

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 6月 5日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2009～2011

課題番号：21360266

研究課題名（和文）

既存鉄筋コンクリート造柱の袖壁補強による連成抵抗機構の評価に関する研究

研究課題名（英文）

Strength resistant mechanism of RC column with wing walls

研究代表者

勅使川原 正臣 (Teshigawara Masaomi )

名古屋大学・環境学研究科・教授

研究者番号：50344007

研究成果の概要（和文）：

既存の鉄筋コンクリート造柱と補強袖壁の連成抵抗機構に着目し、破壊機構の理論的な解明を通して、袖壁補強工法の耐力評価法を提案した。連成抵抗機構とは、既存の柱と補強袖壁の鉛直接合アンカーによる抵抗モーメントの連成を考慮したメカニズムである。耐力評価の難しい袖壁付き柱の破壊のメカニズムを理論的に明らかにし、袖壁付き柱の耐力評価方法、特に袖壁補強された柱のせん断強度、接合部の設計方法などを提案した。

研究成果の概要（英文）：

Strength resisting mechanism of RC column with wing walls is proposed through experimental and theoretical study. Strength resisting mechanism proposed here is considered the combination of moment resisting of column and wing walls introduced by vertical joint anchors. Design method on RC column strengthened with wing walls is proposed based on proposed strength resisting mechanism of RC column with wing walls.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	6,000,000	1,800,000	7,800,000
2010年度	3,700,000	1,110,000	4,810,000
2011年度	3,800,000	1,140,000	4,940,000
総計	13,500,000	4,050,000	17,550,000

研究分野：工学 建築学

科研費の分科・細目：建築構造・材料

キーワード：鉄筋コンクリート造、耐震補強、袖壁

## 1. 研究開始当初の背景

兵庫県南部地震において、鉄筋コンクリート建物における被害が多くみられた。以後、既存鉄筋コンクリート造建物の耐震診断とともに補強が行われ、耐震改修時の耐力評価が重要な課題となって久しい。中でも、中高層鉄筋コンクリート造集合住宅の耐震改修は急務であり、簡便かつ有効な耐震補強方法の整備が望まれている。多々ある耐震補強工法の中でも、既存の鉄筋コンクリート柱の側面に袖壁を増設して補強する方法が近年注目

されている。袖壁補強工法は既存の柱の曲げ耐力およびせん断耐力の補強を施すため大規模な改修が不要であり、補強しやすいというメリットがある。しかし、耐力を評価する試みは実験的に行われてきているが、評価式が確立されていないため、採用しにくい状況下にある。

## 2. 研究の目的

柱と袖壁の連成抵抗機構を明らかにし、袖壁付き柱の耐力評価において、信頼性の高い資料の整備、および耐震診断、補強時、新設時

の袖壁の耐力評価のための設計法の提案を行う。

### 3. 研究の方法

柱の両側に袖壁を付加した場合、片側に付加した場合について鉛直接合筋量、袖壁の柱せいに対する長さ比等をパラメータとしたせん断強度の確認実験を行うとともに、提案する強度抵抗機構の有効性の検討を行う。

### 4. 研究成果

袖壁補強工法の実用的な設計方法を提案した。この設計法は、袖壁部分のアーチ抵抗機構、鉛直接合筋による抵抗機構、既存柱の抵抗機構をそれぞれ算定し加算することで、袖壁補強柱の強度を算定でき、既存柱と補強袖壁が一体的に挙動する鉛直接合筋量が示されるとともに、鉛直接合筋比と袖壁が負担できるせん断応力度の関係を明示的に算定できるようになっている。以下、設計法案を示す。

#### A) 基本方針

本補強工法は、既存の柱に対して増設袖壁を施工し、そで壁付き柱とすることで強度を向上させる強度抵抗型の耐震補強工法である。既存柱の強度を向上させることを目的としており、既存柱の靱性能の向上は期待しない。また、本設計法ではそで壁を増厚する工法も適用範囲とするが、両側に同じ長さのそで壁を有する柱を対象とし、既存のそで壁の外側(建物の外部側)に長さが既存と同じで、厚さが 180mm 程度以上のそで壁を後打ちする場合を対象とする。柱と増設袖壁は一体的に挙動するように、柱と増設袖壁の間の接合部には十分な強度を持たせるものとする。

