

[67] 大変形後の鉄筋コンクリート造開口壁の補修に関する実験研究

正会員 ○周 小真 (東京都立大学工学部)

正会員 東 洋一 (東京都立大学工学部)

正会員 遠藤 利根穂 (東京都立大学工学部)

正会員 清水 泰 (東京都立大学工学部)

1. はじめに

震災を受けた建物の補修の一つの方法として、エポキシ樹脂を用いてひびわれ等を修正し、部材の断面性能を回復する方法がある。その補修効果について、いままで多数の研究が進められて来た。^(2~4) しかしながら、震災を受けたRC構造物においては、ひびわれ補修だけではなく、せん断破壊などの大損傷を受けた場合の補修も問題となる。これらの大損傷を受けた建物の補修には、破損部に沿ってコンクリートを主筋の位置まではつり取ってフープ筋を巻きなおし、コンクリートを打設し、さらにひびわれ部分もエポキシ樹脂の注入により補修する事が多いが⁵⁾、この大損傷した建物の補修効果に関する研究例はあまり見受けられない。

本論文は、以上の事項に着目して筆者等が前年度に行った「斜めワイヤーマッシュで補強した鉄筋コンクリート造開口壁に関する実験研究」¹⁾に於いて、大変形を生じさせた形状の異なる二種類2体の試験体を取りあげ、これを補修し、その補修効果を実験によって検討した結果をまとめたものである。すなわち、試験体の壁板及び柱部分の破損しているコンクリートをはつり取り、破断した鉄筋を添筋して溶接し、標準砂調合エポキシ樹脂を塗付し、ひびわれに対してはエポキシ樹脂注入による補修を施し、補修前と同様の多数回正負交番のくり返し静加力実験を行い、初期剛性、耐力及び変形性能等に関してその補修効果を比較研究したものである。

2. 試験体

試験体は実物の約 $\frac{1}{3}$ の縮尺の模型で、二種類2体である。試験体の形状寸法を図1及び表1に示す。No.1は柱・梁骨組内の有開口耐震壁で、柱心々間隔は1.8m、フレームの柱梁断面はともに $25 \times 25 \text{ cm}^2$ 、壁板の厚さは7.5cmである。No.2は壁式構造における有開口壁で壁の長さは2m、壁板の厚さは10cmである。両試験体の開口周比はともに0.25である。

配筋は柱、梁及び壁板の曲げ補強筋としてはD13を用い、壁せん断補強筋としてはD10を用いた。開口部の補強としては、両試験とも開口周囲に縦・横・斜の筋を配筋した。

試験体の製作に用いた使用材料の試験結果を表2に示す。

3. 補修方法

正負繰返しの水平力を受けて部材角 $\frac{1}{30}$ まで大変形を生じ、残留

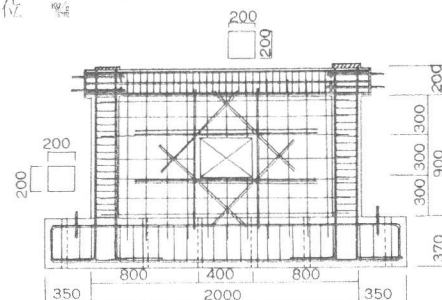
表1. 試験体一覧

試験体	γ	柱	壁			開口補強			軸力(t)
			曲げ筋	壁筋	厚	横	縦	斜め	
No. 1	0.25	主筋4-D13 フープφ50	-	D6@50	7.5cm	2-D13	2-D13	2-D13	2.4
No. 2	0.25	-	1-D13	D6@50	10.0cm	2-D13	2-D10	2-D10	1.6

