

# 論文 低強度コンクリート RC 柱の分割分離鋼板による補強効果に関する 実験的研究

佐藤 立美\*1

**要旨:** 低強度 RC 柱の靱性改良方法として、施工性の良い分割分離補強を提案し、その補強効果を実験的に検証した。試験体の変動因子は主筋の種類、補強方法の差異および使用コンクリートの差異である。主筋に丸鋼を使用した低強度コンクリートの試験体では主筋の滑りが顕著であり、曲げ耐力は RC 規準式による耐力よりかなり低下するが、分割分離鋼板補強により強度・変形性能とも改良効果は認められる結果を得た。主筋に異型鉄筋を使用した低強度 RC 柱の場合にも分割全補強を行うと、明確な改良効果は認められ、非常に薄い分割分離鋼板補強は、低強度 RC 柱の耐震補強効果に十分期待できる工法であるといえる。

**キーワード:** 低強度コンクリート, 丸鋼, 異型鉄筋, 分割鋼板, 分離補強, 補強効果

## 1. はじめに

既存鉄筋コンクリート（以下、RC 造）建物の耐震診断結果によると、コンクリート強度が  $F_c < 13.5\text{N/mm}^2$  のいわゆる低強度コンクリートとなった RC 建物の存在は少なくない事が確認されている。 $F_c < 13.5\text{N/mm}^2$  の RC 造の場合は、現行の耐震診断基準<sup>1)</sup>の適用範囲外となっているが、現実には低強度 RC 造についても診断・改修の要望は多く、実際には文献または実験的検証を行った上で低強度コンクリート RC 造の耐震改修補強を行った例もある。

筆者らは過去3年間、低強度コンクリート柱の構造特性と各種耐震補強方法の差異による補強効果の実験的検証<sup>2)~3)</sup>を行ってきた。低強度 RC 柱の特性として、主筋に丸鋼を使用した場合には付着力が小さいことによりスリップ型の履歴特性を有すること、曲げ耐力実験値が RC 規準式による計算値を下回る場合が多いこと、コンクリートの強度低下によるせん断破壊が急速に生じる等の傾向を確認している。

しかし、低強度 RC 柱についても、鋼板巻き、炭素繊維巻き、鉄筋コンクリート巻き等で既存 RC 柱の変形を適切に拘束することで、変形性能の改善効果は顕著であり、一定の補強効果は期待されるが、多くの実績があり信頼性の高い鋼板巻き工法では、溶接の必要性があると同時に、補強鋼板の重量が大きく施工も手間がかかる。

そこで筆者らは、施工性の改善のために分割鋼板巻き補強の提案とその補強効果に関する報告<sup>4)</sup>も行っている。

本論は、それらの実験結果を参考に、低強度既存 RC 柱の補強方法として、施工性の良い分割分離鋼板巻き補強による低強度コンクリート柱の耐震改修方法を提案し、主筋に異型鉄筋および丸鋼を使用した RC 柱の補強

効果を実験的に比較検証し、その補強効果について報告するものである。

## 2 実験概要

### 2.1 試験体概要

本実験の試験体は、設計基準強度  $F_c 18\text{N/mm}^2$  で 1970 年代に建設されたせん断破壊先行型の実在柱をモデルとし、コンクリート強度は  $F_c 9\text{N/mm}^2$  まで低下していると想定して実験計画を行ったものである。

無補強試験体の計画は、せん断耐力は荒川式で、曲げ耐力は文献<sup>1)</sup>により求め、せん断余裕度を 0.7 から 0.8 になるように配筋を決定した。補強試験体は、無補強試験体に、写真-1, 2 に示すような幅 100mm のコ字型の分割鋼板をボルトで接合し、無収縮モルタルを注入したものである。

主筋に異型鉄筋を使用した試験体を SD シリーズ、主筋に丸鋼を使用した試験体を SR シリーズとし、低強度 RC 柱と普通強度 RC 柱の破壊性状と補強効果の比較を行っている。

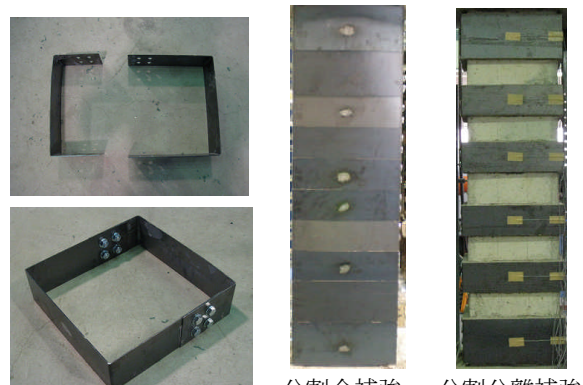


写真-1 分割分離鋼板

写真-2 試験体外観

\*1 広島工業大学 工学部建築工学科教授 工博 (正会員)

