

繰返し二軸曲げ下で大きな損傷を受けた RC 柱の補修効果に関する実験的研究

中部大学大学院 学生会員 ○近藤貴紀 中部大学 加藤政宗
中部大学 山崎純太 中部大学 正会員 水野英二

1. はじめに

一般に、地震力などを受けて損傷した鉄筋コンクリート (RC) 柱の補修に関しては、損傷のレベルにより補修方法が異なる¹⁾。本研究では、柱基部で内部コンクリートの破壊および軸方向鉄筋の座屈・破断などの大きな損傷を受けた RC 柱²⁾の補修後の繰返し二軸曲げ下での耐震性能(補修効果)について実験的に検証した。

2. 供試体ならびに実験概要

補修の対象となった供試体は、「繰返し二軸曲げを受ける中間補強筋付き RC 柱 (新品柱) の耐荷特性に関する実験」²⁾で大きな損傷を受けた RC 柱 (損傷柱) である。その形状ならびに配筋の一例を図-1 に示す。供試体は、断面寸法 200×200 mm, 有効高さ 1000 mm とし、曲げ破壊先行型となるようにせん断スパン比を 5 に設定した。ここでは、軸方向鉄筋には D10 (SD295A) を 8 本、横拘束筋には D6 (SD295A) を間隔 $s = 65$ mm で配筋し、これに加え、中間補強筋として D6 (SD295A) を横拘束筋間の中間に X 字型または十字型に配筋した。

本実験では、後述する方法により損傷柱を補修した後の RC 柱 (補修柱) の耐震性能 (補修効果) を検証するため、写真-1 に示す二方向载荷装置を用いて繰返し実験を実施した。実験では、上部構造を想定して、一定軸力を累加軸耐力の 5% とした。なお、载荷形態として、図-2 に示す斜め载荷および矩形载荷を採用した。図中の δ_y は一方向载荷下での降伏変位であり、本実験では斜め载荷で $\delta_y = 5.35$ mm, 矩形载荷では $\delta_y = 6.0$ mm を採用した²⁾。新品・補修供試体の材料定数および軸力一覧を表-1 に示す。

3. 補修方法

本研究では、塑性ヒンジ部分 (柱基部上の柱幅 1D 区間) のコンクリートを除去した後、座屈・破断した軸方向鉄筋に対して以下の二種類の補修法 (図-3) を採用した。一つ (補修法 A) は、座屈・破断した先端部分を切断 (図-3 (a) の (1) → (2)), さらに熱処理によって成形した後 (図-3 (a) の (3)),

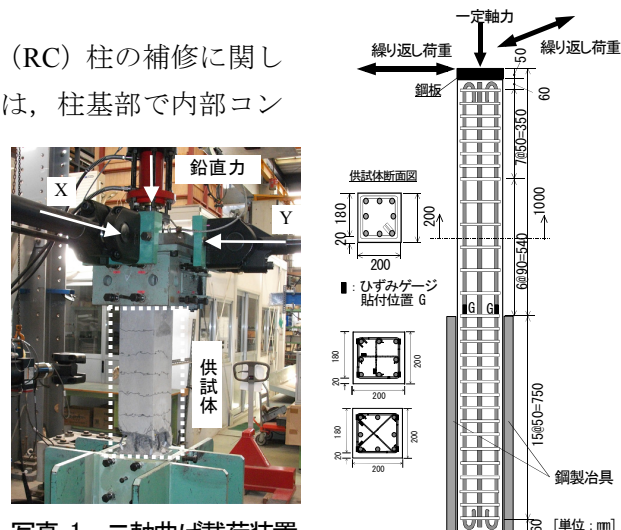
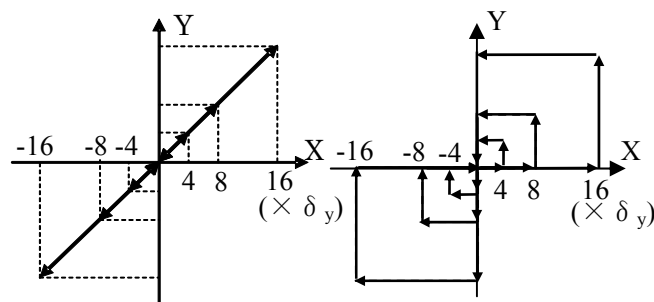


