

複合ラーメン橋脚隅角部の曲げ応力伝達に関する 3次元 FEM 解析

九州大学大学院 学生会員 郭 勝華
 九州大学大学院 正会員 日野 伸一, 貝沼 重信, 山口 浩平
 日本工営(株) 正会員 友田 富雄

1. はじめに

都市部の道路橋計画では、維持管理の軽減および耐震性能の向上、また桁下空間の有効利用の観点から、少主桁橋と RC ラーメン橋脚が一体となった複合ラーメン橋が有用である。著者らは、これまでに 図-1 に示すような新しいタイプの複合ラーメン橋脚を提案し、経済性や施工性を追求した SRC 横ばりのせん断耐荷試験¹⁾を行った。さらに、SRC 横ばりの鉄骨と一体となった、鋼主桁を介してラーメン橋脚隅角部に伝わる曲げモーメントに着目して、隅角部の耐荷特性を検討してきた。そこで、本研究では、橋軸直角方向の地震動が作用した場合の複合ラーメン橋脚隅角部の応力伝達機構を 3次元 FEM 解析により明らかにする。

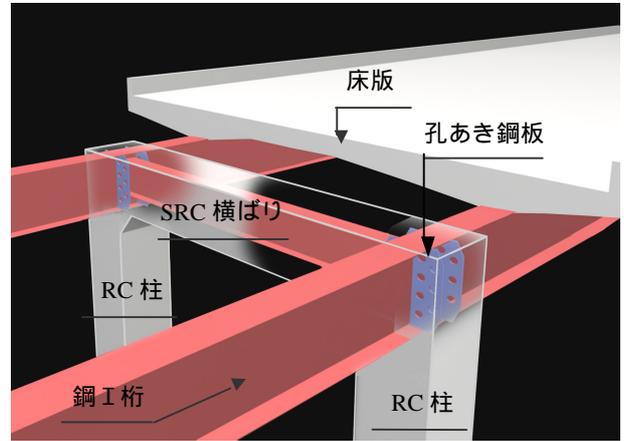


図 - 1 複合ラーメン橋脚の概念図

2. 解析モデル

L 形供試体による載荷試験²⁾をシミュレートするために、図-2 に示す 3次元非線形 FEM 解析を行った。FEM 解析条件を表-1 に示す。コンクリートと鉄筋の材料特性は、試験値²⁾を用いた。また解析モデルは、載荷試験と同様、図-3 に示すように、隅角部の主桁(鋼I桁)に補強鋼板がないタイプ(以下、鋼板なし)と、その代替構造として孔明き鋼板を鋼I桁腹板に設けたタイプ(以下、鋼板あり)の 2種類とした。孔あき鋼板ジベルは、既存の研究³⁾を参考にして 3方向バネでモデル化した。なお、本報では、閉じる方向の曲げ挙動について考察する。

表 - 1 FEM 解析条件

| 使用プログラム | | LUSAS ver.13.5 |
|----------|--------|----------------|
| 要素 | コンクリート | 3Dソリッド要素 |
| | 鉄筋 | はり要素 |
| | 鉄骨 | 薄肉シェル要素 |
| 応力 - ひずみ | コンクリート | マルチリニア型の曲線 |
| | 鉄筋・鉄骨 | バイリニア型の曲線 |
| 構成則 | 鉄筋・鉄骨 | von Misesの降伏条件 |

3. 解析結果および考察

先に実施した載荷試験結果²⁾から、隅角部を貫通する鋼I桁が曲げ耐力に大きく寄与することが判明した。また図-4 に示すように、隅角部外側に沿った鉄筋張力がコンクリートの圧縮ストラットを形成することが確認された。そこで本解析では、隅角部の応力性状および試験では確認できなかった鋼I桁や鉄筋径が変化することによる隅角部耐力への影響を検証する。パラメータは、鋼I桁のフランジとウェブの有無およびRC柱と隅角部の主鉄筋径である。

