

論文 主筋のアンボンド効果を利用した耐震壁の履歴性状

村上 和明*1・江崎 文也*2・小野 正行*3

要旨：耐震壁側柱の主筋をアンボンドとした柱主筋比 1.26% 試験体と柱主筋比 1.89% 試験体の実験を行い、履歴性状に及ぼすアンボンド効果の影響を検討した。実験結果によれば、付着のある試験体より水平せん断耐力が多少小さいがひび割れなどの損傷を軽減することができ、柱主筋比 1.26% 試験体では靱性をかなり改善することができた。

キーワード：耐震壁，アンボンド，曲げ破壊

1. 序

RC 造建築物の耐震性能を向上させるためには、梁の曲げ降伏による塑性ヒンジの形成、連層耐震壁につながる境界梁の曲げ降伏による塑性ヒンジの形成、および連層耐震壁脚部の曲げ降伏による塑性ヒンジの形成による全体崩壊形がよいとされている。しかし、耐震壁は水平断面のせいが大きいため、脚部の塑性ヒンジの曲率が大きくなると、側柱の主筋に付着があれば引張側の側柱主筋のひずみがきわめて大きくなる。そのため、主筋が脚部で破断する恐れが大きくなる。側柱主筋をアンボンドにしておけばこの問題を解決することが可能と考えられる。また、主筋に付着があると、トラス機構による壁板のせん断伝達が生じるため、壁板が繰返し履歴変形を受けて水平せん断抵抗性能が徐々に低下し、その結果、壁板のせん断破壊を引き起こす原因となる。側柱主筋がアンボンドの状態

であれば、アーチ機構による壁板のせん断伝達となるため、壁板の水平力抵抗性能の低下をかなり防止することができると考えられる。つまり、主筋のアンボンド効果は、曲げ性能に優れた耐震壁の設計につながる可能性がある。

本研究は、曲げ破壊モードが予想される柱主筋比 1.26% 試験体と、柱主筋比 1.89% 試験体について、側柱主筋をアンボンドにした場合とボンドありにした場合の比較実験を行い、本研究で提案する主筋がアンボンドの場合の履歴性状について検討を行った。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、表 - 2 に使用材料の力学的性質、図 - 1 に試験体形状および配筋の一例を示す。試験体には FaWt- ξ -p_g-B[UB] の記号

表 - 1 試験体一覧

試験体名	柱断面 b×D (mm×mm)	柱主筋 p _g (%)	帯筋 p _w (%)	壁厚 t(mm)	壁筋		柱主筋 付着
					径-間隔	p _s (%)	
F1W5-0.00-1.26B	150×150	4-D10	4φ@50 (p _w =0.33%)	50	4φ@50	0.50%	有
F1W5-0.00-1.26UB		(p _g =1.26%)					無
F1W5-0.00-1.89B		6-D10					有
F1W5-0.00-1.89UB		(p _g =1.89%)					無

p_g : 柱主筋比 (%) p_w : 帯筋比 (%) p_s : 壁筋比 (%)

*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)

を付けている。Fは曲げ破壊モード，aは制御変位における繰返しサイクル数，Wは壁板，tは壁厚(cm)， ξ は開口周比 $\sqrt{h_0 l_0 / hl}$ (h_0 : 開口高， l_0 : 開口幅， h : 壁板の高さ， l : スパン長)，Bは柱主筋のコンクリートとの付着有り，UBは柱主筋のコンクリートとの付着無しをそれぞれ示している。実験の変動因子は，柱主筋比と基礎梁上端から上梁下端までの柱主筋部分とコンクリートの付着の有無である。図 - 2に柱主筋のアンボンド部分(基礎梁上端から上梁下端までの700mm)と防水処理の状態を示す。柱主筋をアンボンドにするために，内径13mm外径15mmのビニールチューブに柱主筋を通し，その両端部

