

近畿自動車道 門真ジャンクション (鋼上部工) 工事の設計

Design of Kadoma Junction Work (Steel Superstructure Work) for Kinki Highway

桑山 豊六*¹ 田川 拓哉*² 浦田 保*³
 Toyomu KUWAYAMA Takuya TAGAWA Tamotsu URATA

Summary

The superstructure of the Kadoma Junction Work on Kinki Highway includes four bridges-- Lamp A, Lamp B, Lamp C and Lamp D. The sub-structure includes two units of steel piers and four units of hybrid piers with RC column and steel beam. The superstructure is a multi-span continuous no-composite, 2 main narrow-width box girder bridge. As this bridge is a lamp bridge whose curvature of horizontal alignment is large and whose width is narrow, its negative reaction force has become a problem. We used high-fluidity concrete for the joints of the composite piers, and studied concrete cracks by means of thermal stress analysis. The present paper reports the design and the results of the study.

キーワード：細幅箱桁、鋼・コンクリート複合橋脚、高流動コンクリート、温度応力解析、負反力対策

1. はじめに

本工事は、西日本高速道路株式会社から発注された近畿自動車道と第二京阪道を接続する門真ジャンクションの鋼上部工工事である。上部工の施工範囲はAランプ、Bランプ、Cランプ、Dランプの4橋があり、いずれも2主桁の細幅箱桁橋である。下部工は鋼製橋脚2基、鋼・コンクリート複合橋脚4基が施工範囲に含まれる。現地の位置図を図-1に、完成予想図を図-2に示す。

Aランプ、Bランプはそれぞれ10径間、13径間の多

径間連続桁であり、交通量の多い近畿自動車道と中央環状線の上を横断している。このため近畿自動車道上は夜間通行止めによる一括架設を行った。また、物流倉庫の上を跨ぐAランプの一部区間では、回転横取り架設工法を採用した。

BランプのBP3、BP4、BP13、BP14橋脚は、コンクリート柱と鋼製横梁を結合した複合橋脚である。結合部には高流動コンクリートを使用することにより施工性の改善を図り、温度応力ひび割れの発生に対して温度応力解析による施工手順の検討を行った。また、BP13、BP14

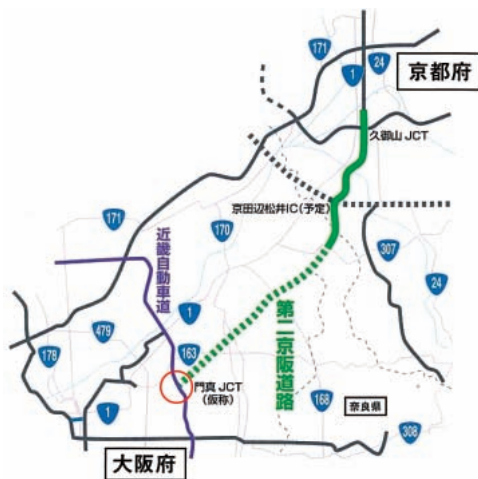


図-1 現地の位置図



図-2 完成予想図

*¹(株)宮地鐵工所 技術本部設計部設計グループ課長代理
 *²(株)宮地鐵工所 技術本部設計部設計グループ

*³(株)宮地鐵工所 工事本部工事部担当部長 (現場代理人)

橋脚部は、地震時の負反力対策として下部工の鋼製横梁と上部工の鋼箱桁を剛結合する構造とした。

床版形式は合成床版とし、床組み構造の簡略化を図った。

本稿は、これらの設計における構造的特徴や複合橋脚結合部の施工検討について報告する。

2. 工事概要

工事名：近畿自動車道 門真ジャンクション
(鋼上部工) 工事

表-1 各ランプ橋の橋梁諸元

	Aランプ	Bランプ	Cランプ	Dランプ
橋梁形式	鋼10径間連続 非合成細幅箱桁	鋼13径間連続 非合成細幅箱桁	鋼4径間連続 非合成細幅箱桁	鋼5径間連続 非合成細幅箱桁
橋長	622.125m	799.154m	246.200m	331.447m
最大支間長	88.900m	78.700m	91.000m	86.000m
有効幅員	6.750m ~ 9.285m	8.250m ~ 11.130m	8.250m ~ 8.896m	6.793m ~ 7.055m
最小曲線半径	R = 100m	R = 100m	R = 240m	R = 120m
縦断勾配	0.400% ~ 5.398%	-5.396% ~ -1.418%	-1.418% ~ 4.800%	-6.000% ~ 1.225%
横断勾配	-7.000% ~ 9.000%	-8.000% ~ 9.000%	-5.000% ~ -0.200%	2.000% ~ 8.000%
床版形式	合成床版 (SCデッキ)	合成床版 (SCデッキ)	合成床版 (SCデッキ)	合成床版 (SCデッキ)
床版厚	210mm 240mm	220mm 240mm 260mm	210mm	200mm
主桁高	2850mm	2700mm (一部2850mm)	2750mm	2700mm

施工場所：(自)大阪府 門真市 大字葺島
(至)大阪市 鶴見区 茨田大宮

発注者：西日本高速道路株式会社 関西支社

工期：平成18年11月3日~平成21年11月16日

その他、各ランプ橋の橋梁諸元を表-1、全体平面図を図-3に示す。また、各ランプ桁および橋脚を代表してBランプの上部工一般図を図-4、BP13複合橋脚の一般図を図-5に示す。

