

論文 傾斜型あと施工アンカーを用いた両側袖壁増設補強 RC 柱に関する基礎的研究

石村光由*1・貞末 和史*2・藤井 稔己*3・南 宏一*4

要旨：コンクリート系構造物の耐震補強で用いられるあと施工アンカーを施工面に対して傾斜させて用いることで、接合部のせん断剛性とせん断強度を増大できる可能性がある。本論では、傾斜型あと施工アンカーを用いて既存の鉄筋コンクリート柱を袖壁増設補強することを想定した試験体を製作し、一定圧縮軸力下で正負繰り返しの逆対称モーメントを与える載荷実験を行なって力学特性について検討した。実験の結果、アンカー筋を傾斜させない在来型の接合法に対して、アンカー筋を傾斜させた接合法を用いた場合には、部材が最大耐力に達する時の接合部のズレが小さくなると共に最大耐力が大きくなることが明らかとなった。

キーワード：耐震補強, 袖壁増設補強, 接合部, あと施工アンカー, 終局耐力

1. はじめに

鉄筋コンクリート造や鉄骨鉄筋コンクリート造などのコンクリート系構造建物の耐震補強として、既存の躯体に新たな耐震補強要素（耐震壁、鉄骨ブレースなど）を増設する設計法が確立されている¹⁾。ここで、補強の効果を最大限に得るには既存躯体と耐震補強要素の接合部が剛強であることが望まれ、接合部にあと施工アンカーを設けることが多い。なお、あと施工アンカーは接合部に作用する応力に関わらず施工面に対して直角にアンカー筋を固着させる（在来型あと施工アンカーと称す）ことが一般的であるが、せん断力が卓越する接合部に関しては、図-1 に示されるようにアンカー筋を傾斜させる（傾斜型あと施工アンカーと称す）とせん断力に対する抵抗機構はアンカー筋のダボ作用によるせん断抵抗型からアンカー筋の伸び縮みによる軸方向抵抗型へと変化することが予測され、せん断剛性とせん断強度の増大が期待できる。せん断面に対して結合要素を傾斜させて用いる接合法の有効性は、鉄骨とコンクリートの結合（鉄骨鉄筋コンクリート部材や合成梁など）における傾斜させた頭付きスタッドの実験研究²⁾や、プレキャスト部材の接合面に傾斜させた接合筋を設けた接合部の実験研究³⁾などで実証されている。

あと施工アンカーを傾斜させることの有効性については、著者らが鉄筋コンクリート骨組に対する枠付き鉄骨ブレース補強の間接接合部を想定したせん断実験を行なって検証しており、図-1 (b) に示されるようにアンカー筋を45度傾斜させ千鳥配置で交差型にした場合には、在来型あと施工アンカーを用いた場合と比較してせん断強度が増大し、変形特性も改善できることを明らかにしてい

る⁴⁾（図-2 参照）。なお、アンカー筋を傾斜させることの効果は、コンクリートがコーン状破壊を生じない条件下で高い効果が得られることが明らかになっており、アンカー筋の降伏、アンカー筋の付着破壊、コンクリートのコーン状破壊、コンクリートの支圧破壊を考慮した各破壊形式に応じたせん断強度の評価式を提案している⁴⁾。

本論では鉄筋コンクリート柱の袖壁増設補強へ傾斜型あと施工アンカーを適用することを想定した部材試験体を製作して載荷実験を行ない、在来型あと施工アンカーを用いて袖壁増設補強した場合との構造性能の違いについて検討する。

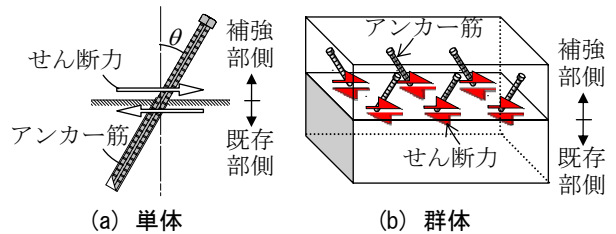


図-1 傾斜型あと施工アンカー

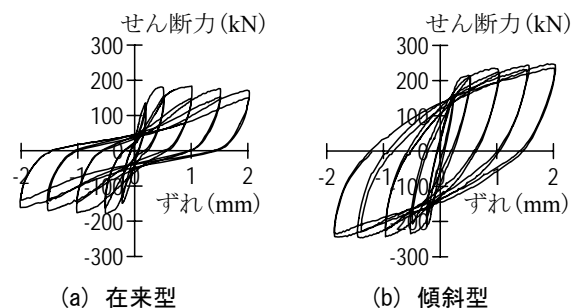


図-2 間接接合部の履歴特性⁴⁾

*1 石村設計事務所 所長 博士(工学) (正会員)

