

第 6 章

袖壁付き柱部材

第6章 袖壁付き柱部材

6.1 データベースの項目

袖壁付き RC 柱部材の剛性や強度，変形性能の評価を行うために作成した実験データベースの調査項目を以下に示す。

6.1.1 基本情報

101-ID 情報

- 1) ID 部材毎に通し番号を付ける。WC001 から順に割り振る。
- 2) 実験主体 実験実施の主体を記載する。
- 3) 試験体名称 文献に記載されている試験体の名称を付ける。
- 4) 部材名称 部材の形状により「柱の両側に配置された袖壁の長さが，左右で同一である袖壁付き柱（以下，均等袖壁付き柱），柱の両側に配置された袖壁の長さが，左右で異なる袖壁付き柱（以下，不均等袖壁付き柱），袖壁が柱の片側のみに配置された袖壁付き柱（以下，片側袖壁付き柱）」の3つに分類する。

102-文献情報

- 1) 文献番号 主たる論文について文献収集リストで付与した通し番号を記載する。
- 2) 関連文献 主たる論文に関連する文献収集リストで付与した通し番号を記載する。複数記載可。
- 3) 情報 主たる文献で必要な情報（タイトルや雑誌名）を表示させる。

6.1.2 試験体情報

201-一般情報

- 1) スケール 実断面に対して縮小された場合の規模。例えば 1/2 など
- 2) 壁数量 柱に取り付くそで壁の数量。
- 3) 腰壁・垂れ壁有無 腰壁又は垂れ壁の有無
- 4) スリット有無 そで壁へのスリットの有無。スリットがある場合，その種類（例えば，完全スリット，部分スリット等）。
- 5) 配筋の対称性 配置について対称性を記載する。
- 6) 打設方向 試験体の材軸方向と同じ方向からの打設を鉛直，直交方向からの打設を水平とする。
- 7) 打設打継 試験体途中での打継の有無。ある場合，打継面の処理方法。
- 8) 備考 上記に関する内容の補足またはその他明記しておくべき事項。

202-材料情報

a. 以下，コンクリートの材料特性について記載する。

- 1) 設計強度 当該文献に記載されている目標強度で，試験体の設計時に用いた強度。
- 2) 圧縮強度 当該文献に記載されている最大圧縮強度を記載する。
- 3) 圧縮強度時歪み 当該文献に記載されている最大圧縮強度時歪みを記載する。

- 4) 引張強度 当該文献に記載されている引張強度を記載する。その値を割裂強度から算定している場合は、「算定値」を選択し、その値を記載する。また、直接引張実験から算定している場合は、「実験値」を選択し、その値を記載する。その他、算定方法が不明な場合は「-」を選択する。
- 5) ヤング係数 当該文献に記載されているヤング係数を記載する。その値の算定方法（AIJRC規準式（コンクリート強度から算定する式で2）の圧縮強度を用いた場合）、JIS A1149式（実験結果より算定する）、「-」（算定方法が記載されていない）を選択する。値がない場合は「-」を選択する。

b. 柱主筋の材料特性について記載する。

- 1) 降伏強度 当該文献に記載されている降伏強度を記載する。その値の算定方法（降伏点、0.2%耐力、「-」（算定方法が記載されていない））を選択する。値がない場合は「-」を選択する。
- 2) 降伏歪み 当該文献に記載されている降伏歪みを記載する。その値が材料実験から得られた値を用いて算定されていれば「実験値」とする。その他、算定方法が不明な場合は「-」を選択する。
- 3) 引張強度 当該文献に記載されている引張強度を記載する。
- 4) 引張強度歪み 当該文献に記載されている引張強度歪み度を記載する。
- 5) ヤング係数 当該文献に記載されているヤング係数を記載する。その値を実験で得られる降伏強度および降伏歪みを用いて算定している場合は「実験値」と記載する。その他、算定方法が不明な場合は「-」を選択する。
- 6) 備考 上記に関する内容の補足またはその他明記しておくべき事項。

c. 柱せん断補強筋の材料特性について記載する。各項目は b. 柱主筋と同様である。

d. そで壁端部縦筋の材料特性について記載する。各項目は b. 柱主筋と同様である。

袖壁一般部縦筋の材料特性は、(2)以降に記載する。各項目は b. 柱主筋と同様である。

「d. そで壁縦筋材料情報(1)端部縦筋」は、端部縦筋の材料特性について記載する。

「d. そで壁縦筋材料情報(2)一般部縦筋」は、端部縦筋以外の一般部縦筋の材料特性について記載する。

e. そで壁横筋の材料特性について記載する。各項目は b. 柱主筋と同様である。

203-部材形状情報

a. 柱

- 1) 断面形状 矩形または円形などのコンクリート外部の形状。そで壁付き柱では、矩形のみを収集対象としている。
- 2) 幅 矩形断面において、加力方向に対して直交する辺の長さ。円形断面の場合はその直径。

第6章 袖壁付き柱部材

- 3) せい 矩形断面において、加力方向に対して平行する辺の長さ。円形断面の場合はその直径。
- 4) 有効せい 矩形断面において、圧縮縁から引張鉄筋重心位置までの長さ。円形断面の場合は等価長方形断面に置換した場合の圧縮縁から引張鉄筋重心位置までの長さ。
- 5) コア断面積 外周部せん断補強筋に囲まれた断面積
- 6) 被りコンクリート厚さ 矩形断面の場合、幅とせいのかぶり厚さをそれぞれ記入。
- 7) クリアスパン 対象部材の内法長さ
- 8) 備考 上記に関する内容の補足またはその他明記しておくべき事項。

b.圧縮側そで壁(圧縮側そで壁の定義：図面上の右，上下に記載の場合は上)

c.引張側そで壁(圧縮側そで壁の定義：図面上の左，上下に記載の場合は下)

- 1) 壁板厚さ (t_w) 壁板の厚さを記入する。
- 2) 壁板長さ (l_w) 両端の柱型を含めた全長を記入する。
- 3) 壁内法高さ (h_w) 下側スタブ上面から上側スタブ下面までの高さを記入する。
- 4) 偏心 柱中心とそで壁中心の壁厚さ方向の偏心距離を記入する。
- 5) スリット位置 そで壁に設けられたスリット位置を記入する。スリットを設けていない場合、「なし」と記入する。
- 6) スリット寸法 5)で記入したスリット寸法を記入する。
- 7) 備考 上記に関する内容の補足またはその他明記しておくべき事項。

204-柱主筋情報

- 1) 本数 全主筋全本数
- 2) 呼び名 鉄筋の形状と径を表す記号。(例えば D19 や $\phi 9$, #4 など)
- 3) 種類 主筋の種類。例えば SD345 など
- 4) 継手有無 主筋が部材内で継手使用の有無。
- 5) 継手長さ 主筋の継手がある場合はその長さ。
- 6) 備考 継手の位置情報など、その他継手に関して追記すべき情報。
- 7) 主筋位置情報 1-5 は鉄筋の位置、6-10 はそれぞれの位置に配された本数を示す。位置の基点は、正載荷側においてモーメントが大きい側の端部の断面の圧縮力を負担している側とする。ただし、両端部のモーメントが等しければ脚部(左端)の断面位置を採用する。なお、鉄筋の段数がさらにある場合は適宜追加する。

205-せん断補強筋情報

- 1) 形状 部材断面における補強筋形状。2種類ある場合は外周部とその内部の形状を記載する。(例えば、中子筋のある矩形のせん断補強筋の場合、「矩形・中子」)

- 2) 呼び名 鉄筋の形状と径を表す記号。(例えば D19 や $\phi 9$, #4 など)
- 3) 間隔 1, 2 は部材長さ方向で間隔が変わる場合, 狭い領域 (例えばヒンジ領域) と広い領域の間隔。1 種類のみの場合, 「狭い箇所」欄に記載する。位置; 3 は狭い領域の長さや位置が分かる情報を記載。
- 4) 種類 補強筋の種類。例えば SD295 など
- 5) 5-1)~5-4)有効本数 幅方向とせい方向の補強筋 (中子筋を含む) の足の数 (図 6.1.1(a))。3)で記載した狭い箇所と広い箇所がある場合は, それぞれ記載し, 部材長において補強筋が等間隔の場合は, 「狭い箇所」欄にのみ記載する。
- 6) 1, 2 外周補強筋間距離 外周補強筋の中心間距離 (図 6.1.1(b))。

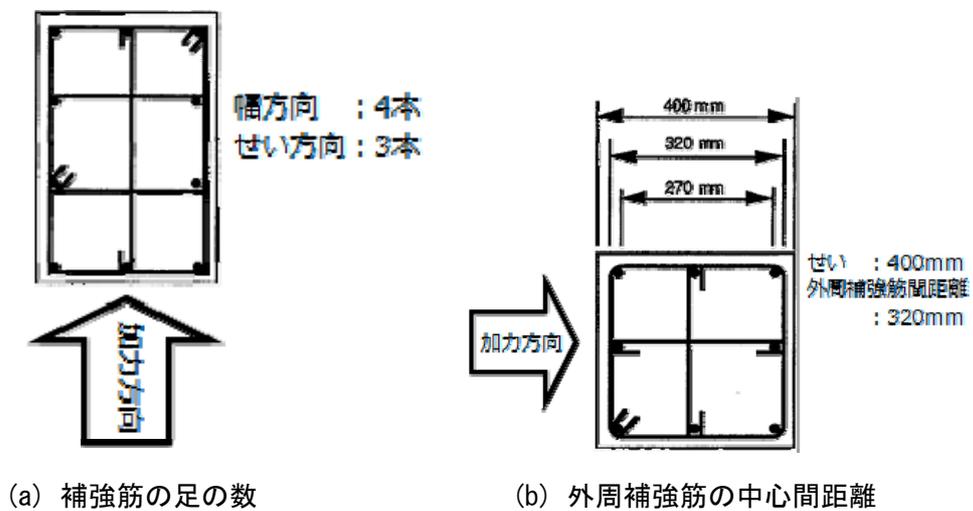


図 6.1.1 柱せん断補強筋

- 7) 1, 2 有効横支持長さ はば方向およびせい方向に対して, 各主筋間最短距離の最大値 (図 6.1.2 の C_i 参照)。下図で横方向から载荷する場合, 図 6.1.2 中の C_i がせい方向の長さとなる。

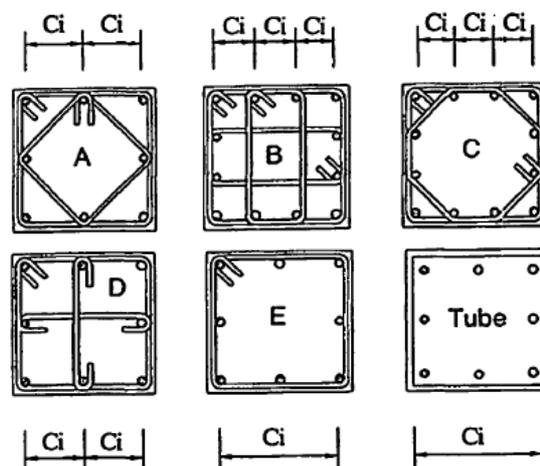


図 6.1.2 有効横支持長さ

第6章 袖壁付き柱部材

- 8) 定着性状 1 は定着性状を示す。例えば、フックの有無、重ね継手、溶接、その他（機械式継手など）。フック形状；2 はフックがある場合はフック角度で例えば、90 や 135 度。継手長さ；重ね継手を選択した場合の継手長さ。

206ーそで壁縦筋

a. 圧縮側そで壁

b. 引張側そで壁

そで壁縦筋に複数の材料を使用している場合は、材料情報と対応する(2)以降の箇所に記載する。「a. 圧縮側そで壁(1)」 および「b. 引張側袖壁(1)」は、一般部縦筋の仕様を記載する。

「a. 圧縮側そで壁(2)」 および「b. 引張側袖壁(2)」は、端部縦筋の仕様を記載する。

- 1) 本数 全壁縦筋本数を記入する。
- 2) 呼び名 鉄筋の形状と径を表わす記号を記入する。例えば、D19 やφ9, #4 など。
- 3) 間隔 壁縦筋の配筋間隔を記入する。
- 4) 形式 配筋形式（シングル, ダブル, 千鳥）を記入する。
- 5) 種類 鉄筋の種類を記入する。例えば SD345 など。
- 6) 鉄筋深さ 柱側から順に、柱から最も近い及び縦筋及び最も遠い縦筋の、柱圧縮縁（引張側そで壁の場合引張縁）からの距離を記入する。

207ーそで壁横筋

a. 圧縮側そで壁

b. 引張側そで壁

- 1) 呼び名 鉄筋の形状と径を表わす記号を記入する。例えば、D19 やφ9, #4 など。
- 2) 間隔 壁縦筋の配筋間隔を記入する。
- 3) 形式 配筋形式（シングル, ダブル, 千鳥）を記入する。
- 4) 種類 鉄筋の種類を記入する。例えば SD345 など。
- 5) 柱定着 そで壁横筋の柱への定着方法を記入する。例えば通し配筋, 何 mm 直線定着など。

6.1.3 加力・計測情報

301-加力情報

- 1) 加力形式 部材の加力形式を示す（ 6.1.3 参照）。例えば、片持ちや両端固定（建研式, 大野式）, その他（ダブルエンド式など）

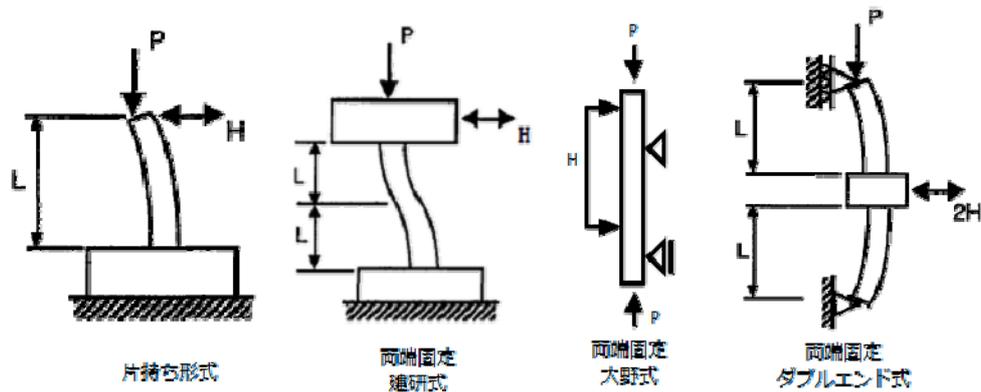


図 6.1.3 加力形式

- 2) 加力方向 部材が水平に加力される方向を示す。例えば、一方向、二方向、斜め45度など
- 3) 载荷履歴 加力载荷の履歴を示す。例えば、単調片押し、繰り返し、ランダムなど
- 4) 軸力の種類 作用させる軸力の種類を示す。一定軸力または変動軸力を選択する。
- 5) 1, 2 軸力 部材に作用させる軸力の値を示す。一定軸力の場合は、変動軸力の欄は「-」と記載する。変動軸力の場合は、下限値と上限値(例えば-300~400など)を記載する。
- 6) 軸力の作用位置 作用させる軸力の位置を示す。例えば、偏心が無く部材断面に作用している場合は「中心」、偏心して作用している場合は「偏心」を選択する。
- 7) 鉛直ジャッキと取付き方 鉛直ジャッキが部材にどのように取り付けられているかを示す。例えば、ピン支持、ローラー支持、その他など。また当該鉛直ジャッキの導入軸力の種類(図 6.1.4 参照)を記載する。

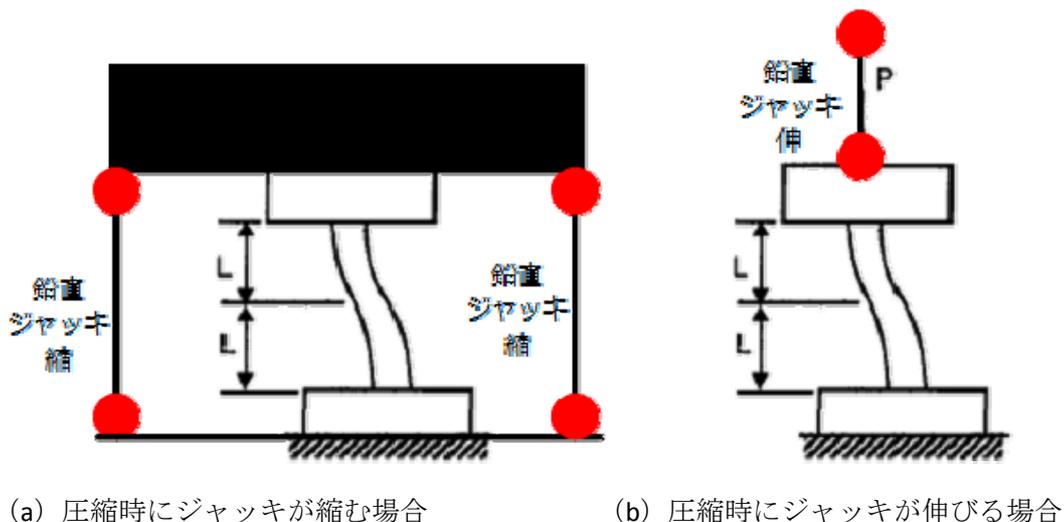


図 6.1.4 鉛直ジャッキの軸力種類(試験体に圧縮軸力を作用させる場合)

第6章 袖壁付き柱部材

8) シアスパン 反曲点位置から部材端部までの長さの内、最大の長さ。反曲点高さをジャッキにより制御している場合はその高さ（長い方）を記載する。またジャッキにより制御していない場合で建研式加力を行っている場合は、クリアスパンの半分の長さを記載する。それ以外は「-」と記載する。

9) 備考

302-計測情報

- 1) 部材応力の計測方法 部材が負担している応力（せん断力，軸力）の計測方法について示す。ジャッキの荷重をロードセルで計測している値が示されている場合は「間接」、部材の応力をロードセルなどで直接計測している場合は「直接」を選択し、不明の場合「-」と記載する。
- 2) 部材変位の計測方法 加力により生じる部材の変位の計測方法について示す。部材角や軸方向変位を算定するためのデータが直接計測されている場合は「直接」、計測データを用いて上記変位の算定する必要がある場合は、「間接」を選択し、不明の場合「-」と記載する。

6.1.4 実験データ情報

401-データ特性情報

- 1) 水平応力データの有無 水平応力データについての情報を示す。アナログデータ（論文紙面上の情報）、デジタルデータの有無。データがある場合、それらが包絡線上のデータ、または全データかを示す。柱の場合は、それらのデータを用いてせん断力を算定する場合に、 $P-\Delta$ （ジャッキによる分を含む）の補正の必要があるかどうかを示す。補正が必要であり、文献内の情報から可能である場合、「必要（可）」、補正が必要だが文献内の情報からできない場合、「必要（不可）」を選択する。
- 2) 備考 上記の補足またはその他必要な情報を記載。
- 3) 水平変形データの有無 水平変形データについての情報を示す。アナログデータ（論文紙面上の情報）、デジタルデータの有無。データがある場合、それらが包絡線上のデータ、または全データかを示す。部材の水平変形として使用するために、補正の必要性の有無について示す。
- 4) 備考 上記の補足またはその他必要な情報を記載。
- 5) 鉛直変形データの有無 鉛直変形データについての情報を示す。アナログデータ（論文紙面上の情報）、デジタルデータの有無。データがある場合、それらが包絡線上のデータ、または全データかを示す。部材の鉛直変形として使用するために、補正の必要性の有無について示す。
- 6) 備考 上記の補足またはその他必要な情報を記載。
- 7) 分離変形データの有無 分離された水平変形データについての情報を示す。アナログデータ（論文紙面上の情報）、デジタルデータの有無。データがある場合、それ

らが包絡線上のデータ，または全データかを示す。部材の分離された水平変形として使用するために，補正の必要性の有無について示す。上記の補足またはその他必要な情報を記載。

8) 備考

402-剛性情報

- 1) 第1折れ点 実験データ（荷重変形の包絡線）から得られる初期剛性の値を示す。正負交番载荷の場合は，正負の値を示す。
- 2) 第2折れ点 実験データ（荷重変形の包絡線）から得られる第2折れ点の割線剛性の値を示す。正負交番载荷の場合は，正負の値を示す。
- 3) 第2折れ点後（正勾配） 実験データ（荷重変形の包絡線）から得られる第2折れ点以降の正勾配を接線剛性の値で示す。なお，脆性部材の場合は「-」と表記。正負交番载荷の場合は，正負の値を示す。
- 4) 耐力低下（負勾配） 実験データ（荷重変形の包絡線）から得られる耐力低下時の負勾配を接線剛性の値で示す。正負交番载荷の場合は，正負の値を示す。

403-強度情報

- 1) 第1折れ点 実験データ（荷重変形の包絡線）から得られる第1折れ点の強度の値を示す。正負交番载荷の場合は，正負の値を示す。
- 2) 第2折れ点 実験データ（荷重変形の包絡線）から得られる第2折れ点の強度の値を示す。正負交番载荷の場合は，正負の値を示す。
- 3) 第3折れ点 実験データ（荷重変形の包絡線）から得られる第3折れ点の強度（最大耐力）の値を示す。正負交番载荷の場合は，正負の値を示す。

404-変形情報

- 1) 第1折れ点 実験データ（荷重変形の包絡線）から得られる第1折れ点の変形の値を示す。正負交番载荷の場合は，正負の値を示す。
- 2) 第2折れ点 実験データ（荷重変形の包絡線）から得られる第2折れ点の変形の値を示す。正負交番载荷の場合は，正負の値を示す。
- 3) 第3折れ点 実験データ（荷重変形の包絡線）から得られる第3折れ点の変形（最大耐力時の変形）の値を示す。正負交番载荷の場合は，正負の値を示す。
- 4) 第4折れ点 実験データ（荷重変形の包絡線）から得られる第4折れ点の変形の値を示す。正負交番载荷の場合は，正負の値を示す。

405-減衰情報

- 1) ポテンシャルエネルギー 各変形角におけるポテンシャルエネルギーを示す。
- 2) 履歴吸収エネルギー 各変形角における履歴吸収エネルギー量を示す。
- 3) 等価粘性減衰定数 各変形角における記載されている等価粘性減衰定数を示す。

406-破壊モード

- 1) 実験時破壊モード 実験で得られている破壊モード。正負交番载荷の場合は，正負の値を

第6章 袖壁付き柱部材

示す。

- 2) 計算時破壊モード 文献中で計算された最小の終局強度を破壊モードとする。正負非対称の部材の場合は、正負の値を示す。

407-損傷状態情報（ひび割れや鉄筋降伏、圧縮破壊、主筋座屈などの損傷状態を示す情報）

- 1) 曲げひび割れ 実験で得られている曲げひび割れ時の荷重と変形の値。正負交番載荷の場合は、正負の値を上段と下段に示す。
- 2) せん断ひび割れ 実験で得られているせん断ひび割れ時の荷重と変形の値。正負交番載荷の場合は、正負の値を上段と下段に示す。
- 3) 主筋降伏 実験で得られている最初に主筋が降伏した時の荷重と変形の値。正負交番載荷の場合は、正負の値を上段と下段に示す。
- 4) せん断補強筋降伏 実験で得られている最初にせん断補強筋が降伏した時の荷重と変形の値。正負交番載荷の場合は、正負の値を上段と下段に示す。
- 5) そで壁縦筋降伏 実験で得られている最初にそで壁縦筋が降伏した時の荷重と変形の値。正負交番載荷の場合は、正負の値を上段と下段に示す。
- 6) そで壁横筋降伏 実験で得られている最初にそで壁横筋が降伏した時の荷重と変形の値。正負交番載荷の場合は、正負の値を上段と下段に示す。
- 7) 被りコンクリート剥落 実験で得られているかぶりコンクリートが剥落した時の荷重と変形の値。正負交番載荷の場合は、正負の値を上段と下段に示す。
- 8) 最大耐力 実験で得られている最大耐力に達した時の荷重と変形の値。正負交番載荷の場合は、正負の値を上段と下段に示す。
- 9) 主筋座屈 実験で得られている最初に主筋が座屈した時の荷重と変形の値。正負交番載荷の場合は、正負の値を上段と下段に示す。
- 10) 軸崩壊 実験で得られている軸崩壊に達したまたはそう見なされる時の荷重と変形の値。正負交番載荷の場合は、正負の値を上段と下段に示す。
- 11) 備考
- 12) ひび割れ情報 ひび割れ図の有無、ある場合はそのデータの保存を行い、そのファイル名称を記載。またひび割れが計測されている部材角を記載する。
- 13) その他の損傷情報 ひび割れ幅や長さなど、さらに詳細な情報を計測の有無について記載。
- 14) 備考

408-デジタルデータ

- 1) ファイル名；デジタルデータをテキスト形式で保存。そのファイル名称を記載。

6.1.5 データの信頼度指標

上記の各項目のデータの信頼度指標として、以下の指標を記入する。

(A) 値が論文中に明記されているデータ。

(B) 以下の内容に類似するものはB評価とする。また、その理由を備考欄に記載する。

- ・アナログデータを計測することで得られるデータ。（例：論文中の断面図を計測し有効せい等を計算する）
- ・論文中の計算値から推測したデータ。（例：曲げ強度計算値から有効せい等を推測する）
- ・論文中のデータが関連論文の値と異なっている。（データベースには主たる論文による値を入力している。）
- ・明らかに論文中の値（または単位）が間違っているため、修正して入力したデータ。（例：柱スパンの長さが1.5(mm)という記載がされていた場合、1.5(m)に修正する。）