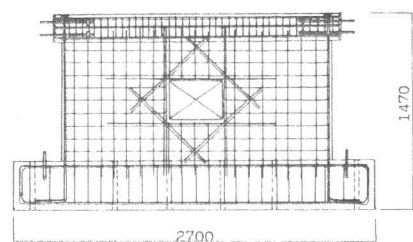
表2. 材料試験結果

試験体	コンクリート		鉄 筋		
	圧縮強度	引張強度	降伏強度	引張強度	引張せん断強度
No. 1	26.3	35	D13	3740	5540
No. 2	26.4	32	D10	3680	5730
	87		D6	3580	5330
補修材料	日産降伏強度	曲げ強度	引張強度	弾性係数	引張せん断強度
液状エポキシ	897	808	570	2.55×10^4	169
ペーストエポキシ	1024	475	344	7.31×10^4	125

単位 %



No. 1



No. 2

図1 配筋図

変形部材角約 $\frac{1}{5}$ の両試験体は壁筋と柱脚部のせん断補強筋が数本破断されており、開口部横と脚部のコンクリートが圧潰し、約・1.5 cm沈下した。その補修方法としては、次のように計画した。

試験体の復元としては基礎梁と開口部上端に油圧ジャッキをセットして沈んだ加力ばりや開口部上部を持ち上げ、更に壁の両側の軸心線を基にして、耐震壁のねじれを修正し、壁板及び柱で破損しているコンクリートをたがねを用いてはつりおとし、座屈した鉄筋を矯正し、破断した鉄筋には同材質、同径の添筋を溶接した。

No. 1 のはつり部分にはパテ状エポキシ樹脂を用いて、断面修正を行い、各ひびわれに20~50 cm間隔に注入パイプを付け、更に液状エポキシ樹脂を足踏ポンプにより加圧注入した。その後注入パイプのゴム部分のボートコーによる圧力(約3 ㎏)によって持続的にひびわれに注入した。

No. 2 では、両端壁脚部の破壊箇所には型枠を組立て、その中に砂粒(粒径2.5~5.0 mm)を平坦にならしながら充填し、更にエポキシを加圧注入した。その他の破損箇所や亀裂部ではNo. 1と同様に補修した。

なお、補修用パテ状エポキシ樹脂において、主剤、硬化剤の配合比は、重量比で7:3になっている。液状エポキシ樹脂の配合比は重量比で主剤3に対して、硬化剤を1の割合で混合したものを用いた。補修後の試験体の写真は図2に示す。

4. 実験方法

両試験体はエポキシ樹脂で補修後約一週間で加力を行った。

加力装置を図3に示す。補修前後に於ける試験装置及び予定荷重履歴は同一のものとした。試験体に表1に示す所定の軸方向力を与え、これを水平加力中常に一定に保ち、水平加力を左右柱頭で2台の50 ton 油圧ジャッキを連動させて押し引き同時加力として、多数回正負交番の繰り返し静加力実験を行った。荷重履歴は頂部部材角で制御し、部材角 $R = \frac{1}{500}$ で1回、 $R = \frac{1}{200}$, $\frac{1}{100}$ で各4回繰り返した後、負側に押し切る事を計画した。

測定はゲージホルダを試験体基礎部分に固定し、加力梁中心線と柱中心線の交点の水平鉛直変位を測定した。

5. 実験結果

補修前後の両試験体の実験によって得られた初期剛性、降伏点剛性、最大荷重及び計算による最大耐力の値等を表3に一括して示す。図4には、両試験体の補修前後の最終ひびわれ図を示す。図5には、両試験体の壁頂部で測定した水平変位とせん断力との関係を示す。なお、実線は補修前の試験体で、点線は補修後の試験体の荷重、変位曲線である。

