

[157] エポキシ樹脂で補修された鉄筋コンクリート梁の曲げ性状

正会員 ○ 田才 晃 (東京大学工学部)
 正会員 北山 和宏 (東京大学大学院)
 正会員 小谷 俊介 (東京大学工学部)
 正会員 青山 博之 (東京大学工学部)

1 はじめに

鉄筋コンクリート造建物の耐震設計では、建物を靱性に富んだ構造とすることが重要である。言い換えると、地震入力に対して建物の主要構造部材がせん断によって急激な破壊に至ることを防ぐ一方で、梁端、最下層柱脚などに靱性の高い曲げヒンジが発生することを許し、その塑性変形によって変形性能の高い崩壊形をめざすものである。そこで、少なくとも梁のひび割れやヒンジゾーンでのコンクリートの剝落などは大地震時には十分予想される。また旧設計法によって建てられた比較的古い鉄筋コンクリート造建物のなかには、近年の中小地震によって中破程度の被害を生じたものがある。このような震災建物を復旧させる技術について、ここ数年内外で研究対象とされており、補修や補強後の構造物の挙動は部材レベルにおいて徐々に明らかにされてきた。例えば、曲げ材に限って言えば、補修後の耐力が上昇するなどの傾向が認められているが(例えば、文献[1],[2],[3])、その要因は確定されていない。本稿では、曲げ破壊した梁の補修後の挙動を解明するために行なった、小型単純梁の実験結果について報告する。エポキシ樹脂を用いた補修方法には、ひび割れに樹脂を注入する方法とコンクリート欠損部に樹脂モルタルを充填する方法があるが、ここではこれら二つの方法の効果を取り上げる。

2 実験方法

2・1 試験体

試験体は全3体で、その形状、配筋(図1)は同一である。純曲げを生じさせる中央の区間は、曲げ耐力を他の部分より低くするため巾を狭くした。主筋は、D16、1本を下端に配した。ただし、主筋の歪を観測する際に、異形による付着の条件を実際の構造物と一致させるよう、1本の鉄筋を機械で半分に削り去り、その内側に溝を削り、塑性歪ゲージを中央部で3cm間隔で貼って、ワックスコーティングしたものを2つ合わせにした。主筋両端は付着破壊を防ぐため、スパイラル筋を配した。試験体名をB1、B2、B3とする。B1は鉄筋コンクリートの試験体である。B2はかぶりコンクリートの圧壊と剝落を補修することを想定して、中央上端の厚さ5cmにエポキシ樹脂モルタルを充填したもので、圧縮縁の樹脂モルタル層が、耐力、変形性状に及ぼす影響をみる。試験体B1及びB2の下端中央にはひびわれ発生位置を限定するためにノッチを入れた。試験体B3は、主筋のかぶり厚さに等しく中央下端の厚さ5cmに樹脂モルタルを充填したもので、引っ張り縁の樹脂モルタル層が剛性、耐力、主筋の付着性状に及ぼす効果を検討する。試験体中央の樹脂層の直上のコンクリートにはノッチをいれた。樹脂モルタルの充填は、コンクリート打設時に充填部分にあらかじめ設置した発泡スチロールをコンクリート硬化時に除去して行なった。

2・2 加力、計測方法

加力装置の概要を図2

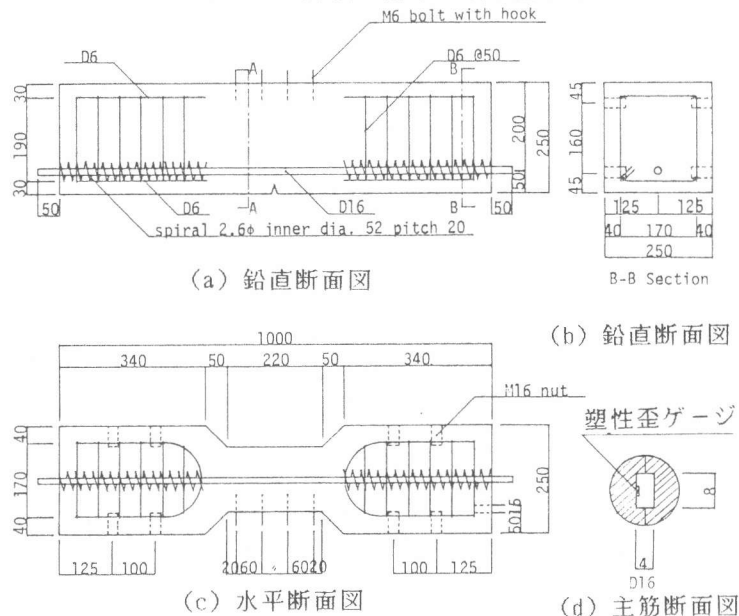


図 1. 試験体形状と配筋(単位:mm)

