

箱桁断面と2主版桁断面が接合するPRC連続桁橋の横桁部の設計

大成建設(株) 正会員 工修 ○長尾 賢二
 中日本高速道路(株) 後藤 俊吾
 中日本高速道路(株) 矢藤 彰悟
 大成建設(株) 正会員 吉田 朋広

キーワード： PRC連続桁橋，混合桁，中間支点横桁，FEM解析

1. はじめに

新名神高速道路潤田高架橋は、橋長392.0mのPRC11径間連続桁橋（上り線）およびPRC9径間連続桁橋（下り線）である。国道および県道、河川と交差する区間に適用支間長が大きい箱桁断面、交差条件の制約がない区間に2主版桁断面を採用した混合桁形式であり、全支点を免震支承で支持した連続構造となっている（図-1）。同様の構造形式は新東名・新名神を中心とした高速道路橋で比較的多く採用されているが、箱桁断面と2主版桁断面の接合部に着目した設計報告事例は少ない。詳細設計では、両断面の接合部となる中間支点横桁に対して、コンクリート道路橋設計便覧に準拠した梁モデルによる支点横桁としての設計、3次元FEM解析モデルによるねじり挙動の把握、箱桁区間からの外ケーブルが片側の横桁面に集中的に定着されることに配慮した解析など種々の検討を実施した。本稿では、これらの検討概要について報告する。

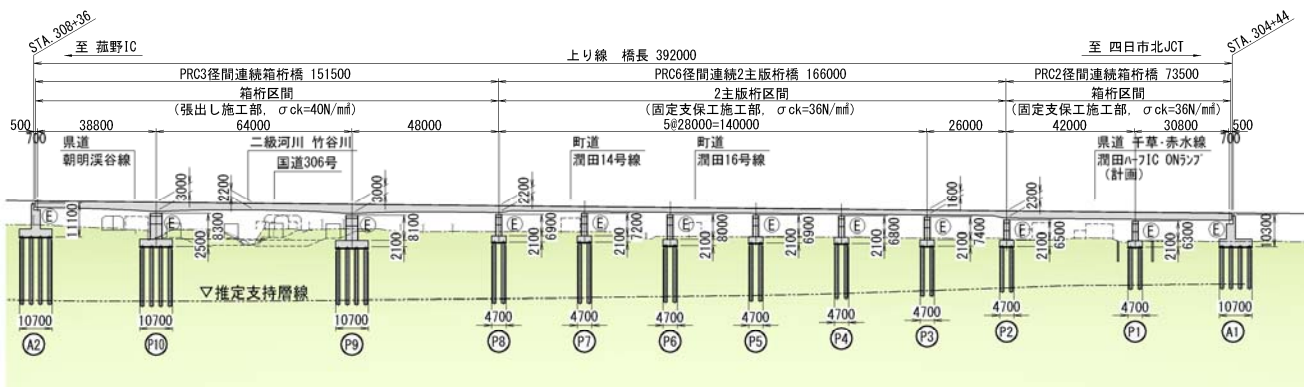
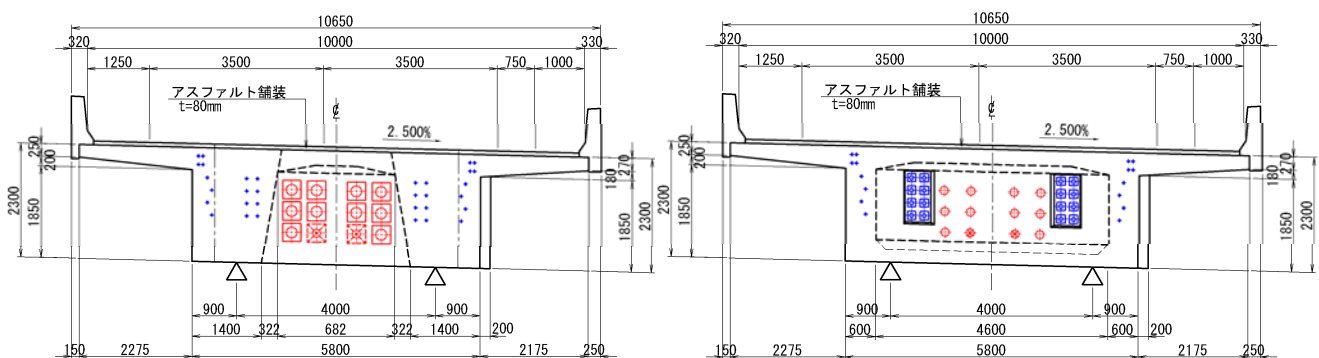


