

谷津川橋（上り線・下り線）の設計・施工

— 世界最長の中央径間を有する波形鋼板ウェブ連続箱桁橋 —

今井 平佳*1・稲葉 尚文*2・矢吹 太一*3・立神 久雄*4

谷津川橋は、新東名高速道路の沼津 SA ～御殿場 JCT 間に位置する波形鋼板ウェブとストラット付き床版を有する複合 PC 橋である。橋梁の規模は、上り線は最大支間 135.0 m の 5 径間連続箱桁橋であり、下り線は最大支間 131.5 m の 5 径間連続箱桁橋である。上り線の中央支間長は、連続桁形式の波形鋼板ウェブ橋とした橋梁では世界最長となる。

本橋の施工に際しては、経済性、品質の向上、施工性、景観性に関する検討しており、上り線を先行施工し、あと施工である下り線でさらなる改善を行っている。本稿は、これらの検討事項に関する詳細について報告するものである。

キーワード：経済性、品質の向上、施工性、景観性

1. 橋梁概要

谷津川橋は、新東名高速道路の沼津 SA ～御殿場 JCT 間に位置し、裾野市千福地内に建設された橋梁である。橋梁規模は、谷津川橋（上り線）が橋長 383.5 m、最大支間 135.0 m で 5 径間の連続箱桁橋、谷津川橋（下り線）が橋長 406.0 m、最大支間 131.5 m で 5 径間の連続箱桁橋である。また、中央支間長 135.0 m は連続桁形式の波形鋼板ウェブ橋とした橋梁では世界最長となる。写真 - 1 に架設時の状況、写真 - 2 に完成写真を示す。