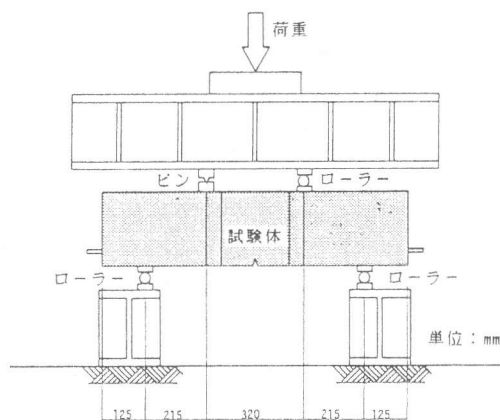


図 2. 加力方法

に示す。加力機はネジ式 200ton 万能試験機を使用した。加力は試験体両端をローラー支持し、加力ビームを介して載荷スパン32cmの2点載荷を行なった。加力履歴は中央たわみで10mmまでの単調載荷とした。計測は主筋の歪とともに、変位計により中央変断面部分のコンクリートの軸方向歪を測定した。

2・3 材料 使用した材料の諸物性を表1(a)～(c)に示す。鉄筋の試験片はD16のふしを落し正確な円断面となるよう機械加工した。主筋の断面積は実測した単位長さ当たりの重量と公称重量との比から公称断面積に対する比として求めた。プラスチック用歪ゲージで求めた樹脂モルタルの引張応力度-歪度関係は、破断に至るまでほぼ直線である。

2・4 補修および再加力 試験体B1は加力終了後、ひび割れを樹脂でシールし粘性の高いエポキシ樹脂を低圧で徐々に注入する補修を行なった。補修に際して、残留変形の修正は行わなかった。補修に用いたエポキシ樹脂の強度を表1(d)に示す。初めの加力から48日目に同様の方法で再加力を行なったので、ここではその結果も検討する。なお補修後の試験体はRB1と呼ぶ。

3 実験結果

3・1 樹脂充填の効果 各試験体の中央部モーメント一定区間における実験終了時のひび割れ状況を図3に示す。試験体B1及びB2では、中央及び変断面部分に縦ひび割れが入り、圧縮縁に向かって徐々に進展した。但し試験体B2では、圧縮縁の樹脂層の内には進展せず、変形が進むにつれて樹脂層とコンクリートの境界に沿って水平なひび割れが生じた。両試験体とも梁巾の大きいせん断区間にはひび割れは生じなかった。試験体B3では、中央部に入ったひび割れは軽微で上方には殆ど進展しなかったが、せん断区間に加力支承を結ぶせん断ひび割れを生じた。

図4に試験体B1、B2およびB3の中央変断面区間における圧縮縁コンクリートの平均歪と主筋の歪から求めたモーメントと曲率の関係を示す。試験体B1、B2とも曲げひび割れ発生とともに剛性が低下し、降伏後は徐々に耐力が上がっているが、B2は降伏耐力も降伏後の耐力もB1より低い。これは樹脂モルタルの剛性がコンクリートの1/3程度であり、同じ鉄筋の引張力と釣り合うよう中立軸位置が低くなるためと考えられる。これから圧壊したコンクリートを置き換えたエポキシは耐力に効果が小さい。試験体B3では荷重13.6tonまでは他の2試験体より高い剛性で耐力が上昇したが、せん断ひびわれ後は剛性が落ち、やがてせん断区間の主筋が降伏して、荷重22.1tonでこの部分のせん断破壊とともに最大耐力に達した。

図5に荷重と主筋中央の歪の関係を示す。試験体B1及びB2では、中央ひびわれ部分の主筋の歪が歪硬化開始の歪度に達した頃から耐力が上がり始めていることがわかる。試験体B3の主筋中央の歪は弾性範囲に留っており、その応力度は高い剛性で著しく上昇している。樹脂のひび割れは終局時まで観察されず、引張縁にはったプラスチックゲージの最大値は0.0014程度で表1(c)の引張破断時の歪よりかなり小さく樹脂モルタルが引張力を負担したといえる。

