# 論文　袖壁・腰壁・垂れ壁付き部材の破壊形式に関する研究

松本　栞[*1]・田尻　清太郎[*2]・塩原　等[*3]・大西　直毅[*4]

**要旨**：本研究では，袖壁付き柱，腰壁・垂れ壁付き梁の最大耐力後の破壊性状について新たな知見を得ることを目的とし，試験体データの収集と破壊形式による分類，分類に対応する破壊メカニズムの推定，および両側袖壁付き柱試験体 2 体の実験による破壊メカニズムの検討を行った。両側袖壁付き柱の試験体データを袖壁，袖壁と柱の境界部，柱の計 3 箇所の損傷状況の組み合わせにより分類したところ，袖壁が圧壊する破壊形式が相対的に靭性が大きく，対角線状のひび割れが袖壁と柱を貫通する破壊形式が靭性が小さい傾向にあった。仮定したメカニズムに基づきこの 2 つの破壊形式となるよう試験体を作成し実験した結果おおむね予想通りとなった。

**キーワード**：袖壁，腰壁，垂れ壁，データベース，破壊形式

## 1. はじめに

現在，鉄筋コンクリート造建物の耐震設計において，袖壁・垂れ壁・腰壁などの雑壁は非構造要素として扱うことが多い。これは一般に雑壁付き部材の挙動が複雑で，また最大耐力後に脆性的な破壊性状を示すためである。

一方，雑壁を構造要素に取り入れると部材の強度および剛性が増大するため，強度型建物に活用できるという考え方がある。強度型建物では建物全体として高い剛性を有することで損傷を抑制できるため修復性に優れている。このため近年，雑壁付き部材に関する研究が行われ，強度や剛性など部材評価法がまとめられている[1)]。

現行の設計規準では日本建築学会の保有水平耐力計算規準[2)]C・D ルートが強度型建物を対象としており，必要保有水平耐力を満足すれば脆性部材を使用できる。しかし想定以上の地震力が生じた際に十分な安全性を確保するためには，強度型建物においても部材に脆性破壊が生じぬよう最大耐力後の破壊性状を考慮した設計が必要である。本研究の目的は，雑壁付き部材の最大耐力後の破壊性状に着目し，危険な破壊形式を生じさせない設計法を提案することである。はじめに過去の試験体データを収集して破壊形式による分類を行い，各破壊形式に対するメカニズムを提案する。さらに試験体 2 体に対する実験により提案したメカニズムの検討を行う。

## 2. 雑壁付き部材の破壊形式とメカニズム

### 2.1 試験体データの概要

鉄筋コンクリート造雑壁付き部材の試験体データを収集し，破壊性状および靭性について検討した。調査対象は，1973 年から 2019 年の間に国内で発表された論文である。ただし，収集する試験体の条件として，1)柱・梁単体部材である，2)試験体諸元が明示されている，3)雑壁が柱中央に接続している，4)試験体端部がスタブ・柱・梁のいずれかである，5)両側雑壁付き部材の場合両側の壁が対称である，6)構造スリットを有しない，7)開口を有しない，8)直交壁・スラブを有しない，9)繊維補強コンクリートとそれに類する補強材料を使用しない，10)メッシュ筋を使用しない，11)斜め筋を使用しない，12)壁横筋が壁内の閉鎖型配筋でないかつ 13)壁長さが柱せいまたは梁せいの 3 倍より小さいことを定めた。また建研式逆対称載荷，片持ち載荷，反曲点を固定した載荷による実験が存在したが，以下の分類ではこれらの試験体を載荷方法によらず同列に扱った。その結果，両側袖壁付き柱 86 体，片側袖壁付き柱 25 体，腰壁・垂れ壁付き梁 23 体，片側雑壁付き梁 7 体が収集された。

### 2.2 両側袖壁付き柱

#### 2.2.1 破壊形式による分類

収集された両側袖壁付き柱試験体 86 体のうち，最終破壊状況と履歴曲線が共に得られた 69 体について破壊形式による分類を行った。ただし過去の文献から破壊プロセスに関する情報が十分に得られなかったため，最終破壊状況のみから分類を行うこととした。

各試験体の最終破壊状況の比較より，袖壁，袖壁と柱の境界部，柱の 3 箇所においてそれぞれ特徴的な損傷状態がみられたため，この 3 箇所において最大耐力後に卓越する損傷状態の組み合わせとして分類を決定した。袖壁の損傷状態としてコンクリートの圧壊，袖壁端部から試験体対角線方向に生じる対角ひび割れ，そのいずれも生じず袖壁全体に複数のせん断ひび割れがみられる全域ひび割れ，圧壊と対角ひび割れの混在，袖壁縦筋の付着破壊の計 5 種を定義した。また袖壁と柱境界部の損傷状態として，ひび割れ程度で境界部のずれが生じていないと考えられる損傷小，コンクリートの剥落や境界部の損

