

RCラーメン橋脚はり部の地震時せん断挙動と 補強対策に関する検討

藤田亮一¹・小泉秀之²・睦好宏史³・小西由人⁴・渡辺恵志⁵・森 敦⁶

¹正会員 工修 日本技術開発株式会社 地震防災部 (〒164-8601 東京都中野区本町 5 丁目 33-11)

²正会員 工修 東日本旅客鉄道株式会社 (〒151-0053 東京都渋谷区代々木 2 丁目 2-2)

³正会員 工博 埼玉大学教授 工学部建設工学科 (〒338-8570 埼玉県さいたま市下大久保 255)

⁴正会員 首都高速道路公団 東東京管理局 (〒103-0015 東京都中央区日本橋箱崎町 43-5)

⁵正会員 首都高速道路公団 東東京管理局 (〒103-0015 東京都中央区日本橋箱崎町 43-5)

⁶正会員 Ph.D. 日本技術開発株式会社 地震防災部 (〒164-8601 東京都中野区本町 5 丁目 33-11)

都市内高速道路の RC ラーメン橋脚柱には耐震補強が施されているが、保耐法を適用した場合に梁部のせん断耐力不足となる傾向が見られる。梁部の耐震補強法としては柱部同様の巻立て工法が考えられるが、設置上の制約から困難である。本論文では現実的な制約条件をふまえ、梁のせん断補強法を提案し、その効果と特性を実験および FEM 解析により確認した。

Key Words : RC Rigid Frame Pier, Shear Failure, Experiment, Retrofit, FEM

1. 背景と目的

既設 RC ラーメン橋脚の柱は靱性確保と耐力向上のために鋼板もしくは繊維シートの巻立てによる耐震補強が施されていることが多く、柱については必要な耐震性能が確保されている。しかしながら相対的に梁部が弱点となり、補強後の状態で地震時保有水平耐力法による面内方向の耐震照査を行うと、耐震設計上望ましくない梁部のせん断耐力が不足する傾向が確認された。

梁のせん断補強法としては、柱と同様な補強材の 4 面巻立てが考えられるが、実際の既設 RC ラーメン橋脚梁部には縁端拡幅用鋼製ブラケットや支承が存在するため、柱と同様な補強が困難な状況である。

このような現状を踏まえ、本研究では制約条件下の既設橋脚梁部に適用可能な補強方法に関する検討を、都市内高速道路橋で多く採用されている一層二柱式 RC ラーメン橋脚を対象に試みた。検討した補強方法は梁側面に鋼板もしくは炭素繊維シートを接着するものであり、その補強効果を模型実験により確認した。

また、FEM 解析による実験のシミュレーションを行い、実験結果と比較検討した。実験用供試体の寸法や数には制限があるため、多種多様な実橋への補強対

策検討を行う上では解析的アプローチが必須となる。本論文では上述の実験及び解析に基づく基礎的検討結果について報告する。

2. 実験条件

実験¹⁾に用いた供試体は、既設の RC ラーメン橋脚を約 1/7 のサイズに縮小したものである(図-1)。耐震補強されている柱については補強鋼板を帯鉄筋に換算して供試体設計を行った。梁のせん断挙動に大きく影響すると思われる帯鉄筋は、鉄筋比が 0.05%となるように設定した。これは、既設橋脚 100 基程度の梁の帯鉄筋比を調査した結果、0.05%程度が最低レベルであったことを受けて、現実的かつ最も梁のせん断が厳しい状態を想定したものである。供試体は 4 体作成し、1 体は無補強のままとし、同諸元の供試体 2 体を鋼板(SS400)および炭素繊維シート(目付量 300g/m²)で図-2 のように補強した。残りの 1 体は梁の帯鉄筋比を 0.1%とした。基部を固定した供試体の梁中央に一定鉛直荷重 108kN(柱の発生応力=0.6 kN/mm²)を、梁端部に正負交番漸増水平荷重(3 回繰返し、 $\delta y=9\text{mm}$ の整数倍を変位制御で載荷)をそれぞれ作用させた。載荷状況を図-3 に示す。

