

令和5年度 橋梁技術発表会

バングラデシュ モドウモティ橋(夢の架け橋)工事報告 ～バングラデシュ初となる、橋梁用高降伏点鋼材 (SBHS材)のニールセンローゼ橋の建設～

海外事業委員会
【皆川正夫，笹嶋純司】



一般
社団法人

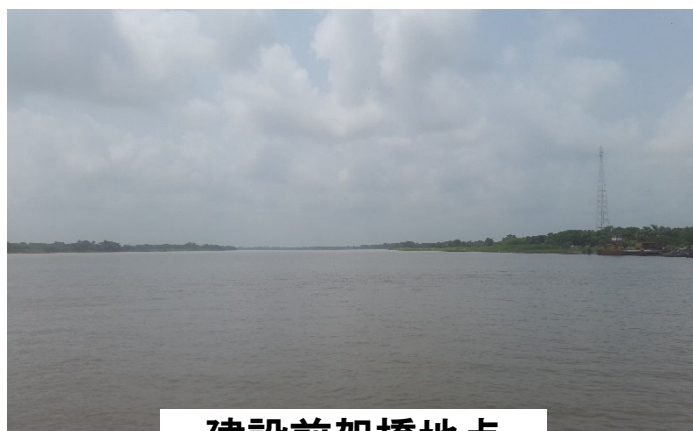
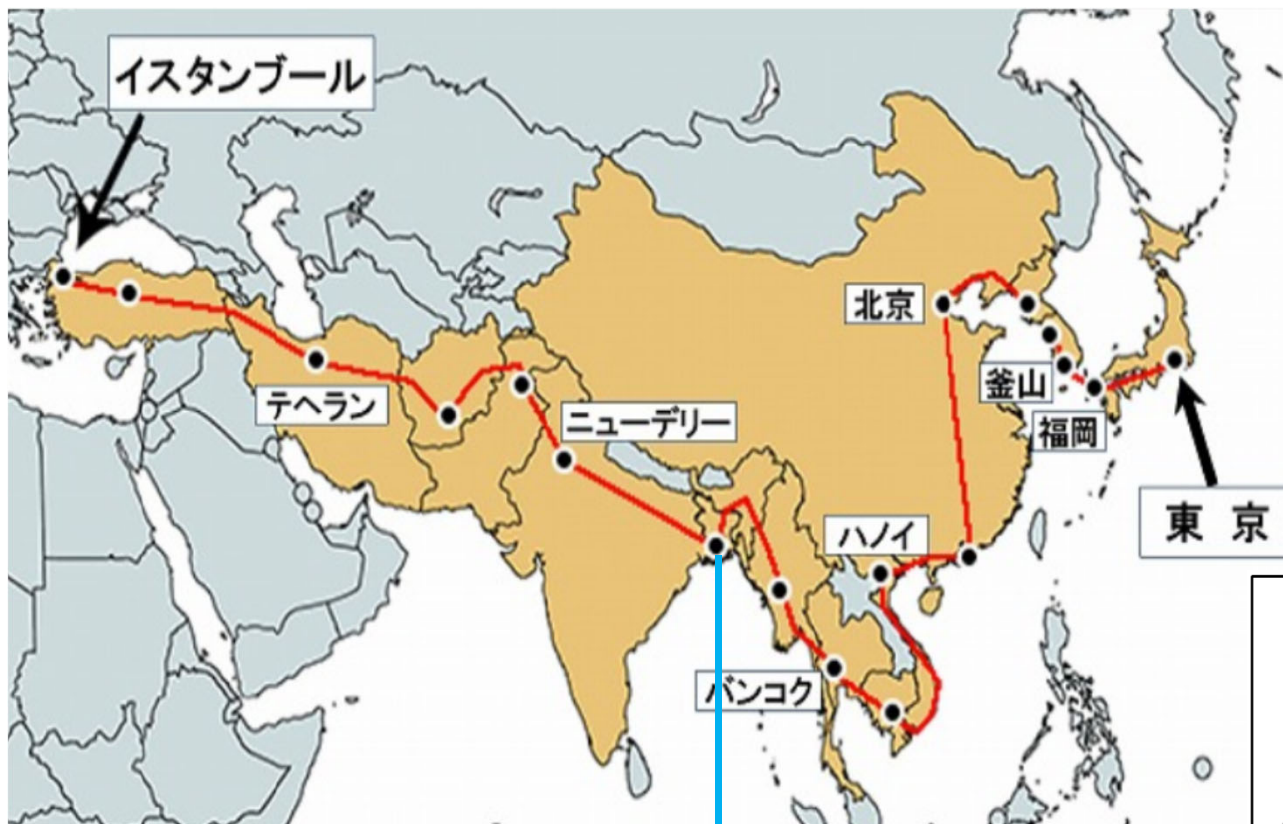
日本橋梁建設協会
Japan Bridge Association

- 
- 
1. はじめに
 2. 工事概要
 3. 製作
 4. 現場架設
 5. 現場溶接
 6. ハンガーケーブルの架設・調整
 7. 床版コンクリート
 8. 伸縮装置

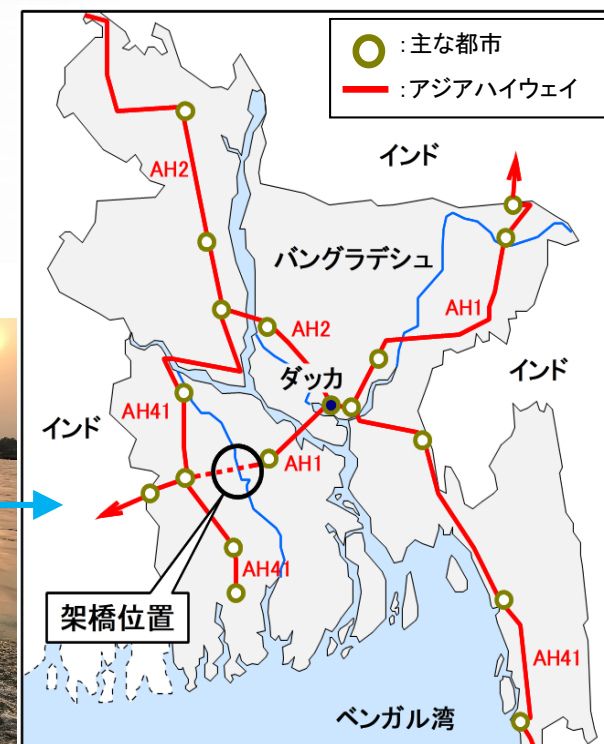
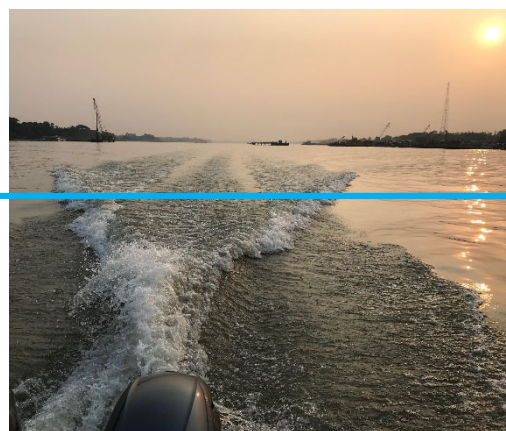
1. はじめに

国 名	バングラデシュ人民共和国 People's Republic of Bangladesh
面 積	14万7千km ² (日本の約4割)
人 口	1億6千4百万人(世界第8位)
首 都	ダッカ
民 族	ベンガル人
言 語	ベンガル語
宗 教	イスラム教90%、ヒンズー教10%
主な産業	衣料品・縫製品産業、農業

施工位置図



建設前架橋地点





JV事務所（事務所～架橋現場へは船で移動）



近くの空港



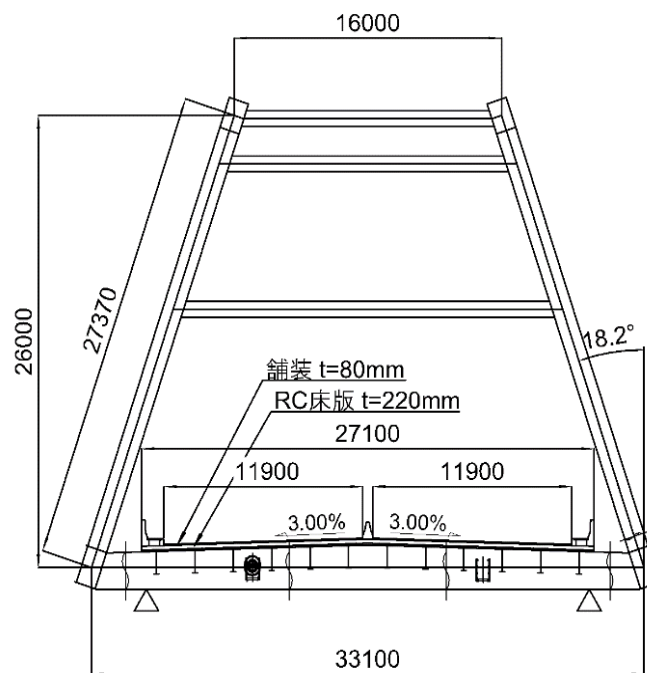
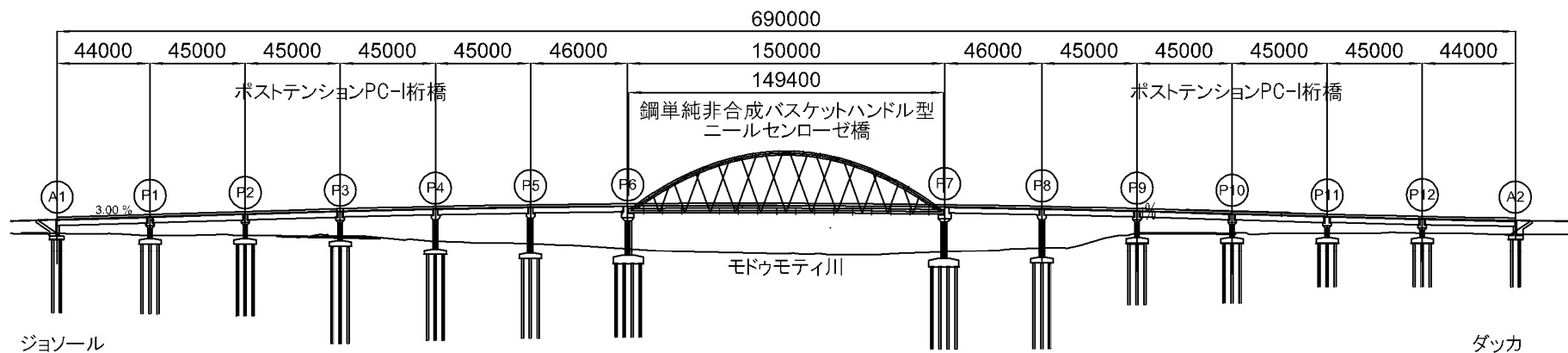
架設現場脇のバスターミナル

