

PC3 径間連続波形鋼板ウェブ箱桁橋の設計および施工

— 常磐自動車道 熊川橋 —

大阪支店

土木工事部 (九州支店駐在)

藤田秀徳

概要 : 熊川橋は、常磐自動車道の常磐富岡 IC 以北の延伸工事のうち、福島県双葉郡大熊町に位置する 2 級河川熊川を横過する PC3 径間連続波形鋼板ウェブ箱桁橋を建設するものである。

Key Words : PC 橋, 柱頭部, 波形鋼板ウェブ

1. はじめに

常磐自動車道は、東京外環自動車道との分岐である三郷 JCT を起点として関東地方から東北地方南部の太平洋岸を北進し、宮城県仙台市に至る総延長 352km の高速道路であり、現在は計画延長の約 80%程度が供用されているが、東日本大震災の影響もあり完全に開通させるためには諸問題の解決を要している。常磐自動車道の延伸は、福島・宮城両県の太平洋沿岸地域の交流・連携軸の形成、発展に不可欠であるとともに、将来的には東北自動車道と W ネットワークを形成する重要な路線として期待されるものである。

2. 工事概要

工 事 名 : 常磐自動車道 熊川橋(PC 上部工)工事
発 注 者 : 東日本高速道路株式会社 東北支社
構造形式 : PC3 径間連続波形鋼板ウェブ箱桁橋
橋 長 : 259.000m
支 間 長 : 80.900+118.000+57.600m
桁 高 : 7.500m~4.500m
幅 員 : (全幅)10.650m (有効幅員)9.750m
波形鋼板 : 材質-SM490Y, SM490, SM400 ウェブ厚 9~16mm



藤田秀徳

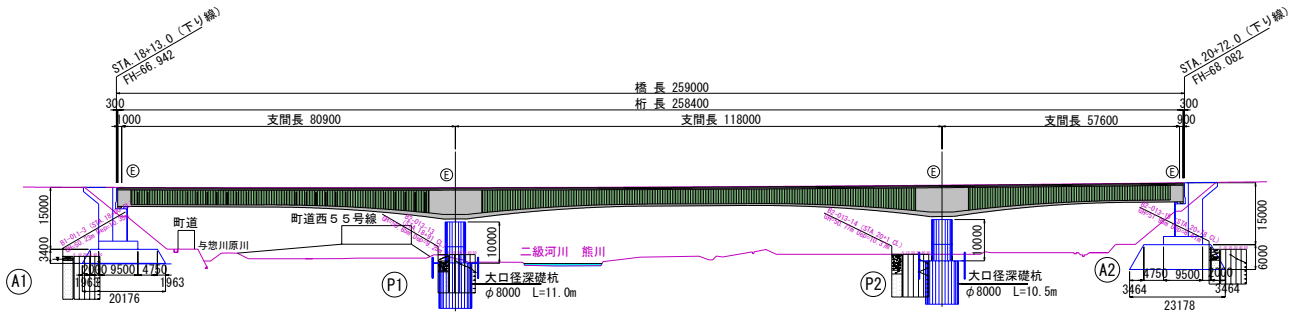


図-1 主桁側面図



写真-1 工事完了後全景

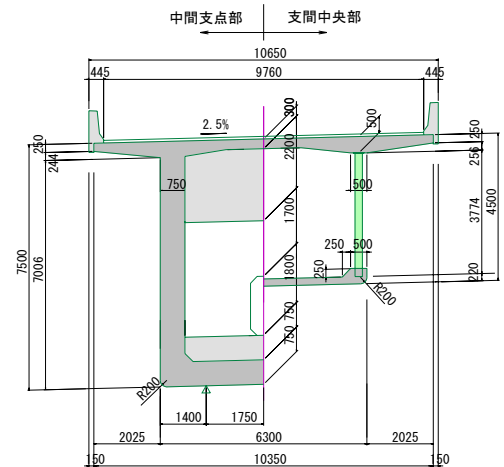
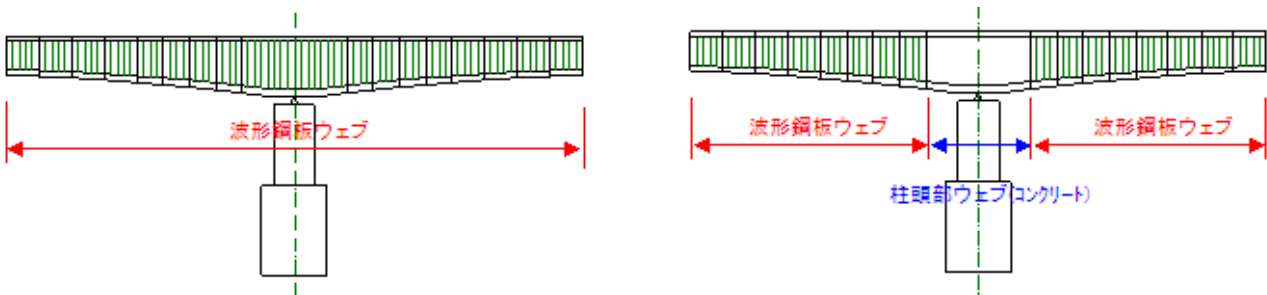


