

純曲げを受ける鉄筋コンクリート梁のエポキシ樹脂による補修効果

その2 エポキシ樹脂注入補修の効果について

正会員 ○ 北山和宏 \*1 同 田才 晃 \*2  
同 小谷俊介 \*3 同 青山博之 \*4

1) 序

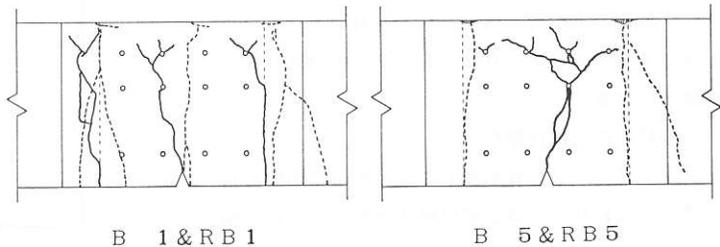
その1で詳述した6体の試験体のうち、せん断補強区間がせん断破壊した試験体B3を除いた5体にエポキシ樹脂注入補修を施し、再試験を行なった。本報では、この5体のうち標準試験体B1とモーメント一定区間の主筋の付着を絶縁した試験体B5とをとりあげ、補修前後の挙動についての説明を試みる。なお、試験体B1、B5を補修後はそれぞれRB1、RB5と名づける。また再試験の方法は補修前の試験と同じであるので、ここでは省略する。

2) ひびわれ状況

補修前後の試験による最終ひびわれ状態を図1に示す。再試験によるひびわれは、試験体RB1、RB5ともに補修したひびわれをよけて入っている。ただ、試験体RB1では補修されたひびわれの近傍にひびわれが発生しているのに対して、試験体RB5では中央部分には発生せず南北両変断面部分に生じている。

3) モーメントー曲率関係

モーメントー曲率関係を図2に示す。残留変形の修正はしなかったため、補修後再試験時のモーメントー曲率関係は残留点からプロットしてある。曲率は、中央試験区間における圧縮縁コンクリートの平均ひずみと、同じ中央18cm区間の主筋の平均ひずみとから求めた。主筋と同位置のコ



--- 補修後加力による最終ひびわれ

図 1. 最終ひびわれ状態

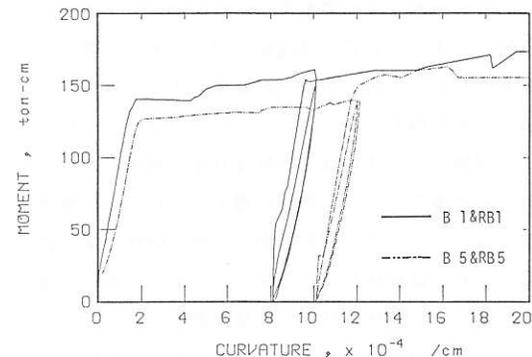
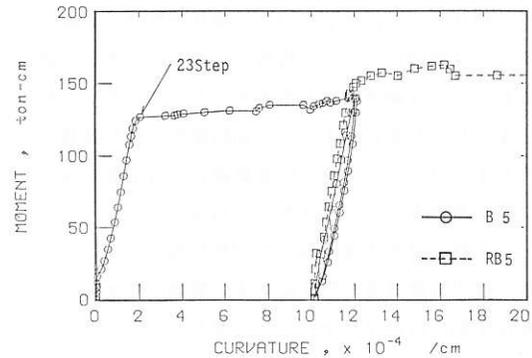
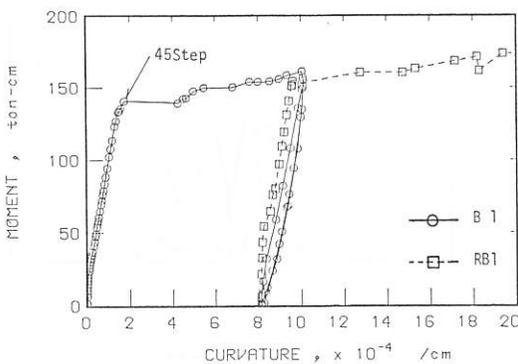


