

第 3 章

梁部材

第3章 梁部材

3.1 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梁部材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。

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。

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。

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。例えば 1/2 など
- 2) 配筋の対称性；配筋の配置について対称性を記載する。
- 3) スラブの有無；スラブの有無を記載する。
- 4) 打設方向；上端筋とその他の鉄筋を区別するためのもので、幅方向の打設とせい方向の打設を記載する。
- 5) 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。
- 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。

202-材料情報

- a. 以下，コンクリートの材料特性について記載する。
 - 1) 設計強度；当該文献に記載されている目標強度で，試験体の設計時に用いた強度。
 - 2) 圧縮強度；当該文献に記載されている最大圧縮強度を記載する。
 - 3) 圧縮強度時歪み；当該文献に記載されている最大圧縮強度時歪みを記載する。
 - 4) 引張強度；当該文献に記載されている引張強度を記載する。割裂試験、曲げ試験、引張試験、などの方法を記載する。
 - 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。1/3 割線弾性係数、1/4 割線弾性係数、接線係数、などを記載する。
- b, c. 以下，鉄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。0.2%オフセット法などを記載する。
 - 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。
 - 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。1/3 割線弾性係数、1/4 割線弾性係数、接線係数、などを記載する。
- 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。

203-部材形状情報

- 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。
- 2) 幅；矩形断面において、加力方向に対して直交する辺の長さ。円形断面の場合はその直径。
- 3) せい；矩形断面において、加力方向に対して平行する辺の長さ。円形断面の場合はその直径。
- 4) 有効せい；矩形断面において、圧縮縁から引張鉄筋重心位置までの長さ。円形断面の場合は等価長方形断面に置換した場合の圧縮縁から引張鉄筋重心位置までの長さ。
- 4-1) 上1段目主筋位置関係 幅方向，せい方向，最小間隔
- 4-2) 上2段目主筋位置関係 幅方向，最小間隔
- 4-3) 下1段目主筋位置関係 幅方向，せい方向，最小間隔
- 4-4) 下2段目主筋位置関係 幅方向，最小間隔
- 5) コア断面積；外周部せん断補強筋に囲まれた断面積
- 6) 被りコンクリート厚さ；矩形断面の場合，幅とせいのかぶり厚さをそれぞれ記入。
- 6-1) 上1段目被りコンクリート厚さ・主筋あき 幅方向，せい方向，最小あき
- 6-2) 上2段目被りコンクリート厚さ・主筋あき 幅方向，最小あき
- 6-3) 下1段目被りコンクリート厚さ・主筋あき 幅方向，せい方向，最小あき
- 6-4) 下2段目被りコンクリート厚さ・主筋あき 幅方向，最小あき
- 7) スラブ；スラブ付き梁の場合は，スラブ厚と幅（長さ）を記載する。
- 8-1) クリアスパン；両端固定は内法長さ，単純支持は支持間距離、片持ち形式はシアスパンを記入。
- 8-2) カットオフ筋付着長さ カットオフの有無、段目，本数， l_d (mm)
- 9) 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-主筋情報

- 1) 本数；全主筋本数
- 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）
- 2-1) 主筋径；主筋の径。異形鉄筋は呼びの値。
- 3) 種類；主筋の種類。例えば SD345 など
- 4) 継手有無；主筋が部材内で継手使用の有無。
- 5) 継手長さ；主筋の継手がある場合はその長さ。
- 6) 備考；継手の位置情報など，その他継手に関して追記すべき情報。
- 7) 主筋位置情報；1-7 は鉄筋の位置，8-14 はそれぞれの位置に配された本数を示す。位置の基点は，正載荷側において最大曲げモーメントとなる断面の圧縮縁とする。最大曲げモーメントとなる断面が複数ある場合、上端と下端で非対称な配筋の場合は、正載荷側で圧縮縁となる断面を採用する。なお，鉄筋の段数がさらにある場合は適宜追加する。
- 8) 引張鉄筋比；引張鉄筋断面積を幅と有効せいで除した値。
- 9) 主筋比；全鉄筋断面積を幅と全せいで除した値。

205-せん断補強筋情報

- 1) 形状；部材断面における補強筋形状。2種類ある場合は外周部とその内部の形状を記載する。（例えば、中子筋のある矩形のせん断補強筋の場合、「矩形・中子」）
- 2) 呼び名；鉄筋の形状と径を表す記号。（例えば D19 や $\phi 9$, #4 など）
- 3) 間隔；1, 2 は部材長さ方向で間隔が変わる場合、狭い領域（例えばヒンジ領域）と広い領域の間隔。1種類の場合、「狭い箇所」欄に記載する。位置；3 は狭い領域の長さ
と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) 1-4 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 3.1.1）。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 3.1.2）。

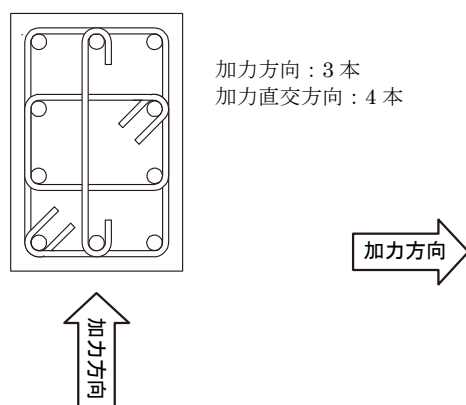


図 3.1.1 補強筋有効本数

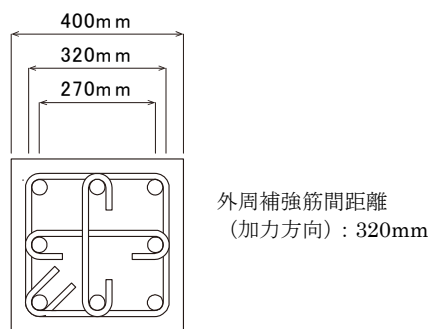


図 3.1.2 補強筋間距離

- 7) 補強筋最大距離；はば方向およびせい方向に対して、横補強筋で拘束された主筋間距離の最大値（下図の C_i 参照）。下図で横方向から載荷する場合、図中の C_i がせい方向の長さとなる。

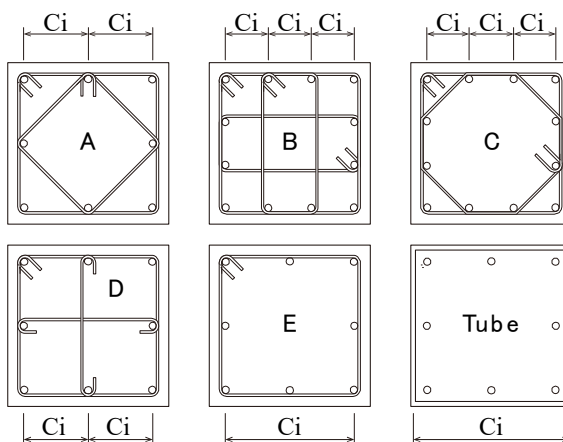


図 3.1.3 補強筋最大距離の定義

- 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。
- 9) セン断補強筋比；加力方向（せい方向）の 1 組のせん断補強筋断面積を幅とせん断補強筋間隔で除した値。

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；部材の加力形式を示す。片持ち，単純梁（3 点曲げや 4 点曲げ），逆対称荷重（大野式など），逆対称変形（建研式など），その他

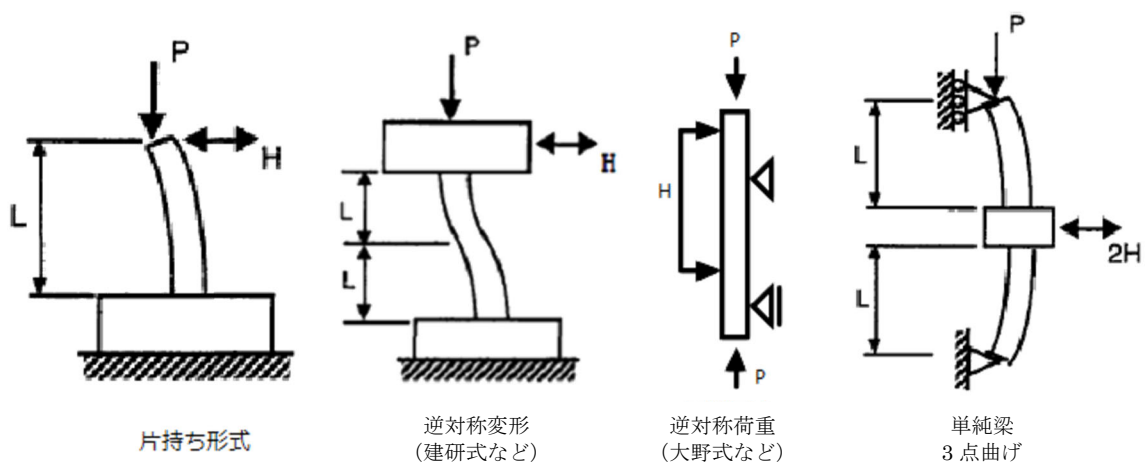


図 3.1.4 加力形式

- 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
- 8-1) シアスパン；せん断スパン。建研式のような逆対称変形の場合はクリアスパンの半分。
- 8-2) セン断スパン比；せん断スパン（シアスパン）を有効せいで除した値。

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。加力点や支持点のロードセルの値のみで定まる（支持点や加力点の位置の値を用いずに定まる）場合は「直接」と記載する。例えば単純梁中央载荷で，加力点の荷重と支持点の反力をロードセルで計測している場合などは「直接」。
- 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。計測値に加力梁などの試験区間外の変形を含む場合は「間接」と記載する。例えばジャッキのストロークの値を用いて部材の変形角を計算している場合などは「間接」。

4. 実験データ情報：

401-データ特性情報

第3章 梁部材

- 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。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。補正の必要性の有無について示す。
- 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) 第1折れ点；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。正負交番載荷の場合は，正負の値を示す。
- 2) 第2折れ点；実験データ（荷重変形の包絡線）から得られる第2折れ点の割線剛性の値を示す。正負交番載荷の場合は，正負の値を示す。
- 3) 第2折れ点後（正勾配）；実験データ（荷重変形の包絡線）から得られる第2折れ点以降の正勾配を接線剛性の値で示す。なお，脆性部材の場合は「-」と表記。正負交番載荷の場合は，正負の値を示す。
- 4) 耐力低下（負勾配）；実験データ（荷重変形の包絡線）から得られる耐力低下時の負勾配を接線剛性の値で示す。正負交番載荷の場合は，正負の値を示す。

403-強度情報

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

404-変形情報

- 1) 第1折れ点；実験データ（荷重変形の包絡線）から得られる第1折れ点の変形の値を示す。正負交番載荷の場合は，正負の値を示す。
- 2) 第2折れ点；実験データ（荷重変形の包絡線）から得られる第2折れ点の変形の値を示す。正負交番載荷の場合は，正負の値を示す。
- 3) 第3折れ点；実験データ（荷重変形の包絡線）から得られる第3折れ点の変形の値を示す。正負交番載荷の場合は，正負の値を示す。
- 4) 第4折れ点；実験データ（荷重変形の包絡線）から得られる第4折れ点の変形の値を示す。正負交番載荷の場合は，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。
 - 1-1) 実験の最大耐力時損傷状態

主筋一降伏・降伏前
せん断補強筋一降伏・降伏前
ひび割れ—せん断，付着
 - 1-2) 最終破壊モード：曲げ破壊，せん断破壊，付着破壊，曲げ・せん断破壊（曲げ降伏後のせん断破壊），曲げ・付着破壊（曲げ降伏後の付着破壊），から選択する。付着破壊に関しては，例えば土木分野では付着破壊と分類することはあまりないため，文献に明記されていないものは破壊性状の記述から判断し，筆者による判断とデータ入力者による判断の区別は「406-破壊モード」の「信頼度」の欄に記録した。
- 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。
- 2) せん断ひび割れ；実験で得られているせん断ひび割れ時の荷重と変形の値。
- 3) 主筋降伏；実験で得られている最初に主筋が降伏した時の荷重と変形の値。
- 4) せん断補強筋降伏；実験で得られてい最初にせん断補強筋が降伏した時の荷重と変形の値。
- 5) かぶ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。
- 6) 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。
- 7) 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。
- 8) 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。
- 9) 付着ひび割れ；実験で得られている付着ひび割れ時の荷重と変形の値。
- 10) ひび割れ図情報；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。
- 11) その他損傷情報；その他の損傷情報を記載する。
- 12) 備考；ひび割れ情報が写真の場合などを記載する。

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。

評価シート：各評価方法に対して剛性，耐力，靱性能についての算定に必要な項目を示し，その算定値と式の算定精度を示す。

1-剛性評価

第3章 梁部材

101-曲げ弾性剛性

- 1) 各計算に必要な項目 (複数あり)
- a) 弾性剛性 $K1f$

102-せん断弾性剛性

- 1) 各計算に必要な項目 (複数あり)
- a) 弾性剛性 $K1s$

103-降伏時剛性 Ky

- 1) 各計算に必要な項目 (複数あり)
- 2) 降伏時剛性 Ky

104-せん断破壊時剛性

- 1) 各計算に必要な項目 (複数あり)
- 2) せん断破壊時剛性 Ksu

105-3次勾配 $K3$ (正勾配)

- 1) 各計算に必要な項目 (複数あり)
- 2) 3次勾配 $K3$

106-精度

- 1) 弾性剛性 (算定値)
- 2) 実験値/算定値
- 3) 降伏時剛性 (算定値)
- 4) 実験値/算定値
- 5) せん断破壊時剛性 (算定値)
- 6) 実験値/算定値
- 7) 3次勾配 (算定値)
- 8) 実験値/算定値

2-強度評価

101-曲げひび割れ

- 1) 各計算に必要な項目 (複数あり)
- a) 曲げひび割れ強度 Qfc

102-せん断ひび割れ

- 1) 各計算に必要な項目 (複数あり)
- a) せん断ひび割れ強度 Qsc

103-曲げ終局強度

- 1) 各計算に必要な項目 (複数あり)
- a) 曲げ終局強度 Qfu

104-せん断終局強度

- 1) 各計算に必要な項目 (複数あり)
- a) せん断終局強度 Qsu

105-精度

- 1) 曲げひび割れ強度 (算定値)

- 2) 実験値/算定値
- 3) せん断ひび割れ強度 (算定値)
- 4) 実験値/算定値
- 5) 曲げ終局強度 (算定値)
- 6) 実験値/算定値
- 7) せん断終局強度 (算定値)
- 8) 実験値/算定値

3-変形評価

101-曲げ降伏後破壊変位

- 1) 各計算に必要な項目 (複数あり)
 - a) 曲げ降伏後破壊変位 δ_d

4-評価結果集計：平均値 (実験値/算定値)，標準偏差 σ ，変動係数 CV：

3.2 収集データの特徴

3.2.1 引用論文

表 3.2.1, 表 3.2.2 に本データベースで引用した論文の数を示す。

表 3.2.1 引用した論文の数 (論文別)

論文名	論文数
黄表紙	17
JCI 年次大会	85
構造工学	3
基整促	2
合計	107

表 3.2.2 引用した論文の数 (年代別)

年	論文数	年	論文数	年	論文数	年	論文数	年	論文数
1970	0	1980	1	1990	3	2000	4	2010	2
1971	0	1981	0	1991	1	2001	2	2011	1
1972	0	1982	0	1992	7	2002	2	2012	1
1973	0	1983	0	1993	6	2003	1	2013	2
1974	0	1984	0	1994	6	2004	3	2014	9
1975	0	1985	0	1995	8	2005	0	2015	5
1976	1	1986	1	1996	2	2006	3	2016	12
1977	0	1987	2	1997	3	2007	1	2017	7
1978	0	1988	1	1998	2	2008	0		
1979	1	1989	1	1999	4	2009	2		
計	2	計	6	計	42	計	18	計	39
								合計	107

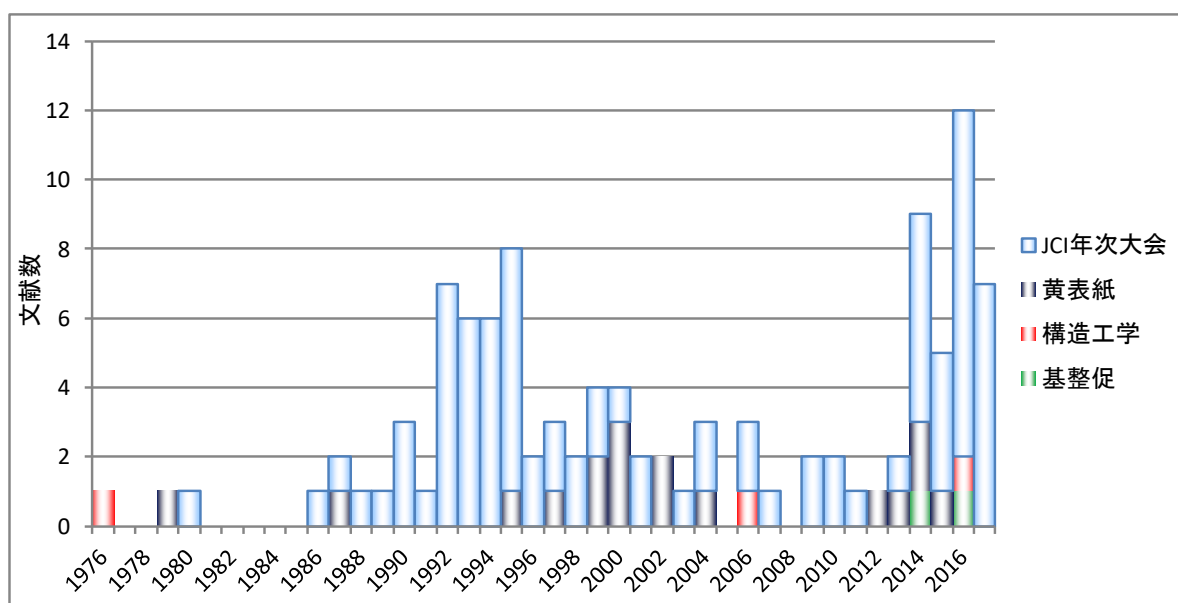


図 3.2.1 引用した論文の数

3.2.2 引用試験体数

表 3.2.3, 表 3.2.4 に本データベースで引用した試験体数を示す。

表 3.2.3 引用した試験体の数 (論文別)

論文名	論文数
黄表紙	106
JCI 年次大会	400
構造工学	13
基整促	8
合計	527

表 3.2.4 引用した試験体の数 (年代別)

年	試験体数	年	試験体数	年	試験体数	年	試験体数	年	試験体数
1970	0	1980	10	1990	23	2000	12	2010	9
1971	0	1981	0	1991	2	2001	15	2011	3
1972	0	1982	0	1992	49	2002	47	2012	3
1973	0	1983	0	1993	18	2003	2	2013	5
1974	0	1984	0	1994	18	2004	13	2014	34
1975	0	1985	0	1995	34	2005	0	2015	19
1976	8	1986	6	1996	5	2006	14	2016	64
1977	0	1987	14	1997	21	2007	7	2017	20
1978	0	1988	11	1998	4	2008	0		
1979	8	1989	13	1999	14	2009	2		
計	16	計	54	計	188	計	112	計	157
								合計	527

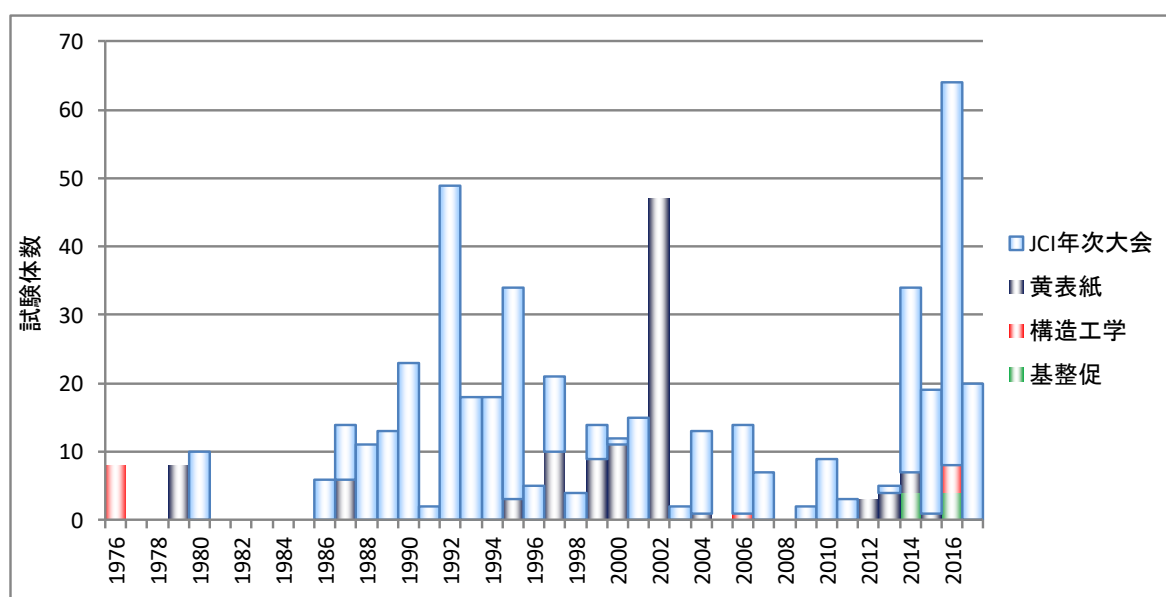


図 3.2.2 引用した試験体の数

第3章 梁部材

3.2.3 収集した実験データの特徴

収集した実験データの特徴を示すために、以下の項目についての収集データの頻度分布および統計データを、以下の項目について示す。

(検討項目)

コンクリート強度	図 3.2.3
主筋降伏強度	図 3.2.4
引張鉄筋比	図 3.2.5
コンクリート強度－主筋降伏強度関係	図 3.2.7
せん断補強筋降伏強度	図 3.2.8
せん断補強筋比	図 3.2.9
コンクリート強度－せん断補強筋降伏強度関係	図 3.2.10
主筋降伏強度－せん断補強筋降伏強度関係	図 3.2.11
全せい	図 3.2.12
せん断スパン比	図 3.2.13

1) コンクリート強度 (図 3.2.3 参照)

収集した実験データのコンクリート強度は、12.2N/mm²から 166.8N/mm²に分布している。後述する評価式の精度検証では、コンクリート強度 18.0~60.0 N/mm²の試験体を用いる。

コンクリート強度 σ_B (N/mm²)

	曲げ破壊	せん断破壊	付着破壊	曲げ・ せん断破壊	曲げ・ 付着破壊	不明	全体
n	202	158	50	71	21	25	527
最大値	126.0	139.5	114.7	166.8	81.4	65.5	166.8
最小値	14.7	12.2	18.0	18.1	18.7	19.5	12.2
平均値	42.8	41.2	32.8	56.6	45.2	36.0	43.0

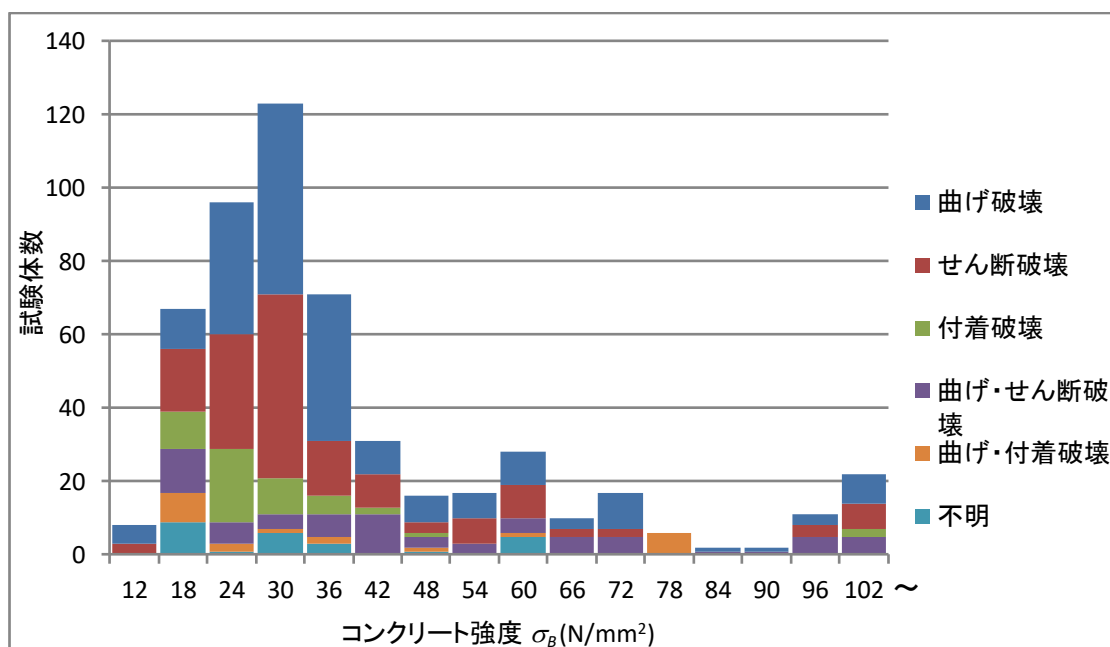


図 3.2.3 収集データの頻度分布 (コンクリート強度)
(横軸は区間下限値)

第3章 梁部材

2) 主筋強度 (図 3.2.4 参照)

収集した実験データの主筋強度は、114N/mm²(ニッケル鋼)から 1197N/mm²に分布している。規格降伏点強度でいうと 295~980 N/mm²に加え、構造実験の目的に合わせて加工された鉄筋が使用されたためと考えられる。これまでの実験では、主筋の降伏強度が 300~500 N/mm²のものが多く使用されており、コンクリート強度同様に、一般建築で多く使用される強度の鉄筋を梁主筋に用いた構造実験が多く実施されている。また、高層 RC 造建物などを対象とした構造実験も実施されており、高強度鉄筋が使用されている。

主筋降伏強度 σ_y (N/mm²)

	曲げ破壊	せん断破壊	付着破壊	曲げ・ せん断破壊	曲げ・ 付着破壊	不明	全体
n	200	150	50	71	21	24	516
最大値	1022	1197	1044	788	806	827	1197
最小値	114	261	385	318	387	349	114
平均値	485	828	866	492	609	567	631

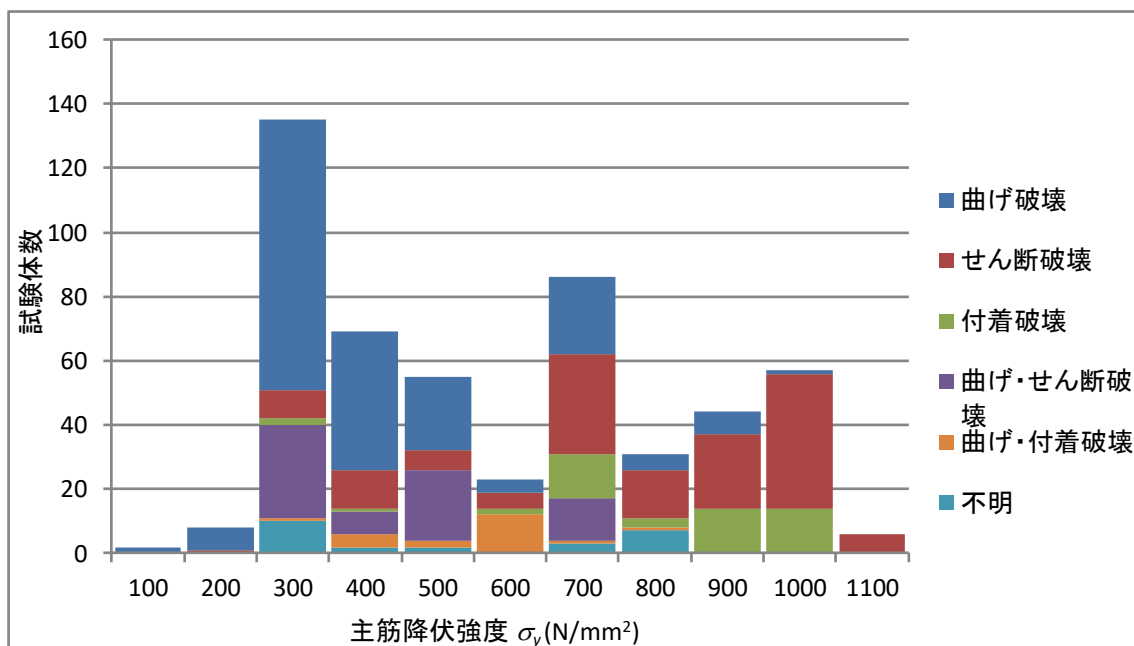


図 3.2.4 収集データの頻度分布 (主筋降伏強度)
(横軸は区間下限値)

3) 引張鉄筋比 (図 3.2.5 参照)

収集した実験データにおいて使用された梁主筋比は 0.40%~4.96%まで分布している。曲げ破壊型では 0.50%から 2.00%に多くのデータが分布している。一方、せん断破壊型では広く分布しており、主筋降伏強度を高くした試験体と引張鉄筋比を増やした試験体の両方が含まれていると考えられる。付着破壊型では、2.00%から 2.50%に多くのデータが分布している。

引張鉄筋比 p_t (%)

	曲げ破壊	せん断破壊	付着破壊	曲げ・せん断破壊	曲げ・付着破壊	不明	全体
n	200	157	50	71	21	22	521
最大値	3.67	4.96	4.17	2.75	3.00	2.25	4.96
最小値	0.39	0.40	1.04	0.56	0.85	0.59	0.39
平均値	1.41	1.91	2.24	1.78	1.59	1.60	1.71

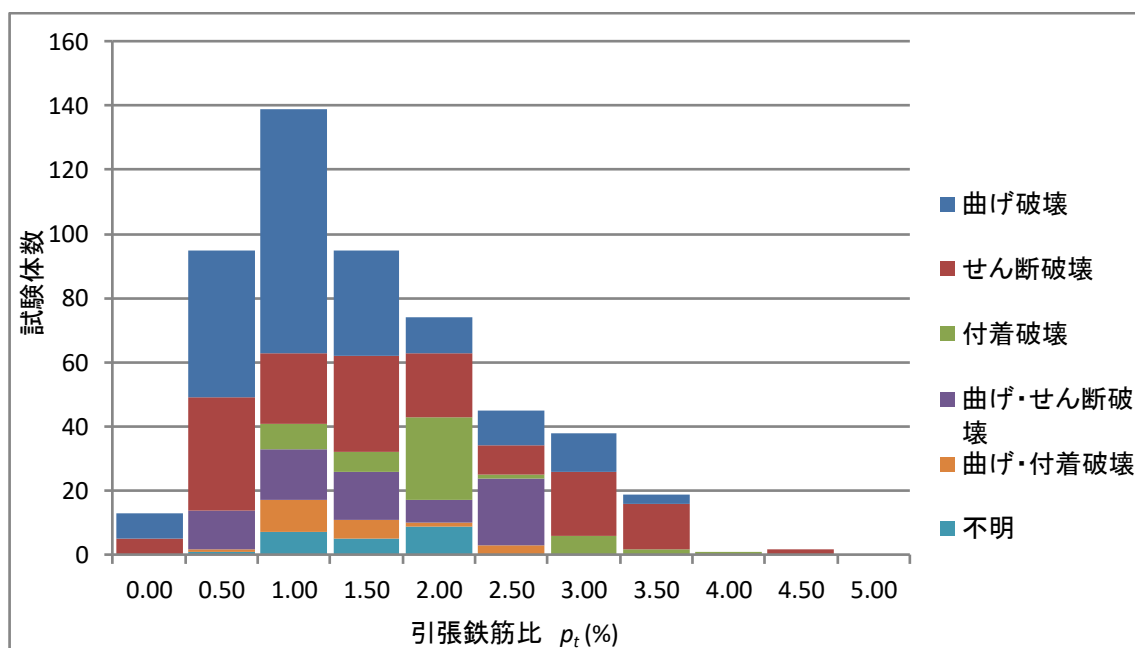


図 3.2.5 収集データの頻度分布 (引張鉄筋比)
(横軸は区間下限値)

第3章 梁部材

4) コンクリート強度－主筋強度関係 (図 3.2.6 参照)

収集した実験データのコンクリート強度と主筋強度について検討する前に、図 3.2.6 に、現在の我が国の高強度材料の適用を大いに推進した1988年-1993年に実施された建設省総合技術開発プロジェクト「鉄筋コンクリート造建築物の超軽量・超高層化技術の開発」(略称:NewRC, 主査:東京大学名誉教授 青山博之)^[3-1]において示された実用化を想定したコンクリートおよび鉄筋の高強度材料の範囲を示す。

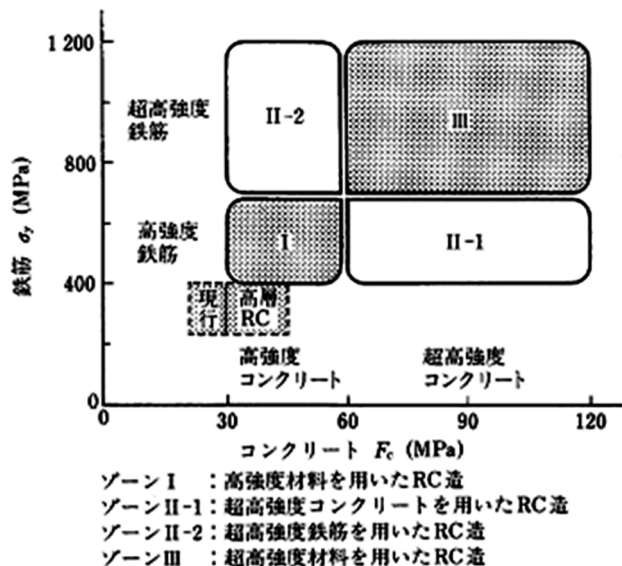


図 3.2.6 NewRC 総プロで示された研究開発のゾーニングと材料強度との関係^[3-2]

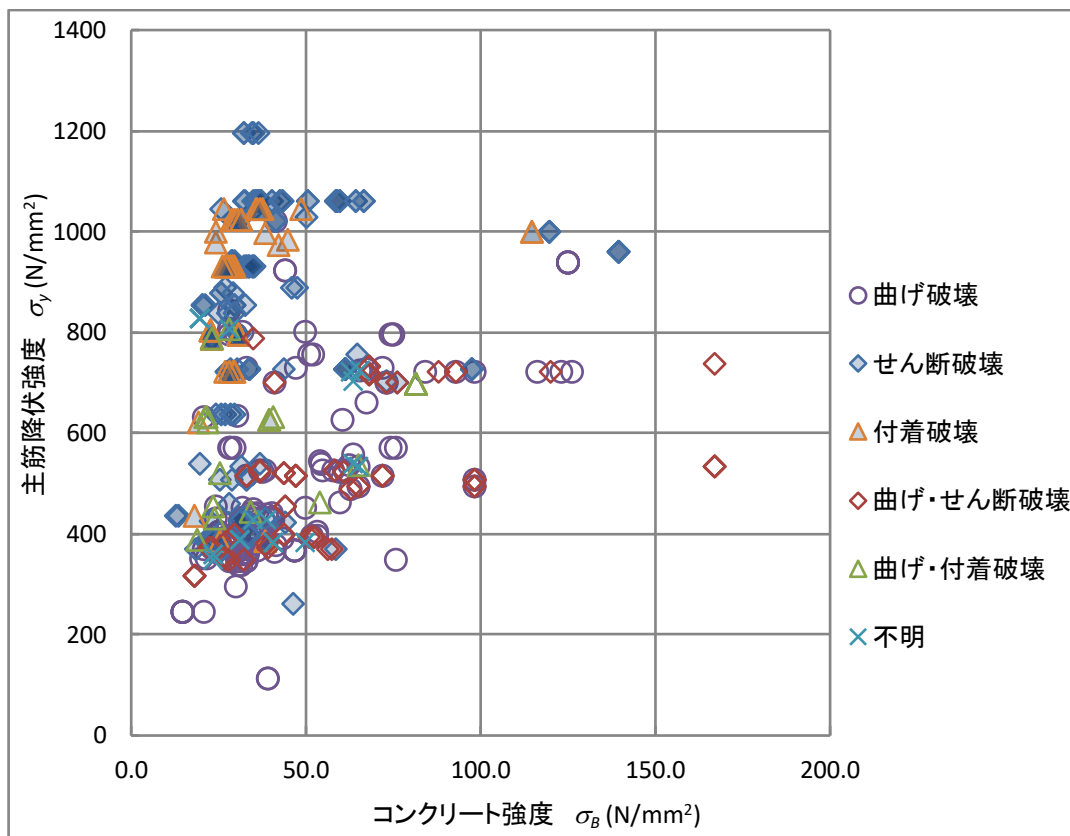


図 3.2.7 収集データの頻度分布 (コンクリート強度と主筋強度関係)

図 3.2.7 に収集データのコンクリート強度と主筋強度関係を示す。図 3.2.6 と図 3.2.7 を比較すると、収集データのコンクリート強度 20N/mm^2 前後および主筋強度 295N/mm^2 前後に分布するデータが、いわゆる NewRC 総プロで示したような現行の材料強度の範囲であり、我が国の一般的な鉄筋コンクリート造建物で使用されている強度領域であることが再認識できる。また、この領域の実験データが多く存在する理由の一つとして、1968 年十勝沖地震後を経験し、それまでのせん断補強筋の規定では十分な耐震性能が確保できないことが分かったため、短梁崩壊に関する総プロ^[3-3]が実施され、官学民が協力して多くの構造実験が実施された影響が挙げられる。

現在は、コンクリート強度 200N/mm^2 前後まで、主筋強度は 980N/mm^2 前後までの超高強度材料を用いた研究開発が実施されている。

第3章 梁部材

5) セン断補強筋強度

収集した実験データのせん断補強筋強度は、188N/mm² から 1767N/mm² に分布している。これは鉄筋種別で言うと SD295 から SBPD1275/1420 までの範囲に相当する。頻度分布には主に3つの山が表れている。これは、SD345, 685, 785 および SBPD1275/1420 の鉄筋種別の位置に相当する。

これまでの実験では、せん断補強筋の降伏強度が 400 N/mm² 前後のものが多く使用されている。降伏強度が 900 N/mm² 前後のデータは、鉄筋種別で言うと SD785 に相当し、降伏強度が 1400 N/mm² 前後のデータは、鉄筋種別で言うと SBPD1275/1420 に相当する。

せん断補強筋降伏強度 σ_{wy} (N/mm²)

	曲げ破壊	せん断破壊	付着破壊	曲げ・ せん断破壊	曲げ・ 付着破壊	不明	全体
n	198	113	50	71	21	24	477
最大値	1767	1454	1456	1451	1392	1428	1767
最小値	188	266	305	239	366	358	188
平均値	617	621	702	724	842	619	653

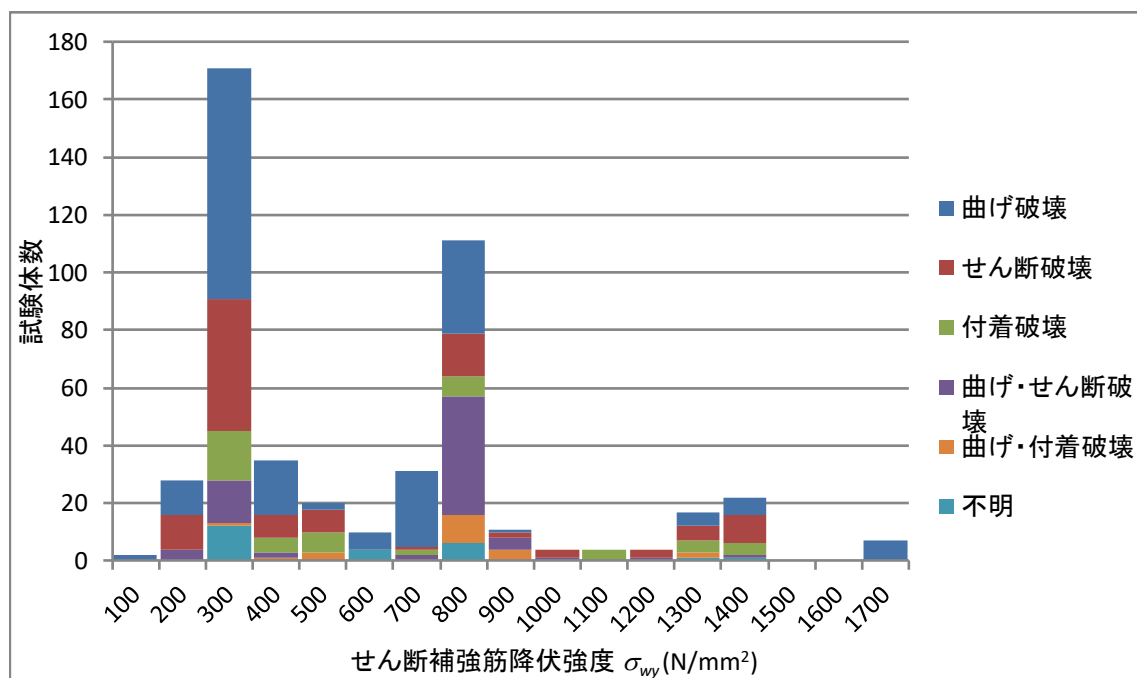


図 3.2.8 収集データの頻度分布 (せん断補強筋降伏強度)
(横軸は区間下限値)

6) せん断補強筋比 (図 3.2.9 参照)

収集した実験データにおいて使用されたせん断補強筋比は0.00%~1.80%までに分布している。曲げ降伏先行型では、せん断補強筋比が0.20%から1.80%まで広く分布している。一方、せん断破壊型では、せん断補強筋比が0.00%から0.80%前後に分布している。曲げ降伏型は、平均値が0.62%と非常に高く、せん断補強筋を十分に配筋して実験を行う場合が多いと考えられる。

せん断補強筋比 p_w (%)

	曲げ破壊	せん断破壊	付着破壊	曲げ・せん断破壊	曲げ・付着破壊	不明	全体
n	202	158	50	71	21	25	527
最大値	1.52	1.80	1.21	1.33	1.33	1.43	1.80
最小値	0.00	0.00	0.15	0.12	0.34	0.00	0.00
平均値	0.62	0.36	0.58	0.56	0.71	0.53	0.53