図-2 主桁断面図

3. 柱頭部の施工

3.1 柱頭部ウェブのコンクリート化

当時は北京オリンピック景気による鋼材不足の状況があり、波形鋼板納入時期が予定よりも大幅に遅延することが判明したため、施工を工期内で完了することが危ぶまれた。そのため、当初設計では波形鋼板ウェブを連続的に配置していたが、柱頭部手前までを波形鋼板ウェブとし、柱頭部端部に波形鋼板接続用の部材だけを配置する構造とした(図-3)。そうすることにより、波形鋼板ウェブの納入を待つことなく柱頭部を当初工程のとおり施工することができた。柱頭部ウェブをコンクリート化することにより死荷重は増加することとなるが、基本設計の全外ケーブル構造から詳細設計時において内外ケーブル併用構造に変更となったため、外ケーブル定着用突起分の重量が減少することにより大きい変動は発生しなかった。



当初案：波形鋼板を連続配置

採用案：波形鋼板を柱頭部以外に設置

図-3 波形鋼板配置図

3.2 柱頭部波形鋼板接合部の照査

柱頭部ウェブをコンクリート化したことにより、応力集中が懸念される波形鋼板ウェブの接合位置が柱頭部先端となるため、応力状態に異常がないか、波形鋼板接合部位置を変えた2案についてFEM解析により照査した。結果は図-2~4に示されるように特に顕著な差異はなく、どちらの構造形式でも断面力は円滑に伝達されていることを確認した。よって、経済性に優れた案1を採用することとした。

・モデル化

柱頭部をコンクリートウェブにした場合と波形鋼板ウェブにした場合の2モデルを作成した。解析モデルは柱頭部および張り出し3BLとし、片側張り出し先端の全方向を拘束する。