SDシリーズの主筋はSD345の8-D19を、SRシリーズの主筋はSR295の8-19φを使用し、帯筋は全て丸鋼SR295の5φ@100としている。

鋼板巻き補強の場合、鋼板厚さは通常t=4.5mm以上とされている。しかし、試験体の柱径がD=300mmであり、試験体断面が実在柱の1/2.5であることより、鋼板厚さtは柱全体に分割鋼板巻きの場合（以下全補強という）はt=1.2mm、分割分離鋼板巻きの場合（以下分離補強という）はt=2.3mmとし、全補強と分離補強の使用鋼板量（全補強の場合2t/D=0.4%）をほぼ同等としている。

試験体概要を表-1に示したが、普通強度コンクリートの4体を含め試験体数は計10体である。これにより、コンクリート強度の影響についても比較検討している。

試験体の詳細を図-1に示す。なお、ゲージは主筋に8箇所、帯筋および鋼板に各6箇所貼付したが、鋼板のゲージ貼付位置は帯筋と同じ位置としている。

表-2にFc9の低強度コンクリートの調合表、表-3に調合に用いた石粉の物理的性質を、表-4に使用材料強度を示す。

## 2.2 実験概要

実験は、図-2に示した広島工業大学の2軸荷重装置を使用し、荷重軸力Nは、実在柱の軸力を参考にしてN=220kNとし、コンクリート強度に関係なく一定の軸力を荷重した状態で、変形角0.4%（耐震診断基準におけるF=1.0相当変位）から0.4%刻みで3.6%（耐震診断基準におけるF=3.2相当変位）まで、正負2回の繰り返し漸増変位で水平力を荷重することを原則とした。ただし、実験途中で最大耐力の70%以下まで耐力低下した場合はその変位サイクル終了時で実験を終了した。

また、水平力荷重実験終了後、無補強試験体と分離補強試験体については、鉛直荷重の荷重実験を行い残存軸方向耐力の確認実験を行った。

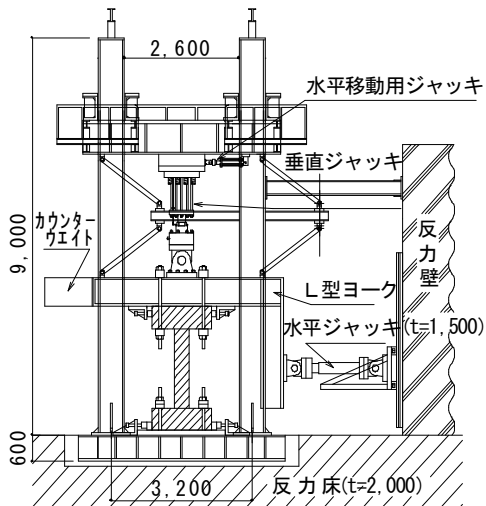


図-2 2軸荷重装置

表-1 試験体概要

試験体名	引張鉄筋比	帯筋比	補強方法	
	Pt(%)	Pw(%)		
SD-L-0	0.96% (8-D19)	0.16%	無補強	-
SD-L-A			全補強	t=1.2mm
SD-L-P			分離補強	t=2.3mm
SR-L-0	0.96% (8-19φ)	0.16%	無補強	-
SR-L-A			全補強	t=1.2mm
SR-L-P			分離補強	t=2.3mm
SD-N-0	0.96% (8-D19)	0.16%	無補強	-
SD-N-P			分離補強	t=2.3mm
SR-N-0	0.96% (8-19φ)	0.16%	無補強	-
SR-N-P			分離補強	t=2.3mm

