

第5章

腰壁・垂れ壁付き梁部材

第5章 腰壁・垂れ壁付き梁部材

5.1 データベースの項目

本節では、本研究で作成したデータベースのうち腰壁・垂れ壁付き梁のデータベースにおける項目についての説明を掲載する。

5.1.1 基本情報

101-ID 情報

- 1) ID 部材毎の通し番号とし、WB001 から順に割り振る。
- 2) 実験主体 実験実施の主体を記載する。
- 3) 試験体名称 文献に記載されている試験体の名称を付ける。
- 4) 部材名称 架構試験体の一部などで、試験体名称と異なる場合に名称を設ける。
- 5) 部材の分類 部材の形状により「梁，片側壁付梁，両側壁付梁」の三つに分類する。
※1 部材形状が十字接合部もしくはト形接合部の一部の場合は、「(十字)，(ト形)」の記載を追加すること。
※2 部材に構造スリットが設けられている場合，完全スリットならば「(完ス)」，部分スリットならば「(部ス)」の記載を追加すること。

102-文献情報

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

5.1.2 試験体情報

201-一般情報

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

202-材料情報

a. コンクリートの材料特性について記載する。

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

算定している場合は、「算定値」を選択し、その値を記載する。また、直接引張実験から算定している場合は、「実験値」を選択し、その値を記載する。その他、算定方法が不明な場合は「-」を選択する。

5) ヤング係数 当該文献に記載されているヤング係数を記載する。その値の算定方法（AIJRC 規準式（コンクリート強度から算定する式で2）の圧縮強度を用いた場合）、JISA1149 式（実験結果より算定する）、「-」（算定方法が記載されていない）を選択する。値がない場合は「-」を選択する。

b. 梁主筋の材料特性について記載する。

1) 降伏強度 当該文献に記載されている降伏強度を記載する。その値の算定方法（降伏点、0.2%耐力、「-」（算定方法が記載されていない））を選択する。値がない場合は「-」を選択する。

2) 降伏歪み 当該文献に記載されている降伏歪みを記載する。その値が材料実験から得られた値を用いて算定されていれば「実験値」とする。その他、算定方法が不明な場合は「-」を選択する。

3) 引張強度 当該文献に記載されている引張強度を記載する。

4) 引張強度歪み 当該文献に記載されている引張強度歪み度を記載する。

5) ヤング係数 当該文献に記載されているヤング係数を記載する。その値を実験で得られる降伏強度および降伏歪みを用いて算定している場合は「実験値」と記載する。その他、算定方法が不明な場合は「-」を選択する。

6) 備考 上記に関する内容の補足またはその他明記しておくべき事項。

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

d. 腰壁・垂れ壁横筋の材料特性について記載する。各項目は b.梁主筋と同様である。
腰壁・垂れ壁横筋に複数の材料を使用している場合は、(2)以降に記載する。

e. 腰壁・垂れ壁縦筋の材料特性について記載する。各項目は b.梁主筋と同様である。

203-部材形状情報

a. 梁

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。腰壁・垂れ壁付き梁は矩形のみを収集対象としている。

2) 幅 加力方向に対して直交する辺の長さ。

3) せい 加力方向に対して平行する辺の長さ。

4) コア断面積 外周部せん断補強筋に囲まれた断面積

5) 被りコンクリート厚さ 幅とせいのかぶり厚さをそれぞれ記入。

6) クリアスパン 対象部材の内法長さ。対象部材が接合部試験体の一部の場合は入力しない。

7) 備考 上記に関する内容の補足またはその他明記しておくべき事項。

b. 腰壁 c. 垂れ壁

第5章 腰壁・垂れ壁付き梁部材

- | | |
|-------------------|------------------------------------|
| 1) 壁板厚さ (t_w) | 壁板の厚さを記入する。 |
| 2) 壁板高さ (h_w) | 両端の柱型を含めた全長を記入する。 |
| 3) クリアスパン | 対象部材の内法長さ。対象部材が接合部試験体の一部の場合は入力しない。 |
| 4) 偏心 | 梁中心と腰壁・垂れ壁中心の壁厚さ方向の偏心距離を記入する。 |
| 5) スリット位置 | 腰壁・垂れ壁に設けられたスリット位置を記入する。 |
| 6) スリット寸法 | 5)で記入したスリット寸法を記入する。 |
| 7) 備考 | 上記に関する内容の補足またはその他明記しておくべき事項。 |

204-梁主筋情報

a. 上端筋 b. 下端筋

- | | |
|--------------|---|
| 1) 本数 | 主筋本数 |
| 2) 呼び名 | 鉄筋の形状と径を表す記号。(例えば D19 や $\phi 9$, #4 など) |
| 3) 種類 | 主筋の種類。例えば SD345 など |
| 4) 継手有無 | 主筋が部材内で継手使用の有無。 |
| 5) 継手長さ | 主筋の継手がある場合はその長さ。 |
| 6) 備考 | 継手の位置情報など, その他継手に関して追記すべき情報。 |
| 7) 1 段目までの距離 | 主筋が 2 段以上ある場合, 1 段目の主筋との距離を記入する。 |

205-梁せん断補強筋情報

- | | |
|------------------|---|
| 1) 形状 | 部材断面における補強筋形状。2 種類ある場合は外周部とその内部の形状を記載する。(例えば, 中子筋のある矩形のせん断補強筋の場合, 「矩形・中子」) |
| 2) 呼び名 | 鉄筋の形状と径を表す記号。(例えば D19 や $\phi 9$, #4 など) |
| 3) 間隔 | 1, 2 は部材長さ方向で間隔が変わる場合, 狭い領域(例えばヒンジ領域)と広い領域の間隔。1 種類のみの場合, 「狭い箇所」欄に記載する。位置; 3 は狭い領域の長さや位置が分かる情報を記載。 |
| 4) 種類 | 補強筋の種類。例えば SD295 など |
| 5) 5-1)~5-4)有効本数 | 幅方向とせい方向の補強筋(中子筋を含む)の足の数(図 5.1.1(a))。3)で記載した狭い箇所と広い箇所がある場合は, それぞれ記載し, 部材長において補強筋が等間隔の場合は, 「狭い箇所」欄にのみ記載する。 |
| 6) 1, 2 外周補強筋間距離 | 外周補強筋の中心間距離(図 5.1.1(b))。 |

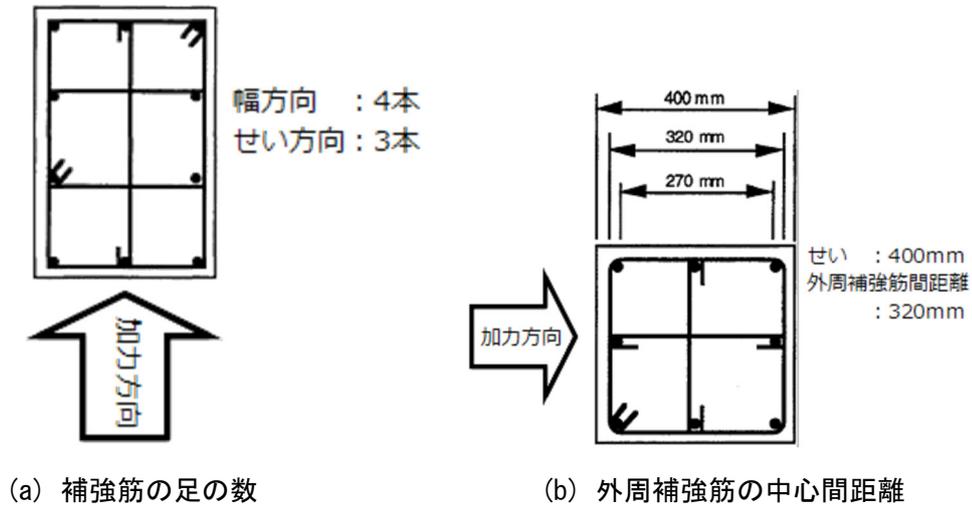


図 5.1.1 梁せん断補強筋

7) 有効横支持長さ

はば方向およびせい方向に対して、各主筋間最短距離の最大値（図 5.1.2 の C_i 参照）。下図で横方向から载荷する場合、図 5.1.2 中の C_i がせい方向の長さとなる。

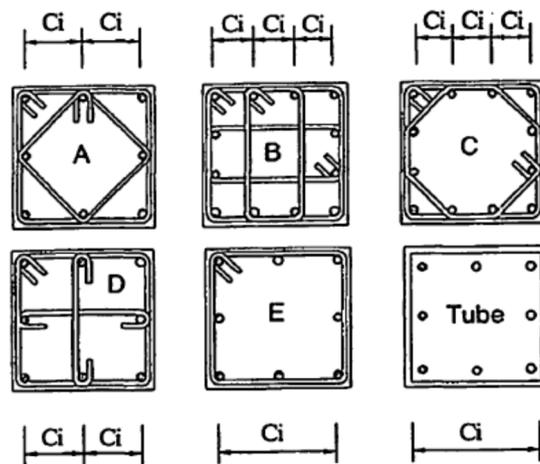


図 5.1.2 有効横支持長さ

8) 定着性状

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

206—腰壁・垂れ壁横筋情報

a. 腰壁 b. 垂れ壁

腰壁・垂れ壁横筋に複数の材料を使用している場合は、材料情報と対応する(2)以降の箇所に記載する。

1) 本数 壁横筋本数を記入する。

第5章 腰壁・垂れ壁付き梁部材

- | | |
|---------|---|
| 2) 呼び名 | 鉄筋の形状と径を表わす記号を記入する。例えば、D19 や $\phi 9$ 、#4 など。 |
| 3) 間隔 | 壁縦筋の配筋間隔を記入する。 |
| 4) 形式 | 配筋形式（シングル、ダブル、千鳥）を記入する。 |
| 5) 種類 | 鉄筋の種類を記入する。例えば SD345 など。 |
| 6) 鉄筋深さ | 6-1) には、梁と壁の境界面に最も近い横筋の、梁と壁の境界面からの距離を記入する。6-2) には、最も遠い横筋の距離を記入する。 |

207-腰壁・垂れ壁縦筋情報

a. 腰壁 b. 垂れ壁

- | | |
|--------|---|
| 1) 呼び名 | 鉄筋の形状と径を表わす記号を記入する。例えば、D19 や $\phi 9$ 、#4 など。 |
| 2) 間隔 | 壁縦筋の配筋間隔を記入する。 |
| 3) 形式 | 配筋形式（シングル、ダブル、千鳥）を記入する。 |
| 4) 種類 | 鉄筋の種類を記入する。例えば SD345 など。 |
| 5) 梁定着 | 壁縦筋の梁への定着方法を記入する。例えば通し配筋、何 mm 直線定着など。 |

5.1.3 加力・計測情報

301-加力情報

- | | |
|---------|--|
| 1) 加力形式 | 部材の加力形式を示す。例えば、片持ちや両端固定（建研式、大野式）、その他（ダブルエンド式など）。部材が十字形接合部やT形接合部の一部の場合は、片持ち形式を選ぶ。 |
|---------|--|

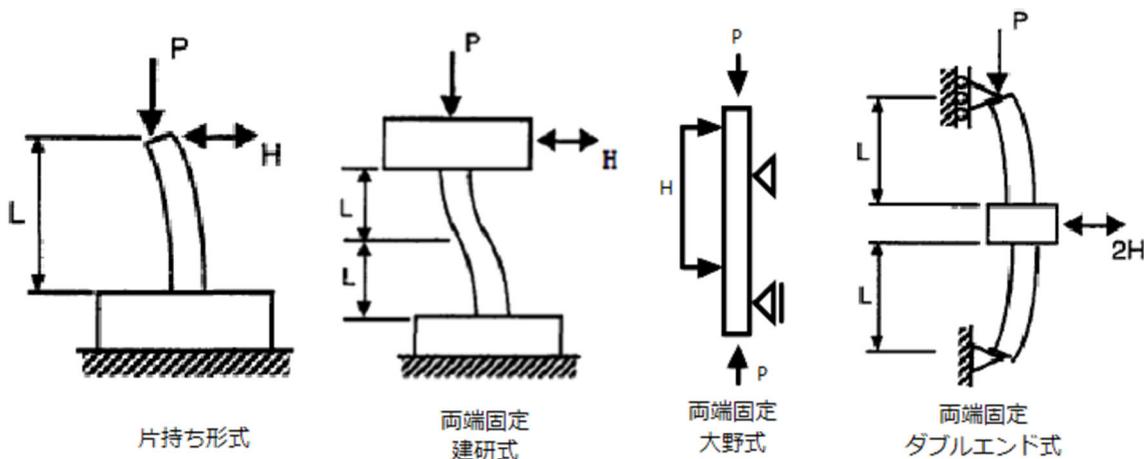


図 5.1.3 加力形式

- | | |
|---------|--|
| 2) 加力方向 | 部材が水平に加力される方向を示す。例えば、一方向、二方向、斜め 45 度など |
| 3) 载荷履歴 | 加力载荷の履歴を示す。例えば単調片押し、繰り返し、ランダムなど |

- 4) 軸力 作用軸力を入力する。
- 5) 鉛直ジャッキ 鉛直ジャッキが部材にどのように取り付けられているかを示す。例えば、ピン支持、ローラー支持、その他など。また当該鉛直ジャッキの導入軸力の種類（図5.1.4参照）を記載する。

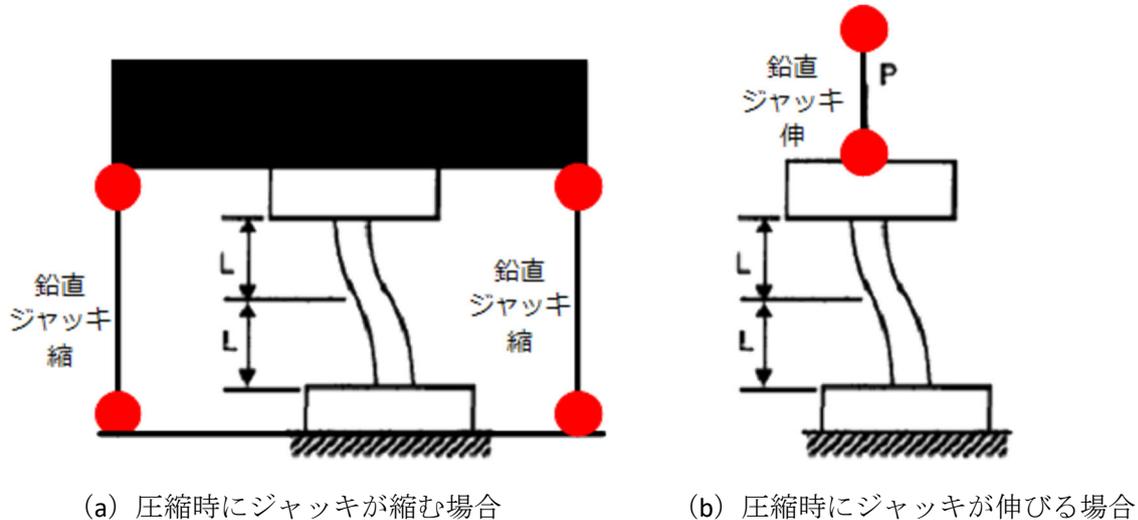


図 5.1.4 鉛直ジャッキの取り付け方

- 6) シアスパン 反曲点位置から部材端部までの長さの内、最大の長さ。反曲点高さをジャッキにより制御している場合はその高さ（長い方）を記載する。またジャッキにより制御していない場合で建研式加力を行っている場合は、クリアスパンの半分の長さを記載する。部材が十字形接合部やト形接合部の一部の場合は、反曲点（ピン支持位置）から柱フェイス位置（袖壁がある時は袖壁フェイス位置）までの距離とする。それ以外は「-」と記載する。

7) 備考

302-計測情報

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

5.1.4 実験データ情報

401-データ特性情報

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

402-剛性情報

- 1) 弾性剛性 実験データ（荷重変形の包絡線）から得られる弾性剛性の値を示す。正負交番载荷の場合は、正負の値を示す。

405-減衰情報

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

406-破壊モード

- 1) 実験時破壊モード 実験で得られている破壊モード。正負交番载荷の場合は、正負の値を示す。
- 2) 計算時破壊モード 文献中で計算された最小の終局強度を破壊モードとする。正負非対称の部材の場合は、正負の値を示す。

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

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

408-デジタルデータ

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

5.1.5 データの信頼度指標

上記の各項目のデータの信頼度指標として、以下の指標を記入する。

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

5.2 収集データの特性

5.2.1 対象とした論文

今回対象とした論文は、日本建築学会構造系論文集（1975～2017）、日本コンクリート工学協会年次論文報告集（1979～2017）、コンクリート工学論文集（1990～2017）、構造工学論文集 B（1975～2017）を全数調査し、腰壁・垂れ壁付き梁の構造実験に関する論文を抽出した。また、追加で日本建築学会大会学術講演梗概集や日本建築学会九州支部研究報告集からも論文を抽出した。抽出した腰壁・垂れ壁付き梁部材に関連する論文は 67 編（参考文献[5-A1]～[5-A67]）であり、以下の収集基準に従って収集を行なった。

- ・ 腰壁・垂れ壁付き梁の構造実験を実施している論文とし、解析的な論文は除外した。
- ・ 軸力 0 の袖壁付柱の構造実験も収集の対象とした。
- ・ 有開口耐震壁や、二次壁の付いた架構の実験は、腰壁・垂れ壁付き梁のみの構造性能を評価するのが難しいことから、収集の対象から除外した。
- ・ 二次壁付の十字型柱梁接合部およびト形柱梁接合部の試験体のうち、梁部材としての実験データが収集できる試験体は、収集の対象とした。ただし、十字型柱梁接合部の場合は、一つの試験体で腰壁・垂れ壁付き梁が二体あると考え、試験体名の末尾に「-S」「-N」などの方角を追加し、データベースに入力した。
- ・ 構造スリット（完全スリットおよび部分スリット）のある腰壁・垂れ壁付き梁についても収集の対象とした。

今回収集した論文は 33 編（参考文献[5-A1]～[5-A9] [5-A12]～[5-A15] [5-A22] [5-A27] [5-A31] [5-A34] [5-A35] [5-A39] [5-A44] [5-A46]～[5-A52] [5-A55] [5-A58] [5-A63] [5-A66]～[5-A67]）である。収集した文献数の分布を表 5.2.1 に示す。

表 5.2.1 収集文献数

日本建築学会構造系論文集	4編
日本コンクリート工学協会年次論文報告集	5編
コンクリート工学論文集	1編
構造工学論文集B	2編
日本建築学会大会学術講演梗概集	21編
日本建築学会九州支部研究報告集	0編
合計	33編

また本研究では、平成 20 年度～平成 22 年度国交省建築基準整備促進事業 課題 7「鉄筋コンクリート造の変断面部材の構造特性評価に関する実験」（研究代表者：壁谷澤寿海）のデジタルデータを用いる事でより詳細な検証を行うことができた。該当する試験体は 9 体であり、参考文献 [5-A48]～[5-A50] [5-A54] [5-A55]の試験体と重複している。

また本研究では、平成 29 年度国土交通省建築基準整備促進事業 S22「高密配筋を行った鉄筋コンクリート造部材の部材種別の評価に関する検討」により実施（研究代表者：谷 昌典）のデジタルデータを用いる事でより詳細な検証を行うことができた。該当する試験体は 4 体であり、参考文献[5-A66]～[5-A67]の試験体と重複している。

5.2.2 収集データ

今回対象とした論文 33 編 (参考文献[5-A1]～[5-A9] [5-A12]～[5-A15] [5-A22] [5-A27] [5-A31] [5-A34] [5-A35] [5-A39] [5-A44] [5-A46]～[5-A52] [5-A55] [5-A58] [5-A63] [5-A66]～[5-A67]) で得られた試験体数は 96 体であった。

収集した 96 体の試験体において、鉄筋の位置などの断面情報や実験結果の情報が不足しているケースが多く見られた。本報告書 5.4 節において評価式の精度検証に用いる試験体は信頼できるデータのみを使用することとし、以下の基準で検討用試験体を選別した。

- ・ 実験データが無いものは除外する。
- ・ 構造スリットのうち部分スリットの試験体は除外する。
- ・ 壁無しの梁のみの試験体は除外する。
- ・ コンクリート圧縮強度が $18\text{N/mm}^2 \sim 60\text{N/mm}^2$ の試験体のみを検討する。

選別の結果、検討用の試験体は、完全スリットが設けられている腰壁・垂れ壁付き梁試験体が 8 体、スリット無しの腰壁・垂れ壁付き梁試験体が 36 体の、合計 44 体となった。

5.2.3 検討用データの特徴

収集した96体に対して、検討用に用いる試験体数は44体である。それぞれの、代表的な特性値の一覧を表5.2.2に示す。また、検討用試験体についての各特性値の頻度分布を図5.2.1～図5.2.9に示す。ただし、せん断スパン比はせん断スパン a を壁も含めた断面の全せいで除して求めた。この時、構造スリットが設けられている試験体では壁を無視して計算している。

表5.2.2 データベースの特性値一覧

(a) 収集データの特性一覧

材料強度	コンクリート圧縮強度	14.7 ~ 61.4 (N/mm ²)
	梁主筋降伏強度	330 ~ 693 (N/mm ²)
	梁せん断補強筋降伏強度	221 ~ 433 (N/mm ²)
	壁横筋降伏強度	221 ~ 1203 (N/mm ²)
	壁縦筋降伏強度	221 ~ 391 (N/mm ²)
試験体形状	試験体スケール	1/3 ~ 1/1
	せん断スパン比	0.63 ~ 4.60
	壁横筋比	0.17 ~ 1.07 (%)
	壁縦筋比	0.00 ~ 1.71 (%)

(b) 検討用データの特性一覧

材料強度	コンクリート圧縮強度	18.3 ~ 35.6 (N/mm ²)
	梁主筋降伏強度	365 ~ 401 (N/mm ²)
	梁せん断補強筋降伏強度	221 ~ 433 (N/mm ²)
	壁横筋降伏強度	221 ~ 993 (N/mm ²)
	壁縦筋降伏強度	221 ~ 383 (N/mm ²)
試験体形状	試験体スケール	1/3 ~ 1/1
	せん断スパン比	0.63 ~ 4.17
	壁横筋比	0.21 ~ 1.47 (%)
	壁縦筋比	0.00 ~ 1.60 (%)