2. 工事概要

橋梁名	モドゥモティ橋
工事名	バングラデシュ国クロスボーダー道路網整備事業
路線名	アジアハイウェイ1号線
工事箇所	バングラデシュ、クルナ管区バディアパラ、モドゥモティ川
事業主	バングラデシュ道路交通橋梁省道路・国道部
エンジニア	オリエンタルコンサルタンツグローバル・ オリエンタルコンサルタンツ・PADECO共同企業体
援助機構	国際協力機構(JICA)
施 工	鉄建建設・アブドゥルモネム・横河ブリッジ共同企業体
現地協力会社	PRECISION社
実施工期	2018年8月2日～2022年8月28日(1,484日間)
開通時期	2022年10月

鋼構造形式	鋼単純非合成バスケットハンドル型ニールセンローゼ橋
荷重	AASHTO HL-93 Load
適用示方書	道路橋示方書・同解説(2004)
橋 長 (支間長)	150m (147m)
有効幅員	24.4m
鋼重量	2,799t
使用鋼材	SM400, SM490Y, SM520, SBHS500
ハンガーケーブル	44本(New-PWS)
支 承	4基(水平力分散ゴム支承)
伸縮装置	ビームタイプx2基
床版タイプ	RC床版(4,049m ²)
現場継手	トルシア型高力ボルト(TCB)、現場溶接
塗装仕様	C5塗装系(日本道路協会)

全体一般図



3. 製作

3.1 製作工場

バスケットハンドル型ニールセンローゼ形式のアーチ橋の製作の難易度を考慮して、今までにそれと同等のODA工事実績があるベトナムの工場を使用

ODAの実績

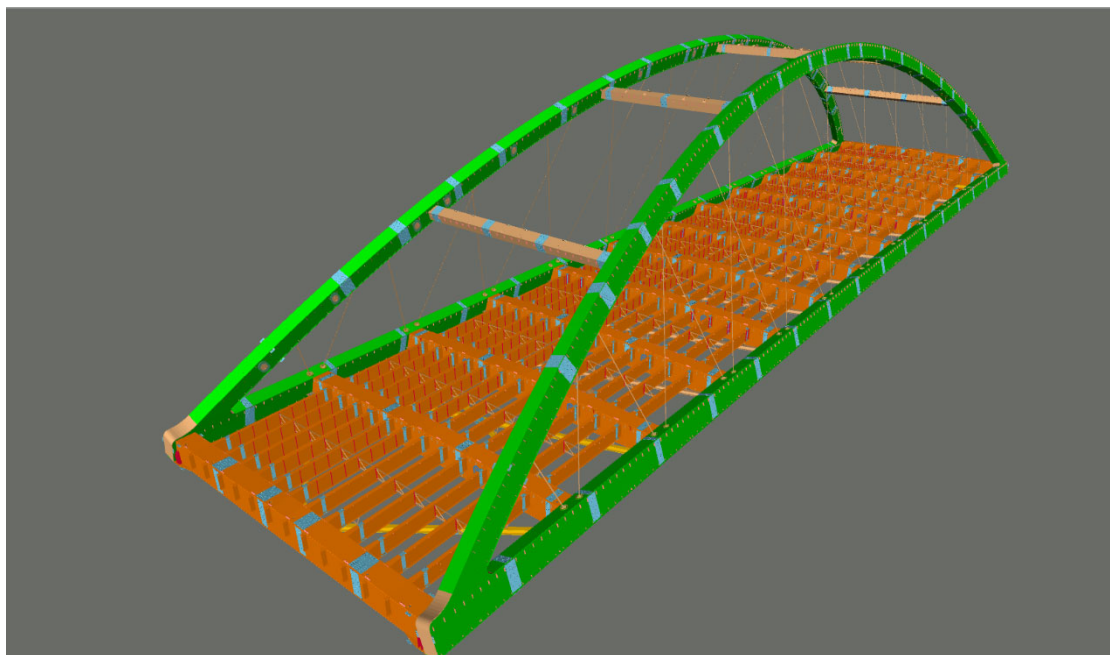
- 1) 南スーダン ナイル架橋（下路ランガー橋2014年製作）
- 2) パキスタン N70号線改修工事（曲線箱桁2017年製作）



ベトナム工場全景

3.2 原寸

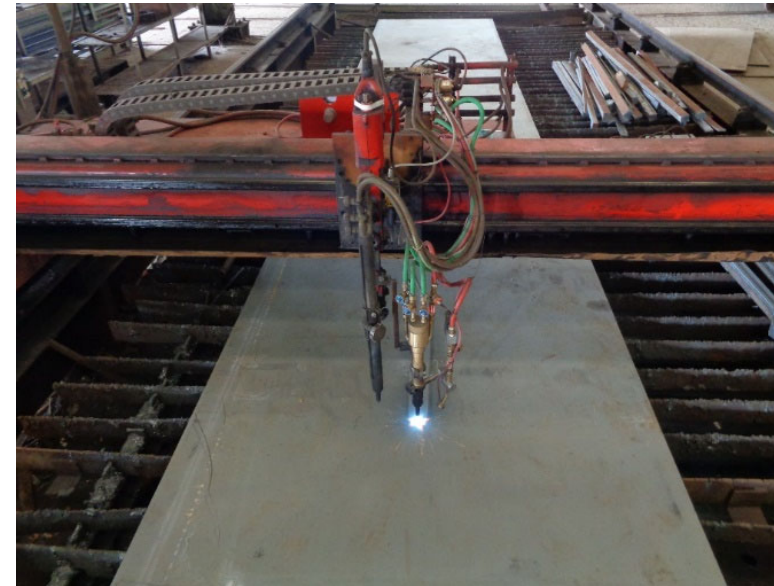
アーチリブの曲線、補剛桁の横断勾配、キャンバー等を
含んだ形状のため、国内より原寸データを支給



原寸3Dモデル

3.3 前加工（野書き・切断・孔明け）

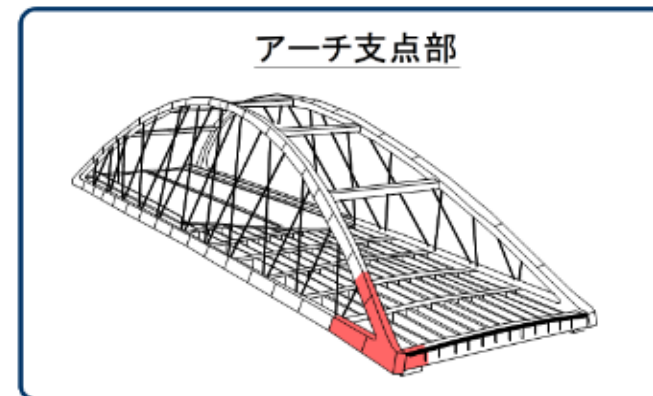
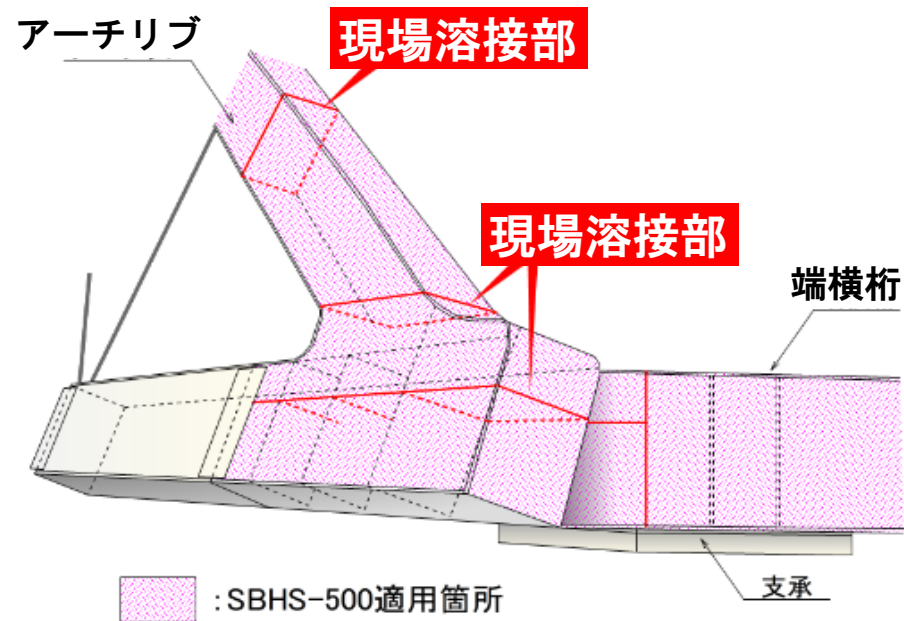
野書き：大型部材 NC野書き機
 小型部材 手野書き



切断：異型部材 NCガス切断機
 プラズマ切断機
 長尺部材 フレームプレー
 ナー切断機

孔明け：フィルム型による携帯式磁気孔明け機

3.4 後加工（組立・溶接）



端補剛桁に現場溶接箇所

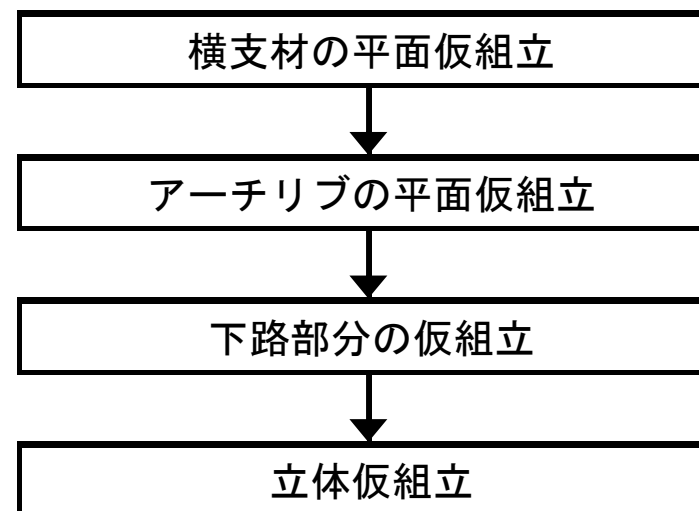
現場溶接箇所のウェブプレートの仮一体化



溶接・組立て
⇒ 現場溶接箇所の再分割

3.5 仮組立

仮組立のフローチャート



横支材の平面仮組立



アーチリブの平面仮組立

- ・ 立体仮組立時の孔さらい等の危険な高所作業を減らす



下路部分の仮組立



アーチリブ・横支材の立体仮組立

3. 6 塗装

一般外面塗装：C5



一般内面塗装：D5



スプライスの接触面：J



3.7 海上輸送

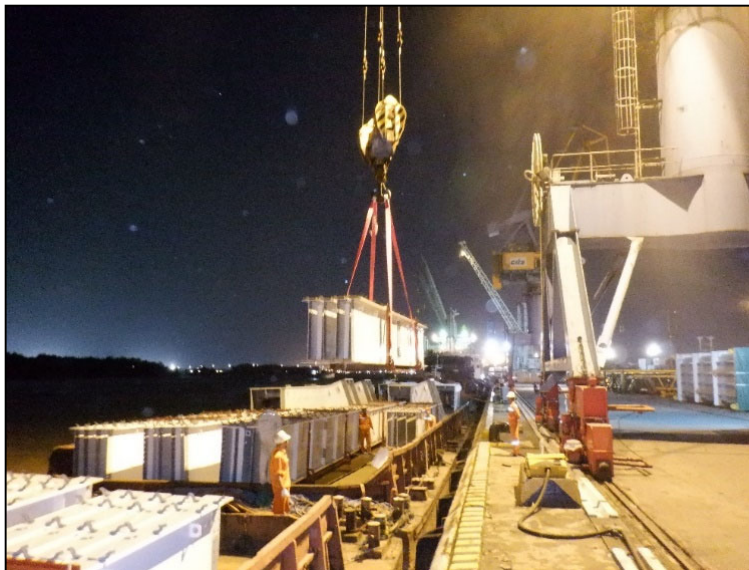
海上輸送経路：ベトナムのハイフォン港から
バングラデシュのモングラ港
約2週間



工場の棧橋でバージに積み込み



バージから本船への積み込み



ラッシング状況

4. 現場架設

架設工法：クローラクレーン台船によるベント工法

使用重機：1,000tデッキバージ

200t吊りクローラクレーン(常時2組)