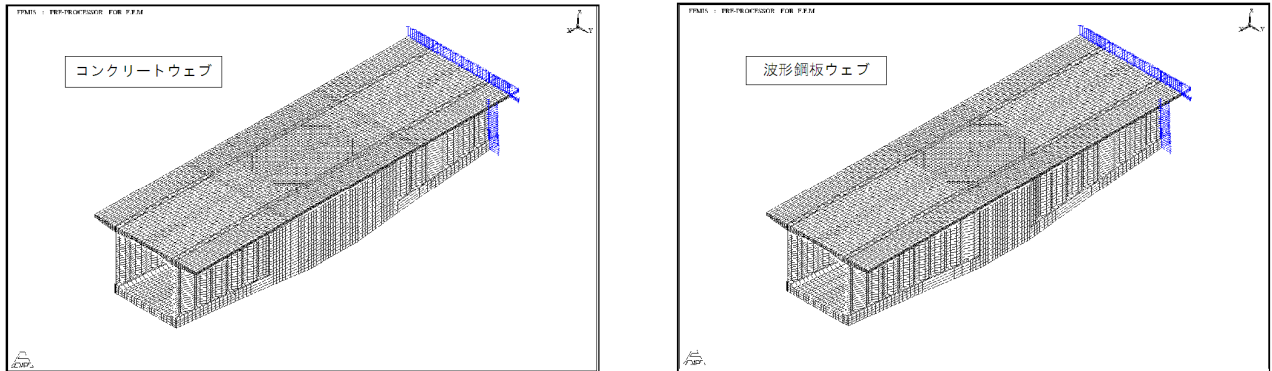


図-4 解析モデル図

・荷重条件

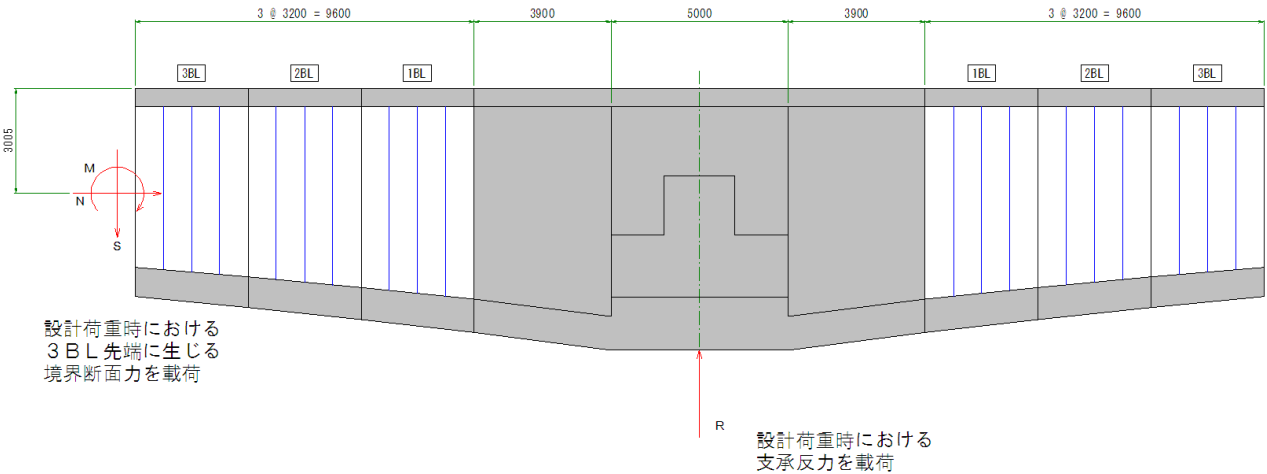


図-5 荷重条件図

使用材料および物性値

コンクリート

- 設計基準強度 : $\sigma_{ck} = 40\text{N/mm}^2$
- 弾性係数 : $E = 31,000\text{ N/mm}^2$
- ポアソン比 : $\nu = 0.167$
- 単位重量 : $\gamma = 24.5\text{ kN/m}^3$

