

耐震壁の設計法の過去，現在および将来 (現在AIJで検討している内容)

1. 耐震壁の設計法等の歴史
2. 2010年のRC規準11次改定について
3. 2013年(?)発刊予定の保有水平耐力規準の作業について
4. 2015年(?)発刊予定の応答スペクトル法による耐震設計規準の作業について

現在の日本建築学会の動き

構造委員会－RC構造運営委員会

○応答スペクトルによる耐震設計小委員会（H20～）

○二次設計検討小委員会

○部材性能評価小委員会

▪ 壁部材性能評価WG（設置期間 2008年 10 月 ～ ）

○2008年9月AIJ大会PD「RC規準の改定について」

○2011年8月AIJ大会PD「保有水平耐力規準について」

構造設計法関連の歴史(新耐震設計法以降)

| | 法律 | AIJ | |
|-----------|--------------|------------|----------------------|
| | | RC規準 | 終局強度 |
| 1981(昭56) | 新耐震設計法 | | |
| 1981(昭56) | 構造計算指針・同解説 | | |
| 1983(昭58) | | | |
| 1986(昭61) | 構造計算指針・同解説改定 | | |
| 1987(昭62) | | | 鉄筋コンクリート終局強度設計に関する資料 |
| 1988(昭63) | | 第9次改定 | 終局強度型耐震設計指針(案) |
| 1990(平2) | | | 建築耐震設計における保有耐力と変形性能 |
| 1994(平6) | 建築物の構造規定 | | |
| 1995(平7) | | | |
| 1997(平9) | 建築物の構造規定改定 | | 靱性保証型耐震設計指針(案) |
| 1999(平11) | | 付着・定着規定の改正 | |
| 2000(平12) | | | 性能評価型耐震設計指針(案) |
| 2001(平13) | 基準解説書発刊 | | |
| 2007(平19) | 基準解説書改定 | | |
| 2010(平22) | | 第11次改訂 | |
| 2013(平25) | 基準解説書改定予定 | | 保有水平耐力指針刊行予定 |
| 2015(平27) | | | 応答スペクトルによる耐震設計法刊行予定 |



構造設計法関連の歴史(新耐震設計法以降)

| | 法律 | AIJ | |
|-----------|--------------|------------|----------------------|
| | | RC規準 | 終局強度 |
| 1981(昭56) | 新耐震設計法 | | |
| 1981(昭56) | 構造計算指針・同解説 | | |
| 1983(昭58) | | | |
| 1986(昭61) | 構造計算指針・同解説改定 | | |
| 1987(昭62) | | | 鉄筋コンクリート終局強度設計に関する資料 |
| 1988(昭63) | | 第9次改定 | 終局強度型耐震設計指針(案) |
| 1990(平2) | | | 建築耐震設計における保有耐力と変形性能 |
| 1994(平6) | 建築物の構造規定 | | |
| 1995(平7) | | | |
| 1997(平9) | 建築物の構造規定改定 | | 韌性保証型耐震設計指針(案) |
| 1999(平11) | | 付着・定着規定の改正 | |
| 2000(平12) | | | 性能評価型耐震設計指針(案) |
| 2001(平13) | 基準解説書発刊 | | |
| 2007(平19) | 基準解説書改定 | | |
| 2010(平22) | | 第11次改訂 | |
| 2013(平25) | 基準解説書改定予定 | | 保有水平耐力指針刊行予定 |
| 2015(平27) | | | 応答スペクトルによる耐震設計法刊行予定 |



○保有水平耐力計算規準

→2次設計に対応(AIJとしての黄色本)

- ・不合理な点を修正
- ・最新の知見を取り入れ
- ・合法(特別な研究に基づく)
- ・例えば, 壁のせん断強度は広沢式

○応答スペクトルによる耐震設計

→最新の知見を取り入れた最新の設計法

- ・地震応答ベース(応答スペクトル)
- ・変形が陽にでてくる(部材ランクから変形能評価へ)
- ・例えば, 壁のせん断強度はトラスアーチ

耐震壁の設計法の過去，現在および将来 (現在AIJで検討している内容)

1. 耐震壁の設計法等の歴史
2. 2010年のRC規準11次改定について
3. 2013年(?)発刊予定の保有水平耐力規準の作業について
4. 2015年(?)発刊予定の応答スペクトル法による耐震設計規準の作業について

鉄筋コンクリート造建物の保有水平耐力規準
(仮称, 2013年出版予定)

日本建築学会
構造委員会

鉄筋コンクリート構造運営委員会
2次設計基準作成小委員会

鉄筋コンクリート造建物の保有水平耐力規準の特徴

2次設計に対応(AIJとしての黄色本)

- ・不合理な点を修正
- ・最新の知見を取り入れ
- ・合法(特別な研究に基づく)
- ・例えば, 壁のせん断強度は広沢式



①最新の研究成果に基づく静的非線形解析による架構の保有水平耐力計算方法(メカニズムの判定)

②高強度材料も含めた構造実験データに基づく梁部材, 柱部材および耐震壁部材の部材種別の判定方法

21条 壁部材(案)

日本建築学会
構造委員会

鉄筋コンクリート構造運営委員会

RC部材性能評価小委員会

壁部材性能評価WG(2008年10月～)

壁部材WG(2010年10月～)

主査 加藤大介(新潟大学), 幹事 河野進(東工大)
壁谷澤寿海(東大地震研究所), 楠浩一(横浜国立大学)
津田和明(近畿大学), 金裕錫(東京大学)
角彰(日本総合試験所), 田尻清太郎(建築研究所)
萩尾浩也(大林組), 松井智哉(豊橋技術科学大学)

1. はじめに



(a) 両側柱つき耐震壁
(柱型省略含)



(c) 腰壁・垂壁つき梁



(b) 袖壁つき柱



(d) 柱なし壁

壁部材の分類と設計法の現状と問題点

2. 両側柱つき耐震壁 (柱型省略含)



→強度式の再確認

→せん断剛性低下率の評価法の提案

→部材ランクの精算法の提案

3. 袖壁つき柱



→強度式の提案

→部材ランクの評価法の提案

4. 腰壁・垂壁つき梁



→強度式の提案

→部材ランクの評価法の提案

→スリットつき梁の剛性評価

5. 開口の扱い

→RC規準の開口低減率の適用性

(縦開口低減と複数開口の扱い)

→開口補強筋の設計

→強度の精算法の提案

→部材ランクの精算法の提案

21条 壁部材(目次)

1. 一般事項

2. 無開口(両側柱付き)耐震壁の設計

2.1 復元力特性(スケルトンカーブ)算定法

2.1.1 曲げ変形成分(モーメントー曲率関係)

(1)第一折れ点(曲げひび割れ点: M_1, ϕ_1)

(2)第二折れ点(曲げ降伏点: M_2, ϕ_2)

(3)第二折れ点以降

2.1.2 せん断変形成分

(1)第一折れ点(せん断ひび割れ点: Q_1, γ_1)

(2)第二折れ点(せん断終局強度点: Q_2, γ_2)

(3)第二折れ点以降

2.2 部材ランクの評価法

2.2.1 従来の評価法

2.2.2 精算法

21条 壁部材(目次)

1. 一般事項

2. 無開口(両側柱付き)耐震壁の設計

2.1 復元力特性(スケルトンカーブ)算定法

2.1.1 曲げ変形成分(モーメントー曲率関係)

(1)第一折れ点(曲げひび割れ点: M_1, ϕ_1)

(2)第二折れ点(曲げ降伏点: M_2, ϕ_2)

(3)第二折れ点以降

2.1.2 せん断変形成分

(1)第一折れ点(せん断ひび割れ点: Q_1, γ_1)

(2)第二折れ点(せん断終局強度点: Q_2, γ_2)

(3)第二折れ点以降

2.2 部材ランクの評価法

2.2.1 従来の評価法

2.2.2 精算法

(応答スペクトル法による耐震設計)

→2.2 変形能の評価

2.3 等価粘性減衰

3. 袖壁付き柱の設計

3.1 初期剛性

3.2 曲げひび割れ強度

3.3 曲げ終局強度

3.4 せん断終局強度

3.5 降伏変形

3.6 終局変形

3.7 部材ランク

4. 腰壁・垂壁付き梁の設計

4.1 初期剛性の評価

4.2 曲げ強度

(1) 曲げ降伏強度

(2) 曲げ終局強度

4.3 せん断強度

4.4 降伏変形

4.5 部材ランク

5. 開口による影響の評価

5.1 適用範囲

5.2 復元力特性(スケルトンカーブ)算定法(2.1と同じ構成)

5.2.1 曲げ変形成分

5.2.2 せん断変形成分

5.3 せん断強度の開口による低減

5.3.1 層崩壊の検討(層単位でのせん断強度の低減)

5.3.2 複数開口への適用法

5.3.4 梁崩壊の検討

5.4 部材ランク

耐震壁の設計の流れ

壁とするかどうかの判断
（開口の扱い）
（部材ランク）

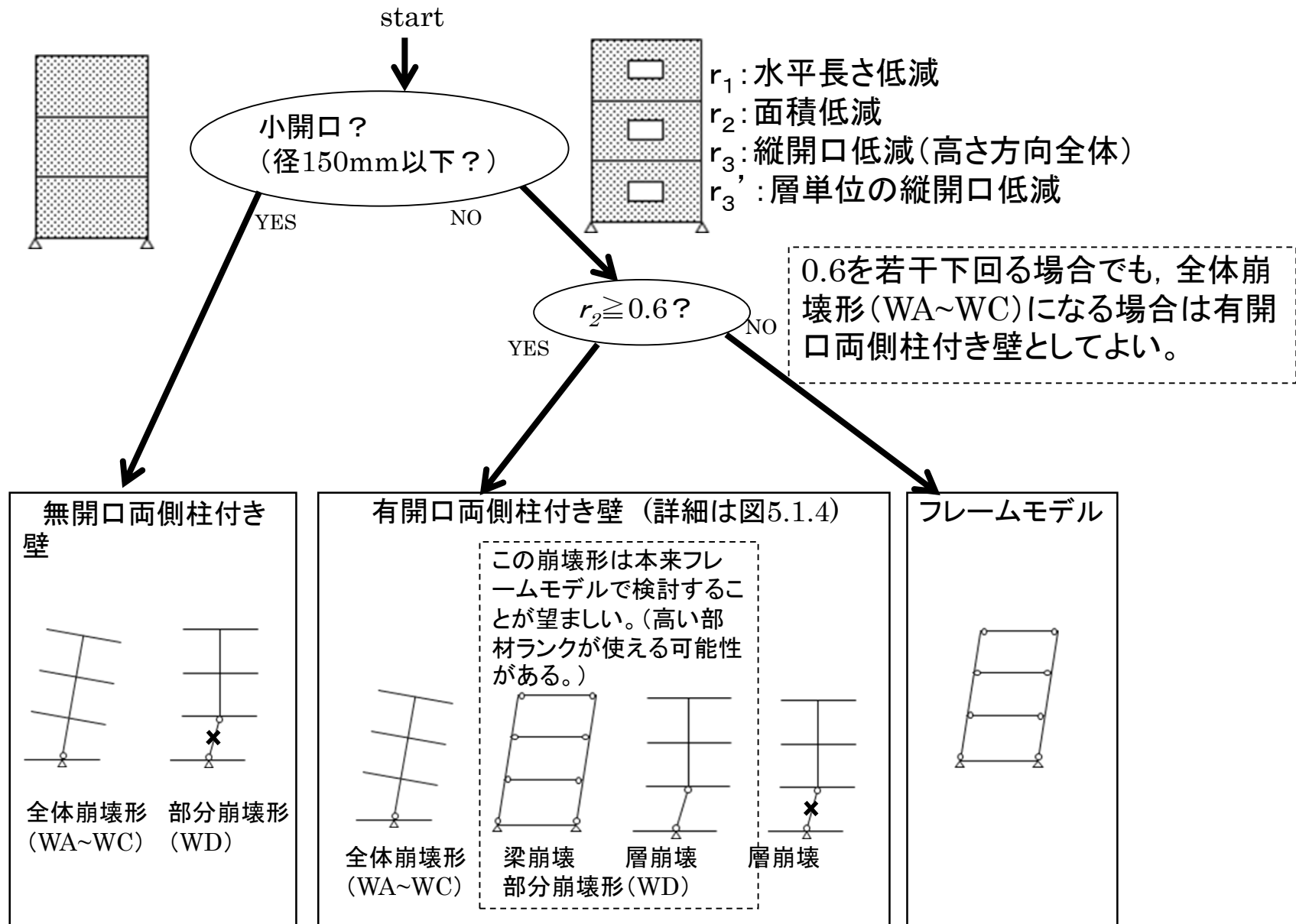


図5.1.3 開口がある場合のモデル化(有開口壁の判断)

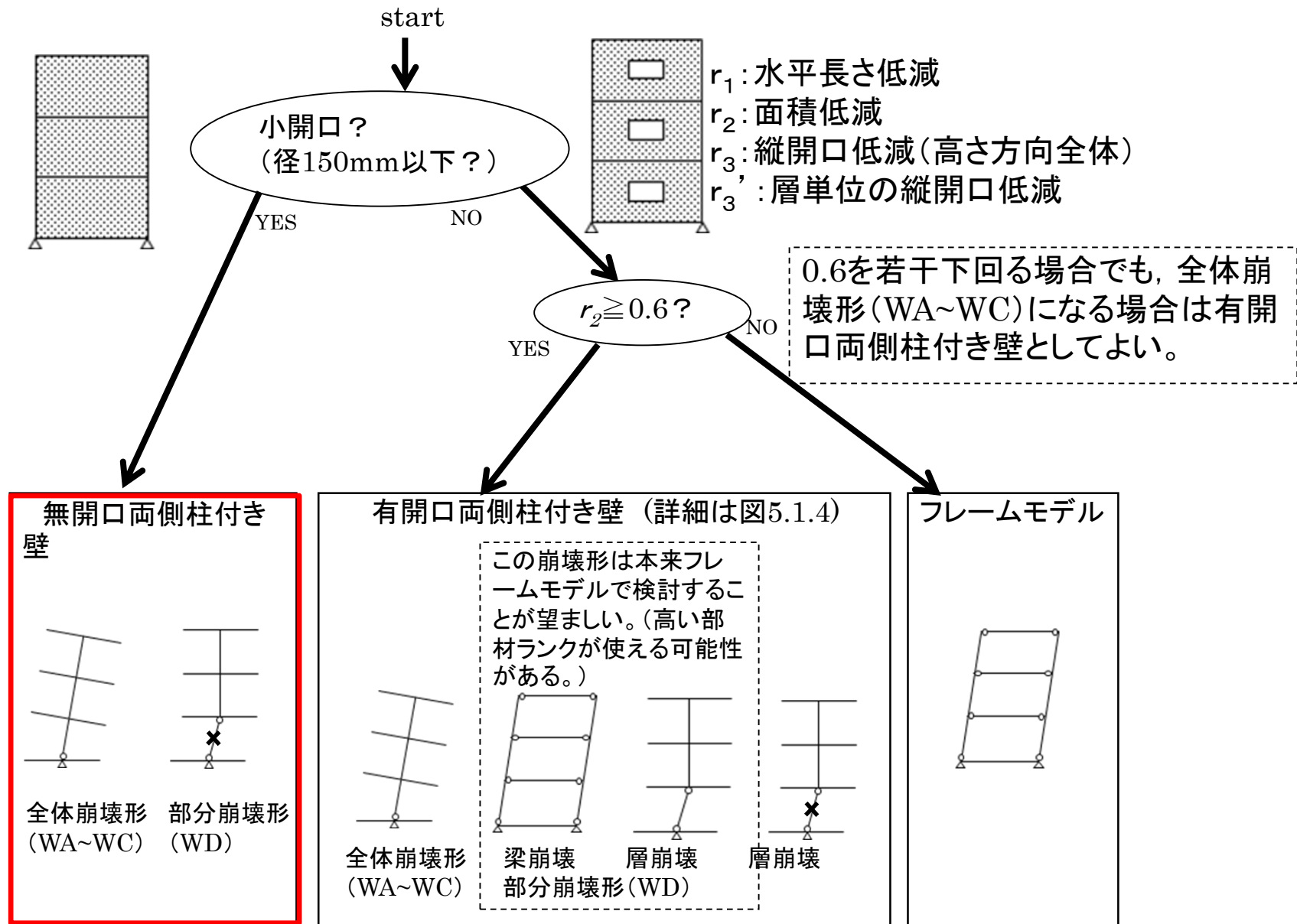


図5.1.3 開口がある場合のモデル化(有開口壁の判断)

2. 無開口（両側柱つき）耐震壁 の設計



→強度式の再確認

→せん断剛性低下率の評価法の提案

→部材ランクの精算法の提案

耐震壁の解析モデル(15条 解析モデル)

