

複合ラーメン橋の接合部設計法に関する一提案

A proposal on design method for rigid section of hybrid rigid-frame bridge

佐藤 徹*, 清水 功雄*, 太田 貞次**, 町田 篤彦***

Toru Sato, Isao Shimizu, Teiji Ota and Atsuhiko Machida

- * (株) 宮地鐵工所、技術開発部 (〒103-0001 東京都中央区日本橋小伝馬町 15 番 18 号)
 ** 工博 (株) 宮地鐵工所、技術開発部 (〒103-0001 東京都中央区日本橋小伝馬町 15 番 18 号)
 *** 工博 埼玉大学教授、工学部建設工学科 (〒338-8570 埼玉県浦和市下大久保 255)

A hybrid rigid-frame structure in which steel girders and reinforced concrete piers is rigidly joined at the top of the piers. This type of bridges can have lighter superstructures and do away with expensive bearing supports, and thus lead to saving in total construction cost as well as maintenance cost. To make clear the stress transfer mechanism of a rigid section between a steel girder and a RC pier, experimental and analytical studies were conducted. These results might serve as basic information for establishing a method for designing the rigid sections of such structures.

Key Words: hybrid rigid-frame bridge, stress transfer mechanism, design method

1. はじめに

橋梁建設技術の合理化の観点から注目されている橋梁構造の一つに、鋼上部工と鉄筋コンクリート橋脚による複合ラーメン橋がある。軽量で高強度、高じん性の鋼桁を経済的で耐久性に優れる RC 橋脚に剛結しラーメン構造とすれば、上部工の断面力の一部が橋脚に分担され、断面の縮小が図れること、支承を減ずることが可能で、初期建設コストのみならずこれらの損傷に起因する維持管理費用が低減されること、必要とあれば地形や周囲の環境にとらわれない架設工法が採用できることなど、従来の橋梁に見られない数々の利点を生ずる。さらに、この構造形式は不静定次数が高まるために耐震性にも優れており、意匠面の自由度が高いことも利点として挙げられることから、近年、日本道路公団を中心に研究が進められ、実橋にも適用されてきている¹⁾。

しかしながら、複合ラーメン橋は前述のような特長を有するにもかかわらず、広く普及するまでには至っていない。この理由の一つとして、接合部の設計法が確立されていないことが挙げられる。設計法として唯一文化²⁾されている考え方は、主桁の断面力を横桁とスタッドにより、橋脚のコンクリートに伝達させようとするものであるが、この考え方では設計的に実際の挙動を十分反映したものでないことが分かってきており、引き続き検討が続けられている。複合ラーメン橋の接合部は、異種部材を組み合わせるために応力伝達機構が複雑で、応力伝

達機構に関しては普遍的に捉えることが困難であるため、対象構造物の接合部ディテールごとに実験的な研究が行われているのが実状である。構造物の設計に当たって接合部は、各部材に先んじて破壊することのないよう、強度、剛性、じん性、および耐久性を満足させること、応力伝達が明解で無理がなく、局所的な応力集中や変形が生じないこと、などの性能を満足することが要求される³⁾。複合ラーメン橋は、応力伝達機構の複雑さに加えて、鋼部材と RC 部材を断面力の大きい位置で接合することもあり、要求性能に対して信頼性の高い構造物を提供するために、設計者の工学的判断による安全側の設計がなされがちである。構造の簡略化および施工の合理化への対応が容易で、経済的な橋梁の建設が可能な複合ラーメン橋の適用範囲を拡大するためには、鋼と RC の相互性能を適切に評価し、安全側への過度な配慮を必要としない合理的な設計法の確立が不可欠である。

筆者らは、これまで実施した実験および解析を基に、接合部にプレストレスを導入することなく、信頼性の高い剛結構造を構成できること^{4), 5)}などについて報告してきている。本論文では、これまでの成果を基に、プレストレスしない接合方式による複合ラーメン橋接合部の一つの基本構造を提示し、その基本構造における応力伝達の考え方を説明する。さらに、実験データの分析と FEM 解析結果をふまえて、接合部の構成要素と役割、各要素への作用力と耐荷機構との関係から導いた設計法を提案する。

2. 接合部設計法の提案

2.1 接合部の応力伝達機構

(1) 接合部の耐荷機構

鋼-RC接合部の応力伝達機構を解明するための調査検討⁶⁾、載荷実験および解析⁷⁾により明らかになった接合部の基本的な耐荷機構を下図に示す。

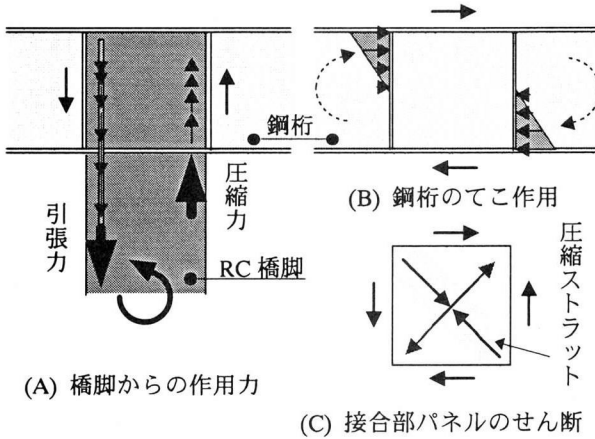


図-1 接合部の基本耐荷機構

RC橋脚ではコンクリートの圧縮力、主鉄筋の引張力および外力によって釣合系が構成され、接合部コンクリートへの引張力は主鉄筋の定着により伝達される(図-1(A))。鋼桁は接合部コンクリートの回転を拘束し、反力を受けることでてこ作用が発揮され、てこ機構に基づく支圧力によって釣合系が構成される(図-1(B))。おのおの釣合系の合力の結果として、接合部パネルには図-1(C)のせん断応力状態が形成され、接合部コンクリートの圧縮ストラットとこれに直交する斜め方向引張力の発生により接合部の釣合系が構成される。この応力釣合条件から展開した、接合部の耐荷機構を以下に整理する。

