

社会開発協力部報告書

6495
29546

NO 07

マイク
フィルム

ボリヴィア共和国
ボリヴィア国鉄復旧計画報告書
西部路線フイージビリティ調査

勧告と要約

昭和55年3月

JICA LIBRARY



J1154469191

国際協力事業団

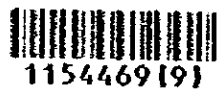
S D F

C R (3)

80 - 69

0049

ホ



No.

マイクロ
フィッシュ作成

ボリヴィア共和国
ボリヴィア国鉄復旧計画報告書
西部路線フェージビリティ調査

勧告と要約

昭和55年3月

国際協力事業団

S D F
C R (3)
80 - 69

目 次

- I 調査の目的と範囲 1
- II 計画の背景 1
- III 勧 告 2
- IV 要 約 3
- 1. 災 害 の 状 況 3
 - (1) 地形、地質、気象の状況 3
 - (2) 災害の状況 3
 - 1) 101 Km~110 Km 4
 - 2) 113 Km~116 Km 4
- 2. 復 旧 計 画 4
 - (1) 復旧計画作成の方針 4
 - (2) 復旧計画案 5
 - 1) 48 Km~57 Km+650 m 5
 - 2) 101 Km~110 Km 5
 - 3) 113 Km~116 Km 5
 - 4) プロジェクトコスト 5
- 3. 需 要 予 測 7
 - (1) 需要予測の方法 7
 - (2) 予 測 値 7
- 4. 経 済 分 析 8
 - (1) 災害復旧2区間について 8
 - 1) 列車運転休止日数 8
 - 2) 旅客輸送の損失 9
 - 3) 貨物輸送の損失 9
 - 4) 災害復旧費 9
 - 5) プロジェクト実施に伴うその他の効果 10
 - 6) 便益となる費用の合計(1984年) 10
 - 7) プロジェクト実施に伴う費用 10

- (2)
- 1)
- 2)
- 3)
- 5. 財
- (1)
- 1)
- 2)
- 3)
- 4)
- 5)
- 6)

DRAW

(2) トンネル建設区間について	10
1) 保守費の節減	10
2) 運転費の節減	10
3) プロジェクト実施に伴う費用	10
5. 財 務 分 析	11
(1) 災害復旧2区間について	11
1) 旅客運賃収入減	11
2) 貨物運賃収入減	11
3) 災害復旧費	11
4) 軌道保守費の節減	11
5) 便益となる費用の合計	11
6) プロジェクト実施に伴う費用	12

DRAWINGS

I 調査の目的と範囲

今回の調査は、Bolivia 政府の要請に応じて、日本政府が技術協力を行なったもので、日本国の法律によって JICA (Japan International Cooperation Agency) が実施したものである。調査は、双方の政府で確認された "Scope of Work" に従って行なわれたもので、Oruro ~ Cochabamba 間 (48Km ~ 55Km、101Km ~ 110Km、113Km ~ 116Km の3区間) の復旧を行うに ついての技術上及び経済・財務上のフイージビリティを確認することを目的としている。

この目的を達成するため 1979年7月に現地調査を実施した。今回の報告は、この現地調査の結果及び Bolivia 国鉄 (ENFE) から提供を受けた資料を検討して作成されたものである。

なお、本報告書は現地調査時点の通貨交換率で検討したものであるが、その後 1979年11月に通貨交換率は 1USS = 20 \$b (ボリビアペソ) から 1USS = 25 \$ に変更されている。したがって、プロジェクトコスト等を取扱うに当っては、今後の物価への影響等を考慮されるようお願いする。

II 計画の背景

Bolivia 国鉄西部路線 Oruro-Cochabamba 間のうち約 75km の区間は、毎年雨期に多数の箇所が災害を受け、このため多額の復旧費用と列車の運転停止による経済的な損失を招いている。

この鉄道は、工業都市 Oruro と第 2 の都市 Cochabamba を結ぶ路線であるとともに、将来構想の東西連絡ルートとされている重要路線でもある。

このため、Oruro-Cochabamba 間は、今後の災害から安定した輸送を確保することが必要である。

1979年
て Oruro
を実施した結

1. Oruro
多額の復旧
失を招いて
今回調査
全長約 75

2. この約 7
恒久対策と
全線におけ
どの問題か
られて来て
て線路を懸

3. この災害
(1) 101
な災害箇
する。
(2) 113
以上の
がバラ

4. トンネル
フイージ
に、再核

Ⅲ 勸 告

1979年7月に実施した現地調査の結果、ならびにENFE より提供を受けた資料に基づいて Oruro - Cochabamba 間の鉄道災害復旧及びトンネル建設計画のフィージビリティ調査を実施した結果は次のとおりである。

1. Oruro - Cochabamba 間のうち約75Kmの区間は毎年雨期に多数の箇所が災害を受け、多額の復旧費を必要としているばかりでなく、列車の運行停止による運賃収入減や経済的な損失を招いており、深刻な問題を抱えている線区である。

今回調査の対象である101Km~110Km、及び113Km~116Kmの2区間、約12Kmは全長約75Kmの災害区間のうち、特に問題が深刻、且つ差し迫っている区間である。

2. この約75Kmに及ぶ災害区間は侵食活動の盛んな地塊で、地表面の動きが激しいことから、恒久対策として考えられる理想案はトンネルである。しかしこれは費用がかかり過ぎることと全線における災害強度のバランスの問題、さらには今後の状況変化に対する柔軟性に欠けるなどの問題がある。この区間についての現実的な対策は結局、Cochabamba 支線でこれまでとられて来ているように、災害箇所毎の対策を基本に、これが限界に達した状況では枝害をさけて線路を移設していく方法であると考えられる。

3. この災害2区間に対する対策としては、

- (1) 101Km~110Km間については、現在の線路が極めて不安定な地盤の上であり、大規模な災害箇所が連続して存在することからこれを避けて状態の安定している対岸へ線路を移設する。
- (2) 113Km~116Km間については、災害を避ける位置に線路を扛上する。

以上の方法で対策するのが適切であると考えられ、これによって Cochabamba 支線全体がバランスのとれた状態に改善されることになる。

4. トンネル建設計画は経費の節減が目的であるが、今回の調査の範囲ではその効果が小さく、フィージビリティを確認することが出来なかった。今後輸送量の大幅な増加が想定される際に、再検討するのが適当と思われる。

IV 要 約

1. 災害の状況

(1) 地形・地質・気象の状況

Oruro からの鉄道は、周辺の山地の侵食により供給された砂礫の堆積物からなる高原を過ぎ、標高4,130mのピークをヘアピン曲線で通過した後、Cordillera Oriental 山地の東側斜面を刻む Rio Arque の溪谷に沿って、標高2,600m付近に広がる構造盆地に達する。

