



REPUBLIC
OF
ZAMBIA

ザンビア国
カフエ川道路橋
改築計画調査

最終報告書
(要約編)

平成2年10月

国際協力事業団

533
61.5
SF

社調一



90-107

ザンビア国
カフエ川道路橋
改築計画調査

JICA LIBRARY



1089785(8)

最終報告書

(要約編)

22223

平成2年10月

国際協力事業団

国際協力事業団

22223

目 次

要旨	1
1. 概要	3
1.1 調査の背景	3
1.2 調査の目的	3
1.3 調査実施工程	3
2. 道路・交通の現況	4
2.1 道路規格と規格別延長	4
2.2 道路網	5
2.3 交通観測調査結果	6
3. 現橋点検調査	8
3.1 下部構造	8
3.2 上部構造	8
4. 架橋地点調査	10
4.1 測量調査	10
4.2 土質調査	10
4.3 河川水文分析	10
5. 橋梁代替案概念設計	12
5.1 設計条件の検討	12
5.2 代替案の検討	12
5.3 設計条件の設定	13
5.4 設計概要	13
5.5 概略設計	13
6. 実施計画	14
6.1 事業費	14
6.2 施工計画	14
6.3 施工条件	14
7. 社会経済分析	15
7.1 国家道路計画におけるカフエ橋の位置付け	15
7.2 外国貿易におけるカフエ橋の役割	15
7.3 経済分析	15
8. 結言	16

ザンビア国 カフェ道路橋改築計画調査

要旨

カフェ道路橋は、ルサカ市の南方56kmに位置し、ザンビア国北部から南部、さらには南部アフリカ諸国にまで抜ける主要幹線上にある。この道路が通る地域は最も肥沃な農業地帯であり、且つ又、消費地帯でもある。従って、本路線は、ザンビア共和国の発展にとって最も重要な一面を有している。

現カフェ道路橋の上部工は、1940年初頭にテムズ川に架けられたものである。その後、1949年にカフェ川に移され、1968年に嵩上げされると共に、修繕されている。

現橋は、初建設からは約50年供用されており、老朽化が著しい上、多数の損傷が発生している。加えて、橋上の車線幅不足のため、大型車両は、対面交通が不可能な状態である。

ザンビアの継続計画の中で、輸送・通信網の発達は、同国が内陸国であるという事実を考慮すると最優先課題の一つとなっている。

農業、採鉱、製造、貿易等、経済の生命線となる分野での社会経済的発展を推進するには、既存のインフラストラクチュアや施設を改善し、外国取引用の道路を確保することが肝要である。

このような事情から、ザンビア政府は、カフェ道路橋の架け替えについての予備調査を策定することを、日本政府に要請してきたものである。

この要請を受けて、国際協力事業団とザンビア公共事業省（前電力・輸送・通信省）は1989年3月10日、カフェ道路橋改築計画に関する予備調査の業務範囲について合意した。

調査は、1989年11月に始まり、1990年10月に完了した。

調査は、二段階に分割されており、各段階の主たる業務は以下の通りである。

第一段階

- 1) 準備
- 2) データ・情報の収集分析
- 3) 現橋点検調査
- 4) 予備調査
- 5) 交通調査及び交通需要予測
- 6) 橋梁代替案概念設計及び最適案の選定
- 7) 詳細調査

第二段階

- 1) 橋梁道路概略設計
- 2) 社会経済評価

調査の結果、カフェ道路橋は現在微妙な均衡状態にあり、予測不可能な要因により不安定となった場合、崩壊する危険性をはらんでいることが判明している。崩壊の予知は、無論、構造解析の限界を超越しており、殆ど不可能であるが、上述した通り、本橋の重要性や万一崩壊したときの社会的影響を鑑ると、緊急に架け替えすることが必要である。

新カフェ道路橋の改築計画の概要は、次の通りである。

1. 橋梁諸元

(1) 橋長	162.0m
(2) 支間長	38.0 + 43.0 + 43.0 + 38.0m
(3) 幅員構成	車道 ; 3.65m x 2 = 7.30m 歩道 ; 1.00m x 2
(4) 上部工型式	4径間連続鋼鈹桁
(5) 下部工型式	橋脚 ; パイルベント 橋台 ; 逆T式 (ルサカ側) 箱式 (リビングストーン側)
(6) 基礎型式	橋脚 ; 杭基礎 橋台 ; 直接基礎
(7) 取付道路	750m

2. 施工計画

(1) 工事費	概算 20億円
(2) 工期	概算 24 ヶ月

カフェ道路橋の改築により、橋上の安全性が改良され、且つ、交通量の増大にも対処することが可能となり、ひいてはザンビア共和国の産業の発展にも寄与するものと思われる。

1. 概要

1.1 調査の背景

ザンビアの継続的計画の中で、輸送および通信開発が、同国が内陸国であるという事実を考え、最も優先度の高いものとされてきた。

農業、鉱業、製造、貿易等の活力のある経済部門の社会、経済開発を促進するためには、現在の社会基盤および設備を改善し、国外貿易のための道路輸送を確実なものとする必要がある。

カフエ道路橋は、国を南北に貫き、南部アフリカ諸国へと通じる幹線道路上首都ルサカの南56kmの地点に位置している。道路の通っているこの地方は、最も肥沃な農業の行われている消費地域である。

既存のカフエ道路橋の上部構造は、1940年代の初めにテムズ川に架けられたものであり、1949年にカフエ川へ移設され、その後1968年に嵩上げ、改修されている。

橋の状態については、当初の建設から約50年利用されてきており、交通量が非常に多く、常時、維持、点検を必要としている。更に、大型車は、橋梁上の車線幅が十分でないために、対面交通を余儀なくされている。

1.2 調査の目的

調査の目的は、取付け、接続道路を含めた、カフエ道路橋改築のフィージビリティ・スタディの実施である。調査では、結論として、現橋を架け替える最適橋梁計画、径間長、最適線形および施工計画を提案した。

1.3 調査実施工程

調査を2期に分ける。各期の主たる活動には、下記のものを含める：

第Ⅰ期：1) 準備

2) データ・情報の収集分析

3) 現橋点検

4) 予備調査

5) 交通調査及び将来の交通需要予測

6) 橋梁代案調査及び橋梁形式の選定

7) 詳細調査

第Ⅱ期：1) 概略設計

2) 社会・経済評価

調査の流れ図を表1に示した。

調査は、1989年11月に開始され、1990年10月に完了した。

2. 道路・交通の現況

2.1 道路規格と規格別延長

1) 道路規格

道路規格は道路局で制定した

"HIGHWAY DESIGN STANDARDS"

がある。

これは1965年に制定したもので、1971年に改定されている。

橋梁に関する規格としては

"Standard Specification for Bridge and Culverts"

があり、これは1968年に制定したものである。

2) 規格別延長

ザンビア国の道路規格別の延長は次表の通りである。

ザンビア国の道路規格と規格別延長 (km) 1987年

道路分類	CLASS I			CLASS II	CLASS III	その他	
	A	B	C				
将来日平均 交通量 (台)	1,500 ~5,000	500 ~1,500	150 ~500	50 ~150	20 ~50		
道路幅員 (m)	7.3	6.7	6.1	Min 6.1	Min 5.5		
設計速度 平坦部 (km/h)	100	100	100	80 ~100	60 ~80		
延 長	道路局	6,236.9			2,277.2	6,201.0	6,663.6
	地方機関	80.0			0	0	15,900.1
	計	6,316.9			2,277.2	6,201.0	22,563.7

[注] その他の道路で道路局の6,663.6kmのうち、政府資金から移管されていないもの432km、マラウイ国政府が管理しているルートM-14(164km)を含む。