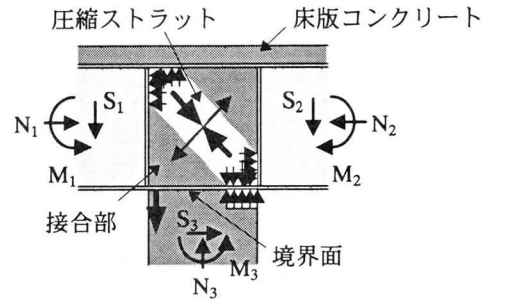
①圧縮力は接合部内コンクリートが圧縮ストラットを形成し、主としてこれを受け持つ。

②接合部の斜め方向引張力は、主として鋼ウェブがこれを受け持つ。

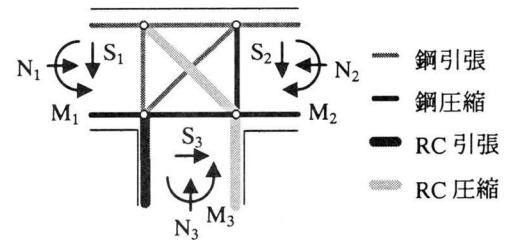
さらに、実際の橋梁構造接合部における作用外力と応力伝達機構モデルを図-2に示す。

(2) スタッドの役割

鋼とコンクリート間の応力伝達は、支圧力が支配的役割を果たすと考えているため、接触面で一体性が保たれることは極めて重要である。接合部コンクリートは鋼材によって取り囲まれる構造であり、施工によっては一体性が損なわれる恐れがあるため、スタッドを設置することで機械的に付着力を付加することは、鋼とコンクリート間の応力伝達の円滑で効率的な伝達に貢献するものと考えている。また鋼桁下フランジ下面に設置されたスタッドは、RC橋脚と鋼桁との接合面での水平せん断力に対する抵抗や、開口を防止するには大変有効である。



(A) 接合部への作用力と耐荷機構



(B) 応力伝達機構モデル

図-2 作用力と応力伝達機構

したがって、実際の構造物では鋼とコンクリートの接触面にはスタッドを設けるのが原則であるが、スタッドの必要本数、配置などに関しては研究中であるため、ここでは接合部内の応力伝達には特に寄与しないものとして取り扱うこととする。

2.2 接合部の設計法

(1) 接合部の基本構造

載荷実験およびFEM解析により研究した成果による応力伝達機構を基に、実際の複合ラーメン橋接合部に対して展開した設計法の考え方を述べる。なお実際の橋梁では上部工形式と橋脚断面形状の組合せによって、様々なバリエーションが存在するが、ここでは最も基本的な組合せとして上部工は鈑桁、橋脚は矩形断面とする。また横桁は接合部コンクリート打設時の型枠を兼用し、施工が容易となるように橋脚外面に配置する。接合工法は実験の場合と同様に、橋脚の軸鉄筋を延長し、鋼桁の上下フランジ、ウェブおよびスティフナ(横桁)で囲まれた接合部に打ち込んだコンクリートに定着するという方式である。接合部構造の概要図を図-3に示す。

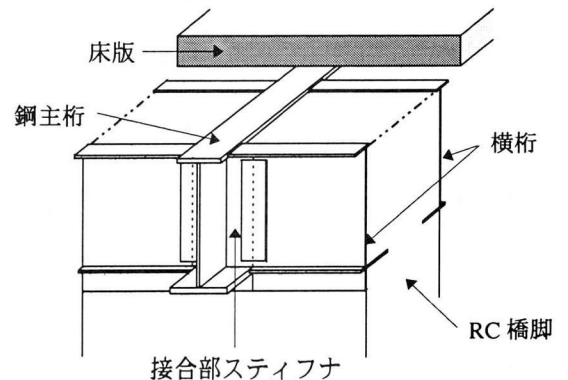


図-3 接合部の基本構造と各部名称

(2) 破壊形態と耐荷性能

載荷実験では供試体の終局状態での破壊形態として、接合部内主鉄筋の定着破壊、接合部コンクリートのせん断破壊、または接合部境界面でのコンクリート圧壊もしくは開口が確認された。接合部の設計は、これら予測される破壊形態を防止するために、各々対応する部材の耐荷性能を照査することで行うものとする。表-1 に破壊形態、対応部材および要求性能の関係を示す。

表-1 接合部の破壊形態と対応部材の耐荷性能

破壊形態	対応部材	要求性能
① 主鉄筋定着破壊	主鉄筋	定着長
② コンクリートせん断破壊	接合部コンクリート	せん断耐力
③ 鋼ウエブせん断座屈	主桁ウエブ	せん断耐力
④ 境界面コンクリート圧壊	橋脚コンクリート	支圧耐力
⑤ 境界面開口	スタッド	引抜耐力