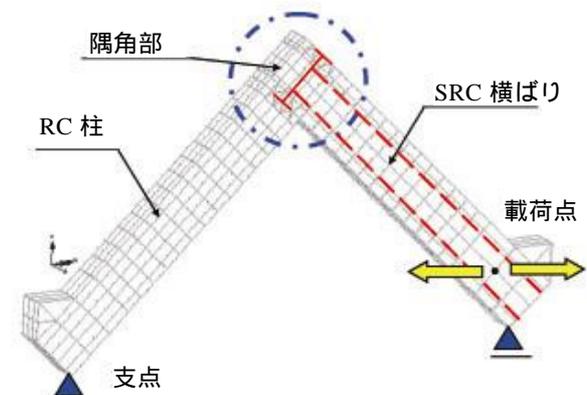


図 - 2 FEM 解析モデル

まず、図-5にコンクリートの主応力分布 (FEM解析結果) を示す。隅角部に閉じる方向の曲げモーメントが作用すると、柱や横ばりの内側から圧縮力 C_c と C_b が、外側に沿った主鉄筋から引張力 T_c と T_b が作用する。それにより隅角部の

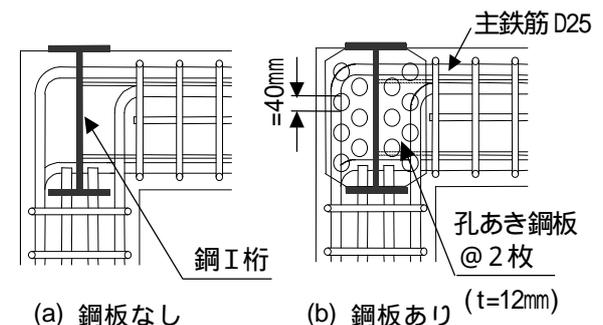


図 - 3 隅角部の構造詳細

対角方向に、コンクリートの圧縮ストラットが形成されていることがわかる。

次に、表-2 に鋼 I 桁と隅角部耐力の関係を示す。鋼板なしは設計計算値 52kN に対して試験値は 181kN であった。設計上、隅角部耐力はコンクリートの割裂抵抗のみを考慮しているが、実際は鋼 I 桁により耐力が大幅に増加したものと考えられる。事実、鋼 I 桁なしの解析値は 57kN であり、設計値とほぼ同値であることが確認された。また、鋼 I 桁の上下フランジがないタイプ（腹板のみ）の解析値は 89kN であり、隅角部耐力には鋼 I 桁の腹板ではなく上下フランジの寄与が大きいことがわかった。さらに、供試体をモデル化した鋼 I 桁ありは、解析値と試験値がほぼ同値であり、本解析法の妥当性が示された。一方、鋼板ありは、RC 柱の基部が最初に終局状態に達するため、鋼 I 桁あり・なしの違いによる隅角部の終局荷重への影響は明らかではないが、本提案構造である孔あき鋼板を設けることにより、隅角部耐力は柱および横ばりのそれよりも大きくなること、解析結果からもわかった。

最後に、表-3 に主鉄筋径と隅角部耐力の関係を示す。隅角部外側に沿った主鉄筋は、鉄筋径を小さくさせても RC 柱の終局荷重が低下するだけで、隅角部の終局耐力には影響しないことがわかった。

4. まとめ

載荷試験をシミュレートした FEM 解析により、以下のことがわかった。

- (1) 隅角部外側に沿った鉄筋張力が、コンクリートの圧縮ストラットを形成する。
- (2) 設計上、隅角部耐力はコンクリートの割裂のみを考慮するが、実際は鋼 I 桁の腹板ではなく上下フランジにより耐力が大幅に増加する。
- (3) 孔あき鋼板を設けることにより、隅角部耐力は柱および横ばりのそれよりも大きくなる。