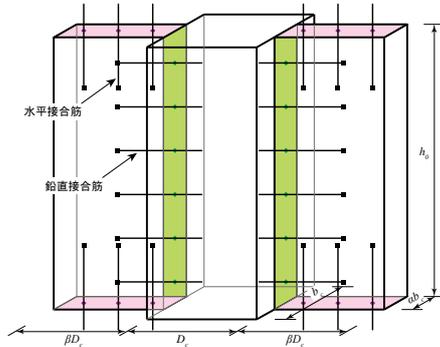


図1 記号の定義

#### B) 水平接合筋の算定

水平接合筋は、SRC 造のように十分な埋め込み深さを確保できない場合があるため、本設計法では原則的に期待しない。ただし、既存部に 12d<sub>a</sub> 以上の埋め込み深さを確保できる場合には、曲げ強度算定時に考慮しても良い。

#### C) 袖壁の縦横筋

袖壁の横筋量は、鉛直接合筋量よりも多くする。また、袖壁の縦筋量は水平接合筋量よりも多くする。

#### D) 曲げ終局強度

袖壁補強柱の曲げ終局強度は、完全塑性理論に基づく計算式を用いるものとする。ただし、平面保持解析等の詳細な解析によってもよい。

$$M_u = \sum_{i=1}^K A_i \cdot D_i \cdot \sigma_{y,i} \cdot L_i \cdot m + \sum_{i=1}^K B_i \cdot D_i \cdot F_{c,i} \cdot L_i \cdot n + N \cdot L_N \quad (1)$$

$$+ (2A_j \cdot \sigma_{y,j} + B_j \cdot F_{c,j}) \left( \sum_{i=1}^j D_i - x_n \right) \left( \sum_{i=1}^j D_i + x_n \right) \frac{1}{2}$$

ここに、 $A_i$  :  $i$  番目断面ピースの鉄筋断面積比

$D_i$  :  $i$  番目の断面ピースのせい(mm)

$B_i$  :  $i$  番目の断面ピースの幅(mm)

$L_i$  : 圧縮縁から  $i$  番目の断面ピースの中心までの長さ(mm)

$\sigma_{y,i}$  :  $i$  番目の断面ピース内の鉄筋の降伏強度(N/mm<sup>2</sup>)

$F_{c,i}$  :  $i$  番目の断面ピースのコンクリートの圧縮強度(N/mm<sup>2</sup>)

$N$  : 軸力(N)

$L_N$  : 圧縮縁から軸力の作用位置までの長さ(mm)

$j$  : 中立軸のある断面ピース番号

$K$  : 断面ピースの総数(片側袖壁=5, 両側袖壁=7)

$x_n$  : 中立軸位置で次式による(mm)

$$\sum_{i=1}^K A_i \cdot D_i \cdot \sigma_{y,i} \cdot m + \sum_{i=1}^K B_i \cdot D_i \cdot F_{c,i} \cdot n + N$$

$$+ (2A_j \cdot \sigma_{y,j} + B_j \cdot F_{c,j}) \left( \sum_{i=1}^j D_i - x_n \right) = 0$$

$m, n$ :  $i \leq j$  の場合  $m=1, n=1$ ,  $i > j$  の場合  $m=-1, n=0$

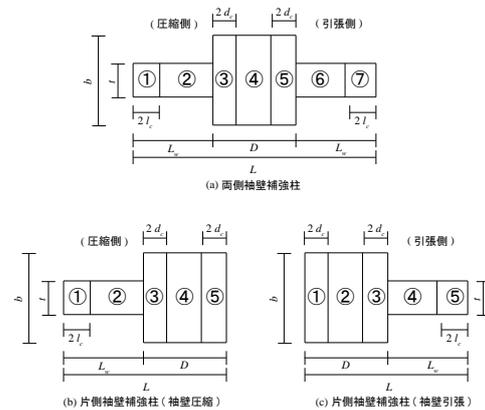


図2 断面の分割

#### E) せん断終局強度

袖壁補強柱のせん断終局強度は、(2)式による。

$$Q_{uw} = \phi \left[ p_w \sigma_{wy} \alpha b_c j_c + (C_w + T_w - p_w \sigma_{wy} \alpha b_c j_c) \tan \theta_w \right. \quad (2)$$

$$\left. + p_{wc} \sigma_{wy} b_c j_c + (C_c + T_c - p_{wc} \sigma_{wy} b_c j_c) \tan \theta_c \right]$$

