

第 7 章
耐力壁部材

第7章 耐力壁部材

7.1 データベースの項目

耐力壁部材の剛性や強度，変形性能の評価を行うために構築した実験データベースの調査項目を以下に示す。

7.1.1 基本情報：ID，出典情報等

101-ID 情報

- 1) 通し番号：部材毎に通し番号を付ける。
- 2) 実験主体：実験実施の主体を記入する。
- 3) 試験体名称：論文での名称を記入する。
- 4) 分類：柱型があるI形断面の無開口壁（W），柱型がない矩形断面の無開口壁（N），柱型があるI形断面の有開口壁（WO），柱型がない矩形断面の有開口壁（NO）の4種類から選択する。柱型の有無は，断面形状から判断し，両側の壁端に壁厚よりも厚みの大きい柱型の断面が取りついている場合には柱型あり，矩形断面の場合には柱型なしと分類する。



図 7.1.1 分類(断面形状)

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入する。
- 2) 関連文献番号：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入する。
- 3) 情報：主たる文献で必要な情報（タイトルや雑誌名）を記入する。

7.1.2 試験体情報：材料，部材断面

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を記入する。例えば 1/2 など。
- 2) 層数：試験体の層数を記入する。上部スタブと下部スタブの間に，梁型（壁厚より大きな梁幅）もしくは梁型が無くても梁主筋が存在する場合は層としてカウントする。
- 3) 柱型の有無：壁端部の柱型の有無を記入する。壁厚より大きな柱幅を有する場合は有とする。
- 4) 拘束域有無：壁端部の拘束域の有無を記入する。柱型の有無に係わらず，壁端部に閉鎖型拘束筋や幅止め筋等により拘束された領域が存在する場合は有とする。
- 5) 対称性：配筋の配置について対称性を記入する。
- 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，それ以外を水平と記入する。
- 7) 打設打継：試験体途中での打継の有無を記入する。
- 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を記入する。

202-材料情報

- a. 以下，コンクリートの材料特性について記入する。

- 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を記入する。
- 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入する。
- 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入する。
- 4) 引張強度：当該文献に記載されている引張強度を記入する。算定方法が不明な場合、記述が無い場合は「-」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入する。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。

（特記事項）

- ・ 連層耐力壁の場合、各階ごとにコンクリートの材料特性を入力する。

b. 以下、鉄筋の材料特性について記入する。

- 1) 降伏強度：当該文献に記載されている降伏強度を記入する。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入する。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入する。
- 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入する。
- 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入する。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」と記入する。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を記入する。

（特記事項）

- ・ 柱（主筋、帯筋）、梁（主筋、あばら筋）、壁（縦筋、横筋、X形配筋、開口補強筋（縦、横、斜め）、壁幅止筋）のデータを収集する。
- ・ 正載荷時に引張側となる柱(1)とし、もう一方の側を柱(2)と定義する。
- ・ 使用する主筋及び横補強筋が1種類の場合は、(1)にその情報を記入する。2種類の鉄筋を併用している場合は、(2)の欄にも記入する。
- ・ 使用する壁筋が1種類の場合は、(1)にその情報を記入する。2種類の鉄筋を併用している場合は、(2)の欄にも記入する。

203-部材形状情報

- a. 以下、壁の形状情報について記入する。

第7章 耐力壁部材

- 1) 壁板厚さ：各階の壁板の厚さを記入する。
 - 2) 壁全長：両端の柱型を含めた全長を記入する。
 - 3) 壁内法高さ：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) 各階の壁内法高さ：各階の壁内法高さを記入する。
 - 5) 各階の高さ：各階の梁上端面間、梁芯間の高さを記入する。
 - 6) 各階の合計高さ：試験体脚部から各階の梁上端面、梁芯までの高さを記入する。
- b. 以下、柱の形状情報について記入する。
- 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を選択する。
 - 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（柱型が無い場合は壁厚）を記入する。円形断面の場合はその直径を記入する。
 - 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を記入する。円形断面の場合はその直径とする。柱型がない場合は、端部の曲げ補強筋の配置から、図 7.1.2 に示す D_c を記入した。
 - 4) コア断面積：外周部せん断補強筋の芯々で囲まれた断面積を記入する。
 - 5) 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（外周部せん断補強筋表面までの深さ）をそれぞれ記入する。
 - 6) 外周補強筋間距離：外周補強筋の芯々間距離（図 7.1.3）を記入する。
 - 7) 有効横支持長さ：せん断補強筋（斜め方向含む）の足が掛かっている主筋の芯々間最短距離（図 7.1.4 中 C_i ）の最大値を記入する。幅方向とせい方向の最大値を記入する。

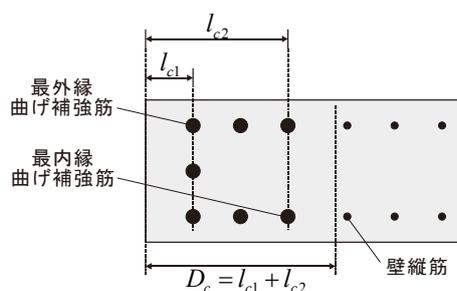


図 7.1.2 柱型がない場合の柱せい寸法の取り方

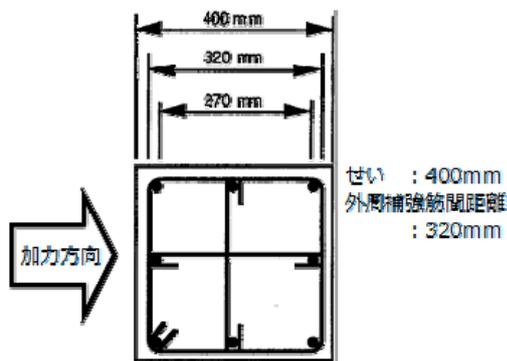


図 7.1.3 補強筋距離

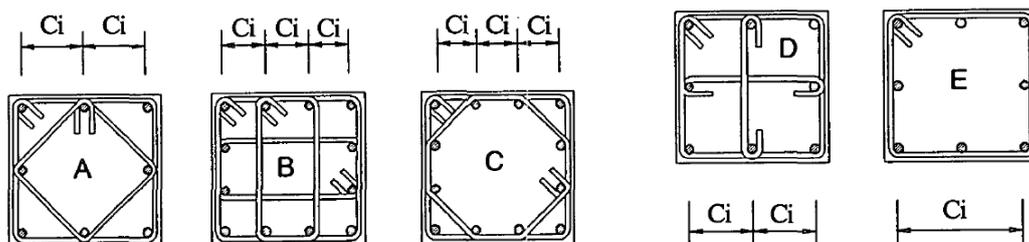


図 7.1.4 有効横支持長さの定義^[7-1]

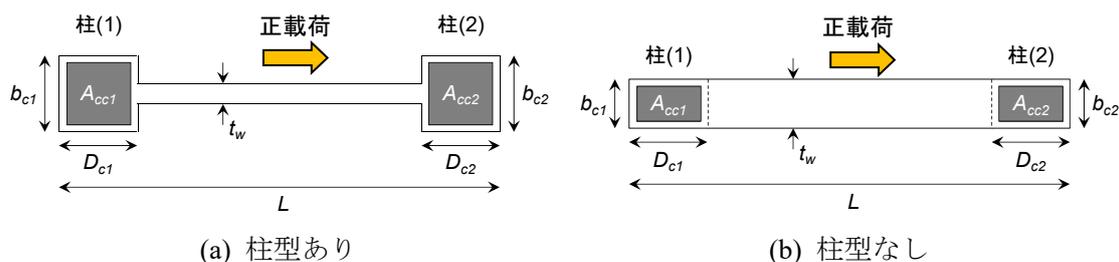


図 7.1.5 柱断面寸法の取り方

(特記事項)

- ・ 上段(1)に柱(1)の情報を、下段(2)に柱(2)の情報をそれぞれ記入する。

c. 以下、梁の形状情報について記入する。

- 1) 梁本数：各階高さと同階の壁横筋に足し合わせる梁主筋量の算定に必要な梁の本数を記入する。
- 2) 幅：矩形断面における壁厚方向の辺の長さ（梁型が無い場合は壁厚）を記入する。
- 3) せい：矩形断面における壁高さ方向の辺の長さ（梁型が無い場合は、梁主筋間距離に被り厚さを見込んだ値）を記入する。
- 4) スラブの有無：梁にスラブが取りついているかどうかを記入する。

d-1. 以下、1階の耐力壁の開口の情報について記入する。

- 1) 開口数：開口の数を記入する。
- 2) 幅、高さ、半径（円形の場合）、開口中心位置：1 開口の幅、2 開口の高さ、3 開口の半径（円の場合）、4、5 開口の中心位置を記入する。開口中心位置の定義は、4 は圧縮縁（柱(2)側）からの水平距離、5 は壁脚部からの鉛直距離とする。開口が一つの場合は 2-1)～2-4)にその情報を記入するが、開口が二つ以上の場合は 2-5)～2-25)にも記入する。

d-2. 以下、全階の耐力壁の開口の情報について記入する。

- 1) 開口数、各階の配置：開口の数を記入する。また、各階の開口の配置が「同一」、「対称（千鳥）」、「その他」のいずれにあたるかを記述する。
- 2) 幅、高さ、半径（円形の場合）、開口中心位置：1 開口の幅、2 開口の高さ、3 開口の半径（円の場合）及び 4、5 開口の中心位置を記入する。開口中心位置の定義は、4 は圧縮縁（柱(2)側）からの水平距離、5 は壁脚部からの鉛直距離とする。開口が一つの場合は 2-1)～2-4)にその情報を記入するが、開口が二つ以上の場合は 2-5)～2-20)にも記入する。

d-3. 以下、縦長開口の情報について記入する。

- 1) 並列開口の数：各階で並列している（同じ高さ位置にある）開口の数を記入する。
- 2) 並列開口の幅：各階の並列開口の幅を記入する。
- 3) 縦長開口の高さの和：対象の階から最上階（载荷梁頂部）までを対象に、水平位置が重複している縦長開口の高さの和を記入する。
- 4) 壁高さの和：対象の階から最上階（载荷梁頂部）までの高さを記入する。

204-柱主筋情報

- 1) 本数：全主筋本数を記入する。
- 2) 呼び名：鉄筋の形状と径を表す記号を選択する。例えば D19 や $\phi 9$ など。
- 3) 種類：主筋の種類を選択する。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を選択する。
- 5) 継手長さ：主筋の継手がある場合はその長さを記入する。
- 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を記入する。
- 7) 主筋位置情報：引張縁から順に鉄筋の位置を記入する。
- 8) 主筋本数情報：7)で記入した位置に配された本数を記入する。

(特記事項)

- ・ 使用する主筋が 1 種類の場合は、(1)にその情報を記入する。2 種類の主筋を併用している場合は、(2)の欄にも記入する。

205-柱せん断補強筋情報

- 1) 拘束域：拘束域については、I 形断面の試験体では通常は「柱型」を選択し、帯筋がない場合には「なし（柱型あり）」を選択する。矩形断面の場合は、図 7.1.6 に示すように、帯筋が壁端に配筋されている場合は「柱型」を、帯筋がない場合には「なし（柱型なし）」を、拘束域が断面全体に及ぶ壁柱タイプの試験体では、「壁全体」を選択する。

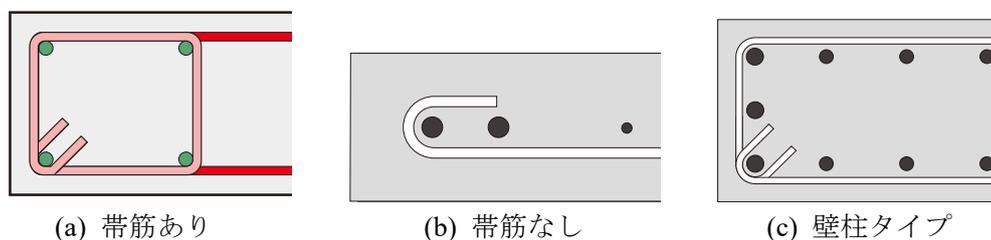


図 7.1.6 分類(配筋)

- 2) 形状：部材断面における補強筋形状を記入する。2 種類ある場合は外周部とその内部の形状を記入する。(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」) 呼び名：鉄筋の形状と径を表す記号を選択する。例えば D19 や $\phi 9$ など。
- 3) 間隔：1 狭い領域（例えばヒンジ領域）と広い領域の間隔。1 種類のみ場合は「狭い箇所」欄に記入する。位置：2 狭い領域と広い領域の鉛直方向の範囲（壁脚からの距離）を記入する。
- 4) 種類：補強筋の種類を選択する。例えば SD345 など。
- 5) 有効本数：1-4 幅方向とせい方向の補強筋（中子筋を含む）の足の数（図 7.1.7）を記入する。
- 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入し、部材長において補強筋が等間隔の場合は「狭い箇所」欄にのみ記入する。

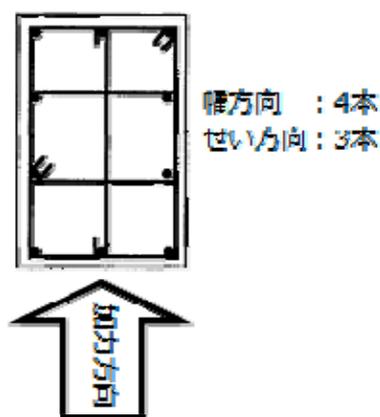


図 7.1.7 補強筋有効本数

- 6) 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）を選択する。フック形状：2 はフック角度で、例えば 90 や 135 度と記述する。継手長さ：3 は重ね継手を選択した場合の継手長さを示す。

（特記事項）

- ・ 使用する横補強筋が 1 種類の場合は、(1)にその情報を記入する。2 種類のせん断補強筋を併用している場合は、(2)の欄にも記入する。

206-梁主筋情報

- 1) 本数：全主筋本数を記入する。
- 2) 呼び名：鉄筋の形状と径を表す記号を選択する。例えば D19 や $\phi 9$ など。
- 3) 種類：主筋の種類を選択する。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を選択する。
- 5) 継手長さ：主筋の継手がある場合はその長さを記入する。
- 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を記入する。
- 7) 主筋位置情報：引張縁から順に鉄筋の位置を記入する。
- 8) 主筋本数情報：7)で記入した位置に配された本数を記入する。
- 9) スラブ軸方向鉄筋：1)～3)の項目を梁主筋と同じように記入する。

（特記事項）

- ・ 使用する主筋が 1 種類の場合は、(1)にその情報を記入する。2 種類の主筋を併用している場合は、(2)の欄にも記入する。

207-壁縦筋情報

- 1) 本数：開口がない断面の壁縦筋本数を記入する。
- 2) 呼び名：鉄筋の形状と径を表す記号を選択する。例えば D19 や $\phi 9$ など。
- 3) 間隔：階ごとに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）を選択する。

第7章 耐力壁部材

- 5) 種類：主筋の種類を選択する。例えば SD345 など。
- 6) 鉄筋深さ：正方向載荷時の圧縮縁からの距離を近い順に記入する。

(特記事項)

- ・ 使用する主筋が 1 種類の場合は、(1)にその情報を記入する。2 種類の主筋を併用している場合は、(2)の欄にも記入する。

208-壁横筋情報

- 1) 呼び名：鉄筋の形状と径を表す記号を選択する。例えば D19 や $\phi 9$ など。
- 2) 間隔：階ごとに壁横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）を選択する。
- 4) 種類：主筋の種類を選択する。例えば SD345 など。

(特記事項)

- ・ 使用する主筋が 1 種類の場合は、(1)にその情報を記入する。2 種類の主筋を併用している場合は、(2)の欄にも記入する。

209-壁内の幅止め筋情報

- 1) 呼び名：鉄筋の形状と径を表す記号を選択する。例えば D19 や $\phi 9$ など。
- 2) 種類：主筋の種類を選択する。例えば SD345 など。
- 3) 間隔：1 狭い領域（例えばヒンジ領域）と広い領域の間隔を記入する。1 種類のみの場合は「狭い箇所」欄に記入する。位置：2 狭い領域と広い領域の鉛直方向の範囲（壁脚からの距離）を記入する。
- 4) 鉄筋深さ：正方向載荷時の圧縮縁からの距離を近い順に記入する。なお、幅止め筋が掛っている軸方向鉄筋の位置を記入する。

(特記事項)

- ・ 使用する鉄筋が 1 種類の場合は、(1)にその情報を記入する。2 種類の主筋を併用している場合は、(2)の欄にも記入する。

210-X 形配筋情報

- 1) 本数：X 形配筋もしくはハ型配筋の一辺の鉄筋の本数を記入する。
- 2) 呼び名：鉄筋の形状と径を表す記号を選択する。例えば D19 や $\phi 9$ など。
- 3) 種類：主筋の種類を選択する。例えば SD345 など。
- 4) 形状：X 形配筋かハ型配筋かを選択する。
- 5) 傾斜角：配筋の 1 高さ，2 長さ，3 傾斜角，を記入する。

(特記事項)

- ・ 開口の左右に X 型配筋が配置されている場合は(2)の欄にも記入する。

211-開口補強筋情報

- 1) 本数：一か所に配筋されている鉄筋の本数を記入する。
- 2) 呼び名：鉄筋の形状と径を表す記号を選択する。例えば D19 や $\phi 9$ など。
- 3) 種類：主筋の種類を選択する。例えば SD345 など。
- 4) 強度への影響：縦方向筋のみ，壁脚の曲げ強度算定時に開口補強筋を加算することが可能かどうか記入する。可能な場合は，壁脚を横切る縦方向筋の本数を記入する。

(特記事項)

- ・ d, e, f には，2010年版の RC 規準で定められた開口補強筋の有効範囲内にある壁縦筋及び壁横筋を記入する。その際，有効範囲の定義のうち，開口から 500mm とあるのはスケールを考慮した値に読み替える。

7.1.3 加力・計測情報：加力概要，計測概要

301-加力情報

- 1) 加力形式：部材の加力形式を選択する。例えば，図 7.1.8 に示すように，片持ち（1点载荷，多点载荷）や両端固定（建研式，大野式），その他（ダブルエンド式など）など。
- 2) 加力方向：部材が水平に加力される方向を選択する。例えば，一方向，二方向，斜め 45 度など。
- 3) 载荷履歴：加力载荷の履歴を選択する。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一定軸力，変動軸力から選択する。
- 5) 軸力：部材に作用させる軸力の値を記入する。変動軸力の場合は，正方向および負方向の初期値，水平荷重に対する増分，下限値と上限値を記入する。
- 6) 軸力の作用位置：作用させる軸力の位置を選択する。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) 鉛直ジャッキと取り付け方：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選択する。例えば，ピン支持，ローラー支持（鉛直ジャッキが試験体の変形に追従して移動し，試験体に対する軸力の作用位置が変わらない場合と，試験体の変形に追従せず軸力の作用位置が変化すると考えられる場合で区別する），PC 鋼棒を用いた载荷，その他など。また当該鉛直ジャッキの導入軸力の種類（図 7.1.9 参照）を記入する。
- 8) 载荷点位置：1 は壁板脚部から水平力の加力点までの高さを記入する。多点载荷の場合はそれぞれの水平力の入力点までの高さ割合を記入する。シアスパン：2 は反曲点位置から部材端部までの長さの内，最大の長さを記入する。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）を記入する。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入する。
- 9) 载荷梁の性状と载荷方法：载荷梁が壁板に対して十分剛と考えられる場合，もしくは，水平荷重を押しのみで与える場合には「押し」を選択する。载荷梁が壁板に対して剛ではなく，且つ，水平荷重の一部を引張で与える場合には「引き」を選択する。
- 10) せん断スパン比：論文中に記載がある場合に記入する。
- 11) 備考

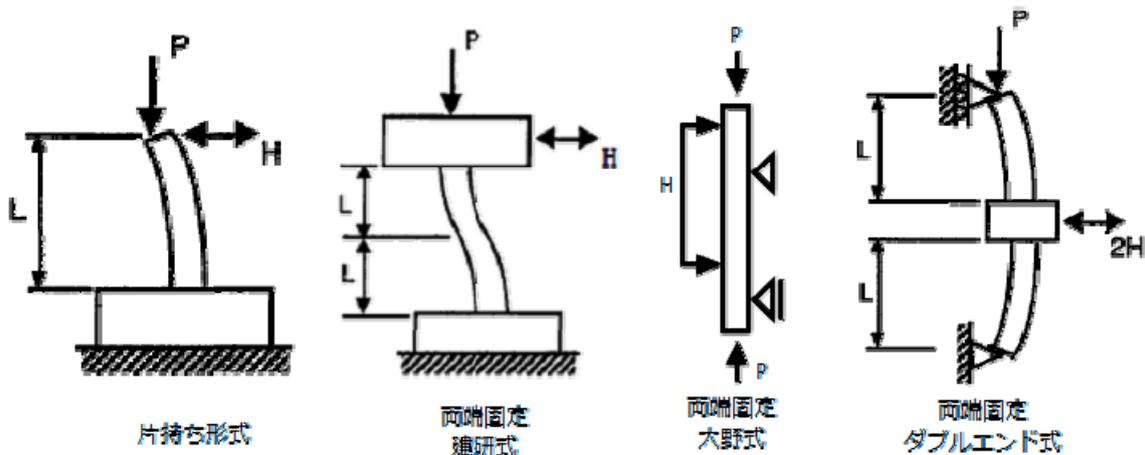


図 7.1.8 加力形式

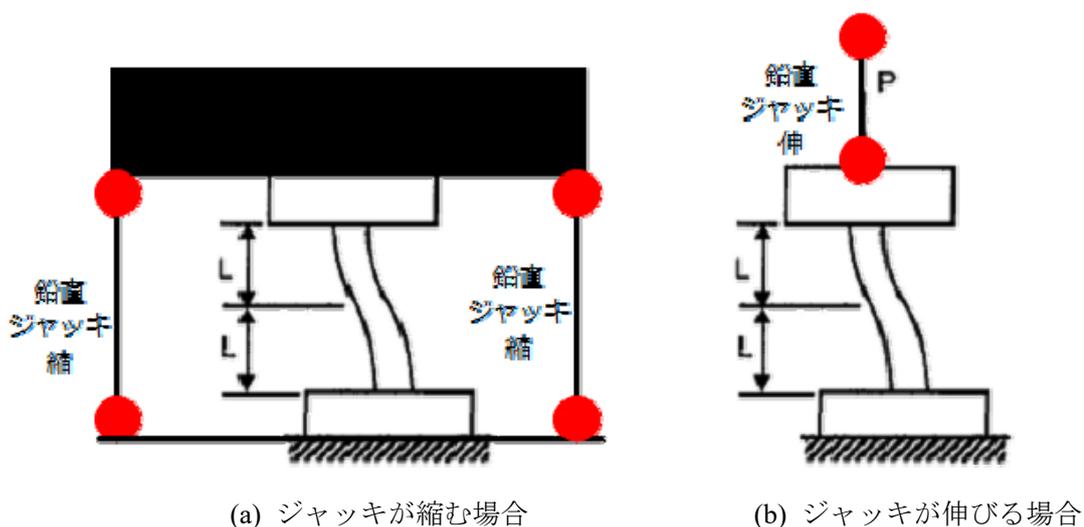


図 7.1.9 鉛直ジャッキの軸力種類(試験体に圧縮軸力を作用させる場合)

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記入する。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「-」と記入する。
- 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記入する。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「-」と記入する。
- 3) 水平変位の計測位置：水平変位の計測範囲について記入する。また，水平変位を実際に計測している高さ，変形角算定用の計測高さが異なる場合があるので，その場合には，別途，変形角算定用の計測高さを記入する。

7.1.4 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記入する。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を示す。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。また、軸力を作用させる場合には、せん断力の算定にP- Δ （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入する。
- 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記入する。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を示す。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入する。
- 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記入する。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を示す。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入する。
- 7) 分離された水平変形データの有無：分離された水平変形データについての情報を記入する。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。
- 8) 備考：上記の補足またはその他必要な情報を記入する。

402-剛性情報

- 1) 初期剛性：実験データから得られる初期剛性の値を記入する。正負交番載荷の場合は、正負の値を示すが、特に記載がない場合には、正側に値を記入する。

403-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を記入する。正負交番載荷の場合は、正負の値を示す。
- 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。

404-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を記入する。
- 2) 曲げせん断ひび割れ：実験で得られている曲げひび割れ時の荷重と変形の値を記入する。
- 3) 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を記入する。開

第7章 耐力壁部材

口隅角部のひび割れは、判別が可能な場合は別途記入する。

- 4) 側柱主筋降伏：実験で得られている最初に側柱主筋が降伏した時の荷重と変形の値を記入する。なお、主筋の降伏位置（最外縁、最内縁（全主筋））が確認できる場合には、別途記入する。
- 5) 側柱せん断補強筋降伏：実験で得られている最初に側柱せん断補強筋が降伏した時の荷重と変形の値を記入する。
- 6) 壁縦筋降伏：実験で得られている壁縦筋が降伏した時の荷重と変形の値を記入する。
- 7) 壁横筋降伏：実験で得られている壁横筋が降伏した時の荷重と変形の値を記入する。
- 8) 側柱かぶりコンクリート剥落：実験で得られている側柱かぶりコンクリートが剥落した時の荷重と変形の値を記入する。
- 9) 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を記入する。
- 10) 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を記入する。
- 11) 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を記入する。
- 12) 限界耐力点：論文に筆者が記載した限界耐力点の変形の値を記入する。
- 13) 限界耐力点：論文中の荷重変形関係から読み取ったアナログデータを元に、最大耐力後、水平荷重が最大耐力の80%まで低下した点の変形角の値を記入する。
- 14) 耐力点：論文中の荷重変形関係から読み取ったアナログデータを元に、初めて最大耐力の70, 80, 90, 100%（最大耐力）の耐力点に到達した時の包絡線上の変形角の値を記入する。
- 14) 備考：
- 15) 等価粘性減衰定数：論文中に等価粘性減衰定数の記載がある場合は、各変形角における等価粘性減衰定数が図で表わされているか、表で表わされているか示す。
- 16) ひび割れ情報：ひび割れ図の有無を記入する。またひび割れが計測されている部材角を記入する。
- 17) 写真情報：損傷を示した写真の有無を記入する。また写真が撮影された部材角を記入する。
- 18) 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を記入する。

（特記事項）

- ・ 変形や強度が論文中に片方向しか記載されていない場合は、正載荷時のシートに記入する。
- ・ 変形については、対象とする損傷がサイクル時に観測されたもの（実際にはサイクル以前に発生している可能性がある）か、対象とする損傷が発生時に観測されたものかを区別して記述する。

405-デジタルデータ

- 1) ファイル名：デジタルデータがある場合には、そのファイル名称を記入する。
- 2) 備考：

7.1.5 データの信頼度指標

各評価項目に対して信頼度を記入し、不適切データの定義に活用する。

7.2 収集データの特性

7.2.1 収集した論文の概要

本節では、収集したデータベースについて説明する。1975年から2017年の間に、日本建築学会の構造系論文集、構造工学論文集、日本コンクリート工学会の年次大会論文集、コンクリート工学論文集で発表された論文のうち、耐力壁に関連する573編の論文を対象にデータベースの構築、データの整理、分析を行った。これらの論文のうち、実際に論文に記載された実験試験体の情報をデータベースに入力した論文の数は245編である。論文の内訳を表7.2.1に示す。情報が不足する論文については、日本建築学会の学術講演梗概集や各支部の研究報告集（計41編）を参照しながら、データの入力を行った。

また、国土交通省建築基準整備促進事業で実施された研究のうち、課題8番「開口の数や位置を考慮した鉄筋コンクリート造の耐力壁の強度・剛性評価方法に関する実験・解析」、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」、課題30「有開口耐力壁の変形能力の評価等に関する実験・解析」、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」に関しては、各事業主体から実験のデジタルデータの提供を受け、詳細な検証を行った。

表 7.2.1 実験データの収集を行った論文数

| 論文名 | 論文数 |
|-------------------------------|-----|
| 日本建築学会 構造系論文集 | 32 |
| 日本建築学会 構造工学論文集 | 17 |
| 日本コンクリート工学会 年次大会論文集 | 191 |
| 日本コンクリート工学会 コンクリート工学論文集 | 5 |
| 合計 | 245 |
| 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) | 41 |

表 7.2.2 実験データの収集を行った論文数

| 年度 | 論文数 |
|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|
| | | 1980 | 3 | 1990 | 7 | 2000 | 12 | 2010 | 12 |
| | | 1981 | 1 | 1991 | 6 | 2001 | 6 | 2011 | 7 |
| | | 1982 | 1 | 1992 | 7 | 2002 | 8 | 2012 | 7 |
| | | 1983 | 4 | 1993 | 5 | 2003 | 6 | 2013 | 3 |
| | | 1984 | 6 | 1994 | 8 | 2004 | 10 | 2014 | 2 |
| 1975 | 0 | 1985 | 5 | 1995 | 5 | 2005 | 10 | 2015 | 6 |
| 1976 | 0 | 1986 | 2 | 1996 | 4 | 2006 | 6 | 2016 | 9 |
| 1977 | 0 | 1987 | 7 | 1997 | 5 | 2007 | 10 | 2017 | 9 |
| 1978 | 0 | 1988 | 12 | 1998 | 4 | 2008 | 9 | | |
| 1979 | 3 | 1989 | 4 | 1999 | 5 | 2009 | 9 | | |
| 合計 | 3 | 合計 | 45 | 合計 | 56 | 合計 | 86 | 合計 | 55 |
| | | | | | | | | 合計 | 245 |

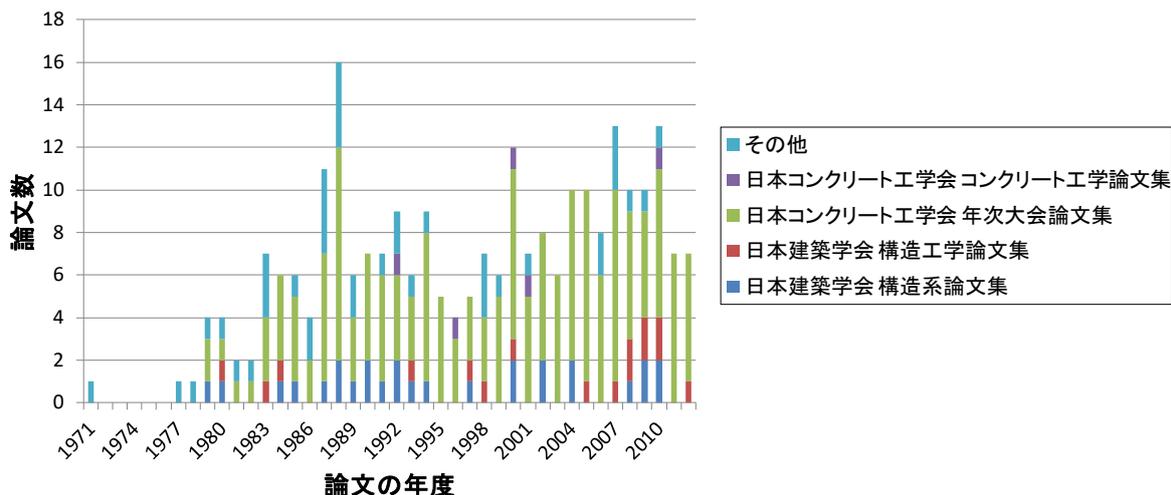


図 7.2.1 実験データの収集を行った論文数

7.2.2 収集した試験体の概要

7.2.1 項で示した 245 編の論文，基整促の研究報告書に記載された内容から，754 体の実験試験体のデータをデータベースに入力した。入力の対象は，両側に柱型が付いた I 形断面の耐力壁，両側共に柱型のない矩形断面の耐力壁とし，それぞれ開口を持つ耐力壁も対象とした。なお，偏平率（＝壁全長／壁厚）が小さい矩形断面の耐力壁では，断面全体が閉鎖型のせん断補強筋で拘束される場合があるが，その挙動には壁式ラーメン構造で用いられる壁柱との類似点も多い。そこで，本実験データベースでは，偏平率が 2.5 程度以上の矩形断面の壁柱試験体についても検討対象とし，データの収集を行った。実験データの入力を行わなかった試験体は，補強試験体や壁筋が斜め 45 度に配筋された試験体，壁内に側柱以外の柱型を有する（2 スパン以上の）試験体，開口の配置や配筋が特に複雑な試験体，プレキャストの試験体など，一般的な部材の評価とは区別する必要があると判断した試験体である。表 7.2.3 に試験体数の一覧を示す。次項以降の検討では，実験データの収集を行った試験体の中で，以下の項目に該当する，構造性能の評価に特別な配慮が必要な試験体に関しても，検討対象から除外した。また，現行基規準の適用範囲内での検討を行うため，コンクリートの圧縮強度が 18MPa 未満もしくは 60MPa を超える試験体も，以後の検討対象では除外した。一方，載荷実験では，曲げ破壊や局所破壊の防止など試験体の破壊性状を制御する目的で高強度鉄筋が用いられる場合があるため，高強度鉄筋を用いた試験体は検討対象に含めた。これらの試験体を除外した試験体の総数は 529 体である。

(材料に関する条件)

- ・コンクリートの圧縮強度が 60MPa を超える試験体 (39 体)
- ・コンクリートの圧縮強度が 18MPa を下回る試験体 (30 体)
- ・柱と壁でコンクリート強度が違う試験体 (1 体)

(寸法，形状，配筋に関する条件)

- ・両側の柱型（柱型拘束域）の寸法や配筋が異なる試験体 (6 体)
- ・円形の開口が設けられた試験体 (37 体)
- ・開口数が多い試験体 (1 体)

- ・縮尺が極端に小さい(3%)試験体(1体)
- ・X形配筋の試験体(17体)
- ・配筋が特殊な試験体(3体)

(壁板が多数の閉鎖型拘束筋で拘束されている,または,壁縦筋の本数が少なく,壁板せい方向に分散配置されていない)

(載荷条件に関する条件)

- ・二方向水平載荷の試験体(29体)
- ・偏心軸力を作用させた試験体(29体)
- ・変動軸力を作用させた試験体(13体)
- ・載荷中にせん断スパン比を変更した試験体(14体)
- ・事前載荷を行った試験体(5体)

表 7.2.3 次節以降で検討対象とする試験体の数

| グループの分類 | 柱型の有無 | 開口の有無 | 検討対象となる試験体数 |
|---------|-------|-------|-------------|
| ① | 有 | 無 | 258 |
| ② | 無 | 無 | 113 |
| ③ | 有 | 有 | 154 |
| | 無 | 有 | 4 |
| 合計 | | | 529 |

7.2.3 収集した試験体の特性値の分布

表 7.2.4, 図 7.2.2 から図 7.2.21 に, 表 7.2.3 で示した試験体の特性値の分布を示す。特性値は, 断面形状の違いと開口の有無に基づき, 3種類(①無開口・I形断面, ②無開口・矩形断面, ③有開口・I形, 矩形断面)に分類して示した。③有開口では, I形断面の試験体が多数を占めるため, 特性値の分布が①I形断面と近いものが多い。表 7.2.4 の数値は以下の仮定に基づいて算定した。なお, 今後の検討では, コンクリートの圧縮強度が 60MPa を超える試験体(39体), コンクリートの圧縮強度が 18MPa を下回る試験体(30体)は検討対象外とするが, 参考として, 表 7.2.4(b)に, これらの試験体を含めた場合(598体)の試験体の特性値の分布も示す。

- ・等価開口周比 r_0 は, 後述する 2015 年版建築物の構造関係技術基準解説書^[7-2]の式(7.2.1), 2010 年版 RC 規準^[7-3]の式(7.2.4)に従って算定した。技術基準解説書で用いた仮定は以下の通りである。① 開口が複数ある場合に, 図 7.2.2 (a)に示す二つの開口間の水平距離 l が二つの開口の高さ h の 1.5 倍以上あり, 且つ, l が 1m 以上の場合は二つの開口を面積等価な開口とみなし, この条件を満足しない場合には, 包絡する開口とみなす方法が示されている。本データベースでは, 縮尺が不明な試験体も多いことから, $l \geq 1.5h$ の条件のみを用いて, 開口長さや開口面積の判別を行った。② 連層の耐力壁では 1 階を対象に計算した。③ 実験試験体では, 試験区間上下のスタブが剛強な試験体が多く, 開口上下の梁の損傷に伴う破壊は生じないと考えられるため, 縦長開口による低減率は考慮していない。また, 2010 年版 RC 規準で用いた仮定は以下の通りである。① 連層の耐力壁では 1 階を対象に計算した。② 縦長開口による低減は, いずれの試験体も下スタブが剛強であると考えられるため, λ を用いた評価法のみを用いた。壁高さ Σh は, 図 7.2.2(b)に示すように, 下スタブの上端面から載荷梁の上端面

第7章 耐力壁部材

までの高さ、開口高さ Σh_0 は Σh の領域内にある開口のうち、水平方向の位置が重なる開口の高さの和とした。

- せん断スパン比は、せん断スパンを壁の全長で除すことで求めた。
- 軸力比は、圧縮側は軸力を耐力壁の全断面積とコンクリート圧縮強度で除すことで、引張側は軸力を耐力壁の軸方向鉄筋の全断面積と降伏強度で除すことで求めた。なお、軸力比の算定断面は1階壁脚位置とし、1階壁脚位置に開口がある場合には、開口による断面欠損を考慮した。
- せん断応力度比は、式(7.5.26)の曲げ終局強度式による水平せん断力、式(7.5.18)のせん断ひび割れ強度と式(7.5.30)のせん断終局強度の最大値（開口低減率には式(7.2.1)の等価開口周比 r_0 を用いた）を比較し、小さい方の値を壁幅と側柱中心間距離（柱型のない試験体では壁全長）で除した値とした。また、開口を有する試験体では、開口の投影長さに対応する面積を差し引いて計算した。