表 1. 各試験体の剛性 (ton-cm<sup>2</sup>)

試験体	初期剛性	降伏剛性
B 1	39.9	7.8
RB 1	40.9	7.2
B 5	30.8	5.9
RB 5	25.4	8.2

図 2. モーメントー曲率関係

コンクリートの軸方向変位も測定しているが、試験体 B 1, R B 1 については主筋のひずみとほぼ等しい値を示しており、試験体 B 5 ではコンクリートの変位の方が大きい値を示している。試験体 R B 5 では中央試験区間にひびわれが生じなかったためにコンクリートの変位はきわめて小さいものになっている。試験体 B 5, R B 5 では、ひびわれ発生後のモーメント一定区間の引張力は主筋のみが負担しているはずなので、曲率を求めるのにモーメント一定区間の主筋の平均ひずみを用いた。図 2 からわかるように、試験体 R B 1 では耐力の上昇は観察されず補修前の試験体 B 1 の曲線とほぼ連続しているのに対し、試験体 R B 5 では約 15% の耐力上昇がみられる。試験体 B 1 と B 5 とを比較すると、試験体 B 1 のほうが高い耐力を有しているのがわかる。また、試験体 R B 1 と R B 5 との部材降伏後の曲線はほぼ重なっている。

#### 4) 初期剛性・降伏剛性

モーメント零とひびわれが生じた点とを結ぶ剛性を初期剛性、ひびわれ発生点と部材降伏発生点とを結ぶ剛性を降伏剛性と呼ぶことにする。各試験体の初期剛性、降伏剛性の値を表 1 に示す。初期剛性は、試験体 R B 1 では補修前と同程度に回復し、試験体 R B 5 では補修前の約 80% に回復している。降伏剛性は、試験体 R B 1 では補修前とほぼ同程度に回復しているが、試験体 R B 5 では補修前よりも大きくなっている。試験体 B 1 と B 5 とを比較すると、初期剛性・降伏剛性ともに B 1 のほうが大きく、付着絶縁によって同一荷重時の変形量は大きくなるのがわかる。

#### 5) 主筋のひずみ度分布・応力度分布

主筋のひずみ度分布を図 3 に示す。縦軸にひずみ度を、横軸に主筋内のひずみゲージの位置をとったものでありプロットしたステップ番号をあわせて記してある。試験体 R B 1, R B 5 では残留ひずみをすべて零に初期化してプロットしてある。試験体 B 1 は、3つのひずみ突出部を持ちこの位置にひびわれがはいっている。一方、試験体 R B 1 では、試験体 B 1 で降伏ひずみ程度だった位置でひずみが急激に増大している。試験体 B 5 では、モーメント一定区間で様に降伏ひずみに達したあと、試験体 B 1 とは異なった形でひずみが増大してゆく。試験体 R B 5 も同様である。