図-1 全体一般図（上り線）



< 2主版桁断面：P3側 >

< 箱桁断面：P1側 >

図-2 断面図（上り線 P2 横桁）

2. 接合部となる中間支点横桁の構造

箱桁断面と2主版桁断面の接合部となる中間支点横桁は、上り線のP2、P8支点、下り線のP2、P6支点の計4箇所であるが、このうち本稿では、図-2に示す上り線のP2支点横桁の検討について述べる。上り線のP2支点は、箱桁断面の桁高2.3mに合わせて、桁高1.6mの2主版桁を擦り付けて連続化しており、接合部となる横桁は、桁高と同程度の厚さ(2.15m)で設定されていた(図-3)。縦締めPC鋼材は、箱桁部に配置される12本の外ケーブル(19S15.2)が横桁のP3側中央部に集中して定着される一方で、2主版桁部に配置される内ケーブル(1S28.6)がP1側の横桁面や突起、施工目地の小口面にたすき定着されるという複雑な配置であった。また横桁には2基の支承からの反力も作用する。このように中間支点横桁は、複雑な応力状態となることが予想されたため、こうした構造的特徴を考慮した詳細な検討を行うこととした。

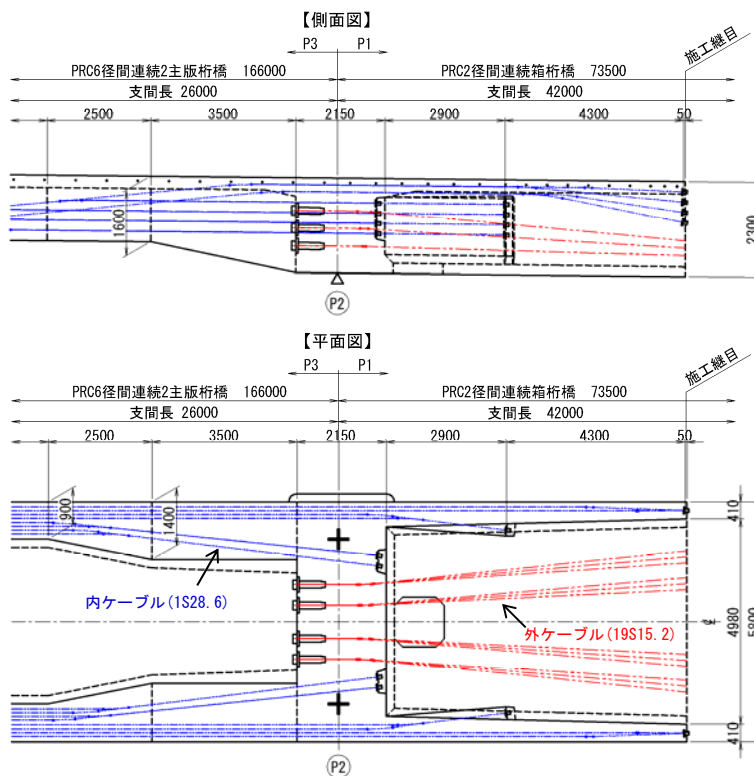


図-3 上り線 P2 横桁の概要図

3. 連続桁橋の支点横桁としての設計

3.1 梁モデルによる検討

中間支点横桁はRC構造であり、箱桁断面と2主版桁断面のそれぞれに対して、コンクリート道路橋設計便覧¹⁾に従い、支承位置とウェブ中心(2主版桁断面:主桁中心)を支点とする両側張出し部を有する梁モデルにより死荷重時ならびに設計荷重時の断面力を算出した(図-4)。横桁の有効幅内に作用する荷重は梁モデルに直接載荷し、これらの荷重を支点反力から除いて、有効幅外に作用する荷重