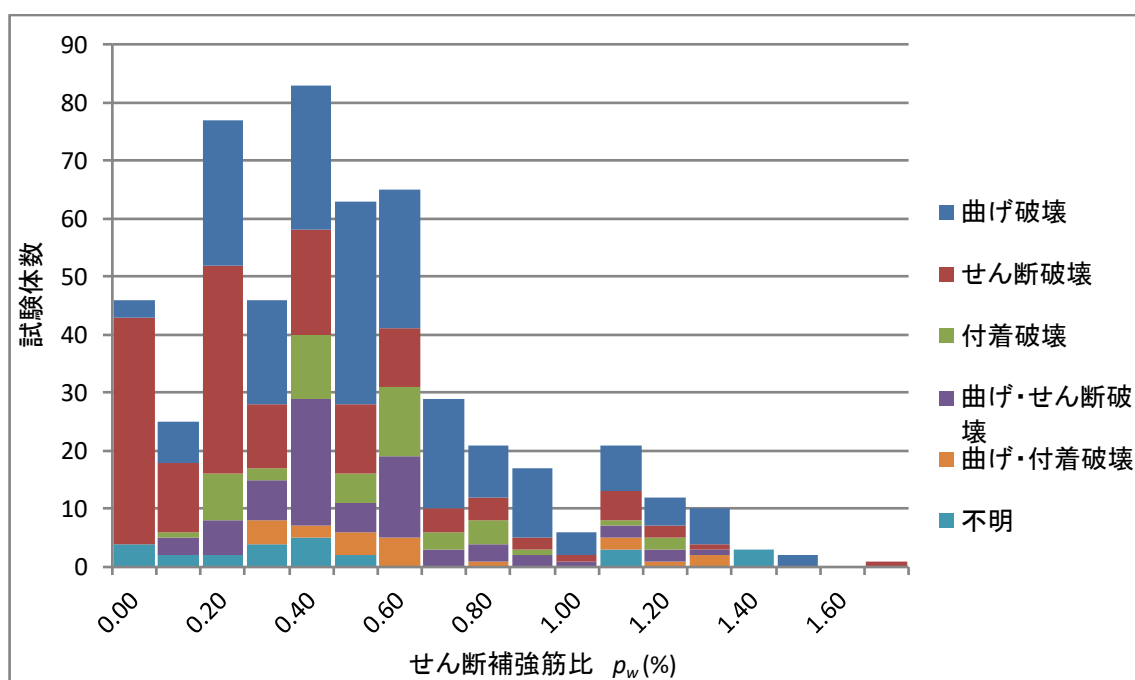


図 3.2.9 収集データの頻度分布 (せん断補強筋比)
(横軸は区間下限値)

第3章 梁部材

7) せん断補強筋降伏強度—コンクリート強度関係 (図 3.2.10 参照)

せん断補強筋降伏強度とコンクリート強度の明確な相関は見られないが、せん断補強筋降伏強度が高い場合には、比較的高強度のコンクリートを選択する傾向が見られた。

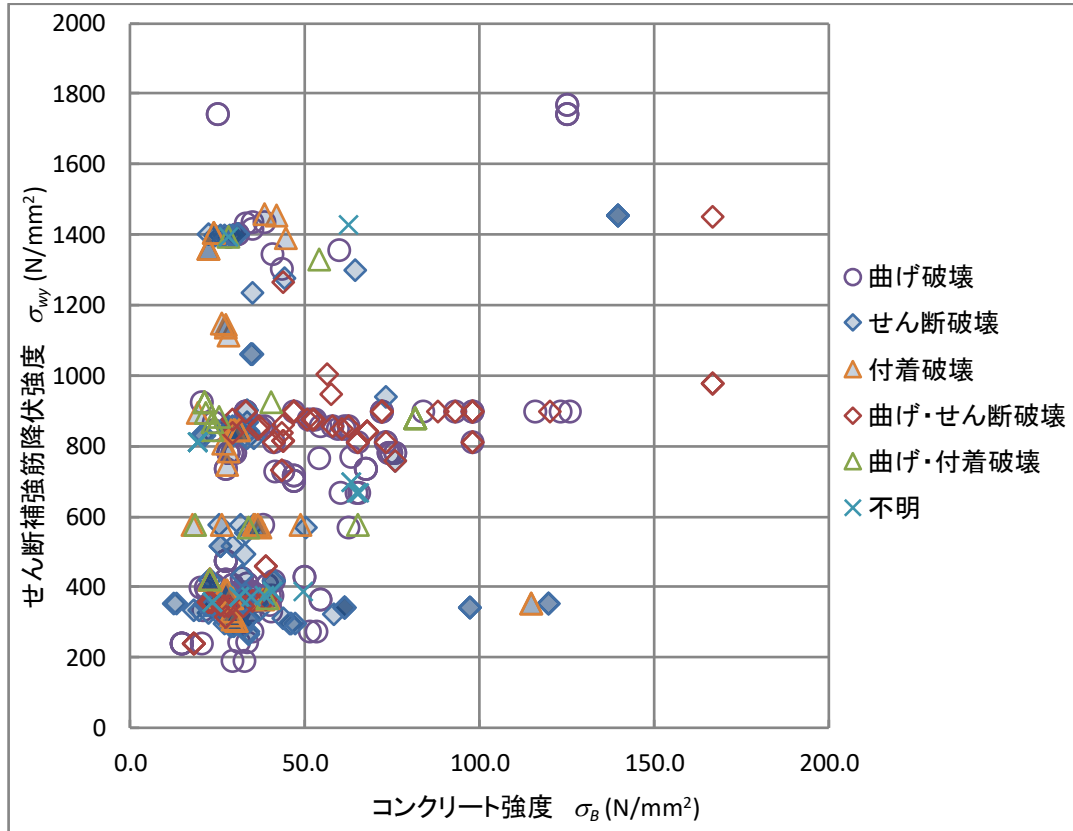


図 3.2.10 収集データの頻度分布 (コンクリート強度-せん断補強筋降伏強度の関係)

8) せん断補強筋降伏強度—主筋降伏強度関係 (図 3.2.11 参照)

主筋降伏強度とせん断補強筋降伏強度との明確な相関は見られない。

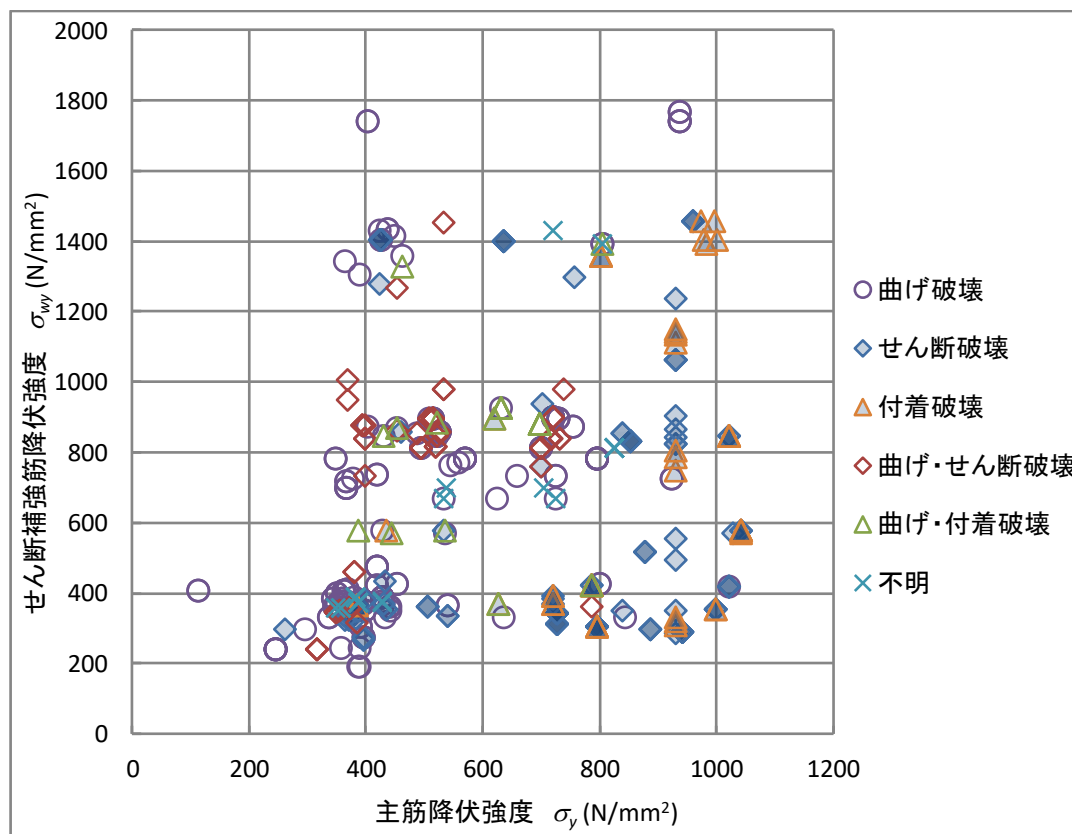


図 3.2.11 収集データの頻度分布 (主筋降伏強度-せん断補強筋降伏強度の関係)

第3章 梁部材

9) 全せい (図 3.2.12 参照)

論文に記載のあった全せいについて収集したデータである。集計結果を図 3.2.12 に示す。データは 150mm から 1280mm に分布している。最も多いのが全せい 300mm から 400mm 前後を想定した試験体である。

全せい D (mm)

	曲げ破壊	せん断破壊	付着破壊	曲げ・せん断破壊	曲げ・付着破壊	不明	全体
n	201	158	50	71	21	25	526
最大値	1280	1280	500	600	700	450	1280
最小値	200	200	250	200	180	150	150
平均値	369	376	359	341	377	334	365

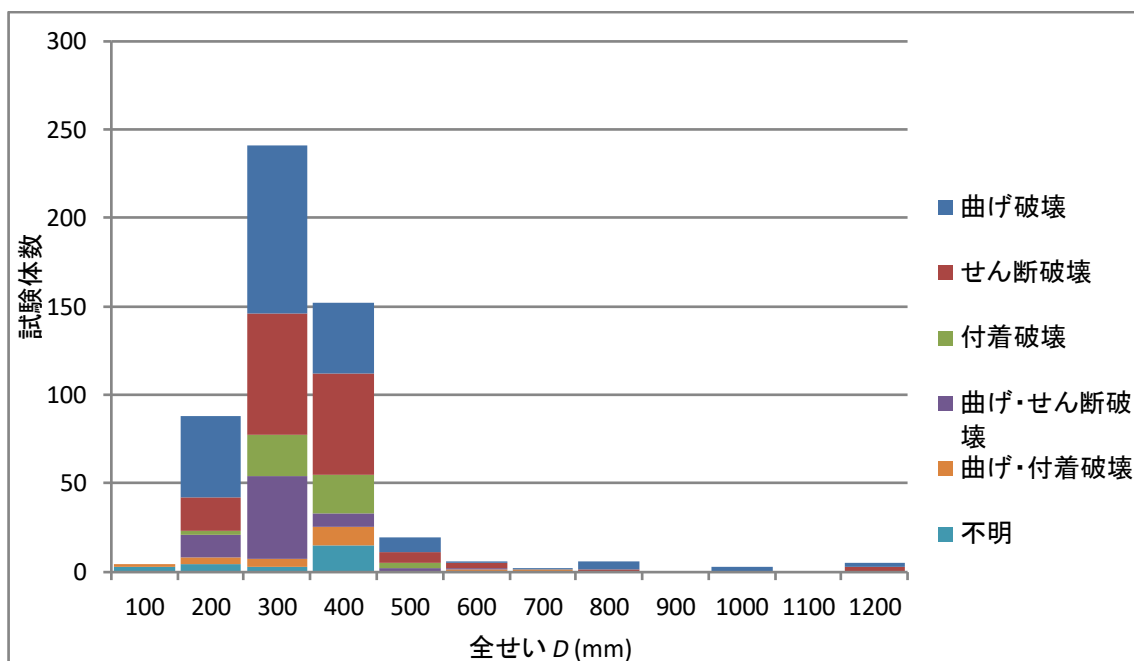


図 3.2.12 収集データの頻度分布 (全せい) (横軸は区間下限値)

10) せん断スパン比 (図 3.2.13 参照)

収集した実験データのせん断スパン比 (せん断スパンを有効せいで除した値) は、0.74 から 6.25 に分布している。曲げ破壊型は 2.00 から 2.50 までの試験体が多い。せん断破壊型の多くは、せん断スパン比が 1.00 から 2.50 まで分布しているが、4.00 の試験体もいくつかあり、付着破壊とせん断破壊の判別の難しさが伺える。

せん断スパン比 a/d

	曲げ破壊	せん断破壊	付着破壊	曲げ・せん断破壊	曲げ・付着破壊	不明	全体
n	200	158	50	71	21	22	522
最大値	6.25	3.60	3.60	3.35	3.60	4.63	6.25
最小値	0.87	0.86	1.50	0.74	1.35	1.43	0.74
平均値	2.68	2.21	2.41	2.18	2.43	2.89	2.44

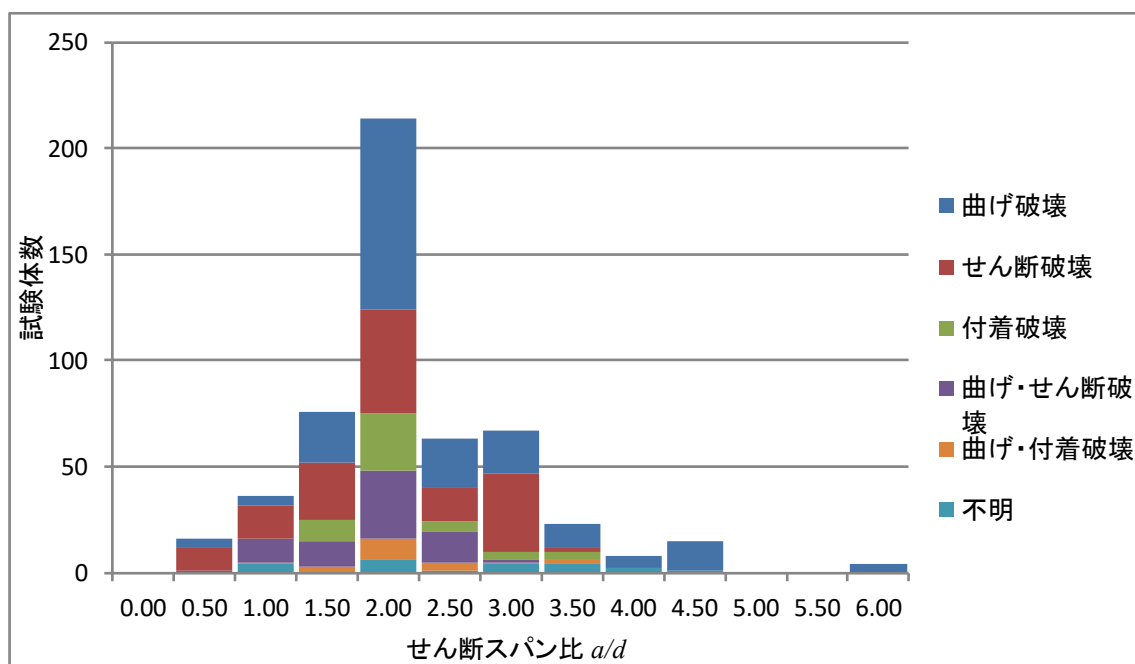


図 3.2.13 収集データの頻度分布 (せん断スパン比) (横軸は区間下限値)

3.3 収集データの信頼度分析

実験データ収集において、文献より読み取る際の曖昧さや不確かさは多少存在する。また、やや特殊な断面のため、データベースのフォーマットが対応していない場合もある。本報告書では信頼度と呼んでおり、各項目で必要に応じて記録している。桁数の間違いなど間違いが明らかな場合は値を修正した。筆者に誤記の確認が取れたものは、修正し、その旨を信頼度の欄に入力した。

(1) 基本情報

実験主体は、原則、第一著者の所属機関としている。当該著者の異動などの場合、分かる範囲で、研究を実施した機関を入力した。

(2) 試験体情報

a) 試験体スケール

論文に記載がある場合のみ入力した。

b) コンクリートの打設方向

論文に記載がある場合のみ入力した。付着強度の算定で必要となるが、明記されていない文献が散見された。

c) コンクリート材料

コンクリート圧縮強度は圧縮試験の結果を入力した。ヤング係数も圧縮試験の結果で、記載のある場合のみ入力している。引張強度は、割裂引張試験の結果である。

d) 鉄筋材料

引張試験の結果を記している。降伏強度は、降伏応力度または0.2%耐力である。降伏ひずみは、文献に記載のある場合のみ入力しており、その定義が明記されたものはほぼ無かった。

e) 断面情報

多段配筋梁の有効せいは、引張鉄筋の重心位置からコンクリート圧縮縁までの距離とした。ただし、主筋位置が明記されておらず、有効せいのみ記載された文献については、その有効せいの値を入力した。主筋位置までの寸法情報が明記されていない論文が散見された。また、部材せい方向の鉄筋位置は記載されているが、幅方向は省略されたものも多かった。鉄筋のあきが分からず付着強度を算出できなかった試験体が多かった。

f) 主筋情報

主筋に2種の鉄筋を使用した試験体について、同径同鋼種の場合は降伏強度などの機械的性質をそれらの平均値とした。異径の場合、機械的性質の欄には本数の多いほうの値を入力し、引張鉄筋の降伏引張力が同じになるように主筋本数を調整した。

(3) 加力・計測情報

a) 加力形式

複曲率の加力方式では、逆対称変形と逆対称荷重のいずれにも対応できる装置が増えており、制御方法が不明瞭なものもあったが、文中に逆対称変形を示唆する論文が多かった。建研式は逆対称変形と入力した。

(4) 実験データ情報

a) 実験時の破壊モード

文献に記載された終局時の破壊形式を入力した。記載のないもので、実験結果の記述よりデータ入力者が判断したものも含まれており、信頼度の欄に「データ入力者の判断」と記入している。

b) 損傷情報

ひび割れ観測の方法は明記されていないものが多く、サイクルピーク時のみ観測した実験もあると思われる。特に初期曲げひび割れの視認については、発生から遅れた場合についても、文献に記載されている印象があった。

主筋降伏の荷重と変形は、原則として1段筋が降伏した時の値を採用した。

荷重－変形関係のグラフから読み取った値を入力したものもある。

3.4 実験データの定義

3.4.1 実験データの収集方法

梁部材の構造性能実験データベースの収集は、日本建築学会発行の論文報告集、大会学術講演概便集、構造工学論文集、日本コンクリート工学会発行の年次講演会論文集に1976年から2017年までに記載された実験データから抽出した。試験体は、通常仕様の梁を対象としており、次のような試験体は採用しなかった。

- コンクリートに繊維を混入した試験体
- 軽量コンクリート試験体
- 単純梁形式の試験体（地震時荷重と異なる荷重条件による実験）
- 丸鋼を用いた試験体
- 側面に補強部材を後施工したもの
- プレキャストで継手のあるもの ←在来工法と同等以上の性能が要求されているため
- 高強度と普通強度のせん断補強筋が混在しているもの
- せん断補強筋が、梁せいの途中で減じられているもの
- 縮小主筋を用いているもの
- 特殊な補強筋（減衰筋、定着されないひび割れ防止筋、付着割裂補強筋）が用いられているもの
- 有孔梁 ←無開口梁と同等以上の性能が要求されているため
- 主筋が2段階にカットオフされたもの
- ひび割れを補修したもの
- PC梁 ←RC造対象のため
- 再生骨材
- 既往文献のデータベース
- アンボンドPC ←RC造対象のため
- プレストレストRC ←RC造対象のため

3.4.2 曲げ降伏先行型の実験結果の例

代用的な梁の加力実験例として、文献[3-14]で行った試験体 BL-22 の結果を示す。図 3.4.1 に荷重変形関係を、図 3.4.2 に最終破壊状況を示す。正加力側の骨格曲線に着目すると、部材角 $R=1/400(\text{rad})$ 時には梁端部に曲げひび割れが発生しており、剛性低下が確認できる。部材角 $R=1/200(\text{rad})$ 時に、梁端部の危険断面位置で梁主筋が降伏ひずみに達し、部材角 $R=1/100(\text{rad})$ で最大耐力となった。最大耐力後は、変形の増加に伴って梁端部コンクリートの損傷が伸展し、曲げひび割れおよび曲げせん断ひび割れ幅が拡幅し、荷重が徐々に低下した。いわゆる、曲げ降伏後のせん断破壊に至ったと判断される。図 3.4.1 の破線のように補間して骨格曲線を作成した場合、最大耐力の80%以下に荷重が低下したのは、部材角が $R=1/23(\text{rad})=4.43\%$ の時であった。

曲げ降伏後の付着破壊の例として、図 3.4.3 に荷重変形関係を、図 3.4.4 に最終破壊状況を示す。この実験データは、梁上部が f_c30 、梁下部が f_c60 の梁部材データである。部材角 $R=0.008(\text{rad})$ 前後で梁主筋降伏が確認されたのちに最大耐力となった。その後、部材角 $R=0.033(\text{rad})$ を超えたあたりで、梁上端筋周辺の付着割裂ひび割れ幅が拡幅して荷重が低下し、曲げ降伏後の付着破壊になった。

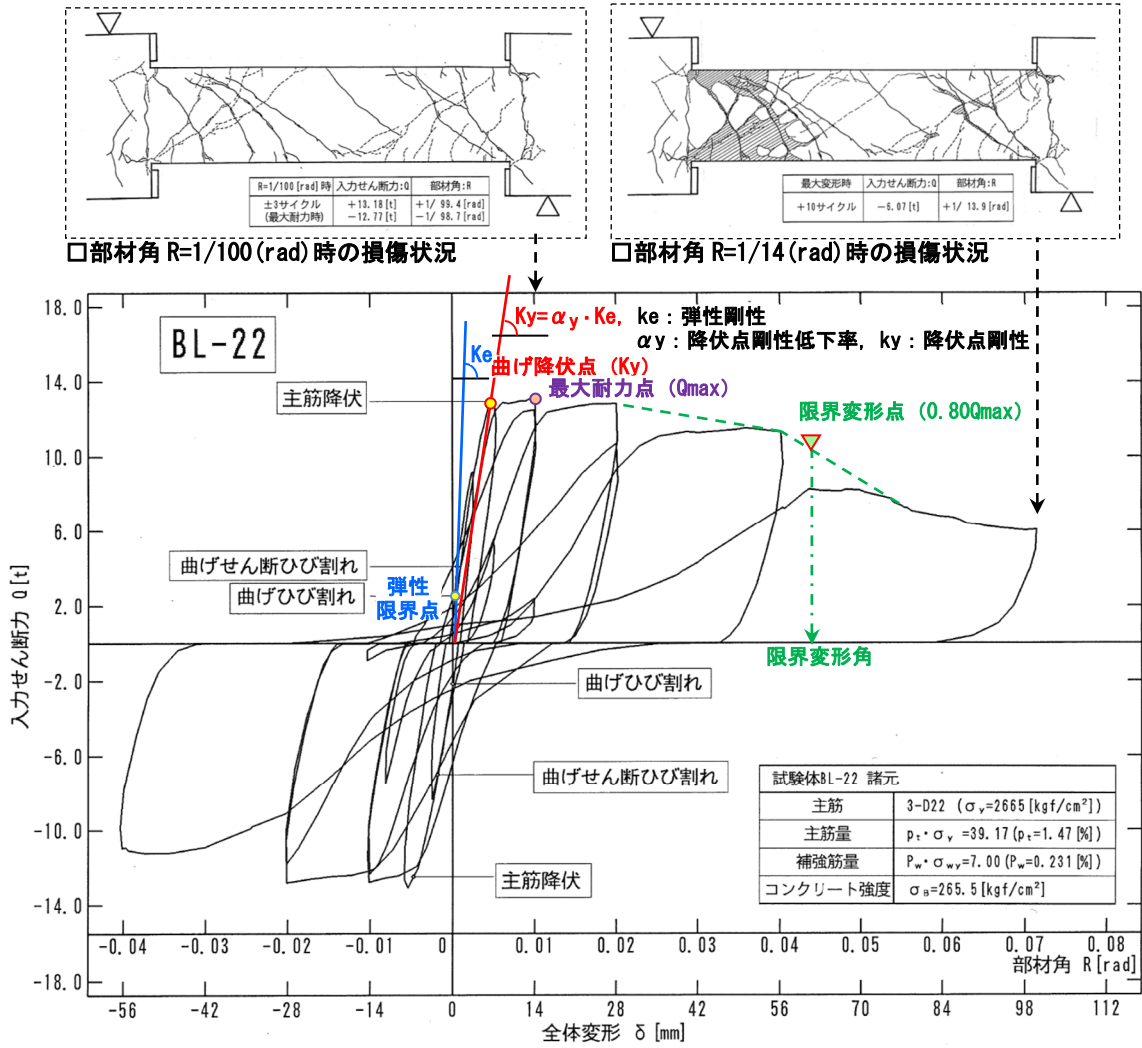


図 3.4.1 曲げ降伏先行型（曲げ降伏後のせん断破壊）の RC 梁部材の荷重—変形関係^[3-13]



図 3.4.2 曲げ降伏後のせん断破壊に至った梁部材 (BL-22) の最終破壊状況

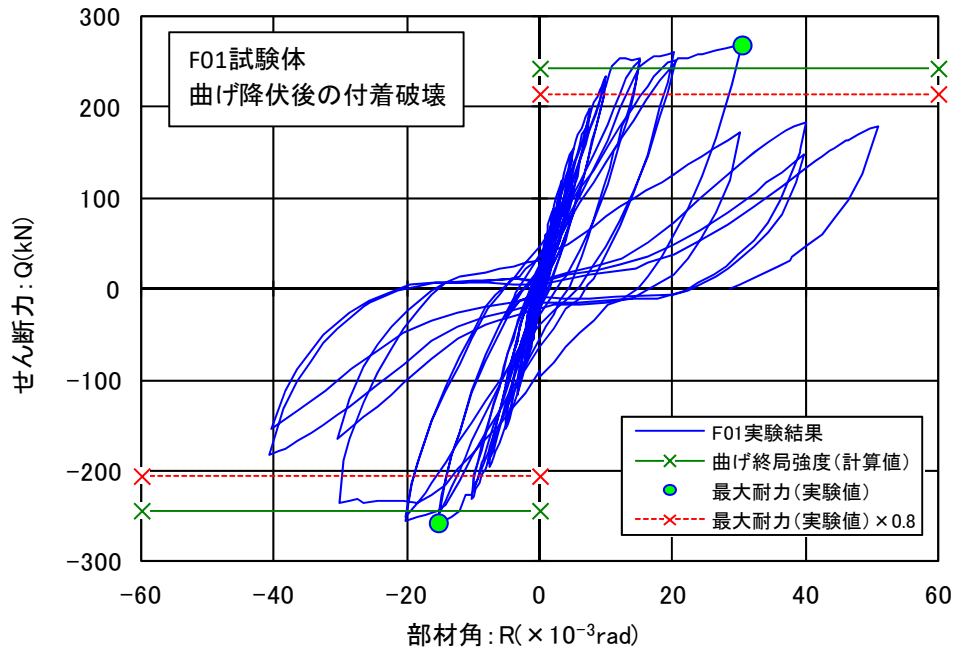


図 3.4.3 曲げ降伏先行型（曲げ降伏後の付着破壊）の RC 梁部材の荷重—変形関係

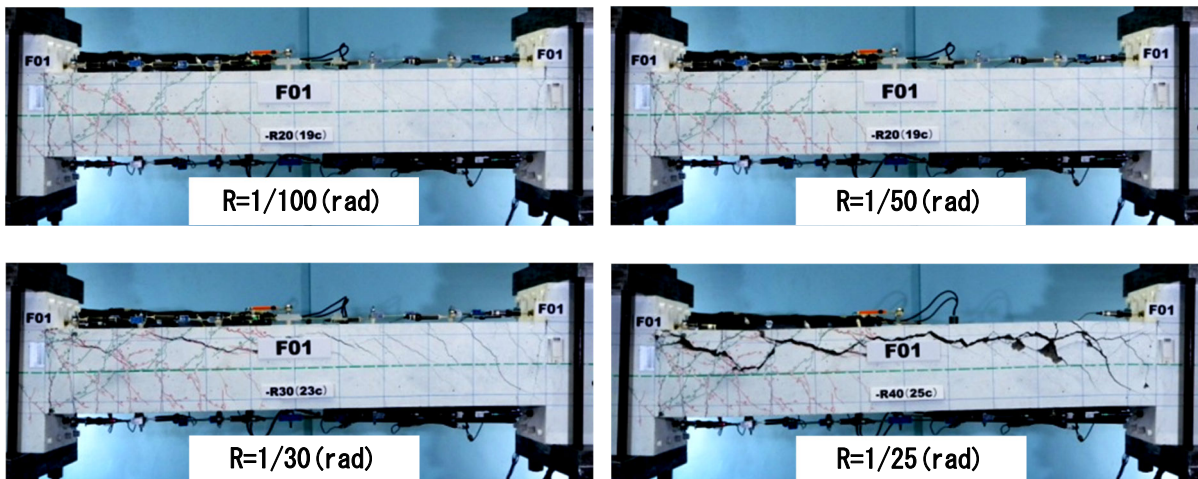


図 3.4.3 曲げ降伏後の付着破壊に至った梁部材の最終破壊状況

3.4.3 荷重変形関係の特性値

梁部材の破壊形式を、曲げ降伏後のせん断破壊および付着破壊、曲げ降伏前のせん断破壊および付着破壊、並びに曲げ破壊に分類した。

- ① せん断破壊 (曲げ降伏前のせん断破壊)
- ② 付着破壊 (曲げ降伏前の付着破壊)
- ③ 曲げ・せん断破壊 (曲げ降伏後のせん断破壊)
- ④ 曲げ・付着破壊 (曲げ降伏後の付着破壊)
- ⑤ 曲げ破壊 (曲げ破壊など)

また、曲げ降伏する③④⑤を曲げ降伏先行型とした。

荷重変形関係をモデル化する際、骨格曲線の主要な特性点を4つ定義する。

1) 弾性限界点 (曲げひび割れ点)

曲げひび割れが発生した点であり、この時点の割線剛性を弾性剛性とする。実験値は、初期曲げひび割れが視認された点とする。実験データに弾性剛性の記載がある場合や、曲げひび割れ発生時の強度が記されている場合は、グラフ上から変形(部材角)を読み取ったものもある。モデルでは第1折点となる。

2) 曲げ降伏点 (主筋降伏点)

主筋が降伏した点である。2段配筋で、1段筋と2段筋の降伏が記されている場合は、原則として1段筋降伏を降伏点として定義した。モデルでは第2折点となる。

3) 最大耐力点

最大耐力となった点。4折線モデルの場合は第3折点となる。

4) 限界変形点

部材としての性能を保持し得る限界点で、既往の研究^{例えば[3-8]}に準じ、最大耐力の80%まで耐力が低下した時の点と定義した。

第3章 梁部材

3.5 評価式とその精度

3.5.1 対象データ

収集したデータのうち、次の試験体を評価式の精度検証に用いた。

コンクリート強度： $18.0 \leq \sigma_B \leq 60.0 \text{ N/mm}^2$

3.5.2 曲げひび割れ強度

a. 曲げひび割れ強度

「建築物の構造関係技術基準解説書」^[3-9]において示されている次式によって算定する。なお、曲げひび割れ強度式は RC 規準^[3-10]に準じている。

曲げひび割れ強度 M_{cr} は、(3.5.1)式によることができる。

$$M_{cr} = 0.56\sqrt{F_c} Z_e \text{ (N}\cdot\text{mm)} \quad (3.5.1)$$

F_c : コンクリートの設計基準強度 (N/mm²) ここでは材料試験データを用いる

Z_e : 鉄筋を考慮した断面係数 (mm³)

なお、RC 規準 (2018) ^[3-10]によると、この式における適用範囲は $\sigma_B=18\sim60\text{N/mm}^2$ としている。

b. 実験値と計算値の比較

曲げひび割れ強度の実験値と計算値(3.5.1)式との比較を、図 3.5.1 および表 3.5.1 に示す。表には、実験値／計算値の試験体数、平均値、変動係数、最大値、最小値および±30%以内の試験体数を示しており、破壊型ごとの比較も行っている。曲げ降伏先行型は、曲げ破壊型、曲げ・せん断破壊型、曲げ・付着破壊型である。

表 3.5.1 曲げひび割れ強度（実験値／計算値）に関する統計データ

曲げひび割れ（実験値／計算値）データ						
破壊型	試験体数	平均	変動係数	最大	最小	±30%以内
曲げ降伏先行	49	1.04	0.41	2.21	0.21	29
せん断	23	0.93	0.61	2.52	0.35	7
付着	7	1.72	0.55	2.78	0.42	1
全体	79	1.07	0.54	2.78	0.21	37

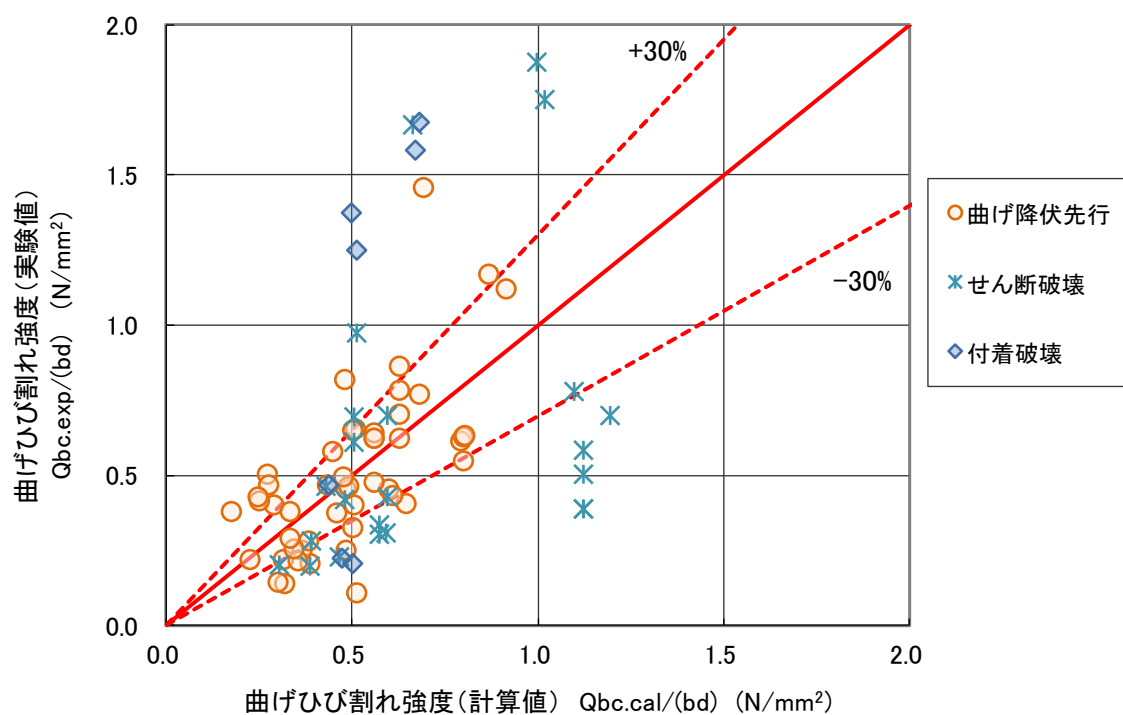


図 3.5.1 曲げひび割れ強度の実験値と計算値の比較

c. 実験値／計算値の影響因子分析

図 3.5.2 から図 3.5.5 に、曲げひび割れ強度（実験値／計算値）とコンクリート強度，せん断スパン比，引張鉄筋比関係およびせん断補強筋比関係を示す。

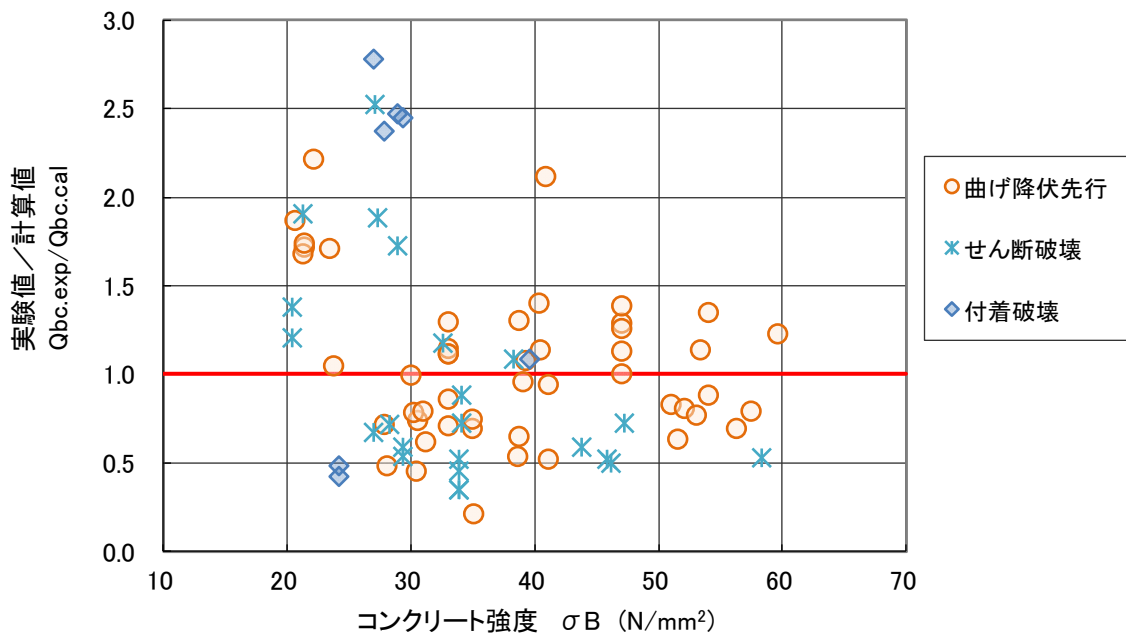


図 3.5.2 曲げひび割れ強度（実験値／計算値）－コンクリート強度関係

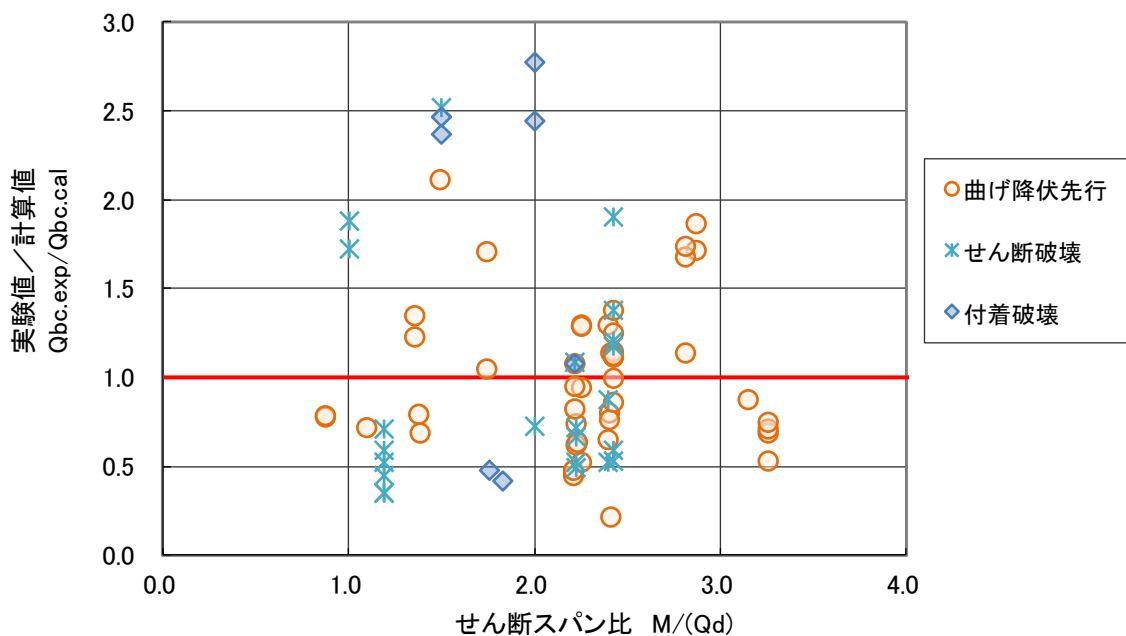


図 3.5.3 曲げひび割れ強度（実験値／計算値）－せん断スパン比関係

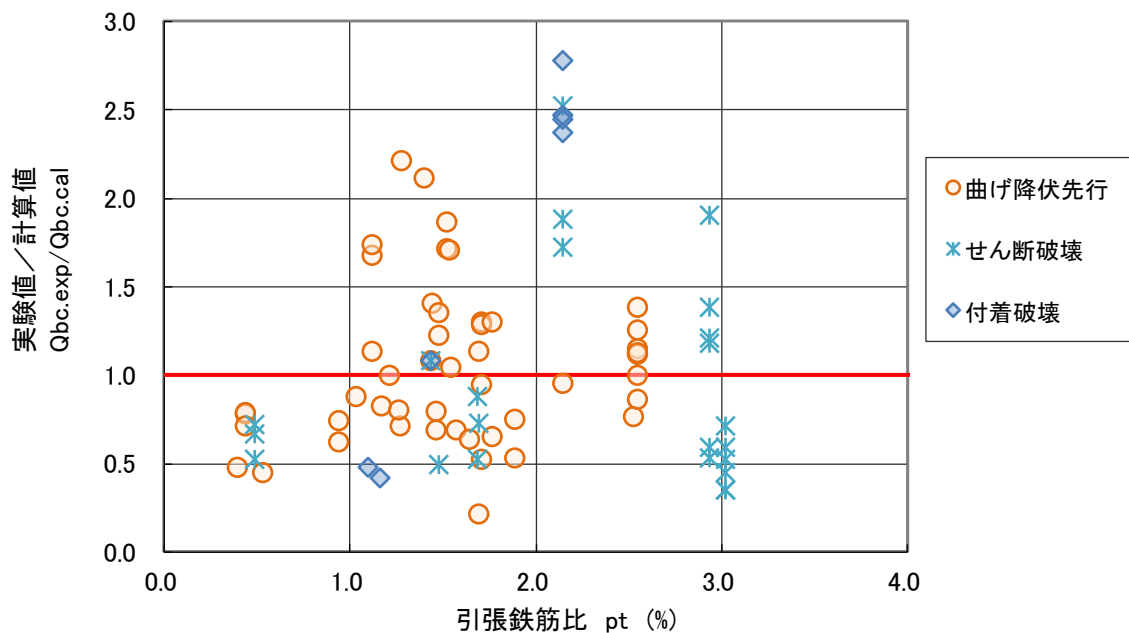


図 3.5.4 曲げひび割れ強度（実験値／計算値）－引張鉄筋比関係

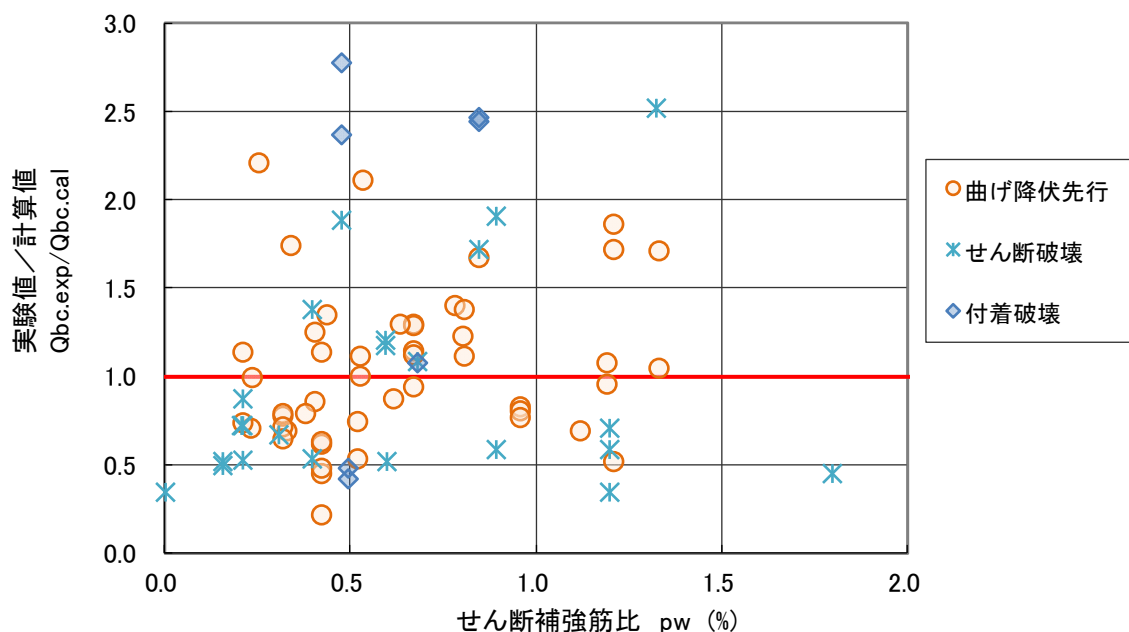


図 3.5.5 曲げひび割れ強度（実験値／計算値）－せん断補強筋比関係

d. 考察

対象試験体数 79 体、実験値／計算値は平均値 1.07、変動係数 0.54、±30%以内の試験体は 37 体で、ばらつきが大きい。ばらつきの原因は、初期ひび割れの視認の遅れ、加力前に発生するひび割れなどの影響が考えられる。実験値／計算値とコンクリート強度の関係では、30N/mm²以下で（実験値／計算値）が高めとなる傾向が見られたが、他のパラメータとの相関は見られなかった。