(3) 耐荷性能の照査方法

①主鉄筋の定着長照査

載荷実験によれば、接合部コンクリートには接合部スティフナに設けたスタッドの効果によって応力が効率的に伝達されるため、主鉄筋の降伏荷重と付着応力度の関係によっては、主鉄筋の定着破壊が発生する恐れがあるという結果が得られている⁹⁾。接合部内で定着破壊を生じさせないためには、基本定着長に定着長算定位置の余裕長（橋脚部材断面の有効高さの1/2程度）を加える必要がある。

②接合部コンクリートの耐力照査

接合部コンクリートには斜めひびわれを生ずることがあるが、これは接合部の周囲に作用する外力の作用によって、接合部は図-1 (C) に示したような純せん断の状態に近い応力状態を呈し、接合部コンクリートの引張主応力度がコンクリートの引張強度に達するためと考えられている⁹⁾。接合部コンクリートは圧縮ストラットを形成して圧縮力に抵抗すると考えているので、圧縮ストラットに圧壊が生じない限り接合部の応力伝達機構は維持される。圧縮ストラットの圧壊耐力とコンクリートパネルのせん断耐力を比較した場合、設計的にはせん断耐力の方が安全側と考えられるため、接合部コンクリートの耐力はせん断耐力として評価する。このとき、接合部コンクリートのせん断耐力は、主桁ウエブがせん断補強鋼材となるため、部材軸方向にせん断補強鋼材が配置されている場合として、コンクリートが破壊に至る耐力を照査する¹⁰⁾。

③主桁ウエブの耐力照査

主桁ウエブには圧縮ストラットに直交する斜張力場が形成され、引張力に抵抗する。したがって、鋼ウエブに対しても接合部コンクリートと同様に、せん断耐力の照査を行う。

④境界面の支圧に対する照査

鋼桁とRC橋脚の境界面においては、橋脚コンクリートに圧壊の生じる恐れがあり、実際に、実験においては接合部内が破壊せず、境界面で破壊が生じるケースが多かった。解析においても、主桁フランジ部には支圧応力の集中が見られるため、フランジ幅に対する支圧応力度を照査する。

⑤境界面の開口に対する照査

鋼フランジと橋脚コンクリート境界面の開口は、部材の耐久性を損なう原因となるため、境界面にはスタッドを設けることを原則とする。これまで実施した実験によれば、コンクリートの引張強度と同程度のスタッドを設けることで、十分効果のあることがわかっている⁹⁾。

3. 接合部に関する実験的検討

3.1 実験の概要

(1) 実験供試体

実験供試体は、RC 柱の鉄筋を鋼桁の下フランジを貫通して鋼コンクリート接合部まで延長し、この鉄筋とコンクリートの付着力により力を伝える RC 接合方式の鋼コンクリート複合構造とした。RC 柱は断面が 400×900mm、鋼桁から載荷点までの高さが 1400mm であり、圧縮、引張両側に D25 主鉄筋 8 本を 60mm 間隔で 2 列に配置した。引張鉄筋比は 1.2% である。帯鉄筋は D13 を 100mm 間隔で配置したが、載荷点と接合部付近は帯鉄筋間隔を 50mm と密に設けた。この供試体は、鋼桁と RC 橋脚とを橋脚頭柱部で一体化させた複合ラーメン橋の接合部を取り出してモデル化したものであるが、接合部内部で破壊させることを意図して RC 柱の鉄筋比を大きくした。なお、スタッドは鋼下フランジには設置したがウエブ面には設けず、補剛材に対しては比較のためにスタッドを設置した供試体と設置しない供試体の 2 種類の実験を行っている¹¹⁾。実験結果における応力性状に関しては、両者の間には特に有意差が認められないため、以降は実験データが比較的良く計測できた補剛材にスタッドを設けないモデルについてのみ記述する。実験供試体の接合部の詳細を図-4 に、使用材料を表-2 に示す。

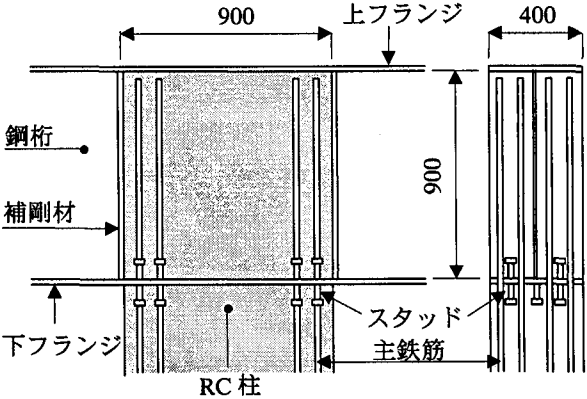


図-4 接合部詳細図

表-2 使用材料

鋼板	SS400 材 降伏強度: $\sigma_y = 3,072 \text{ kgf/cm}^2$ 引張強度: $\sigma_t = 4,689 \text{ kgf/cm}^2$
鉄筋	D25 (SD345) 降伏強度: $\sigma_y = 3,973 \text{ kgf/cm}^2$ 弾性係数: $E_c = 1.83 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$
コンクリート	早強ポルトランドセメントコンクリート 圧縮強度: $\sigma_{ck} = 337 \text{ kgf/cm}^2$