*2 広島工業大学 工学部建築工学科准教授 博士(工学) (正会員)

*3 福山大学大学院 工学研究科地域空間工学専攻 修士(工学) (学生会員)

*4 福山大学 名誉教授 工博 (名誉会員)

2. 実験方法

2.1 試験体

試験体は無補強の鉄筋コンクリート柱1体、在来型あと施工アンカーを用いて両側袖壁増設補強することを想定した鉄筋コンクリート柱1体、傾斜型あと施工アンカーを用いて両側袖壁増設補強することを想定した鉄筋コンクリート柱2体の合計4体とした。試験体計画を表-1、試験体形状を図-3に示す。

試験体CLは柱断面が300mm×300mmの無補強柱であり、帯筋比を0.21%とし、曲げ破壊に対してせん断破壊が先行する試験体として計画した。他の試験体はCLと同形状の柱を120mm×250mmの袖壁で補強したものであり、CLW00は鉛直接合筋、水平接合筋共にアンカー筋を傾斜させていない在来型の試験体である。CLW45AおよびCLW45Bは鉛直接合筋を45°傾斜させた試験体であり、アンカー筋を傾斜させる方向が異なっている。なお、実構造物におけるアンカー筋は接着系あと施工アンカーを用いることを想定しているが、本実験ではアンカー筋の傾斜方向の影響を確認するための基礎的研究と位置付け、試験体製作の容易さからアンカー筋は全て先付アンカーとした。先付アンカーと接着系あと施工アンカーでは引張力を受けた際の付着強度に差異を生じるが、一般的に付着強度の大小は、回転・打撃型の接着系アンカー>先付けアンカー>注入型の接着系アンカーとなることから⁵⁾、回転・打撃型の接着系アンカーを用いる場

合よりは安全側の実験を行なうことになる。ただし、本実験では確実にアンカー筋の付着破壊が生じないように埋め込み深さは十分長くした。

柱と袖壁の鉛直接合部のせん断強度は、既報⁴⁾で提案

表-2 鉛直接合筋のせん断強度

傾斜角度(°)	方向	Q ₁ (kN)	Q ₂ (kN)	Q ₃ (kN)	Q ₄ (kN)
0	せん断	13.9	25.6	-	-
45	せん断(引張方向)	25.7	42.3	123	66.1
	せん断(圧縮方向)	11.3	-	-	-

表-3 コンクリートの材料特性

		CL	CLW00	CLW45A	CLW45B
柱	圧縮(N/mm ²)	32.3	32.3	32.3	31.0
	引張(N/mm ²)	2.71	2.71	2.71	2.53
	ヤング係数(N/mm ²)	32594	32594	32594	30977
袖壁	圧縮(N/mm ²)	-	40.6	42.5	38.6
	引張(N/mm ²)	-	3.18	3.42	3.02
	ヤング係数(N/mm ²)	-	31005	31885	30505

表-4 鋼材の材料特性

		降伏強度 σ _y (N/mm ²)	引張強度 σ _t (N/mm ²)	伸び (%)
柱主筋	D13(SD345)	354	488	19.2
帯筋・袖壁横筋	D6(SD295A)	368	531	20.5
袖壁縦筋	D10(SD345)	367	528	13.5
アンカー筋	D10(SD295A)	338	493	17.3
アンカー筋	D13(SD345)	364	530	18.9

表-1 試験体計画

試験体	軸力 N (軸力比 n)	柱主筋 (引張鉄筋比)	帯筋 (帯筋比)	袖壁縦筋 (縦筋比)	袖壁横筋 (横筋比)	鉛直接合筋 (鉛直接合筋比)	水平接合筋	接合法
CL				-	-	-	-	無補強
CLW00	555kN (n=0.2)	12-D13 (0.56%)	D6@100 (0.21%)	6-D10 (1.43%)	D6@80 (0.66%)	4-D10 (0.26%)	2-D13	在来型
CLW45A								傾斜型
CLW45B								

