

エチオピア ハダセ橋の施工

— 青ナイル川に架かるエクストラードード橋 —

森本 修平*1 ・ 山内 丈樹*2

1. はじめに

東アフリカに位置するエチオピアで、その首都アジスアベバからエチオピアの北方または北西地方、スーダンやエリトリアに続く燃料や食料運搬等経済的に重要な幹線道路の改修工事が、1999年3月から日本国政府無償資金協力で行われている。エチオピアは、面積が日本の約3倍、人口は7000万人の国である。

ハダセ橋は、アジスアベバから北北西に約200km離れたところで行われているゴハチヨン村とデジェン村間の約40kmの幹線道路改修工事の中間地点の青ナイル川（現地ではアバイ川と呼んでいる）を跨ぐ橋長303mの新設橋梁工事である。図-1、2に位置図を示す。

幹線道路は、標高約2500mのゴハチヨン村から標高約1000mの風化岩で形成されるアバイ川渓谷を通り、標高約2500mのデジェン村に抜ける標高差約1500m、平均勾配約7%（最大12%）の厳しい環境条件下にある。

アバイ川渓谷付近は、昼間の気温が40度を超える過酷な場所である。また、6月中旬から9月中旬の約3ヶ月は雨季でアバイ川が増水するので施工に制限がある。

ハダセ橋は約60年前にイタリアによって架設されたアーチ

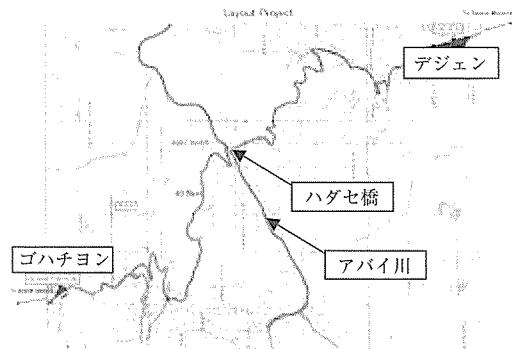


図-2 橋梁位置図

橋の老朽化に伴い新設される橋梁で、旧橋の上流側145mの地点に架設される。本橋は、橋長18mのRC単純箱桁橋と橋長285m、最大支間145mの3径間連続PCエクストラードード橋からなる橋梁で、東アフリカでは、はじめての橋梁形式である。写真-1に新旧橋梁、図-3に一般図を示す。

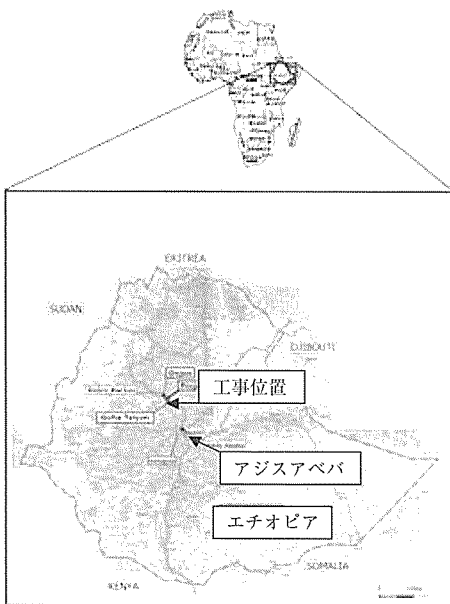


図-1 工事位置図

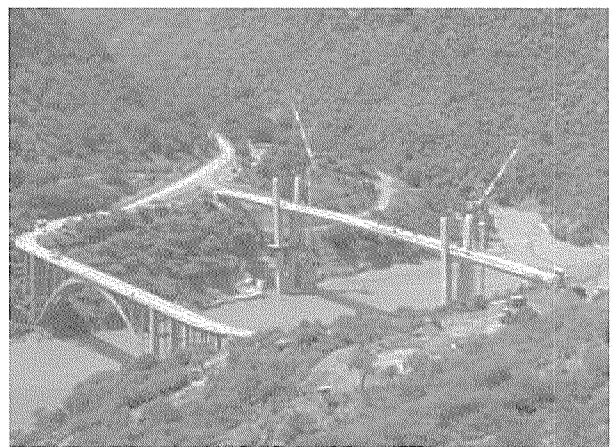


写真-1 新旧橋梁

ここで、ハダセ (Hedase) は、現地語で「Renaissance」という意味で、エチオピア暦2000年最後の日（西暦2008年9月10日）に開催されたミレニアム式典としての中央連結式のとき、21世紀のはじまる象徴の橋として、エチオピアのメレス首相が新設橋梁の名前を公表した。