(1) 柱置換モデル

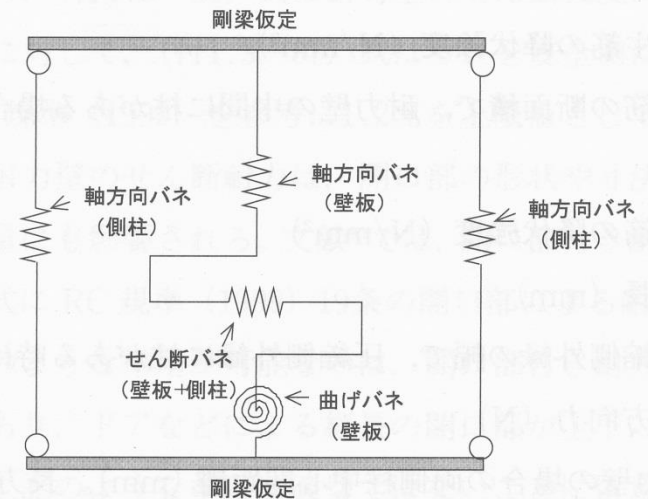
(略)

(2) 壁エレメントモデル(壁谷沢モデル)

壁を線材に置換し、上下の梁を剛とし、壁材を中央および両側の計3本の柱部材に置換したモデルを用いる。

両側の側柱は、付帯柱による断面2次モーメントと等価な特性をもつ両端ピンの軸方向変形部材とする。

中央の柱は、壁板部分と等価な曲げ、せん断、軸方向特性を有する材端弾塑性ばね材に置換する。



付図1.3-11 耐力壁の3本柱置換ばねモデル

(3) ファイバーモデル(マルチスプリングモデル)

(略)

(2) 中柱せん断特性

コンクリートのひび割れと、せん断終局強度後の剛性低下を考慮したトリリニア型の復元力特性とする。

Q- γ 関係(せん断力-変形角関係)

K_S : 弾性剛性

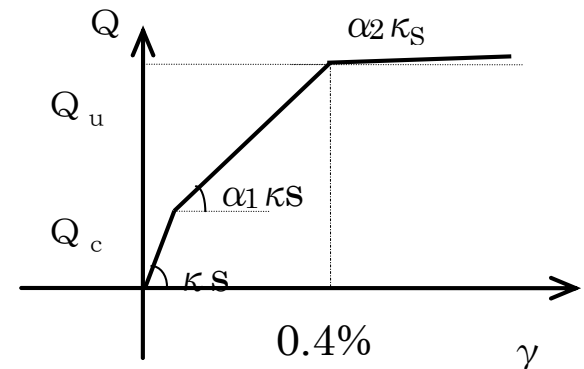
α_1 : せん断剛性低下率

α_2 : せん断終局強度後の剛性低下率

Q_c : 曲げひび割れモーメント

Q_u : 曲げ終局強度

Q- γ 関係



せん断剛性低下率(=せん断強度時割線剛性/せん断弾性剛性)

耐震性能評価指針(案)の手法によりパラメトリックスタディー



$$\alpha_s = a + b \log(K_x)$$

菅野の提案式:

$$\beta = 0.46 p_{wh} \frac{\sigma_{wy}}{\sigma_B} + 0.14$$

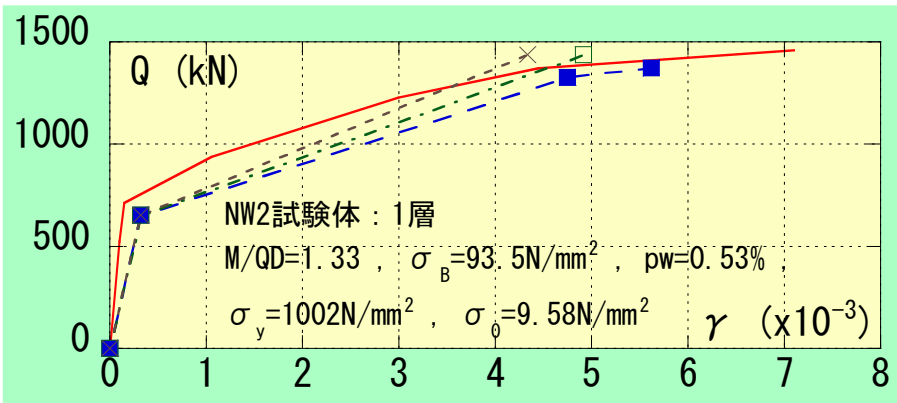
$$K_x = \frac{360 E_c I_c \ell_w}{t_w h_0^4} + p_{wh} E_s$$

$$a = -0.174 + c \sigma_0$$

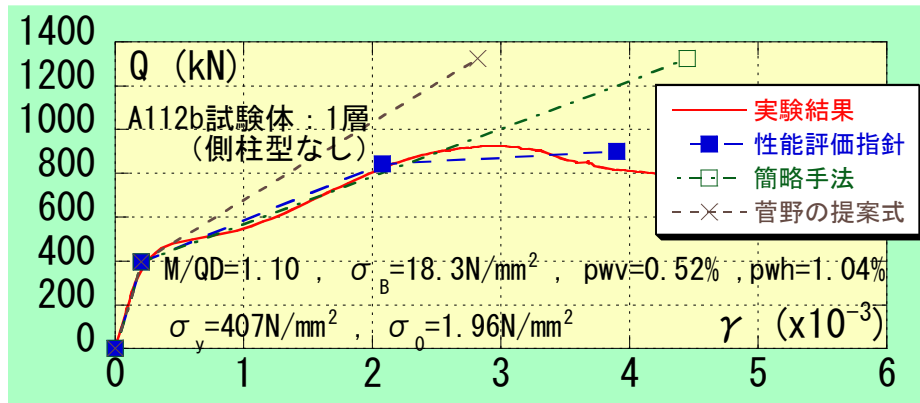
$$b = 0.088 + d \sigma_0$$

$$c = -0.017 + 7.0 \times 10^{-5} \sigma_B$$

$$d = 0.010 - 7.0 \times 10^{-5} \sigma_B$$



a)I型耐震壁



b)矩形断面壁(側柱型なし)

既往実験への適用結果

2. 無開口(両側柱つき)耐震壁の設計

・せん断終局強度

$$Q_{su} = \left\{ \frac{0.068 p_{cg}^{0.23} (\sigma_B + 18)}{\sqrt{M / (Q \ell_{aw})}} + 0.85 \sqrt{p_{wh} \sigma_{hy}} + 0.1 \sigma_0 \right\} \times b_e j$$

$$b_e \leq 1.5 \quad , \quad 1 \leq M / (Q \ell_{aw}) \leq 3 \quad , \quad p_{wh} \leq 1.2\%$$

・曲げ終局強度

$$Q_{fu} = \frac{a_g \sigma_{cy} \ell_w + 0.5 a_{wv} \sigma_{vy} \ell_w + 0.5 N \ell_w}{h}$$

・算定精度確認試験体の諸元

試験体形状 : 一層耐震壁試験体
両側柱つき
矩形断面(柱型なし)
矩形断面(柱型あり)

加力型式 : 片持ち梁型加力

$$13.8 \leq \sigma_B (N/mm^2) \leq 135.7$$

$$0.50 \leq p_g (\%) \leq 7.06$$

$$302 \leq \sigma_{cy} (N/mm^2) \leq 1009$$

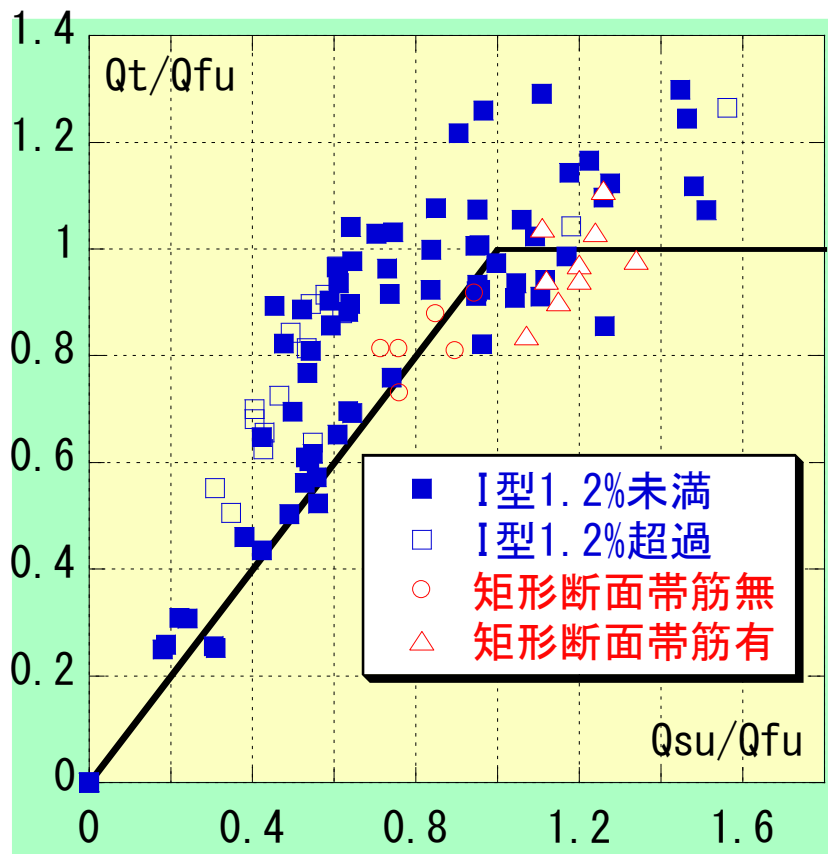
$$0.20 \leq p_{wh} (\%) \leq 2.76$$

$$289 \leq \sigma_{hy} (N/mm^2) \leq 1420$$

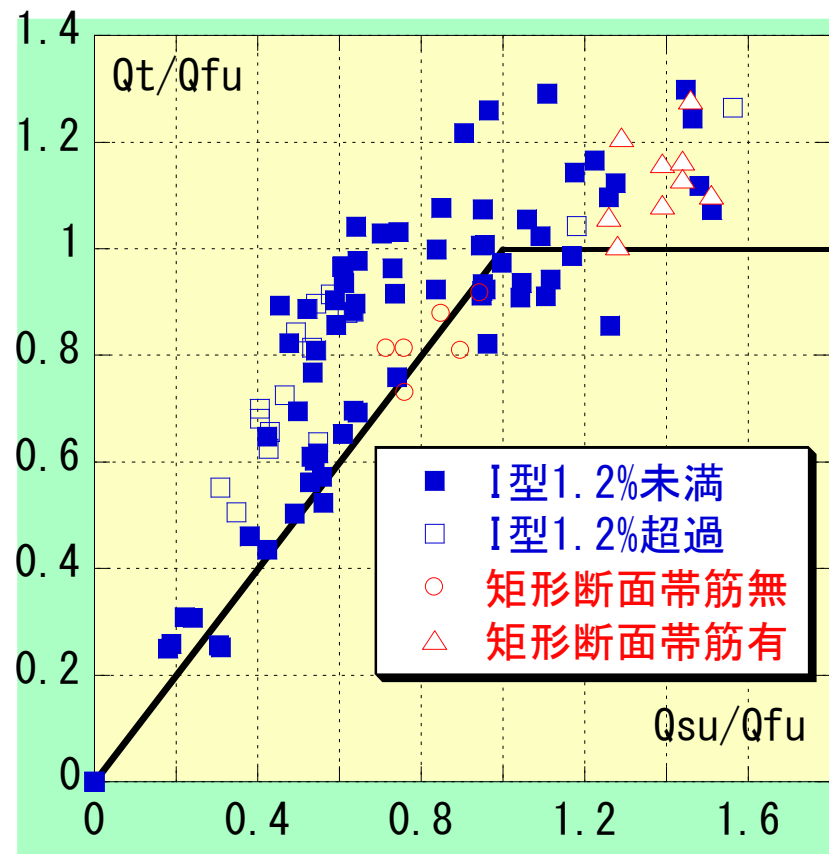
$$0.35 \leq M / (Q \ell_{aw}) \leq 2.39$$

$$0.0 \leq N / (B_c D_c \sigma_B) \leq 0.52$$

せん断終局強度・曲げ終局強度の算定精度



a) 矩形断面帯筋有の $l_w: 0.9l_{aw}$



b) 矩形断面帯筋有の l_w : 側柱芯々間距離

* せん断終局強度は、ほぼ安全側に算定する。

* 矩形断面耐震壁の曲げ終局強度算定に $l_w = 0.9l_{aw}$ とした場合、曲げ終局強度を過大評価する可能性がある。

・部材ランク(従来の評価法)

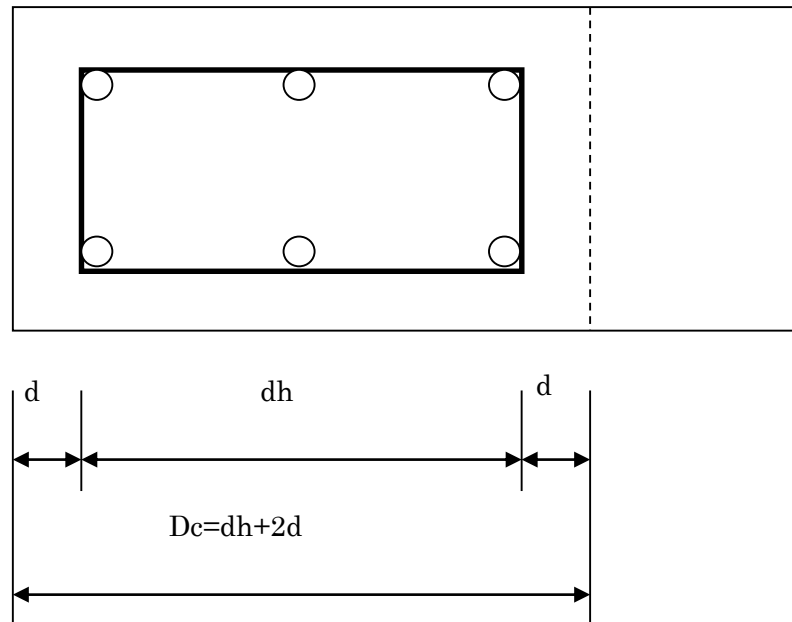
| 耐力壁の区分 | | | | 耐力壁の種類 |
|--------|--|-----------------|-----------------|--------|
| 部材 | 耐力壁 | 壁式構造以外の構造の耐力壁 | 壁式構造の耐力壁 | |
| 条件 | 破壊の形式 | τ_u/F_c の値 | τ_u/F_c の値 | |
| | せん断破壊その他の構造耐力上支障のある急激な耐力の低下のおそれのある破壊を生じないこと。 | 0.2以下 | 0.1以下 | WA |
| | | 0.25以下 | 0.125以下 | WB |
| | | — | 0.15以下 | WC |
| | WA, WB又はWCのいずれにも該当しない場合 | | | WD |

τ_u は D_s を算定しようとする階が崩壊形に達する場合の壁の断面(断面積は柱芯間距離 × 壁厚、開口は除く)に生じる平均せん断応力度(単位は N/mm^2)

F_c はコンクリートの設計基準強度(単位は N/mm^2)

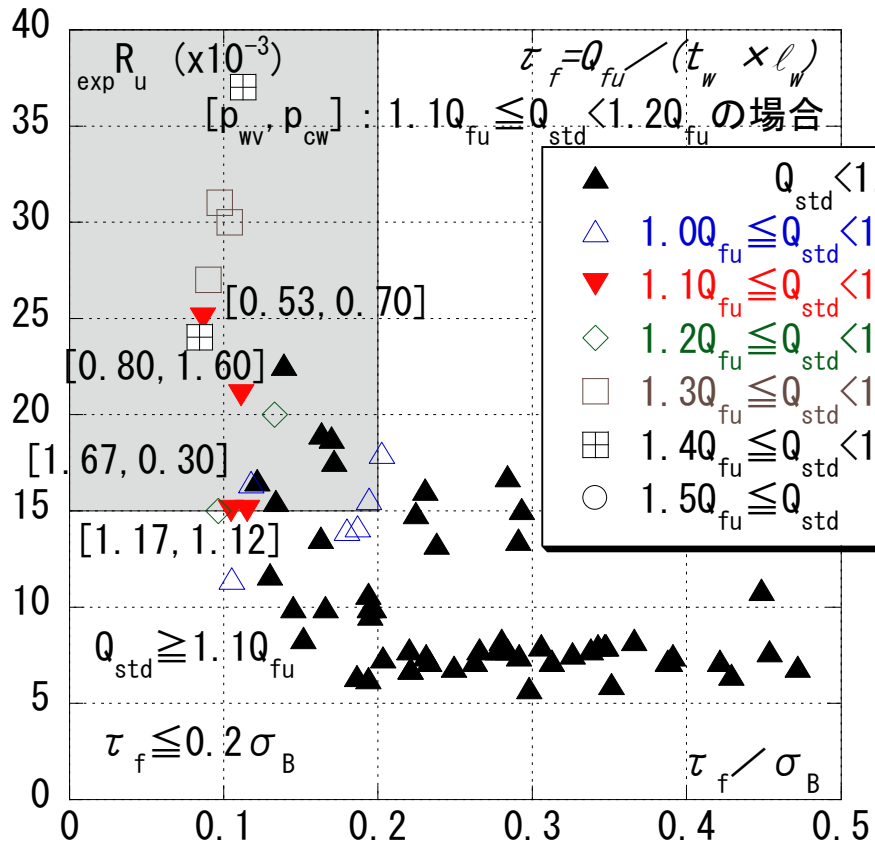
・精算法

新たに提案する部材ランクの決定フローを図2.2.1に示す。側柱の軸力比制限の算定に必要な矩形断面耐震壁の側柱せいは、図2.2.2に示すように側柱の帯筋の外々距離に外側のかぶり厚さの2倍を加算した値とする。なお、側柱なし耐震壁は、全てWDとする。



