

複合ラーメン橋結合部の応力分布と構造特性の解析

Analysis of Stress Distribution and Structural Characteristics of Connection of Composite Rahmen Bridge

北見工業大学大学院	○学生員	月岡 雅人 (Masato Tsukioka)
北見工業大学	フェロー	大島 俊之 (Tosiyuki Osima)
北見工業大学	正会員	三上 修一 (Shuichi Mikami)
北見工業大学	正会員	山崎 智之 (Tomoyuki Yamazaki)
(株)釧路製作所	正会員	佐藤 孝英 (Takahide Satou)
(株)釧路製作所	正会員	井上 稔康 (Toshiyasu Inoue)

1. はじめに

鋼連続桁と RC 橋脚を橋脚頂部で剛結する鋼・コンクリート複合ラーメン橋は、鋼とコンクリートを効果的に利用した、経済性と耐震性および維持管理に優れた合理化構造形式として注目されている。その接合方式は種々採用されており実験、解析を行うことにより信頼性を確保している。しかし、接合部の破壊までの荷重・変形状態については必ずしも明確になっていない点も多く、現時点では剛結部については塑性化させないものとし、橋脚基部が先行塑性化するような設計とすることになっている。

これまでに、図-1 に示すような鋼桁と RC 柱との半剛結構造を対象として、静的及び動的交番載荷実験と解析からその弾塑性挙動について報告している^{1)~8)}

本研究では、静的交番載荷実験で使用した、半剛結構造の供試体をモデル化し、また、半剛結構造の妥当性を示す目的として、剛結構造のモデルも製作し、静的解析を行い、解析結果と実験結果との比較・検討、応力状態及び変形性能を検討した。

2. 実験及び解析概要

図-1 に示す実験供試体は、鋼桁部の高さ 500mm、鋼板厚さ 9mm、支間長 1890mm、コンクリート柱の断面は 500×450mm である。接合部は鉄筋 D13 (SD295A) を 4 つのボックス内にそれぞれ 2 本ずつ鋼桁下フランジを貫通させて引き込み、無収縮コンクリートで定着させた。また、鋼桁下フランジにはコンクリートとの水平力荷重載荷方向の力に対抗するためスタッドを配置した。

実験は供試体を床面と平行に置き、桁両端部を反力柱にボルトで 4 点固定した。載荷方法は水平方向に 1cycle 10kN ずつ増加させ最大 10cycle 100kN の両振れ載荷とした。