本稿では、ハダセ橋の上部工施工について報告する。

*1 Shuhei MORIMOTO : (株)オリエンタルコンサルタンツGC事業本部 エチオピア事務所長

*2 Takeki YAMAUCHI : 鹿島建設(株) 海外支店 エチオピア出張所長

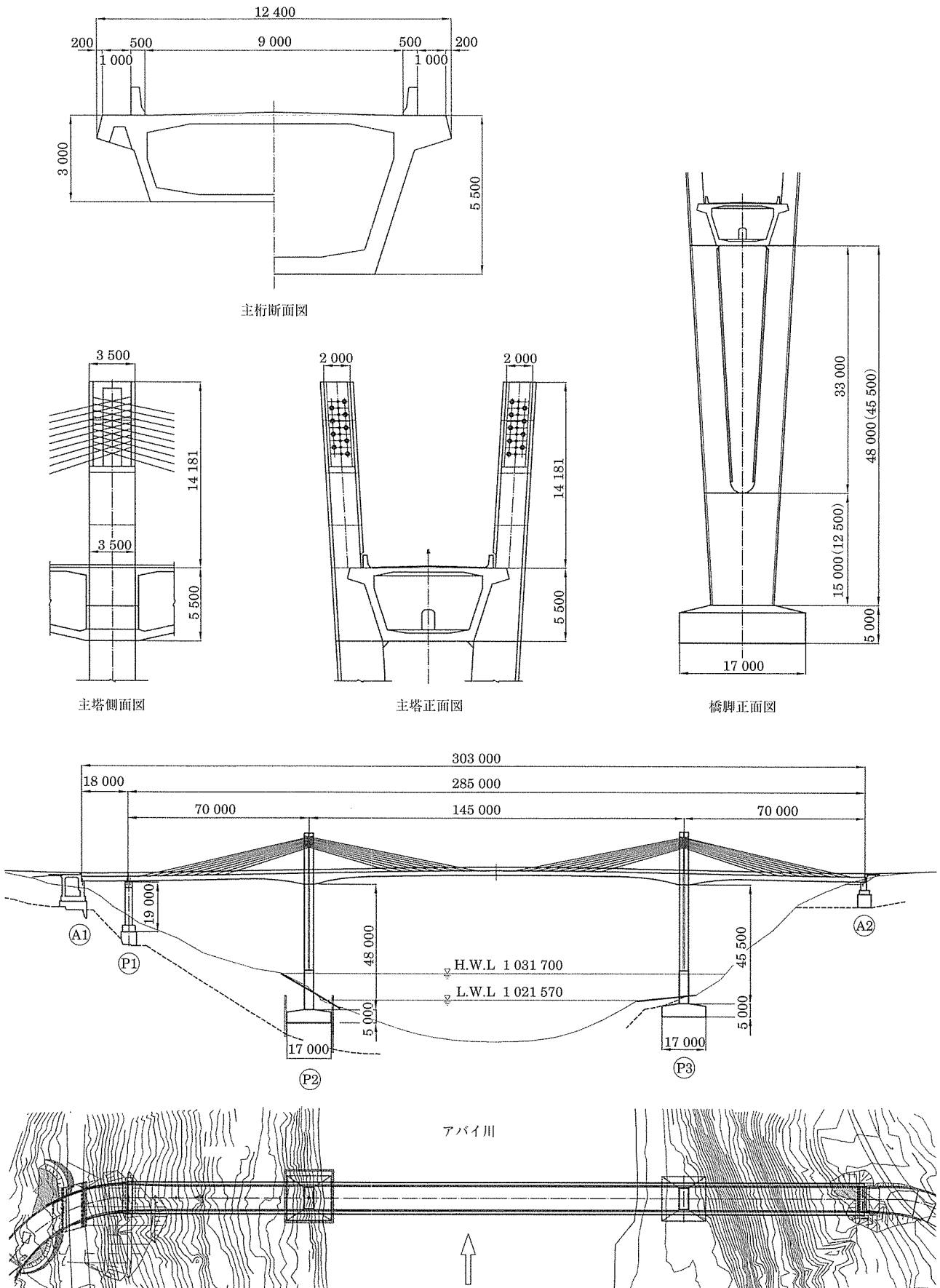


図 - 3 ハダセ橋一般図

2. 工事概要

2.1 工事概要

工事名：エチオピア国第三次幹線道路改修計画
 工事内容：① Goha Tsiyon (ゴハチヨン) ~ Dejen (デジエン) 間の幹線道路の改修 (延長 40.45 km)
 ② 新設橋梁工事 (エクストラードーズド橋, 橋長 303 m)
 工事場所：エチオピア・アジスアベバ北西約 200 km, 青ナイル川
 工期：2005年9月～2008年12月 (40ヵ月)
 契約日：2005年8月12日
 企業者：エチオピア道路公社 (ERA)
 契約相手：エチオピア道路公社 (ERA)
 資金源：日本国政府無償資金協力
 発注方式：指名競争入札 (PQ 合格の日本業者)
 設計・施工監理：オリエンタルコンサルタンツ・日本技術開発
 請負者：鹿島建設(株)

2.2 橋梁諸元

主橋梁であるエクストラードーズド橋の橋梁諸元を以下に示す。また、表-1に主要数量一覧を示す。

橋種：プレストレストコンクリート道路橋
 構造形式：3径間連続PCエクストラードーズド橋
 橋長：285 m
 支間：69.15 + 145 + 69.15 m
 桁形式：1室箱桁
 桁高：5.5 (柱頭部) ~ 3.0 m (標準部)
 総幅員：12.4 m
 有効幅員：9.0 m
 主塔形式：RC独立2本柱
 主塔高：14.0 m
 斜材段数：9段