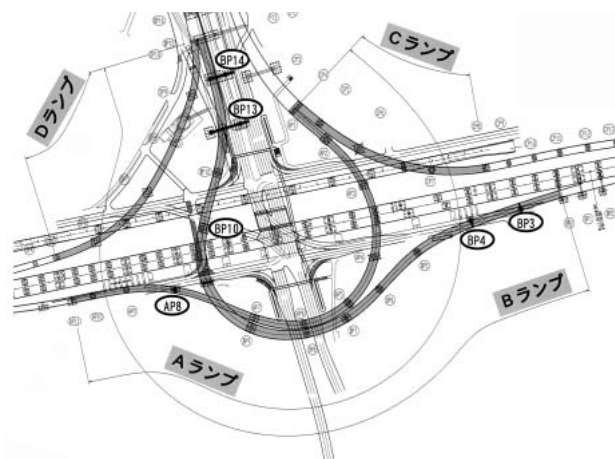


図-3 全体平面図

側面図

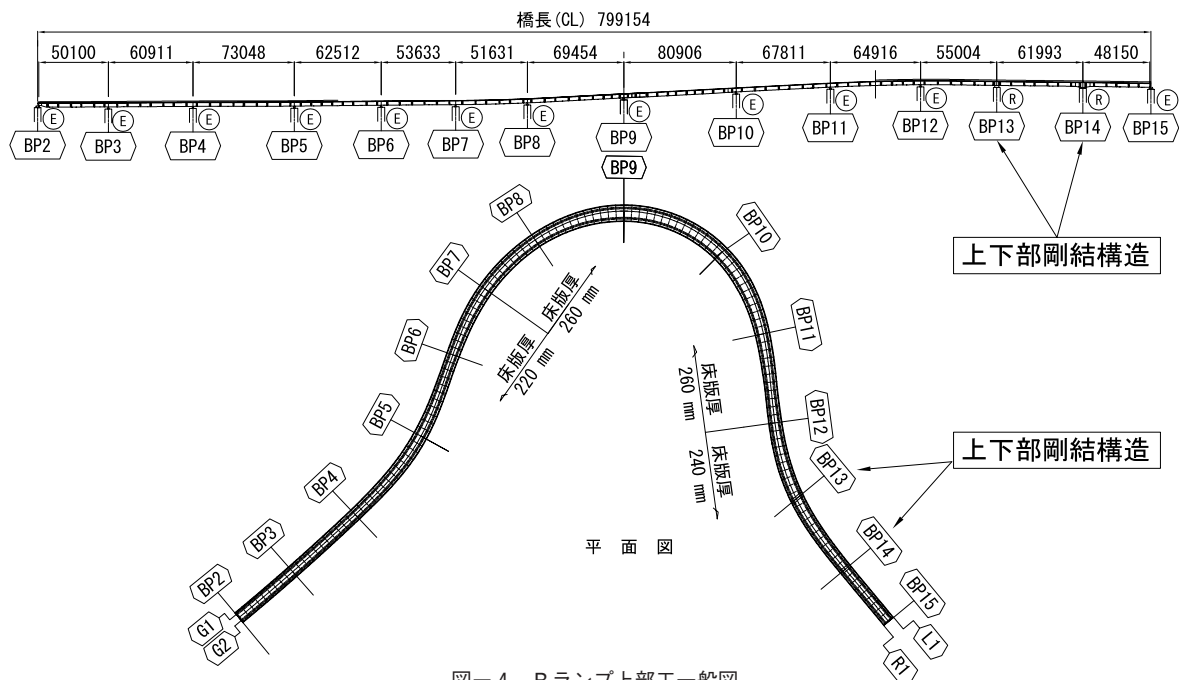


図-4 Bランプ上部工一般図

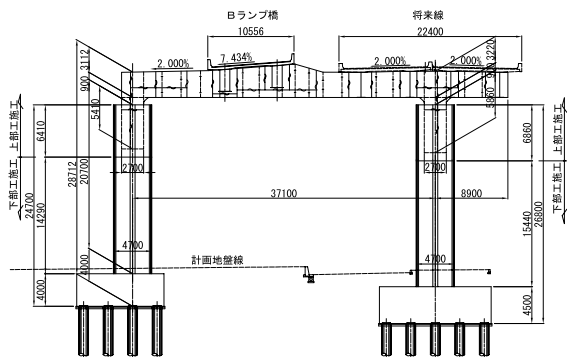


図-5 BP13 複合橋脚一般図

3. 構造的特徴

(1) 多径間連続非合成2主細幅箱桁橋

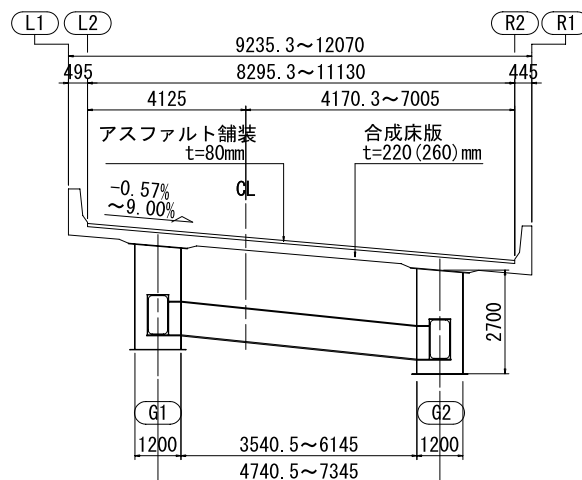
上部工の構造形式は2主桁の細幅箱桁橋であり、平面線形の曲率が大きく、桁にねじりが発生しやすいという特徴があるため、床版への負荷を軽減するために非合成桁として設計した。細幅箱桁は、腹板間隔を狭くすることにより縦リブ、横リブが省略でき、材片数の大幅な削減が可能となる。さらに、合成床版との組み合わせにより、縦桁、ブラケットなどの床組み構造を省略することが出来る。