表 - 2 使用材料の力学的性質

(1) 鉄筋

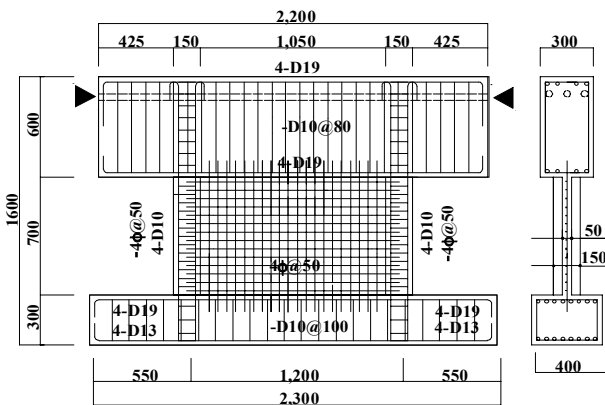
bar	a	σ_y	σ_u
4 ϕ	0.13	185	294
D10	0.71	247	349

a : 断面積(cm²)， σ_y : 降伏点(MPa)
 σ_u : 引張強度(MPa)

(2) コンクリート

Specimen	σ_B	σ_t
F1W5-0.00-1.26B	26.9	5.7
F1W5-0.00-1.26UB		
F1W5-0.00-1.89B		
F1W5-0.00-1.89UB		

σ_B : シリンダー圧縮強度(MPa)
 σ_t : シリンダー引張(割裂)強度(MPa)



▶ : 荷重位置 寸法単位(mm)

図 - 1 試験体形状および配筋の一例

を防水性のあるボンドテープで保護した。主筋がボンド試験体の断面設計にあたっては，RC無開口耐震壁に関して提案されている曲げ破壊によって決まる水平せん断耐力 $Q_{uf}^{1)}$ とせん断破壊によって決まる水平せん断耐力 $Q_{us}^{2)}$ を用いて，せん断余裕度 Q_{us}/Q_{uf} が，柱主筋比1.26%試験体では1.5，柱主筋比1.89%試験体では1.0程度となるように断面を設計した。アンボンド試験体には，ボンド試験体に用いた水平せん断耐力算定式は適用されないが，本実験では比較のためにボンド試験体と同一の柱主筋比の試験体とした。

2.2 荷重方法および荷重プログラム

図 - 3に示す荷重装置を用いて，試験体両側柱の中心に，それぞれ110kNの鉛直荷重(軸力比： $N/bD\sigma_B=0.2$)を2台のアクチュエータで荷重し，実験終了時まで一定に保持するようにした。鉛直荷重荷重後は，計画荷重プログラム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荷重した。水平力の載

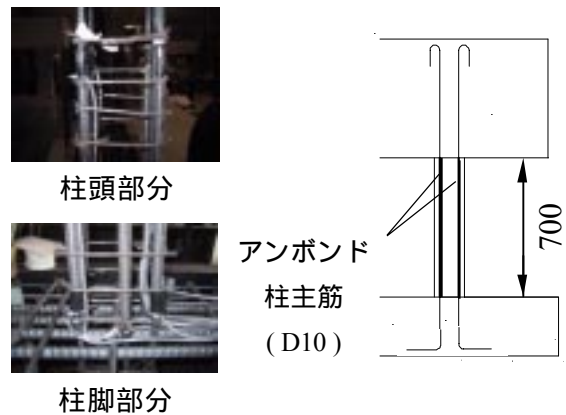


図 - 2 柱主筋のアンボンド部分と防水処理

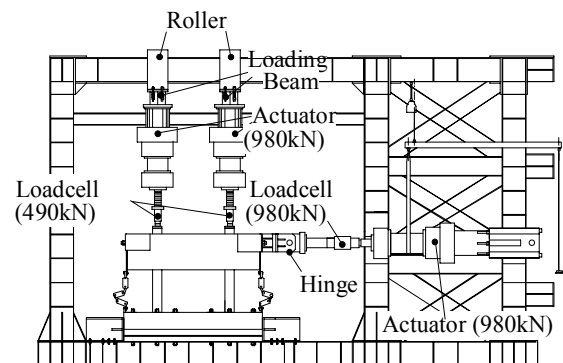


図 - 3 荷重装置

荷は、せん断スパン比 M/Ql が 1.5 となるように基礎梁上端より 120cm の位置にて載荷した。水平力の載荷速度は 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、水平変位 δ / 部材高さ h である。

2.3 測定方法

図 - 4 に示す変位測定装置にて試験体各点の変位を測定した。また、側柱の柱主筋にひずみゲージを貼付し、柱頭、柱脚部および中間部の 3ヶ所の位置の側柱主筋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

