

論文 傾斜型あと施工アンカーを用いて袖壁補強した RC 柱の構造性能に関する実験的研究

貞末 和史^{*1}・藤井 稔己^{*2}・石村 光由^{*3}・南 宏一^{*4}

要旨：コンクリート系建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固着すると接合部のせん断強度が増大すると考えている。本研究では接合部のせん断実験を行なって、引張力下では傾斜型あと施工アンカーを用いた場合のせん断強度の増大効果は小さいものの、圧縮力下ではせん断強度の増大効果が大きくなることを明らかにした。さらに、傾斜型あと施工アンカーを適用して袖壁増設補強した鉄筋コンクリート柱の曲げ・せん断実験を行い、在来型あと施工アンカーを用いた場合と比較して、傾斜型あと施工アンカーを用いた場合は、既存柱の破壊形式に関わらず、終局強度が大きくなることを示した。

キーワード：耐震補強, 袖壁補強, 接合部, あと施工アンカー, せん断強度, 終局強度

1. はじめに

コンクリート系建物の耐震補強で用いるあと施工アンカーを施工面に対して 45° 傾斜させて、接合部のせん断剛性とせん断強度を増大させる接合工法（以後、傾斜型あと施工アンカー）を考案し、接着系あと施工アンカーを対象として、せん断強度の増大効果を定量化すると共に、せん断強度の増大効果が得られる適用条件を明らかにしている¹⁾。また、傾斜型あと施工アンカーを鉄筋コンクリート柱の袖壁増設補強へ適用した載荷実験を行い、一定圧縮軸力下で正負繰返し曲げ・せん断力を受ける場合の補強効果について検討している²⁾。

傾斜型あと施工アンカーが直列に配された袖壁増設補強柱を図-1に示す。袖壁増設補強柱が水平力 H を受ける場合、既存柱と増設袖壁の接合面およびアンカー筋は、せん断力のみを受けるのではなく、アンカー筋の傾斜方向と配置によって、a~dに示されるような複合応力を受けると予測されるが、複合応力下の傾斜型あと施工アンカーの力学挙動については明らかにされていない。

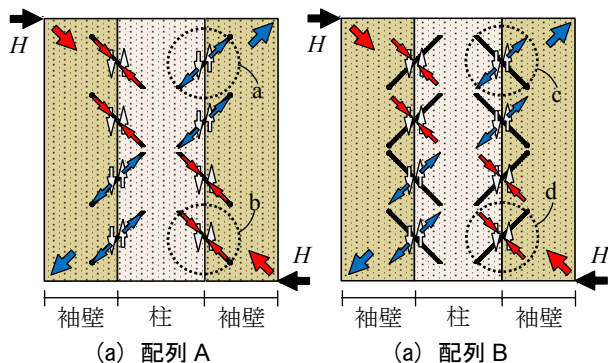


図-1 複合応力を受ける傾斜型あと施工アンカー

そこで、本論では、引張力あるいは圧縮力下でせん断力を受ける傾斜型あと施工アンカーの力学挙動について検討すると共に、傾斜型あと施工アンカーを適用して袖壁増設補強した鉄筋コンクリート（以後、RC と称す）柱の構造性能について実験的に明らかにする。

2. 実験計画

2.1 試験体

(1) 接合部試験体

コンクリート施工面への垂線に対してアンカー筋を 45° 傾斜させた接着系あと施工アンカーが引張力あるいは圧縮力とせん断力の複合応力を受けて、コンクリートの支圧破壊、コーン状破壊および付着破壊に対してアンカー筋の降伏が先行する場合のせん断強度について検討することを意図した実験を計画した。試験体計画を表-1に示す。実験変数はアンカー筋の傾斜の有無、接合面鉛直力の有無とした。

試験体形状を図-2に示す。アンカー筋は 8-D10 (SD295A) の異形鉄筋を用いた先付けアンカーとし、既存部側および増設部側への埋込み長さはアンカー筋直径 d_a の 12 倍とした。アンカー筋は千鳥配置とし、在来型アンカー試験体および傾斜型アンカー試験体をそれぞれ 3 体ずつ製作した。本試験体は既報¹⁾で提案した評価式によって、他の破壊形式に対してアンカー筋の降伏が先行することを確認しており、この場合はあと施工アンカーと先付けアンカーの違いが実験結果に与える影響は小さいと考えている。なお、アンカー筋の数量と配置および接合面近傍の配筋は、後述する袖壁補強柱試験体 SN, SD における鉛直接合面と同様の設計詳細としている。