*1 東京大学大学院　工学系研究科建築学専攻（学生会員）
*2 東京大学大学院　工学系研究科建築学専攻准教授　博士（工学）（正会員）
*3 東京大学大学院　工学系研究科建築学専攻教授　工博　（正会員）
*4 東京大学大学院　工学系研究科建築学専攻助教　博士（工学）（正会員）

傷に関して記述がある損傷大の計 2 種を定義し，柱の損傷状態として曲げ，せん断に加え，壁の対角ひび割れが試験体対角線方向に柱を貫く貫通の計 3 種を定義した。

また部材の靭性を表す指標として最大耐力後のせん断力が柱単体の強度まで低下した点の部材角(%)を用いた。これは最大耐力後にどのように袖壁が損傷し柱単体の強度に漸近するかが破壊形式と大きく関連するためである。この部材角を履歴曲線から算出し，各分類での平均値を $\alpha$ とした。ただし平均値の算出には逆対称載荷の試験体データのみ採用した。これは反曲点高さ比 1 以上の片持ち式載荷の試験体は，本分類上すべて同じ破壊形式(分類 a）に分類されデータの偏りを生じるためで，以下逆対称載荷の試験体について検討を行う。分類の結果を**表－1** に，各分類の代表的な試験体を**図－1** に示す。

### 2.2.2 各分類の特徴

袖壁が圧壊する分類 a~d では，圧壊により耐力低下した後，柱単体の性状に漸近し安定した性状を示すため，他の分類に比較して靭性が大きい傾向にある（**図－2 左**）。これらを袖壁圧壊型と定義する。また境界部の損傷の有無が靭性能に与える影響は小さい。分類 a では 27 体中 21 体が反曲点高さ比 1 以上の片持ち載荷であった。

袖壁に対角ひび割れが生じる分類のうち，分類 e, f は最大耐力に達した後急激に耐力低下するため，危険な破壊形式である（**図－2 右**）。この破壊形式を袖壁柱一体破壊型と定義する。一方，分類 g では袖壁に生じた対角ひび割れが柱を貫通せず，境界部の損傷が進行して柱単体の強度に漸近し，最終的に柱がせん断破壊する。

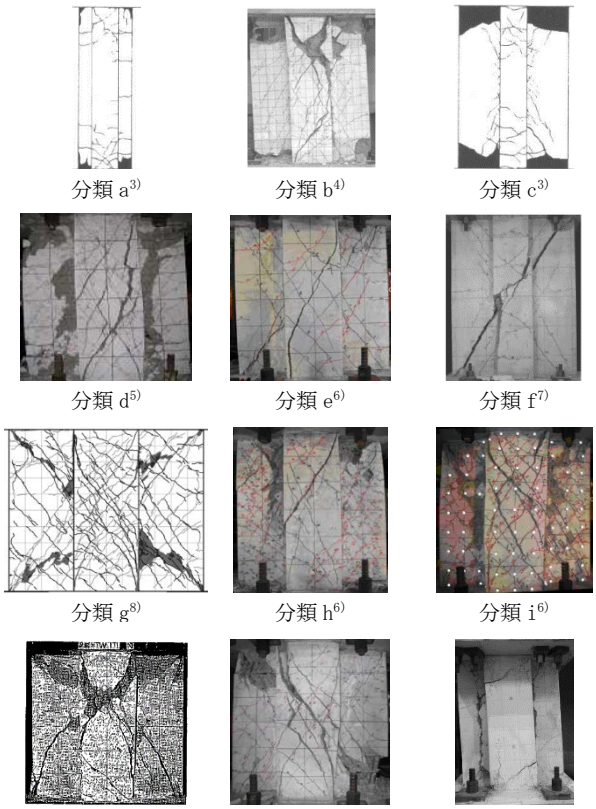
袖壁に全域ひび割れが生じる分類では，袖壁の圧壊および対角ひび割れは進行せず，境界部の損傷が進行して柱単体の性状に漸近し，最終的に柱がせん断破壊する。これらを境界部破壊型と定義する。