2.2 道路網

首都ルサカを中心にザンビアの主要都市間を結び隣接諸国への国際道路網を形成する一級国道をはじめとして、幹線道路、郡道、地方道に分類されている。

ザンビア国の道路網

1987年

道路区分	道路網	道路延長 (km)
主要幹線道路 (Tで表示)	<p>首都ルサカを中心にザンビア国の主要都市間を結び隣接諸国への国際道路網を形成する一級道路で、次のような5路線からなる。 (Inter-Territorial Main Roads)</p> <p>T1... 次の2路線がある。 ①リビングストーン-ジンバ リビングストーンでジンバブエ国に ②ムウンバーカフエ カフエでT2道路に連結</p> <p>T2... 次の3路線がある。 ①チルドーカフエールサカ カフエでT1道路に連結 ②ルサカドーカブリムボシ ルサカでT3道路に連結 ③カブリムボシートウンドマ トウンドマでタンザニア国へ</p> <p>T3... カブリムボシ-ンドラーチンゴラ チンゴラでザイルへ、 カブリムボシでT2に連結</p> <p>T4... ルサカ-チパタ (マラウイ国へ) T5... チンゴラ-ムウニルンガ (アンゴラ国へ)</p>	3,118.6
幹線道路 (Mで表示)	T道路と一体になって、国内の道路網を形成し、地方の中心都市を結ぶ1級道路 (Territorial Main Roads)	4,047.8
郡道 (RDで表示)	地方の小都市とT道、M道を結ぶ2級道路 (District Roads)	23,882.0
地方道 (Rで表示)	地方郡のネットワークを形成する低規格道路 (Rural Roads)	5,714.3

2.3 交通観測調査

1) 全交通量

1989年12月11日、14日の両日、調査団はカフエ道路橋において、24時間交通観測調査を行った。観測結果によれば、全交通量は、12月11日は1,116台、12月14日は1,128台であった。バンの台数は乗用車の2倍以上あり、全台数の40%を占める。2軸トラックは全台数の16%にも上り、トレーラーの量と同等である。乗用車とバンで60%を占め、トラックとトレーラーは35%を占める。この比率により重量車両が異常に多いことが分かる。

2) 日変動

全体として、10:00 - 11:00 及び 3:00 - 4:00 (午後) という二つのピーク時間が形成されている。朝、夕のピーク時間の日量に対する比率は、各々7.6%と8.4%である。

調査結果によれば、ピーク時間は車種毎に変わる。実際、乗用車のピーク時間は、午後4:00 - 5:00である一方、トラックやトレーラーのそれは、各々午後5:00 - 6:00 午前10:00 - 11:00と変わる。

一日中、トラック及びトレーラーの量はあまり変わっていない。時間別のトラック台数とピーク時間のトラック台数には、さほどの差はない。トレーラー台数は大きく変動し、深夜に向かって上昇している。乗用車の日内変化パターンは典型的であり、前述の通り二つのピーク時間がある。

3) 車種構成

ピーク時間における車種構成は、以下の表に示す通りである。

ピーク時の車種 ('89年12月11日)

Time	P/Car	Truck	Trailer	Bus.	Total
10:00-11:00	63.5	13.0	23.5	0.0	100.0
15:00-16:00	67.0	16.0	16.0	1.0	100.0
16:00-17:00	69.9	17.2	12.9	0.0	100.0
17:00-18:00	67.1	24.4	8.5	0.0	100.0
Total	62.2	18.5	17.8	1.5	100.0

Source : Study Team Survey on 11th Dec. 1989

乗用車の日平均交通量に占める割合は、62.2%である。

4) 軸重測定

軸重測定は、1990年1月29日にカフエ橋の南、検問所の北側で実施した。

対象は積載貨物のあるトラックとした。同時にO-D調査もおこなった。実車のすべてが南から北（ルサカ方向）に向かう車であり、ほとんどの車が過積荷重で所定の積載制限の30-50%であった。これは他の地域の計量所の記録からも同様な結果が出ており、橋の床構造の設計には配慮されるべきものである。

3. 現橋点検調査

点検調査にあたり、現存する図面を参考に現橋の把握を行い、実測および目視点検の参考にした。現存の設計図書は、現橋の嵩上げ時点の図面のみが有り、他の記録はない。しかも、上部構造の主部材の寸法は記述がない。また、下部構造についても嵩上げ部分の図面は残されているが、基礎については当初建設時点の図面を複製したものであり、実際の基礎の根入れは不明である。

3.1 下部構造

1) 橋脚

橋脚の一部は水中に有り点検は不可能であった。しかし、目視点検およびコンクリートハンマーによる強度測定の結果、橋脚は概ね健全と判定された。

2) 橋台

橋台のコンクリートについては、橋脚と同様概ね健全と判定された。しかし、上部構造の伸縮継手の状況から見て、橋台は川の中心方向に移動もしくは転倒しているものと考えられる。土留壁は移動し橋台本体との間に大きな隙間ができている。これが進行中かどうかは短期間の調査では判定できない。

3) 橋脚基礎

水深測定および地質調査の結果を総合すると、橋脚回りの河底はかなり深く洗掘されており、橋脚の根入れはほとんどないものと判定せざるを得ない。現存の図面によれば、橋脚は6フィートのシリンダーであり、これをもとに安定計算を行った結果、水平震度 $k=0.03$ で転倒することになり、これは上部構造からの水平力にして約6トン程度の荷重に当たる。(図 1 参照)

現橋は全体があたかもピン結合の状態になっており、総体として安定状態にあるものの、破壊に対する危険性の言及は、構造力学的安定の判定の粋をこえている。したがって、これがすぐ橋の破壊に到るかどうかの判定は不可能である。しかし、何らかの外からの刺激により破壊に到る危険性は否定出来ない。

4) 橋台基礎

先に述べたように、橋台は変形を来しており、橋軸方向の安定は十分とは言いがたい。しかし、ザンビアでは今まで大地震の経験がなく、大きな問題にはいたっていない。

3.2 上部構造

トラス部材、床構造部材等の主構造に付いては、実測により寸法を求め、目視点検により部材の劣化状態を調査した。南側スパンの鉛直材および対傾構の一部が自動車の衝突および積荷により破損されている。その他は錆の発生も少なく、総体的に維持管理状態は良い。(図 3, 4, 5, 6 参照)

一方、3連のトラスは橋台の変形により3径間連結状態になっている。通常の荷重状態にたいしては、現状の部材は $1000\text{kg}/\text{cm}^2$ 程度の応力度で十分な耐荷力をもっている。しかし、温度変化等による2次応力を考慮すると応力超過となる。

幅員については現状は6.1メートルであり、大型車の橋梁上でのすれちがいは危険である。ザンビア南部の幹線道路の一環をなす橋梁の幅員としては不十分であり、改修ずみの現橋の南側カフェーチルンド道路および改修計画が始まる現橋北側カフェールサカ道路の幅員に照らしても、現橋の幅員は不十分である。

4. 架橋地点調査

4.1 測量調査

代替案概念設計の為の資料を得る為、以下の測量をおこなった。

1) 深浅測量

6箇所の河川横断測量、すなわち現橋位置、上流50m、下流15、50、100、150mについて行った。この結果、現橋の近辺に近い程川底が深く、橋の建設が河川に影響していることが判明した。

2) 洗掘調査

現橋の橋脚付近を中心に洗掘状況を把握するため詳細な測量をおこなった。この測量では橋脚まわりの特別な洗掘現象は見られなかった。しかし、後に述べる地質調査の結果と総合してみると、現橋近辺の川底は一旦支持岩盤まで洗い流され、その後カフエゴージダムの建設後浮遊土砂が堆積したもので、現状の川底の高さはたまたま1952年の測量結果とほぼ一致している。すなわち、現状の川底より2-4メートルの軟弱な土層がある。

3) 測量詳細調査

設定された新ルートおよび現ルートについて以下の測量を実施した。

a) 中心線縦断測量

選定されたルートの水準測量

(約1.6km、縮尺1/200、河川内深浅測量含む)

b) 横断面測量

選定されたルート巾60mにわたる横断測量(20m間隔+特殊断面)

約100断面(河川内は橋脚、橋台位置のみ)

c) 平面測量

橋台位置における1/200の平面図作成(2箇所×25m×20m程度)

4.2 土質調査

設定された主橋梁の橋脚、橋台に可能な限り近い位置で詳細ボーリング調査を行った。その結果は予備調査の結果とあわせて、図7、8に示されている。盛土部については、ダイナミック・ペネトレーション・コーン試験を行った。