※L:低強度コンクリート, N:普通強度コンクリート

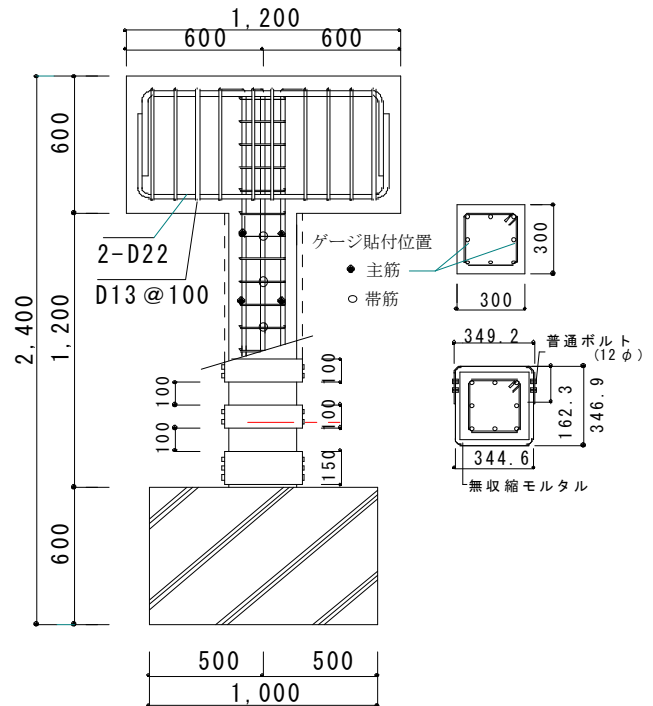


図-1 試験体配筋図および断面図

表-2 低強度コンクリートの調合表(1 m<sup>3</sup>あたり)

W/(C+B)	W/C	水 W	セメント C	石粉 B	細骨材	粗骨材	添加剤
(%)	(%)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	(cc)
76.8	113	215	190	90	750	982	1120

表-3 石粉の物理的性質

項目	単位	石粉良	石粉不良	規格値	試験方法
密度	g/cm <sup>3</sup>	2.74	2.73	2.50以上	JIS-R5201-6
比表面積	cm <sup>2</sup> /g	3280	4080	-	JIS-R5201-7.1
75μmふるい残量	%	23.7	13.3	5以下	JIS-R5201-7.2
メレンブル吸収量	mg/g	4.8	508	10.0以下	TRA0015

表-4 使用材料強度

種類	使用箇所	断面積	降伏強度	引張強度
		(mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )
SD345-D19	主筋	286.5	420	587
SR295-φ19		283.5	296	427
SR295-φ5	帯筋	19.6	327	459
鋼板 1.2mm	補強鋼板	-	189	313
鋼板 2.3mm		-	204	327

### 3. 実験結果

表-5に一定軸力下での水平載荷実験結果一覧表と試験日材令でのコンクリートおよび無収縮モルタルの圧縮強度試験結果を示す。各試験体の最大耐力は、使用主筋による影響は非常に大きく、低強度のSRシリーズではいずれも耐力が小さく、普通強度のSDシリーズが最も耐力が大きくなっている。以下に、実験結果の特性について述べる。

#### 3.1 履歴性状

図-3の各試験体の荷重-変形関係より、無補強試験体はコンクリート強度、主筋種類にかかわらず、最大耐力時変形角はいずれも $R \leq 0.8\%$ で、最大耐力以後は急激な耐力低下を伴うせん断破壊となっており、 $R=2.0\%$ 前後で最大耐力の6割程度まで耐力が低下している。

無補強試験体の最大耐力についてみると、コンクリート強度の影響により低強度RC柱の試験体は普通強度RC柱の試験体に比べ最大耐力は小さくなっており、特にSR-L-0の最大耐力が非常に低い結果となっている。

これは、主筋の丸鋼の滑りが生じていることの影響が大きいと考えられる。但し、普通強度RCの場合は使用主筋種類の影響はほとんど見られていない。

全補強の試験体は低強度RC柱のみであるが、主筋の種類に関係なく、いずれも予定した変形角 $R=3.6\%$ まで耐力低下の少ない曲げ破壊型の荷重-変形関係を示しているが、SR-L-Aでは顕著なスリップ型の履歴特性を示している。最大耐力時変形角はSR-L-Aでは $R=0.8\%$ であるが、SD-L-Aでは $R=1.6\%$ となっており、変形性能の顕著な改善が認められた。また、SR-L-Aの最大耐力はSD-L-Aの77%となっている。

分離補強した試験体については、全補強した試験体に比べて最大耐力以後の耐力低下が急になる傾向が見られているが、これは普通強度RCで特に顕著である。しかし、無補強試験体と比較すると一定の変形性能の改善効果は認められるといえる。SRシリーズの場合、いずれもスリップ型の履歴性状が見られているが、耐力低下も少なく、比較的安定した履歴性状となっており一定の補強効果が見られている。

#### 3.2 破壊性状

図-4に、無補強試験体および分離補強試験体の水平荷重載荷終了時のひび割れ状況を示す。なお、全補強試験体は、今後鉛直荷重の載荷実験を予定しているため、ひび割れ図は掲載していない。