本橋の橋梁概要は、以下のとおりである。

路線名：高速自動車国道第二東海自動車道

横浜名古屋線（第 1 種第 1 級 A 規格）

橋梁形式：PC 5 径間連続波形鋼板ウェブ箱桁橋

有効幅員：16.500 m、

平面線形：R = 4 000 m

主要材料：主桁コンクリート $\sigma_{ck} = 40 \text{ N/mm}^2$

ストラットコンクリート $\sigma_{ck} = 40 \text{ N/mm}^2$

主方向内ケーブル 12S15.2

主方向外ケーブル 19S15.2

波形鋼板 SM490, SM570

〔谷津川橋（上り線）〕

橋 長：383.500 m

支 間：43.8 + 91.0 + 135.0 + 74.0 + 37.3 m

最大脚高：44.500 m

工 期：平成 18 年 5 月～平成 22 年 8 月

（上部工施工期間、詳細設計を含む。）

〔谷津川橋（下り線）〕

橋 長：406.000 m

支 間：34.8 + 81.0 + 131.5 + 95.5 + 60.8 m

最大脚高：44.000 m

工 期：平成 19 年 3 月～平成 23 年 3 月

（上部工施工期間、詳細設計を含む。）

図 - 1 に橋梁一般図を、図 - 2 に断面図を示す。

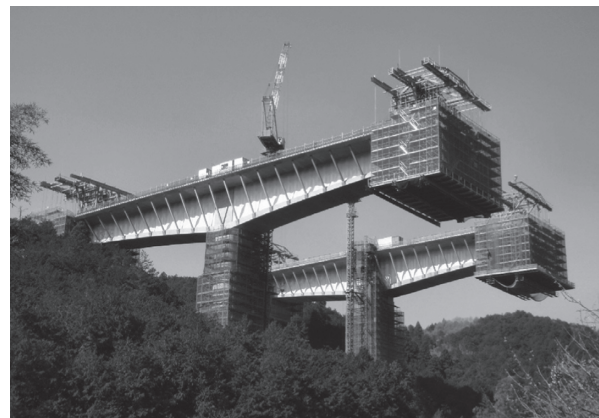


写真 - 1 架設状況（上り線、下り線）



写真 - 2 完成全景（上り線、下り線）

*1 Hirayoshi IMAI：川田建設(株) 東京支店 事業推進部

*2 Naohumi INABA：中日本高速道路(株) 金沢支社 福井保全・サービスセンター

*3 Taichi YABUKI：中日本高速道路(株) 名古屋支社 建設事業部 建設チーム

*4 Hisao TATEGAMI：ドービー建設工業(株) 技術部



断面図

標準断面

中間支点断面

RCストラット

465

17 430

16 500

465

4 000

8 500

5 280

6 500

5 280

185

17 060

185

2. 検討概要

2.1 經濟性

- る。

以上を組合せることにより、より経済性の高い橋梁とされている。

2.2 品質の向上

- ① 主方向の PC 鋼材は、内外ケーブル併用とし、外ケーブル（19S15.2）には、防錆・維持管理を考慮してエポキシ樹脂被覆 PC 鋼より線と亜鉛めっきマルチ PC 鋼より線を使用している。
- ② 柱頭部は、支承部からの力の伝達、外ケーブルの定着などでマッシュパコンクリートとなるため、温度応力度解析を行い、コンクリート温度・ひび割れ指数・温度応力度を確認し、施工の分割、補強鉄筋の配置を決定しひび割れの防止を行っている。
- ③ ストラットは RC 部材とし JIS 工場で製作するとともに、JIS の基準にのっとり、曲げ耐力試験を行い、所定の要求性能を満足していることを確認し、品質管理手法を提案している。
- ④ ストラットに支持された床版は、橋軸方向に発生する曲げモーメントおよび張出し床版先端の日開きを防止のためエッジビームに PC 鋼材を配置している。

2.3 施 工 性

- Vol.53, No.5, Sep. 2011

○ 工事報告 ○

ット間隔およびブロック長を4mのみとして単純化し、1サイクル工程の短縮を図っている。

- ④ 下床版と波形鋼板の接合は、コンクリートの充てん性の高い埋込み接合とした。上床版と波形鋼板の接合には、孔あき鋼板ジベルを2枚配置したツインパーフォボンドリブ接合を採用している。

2.4 景 観 性

景観に配慮して桁高変化を二次曲線とし、下床版位置にストラットを取り付け幾何学的な変化のある外観とした。

3. 橋梁の特徴

3.1 連続桁形式の採用

本橋は、コスト縮減、地震時の橋脚への負担軽減などを目的として、全支点で免震支承（超高減衰積層ゴム支承）により支持された連続桁形式である。また、上り線の中央支間長に関しては、連続桁形式の波形鋼板ウェブ橋としてはもっとも長いという特長を有している。

橋梁の背後に富士山を望み（写真 - 1）、支間長が135mと長く、橋脚高さも45mと高いため、富士山の稜線の形状に合せ、全体的に伸びやかな印象を与える橋梁にしたいと考えた。そこで、下床版の形状を、二次曲線、直線や放物線などの検討を行った。作業台車の型枠をストラットよりも先端部分の床版の型枠を組み替えるだけにするような工夫や、波形鋼板と下床版との接合への埋込み接合の採用、およびストラット設置方法の工夫などにより二次曲線変化させても施工可能であり、コスト増も無いと判断できた。そのため、景観に配慮して本橋の桁高変化には、二次曲線変化を採用した（赤淵川橋、中一色川橋などは波形鋼板に下フランジを設置するタイプであるため直線変化としている）。また、ストラットは取付け位置を下床版とし、長さや角度を変化させているが、施工精度を高めるため、プレキャスト製品としている。

主桁断面は波形鋼板とストラット構造とし、ストラットの取付け位置や構造ディテールを工夫することにより、有効幅員が同じ橋梁と上部工重量を比較すると、新東名建設初期の1室箱桁断面（興津川橋）に比べ約65%，コンクリートウェブストラット断面（芝川高架橋）に比べ約75%，波形ウェブリブ付き床版断面（赤淵川橋）に比べ90%に軽量化が図れ、より洗練された構造形式となっている。

中間支点の支承は最大反力が17 000 kNと大きいため、ゴム支承（1 070 × 1 920 × 392）を2個で1基の支承としている。また、橋台部の支承は、反力に対し移動量が大きいので、ポストスライド工法を採用することにより、コンパクト化（支承厚を55%）してコストダウンを図っている。また、張出し架設時の仮支承を小さくするため、仮固定鋼棒をC種1号（SBPD1080/1230）とし、橋脚の断面寸法のコンパクト化を行った。これら免震支承による連続桁形式の採用により20%の橋脚寸法のコンパクト化が図れた（写真 - 3、4）。

