

[164] 鉄筋コンクリート造曲げ部材の補修後の耐力に関する研究

正会員 ○田才 晃 (東京大学工学部)
 山田 哲弥 (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

靱性の高い骨組は、地震により一部の部材に曲げヒンジが生じると考えられる。

既往の実験的研究によると、曲げ部材では、補修後に耐力が上昇する傾向が見られるが(例えば文献(1))、その原因は不明であった。本研究はこの耐力上昇の原因を実験的に明らかにしたものである。

2. 実験概要

試験体： 試験体は全4体(試験体名をC1,C2,C3,C4とする)で、曲げ降伏がせん断ひび割れに先行するよう設計された。補修後の荷重によっても処女荷重時と同一の断面で降伏が生じることを考慮した。形状及び配筋を図1に示す。有効せい d は 18cm で全試験体共通である。下端主筋はどの試験体も D13 (SD35) 2本であるが、C3を除く3体は危険断面となる中央柱型のフェイスの位置で、切削加工により長さ 4cmにわたって主筋径を小さくした。切削された円形断面の直径は 1.08cm で公称断面積に対する切削断面積の比の逆数は 1.35 である。こうすることによって、補修前の加力で危険断面が歪硬化に入り再加力時の降伏モーメントが増大しても上昇率が35%以下であれば、補修後の加力においても危険断面における降伏が先行し、同一断面の性能を補修前後で評価できる。さらにひび割れ発生位置も同一箇所となるよう危険断面位置下端に主筋被り厚さの深さで幅 1cmのノッチを入れた。これらの試験体と併せて、せん断力の生じる実構造部材の補修後の性状を検討するため、試験体C3では切削していない通常の状態での主筋を配し、ノッチも入れなかった。上端主筋は、繰り返し荷重を行なった試験体C4のみ 3-D13を配した。

加力方法： ネジ式変形制御

型200ton万能試験機(図1)に

より、軸力が生じないように梁端をピンローラー支承で支え、中央の柱型に集中荷重を行なった。繰り返し荷重は試験体の上下を反転させて行なった。

各試験体の荷重履歴を図2に示す。処女加力は除荷時まで危険断面主筋の歪でモニターし、試験体C3を除いて鉄筋が歪硬化に載る 3.00%前後を加力のピークとした。試験体C1とC2は全く同じ履歴を与え、C1は補修を行わずに、C2は補修を行なって、再加力した。試験体C4は補修後の耐

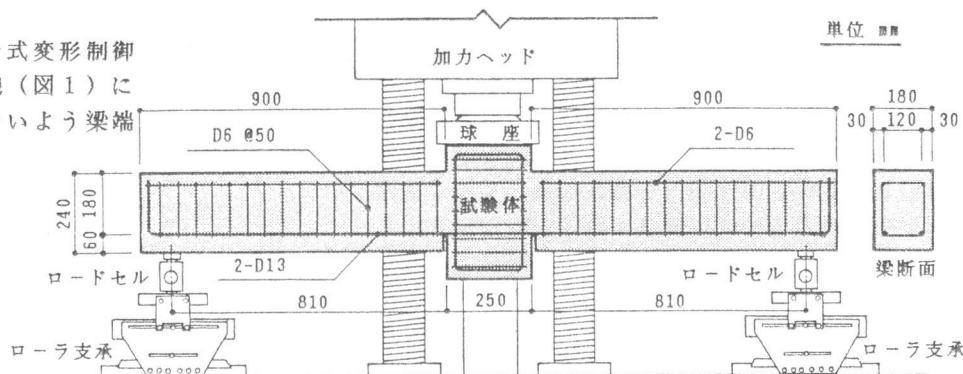


図1. 試験体配筋および加力装置

表1 材料の性質

(a) コンクリート		
	材令59日	材令103日
圧縮強度	180 kg/cm ²	192 kg/cm ²
割裂引張強度	15 kg/cm ²	14 kg/cm ²
(b) 鉄筋 (SD35, D13)		
降伏応力度	4.68 ton/cm ²	
降伏歪度	0.00215 %	
ヤング率	2172 ton/cm ²	
歪硬化開始時の歪度	0.022 %	
引張強度	5.76 ton/cm ²	
(c) 注入エポキシ樹脂		
圧縮強度	556 kg/cm ²	
引張強度	246 kg/cm ²	

