

I-98

複合ラーメン橋剛結部の応力分布と非線形挙動の検討

北見工業大学大学院	○学生員	中山 卓也	銚路製作所	正会員	佐藤 孝英
銚路製作所	正会員	井上 稔康	北見工業大学	フェロー	大島 俊之
北見工業大学	正会員	三上 修一	北見工業大学	正会員	山崎 智之

1. まえがき

複合ラーメン橋は、従来の連続桁形式の鋼桁を中間支点部でRC橋脚と一体化し、剛結構造することによって、発生する曲げモーメントを剛結部に負担させ、耐震性の向上を図ることができるものである。また、中間支点部の支承を省略できることから、構造の合理化、維持管理コストの低減が可能となる。

これまで、上記のような剛結構造を目的としたものには鋼桁とRC橋脚をPC鋼棒により締結するPC鋼棒方式や、橋脚の鉄筋を鋼桁内に充填コンクリートに定着させるRC方式などがある。このような剛結構造に対しては構造の簡易さ、メンテナンスのしやすさなどが求められる。今回、鋼桁とRC橋脚との剛結構造として、橋脚頂部から突き出した鉄筋を鋼桁下フランジから通し、コンクリートで鋼桁と結合する方式を検討した。しかし、この方式を実際の橋梁に採用するためには、剛結部を介して橋脚に伝わる応力の伝達機構や材料降伏後の非線形挙動について明らかにする必要があると考えられる。以上のような特性を明らかにするためには実橋で採用する剛結構造の実物モデルを作製し実験を行うことが最良であるが、実験設備や費用等々の問題により実施は難しい。そのため、上記の剛結構造の応力伝達プロセスや橋脚部コンクリートにクラックが発生する過程をFEMによって数値解析できることが望まれる。

本研究では、上記構造のFEMによる数値解析によって応力伝達プロセスや非線形挙動を検討する。このとき、コンクリートと鉄筋の付着や鋼桁下フランジと橋脚との境界などに条件設定が必要となるが、複雑であるため、より簡易な設定とした。そこで今回は、解析モデルと同様の供試体を用いた静的載荷試験により得られたデータとFEMによる数値解析結果を比較して、今回の解析モデルの解析精度も検討した。

2. 解析モデル

今回の剛結構造における応力伝達プロセスや非線形挙動を明らかにするために、図1に示すような面対称構造の解析モデルにより弾塑性解析を行った。解析モデルの橋脚部及び剛結部を立方体ソリッド要素、鋼桁部フランジ、ウェブを平面シェル要素とした。また、橋脚と鋼桁の境界部分のフランジは立方体ソリッド要素とした。各部材の材料特性を図2に示す。また、鉄筋、コンクリートの非線形特性については、現場養生テストピースによる引張試験、圧縮試験で得られたデータより算出した。

また、コンクリートは圧縮による降伏以降、縦弾性係数が0となる完全弾塑性材料とし、クラック発生後は軟化するものとした。

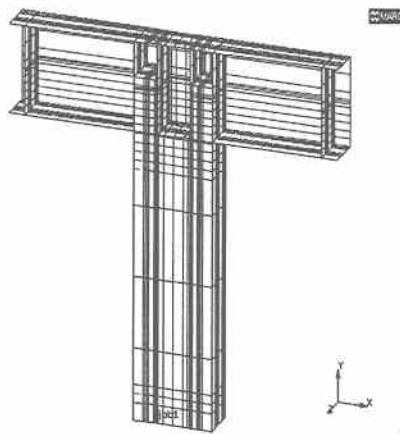


図1 解析モデル

*Study on Stress Distribution and Nonlinear Behavior of Rigid Connection of Composite Rahmen Bridge
by Takuya NAKAYAMA, Takahide SATO, Toshiyashu INOUE, Toshiyuki OSHIMA, Shuichi MIKAMI and
Tbmoyuki YAMAZAKI*

橋脚と鋼桁の境界面、鉄筋とコンクリートとの付着に条件設定が必要となるが、設定を簡易にするため鉄筋とコンクリートとに滑りはなく、また橋脚と鋼桁は一体とした。載荷荷重は橋脚下部に水平方向両振れとして1 Cycleごとに10kN 増加させ10 Cycle 載荷した。境界条件は鋼桁上フランジ両端部を固定とした。また、この解析には汎用構造解析プログラムMARCを使用した。