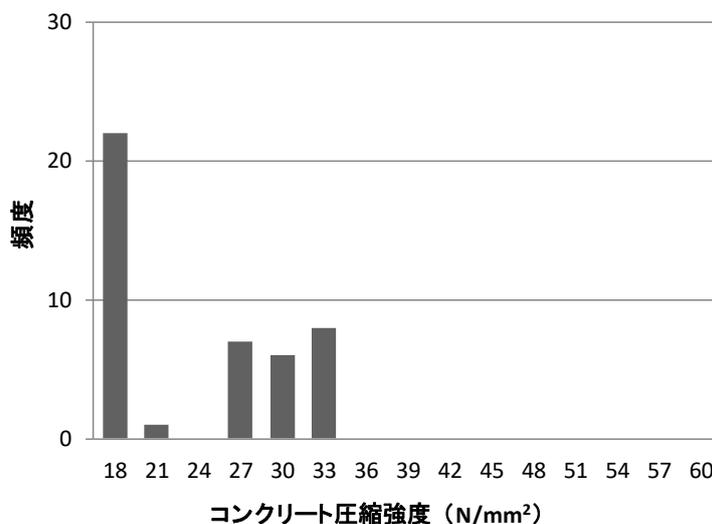


図5.2.1 収集データ頻度分布 (コンクリート圧縮強度)

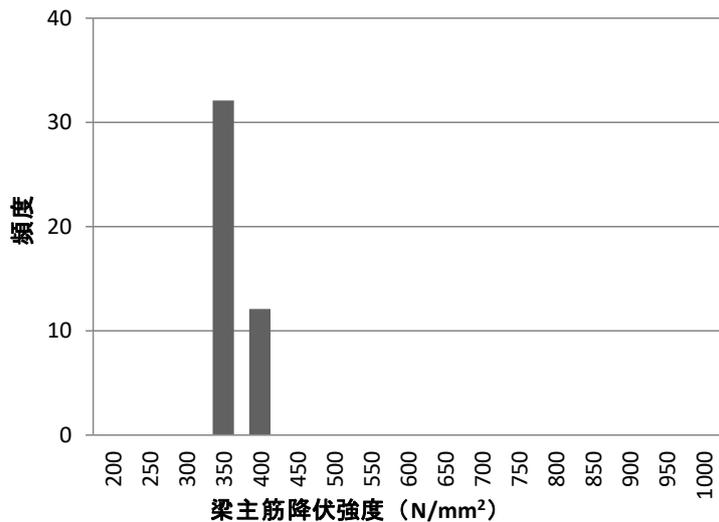


図 5.2.2 収集データ頻度分布 (梁主筋降伏強度)

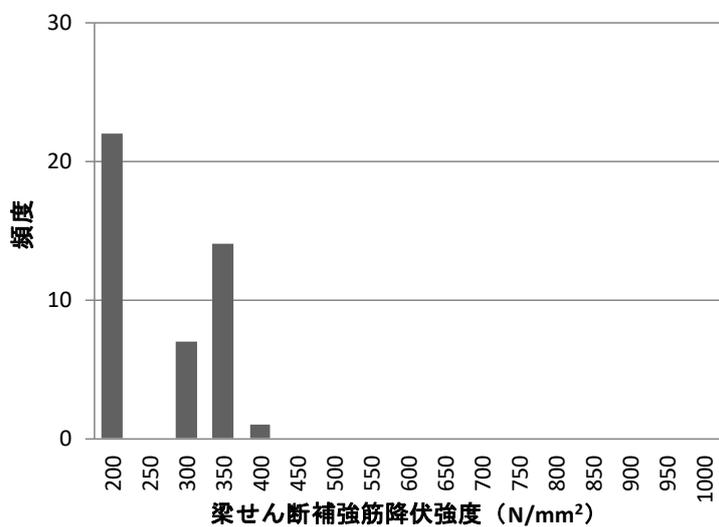


図 5.2.3 収集データ頻度分布 (梁せん断補強筋降伏強度)

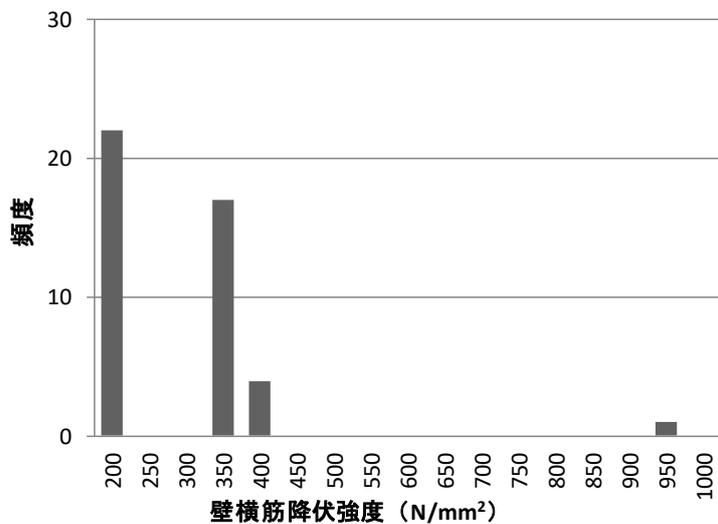


図 5.2.4 収集データ頻度分布 (壁横筋降伏強度)

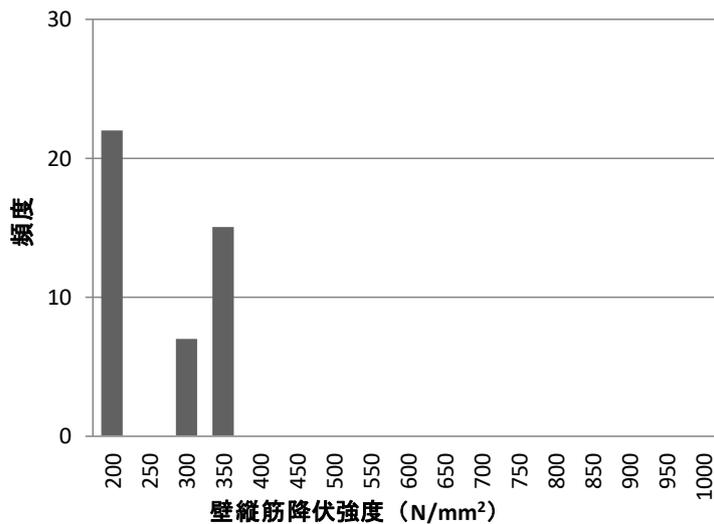


図 5.2.5 収集データ頻度分布 (壁縦筋降伏強度)

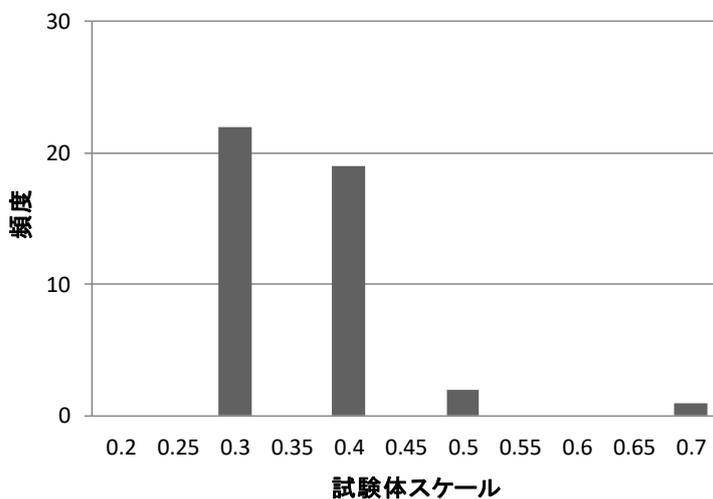


図 5.2.6 収集データ頻度分布 (試験体スケール)

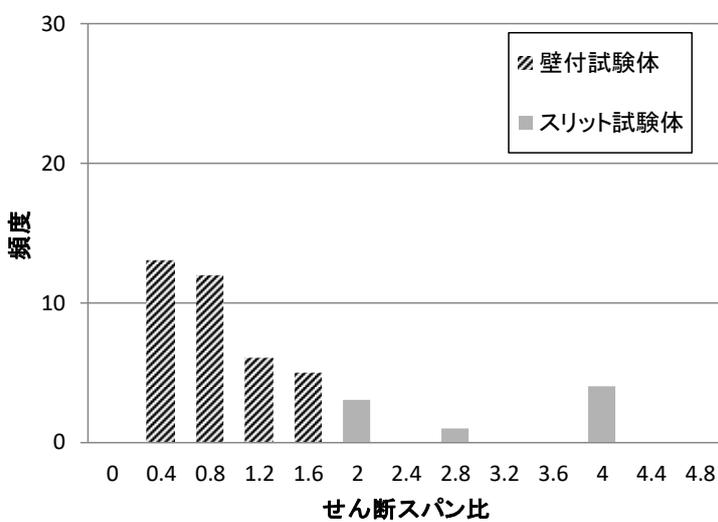


図 5.2.7 収集データ頻度分布 (せん断スパン比)

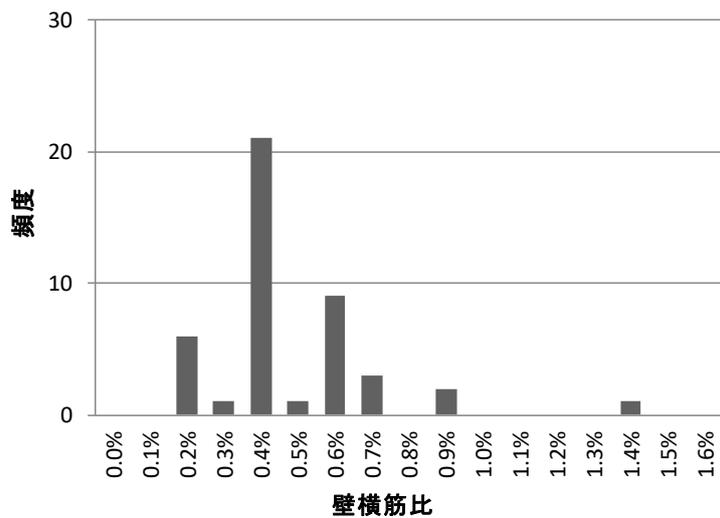


図 5.2.8 収集データ頻度分布 (壁横筋比)

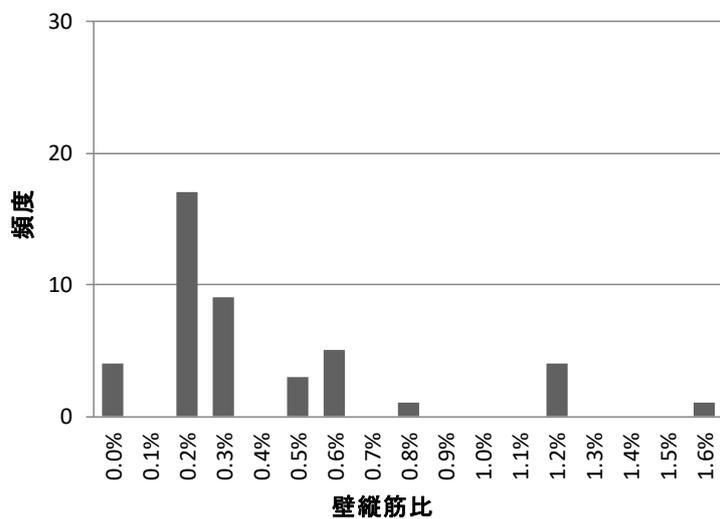


図 5.2.9 収集データ頻度分布 (壁縦筋比)

第5章 腰壁・垂れ壁付き梁部材

検討用に用いる試験体 44 体のうち、試験体の形状および破壊性状についてその内訳を図 5.2.10～図 5.2.12 に示す。

腰壁・垂れ壁付き梁部材の破壊性状は、鉄筋の引張降伏やコンクリートの圧壊、せん断破壊や壁と梁境界面でのスリップ破壊などが考えられる。データベースでは論文に記載されている破壊性状をそのまま入力したが、破壊性状の内訳を考える際には、鉄筋の引張降伏やコンクリートの圧壊は全て曲げ破壊、せん断破壊や壁と梁境界面でのスリップ破壊はせん断破壊として整理を行った。その結果、せん断破壊試験体が 7 体、曲げ破壊試験体が 36 体、不明が 1 体という内訳であった。

試験体の壁の枚数に注目すると、片側壁付試験体が 7 体、両側壁付試験体が 37 体という内訳であった。構造スリットの有無について注目すると、完全スリットが設けられている試験体が 8 体、スリット無し試験体が 36 体という内訳であった。



図 5.2.10 試験体内訳（壁の形状）



図 5.2.11 試験体内訳（構造スリットの有無）



図 5.2.12 破壊性状の内訳

5.3 収集データの信頼度分析

本研究で収集した 96 体の試験体データにおける収集した情報について、その信頼度を以下に示す。

(1) 基本情報について

腰壁・垂れ壁付き梁部材では、その形状により評価式が異なることが多く、特に構造スリットの有無と壁の有無は重要な要因となる。そこで、「5) 部材分類」という項目を設け、以下のような入力規則を設定した。

部材の形状により「梁、片側壁付梁、両側壁付梁」の三つに分類する。

※1 部材形状が十字接合部もしくはト形接合部の一部の場合は、「(十字)」、「(ト形)」の記載を追加すること。

※2 部材に構造スリットが設けられている場合、完全スリットならば「(完ス)」, 部分スリットならば「(部ス)」の記載を追加すること。

(2) 試験体情報について

- ・試験体のスケール 試験体 96 体中、85 体において記述があった。
- ・コンクリート打設方向 試験体 96 体中、65 体が横打ちとの記述があるが、それ以外は記述が無かった。
- ・コンクリート材料 圧縮強度については全ての試験体で記述があった。圧縮強度時歪みや引張強度、ヤング係数については半数近くの試験体で記述が無かった。
- ・鉄筋材料 各鉄筋の降伏強度については記述があるものの、降伏時歪みや引張強度、ヤング係数などの情報についての記述は無いことが多い。また、鉄筋のグレード(例:SD345 など)の情報の記述は無いことが多い。
- ・断面情報 試験体の断面情報として、梁主筋の被り厚さの記述が無かったり、壁横筋の間隔についての記述があるものの、正確な位置を特定することが困難であったりする試験体が多かった。特に、鉄筋の加力直交方向の位置については記述がほとんどなかった。

(3) 加力計測情報について

- ・加力形式 部材が十字形柱梁接合部やト形柱梁接合部の一部の場合は、片持ち形式としてデータを入力した。

(4) 実験データ情報について

- ・荷重変形関係 荷重変形関係のデータについて、包絡線データがある試験体が 40 体、全データがあるものが 27 体、無いものが 29 体であった。
- ・折れ点 腰壁・垂れ壁付き梁部材では、部材内に配筋されている鉄筋の種類や数が多く、曲げモーメントが作用する時、鉄筋が順に降伏してい

第5章 腰壁・垂れ壁付き梁部材

くことが多い。そのため単純なトリリニアやバイリニアでモデル化することが困難であり、折れ点について定義するのが難しい。重要だと考えられる強度や変形については、損傷情報での入力を行なうこととした。剛性の情報は弾性剛性のみを入力することとした。

- ・弾性剛性 弾性剛性についての実験結果の記述は少なく、文献[5-A5][5-A48][5-A49][5-A50][5-A55][5-A66][5-A67]のみである。
- ・実験時破壊モード 腰壁・垂れ壁付き梁部材では、破壊モードとして多くの定義があり、文献ごとに記述が異なっている。データベース上では文献の記述をそのまま入力したため一貫した分類がされていない。そのため、本データベースを利用する際には利用者が破壊モードを再定義する必要がある。
- ・損傷情報 各鉄筋の降伏時やひび割れ発生時、最大耐力時の荷重と変形を入力する。試験体によりひび割れ時や降伏時のデータがない場合があり、文献には最大耐力のみが記述されている場合も多い。また、腰壁・垂れ壁付き梁部材が十字接合部の一部となっている場合は、各梁の荷重と変形が明記されていなかった。

今回収集した論文では、論文中に記載されている情報が不足しているケースが多かった。紙面の都合などが原因で断面情報が不十分であった。特に壁筋などは鉄筋の位置の記述がないことが多い。実験結果においては最大強度や鉄筋降伏時などの荷重について、紙面上のアナログデータとしては記述があるものの、明確な数字として記述されていない場合が多い。また、腰壁・垂れ壁付き梁では、最大耐力だけでなく壁筋や梁主筋の降伏の有無やその時の変形角と強度が重要であり、弾性剛性、ひび割れ強度、終局変形角などの情報と共に、論文中に記載することが必要である。なお、評価式の精度検証では信頼できるデータのみを使用した。

5.4 実験値の定義

本節では、本研究で作成したデータベースを用いて腰壁・垂れ壁付き梁の耐震性能評価を行なうにあたり、部材の耐震性能項目として、弾性剛性 K_0 、曲げひび割れ強度 Q_c 、せん断ひび割れ強度 Q_{sc} 、降伏点剛性低下率 α_y 、曲げ終局強度 Q_{mu} 、せん断終局強度 Q_{su} 、限界変形角 R_u についての検討を行う。しかし、対象としている腰壁・垂れ壁付き梁部材は、実験において必ずしも明確な耐震性能項目が観測できるわけではない。そこで、本節では、各耐震性能項目における実験値の定義を行う。

5.4.1 スケルトンカーブの定義

実験における復元力特性は部材のせん断力-部材角関係 ($Q-R$ 関係) を用いる。また、正負繰り返し加力を行った実験では、計測を行ったデータからスケルトンカーブを作成しこれを用いた。ただし骨格曲線は以下のように定義した。図5.4.1に例を図示する。

試験体の最大耐力以前：前サイクルの最大変形点と本サイクルにおいて前サイクルの最大荷重値を超えた点を結ぶ。それ以降は計測点を採用する。

試験体の最大耐力以降：前サイクルの最大変形点と本サイクルの最大荷重点を結ぶ。本サイクルの最大荷重点以降は計測点を採用する。

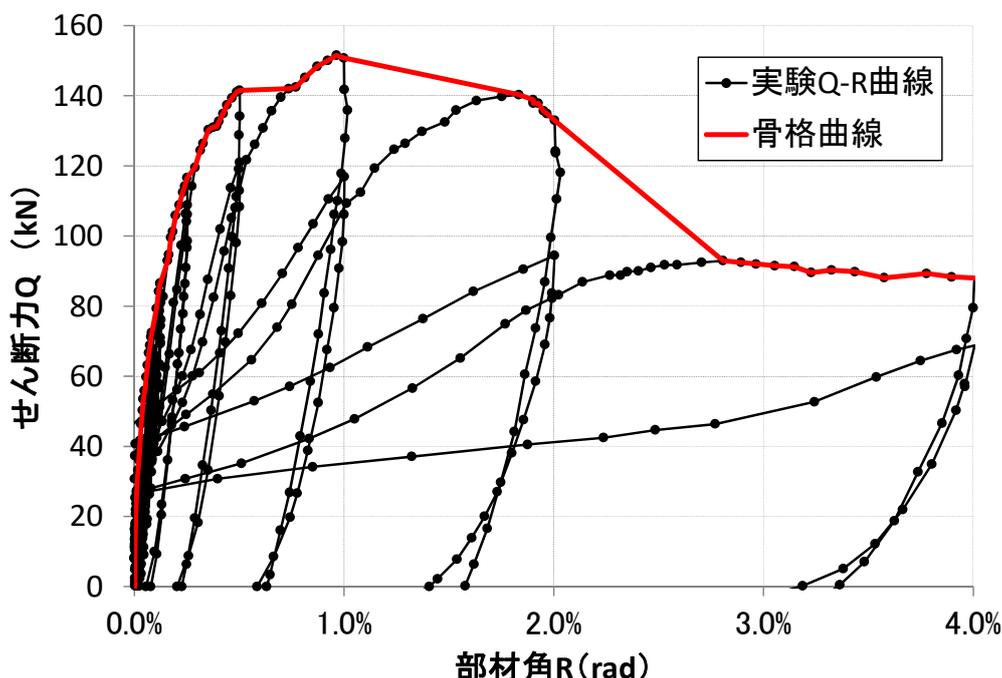


図 5.4.1 骨格曲線の定義

正負繰り返し加力を行う場合、試験体の非対称性や加力履歴の非対称性により正負で明らかに性状が変化する場合は、正負の実験値を区別する必要がある。一方で、正負が対称な場合であっても正負の構造性能値が変化する場合がある。これは以下のような原因により生じる。

- ① 試験体材料，試験体施工，計測誤差，試験体設置誤差，加力装置による影響により，正負の実験値が変化する場合
- ② 正側で生じた損傷（コンクリートのひび割れ，鉄筋のバウシinger効果）により負側の強度が低くなる場合，正負の構造性能値の違いは本来の試験体の挙動であり，正負の値を別の値として検討する必要がある。

本検討で用いる評価式の中で、②の影響を明確に考慮した評価式は存在しない。そのため本検討では正負別々に実験値を収集し、正負の区別なく同じ評価式で検討を実施する。ただし、論文中に記載されている値が正負の平均値のみの場合は、その値を採用した。また、脆性的な破壊が起こるせん断破壊試験体においては、例えば最大耐力は正側の実験値しか意味を持たない場合が多い。このような場合は、正側の実験値のみを採用した。

5.4.2 弾性剛性

本研究における弾性剛性は、以下のように定義する。

1. 論文中に弾性剛性実験値の記述がある場合は、その値を弾性剛性とする。
2. 論文中に弾性剛性実験値の記述がないが、曲げひび割れ点のせん断力と変形角の記述がある場合、曲げひび割れ点と原点を結んだ傾きを弾性剛性とする。

5.4.3 ひび割れ強度

本研究におけるひび割れ強度は、目視による曲げひび割れ発生点のせん断力を ${}_eQ_c$ 、せん断ひび割れ発生点のせん断力を ${}_eQ_{sc}$ と定義する。論文に記録がない場合は、強度なしとした。