勾配：縦断 2.0 % 横断 2.5 %
 平面線形：R=∞
 斜角：90°
 基礎形式：直接基礎+置換えコンクリート
 P1 橋脚形式：RC 単柱
 P2 および P3 橋脚形式：RC 壁式橋脚+RC V 字型橋脚
 A1 橋台形式：RC ボックスカルバート
 A2 橋台形式：RC 単柱

3. 上部工の施工

3.1 施工手順

図-4に上部工の施工順序図を示す。

上部工の施工は、まず各橋脚、橋台施工後にブラケット支保工にてP3柱頭部、続いてP2柱頭部の施工を行った。主桁は張出し架設工法にて施工し、主塔は主桁の張出し施工中で斜材架設前に総足場にて施工した。斜材は主桁施工がクリティカルにならないように移動作業車を前進させた後に架設した。側径間閉合部は16ブロック張出し施工終了後に固定支保工にて施工し、さらに、中央連結閉合部は中央径間側の17ブロックを張出し施工後にP2側の移動作業車を使用して施工した。

以下に、主桁施工、主塔施工、斜材施工およびグラウト試験について記述する。

3.2 主桁施工

(1) 柱頭部施工

高所作業における施工性、安全性、経済性を向上させるため、大規模な支保工が必要ないように、柱頭部の支保工施工長さを原設計の12mから6mに短くし、残りの6mブロックを張出し施工に変更した。施工手順を以下に示す。図-5に柱頭部のコンクリートのリフト割図を示す。

柱頭部支保工は1リフトだけの荷重を支え、2および3リフトはPC構造の1リフトが支えるよう設計したので、ブラケットが写真-2のように小さくなっている。

表-1 主要数量一覧

工種	材料	仕様	単位	数量	備考
橋脚	コンクリート	$F_{ck}=18 \text{ N/mm}^2$	m^3	1058	基礎, 均しコンクリート フーチング, 橋脚下部 V字部分
		$F_{ck}=24 \text{ N/mm}^2$	m^3	2750	
		$F_{ck}=30 \text{ N/mm}^2$	m^3	2993	
	鉄筋	SD 345	t	785	D 13 ~ D 51
橋台	コンクリート	$F_{ck}=18 \text{ N/mm}^2$	m^3	75	均しコンクリート
		$F_{ck}=24 \text{ N/mm}^2$	m^3	517	
	鉄筋	SD 345	t	55	D 13 ~ D 32
主塔	コンクリート	$F_{ck}=40 \text{ N/mm}^2$	m^3	408	
			m^3		
	鉄筋	SD 345	t	50	D 13 ~ D 25
主桁	コンクリート	$F_{ck}=24 \text{ N/mm}^2$	m^3	429	RC 単桁部, 壁高欄
		$F_{ck}=40 \text{ N/mm}^2$	m^3	4167	
	鉄筋	SD 345	t	723	D 13 ~ D 25
		SWPR7B 12S15.2	t	79	主方向
		SWPR7B 1S28.6	t	35	床版, 横桁
PC 鋼材	SBPR 930 / 1180	t	5	鉛直	
	合計	t	119		
斜材	PC 鋼材	SWPR7B 19S15.2	t	74	

