SSI によるエクストラドーズド橋の斜材の施工

－Hedase bridge (Ethiopia)－

大阪支店　　土木工務部　　前田文男
九州支店　　土木工事部　　猿渡邦広

概要：ハダセ橋は，日本の無償資金協力 ODA によりエチオピアの北西幹線道路が青ナイル川を渡河する地点に架設されたエクストラドーズド橋である．本橋は，塔にエクストラドーズド橋としては珍しい交差型の支持機構を有している．この構造を利用して本施工では SSI(single strand installation)を用い，mono-strand jack のみで全ての斜材の緊張を行った．本報告では，概要版で述べた斜材工に加え，本施工の特色である，合体分離型の移動作業車の施工についても述べる．施工報告書を元に書き起こしたため極めて長い報文になっているが，今後の同種工事の参考にして頂きたく敢えて省略しなかったことを御甘受願いたい．

Key Words：エクストラドーズド橋，斜張橋，斜材，海外

１．工事概要

1.1　工事概要

工事名	The project for rehabilitation of trunk road， phase III 本工事は，日本のエチオピアに対する無償資金協力による工事である． (grant 物件)
発注者	Ethiopian roads authority， The federal democratic republic of Ethiopia
施工者	鹿島建設　株式会社
設計・施工監理	オリエンタルコンサルタント・日本技術開発
工事内容	北西幹線道路におけるゴハチオン(Goha Tsiyon)～デジェン(Dejen)間（41km）の改修と，同区間で青ナイル川に架かるハダセ橋(橋長 303m)の新設
工期	2005 年(平成 17 年)　9 月　20 日　--　2009 年(平成 21 年) 1 月　31 日(40 ヶ月)
事業額	無償資金協力における供与限度額 **** 億円(平成 17 年度～20 年度分)

(外務省 HP より)

これまでの工事経緯

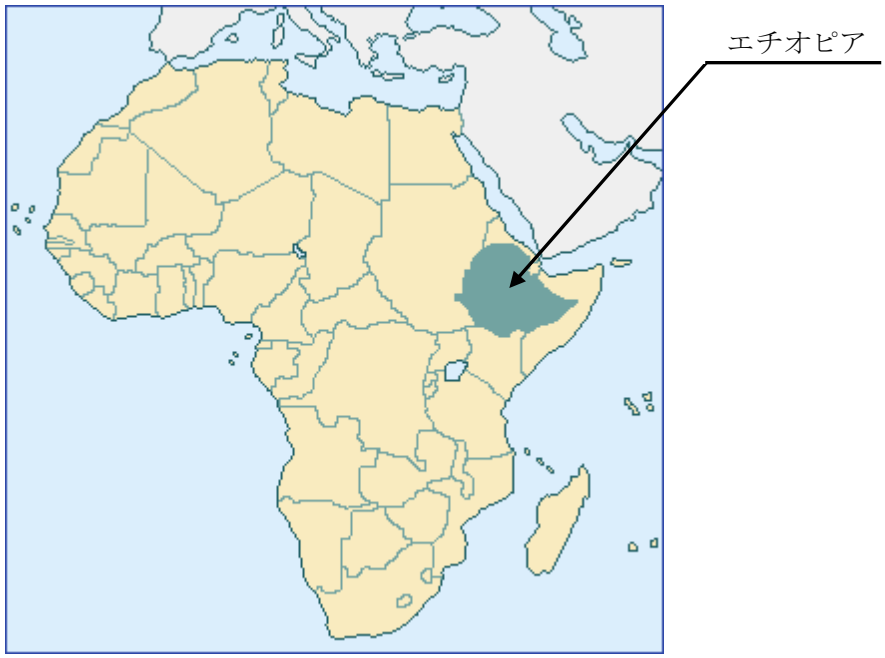
日本国は，エチオピアの北西幹線道路整備計画を支援するために，アディスアベバからの約 182km について，第一次計画（平成 10 年度から 13 年度）および第二次計画（平成 13 年度から 16 年度）において，それぞれ約 91㎞ ずつ（アディスアベバ～カシム，カシム～ゴハチオン）分割して実施している．

これらの工事は，いずれも鹿島建設が受注し施工している．

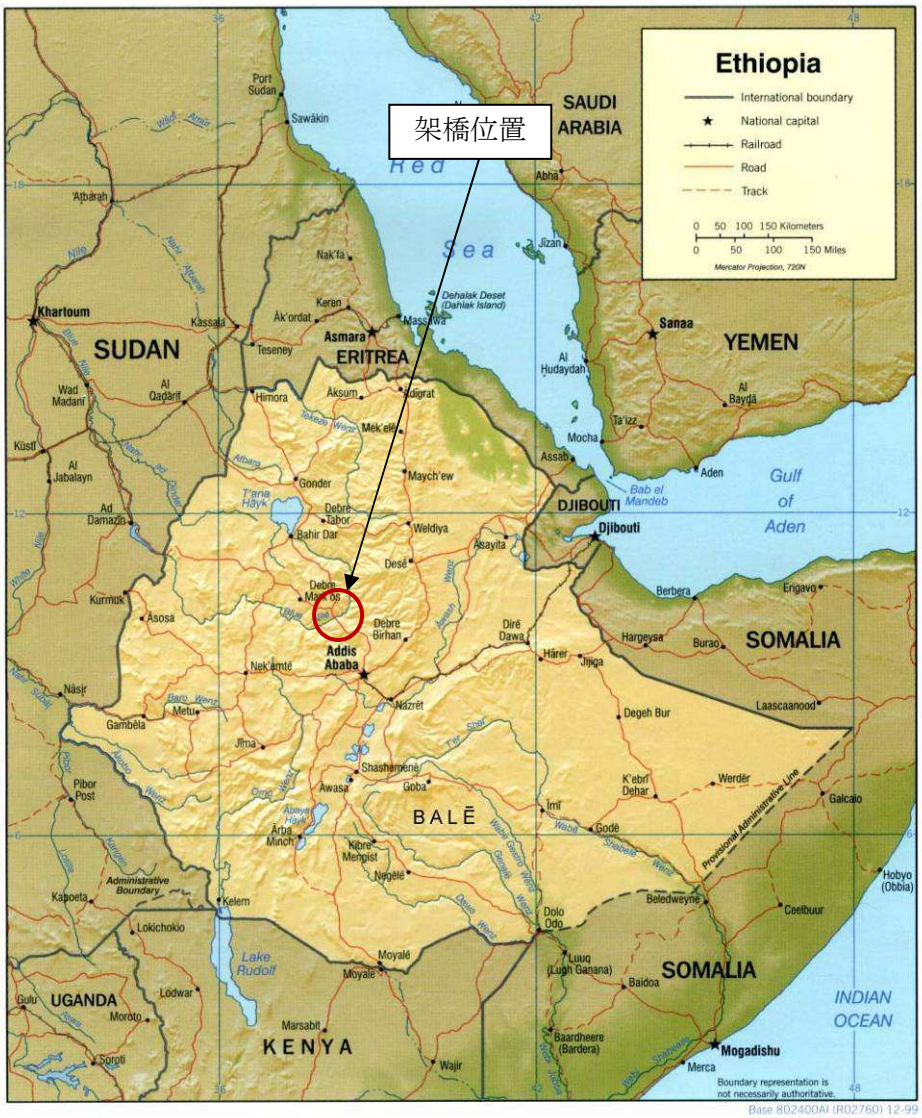
前田文男

猿渡邦広

1.2　架設位置



図－１　アフリカの中のエチオピア



図－２　架設位置

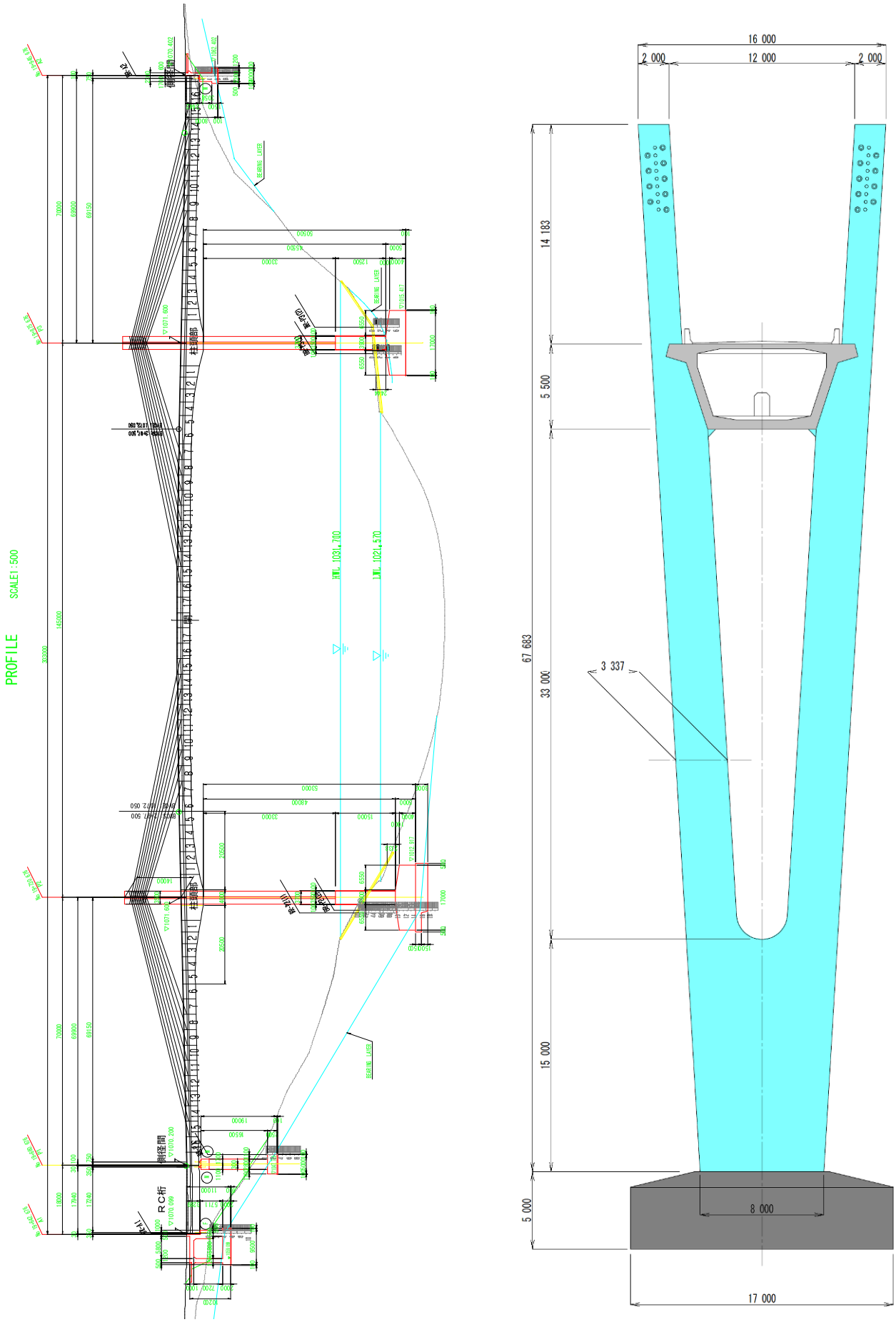
1.3 構造形式

橋長	303.0m		
幅員	9.0m (4.5m + 4.5m) 歩道なし		
構造形式	RC 単純箱桁 18.0m + 3 径間連続エクストラドーズド橋 285.0m		
エクストラドーズド橋	径間長	13.0m + 70.0m + 145.0m + 70.0m	
	2 面吊り，吊り間隔	10.8m (幅員方向)	
	1 室箱桁(斜ウェブ), 床版支間	最大 8.87m	
	斜材段数	9 段	
	斜材定着間隔	(桁側)4.0m, (塔側)0.5m	
	桁高	5.5m ～ 3.0m	
	柱頭部長	6.0m (特殊移動作業車使用)	
	張出セグメント長	3.0m ～ 4.0m	
	張出セグメント数	中央径間側	17 セグメント
		側径間側	16 セグメント
	主方向ケーブル	12S15.2mm (ディビダーグ工法)	
	床版(横方向)ケーブル	1S28.6mm	
	鉛直鋼材	普通 PC 鋼棒 SBPR 930/1180 32mm (普通定着体)	
	斜材	19S15.2mm (ディビダーグ工法)	
		裸鋼材(セメントグラウト方式)	
		HDPE 管(内径 103mm, 外径 114mm)	
RC 単純箱桁	径間長(支間長)	18.0m (17.219m)	
	2 室箱桁(斜ウェブ)		
	桁高	3.0m	
	施工方法	接地式固定支保工(支柱，枠組併用)	

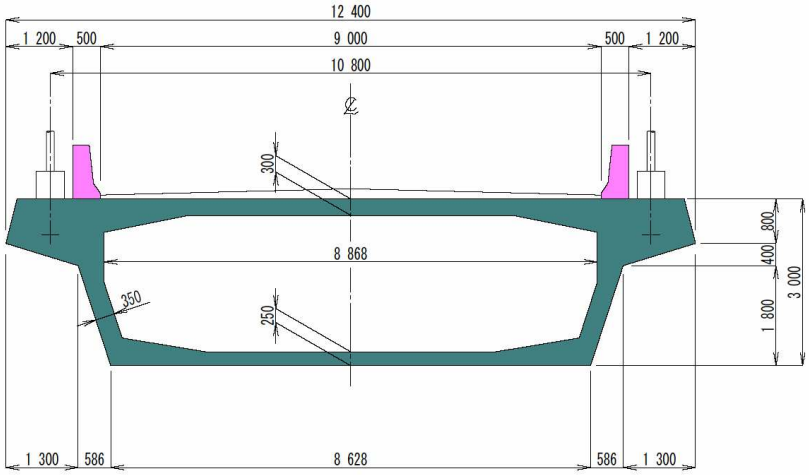
基本的に外形は，エクストラドーズド橋と類似したものとなっている．

写真－１　施工状況

1.4　全体一般図



図－３　側面図および P2 橋脚正面図



図－４　主桁断面図（標準部）

1.5　工事数量

表－１　エクストラドーズド橋　主要材料表（P1-A2）

	仕様	単位	数量	備考
コンクリート(主桁)	40MPa	m^3	4,167	
コンクリート(塔)	40MPa	m^3	408	
鉄筋(主桁)		ton	615.7	日本より持ち込み
鉄筋(塔)		ton	49.1	日本より持ち込み
PC 鋼材（主桁）(12S15.2)	SWPR7BL 15.2mm	kg	79,076	N = 68×2 + 34
PC 鋼材（横締め)	SWPR19 28.6mm	kg	32,785	N = 575 + 80
PC 鋼材（鉛直鋼棒)	φ32mm	kg	5,450	N = 8×36
PC 鋼材（斜材）(19S15.2)	SWPR7BL 15.2mm	kg	73,900	N = 9×4×2

表－２　RC 橋　主要材料表（A1-P1）

	仕様	単位	数量	備考
コンクリート	24MPa	m^3	209	
鉄筋		ton	38.6	日本より持ち込み

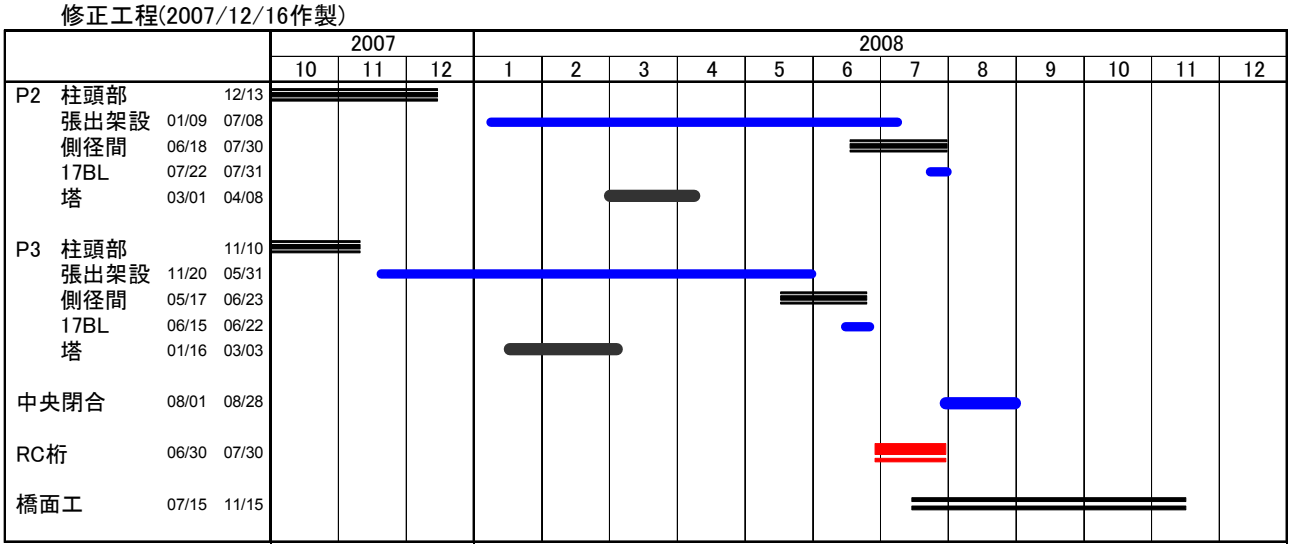
1.6　修正工程および実施工

セメントの不足や下部工工事における地盤面の計画との相違などにより，当初工程より大幅に上部工工事の着手が遅れた．このため 2007 年 12 月に上部工の工程の見直しを行った．**表－３**に見直した修正工程と実施工程を示す．

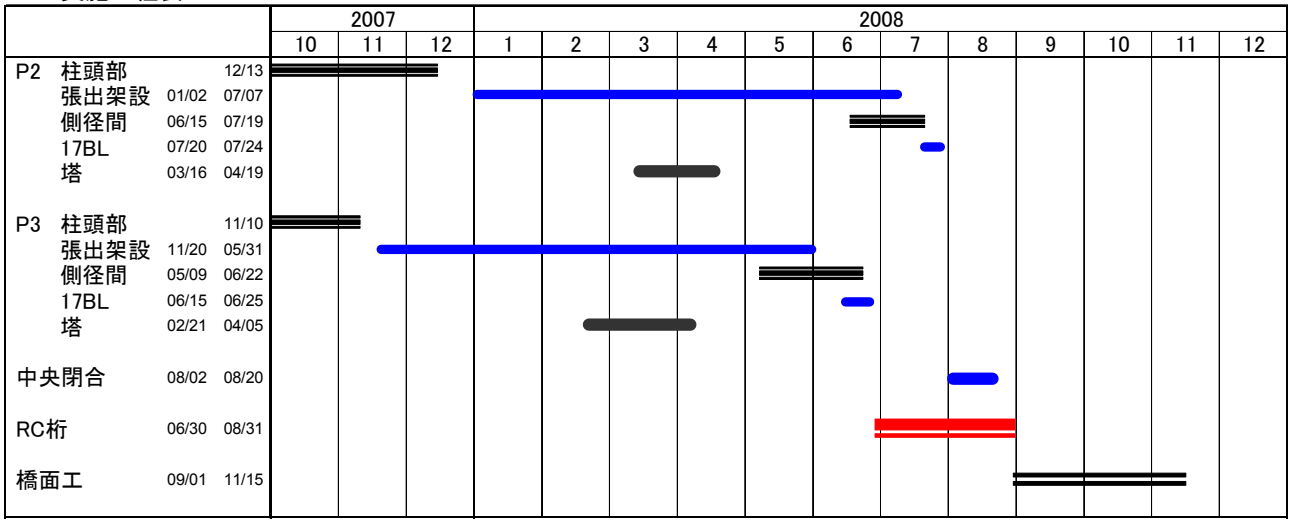
当初，エチオピア人作業員の能力・経験から非常に厳しい工程と思われたが日本人 2 名，中国人 3 名(日本での PC 橋工事の経験あり)の工事指導者を追加投入し，修正工程に合わせることができた．

表－３　修正工程および実施工程表

修正工程(2007/12/16作製)



実施工程表



2. 上部工工事

2.1 特徴的な施工法

(1) mono-strand jack による斜材の緊張

当初，塔部分がサドル形式で計画されていたため，桁側からの大型ジャッキによる一括緊張であったが，発注時には塔部分が交差型の定着体形式に変更にされており，緊張方式の自由度が増した．