6.2 収集データの特性

6.2.1 対象とした論文

表 6.2.1 に「6.5 節 評価式とのその精度」の検討に使用した論文の数を示す。今回、調査対象とした主論文は、「日本建築学会 構造系論文集」、「日本建築学会 構造工学論文集」、「日本コンクリート工学会 年次大会論文集」、「日本コンクリート工学会 コンクリート工学論文集」の4論文である。また、上記4論文の検討に際して、データや情報等が不足する場合には、それらを補完する意味で、その他の論文（日本建築学会大会 学術講演梗概集、支部研究報告集、報告書等）も一部、検討に含めている。検討に使用した論文は合計 53 論文であり、論文の年代は 1973 年から 2013 年の範囲である。なお、詳細は、6.8 節の試験体の引用文献に示しているもので、そこを参照して頂きたい。

なお、袖壁付き RC 柱試験体のデータの収集作業は、以下の方針に順じて行なった。データベース化を図った論文は、「日本建築学会 構造系論文集」、「日本建築学会 構造工学論文集」、「日本コンクリート工学会 年次大会論文集」、「日本コンクリート工学会 コンクリート工学論文集」の4論文である。ただし、データや情報等が不足する場合には、その他の論文（日本建築学会大会 学術講演梗概集、支部研究報告集、報告書等）を用いて補完した。

また、本研究では、国交省建築基準整備促進事業で実施された研究のうち、課題7番「鉄筋コンクリート造の変断面部材の構造特性評価に関する実験」（事業主体：東京大学、横浜国立大学、福井大学）、課題9番「鉄筋コンクリート造の耐力壁架構の条件設定に関する実験」（事業主体：名古屋大学、名古屋工業大学、豊橋技術科学大学、矢作建設工業）、課題39「鉄筋コンクリート造連層耐力壁の構造詳細と部材種別に係る基準の整備に資する検討」（事業主体：東京工業大学、東京大学、名古屋工業大学、京都大学、大阪大学）を実施した各研究機関に、実験の報告書ならびにデジタルデータを御提供頂き、詳細な検証を行った。関係各位に厚くお礼申し上げます。

<袖壁付き RC 柱試験体のデータベース収集方針>

- ・ 袖壁付き RC 柱部材の形状寸法、配筋位置、材料の仕様および実験結果を示している有用な論文をデータベース化する。ただし、解析的な論文は対象外とする。また、直交壁が取り付けいた袖壁付き RC 柱、構造スリット（完全スリットおよび部分スリット）のある袖壁付き RC 柱、袖壁付き SRC 柱は対象外とする。連続繊維シートにより補強された袖壁付き RC 柱試験体、PVA 繊維補強コンクリートを使用した袖壁付き RC 柱試験体、袖壁増設による補強試験体については検討の対象外とするが、その論文に無補強とした袖壁付き RC 柱試験体や基準となる袖壁付き RC 試験体が存在する場合には、それらをデータベース化の対象とする。
- ・ 有開口耐震壁や二次壁の付いた架構の実験は、袖壁付き RC 柱部材単体としての構造性能を抽出、評価することが困難なことから、収集の対象から除外する。

表 6.2.1 引用した論文の数(論文別)

論文名	論文数
日本建築学会 構造系論文集	6
日本建築学会 構造工学論文集	2
日本コンクリート工学会 年次大会論文集	29
日本コンクリート工学会 コンクリート工学論文集	0
その他(日本建築学会大会 学術講演梗概集, 支部研究報告集, 報告書等)*	16
合計	53

* その他の論文は、上記4論文の検討時に不足した情報を補完する目的で引用した。また、同一題目で、その1)、その2)などと同一年度に複数の論文が発表されている場合には、まとめて1編と数えた。

6.2.2 収集データの特性

収集しデータベース化した試験体の特性値一覧を表 6.2.2 に示す。試験体の各特性値（寸法、材料強度、配筋定数等）の頻度分布を図 6.2.1～図 6.2.15 に示す。分析に使用した試験体数は計 204 体である。204 体の断面形状の内訳は、均等袖壁付き柱：161 体、不均等袖壁付き柱：2 体、片側袖壁付き柱：41 体である。

試験体の形状に関して、試験体のスケールは、おおむね 1/4～1/2 スケールの範囲に分布しており、1/4、1/3、1/2 のスケールを想定した試験体の実験が多く実施されている。柱断面は 300mm 角もしくは 250mm 角程度のものが多く採用されている。袖壁厚さ比 α (=袖壁厚さ/柱幅) は、0.13～0.5 の範囲に分布しており、 $\alpha=1/4$ 、 $1/3$ の試験体が多く実施されている。袖壁の張出し長さ比 β (=袖壁長さ/柱せい) は、0.48～9.0 の範囲に分布している。 $\beta=0.5$ 、 1.0 、 1.5 、 2.0 の袖壁長さの試験体で実験が多く実施されており、とくに $\beta=1.0$ の試験体が多い。 β が 3 以上と比較的長いものは、そのほとんどが片側袖壁付き柱である。せん断スパン比 $M/(Q \cdot de)$ は 0.26～3.47 の範囲に分布する。その中でも、 $M/(Q \cdot de)=0.5 \sim 2.0$ の範囲の試験体が多い。ここに、 de は袖壁を含めた有効せいであり、柱の引張鉄筋の中心から圧縮側袖壁の最外縁までの距離とした。なお、片側袖壁付き柱の有効せい de は、袖壁が圧縮される側の有効せいを採用して算出した。

次に、試験体に使用された材料強度について概観する。コンクリート強度 σ_B は、7.0～47.3N/mm² の範囲に分布する。高強度コンクリートの使用は、梁や柱に比較して実績が無い状況であり、今後の課題と言える。また、強度が低いものは耐震診断や耐震補強を目的とした試験体であり、既存不適格の袖壁付き柱を想定したものである。柱主筋の降伏点強度 σ_y の使用範囲は、300～729 N/mm² である。一部、せん断破壊を先行させる目的で、700 N/mm² 程度の高強度鉄筋が使用された特殊な例はあるが、一般的な使用範囲は 300～550 N/mm² 程度の範囲である。主筋の節形状は、主に異形棒鋼が使用されているが、1970 年代の研究や耐震診断、耐震補強を目的とした試験体では丸鋼を使用されるケースが見られる。このことは、帯筋、壁筋にも同様のことが言える。帯筋の降伏点強度 σ_{wy} の使用範囲は、175～930N/mm² である。高強度鉄筋が使用された例は極一部であり、今後の課題と言える。袖壁横筋および袖壁縦筋（ここでは、袖壁端部縦筋を除く、一般部分の袖壁縦筋を意味する。）の降伏点強度 σ_{shy} 、 σ_{svy} の使用範囲は、両者ともに 215～930 N/mm² である。一般部の袖壁横筋と縦筋は、同一仕様のものを用いて試験体を製作するケースが多く、そのことが要因と考えられる。

続いて、配筋定数等について概観する。柱の引張鉄筋比 p_t ($=a_t/(B \cdot D)$) の仕様範囲は 0.34

第6章 袖壁付き柱部材

～1.59%である。使用範囲がもっとも多いのは $p_t=0.5\%$ 前後および 0.9% 前後の範囲である。帯筋比 p_w の使用範囲は $0.0\sim0.95\%$ であり、使用範囲が最も多い範囲は $0.2\sim0.3\%$ である。 $p_w=0.0\%$ の試験体は、参考とした腰壁・垂れ壁付き梁の試験体であり、純粋な袖壁付き柱の使用範囲は $p_w=0.05\sim0.95\%$ である。また、 $p_w=0.2\%$ 未満の試験体は、既存不適格の柱を袖壁の増設により補強した試験体の比較用として計画された袖壁付き柱試験体、もしくは既存不適格の袖壁付き柱を連続繊維シートにより補強した試験体の比較用として計画された無補強の袖壁付き柱試験体である。袖壁横筋比 p_{sh} の使用範囲は $0.0\sim3.98\%$ であり、最も多い使用範囲は 0.5% 前後である。なお、 $p_{sh}=0.0\%$ は帯筋と同様に、参考とした腰壁・垂れ壁付き梁の試験体であり、純粋な袖壁付き柱の使用範囲は $p_{sh}=0.10\sim3.98\%$ である。一般部の袖壁縦筋比 p_{sv} の使用範囲は $0.11\sim1.90\%$ であり、最も多い使用範囲は 0.5% 前後である。次に、袖壁横筋比／袖壁縦筋比の割合であるが、 $p_{sh}/p_{sv}=0.0\sim6.74$ の範囲にあり、 $p_{sh}/p_{sv}=1.0$ で設計されている試験体が比較的多い状況である。これは壁縦筋、横筋が同一のピッチで配筋されることが多いことを意味している。最後に軸力比 n ($=N/(B\cdot D\cdot \sigma_B)$) であるが、使用範囲は $n=-0.08\sim0.49$ であり、最も多い使用範囲は 0.15 前後である。その中には、変動軸力を加えている試験体が5体ほど含まれており、そのうち3体は引張軸力も加えられている。

表 6.2.2 収集した試験体の特性値一覧

項目		使用データの範囲	平均値	単位
試験体形状	試験体スケール(柱せいD=600mmを基準)	0.10 ~ 0.67	0.39	
	袖壁厚さ比: α =袖壁厚さ/柱幅	0.13 ~ 0.50	0.31	
	袖壁の張出し長さ比: β =袖壁長さ/柱せい	0.48 ~ 9.00	1.35	
	せん断スパン比: $M/(Q\cdot de)$	0.26 ~ 3.47	1.23	
材料強度	コンクリート圧縮強度: σ_B	7.0 ~ 47.3	26.2	N/mm ²
	柱主筋降伏点強度: σ_y	300 ~ 729	393	N/mm ²
	柱帯筋降伏点強度: σ_{wy}	175 ~ 930	328	N/mm ²
	袖壁横筋降伏点強度: σ_{shy}	215 ~ 930	348	N/mm ²
	袖壁縦筋降伏点強度: σ_{svy}	215 ~ 930	371	N/mm ²
配筋定数等	引張鉄筋比: $p_t=a_t/(B\cdot D)\times 100$	0.34 ~ 1.59	0.70	%
	帯筋比: p_w	0* ~ 0.95 (0.05~0.95)**	0.35 (0.35)**	%
	袖壁横筋比: p_{sh}	0* ~ 3.98 (0.10~3.98)**	0.79 (0.82)**	%
	袖壁縦筋比: p_{sv}	0.11 ~ 1.90	0.38	%
	袖壁横筋比／袖壁縦筋比: p_{sh}/p_{sv}	0.00 ~ 6.74	1.62	
	軸力比: $n=N/(B\cdot D\cdot \sigma_B)$	-0.08 ~ 0.49	0.15 (0.17)**	

* 帯筋比: p_w 、袖壁横筋比: p_{sh} が"0"の試験体は、あばら筋および腰壁・垂れ壁の横筋比が"0"の腰壁・垂れ壁付き梁試験体である。

** ()内の数値は、腰壁・垂れ壁付き梁を除いた場合の数値である。

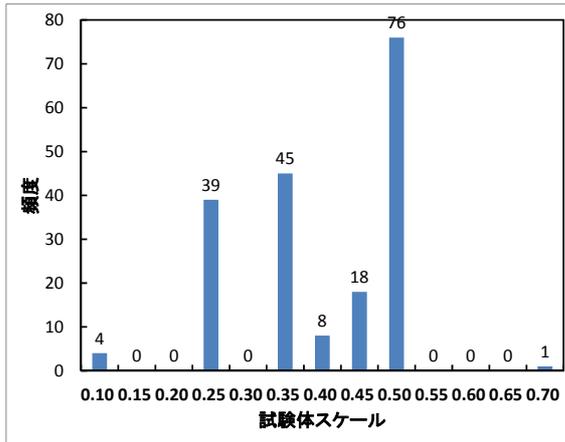


図 6.2.1 試験体のスケール

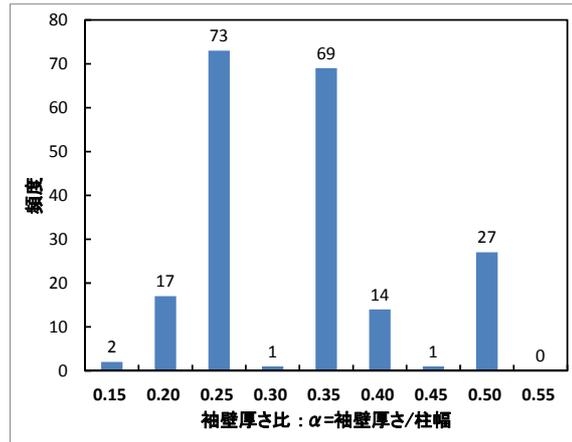


図 6.2.2 袖壁厚さ比: α =袖壁厚さ/柱幅

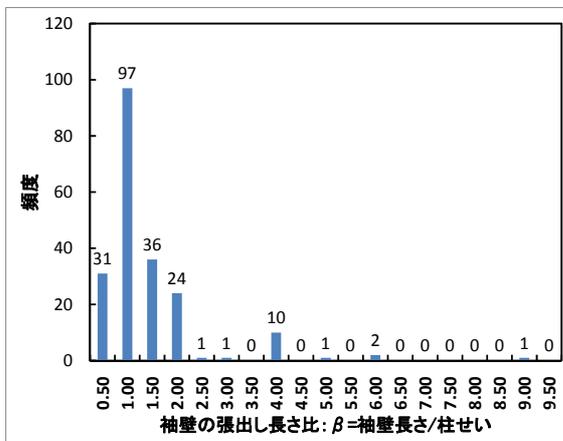


図 6.2.3 袖壁の張出し長さ比: β =袖壁長さ/柱せい

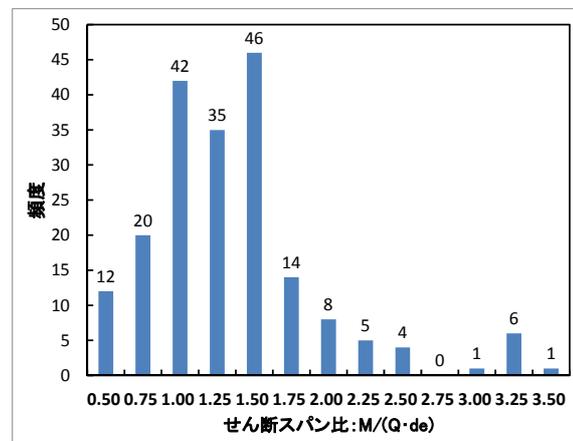


図 6.2.4 せん断スパン比: $M/(Q \cdot de)$

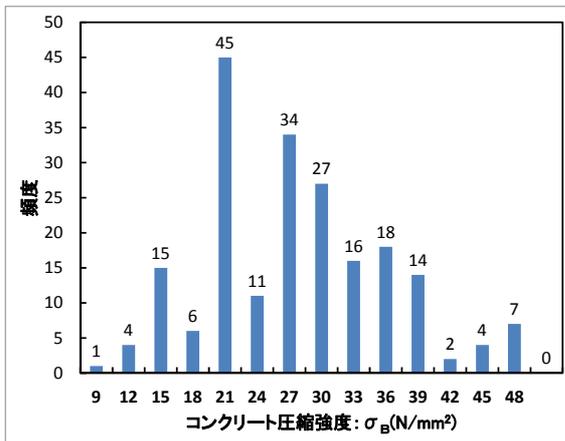


図 6.2.5 コンクリートの圧縮強度: σ_c

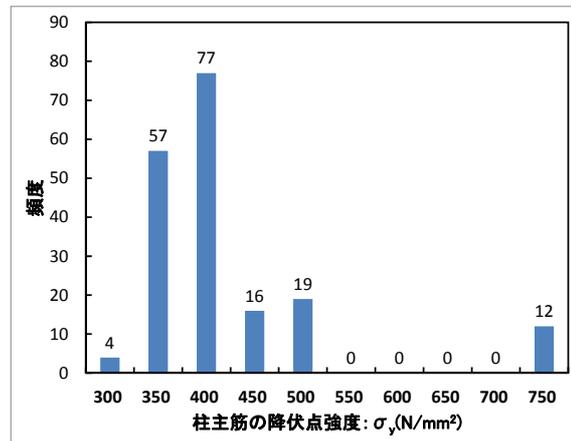


図 6.2.6 柱主筋の降伏点強度: σ_y

第6章 袖壁付き柱部材

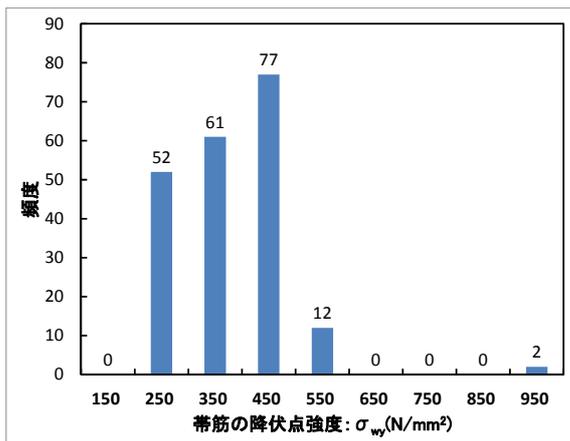


図 6.2.7 帯筋の降伏点強度: σ_{wy}

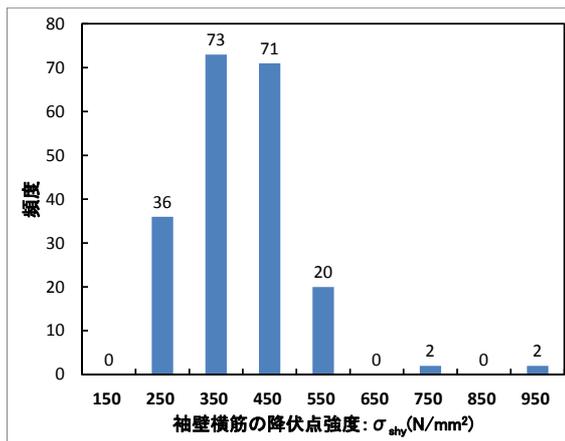


図 6.2.8 袖壁横筋の降伏点強度: σ_{shy}

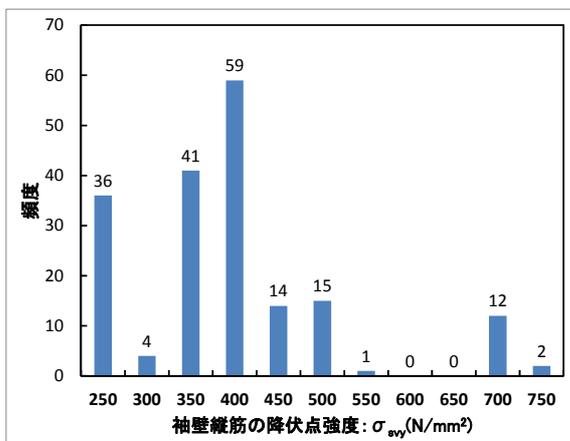


図 6.2.9 袖壁縦筋の降伏点強度: σ_{svy}

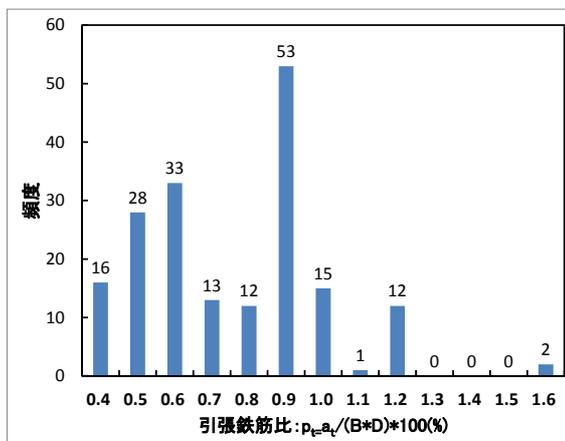


図 6.2.10 引張鉄筋比: p_t

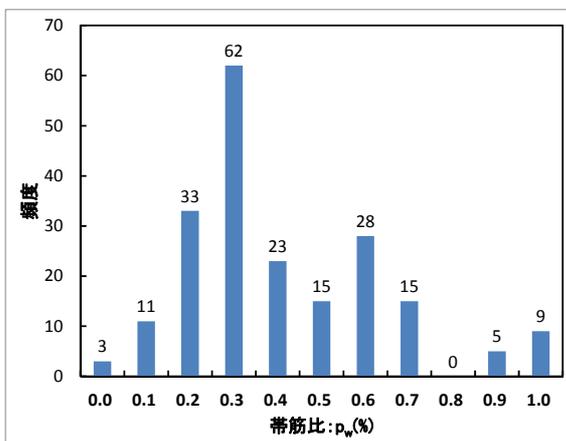


図 6.2.11 帯筋比: p_w

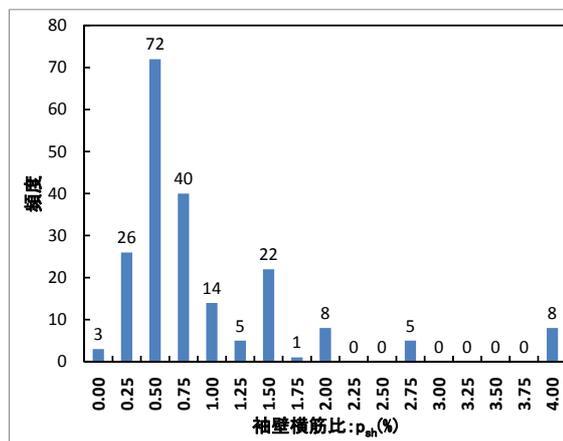


図 6.2.12 袖壁横筋比: p_{sh}

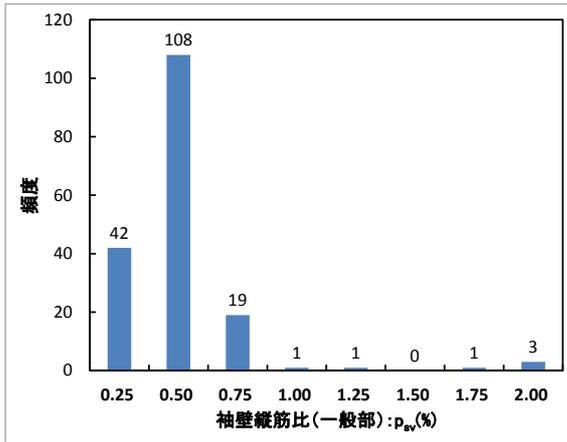


図 6.2.13 袖壁縦筋比: p_{sv}

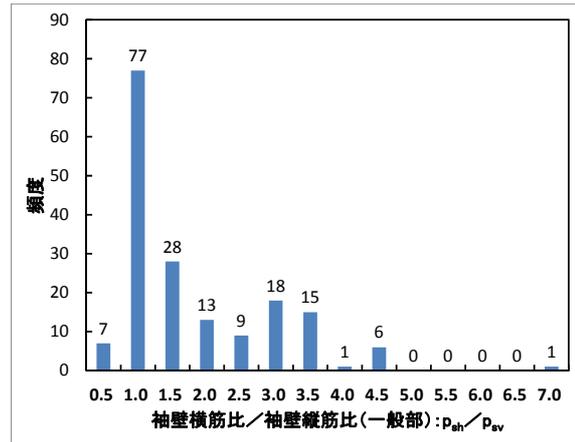


図 6.2.14 袖壁横筋比/袖壁縦筋比
(一般部): p_{sh}/p_{sv}

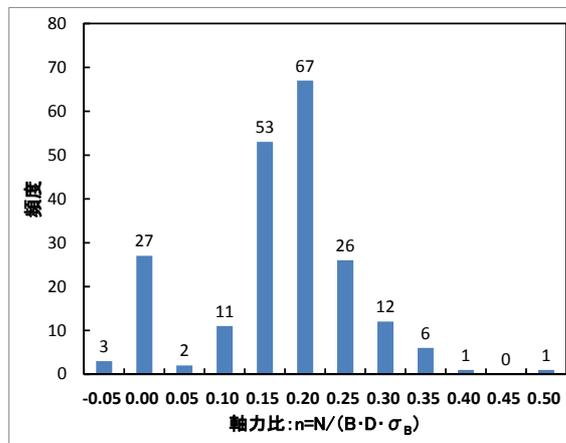


図 6.2.15 軸力比: $n = N / (B \cdot D \cdot \sigma_B)$

6.3 収集データの信頼度分析

本研究で収集した204体の試験体データについて、その信頼度について以下に記述する。

(1) 基本情報について

袖壁付き柱部材は、その断面形状により評価式の取扱いに留意する必要がある。そのため、「101-IP 情報 4)部材名称」では、その断面形状を3つに分類することとした。