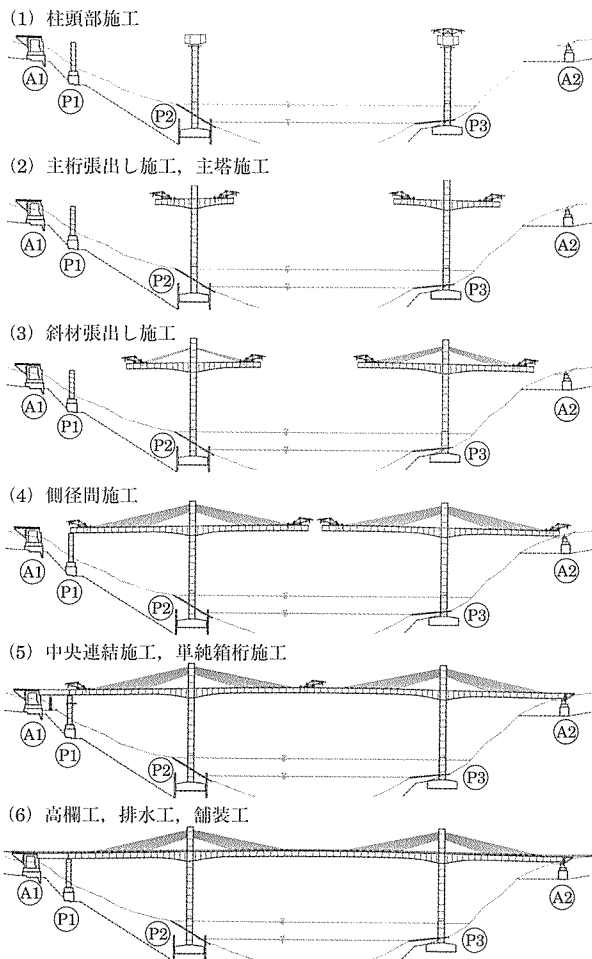


図 - 4 上部工施工順序図

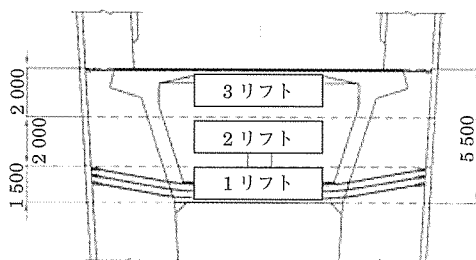
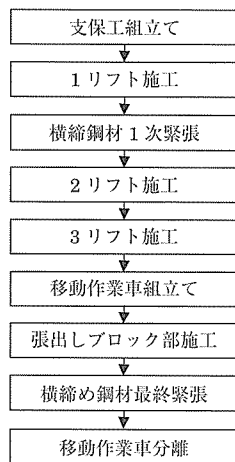


図 - 5 柱頭部リフト割図

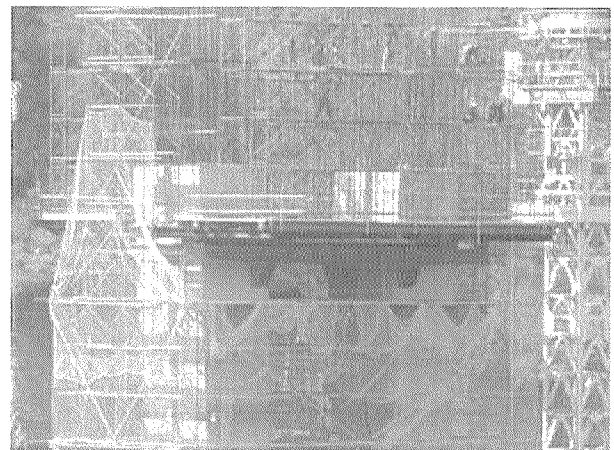


写真 - 2 柱頭部支保工組立て状況

(2) 張出し施工

本橋では図 - 6 に示す柱頭部施工時から張出し架設時に分離できる特殊移動作業車を用いた。写真 - 3 に分離状況を示す。

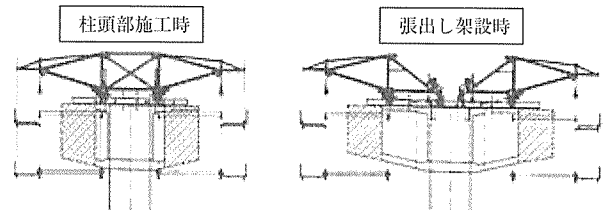


図 - 6 特殊移動作業車

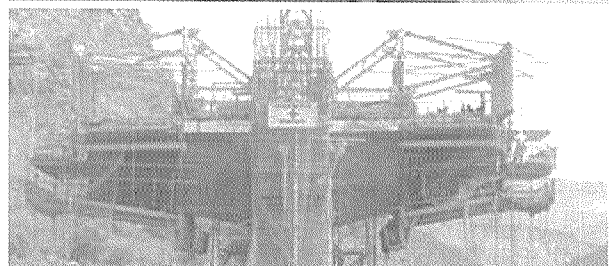
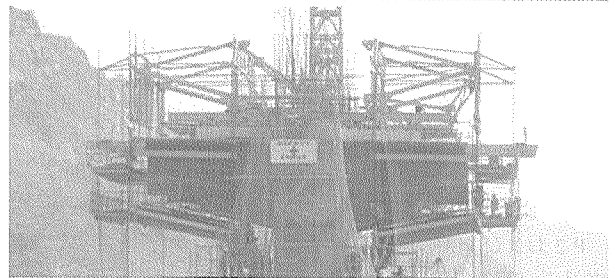
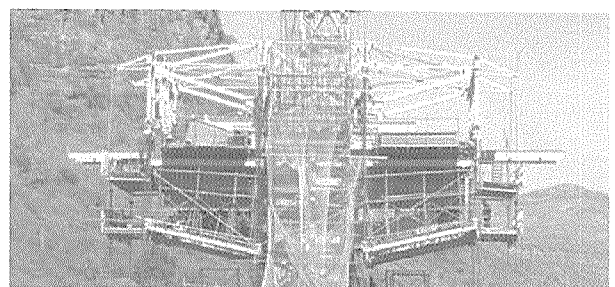


写真 - 3 移動作業車分離状況

○ 工事報告 ○

主桁張出し施工の開始は、セメント供給不足による下部工の遅延、柱頭部の段取り不足による遅延、移動作業車の安全設備不備による部品の製作で大幅に計画工程より遅れていた。そこで、以下の対策を行った。