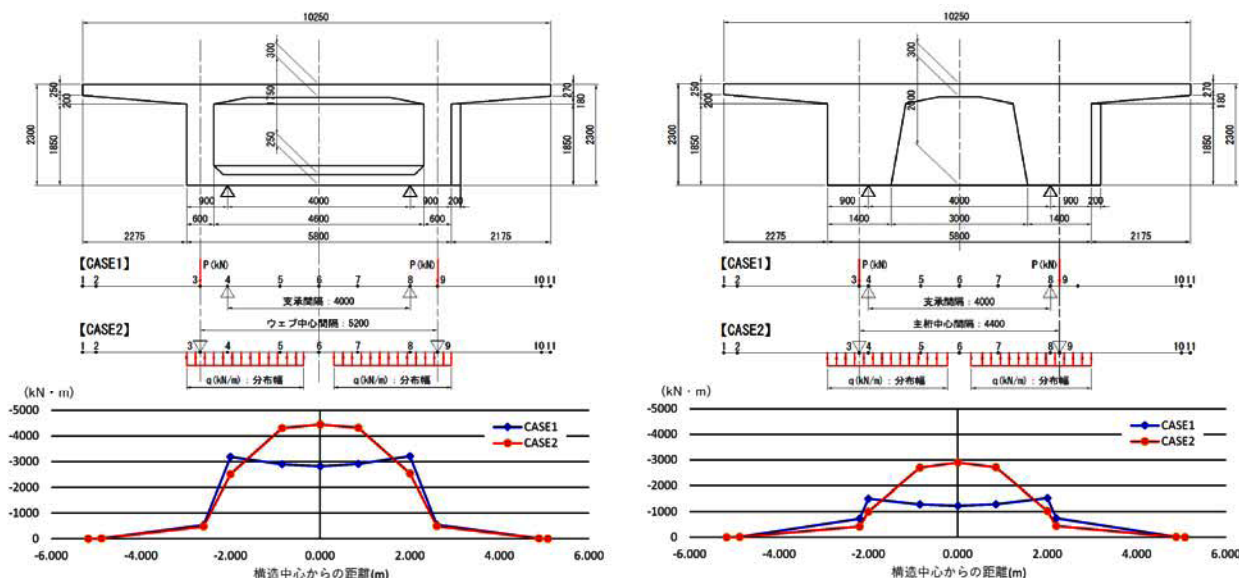


図-4 梁モデルにおける曲げモーメント(設計荷重時)

は、集中荷重としてウェブ位置に載荷する場合 (Case1) とウェブ (あるいは主桁) 位置を支点として反力を分布幅で除した分布荷重として載荷する場合 (Case2) の2ケースとし、両者を組み合わせた。曲げに対しては、図-4のように箱桁断面のウェブ中心位置が2主版桁断面の主桁中心位置より外側となることから、箱桁断面モデルの方が厳しい結果となり、上縁ではD25ctc125が必要となった。一方、せん断力については両者による差異はなく、最終的にねじりの影響を加味し、斜引張鉄筋としてD25ctc200-2組を配置した。

3.2 FEM解析によるねじり挙動の確認

2主版桁橋の横桁は、荷重ごとに格子解析より算出されるねじりモーメントを考慮するのが標準的であるが²⁾、本検討ではこれ以外に箱桁断面と2主版桁断面が接合する横桁のねじり挙動を確認するため、横桁付近全体をモデル化した3次元FEM解析を行った (図-5)。箱桁断面側の端部を全面拘束したモデルに、主桁設計時の格子解析より得られた設計荷重時の断面力および支点反力をそれぞれ境界断面力として載荷し、モデル化範囲内の荷重は直接載荷することで設計荷重時を再現した。なお、活荷重は横桁に対するねじり作用が最大となるように、2主版桁側では断面中心～中央分離帯間、箱桁区間では断面中心～路肩間に偏載荷した。横桁近傍では、図-6のように活荷重によりねじり変形が生じたが、FEM解析における横桁部のせん断応力度は概ね0.3N/mm²程度であり、これは前述の梁モデルで算出される平均せん断応力度の30%程度であった。