- ①柱の両側に袖壁が均等に配置された袖壁付き柱の場合は、「均等袖壁付き柱」と記述する。
- ②柱の両側に袖壁が不均等に配置された袖壁付き柱の場合は、「不均等袖壁付き柱」と記述する。
- ③柱の片側に袖壁が配置された袖壁付き柱の場合は、「片側袖壁付き柱」と記述する。

(2) 試験体情報について

- ・試験体のスケール スケールに関しては、ほとんどの文献で記述が無い状況である。そのため、記述が無いものに関しては、柱断面 $B \times D = 600 \times 600 \text{mm}$ を基準にして記述することとした。
- ・コンクリート打設方向 ほとんどの文献で記述が無い状況である。
- ・コンクリート材料 圧縮強度については全ての試験体で記述されていた。ただし、圧縮強度時のひずみ度や引張強度、ヤング係数については半数近くの試験体で記述が無かった。
- ・鉄筋材料 各鉄筋の降伏点強度、引張強度、ヤング係数などの記述は比較的多いものの、降伏時のひずみ度の記述は、ほとんど無い状況である。また、鉄筋のグレード（例：SD345 など）の情報の記述は無いことが多い。
- ・断面情報 試験体の断面情報として、鉄筋位置の詳細な情報が極めて乏しい。そのためデータベースに記載する有効せい、被り厚さ、コア断面積などの記述は極めて困難である。また、今後、各評価式による計算値と実験値とを比較するためのサンプル数を増やすためには、それらの寸法を図面または文献に示された計算値等から推察する必要がある。

(3) 加力計測情報について

- ・加力形式 加力形式は、ほとんどの論文で記述されている。一方、部材変位の計測方法は、文献中にほとんど示されておらず、「302-計測情報 2) 部材変位の計測方法」の記入は、そのほとんどが不明である。

(4) 実験データ情報について

- ・荷重変形関係

荷重変形関係のデータは、論文中に示された包絡線または荷重変形関係の図のみである。いわゆる、アナログデータである。ただし、建築基準整備促進補助金事業 課題 9^[6-13] ^[6-15]および課題 39^[6-17]で実施された試験体および福井大学が母体となっている筆者らの研究^[6-14]はデジタルデータに基づいている。
- ・剛性情報，強度情報，変位情報
 (折れ点)

各折れ点の定義が定まっていない状況もあり，ほとんどの文献において各折れ点を評価していない。剛性の情報は，文献中に示されている弾性剛性のみを入力した。ただし，弾性剛性の実験結果の記述は極めて少ない。また，弾性剛性の算出方法も定まっていない状況であり，その算出方法はまちまちであると推察される。また，試験機の剛性や治具の剛性の影響も少なからず受けていることの懸念もあり，精査する必要がある。強度情報および変形情報は，第1折れ点を曲げひび割れ発生点，第2折れ点をせん断ひび割れ発生点，第3折れ点を最大耐力の点と定義し，文献中に示されている曲げひび割れ，せん断ひび割れ，最大耐力の荷重および変位を記載した。しかしながら，最大耐力時の荷重および変位の記載は多いものの，曲げひび割れおよびせん断ひび割れの荷重および変位の情報はそれに比較して少ない状況である。
- ・実験時破壊モード

袖壁付き柱部材の破壊モードは，文献ごとに記述が異なる。そのため，データベース上では，文献に示されている記述内容をそのまま入力した。
- ・損傷情報

各文献に示されている各鉄筋の降伏時，ひび割れ発生時，最大耐力時の荷重と変形の値をそのまま入力した。また，各文献では，最大耐力に関する検討が多く，最大耐力の数値の記述はあるものの，ひびわれ時や降伏時のデータは極めて少ない状況である。

全体の総括として，配筋の詳細な位置情報は，ほとんどの文献で欠落している状況である。また，終局耐力については，多くの文献で記述がなされているものの，剛性，ひび割れ強度，降伏耐力等の記載は極めて少ない状況である。また，部材のモデル化を含めて第1折れ点，第2折れ点，第3折れ点の定義を明確に設定する必要がある。

6.4 実験値の定義

本節では、検討する袖壁付き RC 柱の耐震性能項目を示すとともに、その実験値の定義を行う。検討する耐震性能の項目は、①弾性剛性 wS_e 、②短期許容せん断力 Q_A 時の損傷状況、③曲げひび割れ強度 wQ_{mc} 、④せん断ひび割れ強度 wQ_{sc} 、⑤降伏点剛性低下率 α_y 、⑥曲げ終局強度 wQ_{mu} 、⑦せん断終局強度 wQ_{su} 、⑧限界変形角 R_u の8項目である。

6.4.1 弾性剛性

水平荷重－水平変形関係における弾性剛性であり、論文中に記載されている値を採用した。ただし、建築基準整備促進補助金事業 課題 9^[6-13] ^[6-15]および課題 39^[6-17]で実施された試験体は、曲げひび割れまたはせん断ひび割れ発生 1Step 前のデータと軸力導入完了時のデータを結んだ剛性を弾性剛性と定義した。ただし、正側の第一サイクルで曲げひび割れ、せん断ひび割れが発生しなかった場合には、正側第一サイクルのピーク時のデータと軸力導入完了時のデータを結んだ剛性を弾性剛性と定義した。

6.4.2 短期許容せん断力

RC 規準^[6-2]で示された短期許容せん断力時の損傷状況写真を示し、その傾向について言及するものである。

6.4.3 ひび割れ強度（曲げおよびせん断）

曲げひび割れ強度、せん断ひび割れ強度実験値は、論文中に記載されている値を採用した。

6.4.4 降伏点剛性低下率

剛性低下率実験値は、図 6.4.1 に示すように最大耐力の 80%の点を降伏点と見なし、その時の剛性を曲げ変形、せん断変形（せん断形状係数 κ はエネルギー法を採用）を考慮した弾性剛性計算値で除した値とした。

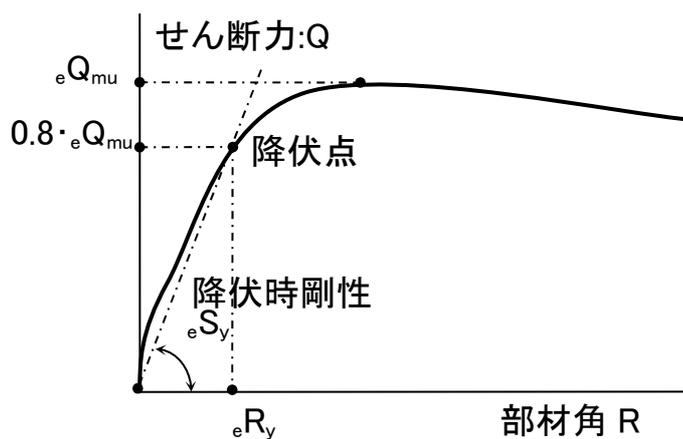


図 6.4.1 剛性低下率実験値の算出方法

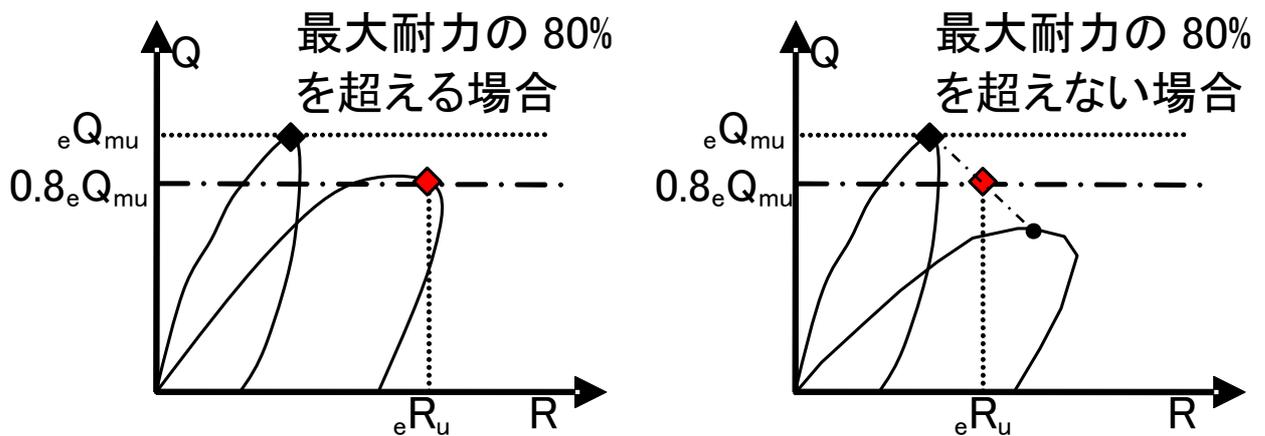
6.4.5 終局強度（曲げおよびせん断）

曲げ終局強度、せん断終局強度実験値は、論文中に記載されている値を採用した。いわゆる最

大耐力を意味するものである。曲げ終局耐力とせん断終局耐力の判別は、文献中にその事項が明確に示されている場合には論文の内容をそのまま採用した。一方、論文中に明確に示されていない場合には、論文中に示された破壊モード、計算値等の情報から曲げ終局耐力、せん断終局耐力かを判定、区別した。

6.4.6 限界変形角

限界変形角実験値は、最大耐力以降の耐力が最大耐力の80%に低下した点の変形角と定義した。その値が文献中に示されているものは、その値を採用した。また、デジタルデータが存在する建築基準整備促進補助金事業 課題9^[6-15]および課題39^[6-17]の片側袖壁付き柱試験体は、図6.4.2に示す方法により限界変形角実験値を算出した。荷重-変形曲線上に限界変形角の点が存在する場合は、同図(a)に示すように $0.8eQ_{mu}$ （ここに、 eQ_{mu} ：曲げ終局耐力実験値）の耐力と荷重-変形曲線が交わる点の変形角を限界変形角実験値と定めた。一方、荷重-変形曲線上に限界変形角の点が存在しない場合は、同図(b)に示すように限界変形角が存在するであろう前後のサイクルの最大耐力の点同士を線で結び、その線が $0.8eQ_{mu}$ と交わる点の変形角を限界変形角実験値と定めた。建築基準整備促進補助金事業 課題7^[6-16]の曲げ破壊した均等袖壁付き柱試験体は、荷重-変形曲線の図をデジタル化し、上記で説明した図6.4.2に示す方法により限界変形角実験値を算出した。



(a) 荷重-変形曲線上に限界変形角の点が存在する場合
(b) 荷重-変形曲線上に限界変形角の点が存在しない場合

図 6.4.2 限界部材角実験値の算出方法

6.5 評価式とその精度

本節では、本研究で作成したデータベースを用いて袖壁付き RC 柱の耐震性能評価を行う。本部材の耐震性能評価項目は、弾性剛性、短期許容せん断力時の損傷状況、ひび割れ強度（曲げおよびせん断）、降伏点剛性低下率、終局強度（曲げおよびせん断）、限界変形角、せん断力(Q)と変形角(R)スケルトンモデルの実験値と計算値の比較の計7項目である。検討に使用した評価式は、技術基準解説書^[6-1]、RC 規準^[6-2]、文献^{[6-7][6-8][6-9][6-16]}に示された評価式である。表 6.5.1 に検討に使用した各評価式の出典先および式番号を示しておく。

表 6.5.1 検討項目一覧

耐震性能評価項目	評価式の式番号	検討に使用した評価式の出典先
弾性剛性	式(6.5.1)～(6.5.8)	弾性理論による曲げ変形とせん断変形を考慮した評価式。せん断変形を算出する際のせん断形状係数 κ は応力度法、エネルギー法を使用。また、袖壁断面を等価な断面二次モーメントとなる矩形断面に置換し、せん断形状係数 $\kappa=1.2$ を採用して算出する方法の3種類について検討。詳細は参考文献 ^[6-3] を参照。
短期許容せん断力時の損傷状況	式(6.5.9)	2010年版 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ^[6-2] 「19条 壁部材の算定」の短期許容せん断力式により評価。
曲げひび割れ強度	式(6.5.10)～(6.5.11)	2007年版 技術基準解説書 ^[6-1] 付録1-3 (5)そで袖付き柱等 ④ひび割れ強度 a)曲げ 式(付1.3-1)により評価。
せん断ひび割れ強度	式(6.5.12)	2007年版 技術基準解説書 ^[6-1] 付録1-3 (5)そで袖付き柱等 ④ひび割れ強度 b)せん断 式(付1.3-42)により評価。
降伏点剛性低下率	式(6.5.13)～(6.5.15)	2010年版 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ^[6-2] 付10.5剛性低下率の式により評価。詳細は参考文献 ^[6-4] 、 ^[6-5] を参照。
曲げ終局強度1	式(6.5.16)、式(6.5.17)	2007年版 技術基準解説書 ^[6-1] 付録1-3 (5)そで袖付き柱等 ⑥終局強度 a)曲げ 式(付1.3-43)の曲げ略算式により評価。
曲げ終局強度2	式(6.5.16)、式(6.5.18)	参考文献 ^[6-7] 、 ^[6-8] の曲げ理論に基づいた評価式により評価。
せん断終局強度1	式(6.5.19)	2007年版 技術基準解説書 ^[6-1] 付録1-3 (5)そで袖付き柱等 ⑥終局強度 b)せん断 式(付1.3-44)の式により評価。
せん断終局強度2	式(6.5.20)～(6.5.22)	参考文献 ^[6-16] の提案式(分割累加式)により評価。
限界変形角	式(6.5.23)	参考文献 ^[6-8] 、 ^[6-9] の提案式により評価。

以下、袖壁付き RC 柱の各検討項目に使用する評価式について解説する。同時に、その評価式による計算値と実験値との比較を行い、その検討結果および留意点等について述べる。

6.5.1 弾性剛性

本節では、弾性剛性の計算値と実験値との比較を行い、その精度について検証を行うと同時に、本評価式の留意点について述べる。弾性剛性の計算値は、曲げ変形とせん断変形を考慮したものである。参考までに、逆対象モーメントを作用させた場合の評価式を式(6.5.1)に示しておく。ただし、片持ち形式の加力や付加モーメントを加える加力の場合には、下式と異なるので注意して頂きたい。なお、本評価では、それぞれの加力方法に応じた式により評価を行っている。弾性剛性評価式中の断面二次モーメント (I_0)、せん断有効断面積 (A) およびせん断形状係数 (κ) は、断面内の鉄筋を無視して計算を行い、コンクリートの弾性係数 (E_c) は、式(6.5.3)による学会規準式^[6-2]を採用した。

■弾性剛性評価式■

$$w_s e = Q / (\delta_e / h_0) = 1 / \{ h_0^2 / (12 E_c \cdot I_0) + \kappa / (G \cdot A) \} \quad (6.5.1)$$

ここに、 h_0 : 内法高さ E_c : コンクリートの弾性係数 I_0 : 中立軸回りの断面二次モーメント
 κ : せん断形状係数 G : せん断剛性 A : せん断有効断面積 Q : せん断力
 δ_e : 弾性変形

ただし、

$$\delta_e = \delta_B + \delta_S = \frac{Q \cdot h_0^3}{12 E_c \cdot I_0} + \frac{\kappa \cdot Q \cdot h_0}{G \cdot A} \quad (6.5.2)$$

$$E_c = 33500 \times \left(\frac{\gamma}{24} \right)^2 \times \left(\frac{\sigma_B}{60} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (\text{N/mm}^2) \quad (6.5.3)$$

$$I_0 = \frac{1}{12} B \cdot D^3 \{ \alpha (1 + 2\beta)^3 + (1 - \alpha) \} \quad (6.5.4)$$

$$G = \frac{E_c}{2(1 + \nu)} \quad (\text{N/mm}^2) \quad (6.5.5)$$

ここに、 δ_B : 曲げ変形 δ_S : せん断変形 ν : コンクリートのポアソン比 (=0.2)
 γ : コンクリートの単位容積重量 (RC 規準式^[6-2]) σ_B : コンクリートの圧縮強度
 B : 柱幅 D : 柱せい α : 袖壁厚さ比 (=t/B)
 β : 袖壁張出し長さ比 (図 6.5.1 参照) t : 袖壁厚さ

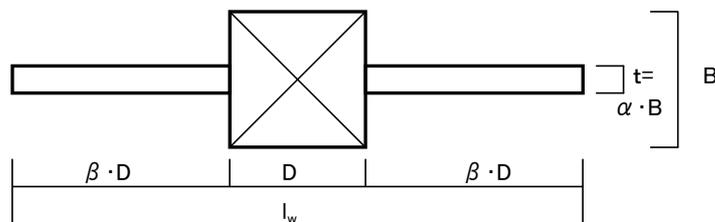


図 6.5.1 袖壁付き RC 柱の記号

なお、断面形状が複雑な袖壁付き RC 柱では、弾性剛性計算に用いる諸定数の決め方 (例えば、せん断形状係数 κ など) などには、様々な手法があり、留意すべき点もあると考えられる。ここ

第6章 袖壁付き柱部材

では、参考文献[6-3]に示した以下の3種類の方法により弾性剛性の計算を行い検討・評価を行う。
 なお、以下に示すせん断形状係数 κ の評価式は、袖壁が柱の両側に均等に配置された袖壁付き RC 柱を対象とした式である。片側のみに袖壁が配置された袖壁付き RC 柱や柱の両側に配置された袖壁の出幅が異なる袖壁付き RC 柱の場合には評価式が異なるので文献[6-2]、[6-3]等を参考にしたい。

- (a) 弾性剛性の算出は、曲げ変形とせん断変形を考慮した式(6.5.1)により行う。評価式中のせん断有効断面積 (A) は、袖壁付き RC 柱の全断面積を使用し、せん断形状係数 (κ) は、下式(6.5.6)による断面内のせん断応力度に基づく方法 (以下、応力度法と呼ぶ。) により算出する。

$$\kappa = \frac{\tau_{\max}}{\tau_m} = \frac{6(1+2\alpha\beta) \left\{ \alpha \left(\beta + \frac{1}{2} \right)^2 + \frac{1}{4}(1-\alpha) \right\}}{\alpha(1+2\beta)^3 + (1-\alpha)} \quad (6.5.6)$$

- (b) 弾性剛性の算出は、曲げ変形とせん断変形を考慮した式(6.5.1)により行う。評価式中のせん断有効断面積 (A) は、袖壁付き RC 柱の全断面積を使用し、せん断形状係数 (κ) は、“断面内のせん断応力度の分布とそれに比例して生じるせん断ひずみ (せん断変形角) から定まるひずみエネルギー” と “線材としてモデル化した部材のせん断変形によるひずみエネルギー” が等しいとして導出される下式(6.5.7)によるせん断ひずみエネルギーに基づく方法 (以下、エネルギー法と呼ぶ。) により算出する。

$$\begin{aligned} \kappa &= \frac{A}{I_0^2} \int_{yt}^{yc} \frac{S(y)^2}{z} dy \\ &= \frac{72(1+2\alpha\beta)}{\left\{ 1+2\alpha\beta^3+6\alpha\beta(1+\beta)^2 \right\}^2} \left\{ \frac{8}{15} \alpha \left(\beta + \frac{1}{2} \right)^5 - \frac{1}{2} \alpha(1-\alpha) \left(\beta + \frac{1}{2} \right)^4 + \frac{1}{4} \alpha(1-\alpha) \left(\beta + \frac{1}{2} \right)^2 + \frac{1}{4} (1-\alpha) \left(\frac{1}{15} - \frac{1}{8} \alpha \right) \right\} \end{aligned} \quad (6.5.7)$$

- (c) 弾性剛性の算出は、曲げ変形とせん断変形を考慮した式(6.5.1)により行う。評価式中のせん断有効断面積 (A) は、袖壁付き RC 柱の全せいと等しくし、かつ、断面二次モーメント (鉄筋の影響は無視) が等しくなるような等価長方形断面を想定して導いた下式(6.5.8)により行う。なお、せん断形状係数は、長方形断面部材のせん断形状係数 $\kappa=1.2$ (エネルギー法) により算出する。以下、置換断面法と呼ぶ。

$$A = A_e = B_e \cdot l_w = \frac{\alpha(1+2\beta)^3 + (1-\alpha)}{(1+2\beta)^2} BD \quad (6.5.8)$$

ここに、 κ : せん断形状係数 α : 袖壁厚さ比 (=t/B) β : 袖壁張出し長さ比 (図 6.5.1)

A : せん断有効断面積 I_0 : 中立軸回りの断面二次モーメント

$S(y)$: 中立軸から距離 y 以下の断面の中立軸に関する断面一次モーメント

yt : 中立軸から断面下端縁までの距離 yc : 中立軸から断面上端縁までの距離

z : 中立軸から距離 y における断面の幅 B : 柱幅 D : 柱せい

A_e : 袖壁付き RC 柱の全せいと等しくし、かつ、断面二次モーメント (鉄筋の影響は無

視) が等しくなるような等価長方形断面の断面積 (= $B_e \cdot l_w$)

B_e : 袖壁付き RC 柱の全せいと等しくし, かつ, 断面二次モーメント (鉄筋の影響は無視) が等しくなるような等価長方形断面の幅

l_w : 袖壁付き RC 柱の全せい τ_{max} : 最大せん断応力度 τ_m : 平均せん断応力度

図 6.5.2 および図 6.5.3 に均等袖壁付き柱および片側袖壁付き柱のせん断形状係数 κ と袖壁厚さ比 α および袖壁張出し長さ比 β との関係を示す。図 6.5.2 および図 6.5.3 の左の図は α を 0.32 に固定し, β を変動させたものである。右の図は β を 1.5 に固定し, α を変動させたものである。赤線が応力度法を, 青線がエネルギー法を示す。同図より, 応力度法の値とエネルギー法で算出される値は大きく異なることに注意を払う必要がある。また, 図 6.5.3 に示した片側袖壁付き柱の場合や両側不均等袖壁付き柱の非対称断面では, 同図中の赤線で示した応力度法による κ は, 不連続な線となり, その扱いに注意を払う必要がある。とくに, 大久保は文献[6-3]の中に以下の内容のことを論文中に記述しているので紹介しておく。

「 κ は応力度法で求めると, エネルギー法に比べて比較的簡単な式で計算できるが壁の厚さおよび高さ (袖壁の場合は, 袖壁長さを意味する。) の影響が大きく, 非対称断面では不連続点が生じ困難な問題が起こる。剛性計算に際し κ の値としていずれの方法によって求めた値を用いるべきかは, 材に作用する荷重と変形条件 (材端での拘束状況) をもとにして論ずるべき問題であり, 逆対称荷重を受ける材で材端が固定の場合には初等理論による応力度の考え方では説明がつかず, 歪エネルギーを基にして考えるべきであろう。」

表 6.5.2 に弾性剛性評価式の予測精度を, 図 6.5.4 に弾性剛性の実験値と計算値との比較を示す。検証に用いた実験データは, 既往の実験データ [6-A2][6-A3][6-A11][6-A15][6-A18][6-A21][6-A24][6-A29][6-A33][6-A36][6-A38][6-A41][6-A42][6-A45][6-A48][6-A55][6-A59][6-11][6-13][6-15] である。検討に使用した袖壁の断面は, 均等袖壁付き柱, 不均等袖壁付き柱, 片側袖壁付き柱のデータであり, 一部, 腰壁・垂れ壁が梁の上下に均等に配置された腰壁・垂れ壁付き RC 梁も使用した。

表 6.5.2 および図 6.5.4 より, 応力度法による弾性剛性計算値と実験値の比較では, 比較値 (= 実験値 / 計算値) は 0.12~1.67, 比較値の平均値: $X=0.65$, 変動係数: $CV=46.6\%$ となり, 計算値の剛性が実験値に比べて高く, ばらつきが大きい傾向にある。次に, エネルギー法による比較では, 比較値は 0.21~2.05, 平均値: $X=0.79$, 変動係数: $CV=38.9\%$ となり, 応力度法に比べてやや精度は向上しているものの, 計算値の剛性が実験値に比べて高く, ばらつきが大きい傾向にある。置換断面法による比較では, 比較値は 0.28~2.75, 平均値: $X=0.97$, 変動係数: $CV=39.6\%$ となり, 最も精度が良いが, ばらつきは大きいと言える。

以上, 本検討の範囲内では, 置換断面法による手法がおおむね実験値と良い適合性を示しているが, いずれの評価方法も, データのばらつきは極めて大きいと言える。これらの要因としては, 乾燥収縮による初期欠陥の影響や試験機および治具等の剛性による影響等も少なからず考えられる。

また, 上記でも説明したが, 非対称断面となる両側不均等袖壁付き柱や片側袖壁付き柱の場合, 応力度法によるせん断形状係数 κ は, 不連続となる点が生じるため, 急激に剛性の計算値が変化する場合がある。そのため, 歪エネルギーを基にしたエネルギー法および置換断面法により計算されることが推奨される。