次に、主筋のひずみ度を応力度に直したものを図 4 に示す。鉄筋の  $\sigma - \epsilon$  関係は材料試験によって得られた

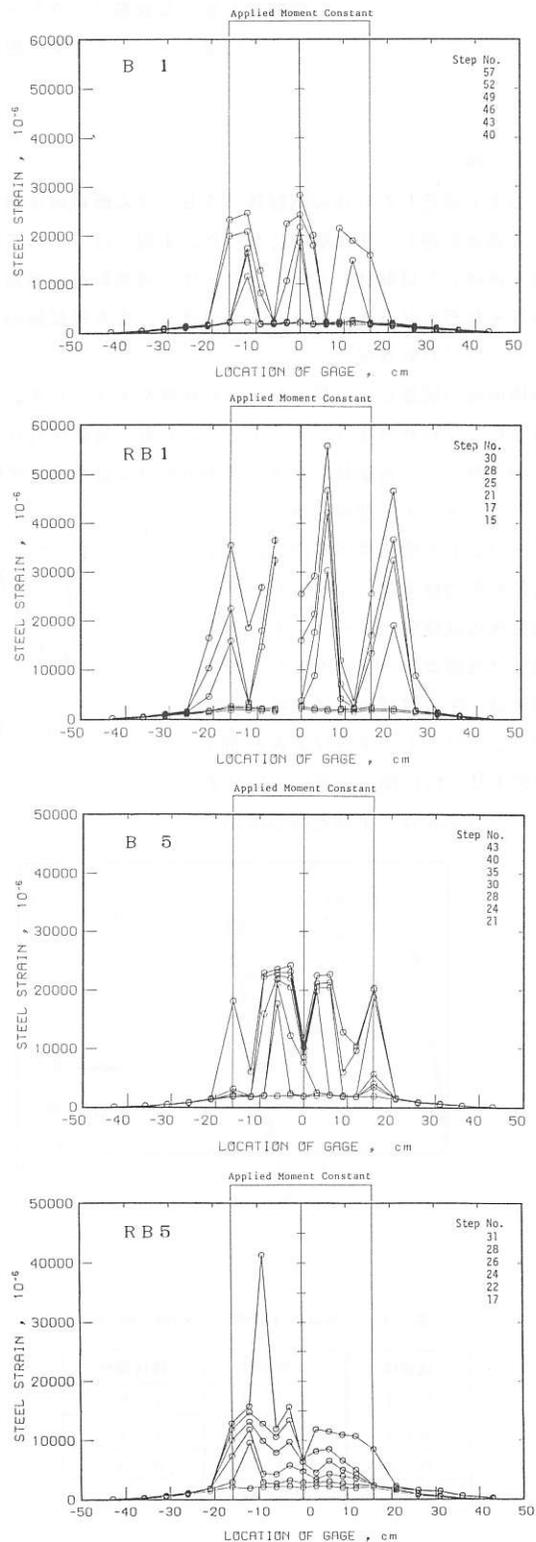


図 3. 主筋のひずみ度分布

図5に示すものを用い、補修後の試験については鉄筋の時効効果を考慮している。時効効果とは、鋼材を歪硬化に至るまで塑性変形させたのち、ある期間放置しておくで除荷時の応力よりも高い応力で降伏棚があらわれる現象である。図5は試験体B1の主筋中央のひずみの履歴に従って同一ロットのD16を塑性変形させ、補修前後の試験とほぼ同一期間放置したのちの再試験結果であり、再試験時の降伏応力は、前試験時最大応力よりも約15%上昇している。これらの図から、試験体B1、B5の主筋の応力にはたいした差がなく、補修後の試験体では、時効効果、歪硬化のために補修前より大きい応力を有しているのがわかる。試験体B1、B5の主筋の応力にたいした差がないことから、両試験体の間の耐力の差は応力中心間距離のちがによるものと思われる。

#### 6) 圧縮コンクリートのひずみ

3つの変位計によって測定された上縁コンクリートのひずみを図6に示す。測定間隔は各60mmでありその中央で値を代表させ直線で結んだ。試験体B5は23ステップで降伏しており、このとき図 からわかるように上縁コンクリートのひずみは一部分で2500 $\mu$ を越えており応力としては最大強度から減少する負勾配上にあると考えられ、主筋もモーメント一定区間で一樣に降伏している。一方、試験体B1は45ステップで降伏しており、主筋降伏(40ステップ)後もしばらくは上縁コンクリートの負担する圧縮力が増加し45ステップでも上縁コンクリートのひずみは2500 $\mu$ に達していない。このことから、部材降伏時の応力中心間距離は試験体B1のほうが大きいといえよう。試験体B5は主筋の付着を絶縁しており同一荷重時の変形量は試験体B1よりも大きい。このことから、試験体B5の圧縮コンクリートが試験体B1のそれと比較して、より小さい荷重で最大強度に達することがわかる。

