

## FEMによる逐次解析を用いた長大エクストラードズド橋の張出し架設時の検討

大成建設(株)	正会員	○中 隆司
大成建設(株)	正会員 博(工)	細谷 学
西日本高速道路(株)		福田 雅人
大成建設(株)・(株)ピーエス三菱JV	工修	利波 宗典

### 1. はじめに

新名神高速道路生野大橋は、橋長606m、全幅員25.15m(暫定4車線時)のPC7径間連続波形鋼板ウェブエクストラードズド橋であり、エクストラードズド橋区間は上下線一体の幅員3室箱桁断面を独立した1本の主塔により一面吊りする構造である(図-1)。施工方法は張出し施工であり、大断面かつ最大ブロック長(以下、ブロックをBLと記載する)が8.0mであることから、超大型の移動作業車(重量:400ton程度)を採用している。

本橋に類似した橋梁(揖斐川橋)の設計では、張出し施工を模擬した3次元FEMによる逐次解析を実施して、架設時に骨組解析では把握できない局所応力が生じることを確認している<sup>1), 2)</sup>。そこで本橋においても、段階的に導入される斜材や主方向PC鋼材の緊張および移動作業車を用いたコンクリート打設によって主桁に発生する応力を詳細に把握し、これに対する照査を実施し、補強検討を行うこととした。本稿では上記解析によって各部位に生じる引張応力とその要因および補強方法について報告する。

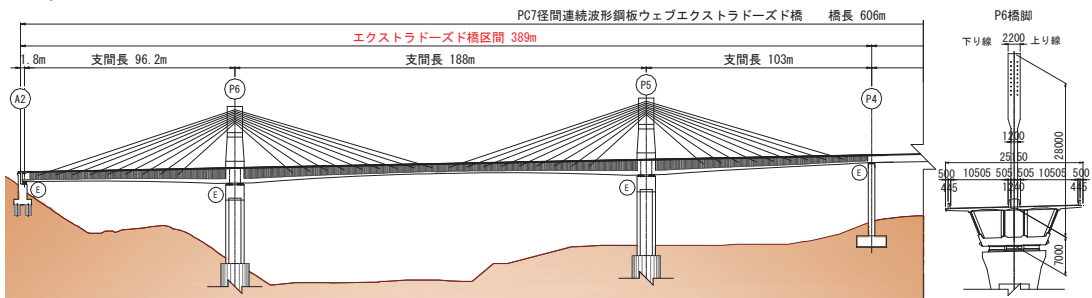


図-1 橋梁一般図(エクストラードズド橋区間のみ表示)

### 2. 解析条件

#### 2.1 解析モデル

モデルの対象範囲はP6の片張出し施工区間とし、橋軸直角方向の対称性を考慮し、図-2に示す1/2モデルとした。橋軸および橋軸直角方向は対称条件として対称面で固定とし、鉛直方向は支承線上で固定している。

各部材のモデル化は、主桁や横桁、主塔などのコンクリート部材はソリッド要素、図-3に示す波形鋼板ウェブおよび斜材定着用の鋼殻、ダイヤフラムはシェル要素とし、斜材は緊張後にトラス要素とした。

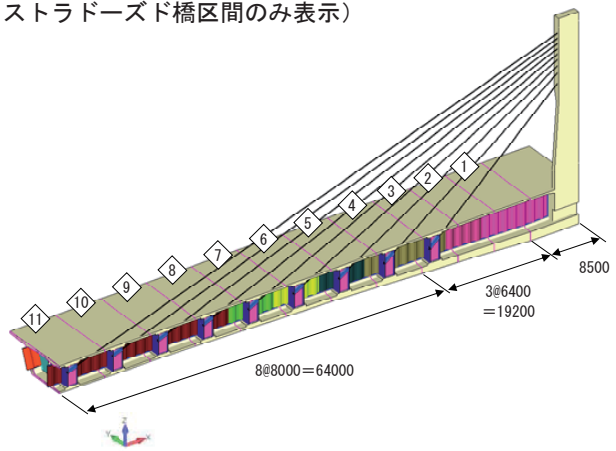


図-2 解析モデル図(全体)

## 2.2 解析ステップ

解析に反映した施工ステップを表-1に示す。張出し区間におけるサイクル施工の基本的な手順は、①移動作業車の前進、②波形鋼板ウェブの設置および下床版コンクリート打設、③前BLの斜材緊張、④上床版コンクリート打設、⑤張出し架設用内ケーブルおよび床版横締めPC鋼材の緊張となる。

1~3BLは「③前BLの斜材緊張」がないことから、主桁に対して応力状態が厳しくなる②のみに着目している (STEP1~3)。なお、表-1では省略したが6~9BLについては解析の負荷を軽減するため、②および③のみに着目している (STEP14~21)。

