

孔明鋼板をもつ充填鋼管を剛結部に用いた上下部一体構造の実験的検証

石川島播磨重工業 正員 岩崎 初美* 石川島播磨重工業 正員 西土 隆幸*

1. まえがき

経済性・耐震性・景観の向上を目指して、鋼連続桁橋の中間支点で鋼上部工とコンクリート橋脚を一体とした構造の研究が盛んに行われている。一方、RC橋脚は美観上の要求及び河川の流れに対する抵抗を少なくする目的で円柱橋脚が採用されるケースがある。鋼箱桁に円柱RC橋脚を剛結する場合、剛結部内は、ウェブとダイヤフラムで囲まれた立方体のコンクリートとなり、円柱橋脚の主鉄筋と鋼箱桁のウェブ・ダイヤフラムにあるずれ止めまでの距離が大きく、所定の力の伝達をおこなうためには、狭隘な空間に複雑な鉄筋が必要となり施工が困難になるケースがある。そこで、鋼連続箱桁と円柱RC橋脚の剛結構造を提案し、その耐荷力と変形性能について検証を行った。

2. 剛結部の構造

図-1に示すように、剛結部の構造としてRC橋脚と同径の鋼管を鋼箱桁内に設け、RC橋脚先端を差し込む構造を3タイプ提案する。

TYPE 1（充填鋼管方式）は、支点部の箱桁に鋼管を配置し、鋼管内に中ウェブとダイヤフラムを設けコンクリート打設したもので、鋼管上部に天板を設けている。この構造は、支点部の曲げモーメントにより発生する引張力を付着で、圧縮力を天板の支圧力でRC橋脚に伝達する。

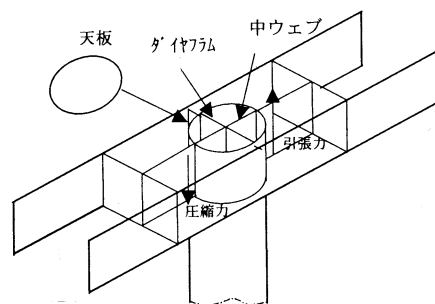
TYPE 2（充填鋼管+孔明鋼板シャプレー方式）は、TYPE 1の構造に孔明鋼板シャプレーを追加したもので、支点部の曲げモーメントにより鋼管に発生する引張力を孔明鋼板ジベルのせん断力で、圧縮力を天板の支圧力でRC橋脚に伝達する。

TYPE 3（合成鋼管柱+孔明鋼板シャプレー方式）は、TYPE 2の構造から天板を取り、中ウェブとダイヤフラムを孔明鋼板とし、さらに孔明鋼板シャプレーを追加した構造である。支点部に発生する曲げモーメントにより鋼管に発生する圧縮力及び引張力をジベルのせん断力によりRC橋脚に伝達する。

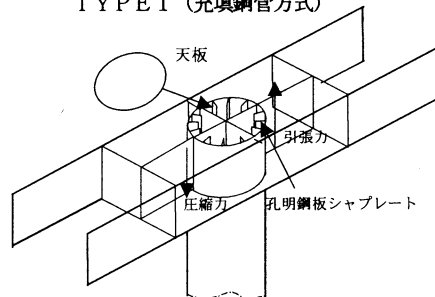
3. 荷重実験とFEM解析

TYPE 1～3について、剛結部付近の鋼桁とRC橋脚を取り出した供試体を製作し、静的交番繰り返し荷重を行った。荷重装置の制限から供試体の縮尺は0.134倍とし、供試体の設計を行い設計荷重時（死荷重載荷時）に相当する荷重を算出した。また、荷重位置は荷重フレームの能力より梁中央から2.0mの高さとしせん断スパン比3.3で曲げ破壊を想定した。荷重方法は、まず、死荷重に相当する鉛直荷重 $V=290\text{ kN}$ を載荷し、水平荷重を5kNを目安に漸増させ、設計荷重に相当する41.2kNまで載荷する。その後、水平荷重を10kNを目安に、RC橋脚の主鉄筋または、鋼管のひずみが 2000μ となるまで漸増載荷し、降伏時の耐力を確認する。その後、変位制御にて交番載荷を行う。