- ① 安全で急速施工を実施できる主桁型枠構造への改良
- ② 不慣れなローカル作業員の指導のための日本人技術者の増員
- ③ コンクリート打設翌日にPC鋼材が緊張可能となるコンクリート配合の実現

これらにより、エチオピアの僻地でも斜材のあるブロックで、実働施工サイクルが平均で7日、最短で5日という日本でも難しい施工サイクルを実現した。

図-7に主桁サイクル日数、写真-4に主桁架設状況を示す。

	1	2	3	4	5
移動作業車移動	■				
型枠工	■	■	■		
鉄筋工		■	■	■	
PCケーブル工			■	■	
PCケーブル緊張工					■
斜材架設・緊張工		■	■	■	
コンクリート工				■	■

図-7 主桁サイクル日数（最短）

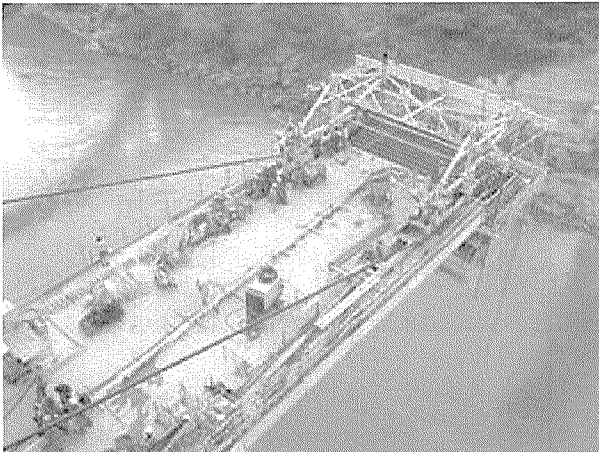


写真-4 主桁架設状況

(3) 側径間閉合部施工

P2およびP3の側径間はそれぞれブラケット併用の固定支保工（写真-5）および接地式の固定支保工（写真-6）で施工した。コンクリートは、側径間の全長が3.5m、上床版部分が1.5mと短かったため、あらかじめ主桁内に支保工を組んで1回で打設した。また、コンクリート打設は気温の日変化による主桁の挙動を考慮して午後より開始した。

図-8に桁内支保工図を示す。

(4) 中央連結施工

中央連結はP2の移動作業車を用いてコンクリートを1



写真-5 P2側径間施工状況

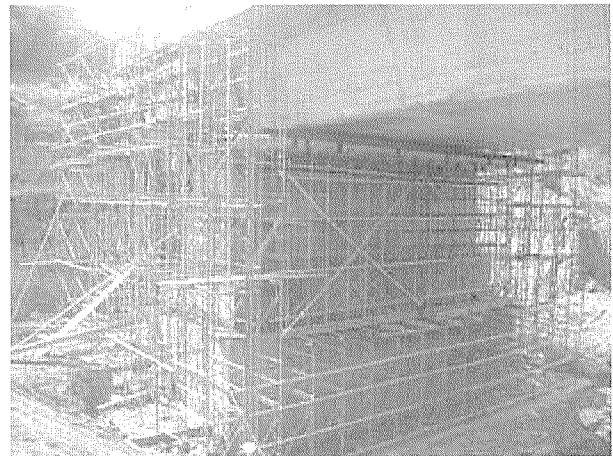


写真-6 P3側径間施工状況

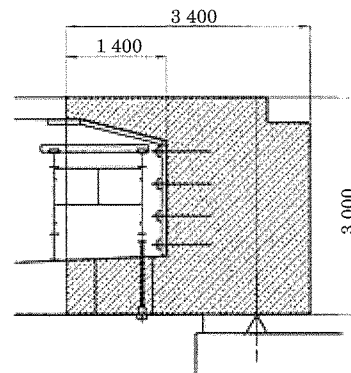


図-8 桁内支保工図

回で打設した。ポンプ車の位置は桁変形にほとんど影響がなかったため閉合部の手前のブーム打設が可能な位置とした（写真-7）。また、コンクリート打設は側径間閉合部と同様の理由で午後から開始した。

中央径間の連結ケーブルは、定着部のコンクリート強度は十分に発現しているため、中央連結部の気温の日変化に伴う変形によるひび割れ発生を防ぐ目的で、翌日の朝より当該コンクリートの強度発現を待たずに4ケーブルを緊張した。



写真-7 中央連結打設状況

3.3 主塔施工

主塔の高さは14mであり、主塔形状は主桁形状に合わせて外開きになっている。主塔は4リフトに分けてコンクリートを打設し、型枠は橋脚で使用した大パネル鋼製型枠を再利用した。足場はΦ32の総ねじ鋼棒で張り出させたH鋼の上に組み上げた。コンクリート打設は、足場に配管しポンプ車により行った。