試験体のひび割れスケッチ図を、座標読み取り装置でデジタルデータ化した後、ひび割れ図はCADで、また発生したひび割れの全長の計算と、ひび割れ全長をコン

表-5 実験結果一覧表

試験体	最大耐力		試験終了時耐力		材令 (日)	$\sigma_B$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_M$ (N/mm <sup>2</sup> )
	P(kN)	R(%)	P(kN)	R(%)			
SD-L-0	118.1	0.8	56.4	2.0	18	9.0	-
SD-L-A	122.5	1.6	112.4	3.6	39	11.7	42.3
SD-L-P	123.8	1.2	85.0	3.6	21	9.5	21.9
SR-L-0	70.5	0.4	50.6	2.0	20	7.5	-
SR-L-A	94.2	0.4	80.5	3.6	30	8.2	43.8
SR-L-P	92.5	0.8	77.3	3.6	22	9.1	32.1
SD-N-0	162.8	0.8	79.5	1.6	26	18.5	-
SD-N-P	210.8	1.2	134.2	2.8	31	18.8	34.0
SR-N-0	144.3	0.8	79.8	2.8	35	18.5	-
SR-N-P	142.7	1.2	126.6	3.6	49	18.5	35.1

※ $\sigma_M$ は試験日材令での充填モルタルの圧縮強度である。  
実験耐力については正負最大耐力の平均値を採用している。

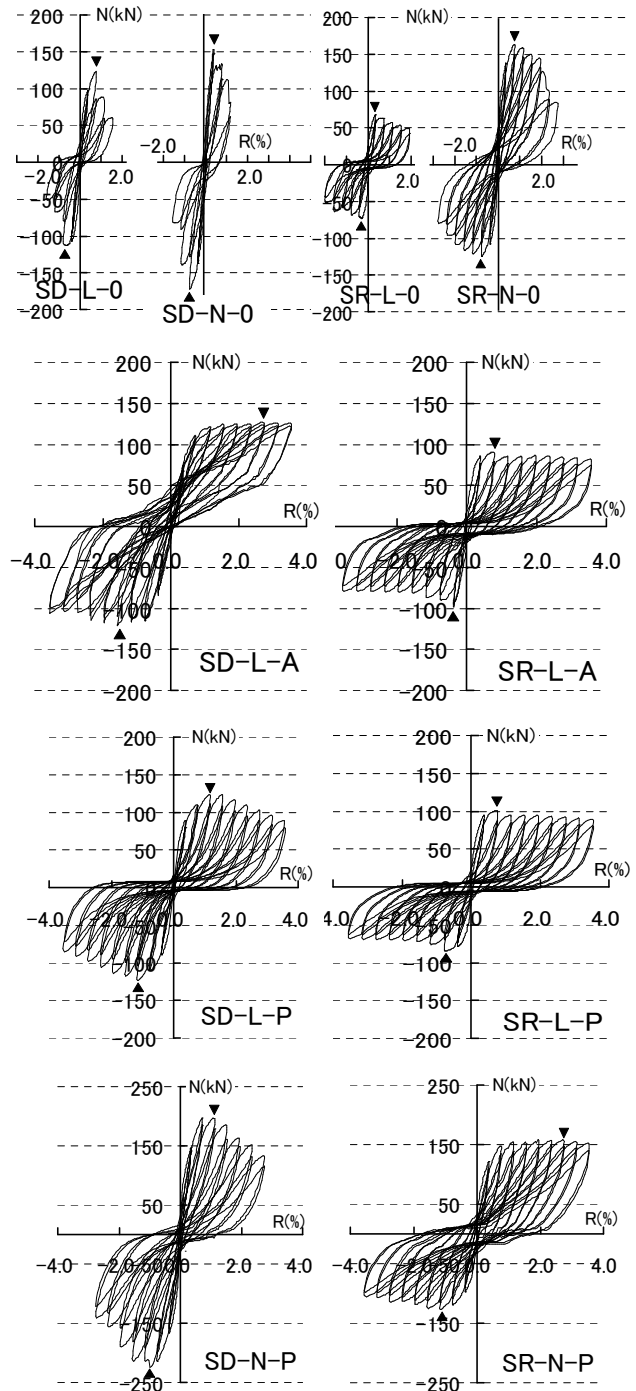


図-3 荷重-変形関係

クリート面の面積で除した値をひび割れ率として求め、ひび割れの発生状況を比較している。表-6に、各試験体の実験終了時のひび割れ率を示した。

無補強試験体では、柱上下端の曲げひび割れ、せん断ひび割れの順にひび割れが発生している。主筋の差異によるひび割れの発生状況を比較すると、SRシリーズではひび割れは柱上下端にのみ発生し、SDシリーズでは中央部にもせん断ひび割れが発生し、さらに主筋に沿った付着ひび割れも多く発生している。また、SR-L-0は、最大耐力時以後は既存のせん断ひび割れの伸展があるのみで、柱中央部にまでせん断ひび割れは伸展しておらず、柱上下端部の圧壊も見られていない。

表-6のひび割れ率を比較すると、SD-L-0ではSR-L-0の1.85倍、SD-N-0ではSR-N-0の2.0倍である。主筋に丸鋼を使用した試験体のひび割れは異形鉄筋を使用した場合に比べてひび割れ発生率は約1/2に減少することがわかる。