(2) 実験方法

実験は実験設備の関係から、実際の構造物とは天地が逆転するように鋼桁を下側にセットし、その上に RC 柱を立ち上げた逆 T 型の供試体により行った。荷重は 100tf 油圧ジャッキを使用して RC 柱の上端に水平力を作用させて載荷した。荷重強度は載荷点にセットしたロードセルにより、また載荷点の水平変位と鋼桁、コンクリートのひずみをそれぞれ変位計、ひずみゲージにより計測した。実験方法を図-5 に示す。

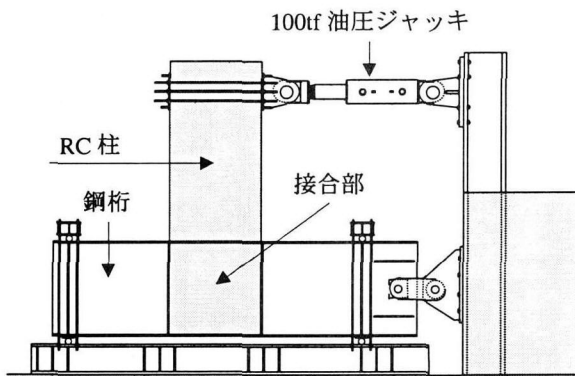


図-5 実験方法

3.2 実験結果および考察

ここでは接合部を中心に、鋼桁と RC 柱間の力の伝達経路に着目して、RC 柱の引張鉄筋降伏時の荷重 $P=38.3\text{tf}$ と最大荷重時 $P=80.1\text{tf}$ の 2 ケースに対してそれぞれ考察を加える。

(1) RC 柱の引張鉄筋降伏時

降伏荷重 $P=38.3\text{tf}$ 時のコンクリート、鋼桁ウェブ、補剛材および鉄筋のひずみを図-6 に示す。

RC 柱の断面力は、RC 柱が鋼桁下フランジにより接合部のコンクリートと分離されているため、引張側では下フランジを貫通した鉄筋を介して、また圧縮側では鋼桁のウェブ、補剛材と RC 柱のコンクリート、鉄筋を介して接合部に伝えられる。

まず、引張側について考察する。RC 柱の鉄筋のひずみは接合部に入ると急激に小さくなり、接合部内のコンクリートとともにコンクリートを介して鋼桁のウェブ、補剛材が荷重を分担する。ウェブ、補剛材への力の伝達は、ひずみ分布より、鋼・コンクリート間の付着によるものと推察される。その後、鉄筋と補剛材の応力は上方に進むにつれて徐々に小さくなり、ウェブの主引張応力は方向を変えながら相対する隅角部の上フランジの引張応力として鋼桁に伝達される。

次に、圧縮側について考察する。RC 柱の圧縮力は支圧力として接合部に伝達される。接合部内では鋼桁ウェブや補剛材ではなく、むしろコンクリートのひずみが大きく、主としてコンクリートが力を分担している。このコンクリートの応力は、接合面における圧縮主応力が相対する隅角部に向かって方向を変えつつもその大きさは増大し、圧縮力のかかなりの部分が接合部のコンクリートを介して鋼桁の圧縮側上フランジに伝わる様子が認められる。この応力の流れは設計法で説明した圧縮ストラットの存在を示すものである。

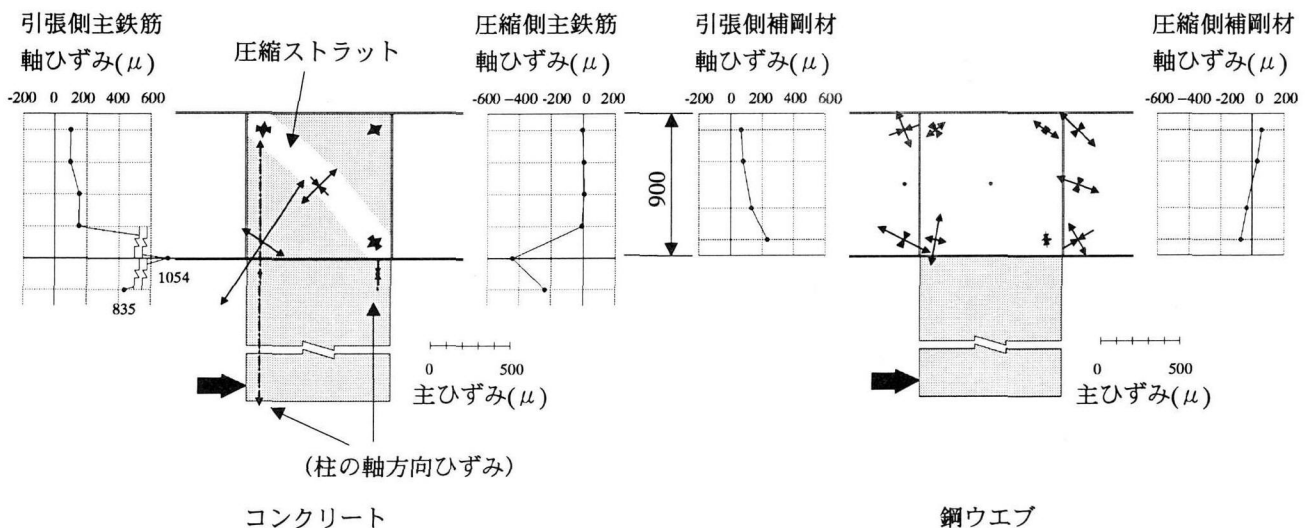


図-6 実験による接合部のひずみ分布 (降伏荷重 $P=38.5\text{tf}$)