Cordillera Oriental 山地は古生代（一部中生代）の硬い砂岩、頁岩の互層で、第3紀の造山運動で山地が形成されるとともに著しい褶曲と断層が形成されている。このため基岩は節理が多く脆弱である。

この東斜面では雨期における降雨量はかなりの量に達しているが乾期には降雨が殆んどなく、又表土の発達が見られないため植生がみられず裸地である。

これらの状況にあるためこの地域は侵食活動が盛んであり、地表付近の変化がはげしい地帯である。これら侵食活動は特に北西—東南方向の褶曲軸に沿う支谷で著しく、斜面の崩壊や崖崩が発達し、また大量の土石の発生がある。これらの土石流は基岩が堆積岩であることと、節理間隔が小さいため岩塊が小さいのが特徴である。

(2) 災害の状況

Cochabamba 支線で災害が多発しているのは65km~140km付近の約75kmの Rio Arque に沿う急勾配急曲線の区間である。この間は前述のように脆弱な地質を急流が刻む侵食活動が盛んな地域であり、その急峻な山腹にとりついて設置されている鉄道には、斜面と溪流に係わる災害が多くこの区間で常時発生している。

毎年雨期においては、列車運転はしばしば中断されるのみならずその対策に多額の費用の支出を余儀なくされている。このため一部89km~94km付近では線路の移設工事を実施中であり、引きつづき94km~96kmに近く着手する予定となっている。

この災害区間全域における災害の発生状況を示すと次の通りである。

土 石 流	44ヶ所	4,700m
斜 面 崩 壊	22ヶ所	2,600m
地 じ り	7ヶ所	1,100m
河 岸 侵 食	28ヶ所	7,000m
河 床 上 昇	6ヶ所	—
計	107ヶ所	15,400m

今回、
1) この
険度は
と橋り
Chang
この
2) この
返し発
し、こ

2. 復旧計画

(1) 復旧計画

Cochabamba

が連続し

すると

今回復旧

等が完了

従って

線路に改

1) この

が困難

などの

として

2) 従

限り柔

処し得

3) また

により

トン

いる。

今回、復旧計画の対象とする区間の状況については次のとおりである。

1) 101 Km ~ 110 Km + 000 m

この間は流れ登りの斜面での大規模な崩壊が4ヶ所700 mに発生しており、再発の危険度は極めて高い。又線路を横断する多数の支谷には大量の土石流が発生して線路の埋没と橋りょうの破壊を生じており、その規模は12ヶ所740 mに上っている。更に Rio Changolla の橋梁は著しい河床の上昇のため橋梁が埋没寸前の状態になっている。

この間は今回調査した中で、危険な箇所が最も多く集中している。

2) 113 Km + 000 m ~ 116 Km + 000 m

この間は河岸の侵食が甚だしく、そのために路盤の流失が3ヶ所630 mにわたり繰り返して発生している。さらに対岸の Rio Pichacani からの大量の土石流が本流を狭くし、このため護岸とともに路盤の流失が恒常的に発生している。

2. 復旧計画

(1) 復旧計画作成の方針

Cochabamba 支線には約75 Kmに及ぶ災害区間がある。このうち特に規模の大きい災害が連続して発生している2区間約12 Kmについて災害の発生を防止し、安定した輸送を提供するとともに、災害に伴う支出を抑制することが今回の復旧計画作成の目的となる。

今回復旧計画の対象となる区間以外の状況は比較的良く、又対策は現在進行中でありこれ等が完了すればこと当分の間は状況が好転すると考えられる。

従って今回対象区間について適切な計画を実施することにより全区間がバランスのとれた線路に改善されることが期待される。

1) この地域は侵食、堆積活動が盛んであり、地表面の変化が激しく恒久対策を考えることが困難である。従って対策の基本は災害の発生状況を判断しつつ逐次線路を移動していくなどの方法とせざるを得ない。今回の対象区間についての復旧計画もこうした対策の一環として考える必要がある。

2) 従って、本復旧計画を作成するに当たっては、将来の状況の変化に対応できるようにできる限り柔軟性のある計画とするとともに、今回計画に含める範囲もおおむね20年程度に対処し得ると考えられる内容を見込むことにする。

3) また、48 Km ~ 57 Km + 650 mの区間は災害とは関係なく、トンネルを計画することにより急勾配急急線路を改良し併わせて短絡効果を期待するものである。

トンネル計画そのものには特に技術上の問題点はなく、その実施は経済効果にかかっている。

(2) 復旧計画案

1) 48Km~57Km+650m間

トンネル区間の基岩は古生代の砂岩、頁岩からなっており、大きな断層はない。Oruro 方の坑口付近には若干の未固結堆積物が認められるが、ルートを修正してこれを避ければ問題はない。

2) 101Km~110Km間

この間については

A案 103Km付近より線路の扛上と護岸整備を主とする従来の対策

B案 103Km付近より対岸への線路移設

C案 101Km付近より対岸に線路を移設し、概ねB案にすりつく案

の3案が考えられるが、A案は災害対策の技術的な案とはいえず、今後とも災害の影響を受けやすい。またC案の101Km~103Km付近は、在来線と同様な崖堆地帯であるうえ、土石流を排出している大きな支谷が2カ所あるため、建設費を投じて線路を新設してもその効果は極めて疑問である。従ってB案を採用し、この間の在来線の災害に対しては、従来の方法により対処するのが有利と考えられる。

3) 113Km~116Km

この間の復旧案は従来の河床上昇を考慮して施工基面を扛上する。

4) プロジェクトコスト

48Km~57Km+650m	236,104,000 \$b	トンネル建設
101Km~110Km		
A案	294,276,000 \$b	103Kmより施工基面扛上と護岸
B案	251,010,000 \$b	103Kmより対岸へ線路を移設
C案	378,398,000 \$b	101Kmより対岸へ線路を移設
113Km~116Km	123,560,000 \$b	施工基面扛上