*1 広島工業大学 工学部建築工学科准教授 博士(工学) (正会員)

*2 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)

*3 石村設計事務所 博士(工学) (正会員)

*4 福山大学 名誉教授 工博 (名誉会員)

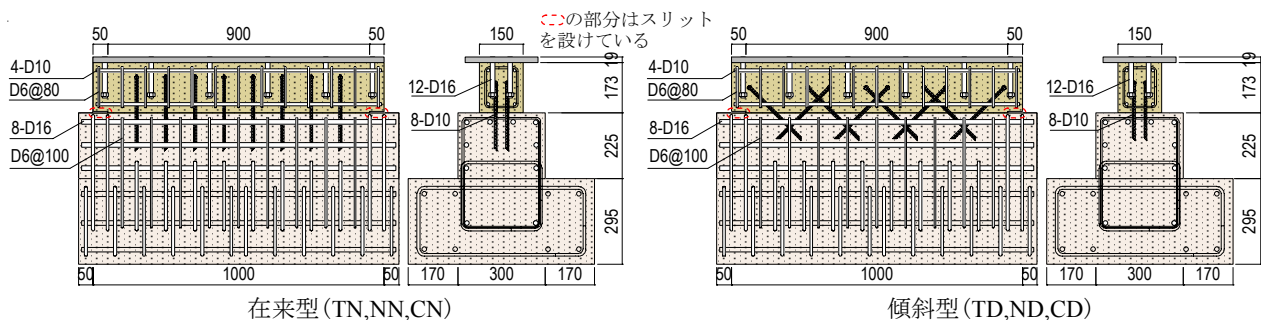


図-2 試験体形状（接合部）

表-1 試験体計画（接合部）

試験体	アンカー筋		接合面鉛直力
	種別	傾斜角度	
TN	8-D10 (SD295A)	0°	-40kN
NN			0kN
CN			80kN
TD		45°	-40kN
ND			0kN
CD			80kN

表-2 コンクリートの材料強度

使用箇所	圧縮 (N/mm ²)	引張 (N/mm ²)	ヤング係数 (N/mm ²)	実験シリーズ
既存部	22.6	1.96	26363	接合部
増設部	25.8	2.40	27914	
既存部	25.4	2.66	26840	袖壁補強柱
増設部	32.5	2.63	30047	

表-3 鋼材の材料強度

使用箇所		降伏強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	伸び (%)
主筋	D16	372	546	18.2
主筋	D13	366	520	21.1
帯筋	D13	369	521	16.8
帯筋	D6	355	508	18.6
壁縦筋	D10	391	550	18.8
壁横筋	D6	355	508	18.6
アンカー筋(鉛直接合面)	D10	348	477	18.7
アンカー筋(水平接合面)	D13	369	521	16.8

試験体の製作は、既存躯体に相当する部分のコンクリートを打込み後、上端面をコテで均して平滑にし、コンクリート硬化後、上端面にグリースを塗り、増設部に相当する部分のコンクリートを打込んだ。既存部と増設部の接合面の固着力は初期剛性に大きな影響を与えるが、微小な変形で固着力が喪失した直後、急激に耐力低下する。固着力が大きな接合部ではアンカー筋の効果が不明瞭になるため³⁾、本実験では接合面におけるコンクリート打継ぎ部の固着力を取り除いた。

接合面鉛直力 jN は圧縮力を正とし、 $jN=-40\text{kN}$, 0kN , 80kN の3種類とした。 $jN=-40\text{kN}$ は $0.2aN_y$ (ここに、 aN_y はアンカー筋の引張降伏強度) として設定した。一方、

jN が圧縮の場合はアンカー筋が負担する圧縮力が小さくなると考えられるため、 $jN=80\text{kN}$ として引張力を受ける場合よりも大きな値に設定した。

試験体に用いたコンクリートと鋼材の材料強度を表-2、表-3にそれぞれ示す。

(2) 袖壁増設補強した RC 柱試験体

試験体は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 RC 柱2体 (SN, MN)、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 RC 柱2体 (SD, MD) の合計4体とした。試験体計画を表-4に示す。実験変数はアンカー筋の傾斜の有無および既存 RC 柱の破壊形式とした。