3.2 エッジビーム構造の採用

床版はエッジビームを介してストラットにより支持しており、橋軸方向にも曲げモーメントが発生するためエッジ

ビームにプレグラウトPC鋼材を配置した（図 - 3、写真 - 5）。また、エッジビームにPC鋼材を配置することで、ブロック目地部でのシェアラグの影響による張出し床版先端の目開きを防止する役割を担っている。

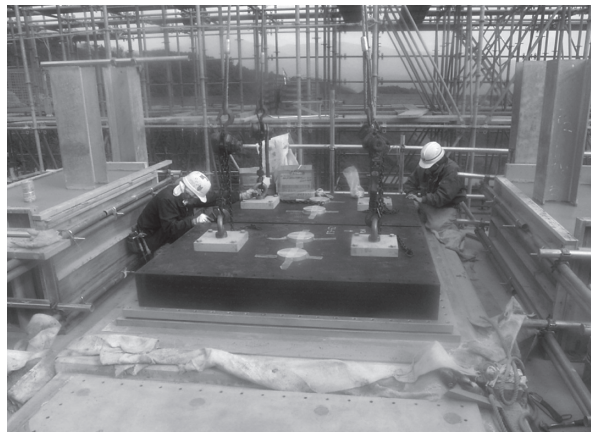


写真 - 3 超高減衰積層ゴム支承の設置状況



写真 - 4 超高減衰積層ゴム支承の設置状況

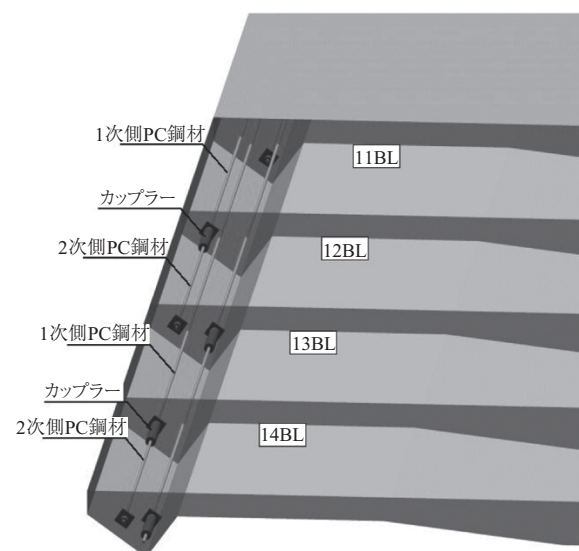


図 - 3 エッジビーム鋼材配置状況

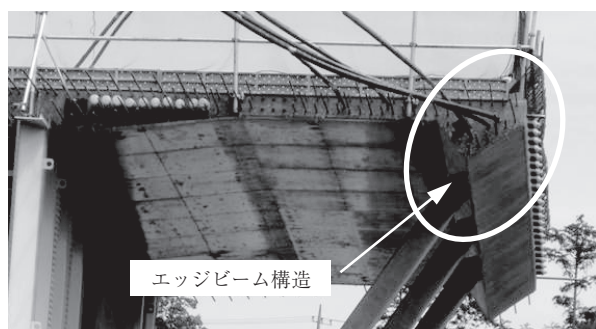


写真 - 5 エッジビーム構造

エッジビーム鋼材は、デッドアンカーを用いたタスキ掛け定着により配置する場合と、カップラー接続により連続ケーブルとする場合の2通りの方法がある。上り線ではデッドアンカーを用いたタスキ掛け定着を採用したが、下り線では解析などを行い配置本数の優位性や定着付近の応力伝達の有効性が確認されたためカップラー接続を採用した。

施工にあたっては、応力測定や実際の施工性を比較検証することにより、カップラー接続の優位性を検証することができた。また、カップラーシースはプラスチック製とし、その空間はプレグラウト鋼材と同様の樹脂を後から充てんすることにより、施工性や耐久性の向上を図っている(写真 - 6, 7)。