写真-1 二軸曲げ载荷装置

図-1 RC 柱配筋図



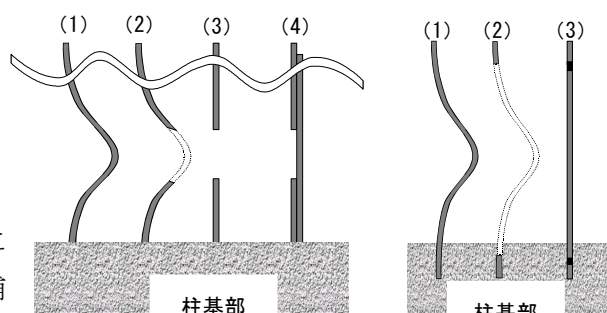
(a) 斜め载荷

(b) 矩形载荷

図-2 载荷経路

表-1 供試体 (4 体) の材料定数および軸力一覧

供試体	載荷経路	横拘束筋間隔 s [mm]	中間補強筋	コンクリート設計圧縮強度 f_{ck} 60 [MPa]	軸方向鉄筋 D10 (SD295A)		横拘束筋 D6 (SD295A)		載荷軸力 [kN]
					降伏強度 [MPa]	引張強度 [MPa]	降伏強度 [MPa]	引張強度 [MPa]	
新品柱	斜め	65	X字型	55.1	403	608	426	583	118
	矩形			66.8	417	572			142
補修柱	斜め			67.2					143



(a) 二重鉄筋溶接

(b) 裏波溶接

図-3 軸方向鉄筋の補修法

キーワード：中間補強筋付き RC 柱, 補修効果, 損傷柱, 軸方向鉄筋の座屈・破断, 繰返し二軸曲げ载荷実験
連絡先：〒487-8501 愛知県春日井市松本町 1200 中部大学 工学部 都市建設工学科 TEL0568-51-1111(代)

基部下 75 mm～基部下 175 mm まで同じ材質の補修鉄筋（長さ 250 mm）を内側に溶接した（二重鉄筋補修：図-3(a) の(4)）。本補修を斜め載荷実験用の損傷柱に対して施した。もう一つ（補修法 B）は、基部下 75 mm～基部下 175 mm までの軸方向鉄筋を切断し、補修鉄筋（長さ 250 mm）を用いて突合せ溶接（裏波溶接）した（図-3(b)の(2)→(3)）。本補修を矩形載荷実験用の損傷柱に対して施した。なお、補修用コンクリートとしてひび割れを抑制するコンクリートを用いた。その圧縮強度は新品柱のそれよりも 12 MPa 程度高い値（67 MPa）を示した。

4. 実験結果および考察

ここでは、X 字型または十字型中間補強筋を有する補修柱（横拘束筋間隔 s : 65 mm）の二軸曲げ載荷実験結果を基にその補修効果について考察する。一例として、斜め載荷下および矩形載荷下での水平荷重—水平変位曲線（X 方向）をそれぞれ図-4 および図-5 に示す。図中、実線は補修柱の実験結果、破線は新品柱の実験（損傷実験）結果²⁾である。

斜め載荷下での X 字型補修柱は、2 本の軸方向鉄筋の破断があるものの、損傷実験結果と比較して大変位領域まで同程度かそれ以上の耐荷特性を呈した。破断した 2 箇所はいずれも柱基部近辺の二重鉄筋の段落し部分（図-3(a) : 10 mm～20 mm）ではなく基部下 130 mm～170 mm の位置であった。一方、十字型補修柱は、載荷履歴（ $-8\delta_y \rightarrow +8\delta_y$ ）以降、軸方向鉄筋の破断により荷重が急激に低下し、計 7 本が後続する載荷区間で連続的に破断した。すべての破断は、二重鉄筋の段落し（図-3(a) : 30 mm～60 mm）近辺で生じており、その部分の補修軸方向鉄筋に大きなひずみが集中したことによると考えられる。この差異は、段落し位置、数と中間補強筋のタイプ（X 字型および十字型）などにより影響されると考える。矩形載荷では、十字型補修柱の荷重が、載荷履歴（ $+8\delta_y \rightarrow -16\delta_y$ ）以降、損傷実験結果²⁾と比較して若干低下するものの、軸方向鉄筋の破断状況も含めた補修後の耐震性能（補修効果）は十分に高いことが分かった。よりシビアな載荷形態である矩形載荷下でも高い補修効果がある一因として、座屈・破断した軸方向鉄筋の補修に裏波（突合せ）溶接を採用したことが考えられる。