試験体形状を図-3に示す。全試験体とも、柱断面 $300\text{mm} \times 300\text{mm}$ 、内法 900mm でせん断スパン比を1.5とし、主筋と帯筋の数量を変えることで、補強前の柱の破壊形式がせん断破壊先行型 (SN, SD) および曲げ破壊先行型 (MN, MD) となるように設計した。増設袖壁断面は $150\text{mm} \times 450\text{mm}$ で全試験体とも同一配筋とした。

柱と袖壁を接合するアンカー筋は接合部試験体と同様に異形鉄筋を用いた先付けアンカーとし、鉛直接合部の各面には8-D10 (SD295A) を千鳥配置し、水平接合部の各面には8-D13 (SD345) を用いた。鉛直接合部のせん断強度は、既報¹⁾の評価式を用いてアンカー筋の降伏が先行するように設計しており、柱側、袖壁側共に埋込み長さは $12d_a$ とした。水平接合面アンカー筋の埋込み長さは、梁(スタブ)側へは $12d_a$ 、袖壁側へは $10d_a$ とした。

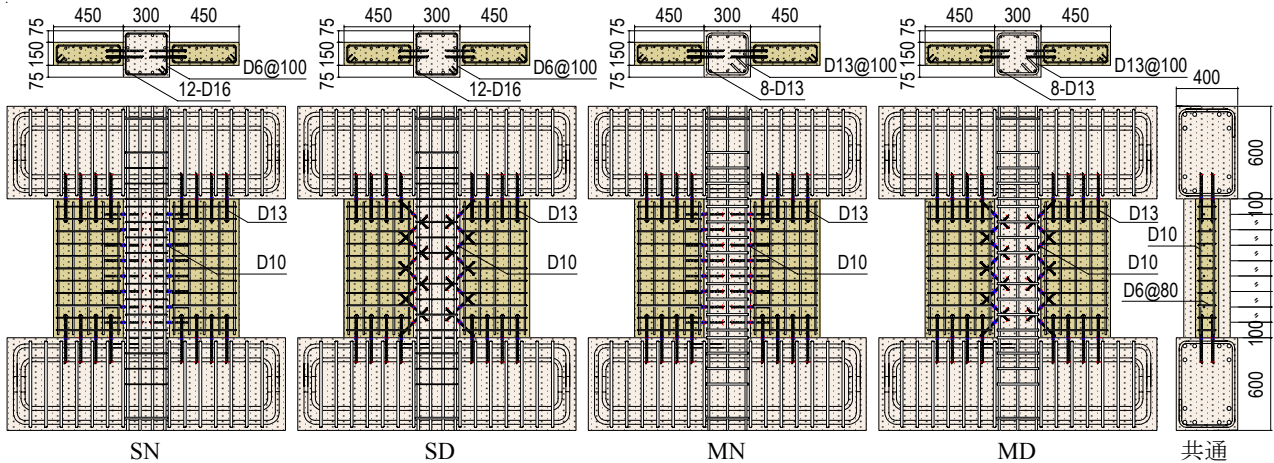
試験体製作は柱梁の鉄筋とアンカー筋を配した後、コンクリートを打込み、コンクリート硬化後脱型し、鉛直接合面にグリースを塗って接合部試験体と同様にコンクリート打継ぎ部の固着力を絶縁した。一方で、水平接合面には2~3mmの凹凸を有する目粗しを施して、壁筋を配した後、袖壁コンクリートを打込んだ。なお、柱、袖壁共にコンクリートは試験体を横に倒して打込んでいる。