試験体RB5に耐力上昇がみられ、試験体RB1にみられなかった理由として以下のようなことが考えられる。試験体RB1では補修したひびわれのすぐそばにひびわれがはいる、ひびわれ上部のコンクリートが圧壊したが、この部分のコンクリートは補修前の試験によって劣化していると考えられ圧縮力の作用位置は試験体B1の作用位置よりもさらに下がっていると思われる。そのため、応力中心間距離が短くなった一方で、

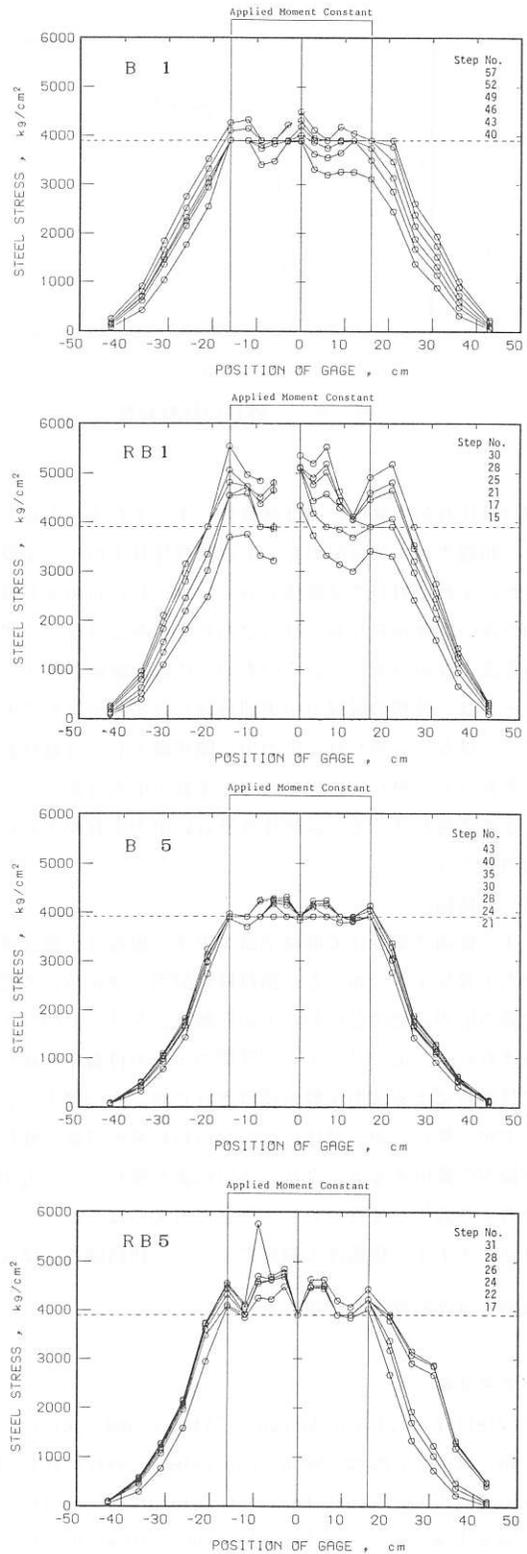


図 4. 主筋の応力度分布

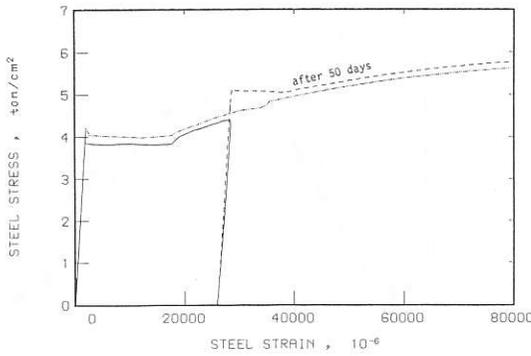


図 5. 鉄筋の材料特性

部材降伏時の主筋の応力は試験体B 1のそれよりも高くなっており、相殺されて部材耐力としては試験体B 1のM-Φ関係と連続した。それに対して試験体B 5ではひびわれが中央だけにはいり、補修後の試験体R B 5ではひびわれは中央にははならず南北両変断面部にはいつている。そのため、この変断面部分の圧縮コンクリートは、最初の試験で中央部分ほどひずみが進んで劣化していることはないと思われ、応力中心間距離としては補修前後の試験でそれほど差がないと思われる。主筋の応力は高くなっていることを考え合わせると、試験体R B 5に耐力上昇がみられたことも説明がつく。

### 8) 結論

(1) 純曲げを受ける部材ではエポキシ樹脂注入補修後の試験で耐力上昇を示さなかった。部材降伏耐力を決定づける要因として、主筋の応力の他にひびわれ上の圧縮コンクリートのひずみ履歴があげられる。