代表的な主桁の断面図を図-6に示す。

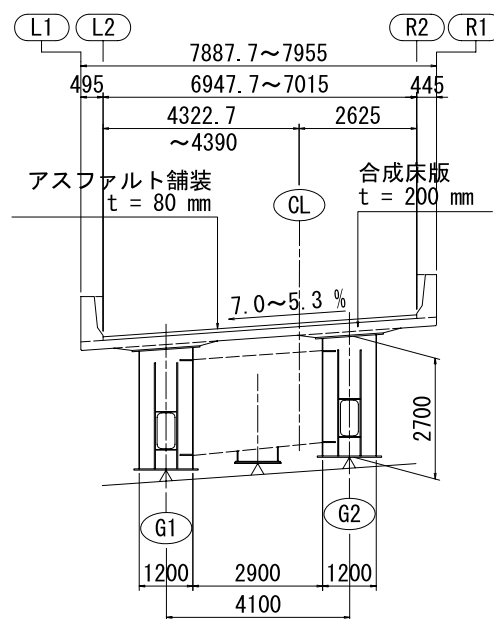
(2) 鋼・コンクリート複合橋脚

BランプのBP3、BP4橋脚は、RC単柱橋脚と鋼製の張り出し横梁を結合した複合橋脚であり、BP13、BP14橋脚は、RC柱2本と鋼製横梁を結合した門型の複合橋脚である。結合形式には鋼製柱埋込み形式を採用し、鋼製柱の外側に設置した孔あき鋼板ジベル(PBL)により鋼とコンクリートを一体化している。この構造は鋼製柱の外側に太径鉄筋を密に配置するため、バイブレーターによるコンクリートの締め固め作業が非常に困難となる。そこで、施工性改善のために高流動コンクリートを使用し、締め固め作業の省略を図った。ただし、高流動コンクリートはセメント量が多く水和反応による発熱量が大きくなるため、温度応力解析によりひび割れの検討を行った。検討結果については次章にて詳述する。

BP13複合橋脚の架設状況を写真-1、複合橋脚の結合構造を図-7に示す。また、複合橋脚結合部の配筋図を図-8、配筋状況を写真-2、高流動コンクリート打設状況を写真-3に示す。



(a) Bランプ中間部



(b) Dランプ中間支点部

図-6 主桁断面図

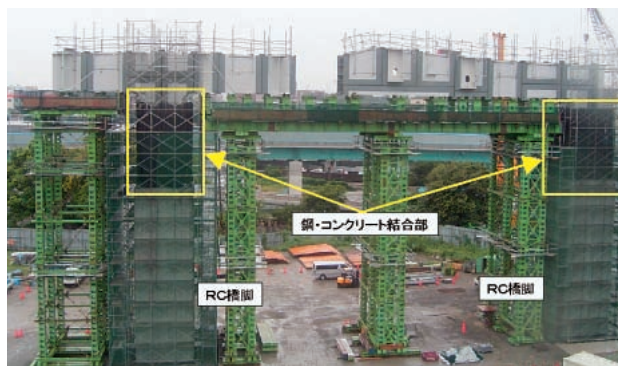


写真-1 BP13 複合橋脚の架設状況

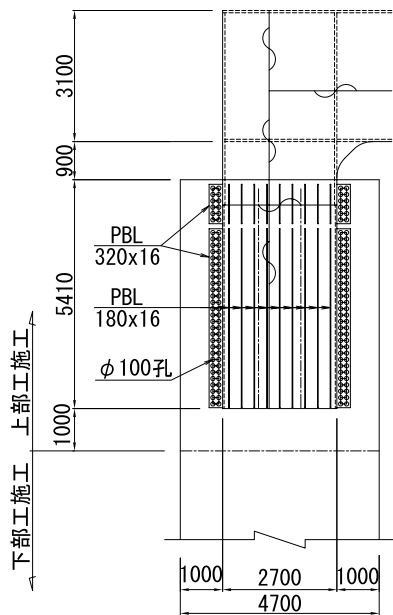


図-7 複合橋脚の結合構造

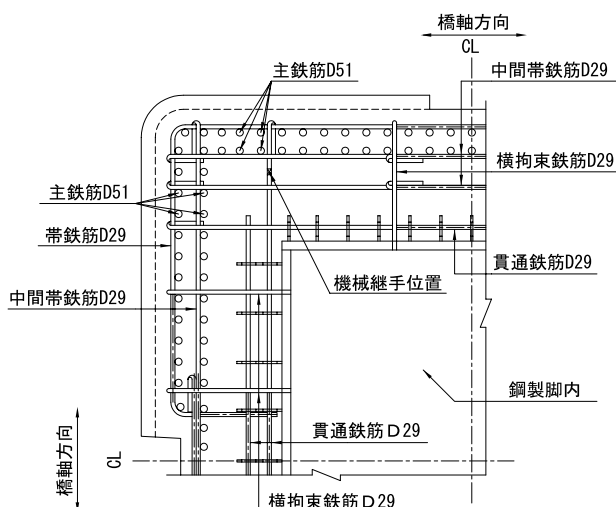


図-8 複合橋脚結合部の配筋図

(3) 上下部剛結構造

Bランプは地震時の横荷重により中間支点部に大きな負反力が発生するため、門型橋脚となるBP13、BP14橋脚の鋼製横梁と上部工箱桁を剛結構造とした。BP13橋脚部の上下部剛結構造を図-9に示す。剛結部の構造は、横梁ダイヤフラムと横梁内の主桁ウェブ、横梁下フランジと横梁内の主桁下フランジなど、主要部材が近接する箇所があるため、溶接施工性を考慮して構造計画を行った。上下部剛結構造とすることにより、BP13、BP14橋脚部の地震時の水平力分担率は他の橋脚に比べて大きくなるが、橋梁全体としての移動量、変形量、負反力など