ここに、 $\phi$  : 低減係数=0.7

$b_c, D_c$  : 既存柱の柱幅と柱せい

$j_c$  : 引張側, 圧縮側の最外縁水平接合筋位置

間の距離

$j_c$  : 柱主筋に囲まれたトラス機構有効領域のせい

$\alpha$  : 袖壁厚さと柱幅の比

$\beta$  : 袖壁長ささと柱せいの比

$h_0$  : 柱内法高さ

$p_{wc}\sigma_{wy}$  : 柱の帯筋比とその降伏強度の積

$p_a\sigma_{ay}$  : 鉛直接合筋比とその降伏強度の積

$T_c, T_{c,m}$  : 柱引張鉄筋および柱中間筋の全断面積と降伏強度の積

$T_w$  : 引張側袖壁の水平接合筋の全断面積と降伏強度の積, 定着が取れている場合に限る。

$\theta_c, \theta_w$  : 壁板および柱のアーチ機構作用角度

$$C_w = \frac{Q_{const} h_0 - N_{all} k - M_{const}}{K}$$

$$C_c = N_{all} - C_w$$

$$N_{all} = N + T_c + T_{c,m} + T_w$$

$$M_{const} = T_c \left( \frac{D_c}{2} - d_{st} \right) + T_w \frac{(1 + \beta) D_c}{2}$$

$$Q_{const} = p_a \sigma_{ay} \alpha b_c j_c (1 - \tan \theta_w) + T_w \tan \theta_w + p_{wc} \sigma_{wy} b_c j_c (1 - \tan \theta_c) + T_c \tan \theta_c$$

$$k = \left( \frac{D_c}{2} - d_{sc} \right) - h_0 \tan \theta_c$$

$$K = \frac{2}{3} \beta D_c + d_{sc} - h_0 (\tan \theta_w - \tan \theta_c)$$

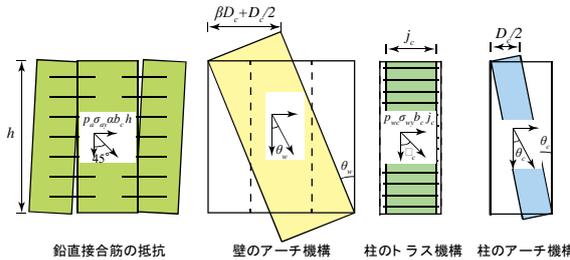


図3 考慮するせん断抵抗機構

ただし、せん断抵抗に有効な鉛直接合筋比の上限値として、下記条件を満たすものとする。下記条件を満たさない場合には鉛直接合筋比の応力を、条件を満たす範囲まで低減すること。

1) 壁板のストラットの応力がコンクリート圧縮強度以下となるように、下式を条件とする。

$$p_a \sigma_{ay} \alpha b_c j_c + (C_w + T_w - p_a \sigma_{ay} \alpha b_c j_c) \tan \theta_w \leq Q_{w,max} = \nu \sigma_B \alpha b_c (1 + 2\beta) D_c \tan \theta_w / 2 \quad (3)$$

ここに、 $\sigma_B$ : 既存躯体のコンクリート強度と補強部材のコンクリート強度の最小値  
 $\nu$ : コンクリートの有効圧縮強度係数 (=1.7 $\sigma_B$ <sup>1/3</sup>)

2) 柱の圧縮反力が正値をとること。

$$C_c = N_{all} - C_w \geq 0 \quad (4)$$

F) 最小鉛直接合筋比の規定

鉛直接合筋量の下限值は、せん断終局強度算

定時の壁板の圧縮反力  $C_w$  が正値を取ることを条件とする。

$$C_w = \frac{Q_{const} h_0 - N_{all} k - M_{const}}{K} \geq 0 \quad (5)$$

最小鉛直接合筋比は上式を満たす鉛直接合筋比かつ0.25%以上とする。

G) 設計方法

袖壁補強柱の設計は図4の設計フローに従って行う。目標性能に対する必要鉛直接合筋比は、最小および最大鉛直接合筋比時のせん断終局強度を線形補間することで設計することができる。

