

I-A135

P C・鋼複合エクストラード橋における接合桁の設計

日本道路公団 正員 前田 晴人 小松 秀樹
掛斐川橋 西 J V 正員 明橋 克良 古賀 靖之

1. まえがき

掛斐川橋および木曽川橋は、側径間および支点部をP C桁、中央径間支間部を鋼桁としたP C・鋼複合エクストラード橋であり、P C桁と鋼桁との接合部を有する。接合位置は、曲げモーメントの交差点に近い位置が選定されており、作用曲げモーメントは小さいものの、複合斜張橋の接合部とは異なり、軸方向力が小さいことから、接合部に配置されるP C鋼材も多くなる。本文は、本橋における接合桁の形式選定の過程と採用した接合桁の設計方針について詳述する。

2. 形式選定

本橋は、合理化鋼床版($t=18\text{ mm}$, U-Rib440x320x8)を採用しており、従来構造より剛性が高い。しかし、P C桁と鋼桁との剛性の差は大きく、接合部では応力集中の発生や角折れなど、構造上の弱点となりやすい。したがって、形式選定にあたっては異種材料間の力の伝達を円滑に行うことが重要となる¹⁾。また、接合部はP Cセグメント(マッチキャスト工法)と同様にP C・鋼接合セグメントとして製作・架設されるため、製作ヤード内での運搬や張出架設時の重量制限なども考慮する必要がある(重量400tf, 長さ5m以下)。

この様な条件を踏まえ、まず、表-1に示すような接合形式をリストアップし比較検討を行った。その結果、第2案の中詰めコンクリート案(後面板形式)は、わが国でも施工実績はあるものの鋼桁製作性、本橋梁では、コンクリートの品質および施工性を確保することが困難となるため、詳細検討形式から除外した。

表-1 接合形式比較表

	第1案 中詰めコンクリート案 (前後板併用形式)	第2案 中詰めコンクリート案 (後面板形式 生口橋、多々羅大橋)	第3案 メタルプレートA案 (ノルマンディー橋)	第4案 メタルプレートB案
構造概略図				
構造上の特徴	- 力の伝達 ○軸方向力(N, Miにより発生) - 合成部のすれ止め(せん断)と前・後面板(支圧)から鋼桁へ伝達される。 ○せん断力, ねじりモーメント - 前面板のスタッド(せん断)から鋼桁へ伝達される。 ・P C鋼材により鋼桁とP C桁を連結し, フルプレストレス状態にする。	- 力の伝達 ○軸方向力(N, Miにより発生) - 合成部のすれ止め(せん断)と後面板(支圧)から鋼桁補強部(応力分散), 鋼桁へ伝達される。 ○せん断力, ねじりモーメント - デッキおよびウェブのスタッドから伝達される(スタッドは軸力とせん断力との足し合わせ照査を行う)。 ・P C鋼材により鋼桁とP C桁を連結し, フルプレストレス状態にする。	- 力の伝達 ○軸方向力(N, Miにより発生) - メタルプレート(支圧)から鋼桁補強部, 鋼桁へ伝達される。 ○せん断力, ねじりモーメント - メタルプレートとの摩擦とU字筋のせん断により鋼桁へ伝達される。 ・P C鋼材により鋼桁とP C桁を連結し, フルプレストレス状態にする。 ・トラフリブの形状に工夫を凝らし, コンクリートの支圧応力度の低減を図る。 ・下フランジは縦リブにパイプを溶接し, プレートに対して補強している。	- 力の伝達 ○軸方向力(N, Miにより発生) - メタルプレート(支圧)と接合部前面の底板(アール, ヌワ, 下フランジ)のスタッドから鋼桁補強部, 鋼桁へ伝達する。 ○せん断力, ねじりモーメント - メタルプレートのスタッド(せん断)から鋼桁へ伝達される。 ・P C鋼材により鋼桁とP C桁を連結し, フルプレストレス状態にする。 ・プレートに対する鋼桁補強を行う。 ・デッキ部トラフを変断面として剛性の急変を緩和している。
長所	・オーガナル-スでコンクリートの配筋・打設ができるため, 施工性が良い。 ・接合セグメントのコンクリートについても一般部セグメントと同様な品質が期待できる。 ・前・後面板および合成部(メタル)の3箇所まで軸方向力が伝達されるため, メタルプレート案(支圧接合)よりコンクリートの支圧応力および支圧板の応力が最も小さい。 ・合成部は密閉構造となるが, 鋼桁製作性は最も良い。	・鋼桁部に補強縦リブを設けることにより, 剛性急変を緩和している。 ・補強縦リブからトラフへの力の流れがスムーズである。 ・間詰部(横桁)で応力が緩和される。 ・合成部鋼セル内の応力が均一となる。 ・国内において, 生口橋, 多々羅大橋などで施工実績がある。 ・後面板位置でのコンクリートの支圧応力は, 比較的小さい。 ・合成部の溶接施工性が最も悪い。 ・鋼桁を立起した状態で合成部, もとに戻して一般部のコンクリートを打設することになり, 工費が他案よりかかる。	・オーガナル-スでコンクリートの配筋・打設ができるため, 施工性が良い。 ・接合セグメントのコンクリートについても一般部セグメントと同様な品質が期待できる。 ・メタルプレートに作用する支圧に対して鋼桁部に補強を要するが, 第2案に比べて鋼桁製作性は良い。	・オーガナル-スでコンクリートの配筋・打設ができるため, 施工性が良い。 ・接合セグメントのコンクリートについても一般部セグメントと同様な品質が期待できる。 ・メタルプレートに作用する支圧に対して鋼桁部に補強を要するが, 第2案に比べて鋼桁製作性は良い。 ・接合部前面の底板が軸方向力を一部負担するため, コンクリートの支圧応力が第3案より低減され, 端部の欠落に対しても安全である。
短所	・合成部にモルタル充填(無収縮)を要する。 ・後面板位置で, 剛性が急変するため, 輪荷重により角折れする可能性がある。	・合成部に高流動コンクリートを用いて一括打設した場合, P C桁部との整合性, セル内コンクリートの品質に問題が残る。 ・間詰部(横桁)が狭いため配筋・型枠の施工性が悪い。	・メタルプレート位置でのコンクリート支圧応力が大きくなる。 ・メタルプレート位置で, 剛性が急変するため, 外力や輪荷重により角折れする可能性がある。	・メタルプレート位置でのコンクリート支圧応力が大きくなるが, 第3案より小さい。 ・メタルプレート位置で, 剛性が急変するため, 外力や輪荷重により角折れする可能性がある。
評価	◎	△	○	○