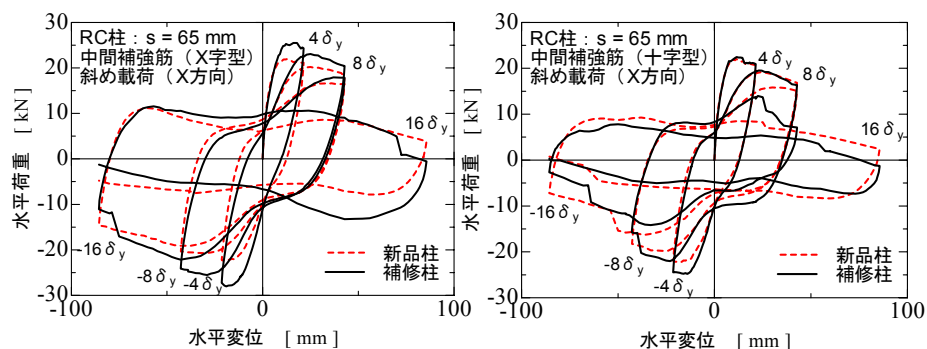


図-4 荷重—変位関係（斜め載荷）

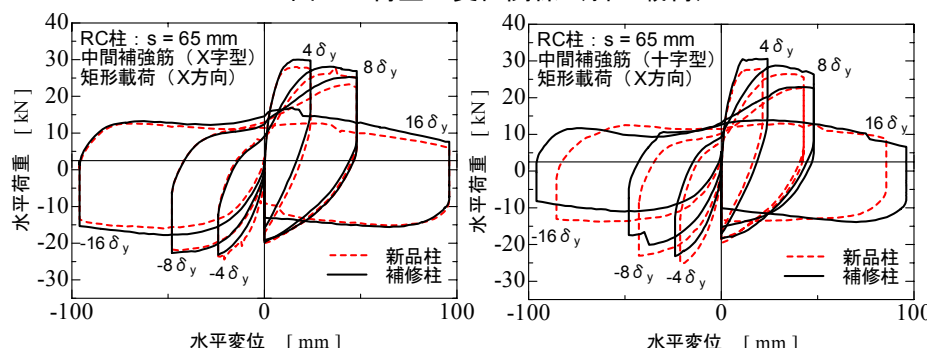


図-5 荷重—変位関係（矩形載荷）

性を呈した。破断した 2 箇所はいずれも柱基部近辺の二重鉄筋の段落し部分（図-3(a) : 10 mm～20 mm）ではなく基部下 130 mm～170 mm の位置であった。一方、十字型補修柱は、載荷履歴（ $-8\delta_y \rightarrow +8\delta_y$ ）以降、軸方向鉄筋の破断により荷重が急激に低下し、計 7 本が後続する載荷区間で連続的に破断した。すべての破断は、二重鉄筋の段落し（図-3(a) : 30 mm～60 mm）近辺で生じており、その部分の補修軸方向鉄筋に大きなひずみが集中したことによると考えられる。この差異は、段落し位置、数と中間補強筋のタイプ（X 字型および十字型）などにより影響されると考える。矩形載荷では、十字型補修柱の荷重が、載荷履歴（ $+8\delta_y \rightarrow -16\delta_y$ ）以降、損傷実験結果²⁾と比較して若干低下するものの、軸方向鉄筋の破断状況も含めた補修後の耐震性能（補修効果）は十分に高いことが分かった。よりシビアな載荷形態である矩形載荷下でも高い補修効果がある一因として、座屈・破断した軸方向鉄筋の補修に裏波（突合せ）溶接を採用したことが考えられる。

5. まとめ

- 1) 二重鉄筋補修による段落し部がある場合、早い段階で軸方向鉄筋の破断を誘発し、補修効果がそれほど期待できない。一方、裏波溶接では、新品柱と同等以上の耐荷特性を発揮し、十分な補修効果を呈した。
- 2) 内部コンクリートの破壊および軸方向鉄筋の座屈・破断などの大きな損傷を有する RC 柱の補修には、柱基部上の柱幅 1D 区間のコンクリートを除去した後、軸方向鉄筋に対して裏波溶接を施した補修法が良い。

謝辞：本研究を遂行するに際し、平成 27 年度文部科学省科学研究費（基盤研究（C）25420493）および中部大学特別研究費 A を得た。鹿島道路株式会社には、KS ボンドを提供いただいた。ここに謝意を表す。

参考文献

- 1) 仁平達也・渡邊忠朋：修復した RC 部材の性能評価方法と修復した RC 構造物の耐震性に関する一考察，土木学会論文集 E2（材料・コンクリート構造），Vol.68, No.4, pp.283-299, 2012.
- 2) 鈴木森晶・水野英二：繰り返し二軸曲げを受ける中間補強筋付き鉄筋コンクリート柱の耐荷特性に関する実験的研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.35, No.2, pp.139-144, 2013.7.