袖壁に付着破壊を生じる分類 l は 8 体中 7 体がコンクリート強度 13[MPa]以下の低強度コンクリートであった。

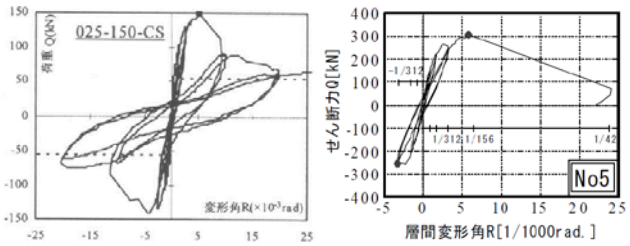
**表－1　両側袖壁付き柱の破壊形式による分類**

| 分類 | 袖壁の損傷 | 境界部の損傷 | 柱の損傷 | 度数 | $\alpha$ |
|---|---|---|---|---|---|
| a | 圧壊 | 損傷小 | 曲げ | 27(21) | 3.7 |
| b | | | せん断 | 2 | 2.3 |
| c | | 損傷大 | 曲げ | 5 | 3.1 |
| d | | | せん断 | 2 | 3.8 |
| e | 対角ひび割れ | 損傷小 | せん断 | 3 | 0.7 |
| f | | | 貫通 | 9(3) | 1.5 |
| g | | 損傷大 | せん断 | 3 | 3 |
| h | 全域ひび割れ | 損傷小 | せん断 | 1 | 0.5 |
| i | | 損傷大 | せん断 | 4 | 2 |
| j | 圧壊と対角ひび割れ | 損傷小 | 貫通 | 3(1) | 1.5 |
| k | | 損傷大 | せん断 | 2 | 2.5 |
| l | 付着破壊 | － | － | 8 | 4 |

※度数における（）内は，逆対称載荷以外の試験体数を表す




**図－1 破壊形式による両側袖壁付き柱の分類**




**図－2　分類 c（左）と分類 f（右）の履歴曲線の比較** [3)7)]

### 2.2.3 破壊機構の推定

両側袖壁付き柱に対して以下のような破壊機構を仮定し，このうち破壊荷重が最小となる機構を真の破壊機構と考える。これは，袖壁付き柱の破壊形式を部材単位の機構設計によりコントロールするという提案である。

(1)　袖壁圧壊型

平面保持を仮定した断面解析により最大耐力 $Q_1$ を算出する。最大耐力後，境界面の損傷度に関わらず柱単体の強度に漸近し，最終的に柱の破壊形式に従い破壊する。

(2)　袖壁柱一体破壊型

**図－3 左**のように試験体を対角線で分割したフリーボディ図で，ひび割れを横切るすべての帯筋および壁横補強筋が降伏し，すべての主筋および壁縦筋にダウエル効果が生じると仮定する。水平方向のつり合いより最大耐力 $Q_2$ を式(1)により算出する。ここで，$F_1$ は横補強筋の降伏による合力，$F_2$ は縦筋のダウエル効果による合力で

ある。またダウエル鉄筋の強度式として文献[11]中の式(2)を用いる。ただし，$V_u$：せん断強度，$a_{dowel}$：鉄筋断面積，$\sigma_B$：コンクリート強度，$\sigma_y$：鉄筋規格降伏点である。

$$Q_2 = F_1 + F_2 \tag{1}$$

$$V_u = 1.65 a_{dowel}\sqrt{\sigma_B \sigma_y} \tag{2}$$

(3)　境界部破壊型

**図－3** 右のように片側袖壁を取り出したフリーボディ図で，平面保持を仮定した断面解析から最大耐力 $Q_1$ 時の袖壁上下端に作用する圧縮力 $C$ および引張力 $T$ を求め，鉛直方向のつり合いより境界部の応力 $Q_3$ を式(3)より算出する。また袖壁と柱の境界部全域に傾き 45 度のコンクリート圧縮ストラットを仮定し，ストラットが圧壊するときの境界部のせん断強度 $Q_4$ を式(4)より求める。ただし，$F_c$：コンクリート強度，$t_w$：壁厚，$h_0$：内法高さ，$\tau$：コンクリート圧壊時の境界部のせん断応力度とする。

$$Q_3 = -C + T \tag{3}$$

$$Q_4 = F_c t_w h_0 / 2 \tag{4}$$

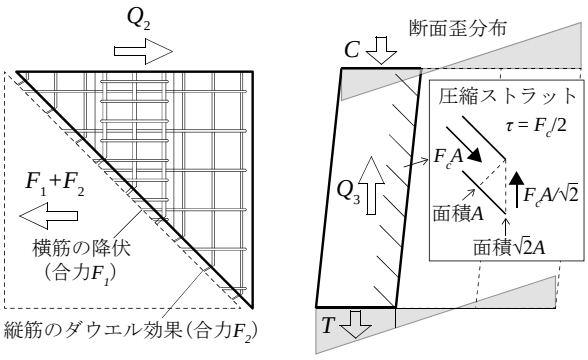
#### 2.2.4 破壊メカニズムによる再分類と考察

以上のメカニズムから，袖壁柱一体破壊型と境界部破壊型に対する余裕度 $x$, $y$ を下式のように定め，**図－4** のフローチャートのように各破壊形式への分類を行う。