軸力 N は柱断面の圧縮耐力 N_u に対する作用圧縮軸力の比 n を0.2として設定した。

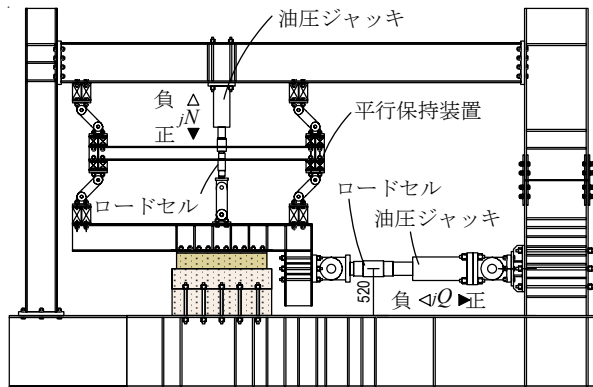
試験体に用いたコンクリートと鋼材の材料強度を表-2、表-3にそれぞれ示す。

表－４ 試験体計画（袖壁補強柱）

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)	鉛直接合面アンカー筋 (アンカー筋比)	水平接合面 アンカー筋	接合法	既存柱の 破壊形式
SN	450kN ($n=0.2$)	12-D16	D6@100	10-D10 (1.06%)	D6@80 (0.53%)	8-D10 (0.42%)	8-D13	在来型	せん断
SD		12-D16	D6@100					傾斜型	
MN		8-D13	D13@100					在来型	曲げ
MD		8-D13	D13@100					傾斜型	



図－３ 試験体形状（袖壁補強柱）



図－４ 荷装置（接合部）

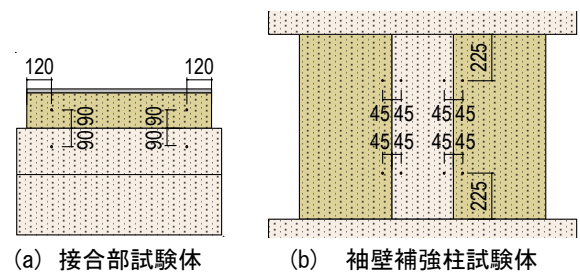
2.2 荷方法

(1) 接合部試験体

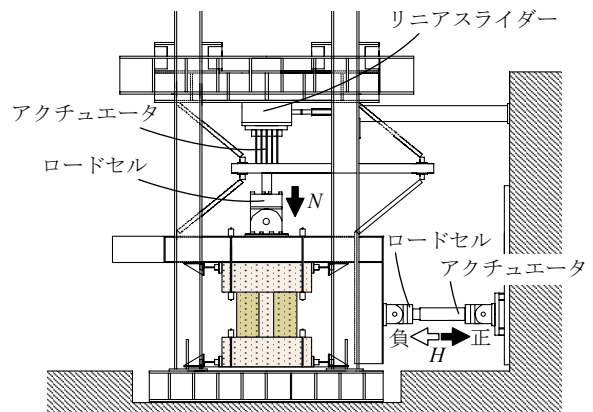
接合部試験体の荷は図－４に示す荷装置を使用した。所定の jN の下で、既存部コンクリートと増設部コンクリートの相対ズレ変位 $j\delta_r$ を制御して、正負繰返しのせん断力 jQ を漸増荷するものとした。加力サイクルは $j\delta_r = \pm 0.2\text{mm}, \pm 0.5\text{mm}, \pm 1.0\text{mm}, \pm 1.5\text{mm}, \pm 2.0\text{mm}, \pm 4.0\text{mm}$ の各振幅を 2 サイクルずつ行なった。変位の計測は、図－５(a)に示される位置に埋込んだボルトに変位計を取り付け $j\delta_r$ を計測すると共に、既存部と増設部の接合面鉛直方向の目開き幅 $j\delta$ を計測した。また、試験体中央に位置するアンカー筋 2 本にひずみゲージを貼り付けひずみ度を計測した。

(2) 袖壁増設補強した RC 柱試験体

袖壁補強柱試験体の荷は図－６に示す荷装置を使



図－５ 相対ズレ変位の計測位置



図－６ 荷装置（袖壁補強柱）

用した。所定の一定圧縮軸力 $N (=450\text{kN})$ を導入後、正負繰返しの逆対称モーメントを漸増荷するものとした。加力サイクルは部材角 R （上下スタブ間の相対水平変位 δ /柱内のり l ）を変位制御し、 $R = \pm 0.125\% \text{rad.}$ を 1 サイクル行なった後、次に $R = \pm 0.25\% \text{rad.}$ および $\pm 0.5\% \text{rad.}$ を 2 サイクルずつ行い、それ以後は直前の振幅に対して R を

±0.5%rad.漸増させる正負繰り返し載荷を 2 サイクルずつ行い、 $R=\pm 3.0\%$ rad.で実験を終了した。

変位の計測は、 δ を計測すると共に、図-5(b)に示される位置に埋込んだボルトに変位計を取り付け、柱と袖壁の相対ズレ変位 $j\delta_u$ を計測した。また、柱の主筋と帯筋、袖壁の縦筋と横筋、鉛直接合面と水平接合面のアンカー筋にひずみゲージを貼り付けひずみ度を計測した。

