

開断面箱桁複合ラーメン橋剛結部の設計法に関する一提案

片山ストラテック(株) 正 会 員 ○森 圭司 長崎大学工学部 正 会 員 中村聖三
長崎大学工学部 フェロー会員 高橋和雄 中国福州大学 非 会 員 呉 慶雄
川鉄橋梁鉄構(株) 正 会 員 上村明弘 川鉄橋梁鉄構(株) 正 会 員 神田恭太郎

1. まえがき

複合ラーメン橋は耐震性・経済性に優れ、維持管理の簡略化に繋がる構造形式として、近年採用実績が増加している¹⁾が、上下部構造間の荷重伝達機構を普遍的に捉える事が困難であり、明確な剛結部の設計法が確立されていない。そこで本研究では、ウェブが傾斜した鋼箱桁を上部構造とし、埋め込み桁方式を採用している複合ラーメン箱桁橋の剛結部を対象とし、立体 FEM 解析により、上下部構造間の力の伝達機構について検討した結果に基づき、設計法を提案する。

2. 対象とする構造

本研究で対象とする構造は、実在する橋梁を参考に設定した図-1 に示す 2 径間連続複合ラーメン橋であり、鋼桁と橋脚の剛結部付近を解析対象とする。実橋では、鋼桁の大部分は橋脚に埋め込まれ、下フランジ、ウェブ、および支点上ダイアフラムに溶接されたスタッドジベルにより、鋼桁と橋脚との一体化が図られている。また橋脚、鋼桁、ダイアフラムに囲まれた部分には高強度コンクリート（桁内コンクリート）が充填されており、床版には鋼・コンクリート合成床版が用いられている。

3. 解析モデル

解析モデルは、2 種類の断面形状と 3 種類のスタッド剛性を組合せた 6 種類と斜めウェブモデルのスタッド本数を基本配置から図-2 のように変化させた 2 種類に 3 種類のスタッド剛性を組合せた 6 種類の計 12 種類である。スタッドの形状を表-1 に示す。垂直ウェブモデルのウェブ間隔は、図-3 に示すように斜めウェブモデルのウェブ高さ方向の中央点におけるウェブ間隔とし、両モデルで床版幅を合わせ 7400mm とした。鋼板の厚さは 8mm とし、合成床版についてはヤング係数比を用いて等価な鋼板（厚さ 37.86mm）に置き換え、シェル要素としてモデル化した。支圧力の発生が予想される部分を除いてコンクリート橋脚と鋼桁の節点は分離し、スタッドを用いて両者を一体化さ

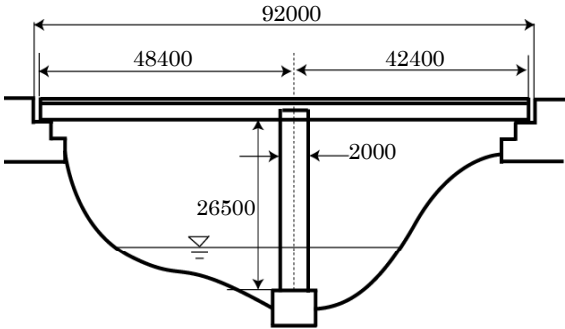


図-1 対象構造側面図

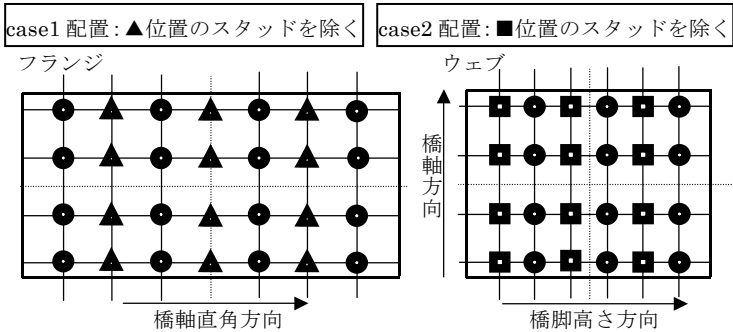


図-2 スタッド基本配置図

表-1 スタッドの形状

	剛性小	剛性中	剛性大
軸径(mm)	18.5	22.0	26.2
断面積(mm ²)	268.795	380.122	537.550
断面2次モーメント(mm ⁴)	5749.338	11498.675	22997.350

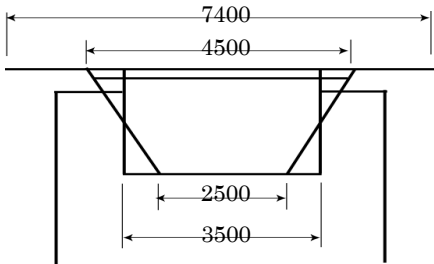


図-3 桁断面図

表-2 使用材料とそのモデル化

使用材料	使用要素	ヤング係数 (N/mm ²)
橋脚コンクリート	8節点ソリッド	24500
桁内コンクリート	8節点ソリッド	27400
鋼板	4節点厚肉シェル	200000
スタッド	2節点はり要素	200000

キーワード：複合ラーメン橋、スタッドジベル、有限要素解析、箱桁橋
連絡先：〒852-8521 長崎市文教町 1-14 TEL：095-819-2613 FAX：095-819-2627