$$x = Q_2 / Q_1 \tag{5}$$

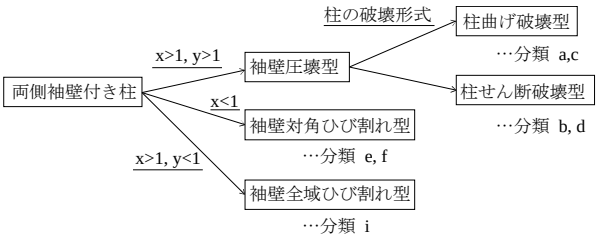
$$y = Q_4 / Q_3 \tag{6}$$

逆対称載荷の試験体について，余裕度 $x$, $y$ によって再分類を行ったところ**図－5** のようになった。袖壁圧壊型，袖壁柱一体破壊型はすべての試験体において破壊形式と分類が一致し，境界部破壊型は $y$ の値が小さい傾向がみられた。分類 g, j, k については分類に至っていない。

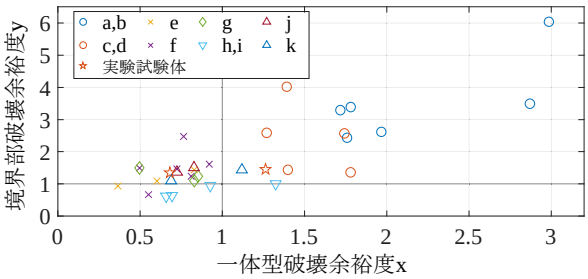



(2)袖壁対角ひび割れ型　　(3)袖壁全域ひび割れ型

**図－3　破壊メカニズム**




**図－4　破壊形式決定のフローチャート**




**図－5　提案したメカニズムによる再分類**

## 3. 実験概要

### 3.1 実験の目的

本実験は袖壁柱一体破壊型と袖壁圧壊型について，破壊メカニズムの妥当性を検討することを目的とする。

### 3.2 試験体計画

試験体は全 2 体，スケールは約 1/3 で，開口脇に位置する袖壁付き柱を想定する。実験変数は帯筋量および壁横筋量で，余裕度 $x$, $y$ の値は No.1 で 0.67, 1.35，No.2 で 1.29, 1.37 であった。これより No.1 は袖壁柱一体破壊型，No.2 で袖壁圧壊型である。No.1, No.2 のせん断余裕度はそれぞれ 0.67, 0.84 で，柱単体ではそれぞれ 0.78, 0.90 である。2 体とも同配合の早強コンクリートで，観察面が

**表－2　試験体諸元**

| | | 単位 | No.1 | No.2 |
|---|---|---|---|---|
| 内法高さ | | mm | 600 | |
| 柱 | 幅×せい | mm | 200×200 | |
| | 主筋 | | 3-D10(SD345)<br>2-D10(SD345)<br>3-D10(SD345) | |
| | 帯筋<br>（帯筋比） | | □D6(SD295A)<br>@100<br>(0.32%) | □D6(SD295A)<br>@50<br>(0.64%) |
| 袖壁 | 幅 | mm | 50 | |
| | 厚さ | mm | 200 | |
| | 縦筋 | | D6(SD295A) | |
| | 横筋<br>（横筋比） | | D6(SD295A)<br>@200<br>(0.32%) | D6(SD295A)<br>@50<br>(1.28%) |
| 軸力（軸力比） | | kN | 160（1/6） | |

**表－3　コンクリート材料特性**

| 試験体 | 圧縮強度<br>[MPa] | 引張強度<br>[MPa] | 弾性係数<br>[GPa] |
|---|---|---|---|
| No.1 | 25. 8 | 2. 17 | 25. 9 |
| No.2 | 26. 7 | 2. 30 | 25. 5 |

**表－4　鉄筋材料特性**

| 種類 | 降伏強度<br>[MPa] | 降伏歪<br>[%] | 引張強度<br>[MPa] | 弾性係数<br>[GPa] |
|---|---|---|---|---|
| D10<br>(SD345) | 362 | 0. 23 | 518 | 171 |
| D6<br>(SD295A) | 348※ | 0. 39 | 520 | 186 |