また、低強度試験体では普通強度試験体に比べて、ひび割れ発生率は約1/1.5倍であり、コンクリート強度の影響以上に主筋種類の影響が大きいことがわかる。

分離補強した試験体は、柱上下端部が鋼板で補強されているため、ひび割れの発生は少ないと考えていたが、ひび割れ率の比較で見ると、低強度、普通強度共にSDシリーズは無補強試験体に比べて1.2~2.0倍大きく、逆にSRシリーズでは無補強試験体に比べてひび割れ率は0.3~0.6倍と小さくなっている。

### 3.3 鉄筋・鋼板の歪挙動

各試験体の主筋の歪分布を図-5に、帯筋の歪分布を図-6に、補強鋼板の歪分布を図-7に示した。いずれも最大耐力時および終局時について、使用鉄筋の降伏歪 $\epsilon_y$ に対する比( $\epsilon/\epsilon_y$ )として示している。

図-5より、SDシリーズのSD-L-A、SD-N-Pでは下端部の主筋降伏が見られるが、上端部の主筋の降伏は見られない。これは、試験体のコンクリートを縦打したため、柱上部はブリージングの影響を受け、上端部の主筋にのみすべりが生じたことによると考えている。特にSD-L-Aの場合、最上部の主筋歪みはその下部の主筋歪みより小さくなっている事実と適合している。

それ以外の試験体では最大耐力時までに主筋の降伏は見られず、せん断破壊先行型または主筋のすべりによるものと考えることができる。

特に、SRシリーズの低強度RC試験体では、主筋の歪みは最大耐力時で $\epsilon/\epsilon_y < 0.5$ となっていることと、柱上下端部の主筋とも引張歪みとなっていることがわかる。これらは、丸鋼主筋のすべりによる影響と言え、終局状態で主筋降伏が見られたのはSR-L-Aのみである。

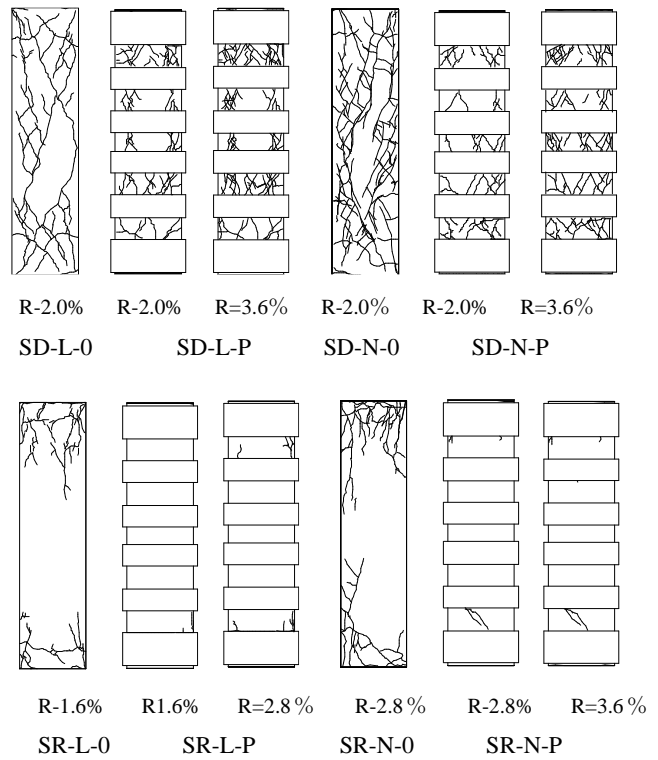


図-4 ひび割れ図

表-6 ひび割れ率一覧表

試験体	SD-L-0	SD-L-P	SR-L-0	SR-L-P
変形角(%)	2.0	2.0	3.6	2.0
ひび割れ率 (mm/cm <sup>2</sup> )	2.27	3.23	4.40	1.23
試験体	SD-N-0	SD-N-P	SR-N-0	SR-N-P
変形角(%)	1.6	1.6	2.8	2.8
ひび割れ率 (mm/cm <sup>2</sup> )	3.68	3.05	4.53	1.85

