

(32) 波形鋼板ウェブを有するエクストラード ズド橋の施工時検討

佐々木 健雄¹・山野辺 康樹²・村井 弘恭³・吉田 政宏⁴・伊藤 拓⁵

¹非会員 仙台市役所 (〒980-8671 宮城県仙台市青葉区国分町三丁目7-1)
E-mail:takeo_sasaki_a@city.sendai.jp

²非会員 ドーピー建設工業(株) 北海道支社 工事部 (〒060-0001 北海道札幌市中央区北1条西6丁目2)
E-mail:k_yamanobe@dps.co.jp

³非会員 ドーピー建設工業(株) 東京支店 工事部 (〒170-0004 東京都豊島区北大塚1丁目16-6)
E-mail:h_murai@dps.co.jp

⁴正会員 ドーピー建設工業(株) 東京本社 技術部 (〒170-0004 東京都豊島区北大塚1丁目16-6)
E-mail:m_yoshida@dps.co.jp

⁵非会員 ドーピー建設工業(株) 北海道支社 技術部 (〒060-0001 北海道札幌市中央区北1条西6丁目2)
E-mail:h_ito@dps.co.jp

本橋は、橋長 111.00m の PC2 径間連続ラーメン波形鋼板ウェブ・エクストラードズド箱桁橋である。斜材は独立 1 本主塔による一面吊りで、有効幅員は 25.0m を有する。主桁の施工は、P1 橋脚近傍の 22.20 m 区間を 1 次施工、残りの側径間部を 2 次施工とする分割固定式支保工施工により行う。よって張出し施工とは異なり、斜材張力の導入において、支保工との接触の有無および各斜材張力の導入に対する主桁および主塔への影響を正確に判断して、斜材張力の調整を行う必要がある。また、広幅員 (25.8m) の一面吊りであるため、横方向の挙動にも十分注意を払う必要がある。そこで、支保工との接触の有無を考慮した解析および横方向の変形確認のための 3 次元 FEM 解析を行い、斜材導入張力および調整張力を決定し、施工時の管理を行う。

Key Words : hybrid structures, extradosed bridge, corrugate sheet web, single-plane cable, stay cable adjustment

1. はじめに

本橋は、仙台市発注の市道荒巻泉線および私道との交差点に架かる PC2 径間連続ラーメン波形鋼板ウェブ・エクストラードズド橋の「北四番丁大衡線 (荒巻本沢工区) 橋梁」で、一面吊りの波形鋼板ウェブ・エクストラードズド橋としては国内外初の橋梁形式となり平成 18 年春の完成を予定している。

本橋の構造図を図-1 に示す。

主桁部の施工は、P1 橋脚近傍の 22.20m 区間を一次施工、その後残りの側径間部を 2 次施工とした分

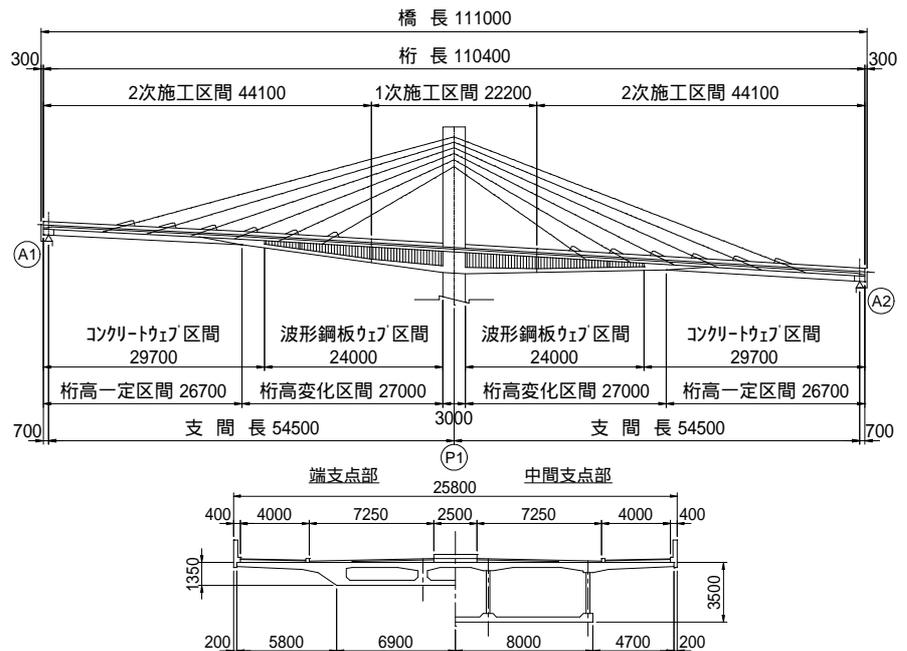


図-1 構造図

割固定式支保工として施工する。設計計算では支保工の影響を考慮せずに行っているため、施工時の検討として支保工との接触を考慮したモデルを用いて解析を行い主桁の上げ越し量および斜材ケーブルの導入張力・調整張力を決定した。これらの解析結果を施工に反映させ斜材ケーブルの導入張力を管理する予定である。