写真-2 複合橋脚結合部の配筋



写真-3 複合橋脚結合部の高流動コンクリート打設

の軽減対策としては有効であった。なお、橋軸方向地震時の剛結部近傍の主桁、横梁、柱の設計には以下の点に注意した。

- 1) 主桁に橋軸直角方向軸回りの大きな曲げモーメントが発生するため、主桁断面が地震時で決定する場合がある。
- 2) 横梁に面外方向の大きな曲げモーメントが発生するため、横梁のウェブ補強が必要となる場合がある。
- 3) 柱に大きなねじりモーメントが発生するため、立体解析を行う際、特にRC柱の場合にはねじり剛度を適切に評価する必要がある。

(4) 機能分離支承

鉛直支承と水平支承（ダンパー）を併用して支承機能を分離することにより、支承の形状寸法を小さくした。ただし、Bランプは一部の中間支点部に上下部剛結構造を採用したことにより支承変位が抑制されるため、水平

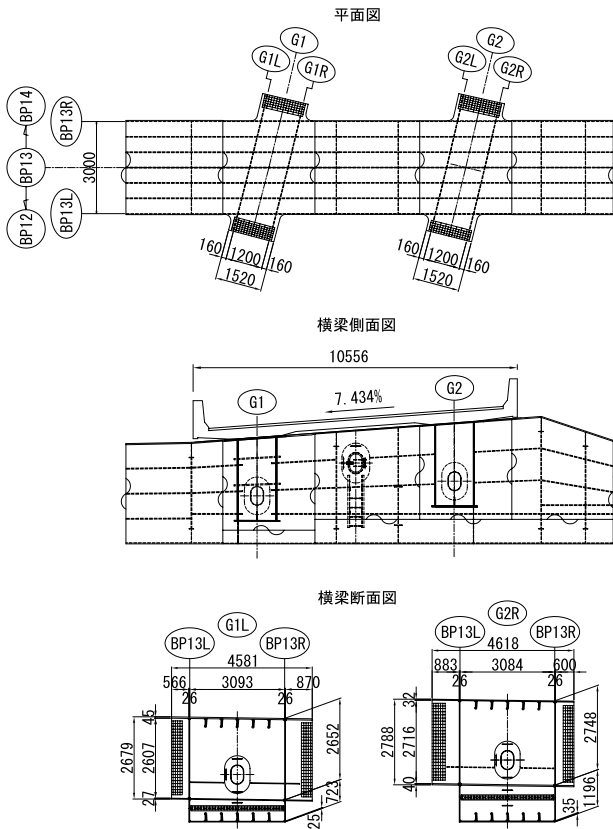


図-9 BP13橋脚部の上下部剛結構造

支承は設置せず、鉛直支承のみとした。鉛直支承と水平支承の構造図を図-10に示す。

(5) 負反力対策工

本橋は、曲線桁であること、ランプ橋のため幅員が狭く橋軸直角方向の支点間隔が狭いこと、主桁高が高く遮音壁などにより荷重重心位置が高いことなどの影響により、ゴム支承に大きな負反力が発生する。これに対し、各種の負反力対策工を設けた。

1) 転倒防止装置

Aランプ、Cランプ、Dランプで大規模地震時に負反力が発生する箇所については、下部工と上部工を鉛直方向にPCケーブルでつないだ転倒防止装置を設置した。転倒防止装置の構造を図-11に示す。これはゴム支承が鉛直方向の引張力を受けて破断した場合に桁の転倒を防止するためのものである。しかし、支承の分散設計の観点からはゴム支承は大規模地震時でも破断しないことが前提である。よって、支承設計においてはゴムの引張応力が 2N/mm^2 （ゴムの許容引張応力）以下となるよう

に設計することを目標とし、負反力が大きくゴムの引張応力が 2N/mm^2 に収まらない場合は最大 5N/mm^2 （ゴムの破断強度）以下となるように支承形状を決定した。ただしその場合には、フェイルセーフ機構として転倒防止装置を設置することとした。転倒防止装置の設置方針フローを図-12に示す。