表 - 3 に実験結果一覧、図 - 5 に各試験体の

表 - 3 実験結果一覧

Specimen		$ex Q_u$	$0.8 ex Q_u$	R_b
F1W5-0.00-1.26B	(+)	276.5	221.2	1.84
	(-)	272.8	218.2	1.78
F1W5-0.00-1.26UB	(+)	265.3	212.2	2.43
	(-)	255.9	204.7	2.39
F1W5-0.00-1.89B	(+)	302.2	241.7	1.64
	(-)	295.3	236.2	1.44
F1W5-0.00-1.89UB	(+)	298.2	238.5	1.81
	(-)	289.2	231.3	1.48

$ex Q_u$: 実験値水平せん断耐力 (kN)

R_b : 限界変形角 (%)

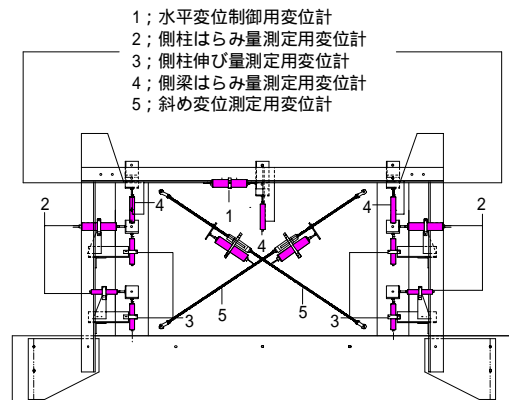
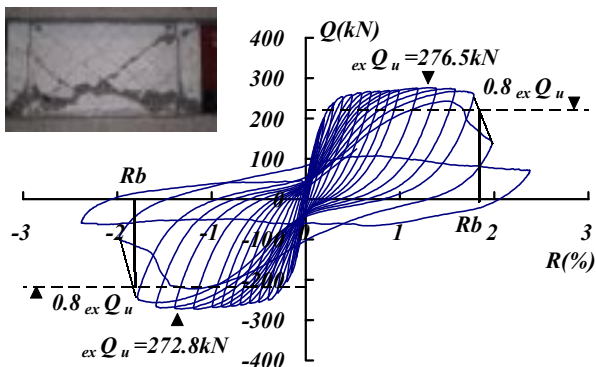
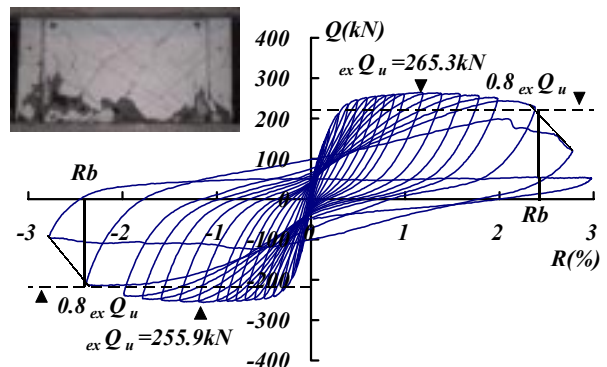