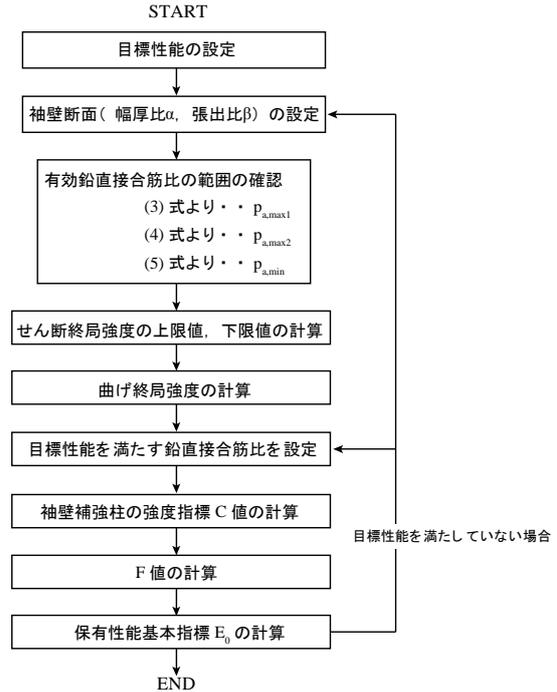


図4 設計フロー

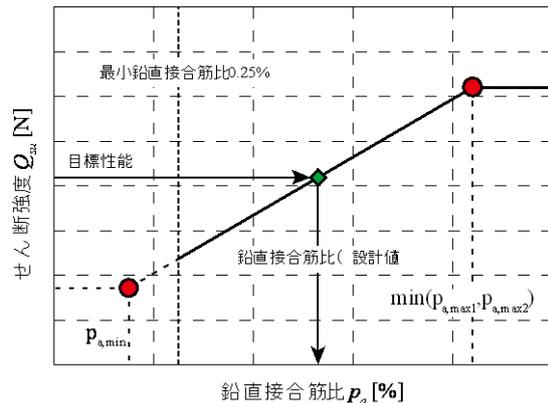


図5 鉛直接合筋比とせん断強度の関係

H) 構造規定

そで壁補強は、原則として以下の構造詳細によるものとする。

i. 増設袖壁に用いるコンクリートの設計基準強度は、計算用圧縮強度+3.0N/mm<sup>2</sup>以上

とし、かつ30N/mm<sup>2</sup>を上限とする。

ii. 増設袖壁の縦横の壁筋は、原則複配筋とし、壁筋比 psv, psh 共に 0.25%かつ接合筋量以上とする。

また、横筋の端部は、閉鎖型に配筋する。

iii. そで壁と接する柱や梁の接合面部分は適切に目荒しの上、増設そで壁と柱とはあと施工アンカーを配置して一体化する。

iv. 増設袖壁の幅は 180mm 以上とする。また、増設袖壁の長さは柱せいの 0.5 倍～2.0 倍とする。

v. 袖壁を増厚する場合には、既存のそで壁と増厚そで壁の新旧コンクリートの接合面は十分な目荒しを行い、シアコネクタとして D10 又は D13@500 以下で接合する。

vi. 埋込み長さを有効 12da 以上かつ、アンカー筋の引張降伏を保証できる埋込み長さとした水平接合筋

は曲げ強度の算定に考慮して良い。ただし、増設袖壁内の引張鉄筋とアンカー筋との定着長さは 30da 以上(但し、 $F_c \geq 24\text{N/mm}^2$  かつ、アンカー筋の種別 SD345, SD295 の場合)とするとともに、増設袖壁内の縦筋とあき重ね継手とする。

vii. 鉛直接合部には埋込み長さを有効 8da 以上とする D16 以上のあと施工アンカーを 200mm 程度の間隔で配置し、壁筋との定着長さを 20da 以上とする。