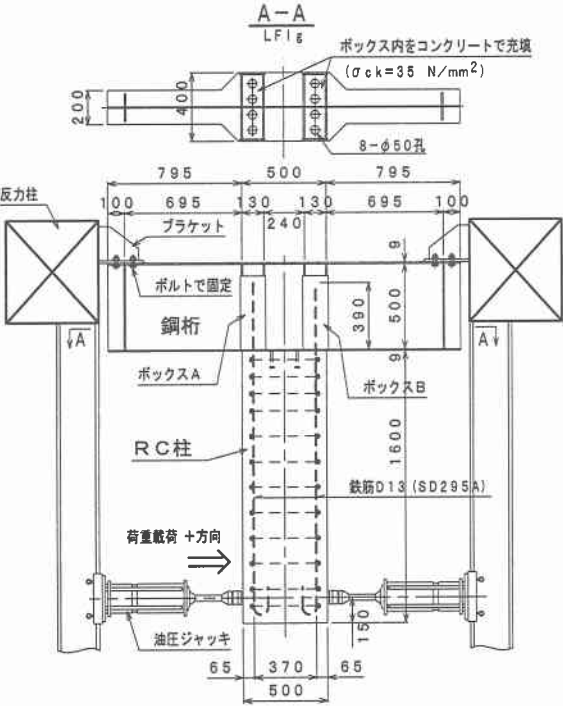


図-1 供試体概要図

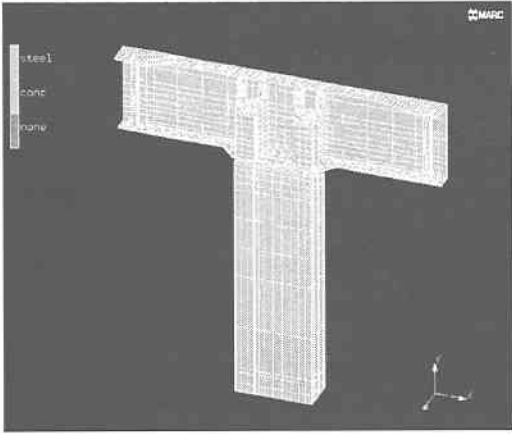


図-2 解析モデル 1

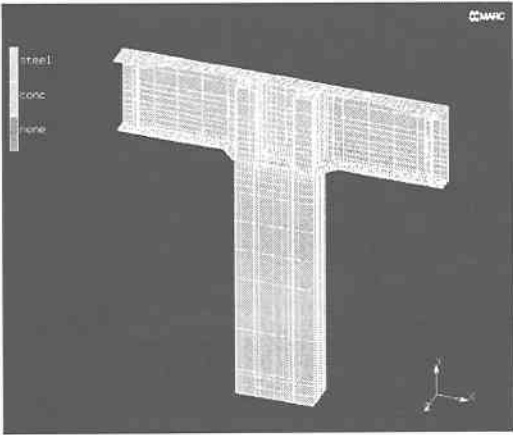


図-3 解析モデル 2、3

2.2 解析モデル

本論文の解析モデルを図-2,3 に示す。解析モデルは計3モデルで、全てのモデルは面对称構造の1/2モデルとし、モデル全体を8節点立体要素としている。本解析では汎用構造解析プログラム(MARC)を使用している。

図2の解析モデル1は、これまでに鋼桁とRC柱とが半剛結とする構造の結合部対象とした研究¹⁾の供試体をモデル化したもので、全要素数は5252、全節点数は7028、鋼板ボックス内への差し込み鉄筋の定着長は、260mmとしている。

図-2の解析モデル2、3は、鋼板上フランジまでコンクリートを充填させた形状となっており、剛結構造としている。解析モデル1、2の定着鉄筋の長さは260mm、解析モデル3の定着鉄筋の長さは400mmとしている。

図-3の解析モデル2、3については双方、全要素数は5444、全節点数は、7250としている。

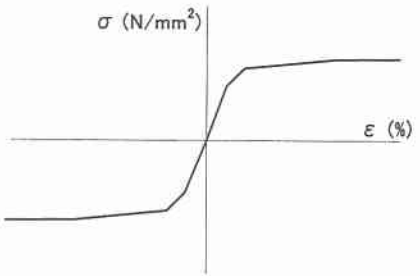
2.1 材料のモデル化

図3に示すように鉄筋とコンクリートの材料特性をモデル化した。鉄筋は弾塑性材料、コンクリートは一度引張り破壊をした後は、その後の応力履歴においても引張り応力には抵抗しないものとした。一般に橋脚と鋼桁との境界面、鉄筋とコンクリートとの付着に条件が必要となるが、設定を簡易にするため、鉄筋とコンクリートに滑りはなく、また橋脚と鋼桁は一体とした。

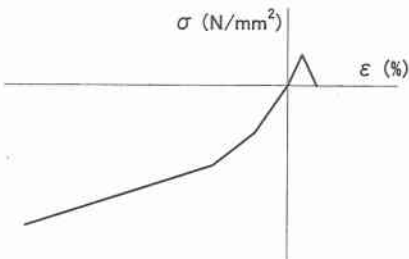
解析結果においては、図-1の左側からRC柱下部に水平荷重が作用する場合についての結果を示している。

3. 荷重-変位履歴曲線の比較

図-5は解析と実験によって得られた橋脚下端の荷重-変位履歴曲線である。が実験値、(b)解析モデル1、(c)解析モデル2、(d)解析モデル3である。(a)の実験値は60kN 荷重後までは弾性変形をし、70kN 荷重後から残留ひずみが生じ、80kN 荷重後では約5mm、90kN 荷重後では約10mm となった。また、90kN 荷重時でのひずみは約17mm であり、実験供試体をモデル化した(b)の荷重-変

