

I-A 451 千曲川橋の複合剛結部の設計について

日本道路公団	名古屋建設局	角 昌隆	日本橋梁（株）	正員 中嶋 博功
日本道路公団	名古屋建設局	森山 陽一	日本橋梁（株）	○正員 森田 浩隆
日本道路公団	名古屋建設局	檜作 正登	日本橋梁（株）	正員 館 浩司

1. まえがき 近年における道路橋は、走行性の向上、維持管理の軽減、耐震性の向上などの目的で、上部工を多径間にわたり連続化した構造が多く採用されている。このような上部構造から、さらに支承を無くしたラーメン橋は支承の維持管理が不要であるばかりでなく、大幅な耐震性の向上が望めるため今後さらに採用が増えるものと考えられる。

従来、ラーメン橋はPC多径間ラーメン橋として建設されてきた。しかし、梁部を鋼桁、柱部を鉄筋コンクリートとしたようなラーメン橋を想定した場合、梁部の自重軽減に伴う耐震性の向上、基礎工のスリム化、工期の短縮など様々なメリットが期待できる。

本稿は、こうした鋼・RC複合ラーメン橋の要である隅角部の複合剛結構造について、一つの形式のみであるが、検討を加え設計手法を明確にできたので紹介するものである。

2. 複合剛結形式

梁部の鋼桁と柱部の鉄筋コンクリート脚（以下RC脚とする）を剛結する複合剛結形式としては、(1)スタッドによる結合(2)アンカーフレームによる結合(3)PC鋼棒緊張による結合(4)SRC構造による結合が考えられる。それぞれ長所・短所があるが、ここではスタッドによる結合形式のひとつについて検討を行うものとする。

図1にその剛結部の概略図を示す。本構造はRC脚を剛結部内に貫入して鋼桁内のスタッドにより結合すると共に、下フランジと橋脚の境界に支圧板を設け下フランジ力を支圧で伝達する形式としている。

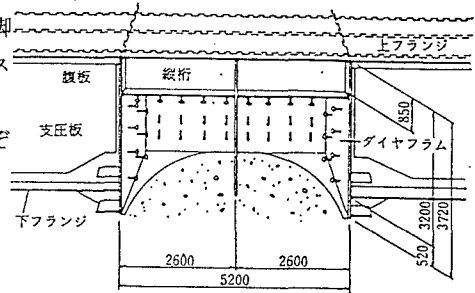


図1 複合剛結部概要図

3. 鋼断面の設計 鋼板のような薄板で構成された隅角部（以下薄板隅角）では初等はり理論と異なり、せん断遅れ現象の影響を大きく受ける。したがって隅角部のフランジ面は、はり理論による応力のほかにせん断遅れによる応力の増加を考慮して決定している。図-2の場合の付加応力はフランジに直角に作用する集中力 F_2 を次式¹⁾に代入することにより計算できる

$$\sigma = \frac{b \cdot F_2}{d \cdot 2A_w} \cdot S^* = G \cdot F_2 \cdots (1) \quad F_2 = \frac{N_2}{2} + \frac{M_2}{d_2} \cdots (2)$$

（ G はせん断遅れ断パラメータ S^* と形状寸法による定数）

一方、このような薄板隅角にコンクリートを充填した場合にはせん断遅れ現象の影響を無視できるとの報告もある。しかし本構造ではより部にコンクリートが充填されていないことからこの報告を適用することはできない。そこで、薄板構造と同様に付加応力を考慮してフランジ面を決定するものとする。図-3の複合構造の付加応力は式(1)の集中力 F_2 がADのスタッドに作用するせん断応力の総和 S_2 に相当するとして次式で計算できることになる。

$$\sigma = \frac{b \cdot S_2}{d \cdot 2A_w} \cdot S^* = G \cdot S_2 \cdots (3) \quad S_2 = \frac{N_2}{2} + \frac{M_2}{d_2} - \frac{d_1 \cdot S_1}{d_2} \cdots (4)$$

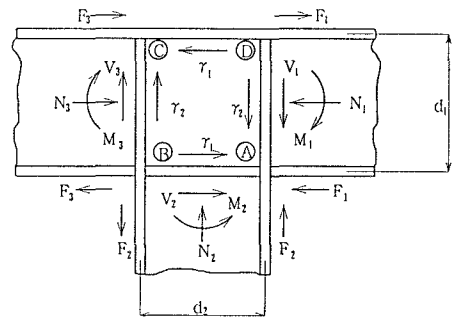


図2 薄板隅角に作用する外力

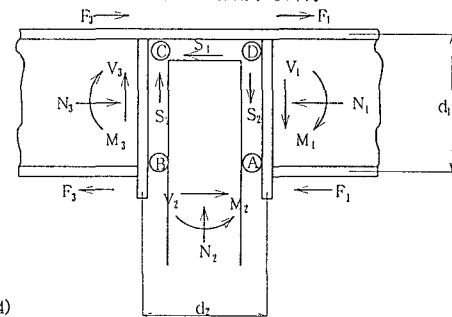


図3 複合隅角に作用する外力

しかし、 S_1 と S_2 は材料特性の異なる鋼とコンクリートを結合する部材力であり、その値を正しく評価し断面計算に用いることは非常に煩雑な作業となる。そこで、式(2)式(4)より集中力 S_2 が F_2 に比べて十分に小さく、最も付加応力が大きくなる応力状態で $S_2=1/2 \cdot F_2$ 程度であることに着目して次の要領で設計するものとする。

