

6. マタティ橋梁の建設概要

国鉄施設局土木課長 村上 温

1. 架橋に至る経緯

ザイル共和国は銅、亜鉛、コバルト、ダイヤモンド等鉱物資源の豊庫とされるブラックアフリカの大国である。また開発途上の同国はこれら資源の貿易で立国しているが、これらの産品は主として大陸中央部に産出し、また国の面積も大きく消費物資の流通も重要で、輸送ルートの確保は必須の要件である。従来海外との輸送は、主としてアンゴラ、タンザニア等他国経由のルートに頼っていたが近年これらのルートは政治的理由もからみ、不安定となっている。一方、国内ルートは舟運が主体で鉄道は補充する形となっているため、積み替えが多く時間もかかる。また、唯一の外貿易港マタティは河口より150kmの航行を要し、しかも狭いのである。このため自国内の鉄道一貫輸送ルートを整備し、大西洋岸に外貿易港を建設し、このルートにより物資の流通の確保と国内統一の強化を計ろうというのが「国民路線計画」と呼ばれる同国のナショナルプロジェクトである。

我国は昭和46年4月来日のエボラ大統領と佐藤首相の共同声明により、この内先端150kmの鉄道建設の援助を約束し、49年11月350億円の円借入協定を締結したが、諸般の情勢で工事が遅れている間にインフレで総額不足となったため、最も建設が困難であった小規模で判断された国土の統合に有益な、ザイル河渡河の橋梁のみを建設する事となり、53年8月協定変更、54年2月着工となったものである。なお橋梁は道路鉄道併用橋として建設し、併せてアプローチ道路を建設、鉄道は将来取付けられることとされている。(図-1)

2. 架橋位置及び橋梁形式の選定

架橋位置の選定に際しては、ザイル河により二分されている国土の有効利用及び鉄道単独橋と併用橋の工費の差が2~3割程度と少ない事を考慮して、併用橋として計画する事が先ず決められ、更に在来鉄道、道路へのアプローチ、国境との関係、ザイル河の流速が4ノットと速く、河の中央には橋脚建設のむずかしい事などを勘案し、図-2に示す上、中、下流の3点を候補として比較検討した。このうち、上流案は鉄道が折り返しとなること、川岸の小島に橋脚を建てても支間540mと若干長い事、下流案は支間、橋長共最長である事、在来道路へのアプローチが悪い事、国境に過ぎる事、地質も悪い事により、港のすぐ下流で航行の空頭確保の必要の為アプローチ鉄道の勾配が苦しいが、橋長も最短で地質も良く道路へのアプローチのよい中流案を最良と判断した。(表-1) なお、この地点では、仮に吊橋がだめでも、カンチレバートラスが架け得る。

次に、橋梁の形式については、3地点各々で概略設計を行ない(図-3~7)、吊橋とした。中流案について

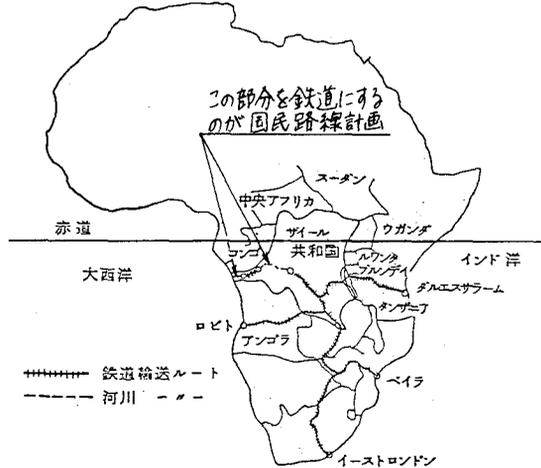


図-1 ザイルと国民路線計画

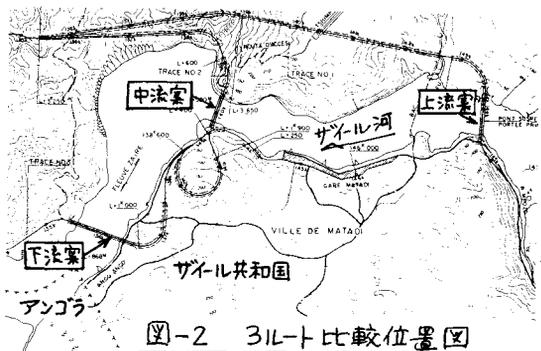


図-2 3ルート比較位置図

は、吊橋の他カンチレバートラス、斜張橋を比較したが、トラスは鋼重が多く斜張橋は長大橋としての実績が十分でない一方、吊橋は高速重量の鉄道通過時のたわみや振動、桁端の構造が問題とされていたが、昭和47年当時、我国は本四架橋の為の研究成果より上記の問題の解決に自信を有しつつあった時期で、この点を考慮して吊橋とした。なお吊橋は、アプローチの取付方を考え、道路、鉄道と平面に併列せず上下分離とした。

表-1 ザイル河渡河付近3ルート建設費比較表

	【ルート(上流案)】		【ルート(中流案)】		【ルート(下流案)】	
	延長 (m)	金額 (千円)	延長 (m)	金額 (千円)	延長 (m)	金額 (千円)
(鉄道関係)	17,450		18,110		14,080	
ザイル河橋りょう	960	20,138	740	17,694	1,170	34,529
ずい道	10,650	11,887	8,500	9,780	3,950	4,717
一般橋りょう	200	360	410	775	300	535
盛土、切取区間	5,700	384	8,460	576	8,660	557
小計		32,769		28,825		40,338
(道路関係)						
取付道路	1,600	506	5,300	1,680	16,000	5,386
合計		33,275		30,505		45,724

注) 1ザイルは約2トド(1トド360円)