※0.2%オフセット耐力

下向きになる平打ちで一度に打設した。試験体諸元，コンクリート及び鉄筋の材料特性をそれぞれ**表－2**, **表－3**, **表－4** に示す。また試験体詳細図を**図－6**, **図－7** に示す。

### 3.3 加力および測定の概要

逆対称載荷を行うため，**図－8** のような加力システムを考案した。載荷は両端ピンの油圧ジャッキにより加力フレーム上梁に水平変位を生じさせ，H 形鋼治具，固定用治具，PC 鋼棒（カップラーで接続），アンカープレート，試験体の順に力を伝達し，最終的に試験体にせん断力が生じる。試験体の自重は丸棒により支え，PC 鋼棒は上下スタブに設けられたシース管で試験体を貫通している。軸力は上下スタブ間を連結する PC 鋼棒にセンターホールジャッキで引張力を生じさせることで導入し，加力中は目標値の 160kN に対し±10kN の範囲に収めた。

加力サイクルは変位制御による正負交番繰返し載荷とし，**図－9** のように部材角 1/3200, 1/1600, 1/800, 1/400 の加力を各 1 回，部材角 0.5%, 1.0%, 2.0%, 3.0%, 4.0%の加力を各 2 回行った。加力中は 20 秒ごとに写真撮影を行い，ひび割れの観察およびひび割れ幅の測定を各サイクルのピーク時と除荷時に行った。

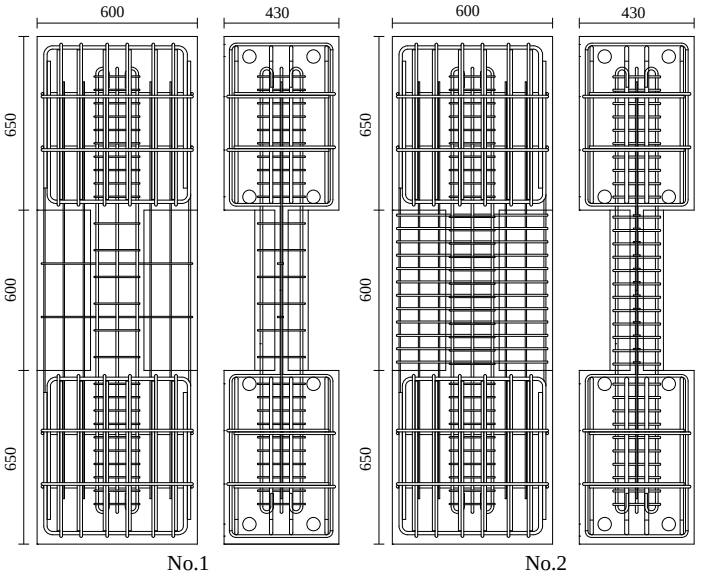
## 4 実験結果および考察

### 4.1 破壊性状

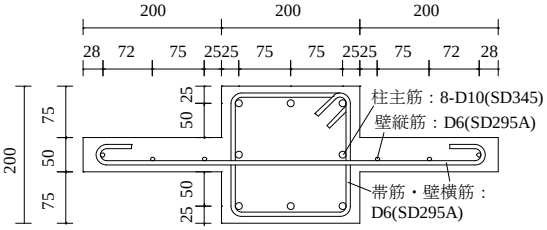
試験体 No.1 および No.2 の最終破壊状況を**写真－1** に，せん断力と部材角の関係を**図－10** に示す。

#### 4.1.1 試験体 No.1

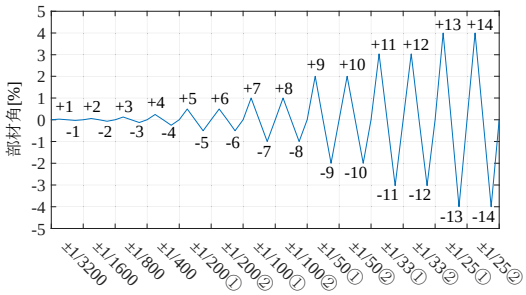
+2 サイクルにスタブと袖壁端部の境界に正側初曲げひび割れが，+3 サイクルに袖壁下部に曲げひび割れが，-3 サイクルにスタブと袖壁端部の境界に負側初曲げひび割れが，-4 サイクルに袖壁下部に曲げひび割れおよび袖