3. 実験結果および考察

3.1 接合部試験体

最終破壊状況の一例を写真-1、 $jQ-j\delta_u$ 関係、 $j\delta-j\delta_u$ 関係、 $\varepsilon-j\delta_u$ 関係および $\phi-j\delta_u$ 関係の各履歴曲線を図-7 に示す。 $j\delta_u$ および $j\delta$ は前後左右の計測値の平均値とした。アンカー筋の軸ひずみ度 ε および曲率 ϕ は図-8 に示される位置に貼り付けたアンカー筋両面のひずみゲージの計測値を用いて算定した値を示した。図7中に示される△印はアンカー筋の降伏、○印の数値は正負それぞれの最大耐力である。

いずれの試験体とも既存部と増設部の接合面に固着力

を有する場合に見られる載荷初期時の耐力上昇および微小変形時の固着力喪失による急激な耐力低下³⁾はないことから、接合面の固着力は絶縁されていると思われる。また、いずれの試験体とも実験終了まで試験体表面に大きなひび割れや損傷はなく、最大耐力に達する前にアン

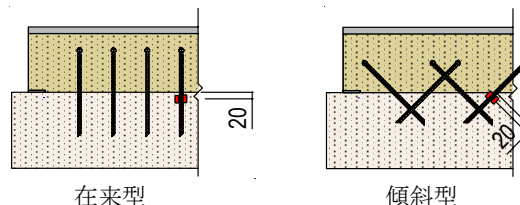


図-8 ひずみ度計測位置



写真-1 破壊状況

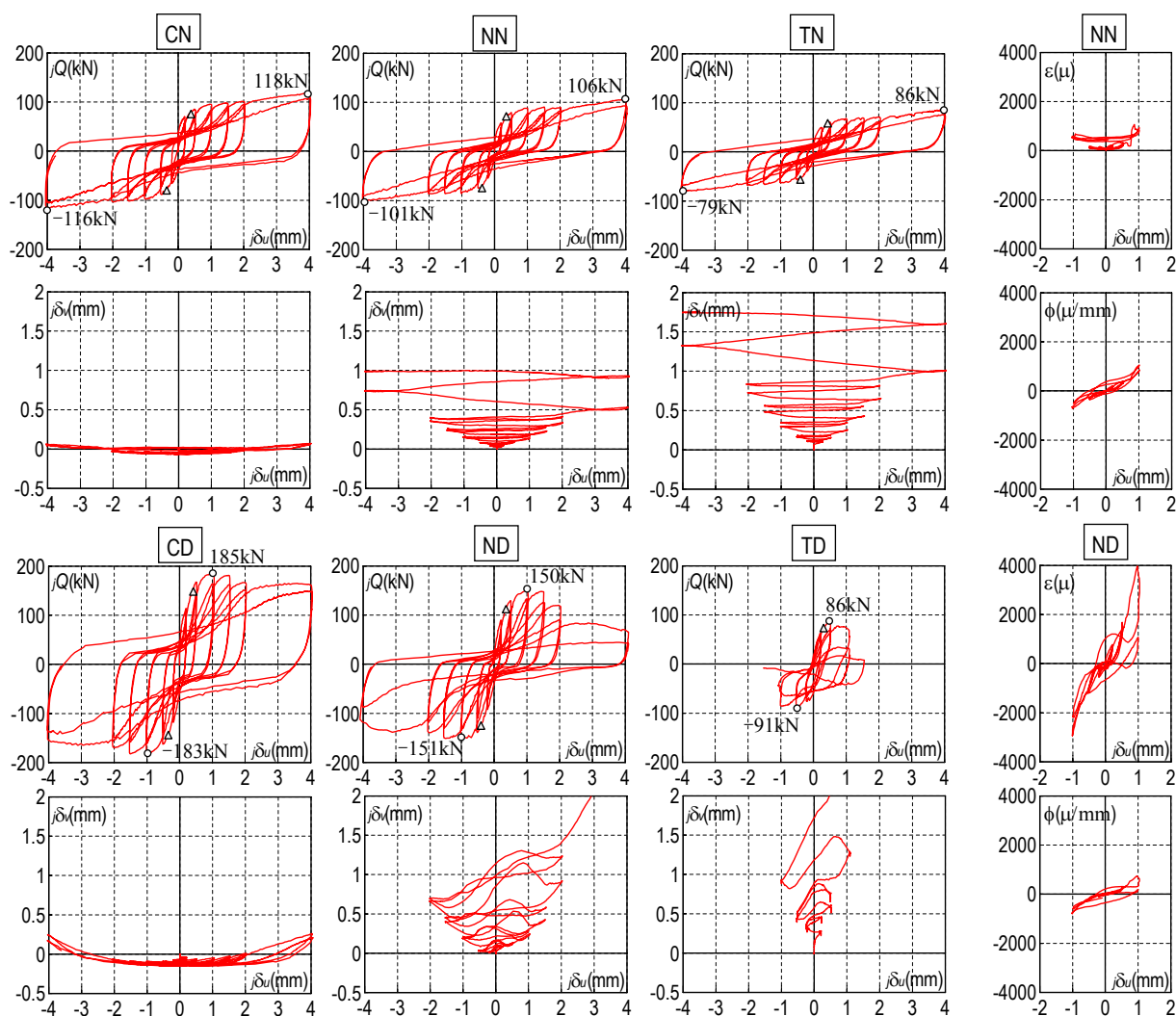


図-7 履歴曲線（接合部）

カー筋は降伏している。

jQ - $j\delta$ 関係に関して、在来型は接合面鉛直力の有無に関わらず、 $j\delta=\pm 1.0\text{mm}$ 程度で耐力上昇が穏やかになるが $j\delta$ の漸増と共に耐力が上昇し続けている。一方、傾斜型は純せん断および圧縮力下では $j\delta=\pm 1.0\text{mm}$ で最大耐力に達した後耐力低下を生じ、引張力下では $j\delta=\pm 0.5\text{mm}$ で最大耐力に達した後耐力低下を生じた。在来型と傾斜型の最大耐力を比較すると、引張力下では最大耐力の増大効果は小さいものの、純せん断および圧縮力下では最大耐力が 1.5 倍程度増大することが確認された。