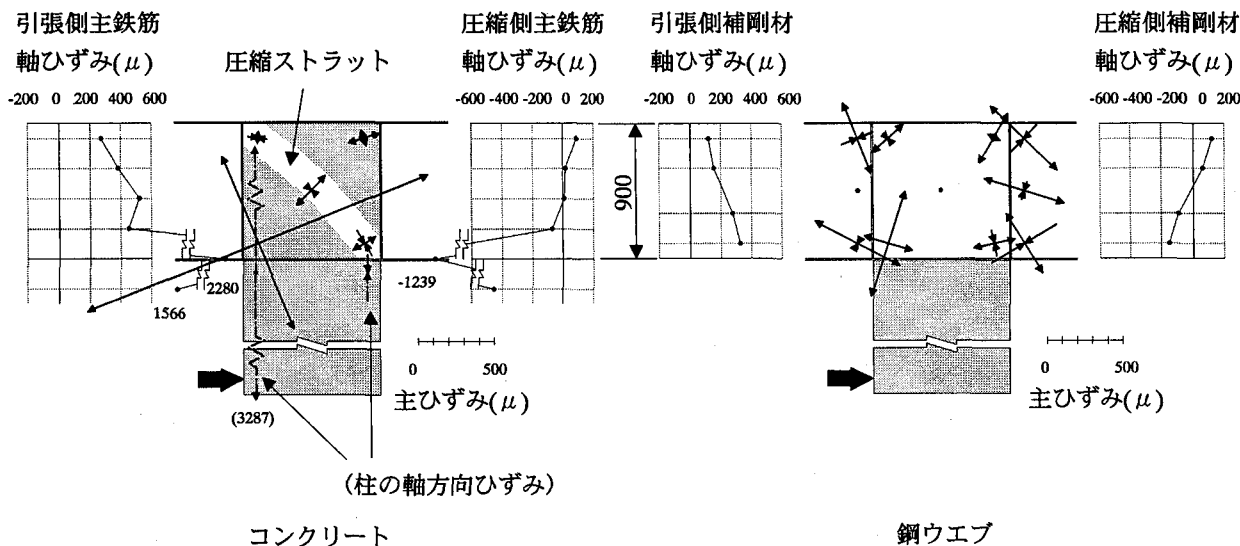


図-7 実験による接合部のひずみ分布 (最大荷重 $P=80.1\text{tf}$)

(2) RC 柱の破壊時

最大荷重 $P=80.1\text{tf}$ 時のコンクリート、鋼桁ウェブ、補剛材および鉄筋のひずみを図-7 に示す。このときの破壊形態は、RC 柱と鋼桁との接触面における RC 柱引張側鉄筋の降伏後の大変形に起因する開口であり、この場合も、降伏荷重 $P=38.3\text{tf}$ の時と同様な耐力機構を形成する様子が確認された。すなわち、補剛材のひずみ分布から、破壊間近においても拘束効果により鋼とコンクリートとの付着が保持されている。このことは、すでにコンクリートの引張強度を凌駕する力が作用しているにもかかわらず、接合部のコンクリートは耐力を保持していることを示している。しかし、接合部の鋼桁ウェブとコンクリートに発生する主ひずみを見ると、この荷重では接合部コンクリートにひびわれが生じており、ひびわれの影響で定量的な評価は困難であるが、定性的にはコンクリートの荷重分担の割合が低下し、鋼桁の補剛材の分担度が大きくなり、破壊に近くなるにつれて力がコンクリートの圧縮ストラットから鋼桁補剛材や鉄筋に移行することが確認された。

このことから、引張側の鉄筋とコンクリートとの付着が確保されれば、鋼部材に囲まれた接合部はコンクリートが耐力を喪失した後においても耐力を維持し、力の伝達を行えることがわかる。

3.3 FEM 解析

(1) 解析の概要

実験結果を解析的に追跡するために、特に接合部の力の伝達に着目して FEM 解析を行った。解析モデルを図-8 に示す。鋼板、コンクリート、鉄筋をそれぞれ 8 節点

薄肉シェル要素、20 節点立体要素、3 次元弾性はり要素でモデル化し、鋼板とコンクリートとの接触面は各要素を構成する節点を共有させて、破壊に至るまで完全付着とした。荷重は実験と同じ位置に水平力を載荷した。