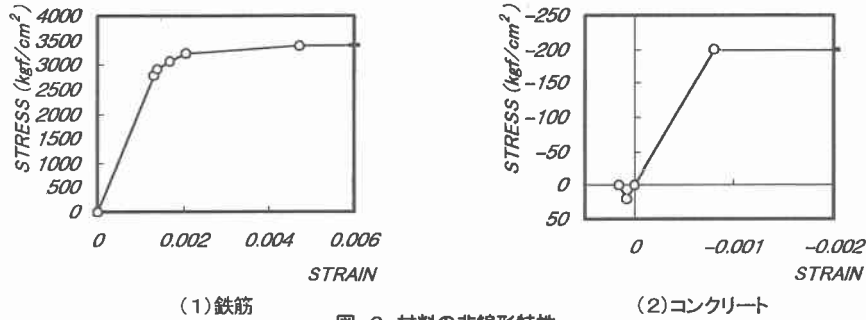


図 2 材料の非線形特性

3. 実験概要

今回の実験には供試体を3体用意したが、ここでは供試体1を用いる。供試体の鉄筋及びスタッドジベルの配置を図3に示す。実験は図4に示すように供試体を水平に置き、桁両端部を反力柱にボルトで固定した。供試体の下には鉛直方向に曲げモーメントを発生させないためにスライド板を設置した。載荷方法は、水平方向に1 Cycle 10kN づつ増加させ最大10 Cycle 100kN の両振れ載荷とした。荷重及び変位は図中で表した向きを正の向きとした。また、鉄筋に貼った歪みゲージを図中に示す。ここで、A: 境界面上 20mm、B: 境界面下 20mm、C: 境界面下 400mm である。

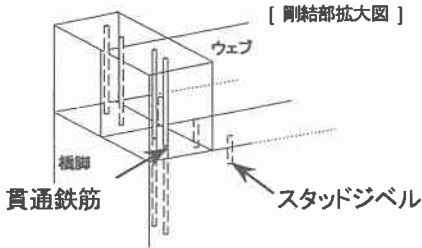


図 3 鉄筋、スタッドジベルの配置

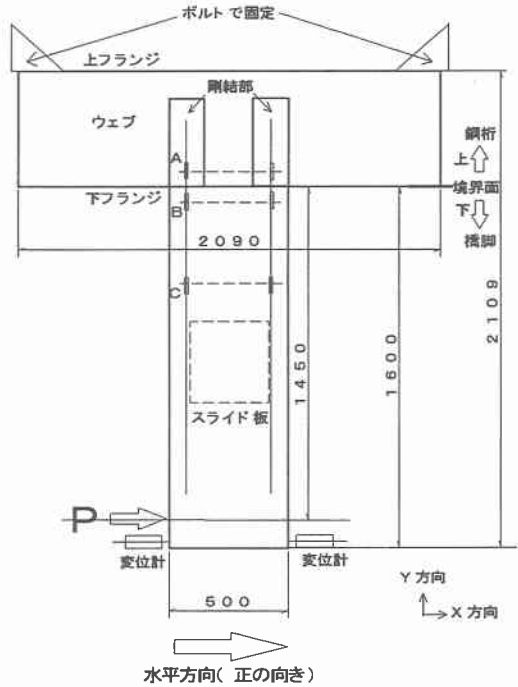


図 4 供試体と実験概要

4. 解析結果

4. 1 剛結部付近の応力伝達プロセス

図5に示す解析結果は、Cycle 3, 5, 7における+30kN 載荷時の橋脚方向(図中y方向)の応力分布図である。この結果のカラースケールは-200kgf/cm²~1000kgf/cm²とした。