本橋は，斜張橋と異なり斜材の緊張は架設時の 1 回のみであるため，調整緊張用の大型ジャッキは不要である．また，直線形状となったためストランド 1 本ずつの挿入および緊張が可能となった．

(2) 合体分離型移動作業車

日本国内での柱頭部の長さは，移動作業車が同時に 2 機設置可能なように 12m が一般的である．本橋は，エクストラドーズド橋で 2 本の塔を有することから主桁全幅より橋脚幅が大きい．このため柱頭部の長さを短くすることは，柱頭部支保工の軽減に繋がるため，海外で一部用いられている合体分離型の移動作業車を用いた．

具体的には，6m の長さで柱頭部を製作し，この上に 2 機の移動作業車の後方部分を外しクロスメンバーで合体させたフレームを据え付け最初のセグメント(0BL)の施工を行った．0BL の施工により柱頭部の長さが 12m となるので 2 機の移動作業車を分離し，後方部分を取り付け通常の施工を行った．

(3) 支保工による側径間閉合部の施工

側径間閉合部の長さは，セグメント割の変更により 3.4m となった．このうち橋座の上部分が 1.6m であるので実質的な支保工長は 1.8m である．

このように短い側径間閉合部の場合は，吊り支保工で施工されることが多いが，本橋は，吊り構造であり荷重による挙動が敏感であることから，安定した形状管理が得られる固定式支保工とした．

桁下高が高い P1 に関しては，ブラケット式の支保工，桁下高が低い A2 に関しては，枠組材による接地式支保工とした．

2.2 線形および構造の変更

2.2.1 線形

発注図による橋梁位置と現地測点の相違，および，P1 橋脚位置で横断勾配が 5.6%と大きく，また幅員が拡幅していることから移動作業車による施工に不向きとみなして起点側の部分の線形が変更された．変更後の線形要素を以下に示す．

表－4　線形の変更

	発注線形	変更設計
橋梁位置(STATION)	A1; STA19+462.676	A1; STA19+543.249 STA の変更のみで橋長および径間長は変更なし
P1 上での横断勾配	5.6%	2.5%
P1 上での ED 橋構造体幅員	標準部 12.4m に対し 13.447m	標準部の 12.4m に同じ
曲線部分(R=55m)の拡幅	内側のみ 1.2m 拡幅	両側に 0.6m ずつ拡幅

2.2.2 斜材の塔側レイアウト

本橋の 9 段の斜材は，塔側においてサドルを用いずに定着体で交差するように定着されている．

塔にねじりを生じさせないように片面の斜材を同一平面に配置し，他方の面の斜材を 5 本と 4 本に分けて挟み込むような配置となっている．

発注においては，中央径間側が同一平面配置，側径間側が 2 つの平面に分けた配置であったが，車両が橋梁に進入した際に斜材が交差して見える煩雑感を緩和するため，実施工においては，これを逆とした．

写真－２　側径間側の斜材配置

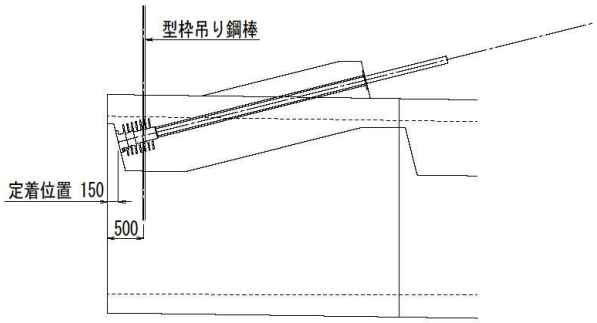
写真－３　中央径間側の斜材配置

2.2.3　セグメント端と斜材の定着位置

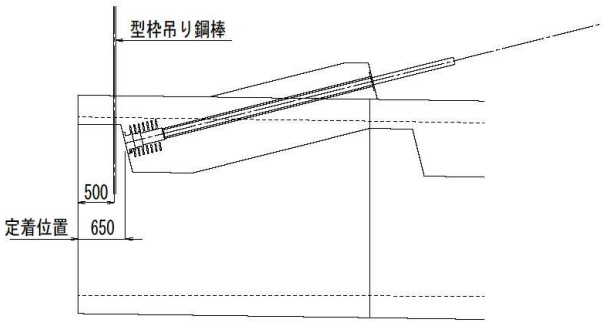
設計時においては，塔側にサドルを配置し，桁側からの緊張であったため，応力の伝達性，緊張作業性により斜材の定着位置をセグメント端から 150mm の位置としていた．ところが移動作業車の構造上セグメント端から 500mm の位置に配置される吊り材が斜材定着体が干渉するため，斜材の定着位置をセグメント端から 650mm の位置に変更した．

塔側がサドル形式から，交差した定着体形式に変更になっていたため塔側で緊張が行えることから，この変更は緊張作業には影響を及ぼさなかった．

この変更は，斜材の定着間隔(4m)は，そのままに，セグメント長の変更で対処した．変更後のセグメント長を**表－５**に示す．



発注時の定着位置



変更後の定着位置

図－５　セグメントと斜材定着位置の関係

表－５　セグメント長の変更

	側径間 支保工施工部	側径間側 16BL	5BL	中央径間側 17BL	中央閉合部
発注図	4.4m	3.0m	3.5m	4.0m	4.0m
変更後	3.4m	3.5m	4.0m	3.5m	4.0m

この変更により 5BL 施工時が移動作業車にとって最大の負荷となったが，検討の結果では許容可能あった．

また，セグメント内における斜材の位置が変更になったため，斜材のケーシングパイプを避けて配置されていた床版横締め鋼材および鉛直鋼棒の位置を全て修正する必要が生じた．

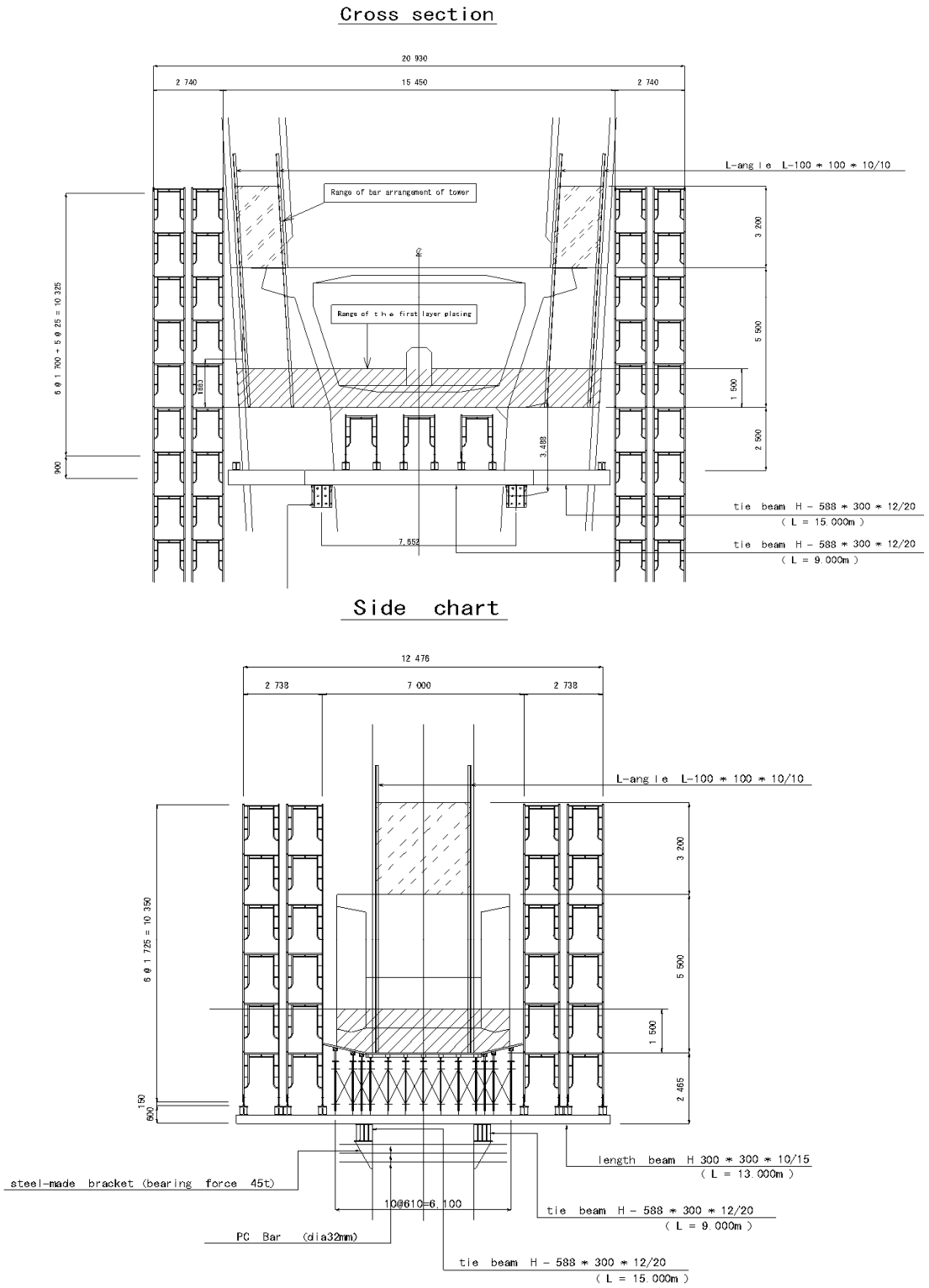
2.2.4　床版および横桁横締め鋼材

発注図においては，横締め鋼材は海外で一般的な 4S15.2mm(Ap=5.548mm²)であったが，日本国内で扁平シースの入手が困難なことから 1S28.6mm (Ap=5.324mm²)に変更した．

2.3　柱頭部の施工

柱頭部における桁高は，5.5m である．これを 3 層に分けて施工した．

1 層目に横締め鋼材(28.6mm)が 30 本配置されており，これを緊張し 2 層目，3 層目の荷重に耐え得る構造とした．



図－6　柱頭部の施工

表－６　柱頭部の実施工程

	P2		P3	
	打設日	日数	打設日	日数
橋脚最終リフト	10/22		8/29	
1st Lift	11/16	25	10/18	50
2nd Lift	11/26	10	10/27	9
3rd Lift	12/6	10	11/7	11

2.4　移動作業車の組み立て

移動作業車は，斜材定着間隔が 4.0m であることから，4.0m の施工能力を有するものとした．容量的には，350TM クラスとなり，日本の基準では大型ワーゲンに分類される．工程の関係から 4 機準備したが，移動装置用の油圧ポンプおよび <0BL> 施工時に必要となるクロスメンバー，仮レールなどは，費用軽減のため 1set の準備とした．

写真－４　移動作業車の地組状況
(クロスメンバーで 2 機の前方フレームを繋いでいる)

作業車の製作は，マレーシアの NSR に依頼した．この会社の移動作業車は，第二名神の栗東橋，アメリカの Colorado River Bridge などで利用されている．海外では一般的な下段作業台を有していない形式である．他現場への転用を考えない単現場償却の機材で専用設計であるため，重量的にはかなり軽量化することができた．移動作業車の一般図を**図－７**に示す．

移動車重量	49 ton
型枠重量	10 ton
合計	60 ton

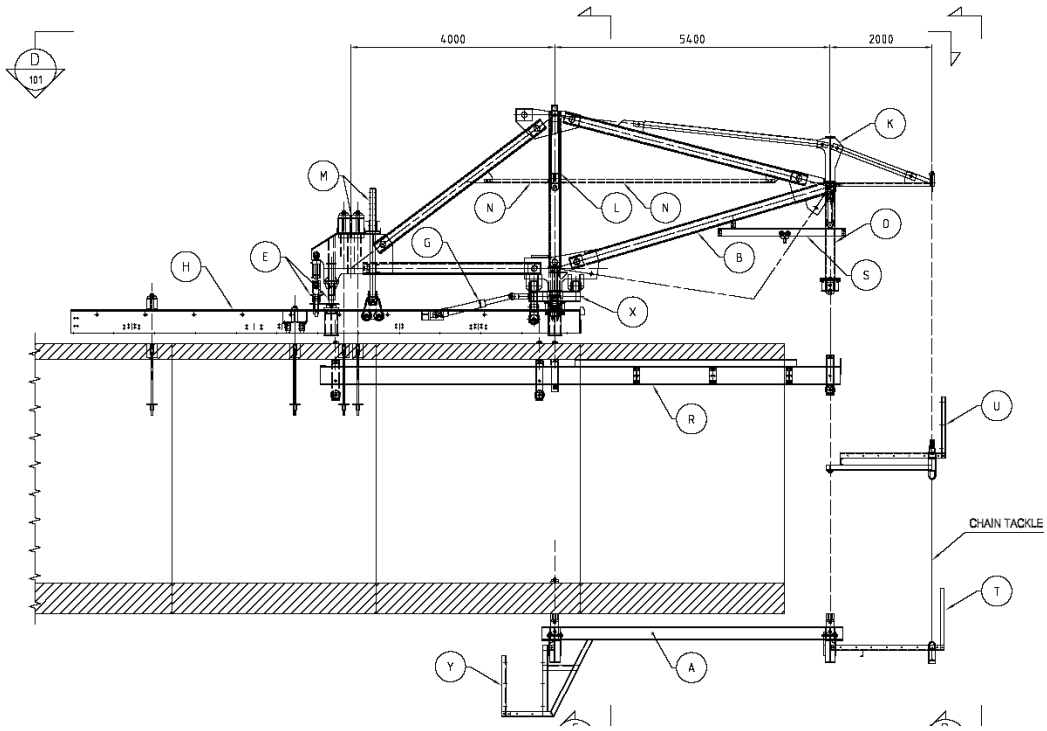
移動作業車は，河川敷上にて地組みしタワークレーンで架設した．タワークレーンの能力が 180TM と大きかったため大組の状態で架設することができ，高所での作業を軽減することができた．

底版型枠のフレームは，柱頭部の作業床を延長し，この上で組み立て主構より引き上げることにより作業の安全性を高めた．

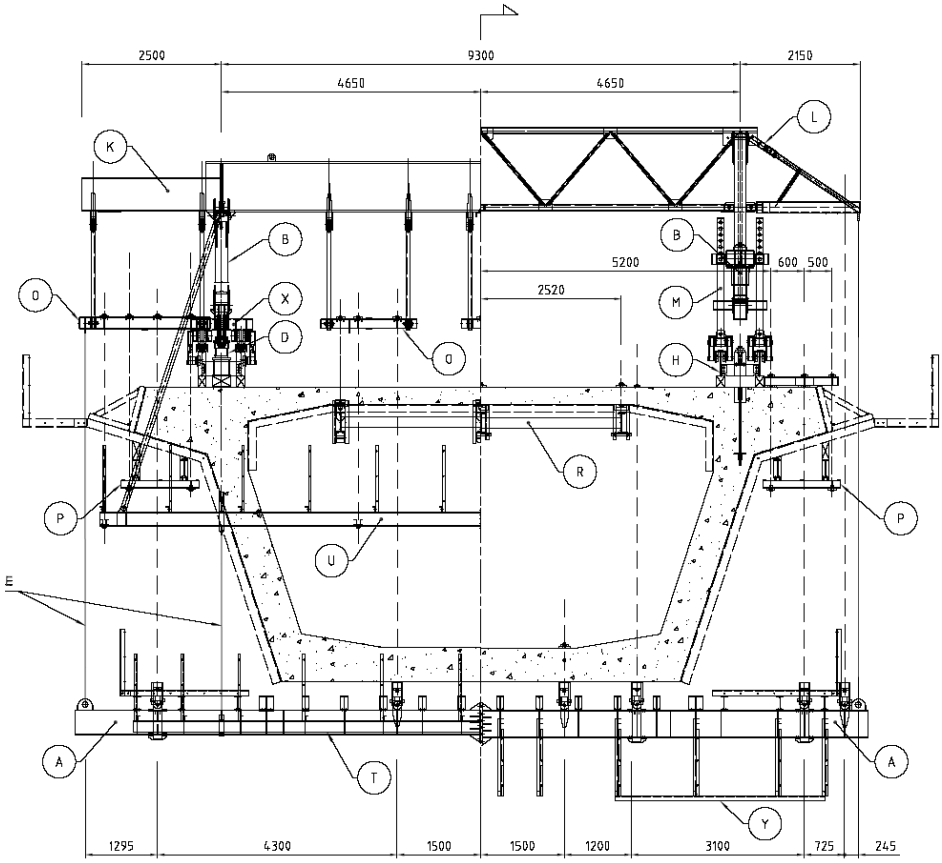
写真－５　2 機の作業車を繋ぐクロスメンバー

写真－６　前方横梁の組立て状況

側面図



正面図



図－7　移動作業車

2.5　移動作業車の分離

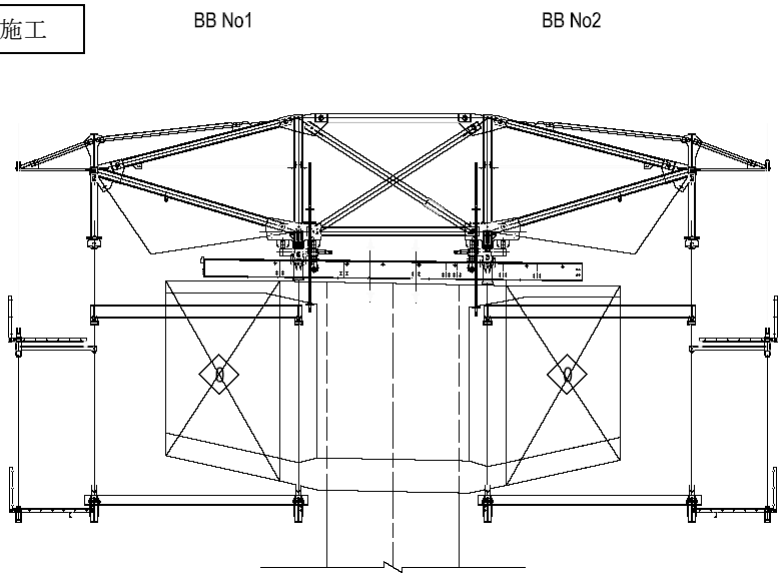
2 機の移動作業車を一体として片側 3m ずつ施工し(同時打設)，柱頭部の長さを 12m とした後に 2 機の作業車を分離し，通常の施工となる．

分離作業は，長さ 5m の仮のレール(本レールは，長さ 10m)と方杖状の仮前方車輪(nose bogie)を用いて作業車が転倒しないようにした後，2 機を繋いでおいた cross menber を取り外し，片方の作業車を前方に移動し，空いたスペースで他方の作業車の後方の走行装置・反力装置を取り付け前方に引き出す．

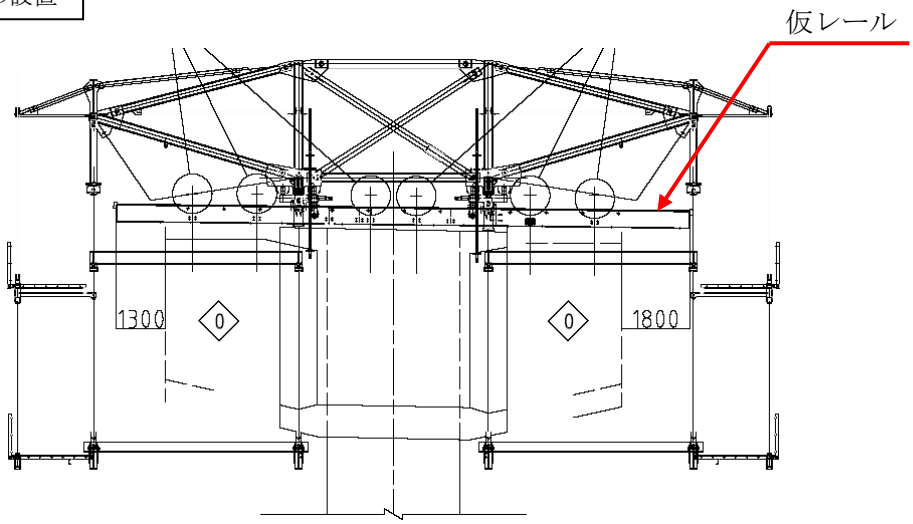
同様に空いたスペースでもう一台の作業車の後方の走行装置・反力装置を組み立てるものである．