4.3 河川水文分析

深浅測量の結果、収集資料を分析し、新橋建設のための設計資料作成をおこなった。現橋付近の河川流は、上流のイテジテジダムおよび下流のカフエゴージダムの放流量にほぼ支配される。

通常は650m³/sec.程度の放流量で、現橋での流速は0.2m/sec. - 0.4m/sec.である。同ダムの計画に用いられている流量ならびに水位予測は以下のとおりである。

<u>再現期待値 (年)</u>	<u>流量 (m³/sec.)</u>	<u>カサカの水位 (m)</u>
	2040	
100	2120	
	2270	
	2550	
	2750	976.6
	2830	
	3060	977.2
	3120	
1,000	3340	977.8
	3540	
	3620	978.4
	3960	979.0
10,000	4250	979.6

橋梁の設計に100年期待値を用いれば、その流量は2,120m³/sec.となり、流速にして2.5m/sec.以上が予測される。これは、川底の洗掘を考慮すべき流速であり、この観点から河川幅は広い方が望ましい。

一方、水位はダムの放流調節により、カサカ水位観測所（現橋の上流約5km）で976.0mを上回らない事にされており、この点から新橋の桁下高は現橋の高さを下回らないようにすればよい。

5. 橋梁代替案概念設計

5.1 設計条件の検討

1) 橋梁および取付道路の幅員構成はザンビアの道路設計基準および関連プロジェクトと調和させ、道路局との協議を経て図 9のように定められた。

2) 設計示方書

新橋梁の設計に適用する設計示方書は、日本の道路橋設計示方書を用いる。ただし、設計活荷重、風荷重、地震荷重および温度変化の影響については、別途定める。公共添加物は将来のためそのスペースをあらかじめ準備する。

5.2 代替案の検討

代替案として図 10に示す主橋梁12案およびアプローチ1案を作成し、このうちから可能性の高い5案を選定した。

1) コンクリート橋と鋼橋の比較

今回の計画に当たっては、以下の理由で鋼橋が選定された。

- コンクリート構造とする場合、その品質を保証するため、防水型枠および強固なスージングのための支保工等のため工事費が上がり、鋼構造より高くなる。
- ザンビアでは、プレストレスコンクリート構造工事に従事できる熟練工がいない。このため、この段階では採用は困難である。
- 砂、セメントなど高強度、高品質の均等なコンクリートを生産するには課題が多い。
- コンクリート構造では同規模の鋼構造に比べ工期が約4ヶ月長い。アスファルト舗装の品質を確保するうえで、道路改修実施中に橋およびアプローチの舗装を完了するのが望ましい。そのためにはUSAIDの計画と調和をとる必要がある。この場合、工期が短い方がよい。
- 維持管理費のコンクリートと鋼の差はほぼ鋼構造の保護のペイントの差である。ザンビアは内陸国であり防錆に対し有利な環境にある。再塗装は10年以上の間隔で良い。維持費の影響は将来経費を現在価値に換算し、それを鋼構造に加算して比較すればよい。その値は概算30万クワッチャでその影響は小さい。

2) 経済性、施工性、信頼性、維持管理など総合的に評価し5案が選定された。

(表 2参照)

3) 5案をさらに検討し、総合的に評価し、最適案として4径間連続プレートガーダー型式(40m+43m+43m+40m)を選定した。(表 3参照)

5.3 設計条件の設定

設計条件の設定は、諸条件を照査すると共に、荷重、使用鋼材等々の更に詳細な設計条件まで検討した。

設計仕様としては、日本道路協会発行の道路橋示方書に主に準じるが、下記のような現地国データに拠らざるを得ない諸条件については、現地調査結果を基に定めている。

- a. 温度変化 : 0~45℃
- b. 水平設計震度 : $K_h=0.10$
- c. 設計風速 : $V_{100}=20\text{m/sec.}$
- d. 浮島荷重 : (常時)
 $Phc=3.612\text{t/脚}$
(異常時)
 $Phc=22.575\text{t/脚}$
- e. 輪荷重 : 8.2t

5.4 設計概要

1) 支間長の決定

採択した最適案、即ち支間長(40+43+43+40)mの4径間割について、更に詳細な検討を実施した。最適側径間長案として、橋台工事を陸上で行える限界位置点である33.6m案、流量から算出できる最小径間長である38m案、及び中央径間長と同一である43m案の計3案について比較を行った。3案を経済性、施工性、河川への影響等の諸条件について比較した結果、38m案を最適案として選択した。

2) 橋脚杭径の検討

径800mm、肉厚22mm(2列10本)案、径1000mm、肉厚22mm(1列5本)案、径1200mm、肉厚22mm(1列5本)案、の3案について種々の面から検討し、1000mm肉厚22mm(1列5本)案を、主として経済性及び施工性の点から採択した。

5.5 概略設計

上部工、下部工、基礎工、及び付属設備について、概略設計を実施した。

主要断面を図 9 に示す。

又、新橋両側の取付道路部についても、盛土、路盤、舗装及び排水等の概略設計を行った。

各取付け道路の主たる断面を図 9 に示す。

6. 実施計画

6.1 事業費

概略設計を元にして、本工事の橋梁部及び道路部の建設に必要な主要材料の名称と数量を検討した。表4～6に主要材料の一覧表を掲げる。全体工事費は、約1320万USドルと算出した。

6.2 施工計画

ここでは工事全体について施工方法と工期を述べる。

- a) 現橋撤去 : パイルベント工法
- b) 新橋建設 : //
- c) 仮設橋杭打 : ウォータージェット+バイプロ工法
- d) 新橋脚杭打 : ボーリング+バイプロ工法

工期は約24ヶ月程度と考える。

6.3 施工条件

ザンビア国内での施工条件の調査の結果、工事費積算にあたって以下の条件のもとで実施されることが望ましい。

a) 建設資材

セメント、砂、砂利を除きほとんどの資材は輸入とする。セメントについてはザンビアでは原則として輸入禁止であるが、現実には国内生産だけでは不足する状態である。したがって、確実な供給が保証されない場合は輸入に切り換える必要がある。

b) 建設機械

一般の輸送機器を除き建設機器は輸入する。

c) 労働者

橋梁工事にかかわる熟練工は、ザンビア国内では調達できない。

d) その他

橋梁新設にともなう移転物件については、現橋南側に電話線、送電線があり、南側に新ルートを設定する場合は少なくとも電話線の移動が必要である。現橋ルートの場合は移設物件はない。

新橋添加物については、現在計画されているものはない。

7. 社会経済分析

7.1 国家道路計画におけるカフエ橋の位置付け

カフエ橋を通過する道路は、ルサカ市と南部州を結合し、更には国外の南アフリカ諸国（即ち、ジンバブエ、ボツワナ及び、モザンビーク）まで結ぶ幹線道路である。

7.2 外国貿易におけるカフエ橋の役割

中央統計局で1986～1988年の間に亘り実施した、ザンビアの輸出入に関する輸送量の趨勢統計によれば、カフエ橋に関連したジンバブエーボツワナ路線は、全体の約10%のシェアを有しており、又、3年間平均ではパイプラインを除くと約15%のシェアを有する。

このことにより、カフエ橋路線は外国貿易では極めて大切な輸送上の役割を果たしていることがわかる。

7.3 経済分析

1) 橋梁使用不可能危険の除去

本経済分析においては、橋梁の使用不能状態も起こり得ると仮定する。

橋梁が供用不能となった場合には、常態でのカフエ橋通過車両の一部は代替ルート、つまり、迂回路に分散するものと思われる。

迂回路については勿論、諸条件を整える必要があるが、迂回路の設定は勿論可能であり、諸条件はコスト要因として把握すべきであろうと考える。

カフエ橋の迂回路としては、イテジ・テジ・ルートとチアワ渡河ルートが考えられる。迂回による車両通行費用の増加は、経済便益とみなされる。つまり、橋の使用が不可能になるというリスク回避効果が車両通行費の節減として考えられる。