図-3 上流案吊橋

吊橋 12,600t
トラス等 1,490t

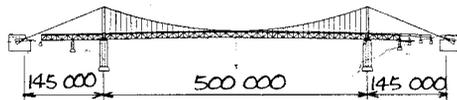


図-4 中流案吊橋

吊橋 11,790t
トラス等 920t

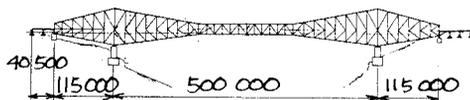


図-5 中流案トラス

トラス 21,600t

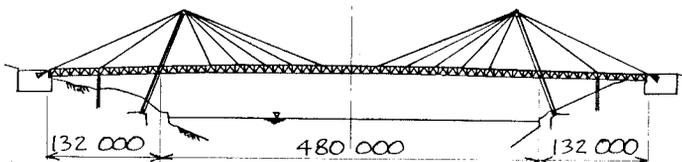


図-6 中流案斜張橋

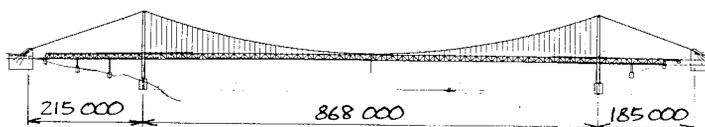


図-7 下流案吊橋

吊橋 24,420t
トラス等 1,400t

3. 橋梁形式の詳細比較

上述のように、橋梁形式は吊橋と云う事になったが、別途、OEBKが米国のコンサルタントIECO(日本の援助が決まる前、米国に橋のみの援助の意向があった)に発注した橋梁の概略設計は斜張橋案が提案され、その理由としては、たわみが少ない事、地盤が良好で斜張橋の施工は十分可能であると云う事であった(図-8)。

このため、当初コンサルタントと行なうとされしていたJARTSの依頼で、日本側として吊橋の是非を確認するため、国鉄、本圃公園のOB、現役(友永氏、西村氏など)を中心に委員会を設け、詳細検討の結果、やはり吊橋が有利との結論を得た。その論点の要約を表-2に示す。

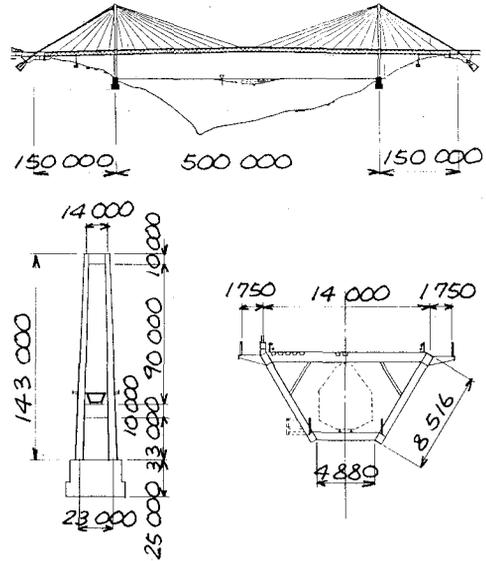


図-8 IECOの斜張橋案

表-2-1 橋梁形式別比較表

種別	型式	吊橋(連続)	斜張橋	アーチ橋	カンチレバー橋
上部工事量		1,284.5t	1,359.6t	2,109.0t	2,528.0t (内注填 1,908.0t)
下部工事量		鉄筋 3,900t コンクリート 77,500m ³ 塔: 5,000×28 (SM50) トラス: 1,500×42 (SM50)	鉄筋 4,100t コンクリート 74,900m ³ 塔: 同左 トラス: 吊橋より大きい、アーチより小さい。	鉄筋 3,700t コンクリート 68,900m ³ 塔: 同左 柱材: 1,500×45 (HT80)	鉄筋 1,620t コンクリート 35,000m ³ 柱材: 1,800×60 (HT80)
最大部材断面		トラス: 1,500×42 (SM50)	トラス: 吊橋より大きい、アーチより小さい。	HT 80, 70で厚板鋼使用部材製作には特別な注意を要する。	同左
疲労に対する留意		通常の製作法 橋脚トラスに対する疲労効果は大きい。主ケーブル、ハンガーに対しては留意が必要。 1,294cm=342cm	吊橋より主橋部材に対する疲労効果は小さい。ケーブルのアンカー部材に対して留意が必要。 吊橋より小さい。	死荷重が大きいので疲労の影響は小さい。 橋脚問題はない。	同左
鉛直変位		37.6cm			
水平変位		絶対値は大きい、スパンが長いので問題ない。			
鉛直角折れ		+1.2% ₆₀ - 2.7% ₆₀	+0.4% ₆₀ - 0.3% ₆₀	問題となる確率はならない。	同左
水平角折れ		0.4% ₆₀	0.4% ₆₀		
桁端伸縮		活荷重により241mm 温度変化により122mm 活荷重によるものが、他より大きいので、丸線加工など細部に注意を要するが、国鉄、簡易型伸縮継目で可能	吊橋と同程度 国鉄、簡易型伸縮継目可能。	全体の伸縮量は小さい。 同左	温度変化によるものが大部分で 0.4mm/in × 500m = 20mm 同左
水平振動		固有周期約10秒なので、風による振動も走行性を損なわないと思われる。車両特性が分れば計算も可能。	同左	有害な振幅に至らないと思われる。	同左
支点の橋力		橋力が生じても容易に処理できる範囲である。	計画案のブローガー・シムでは生じない。		Side Span 115mとすれば3,000t、160mとすれば、1,777t
架設工法		特に問題はない。(吊橋特有の各種の注意は必要)	形状、応力管理に特別の注意を要する。	鋼吊工法とすれば、大きな塔を要し、塔柱を直接スチールで支えれば、主橋脚り8000tの引張力。	強出架設中の安定照査を要する。
架設時の部材重量		基礎を運ぶか、PWSを運ぶか 運搬コストと架設工期で比較。 Tower Saddleが大きいので分別を考慮。	塔は吊橋と同規模、トラス部材はアーチやカンチレバーのそれより小さい。	大型のシー、トラス部材等の現地の運搬架設に困難を伴う。	同左
軌道構造		電氣部分に伴い敷線の必要があれば架線の多いホマラキを用いた方がよい。鋼桁道床も現在、国鉄本線に2橋、本四用にも開通中であるが、脱線防止ガードは全長にわたって設けるのがよい。 在来線の分岐部の保守と同程度と考えられるが、10年程度で定期検査を行い、そこでさらにのくらし射えりか判断するのがよい。			
伸縮継目の保守		吊橋、斜張橋では容易に伸縮するので塗油の必要があると考えられる。			
橋全体の保守		ケーブルの防錆特に塔頂附近の長期間のための注意。	ケーブルと主橋との近接部の防錆に注意。	塗油作業は吊橋より大。	同左
施工比 (吊橋を1.0とすると)		1.0	1.03	1.25	1.44

表-2-2 吊橋と斜張橋の比較

	吊橋	斜張橋
(イ) ケーブル工事	同一作業が多い。	作業種類が多い。 キ、ノワークの積荷がきつくなり、不安定な姿勢での作業が多くなる。
(ロ) 塔		吊橋より高い塔が必要になるのでそれだけ作業の困難性が増す。
(ハ) 補脚工事	主ケーブルを利用できる。 大ブロック化が可能。	単脚架設となり現場作業量が多くなる。
(ニ) 架設中の耐風性	主ケーブルで吊っており横曲げは小さい。 風圧きからわず振動を起してにくい。	強出し架設となるので片脚架設となり塔のところで大きなモーメントを受ける。 振動が発生し易い。

