

論文 既存RC耐震壁の耐震補強法に関する研究

東 伸哉^{*1}・江崎 文也^{*2}・小野 正行^{*3}

要旨：せん断破壊が先行する既存RC耐震壁の破壊モードを変えるために提案した補強法の効果を、壁板が側柱中央位置にある場合と側柱隅位置にある場合について検討した。その結果、壁板を鋼板補強することによって強度の増大は期待できるが、側柱脚部がせん断破壊を起こす恐れがある。壁板が側柱隅位置にある場合、今回行ったいずれの補強方法とも、その耐力低下率はほぼ同じであった。増し打ちし、PC鋼棒で外帯筋状に補強する方法は、他の補強方法よりも水平せん断耐力が大きくなり、柱脚部においては、せん断破壊を防止できた。

キーワード：既存RC耐震壁，耐震補強，外帯筋，鋼板圧着

1. 序

既存RC造建築物を耐震診断した結果、所要の耐震性能が満たされない場合は、耐震補強を施す必要がある。強度が不足する場合は、通常ラーメン内に壁を増設する増設耐震壁補強工法を採用する場合と、鉄骨枠付きブレースを増設する補強工法を採用するケースが多くみられる。既に耐震壁が存在する場合は、既存RC耐震壁の補強目的として、靱性の改善・強度の増大の2つ

が考えられ、靱性の改善は、せん断破壊を防止する必要がある。そのためには、壁板を増し打ちして壁板のせん断強度を増大させるか、壁板を鋼板で挟んで壁板コンクリートの拘束効果による強度を上げる方法が考えられる。一方、側柱のせん断破壊を防止するためには、せん断破壊を起こす恐れが大きい部分を特殊な補強、例えば、PC鋼棒外帯筋状に補強すればよいことがわかっている¹⁾。

表 - 1 試験体一覧

試験体名	芯心	COWO	COWP	COWC	COWPC
	偏心	COWeO	COWeP	COWeC	COWePC
試験体					
壁板補強			鋼板: 2PL-3.2 PC鋼棒: 9.2φ@100	スタッド: 4φ@100 増打100: 壁筋4φ@100	増打100: 壁筋4φ@100
側柱補強					PC鋼棒: 5.4φ@65
共通事項	側柱: 150mm × 150mm, 主筋6-D13 (p _g =3.39%), 帯筋: 4φ@100 (p _w =0.17%) 壁板: 厚50mm, 壁筋縦横共4φ@100 (p _s =0.26%)				

*1 近畿大学大学院 産業技術研究科造形学専攻学生 (正会員)

*2 福岡大学 工学部建築学科教授 工博 (正会員)

*3 近畿大学 産業理工学部建築・デザイン学科教授 博士(工学) (正会員)

そこで、せん断破壊が先行する恐れがある耐震壁に対して、壁板および側柱のせん断破壊を防止し、曲げ破壊が先行する破壊モードとなるような補強法を提案するための実験を行った。

本論は、これらの検討結果について述べるものである。

2. 実験概要

2.1 試験体

表 - 1 に試験体一覧を示す。図 - 1 にプロットタイプ試験体形状および配筋図を示す。表 - 2 に、使用した材料の力学的性質を示す。コンクリートの設計強度は、プロットタイプのC0W0, C0We0 試験体では16N/mm², 増し打ちコンクリートで21N/mm²を予定していたが、圧縮試験の結果、同じ強度となった。プロットタイプ試験体C0W0, C0We0は、せん断余裕度(=せん断破壊によって決まる水平せん断耐力 $Q_{su}^{(2)}$ /曲げ破壊によって決まる水平せん断耐力 $Q_{fu}^{(3)}$)が0.5程度のせん断破壊先行となるように計画したものである。試験体C0WP, C0WePは、図 - 2 に示すように、鋼板で壁板を両側からサンドイッチし、接着剤を用いることなく、軸力を載荷する前にPC鋼棒で締め付け補強したもの

表 - 2 使用した材料の力学的性質

(1) コンクリート

Specimen	σ_B	σ_t
C0W0(P,C,PC)	22.4	1.7
C0We0(P,C,PC)		
増し打ちコンクリート	22.4	1.9

σ_B : シリンダー圧縮強度 (MPa)