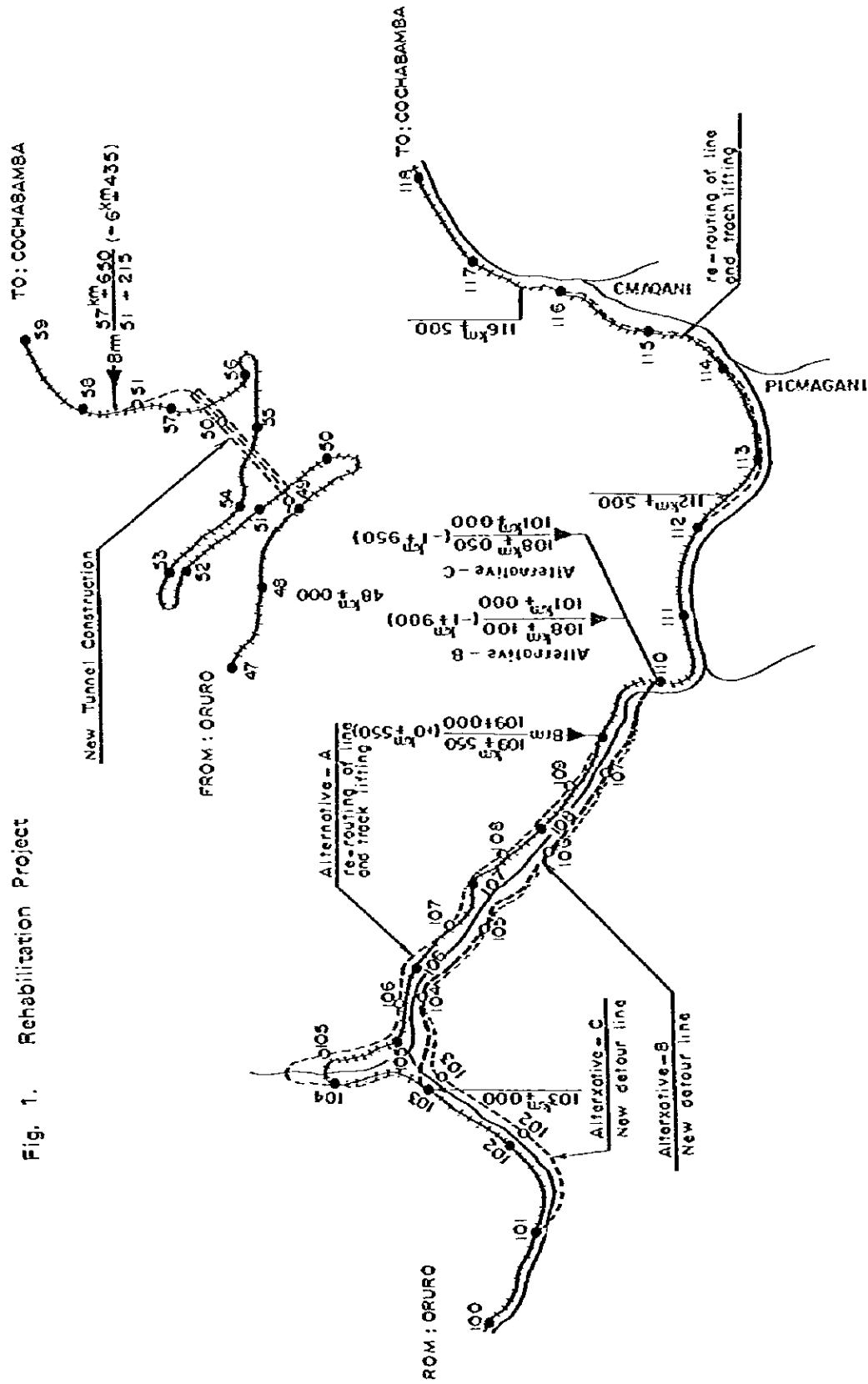


Fig. 1. Rehabilitation Project

3. 需 要 予 測

Cochabamba 支線は、工業都市 Oruro と第2の都市 Cochabamba を結ぶ鉄道であるとともに、将来構想の東西連絡鉄道のルートとされている重要路線である。

現在輸送密度は、旅客653人/km・day、貨物440t/km・dayであり、過去の実績にかなりの変動はあるが、全体として増加の傾向にある。

(1) 需 要 予 測 の 方 法

このプロジェクトは、機能回復のための復旧プロジェクトである。

従って開発による需要発生はないため、“With”も“Without”も同じ予測値を用いる。

Oruro - Cochabamba 間には道路があり、1982年完成を予定して改良工事が実施されている。最近の鉄道のシェアは、旅客36%、貨物20%と推定される。

鉄道輸送量の将来予測には、道路との競争を考慮する必要があるので、実績値から想定した鉄道の将来輸送量を、輸送配分モデルを設定して修正して用いる。

道路の改良によりトラック輸送は現在の Oruro - Cochabamba 間の所要時間8時間が80分程度短縮されることになる。これに伴い鉄道における国内貨物が、その4.2%道路へ転移する。

(2) 予 測 値

旅客については、この線区に関する実績値が過去3年間しかないため Cochabamba 州の人口増加率から推定する。

即ち、今後10年間は現在の増加率1.86%、それ以降は産業の育成による人口の流出が止まると考えて2.1%で増加するものとする。

貨物については1971年~1978年の8年間の実績値から推定する。

推定の結果は次のとおりである。

	1978年	1990年	2000年
旅客(1,000人)	312	390	481
貨物(1,000ton)	168	222	263

4. 経 済

ここでは
か否かを検
訂値に当
期に実績さ
を実績しな
後継続する
Prsject
る。

なお C
ェクト評価
。 道路は
。 将来の
現段階で
本区間の

I. R. 1
価では C
の波に伴
より高い

トンネル
ため前記
- 即ち、
の波を使
とは言え
増加が期
以下に

(1) 災害
1)
C
19
する
58
と推

4. 経済分析

ここでは、Cochabamba 支線の復旧計画を実施することが、国民経済的にみて意義があるか否かを検討する。

評価に当っては災害復旧の2区間(104Km~110Km、及び113Km~116Km)は同時期に実施されるものとして便益を計測し評価する。評価の方法は東線と同様に、プロジェクトを実施しなかった場合に想定される鉄道施設の損傷—運転休止—応急復旧というパターンが今後継続する場合に、旅客や貨物が受ける経済的損失や、災害、復旧に要する費用を With Project の便益として計測し、プロジェクトを実施するに要する費用と比較する方法を用いる。

なお Cochabamba 支線には、代替輸送手段として道路があるが、次の理由によりプロジェクト評価の際の代替案としては考えない。

- 道路は別の谷筋を経由しており、沿線の諸聚落に対して代替交通手段となり得ない。
- 将来の大陸横断鉄道構想のルートとなっており、このルートの廃止を前提とする代替案は現段階では考えられない。

本区間の復旧プロジェクトの経済分析を行った結果は、

I. R. R. = 1.028 多 となり、ほぼ経済的にフィージブルとなる結果を得た。この評価では Cochabamba 支線の列車運休が、他線区の列車運転に及ぼす影響や、列車運休日数の減に伴う誘発的効果については計測できなかったため、これらの要素をも考慮すれば、より高い経済効果が得られるものと思われる。