2) EIRR

経済分析の指標の一つである経済内部収益還元率(EIRR)は、仮想迂回路に対して、次のとおり算定される。

イテジ・テジ・ルートの場合	: 80.1%
チアワ渡河ルートの場合	: 51.9%

この算定結果でわかるようにカフエ橋の供用不能時の影響はかなり大きい。供用不能によるリスクの節減のため、本橋の改築のニーズは極めて高い。

8. 結言

カフエ川道路橋は当初建設されて以来約80年が経過しており、一般の耐用年数は越えている。しかし、上部構造の各構造部材はかなり健全である。ただし、一部の部材が破損もしくは逸失しており、これらは補修される必要がある。

現橋の幅員は6.1メートルである。しかも車道端と橋の構造部材との間の余裕が小さい。このため、大型車両の橋上での相互通行は困難であり、交通安全上の見地から見ても好ましくない。この道路では、全交通量のなかで大型車の混入率が高く、将来とも、この傾向は続くもの推定される。この観点からも幅員は不足している。

橋を中心にしてその上下流の川底が、かなりの範囲にわたり橋梁建設後洗掘されている。このため、橋を支えている橋脚基礎の支持層への根入がほとんどなく、橋脚は自立が困難で、いつ倒れても不思議でない状況にあると推定される。

この橋脚の補強工事は、水深が8-10メートルあり、しかも川底は支持力の全くない泥の下に堅い岩盤が露出している。この条件のもとでの補強工事は難しく、工事費は新設より高くなる可能性がある。

さらに、両橋台は川の中心方向に変形しており、橋桁が支持梁の役割を果たしている。このため、橋桁に設計荷重以外の付加荷重がかかっている。

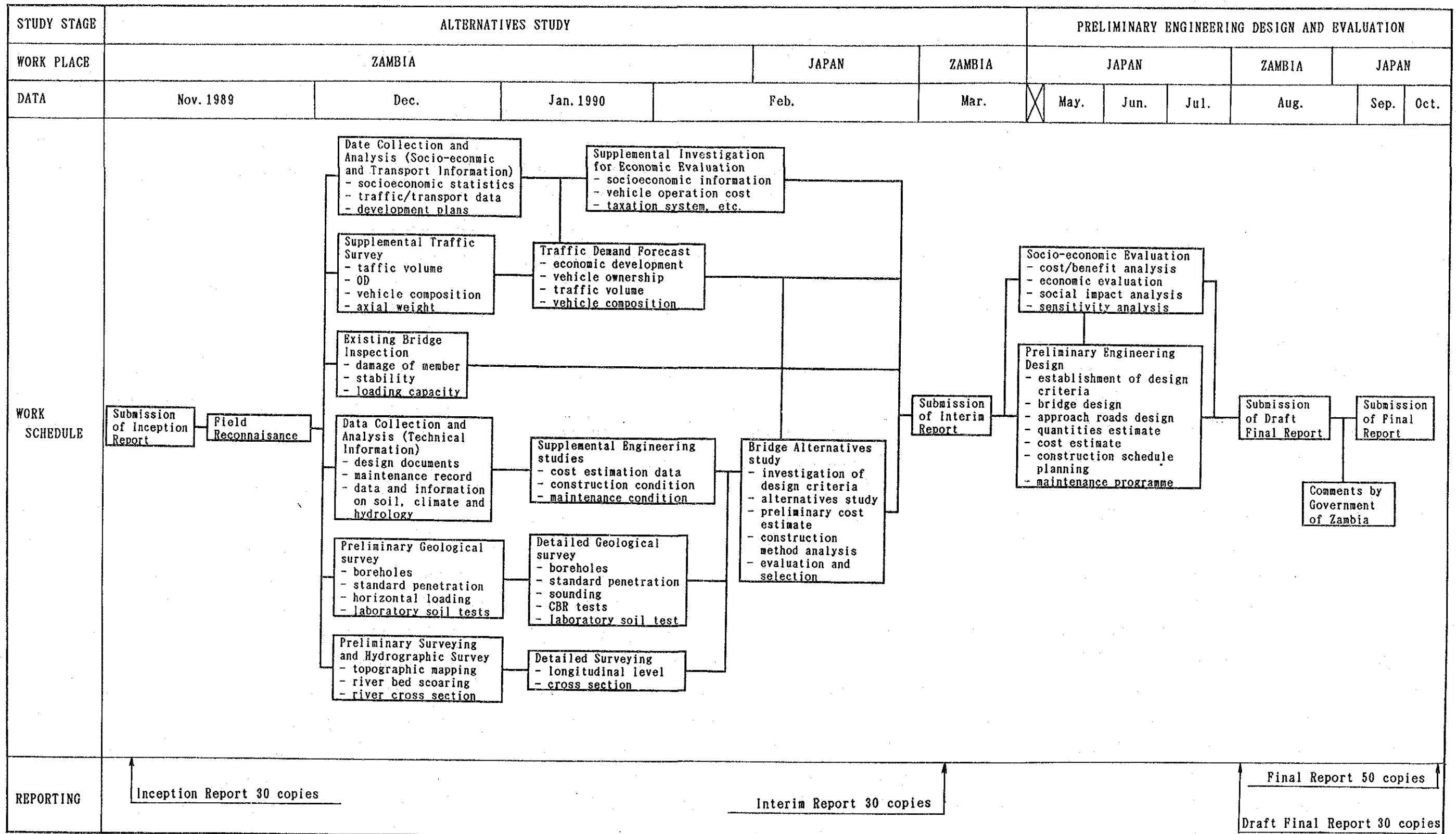
本橋の南側の道路はすでに改良が終わっており、また北側はルサカまで改良が実施されることが決まっている。したがって、もし橋の架けかえが行われられない場合、橋がボトルネックになる。

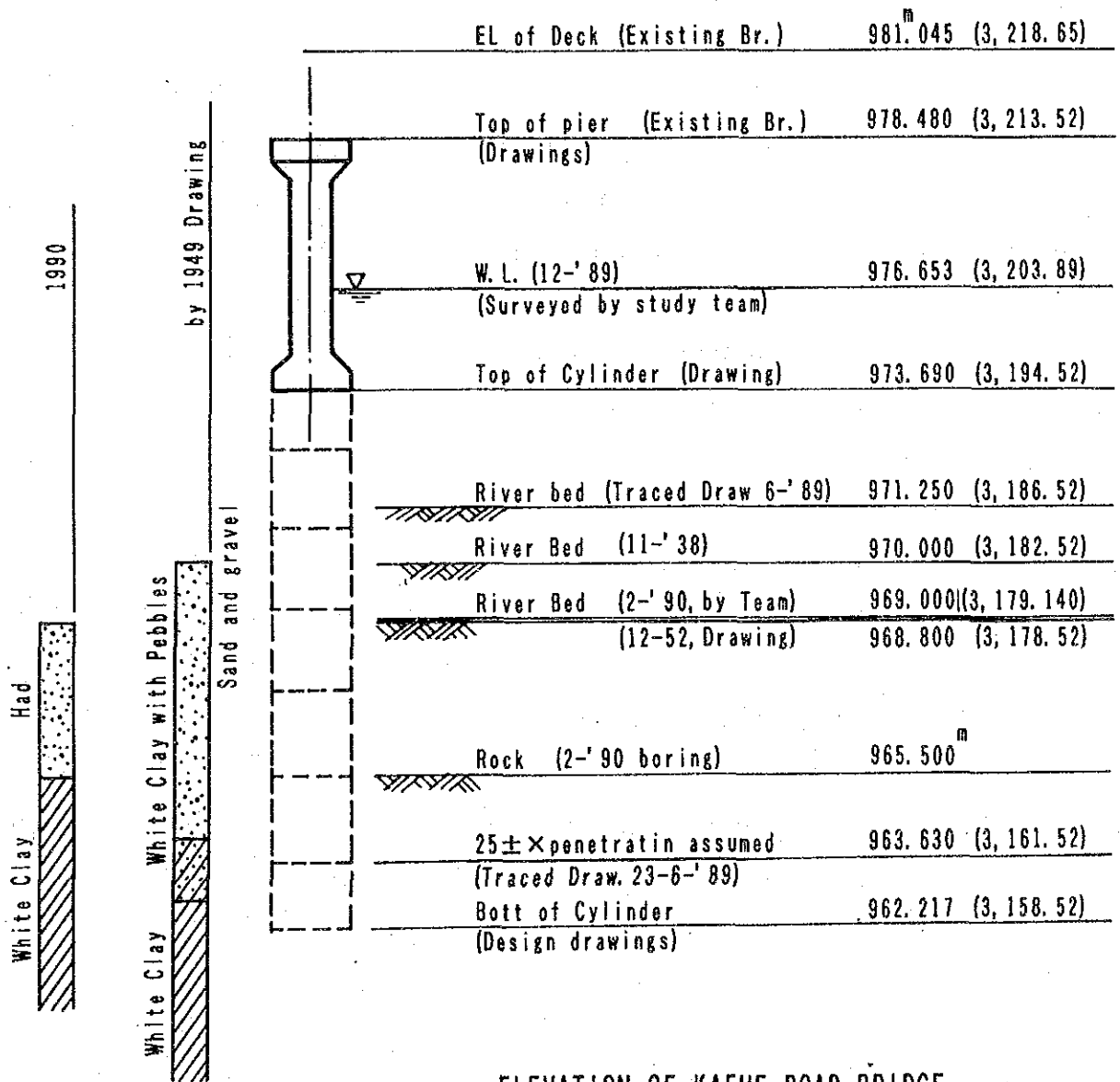
又、カフエ川橋梁のような南部で唯一の国際幹線道路の一環である橋の場合、もしそれが使用不能となると、その直接の利用者へのインパクトもさることながら社会、経済、国防上などへの影響は甚大である。もちろん、このプロジェクトの対象であるT2ルートでは、カフエ橋が使用不能となったときの利用者への直接の影響はその迂回路線が未整備で距離が長いため非常に大きくなる。

