

長大エクストラードーズド橋における斜材施工 - 新名神生野大橋 -

大成建設(株)	正会員	工修	○新庄	皓平
大成建設(株)	正会員	工修	大熊	光
(株)ピーエス三菱	正会員		深澤	俊雅
西日本高速道路(株)			前原	直樹

キーワード：エクストラードーズド橋，主塔，斜材

1. はじめに

新名神高速道路生野大橋は橋長606mのPRC7径間連続波形鋼板ウェブエクストラードーズド箱桁橋である。図-1に示すP4-A2間はP5・P6 橋脚からの片側11ブロックの張出し施工にて架設した。当該区間は鉄道営業線を斜めに跨いでいるため、最大支間長188mを有している。本稿では当該区間の主塔並びに斜材の施工に関して報告する。

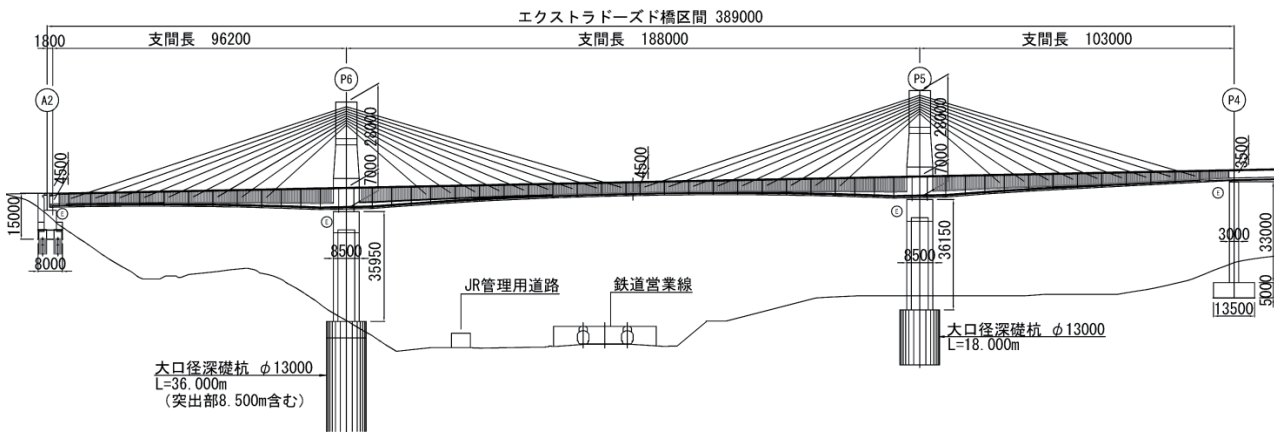


図-1 一般図 (エクストラードーズド橋区間抜粋)

2. 構造概要

本橋は将来拡幅が予定されているため、図-2の断面図に示すように、主桁の中央付近を斜材で吊り上げる1面吊りの構造である。また、主塔部は寸法の制約からサドル定着であり、斜材の両端は各張出し施工部の3~11ブロック各々に1段ずつ定着され、合計9段である。1段あたりは2本の並列ケーブルで構成され、斜ケーブルは37本の鋼より線を高密度ポリエチレン管 (ステイパイプ) の中通し、保護している。1本ごとの鋼より線(φ15.7mm)は垂鉛めっき+ワックス塗布+PE被覆の3重防錆が施されており、高い耐久性を有しているため、ステイパイプ内部はグラウトを行わない。主塔に設置したサドルには37個の孔が明いており、それらに1本ずつ鋼より線を通す構造である(図-3)。これらにより将来鋼線の交換が必要となった際には後述するシングルストランドジャッキを使用し、緊張力を開放することで1本ずつの交換が可能である。なお、サドルの孔は図-3に示すように下向きのくさび形状であり、緊張した際に鋼より線がくさび部

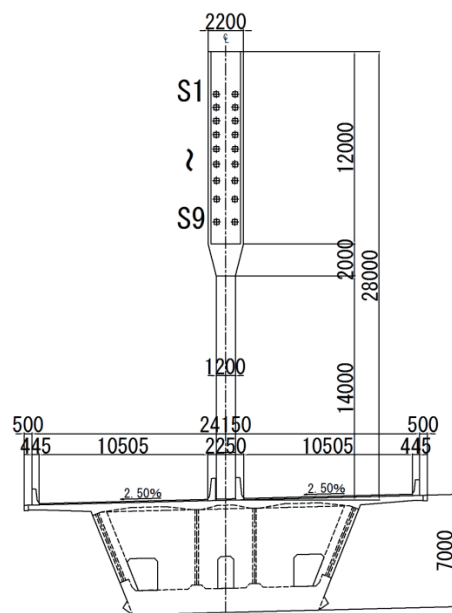


図-2 断面図 (柱頭部)