表 7.2.4 データベースの特性値

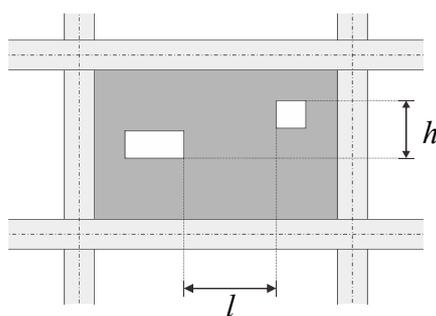
(a) 本論文で検討対象とする範囲(529 体)

| 項目 | 単位 | 範囲 | 平均 | | | | 試験体数 | | | | | |
|------|-----------------------|----------------|---------------------|-------------|-------------|-----------------|------|-------------|-------------|-----------------|-----|-----|
| | | | 全体 | ① 無開口 I形 | ② 無開口 矩形 | ③ 有開口 I形, 矩形 | 全体 | ① 無開口 I形 | ② 無開口 矩形 | ③ 有開口 I形, 矩形 | | |
| 材料 | コンクリート圧縮強度(複数層の場合は1階) | | MPa | 18.3~59.5 | 28.5 | 29.2 | 27.8 | 28.0 | 528 | 257 | 113 | 158 |
| | 柱 (端部拘束域) | 主筋 降伏強度 | MPa | 244~1044 | 426 | 408 | 539 | 378 | 522 | 258 | 106 | 158 |
| | | 帯筋 降伏強度 | MPa | 160~1481 | 392 | 357 | 481 | 408 | 462 | 239 | 68 | 155 |
| | 壁 | 壁縦筋 降伏強度 | MPa | 160~882 | 359 | 328 | 409 | 376 | 527 | 257 | 112 | 158 |
| | | 壁横筋 降伏強度 | MPa | 160~1423 | 369 | 328 | 452 | 376 | 527 | 257 | 112 | 158 |
| 形状 | 縮尺 | | | 0.07~1.0 | 0.32 | 0.25 | 0.47 | 0.35 | 307 | 148 | 58 | 101 |
| | 壁全せいL | | mm | 300~4740 | 1429 | 1495 | 923 | 1685 | 529 | 258 | 113 | 158 |
| | 壁内法高さH(連層の場合は全層) | | mm | 280~4900 | 1241 | 1234 | 1198 | 1283 | 529 | 258 | 113 | 158 |
| | H/L | | | 0.36~4.00 | 0.98 | 0.84 | 1.57 | 0.77 | 529 | 258 | 113 | 158 |
| | 壁厚 | | mm | 19~250 | 75 | 59 | 125 | 64 | 529 | 258 | 113 | 158 |
| | 壁厚/側柱幅 | | | 0.05~0.67 | | 0.32 | | | | 258 | | |
| | 壁内法長さ/壁全長 | | | 0.67~0.95 | | 0.78 | | | | 258 | | |
| | 偏平率(壁全長/壁厚) | | | 2.5~26.7 | | | 7.8 | | | | 113 | |
| | 等価開口周比 r_0 | | 式(7.2.1) 技術基準解説書 | | 0.16~0.94 | | | 0.40 | | | | 158 |
| | | | 式(7.2.4) 2010年版RC規準 | | 0.16~0.82 | | | 0.39 | | | | 158 |
| 配筋 | 柱 (端部拘束域) | 等価引張鉄筋比 | | | | | | | | | | |
| | | I形断面 | % | 0.09~3.54 | | 0.86 | | 0.77 | | 258 | | 157 |
| | | 矩形断面(壁端から0.1D) | % | 0.02~1.70 | | | 0.39 | | | | 110 | |
| | 矩形断面(壁端からtw) | % | 0.02~1.13 | | | 0.35 | | | | 110 | | |
| | 壁 | 帯筋比 | % | 0.00~1.60 | 0.56 | 0.61 | 0.41 | 0.59 | 512 | 247 | 107 | 158 |
| | | 縦筋比 | % | 0.00~2.96 | 0.63 | 0.57 | 0.76 | 0.62 | 526 | 258 | 110 | 158 |
| 横筋比 | | % | 0.00~1.76 | 0.60 | 0.59 | 0.60 | 0.64 | 529 | 258 | 113 | 158 | |
| | | 横筋比/縦筋比 | | 0.17~5.32 | 1.04 | 1.04 | 1.03 | 1.05 | 520 | 257 | 105 | 158 |
| 載荷条件 | せん断スパン比 | | | 0.21~3.12 | 1.01 | 0.99 | 1.15 | 0.95 | 528 | 257 | 113 | 158 |
| | 軸力比 | | | 0.00~0.61 | 0.07 | 0.06 | 0.08 | 0.08 | 527 | 257 | 113 | 157 |
| | せん断応力度比 | | | 0.02~0.27 | 0.14 | 0.17 | 0.10 | 0.12 | 524 | 257 | 110 | 157 |

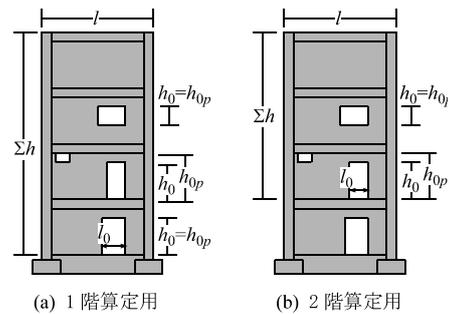
表 7.2.4 データベースの特性値

(b) コンクリートの圧縮強度が 60MPa を超える試験体,
 コンクリートの圧縮強度が 18MPa を下回る試験体も含めた場合 (598 体)

| 項目 | 単位 | 範囲 | 平均 | | | | 試験体数 | | | | | |
|------|------------------------|----------------------|-----------------|------------|-----------|--------------|------|----------|----------|--------------|-----|-----|
| | | | 全体 | ① 無開口 I形 | ② 無開口 矩形 | ③ 有開口 I形, 矩形 | 全体 | ① 無開口 I形 | ② 無開口 矩形 | ③ 有開口 I形, 矩形 | | |
| 材料 | コンクリート圧縮強度 (複数層の場合は1階) | | MPa | 4.8~103 | 30.7 | 31.9 | 33.1 | 26.9 | 597 | 290 | 138 | 169 |
| | 柱 (端部拘束域) | 主筋 降伏強度 | MPa | 244~1044 | 443 | 431 | 548 | 382 | 591 | 291 | 131 | 169 |
| | | 帯筋 降伏強度 | MPa | 160~1481 | 431 | 408 | 528 | 416 | 523 | 269 | 91 | 163 |
| | 壁 | 壁縦筋 降伏強度 | MPa | 160~1419 | 377 | 355 | 415 | 385 | 590 | 290 | 131 | 169 |
| | | 壁横筋 降伏強度 | MPa | 160~1423 | 395 | 354 | 492 | 385 | 596 | 290 | 137 | 169 |
| 形状 | 縮尺 | | | 0.07~1.0 | 0.31 | 0.25 | 0.43 | 0.34 | 347 | 170 | 69 | 106 |
| | 壁全せい L | | mm | 300~4740 | 1410 | 1484 | 971 | 1641 | 598 | 291 | 138 | 169 |
| | 壁内法高さ H (連層の場合は全層) | | mm | 270~4900 | 1267 | 1260 | 1305 | 1247 | 598 | 291 | 138 | 169 |
| | H/L | | | 0.36~4.00 | 1.00 | 0.86 | 1.58 | 0.77 | 598 | 291 | 138 | 169 |
| | 壁厚 | | mm | 15~250 | 77 | 59 | 131 | 64 | 598 | 291 | 138 | 169 |
| | 壁厚/側柱幅 | | | 0.05~0.67 | | 0.32 | | | | 291 | | |
| | 壁内法長さ/壁全長 | | | 0.65~0.95 | | 0.78 | | | | 291 | | |
| | 偏平率 (壁全長/壁厚) | | | 2.5~26.7 | | | 7.8 | | | | 138 | |
| | 等価開口周比 r_0 | 式 (7.2.1) 技術基準解説書 | | | 0.16~0.94 | | | 0.40 | | | | 169 |
| | | 式 (7.2.4) 2010年版RC規準 | | | 0.16~0.82 | | | 0.39 | | | | 169 |
| 配筋 | 柱 (端部拘束域) | 等価引張鉄筋比 | I形断面 | % | 0.09~3.54 | | 0.86 | 0.74 | | 291 | | 168 |
| | | | 矩形断面 (壁端から0.1D) | % | 0.02~1.71 | | | 0.42 | | | 135 | |
| | | | 矩形断面 (壁端からtw) | % | 0.02~1.19 | | | 0.37 | | | 135 | |
| | 壁 | 帯筋比 | % | 0.00~2.37 | 0.59 | 0.65 | 0.48 | 0.56 | 590 | 280 | 131 | 169 |
| | | 縦筋比 | % | 0.00~2.96 | 0.63 | 0.60 | 0.71 | 0.60 | 595 | 291 | 135 | 169 |
| | | 横筋比 | % | 0.00~1.77 | 0.62 | 0.61 | 0.61 | 0.63 | 598 | 291 | 138 | 169 |
| | | 横筋比/縦筋比 | | 0.17~5.32 | 1.04 | 1.03 | 1.05 | 1.06 | 583 | 290 | 124 | 169 |
| 載荷条件 | せん断スパン比 | | | 0.21~5.00 | 1.05 | 1.00 | 1.31 | 0.93 | 594 | 290 | 135 | 169 |
| | 軸力比 | | | -0.40~0.61 | 0.07 | 0.06 | 0.09 | 0.08 | 596 | 290 | 138 | 168 |
| | せん断応力度比 | | | 0.02~0.58 | 0.14 | 0.17 | 0.10 | 0.13 | 577 | 279 | 135 | 163 |



(a) 技術基準解説書における
 複数開口の取り扱い [7-2]



(b) RC 規準における
 縦長開口による開口低減 [7-3]

図 7.2.2 等価開口の判断の例

図 7.2.3 に各試験体の縮尺を, 図 7.2.4 に①I形断面の試験体を対象に計算した $\Sigma A_c / A_g$ (ΣA_c : 柱型の断面積, A_g : 耐力壁の全断面積) と, ②矩形断面の試験体の偏平率の分布を示す。偏平率は壁全せいを壁厚で除すことで求めた。 $\Sigma A_c / A_g$ の平均値は 0.48 であり, 柱型と壁板の断面積がほぼ等しい試験体の割合が大きい。壁端に帯筋がある試験体の偏平率は 5~27 と幅広く分布したが, 帯筋のない試験体や壁柱試験体では, 偏平率が 10 程度以下となるものが多くを占めた。

第7章 耐力壁部材

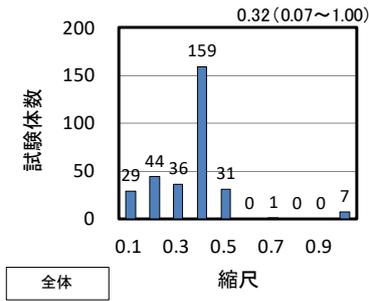


図 7.2.3 縮尺

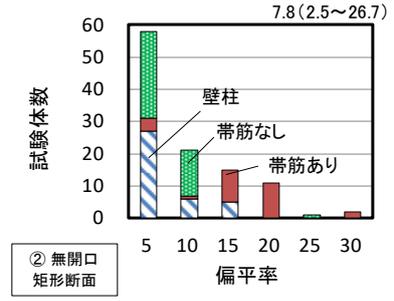
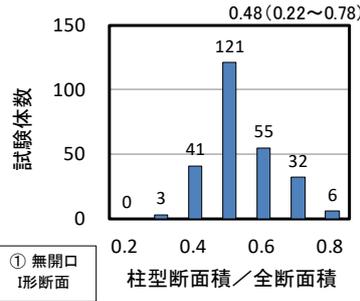


図 7.2.4 各グループの形状の特徴

図 7.2.5 にコンクリートの圧縮強度の分布を示す。本検討では、コンクリート圧縮強度が 18MPa 以上、60MPa までの試験体を対象としているが、平均値は 29MPa であり、大部分が 20~40MPa の間に分布していた。

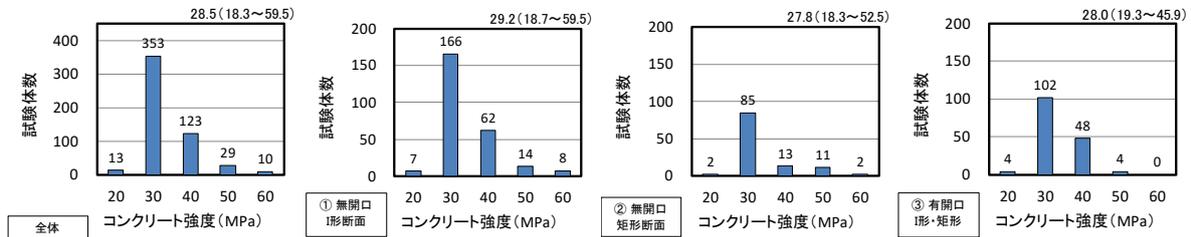


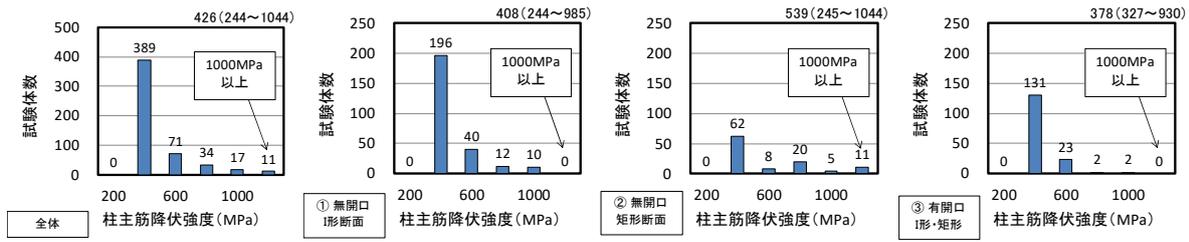
図 7.2.5 コンクリートの圧縮強度

図 7.2.6 から図 7.2.9 に鉄筋の降伏強度の分布を示す。大部分の試験体で SD490 相当以下（ここでは実強度で 600MPa 以下と仮定した）の鉄筋が利用されていた。

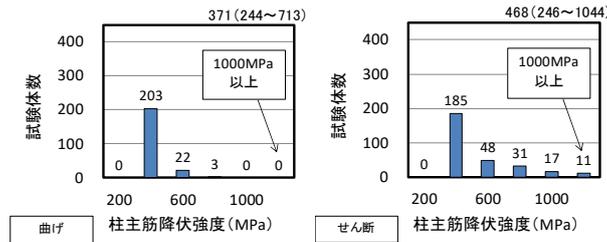
柱主筋（壁端部曲げ補強筋）では、SD490 相当以下が全体の 88%を占めるが、①I 形断面では 91%、②矩形断面では 66%と断面形状によって高強度鉄筋の比率が異なっている。破壊形式ごとに見ると、SD490 相当以下の試験体の割合が、曲げ型（曲げ破壊、曲げ降伏後のせん断破壊）では全体の 99%を占めているのに対し、せん断型では 66%となっていた。②矩形断面では①I 形断面と比較して、せん断スパン比が大きく、曲げ破壊が先行しやすい。したがって、せん断破壊型の試験体では、曲げ降伏が先行しないように、高強度鉄筋が多く用いられたものと考えられる。

柱帯筋（壁端部拘束筋）の降伏強度に関しては、SD490 相当以下の試験体の割合が全体の 92%と大部分を占めたが、SD490 相当以上の帯筋が利用された試験体のうち 83%をせん断破壊型の試験体が占めた。

壁縦筋、壁横筋に関しては、殆どの試験体で SD490 相当以下の鉄筋が用いられており、全体に占める割合はそれぞれ 94%、92%であった。

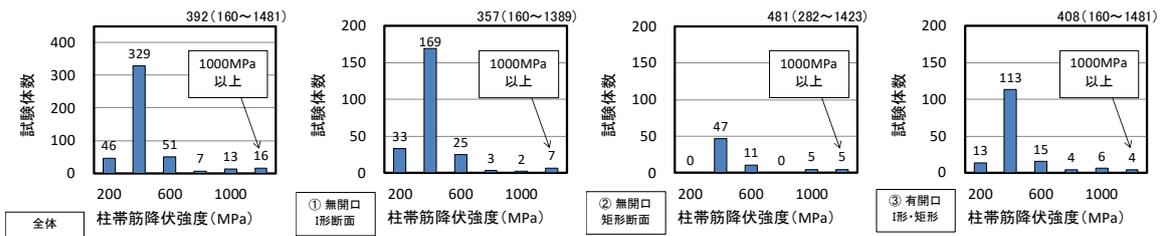


(i) 形状ごとの分類

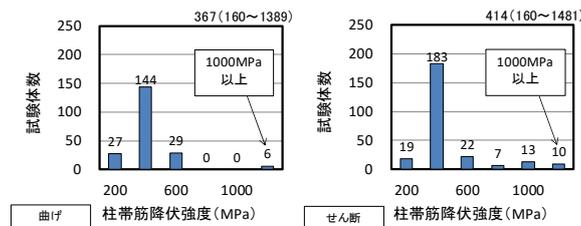


(ii) 破壊性状ごとの分類

図 7.2.6 柱主筋(壁端部曲げ補強筋)の降伏強度



(i) 形状ごとの分類



(ii) 破壊性状ごとの分類

図 7.2.7 柱帯筋(壁端部拘束筋)の降伏強度

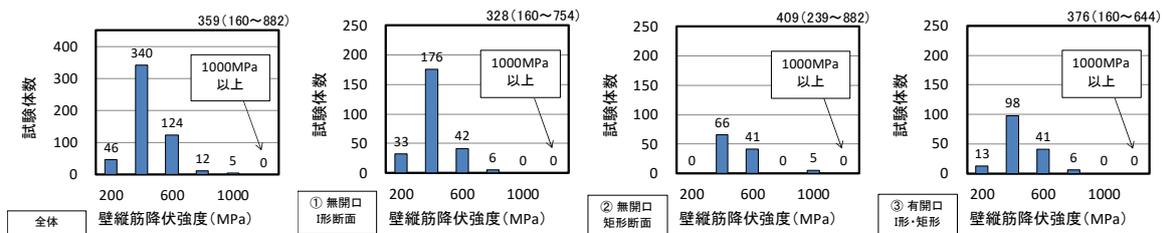


図 7.2.8 壁縦筋の降伏強度

第7章 耐力壁部材

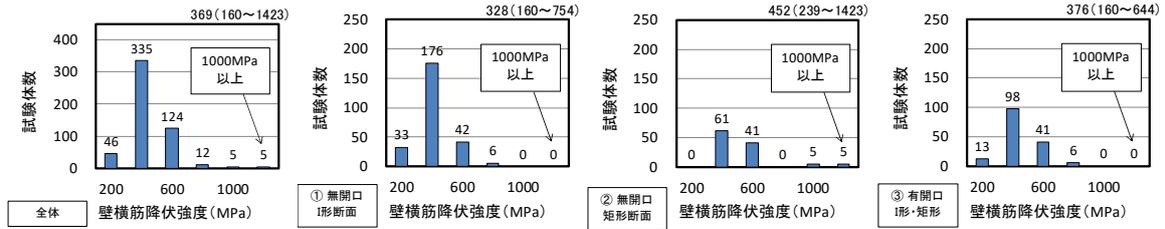


図 7.2.9 壁横筋の降伏強度

図 7.2.10 に壁内法高さ／壁の全長の分布を示す。壁内法高さ／壁の全長は、I 形断面と比べ矩形断面の試験体の方が全体的に大きくなっている。

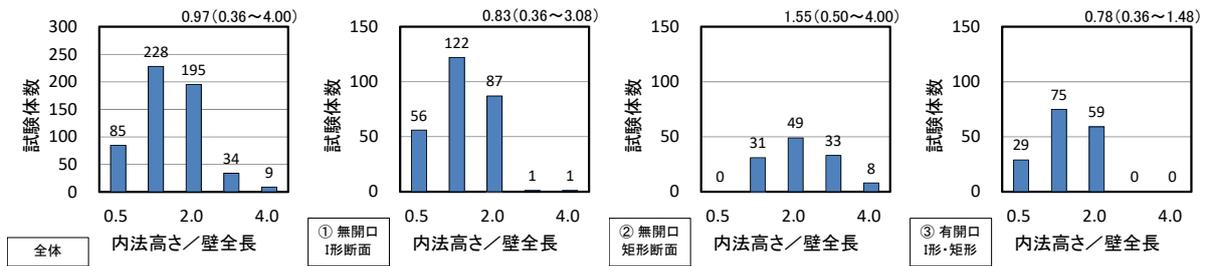


図 7.2.10 壁内法高さ／壁の全せい

図 7.2.11, 図 7.2.12 に壁縦筋比と壁横筋比の分布を示す。また, 図 7.2.13 に壁横筋比／壁縦筋比の分布を示す。壁横筋比と壁縦筋比の比率を見ると, 壁横筋比／壁縦筋比の比率が 0.75~1.25 の範囲となる試験体の割合が, ①I 形断面では 94%であるのに対し, ②矩形断面では 64%となり, ②矩形断面では壁縦筋と壁横筋の割合が異なる試験体の割合が多かった。

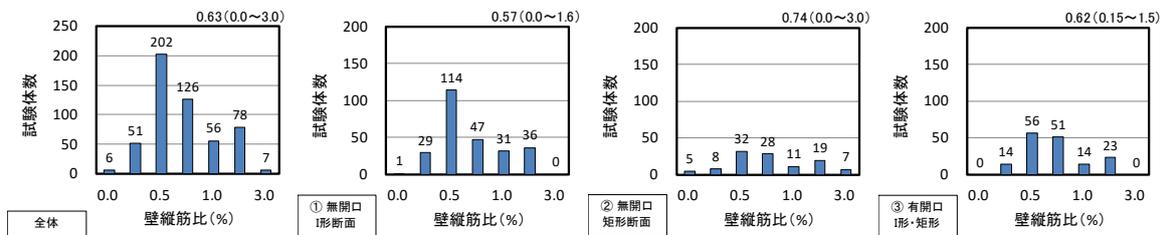


図 7.2.11 壁縦筋比

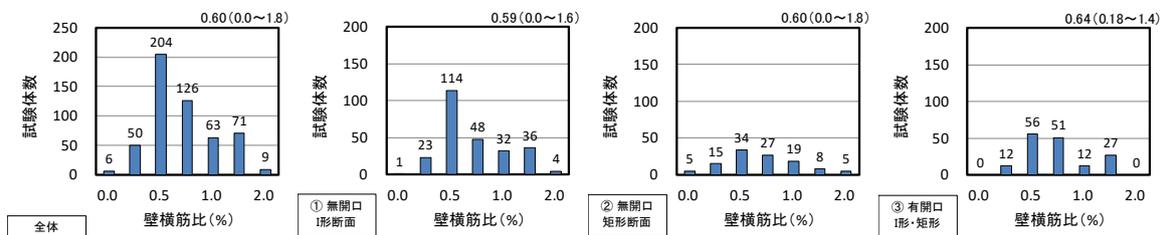


図 7.2.12 壁横筋比

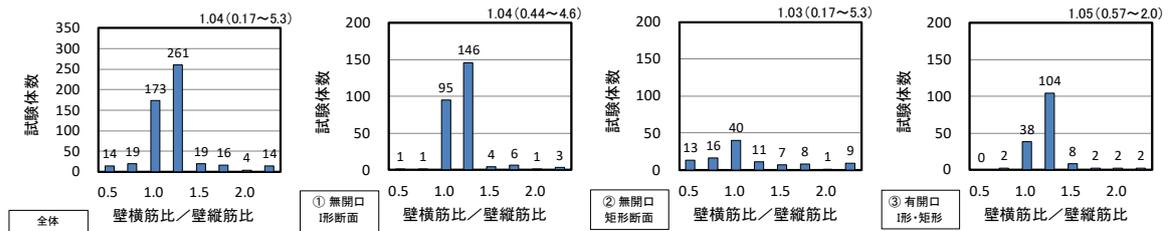


図 7.2.13 壁横筋比/壁横筋比

図 7.2.14 にせん断スパン比の分布を示す。せん断スパン比は、①I形断面では平均値が 0.99、②矩形断面では平均値が 1.2 となった。矩形断面では細長い形状の耐力壁を対象とした試験体の割合が多いと考えられる。

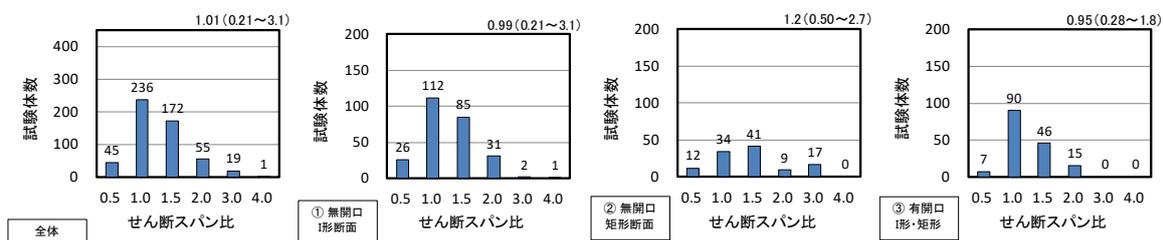


図 7.2.14 せん断スパン比

図 7.2.15 に軸力比の分布を示す。①I形断面では、軸力比が 0.20 を超える試験体は 1 体のみであるが、②矩形断面では、軸力比が 0.20 を超える試験体が 11 体有り、より高軸力下での検討が多く行われている。また、引張軸力を作用させた試験体はなかった。

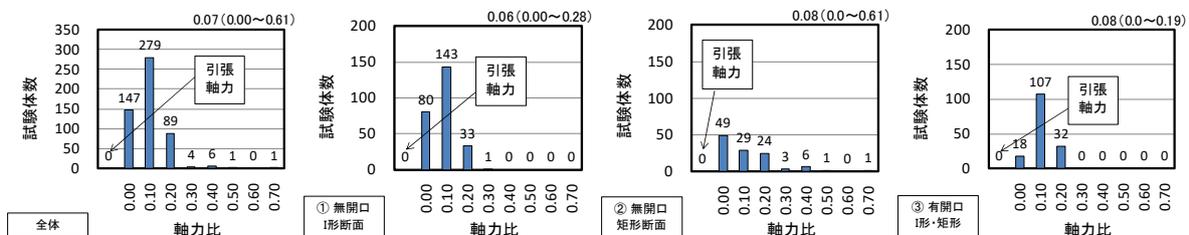


図 7.2.15 軸力比

式(7.2.1)から式(7.2.3)に 2015 年版建築物の構造関係技術基準解説書^[7-2]の手法に従って計算される等価開口周比、開口によるせん断剛性低減率、開口によるせん断強度低減率を示す。図 7.2.16(a)に示すように、等価開口周比に関しては、一枚壁として取り扱う時の目安となる 0.40 を上回る試験体が全体の 36%を占めている。図 7.2.17 に、1階に複数の開口を持つ試験体を対象に、技術基準解説書の条件(図 7.2.2(a)の $l \geq 1.5h$ を満足するものは面積等価の開口部、それ以外は包絡する開口部とみなす)に従って算定した等価開口周比と、面積等価の開口部とみなした場合の等価開口周比の比較結果を示す。開口を複数持つ試験体には、構造関係技術基準解説書の手法による等価開口周比が、単純な面積等価の手法による等価開口周比と比較して著しく大きい試験体が数体存在する。図中にこれらの試験体の開口の配置を示すが、開口が壁板の対角に配置されると、開口面積が比較的小さい場合でも、包絡による開口で等価開口周比が決まる事例があること

第7章 耐力壁部材

が分かる。このような試験体では、実験の最大耐力が過小評価される傾向にあるため、評価手法に改善の余地があると考えられる。

式(7.2.4)から式(7.2.6)に 2010 年版の鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説^[7-3] で新たに提案された投影長さ、投影高さに基づく等価開口周比、開口によるせん断剛性低減率、開口によるせん断強度低減率を示す（なお、式(7.2.1)から式(7.2.3)の構造関係技術基準解説書の評価式との対応が分かりやすいように、鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説とは異なる英文字で表記している）。図 7.2.16(b)に示すように、等価開口周比に関しては、一枚壁として取り扱う時の目安となる 0.40 を上回る試験体の割合が全体の 47%と、式(7.2.1)を使用した場合と比較してやや増加している。これは、基準となる壁長さが壁の全長に変更になったことが影響していると考えられる。ただし、図 7.2.3.18 に示すように、複数開口を持つ試験体に関しては、式(7.2.3)を使用した場合と比較して、投影長さ、投影高さを用いることで、開口が離れて配置された試験体において、開口低減率が極端に小さくなる事例が減少している。

いずれの評価式を用いた場合にも、等価開口周比の平均値が、RC 規準において耐力壁として取り扱う際の目安となる 0.4 とほぼ等しい。したがって、本検討結果には、一般的には耐力壁として取り扱われることがあまりないような大きな開口を有する試験体の実験結果が多く含まれている点に注意が必要である。

(構造関係技術基準解説書の手法)

$$r_0 = \sqrt{\frac{\sum h_0 l_0}{hl}} \quad (7.2.1)$$

$$r_1 = 1 - 1.25r_0 \quad (7.2.2)$$

$$r_2 = 1 - \max\left(r_0, \frac{l_0}{l}, \frac{h_0}{h}\right) \quad (7.2.3)$$

r_0 : 等価開口周比

r_1 : 開口によるせん断剛性低減率

r_2 : 開口によるせん断強度低減率 (今回の検討では h_0/h は考慮しない。)

l_0 : 開口の水平部の長さ

h_0 : 開口の鉛直部の高さ

h : 耐力壁の上下のはりの中心間距離
(今回の検討では、単層：壁の内法高さ、連層：壁の内法高さと枠梁せいの和とした。)

l : 耐力壁の両端の柱の中心間距離
(今回の検討では、柱型のない耐力壁の場合は、壁全長の 0.9 倍とした。)

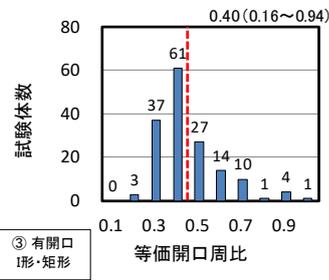
(2010 年版 RC 規準の手法)

$$r_0 = 1.1 \times \sqrt{\frac{h_{0p} l_{0p}}{hl}} \quad (7.2.4)$$

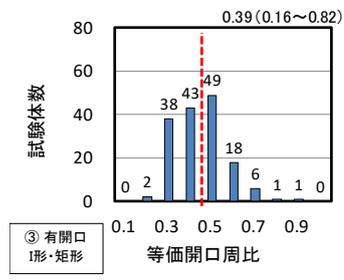
$$r_1 = 1 - 1.25 \times r_0 \quad (7.2.5)$$

$$r_2 = 1 - \max(r_0, 1.1 \times \frac{l_{op}}{l}, \frac{\sum h_o}{\sum h} \text{ or } \lambda \frac{\sum h_o}{\sum h}) \quad (7.2.6)$$

- r_0 : 等価開口周比
- r_1 : 開口によるせん断剛性低減率
- r_2 : 開口によるせん断強度低減率
(今回の検討では $\Sigma h_o / \Sigma h$ は考慮しないが、 $\lambda \Sigma h_o / \Sigma h$ は考慮する。)
- l_0 : 開口部の水平断面への投影長さの和
- h_0 : 開口部の鉛直断面への投影高さの和
- h : 当該階の壁部材の高さ
(今回の検討では、単層：壁の内法高さ、連層：壁の内法高さと同梁のせいとの和とした。)
- l : 柱を含む壁部材の全長



(a) 式(7.2.3)による等価開口周比



(b) 式(7.2.6)による等価開口周比

図 7.2.16 等価開口周比

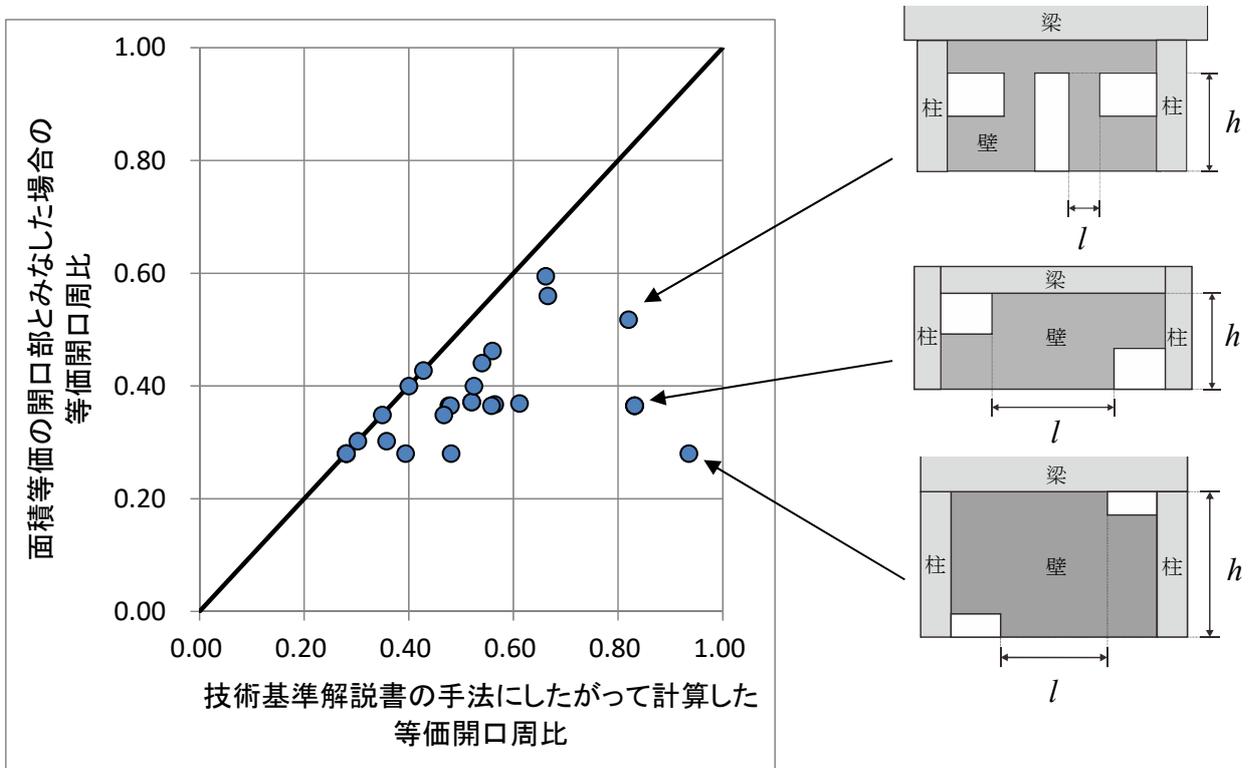


図 7.2.17 等価開口周比の比較(式(7.2.3)による技術基準解説書の手法)

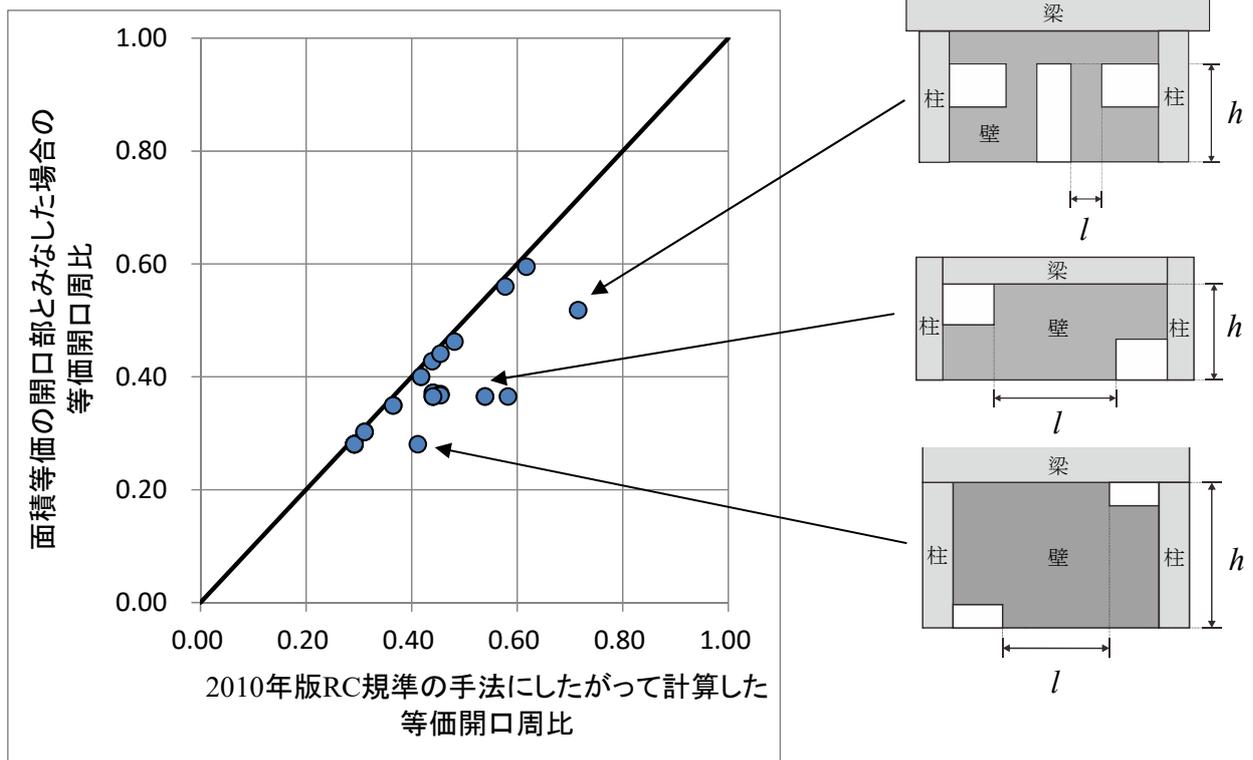


図 7.2.18 等価開口周比の比較(式(7.2.6)による RC 規準の手法)

式(7.2.6)による開口によるせん断強度の低減率が、開口長さ、開口面積、開口高さのいずれの因子で決まったかを確認するために、③有開口の 159 体の試験体を対象に計算した、各因子によるせん断強度の低減率の分布を図 7.2.19 に示す。開口長さ、開口面積、開口高さにより、開口低減率が決まった試験体の数はそれぞれ 15 体、140 体、4 体となり、開口面積によって低減率が決まった事例が全体の 9 割近くを占めている。一方、縦長開口を有する試験体でも、今回対象とした試験体では、開口高さで低減率が決まった試験体は殆どなかった。これは、試験体の頂部にせいの高い荷重梁が設けられていることが多いこと、開口長さが短い場合にはλの値が小さくなり、開口による低減が小さく抑えられることなどが考えられる。

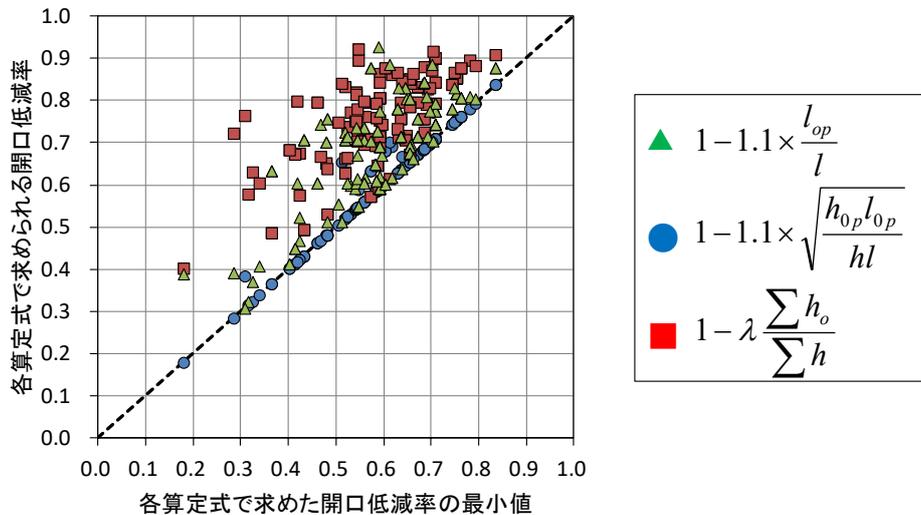


図 7.2.19 開口低減率を決定する要因(式(7.2.6)による RC 規準の手法)