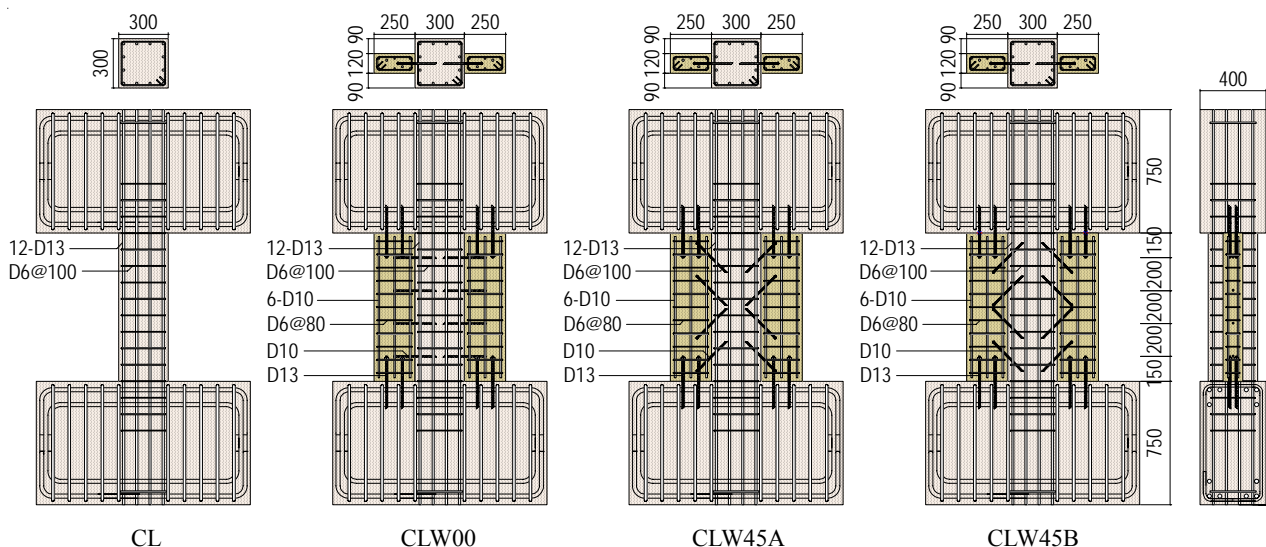


図-3 試験体形状 (単位:mm)

した評価式を用いて、コンクリートの支圧破壊強度 Q_2 、コンクリートのコーン状破壊強度 Q_3 およびアンカー筋の付着破壊強度 Q_4 に対して、アンカー筋の降伏強度 Q_f が下回るように設計を行い、鉛直接合筋には D10 の異形鉄筋を用いて柱部分への埋め込み深さを $12d_a$ (d_a はアンカー筋の径) とした。鉛直接合部のせん断強度の計算値を表-2 に示す。なお、水平接合筋には D13 の異形鉄筋を用いて梁 (スタブ) 部分への埋め込み深さを $12d_a$ とした。

試験体の製作は既存部分に相当する柱および梁 (スタブ) の鉄筋およびアンカー筋を配した後、コンクリートを打込んだ。その後、接合面に目粗し等の処理は行わず、壁筋を配した後、増設袖壁部分のコンクリートを打込んだ。なお、既存部・増設部共にコンクリートは試験体を横に倒して打込んだ。試験体に用いた材料の試験結果を表-3、表-4 にそれぞれ示す。

2.2 荷重装置と変位計測

荷重は図-4 に示す荷重装置を使用して、所定の一定圧縮軸力 N ($=555\text{kN}$) を導入後、正負繰返し of 逆対称モーメントを漸増荷重するものとした。 N は柱断面の圧縮耐力 N_u に対する比 n が 0.2 となるように設定した。反曲点までの高さは 450mm であり、柱のせん断スパン比は 1.5 となっている。加力サイクルは部材角 R (上下スタブ間

