

I-97

複合ラーメン橋剛結部定着鉄筋の引抜き挙動解析

北見工業大学 学生員 ○福田 幸士郎 釧路製作所 正会員 佐藤 孝英
 釧路製作所 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. 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、鋼とコンクリートの特徴を効果的に利用した、経済性と耐震性に優れた合理化構造形式として注目されている。その特徴として、中間支点の支承が不要となり維持管理の面で有利になり、また上下部一体構造を持つことより耐震性¹⁾が向上する事などが上げられる。ここで鋼桁とRC橋脚の結合方式は、PC鋼棒により連結される方法(PC方式)²⁾³⁾や、橋脚の鉄筋を鋼桁内のコンクリート中に定着させる方法(RC方式)⁴⁾等がある。本研究ではこの結合方式に着目し、複合ラーメン橋の耐震性の向上に寄与する構造システムを新たに提案し、その一部分についての検討を行った。その構造システムについて以下に述べる。

①全死荷重載荷後(床版打設後)に鋼桁とRC橋脚とを接合すること(半複合化工法)により、接合部の必要強度、必要鉄筋量を削減する。

②橋脚の鉄筋を鋼桁下フランジに貫通させ、橋脚と鋼桁内コンクリートを分離する事により、部材を単純化する。

③橋脚の鉄筋を鋼桁内コンクリートにできるだけコンパクトに定着する。その方法として、

a)鋼殻内に拘束されたコンクリート中に鉄筋を定着することにより、定着部コンクリートの割裂を抑制し、付着強度を高める。

b)定着板等を使用することにより、鉄筋の定着効果を高める。

この構造システムは接合部を極力簡素化することにより、結合部の破壊までの荷重・変形性能の明確化、施工性の向上や補修を容易にすることを目的としている。

本研究では上述した③の効果に着目し、拘束されたコンクリート中に埋め込まれた異形鉄筋の付着強度、及び、定着板等による鉄筋の定着効果、鉄筋貫通孔径の定着強度への影響等を検討した。

2. 実験概要

異形鉄筋を埋め込んだコンクリートに鋼板を巻いた実験供試体を5体製作し、異形鉄筋の引抜き実験を行った。実験供試体は図1の通りである。この引抜き実験では鋼板上面を固定し上方向に鉄筋を引張った。実験では異形鉄筋にひずみゲージを図2の通りに両面に(片側に3枚づつ、合計6枚)設置して、形鉄筋の付着応力、及び定着効果を調べた。異形鉄筋はD13を用い、付着長をTypeA, C, D, Eでは26[cm]、TypeBでは39[cm]とした。ここでは紙面の都合上、TypeA～Dまでの結果の

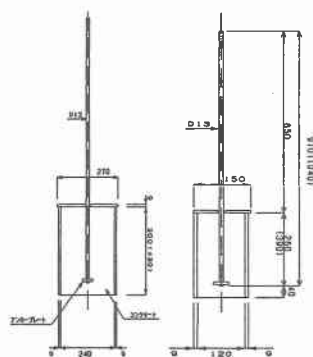


図1 実験供試体詳細

Analysis of Pull-out Behavior of Anchoring Steel Bar in Rigid Connection of Composite Rahmen Bridge
 By Koujiro FUKUDA, Takahide SATO, Tosiyasu INOUE, Tosiya OSHIMA, Syuichi MIKAMI and Tomoyuki Yamazaki

み示した。またコンクリート上面から上に 2 cm を鉄筋上部、下に 2 cm を鉄筋中部、さらに下の 13cm を鉄筋下部とここでは呼ぶ。

表 1 構造詳細

供試体	異形鉄筋長	鉄筋貫通孔	アンカープレート
Type A	260	φ 20	なし
Type B	390	φ 20	なし
Type C	260	φ 20	あり
Type D	260	φ 60	なし
Type E	260	φ 20	なし

3. 解析概要

解析は汎用有限要素解析プログラム MARC を用いた。本解析では供試体が左右対称から 1/4 モデルを作成した。計算では 8 節点立体要素（3 次元ソリッド）を使用し、供試体をモデル化する際に異形鉄筋の異形部分は数個の異形を 1 つにしてモデル化を行った。解析では弾塑性解析を行い、コンクリートのクラック発生による影響も考慮した。しかし、鉄筋とコンクリートによる付着力の考慮はしていない。荷重は面荷重とし、物性値は実験値を使用した。