分に噛込む構造である。これにより摩擦力を確保し、活荷重や地震荷重などの影響でサドル前後に斜ケーブルの張力差が生まれ、その結果鋼より線が滑ることを防止している。

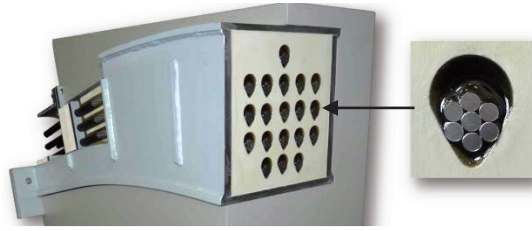


図-3 本橋で採用したサドルのカットモデル



写真-1 サドル設置状況

3. 主塔の施工

主塔は高さ方向に8リフトに分割し、張出し施工と並行してP5, P6柱頭部上に構築した。上部3リフトにはサドルを配置した(写真-1)。サドルは据付け精度の向上と工程短縮を目的として、まず仮組みヤードにてサドル架台上にサドルを組立て、その後クレーンにて主塔上に一括架設した。そして、最終的に主塔上でサドルの位置を微調整し、所定の精度で据付けた。

また、過密鋼材下での鉄筋組立の施工性向上を目的として、プレート定着型せん断補強鉄筋を使用した。

コンクリート打設は配管にて行ったが、特にP5橋脚は打上げ高さが高く(最大約65m)、圧送不良となる可能性が考えられた。そこで、事前に配管ルートやポンプ車の圧送能力などに関して十分な検討を行い、図-4に示す打設設備を使用し、打設した。なお、打設配管先端に配置したデリバリーホースは橋脚近傍に設置したタワークレーンで介錯しながら移動を行うことで、施工効率の向上を図り、コンクリートの可使時間が超えないように留意した。これらの取組みにより、トラブル無く打設を終えることができた。

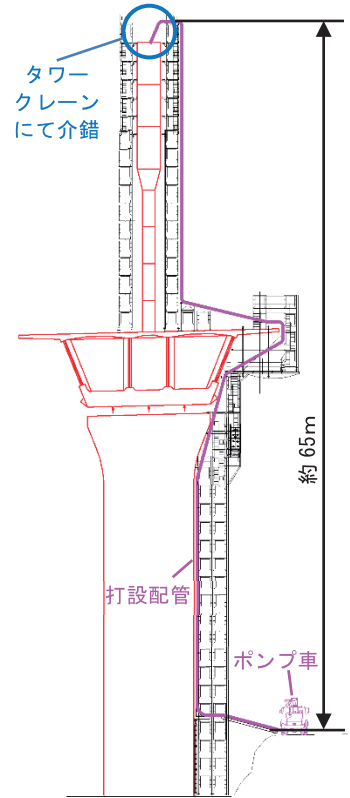


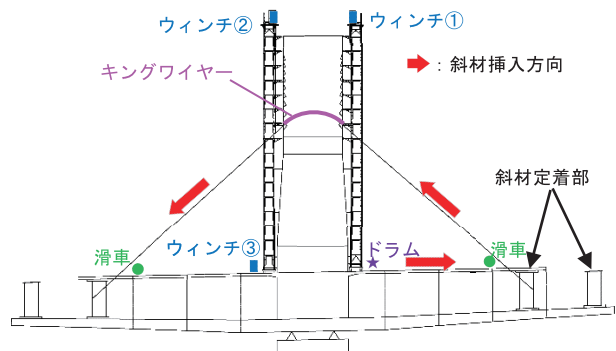
図-4 主塔打設設備 (P5 橋脚)

また、サドルは橋軸直角方向から見て上に凸の形状をしていることや断面が矩形であることなどから、コンクリートを打設した際にサドル下面に十分にコンクリートが充填されず、空隙ができる可能性がある。そこで、充填不良が懸念される箇所にコンクリート充填検知センサーを取付け、打設中にリアルタイムに充填状況をチェックし、充填されたことを確認後、打設を完了した。

4. 斜材の施工

4.1 斜材挿入

斜材はステイパイプを事前にタワークレーンにて架設した上で、その中に斜ケーブルを1本ずつ挿入した。挿入作業ではウィンチを使用し、橋面上に設置したドラムから鋼より線を引出し、挿入した。挿入関連の機材配置および挿入方法の概要を図-5に示す。本橋はサドル定着のため、サドル内にも鋼より線を挿入する必要があるが、鋼より線を引き込むウィンチのワイヤーを直接挿入すると摩擦やワイヤーの噛込みによりサドル、ウィンチワイヤーともに損傷する恐れがあった。この対策として、図-5に示すようにサドル部分を鋼より線の先端が通過