図－８ に 17 ステップの分離要領を示す．

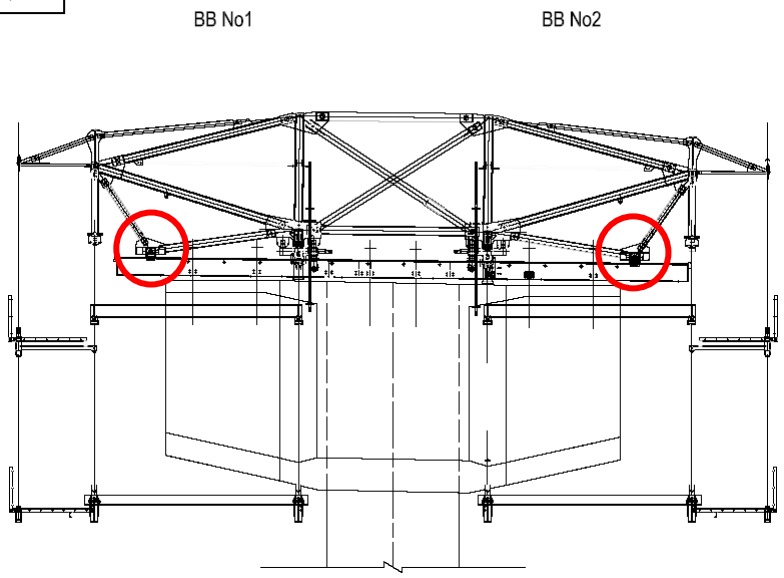
STEP-1 <0BL>の施工



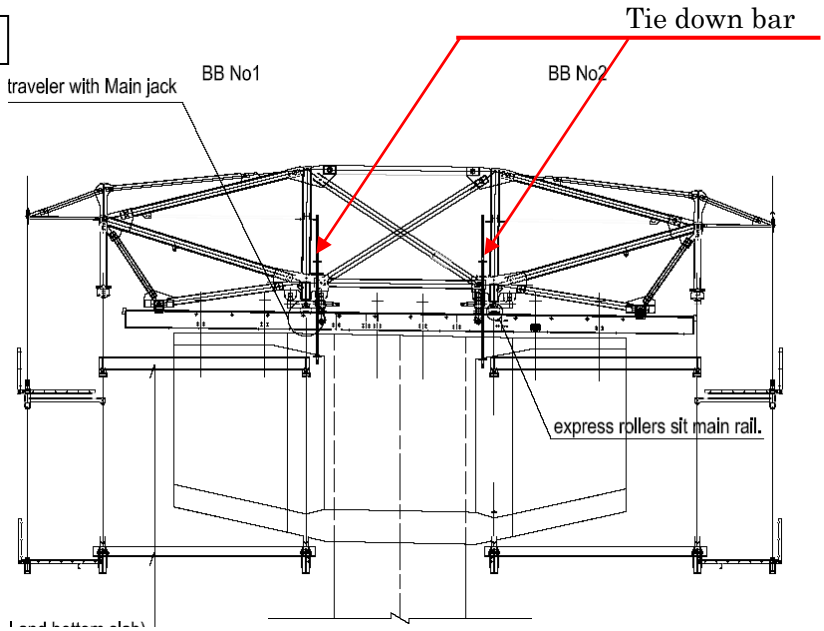
STEP-2 仮レールの設置



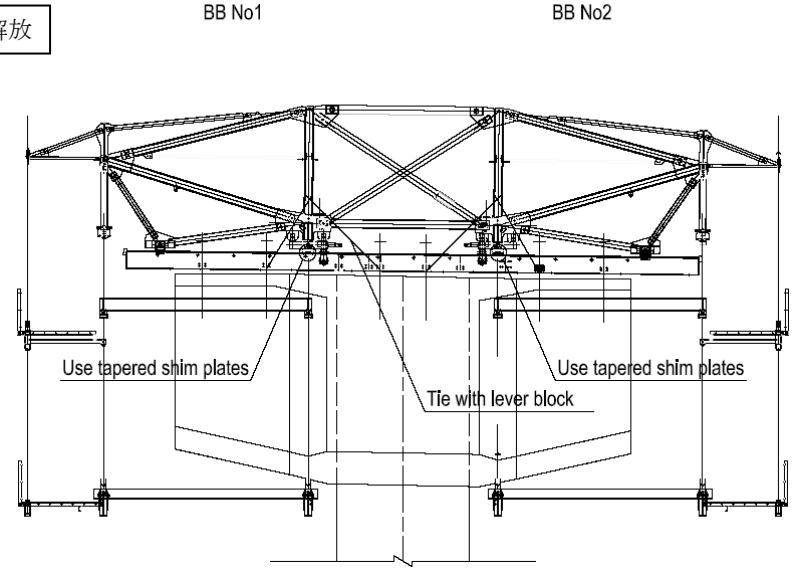
STEP-3 仮の前方車輪の設置



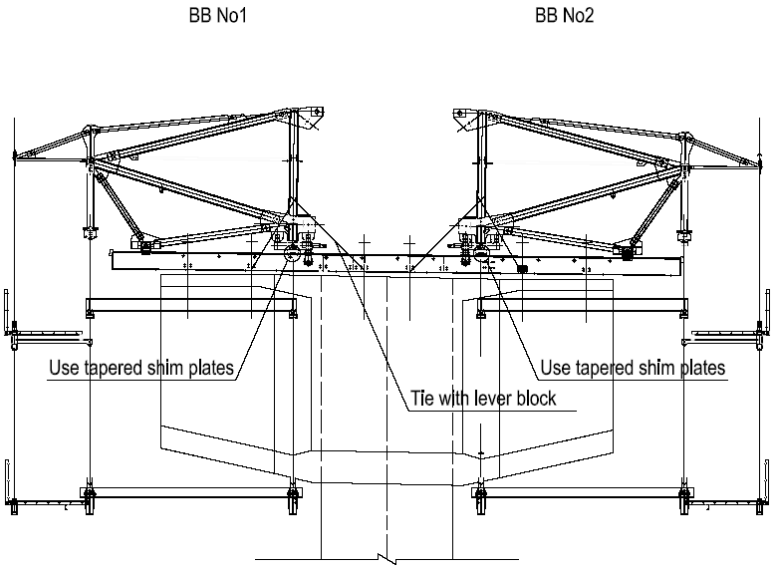
STEP-4 主構の下降



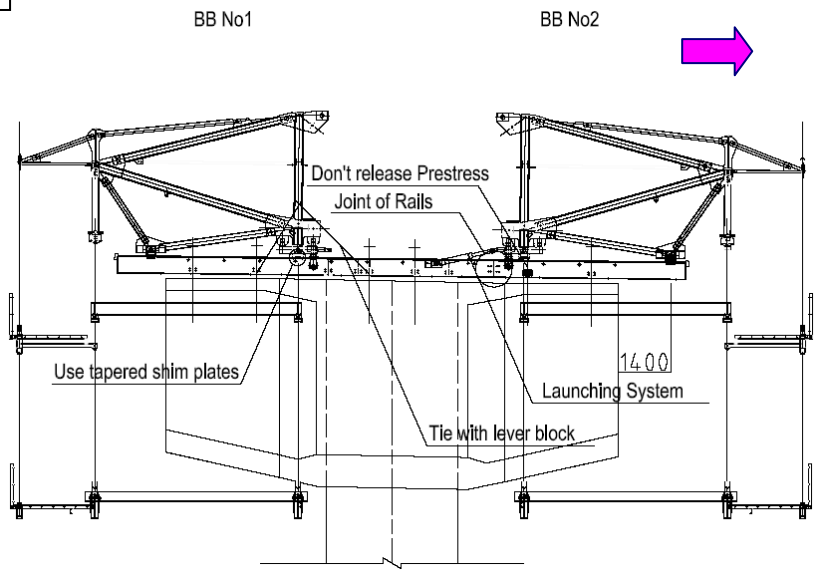
STEP-5 Tie down bar の解放



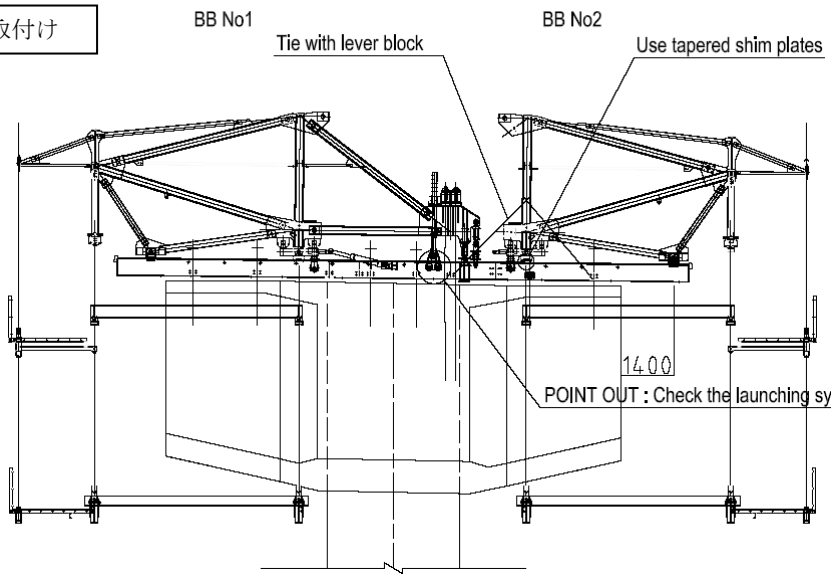
STEP-6 主構のクロスメンバーの解体



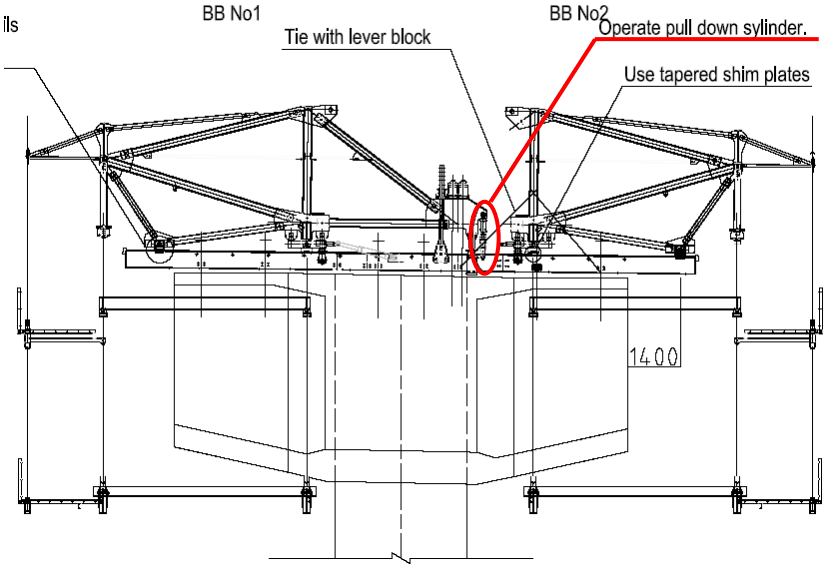
STEP-7 2 号機の前進



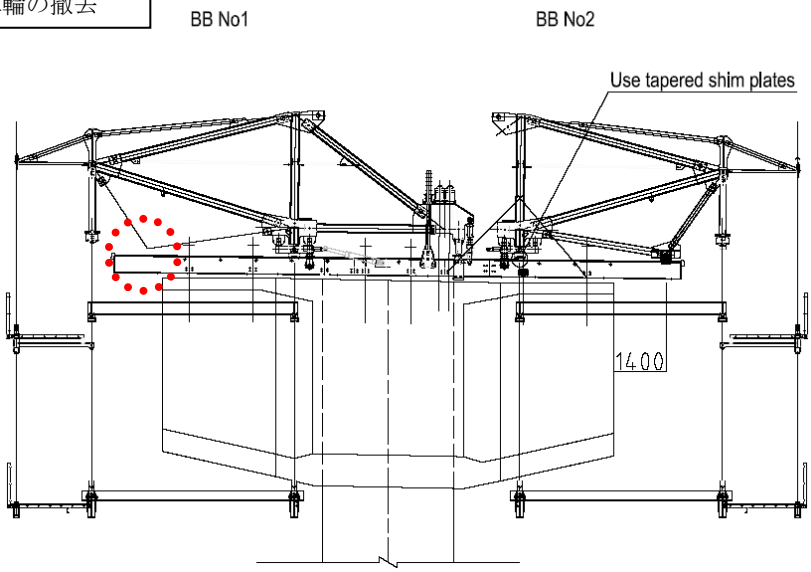
STEP-8 後方走行装置の取付け



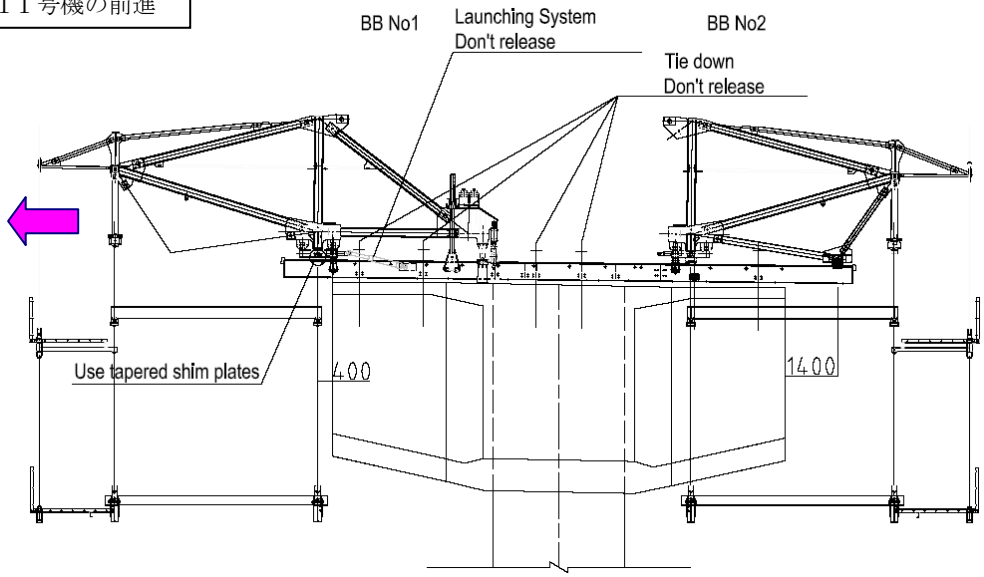
STEP-9 後方締結装置の作動



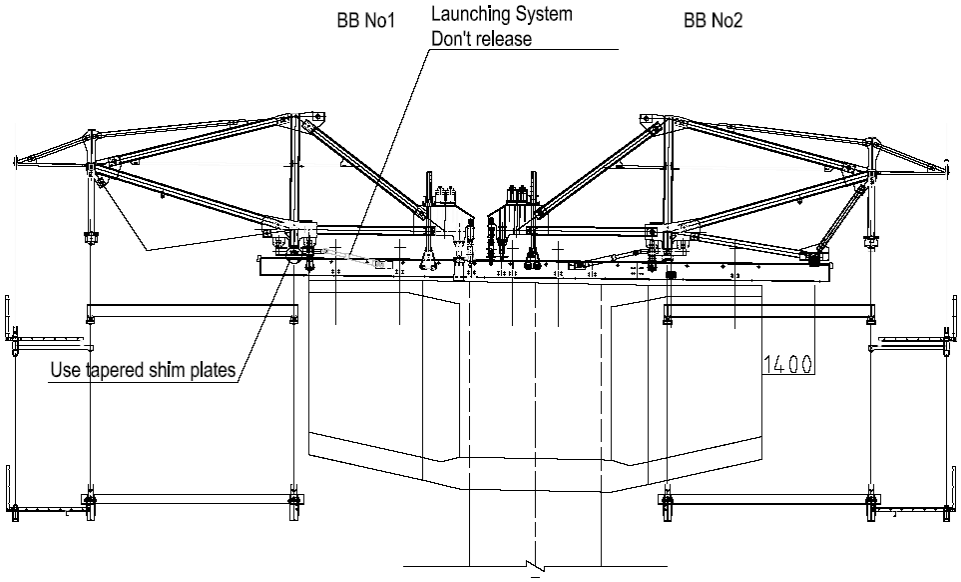
STEP-10 1 号機の前方車輪の撤去



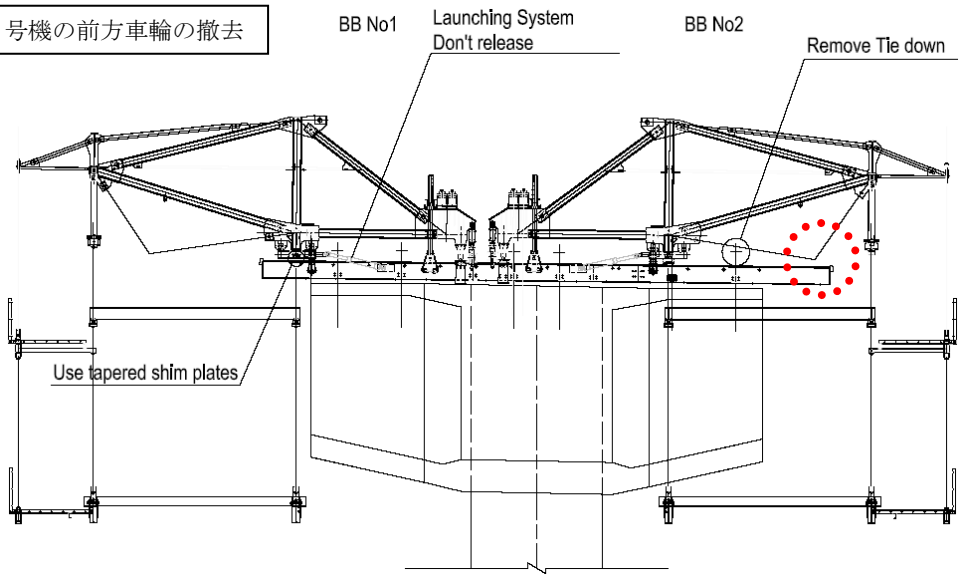
STEP-11 1 号機の前進



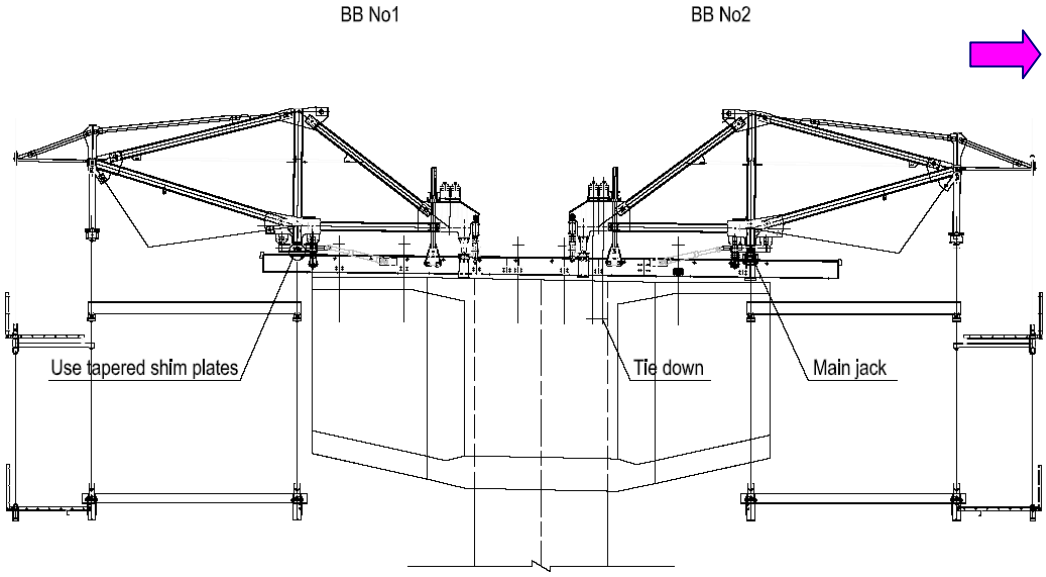
STEP-12 2 号機の後方走行装置の取付け



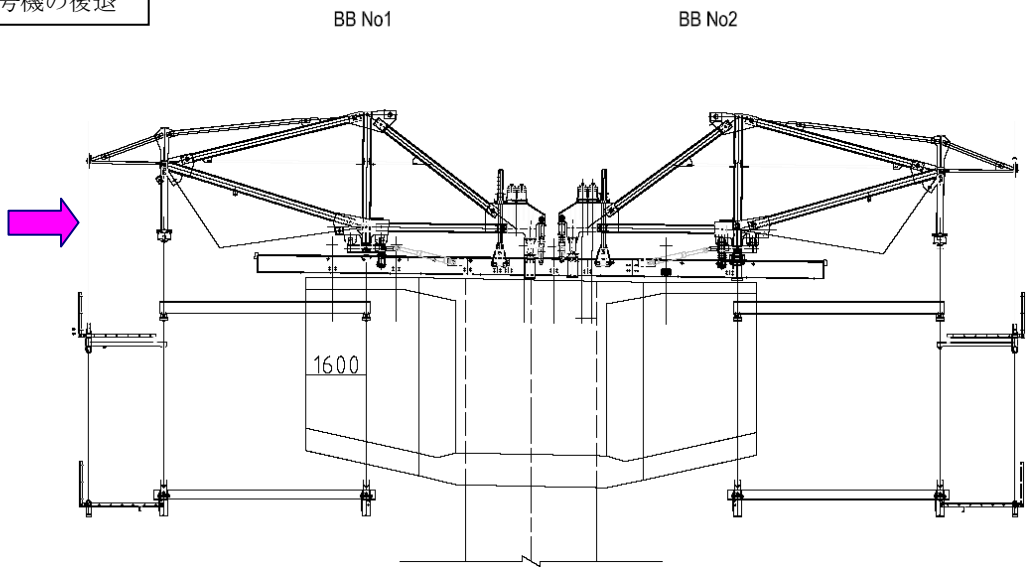
STEP-13 2 号機の前方車輪の撤去



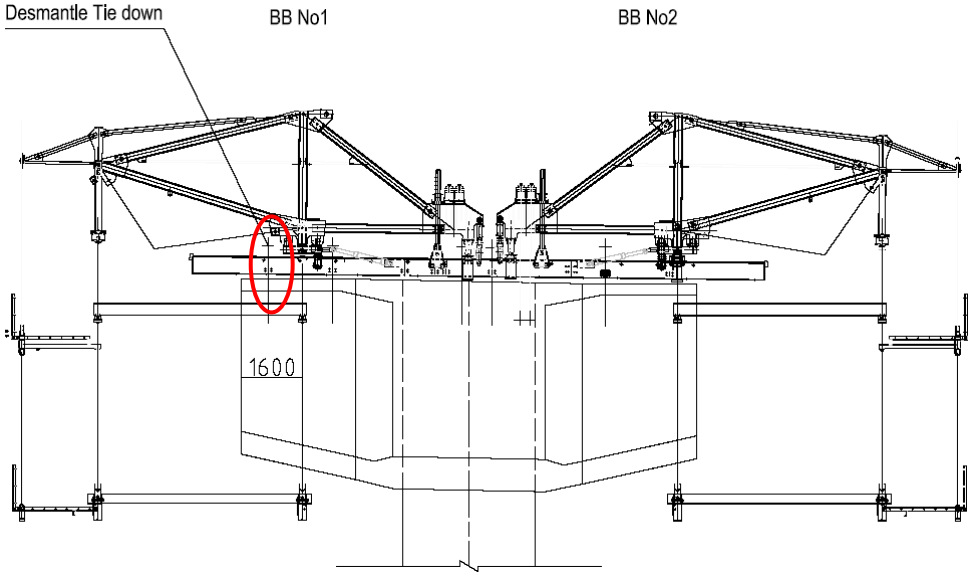
STEP-14 2 号機の前進



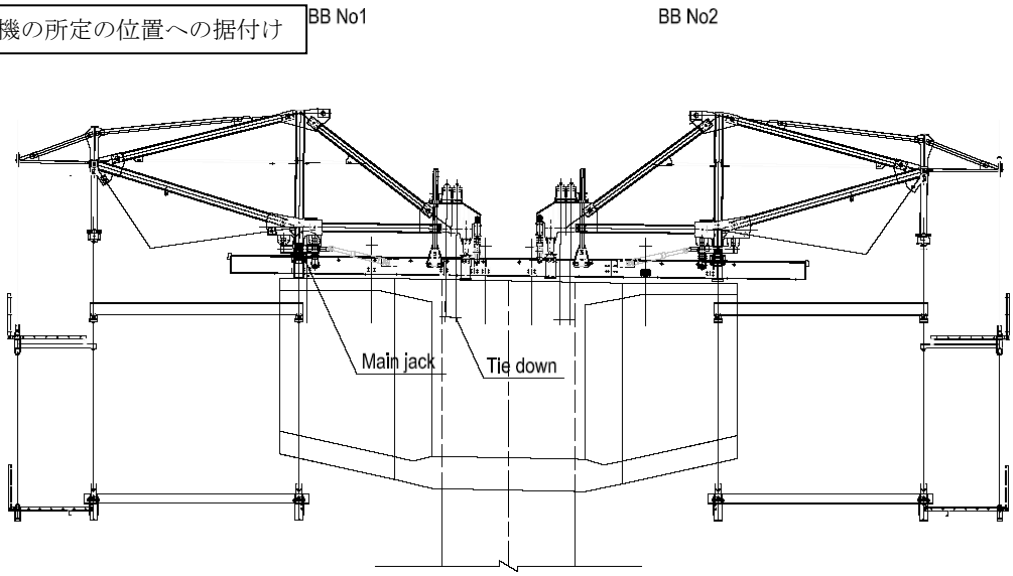
STEP-15 1 号機の後退



STEP-16 1 号機側のレールアンカーの撤去



STEP-17 1 号機の所定の位置への据付け



図－８　移動作業車の分離手順