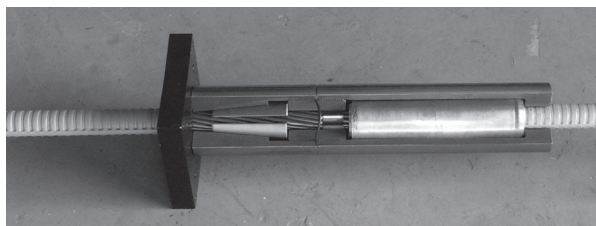


写真 - 6 プレグラウト鋼材接続具

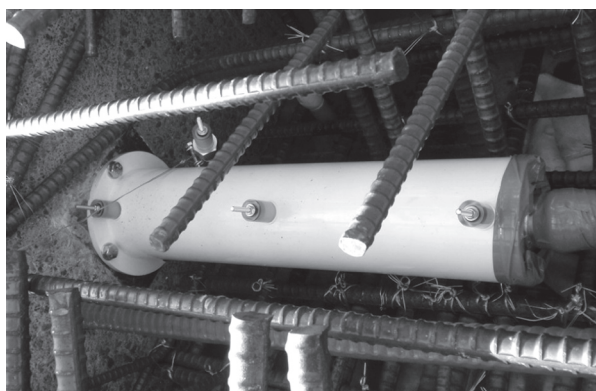
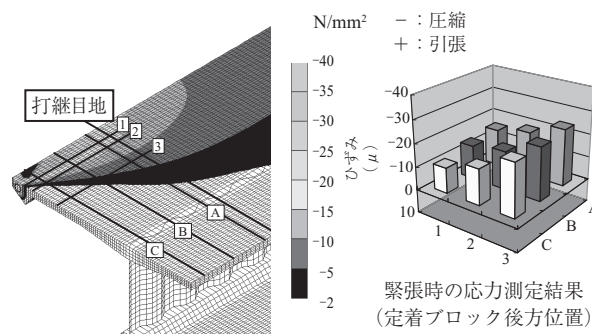


写真 - 7 カップラーシース配置状況

なお、主鋼材の緊張力分布やカップラー接続による応力の抜けなどをFEM解析や応力測定を行い(図 - 4)、次のことを確認している¹⁾。

- ① 主鋼材はその定着しているブロック目地の張出し床版



エッジビーム鋼材の影響範囲

図 - 4 エッジビーム鋼材の影響範囲

先端には、有効でない。

- ② エッジビーム鋼材は、その定着しているブロック目地の張出し床版先端には、有効である。
- ③ エッジビーム鋼材を接続具から引き越しても既設ブロックでの張力ロスが生じない。

3.3 プレキャスト RC ストラットの採用

ストラットを配置して張出し床版を支持する構造は、主桁の底版幅を小さくでき、桁自重の軽減が図れるとともに、下部工構造寸法を小さくできるので、地山掘削の低減が図れる(写真 - 8)。



写真 - 8 RC ストラット部材

新東名の建設初期のストラットは、鋼管やFRP管を使用していたが、近年では経済性の観点からRCストラットを使用する機会が多くなった。しかしながら、RCストラットの要求性能が定められていないため、要求される耐力と品質管理方法が決められていなかった。そのため、品質管理や景観に対する精度の観点から、RCストラットを工場製作とし、JIS工場で作ることとした(写真 - 9)。また、RCストラットは、JISの基準にのっとり、曲げ耐力試験を行い、所定の要求性能を設定し、設計および品質管理手法を提案した(写真 - 10, 表 - 1)。

