

I-10

複合ラーメン橋接合部の弾塑性挙動の動的解析

北見工業大学 学生員 ○福田 幸士郎 (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

1. まえがき

経済性と耐震性に優れた合理化構造形式である鋼連続桁とRC橋脚を橋脚頂部で接合する鋼・コンクリート複合ラーメン橋には、種々の接合方式が提案されており¹⁾、現在では多方面の研究から下記のような種々の方法が提案・実施されてきた。

- ① 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)²⁾
- ② スタッドジベルにより合成する方法(RCスタッド方式)
- ③ 鋼桁に剛結された鋼製柱をRC橋脚に埋め込む方法(SRC方式)

いずれの接合方法についても、実験・解析により設計荷重状態についての信頼性は確保されていると考えられるが、今後は接合部の破壊までの荷重・変形状態の解明、施工性の改善、補修の容易な接合部構造の開発が必要であると考えられる³⁾。

そこで著者らは今までに、接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事を目的とした接合部構造(図-1)を提案し、応力状態および変形性能を検討している⁴⁾。また、解析も同時に行い、実験結果との比較・検討も行っている⁵⁾。

しかしながら載荷条件が静的であるため、実際の地震時における載荷状態とは若干異なることから、本研究では載荷条件を動的にした場合の影響を検討するため、別途報告している動的接合部実験で使用した供試体をモデル化し、動的解析を行った。

解析では鉄筋の塑性化、及び橋脚に発生するクラックに注目し、鉄筋が塑性化を起こすまでの解析を行っている。これにより応力伝達機構及び材料降伏後の非線形挙動について明らかにした。また、今回別途報告している動的接合部実験結果と静的実験結果の比較・検討も行う。

2. 実験概要

動的接合部実験では図-2に示した実験供試体を作成した。これは、静的実験と同じ供試体である。載荷方法は変位制御とし、一定振幅変位漸増型の動的正負交番載荷とした。まず始めに、鉄筋が降伏するまで0.5mmずつ最大振幅を増大させ、降伏後は鉄筋降伏変位($\delta_y=+4.5\text{mm}$)を基準として、 $2\delta_y$ 、

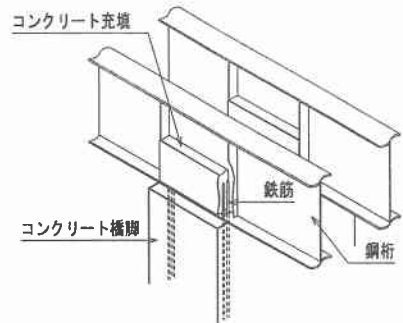


図-1 接合部構造図

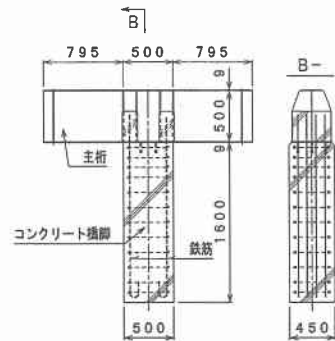


図-2 実験供試体

Dynamic Analysis of Elastic-Plastic Behavior on Connection of Composite Rahmen Bridge
 by Koujiro FUKUDA, Takahide SATO, Toshiyasu INOUE, Toshiyuki OSHIMA, Syuichi MIKAMI and
 Tomoyuki Yamazaki

3 δ_y ・ ・ ・としている。

3. 解析概要

解析モデルを図-3に示す。解析モデルは面对称構造であるので 1/2 モデルとし、橋脚部及び接合部を8節点立体要素、鋼桁部フランジ及びウェブは4辺形厚肉線形シェル要素としたが、橋脚と鋼桁の境界部分のフランジは8節点立体要素とした。コンクリート及び鉄筋は弾塑性材料とし、解析に使用した鉄筋及びコンクリートの σ - ϵ 関係は引張試験及び圧縮試験により得られた値を用いた。

また、コンクリートの降伏応力は実験結果を考慮して、圧縮側で 0.1%歪み時の応力とし、引張側の破壊応力については降伏応力の 1/10 とした。また、クラック発生時における引張力の伝達を考慮する。鉄筋について降伏後は塑性硬化係数を考慮した等方弾塑性体とした。境界条件として、橋脚と鋼桁の境界面及び鉄筋とコンクリートとの間では付着要素を設けず、鉄筋とコンクリートの節点は共有している。また実験供試体での帯鉄筋を考慮して、解析では橋脚に補強材要素を入れた。

本解析では鋼桁上フランジ両端部を固定した。また、鉄筋が塑性化するまで注目していることから、橋脚基部に図-4に示した 0.0mm~5.0mm までの一定振幅変位漸増型の動的正負交番載荷を行った。波形振幅は 1 Hz とし変位増分は 0.5mm である。この解析は汎用構造解析プログラム MARC を用いた。

4. 解析結果

4.1 動的実験と動的解析のクラック進展比較

図-5に動的実験で得られたクラック進展状況を、図-6に動的解析により得られたクラック分布図を示す。図-6のクラック分布図は図-4の入力波形に従い、+3.0mm と +4.5mm 変位時を示したものである。ここでは、色の白い部分がクラック進展の大きいことを表している。