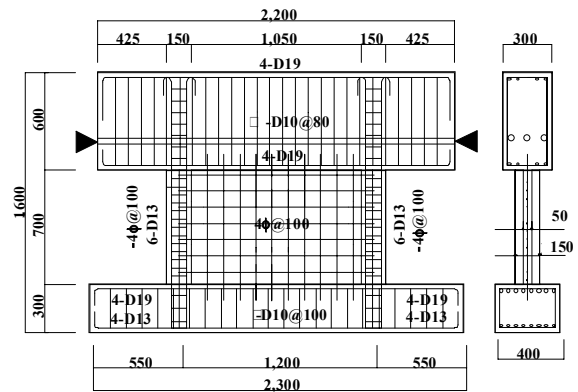
σ_t : 引張強度 (割裂強度) (MPa)

(2) 鋼材

Bar	a	σ_y	σ_u	ϵ
4 ϕ	0.13	185	294	-
D10	0.71	329	478	25
D13	1.27	389	583	18
PC鋼棒	0.23	1268	1283	12

a: 断面積 (cm²), σ_y : 降伏点強度 (MPa)

σ_u : 引張強度 (MPa), ϵ : 伸び (%)



▶: 載荷位置, 寸法単位: mm

図 - 1 プロットタイプ試験体形状および配筋図

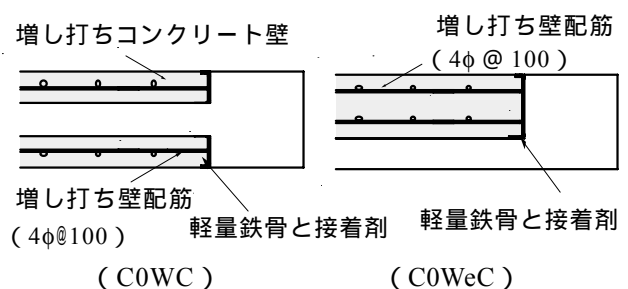
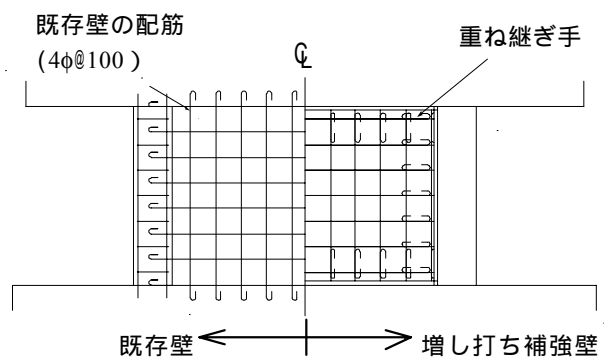
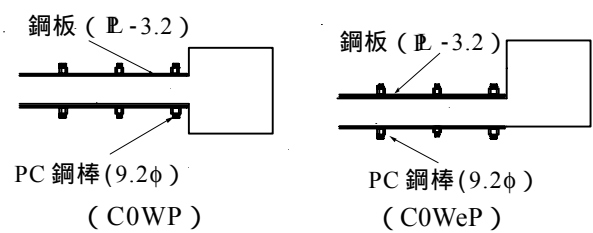
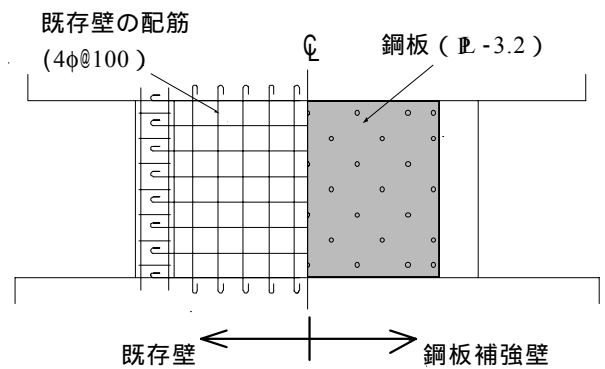