4.1 支承の据付け

水平力分散ゴム支承(20ton/基)



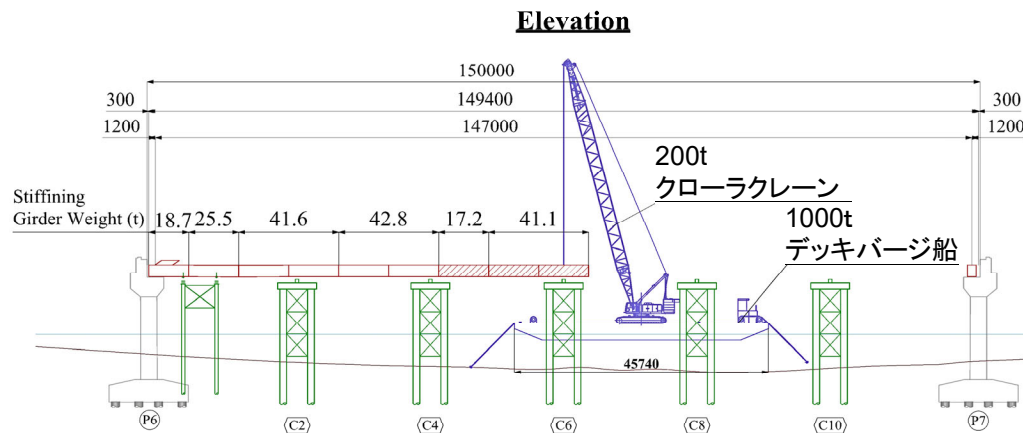
支承の吊り上げ



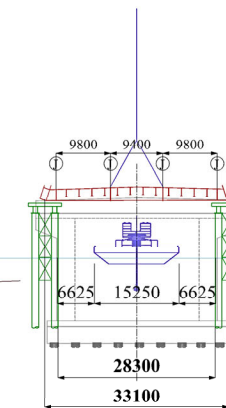
支承の仮据付け

4.2 下路部分の架設 補剛桁，横桁，縦桁，下横構

Erection of Stiffening Girder and Cross Beam



Cross Section

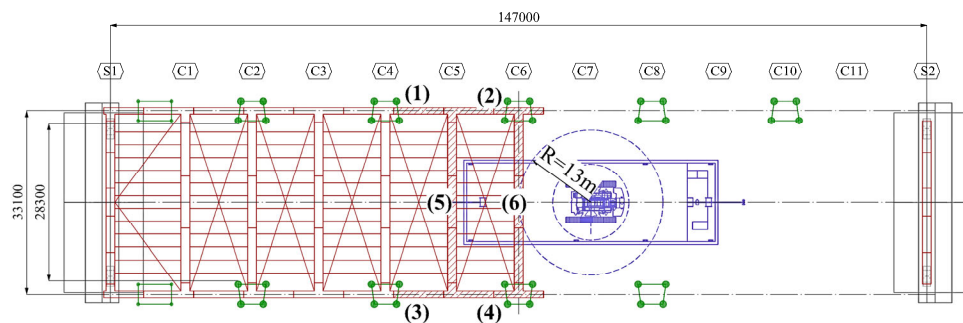


LIFTING CAPACITY OF 200T C.C.
(SCX2000-2) (t)

WORKING RADIUS (m)	BOOM LENGTH (m)	
	45.7	57.9
10.0	87.5	—
12.0	85.3	62.5
14.0	71.3	61.9
16.0	59.1	58.3
17.0	54.7	53.9
18.0	50.2	49.5
20.0	43.4	42.7
22.0	38.1	37.3
24.0	33.9	33.0
25.0	32.1	31.3
26.0	30.3	29.5
28.0	27.4	26.5
30.0	24.9	24.0
32.0	22.8	21.8
34.0	20.9	19.9

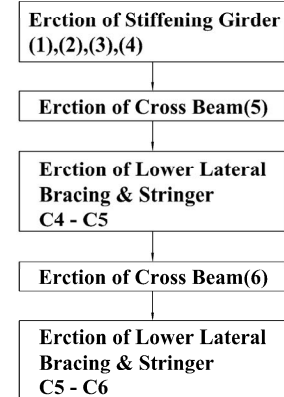
80t HOOK(1.4t)

Plan



Boom : L=45.7m
Working Radius : 13m
Rated Load : 62.6ton(78.3x0.8)
Max Seg. Weight : 57.0ton (Cross Beam)
(Seg.55.0+ ETC2.0)

Flow Chart





補剛桁(20t)の架設



横桁(60t)の架設



下横構の架設

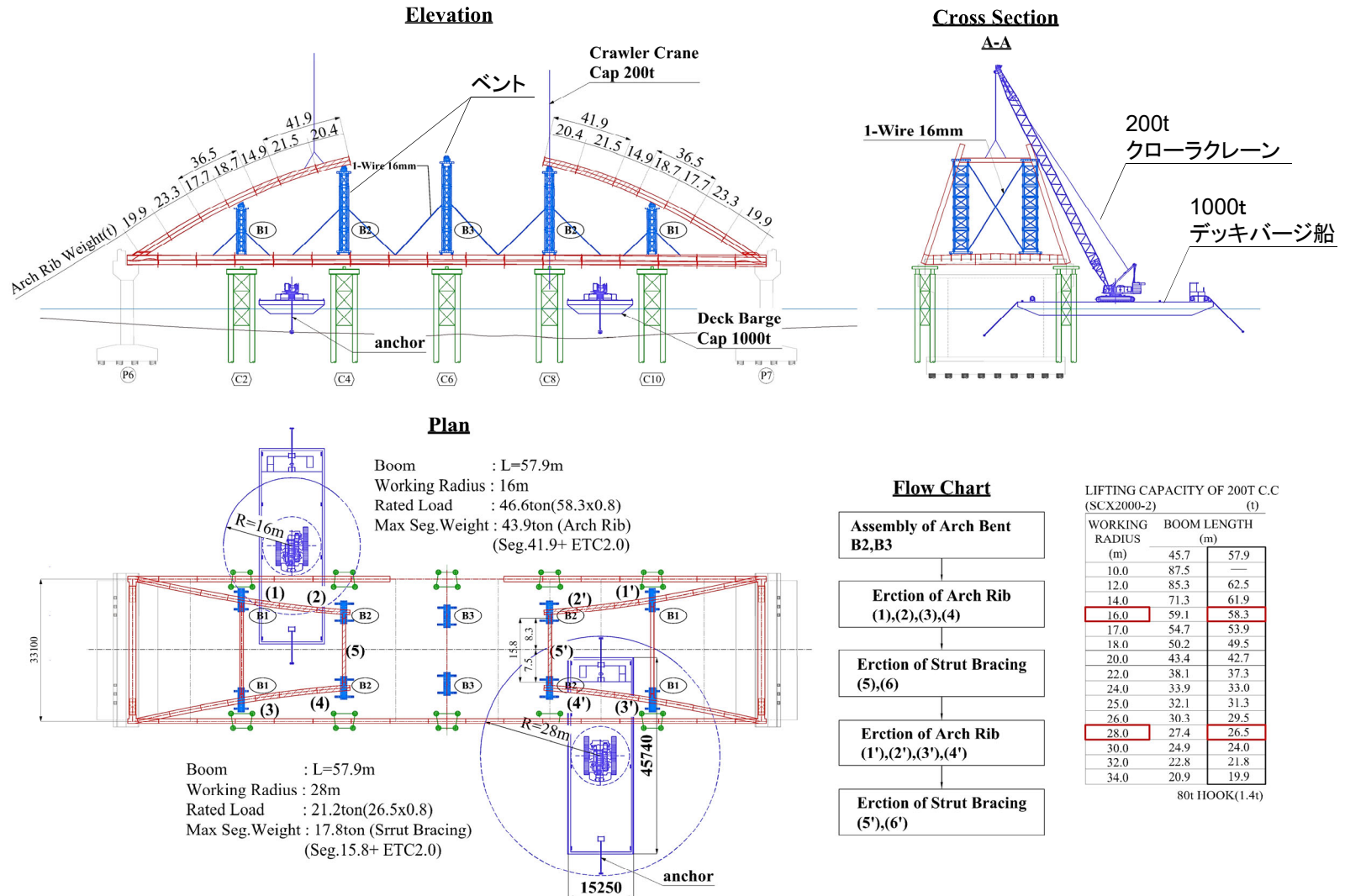


下路部分の架設状況

4.3 アーチリブの架設

アーチリブ, 横支材

Erection of Arch Rib and Strut Bracing





アーチリブの架設(1 段目ベント)



