

孔あき鋼板ジベルを用いた複合ラーメン構造の性能確認実験

日本道路公団 正員 高橋昭一 正員 長田光司
 大成建設株式会社 正員 ○渡辺典男 福嶋研一

1. はじめに

第二東名富士川橋は、PC床版2主桁を有する、国内初の鋼・コンクリート複合アーチ橋である。本橋では、維持管理の低減、耐震性の向上、経済性等を目的として、鋼桁とRC橋脚を剛結する構造を図-1に示すように構造上可能な範囲で採用している。

既に鋼桁とRC橋脚の剛結構造の実績¹⁾²⁾はあるが、本橋のように鋼2主桁と独立した2本のRC橋脚との接合は今回が初めての試みである。また、これまでの構造は、上部工の応力が主桁から横桁を介して下部工へ伝達するものが多かったが、本構造は、横桁を介さずに直接橋脚へ伝達する機構を採用している点でユニークな構造といえる。具体的には、桁から橋脚への応力伝達経路は、床版コンクリートから直接橋脚へ伝達する経路、主桁フランジの支圧作用から伝達する経路、鋼とコンクリートの付着から伝達する経路、ならびに主桁ウェブおよび下フランジに配置した鋼とコンクリートのずれ止めから伝達する経路等が考えられる。従来、鋼とコンクリートのずれ止めは、頭付きスタッドが用いられているが、本構造では疲労特性や施工性に優れ、省力化が可能であり、かつ大規模地震時に発生する高レベルの応力に対応できる、孔あき鋼板ジベル³⁾を採用した。なお、剛結部の設計は、桁と橋脚間の伝達機構が不明なことからFEM解析を実施し、ずれ止めや補強鉄筋の検討を行っている。