第3章 梁部材

3.5.3 弾性剛性（弾性限界点）

a. 弾性剛性

弾性剛性の算定は、「建築物の構造関係技術基準解説書」^[3-9]に準じ、曲げ変形とせん断変形を考慮した。

$$K_e = \frac{1}{\frac{1}{K_b} + \frac{1}{K_s}} \quad (kN/mm) \quad (3.5.2)$$

K_e : 梁の弾性剛性 (kN/mm)

K_b : 梁の曲げ剛性 (kN/mm)

K_s : 梁のせん断剛性 (kN/mm)

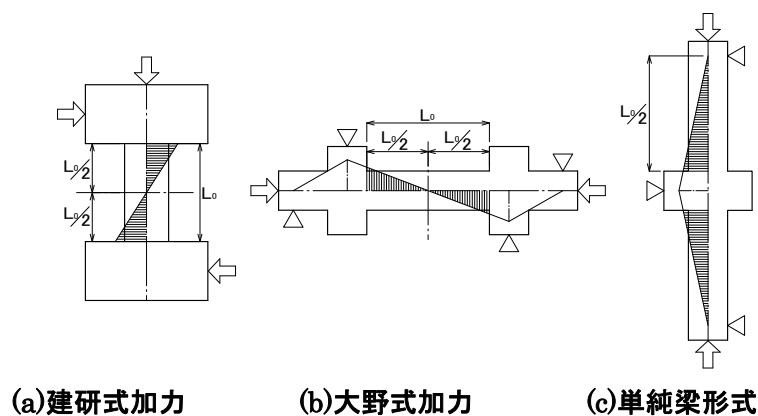


図 3.5.6 各実験方法における曲げモーメント図

ここで曲げ剛性 K_b は、図 3.5.6 の加力方法に対して次のように算出した。

逆対称曲げモーメントの加力形式の場合

$$K_b = \frac{12E_c I_e}{L^3} \quad (kN/mm)$$

片持ち梁の加力形式の場合

$$K_b = \frac{3E_c I_e}{L^3} \quad (kN/mm)$$

とする。

またせん断剛性 K_s は、

$$K_s = \frac{G \cdot A}{\kappa \cdot L} \quad (kN/mm)$$

とする。

E_c : コンクリートのヤング係数 (kN/mm²)

I_e : 鉄筋を考慮した断面二次モーメント(等価断面二次モーメント) (mm⁴)

$$I_e = \frac{BD^3}{12} + X_l(n-1) \left(ag_1^2 + \frac{\pi r^4}{4} \right)$$

B: 柱巾 D: 柱成

X_l : 鉄筋本数 n: ヤング係数比

a: 鉄筋断面積 [mm²]

g_1 : 中立軸から鉄筋までの距離 [mm]

r: 鉄筋の公称半径 [mm]

L: 内法スパン長さ [mm]

G : コンクリートのせん断弾性係数 (kN/mm²)

$$G = \frac{E_c}{2 \cdot (1 + \nu)}$$

ν : コンクリートのポアソン比であり、ここでは $\nu=0.2$ として算定した。厳密にはコンクリート強度に比例すると考えられるが、計算が煩雑となるため、一定値を用いた。

A : 部材の断面積(= $b \times D$) (mm²)

κ : せん断剛性を求める際の形状係数であり、ここでは $\kappa=1.2$ として算定した。

なお、コンクリートのヤング係数 (E_c) について論文に記載がない場合は、RC 規準 (2018) [3-10]を用いて算定した。

$$E = 33500 \times \left(\frac{\gamma}{24} \right) \times \left(\frac{F_c}{60} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (N/mm^2) \quad (F_c \geq 36 N/mm^2)$$

γ : コンクリートの気乾単位体積重量(kN/m³), RC 規準 (2018) [3-10]に従って算定した。

b. 実験値と計算値の比較

弾性剛性の実験値と計算値(3.5.2)式との比較を、図 3.5.7 および表 3.5.2 に示す。表には、実験値／計算値の試験体数、平均値、変動係数、最大値、最小値および±30%以内の試験体数を示しており、破壊型ごとの比較も行っている。実験値は、初期曲げひび割れ時の荷重と変形の値から算出している。曲げ降伏先行型は、曲げ破壊型、曲げ・せん断破壊型、曲げ・付着破壊型である。

表 3.5.2 弾性剛性（実験値／計算値）に関する統計データ

弾性剛性（実験値／計算値）データ						
破壊型	試験体数	平均	変動係数	最大	最小	±30%以内
曲げ降伏先行	26	0.39	0.45	0.83	0.16	2
せん断	10	0.69	0.46	1.15	0.18	5
付着	1	0.17	0.00	0.17	0.17	0
全体	37	0.46	0.56	1.15	0.16	7

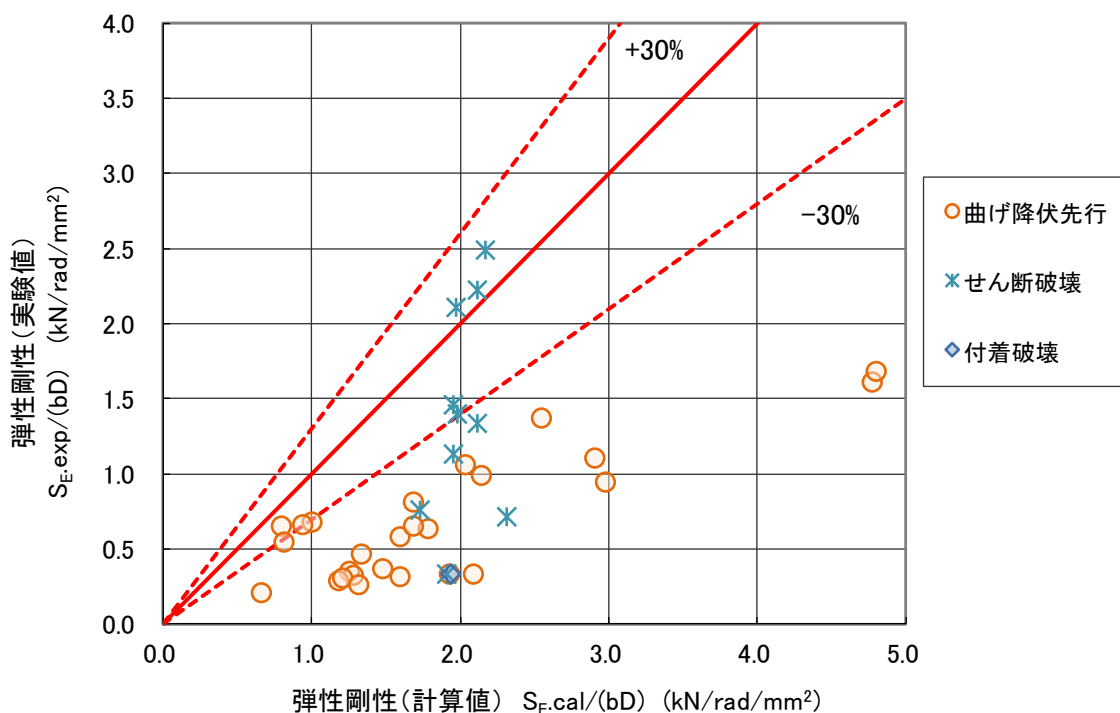


図 3.5.7 弾性剛性の実験値と計算値の関係

c. 実験値／計算値の影響因子分析

図 3.5.8 から図 3.5.11 に、弾性剛性（実験値／計算値）とコンクリート強度，せん断スパン比，引張鉄筋比およびせん断補強筋比関係を示す。

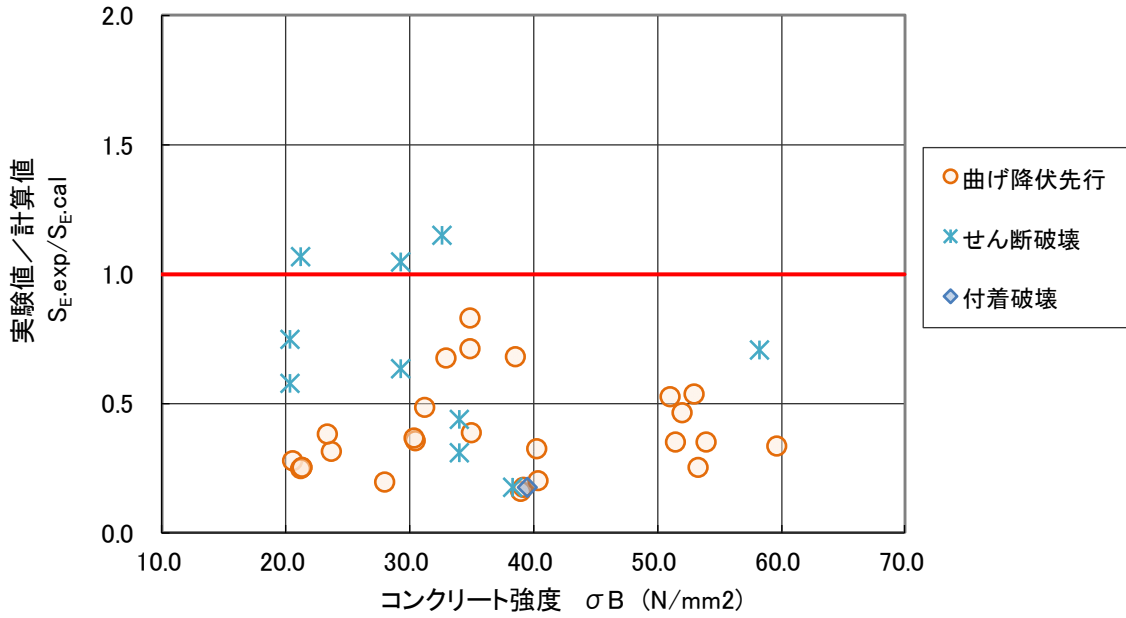


図 3.5.8 弾性剛性（実験値／計算値）－コンクリート強度関係

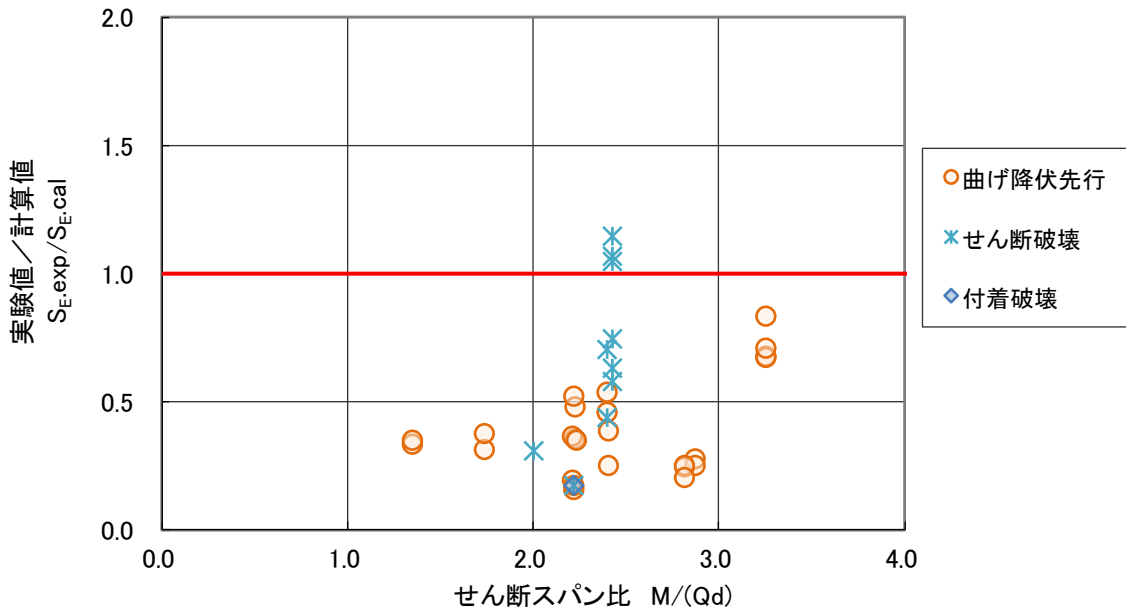


図 3.5.9 弾性剛性（実験値／計算値）－せん断スパン比関係

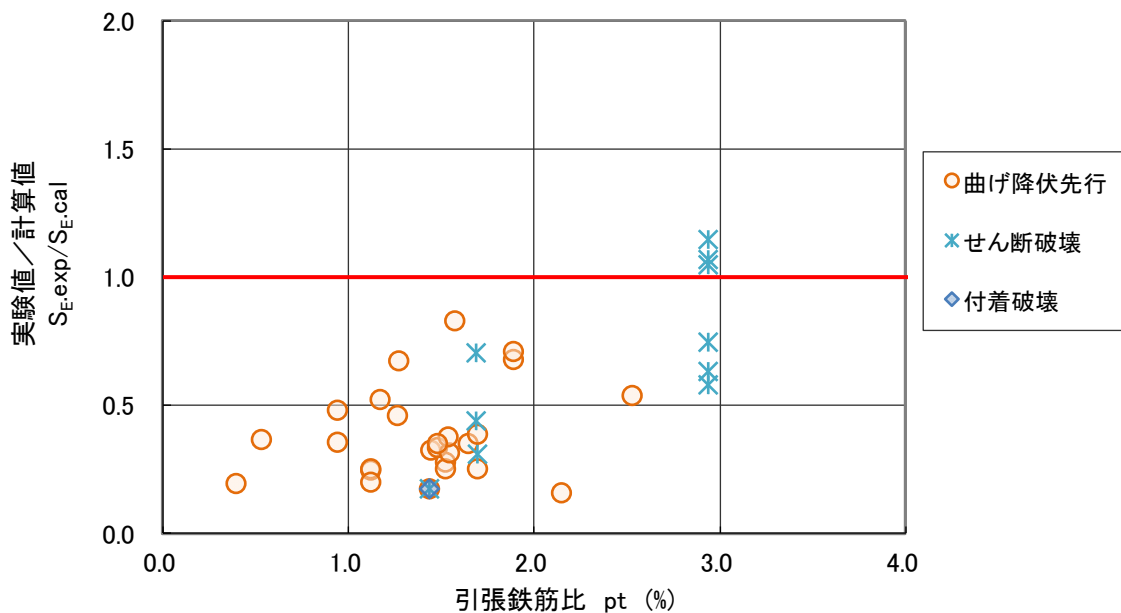


図 3.5.10 弾性剛性（実験値／計算値）－引張鉄筋比関係

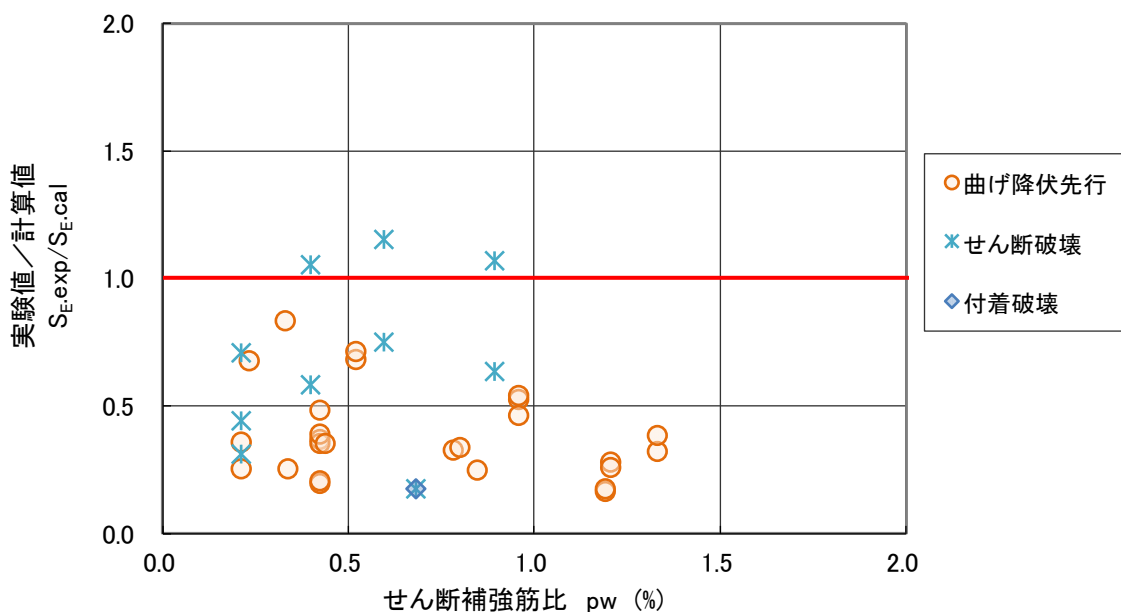


図 3.5.11 弾性剛性（実験値／計算値）－せん断補強筋比関係

d. 考察

対象試験体数 37 体、実験値／計算値は平均値 0.46、変動係数 0.56、±30%以内の試験体は 7 体で、実験値は計算値に比べて低く、実験値／計算値のばらつきも大きい。実験値／計算値は、引張鉄筋比が大きいほど高くなる傾向にあり、そのため、曲げ降伏先行型よりもせん断破壊型の試験体のほうが実験値／計算値は高い傾向にある。

3.5.4 せん断ひび割れ強度（基準式）

a. せん断ひび割れ強度（建築物の構造関係技術基準解説書）

せん断ひび割れ強度の算出は、2015年版建築物の構造関係技術基準解説書^[3-9]に従って行った。

$$Q_{su} = \left\{ \frac{0.085k_c(F_c + 500)}{M/(Qd) + 1.7} \right\} bj \quad (\text{kgf}) \quad (3.5.3)$$

ここで、

k_c : 部材せいに対する補正係数 ($d > 40\text{cm}$ の時, 0.72)

F_c : コンクリートの圧縮強度 (kgf/cm^2)

$M/(Q \cdot d)$: シアスパン比

b : 梁幅 (cm)

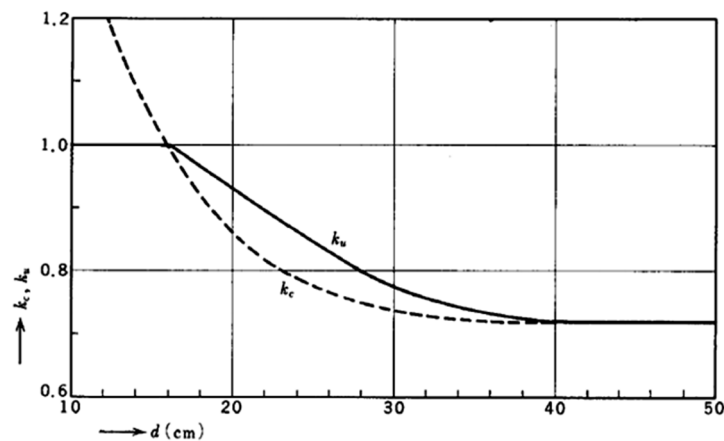
j : 応力中心距離(=7/8d) (cm)

d : 梁の有効せい

この式は、圧縮強度 $36\text{N}/\text{mm}^2$ 程度以下、鉄筋は SD390 級以下の普通強度の材料を用いた部材の実験結果から得られた実験式であり、それらが適用範囲となる。

しかし近年、圧縮強度が $36\text{N}/\text{mm}^2$ を超えるコンクリートを用いた部材の実験データが蓄積されており、日本建築学会「高強度コンクリートの技術の現状」では、圧縮強度が $60\text{N}/\text{mm}^2$ 以下の範囲まで適用可能であるとの検討がなされている。

なお、部材せいに対する補正係数 k_c については、有効せい d との関係を示した下のグラフから $d < 40\text{cm}$ の範囲を主に算出される。



b. 実験値と計算値の比較

せん断ひび割れ強度の実験値と計算値(3.5.3)式との比較を、図 3.5.12 および表 3.5.3 に示す。表には、実験値/計算値の試験体数、平均値、変動係数、最大値、最小値および±30%以内の試験体数を示しており、破壊型ごとの比較も行っている。曲げ降伏先行型は、曲げ破壊型、曲げ・せん断破壊型、曲げ・付着破壊型である。

表 3.5.3 せん断ひび割れ強度 (実験値/計算値) に関する統計データ

せん断ひび割れ強度 (実験値/計算値) データ						
破壊型	試験体数	平均	変動係数	最大	最小	±30%以内
曲げ降伏先行	59	1.12	0.46	3.14	0.41	34
せん断	44	1.05	0.45	2.94	0.27	35
付着	21	0.85	0.15	1.13	0.68	19
全体	124	1.05	0.44	3.14	0.27	88

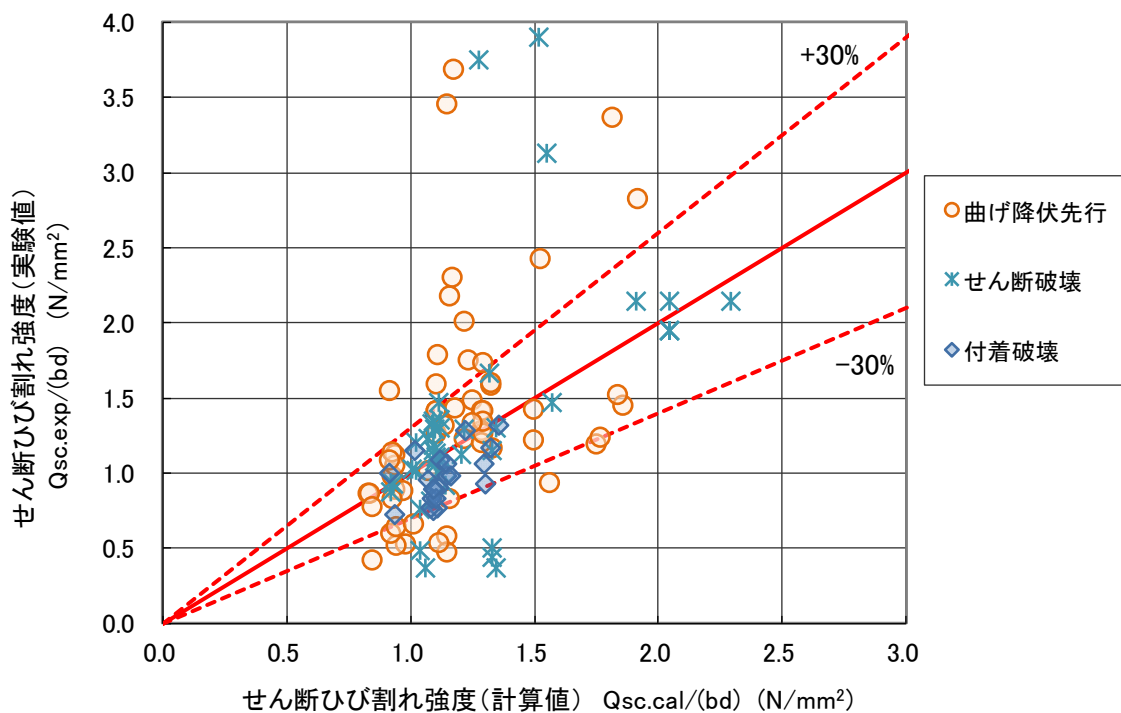


図 3.5.12 せん断ひび割れ強度の実験値と計算値の比較

c. 実験値／計算値の影響因子分析

図 3.5.13 から図 3.5.16 に、せん断ひび割れ強度（実験値／計算値）（基準式）とコンクリート強度，せん断スパン比，引張鉄筋比およびせん断補強筋比関係を示す。

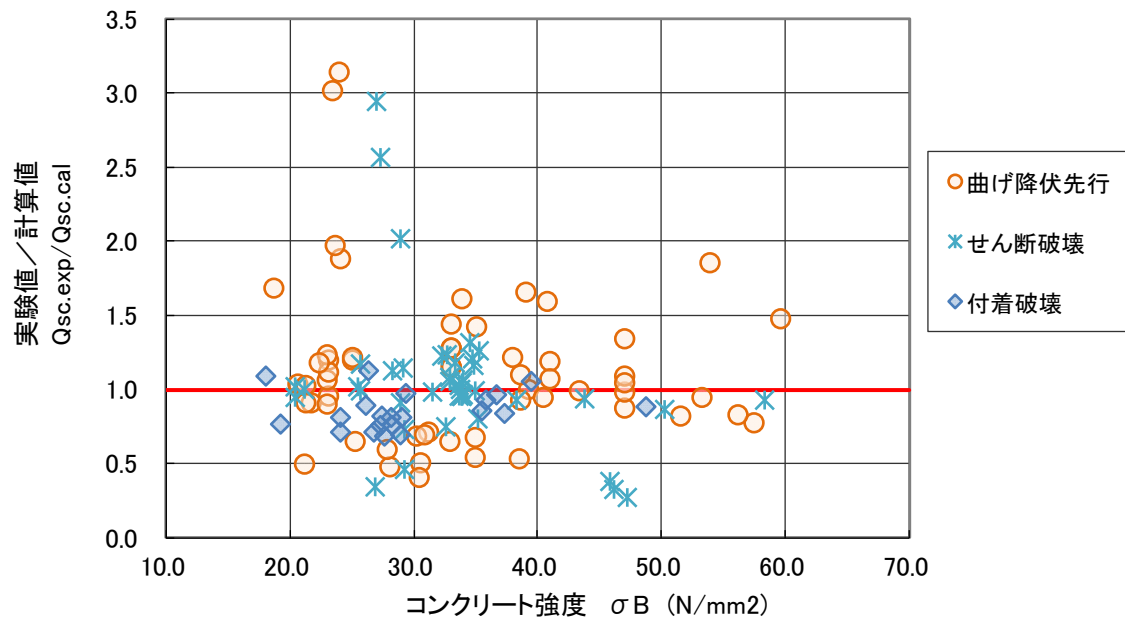


図 3.5.13 せん断ひび割れ強度（実験値／計算値）－コンクリート強度関係

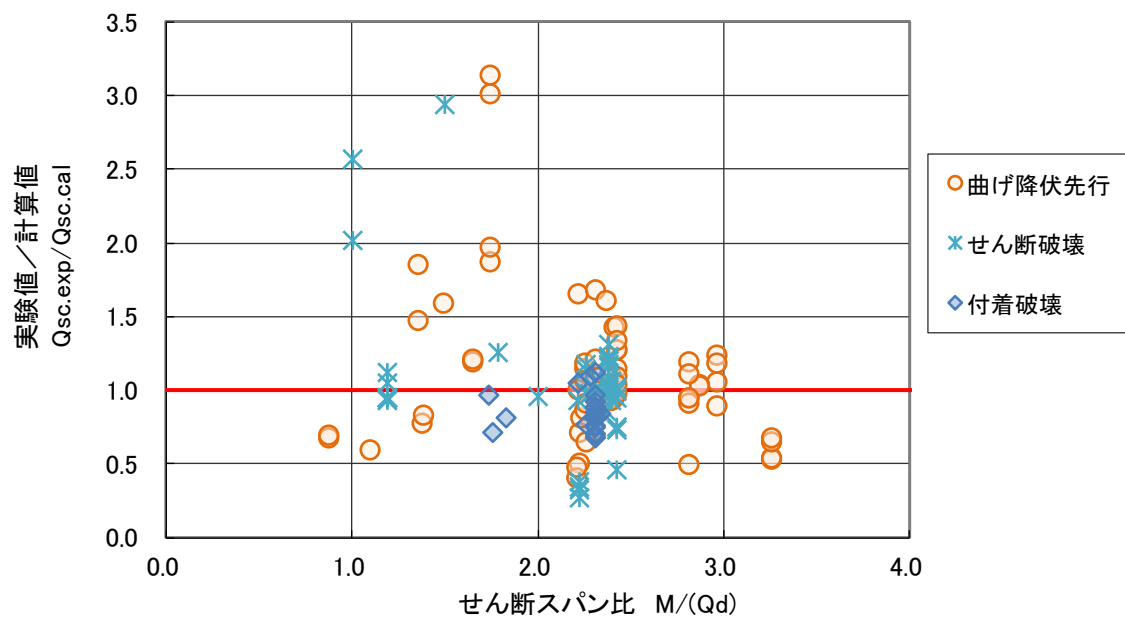


図 3.5.14 せん断ひび割れ強度（実験値／計算値）－せん断スパン比関係

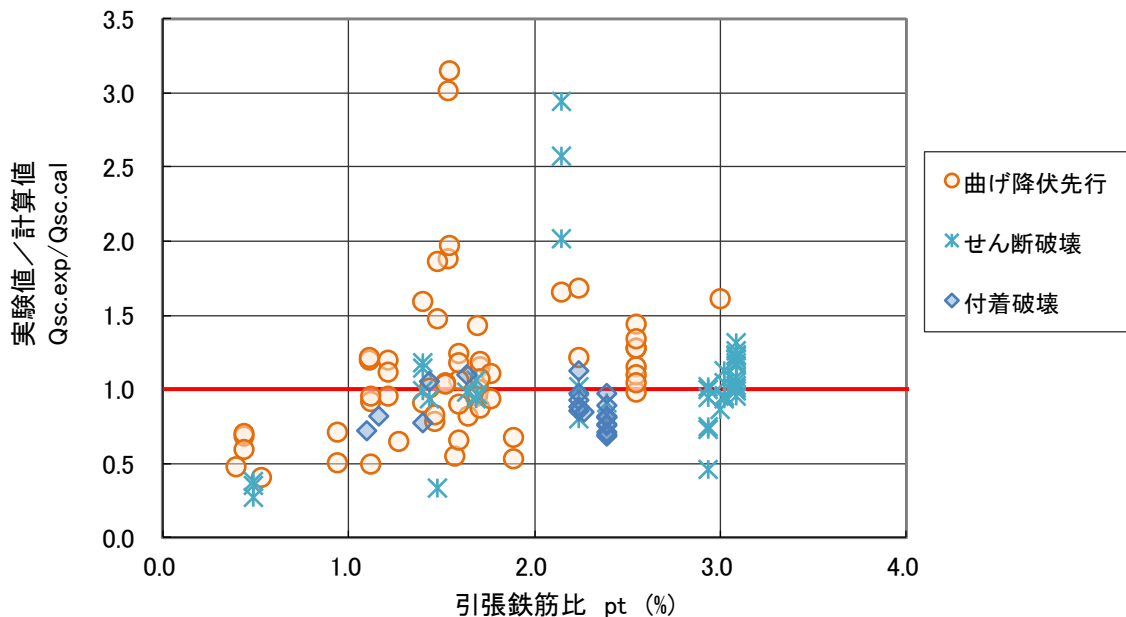


図 3.5.15 せん断ひび割れ強度（実験値／計算値）－引張鉄筋比関係

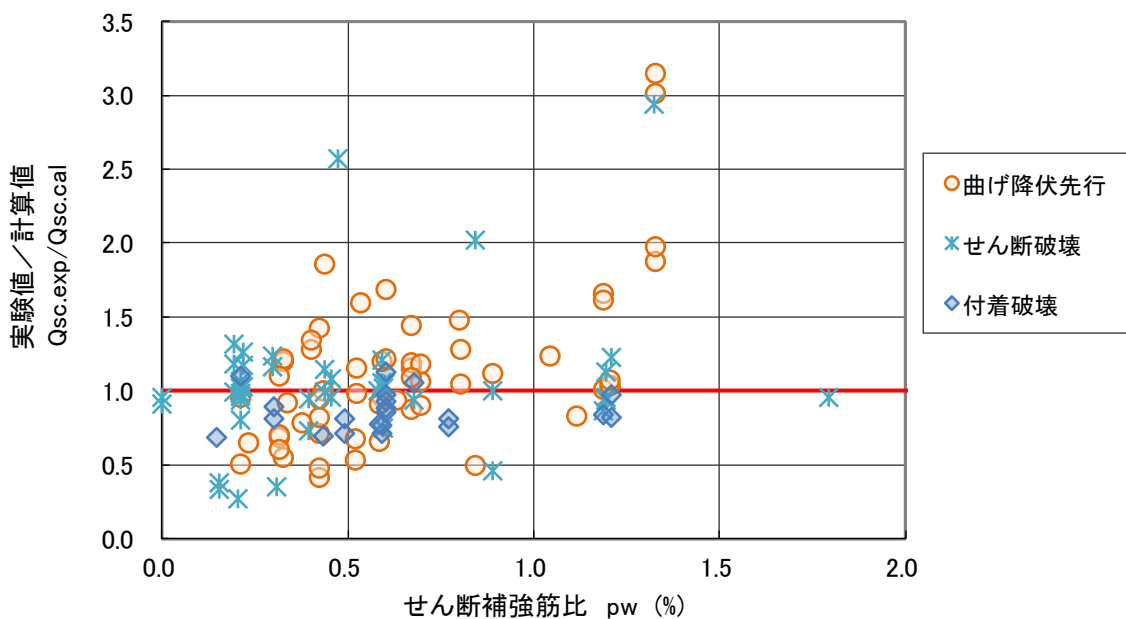


図 3.5.16 せん断ひび割れ強度（実験値／計算値）－せん断補強筋比関係

d. 考察

対象試験体数 124 体、実験値／計算値は平均値 1.05、変動係数 0.44、±30%以内の試験体は 88 体で、計算値に対する実験値のばらつきが大きい。特に、コンクリート強度が低いと、実験値／計算値のばらつきが大きい傾向があった。

3.5.5 せん断ひび割れ強度（靱性指針式）

a. せん断ひび割れ強度（靱性指針式）

せん断割れ強度（靱性指針式）の算出は、靱性指針式^[3-4]に従って行った。

$$V_{cr} = \varphi \cdot (\sqrt{\sigma_T^2 + \sigma_T \cdot \sigma_o}) \cdot b \cdot D / \kappa \quad (\text{N}) \quad (3.5.4)$$

φ : 耐力係数 1.00

σ_T : コンクリートの引張強度 (N/mm²) $\sigma_T = 0.313\sqrt{F_c}$

σ_o : 柱の使用限界変形時の設計用軸方向応力度 (N/mm²)，圧縮を正とする。

$$\sigma_o = \frac{N}{b \cdot D}$$

b : 柱幅 (mm)，D : 柱せい (mm)， κ : 断面形状係数 1.5

b. 実験値と計算値の比較

せん断ひび割れ強度の実験値と計算値(3.5.4)式との比較を、図 3.5.17 および表 3.5.4 に示す。表には、実験値/計算値の試験体数、平均値、変動係数、最大値、最小値および±30%以内の試験体数を示しており、破壊型ごとの比較も行っている。曲げ降伏先行型は、曲げ破壊型、曲げ・せん断破壊型、曲げ・付着破壊型である。

表 3.5.4 せん断ひび割れ強度：靱性指針（実験値/計算値）に関する統計データ

せん断ひび割れ強度：靱性指針（実験値/計算値）データ						
破壊型	試験体数	平均	変動係数	最大	最小	±30%以内
曲げ降伏先行	59	0.94	0.53	2.95	0.33	32
せん断	44	0.93	0.62	3.02	0.22	29
付着	21	0.70	0.15	0.94	0.56	8
全体	124	0.90	0.55	3.02	0.22	69

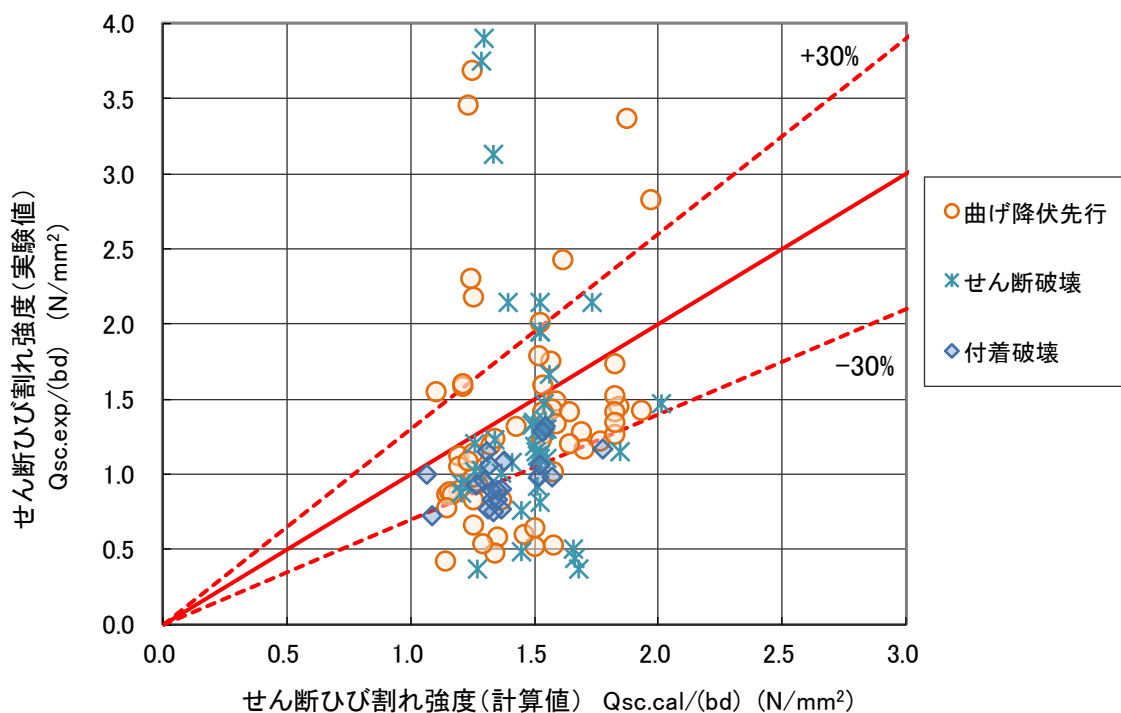


図 3.5.17 せん断ひび割れ強度の実験値と計算値（靱性指針式）の比較

c. 実験値／計算値の影響因子分析

図 3.5.18 から図 3.5.21 に、せん断ひび割れ強度（実験値／計算値）（靱性指針式）とコンクリート強度、せん断スパン比、引張鉄筋比およびせん断補強筋比関係を示す。