図 7.2.20 にせん断応力度比の分布を示す。①I 形断面では、せん断破壊が起こらない場合に部材種別 WA の評価基準^[7-2]となる 0.20 を下回る試験体が全体の 80%，②矩形断面では、せん断破壊が起こらない場合に WA の評価基準となる 0.10 を下回る試験体が全体の 50%となった。

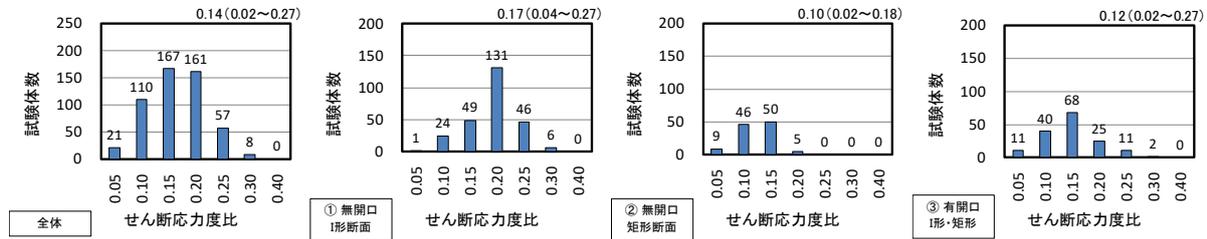


図 7.2.20 せん断応力度比

図 7.2.21 に破壊形式ごとの試験体数を示す。① I 形断面では、曲げ破壊が 43 体 (17%)，曲げせん断破壊 (曲げ降伏後のせん断破壊含む) が 97 体 (38%)，せん断破壊が 118 体 (46%)，付着割裂破壊が 0 体 (0%)，その他が 0 体 (0%) となった (正方向載荷時と負方向載荷時の破壊形式が異なる場合には，正方向載荷時の破壊形式を採用した)。②矩形断面では，曲げ破壊が 35 体 (31%)，曲げせん断破壊が 22 体 (19%)，せん断破壊型が 55 体 (49%)，付着割裂破壊が 1 体 (1%)，その他が 0 体 (0%) となった。③有開口では，曲げ破壊が 22 体 (14%)，曲げせん断破壊 (曲げ降伏後のせん断破壊含む) が 16 体 (10%)，せん断破壊が 119 体 (75%)，付着割裂破壊が 0 体 (0%)，その他が 1 体 (1%) となった。①，②の無開口の試験体では，曲げ破壊，曲げせん断破壊の試験体とせん断破壊の試験体が隔たりなくあるが，③有開口では，曲げ破壊，曲げせん断破壊の試験体が少なく，大部分がせん断破壊型となっている。但し，これらの試験体の中には，試験体の実際の損傷性状からではなく，変形性能から破壊形式を判別した試験体も含まれており，分類の方法に関しては今後の検証が必要である。特に大開口を有する耐力壁では，一枚壁としての挙動よりも，骨組としての挙動が支配的になるため，曲げ，せん断と破壊形式を単純に分類することは難しいと考えられる。

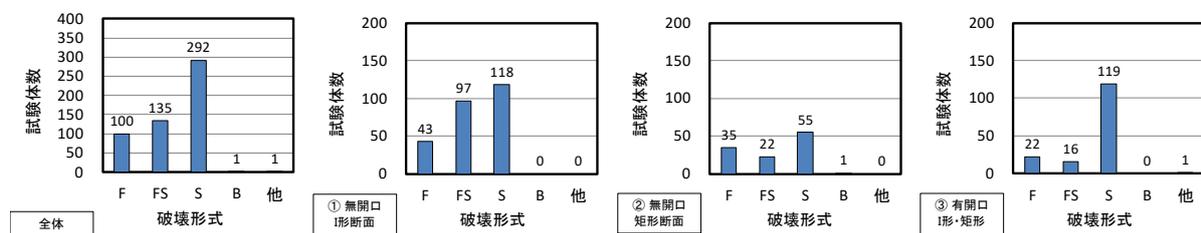


図 7.2.21 破壊形式ごとの試験体数

7.3 収集データの信頼度分析

収集した実験データの材料特性については，コンクリートの圧縮強度や柱主筋 (端部曲げ補強筋)，壁筋に関しては，殆どの試験体で強度の記載があったが，側柱 (壁端部拘束域) のせん断補強筋に関しては，強度の記載がない試験体が 5 体あった。また，一部の試験体で，掲載されてい

第7章 耐力壁部材

る論文によって、材料強度が異なる試験体が7体あった。この場合、より信頼度の高いと思われる文献の値を参照した。なお、掲載されている強度や剛性の数値、単位が明らかにおかしい試験体が数体あった。桁数の間違いなど誤りが明らかな場合には、修正した値を採用した。

実験データの試験体形状、配筋については、縮尺の記述がない試験体が222体(42%)あった。側柱主筋(壁端拘束域の曲げ補強筋)の配筋位置に関しては、論文中に数値が記載されていた試験体は114体(22%)、論文中の配筋図から配筋位置が推定できた試験体が328体(62%)、配筋位置の推定ができなかった試験体は78体(15%)となった。また、側柱のせん断補強筋(壁端拘束域の横拘束域)の配筋位置に関しては、論文中に数値が記載されていた試験体は26体(5%)のみと少なく、論文中の配筋図から配筋位置が推定できた試験体が415体(78%)、配筋位置の推定ができなかった試験体は88体(17%)となった。これらの情報は、断面解析における主筋位置やコアコンクリートの拘束領域の把握や、トラスアーチ式によるせん断終局強度の計算における有効壁長さの評価など、詳細な検討を行う際に必要不可欠な情報であり、今後論文への記載を是非お願いしたい項目である。なお、有開口試験体に関しては、開口の寸法や位置の記述がないものもあった。また、開口補強筋については、配筋位置が記載されていないものが多く、詳細なデータの収集が困難であった。

実験データの載荷、計測方法については、水平加力高さについての記述がない試験体があった。この場合には、同時期に同研究グループで行われた実験の論文を参考に類推した。載荷図がある場合には、図面から水平加力高さを類推した。また、水平加力高さについての記述がない試験体のうち、せん断スパン比の記載があった試験体に関しては、せん断スパン比が耐力壁の全長から求められたものか、側柱中心間距離から求められたものかを、同研究グループで行われた他の実験の論文を参考に類推した。類推が不可能な場合には、データは収集したが、部材性能の検証対象からは除外した。また、水平変位の計測高さについての記述がない試験体についても、同時期に同研究グループで行われた実験の論文を参考に類推した。計測図がある場合には、図面から水平加力高さを類推し、計測図がない場合には、水平加力高さを水平変位の計測高さとして仮定した。逆対称載荷の試験体は、試験区間を計測高さとした。実験データの結果については、最大耐力の記載がない試験体は15体(3%)のみと少なかったが、最大耐力時の変形角に関しては、記載がない試験体が229体(43%)と半数に近い割合となった。

7.4 実験値の定義

以下に実験データの収集および判別方法を示す。

7.4.1 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、論文中に数値の記載があるもののみ収集した。

7.4.2 曲げひび割れ強度

水平荷重－変形角関係上の曲げひび割れ点の強度であり、論文中に数値の記載があるもののみ収集した。なお、曲げひび割れ時の変形角に関して、〇〇%サイクル時と記載されていた場合には、データの収集は行ったが、計算値との比較は行わなかった。

7.4.3 セン断ひび割れ強度

水平荷重－変形角関係上のせん断ひび割れ点の強度であり，論文中に数値の記載があるもののみ収集した。なお，せん断ひび割れ時の変形角に関して，〇〇%サイクル時と記載されていた場合には，データの収集は行ったが，計算値との比較は行わなかった。

7.4.4 曲げ終局強度

水平荷重－変形角関係上の最大耐力点であり，曲げ破壊もしくは曲げ降伏後のせん断破壊と判別された試験体のうち，論文中に数値の記載があるもののみ収集した。

7.4.5 セン断終局強度

水平荷重－変形角関係上の最大耐力点であり，せん断破壊と判別された試験体のうち，論文中に数値の記載があるもののみ収集した。なお，せん断終局強度時の変形角に関して，〇〇%サイクル時と記載されていた場合には，データの収集は行ったが，計算値との比較は行わなかった。

7.4.6 曲げ降伏強度

水平荷重－変形角関係上で側柱主筋もしくは壁端の曲げ補強筋が降伏した点であり，論文中に数値の記載があるもののみ収集した。降伏の判定は，主に鉄筋に添付したひずみゲージの計測値によって行われている。また，曲げ降伏時の変形角に関して，〇〇%サイクル時と記載されていた場合には，データの収集は行ったが，計算値との比較は行わなかった。

7.4.7 等価粘性減衰定数

国土交通省建築基準整備促進事業で載荷実験が実施された試験体のうち，水平荷重－変形角関係のデジタルデータの提供を受けた曲げ破壊もしくは曲げ降伏後のせん断破壊と判別された試験体を対象に等価粘性減衰定数の計算を行った。等価粘性減衰定数には，定常サイクルとなる第二サイクルの値を採用し，塑性率 1.0 の基準となる変形角は，今回の検討では，実験の水平荷重が最大耐力の 90%に初めて到達した時の変形角とした。

7.4.8 限界変形角

論文の紙面に水平荷重－変形角関係の記載があった試験体を対象に限界変形角の読み取りを行った。限界変形角は，荷重変形関係における最大耐力以降の水平荷重が，最大耐力の 80%まで低下した点の変形角と定義し，正負各方向の最小値を用いた。

7.5 評価式とその精度

7.5.1 はじめに

本節では，データベースで収集した試験体の剛性や強度，変形を，2015年版建築物の構造関係技術基準解説書（以後，技術基準解説書）^[7-2]や鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説^[7-3, 7-4]（以後，RC規準），鉄筋コンクリート造建物の靱性保証型耐震設計指針・同解説^[7-5]（以後，靱性指針），鉄筋コンクリート造建物の耐震性能評価指針（案）・同解説^[7-6]（以後，性能指針）などに記載された算定式による計算値と比較し，既往の算定式の予測精度を検証する。

本検討では，曲げ変形とせん断変形を足し合わせることで算定した。曲げ変形は，図 7.5.1 に示すように，実験における水平変位の計測範囲を高さ方向に 50 分割し，分割した各要素に作用する

第7章 耐力壁部材

モーメントに対応した曲率を積分することで算定した。また、せん断変形は、計測範囲内にある各階のせん断ひずみに階高を掛けたものを足し合わせることで求めた。

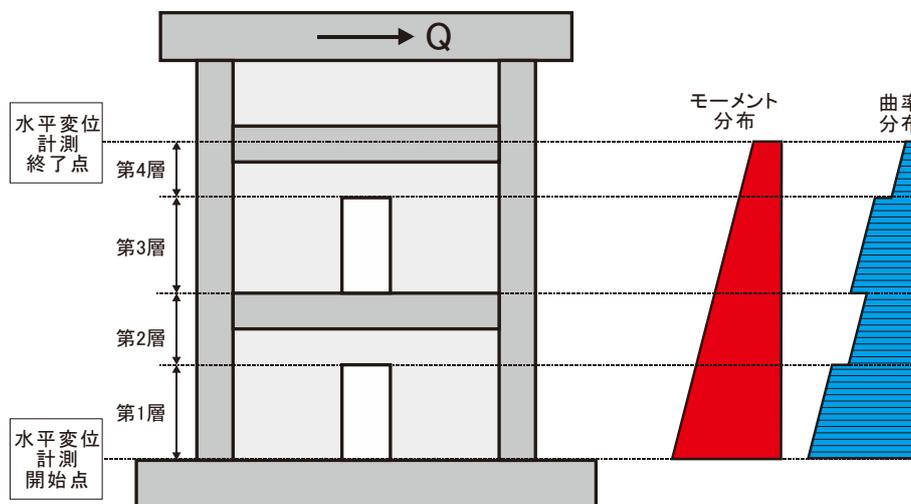


図 7.5.1 曲げ変形の算定

各強度時に対応する変形角を算定するためには、各断面における曲率とせん断ひずみを算定する必要がある。そこで、今回の検討では、以下に示す3通りの方法で、モーメントー曲率関係、せん断応力ーせん断ひずみ関係を算定し、変形角の評価を行った。なお、開口による強度および剛性の低下率には、特に断りがない場合、式(7.2.4)～式(7.2.6)に示した2010年版RC規準の計算式を用いた。

評価手法 A：性能指針に記載された精算法に従って計算した。

<曲げ>

第一折れ点：曲げひび割れ点

(モーメント) 式(7.5.15) を用いて計算する。

(曲率) 7.5.2 項の弾性剛性を用いて計算する。

第二折れ点：曲げ降伏点

(モーメント) 断面解析で計算する（側柱の全主筋と壁縦筋の 2/3 が降伏する時のモーメント）。

(曲率) 断面解析で計算する（側柱の全主筋が降伏する時のモーメントと、側柱の全主筋と壁縦筋の 2/3 が降伏する時のモーメントの平均値とする）。

第三折れ点：曲げ終局点

(モーメント) 断面解析で計算する（計算で得られた最大モーメントとする）。

(曲率) 式(7.5.49)を用いて計算する。

<せん断>

第一折れ点：せん断ひび割れ点（曲げせん断ひび割れ考慮）

(せん断力) 曲げひび割れ強度時のせん断力（階中央高さ）と、式(7.5.18) によるせん断ひび割れ強度の小さい方の値とする。

(せん断ひずみ) 7.5.2 項の弾性剛性を用いて計算する。

第二折れ点：曲げ降伏点，せん断強度点

(せん断力) 曲げ降伏強度時のせん断力と，式(7.5.32) によるトラスアーチ機構に基づくせん断終局強度の平均式の小さい方の値とする。

(せん断ひずみ) 式(7.5.35) によるトラス剛性を用いて計算する。

第三折れ点：曲げ降伏後のせん断破壊点

(せん断力) せん断終局強度と曲げ終局強度時のせん断力の関係から計算する。

(せん断ひずみ) 式(7.5.55)によるトラス剛性を用いて計算する。

なお，限界変形角は，7.5.9 項の評価式 I に従って計算する。

評価手法 B：性能指針に記載された略算法に従って計算した。

<曲げ>

第一折れ点：曲げひび割れ点

(モーメント) 式(7.5.15) を用いて計算する。

(曲率) 7.5.2 項の弾性剛性を用いて計算する。

第二折れ点：曲げ降伏点

(モーメント) 断面解析で計算する（側柱の全主筋と壁縦筋の 2/3 が降伏する時のモーメント）。

(曲率) 断面解析で計算する（側柱の全主筋が降伏する時のモーメントと，側柱の全主筋と壁縦筋の 2/3 が降伏する時のモーメントの平均値とする）。

第三折れ点：曲げ終局点

(モーメント) 断面解析で計算する（計算で得られた最大モーメントとする）。

(曲率) 式(7.5.49)を用いて計算する。

<せん断>

第一折れ点：せん断ひび割れ点（曲げせん断ひび割れ考慮）

(せん断力) 曲げひび割れ強度時のせん断力（階中央高さ）と，式(7.5.18)によるせん断ひび割れ強度の小さい方の値とする。

(せん断ひずみ) 7.5.2 項の弾性剛性を用いて計算する。

第二折れ点：せん断強度点

(せん断力) 式(7.5.32) によるトラスアーチ機構に基づくせん断終局強度の平均式とする。

(せん断ひずみ) 壁板に開口がない場合は一律に 0.004rad.とする。壁板に開口がある場合は開口による剛性と強度の低減率を用いてせん断ひずみを計算する（図 7.5.16 参照）。

なお，限界変形角は，7.5.9 項の評価式 II に従って計算する。

評価手法 C：技術基準解説書の記述を参考に計算した。

<曲げ>

第7章 耐力壁部材

第一折れ点：曲げひび割れ点

(モーメント) 式(7.5.15) を用いて計算する。

(曲率) 7.5.2 項の弾性剛性を用いて計算する。

第二折れ点：曲げ降伏点

(モーメント) 式(7.5.26) を用いて計算する。

(曲率) 式(7.5.42)を用いて計算する。

<せん断>

第一折れ点：せん断ひび割れ点

(せん断力) 式(7.5.18)を用いて計算する。

(せん断ひずみ) 7.5.2 項の弾性剛性を用いて計算する。

第二折れ点：せん断強度点

(せん断力) 式(7.5.30) の広沢 mean 式を用いて計算する。

(せん断ひずみ) 式(7.5.41) のせん断破壊時の剛性低下率を用いて計算する。

評価手法 A, B では、曲げ降伏強度点や曲げ終局強度を算定するために、断面解析を行う必要がある。以下に断面解析の概要を示す。図 7.5.2 に示すように、せいの方向に、側柱（もしくは壁端拘束域）を 10 分割、壁板を 80 分割、断面全体では計 100 分割して、断面解析を行った。また、側柱では、カバーコンクリートとコアコンクリートを区別し、異なる応力-ひずみ関係を与えた。側柱主筋は論文から得られた情報を基に断面内の位置を決定し、壁縦筋は、壁板内に均等に分布されているものと仮定して計算を行った。開口補強筋の寄与分は無視して計算した。コンクリートの応力-ひずみ関係には、文献 [7-1] に記載された崎野・孫モデルを用いた。ただし、カバーコンクリートに関しては、圧縮ひずみが 0.004 を超えると負担応力がゼロとなるようにした。また、コンクリートの引張応力の負担は考慮していない。鉄筋の応力-ひずみ関係はバイリニアでモデル化し、降伏後の勾配の傾きはゼロとした。

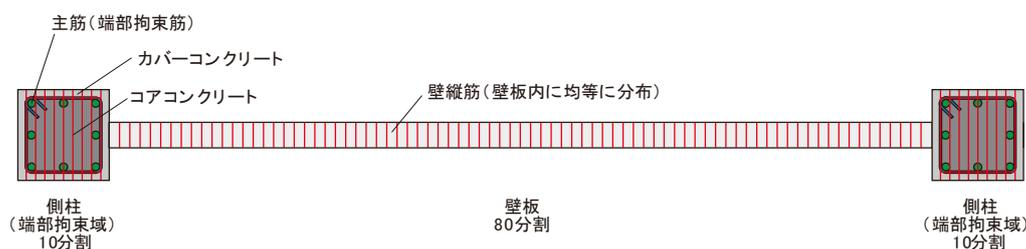


図 7.5.2 断面解析

7.5.2 弾性剛性

曲げ弾性剛性とせん断弾性剛性から各試験体の弾性剛性を算定した。曲げ弾性剛性に関しては、断面二次モーメントの算定時には、柱主筋、壁縦筋の寄与分を考慮した。また、有開口耐力壁では、開口の影響を考慮し、断面全体で平面保持が成立するものと仮定して、断面二次モーメントを計算した。

■弾性剛性評価式■

$$K = \frac{K_f \cdot K_s}{K_f + K_s} \quad (7.5.1)$$

- K : 耐力壁の弾性剛性
 K_f : 耐力壁の曲げ弾性剛性
 K_s : 耐力壁のせん断弾性剛性

$$I_w = (1 + (n_c - 1)p_g)I_c + (1 + (n_p - 1)p_{wv})I_p - (1 + (n_p - 1)p_{wv})I_o \quad (7.5.2)$$

$$I_c = 2 \times \frac{1}{12} bD^3 + A_c(L_{c1} - L_e)^2 + A_c(L_{c2} - L_e)^2 \quad (7.5.3)$$

$$I_p = \frac{1}{12} t_w l_w^3 + A_w(L_w - L_e)^2 \quad (7.5.4)$$

$$I_o = \sum \left(\frac{1}{12} t_w l_o^3 + A_o(L_o - L_e)^2 \right) \quad (7.5.5)$$

$$L_e = 0.5L - \frac{A_c(L_{c1} + L_{c2})(1 + (n_c - 1)p_g) + A_w L_w(1 + (n_p - 1)p_{wv}) - \sum A_o L_o(1 + (n_p - 1)p_{wv})}{2 \times A_c(1 + (n_c - 1)p_g) + A_w(1 + (n_p - 1)p_{wv}) - \sum A_o(1 + (n_p - 1)p_{wv})} \quad (7.5.6)$$

- I_w : 鉄筋の影響を考慮した耐力壁の断面二次モーメント
 I_c, I_p, I_o : 側柱（端部拘束域），壁板，開口部の断面二次モーメント
 n_c, n_p : 側柱（端部拘束域），壁板のヤング係数比
 p_g, p_{wv} : 側柱（端部拘束域）の主筋比，壁板の縦筋比
 b, D : 側柱（端部拘束域）の幅，せい
 t_w, l_w : 壁板の壁厚，せい（内法長さ）
 l_o, L, L_e : 開口部の長さ，耐力壁の全長，耐力壁の偏心距離
 L_{c1}, L_{c2} : 圧縮縁から圧縮側柱，引張側柱の図心までの水平距離
 L_w, L_o : 圧縮縁から壁板，開口部の図心までの水平距離
 A_c, A_w, A_o : 側柱，壁板，開口部の断面積

$$K_s = r_1 \times \frac{G_c A_{all}}{\kappa_e} \quad (7.5.7)$$

$$E_c = 33500 \times \left(\frac{\gamma}{24} \right)^2 \times \left(\frac{\sigma_B}{60} \right)^{1/3} \quad (7.5.8)$$

$$G_c = \frac{E_c}{2(1+\nu)} \quad (7.5.9)$$

- E_c : コンクリートのヤング係数 (MPa)
- γ : コンクリートの単位容積重量 (=23kN/m³)
- σ_B : コンクリートの圧縮強度 (MPa)
- G_c : コンクリートのせん断弾性係数 (MPa)
- ν : コンクリートのポアソン比 (=1/6)

■形状係数の評価式 I ■

$$\kappa_e = \frac{72(1+2\alpha\beta)}{\{1+2\alpha\beta^3+6\alpha\beta(1+\beta)^2\}^2} \left\{ \frac{8}{15} \alpha \left(\beta + \frac{1}{2} \right)^5 - \frac{1}{2} \alpha (1-\alpha) \left(\beta + \frac{1}{2} \right)^4 + \frac{1}{4} \alpha (1-\alpha) \left(\beta + \frac{1}{2} \right)^2 + \frac{1}{4} (1-\alpha) \left(\frac{1}{15} - \frac{1}{8} \alpha \right) \right\} \quad (7.5.10)$$

$$\alpha = \frac{b}{t_w} \quad (7.5.11)$$

$$\beta = \frac{D}{l_w'} \quad (7.5.12)$$

- A_{all} : 耐力壁の全断面積
- κ_e : 耐力壁のエネルギー法に基づく形状係数
- b, D : 耐力壁の側柱の幅, せい
- t_w : 耐力壁の壁厚
- l_w' : 耐力壁の内法長さ

■形状係数の評価式 II ■

$$\kappa_e = \frac{13}{15} \eta + \frac{1}{3} \quad (7.5.13)$$

$$\eta = \frac{A_{all}}{t_w l_{aw}} \leq 2.2 \quad (7.5.14)$$

- t_w : 壁厚
- l_{aw} : 壁全長
- A_{all} : 両側柱付き無開口耐力壁の全断面積

表 7.5.1(a)に、評価式 I の形状係数を用いて、同じ階に複数の開口を持つ試験体のせん断剛性低下率について検証した結果を示す。試験体数が 5 体と少ないが、式(7.2.2)の技術基準解説書のせん断剛性低下率を用いた場合より、式(7.2.5) の RC 規準のせん断剛性低下率を用いた方が、変動係数は良好である。したがって、以降の検討では、特に断りがない場合、式(7.2.5)を用いた場合の結

果を示す。図 7.5.3(a), 表 7.5.1(b)に評価式 I の形状係数を用いた時の弾性剛性の実験値と計算値の比較を示す。多くの試験体で、実験値が計算値を下回っており、乾燥収縮による初期ひび割れ等によって、载荷開始時に剛性低下が生じていることなどが原因として考えられる。また、参考として、表 7.5.1(c)に文献[7-7]で提案された形状係数(評価式 II)を用いた場合の結果も示す。図 7.5.3(b)は評価式 I と評価式 II の形状係数の関係を示している。略算式である評価式 II は、理論式である評価式 I と一部の試験体でやや対応が悪いが、他の試験体では良く一致している。対応が悪い試験体では、 η の値が制限値である 2.2 を超えており、柱幅と比べて壁厚が小さかった ($\alpha=5.0 \sim 6.0$, $\beta=0.21 \sim 0.25$)。

表 7.5.1 弾性剛性の実験値と計算値の比較

(a) 複数開口試験体(評価式 I)

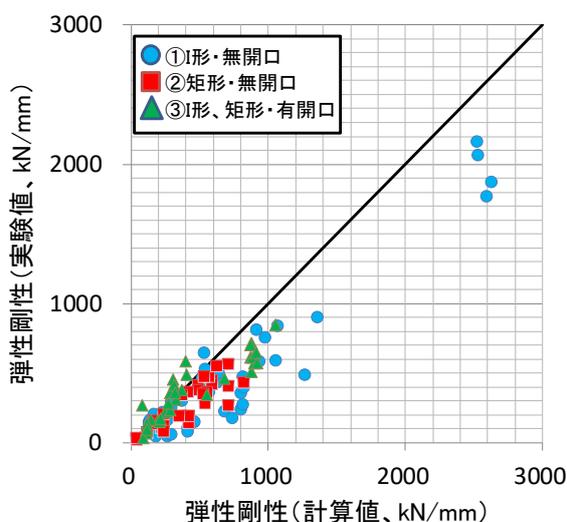
| | | 式(7.2.2) 技術基準解説書 | 式(7.2.5) RC規準 |
|------------|------|------------------|---------------|
| 試験体数 | | 5 | 5 |
| 実験値 計算値 | 平均値 | 1.13 | 0.88 |
| | 標準偏差 | 0.64 | 0.29 |
| | 変動係数 | 0.56 | 0.33 |

(b) 評価式 I

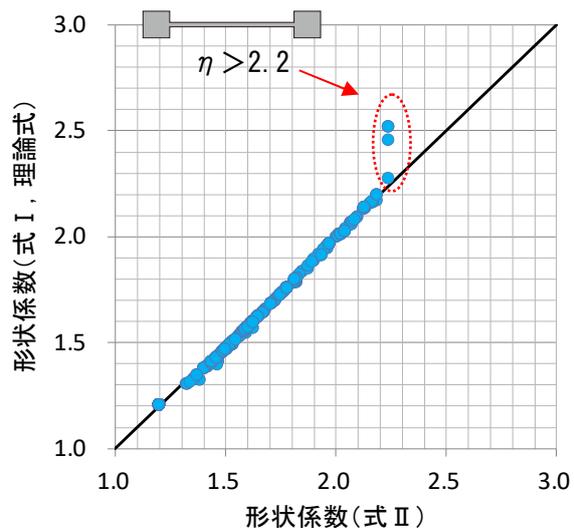
| | | ① I形 無開口 | ② 矩形 無開口 | ①+② | ③ I形、矩形 有開口 | ①+②+③ |
|------------|------|-------------|-------------|------|----------------|-------|
| 試験体数 | | 51 | 31 | 82 | 33 | 115 |
| 実験値 計算値 | 平均値 | 0.67 | 0.63 | 0.66 | 0.89 | 0.72 |
| | 標準偏差 | 0.27 | 0.19 | 0.24 | 0.26 | 0.27 |
| | 変動係数 | 0.40 | 0.31 | 0.37 | 0.29 | 0.37 |

(c) 評価式 II

| | | ① I形 無開口 | ② 矩形 無開口 | ①+② | ③ I形、矩形 有開口 | ①+②+③ |
|------------|------|-------------|-------------|------|----------------|-------|
| 試験体数 | | 51 | 31 | 82 | 33 | 115 |
| 実験値 計算値 | 平均値 | 0.68 | 0.63 | 0.66 | 0.90 | 0.73 |
| | 標準偏差 | 0.27 | 0.19 | 0.24 | 0.26 | 0.27 |
| | 変動係数 | 0.40 | 0.31 | 0.37 | 0.29 | 0.37 |



(a) 実験値と計算値の比較(評価式 I)



(b) 評価式 I と評価式 II の精度の比較

図 7.5.3 弾性剛性の比較

7.5.3 曲げひび割れ強度

性能指針に記載された評価式に従って曲げひび割れ強度を算定する。なお、評価式 I に関しては、有開口試験体への適用を考慮し、開口を考慮した断面係数 Z_e の計算を行い、材軸 ($0.5L$) と式(7.5.6)で表される図心 L_e のずれによって生じる偏心モーメントを考慮できるように、式(7.5.15)に示す形に評価式を変形して計算を行った。開口を考慮することで断面係数は小さくなるが、開口がある部分では、断面積の減少により、軸方向応力度が大きくなるため、無開口で考えた場合よりも、曲げひび割れ強度が高くなる場合もある。なお、開口がある試験体では、曲げひび割れの発生位置は、各断面に作用するモーメントと曲げひび割れ強度の関係によって決まるため、必ずしも最大モーメントが作用する位置で最初に曲げひび割れが生じる訳ではない。したがって、実験値と解析値の比較は、曲げひび割れ強度時のせん断力 Q_{cr} で行うこととした。また、評価式 II に関しては、開口の影響のない無開口試験体のみを対象とした。

■曲げひび割れ強度評価式 I ■

$$M_{cr} = (\sigma_t + \sigma_o)Z_e + (0.5L - L_e)N \quad (7.5.15)$$

$$Z_e = I_w / (L - L_e), \quad I_w / L_e \quad (7.5.16)$$

■曲げひび割れ強度評価式 II ■

$$M_{cr} = \sigma_t Z_e + NL / 6 \quad (7.5.17)$$

- M_{cr} : 耐力壁の曲げひび割れ強度 (N・mm)
- σ_o : 全断面積に対する軸方向応力度 (MPa)
- σ_t : コンクリートの曲げ引張強度 ($= 0.56\sqrt{\sigma_B}$, MPa)
- Z_e : 鉄筋を考慮した断面係数 (mm³)
- N : 試験体に作用する軸力 (N)
- σ_B : コンクリートの圧縮強度 (MPa)
- I_w : 鉄筋を考慮した耐力壁の断面二次モーメント (mm⁴) , 式(7.5.2)で算定する。
- L : 耐力壁の全長 (mm)
- L_e : 耐力壁の偏心距離 (mm) , 式(7.5.6)で算定する。

図 7.5.4, 表 7.5.2 に各試験体の曲げひび割れ強度時のせん断力の実験値と計算値の比較を示す。実験値のばらつきが大きいため、実験値および計算値のいずれも正負の平均値を用いた。また、実験値に関しては、正負どちらかの値のみが記載されている場合は、その値を採用した。評価式 I に関しては、無開口の試験体では、変動係数は 0.46 とばらつきが大きいものの、平均値は 0.88 と精度良く予測できている。一方、有開口の試験体については、試験体数が 23 体と少ないこともあるが、殆どの場合で実験値は計算値を下回った。開口が大きくなるにつれ、一枚の壁板として

の挙動が弱まり、断面全体の平面保持仮定が成立しなくなることが、実験値／計算値の平均値が小さくなったことの一因であると考えられる。

また、評価式Ⅱに関しては、評価式Ⅰとは異なり、軸力の寄与分を考慮する際に、矩形断面を想定した略算を行っていること、鉄筋を考慮しない断面係数を用いることにより、評価式Ⅰよりも曲げひび割れ強度を低く評価する傾向がある。その結果、無開口の試験体に対する平均値は0.95と評価式Ⅰよりも大きい値を示した。

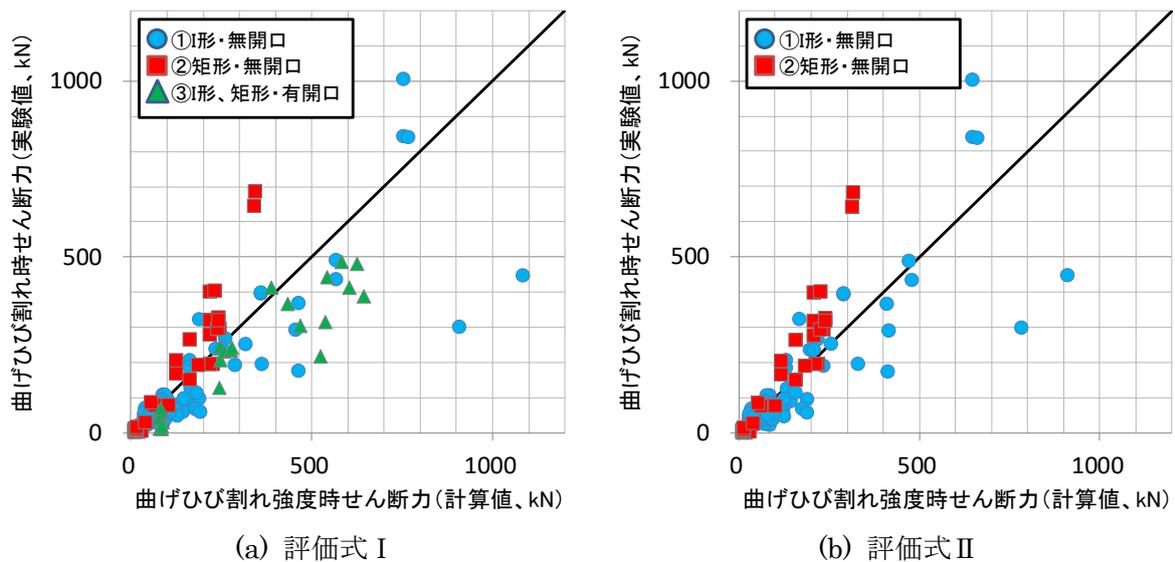


図 7.5.4 曲げひび割れ強度時せん断力の実験値と計算値の比較

表 7.5.2 曲げひび割れ強度の実験値と計算値の比較

(a) 評価式Ⅰ

| | | ① I形・無開口 | ② 矩形・無開口 | ①+② | ③ I形、矩形・有開口 | ①+②+③ |
|------------|------|----------|----------|------|-------------|-------|
| 試験体数 | | 76 | 48 | 124 | 23 | 147 |
| 実験値 計算値 | 平均値 | 0.83 | 0.96 | 0.88 | 0.65 | 0.85 |
| | 標準偏差 | 0.35 | 0.48 | 0.41 | 0.27 | 0.40 |
| | 変動係数 | 0.43 | 0.50 | 0.46 | 0.41 | 0.47 |

(b) 評価式Ⅱ

| | | ① I形・無開口 | ② 矩形・無開口 | ①+② | ③ I形、矩形・有開口 | ①+②+③ |
|------------|------|----------|----------|------|-------------|-------|
| 試験体数 | | 76 | 48 | 124 | - | - |
| 実験値 計算値 | 平均値 | 0.93 | 0.99 | 0.95 | - | - |
| | 標準偏差 | 0.42 | 0.51 | 0.45 | - | - |
| | 変動係数 | 0.45 | 0.51 | 0.48 | - | - |

図 7.5.5(a)、表 7.5.3 に曲げひび割れ強度時変形角の実験値と計算値の比較を示す。曲げひび割れ強度時の変形角については、実験値および計算値とも正負の平均値を用いた。また、実験値に関しては、正負どちらかの値のみが記載されている場合は、その値を採用した。変形角の計算値は、7.5.1 項の冒頭に示した評価手法 A に従って計算し、曲げひび割れ強度には評価式Ⅰを用いた。

実験値と計算値を比較すると、ばらつきが非常に大きく、両者の関係性を読み取ることは難しい。そこで、図 7.5.5(b)に、曲げひび割れ強度と曲げひび割れ強度時の変形角の予測精度の関係を

示す。曲げひび割れ強度の実験値が計算値を上回る領域 ($Y \geq 1.0$) では、曲げひび割れ強度時の変形角の実験値が計算値よりも大きく評価されている試験体が多い。一方、曲げひび割れ強度の実験値が計算値を下回る領域 ($Y < 1.0$) では、開口が設けられた試験体を中心に、曲げひび割れ強度時の変形角の実験値が計算値よりも小さく評価される傾向が見られた。曲げひび割れ強度の予測精度の高い $Y=1.0$ 付近では、曲げひび割れ強度時の変形角の予測精度が比較的良好な試験体も見られることから、曲げひび割れ強度時の変形角の予測精度が、曲げひび割れ強度の予測精度に依存していることが分かった。また、図中では、計算上、せん断ひび割れが曲げひび割れに先行する試験体を区別して記載している。せん断ひび割れが曲げひび割れに先行する試験体では、曲げひび割れ強度時の変形角の評価精度のばらつきが特に大きくなっている。

表 7.5.3 曲げひび割れ強度時変形角の実験値と計算値の比較

| | | ① I形・無開口 | ② 矩形・無開口 | ①+② | ③ I形、矩形・有開口 | ①+②+③ |
|------------|------|----------|----------|------|-------------|-------|
| 試験体数 | | 39 | 31 | 70 | 12 | 82 |
| 実験値 計算値 | 平均値 | 1.98 | 2.32 | 2.13 | 0.63 | 1.91 |
| | 標準偏差 | 2.04 | 1.08 | 1.68 | 0.56 | 1.65 |
| | 変動係数 | 1.03 | 0.47 | 0.79 | 0.89 | 0.87 |

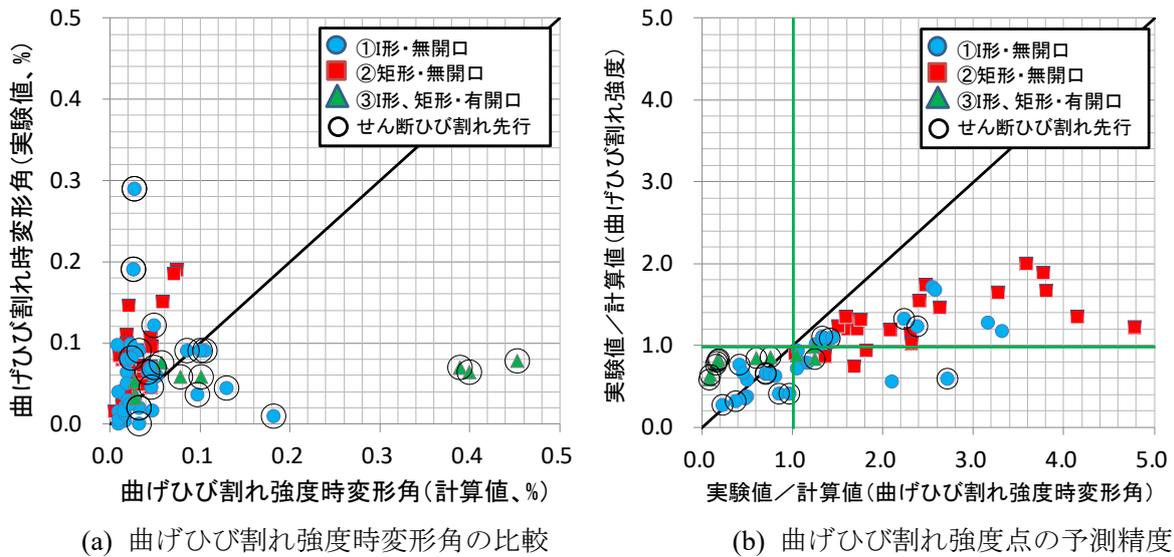


図 7.5.5 曲げひび割れ強度時変形角の実験値と計算値の比較

7.5.4 せん断ひび割れ強度

せん断ひび割れ強度を、技術基準解説書と性能指針に記載された以下の4つの評価式に従って算定し、実験結果と比較する。

■せん断ひび割れ強度評価式 I ■

$$V_c = r_2 \times \frac{\tau_{scr} t_w l_w}{\kappa_w} \tag{7.5.18}$$

$$\tau_{scr} = \sqrt{(\sigma_T^2 + \sigma_T \sigma_0)} \tag{7.5.19}$$

$$\kappa_w = \frac{3(1+u)\{1-u^2(1-v)\}}{4\{1-u^3(1-v)\}} \quad (7.5.20)$$

$$u = \frac{l'_w}{l'_w + \sum D} \quad (7.5.21)$$

$$v = \frac{t_w}{b} \quad (7.5.22)$$

- V_c : 耐力壁のせん断ひび割れ強度 (N)
- t_w : 耐力壁の壁厚 (mm)
- l_w : 耐力壁の側柱中心間距離 (mm) (矩形断面の場合は, 壁全長とした。)
- κ_w : 応力度法による形状係数 (矩形断面の場合は, 1.5 とした。)
- σ_T : コンクリートの引張強度 ($=0.33\sqrt{\sigma_B}$, MPa)
(σ_B はコンクリートの圧縮強度 (MPa))
- σ_0 : 鉛直荷重による壁板の圧縮応力度 (MPa)
- l'_w : 壁板の柱内法長さ (mm)
- D : 側柱のせい (mm)
- b : 側柱の幅 (mm)
- r_2 : 開口によるせん断強度低減率, 式(7.2.3)または式(7.2.6)