4. 設計

4-1 スケルトンの確定

- 1) 着工確定後、測量及び地質調査を行なった結果、中央支間及び橋脚位置は、左岸側は岩盤が下流側に約30°傾いた上流側が有利なこと、川岸は盛土であること、一方右岸側は川岸の地形が急峻であること、表層の地盤が予想より悪いことと考慮して微修正し、 $l=520\text{m}$ とした。
- 2) 路面高さは高くする程アンカーの掘削量が減るが、塔が高くはり鉄道の取付勾配が難しくなる点を考慮し経済性と施工余裕を考え、当初より1.0m高くした。

- 3) 吊橋形式は、単統、連続、側径間ハンガーロープの有無等5型式と比較し、経済性及び列車等走行時の走行性及び省々継手が少なく、維持管理の容易な連続張出しトラス付吊橋とした(表-3)。

表3 吊橋形式の検討

	ケースA	ケースB	ケースC	ケースD	ケースE
概略図					
特徴	1. 補脚の掘削量が大きく、場合によっては補脚の必要となる。2. 補脚の維持管理が大変である。	1. ケースAの角目1-1と同等の問題がある。2. 補脚の掘削量と側径間ハンガーの掘削量が同等である。3. 側径間ハンガーの掘削量が大きい。4. ケースBと同等の問題がある。	1. ケースAの角目1-1と同等の問題がある。2. 建設が大変複雑になる。	1. 補脚トラスの中間支間の開口モーメントが大きくなる。2. 補脚トラスの支間上の応力増大が低減する。3. 補脚トラスに架設用トラスが必要である。	1. ケースDと同様の問題がある。2. 側径間ハンガーの掘削量が大きい。3. 補脚トラスが必要である。4. 補脚トラスの応力増大が大きい。

この場合問題となる

支点上の大きい曲げモーメントは、前死荷重、後死荷重の配分により解決する事とした。

- 4) 側径間は、地形なりにすると短くなるが、負反力も生じないので、 $l=91.0\text{m}$ とした。尚、側径間は、滑り安全率 ≥ 2.0 を確保するため、2本の増しケーブルを行っている。
- 5) サグについては、 $1/10$, $1/11$, $1/12$, $1/13$ の4案と比較し、経済性より $1/10$, $1/11$ 、而して鋼柱より $1/11$ とした(表-4)。
- 6) 補脚トラスの主構高は、8, 9, 10m, パネル間隔は、10, 12, 13mと比較し、経済性から高さは9m, パネル間隔は13mとした。

表4 サグに関する検討(補脚トラスの剛性は一定)

項目	ケースA	ケースB	ケースC	ケースD	ケースE
ケーブル断面積 (m ²)	0.1578	0.1494	0.1497	0.1280	
サグ	f/l^2	40.0	43.0	47.0	52.0
サグ比	f/l	1/11	1/12	1/11	1/10
曲げモーメント (kN・m)	1.16 3.44 2.44 1.89 0.00 0.00 0.00				
ケーブル張力 (kN)	11,488	10,800	10,980	9,293	
ケーブル傾斜角 (°)	7.2	8.9	6.5	6.0	
最大たわみ量 (列車+自動車+温度変化)	2,720	2,560	2,480	2,210	
たわみ比	1/101	1/93	1/93	1/101	
吊り橋高	+180	+50	0	0	
橋高さ (ケーブルを基準)	-180	-180	0	+130	
ケーブルを基準	+240	+120	0	-120	
合計	+120	+70	0	+10	

1) 縦向き比較はケース(B)とケース(D)の優劣は分からない。
2) 耐震安定性はケース(B)がケース(D)より有利と考えられる。

ここに、中央径間長

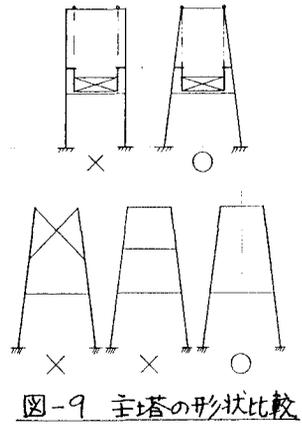


図-9 主塔の形状比較

- 7) 主塔の形状については、直塔案と斜塔案と比較し、ケーブルの軸線と塔柱軸線の一致する斜塔案とし、腹弦については、斜交交叉、水平1本、水平2本と比較し、美観上より水平1本とした。(図-9)

4-2 主な設計条件

- 1) 活荷重: 列車荷重は、ゲイル国鉄C-3軸重18t6軸機関車3重連と、軸重20tのITL引荷重1800t、ゲージは1067mm単線、自動車荷重はゲイル道路規格62/R/02, 当初2車線2歩道(2.7+6.6+2.7m) 将来は4車線(1.5+12.0+1.5m)でこの時は歩道は張出す。衝撃、ブレーキ荷重等は、ゲイル規格で所定通り取る。群衆荷重は歩道400^{kg}/m², 管理路300^{kg}/m²で、との

他、パイプライン等2"500kg/m 考えとおく。

- 2) 風荷重: 完成後 40 m/sec, 架設時 30 m/s
- 3) 地震荷重: 水平震度 0.05
- 4) 温度変化: 25°±15°C
- 5) 地盤支持力: 地盤の性状を考慮し定めた。
- 6) 桁下空頭: 53.0m
- 7) その他, 詳細は国検発・本四公債の規格による。

4-3 主要部分の設計

- 1) 主塔は基部に固定された可撓性塔とし, 断面は4部材組合せのパネル構造とした。橋軸直角方向は2層ラーメンとなる。
- 2) 塔頂, 塔基部はリブを延ばした格子構造とした。
- 3) ケーブルアンカーフレームは, アンカレッジに埋めこんだ支圧ガーダーに引張杖を取り付け, 直接ストランドを取り付ける前面定着形式とした。
- 4) 主ケーブルは, 工程短縮のため, PWS工法とし, 図-10の断面とした。
- 5) 補肉トラスは, 重量軽減のため鋸床版とし, 主構と合成構造とした。
- 6) その他, 構造細目とし, サドル上に防水カバーを設けた。ハンガー形状は, クランプ部を上げる方式とせず, 下からしめる