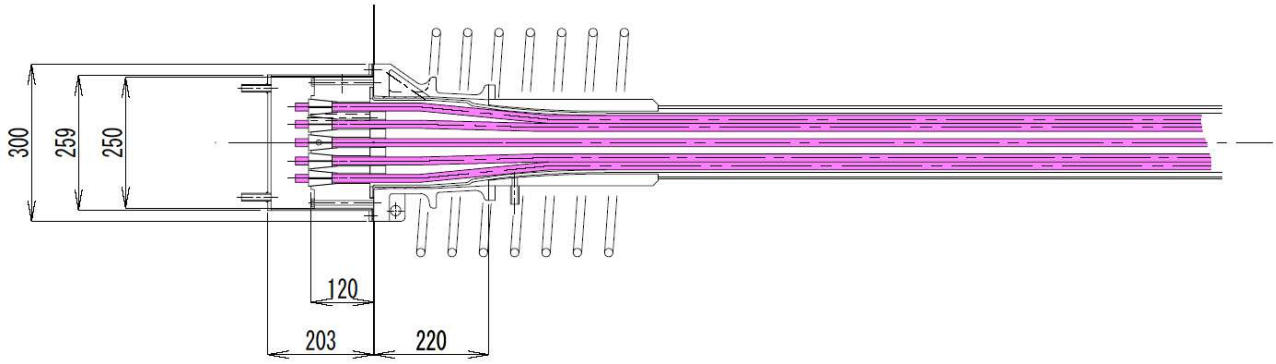
3. 斜材工

3.1 斜材構造

斜材は，9 段配置で，片持ち張り出し施工の 7 セグメントから 15 セグメントに配置されている．

配置間隔は，4m で均一である．

定着体は，住友電工スチールワイヤー製でディビダーグストランド工法の交換可能な外ケーブルシステム 19S15.2(MC system)で 9 段とも同一である．防食方法は，セメントグラウトである．



図－９　斜材定着装置

この定着体はケーシングパイプの中にポリエチレン製のインナートランペットがあり，グラウトはインナートランペット内のみに充填されるため，ケーシングパイプとの付着が遮断されている．このため塔側の定着体隠しのコンクリート部分をはつりハツリ出せば理論的には斜材の交換が可能である．

保護管は，クレハエクステック製の黒色ポリナイトパイプ(2 種 HDPE)で内径 103mm，外径 114mm である．インナートランペットとの接続は，EF-joint（後述）による．

3.2 主塔側架台の製作

多くの斜張橋やエクストラドーズド橋では，斜材の設置精度の確保と施工性を考慮して，塔側のケーシングパイプやサドルの設置に鋼製のフレームを用いている．

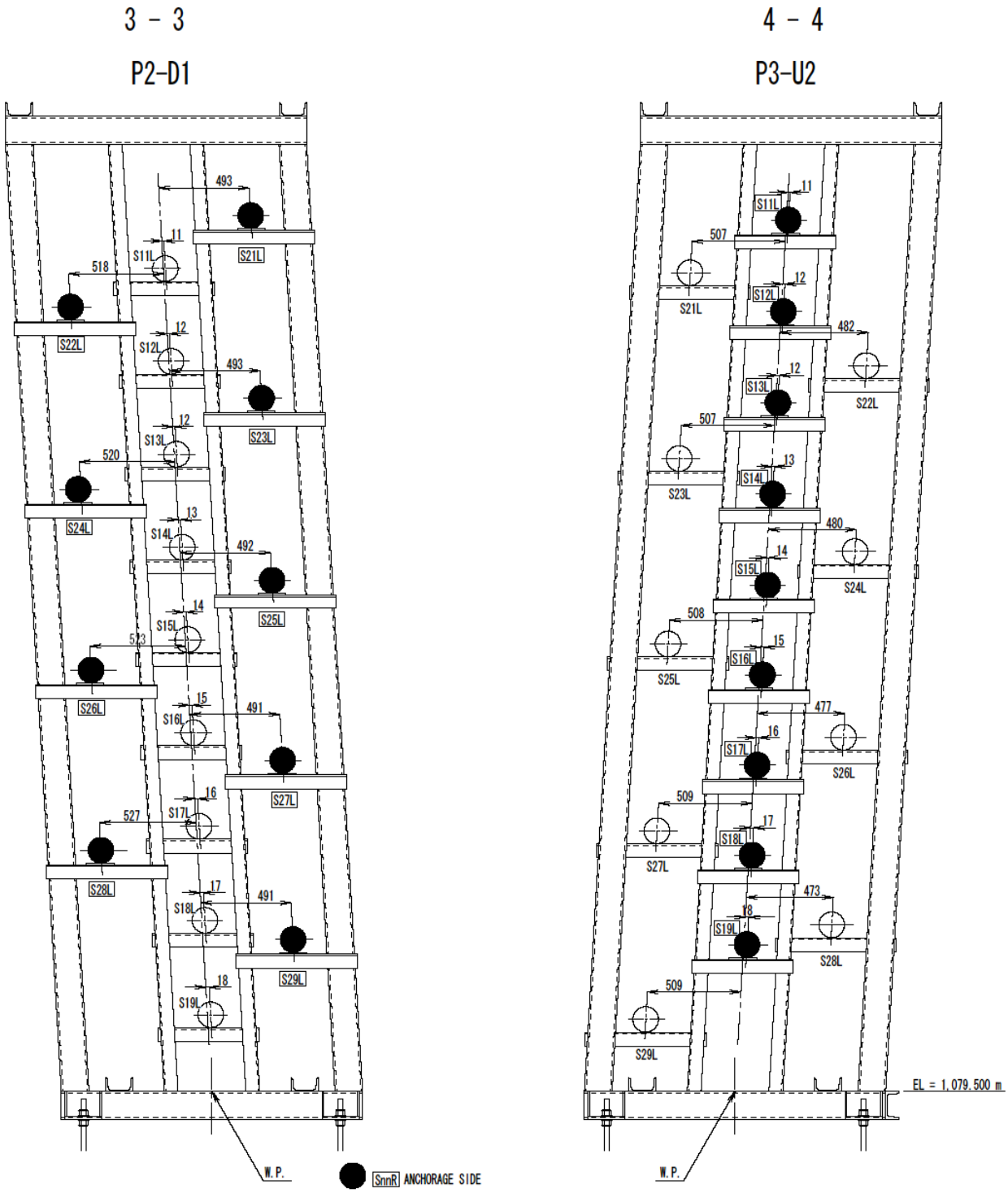
本橋においても材料の鋼材(L75x75，C150x75)を日本より持ち込み，現地においてこのフレームを製作して使用した．

今回は C150x75 の強軸を，主塔が外開き形状であるため橋軸直角方向としたが，仮置時，製作時に弱軸方向の変形が大きく，地組の際に苦労した．また，最終的にもこの変形を補正することができなかった．次回同様のものを製作するのであれば，橋軸・弱軸を逆（強軸を橋軸方向）にした方が良いと思われる．

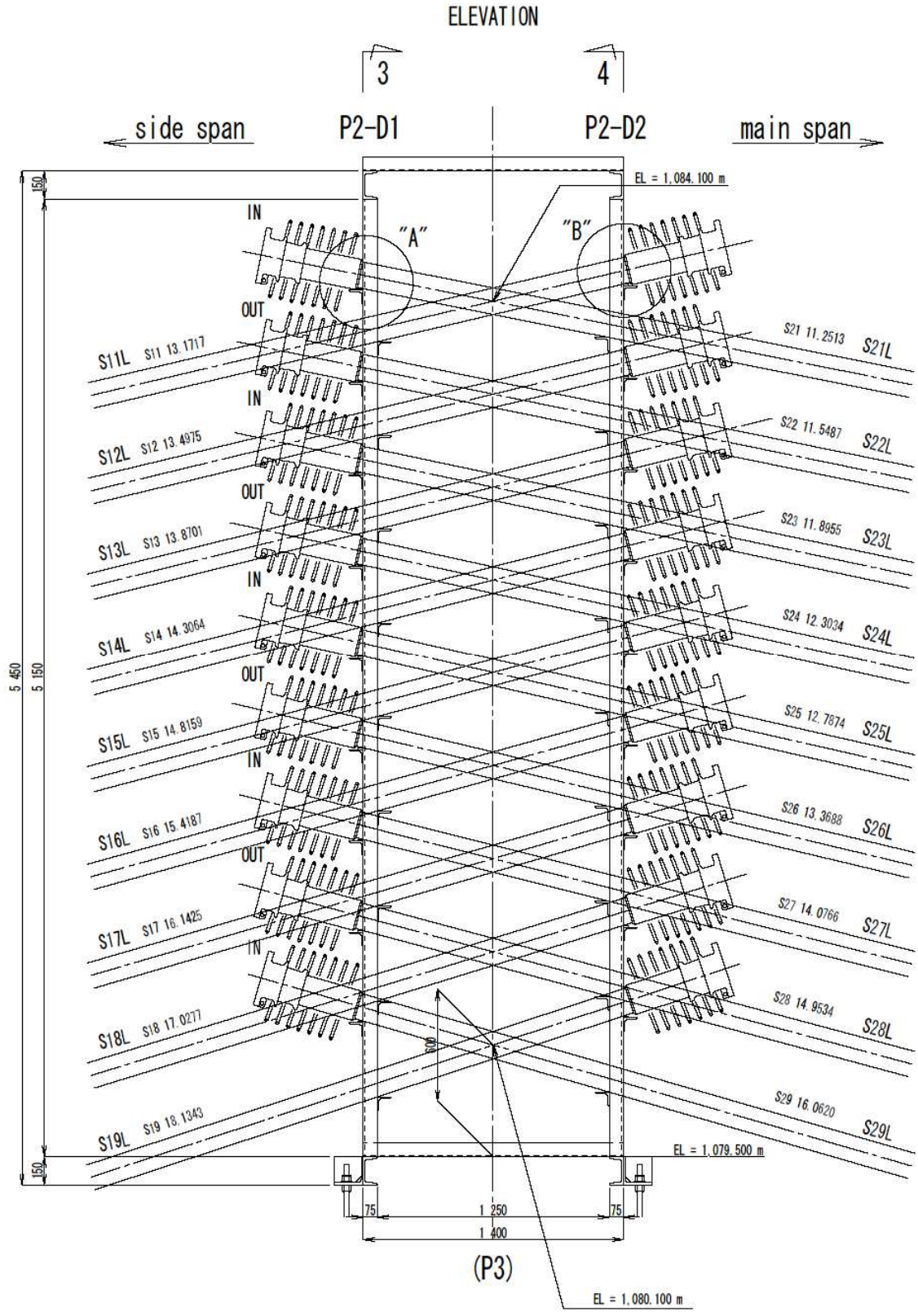
１本の斜材に対し側面的に 2 箇所をアングル形鋼で支持する形とし，全ての寸法値は，CAD を用いて算出した．算出位置は，形鋼の端面を基準とした．地組の際に鉛直性をトランシットで確認した以外は，全て尺金とコンベックスを用いて寸法・位置を定めた．

地組後，鉛直角は，0.2 度読みの角度定規で確認し誤差の大きいものに対しては補正した．水平角については有効な測定器を有していなかったので，確認補正は行っていない．