トンネル建設区間(48Km~55Km)は、維持費用の軽減を目的としたプロジェクトであるため前記の復旧プロジェクトとは別に評価する。

即ち、プロジェクトの実施により期待される線形の改良と距離短縮に伴う保守費及び運転費の減を便益として計測したが、発生する便益が小さいため、現段階では経済的にフィージブルとは言えない。トンネル建設の便益は輸送量によって大きく変化するため、今後輸送量の大幅増加が期待される事態があれば再検討することが望ましい。

以下に、以上の経済分析の概略を説明する。

(1) 災害復旧2区間について

1) 列車運転休止日数

Cochabamba 支線において災害のため運転が休止された日数の実績値の1975年~1979年の平均は58日である。58日のうち、復旧の対象である2区間の災害に起因するものは、この区間が占める土工量の比率80%を用いて、

$$58日 \times 0.8 \div 46日$$

と推定する。即ち、この区間の改良により解消される運転休止日数は46日である。

2) 旅客輸送の損失

旅客輸送については行商人が、移動できないことにより受ける損失と、沿線の居住者が列車旅客に物資を販売できないことにより受ける損失を計上する。1984年における損失額を算出すると、

行商人の受ける損失	598,000 \$b
鉄道沿線住民の損失	430,000 \$b
<hr/>	
計	1,028,000 \$b

3) 貨物輸送の損失

貨物のトン当りの商品価格を推定すると次のとおりである。

輸出	10,333 \$b / ton
輸入	25,833 \$b / ton
ローカル	14,082 \$b / ton

列車運転休止時の貨物輸送対策の過去における事例を参考に、今後運転が休止された場合の対応のパターンを次のように想定する。

(単位 多)

	輸 出	輸 入	ロ - カ ル		記 事
			->Cochabamba	->Oruro	
保 管	45.0	100.0	68.0	42.5	金利、保管費
野 積	45.0	-	17.0	42.5	金利
小 計	90.0	100.0	85.0	85.0	
代替輸送	10.0	-	15.0	15.0	
計	100.0	100.0	100.0	100.0	

1984年の輸送量について上記パターンでの輸送中断の損失を算定すると、10,566,000 \$b となる。

4) 災害復旧費

復旧プロジェクトを実施しない場合は、毎年うける災害を復旧するための費用が必要である。1974年~1978年間に支出されたこれらの費用の平均は1979年価格で次のとおりとなる。

応 田 復 旧 費	5,510,000 \$b
乾 期 対 策 費	6,963,000 \$b
計	12,473,000 \$b

シャドウプライスを適用した経済費用は 11,719,000 \$ b となる。

これらの費用は、被害が毎年発生するという状況から次第に増大していくと考えられる。これまでの実績が示す傾向から今後の費用については年々6%増大するものとする。この場合1984年において想定される費用は

15,683,000 \$ b となる。

5) プロジェクト実施に伴うその他の効果

プロジェクトを実施した場合は、線路延長の短縮及び軌道更新が行われるため保守費用の減が見込まれる。1984年における保守費の減はシャドウプライスで1,151,000 \$ b となる。

6) 便益となる費用の合計(1984年)

旅客の損失	1,028,000 \$ b
貨物の損失	10,566,000 \$ b
災害復旧費	15,683,000 \$ b
軌道保守費	1,151,000 \$ b
計	28,428,000 \$ b

7) プロジェクト実施に伴う費用

災害復旧2区間の、シャドウプライスを適用したプロジェクトコストは次のとおりである。

103km+000m ~ 110km+000m	211,075,000 \$ b
112km+500m ~ 116km+500m	103,677,000 \$ b
計	314,752,000 \$ b

(2) トンネル建設区間について

1) 保守費の節減

6.4kmの軌道延長の減と線形改良による保守費の減は、1984年においてシャドウプライスで1,617,000 \$ b となる。

2) 運転費の節減

6.4kmの走行距離短縮と、勾配改良に伴う燃料の節減を算定すると、1列車当り160tとなり、1984年における節約額は730,000 \$ b となる。

3) プロジェクト実施に伴う費用

シャドウプライスを適用したプロジェクトコストは
198,076,000 \$ b となる。

5. 財務分析

ここでは独立採算性を要求される企業体の立場に立って、この復旧プロジェクトを実施した場合の投資額と、このプロジェクトを実施しない場合の諸支出を比較し検討する。

即ち、このプロジェクトを借入金によって実施しその資本費用をこのプロジェクトを実施しない場合に想定される運賃収入減や応急復旧に支出される費用でまかなうとした場合に、どれだけの利子率に耐えうるかを算定した結果災害復旧プロジェクト（2区間）の財務内部収益率は、7.14%となった。

この結果から、復旧プロジェクトは低利資金の導入ができれば財務的にもほど健全といえるが、トンネル建設は現在の段階では健全とは言い難く、今後輸送量の大幅増加が期待される事態があれば再検討するのが望ましい。

以下に以上の分析の概略を説明する。

(1) 旅客運賃収入減

列車が運行を停止した期間中は、Oruro - Cochabamba 間を移動する旅客全てが影響を受けるものとして、その運賃収入減を算出する。1984年においては、

普通列車	623,000 \$ b
フェロバス	1,179,000 \$ b
計	1,802,000 \$ b

(2) 貨物運賃収入減

貨物は運転休止期間中に代替輸送されるものが対象となる。

1984年においては、

ローカル貨物	116,000 \$ b
輸出貨物	113,000 \$ b
計	229,000 \$ b

(3) 災害復旧費

1984年において財務費用で16,692,000 \$ b

(4) 軌道保守費の節減

1984年において 1,225,000 \$ b

(5) 便益となる費用の合計（1984年）

旅客運賃収入減	1,802,000 \$ b
貨物運賃収入減	229,000 \$ b
災害復旧費	16,692,000 \$ b
軌道保守費	1,225,000 \$ b
計	19,948,000 \$ b

(6) プロシ

103

112

(6) プロジェクト実施に伴う費用

103 Km + 000 m ~ 100 Km + 000 m 251,010,000 \$ b

112 Km + 500 m ~ 116 Km + 500 m 123,560,000 \$ b

計 374,570,000 \$ b

DRAWINGS

1. Plan of Tunnel Construction (48 km + 000 m ~ 57 km + 650 m)
2. Longitudinal Profile of Tunnel Construction (48 km + 000 m ~ 57 km + 650 m)
3. Plan of Existing Line Improvement [Alternative A] (103 km + 000 m ~ 110 km + 000 m) and Lifting-up of track level (112 km + 500 m ~ 116 km + 500 m)
4. Longitudinal Profile of Existing Line Improvement [Alternative A] (103 km + 000 m ~ 110 km + 000 m) and Lifting-up of track level (112 km + 500 m ~ 116 km + 500 m)
5. Plan of New Detour Line [Alternative B] (103 km + 000 m ~ 110 km + 000 m)
6. Longitudinal Profile of New Detour Line [Alternative B]
7. The Formation Width for the Earthwork Section
8. Typical Design of Corrugated Steel Pipe
9. Typical Design of Open Culvert
10. Typical Design of Through Girder Bridge ($l = 40 \text{ m}$)