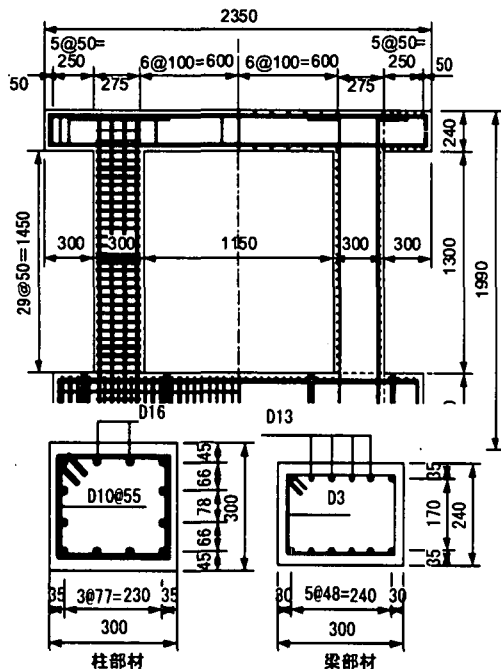


図-1 供試体概要

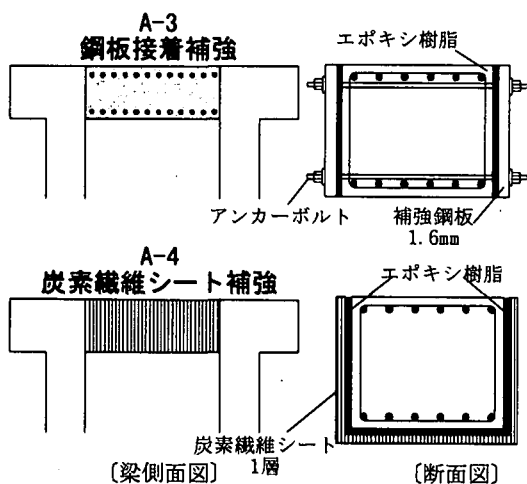


図-2 供試体補強方法

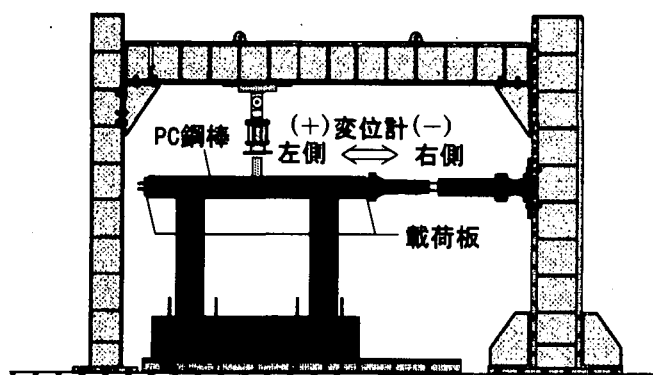


図-3 載荷状況

3. 実験結果および評価

上記のうち、せん断補強効果に着目した3体(A-1, 3, 4)の供試体を用いた実験結果について表-1および図-4、図-5に示す。いずれの供試体も柱基部と梁端部の主鉄筋が降伏した後に梁部でせん断破壊

を生じる結果となった。以下、A-1, 3, 4の破壊状態に着目してまとめる。

① A-1 供試体(無補強, 梁帯鉄筋比=0.05%)

梁端部において典型的な斜め引張り破壊を生じた。これはひび割れ分布からみて単純にせん断耐力が不足していた結果と考えられる。

② A-3 供試体(鋼板接着, 梁帯鉄筋比=0.05%)

鋼板が梁端部で剥離を生じ、そこから斜め引張り破壊を生じた。ひび割れはアンカーの間を通過して梁上下面まで達していた。ひび割れ分布図より鋼板の影響で梁中央部付近のひび割れが抑制されている様子が確認できる。梁の損傷があまり進行しないことで隅角部や柱基部に曲げ損傷が顕著にみられている。梁端部の鋼板の最大発生ひずみは約600 μ であった。

③ A-4 供試体(炭素繊維巻立, 梁帯鉄筋比=0.05%)

炭素繊維シートが梁側面上端から次第に剥離し、そこから斜め引張り破壊を生じた。A-3同様に梁中央部のひび割れが抑制されている。梁端部のシートの最大発生ひずみは約3300 μ であった。これらの結果から以下のような知見が得られた。