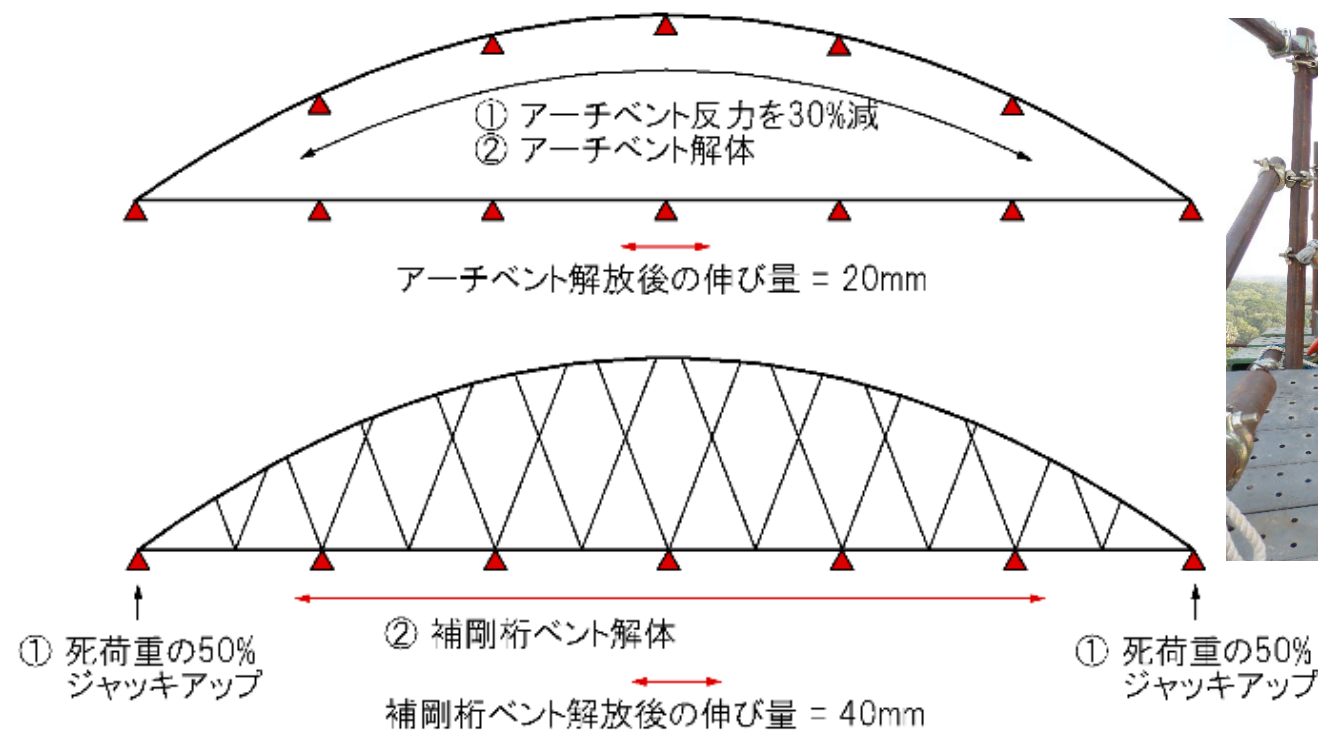
アーチリブの架設(2 段目ベント)



アーチリブの架設(3 段目ベント)



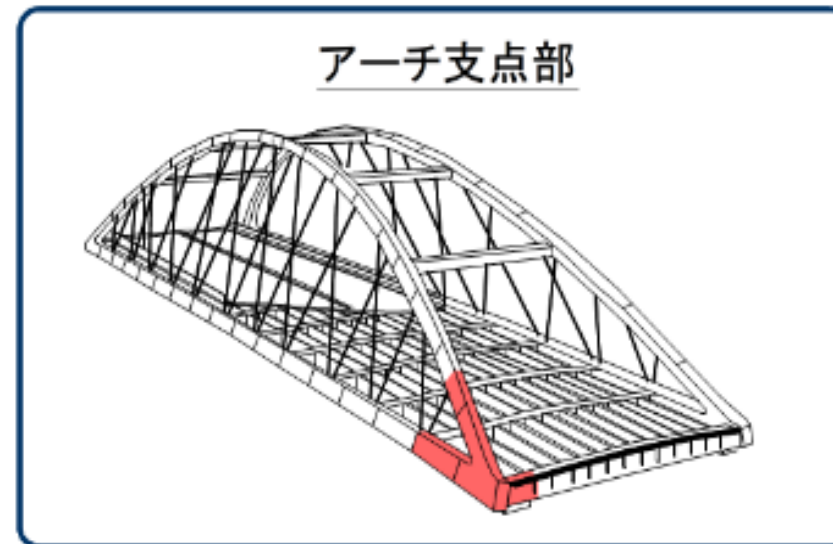
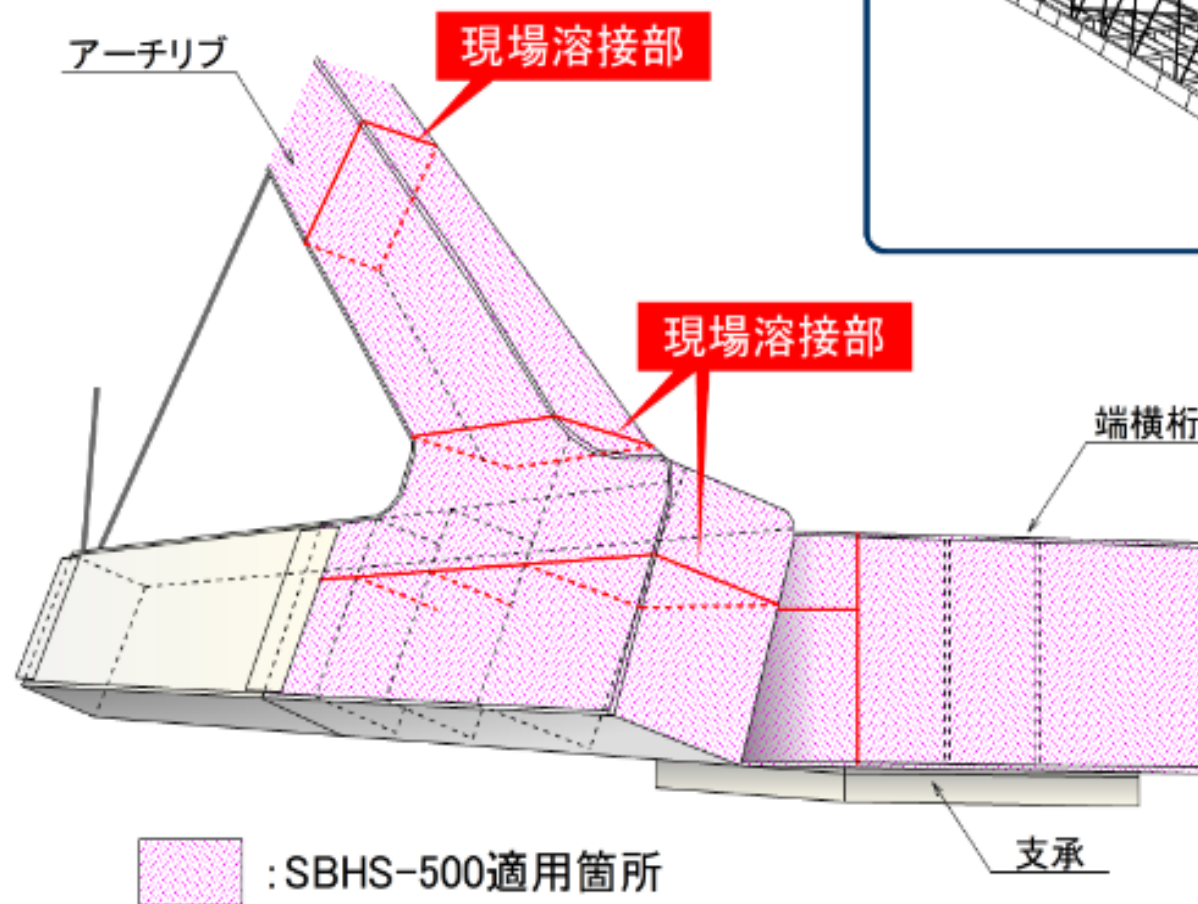
アーチリブの閉合



アーチベント
の受け点

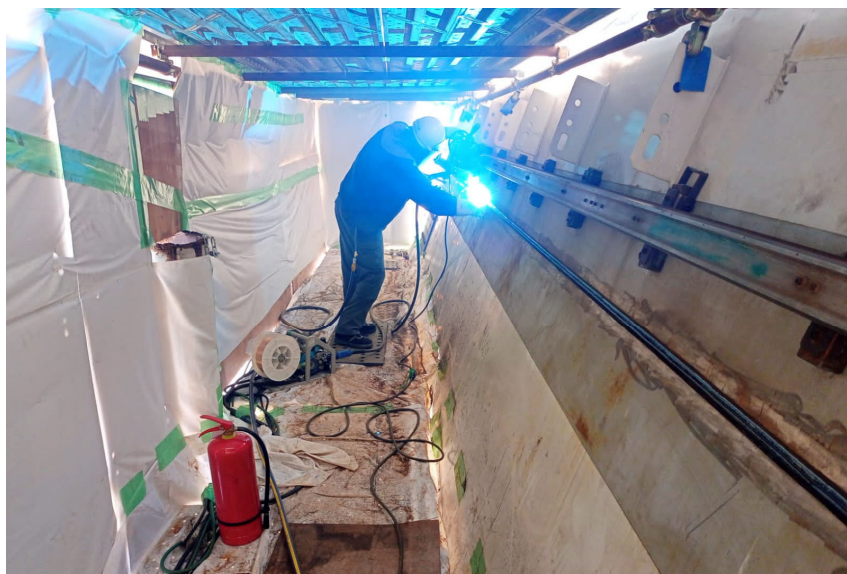
局部的なベントへの載荷荷重を避けるため、
徐々にベント反力を解放した。

5. 現場溶接



SBHS材の現場溶接の実績が少ないことから下記を日本より手配

- ・ 溶接工
- ・ UT検査員
- ・ 溶接機材(CO₂は除く)



補剛桁 2 分割部のジョイント 3:34 Project



補剛桁とアーチリブのジョイント



補剛桁とアーチリブのジョイント



超音波探傷試験

ERECTION OF STEEL GIRDER BRIDGE KALNA BRIDGE(現:MADHUMATI)



PRECISION社(現地架設協力会社)が作成したプロモーションビデオより(3min)