viii. 増設袖壁の梁との接合部のあと施工アンカー設置部分にはスパイラル筋やはしご筋を設け、十分に割裂補強する。

ix. 最大径が 100mm を超える程度の使用中のスリーブ孔や小開口のついたそで壁には、そで壁増厚補強は原則として計画しない。

x. あと施工アンカーのはしあき、へりあき、ピッチなど配置については、改修指針 3.9 節による。

xi. 増厚そで壁の鉄筋のかぶり厚さは、「鉄筋コンクリート工事標準仕様書 JASS5 (日本建築学会)」による。

XII. 新旧のコンクリートの接合部で外部に露出する部分については防水対策を行う。

一方、袖壁補強を施した場合、梁の強度が相対的に弱くなり補強効果が十分に発揮できなくなることが予想され、袖壁補強に合わせて梁補強を行った場合の効果を確認するパイロット実験を行った。袖壁補強された既存の柱・梁接合部は、そこに作用するせん断力が小さくなること、梁を補強することによって袖壁補強の効果を高くすることが出来ることなどが確認された。しかしながら、補強梁を既存梁に梁幅を増やすように接合する場合、両者のせん断伝達に偏心距離が生じ面外にねじれが発生した。せん断、面内曲げ、面外曲げを考慮した補強梁と既存梁の接合方法、接合形式による強度抵抗メカニズムを

今後検討する必要がある。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文、査読有] (計 3 件)

- ① 中村聡宏, 勅使川原正臣, 日比野陽, 井上芳生, 太田勤, 田尻清太郎: 袖壁補強柱の耐震性能評価に関する研究, 構造工学論文集, Vol. 56B, pp. 7-14, 2010. 3
- ② 中村聡宏, 勅使川原正臣, 井上芳生, 太田勤: 鉄筋コンクリート造両側袖壁補強柱のせん断終局強度評価, 日本建築学会構造系論文集, 第 76 巻, 第 661 号, pp. 619-627, 2011. 3
- ③ 中村聡宏, 清水啓介, 鈴木峰里, 田口孝, 神谷隆, 勅使川原正臣: 袖壁補強骨組を対象とした外付け梁補強工法に関する研究, 構造工学論文集, Vol. 58B, 2012. 4

[学会発表] (計 8 件)

- ① 太田勤, 中村聡宏, 勅使川原正臣, 井上芳生, 日比野陽, 田尻清太郎: 袖壁補強柱の耐震性能評価に関する実験的研究 (その 1 実験概要及び既往の強度評価式), 日本建築学会学術講演梗概集, 構造IV, pp. 683-684, 2009. 8, 東北学院大学
- ② 井上芳生, 中村聡宏, 勅使川原正臣, 太田勤, 日比野陽, 田尻清太郎: 袖壁補強柱の耐震性能評価に関する実験的研究 (その 2 実験結果), 日本建築学会学術講演梗概集, 構造IV, pp. 685-686, 2009. 8, 東北学院大学
- ③ 中村聡宏, 井上芳生, 勅使川原正臣, 太田勤, 日比野陽, 田尻清太郎: 袖壁補強柱の耐震性能評価に関する実験的研究 (その 3 考察), 日本建築学会学術講演梗概集, 構造IV, pp. 687-688, 2009. 8, 東北学院大学
- ④ 中村聡宏, 勅使川原正臣, 井上芳生, 太田勤: 鉛直接合筋の少ない袖壁補強柱の終局強度に関する実験的研究, コンクリート工学年次大会, pp. 433-438, 2010. 7, 大宮ソニックシティ, (査読有)
- ⑤ 中村聡宏, 勅使川原正臣, 井上芳生, 太田勤, 田尻清太郎, 谷口政和: 袖壁補強柱の鉛直接合部設計法, 日本建築学会学術講演梗概集, pp. 541-542, 2010. 9, 富山大学
- ⑥ 中村聡宏, 勅使川原正臣, 荻前圭介: 鉛直接合筋比をパラメータとした片側袖壁補強柱の耐震性能に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol. 33, No. 2, pp. 1069-1074, 2011. 7, 大阪国際会議場, (査読有)
- ⑦ 荻前圭介, 中村聡宏, 勅使川原正臣: 張出比の大きい両側袖壁補強柱の終局強度

に関する実験的研究, コンクリート工学  
年次論文集, Vol. 33, No. 2, pp. 1075-1080,  
2011. 7, 大阪国際会議場, (査読有)

- ⑧ 苔前圭介, 中村聡宏, 勅使川原正臣: 両  
側袖壁補強柱の補強効果に関する実験的  
研究, 日本建築学会学術講演梗概集(関  
東), 構造IV, pp. 315-316, 2011. 9, 早稲  
田大学

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

勅使川原 正臣 (Teshigawara Masaomi)

研究者番号 : 50344007