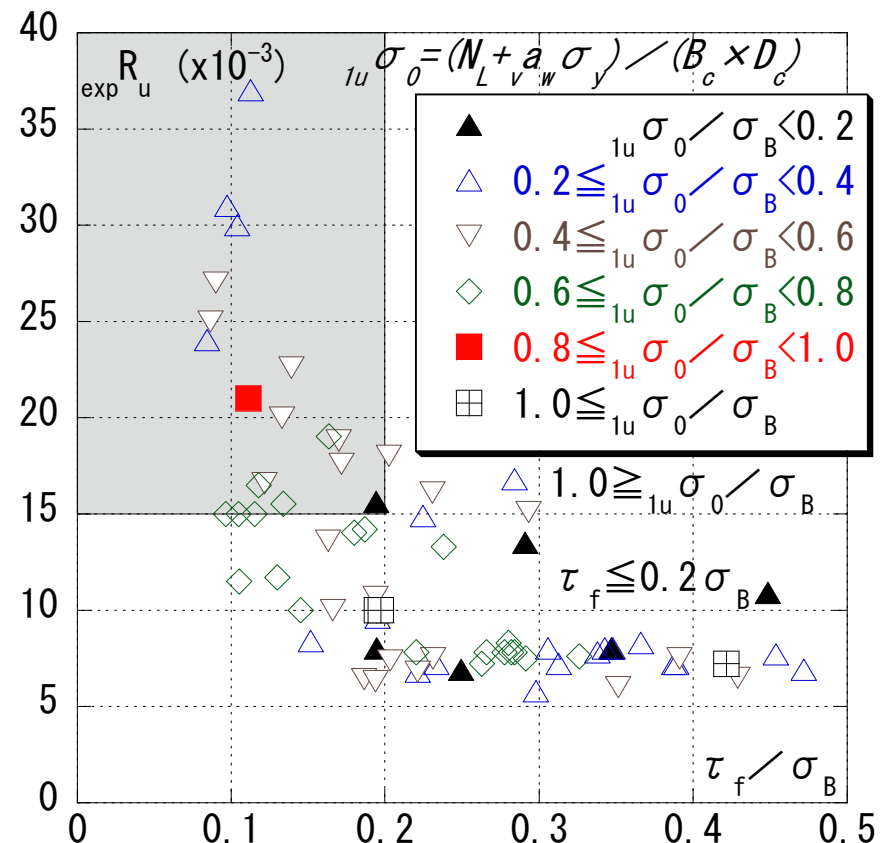
矩形断面耐震壁の側柱せい

部材ランクの評価法(精算法)



a)強度比別

1.1 < Q_{std}/Q_{fu} < 1.2 であっても、p_{wv} > 0.6%, p_{cw} > 1% ならWAと同等



b)軸力比別

現在のWA扱いの実験データの中に 1_uσ₀/σ_B > 1 のデータがない

${}_{exp} R_u \sim \tau_f / \sigma_B$ 関係 (I型耐震壁の場合)

部材ランク判定フロー

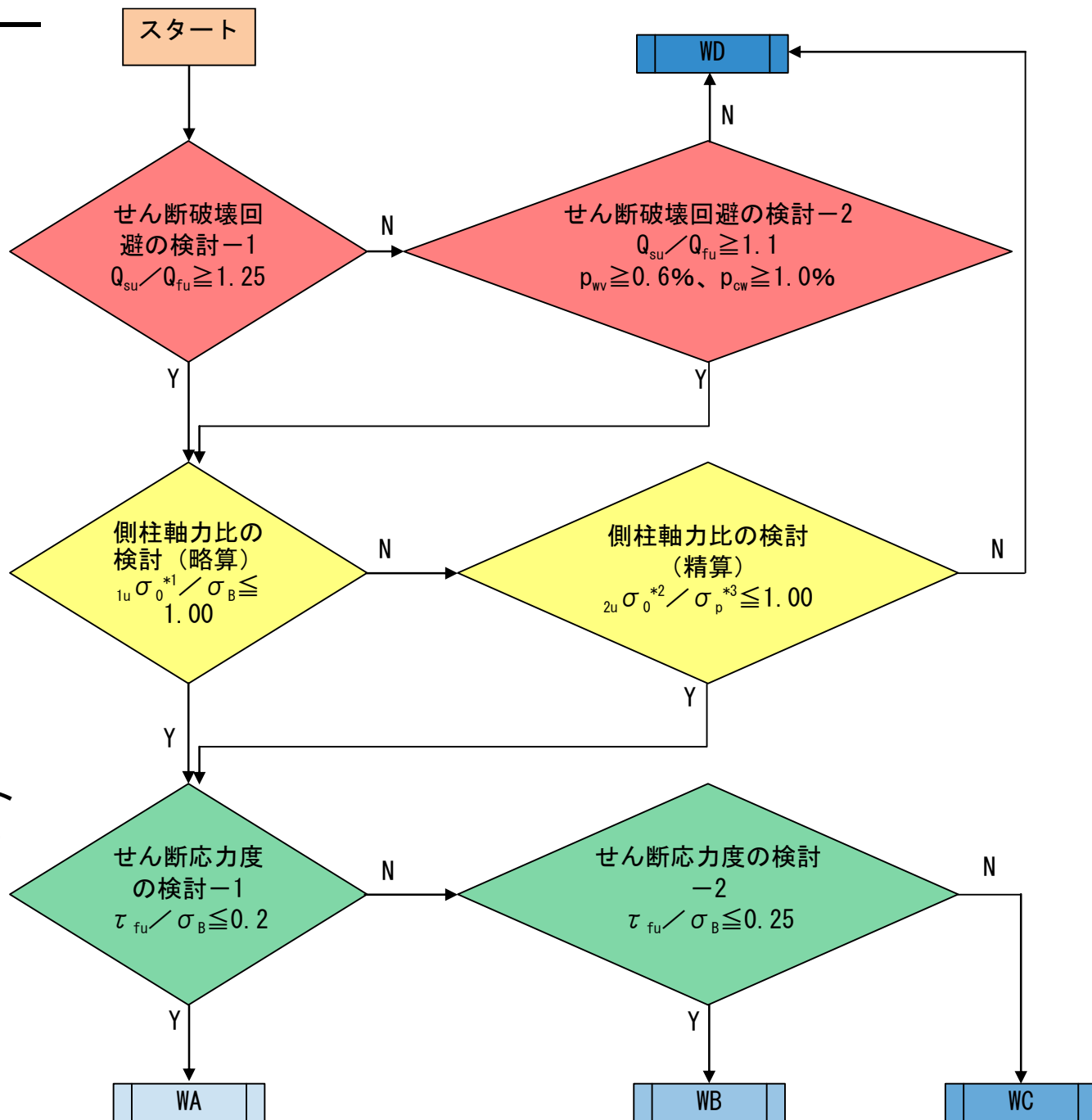
* 1: ${}_{1u}\sigma_0 = Nm / (B_c D_c)$
 Nm : メカニズム時軸力、
 B_c : 柱幅、 D_c : 柱せい、
 主筋考慮可

* 2: ${}_{2u}\sigma_0 = Nm / (J_{BC} J_{DC})$:
 J_{BC} 、 J_{DC} : 幅およびせい
 方向の外々のせん断
 補強筋間距離、
 主筋考慮可

* 3: σ_p : New Rc式(崎野
 モデル)で算定する
 拘束効果を考慮した
 コンクリート圧縮強度

* 4: 終局時側柱軸力比の
 検討は、曲げモーメント
 が最大となる層で検討
 する。

* 5: 各層毎に種別を検討
 し、最も厳しい層の
 種別を対象耐震壁
 の種別とする。



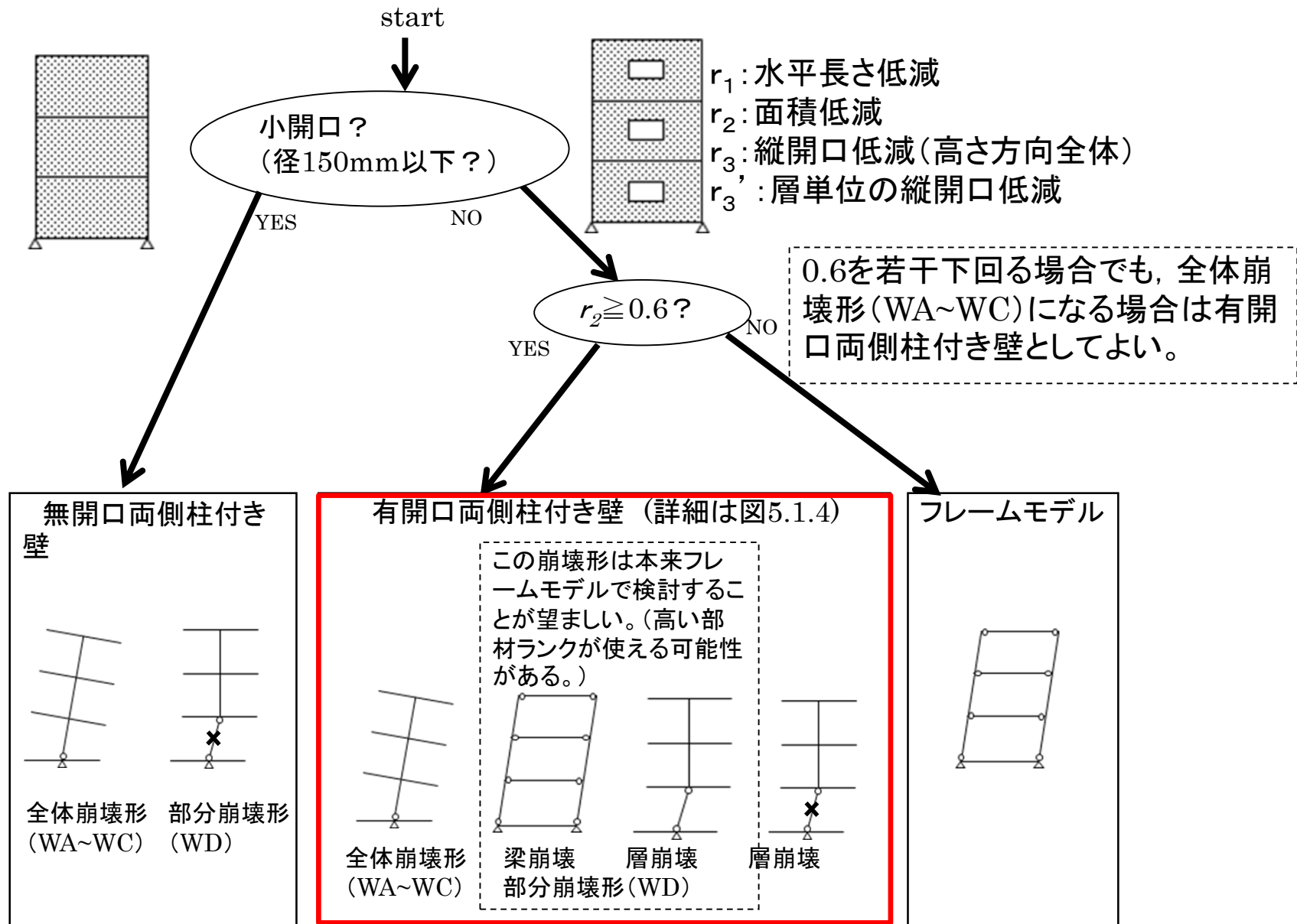


図5.1.3 開口がある場合のモデル化(有開口壁の判断)

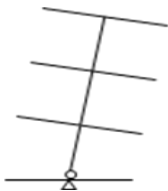
- ・全体曲げ強度の算定(開口欠損を考慮。高さ方向と水平方向の危険断面を考慮する(偏在開口)。)
- ・せん断設計用応力 Q_D の算定。(保証設計と部材ランクの割増係数考慮),

層崩壊の検討(層単位でのせん断強度の算定と崩壊形の判定で、袖壁強度(曲げとせん断の小さい方)の和が Q_D より大きいことを確認する。以下によってよい。)

梁崩壊の検討(梁の強度(曲げとせん断の小さい方)の和が設計用せん断力より大きいことを確認する。以下によってよい。)

梁崩壊を生
じない場合

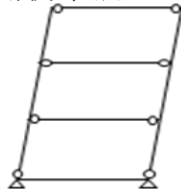
全体崩壊形 (詳細
は図 5.1.5)



WA~WC

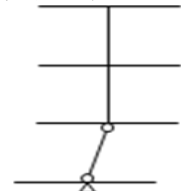
梁崩壊を生
じる場合

梁崩壊形



WD

層崩壊形



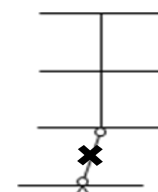
WD

この崩壊形は本来フレームモデルで検討することが望ましい。(高い部材ランクが使える可能性がある。)

両袖壁が曲げ
破壊する場合

左記以外

層崩壊形 (せ
ん断破壊)



WD

- ・全体曲げ強度の算定(開口欠損を考慮。高さ方向と水平方向の危険断面を考慮する(偏在開口)。)
- ・せん断設計用応力 Q_D の算定。(保証設計と部材ランクの割増係数考慮),

層崩壊の検討(層単位でのせん断強度の算定と崩壊形の判定で、袖壁強度(曲げとせん断の小さい方)の和が Q_D より大きいことを確認する。以下によってよい。)

梁崩壊の検討(梁の強度(曲げとせん断の小さい方)の和が設計用せん断力より大きいことを確認する。以下によってよい。)

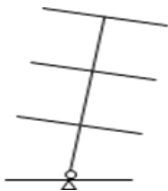
梁崩壊を生
じない場合

梁崩壊を生
じる場合

両袖壁が曲げ
破壊する場合

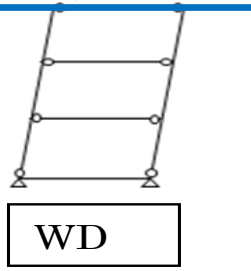
左記以外

全体崩壊形 (詳細
は図 5.1.5)



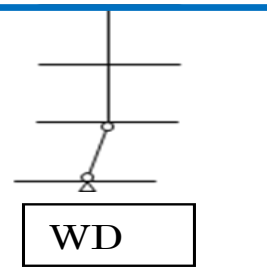
WA~WC

梁崩壊形



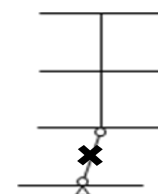
WD

層崩壊形



WD

層崩壊形 (せ
ん断破壊)



WD

この崩壊形は本来フレームモデルで検討することが望ましい。(高い部材ランクが使える可能性がある。)

層崩壊の検討(層単位でのせん断強度の算定と崩壊形の判定で、袖壁強度(曲げとせん断の小さい方)の和が Q_D より大きいことを確認する。以下によってよい。)

(慣用法) $\min(r_1, r_2) \times Q_{su} \geq Q_D$ かつ $\sum Q_{mu} \geq Q_D$
ここで、 $\sum Q_{mu}$ は両側袖壁の曲げ強度の和



梁崩壊の検討(梁の強度(曲げとせん断の小さい方)の和が設計用せん断力より大きいことを確認する。以下によってよい。)

層崩壊を生じない場合は、以下のいずれかによって確認してよい。

(慣用法1) $r_3' \times Q_{su} \geq Q_D$ を各階で満足する場合(r_3' は層単位の低減率)

(慣用法2) $r_3 \times Q_{su} \geq Q_D$ を各階で満足する場合(r_3 は当該層より上の低減率)

層崩壊を生じる場合は、以下のいずれかによりせん断強度を低減する。

(慣用法1) $\min(r_1, r_2) \geq r_3$ を各階で検討し、該当する階は低減する。(r_3 は層単位の低減率)

(慣用法2) $\min(r_1, r_2) \geq r_3$ を各階で検討し、該当する階は低減する。(r_3 は当該層より上の低減率)

梁崩壊を生じない場合

全体崩壊形 (詳細は図 5.1.5)

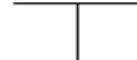
梁崩壊を生じる場合

梁崩壊形



両袖壁が曲げ破壊する場合

層崩壊形



左記以外

層崩壊形 (せん断破壊)