- (4) 隅角部外側に沿った主鉄筋径を変化させても RC 柱の終局荷重が低下するだけで、隅角部の終局耐力には影響しない。

謝辞 本研究の一部は、(社)日本鉄鋼連盟より平成17年度鋼構造研究・教育助成制度の補助を受けている。ここに記して感謝の意を表する。

参考文献 1)郭,日野,山口,友田,片山:複合ラーメン橋脚に用いる SRC 横ばりのせん断耐荷挙動に関する実験的研究,平成16年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集,pp.153-154,2005.3
 2)友田,日野,山口,前川:鋼 I 主桁が貫通する RC ラーメン橋脚隅角部の応力伝達機構に関する実験的研究,土木学会第59回年次学術講演会概要集,pp.1395-1396,2004.9
 3)佐々木,平井,明橋:コンクリート複合ラーメン橋の剛結部に関する実験的研究,構造工学論文集,Vol.44A,pp.1447-1454,1998.3

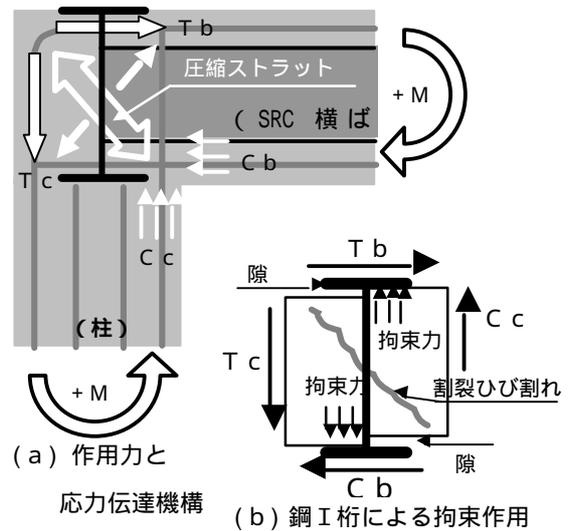


図-4 隅角部の応力伝達メカニズム

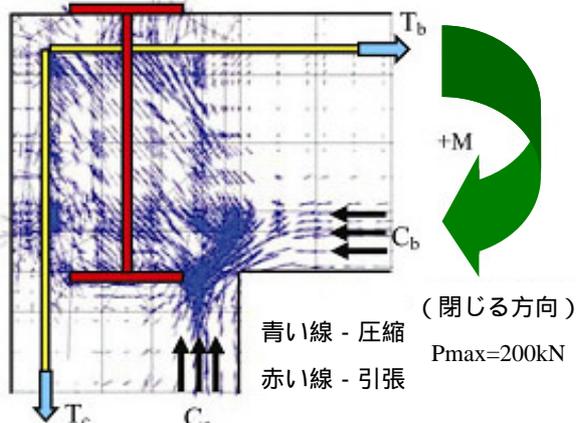


図-5 隅角部の主応力分布図(鋼板あり, FEM 解析結果)

表-2 鋼 I 桁と隅角部耐力の関係

| タイプ | パラメータ (鋼 I 桁) | 隅角部の終局荷重: Pmax (kN) | | | 比 | |
|------|---------------|---------------------|-----|-------|------------|------|
| | | 解析値 | 計算値 | 試験値 | / | / |
| 鋼板なし | 鋼 I 桁あり | 178 | 52 | 181 | 3.42 | 0.98 |
| | 腹板のみ | 89 | | - | 1.71 | - |
| | 鋼 I 桁なし | 57 | | - | 1.10 | - |
| 鋼板あり | 鋼 I 桁あり | 200以上 | 233 | 222以上 | RC 柱が終局になる | |
| | 腹板のみ | 104以上 | | - | RC 柱が終局になる | |
| | 鋼 I 桁なし | 75 | | - | 0.33 | - |

表-3 主鉄筋径と隅角部耐力の関係

| タイプ | パラメータ (主鉄筋径) | 隅角部の終局荷重: Pmax (kN) | | | 備考 |
|------|--------------|---------------------|-----|-------|------------|
| | | 解析値 | 計算値 | 試験値 | |
| 鋼板あり | D22 | 200以上 | 233 | 222以上 | RC 柱が終局になる |
| | D19 | 158以上 | | - | |
| | D16 | 114以上 | | - | |