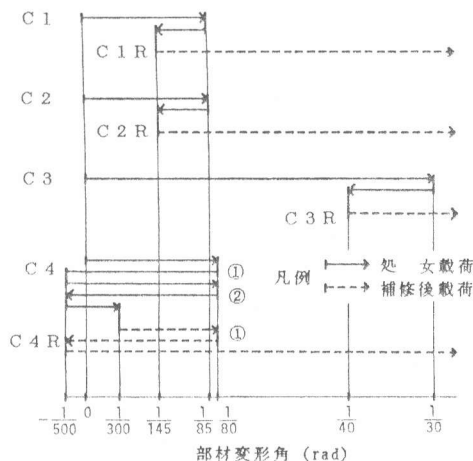


図2. 荷重履歴

力と共に履歴ループの差を見るために、下端筋のみを降伏させて正負2回の比較的大振幅の繰り返し載荷を行なった。どの試験体も処女加力による残留変形を修正せず、処女加力から約40日を経て補修後の加力を行なった。計測方法： 変位については下端主筋位置で柱型フェイスから $d/2$ 、 d および支点の位置での柱型に対する相対鉛直変位、および柱型フェイスから d の範囲のせん断変形を測定した。主筋切削位置の歪は塑性ゲージにより測定した。また切削部分以外の位置で降伏が起こらないことを確認するため切削部分近傍の歪も測定した。試験体C1,C2 は片側の梁の危険断面付近のコンクリート表面に、圧縮縁から 5 mm の位置から 1 cm 間隔で検長 60mm の歪ゲージをはり、中立軸の変化をみた。

補修方法： どの試験体も処女加力によりコンクリートの圧壊、剥落は生じなかったので、ひび割れにエポキシ樹脂を注入する補修のみを行なった。樹脂の注入は、ひび割れを樹脂でシールした後、ゴム製の注入器具を用いて低圧でゆっくりと行なった。補修後の試験体はそれぞれの試験体名に R を付けて識別する。

材料の性質： コンクリート、鉄筋、および注入に用いた樹脂の性質を表1に示す。鉄筋の材料試験は、時効効果による降伏点応力の変化を見るために試験体の加力時期に合わせて2回行なった。結果を図3に示す。歪硬化領域から除荷した後、数十日を経ると、除荷点の応力度より5%程度高い応力で降伏点および降伏棚が現われた。

3. 実験結果の検討

試験体C1およびC2： 両試験体とも処女加力における最大変形時にもせん断ひび割れは発生せず、全体変形に占めるヒンジゾーンでのせん断変形の割合は全変形過程を通じて微小であり曲げ降伏が卓越する挙動を示した。C1、C2とも補修前後の加力で主筋切削部分近傍の歪は材料試験における降伏歪を超えず、危険断面でのみ降伏が生じた。補修後の変形が処女加力における残留点から始まったものとして梁端の荷重と撓みの関係を図4に示す。試験体C2Rの初期剛性は試験体C1Rより高く処女試験体の初期剛性と同程度に回復しており引張側のひび割れを補修した効果がみられる。処女加力および補修後の加力

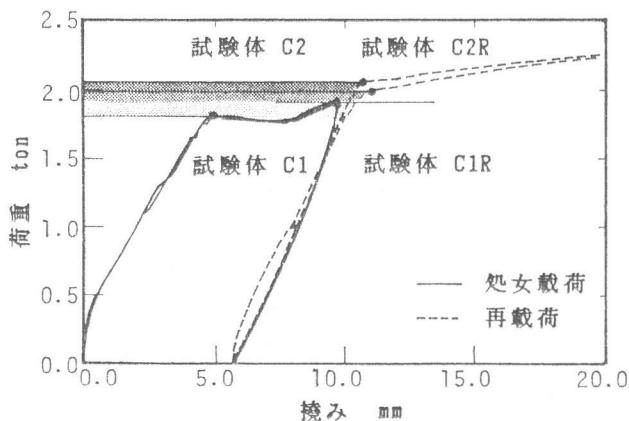


図4. 梁端荷重と撓みの関係 (南梁)