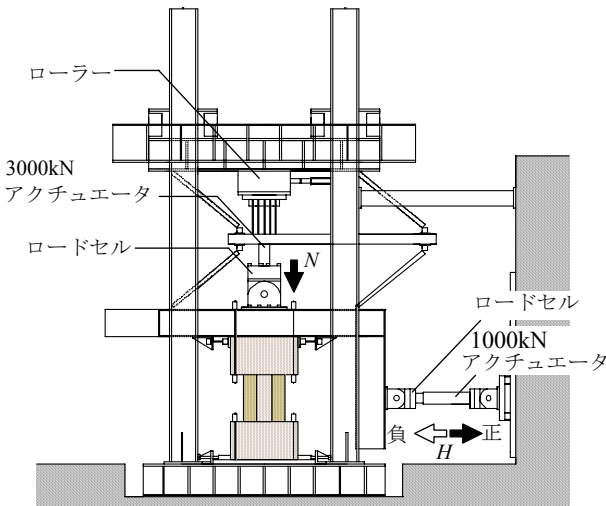


図-4 荷重装置

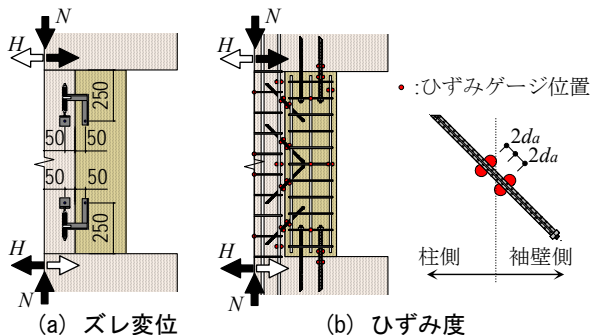


図-5 接合面のズレとひずみ度の計測位置

の相対水平変位 δ / 柱内のり l) を変位制御し、無補強柱に関しては、 $R=\pm 0.25\%$ rad. を 1 サイクル行なった後、次に $R=\pm 0.5\%$ rad. を 2 サイクル行い、それ以後は直前の振幅に対して R を $\pm 0.5\%$ rad. 漸増させる正負繰返し荷重を 2 サイクルずつ行い、著しく耐力低下を生じたら実験を終了した。袖壁増設補強柱に関しては $R=\pm 0.125\%$ rad. を 1 サイクル行なった後、次に $R=\pm 0.25\%$ rad. および $\pm 0.5\%$ rad. を 2 サイクルずつ行い、それ以後は無補強柱と同様の荷重履歴を与えた。

変位の計測は、上下スタブ間の相対水平変位 δ を計測すると共に、図-5 (a) に示される位置にボルトを埋め込み、柱と袖壁の相対ズレ変位 $j\delta$ を柱の上下左右において計測した。

ひずみ度の計測は、柱の主筋と帯筋、袖壁の縦筋と横筋、アンカー筋 (鉛直接合筋、水平接合筋) のそれぞれについて、図-5 (b) に示される位置の両面にひずみゲージを貼り付けて計測した。

3. 実験結果および考察

3.1 破壊状況と履歴特性

各試験体について最大耐力時の破壊状況と最終破壊状況を写真-1、せん断力 Q -部材角 R 関係を図-6、柱と袖壁の相対ズレ変位 $j\delta$ を図-7 にそれぞれ示す。

せん断力 Q は軸力の作用による PA 効果を考慮した値を示している。図-6 における Q_{mu} および Q_{su} は下式に示される耐震改修設計指針¹⁾の袖壁増設補強柱の終局曲げ耐力および終局せん断耐力の計算値である。無補強柱の終局曲げ耐力および終局せん断耐力については、耐震診断基準⁶⁾に従って算定した。

$$Q_{mu} = \phi \cdot M_u / h' \quad (1)$$

$$M_u = (0.9 + \beta) a_t \cdot \sigma_y \cdot D + 0.5N \cdot D$$

$$\left\{ 1 + 2\beta - \frac{N}{\alpha_e \cdot b \cdot D \cdot F_{cl}} \left(\frac{a_t \cdot \sigma_y}{N} + 1 \right)^2 \right\} \quad (2)$$

$$Q_{su} = \phi \cdot \left\{ \frac{0.053 p_{te}^{0.23} (F_c + 18)}{M / (Q \cdot de) + 0.12} + 0.85 \sqrt{p_{we} \cdot \sigma_{wy}} \right.$$

$$\left. + 0.1 \sigma_{oe} \right\} b_e \cdot j_e \quad (3)$$

ここに、 ϕ は低減係数で 0.8、その他の記号は下式および文献¹⁾を参照するものとする。

$$p_{te} = a_t / (b_e \cdot de) \times 100 \quad (4)$$

$$p_{we} \cdot \sigma_{wy} = p_w \cdot \sigma_{wy} (b/b_e) + p_{sh} \cdot \sigma_{sy} (t/b_e) \quad (5)$$