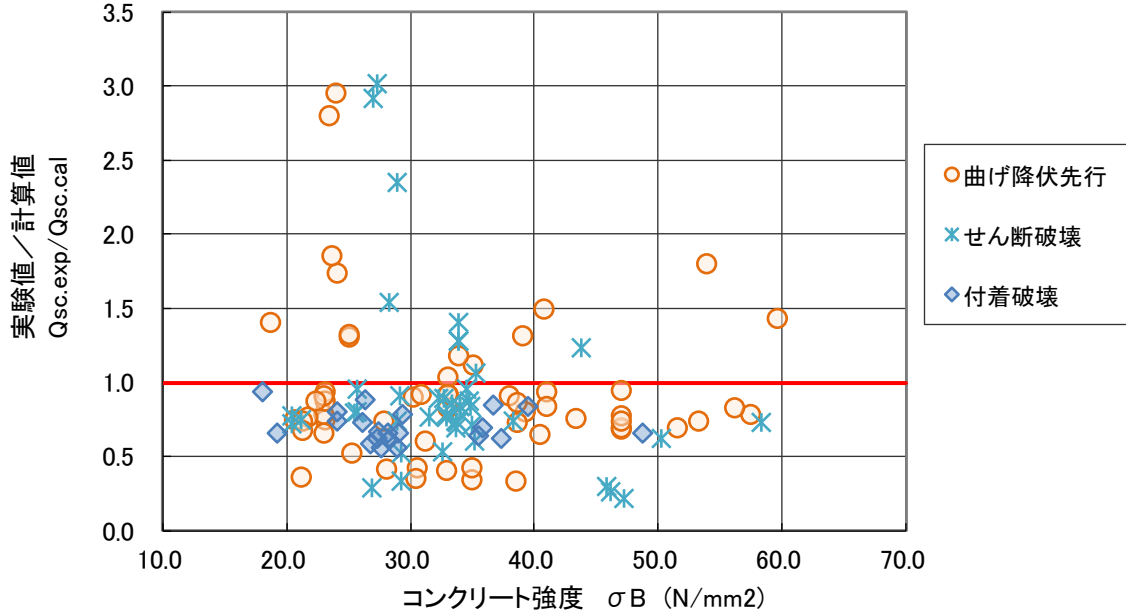


図 3.5.18 せん断ひび割れ強度：靱性指針（実験値／計算値）－コンクリート強度関係

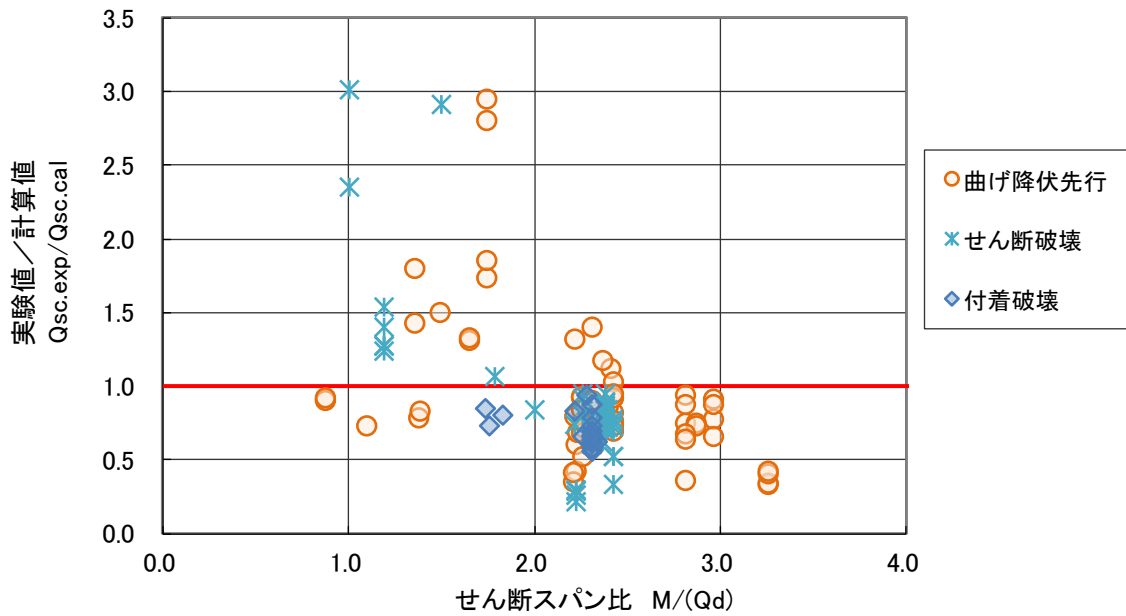


図 3.5.19 せん断ひび割れ強度：靱性指針（実験値／計算値）－せん断スパン比関係

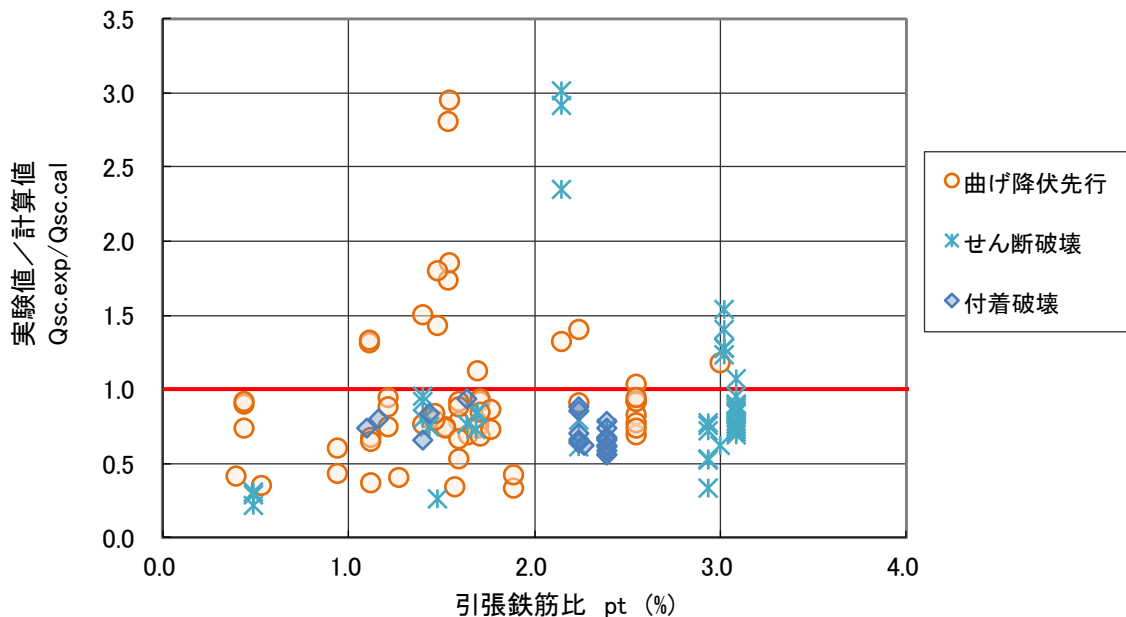


図 3.5.20 せん断ひび割れ強度：靱性指針（実験値／計算値）－引張鉄筋比関係

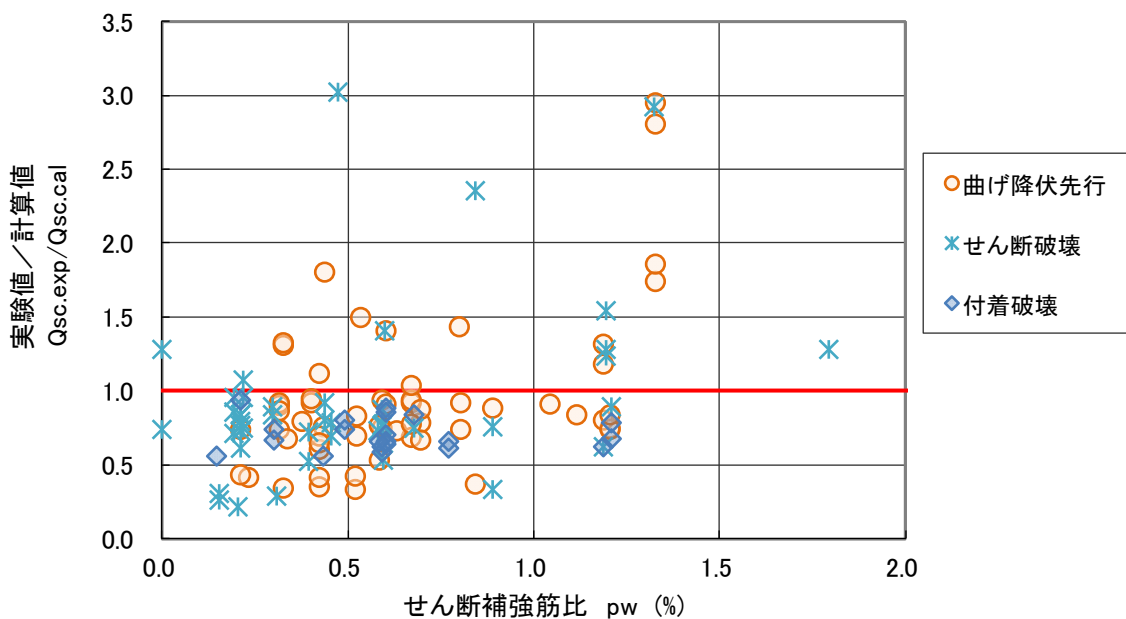


図 3.5.21 せん断ひび割れ強度：靱性指針（実験値／計算値）－せん断補強筋比関係

d. 考察

対象試験体数 124 体、実験値／計算値は平均値 0.90、変動係数 0.55、±30%以内の試験体は 69 体で、計算値が実験値よりもやや高めである。(3.5.3)式のせん断ひび割れ強度式（基準式）に比べてばらつきが大きい。

3.5.6 曲げ終局強度（基準式）

a. 曲げ終局強度（建築物の構造関係技術基準解説書）^[3-9]

曲げ終局強度の検討は、2015年版建築物の構造関係技術基準解説書^[3-9]に従って行った。

$$M_u = 0.9 \cdot \alpha_t \cdot \sigma_y \cdot d \quad (\text{N} \cdot \text{mm}) \quad (3.5.5)$$

α_t : 引張鉄筋断面積 (mm²)

σ_y : 引張鉄筋の降伏強度 (N/mm²)

d : はり有効せい(引張鉄筋が2段に配筋される場合, その重心から圧縮縁までの距離) (mm)

b. 実験値と計算値の比較

曲げ終局強度の実験値と計算値(3.5.5)式との比較を, 図 3.5.22 および表 3.5.5 に示す。表には, 実験値/計算値の試験体数, 平均値, 変動係数, 最大値, 最小値および±30%以内の試験体数を示している。対象は曲げ降伏先行型で, 破壊型ごとの比較も行っている。

表 3.5.5 曲げ終局強度 (実験値/計算値) に関する統計データ (曲げ降伏先行型)

曲げ終局強度 (実験値/計算値) データ						
破壊型	試験体数	平均	変動係数	最大	最小	±30%以内
曲げ	121	1.10	0.10	1.65	0.80	118
曲げ・せん断	34	1.09	0.12	1.35	0.78	33
曲げ・付着	14	1.05	0.06	1.17	0.91	14
全体	169	1.10	0.10	1.65	0.78	165

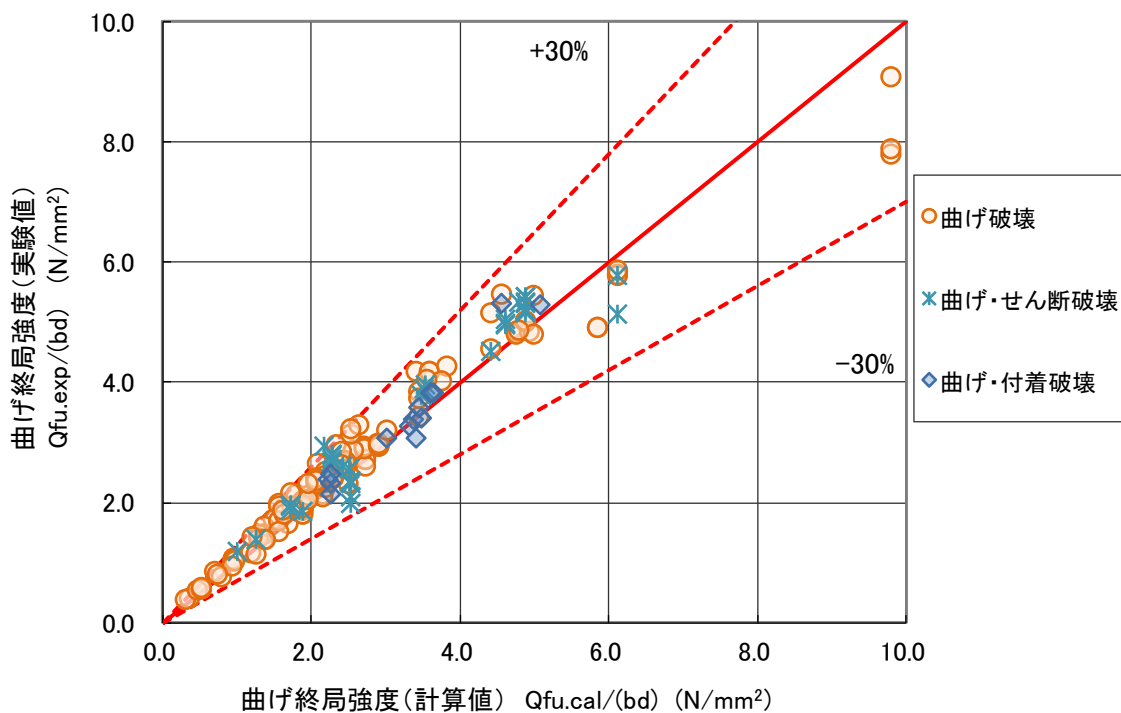


図 3.5.22 曲げ終局強度の実験値と計算値の比較 (曲げ降伏先行型)

c. 実験値／計算値の影響因子分析

図 3.5.23 から図 3.5.26 に、曲げ終局強度（実験値／計算値）とコンクリート強度，せん断スパン比，引張鉄筋比，主筋強度およびせん断補強筋比関係を示す。

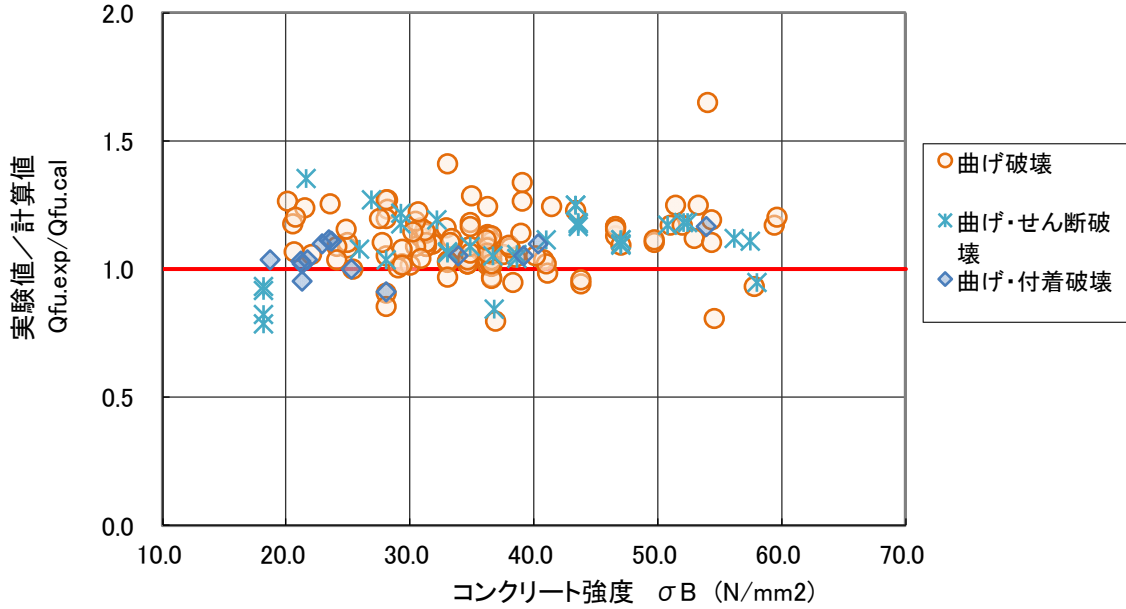


図 3.5.23 曲げ終局強度（実験値／計算値）－コンクリート強度関係（曲げ降伏先行型）

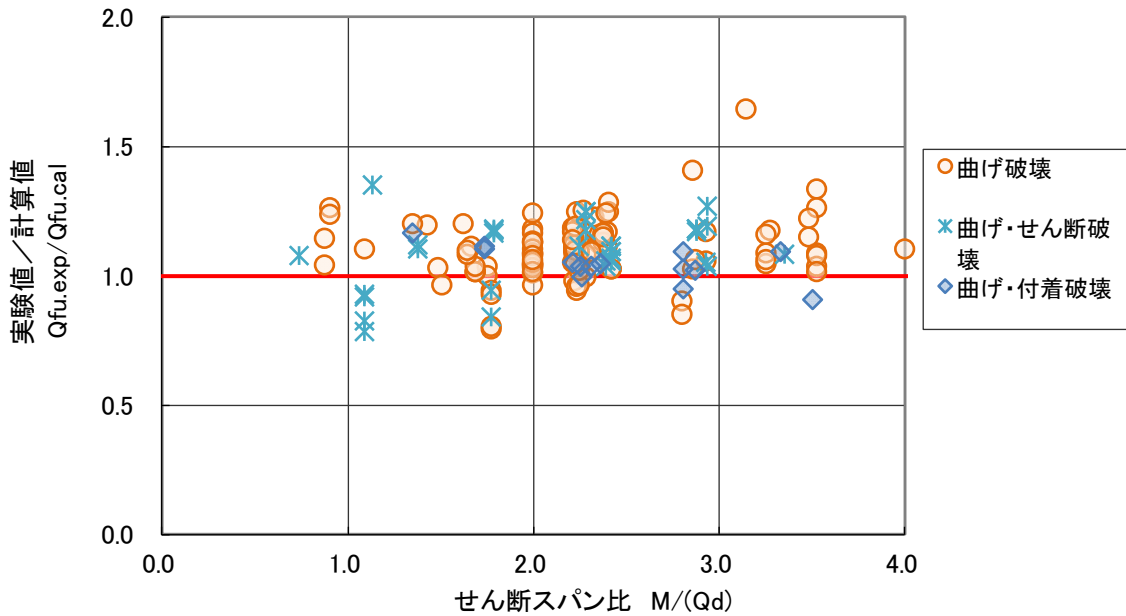


図 3.5.24 曲げ終局強度（実験値／計算値）－せん断スパン比関係（曲げ降伏先行型）

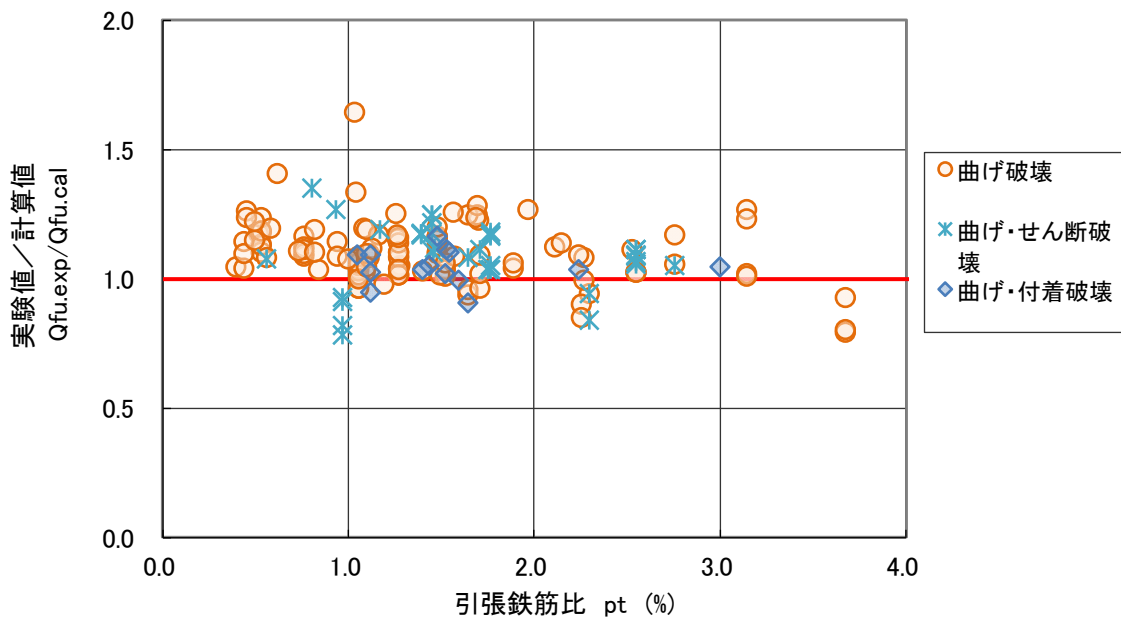


図 3.5.25 曲げ終局強度（実験値／計算値）－引張鉄筋比関係（曲げ降伏先行型）

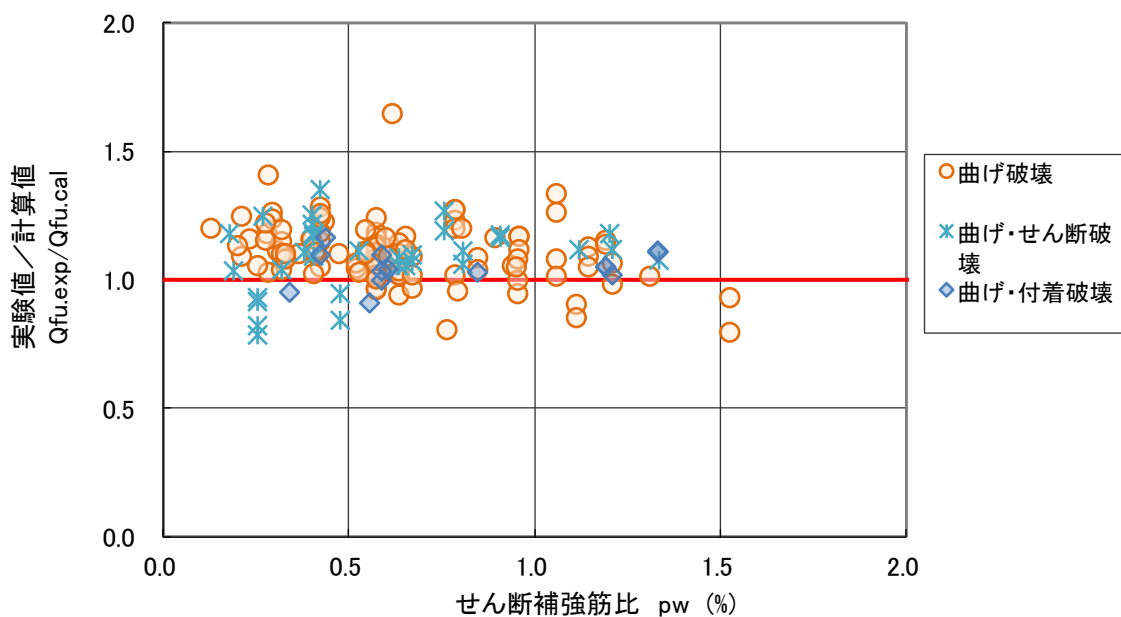


図 3.5.26 曲げ終局強度（実験値／計算値）－せん断補強筋比関係（曲げ降伏先行型）

d. 考察

対象試験体数 169 体、実験値／計算値は平均値 1.10、変動係数 0.10、 $\pm 30\%$ 以内の試験体は 165 体で、計算値の評価精度は高く、ほとんどの試験体で実験値／計算値の値が $\pm 30\%$ 以内となった。

3.5.7 降伏点剛性低下率

a. 降伏点剛性低下率 [3-9], [3-13]

降伏点剛性低下率とは、部材が曲げ降伏に至った時点の原点からの割線剛性と、初期弾性剛性との比を示している。降伏点剛性低下率は、1973年に提案された菅野式^[3-13]が広く適用されている。菅野式では、主筋の降伏によって剛性低下が顕著になり始める点の割線剛性を、コンクリート断面の初期弾性剛性に対する比率として与えている。

(せん断スパン比 (M/QD) 2.0 以上)

$$\alpha_y = (0.043 + 1.64n \cdot p_t + 0.043a/D) \cdot (d/D)^2 \tag{3.5.6}$$

n : ヤング係数比, p_t : 引張鉄筋比

a : シアスパン長さ (mm) $\leq 3.0D$

D : 梁せい (mm), d : 梁の有効せい (mm)

(せん断スパン比 (M/QD) 2.0 未満) $M/QD \geq 1.0$

$$\alpha_y = (-0.0836 + 0.159a/D) \cdot (d/D)^2 \tag{3.5.7}$$

(3.5.6)式は、 $p_t=0.4\sim 2.8\%$ 、 $a/D=2.0\sim 5.0$ の範囲の実験資料を用いた検証結果より、 $\pm 30\%$ の範囲にある資料が全資料の90%であったことが確認されている。 $a/D=1.0\sim 2.0$ の試験体については、(3.5.7)式による計算値と比較した結果、ばらつきは大きい、 $\pm 30\%$ の範囲にある資料が全資料の80%で、(3.5.6)式よりも精度が良かったとされている。

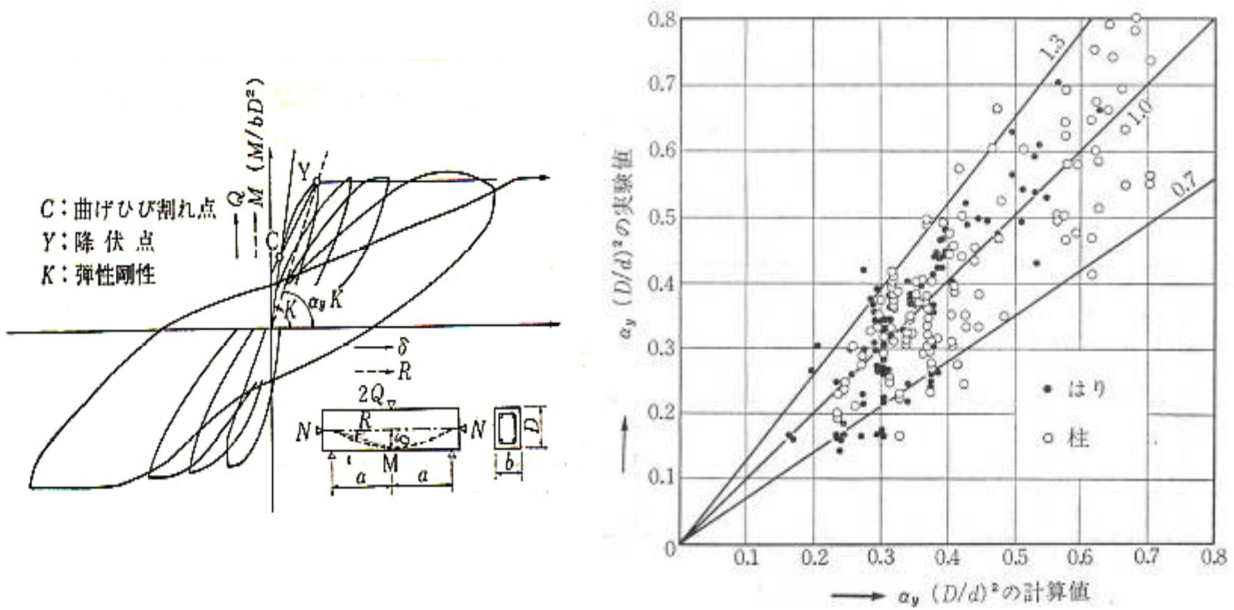


図 3.5.27 菅野式の定義と降伏点剛性と実験値の比較^[3-13]

b. 実験値と計算値の比較

降伏点剛性低下率の実験値と計算値(3.5.6) (3.5.7)式との比較を、図 3.5.28 および表 3.5.6 に示す。表には、実験値／計算値の試験体数、平均値、変動係数、最大値、最小値および±30%以内の試験体数を示している。対象は曲げ降伏先行型で、破壊型ごとの比較も行っている。

実験値は、主筋降伏時の割線剛性を用い、コンクリート断面の初期弾性剛性に対する比率を算出した。2段配筋の試験体については、1段目主筋が降伏した時の割線剛性とした。

表 3.5.6 降伏点剛性低下率（実験値／計算値）の統計値（曲げ降伏先行型）

降伏点剛性低下率（実験値／計算値）データ						
破壊型	試験体数	平均	変動係数	最大	最小	±30%以内
曲げ	21	0.89	0.15	1.20	0.62	19
曲げ・せん断	3	1.15	0.39	1.77	0.69	1
曲げ・付着	3	1.08	0.05	1.14	1.00	3
全体	27	0.94	0.23	1.77	0.62	23

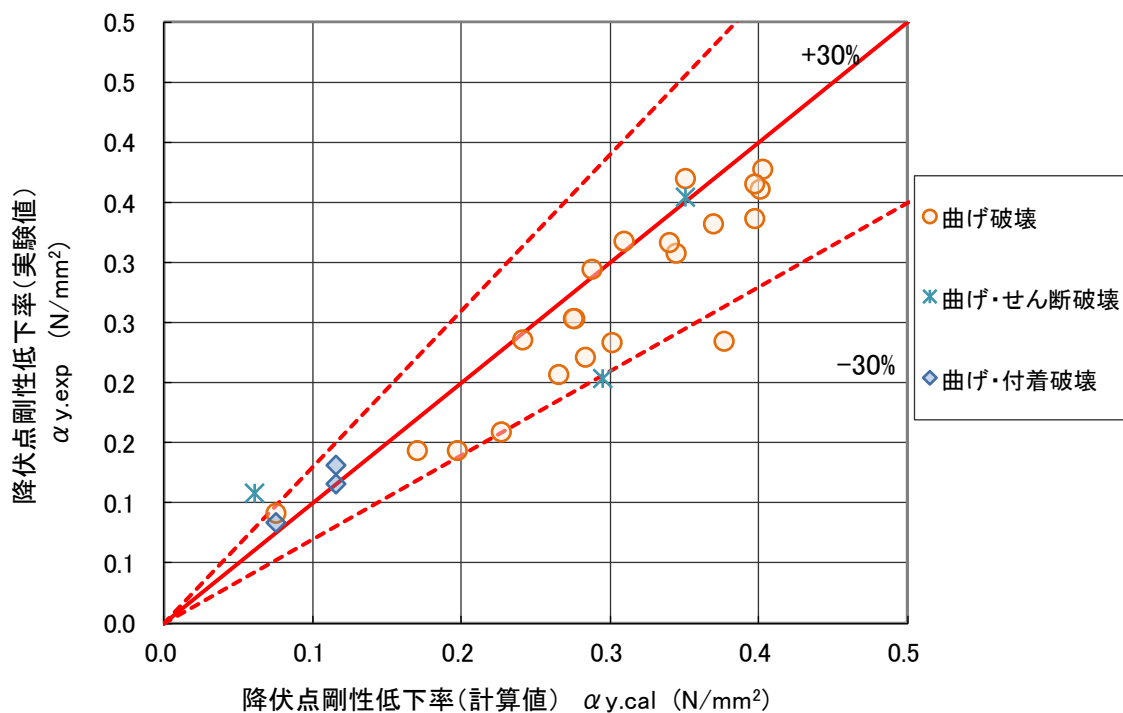


図 3.5.28 降伏点剛性低下率の実験値と計算値の比較（曲げ降伏先行型）

c. 実験値／計算値の影響因子分析

図 3.5.29 から図 3.5.32 に、降伏点剛性低下率（実験値／計算値）とコンクリート強度，せん断スパン比，引張鉄筋比およびせん断補強筋比の関係を示す。

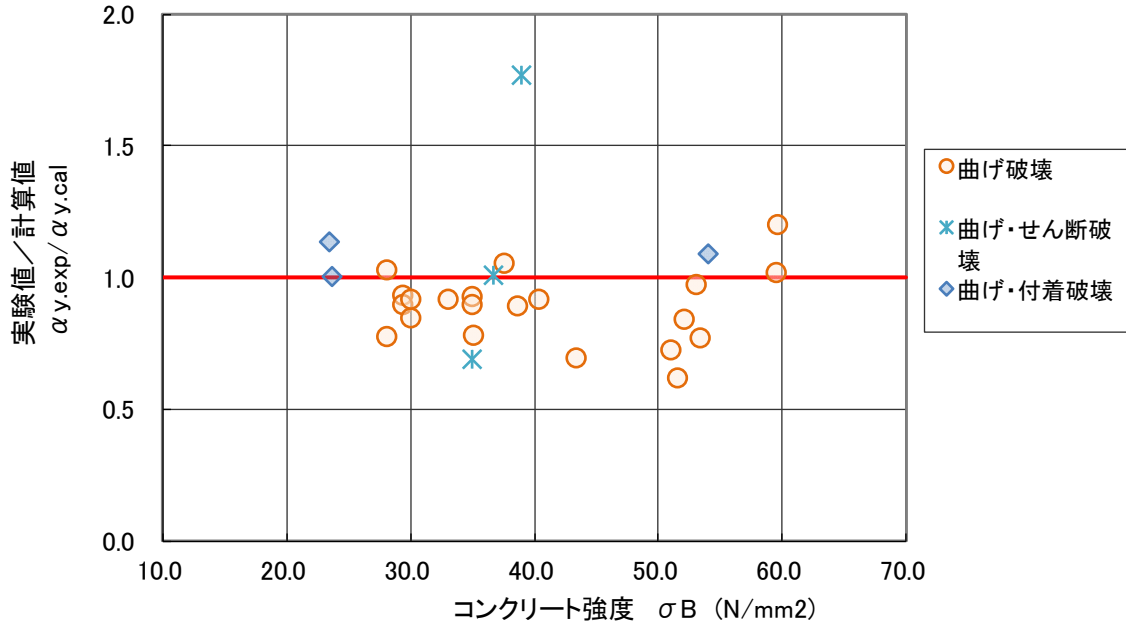


図 3.5.29 降伏点剛性低下率（実験値／計算値）－コンクリート強度関係（曲げ降伏先行型）

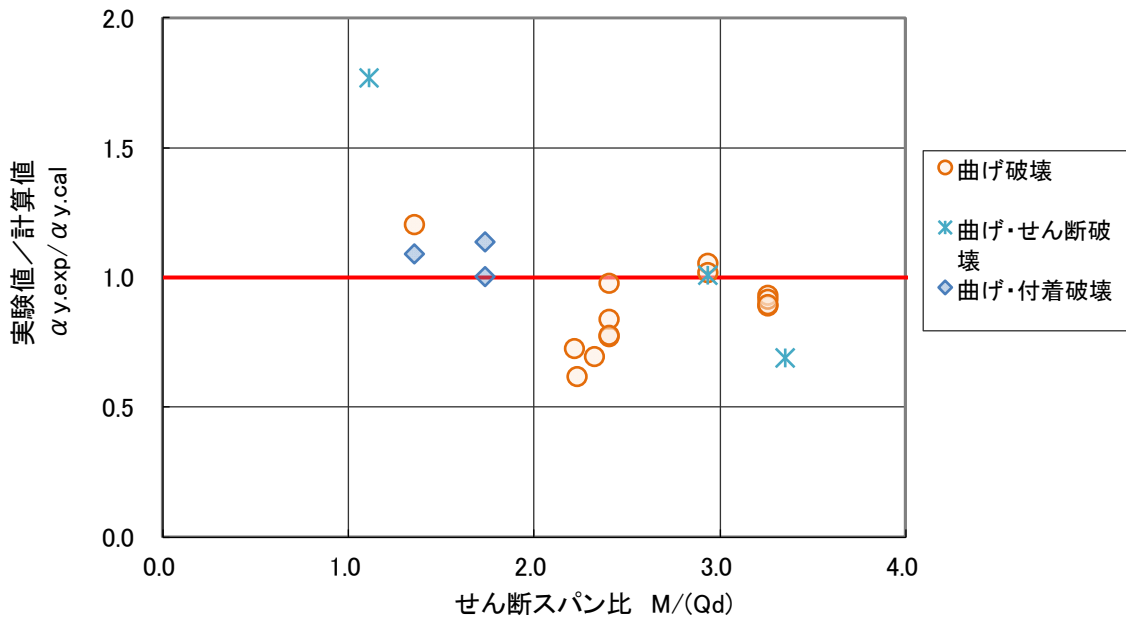


図 3.5.30 降伏点剛性低下率（実験値／計算値）－せん断スパン比関係（曲げ降伏先行型）

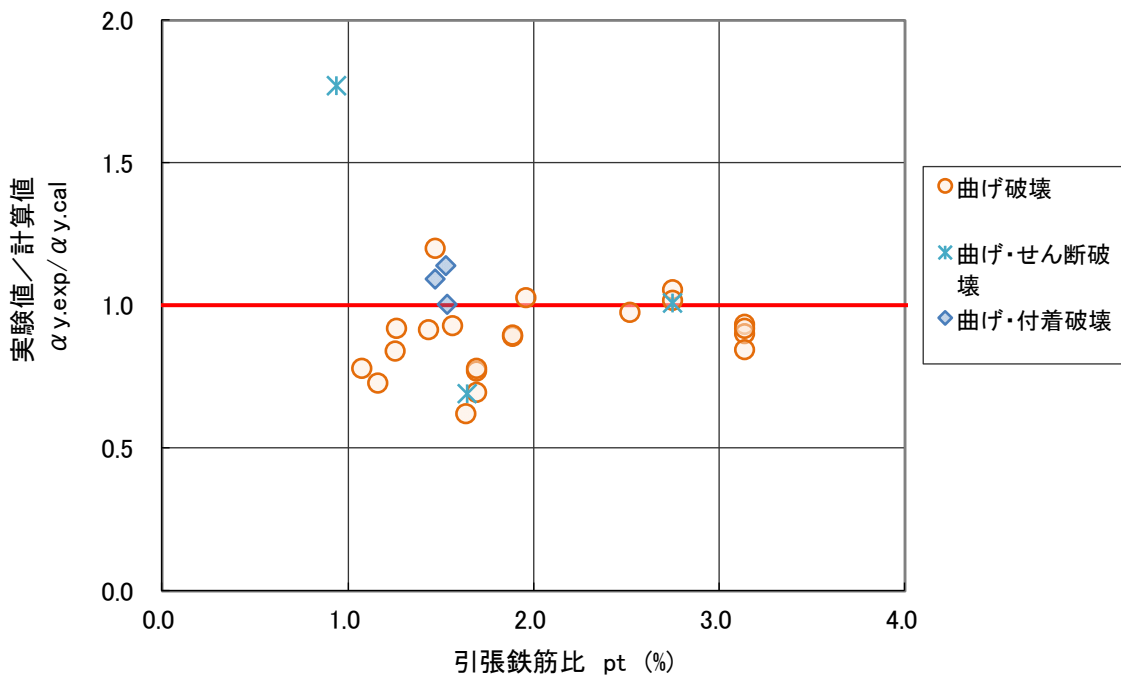


図 3.5.31 降伏点剛性低下率（実験値／計算値）－引張鉄筋比関係（曲げ降伏先行型）

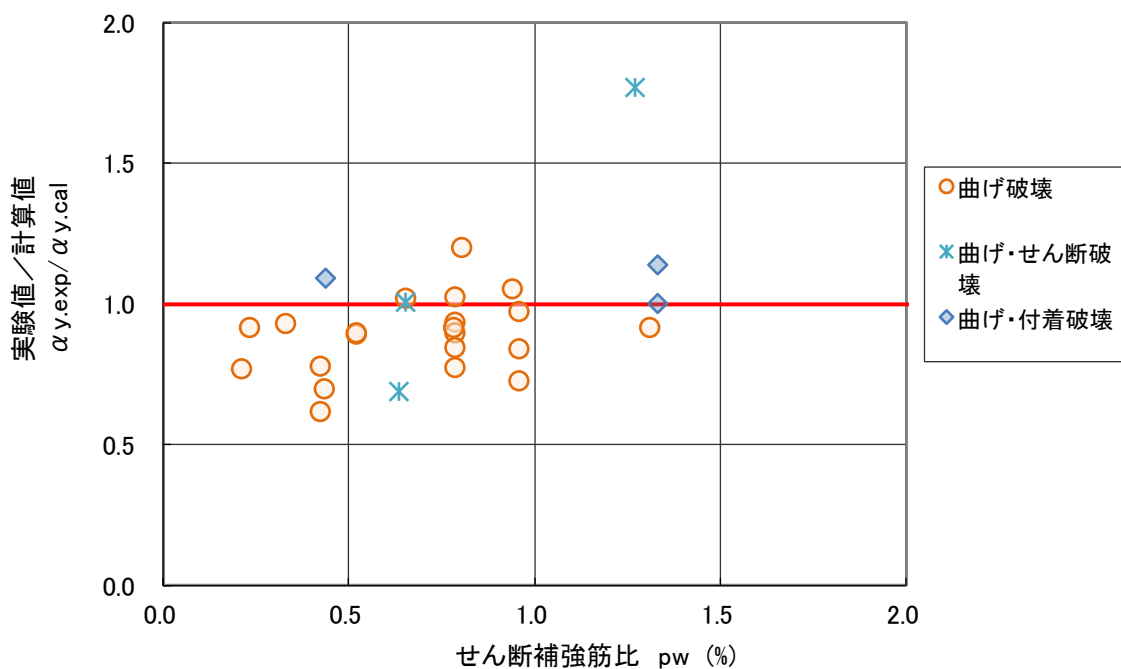


図 3.5.32 降伏点剛性低下率（実験値／計算値）－主筋強度関係（曲げ降伏先行型）

d. 考察

対象試験体数 27 体、実験値／計算値は平均値 0.94、変動係数 0.23、±30%以内の試験体は 23 体で、実験値／計算値は、せん断スパン比が 2.0 以上では低め、2.0 未満では高めな傾向が見られた。

3.5.8 せん断強度（荒川 min 式）

a. せん断強度式（建築物の構造関係技術基準解説書）^[3-9]

せん断強度の計算値は、2015年版建築物の構造関係技術基準解説書^[3-9]の下限式を用いて算出する。

（下限式）

$$Q_{su} = \left\{ \frac{0.053 p_t^{0.23} (F_c + 18)}{M / (Qd) + 0.12} + 0.85 \sqrt{p_w \sigma_{wy}} \right\} b j \quad (\text{N}) \quad (3.5.8)$$

p_t : 引張鉄筋比 (%)

F_c : コンクリートの圧縮強度 (N/mm²)

M/Q : M , Q はそれぞれ終局強度算定時における部材内の最大曲げモーメント及びせん断力（ただし、 $M/(Qd)$ は、 $M/(Qd) < 1$ のとき 1 とし、 $M/(Qd) > 3$ のとき 3 とする）(mm)

d : はり有効せい (mm)。多段配筋梁の有効せいは、引張鉄筋の重心位置からコンクリート圧縮縁までの距離とした。ただし、主筋位置が明記されておらず、有効せいのみ記載された文献については、その有効せいの値を用いた。

p_w : せん断補強筋比 (小数)

σ_{wy} : せん断補強筋の降伏強度 (N/mm²)

b : はり幅 (mm)

j : 応力中心距離(mm)で $7d/8$ としよ。

上記の(3.5.8)式は以下の荒川原式から誘導されている。

$$\tau_{\text{umin}} = \frac{0.092 k_u k_p (180 + \sigma_B)}{\frac{M}{Qd} + 0.12} + 2.7 \sqrt{p_w \sigma_y} \quad (\text{kgf/cm}^2)$$

b. 実験値と計算値の比較

対象はせん断破壊型および付着破壊型の試験体とし、せん断補強筋の無い試験体は除外した。(3.5.8)式による計算値とそれぞれ比較する。

せん断破壊型の実験値との比較

せん断破壊型の試験体について、せん断強度の実験値と計算値(3.5.8)式との比較を、図 3.5.33 および表 3.5.7 に示す。表には、実験値/計算値の試験体数、平均値、変動係数、最大値、最小値および±30%以内の試験体数を示している。引張鉄筋の段数とカットオフ筋の有無を区別した比較も行っている。

表 3.5.7 せん断強度の下限式（実験値/計算値）に関する統計データ（せん断破壊型）

せん断強度の下限式（実験値/計算値）データ						
配筋	試験体数	平均	変動係数	最大	最小	±30%以内
1 段配筋 (全通し筋)	25	1.39	0.16	1.72	0.88	9
2 段配筋 (全通し筋)	61	1.71	0.22	2.55	1.05	9
2 段配筋 (含カットオフ)	2	1.86	0.07	1.99	1.72	0
全体	88	1.62	0.23	2.55	0.88	18