波形鋼板

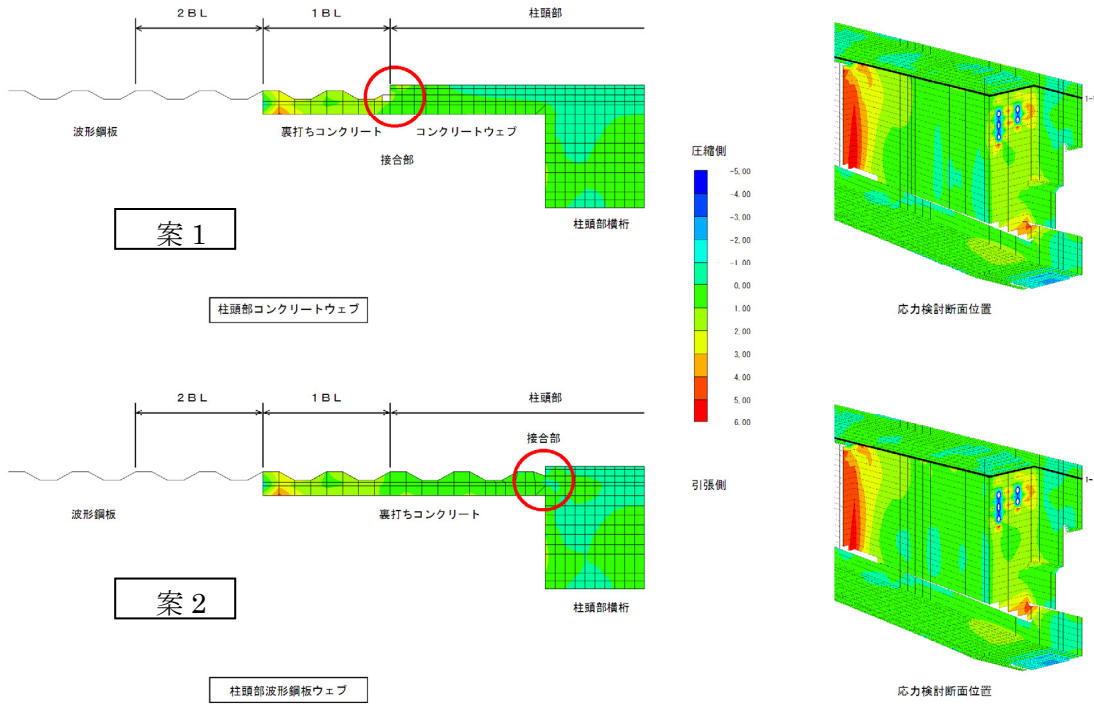
弾性係数 : $E = 200,000 \text{ N/mm}^2$

ポアソン比 : $\nu = 0.300$

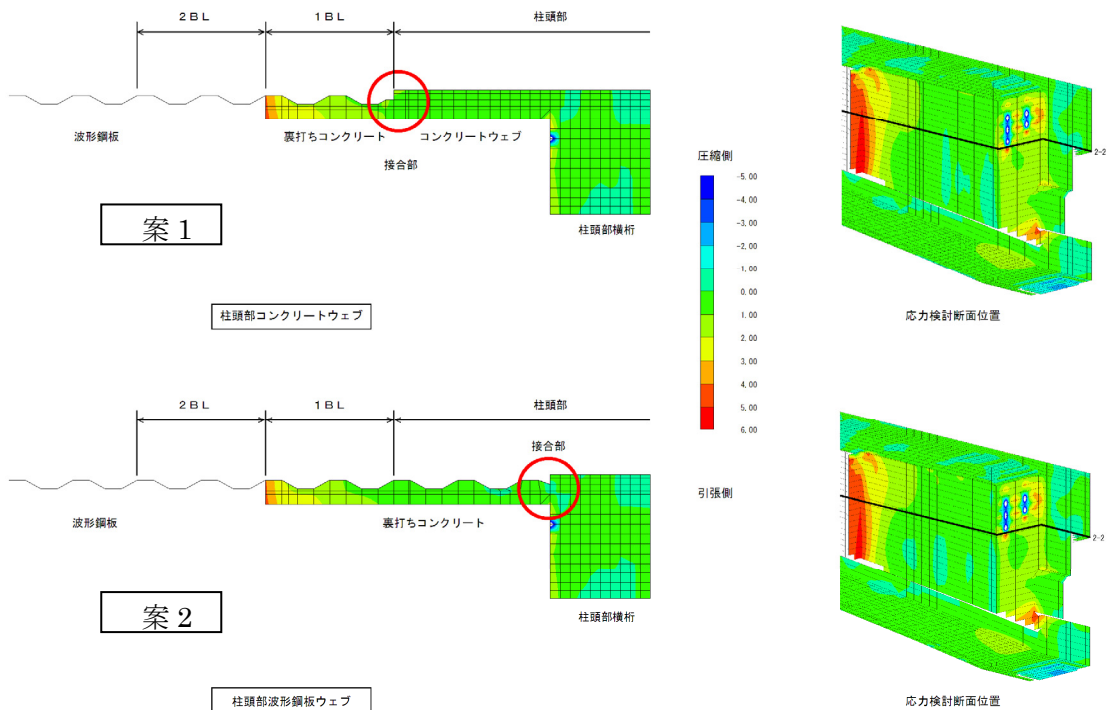
単位重量 : $\gamma = 77.0 \text{ kN/m}^3$

・解析結果

1-1断面 (上床版とウェブ接合部)



2-2断面 (横桁打ち下ろし部)



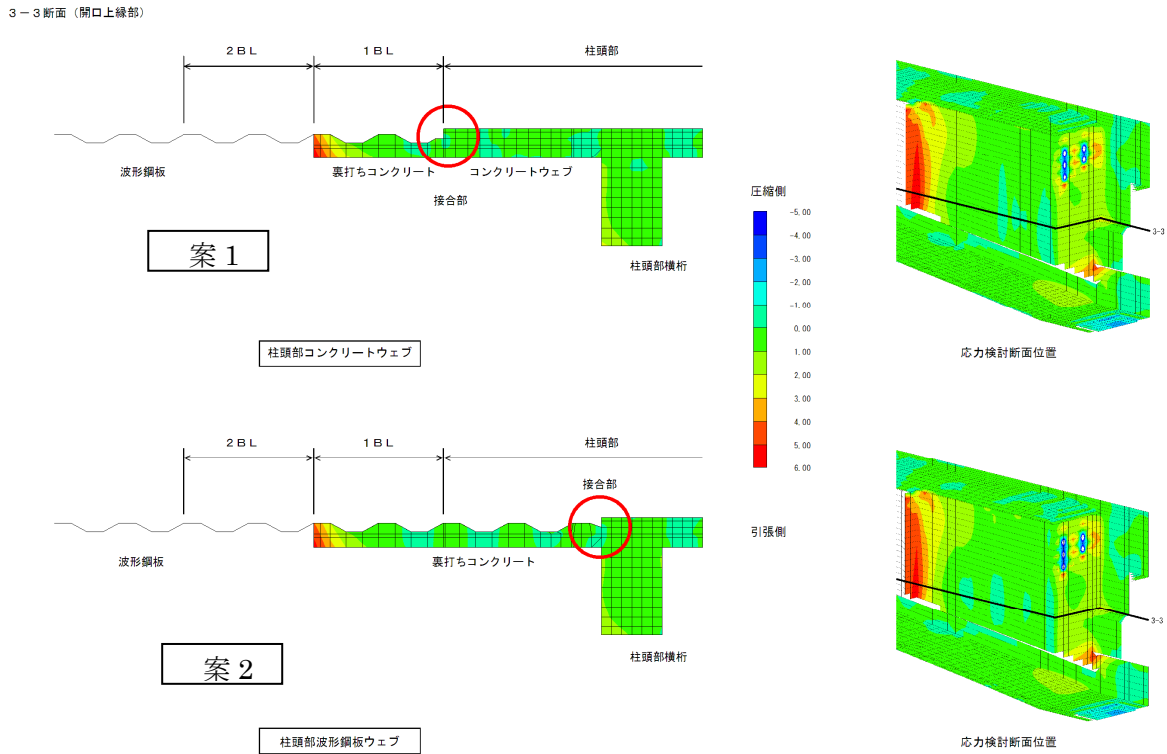


図-8 開口上縁部断面

3.3 柱頭部支点横桁の中中空化

通常の柱頭部横桁は人道孔を除き充実断面であり、コンクリートの水和熱による中心部の温度上昇は非常に大きく、温度ひび割れの発生が懸念される。本橋の設計では、マスコンクリート(40N/mm²)による発熱量の抑制を目的に柱頭部横桁部の中中空断面化を図った。外ケーブルの定着によって柱頭部横桁に生じる引張応力をFEM解析で確認しながら、可能な限りコンクリート体積を減らす設計を行った。検討ケースは図-5~8のように4タイプ(case-1:2枚壁横桁タイプ, case-2:2枚壁横桁+背面リブ500mmタイプ, case-3:2枚壁横桁+背面リブ2300mmタイプ, case-4:中空部打ち下ろし横桁タイプ)について比較検討した。case-1~3については最大主応力が4N/mm²を超える結果となり必要鉄筋量が過大となる結果となった。case-4のように主桁上縁から2500mm打ち下ろす構造については、最大主応力が3N/mm²程度であることによりcase-4のような構造を採用することとした。1柱頭部当たりのコンクリートの体積の減少量は約32m³である。