2) カウンターウェイト

AランプのAP9中間支点付近は常時および風時で負反力が発生するため、G2主桁内にカウンターウェイトと

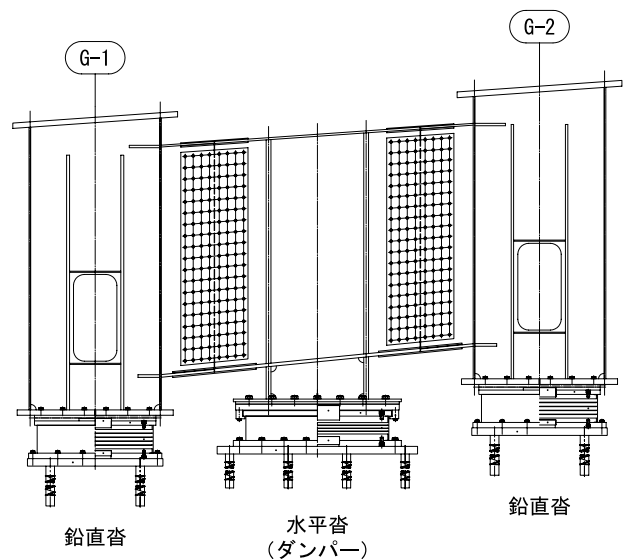


図-10 機能分離支承

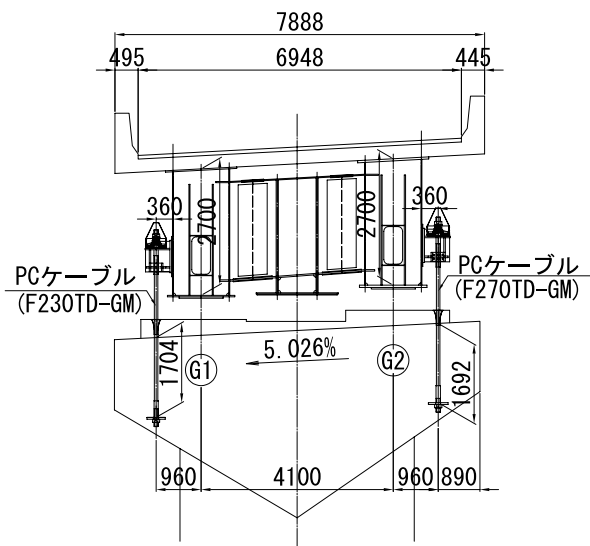


図-11 転倒防止装置

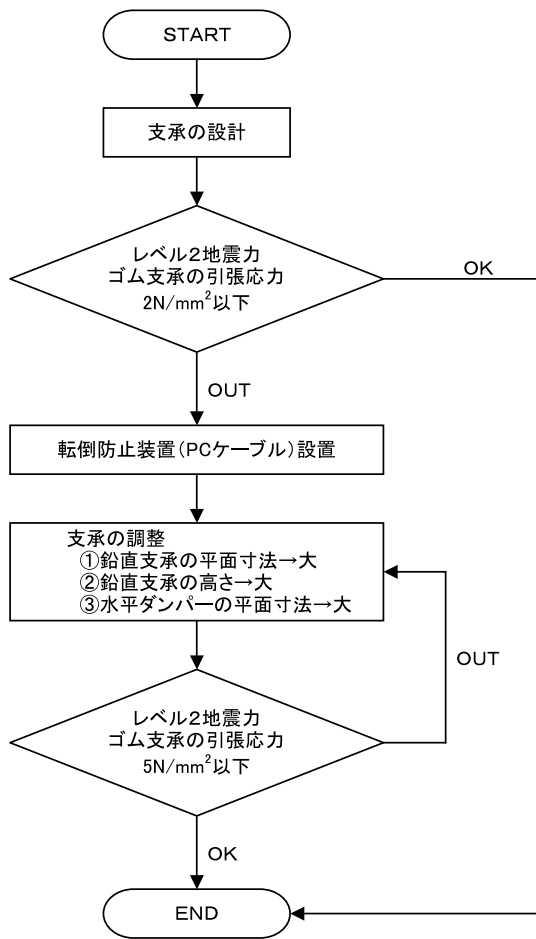


図-12 転倒防止装置設置方針フロー

してコンクリートを約40t打設することとした。AP9のG2桁支点反力を表-2、カウンターウェイト施工範囲を図-13に示す。

3) アウトリガー張り出し

DランプのDP10端支点部は大規模地震時に大きな負反力が発生するため、G2主桁から外側にアウトリガーを張り出し、支点間隔を広げることで負反力の軽減を図った。DP10のアウトリガーを図-14に示す。

4. 複合橋脚結合部コンクリートの温度応力解析

(1) 解析の目的

高流動コンクリートを使用した複合橋脚の結合部コン

表-2 AP9 (G2桁) 支点反力

支承位置	死+活	死+2×活	死+風 (R→L)
G2桁・AP9支承	538.9 kN	-202.8 kN	-366.7 kN
カウンターウェイト施工後	944.1 kN	202.5 kN	38.6 kN

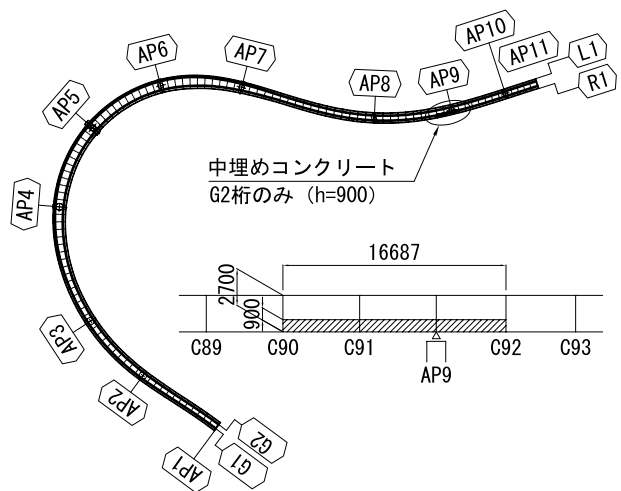


図-13 Aランプカウンターウェイト施工範囲

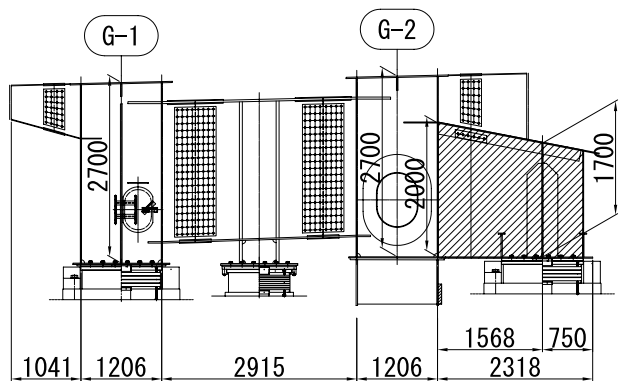


図-14 DP10アウトリガー

クリートは、普通コンクリートと比較してセメント量が多い富配合なコンクリートとなり、水和反応による発熱量が大きくなる。さらに、形状寸法が大きくマスコンクリートとしての影響を受けるため、コンクリート内外での温度差が大きくなり、温度応力ひび割れの発生が懸念された。よって、結合部コンクリートの温度変化と応力傾向を把握し、適切な施工方法を策定するために温度応力解析を実施した。