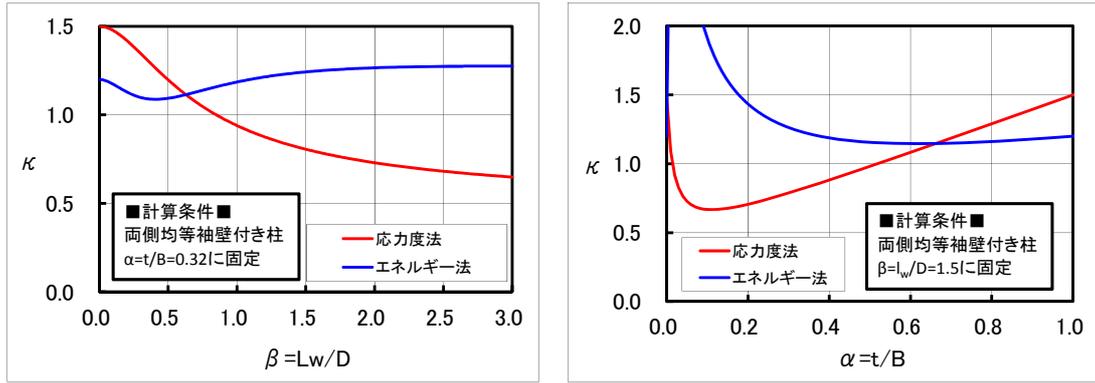


図 6.5.2 均等袖壁付き柱の κ と α および β との関係

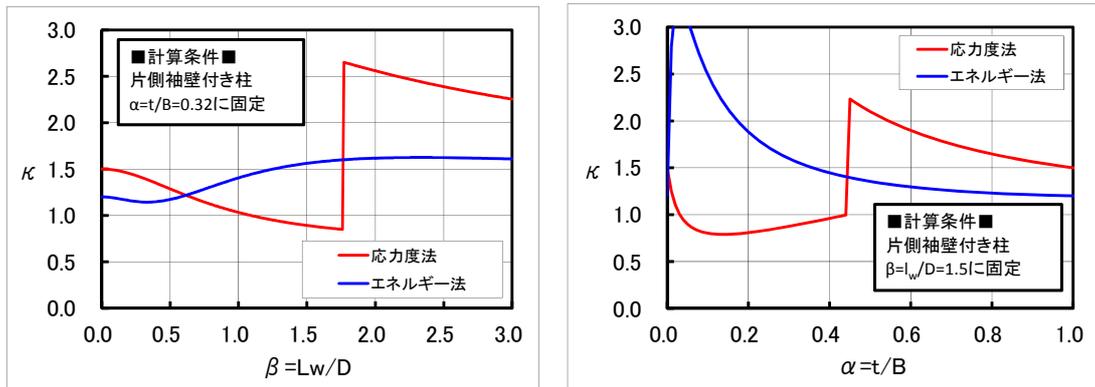


図 6.5.3 片側袖壁付き柱の κ と α および β との関係

表 6.5.2 弾性剛性の予測精度

弾性剛性計算式	試験体数* (サンプル数) n	比較値**の の範囲	比較値**の の平均値 X	標準偏差 σ_{n-1}	変動係数 CV(%)
応力度法	95(95)	0.12 ~ 1.67	0.65	0.30	46.6
エネルギー法	95(95)	0.21 ~ 2.05	0.79	0.31	38.9
置換断面法	95(95)	0.28 ~ 2.75	0.97	0.39	39.6

*: 試験体数は、データを抽出した試験体の数。サンプル数は、1つの試験体から正加力、負加力のデータがそれぞれ抽出された場合には、サンプル数としてカウントする。

** : 比較値 = 実験値 / 計算値

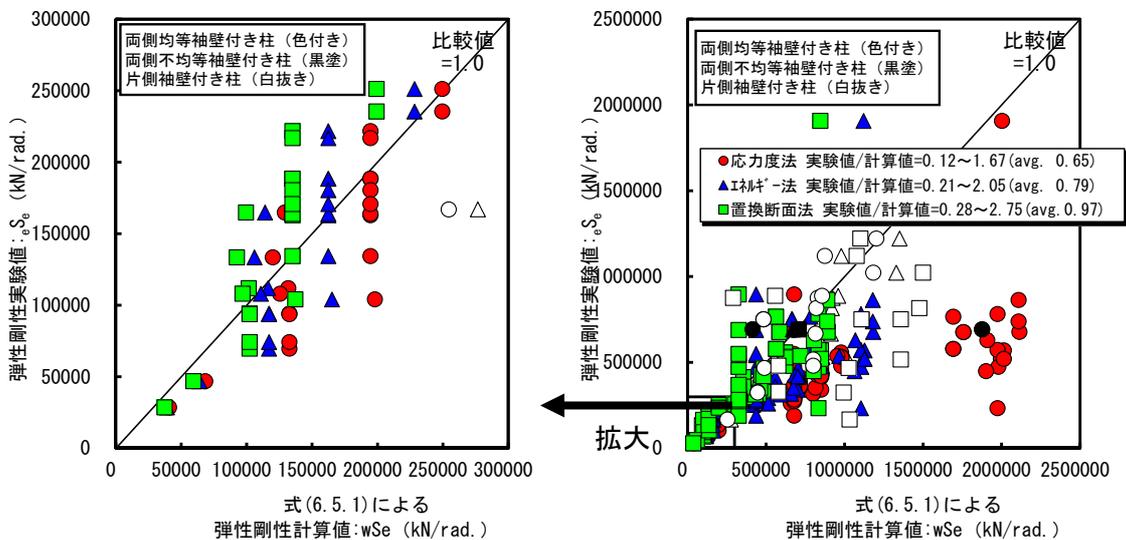


図 6.5.4 弾性剛性の実験値と計算値との比較

6.5.2 短期許容せん断力

2010年版 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説^[6-2] 「19条 壁部材の算定」に示されている下式(6.5.9)の柱付き壁の短期許容せん断力時の袖壁付き柱の損傷状況について検討する。

$$Q_A = \max(Q_1, Q_2) \quad (6.5.9)$$

$$Q_1 = t l f_s$$

$$Q_2 = \sum Q_w + \sum Q_c$$

ただし,

$$Q_w = p_s t l_{\text{left}}$$

$$Q_c = b j \{ \alpha f_s + 0.5 w f_t (p_w - 0.002) \}$$

ここに,

t : 壁板の厚さ

l : 柱を含む壁部材の全せい

l_e : 壁板の有効長さで, 片側に柱がある場合 l_e = 0.9l'

l' : 壁板の長さ

b : 柱の幅

j : 柱の応力中心間距離 (= (7/8)d または 0.8D とする)

D : 柱のせい

d : 柱の有効せい

f_s : コンクリートの短期許容せん断応力度

f_t : 壁筋のせん断補強用短期許容引張応力度

wf_t : 柱帯筋のせん断補強用短期許容引張応力度

p_s : 壁板のせん断補強筋比 p_s = a_w / (t · s)

a_w : 壁板の1組のせん断補強筋の断面積

- ・ p_s が 0.006 以上の場合は p_s = 0.006 とする。
- ・ p_s が p_wb/t 以上の場合は p_s = p_wb/t とする。
- ・ 壁板の縦横の補強筋比が異なる場合, p_s は横筋比を用いて計算してよいが, p_s は縦筋比の2倍を上限として計算する。

p_w : 柱の帯筋比で, 0.012 以上の場合は 0.012 とする。

α : 拘束効果による割増係数で, 袖壁付き柱では α = 1.0 とする。

第6章 袖壁付き柱部材

引用文献[6-A41], [6-A42]に示された袖壁付き RC 柱試験体の短期許容せん断力時のひび割れ状況を写真 6.5.1 に示す。なお、短期許容せん断力は 2010 年度版 RC 規準^[6-2]「19 条 壁部材の算定」に示された式(6.5.9)により計算されたものであり、その荷重時のひび割れ状況を示している。なお、RC 規準式は Q_1 , Q_2 のうち、大きい方の耐力を採用して短期許容せん断力 Q_A とするが、本試験体は、すべて Q_2 の耐力で決定されている。 p_{sh} が低い No.3-6 の短期許容せん断力 Q_A は 151.4kN であるが、その他の試験体は $Q_A=193.3\sim 196.5\text{kN}$ である。

No.3-1, No.3-2, No.3-3, No.3-5, No.3-6は袖壁および柱の引張側端部に曲げひび割れが生じる程度であり、損傷は軽微であった。軸力の高いNo.3-4は、ひび割れは発生せず無損傷であった。



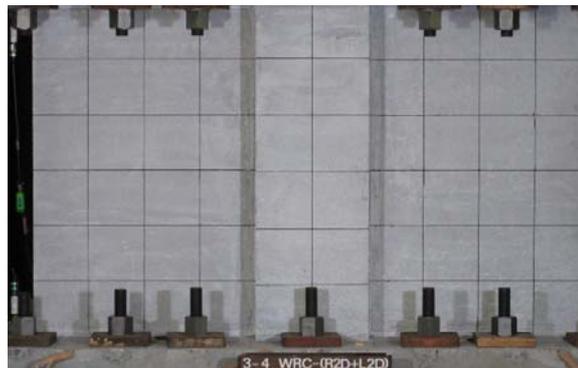
No.3-1 WRC-(R2D+L2D)-42/127-1/6Fc-SS



No.3-2 WRC-(R3D+L1D)-42/127-1/6Fc-SS



No.3-3 WRC-(R4D+L0D)-42/127-1/6Fc-SS



No.3-4 WRC-(R2D+L2D)-42/127-2/5Fc-SS



No.3-5 EWRC-(R2D+L2D)-42/127-1/6Fc-SS



No.3-6 WRC-(R2D+L2D)-42/32-1/6Fc-SS

写真 6.5.1 短期許容せん断力時のひび割れ状況

6.5.3 ひび割れ強度（曲げおよびせん断）

(1) 曲げひびわれ強度 wQ_{mc}

本節では、技術基準解説書^[6-1]に示されている曲げひび割れ強度評価式による計算値と実験値との比較を行い、その精度の検証を行う。同時に、本評価式の取扱いについて、その留意点を述べる。曲げひび割れ強度計算値は、下式(6.5.10)により算出する。なお、同式中の曲げひび割れモーメント (wM_{cr}) は、式(6.5.11)により評価を行う。

式(6.5.11)を導出するための仮定を示す。式(6.5.11)は、柱の曲げひび割れモーメントの式を準用したものである。コンクリートの曲げひび割れ時の引張応力度 (σ_t) を $0.56\sqrt{\sigma_B}$ と仮定し、軸力を考慮した曲げひび割れモーメントの評価式である。袖壁付き RC の断面は、袖壁を含む全せいを部材せいととらえて、さらに断面二次モーメント（鉄筋の影響は無視）が等価となるような長方形断面に置換して導出された式である。

■曲げひび割れ強度評価式■

$$wQ_{mc} = wM_{cr}/a \quad (6.5.10)$$

ここに、 wM_{cr} ：曲げひび割れモーメント（式(6.5.10)） a ：せん断スパン
ただし、

$$wM_{cr} = 0.56\sqrt{\sigma_B} \cdot Z + N \cdot l_w/6 + N \cdot e \quad (6.5.11)$$

ここに、 σ_B ：コンクリートの圧縮強度 (N/mm^2) N ：軸力（圧縮＋，引張－）
 l_w ：袖壁付き RC 柱の全せい Z ：袖壁を考慮した時の断面係数
 e ：構造芯（軸力の荷重位置）を基準とする断面図心の座標
（図芯が構造芯より圧縮縁に近い時を正＋とする。）

図 6.5.5 に曲げひび割れ耐力実験値と式(6.5.10)による計算値との比較を、表 6.5.3 に曲げひび割れ強度評価式の予測精度を示す。検証に用いた実験データは、既往の実験データ [6-A1][6-A2][6-A7][6-A8][6-A11][6-A18][6-A21][6-A22][6-A24][6-A30][6-A33][6-A36][6-A38][6-A41][6-A42][6-A44][6-A45][6-A47][6-A55][6-A56][6-A59][6-11][6-13][6-15] であり、曲げひび割れ耐力実験値は、文献中に示された値を使用した。検討に使用した袖壁の断面は、両側均等袖壁付き柱、不均等袖壁付き柱、片側袖壁付き柱のデータである。一部、腰壁・垂れ壁が梁の上下に均等に配置された腰壁・垂れ壁付き RC 梁のデータも使用した。

表 6.5.3 および図 6.5.5 より、比較値(=実験値/計算値)は 0.15～2.35、比較値の平均値： $X=0.87$ 、変動係数： $CV=47.2\%$ となり、計算値の値が実験値に比べて高くなる傾向が認められると同時に、ばらつきが非常に大きい傾向がある。これらは、曲げひび割れ発生荷重が目視から判断されるため、遅れて発見する傾向があることや乾燥収縮によるひび割れ等が生じていた可能性もある。それらの要因を含んだデータであることを十分に認識して頂きたい。図 6.5.6 に式(6.5.10)の導出仮定とその問題点を示す。本評価式は、袖壁を含めた柱せいを原断面のままとし、断面二次モーメントが等価となるような長方形断面に置換して導出された評価式である。そのため、原断面積に比べて、置換した断面積は小さく評価される。そのため、見掛け上の軸圧縮応力度は、原断面に

第6章 袖壁付き柱部材

生じる軸圧縮応力度よりも高く評価される。そのことも計算値が実験値に比べて高くなる1つの要因と推察される。なお、2010年度版 RC 規準^[6-2] p.484 では、以上の内容を解消する評価式として式(付10.3)を示しているので参照して頂きたい。

一方、軸力が生じていない腰壁・垂れ壁付き梁(同図中の○印)は、比較値1.0付近に分布し、比較的良い精度で評価される。

以上より、本評価式を用いて軸力が生じる袖壁付き柱の曲げひび割れ強度を算定するにあたっては、上記に示した事項に留意して適用する必要がある。

表 6.5.3 曲げひびわれ強度評価式の予測精度

曲げひび割れ強度式	試験体数* (サンプル数) n	比較値**の の範囲	比較値**の の平均値 X	標準偏差 σ_{n-1}	変動係数 CV(%)
wQmc(式(6.5.10))	114(162)	0.15 ~ 2.35	0.87	0.41	47.2

*: 試験体数は、データを抽出した試験体の数。サンプル数は、1つの試験体から正加力、負加力のデータがそれぞれ抽出された場合には、サンプル数としてカウントする。

** : 比較値 = 実験値 / 計算値

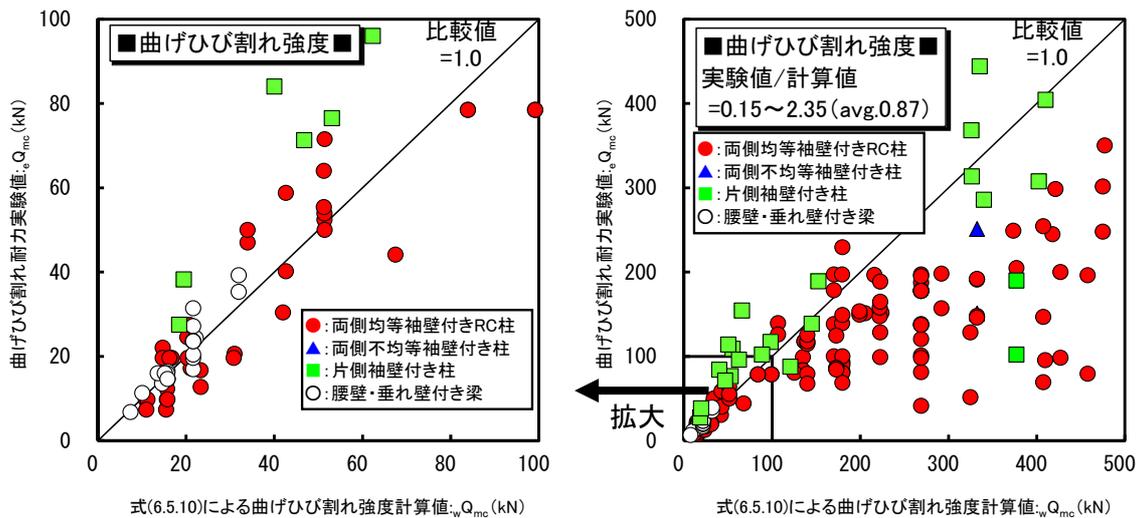


図 6.5.5 曲げひびわれ強度の計算値と実験値との比較

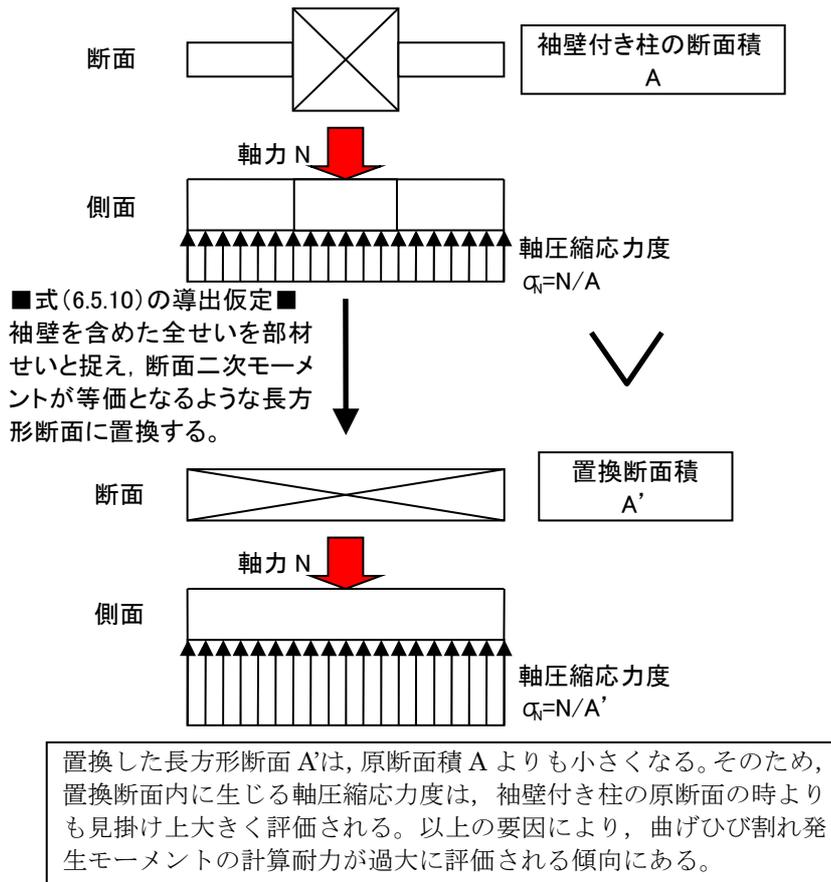


図 6.5.6 式(6.5.10)の導出仮定とその問題点

(2)せん断ひび割れ強度 wQ_{sc}

本節では、技術基準解説書^[6-1]に示されているせん断ひび割れ強度評価式による計算値と実験値との比較を行い、その精度の検証を行う。せん断ひび割れ強度計算値は、式(6.5.12)により評価を行う。式(6.5.12)は、袖壁付き柱の異形断面を長方形断面に置換して、荒川式を準用し、軸力による効果を付加させた評価式である。なお、不均等袖壁付き柱および片側袖壁付き柱の有効せい d_e の取り方については、今後、議論する余地があるが、図 6.5.7 の方法により算出した。同図のように袖壁を含めた全せいの中央に柱を配置し、均等袖壁付き柱の d_e の算出方法と同様の扱いとした。また、 M/Q の値を算出する際に、反曲点位置が部材の内法高さの中央に位置しない場合、つまり逆対称モーメントの分布ではない場合は、せん断スパン $a=M/Q$ の長い方の値を採用して計算を行った。

$$wQ_{sc} = \left(1 + \frac{\sigma_0}{150}\right) \left\{ \frac{0.085k_c (500 + F_c)}{M/(Q \cdot d_e) + 1.7} \right\} b_e \cdot j_e \quad (6.5.12)$$

ここに、 k_c : 断面寸法による補正係数 ($d_e > 40\text{cm}$ のとき, 0.72)

F_c : コンクリートの圧縮強度 (kgf/cm^2)

第6章 袖壁付き柱部材

M/Q : M , Q はそれぞれ強度算定時における最大曲げモーメント及びせん断力

(図 6.5.7 参照)

b_e : 断面積と全せいの両者を原断面と等しくした仮想長方形断面の幅 (cm)

j_e : 応力中心間距離 ($=7d_e/8$) (cm)

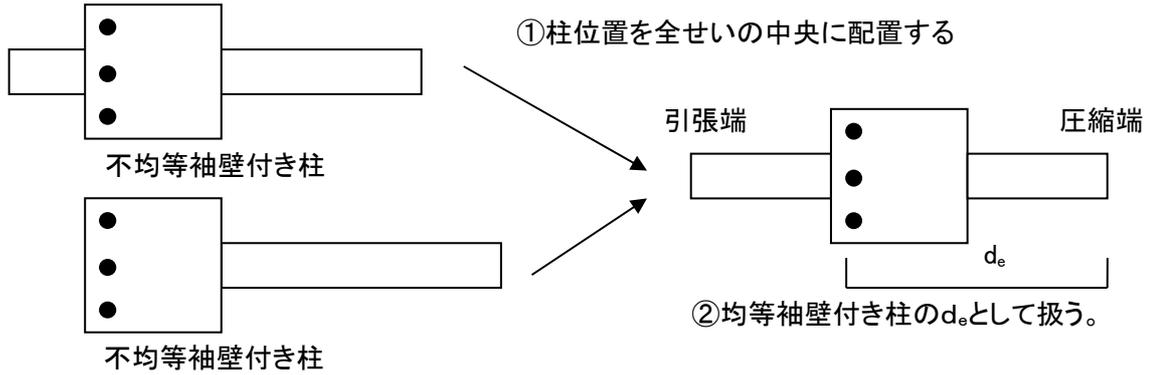
σ_0 : 軸方向応力度 (軸力を全断面積で除した値) (kgf/cm^2)

d_e : 有効せい (柱の引張鉄筋の中心から圧縮側壁の最外縁までの距離) (cm)

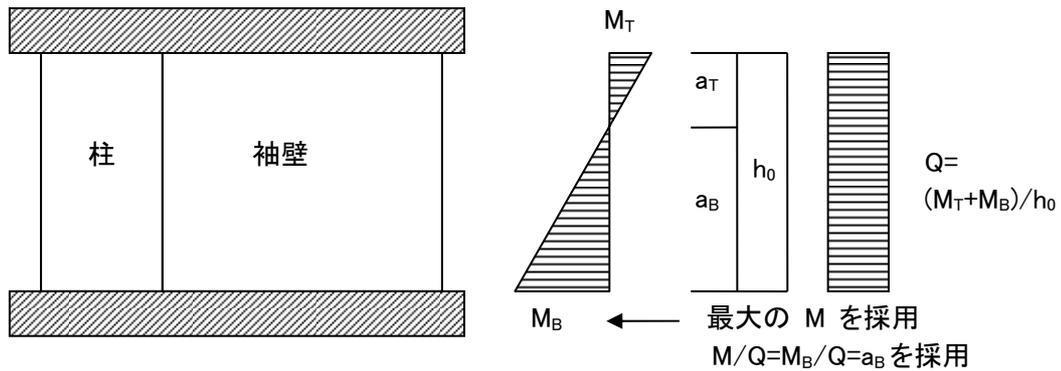
ただし、両側不均等袖壁付き柱および片側袖壁付き柱の有効せいは、袖壁を含めた柱せいの中央に柱を配置し、均等袖壁付き柱の d_e と同様な扱いで算出した。(図 6.5.7 参照)

図 6.5.8 にせん断ひび割れ耐力実験値と式(6.5.12)による計算値との比較を、表 6.5.4 にせん断ひび割れ強度評価式の予測精度を示す。検証に用いた実験データは、既往の実験データ [6-A2][6-A3][6-A4][6-A6][6-A7][6-A8][6-A11][6-A18][6-A21][6-A22][6-A24][6-A30][6-A32][6-A33][6-A36][6-A38][6-A41][6-A42][6-A43][6-A44][6-A45][6-A47][6-A55][6-A56][6-A59][6-11] [6-13][6-15] である。なお、せん断ひび割れ耐力実験値は、文献中に示された値を使用した。検討に使用した袖壁の断面は、両側均等袖壁付き柱、不均等袖壁付き柱、片側袖壁付き柱のデータである。一部、腰壁・垂れ壁が梁の上下に均等に配置された腰壁・垂れ壁付き RC 梁のデータも使用した。

表 6.5.4 および図 6.5.8 より、比較値は 0.42~3.84, 比較値の平均値: $X=1.47$, 変動係数: $CV=33.2\%$ となり、実験値を過小に評価する傾向が認められた。また、断面形状の違いによる分布の差異は、それほど顕著でないことから、このような簡易な算出方法で、おおむねその傾向をとらえられると考えられる。



■不均等袖壁付き柱および片側袖壁付き柱の有効せい d_e の算出方法■



■M/Q の算出方法■

図 6.5.7 不均等袖壁付き柱および片側袖壁付き柱の有効せい d_e と M/Q の算出方法

表 6.5.4 せん断ひび割れ強度評価式の予測精度

せん断ひび割れ強度式	試験体数* (サンプル数) n	比較値**の の範囲	比較値**の の平均値 X	標準偏差 σ_{n-1}	変動係数 CV(%)
wQ _{sc} (式6.5.12))	138(172)	0.42 ~ 3.84	1.47	0.49	33.2