本報は、設計の妥当性を検証するために実施した静的載荷実験結果から、FEM解析値の比較結果および耐荷性能結果を報告するものである。

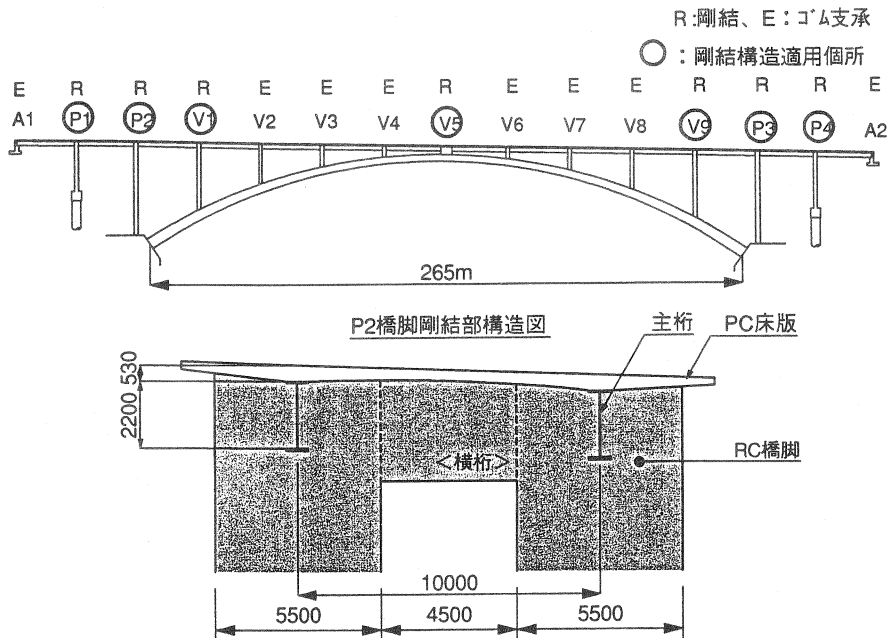


図-1 全体一般図

2. 実験概要

2.1 供試体

(1) 剛結部の設計概要

本構造の特徴は、図-2 に示すように主桁を橋脚コンクリートに単に埋設したような簡易な形式を採用している点、および鋼とコンクリートのずれ止めに孔あき鋼板ジベルを採用している点にある。このような構造では、主桁周辺の補強が重要となる。本構造の設計方針として、終局時の挙動を明確にするために、接合部が先行破壊しないように周辺部材の桁や橋脚より剛結部の耐力を上げている。具体的には、大規模地震時において塑性化しないように3次元弾性FEM解析の結果を使用して剛結部を補強した。FEM解析モデルは、剛結部周辺の橋脚、主桁および床版を対象とし、コンクリートにソリッド要素、鋼板にシェル要素を使用した。境界条件として、鋼とコンクリートが完全に一体で挙動する場合(付着有り)と両者の間が滑る場合(付着無し)の2ケースを実施した。

(2) 供試体の概要

供試体は、実構造物の1/4スケールとし、図-2 に示すように桁および橋脚を抽出した半断面モデルを採用した。また、供試体は桁と橋脚を天地逆に設置し、桁両端をPC鋼棒で固定した。桁は、実構造物で合成桁を採用していることから、実験においても床版を再現している。表-1 に供試体を使用した材料仕様を示す。

1) RC橋脚の主筋及び帯筋

実構造物のRC橋脚の主筋および帯筋量は、大規模地震時における基部のじん性設計により決定されており、供試体においても実構造物とほぼ同じ鉄筋比となるように決定した。配筋は、主筋:D16ctc60mm、帯筋:D13ctc65mmである。

2) 孔あき鋼板ジベル

孔あき鋼板ジベルは、主桁ウェブおよび下フランジに配置しており、大規模地震時に生じる断面力をもとに、剛結部周辺のFEM解析を行って必要量を算定した。供試体では相似則を考慮し、実耐力の $(1/4)^2=1/16$ となるように決定した。孔あき鋼板ジベルは、ウェブ配置: $\phi 39\text{mm} \times 6 \text{個} \times 8 \text{枚}$ 、下フランジ配置: $\phi 32\text{mm} \times 6 \text{個} \times 2 \text{枚}$ である。

3) 剛結部補強鉄筋

実構造物の剛結部補強鉄筋量は、孔あき鋼板ジベルと同様にFEM解析により必要鉄筋量を算定しており、供試体では実構造物とほぼ同じ鉄筋比となるように決定した。

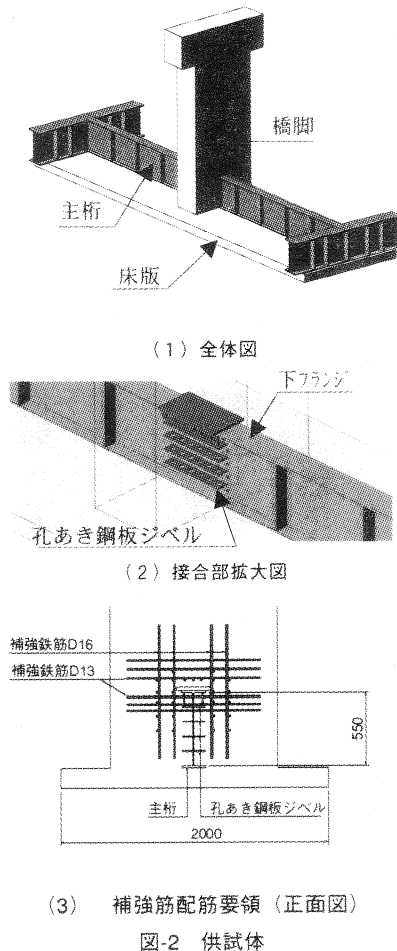


図-2 供試体

表-1 材料仕様

材 料	仕 様
コンクリート	$\sigma_{ck}=40\text{N/mm}^2$
主桁 鉄筋	SM490A SD345
橋脚主鉄筋比	ps=2.1%
橋脚帯鉄筋比	pt=0.18%

