

鋼 2 主桁ラーメン橋（日本海沿岸東北自動車道 鯉川高架橋）の設計と解析

日本道路公団 正会員 木水 隆夫 ○新井 恵一
 (株)神戸製鋼所 正会員 沼田 克 山田 岳史
 (株)神戸製鋼所 正会員 本田 祐嗣 奥村 昌好

1. はじめに 橋梁上部工と下部工を連結したラーメン形式の橋梁は、連続桁形式の橋梁と比較して、一般的に耐震性に優れ、また中間支点部の支承が不要となるため、初期コストの低減、維持管理の軽減が可能となる。

また、鋼 1 桁橋は、PC 床版の採用により、耐久性、耐荷性の向上が図られ、主桁間隔を従来の倍程度まで広げた少数桁形式が鋼橋の標準的な形式として採用されるようになってきている。このような経緯からさらなるコスト縮減、維持管理の低減を目的として、この両者を組み合わせた“鋼 2 主桁ラーメン形式”が採用されつつある（図-1）。本形式の設計・施工実績は、現時点で非常に少なく、設計基準、要領が整備されていないため、日本海沿岸東北自動車道鯉川高架橋剛結部を対象に、弾塑性 FEM 解析を行い、その設計および構造妥当性の検証を行ったので報告する。

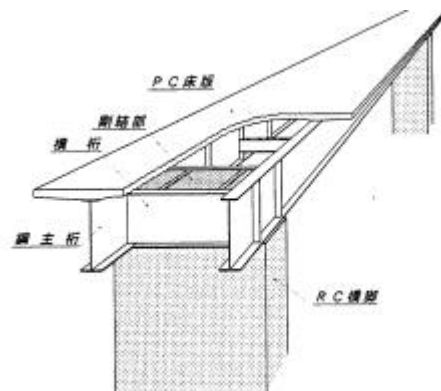


図-1 鋼 2 主桁ラーメン橋

2. 剛結部構造概要 鯉川高架橋の剛結部構造については、既往の検討成果を踏まえて、主桁、横桁でコンクリート柱頭部を拘束するタイプ（図-2）を採用し、剛結部内には帯鉄筋を配置しない構造としている。鋼とコンクリート相互への力の伝達は、従来使用されてきたスタッドジベルの代わりに、施工性に優れ、疲労強度があり、かつ十分なダクタリティを有するとされる孔あき鋼板ジベルを採用した。また、床版の施工性及び維持管理性を向上させるため、コンクリート橋脚の柱頭部を拘束する横桁の高さを主桁高より低くした構造を採用することとした。

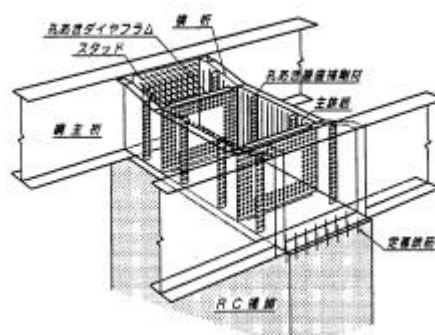


図-2 剛結部構造

3. 剛結部の設計 鯉川高架橋の剛結部の設計において考慮した力の伝達機構を図-3 に示す。鋼桁と RC 橋脚間の力の伝達は、直接鋼桁から行われるものと横桁を介して行われるものの 2 系統を考え、その配分を横桁：主桁 = 1 : 1（圧縮側）1 : 0（引張側）と仮定して設計した。但し、現時点ではその力の伝達機構で不明確な部分も多く、設計計算における定量化が困難なため、線形及び材料非線形解析を行い、その設計の妥当性を検証した。