純せん断を受ける傾斜型アンカーを用いた接合部は、図-9(a)の方向にせん断力を受ける場合、在来型と比較して耐力が増大するが、図-9(b)の方向にせん断力を受ける場合は、アンカー筋が起き上がろうとして接合面近傍での曲げ変形が卓越するため、在来型と比較して耐力が小さくなることが明らかにされている¹⁾。試験体 ND および TD の $j\delta$ - $j\delta$ 関係を見ると、 $j\delta$ が急増し始めると共に耐力低下を生じてしているため、本実験における耐力低下も図-9(b)に示されるようなアンカー筋の曲げ挙動の影響を受けて、アンカー筋の抵抗機構が軸方向抵抗型から曲げ抵抗型へと変化することで耐力低下を生じたものと思われる。一方、圧縮力下の試験体 CD は、図-9(c)に示されるようにアンカー筋が起き上がろうとするのを圧縮力が抑制するため、最大耐力以降の耐力低下が穏やかになったものと思われる。なお、耐力低下を生じる前の振幅における在来型と傾斜型の ε - $j\delta$ 関係および ϕ - $j\delta$ 関係を比較すると、 ϕ - $j\delta$ 関係については顕著な差異が見られないが、 ε - $j\delta$ 関係については差異が見られ、傾斜型では正負繰返し载荷によって引張ひずみと圧縮ひずみを交互に生じており、軸方向型の抵抗機構が形成されていることが確認された。

3.2 袖壁増設補強した RC 柱試験体

各試験体について最大耐力時の破壊状況を写真-2、 Q - R 関係および $j\delta$ - R 関係の履歴曲線を図-10、 Q - R 関係の骨格曲線を図-11 に示す。 $j\delta$ は上下左右の計測値の平均値とした。 Q は軸力による転倒モーメントを考慮したせん断力である。図中に示される○印の数値は正負それぞれの最大耐力であり、実線(直線)は耐震改修設計指針⁴⁾に示される袖壁増設補強柱のせん断終局強度の計算値 Q_u である。なお、全試験体とも曲げ終局強度の計算値はせん断終局強度の計算値を上回っている。また、点線(直線)は耐震診断指針⁵⁾に示される柱のせん断終局強度(SN, SD)あるいは曲げ終局強度(MN, MD)の計算値である。いずれの試験体に関しても、最大耐力の実験値は計算値 Q_u を上回っていることが確認された。