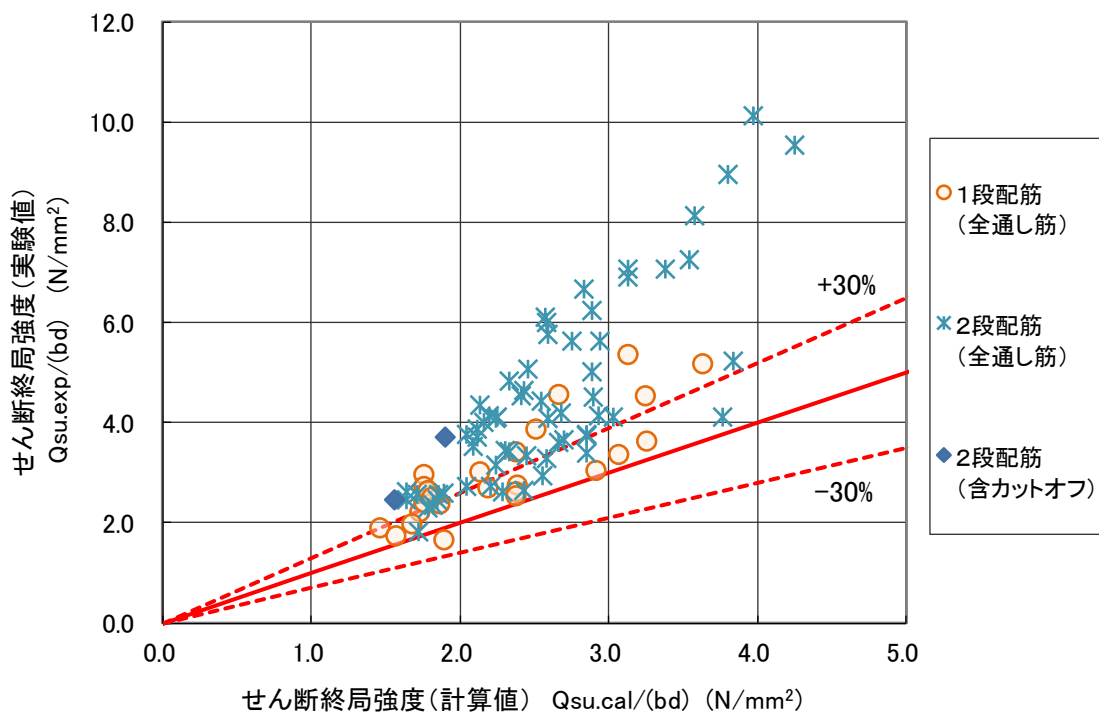


図 3.5.33 せん断強度の実験値と計算値（下限式）の比較（せん断破壊型）

付着破壊型の実験値との比較

付着破壊型の試験体について、せん断強度の実験値と計算値(3.5.8)式との比較を、図 3.5.34 および表 3.5.8 に示す。表には、実験値/計算値の試験体数、平均値、変動係数、最大値、最小値および±30%以内の試験体数を示している。引張鉄筋の段数とカットオフ筋の有無を区別した比較も行っている。

表 3.5.8 せん断強度の下限式（実験値/計算値）に関する統計データ（付着破壊型）

せん断強度の下限式（実験値/計算値）データ						
配筋	試験体数	平均	変動係数	最大	最小	±30%以内
1 段配筋 (全通し筋)	23	1.38	0.14	1.70	0.96	6
1 段配筋 (含カットオフ)	3	0.85	0.06	0.90	0.78	3
2 段配筋 (全通し筋)	18	1.77	0.14	2.22	1.30	1
2 段配筋 (含カットオフ)	4	1.57	0.14	1.87	1.25	1
全体	48	1.51	0.21	2.22	0.78	11

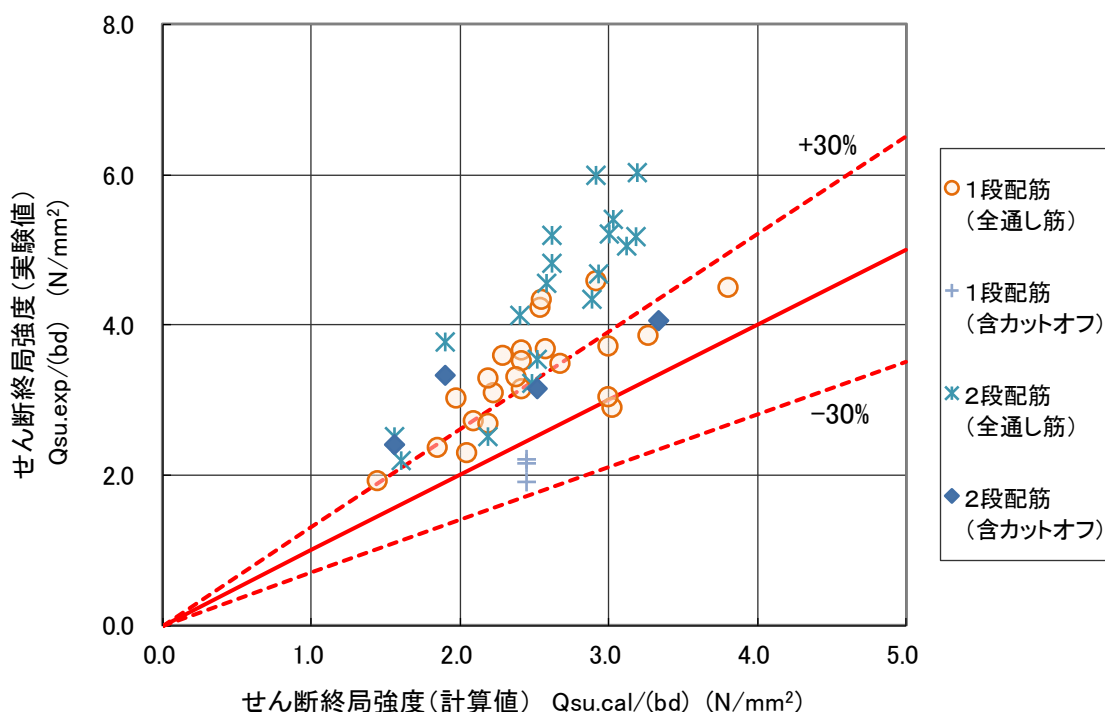


図 3.5.34 せん断強度の実験値と計算値（下限式）の比較（付着破壊型）

c. 実験値／計算値の影響因子分析

対象はせん断破壊型および付着破壊型の試験体とし、せん断補強筋の無い試験体は除外した。(3.5.8)式による計算値についてそれぞれ分析する。

i) せん断破壊型の実験値

図 3.5.35 から図 3.5.38 に、(実験値／計算値)とコンクリート強度，せん断スパン比，引張鉄筋比，主筋強度およびせん断補強筋比関係を示す。

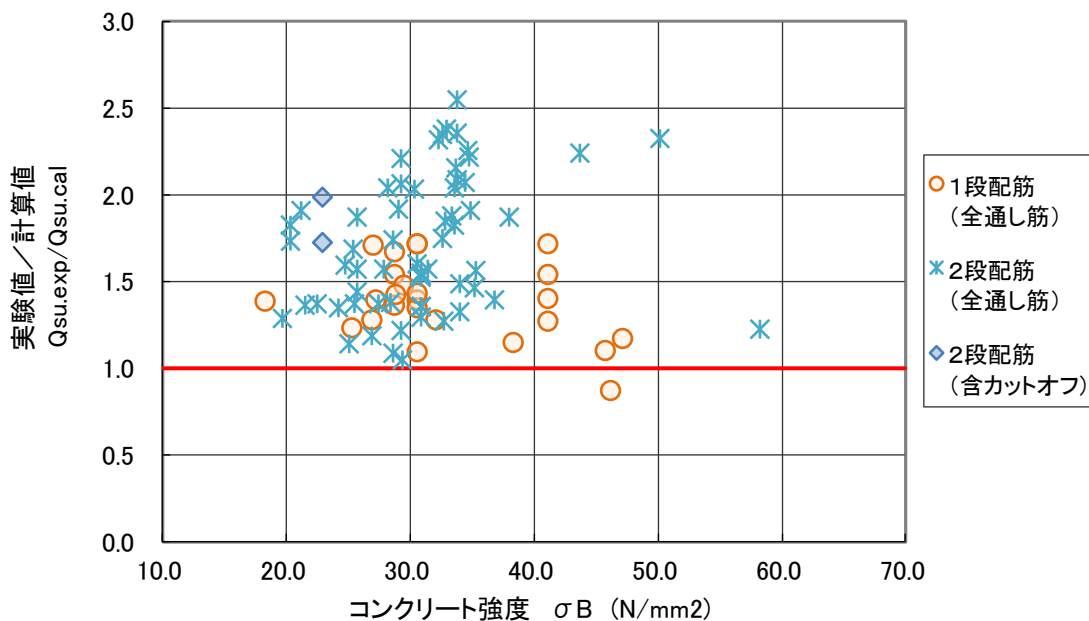


図 3.5.35 せん断強度 (実験値／下限式の計算値) - コンクリート強度関係 (せん断破壊型)

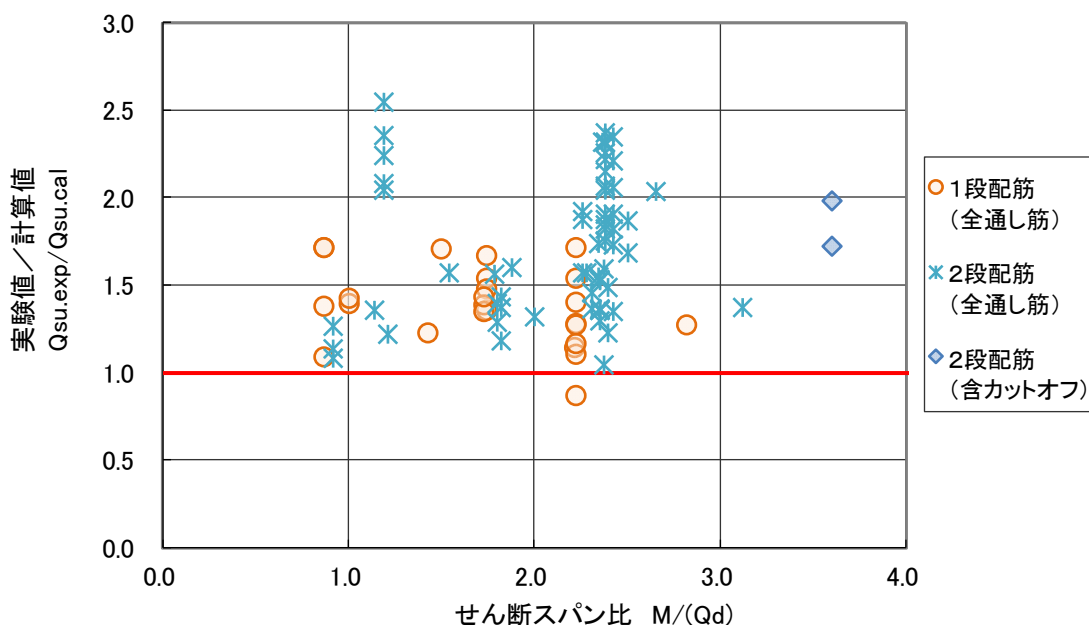


図 3.5.36 せん断強度 (実験値／下限式の計算値) - せん断スパン比関係 (せん断破壊型)

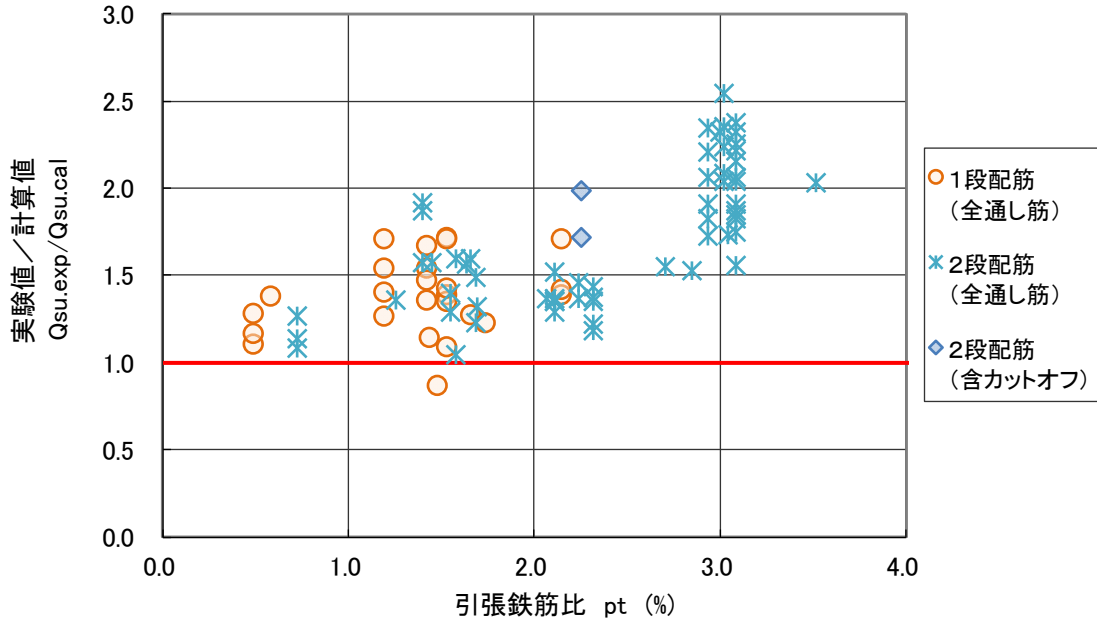


図 3.5.37 せん断強度（実験値／下限式の計算値）－引張鉄筋比関係（せん断破壊型）

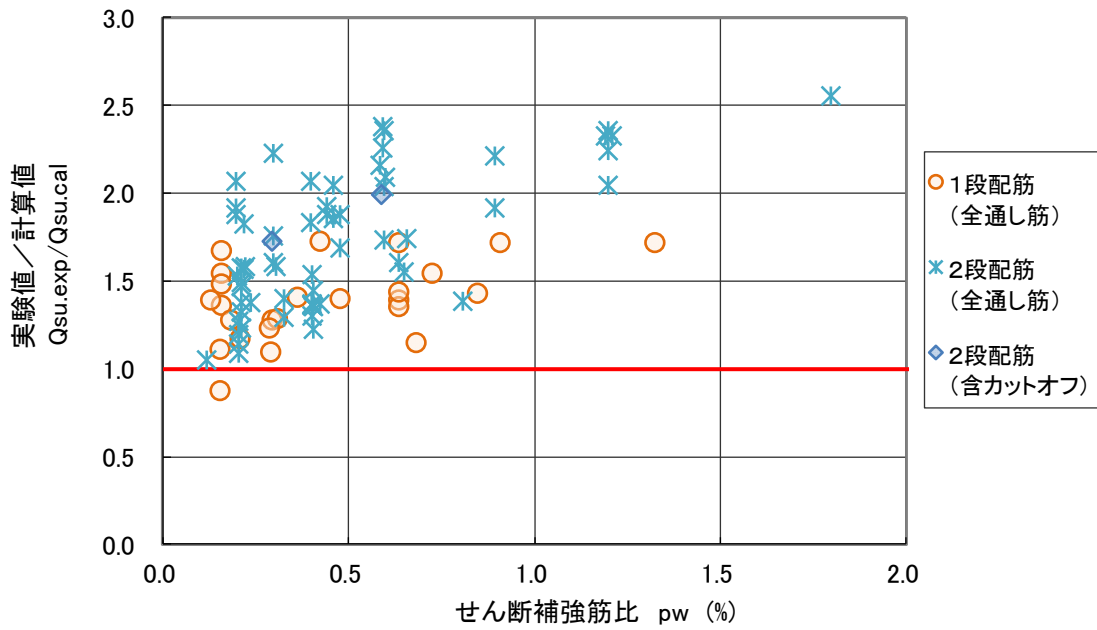


図 3.5.38 せん断強度（実験値／下限式の計算値）－せん断補強筋比関係（せん断破壊型）

第3章 梁部材

ii) 付着破壊型の実験値

図 3.5.39 から図 3.5.42 に、(実験値/計算値)とコンクリート強度，せん断スパン比，引張鉄筋比，主筋強度およびせん断補強筋比関係を示す。

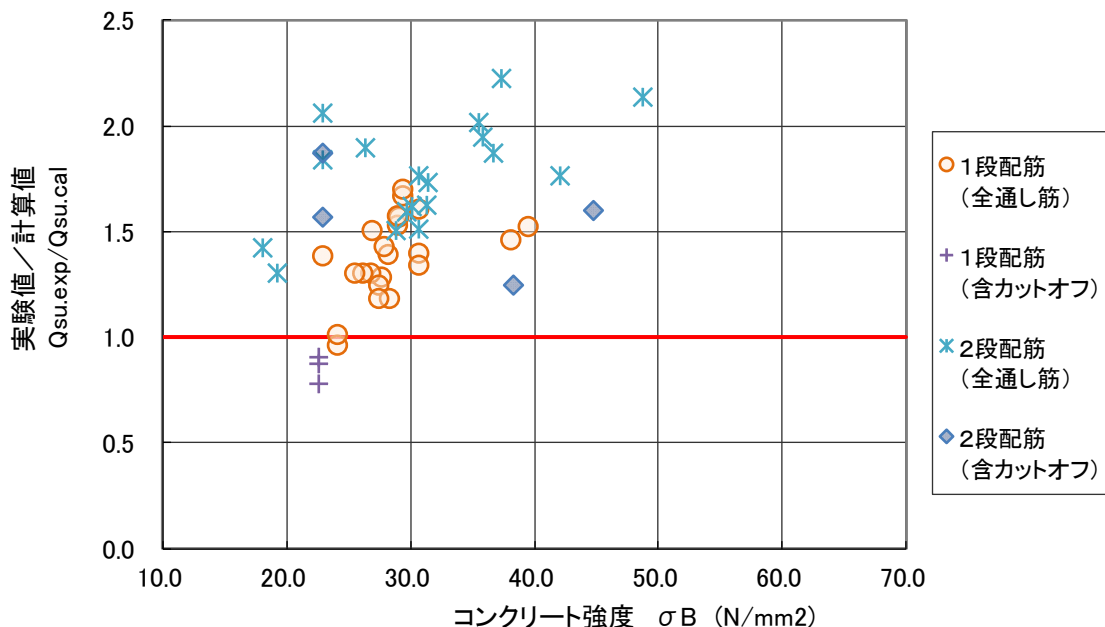


図 3.5.39 せん断強度 (実験値/下限式の計算値) - コンクリート強度関係 (付着破壊型)

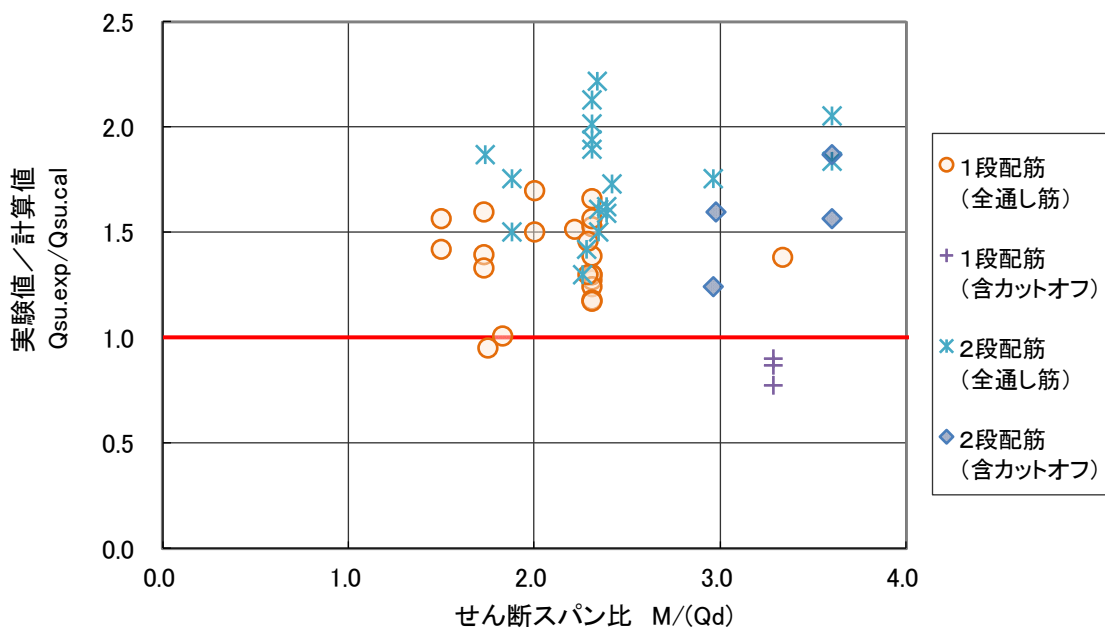


図 3.5.40 せん断強度 (実験値/下限式の計算値) - せん断スパン比関係 (付着破壊型)

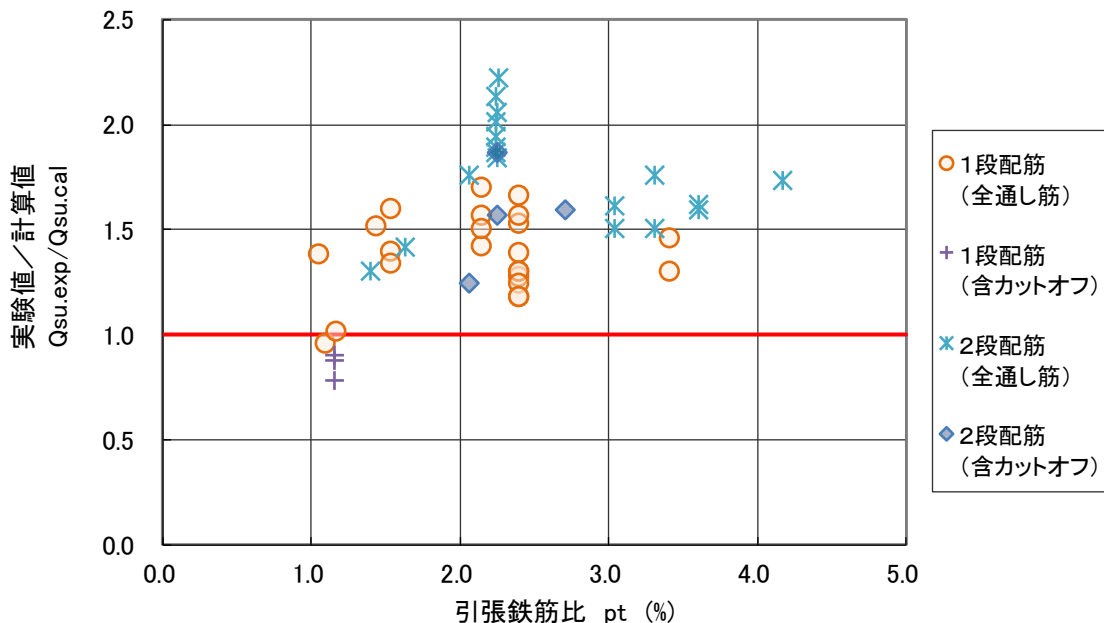


図 3.5.41 セン断強度（実験値／下限式の計算値）－引張鉄筋比関係（付着破壊型）

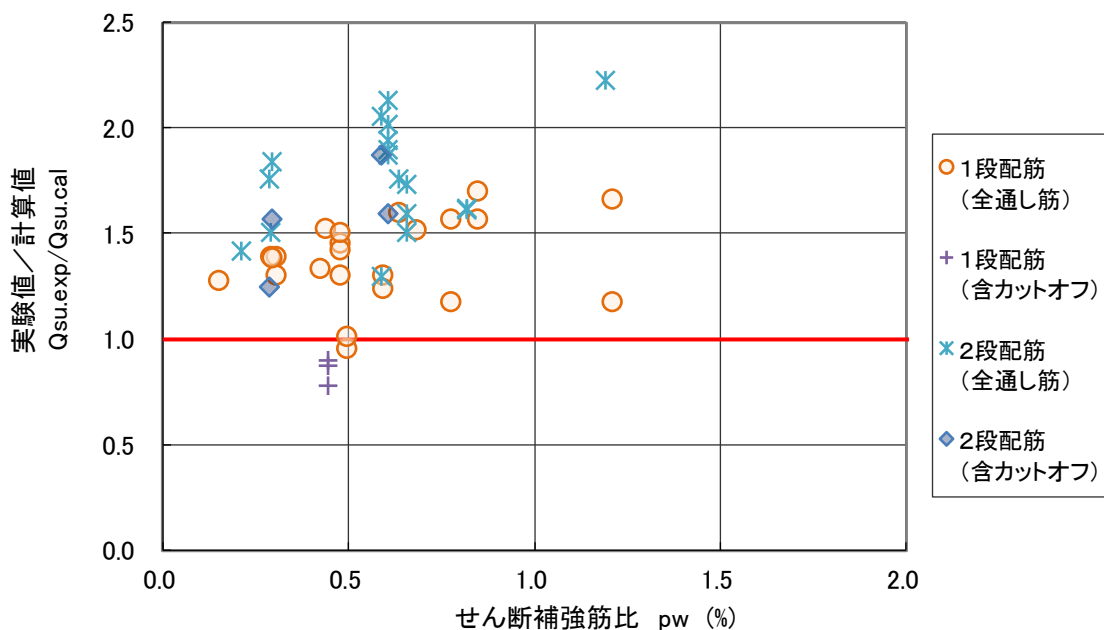


図 3.5.42 セン断強度（実験値／下限式の計算値）－せん断補強筋比関係（付着破壊型）

d. 考察

せん断破壊型は、対象試験体数 88 体、実験値／計算値は平均値 1.62、変動係数 0.23、 $\pm 30\%$ 以内の試験体は 18 体であった。付着破壊型は、対象試験体数 48 体、実験値／計算値は平均値 1.51、変動係数 0.21、 $\pm 30\%$ 以内の試験体は 11 体であった。いずれの破壊型でも、2 段配筋梁の実験値／計算値は 1 段配筋梁よりも高い傾向が見られた。付着破壊型の実験値／計算値は、カットオフ筋を含む試験体は全て通し筋の試験体よりも低い傾向にあり、1 段配筋でカットオフ筋を含む試験体では実験値が計算値を下回った。

第3章 梁部材

3.5.9 せん断強度（荒川 mean 式）

a. せん断強度式（建築物の構造関係技術基準解説書）^[3-9]

せん断強度の計算値は、2015年版建築物の構造関係技術基準解説書^[3-9]の平均値式を用いて算出する。

（平均値式）

$$Q_{su} = \left\{ \frac{0.068 p_t^{0.23} (F_c + 18)}{M / (Qd) + 0.12} + 0.85 \sqrt{p_w \sigma_{wy}} \right\} b j \quad (\text{N}) \quad (3.5.9)$$

p_t : 引張鉄筋比 (%)

F_c : コンクリートの圧縮強度 (N/mm²)

M/Q : M , Q はそれぞれ終局強度算定時における部材内の最大曲げモーメント及びせん断力（ただし、 $M/(Qd)$ は、 $M/(Qd) < 1$ のとき 1 とし、 $M/(Qd) > 3$ のとき 3 とする）(mm)

d : はり有効せい (mm)。多段配筋梁の有効せいは、引張鉄筋の重心位置からコンクリート圧縮縁までの距離とした。ただし、主筋位置が明記されておらず、有効せいのみ記載された文献については、その有効せいの値を用いた。

p_w : せん断補強筋比 (小数)

σ_{wy} : せん断補強筋の降伏強度 (N/mm²)

b : はり幅 (mm)

j : 応力中心距離(mm)で $7d/8$ としよ。

上記の(3.5.9)式は以下の荒川原式から誘導されている。

$$\tau_{u\text{mean}} = \frac{0.115 k_u k_p (180 + \sigma_B)}{\frac{M}{Qd} + 0.12} + 2.7 \sqrt{p_w \sigma_y} \quad (\text{kgf/cm}^2)$$

b. 実験値と計算値の比較

対象はせん断破壊型および付着破壊型の試験体とし、せん断補強筋の無い試験体は除外した。(3.5.9)式による計算値とそれぞれ比較する。

せん断破壊型の実験値との比較

せん断破壊型の試験体について、せん断強度の実験値と計算値(3.5.9)式との比較を、図 3.5.43 および表 3.5.9 に示す。表には、実験値/計算値の試験体数、平均値、変動係数、最大値、最小値および±30%以内の試験体数を示している。引張鉄筋の段数とカットオフ筋の有無を区別した比較も行っている。

表 3.5.9 せん断強度の平均値式 (実験値/計算値) に関する統計データ (せん断破壊型)

せん断強度の平均値式 (実験値/計算値) データ						
配筋	試験体数	平均	変動係数	最大	最小	±30%以内
1 段配筋 (全通し筋)	25	1.18	0.16	1.52	0.73	19
2 段配筋 (全通し筋)	61	1.50	0.23	2.18	0.90	22
2 段配筋 (含カットオフ)	2	1.66	0.08	1.79	1.52	0
全体	88	1.41	0.24	2.18	0.73	41

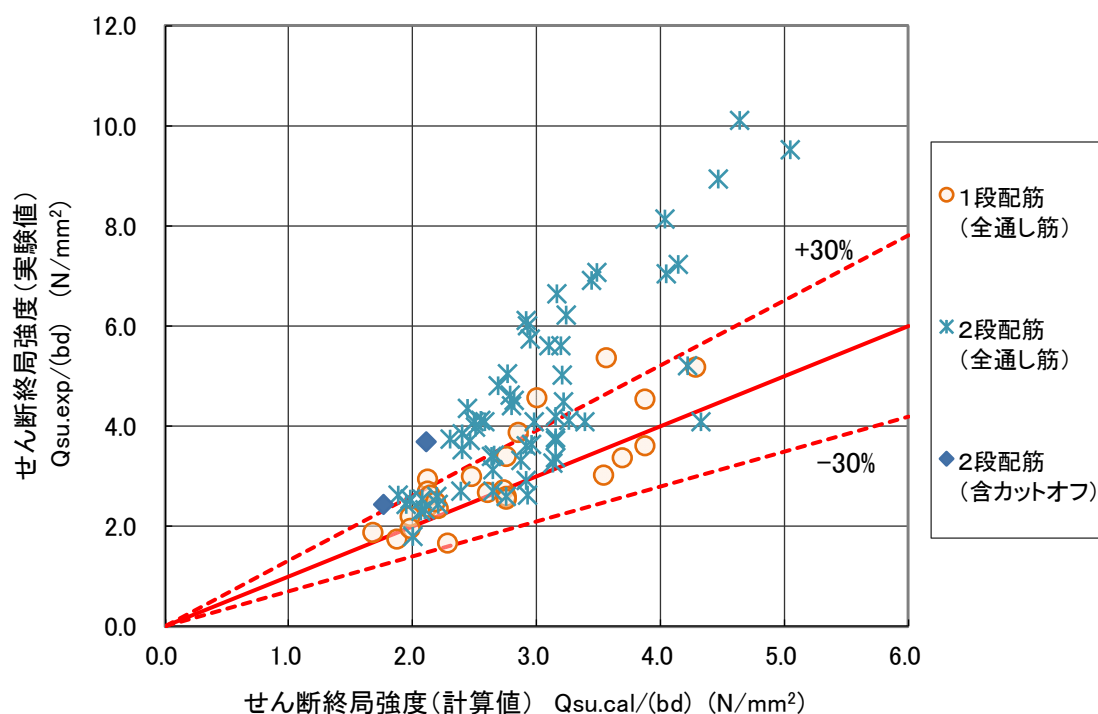


図 3.5.43 せん断強度の実験値と計算値 (下限式) の比較 (せん断破壊型)

第3章 梁部材

付着破壊型の実験値との比較

付着破壊型の試験体について、せん断強度の実験値と計算値(3.5.9)式との比較を、図 3.5.44 および表 3.5.10 に示す。表には、実験値/計算値の試験体数、平均値、変動係数、最大値、最小値および±30%以内の試験体数を示している。引張鉄筋の段数とカットオフ筋の有無を区別した比較も行っている。

表 3.5.10 せん断強度の平均値式 (実験値/計算値) に関する統計データ (付着破壊型)

せん断強度の平均値式 (実験値/計算値) データ						
配筋	試験体数	平均	変動係数	最大	最小	±30%以内
1 段配筋 (全通し筋)	23	1.22	0.13	1.49	0.87	15
1 段配筋 (含カットオフ)	3	0.79	0.06	0.84	0.73	3
2 段配筋 (全通し筋)	18	1.57	0.14	2.00	1.19	3
2 段配筋 (含カットオフ)	4	1.41	0.14	1.69	1.12	1
全体	48	1.34	0.21	2.00	0.73	22

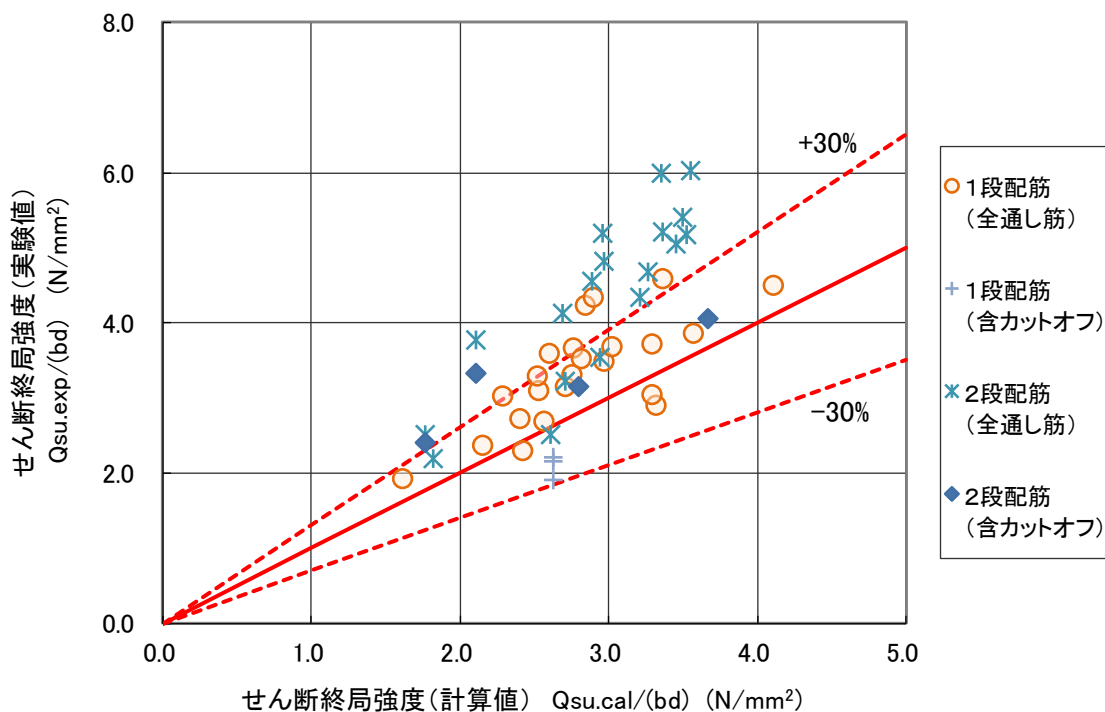


図 3.5.44 せん断強度の実験値と計算値 (平均値式) の比較 (付着破壊型)