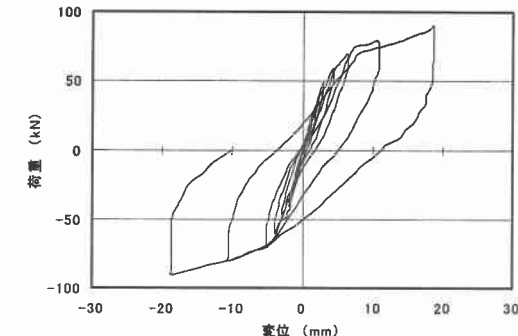


(a) 鉄筋

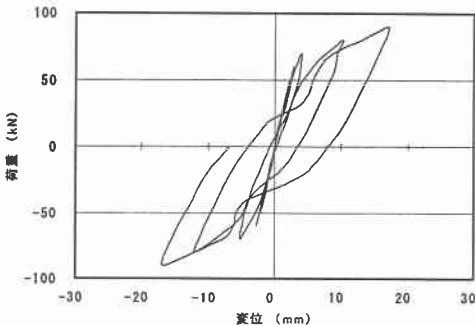


(b) コンクリート

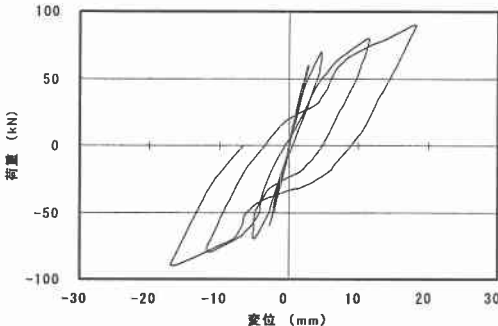
図-4 材料特性



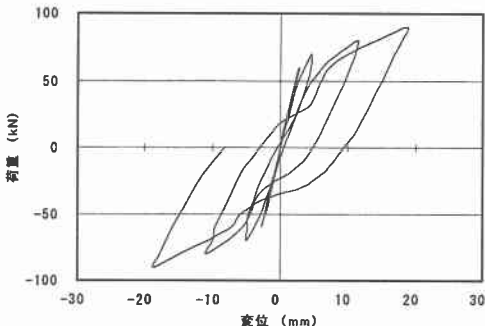
(a) 実験値



(b) 解析モデル1



(c) 解析モデル2



(d) 解析モデル3

図-5 荷重-履歴曲線

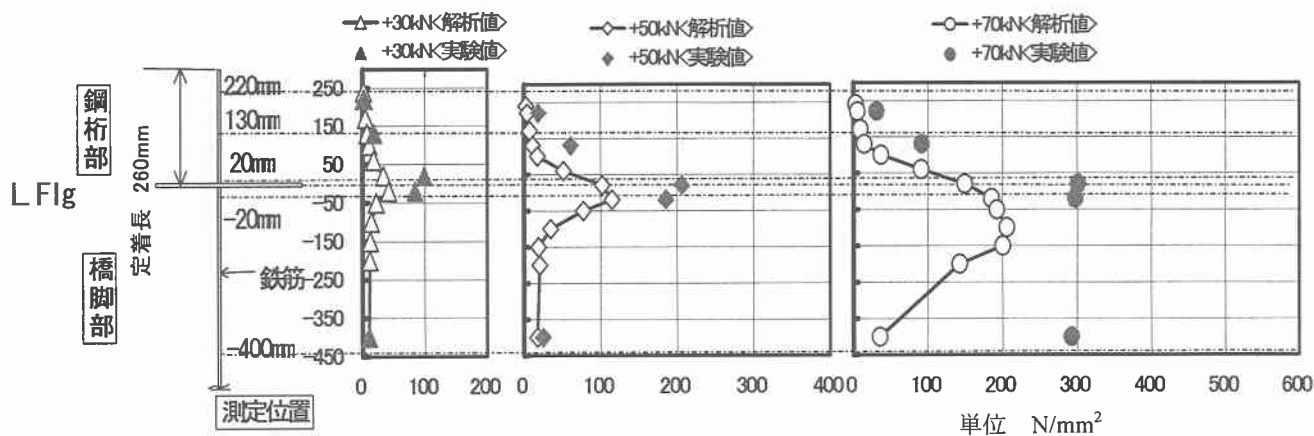
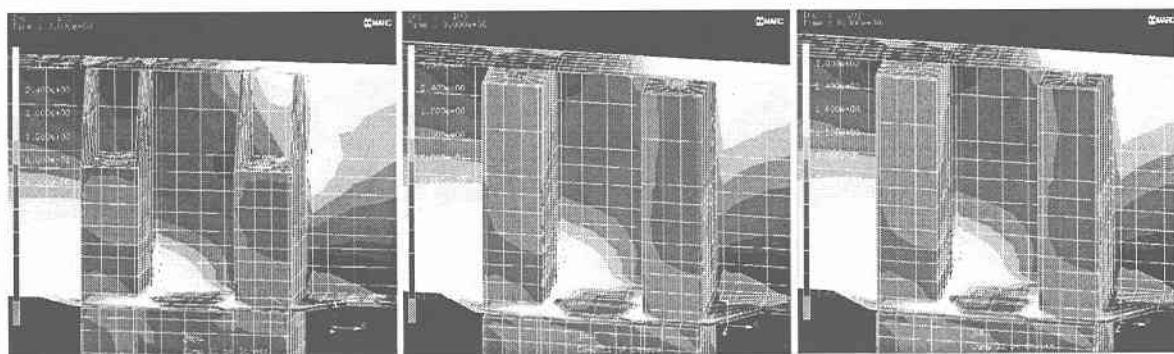