Key Words : 複合エクストラード橋, 接合桁

連絡先 : 千葉県柏橋市山野町27番地 (株)横河ブリッジ Tel 047-435-6161 Fax 047-435-6242

したがって、第1案の中詰めコンクリート案（前後面板併用形式）、第3、4案のメタルプレート案について接合部を部分的に取り出した F.E.M. 解析を実施し、応力伝達特性を確認することとした。その結果、第3案のメタルプレート案は、デッキプレート部およびその背面のコンクリート部に応力集中が発生した。第4案についても、前面に張出した底板から、多少の荷重伝達が行われるものの、応力集中の低減には至らなかった。

第1案は、コンクリートの支圧応力度や鋼桁の垂直応力度は滑らかな分布形状を示し、局部的な応力集中の発生はなかった。第1案における P C-鋼桁間の力の伝達は、図-1に示すように、前・後面板位置（支圧）および合成部のスタッド（せん断）の合計3つのルートから行われるため、円滑な分布を示したものと考えられる。したがって、接合形式は施工性および応力伝達性に優れる第1案の中詰めコンクリート案（前後面板併用形式）を採用した。

ただし、接合桁の床版部には主桁系断面力以外に T 荷重による床版・床組系の力も作用し、疲労強度上の問題が残ったため、別途、疲労実験を行い安全性を確認することとした。

3. 設計方針

第1案の接合形式については、前・後面板の板厚、中詰めコンクリートと鋼セルとの合成度をパラメータとした F.E.M. 解析を実施し、各構成要素（図-2参照）の設計方針を以下のように決定した。