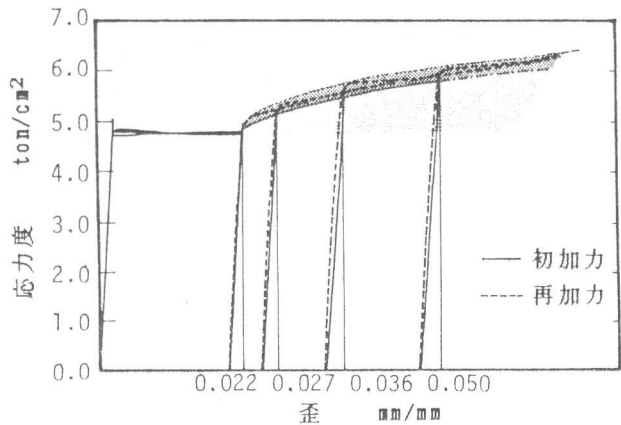


図3. 鉄筋の時効効果

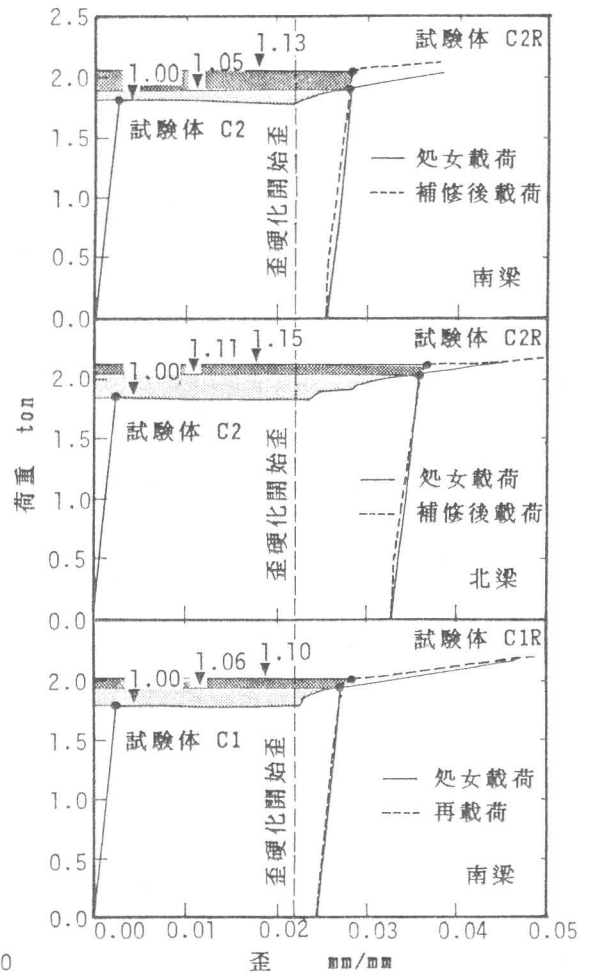


図5. 鉄筋の歪と梁端荷重の関係

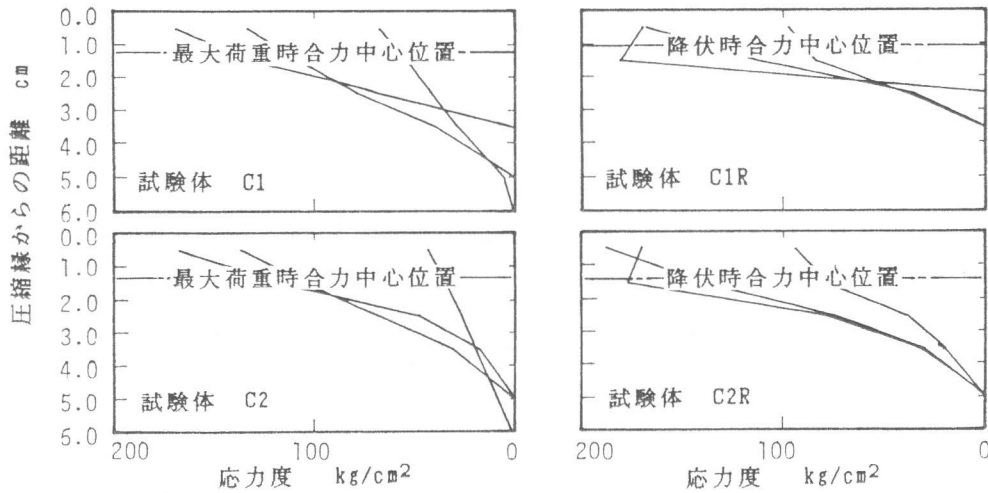


図6. 圧縮応力分布と合力中心位置

における剛性の急変点を部材の降伏点とみなし図中に黒丸で示す。両試験体とも再加力時の降伏耐力は処女加力における降伏耐力はもとより、補修前のピーク時の耐力よりも高かったことが分かる。