■せん断ひび割れ強度評価式Ⅱ■

$$Q_c = r_2 \times (0.043 p_g + 0.051) F_c A_w \quad (7.5.23)$$

- Q_c : 耐力壁のせん断ひび割れ強度 (kg)
- p_g : A_w に対する柱一本の主筋量の割合 (%)
(矩形断面の場合は, 壁端部から壁全長の 0.1 倍の範囲にある鉄筋を柱主筋とみなした。)
- F_c : コンクリートの圧縮強度 (kg/cm²)
- A_w : 壁体断面積 (耐力壁の壁厚と側柱中心距離の積) (cm²)
(矩形断面の場合は, 耐力壁の壁厚と壁全長の積とした。)
- r_2 : 開口によるせん断強度低減率, 式(7.2.3)または式(7.2.6)

■せん断ひび割れ強度評価式Ⅲ■

$$Q_c = r_2 \times \tau_{cr} t l \quad (7.5.24)$$

$$\tau_{cr} = \min \left\{ \frac{1}{20} F_c, 1.5 \left(5.0 + \frac{1}{100} F_c \right) \right\} \quad (7.5.25)$$

- Q_c : 耐力壁のせん断ひび割れ強度 (kg)

- t : 耐力壁の壁厚 (cm)
- l : 側柱中心間距離 (cm) (矩形断面の場合は、壁全長とした。)
- F_c : コンクリートの圧縮強度 (kg/cm^2) , 360kg/cm^2 以下
- r_2 : 開口によるせん断強度低減率, 式(7.2.3)または式(7.2.6)

■せん断ひび割れ強度評価式IV■

評価式 I によるせん断ひび割れ強度と、式(7.5.15) によって計算される、各階の中央に曲げひび割れが発生する時のせん断力を比較し、小さい方の値を、評価式IVによるせん断ひび割れ強度とする。

表 7.5.4 にせん断ひび割れ強度の実験値と計算値の比較を示す。なお、実験値のばらつきが大きいため、実験値および計算値とも正負の平均値を用いた。また、実験値に関しては、正負どちらかの値のみが記載されている場合は、その値を採用した。表 7.5.4(a)に同じ階に複数の開口を持つ試験体を対象とした検討結果を示す。評価式 II を除く他の評価式では、式(7.2.3)による技術基準解説書の強度低減係数よりも、式(7.2.6)による RC 規準の強度低減係数の方が、評価精度、変動係数が共に改善した。これは、7.5.2 項で検討したせん断剛性低下率に関する傾向と同じである。そこで、本項の以後の検討では、式(7.2.6)を用いた結果を示す。図 7.5.6 に全試験体の実験値と計算値の比較を示す。評価式 I が実験値を精度良く評価しているのに対し、評価式 II は実験結果を危険側に、評価式 III は実験結果を安全側に評価している。また、参考として示した評価式 IV は、評価式 I によるせん断ひび割れ強度と曲げひび割れ強度の小さい方の値が計算値となるが、評価精度は評価式 I と大差なかった。評価式 III に関しては、技術基準解説書の記述（評価式 III はせん断ひび割れ強度のほぼ下限値を与える）と今回の検討結果が対応していた。

表 7.5.4 せん断ひび割れ強度の実験値と計算値の比較

(a) 複数開口の場合

| | | 式(7.2.3) 技術基準解説書 | | | | 式(7.2.6) RC規準 | | | |
|------------|------|------------------|--------|---------|-------|---------------|--------|---------|-------|
| | | 評価式 I | 評価式 II | 評価式 III | 評価法IV | 評価式 I | 評価式 II | 評価式 III | 評価法IV |
| 試験体数 | | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| 実験値 計算値 | 平均値 | 1.43 | 1.48 | 2.92 | 1.43 | 1.34 | 1.40 | 2.73 | 1.34 |
| | 標準偏差 | 0.16 | 0.22 | 0.44 | 0.16 | 0.07 | 0.27 | 0.21 | 0.07 |
| | 変動係数 | 0.11 | 0.15 | 0.15 | 0.11 | 0.05 | 0.19 | 0.08 | 0.05 |

(b) 全試験体

| | | 評価式 I | 評価式 II | 評価式 III | 評価法IV |
|------------|------|-------|--------|---------|-------|
| 試験体数 | | 208 | 208 | 208 | 208 |
| 実験値 計算値 | 平均値 | 0.92 | 0.74 | 1.56 | 0.98 |
| | 標準偏差 | 0.37 | 0.45 | 0.72 | 0.39 |
| | 変動係数 | 0.40 | 0.60 | 0.46 | 0.40 |

各評価式の計算精度に、コンクリート圧縮強度と軸力比が与える影響について検証する。評価式 II は、コンクリート圧縮強度が $180\sim 350\text{kg/cm}^2$ の範囲の試験体の実験結果より回帰的に求めら

れているため、今回の検討ではコンクリート圧縮強度の適用範囲を超えて予測精度の検証を行っていることになる。同様に、評価式Ⅲについても、コンクリート圧縮強度の適用範囲は 360kg/cm^2 以下とされており、適用範囲を超えている。そこで、コンクリート圧縮強度が 35MPa を超える場合と、超えない場合に区分して、予測精度の検証を行った。検証結果を表 7.5.5 に示す。いずれの評価式でも、コンクリート圧縮強度が 35MPa を超える場合の方が、コンクリート圧縮強度が 35MPa を超えない場合よりも、実験のせん断ひび割れ強度を高く評価する傾向があった。但し、評価式Ⅰ、Ⅲ、Ⅳでは、コンクリート圧縮強度が 35MPa を超えない場合と比較し、2割程度の過小評価に留まったのに対し、評価式Ⅱでは、約4割の過小評価となっており、予測精度が大幅に低下している。評価式Ⅱは、コンクリート圧縮強度がせん断ひび割れ強度に比例する形式となっていることが、実験のせん断ひび割れ強度を過大に評価した原因と考えられる。一方、評価式Ⅲでは、コンクリート圧縮強度が高くなると、せん断ひび割れ強度の増加が小さくなるため、コンクリートの圧縮強度が 35MPa を超える場合にも、予測精度があまり低下しなかったものと考えられる。

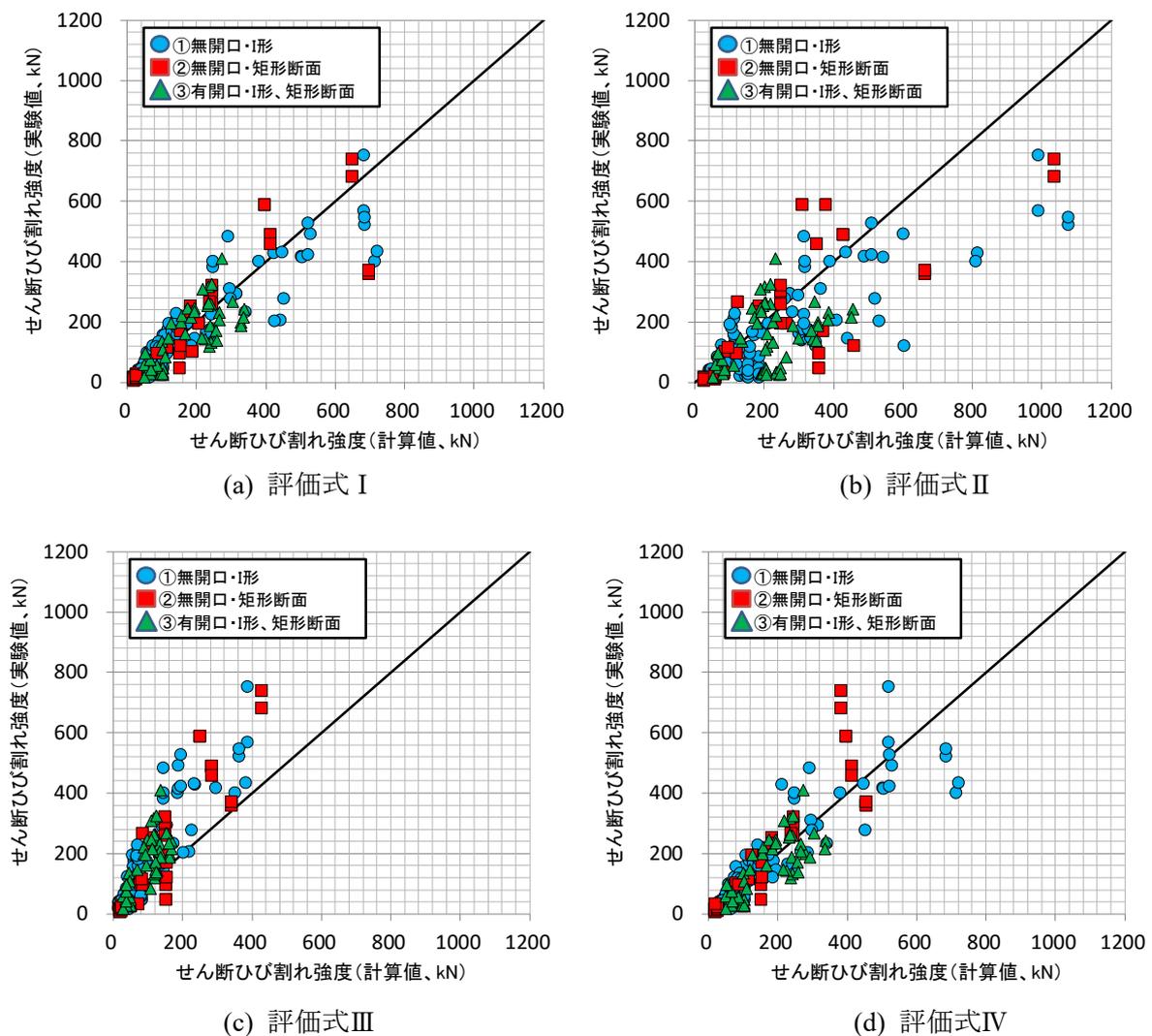


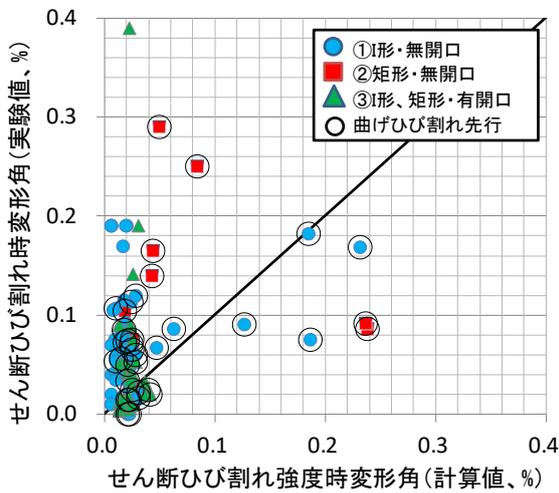
図 7.5.6 せん断ひび割れ強度の実験値と計算値の比較

表 7.5.5 コンクリート圧縮強度がせん断ひび割れ強度の計算精度に及ぼす影響

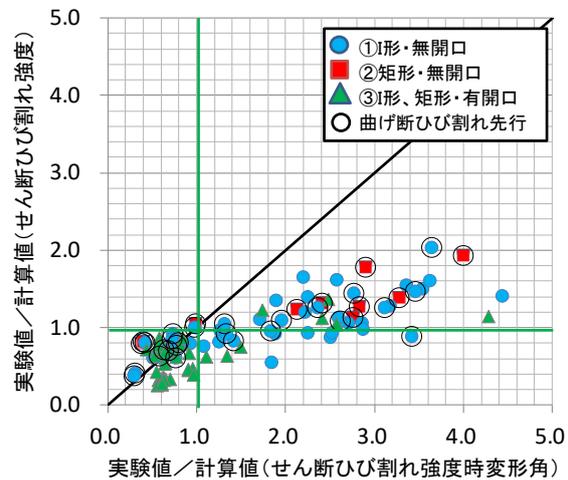
| | | 評価式 I | | 評価式 II | | 評価式 III | | 評価式 IV | |
|------------|------|---------------------------|------------------------------|---------------------------|------------------------------|---------------------------|------------------------------|---------------------------|------------------------------|
| | | $\sigma_B < 35\text{MPa}$ | $\sigma_B \geq 35\text{MPa}$ |
| 試験体数 | | 178 | 30 | 178 | 30 | 178 | 30 | 178 | 30 |
| 実験値 計算値 | 平均値 | 0.94 | 0.78 | 0.78 | 0.50 | 1.59 | 1.36 | 1.00 | 0.84 |
| | 標準偏差 | 0.38 | 0.23 | 0.46 | 0.23 | 0.72 | 0.69 | 0.41 | 0.29 |
| | 変動係数 | 0.40 | 0.30 | 0.59 | 0.47 | 0.45 | 0.51 | 0.40 | 0.35 |

図 7.5.7(a), 表 7.5.6 にせん断ひび割れ強度時変形角の実験値と計算値の比較を示す。せん断ひび割れ強度時の変形角については、実験値および計算値とも正負の平均値を用いた。また、実験値に関しては、正負どちらかの値のみが記載されている場合は、その値を採用した。変形角の計算値は、7.5.1 項の冒頭で示した評価手法 A に従って計算した。

実験値と計算値を比較すると、曲げひび割れ強度時の変形角と同様に、ばらつきが大きく、両者の関係性を読み取ることは難しい。そこで、図 7.5.7(b)に、せん断ひび割れ強度とせん断ひび割れ強度時の変形角の予測精度の関係を示す。図中には、計算上、曲げひび割れがせん断ひび割れに先行する試験体を区別して記載している。せん断ひび割れ強度の実験値が計算値を上回る領域 ($Y \geq 1.0$) では、せん断ひび割れ強度時の変形角の実験値が計算値よりも大きく評価されている試験体が殆どである。一方で、せん断ひび割れ強度の実験値が計算値を下回る領域 ($Y < 1.0$) では、せん断ひび割れ強度時の変形角の実験値が計算値よりも小さく評価される試験体の割合が多くなっている。曲げひび割れ強度時の変形角の検討時と同様に、せん断ひび割れ強度時の変形角の予測精度は、せん断ひび割れ強度の予測精度に依存している。



(a) せん断ひび割れ強度時変形角の比較



(b) せん断ひび割れ強度点の予測精度

図 7.5.7 せん断ひび割れ強度時変形角の実験値と計算値の比較

表 7.5.6 せん断ひび割れ強度時変形角の実験値と計算値の比較

| | | ① I形・無開口 | ② 矩形・無開口 | ①+② | ③ I形、矩形・有開口 | ①+②+③ |
|------------|------|----------|----------|------|-------------|-------|
| 試験体数 | | 61 | 11 | 72 | 53 | 125 |
| 実験値 計算値 | 平均値 | 2.90 | 2.47 | 2.84 | 1.49 | 2.27 |
| | 標準偏差 | 2.75 | 1.45 | 2.59 | 1.87 | 2.40 |
| | 変動係数 | 0.95 | 0.59 | 0.91 | 1.26 | 1.06 |

7.5.5 曲げ終局強度

曲げ終局強度を、技術基準解説書や靱性指針、性能指針に記載された評価式に従って算定し、実験結果と比較する。

■曲げ終局強度評価式Ⅰ■

$$M_{wu} = 0.9a_t\sigma_y D + 0.4a_w\sigma_{wy} D + 0.5ND\left(1 - \frac{N}{BDF_c}\right) \quad (7.5.26)$$

■曲げ終局強度評価式Ⅱ■

$$M_{wu} = a_t\sigma_y l_w + 0.5a_w\sigma_{wy} l_w + 0.5Nl_w \quad (7.5.27)$$

■曲げ終局強度評価式Ⅲ■

性能指針に従い、断面解析における最大モーメントを曲げ終局強度とする。なお、断面解析の詳細は7.5.1項に記述している。

| | |
|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| M_{wu} | : 耐力壁の曲げ終局強度 (N・mm) |
| D | : 耐力壁の全せい (mm) |
| B | : 耐力壁の圧縮側外縁の幅 (mm) |
| l_w | : I形断面耐力壁の場合の両側柱中心間距離 (mm) (矩形断面の場合は、壁全長の0.9倍を両側柱中心間距離とみなした。) |
| F_c | : コンクリートの圧縮強度 (MPa) |
| σ_y | : 引張側柱の主筋の降伏強度 (MPa) (矩形断面の場合は、壁端部から壁全長の0.1倍の範囲にある縦筋を柱主筋とみなし、範囲外の鉄筋は耐力壁の縦筋とした。) |
| σ_{wy} | : 耐力壁の縦筋の降伏強度 (MPa) (開口を有する耐力壁では、壁脚に開口補強筋が配筋されていた場合、曲げ終局強度への寄与があると考えられるが、本検討では考慮していない。) |
| a_t | : 引張側柱の主筋全断面積 (mm ²) (矩形断面の場合は、壁端部から壁全長の0.1倍の範囲にある縦筋を柱主筋とみなし、範囲外の鉄筋は耐力壁の縦筋とした。) |
| a_w | : 耐力壁の縦筋の断面積 (mm ²) (開口を有する耐力壁では、壁脚に開口補強筋が配筋されていた場合、曲げ終局強度への寄与があると考えられるが、本検討では考慮していない。) |
| N | : 耐力壁の軸方向力 (N) |

今回の検討では、矩形断面の試験体の引張側柱主筋（壁端部曲げ補強筋）の断面積は、以下の方法で計算した。図7.1.2に示すように、本データベースでは、矩形断面の試験体に対して仮想の柱せい D_c を設定している。仮想柱部分の曲げ補強筋量と壁板部分の壁縦筋量から、各部分の鉄筋比 p_c 、 p_w を算定する。次に、引張側柱主筋として考慮する壁端部からの長さ l_{pt} を決め、式(7.5.28)の評価式に基づいて、引張側柱主筋の断面積を算定する。 l_{pt} の定義については、曲げ補強筋の範囲を引張縁から壁厚の0.5倍とする方法（壁柱を対象）や、壁厚と同じ長さとする方法、壁全せ

いの0.1倍とする方法などがあるが、今回は引張縁から壁全せいの0.1倍の範囲の軸方向鉄筋とする方法を採用する。

$$a_t = \begin{cases} p_c B l_{pt} & l_{pt} \leq D_c \\ p_c B D_c + p_w B (l_{pt} - D_c) & l_{pt} > D_c \end{cases} \quad (7.5.28)$$

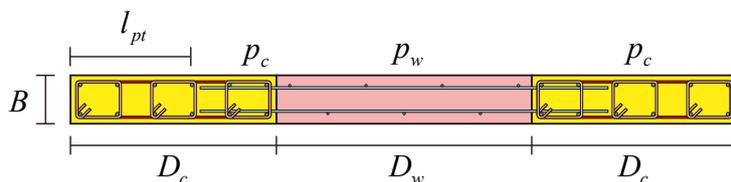


図 7.5.8 引張側柱主筋の断面積の算定方法

図 7.5.9, 表 7.5.7 に、破壊形式が曲げ破壊、もしくは、曲げ降伏後のせん断破壊と論文内で判別された試験体の最大耐力を実験値、正負各方向について計算した曲げ終局強度時せん断力の最大値を計算値とした場合の比較を示す。いずれの評価式を用いた場合にも、実験値/計算値の平均値、標準偏差、変動係数は同程度の値を示しており、評価精度に大きな差は見られない。無開口の試験体では、実験値と評価式 I, II による計算値の差は 20%以内に収まっている。一方、有開口の試験体では、無開口の試験体と比較して、実験結果を過大評価する傾向が見られ、ばらつきも大きい。これは、開口の影響により、開口によって隔てられる左右の壁板の間で平面保持の仮定が成立するのが難しくなり、一枚壁としての挙動よりも骨組としての挙動が卓越するためと考えられる。

表 7.5.7 曲げ終局強度せん断力の実験値と計算値の比較

| 評価式 I | | ① I形 無開口 | ② 矩形 無開口 | ①+② | ③ I形、矩形 有開口 | ①+②+③ |
|------------|------|-------------|-------------|------|----------------|-------|
| 試験体数 | | 131 | 55 | 186 | 35 | 221 |
| 実験値 計算値 | 平均値 | 1.08 | 1.08 | 1.08 | 0.82 | 1.04 |
| | 標準偏差 | 0.16 | 0.11 | 0.15 | 0.33 | 0.21 |
| | 変動係数 | 0.15 | 0.10 | 0.14 | 0.41 | 0.20 |

| 評価式 II | | ① I形 無開口 | ② 矩形 無開口 | ①+② | ③ I形、矩形 有開口 | ①+②+③ |
|------------|------|-------------|-------------|------|----------------|-------|
| 試験体数 | | 131 | 55 | 186 | 35 | 221 |
| 実験値 計算値 | 平均値 | 1.09 | 1.00 | 1.06 | 0.84 | 1.03 |
| | 標準偏差 | 0.16 | 0.12 | 0.16 | 0.35 | 0.22 |
| | 変動係数 | 0.15 | 0.12 | 0.15 | 0.42 | 0.21 |

| 評価式 III | | ① I形 無開口 | ② 矩形 無開口 | ①+② | ③ I形、矩形 有開口 | ①+②+③ |
|------------|------|-------------|-------------|------|----------------|-------|
| 試験体数 | | 83 | 44 | 127 | 35 | 162 |
| 実験値 計算値 | 平均値 | 1.04 | 1.12 | 1.07 | 0.76 | 1.00 |
| | 標準偏差 | 0.14 | 0.12 | 0.14 | 0.31 | 0.22 |
| | 変動係数 | 0.13 | 0.11 | 0.13 | 0.40 | 0.22 |

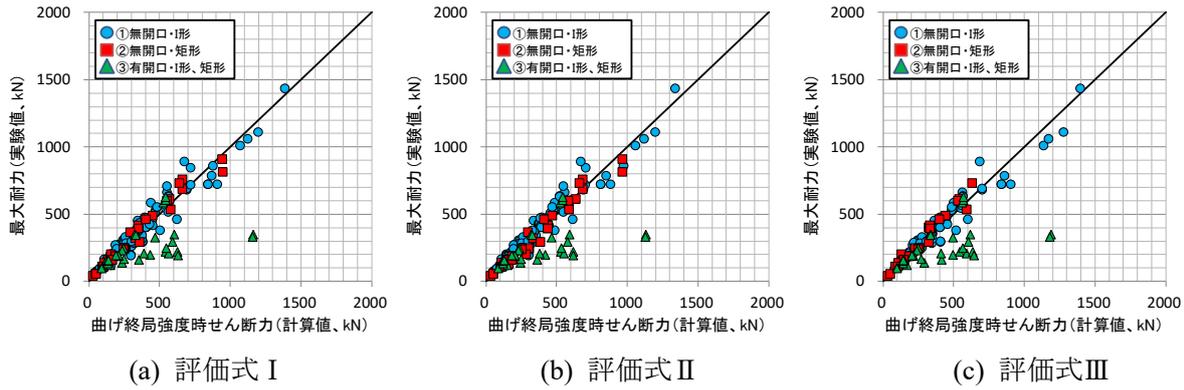


図 7.5.9 曲げ終局強度時せん断力の実験値と計算値の比較

図 7.5.10, 図 7.5.11, 図 7.5.12 に軸力比, せん断スパン比, 等価開口周比と曲げ終局強度の計算精度の関係を示す。軸力比が 0.2 を超えるような高軸力を受ける試験体では, 軸力が中立軸深さに与える影響を考慮した評価式 I と評価式 III では, 軸力の低い他の試験体と同様に実験結果を安全側に評価したが, 評価式 II では, 一部の試験体の実験結果を過大に評価し, 全体の評価精度のばらつきも他の評価式と比較して大きくなった。せん断スパン比に関しては, 評価式 I では, ①, ②の無開口の試験体に関して, 実験値が計算値を下回った試験体が 186 体中 54 体あったが, せん断スパン比が 1.0 以上の試験体では 114 体中 19 体と 17%程度であったのに対し, せん断スパン比が 1.0 未満の試験体では 72 体中 35 体と約半数を占めた。せん断スパン比が 1.0 を下回る耐力壁では, 回転中心が平面保持仮定による場合よりも断面中央寄りになる。このことが, 実験値が計算値に到達しないことの一因になった可能性がある。

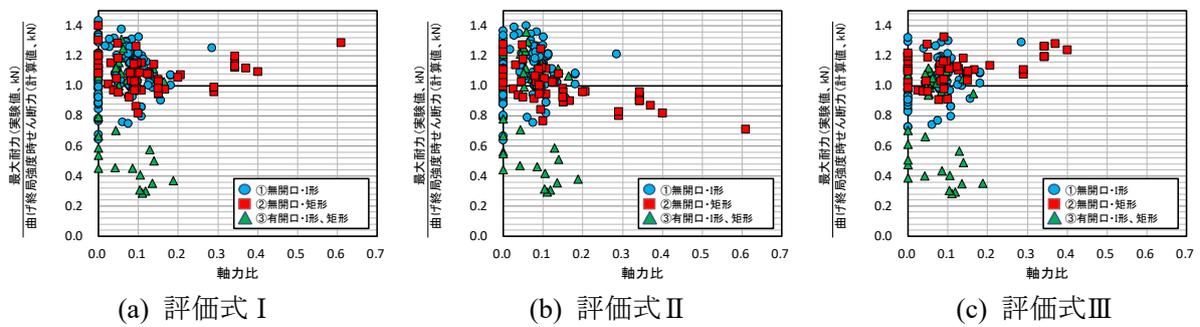


図 7.5.10 曲げ終局強度時せん断力に軸力比が及ぼす影響

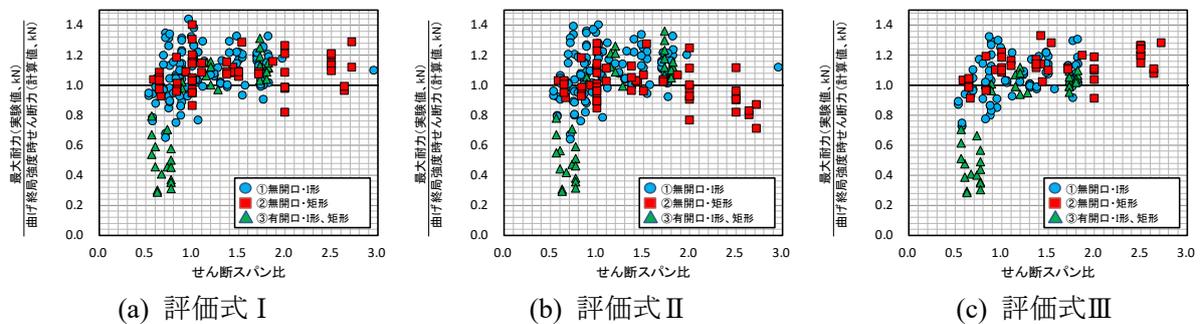


図 7.5.11 曲げ終局強度時せん断力にせん断スパン比が及ぼす影響

第7章 耐力壁部材

一方、③有開口では、等価開口周比が0.3を超える付近から、実験値/計算値が1.0を大きく下回る試験体が現れ、等価開口周比が0.5を超えると、実験値/計算値が0.3~0.5となる試験体が多数を占めた。これらの試験体では、開口周辺に配筋された鉄筋や開口補強筋の降伏による局部的な曲げが発生し、骨組のような挙動が支配的になったものと考えられる。

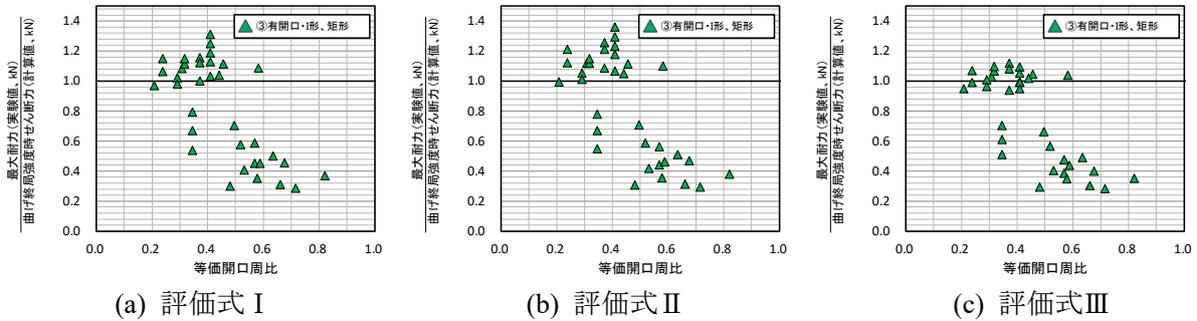


図 7.5.12 曲げ終局強度時せん断力に等価開口周比が及ぼす影響

今回の検討では、矩形断面の耐力壁において、両側柱中心間距離を壁全長の0.9倍、引張側柱主筋を壁端部から壁全長の0.1倍の範囲内にある曲げ補強筋と仮定して計算を行ったが、両側柱中心間距離や引張側柱主筋の定義の方法は他にも考えられる。表7.5.8に、両側柱中心間距離と引張側柱主筋の定義を変更した場合の計算精度について示す。検討結果は、壁端に帯筋が設けられたものと、帯筋がないもの、断面全体を閉鎖型のせん断補強筋で拘束した壁柱タイプのものの3種類に細分化している。

表(ii)では、引張側柱主筋を壁端から壁厚の長さの範囲にある曲げ補強筋とした場合の結果を示している。いずれの式を用いた場合にも、評価精度は表(i)の場合と殆ど変わらない。表(iii)では、引張側柱主筋を壁端に壁縦筋と区別して配筋された仮想柱域内の曲げ補強筋、両側柱主筋間距離を曲げ補強筋間距離とした場合の結果を示している。表(ii)と同様に、評価式 I では他の場合と比較して評価精度に大きな差は見られないが、評価式 II を用いた場合には帯筋が配筋された試験体において、評価精度が大きく低下している。図 7.5.13 に実験値/計算値の平均値と、曲げ補強筋間距離と壁全せいの比率を示す。評価式 II では、曲げ終局強度と両側柱主筋間距離が比例関係にあるため、壁端部に曲げ補強筋が多く配筋され、曲げ補強筋間距離が短くなると、曲げ終局強度が低く評価される。帯筋によって壁端部が広い範囲に渡って拘束された試験体では、仮想柱域の中心間距離/壁全せいの比率が小さくなり、実験値を小さく評価する事例が多くみられる。一方、評価式 I では、壁全長を用いて曲げ終局強度を計算するため、両側柱中心間距離や引張側柱主筋の定義の違いによる影響は限定的である。

表 7.5.8 両側柱中心間距離と引張側柱主筋の定義を変更した場合の評価精度の差

(i) 両側柱中心間距離：壁全長の 0.9 倍，引張側柱主筋：壁端から壁全長の 0.1 倍の範囲内にある曲げ補強筋

| 分類 | | 評価式 I | | | 評価式 II | | |
|------------|------|-------|------|------|--------|------|------|
| | | 帯筋あり | 帯筋なし | 壁柱 | 帯筋あり | 帯筋なし | 壁柱 |
| 試験体数 | | 17 | 12 | 24 | 17 | 12 | 24 |
| 実験値 計算値 | 平均値 | 1.08 | 1.09 | 1.08 | 1.01 | 1.02 | 0.98 |
| | 標準偏差 | 0.05 | 0.15 | 0.13 | 0.06 | 0.13 | 0.15 |
| | 変動係数 | 0.05 | 0.14 | 0.12 | 0.06 | 0.12 | 0.15 |

(ii) 両側柱中心間距離：壁全長の 0.9 倍，引張側柱主筋：壁端から壁厚の範囲内にある曲げ補強筋

| 分類 | | 評価式 I | | | 評価式 II | | |
|------------|------|-------|------|------|--------|------|------|
| | | 帯筋あり | 帯筋なし | 壁柱 | 帯筋あり | 帯筋なし | 壁柱 |
| 試験体数 | | 17 | 12 | 24 | 17 | 12 | 24 |
| 実験値 計算値 | 平均値 | 1.10 | 1.09 | 1.08 | 1.01 | 1.02 | 0.98 |
| | 標準偏差 | 0.05 | 0.15 | 0.12 | 0.06 | 0.13 | 0.15 |
| | 変動係数 | 0.05 | 0.14 | 0.12 | 0.06 | 0.12 | 0.15 |

(iii) 両側柱中心間距離：曲げ補強筋間の距離，引張側柱主筋：仮想柱域の曲げ補強筋

| 分類 | | 評価式 I | | | 評価式 II | | |
|------------|------|-------|------|------|--------|------|------|
| | | 帯筋あり | 帯筋なし | 壁柱 | 帯筋あり | 帯筋なし | 壁柱 |
| 試験体数 | | 17 | 12 | 24 | 17 | 12 | 24 |
| 実験値 計算値 | 平均値 | 1.07 | 1.08 | 1.06 | 1.14 | 1.02 | 1.06 |
| | 標準偏差 | 0.05 | 0.16 | 0.13 | 0.10 | 0.12 | 0.17 |
| | 変動係数 | 0.05 | 0.15 | 0.12 | 0.09 | 0.12 | 0.16 |

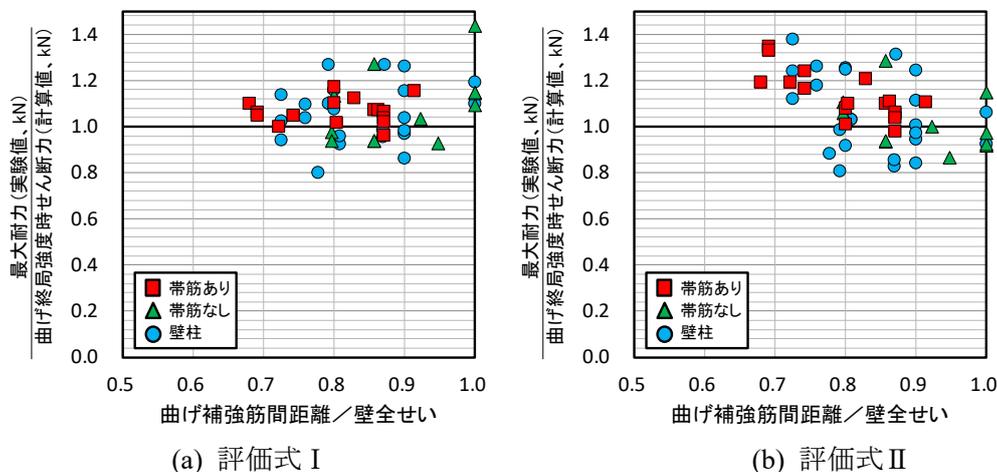


図 7.5.13 両側柱中心間距離を曲げ補強筋間の距離，引張側柱主筋を仮想柱域の曲げ補強筋とした場合の評価精度

7.5.6 せん断終局強度

せん断終局強度を，技術基準解説書，靱性指針や性能指針に記載された以下の 4 つの評価式に従って算定し，せん断破壊した試験体の最大耐力と比較する。式(7.5.29)，式(7.5.30)では，矩形断面の試験体の引張側柱主筋（壁端部曲げ補強筋）の断面積は，曲げ終局強度の算定時と同様に，引張縁から壁全せいの 0.1 倍の範囲の軸方向鉄筋とする方法を採用した。

■せん断終局強度評価式 I (広沢 min 式) ■

$$Q_{wsu} = r_2 \times \left\{ \frac{0.053 p_{te}^{0.23} (F_c + 18)}{M / (Q \cdot D) + 0.12} + 0.85 \sqrt{\sigma_{wh} \cdot p_{wh}} + 0.1 \sigma_0 \right\} t_e \cdot j \quad (7.5.29)$$

■せん断終局強度評価式 II (広沢 mean 式) ■

$$Q_{wsu} = r_2 \times \left\{ \frac{0.068 p_{te}^{0.23} (F_c + 18)}{\sqrt{M / (Q \cdot D) + 0.12}} + 0.85 \sqrt{\sigma_{wh} \cdot p_{wh}} + 0.1 \sigma_0 \right\} t_e \cdot j \quad (7.5.30)$$

- Q_{wsu} : 耐力壁のせん断終局強度 (N)
- p_{te} : 等価引張鉄筋比 (%) , $p_{te} = 100 a_t / (t_e \cdot d)$
: I 形断面の場合は引張側柱内の主筋断面積 (mm²)
 (矩形断面の場合は、壁端部から壁全長の 0.1 倍の範囲にある縦筋を端部曲げ補強筋とみなした。)
- a_t : I 形断面を長さ t_e と断面積が等しい等価長方形断面に置き換えた時の幅
(mm)
(但し t_e は壁厚 t の 1.5 倍以下とする。)
- d : I 形断面の場合は $D - D_c / 2$ (D_c は引張側柱のせい)
(矩形断面の場合は、 $0.95D$ とする (mm))
- F_c : コンクリートの圧縮強度 (MPa)
- $M / (Q \cdot D)$: せん断スパン比 ($1 \leq M / (Q \cdot D) \leq 3$)
- D : 耐力壁の全長 (mm)
- σ_{wh} : 水平せん断補強筋の降伏強度 (MPa)
- p_{wh} : t_e を厚さと考えた場合の水平せん断補強筋比 (小数)
- σ_0 : 全断面積に対する平均軸応力度 (MPa)
- j : $(7/8) \cdot d$
- r_2 : 開口によるせん断強度低減率, 式(7.2.3)または式(7.2.6)