3・2 樹脂注入補修の効果 実験から得られた試験体B1およびRB1の中央区間における

表1 材料の物性

(a) コンクリート材令(材令45日)		
最大強度	314	kgf/cm ²
最大強度時の歪	0.002509	cm/cm
1/4 Fcに於ける割線弾性係数	249000	kgf/cm ²
(b) 鉄筋(SD30 D16)		
降伏応力度	3900	kgf/cm ²
降伏歪度	0.001822	cm/cm
ヤング率	2140000	kgf/cm ²
歪硬化開始時の歪度	0.017744	cm/cm
(c) エポキシ樹脂モルタル(材令25日)		
圧縮強度	790	kgf/cm ²
圧縮強度時歪度	0.022	cm/cm
引張強度	289	kgf/cm ²
引張強度時歪度	0.0039	cm/cm
弾性係数	73300	kgf/cm ²
(d) 注入エポキシ樹脂		
圧縮強度	556	kgf/cm ²
圧縮強度時歪度	0.041	cm/cm
引張強度	246	kgf/cm ²

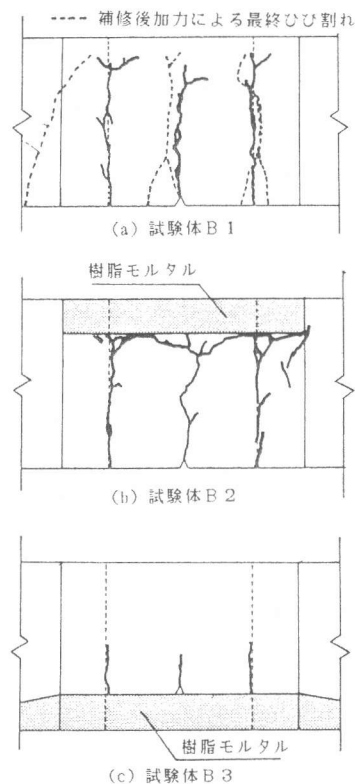


図3. 最終ひび割れ状態

モーメント-曲率関係を図6に示す。試験体B1の加力では、補修後の降伏までの剛性と比較するために、除荷した後再び最大変形まで加力した。残留変形の修正はしなかったため、補修後のM- ϕ 関係は残留点から描いた。図から解るように、樹脂注入補修後の初期剛性は、補修前の繰り返し時の載荷剛性より高く、むしろ補修前の降伏に至る剛性と同等であった。補修後のひび割れは図3(a)の破線で示したように樹脂注入された前回のひび割れをよけるように生じており、特に補修前の3本のひび割れの中間付近からも生じているのが特徴である。補修後は図6中に示した荷重番号17ステップ以降剛性が低下し、補修前の繰り返し時のピークの曲率に達したところでは、図に示したようにモーメントの値は一割程度補修前の値を上回ったものの、包絡線は補修前後でほぼ連続しており補修後の耐力上昇はほとんどみられなかった。

補修後の剛性が低下した付近の主筋の歪分布の変化を図6中に指定した三つの荷重ステップについて図7示す。この歪は補修後の加力開始時を0としたものである。また、補修前の試験体B1の降伏後の歪分布の変化を図8に示す。試験体B1ではひび割れが生じた中央および両変断面部分の3カ所で歪硬化に入る歪の進展がみられたが、それらの間の部分では降伏歪程度に留っていた(図8)。補修後の歪分布(図7)をみるとまず20ステップでモーメント一定区間のすぐ外側が降伏し、次いでいま述べた、補修前に降伏歪程度に留っていた部分が急激に降伏した。これは先に述べた補修後のひび割れの入り方とも一致する。

ところで、鋼材を歪硬化にいたるまで塑性変形させた後、ある期間放置しておく除荷時の応力より高い応力で降伏棚が現われる現象が歪時効として知られている。図9は、試験体B1の主筋中央の歪の履歴に従って同一ロットのD16を塑性変形させ、補修前後の実験とほぼ同じ期間放置した後の再試験結果である。このように補修後は鉄筋の降伏強度が局所的に高くなっていることが予想されるが、本試験体のように純曲げを受ける場合は補修前のダメージで塑性歪の小さかったところから塑性化が進むため、著しい耐力上昇はみられない。これに対して、せん断力が生じる部材の場合は影響が大きいことが予想される。