今回は、施工時検討で行った分割固定式支保工を考慮したモデルによる解析の結果と斜材ケーブルの導入張力の決定に関する事項と、これまでの施工状況および斜材ケーブルの管理に関する計画について報告する。

2. 工事概要

以下に橋梁形式とその諸数値を示す。

橋種：プレストレストコンクリート道路橋
 構造形式：PC2径間連続ラーメン波形鋼板ウェブ・
 エクストラドーズド橋
 橋長：111.000m
 支間長：2@54.500m
 全幅員：25.800m
 活荷重：B活荷重
 斜材ケーブル：SWPR7BN 27S15.2（一面吊り2列配置）

3. 施工時検討解析

(1) 解析モデルおよび検討方法

施工時検討に使用した解析モデルを図-2に示す。

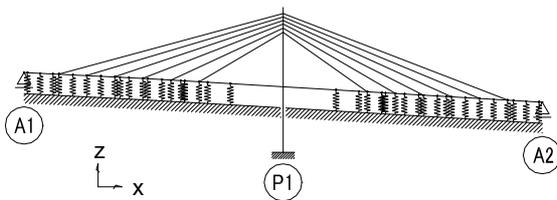


図-2 フレーム解析モデル

以下に各支点および固定式支保工の境界条件を示す。

支点条件

A1 : x, z, R = Free, Fix, Free

P1 : x, z, R = Fix, Fix, Fix

A2 : x, z, R = Free, Fix, Free

固定式支保工

: 圧縮専用 弾性連結要素

(圧縮方向弾性係数 90.0 N/mm)

検討方法は、本橋が通常の張出施工と異なり固定式支保工であるため、斜材ケーブルへの張力導入において支保工との接触の有無、および各斜材ケーブルへの張力導入による主桁や主塔への影響を正確に判断し斜材ケーブル

の張力調整を行う必要がある。そこで、施工時の固定式支保工による影響を考慮するため、圧縮方向の荷重に対してはバネ要素、引張方向に対しては部材方向の拘束をしない「圧縮専用 弾性連結要素」を用いて固定式支保工をモデル化し、検討を行った。なお、圧縮方向のバネ値は実際の支保工を考慮し 90.0 N/mm としている。

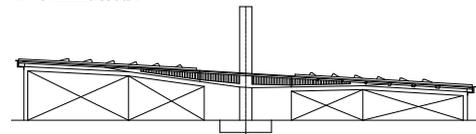
(2) 解析手法

解析ソフトは、MIDAS Information Technology 社製 3次元構造解析トータルシステム MIDAS / Civil Ver.6.5.0 を使用し、打設段階・ケーブル張力導入段階および圧縮専用弾性連結要素を使用した固定式支保工を考慮したフレーム解析を行い断面力を算出した後、応力度の照査を行った。

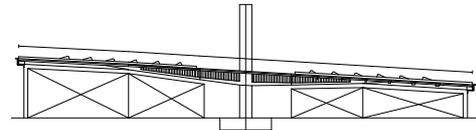
(3) 施工ステップ

今回の検討に使用した施工ステップの概要を図-3と共に以下に示す。

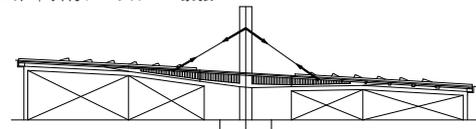
STEP-4 2次施工区間打設



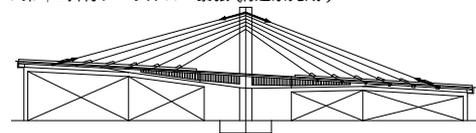
STEP-5 パートボンドケーブル緊張



STEP-8 第6.7斜材ケーブル90%緊張



STEP-18 第1.12斜材ケーブル90%緊張 (構造系完成)



第1.12斜材ケーブル緊張後支保工撤去

STEP-19 斜材ケーブル張力調整 (残留張力緊張)