式(7.5.31), 式(7.5.32)はトラスアーチ理論に基づく耐力壁のせん断終局強度式である。鉄筋コンクリート造建物の靱性保証型耐震設計指針・同解説^[7-5]では、壁の横筋が柱の内部に適切に定着され、壁板の全域で一様なトラス機構が形成される場合には、同式を矩形断面の耐力壁に適用してもよいとされている。一方で、一様なトラス機構が期待できない場合には、同指針の梁・柱用のせん断終局強度式を適用することを推奨している。だが、梁・柱用のせん断終局強度式では、閉鎖型のせん断補強筋に拘束された領域内でトラス機構が形成されることを想定しているため、実験試験体に多いシングル配筋の耐力壁では、トラス機構の寄与分を考慮できない。ここでは、式(7.5.31), 式(7.5.32)を矩形断面の耐力壁に適用する方法について考える。問題となるのは壁長さ l_{wa} , l_{wb} の決め方である。壁長さの増分 Δl_{wa} , Δl_{wb} は、矩形断面の耐力壁では $A_c = D_c t_w$ (D_c は壁端部の仮

想柱のせい) , $A_{ce} < D_c t_w$ ($N_{cc} > 0$ と仮定) の関係が成立することから, $\Delta l_{wa} = \Delta l_{wb} = D_c - N_{cc} / (t_w \sigma_B)$ と計算できる。したがって, 壁長さ l_{wa} , l_{wb} は仮想柱のせい D_c の取り方によらず, $l_{wa} = l_{wb} = l'_w + D_c + (D_c - N_{cc} / (t_w \sigma_B)) = l'_w + 2D_c - N_{cc} / (t_w \sigma_B) = L - N_{cc} / (t_w \sigma_B)$ [L は壁全せい] と表される。この壁長さをういた場合, 耐力壁に作用する軸力が大きくなると壁長さが短くなり, せん断終局強度が低下することになる。

■せん断終局強度評価式Ⅲ(トラスアーチ下限式)■

$${}_s V_u = r_2 \times \left\{ t_w l_{wb} p_{sx} \sigma_y \cot \phi + \tan \theta (1 - \beta) t_w l_{wa} v_0 \sigma_B / 2 \right\} \quad (7.5.31)$$

■せん断終局強度評価式Ⅳ(トラスアーチ平均式)■

$${}_s V_u = r_2 \times \left\{ t_w l_{wb} p_{sx} \sigma_y \cot \phi + \tan \theta (1 - \beta) t_w l_{wa} v_0 \sigma_B / 2 \right\} \quad (7.5.32)$$

$$\text{評価式Ⅲでは, } v_0 = \begin{cases} 0.7 - \sigma_B / 200 & \sigma_B \leq 50 \text{ N/mm}^2 \\ 1.698 \sigma_B^{-0.333} & \sigma_B > 50 \text{ N/mm}^2 \end{cases} \text{ (下限式)} \quad (7.5.33)$$

$$\text{評価式Ⅳでは, } v_0 = \begin{cases} 0.8 - \sigma_B / 200 & \sigma_B \leq 70 \text{ N/mm}^2 \\ 1.907 \sigma_B^{-0.34} & \sigma_B > 70 \text{ N/mm}^2 \end{cases} \text{ (平均式)} \quad (7.5.34)$$

を用いる。

- ${}_s V_u$: 耐力壁のせん断終局強度 (N)
- t_w : 壁厚 (mm)
- l_{wa}, l_{wb} : トラス機構とアーチ機構の有効壁長さ (mm) で, 以下の式で算定する。
 $l_{wa} = l'_w + D + \Delta l_{wa}, l_{wb} = l'_w + D + \Delta l_{wb}$
- $l'_w + D$: 壁板の柱内法長さと側柱せいの和
- $\Delta l_{wa}, \Delta l_{wb}$: 側柱の有効断面積の効果によるトラス機構およびアーチ機構における壁長さの増分, 本検討では, 靱性指針に従って, 増分の有無を判断する。
- p_{sx} : 壁上下のスラブ筋, 梁主筋の合計の半分を考慮した壁横筋の鉄筋比
- σ_y : 壁上下のスラブ筋, 梁主筋の合計の半分を考慮した壁横筋の降伏強度, 今回の検討では靱性指針に従い, 上限を 400MPa とした。
- ϕ : 各層のトラス機構の角度
- θ : 各層の連層アーチ機構のコンクリート圧縮束角度
- β : 各層のトラス機構の負担割合, $\beta = (1 + \cot^2 \phi) p_{sx} \sigma_y / (v_0 \sigma_B)$
- v_0 : コンクリートの有効強度係数
- σ_B : コンクリートの圧縮強度 (MPa)
- r_2 : 開口によるせん断強度低減率, 式(7.2.3)または式(7.2.6)

第7章 耐力壁部材

破壊形式がせん断破壊と論文内で判別された試験体の最大耐力をせん断終局強度の実験値とした場合、実験値と計算値の比較を以下に示す。表 7.5.9 に有開口の試験体で一つの階に複数の開口を持つ試験体の検討結果を示す。開口低減率には、技術基準解説書の式(7.2.3)と RC 規準の式(7.2.6)を用いた。いずれのせん断終局強度式を用いた場合にも、式(7.2.6)の RC 規準の開口低減率の予測精度が高く、変動係数も小さい。本項の以後の検討では、RC 規準の開口低減率を用いる。

表 7.5.9 せん断終局強度の実験値と計算値の比較 (1つの階に複数の開口がある場合)

| | | 式(7.2.3) 技術基準解説書 | | | | 式(7.2.6) RC規準 | | | |
|------------|------|------------------|--------|---------|--------|---------------|--------|---------|--------|
| | | 評価式 I | 評価式 II | 評価式 III | 評価法 IV | 評価式 I | 評価式 II | 評価式 III | 評価法 IV |
| 試験体数 | | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 |
| 実験値 計算値 | 平均値 | 3.85 | 3.05 | 2.96 | 2.61 | 2.03 | 1.61 | 1.56 | 1.37 |
| | 標準偏差 | 4.55 | 3.69 | 3.62 | 3.20 | 0.37 | 0.29 | 0.29 | 0.25 |
| | 変動係数 | 1.18 | 1.21 | 1.22 | 1.23 | 0.18 | 0.18 | 0.18 | 0.18 |

図 7.5.14, 表 7.5.10 に、せん断終局強度の実験値と計算値の比較を示す。各試験体は、①無開口・I形断面、②無開口・矩形断面、③有開口・I形、矩形断面の3種類に分類している。矩形断面で開口を設けた試験体は、表 7.2.3 で示したように4体しか収集されていないため、③に該当する試験体の殆どはI形断面の耐力壁である。①と③を比較すると、いずれの評価式でも、無開口の試験体と比較して、有開口の試験体では、実験値/計算値の平均値が大きく、若干ではあるが安全側の評価になっている。②に関しては、壁端に帯筋が設けられたものと、帯筋がないもの、断面全体を閉鎖型のせん断補強筋で拘束された壁柱タイプのもの、さらに3種類に細分化している。

図表から明らかなように、実験値/計算値の平均値は評価式 I が最も低く、評価式 II, III が同程度、評価式 IV が最も高くなり、実験値を平均的に評価するとされる評価式 II, IV でも、多くの試験体で実験値を安全側に評価した。但し、評価式 III, IV では、②矩形断面の帯筋あり、帯筋なしの試験体において、実験値/計算値の平均が 1.0 を下回る危険側の評価となっており、評価精度に問題がある。また、下限式である評価式 I では、殆どの試験体で実験値/計算値の平均が 1.0 を上回ったが、1.0 を下回った試験体が 5 体あった。これらの試験体のうちの 3 体で、壁横筋比が RC 規準で規定されている 0.25% を下回っていた。

表 7.5.10 せん断終局強度の実験値と計算値の比較

(a) 評価式 I

| 評価式 I | ① 無開口 I形断面 | ②無開口・矩形断面 | | | | ①+② | ③ 有開口 I形, 矩形 | ①+②+③ | |
|------------|------------------|-----------|----------|------|------|------|--------------------|-------|------|
| | | 帯筋 あり | 帯筋 なし | 壁柱 | 全体 | | | | |
| 試験体数 | 118 | 11 | 30 | 14 | 55 | 173 | 118 | 291 | |
| 実験値 計算値 | 平均値 | 1.77 | 1.67 | 1.36 | 1.52 | 1.47 | 1.67 | 1.86 | 1.75 |
| | 標準偏差 | 0.40 | 0.52 | 0.25 | 0.17 | 0.33 | 0.40 | 0.38 | 0.40 |
| | 変動係数 | 0.22 | 0.31 | 0.18 | 0.11 | 0.22 | 0.24 | 0.20 | 0.23 |

(b) 評価式 II

| 評価式 II | ① 無開口 I形断面 | ②無開口・矩形断面 | | | | ①+② | ③ 有開口 I形, 矩形 | ①+②+③ | |
|------------|------------------|-----------|----------|------|------|------|--------------------|-------|------|
| | | 帯筋 あり | 帯筋 なし | 壁柱 | 全体 | | | | |
| 試験体数 | 118 | 11 | 30 | 14 | 55 | 173 | 118 | 291 | |
| 実験値 計算値 | 平均値 | 1.41 | 1.33 | 1.11 | 1.29 | 1.20 | 1.34 | 1.49 | 1.40 |
| | 標準偏差 | 0.32 | 0.38 | 0.22 | 0.17 | 0.26 | 0.32 | 0.32 | 0.33 |
| | 変動係数 | 0.23 | 0.29 | 0.19 | 0.13 | 0.22 | 0.24 | 0.21 | 0.23 |

(c) 評価式 III

| 評価式 III | ① 無開口 I形断面 | ②無開口・矩形断面 | | | | ①+② | ③ 有開口 I形, 矩形 | ①+②+③ | |
|------------|------------------|-----------|----------|------|------|------|--------------------|-------|------|
| | | 帯筋 あり | 帯筋 なし | 壁柱 | 全体 | | | | |
| 試験体数 | 92 | 11 | 30 | 14 | 55 | 147 | 113 | 260 | |
| 実験値 計算値 | 平均値 | 1.37 | 0.97 | 0.97 | 1.73 | 1.16 | 1.29 | 1.50 | 1.38 |
| | 標準偏差 | 0.26 | 0.38 | 0.20 | 0.38 | 0.44 | 0.36 | 0.29 | 0.34 |
| | 変動係数 | 0.19 | 0.39 | 0.21 | 0.22 | 0.38 | 0.27 | 0.20 | 0.25 |

(d) 評価式 IV

| 評価式 IV | ① 無開口 I形断面 | ②無開口・矩形断面 | | | | ①+② | ③ 有開口 I形, 矩形 | ①+②+③ | |
|------------|------------------|-----------|----------|------|------|------|--------------------|-------|------|
| | | 帯筋 あり | 帯筋 なし | 壁柱 | 全体 | | | | |
| 試験体数 | 92 | 11 | 30 | 14 | 55 | 147 | 113 | 260 | |
| 実験値 計算値 | 平均値 | 1.20 | 0.86 | 0.89 | 1.59 | 1.06 | 1.15 | 1.34 | 1.23 |
| | 標準偏差 | 0.23 | 0.35 | 0.21 | 0.35 | 0.42 | 0.32 | 0.26 | 0.31 |
| | 変動係数 | 0.19 | 0.40 | 0.23 | 0.22 | 0.39 | 0.28 | 0.20 | 0.25 |

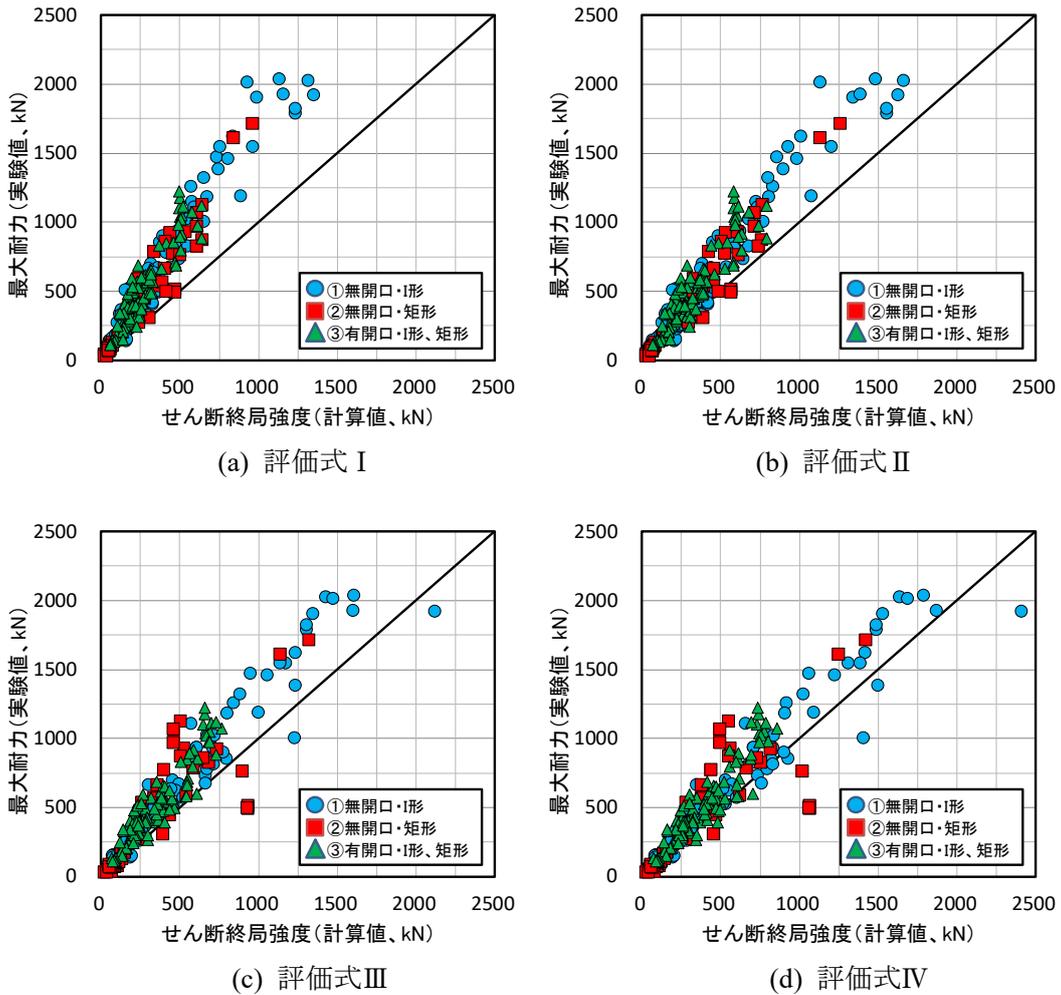


図 7.5.14 せん断終局強度の実験値と計算値の比較

図 7.5.15 に、評価式 I において、壁端部の帯筋比が実験値／計算値の平均値に及ぼす影響を示す。①I 形断面では、帯筋比の増大に伴い、実験値／計算値が増大する傾向が見られるが、壁端の拘束は帯筋比だけでなく、柱型の大きさにも依存するため、明確ではない。一方、②矩形断面では、帯筋比の増大に伴い、実験値／計算値が増大する傾向が明らかに見られる。帯筋が壁端に配筋された試験体では、実験値／計算値の平均が I 形断面の値を上回っており、安全側の評価となっているが、帯筋がない試験体や壁柱タイプの試験体では、実験値／計算値の平均が I 形断面の値を下回っている。また、壁柱タイプの試験体では、壁端に幅止め筋などによる端部の拘束域がない試験体において、実験値／計算値の値が特に小さくなっている。以上の考察より、壁端部の帯筋による補強状況が、耐力壁のせん断終局強度の評価精度に影響を及ぼしている可能性があると言える。

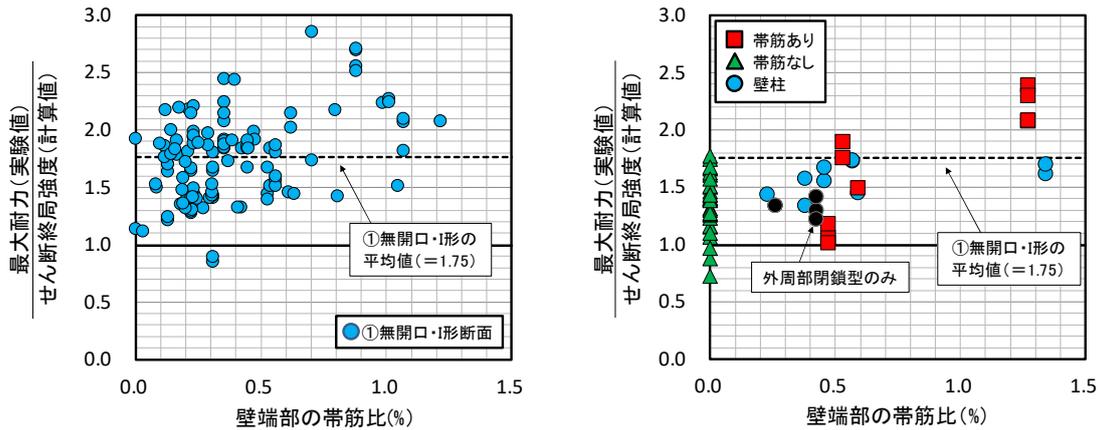


図 7.5.15 評価式 I における壁端部の帯筋比の影響

矩形断面の場合に、引張側柱主筋として壁端から壁厚の長さの範囲内にある縦筋を考慮した場合の評価精度を表 7.5.11 に示す。偏平率が 10 を上回るような耐力壁では、引張側柱主筋の定義に壁厚を用いた場合、壁全長の 0.1 倍を用いた場合よりも、引張側柱主筋として取り扱われる縦筋の断面積が小さくなるため、せん断終局強度の計算値が低下する。帯筋が配筋された試験体では、壁端部の比較的広い範囲に曲げ補強筋が配筋されており、且つ、偏平率の大きい試験体が多いため、特に影響が大きくなっている。

表 7.5.11 等価引張鉄筋比の定義の違いが評価精度に及ぼす影響

(a) 壁端から壁全長の 0.1 倍の範囲内の縦筋を考慮した場合

| | | ②無開口・矩形断面 | | | | | | | |
|------------|------|-----------|------|------|------|--------|------|------|------|
| | | 評価式 I | | | | 評価式 II | | | |
| | | 帯筋あり | 帯筋なし | 壁柱 | 全体 | 帯筋あり | 帯筋なし | 壁柱 | 全体 |
| 試験体数 | | 11 | 30 | 14 | 55 | 11 | 30 | 14 | 55 |
| 実験値 計算値 | 平均値 | 1.67 | 1.36 | 1.52 | 1.47 | 1.33 | 1.11 | 1.29 | 1.20 |
| | 標準偏差 | 0.52 | 0.25 | 0.17 | 0.33 | 0.38 | 0.22 | 0.17 | 0.26 |
| | 変動係数 | 0.31 | 0.18 | 0.11 | 0.22 | 0.29 | 0.19 | 0.13 | 0.22 |

(b) 壁端から壁厚の長さの範囲内の縦筋を考慮した場合

| | | ②無開口・矩形断面 | | | | | | | |
|------------|------|-----------|------|------|------|--------|------|------|------|
| | | 評価式 I | | | | 評価式 II | | | |
| | | 帯筋あり | 帯筋なし | 壁柱 | 全体 | 帯筋あり | 帯筋なし | 壁柱 | 全体 |
| 試験体数 | | 11 | 30 | 14 | 55 | 11 | 30 | 14 | 55 |
| 実験値 計算値 | 平均値 | 1.97 | 1.38 | 1.46 | 1.52 | 1.60 | 1.13 | 1.23 | 1.25 |
| | 標準偏差 | 0.65 | 0.26 | 0.18 | 0.42 | 0.47 | 0.23 | 0.18 | 0.33 |
| | 変動係数 | 0.33 | 0.19 | 0.12 | 0.28 | 0.29 | 0.20 | 0.14 | 0.27 |

■せん断終局強度時の変形角の評価式 I ■

性能指針に従い、トラス剛性を用いてせん断ひび割れ後のせん断剛性を決定する。開口がある場合は、トラス剛性に開口による剛性の低減率 r_l を乗じて計算した。

$${}_s\gamma_u = {}_s\tau_u / (r_1 \cdot G_{trus1}) - \gamma_0 \quad (7.5.35)$$

$$G_{trus1} = \frac{1}{\frac{1}{K_2 \cos^2 \theta_{t1} \sin^2 \theta_{t1}} + \frac{\tan^2 \theta_{t1}}{K_x} + \frac{1}{K_y \tan^2 \theta_{t1}}} \quad (7.5.36)$$

$$K_2 = 0.7 E_c \quad (7.5.37)$$

$$K_x = p_{sx} E_s + K_f \quad (7.5.38)$$

$$K_y = p_{sy} E_s \quad (7.5.39)$$

$$K_f = \begin{cases} 22.5 E_c I_e l / (t_w h^4) & \text{連層耐震壁の最上層, 最下層} \\ 360 E_c I_e l / (t_w h^4) & \text{一層耐震壁} \end{cases} \quad (7.5.40)$$

- ${}_s\gamma_u$: せん断終局強度時のせん断ひずみ度
- ${}_s\tau_u$: せん断終局強度時のせん断応力度 (MPa)
- r_1 : 開口によるせん断剛性の低減率, 式(7.2.5)で計算した。
- G_{trus1} : せん断ひび割れ後のマクロモデル的なせん断剛性 (MPa)
- γ_0 : 軸応力度によるせん断ひずみ度のシフト
- θ_{t1} : トラス剛性の主圧縮方向角度
- K_2 : 斜め圧縮ばね (MPa)
- K_x : 水平方向ばね (MPa)
- K_f : 梁と側柱による水平方向抵抗ばね (MPa)
- K_y : 鉛直方向ばね (MPa)
- E_c : コンクリートのヤング係数 (MPa), 本検討では, 式(7.5.8)で計算した。
- E_s : 鉄筋のヤング係数 (MPa)
- p_{sx} : 壁板の横筋と壁板上下の梁主筋とスラブ筋の鉄筋比
- p_{sy} : 壁板の縦筋の鉄筋比
- ${}_c I_e$: 側柱の断面二次モーメント (mm⁴)
- l : 側柱中心間距離 (mm) (矩形断面の場合は, 壁全長の0.9倍とした。)
- t_w : 壁厚 (mm)
- h : 階高 (連層耐力壁の場合), 内法高さ (一層耐力壁の場合) (mm)

■せん断終局強度時の変形角の評価式 II ■

性能指針に従い, せん断破壊時のせん断ひずみを 0.004rad. (=1/250) とする。開口がある場合は, 図 7.5.16(a)に示すように, 開口による剛性の低減率 r_1 と強度の低減率 r_2 を用いて計算した。

■せん断終局強度時の変形角の評価式III■

技術基準解説書に従い、菅野式^[7-7]に基づいてせん断ひび割れ後のせん断剛性を算定する。開口がある場合は、図 7.5.16(b)に示すように、開口による剛性の低減率 r_1 と強度の低減率 r_2 を用いて計算する。

$$\beta_u = 0.46 p_w \sigma_y / F_c + 0.14 \tag{7.5.41}$$

- β_u : せん断破壊時の剛性低下率
- p_w : 壁筋比
- σ_y : 壁筋の降伏強度 (kg/cm²)
- F_c : コンクリートの圧縮強度 (kg/cm²)

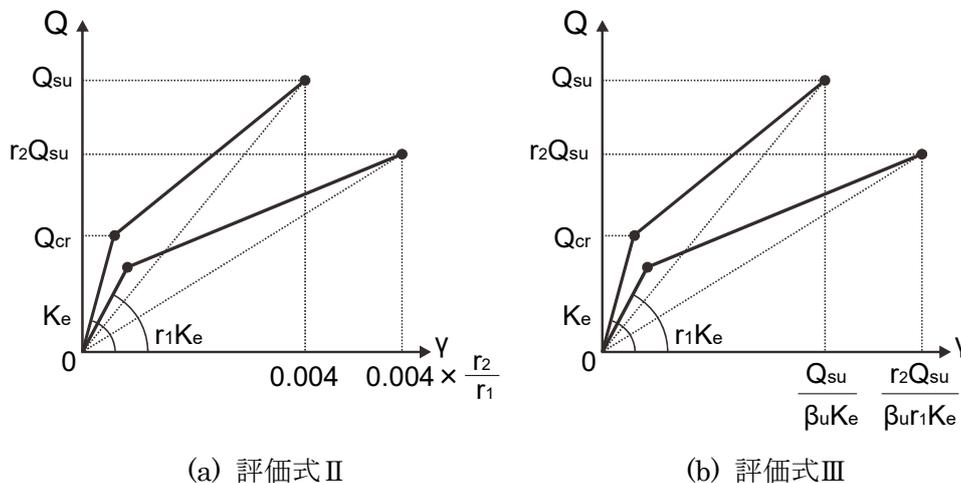


図 7.5.16 有開口耐力壁のせん断終局強度時のせん断ひびずみ

図 7.5.17, 表 7.5.12 に、せん断破壊時の変形角の実験値と、せん断終局強度時の変形角の計算値を示す。実験値は、論文中で破壊形式がせん断破壊と判別された試験体の最大耐力時の変形角とした。また、計算値は、7.5.1 項の冒頭で示した復元力特性の評価手法で算定した曲げ変形およびせん断変形の和とした。具体的には、評価式 I, II, III に、復元力特性の評価手法 A, B, C をそれぞれ用いた。

評価式 I, III では、実験値/計算値の平均値が 1.0 を大きく上回った。その一因として、前述したように、せん断終局強度の計算値が実験の最大耐力を 2~5 割程度低く評価したことが考えられる。したがって、せん断終局強度の計算精度が向上すれば、せん断破壊時の変形角の計算精度も改善する可能性がある。せん断破壊時の変形角を一律に 1/250 とした評価式 II では、大部分の試験体のせん断終局強度時の変形角が 0.3~0.6% に分布した。

評価式 I では、単層耐力壁では実験値を過小に評価する一方で、連層耐力壁では評価精度が改善する傾向が見られた。その一因として、評価式 I では、式(7.5.40) の外周フレームによる拘束効果を表す水平方向抵抗ばねの計算方法が、単層と連層の場合で異なることが考えられる。また、有開口試験体では、せん断終局強度の実験値/計算値が 1.0 を大きく上回っているにも関わらず、

第7章 耐力壁部材

せん断終局強度時の変形角の実験値／計算値が 1.0 を下回る試験体が複数見られた。このような試験体では、壁板内で均一なせん断ひずみの分布が得られず、局所的な損傷によって早期に破壊に至った可能性がある。

評価式Ⅱでは、開口のない耐力壁では、せん断終局強度時のせん断ひずみを一律に 1/250 としたため、せん断終局強度時の変形角も 1/250 付近に分布する結果となった。実験における最大耐力時の変形角の下限が 1/250 とおおよそ一致するため、評価式Ⅱは全体的に実験値を過小評価した。計算値が実験値を上回り、危険側の評価となった試験体は、①無開口・I形断面で 64 体中 8 体 (13%)、②無開口・矩形断面で 14 体中 3 体 (21%)、③有開口・I形、矩形断面で 55 体中 10 体 (18%) であった。開口を設けた耐力壁では、図 7.5.16 に示すように、せん断終局強度時のせん断ひずみが、開口による剛性の低減率 r_1 と強度の低減率 r_2 によって決まるため、等価開口周比の増大に伴い、せん断終局強度時のせん断ひずみは 1/250 よりも大きな値が与えられる。表 7.5.12(b) に示すように、①無開口・I形断面と③有開口・I形、矩形断面の実験値／計算値の平均値がほぼ同じ値となるため、図 7.5.16(a) に示した有開口耐力壁の評価手法は概ね妥当であると考えられる。しかしながら、上述のように、開口を設けた耐力壁では、危険側の評価となる試験体が全体の 2 割を占めるため、評価の際には注意が必要である。

評価式Ⅲに関しては、本データベースの 525 体の試験体を対象に計算した、せん断終局強度時の剛性低下率の計算値 β_u の平均値が 0.18、標準偏差が 0.03 となった。その結果、せん断終局強度時の変形角の計算値の多くが 1/500～1/250 の範囲に集中したため、評価式Ⅱよりもさらに過小に実験値を評価した。評価式Ⅱと同様に、①無開口・I形断面と③有開口・I形、矩形断面の実験値／計算値の平均値がほぼ同じ値となるため、図 7.5.16(b) に示した有開口耐力壁の評価手法も概ね妥当であると考えられる。計算値が実験値を上回った試験体は、①無開口・I形断面で 66 体中 1 体 (2%)、②無開口・矩形断面で 16 体中 0 体 (0%)、③有開口・I形、矩形断面で 61 体中 3 体 (5%) とわずかであり、開口の有無に関わらず、耐力壁のせん断破壊時の変形角を安全側に評価している。

表 7.5.12 セン断終局強度時の変形角の実験値と計算値の比較

(a) 評価式 I

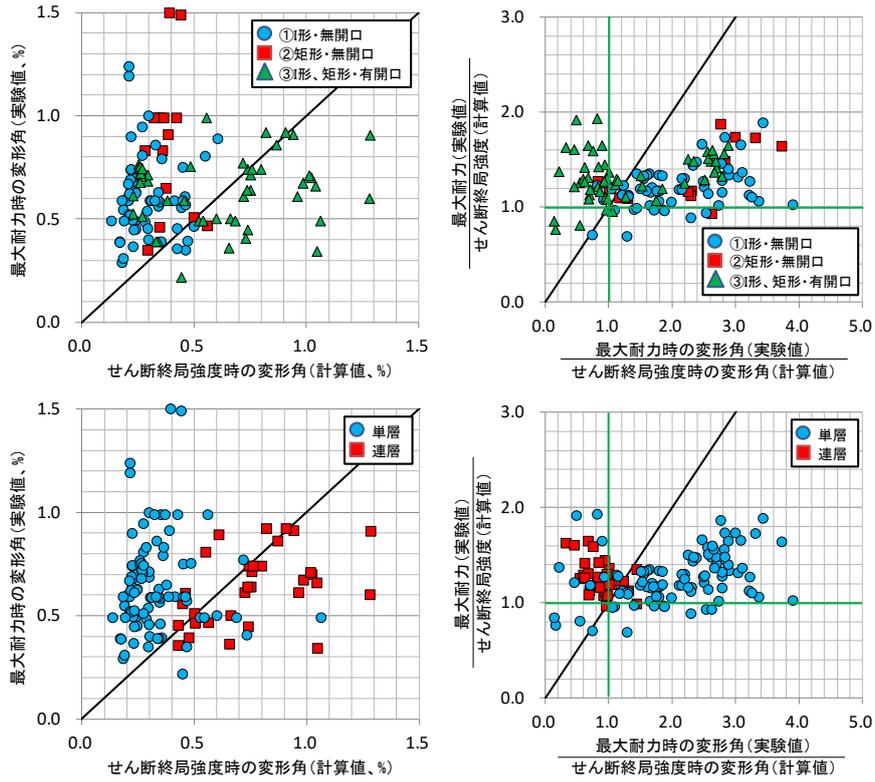
| 評価式 I | | ① 無開口 I形断面 | ② 無開口 矩形断面 | ①+② | ③ 有開口 I形, 矩形 | ①+②+③ |
|------------|------|------------------|------------------|------|--------------------|-------|
| 試験体数 | | 64 | 14 | 78 | 55 | 133 |
| 実験値 計算値 | 平均値 | 2.22 | 2.23 | 2.22 | 1.33 | 1.85 |
| | 標準偏差 | 0.96 | 0.90 | 0.94 | 0.86 | 1.01 |
| | 変動係数 | 0.43 | 0.40 | 0.42 | 0.65 | 0.54 |

(b) 評価式 II

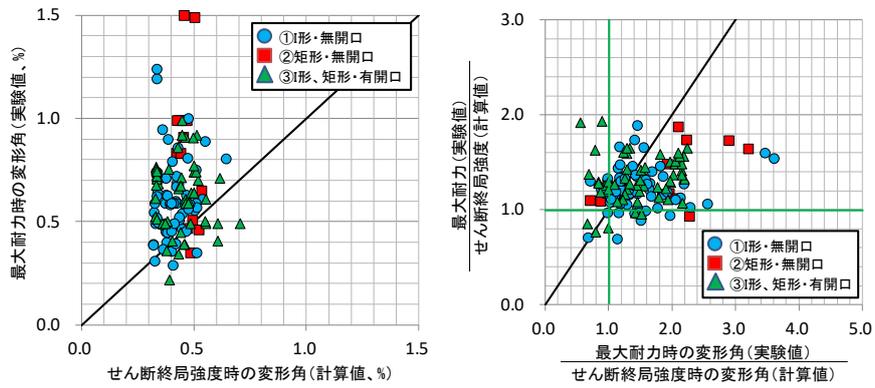
| 評価式 II | | ① 無開口 I形断面 | ② 無開口 矩形断面 | ①+② | ③ 有開口 I形, 矩形 | ①+②+③ |
|------------|------|------------------|------------------|------|--------------------|-------|
| 試験体数 | | 64 | 14 | 78 | 55 | 133 |
| 実験値 計算値 | 平均値 | 1.48 | 1.82 | 1.54 | 1.51 | 1.53 |
| | 標準偏差 | 0.53 | 0.76 | 0.59 | 0.50 | 0.55 |
| | 変動係数 | 0.36 | 0.42 | 0.38 | 0.33 | 0.36 |

(c) 評価式 III

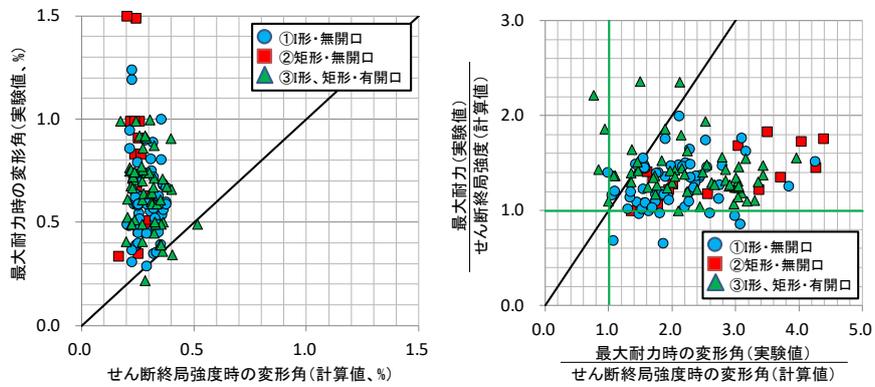
| 評価式 III | | ① 無開口 I形断面 | ② 無開口 矩形断面 | ①+② | ③ 有開口 I形, 矩形 | ①+②+③ |
|------------|------|------------------|------------------|------|--------------------|-------|
| 試験体数 | | 66 | 16 | 82 | 61 | 143 |
| 実験値 計算値 | 平均値 | 2.13 | 3.27 | 2.35 | 2.36 | 2.36 |
| | 標準偏差 | 0.83 | 1.62 | 1.12 | 0.86 | 1.01 |
| | 変動係数 | 0.39 | 0.49 | 0.47 | 0.36 | 0.43 |



(a) 評価式 I



(b) 評価式 II



(c) 評価式 III

図 7.5.17 せん断終局強度時の変形角の実験値と計算値の比較

評価式 I, IIIでは、せん断終局強度時の変形角の評価精度が、せん断終局強度の評価精度に依存していると考えられるため、実験の荷重変形関係から、包絡線上の点が初めて、最大耐力の70%、80%、90%に到達した点を紙面から読み取り、計算上のせん断終局強度点との比較を行った。今回の検討では、紙面からの読み取りは①、②の無開口の試験体のみを対象として行った。図 7.5.17 に実験結果から読み取った各耐力点の変形角と、評価式 I を用いて計算したせん断終局強度時の変形角の関係を示す。また、表 7.5.13 に、実験の耐力点と計算の強度点における、変形角と荷重の評価精度を示す。評価式 I と III では、荷重の評価精度のよい耐力点の周辺で、変形角の実験値と計算値を比較してみると、評価精度が高いことが分かる。変動係数は3~5割と大きいものの、実験値/計算値の平均値は1.0に近い値が得られている。したがって、評価式 I と III では、70~90%の耐力点については、実験の変形角を高い精度で評価できるが、最大耐力点の変形については、過小評価となることが確認できた。

表 7.5.13 各耐力点の実験値とせん断終局強度点の計算値の比較(①I形断面+②矩形断面)

(a) 評価式 I

| 評価式 I | | 70%耐力点 | | 80%耐力点 | | 90%耐力点 | | 最大耐力点 | |
|------------|------|--------|------|--------|------|--------|------|-------|------|
| | | 変形角 | 荷重 | 変形角 | 荷重 | 変形角 | 荷重 | 変形角 | 荷重 |
| 試験体数 | | 104 | 104 | 104 | 104 | 106 | 106 | 111 | 111 |
| 実験値 計算値 | 平均値 | 0.82 | 0.88 | 1.07 | 1.00 | 1.39 | 1.13 | 2.00 | 1.25 |
| | 標準偏差 | 0.42 | 0.20 | 0.54 | 0.23 | 0.68 | 0.25 | 1.16 | 0.28 |
| | 変動係数 | 0.51 | 0.23 | 0.50 | 0.23 | 0.49 | 0.22 | 0.58 | 0.22 |

(b) 評価式 II

| 評価式 II | | 70%耐力点 | | 80%耐力点 | | 90%耐力点 | | 最大耐力点 | |
|------------|------|--------|------|--------|------|--------|------|-------|------|
| | | 変形角 | 荷重 | 変形角 | 荷重 | 変形角 | 荷重 | 変形角 | 荷重 |
| 試験体数 | | 104 | 104 | 104 | 104 | 106 | 106 | 111 | 111 |
| 実験値 計算値 | 平均値 | 0.58 | 0.88 | 0.76 | 1.00 | 0.99 | 1.13 | 1.46 | 1.25 |
| | 標準偏差 | 0.22 | 0.20 | 0.28 | 0.23 | 0.36 | 0.25 | 0.70 | 0.28 |
| | 変動係数 | 0.39 | 0.23 | 0.37 | 0.23 | 0.36 | 0.22 | 0.48 | 0.22 |

(c) 評価式 III

| 評価式 III | | 70%耐力点 | | 80%耐力点 | | 90%耐力点 | | 最大耐力点 | |
|------------|------|--------|------|--------|------|--------|------|-------|------|
| | | 変形角 | 荷重 | 変形角 | 荷重 | 変形角 | 荷重 | 変形角 | 荷重 |
| 試験体数 | | 110 | 110 | 110 | 110 | 113 | 113 | 119 | 119 |
| 実験値 計算値 | 平均値 | 0.92 | 0.94 | 1.21 | 1.06 | 1.62 | 1.20 | 2.41 | 1.34 |
| | 標準偏差 | 0.41 | 0.19 | 0.54 | 0.21 | 0.94 | 0.24 | 1.41 | 0.27 |
| | 変動係数 | 0.45 | 0.20 | 0.45 | 0.20 | 0.58 | 0.20 | 0.59 | 0.21 |