図－１０，１１に鋼製フレームの一部を表す．



図－１０　主塔側斜材架台 正面図



図－１１　主塔側斜材架台 側面図

3.3　ケーシングパイプの設置

鋼製フレームを地組した状態で，ケーシングパイプ，スパイラル筋，切り欠き部型枠を取り付けた．この状態で総重量は約 3.2ton であった．

これを 180TM のタワークレーンを用いて一括で据え付けた．

写真－７　塔側斜材定着装置

写真－８　架台への固定方法

水平方向の固定は，D13 の鉄筋で挟み込むだけ．ケーブル軸方向の位置の調整は，ケーシングパイプのふくらみ部分を架台の横桟部材に引っ掛けるだけとした．

写真－９　フレームにケーシングを取り付けた状態
側径間側の面

写真－１０　切り欠き部型枠

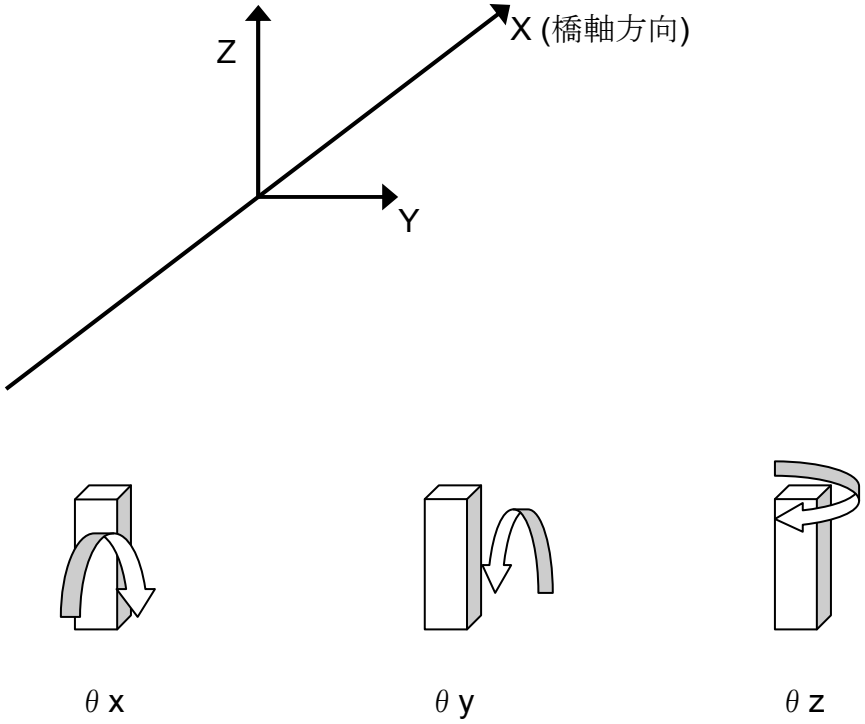
3.4　主塔側架台の据え付け

架台を所定の位置に据え付けるために必要な要素は次の 6 項目である．

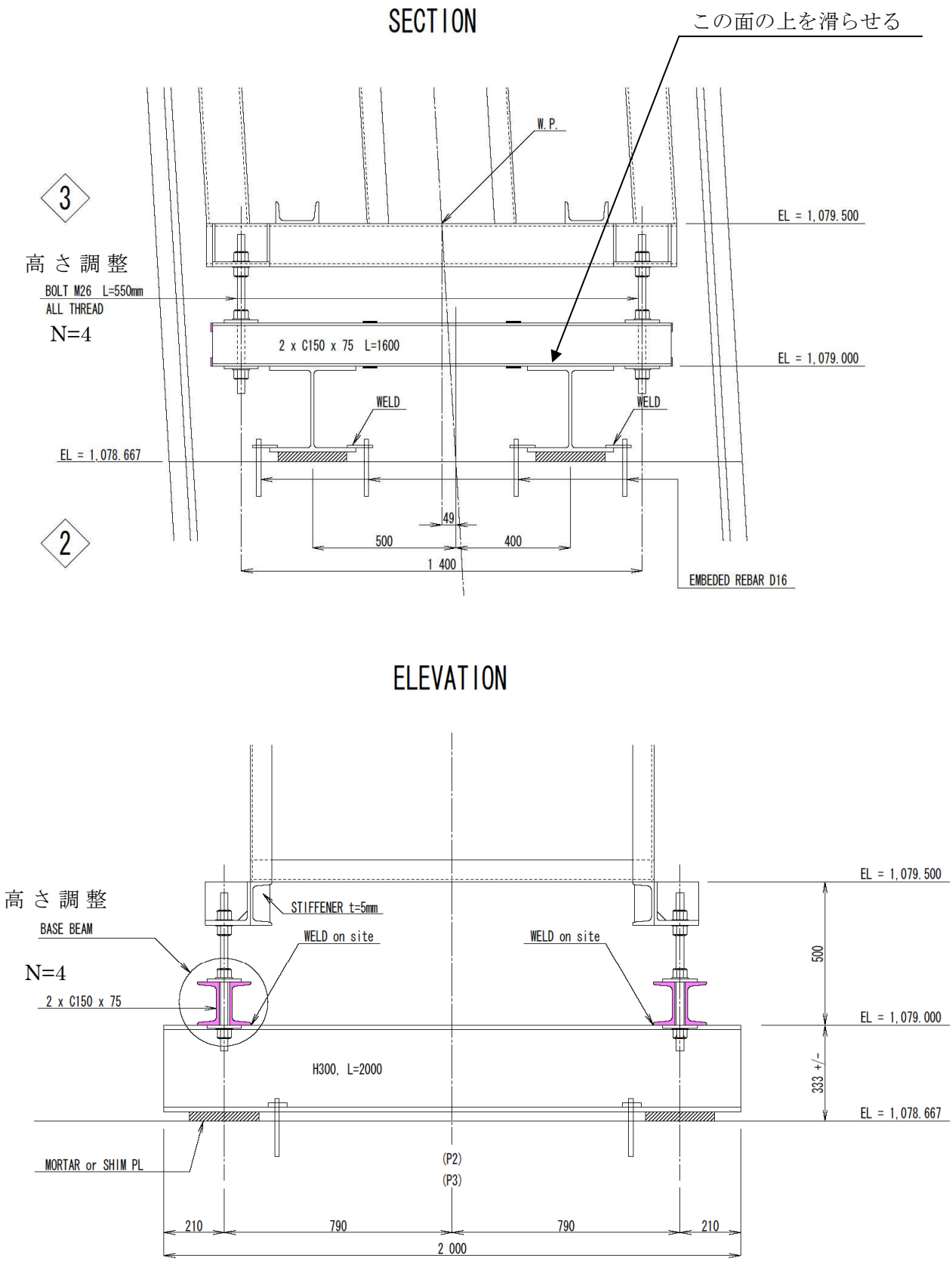
X	橋軸方向の位置
Y	橋軸直角方向の位置
Z	高さ
θ x	橋軸面内の回転（倒れ）
θ y	橋軸直角面内の回転（倒れ）
θ z	水平面内の回転（方向）

これらを調整可能とするために，2 種類の調整機構を有する受け台を考案し，製作した．

架台の据え付けは，第 2 リフト打設後，H300x300，　L=2m　を天端に 2 本設置し，この 2 本の H 鋼の上面を水平にすることにより，架台の水平面内の回転調整，水平面内の位置調整（橋軸方向，橋軸直角方向）を可能として．高さおよび鉛直の角度調整(橋軸面内の角度，橋軸直角面内の角度)は，フレーム四隅の M26 のボルトを用いて行った．



図－１２　架台の位置方向調整の概念


SECTION
この面の上を滑らせる
W.P.
3
高 さ 調 整
BOLT M26 L=550mm
ALL THREAD
N=4
2 x C150 x 75 L=1600
EL = 1,079.500
EL = 1,079.000
WELD
WELD
EL = 1,078.667
49
500
400
1 400
2
EMBEDED REBAR D16
ELEVATION
高 さ 調 整
BASE BEAM
N=4
2 x C150 x 75
STIFFENER t=5mm
WELD on site
WELD on site
H300, L=2000
MORTAR or SHIM PL
(P2)
(P3)
210
790
790
210
2 000
EL = 1,079.500
500
EL = 1,079.000
333 +/-
EL = 1,078.667

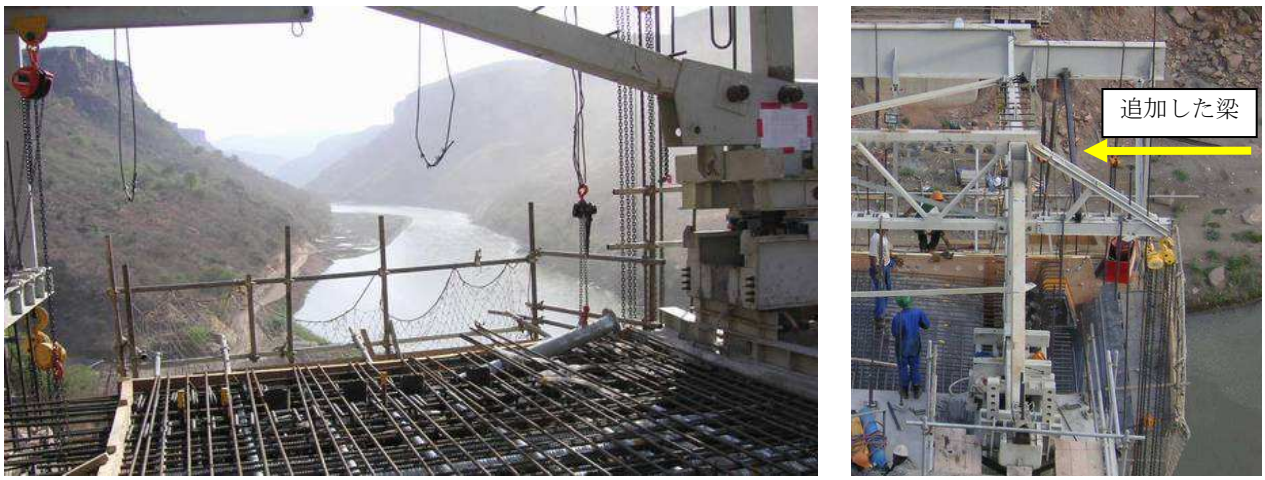
図－１３　架台の調整機能

3.5　桁側ケーシングパイプの設置

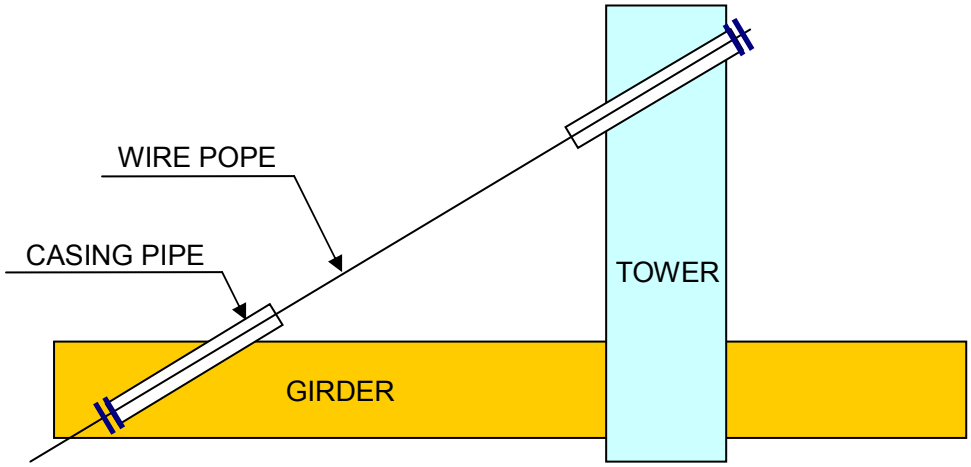
桁側のケーシングパイプは，移動作業車の前方横梁と後方横梁間に梁(C-150)を渡し，これに吊り環を取り付け，これよりレバーブロックで吊り下げた．ケーシングパイプの重量が小さく吊り下げただけでは不安定であったため，方向調整後に鉄筋に番線で緊結した．

移動作業車の計画段階からこのような小物の部材も計画していた方が現場の手間を省くことができる．

桁側のケーシングパイプの設置方向の調整は，既に塔側のケーシングパイプが設置されていたので，桁側と塔側の双方のケーシングパイプにワイヤーを張り，それに合わせて方向を決めた．（**図－１５**参照）



写真－１１　フレームにケーシングを取り付けた状態

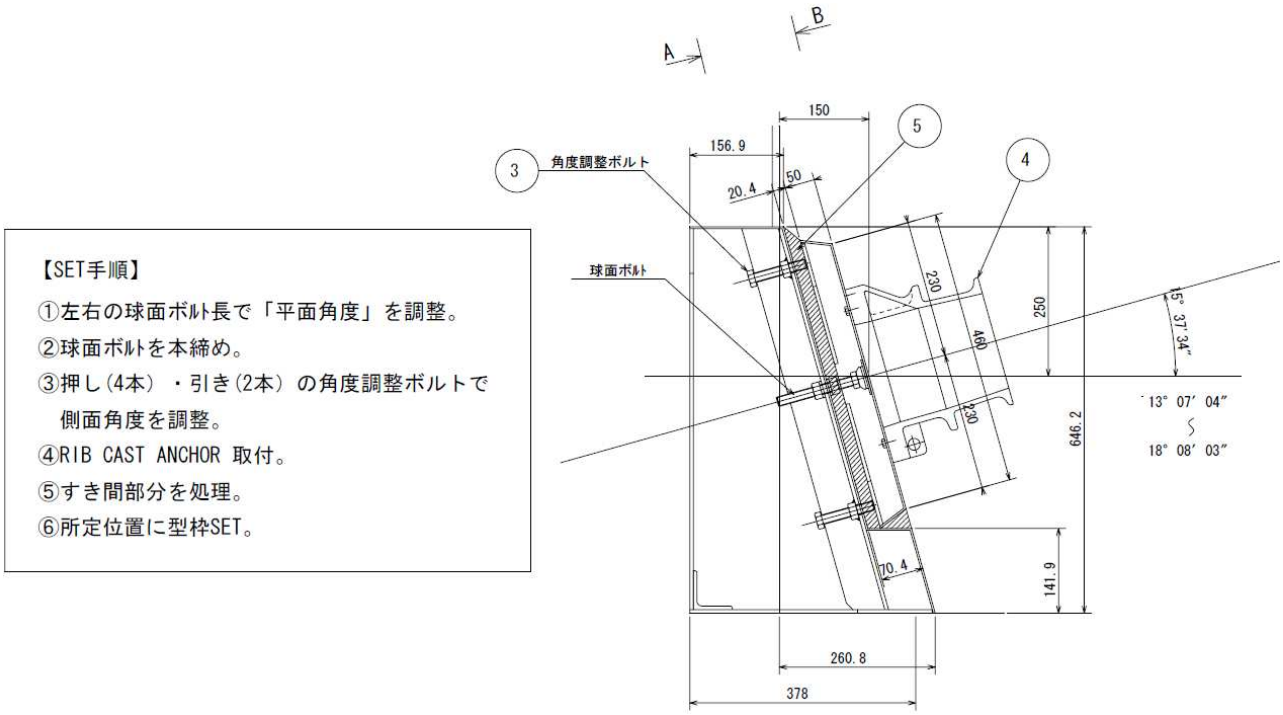


Adjust girder side casing pipe

図－１４　桁側ケーシングパイプの方向の調整

ケーシングパイプの下側は，張出し床版部型枠に固定された鋼製の角度調整可能な定着部切り欠き型枠に固定した．

写真－１２　桁側斜材定着部型枠
（木製型枠部分は，定着位置を変更したための補正型枠）



図－１５　定着切欠型枠の角度調整機構

3.6　保護管の製作

3.6.1　スパイラススペーサーの組み込み

斜材グラウトの充填性の向上（エアーポケットの減少），セメントミルクによるストランドの完全な包囲のために PE 管の中にスパイラルスペーサーを組み込んだ．

このスパイラルスペーサーは，対フレッチング特性の向上のためにエポキシ塗装された直径 5mm の鋼線である．現地に搬入されたスパイラルスペーサーは，ドブ浸け方式で塗装されており鋼線間には十分な塗装が施されていなかったが，ストランドと接するのは内面だけであるので，現実的には問題はないと考えられる．

PE 管は，「クレハ」の「ポリナイトパイプ」の呼び径[100]のものを用いた．外径が 114mm で，内径が約 103mm である．定尺は，溶着の際の端面切削を見越して 503cm 程度である．

これに，直径 5mm のスパイラルスペーサーをセットすると，実質内径は 103mm－5mm×2＝93 mm となる．斜材の構成が 19S15.2mm であるので 93mm という有効内径は小さすぎて，ストランド挿入に難儀した．このことが，後のグラウトの際の漏れに繋がったものと推測される(後述)．

写真－１３　エポキシ被覆スパイラルスペーサー

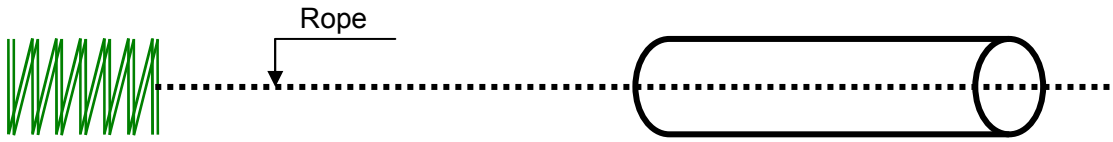
スパイラススペーサーの外形は，上の写真の通りであるが，その外径は PE 管の内径よりやや大きい．当然このままでは PE 管の中に組み込むことはできない．組み込むには，一旦スパイラルスペーサーを引き延ばし，引き延ばすことによりその外径を小さくし，その状態を保持したまま PE 管をスライドさせて組み込んだ．

写真－１４　スパイラルスペーサーの組み込み状況
（スパイラルスペーサーが引き延ばされている）

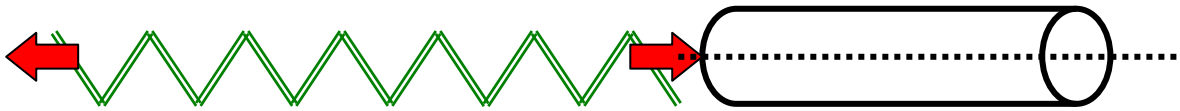
写真－１５　組み込み後余長部分を
カッターにて切断

写真－１６　内部の状況

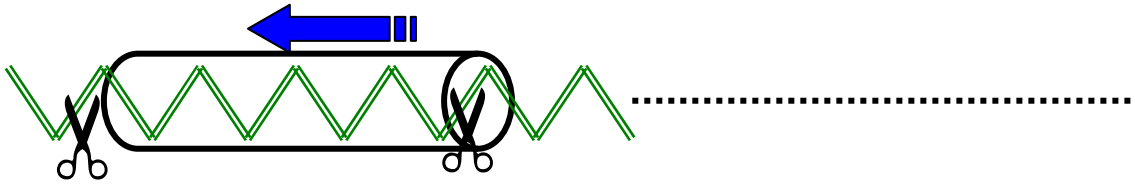
1. スパイラルスペーサーの片方にロープを結び付け，HDPE 管の中を通す．他方は不動の柱などに固定する．



2. ロープを引っ張り，スパイラルスペーサーを引き延ばすことにより外径を小さくする．



3. HDPE 管をスパイラルスペーサー部分に移動させ，その後ロープを緩めることにより，スパイラルスペーサーが元の径に戻ろうとすることを利用し，HDPE 管の内面に密着させる．



4. HDPE 管の外側に出た余分な部分を大型ハンドカッターにて切断する．

図－１６　スパイラルスペーサーの組み込み手順のイメージ

3.6.2　PE 管の組み立て

表－７　PE 管の組み合わせ表

stay cable		PE pipe length (m)	PE pipe combination		
			Typ.(5m) (pcs.)	adjust1 (m)	adjust2 (m)
S-11L,R	S-41L,R	55.00	11		
S-12L,R	S-42L,R	50.96	9	4.0	1.97
S-13L,R	S-43L,R	47.01	9		2.02
S-14L,R	S-44L,R	43.12	8		3.13
S-15L,R	S-45L,R	39.25	7		4.25
S-16L,R	S-46L,R	35.39	6	3.0	2.39
S-17L,R	S-47L,R	31.55	6		1.55
S-18L,R	S-48L,R	27.73	5		2.73
S-19L,R	S-49L,R	23.94	4		3.94
P2(P3)					
S-29L,R	S-39L,R	23.61	4		3.61
S-28L,R	S-38L,R	27.39	5		2.40
S-27L,R	S-37L,R	31.15	6		1.15
S-26L,R	S-36L,R	34.98	6		4.98
S-25L,R	S-35L,R	38.77	7		3.78
S-24L,R	S-34L,R	42.63	8		2.64
S-23L,R	S-33L,R	46.46	9		1.47
S-22L,R	S-32L,R	50.35	9	4.0	1.35
S-21L,R	S-31L,R	54.20	10		4.20

定尺 5m の PE 管を溶着して繋ぎ，所定の長さにした．PE 管の長さは，EF-joint の長さ 1.0m を考慮して塔側・桁側の作業遊間を 70cm（片側のラップ長 15cm）としたが，このクラスの斜材の長さであれば，この遊間は，60cm 程度が望ましい．PE 管自体は，温度変化でかなり伸び縮みするため，本工事の場合，一部 EF-joint の掛かりを確保できないケーブルが生じた．管の長さの組み合わせは，EF-joint を先に PE 管に差し込んでおく必要があるため，最小でも 1.5m 以上のものを端部に用いなければならない．このためこれが守れない長さのケーブルに関しては，塔側から 2 本目の PE 管の長さを調整した．組み合わせ順序は，継ぎ目部分の高さが揃うように，桁側から定尺の 5m を追い出し，塔側に端尺のものを配置した．

3.6.3　PE 管の溶着

溶着作業は，基本的には鉄筋の圧接作業と同様である．手順としては，

1. 端面の位置・方向を合わせる．端面の切削．
2. ヒーターによる端面の加熱．ヒーター除去後に端面の圧接．
3. 圧接後のクールダウン．

本工事で使用した呼び径[100]の PE 管の場合は，ヒーターの温度を 200℃，圧着時間を 120 秒，冷却時間を 5 分とした．

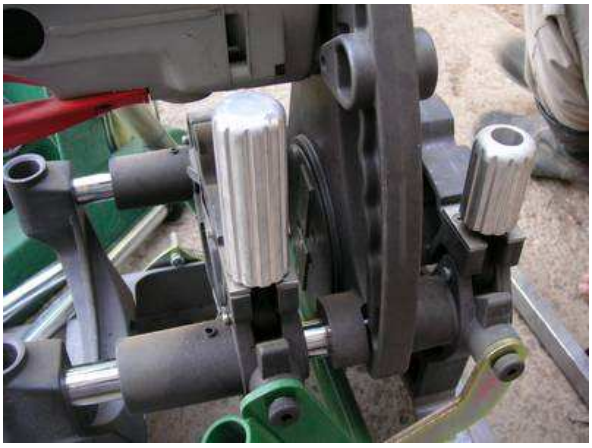
溶着の際に生成される「ビード」と呼ばれる膨らみ（突起）は，削り取らずにそのままとした（逆に「ビード」を取り除いてはいけない！！）．

写真-17 は，溶着部分の切断面．内外面に「ビード」が生成されている．

写真－１７　ビートの生成

写真－１８　溶着作業器具

左上；管を固定するクランプ
中央；ヒーターと切削器を収納するホルダー
手前；クランプ装置の前後で管の高さを合わせるための台木



写真－１９　切削器

クランプ装置に切削器を組み込んだ状態
中央に刃が見える．
これにより双方の管の端面を隙間が生じないように整形する．

溶着作業は，温度管理が重要なため風があたらない場所で行う必要がある．P3 側では，近くに資材小屋があったためこの中で溶着作業を行い，一本ものにした状態で橋脚下まで作業員が担いで運搬した．P2 側では適当な場所がなかったため，橋面上で防風設備（ビティ＋ブルーシート）を作り，この中で溶着作業を行った．