写真-8に主塔施工状況を示す。

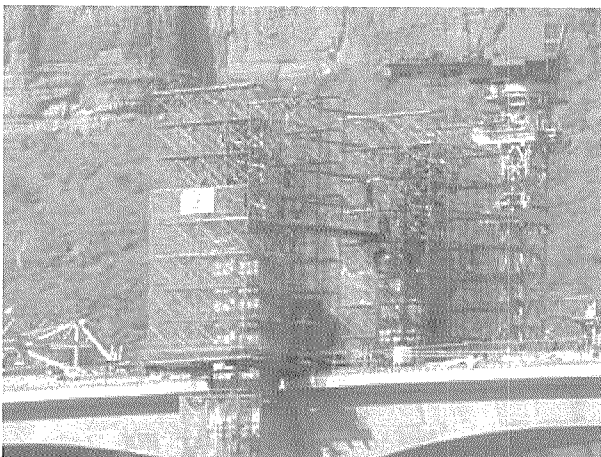


写真-8 主塔施工状況

斜材定着部は工期短縮および高所作業をできるだけ少なくするため、ケーシングパイプ、スパイラル筋、箱抜型枠をあらかじめ地組し、タワークレーンにて設置した。また、据付精度の確保のため、鋼製フレームを使用した。写真-9に斜材定着部の地組状況を示す。

3.4 斜材施工

(1) 斜材構造

斜材の構成は、裸PC鋼より線(19S15.2)・グラウト・PE管の二重防食で、主塔側の斜材定着はサドル定着ではなく交差形の定着体を使用している。

主桁側には、制振対策として高減衰ゴム圧縮タイプの積層型リングダンパーを採用した。

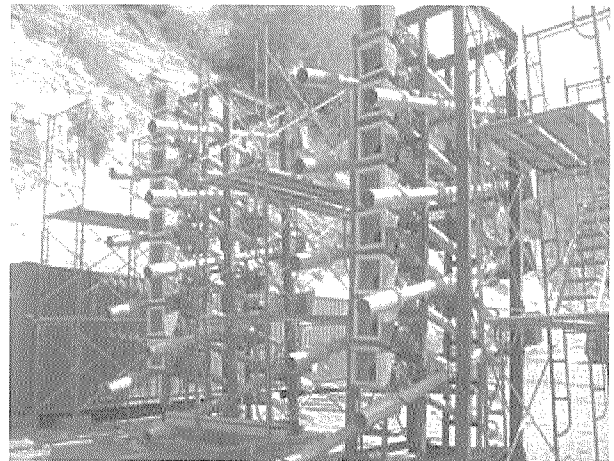
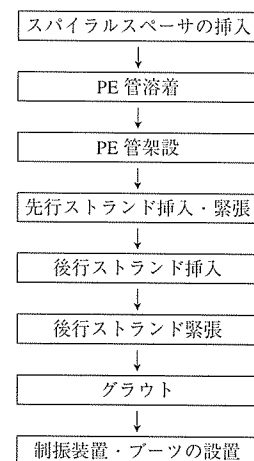


写真-9 斜材定着部の地組状況

(2) 斜材架設

斜材の架設および緊張は以下の手順で行った。



まずPE管とPC鋼より線の間グラウトが充てんできるようにスパイラルスペーサをPE管に挿入し、所定の長さになるようにPE管を溶着した(写真-10)。PE管は一般的には橋面上で溶着するが、一番長いものでも重量が125kgと軽く、また、橋面上に作業スペースがなかったため、地組し人力で橋面下まで運搬した。

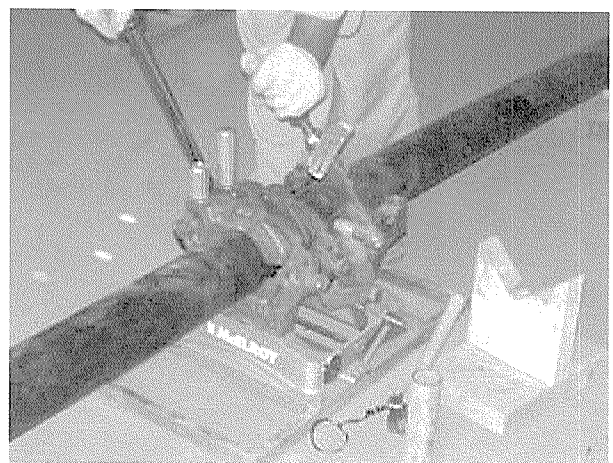


写真-10 PE管溶着状況

PE管はタワークレーンで吊り上げ、主塔側からレバーブロック、桁側からチルホールで引張って架設した(写真-11)。

先行ストランドは、PE管架設後に19本中2本を挿入・緊張した。先行ストランド本数は残りの(後行)ストランドの重量がかかってもサグ量によって1つ下の斜材にあたらないように決定し、配置上上段のものとした。

後行ストランドは、主塔定着体の下段からすべて挿入し、主塔側で上段からシングルストランドジャッキを使用して緊張した(写真-12)。

すべてのストランドはあらかじめ所定の長さに切断し、挿入は鋼線重量が重くなく、主塔定着体までの高さが低いので、プッシングマシーンを使用しないで、人力で行った。

後行ストランドの緊張は主塔の橋軸方向の曲げモーメントを軽減するために、起点側と終点側の既緊張ストランドの数の差を2本以内とし、2台のシングルストランドジャッキを用い、さらに、桁のねじれをできるだけ出さないように、次の手順での緊張を基本とした。