図-6 実験値、解析モデル 1 の鉄筋応力分布

表-1 解析モデル 1 を基準とした各モデルの鉄筋応力の比較

下フランジからの距離(mm)	240	220	170	130	100	60	20	-20	-50	-100	-150	-200	-400
実験値 30kN載荷時	-	-1.41	-	11.55	-	-	65.59	42.54	-	-	-	-	-0.66
実験値 50kN載荷時	-	14.52	-	49.70	-	-	104.09	70.41	-	-	-	-	7.36
実験値 70kN載荷時	-	25.88	-	77.16	-	-	151.89	112.05	-	-	-	-	256.87
解析モデル2 30kN載荷時	1.41E+00	1.13	0.58	0.19	0.006	-0.12	-0.52	-0.40	-0.50	0.00	0.00	0.00	-0.10
解析モデル3 30kN載荷時	2.28	1.66	0.59	0.21	0.007	-0.12	-0.53	-0.78	-0.50	0.00	0.00	0.00	-0.05
解析モデル2 50kN載荷時	2.33	1.80	0.86	0.28	-0.42	-2.28	-3.45	-2.84	0.85	0.60	-0.55	-0.45	-0.05
解析モデル3 50kN載荷時	4.18	2.81	0.96	0.31	-0.41	-2.28	-3.48	-2.85	0.85	0.60	-0.55	-0.45	-0.05
解析モデル2 70kN載荷時	3.35	2.64	1.38	0.10	-0.35	1.62	2.06	-3.87	-0.32	22.00	1.50	104.15	16.68
解析モデル3 70kN載荷時	5.47	3.83	1.5	0.01	-0.5	1.24	1.47	-4.01	-0.88	20.50	1.50	100.65	15.94
解析モデル2 90kN載荷時	3.82	2.77	0.95	-1.44	-5.36	-9.64	-14.14	-33.99	-70.94	-79.50	-56.50	22.00	-50.40
解析モデル3 90kN載荷時	8.82	5.17	1.04	-1.53	-5.6	-10.67	-16.86	-2.42	13.36	33.00	32.50	101.50	23.00

単位 N/mm²



a) 解析モデル 1

(b) 解析モデル 2

(c) 解析モデル 3

図-7 ボックス付近応力分布図

位履歴曲線においてもほぼ同様の結果が得られていることから、塑性化への進行がよくモデル化できているといえる。-80kN、-90kN 載荷時における変位に (b) と (c)、(d) とを比較してみると多少違いが見られているが、次章において考察する。

4. 鉄筋応力分布の比較

図-6 は静的実験結果と解析モデル 1 との鉄筋応力分布による比較を示す。どの荷重載荷時においても下フランジ付近に発生する応力は大きい、下フランジから離

れるごとに小さくなっていく状況が把握できる。特に鋼桁部の鉄筋定着先端に最も近い位置の 220mm の位置においては荷重が 30kN~70kN に増加してもほとんど応力が発生しておらず、鉄筋はコンクリートにしっかり定着していることが確認できる。また、どの載荷時においても、実験値よりも解析値の応力が小さくなっている。これは鉄筋とコンクリートとの付着条件やコンクリートとひび割れ発生条件の違いが影響していると考えられる

表-1 は解析モデル 1 を基準とした各モデルの実験値との鉄筋応力値の差を示している。実験値について

は 90kN 載荷時に急激な変形を生じたため実験値を測定していない。

それぞれの解析モデルを載荷時別に比較してみると、ボックス内においては、応力が塑性範囲内に至っても安定しており結合部構造特性が変わってもほぼ同じ結果が得られた。また、塑性範囲内の 90kN 載荷時では各結合部の構造特性により応力状態に変化が現れている。解析モデル 2、90kN 載荷時から解るように鉄筋定着長が同じであれば半剛結構造の方がボックス内の鉄筋応力をよく伝達していることが確認できる。しかし、鉄筋定着長が長い方がボックス内鉄筋応力をしっかり伝達しており最も橋脚基部が先行塑性化するような設計であるといえることが解析モデル 3 から確認できる。また、半剛結構造の応力集中ピークは下フランジ下 150mm であり、剛結構造の応力集中ピークは下フランジ下 200mm となり、剛結構造の方が下フランジから離れた位置に応力が大きく現れる傾向となり、各結合部構造特性においての応力伝達過程を把握することができた。また、図-5 の(c)、(d)の塑性範囲内に入ってからの変位応答の違いは、下フランジ下での鉄筋応力の大きさの違いが影響していると考えることができる。