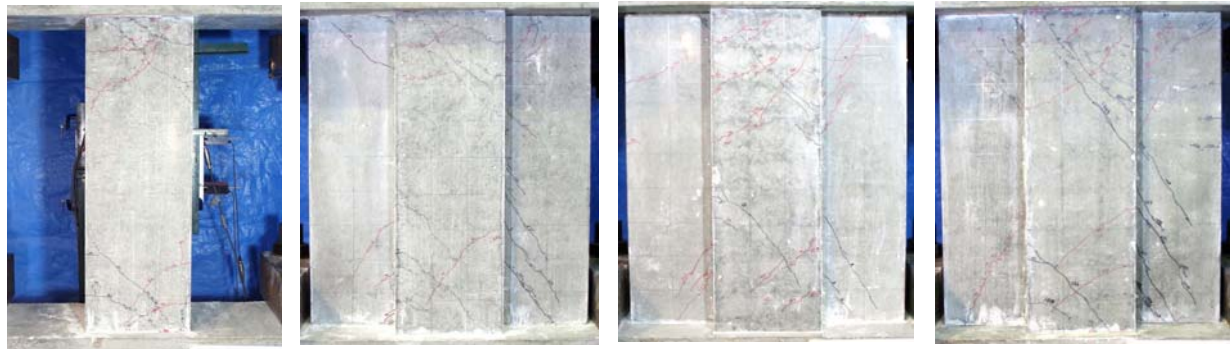
$$\sigma_{oe} = N / (b_e \cdot j_e) \quad (6)$$

いずれの試験体に関しても、最大耐力の実験値は計算値を上回っていることが確認された。

無補強柱 CL は、 $R=\pm 0.25\%$ rad.の振幅で曲げひび割れが発生、 $R=\pm 0.50\%$ rad.の振幅で材端部に斜めひび割れが発生して徐々に剛性低下し、 $R=0.54\%$ rad.で主筋が降伏した後、 $R=1.0\%$ rad.で最大耐力に達した。その後、 $R=\pm 1.50\%$ rad.での2サイクル終了時までにはほとんど耐力低下し

なかったが、 $R=2.0\%$ rad.に向かう際の $R=1.43\%$ rad.で帯筋の降伏と共にせん断破壊を生じて急激に耐力低下した。

袖壁補強柱 CLW00 は、 $R=\pm 0.125\%$ rad.の振幅で柱の材端部に斜めひび割れが発生して徐々に剛性低下し、 $R=\pm 0.25\%$ rad.の振幅の際に袖壁に斜めひび割れを生じ、鉛