c. 実験値／計算値の影響因子分析

対象は、せん断破壊型および付着破壊型の試験体とし、せん断補強筋の無い試験体は除外した。(3.5.9)式による計算値についてそれぞれ分析する。

i) せん断破壊型の実験値

図 3.5.45 から図 3.5.48 に、(実験値／計算値)とコンクリート強度，せん断スパン比，引張鉄筋比，主筋強度およびせん断補強筋比関係を示す。

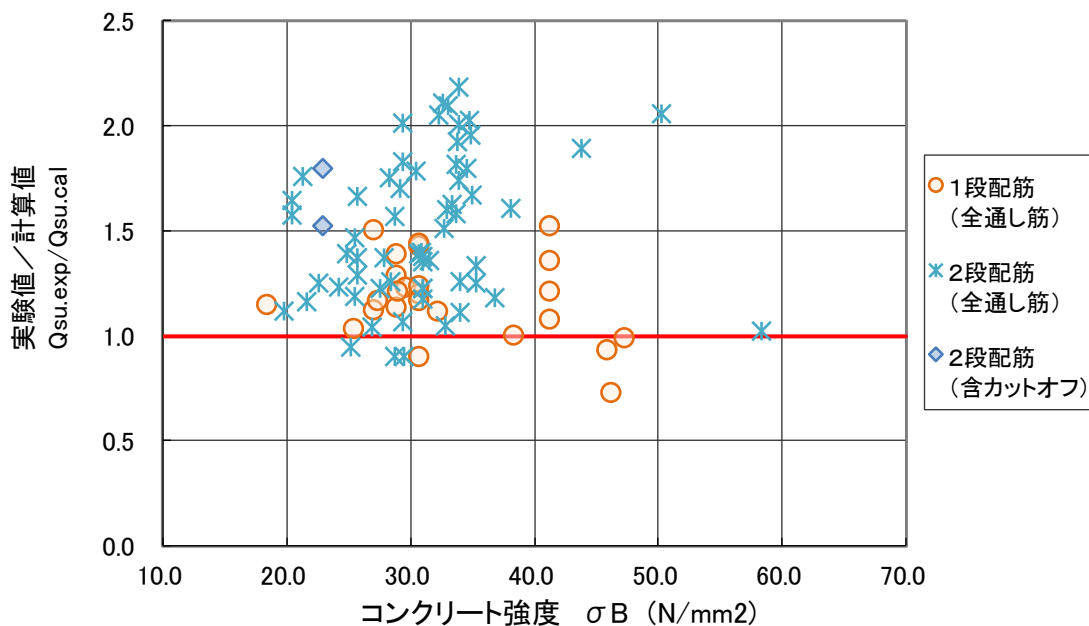


図 3.5.45 せん断強度（実験値／平均値式の計算値）－コンクリート強度関係（せん断破壊型）

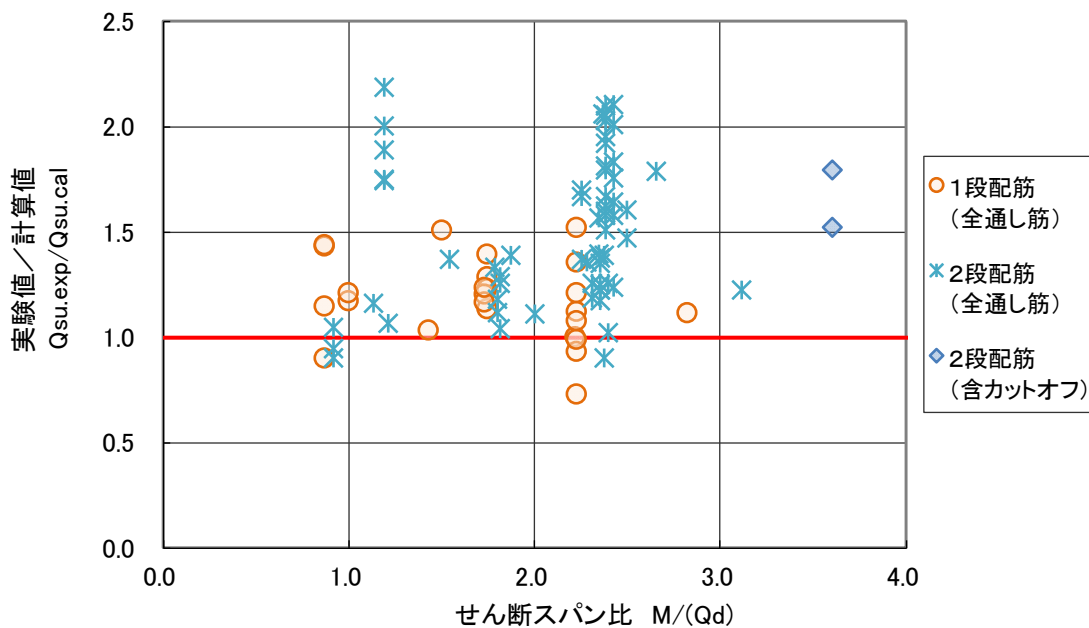


図 3.5.46 せん断強度（実験値／平均値式の計算値）－せん断スパン比関係（せん断破壊型）

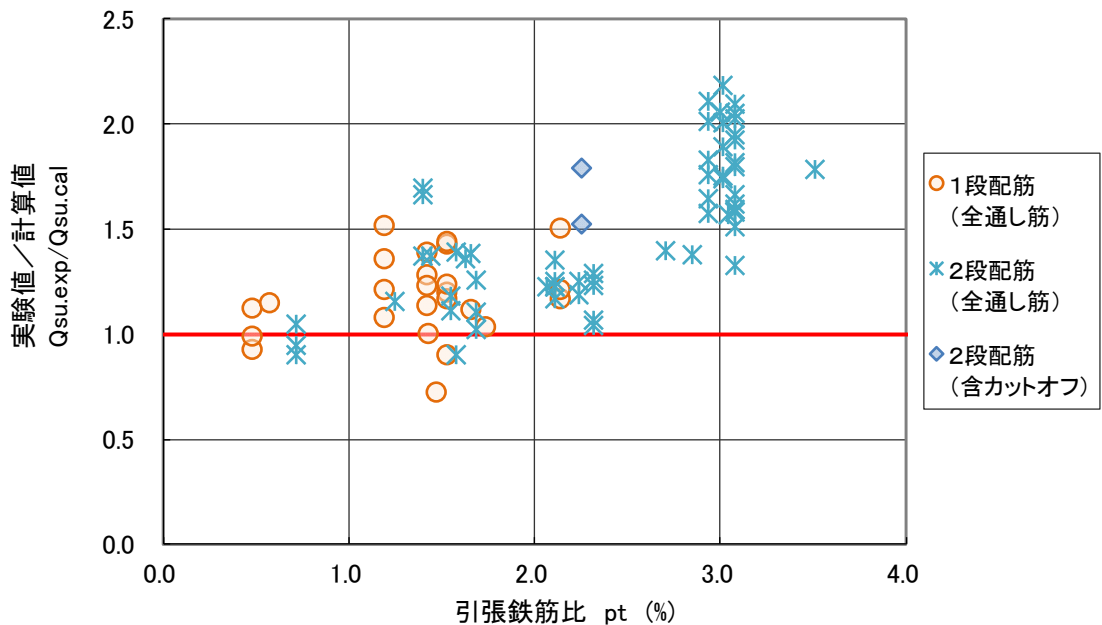


図 3.5.47 セン断強度（実験値／平均値式の計算値）－引張鉄筋比関係（せん断破壊型）

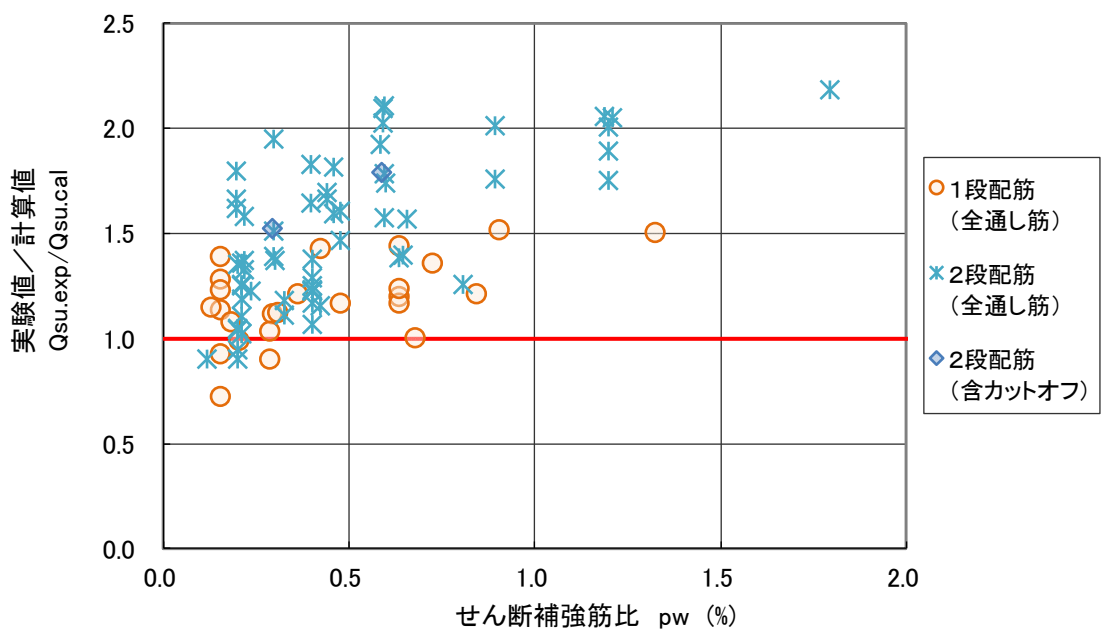


図 3.5.48 セン断強度（実験値／平均値式の計算値）－せん断補強筋比関係（せん断破壊型）

ii) 付着破壊型の実験値

図 3.5.49 から図 3.5.52 に，（実験値／計算値）とコンクリート強度，せん断スパン比，引張鉄筋比，主筋強度およびせん断補強筋比関係を示す。

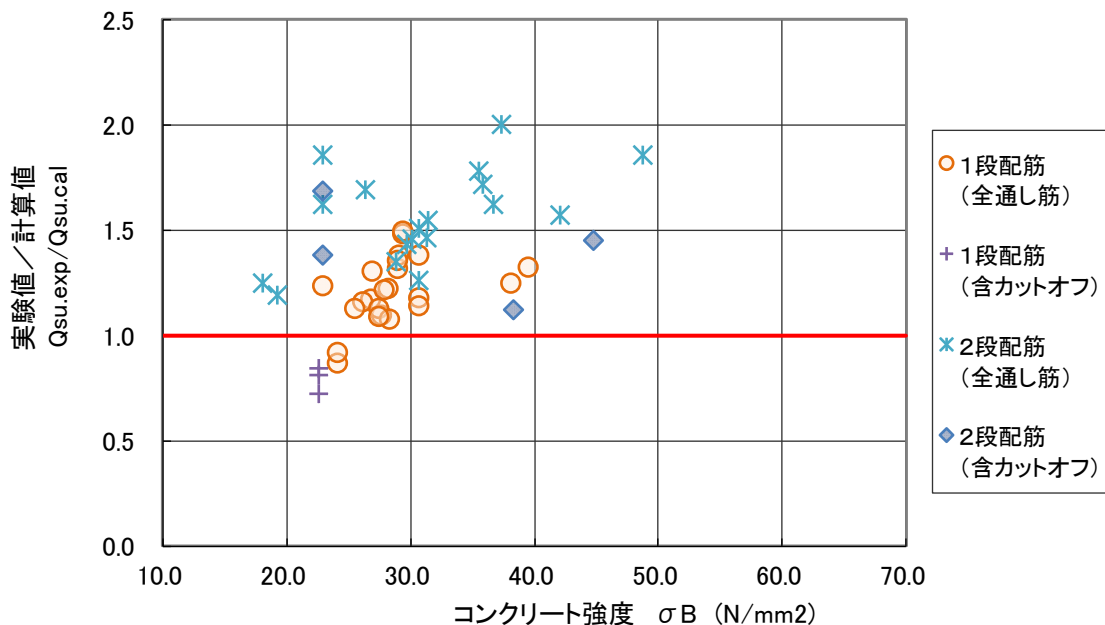


図 3.5.49 せん断強度（実験値／平均値式の計算値）－コンクリート強度関係（付着破壊型）

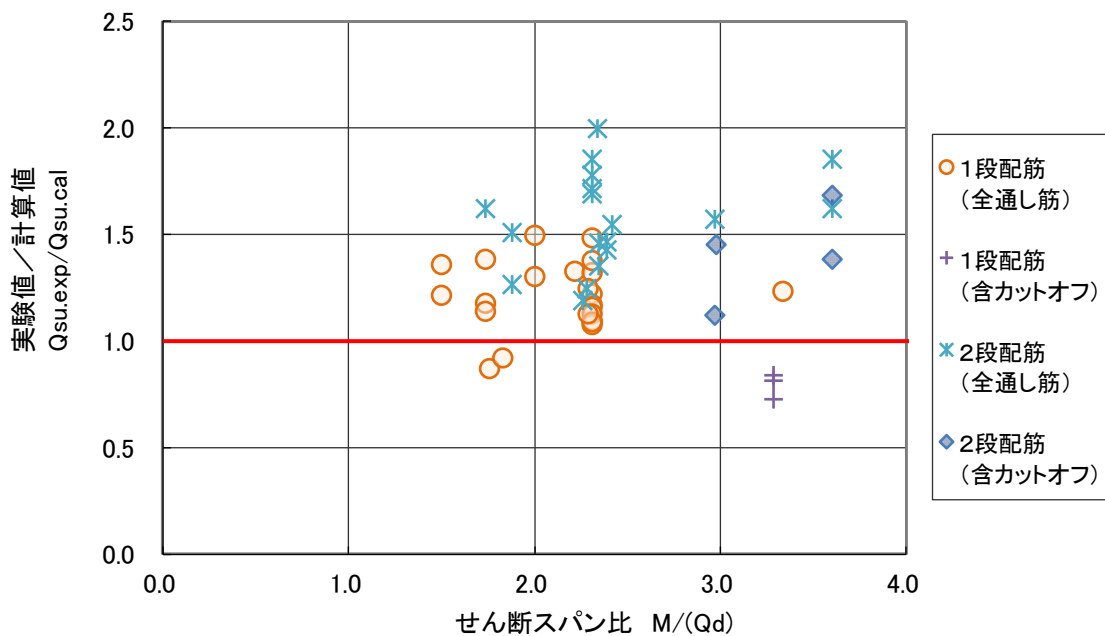


図 3.5.50 せん断強度（実験値／平均値式の計算値）－せん断スパン比関係（付着破壊型）

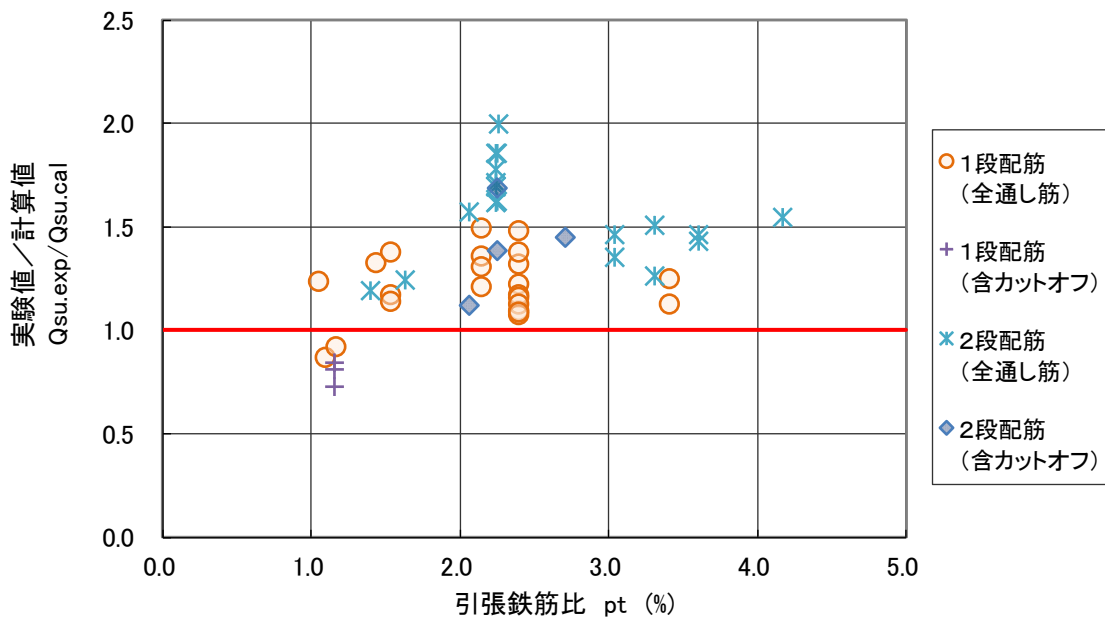


図 3.5.51 セン断強度（実験値／平均値式の計算値）－引張鉄筋比関係（付着破壊型）

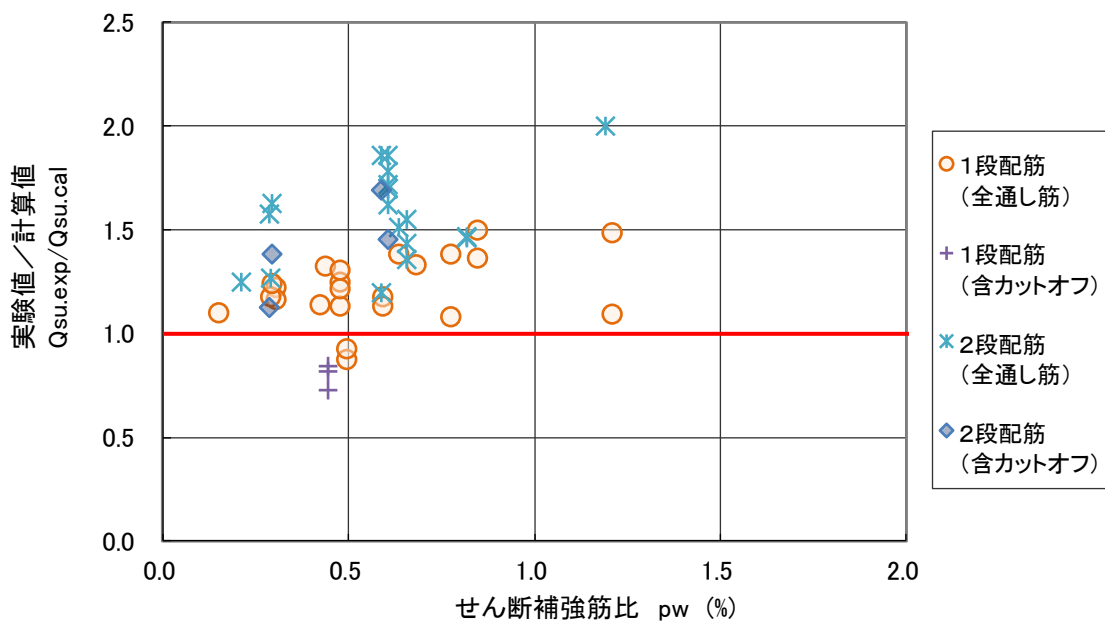


図 3.5.52 セン断強度（実験値／平均値式の計算値）－せん断補強筋比関係（付着破壊型）

d. 考察

せん断破壊型は、対象試験体数 88 体、実験値／計算値は平均値 1.41、変動係数 0.24、±30% 以内の試験体は 41 体であった。付着破壊型は、対象試験体数 48 体、実験値／計算値は平均値 1.34、変動係数 0.21、±30%以内の試験体は 22 体であった。いずれの破壊型でも、2 段配筋梁の実験値／計算値は 1 段配筋梁よりも高い傾向が見られた。付着破壊型の実験値／計算値は、カットオフ筋を含む試験体は全て通し筋の試験体よりも低い傾向にあり、1 段配筋でカットオフ筋を含む試験体では実験値が計算値を下回った。

3.5.10 付着強度 (RC 規準式)

a. RC 規準式^[3.7.1]

鉄筋コンクリート構造計算規準 (2018) ^[3.10]の 16 条に記載されている安全性確保のための検討については、以下の通り算定する。

曲げ材の付着検定断面

スパン内で最大曲げモーメントとなる断面

曲げ材の引張鉄筋の付着長さ l_d

スパン途中でカットオフされる鉄筋 (以下、カットオフ筋という) の付着長さ l_d は、付着検定断面から鉄筋端までの長さとし、鉄筋端部に標準フックを設ける場合は、折曲げ起点までの長さとする。

大地震動に対する安全性確保のための検討

通し筋は (3.5.10) 式, カットオフ筋は (3.5.11) 式による。

$$\tau_D = \alpha_1 \times \frac{\sigma_D \cdot d_b}{4(L'-d)} \leq Kf_b \quad (3.5.10)$$

$$\tau_D = \alpha_2 \times \frac{\sigma_D \cdot d_b}{4(l_d-d)} \leq Kf_b \quad (3.5.11)$$

ただし、 $l_d \geq l'+d$

記号 τ_D : 安全性検討用の平均付着応力度

d : 曲げ材の有効せい

l_d : カットオフ筋の付着長さ。対象とする荷重の作用により曲げ材にせん断ひび割れを生じないことが確かめられた場合には、(3.5.11)式の l_d-d を l_d とする。

d_b : 曲げ補強鉄筋径で、異形鉄筋では呼び名の数値とする。

σ_D : 付着検定断面における安全性検討用の鉄筋引張応力度で以下による。

曲げ降伏する部材: $\sigma_D = \sigma_y$

σ_y : 付着検定断面における鉄筋の降伏強度で、鉄筋端に標準フックを設ける場合にはその値の 2/3 倍とする。

n : 水平荷重時せん断力の割増係数で 1.5 以上の数値

f_b : 付着割裂の基準となる強度で、表 3.5.11 による。

α_1 : 通し筋の応力状態を表す係数で、表 3.5.12 による。

α_2 : カットオフ筋の応力状態を表す係数で、表 3.5.13 による。

L' : 通し筋の付着長さで、付着検定断面において、カットオフ筋がなく通し筋のみの場合は $L'=L$, 通し筋とカットオフ筋の両方がある場合は $L'=L-l'$ とする。対象とする荷重の作用により曲げ材にせん断ひび割れを生じないことが確かめられた場合には、(3.5.10)式の $L'-d$ を L とする。

第3章 梁部材

L : 曲げ材の内法長さ

l' : 付着検定断面からカットオフ筋が設計用曲げモーメントに対して計算上不要となる断面（以下、計算上不要となる断面という）までの距離で、両端が曲げ降伏する部材では(3.5.12)式、一端が曲げ降伏で他端が弾性の部材では(3.5.13)式で計算する。

$$\text{両端曲げ降伏部材: } l' = \frac{A_{cut}}{A_{total}} \times \frac{L}{2} \quad (3.5.12)$$

$$\text{一端曲げ降伏・他端弾性部材: } l' = \frac{A_{cut}}{A_{total}} \times L \quad (3.5.13)$$

A_{cut} : カットオフされる引張鉄筋の断面積

A_{total} : 引張鉄筋の総断面積

K : 鉄筋配置と横補強筋による修正係数で(3.5.14)式による。

$$K = 0.3 \left(\frac{C + W}{d_b} \right) + 0.4 \leq 2.5 \quad (3.5.14)$$

C : 計算する断面における鉄筋間のあき、または最小かぶり厚さの3倍のうちの小さいほうの数値で、 $5d_b$ 以下とする。なお、(3.5.15)式で C を算定する。

$$C = \frac{b - N \cdot d_b}{N} \leq \min(3C_{min}, 5d_b) \quad (3.5.15)$$

N : 当該鉄筋列の想定される付着割裂面における鉄筋本数。

b : 部材の幅

C_{min} : 当該鉄筋の最小かぶり厚さ。

W : 付着割裂面を横切る横補強筋効果を表す換算長さで、(3.5.16)式による。

$$W = 80 \frac{A_{st}}{sN} \leq 2.5d_b \quad (3.5.16)$$

A_{st} : 当該鉄筋列の想定される付着割裂面を横切る一組の横補強筋全断面積

s : 一組の横補強筋（断面積 A_{st} ）の間隔

表 3.5.11 付着割裂の基準となる強度 f_b

	安全性確保のための検討	
	上端筋	その他の鉄筋
普通コンクリート	$0.8 \times \left(\frac{F_c}{40} + 0.9 \right)$	$\frac{F_c}{40} + 0.9$
軽量コンクリート	普通コンクリートに対する値の0.8倍	

[注] 1) 上端筋とは、曲げ材にあってその鉄筋の下に300mm以上のコンクリートが打ち込まれる場合の水平鉄筋をいう。

2) F_c はコンクリートの設計基準強度 (N/mm²) を表す。

3) 多段配筋の一段目（断面外側）以外の鉄筋に対しては、上表の値に

0.6 を乗じる。

表 3.5.12 通し筋の応力状態を表す係数 α_1

両端が曲げ降伏する 部材の通し筋	1 段目の鉄筋	2
	多段配筋の 2 段目以降の鉄筋	1.5
一端曲げ降伏で他端弾性の部材の通し筋		1

表 3.5.13 カットオフ筋の応力状態を表す係数 α_2

付着長さが $L/2$ 以下 のカットオフ筋	1 段目の鉄筋	1
	多段配筋の 2 段目以降の鉄筋	0.75
付着長さが $L/2$ を超えるカットオフ筋		1

第3章 梁部材

b. 実験値と計算値の比較

(3.5.10) (3.5.11)式による付着強度 Kf_b に対する設計用付着応力度 τ_D の比率を付着余裕度 Kf_b/τ_D とし、曲げ終局強度(3.5.5)式のときのせん断力 $Q_{f.cal}$ に対する最大せん断力実験値 $Q_{u.exp}$ の比率 $Q_{u.exp}/Q_{f.cal}$ を比較したものが図 3.5.53 である。つまり、付着余裕度が 1.0 以上は、計算上、主筋が降伏することになり、試験体は曲げ終局強度の計算値を発揮されることが想定される。表 3.5.14 に $\{Q_{u.exp}/Q_{f.cal}\}/\{Kf_b/\tau_D\}$ の平均などを示す。対象は付着破壊型の試験体で、主筋の段数、カットオフ筋の有無で区別している。

付着余裕度の計算は次のように行った。

- ✓ テンションシフトの発生の有無は、曲げ終局強度 M_u と荒川式によるせん断ひび割れ強度を比較することで判別した。今回の対象試験体では、全てテンションシフトの発生の有る判定となった。
- ✓ 設計用付着応力度は両端塑性ヒンジの発生する部材として算出した。
- ✓ 鉄筋の設計用引張応力度には降伏応力度の実験値を用いた。
- ✓ 上端筋とその他の鉄筋の区別は、打設方向に鉄筋の下方へ 300mm 以上のコンクリートがあるものを上端筋、それ以外をその他の鉄筋とした。打設方向は、文献にせい方向と明記されているか、文献内で下端筋と上端筋を区別して結果や考察が記述されているものは、せい方向への打設とし、文献から読み取れないものは、その他の鉄筋として取り扱った。

表 3.5.14 $\{Q_{u.exp}/Q_{f.cal}\}/\{Kf_b/\tau_D\}$ に関する統計データ (付着破壊型)

$\{Q_{u.exp}/Q_{f.cal}\}/\{Kf_b/\tau_D\}$ データ						
配筋	試験体数	平均	変動係数	最大	最小	±30%以内
1 段配筋 (全通し筋)	23	2.26	0.23	3.55	1.48	0
1 段配筋 (含カットオフ)	3	3.97	0.39	6.17	2.71	0
2 段配筋 (全通し筋)	18	1.77	0.15	2.18	1.31	0
2 段配筋 (含カットオフ)	4	2.27	0.13	2.68	1.85	0
全体	48	2.18	0.35	6.17	1.31	0

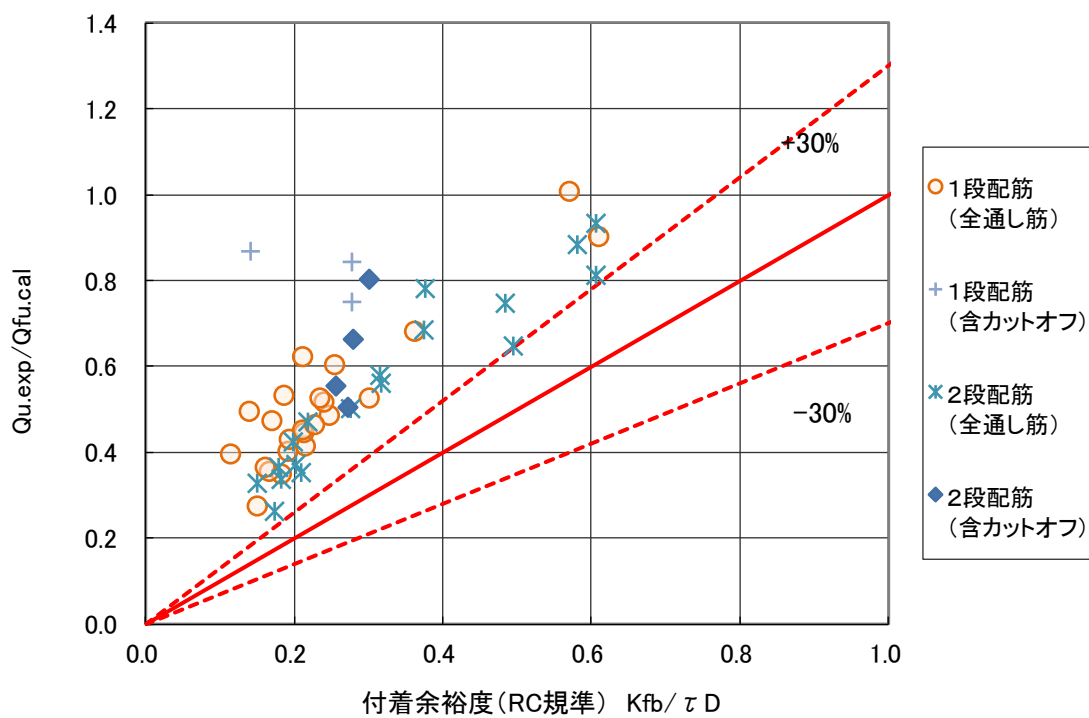


図 3.5.53 RC 規準の付着余裕度と実験値 (付着破壊型)

c. 付着余裕度 Kfb/τ_D の影響因子分析

図 3.5.54 から図 3.5.57 に、 $\{Q_{u.exp}/Q_{f.cal}\}/\{Kfb/\tau_D\}$ とコンクリート強度、せん断スパン比、引張鉄筋比およびせん断補強筋比の関係を示す。対象は付着破壊型の試験体である。

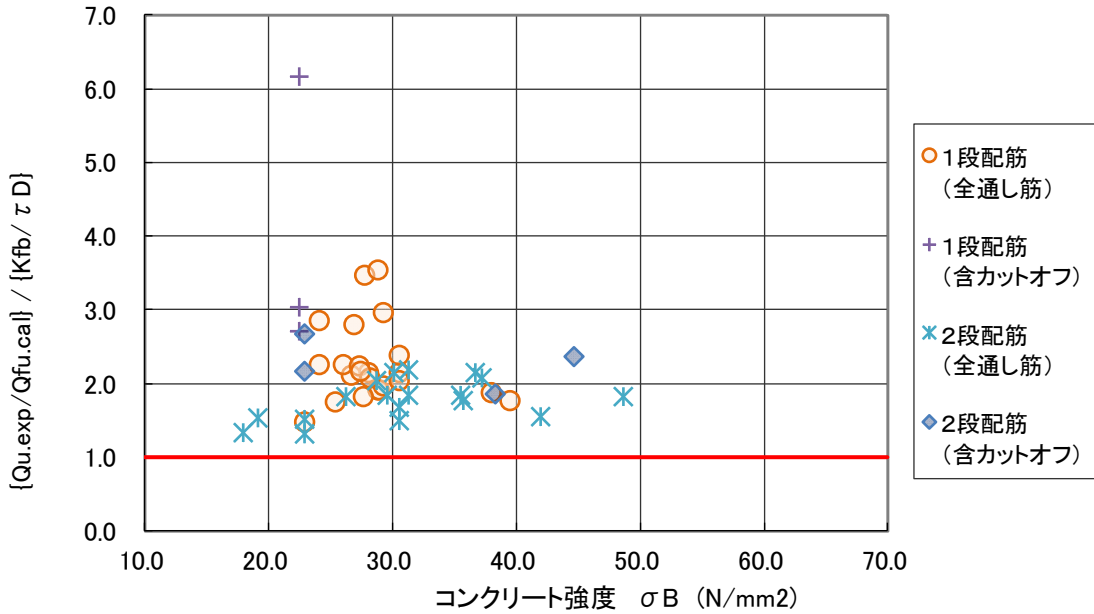


図 3.5.54 $\{Q_{u.exp}/Q_{f.cal}\}/\{Kfb/\tau_D\}$ - コンクリート強度関係 (付着破壊型)

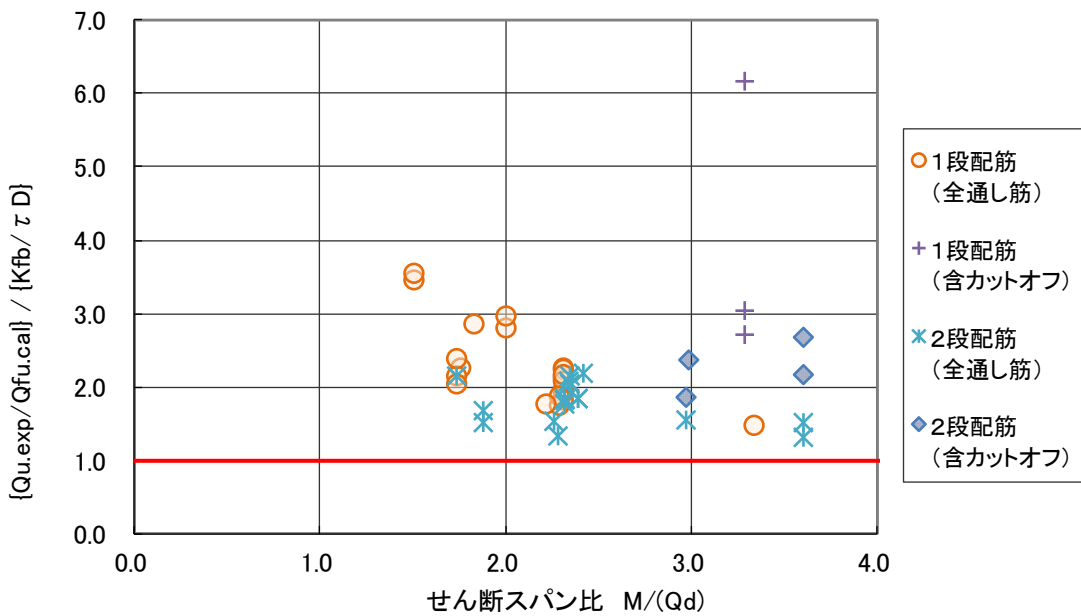


図 3.5.55 $\{Q_{u.exp}/Q_{f.cal}\}/\{Kfb/\tau_D\}$ - せん断スパン比関係 (付着破壊型)

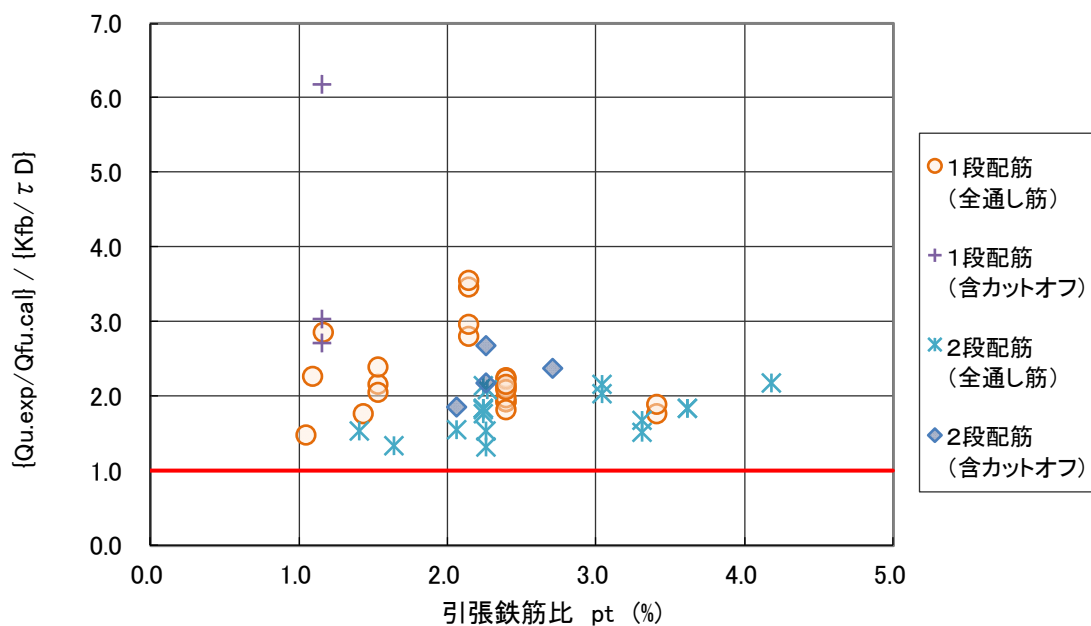


図 3.5.56 $\{Q_{u.exp}/Q_{f.cal}\}/\{K_{fb}/\tau_D\}$ —引張鉄筋比関係 (付着破壊型)

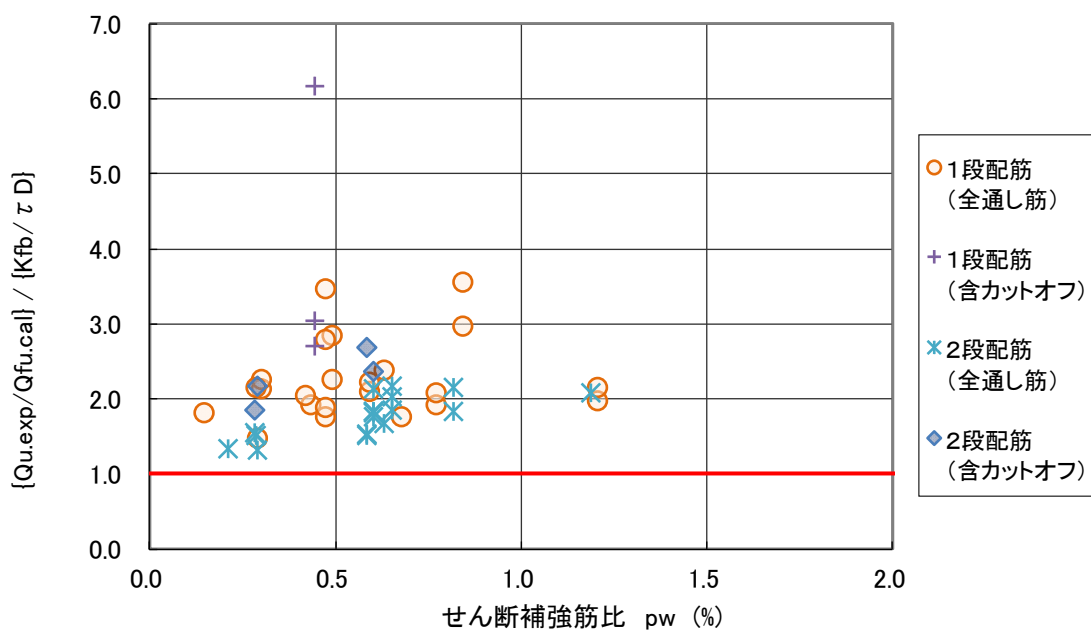


図 3.5.57 $\{Q_{u.exp}/Q_{f.cal}\}/\{K_{fb}/\tau_D\}$ —せん断補強筋比関係 (付着破壊型)

d. 考察

対象試験体数 48 体、付着余裕度 K_{fb}/τ_D に対する $Q_{u.exp}/Q_{f.cal}$ (曲げ終局強度(3.5.5)式のときのせん断力 $Q_{f.cal}$ に対する最大せん断力実験値 $Q_{u.exp}$ の比率) の比率は、平均値 2.18、変動係数 0.35、 $\pm 30\%$ 以内の試験体は 0 体で、付着余裕度に対して $Q_{u.exp}/Q_{f.cal}$ が高く、特にカットオフ筋を含む試験体で高い。

第3章 梁部材

3.5.11 付着強度 (RC 規準の解説式)

a. RC 規準の解説式^[3.7.1]

鉄筋コンクリート構造計算規準 (2018) ^[3-10]の 16 条解説に記載されている、カットオフ筋の付着に対する安全性確保のための検討については、以下の通り算定する。

大地震動に対するカットオフ筋の安全性確保のための検討は、(3.5.17)式による。

$$\tau_D = \alpha_2 \times \tau_y \leq Kf_b \quad (3.5.17)$$

$$\tau_y = \frac{\sigma_y \cdot d_b}{4 \left(l_d - \frac{d}{2} \right)} \quad (3.5.18)$$

$$\text{ただし, } l_d \geq l' + d$$

α_2 は表 3.5.13 により、他の記号は前述のとおりである。

なお、RC 規準の解説では、(3.5.17)式を採用する条件として(3.5.19)式を満足することを要求している。なお、(3.5.19)式の条件は、 p_w が梁の全域で一定の場合にのみ適用する。

$$p_w \sigma_{wy} \geq \frac{2 \cdot N_{cut} \cdot \pi d_b \cdot \tau_y}{b} \quad (3.5.19)$$

記号 N_{cut} : カットオフ筋の本数

d_b : カットオフ筋の径

σ_{wy} : せん断補強筋の降伏応力度

b : 梁幅

p_w : 梁のせん断補強筋比. p_w が 0.6%を超える場合は $p_w=0.6\%$ とする。

b. 実験値と計算値の比較

(3.5.17)式による付着強度 Kf_b に対する設計用付着応力度 τ_D の比率を付着余裕度 Kf_b/τ_D とし、曲げ終局強度(3.5.5)式のときのせん断力 $Q_{f.cal}$ に対する最大せん断力実験値 $Q_{u.exp}$ の比率 $Q_{u.exp}/Q_{f.cal}$ を比較したものが図 3.5.58 である。つまり、付着余裕度が 1.0 以上は、計算上、主筋が降伏することになり、試験体は曲げ終局強度の計算値を発揮されることが想定される。表 3.5.15 に $\{Q_{u.exp}/Q_{f.cal}\}/\{Kf_b/\tau_D\}$ の平均などを示す。図 3.5.59 は、(3.5.19)式より得られる $p_w \sigma_{wy}/\{2N_{cut} \pi d_b \tau_y / b\}$ と $\{Q_{u.exp}/Q_{f.cal}\}/\{Kf_b/\tau_D\}$ を比較したものである。対象は付着破壊型でカットオフ筋を有する試験体で、主筋の段数を区別している。

付着余裕度の計算は次のように行った。

- ✓ テンションシフトの発生の有無は、曲げ終局強度 M_u と荒川式によるせん断ひび割れ強度を比較することで判別した。今回の対象試験体では、全てテンションシフトの発生の有る判定となった。
- ✓ 鉄筋の設計用引張応力度には降伏応力度の実験値を用いた。
- ✓ 上端筋とその他の鉄筋の区別は、打設方向に鉄筋の下方へ 300mm 以上のコンクリートがあるものを上端筋、それ以外をその他の鉄筋とした。打設方向は、文献にせい方向と明記されているか、文献内で下端筋と上端筋を区別して結果や考察が記述されているものは、せい方向への打設とし、文献から読み取れないものは、その他の鉄筋として取り扱った。

表 3.5.15 $\{Q_{u.exp}/Q_{f.cal}\}/\{Kf_b/\tau_D\}$ に関する統計データ (付着破壊型)

$\{Q_{u.exp}/Q_{f.cal}\}/\{Kf_b/\tau_D\}$ データ						
配筋	試験体数	平均	変動係数	最大	最小	±30%以内
1 段配筋 (含カットオフ)	3	1.93	0.27	2.66	1.48	0
2 段配筋 (含カットオフ)	4	1.71	0.14	2.04	1.39	0
全体	7	1.81	0.22	2.66	1.39	0

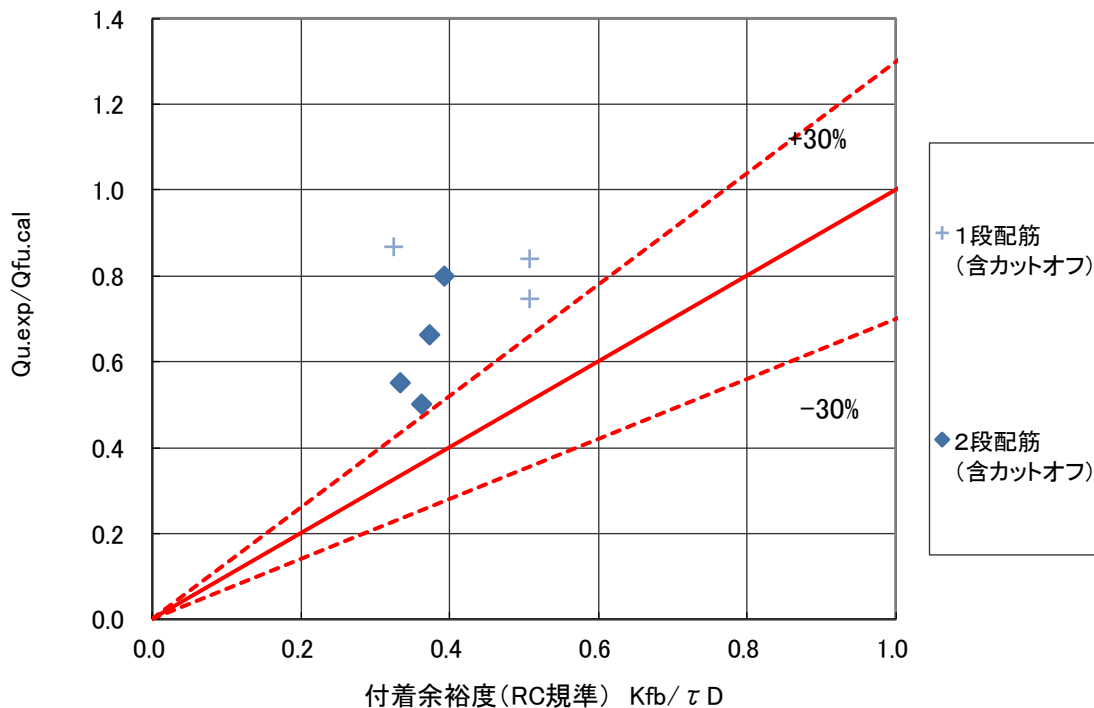


図 3.5.58 RC 規準の解説式による付着余裕度と実験値 (付着破壊型)

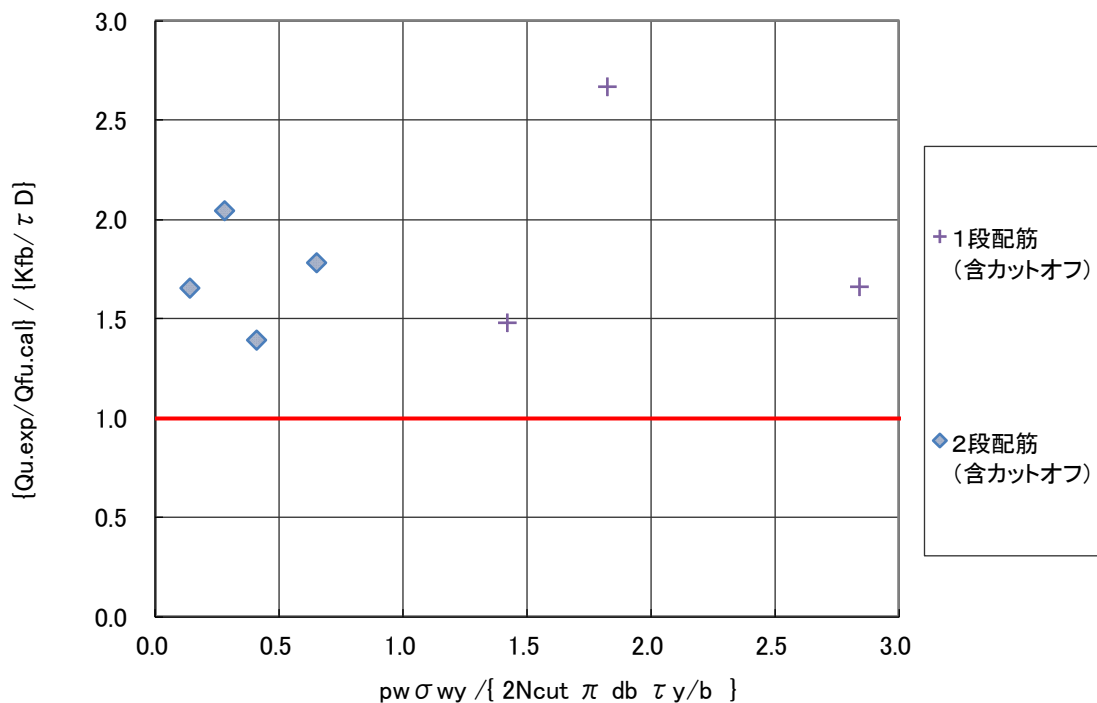


図 3.5.59 $\{Q_{u.exp}/Q_{f.cal}\}/\{Kfb/\tau D\}$ と (3.5.19) 式の関係 (付着破壊型)

c. 付着余裕度 Kfb/τ_D の影響因子分析

図 3.5.54 から図 3.5.57 に、付着余裕度 Kfb/τ_D とコンクリート強度、せん断スパン比、引張鉄筋比およびせん断補強筋比の関係を示す。対象は付着破壊型の試験体である。

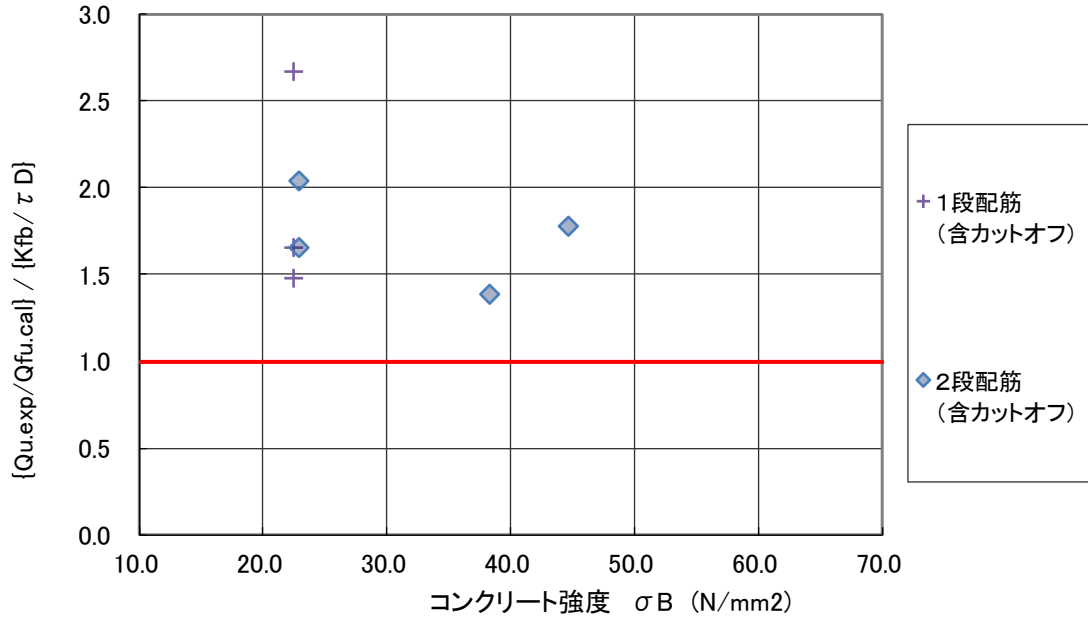


図 3.5.60 $\{Q_{u.exp}/Q_{u.cal}\} / \{Kfb/\tau_D\}$ - コンクリート強度関係 (付着破壊型)