これらのステップごとに解析モデルを作成し、そのステップでの荷重を作用させて主桁に発生した応力を順次重ね合わせることで逐次解析を行っている。

## 2.3 荷重条件

解析に考慮した荷重を図-3に示す。(a)各部材の自重のほか、架設時の検討として、(b)張出し架設用内ケーブルおよび(c)床版横締めPC鋼材の緊張力は  $0.7Pu$  ( $Pu$ : PC鋼材の引張強度)、(d)斜材張力は緊張直後の値として  $0.63Pu$ 程度を外力としてモデルに載荷している。移動作業車本体および上・下床版打設時の重量は、(e)移動作業車前方のメインジャッキの押込み力および(f)後方の作業車アンカーの引抜き力として主桁に作用させており、事前に各ステップで押込み・引抜き力を算出し、面荷重として載荷している。なお、本区間ではプレキャスト壁高欄を各BLの上床版構築後に先行して設置するため、(g)橋面荷重として線分布荷重を載荷している。

## 3. 解析結果

設計において留意した部位に発生する応力とその要因および補強方法を以下に示す。なお、応力のコンター図についてはSTEP1から累積した応力を示し、変形図は各STEPにおける単ケースの変形を示している。

### 3.1 上床版上面に発生する引張応力

STEP26~28の橋軸方向直応力を上床版上面に着目して示したものが図-4である。STEP26で移動作業車が10BLに移動した際に9, 10BLの継目付近に引張応力が発生し、STEP27で下床版コンクリートの打設

表-1 解析ステップ

STEP	イベント
1	1BLの波形鋼板ウェブの設置および下床版コンクリート打設
2	2BLの波形鋼板ウェブの設置および下床版コンクリート打設
3	3BLの波形鋼板ウェブの設置および下床版コンクリート打設
4	4BLの波形鋼板ウェブの設置および下床版コンクリート打設
5	3BLの斜材緊張
6	4BLの上床版コンクリート打設
7	4BLの張出架設用内ケーブルおよび床版横締めPC鋼材緊張
8	3→4BLへ移動作業車の前進
9	5BLの波形鋼板ウェブの設置および下床版コンクリート打設
10	4BLの斜材緊張
11	5BLの上床版コンクリート打設
12	5BLの張出架設用内ケーブルおよび床版横締めPC鋼材緊張
13	4→5BLへ移動作業車の前進
・	・
・	・
・	・
22	10BLの波形鋼板ウェブの設置および下床版コンクリート打設
23	9BLの斜材緊張
24	10BLの上床版コンクリート打設
25	10BLの張出架設用内ケーブルおよび床版横締めPC鋼材緊張
26	9→10BLへ移動作業車の前進
27	11BLの波形鋼板ウェブの設置および下床版コンクリート打設
28	10BLの斜材緊張
29	11BLの上床版コンクリート打設
30	11BLの張出架設用内ケーブルおよび床版横締めPC鋼材緊張
31	10→11BLへ移動作業車の前進
32	11BLの斜材緊張

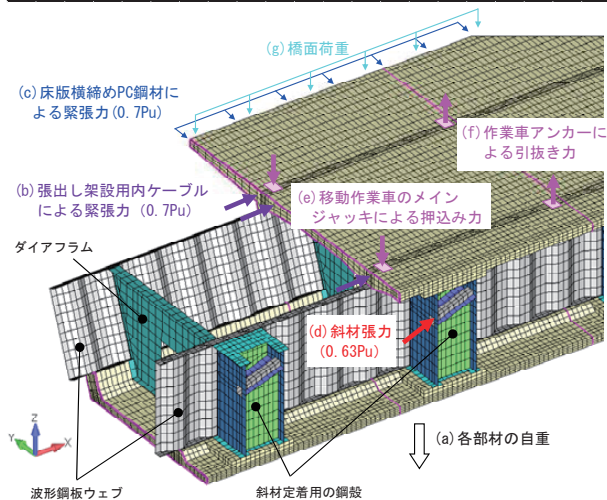


図-3 解析に考慮した荷重

重量によって移動作業車の反力が大きくなることにより中セルの直上に最大 $3.3\text{N/mm}^2$ の引張応力が発生する。しかし、STEP28では斜材緊張によって、引張応力が小さくなっていることが分かる。STEP26における変形図を図-5に示す。移動作業車前方のメインジャッキの押込み力と後方のアンカーによる引抜き力が同時に作用するため、斜材定着用の鋼殻位置において上床版が局所的に折れることによる引張応力が発生している。この引張応力は各BLとも下床版コンクリート打設時に一時的に最大となり、斜材や張出し架設用内ケーブルを緊張することによって打ち消される。この一時的に発生する引張応力に対して、鉄筋の許容引張応力度を $180\text{N/mm}^2$  (架設時のため) として補強鉄筋量を算出し、これと骨組解析による主方向の設計で決定する配置鉄筋量を比較し、多い方を配置することとした。

