

I - 9

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

（株）釧路製作所	○正会員	佐藤 孝英	（株）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	北見工業大学	学生員	福田 幸士郎

1. まえがき

鋼連続桁とRC橋脚とを橋脚頂部で接合する鋼・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合理化構造形式である。この複合ラーメン橋の特徴としては、

- ①中間支点の支承が不要となり、維持管理の面で有利である。
- ②上下部一体の構造であるため、耐震性が向上し落橋防止構造も不要である。
- ③コンクリートのラーメン橋に比べて上部工の重量が軽いため、下部工・基礎工に対して有利であり、耐震性に関しても有利になる。
- ④ラーメン構造のため、活荷重たわみが減少する。

などが挙げられる。一方問題となるのは鋼桁とRC橋脚との接合部をどのように設計し施工性の良い構造にするかということである。日本道路公団では従来から複合ラーメン橋を積極的に採用しており、既に接合部の設計基準も作成されている¹⁾。日本初の複合ラーメン橋である山形自動車道阿古耶橋ではPC鋼棒により接合する方法が採用された。この方式はPC鋼棒に導入したプレストレスにより緊結するので信頼性が高いと考えられるが、現場での施工性、経済性の面で改善の余地があるとされ、その後多方面で研究が進められて、RC方式やRCスタッド方式、SRC方式などが施工されている^{2), 3)}。現時点では接合部の破壊までの変形性能が必ずしも明確になっていないことから、接合部については塑性化させないものとしており、接合部の構造が複雑になるケースもあるようである。

以上の背景から、本研究では接合部の構造を極力簡素化することにより、

- 1) 接合部の施工性を高め、補修を容易にする。
- 2) 接合部の破壊までの荷重・変形性能を明確化するため新たな接合部構造を提案し静的・動的実験及びFEM解析を行った。FEM解析結果と実験結果との比較については今回別途報告している。

2. 接合部構造の概要

接合部の構造は基本的にはRC方式とし、これを極力簡素化する方法とした。本研究で提案する接合部構造を図-1に示す。本構造は主桁に鋼板で箱状の空間を設け、橋脚頂部の鉄筋を主桁下フランジの孔を通して、箱内部に充填されるコンクリートに定着するものである。本構造の主な特徴及び目標とした事項を以下に示す。

- a) 橋脚の鉄筋を鋼桁下フランジに貫通させ

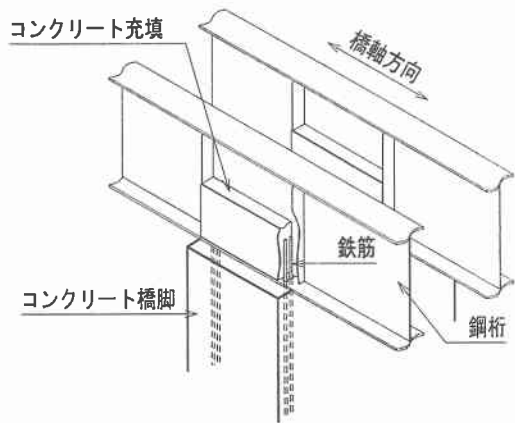


図-1 接合部構造図

Experiment on Ductility and Dynamic Strength of Connection of Hybrid Rigid Frame Bridge

by Takahide SATO, Toshiyasu INOUE, Toshiyuki OSHIMA, Shuichi Mikami, Tomoyuki YAMAZAKI and Koujiro FUKUDA.

(差込鉄筋)、橋脚と鋼桁内コンクリートを分離することにより、部材を単純化させる。

b) 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。その対策として、鋼桁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。

c) 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。

半複合化工法とは、鋼桁を中間橋脚上の仮支承で支持し、床版を打設した後に接合部を施工する、つまり全死荷重載荷後に複合化するもので、死荷重に対する構造系は連続桁である。従って、接合部には死荷重分の応力は作用しないので、よりコンパクトな断面にできると考えられる。