	軸力 N	曲げモーメント M	せん断力 S
伝達機構図			
伝達経路	経路 1 (σ _G ・A _G = N/2) RC 橋脚→下フランジ→鋼桁 ※鋼-コンクリート間の支承 経路 2 (P _F = N/2) RC 橋脚→コンクリート→孔あきダイヤフラム (孔あき垂直補剛材) →横桁 →鋼主桁 ※横桁の曲げ剛性	引張力 (P _F = M/D) RC 橋脚→主鉄筋→コンクリート→孔あきダイヤフラム (孔あき垂直補剛材) →横桁 →鋼主桁 ※横桁の曲げ剛性 圧縮力 (P _{FC} = M/2D, σ _G ・A _G = M/2D) 軸力と同様に経路 1, 2 から伝達	RC 橋脚→孔あきダイヤフラム ※ 2 枚の横桁を上下フランジとする合成断面の曲げ剛性
	A _G : 下フランジ支承面積	D: 横桁橋軸方向幅	

図-3 力の伝達機構

4. 剛結部解析 鯉川高架橋 P5 橋脚をモデルに

FEM 解析を実施した。解析モデルを図-4 に示し、解析条件を下記に示す。

コンクリート: Solid 要素、桁構造: Shell 要素、鉄筋、RC 脚一般部: Beam 要素

鋼、コンクリートの境界条件: 孔あき鋼板、スタッド —コンクリートと完全合成

破壊基準 (非線形解析): 鉄筋、鋼材—von Mises、コンクリート—Mohr-Coulomb

キーワード: 2 主桁、剛結、ラーメン、力の伝達機構、非線形 FEM 解析

連絡先: 〒980-0021 仙台市青葉区中央 3-2-1 青葉通りプラザビル TEL: 022-217-1826 FAX: 022-217-1903

入力断面力は、A2 側主桁着目時 M_{min} (常時) を使用し、モデルに作用させる釣り合い断面力は立体解析結果から抽出を行った。

図-5 に主鉄筋および主桁下フランジ下面に取り付けた定着鉄筋の応力度分布を示す。モデルから判るように主桁の下フランジ投影面に位置する橋脚の主鉄筋はフランジ下で止まり、主桁、横桁で囲まれる領域に位置する主鉄筋は横桁高さまで貫通する構造としており、設計方針として、その断面性能は、RC 保耐性能を確保することとしている。なお下フランジ付き鉄筋は、力の伝達機構には考慮しておらず、コンクリートと鋼桁の肌離れ防止のために設置している。この図から、P4 側 (鉄筋引張) では横桁を介してほぼ一様の鉄筋への応力伝達が確認できるが、A2 側 (鉄筋圧縮) では、主桁近傍の鉄筋 (コンクリート) へ多く力が流れ、橋脚中央部へ向かって漸減しており、その分布に明らかな違いがあることが判る。また、コンクリートと鋼桁のずれ止めに使用した孔あきダイヤフラム及び孔あき補剛材により、RC 橋脚への荷重伝達がなされていることが判る。下フランジ付き鉄筋の応力度分布を見ると、A2 側の短い領域で圧縮応力が急激に立ち上がり、橋軸方向の P4 側の大部分では引張域になっており、肌離れ防止の下フランジ付き鉄筋の有効性が確認できた。

図-6 に剛結部境界及び、橋脚一般部断面における鉛直方向応力度分布を示す。

上段の図は、鋼桁と橋脚の剛結部境界面を示すが、本構造を採用する上での懸念事項であった下フランジ～橋脚端部のコンクリート支圧応力の集中は、最大 24.6MPa となった。同解析を線形解析で行うと同じ箇所でも最大 54.2MPa となり、剛結部充填コンクリートの設計基準強度 (30MPa) を遙かに超えることとなった。これより、コンクリートには荷重载荷の初期段階では下フランジ直下の橋脚端部に応力集中現象が生じるが、その後荷重が増えるに従い応力の再配分が行われることを確認した。また別報報告の 1/3 縮尺模型実験においても終局状態は当該箇所の主桁直下ではなく、剛結部下の橋脚側主鉄筋の座屈に起因したかぶりコンクリート剥離となることを確認している。