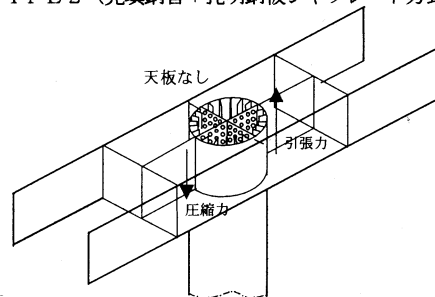
FEM解析のモデルは、図-2に示すように荷重実験と同じ剛結部付近の鋼桁とRC橋脚を取り出した形状で、対称性を考慮し橋軸直角方向に1/2とした。解析プログラムはMSC/NASTRANを使用し弾性解析を行う。その際、鋼とコンクリートの接触面はバネ要素でモデル化し



TYPE 1（充填鋼管方式）



TYPE 2（充填鋼管+孔明鋼板シャプレー方式）



TYPE 3（合成鋼管柱+孔明鋼板シャプレー方式）

図-1 剛結構造の種類

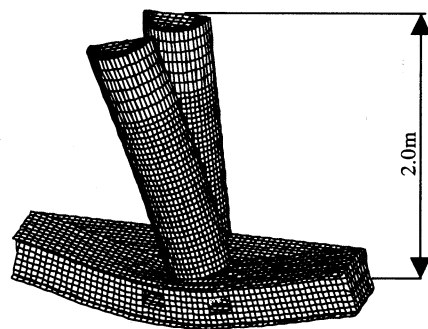


図-2 FEM解析 設計荷重時

キーワード：孔明鋼板ジベル、上下部一体構造、充填鋼管

* 〒135-8322 東京都江東区毛利 1-19-10

Tel 03-(3846)-3152 Fax 03-(3846)-3345

圧縮力のみ考慮し引張力が働いたバネ要素は伸び剛性を0としコンクリートの特性を表現した。なお、孔明鋼板は水平・鉛直方向に15 kN/mm、板厚方向に ∞ のばね値を考慮した。

4. 実験結果

4. 1 耐荷力

各供試体とも降伏荷重（実験値）は設計荷重に比べ4.7～5.0倍であり、降伏荷重値が非常に高いことを確認できた。

これらの降伏は、いずれも橋脚の主鉄筋に生じた（表-1）。

供試体の降伏荷重（実験値）は降伏荷重（計算値）に比べ1.2～1.3倍であった。これは鉄筋の引張試験の結果及びコンクリート強度の圧縮試験の結果より、材料強度が規格値より高かったことに影響する。供試体の最大荷重（実験値）は、設計荷重の6.1～6.8倍、降伏荷重（実験値）の1.3～1.4倍であり、橋脚の主鉄筋降伏後、直ちに最大荷重にならず耐力が上昇した。以上のことから、TYPE 1～TYPE 3、

すべて高い降伏荷重と最大荷重を示し、十分な耐荷力を保有している。また、図-3にTYPE 2の静的載荷試験による設計荷重時の鉄筋及び鋼管の応力分布を示す。また、FEM解析による応力分布もあわせて表示する。鋼管内では鉄筋の応力が下フランジ付近で最大となる三角形分布となり、鋼管の深さ方向に従い応力が低減している。鉄筋の応力状態はコンクリートの応力状態と同じと考えられ、下フランジ付近の孔明き鋼板ジベルに大きな力がかかっていることが分かる。

4. 2 変形性能

図-4に荷重変位曲線を示す。橋脚の主鉄筋が降伏する水平荷重を $1.0\delta y$ とした場合、TYPE 1は $2.0\delta y$ まで十分な変形性能があったが、 $3.0\delta y$ で初期降伏の水平荷重を下回った。これは鋼管とRC橋脚の付着が切れRC橋脚が抜け出したためである。TYPE 2, 3は、ほぼ同じ性状を示し、 $5.0\delta y$ まで十分な変形性能があり、 $6.0\delta y$ で初期降伏の水平荷重を下回った。TYPE 1の降伏荷重はTYPE 2, 3とほぼ同じであるが、塑性域に入るとジベルがなくスリップ型のループを描くことから粘りのない構造であり、大地震を想定するとTYPE 1は適用できない構造である。それに対しTYPE 2, 3はトリリニア型のループとなりエネルギー吸収力の高い構造と言える。また、TYPE 1, 2, 3のじん性は2.8、6.0、6.7であった。

5. まとめ

充填鋼管を用いた上下部一体構造の剛結部に、孔明鋼板ジベルを設けることで十分な変形性能を確保できた。今後、孔明鋼板ジベル（鋼部材）とコンクリートの荷重分担率について、詳細な検討を進める予定である。