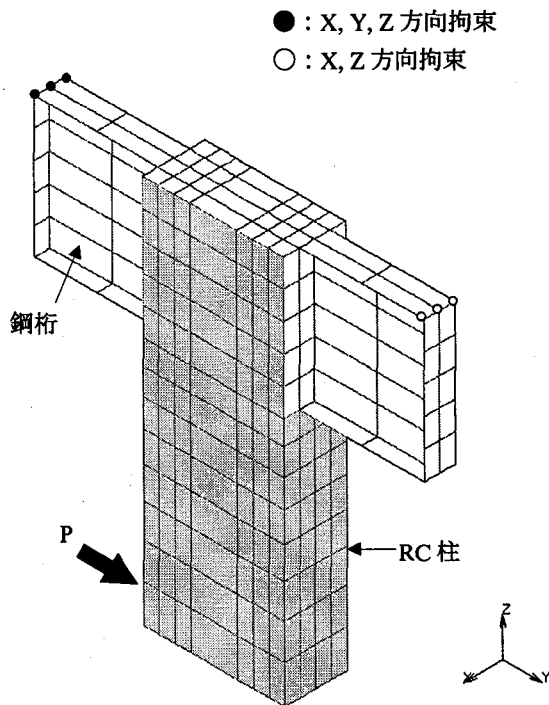


図-8 供試体解析モデル

(2) 解析結果および考察

実験から得られた荷重～載荷点水平変位関係を、骨組解析、FEM 解析の結果とともに図-9 に示す。図より、FEM 解析では鋼板とコンクリートとの接合面を完全付着として解析したにも係わらず、実験値との比較では、初期剛性が多少大きくまた全体的に変形が小さいものの、破壊に至るまで良く一致している。骨組解析の場合には線形解として得られるが、弾性範囲では実験値と非常に良く一致している。

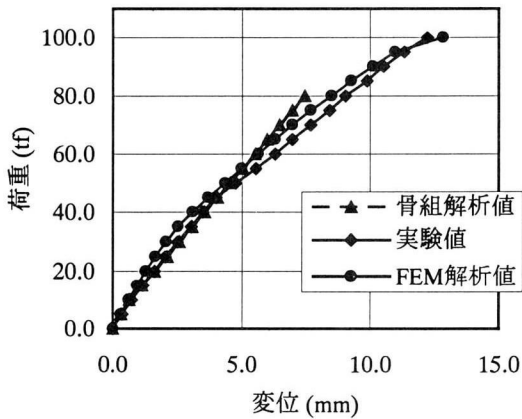


図-9 荷重～載荷点水平変位関係

次に、RC 柱と鋼桁の接合部における力の伝達を調べるために、荷重 40tf 時の鋼桁のウェブ、補剛材とコンクリートならびに鉄筋のひずみ分布を図-10 に示す。

まず、引張側について考察する。RC 柱の引張鉄筋のひずみは、接合部に入るにつれて徐々に小さくなり、コ

ンクリートに力を伝えている。また、ウェブに近い鉄筋と離れた鉄筋を比較すると、前者において RC 柱と鋼桁の接触面でウェブが抵抗することに伴う応力低下が見受けられるが、局所的な現象にとどまっている。次に、補剛材のひずみを見ると、接触面から接合部に入るにつれ急激にひずみが小さくなり、鋼桁のウェブと接合部のコンクリートに力が伝達されることがわかる。

次に圧縮側を考察すると、RC 柱部を含めて鉄筋のひずみは非常に小さく、圧縮力のほとんどがコンクリートを介して伝達されている。接合部の鋼桁のひずみは、補剛材で $40 \sim 50 \mu$ (応力レベルで $80 \sim 100 \text{ kgf/cm}^2$ 程度)、ウェブで 100μ 程度と小さく、接合部両隣の鋼桁の応力状態の影響を受け、必ずしも明快な応力の流れとならない。それに対して、コンクリートの圧縮ひずみは接触面で 254μ (応力レベルで 50 kgf/cm^2 程度) と大きくなるとともに、接合部全体に右下から左上に向けて圧縮応力が伝達されている様子が見受けられる。

以上の解析結果を整理すると、RC 柱から鋼桁への力の伝達は、引張力についてはまず主として鋼桁の補剛材に伝達し、その後ウェブを介して隣接する鋼桁の引張フランジへと伝わる。それに対して圧縮力は、かなりの部分が支圧力により接合部のコンクリートに伝達し、その後コンクリート中の圧縮ストラットを介して隣接する鋼桁の圧縮フランジに伝わっている。この解析結果は、鋼-コンクリート間を完全付着としたにもかかわらず実験結果を追跡できており、接合部のようにコンクリートに対する拘束が大きい領域では、大きな応力レベルの場合でも、鋼板とコンクリートとの付着を期待できることがわかる。