試験体 SN および SD の破壊進展状況は、柱材端部の斜めひび割れの発生、袖壁材端部の斜めひび割れの発生、

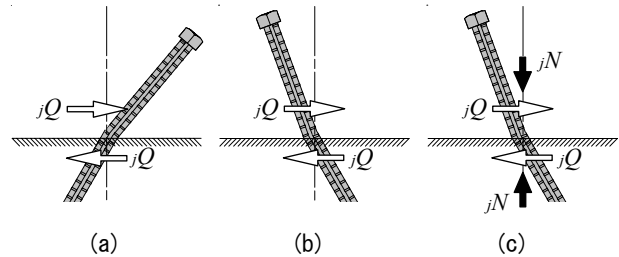


図-9 アンカー筋の挙動

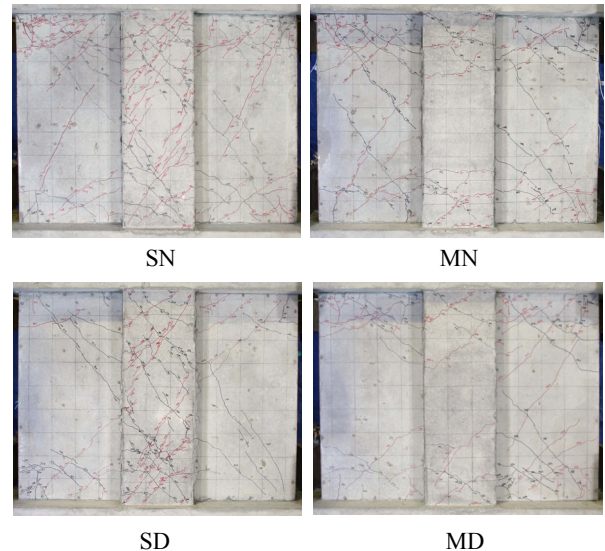


写真-2 破壊状況

柱を貫通して袖壁端部から袖壁端部へ渡る斜めひび割れの発生、柱帯筋と袖壁横筋の降伏の順に進行し、最大耐力に達した。それ以後の振幅では、柱材端の主筋が引張降伏し、柱全体に渡り斜めひび割れが増大すると共に徐々に耐力低下して、 $R=\pm 2.0\%$ rad.以降の振幅では袖壁端部に圧壊を生じた。なお、袖壁縦筋と水平接合面のアンカー筋は引張降伏する以前に圧縮降伏している。

試験体 MN および MD の破壊進展状況は、柱材端部の曲げひび割れ発生、柱材端部および袖壁材端部の斜めひび割れ発生、柱材端の主筋の引張降伏、袖壁中央部の斜めひび割れ発生に進行し、最大耐力に達した。それ以後の振幅でも、柱帯筋と壁横筋は降伏することなく、SN および SD 試験体と比較して柱中央部の損傷は軽微であるが、振幅の漸増に伴い袖壁端部が圧壊し、徐々に耐力低下した。

在来型と傾斜型を比較すると、最大耐力に関しては、純せん断および圧縮力下の接合部試験体ほどの顕著な差異はないが、傾斜型を用いた袖壁増設補強柱の方が最大耐力が増大することが確認された。一方で、破壊の進展状況、 Q - R 関係における初期剛性や最大耐力以降の耐力低下状況、 $j\delta$ - R 関係に顕著な差異は見られない。