図 - 2 鋼板・増し打ち補強の配筋図

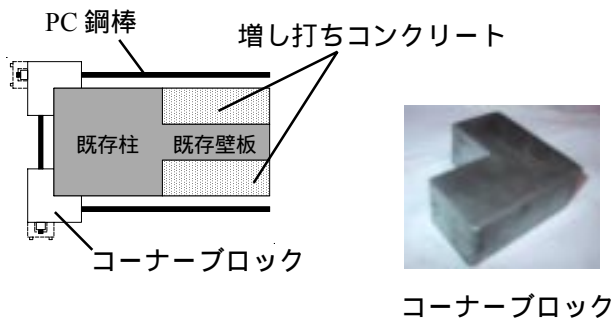


図 - 3 コーナブロックおよび取り付け状況

である。試験体 C0WC, C0WeC の増し打ち壁の増設は、重ね継ぎ手筋を溶接した軽量形鋼を両側柱と上下梁に接着剤を用いて接着接合し、その後、壁筋の配筋を行いコンクリートの打設により一体化したものである。試験体 C0WPC, C0WePC は、図 - 3 に示すコーナブロックを用いて、試験体を PC 鋼棒で外帯筋状に補強したものである。PC 鋼棒を用いて補強した 4 体の試験体は、初期ひび割れや水平せん断耐力に若干の影響が予想されるが、本実験の都合上、両側柱に鉛直荷重を載荷する前に、PC 鋼棒の降伏強度の 1/3 程度のプレストレスを導入した。

2.2 載荷方法および載荷プログラム

図 - 4 に示す載荷装置を用いて、試験体両側柱の中心に、それぞれ 110kN の鉛直荷重を 2 台のアクチュエータで載荷し、実験終了時まで一定に保持するようにした。鉛直荷重載荷後は、計画載荷プログラム³⁾に従って、各試験体に変位漸増正負繰返し水平力 Q をアクチュエータにて載荷した。水平力の載荷は、せん断スパン比 M/Ql が 0.75 となるように基礎梁上端より 90cm の位置にて載荷した。水平力の載荷速度は、

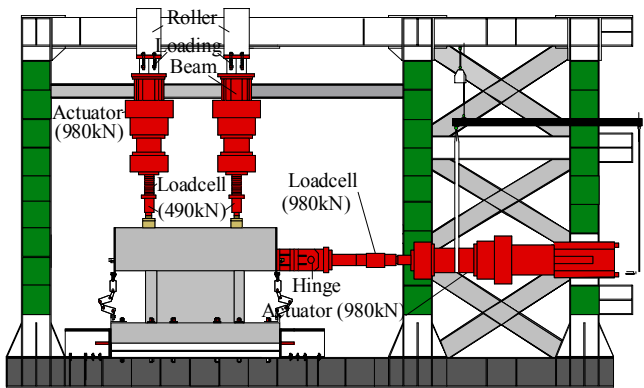


図 - 4 載荷装置

0.01cm/sec すなわち層間変形角 R の速度で $0.014\%/sec$ になるようにした。 R は、上部の剛な梁の中央部における水平変位 δ を基礎梁上端より上部梁下端までの高さ $h (=70\text{cm})$ で除した値 δ/h である。

2.3 測定方法

試験体各点の変位は、文献⁴⁾に示す変位測定装置にて測定した。また、側柱の柱主筋および PC 鋼棒にひずみゲージを貼付し、それらのひずみを測定した。水平および垂直の各荷重、試験体各部の水平と鉛直の各変位および鉄筋のひずみは、いずれも動ひずみ測定器にて 0.2sec のサンプリング間隔でデータをパソコンに取り込んだ。試験体に生じたひび割れおよびコンクリートの剥落の記録は、目視、写真撮影およびビデオカメラによる撮影によった。

3. 実験結果

図 - 5 に各試験体の Q と R の履歴曲線および破壊状況を示す。図 - 5 に示す R_b は限界変形角で、包絡曲線と $0.8Q_{max}$ (Q_{max} : 水平せん断耐力) の水平線との交点に対応する層間変形角である。本報告では耐震壁の破壊性状を分類する際、 $R_b=1.0\%$ が靱性的または脆性的な変形性能を示す分岐点と考えて、破壊モードを定義した。限界変形角 $R_b < 1.0\%$ で水平せん断耐力時に側柱が軸引張降伏していない場合をせん断破壊モード、 $R_b = 1.0\%$ で側柱が引張降伏している場合を曲げ・せん断破壊モード、 $R_b > 1.0\%$ で側柱が軸