図-3 施工時検討ステップ概要図

上記に示したステップ図は主桁2次施工以後のステッ

ブであり、ステップ番号の抜けているものは斜材ケーブルの設置や張力導入ステップであるが、ステップ数が多いためここでは省略した。図に示した斜材ケーブルの番号はA1側（左側）から順に1～12としている。

ステップ8から18までの間で斜材ケーブルの導入張力を90%としたのは、実施工において各斜材ケーブルを一様に張力導入し固定式支保工を撤去した後、主桁や主塔の変位を見ながら斜材ケーブルの張力調整を行うためである。

なお、斜材ケーブル90%張力導入時は、A1側ケーブルと相反するA2側ケーブル（例えば、第6斜材ケーブルと第7斜材ケーブルや、第1斜材ケーブルと第12斜材ケーブル）を同時に導入することとしている。

(4) 検討結果

検討の結果、以下のことが確認できた。

固定式支保工をモデリングした状態とそれ以降の施工ステップにおいて各応力状態を満足していた。

斜材へ導入する張力を90%とし、一様に全斜材ケーブルを設置した段階において、固定式支保工をモデリングした圧縮専用弾性連結要素にかかる圧縮力が除去され、主桁重量と斜材ケーブル張力が釣り合った状態となることが確認できた。

これにより、実施工において固定式支保工に荷重が載荷されていない状態になっていると想定される。

(5) 主塔アンバランスモーメントの対処に伴う斜材ケーブル応力度の検討

本橋は、縦断勾配があり斜材ケーブルの設置角度もそれぞれ異なっていることから、同一の張力を斜材ケーブルに導入すれば、当然主塔にはアンバランスモーメントが作用する。主塔に大きなアンバランスモーメントが作用している状態では、構造物に永久的なひずみが残ることとなるため、張力調整によって主塔のアンバランスモーメントを発生させないことが重要となる。

アンバランスモーメントへの対処は斜材ケーブルを引き越すことを行うため、斜材ケーブルの応力度を確認しておく必要がある。そのため、斜材ケーブルを張力増加させる割合は、主塔のアンバランスモーメントと斜材ケーブル応力度の双方を目安として決定した。