5.4.4 終局強度および降伏点剛性低下率

曲げ引張破壊する腰壁・垂れ壁付き梁部材の実験では図 5.4.1 に示すようなスケルトンカーブを描くため、明確な第二折れ点の実験で観察されることは少ない。そこで本研究では、以下の三種類の方法で実験のスケルトンカーブを三折れ線モデルに置換し、その第二折れ点のせん断力を終局強度、変形角から降伏点剛性低下率を計算した。

- (1) 引張側最外縁の梁主筋降伏した点を第二折れ点と定義する。
- (2) 水平力 ${}_e2Q_{mu}$ を実験の最大せん断力 ${}_eQ_{max}$ とし、実験における変形角 2% までの消費エネルギーが等価となる変形角 ${}_e2R_y$ を計算し、その点を第二折れ点と定義する。ただし、第一折れ点は計算値を用いて定義した。この計算値とは、弾性剛性は精算法 ${}_e2K_0$ 曲げひび割れ強度 ${}_eQ_c$ を用いている。
- (3) 水平力 ${}_e3Q_{mu}$ を実験の最大せん断力 ${}_eQ_{max}$ とし、実験の最大せん断力を記録した点までの消費エネルギーが等価となる変形角 ${}_e3R_y$ を計算し、その点を第二折れ点と定義する。ただし、第一折れ点は計算値を用いて定義した。この計算値とは、弾性剛性は精算法 ${}_e2K_0$ 曲げひび割れ強度 ${}_eQ_c$ を用いている。

ここで、剛性低下率 ${}_e\alpha_y$ は上記の(1)~(3)における変形角 ${}_eR_y$ を用いて (式 5.1) で計算する。

$${}_e\alpha_y = \frac{{}_eQ_{mu}}{{}_eK_0 \cdot {}_eR_y \cdot l} \quad (\text{式 5.1})$$

l : 梁スパン長さ (mm)

ただし、腰壁・垂れ壁付き梁の弾性剛性 ${}_eK_0$ は精算法 ${}_e2K_0$ (式 5.4) で計算した。同様に、構造スリットを設けた腰壁・垂れ壁付き梁の弾性剛性 ${}_eK_0$ は、鉄筋およびせん断剛性を無視した弾性剛性 ${}_eK_b$ (式 5.2) を用いた。

$${}_eK_b = \frac{12E_cI_0}{l^3} \quad (\text{式 5.2})$$

I_0 : 鉄筋を無視した断面二次モーメント (壁を無視して計算する)

また、腰壁・垂れ壁付き梁の曲げ終局強度 ${}_eQ_{mu}$ は、2018RC 規準^[5-2] 式 ${}_e4M_u$ (式 5.22) をシアスパン a で除した値とした。同様に、構造スリットを設けた腰壁・垂れ壁付き梁の曲げ終局強度 ${}_eQ_{mu}$ は、 ${}_e5M_u$ (式 5.23) をシアスパン a で除した値とした。

検討例を図5.4.2に示す。

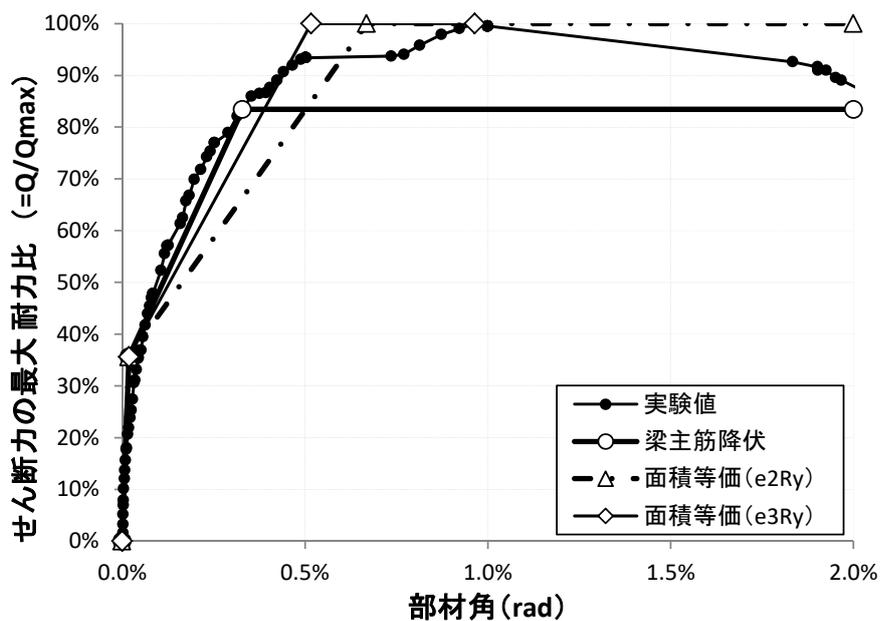


図5.4.2 各定義による第二折れ点

せん断終局強度 eQ_{su} は、せん断破壊した試験体における実験の最大強度 eQ_{max} とした。

5.4.5 限界変形角

スケルトンカーブが最大せん断力 eQ_{max} 記録後、せん断力が eQ_{max} の80%未満となった時の変形角を eR_u と定義する。ただし、構造スリットを設けた腰壁・垂れ壁付き梁においてはスリットで絶縁した壁が加力スタブに接触した時の変形角と、上記のせん断力が eQ_{max} の80%未満となった時の変形角を比べ小さい方を eR_u と定義する。

5.5 評価式とその精度

本節では、本研究で作成したデータベースを用いて腰壁・垂れ壁付き梁の耐震性能評価を行った。部材の耐震性能項目として、弾性剛性、ひび割れ強度、降伏点剛性低下率、短期許容せん断力、終局強度、終局変形角について検討を行った。検討で使用した評価式は、2015 技術解説書^[5-1]および2018RC 規準^[5-2] および既往の研究による計算式を用いた。材端に構造スリットがある場合と構造スリットがない場合とでは大きく部材の性能が異なるため、構造スリットの有無により計算式および対応する実験値を区別し、評価を行った。構造スリットを設けた腰壁・垂れ壁付き梁および腰壁・垂れ壁付き梁について、各検討項目の実験値の定義一覧を表 5.5.1 に、評価式の一覧を表 5.5.2 に示す。

表 5.5.1 実験値定義一覧

		構造スリット有り	構造スリットなし
弾性剛性		論文の記述を採用または曲げひび割れ点の割線剛性	
ひび割れ 強度	曲げ	論文の記述を採用	
	せん断	論文の記述を採用	
降伏点剛性低下率		第二折れ点の変形を、曲げ終局強度（計算値）と弾性剛性（計算値）で除した値	
終局強度	曲げ	第二折れ点における水平力	
	せん断	せん断破壊時の最大水平力	
限界変形角		壁が接触した時の変形角	最大水平力 Q_{max} 記録以降、水平力が $0.8Q_{max}$ を下回った時の変形角
第二折れ点		①引張側最外縁梁主筋降伏 ②水平力は Q_{max} とし、変形角は面積等価点（変形角 2%と等価）から計算する ③水平力は Q_{max} とし、変形角は面積等価点（最大水平力時変形角と等価） ※面積等価点計算時の仮定として、曲げひび割れ点や弾性剛性は計算値を用いる	

表 5.5.2 評価式一覧

		構造スリット有り	構造スリットなし
ひび割れ 強度	曲げ	①2015 技術解説書 (付 1.3-1)	①2015 技術解説書 (付 1.3-1)
	せん断		①2015 技術解説書 (付 1.3-35)
弾性剛性		①壁無視 c_2K_0 ②三部材直列式 c_4K_0 ③JSCA 式 c_5K_0 ④S 字歪み分布式 c_6K_0	①応力度法 c_1K_0 ②精算法 c_2K_0 ③置換断面法 c_3K_0
降伏点剛性低下率		①2015 技術解説書 (壁無視)	①2015 技術解説書 (付 1.3-38) ②2018RC 規準式
終局強度	曲げ	①2015 技術解説書 (壁無視)	①2015 技術解説書 (付 1.3-36) ②2015 技術解説書 (付 1.3-41) ③2017 耐震診断基準 (付 3-3) ④2018RC 規準 (付 10.5)
	せん断		①2015 技術解説書 (付 1.3-42) ②2015 技術解説書 (付 1.3-43) ③2017 耐震診断基準 (付 3-7) Q_{su1} ④2016 保耐規準(案) (21.3.4)
短期許容せん断力			①2018RC 規準式
限界変形角		①壁接触による計算式	① (式 5.23)

5.5.1 弾性剛性

(1) 腰壁・垂れ壁付き梁

部材に逆対称曲げモーメントが作用する場合の、腰壁・垂れ壁付き梁の荷重変形関係における弾性剛性の既往の評価法は、①応力度法^[5-3]、②精算法（エネルギー法^[5-3]）、③置換断面法^[5-3]の3つの方法がある。それぞれの方法について計算方法を以下に示す。

①応力度法

$$\frac{1}{c_l K_0} = \frac{1}{K_{s1}} + \frac{1}{K_b} \tag{式 5.3}$$

ただし、

$$K_{s1} = \frac{GA_0}{\kappa_{e1} l} \quad : \text{せん断剛性 (N/mm)}$$

$$K_b = \frac{12E_c I_0}{l^3} \quad : \text{曲げ剛性 (N/mm)}$$

$$G_c : \text{コンクリートのせん断弾性係数 (N/mm}^2\text{)} \quad G_c = \frac{E_c}{2 \times (1 + \nu)}$$

κ_{e1} : せん断形状係数

A_0 : 壁も含めた全断面積 (mm²)

l : 梁スパン長さ (mm)

E_c : コンクリートヤング係数 (N/mm²)

ν : コンクリートポアソン比 (=0.2)

I_0 : 断面二次モーメント (mm⁴)

ここで、せん断形状係数 κ_{e1} は応力度法を用い、片側のみ壁が付いている場合は(式 5.4)で両側に壁が付いている場合は(式 5.5)で計算を行なった。

$$\kappa_{e1} = \begin{cases} \frac{6(1 + \alpha\beta)^2 \left\{ \frac{\alpha\beta(1 + \beta)}{2(1 + \alpha\beta)} + \frac{1}{2} \right\}^2}{(1 + \alpha\beta)(1 + \alpha\beta^3) + 3\alpha\beta(1 + \beta)^2} & \frac{\alpha\beta(1 + \beta)}{2(1 + \alpha\beta)} \leq \frac{1}{2} \\ \frac{6(1 + \alpha\beta)^2 \left\{ \frac{1}{2} + \beta - \frac{\alpha\beta(1 + \beta)}{2(1 + \alpha\beta)} \right\}^2}{(1 + \alpha\beta)(1 + \alpha\beta^3) + 3\alpha\beta(1 + \beta)^2} & \frac{\alpha\beta(1 + \beta)}{2(1 + \alpha\beta)} > \frac{1}{2} \end{cases} \tag{式 5.4}$$

$$\kappa_{e1} = \frac{6(2\alpha\beta + 1) \left\{ \alpha \left(\beta + \frac{1}{2} \right)^2 + \frac{1}{4}(1 - \alpha) \right\}}{\alpha(2\alpha\beta + 1)^2 + (1 - \alpha)} \tag{式 5.5}$$

ただし、

α : 壁厚を梁幅で除した値

β : 壁長さを梁せいで除した値

②精算法（エネルギー法）

$$\frac{1}{c_2 K_0} = \frac{1}{K_{s2}} + \frac{1}{K_{be}} \quad (\text{式 5.6})$$

ただし、

$$K_{s2} = \frac{GA_0}{\kappa_{e2} l} : \text{せん断剛性 (N/mm)}$$

$$K_{be} = \frac{12E_c I_e}{l^3} : \text{曲げ剛性 (N/mm)}$$

κ_{e2} : せん断形状係数

I_e : 鉄筋を等価なコンクリート断面に置き換えた等価断面二次モーメント (mm^4)

ここで、せん断形状係数 κ_{e2} は精算式（エネルギー法）を用い、両側に壁が付いている場合は（式 5.7）で片側のみ壁が付いている場合は（式 5.8）で計算を行なった。

$$\kappa_{e2} = \frac{6(2\alpha\beta + 1) \left\{ 30\alpha^2\beta^2(\beta + 1)^2 + 2\alpha\beta(16\beta^4 + 25\beta^3 + 10\beta^2 + 5\beta + 5) + 1 \right\}}{5(8\alpha\beta^3 + 12\alpha\beta^2 + 6\alpha\beta + 1)^2} \quad (\text{式 5.7})$$

$$\kappa_{e2} = \frac{6(\alpha\beta + 1) \left\{ \alpha^3\beta^7 + \alpha^2\beta^2(7\beta^4 + 5\beta^3 + 10\beta^2 + 25\beta + 16) + \alpha\beta(16\beta^4 + 25\beta^3 + 10\beta^2 + 5\beta + 7) + 1 \right\}}{5(\alpha^2\beta^4 + 4\alpha\beta^3 + 6\alpha\beta^2 + 4\alpha\beta + 1)^2} \quad (\text{式 5.8})$$

③置換断面法

計算を単純にすることを目的とし、腰壁・垂れ壁付き梁断面を、壁を含めた全せいと断面2次モーメントが一致するような矩形の置換断面に置き換えて計算する方法^[5-3]が提案されている。この置換断面法の計算方法を以下に示す。

$$\frac{1}{c_3 K_0} = \frac{1}{K_{s3}} + \frac{1}{K_b} \quad (\text{式 5.9})$$

ただし、

$$K_{s3} = \frac{GA_e}{\kappa_{e3} l} : \text{せん断剛性 (N/mm)}$$

κ_{e3} : せん断形状係数 (=1.2)

A_e : 置換断面の面積 (mm^2)

ここで、置換断面の面積 A_e は、片側のみ壁が付いている場合は（式 5.10）で両側に壁が付いている場合は（式 5.11）で計算を行なった。

$$A_e = \frac{\alpha(1+2\beta)^3 + (1-\alpha)}{(1+2\beta)^2} \cdot BD \quad (\text{式 5.10})$$

$$A_e = \frac{(1+\alpha\beta)(1+\alpha\beta^3) + 3\alpha\beta(1+\beta)^2}{(1+\beta)^2(1+\alpha\beta)} \cdot BD \quad (\text{式 5.11})$$

(2) 構造スリットを設けた腰壁・垂れ壁付き梁

部材に逆対称曲げモーメントが作用する場合の、構造スリットを設けた腰壁・垂れ壁付き梁の弾性剛性の既往の評価法は、①二次壁を無視する方法、②梁を三部材として計算する方法、③JSCA評価式^[5-4]、④S字ひずみ度分布式の4つの方法^[5-5]がある。それぞれの方法について計算方法を以下に示す。

①壁を無視する方法

弾性剛性は(式5.6)の精算法 c_2K_0 を用いて計算した。ただし腰壁・垂れ壁を無視し梁のみを考慮して計算を行った。

②梁を三部材として計算する方法

構造スリットを設けた腰壁・垂れ壁付き梁において、部材の両端部の断面は二次壁のない梁断面であり、部材の中央部分は腰壁・垂れ壁のついた梁断面となる。本方法では、構造スリットを設けた腰壁・垂れ壁付き梁部材を三部材(梁断面部材-腰壁・垂れ壁付き梁断面部材-梁断面部材)に置換し、各部材間は剛接合として(式5.12)を用いて弾性剛性 c_4K_0 を計算した。

$$\frac{1}{c_4K_0} = \frac{1}{\lambda_s K_s} + \frac{1}{\lambda_{be} K_{be}} \quad (\text{式 5.12})$$

ただし、

$$\lambda_{be} : \text{曲げ剛性増加率} \quad \lambda_{be} = \frac{1}{(1-\lambda_i)(2\lambda_s-1)^3+1}$$

$$\lambda_s : \text{せん断剛性増加率} \quad \lambda_s = \frac{1}{\lambda_a + 2\lambda_s(1-\lambda_a)}$$

$$\frac{I_{e1}}{I_{e2}} = \lambda_i, \quad \frac{l_s}{l} = \lambda_s, \quad \frac{\kappa_2 A_1}{\kappa_1 A_2} = \lambda_a$$

I_{e1} : 梁断面の鉄筋を等価なコンクリート断面に置き換えた等価断面2次モーメント

A_1 : 梁断面の断面積

κ_1 : 梁断面のせん断形状係数 (=1.2)

I_{e2} : 壁付き梁断面の鉄筋を等価なコンクリート断面に置き換えた等価断面2次モーメント

A_2 : 壁付き梁断面の断面積

κ_2 : 壁付き梁断面のせん断形状係数 (= κ_{e2} , 精算式(エネルギー法)により計算する)

l_s : スリット目地の幅

l : 梁内法スパン長さ

③JSCA 評価式^[5-4]

JSCA では文献^[5-4]において2次元弾性FEM解析による解析結果の回帰式により、構造スリットを有する二次壁付き梁の弾性剛性を壁無し梁の初期剛性に対する剛性増大倍率として表す手法を提案している。壁無し梁の弾性剛性は壁を無視した時の弾性剛性 c_2K_0 と同値となるため、構造スリットを有する二次壁付き梁の弾性剛性 c_5K_0 は(式5.13)で計算出来る。ただし、この評価式では実大構造物を想定した計算式であるため、実験試験体の弾性剛性を評価するために実験試験体のスケールを考慮し計算を行った。

$$c_5K_0 = \lambda_{bs} \cdot c_2K_0 \tag{式 5.13}$$

(i) $h_{w1} \neq 0$ かつ $h_{w2} \neq 0$ の場合 (腰壁・垂れ壁を有する梁の場合)

$$\lambda_{bs} = \left[\left(\frac{G_1}{G_0} \right)^{2.5} + \left(\frac{G_2}{G_0} \right)^{2.5} \right]^{0.4}$$

ただし、 $\frac{G_1}{G_0} = \frac{(0.17l + 0.51)h_{w1}}{D} + (1 - h_{w1})$ かつ $\frac{G_1}{G_0} > 1$

$$\frac{G_2}{G_0} = \frac{(0.17l + 0.51)h_{w2}}{D} + (1 - h_{w2}) \text{ かつ } \frac{G_2}{G_0} > 1$$

$h_{w1} \geq 1.0$ の場合 $h_{w1} = 1.0$

$h_{w2} \geq 1.0$ の場合 $h_{w2} = 1.0$

適用範囲 ($l \geq 5.88D - 3.0$ かつ $l \geq 2.0$)

G_0 : 壁が取り付けなかった場合の梁のみの曲げせん断剛性 (N/mm) (=K₁)

G_1 : 垂れ壁のみを有する梁の曲げせん断剛性 (N/mm)

G_2 : 腰壁のみを有する梁の曲げせん断剛性 (N/mm)

h_{w1} : 垂れ壁高さ (mm)

h_{w2} : 腰壁高さ (mm)

l : 梁内法スパン長さ (mm)

D : 梁せい (mm)

(ii) $h_{w1} = 0$ の場合 (腰壁のみを有する梁の場合)

$$\lambda_{bs} = \frac{G_2}{G_0}$$

(iii) $h_{w2} = 0$ の場合 (垂れ壁のみを有する梁の場合)

$$\lambda_{bs} = \frac{G_1}{G_0}$$

④S字ひずみ度分布式

渡邊らは文献[5-5]において構造スリットを設けた腰壁・垂れ壁付き梁のひずみ度分布に基づく弾性剛性の計算手法を示している。これは、図 5.5.1 に示すように構造スリットを設けた腰壁・垂れ壁付き梁の軸歪み度モデル (S 字ひずみ度モデル) を元に弾性剛性 ${}_{\infty}K_0$ を計算する手法である。この S 字ひずみ度モデルでは、スリット梁の応力状態を以下の 4 つの領域に分けて考える。領域の範囲は、図 5.5.1 に示すように材端を原点とした x 軸を用いて以下のように表せる。

i) 領域 A ($0 \leq x < l_s$)

梁断面の領域で平面保持が成立している領域

ii) 領域 B ($l_s \leq x < l_s + l_b$)

軸歪み度分布は S 字の歪み度分布で、部材中央に進むに従い軸歪み度が生じている断面が大きくなっていく領域

iii) 領域 C ($l_s + l_b \leq x < l_s + l_b + l_c$)

S 字の歪み度分布から壁付梁断面の領域で平面保持が成立している領域への過渡領域で、腰壁上端部や垂れ壁下端部の軸歪み度が徐々に大きくなっていく。

iv) 領域 D ($l_s + l_b + l_c \leq x \leq l/2$)

壁付梁断面の領域で平面保持が成立している領域

ただし、 l_s : スリット幅 (mm) l : 梁内法スパン (mm)

l_b : 領域 B の範囲 (mm) l_c : 領域 C の範囲 (mm)

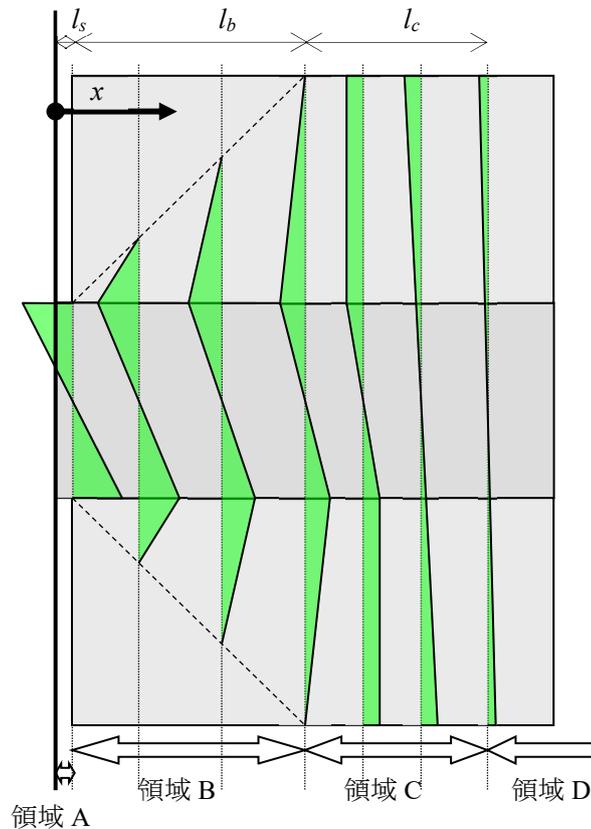


図 5.5.1 S 字ひずみ度モデル

第5章 腰壁・垂れ壁付き梁部材

弾性剛性の評価式の予測精度の結果を表 5.5.3 に、弾性剛性の実験値と計算値との比較を図 5.5.2 および図 5.5.3 に示す。検証に用いた実験データは、文献[5-A5][5-A48][5-A49][5-A50][5-A55][5-A58][5-A66]における構造スリットを設けた腰壁・垂れ壁付き梁 11 体および腰壁・垂れ壁付き梁 49 体である。