CASE-1 2枚壁横桁タイプ (中空タイプ)

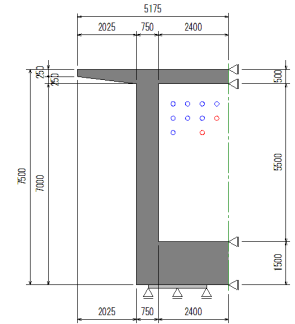
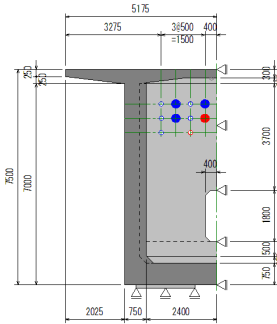
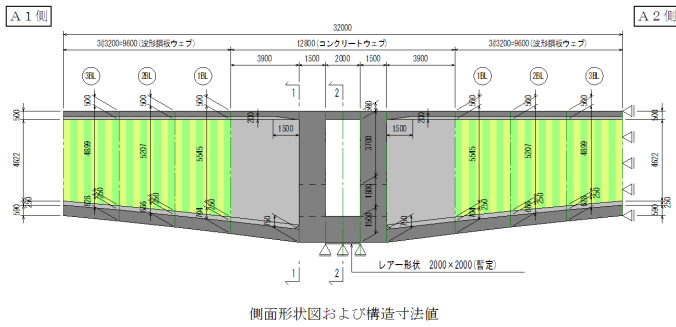


図-9 case-1 側面図

CASE-2 2枚壁横桁タイプ (背面リブ付きタイプ)
リブ厚: 500mm

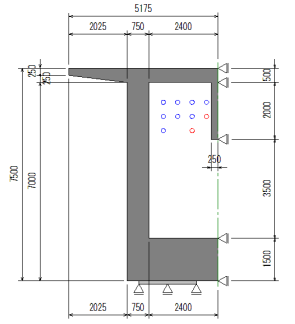
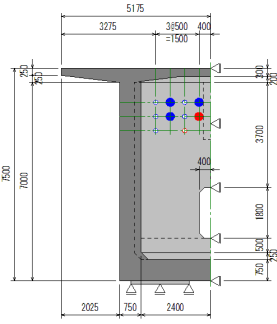
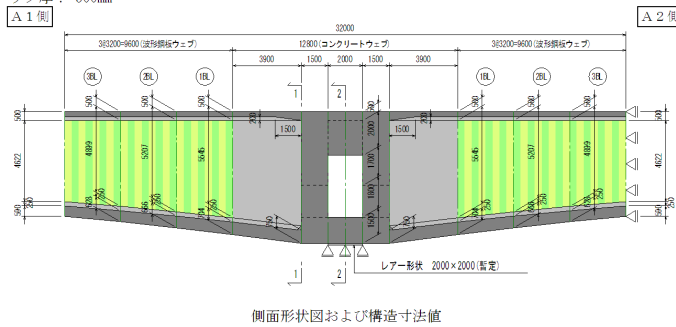


図-10 case-2 側面図

CASE-3 2枚壁横桁タイプ (背面リブ付きタイプ)
リブ厚: 2300mm

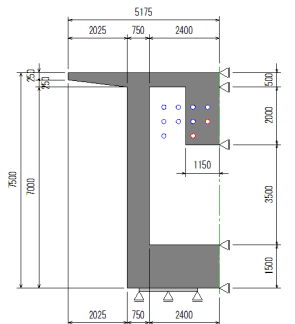
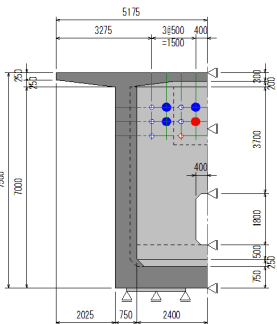
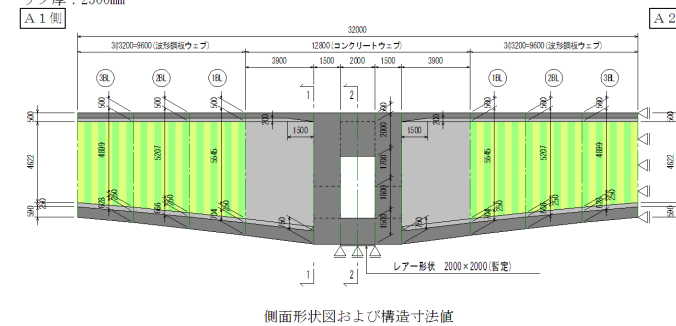