以上の討論の結果を踏まえ、工学的見地からも、経済的観点からも、カフエ川道路橋は可及的すみやかに架けかえがなされるべきである。

カフエ道路橋の改築により、橋上の安全性が改良され、且つ交通量の増大にも対処することが可能となり、ひいては、ザンビア共和国の産業の発展にも大いに寄与するものと思われる。

表 1 調査フローチャート





ELEVATION OF KAFUE ROAD BRIDGE
 Guage Hight; Port Elizabeth Datum

図 1 カフエ橋エレベーション

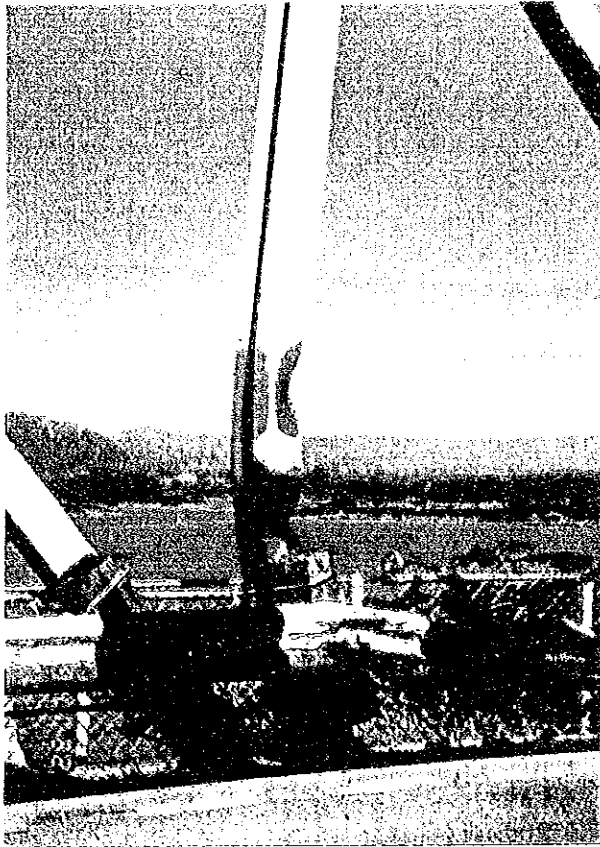


図 3 湾曲した垂直材