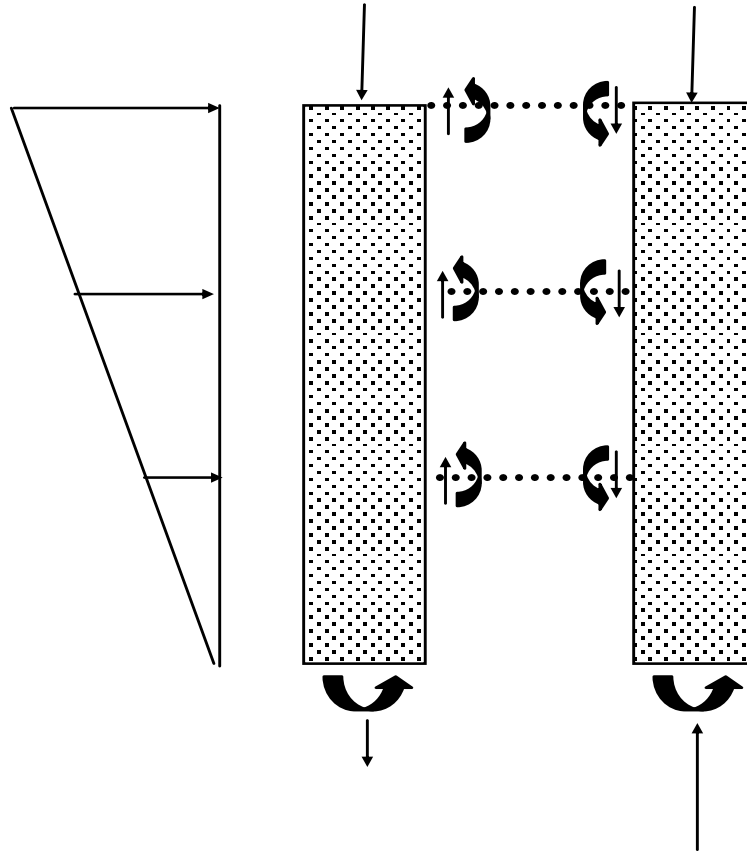


図5.3.3.1 梁降伏時のせん断力の算出例

層降伏の精算

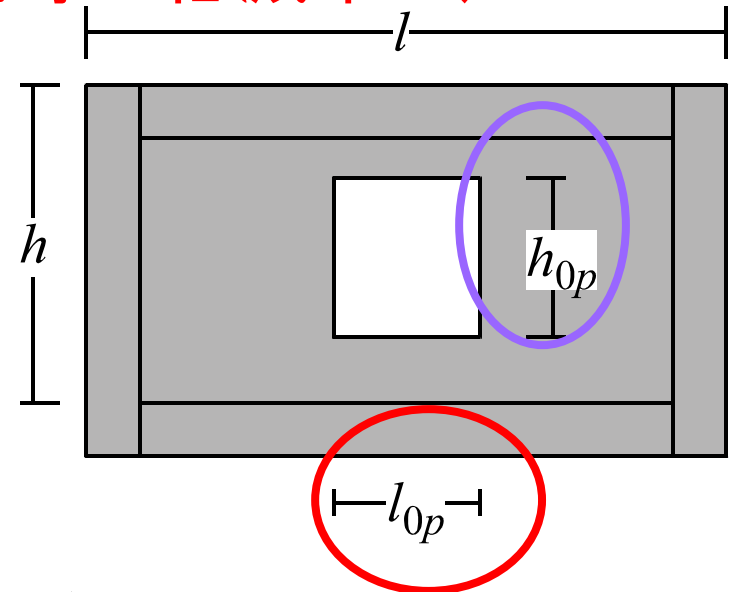
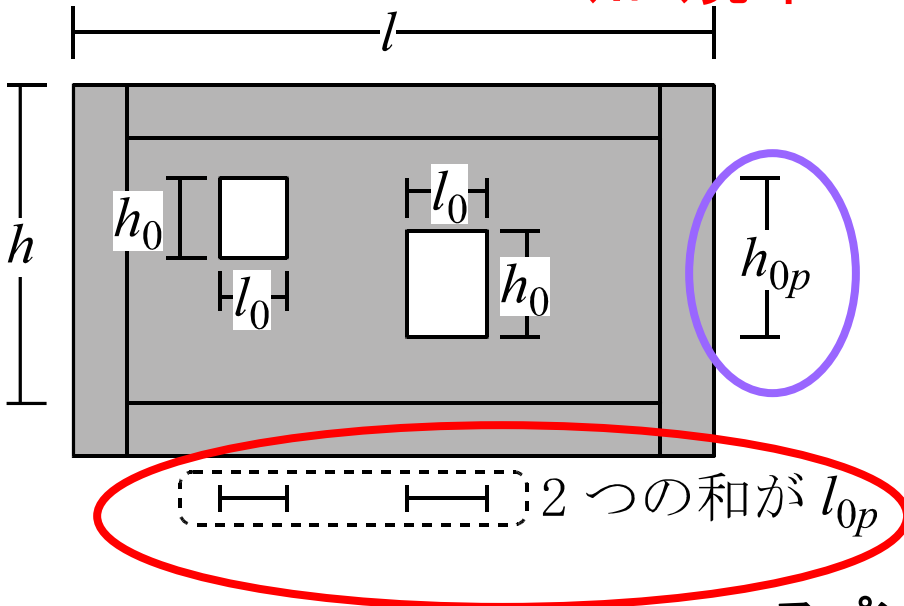
RC規準による開口低減率の終局強度への適用性

開口低減率(水平断面積, 見付け面積)

$$r_1 = 1 - 1.1 \times \frac{l_{0p}}{l}$$

$$r_2 = 1 - 1.1 \times \sqrt{\frac{h_{0p} l_{0p}}{hl}}$$

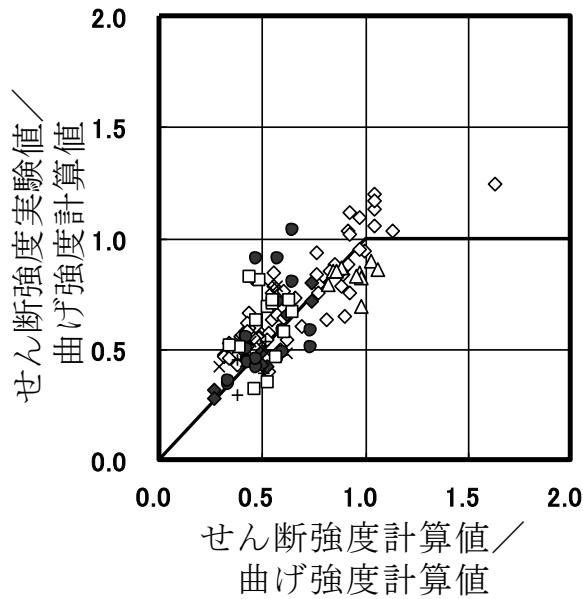
l : 耐震壁の全せい(定義修正) → 係数1.1の導入
(旧規準とほぼ同等の低減率に)



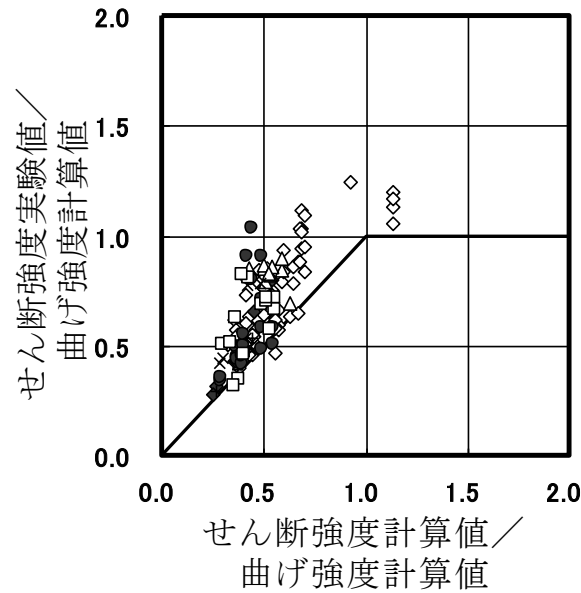
スパンごとに $r_2 \geq 0.6$ 適用範囲の目安

凡例：開口種別ごとに以下のように表示する。

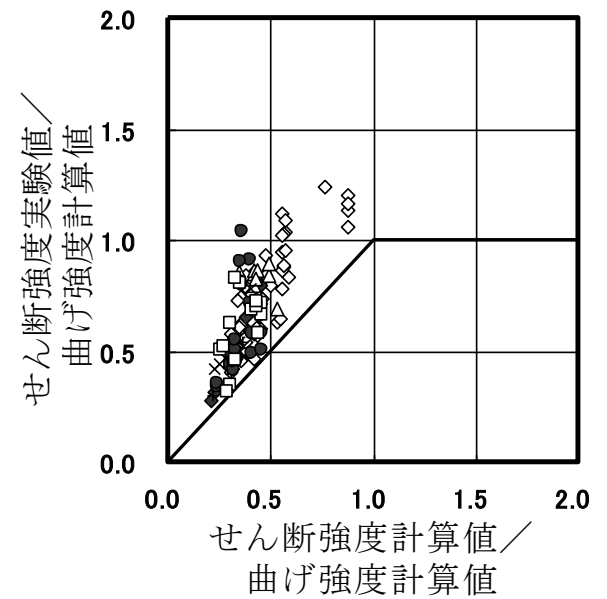
(単層) ◇：中央窓型 ×：中央戸型 ◆：中央窓型(適用外) +：中央高窓型 △：中央窓型
 (補強有) ●：偏在戸型 □：複数開口型
 (連層) ◇：中央窓型 ●：偏在戸型



(a) 開口低減率×終局強度式



(b) 開口低減率×広沢式(平均)

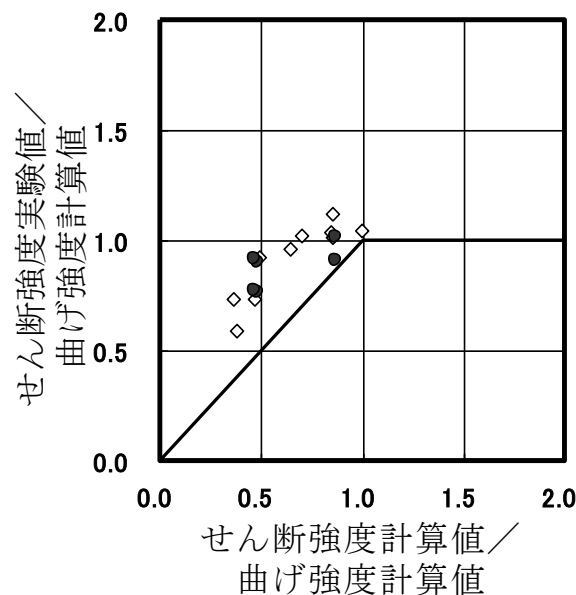
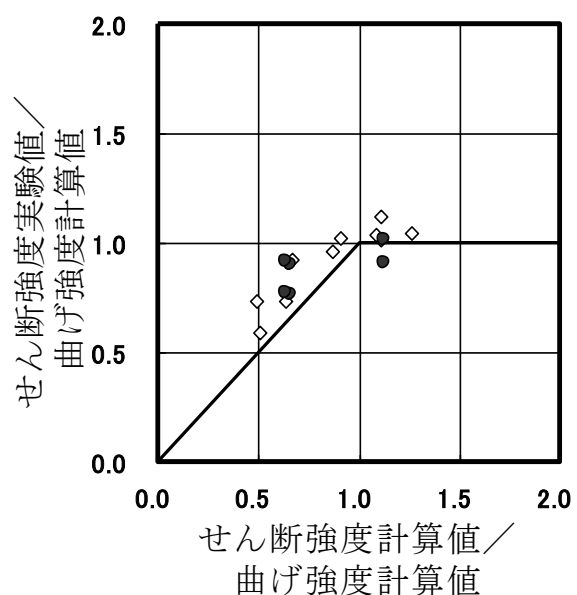
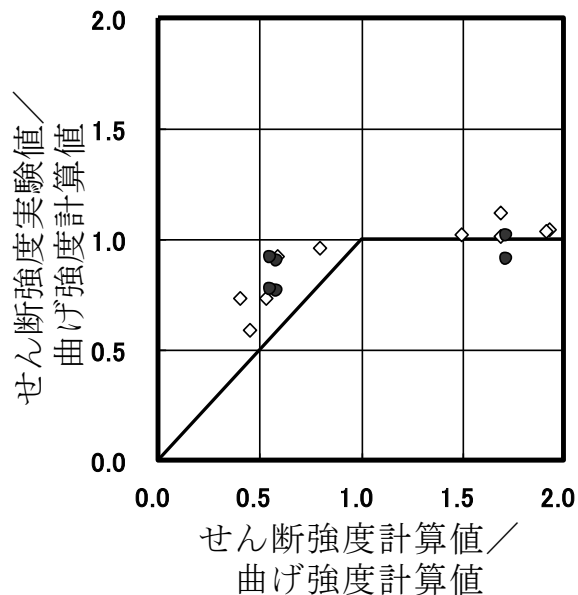


(c) 開口低減率×広沢式(最小)

図5.3.1.1 強度計算値と実験値の比較結果(開口低減率×無開口時終局せん断強度)(単層)

凡例：開口種別ごとに以下のように表示する。

(単層) ◇：中央窓型 ×：中央戸型 ◆：中央窓型(適用外) +：中央高窓型 △：中央窓型
 (補強有) ●：偏在戸型 □：複数開口型
 (連層) ◇：中央窓型 ●：偏在戸型

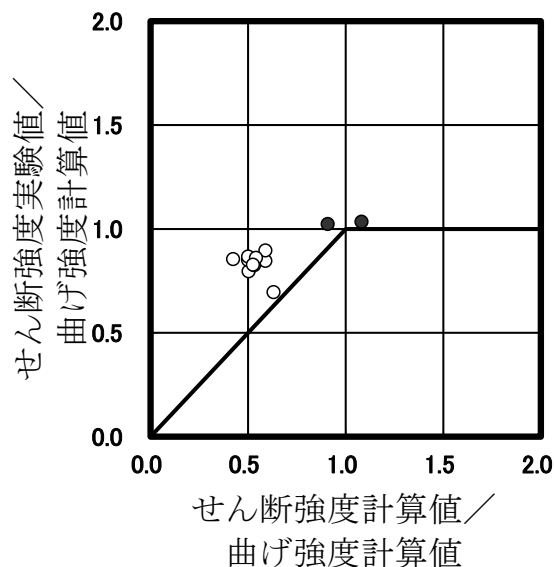


(a) 開口低減率×終局強度式 (b) 開口低減率×広沢式(平均) (c) 開口低減率×広沢式(最小)

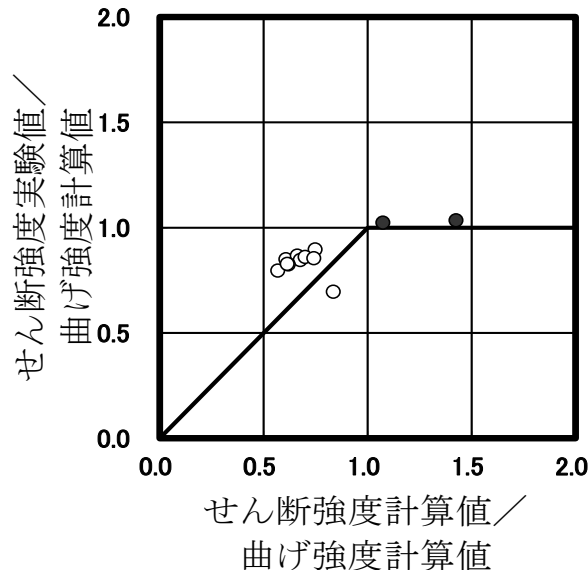
図5.3.1.2 強度計算値と実験値の比較結果(開口低減率×無開口時終局せん断強度)(連層)