- 梁の帯鉄筋比が既設橋脚の最低レベルの場合、面内方向水平荷重の作用により梁部でせん断破壊を生じることが確認された。
- 梁側面に鋼板・炭素繊維シートを貼付けることで梁部のせん断破壊が抑制され、ラーメン構造としての靱性が向上することが確認された。
- しかしながら、水平荷重の増加につれて補強材と母材の剥離が進行し、最終的には梁部でせん断破壊が生じる結果となった。補強材の発生ひずみから、補強材が十分な強度を発揮する前に剥離が生じていると考えられた。
- 梁のせん断補強をした結果、隅角部の損傷が進行する傾向が見られた。柱と梁を補強したことで相対的に隅角部が弱点化したためと考えられる。

表-1 実験結果概要

	補強法	鉄筋比*	実験結果
A-1	無補強	0.05%	2 δy 1回目の載荷中に梁部せん断破壊
A-3	鋼板接着	0.90%	2 δy 載荷中に鋼板剥離がはじまる→3 δy 2回目の載荷中に梁部せん断破壊
A-4	炭素繊維シート巻	1.33%	2 δy 載荷中にシートの剥離がはじまる→3 δy 1回目の載荷中に梁部せん断破壊

*A-3, 4は補強材を鉄筋換算した値を示す

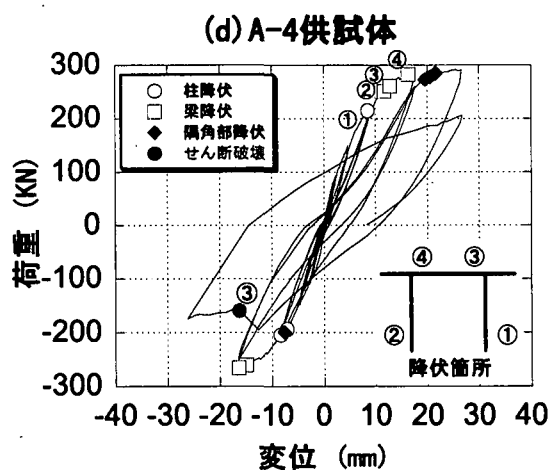
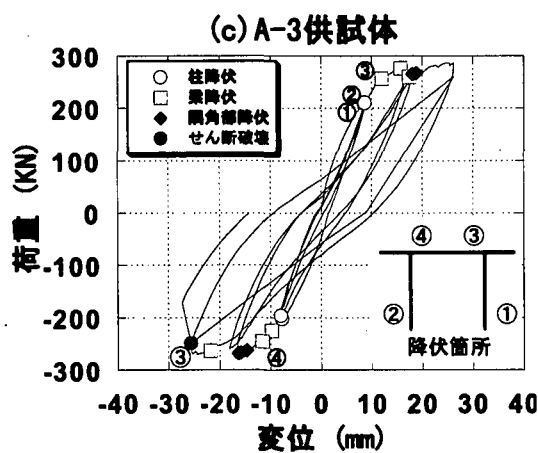
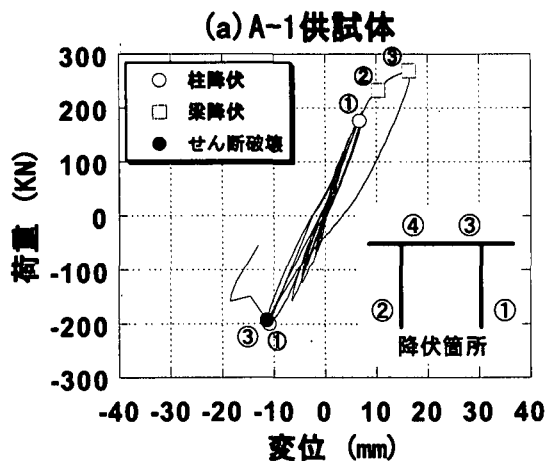


図-4 実験による荷重～変位関係

4. シミュレーション解析検討

供試体実験結果を対象とした FEM によるシミュレーション解析検討を行った。ここでは、RC 構造物を対象とした解析で実績の多い WCOMD²⁾ を用いて解析を行った。解析モデルを図-6 に示す。供試体は梁部の鉄筋が疎であるため、鉄筋の影響範囲を考慮したモデル化を行った³⁾。