表-1 実験結果

水平荷重 (kN)	TYPE 1	TYPE 2	TYPE 3
設計荷重	41.8	41.8	41.8
降伏荷重 (計算値)	159.0	159.0	159.0
降伏荷重 (実験値)	199.7	209.5	199.4
降伏荷重 (実験値) / 降伏荷重 (計算値)	1.26	1.32	1.25
降伏荷重 (実験値) / 設計荷重	4.78	5.01	4.77
最大荷重 (実験値)	255.4	269.4	283.1
最大荷重 (実験値) / 設計荷重	6.11	6.44	6.77
最大荷重 (実験値) / 降伏荷重 (実験値)	1.27	1.28	1.42
じん性率	2.8	6.0	6.7

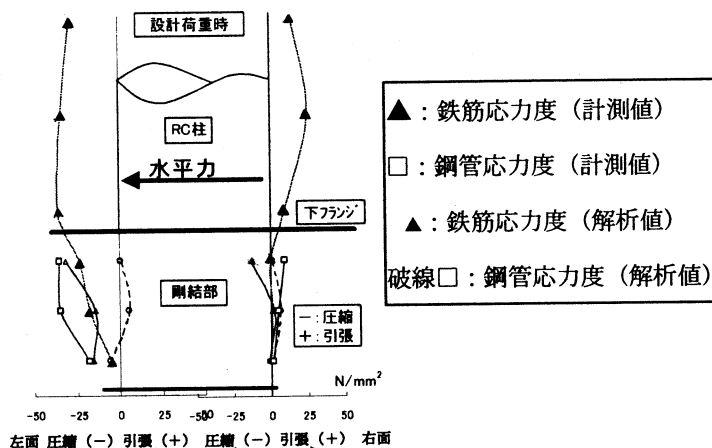


図-3 鉄筋・鋼管の応力分布 設計荷重時

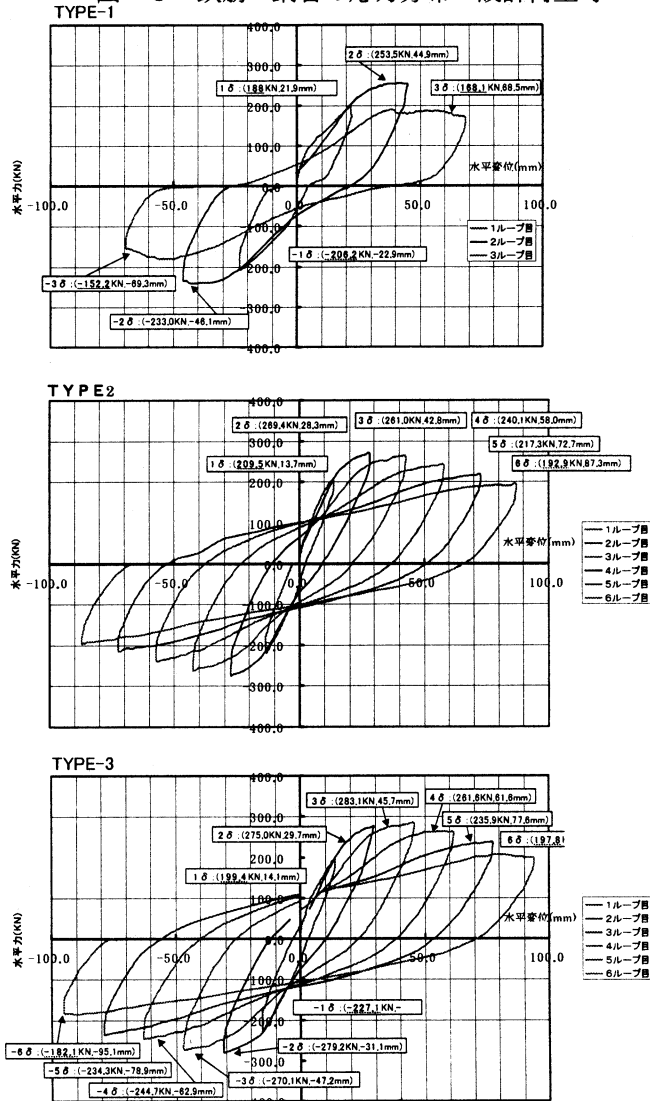


図-4 変位荷重曲線