- ① 前面板…本構造では軸方向力に対して前面板の板厚変化は応力性状に影響を与えない。ただし、前面に配置されたずれ止めによりせん断力とねじりモーメントを伝達するため、板厚は鋼桁腹板と同厚とする。
- ② 後面板…後面板厚は厚いほどコンクリートの支圧応力度が低減される。しかし、F.E.M. 解析を行った板厚の範囲内（ $t=16\sim64\text{ mm}$ ）では、各部応力度は許容値以内となる。したがって、安全側の見地より、鋼主桁構成部材厚 t の全強が、後面板の板厚方向のせん断抵抗で中詰めコンクリートに伝達できるものとして設計する。すなわち、後面板必要板厚 t_{req} は、

$$t_{req} = (\sigma_a / \tau_a) \times t \cdots (1) \quad \text{ここに、} \sigma_a, \tau_a: \text{鋼主桁構成部材の引張およびせん断許容応力度}$$

- ③ 合成部隔壁…荷重伝達にはあまり寄与しないが、合成部鋼セルの剛性確保の面から、鋼桁製作上支障の無い間隔（標準間隔 900 mm）で配置し、板厚は最低厚（10 mm）とする。
- ④ 合成部密閉板…荷重伝達にはあまり寄与しないため、板厚は最低厚（10 mm）とする。
- ⑤ ずれ止め a. 前面板位置…主桁のせん断力（面内、面外、ねじりモーメント）をすべて伝達できるものとする。せん断流理論により各部材内の単位長さ当りの最大せん断力を算出し、ずれ止め（スタッドジベル）を設計する。なお、上床版部については床組によるせん断力との足しあわせ照査も行う。
b. 合成部のデッキ、フランジ、腹板および密閉板位置…前・後面板位置での鋼部材応力度の変化は、ずれ止めによって伝達される力によるものとし、ずれ止めの設計を行う。伝達力は F.E.M. 解析結果を利用し、
（伝達力）=（前・後面板位置での応力度差）×（部材断面積）…(2) となる。
c. 合成部内の前・後面板位置…力の伝達には一切寄与しない（支圧のみ）が、肌離れ防止用に最低ずれ止め本数を配置する。

- ⑥ 橋軸方向 P C 緊張量…斜材ケーブル、桁内外ケーブルおよび P C 鋼棒の共同作用により、接合部に圧縮力を付与し、コンクリートのひび割れ発生を抑える。さらに、桁内外ケーブルは鋼桁内を貫通させ、鋼桁部断面力の改善や、地震時におけるフェールセーフとして落橋防止的な働きを与えることとする。
- ⑦ 橋直方向 P C 緊張量…接合部 P C 桁は、一般部と同様に横方向引張応力が作用する。さらに、鋼桁部と P C 桁部との温度差荷重により横方向引張応力が作用する。この引張力に対しても必要量 P C 鋼材を配置し、圧縮力を付与するものとする。

4. まとめ

本橋の接合部は応力伝達機構や製作施工性において非常に優れた形式であり、今後、同種の接合部を有する橋梁についても十分対応可能な形式と考える。

<参考文献> 1) 多田・山岸：生口橋の設計・施工、第2回合成構造の活用に関するシンポジウム講演論文集、1989.9

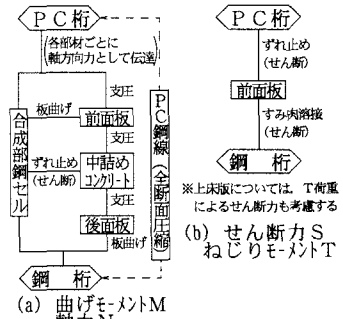


図-1 力の伝達

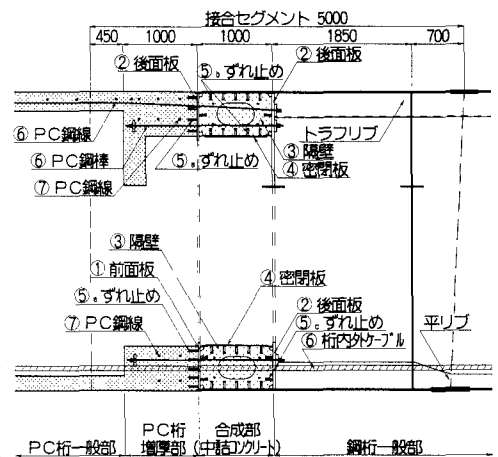


図-2 揖斐川・木曽川橋の接合部