モーメント一定区間の主筋の付着を絶縁した試験体では補修による耐力上昇が観察されたが、その理由として主筋の応力が上昇し、かつ補修前後のひびわれ発生位置の変化によって圧縮力の集中するコンクリートの位置が変わり、応力中心間距離があまり変化してないということが考えられる。

(2) エポキシ樹脂注入補修によって、初期剛性、降伏剛性は補修前とほぼ同程度に回復した。

### <参考文献>

- \*Hewlett P.C., J.G.D.Morgan: "Static and cyclic response of reinforced concrete beams repaired by resin injection", Magazine of Concrete Research Vol.34, No.118, March, 1982, pp.5-17.
- \*Chung H.W.: "Epoxy-Repaired Reinforced Concrete Beams", ACI Journal, May, 1975, pp.233-234.
- \*Chung H.W.: "Epoxy Repair of Bond in Reinforced Concrete Members", ACI Journal, January-February, 1981, pp.79-82.

\*1 東京大学大学院 \*2 同 助手 \*3 同 助教授 \*4 同 教授

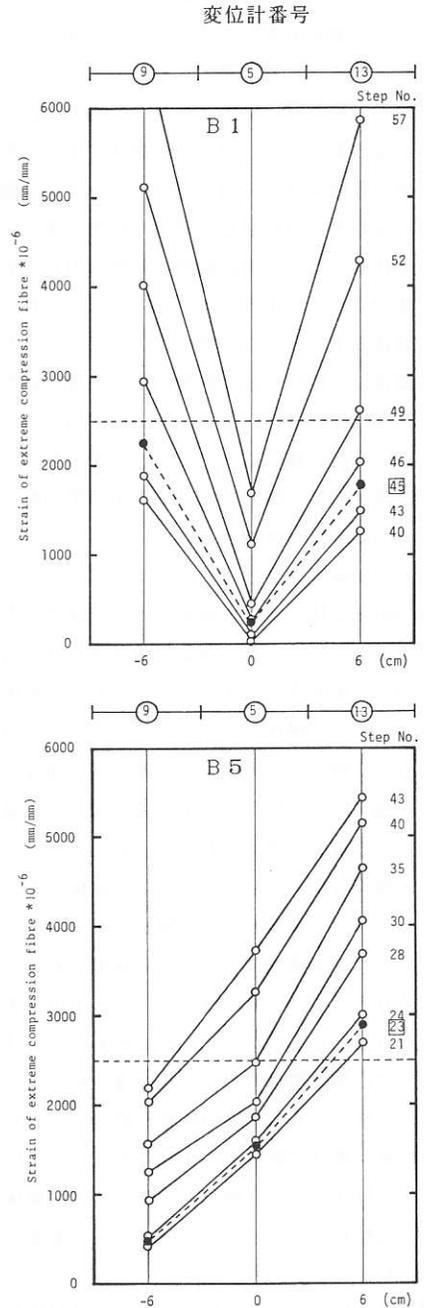


図 6. 上縁コンクリートのひずみ度分布