	側 注 間	中 央 注 間
最大張力(1)	9,394	8,768
主ケーブル断面	PWS-127 (素線径φ5.15mm) ×56本	PWS-127 (素線径φ5.15mm) ×54本

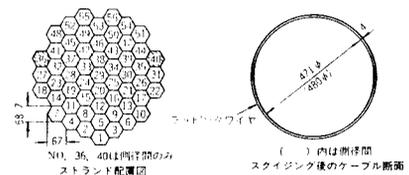
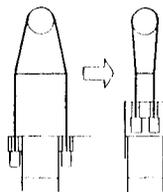


図-10 ケーブル断面

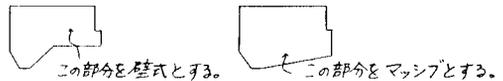


方式とした。ハンガーロープは, ため, 鋸床版に面定着とした。

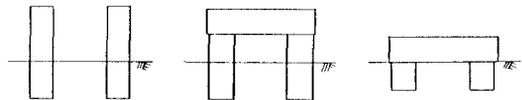
また, 意帯であり管理の不十分も懸念されるとして, 耐圧性鋼板の使用も考えられたが, 美観と塗装は十分行なうと云う事が普通鋼材とした。

4-4 下部工の設計

- 1) アンカレッジに関しては, 略図の2形式を比較し, 岩盤の掘削量の少ないこと, マスコンクリートの施工を少なくすることより薄肉壁式構造とし, 寸法は, アンカーフレームと内蔵できる最小寸法とした他, サドル上でのケーブル折小角をできるだけ小さくした。



- 2) 橋脚については, 略図の3形式を比較し, 主として, 施工中における左岸側の鉄道との関係, 川岸に寄り過ぎる事の本の影響, 経済性より, 地上に直接横梁がくるラーメン形式とした。



4-5 最終的存設計図及び数量は, 図-11, 表-5, 工程は表-6である。

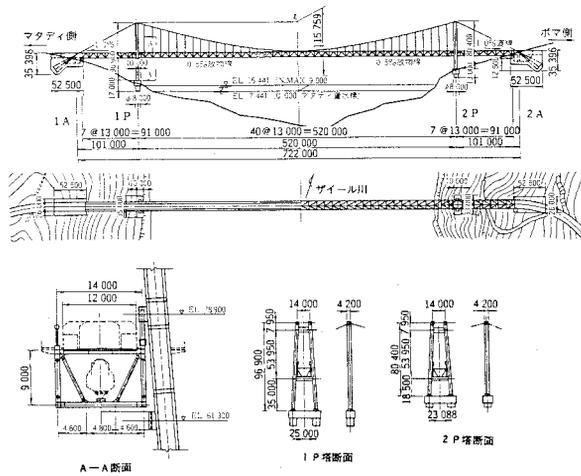
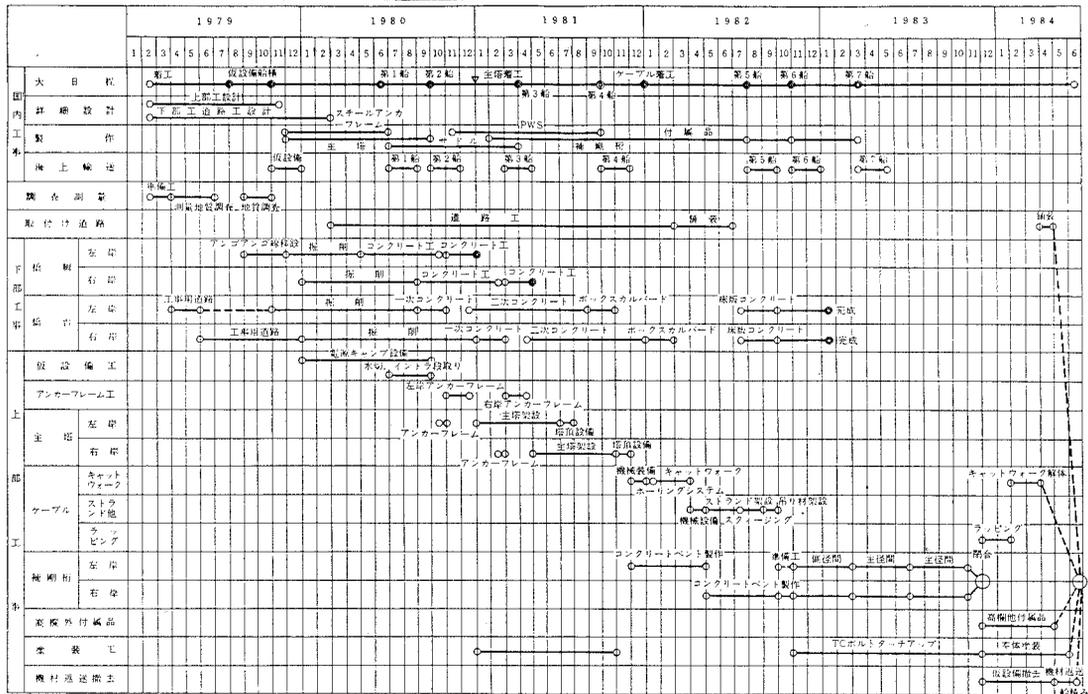


図-11 マタディ橋一般図

表-5 契約数量及び金額

品名	数量	金額 (100万円)	
		円貨	ギニー(買入)貨物
橋梁上部工			
養作	13,000 t	7,525	—
運搬	m	1,353	—
架設	m	6,946	287
合計金額	16,113百万円	15,824	287
橋梁下部工			
掘削 (391,000m ³)	左岸 37,000m	253	26
	右岸 62,000m	380	46
コンクリート (56,000m ³)	左岸 28,000m	1,226	295
	右岸 28,000m	1,219	292
鉄筋・他		1,645	180
合計金額	5,574	4,723	851
取付け道路工			
道路延長	8.0km	3,608	827
土工量	89.2万m ³		
仮設橋工一式		4,016	394
調査設計工一式		1,035	—
契約金額	31,533百万円	29,206	2,327
準備費	2,729百万円	2,319	410
総契約金額	34,262百万円	31,525	2,737

表-6 当初の工事工程



5. 施工

5-1 施工体制

工事の施主は、OEBK(バナナキンショサ運輸施設整備公団)で、技術力力の日本人が局長以下17人と主となり、サイール人技師等がスタッフを構成した。施工は、石川島播磨重工業を代表とする日本企業連合C-IHI(他の構成員は、三菱重工業および川崎重工業)が行なった。このうち、上部工の設計は上記の3社が担当し、