(2) 解析条件

解析は、コンクリートの非線形温度応力解析プログラム「ASTEAMACS」を使用した。解析モデルは、既設RC橋脚、後施工コンクリート、鋼製柱、中埋めコンクリートを図-15のようにモデル化した。実施工では、数回に分けてコンクリートを打設するため、いろいろな打設手順をパラメータとして温度応力ひび割れの発生傾向について比較検討を行った。解析条件を表-3、解析CASEを図-16に示す。

CASE-1は全量を一括でコンクリート打設した場合である。打設高さが7m以上となり、高流動コンクリートの側圧を考慮すると実施工では現実的ではないが、検討の比較基準として解析を行った。その他のCASEは、高さ方向の分割、鋼製柱内外での分割などを組み合わせたものである。

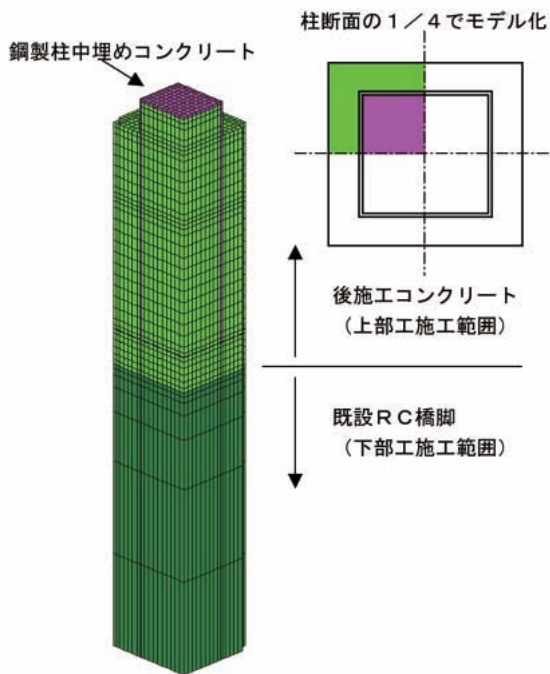


図-15 温度応力解析モデル

(3) コンクリートの温度上昇特性

コンクリートの最高温度分布を図-17に示す。CASE-1は全量一括で大量のコンクリートを打設したものであり、内部の最高温度が全CASEの中で最も高くなる。また、高温となる範囲も広い。CASE-2は高さ方向に5分割してコンクリートを打設したものであり、内部温度は最も低くなる。CASE-3は高さ方向に3分割し、鋼製柱の内側と外側を交互に打設したものであり、内部

表-3 温度応力解析条件

項目	条件	備考	
外気温(11月にコンクリート打設と仮定)	12.6℃	気象庁 (枚方市の平均気温)	
打込み温度(11月にコンクリート打設と仮定)	18.5℃ 過去3年分の平均	メーカー調べ(コンクリート出荷時温度)	
リフト分割と打込み日	リフト高さ、打込み日(打設間隔) 全量同時打設(case-1)	—	
養生(熱伝達率)	部別別の養生方法、養生期間 側面:木製型枠 上面:湿潤養生 養生期間:7日	コシ[施工編]4.2.2より	
コンクリート	設計基準強度	36(N/mm ²)	配合報告書より
	セメント種別	普通	配合報告書より
	単位セメント量	345(kg/m ³) (=325+20)	配合報告書より
	熱伝導率	2.7	コシ[施工編]4.2.3より
	密度	2316(kg/m ³)	配合報告書より
	比熱	1.15	コシ[施工編]4.2.3より
	断熱温度上昇特性	算定式	コシ[施工編]6.4.10より
	ヤング率	算定式	コシ[施工編]4.2.5より
	圧縮強度特性	算定式	コシ[施工編]4.2.3より
	引張強度特性	算定式	コシ[施工編]4.2.3より
ポアゾン比	0.2	コシ[構造性能照査編]3.2.6より	
線膨張係数	10×10 ⁻⁶	コシ[構造性能照査編]3.2.7より	
既設コンクリート	設計基準強度	30(N/mm ²)	—
	熱伝導率	2.7	コシ[施工編]4.2.3より
	密度	2350(kg/m ³)	道示より
	比熱	1.15	コシ[施工編]4.2.3より
	ヤング率	算定式	コシ[施工編]4.2.5より
	ポアゾン比	0.2	コシ[構造性能照査編]3.2.6より
	線膨張係数	10×10 ⁻⁶	コシ[構造性能照査編]3.2.7より
鋼板	熱伝導率	83.5(W/m・K)	—
	密度	7850(kg/m ³)	道示より
	比熱	0.435(J/g・K)	—
	ヤング率	2.0×10 ⁵ (N/mm ²)	道示より
	ポアゾン比	0.3	道示より
	線膨張係数	12×10 ⁻⁶	道示より
	—	—	—