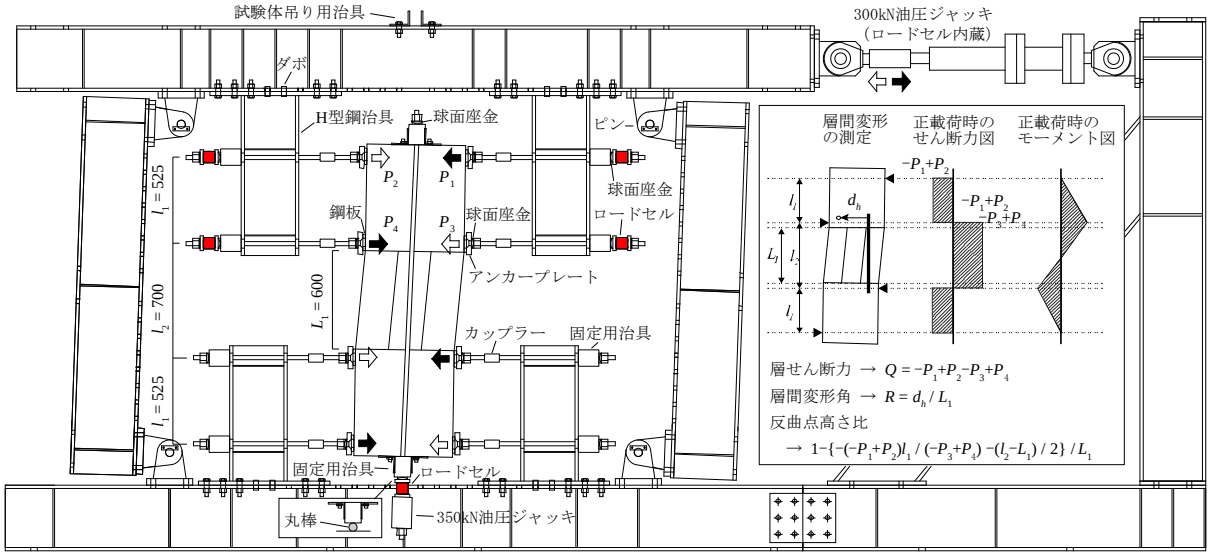

図－6　試験体の形状および配筋




図－7　試験体断面図（No. 1・No. 2 共通断面）




図－9　加力サイクル




図－8　加力計画

壁と柱の境界部にせん断ひび割れが，+5 サイクルに袖壁と柱の境界部にせん断ひび割れが，±7 サイクルに袖壁端部からの対角ひび割れが発生した。サイクルが進むにつれひび割れの拡幅がみられ，　+7 サイクルに袖壁端部が圧壊して正側の最大耐力 165kN に達し，-7 サイクルにも袖壁端部の圧壊により負側の最大耐力-181kN に達した。-9 サイクル途中，激しい音とともに対角線状ひび割れが生じて急激に耐力が低下し，変形が大幅に増大したためこの時点で実験を終了した。

#### 4.1.2 試験体 No.2

+2 サイクルにスタブと袖壁端部の境界に正側初曲げひび割れが，-2 サイクルにスタブと袖壁端部の境界に負側初曲げひび割れが，±5 サイクルに袖壁と柱の境界部にせん断ひび割れが生じた。+9 サイクルに袖壁端部が圧壊し正側の最大耐力 187kN に達し，-9 サイクルに負側の最大耐力-203kN に達した。-13 サイクル途中，柱脚側の柱主筋及び袖壁縦筋が座屈開始，軸力保持能力が低下したため，軸力を押し切って実験を終了した。

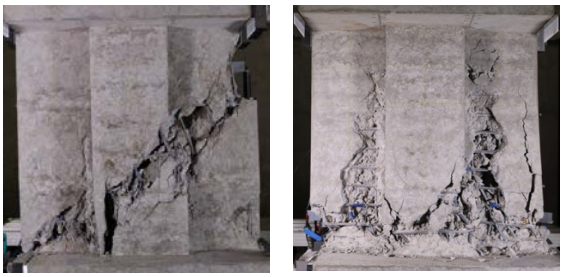
### 4.2 加力中の反曲点高さの変動

本実験は逆対称載荷を目指したが，初期の加力サイクルにおいて反曲点は試験体上部に位置し，サイクル数が増大するとともに反曲点高さが試験体中央に近づいた。これは上スタブ側の剛性が小さかったためと考えられ，上スタブ側 PC 鋼棒のナットのトルク調整および上側 H 形鋼柱脚のボルト締め直しを行ったが改善はみられなかった。そのため初期の損傷が柱脚に発生しその後も柱脚側に損傷が集中する傾向がみられた。この影響を考慮するため，各ピーク時の反曲点高さ比を**図－11** に示す。