PRECISION ENGINEERS LTD. <https://precision-bd.com/>

6. ハンガーケーブルの 架設・調整

6.1 ケーブル概要

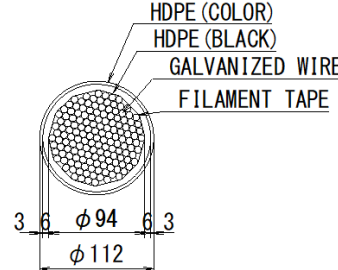
○ケーブル諸元

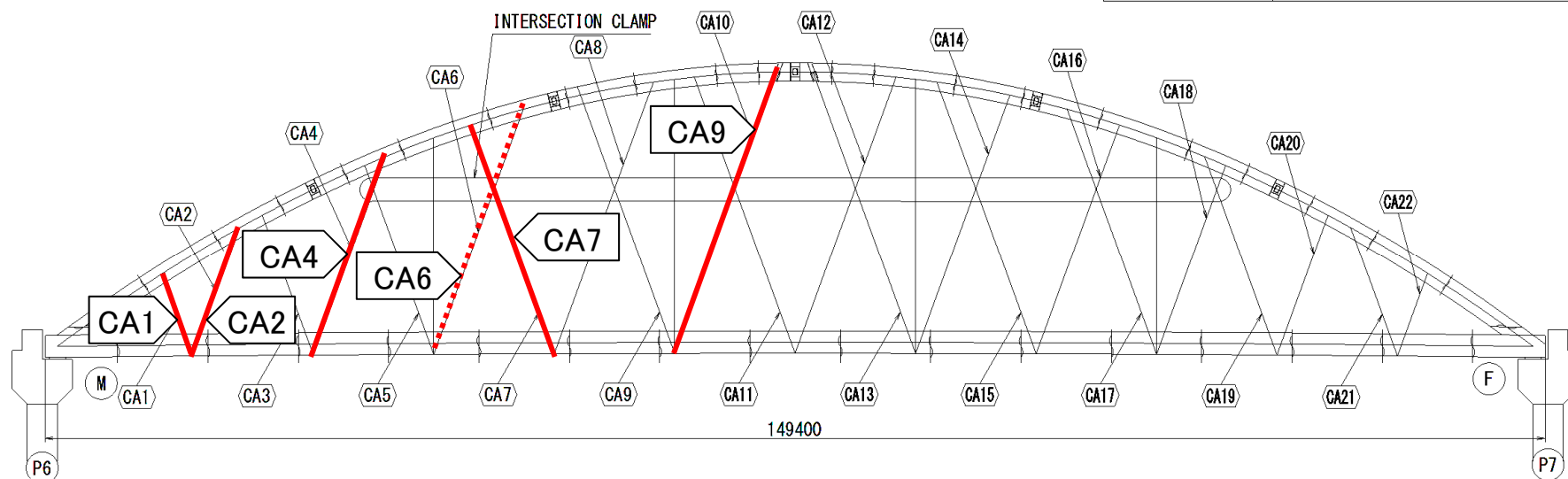
ケーブル : 44本 (ケーブル長 8m~29m)
 種別 : NEW-PWS $\phi 7 \times 151$ (外径112mm)
 定着方式 : 両端ナット式 (1回転8mm)

ケーブル配置

赤線はキャリブレーション対象(G1側のみ)

ケーブル諸元

TYPE	NEW-PWS
CONSTRUCTION	$\phi 7 \times 151$
CABLE SECTION	
SECTIONAL AREA	5,811 mm ²
UNIT WEIGHT	49.2 kg/m
TENSILE STRENGTH	9,120 kN
MODULUS OF ELASTICITY	195 kN/mm ²

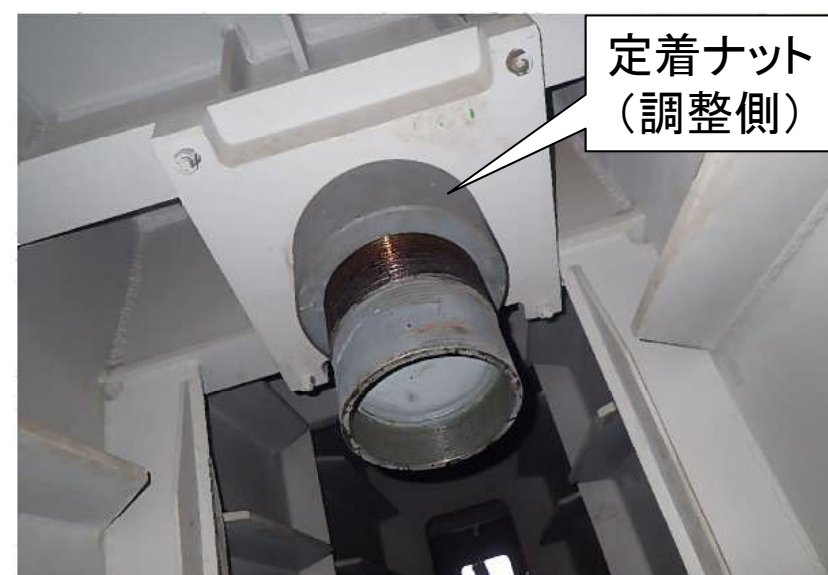
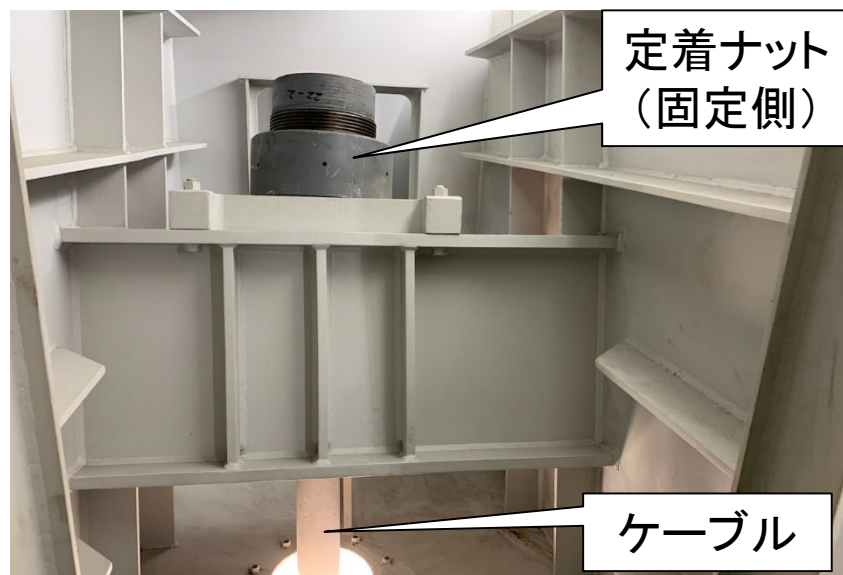


※キャリブレーション予定だったCA6の張力がジャッキ設備の容量を超過していたため、長さが同程度のCA7で代用した。

6.1 ケーブル概要



ハンガーケーブルの架設



上側定着部（アーチ内）

下側定着部（補剛桁内）

6.2 計測概要

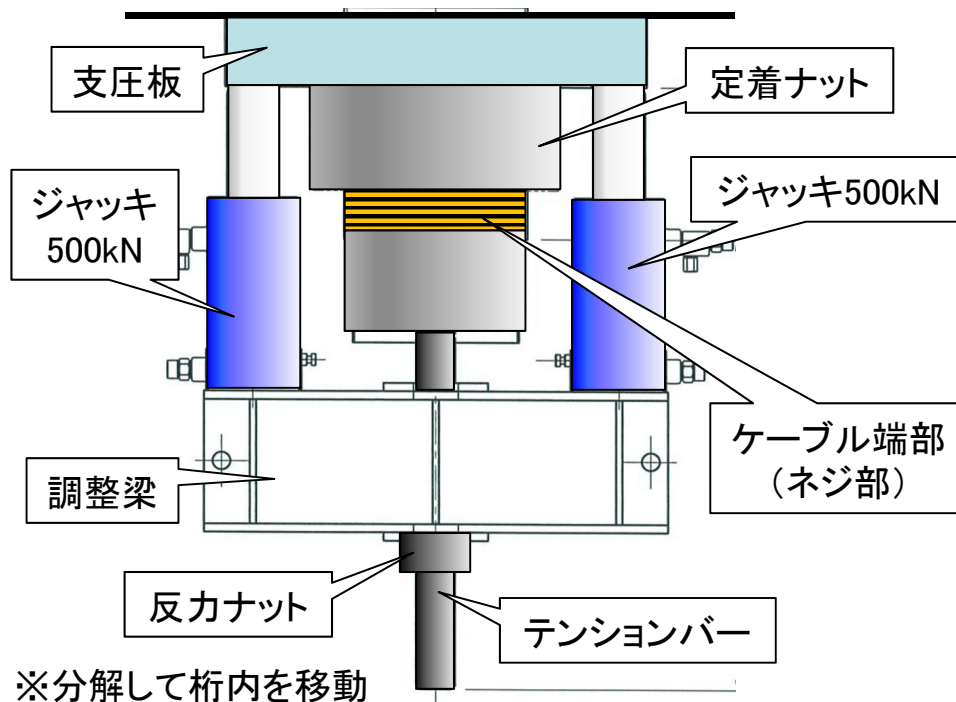
○ケーブル張力の推定方法

直接法: ジャッキ反力からケーブル張力を推定

※加圧中のジャッキ反力とケーブル伸びの関係から推定する。

メリット : 正確に張力を計測できる

デメリット : 計測毎にジャッキ設備が必要(狭隘部・重量物)



定着部にセットされた調整用ジャッキ設備

6.2 計測概要

○ケーブル張力の推定方法

振動法: ケーブルの固有振動数から弦理論に基づきケーブル張力を推定

$$[\text{張力}] \propto [\text{振動数}]^2$$

※張力推定にはケーブルの曲げ剛性を考慮した「実用算定式」¹⁾を使用

メリット : 振動センサとFFTアナライザで計測可能

デメリット : 振動を阻害する部材があると計測不可



振動法による張力測定

【課題】

実用算定式でも十分な精度が
確保できない



橋梁ごとにキャリブレーションが必要

[参考文献]

1)新家ら: 振動法によるケーブル張力の実用算定式について, 土木学会
論文集, 第294号, pp.25-32 (1980.2)

6.2 計測概要

○ケーブル張力の調整手順

①キャリブレーション:

