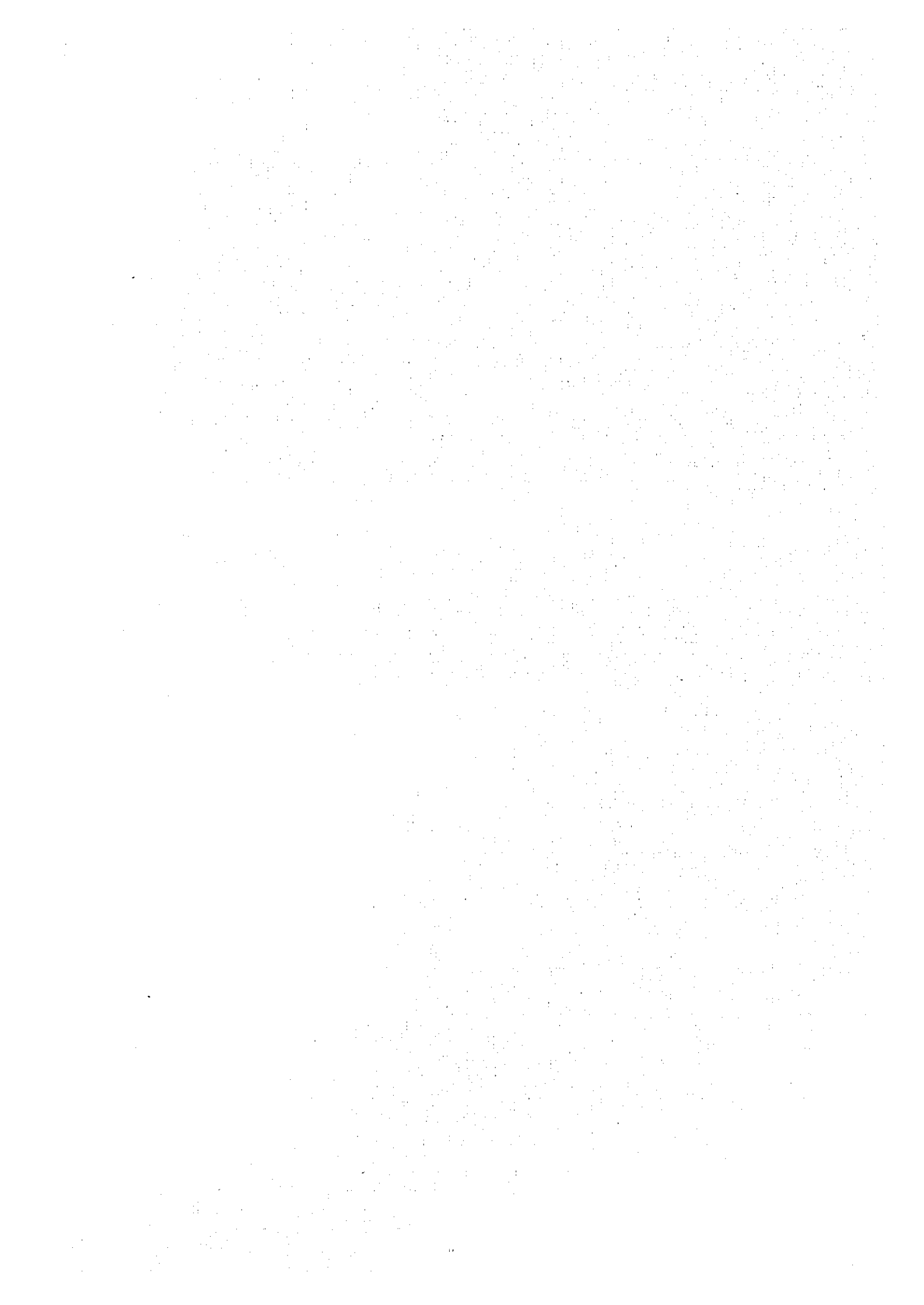


図 II-17
Rio Carvao FSサイト復旧対策代替案3



モニタリング地点(CS04)の上流の稼働中のコークス工場から排水されていることによる。この大きな汚染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河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 が必要であるが、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。

表 II-6
Carvãoの復旧コストと有効性

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(現行pH = 4未満)

** 年間操業費用

(d) Capivari 復旧代替案

(i) 詳細

2.40 このサイトは1940年代中頃から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(図 II-18)。大量のボタは鉄道によってCSNのCapivari選炭場から輸送され、泥炭質の土壤からなる低地に投棄され、土壤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(pH 3)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。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。

2.41 Estiva dos Pregos 川は、サイトの上流、ブラジルハイウエー 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。湖の酸性表流水が川に排出されることはない。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。

2.42 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

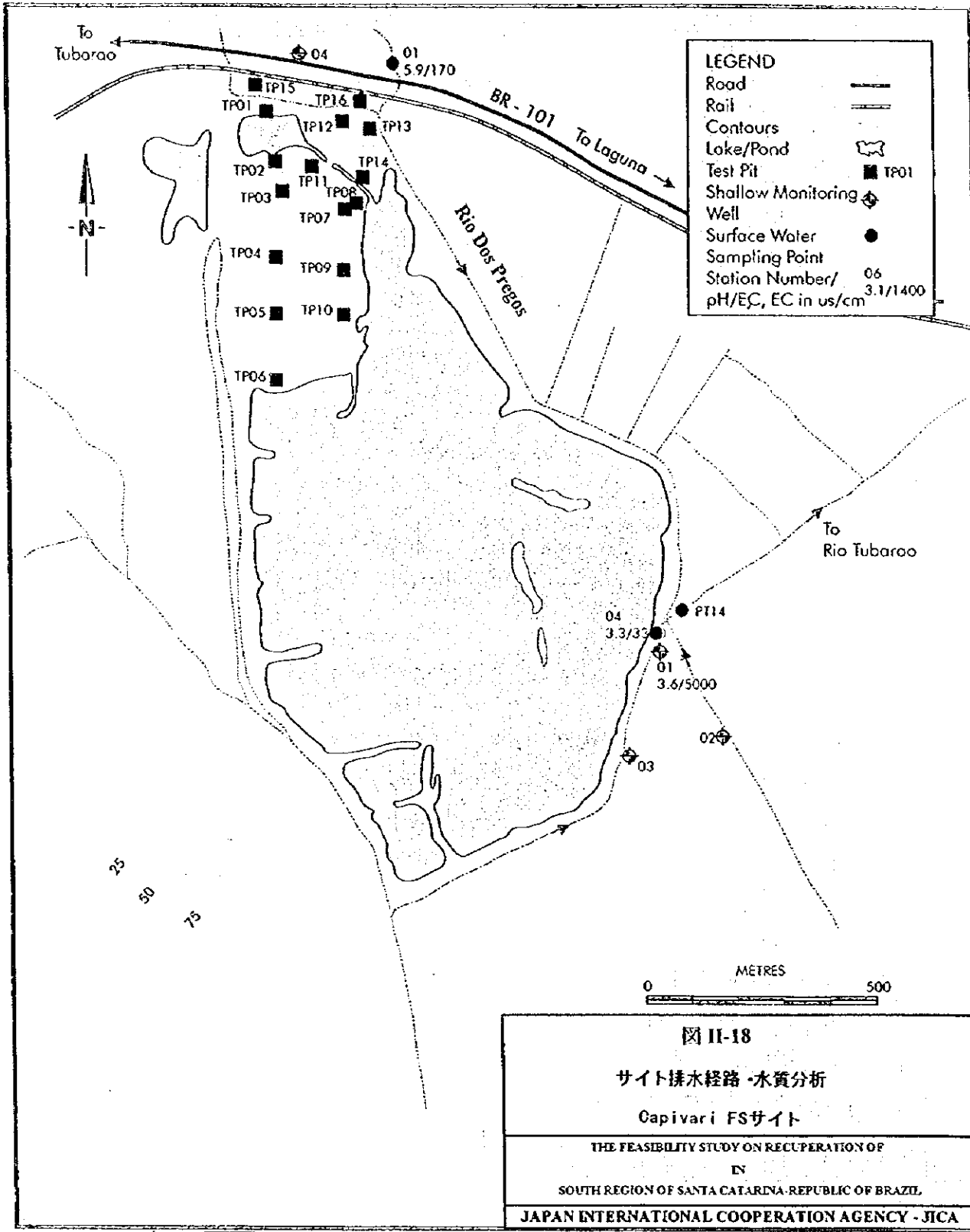


図 II-18
サイト排水経路・水質分析
Capivari FSサイト
 THE FEASIBILITY STUDY ON RECUPERATION OF
 IN
 SOUTH REGION OF SANTA CATARINA-REPUBLIC OF BRAZIL
 JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY - JICA

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(図 II-19)。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。本代替案の諸対策は、次の通りである。

1. 地下水遮断壁の建設
2. 不活性材料による池の埋立て
3. 埋め立て地と汚染原因ボタの湿式被覆
4. パッシブウェットランドシステムの建設

2.43 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(図 II-20)。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。