せた．表－2に使用材料とそのモデル化を示す．図－4に各載荷パターンを示す．橋軸方向水平力，橋軸直角方向せん断力は鋼桁端部ウェブ図心高さに載荷した．また，桁端部に集中荷重を載荷することにより，剛結部に面内曲げモーメント，面外曲げモーメント，ねじれモーメントが作用するようにした．軸力については橋脚基部に等分布荷重（外力の合計値は99kN）を載荷した．境界条件については，軸力載荷時以外は橋脚基部を完全固定とし，軸力載荷時には床版全節点を完全固定とした．解析には汎用 FEM 解析ソフトウェア MARC を用いた．

4. 設計法の提案とその検証

面内曲げモーメント載荷の場合は以下のように考える．紙面の都合上，他の載荷状態の場合については講演当日示すこととする．

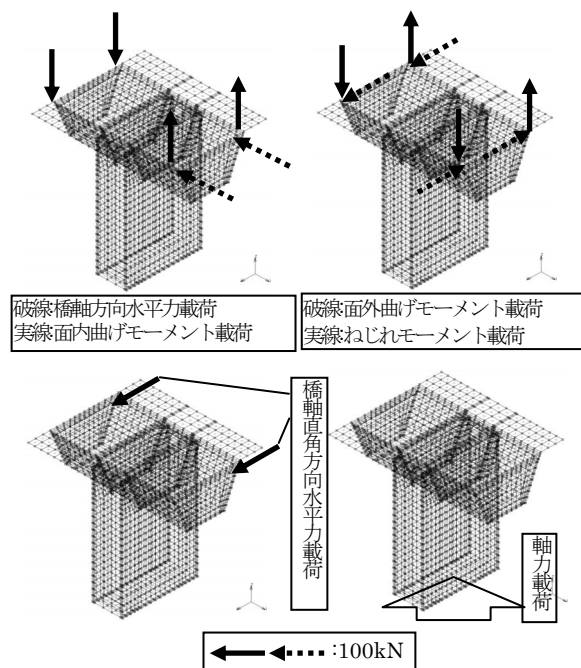
フランジに設置したスタッドの抵抗は無視し，図－5に

示すように，下フランジと橋脚の界面で，圧縮力に対してはコンクリート橋脚と鋼桁の支圧力で，引張力に対しては下フランジを通して剛結部まで貫通した鉄筋の引張力で抵抗すると考える．また図－6に示すように，ウェブスタッド橋脚高さ方向せん断力で作用する面内曲げモーメントを20%負担すると考え，設計する．解析結果と提案式の比較例として，図－6に斜めウェブモデルと垂直ウェブモデル（スタッド剛性中）のウェブスタッド橋脚高さ方向せん断力を示す．せん断力の鉛直成分が負となる領域ではかなり安全側の推定となっているが，概ね適切な結果が得られている．

5. まとめ

本研究では，開断面箱桁複合ラーメン橋の剛結部について，種々の載荷状態に対する FEM 解析結果に基づき，安全側の設計法を提案した．今後の課題としては，鋼とコンクリートの材料非線形やコンクリート橋脚と鋼桁の摩擦，付着特性を考慮したより実構造に近い解析を実施し，提案した設計法の妥当性を更に検証するとともに，より合理的な設計法の可能性について検討することが挙げられる．

参考文献 1) 岩立次郎，忽那幸浩：剛結構造，橋梁と基礎，Vol.8，pp40～44，2002.8



図－4 各載荷パターン

$$P_1 l_1 + P_2 l_2 + \dots + P_n l_n = M_y \times \frac{1}{2}$$

P_i : 任意点の鉄筋に作用する引張力
 l_i : 面内曲げモーメントの回転中心からの距離

$$\begin{cases} l_1 : l_i = P_1 : P_i \\ l_2 : l_i = P_2 : P_i \\ \vdots \\ l_n : l_i = P_n : P_i \end{cases}$$

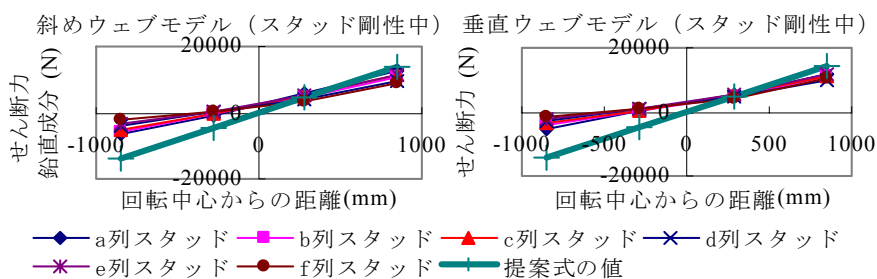
また、

$$P_i = \frac{0.5 M_y}{(l_1 \times \frac{l_1}{l_i} + l_2 \times \frac{l_2}{l_i} + \dots + l_i \times \frac{l_i}{l_i} + \dots + l_n \times \frac{l_n}{l_i})}$$

図－5 面内曲げモーメント載荷時における貫通鉄筋の設計

$$P_{wi} = \frac{0.2 M_y}{(l_1 \times \frac{l_1}{l_i} + l_2 \times \frac{l_2}{l_i} + \dots + l_i \times \frac{l_i}{l_i} + \dots + l_n \times \frac{l_n}{l_i})}$$

P_{wi} : 任意点のウェブスタッドに作用するせん断力
 l_i : 任意点のスタッド列間隔



図－6 面内曲げモーメント載荷時におけるウェブスタッドの設計および解析結果と提案式の比較