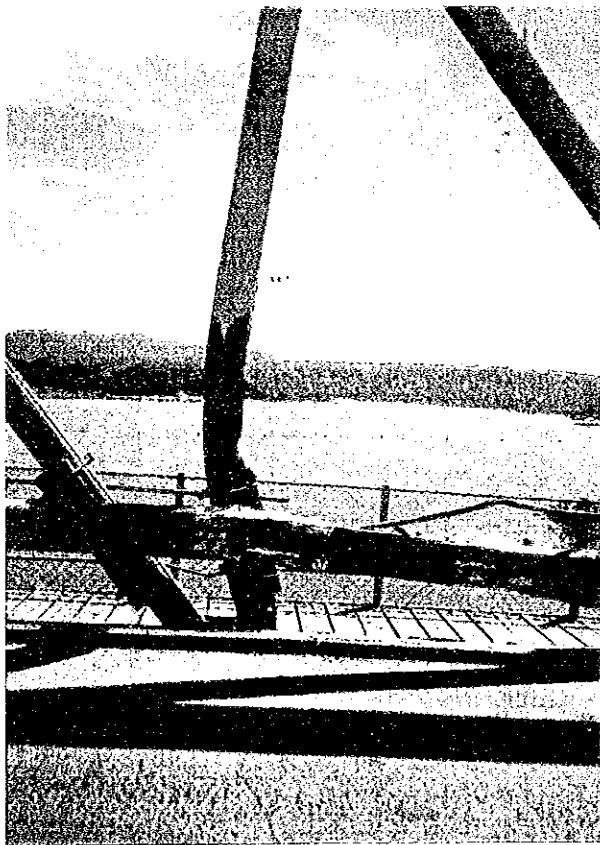


図 4 同上

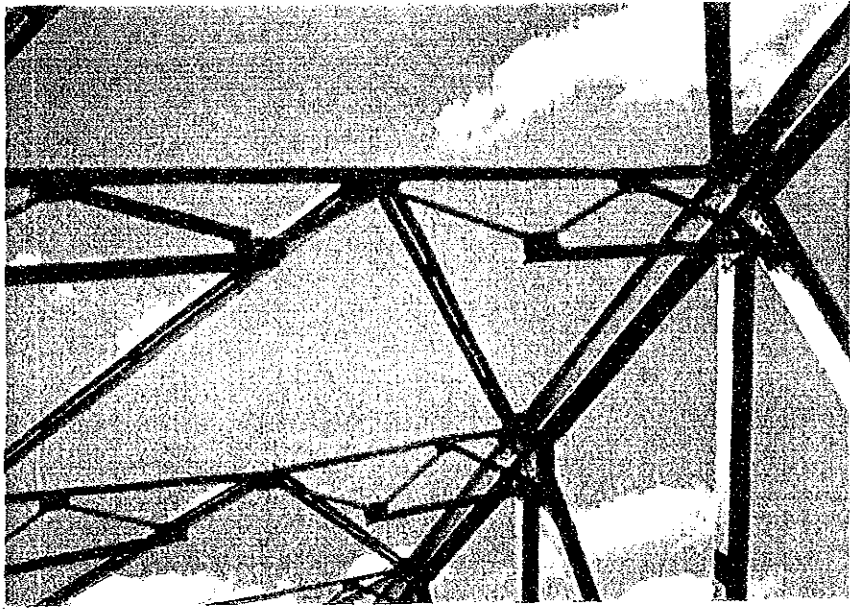


図 5 部分欠損している上横構

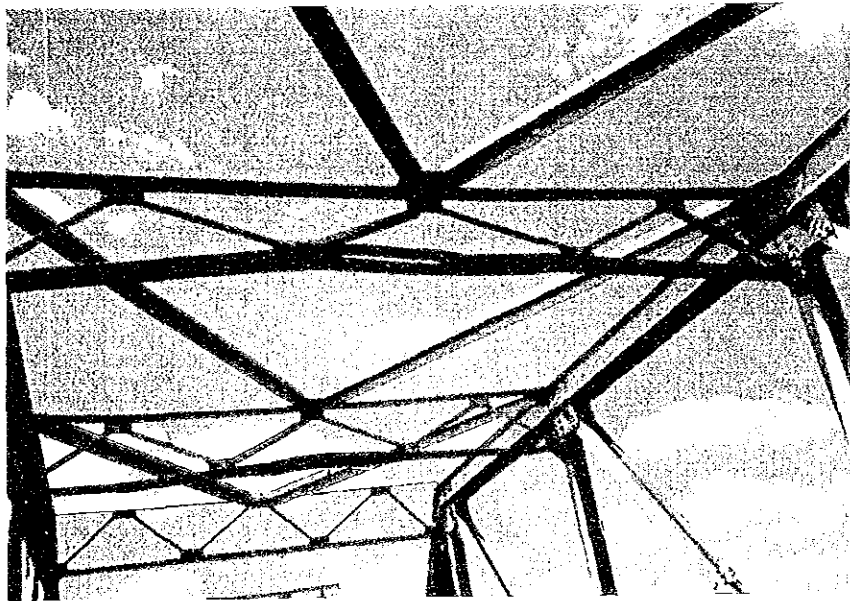


図 6 同上

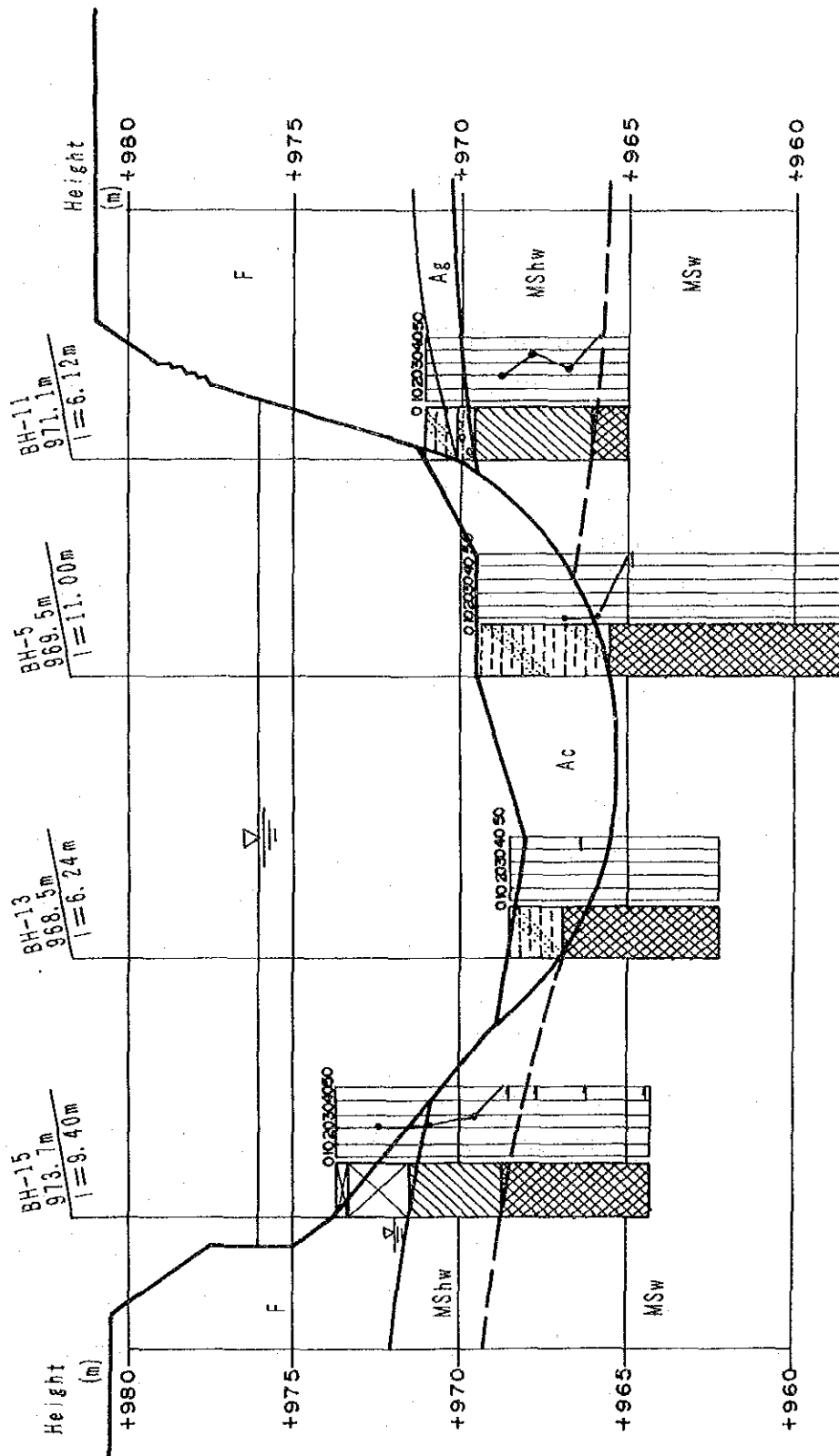


图 7 現線形地質条件

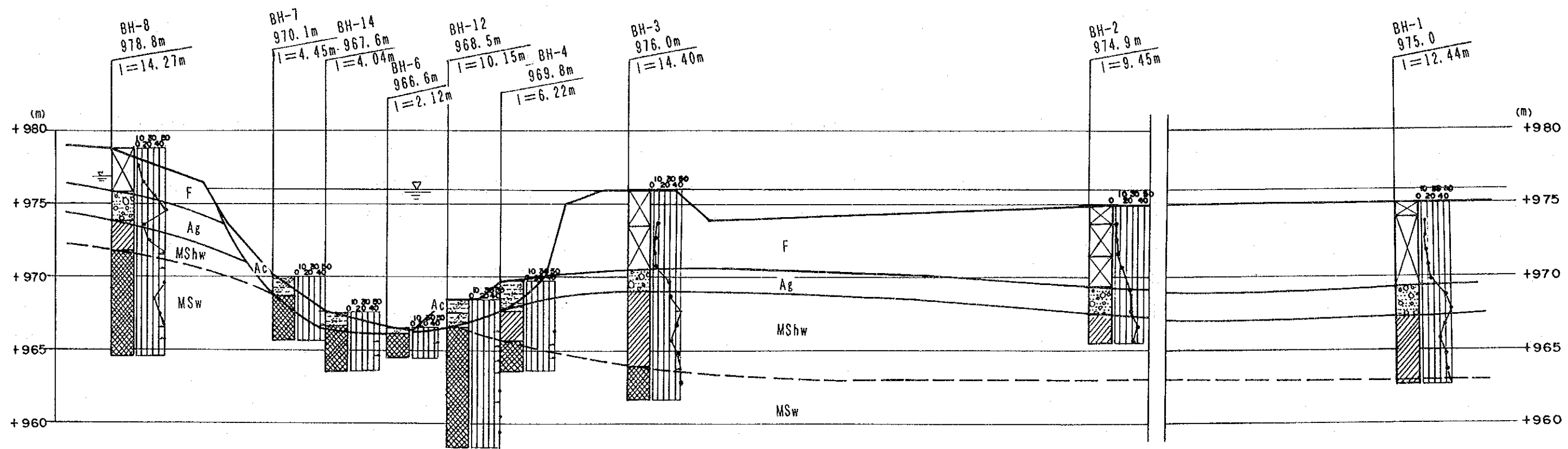
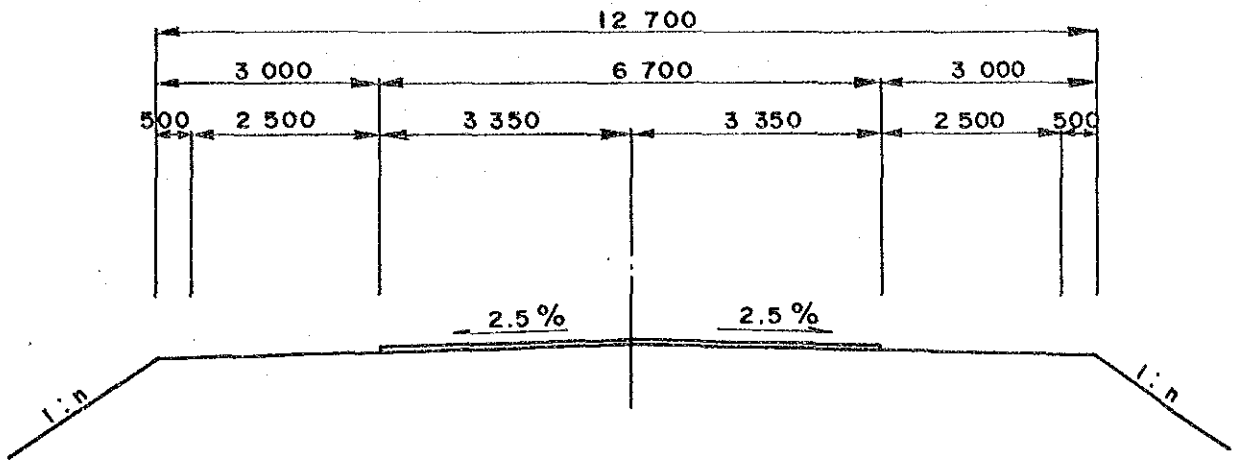