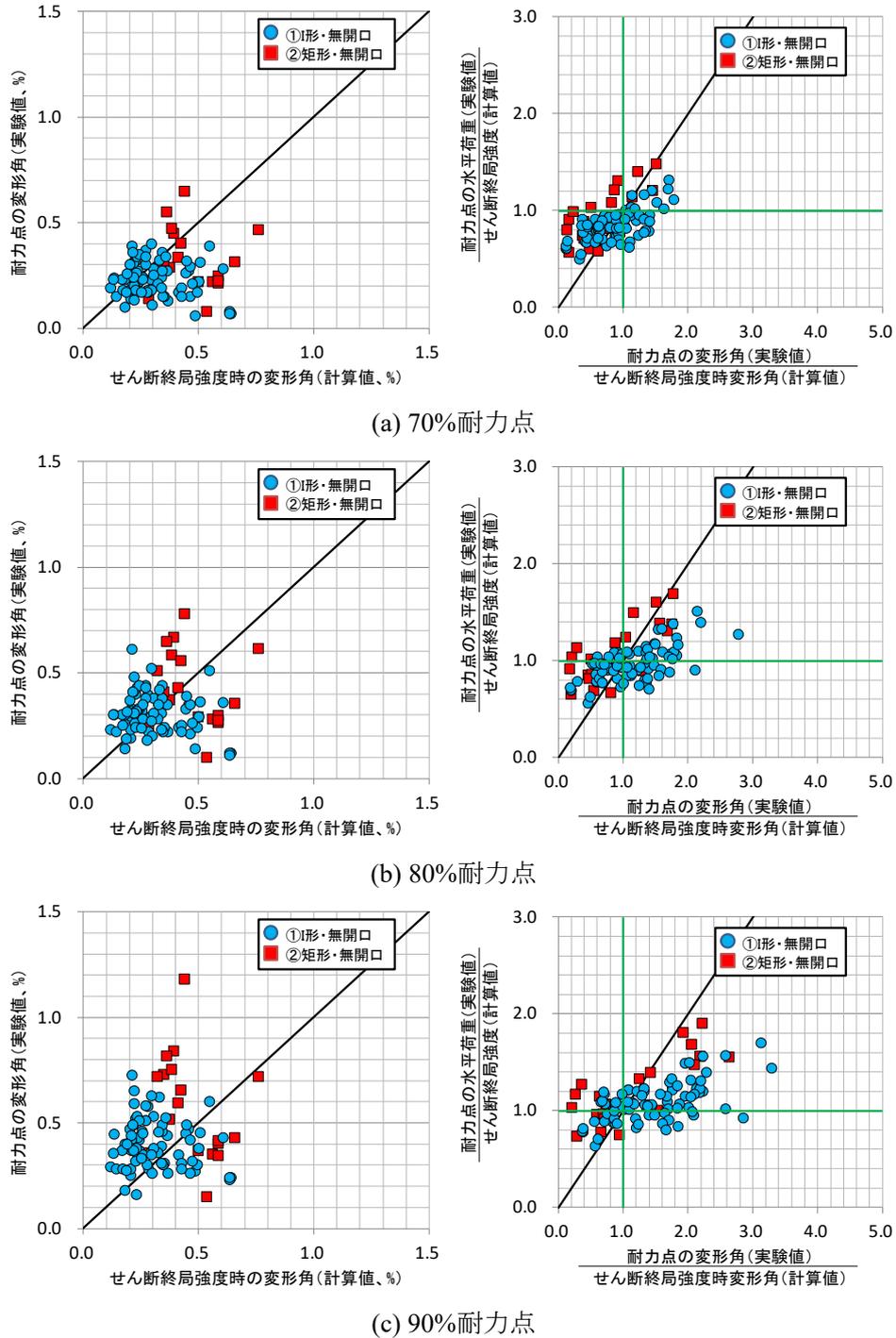


図 7.5.18 各耐力点の実験値とせん断終局強度点の計算値の比較(評価式 I)

評価式 II では、せん断破壊時のせん断ひずみを一律に $1/250$ (有開口の場合は $1/250 \times r_2/r_1$) としたが、一部の試験体で、実験のせん断破壊時の部材角が、計算のせん断終局強度時の部材角を下回った。ここでは、柱型を有する耐力壁のせん断破壊時変形角について、詳細な検討を行う。

図 7.5.19(a)に、①無開口・I形断面の耐力壁のうち、せん断破壊と判定された 85 体の試験体のせん断破壊時変形角の実験値と壁横筋比の関係を示す。せん断破壊時変形角は、実験で計測された各試験体の最大耐力時の変形角とした。また、実験結果は、側柱の鉄筋量に関する構造規定(柱主筋比 0.8%以上かつ柱帯筋比 0.2%以上)と、1999 年版 RC 規準^[7-4]に記載されている側柱の寸法

に関する推奨条件（下記参照）を満足するかどうかで分類した。内訳は、開口のない試験体では、構造規定と推奨条件の両方を満足するものが50体、構造規定のみ満足するものが24体、推奨条件のみ満足するものが4体、構造規定と推奨条件のいずれも満足しないものが7体である。

1999年版RC規準における側柱の寸法に関する推奨条件

- ・柱の断面積が $st/2$ 以上
 - ・柱の最小径が $\sqrt{st/3}$ 且つ $2t$ 以上
- (s : 壁板 $h' \times l'$ の短辺の長さ、本検討では h' は1層の内法高さとした、 t : 壁板の厚さ)

図 7.5.19(a)に示すように、側柱の鉄筋量に関する構造規定と側柱の寸法に関する推奨条件を満足する試験体でも、壁横筋比が小さい場合には、せん断破壊時変形角が小さく、脆性的な破壊性状となる試験体が含まれることが分かる。壁横筋比が構造規定の下限値となる 0.25%程度の場合には、複数の試験体でせん断破壊時の変形角が $1/250$ を下回っている。また、壁横筋比が大きい場合でも、1999年版RC規準の側柱の寸法に関する推奨規定が満足されていない試験体のうちの一体で、せん断破壊時の変形角が $1/250$ を下回っている。したがって、側柱の鉄筋量に関する構造規定と側柱の寸法に関する推奨条件を満足した上で、壁横筋を壁横筋比で 0.45%以上配筋することで、せん断破壊時の変形角を $1/250$ 以上確保できるものと考えられる。

なお、図 7.5.19(a)のせん断破壊時の変形角には、曲げ変形や抜け出しによる変形が含まれているため、モデル化の際に必要となるせん断破壊時のせん断変形角は、せん断破壊時の変形角よりも小さくなる。そこで、7.5.1項の復元力特性の評価手法 A, B で示した、断面解析の結果に基づく曲げの復元力特性の評価手法に従い、各試験体の実験の最大耐力時の曲げ変形角を計算し、実験の最大耐力時の変形角から差し引くことで、せん断破壊時のせん断変形角を推定した。図 7.5.19(b)に、推定したせん断破壊時のせん断変形角と壁横筋比の関係を示す。側柱の鉄筋量に関する構造規定と寸法に関する推奨条件を満足した上で、壁横筋を壁横筋比で 0.45%以上配筋することで、せん断破壊時のせん断変形角についても $1/250$ 以上確保できるものと考えられる。

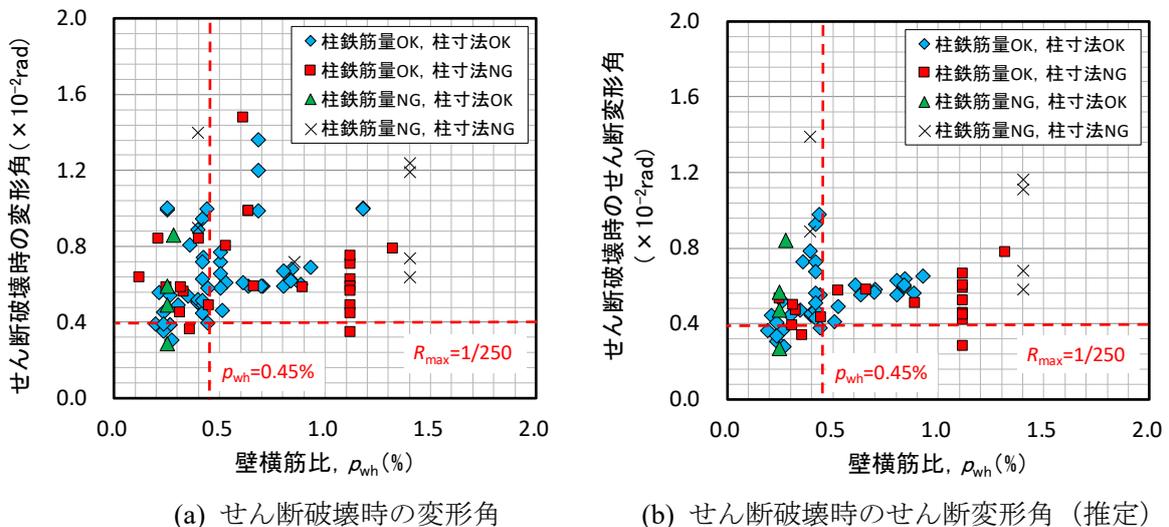
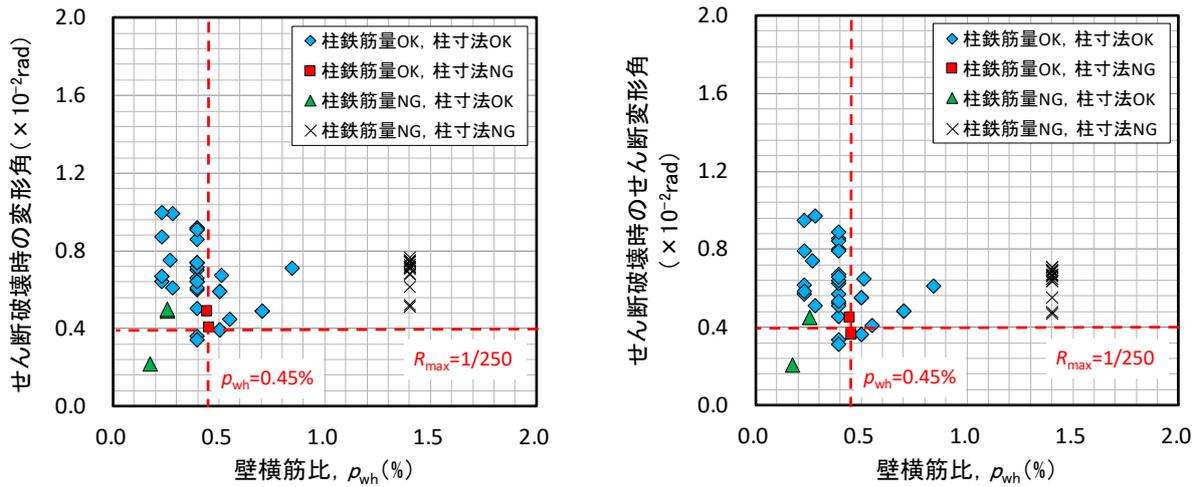


図 7.5.19 柱型を有する無開口耐力壁のせん断破壊時の変形角, せん断変形角と壁横筋比の関係

同様の方法を用いて、③有開口・I形断面、矩形断面の耐力壁のうち、柱型を有し、せん断破壊と判定された57体の試験体についても、せん断破壊時のせん断変形角を算定した。図7.5.20にせん断破壊時の変形角、せん断変形角と壁横筋比の関係を示す。開口を持つ試験体では、構造規定と推奨条件の両方を満足するものが35体、構造規定のみ満足するものが3体、推奨条件のみ満足するものが3体、いずれも満足しないものが16体であった。開口がない場合と同様に、側柱の鉄筋量に関する構造規定と寸法に関する推奨条件を満足した上で、壁横筋を壁横筋比で0.45%以上配筋することで、せん断破壊時のせん断変形角を概ね1/250以上確保できることが分かる。



(a) せん断破壊時の変形角 (b) せん断破壊時のせん断変形角 (推定)

図 7.5.20 柱型を有する有開口耐力壁のせん断破壊時の変形角、せん断変形角と壁横筋比の関係

但し、図7.5.16(b)で示したように、評価法Ⅱでは、有開口耐力壁のせん断破壊時のせん断ひずみを開口による剛性の低減率 r_1 と強度の低減率 r_2 を用いて $1/250 \times r_2/r_1$ で与えているため、せん断破壊時のせん断変形角が $1/250$ を超えることを確認しただけでは不十分である。図7.5.21にせん断破壊時のせん断変形角と等価開口周比の関係を示す。等価開口周比 r_0 は式(7.2.4)で算定した。また、図中には、有開口壁を耐力壁として取り扱う場合の目安となる等価開口周比 0.4 と、せん断破壊時のせん断変形角の計算値 $1/250 \times r_2/r_1$ (強度の低減率 r_2 が等価開口周比 r_0 で決まる場合を想定) を示した。有開口耐力壁では、側柱の鉄筋量と寸法、壁横筋比の全ての条件を満足する場合でも、せん断破壊時のせん断変形角が $1/250 \times r_2/r_1$ を下回り、危険側の評価となる試験体があることが分かる。これは、等価開口周比の範囲を 0.4 以下に限定して考えた場合も同様である。

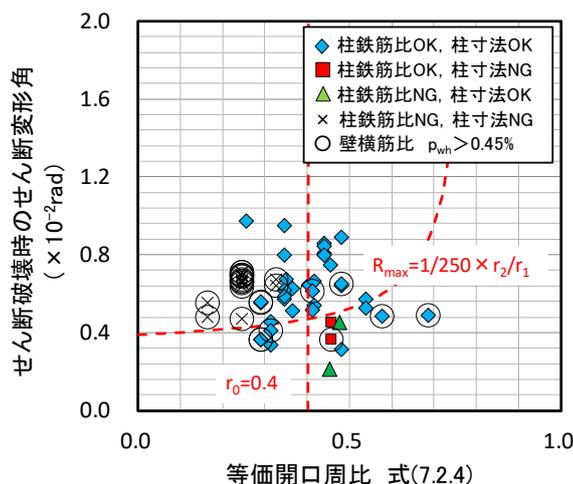


図 7.5.21 柱型を有する有開口耐力壁のせん断破壊時のせん断変形角—等価開口周比関係

図 7.5.20, 図 7.5.21 で検討を行った有開口耐力壁試験体のうち、京都大学で過去に実施された 2.5 層の連層耐力壁試験体の静的載荷実験の荷重変形関係の包絡線を図 7.5.22, 図 7.5.23, 図 7.5.24 に示す。縦軸には水平荷重を各載荷方向の最大耐力で除した比率を、横軸には 3 階梁高さの水平変位をその位置の高さで除した全体変形角を示している。図中の N1 試験体は無開口の基準試験体であり、他の試験体では各階に一つずつ開口が設けられている。また、全ての試験体がせん断で破壊している。開口を設けた試験体では、開口が大きくなるほど、また、開口を壁板中央付近に配置するほど、最大耐力時の全体変形角が増大し、最大耐力後の耐力低下も緩やかになる傾向が見られる。一方で、開口の幅が狭く、開口に挟まれた壁付きの短スパン梁が早期にせん断破壊する試験体や、各階の異なる位置に開口を配置することによって、層間の応力伝達が困難となる千鳥配置の試験体では、最大耐力時の全体変形角が、開口がない場合と同程度、もしくは開口がない場合を下回る試験体も存在している。

以上の考察より、開口を設けた耐力壁では、開口の配置がせん断破壊時の変形角に及ぼす影響が大きく、無視できないことが分かる。図 7.5.22, 図 7.5.23, 図 7.5.24 に示した試験体は、側柱の鉄筋量に関する構造規定と寸法に関する推奨条件は満足しているものの、壁横筋比が 0.45% 以下であるため、図 7.5.20, 図 7.5.21 で検討した、評価式 II のせん断終局強度時のせん断変形角 $1/250 \times r_2/r_1$ の適用対象からは除外されている。しかしながら、仮にこれらの試験体とまったく同じパラメータを持つ試験体を製作し、壁横筋比のみを増大させた場合に、せん断破壊時のせん断変形角がどの程度改善されるのか、また、せん断破壊時のせん断変形角が $1/250 \times r_2/r_1$ を上回るかどうかについては、十分な検証が行われていない。したがって、開口を設けた耐力壁のせん断破壊時のせん断変形角を評価法 II で評価するためには、側柱や壁板に関する条件だけでなく、開口の配置が及ぼす影響についても十分に考慮する必要がある。

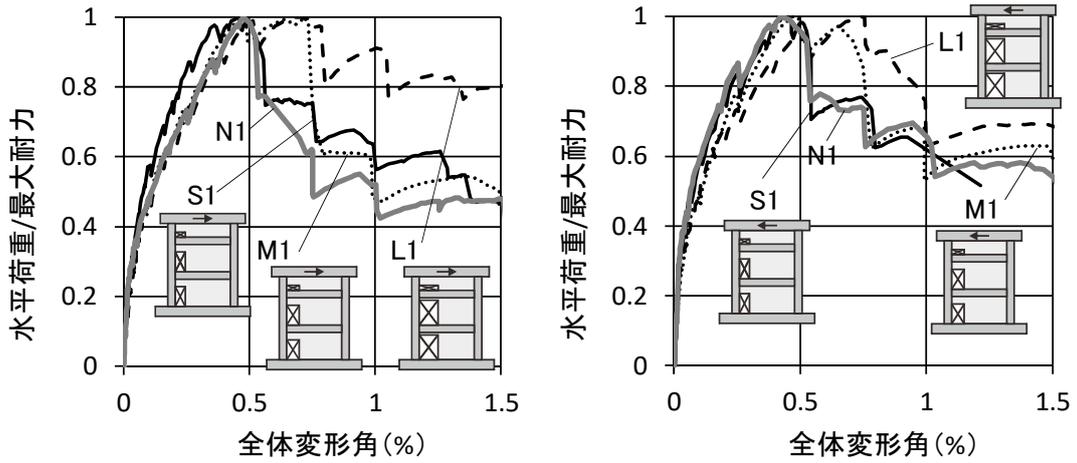


図 7.5.22 開口を偏在配置した試験体の荷重変形関係の一例^[7-9]

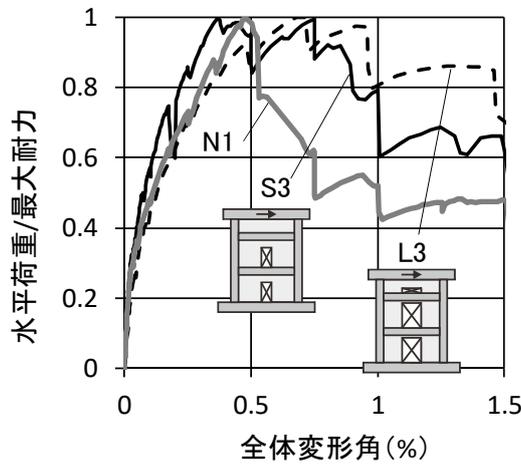


図 7.5.23 開口を中央配置した試験体の荷重変形関係の一例^[7-9]

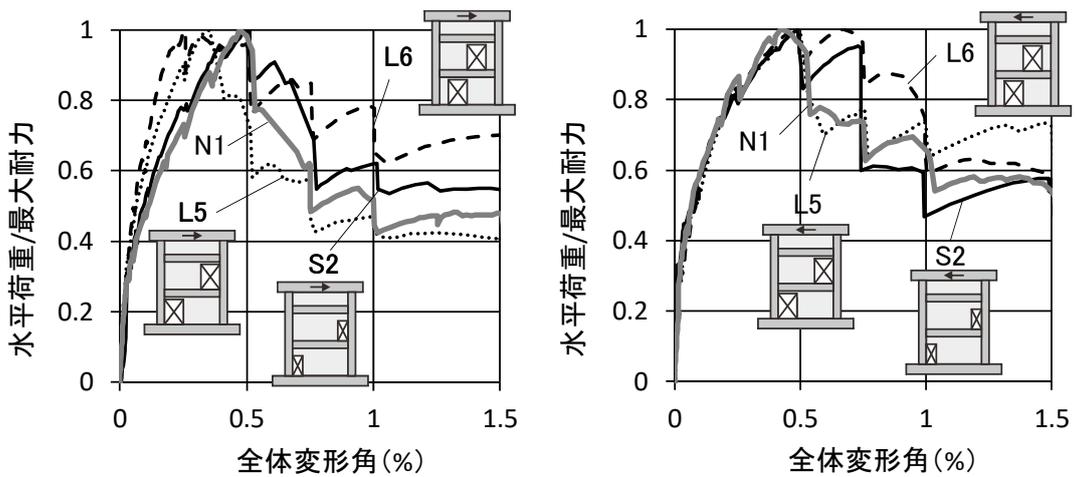


図 7.5.24 開口を千鳥配置した試験体の荷重変形関係の一例^[7-9]

7.5.7 曲げ降伏強度

曲げ降伏強度と曲げ終局強度の関係について検証する。表 7.5.14 に実験で曲げ降伏が確認され

た試験体における、曲げ降伏強度と曲げ終局強度（最大強度）の比率を示す。曲げ降伏強度と曲げ終局強度には、正負の平均値を用いた。また、正負どちらかの値のみが記載されている場合は、その値を採用した。なお、曲げ降伏強度の実験値は、側柱の最外縁主筋の引張降伏時と、側柱の全主筋の引張降伏時に分類して収集したが、論文中にどの位置の主筋が引張降伏したか具体的な記述がなかった場合には、最外縁主筋の降伏とみなした。側柱主筋と壁縦筋の配筋や曲げ圧縮領域の拘束状態、軸力の寄与分などの要因によって、曲げ降伏強度と曲げ終局強度の比率は変化すると考えられるが、今回の検討では、最大耐力の7割～9割に到達すると、側柱主筋が引張降伏したことが分かる。

次に、断面解析の結果から求められる、曲げ降伏強度と曲げ終局強度の比率を表7.5.15に示す。断面解析でも、荷重が最大耐力の9割前後まで到達すると、側柱の全主筋が引張降伏する傾向が見られ、表7.5.14に示した実験結果とおおよそ対応していることが分かるが、性能指針式で用いられる曲げ降伏強度（側柱の全主筋と壁縦筋の2/3が引張降伏する時の荷重）に関しては、曲げ終局強度との比率が0.97となり、最大耐力とほぼ等しい値になっている。

■曲げ降伏強度の評価式■

性能指針に従い、断面解析の結果から、全柱主筋と壁縦筋の2/3の鉄筋が降伏する時のモーメントを曲げ降伏強度とする。

表 7.5.14 実験における曲げ降伏強度と曲げ終局強度の比較

| 実験の曲げ降伏点 | | 最外縁主筋降伏時 | 全主筋降伏時 |
|------------------|------|----------|--------|
| 試験体数 | | 81 | 14 |
| 曲げ降伏強度 曲げ終局強度 | 平均値 | 0.83 | 0.86 |
| | 標準偏差 | 0.10 | 0.05 |
| | 変動係数 | 0.13 | 0.06 |

表 7.5.15 断面解析による曲げ降伏強度と曲げ終局強度の比較

| 降伏の定義 | | 全主筋降伏時 | 全主筋と壁縦筋の 2/3 降伏時 |
|------------------|------|--------|---------------------|
| 試験体数 | | 418 | 418 |
| 曲げ降伏強度 曲げ終局強度 | 平均値 | 0.90 | 0.97 |
| | 標準偏差 | 0.06 | 0.02 |
| | 変動係数 | 0.06 | 0.02 |

曲げ降伏強度時のせん断力の実験値と計算値の比較を図7.5.25、表7.5.16に示す。なお、実験値、解析値とも正負の平均値を用いた。また、実験値に関しては、正負どちらかの値のみが記載されている場合は、その値を採用した。性能指針による曲げ降伏強度時のせん断力は、側柱の全主筋と壁縦筋の2/3が引張降伏する時の荷重であるため、側柱の引張降伏時を対象とする実験値よりも大きな荷重レベルを想定しているが、実験値と計算値の比較を見ると、計算値は、実験において側柱の全主筋が引張降伏する時の荷重とほぼ一致しており、実験結果をやや過小に評価している。この結果は、表7.5.7において、断面解析による曲げ終局強度時のせん断力の計算値が、曲げ降伏する実験試験体の最大耐力をやや低めに評価していた結果と対応している。

表 7.5.16 曲げ降伏強度時のせん断力の実験値と計算値の比較

| 実験の曲げ降伏点 | | 最外縁主筋降伏 | 全主筋降伏 |
|------------|------|---------|-------|
| 試験体数 | | 53 | 13 |
| 実験値 計算値 | 平均値 | 0.91 | 1.01 |
| | 標準偏差 | 0.13 | 0.09 |
| | 変動係数 | 0.15 | 0.09 |

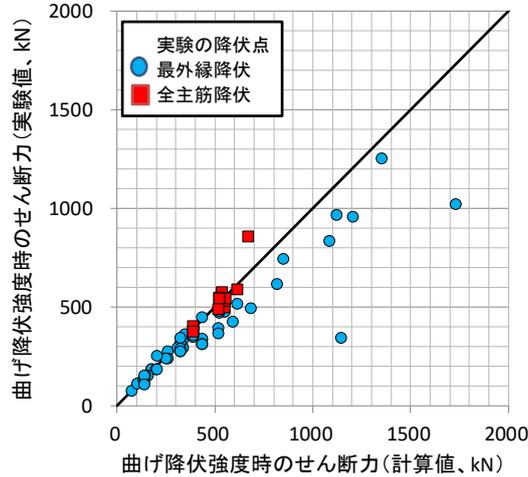


図 7.5.25 曲げ降伏強度の実験値と計算値の比較

曲げ降伏強度時の変形角を、性能指針や技術基準解説書に記載された評価式に従って算定し、実験結果と比較する。

■曲げ降伏時の変形角の評価式 I ■

性能指針に従い、断面解析の結果から、曲げ降伏時の曲げ変形角を算定する。なお、同指針では、曲げ降伏時の変形角は、全柱主筋が降伏する時の曲率と、全柱主筋と壁縦筋の 2/3 の鉄筋が降伏する時の曲率の平均値として定義されている。

■曲げ降伏時の変形角の評価式 II ■

技術基準解説書に従い、曲げ降伏時の曲げ変形角を以下の剛性低下率を用いて計算する。中立軸深さ C_n は、7.5.1 項に示した断面解析において、コンクリートと鉄筋の材料特性を弾性と仮定して算定する。

$$\alpha_y = \frac{{}_wM_y \cdot C_n}{EI_w \cdot \varepsilon_y} \tag{7.5.42}$$

${}_wM_y$: 耐力壁の曲げ終局モーメント (N・mm) , 本検討では式(7.5.26) を用いている。

C_n : 弾性時中立軸から引張柱中心までの距離 (mm)
(本検討では、コンクリートと鉄筋を弾性とした断面解析で算定した。)

- E : コンクリートのヤング係数 (MPa) , 式(7.5.8)を用いる。
- I_w : 耐力壁の断面二次モーメント (mm^4) , 式(7.5.2) を用いる。
- ε_y : 側柱主筋の降伏ひずみ度

図 7.5.26, 表 7.5.17 に曲げ降伏強度時の変形角の実験値と計算値の比較を示す。なお, 評価式 I では, 7.5.1 項の冒頭に示した復元力特性の評価方法 A に基づいて, 評価式 II では, 評価手法 C に従って, 変形角の計算を行った。

評価法 I では, 全柱主筋が降伏する時の曲率と, 全柱主筋と壁縦筋の 2/3 の鉄筋が降伏する時の曲率の平均値を用いて曲げ変形を算定するため, 側柱主筋の引張降伏点とした実験の曲げ降伏強度時の変形角と比較して, 大きな変形のレベルを想定している。実験値と計算値を比較すると, 最外縁主筋の降伏時, 全主筋の降伏時のいずれの場合についても, 計算値に対する実験値の比率の平均値は 1.0 を下回った。評価法 II では, 側柱主筋が引張降伏する時の曲率を用いて曲げ変形を算定するため, 実験値に近い値が得られることが想定されるが, 計算値に対する実験値の比率の平均値は 1.0 を大きく上回っており, 全体的に実験の変形角を過小に評価する傾向が見られた。この原因としては, 評価法 II では, せん断終局強度時のせん断ひずみを式(7.5.41)で評価したため, トラス剛性を用いてせん断剛性を評価する評価法 I と比較すると, 実験のせん断ひずみを過小評価する傾向があることが挙げられる。

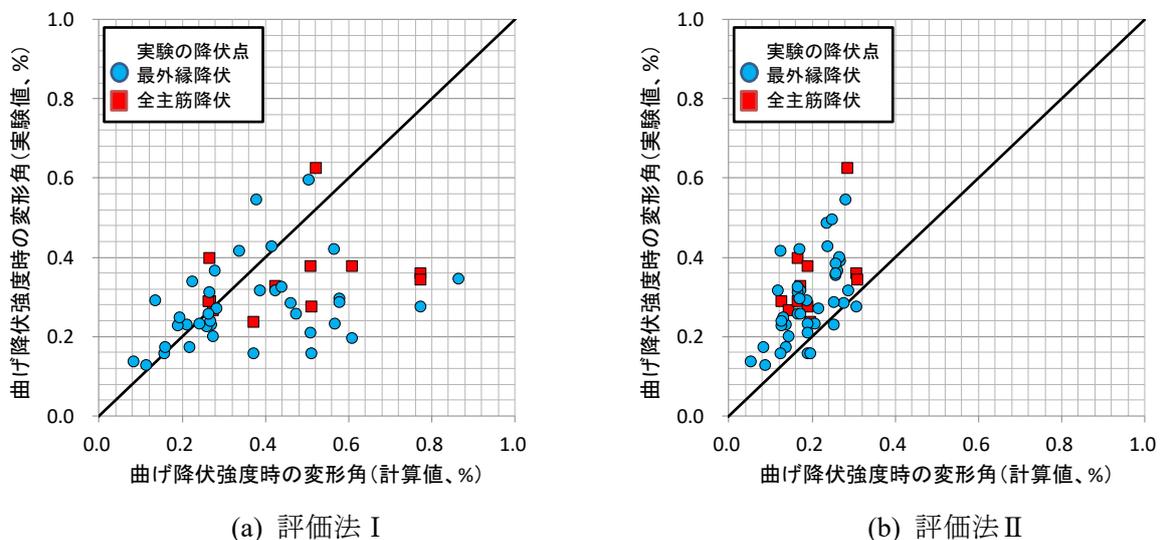


図 7.5.26 曲げ降伏強度時の変形角の実験値と計算値の比較

表 7.5.17 曲げ降伏強度時の変形角の実験値と計算値の比較

| | | 評価法 I | | 評価法 II | |
|------------|------|---------|-------|---------|-------|
| 実験の曲げ降伏点 | | 最外縁主筋降伏 | 全主筋降伏 | 最外縁主筋降伏 | 全主筋降伏 |
| 試験体数 | | 38 | 12 | 40 | 11 |
| 実験値 計算値 | 平均値 | 0.89 | 0.83 | 1.52 | 1.68 |
| | 標準偏差 | 0.38 | 0.32 | 0.48 | 0.42 |
| | 変動係数 | 0.43 | 0.38 | 0.31 | 0.25 |

7.5.8 等価粘性減衰定数

国土交通省の建築基準整備促進事業（課題 30, 39）で実施された耐力壁に関する実験のうち、曲げ降伏型の試験体 14 体（無開口 9 体，有開口 5 体）を対象に，実験の荷重変形関係のデジタルデータを用いて，等価粘性減衰定数 $h_{eq,exp}$ を算定した。 $h_{eq,exp}$ には，定常サイクルとなる第二サイクルの値を採用した。また，最大耐力後，20%の耐力低下が生じるサイクルまでを計算対象とした。部材に生じる塑性率 μ は，本来は，安全限界変形角を仮定し，安全限界変形角までの履歴面積が一致するような二折れ線を仮定し，その第一折れ点の変形角を塑性率 1.0 の点とすることが好ましいが，今回の計算では，表 7.5.15 で示したように，本データベースの実験試験体を対象とした断面解析において，「曲げ終局モーメント（最大モーメント）」に対する「側柱主筋が全て引張降伏する時の曲げモーメント」の比率が 0.90（標準偏差 0.05）となったことから，塑性率 1.0 の点が側柱主筋や壁端の曲げ補強筋の降伏点とおおよそ対応するように，水平荷重が最大耐力の 90%に初めて到達した点を塑性率 1.0 の基準点とした。

実験結果は，鉄筋コンクリート造の部材によく用いられる剛性低下型の二折れ線モデルにおける等価粘性減衰定数^[7-10]を示す式(7.5.45)で表される評価式 I と，国土交通省告示第 1457 号第 9 に記載された建物の地震時の応答が定常応答でないことを考慮して低減された等価粘性減衰定数^[7-2]を示す式(7.5.46)で表される評価式 II と比較した。

図 7.5.27 に等価粘性減衰定数－塑性率関係を示す。図 7.5.27(a)は式(7.5.44)による実験結果と式(7.5.45)の評価式 I による計算結果を直接比較している。一方，図 7.5.27(b)では，国土交通省告示第 1457 号第 9 に従い，式(7.5.44)を 0.8 倍した限界耐力計算時に用いられる実験結果と，式(7.5.46)の評価式 II による計算結果を比較した。なお，図中の実験結果は，式(7.5.26)の曲げ終局強度 M_{wu} において，式(7.5.47)で表される軸力の寄与分 $M_{wu,n}$ の割合 $M_{wu,n}/M_{wu}$ ごとに分類して示した。図 7.5.27(a)を見ると，軸力が曲げ終局強度に占める割合が半分以下となる試験体では，評価式 I による計算値が実験値の下限に位置している。一方，軸力比が曲げ終局強度に占める割合が半分を超えると，実験値が計算値を下回るようになる。これは，軸力が曲げ終局強度に及ぼす影響が大きい試験体では，原点指向性を持つフラッグ形の履歴特性を示すため，履歴面積が減少することが原因であると考えられる。図 7.5.27(b)を見ると，実験値が式(7.5.44)を 80%に低減したものであるのに対し，式(7.5.46)の評価式 II は式(7.5.45)の評価式 I を約 63%に低減したものであるため，軸力が曲げ終局強度に占める割合が 7 割を超えるような軸力の曲げ終局強度に占める寄与分が極端に大きい試験体を除くと，評価式 II は実験値の下限に対応している。

$$h_{eq,exp} = \frac{1}{4\pi} \frac{\Delta W}{W} \quad (7.5.44)$$

■等価粘性減衰定数の評価式 I ■

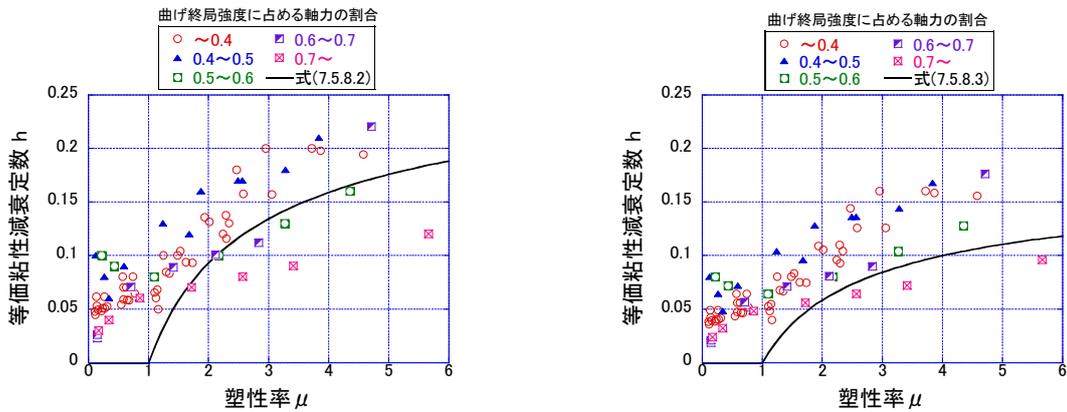
$$h_{eq,cal} = \frac{1}{\pi} \left(1 - \frac{1}{\sqrt{\mu}}\right) \quad (7.5.45)$$

■等価粘性減衰定数の評価式Ⅱ■

$$h_{eq,cal} = 0.2\left(1 - \frac{1}{\sqrt{\mu}}\right) \tag{7.5.46}$$

$$M_{wu,n} = 0.5ND\left(1 - \frac{N}{BDF_c}\right) \tag{7.5.47}$$

ΔW : 各部材に生じる変形を最大点とする履歴特性曲線で囲まれる面積
 W : 各部材に生じる変形にその際の各部材の耐力を乗じて2で除した数値
 μ : 塑性率

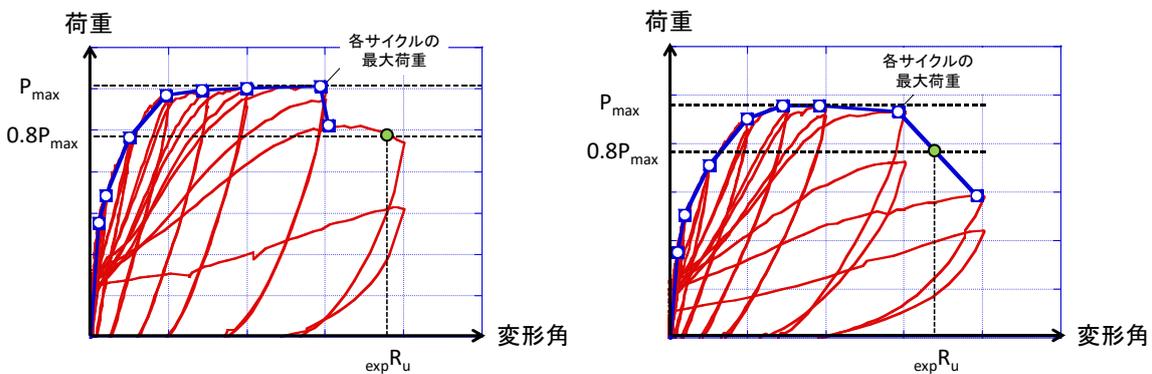


(a) 実験値と式(7.5.45)の比較 (b) 実験値の0.8倍と式(7.5.46)の比較

図 7.5.27 等価粘性減衰定数－塑性率関係

7.5.9 限界変形角

論文中に荷重変形関係が記載されている試験体を対象に、限界変形角の読み取りを行った。限界変形角の実験値($expR_u$)は、荷重変形関係における最大耐力以降の耐力が、最大耐力の80%まで低下した点の変形角と定義し、正負各方向の最小値を用いた。図7.5.28に限界変形角の算定方法を示す。包絡線上に80%耐力低下点がない場合には、図7.5.28(b)に示すように各サイクルの最大荷重時の点を折れ線で結び、この折れ線が80%耐力まで低下した点を限界変形角とした。



(a) 包絡線上に80%耐力低下点がある場合 (b) 包絡線上に80%耐力低下点がない場合

図 7.5.28 限界変形角の実験値($expR_u$)の算定方法

第7章 耐力壁部材

読み取った実験データの妥当性を検証するため、限界変形角と、変形性能の代表的な評価指標であるせん断余裕度、せん断応力度比との関係を調べた。図 7.5.29, 図 7.5.30 に関係図を示す。せん断余裕度とせん断応力度比の計算には、式(7.5.26)の曲げ終局強度式(評価式 I)と式(7.5.30)の広沢 mean 式(評価式 II)を用いた。図 7.5.29 から明らかなように、せん断余裕度が增大すると、せん断破壊、曲げ降伏後のせん断破壊、曲げ破壊と破壊形式が推移し、限界変形角が増大している様子が分かる。文献[7-7]では、限界変形角 15/1000 を確保するためのせん断余裕度の条件として、せん断余裕度を 1.25 以上確保することを挙げているが、本検討の結果も概ねこれに沿った結果となっている。図中の点線で囲まれた範囲内にある矩形断面の試験体は、せん断余裕度が 1.5 を上回っているのにも関わらず、限界変形角が 1.5% を下回っていたが、これらの試験体には、壁端部が帯筋で拘束されていないものや、軸方向鉄筋の圧縮降伏が引張降伏に先行しているものが含まれていた。また、図 7.5.30 に示すように、曲げ破壊もしくは曲げ降伏後にせん断破壊した試験体では、せん断応力度比が大きくなるにつれ、限界変形角が小さくなる傾向が見られた。I 形断面の耐力壁と比較すると、矩形断面の耐力壁では、せん断応力度比が相対的に小さく抑えられており、曲げ破壊した矩形断面の試験体では、壁式構造の耐力壁の部材種別 WA の基準となる 0.1 を下回っていた。