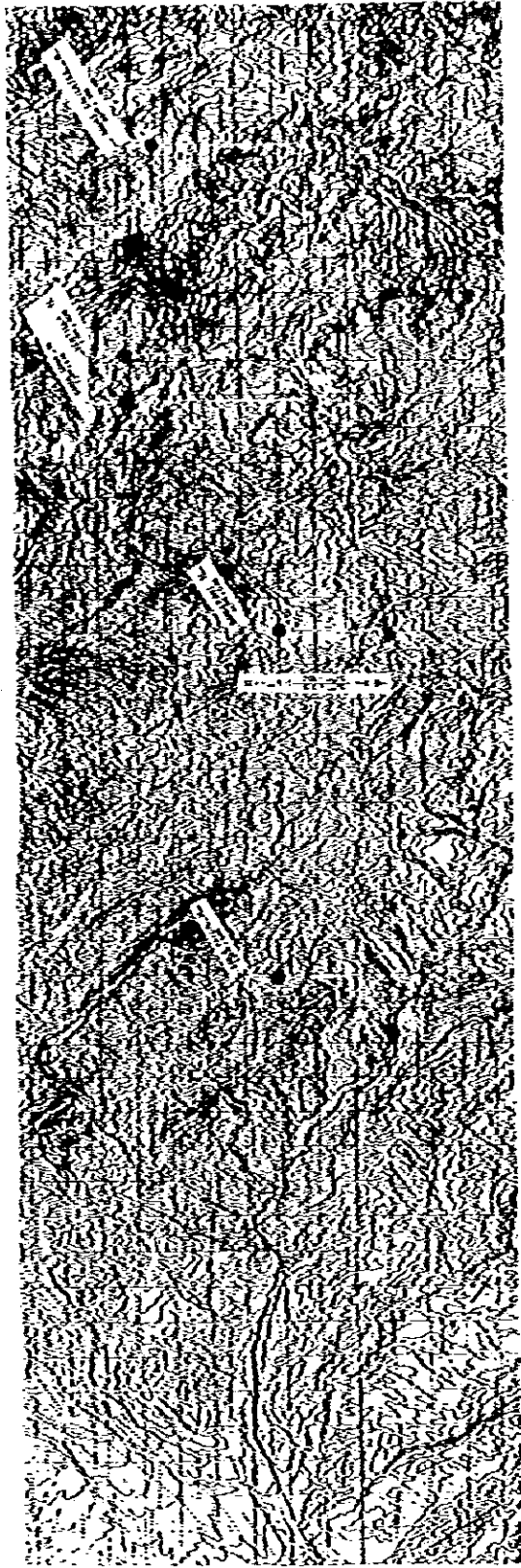


Figure 1
 Plot of Sample Coordinates (m) vs. Elevation (m)
 Date: 1/18/2001

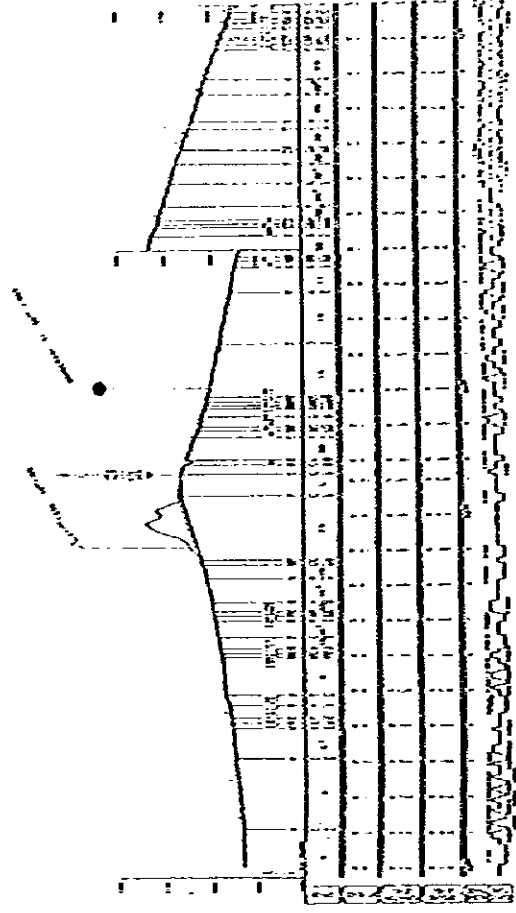


Figure 2
 Plot of Sample Coordinates (m) vs. Elevation (m)
 Date: 1/18/2001

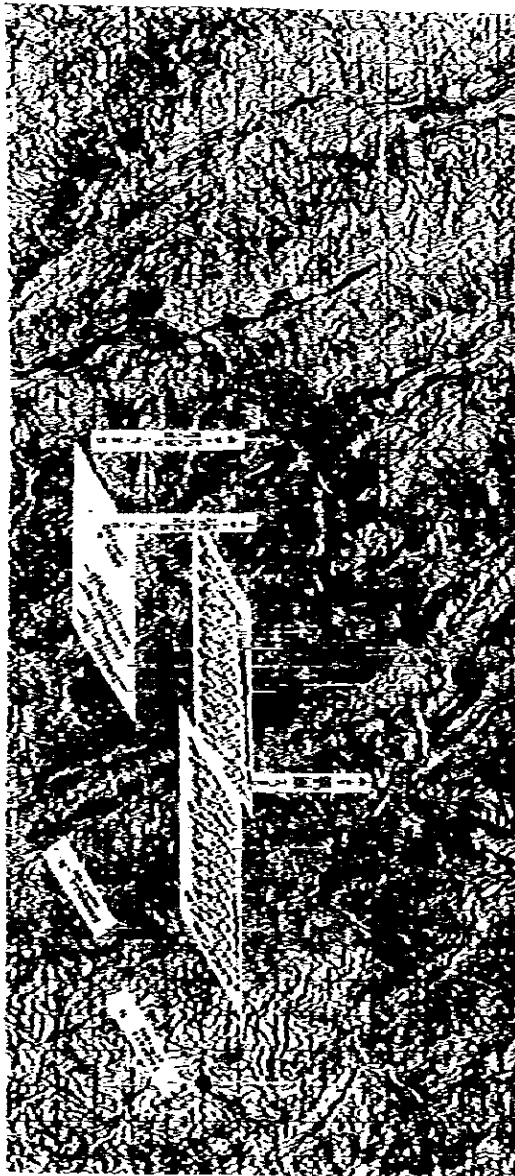


Figure 1
 Topographic map of the study area showing the location of the study sites and the road network. The map is oriented vertically on the page.