上部工の架設は、IHIと三菱重工業が担当した。また、下部工および道路工はIHIが総括したが、下部工の設計を東京エンジニアリングおよび三井建設が担当し、道路工の設計は三井共同建設コンサルタント、測量はアジア航測、地質調査は基礎地盤コンサルタントが担当した。下部工および道路工の施工は、IHIにメリベルギー系の現地会社Auxeltra - Bétonと下請契約者として2行なわれ、Construction Managementを三井建設の技術協力の下に遂行した。当初は、JARTSが設計と施工管理をいっしょのコンサルタントとして2行方式であったが、インフラ設備不足となった経験に鑑み、上記のフルターンキーとし、設計中に仮設備を着工したり、設計と本体の2度の契約の寸削を省くなどの配慮をした。いわば走りながら考える体制である事と、OE BKの寸不足を配慮し、又赤道直下での経験の多い大工事である事も含め、土木学会に中立の技術委員会(伊藤学東大教授が委員長)を設け、設計・施工にアドバイスを行った。委員会は、交代で現地にも出向し、サイクル人技術者の教育も行った。

5-2 仮設備

現地は、外貿易港マタディとは云え、公共施設の乏しい未開地であり、多くの設備を要した。主な作業基地は街に近く広い左岸とし、各種事務所、宿舍、主要機材置場、修理工場を置いた。右岸は地形急峻のため、最小限の資材置き場と補修場のみを設けた。但し、コンクリートプラントは左右両岸に置いた。

電力は、市中に変電所を設けて受電し、6KVで送電(容量約3,000KVA)したが更に、仮設完了までの工程確保と事故に備え、ディーゼルによる発電設備(750KVA)も設けた。通信は専用でケンジャサマタディ間、事務所-各現場間を確保した他、携帯無線も有効であった。

輸送に関しては、工事用道路を左右岸とも本道路(取付道路)沿いに設け、更に、アンカーと主塔を結ぶ道路左岸側は各事務所を結ぶもの、右岸側は取付場の連絡と川岸へ降りる道路と配した。河の横断は公共フェリーが済むのみで、船着場も不十分のた、当初右岸の積量はサイクル河途中のボマからの輸送も考えたが、最終的には左岸にモノク、ボマ側の機材置き場を河沿いのフェリーの傍に置いた。

以上の事情及び船機の輸送のため、ホトパイロットロープの渡河を考へ、専用のフェリー-モーターボートを配し、主塔位置間での往来等を行えるようにした(図-12)。

セメントは、左岸側ケンジャサ寄りの工場より陸送し、骨材は左岸側の山地で自家製造した。

設備配置全体図は図-13である。

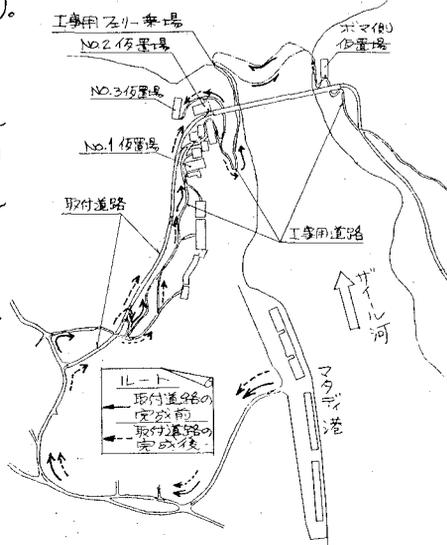


図-12 資材運搬概要

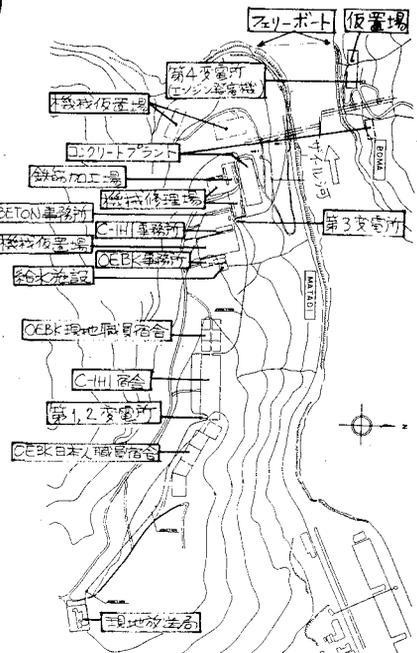


図-13 仮設備平面図

5-3 上部工の架設

1) 主塔

アンカープレートの据付けは、下面にきり出し作り無収縮モルタルを注入する方式とし、工程短縮をはかった(図-14)。架設はアンカーフレーム、および下から左側6ブロック、右側4ブロックまでを、トラッククレーンで架設し、他は30t固定式ジブクレーンによって順次架設した(図-15)。

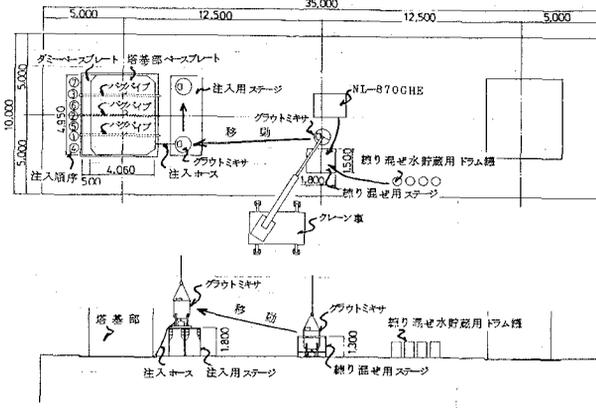


図-14 ベースプレート注入作業

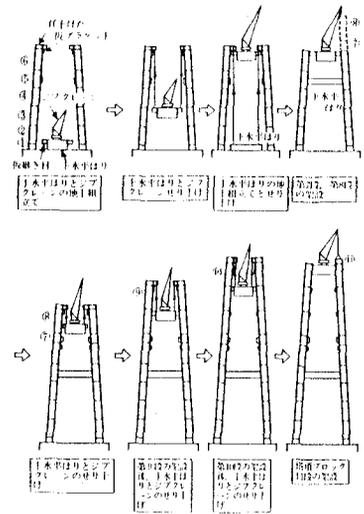
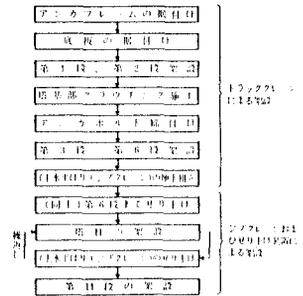