- ① 上流側の17本中8本を緊張
- ② 下流側の17本を緊張
- ③ 上流側の残りの9本を緊張

緊張管理は圧力管理とした。緊張力は幾何学的非線形を考慮した解析モデルで算出した。

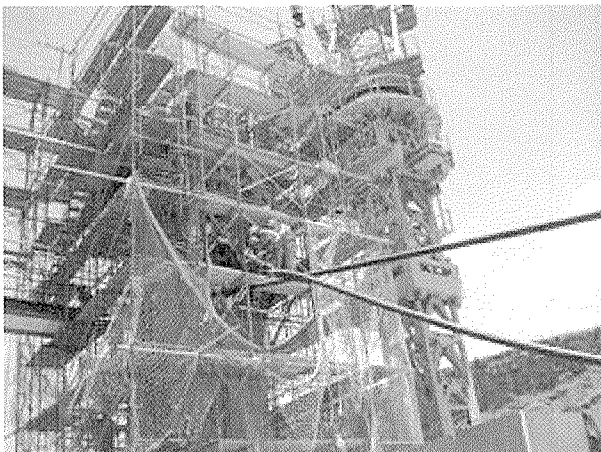


写真-11 PE管架設状況

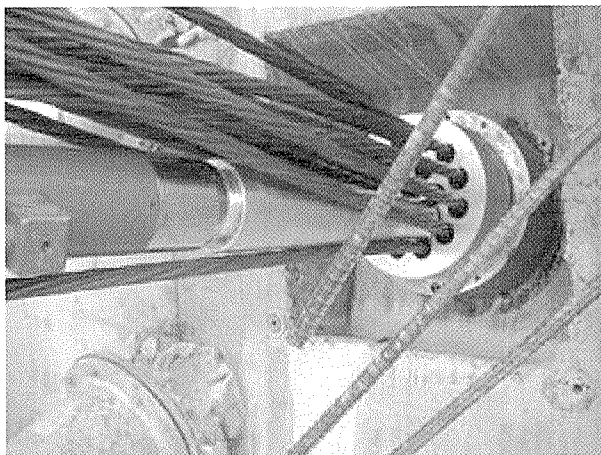


写真-12 後行ストランド緊張状況

斜材グラウトの混和剤は、ノンブリーディング・低粘性型グラウトのGF1700を用いた。

斜材グラウトは、グラウトキャップを設置後、主桁側の定着部から橋面上まで1回注入し、橋面上は水頭差を考慮して上段の5本のケーブルは2回に分けて注入した。注入最大圧力は1.5 N/mm²を目標とした。グラウトの注入はPE管にドリルで穴を開け、注入口の鋼製単管付き治具で固定し行った(写真-13)。注入後、リペア材で穴を塞いだ。

制振装置はあらかじめ緩衝ゴムが組み込まれたプレハブタイプのリングダンパーで、現地では、緩衝ゴムが組み込まれた半割の金物をダンパーの基礎コンクリートに後打ちアンカーで固定した。写真-14に制振装置設置状況を示す。

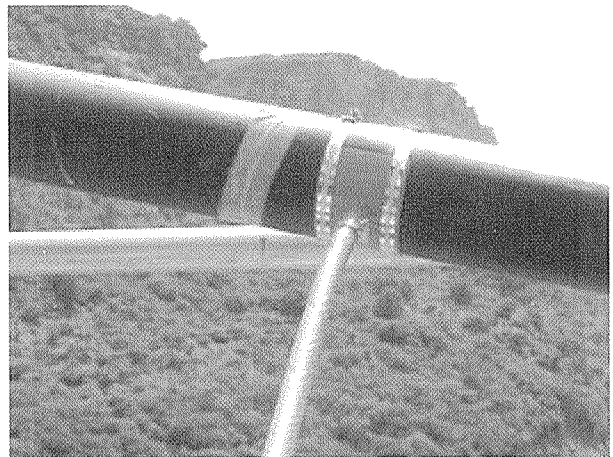


写真-13 斜材グラウト注入治具

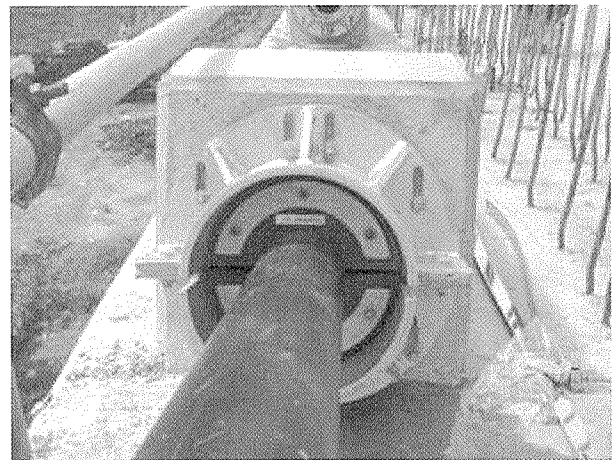


写真-14 制振装置設置状況

3.5 グラウト試験

エチオピア産のセメントはコンクリートの配合試験において、単位水量を日本の基準に適合させて実験すると圧縮強度が発現しない傾向にあった。そこで、エチオピア産のセメントを日本に搬出し、グラウト試験でワーカビリティおよび圧縮強度の試験を行った。