*新設コンクリートにのみ乾燥収縮および自己収縮を考慮する。

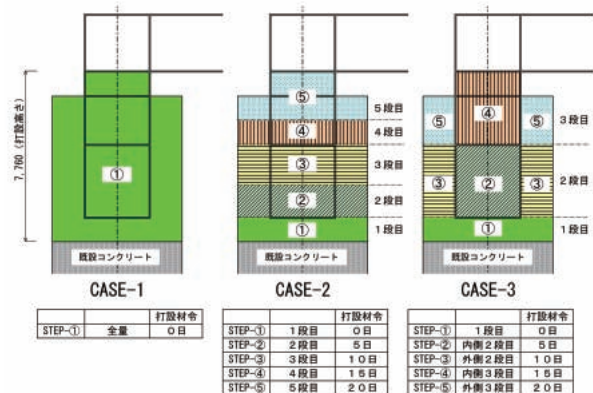
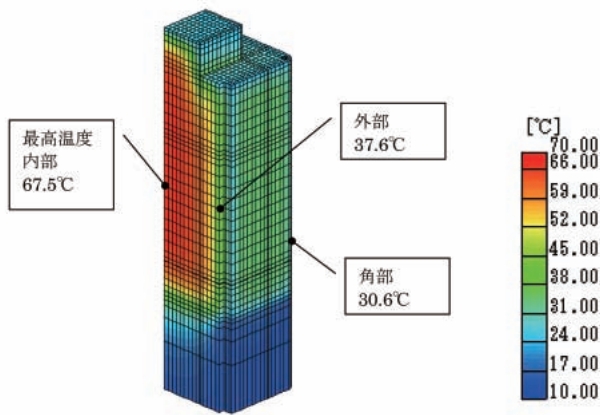


図-16 温度応力解析CASE

の最高温度はCASE-1とCASE-2の間となる。

CASE-1のコンクリート温度履歴を図-18に示す。外部のコンクリート温度は材齢1~2日で急激に上昇し、その後緩やかに低下して外気温に近づく。一方、内部のコンクリート温度は材齢3日目まで上昇し続け、最高温度は外部温度と比べてはるかに高くなる。外部のコンクリート温度が低下し、体積が収縮し始めた時、内部のコンクリート温度は上昇中であり、体積は膨張している。このとき、コンクリート外部には引張応力、内部には圧縮応力が発生する。一方、材齢10日以降になると、外部温度の低下は落ち着いてくるが、内部温度は緩やかに



(1) CASE-1

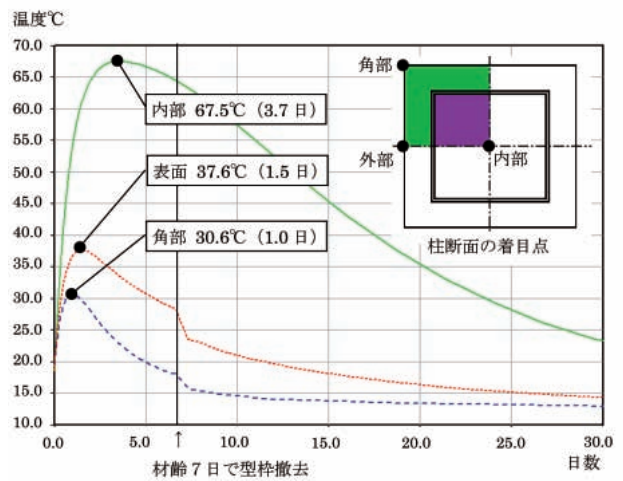
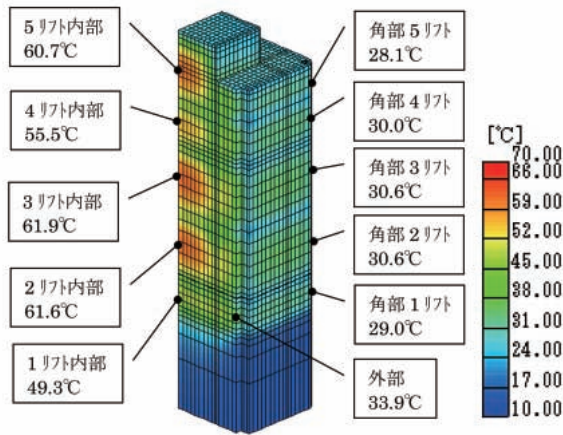
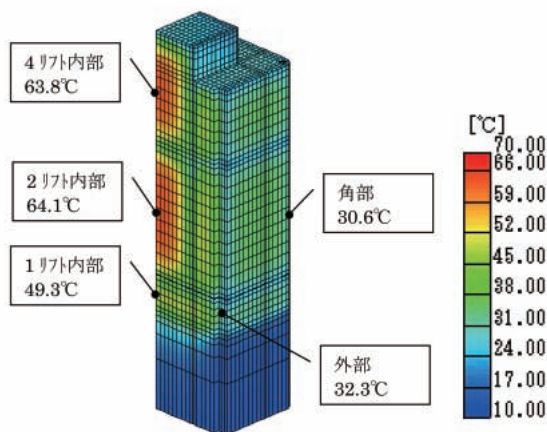


図-18 コンクリートの温度履歴 (CASE-1)



(2) CASE-2



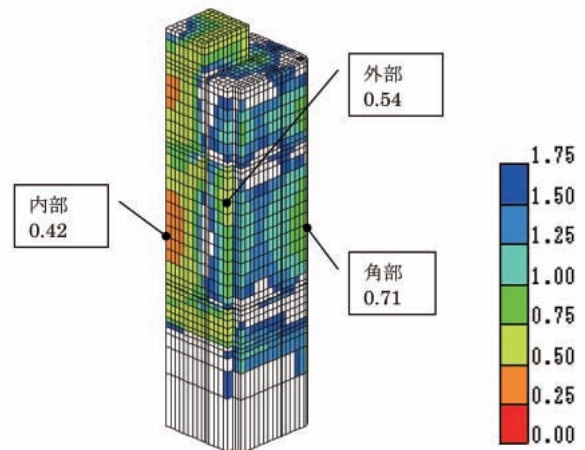
(3) CASE-3

図-17 コンクリートの最高温度分布

低下を続け体積が収縮するため、内部に引張応力が発生する。コンクリートを分割施工する場合にはこれらの温度上昇と降下のタイミングが複雑に関連するため、コンクリートの温度上昇特性を把握した上で施工手順の計画を行う必要がある。