試験体C2Rの降伏点応力がC2のピーク時の耐力よりも高くなった原因として、(a)鉄筋の時効効果による降伏点応力の上昇、(b)補修により降伏時の圧縮合力位置が高くなった、(c)注入された樹脂が引っ張り力を負担した、ことが考えられる。本実験では軸力がないので、これらの要因により梁端せん断力は比例的に高くなる。(a)については樹脂注入補修の有無に拘らず降伏点応力が上昇しているのではほぼ確実な原因である。危険断面における主筋の歪に対して荷重をプロットすると図5のようになる。処女加力では歪硬化の始まる歪から部材耐力が上がりはじめており、鉄筋の応力が部材耐力を決めていることが分かる。補修前のピーク時の耐力に対する補修後の降伏耐力の上昇率は、C1で3%、C2で4%~8%でばらつきはあるものの平均すると2.5で述べた鉄筋の時効効果による上昇率5%にほぼ等しい。したがって、(c)の原因は支配的とは考えられない。次に、圧縮側のコンクリートの歪分布から圧縮応力分布と合力中心位置を求めた結果を図6に示す。応力への変換は1軸圧縮における岡田のルールを用い、処女加力による残留応力を考慮した。試験体C2Rの降伏時合力中心位置は、試験体C2の最大荷重時の合力中心位置に等しい。したがって、(b)は生じていない。

以上のことから、補修後も同一断面が降伏する場合、降伏耐力が上昇し、その原因は主筋の歪硬化および時効効果による降伏点応力の上昇であるといえる。残留変形が1/150rad程度であれば、処女部材の降伏耐力に対する補修後の降伏耐力の上昇割合は約15%でそのうち主筋の歪硬化による分が10%、時効効果による分が5%である。

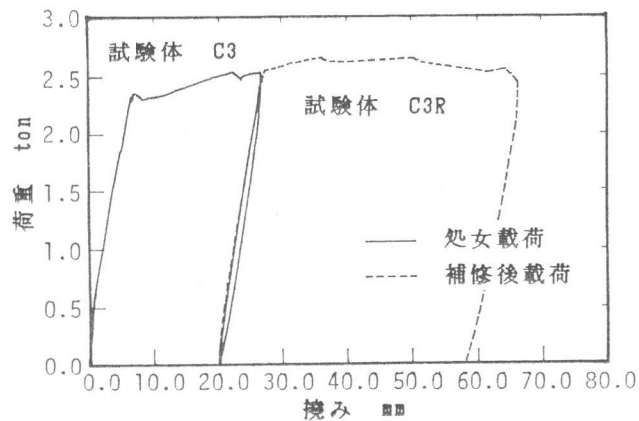


図7. 南梁端の荷重と撓みの関係(試験体C3及びC3R)

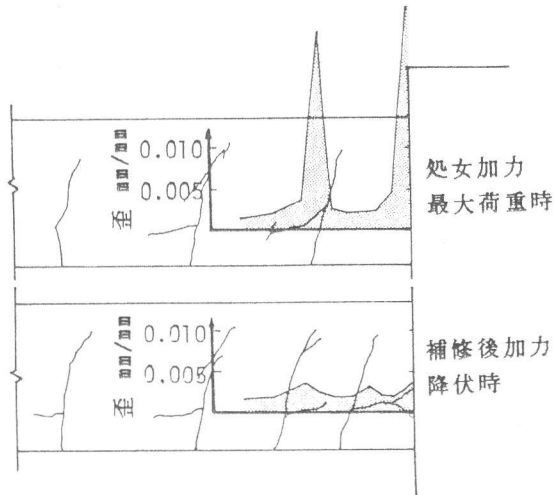


図8. ひび割れと主筋歪分布(試験体C3及びC3R)