図-15 主塔架設作業手順

2) ケーブル

ケーブルアンカーフレームは、下部工施工時にトラッククレーンを用いて架設し、引張機の先端以外をコンクリートに埋め殺した。

パイロットロープは、資材運搬用の平底フェリーボートでそのまま河上を引張ると云う手法であった。河の流れを考慮し、ワイヤーにバックテンションをかけ、周到に流速を計算して進行方向を定め、バランスを取りながら渡河した(図-16)。その後、両岸のワイヤーをキャットウォークロープを張り、その床組は橋台前面現場および路頂で紐立てワイヤーで引き出した。その後同じようにホーリングロープを架設し、ストームロープも設置した。

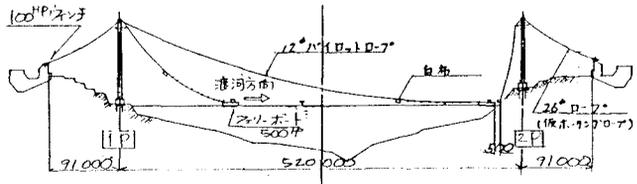


図-16 パイロットロープの渡河

ケーブルストランドは、当キャットウォーク上にローラーを置き、橋台上に延伸機を設置し、ドラムに巻き付けた荷姿のままが順次引き出し、アンカーした後塔裏のクレーン及びトラッククレーンで順次サドル内に履替え、その後、微調整を行った。全ストランドを架設後、スライジングを行って整形、更にケーブルバンド、ハンガーロープ取り付けを進めた。

3) 補脚材

側径間トラスは、バント式でトラッククレーンで架設し、塔付近の鋼床板は、橋上のトラッククレーンを使用

5-5 施工中の問題点またはトラブル

- 1) 塔のベースプレート下のモルタル注入時、圧入困難となったが、フェックの結果水分を吸収され、フロー道が空化したためと判、た。
 - 2) 主塔架設開始直後、 $\pm 24mm$ のHTBに所定のトルクが入らないう現象が生じた。ナット、座金と円滑剤で処理したがうまく行かず、結局ナットおよび座金を交換した。
 - 3) 1000 m^2 を20時間で打設したスラブ上床版では、乾燥のためフックが多発し、打ち直しとなった。
 - 4) 中央径間9パネル目の架設で一時的に引込力が測定された。フェックの結果、計器の誤差であった。
- 以上の他、軽微なものも多くあるが、おむね順調な施工であった。

5-6 施工実績

表-7 最終工事工程

項目	1979				1980				1981				1982				1983							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
国内工事	詳細設計																							
	工場製作																							
	海上輸送																							
現地下部工	調査・測量																							
	取付道路																							
	橋脚																							
現地上部工	主塔																							
	ケーブル																							
	補剛桁																							
高欄・その他																								
塗装																								

表-8 工程短縮理由

実施工程は表-7の通りで、実に1年2ヶ月の短縮となったが、その主な内容と具体的理由を表-8に示す

作業	短縮日数	理由
当初工期 64ヶ月	1979. 2. 20 1982. 6. 20	(1) 短縮の身構え理由
実施工期 50ヶ月	1979. 2. 20 1981. 4. 30	(2) 鋼構材の不発着入 二重に付、建設時、橋台、主塔の工事や着岸、在岸 機材作業可能と付、
上記の通り 14ヶ月の工期短縮により、下記4の理由を記す		(3) 原資兼材料作業 特に橋台の工期短縮と付、
(1) 作業毎の概算短縮日		(4) 当初計画の目標値に届いた(順道建設)を付、 二重に付、目的作業が可能と付、
右岸橋台(内訳 概算(10ヶ月+12ヶ月))	2.5	(5) ケーブル支持部 特に上層工の能力不足の対策(原因不明)
橋台のケーブルの据り	1.5	(6) 下部工の同一業者による施工の仕度 適切な調整が可能と付、
塔頂部橋台の据り	1.0	(7) 塔頂部材の着岸 特に上部工の工期短縮と付、
鋼構材の据り	1.0	(8) 鋼構材の据り
ケーブルの据り	2.5	(9) 鋼構材の据り
中央径間ケーブルの据り	5.0	(10) 鋼構材の据り
計	14.5 + 14ヶ月	(11) 鋼構材の据り 特に上層工の工期短縮と付、

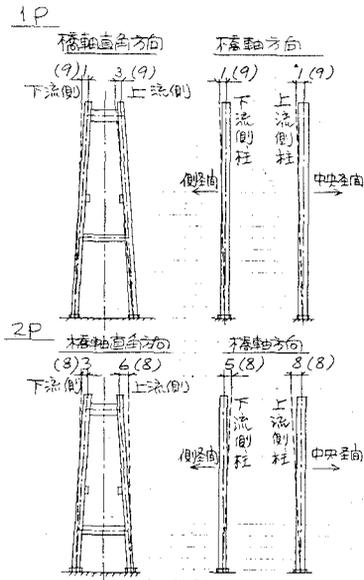
6. 施工管理

6-1 製作

上部工およびレカ-の各部分の製作は、日本の工場に厳格な管理の元に行われ、所定の精度で検査に合格している。勿論、溶接や塗装のチェックも十分行われたが、詳細は省略する。

6-2 上部工架設

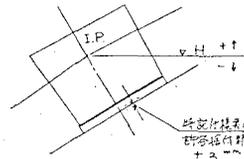
1) 主塔及びスプレ-サドルの架設の管理は、厳密な測量による他ないが、結果は図-20、21の通りである。