*: 試験体数は、データを抽出した試験体の数。サンプル数は、1つの試験体から正加力、負加力のデータがそれぞれ抽出された場合には、サンプル数としてカウントする。

** : 比較値 = 実験値 / 計算値

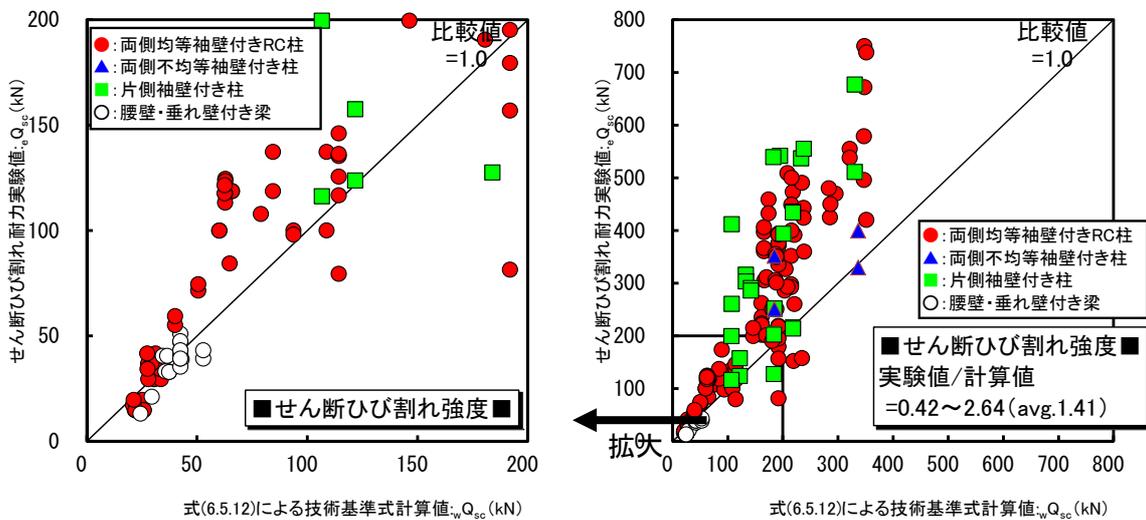


図 6.5.8 せん断ひび割れ耐力実験値と計算値との比較

6.5.4 降伏点剛性低下率

図 6.5.9 に降伏時部材角実験値 eR_y の算出方法を、図 6.5.10 に降伏点剛性低下率の実験値 ($e\alpha_y$) と計算値 (α_y) との比較を示す。検証に用いた既往の実験データ [6-A22][6-A31][6-A44][6-A47][6-A49][6-A55][6-A56][6-A59] [6-13][6-14][6-15] は、両側均等袖壁付き柱、片側袖壁付き柱であり、破壊形式は曲げ破壊した試験体のみを検討対象とした。

降伏点剛性低下率の計算値は、梁・柱の実験から得られた降伏点剛性を回帰分析することにより得られた式(6.5.13)の菅野式を袖壁付き柱に応用・拡張して算出する。本評価式を袖壁付き柱に適用させる簡易な方法としては、式中の引張鉄筋比 p_t および有効せい d を袖壁付き柱部材用に再定義することにより、本部材の降伏点剛性低下率を算出することが可能であり、この手法により検討を試みる。

ここで、引張鉄筋比 p_t は中立軸より引張側に位置する鉄筋の全断面積を部材全断面積で除することにより算出した。有効せい d は、断面に生じる垂直応力の釣合から導出される式(6.5.14)および式(6.5.15)によりを算定した。なお、式(6.5.14)の圧縮コンクリート領域の断面積 Acc の計算において仮定した引張鉄筋群が同式の圧縮コンクリートのせいから算定される中立軸より引張側に位置する鉄筋群と一致しない場合は、引張鉄筋の仮定を変更して中立軸を再計算して収束させる。

一方、降伏点剛性低下率の実験値の算出方法は、文献[6-7]の方法に準ずることとした。その方法を図 6.5.9 に示す。本手法は、最大耐力 eQ_{μ} の 80% の点を降伏点と見なし、その時の剛性を弾性剛性計算値（せん断形状係数 κ はエネルギー法を使用）で除した値を「降伏点剛性低下率実験値： $e\alpha_y$ 」としたものである。ただし、最大耐力の 80% の点で部材降伏に至っている否かは疑問の残るところであるが、この手法により検討することとした。参考のため引用文献[6-A52]では、柱脚部の鉄筋のひずみ度分布を詳細に調査し、部材降伏の現象が生じる時の各部のひずみ度の状態は袖壁圧縮端部のコンクリートが圧縮強度時のひずみ度に達し、柱の引張側主筋のひずみ度が降伏ひずみ度の近傍になっていることを示しているのを参考として頂きたい。

$$\alpha_y = (0.043 + 1.64n \cdot p_t + 0.043a/D + 0.33\eta_0) \left(\frac{d}{D} \right)^2 \quad (6.5.13)$$

- ここで、 n : ヤング係数比 (= E_s/E_c)
 E_s : 鉄筋のヤング係数 (= 2.05×10^5) (N/mm²)
 E_c : コンクリートのヤング係数 (= $3.35 \times 10^4 \times \left(\frac{\gamma}{24} \right)^2 \times \left(\frac{F_c}{60} \right)^{\frac{1}{3}}$) (N/mm²)
 γ : コンクリートの気乾単位体積重量 (kN/m³)
 2010 年版 RC 規準 p.59 表 7.1 の数値から 1.0 を減じたものを採用
 F_c : コンクリートの設計基準強度 (N/mm²)
 p_t : 引張鉄筋比 (= $\sum a_{ti}/A$) (少数)
 a_{ti} : 中立軸位置 x_n より引張側にある鉄筋の断面積 (mm²)

x_n : 中立軸位置

$$x_n = A_{cc}/t_w \quad (A_{cc} \leq A_{w1})$$

$$x_n = L_{w1} + (A_{cc} - A_{w1})/B_c \quad (A_{cc} > A_{w1})$$

A_{cc} : 圧縮コンクリート領域の断面積 (mm²)

$$A_{cc} = \frac{\sum (a_{ti} \sigma_{yi}) + N}{0.85 F_c} \quad (6.5.14)$$

t_w : 壁厚

L_{w1} : 圧縮側袖壁の長さ(mm)

A_{w1} : 圧縮側袖壁の面積 (= $L_{w1} \times t_w$) (mm²)

B_c : 柱幅(mm)

A : 壁付き部材の全断面積 (mm²)

a/D : シアスパン比

D : 壁と柱を含む部材の全せい

η_0 : 軸力比 (= $N/(A \cdot F_c)$)

(軸力を壁付き部材の全断面積とコンクリートの圧縮強度との積で除したものの。)

N : 軸力 (N)

d : 有効せい (式(6.5.15))

(引張縁の鉄筋が降伏する時の圧縮縁から引張力の重心までの距離) (mm)

$$d = \frac{\sum a_{ti} (d_i - x_n)^2}{\sum a_{ti} (d_i - x_n)} + x_n \quad (0 \leq N < 0.85 A_{cc} F_c) \quad (6.5.15)$$

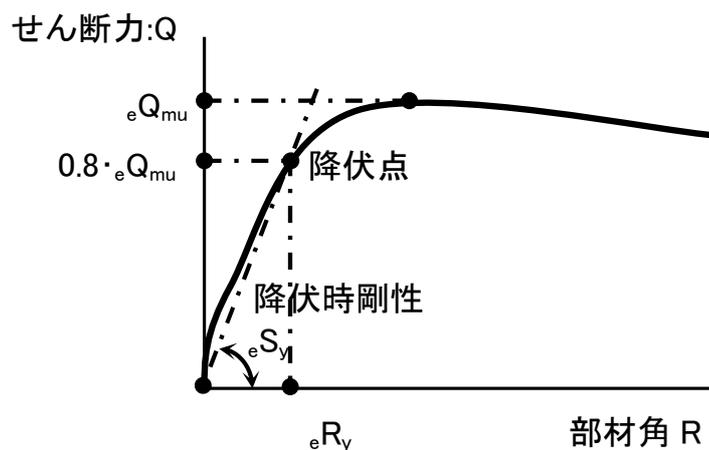


図 6.5.9 降伏時部材角実験値の算出方法^[6-7]

図 6.5.10 に降伏点剛性低下率の実験値と式(6.5.13)による計算値との比較を、表 6.5.5 に降伏点剛性低下率評価式の予測精度を示す。表 6.5.5 および図 6.5.10 より、比較値 (=実験値/計算値) は 0.45~3.92, 平均値: $\bar{X}=1.49$, 変動係数: $CV=41.4\%$ となり、実験値の剛性は計算値に比較して高い傾向が認められる。この要因は、実験値のとり方が一つの要因として挙げられる。例えば、引用文献[6-A52]のような手法で部材降伏点を定義できるならば、図 6.5.10 の実験値の数値(縦軸の数値)は低下することが予想される。そのためデータの分布は、全体的に下に下がり、比較値 1.0 付近に分布するものと予想され、おおむね実験値の傾向をとらえるものと推察される。また、両側均等袖壁付き柱、片側袖壁付き柱の分布領域は、ほぼ同様の位置であり、断面形状による差異は認められない。

表 6.5.5 降伏点剛性低下率評価式の予測精度

降伏点剛性低下率	試験体数* (サンプル数) n	比較値**の の範囲	比較値**の の平均値 X	標準偏差 σ_{n-1}	変動係数 CV(%)
α_y (式(6.5.13))	25(35)	0.45 ~ 3.92	1.49	0.62	41.4

*: 試験体数は、データを抽出した試験体の数。サンプル数は、1つの試験体から正加力、負加力のデータがそれぞれ抽出された場合には、サンプル数としてカウントする。

** : 比較値 = 実験値 / 計算値

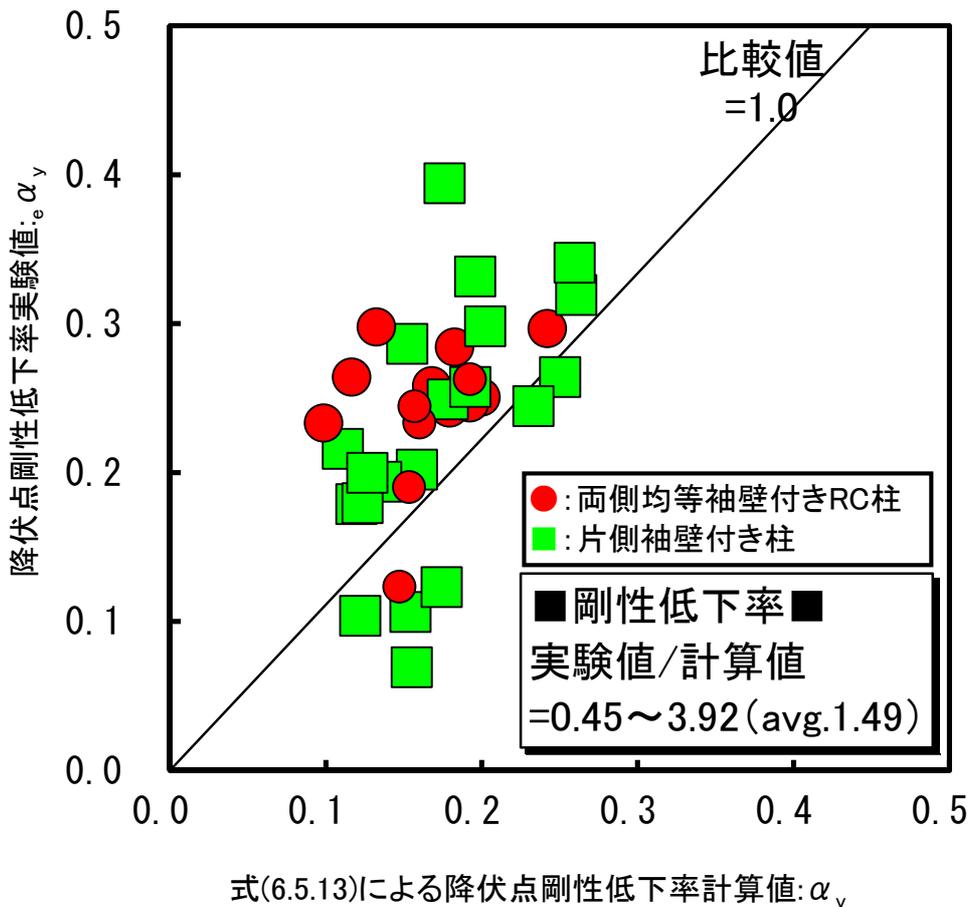


図 6.5.10 降伏点剛性低下率の実験値と計算値との比較

6.5.5 終局強度（曲げおよびせん断）

本節では、曲げ終局強度評価式およびせん断終局強度評価式による計算値と実験値との比較を行い、その精度の検証を行うと同時に、検討した評価式の取扱いについて、その留意点を述べる。検討に使用したせん断終局強度式および曲げ終局強度式は、それぞれ2式であり、計4つの式について検討を行った。以下に、検討に使用した曲げ終局強度式およびせん断終局強度式について詳細に示す。

(1) 曲げ終局強度1（技術基準式（曲げ）） wQ_{mu1}

検討に使用した曲げ終局強度評価式は、技術基準^[6-1]に示されている下式(6.5.16)により評価する。なお、同式中の曲げ終局モーメント (wM_u) は、式(6.5.17)により算出する。式(6.5.17)は、柱の引張鉄筋の降伏と圧縮縁コンクリートの限界値の到達が同時におこる状態のモーメントを想定している。さらに、断面内の鉄筋の効果を柱の引張鉄筋だけとし、かつ圧縮側コンクリートの断面の幅を b_e （すなわち、断面積と全せいが原断面と等しい長方形置換断面の幅）として導出された式である。本評価式は、式の仮定上、引張側の袖壁部分に配置された引張鉄筋は無視されるため、袖壁部端部に多くの引張鉄筋が配置された試験体の場合には、耐力を過小に評価することが推察される。また、断面の幅を b_e として仮定しているため、原断面の袖壁圧縮部分の幅よりも大きく仮定していることになる。この点に関しては、耐力を過大に評価することが推察される。

■曲げ終局強度評価式■

$$wQ_{mu} = wM_u / a \quad (6.5.16)$$

ここに、 wM_u ：袖壁付き RC 柱の曲げ終局モーメント（式(6.5.17)）

a ：せん断スパン（逆対称： $a=h_0/2$ ）

ただし、

$$wM_u = (0.9 + \beta) \cdot a_t \cdot \sigma_y \cdot D + 0.5N \cdot D \left\{ 1 + 2\beta - \frac{N}{b_e \cdot D \cdot F_c} \left(1 + \frac{a_t \cdot \sigma_y}{N} \right)^2 \right\} \quad (6.5.17)$$

ここに、 a_t ：図 6.5.11 参照 (mm^2) D ：柱せい (mm) σ_y ：主筋の降伏点強度 (N/mm^2)

F_c ：コンクリートの圧縮強度 (N/mm^2) b_e ： $\Sigma A/l_w$ (mm)

ΣA ：袖壁付き RC 柱全断面積 (mm^2) l_w ：袖壁付き RC 柱全長さ (mm)

β ：圧縮側袖壁長さ/ D

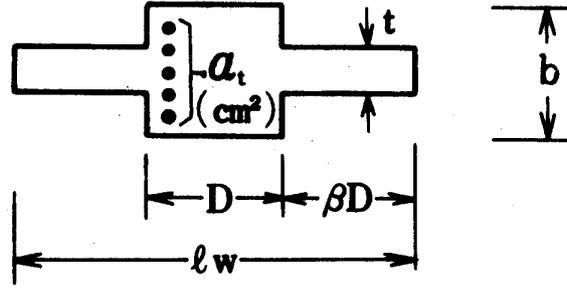


図 6.5.11 袖壁付き RC 柱の曲げ強度算定用の記号

(2) 曲げ終局強度 2 (曲げ理論式) wQ_{mu2}

検討に使用する2つ目の曲げ終局モーメント計算値は、下式(6.5.18)に示す平面保持を仮定した断面解析に準じた式により算定する[6-7] [6-8]。本評価式は中立軸より引張側に位置する鉄筋がすべて降伏応力度に達していると仮定して算出した曲げ終局モーメントの式である。なお、圧縮コンクリート領域の計算は6.5.4節の降伏点剛性低下率に示す方法で算定することとした。式(6.5.18)の曲げ終局モーメントをせん断耐力に変換する場合には、前述した式(6.5.16)により行う。

$$M_0 = \sum a_{ti} \cdot \sigma_{yi} (d_i - L_{cc}) + N(d_N - L_{cc}) \quad (6.5.18)$$

ここに、 a_{ti} : 引張鉄筋断面積 (mm^2) σ_{yi} : 引張鉄筋降伏強度 (N/mm^2)

d_i : 圧縮縁から引張鉄筋位置までの距離 (mm) N : 軸力 (N)

d_N : 圧縮縁から軸力作用位置までの距離 (mm)

L_{cc} : 圧縮縁から圧縮コンクリート領域の図心位置までの距離 (mm)

なお、式(6.5.18)も式(6.5.17)と同様に、そで壁部分が圧縮破壊する場合を適用範囲とした式ではないことに注意する必要がある。

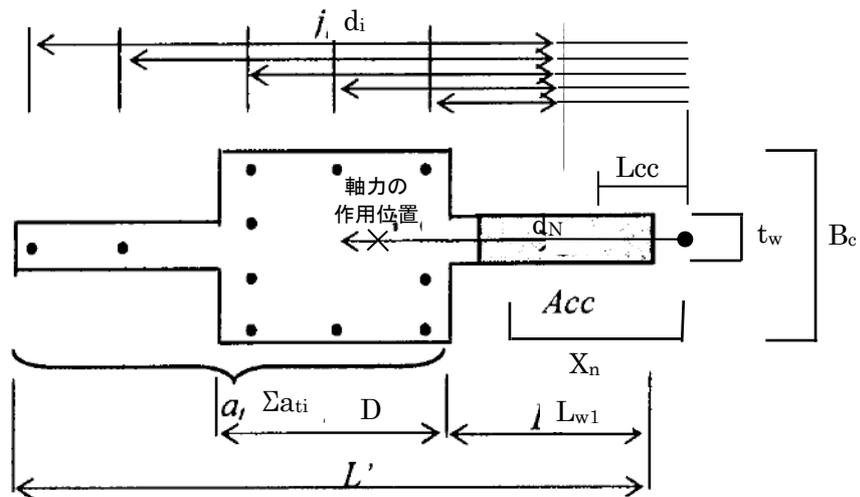


図 6.5.12 袖壁付き RC 柱の曲げ強度算定用の記号

(3)せん断終局強度 1 (技術基準式 (せん断)) wQ_{su1}

せん断終局強度計算値は、技術基準^[6-1]に示されている式(6.5.19)により評価を行う。本評価式は袖壁付き柱の断面を長方形断面に置換して荒川式を準用したものである。さらに、軸力によるせん断補強効果を累加した評価式となっている。

■等価長方形断面によるせん断終局強度式 wQ_{su1} ■

$$wQ_{su1} = \left\{ \frac{0.053p_t^{0.23}(18 + F_c)}{M/(Q \cdot d_e) + 0.12} + 0.85\sqrt{p_{we} \cdot \sigma_{wy}} \right\} b_e \cdot j_e + 0.1N \quad (6.5.19)$$

- ここに、 p_t : 引張鉄筋比 (=100 $a_t / (b \cdot D)$) (%)
 a_t : 図 6.5.13 の柱の引張主筋断面積 (mm²)
 F_c : コンクリートの圧縮強度 (N/mm²)
 $M/(Q \cdot d_e)$: せん断スパン比であり、 $0.5 \leq M/(Q \cdot d_e) \leq 2$ (ただし、 $M/(Q \cdot d_e) < 0.5$ のとき 0.5 とし、 $M/(Q \cdot d_e) > 2.0$ のとき 2.0 とする。) M , Q は強度算定時における最大曲げモーメント (N・mm) 及び最大せん断力 (N)
 M/Q : M , Q はそれぞれ強度算定時における最大曲げモーメント及びせん断力
 d_e : 図 6.5.13 に示す等価断面の有効せい (引張鉄筋群の重心から圧縮縁までの距離) (mm)
 p_{we} : $p_w (b/b_e) + p_s (t/b_e)$
 σ_{wy} : せん断補強筋の降伏強度 (N/mm²)
 b_e : 置換長方形断面における幅 (図 6.5.13 参照) (mm)
 j_e : 応力中心距離で、 $7d_e/8$ (mm)
 N : 軸力 N (N)
 p_w : 柱またははりのせん断補強筋比 (少数)
 p_s : 壁の横補強筋比 (少数)
 b : 柱またははりの幅 (mm)
 t : 壁の厚さ (mm)

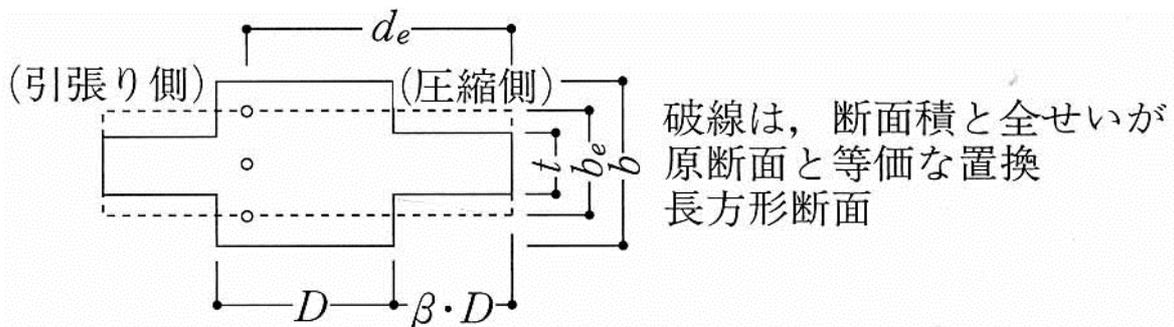


図 6.5.13 袖壁付き RC 柱のせん断強度算定用の記号

第6章 袖壁付き柱部材

(4)せん断終局強度 2 (分割累加式) ${}_wQ_{su2}$

検討に使用する2つ目のせん断終局強度評価式は、参考文献[6-16]の提案式により検討する。その評価式を式(6.5.20)に示し、以下のその評価式を分割累加式と称することとする。そこで壁付き部材のせん断終局強度 ${}_wQ_{su2}$ は図 6.5.14 のように壁と柱の断面を縦(壁長さ)方向に分割して、壁部、柱部のせん断終局強度 Q_{suw} 、 Q_{suc} を式(6.5.21)、式(6.5.22)により、それぞれを算出し累加するものであり、さらに軸力によるせん断補強効果を加味した評価式となっている。

計算にあたっての留意事項を以下に示す。

- ・柱の引張鉄筋は一段目を有効とする。
- ・壁縦筋の引張鉄筋比は引張端部で有効な領域(部材全せいの0.2倍以下とする。)を定義して、その範囲に配筋された鉄筋を引張鉄筋とする。ただし、ここでは簡単化のため端部壁縦筋は2段目までを引張鉄筋とみなして算出する。
- ・左右で壁厚さ、壁筋比が異なる場合は、小さい方で評価する。
- ・片側袖壁付き柱は、柱が圧縮側となる状態を想定して算出する。

$${}_wQ_{su2} = Q_{suw} + Q_{suc} + 0.1N \quad (6.5.20)$$

$$Q_{suw} = \left\{ \frac{0.053p_{twe}^{0.23}(F_c + 18)}{M / (Q \cdot d_w) + 0.12} + 0.85\sqrt{p_{wh} \cdot \sigma_{why}} \right\} t \cdot j_w \quad (6.5.21)$$

$$Q_{suc} = \left\{ \frac{0.053p_{tce}^{0.23}(F_c + 18)}{M / (Q \cdot d_{ce}) + 0.12} + 0.85\sqrt{p_{cwe} \cdot \sigma_{cwy}} \right\} b_{ce} \cdot j_{ce} \quad (6.5.22)$$

$$p_{twe} = \frac{100a_{tw}}{t_w \cdot d_w} : \text{壁縦筋の引張鉄筋比 (\%)}$$

$$p_{wh} = \frac{a_{wh}}{t_w \cdot s_w} : \text{そで壁横筋比 (少数)}$$

$$b_{ce} = B - t$$

$$p_{tce} = \frac{100a_{tc}}{b_{ce} \cdot d_{ce}} : \text{柱等価引張鉄筋比 (\%)} \cdots \text{両側そで壁付き柱の場合}$$

$$p_{tce} = \frac{100(a_{tc} - a_{tw})}{b_{ce} \cdot d_{ce}} : \text{柱等価引張鉄筋比 (\%)} \cdots \text{片側そで壁付き柱の場合}$$

$$p_{cwe} = \frac{a_w}{b_{ce} \cdot s} : \text{柱等価帯筋比 (壁横筋が柱を通して配筋されている場合) (少数)}$$

$$p_{cwe} = \frac{a_w - p_{wh} \cdot t \cdot s}{b_{ce} \cdot s} : \text{柱等価帯筋比 (壁横筋が柱に定着されている場合) (少数)}$$