1. 清水流の迂回
2. 不活性物質による埋立て
3. 池と汚染原因ボタの湿式被覆
4. パッシブウェットランドシステムの建設

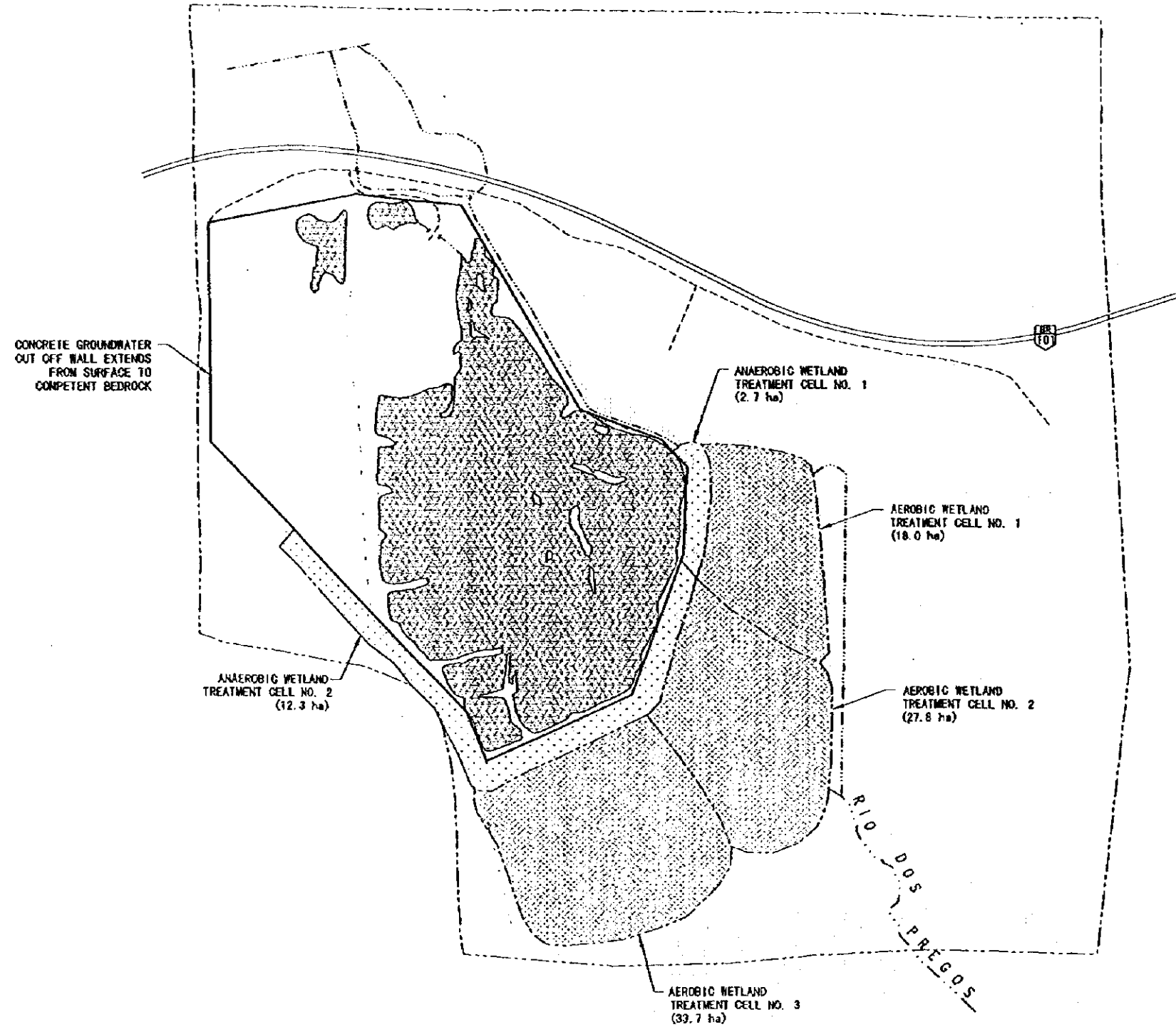
2.44 代替案 3: この案の特徴は、汚染源の封じ込めと囲い込みである。代替案 2との違いは、代替案 2から表流水の迂回水路およびパッシブウェットランド処理システムを除いたことにある。また、汚染原因ボタ及び埋め立てた池は代替案 1 及び 2 の湿式被覆ではなく、乾式土壌被覆で覆われる(図 II-21)。本代替案の諸対策は、次の通りである。

1. 池の不活性物質による埋め立て
2. 池と汚染原因ボタの乾式土壌被覆

(ii) 復旧コストと有効性評価

2.45 完全混合式によるシミュレーションを、Capivari FSサイトの復旧対策後の水質予測のために行った。同時に、負荷減少効果とコストも検討した。その結果を表II-7に示

CAPIVARI REMEDIAL ALTERNATIVE



EXPLANATION

- CONSTRUCTED ANAEROBIC WETLAND TREATMENT CELL
- CONSTRUCTED AEROBIC WETLAND TREATMENT CELL
- REACTIVE WASTES COVERED WITH A WET COVER SYSTEM - SEE DETAIL ON DRAWING 5
- WATER SURFACE IMPOUNDMENT - NEUTRALIZE WITH LIME, DRAIN, AND FILL WITH WEATHERED GRANITE OR BOTTOM ASH
- RIVER
- TRIBUTARY STREAMS