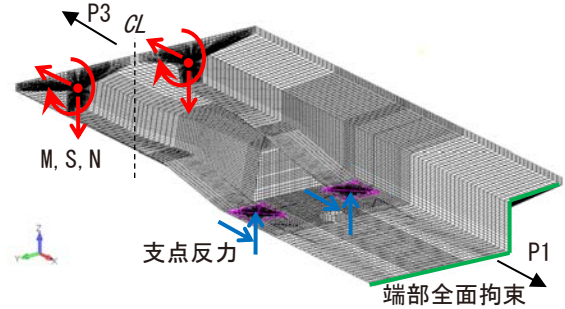


図-5 FEM解析モデル

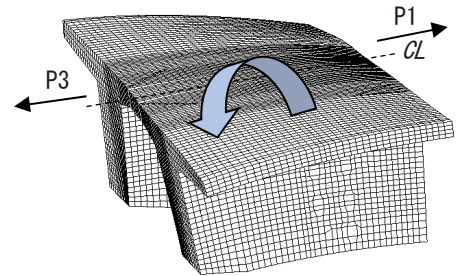


図-6 横桁部のねじり変形 (倍率 200 倍)

以上より、片側がねじり剛性の大きい箱桁断面と接合する横桁では、ねじりによる影響が連続2主版桁橋の中間支点横桁に比べて小さくなると思われるが、本検討では、同じFEM解析による2主版桁区間の横桁との比較検証や最終的に配筋が決定する終局荷重時までを考慮した解析は実施できていないため、最終的には他の支点横桁と同様に格子解析から算出されるねじりモーメントを用いて必要鉄筋量を算出し、表-1のとおり配筋を決定した。

表-1 終局荷重時の鉄筋量算出結果

		単位: cm ² /m	
		斜引張鉄筋	軸方向鉄筋 【上側】
せん断	Asreq1	53.078	23.619
ねじり	Asreq2	28.154	13.197
必要鉄筋量	Σ Asreq	81.232	36.816
配置鉄筋量	As	101.340	40.536
配置鉄筋		D25ctc200-2組	D25ctc125

4. 外ケーブル定着部としての設計

今回の中間支点横桁には、箱桁部に配置される外ケーブルが片側の横桁面の中央部に集中して定着されるため、外ケーブルの緊張力により反対側の横桁面 (以下、定着背面とする) に大きな引張応力が発生する懸念があった。このため、前述の3次元モデルに、先行緊張する2主版桁側の内ケーブルの有効プレストレス力および箱桁側の外ケーブル12本分の緊張力

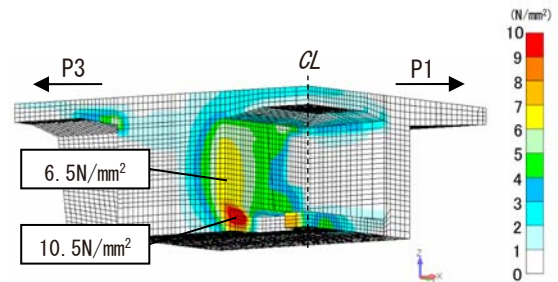


図-7 外ケーブル緊張時の最大主応力

(0.7Pu=3413kN/本) を支圧版範囲に載荷してFEM解析を行った。その結果、定着背面側 (P1側) では、橋軸直角方向に6.5N/mm²程度、鉛直方向に4.0N/mm²程度の引張応力が発生し、とくに下床版開口部付近

で橋軸直角方向に $10.5\text{N}/\text{mm}^2$ 程度の大きな局所応力が発生するため、応力を低減する対策が必要となった(図-7)。

一般的にこうした横桁付近の大きな局所応力を低減するには、横桁厚の増加が有効と考えられるが、上部工重量の増加に対して、施工済みであった下部工の照査を事前に実施したところ、橋脚基礎が地震時の照査を満足しない結果となった。したがって、今回は上部工重量をできるだけ増加させない対策として、図-8のように下床版開口部を横桁面から 1.4m の位置に遠ざけるとともに、下床版厚を 250mm から 450mm に変更した。さらに横桁部に10本、下床版開口部近傍に1本の横締めPC鋼材(1S28.6)を配置することとした。これにより、定着背面側(P1側)に発生する引張応力は橋軸直角方向で $2.5\text{N}/\text{mm}^2$ 程度、鉛直方向で $1.0\text{N}/\text{mm}^2$ 程度低減し、下床版開口部付近の局所応力は $6.5\text{N}/\text{mm}^2$ 程度小さくなった。最終的にこの結果をもとに補強鉄筋量を算出し、配置鉄筋を決定した。