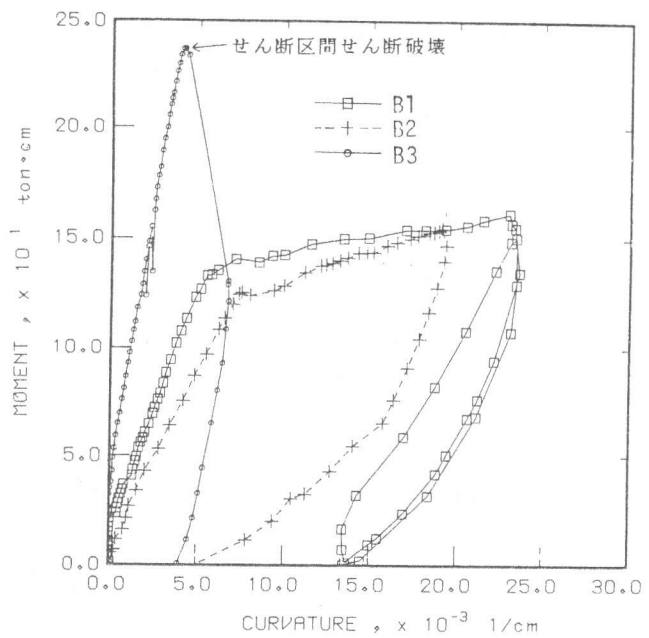


図4. モーメント-曲率関係

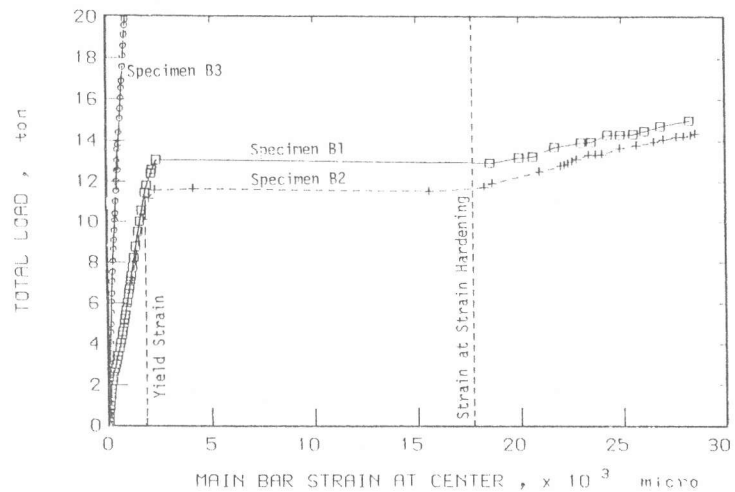


図5. 荷重と主筋中央の歪度との関係

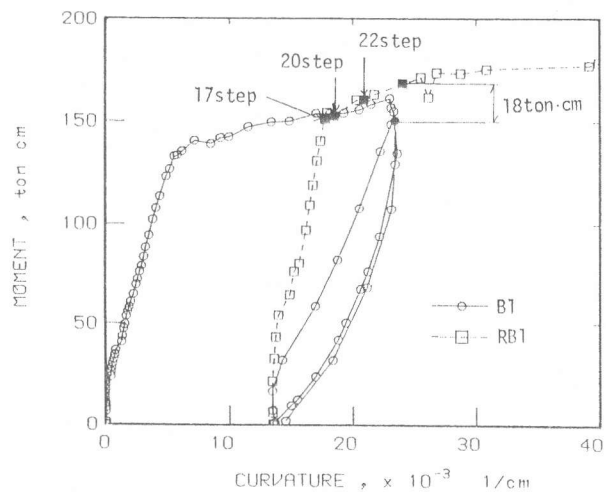


図6. 試験体B1とRB1のモーメント曲率関係

4 結 論

(1) 圧縮縁に充填された樹脂モルタルは補修後の耐力上昇には貢献しない。

(2) 引っ張り縁にかぶり厚程度に充填された樹脂は引っ張り力を負担し、部材の剛性、耐力に影響を与える。

(3) 純曲げを受ける部材では補修前後で主筋の局所的な歪の進展に違いがみられたが、補修後に顕著な耐力上昇はなかった。

謝辞：本研究は昭和58年度文部省科学研究費補助金奨励研究（課題番号58750476、研究代表者 田才晃）によった。本研究を行なうに当たり御協力頂いた東京大学工学部助手細川洋治氏、ならびにショーボンド建設中央研究所宗栄一氏に感謝致します。

参考文献：(1) Celebi M., J. Penzien: "Hysteretic Behavior of Epoxy Repaired Reinforced Concrete Beams", College of Engineering, University of California, Report No. EERC73-5, February, 1973.