3.4 エポキシ樹脂被覆鋼材の採用

上り線外ケーブルには、エポキシ樹脂被覆PC鋼より線を使用している(写真 - 11)。エポキシストランドをノン

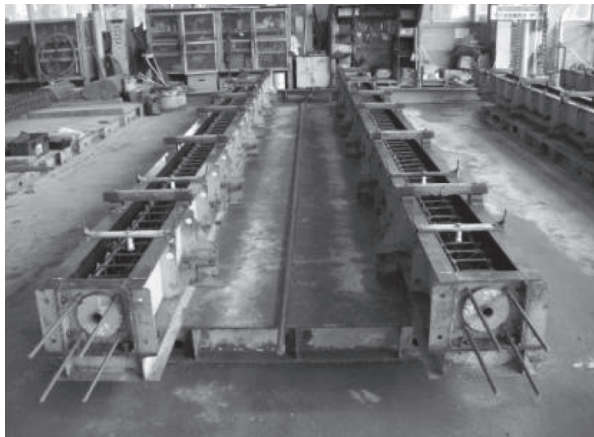


写真 - 9 RC ストラット配筋状況

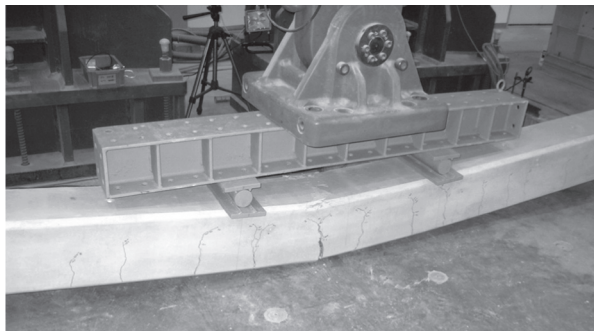


写真 - 10 RC ストラット耐力試験状況

表 - 1 RC ストラットの品質管理結果

確認時期	上り線			下り線		
	載荷曲げ (kN・m)	たわみ (mm)	ひび割れ の有無	載荷曲げ (kN・m)	たわみ (mm)	ひび割れ の有無
① 設計荷重時	9.2	0.6	無し	7.5	0.2	無し
② ひび割れ強度時	11.8	0.8	無し	11.5	0.7	無し
②' ひび割れ発生時	16.2	1.5	有り	15.0	1.5	有り
③ 終局耐力時*	40.2	30.6	有り	41.9	44.5	有り
コンクリート圧縮強度	46.1N/mm ²			45.5N/mm ²		

※終局耐力時にコンクリートが圧壊していないことを確認した。



写真 - 11 エポキシ樹脂被覆 PC 鋼材

グラウト外ケーブルに適用することで、グラウト式外ケーブルに比べて次のようなメリットがある。

- ① グラウト作業の省略による省力化、工期短縮が可能
- ② 長尺の保護管の接続、設置作業の省略
- ③ ケーブル自重の軽減
- ④ 供用後もケーブル点検が容易
- ⑤ 製造時から保管、架設、供用に至る全期間の防食が可能

3.5 亜鉛めっきマルチ PC 鋼材の採用

下り線外ケーブルには、さらなる防食性の向上と施工性の向上を目指して工場製作の亜鉛めっきマルチ PC 鋼材を使用している（写真 - 12）。亜鉛めっきマルチ PC 鋼材を適用することで、グラウト式外ケーブルに比べて次のようなメリットがある。

- ① 一括引込みおよびグラウト作業省略による省力化、工期短縮が可能
- ② 長尺の保護管の接続、設置作業の省略
- ③ ケーブル自重の軽減
- ④ 製造時から保管、架設、供用に至る全期間の防食が可能

また、亜鉛めっきマルチ PC 鋼材は、外套管としてポリエチレン管を使用しており、亜鉛めっきの減少量の程度を

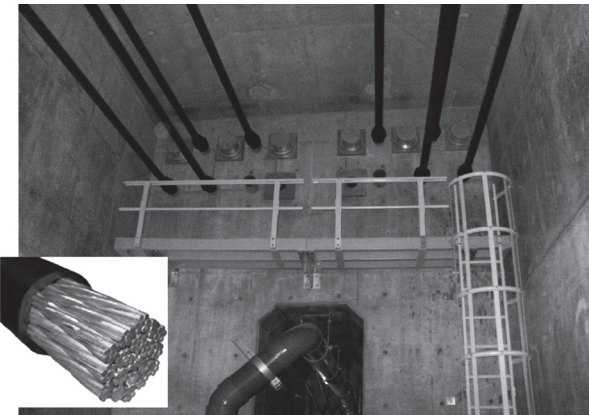


写真 - 12 亜鉛めっきマルチ PC 鋼材

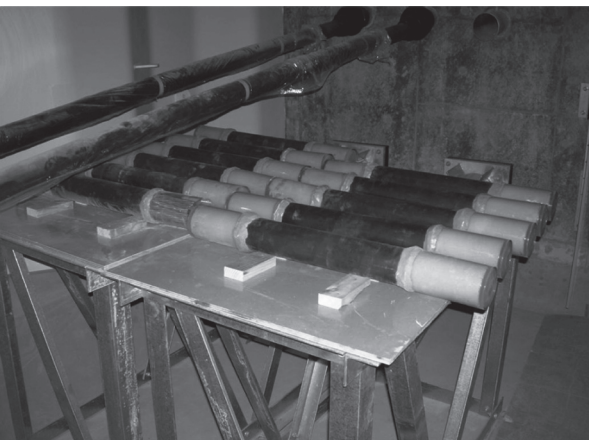


写真 - 13 劣化確認サンプル

確認するため、箱桁内に保管したサンプルにより劣化の程度を確認できるようにした（写真 - 13）。

エポキシ被覆 PC 鋼材に比べ、プレファブ PC 鋼材であるため PC 鋼材捌き櫛が不要になり、外套管のポリエチレンシースの表面硬度が高く挿入時の PC 鋼材養生設備が簡素化されるため、施工性が向上され挿入作業日数が半減した（写真 - 14）。