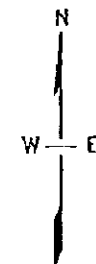


図 II-19
 Capivari FSサイト復旧対策代替案 1

CAPIVARI REMEDIAL ALTERNATIVE

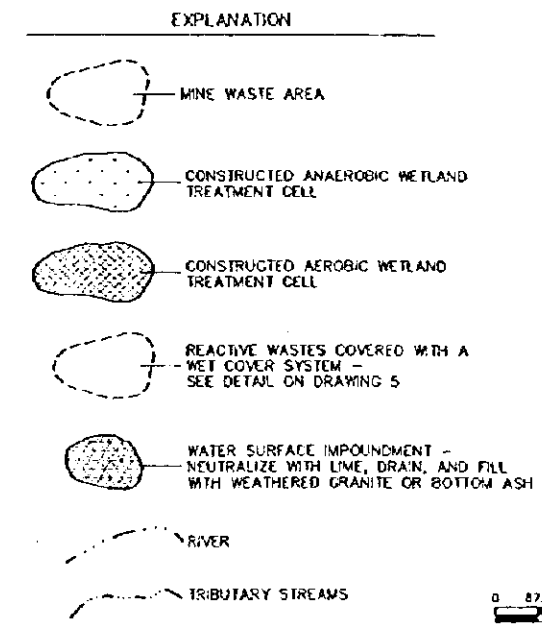
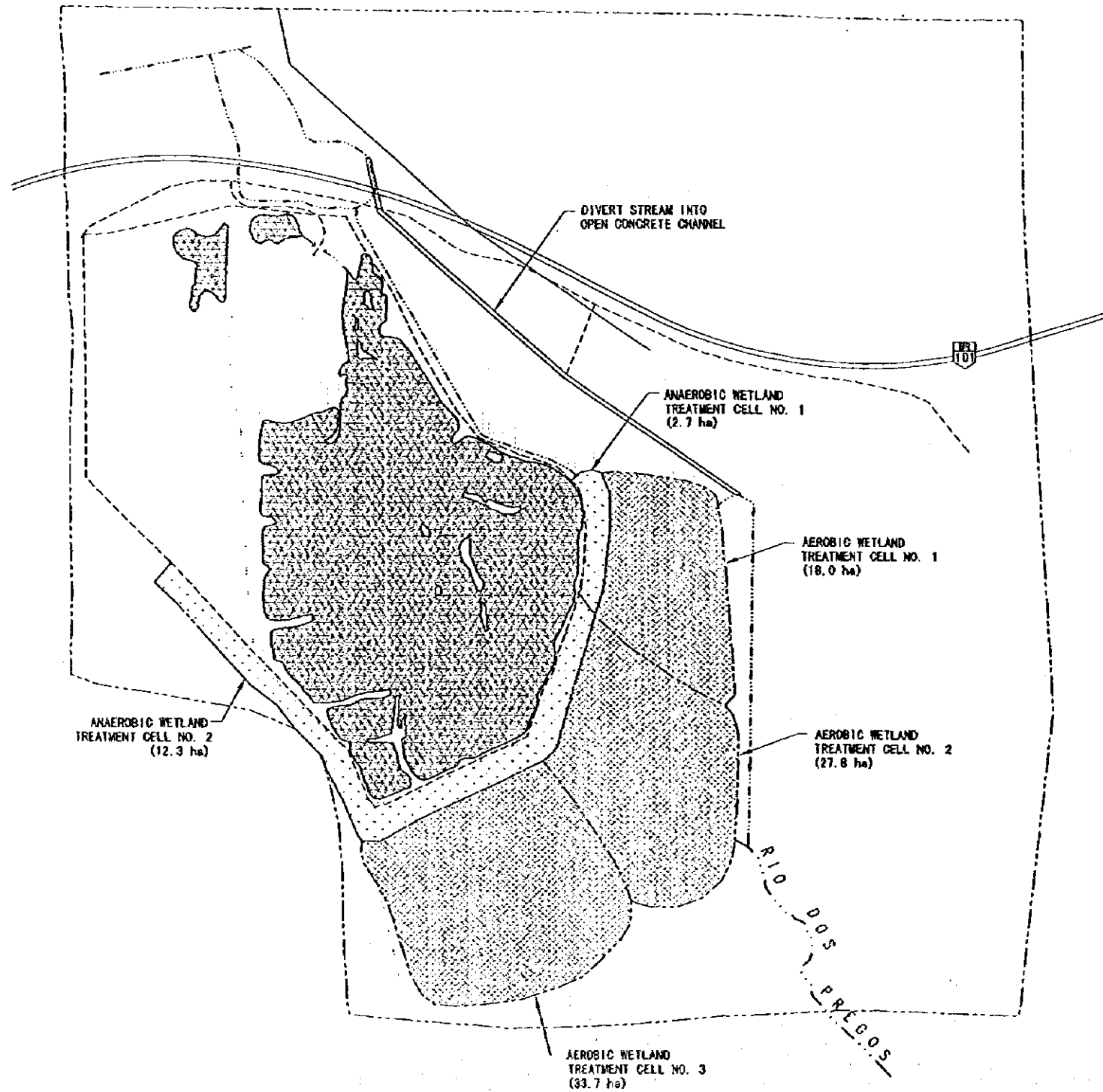
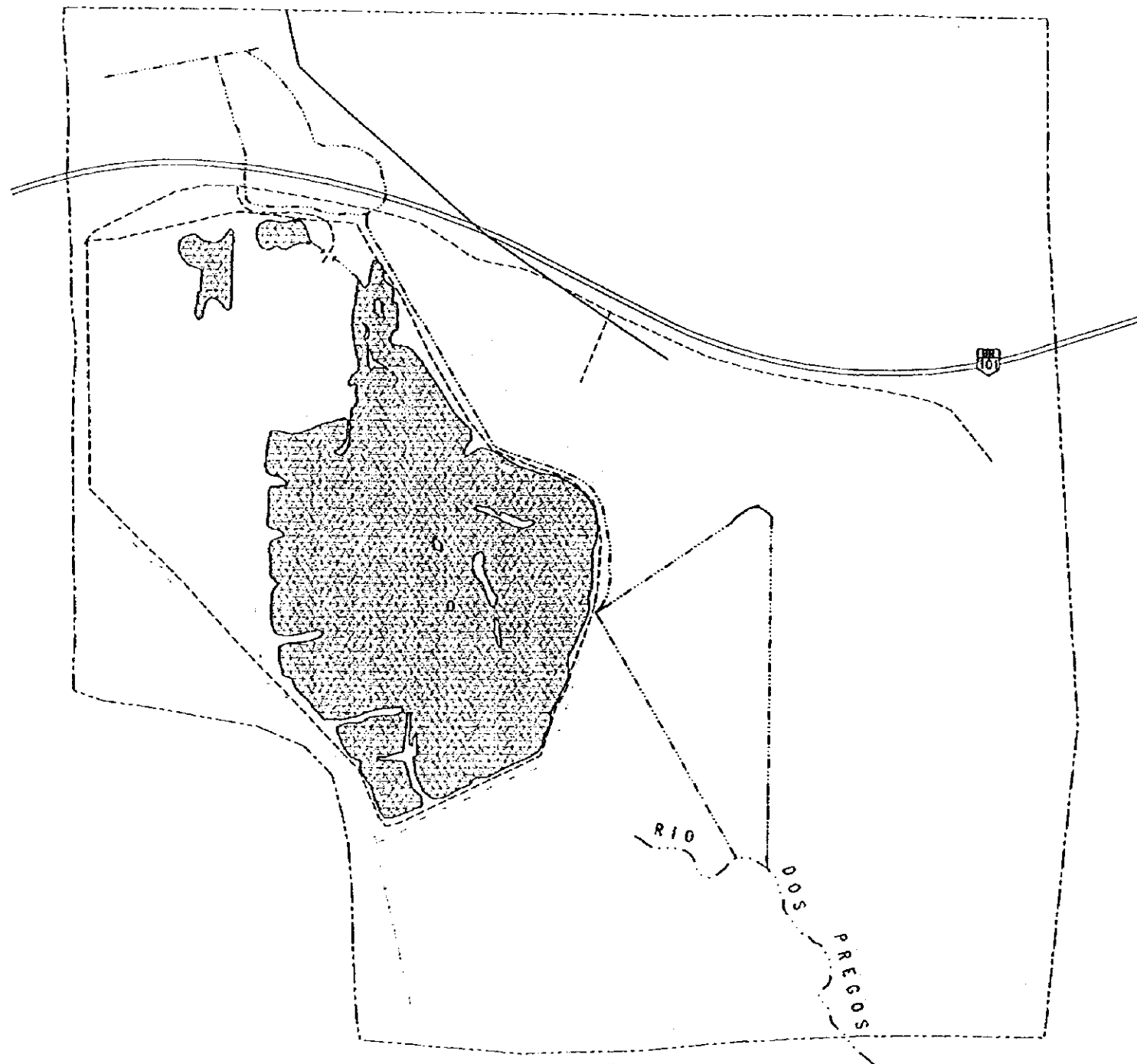


図 II-20
Capivari FSサイト復旧対策代替案 2

CAPIVARI REMEDIAL ALTERNATIVE



EXPLANATION

- MINE WASTE AREA
- REACTIVE WASTES COVERED WITH A DRY COVER SYSTEM - SEE DETAIL ON DRAWING 5
- WATER SURFACE IMPOUNDMENT - NEUTRALIZE WITH LIME, DRAIN, AND FILL WITH WEATHERED GRANITE OR BOTTOM ASH
- RIVER
- TRIBUTARY STREAMS

SCALE IN METERS
0 87.5 175 350 525

図 II-21
 Capivari FSサイト復旧対策代替案 3

す。

表 II-7
Capivariの復旧コストと有効性

代替案	負荷低減率(%)	pH*	費用 (百万R\$)
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

2.46 代替案1の地下水遮断壁の建設コストは高く、実現は殆ど不可能である。

3. FSサイト調査の結論

2.47 FSサイト調査の主要な結論は以下の通り。

- ⇒ FS サイト地域が非常に汚染されているため、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効果は殆どない。鉱害源から排出される酸性度と金属濃度は今後も低下することはない。
- ⇒ 最も効果的な技術を駆使した湿式被覆即ち毛細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、酸性度及び金属濃度を著しく低減させることはできるが、汚染区域内で環境基準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用した場合には、水生植物の生長、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が期待される。全体復旧地域の選炭ボタの処理は湿式被覆とパッシブウェットランドの組み合わせを基本とする。
- ⇒ 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による坑内水の処理が河川水改善に対して効果的な解決法とはなり得ない。従って、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。

⇒ 白ボタは酸性とは関係のないものとして取り扱い、効果的土地利用の観点から地表整地と植生のための表土覆土(乾式被覆)を行う。

2.48 土地の使用制限。復旧の後、黒色頁岩ボタ処理地域、水路改善地、迂回水路、ウエットランド処理システム等の限定された地域は、これらの施設を損傷する様な人為的な活動から守られなければならない。これらの地域は家畜の放牧、水鳥や野生動物のために良好な場となると期待されるが、更に、居住地の開発、農業又は林業については、特に湿式被覆を行ったところを中心に制限しなければならない。一方、復旧された白ボタ地域は公園及びリクリエーション、家畜の放牧、林業その他に多彩な土地利用の適地となることが期待される。

D. 全体地域復旧

1. 全体復旧計画の方法

2.49 適用可能な酸性水緩和策とその詳細設計を行った。全体復旧計画はプレ FS レベルで行うため、全体復旧計画域内の露天掘削土などの個々の汚染源を詳細に調査したものではない。従って、FS 調査の結果から推論する方法をとった。しかし、全体復旧計画地域には、Carvão (坑内掘炭鉱からの大量の湧水)や Capivari (選炭ボタ捨場の巨大な池)のようなケースはないため、それらの FS 調査結果は、全体復旧計画のコスト積算推定には用いていない。全体復旧地域のボタ山は、データベース上のパラメーター、ボタのタイプ、地形、川あり、川なしなどの数種のパターンに分類した。

2.50 露天掘跡地の復旧計画は、Fiorita 調査の結果を基にした。しかし、Fiorita 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復旧工事は省いた。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(ドラッ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。復旧工事には以下のものがある。

- i) 露天掘削土慣らし作業
- ii) 道路建設
- iii) 乾式被覆
- iv) 植生
- v) 護岸工事（地域内に川がある場合）

2.51 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。そのため、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。湿式被覆の代わりに乾式被覆を用いても効果の差は殆どなく、同等の効果が期待されるためである。復旧工事には以下のものがある。

(A) 湿式被覆とウェットランド

- (i) 慣らし作業
- (ii) 道路建設
- (iii) 湿式被覆
- (iv) 水路建設
- (v) ウェットランド建設
- (vi) 植生
- (vii) 護岸工事（地域内に川がある場合）

(B) 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。

- (i) 露天掘削土慣らし作業
- (ii) 道路建設
- (iii) 乾式被覆
- (iv) 植生

2. 全体復旧計画コスト積算

2.52 各種のボタ山慣らし作業のユニットコスト(R\$1000/ha)を表 II-8 に示す。

2.53 全体計画復旧コストには廃棄炭鉱、稼動炭鉱、休止炭鉱の復旧コストが含まれている。しかし、復旧コストには稼動炭鉱、休止炭鉱の現在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旧のためのものである。