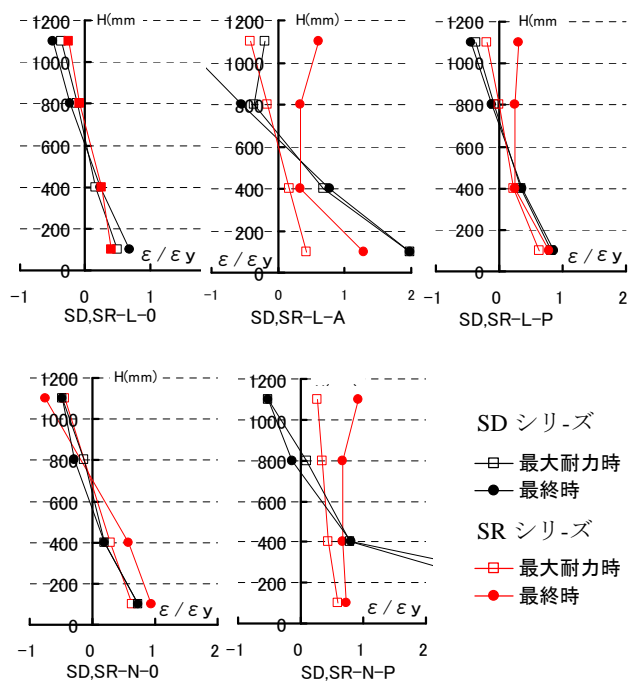


図-5 主筋の歪み分布

帯筋の歪計測位置を鋼板の歪計測位置と同じであり、無補強試験体以外では帯筋の歪は鋼板で拘束された位置の帯筋の歪となっている。そのため、図-6に示すように、鋼板の拘束効果により全ての補強試験体で最大耐力時まで帯筋の降伏は見られていない。

無補強試験体 SD-L-0 では最大耐力以後にせん断ひび割れの拡大が生じた部分の帯筋は降伏しているが、SR-L-0 では最大耐力以後のひび割れ発生も少なく帯筋の降伏は見られていない。

全補強した試験体の帯筋歪は非常に小さく、終局状態でも  $\epsilon/\epsilon_y < 0.35$  となっている。

分離補強した試験体では、全補強の試験体に比べて帯筋の歪が大きくなっているが、やはり終局時まで帯筋降伏は見られていない。

図-7の鋼板の歪分布から、最大耐力時、終局時とも全ての試験体で  $\epsilon/\epsilon_y < 0.7$  であり、非常に薄い鋼板補強であっても降伏することなく既存 RC 柱を拘束できると考えている。

SD シリーズでの場合、全補強の場合の鋼板の歪は試験体の上下端で大きく中央部はほとんど歪が生じていないが、分離補強の場合は全ての鋼板がほぼ等しい歪となっていることが特徴である。またSRシリーズの場合、分離補強の試験体でも柱中央付近の鋼板の歪は小さく全補強と同様な歪分布となっているが、SD-L-Pでは全ての鋼板がほぼ等しい歪となっていることがわかる。

### 3.4 残存軸方向耐力

試験体の終局軸方向耐力計算値と、水平載荷実験終了時の残存軸方向耐力実験結果の比較を表-7に示す。

残存軸方向耐力は、無補強試験体、分離補強試験体とも、SRシリーズでは試験前の軸方向耐力とほぼ等しくなっており、水平載荷実験による残存軸方向耐力の低下は見られなかったが、SDシリーズでは計算値の63%から86%となっている。これは、SDシリーズの試験体はいずれも水平載荷実験時のひび割れ発生が多く損傷程度が高いことと整合した結果といえる。

## 4. 実験結果の検討

無補強試験体は4体ともせん断破壊であるが、補強試験体は、いずれも無補強柱のような急激な耐力低下を生じる事なく変形性能は改善されているものの、試験体の破壊形式は画一的ではない。

各試験体の最大耐力実験値の評価として、曲げ耐力は建築学会のRC基準式<sup>5)</sup>により評価することを原則とし、せん断耐力計算値は、荒川 mean 式( $Q_{su}$ )により求めることを原則とした。但し、低強度コンクリート試験体については、荒川 mean 式( $Q_{su}$ )に、式(2)の山本の低減係数 $kr$ <sup>7)</sup>を乗じた