1. ウィンチ①にて鋼より線を主塔上まで巻上げる。
2. ウィンチ②にてウィンチ③のワイヤーを巻上げる。
3. サドル部に先行挿入したキングワイヤーの両端に鋼より線と滑車で方向転換させたウィンチ③のワイヤーをそれぞれ接続し、巻き取る。
4. 桁内に鋼より線の両端部を投入する。

図-5 斜ケーブル挿入概要図

する際にウィンチワイヤーと鋼より線をサドル内に先行挿入しておいた専用の接続具(キングワイヤー, 図-6参照)を介して接続することで, ウィンチワイヤーが直接サドル内を通過しないようにした。キングワイヤーはサドル全長程度の長さを有しており, 本設の鋼より線のPE被覆を残したまま両端をウィンチワイヤーおよび鋼より線と接続できるように加工したものである。これの使用によりPE被覆がクッションとなりサドル内部を損傷させることなく施工を行うことができた。また, 鋼より線は上方に配置されるものから順番に挿入を行い, 挿入途中で鋼線同士が交差することを防止した。



図-6 キングワイヤー概要図

斜ケーブルには先述のように亜鉛めっき+ワックス塗布+PE被覆の3重防錆が施されている。しかし, 定着部(サドル部および端部)にワックスやPE被覆が施されたままだと, くさびが十分に噛み込まず, 鋼より線が滑り, 正常に定着されない可能性がある。そのため, 挿入中に各ケーブルに当該部分の除去位置および範囲を計測し, PE被覆とワックスを除去し, 緊張完了後に防錆剤を注入した。なお, これらの除去位置や長さを誤った場合, 挿入中のワイヤーの入れ替えなどが必要となり, 大きな手戻りとなるため, 細心の注意を払って計測並びに除去作業を行った。



写真-2 シングルストランドジャッキ

写真-3 ジャッキ操作盤

4. 2 斜材緊張

斜材緊張は斜材挿入作業と並行し, 1本挿入する度にシングルストランドジャッキ(写真-2)を使用して桁内にて緊張作業を行った。また, 斜材緊張には自動緊張システムを採用した。このシステムは, ジャッキ並びにポンプに内蔵した計測機器で鋼より線の緊張力および伸びを計測し, 目標緊張力もしくは伸びに達すると定着するものである(写真-3)。本橋で行った具体的な緊張手順のフロー図を図-7に示す。

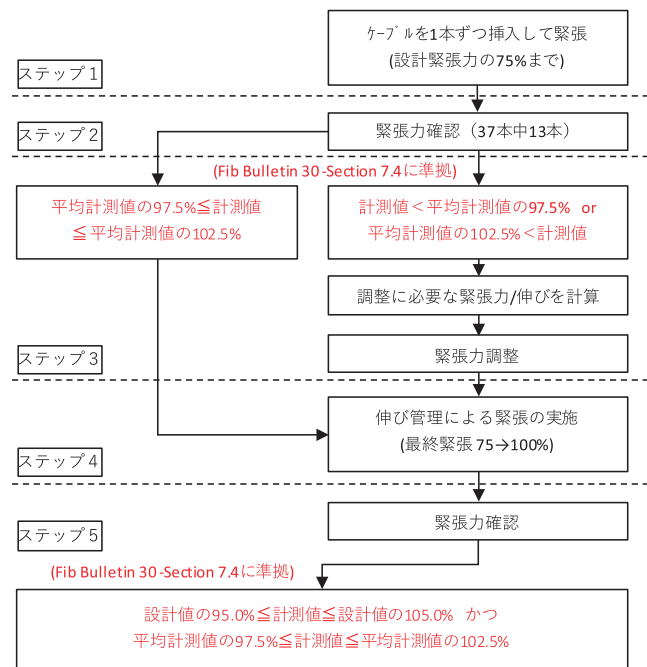


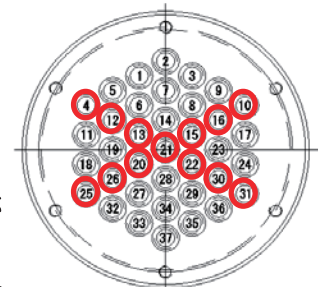
図-7 斜材緊張 フロー図

ステップ1: ケーブルを挿入する度に設計緊張力の75%まで緊張する。この際, 上り線, 下り線のケーブルを交互に緊張することで躯体にアンバランスな応力が発生しないように配慮している。

ステップ2: ステップ1で緊張した各ケーブルの緊張力を確認する。この際, 全37本の30%以上に当たる13本を対象とし, 図-8に示すように緊張順序および緊張箇所が概ね均等になるように対象ケーブルを選定した。