2.54 全体計画復旧コストを表 II-9 から表 II-11 に示す。

E. 全体復旧計画地域水質シミュレーション

2.55 Tubarão 川、Urussanga 川、Araranguá川の上流から下流までのうち、下流部の感潮域を除くほぼ全域を対象として、流域の稼動炭鉱及び廃棄炭鉱に対して環境修復を実施した場合の河川水質の改善効果を予測・評価した。

1. シミュレーションモデル

2.56 シミュレーションモデルは流量モデルおよび水質モデルからなり、流量モデルは川の流量を、水質モデルは川の水質のモデルをシミュレートする。

2.57 流量モデルの基本式は以下の通り。

$$C_i = \frac{1}{Q_i} \{ Q_{i-1} C_{i-1} + (Q_N - \sum Q_{AC} - \sum Q_{AB}) C_N + \sum L_{AC} + \sum L_{AB} \}$$

ここで、

Q_i : 河川流量 (m^3/s)

C_i : ボックス内の物質濃度 (mg/l)

C_N : コントロール濃度 (流域最上流の値) (mg/l)

Q_N : 集水域からの流量 (m^3/s)

Q_{AC} : 稼動炭鉱からの排水量 (m^3/s)

Q_{AB} : 廃棄炭鉱からの流入水量 (m^3/s)

$\sum L_{AC}$: 稼動炭鉱からの負荷量 (mg/s)

$\sum L_{AB}$: 廃棄炭鉱からの負荷量 (mg/s)

表 H-8

ボタ山復旧のユニットコスト

Waste Type	Topo-Type	River	Unit Costs (RS1,000/ha)
Overburden (White Waste)	Saw	River Flow	29.1
	Saw	No River	25.8
	Heap	River Flow	26.6
	Heap	No River	23.2
	Flat	River Flow	20.9
	Flat	No River	17.5
Washery Reject (Black Shale)	Flat	River Flow	86.3
	Flat	No River	77.7
	Slope	River Flow	87.9
	Slope	No River	79.3
	(No Groundwater/No River)		18.2

表 H-9

全体計画復旧コスト

Items	Wet Cover (RS000)	Wet/Dry Cover (RS000)
Labor	22,411	21,198
Parts	10,125	9,654
Tire	553	520
Fuel/Lub.	10,430	9,950
Depreciation	6,327	6,027
Overhead	18,840	17,890
Cement	4,145	3,878
Mortar	1,842	1,818
Sand	528	493
Cobble	2,129	1,997
Clay	57,209	52,371
Royalty for clay	17,213	15,757
Gravel	18,339	15,198
Limestone	36,974	30,666
Board	2,386	2,182
Timber	259	237
Nail	69	63
Steel bar	5,013	4,415
Fertilizer	3,846	3,854
Seeds	1,006	1,008
Cellulose	2,663	2,668
Emulsion	947	949
Organic matter	2,681	2,256
Mobilization (5%)	11,297	10,252
Engineering (5%)	11,862	10,765
Contingency (10%)	24,909	22,607
Total	274,003	248,673

表 II-10

状況別全体計画復旧コスト
(Wet Cover Systems)

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 do 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
Orixama	Black Shale	Flat	No river	87.0	8,761					87.0	8,761
	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		807.7	64,356	163.0	14,068	93.9	8,104	1,064.6	86,528	
Forquilha	Black Shale	Flat	River flow	165.5	14,284	191.2	16,502			356.7	30,786
	Water	Pond(FlatBS)	River flow			28.0	2,417			28.0	2,417
		Sub-total		165.5	14,284	219.2	18,918			384.7	33,203
Leara	Black Shale	Flat	River flow	36.0	3,107	8.8	739			44.8	3,846
Louro Mular	Black Shale	Flat	No river	11.4	866					11.4	866
	Black Shale	Flat	River flow	42.1	3,685	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	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	Sew	No river	5.0	129					5.0	129
	White Waste	Sew	River flow	71.8	2,093	64.4	1,877	18.0	525	154.2	4,494
	Sub-total		423.2	16,522	169.3	10,360	35.6	2,037	628.1	28,935	
Sideropolis	Black Shale	Flat	No river	18.0	1,359	191.0	14,843			209.0	16,201
	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(sew)	No river	25.0	644					25.0	644
		Pond(sew)	River flow	61.0	1,778					61.0	1,778
	White Waste	Flat	River flow	10.0	209					10.0	209
	White Waste	Sew	No river	113.0	2,911					113.0	2,911
	Sub-total		278.5	11,188	192.0	14,929			470.5	26,117	
Trevião	Black Shale	Flat	No river			120.8	9,387			120.8	9,387
	Black Shale	Flat	River flow	28.8	2,486					28.8	2,486
	Water	Pond(FlatBS)	No river			8.0	622			8.0	622
		Pond(FlatBS)	River flow	6.0	518					6.0	518
		Pond(sew)	River flow			2.0	58	6.0	175	8.0	233
	White Waste	Sew	No river	50.0	1,288					50.0	1,288
White Waste	Sew	River flow	47.0	1,370	108.2	3,153	104.6	3,048	259.8	7,572	
	Sub-total		131.8	5,621	239.0	13,221	110.6	3,223	481.4	22,105	
Uravanga	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			188.7	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(sew)	No river			1.0	26			1.0	26
		Pond(sew)	River flow	5.5	102					5.5	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	Sew	No river	322.8	8,315					322.8	8,315
White Waste	Sew	River flow	284.3	8,286					284.3	8,286	
	Sub-total		688.9	21,397	162.2	13,938	38.2	3,337	889.3	38,891	
	Grand Total		3,292.0	171,069	1,153.5	86,193	278.3	16,742	4,723.8	274,003	

表 II-11

状況別全体計画復旧コスト
(Wet/Dry Cover Systems)

Unit: SR x 1000

Municipality	Waste Type	Topo Type	River	Abandoned		Active		Inactive		Total	
				Area (ha)	\$Rx1000	Area (ha)	\$Rx1000	Area (ha)	\$Rx1000	Area (ha)	\$Rx1000
Capivari de Baixo	Black Shale	Flat	No river	10.0	7,177					10.0	7,177
	Water	Pond	No river	10.0	7,177					10.0	7,177
		Sub-total		180.0	14,355					180.0	14,355
Criciúma	Black Shale	Flat	No river	17.0	1,591					17.0	1,591
	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		807.7	59,176	163.0	14,068	93.9	8,104	1,064.6	81,348
Farquinhonha	Black Shale	Flat	River flow	163.5	14,284					163.5	14,284
	Water	Pond(FlatBS)	River flow			28.0	2,417			28.0	2,417
		Sub-total		163.5	14,284	28.0	2,417			191.5	16,701
Itaúna	Black Shale	Flat	River flow	36.0	3,107					36.0	3,107
Louro Mútilar	Black Shale	Flat	No river	11.4	207					11.4	207
	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	1,453	16.8	1,453
	Water	Pond	River flow			0.5	44	0.8	70	1.3	114
		Pond(FlatBS)	River flow	0.5	43	3.0	259			3.5	302
	White Waste	Flat	No river	8.0	140					8.0	140
	White Waste	Heap	No river	113.1	2,688	8.8	204			121.9	2,892
	White Waste	Heap	River flow	124.5	3,414					124.5	3,414
	White Waste	Saw	No river	3.0	129					3.0	129
	White Waste	Saw	River flow	71.8	2,093	64.4	1,872	18.0	525	154.2	4,494
		Sub-total		423.2	13,354	189.3	9,871	35.6	2,057	648.1	25,282
	Siderópolis	Black Shale	Flat	No river	18.0	327					18.0
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(Heap)	No river	25.0	644					25.0	644
		Pond(Heap)	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	30,116	192.0	5,999			1,070.9	36,053
Treviço	Black Shale	Flat	No river			120.1	3,193			120.1	3,193
	Black Shale	Flat	River flow	28.8	2,486					28.8	2,486
	Water	Pond(FlatBS)	No river			8.0	622			8.0	622
		Pond(FlatBS)	River flow	6.0	518					6.0	518
		Pond(Heap)	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	104.2	3,153	104.6	3,048	255.8	7,572
	Sub-total		131.8	5,661	236.3	8,024	110.6	3,223	481.4	14,913	
Urussanga	Black Shale	Flat	No river	29.8	378					29.8	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(FlatBS)	River flow			4.0	345			4.0	345
		Pond(Heap)	No river			1.0	28			1.0	28
		Pond(Heap)	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	29,338	162.2	13,931	38.2	3,357	889.3	37,653	
	Grand Total		3,292.0	162,411	1,153.5	89,521	278.3	16,743	4,723.8	249,675	

2. 負荷量の設定

2.58 稼働炭鉱および廃棄炭鉱からの負荷量、鉄イオンおよびアルミニウムイオンの沈殿過程は次のように設定した。

(a) 稼働炭鉱からの負荷量の設定

2.59 対象域内の各稼働炭鉱からの汚濁負荷量は、炭鉱の原炭生産量に比例して増大すると仮定し、稼働炭鉱のモニタリング結果から単位生産量当たりの負荷量を炭鉱毎に推定、これらを平均して稼働炭鉱の負荷原単位とした。さらに、対象域内の稼働炭鉱の原炭出炭量に負荷原単位を乗じて、稼働炭鉱毎に負荷量を求めた。ただし、モニタリング対象炭鉱のひとつである Metropolitan Company のモニタリングデータについては、石炭生産量が他の炭鉱に比べ1オーダー高い値を示していることから、原単位の計算には使用しなかった。稼働炭鉱排水の設定水質は表 II-12 に示す。