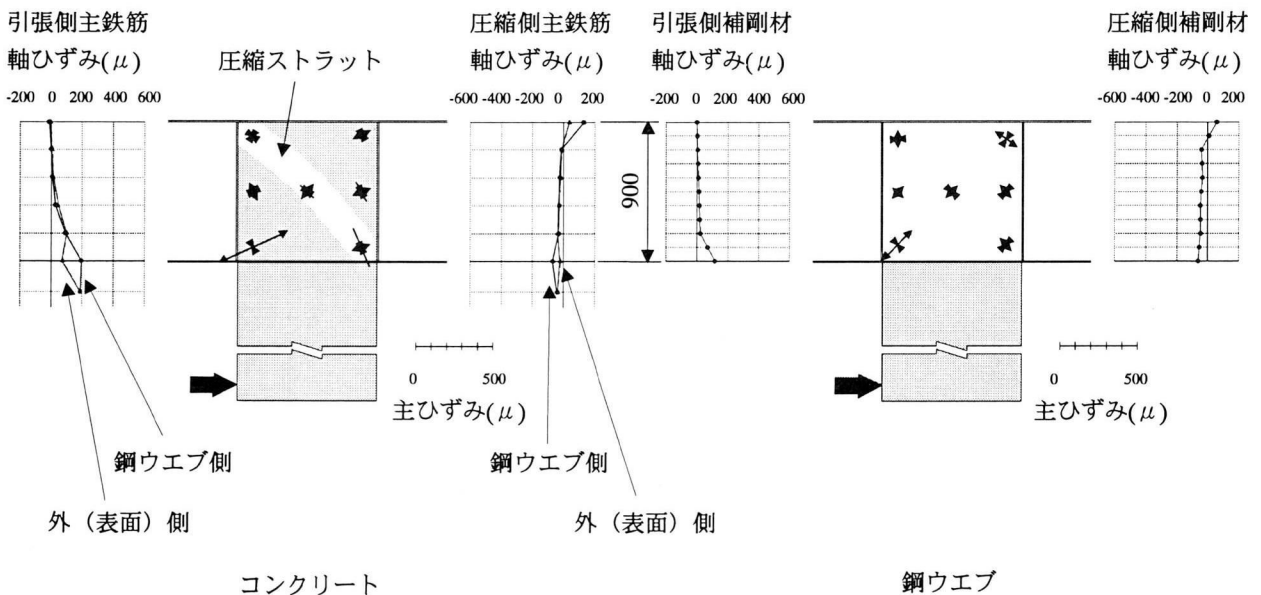


図-10 解析による接合部のひずみ分布 (P=40tf)

4. 実際の構造モデルにおける解析的検討

4.1 解析の概要

実物大の橋梁構造接合部における応力伝達、特に主桁近傍のコンクリートと横桁の作用を解明する目的で、図-11に示すモデルによるFEM解析を行った。このモデルは支間長40m×3径間、橋脚高20mとした場合の連続複合ラーメン鈑桁橋の試設計結果を反映した形状である。主な寸法としては、ウェブ高2000mm、橋脚厚2000mmで主鉄筋がD41@150mmの2段配置である。試設計では少数主桁化を考慮して3主桁で主桁間隔を3850mmとしており、モデルには中桁を取り出し、橋脚高はウェブ高の1.5倍(3500mm)で下端を固定し、橋脚幅は主桁間隔と同一としている。解析モデルの材料特性を表-3に示す。

この解析でも鋼板、鉄筋とコンクリートはそれぞれの要素で節点を共有する完全付着とし、構造物の限界状態以前の弾性領域における挙動を確認するものとした。なお、荷重はより鋼桁からRC橋脚への応力伝達が明確となるよう考慮し、主桁先端部に载荷した。荷重強度は試設計における活荷重の約2倍に相当する断面力を、接合部に実験と同一方向の断面力が生じるよう曲げモーメントはフランジ方向の偶力、せん断力はウェブの鉛直方向節点力として载荷した。

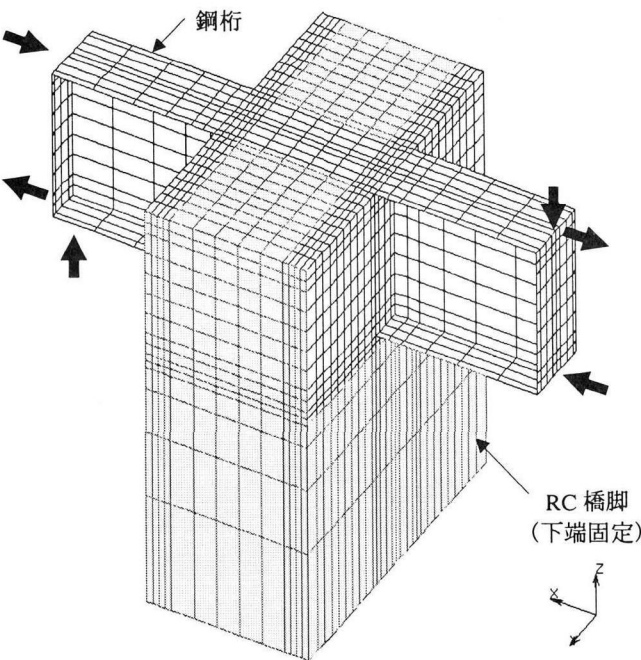


図-11 実橋解析モデル

表-3 解析モデルの材料特性

	ヤング係数 (kgf/cm ²)	降伏強度 (kgf/cm ²)	ポアソン比
鋼板	2.10×10 ⁶	3,600	0.3
コンクリート	2.80×10 ⁵	300	0.2
鉄筋	1.83×10 ⁶	3,500	0.3

4.2 解析結果および考察

実橋モデルでの解析結果では、鋼桁から接合部に伝達された応力は、接合部内には接合コーナー部から相対する隅角部方向に分散する傾向が現れている。このとき図-12に示すように、横桁でのひずみ分布は主桁近傍に高い応力領域が見られるものの、橋軸直角方向(Y方向)への分布は広い範囲には及んでいない。

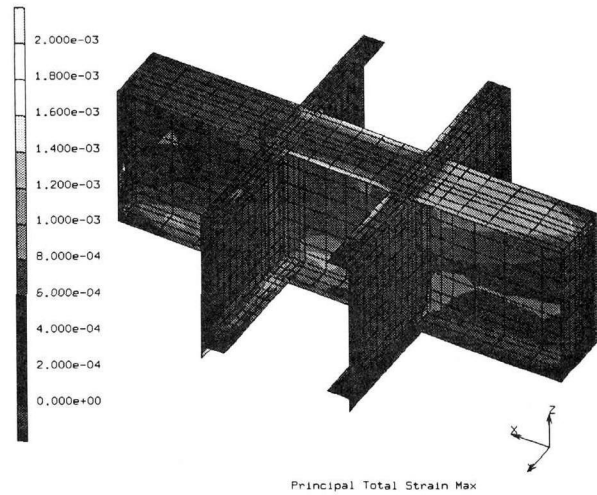


図-12 鋼桁最大主ひずみコンター図

一方、橋脚コンクリートのひずみ分布においても、高い応力領域は主桁フランジ付近に現れており、接合部内では主桁上下フランジとスティフナに囲まれた範囲が、主な応力経路となっているように思われる。また、橋脚部表面においては、主桁下フランジからの広がり方が確認でき、幅方向および厚さ方向へも分散しているものと考えられる。