2.2 荷重方法

図-3 に実験概要図を示す。供試体への荷重は、3 段階に分けて行った。第1段階および第2段階は設計の検証実験であり、第3段階は終局状態における耐荷性能確認実験である。第1段階：設計荷重における応力状態を再現するために、RC 橋脚頂部に活荷重最大反力時に相当する鉛直荷重(N=335kN)を作用させた (以下、設計荷重レベル)。第2段階：大規模地震時状態を再現するために、死荷重時反力に相当する鉛直荷重(N=235kN)を作用させながら、水平荷重(P=270kN)を載荷した (以下、大規模地震レベル)。第3段階：終局状態における剛結部の性能を確認するために、軸力を除荷した状態で、降伏変位 ($\delta y = 20\text{mm}$) を基準として降伏変位の整数倍ずつ増加させながら、1回ずつの正負交番荷重を実施した。

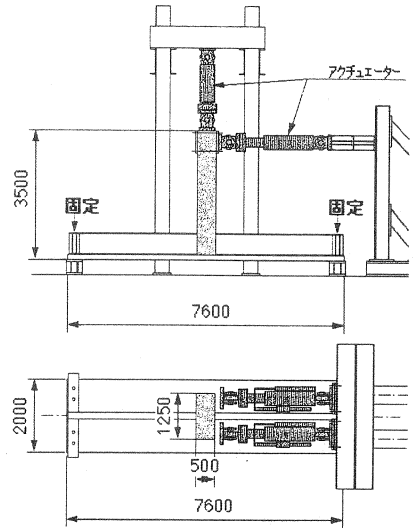


図-3 実験概要図

3. 実験結果

3.1 設計の検証

(1) 大規模地震レベルにおける最大鋼材ひずみ

表-2 に示すように、大規模地震レベルにおいて鋼材が降伏していないことを確認した。

(2) 実験値と FEM 解析値との比較

実験値と FEM 解析値を比較し、解析方法の妥当性を検証する。比較項目は、図-4 に示すように下フランジに設置した孔あき鋼板の橋軸方向ひずみとする。実験値と FEM 解析値を図-5 および図-6 に比較する。1) 設計荷重レベル載荷時：実験の橋軸方向ひずみ分布は、解析値 (付着有り) の状態に近く鋼とコンクリートは一体となって挙動していることが確認された。2) 大規模地震レベル載荷時：実験

表-2 大規模地震レベルにおける最大鋼材ひずみ

単位： μ

鋼材	部位	ϵ_{smax}	ϵ_{sy}
橋脚主筋	下フランジとの接合付近	1,500	2,000
剛結部補強筋	下フランジとの接合付近	1,100	2,000
主桁下フランジ	橋脚との接合付近	1,600	1,800

* ここに、 ϵ_{smax} ：最大ひずみ、 ϵ_{sy} ：降伏ひずみ

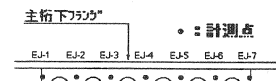


図-4 孔あき鋼板のひずみ計測位置

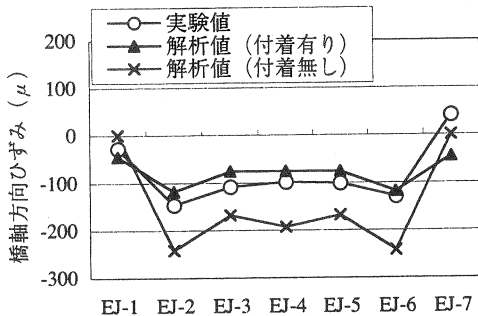


図-5 孔あき鋼板の橋軸方向ひずみ分布 (設計荷重レベル載荷時)

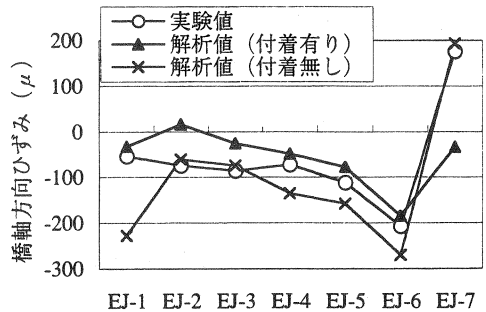


図-6 孔あき鋼板の橋軸方向ひずみ分布 (大規模地震レベル載荷時)