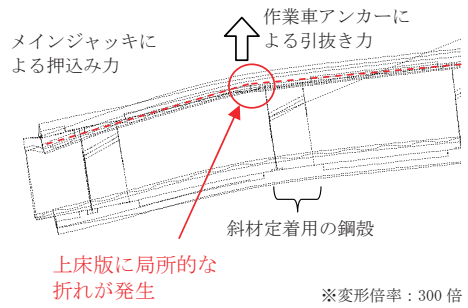


図-5 変形図 (STEP26)

【STEP26】  
9→10BL へ移動作業車の前進

【STEP27】  
11BL の波形鋼板ウェブの設置  
および下床版コンクリート打設

【STEP28】  
10BL の斜材緊張

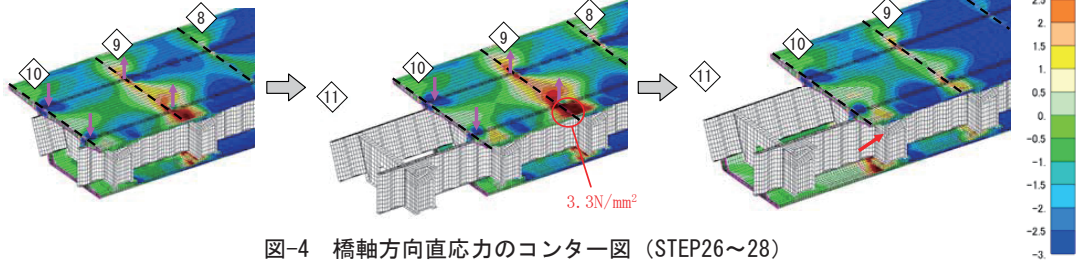


図-4 橋軸方向直応力のコンター図 (STEP26~28)

### 3.2 下床版下面に発生する引張応力

STEP27~29の橋軸直角方向直応力を下床版下面に着目して示したのが図-6である。STEP28において10BLの斜材を緊張することによって、下床版下面の外ウェブ側に $2.7\text{N/mm}^2$ 程度の引張応力度が発生している。上下線一体の広幅員3室箱桁を断面中心で一面吊りすることから、斜材緊張時に主桁断面が図-7のように変形しており、これにより、死荷重によって主桁の両端が垂れ下がることにより下床版の角部に局所応力が発生するものと考えられる。その後、STEP29において上床版を打設してもこの応力はほとんど変化せず残留する。この応力に対する必要鉄筋量が、骨組解析で求めた横方向の設計から決まる鉄筋量よりも大きくなるため、横方向の設計で決まる鉄筋量としてはこの数値を用いることとし、これにねじりなどによる鉄筋量を加えることとした。

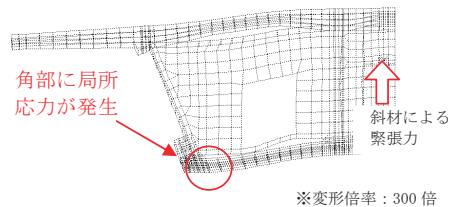


図-7 変形図 (STEP28)

【STEP27】  
11BL の波形鋼板ウェブの設置  
および下床版コンクリート打設

【STEP28】  
10BL の斜材緊張

【STEP29】  
11BL の上床版コンクリート打設

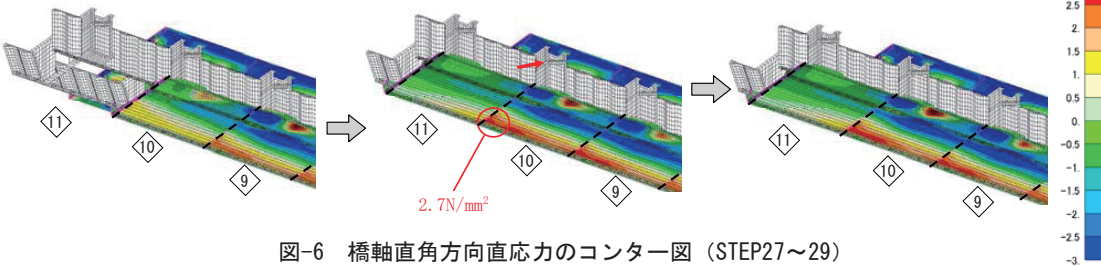


図-6 橋軸直角方向直応力のコンター図 (STEP27~29)