なお、応力状態の照査は主桁や主塔に対しても行っており、許容応力度を満足している。

斜材ケーブルの応力度グラフを図-4に示す。

検討の結果、斜材ケーブル鋼材応力度の許容応力度 $0.6f_{pu}=1110\text{N/mm}^2$ および活荷重による変動応力度の許容

応力度 $\sigma_t=70\text{N/mm}^2$ をそれぞれ満足している。

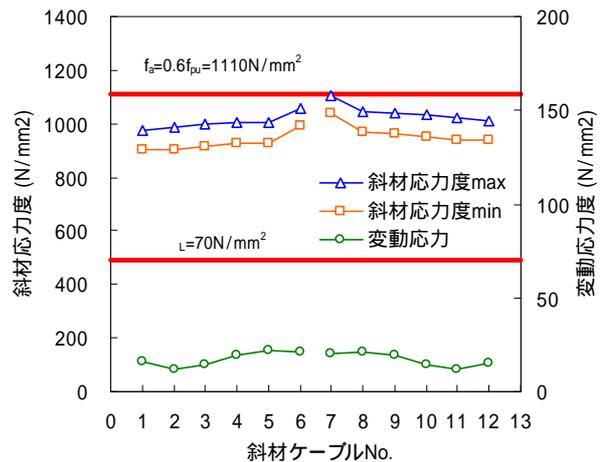


図-4 斜材ケーブル応力度グラフ

(6) 断面で隣り合う斜材ケーブルの張力調整

工事概要でも述べたように、本橋の斜材ケーブルは一面吊りの2列配置としている。主塔部の斜材ケーブル定着位置を図-5に示す。

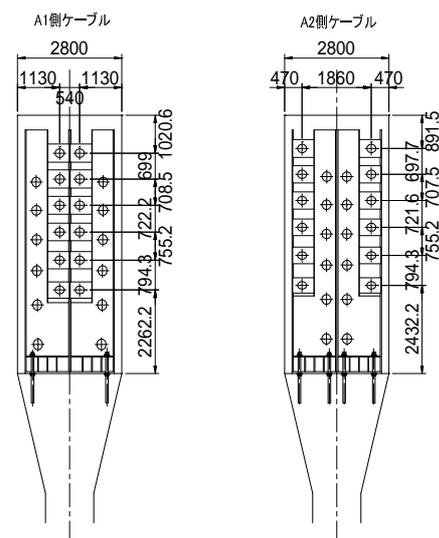


図-5 主塔部斜材ケーブル定着位置図

A1側ケーブルの定着位置からわかるように、定着間隔が540mmと狭いため、隣り合う斜材ケーブルを同時に張力導入することができない。そのため、左右どちらか先に張力を導入したケーブルの張力は、後に張力を導入したケーブルの影響で張力が減少すると想定される。よって、先に導入するケーブルが所定の張力を確保されるよう、予め後に張力導入するケーブルによる損失分を見込んだ張力を付加し、導入することとした。この損失分の張力は、平面frame解析により単位張力を1000kNとして影響値解析を行い算出した。

なお、frameモデルの支点条件は、3.(1)で示した解析モデルと同じ条件で行った。

算出に使用したモデルの概要図を図-6に示す。

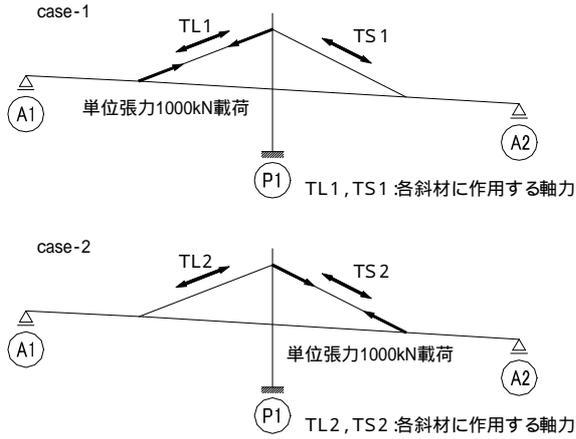


図-6 導入張力損失分算出 frame モデル図

A1側斜材の損失分を TL, A2側斜材の損失分を TS とし, 損失分の張力は次式(1)および(2)より算出した。

$$TL = -\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{TL}{1000} \cdot TL1 + \frac{TS}{1000} \cdot TL2 \right) \quad (1)$$

$$TS = -\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{TL}{1000} \cdot TS1 + \frac{TS}{1000} \cdot TS2 \right) \quad (2)$$

ここで, TL : A1側斜材導入張力

TS : A2側斜材導入張力

先に張力を導入するケーブルに損失分を見込んだ導入量は, 次式(3)および(4)より算出した。

$$TL' = TL + TL \quad (3)$$

$$TS' = TS + TS \quad (4)$$

ここで, TL' : A1側斜材の損失分を見込んだ導入張力

TS' : A2側斜材の損失分を見込んだ導入張力

4. 施工

(1) 施工概要

本橋の架設地点は仙台市道および周辺住民の生活道路である私道と交差しており, 周辺は住宅が近接した地域となっている。そのため, 最小限の工事用地しか確保できないことから, 分割施工で計画された。

まず, 1次施工部としてP1橋脚近傍の22.20m区間を施工し主塔を構築した後, 道路交差部となる2次施工部を施工, 斜材ケーブルの架設および90%張力導入ののち支保工の撤去, 張力調整を兼ねた残留張力を導入し橋面工