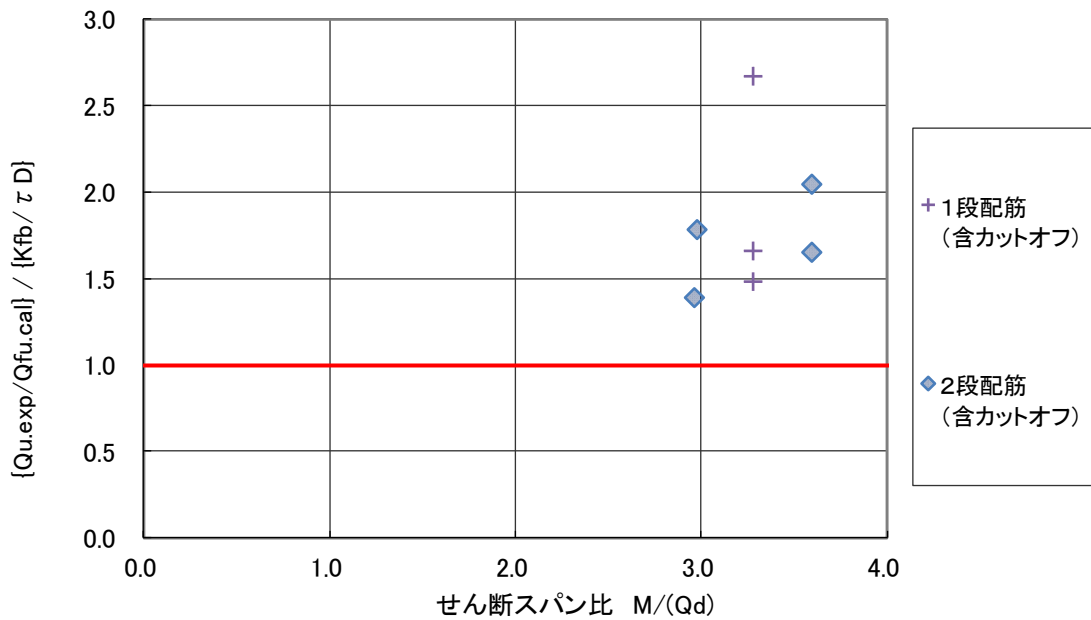


図 3.5.61 $\{Q_{u.exp}/Q_{u.cal}\} / \{Kfb/\tau_D\}$ - せん断スパン比関係 (付着破壊型)

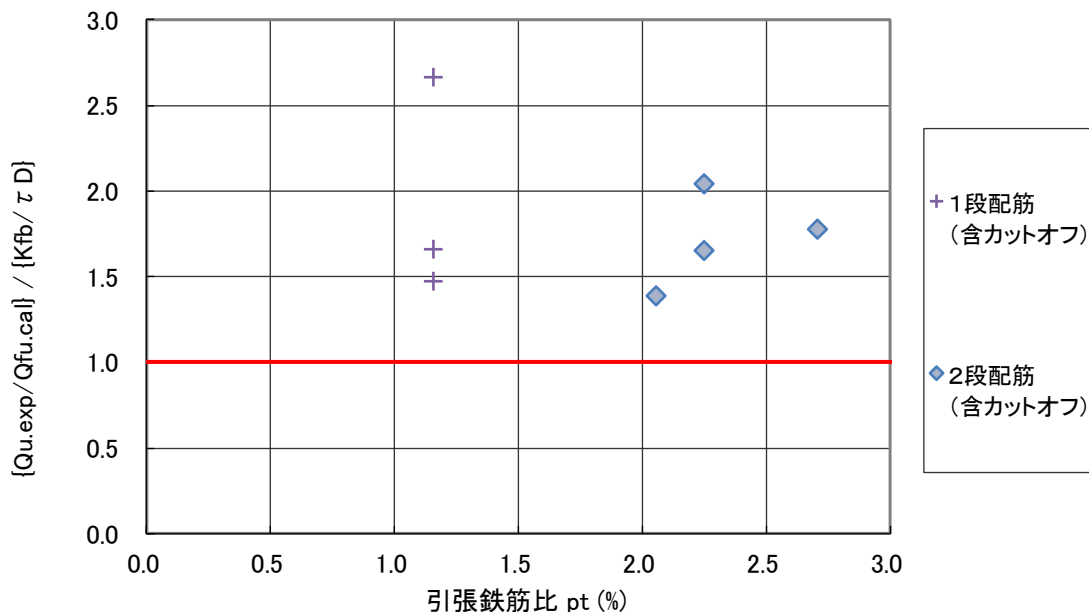


図 3.5.62 $\{Q_{u.exp}/Q_{f.cal}\}/\{K_{fb}/\tau_D\}$ —引張鉄筋比関係 (付着破壊型)

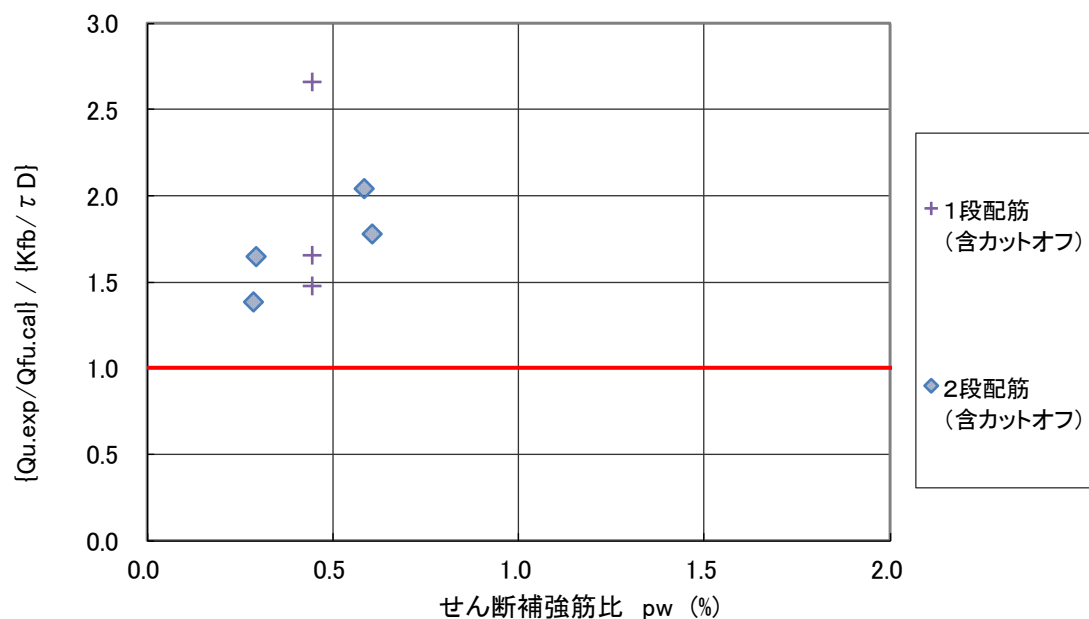


図 3.5.63 $\{Q_{u.exp}/Q_{f.cal}\}/\{K_{fb}/\tau_D\}$ —せん断補強筋比関係 (付着破壊型)

d. 考察

対象試験体数 7 体、付着余裕度 K_{fb}/τ_D に対する $Q_{u.exp}/Q_{f.cal}$ (曲げ終局強度(3.5.5)式のときのせん断力 $Q_{f.cal}$ に対する最大せん断力実験値 $Q_{u.exp}$ の比率) の比率は、平均値 1.81、変動係数 0.22、 $\pm 30\%$ 以内の試験体は 0 体で、付着余裕度に対して $Q_{u.exp}/Q_{f.cal}$ が高い。

3.5.12 付着強度（靱性指針式）

a. 靱性指針式^[3.7.2]

鉄筋コンクリート造建物の靱性保証型耐震設計指針（1999）^[3.4]の6.8節に記載されている付着の検討については、以下の通り算定する。

設計用付着応力度 τ_f が付着信頼強度 τ_{bu} を下回ることを確認する。

設計用付着応力度 τ_f (N/mm²)

$$\tau_f = d_b \cdot \Delta\sigma / \{4(L-d)\} \quad (3.5.20)$$

$\Delta\sigma$ は部材両端部の主筋の応力度の差で、降伏強度の2倍とする。

d_b : 主筋径 (mm)

L : クリアスパン長さ (mm)

d : 部材の有効せい (mm)

なお、カットオフ筋に対しては、 L を付着長さ l_d に読み替え、 $\Delta\sigma$ は降伏強度の1倍として算出する。

付着信頼強度 τ_{bu} (N/mm²)

1段目主筋の付着信頼強度は、式(3.5.21)によることができる。

$$\tau_{bu} = \alpha_t \left\{ (0.085b_i + 0.10) \sqrt{\sigma_B} + k_{st} \right\} \quad (3.5.21)$$

$$\alpha_t = \begin{cases} 0.75 + \sigma_B / 400 & (\text{梁の上端主筋}) \\ 1.0 & (\text{上記以外の主筋}) \end{cases}$$

$$b_i = \min(b_{si}, b_{ci})$$

$$b_{si} = (b - N_1 \cdot d_b) / (N_1 \cdot d_b)$$

$$b_{ci} = \left\{ \sqrt{2}(d_{cs} + d_{ct}) - d_b \right\} / d_b$$

$$k_{st} = \begin{cases} (54 + 45N_w / N_1)(b_{si} + 1)p_w & (b_{ci} \geq b_{si} \text{ のとき}) \\ 140A_w / (d_b s) & (b_{ci} < b_{si} \text{ のとき}) \end{cases}$$

b : 部材の幅 (mm)

σ_B : コンクリートの圧縮強度 (N/mm²)

N_1 : 1段目主筋の本数

d_{cs} : 主筋の中心から側面までのかぶり厚さ (mm)

d_{ct} : 主筋の中心から底面までのかぶり厚さ (mm)

N_w : 1組の横補強筋の足の数 (= $N_s + 2$)

p_w : 横補強筋比

A_w : 横補強筋1本の断面積 (mm²)

s : 横補強筋間隔 (mm)

N_s : 中子筋の本数

2段目主筋の付着信頼強度は、式(3.5.22)によることができる。

第3章 梁部材

$$\tau_{bu2} = \alpha_2 \cdot \alpha_t \left\{ (0.085b_{st2} + 0.10) \sqrt{\sigma_B} + k_{st2} \right\} \quad (3.5.22)$$

$$b_{st2} = (b - N_2 \cdot d_b) / (N_2 \cdot d_b)$$

$$k_{st2} = 99(b_{st2} + 1)p_w$$

N_2 : 2 段目主筋の本数

α_2 : 2 段目主筋に対する強度低減係数で, $\alpha_2 = 0.6$ としてよい。

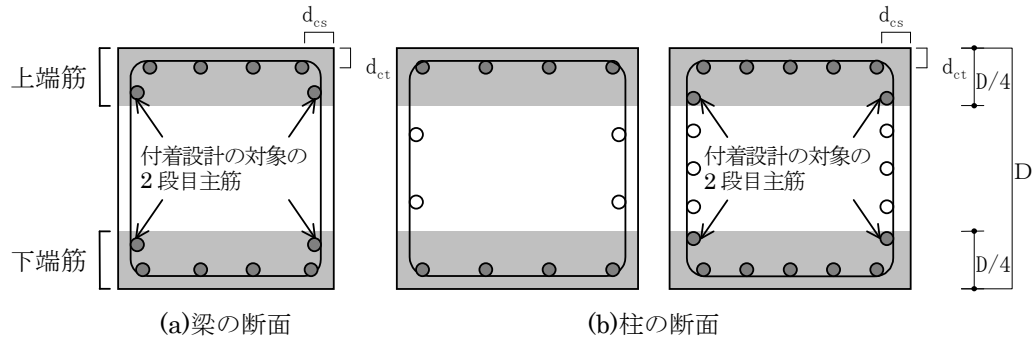


図 3.5.64 付着強度の確保の対象となる主筋

b. 実験値と計算値の比較

(3.5.20)～(3.5.22)式による付着強度 τ_{bu} に対する設計用付着応力度 τ_f の比率を付着余裕度 τ_{bu}/τ_f とし、曲げ終局強度(3.5.5)式のときのせん断力 $Q_{f.cal}$ に対する最大せん断力実験値 $Q_{u.exp}$ の比率 $Q_{u.exp}/Q_{f.cal}$ を比較したものが図 3.5.64 である。つまり、付着余裕度が 1.0 以上は、計算上、主筋が降伏することになり、試験体は曲げ終局強度の計算値を発揮されることが想定される。表 3.5.16 に $\{Q_{u.exp}/Q_{f.cal}\}/\{\tau_{bu}/\tau_f\}$ の平均などを示す。対象は付着破壊型の試験体で、主筋の段数、カットオフ筋の有無で区別している。

付着余裕度の計算は次のように行った。

- ✓ 鉄筋の設計用引張応力度には降伏応力度の実験値を用いた。
- ✓ 上端筋とその他の鉄筋の区別は、打設方向に鉄筋の下方へ 300mm 以上のコンクリートがあるものを上端筋、それ以外をその他の鉄筋とした。打設方向は、文献にせい方向と明記されているか、文献内で下端筋と上端筋を区別して結果や考察が記述されているものは、せい方向への打設とし、文献から読み取れないものは、その他の鉄筋として取り扱った。

表 3.5.16 $\{Q_{u.exp}/Q_{f.cal}\}/\{\tau_{bu}/\tau_f\}$ に関する統計データ (付着破壊型)

$\{Q_{u.exp}/Q_{f.cal}\}/\{K_{fb}/\tau_D\}$ データ						
配筋	試験体数	平均	変動係数	最大	最小	±30%以内
1 段配筋 (全通し筋)	23	1.79	0.23	2.90	1.27	1
1 段配筋 (含カットオフ)	3	3.42	0.39	5.31	2.33	0
2 段配筋 (全通し筋)	18	1.35	0.14	1.64	1.02	8
2 段配筋 (含カットオフ)	4	2.38	0.06	2.53	2.17	0
全体	48	1.78	0.39	5.31	1.02	9

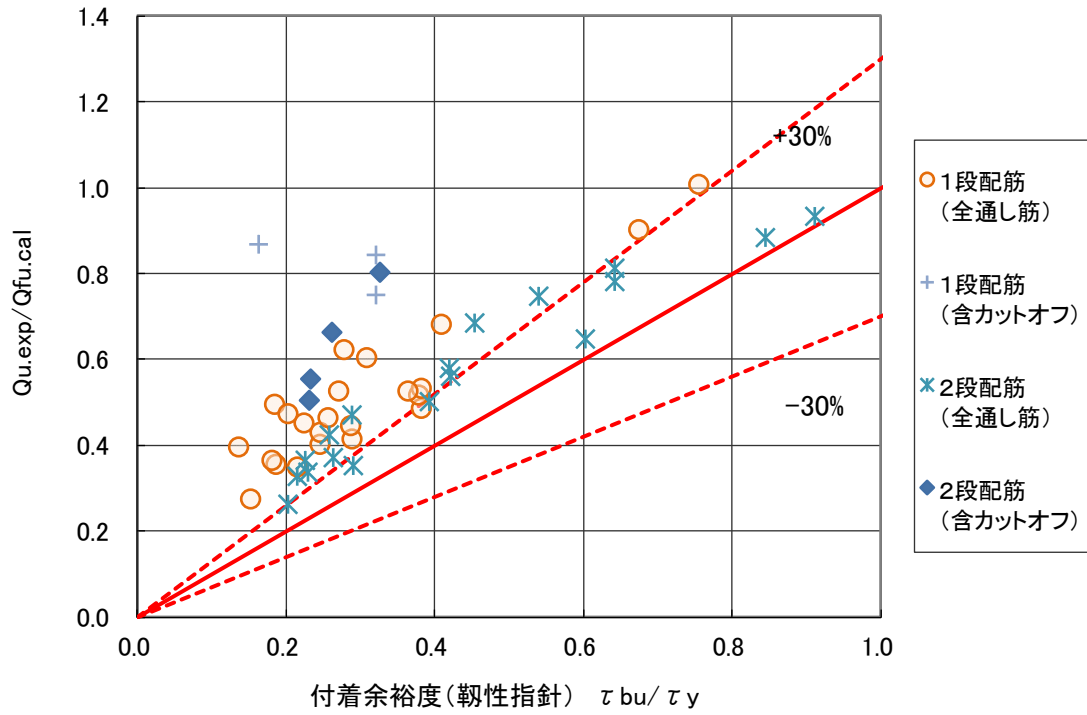


図 3.5.64 靱性保証指針の付着余裕度と実験値 (付着破壊型)

c. 付着余裕度 τ_{bu}/τ_f の影響因子分析

図 3.5.54 から図 3.5.57 に、 $\{Q_{u.exp}/Q_{f.cal}\}/\{\tau_{bu}/\tau_f\}$ とコンクリート強度、せん断スパン比、引張鉄筋比およびせん断補強筋比の関係を示す。対象は付着破壊型の試験体である。

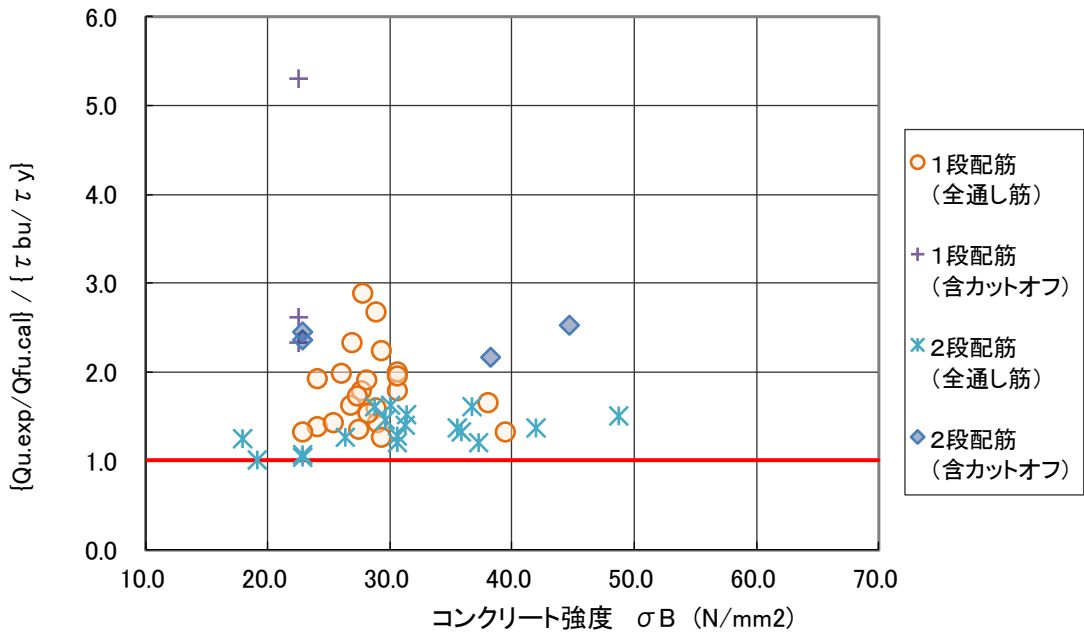


図 3.5.65 $\{Q_{u.exp}/Q_{f.cal}\}/\{\tau_{bu}/\tau_f\}$ - コンクリート強度関係 (付着破壊型)

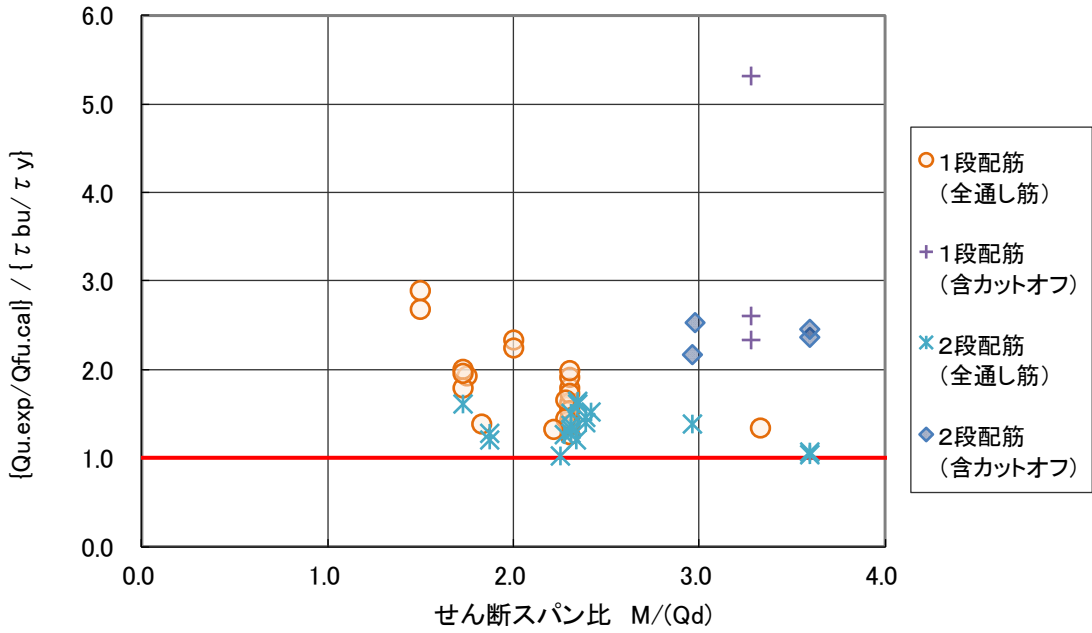


図 3.5.66 $\{Q_{u.exp}/Q_{f.cal}\}/\{\tau_{bu}/\tau_f\}$ - せん断スパン比関係 (付着破壊型)

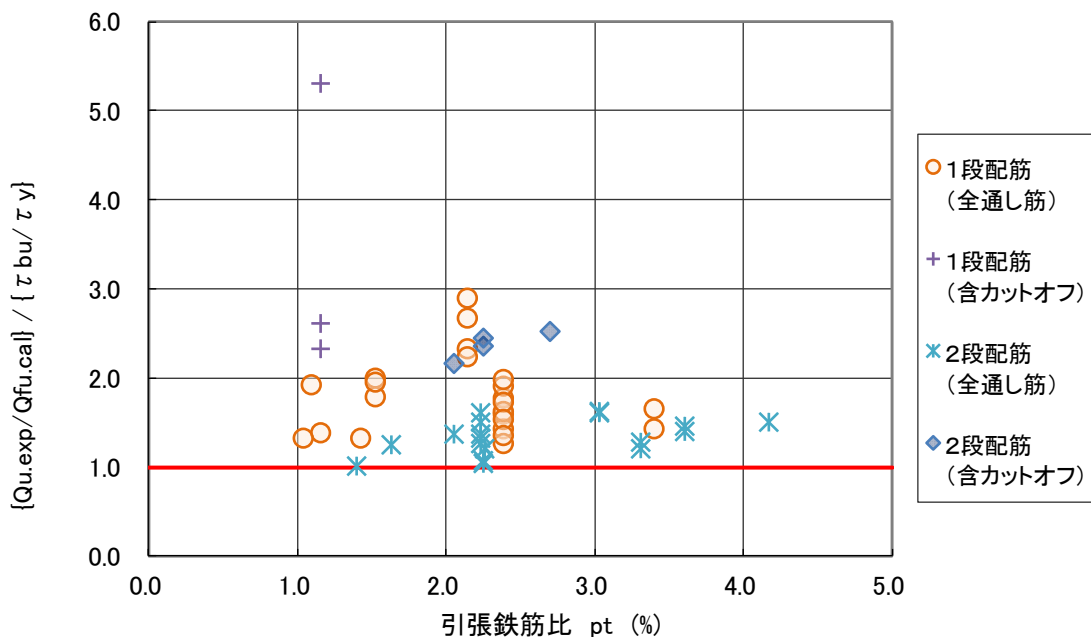


図 3.5.67 $\{Q_{u.exp}/Q_{f.cal}\}/\{\tau_{bu}/\tau_f\}$ —引張鉄筋比関係 (付着破壊型)

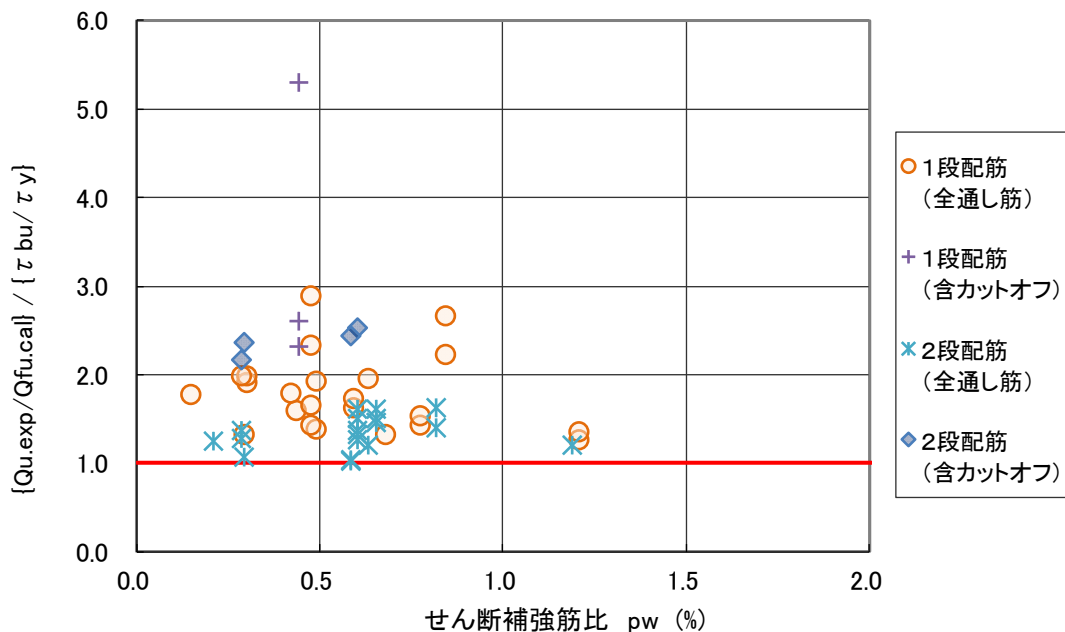


図 3.5.68 $\{Q_{u.exp}/Q_{f.cal}\}/\{\tau_{bu}/\tau_f\}$ —せん断補強筋比関係 (付着破壊型)

d. 考察

対象試験体数 48 体、付着余裕度 τ_{bu}/τ_f に対する $Q_{u.exp}/Q_{f.cal}$ (曲げ終局強度(3.5.5)式のときのせん断力 $Q_{f.cal}$ に対する最大せん断力実験値 $Q_{u.exp}$ の比率) の比率は、平均値 1.78、変動係数 0.39、 $\pm 30\%$ 以内の試験体は 9 体で、付着余裕度に対して $Q_{u.exp}/Q_{f.cal}$ が高く、特にカットオフ筋を含む試験体で高い。

3.6 評価式間の関係

3.6.1 せん断余裕度

せん断強度の計算値（横軸）と実験値（縦軸）の比較を図 3.6.1 と図 3.6.2 に示す。せん断強度は、(3.5.8)式の荒川 min 式で算出したものが図 3.6.1、(3.5.9)式の荒川 mean 式で算出したものが図 3.6.2 で、破壊形式の実験結果をプロットで区別している。横軸と縦軸ともに、(3.5.5)式の曲げ終局強度計算値で除している。

図 3.6.1 より、横軸の曲げ終局強度計算値に対するせん断強度計算値の比率（せん断余裕度）が 1.0 未満の試験体では、実験値は計算値を上回っている。せん断余裕度が 1.0 以上の試験体では実験値が計算値を下回っているものがあるが、せん断余裕度 1.3 以上では、ほぼ実験値が計算値を上回っている。破壊形式に関しては、せん断余裕度による予測精度は良くない。これは、曲げ終局強度計算値の評価精度に比べてせん断強度計算値の精度はやや安全側であること、多段配筋梁では1段目鉄筋の降伏をもって“曲げ降伏”としており、その影響が曲げせん断破壊や曲げ付着破壊の結果に見られること、などが考えられる。

図 3.6.2 より、実験値が計算値を下回る試験体がいくつか見られる。せん断余裕度 1.5 以上では、ほぼ実験値が計算値を上回っている。

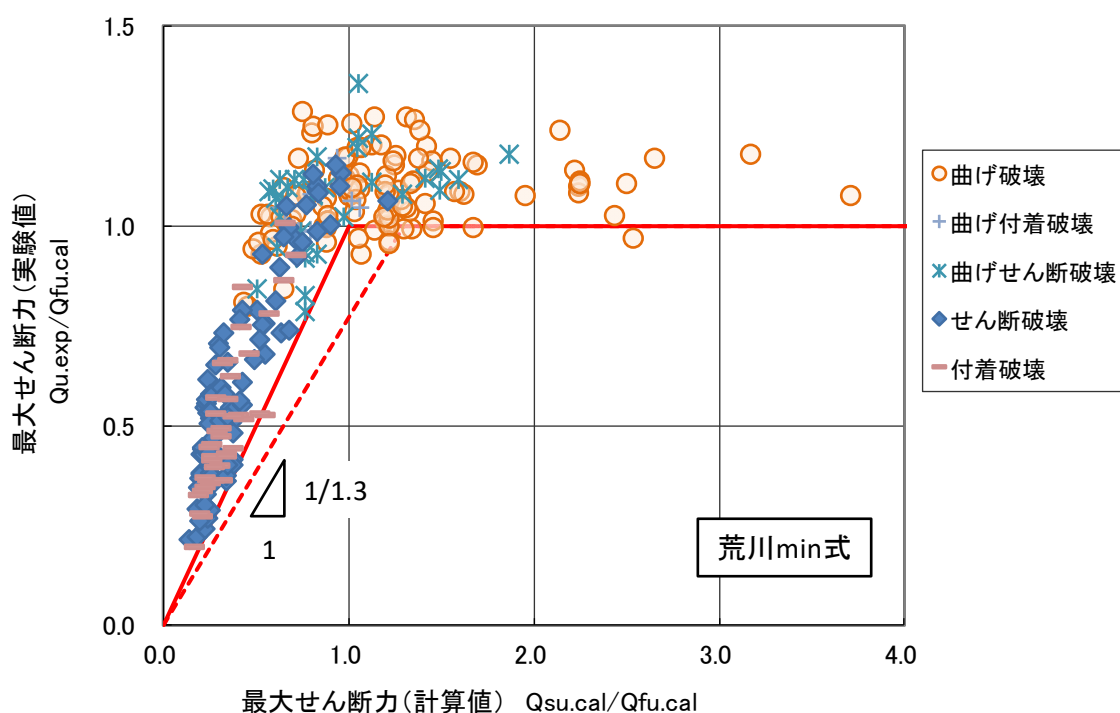


図 3.6.1 せん断強度（下限式）の計算値と実験値の比較

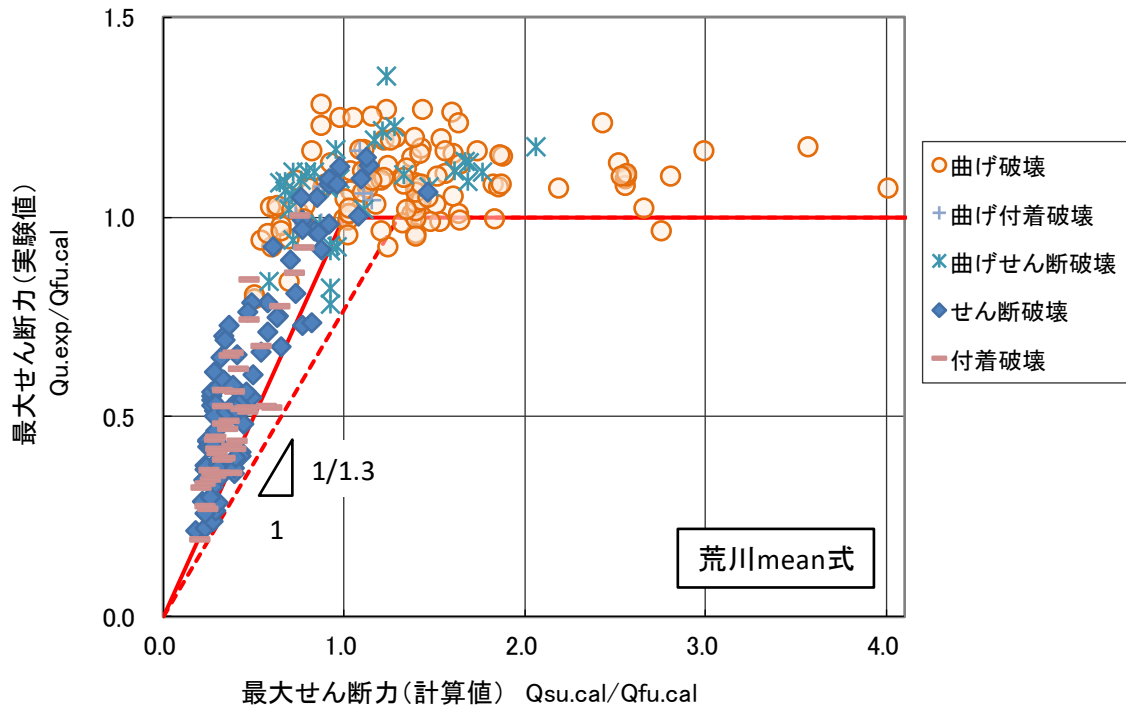


図 3.6.2 せん断強度 (平均値式) の計算値と実験値の比較

3.6.2 RC 規準と靱性保証指針の付着強度

設計用付着応力度に対する付着強度の比率（付着余裕度）について、RC 規準と靱性保証指針の計算値を比較したものが図 3.6.3～図 3.6.6 である。1 段配筋と 2 段配筋、全て通し筋の試験体とカットオフ筋を含む試験体をそれぞれ区別している。各々の試験体では、鉄筋毎の付着余裕度の中で最小値を採用している。RC 規準によるカットオフ筋の付着余裕度は(3.5.11)式の規準式を用いている。プロットは破壊形式の実験結果を区別しており、破壊形式は曲げ破壊、曲げ付着破壊、付着破壊を対象とした。

靱性保証指針の付着余裕度は、RC 規準よりも大きい傾向にある。2 段配筋の試験体では、靱性保証指針の付着余裕度は、RC 規準よりも 1.5 倍以上大きいものも多く存在し、付着強度の計算値は RC 規準よりも靱性保証指針のほうが高い傾向にある。

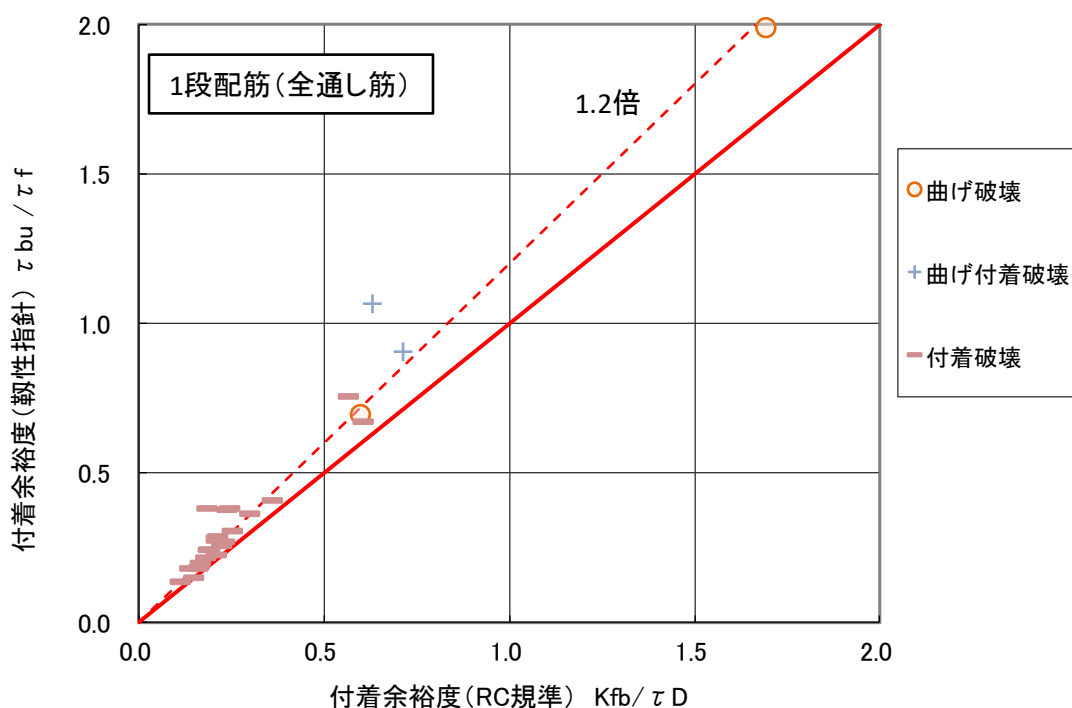


図 3.6.3 RC 規準と靱性指針の付着余裕度の比較（1 段配筋，全通し筋）

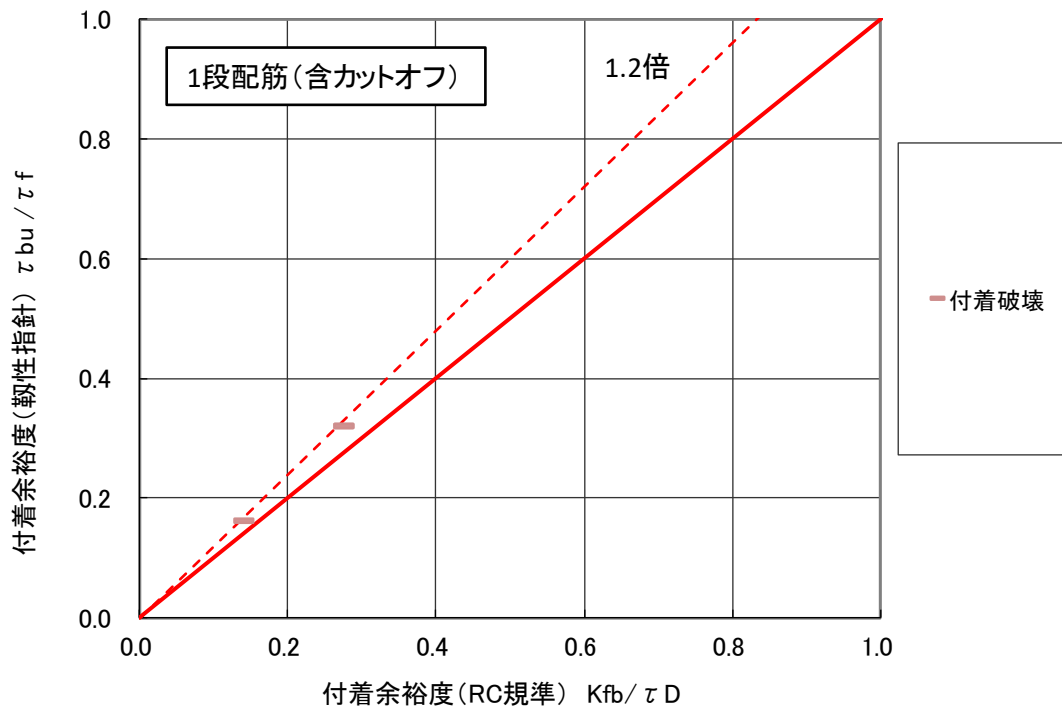


図 3.6.4 RC 規準と靱性指針の付着余裕度の比較 (1 段配筋, 含カットオフ)

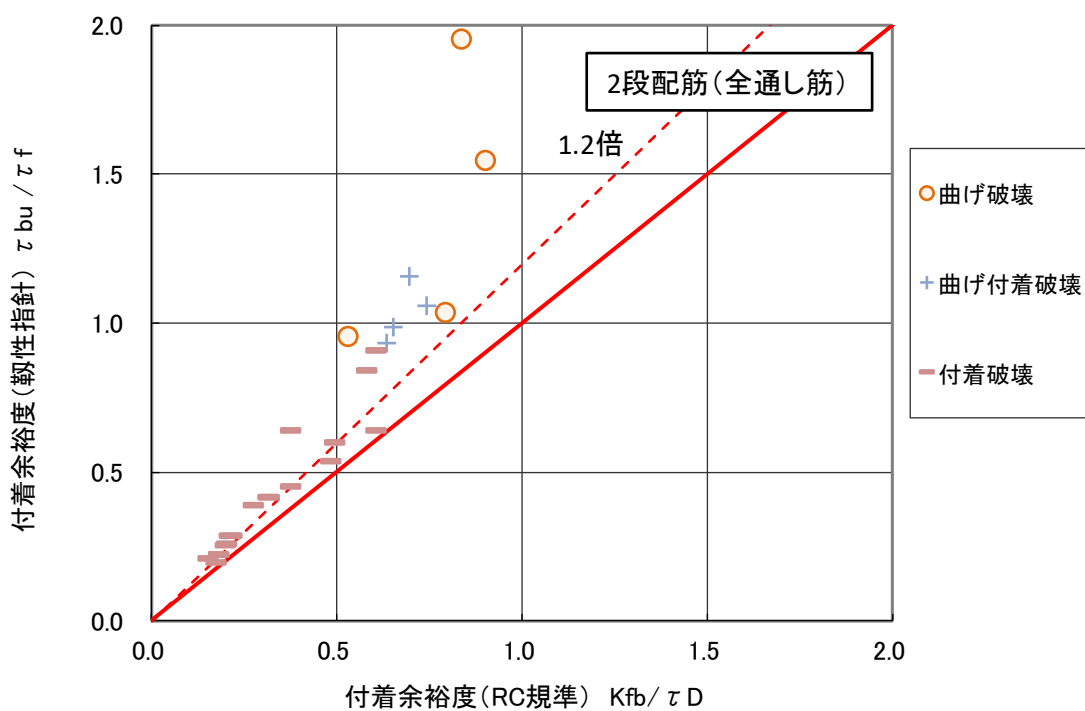


図 3.6.5 RC 規準と靱性指針の付着余裕度の比較 (2 段配筋, 全通し筋)