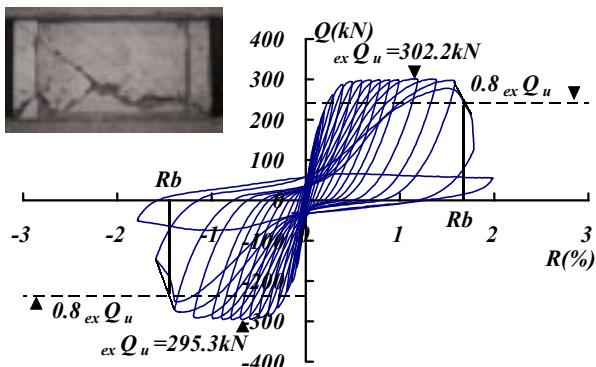
図 - 4 変位測定装置



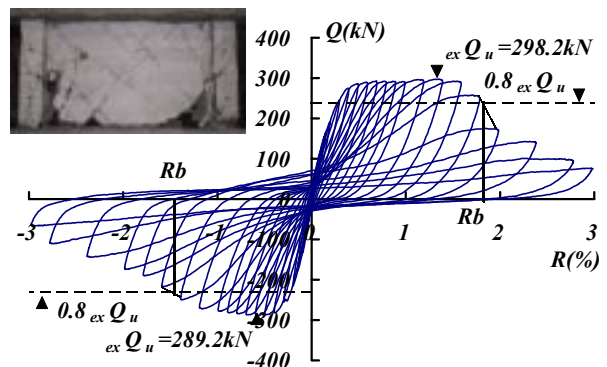
F1W5-0.00-1.26B



F1W5-0.00-1.26UB



F1W5-0.00-1.89B



F1W5-0.00-1.89UB

図 - 5 Q - R の履歴曲線および実験終了時の破壊状況

水平耐力 Q と R の履歴曲線，図 - 6 に各試験体の包絡曲線を示す。図 - 5 中の R_b は限界変形角で，包絡曲線と $0.8_{ex}Q_u$ の水平線との交点に相応する層間変形角である。図 - 7 に最大耐力以降の耐力低下率，図 - 8 に柱脚部における主筋ひずみ，図 - 9 に各制御変位時の側柱主筋のひずみ分布を示す。

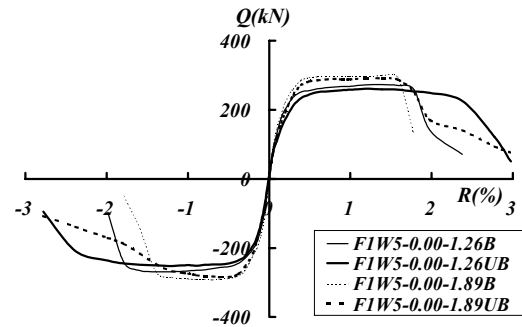


図 - 6 各試験体の包絡曲線

3.1 破壊性状および履歴性状

(1) 柱主筋比 1.26% 試験体

各試験体の初期ひび割れは， $R=0.2\%$ 近傍で壁板隅角部に発生した。 $R=0.3\%$ 近傍で側柱が軸引張降伏，即ち曲げ降伏し， $R=1.2\%$ 近傍で水平せん断耐力に達した。アンボンド試験体の場合， $R=0.5\%$ で柱脚部の浮き上がりが大きくなるとともに，壁板中央に斜めひび割れが発生した。この時点でのひび割れ幅はようやく確認できる程度であり，致命的な破壊には至っていない。柱主筋は全体を通してほぼ同じひずみの値を示し，コンクリートとの付着が生じていないことが確認された。アンボンド試験体の場合， $R=1.4\%$ で，壁板下端柱脚付近にコンクリートの圧壊が見られた。これは，引張側の柱が軸引張降伏をして水平ひび割れが拡大し，水平断面の中立軸が圧縮側柱近傍に移動したため，水平力の集中が圧縮側柱とその近傍に集中したためと考えられる。この段階で，壁板のひび割れが柱脚部分に進展したが，柱中央から柱頭部にかけてはほとんどひび割れは見られなかった。一方，ボンド試験体の柱部分には細かなひび割れの発生が見られた。 $R=2.0\%$ の時，アンボンド試験体の引張側柱脚部は 5mm ほど浮き上がった。アンボンド試験体の包絡曲線の平滑域はボンド試験体と比較して長く，その限界変形角はほぼ $R_b=2.4\%$ に達する。 $R=2.4\%$ で急激に破壊が進展し，壁板コンクリートの剥落や柱脚部分のコンクリートの圧壊，柱脚部分の柱帯筋の破断，主筋の座屈とともに急激に耐力が低下し実験を終了した。