表 5.5.3 弾性剛性評価式の予測精度

弾性剛性	試験体数	比較値*の範囲	比較値の 平均値	標準偏差	変動係数
スリット有垂れ壁・腰壁付き梁(c_2K_0)	11	0.51 ~ 1.37	1.07	0.219	0.206
スリット有垂れ壁・腰壁付き梁(c_4K_0)	11	0.11 ~ 0.40	0.20	0.081	0.409
スリット有垂れ壁・腰壁付き梁(c_5K_0)	11	0.41 ~ 0.87	0.53	0.129	0.242
スリット有垂れ壁・腰壁付き梁(c_6K_0)	11	0.37 ~ 0.76	0.52	0.098	0.189
垂れ壁・腰壁付き梁(c_1K_0)	49	0.27 ~ 1.90	0.67	0.325	0.481
垂れ壁・腰壁付き梁(c_2K_0)	49	0.27 ~ 1.88	0.70	0.362	0.515
垂れ壁・腰壁付き梁(c_3K_0)	49	0.32 ~ 2.09	0.86	0.430	0.498

*比較値＝実験値／計算値

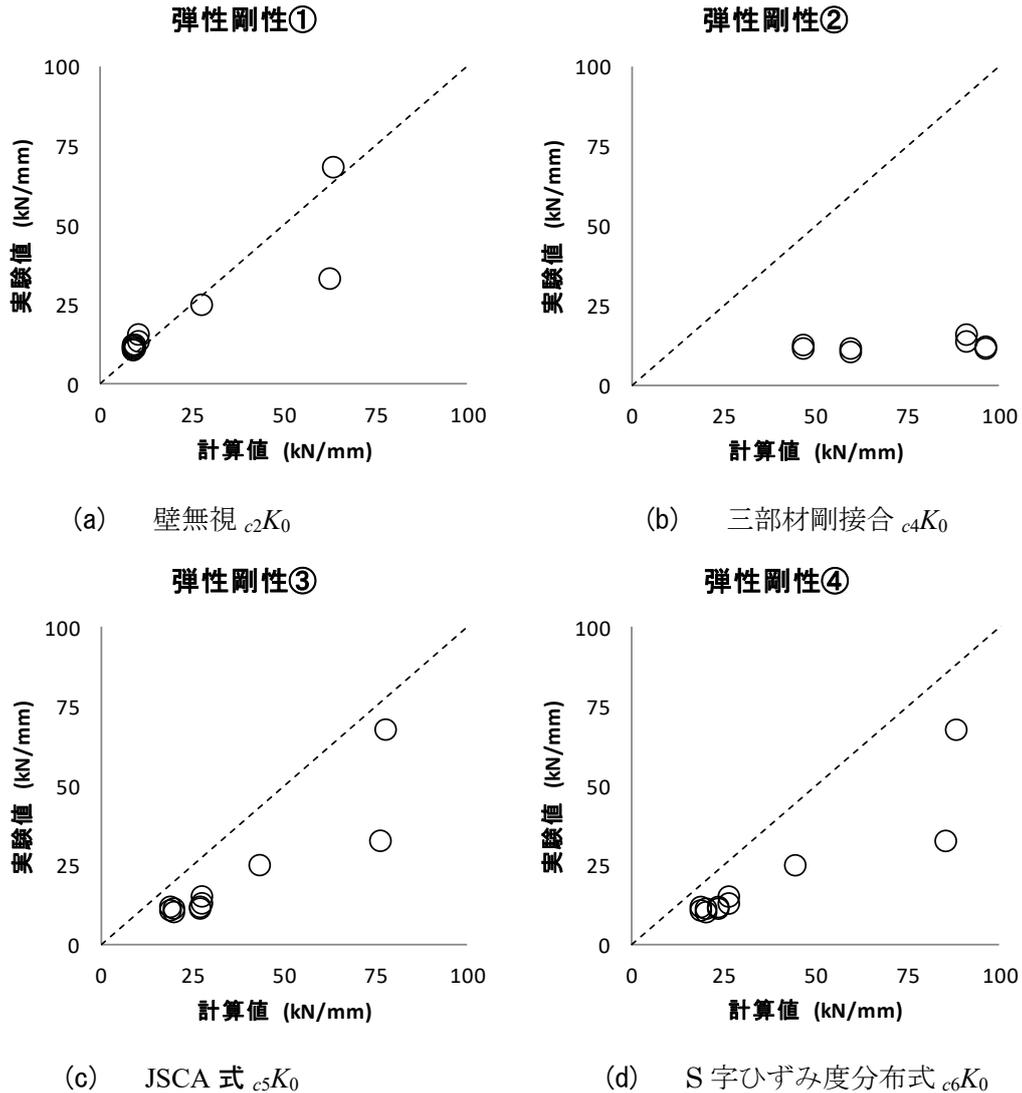


図 5.5.2 弾性剛性の計算値と実験値の比較（構造スリットを設けた腰壁・垂れ壁付き梁）

表 5.5.3 および図 5.5.2 および図 5.5.3 より、構造スリットを設けた腰壁・垂れ壁付き梁は壁を無視して計算した値 (c_2K_0) よりも実験値が大きな値となった。これは、構造スリットを端部に設けたとしても梁に腰壁・垂れ壁が取り付くことにより、部材の剛性が増加したためと考えられる。また、構造スリットを設けた腰壁・垂れ壁付き梁部材を三部材（梁断面部材－腰壁・垂れ壁付き梁断面部材－梁断面部材）に置換し、各部材間を剛接合として計算した値 (c_4K_0) と比べると、比較値の平均が 0.20 と小さな値となった。一方、JSCA による評価式による計算値 (c_5K_0) および S 字ひずみ度分布式による計算値 (c_6K_0) と比べると、比較値の平均が 0.53 および 0.52 と小さな値となった。構造スリットを設けた腰壁・垂れ壁付き梁に関しては、評価した試験体が 11 体と少なく、また同一シリーズの実験であることから、今後の構造実験結果の蓄積が必要だと考えられる。

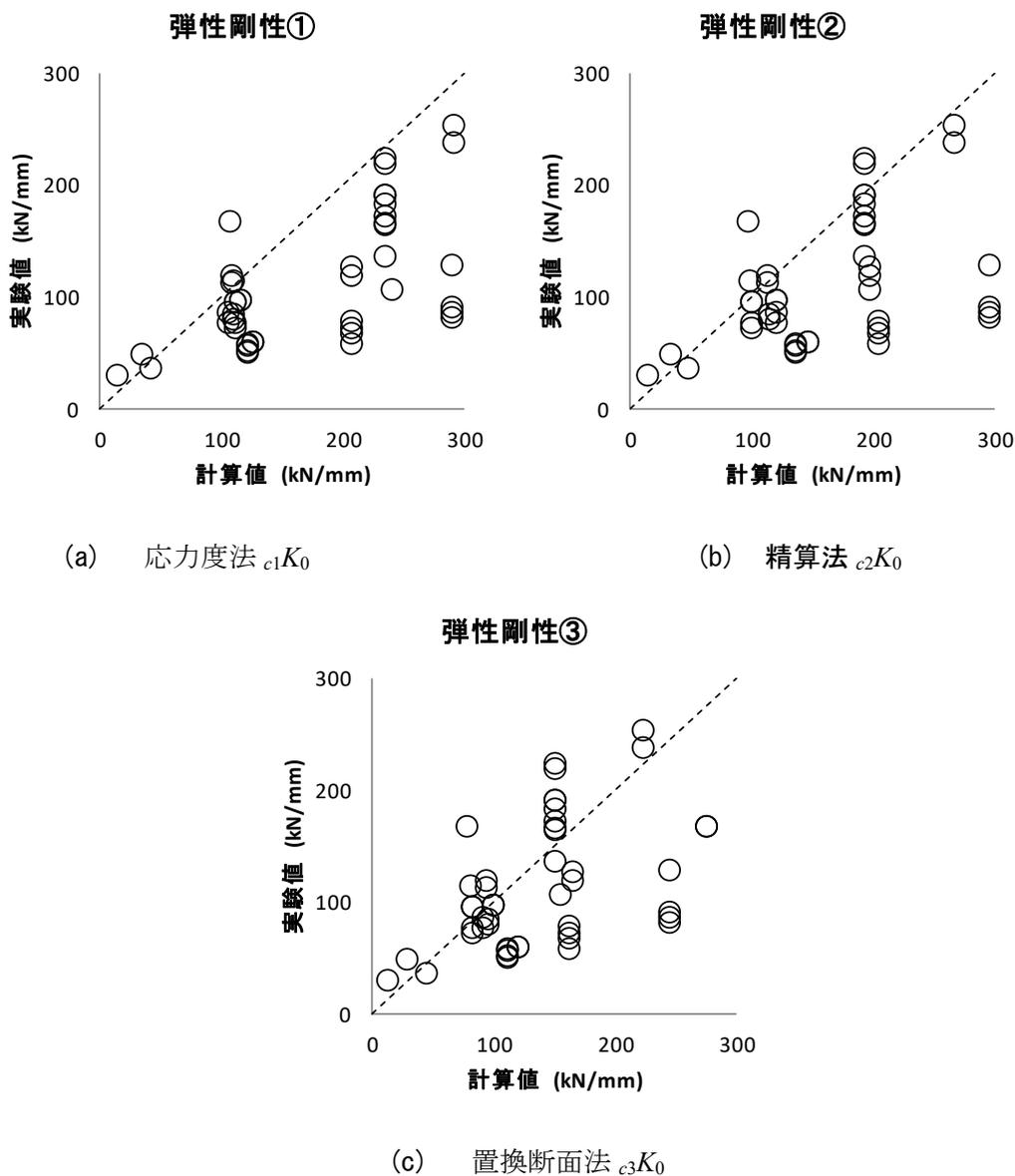


図 5.5.3 弾性剛性の計算値と実験値の比較（腰壁・垂れ壁付き梁）

腰壁・垂れ壁付き梁では、応力度法、精算法、置換断面法の比較値の平均値がそれぞれ、0.67, 0.70, 0.86 と実験値が計算値よりも小さな値となった。これは、試験体の乾燥収縮ひび割れや加力前の初期ひび割れなどの影響が考えられる。また、変動係数はそれぞれ 0.481, 0.515, 0.498 でありばらつきが構造スリットを設けた腰壁・垂れ壁付き梁と比べると大きな結果となった。

5.5.2 ひび割れ強度（曲げおよびせん断）

(1) 曲げひび割れ強度 cQ_c

腰壁・垂れ壁付き梁の曲げひび割れモーメント cM_c は 2015 技術解説書^[5-1]を参考に（式 5.14）を用いて計算を行なった。また、曲げひび割れ強度 cQ_c は cM_c をシアスパン a で除した値とした。計算方法を以下に示す。

$$cM_c = 0.56\sqrt{\sigma_B} \cdot Z_e \tag{式 5.14}$$

Z_e ：鉄筋を考慮した等価断面係数（ mm^3 ）

（構造スリット有りの場合は壁を無視し、構造スリットがない場合は壁を考慮して精算する）

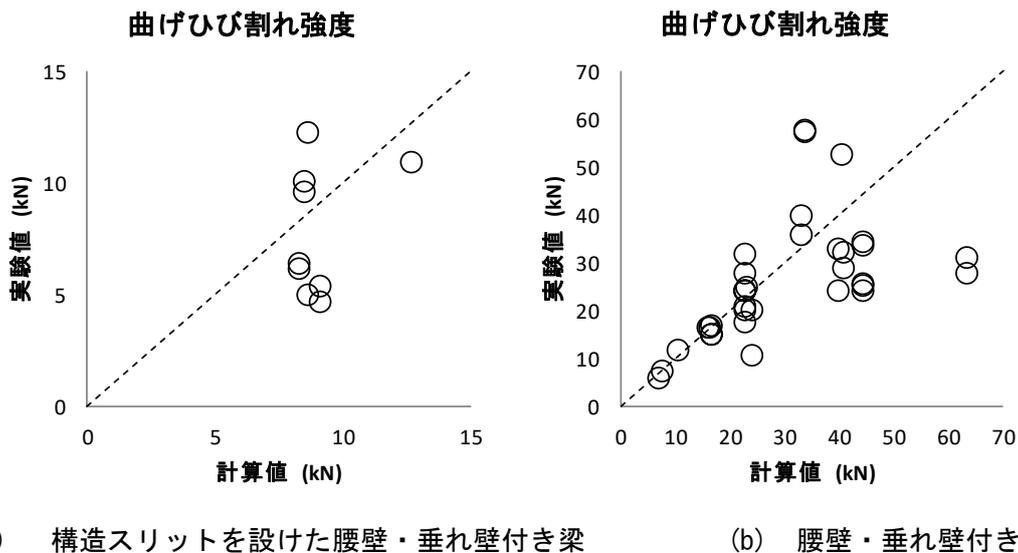
σ_B ：コンクリート圧縮強度（ N/mm^2 ）

曲げひび割れ強度 cQ_c の評価式の予測精度の結果を表 5.5.4 に、曲げひび割れ強度の実験値と計算値との比較を図 5.5.4 に示す。検証に用いた実験データは、文献[5-A5][5-A48][5-A49][5-A50][5-A55][5-A58][5-A66]における構造スリットを設けた腰壁・垂れ壁付き梁 11 体および腰壁・垂れ壁付き梁 41 体である。

表 5.5.4 曲げひび割れ強度評価式の予測精度

曲げひび割れ強度	試験体数	比較値*の範囲	比較値の 平均値	標準偏差	変動係数
スリット有腰壁・垂れ壁付き梁	11	0.51 ~ 1.40	0.92	0.315	0.34
腰壁・垂れ壁付き梁	41	0.41 ~ 1.69	0.91	0.305	0.34

*比較値＝実験値／計算値



(a) 構造スリットを設けた腰壁・垂れ壁付き梁

(b) 腰壁・垂れ壁付き梁

図 5.5.4 曲げひび割れ強度の計算値と実験値の比較

表 5.5.4 および図 5.5.4 より、構造スリットを設けた腰壁・垂れ壁付き梁では壁を無視して計算した結果、比較値の平均値が 0.92 となり危険側の判定であった。比較値が 0.51~1.40 の範囲でありばらつきが大きい。弾性剛性と同様に評価した試験体が 11 体と少なく今後の構造実験結果

第5章 腰壁・垂れ壁付き梁部材

の蓄積が必要だと考えられる。

腰壁・垂れ壁付き梁では、比較値の平均値が0.91であり危険側の判定となった。比較値が0.41～1.69の範囲、変動係数は0.305とばらつきが大きな結果となった。

(2) せん断ひび割れ強度 cQ_{sc}

腰壁・垂れ壁付き梁のせん断ひび割れ強度 cQ_{sc} は 2015 技術解説書^[5-1]を参考に (式 5.15) を用いて計算を行なった。計算方法を以下に示す。

$$cQ_{sc} = \left\{ \frac{0.085k_c(\sigma_B + 50)}{M/(Qd_{e1}) + 1.7} \right\} b_e j_{e1} \quad (\text{式 5.15})$$

k_c : 部材せいに対する補正係数

$M/(Qd_{e1})$: シアスパン比

b_e : 断面積と全せいを原断面と等しくした等価長方形断面の等価幅 (図 5.5.5 参照)

j_{e1} : 応力中心間距離 (= $7d_{e1}/8$)

d_{e1} : 梁の引張鉄筋の中心から圧縮側壁の最外端までの距離 (図 5.5.5 参照)

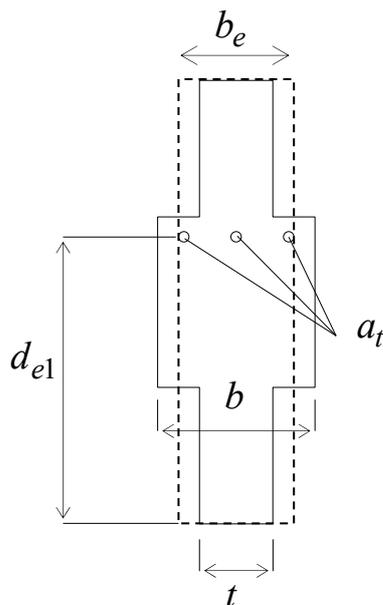


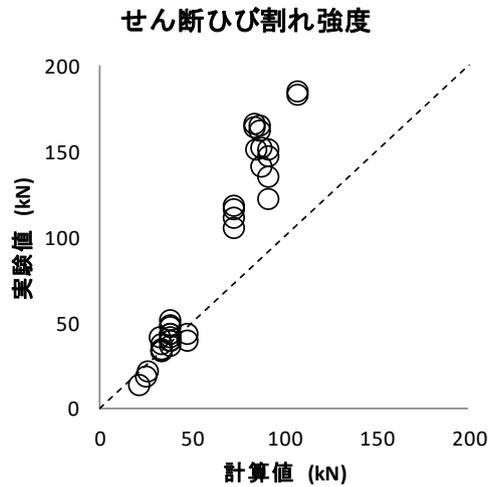
図 5.5.5 腰壁・垂れ壁付き梁断面図

せん断ひび割れ強度 cQ_{sc} の評価式の予測精度の結果を表 5.5.5 に、せん断ひび割れ強度の実験値と計算値との比較を図 5.5.6 に示す。検証に用いた実験データは、文献[5-A5][5-A48][5-A50][5-A55][5-A58][5-A66]における腰壁・垂れ壁付き梁 42 体である。なお、文献[5-A5]では実験におけるせん断ひび割れ強度として、壁に発生したせん断ひび割れ強度と梁に発生したせん断ひび割れ強度の二つのデータが存在する。ここではせん断ひび割れ強度の実験値として二つのデータのうち小さなものを採用した。なお、構造スリットを設けた腰壁・垂れ壁付き梁では、せん断ひび割れ耐力が収集できた試験体が存在しなかった。

表 5.5.5 せん断ひび割れ強度評価式の予測精度

せん断ひび割れ強度	試験体数	比較値*の範囲	比較値の 平均値	標準偏差	変動係数
腰壁・垂れ壁付き梁	42	0.59 ~ 1.95	1.35	0.404	0.300

*比較値＝実験値／計算値



腰壁・垂れ壁付き梁

図 5.5.6 せん断ひび割れ強度の計算値と実験値の比較

表 5.5.5 および図 5.5.6 より、腰壁・垂れ壁付き梁のせん断ひび割れ強度の比較値の平均値が 1.35 と安全側の結果となった。しかし、比較値が 0.59~1.95 の範囲、変動係数が 0.300 であればらつきが大きい。

5.5.3 降伏点剛性低下率

腰壁・垂れ壁付き梁の降伏点剛性低下率 $c_1\alpha_y$ は 2018RC 規準^[5-2]を参考に (式 5.16) を用いて計算を行なった。腰壁・垂れ壁付き梁の降伏点剛性低下率 $c_2\alpha_y$ は 2015 技術解説書^[5-1]を参考に (式 5.17) を用いて計算を行なった。また、構造スリットを設けた腰壁・垂れ壁付き梁の場合は (式 5.18) で示すように壁を無視して計算を行なった。計算方法を以下に示す。

$$c_1\alpha_y = \left(0.043 + 1.65\sum np_t + 0.043\frac{M}{QL} + 0.33\eta_0 \right) \left\{ \frac{d}{L} \right\}^2 \quad (\text{式 5.16})$$

ただし、引張鉄筋は中立軸位置 x_{n1} より引張側にある鉄筋グループとする。

$$\sum np_t = \sum \frac{n_i a_{ti}}{A_0}$$

n_i : 引張鉄筋グループのヤング係数比 (= 引張鉄筋のヤング係数 / コンクリートのヤング係数)

a_{ti} : 引張鉄筋グループの断面積 (mm²)

A_0 : 二次壁を含めた全断面積 (mm²)

$$x_{n1} = \frac{2}{5}(L - y_{\max}) : \text{中立軸位置 (mm)}$$

$M/(QL)$: シアスパン比

L : 二次壁を含む断面のせい (mm)

η_0 : 軸力比 (=0)

d : 有効せい (mm)

$$d = \frac{\sum a_{ti}(d_i - x_n)^2}{\sum a_{ti}(d_i - x_n)} + x_n$$

$$c_2\alpha_y = \left(0.043 + 1.65\sum np_t + 0.043\frac{M}{QL} + 0.33\eta_0 \right) \left\{ \frac{d}{L} \right\}^2 \quad (\text{式 5.17})$$

(式 5.16) と記号は共通とする。ただし、引張鉄筋は圧縮縁から中立軸までの距離 x_{n2} より引張側にある鉄筋グループとする。 x_{n2} の計算は、引張鉄筋と圧縮コンクリート領域の力の釣り合いにより計算する。

$$\alpha_y = \left(0.043 + 1.65\sum np'_t + 0.043\frac{M}{QD} + 0.33\eta_0 \right) \left\{ \frac{d}{D} \right\}^2 \quad (\text{式 5.18})$$

ただし、

n : ヤング係数比 (= 梁主筋のヤング係数 / コンクリートのヤング係数)

p_t : 梁引張鉄筋比 (= a_t / bD)

$M/(QD)$: シアスパン比

η_0 : 軸力比 (=0)