図-11 case-3 側面図

CASE-4 中空部打ち下ろし横桁タイプ

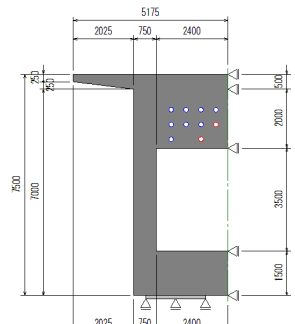
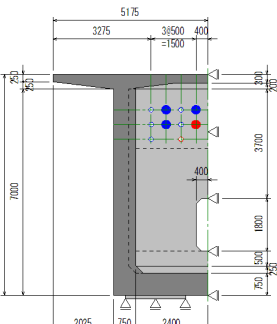
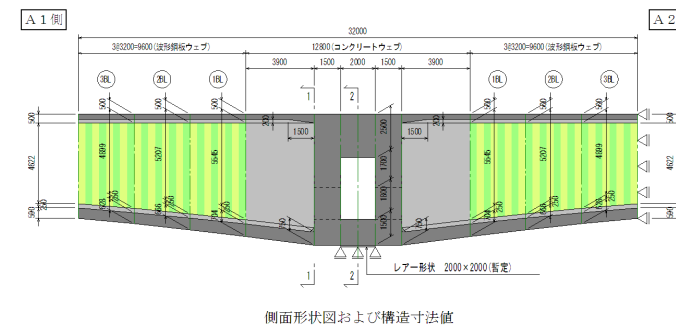


図-12 case-4 側面図(採用案)