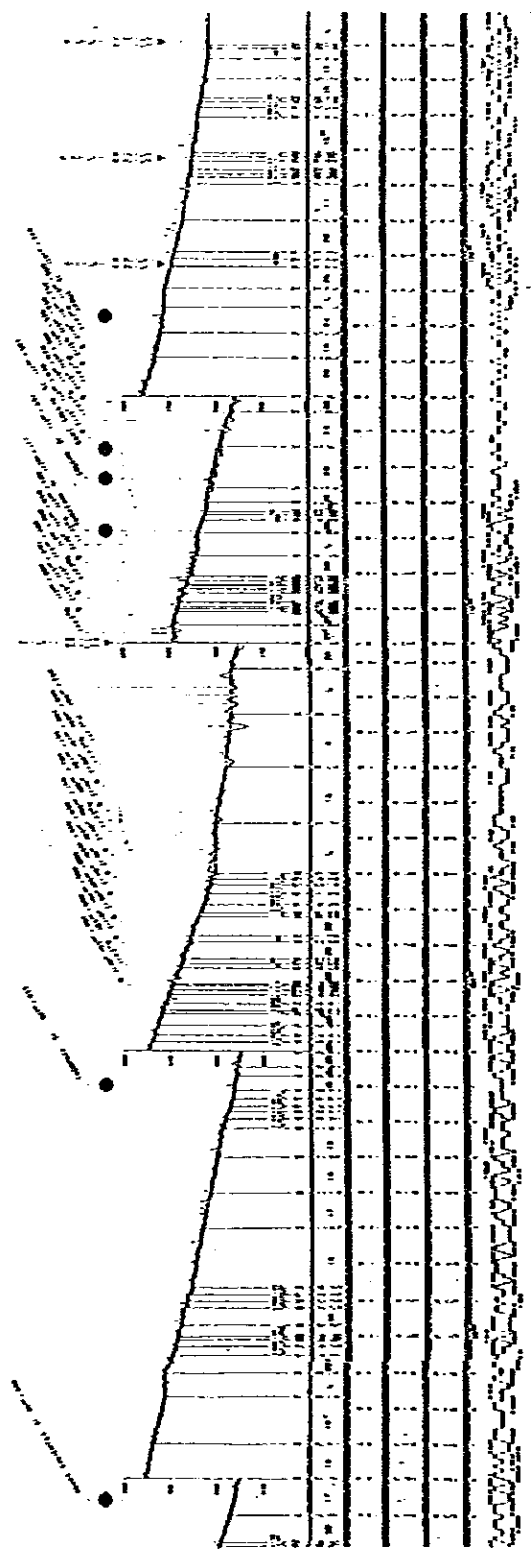


Figure 2
 Cross-sections of the terrain showing the elevation of the ground surface and the underlying geological layers. The profiles are labeled with letters (A, B, C, D, E) and numbers (1, 2, 3, 4, 5). The geological layers are represented by different patterns and textures, indicating various rock types or soil layers.





Figure 1
 Map of the study area showing the location of the study area in the study area.
 Scale: 1:50,000

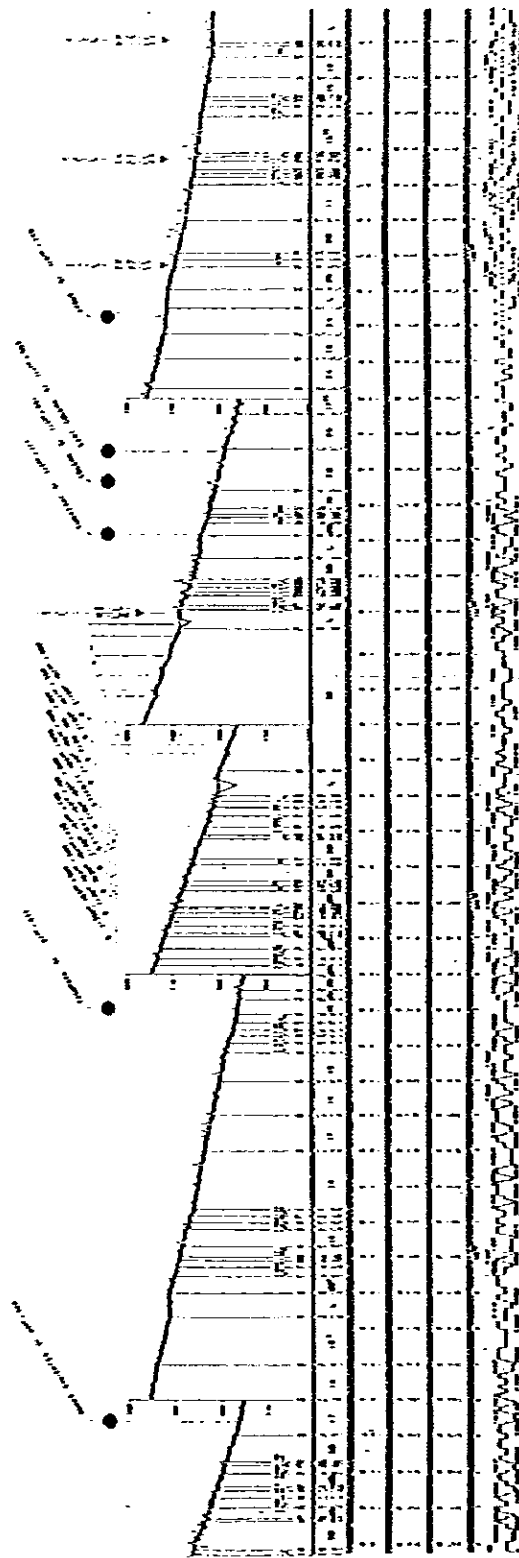
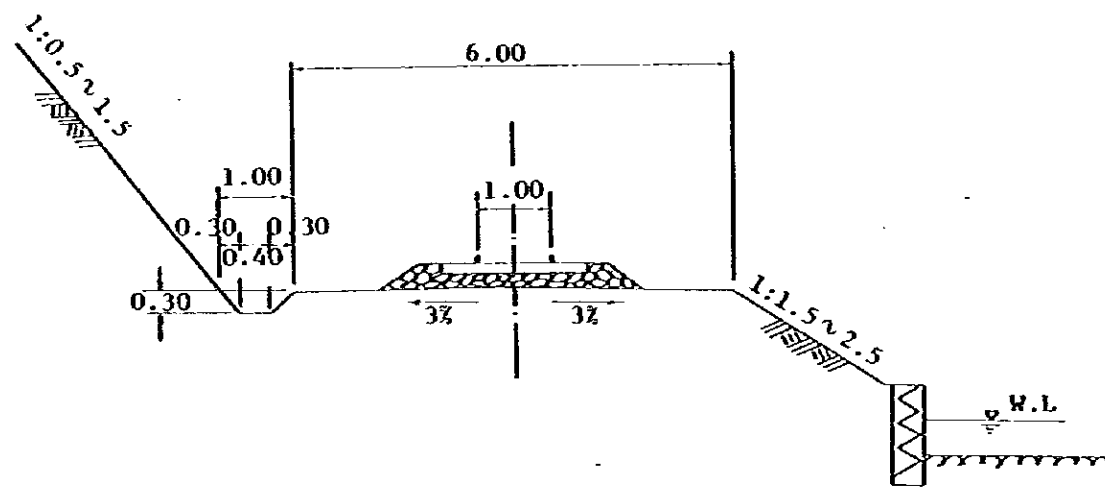