X型筋の効果

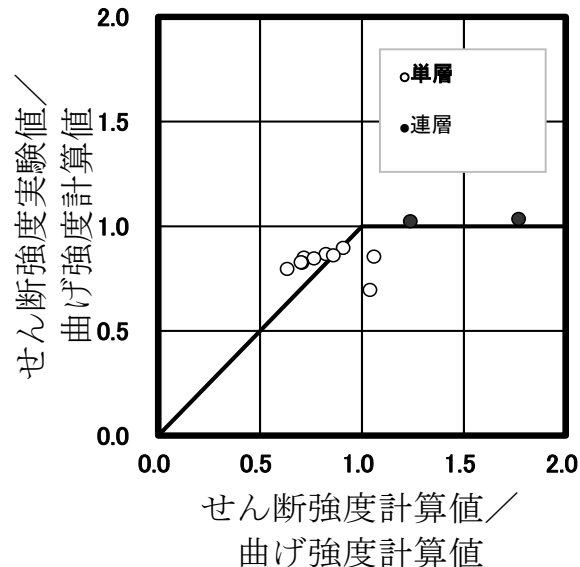
$$Q_X = 0.5 \cdot Ax \cdot \sigma_{Xwy} \cdot \cos \theta_X$$



a) 全部無効



(b) 半分有効

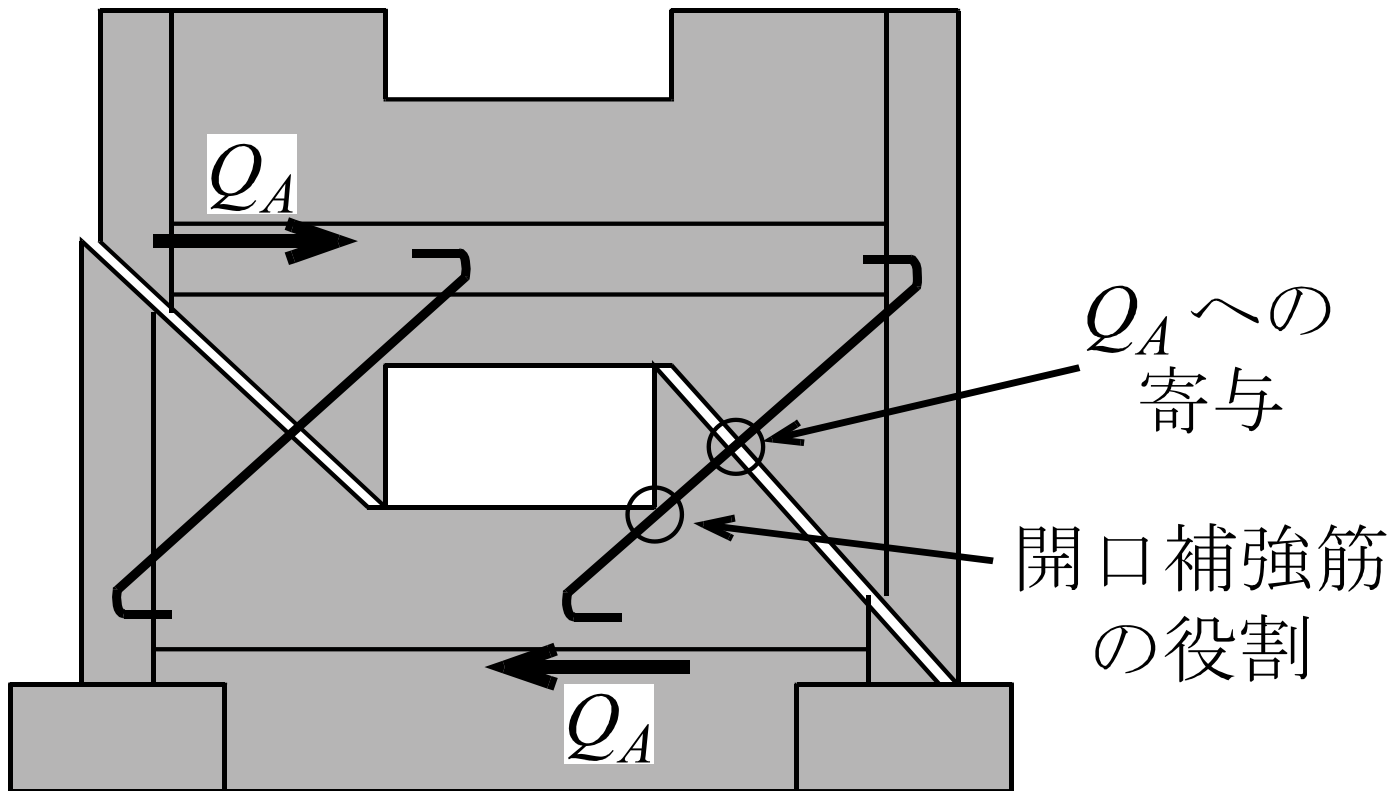


(c) 全部有効

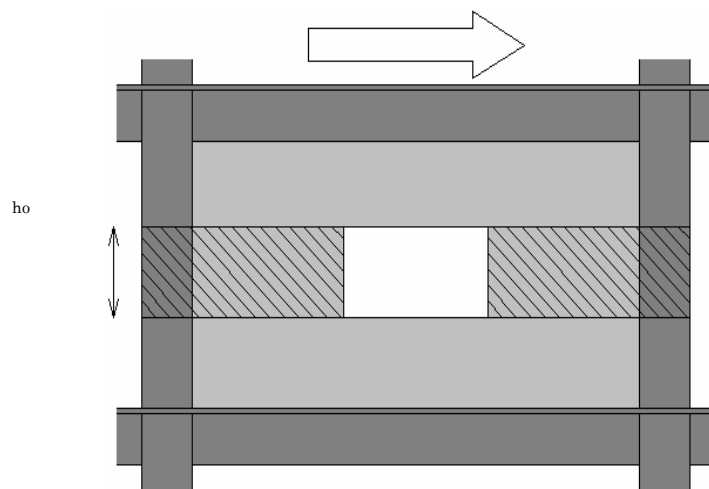
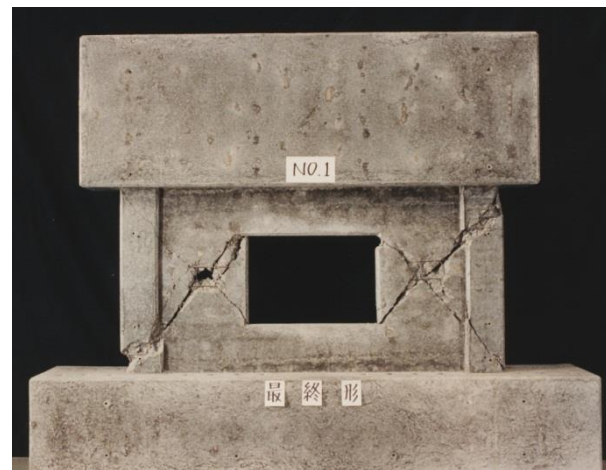
図5.3.1.3 X型筋(斜め筋)のせん断強度への効果

日本建築学会のX形配筋部材設計施工指針(文献5.3.1.23)では、壁部材のX型筋は適切に配筋すれば損傷やせん断破壊の防止に有効であるとしながら、実験データが少ないため余力として配筋するのが望ましいとしている。

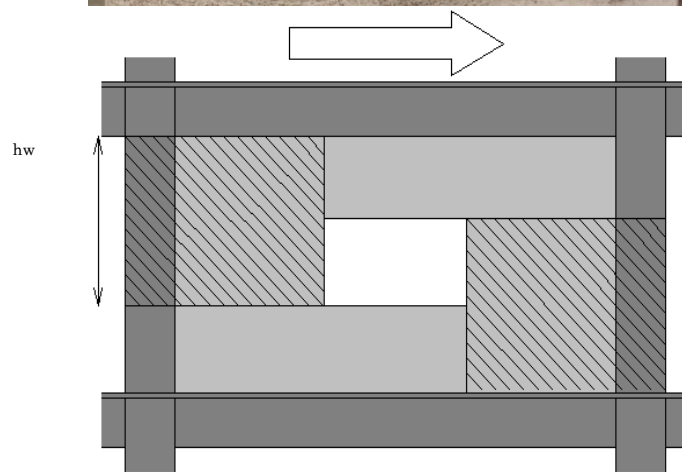
有効な壁板の斜め補強筋



解説図19.29

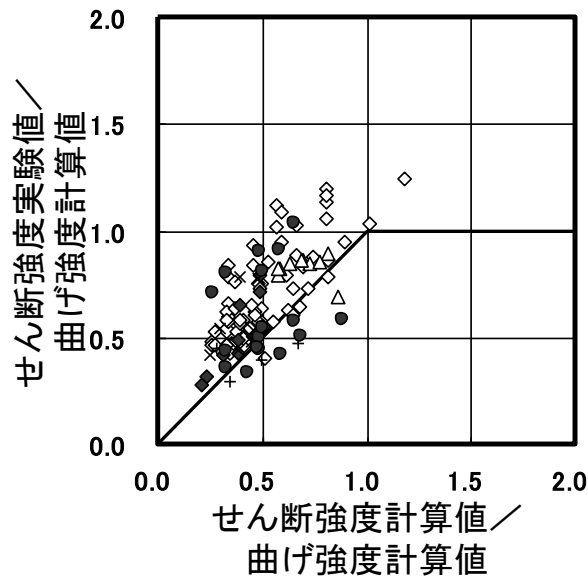


(a) 曲げ強度算出用

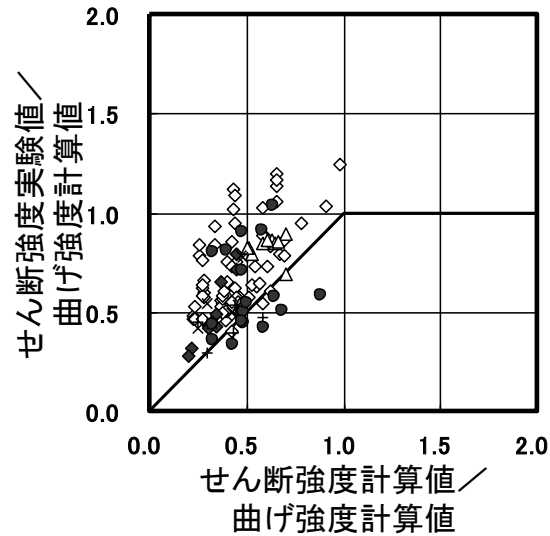


(b) せん断強度算出用

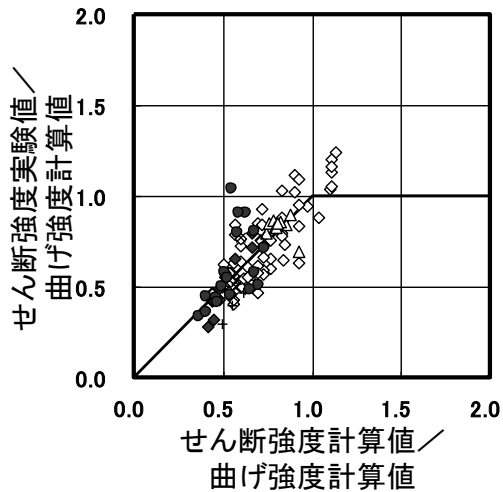
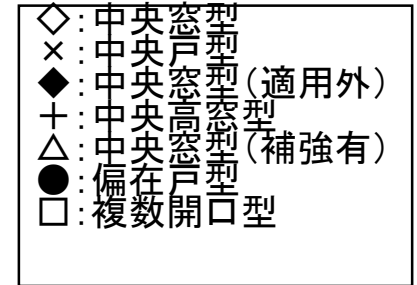
図5.3.1.4 柱内法高さ(有開口壁の強度の精算)



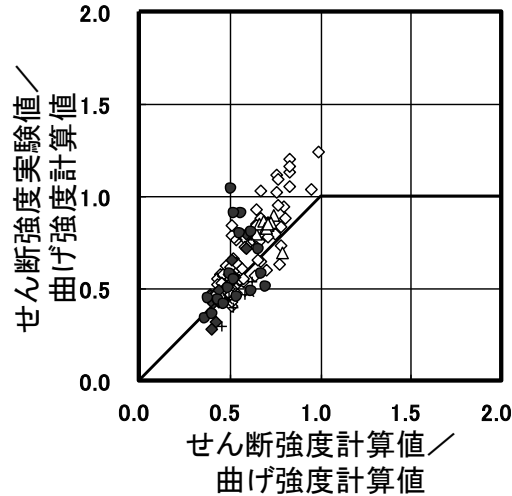
(a) 靱性保証式 (ho)



(b) 靱性保証式 (hw)

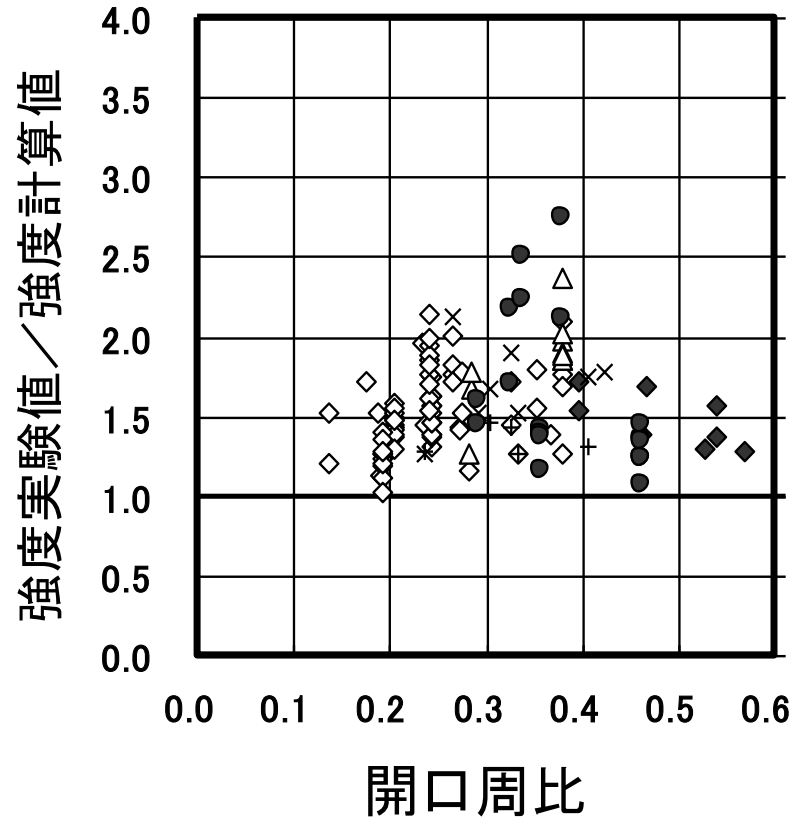
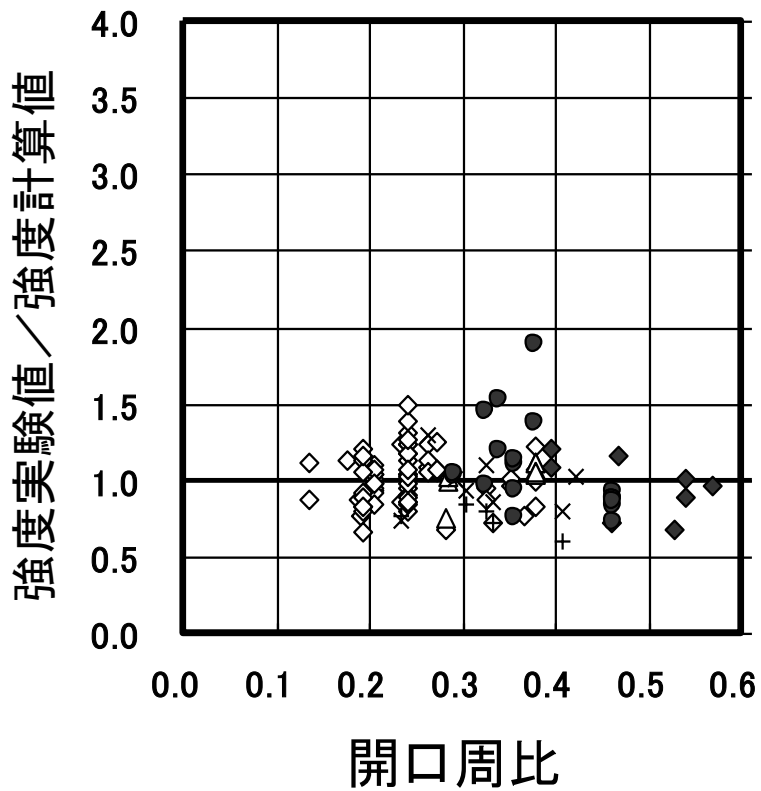


(c) 地震研式 (ho)

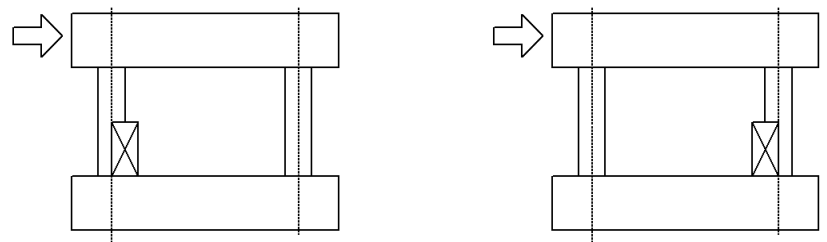


(d) 地震研式 (hw)