图 8 新線形地質条件

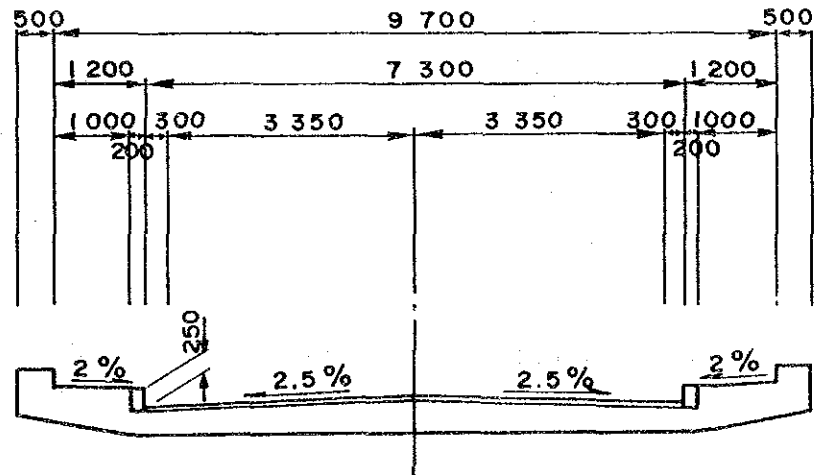
Legend
 F :Fill
 Ac :Alluvial Clay
 Ag :Alluvial Gravel
 MShw:Heavily Weathered Mudstone to Sandstone
 MSw :Weathered Mudstone to Sandstone
 Scale V=1:200
 H=1:1000



$n=2$, Fills over 3 m in height

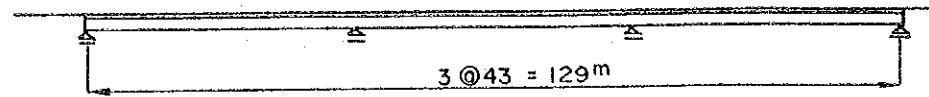
$n=4$, Below 3 m in height

Approach Embankment

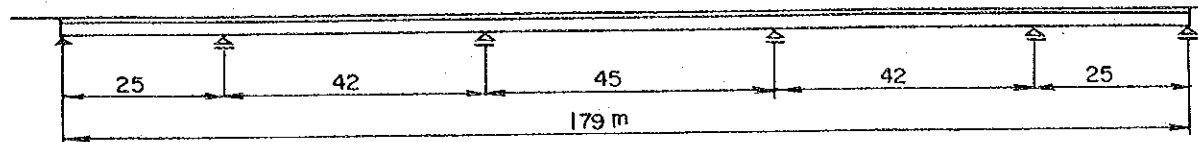


Bridge

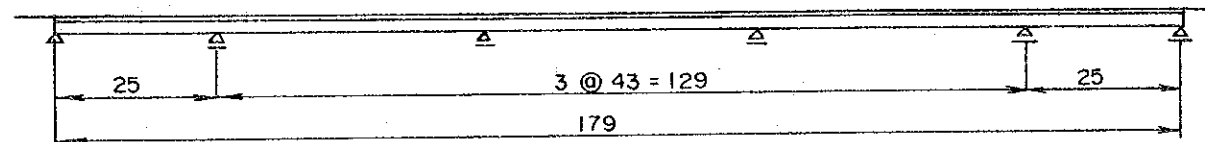
图 9 标准断面表



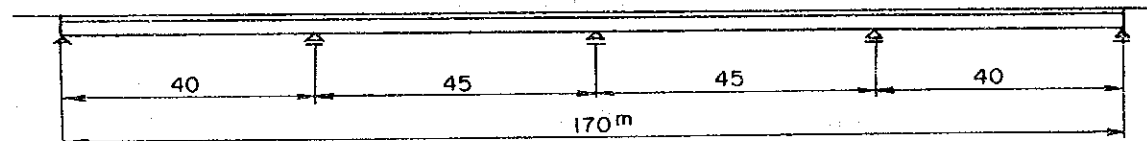
Scheme 1 3-Spans Continuous Steel Girder



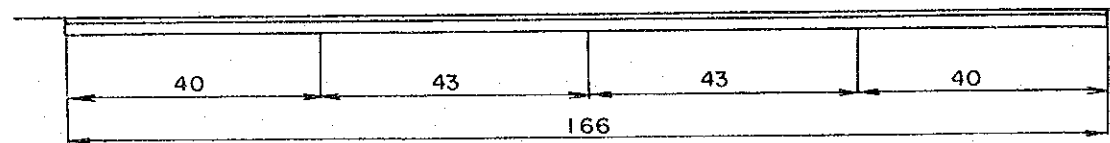
Scheme 2 5-Spans Continuous Steel Girder



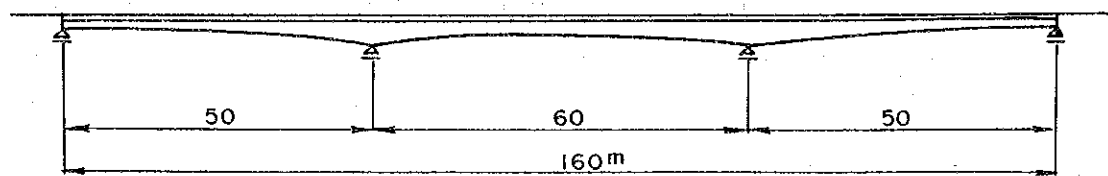
Scheme 3 5-Spans Continuous Steel Girder



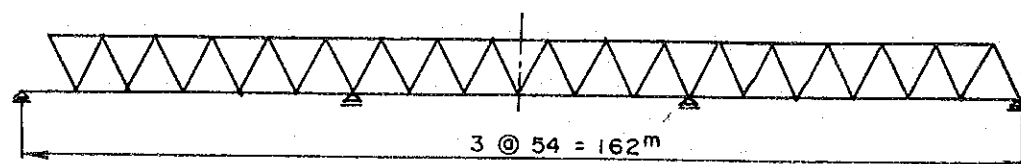
Scheme 4 4-Spans Continuous Steel Girder



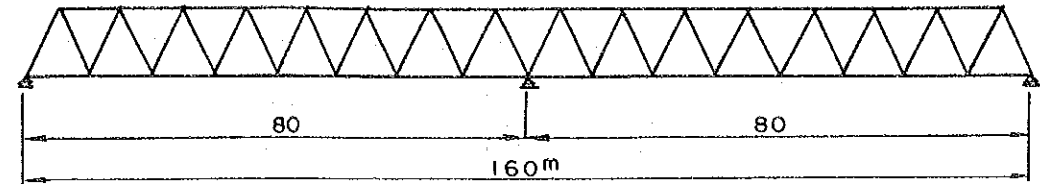
Scheme 5 4-Spans Continuous Steel Girder