表 II-12

稼働炭鉱排水からの汚濁負荷量

・ pH	(-)	2.81
・ SO ₄	(mg/l)	2,838
・ Dis.Fc	(mg/l)	391
・ Al	(mg/l)	123

(b) 廃棄炭鉱からの負荷量の設定

2.60 調査対象域内の廃棄炭鉱は、その廃棄物の性状から黒ボタ域と白ボタ域とに分類される。黒ボタは黄鉄鉱を多量に含む選炭ボタが主であり、酸性水生成能力が高い。一方、白ボタは酸性水を生成する能力は小さいが、混入する黄鉄鉱や投棄された選炭ボタ等により周辺の河川を酸性化している場合が多い。ここでは、FSサイトのうち、選炭ボタが多量に放置されている Rocinha サイトを黒ボタの代表域、表土が主である Fiorita サイトを白ボタの代表域とし、両サイトの最終流出地点における負荷量を求め、それぞれのサイト内のボタ面積で除して負荷原単位を求めた。黒ボタおよび白ボタ廃棄炭鉱からの設定流出水質を表 II-13 に示す。

表 II-13
放棄採掘跡からの汚濁負荷量

		黒ボタ廃棄炭鉱	白ボタ廃棄炭鉱
・ pH	(-)	3.3	3.2
・ SO ₄	(mg/l)	645	494
・ Dis.Fe	(mg/l)	94.8	29.5
・ Al	(mg/l)	44.8	32.7

3. 水質改善効果の予測・評価

(a) シナリオ

2.61 稼働炭鉱および廃棄炭鉱に対し対策を実施した場合の水質改善効果を予測・評価した。対策実施による負荷量削減効果については、稼働炭鉱の排水の水質をブラジルの排水基準と同様とし、かつ廃棄炭鉱からの負荷量を復旧工事により 90%削減する、廃棄炭鉱からの負荷量を 90%削減するとした。

(b) 予測式

2.62 予測式は以下の通り。

$$C_i = \frac{1}{Q_i} \{ Q_{i-1} C_{i-1} + (Q_N - \sum Q_{AC} - \sum Q_{AB}) C_N + \sum L_{AC}' + \alpha \sum L_{AB} \}$$

ここで、

L_{AC} : 対策をとった際の稼働炭鉱からの排出負荷量 (mg/s)

α : 対策をとった際の廃棄炭鉱からの負荷量の低減率 (ここでは 90%)

(c) 予測結果

2.63 各測点におけるケーススタディ計算結果を年平均値としてとりまとめた結果を表 II-14 に示す。pH を指標としてケース毎の酸性水質改善効果を検討すると以下の通りである。

表 II-14

対策に伴う酸性水質改善効果

River	Current condition						Scenario 1 - 90% load reduction for Abandoned mine - Regulation for Active mine			Scenario 2 90% load reduction for Abandoned mine			Scenario 3 Regulation for Active mine		
	Average	Max	Min	Average	Max	Min	Average	Max	Min	Average	Max	Min	Average	Max	Min
Rio Tubarao	pH (-)	3.8	6.0	2.4	5.3	6.9	3.7	6.9	3.7	4.9	6.9	3.7	3.9	6.0	2.4
	Increasing rate	1.0	-	-	1.4	1.7	1.2	1.3	1.5	1.0	1.5	1.0	1.0	1.4	1.0
Rio Urussanga	pH (-)	3.5	4.3	2.8	5.3	6.4	4.3	4.4	3.6	4.4	5.4	3.6	3.9	5.0	2.9
	Increasing rate	1.0	-	-	1.5	1.8	1.4	1.3	1.4	1.0	1.4	1.0	1.1	1.3	1.0
Rio Maca-Linha	pH (-)	3.4	3.7	3.1	5.4	7.0	4.3	3.8	3.5	4.9	4.9	3.5	4.3	7.0	3.3
	Increasing rate	1.0	-	-	1.6	1.9	1.2	1.1	1.4	1.0	1.4	1.0	1.2	1.9	1.0
Rio Ararangua	pH (-)	2.8	3.3	2.5	4.5	5.3	4.0	3.3	2.9	3.3	3.7	2.9	3.1	3.7	2.7
	Increasing rate	1.0	-	-	1.6	1.7	1.6	1.2	1.2	1.1	1.2	1.1	1.1	1.14	1.08

* Values are annual average

** Increasing rate: Case # / Present condition

*** Brazilian ambient standard: pH 6-9

- ⇒ シナリオ 1 : いずれの河川についても廃棄炭鉱および稼動炭鉱の対策を同時に実施した場合が、最も酸性水質改善効果が高い。シナリオ 1 では Araranguá 川水系の Sangão 川以外の河川は平均 pH で 5.5 前後まで改善され、最も改善効果の大きい地点では pH6 ~7 まで水質が回復する。ただし、改善効果の小さい地点では pH4 前後までしか回復しない。Sangão 川では効果が小さく、最大でも pH5 程度までしか改善されない。pH 実測値と予測値の比較を図 II-22 に示す。
- ⇒ シナリオ 2 : 廃棄炭鉱からの負荷率 90%削減によって、Tubarão 川および Urussanga 川上流域では pH が 4 以下と著しい効果がみられないが、下流域をも含めた平均で見ると 4.5~5.0 程度まで回復が見込める。Araranguá 川では稼動炭鉱の影響が大きいいため、いずれの支流も平均で pH4.0 以下のままである。
- ⇒ シナリオ 3 : 稼動炭鉱の排水規制では、Araranguá 川水系の Mãe Luzia 川の改善効果が他の河川に比べて大きく平均で pH4.0 程度に回復する。その他の河川は規制後も平均で pH4.0 以下である。

(d) 評価

2.64 酸性湖における研究では、植物プランクトンの種の多様性およびバイオマスは pH 値の低下に伴って減少し、大きな変化は pH5~6 の範囲で起こり、それ以下では酸性水に強い特定の種の増殖が起こることが報告されている。動物プランクトンと pH の関係も概ね同様であり、pH5.0~5.5 では影響がみられないが、pH5.0 以下ではまったく動物プランクトンがみられない状態になる等の報告がある (Green & Leuven, 1986)。また、北上川水系における pH と底生生物との関係では pH5.5~6.0 辺りから影響がみられており (福島, 1967)、pH が 6.0 以下になると高次元栄養段階の生物影響が始まる (坂本, 1991) などの報告もある。これら多くの知見をまとめると、pH5.0~6.0 辺りで生態系への影響が明確になるというのが一般的である。これは逆にシナリオ 1 のように pH を 5.0 以上に回復させれば、酸性水河川に生態系を回復できる可能性があることを意味している。

2.65 ケーススタディ結果では、いずれのシナリオにおいても局所的に pH が 5.0 以上に回復する地点がみられるが、平均値で各河川の pH が 5.0 以上に回復するのはシナリオ 1 以外にはみられない。これは、廃棄炭鉱の復旧だけでなく稼動炭鉱の排水規制も並行して行うことによってのみ、本調査対象河川に生態系が回復できる可能性があることを示唆して