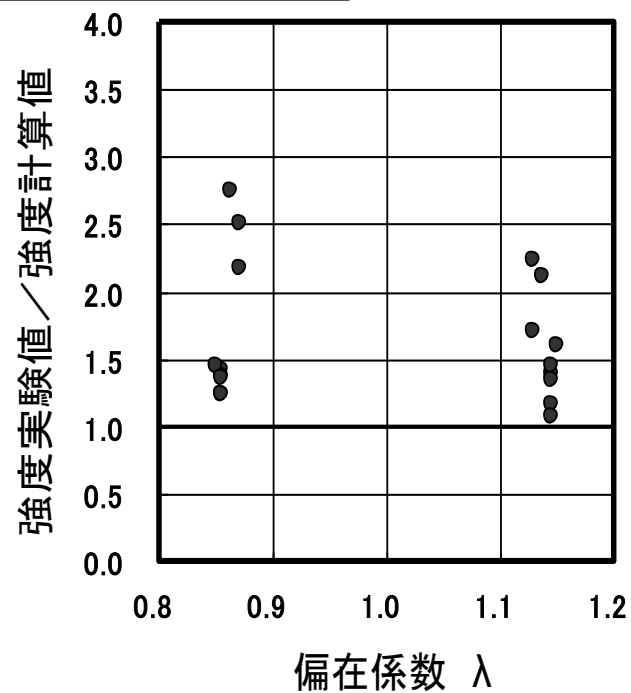
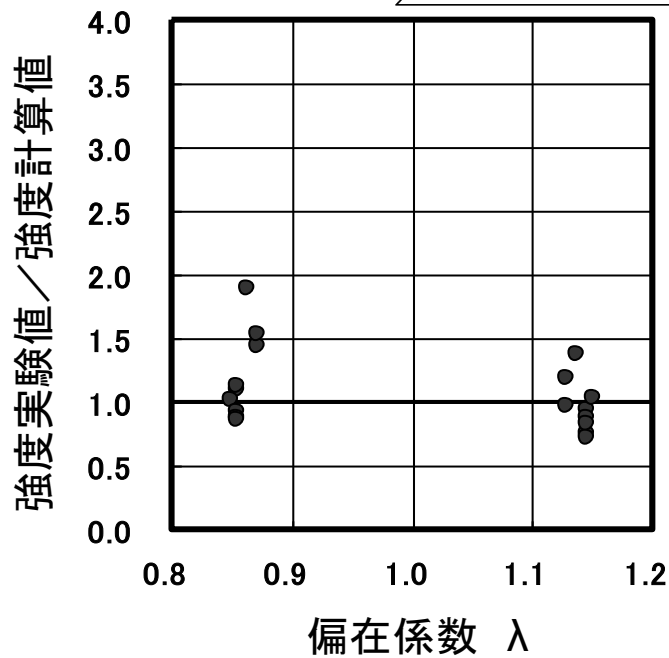
図5.3.1.5 せん断強度計算値とせん断強度実験値の比較結果 (袖壁分離法地震研式 (hw))



(a) 地震研式(ho) (袖壁分離法) (b) 広沢式(min式)
 図5.5 開口周比と評価式の精度の関係



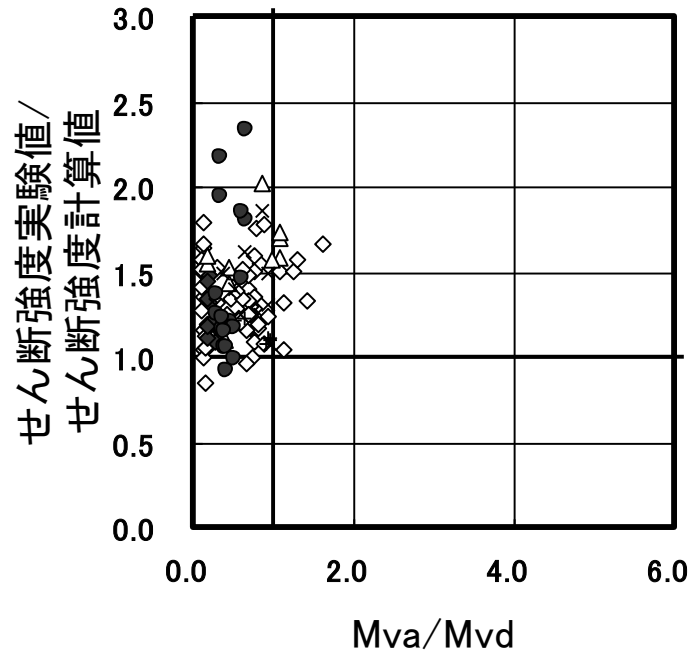
0.8 偏在係数 λ 1.2



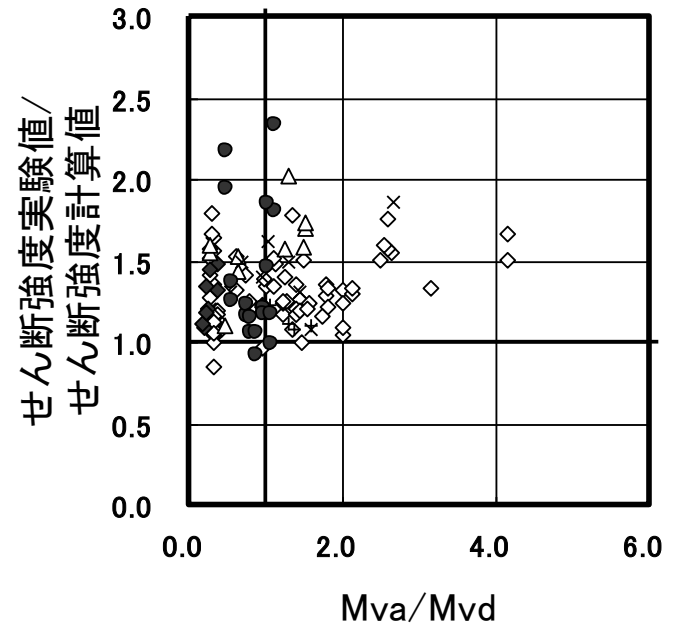
(a) 地震研式 (ho) (袖壁分離法)

(b) 広沢式 (min式)

図5.6 偏在係数と評価式の精度の関係



(a) 旧RC規準



(b) 2010改訂版のRC規準

図5.3.1.6 試験体実際に配筋されている縦開口補強筋とRC規準による必要量に対する比(横軸)とせん断強度の実験値と計算値の比(縦軸)の関係

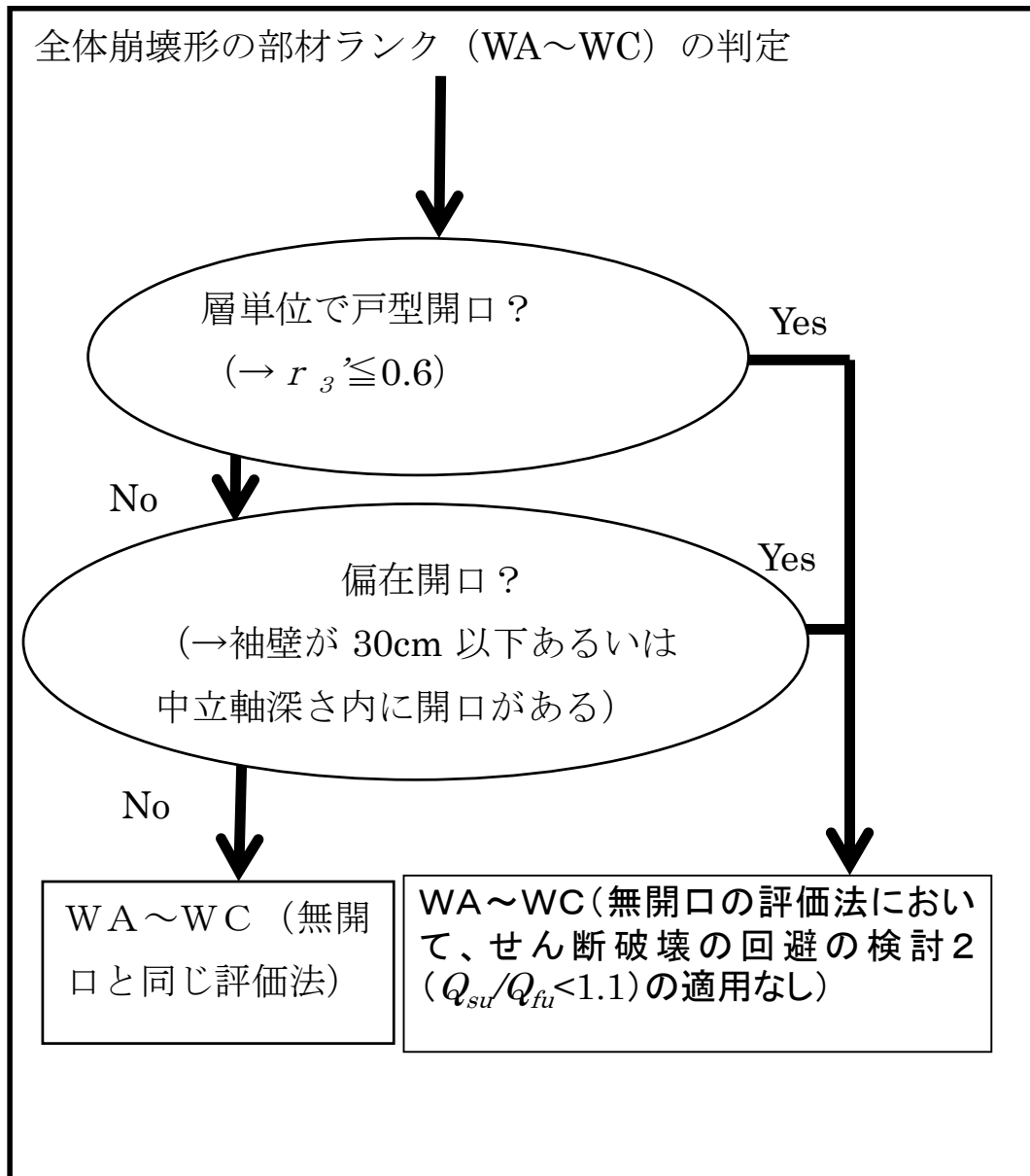
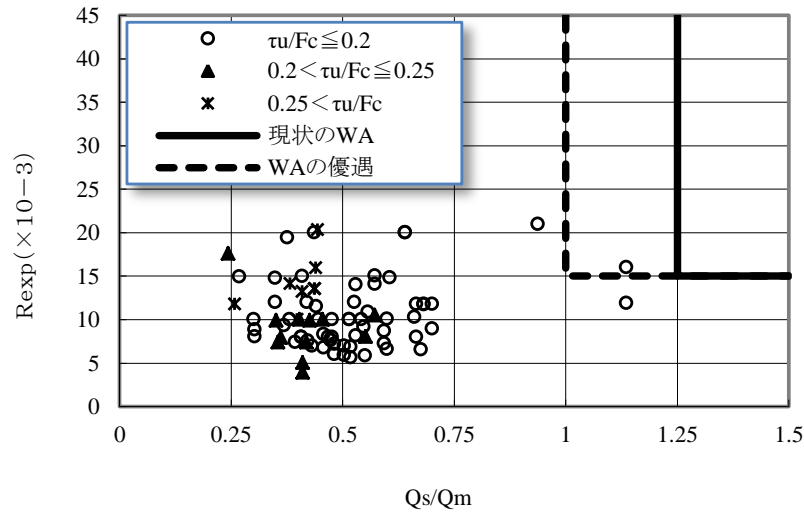
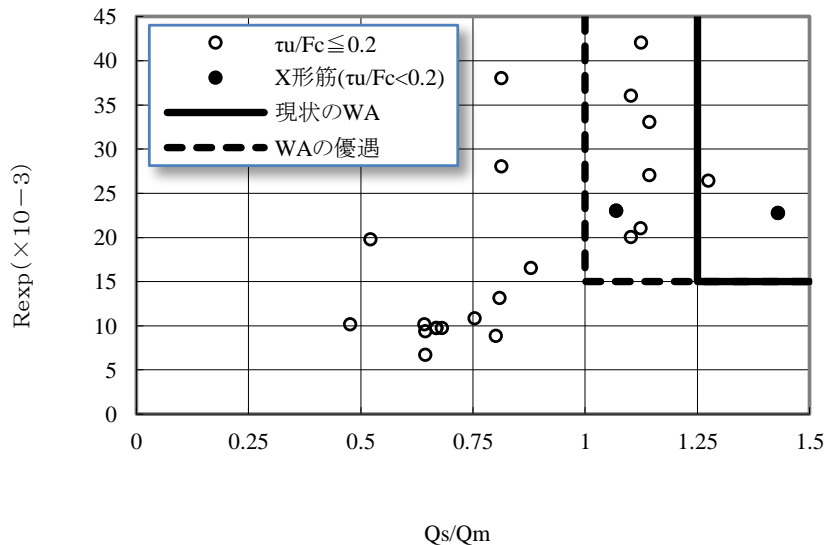


図5.1.5 有開口両側柱付き耐震壁が全体崩壊形と判定された時の部材ランク(図5.1.4の一部の詳細, 慣用法と精算法の適用)



(a) 単層有開口耐震壁



(b) 連層有開口耐震壁

図5.7 変形能とせん断余裕度(広沢平均式)の関係(全試験体)

有開口壁の部材ランクの精算法

(無開口壁と同じ、ただし、有開口壁の変形状を考慮して条件をつけた。)