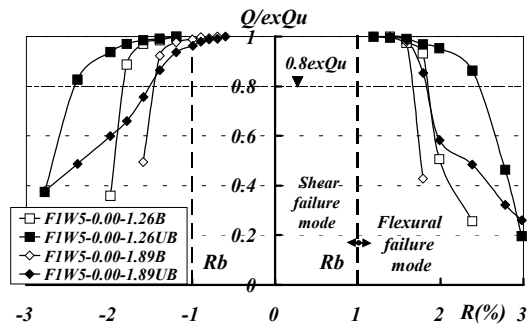


図 - 7 最大耐力以降の耐力低下率

近傍で壁板の隅角部に発生し， $R=0.5\%$ 近傍で壁板中央に斜めひび割れが発生した。アンボンド試験体は， $R=0.9\%$ 近傍で柱脚部分に浮き上がりが見られ， $R=1.2\%$ 近傍で水平せん断耐力に達した。その後変位の増大とともに徐々に水平荷重が低下した。ボンド試験体は $R=1.4\%$ 近傍で壁板の斜めひび割れが柱脚部分に進展しはじめ，アンボンド試験体の引張側柱の外側中央に発生しているひび割れが拡幅し，両側柱に微細なひび割れが確認された。その後壁板の斜めひび割れが柱脚部分に進展して，壁板コンクリートの剥落にとともに，柱脚近傍の壁板の破壊が顕著になり，荷重が急激に低下した。 $R=2.0\%$ 近傍で壁板の下端がスリップ状破壊をして，柱脚部分の圧壊が著しくなった。アンボンド試験体の包絡曲線の平滑域はボンド試験体とほぼ同じであり，曲げ破壊モードと比較してその平滑域は短く，その限界変形角はほぼ $R_b=1.4\%$ 程度である。

3.2 変形性状

図 - 10 に付帯ラーメン変形図を示す。破線は最大耐力時の変形を示す。図 - 10 に示した付帯ラーメンの変形図から各 R の時の付帯ラーメンの変形図の面積 (A_R) を求め，その面積から無載