(4) ひび割れ指数の比較検討結果

温度応力ひび割れの発生傾向をひび割れ指数で評価する。ひび割れ指数とは、コンクリートの各材齢に応じた引張強度（許容値）を引張応力（発生応力）で割ったものであり、ひび割れ指数が小さくなるほどひび割れが発生する確率が高くなることを示す。代表してCASE-3のひび割れ指数分布を図-19に示す。また、各CASE、各



(白抜きは 1.75 以上)

図-19 コンクリートのひび割れ指数分布 (CASE-3)

着目点（外部、内部）のひび割れ指数の履歴を図-20に示す。

CASE-1は全ケースの中で外部のひび割れ指数が最も小さくなった。一度に大量のコンクリートを打設すると内部温度が上昇し、外部との温度差が大きくなるため、温度応力ひび割れを抑制する方法として、内部の最高温度を抑制すること、外部の温度降下速度を抑制することなどが有効な手段であるといえる。

CASE-2, 3は分割施工の手順を変えたものであるが、外部と内部に着目するとそれぞれに一長一短があり、結果としてひび割れ指数を大幅に改善できる方法は見つけれなかった。本工事では、この中で外部のひび割れ指数が最も大きくなるCASE-3を採用することとした。しかし、外部のひび割れ指数の最小値が一時的に1.0以下

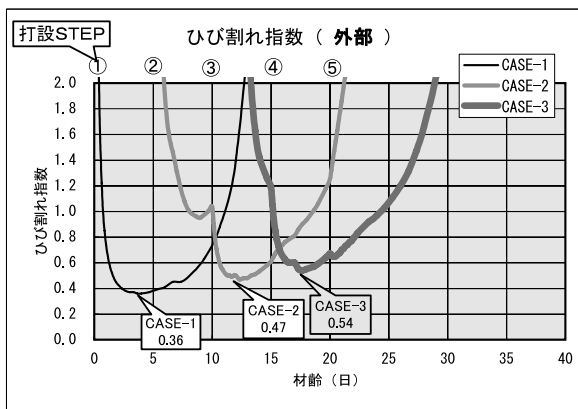
となること、内部のひび割れ指数が長期にわたって小さくなることなどの課題を残す結果となった。

5. おわりに

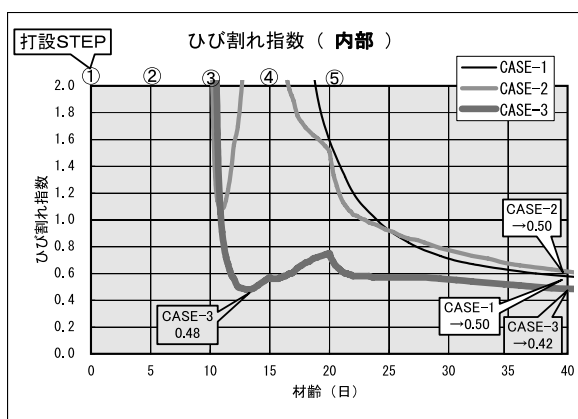
本工事は、曲率が大きく、幅員が狭いランプ橋ということで、特に支点部の負反力が問題となり、多くの支点部に転倒防止装置を設置した。しかし、鉛直方向のPCケーブルの設置は、美観を害すること、支承周りの設置スペースに制約を受けること、水平方向の変位を拘束しないで鉛直方向のみの浮き上がりを防止する構造とする必要があること、などに対する今後の改善が期待される。現時点で考えられる改善策としては、支承間隔を広げて負反力を軽減する、負反力に抵抗できる支承構造にする、上下部剛構造にして負反力に抵抗する、などが挙げられる。

また、鋼・コンクリート複合橋脚の結合部では、コンクリートの温度応力解析を実施して高流動コンクリートの分割施工手順の検討を行った。解析の結果、分割施工の手順を変えることによるひび割れ指数の傾向を把握することは出来たが、大幅な改善効果は得られなかった。なお、実施工は現時点では完了していないため、施工結果については別途報告することとする。

最後に、本工事の設計を進めるにあたりご指導いただいたNEXCO西日本関西支社、同枚方工事事務所の関係各位に紙面を借りて、厚く御礼申し上げますとともに、本報告が今後の同種橋梁の設計の一助になれば幸いです。



- △ case1: ひび割れ指数が最も低下する
- case2: case1よりも若干改善される
- ◎ case3: 3ケースの中ではひび割れ指数が最も大きい



- ◎ case1: 材令初期から長期にかけて全体的に大きい
- case2: 材令初期に若干低下するが長期的にはcase1と同じ
- △ case3: 材令初期に低下し、長期的にも小さい

図-20 ひび割れ指数の履歴（外部、内部）

<参考文献>

- 1) 笹井, 桑山, 佐藤: 上信越自動車道北千曲川橋の施工—鋼・コンクリート複合橋梁—, 橋梁と基礎 2006.09 vol.40, pp11~17
- 2) 桑山, 堀, 佐藤: 鋼・コンクリート複合構造部における高流動コンクリートの冬季施工 (北千曲川橋), 宮地技報 No.19 2003, pp6~14
- 3) 西日本高速道路株式会社: 設計要領第二集 9章 複合構造, 平成18年4月
- 4) 土木学会: コンクリート標準示方書 [施工編] 4章 施工段階におけるひび割れ照査, 2002.3

2009.1.28 受付