無補強の供試体(A-1)の荷重～変位曲線を図-7 に示す。同図の最大耐荷力や履歴特性から解析が実験

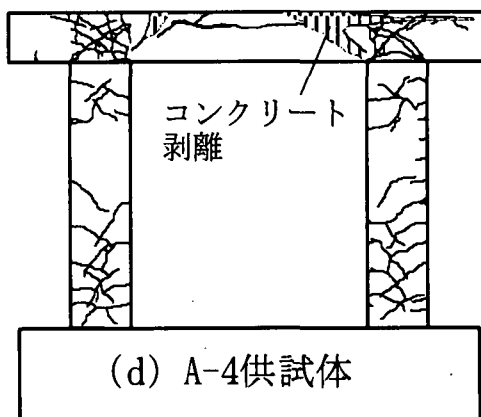
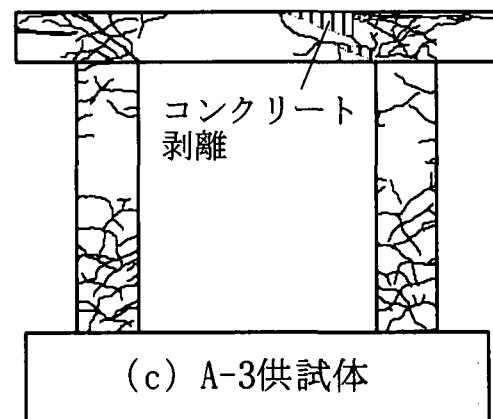
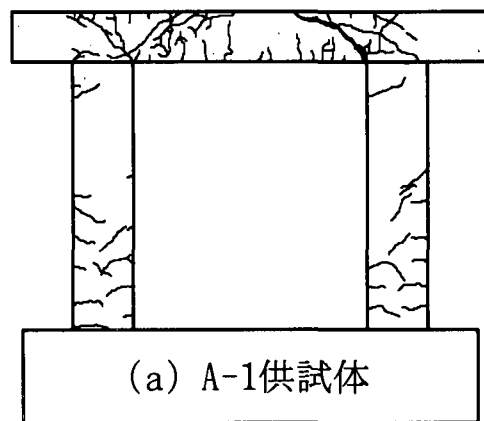


図-5 ひび割れ状況

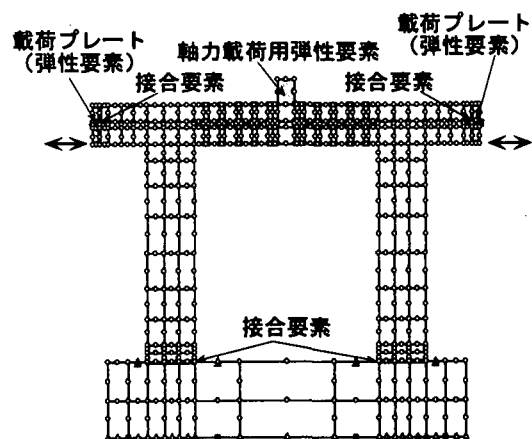


図-6 FEM 解析モデル

結果をおおむね再現できていることがわかる。また最終的な破壊形態も実験結果と同じ梁端部でのせん断破壊であり、ここでのモデル化方法及び設定した解析条件の妥当性が確認された。