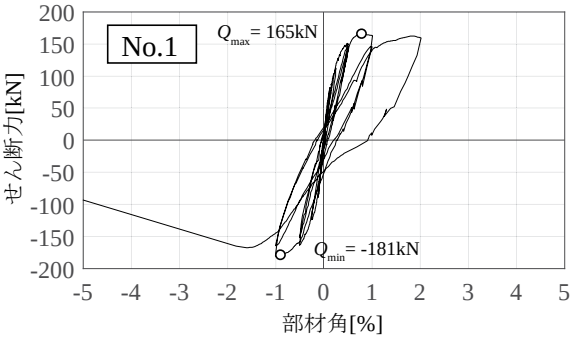
### 4.3 袖壁柱一体破壊型のメカニズムに対する考察

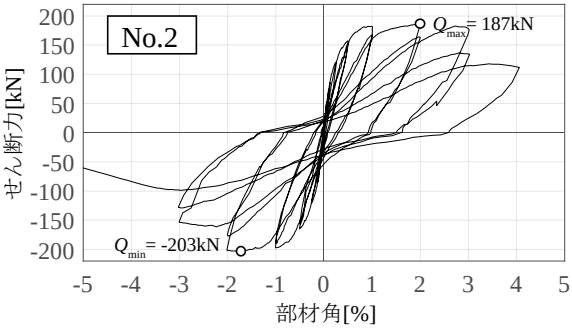
No.1 は試験体計画で目指した袖壁柱一体破壊型（分類 f）となり，提案したメカニズムにより袖壁柱一体破壊型の予測がおおむね可能であることが分かった。しかし，実験における破壊時のせん断力が 181kN であるのに対し一体破壊型メカニズムによる破壊荷重 $Q_2$ は 153kN であり，本実験では過小評価の傾向にあった。そこで，分類 e, f の試験体データにおいて $Q_2$/実験値を計算したところ，平均 0.95，標準偏差 0.21 であり，過小評価する場合と過大評価する場合があった。

以下破壊前後の No.1 の鉄筋の損傷状態について検討を行う。**写真－2** に No.1 破壊直前の様子を，**図－12** に No.1 試験体の歪ゲージの貼付位置を示す。歪ゲージは対角線上ひび割れを想定し，試験体の対角線と鉄筋の交点に貼付したが，実際の破壊面は図のようであった。破壊直前，柱脚側で袖壁圧壊が進行する一方，袖壁と柱には貫通ひび割れが生じており，この時点で番号 3, 4, 9, 10, 11, 12 の歪ゲージはすでに降伏していたが，番号 1, 2, 5, 6, 7, 8 の歪ゲージは未降伏であった。ただし番号 1, 2 が

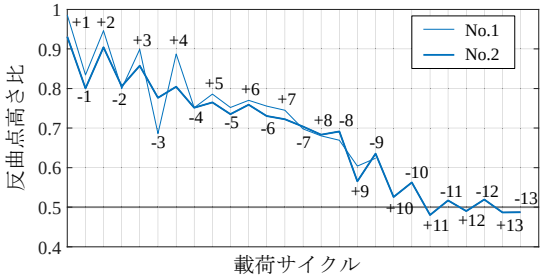


**写真－1　最終破壊状況（左:No. 1，右:No. 2）**



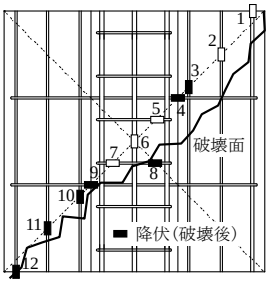




**図－10　せん断力部材角関係**




**図－11　反曲点高さ比の推移**

**写真－2　No. 1 破壊直前**




**図－12 No. 1 歪ゲージ**

**表－5　No. 1 破壊前後の鉄筋の損傷状態の比較（μ）**

| 番号 | 1 | 2 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 破壊前 | −933 | 1789 | 119 | 866 | 184 | 1400 |
| 破壊後 | 90 | 752 | 81 | 152 | 249 | − |

未降伏であるのは片持ち載荷に近い加力が行われていたためである。一方破壊直後，番号 8 のデータが取れなくなりおそらく降伏したと思われるが，番号 1, 2, 5, 6, 7 はいずれも未降伏のままであった。破壊前後の歪ゲージの値を**表－5** に示す。また対角線状ひび割れ部分の滑り変形およびひび割れを横切る柱主筋と壁縦筋の変形状態からダウエル効果が生じたと考えられる。以上より式(1)の構成は妥当であるといえる。