降伏点剛性低下率 α_y の予測精度の結果を表 5.5.6 に、降伏点剛性低下率 α_y の実験値と計算値との比較を図 5.5.7 および図 5.5.8 に示す。検証に用いた実験データは、文献[5-A5][5-A48][5-A49][5-A50][5-A55][5-A58][5-A66]における構造スリットを設けた腰壁・垂れ壁付き梁 12 体および腰壁・垂れ壁付き梁 38 体である。ただし、実験値 $e_2\alpha_y$ および $e_3\alpha_y$ は実験値が定義できない場合があるため、検討した試験体数がそれぞれ 19 体および 20 体と少ない。なお、図 5.5.7 および図 5.5.8 において○で示したデータは曲げ破壊した試験体を、△で示したデータはせん断破壊した試験体を表している。

表 5.5.6 降伏点剛性低下率評価式の予測精度

剛性低下率	試験体数	比較値*の範囲	比較値の 平均値	標準偏差	変動係数
スリット有腰壁・垂れ壁付き梁	12	1.01 ~ 2.46	1.26	0.399	0.317
垂れ壁・腰壁付き梁 ($e_1\alpha_y/c_1\alpha_y$)	38	0.53 ~ 3.10	1.58	0.545	0.345
垂れ壁・腰壁付き梁 ($e_1\alpha_y/c_2\alpha_y$)	38	0.36 ~ 2.94	1.48	0.511	0.345
垂れ壁・腰壁付き梁 ($e_2\alpha_y/c_1\alpha_y$)	19	0.36 ~ 1.50	0.77	0.259	0.33
垂れ壁・腰壁付き梁 ($e_2\alpha_y/c_2\alpha_y$)	19	0.34 ~ 1.38	0.72	0.254	0.35
垂れ壁・腰壁付き梁 ($e_3\alpha_y/c_1\alpha_y$)	20	0.75 ~ 2.92	1.35	0.478	0.354
垂れ壁・腰壁付き梁 ($e_3\alpha_y/c_2\alpha_y$)	20	0.70 ~ 2.77	1.27	0.457	0.361

*比較値＝実験値／計算値

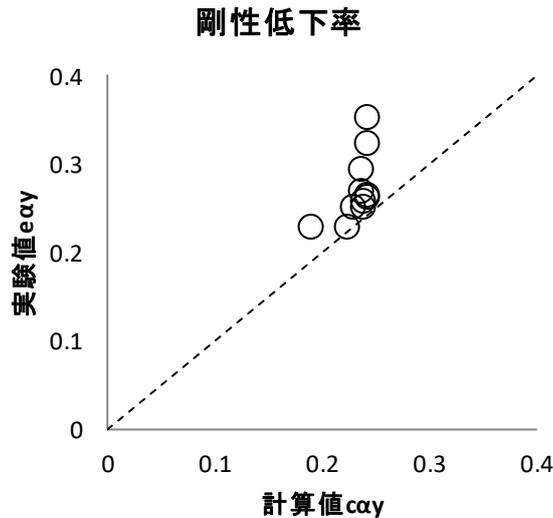
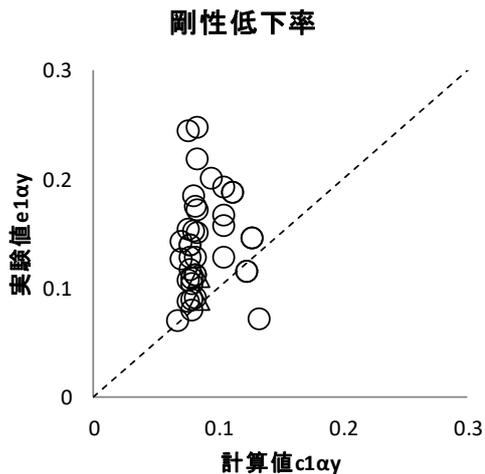
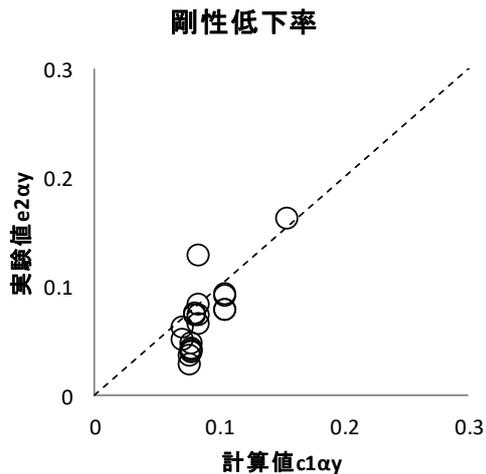


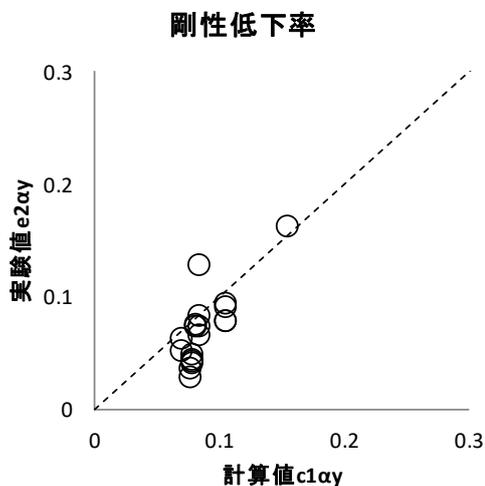
図 5.5.7 降伏点剛性低下率の計算値と実験値の比較
(構造スリットを設けた腰壁・垂れ壁付き梁)



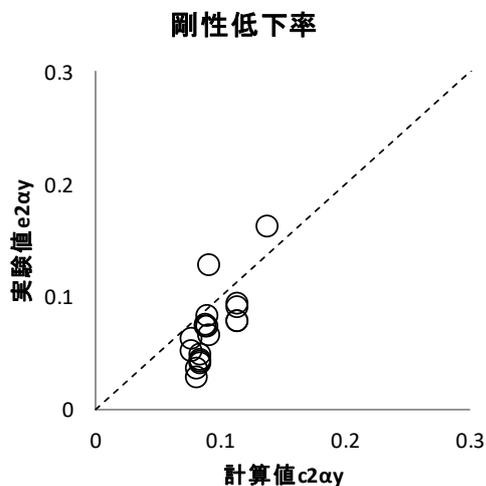
(a) 実験値 $e1a_y$ と計算値 $c1a_y$ の比較



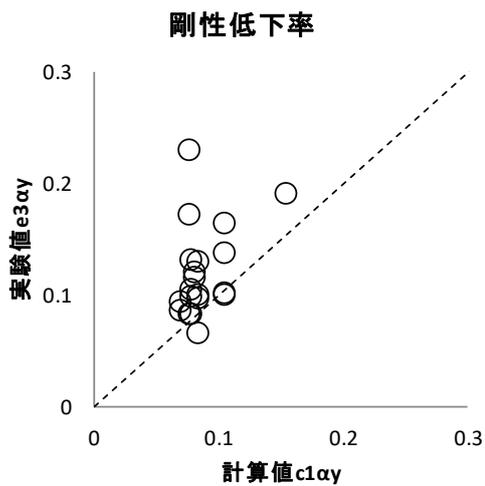
(b) 実験値 $e1a_y$ と計算値 $e2a_y$ の比較



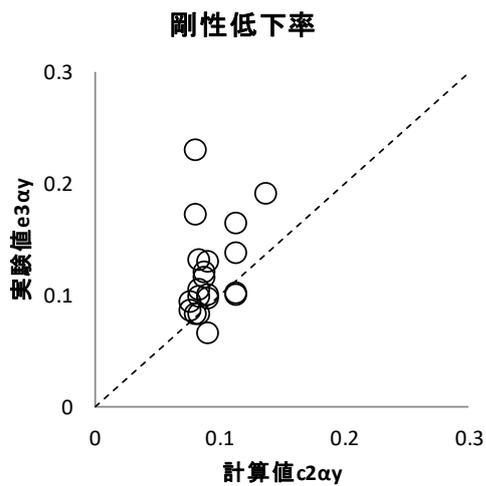
(c) 実験値 $e2a_y$ と計算値 $c1a_y$ の比較



(d) 実験値 $e2a_y$ と計算値 $e2a_y$ の比較



(e) 実験値 $e3a_y$ と計算値 $c1a_y$ の比較



(f) 実験値 $e3a_y$ と計算値 $e2a_y$ の比較

図 5.5.8 降伏点剛性低下率の計算値と実験値の比較（腰壁・垂れ壁付き梁）

表 5.5.6 および図 5.5.7 および図 5.5.8 より，構造スリットを設けた腰壁・垂れ壁付き梁は壁

を無視して計算した値よりも実験値が 1.01 倍～2.46 倍と大きな値となった。これは、弾性剛性と同様に構造スリットを端部に設けたとしても梁の二次壁が取り付くことにより、部材の剛性が増加したためと考えられる。変動係数が 0.317 とばらつきが大きな結果となった。構造スリットを設けた腰壁・垂れ壁付き梁に関しては、評価した試験体が 11 体と少なく、また同一シリーズの実験であることから、今後の構造実験結果の蓄積が必要だと考えられる。

腰壁・垂れ壁付き梁では、梁主筋の引張降伏で定義した $e_1\alpha_y$ との比較値の平均値がそれぞれの計算式で 1.58, 1.48 と実験値が計算値よりも大きな値となった。一方で、変形角 2%までの消費エネルギーが等価となる変形角で定義した $e_2\alpha_y$ との比較値の平均値がそれぞれの計算式で 0.77, 0.72 と実験値が計算値よりも小さな値となった。最大せん断力時までの消費エネルギーが等価となる変形角で定義した $e_3\alpha_y$ との比較値の平均値がそれぞれの計算式で 1.35, 1.27 となった。いずれの場合であっても、実験値を精度良く評価出来ているとはいえない。また、変動係数がそれぞれ 0.317～0.361 とばらつきの多い結果となった。降伏点剛性低下率を精度良く推定するには、降伏変形についてのより詳細な検討が必要だと考えられる。

5.5.4 終局強度（曲げおよびせん断）

(1) 曲げ終局強度 Q_{mu}

2015 技術解説書^[5-1]による腰壁・垂れ壁付き梁の曲げ終局モーメント c_1M_u は (式 5.19) で, c_2M_u は (式 5.20) で計算する。また, 2017 耐震診断基準による c_3M_u は (式 5.21) を, 2018RC 規準^[5-2] による c_4M_u は (式 5.22) を用いて計算を行なった。構造スリットを設けた腰壁・垂れ壁付き梁の曲げ終局モーメント c_5M_u は (式 5.23) で計算を行なった。それぞれの曲げ終局強度 cQ_{mu} は cM_u をシアスパン a で除した値とした。

$$c_1M_u = a_{te} \cdot \sigma_y (d_{e2} - 0.5x_n) \tag{式 5.19}$$

ただし, $a_{te} = a_t + \sum a'_t \left(\frac{\sigma'_y}{\sigma_y} \right)$ かつ $a_{te} \leq \left(\frac{0.85\sigma_B \cdot t \cdot x_{nb}}{\sigma_y} \right)$

$$x_n = \frac{a_{te} \cdot \sigma_y}{0.85\sigma_B \cdot t}, \quad x_{nb} = \frac{c\varepsilon_B}{c\varepsilon_B + s\varepsilon_y} d_{e2}$$

t : 壁厚 (mm) (ただし圧縮側に壁がないときは B とする)

σ_B : コンクリート圧縮強度 (N/mm²)

a_t : 断面中央部に中立軸を仮定した際の梁引張鉄筋断面積 (mm²)

a'_t : 断面中央部に中立軸を仮定した際の引張側壁横筋全断面積 (mm²)

σ_y : 梁主筋降伏強度 (N/mm²)

σ'_y : 壁横筋降伏強度 (N/mm²)

d_{e2} : 引張鉄筋群 (梁主筋, 壁横筋全て) の重心から圧縮最外縁までの距離 (mm)

(図 5.5.9 参照)

$c\varepsilon_B$: コンクリート圧縮強度時ひずみ

$s\varepsilon_y$: 鉄筋降伏時ひずみ

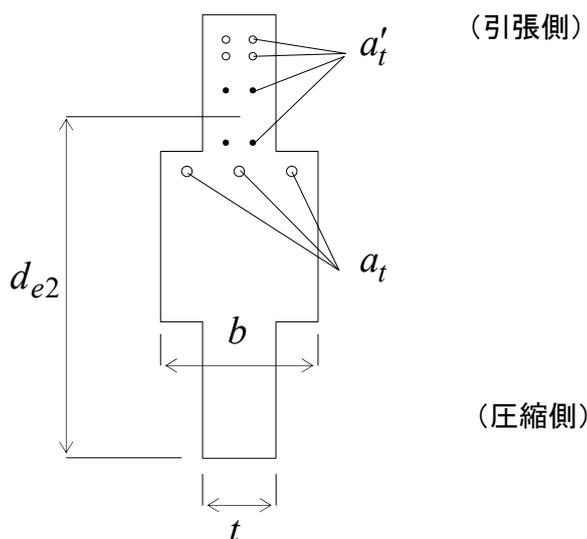


図 5.5.9 腰壁・垂れ壁付き梁断面図

$${}_{c2}M_u = \sum a_{ti} \sigma_{yi} (d_i - L_{cc}) + N(d_N - L_{cc}) \quad (\text{N} \cdot \text{mm}) \quad (\text{式 5.20})$$

ここで、 M_u ：そで壁付き柱の曲げ終局強度 (N・mm)

a_{ti} ：引張鉄筋断面積 (mm²)

σ_{yi} ：引張鉄筋降伏強度 (N/mm²)

d_i ：圧縮縁から引張鉄筋位置までの距離 (mm)

N ：軸方向力 (N)

d_N ：圧縮縁から軸力作用位置までの距離 (mm)

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

$${}_{c3}M_u = \sum (a_t \cdot \sigma_y \cdot j_t) \quad (\text{式 5.21})$$

ただし、

$$A_{CC} = \frac{\sum (a_t \cdot \sigma_y)}{\beta_{CC} \sigma_B}$$

$\beta_{CC}=0.85$ (圧縮領域縦筋比<0.01)

$\beta_{CC}=1.0$ (圧縮領域縦筋比 ≥ 0.01)

L_{CC} ：コンクリート圧縮域中心の圧縮縁からの距離

$${}_{c4}M_u = \sum \left\{ a_{ti} \cdot \sigma_{yi} \left(d_i - \frac{x_n}{2} \right) \right\} \quad (\text{式 5.22})$$

ただし、 $x_n = \frac{2}{5}(L - y_{\max})$

L ：二次壁を含めた断面の全せい (mm)

y_{\max} ：引張縁から図心までの距離 (mm)

a_{ti} ： x_n を圧縮縁から中立軸までの長さとした時に引張領域にある鉄筋グループの断面積 (mm²)

σ_{yi} ：対応する鉄筋の降伏強度 (N/mm²)

$${}_{c5}M_u = 0.9 a_t \cdot \sigma_y \cdot d \quad (\text{式 5.23})$$

a_t ：梁引張鉄筋断面積 (mm²)

σ_y ：梁主筋降伏強度 (N/mm²)

d ：有効せい (mm)

第5章 腰壁・垂れ壁付き梁部材

(2) せん断終局強度 Q_{su}

2015 技術解説書^[5-1]によるせん断終局強度は腰壁・垂れ壁付き梁の断面を図 5.5.10 で示すような等価な長方形断面に置換し、(式 5.24) により計算する。構造スリットを設けた腰壁・垂れ壁付き梁の場合は、壁を無視して計算を行なった。

$$c_1 Q_{su} = \left\{ \frac{0.053 \times (100 p_t)^{0.23} (\sigma_B + 18)}{M/(Qd_{e2}) + 0.12} + 0.85 \sqrt{p_{we} \sigma_{sy}} \right\} b_e j_{e2} \quad (\text{式 5.24})$$

p_t : 引張鉄筋比 ($=a_t/(BD)$)

$M/(Qd_{e2})$: シアスパン比 (ただし $M/(Qd_{e2}) \leq 0.5$ の時は 0.5, $M/(Qd_{e2}) \geq 2.0$ の時は 2.0)

b_e : 断面積と全せいを原断面と等しくした等価長方形断面の等価幅 (図 5.5.10 参照)

j_{e2} : 応力中心間距離 ($=7d_{e2}/8$)

d_{e2} : 梁の引張鉄筋 (壁横筋含む) の中心から圧縮側壁の最外端までの距離 (図 5.5.10 参照)

$$p_{we} = p_s \left(\frac{B}{b_e} \right) + p_{sw} \left(\frac{t}{b_e} \right)$$

p_s : 梁のせん断補強筋比 ($=a_s/(Bx_s)$)

σ_{sy} : 梁のせん断補強筋降伏強度

p_{sw} : 壁の縦筋比 ($=a_{sw}/(abx_{sw})$)

σ_{swy} : 梁のせん断補強筋降伏強度

t : 壁厚

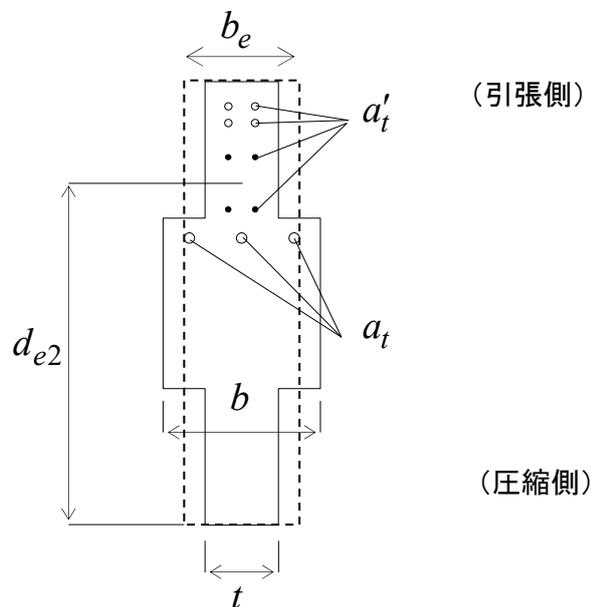


図 5.5.10 腰壁・垂れ壁付き梁断面図

壁谷澤らの提案する変断面を分割して、大野・荒川式により計算する計算式^[5-6]を梁に準用し、(式 5.25) を用いて計算する。以下、分割累加式とする。

$$c_2 Q_{su} = Q_{su,b} + Q_{su,w} \quad (\text{式 5.25})$$

$$Q_{su,b} = \left\{ \frac{0.053 \times (100 p_{t,b})^{0.23} (\sigma_B + 18)}{M / (Q d_{e,b}) + 0.12} + 0.85 \sqrt{p_s \sigma_{sy}} \right\} b_{e,b} j_{e,b} \quad (\text{N})$$

$b_{e,b}$: 有効幅 $(=(1-\alpha)B)$

$d_{e,b}$: 有効せい $(=D-d_b) (=D-d_t)$

$j_{e,b}$: 応力中心間距離 $(=7 d_{e,b} / 8)$

$p_{t,b}$: 引張鉄筋比 $(= a_t / (b_{e,b} \cdot d_{e,b})) (= a_b / (b_{e,b} \cdot d_{e,b}))$

p_s : 梁のせん断補強筋比 $(= a_s / (b_{e,b} \cdot x_s))$

σ_{sy} : 梁のせん断補強筋降伏強度

$$Q_{su,w} = \left\{ \frac{0.053 \times (100 p_{t,w})^{0.23} (\sigma_B + 18)}{M / (Q d_{e,w}) + 0.12} + 0.85 \sqrt{p_{sw} \sigma_{swy}} \right\} b_{e,w} j_{e,w} \quad (\text{N})$$

$b_{e,w}$: 有効幅 $(=\alpha B)$

$d_{e,w}$: 有効せい $(=(\beta_t + \beta_b + 1)D - d_{bwe}) (= (\beta_t + \beta_b + 1)D - d_{twe})$

$j_{e,w}$: 応力中心間距離 $(=7 d_{e,w} / 8)$

$p_{t,w}$: 引張鉄筋比 $(= n_{twe} a_{twe} / (b_{e,w} \cdot d_{e,w})) (= n_{bwe} a_{bwe} / (b_{e,w} \cdot d_{e,w}))$

p_{sw} : 壁の縦筋比 $(= a_{sw} / (b_{e,w} \cdot x_{sw}))$

σ_{swy} : 梁のせん断補強筋降伏強度

ただし、引張側に壁がない場合は $p_{t,w}$ の計算に梁主筋を用いる。この時、

$p_{t,b}$: 引張鉄筋比 $(= (a_t - n_{bwe} a_{bwe}) / (b_{e,b} \cdot d_{e,b})) (= (a_b - n_{twe} a_{twe}) / (b_{e,b} \cdot d_{e,b}))$

$p_{t,w}$: 引張鉄筋比 $(= n_{bwe} a_{bwe} / (b_{e,w} \cdot d_{e,w})) (= n_{twe} a_{twe} / (b_{e,w} \cdot d_{e,w}))$

となる。

耐震診断基準によるせん断終局強度は腰壁・垂れ壁付き梁の断面を梁を含む等価な壁厚の断面に置換して(式 5.26)で計算する。ただし、上下に同じ高さの壁があることを前提にして引張側の壁の効果は無視する。上下の壁の高さが異なる場合は合計の 1/2 の長さの壁が両側にあるものとして良い。

$$c_3 Q_{su} = \left\{ \frac{0.053 \times (100 p_t)^{0.23} (\sigma_B + 18)}{M / (Q d_{e3}) + 0.12} + 0.85 \sqrt{p_{we} \sigma_{sy}} \right\} b_e j_{e3} \quad (\text{式 5.26})$$

2017年保有耐力計算規準によるせん断終局強度は腰壁・垂れ壁付き梁の断面を分割し累加する(式 5.27)で計算する。

第5章 腰壁・垂れ壁付き梁部材

$${}_{c4}Q_{su} = Q_{su,b} + Q_{su,w} \quad (\text{式 5.27})$$

(式 5.25) と記号は共通とする。応力中心間距離 $j_{e,b}$ および $j_{e,w}$ 、梁の引張鉄筋比 $p_{t,b}$ の計算は以下のように計算する。

$$j_{e,b} : 0.8D$$

$$j_{e,w} : 0.8L$$

$$p_{t,b} : = (a_t - a_{rw}) / (b_{e,b} \cdot d_{e,b})$$

曲げ終局強度の評価式の予測精度の結果を表 5.5.7 に、曲げ終局強度の実験と計算値との比較を図 5.5.11 および図 5.5.12 に示す。検証に用いた実験データは、文献[5-A5][5-A48][5-A49][5-A50][5-A55][5-A58][5-A66]において、曲げ破壊した試験体のみを対象とし、構造スリットを設けた腰壁・垂れ壁付き梁 11 体および腰壁・垂れ壁付き梁 41 体である。ただし、実験値 e_1Q_u は実験値がない試験体があるため、検討した試験体数が 36 体と少ない。