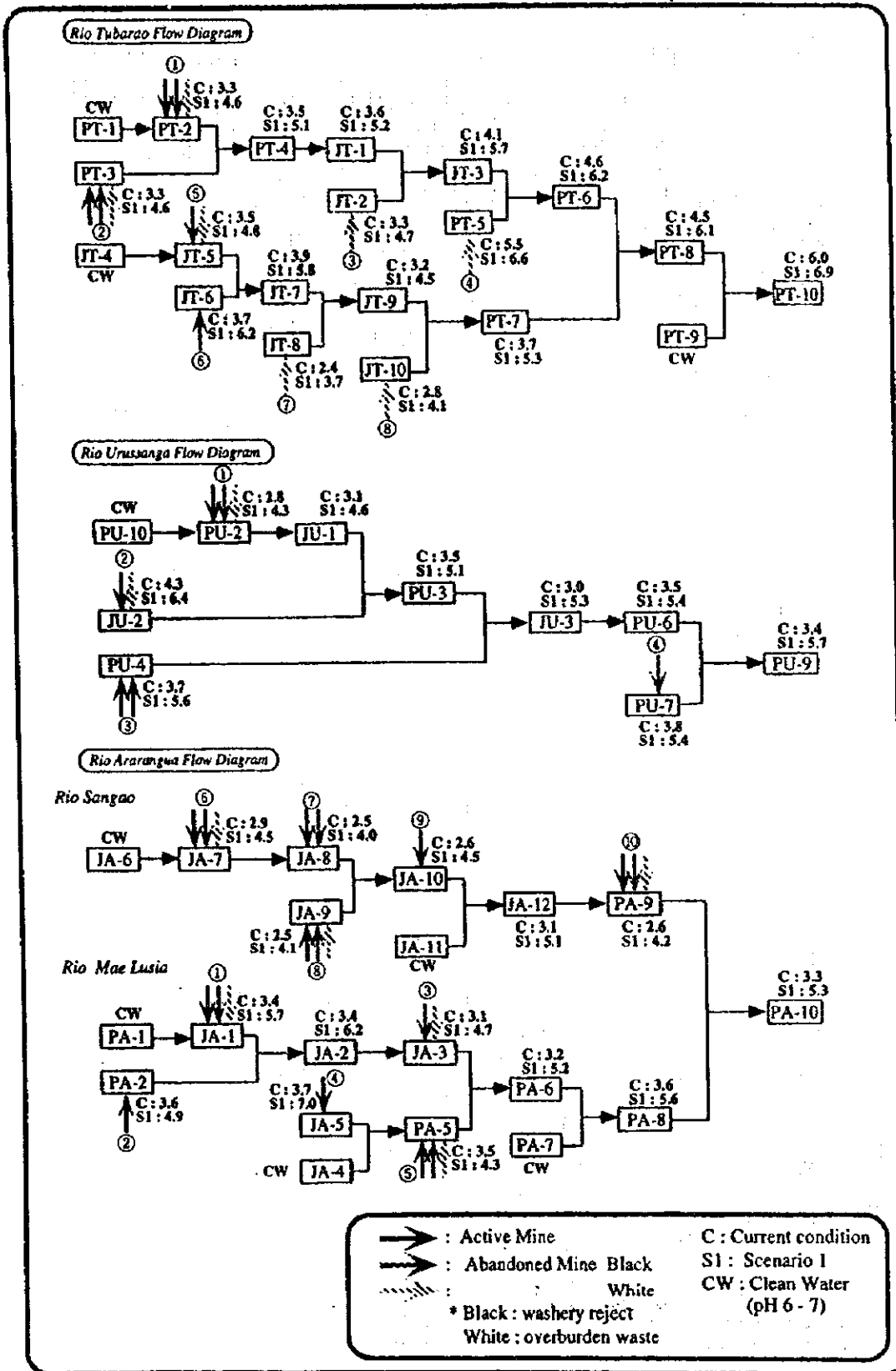


図 II-22 シナリオ 1 に基づく pH 実測値と予測値

いる。ただし、Sangão 川については集水域が小さいこと、支流からの清澄な河川水の流入がないこと、炭鉱が集中していることなどから、シナリオ1によっても pH5.0 を達成することは極めて困難であると推察される。

2.66 ブラジルの pH 水質環境基準は 6~9 であり、いずれの河川においてもシナリオ1の対策を実施したとしても基準を満たすことはできないが、pH を 5.0 以上に回復することによって生物を起源とする有機物質による河川水の中和効果や土壌中の重金属化合物からの重金属の溶出の防止効果等が期待できるため、シナリオ1を実施することによって長期的には緩やかに河川の水質が回復するものと推察される。

F. 結論と提言

2.67 水質シミュレーションは、シナリオ1の対策を実施したとしてもブラジルの pH 水質環境基準を満たすことはできないことを示した。シナリオ2やシナリオ3では十分な改善は見込めない。唯一シナリオ1のみが pH を 5.0 以上に回復することが期待出来、生物を起源とする有機物質による河川水の中和効果や土壌中の重金属化合物からの重金属の溶出の防止効果等が期待できるため、シナリオ1を実施することによって長期的には緩やかに河川の水質が回復するものと推察される。

2.68 採掘跡だけでなく、現在操業を行っている稼働炭鉱地域も含めた復旧計画を策定すべきである。シナリオ2やシナリオ3は問題解決にはならない。

第3章 採掘跡復旧の戦略と計画

A. 復旧のための戦略

1. 技術評価の結論

3.01 採掘跡は汚染が著しく、最も経済的な被覆方法即ち、乾式被覆のみでは殆ど効果はなく、金属濃度やpHレベルともに実質的には何の変化もみられない。より効果的な技術を駆使した湿式被覆即ち毛管バリアと、パッシブウエットランド処理を組み合わせた場合でも、FSサイトの中のみでは、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。しかしながら、後者では酸性度及び金属濃度の著しい低減がみられ、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が期待される。水質シミュレーションモデルでは、FSサイトの外では、部分的にはブラジル表流水の水質環境基準に適合することが予測された。

3.02 技術評価はさらに、次の点も明らかにしている。

1. 全部の黒ボタ地域¹に湿式被覆を採用するのは比較的高価となるが、川もなく地下水源もない黒ボタ区域（425ha）では、乾式被覆を使用しても効果の差は殆どなく同様の効果が期待され、湿式/乾式被覆の併用が可能と考えられる。また、この方法が費用効果が最も高いといえる。
2. 生産活動区域（現在の採掘会社がボタ捨て場あるいは、再選炭ボタの採掘場として使用している区域）は放棄採掘跡²よりも汚染されていて、採掘跡の復旧だけでは、生産活動区域の改善がないかぎり、なんの改善効果も見込めないであろう。

2. 復旧のための戦略提言

3.03 FSの結論を前提として、即ち、特に地域の汚染が著しく、ブラジル表流水の水質環境基準に適合する水質までに復旧出来る経済的な方策はないと言う事実があっても、幾つかの代替案は考えられる。

¹ 総ボタ山面積：4,724ha, 黒ボタ区域：2,526ha, 白ボタ区域：2,198ha。

² 放棄採掘跡：3,292ha, 生産活動区域：1,154ha, 休止区域：278ha。

- 何もしない。この案は、鉱害問題は更に続き悪化することもあり得る状況の継続で、受容出来ない。
- 鉱山会社に環境基準を守らせる。しかし復旧はしない。この案は、可能性があるとは思えない。周辺の水は汚染されたままの状態、鉱山会社に排水基準を満すよう期待するのは、無理と思われる。
- 最も費用効果が高いと考えられる方法、即ち、湿式/乾式被覆の併用により、問題解決に取り組む。

3.04 問題を解決するためには、復旧が必要である。他に代替案はない。上述の通り、FS サイト内ではブラジルの環境基準に適合しないが、全体で見たとき一部は基準に適合している。もしそうでなかったとしても、水生植物の生育やバクテリアの活動等により水の中和は促進されるし、最終的には基準を達成することも期待できる。

3.05 しかしながら、投資のリスクを最小にするために、局面を二つに分けて取り組むことを提案する。まず始めに、生産活動区域の復旧に限定する。先に述べた通り、生産活動区域が最も汚染されており、復旧計画の成否はこの浄化が必要不可欠の条件である。生産活動区域では、炭鉱会社が採掘や選炭活動をしているので、第一フェーズには、生産会社が環境対策に責任を持った操業が出来るような助成策と、FATMA（及び DNPM などの監視機関）の強化対策を含めるべきで、炭鉱会社が環境法規、特に排水と採掘跡の復旧に関して、完全に遵守する体制を確立する必要がある。

3.06 生産活動区域が完全に復旧され、鉱山会社が環境法規を完全に遵守するようになった時に、第二フェーズ、即ち、採掘跡の復旧に着手する。この戦略は、安全で、安価で、かつ管理が容易である。

- 安全である。— 鉱山会社が排水を適切に処理しない限り、又環境法規を遵守しない限り、採掘跡の復旧投資はなされない。FATMA や DNPM の強化対策と炭鉱会社の操業改善対策がまず先に実施される。それ故、復旧計画が失敗した（炭鉱会社が環境法規を遵守しない）時の財務的損失は比較的少なくて済む。
- 安価である。— 炭鉱会社の環境法規遵守と生産活動区域の浄化により、採掘跡区域での汚染負荷も減少する可能性もあり、結果として、採掘跡の復旧費用が少なくなることも

考えられる。

- 管理が容易。—2つのフェーズに分けることにより、資金の調達と実行が容易となる。

3.07 しかしながら、2つのフェーズを完全に実施しない限り、経済的便益は殆ど期待出来ないことに留意すべきである。

B. 復旧費用と便益

1. 費用の推定

3.08 費用の推定は、下記を前提として行なった。

- 復旧計画は、湿式/乾式被覆の併用とする。主要費目の価格は、SETEP社等の現地土建会社の見積りをベースに積算、サンタカタリーナ州の道路局の標準工事単価と照合した。
- 汚染した土地の81%は、炭鉄関連会社が所有しており、その復旧工事はそれぞれの会社が自分達の機械設備で実施すると仮定した。汚染した土地の7%を所有している市町村については、州政府の助力を前提として、州政府が所有している機械設備³で実施されると仮定した。従って、汚染した土地全体の88%は、土建会社への外注工事として実施されるのではなく、手持ちの手余り状態の機械設備で実施されると考えられる。更に、単純化するために、一般市民の所有する残りの12%の土地の復旧についても、州政府の助成がなされるものとして、結局、全ての復旧工事はフォースアカウント（州、市の現体制の費用の内）で実施される者はプロジェクトのコストに含めないと仮定した。外注工事ベースの小売り価格で積算された物品費は、15%圧縮可能と推定され、また、原価償却費、工事利益等はコストから排除した。

3.09 表III-1に示す通り、復旧総費用は、予備費10%を含めて145百万R\$と推定され、平均ヘクタール単価は、30,700 R\$となる。

³ サンタカタリーナ州政府の農業局や運輸局の道路建設部は、工事に必要な手余り状態の機械設備を所有している。

表 III-1
復旧総費用

	百万R\$
物品費	98.2
消耗品	10.0
機械部品	10.2
植生費	7.2
エンジニアリング	6.2
予備費	13.2
合計	145.0

3.10 放置採掘跡の復旧費は、全体の約 2/3 (93.5 百万 R\$) で、生産活動区域（一時的に生産を休止している休止区域 278ha を含む）は、全体の約 1/3 (51.5 百万 R\$) である。

2. 便益の推定

3.11 石炭採掘による環境破壊を修復することで得られると考えられる、当該地域の社会的経済的便益の数量化調査を、UNESCO の支援のもとで、広範囲に徹底して実施した。数量化できた便益の概要は、表 III-2 に示す通りである。