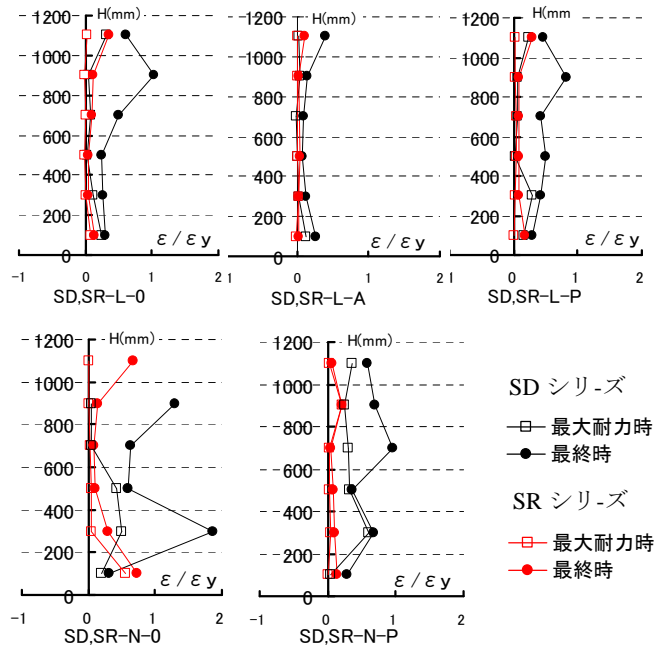


図-6 帯筋の歪み分布

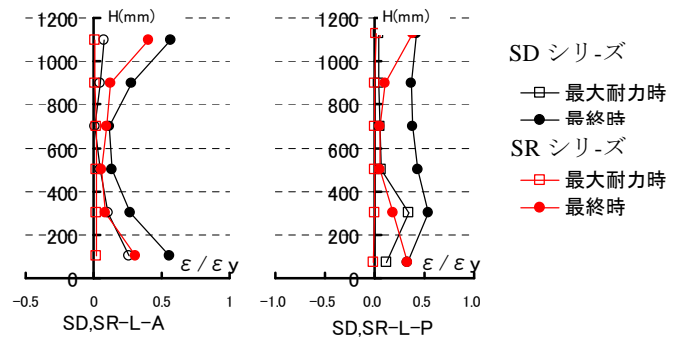


図-7 補強鋼板の歪み分布

表-7 残存軸方向耐力

試験体	残存軸耐力 (kN)		実験値 計算値
	実験値	計算値	
SD-L-0	1400.8	1639.0	0.85
SD-L-P	1525.8	1781.6	0.86
SD-N-0	1470.0	2336.3	0.63
SD-N-P	1892.3	2654.6	0.71
SR-L-P	1803.0	1781.6	1.01
SR-N-P	2392.2	2336.3	1.02

計算値は  $N_{max} = b \cdot D \cdot F_c + A_g \cdot \sigma_y$  による。

式(1)を採用している。

$$Q_{su} = kr \cdot Q_{su} \quad (1)$$

$$kr = 0.244 + 0.056 \sigma_B \quad (2)$$

また、主筋のすべりを考慮した曲げ耐力評価式<sup>6)</sup>との比較検討も行った。この時、主筋のすべりの影響による耐力式は、試験体の軸力比により異なるが、本実験の場合の柱の軸力条件に適合する(3)式による計算値を使用している。

$$M_{u1} = \frac{D}{2 \cdot N_0} \left\{ \frac{N_0^2}{4} - \left( -N + \frac{N_0}{2} - 2 \cdot a_s \cdot \sigma_y + R_s \right)^2 \right\} + \frac{R_s \cdot j}{2} \quad (3)$$

ここに、 $N_0 = 0.85 \cdot \sigma_B \cdot b \cdot D$   $R_s = R_u = n \cdot \tau_B \cdot \phi \cdot h$

$R_s$  : 主筋の柱内法長さの付着力(kN)  
 $b \cdot D$  : 柱断面積(mm<sup>2</sup>)       $N$ :軸力(kN)  
 $\sigma_B$  : コンクリートの圧縮強度(N/mm<sup>2</sup>)  
 $N_0$  : 柱全断面の応力度が  $0.85 \cdot \sigma_B$  となる軸力(kN)  
 $n$  : 引張鉄筋鉄筋本数(本)       $\phi$  : 引張鉄筋の周長(mm)  
 $\tau_b$  : 付着応力度(N/mm<sup>2</sup>)       $j$  : 圧縮, 引張鉄筋間距離(mm)  
 $a_t, \sigma_y$  : 引張鉄筋断面積(mm<sup>2</sup>), 降伏強度(N/mm<sup>2</sup>)

表-8に、各試験体の上記の3種類の計算結果一覧を示し、各試験体の最大耐力を検討した結果を以下に示す。

無補強試験体の最大耐力は、低強度 RC 柱は(1)式で、普通 RC 柱は荒川 mean 式でほぼ評価できる。

鋼板補強した低強度 RC 柱の最大耐力は、すべりを考慮した(3)式でほぼ評価可能である。ただし、主筋に丸鋼を使用した低強度 RC の場合は過小評価となり、この傾向は全補強した場合により顕著となっている。

分離補強した普通 RC 柱は、柱下端部の主筋降伏が認められており、最大耐力は建築学会の RC 基準式<sup>9)</sup>によりほぼ評価できた。したがって、この2体は曲げ降伏後のせん断破壊といえる。

表-8に、上記の検討により、採用した計算値に色づけている。採用した計算値と実験値最大耐力の関係を図-8に示したが、実験値と計算値のほぼ適合する結果となっているが、ばらつきは大きくさらに検討する必要性は高いと思われる。