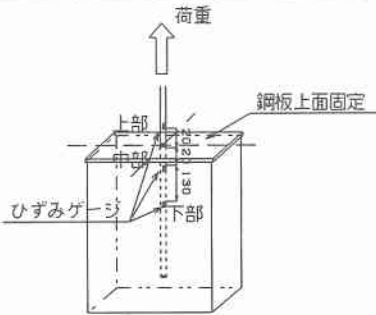


図 2 実験供試体

4. 実験結果

実験結果を図 3 に示す。ひずみの実験値は同じ高さにゲージを 2 枚づつ設置したので、その平均値をとった。

実験は鉄筋が全ての Type において、荷重が約 45[kN]に達した所で降伏を起こし、約 60[kN]でコンクリート上面付近において破断し、終了した。

鉄筋のひずみについて考える。上部・中部については全ての Type で鉄筋の塑性化が 40～42[kN]の間で急に起きている。下部については 45[kN]程度から緩やかにひずみが増大し、上部・中部に若干遅れて塑性化を起こしたことがわかる。これはコンクリートの拘束効果により起きたものと考えられる。

TypeA と TypeC におけるひずみ曲線はほぼ同じ傾向を示している。これは鉄筋の定着長が同じであることから同じ傾向になったと考えられるが、アンカープレート

を付けた影響が TypeC において全く見られない事より、コンクリート下部ではアンカープレートの有無に関わらずコンクリートによる拘束力が大きく、鉄筋下部に伝達される応力がかなり小さくなると考えられる。また、定着長が長い TypeB におけるひずみ曲線を見ると下部において他の Type よりもひずみが若干小さく出て来ているが、これは定着長を長く取る事によって鉄筋全体への付着強度が増したためと考えられる。このことからアンカープレートを設置するより、付着長を長くすると応力が鉄筋全体に分担されひ

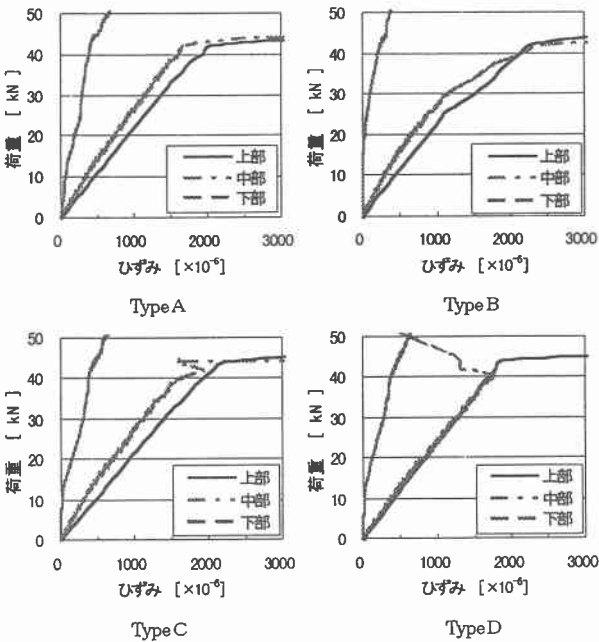


図 3 引抜き実験結果

ずみが小さくなると思われる。TypeDでは TypeA と違い上部・中部におけるひずみ曲線の傾きがほぼ同じである。鉄筋貫通孔が大きくなったことにより、中部におけるコンクリートの拘束力が低下したと言えるが、下部のひずみが Type A ならびに TypeC とほぼ同じ曲線をとっているため、拘束力の減少は埋め込み上層部で生じ下層部では生じない事がわかる。

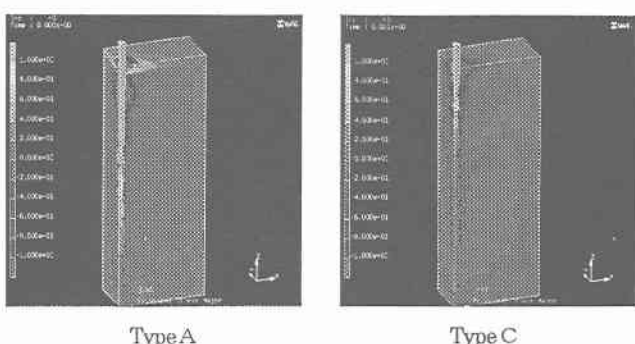


図 4 応力分布図

5. 解析結果

ここでは代表的なモデルとして TypeA と、鉄筋下部における影響を比較するために TypeC にも着目した。荷重は 40[kN]とし応力分布図とクラック発生分布図を示した。また TypeA についてはひずみの解析値と実験値との比較検討を行った。