表 III-2
便益の概要

	(単位：百万 R\$)	
	最小	最大
土地の汚染		
- 地価の増加	77.0	191.2
- 森林資源	19.5 (7 年毎)	19.5 (7 年毎)
- 動植物	2.3/年(5 年目以降)	9.3/年(5 年目以降)
- 余暇への利用	2.2/年(5 年目以降)	8.5/年(5 年目以降)
水の汚染		
- ハイコストの水	13.3/年	13.3/年
- 復旧投資	52.5	52.5
- 余分の配水費用	1.0/年	1.0/年
- 米作	5.0/年	14.8/年
- 淡水漁業	0.6(5 年目)~16.7(25 年目)	1.2(5 年目)~35.2(25 年目)
- 水産資源 ¹	33.2 (5 年毎)	33.2 (5 年毎)
土地と水の汚染		
- 観光開発 ¹	1.1/年	1.1/年

出典：JICA 調査団推定
*単独でなく他の対策と関連

3.12 復旧プロジェクトは、サンタカタリーナ州の環境改善や地下水汚染の抑制等の多くの数量化出来ない便益も生み出す。本計算には、経済活動の増加や生産の増加等の、復旧による波及効果として期待できる便益は、含めていない。プロジェクトの有効性を評価する際には、このような波及効果についても当然勘案すべき便益である。

3. プロジェクトの経済的評価

3.13 表 III-1 に示した総費用 145.0 百万 R\$ から、平均 16% の税金を控除した経済費用と、表 III-2 に示した最小の経済便益（ベースケース）から算定すると、プロジェクトの実施期間を 10 年間と仮定して、プロジェクトの経済内部収益率（ERR）は 16.8% となる。費用増加及び便益の減少を共に 15% の変動と仮定して、感度分析を行なっても ERR は、受容可能な 14.3% を維持している。

C. 第一フェーズ：採掘操業の環境対策改善と稼働炭鉱区域の復旧

1. プロジェクトの概要

3.14 第一フェーズは、2つのプログラムからなっている。

1. 関連機関の強化プログラムは、FATMA、DNPM やその他の石炭採掘を監督している公的機関の強化対策と、併せて採掘会社そのものの強化対策である。所要資金には、スタッフの訓練、運営方針・手順・スタッフの効率アップを目的としての車両やコンピューター、更に、水質モニタリング用等の諸機材の改善、石炭政策・諸機関のフレームワークの改善等についても包含される。
2. 投資プログラムは、生産区域の復旧費用と、炭鉱会社が環境法規を遵守するに必要な他の投資資金（炭鉱排水の中和設備等）が対象となる。

3.15 復旧投資は、炭鉱会社がプロジェクトの資金援助を受け、操業改善が図られ、環境法規を完全に遵守する状況になってから開始すべきと考えられる。フェーズに分けて取り組む方法はリスクを最小化し、プロジェクトの実行を単純化できる。即ち、当初は関連機関の強化プログラムと、炭鉱会社の酸性水中和設備の適切な実施に専念することとなる。単純化を図ることにより、プロジェクトの成功確率の向上が期待される。

2. 第一フェーズの費用推定と資金の手当て

3.16 第一フェーズの推定費用と概念的な資金手当てを表 IV-3 に示すが、これは検討を進めるための目的で示したものである。現時点では、プロジェクトそのものが存在しない状況にあり、詳細なデータに基づき作成されたものではなく、プロジェクトの概略費用を見たものである。プロジェクトの実施の方針が決まり次第、詳細費用を積算すべきである。

表 III-3
第一フェーズ：プロジェクト費用と所要資金

	百万 R\$	%
費用		
- 関連機関の強化プログラム	5.3	7.4
- FATMA	(3.3)	(4.6)
- DNPM	(1.0)	(1.4)
- 炭鉱会社	(1.0)	(1.4)
- 投資プログラム	66.7	92.6
- 生産区域の復旧	(51.5)	(71.5)
- 廃水中和設備 ^{a)}	<u>(15.2)</u>	<u>(21.2)</u>
合計	72.0	100.0
所要資金		
- 炭鉱会社	51.7	71.8
- 生産区域の復旧	(36.5)	(50.7)
- 廃水中和設備 ^{a)}	(15.2)	(21.1)
- サンタカタリーナ州政府	10.0	13.9
- 生産区域の復旧	(10.0)	(13.9)
- 連邦政府	10.3	14.3
- 生産区域の復旧	(5.0)	(6.9)
- 技術支援	<u>(5.3)</u>	<u>(7.4)</u>
合計	72.0	100.0
資金ソース		
- 国際金融機関からの借入れ ^{b)}	40.0	55.5
- 鉱山会社	11.7	16.3
- 連邦政府	10.3	14.4
- サンタカタリーナ州政府	<u>10.0</u>	<u>13.8</u>
合計	72.0	100.0

^{a)} パッシブ ウェットランドを想定。この投資金額は、坑内水が酸性化する前に排水出来ない時に必要となる。プロジェクトの準備期間に詳細検討を要す。他方、環境法規を遵守するためには、沈殿池の改修やクローズド・サーキット・システムの導入が必要となってくる。プロジェクトの準備期間に、これらについても詳細検討を要す。

^{b)} 二国間融資あるいは協調融資の他に、DNPMやFATMAの強化プログラムには、JICA等による無償援助の可能性はある。

3.17 炭鉱会社は、第一フェーズの総費用の約72%の資金が必要となろう。これには、鉱山廃水中和設備の100%と、復旧費用の70%強を含んでいる。しかしながら、土地の価値の上昇により、殆どを回収出来る見込みである⁴。炭鉱業界全体で見ると、財務的に悪影響を受けることはないと言えるが、土地の価値により左右され、状況は個々の会社によって異なるであろう。炭鉱会社は、プロジェクトから、操業改善の技術支援を受けることができる。

3.18 サンタカタリーナ州は10百万R\$（総費用の約14%）を負担する。しかし、復旧工事に伴う所得税の増加により、総費用の全てではないが、その大半の回収が額出来る。更に、サンタカタリーナ州は、連邦政府からFATMA強化のための援助を受けられる。

3.19 連邦政府は、残りの10.3百万R\$（総費用の約14%）を負担することになるが、サンタカタリーナ州政府と同じ様に、復旧工事に伴う所得税の増加により、その一部は回収される。

3.20 外部からの資金40百万R\$は、二国間融資あるいは協調融資により導入され、投資プログラム（復旧と中和設備）に向けられる。この資金は、BADESC (*Banco de Desenvolvimento do Estado de Santa Catarina*, サンタカタリーナ州開発銀行)に入り、一般市場の条件で採掘会社に貸し付けられる。二国間融資あるいは協調融資の他に、DNPMやFATMAの強化プログラムには、JICA等による無償援助の可能性もある。

3. 機構・管理及び実施

(a) 全体統制

3.21 サンタカタリーナ州政府は、外部ローンの借り手として、又復旧工事の実施責任機関として、重要な役割を受け持つこととなるので、州知事の執務室内部の特別プロジェクト部が、全体統括者になることを提案する。FATMAは、これを支援する。特別プロジェクト部に、プロジェクト管理ユニット（PMU）新設し、多くのプログラムの管理と統制の手助けを担当させることを、更に提案する。PMUの主要任務は、まず、(i) プロジェクト

⁴ 鉱山会社は、36.5百万R\$を復旧費用に資金を投下するが、復旧した土地の価値が32.1から76.5百万R\$の間になることが期待される。

全体の実施監督である。これには、融資元金融機関及び連邦政府関係者に対する、定期的進捗報告書の準備、実施期間中に発生すると思われる各種の技術的問題の解決の支援が含まれる。次に、(ii) 融資元金融機関との窓口業務である。PMU は、少数の技術スタッフを配置し、報告は知事に直接行なうものとする。

(b) 関連機関の強化プログラム

3.22 FATMA の強化も重要な一部であるが、プロジェクト推進の中心的役割を果たす意味からも重要であり、FATMA が、PMU 指導監督のもとで、関連機関の強化プログラムの実施責任機関となることを提案する。但し、DNPM 強化対策は、DNPM 独自で実施されるので、これは除外する。強化プログラムの実施と各種受益者機関の資金の支出に関する基本原則は、下記の通りである。

- 石炭政策と組織体制 MME、DNPM 及び SIECESC の代表者から構成される、連邦政府の委員会が設立されて、本報告書に示しているリコメンデーションに沿った、石炭採掘に関する石炭政策と組織体制の強化を目指した計画の準備がなされる。
- FATMA は、本報告書に示している処方に基づき強化計画の準備とその実施がなされるであろう。資金の支出は、強化プログラムに盛り込まれたいろいろな内容が、成功裏に完了した時点で実施される。
- DNPM は、現在組織として何が不十分なのかについて、包括的自己評価と、鉱山会社の監督能力の向上のためのアクションプランの準備を要請されるだろう。DNPM への技術支援に対する資金の支出は、アクションプランの承認が条件となる。
- 炭鉄会社 石炭生産会社は、現在サンタカタリーナ州では、6 社が操業している。その全ての会社に、強化対策が必要であるが、内容は会社毎に違ったものになると思われる。特にボタ山管理を中心とした、詳細な採掘計画も含めた強化対策の準備を手助けするための、短期コンサルタントの資金は、プロジェクトに折り込むことは可能である。個別の会社の強化対策の承認が、各会社への技術支援に対する資金の支出条件となる。殆どの会社は、財務的に微妙な状況にあり、ブラジルの関係当局者の承認を条件として、技術支援は無償ベースとすることを提案する。これは、炭鉄会社が、環境法規を遵守するための、インセンティブにもなるであろう。