剛結部の設計は断面照査位置を断面力の最も大きな橋脚中心としてはり理論により計算を行い、隅角範囲を同一断面とする。この場合の隅角範囲としては応力分布がはり理論によるものと一致する点までとして、はりと柱の境界から腹板間隔の1/2離れた位置とする。これによりせん断遅れ現象が最も顕著に現れるはりと柱の境界部の断面に応力余りを見込み付加応力に対処すると共に応力集中部での板継ぎ溶接を避けるものとした。FEM解析の結果、式(3)はほぼ満足され、応力集中は線形理論値に対する係数(α)にして $\alpha=1.1$ 程度であった。

4. 結合部詳細の検討 本結合方法の特徴として(1)上フランジ力を縦桁のスタッドでRC脚に伝達する(2)下フランジ力を支圧板で伝達するの2点が挙げられる。これらの検討には本構造と後述する比較構造の2種類のFEM解析モデルを用いてその妥当性の確認を行っている。

(1)の縦桁は上フランジに生じる引張力がコンクリート断面に悪影響することなく梁の断面力をRC脚に伝達するために設けたものである。比較モデルとしては縦桁を排除し、腹板とダイヤフラムの全面にスタッドを設けた構造を用いた。解析の結果、比較モデルでコンクリートに大きな引張力が発生すると共に腹板の上側のスタッドに過大な応力が作用する現象がみられた。本構造ではa)縦桁フランジは上フランジ引張力の影響を受けにくく充分な本数のスタッドが設けられるb)上フランジの剛度が増し、鋼の伸びによる鋼・RCの相対変位が減少するといった効果から比較モデルでの現象が改善された。また付随する効果として縦桁がRC脚の鉛直力を分担することも期待できる（設計ではこの効果は期待しないものとし余力として扱うものとした）。

(2)は中間支点部の断面力特性（負の曲げモーメントが卓越している）とRC脚の鉄筋の立ち上げを考慮して用いられた伝達方法で、支圧板は鋼の応力を拡散して支圧力を小さくするために設けられている。比較モデルとしては縦リブ先端を三角形に広げるのみの構造を用いた。解析の結果、比較モデルで下フランジ面延長上のコンクリートに応力集中が見られた。本構造では支圧板を剛にすることで応力集中が緩和されることが確認された。

5. おわりに 本稿は、日本道路公団上信越自動車道の千曲川橋の複合剛結部の詳細設計に際して行った検討結果を紹介したものである。本構造では実橋の1/5モデルの試験体を用いた載荷実験も行っており、これらの検討結果も含めて設計法および構造の妥当性を検証していきたいと考える。

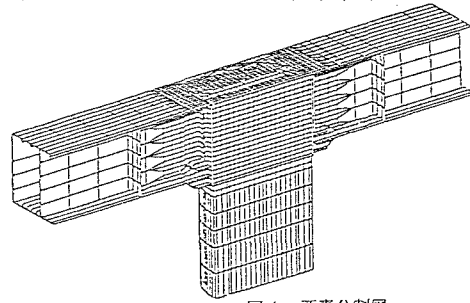


図4 要素分割図

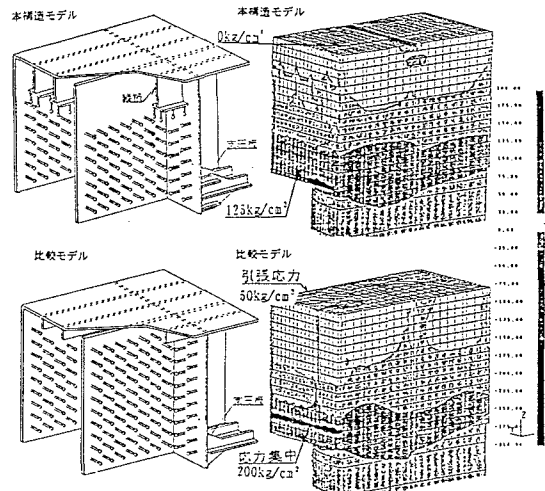


図5 構造モデル概要図

図6 コンクリート応力コンター図 (X方向)