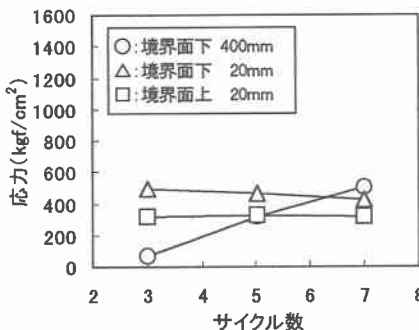
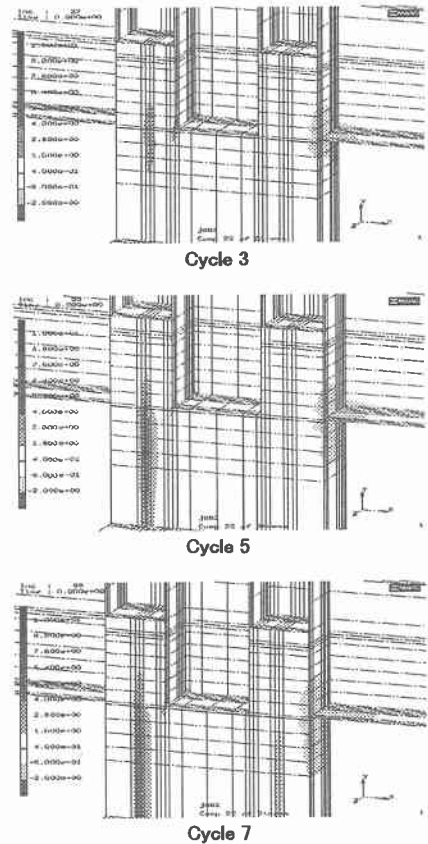
Cycle 3では鋼桁と橋脚の境界面付近の鉄筋に高い引張応力が表れている。このとき、境界面付近の狭い範囲にのみ応力が集中し他の部分の応力は小さい。Cycle 5では鉄筋に発生した応力は境界面から下方へ広い範囲となっている。また、境界面付近に発生している応力も Cycle 3と比較すると小さくなっており、境界面より下方

で応力集中している。Cycle 7はさらに下方へ応力分布が広がっている。同様に応力集中する部分も Cycle 5より下方となっている。以上の解析から、Cycle 5以降、応力分布が剛結部から橋脚へと移動していくことがわかる。

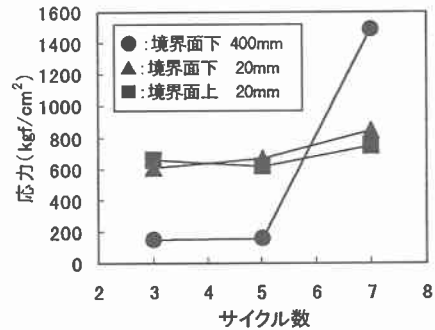
図6は解析と実験により得られた鉄筋の各位置における応力を表したグラフである。実験値からも解析による応力分布と同じように Cycle 3において境界面付近の応力が高くなっている。このとき、境界面下 20mm での応力は実験値で 605.8kgf/cm^2 、解析値で 498.3kgf/cm^2 となりほぼ近い値といえる。Cycle 7において解析値では境界面下 400mm の応力が境界面付近の応力を上回っている。実験値においては解析値よりさらに大きく上回る。この結果は前述の応力分布の変化と一致する。このような変化は、境界面付近に集中する応力によって鉄筋が降伏する前、または剛結部内の鉄筋とコンクリートの付着がなくなる前に橋脚のコンクリートにクラックが発生し、その部分に応力集中してしまうためと考えられる。解析値と実験値とで応力の変化に違いがあるが、これはコンクリートに発生するクラックが解析では実験よりも早く発生し、進展はゆっくりであるためと考えられる。以上より解析によって剛結構造の応力伝達プロセスがわかる。

4. 2 橋脚に発生するクラックの進展

4. 1で述べたような応力の伝達は橋脚に発生するクラックによるものと考えられる。そこで、実験により得られたクラック



(1) 解析値



(2) 実験値

図 6 鉄筋の各位置による応力(+30kN)

ク進展の過程を検討する。図7は Cycle 3, 5, 7において橋脚に発生したクラックを記したものである。図から Cycle 3においてクラックは発生していない。Cycle 5の+30kN ではまだクラックは発生せず-50kN のときに境界面から 300mm の位置に1カ所発生している。次に Cycle 7を見ると、Cycle 5で発生していたクラックと Cycle 6+60kN のとき境界面から 370mm の位置で発生したクラックとがつながり、このクラックによって橋脚は分断される。4. 1における境界面下 400mm の応力変化はこのようなクラック進展によるものと思われ、剛結部付近の応力伝達にはクラックの発生が関係しているといえる。