また、本実験の低強度 RC 柱については、降伏時の主筋の引張力を降伏強度の50%として、RC 基準式を使用し曲げ耐力計算値を求めた結果を表-8の $\sigma_y/2$ の欄に示したが、ほぼ実験値と一致しており、略算値としての使用の可能性はあるといえる。

表-8 各試験体の計算耐力

試験体名	最大耐力 軸力比		計算値(kN)					
	Qmax (kN)	n	曲げ耐力(kN)			せん断耐力(kN)		
			Qmu	(1)式	$\sigma_y/2$	(1)式	(2)式	
SD-L-0	118.1	0.33	181.5	96.5	109.3	95.7	71.6	
SD-L-A	122.5	0.30	183.0	125.4	115.7	139.9	125.8	
SD-L-P	123.8	0.27	184.6	101.9	113.0	133.5	103.6	
SR-L-0	70.5	0.33	138.5	62.6	89.6	95.6	63.6	
SR-L-A	94.2	0.30	138.9	67.9	96.9	139.2	97.5	
SR-L-P	92.5	0.27	140.5	75.8	97.9	135.3	102.0	
SD-N-0	162.8	0.13	192.1	174.8	-	113.6	-	
SD-N-P	210.8	0.13	192.1	175.6	-	151.1	-	
SR-N-0	144.3	0.13	148.1	133.4	-	115.5	-	
SR-N-P	142.7	0.13	148.1	134.1	-	151.1	-	

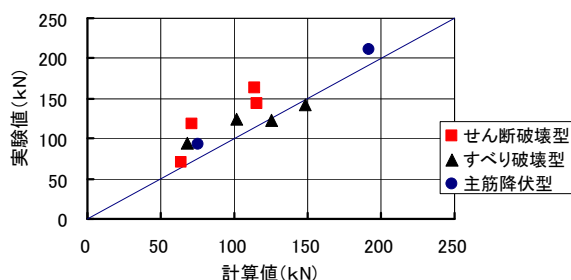


図-8 評価式と実験値の比較

## 5. 結論

薄くて軽い施工性の良い分割鋼板巻き補強した低強度コンクリート柱の補強効果に関して、以下の知見を得た。

1. 主筋に丸鋼を使用したせん断破壊先行型の低強度 RC 柱は分割分離鋼板補強した場合、耐力と変形性能の改善ができる。
2. 主筋に丸鋼を使用した低強度 RC は、主筋のすべりの影響が大きい、鋼板補強することでひび割れ発生は非常に少なくなり、軸方向耐力の低下はほとんどない。
3. 主筋に異形鉄筋を使用した低強度 RC 柱の場合には、全補強すれば耐力、変形性能ともに向上するが、分離補強の場合の変形性能向上効果については、さらに改善する必要がある。
4. 低強度 RC 柱の曲げ耐力は、主筋が丸鋼の場合だけでなく、異形鉄筋の場合でも主筋のすべりによる影響を考慮して曲げ耐力の検討を行うことが必要である。
5. 普通RC柱の場合でも、分割鋼板分離補強すると、曲げ降伏耐力まで耐力を向上効果はあるが、最大耐力後の耐力低下は大きく、変形性能の向上効果は十分とはいえない。

## 謝辞

本研究の実施に当たっては平成 21 年度科学研究費補助金(基盤研究(B) 課題番号 21360268 代表研究者: 広島大学大学院准教授 荒木秀夫)の助成を受けた。ここに記して謝意を表する。

## 参考文献

- 1) (財)日本建築防災協会: 既存鉄筋コンクリート建築物の耐震診断基準・同解説 2001年
- 2) 内海, 土井, 佐藤: 低強度コンクリート学校校舎の耐震補強に関する実験的研究 ~その3 RC 柱の各種工法による補強実験: 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.45-48, 2008
- 3) 内海, 佐藤他: せん断破壊先行型の低強度 RC 柱の補強効果に関する実験的研究(その1, その2) 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.45-48, 2009
- 4) 村上, 菅野, 佐藤, 奥本: 分割鋼板巻き補強による RC 柱の耐震性能に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.25, No.2, pp1555-1560, 2003
- 5) 日本建築学会; 鉄筋コンクリート構造設計規準・同解説, 1999
- 6) 若林實, 南宏一, 谷資信, 平野道勝: 新建築学大系 42 合成構造の設計, pp.135-138, 1986
- 7) 山本泰稔: 低強度コンクリート構造に関する調査・研究資料, 「第30回建築士事務所全国大会埼玉大会分科会, 地震と補強-耐震改修における低強度コンクリートの問題点」, pp.77-91, 2005