- ここで、 p_{twe} : 壁縦筋の引張鉄筋比 (%)
 p_{wh} : 壁の補強筋比 (小数)
 σ_{cwy} : せん断補強筋の降伏強度 (N/mm^2)
 σ_{why} : 壁横筋の降伏強度 (N/mm^2)
 s : せん断補強筋間隔 (mm)
 L : 部材全せい (mm)
 D : 柱せい (mm)
 B : 柱幅 (mm)
 t : そで壁厚さ (mm)
 d_w : 壁有効せい ($=0.95L$) (mm)
 j_w : 壁の応力中心間距離 ($=(7/8) \cdot d_w$) (mm)
 d_{ce} : 柱有効せい ($=0.95D$) (mm)
 j_{ce} : 柱の応力中心間距離 ($=(7/8) \cdot d_{ce}$) (mm)
 a_{tc} : 柱の引張鉄筋断面積 ただし、柱張側主筋1段目まで (mm^2)
 a_{wc} : 柱のせん断補強筋断面積 (mm^2)
 ただし、壁横筋が柱に定着する場合 (通し配筋でない場合) は壁横筋相当の鉄筋量を減じる。
 a_{tw} : 壁の引張鉄筋断面積 ただし、引張側壁縦筋2段目まで (mm^2)
 a_{wh} : 壁のせん断補強筋断面積 (mm^2)
 $M/(Q \cdot d_w)$: 壁のせん断スパン比 $0.5 \leq M/(Q \cdot d_w) \leq 2.0$
 ただし、 $M/(Q \cdot d_w) < 0.5$ のとき 0.5 とし、 $M/(Q \cdot d_w) < 2.0$ のとき 2.0 とする。
 $M/(Q \cdot d_{ce})$: 柱のせん断スパン比 $1.0 \leq M/(Q \cdot d_{ce}) \leq 3.0$
 ただし、 $M/(Q \cdot d_{ce}) < 1.0$ のとき 1.0 とし、 $M/(Q \cdot d_{ce}) < 3.0$ のとき 3.0 とする。
 F_c : コンクリートの圧縮強度 (N/mm^2)
 N : 軸力 N (N)

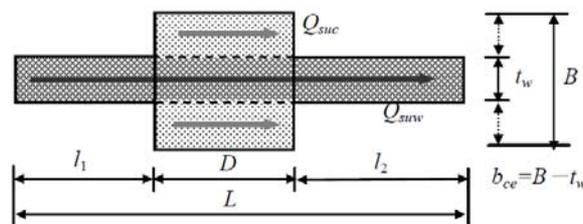


図 6.5.14 袖壁付き RC 柱のせん断強度算定用の記号

第6章 袖壁付き柱部材

< 曲げ終局強度 1 (技術基準式 (曲げ)) wQ_{mu1} の検討結果 >

図 6.5.15 に曲げ終局耐力実験値と技術基準式 (式(6.4.17))による計算値との比較を、表 6.5.6 に本評価式の予測精度を示す。検証に用いた実験データは、曲げ破壊が先行した既往の実験データ [6-A1][6-A2][6-A3][6-A4][6-A5][6-A6][6-A7][6-A21][6-A22][6-A31][6-A33][6-A36][6-A37][6-A39][6-A40][6-A43][6-A44][6-A47][6-A48][6-A49][6-A50][6-A51][6-A52][6-A54][6-A55][6-A56][6-A58][6-A59][6-10][6-12][6-13][6-14][6-15] であり、断面形状は両側均等袖壁付き柱、片側袖壁付き柱の 2 種類である。参考のため腰壁・垂れ壁付き梁のデータも一部含んでいる。なお、曲げ終局耐力実験値は、文献中に示された値を使用した。

表 6.5.6 および図 6.5.15 より、両側均等袖壁付き柱 (図中赤●および○印も含む) の比較値 (= 実験値/計算値) は 0.71~1.87, 平均値: $X=1.24$, 変動係数: $CV=25.0\%$ となり、おおむね実験値の傾向をとらえている。なお、同図中の矢印で示した試験体は、実験値をとくに過小に評価した試験体であり、文献[6-A40], [6-A48]に示された試験体である。当該試験体は、壁厚比 $\alpha = t/B = 120\text{mm}/280\text{mm} = 0.428$ と袖壁が厚く、袖壁縦筋比も $p_{sv} = 1.70\%$ と大きく、壁縦筋を多く配筋された試験体である。もう一方の矢印は、文献[6-A31]に示された X 型配筋とした試験体である。その補強効果により耐力が上昇し、そのため実験値を過小に評価したことが推察される。一方、実験値を過大に評価された試験体は、袖壁厚さ比 α が小さく、比較的薄い袖壁を有する試験体 (例えば [6-A33] [6-A36]) である。以上より、引張側の袖壁部に縦筋を多く配置した試験体や袖壁が比較的薄い試験体を本評価式により評価する場合には、実験値を過少または過大に評価する可能性があり、注意を払う必要がある。

一方、片側袖壁付き柱で袖壁が圧縮端となる側の曲げ終局耐力実験値 (図中緑■印) と本評価式による計算値との比較では、比較値は 1.43~3.27, 平均値: $X=1.97$, 変動係数: $CV=28.4\%$ となり、両側均等袖壁付き柱に比較して安全側の評価となっている。この要因であるが、柱の引張主筋は 2 段筋を考慮せずに 1 段筋のみで耐力計算を行っており、そのことが 1 つの要因として挙げられる。今後、実験値を精度良く推定するためには、引張力を負担している主筋を適切に評価し、耐力計算に反映させる必要がある。

参考のため片側袖壁付き柱の袖壁が引張側となる場合の曲げ終局耐力実験値と独立柱に適用される曲げ終局強度略算式との比較を□印で示す。比較値は 1.20~16.64, 平均値: $X=5.27$, 変動係数: $CV=69.7\%$ となる。実験値の耐力に比較して計算値は過少の評価となる。当然の結果ではあるが、計算値は独立柱を想定した曲げ終局強度略算式により計算したものであり、壁縦筋の効果は見込んでいない。そのため低くおきた計算になっている。そのことが、この結果となる大きな要因である。

最後に、本評価式が適用範囲とされる両側袖壁付き柱と袖壁が圧縮側となる片側袖壁付き柱の結果をあわせて評価する。比較値は 0.71~3.27, 平均値: $X=1.34$, 変動係数: $CV=32.0\%$ となった。

< 曲げ終局強度 2 (曲げ理論式) $wQ_{\mu 2}$ の検討結果 >

図 6.5.16 に曲げ終局耐力実験値と曲げ理論式 (式(6.5.18))による計算値との比較を、表 6.5.6 に本評価式の予測精度を示す。検証に用いた実験データは、曲げ破壊が先行した既往の実験データ [6-A1][6-A2][6-A3][6-A22][6-A31][6-A44][6-A47][6-A49][6-A50][6-A52][6-A54][6-A55][6-A56][6-A58][6-A59][6-13][6-14][6-15]であり、断面形状は両側均等袖壁付き柱、片側袖壁付き柱の2種類である。参考のため腰壁・垂れ壁付き梁のデータも一部含んでいる。なお、曲げ終局耐力実験値は、文献中に示された値を使用した。

表 6.5.6 および図 6.5.16 より、比較値 (=実験値/計算値) は 0.76~2.10, 平均値: $X=1.15$, 変動係数: $CV=15.5\%$ となり、おおむね実験値の傾向をとらえている。袖壁部分の鉄筋の考慮、配筋位置および材料情報を正確に入力できれば本曲げ理論式を用いて実験値を精度良く評価できると言える。

断面形状による影響では、両側均等袖壁付き柱 (図中赤●印) と片側袖壁付き柱 (図中緑■印) の分布位置はほぼ同様の位置に分布しており大きな差異は認められない。片側袖壁付き柱で比較値が高い試験体は、袖壁が引張側となる方の耐力を採用したものである。袖壁が引張側で柱部が圧縮側となる方向は、逆側の方向に比べて、引張力と軸力に見合うコンクリート断面積を確保しやすいこともあり、構造的に安定した方向と言える。そのため、袖壁端部の引張鉄筋が降伏強度以上に効果を発揮し、実験値の耐力が比較的大きく出る傾向があるものと推察される。

表 6.5.6 曲げ終局耐力の予測精度の比較

曲げ終局強度式	袖壁付き柱の断面形状	試験体数* (サンプル数) n	比較値**の範囲	比較値**の平均値 X	標準偏差 σ_{n-1}	変動係数 CV(%)
wQmu1(式(6.5.17))	両側均等袖壁付き柱	58(84)	0.71 ~ 1.87	1.24	0.31	25.0
	片側袖壁(袖壁圧縮)	13(13)	1.43 ~ 3.27	1.97	0.56	28.4
	片側袖壁(袖壁引張)	16(16)	1.20 ~ 16.64	5.27	3.67	69.7
	全体(両側均等袖壁付き柱+片側袖壁(袖壁圧縮))	71(97)	0.71 ~ 3.27	1.34	0.43	32.0
wQmu2(式(6.5.18))	両側均等袖壁付き柱 片側袖壁付き柱	62(102)	0.76 ~ 2.10	1.15	0.18	15.5

*: 試験体数は, データを抽出した試験体の数。サンプル数は, 1つの試験体から正加力, 負加力のデータがそれぞれ抽出された場合には, サンプル数としてカウントする。

** : 比較値 = 実験値 / 計算値

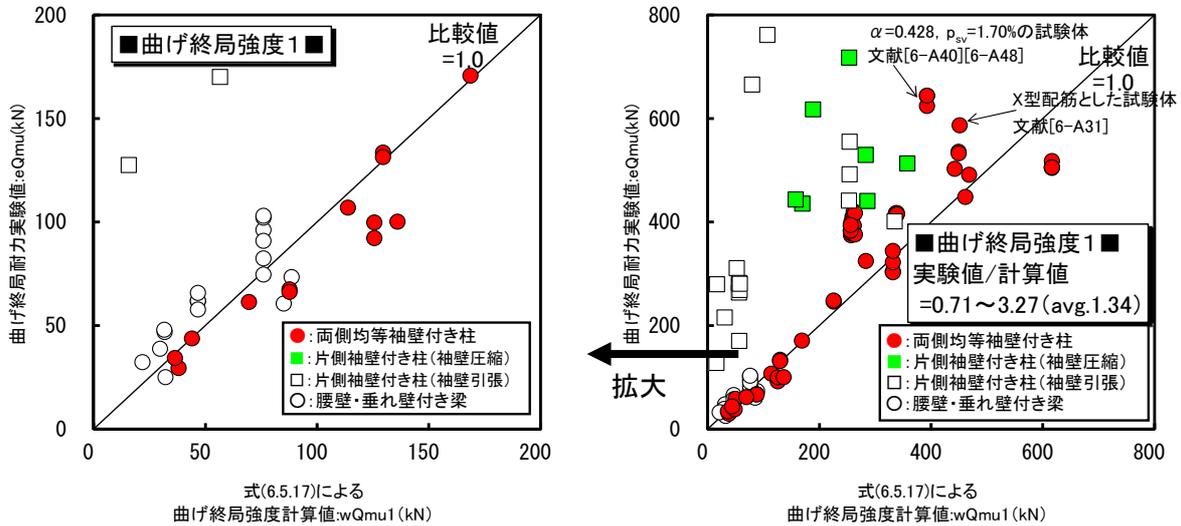


図 6.5.15 曲げ終局耐力実験値と技術基準式(曲げ)計算値 wQmu1 との比較

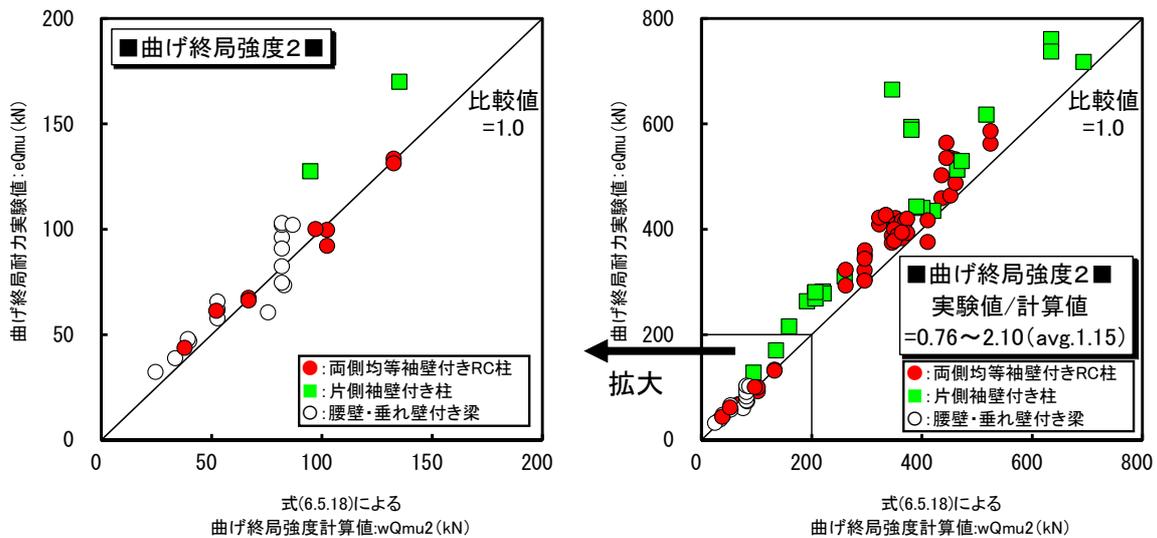


図 6.5.16 曲げ終局耐力実験値と曲げ理論式計算値 wQmu2 との比較

<せん断終局強度1（技術基準式（せん断）） wQ_{su1} の検討結果>

図 6.5.17 にせん断終局耐力実験値と技術基準式（式(6.5.19)）による計算値との比較を、表 6.5.7 に本評価式の予測精度を示す。検証に用いた実験データは、せん断破壊が先行した既往の実験データ [6-A1][6-A2][6-A3][6-A5][6-A7][6-A8][6-A9][6-A10][6-A11][6-A12][6-A13][6-A14][6-A15][6-A16][6-A18][6-A19][6-A20][6-A21][6-A22][6-A23][6-A25][6-A26][6-A27][6-A29][6-A30][6-A31][6-A32][6-A33][6-A34][6-A35][6-A36][6-A37][6-A38][6-A][6-A41][6-A42][6-A45][6-A46][6-A53][6-A57][6-10][6-11][6-12] である。なお、せん断終局耐力実験値は、文献中に示された値を使用した。検討に使用した袖壁の断面は、両側均等袖壁付き柱、不均等袖壁付き柱、片側袖壁付き柱のデータである。参考のため腰壁・垂れ壁が梁の上下に均等に配置された腰壁・垂れ壁付き RC 梁のデータも一部使用した。なお、不均等袖壁付き柱、片側袖壁付き柱の有効せい d_e と M/Q の算出方法は、図 6.5.7 の方法に準じて計算を行った。

表 6.5.7 および図 6.5.17 より、比較値（=実験値／計算値）は 0.72～2.24、平均値： $X=1.30$ 、変動係数： $CV=25.6\%$ となり、やや危険側に評価される試験体が見られる。この試験体は主筋に丸鋼を用いた試験体 [6-A1][6-A2][6-A3] であり、この試験体を除けばほぼ安全側の評価となる。また、同図中の赤●印の両側均等袖壁付き柱は、ばらつきが少なく、あるライン上にプロットされている状況である。一方、緑■の片側袖壁付き柱はばらつきが大きく、その傾向のようなものを見いだすことはできない。

ところで文献[6-A32]では本評価式の取り扱いについて、問題点を指摘しているので以下に紹介しておく。

「本評価式は、袖壁を含む柱断面積を等価な壁厚に置換する考え方に基づいている。しかしながら、実際は、①コンクリートの応力度負担が過大になる端部の断面幅が等価壁厚より小さい。②一般に端部が拘束されていないので本評価式をそのまま用いると算定値は危険側の評価になる。さらに、これまで用いられてきた等価な補強筋効果の算定式 $p_{we}=p_w (b/b_e) + p_s (t/b_e)$ は、帯筋を等価壁厚の補強筋比（長方形の長辺）に置換すること、それを壁筋と足すこと、2重の意味で明らかな過大評価となっている。」との指摘がなされている。

<せん断終局強度2（分割累加式） wQ_{su2} の検討結果>

図 6.5.18 にせん断終局耐力実験値と分割累加式（式(6.5.20)）による計算値との比較を、表 6.5.7 に本評価式の予測精度を示す。検証に用いた実験データは技術基準式の検討に使用した試験体と同様である。これより、比較値（=実験値／計算値）は 0.47～2.64、平均値： $X=1.19$ 、変動係数： $CV=32.6\%$ である。やや危険側に評価される試験体が見られるが、上記で説明したように、これは主筋に丸鋼を使用した試験体 [6-A1][6-A2][6-A3] である。この試験体を除けば、ほぼ安全側の評価となる。また、技術基準式のプロット状況とは異なり、片側袖壁付き柱のばらつきは少ない。さらには、両側均等袖壁付き柱、不均等袖壁付き柱、片側袖壁付き柱の断面形状の違いによる影響は認められず、ほぼ同様の位置にプロットされる傾向が認められる。

表 6.5.7 セン断終局耐力の予測精度の比較

せん断終局強度式	試験体数* (サンプル数) n	比較値**の の範囲	比較値**の の平均値 X	標準偏差 σ_{n-1}	変動係数 CV(%)
wQsu1(式(6.5.19))	105(109)	0.72 ~ 2.24	1.30	0.33	25.6
wQsu2(式(6.5.20))	105(109)	0.47 ~ 2.64	1.19	0.39	32.6

*: 試験体数は、データを抽出した試験体の数。サンプル数は、1つの試験体から正加力、負加力のデータがそれぞれ抽出された場合には、サンプル数としてカウントする。

** : 比較値 = 実験値 / 計算値

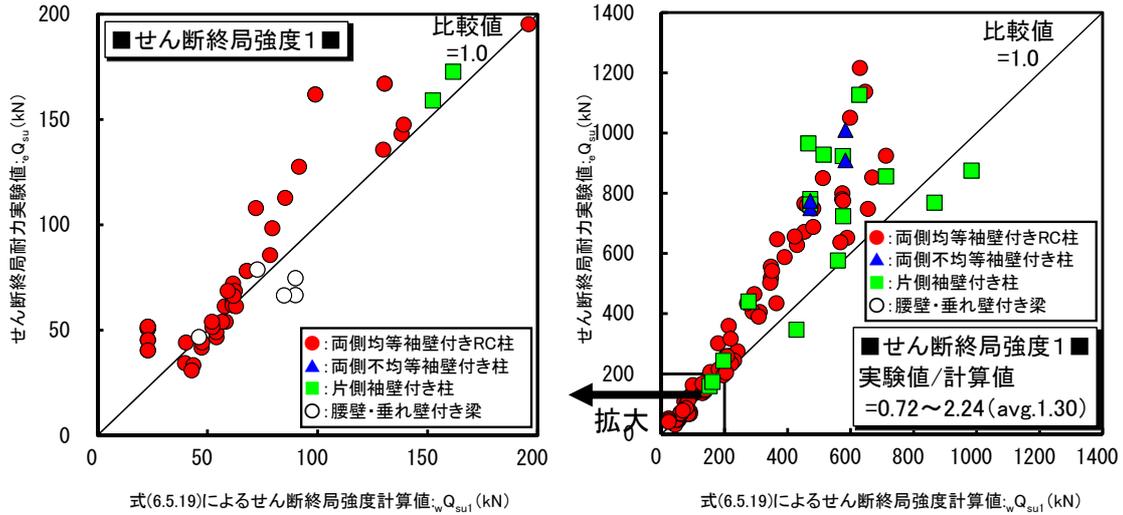


図 6.5.17 セン断終局耐力実験値と技術基準式(せん断)wQsu1 計算値との比較

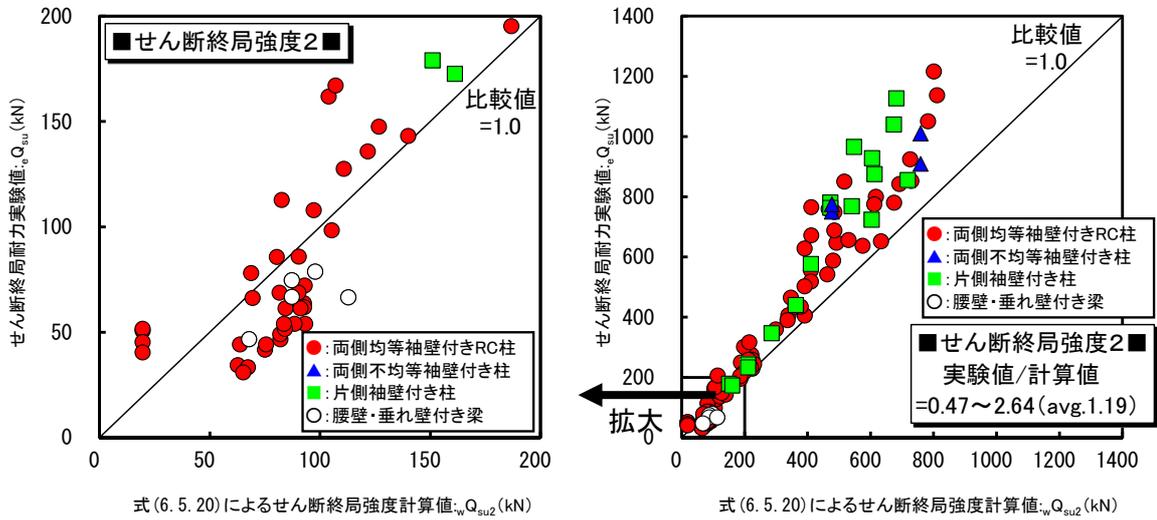


図 6.5.18 セン断終局耐力実験値と分割累加式 wQsu2 計算値との比較

<終局耐力実験値／曲げ終局強度計算値と

せん断余裕度（＝せん断終局強度計算値／曲げ終局強度計算値）との関係に関する検討結果>

図 6.5.19 に終局耐力実験値／曲げ終局強度計算値とせん断余裕度（＝せん断終局強度計算値／曲げ終局強度計算値）との関係を、表 6.5.8 に終局強度式の予測精度を示す。黒塗りが曲げ破壊を、白抜きがせん断破壊を、緑塗がスリップ破壊した試験体である。検証に用いた実験データ [6-A1][6-A2][6-A3][6-A4][6-A5][6-A6][6-A7][6-A8][6-A9][6-A11][6-A13][6-A15][6-A16][6-A18][6-A19][6-A20][6-A21][6-A22][6-A23][6-A25][6-A26][6-A27][6-A29][6-A30][6-A31][6-A32][6-A33][6-A34][6-A35][6-A36][6-A37][6-A38][6-A39][6-A40][6-A41][6-A42][6-A43][6-A44][6-A45][6-A46][6-A47][6-A48][6-A49][6-A50][6-A51][6-A52][6-A53][6-A54][6-A55][6-A56][6-A57][6-A58][6-A59][6-10][6-11][6-12][6-13][6-14][6-15] は、既往の実験データであり、両側均等袖壁付き柱、両側不均等袖壁付き柱、片側袖壁付き柱のデータである。参考のため腰壁・垂れ壁が梁の上下に均等に配置された腰壁・垂れ壁付き RC 梁のデータも一部使用した。なお、終局耐力実験値は文献中に示された値を使用し、曲げ終局強度計算値は式 (6.5.17) の技術基準式および式 (6.5.18) の曲げ理論式の 2 式により行った。また、せん断終局強度計算値は式 (6.5.19) の技術基準式および式 (6.5.20) の分割累加式の 2 式により行った。以上、4 式により、4 つの組み合わせについて検討した。以下、各組合せの検討結果について詳細に述べる。

図 6.5.19 (a) は曲げおよびせん断の両者を技術基準式により検討したものである。破壊モード判定の精度は、せん断余裕度が 1.0 以下においても曲げ破壊した試験体が多く見られ、良好とは言えない。また、耐力の予測精度であるが、比較値（＝実験値／計算値（ここで言う計算値は、曲げ耐力式およびせん断耐力式による計算値の小さい方の値を採用））は 0.79～16.64、平均値： $X=1.72$ 、変動係数： $CV=88.9\%$ となり、実験値をおおむね安全側に評価する傾向が認められるが、ばらつきが大きい状況である。また、比較値がとくに高い値を示している試験体は、袖壁が引張側となる側の片側袖壁付き柱のデータである。袖壁が引張側となる片側袖壁付き柱の曲げ終局モーメントの計算は、袖壁を無視して独立柱として計算^[6-6]を行った。そのため曲げ終局強度計算値は極端に低く評価されており、それがばらつきの大きな要因である。また、両側袖壁付き柱でも同様に、引張側の袖壁部に有効な壁縦筋が多量に配筋されている場合も、技術基準式（曲げ）ではその引張鉄筋が無視されるため、実験値に対して計算値は過少に評価される傾向がある。以上、技術基準式（曲げ）を適用して設計する場合には、引張側の袖壁に配筋される壁縦筋の扱いに留意して設計を行う必要がある。また、参考文献[6-1]の p.644 では、技術基準式（曲げ）での軸力に対する留意点を述べているので参考として頂きたい。