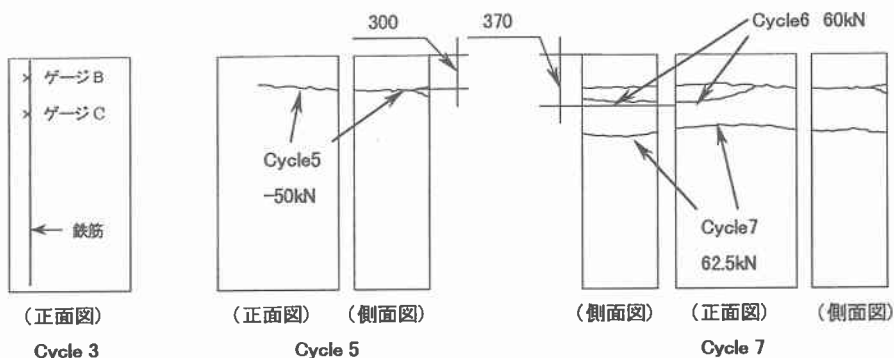


図 7 クラックの進展

4. 3 剛結構造の非線形挙動

図8は解析と実験によって得られた橋脚基部の荷重－変位履歴曲線である。この図は計算機のメモリの関係から Cycle 9 までの解析となったため、実験値も Cycle 9 までの値とした。図の解析値は Cycle 5 までは弾性変形をし、Cycle 6 から残留変位を生じる。実験値を見ると Cycle 5 まで弾性変形をし、Cycle 6 で残留変位が生じている。この残留変位が生じるのは橋脚の鉄筋が降伏するためであり、この挙動は解析と実験とでよく一致する。残留変位が生じた後、解析値は約 20mm まで変位し、実験値も 20mm 程度まで変位する。また、塑性変形をしたときの曲線の傾きもほぼ一致している。解析値では Cycle 6 以降のマイナスの変位で荷重が急に大きくなる部分が見られる、この部分は橋脚に発生したクラックが閉じるときの影響であると思われる。実験値ではなめらかな履歴を描くが、これは Cycle 6 のときクラックによって橋脚が分断されているためにその場所のクラックが解析値のように閉じず、鉄筋のみで塑性変形しているものと思われる。このことより、剛結構造の非線形挙動は鉄筋降伏まではよく一致し、塑性後も履歴曲線の傾き、変位などは比較的よく解析できる。

5. 結論

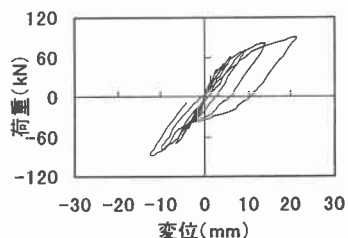
今回の解析と実験から剛結構造の応力伝達プロセスと非線形挙動については以下のことがいえる。

- 1) 剛結構造の応力伝達プロセスは鉄筋が降伏する前に橋脚に発生するクラックによって、剛結部から橋脚へと移動する。
- 2) 剛結構造は橋脚コンクリートが健全であるときは弾性変形をし、クラック発生後から塑性変形しはじめ、その後鉄筋が降伏するという挙動をする。今回の解析によって実際の剛結構造に発生する非線形挙動が明らかとなった。

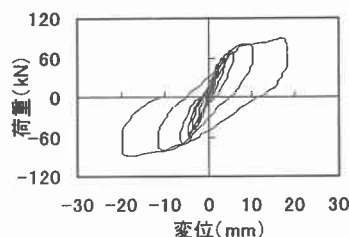
本研究は、北見工業大学土木開発工学科橋梁研究室大学院生と学部生の助力がありました。感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 松井、湯川、和田、石崎、田中：複合ラーメン橋・鋼桁－R C 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, pp.1367-1374, 1998.
- 2) 佐藤、大島、山崎、井上、石川、小林：複合ラーメン橋の動的応答および単柱橋脚との比較、土木学会北海道支部論文報告集、第54号 (A)、1998.2



(1) 解析値



(2) 実験値

図 8 荷重－変位の履歴曲線