(2) 木村英夫、村上雅英、今井弘他：“補修前後の実大RC柱の弾塑性性状に関する実験的研究”日本建築学会学術講演梗概集（北陸）、昭和58年9月、pp2183 - 2186。

(3) 田才晃、小谷俊介、青山博之：“腰壁付き梁柱接合部のエポキシ樹脂注入補修に関する実験的研究”第5回コンクリート工学年次講演会講演論文集、1983年6月、PP.261 - 264。

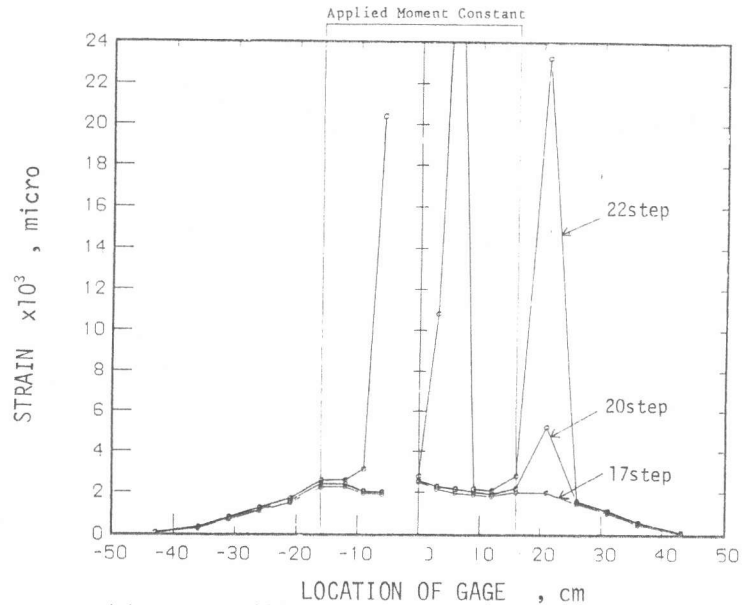


図 7. 試験体RB1の降伏直後の主筋歪分布

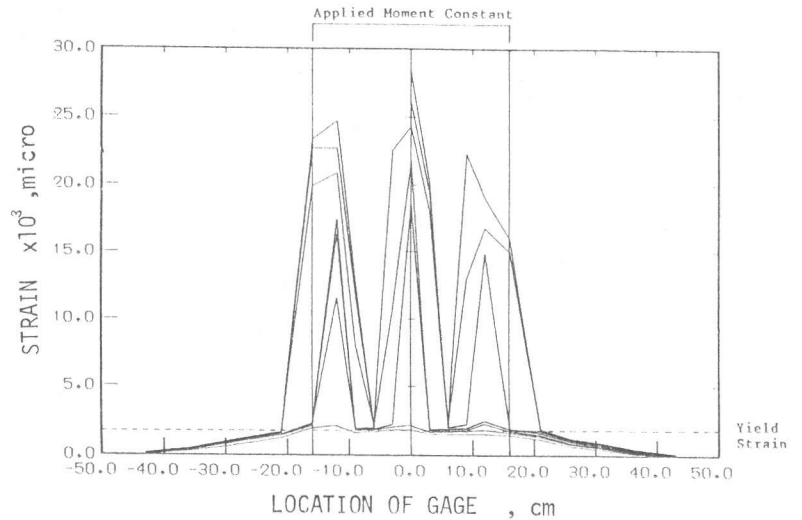


図 8. 試験体B1の降伏後の主筋歪分布

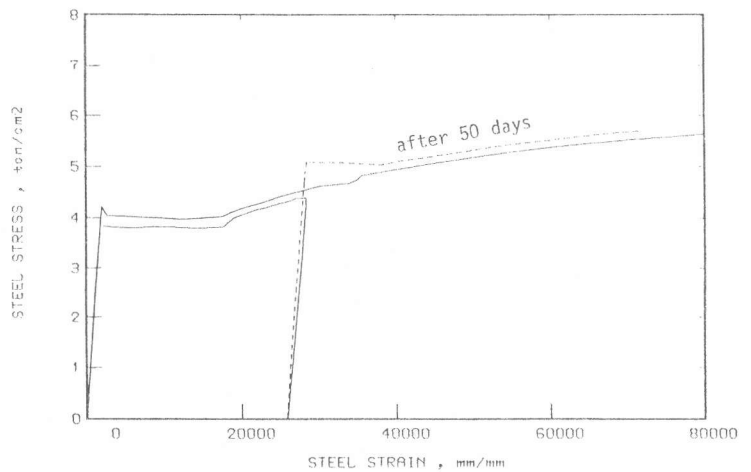


図 9. 材料試験による鉄筋の歪時効