なお、本論で用いた袖壁増設補強柱試験体は鉛直接合

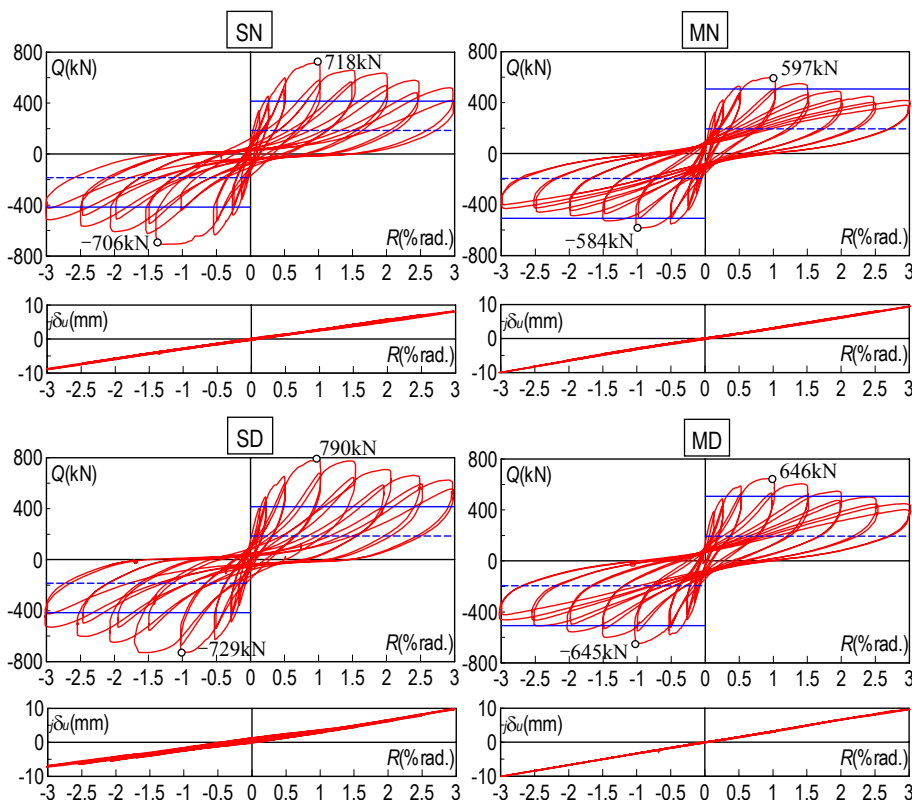


図-10 履歴曲線（袖壁補強柱）

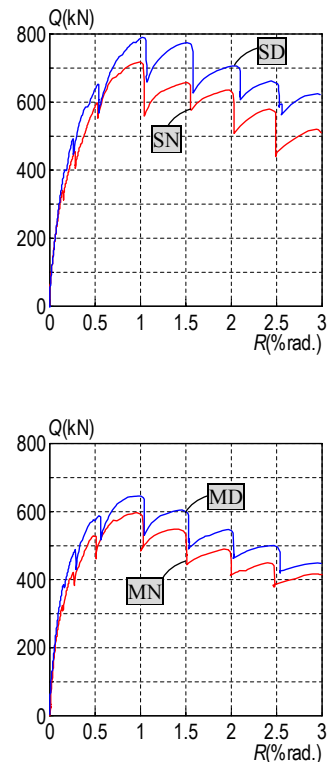


図-11 骨格曲線

面のアンカー筋量が比較的小さいため、最大耐力に達している $R=\pm 1.0\%$ rad. の振幅では δu が 3mm 程度のズレを生じており、柱と袖壁は一体となって挙動していない。鉛直接合面のアンカー筋量が多く、柱と袖壁が一体となって挙動し最大耐力時に達する袖壁増設補強柱の構造性能については、今後、検討する予定である。

4. まとめ

一定接合面鉛直力と正負繰返しせん断力の複合応力を受ける傾斜型アンカーを用いた接合部の載荷実験を行なった。さらに、傾斜型アンカーを RC 柱の袖壁増設補強へ適用し、一定圧縮軸力下で正負繰返しの水平力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) 在来型アンカーを用いた接合部と比較して、傾斜型アンカーを用いた接合部は、接合面鉛直力の有無に関わらずせん断強度が大きくなる。なお、純せん断を受ける場合と比較して、引張力下ではせん断強度の増大効果が小さく、圧縮力下ではせん断強度の増大効果が大きくなったが、これは、圧縮力がアンカー筋の曲げ変形を抑制し、せん断力に対する抵抗機構が変化することが影響している。
- 2) アンカー筋の量が少なく、柱と袖壁の接合面にズレを生じて最大耐力に達する袖壁補強柱では、在来型アンカーを用いた場合と比較して、傾斜型アンカー

を用いた場合は、既存柱の破壊形式に関わらず、最大耐力が大きくなる。

謝辞

本研究の実施にあたっては、平成 26 年度科学研究費補助金「基盤研究(C) 課題番号：26420571 代表研究者：広島工業大学准教授 貞末和史」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) 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
- 2) 石村光由, 貞末和史, 藤井稔己, 南宏一：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, コンクリート工学年次論文集, Vol.36, No.2, pp. 841-846, 2014.7
- 3) 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
- 4) 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
- 5) 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