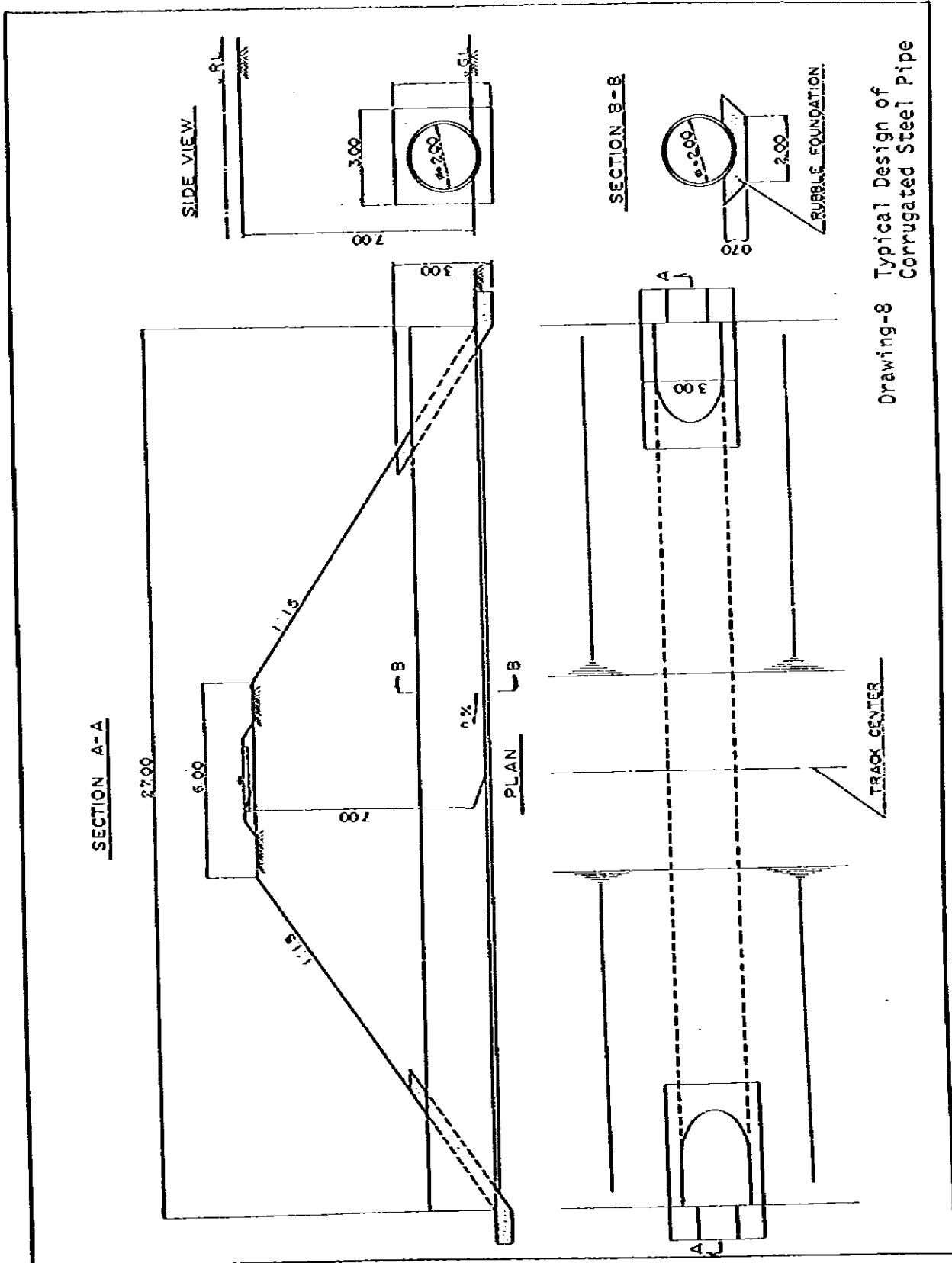
Figure 2
 Geological cross-section showing the location of the study area in the study area.
 Scale: 1:50,000