の施工を行う。なお, 原稿執筆時点では2次施工の施工中である。

施工順序を図-7に示す。

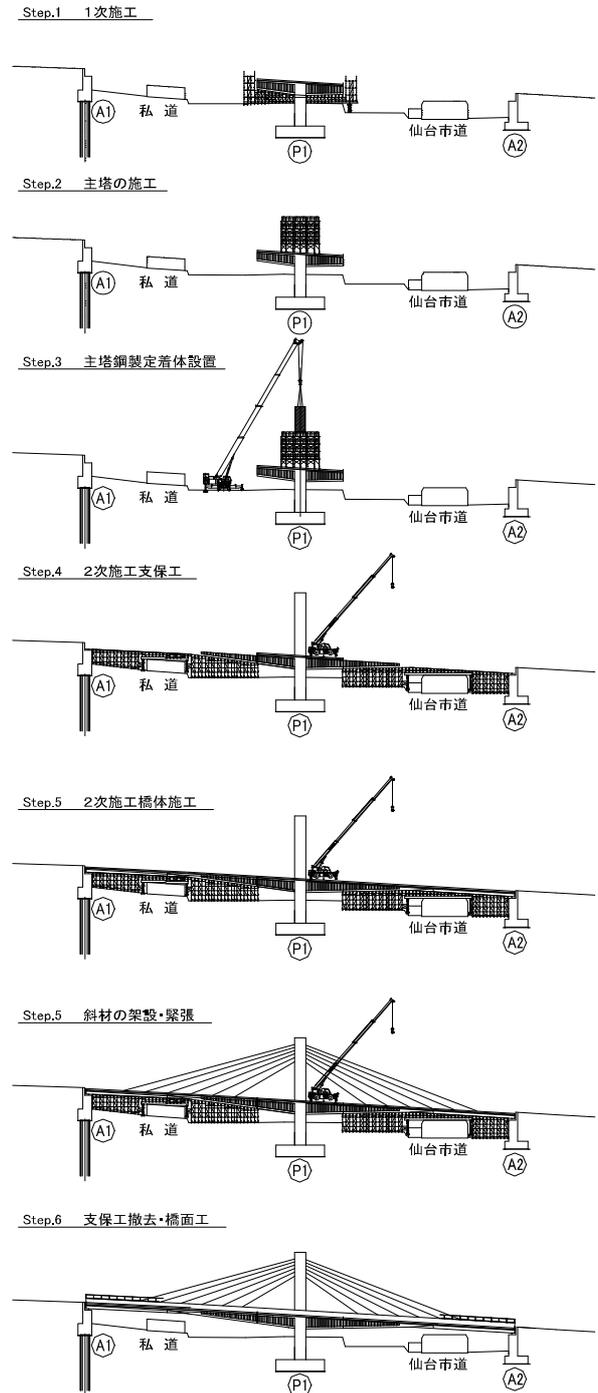


図-7 施工順序概要図

(2) 主桁1次施工

1次施工としてP1橋脚近傍の22.20m区間を先行して施工した。

支保工形式は支柱併用のくさび式支保工とした。

現地在が仙台市道および周辺住民の生活道路である私道と交差していること。周辺には住宅が近接し十分な作業

スペースが確保できないことから、ポンプ車の配置スペースが制限され、1日の打設数量に限られるため、下床版を2回、横桁と上床版を各1回ずつの計4回に分けて打設を行った。

なお、横桁については幅17.0m高さ3.5mのマスコンクリートとなるため、発熱量の低減を考慮し普通ポルトランドセメントを使用した。

(3) 波形鋼板の架設

波形鋼板の架設はPI橋脚付近に設置した160t吊りクレーンにて行った。

架設した波形鋼板は、支保工上に設置したH形鋼からゲビンデ鋼棒を使用し吊り下げることにより仮固定した。仮固定を行った状況を写真-1に示す。



写真-1 波形鋼板仮固定状況

波形鋼板は長さ9.60mおよび4.8mを組合せ3ブロックに分割して現場に運搬し、接合は現場溶接によって行った。

なお、波形鋼板と上下床版との接合はアングルジベル、波形鋼板同士の接合はすみ肉溶接を採用している。

(4) 主塔の施工

本橋の主塔は高さ16.3mであり、上部に斜材ケーブルの定着体を有する鋼殻セルを配置した合成構造を採用している。

なお、主塔内部には鉄骨架台を随時組立て、鉄筋および型枠の施工精度を確保するとともに、鋼殻セルの設置制度を確保するためアンカーフレームを製作し、コンクリート打設後アンカーフレームの上に鋼殻セルを配置して位置決めを行った。

主塔は主塔基部のコンクリート部分を約3mずつ3ロットに分けて打設した。この部分はひび割れ防止のため、型枠セパレーターを用いずに施工可能な、大型壁型枠支保梁を使用して施工を行った。

また、横桁と同様に発熱量の低減を考慮し、普通ポルトランドセメントを使用した。

主塔上部の構造概要図を図-8に示す。

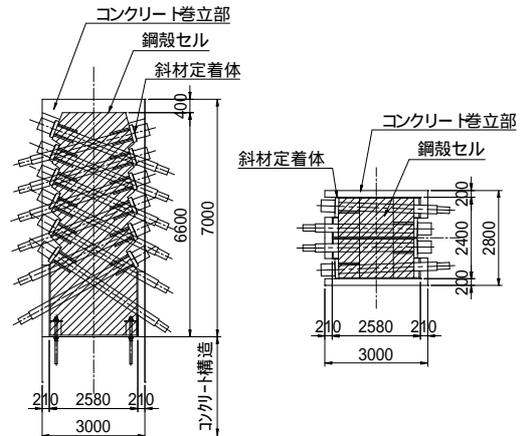


図-8 主塔上部構造概要図

上部の鋼殻セルは工場にて左右に2分割して製作・運搬し、200tクレーンにて架設後、現地にて左右の鋼殻セルを高力ボルトにより接合した。

鋼殻セルの設置状況を写真-2に示す。



写真-2 主塔鋼殻セル設置状況

鋼殻セルの接合後斜材ケーブルの定着体を挿入し、鋼殻セル内部に充填コンクリートを打設した。充填コンクリートは複雑な鋼殻セルの内部に確実にコンクリートが充填されるよう高流動コンクリートを使用した。