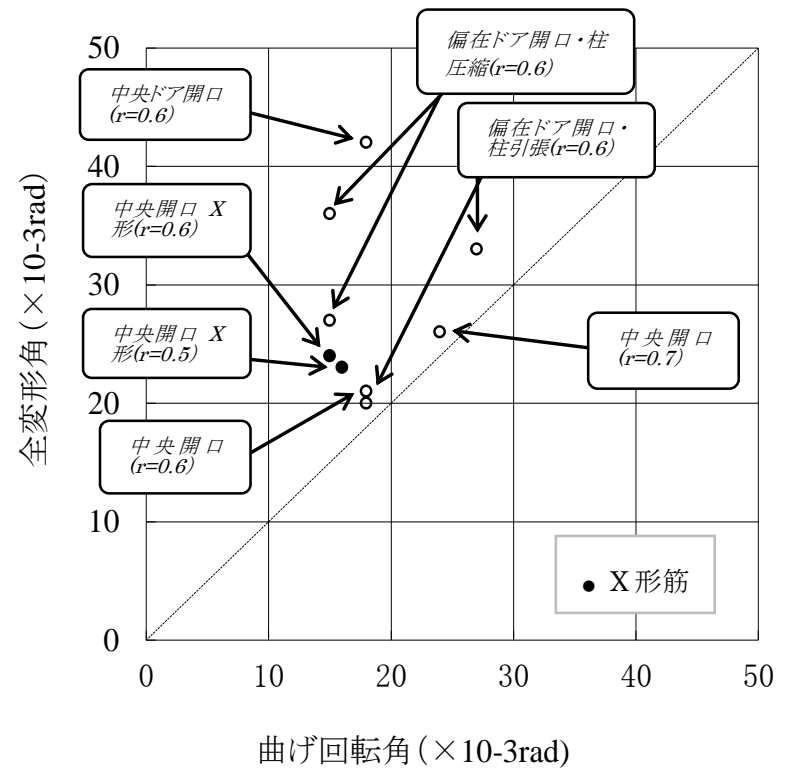


図5.8 精算WA候補 ($n \geq 0.9$) の有開口壁試験体の全変形 (1F) と曲げ回転角 (1F はり回転角) の関係

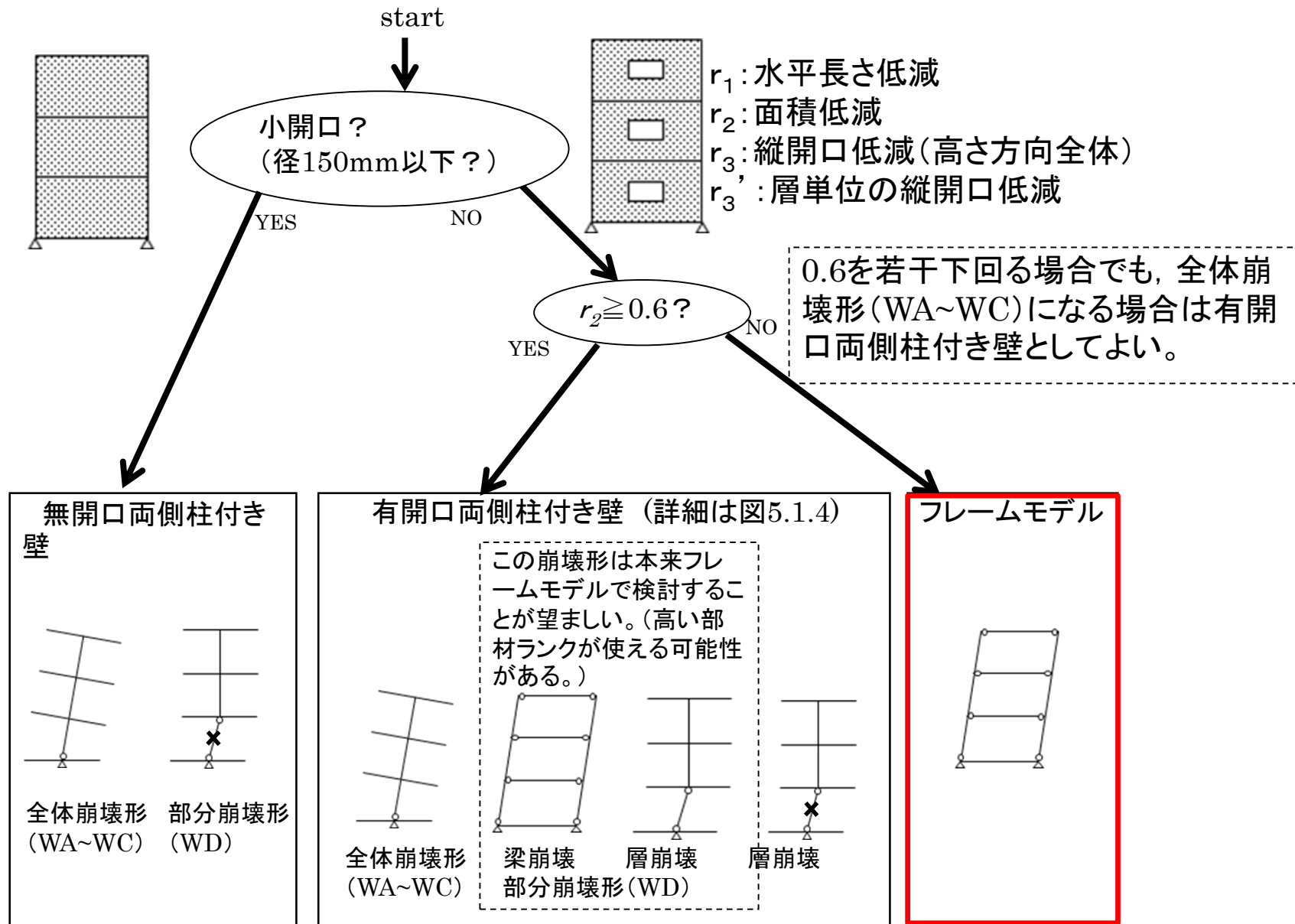
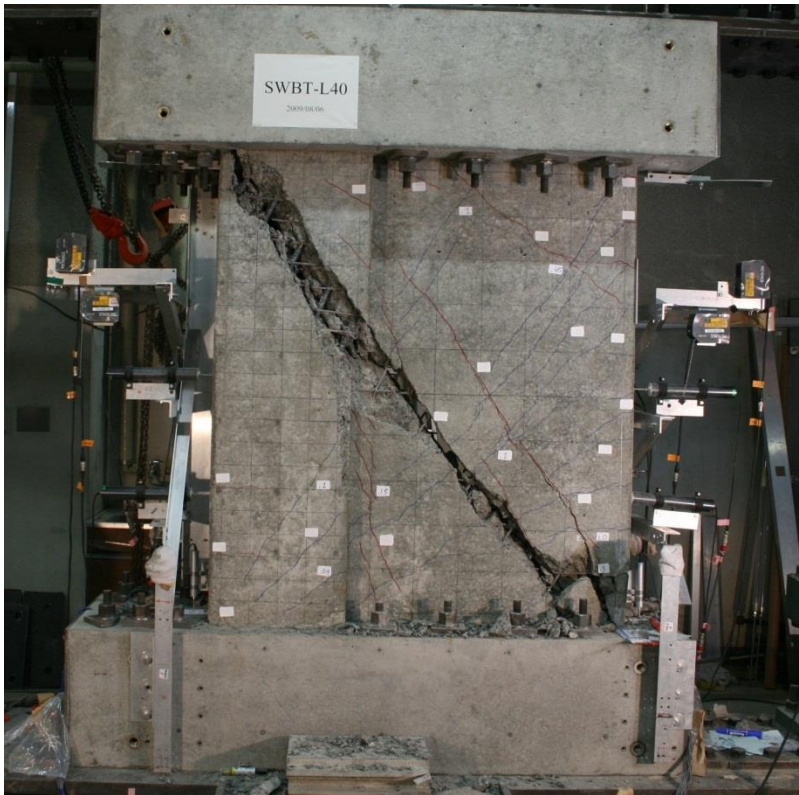


図5.1.3 開口がある場合のモデル化(有開口壁の判断)

3. 袖壁つき柱の設計



- 強度式の提案
- 部材ランクの評価法の提案

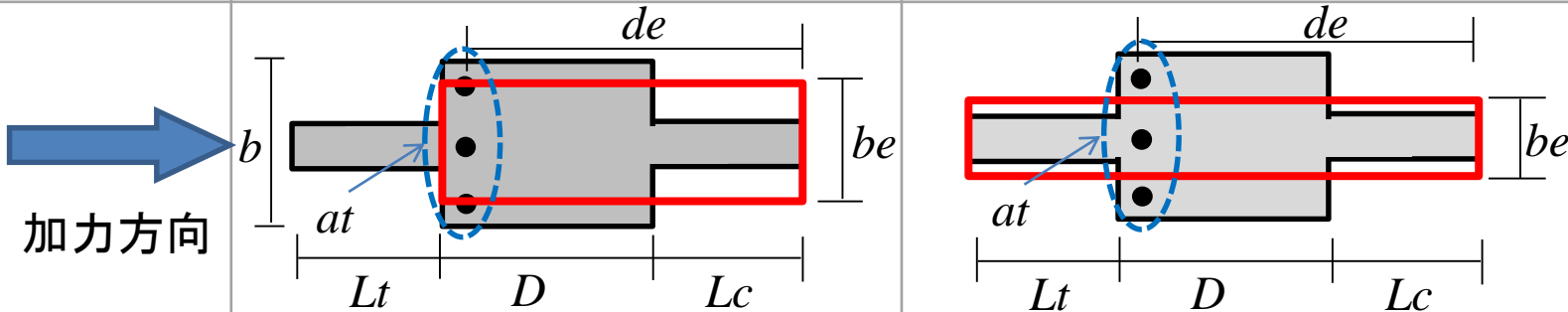


はじめに

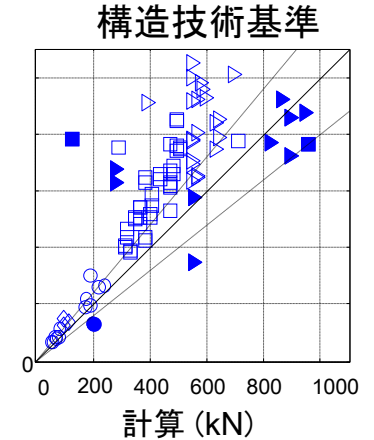
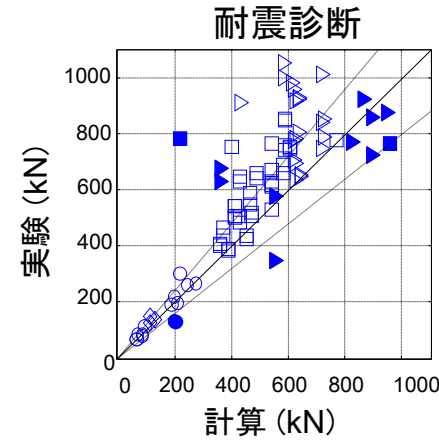
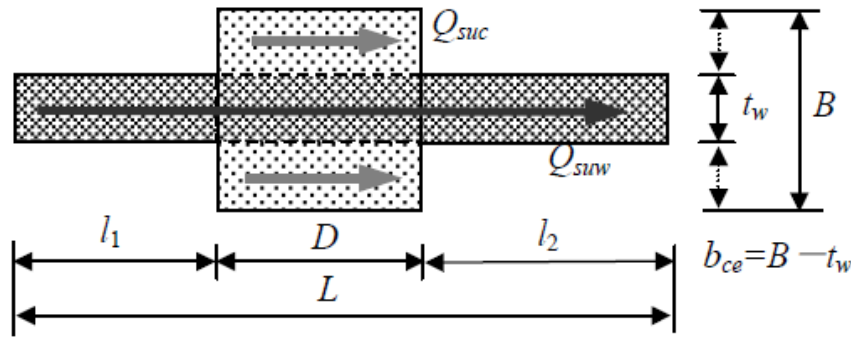
- 袖壁付き柱は最大耐力およびポストピーク領域における挙動等に不明な点が多い→袖壁を非構造壁として耐震スリットによって分離して設計するのが主流。
- 地震被害の報告からは袖壁が与える計算外の余裕度により建物に十分な強度が付与され、被害を免れた例もあったものと推定。
- 静的載荷実験結果に基づいて袖壁付き柱の諸強度に対する新しい評価手法の確立とともに変形性能評価法に関する検討。
- 検討項目
終局強度：**せん断終局強度**，**曲げ終局強度**
変形性能：**終局変形**，**部材種別**

既往のせん断終局強度算定式

- 力学的な根拠や背景は必ずしも明快でない。
- 両側に袖壁がある場合を前提にしており、片側袖壁付き柱では、具体的な適用方法が明確になってない。
- 既往のせん断終局強度算定式の比較

| | 耐震診断 | 構造技術基準解説書 |
|--|---|--------------------|
|  | | |
| 引張鉄筋断面積, at | 柱引張鉄筋断面積(引張側袖壁鉄筋無視) | |
| 有効せい, de | 柱引張鉄筋～圧縮縁 | |
| 置換長方形断面幅 be | $\frac{\text{柱断面積} + \text{圧縮側袖壁断面積}}{\text{柱せい} + \text{圧縮側袖壁長さ}}$ | 全断面積 / 全長 |
| 引張鉄筋比, pt | $at / (be \cdot de)$ | $at / (b \cdot D)$ |

せん断終局強度(分割累加式)



$$Q_{su} = Q_{suw} + Q_{suc} + 0.1N$$

$$Q_{suw} = \left\{ \frac{0.053 p_{twe}^{0.23} (F_C + 18)}{M / Qd_w + 0.12} + 0.85 \sqrt{p_{wh} \sigma_{why}} \right\} t_w j_w$$

$$Q_{suc} = \left\{ \frac{0.053 p_{tce}^{0.23} (F_C + 18)}{M / Qd_{ce} + 0.12} + 0.85 \sqrt{p_{cwe} \sigma_{cwy}} \right\} b_{ce} j_{ce}$$

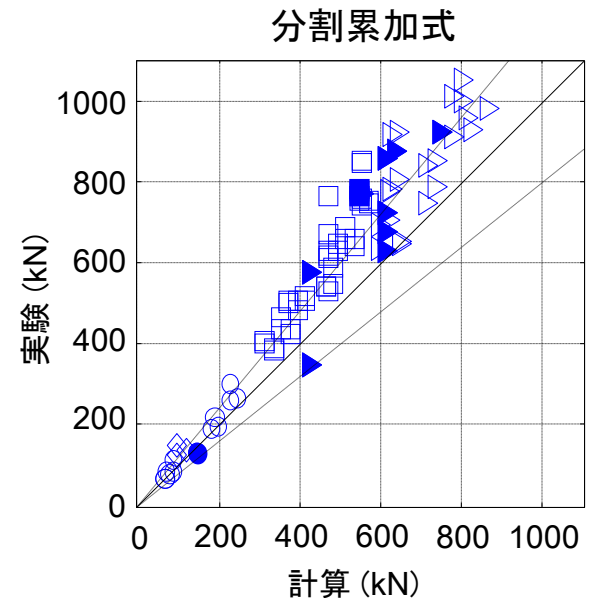
● 柱部分の引張鉄筋比およびせん断補強筋比の算定法

$$p_{tce} = a_{tc} / (B - t_w) d_{ce} \quad (\text{両側袖壁付き柱の場合})$$

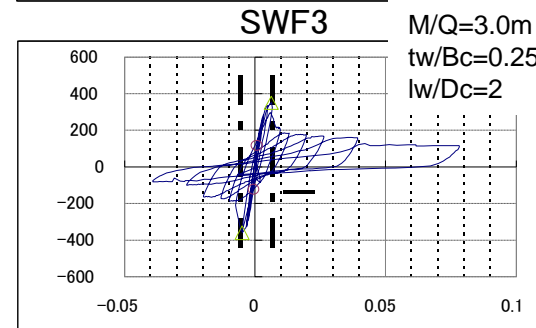
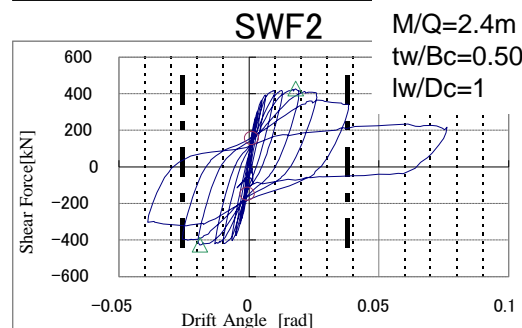
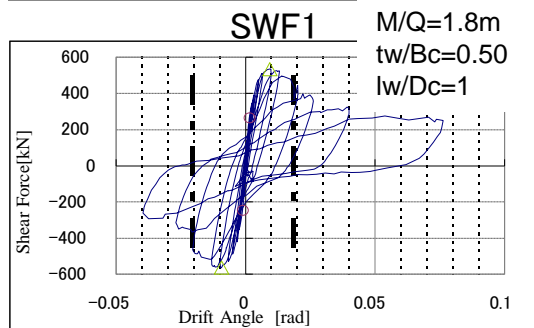
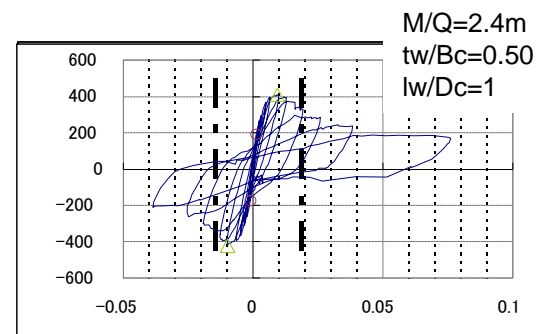
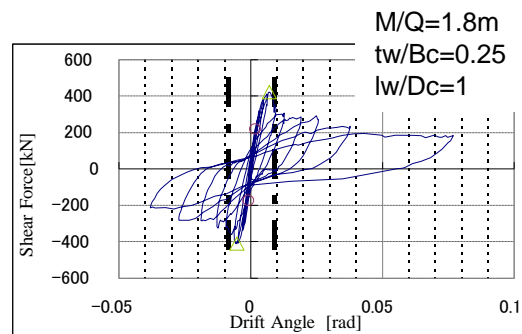
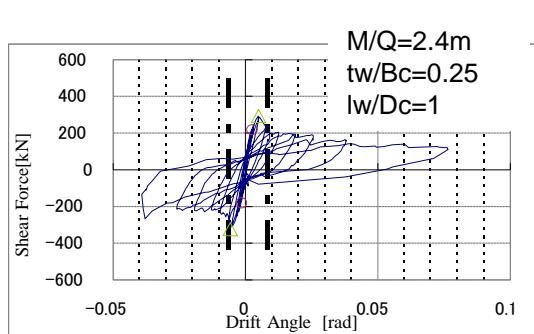
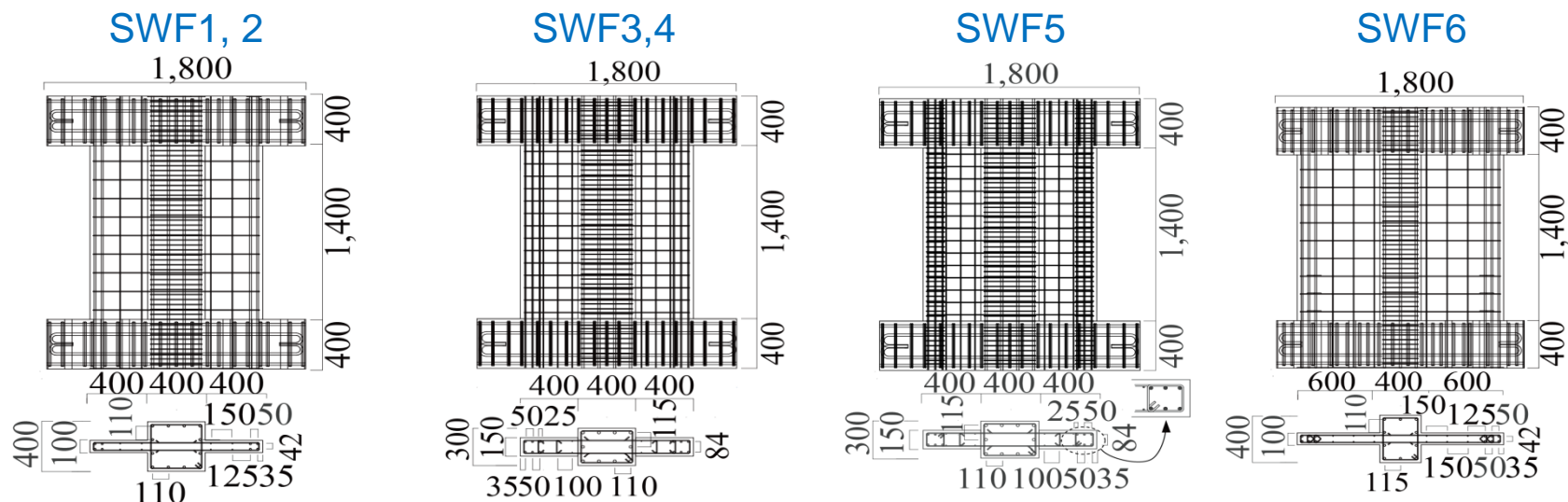
$$p_{tce} = (a_{tc} - a_{tw}) / (B - t_w) d_{ce} \quad (\text{片側袖壁付き柱の場合})$$

$$p_{cwe} = (a_w - p_{wh} t_w s) / b_{ce} s \quad (\text{袖壁横筋が柱に定着されている場合})$$

$$p_{cwe} = a_w / b_{ce} s \quad (\text{袖壁横筋が柱を通して配筋されている場合})$$



曲げ終局強度・終局変形・部材種別の検討対象試験体

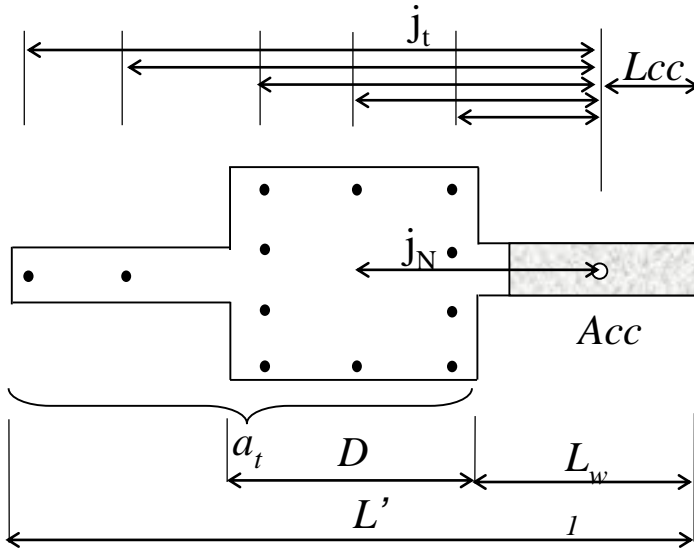


SWF4

SWF5(端部拘束有)