直接法でケーブル張力を、FFTアナライザで
ケーブルの固有振動数を計測
両者の相関関係を把握 ⇒ 換算式の作成

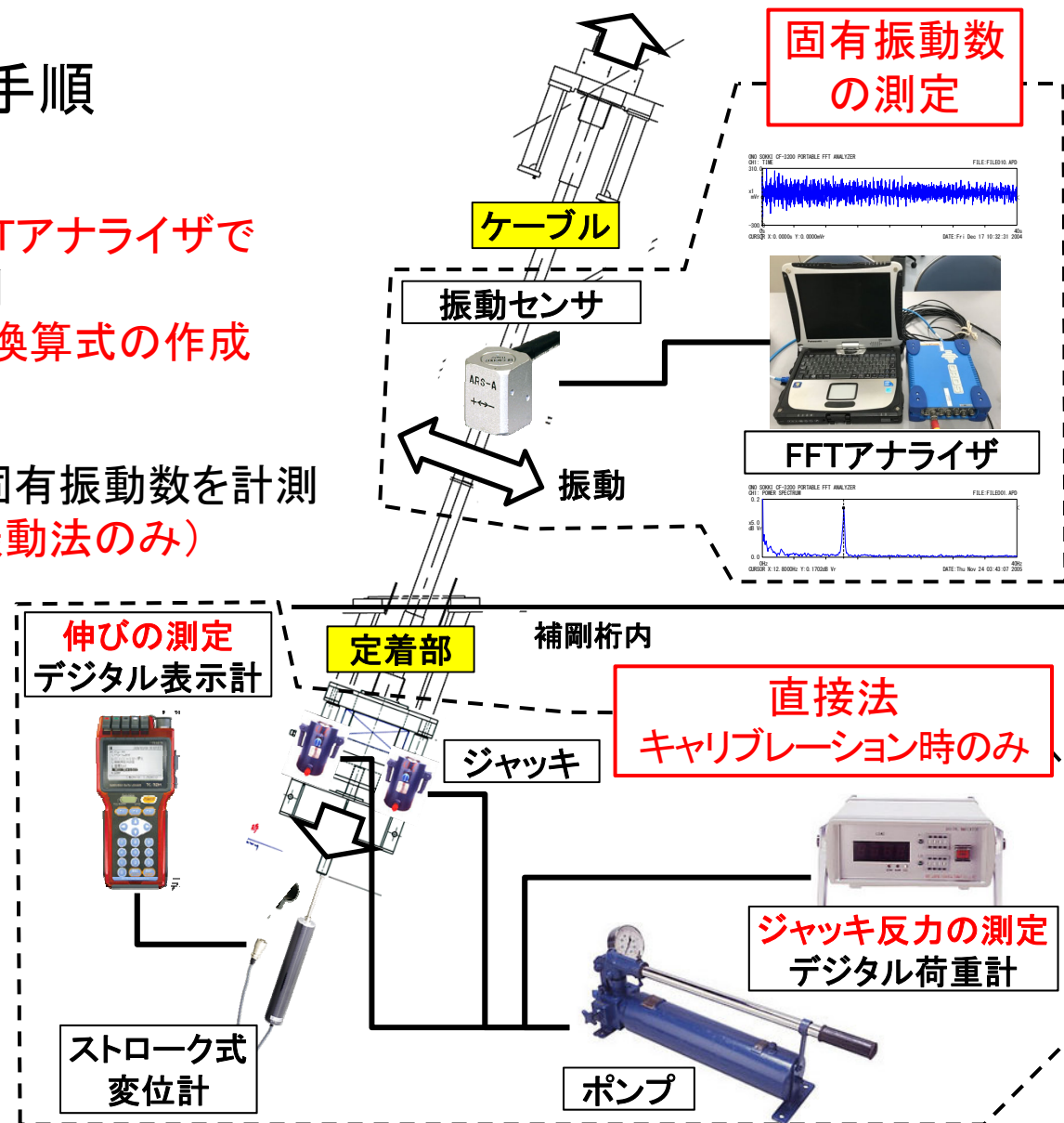
②張力計測:

FFTアナライザでケーブルの固有振動数を計測
⇒ 換算式より張力を算出(振動法のみ)
※人力による強制加振
※日照のない夜間実施

③張力調整:

定着ナットを緩め、所定の張
力となるようにナット位置を調
整(固定間距離を調整)
※隣接ケーブルへの影響を考慮
※昼間作業

②→③を繰り返す



ケーブル張力の計測システム

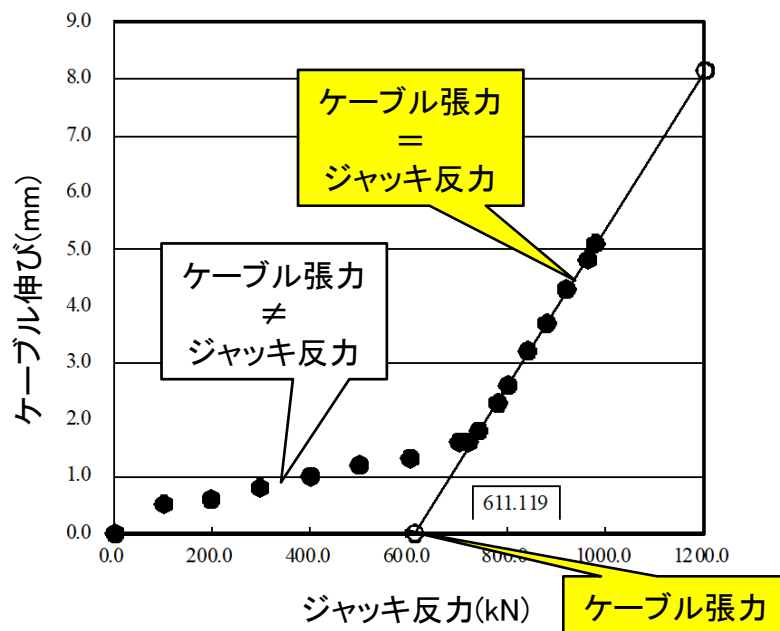
6.3 計測準備

○キャリブレーション結果

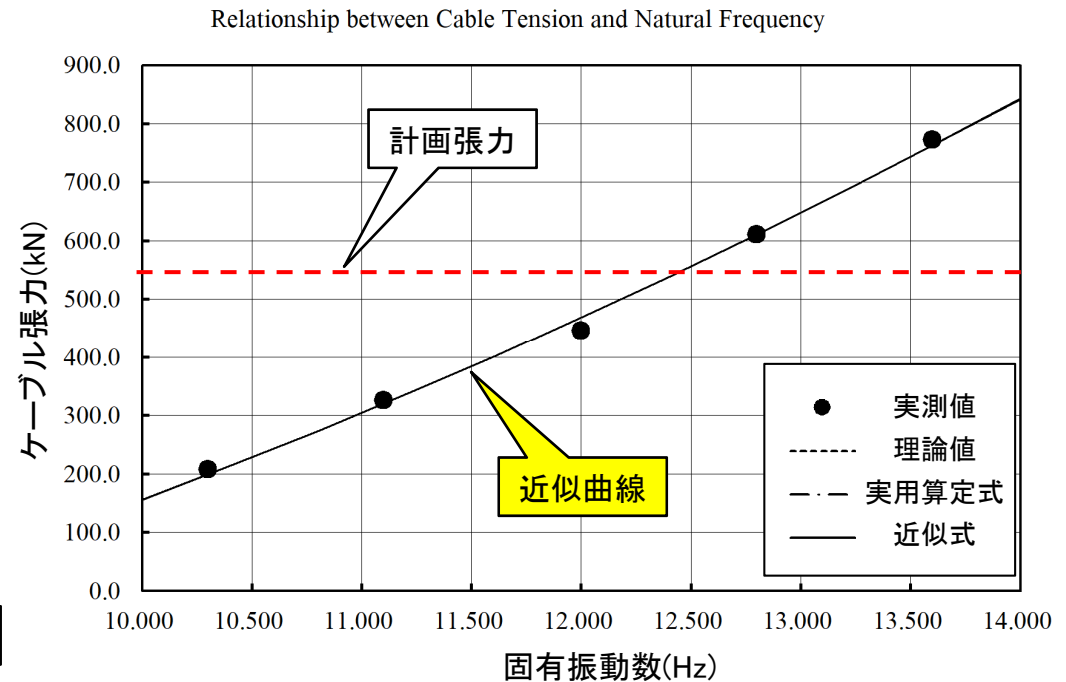
ケーブル: CA1 (最短 8.756m)

計画張力 545kN (鋼重+足場)

キャリブレーション範囲 257~832kN



ジャッキ反力とケーブル伸びの関係
(直接法)

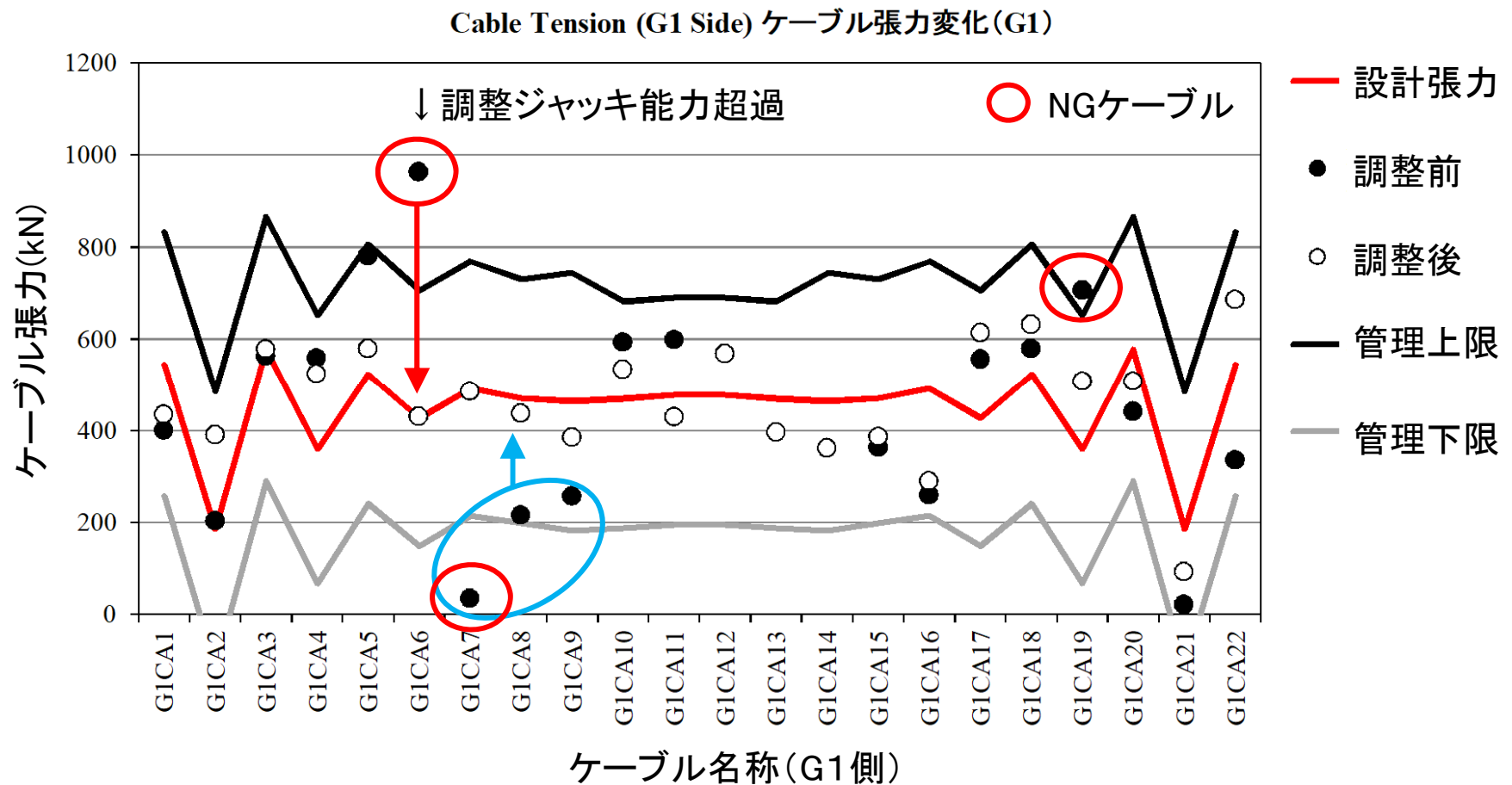


固有振動数と張力の関係
(換算式)