### 3.3 斜材定着部の鋼殻近傍に発生する引張応力

斜材緊張によって鋼殻近傍に引張応力が発生し、この応力は残留することが確認できた。これについては、斜材の張力(0.6Pu=6200kN)のみ作用させたFEM解析を別途実施し、これによって発生する引張力に対して補強鉄筋を追加することとした。解析モデルは図-8に示すような片持ち梁モデルとし、斜材緊張力の鉛直成分がもっとも大きくなる3BL斜材緊張時と水平成分がもっとも大きくなる11BL斜材緊張時の2ケースを検討の対象とした。

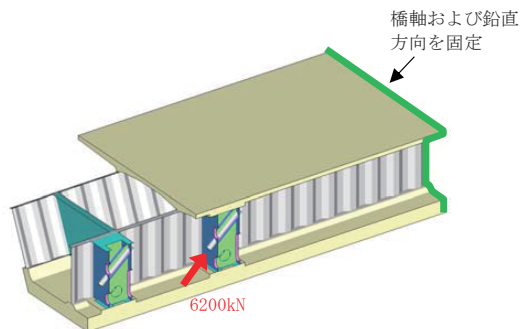


図-8 解析モデル図 (3BL 斜材緊張時)

図-9に3BL斜材緊張時の橋軸直角方向直応力のコンター図を示す。上床版上面に着目すると、最大で $2.3\text{N/mm}^2$ の引張応力度が発生している。この引張応力は局所的であり、発生箇所が中央分離帯の範囲に限定されることから、架設時はひび割れ幅で制御し、0.0035C (C: かぶり) 以下となるように床版横締めPC鋼材 (SWPR19L 1S28.6) を4本追加し、鉄筋をD13@125からD19@125にランクアップすることで対応した。なお、床版横締めPC鋼材を追加したことによって死荷重時および設計荷重時の応力度がひび割れ発生限界以内に収まることを確認している。

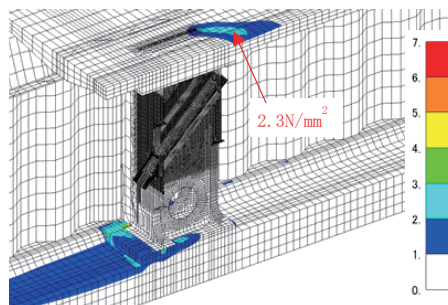


図-9 橋軸直角方向直応力のコンター図 (3BL 斜材緊張時)

### 3.4 波形鋼板ウェブに発生する局所応力

波形鋼板ウェブに着目すると、移動作業車のメインジャッキによる押込み力や斜材緊張によって一時的に局所応力が発生することが確認された。例としてSTEP29のミーゼス応力分布を図-10に示す。上床版コンクリート打設時に移動作業車のメインジャッキ直下において、最大 $205\text{N/mm}^2$ の応力が発生している。その後、移動作業車が前進することによってこの応力は緩和されることから、架設時の全ステップにおいて、波形鋼板ウェブ (SM490Y) に発生する応力が施工時荷重の割増しを考慮した許容応力度 ( $210\text{N/mm}^2 \times 1.25 = 263\text{N/mm}^2$ ) 以下となることを確認した。

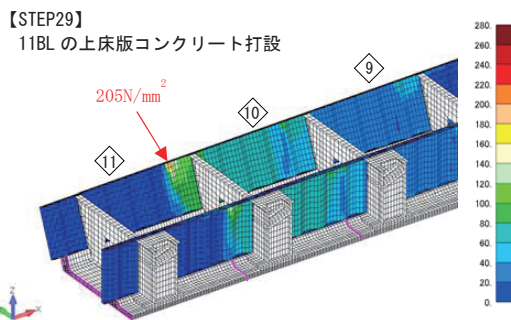


図-10 波形鋼板ウェブのミーゼス応力分布 (STEP29)

## 4. まとめ

本検討により、①移動作業車の押込み・引抜き力によって上床版の橋軸方向に引張応力が発生すること、②本橋のような広幅員3室箱桁を一面吊りすると死荷重によって主桁の両端が垂れ下がり、下床版下面に橋軸直角方向の引張応力が発生すること、③斜材定着用の鋼殻付近の上・下床版に局所応力が発生すること、④移動作業車のメインジャッキ直下や斜材緊張によって波形鋼板ウェブに一時的に比較的大きな応力が発生することが確認された。

### 参考文献

- 1) 池田, 水口, 小松, 中須, 前田 : 木曾川橋・揖斐川橋上部工の設計, 橋梁と基礎, pp.19-28, 1999年11月
- 2) 小松, 藤田, 佐伯, 神谷 : 木曾川・揖斐川橋におけるキャンチレバー架設時の検討, 第9回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, プレストレストコンクリート技術協会, pp.603-608, 1999年10月