CL

CLW00

CLW45A

CLW45B

(a) 最大耐力時



CL

CLW00

CLW45A

CLW45B

(b) 実験終了時

写真-1 破壊状況

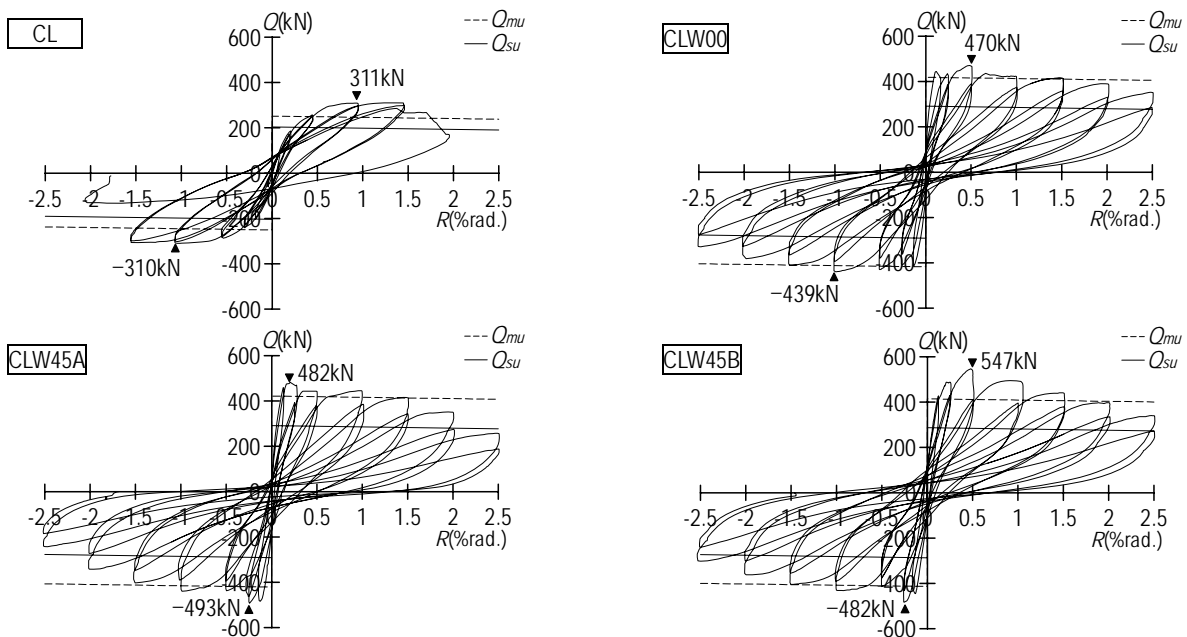


図-6 履歴曲線

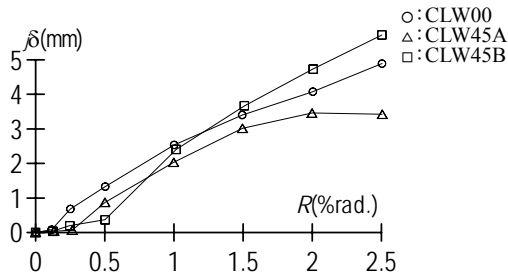


図-7 鉛直接合部のズレ変位

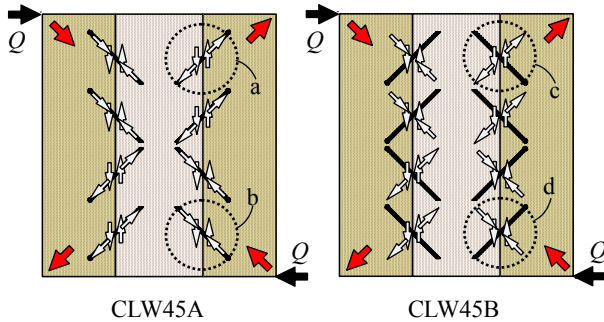


図-8 アンカー筋が受ける応力

直接合筋が降伏すると共に鉛直接合部のズレが大きくなり、剛性が大きく低下した。その後、 $R=0.5\%$ rad.で最大耐力に達した際には柱と袖壁の鉄筋および水平接合筋は降伏してなく、 $R=0.66\%$ rad.で帯筋が降伏、 $R=0.71\%$ rad.で柱主筋が降伏した後、斜めひび割れや鉛直接合部のズレの増大と共に徐々に耐力が低下した。無補強柱と比較して耐力低下が穏やかなのは、袖壁が軸力を負担して柱の負担軸力が低減されていることが影響していると考えられる。

袖壁補強柱 CLW45A は、 $R=\pm 0.125\%$ rad.の振幅で柱の材端部に斜めひび割れが発生して徐々に剛性低下し、 $R=\pm 0.25\%$ rad.の振幅の際に袖壁に斜めひび割れを生じると共に鉛直接合筋が降伏して最大耐力に達した。その後、 $R=\pm 0.5\%$ rad.の振幅では鉛直接合部のズレが大きくなり、やや耐力低下した。それ以後は $R=0.55\%$ rad.で帯筋が降伏、 $R=0.98\%$ rad.で柱主筋が降伏した後、斜めひび割れや鉛直接合部のズレの増大と共に徐々に耐力低下が進行していった。

袖壁補強柱 CLW45B は、CLW45A と同様に $R=\pm 0.125\%$ rad.の振幅で柱の材端部に斜めひび割れが発生して徐々に剛性低下し、 $R=\pm 0.25\%$ rad.の振幅の際に袖壁に斜めひび割れを生じた。その後、 $R=\pm 0.5\%$ rad.の振幅で鉛直接合筋が降伏すると共に最大耐力に達し鉛直接合部のズレが大きくなり始めたが他の試験体と比較してズレの量は小さい。それ以後は $R=0.66\%$ rad.で柱主筋が降伏、 $R=\pm 1.00\%$ rad.の振幅で帯筋と水平接合筋が降伏した後、斜めひび割れや鉛直接合部のズレの増大と共に徐々に耐力低下が進行していった。

一般的に既存鉄筋コンクリート柱の袖壁増設補強は、柱と袖壁の接合に十分な量の鉛直接合筋を配して一体性を確保し、柱と袖壁が一体となって挙動することで十分な補強効果が得られるが、図-6 および図-7 を見て明らかのように鉛直接合筋を傾斜させて接合することで袖壁増設補強柱が最大耐力に達するまでの接合部のズレを抑制することができ、その結果、最大耐力を増大させることが可能であることが確認された。