の橋軸方向ひずみ分布は、鋼板端部は付着無しの状態に近く、端部から離れると付着有りの状態に近い挙動になっていると推察される。

3.2 正負交番載荷実験

図-7 に、 $P-\delta$ 曲線を示す。供試体は、降伏変位の 10 倍をこえる最終載荷段階まで明確な耐力の低下もなく、じん性のある挙動を示した。具体的な耐荷挙動をみると、 $\delta y=20\text{mm}$ で下フランジ付根において橋脚主筋が初降伏した。このときのコンクリートひび割れ幅は 0.08mm であった。この後、ひび割れは、下フランジ付根と下フランジから約 50cm 上あたりに集中し始めた。後者のひび割れは、剛結部の補強鉄筋が定着されている位置にあたる。 $+5\delta y$ で引張側鉄筋の被りコンクリートが剥離を始め、 $-6\delta y$ で最小値 -550kN 、 $+7\delta y$ で最大値 590kN の耐力を記録した。 $10\delta y$ 終了後、加力装置の限界に達した 275mm で実験を終了したが、耐力は最大荷重の 8 割以上を保持していた。写真-1 および写真-2 に正負交番載荷実験前後の橋脚の写真を示す。

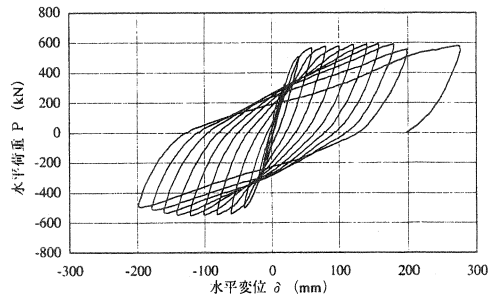


図-7 $P-\delta$ 曲線

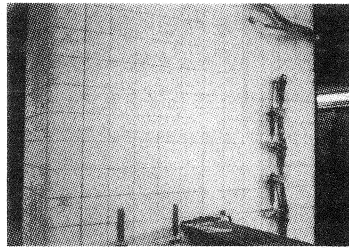


写真-1 大規模地震時 ($\delta = 13.7\text{mm}$)

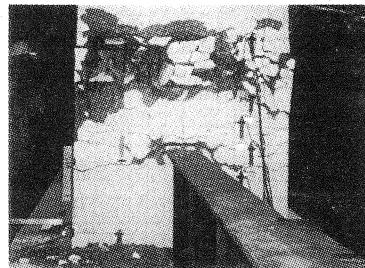


写真-2 実験後の供試体 ($\delta = 275\text{mm}$)

4. まとめ

本実験により得られた結果をまとめると次の通りとなる。

- 1) 設計で想定している設計荷重レベルおよび大規模地震レベルにおいては、実験結果は FEM 解析により再現できていること、また発生応力度が許容値以内にあることから、供試体と同様な方法で、FEM 解析により設計している実構造物においても適切に設計がなされていると判断された。
- 2) 正負交番載荷実験において、供試体は降伏変位の 10 倍をこえる最終載荷段階まで明確な耐力の低下もなく、じん性のある挙動を示した。特に剛結部周辺は顕著な損傷が認められなかったことから、剛結部に適切な補強鉄筋が配置された場合、桁と橋脚を孔あき鋼板ジベルで剛結する本構造は、終局時においても良好な耐荷性能を示すことが期待できると判断された。

参考文献

- 1) 鈴木裕二、水口和之他：複合ラーメン橋剛結部の一構造と模型実験、構造工学論文集 vol.44A, pp1435~1446, 1998.12
- 2) 松井繁之、湯川保之他：複合ラーメン橋・鋼桁-RC 脚剛結部の構造と力学性状について、構造工学論文集 vol.43A, pp1367~1374, 1997.3
- 3) Leonhardt, F. et al. : Neues vorteilhaftes Verbundmittel für Stahlverbund - Tragwerke mit hoher Dauerfestigkeit, Beton - und Stahlbetonbau, Hef 12/1987