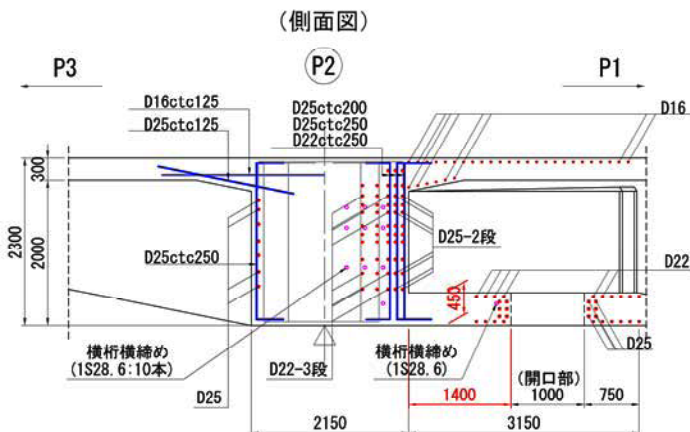


図-8 応力低減対策と補強筋配置

5. 施工面および維持管理面における配慮

箱桁断面と2主版桁断面の接合部となる中間支点横桁は高密度な配筋となり、さらに内・外ケーブルも錯綜するため、各部材を詳細にモデル化し、3次的に干渉を確認した(図-9)。この3次元モデルは、施工面でも複雑な鉄筋組立作業を可視化することにもつながり、大いに役立てることができた。一方、本横桁の外ケーブル定着部は2主版桁側に下床版がないため、支承点検用の下部工検査路から直接アクセス可能な検査路を追加し、供用後の維持管理面に配慮した(図-10)。

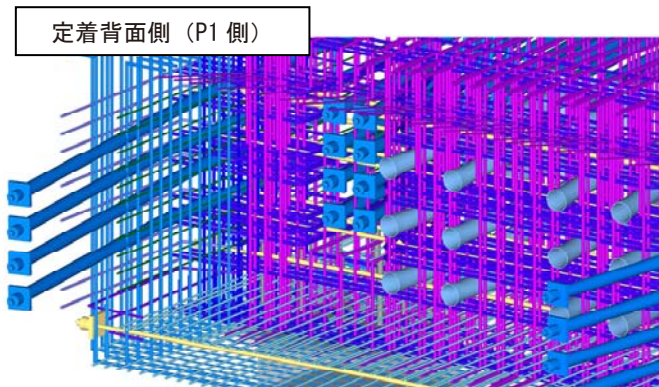


図-9 3次元モデルによる干渉チェック

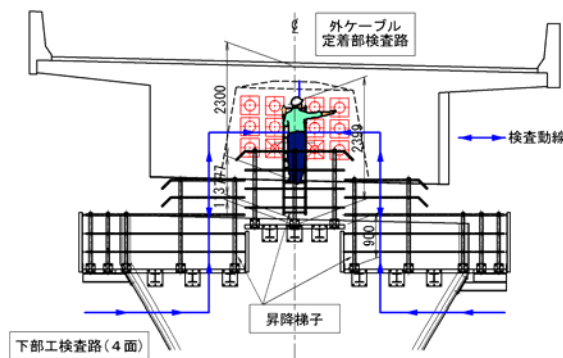


図-10 外ケーブル定着部用検査路

6. まとめ

本検討では、箱桁断面と2主版桁断面の接合部となる中間支点横桁に対して、梁モデルによる設計やFEM解析を用いたねじり挙動の確認ならびに外ケーブルの緊張力に対する安全性の検討を行った。一連の検討により、今回のような異種構造が接合される横桁では、内ケーブル形式で設計される2主版桁橋では考慮しなくてよい外ケーブルの緊張力に対して、比較的大きな引張応力度が発生する可能性が高く、補強鋼材量が大きくなる点に注意が必要と考えられる。

参考文献

- 1) (社)日本道路協会：コンクリート道路橋設計便覧，平成6年2月
- 2) 東・中・西日本高速道路株式会社：設計要領第二集 橋梁建設編，平成27年7月