図-13にコンクリート部の最小主ひずみの分布図を示す。

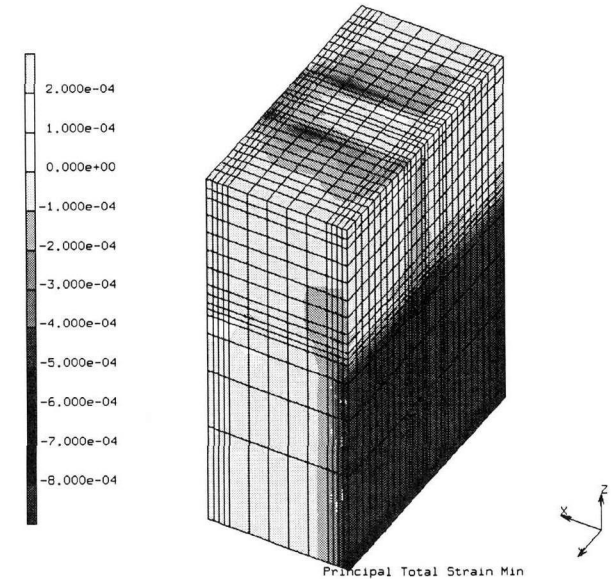


図-13 橋脚最小主ひずみコンター図

以上の結果をまとめると次のようになる。

①コンクリートストラットが形成される領域は、フランジとスティフナにより、強固に拘束された範囲およびその近傍である。

②横桁は、ここで提示した構造形式においては、特に主要な応力伝達部材としては機能しない。

③主桁フランジとコンクリートとの境界付近では、応力集中の傾向が現れる。

5. まとめ

複合ラーメン橋は、鋼部材と RC 部材を適材適所に用い、構成材料の特長を生かした設計を行うことで、経済的に高機能の橋梁を建設できる。このような複合構造が広く普及することを期待し、その最大の課題とされる接合部の複雑な応力伝達機構を解明することを目的として、数年前から実験および解析を実施してきた。この研究成果を基に、施工性にも配慮した合理的と考えられる接合部構造を提示するとともに、実験および FEM 解析によりその妥当性を検討し、以下の知見を得た。

①接合部を取り囲む鋼材の拘束効果により、接合部内コンクリートには圧縮ストラットが形成され、拘束鋼材とともに主要な応力伝達経路となる。

②コンクリートストラットの形成される領域は、周囲を完全に拘束された範囲に現れており、横桁および鉄筋など鋼材の配置に影響される。

③主桁フランジ部近傍では引張、圧縮応力とも集中の傾向が生じているため、コンクリートの圧壊もしくは開口に配慮する必要がある。

なお、この構造は故田島二郎先生の研究を基に取組んだのがきっかけであり、この一連の研究にも多くの助言をいただきました。また埼玉大学大学院生の Mochammad Afifuddin 氏、石澤 徹氏、当時大学院生で現日本道路公団

の杉山孝雄氏には実験および解析でたいへんお世話になりました。ここに深謝いたします。

参考文献

- 1) 小川, 寺田: JH日本道路公団における複合構造橋梁, 橋梁と基礎, 1997, Vol.31, No.8, pp48~55.
- 2) 日本道路公団: 設計要領 第二集 橋梁建設編 9章 複合構造, 平成10年7月.
- 3) 土木学会: 複合構造物設計・施工指針(案), 平成9年10月, pp158~159.
- 4) 清水, 鳥越: 鋼とRC橋脚の剛結構造に関する研究(第1報), 宮地技報 No.10, 1994, pp106~111.
- 5) 清水, 鳥越: 鋼とRC橋脚の剛結構造に関する研究(第2報), 宮地技報 No.11, 1995, pp37~44.
- 6) 日本建築学会: 柱RC梁Sとする混合構造の柱梁接合部の力学的挙動に関するシンポジウム, 1994年12月.
- 7) Afifuddin, Machida, Sugiyama, Sato: Study on Behavior of Connection Mechanism on Hybrid Rigid-Frame Bridge Structure, 土木学会構造工学論文集 Vol. 44A, 1998年3月, pp1423~1434.
- 8) 杉山, Afifuddin, 町田, 佐藤: 鋼-コンクリート複合構造接合部の耐力機構に関する研究, コンクリート工学年次講演会論文集, Vol.19, No.12, 1997年6月, pp1449~1454.
- 9) 若林, 南, 谷, 平野: 新建築学大系42 合成構造の設計, 彰国社刊, 1995, pp123~124.
- 10) 土木学会: 鋼コンクリートサンドイッチ構造設計指針(案), 平成4年7月, pp11~12.
- 11) 佐藤, 清水, 鳥越: 鋼とRC橋脚の剛結構造に関する研究(第3報), 宮地技報 No.13, 1997, pp21~26.
(1998年9月18日受付)