表 5.5.7 曲げ終局強度評価式の予測精度

曲げ終局強度	試験体数	比較値*の範囲	比較値の 平均値	標準偏差	変動係数
スリット有腰壁・垂れ壁付き梁	11	1.09 ~ 1.27	1.17	0.055	0.047
垂れ壁・腰壁付き梁(e_1Q_y/c_1Q_{mu})	36	0.80 ~ 1.23	1.03	0.105	0.101
垂れ壁・腰壁付き梁(e_1Q_y/c_2Q_{mu})	36	0.68 ~ 1.06	0.85	0.108	0.126
垂れ壁・腰壁付き梁(e_1Q_y/c_3Q_{mu})	35	0.42 ~ 0.95	0.58	0.139	0.239
垂れ壁・腰壁付き梁(e_1Q_y/c_4Q_{mu})	36	0.66 ~ 1.06	0.82	0.120	0.146
垂れ壁・腰壁付き梁(e_2Q_u/c_1Q_{mu})	41	0.86 ~ 1.73	1.21	0.147	0.121
垂れ壁・腰壁付き梁(e_2Q_u/c_2Q_{mu})	41	0.85 ~ 1.38	1.00	0.105	0.105
垂れ壁・腰壁付き梁(e_2Q_u/c_3Q_{mu})	40	0.25 ~ 1.10	0.65	0.158	0.242
垂れ壁・腰壁付き梁(e_2Q_u/c_4Q_{mu})	41	0.50 ~ 1.23	0.94	0.153	0.163

*比較値＝実験値／計算値

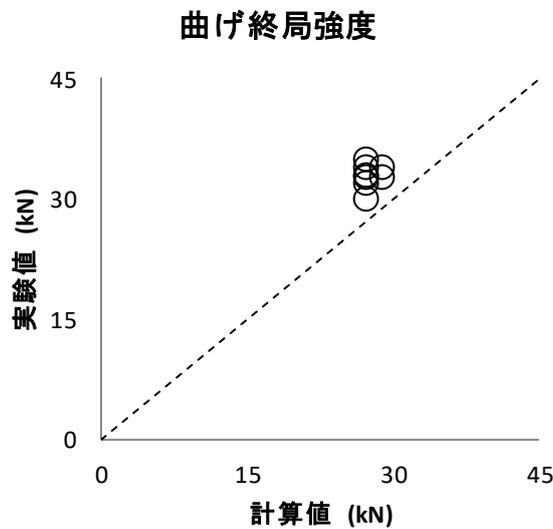
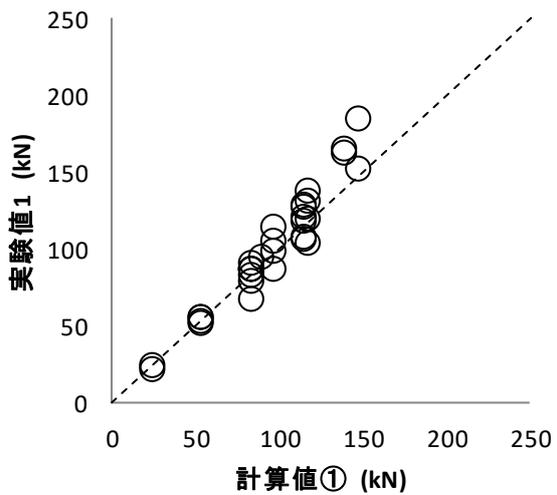


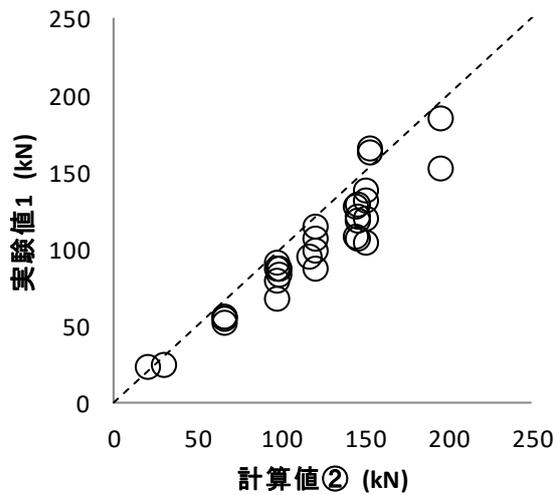
図 5.5.11 曲げ終局強度の計算値と実験値の比較（構造スリットを設けた腰壁・垂れ壁付き梁）

曲げ終局強度



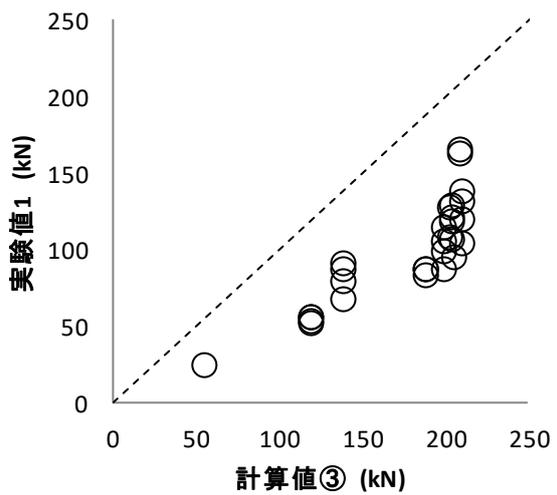
(a) $e1Q_u - c1Q_{mu}$

曲げ終局強度



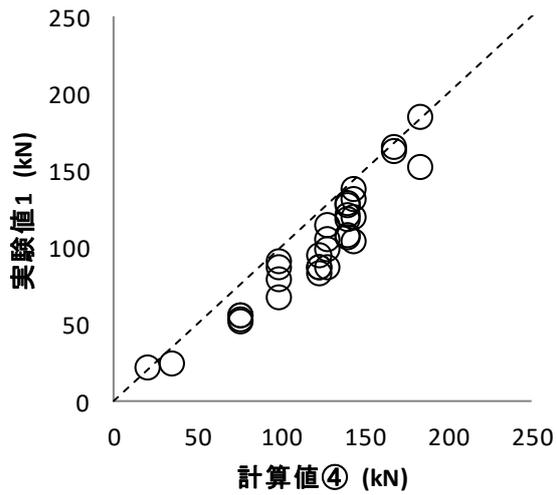
(b) $e1Q_u - c2Q_{mu}$

曲げ終局強度



(c) $e1Q_u - c3Q_{mu}$

曲げ終局強度



(d) $e1Q_u - c4Q_{mu}$

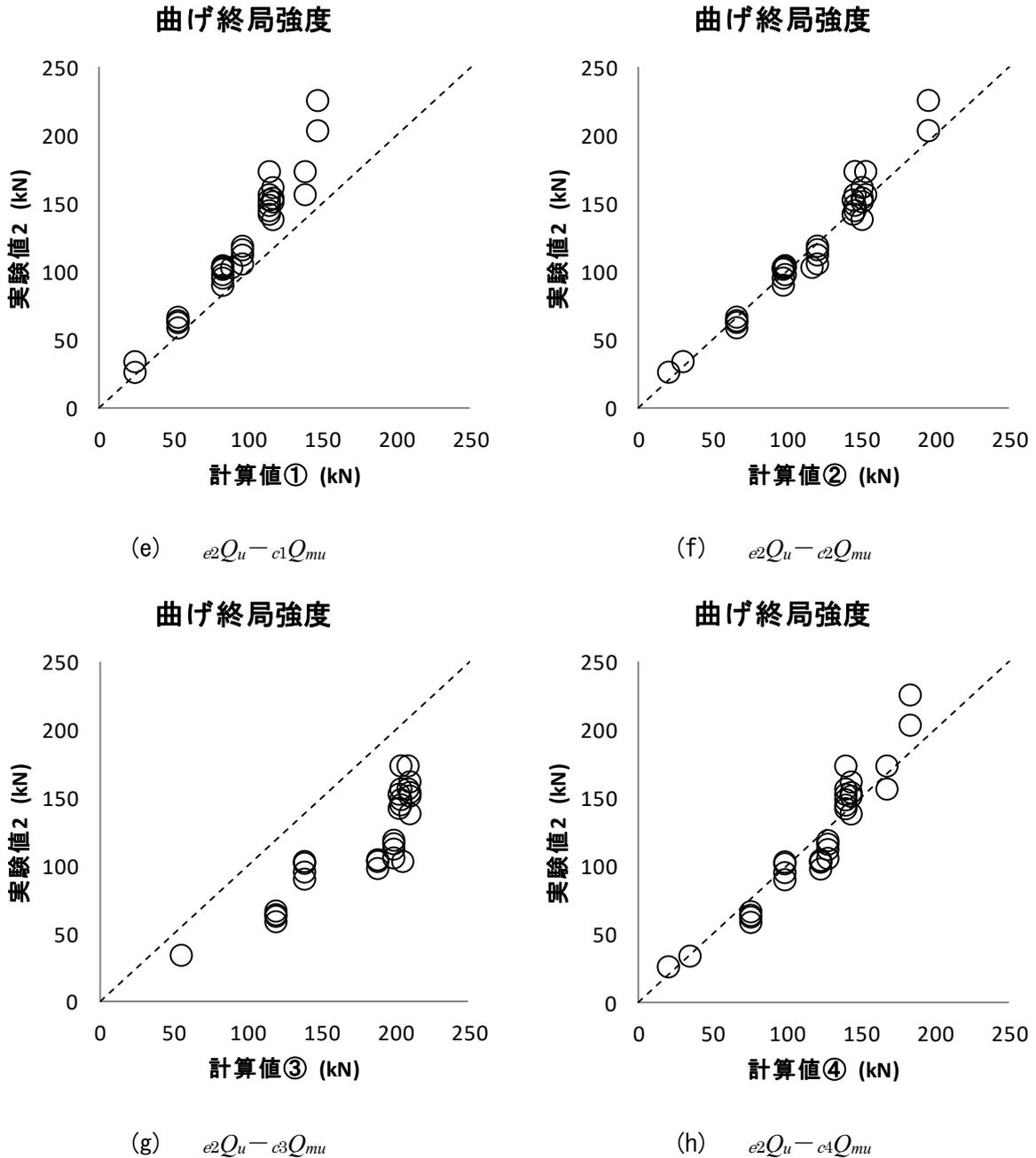


図 5.5.12 曲げ終局強度の計算値と実験値の比較（腰壁・垂れ壁付き梁）

表 5.5.7, 図 5.5.11 および図 5.5.12 より, 構造スリットを設けた腰壁・垂れ壁付き梁の曲げ終局強度は壁を無視して計算した値よりも実験値が 1.09 倍~1.27 倍と安全側の値となった。変動係数が 0.047 とばらつきが小さな結果となったが, 評価した試験体が 11 体と少なく, また同一シリーズの実験であることから, 今後の構造実験結果の蓄積が必要だと考えられる。

腰壁・垂れ壁付き梁の 2015 技術解説書による計算値 c_1Q_{mu} は, 梁主筋降伏時で定義した実験値との比較値が 1.03, 変動係数 0.101 と精度良く評価出来ると考えられる。一方で, 最大せん断力で定義した実験値 e_2Q_u との比較値が 1.21, 変動係数 0.121 と精度が悪い。もう一つの 2015 技術解説書による計算値 c_2Q_{mu} は, 梁主筋降伏時で定義した実験値との比較値が 0.85, 変動係数 0.126 と実験値を精度良く評価出来ていない。一方で, 最大せん断力で定義した実験値 e_2Q_u との比較値が

第5章 腰壁・垂れ壁付き梁部材

1.00, 変動係数 0.105 と精度良く評価出来ると考えられる。

腰壁・垂れ壁付き梁の 2017 耐震診断基準による計算値 c_3Q_{mu} は, 梁主筋降伏時で定義した実験値との比較値が 0.56, 変動係数 0.293 となり実験値が小さい結果となった。同様に, 最大せん断力で定義した実験値 e_2Q_u との比較値が 0.64, 変動係数 0.289 となった。

腰壁・垂れ壁付き梁の 2018RC 規準による計算値 c_4Q_{mu} は, 梁主筋降伏時で定義した実験値との比較値が 0.82, 変動係数 0.146 となり実験値が小さい結果となった。同様に, 最大せん断力で定義した実験値 e_2Q_u との比較値が 0.94, 変動係数 0.163 となった。

せん断終局強度の評価式の予測精度の結果を表 5.5.8 に、せん断終局強度の実験と計算値との比較を図 5.5.13 に示す。検証に用いた実験データは、文献[5-A5][5-A48][5-A49][5-A50][5-A55][5-A58][5-A66]において、せん断破壊した試験体のみを対象とし、腰壁・垂れ壁付き梁 7 体である。

表 5.5.8 せん断終局強度評価式の予測精度

せん断終局強度	試験体数	比較値*の範囲	比較値の 平均値	標準偏差	変動係数
腰壁・垂れ壁付き梁(式①)	7	0.81 ~ 1.25	1.05	0.189	0.181
腰壁・垂れ壁付き梁(式②)	7	0.72 ~ 1.10	0.97	0.122	0.125
腰壁・垂れ壁付き梁(式③)	7	0.73 ~ 1.13	0.95	0.160	0.168
腰壁・垂れ壁付き梁(式④)	7	0.75 ~ 1.15	1.02	0.128	0.126

*比較値＝実験値／計算値

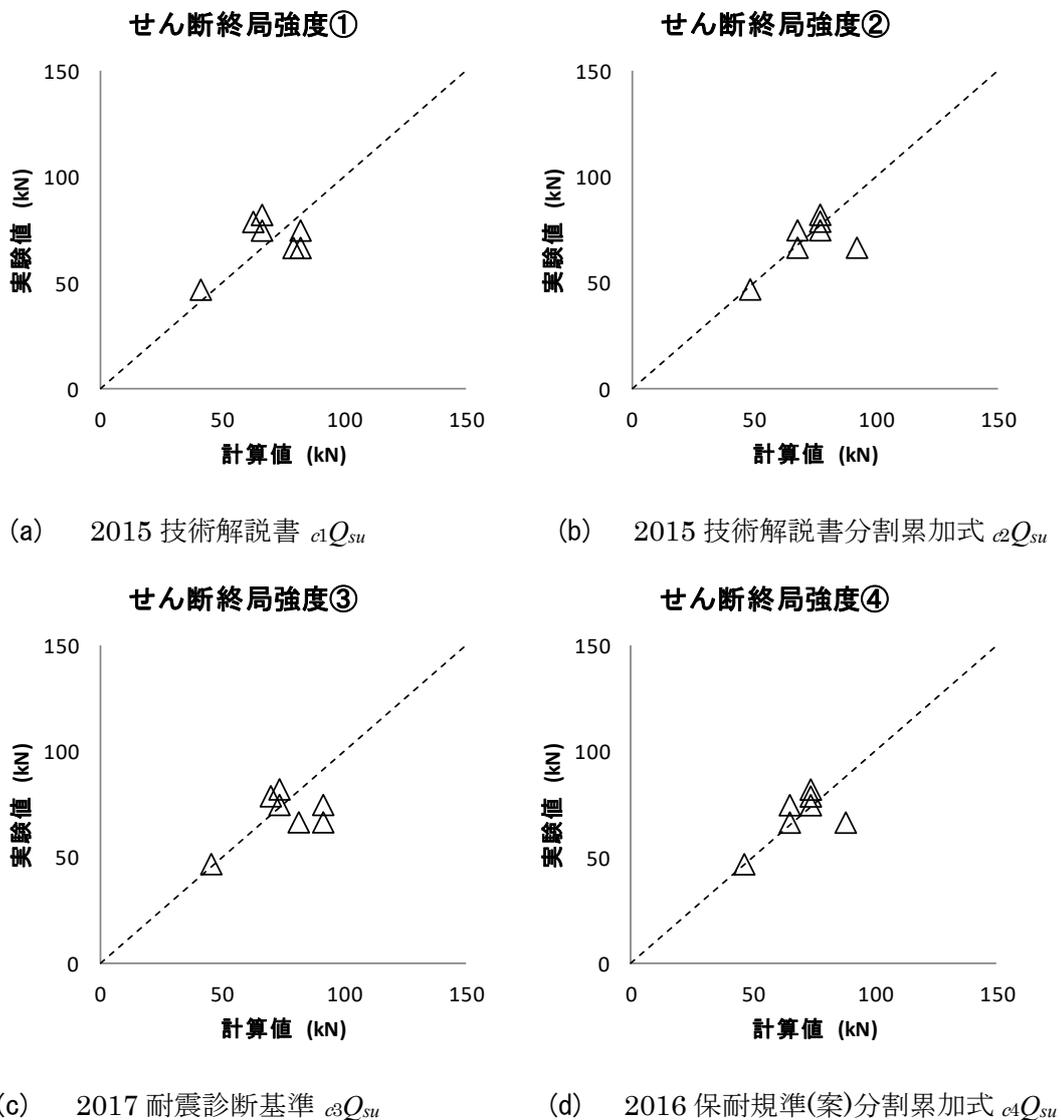


図 5.5.13 せん断終局強度の計算値と実験値の比較（腰壁・垂れ壁付き梁）

表 5.5.8 および図 5.5.13 より、腰壁・垂れ壁付き梁のせん断強度 c_1Q_{su} は、実験値が計算値の 0.81 倍～1.25 倍、平均値が 1.05 となった。 c_1Q_{su} がせん断強度の下限值を求める式である事を考え

第5章 腰壁・垂れ壁付き梁部材

ると、危険側の判定となった。同様に、腰壁・垂れ壁付き梁のせん断強度 c_2Q_{su} は、実験値が計算値の 0.66 倍～1.00 倍、平均値が 0.89 となり危険側の判定である。 c_1Q_{su} の変動係数が 0.181、 c_2Q_{su} の変動係数が 0.129 であり、 c_2Q_{su} のばらつきが小さい。今回検証を行なったデータは 7 体と少ないため、今後は実験データの蓄積が必要であると考えられる。

文献[5-A5][5-A48][5-A49][5-A50][5-A55][5-A58][5-A66]において曲げ破壊した試験体およびせん断破壊した試験体を対象とし、横軸にせん断余裕度（＝せん断終局強度計算値／曲げ終局強度計算値）、縦軸に（最大せん断力実験値／曲げ終局強度計算値）とした比較図を図5.5.14および図5.5.15に示す。対象試験体は構造スリットを設けた腰壁・垂れ壁付き梁11体および腰壁・垂れ壁付き梁41体である。なお、図5.5.14および図5.5.15において○で示したデータは曲げ破壊した試験体を、△で示したデータはせん断破壊した試験体を表している。

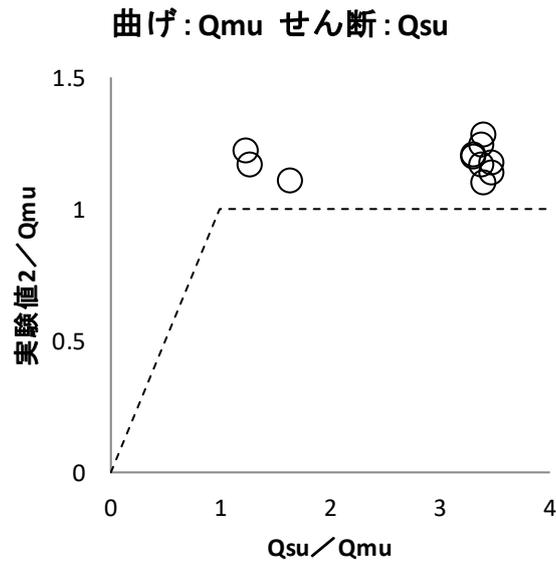


図5.5.14 破壊モード（構造スリットを設けた腰壁・垂れ壁付き梁）

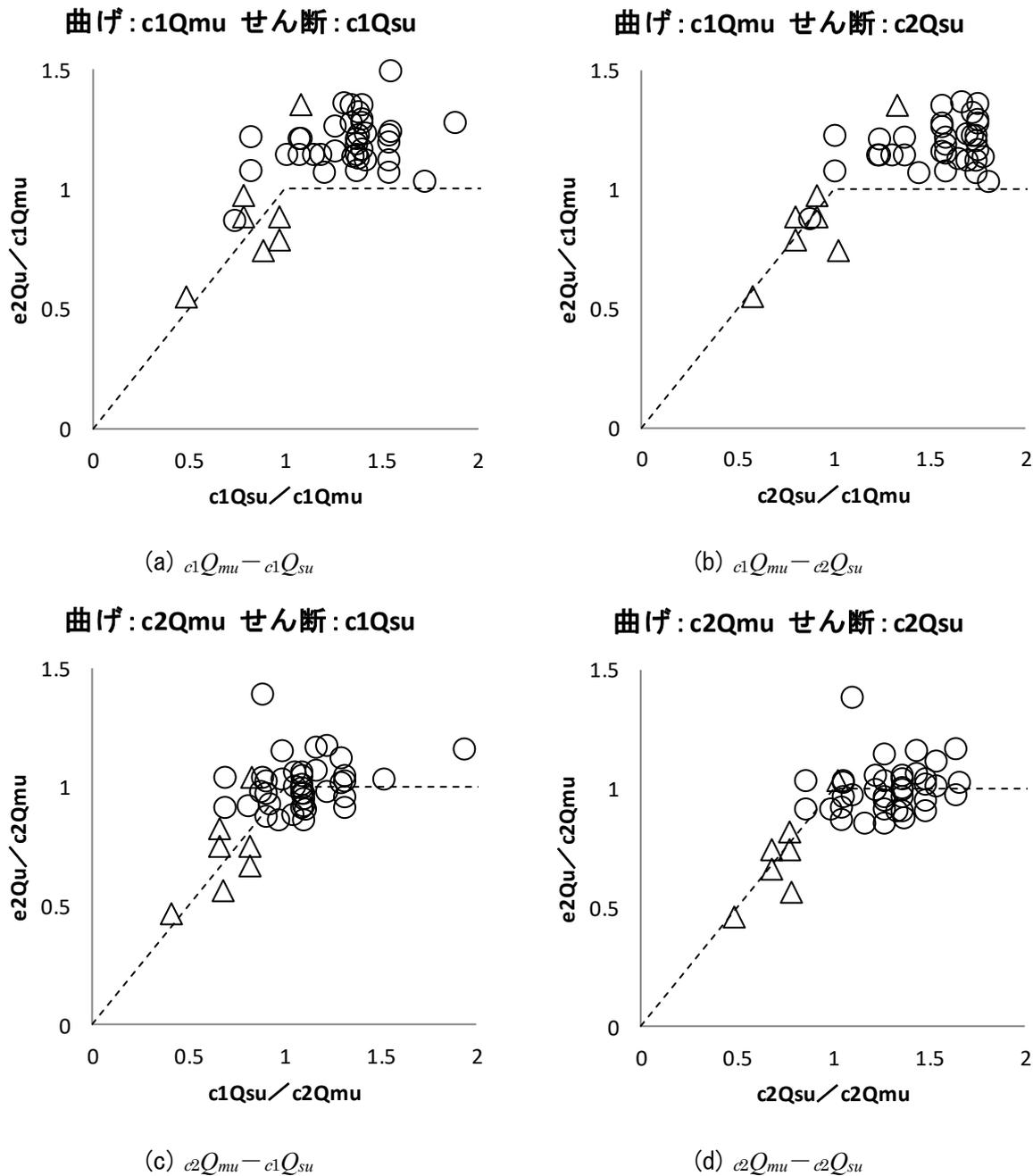


図 5.5.14 破壊モード（腰壁・垂れ壁付き梁）

図 5.5.14 をみると、検討した試験体のせん断余裕度は 1.26~3.50 の範囲の試験体であり、せん断破壊した試験体がないため、破壊モードの検証が不可能である。