実験では、始めに荷重載荷側が -4.5mm 変位したときにクラックが発生し、その後+13.5mm 変位まで達すると、橋脚の左側面および右側面へ、橋脚全周にわたってクラックがつながった。その後、図で示されているようなクラック進展を起こす。

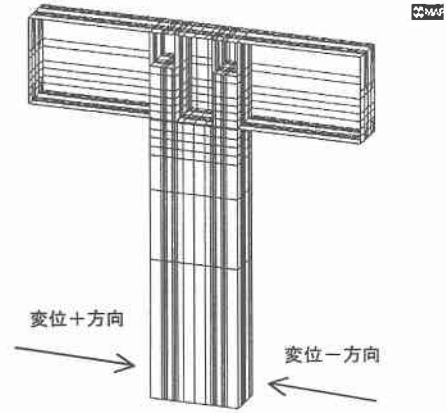


図-3 解析モデル

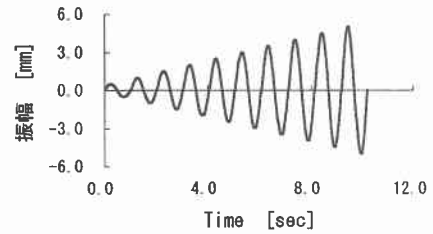


図-4 入力波形

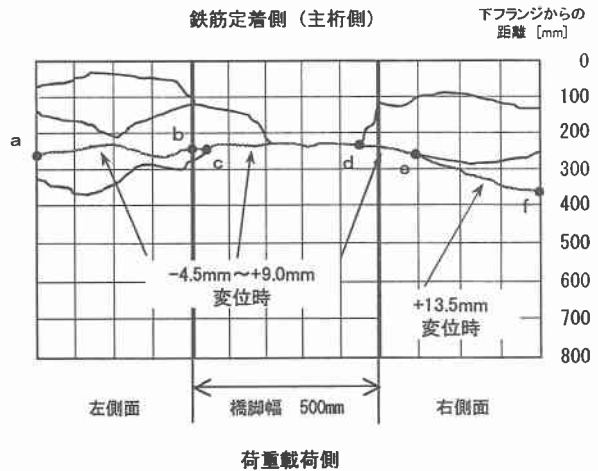


図-5 クラック進展状況（実験）

解析ではクラックが発生し始めたのは、荷重載荷側が+3.0mm 変位した時であり、クラックが発生する時期が実験とは異なっている。これについては解析で鋼桁と橋脚の開口を考慮していないことが影響していると考えられる。しかしながら、クラックが発生する位置はほぼ同じであり、解析でも1箇所クラックが発生するとその後はそのクラックが拡幅進展する特徴が良く現れていることから、クラック進展傾向が実験と近くなっている。

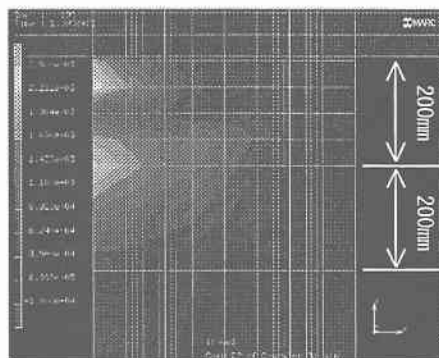
4.2 動の実験と動の解析の鉄筋応力分布比較

図-7に解析により得られた+1.5mm、+3.0mm、+4.5mm 変位時における鉄筋応力分布図を示す。どの荷重載荷側変位時においても下フランジ付近で発生する応力は大きい、鋼桁部における定着長 220mm の位置では、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と定着していることが確認できる。

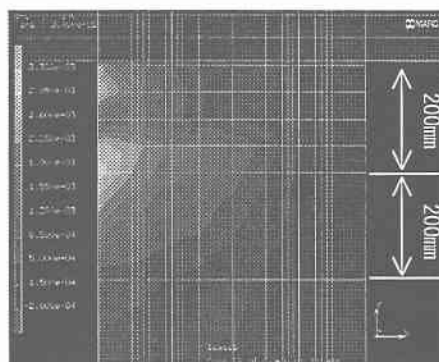
+1.5mm 変位時では解析値・実験値ともにほぼ等しい。解析では 4.1 で述べたように+3.0mm まで橋脚にクラックが発生しておらず弾性状態であることから、弾性範囲の解析においては実験をある程度推測することができる。

+3.0mm、+4.5mm 変位時では、最大応力値発生位置が実験値と異なっている。これは 4.1 で述べたようにクラック発生時期が、実験よりも早いために、クラックが発生した部位の鉄筋に応力が集中した事が考えられる。また、すべての変位状態で鉄筋に発生する最大応力値が実験とほぼ近くなっている。