次に、各試験体の破壊の進展状態について記す。

No. 1 : 補修前の破壊モードについては、壁板が比較的薄かったせいもあり、壁板に生じた斜めひびわれの本数

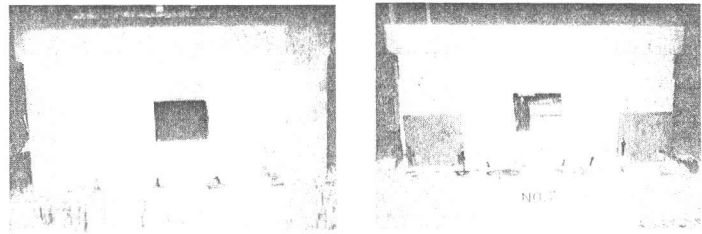


図2. 補修後の写真

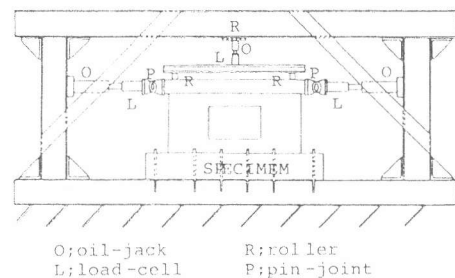
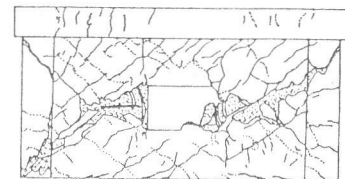
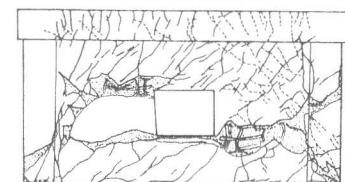


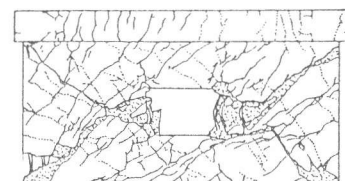
図3. 加力装置



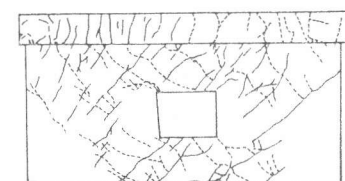
No. 1 補修前



No. 1 補修後



No. 2 補修前



No. 2 補修後

図4. 最終ひびわれ図

も少ない。部材角 $\frac{1}{200}$ で最大荷重に達したとき、開口部両側の壁板部とそれに連なる圧縮側柱脚がせん断破壊し、耐力は急激に低下した。なお、この時点まで開口隅角部補強筋と柱主筋の降伏は確認されなかった。更に、この後部材角 $R=\frac{1}{30}$ までの大変形領域までの加力を行った。この際に、壁筋と柱脚部のあばら筋が数本破断され、開

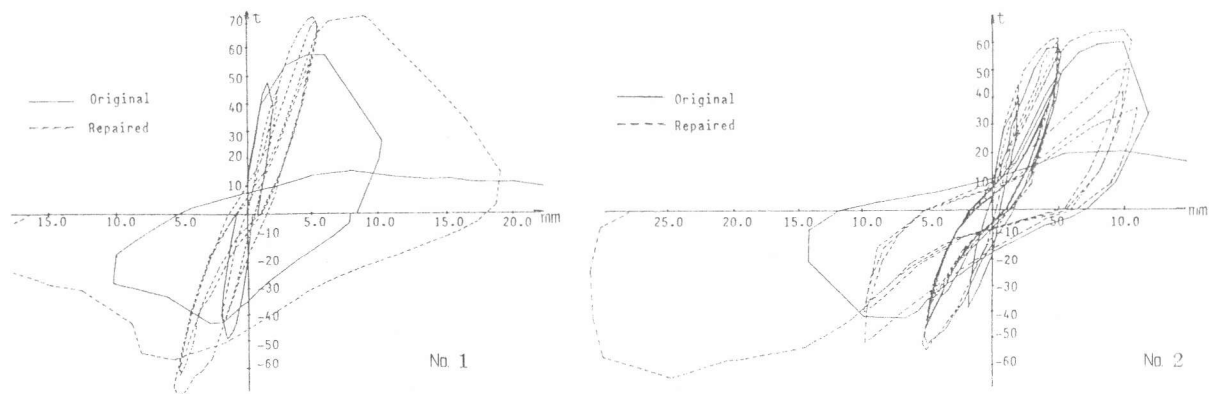


図5. 補修前後復元力特性

口部横のコンクリートが多量にはく落とし、柱が沈下した。一方、補修後の加力ではエポキシ樹脂を注入したひびわれは再び開くことはなかったが、その付近のコンクリート部分に新しいひびわれが多数発生した。部材角 $\frac{1}{200}$ の時に最大耐力が得られ、その後耐力は徐々に低下し、最終的には $-6C$ で押し切り加力を行ったが最 破壊面はもとのせん断破壊面から $20\sim30\text{ cm}$