図 5.5.15 をみると、(c) は 2 体、(a) (d) は 1 体、(b) は 0 体の試験体がせん断余裕度が 1.0 以上でせん断破壊している。

5.5.5 限界変形角

腰壁・垂れ壁付き梁の限界変形角 cR_u は文献[5-7][5-8]を参考に(式 5.23)を用いて計算を行った。構造スリットを設けた腰壁・垂れ壁付き梁の限界変形角 cR_u は(式 5.24)で計算を行なった。

$$R_u = c \times 2t_w \times \varepsilon_{cu} / x_n \quad (\text{式 5.23})$$

ただし、

c : 変形係数 (=8.0)

t_w : 壁厚さ

ε_{cu} : 圧縮縁コンクリート歪 ($\varepsilon_{cu}=0.003$ とする)

x_n : 圧縮縁—中立軸位置距離で、 $x_n = \frac{2}{5}(L - y_{\max})$

y_{\max} : 引張縁から図心までの距離 (mm)

$$R_u = \frac{l_s}{\beta D} \quad (\text{式 5.24})$$

ただし、

l_s : スリット幅 (mm)

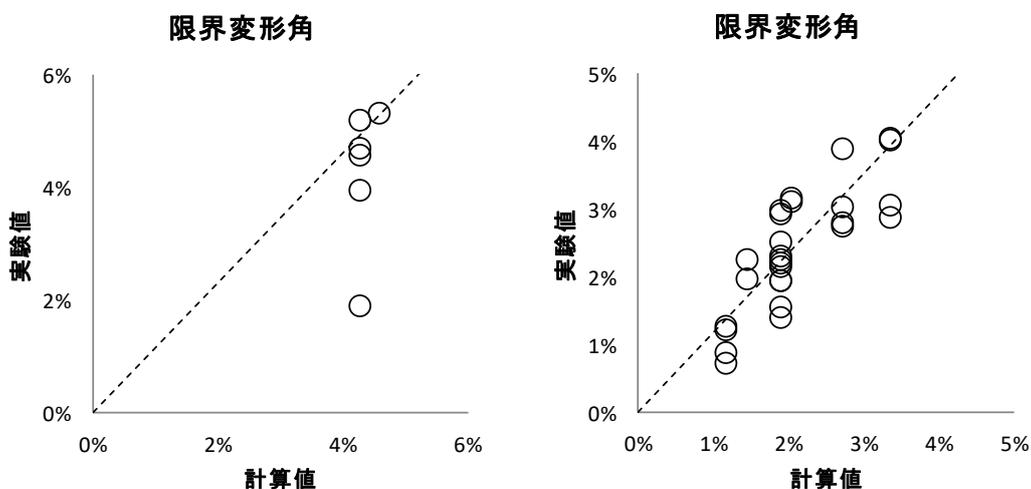
βD : 壁長さ (mm)

限界変形角の評価式の予測精度の結果を表 5.5.9 に、限界変形角の実験と計算値との比較を図 5.5.15 に示す。検証に用いた実験データは、文献[5-A48][5-A49][5-A50][5-A55] [5-A58][5-A66] における構造スリットを設けた腰壁・垂れ壁付き梁 8 体および腰壁・垂れ壁付き梁 27 体である。

表 5.5.9 限界変形角の予測精度

限界変形角	試験体数	比較値*の範囲	比較値の 平均値	標準偏差	変動係数
スリット有腰壁・垂れ壁付き梁	8	0.44 ~ 1.21	0.99	0.240	0.242
腰壁・垂れ壁付き梁	27	0.58 ~ 1.55	1.12	0.268	0.239

*比較値＝実験値／計算値



(a) 構造スリットを設けた腰壁・垂れ壁付き梁 (b) 腰壁・垂れ壁付き梁

図 5.5.15 限界変形角の計算値と実験値の比較

図 5.5.15 をみると、構造スリットを設けた腰壁・垂れ壁付き梁は実験値が計算値の 0.44 倍～1.21 倍、比較値の平均値が 0.99 となった。

また、腰壁・垂れ壁付き梁の限界変形角の比較値の平均値が 1.12、変動係数が 0.239 となった。ばらつきがあるものの、0.58 倍～1.55 倍の範囲で評価することが出来た。

5.5.6 短期許容モーメント時の残留ひび割れ幅

本研究では、許容応力度設計時における短期許容モーメントを用いて、残留ひび割れ幅の検討を行った。厳密に言えば、各試験体において短期許容モーメントに達したときに試験体に作用している水平力を除荷し残留ひび割れ幅を計測することが必要だが、過去の実験でこの手法を実施している試験体は存在しない。そこで、試験体が短期許容モーメントの計算値に達した前後のサイクルの残留ひび割れ幅を調べ、残留ひび割れ幅の推定を行った。

本研究では、スリットを設けた腰壁・垂れ壁付き梁の短期許容モーメントは、2018RC 規準^[5-2]の13条2に基づく計算法を用いて計算を行った。ただし、腰壁・垂れ壁は無視し、梁のみの断面で計算を行った。腰壁・垂れ壁付き梁の短期許容モーメントとして2018RC 規準^[5-2]による許容曲げモーメントの略算式を用いた。(式5.25)に計算式を示す。

$$M_{ba2} = M_T + \frac{N - N_T}{N_1 - N_T} (M_1 - M_T) \quad (\text{式 5.25})$$

ただし、

$$M_1 = N_1 \left(L_0 - \frac{x_n}{3} \right) + \sum a_i \sigma_i (d_i - L_0) \quad N_1 = \frac{b_1 x_n \sigma_c}{3}$$

$$M_T = N_T \cdot e \quad N_T = - \sum a_i \times \min(f_{ti})$$

$$\sigma_c = \min \left[f_c, \frac{x_n}{d_e - x_n} \cdot \frac{f_t}{n} \right] \quad x_n = \frac{2}{3} (L - y_{\max})$$

$$\sigma_i = \frac{d_i - x_n}{x_n} \times n \sigma_c$$

f_c : コンクリートの許容圧縮応力度 (N/mm²)

f_t : 圧縮縁から最も遠い引張鉄筋の許容引張応力度 (N/mm²)

d_e : 圧縮縁から最も遠い引張鉄筋までの距離 (mm)

n : 圧縮縁から最も遠い引張鉄筋のヤング係数比

σ_c : 中立軸が柱と壁の境界に一致するときの圧縮縁のコンクリートの応力度 (N/mm²)

y_{\max} : 図心と引張縁までの距離 (mm)

e : 構造芯と図心との距離 (mm)

N : 軸力 (=0 N)

a_i : 鉄筋グループの断面積 (mm²)

d_i : 鉄筋グループの重心位置と圧縮縁との距離 (mm)

L_0 : 構造芯と圧縮縁との距離 (mm)

第5章 腰壁・垂れ壁付き梁部材

残留ひび割れ幅の一覧を表 5.5.10 および表 5.5.11, 図 5.5.16 および図 5.5.17 に示す。検証に用いた実験データは, 文献[5-A48][5-A49][5-A50][5-A55] における構造スリットを設けた腰壁・垂れ壁付き梁 8 体および腰壁・垂れ壁付き梁 22 体である。

文献[5-9]では実大構造物の残留ひび割れ幅が 0.20mm を使用限界と定義しているが, 本研究では検討を実施した試験体のスケールはすべて 5/12 である。そこで本研究では文献[5-9]における値にスケールを乗じた値 0.0833mm を丸めて, 試験体残留ひび割れ幅が 0.10mm を使用限界と定義した。表 5.5.10 および表 5.5.11 中の 0.10mm を超える残留ひび割れ幅をハッチングしている。

表 5.5.10 残留ひび割れ幅一覧（構造スリットを設けた腰壁・垂れ壁付き梁）

	Qa(kN)	Qa未満サイクル				Qa以上サイクル			
		変形角	Q(kN)	残留ひび割れ	種類	変形角	Q(kN)	残留ひび割れ	種類
WB072_p	29.0	+1/400	25.4	0.10	曲げ	+1/200	32.2	0.10	曲げ
WB072_n	29.0	-1/400	-24.4	0.10	曲げ	-1/200	-29.5	0.25	曲げ
WB076_p	27.2	+1/400	24.6	0.00	曲げ	+1/200	32.0	0.20	曲げ
WB076_n	27.2	-1/400	-25.9	0.05	曲げ	-1/200	-32.0	0.30	曲げ
WB077_p	27.3	+1/400	24.2	0.05	曲げ	+1/200	33.4	0.20	曲げ
WB077_n	27.3	-1/400	-22.7	0.05	曲げ	-1/200	-31.7	0.15	せん断
WB078_p	27.2	+1/400	19.8	0.10	曲げ	+1/200	29.5	0.10	曲げ
WB078_n	27.2	-1/400	-23.7	0.00	曲げ	-1/200	-33.7	0.05	曲げ

表 5.5.11 残留ひび割れ幅一覧（腰壁・垂れ壁付き梁）

	Qa(kN)	Qa未満サイクル				Qa以上サイクル			
		変形角	Q(kN)	残留 ひび割れ	種類	変形角	Q(kN)	残留 ひび割れ	種類
WB073_p	88.4	+1/800	86.6	0.05	曲げ	+1/400	116.6	0.20	曲げ
WB073_n	88.4	-1/800	-84.2	0.05	曲げ	-1/400	-115.4	0.15	曲げ
WB074_p	90.0	+1/1000	89.3	0.05	曲げ	+1/500	116.4	0.10	曲げ
WB074_n	90.0	-1/1000	-88.3	0.05	曲げ	-1/500	-117.6	0.15	曲げ
WB075_p	90.0	+1/800	89.1	0.05	曲げ	+1/400	121.0	0.15	曲げ
WB075_n	90.0	-1/800	-87.8	0.05	曲げ	-1/400	-124.9	0.15	曲げ
WB079_p	118.0	+100%Qcr	63.9	記録なし	曲げ	+1/1200	119.3	0.05	曲げ
WB079_n	118.0	-1/1200	-104.7	記録なし	曲げ	-1/800	-122.7	0.05	曲げ
WB080_p	134.4	+1/800	106.9	0.10	曲げ	+1/400	163.0	0.10	曲げ
WB080_n	134.4	-1/800	-104.2	0.05	曲げ	-1/400	-165.7	0.05	曲げ
WB083_p	93.3	+1/800	74.7	0.10	曲げ	+1/400	110.3	0.25	曲げ
WB083_n	93.3	-1/800	-90.5	0.10	曲げ	-1/400	-124.7	0.45	曲げ
WB084_p	93.3	+1/800	89.5	0.10	曲げ	+1/400	121.5	0.45	曲げ
WB084_n	93.3	-1/800	-65.9	0.10	曲げ	-1/400	-105.4	0.35	曲げ
WB085_p	65.6	+1/800	43.2	0.10	曲げ	+1/400	73.0	0.35	曲げ
WB085_n	65.6	-1/1200	-59.3	記録なし	曲げ	-1/800	-67.8	0.15	曲げ
WB086_p	65.6	+1/1200	58.3	記録なし	曲げ	+1/800	69.1	0.20	曲げ
WB086_n	65.6	-1/800	-45.9	0.05	曲げ	-1/400	-75.6	0.25	曲げ
WB087_p	56.3	+1/800	40.5	0.10	曲げ	+1/400	65.1	0.35	曲げ
WB087_n	56.3	-1/800	-52.9	0.15	曲げ	-1/400	-75.4	0.20	曲げ
WB088_p	56.3	+1/800	51.7	0.20	曲げ	+1/400	74.4	0.35	曲げ
WB088_n	56.3	-1/800	-42.2	0.05	曲げ	-1/400	-67.6	0.25	曲げ

残留ひび割れ幅

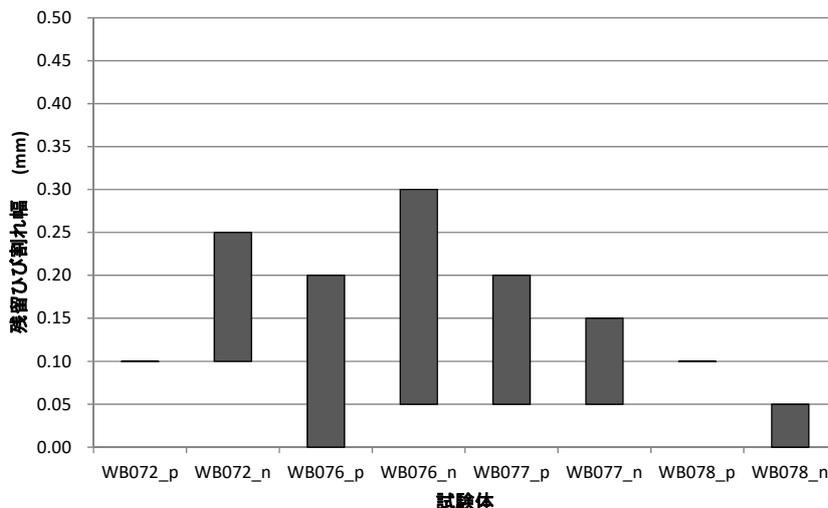


図 5.5.16 残留ひび割れ幅（構造スリットを設けた腰壁・垂れ壁付き梁）

残留ひび割れ幅

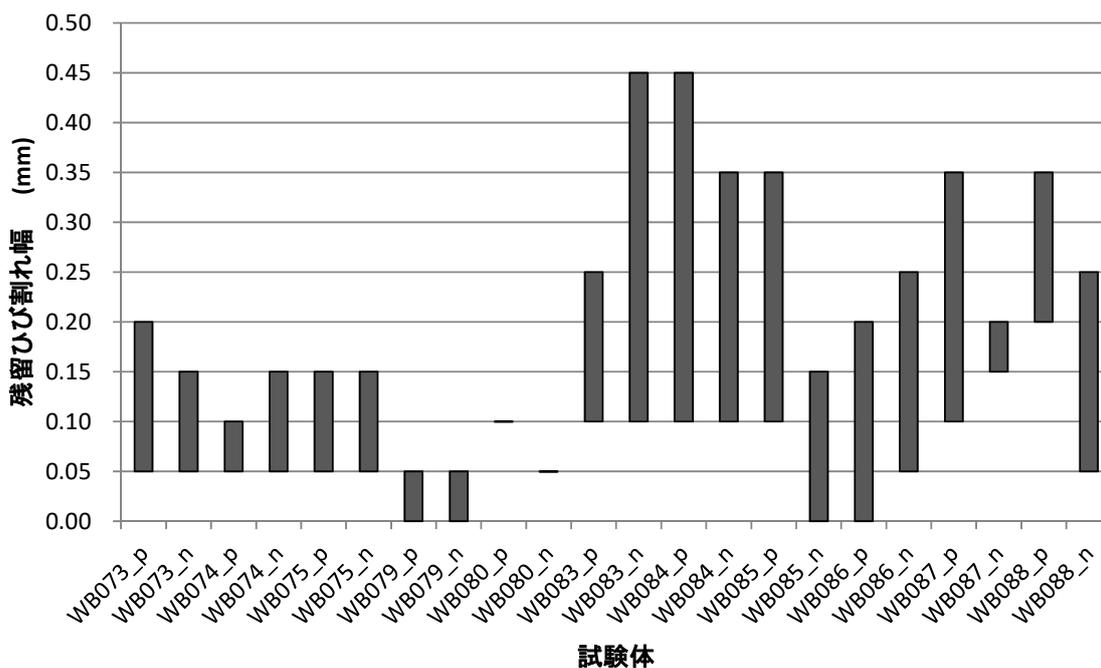


図 5.5.17 残留ひび割れ幅（腰壁・垂れ壁付き梁）

表 5.5.10 および図 5.5.16 の構造スリットを設けた腰壁・垂れ壁付き梁の残留ひび割れ幅を見ると、使用限界を超えた可能性がある試験体が 5 体、使用限界を超えないことが確認できた試験体が 3 体であった。同様に、表 5.5.11 および図 5.5.17 の腰壁・垂れ壁付き梁の残留ひび割れ幅を見ると、使用限界を超えた試験体が 2 体、使用限界を超えた可能性がある試験体が 15 体、使用限界を超えないことが確認できた試験体が 5 体であった。

5.6 まとめ

本研究では、腰壁・垂れ壁付き梁部材の既往の実験データを整理して、既往の評価式による計算値と実験値との比較、検討を行い各評価式の精度を示した。得られた知見を以下に示す。

(1) データベースについて

本研究で作成したデータベースを用いて腰壁・垂れ壁付き梁 96 体の収集を行なった。そのうち、検討用の試験体は 44 体である。検討用試験体のうち、完全スリットが設けられている腰壁・垂れ壁付き梁試験体が 8 体、スリット無しの腰壁・垂れ壁付き梁試験体が 36 体という内訳であった。ただし、正負繰り返し载荷を実施している試験体のうち、正負の実験値がある試験体はそれぞれ別の実験値として評価を行ったため、検討したデータは腰壁・垂れ壁付き梁試験体が 12 体、スリット無しの腰壁・垂れ壁付き梁試験体が 50 体の合計 62 体であった。

検討を行なった部材の耐震性能項目は、弾性剛性、ひび割れ強度、降伏点剛性低下率、終局強度、限界変形角である。検討で使用した評価式は、2015 技術解説書^[5-1]および 2018RC 規準^[5-2]などに掲載されている既往の式および既往の論文に記載されている計算式を用いた。ただし、材端に構造スリットがある場合と構造スリットがない場合とでは大きく部材の性能が異なるため、構造スリットの有無により計算式および対応する実験値を区別し、評価を行なった。ただし本研究では、構造スリットのうち部分スリットと呼ばれる、スリットが半剛接されるような試験体については検討から除外した。

(2) 弾性剛性について

構造スリットを設けた腰壁・垂れ壁付き梁は壁を無視して計算した値 (c_2K_0) よりも実験値が大きくな値となった。これは、構造スリットを端部に設けたとしても梁に腰壁・垂れ壁が取り付くことにより、部材の剛性が増加したためと考えられる。また、構造スリットを設けた腰壁・垂れ壁付き梁部材を三部材（梁断面部材－腰壁・垂れ壁付き梁断面部材－梁断面部材）に置換し、各部材間を剛接合として計算した値 (c_4K_0) と比べると、比較値の平均が 0.20 と小さな値となった。一方、JSCA による評価式による計算値 (c_5K_0) および S 字ひずみ度分布式による計算値 (c_6K_0) と比べると、比較値の平均が 0.53 および 0.52 と小さな値となった。構造スリットを設けた腰壁・垂れ壁付き梁に関しては、評価した試験体が 11 体と少なく、また同一シリーズの実験であることから、今後の構造実験結果の蓄積が必要だと考えられる。

腰壁・垂れ壁付き梁では、応力度法、精算法、置換断面法の比較値の平均値がそれぞれ、0.67、0.70、0.86 と実験値が計算値よりも小さな値となった。これは、試験体の乾燥収縮ひび割れや加力前の初期ひび割れなどの影響が考えられる。

(3) ひび割れ強度について

構造スリットを設けた腰壁・垂れ壁付き梁では曲げひび割れ強度について壁を無視して計算した結果、比較値（＝実験値／計算値）の平均値が 0.92 となり危険側の判定であった。比較値が 0.51～1.40 の範囲でありばらつきが大きい。また、せん断ひび割れについては、せん断ひび割れ耐力が収集できた試験体が収集した範囲では存在しなかったため、精度の検証を行なうことが出来なかった。

腰壁・垂れ壁付き梁では、曲げひび割れ強度の比較値（＝実験値／計算値）の平均値が 0.91 であり危険側の判定となった。一方で、せん断ひび割れ強度の比較値の平均値が 1.35 と安全側の結果となった。

(4) 降伏点剛性低下率について

構造スリットを設けた腰壁・垂れ壁付き梁は壁を無視して計算した値よりも実験値が 1.01 倍～2.46 倍と大きな値となった。これは、弾性剛性と同様に構造スリットを端部に設けたとしても梁の二次壁が取り付くことにより、部材の剛性が増加したためと考えられる。