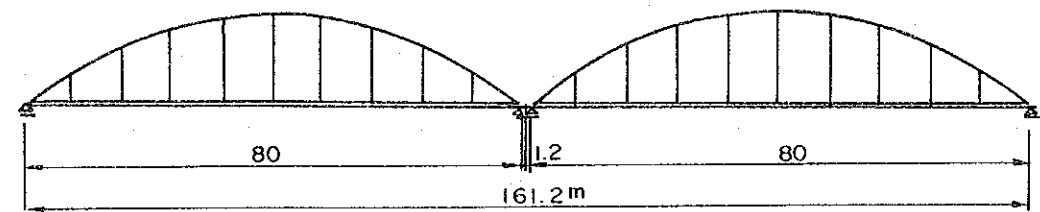
Scheme 6 3-Spans Continuous Steel Girder



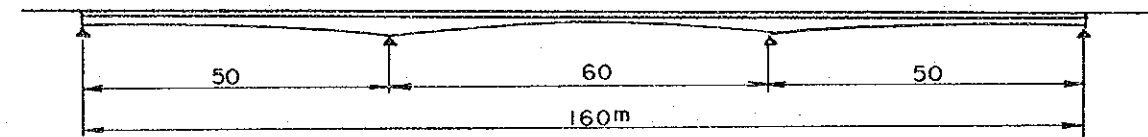
Scheme 7 3-Spans Continuous Truss



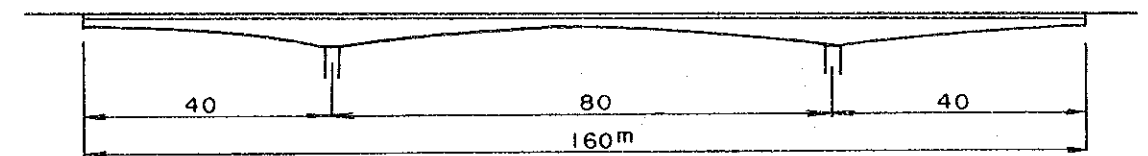
Scheme 8 2-Spans Continuous Truss



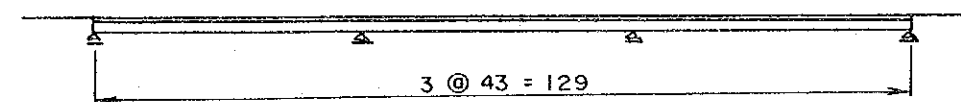
Scheme 9 2-Spans Steel Arch



Scheme 10 3-Spans P.C. Girder



Scheme 11 3-Spans P.C. Girder



Scheme 12 3-Spans P.C. Girder



Scheme 13 Viaduct and Approach Embankment

Good ○ Fair □
Poor △

表 2 比較設計案

Scheme	Type	Length of Bridge	Max. Span Length	Alignment Corresponded	Height of Abutment (m)	Number of Pier in Water	Economy	Durability	Safety on Const.	Maintenance	Others	Evaluation
1	3-Spans Steel Girder	129m	43m	new/exist.	13m	2	○	○	△	Embankment to be settled for new alignment		○
2	5-Spans Steel Girder	179m	45m	new	6m	3	□	○	○	To be care settlement of embankment	Restriction of Pier Location	
3	5-Spans Steel Girder	179m	43m	new	6m	3	○	○	○	do	do	○
4	4-Spans Steel Girder	170m	45m	(new)/exist.	7m	3	○	○	○			
5	4-Spans Steel Girder	166m	43m	(new)/exist.	8m	3	○	○	○			○
6	3-Spans Steel Girder	160m	60m	(new)/exist.	8m	2	△	○	○			○
7	3-Spans Steel Truss	162m	54m	(new)/exist.	8m	2	□	□	□			
8	2-Spans Steel Truss	160m	80m	(new)/exist.	8m	2	△	△	△			
9	2-Spans Steel Arch	161.2m	80m	(new)/exist.	8m	1	△	△	△			
10	3-Spans P.C. Girder	160m	60m	(new)/exist.	8m	2	△	△	△	Free		
11	3-Spans P.C. Girder	160m	80m	(new)/exist.	8m	2	△	△	△	Free		
12	3-Spans P.C. Girder	129m	43m	new/exist.	13m	2	○	○	△	Free		

Note : (new) designates that Schemes 4 through 12 can also be applied to new alignment, provided existing piers are demolished.

表 3 代替案比較表

Alter- native	Alignment Corresponded	Spans and Structural Type	Length of Project Road	Construc- tion Cost	Construc- tion Period (Months)	Restriction of Pier Location	River Width	Workability	Others	Evalua- tion
A	Existing	40+43+43+40=166m 4-Spans Continuous Steel Plate Girder	0.95Km	○	23	Nil	165m	good	Entail dismantling of existing superstructure	◎
B	Existing	3×43=129m 3-Spans Continuous Steel Plate Girder	0.95Km	○	22	Nil	128m	Cofferdam and Sealing to leak water	do	○
C	New	3×43=129m 3-Spans Continuous Steel Plate Girder	1.90Km	△	23	To keep Stream Line	128m	do	Re-routing of Tel. Line. Req. care for settle- of embankment	○
D	New	25+3×43+25=179m 5-Spans Continuous Steel Plate Girder	1.90Km	△	24	do	168m	good	do	△
E	New	50+60+50=160m 3-Spans Continuous Steel Plate Girder	1.90Km	×	24	do	159m	good	do	△

Note; ◎ Excellent
○ Good
△ Fair
× Poor

表 4 上部工数量総括表

(1) Steel Weight

1) Main Structure

Main Girder	258.8 ton
Cross beam	11.4
Sway Bracing	12.8
Lateral Bracing	10.0
Bearing	10.5

Sub total 303.5 ton

2) Accessary

Expansion Joint	6.2 ton
Drainage System	8.4
Hand Rail	13.2

Sub total 27.8 ton

3) Total Steel Weight 331.3 ton

(2) Material Area

1) Pavement Area

Footpath (3.0 cm thick)	324.0 m ²
Carriageway (7.0 cm thick)	1181.0 m ²

2) Concrete

Concrete Volume of slab	542.0 m ³
Concrete Volume of mount-up footpath	104.0 m ³
Mould Area	1915.0 m ²
Weight of Steel Reinforced Bar	98.6 ton

3) Painting Area 4834.0 m²

表 5 下部工・基礎工数量總括表

(1) Footing and Shaft

Item	Type	Unit	Q'ty
concrete placement	Footing and shaft ($\sigma_{CK}=210\text{kg/cm}^2$)	m ³	1391.8
	Leveling ($\sigma_{CK}=180$ ")	m ³	22.8
Framework	Footing and shaft	m ²	2375.7
	Leveling	m ²	8.5
Work Platforms	H \geq 8 m	m ²	1765.7
Supportings	H < 10 m	m ³	773.3
Reinforcement	SD30	kg	85067.5
Earthwork	Excavation	m ³	2971.1
	Surplus Soil	m ³	437.3
	Backfill	m ³	139.6

(2) Steel Pile

Item	Type	Unit	Q'ty
Steep pipe	$\phi 1000 \times 22$ SKK41	kg	132980
Filled concrete	$\sigma_{CK}=210 \text{ kg/cm}^2$	m ³	177.6

表 6 取付道路部数量表

Work Item	Quantity	Note
1. Excavation	1,467.0 m ³	
2. Embankment	8,048.6 m ³	
3. Step Excavation (left)	640.0 m ³	
(right)	1,100.0 m ³	
4. Reclamation (left)	801.6 m ³	
(right)	1,085.6 m ³	
5. Slope Protection (left)	2,657.5 m ³	
(right)	3,364.5 m ³	
6. Pavement		
6-1 Surface Course (Roadway)	5,278.9 m ²	2ST(*1)
(Shoulder)	3,939.5 m ²	SST(*2)
6-2 Base Course (left)	3,597.0 m ²	
(right)	3,625.5 m ²	
6-3 Subbase Course (left)	3,208.5 m ²	
(right)	3,241.0 m ²	

(Notes) 2ST : Double Surface Treatment

SST : Single Surface Treatment

JICA