試験体C3: 南梁の梁端変位と荷重の関係を図7に示す。補修後加力での降伏耐力は2.55 tonで処女加力における降伏耐力2.33tonを上回ったが、処女加力の最大耐力2.54 tonとほぼ同程度であった。補修前後で同一断面で降伏が先行すれば耐力が上昇するはずであるのにそうならなかったのは、ひび割れに樹脂を注入したことにより補修後のひび割れ発生位置が補修前と変化し、同一断面で降伏が起こらなかったことが考えられる。

南梁危険断面付近の処女加力および補修後加力により発生したひび割れ状況の図と、処女加力の最大変形時および補修後加力の降伏時での主筋の歪分布を、軸方向の位置を合わせて図8に示す。ひび割れの発生位置は補修により変化しており、それに合わせて歪が進展する位置も変化している。危険断面では、処女加力で歪硬化に入っており、補修後の降伏応力が高くなっているはずで、補修前に降伏歪に達しなかった危険断面以外の箇所が補修後先に降伏を起こせば、そこで耐力が決まることになる。

実際の補修においては、被りコンクリートの代わりに樹脂モルタルの充填が行なわれる。これは、危険断面の主筋を切削加工するのと同様に危険断面の鉄筋のみを降伏させる効果があると考えられる。これは既報の実験結果(文献2)から推定される。

試験体C4: 補修前後の加力での中央荷重と中央撓みの関係を図9に示す。

本試験体では、ひび割れの開閉が全体の挙動におよぼす影響を見るため、下端主筋のみを降伏させ、上端筋は弾性範囲に留めた。補修後の履歴は、正方向(下端降伏)では、処女加力の第2サイクルと重なっており、明確な降伏点が現われなかった。負方向では、剛性が上がり始める変形が、処女試験体の原点ではなく、補修後加力の原点、すなわち処女加力による残留点に変わっている。剛性の向上は、正方向で開いたひび割れが、負方向で閉じることによって生じることが軸方向変位計の測定値から確認されており、補修によってひび割れに樹脂が満たされたことにより、復元力特性の違いとなって現われたと言える。このように補修後の復元力特性は、処女部材の経験履歴および補修の効果によって元の部材とは異なったものとなる。

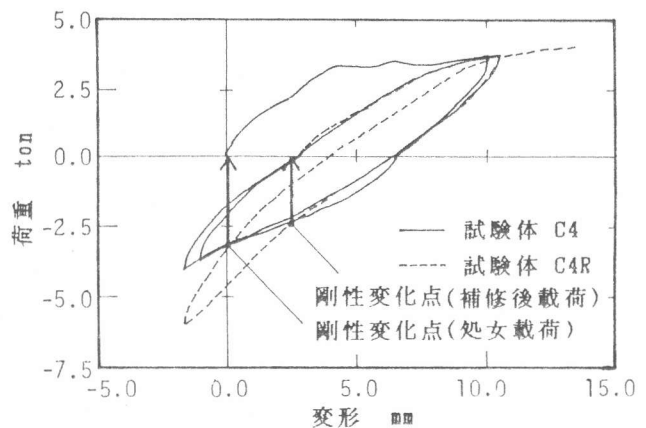


図9。試験体C4とC4Rの荷重変形関係

4. 結論

- (1) 曲げ降伏した後補修された部材が、補修前と同一断面で降伏すると、補修後の降伏耐力は処女部材の降伏耐力よりも上昇する。その原因は、鉄筋の歪硬化および時効効果による降伏点応力の上昇である。
- (2) せん断力の生じる曲げ部材では、ひび割れに樹脂を注入する補修により、降伏耐力が処女部材の降伏耐力より上昇する。その原因は、危険断面以外の位置で降伏が先行するためである。
- (3) 補修後の復元力特性は、地震時に部材の受けた履歴およびひび割れの補修効果により、処女部材とは異なったものとなる。

謝辞: 本研究は昭和59年度文部省科学研究費補助金奨励研究によった。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(株)佐藤尚昭氏に感謝致します。

- 参考文献: (1) 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
 (2) 田才晃、北山和宏、小谷俊介、青山博之: "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" 第6回コンクリート工学年次講演会講演論文集 1984年7月, PP.625-628