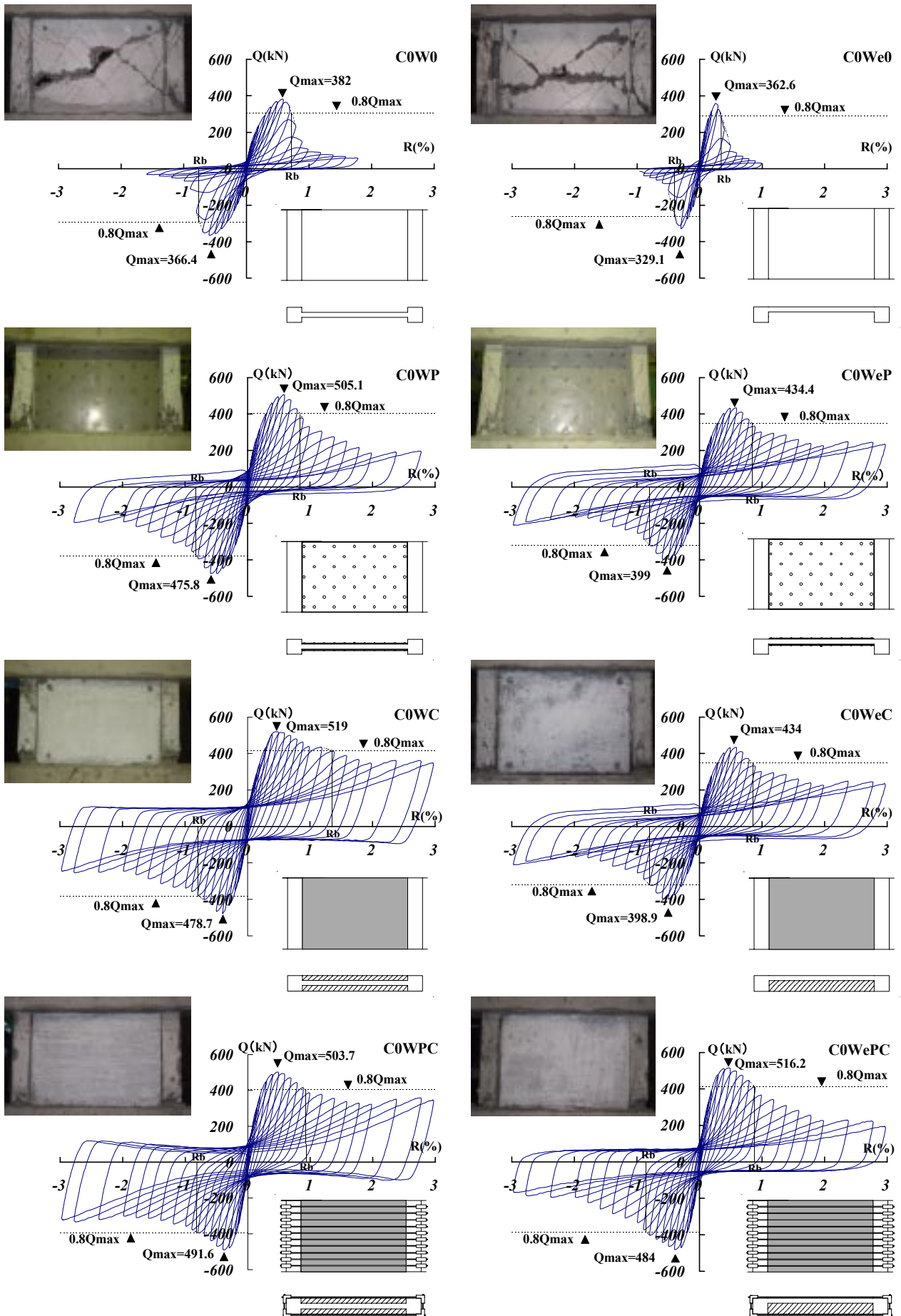


図 - 5 各試験体の Q と R の履歴曲線および実験終了時の破壊状況

引張降伏している場合を曲げ破壊モードと定義した。各試験体の破壊性状および履歴性状について述べると以下ようになる。

[C0W0試験体] $R=0.6\%$ 近傍で水平せん断耐力に達し、水平変形の増大とともに急激に耐力が低下し、両側柱脚部ともにせん断破壊が見られた。破壊モードはせん断破壊である。

[C0We0試験体] $R=0.3\%$ 近傍で水平せん断耐力に達し、水平変形の増大とともに柱脚部がせん断破壊をし、急激に耐力が低下した。破壊モードはせん断破壊である。