Drawing-7 The Formation Width for the Earthwork Section

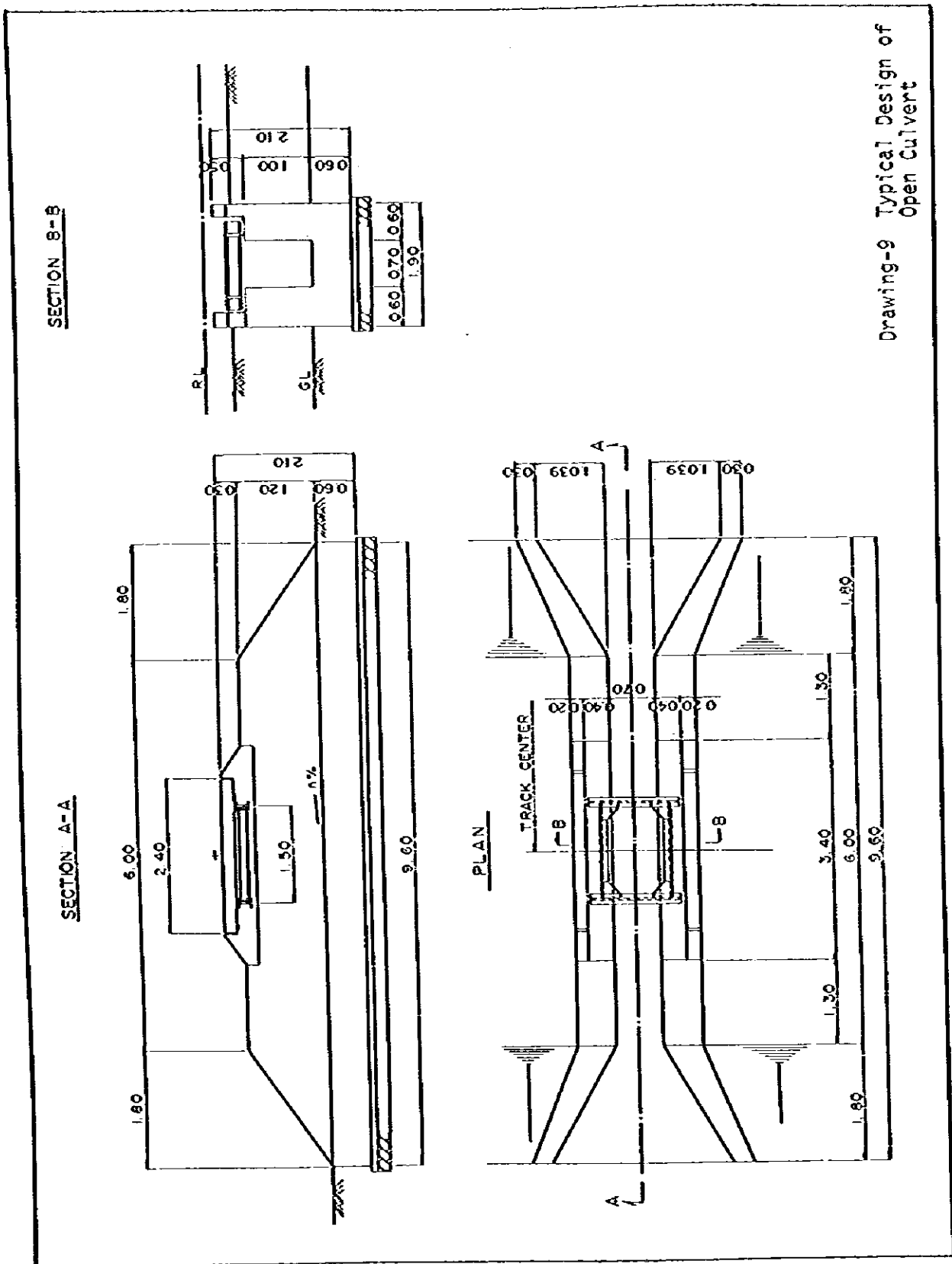
SECTION A-A

22.00



Drawing-8 Typical Design of Corrugated Steel Pipe

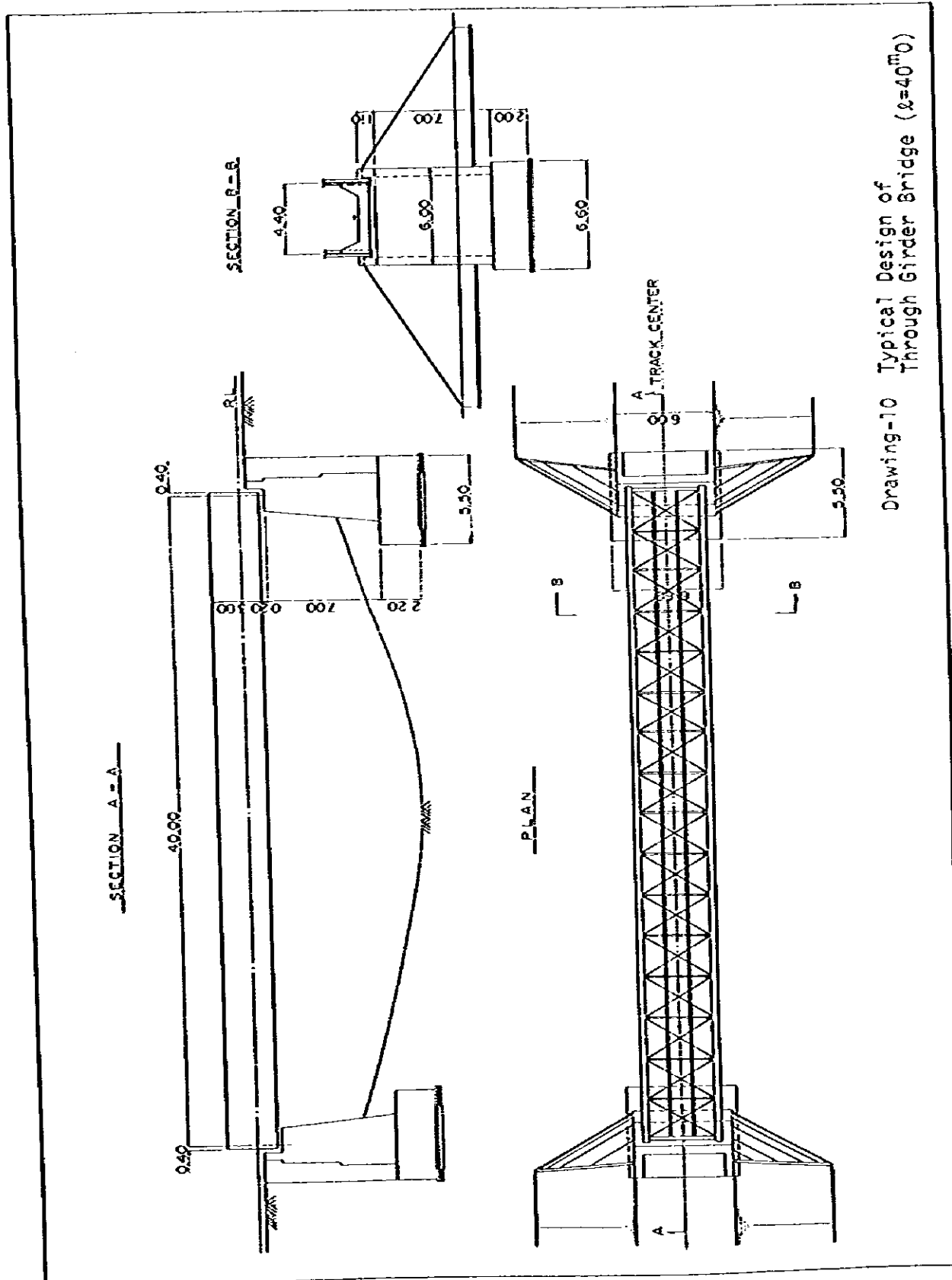
0110



Drawing-9 Typical Design of Open Culvert

SECTION A-A

040



Drawing-10 Typical Design of Through Girder Bridge (L=40^m)