注記 1) 新測年月日
 1P; 1981年5月29日
 2P; 1981年6月13日
 2) 単位 mm
 3) ()内は特記仕様要による許容据付精度

図-20 塔の倒れ測定結果

(1) 計画高



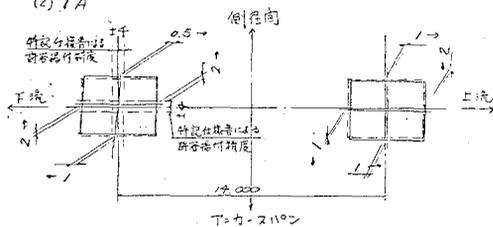
計測年月日

A1例; 1981年9月17日

A2例; 1981年10月14日

		H (mm)
IA	上流	+2
	下流	+1
ZA	上流	0
	下流	+2

(2) 1A



(3) 2A

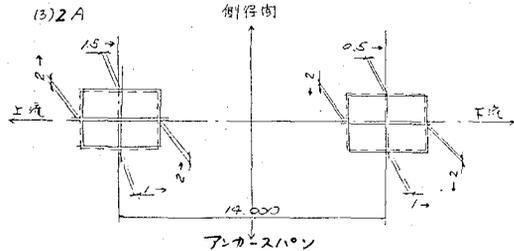


図-21 スプレ-サドル据付精度

2) ケーブル・サグの管理は、経緯測量、塔の倒れ測量、サグの測量、ケーブル、塔の温度測定およびサグの調整作業により行なった。測量は中央ストランドは、レベル、光波測距儀、側倒角ストランドはスチールテープを用いた。いずれによ、長さや温度の測定誤、測径値とのものに誤差が含まれるわけ、真値の設定がむづかしく、雨中の夜間作業となった基準ストランドのサグ調整には、特に、苦勞が多かったが、いずれも繰り返して測定することになった。

表-9は誤差要因のサグ値への換算を示し、表-10はPWSの架設誤差の限界を示す。尚、最終的には、基準ストランドで中央径値サグ誤差4mm、側倒角サグ誤差7mmとなり、好成績であったが、値との

表-9 各要因値のサグ値への換算

単位 mm			
	中央径値	側倒角	
測 量 に よ る 誤 差	直接測量		
	基準ストランド 個別	10	10
測 定 誤 差	側倒角測量	2	2
	基準ストランド測定時(10%) 個別	15	15
架 設 誤 差	側倒角サグ測定時 ストランド群小(10%)	15	15
	大(10%)	45	45
サグ調整に よる誤差		12	22

ものにより問題点があり、要は設計に比べて問題ないと言う事である。

3) 補剛トラスの架設作業は、表-11の測定と管理を行った。補剛トラス架設に付塔頂は中央径内側へ10~20mm、センター2"ケーブル高さが40~50mm下がるとして、形状と管理した。この形状管理に大きい異常がなければ、部材力は異常がないとするわけである。最終的には、予想とは逆に、高さが50mm上がったが、その他全期に予想より極めて良い精度で架設が行えた(図22, 23)。

その他、ハンガーの引込力、上弦軸力、下弦軸力、斜材軸力を計算し、架設時の局所的なチエックとした結果の一部を表-12に示す。

4) その他、ケーブルバンド軸力は所定68tonに押し締め直した後、68.9~71tonとなつているが、今後何年か後にチエックの必要がある。

4) その他、ケーブルバンド軸力は所定68tonに押し締め直した後、68.9~71tonとなつているが、今後何年か後にチエックの必要がある。

表-10 PWSの架設誤差 単位 mm

スタンションの種類	基準トラスの架設誤差	基準トラス以外の架設誤差	平均誤差	標準偏差	備考
中央径内側	10	2	2	20	
側径内側	15	15	45	15	
側径外側	12	12	12	12	管理厳密
計	22	22	47	28	
	25		30		
	34		64		
側径内側	10	2	2	20	
側径外側	15	15	45	15	
側径内側	22	22	22	22	管理厳密
計	29	27	50	34	
				35	

表-11 測定箇所及び頻度

測定項目	測定箇所	頻度
ハンガー引込力	架設ハンガー	各ハンガー架設毎(毎周)
スプレッドの形状	各スプレッド	
塔の水準位置	各塔上下流の塔頂	2ヶ月架設毎(毎周)
ケーブル形状	塔頂塔内塔底のケーブル形状	
補剛桁形状	塔頂塔内塔底の補剛桁形状	
架設コンクリートの圧入状況	同左	
温度	ケーブル、塔	

表-12 ハンガー引込力及び引込量

P: 引込み力 (ton) の算出

$$P = R \cdot l \quad \therefore R = \frac{P}{l}$$

R : 吊り筋の自重と上弦トラスの引込力に対する平均値
 l : 引込量 (架設量 20mm 程度)
 S_H : 吊り筋の自重 (単位: ton)
 $S_H = \frac{A \cdot L \cdot \rho}{E}$ ($E = 2.1 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$)
 S : 引込前後の相対変位量
 $S = (S_{01} - S_{T1}) - (S_{02} - S_{T2})$

吊り筋番号	引込量 (mm)	引込力 P (ton)	備考
4			
5	0.175	57.4	
6	0.311	95.2	
7	0.453	129.6	
8	0.595	158.9	
9	0.736	182.5	
10	0.874	201.0	
11	1.009	214.9	
12	1.137	224.4	
13	1.261	228.2	最大値
14	1.305	215.7	
15	1.113	184.8	
16	0.928	144.5	
17	0.713	93.4	
18	0.517	70.8	
19	0.353	46.9	
20	0.222	29.5	
21	0.116	15.7	
22	0.058	10.7	
23	0.024	4.3	

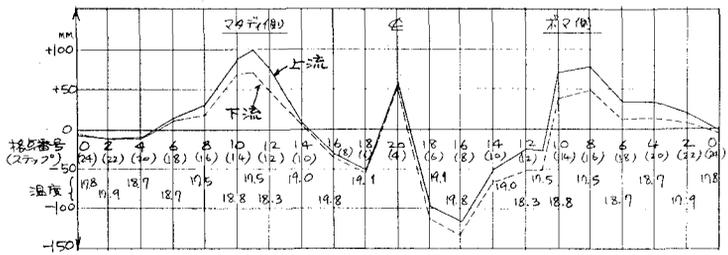


図-22 中央径内補剛トラス変位

6-3 下部工その他
 地盤の弾性係数と平板載荷試験を確認したが、予想より若干低い値となった。若そのものに多少のき裂があつても、岩盤全体としての支持力の評価は、もっと大きくできるという本社の研究結果もあり、また計算も行つた安全は確認したが、掘削前の地盤からの判断からすれば意外であった。
 ・コンクリートの強度及び温度、土工の締固め度、アスファルトの品質なども詳しくチエックしたが詳細は省略する。気象観測も詳しく行つたが、風洞試験との照合で注目した風速は最大30m/s弱であった。