写真－２０　P2 橋面上の防風設備

写真－２１　溶着器具

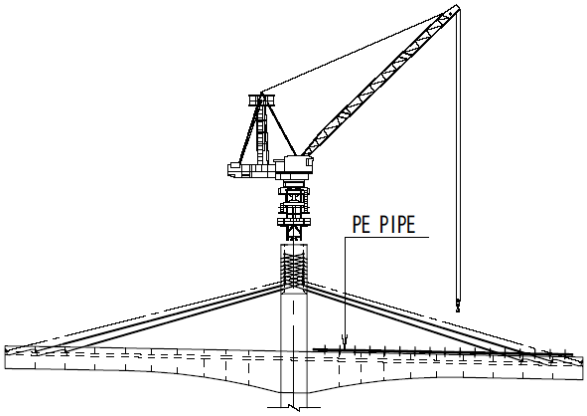
PE 管の重量は，スパイラルスペーサーを組み込んだ状態で 2.3kg/m 程度である．最大管長は 55m であるので，最大重量は 2.3 ×55 = 126kg 程度であり，6～7 人で十分運搬できるものであった．

3.7　PE 管の架設

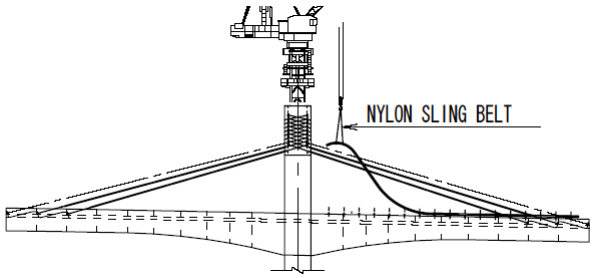
PE 管の架設に先立ち PE 管と定着体側のプラスティックトランペットを繋ぐ EF-joint を PE 管の両端に取り付けた．

それに，これは当現場で失念し取り付け損なったのであるが，グラウト注入孔の補修用の「熱収縮チューブ」を 3 個ほど通しておく必要がある．

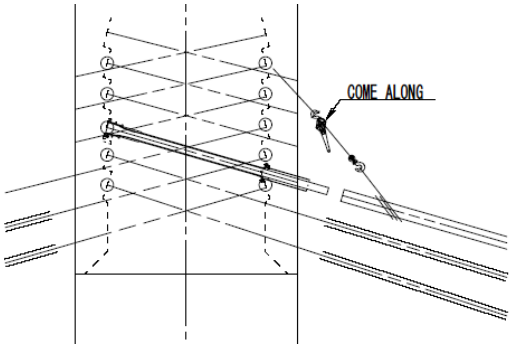
架設作業自体は，PE 管の重量が軽量であったため，管の中にストランドを通すことなく PE 管単体で架設することができた．



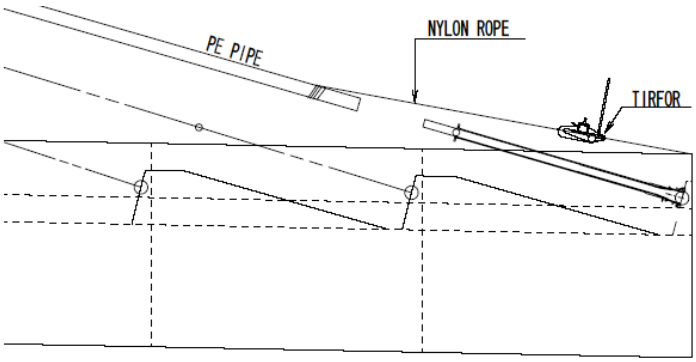
1) PE 管の橋面での展開



2) 塔側の引き込み



3) 塔側の固定



4)　桁側の引き込み

図－１７　PE 管の架設要領

1)　タワークレーンとナイロンスリングで PE 管を橋面上に吊り上げ，高欄付近に展開し仮置きした．
2)　次に塔側部分をナイロンスリングで吊り上げ塔側に引き込んだ．
3)　塔側では，ナイロンロープとレバーブロックで引っ張り込み，クレーンのフックを外した．この作業は，塔の足場の範囲内で十分可能である．
4)　桁側では，サグの関係よりケーシングパイプからかなり離れた位置にしか PE 管の先端が届かないため，チルホールを用いてケーシングパイプ近傍まで引き込んだ．

上記の手法を用いることにより PE 管の架設に関しては，特別な足場は設けなかった．

写真－２２　PE 管の塔側引き込み

写真－２３　レバーブロックへの盛り換え

通常，斜張橋などでは，PE 管の架設に際し車輪付きの架台が用いられている．本工事では，PE 管が軽量であること，人手が多いことから前出写真の木製の台のみとした．しかし，実際は橋面を引きずって架設する場面が多く見られた．PE 管が黒ポリであったから傷が目立たないが，塗装された PE 管を用いる場合は，きちんと養生できる装置(台車)が必要となるであろう．

3.8　PC 鋼材の切断

3.8.1　切断長

PC 鋼材は，長さが短いケーブルにおいては，橋の下の河川敷で切断しタワークレーンで橋面まで引き上げた．

長いケーブルの場合は，タワークレーンの揚程の問題から橋面で切断した．

ケーブル長は，1 ケーブルあたり 19 本のストランドの内 2 本を「パイロットワイヤー」と称し，他の 17 本より長く切断した．振り返ってみるに，最初の 1 本の緊張でほとんどサグが吸収されるため，このクラスの斜材では「パイロットワイヤー」は，1 本で十分である．

標準の 17 本の切断長は，設計長(支圧版前面間の距離)に次の長さを加えた．

アンカーディスク長	2×120mm = 240 mm
桁側余長	80mm
塔側余長	50mm
ジャッキ長	1,030mm (塔側緊張，片引き)
サグによるもの	30mm
予備長	100mm
【合計】	1,530mm

「パイロットワイヤー」には，上記に加え，初期サグの影響として更に 1.5m 長く切断した．各ストランドの桁側の端部には Anchor disk の所定の穴に通すため，あらかじめ「芯線加工」を施した．

表－８　ストランド切断長

stay cable		Cable length (m)	Cutting L 17 strands (m)	Pilot strand 2 strands (m)
S-11L,R	S-41L,R	65.322	66.9	68.3
S-12L,R	S-42L,R	61.308	62.9	64.3
S-13L,R	S-43L,R	57.289	58.9	60.3
S-14L,R	S-44L,R	53.271	54.9	56.3
S-15L,R	S-45L,R	49.258	50.8	52.2
S-16L,R	S-46L,R	45.250	46.9	48.3
S-17L,R	S-47L,R	41.248	42.9	44.3
S-18L,R	S-48L,R	37.257	38.9	40.3
S-19L,R	S-49L,R	33.278	35.0	36.4
P2(P3)				
S-29L,R	S-39L,R	32.894	34.6	36.0
S-28L,R	S-38L,R	36.895	38.6	40.0
S-27L,R	S-37L,R	40.835	42.5	43.9
S-26L,R	S-36L,R	44.855	46.5	47.9
S-25L,R	S-35L,R	48.819	50.4	51.8
S-24L,R	S-34L,R	52.850	54.4	55.8
S-23L,R	S-33L,R	56.829	58.4	59.8
S-22L,R	S-32L,R	60.865	62.4	63.8
S-21L,R	S-31L,R	64.854	66.4	67.8

3.8.2　芯線加工

芯線加工とは，7 本よりのストランドの外周の 6 本の素線を切断し，中央の芯線のみを露出させる作業．この芯線に小型のカップラーを取り付け，「迎えワイヤー」と接続して所定に穴に配置する．

写真－２４　芯線加工したストランド(他工事)

写真－２５　挿入後のストランド(桁側)

芯線加工は，当初専用の機材を用意したが，通関等で現場への到着が遅れ，その間ベビーサンダーで外周の素線を切断した．専用機材が到着したときは，斜材工の終盤であり，そのころにはベビーサンダーの取り扱いに習熟しており，結果的には専用機材は使われなかった．

外周の素線を切断する際は，面取りをするように切断しないと，素線のエッジが anchor disk の穴の縁に引っ掛かり挿入が困難になる場合がある．

写真－２６　使われなかった専用機材

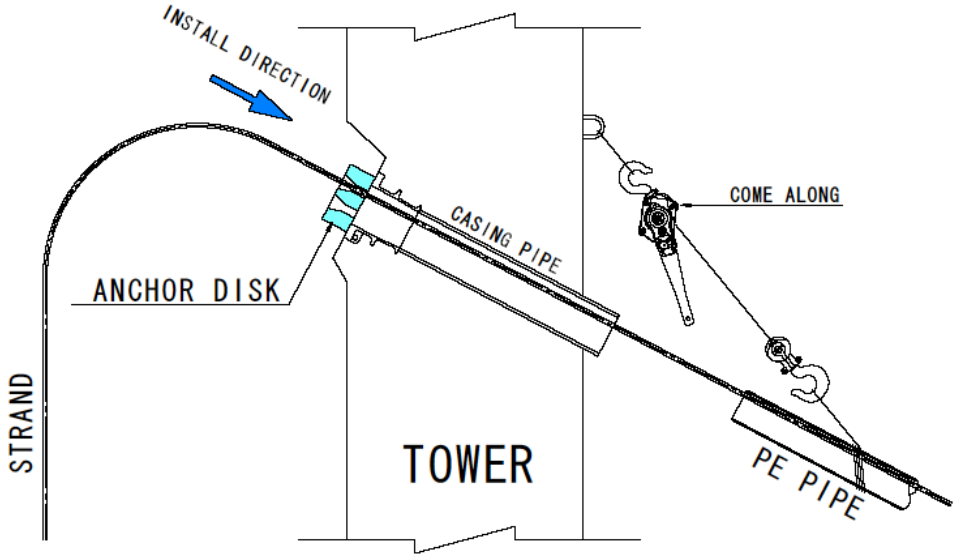
3.9　PC 鋼材の挿入

3.9.1　PC 鋼材の挿入要領

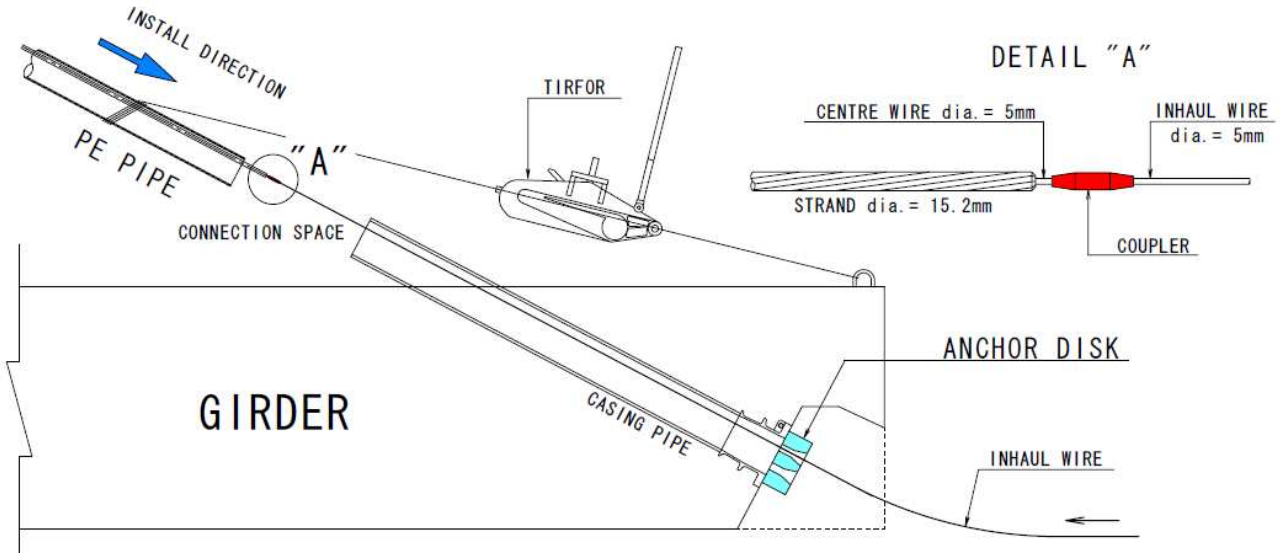
橋面上に展開した PC 鋼材は，1 本ずつ全て人力で塔側から挿入した．

ストランド先端には，ビティの筋交いで作ったキャップを被せたこともあったが，ほとんどはそのまま挿入した．

ケーブル構成が 19S15.2 であるにも拘わらず，PE 管の内径が 103mm で，更にスパイラルスペーサーで 2×5mm=10mm 内径が小さくなるので，挿入に困難を生じるケーブルもあった．スパイラルスペーサーを配置する場合は，この分を考慮した PE 管の大きさを選択すべきである．



塔側より anchor disk を通して挿入



桁側では「迎えワイヤー」を利用して対応する所定の穴にストランドを通す

図－１８　ストランド挿入要領

3.9.2　挿入・緊張方法

ここで，本橋で用いた PC 鋼線の挿入・緊張方法をまとめる．

☆　小型軽量の mono-strand jack を用いストランド 1 本ずつ緊張する．

☆　1 本ずつ緊張するため，全てのストランドは，塔側と桁側の定着体間で平行に配置される必要がある（**これが非常に重要**）．

平行でない場合，先に緊張されたストランドが未緊張ストランドを押しつけ，以後の緊張が円滑に行われないおそれが生じる．

☆　塔においてサドルを用いない交差型の定着方法を採用しているため，緊張箇所は塔側，桁側どちらでもよいが，起点側と終点側の斜材をほぼ同時期に緊張するため（塔に過大な曲げモーメントを生じさせないため）塔側緊張の方が作業性がよい．（2 連式の 1 台の油圧ポンプおよび操作者で 2 台のジャッキが操作できる）

☆　鋼線挿入・緊張工で作業員の工種を分けるために「1 本挿入 1 本緊張」方式でなく，「全数挿入，1 本ずつ緊張」方式とした．この背景には

PE 管架設・ストランド緊張----------鳶工

ストランド挿入----------普通作業員

と分けたいためであり，「1 本挿入 1 本緊張」とした場合，緊張作業時には普通作業員が遊び，挿入時には鳶工が遊ぶことをさけるためである．

☆　PE 管の自重および緊張されていないストランドの重量を支持するため，最初のストランド 2 本を挿入・緊張した．

☆　1 ケーブルに限定して手順を示せば，次の通りとなる．

- PE 管のみの架設(ストランドなし)
- 第 1 ストランドの挿入，引き続き第 1 ストランドの緊張
- 第 2 ストランドの挿入，引き続き第 2 ストランドの緊張
- 残りの 17 本のストランドの挿入
- 全ストランド挿入後に，3 番目から 19 番目までのストランドを順次緊張

本橋は，エクストラドーズド橋であるため，斜材の緊張は 1 回のみである．第 1，第 2 ストランドに関しても挿入直後の緊張のみで，その後の張力調整は行っていない．

実際は，1 段の斜材工の中で 4 本のケーブル(起点側，終点側，上流側，下流側)があるため，塔および主桁に有害な力が作用しないように，挿入順序，緊張順序を細かく規定した．

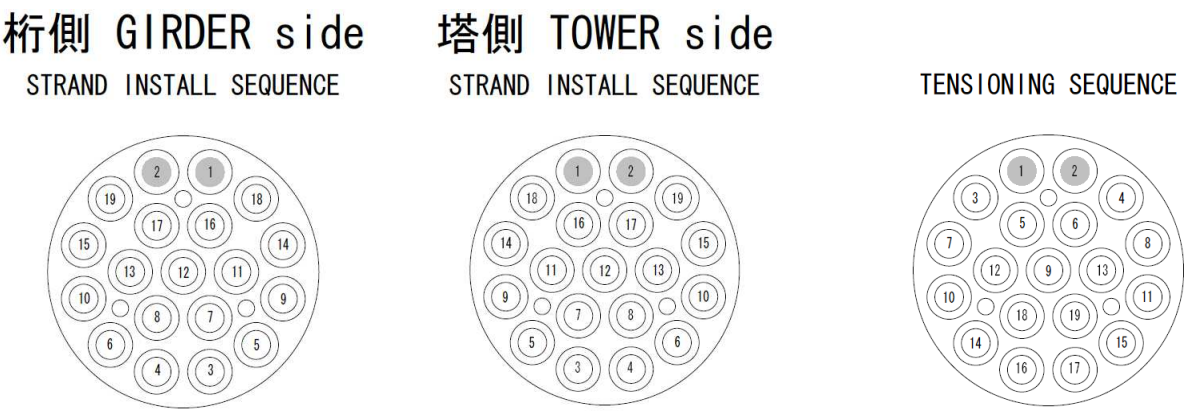
☆　第 1，第 2 ストランドは，19 本の中で一番上方に配置されるものとした．

☆　3 番目から 19 番目までのストランドの挿入は，ケーブルの断面において下方に位置するストランドから行った．これは，3 番目から 19 番目までのストランドは後緊張のため先に挿入されたストランドの上を滑らせて挿入するためである．

☆　3 番目から 19 番目までのストランドの緊張は，緊張するとストランドが PE 管の中で順次上方に移動するため，ケーブルの断面において上方に位置するストランドから行った．

挿入作業，緊張作業においては順序の間違いをなくすため，定着体箇所に案内板で明示した．なお，挿入にあたっては，塔側と桁側は鏡対照になるため留意する必要がある．緊張順序は，塔側のみの作業であるため，桁側での表示は不要である．

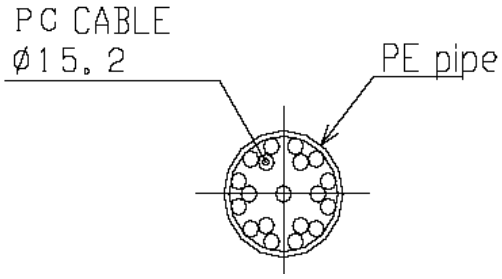
写真－２７　挿入順序案内板



図－１９　挿入作業用案内板

図－２０　緊張作業用案内板

緊張作業の 5, 6, 12, 13, 18, 19 に関しては，anchor disk 部におけるストランドの配置位置と PE 管の内径の関係から，理論的には 1 本の中心のストランド以外は，PE 管の外周に張り付くように移動しようとする（**図－２１**）．このため**図－２０**のような緊張順序とした．



図－２１　PE 管内のストランドの理論上の配置

3.9.3　芯線カップラー

塔側は，Anchor disk に直接ストランドを挿入するので，その位置を確定することは容易である．しかし，桁側は，塔側から送られてきたストランドを長いケーシングパイプの先に固定されている Anchor disk の対応する穴に通す必要があるので「二階から目薬」状態になってしまう．

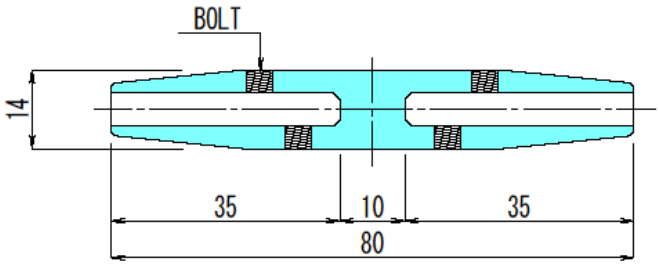
このため，桁下からキャップ式の引き込み線を通そうと試みたが，Anchor disk の穴の余裕がなく，ストランドにキャップを被せた状態では，キャップの肉厚の関係で穴を通過できなかった．そこで，ストランドの外周の素線を切断し，芯線だけを露出させ，これと接続するカップラーを用いた．

写真－２８は，キャップ式の引き込み線，右側の棒はストランドの芯線(径約 5mm)を利用．

引き込み線側の芯線は，ケーシングパイプの勾配が緩いため，最大で 5m 程度になる．

SSI において桁側から塔側にウィンチを用いてストランドを引き上げる場合は，ウェッジで留める芯線カップラーが用いられるが，今回は，ガイドワイヤーを繋ぐだけであったので簡易なものとした．