6.4 調整結果

○張力調整結果(G1側)

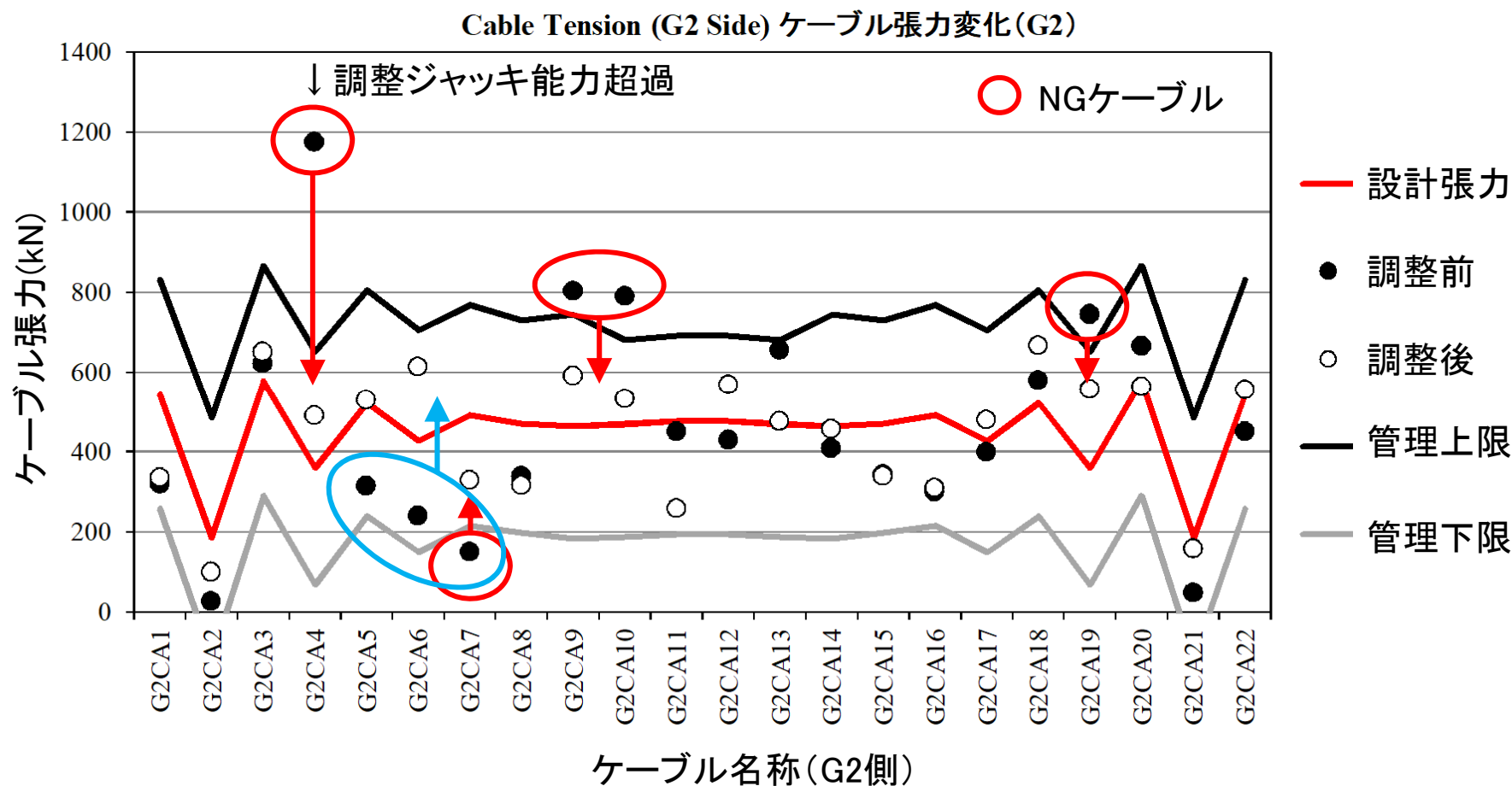
●調整前(ジャッキダウン直後) ⇒ ○調整後



6.4 調整結果

○張力調整結果(G2側)

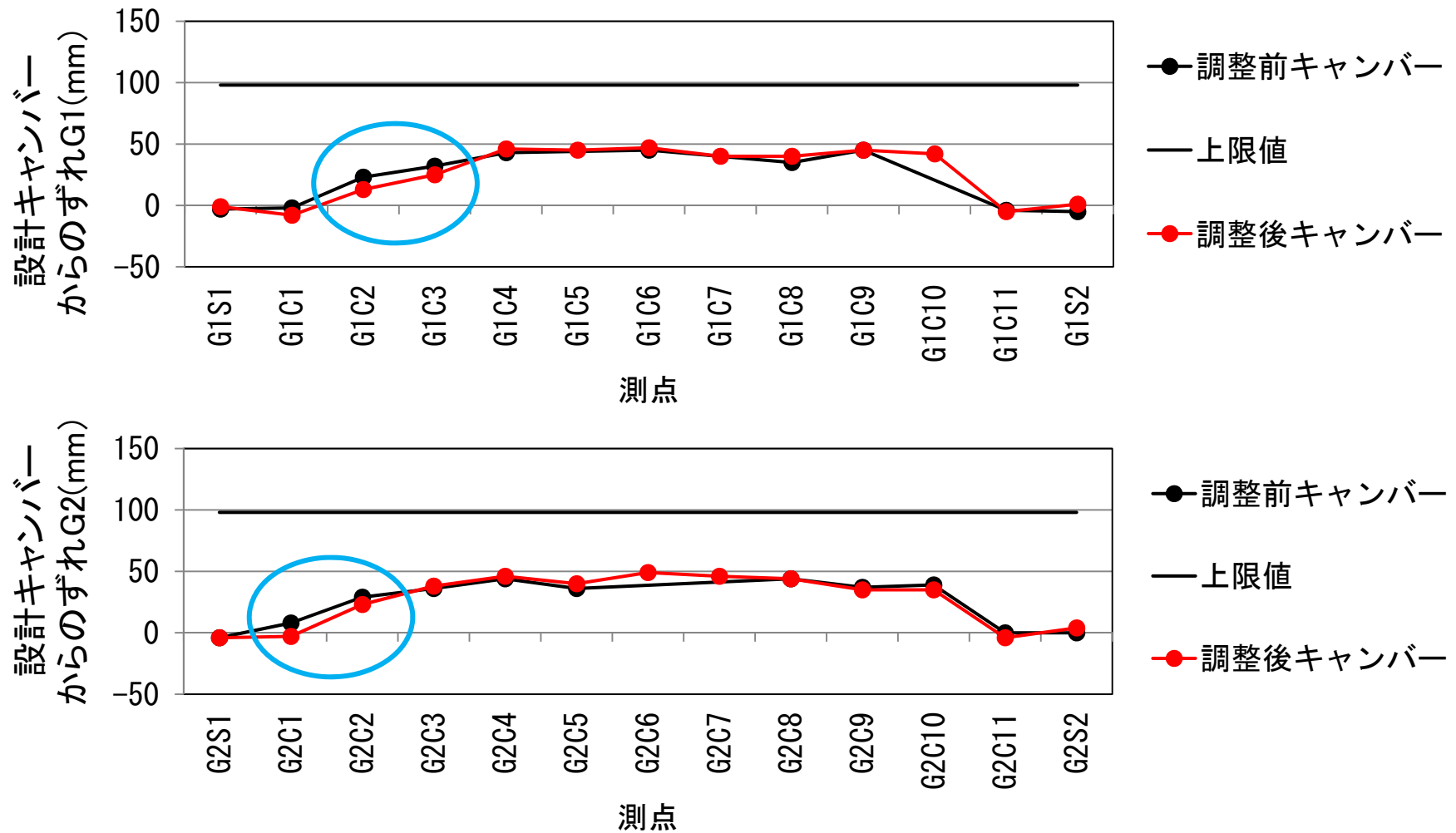
●調整前(ジャッキダウン直後) ⇒ ○調整後



参考 キャリブレーション2日(5本), 調整3回(4日)

6.5 キャンバー変化

○張力調整による補剛桁のキャンバー(鉛直変位)の変化



6.6 張力調整のまとめ

○効果的だった対策

- ジャッキダウン時に端部2本は無応力状態とした。
端部2本のケーブルは短く、長さ当たりの張力変化が大きい
⇒ 桁の施工誤差により調整不可能な張力が導入される可能性あり
- 調整時の隣接ケーブルへの影響について影響線解析を行い有効性を確認

○改善点

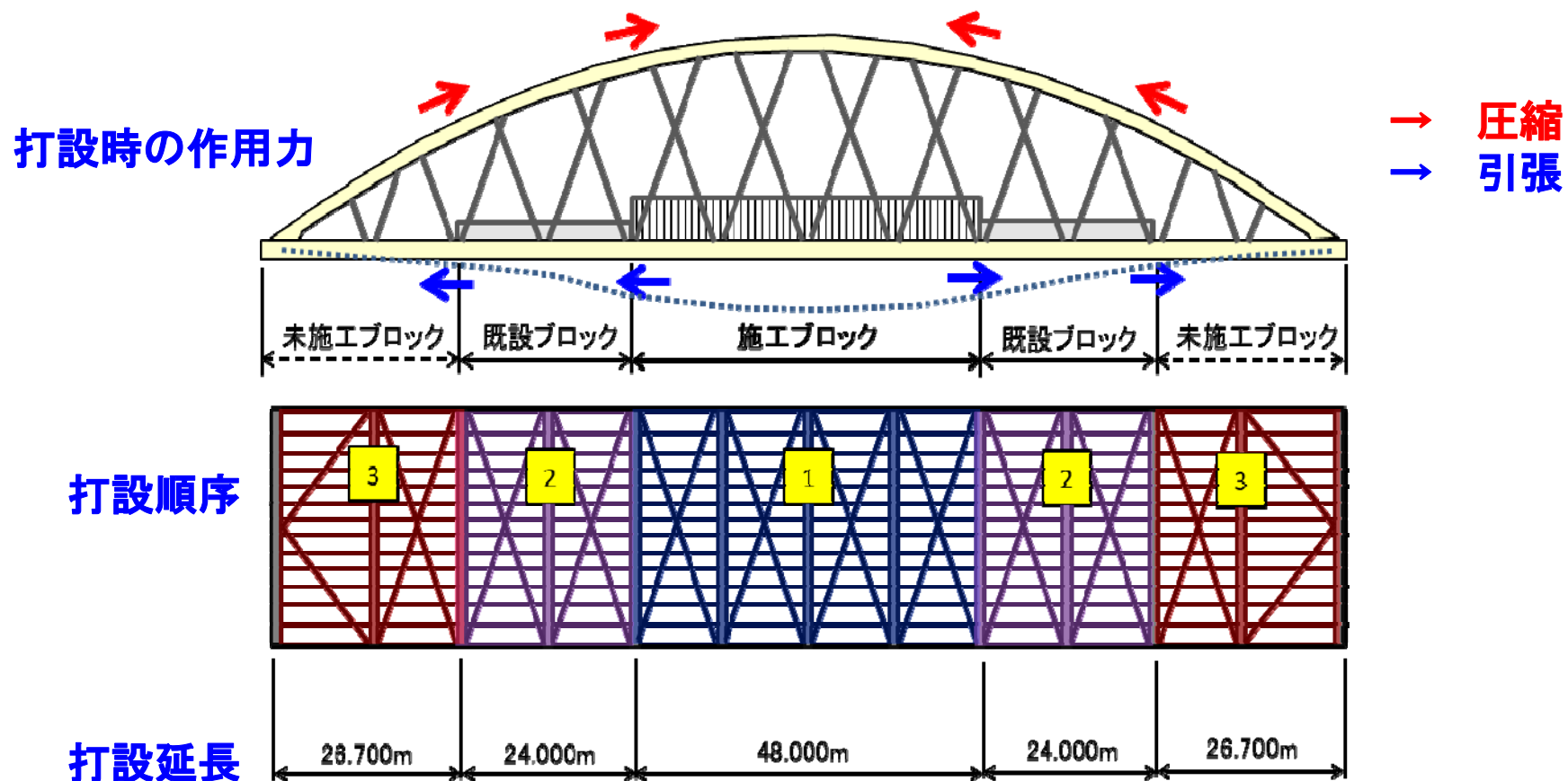
- 部材の製作・架設誤差がケーブル定着時の張力に与える影響
ケーブル設置時のナット位置は設計位置が原則
★調整前にみられた過大なケーブル張力
⇒ 格点間距離が設計より長い箇所(無応力長が設計より大きい箇所)に、設計の無応力長でケーブルをセットした影響
- 張力導入によるサグ変化や撚戻りでの、部材や足場、ケーブル同士の干渉
- 計測機器のバックアップ(2セットを手荷物として入国した)