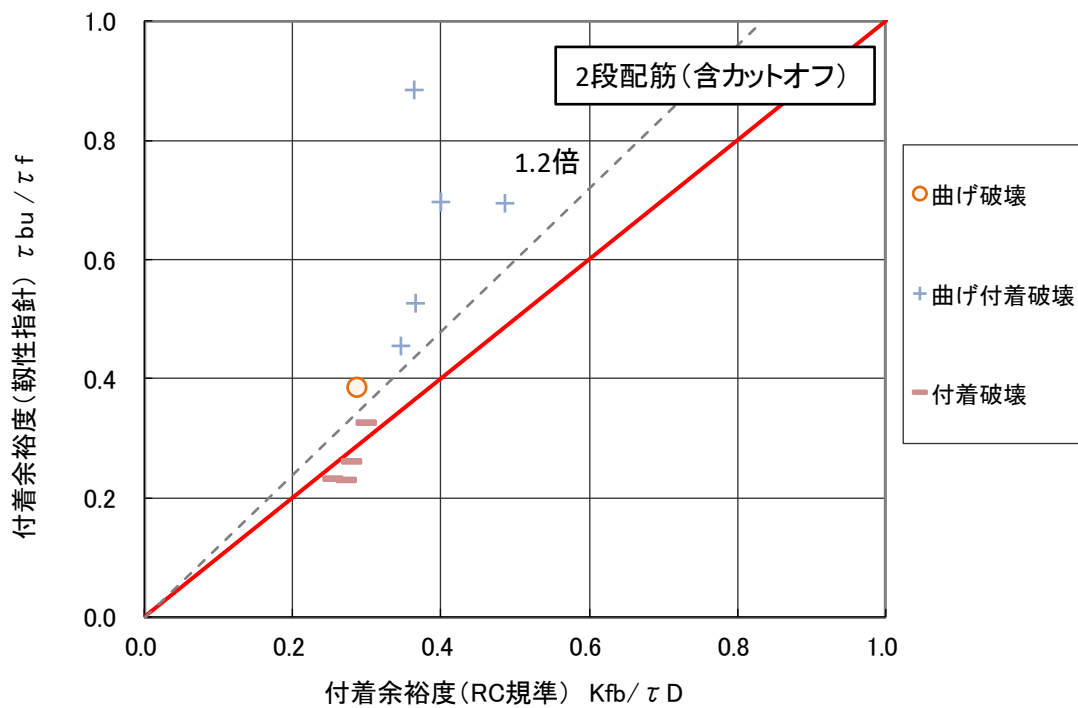


図 3.6.6 RC 規準と靱性指針の附着余裕度の比較 (2 段配筋, 含カットオフ)

3.6.3 カットオフ筋の付着検定におけるRC規準(2018)の規準式と解説式

RC規準(2018)の解説では、カットオフ筋の付着の安全性の検討で、せん断補強筋を十分に配置すれば、テンションシフト領域を有効せい d から $d/2$ に緩和できる検定式が示された。この解説式とRC規準の本文の規準式は、いずれを用いても良いとしている。ここでは、規準式と解説式の比較を行う。

付着強度 Kf_b に対する設計用付着応力度 τ_D の比率を付着余裕度 Kf_b/τ_D とする。曲げ終局強度(3.5.5)式のとときのせん断力 $Q_{f.cal}$ に対する最大せん断力実験値 $Q_{u.exp}$ の比率を $Q_{u.exp}/Q_{f.cal}$ とし、これを付着余裕度と比較する。図3.6.7～図3.6.10は、1段配筋と2段配筋の試験体について、それぞれ規準式と解説式で算出した結果を示している。プロットは破壊形式の実験結果と配筋(すべて通し筋かカットオフ筋を含むか)を区別しており、破壊形式は曲げ破壊、曲げ付着破壊、付着破壊を対象とした。

図3.6.7(1段配筋)と図3.6.9(2段配筋)は規準式の結果で、全て通し筋の試験体は、付着余裕度 Kf_b/τ_D が大きくなると $Q_{u.exp}/Q_{f.cal}$ も大きくなっており、カットオフ筋を含む試験体のプロットは、全通し筋の試験体の集合より上方にある。カットオフ筋を含む試験体の付着余裕度は、全通し筋の試験体よりも安全側と考えられる。解説式を用いた結果が図3.6.8(1段配筋)と図3.6.10(2段配筋)で、カットオフ筋を含む試験体のプロットも、全通し筋の試験体の集合の中に位置していることが分かる。解説式で付着余裕度を計算することで、カットオフ筋を含む試験体の付着余裕度も全通し筋の試験体と同程度の評価精度になると考えられる。

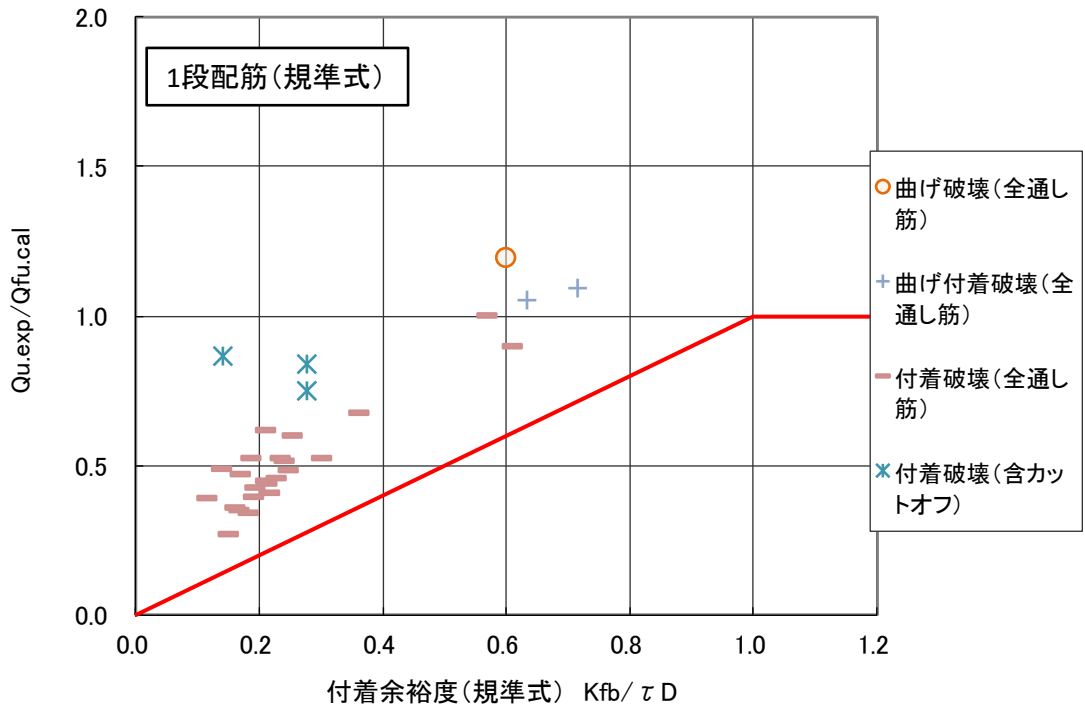


図 3.6.7 RC 規準式の付着余裕度と実験結果の比較 (1 段配筋)

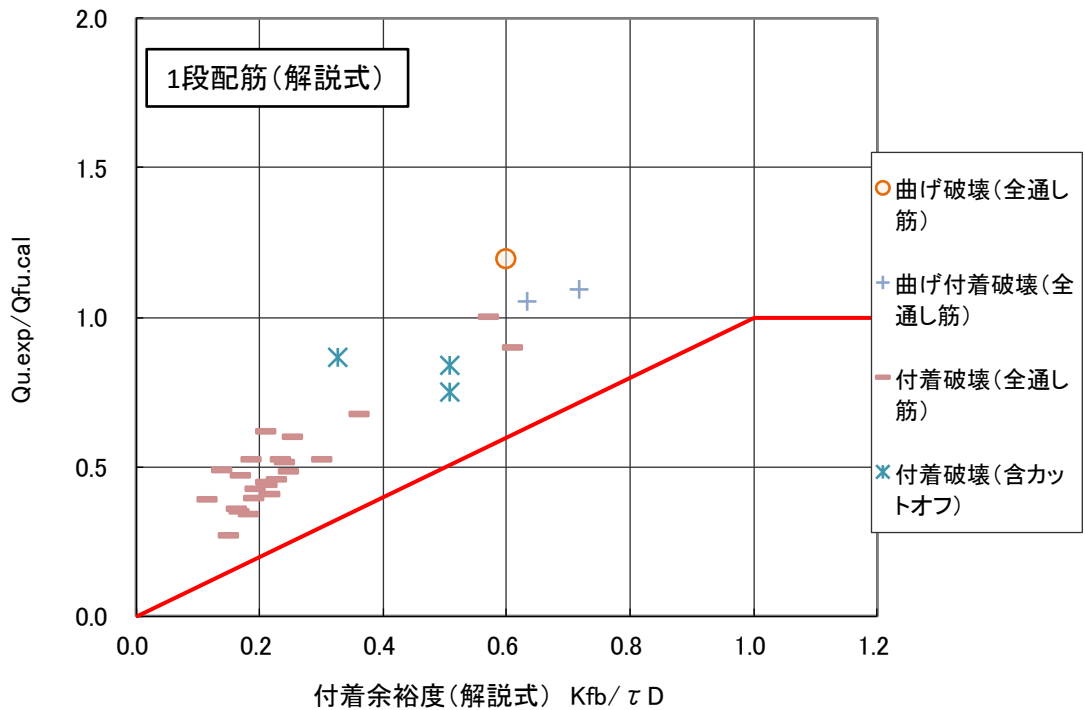


図 3.6.8 RC 規準の解説式の付着余裕度と実験結果の比較 (1 段配筋)

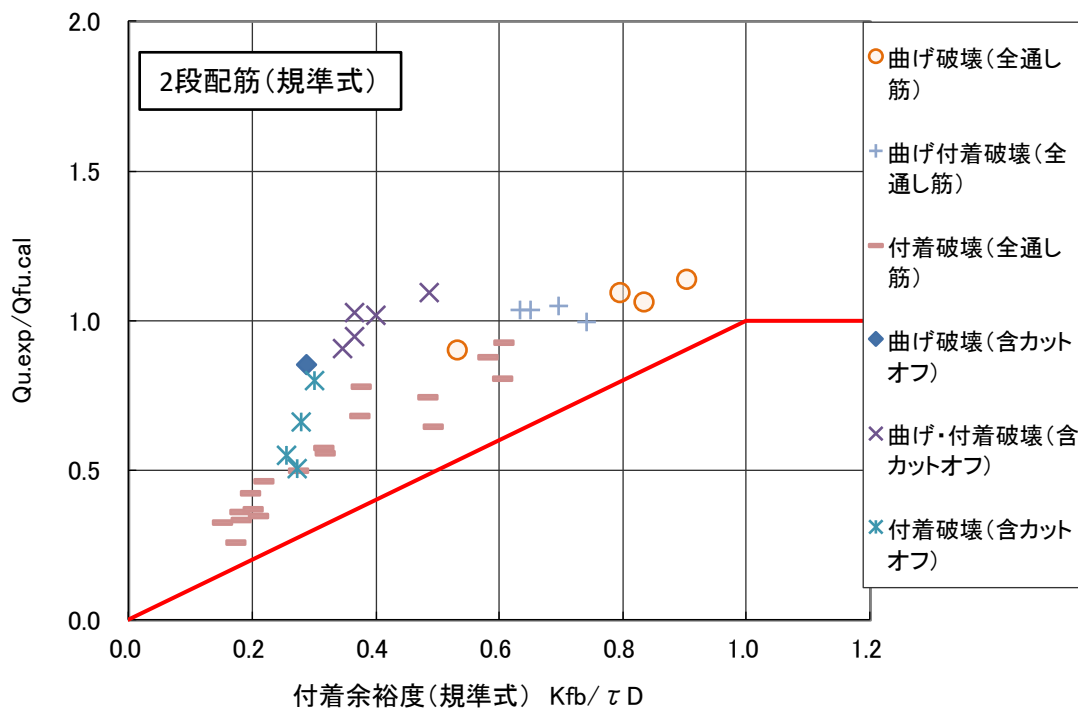


図 3.6.9 RC 規準の付着余裕度と実験結果の比較 (2 段配筋)

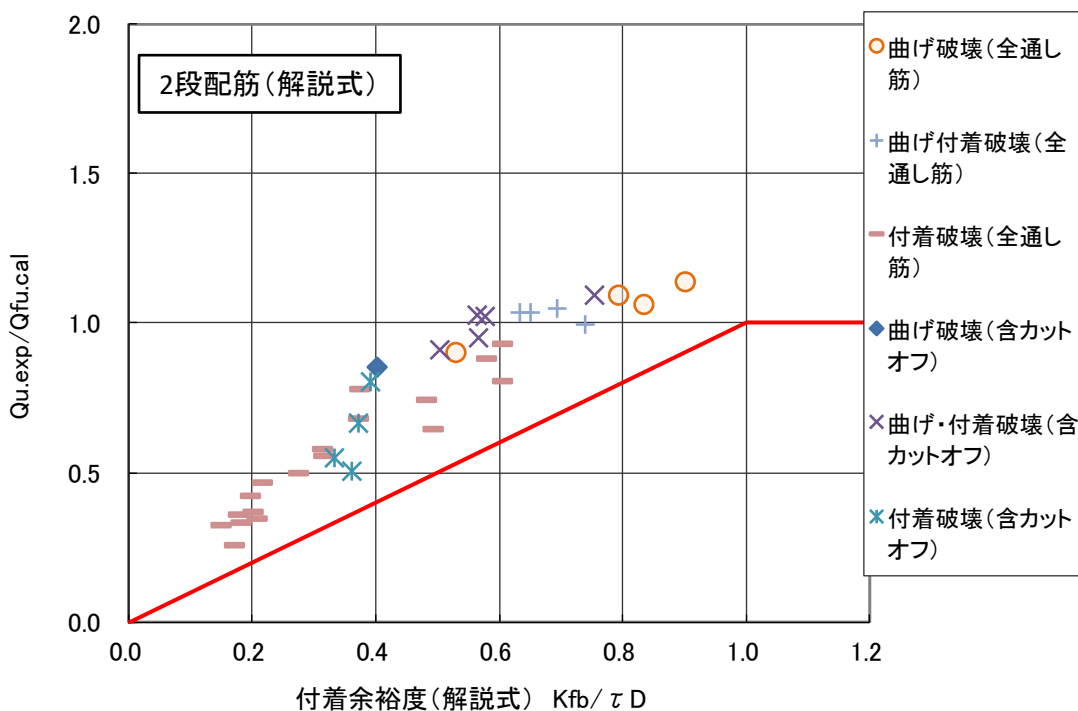


図 3.6.10 RC 規準の解説式の付着余裕度と実験結果の比較 (2 段配筋)

3.7 まとめ

それぞれの評価式の検証結果から以下の知見が得られた。

- 1) 曲げひび割れ強度：曲げ降伏先行型（曲げ破壊、曲げ・せん断破壊、曲げ・付着破壊）、せん断破壊型、付着破壊型を対象。試験体数 79 体、実験値／計算値は平均値 1.07、変動係数 0.54、±30%以内の試験体は 37 体で、ばらつきが大きい。ばらつきの原因は、初期ひび割れの視認の遅れ、加力前に発生するひび割れなどの影響が考えられる。実験値／計算値とコンクリート強度の関係では、 30N/mm^2 以下で（実験値／計算値）が高めとなる傾向が見られたが、他のパラメータとの相関は見られなかった。
- 2) 弾性剛性：曲げ降伏先行型、せん断破壊型、付着破壊型を対象。試験体数 37 体、実験値／計算値は平均値 0.46、変動係数 0.56、±30%以内の試験体は 7 体で、実験値は計算値に比べて低く、実験値／計算値のばらつきも大きい。実験値／計算値は、引張鉄筋比が大きいほど高くなる傾向にあり、そのため、曲げ降伏先行型よりもせん断破壊型の試験体のほうが実験値／計算値は高い傾向にある。
- 3) せん断ひび割れ強度（基準式）：曲げ降伏先行型、せん断破壊型、付着破壊型を対象。試験体数 124 体、実験値／計算値は平均値 1.05、変動係数 0.44、±30%以内の試験体は 88 体で、計算値に対する実験値のばらつきが大きい。特に、コンクリート強度が低いと、実験値／計算値のばらつきが大きい傾向があった。
- 4) せん断ひび割れ強度（靱性指針式）：曲げ降伏先行型、せん断破壊型、付着破壊型を対象。試験体数 124 体、実験値／計算値は平均値 0.90、変動係数 0.55、±30%以内の試験体は 69 体で、計算値が実験値よりもやや高めである。せん断ひび割れ強度式（基準式）に比べてばらつきが大きい。
- 5) 曲げ終局強度：曲げ降伏先行型を対象。試験体数 169 体、実験値／計算値は平均値 1.10、変動係数 0.10、±30%以内の試験体は 165 体で、計算値の評価精度は高く、ほとんどの試験体で実験値／計算値の値が±30%以内となった。
- 6) 降伏点剛性低下率：曲げ降伏先行型を対象。試験体数 27 体、実験値／計算値は平均値 0.94、変動係数 0.23、±30%以内の試験体は 23 体で、実験値／計算値は、せん断スパン比が 2.0 以上では低め、2.0 未満では高めな傾向が見られた。
- 7) せん断強度（荒川 min 式）：せん断破壊型と付着破壊型を対象。せん断破壊型は、試験体数 88 体、実験値／計算値は平均値 1.62、変動係数 0.23、±30%以内の試験体は 18 体であった。付着破壊型は、試験体数 48 体、実験値／計算値は平均値 1.51、変動係数 0.21、±30%以内の試験体は 11 体であった。いずれの破壊型でも、2 段配筋梁の実験値／計算値は 1 段配筋梁よりも高い傾向が見られた。付着破壊型の実験値／計算値は、カットオフ筋を含む試験体は全て通し筋の試験体よりも低い傾向にあり、1 段配筋でカットオフ筋を含む試験体では実験値が計算値を下回った。
- 8) せん断強度（荒川 mean 式）：せん断破壊型と付着破壊型を対象。せん断破壊型は、試験体数 88 体、実験値／計算値は平均値 1.41、変動係数 0.24、±30%以内の試験体は 41 体であった。付着破壊型は、試験体数 48 体、実験値／計算値は平均値 1.34、変動係数 0.21、±30%以内の試験体は 22 体であった。いずれの破壊型でも、2 段配筋梁の実験値／計算値は 1 段配筋梁よりも高い傾向が見られた。付着破壊型の実験値／計算値は、カットオフ筋を含む試験体は

第3章 梁部材

全て通し筋の試験体よりも低い傾向にあり、1 段配筋でカットオフ筋を含む試験体では実験値が計算値を下回った。

- 9) 付着強度 (RC 規準式) : 付着破壊型を対象。試験体数 48 体、付着余裕度 Kf_b/τ_D に対する $Q_{u.exp}/Q_{f.cal}$ (曲げ終局強度(3.5.5)式のときのせん断力 $Q_{f.cal}$ に対する最大せん断力実験値 $Q_{u.exp}$ の比率) の比率は、平均値 2.18、変動係数 0.35、±30%以内の試験体は 0 体で、付着余裕度に対して $Q_{u.exp}/Q_{f.cal}$ が高く、特にカットオフ筋を含む試験体で高い。
- 10) 付着強度 (RC 規準の解説式) : カットオフ筋を含む梁試験体で付着破壊型を対象。試験体数 7 体、付着余裕度 Kf_b/τ_D に対する $Q_{u.exp}/Q_{f.cal}$ (曲げ終局強度(3.5.5)式のときのせん断力 $Q_{f.cal}$ に対する最大せん断力実験値 $Q_{u.exp}$ の比率) の比率は、平均値 1.81、変動係数 0.22、±30%以内の試験体は 0 体で、付着余裕度に対して $Q_{u.exp}/Q_{f.cal}$ が高い。
- 11) 付着強度 (靱性指針式) : 付着破壊型を対象。試験体数 48 体、付着余裕度 τ_{bul}/τ_f に対する $Q_{u.exp}/Q_{f.cal}$ (曲げ終局強度(3.5.5)式のときのせん断力 $Q_{f.cal}$ に対する最大せん断力実験値 $Q_{u.exp}$ の比率) の比率は、平均値 1.78、変動係数 0.39、±30%以内の試験体は 9 体で、付着余裕度に対して $Q_{u.exp}/Q_{f.cal}$ が高く、特にカットオフ筋を含む試験体で高い。
- 12) せん断強度計算値と曲げ終局強度計算値の比率 (せん断余裕度) : せん断強度に荒川 min 式を用いたせん断余裕度は、1.0 未満では実験値が計算値を上回っていたが、1.0 以上では実験値が計算値を下回ったものがあった。せん断余裕度 1.3 以上では、ほぼ実験値が計算値を上回っている。破壊形式に関しては、せん断余裕度による予測精度は良くない。これは、曲げ終局強度計算値の評価精度に比べてせん断強度計算値の精度はやや安全側であること、多段配筋梁では 1 段目鉄筋の降伏をもって“曲げ降伏”としており、その影響が曲げせん断破壊や曲げ付着破壊の結果に見られること、などが考えられる。せん断強度に荒川 mean 式を用いたせん断余裕度では、1.0 未満でも実験値が計算値を下回る試験体がいくつか見られた。せん断余裕度 1.5 以上では、ほぼ実験値が計算値を上回っていた。
- 13) RC 規準と靱性保証指針の付着強度計算値を比較した結果、靱性保証指針の付着余裕度は、RC 規準よりも大きい傾向にあった。2 段配筋の試験体では、靱性保証指針の付着余裕度は、RC 規準よりも 1.5 倍以上大きいものも多く存在し、付着強度の計算値は RC 規準よりも靱性保証指針のほうが高い傾向にあった。
- 14) RC 規準の付着検定について、カットオフ筋に規準式を用いた場合、カットオフ筋を含む試験体の付着余裕度は、全通し筋の試験体よりも安全側と考えられる。カットオフ筋に解説式を用いると、カットオフ筋を含む試験体の付着余裕度も全通し筋の試験体と同程度の評価精度になると考えられる。

3.8 参考文献

- [3-1] 青山博之, 平石久廣, 榊田佳寛, 阿部道彦, 塩原等, 上之菌隆志, 勅使川原正臣, 野口博, 藤谷秀雄: 鉄筋コンクリート造建築物の超軽量・超高層化技術の開発, 建築研究報告 No.139, 2001, 国土交通省建築研究所
- [3-2] 室田達郎, 青山博之, 平石久廣: NewRC プロジェクトの経緯および概要, コンクリート工学, 6-10, 1994
- [3-3] 東洋一: 鉄筋コンクリート短柱の崩壊防止に関する総合研究(その1・全体計画とその経過), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造系 48(構造), 1413-1414, 1973-10
- [3-4] 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
- [3-5] 鉄筋コンクリート造建物の終局強度型耐震設計指針・同解説, 日本建築学会, 1990
- [3-6] 平成 22 年度建築基準整備促進事業 調査事項 27-1 長周期地震動に対する鉄筋コンクリート造報告書, 国土交通省, 2011.4
- [3-7] 石川裕次, 田邊裕介, 宮内靖昌, 木村秀樹, 前田匡樹, 福山洋: 多数回繰り返し外力を受ける鉄筋コンクリート造柱の耐震性能(その2), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2011.8
- [3-8] 石川裕次, 木村秀樹: 高軸力が作用する高強度 RC 柱部材の平面保持仮定成立の限界点, 日本建築学会構造系論文集, No.595, pp.87-91, 2005.9
- [3-9] 建築物の構造関係技術基準解説書編集委員会: 2015 年版建築物の構造関係技術基準解説書, 2015
- [3-10] 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
- [3-11] 日本建築学会: 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 1991, 1991
- [3-12] M.J.N, Priestly, R.Park: Strength and Ductility of Concrete Bridge Columns Under Seismic Loading, ACI Structural Journal, pp61-76, January-February, 1987
- [3-13] 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
- [3-14] 石川裕次, 濱本学, 小谷俊介, 青山博之: 鉄筋コンクリート梁部材の変形能に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.14, No.2, 1992

3.9 試験体の引用文献

- [3-15] 大野和男：動的繰返荷重を受ける鉄筋コンクリート梁の抵抗性状，日本建築学会構造工学論文集 Vol.22, pp.47-54, 1976
- [3-16] 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，日本建築学会構造系論文集 No.285, pp.71-79, 1979.11
- [3-17] 磯健一：鉄筋コンクリート造はりの補修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.2, pp.313-316, 1980.5
- [3-18] 松崎育弘：高強度コンクリートを用いた柱及びはり部材のせん断耐力，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.8, pp.813-816, 1986.6
- [3-19] 檜貝勇他：曲げ降伏後にせん断破壊する RC 部材の破壊メカニズムに関する考察，日本コンクリート工学会年次大会報告書 9-2, pp.329-334, 1987.6
- [3-20] 坂田弘安他：軸方向変形の拘束効果を考慮した鉄筋コンクリートはりの弾塑性性状に関する実験研究，日本建築学会構造系論文集 380, pp.45-55, 1987.10
- [3-21] 奥出久人：せん断補強筋の強度が RC 梁のせん断耐力に及ぼす影響について，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.10 No.3, pp.623-628, 1988
- [3-22] 高木仁之他：せん断補強筋の強度による梁のせん断耐力，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.11, No.2, pp.75-80, 1989
- [3-23] 早川幸考他：短スパン梁の靱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 12-2, pp.179-184, 1990.6
- [3-24] 市川敦史他：高強度コンクリートと高強度主筋を用いた梁の実験的研究，日本コンクリート工学会年次大会報告書 12-2, pp.215-220, 1990.6
- [3-25] 中沢淳他：繰り返し曲げせん断を受ける 13000 キロ級の高強度せん断補強筋を用いた RC 梁のせん断および付着割裂破壊性状，日本コンクリート工学会年次大会報告書 12-2, pp.221-226, 1990.6
- [3-26] 仲地唯治：X 形主筋比の異なる短スパン梁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.13, No.2, pp.309-314, 1991
- [3-27] 望月重：プレキャスト梁端部の滑り性状に関する実験，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.14 No.2, pp.459-464, 1992.5
- [3-28] 岡本公夫：逆 T 形埋設型枠を用いた T 形梁の曲げせん断実験，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.14 No.2, pp.723-728, 1992.5
- [3-29] 中岡章郎：曲げ降伏型鉄筋コンクリート部材の変形性能に及ぼすせん断補強筋の加工形式の影響，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.14 No.2, pp.937-942, 1992.5
- [3-30] 中村雅彦他：高強度材料を用いた高層 RC 梁の曲げせん断実験，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.14 No.2, pp.529-534, 1992.5
- [3-31] 古川淳他：高強度鉄筋コンクリート梁の付着割裂破壊，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.14, No.2, pp.547-552, 1992.5
- [3-32] 小林克巳：RC はりの集約せん断補強効果に関する実験，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.14, No.2, pp.245-250, 1992.5

- [3-33] 石川裕次：鉄筋コンクリート梁部材の変形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.14, No.2, pp.255-260, 1992.5
- [3-34] 嘉村武浩他：鉄筋コンクリート梁部材の変形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 15, pp.335-340, 1993
- [3-35] 中野克彦他：水平打ち継ぎを有する RC 梁部材の曲げせん断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 15, pp.641-646, 1993
- [3-36] 楊辞冬他：超高強度材料を用いた梁のせん断破壊実験，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.15, No.2, pp.27-32, 1993
- [3-37] 中澤淳他：高強度開孔補強筋を用いた RC 有孔梁のせん断破壊性状，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.15, No.2, pp.293-298, 1993
- [3-38] 西浦範昭他：高強度せん断補強筋を用いた鉄筋コンクリートはりのせん断抵抗に関する研究，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.15, No.2, pp.461-466, 1993
- [3-39] 三橋博巳他：高強度コンクリートを用いた RC 造有孔梁のせん断補強方法，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.15, No.2, pp.731-736, 1993
- [3-40] 石川裕次：短スパン梁の強度と靱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 16 巻 2 号, pp.341-346, 1994
- [3-41] 石渡康弘：鉄筋コンクリート造有孔梁の変形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 16 巻 2 号, pp.395-400, 1994
- [3-42] 笹谷輝勝：機械式継手を有する RC 部材の集約せん断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 16 巻 2 号, pp.533-538, 1994
- [3-43] 大淵英夫：プレキャスト鉄筋コンクリート造基礎梁部材の曲げせん断実験，日本コンクリート工学会年次大会報告書 16 巻 2 号, pp.853-858, 1994
- [3-44] 松野一成他：正負繰返し荷重を受ける高強度 RC はりのせん断抵抗性状，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.16, No.2, pp.497-502, 1994
- [3-45] 前口剛洋：簡易補強材を用いた RC 造有孔梁補強方法の改善についての実験的研究，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.16, No.2, pp.383-388, 1994
- [3-46] 古川淳他：鉄筋コンクリート部材の変形性能に及ぼす鉄筋の降伏比の影響，日本建築学会構造系論文集 476, pp.129-137, 1995.10
- [3-47] 笹谷輝勝他：プレキャスト型枠を用いた梁の力学的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 17-2, pp.219-224, 1995
- [3-48] 牧田敏郎他：プレキャスト型枠を用いた梁の構造性能，日本コンクリート工学会年次大会報告書 17-2, pp.225-230, 1995
- [3-49] 小林信子他：RC 梁の曲げ降伏後のせん断劣化に関する研究，日本コンクリート工学会年次大会報告書 17-2, pp.571-576, 1995
- [3-50] 鈴木幹夫他：高強度せん断補強筋を用いた RC 梁部材の変形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 17-2, pp.577-582, 1995
- [3-51] 永井覚他：高強度材料を使用した高層 RC 造短スパン梁の実験的研究，日本コンクリート工学会年次大会報告書 17-2, pp.583-588, 1995

第3章 梁部材

- [3-52] 山本俊彦他：高強度開孔補強金物を用いた鉄筋コンクリート造有孔梁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.17, No.2, pp.625-630, 1995
- [3-53] 中野克彦他：高強度材料を用いたプレキャスト RC 有孔梁の変形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 17-2, pp.213-218, 1995
- [3-54] 小前健太郎他：束ね鉄筋を有する RC 梁の付着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.491-496, 1996.7
- [3-55] 山邊周志他：高強度せん断補強筋を用いたはり部材のせん断ひび割れ特性，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.18, No.2, pp.623-628, 1996.7
- [3-56] アグッサリム：高強度コンクリートを用いた鉄筋コンクリートはりのせん断抵抗性状，日本建築学会構造系論文集 Vol.76, No.497, pp.123-131, 1997.7
- [3-57] 前田匡樹：鉄筋コンクリート梁部材の変形評価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.19, No.37, pp.861-866, 1997.7
- [3-58] 對比地健一他：二段配筋された梁部材の付着割裂破壊，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.19, No.2, pp.615-620, 1997.7
- [3-59] 新具誠次：アフターボンド工法を用いた PRC 大梁の耐震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. 20 No. 3, pp.727-732, 1998
- [3-60] 西浦範昭：再生コンクリートを用いた鉄筋コンクリートはり部材に関する実験研究，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.20, No.2, pp.1081-1086, 1998
- [3-61] 田中礼治他：再生コンクリートを用いた鉄筋コンクリート構造に関する研究（その1 はり部材の曲げ,せん断,および付着破壊に関する実験），日本建築学会構造系論文集 518, pp.79-86, 1999.4
- [3-62] 李楨允他：繰り返し曲げせん断を受ける RC 梁の変形能力予測法，日本建築学会構造系論文集 520, pp.93-100, 1999.6
- [3-63] 蔵谷幸憲他：高靱性型セメント系複合材料を用いた梁部材の構造性能，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.21 No.3, pp.511-516, 1999
- [3-64] 文野正裕他：軸方向変形拘束を受ける RC 梁部材の挙動に関する実験研究，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.21, No.3, pp.517-522, 1999
- [3-65] 中野克彦他：水平打ち継を有する RC 梁部材のせん断補強筋が構造特性に及ぼす影響とせん断伝達性能，日本建築学会構造系論文集 No.528, pp.121-128, 2000.2
- [3-66] 中野克彦他：ハーフプレキャスト RC 部材の打ち継ぎ部のせん断伝達性状に関する研究，日本建築学会構造系論文集，pp.135-142, 2000.7
- [3-67] 衣笠秀行他：曲げ降伏後の大変形繰り返し载荷を受ける RC 梁部材のスリップ域における横方向歪蓄積により発生する破壊のメカニズム，日本建築学会構造系論文集，pp.147-153, 2000.12
- [3-68] 田中昭洋他：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，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.22 No.3, pp.493-498, 2000
- [3-69] 濱田真他：カットオフ筋を有する基礎梁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.337-342, 2001

- [3-70] 金吉熙他：せん断スパン、配筋の変化が RC 梁のせん断耐力と付着耐力に及ぼす影響，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.23, No.3, pp.307-311, 2001
- [3-71] 笠原美幸他：高靱性型セメント系複合材料を用いた梁、柱部材の構造性能に関する実験的研究，日本建築学会構造系論文集 No.553, pp.89-95, 2002.3
- [3-72] 渡辺英義他：曲げ降伏後にせん断破壊する RC 梁部材の靱性評価に関する実験研究，日本建築学会構造系論文集，pp.161-168, 2002.10
- [3-73] 勝亦一成：エネルギー吸収型境界梁の復元力特性に関する実験研究，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.33, No.2, pp.373-378, 2003.7
- [3-74] 西村勝尚他：U字型プレキャスト部材を用い材端で全数縦重ね継手下梁部材に関する実験的研究，日本建築学会構造系論文集，pp.85-91, 2004.3
- [3-75] 金子洋他：動的繰返し载荷を受ける鉄筋コンクリート片持ち梁の変形能に及ぼす载荷速度とせん断力の影響，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.26 No.2, pp.313-318, 2004
- [3-76] 千田啓吾他：超高強度コンクリート（150MPa級）梁部材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.26 No.2, pp.379-384, 2004
- [3-77] 島崎和司他：高耐力短スパン RC 梁に関する実験的研究，日本建築学会構造工学論文集 Vol.52B, pp.285-290, 2006.3
- [3-78] 川野翔平他：超高強度コンクリートを使用した RC 部材のせん断伝達メカニズムに関する研究，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.28 No.2, pp.643-648, 2006
- [3-79] 寺井雅和他：高延性材料を主筋とする鉄筋コンクリート部材の耐震性向上に関する一考察，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.28 No.2, pp.739-744, 2006
- [3-80] 渡辺健他：逆対称曲げが作用したディープビームの破壊性状に関する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.29, No.3, pp.691-696, 2007
- [3-81] 堀田久人：鉄筋の継手不良が RC 部材の構造性能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.31 No.2, pp.607-612, 2009
- [3-82] 高橋典之：鉄筋コンクリート部材のひび割れ量推定モデルの検証，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.31 No.2, pp.859-864, 2009
- [3-83] 向井智久：多数回繰返し変形を受ける端部固定度の異なる RC 造梁部材の劣化性状，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.32 No.2, pp.241-246, 2010.6
- [3-84] 久田昌典：高強度 RC 梁部材の曲げ降伏後のせん断破壊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.32 No.2, pp.775-780, 2010.6
- [3-85] 杉本訓祥：鉄筋コンクリート梁部材の多数回繰返し载荷時の挙動，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.33, No.2, pp.241-246, 2011.7
- [3-86] 都祭弘幸他：降伏機構分離型鉄筋コンクリート造梁の補修性能に関する研究，日本建築学会構造系論文集，pp.417-426, 2012.3
- [3-87] 伊藤彩夏他：2段目主筋をカットオフした RC 梁主筋の付着割裂強度，日本建築学会構造系論文集 No.690, pp.1477-1484, 2013.8
- [3-88] 篠原保二他：2段目カットオフ筋の付着割裂補強方法，日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.35, No.2, pp.577-582, 2013

第3章 梁部材

- [3-89] 掛 悟史, 倉本 洋, Juan Jose Castro, 加々良 昌史, 樋渡 健, 阿部 隆英, 久保 田 雅春: 既存 RC 梁の外付けせん断補強工法におけるせん断伝達機構, 日本建築学会構造系論文集 Vol.79 No.695, pp.113-120, 2014.1
- [3-90] 河南 孝典, 磯 雅人, 丸田 誠, 越路 正人: SD490 のせん断補強筋を用いた RC 梁部材のせん断ひび割れ開閉挙動, 日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.36 No.2, pp.145-150, 2014.7
- [3-91] 平山 正, 堀田 久人: 逆対称強制曲げ変形を受ける両端ハンチ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, 日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.36 No.2, pp.157-162, 2014.7
- [3-92] 渡嘉敷 勝, 浅野 勇, 森 充広, 西原 正彦: 縮小鉄筋を用いた梁縮小模型の曲げ挙動, 日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.36 No.2, pp.163-168, 2014.7
- [3-93] 荒木 秀夫, 徳川 達也, 日比野 陽: 既存 RC 建物における梁部材の耐震性能評価, 日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.36 No.2, pp.715-720, 2014.7
- [3-94] 渡辺 英義, 武田 基, 服部 敦志: スパン中央に添筋重ね継手を有するフル PCa 梁に関する実験研究, 日本建築学会構造系論文集 Vol.79 No.706, pp.1879-1886, 2014.12
- [3-95] 東京大学地震研究所, 横浜国立大学: S6. 鉄筋コンクリート造のスラブ協力幅に関する検討, 国交省建築基準整備促進事業報告書, 2014
- [3-96] 村上和久他: カットオフ筋を有する二段目主筋の付着性状, 日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.36, No.2, pp.391-396, 2014
- [3-97] 鈴木悠矢他: 1 段配筋の一部をカットオフした RC 梁主筋の付着性状, 日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.36, No.2, pp.409-414, 2014
- [3-98] 河南 孝典, 磯 雅人: RC 梁部材のせん断ひび割れ開閉挙動に与えるせん断補強筋の付着ならびにせん断補強筋比の影響, 日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.37 No.2, pp.211-216, 2015.7
- [3-99] 増田 駿祐, 岸本 一蔵: せん断補強筋の付着切れが RC 梁部材の挙動に及ぼす影響, 日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.37 No.2, pp.217-222, 2015.7
- [3-100] 横川 智裕, 濱田 聡, 竹中 啓之, 和泉 信之: 多数回繰り返し载荷を受ける高強度鉄筋コンクリート梁の履歴特性, 日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.37 No.2, pp.265-270, 2015.7
- [3-101] 宇野 芳奈美, 鈴木 悠矢, 高橋 之, 市之瀬 敏勝: 2 段目主筋をカットオフした RC 梁のせん断耐力と付着応力度, 日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.37 No.2, pp.475-480, 2015.7
- [3-102] 篠原 保二, 村上 和久: カットオフ筋を有する RC 梁部材の付着割裂性状に及ぼす横補強筋の影響, 日本建築学会構造系論文集 Vol.80 No.714, pp.1297-1306, 2015.8
- [3-103] 松川 和人, Shawuti SHALAYIDIN, 崔 琥, 中埜 良昭: RC 造縮小試験体に生じる曲げひび割れ量の実大スケールへの換算評価手法の定式化とその適用性, 日本建築学会構造工学論文集 Vol. 62B, pp.133-139, 2016.3
- [3-104] 京都大学, 福山大学: 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, 国交省建築基準整備促進事業報告書, 2016

- [3-105] 掛川 萌子, 金久保 利之, 岡田 健良, 高橋 辰弥: 溶接組立鉄筋を用いたキャップタイ工法による RC 基礎梁のせん断性能, 日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.38, NO.2, pp.217-222, 2016
- [3-106] 公文 祐斗, 塩谷 晋一, 川添 敦也: 残留変形抑制機能を内蔵する RC 梁の解析モデルに関する研究, 日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.38, NO.2, pp.223-228, 2016
- [3-107] 堀田 和史, 丸田 誠, 永井 覚, 池沼 良章: USD590 クラスを主筋に用いた RC 梁部材に関する研究, 日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.38, NO.2, pp.247-252, 2016
- [3-108] 武内 孝樹, 徳重 充, 中野 克彦: 住宅用基礎梁の開口部補強構造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.38, NO.2, pp.259-264, 2016
- [3-109] 河南 孝典, 磯 雅人: RC 梁部材のせん断ひび割れ開閉挙動に与える乾燥収縮ならびに寸法効果の影響, 日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.38, NO.2, pp.265-270, 2016
- [3-110] 佐々木 優, 川井 菜緒, 半井 健一郎, 佐藤 良一: 石灰石骨材を用いた RC はりのせん断強度に及ぼす寸法、収縮および特性長さの影響, 日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.38, NO.2, pp.271-276, 2016
- [3-111] 藤山 堯大, Mwangi M. MACHARIA, 小川 由布子, 佐藤 良一: 高炉セメント B 種 RC はりのせん断耐力に及ぼす初期高温履歴と廃瓦骨材の影響, 日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.38, NO.2, pp.283-288, 2016
- [3-112] 安田 瑛紀, 中村 拓郎, 松本 智夫, 二羽 淳一郎: モルタル充鎮式継手を同一断面に配置した RC はりの曲げ性状に関する研究, 日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.38, NO.2, pp.595-600, 2016
- [3-113] 師橋 憲貴: 普通細骨材を溶融スラグで置換し 5 年間屋外に暴露した再生骨材コンクリート梁部材の付着割裂強度, 日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.38, NO.2, pp.667-672, 2016
- [3-114] 金廣 琴乃, 大下 英吉: 異なる環境条件における鉄筋腐食を生じた RC 梁の疲労挙動特性に関する研究, 日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.38, NO.2, pp.811-816, 2016
- [3-115] 坂下 由佳, 鈴木 卓, 倉本 洋: 高強度補強筋を用いた RC 梁の損傷制御レベルにおける構造性能, 日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.38, NO.2, pp.715-720, 2016
- [3-116] BAI QIONG, 竹中 啓之, 毎田 悠承, 和泉 信之: 片側多数回繰り返し変形を受ける高強度 RC 梁の損傷と履歴特性, 日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol.39, NO.2, pp.151-156, 2017
- [3-117] 堀田 和史, 丸田 誠, 永井 覚, 池沼 良章: USD590 クラスを主筋に用いカットオフした RC 梁に関する研究, 日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol., NO., pp.157-162, 2017
- [3-118] 笹尾 泰智, 久保 彰平, 市之瀬 敏勝, 宮田 英樹: 高強度横補強筋を配筋した RC 梁のせん断耐力とカットオフ筋の付着性状, 日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol., NO., pp.163-168, 2017
- [3-119] 増田 駿祐, 岸本 一蔵: せい方向のせん断補強筋の付着を切った RC 梁部材の曲げせん断挙動, 日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol., NO., pp.169-174, 2017

第3章 梁部材

- [3-120] 中川 翔太, 高橋 之: 開孔間距離が異なる鉄筋コンクリート造有孔梁の実験, 日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol., NO., pp.181-186, 2017
- [3-121] 佐藤 あゆみ, 坂上 友紀, 武田 浩二, 村上 聖: 超高強度繊維補強コンクリートパネルを側面接着した RC 梁のせん断補強効果に関する研究, 日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol., NO., pp.1105-1110, 2017
- [3-122] 岡田 健良, 金久保 利之, 掛川 萌子, 高橋 辰弥: 溶接組立鉄筋を用いたキャップタイ工法による RC 基礎梁の曲げおよび交差部の構造性能, 日本コンクリート工学会年次大会報告書 Vol., NO., pp.1363-1368, 2017