腰壁・垂れ壁付き梁では、部材の降伏点が明確に存在しないため、降伏点剛性低下率の実験値を三つ定義し検討を行った。梁主筋の引張降伏で定義した $e_1\alpha_y$ との比較値の平均値がそれぞれの計算式で 1.58, 1.48 と実験値が計算値よりも大きな値となった。一方で、変形角 2%までの消費エネルギーが等価となる変形角で定義した $e_2\alpha_y$ との比較値の平均値がそれぞれの計算式で 0.77, 0.72 と実験値が計算値よりも小さな値となった。最大せん断力時までの消費エネルギーが等価となる変形角で定義した $e_3\alpha_y$ との比較値の平均値がそれぞれの計算式で 1.35, 1.27 となった。いずれの場合であっても、実験値を精度良く評価出来ていない。また、変動係数がそれぞれ 0.317～0.361 とばらつきの多い結果となった。降伏点剛性低下率を精度良く推定するには、降伏変形についてのより詳細な検討が必要だと考えられる。

(5) 終局強度について

構造スリットを設けた腰壁・垂れ壁付き梁の曲げ終局強度は壁を無視して計算した値よりも実験値が 1.09 倍～1.27 倍と安全側の値となった。また、せん断終局強度については、せん断破壊した試験体が収集した範囲では存在しなかったため、精度の検証を行なうことが出来なかった。

腰壁・垂れ壁付き梁の 2015 技術解説書による計算値 c_1Q_{mu} は、梁主筋降伏時で定義した実験値との比較値が 1.03, 変動係数 0.101 と精度良く評価出来ると考えられる。一方で、最大せん断力で定義した実験値 e_2Q_u との比較値が 1.21, 変動係数 0.121 と精度が悪い。もう一つの 2015 技術解説書による計算値 c_2Q_{mu} は、梁主筋降伏時で定義した実験値との比較値が 0.85, 変動係数 0.126 と実験値を精度良く評価出来ていない。一方で、最大せん断力で定義した実験値 e_2Q_u との比較値が 1.00, 変動係数 0.105 と精度良く評価出来ると考えられる。

腰壁・垂れ壁付き梁の 2017 耐震診断基準による計算値 c_3Q_{mu} は、梁主筋降伏時で定義した実験値との比較値が 0.56, 変動係数 0.293 となり実験値が小さい結果となった。同様に、最大せん断力で定義した実験値 e_2Q_u との比較値が 0.64, 変動係数 0.289 となった。

腰壁・垂れ壁付き梁の 2018RC 規準による計算値 c_4Q_{mu} は、梁主筋降伏時で定義した実験値との比較値が 0.82, 変動係数 0.146 となり実験値が小さい結果となった。同様に、最大せん断力で定義した実験値 e_2Q_u との比較値が 0.94, 変動係数 0.163 となった。

腰壁・垂れ壁付き梁のせん断終局強度では、技術解説書による計算式 c_1Q_{su} と分割累加式 c_2Q_{su} により検討を行った。 c_1Q_{su} は、実験値が計算値の 0.81 倍～1.25 倍、平均値が 1.05 となった。 c_1Q_{su} がせん断強度の下限値を求める式である事を考えると、危険側の判定となった。同様に、 c_2Q_{su} は、実験値が計算値の 0.66 倍～1.00 倍、平均値が 0.89 となり危険側の判定である。 c_1Q_{su} の変動係数が 0.181, c_2Q_{su} の変動係数が 0.129 であり、 c_2Q_{su} のばらつきが小さい。今回検証を行なったデータは

7体と少ないため、今後は実験データの蓄積が必要であると考えられる。

(6) 限界変形角について

構造スリットを設けた腰壁・垂れ壁付き梁は実験値が計算値の0.44倍～1.21倍、比較値の平均値が0.99となった。また、腰壁・垂れ壁付き梁の限界変形角の比較値の平均値が1.12、変動係数が0.239となった。ばらつきがあるものの、0.58倍～1.55倍の範囲で評価することが出来た。

(7) 残留ひび割れ幅について

試験体に作用しているモーメントが短期許容モーメントに達したときの残留ひび割れ幅について検討した結果、構造スリットを設けた腰壁・垂れ壁付き梁8体のうち、使用限界を超えた可能性がある試験体が5体、使用限界を超えないことが確認できた試験体が3体であった。同様に、腰壁・垂れ壁付き梁22体のうち、使用限界を超えた試験体が2体、使用限界を超えた可能性がある試験体が15体、使用限界を超えないことが確認できた試験体が5体であった。

(8) 今後の課題

本研究で収集した腰壁・垂れ壁付き梁は44体であり、他の部材と比べ実験データが少ない。特に構造スリットを設けた腰壁・垂れ壁付き梁のデータは8体と非常に少なく、今後実験による蓄積が必要である。本検討では、正負繰り返し载荷をした試験体のうち、正負の実験データがある場合は、それぞれの値で検討を行った。そのため、検討した試験体数はスリットなし50体、スリットあり12体である。以下に、構造性能評価項目毎の実験データ数を示す。なお、一つの構造性能評価項目に対して、評価式ごとにデータ数に違いがあるときは、大きいものを採用している。

- ・弾性剛性：スリットなし49体、スリットあり11体
- ・曲げひび割れ強度：スリットなし41体、スリットあり11体
- ・せん断ひび割れ強度：スリットなし42体、スリットあり0体
- ・剛性低下率：スリットなし38体、スリットあり12体
- ・曲げ終局強度：スリットなし41体、スリットあり11体
- ・せん断終局強度：スリットなし7体、スリットあり0体
- ・限界変形角：スリットなし27体、スリットあり8体

これをみると、せん断終局強度の実験データがそれぞれ7体、0体と特に少ない。せん断破壊は脆性的な破壊であり、実験によるデータの蓄積が必要不可欠であり、早急に実験を実施する必要があると考えられる。

本研究で検討を行なった構造スリットを設けた腰壁・垂れ壁付き梁および腰壁・垂れ壁付き梁の評価式では、矩形の梁断面の評価式を壁付の梁に準用しているものが多く精度が良いとは言えなかった。重要な耐震性能項目である、腰壁・垂れ壁付き梁の降伏点剛性低下率の精度はまだ十分とはいえない。これは、実験による腰壁・垂れ壁付き梁の履歴性状を三折れ線でモデル化する際の手法にも依存するため、今後は部材のモデル化も含めた総合的な評価が必要と考えられる。

今回収集した論文では、論文中に記載されている情報が不足しているケースが多かった。紙面

第5章 腰壁・垂れ壁付き梁部材

の都合などが原因で断面情報が不十分であった。特に壁筋などは鉄筋の位置の記述がないことが多い。実験結果においては最大強度や鉄筋降伏時などの荷重について、紙面上のアナログデータとしては記述があるものの、明確な数字として記述されていない場合が多い。また、腰壁・垂れ壁付き梁では、最大耐力だけでなく壁筋や梁主筋の降伏の有無やその時の変形角と強度が重要であり、弾性剛性、ひび割れ強度、終局変形角などの情報と共に、論文中に記載することが必要である。

5.7 参考文献

- [5-1] 国土交通省住宅局建築指導課・国土交通省国土技術政策総合研究所・建築研究所・日本建築行政会議監修：2015年度版建築物の構造関係技術基準解説書（2016年追補収録版），全国官報販売共同組合，2017.7
- [5-2] 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 2018，2018
- [5-3] 大久保全陸：腰壁，たれ壁付き鉄筋コンクリート梁の弾塑性挙動に関する実験的研究 その2 剛性および終局曲げ強度に関する考察，日本建築学会構造系論文報告集，Vol.207，pp.9，1973.5
- [5-4] 日本建築構造技術者協会：鉄筋コンクリート造建築物における構造スリット設計指針，技報堂出版，2009
- [5-5] 渡邊秀和ほか：構造スリットを有する腰壁・垂れ壁付き RC 梁部材の初期剛性の評価法，構造工学論文集，Vol.57B，pp.611，2011
- [5-6] 壁谷澤寿成，壁谷澤寿海，東條有希子，壁谷澤寿一：せん断破壊型そで壁付き柱に関する実験的研究，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.30，No.3，pp.115-120，2008
- [5-7] 壁谷澤寿海，黄賢聖，金裕錫，細川洋治，佐藤充晴：鉄筋コンクリート造袖壁付き柱の変形性能に関する実験的研究（その3 曲げ理論による変形性能の評価），日本建築学会大会学術講演梗概集，C-2，pp.139-140，2011.8
- [5-8] 篠田拓人，田才 晃，楠浩一，腰壁・垂れ壁付き RC 梁部材の曲げ終局変形に関する研究，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.35，pp.187-192，2013
- [5-9] 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

5.8 試験体の引用文献

評価式の検討時に引用した文献のリストを以下に示す。

文献番号	引用試験体数	
	構造スリットを設けた 腰壁・垂れ壁付き梁	腰壁・垂れ壁付き梁
[5-A5]		24
[5-A48]	1	3
[5-A49]	3	
[5-A50]		2
[5-A55]		6
[5-A58]	4	
[5-A66]		4

- [5-A1] 東洋一：鉄筋コンクリート腰壁，たれ壁付き梁の逆対称繰返し加力実験：その1. 実験概要，破壊性状，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.1011，1972
- [5-A2] 飯田研：鉄筋コンクリート腰壁・たれ壁付き梁の逆対称繰返し加力実験：その2. せん

第5章 腰壁・垂れ壁付き梁部材

- 断補強と破壊性状との関係, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1013, 1972
- [5-A3] 大久保全陸: 鉄筋コンクリート腰壁,たれ壁付き梁の逆対称繰返し加力実験: その3 剛性および曲げ強度について, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1015, 1972
- [5-A4] 東洋一: 鉄筋コンクリート袖壁付き柱の逆対称繰返し加力実験(その1・せん断補強筋の少ない場合), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1405, 1973
- [5-A5] 大久保全陸: 腰壁, たれ壁付き鉄筋コンクリート梁の弾塑性挙動に関する実験的研究 その1 実験概要および曲げ破壊性状, 日本建築学会構造系論文報告集, Vol.204, pp.1, 1973.2
- [5-A6] 大久保全陸: 腰壁, たれ壁付き鉄筋コンクリート梁の弾塑性挙動に関する実験的研究 その2 剛性および終局曲げ強度に関する考察, 日本建築学会構造系論文報告集, Vol.207, pp.9, 1973.5
- [5-A7] 王子和臣: 袖壁付き鉄筋コンクリート柱の挙動に関する実験的研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1433, 1976
- [5-A8] 王子和臣: 袖壁付き鉄筋コンクリート柱の挙動に関する実験的研究 (その2・軸圧縮力曲げ及び剪断力を受ける場合), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1587, 1977
- [5-A9] 神田実: 袖壁付き鉄筋コンクリート柱の挙動に関する実験的研究 (その3・純曲げ及び軸圧縮力と曲げのみを受ける場合), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1589, 1977
- [5-A10] 是永健好: 腰壁・たれ壁・そで壁付き部材の終局強度に関する検討 (その1・曲げ強度について), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1283, 1979
- [5-A11] 大久保全陸: 腰壁・たれ壁・そで壁付き部材の終局強度に関する検討 (その2・剪断強度について), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1285, 1979
- [5-A12] 市之瀬敏勝: 腰壁を切断した梁柱接合部の地震時挙動に関する実験的研究 (その1), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1521, 1980
- [5-A13] 甲斐芳郎: 腰壁を切断した梁柱接合部の地震時挙動に関する実験的研究 (その2), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1441, 1981
- [5-A14] 市之瀬敏勝: 腰壁を切断した梁柱接合部の地震時挙動に関する実験的研究 (その3), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1443, 1981
- [5-A15] 小林裕: 腰壁を切断した鉄筋コンクリート造梁柱接合部の実験的研究 (その4), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1657, 1982
- [5-A16] 市之瀬敏勝: 腰壁を切断した鉄筋コンクリート造はり柱接合部の実験的研究, コンクリート工学, Vol.20 No.7, pp.97, 1982
- [5-A17] 波多江英治: 構造目地を有するRC腰壁付きはり・柱十字型試験体の水平加力実験 (その1) 実験計画と結果の概要, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C, pp.79, 1986
- [5-A18] 阿納哲郎: 構造目地を有するRC腰壁付きはり・柱十字型試験体の水平加力実験 (その2) 腰壁付きはりの荷重・変形性状, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C, pp.81, 1986
- [5-A19] 山本潔: 構造目地を有するRC腰壁付きはり・柱十字型試験体の水平加力実験 (その3) 構造目地部の強度, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C, pp.83, 1986
- [5-A20] 塩屋晋一: 構造目地を有するRC腰壁付きはり・柱十字型試験体の水平加力実験 (その4) 構造目地部の特性を考慮した曲げ耐力の検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集,

- C, pp.85, 1986
- [5-A21] 大久保全陸：耐震構造目地を設けた腰壁付きはり・柱十字形試験体の加力実験，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.8, pp.713, 1986
- [5-A22] 外山隆吉：鉄筋コンクリート造腰壁・たれ壁付梁に関する実験的研究（その1）極く薄い壁厚の影響，日本建築学会大会学術講演梗概集，C, pp.479, 1986
- [5-A23] 阿納哲郎：構造目地を有する腰壁付きRCはりの曲げ強度特性に関する研究（その1）。腰壁高さ目地形状が異なるト型試験体の破壊実験，日本建築学会大会学術講演梗概集，C, pp.55, 1987
- [5-A24] 塩屋晋一：構造目地を有する腰壁付きRCはりの曲げ強度特性に関する研究（その2）。構造目地部の歪分布とその強度，日本建築学会大会学術講演梗概集，C, pp.57, 1987
- [5-A25] 佐藤彰芳：鉄筋コンクリート造の柱と腰壁の境界に設けたスリットの設計方法に関する試案，日本建築学会大会学術講演梗概集，C, pp.509, 1987
- [5-A26] 大久保全陸：構造目地を有する鉄筋コンクリート腰壁付きはりの収縮特性，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.9, pp.175, 1987
- [5-A27] 大久保全陸：構造目地を有する鉄筋コンクリート造腰壁付き骨組の力学的特性に関する研究 そのⅠ－腰壁付きはり・柱十字形骨組の加力実験について，日本建築学会構造系論文報告集，Vol.380, pp.10, 1987.1
- [5-A28] 塩屋晋一：構造目地を有する腰壁付きRCはりの曲げ強度特性に関する研究：3.構造目地強度の略算法，日本建築学会九州支部研究報告集，Vol.30, pp.353, 1988
- [5-A29] 塩屋晋一：構造目地を有する腰壁付きRCはりの曲げ強度特性に関する研究（4。目地強度式），日本建築学会大会学術講演梗概集，C, pp.751, 1988
- [5-A30] 大久保全陸，塩屋晋一，阿納哲郎：鉄筋コンクリート造ウォールガーダーの強度変形性状，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.11-2, pp.63-68, 1989
- [5-A31] 塩屋晋一：構造目地を有する鉄筋コンクリート造腰壁付き骨組の力学的特性に関する研究 そのⅡ－腰壁付き梁の力学的特性と曲げ強度評価式，日本建築学会構造系論文報告集，Vol.416, pp.91, 1990.1
- [5-A32] 塩屋晋一：構造目地を有する鉄筋コンクリート造腰壁付き骨組の力学的特性に関する研究 そのⅢ－腰壁付き柱の最大荷重の決定過程と腰壁の反力挙動，日本建築学会構造系論文報告集，Vol.441, pp.53, 1992.11
- [5-A33] 塩屋晋一：構造目地を有する鉄筋コンクリート造腰壁付き骨組の力学的特性に関する研究 そのⅣ－腰壁付き柱の最大水平荷重と変形および破壊モードの評価，日本建築学会構造系論文報告集，Vol.449, pp.163, 1993.7
- [5-A34] 田中康公：完全縁切り目地を設けた腰壁・垂れ壁付き梁の応力・変形集中に関する研究，日本建築学会大会学術講演梗概集，C-2, pp.307, 1997
- [5-A35] 近藤龍哉：腰壁と垂れ壁を持つ側柱位置柱・梁接合部の耐震性能について，日本建築学会大会学術講演梗概集，C-2, pp.605, 1998
- [5-A36] 楠原文雄：既存鉄筋コンクリート造腰壁付き短柱の炭素繊維シートによる耐震補強，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.20 No.3, pp.1171, 1998
- [5-A37] 塩原等，白都滋，法量良二，中村洋行：既存鉄筋コンクリート造腰壁付き短柱の炭素繊維

第5章 腰壁・垂れ壁付き梁部材

- 維シートによるせん断補強効果, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.21, pp.373-378, 1999
- [5-A38] 田中昭洋: 型枠コンクリートブロック造建物における RC 造壁梁の耐震性能, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.22 No.3, pp.493, 2000
- [5-A39] 菅沼孝紀, 向井智久, 野村設郎: 二次壁付き RC 梁部材のせん断耐力に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.3, pp.331-336, 2001.6
- [5-A40] 山川 哲雄: 緊張力を導入した PC 鋼棒と鋼板を用いた腰壁付き RC 柱の耐震補強設計法, 日本建築学会構造系論文報告集, No.577, pp.93, 2004.3
- [5-A41] 澤口祐樹: 偏心接合を有する RC 造腰壁・垂れ壁付柱の耐震性能に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.26 No.2, pp.229, 2004
- [5-A42] 瀧澤正明: 大変形下における RC 造腰壁・垂れ壁付柱の耐震性能に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.26 No.2, pp.235, 2004
- [5-A43] 當房和博, 塩屋晋一, 町頭洋平, 吉留潤平: 壁梁が偏心接合される RC 柱のせん断破壊性状とせん断耐力の低下率, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.27"2, pp.187-192, 2005
- [5-A44] 田才晃: 腰壁・垂れ壁付き RC 梁部材の構造性能に関する実験的研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-2, pp.93, 2009
- [5-A45] 渡辺達也: 接合位置や形状が異なる腰壁・たれ壁付柱のせん断耐力と終局変形角に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.31No.2, pp.181, 2009
- [5-A46] 田才晃: 腰壁・垂れ壁付き RC 梁部材の構造性能に関する実験的研究 その2 腰壁・垂れ壁付き RC 梁の変形性能および曲げ強度評価式の検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-2, pp.91, 2010
- [5-A47] 渡邊秀和: 腰壁・垂れ壁付き RC 梁部材の構造性能に関する実験的研究 その3 構造スリットを設けた腰壁・垂れ壁付梁試験体, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-2, pp.95, 2010
- [5-A48] 渡邊秀和: 腰壁・垂れ壁付き RC 梁部材の構造性能に関する実験的研究, 構造工学論文集, Vol.56B, pp.53, 2010
- [5-A49] 鈴木淳史: 構造スリットを有する腰壁・垂れ壁付き RC 梁部材の構造性能に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.32, pp.205, 2010
- [5-A50] 渡邊秀和: 腰壁・垂れ壁付き RC 梁部材の構造性能に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.32, pp.199, 2010
- [5-A51] 田才晃: 腰壁・垂れ壁付き RC 梁部材の構造性能に関する実験的研究 その5 袖壁・腰壁・垂れ壁付柱梁接合部の剛域設定の評価に関する実験 実験概要, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-2, pp.145, 2011
- [5-A52] 西倉幾: 腰壁・垂れ壁付き RC 梁部材の構造性能に関する実験的研究 その6 袖壁・腰壁・垂れ壁付柱梁接合部の剛域設定の評価に関する実験 実験結果, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-2, pp.147, 2011
- [5-A53] 渡邊秀和: 構造スリットを有する二次壁付き RC 梁部材の初期剛性の評価法, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-2, pp.151, 2011

- [5-A54] 渡邊秀和：構造スリットを有する腰壁・垂れ壁付き RC 梁部材の初期剛性の評価法，構造工学論文集，Vol.57B，pp.611，2011
- [5-A55] 西倉幾：袖壁・腰壁・垂れ壁付き柱梁十字型接合部の剛域設定の評価に関する実験的研究，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.34，pp. 229-234，2012
- [5-A56] 松永健太郎他：材端に腰壁を有する鉄筋コンクリート梁の配筋と曲げ強度の検討，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.36 No.2，pp.151-156，2014.7
- [5-A57] 赤堀巧他：スリット付き非構造壁の有無を変動因子とする RC 架構の静的載荷実験，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.36 No.2，pp.637-642，2014.7
- [5-A58] 宇野那由子他：構造スリットを有する垂れ壁・腰壁付き RC 梁部材の構造性能および端部の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.37 No.2，pp.223-228，2015.7
- [5-A59] 権淳日他：梁降伏型鉄筋コンクリート造多層架構実験に基づく建物の残存耐震性能，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.37 No.2，pp.697-702，2015.7
- [5-A60] 尹ロク現他：構造スリット付き有開口二次壁を有する RC 架構実験のシミュレーション解析，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.38，No.2，pp.73-78，2016.7
- [5-A61] 中村聡宏他：鉄筋コンクリート造袖壁・腰壁・垂壁付き十字柱梁架構の破壊性状に関する研究，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.38，No.2，pp.361-366，2016.7
- [5-A62] 平林道大他：鉄筋コンクリート造非耐力壁付き十字型柱梁架構の破壊性状に関する研究，日本建築学会構造工学論文集 Vol. 62B，pp.187-196，2016.3
- [5-A63] 田才晃他：非構造壁の付いた RC 梁部材の耐震性能に関する実験的研究，日本建築学会構造工学論文集 Vol. 62B，pp.203-212，2016.3
- [5-A64] 壁谷澤寿一他：袖壁付き柱を活用した実大5層鉄筋コンクリート造建築物の載荷実験，日本建築学会構造系論文集 No.720，pp.313-322，2016.2
- [5-A65] 守屋暁他：非耐力壁付き部材の骨格曲線評価法に関する検討，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.39 No.2，pp.811-816，2017.7
- [5-A66] 都祭弘幸他：高密配筋された腰壁・垂れ壁を有する実大および縮小 RC 梁試験体の構造性能に関する実験的研究（その1．実験概要および結果概要），日本建築学会学術講演梗概集 C-2，2018
- [5-A67] 藤井稔己他：高密配筋された腰壁・垂れ壁を有する実大および縮小 RC 梁試験体の構造性能に関する実験的研究（その2．強度と変形性状に関する考察），日本建築学会学術講演梗概集 C-2，2018