(c) 投資プログラム

(i) 資金の準備

3.23 資金は、連邦政府あるいは州政府（外部からのローンをどちらが借りるかで決まる）から BADESC が鉱山会社に再融資するために廻される。資金移転のための契約は、(i) 連邦政府あるいは州政府から BADESC と(ii) BADESC から鉱山会社間の2つが必要で、プロジェクトの準備期間に、関係者間で金利、貸し付け期間、外貨の交換レートのリスク負担、サブプロジェクトのリスク、サブプロジェクトの承認と監督、資金の支出、等の合意を得ることとなる。しかしながら、合意事項は、一般市場の契約条件を反映すべきである。

(ii) 執行手続き

3.24 BADESC は、PMU の監督の下で投資プログラムを管理運営する。BADESC は、鉱山会社が提出する復旧計画（サブプロジェクト）の承認、炭鉱会社の財務的健全性の評価、資金の支払と復旧作業の監督の責任を持つ。又、BADESC は、プロジェクトのリスクを負担し、ローンの回収責任を持つ。

3.25 FATMA と DNPM は、復旧計画が技術的かつ環境的に健全なものであることに責任を持つ。BADESC が融資を実施する前に、復旧計画に承認を与える。鉱山会社が、採掘跡の復旧を拒否する場合には、操業許可を取り消す。

D. 第二フェーズ：放置採掘跡の復旧

1. 基本原則

3.26 第二フェーズは、復旧もせず放置されている採掘跡、3,292ha の復旧作業である。環境復旧による便益を実現化するためには、全ての汚染地域を復旧しなければならない。

3.27 原則として、汚染した土地の所有者が、復旧責任を持つべきである。復旧により、土地の価値の増加は相当な額が期待され、受益者となるからである。下記の表に示す通り、汚染総面積の76%は、採掘会社が所有しており、14%が一般個人で、残りの10%が市町村である。

表III-4
放置採掘跡の土地所有者

(単位：ヘクタール)

	汚染した土地	
	(ha)	(%)
一般個人	448	14
採掘関連会社 ^a	2,504	76
市町村	340	10
合計	3,292	100

出典: JICA 調査チーム

^a CSN (Companhia Siderúrgica Nacional) を含む。

3.28 しかしながら、受益者は単に土地所有者に止まらず、波及効果があることと、現在の土地所有者が、汚染当事者でない場合もあるので、連邦政府と州政府共に総費用の10%の助成を提案する。費用負担割合は、以下の通りとなる。

- 土地所有者	80%
- 州政府	10%
- 連邦政府	10%

3.29 土地所有者で土地の復旧を望まない人たちは、土地の属する市町村に寄贈して、復旧費用の負担を避けることもできる。第一フェーズと同様に、復旧費の資金を持たない人たちには、BADESCにローン制度を準備する。

3.30 FATMAが議長となり、産炭市町村のAMRECと州政府の代表者で構成される委員会を設置し、復旧作業の監督を行なう。石炭生産者の業界団体であるSIECESCや、一般個人の土地所有者の代表者は、オブザーバーとして委員会に参加可能とする。委員会の任務は、(i) 土地所有の正当性の確認、(ii) 土地所有者が提出する復旧計画の承認、(iii) 復旧費の負担を望まない人たちが寄付する土地の登録 (iv) 全てのプロセスに、公正と透明性の確保である。

2. プロジェクトの概要

3.31 第一フェーズと同様に、第二フェーズも2つの要素を持たせる。

1. 技術支援プログラム (i) 土地所有者の復旧計画の準備及び BADESC へのローン要請手続きの支援をする。(ii) 委員会の技術的専門知識の不足部分をサポートする。

2. 投資プログラム 復旧費用の資金調達への支援。

3. 第二フェーズの費用推定と資金の手当て

3.32 今の段階では、第二フェーズの費用と所要資金は、その概略のみ推定可能である。詳細は、第一フェーズが完了しどの程度汚染が緩和されたのか技術的評価を行なったから、試算すべきであろう。プロジェクトの規模を把握し、検討を進めるために、表III-5に推定値を示している。

4. 機構・管理及び実施

(a) 全体統制

3.33 復旧委員会が、プロジェクト全体の統制を行なう。委員会は、(i) 技術支援の資金を管理して、土地所有者の復旧計画策定の支援と BADESC へのローン申請援助、(ii) プロジェクトの全体的実施状況を管理、(iii) 融資元金融機関及び連邦政府関係者に対する窓口業務に関して、責任を負う。

(b) 投資プログラム

3.34 第一フェーズと同様に、復旧資金は BADESC から土地所有者に再融資される。融資条件は、第一フェーズと同じ条件とする。BADESC は、土地所有者が提出する復旧計画（サブプロジェクト）の承認、土地所有者の財務的健全性の評価、資金の支払と復旧作業の監督の責任を持つ。又、BADESC は、プロジェクトのリスクを負担し、ローンの回収責任を持つ。

表 III-5
第二フェーズ: プロジェクトの費用と所要資金

	百万 R\$	%
費用		
- 技術支援プログラム	5.0	5.1
- 復旧委員会	(0.5)	(0.5)
- 土地所有者	(4.5)	(4.6)
- 投資プログラム	<u>93.5</u>	<u>94.9</u>
合計	98.5	100.0
所要資金		
- 土地所有者 ¹⁾	74.8	75.9
- 探掘関連会社 ²⁾	(56.9)	(57.8)
- 一般個人 ²⁾	(10.2)	(10.3)
- 市町村 ²⁾	(7.7)	(7.8)
- サンタカタリーナ州政府	11.8	12.0
- 復旧 ¹⁾	(9.3)	(9.4)
- 技術支援	(2.5)	(2.6)
- 連邦政府	11.9	12.1
- 復旧 ¹⁾	(9.4)	(9.5)
- 技術支援	<u>(2.5)</u>	<u>(2.5)</u>
合計	98.5	100.0
資金ソース資金ソース		
- 国際金融機関からの借入れ ³⁾	60.0	60.9
- 土地所有者 ³⁾	14.8	15.0
- サンタカタリーナ州政府	11.8	12.0
- 連邦政府	<u>11.9</u>	<u>12.1</u>
合計	98.5	100.0

¹⁾ 段落番号 36 の費用負担率の通り。

²⁾ 表 IV-4 の土地所有者構成による。

³⁾ 借入自己資本比を 80:20 と仮定した。土地所有者は、復旧費用の 80% を BADESC から借入れ、残りの 20% は、自己資本で調達するとして算出した。

結 言

PS1. ブラジル国サンタカタリーナ州南部石炭鉱害復旧計画調査の英文タイトルは、採掘跡の復旧となっているが、調査団は、生産活動区域の復旧をまず最初に行なうべきとの結論に達した。理由は、4ヶ所のFSサイトの汚染はひどく、最も効果的と考えられる技術を用いても、FSサイト内単独では、現在のブラジル国の表流水の水質環境規制値を満たすまでに、復旧することは困難であることに加えて、同地域の主要3流域の河川水の水質シミュレーションの結果によれば、生産区域は採掘跡区域に比べてはるかに汚染されていることから、採掘跡区域だけを復旧しても、著しい改善効果が見られず、生産区域の改善が不可欠であることが、明らかになったからである。

PS2. 両区域の復旧、即ち、(a) 汚染地域全体を湿式・乾式被覆とウェットランドとの組み合わせで復旧し、同時に、(b) 生産区域からの排水が同国の排水環境規制値を遵守した状況のとき、酸性度と金属濃度が大きく減少、改善されて、この地域の多くの河川において水質のpHが5以上となることが期待できる。このレベルになると、水性植物の生育やバクテリアの活性化等が見られることから、長期には自然治癒力が働き、さらなる中和が期待される状況となると考えられる。

PS3. 鉱害問題を解決するためには、とにかく復旧が必要であり、他の選択肢はない。生産区域は最も汚染の進んだ所であることに加えて、その面積は1,432 haで、全採掘跡地の3,292 haの半分程度の広さであることから、投資リスクを軽減する目的で、二段階の復旧策を考慮し、第一フェーズでは、生産区域の復旧に限定する計画を提案した。この提案は、カウンターパートであるFATMAからの強い要請もあり、石炭採掘及び環境規則の不遵守による深刻な汚染を将来再び発生させない体制の確立を目指し、サンタカタリーナ州の炭鉱の操業改善及び環境保護行政の強化を含めた包括的な計画である。採掘跡の復旧は、生産活動区域が完全に復旧され、環境法規も完全に遵守される状況が実現した時初めて、第二フェーズとして着手することとなる。ここで特に留意すべき点は、これら2つのフェーズを全て完了しない限り、見るべき便益は殆ど期待できないことである。

PS4. 第一フェーズのための次のステップ：放置採掘跡の復旧から、生産区域の改善へと焦点が移ったことにより、第一フェーズの実施に先立って、追加調査の実施を提言する。この調査には、(a) プロジェクトの費用を明確にするための、個別の採掘計画及び再選炭計画のレビュー、(b) プロジェクト実施に伴う、財務上の義務が全う出来るかどうかを。

把握するための、採掘会社の財務状況の徹底した評価作業、が含まれる

JICA