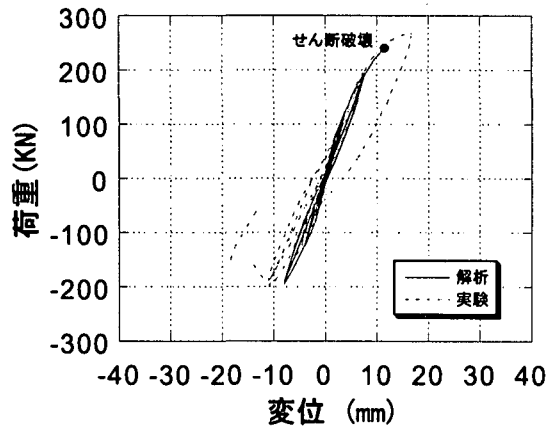
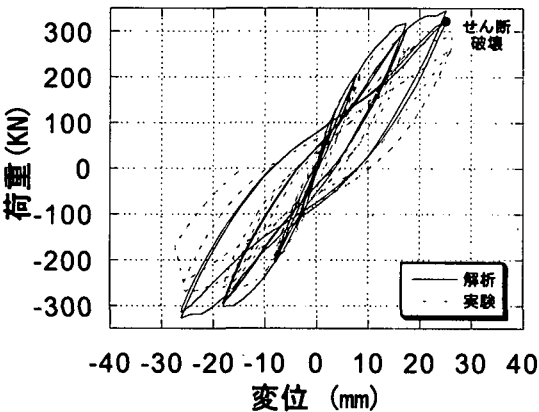
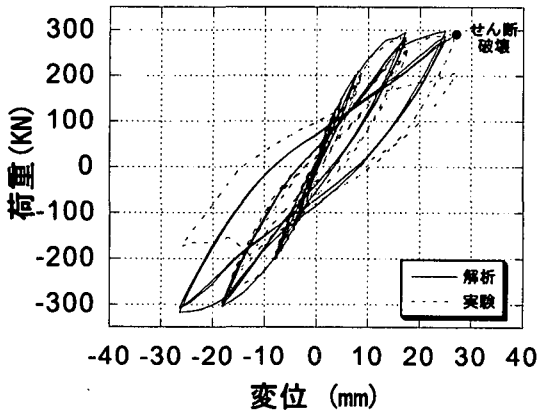


図-7 解析による荷重～変位関係 (A-1)



(A-3 供試体)



(A-4 供試体)

図-8 解析による荷重～変位関係 (A-3, A-4)

一方、補強供試体(A-3, A-4)について同様な解析を実施したところ、2体とも実験結果に比べて破壊が遅れ、靱性が大きくなる結果が得られた。これらの差は、解析上補強材と供試体の付着が完全であるとして取り扱っているために生じたと考えられ、何らかの形で補強材の剥離を考慮して解析上の破壊判定を修正

する必要があった。

そこで、実験時の補強材の発生ひずみから逆算して補強材の分担力を算出し、供試体がせん断破壊した時点の梁端部のせん断力⁴⁾を破壊判定に用いることとした。即ち、解析中に梁端部に発生するせん断力が実験値に基づくせん断力を超過した時点で補強材の剥離が生じ、せん断破壊に至ると仮定した。このような破壊判定の補正を加えたところ、図-8に示すように実験結果をほぼ再現することができた。補強供試体の解析から、補強材の付着が切れなければ梁のせん断耐力が向上し、脆性的な破壊を生じないである程度安定した靱性が発揮されることがわかった。なお、今回の解析ではメッシュ分割等の解析パラメータの変化が結果に影響を及ぼす傾向がみられた。これは、実橋への適用に際して留意すべき知見であると思われる。

5. まとめと今後の課題

既設 RC ラーメン橋脚梁部のせん断挙動と補強対策に着目して実験と解析による検討を行った。実験により帯鉄筋が少ない橋脚の梁にせん断破壊が生じることが確認され、梁側面に補強材を貼り付けることである程度の靱性の向上が認められた。しかしながら、補強材の剥離により補強材が十分な強度を発揮する前にせん断破壊することが明らかになった。また、補強材の剥離が抑制できればせん断耐力の確実な向上とさらなる靱性の向上が期待できることが解析により確認された。今後の課題としては、

- ① 実橋を対象とした補強検討
 - ② 補強材の確実な定着方法の検討と定量的な評価
 - ③ 補強材の剥離を考慮した解析の精度向上
- が考えられ、現在検討を進めている。

参考文献

- 1) 小泉秀之、睦好宏史、小西由人、藤田亮一: RC1 層ラーメン橋脚梁部の耐震補強に関する研究、コンクリート工学年次論文集 Vol. 23, 2001. (投稿中)
- 2) 岡村甫、前川宏一: 鉄筋コンクリートの非線形解析と構成則、技報堂出版, 1991.
- 3) Xuehui AN, Koichi MAEKAWA and Hajime OKAMURA: Numerical simulation of size effect in shear strength of RC beams, J. Materials Conc. Struct., Pavements, JSCE, No. 564/V-35, 297-316, 1997 May
- 4) 土木学会: 連続繊維シートを用いたコンクリート構造物の補修補強指針、コンクリートライブラリー101, 2000. 7