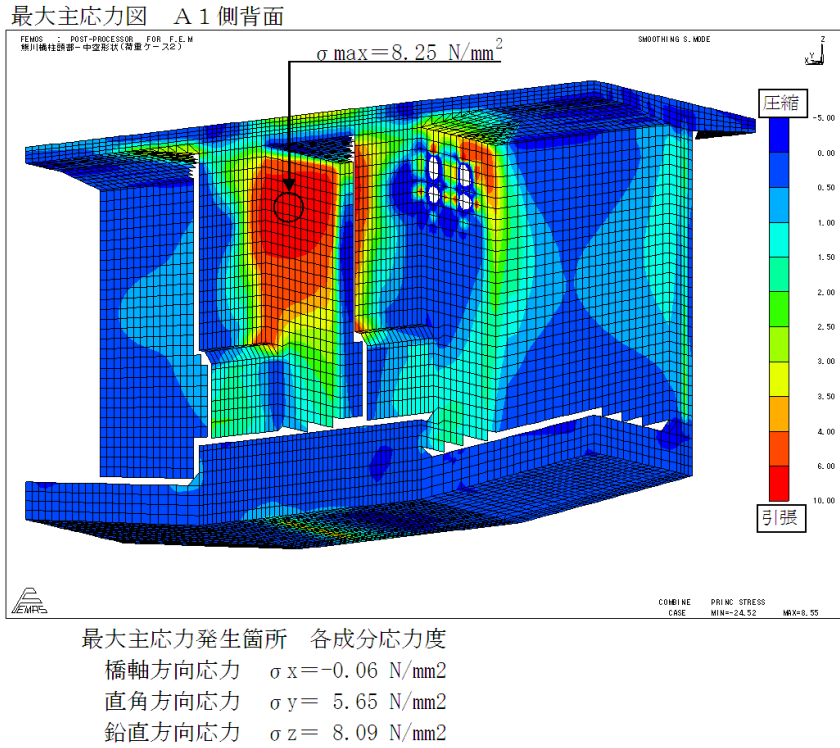


図-13 case-1 最大主応力図

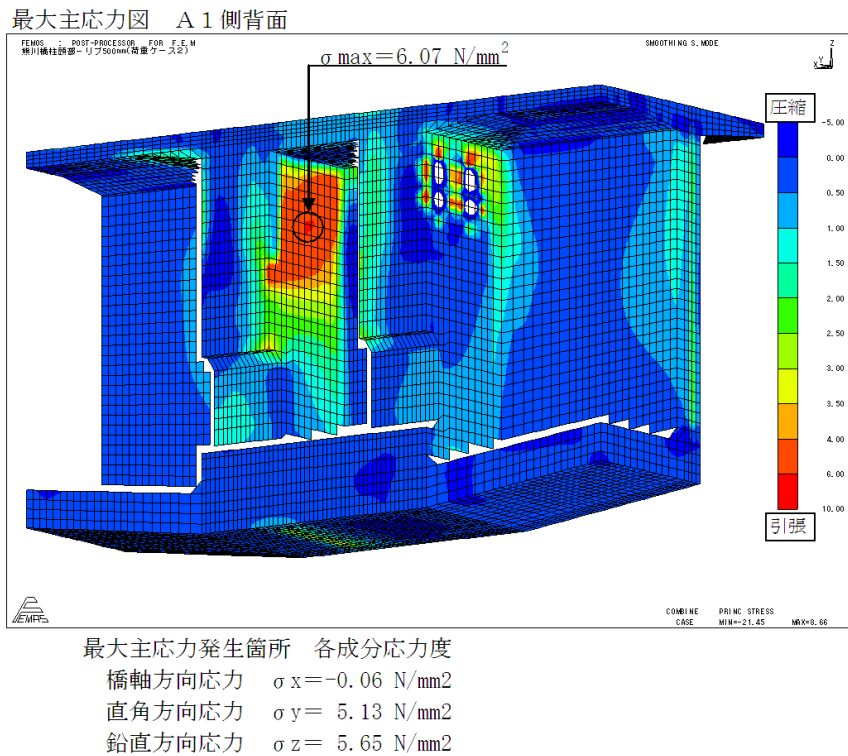
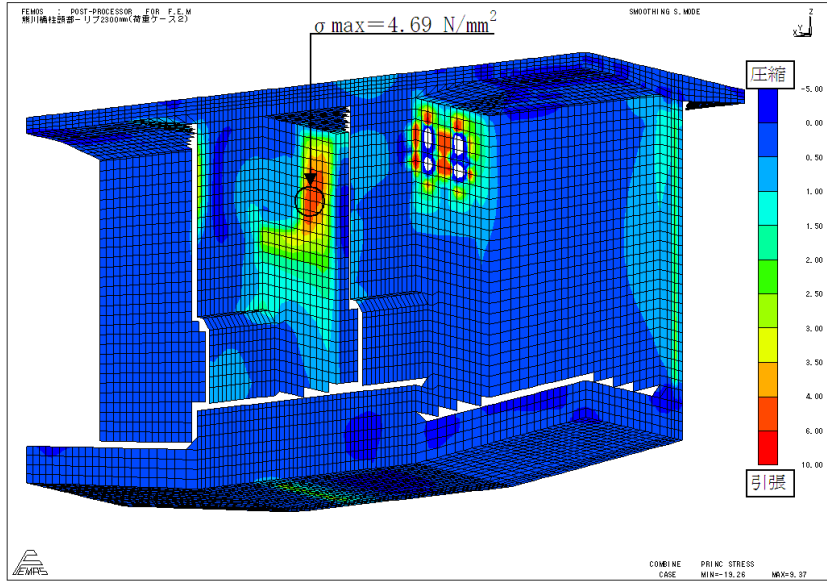


図-14 case-2 最大主応力図

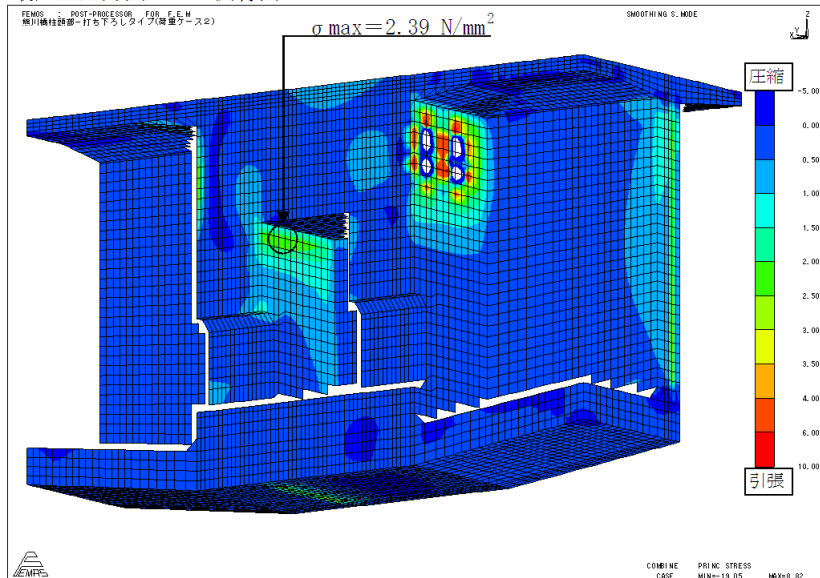
最大主応力図 A1 側背面



最大主応力発生箇所 各成分応力度
 橋軸方向応力 $\sigma_x = 0.66 \text{ N/mm}^2$
 直角方向応力 $\sigma_y = 4.57 \text{ N/mm}^2$
 鉛直方向応力 $\sigma_z = 3.56 \text{ N/mm}^2$

図-15 case-3 最大主応力図

最大主応力図 A1 側背面



最大主応力発生箇所 各成分応力度
 橋軸方向応力 $\sigma_x = 0.39 \text{ N/mm}^2$
 直角方向応力 $\sigma_y = 1.60 \text{ N/mm}^2$
 鉛直方向応力 $\sigma_z = 2.36 \text{ N/mm}^2$