なお、CLW45A と CLW45B を比較すると、CLW45B の方が最大耐力が大きくなっており、鉛直接合筋の傾斜方向の違いによる影響が見られた。これは袖壁補強柱が図-8 に示される方向にせん断力 Q を受ける場合を例とすると、鉛直接合筋周辺の応力と傾斜方向によって点線で囲まれる a, b, c, d の状態が存在すると考えられ、接合面に作用するせん断力の他に接合面直交方向の応力（引張力および圧縮力）の影響を受けて CLW45A と CLW45B では接合部のせん断強度（ズレ強度）が異なるため、部材の最大耐力に差異を生じたものと推察される。あと施工アンカーのせん断強度は作用する引張力（あるいは圧縮力）の影響を受けてせん断強度が変化することが既往の実験で確認されている⁷⁾。

3.2 鉛直接合筋の挙動

図-5 (b) に示される側（試験体右側部）の鉛直接合筋に着目し、柱と袖壁の接合面から柱内に $2d_a$ 埋込まれた位置における鉛直接合筋の曲率 ϕ を図-9 に示す。 ϕ は鉛直接合筋両面のひずみ度の差を d_a で除した値とした。各図は柱頭から柱脚に渡り位置する鉛直接合筋を上から順に並べて示している。鉛直接合部のズレ変位が大きくなり始める $R=0.25\%$ rad.程度以下の範囲においては、傾斜の有無や傾斜方向に関わらず、鉛直接合筋の配置位置によって ϕ の推移や最大値に顕著な差異はないことから、接合部に作用するせん断力に対して 4 本の鉛直接合筋が均等に抵抗しているものと推察される。また、同じ配置位置の鉛直接合筋について、傾斜の有無による比較をしても、 $R=0.25\%$ rad.以下の範囲では ϕ の推移や最大値に顕著な差異は確認されなかった。

図-9 と同様に試験体右側部に位置する鉛直接合筋の軸ひずみ度 ε を図-10 に示す。 ε は鉛直接合筋両面のひずみ度の平均値であり、引張ひずみ度を正として表した。鉛直接合筋を傾斜させていない試験体 (CLW00) の場合は正負両載荷方向において引張ひずみ度が漸増していくのに対して、鉛直接合筋を傾斜させた試験体 (CLW45A, CLW45B) の場合は正負繰返し載荷によって交互に引張ひずみ度と圧縮ひずみ度が漸増していることから、鉛直接合筋を傾斜させた場合には鉛直接合筋が軸方向抵抗型の抵抗機構へと変化していることが確認された。また、CLW45A と CLW45B では同一変形時における ε の正負が