写真－２８　キャップ式の引き込み線
（実際には使用せず）



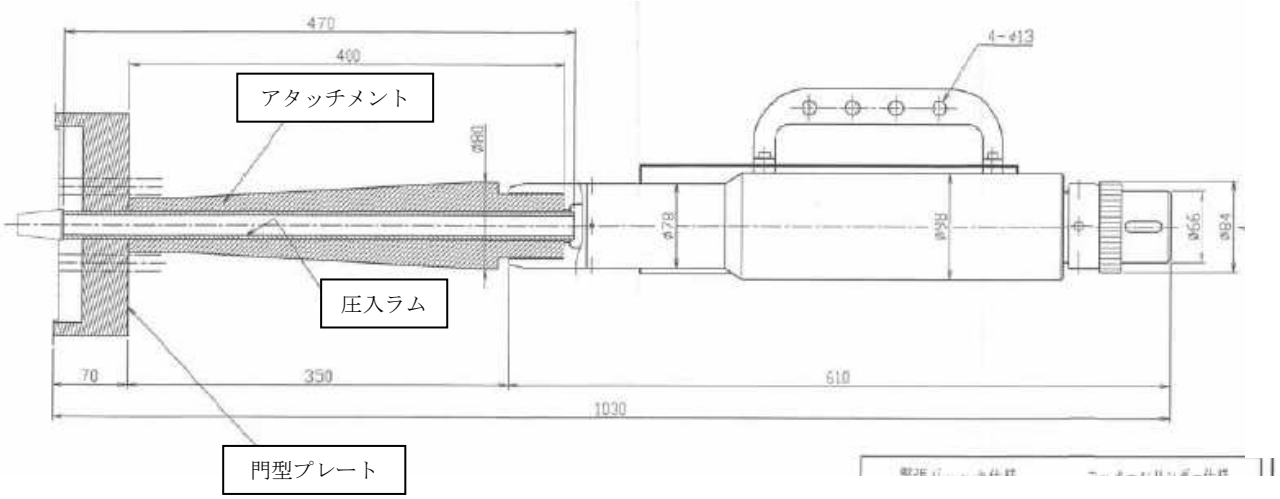
図－２２　実際に用いたカップラー

3.10　ストランドの緊張

緊張は，mono-strand jack で行った．通常の mono-strand jack にアタッチメントを取り付けることにより，マルチタイプの定着体において 1 本ずつの緊張が可能となっている．

アタッチメントは，3 個のパーツより構成されている．

- 門型プレート　　円形のお盆状でジャッキの反力を anchor disk の外周面に伝達する
- アタッチメント(チェア)　　円錐状でジャッキ反力を門型プレートに伝達する
  密接するストランドから 1 本だけを緊張するためアリクイの鼻のような形状になっている
- 圧入ラム　　ジャッキの定着シリンダの力をアタッチメントの中を通って定着くさびを押し込むパイプ



図－２３　斜材緊張用 mono-strand jack

写真－２９　緊張装置

写真－３０　緊張状況

多くのシングルストランド工法では，ジャッキ反力を直接に当該ストランド近傍の anchor disk 前面で支持するものが多いが，このジャッキ(OX 製)では，門型プレートを介することにより anchor disk の外周で支持している．また，定着用にウェッジを押し込む機構を有していることも特徴である．

ストロークが 200mm であったため，短いケーブルで 2 回，長いケーブルで 3 回に分けて緊張した．

緊張管理は，煩雑さを避けるため全てのケーブル・ストランドにおいて張力管理のみとした．伸びは，全く計測しなかった．

張力の管理は，油圧ポンプのマノメータで行った．油圧レベルは 44～47MPa 程度で，0.5MPa 単位で管理した．

緊張に際しては，塔側・桁側の EF-joint 部分の遊間を調整しておかないと（合わせておかないと），緊張後は PE 管の移動調整が困難になるので留意が必要である．

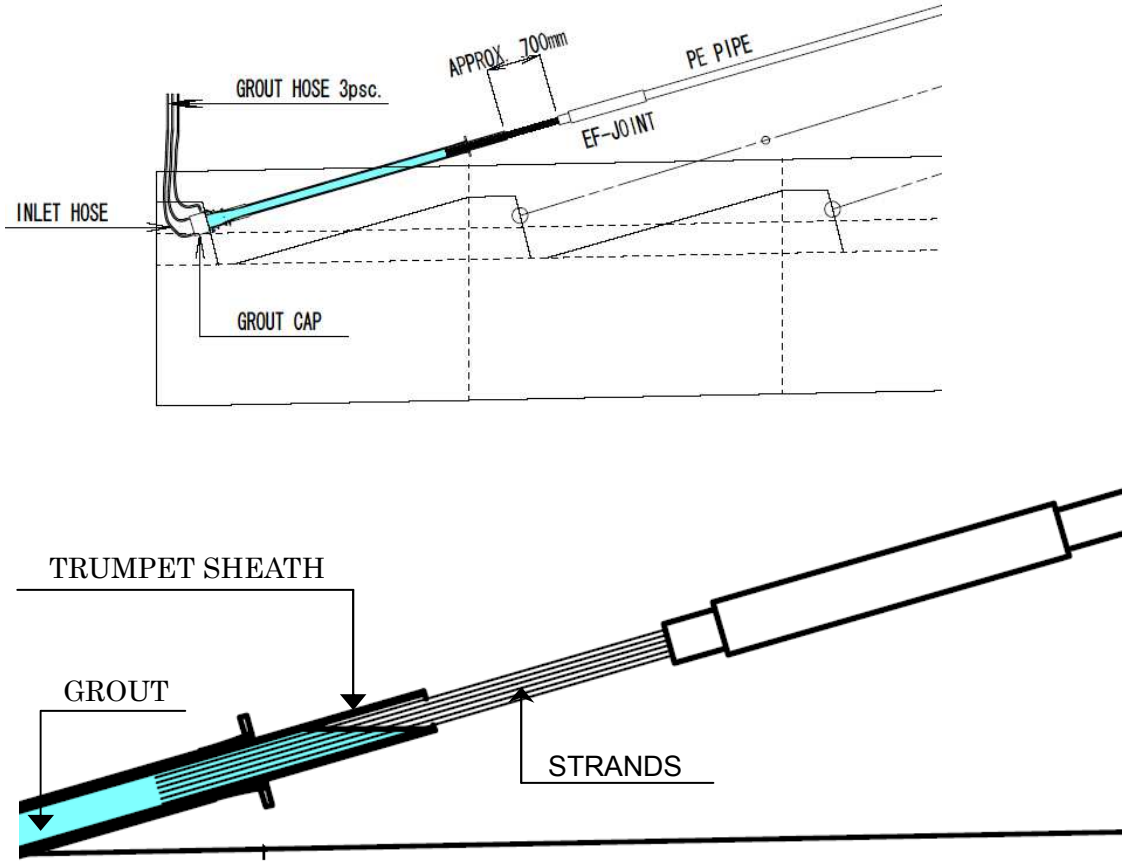
3.11　グラウト

3.11.1　注入方法

当工事では，主方向，横方向も含め全てのグラウトの混和剤に低粘性型(GF-1700 普通セメント用)を用いた．これは，主ケーブルの配置が床版部分のみでウェブへの曲げ下げ配置がされていないことから，先流れの心配を回避できたためである．

セメントはエチオピア産のもので，事前にこのセメントを日本に持ち帰り試験練りを行い，強度的に問題がないことを確認している．

移動作業車が次のセグメントに前進すると足場が無くなるため，桁側の定着体部分は移動作業車の前進前にこの部分だけグラウトを注入した．注入は，桁側の定着体のグラウトキャップから行いトランペットシースから溢れるまでとした．

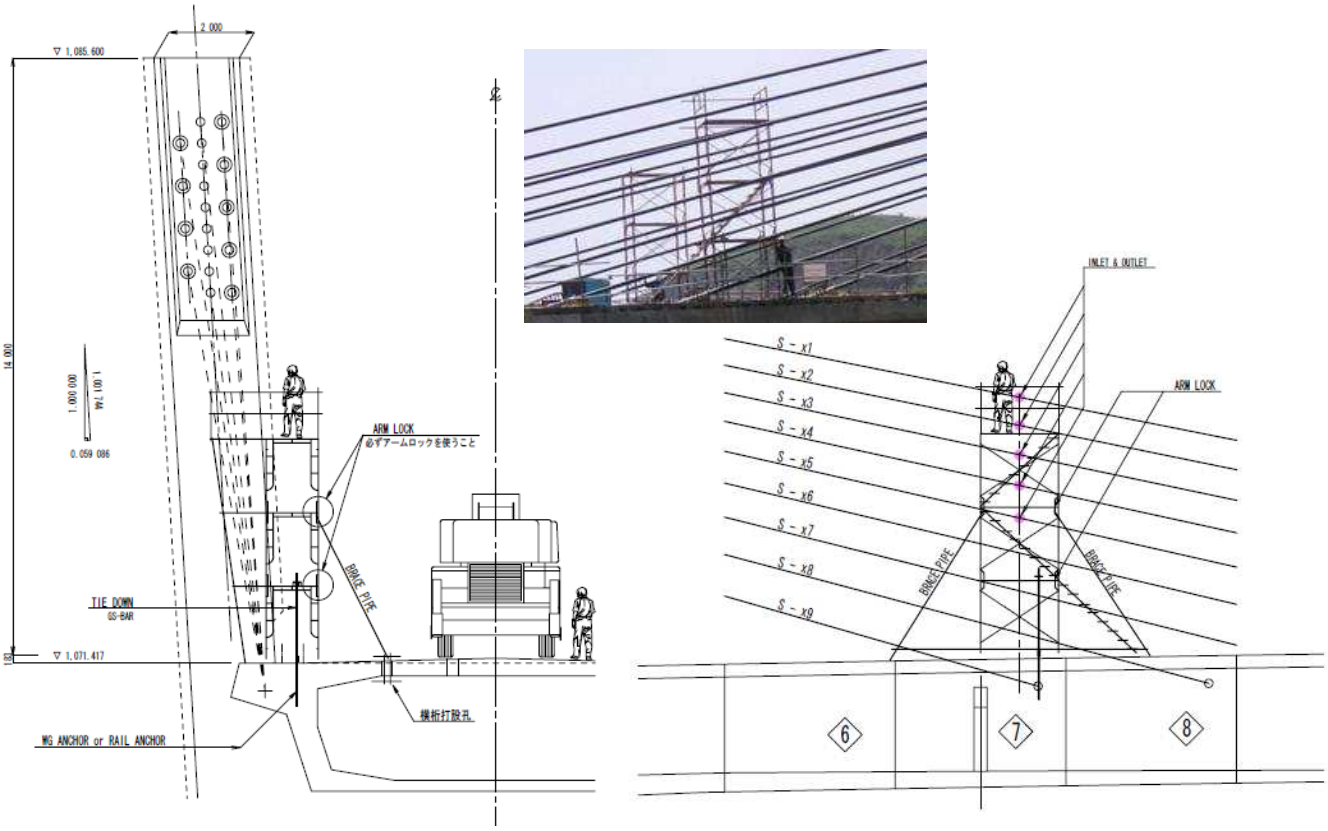


図－２４　桁側定着部分のグラウト

トランペットシース部分にはスペーサーが無いので，グラウトに先立ちトランペットシースと PC 鋼材の遊間を，キャンバーやスパイラルスペーサーの端切れなどで調整しておく必要がある．

今回は，EF-joint に不慣れであったため，EF-joint の施工を後回しにしてトランペットシースまでしか注入しなかったが，EF-joint の耐圧性能にはバラツキがあるので(信頼性に疑問がある)，EF-joint を取り付け，EF-joint の上までグラウトした方がその後の注入作業が容易になる．(実際，EF-joint の施工は極めて容易であった)

1 橋脚分の全 9 段の斜材の緊張が終了した後に斜材の（桁側定着体部分以外の）グラウトを開始した．全 9 段の斜材の内，上方の 5 段については，注入圧を下げるため 2 回に分けて注入した．このため橋面に注入足場を設けた．



図－２５　グラウトの中間排出・注入用の足場

3.11.2　注入金具

PE 管へのグラウト注入孔は，PC 鋼線を傷つけないように手動のドリルを用いて削孔した．電動ドリルの利用が効率的であるが，作業員の手先の器用さを考慮するとリスクが大きいため敢えて手動ドリルを用いた．

写真－３１　PE 管削孔用ドリル

この孔に専用のパイプ付きのアタッチメントを取り付け注入ホースを接続した．このアタッチメントには O リング状のパッキンが取り付けられていたが，削孔精度の問題でタイヤチューブから作った面積が広いパッキンに交換した．EF-joint 部分に削孔したケーブルもあったが，この場合はアタッチメントの円弧の大きさを広げ，保護管との間に隙間ができないように留意した．

止水性は極めて良好で，保護管とアタッチメントの曲率が合致していれば漏れることはなかった（事前に日本国内で耐圧試験は行われていた）．ただホースの取り付け部分は，塗装があると滑りやすいので，塗装を剥いでホースバンドで固定する必要がある．

写真－３２　注入孔の削孔

アタッチメント

取り付け状況

タイヤチューブ製のパッキン

写真－３３　グラウト注入アタッチメント

このアタッチメントは，8 個しか(注入作業終了後，もう 2 個倉庫から発見された)準備されていなく，この個数で 1 日の注入量が制限された．このためグラウト注入作業は，斜材を主とし主ケーブルを従とした．これらの組み合わせで 1 日あたりの作業量を定めた．主ケーブルと組み合わせた作業日数は，先行した P3 橋脚系（36 ケーブル）で 9 日，P2 橋脚系（36 ケーブル）で 8 日であった．

ホースバンドは，繰り返し使用するとグラウトで汚れたりネジの頭が痛んだりするので，5 回程度の転用を目処に数量を準備したほうがよい．

中間排出・注入孔は，1 孔とした．1 回目の注入作業で排出孔として使用した孔は，塞がずに開けたままにしておき，翌日に同じ孔を注入孔として使用し 2 回目のグラウトを注入した．

図－２６　中間注入／排出孔

3.11.3　EF ジョント

施工の都合上, 桁側および塔側のトランペットシースと PE 管との間には, ある程度の遊間が必要である．この遊間は，PE 管の長さの調整代としては勿論，ストランド挿入の際の「迎えワイヤー」の接続に不可欠である．

この遊間部分を接続するのが EF-joint である．これは，PE 管より一回り大きい円筒管で，両端の内側に熱線が配置されている．この熱線に通電し発熱させ PE 管と溶着させるものである．PE 管架設時には，EF-joint をテレスコピック（はめ込み）式に PE 管に被せておく．

今回は，長さ 1.0m の EF-joint を準備した．溶着長(オーバーラップ長)を片側 15cm と仮定し，桁側・塔側とも作業空間 70cm を確保すべく PE 管の製作長を決定した．実際の施工を振り返ってみると，この遊間は 60cm で十分である.「迎えワイヤー」の接続の際は, 塔側の遊間を小さくし, 桁側の遊間を大きくすれば, 接続作業に問題はない.

また，PE 管は温度変化による伸縮が大きく，桁側の遊間を EF-joint で接続した後，温度降下で塔側の溶着長が確保できないケーブルもあった．

EF-joint の接続作業は極めて容易であるので，斜材緊張後から桁側定着部分のグラウト前に桁側のみを溶着させた方がよい．ただし塔側は，雨水の浸入を防ぐために遊間を EF-joint で覆うだけに留めて溶着しない

方がよい．理由は，温度変化による PE 管の伸び縮があり，PE 管のバット溶着箇所が外れる場合もあるためである．

今回は，国内で EF-joint の耐圧性能の確認試験を行い，良好な結果を得られていたが，実施工においては，EF-joint を PE 管に組み込む際に熱線部分を損傷したり，運搬や仮置き時に PE 管や EF-joint が変形したりして完全な溶着ができない箇所があった．このリスクを回避するためにも初回の桁側定着部分のグラウトの際には，桁側の EF-joint の上まで注入することが望ましい．

完全な溶着ができない箇所においては，接続部分を粘着テープで巻き付け，水頭差が掛からないように当該部分の少し上までグラウトを注入し，翌日その部分から更に上方へとグラウトを注入した．

EF-joint 以外にも数ヶ所 PE 管からのグラウト漏れがあった．これは，ストランド挿入の際ストランドにより内面から傷つけたものと推測される．このことからもストランド挿入の際は，何らかの防護キャップを用いた方がよい．本工事では，斜材用の足場を設けなかったのでマンケージを用いて補修を行った．

写真－３４　溶着箇所の外れ

写真－３５　粘着テープによる補修

写真－３６　マンケージ

3.11.4　注入孔の補修

グラウト注入後，注入金具を外した跡は，この部分よりの水分の進入を防ぐために補修の必要がある．

当初，この補修にはチューブ状の配管用の熱収縮チューブが計画されていたが，テープ状であると誤認（後施工が可能と誤認）してしまい斜材工の施工の際に設置しなかった．

幸いにも，補修用として（後施工が可能な）テープ状のものが送られて来ていたため，これを用いて全ての注入孔の補修を行った．

注入孔跡

バーナーによる加熱

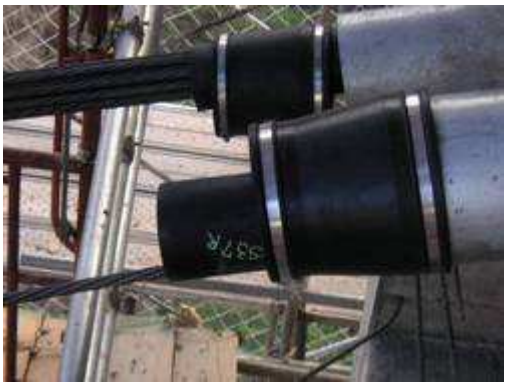
補修後

写真－３７　注入孔の補修

3.12 Rubber Boot の取り付け

塔側のケーシングパイプの出口部分には，ケーシングパイプの外径 190mm と PE 管の径(外径 114mm)の差を吸収するためにゴム製の異径ジョイントが装着される．ところが材料手配の行き違いから PE 管側に密着できない（絞り込み量が小さい）製品が納入されていた．そのため，PE 管側に短冊状のゴムシートを多数巻き付け，この段差を吸収した．

塔側のケーシングパイプは，2 分割の構成で出口側の 45cm 程度の部分がボルトで幹部と接続されている．この接続位置は定着部切り欠き部内に位置し，塔のコンクリート打設後でも切り離しが可能である．塔側ケーシングパイプの設置誤差により，PE 管がケーシングパイプの中央に位置しない斜材に関しては，この先端部分を切り離し，接続部分にワッシャーを挿入し方向の修正を P2 の塔に関してのみ行った．

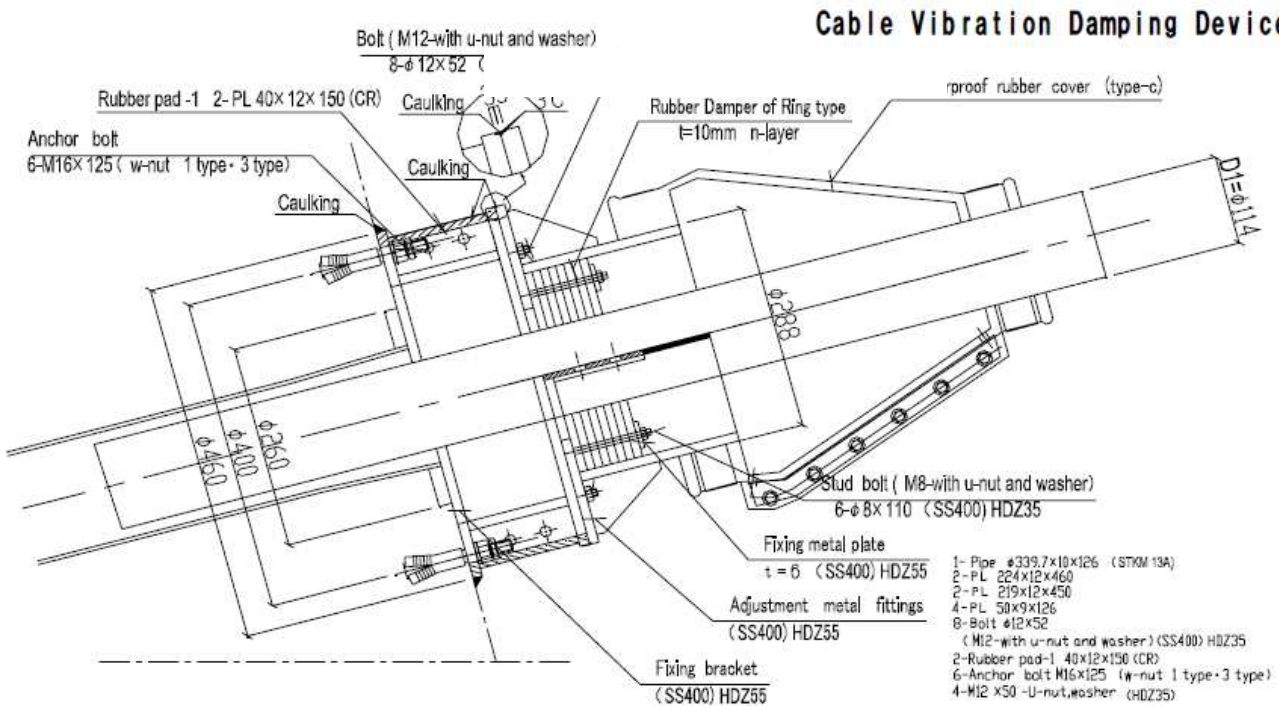


写真－３８　PE 管と Rubber Boot

写真－３９　ゴムによる間隙の埋込

写真－４０　接合位置と切り欠き部の関係
黄色いテープを巻いた所が接合部

3.13　制振装置の取り付け



図－２７　制振装置

斜材の制振装置は，主桁側にのみ取り付けられる．今回用いたものは，中井商工のもので，制振ゴムが予め取り付けられており，仮組されている装置を現場で一端切り離し，斜材を挟んで再度組み立てるだけである．