このため材料費はコスト増となるが、施工費がコスト減となるため、外ケーブルトータルとしての費用は、エポキシ樹脂被覆鋼材と同等になった。今後の需要を考えるとさらにコスト縮減が図れると考えられる。

3.6 超低粘性グラウトの採用

下り線では、内ケーブルの防食に使用するグラウト混和剤に、超低粘性グラウト混和剤を使用している。従来の



（エポキシ樹脂被覆 PC 鋼材挿入状況）



（亜鉛めっきマルチ PC 鋼材挿入状況）

写真 - 14 PC 鋼材挿入状況

○ 工事報告 ○

PC グラウトに比べ粘性が低いことにより、狭い間隙やロングスパンへの充てんがスムーズに行えるうえ、注入作業時における閉塞トラブルなども軽減される。そのため、練混ぜプラントを移設しなくても長距離圧送が可能のため、注入効率の向上が期待でき、グラウト充てん中もつねに低圧で安全である。また、超低粘性であっても材料分離抵抗性に優れ、安定した高い圧縮強度が得られる。

超低粘性グラウト混和剤の採用にあたって、事前に混和剤メーカーでの材料試験などの確認試験を行い、フロー値、空隙率、およびブリージングの有無を確認した。その後、実物大でのグラウト注入試験を行い、グラウトの特性および充てん性の確認を行った（写真 - 15）。グラウト試験の結果、最大注入距離を 58 m とした場合、高粘性タイプで最大注入圧が 1.3 MPa に対して、超低粘性タイプで 0.1 MPa であったため、注入距離を 60 m としても注入可能であると判断した。これらの材料試験と注入試験の結果を踏まえ、超低粘性グラウト施工マニュアルにまとめることとした。また、グラウトの充てん状況は非破壊検査により確認している（写真 - 16）。



写真 - 15 グラウト注入試験状況



写真 - 16 グラウト充てん非破壊検査状況

3.7 柱頭部の特殊解析

本橋の柱頭部は、支承部からの力の伝達、外ケーブルの定着などでマッシブなコンクリートとなるため、温度応力度解析を行い、ひび割れ指数 1.0 を確保するため、コンクリート温度を 70℃ 以下に抑え、なおかつ施工分割（4 分

割）や補強鉄筋（増加鉄筋量 5%）をできるだけ少なくできるように施工方法の検討を行った（図 - 5）。また、柱頭部は、支承部からの力の伝達、外ケーブルの定着力および裏打ちコンクリート配置により、応力の流れが複雑になるため、3次元ソリッド要素およびシェル要素による FEM 解析を行い、補強鉄筋の配置（増加鉄筋 3%）を決定した（図 - 6）。なお、施工時に温度計測を行い、解析との整合性を確認しながら施工を行うことにより、施工後のひび割れ調査で、耐久性に影響のあるひび割れ（0.2 mm 以上）の発生が無いことを確認した。