### 4.4 袖壁圧壊型のメカニズムに対する考察

No.2 は境界部の破壊，柱の曲げ破壊という特徴から袖壁圧壊型のうち分類 c に属する。断面解析に基づく曲げ最大耐力の計算値は，最大耐力時の反曲点高さを考慮すると正側で 206kN ，負側で 185kN であるのに対し正側で+187kN, 負側で-203kN であった。これは初期サイクルで反曲点の高かった正側において柱脚の損傷が集中したためと考えられる。袖壁圧壊型の特徴として柱単体の性状に漸近する性質を挙げていたが，本試験体は柱単体の強度に達する前に急激に耐力低下を起こした。また最大耐力後に境界部が大きく損傷したが，その際正負のサイクルにより生じたひび割れによって圧縮ストラットの形成が困難になり，正負の損傷が互いに影響して壊れる様子が確認できた。

### 4.5 境界部の損傷

最大耐力に至るまでに No.1, No.2 ともに境界部にせん断ひび割れを生じた。ひび割れの傾きは 45 度より小さいが，境界部破壊型のメカニズムで想定した圧縮ストラットが形成されていた。ただし実際に境界部破壊型試験体でも同様の損傷が進行するのか実験による確認が必要である。

### 4.6 靭性能

No.1 は部材角 1.6%で急激に耐力低下を生じ，No.2 は部材角-3.5%で軸力保持能力を失っている。これはそれぞれの分類の靭性指標 $\alpha$ と同程度であり，横補強筋量の多い No.2 の方が靭性能は大きい。

## 5. まとめ

(1) 両側袖壁付き柱について，袖壁，袖壁と柱の境界面，柱の計 3 段階の損傷状態の組み合わせにより分類を行ったところ，最大耐力後に袖壁の圧壊が卓越する袖壁圧壊型が相対的に靭性能が大きく，対角線状のひび割れが袖壁と柱を貫通する袖壁柱一体破壊型が最大耐力後に急激に耐力低下を生じ危険性が高い。

(2) 袖壁圧壊型，袖壁一体型，境界部破壊型の 3 つの破壊形式に対してメカニズムを推定し破壊荷重の計算法を提案した。このうち破壊荷重が最小のものが真の破壊形式であるという考えに基づき試験体データの再分類を行ったところ，おおむね分類できた。

(3) 提案したメカニズムに基き袖壁柱一体破壊型，袖壁圧壊型となるよう設計した両側袖壁付き柱試験体 2 体に対する実験を行った。その結果それぞれの破壊形式に従い破壊が生じたことから，メカニズムによる破壊形式の推定がおおむね可能であることが確認できた。ただし，式の精度は改善が必要である。


### 謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP19K04685 の助成を受けたものです。


### 参考文献


1) 建築行政情報センター・日本建築防災協会編：2015 年版建築物の構造関係技術基準解説書，2015.6
2) 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造保有水平耐力計算規準（案）・同解説，2016.4
3) 大宮幸，中村陽介，松浦康人，林静雄：RC 造柱耐力・破壊性状に及ぼす袖壁形状および袖壁横筋の影響，コンクリート工学年次論文集，Vol.23，No.3，pp.169-174，2001
4) 深澤協三，立花正彦：構造スリットを有する袖壁付き RC 造柱の力学的性状に関する実験的研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.29，No.3，pp.115-120，2007
5) 磯雅人，田尻清太郎，澤井謙彰，福山洋，向井智久：袖壁付きＲＣ柱の構造性能に関する研究 －破壊モードを変化させた場合－：その 1~3，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.557-562，2008
6) 田尻清太郎，澤井謙彰，磯雅人：鉄筋コンクリート造そで壁付き柱のせん断性状に関する実験的研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.31，No.2，pp.163-168，2009
7) 渡辺烈，白井一義，諏訪田晴彦，福山洋：繊維補強 RPC を用いたプレキャスト壁による耐震補強に関する実験的研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.27，No.2，pp.1153-1158，2005
8) 中村聡宏，今阪剛，勅使川原正臣，壁谷澤寿一：鉄筋コンクリート造袖壁・腰壁付き柱の耐震性能，コンクリート工学年次論文集，Vol.37，No.2，pp.109-114，2015
9) 益尾潔，神野靖夫：袖壁貫通型アンカーを用いた柱のみの CFRP シート巻き付け工法による袖壁付き RC 柱の補強効果，日本建築学会構造系論文集，No.536，pp.121-128，2000
10) 荒木秀夫，宮原憲之：袖壁が低強度コンクリート柱の耐震性能に与える影響，コンクリート工学年次論文集，Vol.35，No.2，pp.127-132，2013
11) 日本建築学会現場打ち同等型プレキャスト鉄筋コンクリート構造設計指針(案)・同解説(2002)，2002.10