実験では+4.5mm 変位時に下フランジ付近で



荷重載荷側 +3.0mm 変位



荷重載荷側 +4.5mm 変位

図-6 クラック分布図（解析）

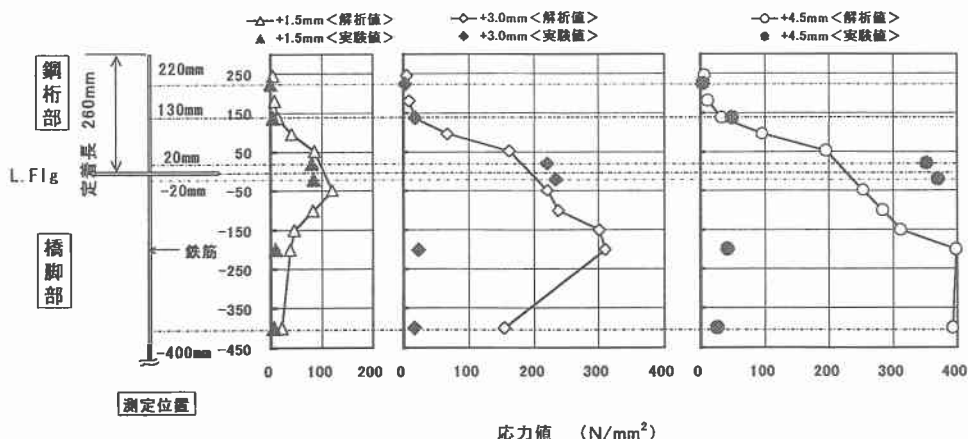


図-7 鉄筋応力分布 — 動の実験と比較

330N/mm²以上の応力が発生し、鉄筋が塑性化したことを示している。解析は下フランジで230N/mm²程度で、橋脚部・200mmの位置の応力よりも小さくなっている。また、最大応力値は解析値と実験値は近いが、発生している場所は異なっている。

これは、解析において境界条件設定で鋼桁と橋脚部の開口を考慮していないためと考えられる。

4.3 静的実験と動的解析結果との鉄筋応力分布比較

図-8に静的実験結果と比較した図を示す。静的実験の+30kN 載荷時(変位: +1.5mm)、+50kN 載荷時(変位: +3.0mm)を動的解析と比較した。

+30kN 静的実験では橋脚にクラック発生がなく弾性状態であり、応力分布が動的解析結果とほぼ同じ結果から、弾性範囲内であれば動的解析と静的実験は同じ結果である。

+50kN 静的実験では、鋼桁部の鉄筋応力値が動的解析と同様に小さくなっている。これは鉄筋とコンクリートがよく定着しているからである。また、最大発生応力値が4.2の場合と違い、動的解析と異なっている。

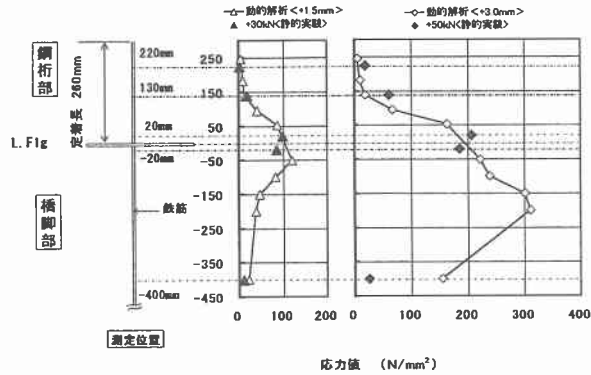


図-8 鉄筋応力分布図 — 静的実験との比較

5. まとめ

以上の結果を要約すると以下ようになる。

- ① 橋脚部に生じるクラックは、解析では最初にクラックが発生した箇所では幅進展する傾向があり、実験と同じである。しかし、クラックの発生時期については実験よりも早く発生する。
 - ② 鋼桁内鉄筋定着部の定着長220mmの位置では解析・実験ともに、どの変位時でも大きな応力は発生しておらず、鉄筋がコンクリートにしっかりと定着している事がわかる。
 - ③ 動的解析において鉄筋の応力分布は、弾性範囲内であれば静的・動的実験とほぼ同じ結果になる。しかし、塑性範囲内では、実験結果と異なり荷重載荷側に応力が広がっている。
- 今後は、クラックの発生時期と開口部の影響を考慮した解析を進めていきたいと考えている。

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谷口和昭氏及び学部生の助力がありました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 山縣敬二：日本道路公団における橋梁の合成複合構造、第3回合成構造の活用に関するシンポジウム講演論文集、pp.7-12、1995.11
- 2) 杉山、町田、佐藤、Affuddin：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.272-273、1997.9
- 3) 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調査、土木学会第53回年次学術講演会概要集、I・B148、pp.296-297、1998.10
- 4) 佐藤、井上、大島、山崎、福田：複合ラーメン橋の剛結部構造に関する実験的研究、土木学会第54回年次学術講演会概要集、I・A183、pp.366-367、1999.9
- 5) 福田、井上、佐藤、大島、三上：複合ラーメン橋剛結部の弾塑性挙動の解析、土木学会第54回年次学術講演会概要集、I・A184、pp.368-369、1999.9