[C0WP試験体] $R=0.6\%$ 近傍で水平せん断耐力に達し、その後、側柱と鋼板の縁に沿ってスリップ破壊が生じ、緩やかに耐力が低下する破壊性状を示した。C0W0と同様に、破壊モードはせん断破壊である。

[C0WeP試験体] $R=0.5\%$ 近傍で水平せん断耐力に達し、その後、側柱と鋼板の縁に沿って壁板にスリップ破壊が生じ、C0We0と比較して緩やかに耐力が低下する破壊性状を示したが、両側柱はせん断破壊をした。鋼板で拘束されているため、壁板にはひび割れの発生が見られなかった。破壊モードはせん断破壊である。

[C0WC試験体] $R=0.5\%$ 近傍で水平せん断耐力に達し、その後、鋼板による補強のC0WP試験体よりも靱性的な破壊性状を示した。増し打ち部の壁板には顕著に斜めひび割れの発生が見られなかった。これは増し打ち壁端の軽量形鋼と既存RC柱・梁を側柱を接着剤により接合したため、増し打ち壁への水平力が十分伝達されなかったものと考えられることから、今後、接合方法を検討する必要がある。破壊モードはせん断破壊である。

[C0WeC試験体] $R=0.5\%$ 近傍で水平せん断耐力に達し、その後変形の増大とともに柱脚部の圧壊が顕著になった。増し打ち壁板への斜めひび割れが見られなかったことから、C0WCと同様に、接合方法を検討する必要がある。破壊モードはせん断破壊である。

[C0WPC試験体] $R=0.5\%$ 近傍で水平せん断耐

力に達した。実験終了後、柱脚部のせん断ひび割れが顕著になった以外には、ほとんど変化は見られなかった。破壊モードは曲げ・せん断破壊である。

[C0WePC試験体] R が 0.5% 近傍で水平せん断耐力に達し、その後変形の増大とともに柱脚部の圧壊が顕著になったが、柱脚部の圧壊以外は顕著な損傷が見られなかった。破壊モードは曲げ・せん断破壊である。

図-6に示した最大耐力以降の耐力低下率はC0WC試験体が小さい。

図-7に面積膨張率 ϕ を示す。 ϕ は、各層間変形角時の付帯ラーメンの変形図の面積(A_R)を求め、その A_R から無載荷時の耐震壁の面積($A_0=h \times l$)を差し引いた面積(A_R)を A_0 で除した値である。 ϕ は、付帯ラーメンおよび壁筋がせん断ひび割れに起因する壁板の膨張を拘束する度合を示しており、 ϕ が大きくなると付帯ラーメンがせん断破壊を起こして水平せん断耐力が小さくなることを意味する。図-7によればPC補強をすれば壁板の膨張を有効に拘束していることがわかる。

表-3に水平せん断耐力実験値と計算値を示す。鋼板サンドイッチ試験体のせん断強度は、壁板コンクリート強度の評価が困難なので示していない。増し打ち試験体は、増し打ち部分と既存部分が一体になったものとして求めた。これらの結果によると、補強試験体の耐力は曲げ破壊による耐力に近いが、計算値ほどの耐力が発揮されていないことから、一体として求めるには問題がある。これらの評価については、今後更に検討する予定である。

4. 結論

- 1) 壁板を鋼板でサンドイッチすることによって、強度の増大は期待できるが、側柱脚部がせん断破壊を起こす恐れがある。
- 2) 壁板が側柱中央位置にある場合、増し打ちする補強方法は、鋼板でサンドイッチする補強方法よりも靱性の改善が期待できる。

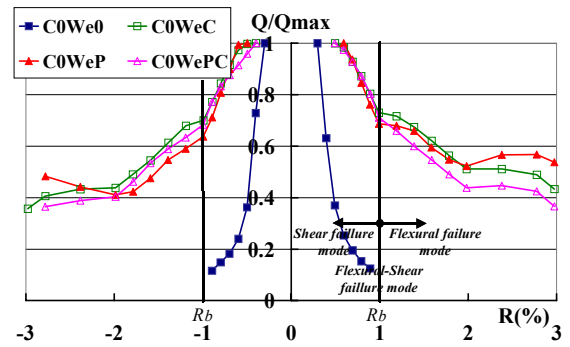
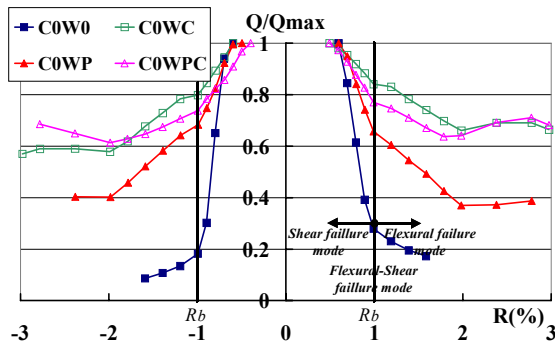