本研究では図-1の構造を開発するにあたり、静的及び動的交番曲げ載荷実験を行った。

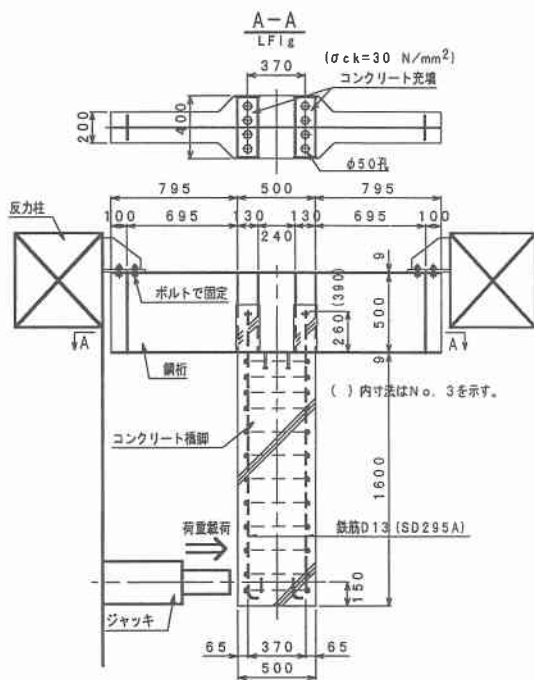
3. 実験概要

3.1 静的接合部実験

静的接合部実験概要を図-2に示す。この実験では図-1の構造と同じように主桁と橋脚を鉄筋で接合した供試体を作成し、橋脚の曲げにより接合部周辺と鉄筋に発生するひずみと主桁フランジ・橋脚部の変位を測定した。供試体数は全3体でありそれぞれ、鉄筋定着長の長さ、アンカープレートの有無などの条件を変えている。また、荷重載荷することで発生するせん断力に抵抗するために主桁下フランジにスタッドジベルを設けている。定着鉄筋は主桁内部から橋脚端部まで継手はなく、合計8本で桁と橋脚とを接合している。主桁上フランジを固定した状態で、橋脚端部から150mmの位置に設置した油圧ジャッキで10kNごとに荷重を増加させて、両側から交互に載荷した。

3.2 動的接合部実験

動的接合部実験においても静的と同じ供試体を用いた。載荷装置は動的サーボジャッキを使用し、載荷方法は変位制御として図-3に示す一定振幅変位漸増型の波形である。鉄筋降伏時の実測変位 $\delta y (=4.5\text{mm})$ を基準として $2\delta y$ 、 $3\delta y$ ・・・と振幅を増加させて橋脚部が破壊するまで載荷した。供試体の固定条件及び載荷位置は静的と同じである。



供試体番号	スタッド本数	鉄筋定着長	アンカープレート
供試体N0. 1	6本	260	なし
供試体N0. 2	6本	260	あり
供試体N0. 3	10本	390	なし

図-2 静的接合部実験概要図

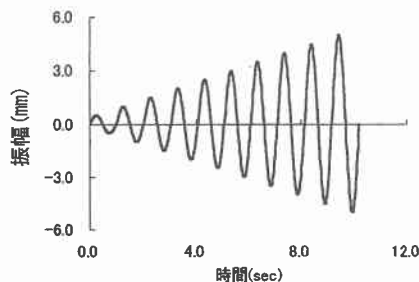


図-3 動的接合部実験の入力波形

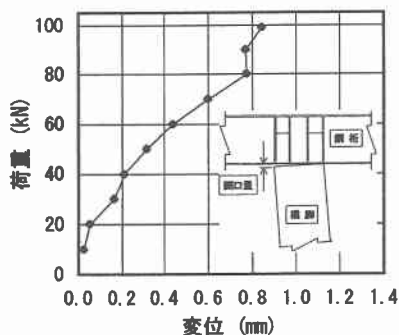


図-4 鋼桁 L Fig と橋脚との開口量 (静的)

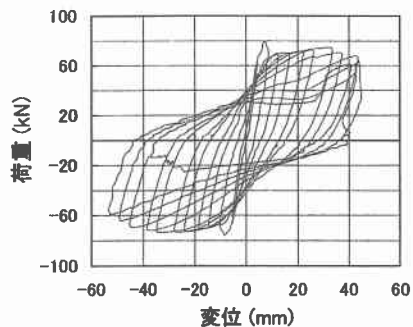
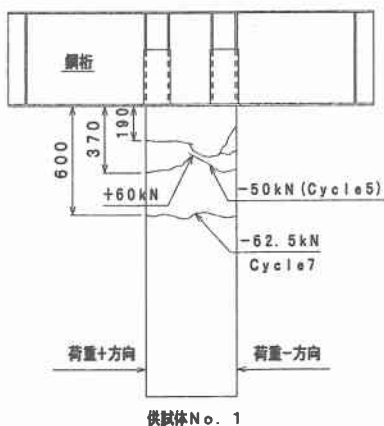
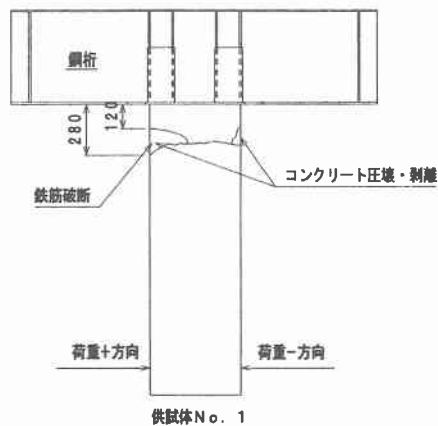


図-5 荷重-変位履歴曲線 (動的)