7. 床版コンクリート

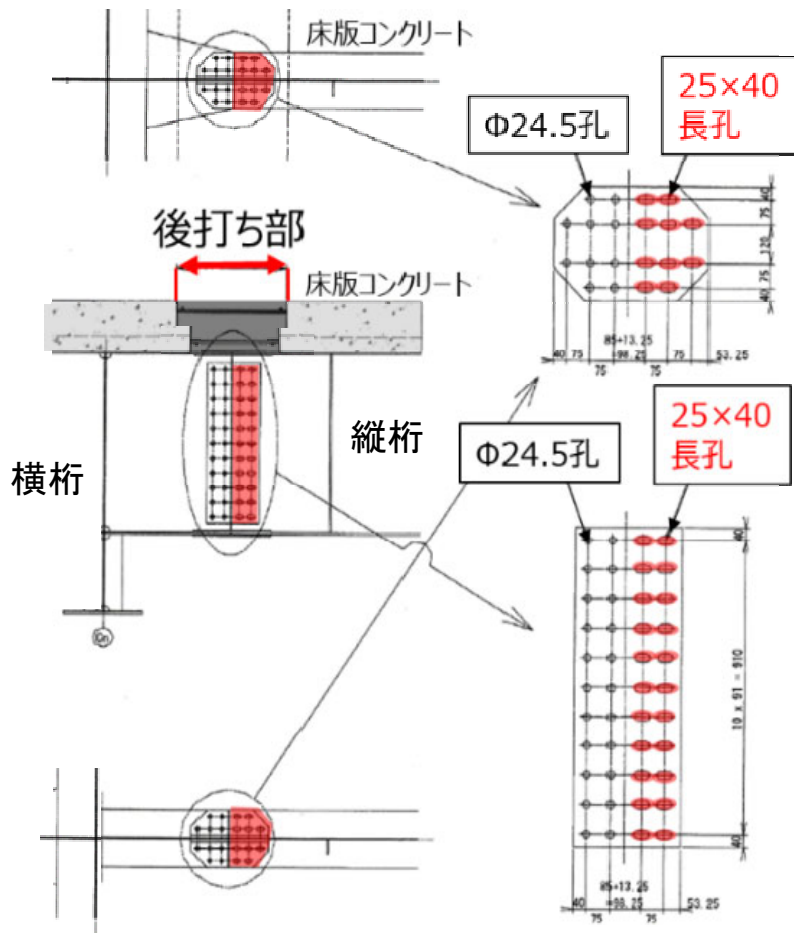
7.1 床版コンクリートの分割打設

RC床版：延長(149.4m) x 幅(27.1m) = 4,050m²

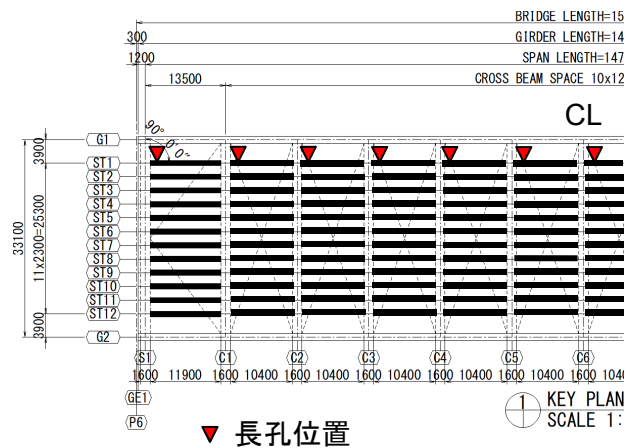
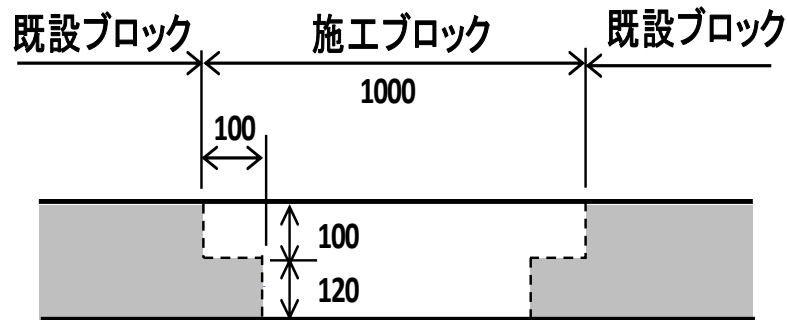
コンクリート打設数量：1,025m³



床版引張力の低減対策（縦桁添接孔の長孔化）

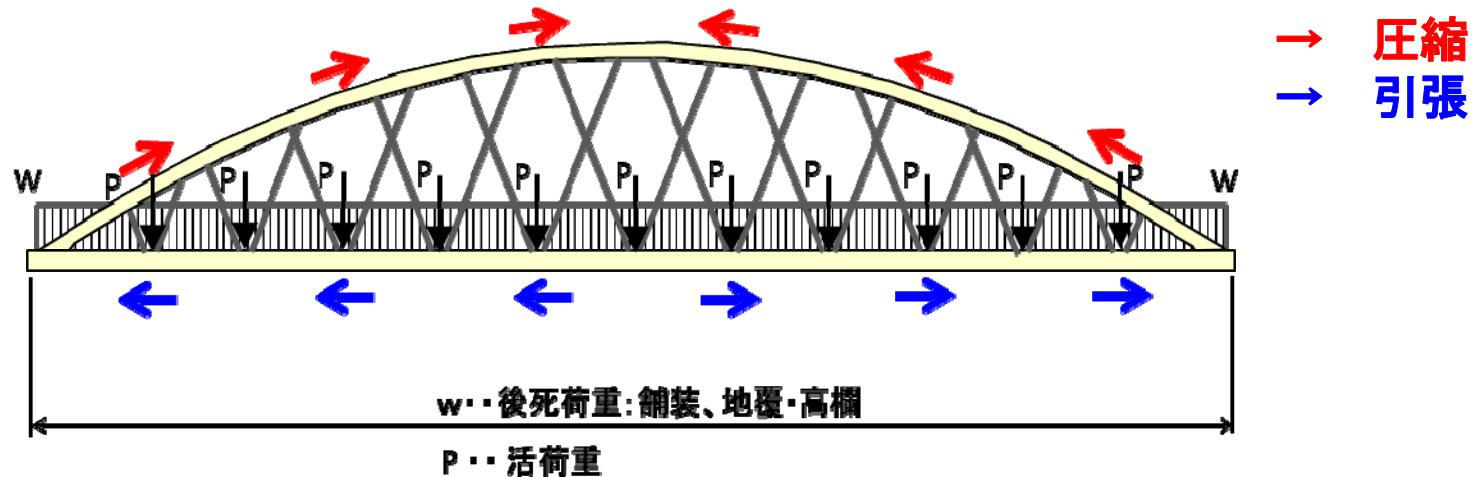


縦桁のジョイント部箱抜き詳細

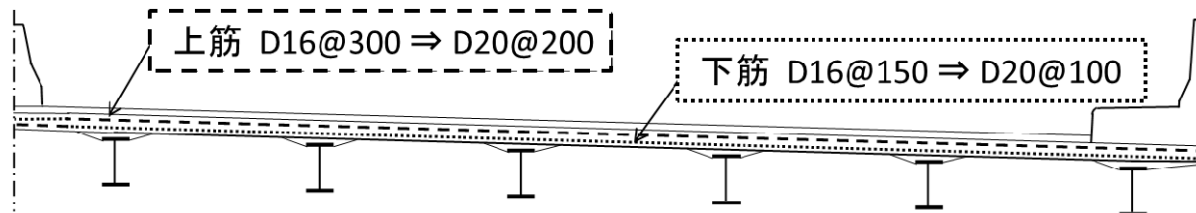


- 鋼重(40mm)および床版(40mm)の80mmの伸び量を吸収するため、縦桁両端添接部のうち片側の添接板の半分の孔を長孔とした

7.3 床版完成後の後死荷重等によるひび割れ対策



後死荷重・活荷重の床版に与える影響



床版のひび割れ対策

7.4 床版コンクリートの打設



床版の配筋・型枠状況



床版打設状況

- ・ 1日当たりの打設量 = 350m³
- ・ 打設時間 = 7時間
- ・ 人員 = 50名

8. 伸縮装置



ビーム式・遊間調整済みを3分割で搬入



止水ゴムの挿入作業

伸縮装置の設置状況

Madhumati Bridge -The Bridge of Million Dreams- モドゥモティ橋(夢の架け橋)



鉄建建設YouTubeチャンネルより(6min)

https://www.youtube.com/watch?v=HVcdH_xpLgE

新型コロナウイルスの猛威で幾度となく
工事中断に追い込まれましたが、無事
工事を完工することが出来ました。

今回の発表が
少しでもお役に立てれば幸いです。
ご清聴ありがとうございました。



完成写真



開通式