表3. 実験結果一覧

単位 Q: ton δ : mm

試験体	初期剛性	降伏点剛性	降伏耐力		最大耐力		計 算 値		(実) / (計)		破壊モード
	KT	TKP	Qp	δ_{ps}	Qk	δ_{ms}	CQBC	CQSC	$\frac{Q_k}{CQBC}$	$\frac{Q_k}{CQSC}$	
No. 1 前	1140	180.7	54.2	3.0	57.6	4.6	71.0	61.1	0.81	0.94	せん断
No. 1 後	250	186.7	56.0	3.0	72.0	5.01	71.0	113.	1.01	0.94	せん断
後/前比	0.22	1.03	1.03		1.25		1.0	1.85	-	-	-
No. 2 前	1000	142.2	58.8	4.1	61.2	10.0	66.4	53.0	0.92	1.15	せん断
No. 2 後	708	143.9	60.0	4.17	66.0	9.32	66.4	98.1	0.99	0.68	曲 げ
後/前比	0.708	1.01	1.02		1.08		1.0	1.85	-	-	-

$$cQ_{BC} = \frac{1}{h} \left\{ 0.9 a_t \cdot \sigma_y \cdot D + 0.4 a_w \sigma_y D + 0.5 N \cdot D (1 - N / 1 \cdot D \cdot F_c) \right\}$$

$$cQ_{SC} = \left\{ \frac{0.068 p_{1c}^{0.23} (180 + F_c^*)}{\sqrt{M/Q}} + 0.12 \right\} + 2.7 \sqrt{p_w \sigma_y + p_{w1} \sigma_{y1} + p_{w2} \sigma_{y2} + 0.1 \sigma_e} \cdot b_e \cdot j \cdot r$$

算定式の記号は文献1参照、(*)補修後のものはエポキシ強度を使う。

くらい離れて生じ、スリップ状のせん断破壊となった。

No. 2: 補修前の破壊モードはせん断力の増加に伴い開口部周辺で壁板が圧潰し始め、最大耐力に達したとき、圧縮側壁脚部が圧潰し、部材角 $\frac{1}{25}$ のとき全体的なせん断破壊を生じ、両脚部のコンクリートが大きく剥落した。開口部周辺の壁筋も三箇所破断し、この時、軸力の保持が不可能になった。それに対して補修後は開口部横と壁脚部のせん断破壊の箇所にエポキシ樹脂を注入したため、せん断ひびわれはこの部分をさけた所に生じ、部材角 $\frac{1}{100}$ で最大耐力に達したときにも、急激なせん断破壊は生じなかった。最終的には壁板の曲げ補強筋と壁縦筋の一部が降伏した後、引き抜け、耐力が徐々に低下し、引張側壁脚部が大きく浮上り、補修した圧縮側が圧潰し、曲げ破壊となった。

6. 実験結果の検討

6-1. 初期剛性及び降伏時剛性

表3にみられるようにNo. 2では初期剛性が補修前と比べて7割まで回復しているが、No. 1では補修前より剛性が $\frac{1}{4}$ 程度に小さくなった。その原因としては、エポキシは小さい幅のひびわれには注入できないためNo. 1では剛性の回復がなかったが、No. 2は両端脚部のコンクリートを全面的にエポキシでとり替えたため材質が大幅に変化し、初期剛性の良好な回復が得られたものと思われる。その後、加力の増大に伴い、剛性は次第に補修前の値に近づいた。降伏時剛性はいずれも補修前より大きな値となった。