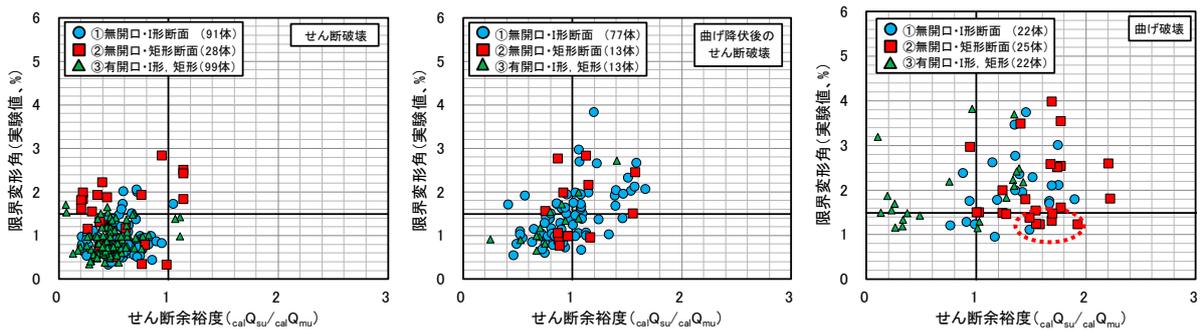


図 7.5.29 せん断余裕度と限界変形角の比較

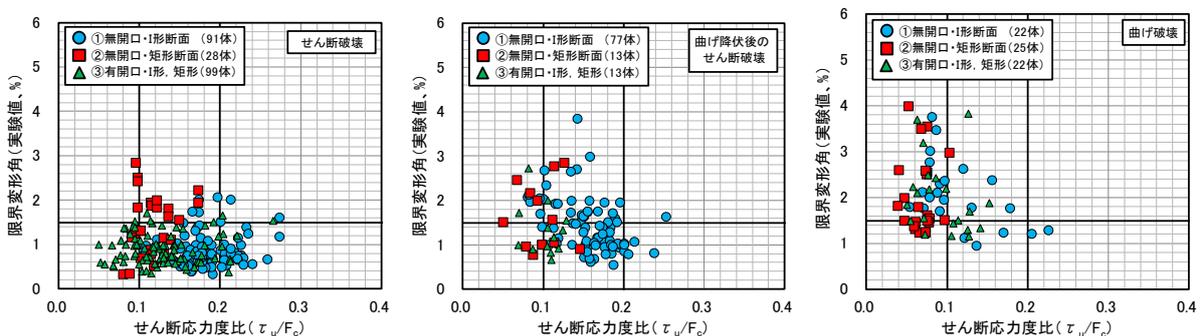


図 7.5.30 せん断応力度比と限界変形角の比較

■ 限界変形角の評価式 I ■

性能指針に従い、断面解析によるモーメントー曲率関係と、式(7.5.32)によるトラスアーチ機構に基づくせん断終局強度の平均式(評価式 IV) から、曲げ降伏後のせん断破壊、曲げ破壊の判別

を行い、限界変形角を算定する。曲げ降伏後の塑性回転領域を式(7.5.48)で、曲げ終局時の限界曲率を式(7.5.49)で、曲げ降伏後のトラス剛性は式(7.5.55)で計算する。復元力特性の評価手法は7.5.1項に示した評価手法Aとする。なお、矩形断面で壁板全体が横補強筋によって拘束される壁柱タイプの試験体では壁端の柱域を仮定できないため、式(7.5.49)では、曲げ終局時の限界曲率を求めることができず、別の仮定が必要になる。今回の検討では、壁柱タイプの試験体は除外して検討を行った。

$$h_p = 0.15 \left(\frac{M}{Q} \right) \quad (7.5.48)$$

h_p : 曲げ降伏後の塑性回転領域の長さ (mm)

M/Q : シアスパン (mm)

$$\phi_u = \begin{cases} \frac{c \varepsilon_B}{0.5D} & x_{ne} \leq J_D \\ \min\left(\frac{c \varepsilon_B}{X_n + 0.5D}, \frac{w \varepsilon_B}{\frac{2}{3}X_n}\right) & x_{ne} > J_D \end{cases} \quad (7.5.49)$$

$$T = a_{ww} \sigma_y + N \quad (7.5.50)$$

$$C_c = 0.9_c \sigma_{cB} J_B J_D \quad (7.5.51)$$

$$N_{cc} = (T^2 + {}_b V_u^2) / T \quad (7.5.52)$$

$$x_{ne} = N_{cc} / (0.9_c \sigma_{cB} J_B) \quad (7.5.53)$$

$$X_n = (N_{cc} - C_c) / (\sigma_B t_w) \quad (7.5.54)$$

ϕ_u : 限界曲率 (1/mm)

$c \varepsilon_B$: 側柱 (壁端拘束域) のコアコンクリートが、崎野モデルによる $\sigma \sim \varepsilon$ 関係において、軟化域で $0.9_c \sigma_{cB}$ に低下した時のひずみ度

$w \varepsilon_B$: 壁板のコンクリートの終局ひずみ度 (=0.003)

$c \sigma_{cB}$: コアコンクリートの圧縮強度 (MPa)

σ_B : 壁板のコンクリートの圧縮強度 (MPa)

$a_{ww} \sigma_y$: 壁縦筋の断面積と降伏強度の積 (N)

D : 圧縮側柱 (壁端拘束域) のせい (mm)

t_w : 壁厚 (mm)

J_B, J_D : 幅方向とせい方向の圧縮側柱の外々のせん断補強筋の芯々距離 (mm)

N : 軸方向力 (N)

x_{ne} : 曲げ終局時せん断力の影響を考慮した中立軸深さ (mm)

$$G_{trus2} = \frac{1}{\frac{1}{K_2 \cos^2 \theta_{t1} \sin^2 \theta_{t1}} + \frac{\tan^2 \theta_{t1}}{K_x} + \frac{1}{K_y \tan^2 \theta_{t1}}} \quad (7.5.55)$$

$$K_2 = (5 \times 10^{-4} \sigma_B) E_c \quad (7.5.56)$$

$$K_x = p_{sx} E_s \quad (7.5.57)$$

G_{trus2} : 曲げ降伏後のせん断剛性 (MPa) , 記号は式(7.5.36) を参照

K_2 : 斜め圧縮ばね (MPa) , 記号は式(7.5.37) を参照

K_x : 水平方向ばね (MPa) , 記号は式(7.5.38) を参照

■限界変形角の評価式Ⅱ■

性能指針に従い、式(7.5.58)に示すように、コンクリートの有効強度係数を部材角に応じて低減させ、式(7.5.31) によるトラスアーチ機構に基づくせん断終局強度の下限式(評価式Ⅲ)と曲げ終局強度時のせん断力が一致する時の部材角 $R_{u,s}$ を求め、別途算定した曲げ終局時の変形角 $R_{u,f}$ と比較し、小さい方の変形角を限界変形角 R_u とした。曲げ終局時の変形角 $R_{u,f}$ は 7.5.1 項で示した手法 B に基づいて計算した。性能指針では、連層耐力壁の曲げ降伏後のせん断破壊の判定用の限界変形角 $R_{u,s}$ を、各層の脚部と外力重心高さ位置の相対水平変位をその相対高さで除して算定する場合と、層間変位を層間高さで除して求める場合の小さい方で決定するように定義している。したがって、連層耐力壁で限界変形角の計算値を算定し、実験値と比較するためには、上記のような複数の計測範囲を対象とした変形角を算定し、それらの一つが限界変形角に到達した時の変形分布から、実験と対応した計測範囲の変形角を求める必要がある。今回の検討では、簡略化のため、実験に対応した計測範囲の変形角が計算した限界変形角に到達した点を限界変形点と定義する。これにより、限界変形角の計算値は大きめに評価される可能性がある。

$$\nu = \begin{cases} \nu_0 & R_u < 0.005 \\ (1.2 - 40R_u)\nu_0 & 0.005 \leq R_u < 0.02 \\ 0.4\nu_0 & 0.02 \leq R_u \end{cases} \quad (7.5.58)$$

ν : 塑性ヒンジの回転による強度低下を考慮したコンクリートの有効強度係数

ν_0 : 式(7.5.33) で表されるコンクリートの有効強度係数 (下限式)

R_u : 耐力壁の保証変形角

図 7.5.31, 表 7.5.18 に限界変形角の実験値と計算値の比較, 限界変形角の評価精度とせん断余裕度の関係を示す。せん断余裕度は、式(7.5.32)のトラスアーチ機構に基づくせん断終局強度の平

均式（評価式IV）と、断面解析による曲げ終局強度（評価式III）から求めた。評価式Iは実験結果をやや過小に評価し、実験値／計算値の平均値は1.31、変動係数は1.32となった。また、実験と計算で破壊形式（曲げ破壊、曲げ降伏後のせん断破壊）が一致した試験体は73体中43体となった。限界変形角の評価精度とせん断余裕度の関係をみると、耐震性能評価指針で確認されている、せん断余裕度の増大に伴い、限界変形角の評価精度のばらつきが小さくなる傾向が、本結果でも見られる。評価式IIは、1体の試験体を除き、他の全ての試験体の限界変形角を安全側に評価した。実験値／計算値の平均値は2.95、変動係数は0.65となった。また、実験と計算で破壊形式が一致した試験体は63体中35体となった。

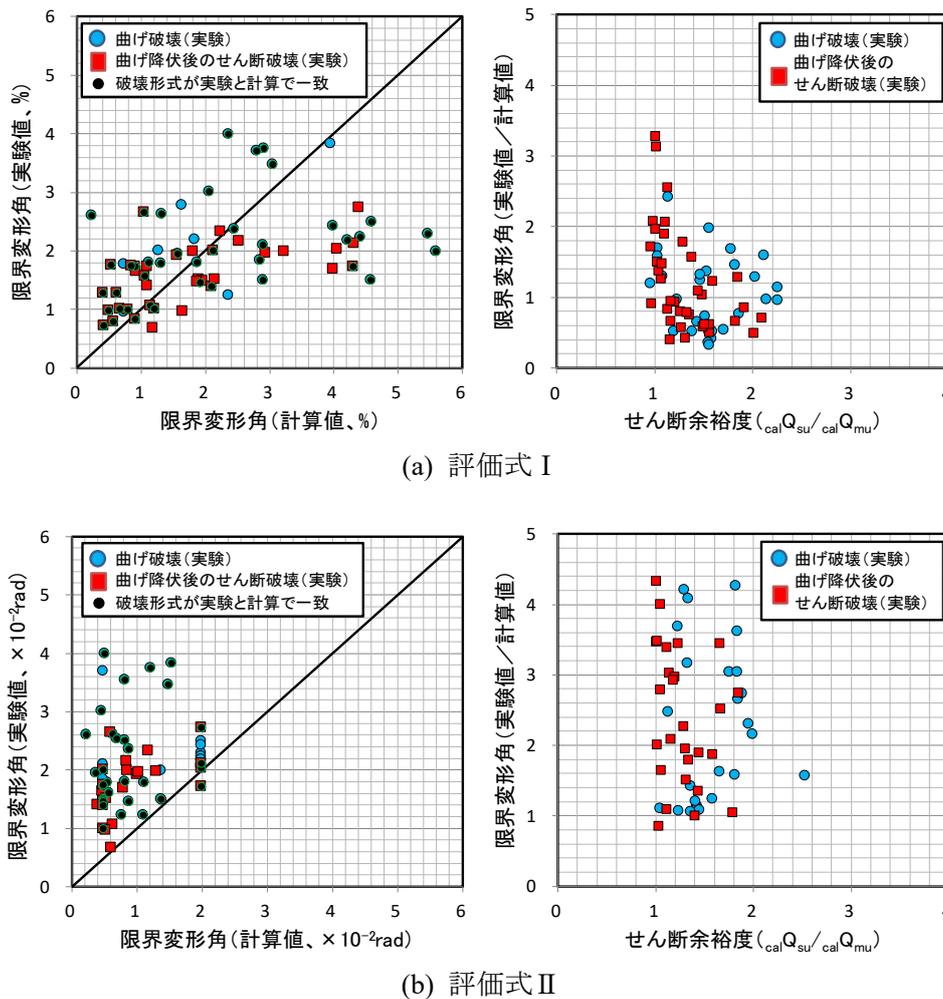


図 7.5.31 限界変形角の実験値と計算値の比較

表 7.5.18 限界変形角の実験値と計算値の比較

| | | 評価式 I | 評価式 II |
|------------------------|------|------------|------------|
| 試験体数 (破壊形式が一致したものの) | | 73 (43) | 63 (35) |
| 実験値 計算値 | 平均値 | 1.31 | 2.95 |
| | 標準偏差 | 1.32 | 1.91 |
| | 変動係数 | 1.01 | 0.65 |

7.6 まとめ

今回の検討で得られた知見を以下に示す。

- エネルギー法による形状係数を用いた弾性剛性は、実験値／計算値の平均値が 0.72，変動係数が 0.37 となり，実験値が計算値を下回った。
- 一つの階に複数の開口を持つ試験体の弾性剛性，せん断ひび割れ強度，せん断終局強度に関して，技術基準解説書と 2010 年版 RC 規準に記載されている開口によるせん断剛性低下率の評価式の精度を検証した。その結果，投影長さ，投影高さを用いた 2010 年版 RC 規準のせん断剛性低下率の方が実験結果を精度良く予測した。
- 開口を設けた試験体では，無開口の試験体よりも，評価式 I による曲げひび割れ強度の実験値／計算値の平均値が小さくなった（有開口：0.65，無開口：0.88）。開口を設けた試験体では，計算の前提である断面の平面保持仮定が成立しておらず，評価精度が低くなった可能性がある。
- せん断ひび割れ強度は，二軸応力を考慮した評価式 I の評価精度が高く，評価式 II は実験値を危険側に，評価式 III は実験値を安全側に評価した。せん断ひび割れ強度がコンクリートの圧縮強度に比例する評価式 II では，コンクリートの圧縮強度が 35MPa を超える試験体と超えない試験体で評価精度に 4 割近い差が生じた。
- 曲げひび割れ強度時の変形角やせん断ひび割れ強度時の変形角は，実験値のばらつきが大きかったが，各ひび割れ強度の評価精度が高い試験体では，予測精度が改善する傾向が見られた。
- 今回検討した 3 つの曲げ終局強度の評価式では，実験値／計算値の平均値，変動係数に大きな差は見られなかった。無開口の試験体では，実験値と評価式 I，II による計算値の差は 20% 以内に収まっており，技術基準解説書の記述と検討結果が一致していた。高軸力下では，軸力の影響による中立軸深さの変化が評価可能な評価式 I，評価式 III では，実験値が計算値を上回り，評価式 II では実験値が計算値をやや下回った。また，せん断スパン比が 1.0 を下回る試験体では，実験値／計算値が 1.0 を下回る試験体の割合が大きいこと，等価開口周比が 0.3～0.5 を超える試験体では，殆どの試験体で，実験値／計算値が 1.0 を下回っていることを確認した。なお，今回の検討では，柱型のない矩形断面の試験体では，両側柱中心間距離を壁全せいの 0.9 倍，引張側柱主筋を壁端部から壁全せいの 0.1 倍の範囲にある縦筋として計算を行った。
- せん断終局強度については，下限式である評価式 I，III だけでなく，平均的に丸めた評価式 II，IV でも，実験値／計算値の平均値が 1.0 を大きく上回る傾向が見られた。但し，矩形断面の試験体では，壁端部に帯筋が設けられていない試験体の実験値／計算値の平均値が小さく，下限式である評価式 III では，実験値／計算値の平均値が 1.0 を下回った。また，実験結果から，矩形断面の試験体では，壁端部の帯筋量がせん断終局強度に影響を及ぼしている可能性があることを示した。
- せん断終局強度時の変形角は，いずれの評価式を用いた場合でも，実験値／計算値の平均値が 1.0 を大きく上回った。その一因として，評価式 I，III では，せん断終局強度の評価式が実験の最大耐力を低く評価していたことが考えられる。菅野式によるせん断ひび割れ後のせん断剛性を用いた評価式 III では，開口や柱型の有無に関わらず，実験のせん断破壊時の変形

角を概ね安全側に評価した。また、柱型を有する無開口の耐力壁では、側柱の鉄筋量に関する構造規定と1999年版RC規準の側柱の寸法に関する推奨条件を満足した上で壁横筋比を0.45%程度以上配筋することで、せん断破壊時のせん断変形角を、評価式Ⅱで採用した1/250以上確保できることを示した。一方で、柱型を有する有開口の耐力壁では、側柱の鉄筋量に関する構造規定と寸法に関する推奨条件を満足した上で壁横筋比を0.45%程度以上配筋した場合でも、せん断破壊時のせん断変形角が、評価式Ⅱで採用した $1/250 \times r_2/r_1$ (r_1 は開口による剛性の低減率、 r_2 は開口による強度の低減率)に到達する前に破壊した試験体があった。有開口の耐力壁に評価式Ⅱのせん断終局強度時の変形角を用いる場合には、開口の配置が及ぼす影響について十分に考慮する必要がある。

- 曲げ降伏型の試験体では、最大耐力の7割～9割に到達した時に、側柱主筋が引張降伏していたことが実験結果から分かった。また、断面解析では、最大耐力の9割前後まで到達すると、側柱の全主筋が引張降伏する傾向が見られた。断面解析では、性能指針で用いられる曲げ降伏強度（側柱の全主筋と壁縦筋の2/3が引張降伏する時のモーメント）と曲げ終局強度（最大耐力）の比率が0.97となり、曲げ終局強度とほぼ等しい値となることも確認できた。
- 性能指針で用いられる曲げ降伏強度時の変形角（全柱主筋が降伏する時の曲率と、全柱主筋と壁縦筋の2/3の鉄筋が降伏する時の曲率の平均値）は、側柱主筋の降伏を対象とする実験の曲げ降伏時変形角よりも大きな変形レベルを想定しているため、実験値／計算値の平均値は1.0を下回った。一方、技術基準解説書で用いられる曲げ降伏強度時の変形角の実験値／計算値の平均値は1.0よりも大きい値となった。この原因として、今回用いた方法では、せん断剛性の計算値が過大に評価されていた可能性が考えられる。
- 水平荷重が最大耐力の90%に初めて到達した点を塑性率1.0の基準点として、曲げ降伏型の実験試験体14体を対象に、等価粘性減衰定数を計算した。曲げ終局強度に対する軸力の寄与分が低い試験体では、同一塑性率における等価粘性減衰定数は、実験値の方が計算値よりも大きい値を示したが、曲げ終局強度に対する軸力の寄与分が高い試験体では、実験値が計算値を下回った。
- 曲げ降伏型の実験試験体を対象に、最大耐力が80%まで低下した時の変形角（限界変形角）を算定し、評価式との比較を行った。試験体の破壊形式（曲げ破壊、曲げ降伏後のせん断破壊）が実験と計算で一致した試験体は全体の半数程度であり、評価式Ⅰ（精算法）では実験値を平均的に、評価式Ⅱ（略算法）では実験値を安全側に評価した。

以下に構築したデータベースについて示す。

- 矩形断面の試験体では、壁端が帯筋によって拘束されたものや、開口が設けられたものが少ない。
- 破壊形式に関しては、曲げ型（曲げ降伏後のせん断破壊含む）とせん断型の試験体がほぼ半数ずつと偏りは見られないが、開口を設けた試験体に限れば、せん断型の試験体が多く、曲げ型の試験体が少ない。
- 高強度鉄筋を側柱主筋や曲げ補強筋に利用した試験体の90%以上がせん断破壊型であり、せん断破壊した試験体の約20%を占めていた。

第7章 耐力壁部材

- 開口を設けた試験体の等価開口周比の平均値は、RC規準において耐力壁として取り扱う際の目安となる0.4とほぼ等しく、一般的には耐力壁として取り扱われることがあまりないような大開口や複数の開口を有する試験体が半数を占めていた。
- 側柱主筋やせん断補強筋（壁端拘束域の曲げ補強筋や横拘束筋）の配筋位置が不明なため、曲げ終局強度やせん断終局強度に関して詳細な検証を行うことができない試験体が全体の2割程度を占めた。また、開口を有する試験体では、開口補強筋がせん断終局強度等のせん断挙動に影響を及ぼすと考えられるが、開口補強筋の配筋位置が不明な試験体も多数見られた。

以下に今後の課題を示す。

- 今回の検討では、試験体を高さ方向に分割し、分割された各断面に作用するモーメントに対応する曲率を積分する形で、曲げ変形を計算したが、実務では、側柱と壁板を3本の柱で置換する3本柱モデルが用いられるのが一般的になっている。3本柱モデルの曲げ特性は、今回検証を行った評価式ではなく、側柱や壁柱に与えられる軸バネや曲げバネの特性に依存するため、3本柱モデルと実験結果との対応についても確認を行っておく必要がある。
- 今回の検討では、せん断破壊時の変形角の実験値を計算値が小さく評価した。その一因として、せん断破壊した試験体の最大耐力が、いずれのせん断終局強度式を用いた場合にも過小評価されたことが挙げられる。せん断終局強度を低めに見積もること自体は安全側の考え方であるが、せん断破壊時の変形角を過小に見積もることは、耐力壁の早期のせん断破壊に繋がり、架構の水平耐力の確保が困難になる場合もあると考えられる。文献[7-11], [7-12]では、1999年版のRC規準において、「付帯柱によって壁板が十分拘束されている場合には、壁板がスリップ破壊を起し、耐震壁のせん断変形が $8.0 \times 10^{-3} \text{rad}$ ぐらいに到達するまでは、負担せん断力および鉛直力が殆ど低下しない」との記述があることを参考に、耐力壁を耐震要素としてより有効に活用するために、解析モデル上のせん断終局強度の到達後の変形性能に期待し、せん断終局強度到達後も実験の最大耐力点に相当する変形角まで、負担せん断力を保持させる考え方について議論がなされている。このようなモデル化を行うには、付帯柱の効果を考慮した、せん断破壊型の耐力壁の変形性能の評価手法の確立が必要となる。
- 開口を設けた耐力壁のせん断終局強度は、開口周辺に配筋した開口補強筋の影響を受けると考えられるが、各試験体に配筋された開口補強筋の量とせん断終局強度との関係は確認できず、今後の検証が必要である。
- X形配筋の試験体や二方向水平荷重を実施した試験体など特別な検討が必要な試験体に関して、構造性能の評価精度を確認しておく必要がある。

7.7 参考文献

- [7-1] 崎野健治, 孫玉平: 直線型横補強材により拘束されたコンクリートの応力—ひずみ関係, 日本建築学会構造系論文集, 第461号, pp.95-104, 1994.7
- [7-2] 建築行政情報センター, 日本建築防災協会: 2015年版建築物の構造関係技術基準解説書, 2015
- [7-3] 日本建築学会: 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 2010, 2010
- [7-4] 日本建築学会: 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 1999, 1999

- [7-5] 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建物の靱性保証型耐震設計指針・同解説，1997
- [7-6] 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建物の耐震性能評価指針（案）・同解説，2004
- [7-7] 日本建築学会構造委員会 鉄筋コンクリート構造運営委員会：鉄筋コンクリート造建物の保有水平耐力計算と地震被害，2011年度日本建築学会大会（関東）構造部門パネルディスカッション資料，2011.8
- [7-8] 菅野俊介：鉄筋コンクリート部材の復元力特性に関する研究－曲げ降伏する梁，柱および無開口耐震壁の強度と剛性に関する実験的研究－，コンクリートジャーナル，Vol.11，No.2，pp.1-9，1973.2
- [7-9] 倉本洋、櫻井真人、河野進、坂下雅信：有開口耐力壁の変形能力の評価等に関する実験・解析，ビルディングレター，pp.2-13，2012.11
- [7-10] 柴田明德：最新耐震構造解析 第二版，森北出版株式会社，2003
- [7-11] 中川崇：実務における疑問への考え方 Q10. 増分解析で耐力壁が早期にせん断破壊した場合，どう考えればよいか？，建築技術 No.774，pp.142-143，2014.7
- [7-12] 鹿島孝：構造設計のための工学的判断の手引き 14. RC 造耐震壁や短スパン梁がせん断破壊する場合の保有水平耐力の計算方法，建築技術 No.729，pp. 122-123，2010.10

7.8 試験体の引用文献

今回の検討で用いた 290 編の文献のリストを以下に示す。

- 国交省建築基準整備促進事業 報告書

- [7-A1] 調査番号 8 番「開口の数や位置を考慮した鉄筋コンクリート造の耐力壁の強度・剛性評価方法に関する実験・解析」（研究代表者：倉本洋）
- [7-A2] 調査番号 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」（研究代表者：勅使川原正臣，市之瀬敏勝，神谷隆）
- [7-A3] 調査番号 30 「有開口耐力壁の変形能力の評価等に関する実験・解析」（研究代表者：倉本洋）
- [7-A4] 調査番号 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」（研究代表者：河野進）

- 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論文集

- [7-A5] 小島克朗：鉄筋コンクリート壁体の二軸曲げせん断強度に関する研究：第一報二軸曲げせん断実験の概要，日本建築学会論文報告集 No.285，pp.71-79，1979.11
- [7-A6] 狩野芳一他：鉄筋コンクリート連層耐震壁の破壊機構に関する実験的研究，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.1，pp.301-304，1979
- [7-A7] 東洋一他：鉄筋コンクリート造建物の耐震補強法に関する実験的研究，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.1，pp.305-308，1979
- [7-A8] 青山博之他：鉄筋コンクリート有開口耐震壁の耐力と復元力特性に関する実験的研究，日本建築学会構造工学論文集 Vol.26，pp.9-20，1980

第7章 耐力壁部材

- [7-A9] 二木紀男他：有開口鉄筋コンクリート耐震壁の変形と耐力について -壁板中央に壁板と相似な開口を有する壁体における開口の大小，斜め補強筋・壁筋量の影響に関する実験的研究-，日本建築学会論文報告集 No.293，pp.69-83，1980.7
- [7-A10] 清水泰他：初期ひびわれや打つぎ面等を有する鉄筋コンクリート造壁の耐震補修に関する実験研究，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.2，pp.413-416，1980
- [7-A11] 中西三和他：鉄筋コンクリート造有開口連層耐震壁の実験研究，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.3，pp.481-484，1981
- [7-A12] 中西三和他：鉄筋コンクリート造有開口連層耐震壁の強度と剛性，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.4，pp.413-416，1982
- [7-A13] 是永健好他：多数の小開口を持つ耐震壁の水平加力実験，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.5，pp.197-200，1983
- [7-A14] 中西三和他：繰返し荷重をうける鉄筋コンクリート造連層耐震壁の履歴挙動，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.5，pp.205-208，1983
- [7-A15] 周小真他：大変形後の鉄筋コンクリート造開口壁の補修に関する実験研究，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.5，pp.265-268，1983
- [7-A16] 勝俣英雄他：既存鉄筋コンクリート構造建築物の補強法に関する実験的研究 1 増設RC壁による補強，日本建築学会構造工学論文集 Vol.29，pp.83-90，1983
- [7-A17] 緒方恭子他：曲げ降伏型鉄筋コンクリート耐震壁の復元力特性に関する実験的研究 -異なるシアスパン比の繰返し荷重下での弾塑性挙動について-，日本建築学会構造工学論文集 Vol.30，pp.305-314，1984
- [7-A18] 加藤大介他：無開口後打耐震壁の耐力の評価に関する研究，日本建築学会論文報告集 No.337，pp.81-89，1984.3
- [7-A19] 本岡順一郎他：鉄筋コンクリート造耐震壁の破壊機構に関する実験的研究，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.6，pp.701-704，1984
- [7-A20] 江崎文也他：スリップ破壊が先行する1スパン1層耐震壁を単位耐震壁とする均等多連耐震壁の破壊機構に関する研究，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.6，pp.713-716，1984
- [7-A21] 緒方恭子他：曲げ降伏型鉄筋コンクリート耐震壁変動シアスパン加力実験，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.6，pp.717-720，1984
- [7-A22] 本岡順二郎他：震害を受けた鉄筋コンクリート造耐震壁の補修ならびに補強効果に関する実験的研究，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.6，pp.729-732，1984
- [7-A23] 徳広育夫他：周辺架構の構造形式が異なる耐震壁の破壊性状とせん断耐力に関する実験的研究，日本建築学会構造系論文集 No.355，pp.88-98，1985.9
- [7-A24] 杉木孝裕他：厚壁型鉄筋コンクリート耐震壁の変動シアスパン加力実験，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.7 No.1，pp.369-372，1985
- [7-A25] 高木仁之他：鉄筋コンクリート連層耐震壁の靱性の向上に関する実験的研究，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.7 No.1，pp.377-380，1985
- [7-A26] 町田亘寛他：鉄筋コンクリート造有開口耐震壁の補強効果に関する実験的研究，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.7 No.1，pp.385-388，1985

- [7-A27] 毛井崇博他：RBSM 法による鉄筋コンクリート壁の非線形解析，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.7 No.1, pp.413-416, 1985
- [7-A28] 城内哲彦他：せん断破壊する SFRC 耐震壁の実験的研究，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.8 No.0, pp.705-708, 1986
- [7-A29] 野口博他：地震力を受ける RC 耐震壁の開口補強に関する解析的研究，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.8 No.0, pp.697-700, 1986
- [7-A30] 望月重他：プレキャスト合成耐震壁の耐力および変形，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.9 No.2, pp.157-162, 1987
- [7-A31] 壁谷澤寿海他：高層耐震壁の耐力と変形能力に関する実験的研究，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.9 No.2, pp.379-384, 1987
- [7-A32] 徳広育夫他：偏在開口を有する耐震壁の弾塑性性状に関する実験的研究，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.9 No.2, pp.385-390, 1987
- [7-A33] 石橋一彦他：軽量気泡コンクリートを用いた壁式構造部材の曲げ・せん断強度，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.9 No.2, pp.391-396, 1987
- [7-A34] 伊藤光康他：連層耐震壁に関する実験的研究，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.9 No.2, pp.409-412, 1987
- [7-A35] 小野新他：並列耐震壁を有する鉄筋コンクリート構造物の応答性状，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.9 No.2, pp.429-434, 1987
- [7-A36] 東端泰夫：壁板の局部破壊を誘発する目地を用いた鉄筋コンクリート耐震壁に関する研究 -水平加力実験-，日本建築学会構造系論文集 No.375, pp.73-82, 1987.5
- [7-A37] 望月洵他：連層耐震壁の靱性に関する研究，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.10 No.3, pp.261-266, 1988
- [7-A38] 荒井康幸他：鉄筋コンクリート連層耐震壁の耐力と変形性状に関する実験的研究，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.10 No.3, pp.391-396, 1988
- [7-A39] 加藤大介他：鉄筋コンクリート造有開口壁のせん断補強法に関する研究，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.10 No.3, pp.403-408, 1988
- [7-A40] 壁谷澤寿海他：鉄筋コンクリート耐震壁の開口補強法に関する実験的研究，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.10 No.3, pp.409-414, 1988
- [7-A41] 全大翰他：鉄筋コンクリート造開口耐震壁の補強方法と靱性，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.10 No.3, pp.415-420, 1988
- [7-A42] 毛井崇博他：RBSM 法による鉄筋コンクリート壁の耐力評価，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.10 No.3, pp.339-342, 1988
- [7-A43] 堤英明他：有開口高配筋耐震壁のせん断終局強度に関する研究，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.10 No.3, pp.367-372, 1988
- [7-A44] 稲田泰夫他：鉄筋コンクリート造耐震壁のせん断ひびわれ性状に関する検討，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.10 No.3, pp.385-390, 1988
- [7-A45] 高木仁之他：連層鉄筋コンクリート耐震壁のせん断強度に及ぼす中間はりの効果に関する実験的研究，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.10 No.3, pp.397-402, 1988
- [7-A46] 田村裕之他：変動圧縮力とくり返し曲げ・せん断を受ける壁柱の弾塑性性状，日本コン

第7章 耐力壁部材

- クリート工学会年次大会報告書 Vol.10 No.3, pp.589-594, 1988
- [7-A47] 白石一郎他：鉄筋コンクリート造耐震壁の最大耐力への壁筋の効果，日本建築学会構造系論文集 No.392, pp.34-45, 1988.10
- [7-A48] 高山誠：せん断力を受ける鉄筋コンクリート折板壁の弾塑性性状，日本建築学会構造系論文集 No.391, pp.36-44, 1988.9
- [7-A49] 加藤大介他：鉄筋コンクリート造有開口壁のせん断補強法およびせん断耐力評価に関する実験的研究，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.11 No.2, pp.573-578, 1989
- [7-A50] 壁谷澤寿海他：鉄筋コンクリート耐震壁の開口による終局強度低減率，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.11 No.2, pp.585-590, 1989
- [7-A51] 張愛暉他：RC 高層壁式ラーメン構造の壁柱の非線形解析，コンクリート工学年次論文報告集 Vol.11 No.2, pp.405-410, 1989
- [7-A52] 平石久廣他：偏平な付帯柱を有する連層耐震壁の曲げ降伏後の靱性に関する実験的研究，日本建築学会構造系論文集 No.395, pp.48-59, 1989.1
- [7-A53] 佐藤和英他：高配筋耐震壁の復元力特性に及ぼす開口の影響，日本建築学会構造系論文集 No.418, pp.39-48, 1990.12
- [7-A54] 平石久広他：高層壁式ラーメン鉄筋コンクリート造建物における壁柱の曲げ降伏後の靱性に関する実験的研究，日本建築学会構造系論文集 No.410, pp.41-52, 1990.4
- [7-A55] 小野正行他：複数開口を有する鉄筋コンクリート造耐震壁の弾塑性性状に関する実験的研究，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.12 No.2, pp.539-544, 1990
- [7-A56] 松本和行他：高強度鉄筋コンクリート耐震壁の強度と変形能力に関する実験的研究，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.12 No.2, pp.545-550, 1990
- [7-A57] 牧田敏郎他：曲げ降伏型連層耐震壁に関する実験的研究，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.12 No.2, pp.551-556, 1990
- [7-A58] 荒井康幸他：鉄筋コンクリート連層耐震壁の曲げ変形性状と部材モデルについて，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.12 No.2, pp.563-568, 1990
- [7-A59] 後藤康明他：鉄筋コンクリート造連層耐震壁の変形挙動，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.12 No.2, pp.557-562, 1990
- [7-A60] 江崎文也：せん断型変形を受ける耐震壁の靱性改善のための補強法に関する実験的研究：側柱端部を鋼管で局部補強した場合，日本建築学会構造系論文集 No.426, pp.15-24, 1991.8
- [7-A61] 香田伸次他：高強度鉄筋コンクリート壁柱のせん断特性に関する研究，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.13 No.2, pp.439-444, 1991
- [7-A62] 望月洵他：連層耐震壁の破壊モードの判別式，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.13 No.2, pp.559-564, 1991
- [7-A63] 福原安洋他：ブレース付き鉄筋コンクリート骨組の耐震性能に関する研究，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.13 No.2, pp.577-582, 1991
- [7-A64] 張愛暉他：RC 耐震壁の開口補強法の開発に関する解析的研究，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.13 No.2, pp.571-576, 1991
- [7-A65] 斉藤大樹他：耐震壁フレーム構造物の弾塑性挙動解析，日本コンクリート工学会年次大

- 会報告書 Vol.13 No.2, pp.613-618, 1991
- [7-A66] 吉崎征二他：新補強法を用いた鉄筋コンクリート耐震壁の性状，日本コンクリート工学会コンクリート論文集 Vol.3 No.1, pp.23-31, 1992.1
- [7-A67] 小野正行他：鉄筋コンクリート造耐震壁の開口の影響による耐力低減率の提案，日本建築学会構造系論文集 No.435, pp.119-129, 1992.5
- [7-A68] 平石久廣他：高層壁式ラーメン鉄筋コンクリート造建物における壁柱の耐震性能評価に関する研究，日本建築学会構造系論文集 No.439, pp.133-144, 1992.9
- [7-A69] 松本和行他：シアスパン比の大きい高強度鉄筋コンクリート耐震壁の静加力実験，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.14 No.2, pp.819-824, 1992
- [7-A70] 仲地唯治他：曲げ降伏型連層耐震壁の靱性確保に関する実験的研究，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.14 No.2, pp.849-854, 1992
- [7-A71] 小野里憲一他：耐震壁の強度と破壊モードの制御，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.14 No.2, pp.891-896, 1992
- [7-A72] 吉崎征二他：新補強法を用いた鉄筋コンクリート耐震壁の性状，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.14 No.2, pp.985-986, 1992
- [7-A73] 平石久廣他：二方向水平力を受ける鉄筋コンクリート造耐震壁の曲げ降伏後の構造性状，日本建築学会構造系論文集 No.450, pp.89-98, 1993.8
- [7-A74] 福原安洋他：鉄筋コンクリート耐震壁の配筋方法と剛性について，日本建築学会構造工学論文集 Vol.39B, pp.283-290, 1993.3
- [7-A75] 長嶋俊雄他：高強度コンクリート(F_c600)を用いた耐震壁の力学性状，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.15 No.2, pp.1155-1160, 1993
- [7-A76] 小野里憲一他： $\sigma_B=400\text{kgf/cm}^2$ レベルの連層耐震壁の強度と変形，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.15 No.2, pp.1185-1190, 1993
- [7-A77] 小野正行他：鉄筋コンクリート造縦長開口耐震壁の水平耐力の評価に関する研究，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.15 No.2, pp.1191-1196, 1993
- [7-A78] 松永尚凡他：電食試験により腐食した RC 耐力壁の耐震性能に関する実験的研究，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.16 No.1, pp.811-816, 1994
- [7-A79] 松本智夫他：プレキャスト連層耐震壁の破壊機構に関する実験的研究，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.16 No.2, pp.799-804, 1994
- [7-A80] 藤崎忠志他：連続繊維補強筋を壁筋に用いた耐力壁の耐震性能に関する実験的研究，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.16 No.2, pp.1129-1134, 1994
- [7-A81] 江崎文也：曲げ挙動が卓越する耐震壁の靱性に及ぼす鋼管の補強効果，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.16 No.2, pp.1325-1330, 1994
- [7-A82] 今西達也他：二方向変形を受ける鉄筋コンクリート造耐震壁の面外方向の構造性状，日本建築学会構造系論文集 No.466, pp.97-105, 1994.12
- [7-A83] 松浦正一他：鉄筋コンクリート耐震壁フレーム構造の非線形有限要素解析，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.16 No.2, pp.81-86, 1994
- [7-A84] 望月洵他： $\sigma_B=500\text{kgf/cm}^2$ レベルの連層耐震壁の強度と変形，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.16 No.2, pp.1349-1354, 1994