SWF6

曲げ終局強度



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

a_t : 引張鉄筋断面積

σ_y : 引張鉄筋降伏強度

N : 軸力

β : コンクリート応力-歪関係の長方形ブロック置換係数

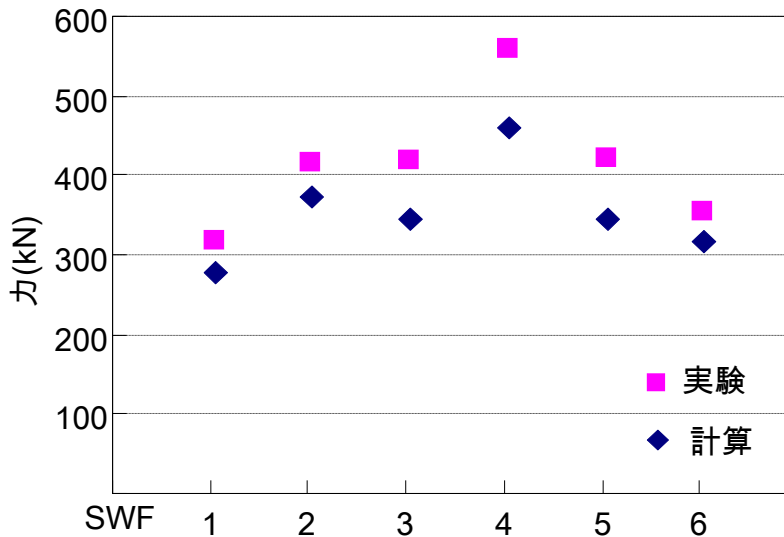
F_c : コンクリート圧縮強度

$A_{cc} \leq A_{w1}$: 中立軸が袖壁断面内にあるとき

$$L_{cc} = A_{cc} / (2t_w)$$

$A_{cc} > A_{w1}$: 中立軸が柱断面内にあるとき

$$L_{cc} = \frac{A_{w1}}{A_{cc}} \cdot \frac{L_{w1}}{2} + \left(1 - \frac{A_{w1}}{A_{cc}}\right) \left(L_{w1} + \frac{A_{cc} - A_{w1}}{2B_c}\right)$$

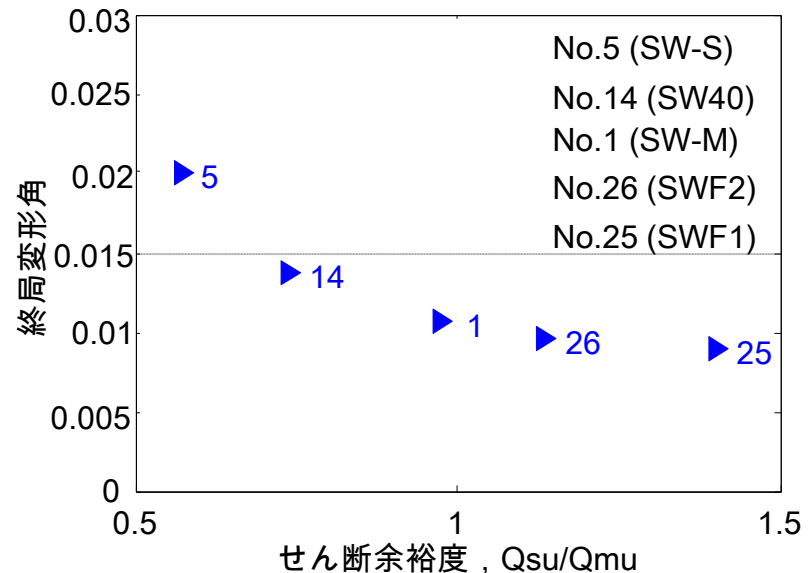
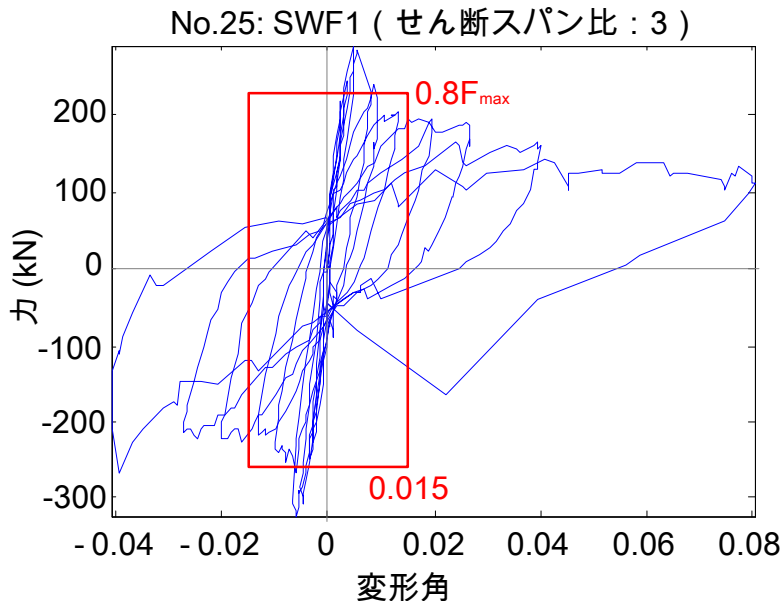


$$M_u = \sum (a_t \cdot \sigma_y \cdot j_t) + N \cdot j_N$$

終局変形 vs. せん断余裕度

(薄い袖壁, 端部拘束無)

- せん断余裕度が増加しても変形性能(終局変形)は改善されない。
→ 終局変形の定義: 最大耐力の**0.8倍**まで耐力が低下したときの変形。
→ 最大耐力以降に急激な耐力低下。
- せん断余裕度(せん断スパン比)増加 → 終局変形減少
→ せん断余裕度(せん断スパン比)が小さい試験体では, せん断変形が卓越, 終局変形点までは袖壁端部圧壊試験体(曲げ型)より緩やかな負勾配。
→ 脆性破壊した試験体, 厚い袖壁, 袖壁端部拘束試験体は該当しない。



現状の部材種別 (nは1.25(一端降伏の柱))

| | FA | FB | FC | FD |
|-----------------------|---------|----------|---------|----------------------------------|
| h_0/D 又は $2M/QD$ | 2.5 以上 | 2.0 以上 | | FA,FB 又は FC のいずれにも該 当しない場合 |
| σ_o/F_c | 0.35 以下 | 0.45 以下 | 0.55 以下 | |
| p_t (%) | 0.8 以下 | 1.0 以下 | | |
| τ_u/F_c | 0.1 以下 | 0.125 以下 | 0.15 以下 | |

現状の部材種別による実験値の評価

| ()内の数字 : FA の条件 | SWF1 | SWF2 | SWF3 | SWF4 | SWF5 | SWF6 |
|---------------------------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|--------------|
| $h_0/D(\geq 2.5)$ 又は $2M/QD$ | 1.75 6 | 1.75 4.5 | 1.75 6 | 1.75 4.5 | 1.75 6 | 1.56 6.67 |
| $\sigma_o/F_c (\leq 0.35)$ | 0.12 | 0.12 | 0.13 | 0.12 | 0.12 | 0.12 |
| p_t (%) (≤ 0.8) | 0.75 | 0.75 | 0.82 | 0.82 | 0.82 | 0.82 |
| $\tau_u/F_c (\leq 0.1)$ | 0.075 | 0.105 | 0.109 | 0.131 | 0.104 | 0.091 |
| 部材種別 (2M/QD による) | FA | FB | FB | FC | FB | FA |
| 終局変形角 (% , 実験値) | FD(0.9) | FD(0.98) | FA(2.03) | FA(2.11) | FA(4.03) | FD(0.70) |

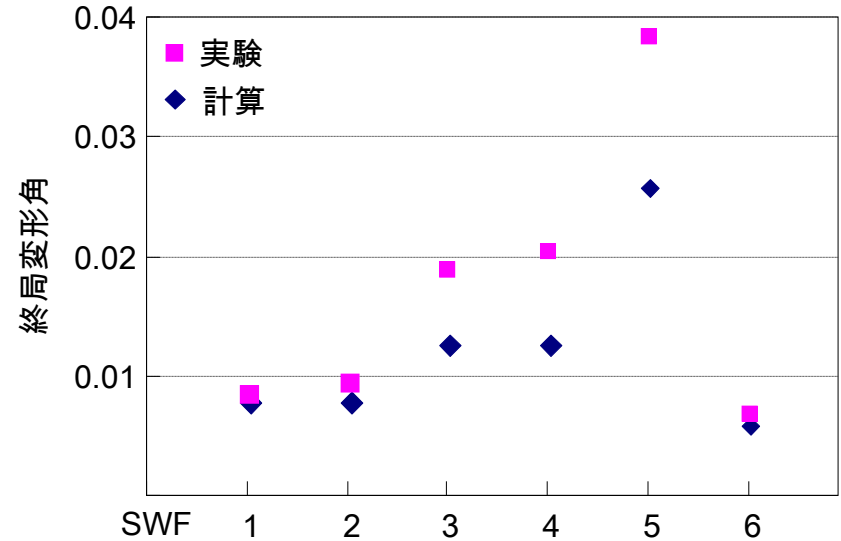
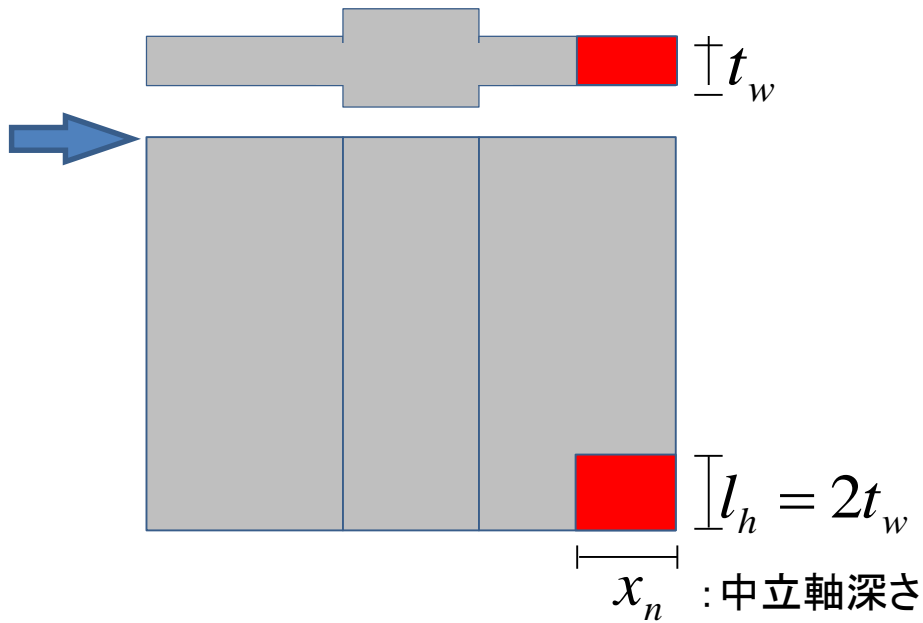
現状の部材種別による評価

- 現状の部材種別区分による試験体 (SWF1~6) の部材ランク → **FA(SWF1)** , **FB**
- 同一部材種別 (FB) 試験体の終局変形角 (実験値) : 0.65% ~ 3.36%
部材種別FA試験体の終局変形角 : 0.76%
→ 袖壁付き柱の変形性能を適切に評価していない。
→ 柱の部材種別区分条件を準用している。
- 袖壁付き柱の変形性能を適切に評価するための判断指標の検討
→ 終局変形角が1.5%を上回る試験体 (SWF3,4,5) : **壁厚比=0.5**
→ 終局変形角が3.36%の試験体 (SWF5) : **壁厚比0.5 + 袖壁端部拘束有**

現状

| ()内の数字 : FAの条件 | SWF1 | SWF2 | SWF3 | SWF4 | SWF5 | SWF6 |
|----------------------------|-----------|-------|-------------|-------------|-------------|-------|
| $h_0/D (\geq 2.5)$ | 3 | 2.25 | 3 | 2.25 | 3 | 3.33 |
| $\sigma_0/F_c (\leq 0.35)$ | 0.12 | 0.12 | 0.12 | 0.12 | 0.12 | 0.12 |
| $\rho_t (\%) (\leq 0.8)$ | 0.75 | 0.75 | 0.82 | 0.82 | 0.82 | 0.82 |
| $\tau_u/F_c (\leq 0.1)$ | 0.055 | 0.077 | 0.087 | 0.105 | 0.083 | 0.079 |
| 部材種別 | FA | FB | FB | FB | FB | FB |
| 終局変形角 (% , 実験値) | 0.76 | 0.91 | 1.74 | 2.11 | 3.36 | 0.65 |
| 壁厚比(t_w/B_c) | 0.25 | 0.25 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.25 |
| 袖壁端部拘束 | 無 | 無 | 無 | 無 | 有 | 無 |

終局変形



$$R_u = c \times l_h \times \phi_u$$

$$c = 6$$

$$\phi_u = \varepsilon_{cu} / x_n$$

ε_{cu} = 圧縮縁のコンクリート歪
 0.003 (袖壁端部拘束無)
 0.006 (袖壁端部拘束有)

● 主要因子:
 → 袖壁厚, 袖壁端部拘束有無, 軸力 (中立軸深さ)

● 実験結果に適合する係数c値が大きい
 → $\varepsilon_{cu} = 0.003$ が控えめの仮定であること。
 → ヒンジ領域以外の弾性変形、せん断変形、
 抜け出し変形などを考慮。

● 塑性ヒンジ高さ ($l_h = 2t_w$) の仮定も検証が必要である。

提案中の部材種別

| | FA | FB | FC | FD |
|------------------------------------|---------|----------|---------|---|
| Q_{su}/Q_{mu} | 1.25 以上 | 1.1 以上 | 1 以上 | FA,FB 又は FC のいずれ にも該当しな い場合 |
| h_0/D | 2.5 | 2.0 | - | |
| σ_0/F_c | 0.35 以下 | 0.45 以下 | 0.55 以下 | |
| $(p_g \sigma_y + \sigma_{0w})/F_c$ | 1/3 以下 | 1/2 以下 | 2/3 以下 | |
| $t_w/\sqrt{A_c}$ | 4/10 以上 | 3/10 以上 | 2/10 以上 | |
| τ_u/F_c | 0.1 以下 | 0.125 以下 | 0.15 以下 | |

Q_{su}/Q_{mu} : せん断余裕度, (Q_{su} : せん断強度, Q_{mu} : 曲げ強度時せん断力)

h_0/D : 梁降伏型では $2M/QL'$ (L' : 壁を含む全せい) を用いることができる。

σ_0 : 柱断面に対する軸応力度 (N/mm^2)

F_c : コンクリート設計基準強度 (N/mm^2)

p_g : 柱断面に対する全主筋断面積比, σ_y : 主筋の材料強度 (N/mm^2)

σ_{0w} : 柱断面に対する軸応力度 (N/mm^2) (ただし, 変動軸力はそで壁が圧縮側になるときの軸力)

t_w : 壁厚, D : 柱せい, b : 柱幅,

τ_u : (壁を含む)全断面に対するせん断応力度 (N/mm^2),

このほか, 柱, 壁端部の補強筋比による規定を追加する。

端部壁筋: 中立軸位置までの2/3の拘束域面積を柱帯筋比0.006以上で拘束すれば, 上の表でFCはFBに, FBはFAにみなすことができる。

(柱帯筋では, 柱のみなし規定との連続性を検討)