図-16 case-4 最大主応力図

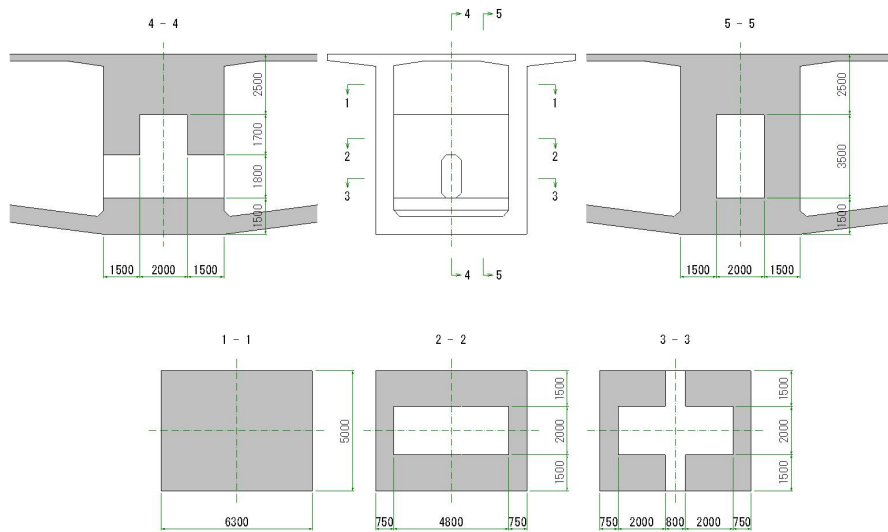


図-17 case-4 構造詳細図

3.4 柱頭部支点横桁部の温度応力解析

柱頭部横桁は中空断面化したがマスコンクリート構造であることは変わらないため、温度応力によるひび割れが懸念される。そこで、生コンクリート硬化時の発熱量を極力抑えることで内部拘束型ひび割れのリスク低減を図った。1回あたりの打設量を減らすことで発熱量を抑える方法で、ロット割りは柱頭部横桁中空断面部までを第1ロット、外ケーブル定着部の横桁を第2ロット、上床版部を第3ロットとするとともに、第2ロットの外ケーブル用シース部にエアーケーリングを実施することとした。また、第3ロットの上床版は外部拘束ひび割れの懸念があったため、膨張コンクリートを採用することとした。これらの方法を採用する上で確認した温度応力解析結果を図-9に示す。2ロット施工にした場合に比べて3ロット施工で諸策を施した場合、ひび割れ指数が大きく改善されている。さらに、ひび割れ指数が特に小さくひび割れ発生が懸念される箇所に対しては、ひび割れ幅を許容値以下に抑えるために必要な鉄筋量を算出し、これを配置した。

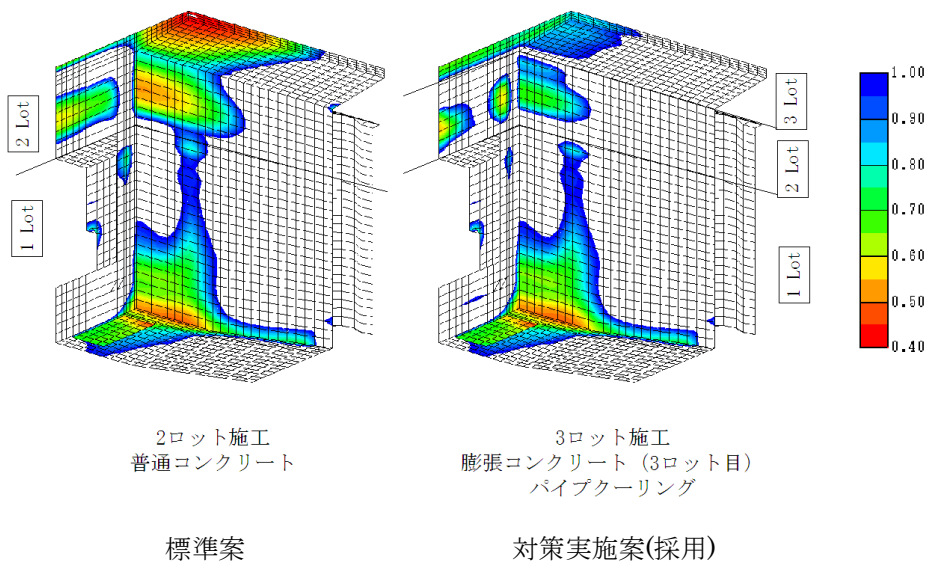


図-18 ロット割変更による経験最小ひび割れ指数の改善効果

4. まとめ

柱頭部中空化については、セメントの水和熱の発生の低減は元より、外気に触れる型枠の面積が増えたことにより、温度の上昇を抑えることができたと考えられる。一方、施工においては、配置鉄筋の形状の複雑化、狭い場所での型枠の組立作業の増加等、施工手間は増加した。

普通コンクリートの使用については、水和熱の発生が抑えられることの他にも、実際の打ち込み作業時においてスランプの径時変化が少なくなり柱頭部のような複雑な構造においては、コールドジョイントの発生が低減できると考えられる。

本施工では打設ロットを3回に分けたことにより、ひび割れ指数は大きくなり、ひび割れ発生確率を低く抑えることができた、しかしながら、打設ロットをむやみに増やすことは、構造上において打ち継ぎ目が弱点になり易いことや拘束クラックの要因ともなり得るので適正に設定しなければならないと考えられる。本橋は桁高7.5mと比較的高いこともあり、総合的に評価して3ロットは適正だったと思われる。

また、補強筋の配置については、柱頭部一箇所について約10t（全体使用量の1/5）の追加配筋となった。非常に密な配筋はコンクリートの充填性を低下させることにも繋がるので十分注意する必要がある。