次に、図 6.5.19 (b) は曲げを技術基準式（曲げ）、せん断を分割累加式により検討したものである。グラフ (b) は、グラフ (a) のせん断強度の評価を技術基準式（せん断）から分割累加式に変更したものである。グラフ (a) と (b) の比較により、せん断終局強度評価式の影響を確認できる。分割累加式によるせん断耐力計算値は、技術基準式（せん断）に比較して、高く評価される傾向がある。そのため、プロットしたデータはグラフ (a) を基準にすると右側にシフトする傾向があり、せん断破壊した試験体でやや危険側に評価されるものが増加している。ただし、危険側に評価されたせん断破壊した試験体は、主筋等に丸鋼を用いた試験体^{[6-A2][6-A3][6-A7][6-A8]}であり、それを除けばおおむね安全側に評価される傾向が認められる。比較値は 0.66～16.64、平均値： $X=1.69$ 、変動係数： $CV=95.0\%$ であり、ばらつきが極めて大きい状況である。

第6章 袖壁付き柱部材

図 6.5.19 (c)は曲げを曲げ理論式、せん断を技術基準式（せん断）により検討したものである。グラフ(c)は、グラフ(a)の曲げ強度の評価を技術基準式（曲げ）から曲げ理論式に変更したものであり、グラフ(a)と(c)の比較により、曲げ終局強度評価式の影響を確認できる。曲げ理論式は袖壁部の引張鉄筋を考慮した評価式であり、曲げ耐力評価の精度が格段に向上しているのがわかる。比較値は 0.76～2.11，平均値： $X=1.22$ ，変動係数： $CV=20.1\%$ であり、技術基準式（曲げ）の評価に比較して、ばらつきが少なくなっている。

図 6.5.19 (d)は曲げを曲げ理論式、せん断を分割累加式（せん断）により検討したものである。グラフ(d)は、グラフ(c)のせん断強度の評価を技術基準式（せん断）から分割累加式に変更したものである。グラフ(d)と(c)の比較により、せん断終局強度評価式の影響を確認できる。分割累加式によるせん断耐力計算値は、前述したように技術基準式（せん断）に比較して、高く評価される傾向がある。そのため、プロットしたデータはグラフ(c)を基準にすると右側にシフトする傾向がある。危険側に評価される試験体が若干見られるが、主筋等に丸鋼を用いた腰壁・垂れ壁付き梁の試験体^{[6-A2][6-A3]}であり、それを除けばおおむね安全側に評価される傾向が認められる。比較値は 0.69～2.10，平均値： $X=1.19$ ，変動係数： $CV=17.6\%$ であり、ばらつきが最も少ない状況であった。

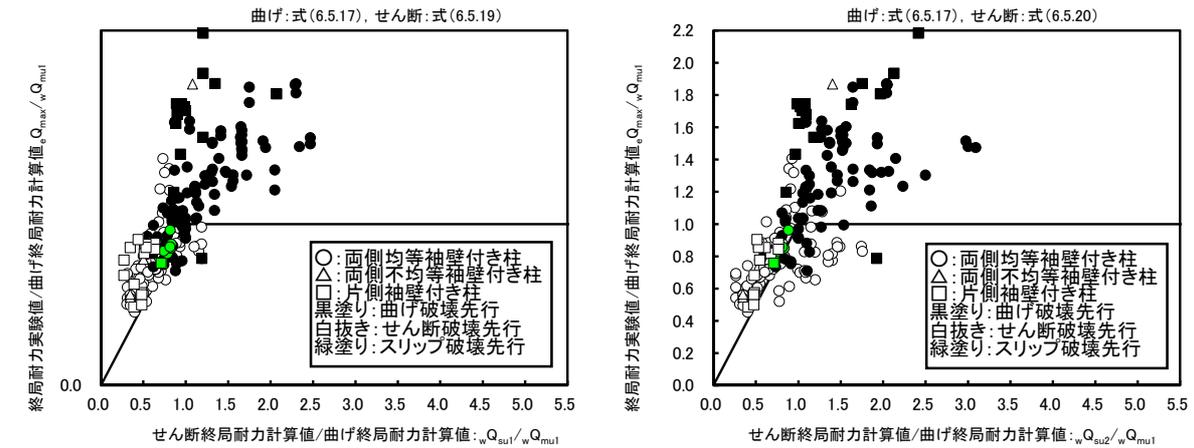
表 6.5.8 終局強度の予測精度

曲げ終局強度式	せん断終局強度式	試験体数* (サンプル数) n	比較値**の の範囲	比較値**の の平均値 X	標準偏差 σ_{n-1}	変動係数 CV(%)
wQ _{mu1} (式(6.5.17))	wQ _{su1} (式(6.5.19))	192(242)	0.79 ~ 16.64	1.72	1.53	88.9
	wQ _{su2} (式(6.5.20))	173(223)	0.66 ~ 16.64	1.69	1.60	95.0
wQ _{mu2} (式(6.5.18))	wQ _{su1} (式(6.5.19))	83(118)	0.76 ~ 2.11	1.22	0.25	20.1
	wQ _{su2} (式(6.5.20))	83(118)	0.69 ~ 2.10	1.19	0.21	17.6

* : 試験体数は、データを抽出した試験体の数。サンプル数は、1つの試験体から正加力、負加力の

** : 比較値 = 実験値 / 計算値

ただし、計算値は、曲げ耐力式およびせん断耐力式による計算値の小さい方を採用。

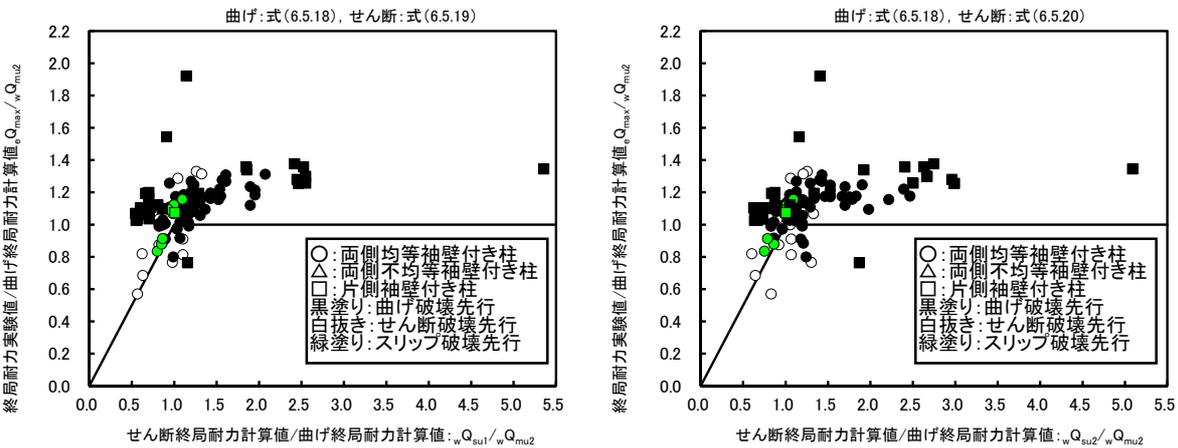


(a) $eQ_{max}/wQ_{mu1} - wQ_{su1}/wQ_{mu1}$ 関係

(曲げ：技術基準式 せん断：技術基準式)

(b) $eQ_{max}/wQ_{mu1} - wQ_{su2}/wQ_{mu1}$ 関係

(曲げ：技術基準式 せん断：分割累加式)



(c) $eQ_{max}/wQ_{mu2} - wQ_{su1}/wQ_{mu2}$ 関係

(曲げ：曲げ理論式 せん断：技術基準式)

(d) $eQ_{max}/wQ_{mu2} - wQ_{su2}/wQ_{mu2}$ 関係

(曲げ：曲げ理論式 せん断：分割累加式)

図 6.5.19 終局強度の計算値と実験値との比較

6.5.6 限界変形角

図 6.5.21 に限界変形角実験値の算出方法を、図 6.5.22 に限界変形角実験値 (eR_u) と計算値 (R_u) との比較を示す。検証に用いた既往の実験データ [6-A31][6-A44][6-A47][6-A49][6-A55][6-A56][6-A59][6-13][6-14][6-15] は、両側均等袖壁付き柱、片側袖壁付き柱の試験体であり、破壊形式は曲げ破壊した試験体のみを検討対象とした。

限界部材角計算値 [6-8][6-9] は、曲げ理論にもとづいた式(6.5.23)により評価した。本評価式は、限界変形時の曲率 ϕ_u にヒンジ領域長さ l_h を乗じて評価するものである。ここで、限界変形時の曲率は、文献[6-8]、[6-9]に準じて、袖壁端部無拘束の場合は圧縮縁のコンクリートのひずみ度 ε_{cu} を 3000μ に、袖壁端部を拘束した場合は 6000μ に達した時の曲率を採用した。また、ヒンジ領域長さ l_h は袖壁厚さ t_w の2倍と仮定し計算を行った。なお、変形係数 c は実験結果と適合するように定められた数値であり、6程度であることが文献[6-8],[6-9]に示されている。実験値に適合する係数 c が大きくなる意味は、 ε_{cu} の評価が控えめの仮定であること。また、実際の変形にはヒンジ領域以外の弾性変形、せん断変形、さらに抜け出し変形などが加わるためであることが示されている。さらに、ヒンジ領域長さ $l_h=2t_w$ の仮定も詳細な検証が今後、必要であることが示されており、いくつかの諸問題も示されている。以下、本評価式の精度について検証し、その留意点について述べる。

次に、実験値の限界変形角は図 6.5.21 に示すように最大耐力以降の耐力が最大耐力の 80%に低下した時の変形角と定義した。荷重-変形曲線上に限界変形角の点が存在する場合には、同図(a)に示すように $0.8eQ_{mu}$ (ここに、 eQ_{mu} : 曲げ終局耐力実験値) の耐力と荷重-変形曲線が交わる点の変形角を限界変形角実験値と定めた。一方、荷重-変形曲線上に限界変形角の点が存在しない場合は、同図(b)に示すように限界変形角が存在するであろう前後のサイクルの最大耐力の点同士を線で結び、その線が $0.8eQ_{mu}$ と交わる点の変形角を限界変形角実験値と定めた。

$$R_u = c \cdot l_h \cdot \phi_u \quad (6.5.23)$$

ここで、 c : 変形係数 (=6)

l_h : 圧縮側コンクリートのヒンジ領域長さ (=2 t_w)

ϕ_u : 曲率 (= ε_{cu}/x_n)

t_w : 壁厚

ε_{cu} : 圧縮縁コンクリートのひずみ度

(袖壁端部無拘束の場合 : 0.003, 袖壁端部拘束の場合 : 0.006)

x_n : 中立軸位置

$$x_n = 2L_{cc} = A_{cc}/t_w \quad (A_{cc} \leq A_{w1})$$

$$x_n = L_{w1} + (A_{cc} - A_{w1})/B_c \quad (A_{cc} > A_{w1})$$

L_{cc} : コンクリート圧縮域中心の圧縮縁からの距離(mm)

A_{cc} : コンクリート圧縮域の面積(mm²)

$$A_{cc} = \{ \sum (a_t \cdot \sigma_y) + N \} / (\beta \cdot F_c)$$

ここに、 a_t : 引張鉄筋の断面積 (引張鉄筋はコンクリート圧縮域外にある壁縦筋, 柱主筋をすべて考慮するが, 圧縮域近傍の鉄筋は無視してよい。) (mm²)

σ_y : 引張鉄筋 (壁縦筋, 柱主筋) の降伏強度(N/mm²)

N : 袖壁付き柱に作用する軸力(N)

$$\beta = 1.0$$

L_{w1} : 圧縮側袖壁の長さ(mm)

A_{w1} : 圧縮側袖壁の面積 (= $L_{w1} \times t_w$) (mm²)

B_c : 柱幅(mm)

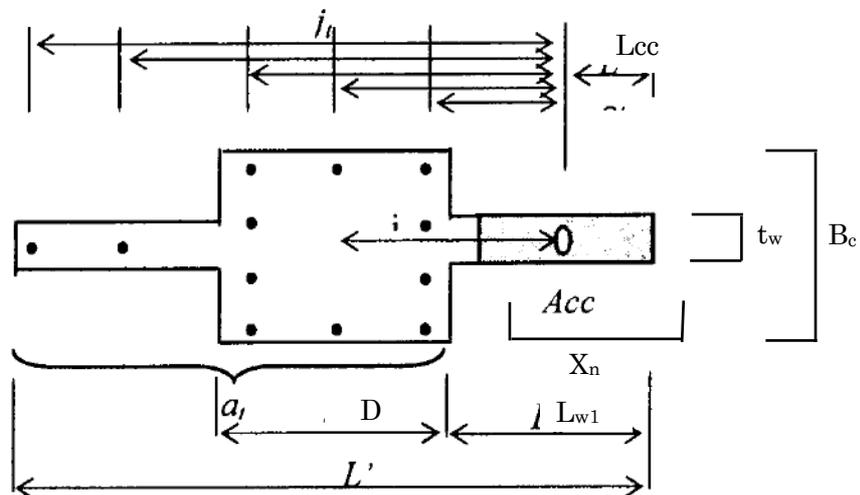
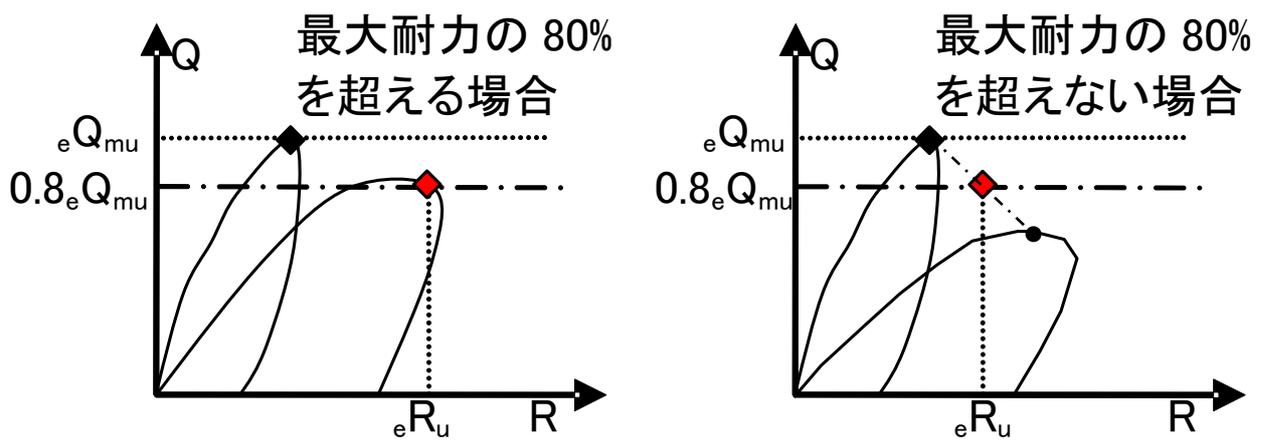


図 6.5.20 袖壁付き RC 柱の水平断面と記号



(a) 荷重-変形曲線上に限界変形角の点が存在する場合

(b) 荷重-変形曲線上に限界変形角の点が存在しない場合

図 6.5.21 限界変形角実験値の算出方法

図 6.5.22 に限界変形角の実験値と式(6.5.23)による計算値との比較を、表 6.5.9 に限界変形角の予測精度を示す。比較値 (=実験値/計算値) は 0.45~2.40, 平均値: $\bar{X}=1.21$, 変動係数: $CV=48.8\%$ となり、データは比較値 1.0 付近に分布するが、ばらつきは極めて大きいと言える。また、断面形状による影響では、両側均等袖壁付き柱は安全側の評価となるが、片側袖壁付き柱は危険側の評価となり、断面形状により明らかに分布の性状が異なる。なお、片側袖壁付き柱の限界変形角実験値は、袖壁が圧縮された場合の限界変形角をプロットしたものであり、袖壁が引張側となる場合のものはプロットしていない。ここで、片側袖壁付き柱で袖壁が圧縮側となる場合は、柱部の主筋が引張力を負担することを意味している。また、袖壁付き柱の柱主筋の量(断面積)は、一般的に袖壁端部に配筋される壁縦筋の量(断面積)よりも多く配筋される。さらに、袖壁の幅は柱幅に比較して狭いのが袖壁付き柱の特徴である。とくに片側袖壁付き柱で袖壁が圧縮端となる場合は、柱部主筋が負担する大きな張力と軸力に釣り合う大きな圧縮力がそこに作用し、その圧縮力を袖壁部の比較的小さなコンクリート断面で負担しなければならない。以上の抵抗機構から片側袖壁付き柱の袖壁部の応力状態は、両側均等袖壁付き柱に比べて厳しい状況にあると推察される。片側袖壁付き柱のデータが、両側均等袖壁付き柱に比較して危険側に評価された要因は、そのことが大きく影響しているものと推察される。設計において十分に留意する必要があると考えられる。

表 6.5.9 限界変形の予測精度

限界変形角	試験体数* (サンプル数) n	比較値**の の範囲	比較値**の の平均値 X	標準偏差 σ_{n-1}	変動係数 CV(%)
R_u (式(6.5.23))	26(26)	0.45 ~ 2.40	1.21	0.59	48.8

*: 試験体数は、データを抽出した試験体の数。サンプル数は、1つの試験体から正加力、負加力のデータがそれぞれ抽出された場合には、サンプル数としてカウントする。

** : 比較値 = 実験値 / 計算値

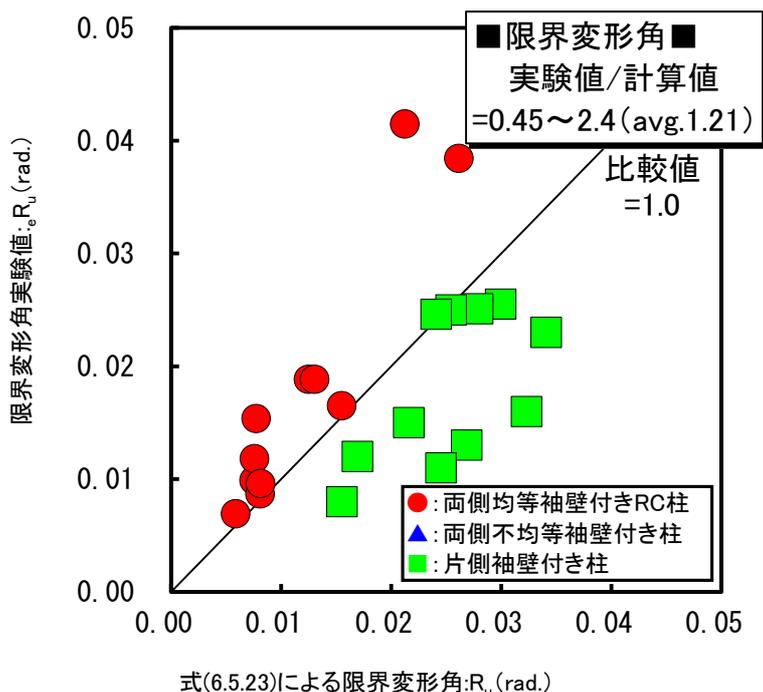


図 6.5.22 限界変形角実験値と計算値との比較

6.5.7 セン断力-変形角スケルトンモデルと実験値との比較

図 6.5.23 にせん断力-変形角関係の実験値とスケルトンモデルとの比較を示す。検証に用いた試験体はせん断破壊に先行して曲げ破壊が先行した試験体^{[6-A55][6-A56][6-A59][6-15]}である。断面形状は両側均等袖壁付き柱、片側袖壁付き柱の2種類により検討を行った。同図中の(a)が両側均等袖壁付き柱のせん断力-変形角関係であり、(b)から(e)が片側袖壁付き柱のせん断力-変形角関係である。

また、比較のため同図中に本章で検討した各種耐震性能評価式を用いてせん断力-変形角関係のスケルトンモデルを赤実線で示した。なお、本スケルトンカーブ上の各特異点の値は以下に示す表 6.5.10 の評価式を用いて算出した。本スケルトンモデルは3折れ線で表し、第一折れ点は曲げひび割れ発生の点(同図中赤●印)を、第二折れ点は部材降伏の点(同図中赤■)を意味する。それ以降は、その耐力を維持して変形が進む3直線モデルとした。また、限界変形角計算値を赤破線で示し、曲げ終局強度計算値の8割の値と限界変形角計算値との交点を赤◆印で示しておく。また、赤▲印はせん断ひび割れ強度を意味し、参考のため、そのスケルトンカーブ上にプロットしておく。

これより、実験値の荷重-変形角関係の外郭曲線を本スケルトンモデルでおおむね評価できている。また、限界変形角実験値(◆)も計算値(◆)にほぼ近似している状況である。

表 6.5.10 スケルトンカーブ上の各特異点の評価式一覧

耐震性能評価項目	評価式の式番号	備考
弾性剛性	式(6.5.1)~(6.5.5) 式(6.5.7)	せん断変形を算出する際のせん断形状係数 κ は、エネルギー法を使用して算出した。
曲げひび割れ強度	式(6.5.10) ~ (6.5.11)	
せん断ひび割れ強度	式(6.5.12)	
降伏点剛性低下率	式(6.5.13)~(6.5.15)	
曲げ終局強度	式(6.5.16), 式(6.5.18)	比較的精度の良い曲げ終局強度 2 (曲げ理論式) $wQ_{\mu 2}$ の評価式を用いて算出した。
限界変形角	式(6.5.23)	

第6章 袖壁付き柱部材

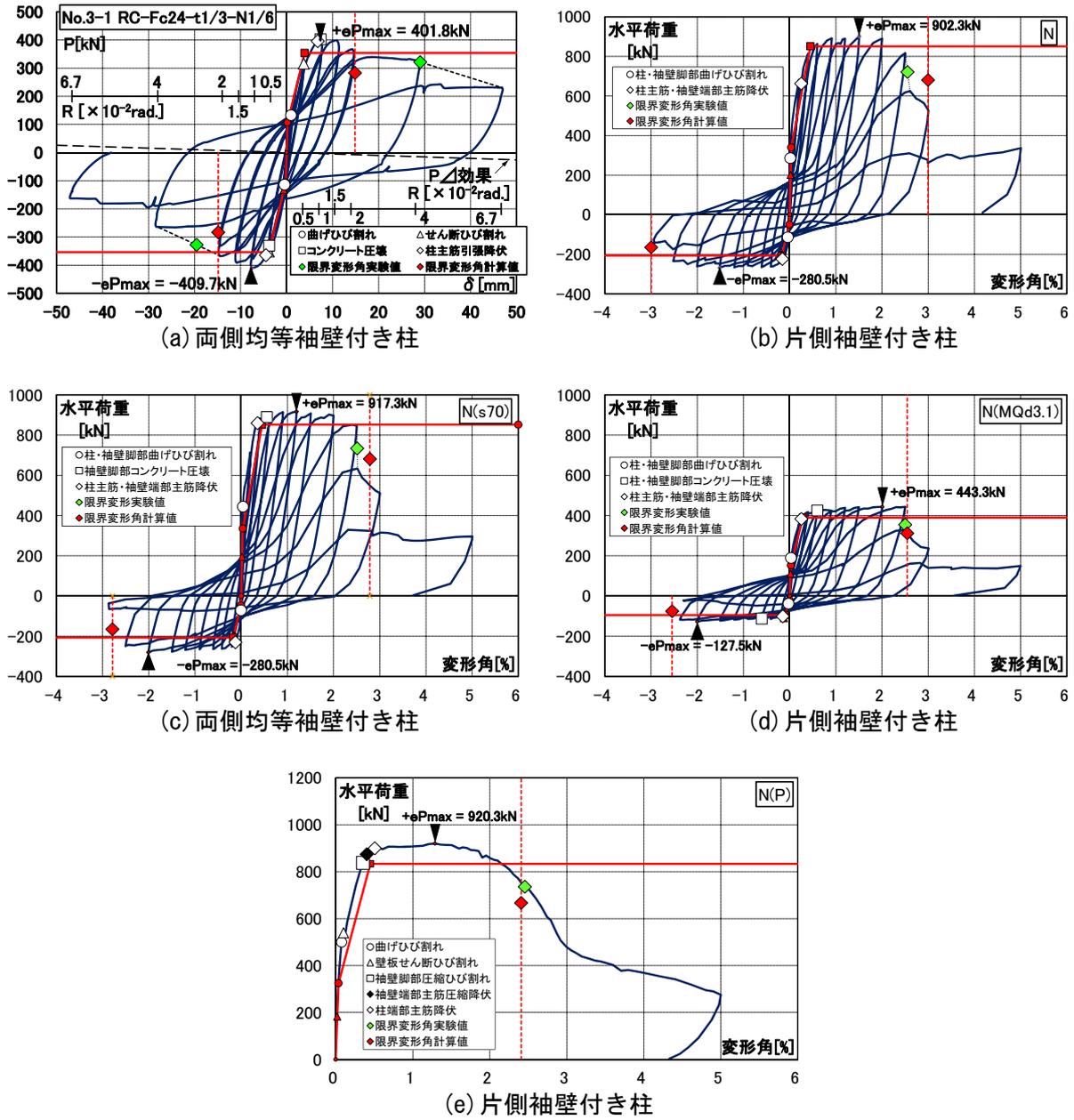


図 6.5.23 せん断力-変形角関係の実験値とスケルトンモデルとの比較

6.6 まとめ

前節では、袖壁付き柱部材の既往の実験データを整理して、主に技術基準解説書^[6-1]、RC 規準^[6-2]、文献等に示された剛性、耐力、変形に関する各評価式による計算値と実験値との比較・検討を行い、各評価式の精度およびその留意点について述べた。分析に使用した試験体数は計 204 体である。204 体の断面形状の内訳は、均等袖壁付き柱：161 体、不均等袖壁付き柱：2 体、片側袖壁付き柱：41 体である。