第7章 耐力壁部材

- [7-A85] 竹原雅夫他：有開口耐震壁の破壊モードの判別式，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.16 No.2, pp.1359-1364, 1994
- [7-A86] 市川昌和他：ダブルハーフ PCa 板を用いた PCa 耐震壁に関する実験研究，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.17 No.2, pp.273-278, 1995
- [7-A87] 亘正剛他：13000kgf/cm² 級の高強度せん断補強筋を用いた RC 壁柱のせん断耐力，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.17 No.2, pp.405-410, 1995
- [7-A88] 水谷浩他：壁筋端部のディテールが RC 壁のせん断強度に及ぼす影響，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.17 No.2, pp.523-528, 1995
- [7-A89] 竹原雅夫他：大きな偏在開口をもつ耐震壁の強度と変形，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.17 No.2, pp.535-540, 1995
- [7-A90] 小野正行：大きな開口を有する開口壁の弾塑性性状に関する実験的研究，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.17 No.2, pp.541-546, 1995
- [7-A91] 小野正行他：開口壁の水平耐力の評価に関する研究，日本コンクリート工学会コンクリート論文集 Vol.7 No.2, pp.53-64, 1996.7
- [7-A92] 今西達也他：二方向の水平荷重を受ける鉄筋コンクリート造耐震壁の曲げ破壊性状に関する実験的研究，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.18 No.2, pp.1055-1060, 1996
- [7-A93] 古賀俊誠他：袖壁を有する架構の弾塑性性状に関する実験的研究，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.18 No.2, pp.989-994, 1996
- [7-A94] 中谷佳恵他：高強度せん断補強筋を用いた壁柱のせん断耐力と破壊性状，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.18 No.2, pp.863-868, 1996
- [7-A95] 五十嵐賢次他：可撓性を有するプレキャスト耐震壁の実験的研究，日本建築学会構造工学論文集 Vol.43B, pp.239-247, 1997.3
- [7-A96] 江崎文也他：外部拘束を受ける RC 壁板の圧縮性能に及ぼす壁筋強度の影響，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.19 No.2, pp.1065-1070, 1997
- [7-A97] 野田浩志他：RC 造連層有開口壁の静加力実験，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.19 No.2, pp.1077-1082, 1997
- [7-A98] 松岡茂他：破壊力学に基づく耐震壁のせん断耐力解析，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.19 No.2, pp.75-80, 1997
- [7-A99] 竹原雅夫他：高強度コンクリート耐震壁の破壊性状とマクロモデル，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.19 No.2, pp.1047-1052, 1997
- [7-A100] 吉田徳雄他：連続繊維シートによる耐震壁の補強に関する実験的研究，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.20 No.1, pp.485-490, 1998
- [7-A101] 土田尚子他：鉄筋コンクリート造開口壁のせん断耐力実験，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.20 No.3, pp.565-570, 1998
- [7-A102] 小野正行他：有開口耐震壁の弾塑性性状に及ぼす載荷速度の影響に関する研究，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.20 No.3, pp.595-600, 1998
- [7-A103] Jianhua GU 他：Inelastic Analysis of RC Member Subjected to Seismic Loads by Using MS Model, 日本建築学会構造工学論文集 Vol.44B, pp.157-166, 1998.3
- [7-A104] 大岡督尚他：廃ガラス発泡骨材を用いたコンクリート耐震壁の破壊性状，日本コンク

- リート工学会年次大会報告書 Vol.21 No.2, pp.1219-1224, 1999
- [7-A105] 小澤昌広他：壁式鉄筋コンクリート造壁部材のせん断耐力の高性能化に関する実験研究, 日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.21 No.3, pp.481-486, 1999
- [7-A106] 小野正行他：側柱を補強した偏在開口をもつ耐震壁の強度と変形, 日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.21 No.3, pp.715-720, 1999
- [7-A107] 田中昭洋他：型枠コンクリートブロック造耐力壁の耐震性能に及ぼすブロックユニットの影響, 日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.21 No.3, pp.775-780, 1999
- [7-A108] 杉山智昭他：シート状炭素繊維により補強された RC 造非構造壁の性能に関する実験的研究, 日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.21 No.3, pp.1423-1428, 1999
- [7-A109] 小倉宏一他：鉄筋コンクリート造連層偏在有開口耐震壁の静加力実験, 日本建築学会構造工学論文集 Vol.48B, pp.539-546, 2000.3
- [7-A110] 益尾潔他：実仕様による接着系アンカーを用いた RC 増設耐震壁の補強効果, 日本コンクリート工学会コンクリート論文集 Vol.11 No.2, pp.73-82, 2000.5
- [7-A111] 小城圭史他：側柱を局部補強した偏在開口耐震壁の弾塑性性状に関する研究, 日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.22 No.3, pp.421-426, 2000
- [7-A112] 白都滋他：超軽量コンクリートを用いた鉄筋コンクリート造耐震壁の構造性能, 日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.22 No.3, pp.427-432, 2000
- [7-A113] 溝口光男他：偏心引張力を受ける鉄筋コンクリート耐震壁のせん断破壊実験, 日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.22 No.3, pp.433-438, 2000
- [7-A114] 姜優子他：開口上下壁板にスリットを設けた RC 耐震壁の弾塑性性状に関する研究, 日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.22 No.3, pp.439-444, 2000
- [7-A115] 徳田俊宏他：一定速度の水平力を受ける RC 有開口耐震壁の履歴性状, 日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.22 No.3, pp.445-450, 2000
- [7-A116] 松岡良智他：一定速度の水平力を受ける RC 耐震壁の履歴性状, 日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.22 No.3, pp.451-456, 2000
- [7-A117] 兼平雄吉他：高速・繰返し荷重を受ける開口耐震壁の劣化性状, 日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.22 No.3, pp.457-462, 2000
- [7-A118] 松本智夫他：既存架構に PCa コッターを接着した増設耐震壁の構造性能, 日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.22 No.3, pp.1627-1632, 2000
- [7-A119] 加藤大介他：鉄筋コンクリート造連層有開口耐震壁の変形能の評価法, 日本建築学会構造系論文集 No.530, pp.107-113, 2000.4
- [7-A120] 菊池健児他：型枠コンクリートブロック造耐力壁の耐震性能に関する実験的研究：水平加力点高さ, 鉛直軸力およびブロックユニットの影響, 日本建築学会構造系論文集 No.538, pp.179-186, 2000.12
- [7-A121] 高木仁之：高強度鉄筋コンクリート耐震壁のせん断補強限界に関する研究, 日本コンクリート工学会コンクリート論文集 Vol.12 No.2, pp.13-26, 2001.5
- [7-A122] 宇都宮永三他：炭素繊維シートを用いた窓開口付耐震壁の耐震補強に関する実験的検討, 日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.23 No.1, pp.991-996, 2001
- [7-A123] 松岡良智他：耐震壁の履歴性状に及ぼす載荷速度の影響に関する実験的研究, 日本コ

第7章 耐力壁部材

- ンクリート工学会年次大会報告書 Vol.23 No.3, pp.433-438, 2001
- [7-A124] 杉山洋一郎他：高速・繰返し荷重をうける曲げ破壊モードの無開口耐震壁の劣化性状，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.23 No.3, pp.439-444, 2001
- [7-A125] 小城圭史他：偏在開口耐震壁の補強法に関する実験的研究，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.23 No.3, pp.463-468, 2001
- [7-A126] 溝口光男他：偏心引張力を受ける鉄筋コンクリート耐震壁のせん断耐力に関する実験的研究，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.23 No.3, pp.499-504, 2001
- [7-A127] 藤井量久他：開口横壁板を補強した RC 有開口耐震壁の力学性状，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.24 No.2, pp.499-504, 2002
- [7-A128] 山口圭二他：一定速度荷重を受ける RC 有開口耐震壁の変形と強度，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.24 No.2, pp.505-510, 2002
- [7-A129] 久保田雅和他：壁厚が部分的に異なる壁板を有する RC 有開口耐震壁の履歴性状，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.24 No.2, pp.511-516, 2002
- [7-A130] 松岡良智他：RC 無開口耐震壁の変形と強度に及ぼす荷重速度の影響，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.24 No.2, pp.517-522, 2002
- [7-A131] 白都滋他：ビニロン短繊維補強モルタルを用いた耐震壁の実験，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.24 No.2, pp.529-534, 2002
- [7-A132] 松裏真佐代他：炭素繊維シートを用いた RC 造有開口耐震壁の耐震補強・補修効果に関する実験的研究，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.24 No.2, pp.1249-1254, 2002
- [7-A133] 杉山智昭他：非構造壁を内蔵する鉄筋コンクリート造架構の構造性能に関する研究，日本建築学会構造系論文集 No.551, pp.111-118, 2002.1
- [7-A134] 渡部憲他：高靱性ビニロン繊維補強モルタル耐震壁の弾塑性挙動に関する基礎的研究，日本建築学会構造系論文集 No.559, pp.211-218, 2002.9
- [7-A135] 別枝和美他：鋼管と鋼板を用いて補強した無開口耐震壁の耐震性能に関する研究，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.25 No.2, pp.589-594, 2003
- [7-A136] 藤井量久他：鋼管と鋼板を用いて補強した有開口耐震壁の耐震性能に関する研究，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.25 No.2, pp.595-600, 2003
- [7-A137] 松岡良智他：有開口耐震壁の力学性状に及ぼす荷重速度の影響，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.25 No.2, pp.601-606, 2003
- [7-A138] 溝口光男他：偏心引張力が RC 耐震壁のせん断耐力に及ぼす影響に関する実験的研究，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.25 No.2, pp.607-612, 2003
- [7-A139] 田畑卓他：曲げ応力が卓越する RC 連層耐震壁の構造特性に関する実験的研究，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.25 No.2, pp.625-630, 2003
- [7-A140] 手塚慎一他：炭素繊維シート及びグリッドを用いた RC 造有開口耐震壁の耐震補強・補修効果に関する実験的研究，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.25 No.2, pp.1501-1506, 2003
- [7-A141] 津田和明他：鉄筋コンクリート造連層耐震壁の曲げ及びせん断ひびわれ幅の算定法：鉄筋コンクリート造連層耐震壁の性能評価手法に関する研究(その 2)，日本建築学会構造

- 系論文集 No.575, pp.97-104, 2004.1
- [7-A142] 杉山智昭他：そで壁を内蔵する鉄筋コンクリート造架構の構造性能に関する研究，日本建築学会構造系論文集 No.576, pp.111-118, 2004.2
- [7-A143] 小野里憲一他：RC 耐震壁の耐震性能に与える動的加力の影響，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.26 No.2, pp.547-552, 2004
- [7-A144] 村上和明他：主筋のアンボンド効果を利用した耐震壁の履歴性状，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.26 No.2, pp.565-570, 2004
- [7-A145] 秋田知芳他：鉄筋コンクリート造耐震壁の静的加力実験，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.26 No.2, pp.577-582, 2004
- [7-A146] 東伸哉他：既存 RC 耐震壁の耐震補強法に関する研究，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.26 No.2, pp.583-588, 2004
- [7-A147] 濱田聡他：鉛直接合部と開口を有する RC 造耐震壁に関する実験的研究，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.26 No.2, pp.595-600, 2004
- [7-A148] 溝口光男他：側柱の伸びが鉄筋コンクリート耐震壁のせん断耐力に及ぼす影響，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.26 No.2, pp.601-606, 2004
- [7-A149] 出井順二他：炭素繊維グリッドを用いた RC 造無開口耐震壁の耐震補強・補修効果に関する実験的検討，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.26 No.2, pp.1321-1326, 2004
- [7-A150] 東竜太郎他：正負繰返し荷重を受ける RC 造 H 型立体耐震壁に関する 3 次元 FEM 解析，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.26 No.2, pp.607-612, 2004
- [7-A151] 秋田知芳他：静的載荷実験に基づく RC 造耐震壁の復元力特性モデル化，日本建築学会構造工学論文集 Vol.51B, pp.415-426, 2005.3
- [7-A152] 真田靖士他：鉄筋コンクリート造耐震壁の局所せん断力・軸力の計測実験，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.27 No.2, pp.451-456, 2005
- [7-A153] 小坂英之他：鉛直接合部の滑りを許容した PCa 連層耐震壁の実験，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.27 No.2, pp.457-462, 2005
- [7-A154] 兼平雄吉他：壁が柱の外面にある耐震壁の耐震性能に関する実験的研究，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.27 No.2, pp.463-468, 2005
- [7-A155] 島崎伸彦他：RC 造耐震壁の変形性能に及ぼす載荷サイクル数の影響，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.27 No.2, pp.469-474, 2005
- [7-A156] 村瀬正樹他：ポリエステル製繊維シートを用いた鉄筋コンクリート壁の耐震補強に関する研究，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.27 No.2, pp.1075-1080, 2005
- [7-A157] 渡辺烈他：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，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.27 No.2, pp.1153-1158, 2005
- [7-A158] 出井順二他：炭素繊維グリッドを用いた RC 造無開口耐震壁の耐震補強に関する実験的研究，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.27 No.2, pp.1159-1164, 2005
- [7-A159] 余湖兼右他：炭素繊維シートを用いた既存 RC 有開口耐震壁の補強効果に関する非線形有限要素解析，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.27 No.2, pp.1165-1170, 2005
- [7-A160] 山崎智博他：既存壁式構造における新設開口の補強に関する研究，日本コンクリート

第7章 耐力壁部材

- 工学会年次大会報告書 Vol.27 No.2, pp.1171-1176, 2005
- [7-A161] 溝口光男他：高強度コンクリートを用いた RC 耐震壁のせん断耐力に及ぼす側柱の伸びの影響，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.28 No.2, pp.445-450, 2006
- [7-A162] 秋田知芳他：RC 造耐震壁の変形能力に及ぼす載荷速度の影響，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.28 No.2, pp.451-456, 2006
- [7-A163] 木村秀樹他：鉄筋コンクリート造長方形断面耐震壁の構造性能に関する研究，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.28 No.2, pp.469-474, 2006
- [7-A164] 相澤恩他：ポリマーセメントモルタルによる既存鉄筋コンクリート造耐震壁への増打ち補強に関する研究，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.28 No.2, pp.1129-1134, 2006
- [7-A165] 萩尾浩也他：CFRP 板を用いた既存耐震壁の新規開口補強に関する研究，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.28 No.2, pp.1543-1548, 2006
- [7-A166] 荒井康幸他：鉛直接合部の滑りを許容した PCa 連層耐震壁における壁パネルの強度，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.28 No.2, pp.433-438, 2006
- [7-A167] 細矢博：鉄筋コンクリート造長方形断面コア壁の構造性能，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.29 No.3, pp.313-318, 2007
- [7-A168] 鈴木健太他：複数開口を有する RC 造有開口耐震壁の静的載荷実験，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.29 No.3, pp.325-330, 2007
- [7-A169] 藁科誠他：開口率の異なる偏在開口を有する連層耐震壁のせん断耐力評価，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.29 No.3, pp.331-336, 2007
- [7-A170] 水野生他：新設壁開口を有する壁式鉄筋コンクリート構造の弾塑性挙動に関する解析的研究，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.29 No.3, pp.343-348, 2007
- [7-A171] 荒井康幸他：鉛直接合部滑り降伏型 PCa 連層耐震壁における壁パネルの強度，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.29 No.3, pp.349-354, 2007
- [7-A172] 溝口光男他：鉄筋コンクリート耐震壁のせん断体力に及ぼす側柱の伸びと帯筋比の影響，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.29 No.3, pp.361-366, 2007
- [7-A173] 戸澤知仁他：SRC 造耐震壁の壁筋の定着強度に及ぼす定着方法の影響，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.29 No.3, pp.367-372, 2007
- [7-A174] 李文聰他：方立て壁の履歴性状に及ぼす材軸方向変位拘束の影響，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.29 No.3, pp.373-378, 2007
- [7-A175] 萩尾浩也他：CFRP 板を用いた既存無開口耐震壁の補強に関する研究，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.29 No.3, pp.1195-1200, 2007
- [7-A176] 真田靖士他：早期にせん断破壊する RC 耐震壁の局所せん断力から推察される水平力抵抗機構，日本建築学会構造工学論文集 Vol.53B, pp.95-100, 2007.3
- [7-A177] 萩尾浩也他：CFRP 板で補強された偏在開口耐震壁に関する解析的研究，日本建築学会構造工学論文集 Vol.54B, pp.417-422, 2008.3
- [7-A178] 壁谷澤寿成他：鉄筋コンクリート造耐震壁の形状および補強がせん断強度に与える影響，日本建築学会構造工学論文集 Vol.54B, pp.423-428, 2008.3
- [7-A179] 櫻井真人他：複数開口を有する RC 造耐震壁の耐震性能に及ぼす開口位置の影響，日

- 本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.30 No.3, pp.421-426, 2008
- [7-A180] 溝口光男他:鉄筋コンクリート耐震壁のせん断耐力に及ぼす側柱の伸びと太さの影響, 日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.30 No.3, pp.427-432, 2008
- [7-A181] 森恭平他:偏在開口を有する RC 造連層耐震壁の耐震性能に関する研究, 日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.30 No.3, pp.433-438, 2008
- [7-A182] 廣瀬泰三他:曲げ降伏先行型耐震壁の危険断面応力計測に基づく力学的弱点の抽出, 日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.30 No.3, pp.457-462, 2008
- [7-A183] 萩尾浩也他:CFRP 板を用いた偏在ドア開口耐震壁の補強に関する研究, 日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.30 No.3, pp.1207-1212, 2008
- [7-A184] 田邊裕介他:ハイブリッド型繊維補強セメント系複合材料を用いた柱及び耐震壁の構造性能に関する実験的研究, 日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.30 No.3, pp.1411-1416, 2008
- [7-A185] 山川哲雄他:耐震補強された RC 造耐震壁の正負繰り返し水平加力実験と耐震性能, 日本建築学会構造系論文集 No.634, pp.2167-2174, 2008.12
- [7-A186] 土井公人他:開口が偏在する RC 造連層耐震壁のせん断性状に関する研究, 日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.31 No.2, pp.421-426, 2009
- [7-A187] 荒井康幸他:軸力と曲げ戻しモーメントの作用する鉄筋コンクリート壁板の強度算定法, 日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.31 No.2, pp.427-432, 2009
- [7-A188] ト部藍他:大開口を有する RC 壁のせん断耐力に関する実験的研究, 日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.31 No.2, pp.439-444, 2009
- [7-A189] 溝口光男他:側柱が伸びた柱補強筋比の大きな鉄筋コンクリート耐震壁のせん断耐力に及ぼす壁筋の影響, 日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.31 No.2, pp.445-450, 2009
- [7-A190] 林田江里加他:RC 方立て壁の破壊性状と補強法に関する実験的研究, 日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.31 No.2, pp.979-984, 2009
- [7-A191] 櫻井真人他:複数開口を有する RC 造耐震壁の非線形 FEM 解析, 日本建築学会構造系論文集 No.639, pp.915-923, 2009.5
- [7-A192] 松岡良智他:RC 無開口耐震壁の履歴性状に及ぼす載荷速度の影響, 日本建築学会構造系論文集 No.645, pp.2085-2093, 2009.11
- [7-A193] 平田寛治他:デボンド X 形配筋を用いた損傷低減型耐震壁の実験的研究, 日本建築学会構造工学論文集 Vol.55B, pp.361-367, 2009.3
- [7-A194] 徐霖他:連層耐震壁の曲げスリップに関する研究, 日本建築学会構造工学論文集 Vol.55B, pp.401-407, 2009.3
- [7-A195] 関田徹志他:耐震壁を対象とした新型ひび割れ誘発目地に関する実験研究, 日本コンクリート工学会コンクリート論文集 No.21 Vol.3, pp.9-21, 2010.9
- [7-A196] 田内浩喜他:連層耐震壁の中間階における枠梁のせん断強度に対する効果, 日本建築学会構造工学論文集 Vol.56B, pp.61-66, 2010.3
- [7-A197] 石川星児他:耐力壁に設けた後施工開口の炭素繊維シートを用いた開口補強に関する実験的研究, 日本建築学会構造工学論文集 Vol.56B, pp.93-98, 2010.3

第7章 耐力壁部材

- [7-A198] 廣瀬泰三他：力の計測に基づく曲げ降伏先行型耐震壁の力学的弱点の抽出とその補強効果，日本建築学会構造系論文集 No.647, pp.203-212, 2010.1
- [7-A199] 徐霖他：連層耐震壁を模擬した壁柱の曲げ降伏後のスリップ挙動評価，日本建築学会構造系論文集 No.649, pp.617-623, 2010.3
- [7-A200] 土井公人他：千鳥開口を有する RC 造連層耐震壁のせん断耐力評価に関する研究，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.32 No.2, pp.355-360, 2010
- [7-A201] 南直行他：鉄筋コンクリート造コア壁における壁板の圧縮性状，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.32 No.2, pp.367-372, 2010
- [7-A202] 森下陽一他：極厚無筋壁補強した各種壁体の水平加力実験，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.32 No.2, pp.379-384, 2010
- [7-A203] 金谷修平他：側柱が伸びた鉄筋コンクリート耐震壁のせん断耐力に及ぼす側柱補強筋と壁筋の影響，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.32 No.2, pp.391-396, 2010
- [7-A204] 櫻井真人他：複数開口を有する RC 造耐震壁の破壊モードに及ぼす開口配置の影響，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.32 No.2, pp.415-420, 2010
- [7-A205] 祖父江美枝他：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，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.32 No.2, pp.427-432, 2010
- [7-A206] 田内浩喜他：連層耐震壁のせん断強度に及ぼす枠柱の影響，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.32 No.2, pp.433-438, 2010
- [7-A207] 仲地唯治他：鉄筋コンクリート造コア壁の端部拘束効果に関する実験的研究，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.33 No.2, pp.379-384, 2011
- [7-A208] 田邊裕介他：高強度コンクリートを用いた立体コア壁に関する実験的研究，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.33 No.2, pp.385-390, 2011
- [7-A209] 森貴規他：側柱が伸びた柱補強筋比の小さい鉄筋コンクリート耐震壁のせん断耐力に及ぼす壁筋の影響，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.33 No.2, pp.409-414, 2011
- [7-A210] 萩尾浩也他：鉄筋コンクリート造中央有開口耐震壁のせん断変形成分の実用的算定法に関する研究，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.33 No.2, pp.457-462, 2011
- [7-A211] 石川俊介他：曲げ変形が卓越する有開口 RC 造耐震壁の終局性能評価，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.33 No.2, pp.463-468, 2011
- [7-A212] 櫻井真人他：複数開口を有する RC 造耐震壁の破壊モードに及ぼすせん断スパン比の影響，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.33 No.2, pp.469-474, 2011
- [7-A213] 中谷好志他：RC 造耐震壁のせん断強度と壁板の拡がりに関する考察，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.33 No.2, pp.85-90, 2011
- [7-A214] 諏訪田晴彦：高靱性セメント系複合材料を用いた二次壁の耐震性能に関する実験的研究，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.34 No.2, pp.1237-1242, 2012
- [7-A215] 佐藤充晴他：2方向水平力を受ける RC 造耐震壁に関する実験的研究，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.34 No.2, pp.115-120, 2012
- [7-A216] 松原聡平他：曲げ破壊型耐力壁の変形性能に圧縮端拘束域の構造詳細が与える影響に関する実験的研究，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.34 No.2, pp.361-366, 2012
- [7-A217] 田中昭他：曲げ降伏が先行する複数開口 RC 造耐震壁の構造性能，日本コンクリート

- 工学会年次大会報告書 Vol.34 No.2, pp.367-372, 2012
- [7-A218] 岡田勇佑他：有開口 RC 造連層耐震壁のせん断耐力評価方法の検討，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.34 No.2, pp.373-378, 2012
- [7-A219] 阪本康平他：枠柱と端部拘束筋量が耐震壁の曲げ終局変形性能に及ぼす影響，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.34 No.2, pp.379-384, 2012
- [7-A220] 遠山誉他：RC 造耐震壁の側柱拘束による補強効果 補強方法の提案と実験的検証，日本建築学会構造工学論文集 Vol.58B, pp.33-40, 2012.3
- [7-A221] 櫻井真人他：曲げ降伏型複数開口 RC 造耐震壁の FEM によるパラメトリック解析，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.35 No.2, pp.385-390, 2013
- [7-A222] 戸谷航大他：軸力と断面端部の拘束状態が枠柱無耐震壁の曲げ終局時変形性能に及ぼす影響，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.35 No.2, pp.403-408, 2013
- [7-A223] 松原聡平他：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.691, pp.1593-1602, 2013.9
- [7-A224] 井戸裕勇樹他：水平二方向載荷が RC 造耐震壁のせん断性状に与える影響，コンクリート工学年次論文集 Vol.36 No.2, pp.271-276, 2014.7
- [7-A225] 谷昌典他：実験試験体を用いた RC 造非耐力壁の破壊形式及び損傷状態に関する実験的研究，コンクリート工学年次論文集 Vol.36 No.2, pp.631-636, 2014.7
- [7-A226] 細野純他：打設面処理と配筋が RC 造耐震壁のすべりに及ぼす影響，コンクリート工学年次論文集 Vol.37 No.2, pp.355-360, 2015.7
- [7-A227] 劉虹他：縦長開口を有する RC 耐震壁の耐力低減率に関する分析，コンクリート工学年次論文集 Vol.37 No.2, pp.367-372, 2015.7
- [7-A228] 田中準一他：低強度コンクリートが使用された開口耐震壁のせん断破壊性状に及ぼす反曲点高さ比の影響，コンクリート工学年次論文集 Vol.37 No.2, pp.691-696, 2015.7
- [7-A229] 松井智哉他：炭素繊維シートによる補強を施した RC 造柱なし壁の変形性能，コンクリート工学年次論文集 Vol.37 No.2, pp.847-852, 2015.7
- [7-A230] 谷昌典他：損傷低減及び構造的改善を目指した RC 造方立壁部材の実大実験，コンクリート工学年次論文集 Vol.37 No.2, pp.901-906, 2015.7
- [7-A231] 真田靖士他：RC 耐震壁の開口高さによる耐力低減率の検証，日本建築学会構造系論文集 Vol.80 No.709, pp.481-490, 2015.3
- [7-A232] 橋根靖弥他：開口間に施工される複数の非耐力方立壁の変形及び破壊性状に関する研究，コンクリート工学年次論文集 Vol.38, No.2, pp.49-54, 2016.7
- [7-A233] 査冬他：拘束された RC 非耐力壁の軸力に関する解析的検討，コンクリート工学年次論文集 Vol.38, No.2, pp.109-114, 2016.7
- [7-A234] 高橋之他：RC 造耐震壁のすべり変形における打継処理と軸力の影響，コンクリート工学年次論文集 Vol.38, No.2, pp.871-876, 2016.7
- [7-A235] 木原智美他：鉄筋コンクリート造方立て壁の損傷制御に関する研究，コンクリート工学年次論文集 Vol.38, No.2, pp.385-390, 2016.7
- [7-A236] 劉虹他：縦長開口を有する RC 耐震壁の最大耐力に及ぼす梁型と柱型の影響，コンクリート工学年次論文集 Vol.38, No.2, pp.403-408, 2016.7

第7章 耐力壁部材

- [7-A237] 井戸裕勇樹他：脚部すべりが支配的な耐震壁の耐力評価とモデル化，コンクリート工学年次論文集 Vol.38, No.2, pp.415-420, 2016.7
- [7-A238] 直川周平他：X形配筋を施した柱型のないRC造壁の耐震性能に関する基礎研究，コンクリート工学年次論文集 Vol.38, No.2, pp.421-426, 2016.7
- [7-A239] 岩本周晃他：鉄筋コンクリート造有開口耐震壁の曲げ挙動に関する実験的研究，コンクリート工学年次論文集 Vol.38, No.2, pp.679-684, 2016.7
- [7-A240] 鈴木卓他：RC耐震壁の開口高さによる耐力低減率の高精度化，日本建築学会構造系論文集 No.723, pp.883-891, 2016.5
- [7-A241] 魏丞瑾他：反曲点位置の高い柱型のないRC造壁の耐震性能及び終局耐力評価方法に関する研究，コンクリート工学年次論文集 Vol.39 No.2, pp.247-252, 2017.7
- [7-A242] 直川周平他：X型配筋を施した柱型のないせん断型RC造壁のせん断耐力に関する研究，コンクリート工学年次論文集 Vol.39 No.2, pp.253-258, 2017.7
- [7-A243] 細谷典弘他：壁筋比が損傷を受けたせん断破壊先行型耐震壁の構造性能に及ぼす影響の検討，コンクリート工学年次論文集 Vol.39 No.2, pp.259-264, 2017.7
- [7-A244] 小平渉他：壁式RC構造における耐力壁の挙動に及ぼす直交壁の影響，コンクリート工学年次論文集 Vol.39 No.2, pp.283-288, 2017.7
- [7-A245] Rado RAMAROZATOVO 他：STRUCTURAL DAMAGES OF BEAMS IN MULTI-STORY RC SHEAR WALLS WITH MULTIPLE DOOR OPENINGS, コンクリート工学年次論文集 Vol.39 No.2, pp.307-312, 2017.7
- [7-A246] 半沢守他：損傷を受けたRC造耐震壁の損傷量評価及び残存耐震性能評価に関する研究，コンクリート工学年次論文集 Vol.39 No.2, pp.313-318, 2017.7
- [7-A247] 廣澤光法他：複数の縦長開口を有するRC連層耐震壁の構造性能，日本建築学会構造系論文集 No.734, pp.579-588, 2017.4
- [7-A248] 井戸裕勇樹他：せん断挙動が支配的な鉄筋コンクリート造耐震壁の水平二方向加力実験，日本建築学会構造系論文集 No.735, pp.683-692, 2017.5
- [7-A249] 小池拓矢他：RC造耐震壁の残存耐震性能評価とひび割れに基づく損傷量評価に関する研究，日本建築学会構造工学論文集 Vol. 63B, pp.447-454, 2017.3
- 不足データの収集に用いたその他の論文（日本建築学会大会 学術講演梗概集，支部研究報告集）
- [7-A250] 広沢雅也他：軸力をうける鉄筋コンクリート部材の強度とねばり：その1.矩形断面をした耐力壁の実験結果，日本建築学会学術講演梗概集 構造系 46, pp.817-818, 1971.9
- [7-A251] 富井政英他：ひび割れ発生以後の耐震壁の挙動におよぼす付帯ラーメンの影響 その1～その3，日本建築学会学術講演梗概集 構造系 52, pp.1653-1658, 1977.10
- [7-A252] 梅村魁他：鉄筋コンクリート立体耐震壁の耐力と復元力特性に関する実験的研究：その7～その8，日本建築学会学術講演梗概集 構造系 53, pp.1621-1624, 1978.8
- [7-A253] 東洋一他：RC建物の耐震補強法に関する実験的研究：その6.鉄骨ブレース等による骨組の補強-実験概要，日本建築学会学術講演梗概集 構造系 54, pp.1347-1348, 1979.9
- [7-A254] 外村憲太郎他：多数の小開口を持つ鉄筋コンクリート耐震壁の強度と変形：その1 開

- 口の配置と寸法の影響：構造系，日本建築学会学術講演梗概集 構造系 55, pp.1645-1646, 1980.8
- [7-A255] 吉崎征二他：多数の小開口を持つ鉄筋コンクリート耐震壁の強度と変形：その2～3，日本建築学会学術講演梗概集 構造系 56, pp.1623-1626, 1981.9
- [7-A256] 東洋一他：斜めワイヤーメッシュで補強した鉄筋コンクリート造開口壁に関する実験的研究，日本建築学会学術講演梗概集 構造系 57, pp.1477-1478, 1982.8
- [7-A257] 東浦章他：建屋の復元力特性に関する研究：その11～その12，日本建築学会学術講演梗概集 構造系 58, pp.1515-1518, 1983.9
- [7-A258] 富井政英他：1スパン1層および2スパン1層疑似連層耐震壁のせん断実験，日本建築学会学術講演梗概集 構造系 58, pp.2051-2052, 1983.9
- [7-A259] 吉崎征二 他：多数の小開口を持つ鉄筋コンクリート耐震壁の強度と変形：その5～その6，日本建築学会学術講演梗概集 構造系 58, pp.1539-1542, 1983.9
- [7-A260] 志賀敏男他：鉄筋コンクリート造曲げ破壊型耐震壁の地震時挙動に関する実験 その4～その6，日本建築学会学術講演梗概集 C, 構造 II, pp.239-244, 1985.9
- [7-A261] 岡田恒雄他：原子炉建屋の復元力特性試験：(その6)スケール・イフェクト試験，日本建築学会学術講演梗概集 B, 構造 I, pp.1089-1090, 1986.7
- [7-A262] 岡田恒雄他：原子炉建屋の復元力特性試験(小型および部分模型)：(その1)試験結果の評価，閉鎖型試験体のスケルトンカーブ，日本建築学会学術講演梗概集 B, 構造 I, pp.1079-1080, 1986.7
- [7-A263] 徳広育夫他：偏在開口を有する耐震壁のせん断耐力に関する実験的研究，日本建築学会学術講演梗概集 C, 構造 II, pp.441-442, 1987.8
- [7-A264] 荒井康幸他：鉄筋コンクリート耐震壁の曲げせん断実験：その1～その2，日本建築学会学術講演梗概集 C, 構造 II, pp.409-412, 1987.8
- [7-A265] 福原安洋：鉄筋コンクリート耐震壁のせん断力負担に関する実験研究：(その2)配筋に関する実験 II，日本建築学会学術講演梗概集 C, 構造 II, pp.405-406, 1987.8
- [7-A266] 岩城信次他：直交壁を有する壁柱のせん断強度に関する研究 その1～その3，日本建築学会学術講演梗概集 C, 構造 II, pp.567-572, 1987.8
- [7-A267] 小野正行，徳広育夫：鉄筋コンクリート造耐震壁の開口の影響による耐力低減率の検討，日本建築学会学術講演梗概集 C, 構造 II, pp.589-590, 1988.9
- [7-A268] 全大翰他：鉄筋コンクリート造開口耐震壁の補強方法，日本建築学会学術講演梗概集 C, 構造 II, pp.577-578, 1988.9
- [7-A269] 望月洵他：片持ちの曲げ・せん断をうける連層耐震壁の靱性について，日本建築学会学術講演梗概集 C, 構造 II, pp.567-568, 1988.9
- [7-A270] 荒井康幸他：曲げせん断力を受ける鉄筋コンクリート耐震壁の耐力と変形性状：その1～その2，日本建築学会学術講演梗概集 C, 構造 II, pp.559-562, 1988.9
- [7-A271] 小野正行他：複数開口を有する鉄筋コンクリート造耐震壁の耐力低減率の検討，日本建築学会学術講演梗概集 C, 構造 II, pp.597-598, 1989.9
- [7-A272] 小野正行他：壁厚の異なる鉄筋コンクリート造有開口耐震壁の弾塑性性状に関する実験的研究，日本建築学会学術講演梗概集 C, 構造 II, pp.599-600, 1989.9

第7章 耐力壁部材

- [7-A273] 正野崎昭二他：鉄筋コンクリート耐震壁のせん断力負担に関する実験研究：その5～その6, pp.85-88, 1991.9
- [7-A274] 柳沢延房他：高強度材料を用いた鉄筋コンクリート耐震壁のせん断性能：その1～その3, 日本建築学会学術講演梗概集 C, 構造 II, pp.347-352, 1992.8
- [7-A275] 五味学他：高強度鉄筋コンクリート耐震壁の曲げ性能に関する実験：その1～その2, 日本建築学会学術講演梗概集 C, 構造 II, pp.341-344, 1992.8
- [7-A276] 中川崇他：高強度材料を用いた鉄筋コンクリート耐震壁のせん断性能に関する解析的検討：その1 FEM 解析プログラムの検証, 日本建築学会学術講演梗概集 C, 構造 II, pp.313-314, 1993.7
- [7-A277] 飯田正敏他：有開口耐震壁の実験と弾塑性解析, 日本建築学会学術講演梗概集 C, 構造 II, pp.279-280, 1994.7
- [7-A278] 小関勝男他：壁式鉄筋コンクリート構造の壁部材の高性能化に関する実験研究：その1～その2, 日本建築学会学術講演梗概集 C-2, 構造 IV, pp.1117-1120, 1998.7
- [7-A279] 小澤昌広他：壁式鉄筋コンクリート構造壁部材の高性能化に関する実験研究, 日本建築学会東北支部研究報告集, pp.515-518, 1998.6
- [7-A280] 大谷裕美他：RC 造連層有開口壁の静加力実験 その1～その3, 日本建築学会学術講演梗概集 C-2, 構造 IV, pp.821-826, 1998.9
- [7-A281] 井上貴之他：斜め方向の水平力を受ける鉄筋コンクリート造立体耐震壁のせん断強度：その1～その2, 日本建築学会学術講演梗概集 C-2, 構造 IV, pp.433-436, 1999.7
- [7-A282] 小野正行他：有開口耐震壁の力学性状に及ぼす載荷速度の影響に関する実験的研究：その1 中央開口を有する耐震壁の場合(建築構造), 日本建築学会研究報告 九州支部.1 構造系, pp.645-648, 2001.3
- [7-A283] 真田靖士他：RC 造耐震壁の局所力計測実験を対象とする FEM 解析, 日本建築学会学術講演梗概集 C-2, 構造 IV, pp.185-186, 2006.7
- [7-A284] 細矢博他：鉄筋コンクリート造長方形断面コア壁の構造性能に関する研究 その1 拘束範囲を変動因子とした実験, 日本建築学会学術講演梗概集 C-2, 構造 IV, pp.169-170, 2006.7
- [7-A285] 萩尾浩也他：既存耐震壁の新規開口補強に関する研究：その2 小さい開口を有する耐震壁, 日本建築学会学術講演梗概集 C-2, 構造 IV, pp.459-460, 2007.7
- [7-A286] 壁谷澤寿成他：鉄筋コンクリート造耐震壁の形状と補強に関する実験的研究：その1: 柱型がない場合と有開口の場合, 日本建築学会学術講演梗概集 C-2, 構造 IV, pp.461-462, 2007.7
- [7-A287] 細矢博他：鉄筋コンクリート造長方形断面コア壁の構造性能に関する研究 その2 拘束筋量を変動因子とした実験, 日本建築学会学術講演梗概集 C-2, 構造 IV, pp.695-696, 2007.7
- [7-A288] 岸本剛他：鉄筋コンクリート造長方形断面コア壁の構造性能に関する研究 その3～その4, 日本建築学会学術講演梗概集 C-2, 構造 IV, pp.355-358, 2008.7
- [7-A289] 徐霖他：連層耐震壁の曲げスリップに関する研究, 日本建築学会学術講演梗概集 C-2, 構造 IV, pp.361-362, 2009

[7-A290] 梅野達三他：連層耐震壁のせん断強度に対する枠フレームの効果 その1～その4，日本建築学会学術講演梗概集 C-2，構造 IV，pp.371-378，2010.7