5. おわりに 本検討は、日本道路公団「鋼 2 主ラーメン橋の剛結部に関する検討」委員会の中で行った検討結果の 1 部である。委員長の埼玉大学町田教授、委員の東北大学三浦教授、東北学院大中沢助教授にご指導を頂きました。ここに感謝の意を表します。

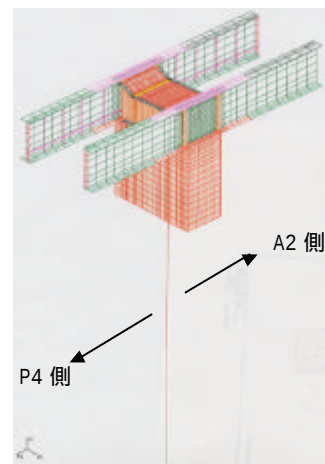


図-4 解析モデル

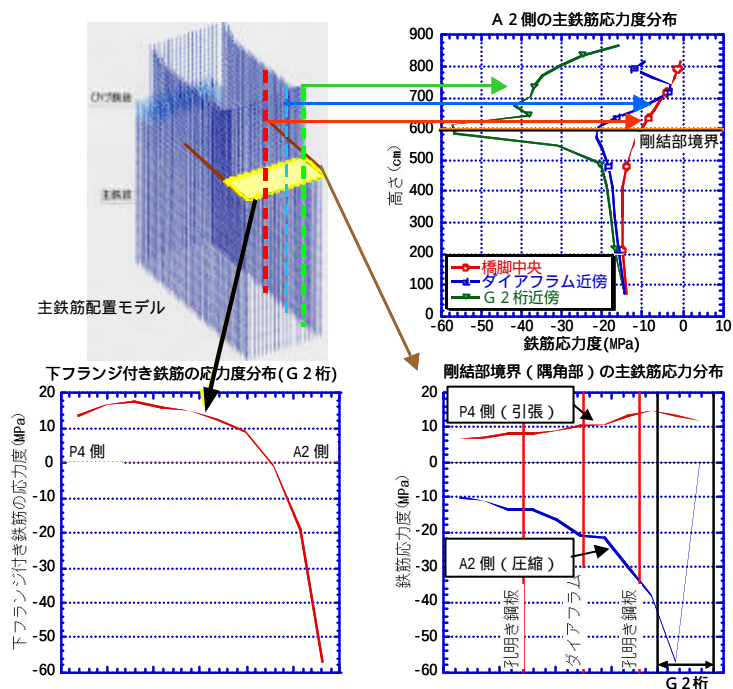


図-5 鉄筋応力度分布

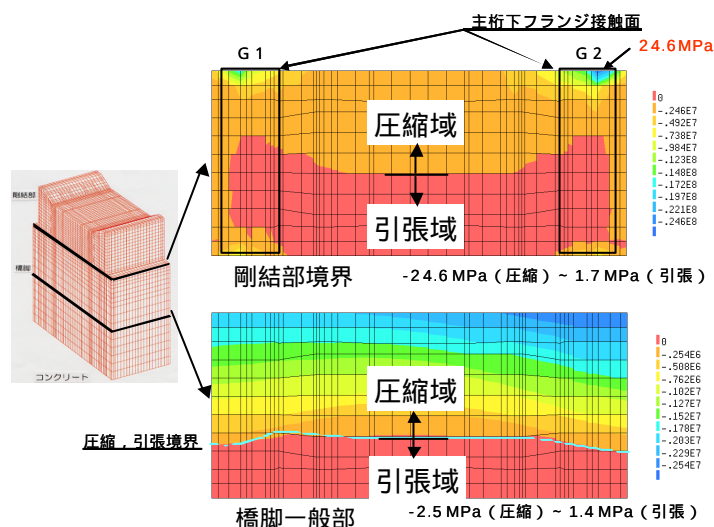


図-6 コンクリート応力度分布