検討を行なった部材の耐震性能評価項目は、弾性剛性、短期許容せん断力時の損傷状況、ひび割れ強度（曲げおよびせん断ひび割れ強度）、降伏点剛性低下率、終局強度（曲げおよびせん断終局強度）、限界変形角、せん断力-変形角スケルトンモデルの7項目である。以下に、各項目で得られた内容についてまとめる。

(1) 弾性剛性について

弾性剛性の検討では、応力度法、エネルギー法、置換断面法の3種類の計算方法により、比較・検討を行った。本検討の範囲内では、置換断面法による手法がおおむね実験値と良い適合性を示したが、いずれの評価方法も、データのばらつきは極めて大きいと言える。これらの要因としては、乾燥収縮による初期欠陥の影響、試験機および治具等の剛性による影響等も少なからず考えられる。また、乾燥収縮による初期欠陥は実構造物でも起こりうる事象であり、弾性剛性のばらつきというものを踏まえて設計することが肝要である。

検討に使用した評価式の留意点であるが、非対称断面となる両側不均等袖壁付き柱や片側袖壁付き柱の弾性剛性を算出する際に、応力度法によるせん断形状係数 κ を用いて算出する場合には、袖壁の形状により急激に値が変化する可能性がある。そのため、歪エネルギーを基にしたエネルギー法および置換断面法を用いて弾性剛性を算出することが推奨される。

(2) 短期許容せん断力について

2010年版 RC 規準に示されている柱付き壁の短期許容せん断力時の損傷状況を示した。本検討の範囲内では、袖壁および柱の引張側端部に曲げひび割れが生じる程度であり損傷は軽微であった。

(3) ひび割れ強度について

曲げひび割れ強度評価式による比較では、ばらつきが大きく、十分な精度を有するとは言い難い。また、本評価式は、実験値を過大に評価する傾向が認められた。本評価式は、袖壁を含めた柱せいを原断面のままとし、断面二次モーメントが等価となるような長方形断面に置換して導出された評価式である。そのため、原断面積に比べて、置換した断面積は小さく評価される。そのため、見掛け上の軸圧縮応力度は、原断面に生じる軸圧縮応力度よりも高く評価される。以上のことが、実験値に対して計算値が過大に評価される要因と考えられる。以上により、軸力が生じる袖壁付き柱の曲げひび割れ強度を算定するにあたっては、その点に留意して本評価式を適用する必要がある。

せん断ひび割れ強度評価式による比較では、本評価式による計算値は実験値をやや過少に評価する傾向が認められた。また、袖壁が不均等に配置された袖壁付き柱および片側袖壁付き柱の評

第6章 袖壁付き柱部材

価については、柱を全せいの中央に配置して、計算する手法（両側均等袖壁付き柱と見立てて計算する手法）を示し、おおむね本手法により評価できることを示した。

(4) 降伏点剛性低下率について

菅野式を拡張した降伏点剛性低下率の評価式について検証した。ばらつきは極めて大きい状況であり、実験値の剛性は計算値に比較して高い傾向が認められた。この一つの要因は実験値のとり方が大きく影響したと考えられる。実験値の降伏点は最大耐力 eQ_{μ} の80%の点と定義して検討したが、その位置での急激な剛性低下は認められず、変形に比例して耐力が上昇している領域である。実験値の定義を明確に剛性低下した位置としてとらえ、それを定量的に定義できるならば、やや精度は向上するものと推察される。今後の課題と言える。

(5) 終局強度について

曲げ終局強度評価式1（技術基準式（曲げ））の検討では、両側均等袖壁の場合はおおむね実験値の傾向をとらえている。しかしながら、本評価式の導出の仮定から、引張側の袖壁部に縦筋が多く配置された試験体や袖壁が比較的薄い試験体は、実験値を過少または過大に評価する可能性があり、注意を払う必要がある。一方、片側袖壁付き柱は両側均等袖壁付き柱に比べて、実験値を過少に評価する傾向が認められた。

曲げ終局強度2（曲げ理論式）では、断面形状による差異は認められず、おおむね実験値の傾向をとらえている。袖壁部分の鉄筋を考慮し、配筋位置および材料情報を正確に入力できれば本曲げ理論式を用いて実験値を精度良く評価できると言える。

せん断終局強度1（技術基準式（せん断））の検討では、おおむね本評価式により、実験値を安全側に評価する傾向が認められた。また、片側袖壁付き柱のばらつきは、両側均等袖壁付き柱に比べてややばらつきが大きい傾向が認められた。

せん断終局強度2（分割累加式）の検討では、おおむね本評価式により、実験値を安全側に評価する傾向が認められた。また、技術基準式の傾向とはやや異なり、片側袖壁付き柱のばらつきは少ない。さらには、両側均等袖壁付き柱、不均等袖壁付き柱、片側袖壁付き柱の断面形状の違いによる比較値（=実験値/計算値）の差異はなく、ほぼ同じように評価される。

実験値の傾向を精度良く評価できる曲げ終局強度評価式とせん断終局強度評価式の組み合わせは、本検討の範囲内では曲げが「曲げ理論式」、せん断が「分割累加式」とする組み合わせが最も良い精度であった。

(6) 限界変形角について

曲げ理論に基づいた限界変形角評価式について検証した結果、ばらつきは極めて大きいと言える。とくに断面形状による差異があり、両側均等袖壁付き柱は安全側の評価となるが、片側袖壁付き柱は危険側の評価となり、断面形状により明らかに分布の性状が異なる。設計に際しては、その点について十分に留意する必要がある。本評価式の中の諸定数の決め方については、今後さらに検討する必要があると考えられる。

(7) せん断カー変形角スケルトンモデルと実験値との比較

両側均等袖壁付き柱および片側袖壁付き柱の荷重－変形関係の実験値と本章で検討した強度、変形、剛性の評価式を用いた本スケルトンモデルとを比較した結果、本検討の範囲内では、おおむね外郭曲線を評価できることを示した。

(8) 今後の課題

今後の解題について以下にまとめる。

①データベース

今後、調査対象の論文を広げ、さらにデータを蓄積する必要がある。とくに変形情報、剛性情報、エネルギー吸収に関する情報が明記されていることは極めて少なく、論文中のグラフから、その情報をデジタルに変換して得ることも検討する必要がある。

②蓄積されたデータのまとめ

今回、検討に使用した袖壁付き柱の試験体数は計 204 体である。他の部材に比較して実験データは極めて少ない状況であり、さらなるデータの蓄積が望まれる。また、その断面形状の内訳を見ると両側均等袖壁付き柱が 161 体、片側袖壁付き柱が 41 体、不均等袖壁付き柱が 2 体である。つまり、実験のそのほとんどが両側均等袖壁付き柱の断面で行われていることを意味する。実務設計では片側袖壁付き柱および不均等袖壁付き柱など様々な断面形状に対応する必要があるが、その情報は極めて少ない状況である。今後、片側袖壁付き柱および不均等袖壁付き柱の実験が数多く実施され、その構造性能が示されることを切に期待する。

また、今回の検討では一切触れていないが袖壁付き柱の変形性能を向上させるためには、袖壁圧縮端部のコンクリートを鉄筋により拘束することが極めて有効であることが多くの論文で示されている。論文の中に袖壁端部拘束筋の配筋仕様並びに詳細寸法、拘束筋により拘束される部分の寸法並びに面積、被り寸法等を詳細に示して頂くと、今後、袖壁付き柱部材の限界変形角を検討・評価する上で有用なデータになると思われる。また、多くの論文では最大耐力の記載はあるものの、弾性剛性、ひび割れ強度、限界変形といった設計上必要な情報が不足している状況であり論文中に記載されることが望まれる。

③合理的な設計手法の提案

袖壁付き柱の変形性能評価について言及すれば、現在、曲げ理論の解釈に基づいた合理的な設計法の開発が様々な機関で実施、検討され始めている。今後は、それらを発展させ部材降伏時の変形や限界変形角の精度を高めることが期待される。とくに、限界変形角は、袖壁圧縮端部の拘束状態に依存するため、そのことを考慮した設計法の開発が望まれる。一方、袖壁付き柱は、独立柱に比べて剛性が高く、大きなせん断力を負担できる特徴を有し、それらを有効に利用する設計法も考えられる。しかし、その部材が大きく損傷する可能性を秘めていることを忘れてはならない。以上より、袖壁付き柱を有効かつ安全に設計するためには、ある耐力、変形時にどのような損傷になるかを把握し、推定する必要があると考えられる。例えば、袖壁付き柱のひび割れ幅の推定方法の開発やせん断ひび割れ発生荷重の正確な推定手法の開発も必要と考えられる。

6.7 参考文献

- [6-1] 建築物の構造関係技術基準解説書編集委員会：2007年版 建築物の構造関係技術基準解説書，2007.8
- [6-2] (社)日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説，2010
- [6-3] 大久保全陸：腰壁，たれ壁付き鉄筋コンクリート梁の弾塑性挙動に関する実験的研究（その2．剛性および終局曲げ強度に関する考察），日本建築学会論文報告集，No.207，pp.9～17，1973.5
- [6-4] 菅野俊介：鉄筋コンクリート構造物の塑性剛性に関する研究（その5），日本建築学会関東支部研究報告集，pp.81～84，1970
- [6-5] 菅野俊介：鉄筋コンクリート構造物の塑性剛性に関する研究（その6）－曲げ降伏をするRC柱梁の強度と剛性略算法－，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.739～740，1971.11
- [6-6] (財)日本建築防災協会：2001改訂版 既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断基準・同解説，2001.10
- [6-7] 高橋之，上田博之，角彰，市之瀬敏勝，祖父江美枝，田中弘臣：腰壁と袖壁を有する鉄筋コンクリート部材の曲げ設計モデル，日本建築学会構造系論文集，Vol.74,No.641，pp.1321～1326，2009.7
- [6-8] 壁谷澤寿海，ファンヒョンソン，金裕錫，細川洋治，佐藤充晴：鉄筋コンクリート造袖壁付き柱の変形性能に関する実験的研究 その3・曲げ理論による変形性能の評価，日本建築学会大会学術講演梗概集，構造IV，pp.139～140，2011
- [6-9] 壁谷澤寿海，田才晃，楠浩一，磯雅人：建築基準法等に係る技術基準整備のための事業（平成20～22年度）鉄筋コンクリート造の変断面部材の構造特性評価に関する実験，ビルディングレター，pp.12～30，2011.8
- [6-10] 東京大学，横浜国立大学，福井大学：平成20年度 建築基準整備促進補助金事業 課題7「鉄筋コンクリート造の変断面部材の構造特性評価に関する実験」研究成果報告書，2009年3月
- [6-11] 矢作建設工業，名古屋大学大学院，名古屋工業大学大学院：平成20年度 建築基準整備促進補助金事業 課題9「鉄筋コンクリート造の耐力壁周辺架構の条件設定に関する実験」事業報告書，2009年3月
- [6-12] 東京大学，横浜国立大学，福井大学，建築研究所：平成21年度 建築基準整備促進補助金事業 課題7「鉄筋コンクリート造の変断面部材の構造特性評価に関する実験」研究成果報告書，2010年3月
- [6-13] 矢作建設工業，名古屋大学，名古屋工業大学，豊橋技術科学大学：平成21年度 建築基準整備促進補助金事業 課題9「鉄筋コンクリート造の耐力壁周辺架構の条件設定に関する実験」事業報告書，2010年3月
- [6-14] 東京大学，横浜国立大学：平成22年度 建築基準整備促進補助金事業 課題7「鉄筋コンクリート造の変断面部材の構造特性評価に関する実験」研究成果報告書，2011年3月
- [6-15] 東京工業大学，東京大学，名古屋工業大学，京都大学，大阪大学：平成24年度 建築基準整備促進補助金事業 課題39「鉄筋コンクリート造連層耐力壁の構造詳細と部材種別に係る基準の整備に資する検討」事業報告書，2013年3月

[6-16] 壁谷澤寿海, 壁谷澤寿成: 袖壁付き柱の実用せん断強度式, 地震工学会, pp.115~120, 2007

6.8 試験体の引用文献

- [6-A1] 東洋一, 大久保全陸: 鉄筋コンクリート袖壁付き柱の逆対称繰返し加力実験 (その1, せん断補強筋の少ない場合), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1405~1406, 1973.10
- [6-A2] 大久保全陸, 東洋一, 飯田研: 腰壁, たれ壁付き鉄筋コンクリート梁の弾塑性挙動に関する実験的研究 (その1・実験概要および曲げ破壊性状), 日本建築学会論文報告集, No.204, pp.1~8, 1973.2
- [6-A3] 大久保全陸: 腰壁, たれ壁付き鉄筋コンクリート梁の弾塑性挙動に関する実験的研究 (その2. 剛性および終局曲げ強度に関する考察), 日本建築学会論文報告集, No.207, pp.9~17, 1973.5
- [6-A4] 建設省建築研究所: 構造部材の耐力と変形の解析 (そで壁付鉄筋コンクリート柱の多数回くり返し加力実験), 昭和48年度総合技術開発プロジェクト新耐震設計法の開発資料 (委託), pp.1~125, 1974.3
- [6-A5] 東洋一, 大久保全陸, 藤又康: 鉄筋コンクリート袖壁付き柱の逆対称繰返し加力実験 (その2, 壁厚の異なる場合, 袖壁を付加して補強する場合), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1289~1290, 1974.10
- [6-A6] 東洋一, 大久保全陸: 鉄筋コンクリート短柱の崩壊防止に関する総合研究 (その9 CWシリーズ: 袖壁付き柱の実験), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1305~1306, 1974.10
- [6-A7] 王子和臣, 入江善久, 藤本一郎: 袖壁付き鉄筋コンクリート柱の挙動に関する実験的研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1433~1434, 1976.10
- [6-A8] 王子和臣, 藤本一郎, 入江善久: 袖壁付き鉄筋コンクリート柱の挙動に関する実験的研究 (その2, 軸圧縮力, 曲げ及び剪断力を受ける場合), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1587~1588, 1977.10
- [6-A9] 野村設郎, 大森茂樹: RC造垂れ壁・袖壁・腰壁付柱の剛域及び復元力特性, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1451~1452, 1981.9
- [6-A10] 益尾潔, 井上寿也, 尾谷透: RC造正方形断面柱および袖壁付き柱のカーボン繊維シートによるせん断補強実験 - 実験計画および実験結果 -, GBRC84, pp.30~51, 1996.10
- [6-A11] 磯雅人, 松材育弘, 園部泰寿, 中村洋行: 炭素繊維シートによりせん断補強された袖壁付RC柱の構造性能に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.19, No.2, pp.225~230, 1997
- [6-A12] 益尾潔, 井上寿也: RC造正方形断面柱および袖壁付き柱のカーボン繊維シートによるせん断補強実験 - 終局耐力および耐震性能の評価 -, GBRC85, pp.15~30, 1997.1
- [6-A13] 益尾潔, 井上寿也, 尾谷透: 袖壁付きRC柱に対する構造スリットおよびカーボン繊維補強の効果 その1, その2, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.643~646, 1997.9
- [6-A14] 益尾潔, 井上寿也, 尾谷透: 袖壁付きRC柱に対する構造スリットおよびカーボン繊維補強の効果, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.20, No.1, pp.581~586, 1998

第6章 袖壁付き柱部材

- [6-A15] 塚越英夫, 神野靖夫: 炭素繊維シートによりせん断補強された RC 柱および袖壁付き柱の構造性能, 日本建築学会学術講演梗概集, pp.217~218, 1998.9
- [6-A16] 柳下和男, 千葉脩, 柳沢学, 角一行, 林田則光: 炭素繊維シートによる既存 RC 部材の耐震補強に関する研究 (その5) 袖壁付き柱のせん断補強実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.273~274, 1998.9
- [6-A17] 益尾潔, 井上寿也, 尾谷透, 神野靖夫, 渡辺英義: CF アンカーを用いた袖壁付き柱の炭素繊維シート補強 -面内加力下の補強効果-, GBRC95, pp.1~13, 1999.7
- [6-A18] 磯雅人, 松材育弘, 園部泰寿, 渡邊征幸: 連続繊維シートによりせん断補強された袖壁付 RC 柱の構造性能に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.21, No.3, pp.1429~1434, 1999
- [6-A19] 中澤敏樹, 益尾潔, 石渡康弘, 福本昇, 市川昌和: 炭素繊維シートで補強された袖壁付き柱に関する実験研究 -袖壁付き柱の面内加力実験-, 耐震補強の評価に関する研究委員会報告書・論文集, 日本コンクリート工学協会, pp.493~498, 2000.6
- [6-A20] 福本昇, 中澤敏樹, 益尾潔, 石渡康弘, 市川昌和: 定着金物と炭素繊維シートで補強された袖壁付き柱に関する実験研究 その3, その4, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.321~324, 2000.9
- [6-A21] 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, pp.121~128, 2000.10
- [6-A22] 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
- [6-A23] 助信洋司, 菅野俊介, 荒木秀夫, 椋山健二: ガラス繊維を用いて補強した袖壁付 RC 柱の耐震性能, コンクリート工学年次論文集, Vol.24, No.2, pp.1387~1392, 2002
- [6-A24] 赤井裕史, 瀧澤正明, 小室達也, 広沢雅也: RC 造そで壁付柱の耐震性能に関する大変形加力実験: その1, その2, その3, 日本建築学会学術講演梗概集, pp.183-188, 2003.9
- [6-A25] 本多良政, 加藤大介, 本間敦, 南部昌隆: PCa 袖壁で簡略補強された既存RC 柱に関する実験, コンクリート工学年次論文集, Vol.26, No.2, pp.253~258, 2004
- [6-A26] 本多良政, 加藤大介, 南部昌隆, 本間敦: 増設袖壁で補強されたRC 造柱のせん断耐力評価法, コンクリート工学年次論文集, Vol.27, No.2, pp.199~204, 2005
- [6-A27] 小室達也, 澤口祐樹, 広沢雅也: 偏心接合したRC 造袖壁付柱の耐震性能に及ぼす軸力比や部分スリットの影響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.253~258, 2005
- [6-A28] 杉山智昭, 松崎育弘, 中野克彦, 松島正樹: RC造そで壁付柱に対するポリマーセメントモルタルを用いた接着耐震補強工法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.1123~1128, 2005
- [6-A29] 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
- [6-A30] 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, 2007.7

- [6-A31] 東條有希子, 壁谷澤寿成, 壁谷澤寿海, 金裕錫: 曲げ降伏型そで壁付き柱に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.30, No.3, pp.109~114, 2008.7
- [6-A32] 壁谷澤寿成, 壁谷澤寿海, 東條有希子, 壁谷澤寿一: せん断破壊型そで壁付き柱に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.30, No.3, pp.115~120, 2008.7
- [6-A33] 澤井謙彰, 磯雅人, 田尻清太郎: 破壊モードを変化させた場合の袖壁付 RC 柱の曲げ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.30, No.3, pp.133~138, 2008
- [6-A34] 谷川正明, 塩屋晋一, 塩見涼子: 壁が偏心接合する腰壁・たれ壁・袖壁付RC柱のせん断特性に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.30, No.3, pp.235~240, 2008.7
- [6-A35] 池谷純一, 塚越英夫: 低強度コンクリートからなる袖壁付き柱の炭素繊維シート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.30, No.3, pp. 1147~1152, 2008.7
- [6-A36] 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, 2, 3, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-2, pp.557~562, 2008.9
- [6-A37] 袁根園, 壁谷澤寿海, 金裕錫, 壁谷津寿一, PHAN Van Quang, 石井貴子: 鉄筋コンクリート造片側そで壁付き柱の終局強度に関する実験的研究, 構造工学論文集, pp. 385~390, Vol.55B, 2009.3
- [6-A38] 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
- [6-A39] PHAN Van Quang, 壁谷澤寿海, 金裕錫, 石井貴子: 鉄筋コンクリート造片側そで壁付き柱のひび割れ幅評価法の検証, コンクリート工学年次論文集, Vol.31, No.2, pp.187~192, 2009.7
- [6-A40] 中村聡宏, 勅使川原正臣, 日比野陽, 井上芳生, 太田勤, 田尻清太郎: 袖壁補強柱の耐震性能評価に関する研究, 構造工学論文集, Vol.56B, pp.7~14, 2010.3
- [6-A41] 上原正敬, 磯雅人, 福山洋, 田尻清太郎: 袖壁付き RC 柱のせん断挙動に与える軸力, 袖壁の偏心, 壁横筋比の影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.32, No.2, pp.103~108, 2010.6
- [6-A42] 磯雅人, 上原正敬, 福山洋, 田尻清太郎: 袖壁付きRC柱のせん断挙動に与える袖壁の出幅の影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.32, No.2, pp.109~114, 2010.6
- [6-A43] 袁根園, 壁谷澤寿海, 金裕錫, 壁谷澤寿一: 袖壁付き柱の構造特性に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.32, No.2, pp. 115~120, 2010.6
- [6-A44] 吉田和也, 高橋之, 真田靖士, 市之瀬敏勝: 片側柱付きRC 耐震壁の曲げ変形性能, コンクリート工学年次論文集, Vol.32, No.2, pp. 421~426, 2010.6
- [6-A45] 祖父江美枝, 高橋之, 真田靖士, 市之瀬敏勝: 鉄筋コンクリート耐震壁のせん断耐力と破壊性状における枠柱の影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.32, No.2, pp. 427~432, 2010.6
- [6-A46] 近藤龍哉, 伴幸雄, 加藤三晴, 山本泰稔: 既存建物袖壁付き柱のせん断補強に関する実験

第6章 袖壁付き柱部材

- 的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.32, No.2, pp. 997~1002, 2010.6
- [6-A47] 高橋之, 吉田和也, 市之瀬敏勝, 真田靖士, 松本健規, 福山洋, 諏訪田晴彦: 圧縮側に柱型がないRC耐震壁の曲げ変形性能, 日本建築学会構造系論文集, Vol.76, No. 660, pp. 371~377, 2011.2
- [6-A48] 中村聡宏, 勅使川原正臣, 井上芳生, 太田勤: 鉄筋コンクリート造両側袖壁補強柱のせん断終局強度評価, 日本建築学会構造系論文集, Vol.76, No.661, pp.619-627, 2011.3
- [6-A49] 佐藤充晴, 壁谷澤寿海, 金裕錫, Hwang Hyun Seong: 厚い袖壁を有するRC 造柱の曲げ強度と靱性に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.33, No.2, pp. 127~132, 2011.7
- [6-A50] 伊藤彩夏, 祖父江美枝, 真田靖士, 市之瀬敏勝: 曲げ降伏後にせん断破壊する片側柱付きRC 耐震壁の実験的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.33, No.2, pp. 397~402, 2011.7
- [6-A51] 近藤龍哉, 伴幸雄, 加藤三晴, 山本泰稔: 既存建物袖壁付き柱の曲げ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.33, No.2, pp. 1345~1350, 2011.7
- [6-A52] 磯雅人, 本間礼人, 上原正敬, 小川敦久: 袖壁端部の拘束が袖壁付きRC 柱の靱性能に及ぼす影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.34, No.2, pp. 133~138, 2012.7
- [6-A53] 荒木秀夫, 家形徹, 宮原憲之: 丸鋼を用いた袖壁付き低強度コンクリート柱の耐震性能評価, コンクリート工学年次論文集, Vol.34, No.2, pp. 877~882, 2012.7
- [6-A54] 磯雅人, 島田賢佑, 本間礼人, 小川敦久, 上原正敬: 袖壁付き RC 柱の高靱性化に関する研究その1, 2, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.427~430, 2012.9
- [6-A55] 山本直樹, 真田靖士, 松原聡平, 尹ロク現, 谷昌典, 高橋之, 市之瀬敏勝, 福山洋: 曲げ破壊型耐力壁の押切載荷実験と曲げ解析, 日本建築学会近畿支部研究発表会, pp.317~320, 2013
- [6-A56] 磯雅人, 本間礼人, 小川敦久: PVA-FRC を用いた袖壁付き RC 柱の各種要因による構造性能への影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.35, No.2, pp. 115~120, 2013.7
- [6-A57] 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, 2013.7
- [6-A58] 加藤周二, 壁谷澤寿一, 壁谷澤寿海, 細川洋治: 鉄筋コンクリート造袖壁・腰壁付き柱の曲げ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.35, No.2, pp. 133~138, 2013.7
- [6-A59] 松原聡平, 真田靖士, 谷昌典, 高橋之, 市之瀬敏勝, 福山洋: 曲げ圧縮破壊する耐震壁の曲げ変形性能に対する拘束域の影響因子, 日本建築学会構造系論文集, Vol.78, No.691, pp.1593-1602, 2013.9