(5) 主桁2次施工

主桁2次施工部は仙台市道および私道を跨ぐため、H型鋼を道路上空に敷設し、その上に支保工を構築した。

仙台市道上のH型鋼架設は夜間作業にて架設を行った。

主桁2次施工についても、1次施工同様1日の打設数量に限られるため、A1・A2側それぞれ下床版を2回、横桁と上床版を各1回ずつの計4回に分けて打設を行う予定である。

H型鋼の設置完了状況を写真-3に示す。



写真-3 仙台市道上空H型鋼敷設状況

(6) 斜材ケーブルの施工

本橋の斜材ケーブルはマルチエポキシケーブルを採用している。このケーブルはエポキシ樹脂被覆PC鋼より線を使用し、外周に高密度ポリエチレンを連続押し出し成形したノングラウトタイプのケーブルである。

このケーブルはエポキシ樹脂被覆、ポリエチレン被覆の二重防錆により優れた耐久性や、工場製作のため一括架設により工期の短縮、現場作業の省力化が可能である。

(7) 斜材張力管理

本橋は波形鋼板ウェブ・エクストラードズド橋としては珍しい総支保工による施工である。特に斜材の緊張管理にあたっては支保工の拘束の有無を把握する必要がある。そのため、斜材緊張時には支保工の反力を随時ロードセルにより測定し、斜材張力調整の際に支保工拘束の

有無を確認することとし、ロードセルは両側もしくは片側の外ウェブの直下に配置する計画である。

ロードセル設置位置を図-9に示す。

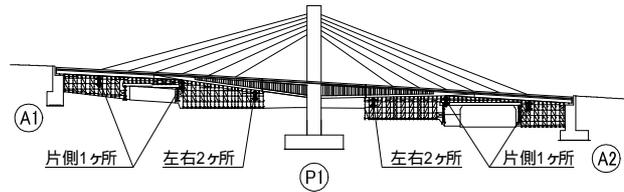


図-9 支保工反力計測ロードセル設置位置

また斜材張力、固定側定着体にロードセルを設置し、2列配置の片側1列ずつ計12点を測定する計画をしている。

斜材張力導入時の測定項目は、緊張ポンプ圧力、斜材張力、温度（主桁、主塔および斜材）、主塔応力、主塔の傾斜角、支保工反力を測定し、計測システムにより一元的に管理する予定である。

5. おわりに

本稿は橋梁完成前に執筆したものであるため、未施工部分の施工は、竣工後改めて報告する予定である。

参考文献

- 1) プレストレストコンクリート技術協会：PC 斜張橋・エクストラードズド橋設計施工基準（案）
- 2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 コンクリート橋編，pp.294-300, 2002.
- 3) 波形鋼板ウェブ合成構造研究会：波形鋼板ウェブ PC 橋 計画マニュアル（案）

STUDY AT THE TIME OF EXECUTION OF EXTRADOSED BRIDGE USING CORRUGATED STEEL WEBS

Takeo SASAKI, Kohki YAMANOBE, Hiroyasu MURAI, Masahiro YOSHIDA and Hiraku ITOH

This bridge is a length of 111.00m. This bridge was two spans continuous ramen extradosed bridges using corrugated steel plate webs. Stay cable was single-plane cable. Effective width has 25.0m.

The first execution of main girder is 22.20m section of a P1 supporting beam neighborhood. Second execution of main girder is side span part. The execution of main girder went in the fixed support erection method. Therefore, this bridge is different from the cantilever method, and confirmation of presence of contact with the fixed support erection method at the time of introduction of the stay cable tension is necessary. In addition, it is important to judge main girder for introduction of each stay cable tension and influence to the main tower precisely, and it is necessary to adjust the stay cable tension.

In addition, it is necessary to pay attention enough for behavior of transverse direction because it is single-plane cable of wide width (25.8m).

Therefore we did analysis in consideration of presence of contact with the fixed support erection method and decide the stay cable introduction tension and the adjustment tension and do management at the time of execution.