6-2. 耐力の検討

a) 曲げ降伏時耐力と終局時曲げ耐力の算定

両試験体の補修は曲げ破壊に対する危険断面（壁板と基礎梁の接合部）に対しては行わなかったため、曲げ降伏時耐力と終局時曲げ耐力の算定は補修前後共同様な算定式を採用することにした。

b) セン断耐力の算定

補修前の試験体のせん断耐力の算定は開口部の補強筋を考慮した修正大野荒川式による壁板のせん断耐力に開口低減率を掛け合せた算定式を採用した。（文献1）。補修後の試験体のせん断耐力の算定はコンクリートの圧縮強度のかわりにエポキシ樹脂の圧縮強度を採用して補修前と同様の計算式を用い略算した。

c) 耐力の検討

両試験体の補修前後の実験値および各耐力の計算値を表6-1に示す。両試験体共、補修後の降伏時耐力と最大耐力は補修前よりも高い値を得た。補修前の耐力の計算値が、実験値と良く一致したものに対して、補修後の曲げ耐力の計算値は実験値とほぼ等しい値となった。これは、壁板を補修した試験体ではせん断耐力が上昇し、曲げ耐力はほとんど変化しなかったためであると思われる。なお、補修後のNo1の破壊モードはせん断破壊となったが、曲げ降伏がせん断破壊に先行したため、最大耐力は曲げ耐力の計算値に近い値となっている。エポキシ樹脂の圧縮強度を考慮したせん断耐力の計算値を求めたが、これは最大耐力の実験値の約1.5倍の値となった。更に、エポキシ樹脂を含んだRC部材の弾塑性挙動を解明する事も必要であると考えられる。

6-3. 補修効果の検討

以上両試験体の補修前後の実験結果を比較すると、耐力、変形性能共補修後が前より良好な結果となった。その理由としては次の事項が考えられる。

a) 大変形後の試験体はコンクリートの破損が著しかったので、はつり部分が相当多かった。従って、高強度のエポキシ樹脂を多量に用いる事になり、試験体を構成している材料の材質が変化し、この為、耐力が上昇した。

b) バテ状エポキシ樹脂を用いて断面修正を行ったことと、小さいひび割れ幅のひびわれにエポキシ樹脂が充てんされること等により危険断面の位置が変化し、応力の増加が見込まれる様な状態となった。

c) 補修前の実験で鉄筋の抜け出しによってできた空隙にエポキシ樹脂が充填されていることが実験後に確認されており、この為、コンクリートと鉄筋の付着性能が向上した。

7. 結び

本実験によって、大変形までの加力を受けた後の有開口耐震壁でも、破損しているコンクリートをはつり取り、エポキシ樹脂等を用いた補修を施す事により初期剛性は充分回復できないが、加力の増大に伴って剛性は次第に補修前の値に近づいた。その補修方法によって、危険断面の位置が変化し、せん断耐力及び変形性能共に、大変形を受ける以前に近い状態までに回復することが可能であることが確認された。

参考文献

- 1) 東・遠藤他「斜めワイヤーメッシュで補強した鉄筋コンクリート造開口壁に関する実験的研究」 日本建築学会大会、昭和57年9月
- 2) 青山・小谷・田才他「RC部材の補修に関する実験的研究」 日本建築学会大会、昭和59年9月
- 3) 中田・関口他「RC梁-柱部材のエポキシ樹脂注入による補修効果に関する実験研究」 日本建築学会大会 昭和57年9月
- 4) 素木三郎他「RC構造物の構造補修効果に関する実験的研究」(その1)～(その2) 日本建築学会大会 昭和53年9月～54年9月
- 5) 川股重也・大沼正昭「鉄筋コンクリート建築物における補修、補強の実施例」コンクリート工学 1980. 3. P. 80