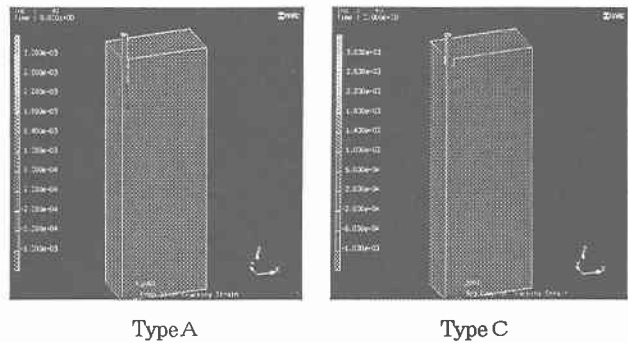


図 5 クラック分布図

図 4 に示した応力分布を見ると、TypeA と TypeC 両方で異形部分の上面に圧縮応力が下面には引張り応

力が働いており、異形鉄筋の異形部分に強い応力集中が起きているのがわかる。また鉄筋下部には強い応力が発生していないことから、実験と同じ結果が得られたと言える。クラック発生分布図では TypeA、Cともコンクリート上部に強くクラックが発生しており下部の方ではほとんど発生していない事から、一部の鉄筋が塑性化を起こしている状態でも コンクリート下部では鉄筋が十分に拘束されていることがわかる。これについてはアンカープレートの影響が見られないことから、実験と同様の結果が得られた。鉄筋ひずみについては表 2 に TypeA の結果を示した。鉄筋上部と中部についてはほぼ実験値と同じになったが、下部については実験値と解析値にかなりの差がある。これはコンクリートの付着力の影響と、鉄筋が異形によるコンクリートの破壊メカニズムとそのモデル化に原因があると考えられる。従って今後の検討課題として、コンクリートの付着力の設定や異形部分の正確なモデル化を行う事が上げられる。

表 2 TypeAにおける数値解析値と実験値の比較

荷重 [KN]	上部		中部		下部	
	解析値	実験値	解析値	実験値	解析値	実験値
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	406.60	452.63	376.03	339.10	24.00	67.63
20	813.20	906.08	752.95	736.20	46.09	197.53
30	1219.80	1368.23	1129.49	1151.13	69.74	298.03
40	1626.39	1928.90	1508.21	1599.10	92.51	389.58
46	31044.40	500953.50	5793.05	499571.53	106.81	548.65

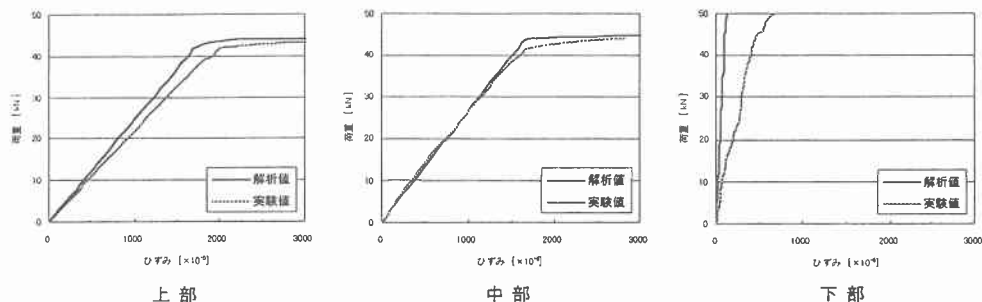


図6 TypeAにおける数値解析値と実験値の比較

6. まとめ

- 1) 実験において鉄筋は引き抜かれずに塑性化を起し、コンクリート上面付近で破断した。このことよりコンクリートによる拘束力が十分に認められた。また MARC による解析でも鉄筋が引き抜かれる前に同じ場所で塑性を示したことから、解析の信頼性がある程度確認できた。
- 2) アンカープレートの効果や、鉄筋貫通孔の違いによる鉄筋ひずみの差がほとんど認められなかったことより、鉄筋がコンクリートによって十分に拘束されることがわかった。
- 3) 実物大の数値解析を行うことによって、今後実物大のモデルの応力分布等を計算することが出来る。しかし解析する際にコンクリートの強度、及びクラック発生データ、鉄筋の単軸引張り試験データ、また実物に近い解析モデルを用いて解析しなければ、満足する解析結果は得られない。
- 4) 数値解析との比較において、下部におけるひずみ解析値が実験値とかなりの差がある。これについては、解析においてコンクリートの付着力や異形部分によるコンクリートひび割れの正確なモデル化が出来なかったためと考えられる。これについては今後の課題としてコンクリートの付着と正確なひび割れのメカニズムを考えた解析をする必要がある。
- 5) 本研究では静的载荷による実験及び数値解析を行い、動的载荷による疲労の影響は考慮しなかった。今後、繰り返し荷重による疲労の影響についても検討する必要がある。

謝辞

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

参考文献

- 1) 佐藤、井上、小林、大島、福田：橋脚を剛結した連続桁の耐震性の照査、土木学会第 53 回年次学術講演会概要集、I-B148、pp.296-297、1998.10
- 2) 大山、白木、田島、町田：鋼・コンクリート複合ラーメン橋（笹谷橋）の設計、土木学会第 45 回年次学術講演会概要集、I-249、pp.528-529、1990.9
- 3) 青木、田島：鋼・コンクリート複合ラーメン橋（笹谷橋）の動的性状、土木学会第 45 回年次学術呼応宴会概要集、I-168、pp.425-375、1991.9
- 4) 杉山、町田、佐藤、Afifuddin：鋼－RC剛結ラーメン橋梁の連結機構に関する実験研究、土木学会第 52 回年次学術講演会概要集、I-A137、pp.902-903、1996.9