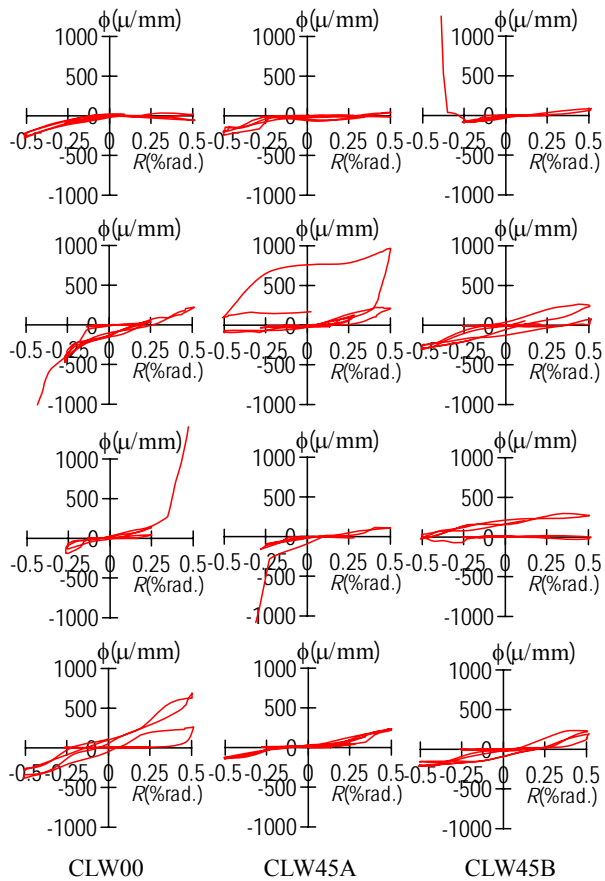


図-9 アンカー筋の曲率

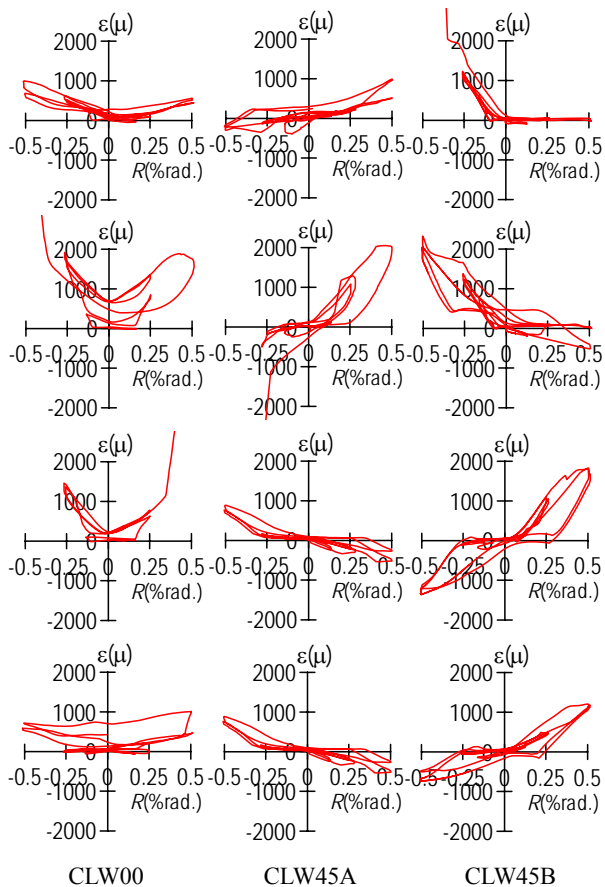


図-10 アンカー筋の軸ひずみ度

反転しており、鉛直接合筋の傾斜方向の違いによる影響が顕著に見られた。

4. まとめ

在来型および傾斜型あと施工アンカーを用いて既存の鉄筋コンクリート柱を袖壁増設補強することを想定した部材試験体を製作し、一定圧縮軸力下で正負繰り返しの逆対称モーメントを与える載荷実験を行なった。本研究によって得られた成果を以下にまとめる。

- 1) 鉛直接合筋の傾斜の有無に関わらず、袖壁増設補強柱の最大耐力は耐震改修設計指針に示される評価式を用いて安全側に評価できる。
- 2) 既存柱と増設袖壁の鉛直接合部に傾斜させたアンカー筋を用いることで、袖壁増設補強柱が最大耐力に達するまでの鉛直接合部のずれが小さくなり、最大耐力を増大できる。
- 3) 鉛直接合筋を傾斜させる方向によって、袖壁増設補強柱の最大耐力に差異を生じる。

謝辞

本研究の実施にあたっては、平成 25 年度科学研究費補助金（若手研究(B) 課題番号：237603 代表研究者：広島工業大学准教授 貞末和史）および（社）中国建設弘済会・技術開発支援制度による助成を受けました。ここに記して謝意を表します。

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改修設計指針同解説, 2001.1
- 2) 松岡義典, 南宏一:傾斜したスタッドコネクタのせん断耐力に関する一実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C, 構造 II, pp.1627-1628, 1993.9
- 3) 岡田行江, 香取慶一, 林静雄:傾斜配筋されたプレキャスト接合面のせん断挙動と接合筋傾斜角度との関係に関する研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.23, No.3, pp.649-654, 2001.7
- 4) 貞末和史, 津吉真人, 石村光由, 南宏一:傾斜させた接着系あと施工アンカーのせん断耐力, 日本建築学会構造系論文集, 第 74 巻, 第 644 号, pp.1813-1820, 2013.1
- 5) 中野克彦, 松崎育弘, 杉山智昭:接着系あと施工アンカーの基本平均付着強度に関する実験的研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-2, pp.149-150, 2009.8
- 6) 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診断基準同解説, 2001.1
- 7) 石村光由, 貞末和史, 藤井稔己, 南宏一:複合応力下における傾斜型あと施工アンカーのせん断強度に関する実験的研究, 日本建築学会中国支部研究報告集 第 37 巻, pp.141-144, 2014.3