(2) 柱主筋比 1.89% 試験体

各試験体の初期ひび割れは，いずれも $R=0.2\%$

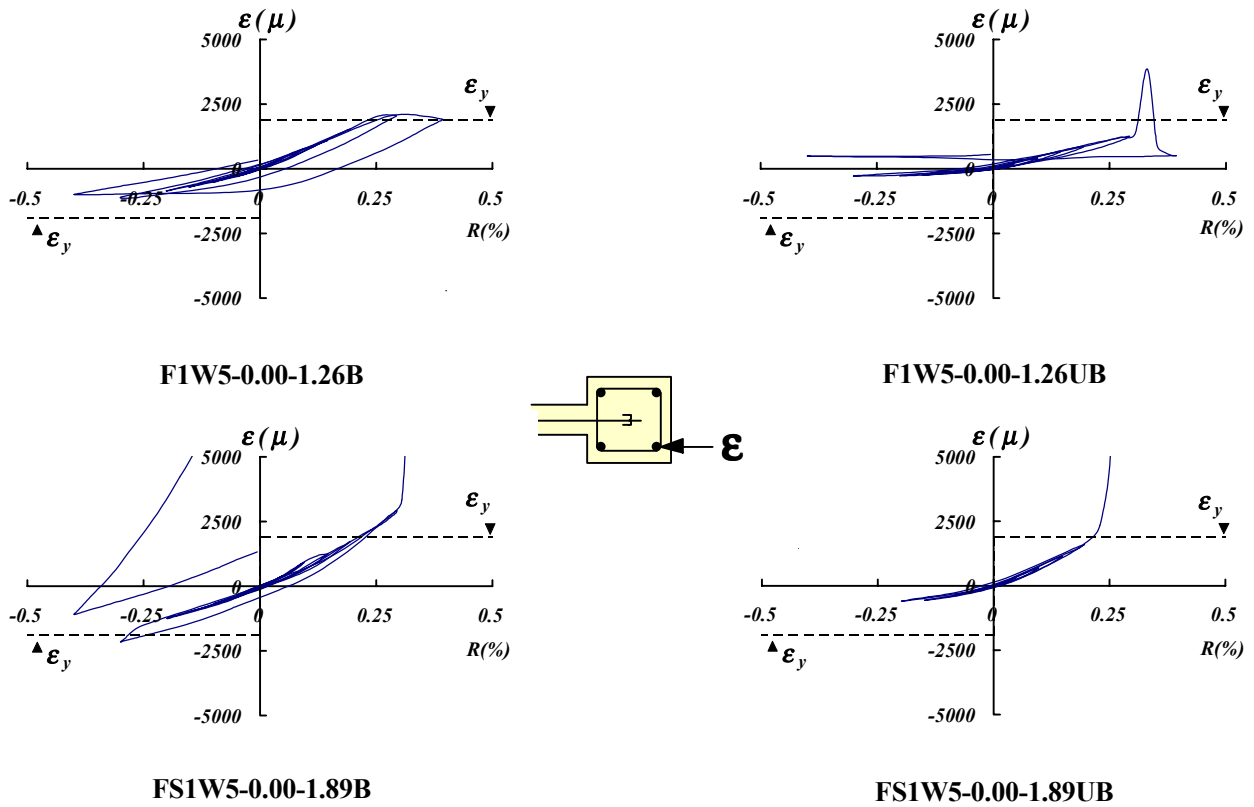


図 - 8 柱脚部主筋のひずみ

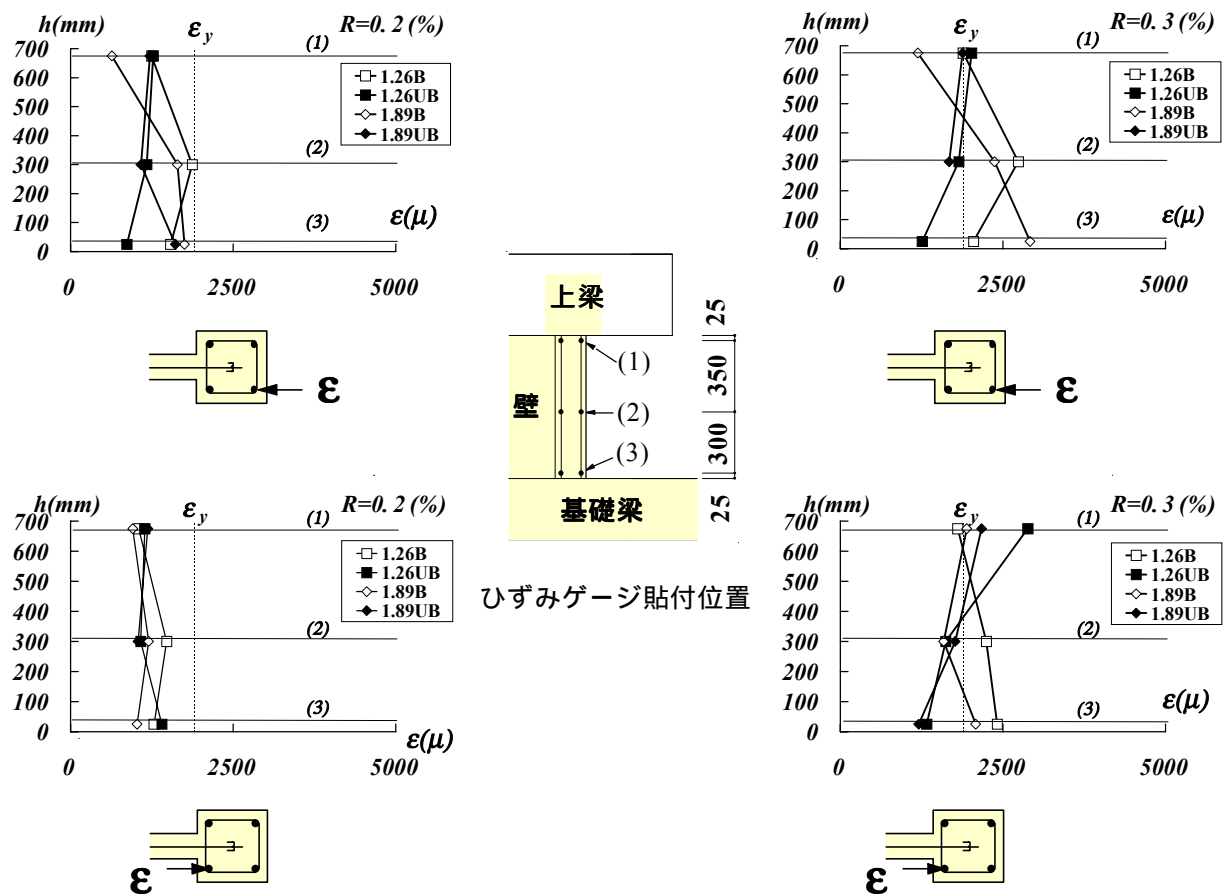


図 - 9 各制御変位時の側柱主筋のひずみ分布

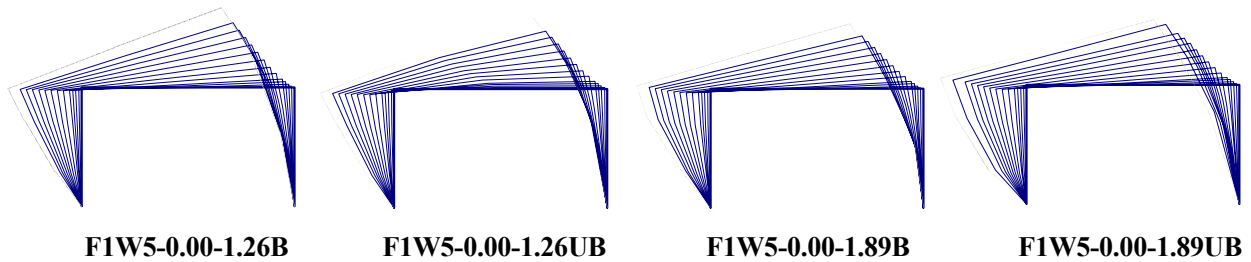


図 - 10 付帯ラーメンの変形

荷時の耐震壁の面積 ($A_0=h \times l$) を差し引いた面積を面積膨張 (A_R) とし, A_R/A_0 を各 R の時の面積膨張率 ϕ とし, 図 - 11 に示した。 ϕ は付帯ラーメンおよび壁筋が壁板を拘束する度合いを示している。図 - 11 から, R が小さい時には各試験体の面積膨張率はほぼ同じであるが, $R=0.5\%$ を超えるとボンド試験体よりもアンボンド試験体の面積膨張率が若干小さくなる傾向になった。これはアンボンド試験体のほうが水平せん断耐力が多少小さくなったためと考えられる。図 - 12 に示した等価粘性減衰定数の値は, 壁筋が側柱やスタブ内に定着されているためか, 各試験体で顕著な違いがなくほぼ同じ値であり, R の増大により直線的に大きくなる傾向を示した。

4. 結論

- 1) ビニールチューブで被覆する方法により側柱主筋の付着をなくすと, 柱主筋比 1.26% 試験体では, 水平せん断耐力以降の靱性性能を大幅に改善できたが, 柱主筋比 1.89% 試験体の場合は, 柱主筋比 1.26% 試験体ほどの改善は見られなかった。