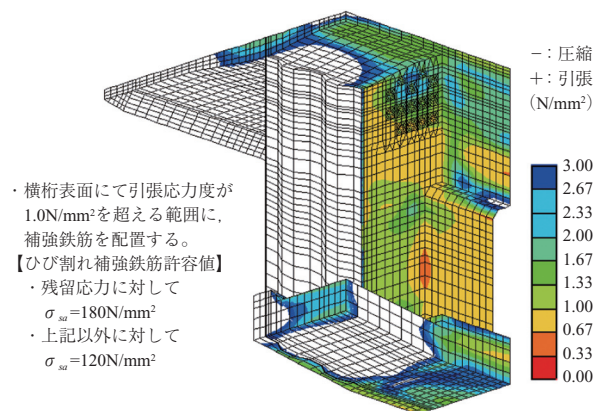


図 - 5 柱頭部の温度応力度解析

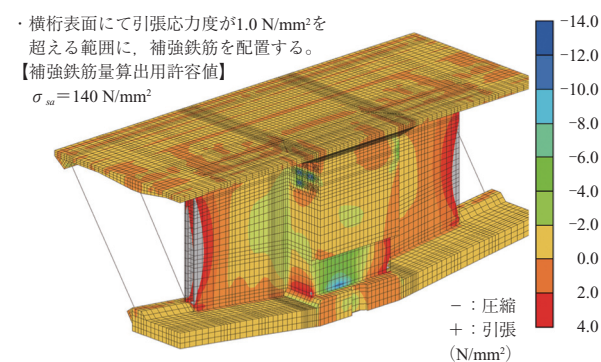


図 - 6 柱頭部の FEM 解析

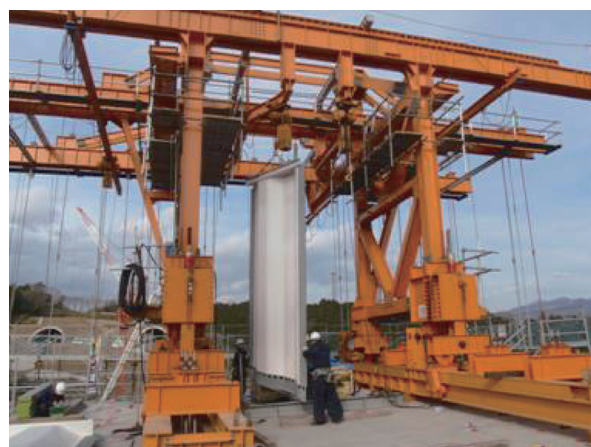


写真 - 17 波形鋼板架設状況

3.8 大型移動作業車の採用

下り線主桁片持ち張出し架設は、波形鋼板ウェブ対応の大型移動作業車（容量 4 000 kNm）を用いて行った（写真 - 17, 18）。



写真 - 18 大型移動作業車全景

この移動作業車は、揚程（機械高）を大きくしているため、移動作業車の吊装置により波形鋼板およびストラットの架設が容易となっている（写真 - 19）。また、容量が大きいため、ストラット間隔およびブロック長を 4 m のみとして単純化し、1 サイクル工程の短縮を図った（図 - 7）。その結果、張出しブロック数も 16 ブロックから 14 ブロッ



写真 - 19 ストラット架設状況

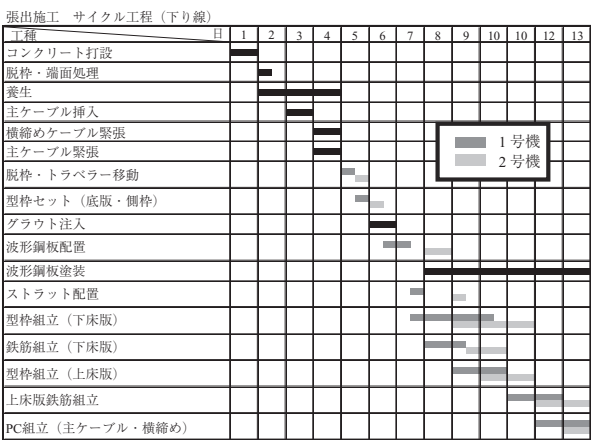


図 - 7 サイクル工程（下り線）

クへと減少し、1 橋脚あたり 40 日の工期短縮となり、谷津川下り線で 80 日の工期短縮が図れた。

4. 謝 辞

本報告は、新東名建設において開発されたいくつかの新技術を取り入れ、連続桁形式の波形鋼板ウェブ橋では世界最長となる橋梁の施工方法について紹介した。完成までの間にいくつかの施工検討をおこなっており、本報告が同種工事を施工する上での参考となれば幸いである。

なお、本工事は平成 23 年 3 月に無事しゅん功し、本年度の PC 技術協会作品賞を受賞することができた。完成写真を写真 - 20 に示す。



写真 - 20 完成写真

最後に、本工事に対してご指導・ご協力いただいた関係者の方々に深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 吉松秀和, 今井平佳, 稲葉尚文, 矢吹太一: エッジビームに配置されたシアラゲ鋼材のプレストレス計測, 第 19 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, pp.129 ~ 132, 2010.10

【2011 年 7 月 14 日受付】