試験日：2006年5月22日

試験場所：(株)エヌエムビー中央研究所(神奈川県茅ヶ崎市)

環境温度：30℃

使用材料：

セメント：エチオピア産の普通ポルトランドセメント

混和剤：ポゾリス GF-1700

水：上水道水

配合：表-2に示す。

表-2 グラウト配合

	W/C (%)	セメント (kg)	水 (kg)	混和剤 (kg)
1 m ³ あたり	45	1 303	586	13.03
1 バッチあたり		9	4.05	0.09

エチオピア産のセメントを用いたグラウト試験では流動性、ブリーディング率、圧縮強度、塩化物イオン量すべての項目で要求品質を満足することができた。

しかし、圧縮強度については、許容を満足していたが、日本での実験のポゾリス GF-1700の技術資料での圧縮強度より約25%低い結果となった(図-9)。

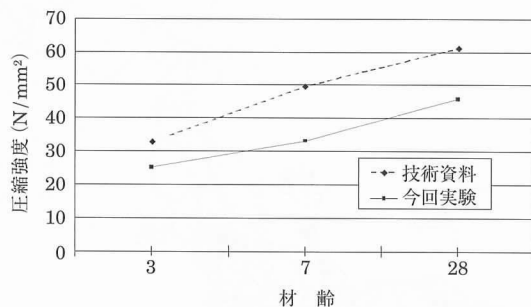


図-9 グラウト圧縮強度比較

3.6 単純箱桁橋施工

A1-P1間は橋長18mの2室箱桁RC単純桁で半径55m、横断勾配が2.5%から7%に変化する曲線橋である。外形は本橋を模した形状となっている。図-10に主桁断面図を示す。

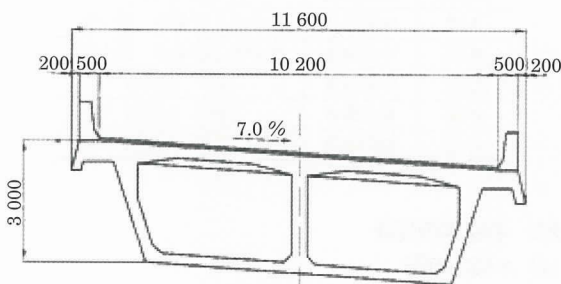


図-10 単純箱桁主桁断面図

単純箱桁施工は支柱式支保工(写真-15)により行い、コンクリートは床版付け根までと床版の2回に分けてA1橋台上にポンプ車を据えてブーム打設した。



写真-15 支柱式支保工による単純箱桁施工

4. おわりに

2008年9月10日、エチオピアミレニアム最後の日に、メレス首相、副首相、外務大臣、財務大臣、インフラ大臣、農業大臣等大臣8名、エチオピア道路局ガイド総裁、副総裁などのエチオピアの要人、在エチオピア国日本大使、JICA所長などが参加する盛大な中央連結式が行われた。エチオピアテレビ(ETV)の生中継、プラスバンドの演奏、エチオピアダンスありの盛況ぶりにエチオピア人は歓喜をあげた(写真-16)。エチオピアは2008年9月11日、エチオピア暦2001年1月1日で21世紀を迎えた。

ミレニアム式典のため、橋面上のすべての資機材を撤去し、開口部を一時的に塞いだので、現在、それらの復旧とまだ残っている壁高欄等の付属物の施工を行っている。

本橋は、2008年12月中旬に完成する予定である。完成後、エチオピア経済を支える重要な橋として、日本とエチオピアの架け橋として役立つことを願っている。

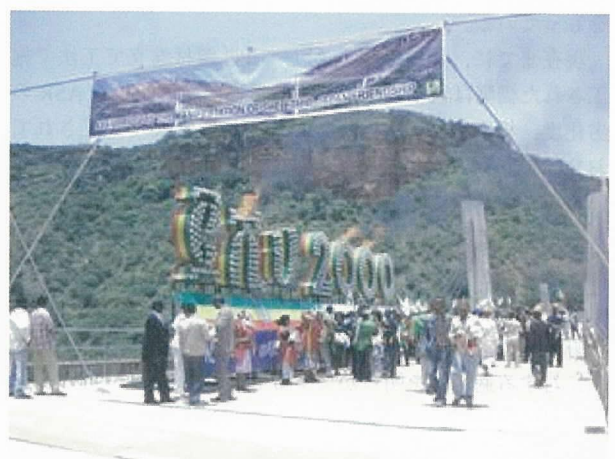


写真-16 中央連結式

【2008年10月6日受付】