- 2) 側柱主筋の付着をなくすと, 水平せん断耐力は多少小さくなるが, ひび割れなどによる柱の損傷を抑えることができる。
- 3) 面積膨張率は, 変形が大きくなるとボンド試験体よりアンボンド試験体の方が若干小さくなる。等価粘性減衰定数は変形の増大により直線的に大きくなるが, その値は柱主筋の付着の有無に関係なく, ほぼ同じ値となる。

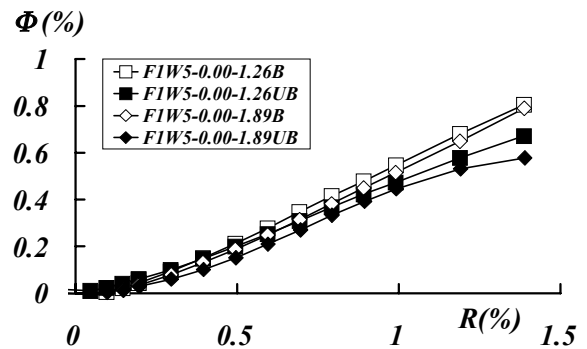


図 - 11 面積膨張率

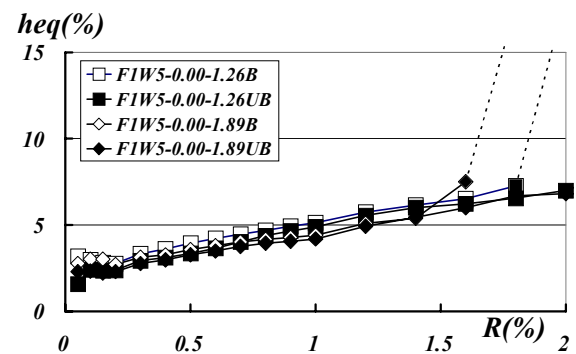


図 - 12 等価粘性減衰定数

謝辞

本研究は,平成15年度文部科学省科学研究費補助金(基盤研究(C)(2),課題番号15560509,研究代表者:江碕文也)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) 日本建築防災協会: 既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震規準・同解説, pp.11-12, 1992.8
- 2) 日本建築学会: 鉄筋コンクリート終局強度型耐震設計指針・同解説, pp.122-135, 1990.11.1
- 3) 江碕文也・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