5. ボックス付近応力分布図の比較

図-7 は各解析モデルによる水平右方向のボックス付近応力分布図である。表-1 から確認できるように塑性範囲内に入ってからボックス内における応力分布はほぼ同じことから、70kN 載荷時について表示している。応力分布を見てみると各解析モデルともボックス A 側鋼板上フランジ、ボックス B 側鋼板下フランジの圧縮側応力状況、ボックス B 側鋼板上フランジ、ボックス A 側鋼板下フランジに見られる引っ張り側応力状況は同じであることが把握できる。また、解析モデル 1 のボックス A とボックス B との間の応力分布において、ボックス B 側の上フランジと下フランジの中間に少し大きな圧縮が見られるもののクラックが発生するまでに至っていないことから、ボックス内における応力伝達は解析モデル 1 ～3 において同じ結果が得られたと言える。また、ここにおいて解析モデル 1、3 の結果から半結合構造において鉄筋定着長を必要以上のばす必要がなく、剛結構造としなくても十分に応力が伝達されることが明確となった。

6. まとめ

本研究では、これまでに提案された鋼桁と RC 柱との半剛結構造においての静的交番載荷実験で使用した供試体をモデル化し、静的解析を行い、実験結果と解析結果との比較・検討をした。また、半剛結構造の妥当性を示す目的として、仮想の剛結構造モデルを製作し、解析結果、応力状態及び変形性能を検討した。以下に得られた結果を示す。

- 1) 本研究に用いた構造の鉄筋定着長は道路橋示方書に従えば十分安定である。
- 2) 荷重-変位履歴曲線の応答変位から、実験結果と供試体をモデル化した解析結果の形状は近く、よくモ

デル化されている。

- 3) 鉄筋の応力分布は鉄筋定着部ではほとんど応力が発生せず、弾性範囲内で下フランジ付近に応力が集中し、塑性範囲内になると、下フランジから離れた位置に応力が大きく現れる結果が得られた。また、半剛結構造よりも剛結構造の方がより下フランジから離れた位置に応力が大きく現れる結果となった。また、鉄筋定着長が同じであれば半剛結構造の方がボックス内の鉄筋応力をよく伝達していることが確認できた。
- 4) ボックス内における応力は、塑性範囲内においても安定しており結合部の構造特性が変わってもほぼ同じ結果が得られた。
- 5) 各結合部構造特性においての応力伝達過程を明確に把握することができた。
- 6) 結合部において塑性化は起こらず橋脚基部が先行塑性化することが確認でき、本解析では解析モデル 3 が最もボックス内鉄筋応力をしっかり伝達しており橋脚基部が先行塑性化するような設計であることがとなった。

参考文献

- 1) 福田幸士郎、佐藤孝英、他：複合ラーメン橋剛結部定着鉄筋の引き抜き挙動解析、土木学会北海道支部論文報告集第 55 号、p388-391、1999. 1.
- 2) 中山卓也、佐藤孝英、他：複合ラーメン橋の応力分布と非線形挙動の検討、土木学会北海道支部論文報告集第 55 号、p392-395、1999. 1.
- 3) 佐藤孝英、大島俊之、他：複合ラーメン橋の耐震性能と剛結部構造に関する実験、土木学会北海道支部論文報告集第 55 号、p396-399、1999. 1.
- 4) 佐藤孝英、大島俊之、他：複合ラーメン橋接合部の変形性能と動的耐力に関する実験、土木学会北海道支部論文報告集第 56 号、p42-45、2000. 1.
- 5) 福田幸士郎、佐藤孝英、他：複合ラーメン橋接合部の弾塑性挙動の動的解析、土木学会北海道支部論文報告集第 56 号、p46-49、2000. 1.
- 6) 佐藤孝英、大島俊之、他：鋼桁-RC 柱半剛結構造の損傷部補修後の回復耐力に関する実験、土木学会北海道支部論文報告集第 57 号、p312-313、2000. 1.
- 7) 山崎智之、樽見真人、他：VTR による複合ラーメン橋接合部のクラック進展解析、土木学会第 56 回年次学術講演会、p510-511、2001. 10
- 8) 佐藤孝英、大島俊之、他：鋼桁-RC 柱半剛結構造の損傷部補修後の回復耐力の検討、土木学会第 56 回年次学術講演会、p508-509、2001. 10
- 9) 佐藤孝英、井上稔康、他：鋼桁と半剛結した構造の結合部の非線形性と応力伝達メカニズムの解析、応用力学論文集 vol. 3, pp. 415-426、2000. 8.
- 10) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説、V 耐震設計編、1999. 12.