図 - 6 耐力低下率

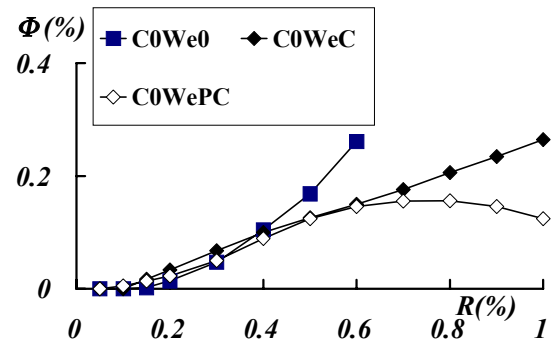
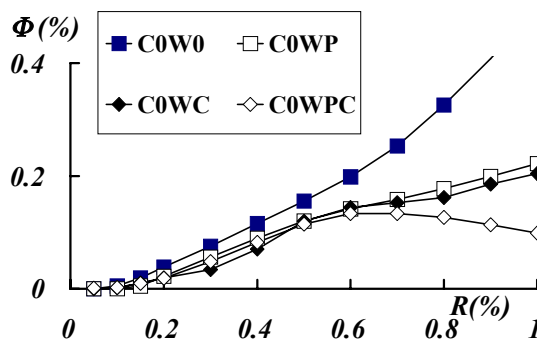


図 - 7 面積膨張率

- 3) PC鋼棒で外帯筋状に補強する方法は、他の補強方法よりも水平せん断耐力が大きくなり、柱脚部でのせん断破壊を防止できた。
- 4) 壁板が側柱隅位置にある場合は、今回行ったいずれの補強方法とも、その耐力低下率はほぼ同じである。
- 5) 壁板の位置に関わらず、今回行ったいずれの補強方法とも面積膨張率はほぼ同じである。

表 - 3 水平せん断耐力一覧表 (単位: kN)

試験体名	実験値	計算値			
	$ex Q_u$	$cal Q_{fu}$	$cal Q_{su1}$	$cal Q_{su2}$	$cal Q_{su3}$
C0W0	382	544	292	387	537
C0We0	363	544	-	-	537
C0WP	505	544	-	-	537
C0WeP	434	544	-	-	537
C0WC	519	671	885	1352	779
C0WeC	434	671	885	1352	779
C0WPC	504	671	885	1352	779
C0WePC	516	671	885	1352	779

$ex Q_u$: 実験値, $cal Q_{fu}$: 曲げ破壊による耐力計算値³⁾

$cal Q_{su1}$: せん断破壊による耐力計算値²⁾

$cal Q_{su2}$: 壁板のスリップ破壊による耐力計算値⁵⁾

$cal Q_{su3}$: 側柱のせん断破壊による耐力計算値⁵⁾

謝辞

本実験は平成15年度科学研究補助金(基礎研究(B)(2)), 課題番号: 14350306, 研究代表者: 山川哲雄)の援助を受けた。ここに、関係各位に感謝します。

参考文献

- 1) 田中睦, 江崎文也, 小野正行: PC鋼棒外帯筋による耐震壁中間柱の耐震補強に関する研究 その1, その2, 日本建築学会九州支部研究報告第42号, pp.641-648, 2003.3
- 2) 日本建築学会: 鉄筋コンクリート終局強度設計耐震指針・同解説, pp.745-750, 1990.11.1

- 3) 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, pp.11-12, 1992.8
- 4) 江崎文也・小野正行・松岡良智・徳田俊宏: 一定載荷速度を受けるRC無開口耐震壁の履歴性状, (その1実験概要), 日本建築学会九州支部報告第39号, pp.497-500, 2000.3
- 5) 日本建築学会: 鉄筋コンクリート終局強度設計に関する資料, pp.143-155, 1987