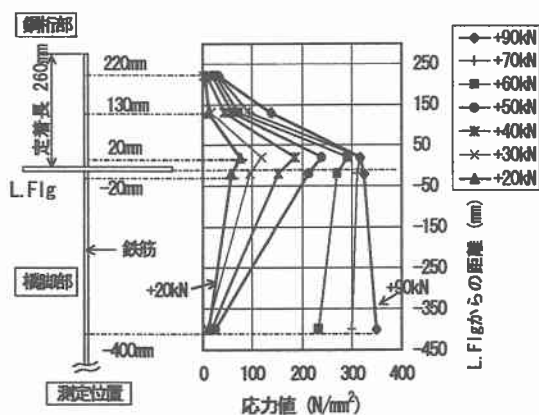


(a) 静的

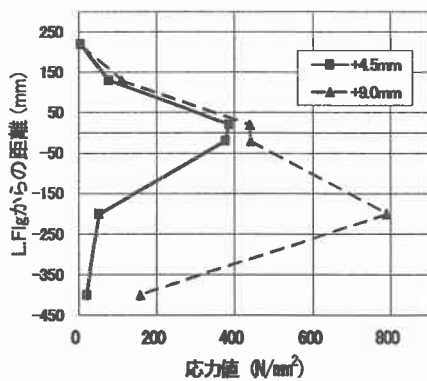


(b) 動的

図-6 クラック進展状況



(a) 静的



(b) 動的

図-7 鉄筋応力分布図

4. 実験結果

静的接合部実験において、供試体 No. 1～No. 3 の 3 体を用意したがその実験結果には大きな違いは見られなかったため、ここでは供試体 No. 1 の結果についてのみ述べる。

図－4 に静的接合部実験での鋼桁 L.Flg と橋脚との開口量、図－5 に動的接合部実験での橋脚下端の荷重－変位履歴曲線を示す。図－4 より、載荷荷重 90kN 以上においても開口量は 0.9mm 以下であり、特に大きな開口は発生しなかった。動的の場合の開口量も最大 1mm 程度であり静的の場合とその傾向は変わらなかった。

図－6 (a), (b) に静的、動的それぞれの橋脚部のクラック進展状況を示す。静的の場合、最初にクラックが発生したのは荷重 50kN からであり、その後徐々にクラック幅を広げつつ、L.Flg から 600mm の位置にもクラックが発生した。一方動的の場合は、一度 L.Flg から 280mm 付近にクラックが発生し始めてからは、静的の場合と違い、橋脚下端の方へはクラックは発生せず、その付近のみでコンクリートが破壊し、橋脚左側面の鉄筋も破断した。鋼桁内鉄筋定着部のコンクリートについては特に変化は見られず、静的・動的ともに終始健全な状態であった。

図－7 (a), (b) に静的・動的それぞれの鉄筋応力分布を示す。(b) 動的の+4.5mm 変位時の荷重は図－5 より 60kN 程度である。静的・動的ともに初期の荷重値では鋼桁下フランジ付近が最も大きな応力が発生しているが、静的の場合荷重 60kN で $290\text{N}/\text{mm}^2$ 程度であるのに対して、動的の場合 $390\text{N}/\text{mm}^2$ 程度の応力となっている。その後、橋脚にクラックが発生しはじめてからは、静的の場合 -400mm 付近の応力が $350\text{N}/\text{mm}^2$ まで発生し橋脚下端の方へ応力が広がっていることがわかる。一方、動的の場合 -400mm 付近の応力は静的の場合ほど増加しておらず、-200mm 付近が卓越した状態となっている。これは鉄筋が破断した箇所とほぼ同じ位置である。また、鋼桁内鉄筋定着部 250mm の位置の応力は静的・動的ともにほとんど発生しておらず、鋼桁内の鉄筋がコンクリートにしっかりと定着していることがわかる。

5. まとめ

以上のように今回新たな接合部構造を提案し、静的及び動的交番曲げ載荷実験を行った。以下に得られた結果をまとめる。

- ① 橋脚部のクラックの進展において、静的と動的とは明らかに違った性状を示した。動的の場合一箇所に集中して破壊を起こしている。
- ② 鋼桁 L.Flg と橋脚との開口は、静的・動的ともに 1mm 程度であり大きな開口は見られなかった。
- ③ 鉄筋応力分布により鋼桁内鉄筋定着部の発生応力は小さく、終始鉄筋が定着していることが確認できた。今後は更に橋脚部から鋼桁部への応力伝達や荷重分担状態について考察を進めていく方針である。

謝辞

本実験の実施にあたり、北見工業大学土木開発工学科橋梁研究室の谷口和昭君をはじめ大学院生・学部生に多大なる御協力を頂きました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 日本道路公団設計要領第 2 集・橋梁建設編 (1998. 4. 1 改正)
- 2) 杉山、町田、佐藤、Afifuddin: 鋼－RC 接合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. 272-273、1997. 9
- 3) 松井、湯川、和田、石崎、田中: 複合ラーメン橋・鋼－RC 橋脚接合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、1997. 3