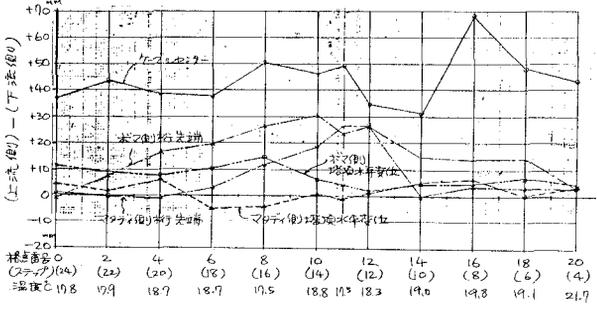


図-23 ケーブルセンター及び桁先端の上下変位

7. 載荷試験

完成後のけたの性能確認のため、静的載荷試験および振動測定を行った。載荷試験は、表-13の項目を荷重満載のダンプロップ等を用い、載荷位置を変えて行った。

結果として、橋梁の剛性が多少大きい事が確認されたが、橋梁は十分安全であると確認された。

表-14は、結果の一部である。この結果は、アンカレッジの回転変位を考慮してはいないが、理論値にこれを加えると、実の結果は良くなる。

表-13 載荷試験測定項目

(1)	補剛トラス主構材のひずみ(歪み)
(2)	補剛トラス・鉛直方向・Eのひずみ
(3)	補剛トラス端部・橋軸方向変位量
(4)	スプレッド変位量
(5)	塔頂変位量
(6)	主トラス・補剛トラス・塔・温度

表-14 載荷時変位量測定結果

(1) 補剛トラス鉛直変位量

載荷トラス	測位箇所	単位mm					
		中央径間/2点	中央径間/4点	中央径間/3点	中央径間/2点	中央径間/1点	
CASE-1	計算値	7.3	-80.8	-263.4	-474.1	-563.8	-235.8
	実測値	—	-77	-242	-414	-514	-230
CASE-2	計算値	28.6	-220.7	-414.8	-425.3	-280.7	2.2
	実測値	—	-190	-364	-365	-248	—
CASE-3	計算値	-20.3	13.5	13.4	—	2.2	—
	実測値	-17	-14	—	—	—	—

注) 実測値は、下流側を示し、最大変位点では、上段が正流側を示す。符号は、鉛直方向の変位を正とする。

(2) スプレッド変位量、塔頂水平変位量

載荷トラス	測位箇所	単位mm			
		スプレッド	塔頂水平変位量	スプレッド	塔頂水平変位量
CASE-1	計算値	4.5	36.7	4.5	36.4
	実測値	5.4	37.5	6.1	32.2
CASE-2	計算値	3.0	24.7	3.0	24.2
	実測値	2.4	27.7	3.0	23.4

注) スプレッドの変位量は、各トラスの中心側・下流側の2箇所測定した値を平均したものである。符号は、中央径間側の変位を正とする。

(3) 補剛トラス端部水平変位量

載荷トラス	測位箇所	単位mm	
		上流側	下流側
CASE-1	計算値	-6.1	-5.8
	実測値	0.8	-2.8
CASE-2	計算値	-3.8	30.2
	実測値	-20.8	22.7
CASE-3	計算値	3.4	-1.8
	実測値	1.8	-2.7

注) 実測値は、E点の平均値を示した。符号は、中央径間側の変位を正とする。

振動については、風による常時微振動の測定と、中央径間/2点における30 tonトレーラーの落下試験による自由振動および減衰率の測定を行った。

表-15に常時微振動による測定結果を示す。なお、構造減衰は、Half-Power-Methodにより求めた。

表-15 固有振動数(第1期完成時)

振動	振動	計算振動数	計測振動数	構造減衰
		1/Hz	1/Hz	
面内面外両方	対称1次振動	0.291	0.327	0.103
	逆対称1次振動	0.455	0.459	0.076
	対称2次振動	0.781	0.815	0.039
	逆対称2次振動	1.273	—	—
面外面内両方	対称1次振動	0.185	0.195	—
	逆対称1次振動	0.550	0.601	0.010
	対称2次振動	0.964	1.001	—
	逆対称2次振動	—	—	—
鉛直	対称振動	0.668	0.703	—
	逆対称振動	1.193	1.329	—

8. その他の特記事項

アフリカの赤道直下で、社会資本の貧しい地であり、不慣れた現地人労働者を大量に雇用しての仕事と云う事で、多くの悲劇があった。主なものは、次の通りである。

1) 盗難

貧者が富者からもらうのは当然と云う風習や、長期見通しの昔手なお国柄で、大木の盗難は枚を絶たない。ヘルメットを脱がせると、頭の上にペンチがあると云うようなエモーションなもので、骨材プラントのモーターが盗まれ、工程ピンチとったり、竣工間ぎわにボーナス用の現金が大量に盗まれたり等、話題に事欠かない。盗みがばねて、くびになつたらなどと考えないところが、いかにモザイクらしい。

2) ストライキ

習慣の違いで、労務管理には気を使うが、何の誤解で給料が少なすぎるとか、あるいはボーナスをもらい損ねたなど云うような思想を、一部の者が持つと、理由なく付和雷同してストとなる。しかし、その筋の役所とのコンタクトで話がつき、当局の勝ちとなるとまたあさりやめる。とにかく長期見通しに欠しい。

3) 安全管理

現地人の生活は、原則として、裸足、裸体が快適、だからいくら云って安全帽や安全靴を身につけなさい。一つには、持って帰ってしまったと云う事もある。

4) 突発事故と物不足

一般生活でも言うだが、思いもかけぬ基礎物資がなくなる。モーターがアラゲとけしめると、油がなくなる。油不足には、工程の致命傷のため、ずいぶん悩まされた。落雷による停電のため、トランスが焼け、交換部品がなく、長期の停電も生じた。工事当初の仮電力設備が、著効を発揮した。交換部品がないから、けた全部材は貴重、人を落しめかけたと話すなど云う事になる。

5) 天候

雨期は、2〜3日置きに土砂降りの雨、掘削面の維持、鉄部材の保護が厄介な他、塗装等の工程にも大きくひびく。猛暑のため、マスコンクリートの管理の他、日本人の疲労も相当なものであった。

6) 設計協議

公署問題がない上、期許される工事で、設計協議も住民対策も容易、用地買収はラジオ放送で、「金を取りに来い」。夜間の突破にも苦情なし、航行する船舶の上でもゆつたりと工事。税関等も都合と案であった。

7) 現地人作業

意外と器用で大戦力となった。後姿では区別がつかなくなった。

8) マウリヤ等の病氣や、生活水の確保、サンリヤにしき蛇ほど、話題はつきず、苦節は多かったが、期許される工事、エネルギーも加速された。OEBKのキンチャの仕事も「仕事が速くなる」と云うのが殺した文句で、仕事が進んだ。

この橋が、アフリカにおける日本のシンボルになりますよう。

— 完 —