制振ゴムはケーブルの長さにより枚数が 3 種類あり，その他の形状は全く同一のため，誤設置が無いように適切に指示した．

制振装置は，橋面上に設けられた制振装置のベースコンクリートに取り付けられる．ベースコンクリートの施工には，制振装置が取り付く面を斜材の軸と直角にすることが非常に重要である．今回は数ヶ所で直角の精度が悪かったため，ワッシャーを挟んで制振装置の方向を修正した．

ベースコンクリートは上面が緩い斜面であるため，コンクリートのスランプを 8cm とし鏝で撫で上げた．

取り付けは，6 本の後打ちアンカーで取り付けるが，予めこのアンカーの位置と鉄筋が干渉しないように鉄筋を避けておいた．

制振装置の設置前には，風によりケーブルがかなり振動したが，設置後は改善された．

装置の取り付けは，振動によるナットの緩みが懸念されるためダブルナットおよび緩み留めの U ナットが用いられている．ラバーカバーには，水抜き孔が無かったため現地にて水抜き孔を開けた．

取り付け後，防水のために各接合部にコーキングを施した．

写真－４１　ベースコンクリートの打設状況

2 分割される装置

制振ゴム

アンカーの打ち込み

U ナットの締め込み

接合部のコーキング

完成

完成全景

写真－４２　制振装置の取付け状況

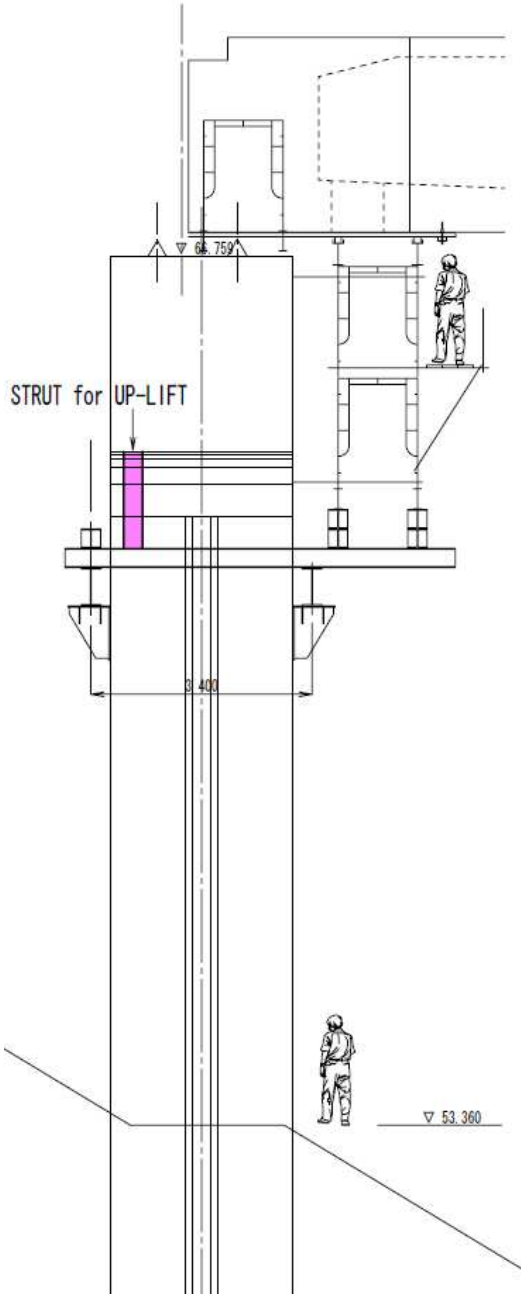
4. 閉合工

4.1 側径間

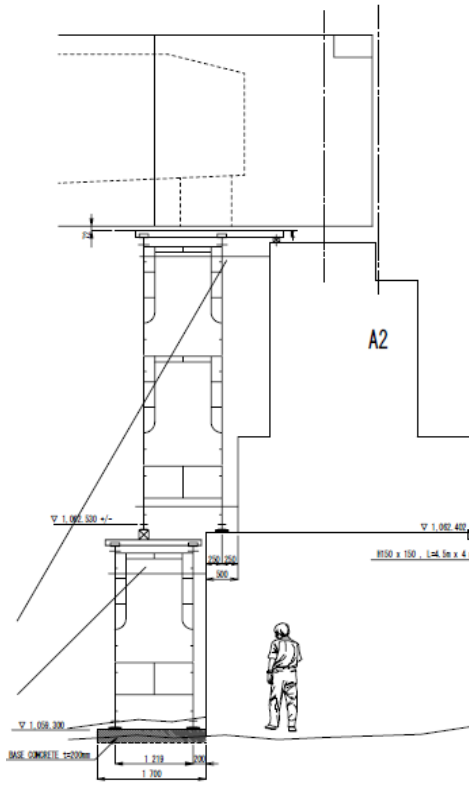
側径間の閉合部は，セグメント割の変更により最終的には 3.4m となった．これから橋座幅を考慮すると実質的に支保工で支えなければならない長さは 1.8m 程度である．

通常，この程度の施工長であれば吊り支保工が用いられるが，架設系の主桁応力度の問題，たわみ管理の問題から固定支保工で施工した．

P1 側は，橋脚高がある程度あったためブラケットを用いた固定支保工，A2 側は，地盤よりの直接接地式の固定支保工とした．



P1 側　閉合部支保工



A2 側　閉合部支保工

P1 側　ブラケットを用いた片張出し支保工

図－２８　側径間閉合部の支保工

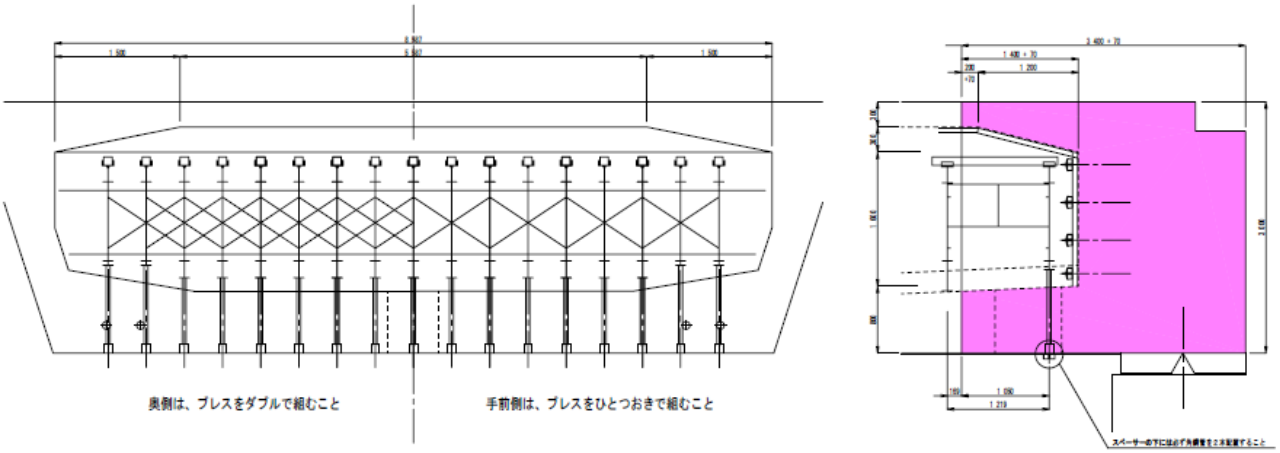
P1 側のブラケット支保工は門形橋脚の形状を利用し，片張り出し式の支保工とした．

打設荷重により片張出し部が回転するため，この回転を抑えるために門形橋脚の梁部分にストラットを配置した．

ビティは，高さが 1700mm と 914mm のものしかなかったためその組み合わせに苦慮した．またブレスは，スパン 1829mm と 914mm 対応のものしかなかったため 1829mm のブレスを用いこれをトリプルで組立てスパン 610mm とした．

コンクリートの打設は，施工長が 3.4m と短いため上床版も含めて 1 回での打設とした．このため内部支保工にモルタル製の「ウマ」を用いてビティを組み立てた．

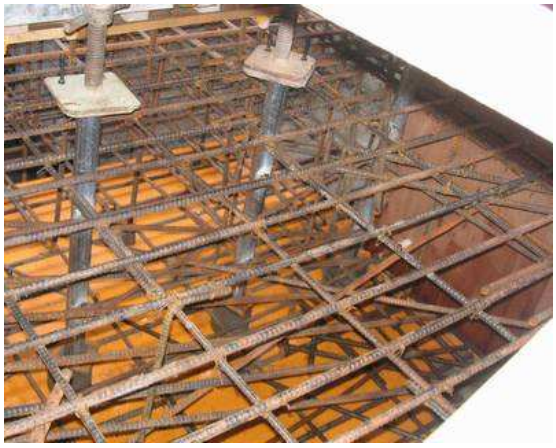
写真－４３　支保工の組立て状況



図－２９　内部支保工計画

ビティ間隔は，底版型枠（日本から持ち込んだ化粧合板）への荷重軽減の目的で 914/2=457mm 間隔で配置した．

側径間に比べ中央径間側の張り出し施工長が長い本橋の構造特性から，側径間側の移動作業車は，解体せずに閉合部の施工に干渉しない位置まで後退させた．後退に際し前方作業足場を解体したが，その解体分に見合う荷重を覆工版で橋面上に載荷した．



写真－４４　内部支保工の脚部分

写真－４５　後退した移動作業車と C/W の覆工板

吊り構造の橋梁の場合は主桁の剛性が比較的小さいため，日温度変化により張り出し先端の挙動が一般の桁橋より大きく，しばしば張出し先端の挙動を制限する措置が採られることがある（例えば，下から強力な支柱で支持し，尚かつ浮き上がらないようにカウンターウエイトを載せたり，アンカーで地盤から引き付けたりする方法）．

本橋でも事前にこの影響を算定したが，早朝に型枠を固定し日中に桁が下がり支保工にこの荷重が全て作用するものと仮定してもその量が 4.5t 程度であったため特別な措置は講じなかった．

コンクリートの打設は，日温度差による桁の変動を考慮して午後よりの打設とした．

（夜間は温度変化が少なく桁の変位も小さいためコンクリートの硬化時間をこの時間に合わせるため）

写真－４６　夜間の側径間閉合部の仕上げ

4.2　中央径間

中央閉合は，後行する P2 側の移動作業車を用いて施工した．

先行する P3 側の移動作業車を解体し，P2 側の移動作業車を所定の位置まで前進させた際の両張り出し先端の高さの差は 4mm であった．

コンクリートは，A2 橋台側よりミキサ車を入れ，ポンプ車を用いて打設した．打設終了後，両張り出し先端の高さを合わせるために 25t のラフタークレーンを橋面に載せたわみの調整を行ったが，これによる調整量は，数 mm であった．

写真－４７　中央閉合部打設状況

写真－４８　打設後の測量とクレーン車

中央閉合後，上床版に設けた施工開口部分をクレーン車，ミキサ車が通過するが，事前にこれらの作業荷重に対して開口部周辺が問題ないか検討した上で，施工用に車両を通行させた．

4.3　移動作業車の解体

斜張橋およびエクストラドーズド橋は，斜材があるため一般的には移動作業車の柱頭部までの引き戻しができない．そのため張り出し先端で解体されることが多い．

本橋の施工には，P2 橋脚よりの施工に 2 機，P3 よりの施工に 2 機，合計 4 機の移動作業車を使用した．それぞれの解体方法は以下の通り．

表－９　移動作業車の解体方法

橋脚	方向･位置	名前	解体順序	解体方法
P2	起点側(山側)	1 号機	3	下方部分;陸上からクローラークレーン 50T にて解体 上方部分;A2 より乗り入れたラフタークレーンにて解体
	終点側(川側)	2 号機	4	A2 より乗り入れたラフタークレーンにて解体
P3	起点側(川側)	3 号機	2	A2 より乗り入れたラフタークレーンにて解体
	終点側(山側)	4 号機	1	全て陸上から解体

4 号機は，A2 橋台側の地面から橋面までの高さが高くないため，下流側にラフタークレーンを設置し移動作業車を解体した．

写真－４９　4 号機と解体用クレーン

写真－５０　下方部分解体状況

本橋は，側径間に比べ中央径間側の張り出し施工長が長い構造となっている．その上，側径間側の閉合部の長さが短い．構造計算上は，移動作業車解体時における端支点の負反力は生じていないが，解体手順による荷重の変化，更に斜材の片側温度変化を考えると負反力を生じる可能性が小さくなかった．

想定した解体作業手順は次の通り．

(1) 4 号機(側径間側)の移動作業車の解体(約-70ton)

(2) 3 号機(中央径間側)の解体のためクレーンおよびトラックを中央径間側先端に配置(約-35ton)

これらにより端支点においては，105ton の反力減となる．

対処方法としてカウンターウエイトの載荷も考えたが，載荷できるスペースに限りがあるため，橋台と上部工を PC 鋼材(15.2mm-4 本)で結合する方法を採った．定着体は，予め準備していなかったため，橋台側は無収縮モルタルによる付着定着とし，上部工側は連続ケーブル(12-15.2mm)用の定着体の孔を 1 箇所だけ使用した．ジャッキは，斜材用のシングルストランドジャッキの先端金具を外して利用した．

写真－５１　負反力防止用 PC 鋼材(15.2mm-4 本)

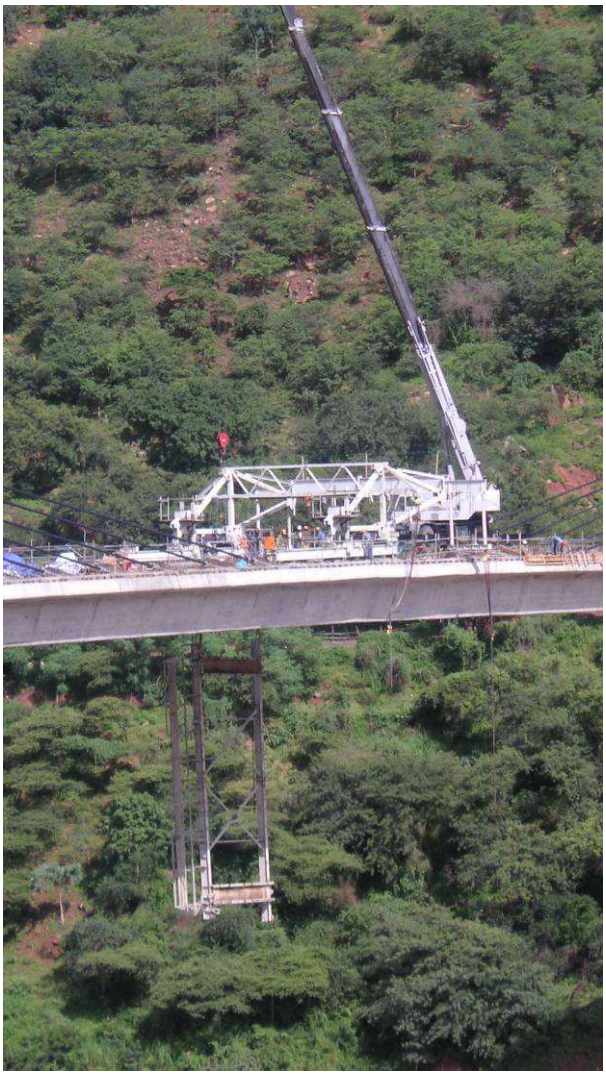
写真－５２　負反力防止用 PC 鋼材の緊張

2，3 号機は，A2 側側径間閉合部施工後，パラペット・ウイングを施工し背面埋め戻しを行った後，ここからラフタークレーンを橋面に乗り入れさせ，橋面上より解体した．

側枠，底枠（鋼製型枠および大引き）を人力で解体した後，底型枠のフレームを 2 本の横梁と数本の縦梁の状態にし，橋面上の 45T ラフタークレーンで，片側 2 台の 10T チェーンブロックを外し、下部フレームをもう一方より吊り下げた。

その後、クレーンのフックを移し替え他方から引き上げ，橋面上で更に小さく解体した．

1 号機は，地面から橋面までの高さが高かったため，先に解体した 4 号機の 10T チェーンブロックを直列に繋げ移動作業車の下方部分を大きく下げて，その部分に 50T クローラークレーンのブームを入れ込んで下方部分を解体した．上部分は中央閉合後 A2 より乗り入れたラフタークレーンで解体した．



写真－５３　径間中央での作業車の解体

5. まとめ

5.1 合体分離型の移動作業車

エクストラドーズド橋は，斜材をウェブ近傍に定着させるため一般的に張り出し床版が小さい．また塔を有しておりラーメン構造が多いため，橋脚幅と橋体幅がと等しいか橋体より大きい場合が多い．このプロポーションを利用し，橋脚の施工の延長上で柱頭部を施工するという基本コンセプトの下で，今回の合体分離型の移動作業車を提案した．

実際の施工においては，日本国内における柱頭部の施工法に近い，小型のブラケットを用いた施工方法を採用した．一方，移動作業車の分離作業に意外と手間取り，本来のこの手法の利点が発揮できなかったのではないかと思われる．

日本国内ではこのような手法は，筆者が知る範囲ではないが，海外ではしばしば用いられている．

今後，簡易な分離方法と作業が習熟されれば，有効な施工法になると考える．

5.2 SSI による斜材の施工

SSI 方式は，小型の施工機械で斜材の施工が可能なため，長い斜材を必要とする橋梁には非常に有利である．また，非グラウトタイプの鋼材を用いれば，斜材工に関する足場をほとんど省略できる．本施工は，エチオピアという架設位置もあって多く作業を人力に頼ったが，日本国内においても施工機械を工夫すれば少人数での施工が可能である．

今回使用した定着体は，一般外ケーブル用のものであり SSI を想定していないため，アンカーディスクの孔径とストランドとの間隙が僅かしかなく特殊な部品を必要としたが，事前に確実に準備すれば問題はない。.本橋の斜材は比較的小容量のものであったが，大容量の斜材においても実績も多く今後の斜材施工の主流になると思われる．

5.3 まとめ

本橋は，施工中は青ナイル川の現地での呼び名である「Abay」(アバイ)を採り，「アバイ橋」と呼ばれていたが，完成に際し”Renaissance” (ルネッサンス=再生)にあたる現地語の「ハダセ」という名前が付けられた．

遠隔地で資機材も乏しいアフリカのエチオピアという国でこのような規模・構造の施工には苦労したが，本工事に際しては多方面の方々の協力を頂き，無事に完了することができ，ここに深く感謝する次第である．

写真－５４　完成間近の Hedase bridge

参考文献

本報告の作成において特に引用した文献はないが，地図は internet より引用させて頂いた．

本橋の施工報告は以下の文献にも掲載されているので興味がある方は参考にされたし．

1）森本修平・山内丈樹：エチオピア　ハダセ橋の施工：プレストレストコンクリート, Vol.50, No6, pp.56-63, 2008.11

2）森本修平・小林宏昭・山内丈樹・畠山力也：エチオピア ハダセ橋の施工, 橋梁と基礎 Vol.43, No4, pp27-33, 2009.4