ステップ3: ステップ2において計測値の平均値(13本分)と各計測値との差が平均値の2.5%を超える場合はケーブル全37本の緊張力を計測する。その後, ばらつきの大きなケーブルについて, その差が平均値の2.5%に入るように調整を行う。この操作により各ケーブルの緊張力を平滑化し, 続く2次緊張の際に累積する緊張力のばらつきを小さくすることができる。

ステップ4: 設計緊張力まで1本ごとに緊張する。



○: 緊張力確認ケーブル
※番号は緊張順序

図-8 緊張力確認ケーブル配置

ステップ5：全ケーブル緊張完了後に導入力をステップ2と同様に確認する(37本中13本)。また、ケーブルの伸びも手作業にて測定し、計画値と比較し適切な緊張力が導入されていることを確認し、作業を完了する。

先述のように、本システムは定着後に再緊張し、くさびが外れるまでの緊張力を計測することで、実際に導入された定着後の緊張力を確認する機能を有している。そのため、計画値と実際の緊張力との差を確認して必要に応じて調整することができ、精度良く緊張力を導入することができた。

また、緊張作業中の日照や雰囲気温度の影響により主桁や斜ケーブルなどの各部材は設計温度とは異なる温度となっている。そのため、緊張完了後に温度変化により緊張力が変化し、設計温度時において、設計通りの緊張力を導入できない恐れがあった。そこで、主桁および主塔のコンクリート内部に設置した熱電対によるコンクリート温度の計測と合わせて、斜ケーブル温度並びに外気温の計測を行い、それらと事前に各斜材緊張段階を模したモデルにて各種温度による緊張力に与える影響を検討し、その影響が設計緊張力の2.5%を上回る場合は緊張力を補正した。

本橋では斜材張力のモニタリングを実施している。対象斜材は活荷重による変動応力が大きい P5、P6橋脚それぞれで最長となるS1斜材(計8箇所)とし、計測器にはケーブルの磁気特性から緊張力を計測できるパルス式磁歪測定器を採用した(写真-4)。表-1に緊張直後および供用開始前における斜材張力の計測結果を示す。各計測段階での設計値と実測値の差は設計値に対して緊張直後の許容値と同じく5%程度で収まっており、本橋がほぼ設計通りに挙動していることが確認できている。なお、S1斜材以外で異常が発生した場合においてもS1斜材張力に影響が及ぶことから、本計測により斜材全体の健全性の確認が可能と考えており、今後も定期的な計測を実施する予定である。

斜材の架設完了後は風による振動現象の発生が懸念されたため、本橋の斜材を模擬した模型を使用して風洞実験を行い、振動抑制に必要な構造減衰を算出した¹⁾。その結果を踏まえ、すべての斜材に制振ダンパーを設置した。本橋で使用したダンパーは通常のゴムや粘性体を使用したダンパーと異なり、摩擦によって振動を抑制するもので、優れた減衰効果と耐疲労性を有している。組立完了後のダンパーを写真-5に示す。

5. まとめ

本稿ではエクストラドーズド橋の主塔および斜材の施工を中心に報告した。本橋では施工性の向上、工程短縮や施工精度の向上などの各種取組みを行い、2018年3月に無事開通を迎えることができた。本稿が今後の同種工事の参考となれば幸いである。

参考文献

1) 新庄皓平, 細谷学, 白土博通, 八木知己, 福田雅人, 黒川秀樹, 大熊光：広幅員一面吊り長大エクストラドーズド橋の並列ケーブルの制振対策, 第70回土木学会年次学術講演会, pp. 243-244, 2015年9月



写真-4 センサー取付状況

写真-5 ダンパー

表-1 斜材緊張力計測結果

		測定段階	①測定値 (kN)	②設計値 (kN)	③差分 (kN)	比率(①/②) (%)
P5	起点	下り	5,865.5	5,955.0	-89.5	98%
		上り	5,905.9	5,955.0	-49.1	99%
	終点	下り	6,232.7	5,955.0	277.7	105%
		上り	6,279.5	5,955.0	324.5	105%
P6	起点	下り	6,217.3	6,160.0	57.3	101%
		上り	6,288.3	6,160.0	128.3	102%
	終点	下り	5,948.1	6,160.0	-211.9	97%
		上り	5,890.6	6,160.0	-269.4	96%
P5	起点	下り	5,695.1	5,675.2	19.9	100%
		上り	5,732.8	5,675.2	57.6	101%
	終点	下り	5,897.3	5,720.6	176.7	103%
		上り	5,955.7	5,720.6	235.1	104%
P6	起点	下り	5,828.9	5,834.7	-5.8	100%
		上り	5,844.6	5,834.7	9.9	100%
	終点	下り	5,854.7	5,996.3	-141.5	98%
		上り	5,873.8	5,996.3	-122.4	98%