

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 24 日現在

機関番号：13101

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25289183

研究課題名(和文) RC造袖壁付き柱の強度と変形性状に及ぼす開口の影響の評価に関する研究

研究課題名(英文) Effects of openings on strength and deformation capacity of RC columns with side walls

研究代表者

加藤 大介 (KATO, DAISUKE)

新潟大学・自然科学系・教授

研究者番号：90169508

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 7,400,000円

研究成果の概要(和文)：近年袖壁の有効活用が再認識されているが、袖壁には、スイッチボックス等の、強度と変形能の低下が無視できないような大きめの小開口が設けられることが多い。本研究担当者はせん断破壊型の有開口袖壁付き耐震壁の実験を行ってきたが、この科学研究費の3年という期間では、主に曲げ降伏型の計7体の実験を行った。そのパラメータは開口の位置、袖壁の拘束筋およびシアスパンである。主な結論は、「開口が上部にある場合は既往の曲げ強度と変形能の評価式により安全側に適用できるが、開口が基部にある場合は開口を無視した曲げ強度式は適用できず、変形能評価式の安全率が低下する」である。

研究成果の概要(英文)：Firstly tests on RC columns with side walls have been conducted. Following the shear tests in the first three years, flexural tests were conducted to investigate the effects of the moment-to-shear ratios of loading, the reinforcement details, size and location of openings and the width and length of the side walls on the flexural deformability. The behavior of RC columns with side walls are characterized by two view points, i.e. high strength by contribution of side walls and high deformability after compressive failure of side walls. Secondly observed lateral force - story drift angle relationship is compared with an analytical model. The flexural analysis is conducted paying special attention to confinement by transverse reinforcement on core concrete and longitudinal bar reinforcement. Thirdly the observed ultimate strengths and deformations are compared with calculation in proposed design form for practice, by which fair correlations are obtained.

研究分野：鉄筋コンクリート構造

キーワード：袖壁 開口 せん断強度 曲げ強度 変形能 鉄筋コンクリート

1. 研究開始当初の背景

1968年の十勝沖地震では構造設計では無視されていた袖壁・たれ壁・腰壁の存在のために短柱化した柱がせん断破壊を引き起こしRC造建物は大きな被害を受けた。それ以降これらの壁は排除される傾向にあったが、1992年の阪神淡路大震災以降、建築計画上必要とされるこれらの壁の地震被災後の継続使用性能への寄与が改めて認識されることとなった。ところが、袖壁等のとり付いた部材の設計法は整備されていない。

ところで、袖壁等には分電盤等の小開口を含め開口が存在することが多い。そのため2010年に改訂された日本建築学会の鉄筋コンクリート構造計算規準1)(以下、RC規準)では、両側柱付き耐震壁に用いる開口低減率を袖壁付き柱に準用する方法が示されることになった。その力学的な挙動は大きくは変わらないであろうという前提の下ではあるが、この適用性については直接的には全く確認されていないのが現状である。しかも、これがそのまま終局強度にも適用されようとしていることを考えると、袖壁等の取り付く部材に及ぼす開口の影響の評価法の開発は急務と言わざるを得ない。

一方、東日本大震災を含む過去の地震被害では、袖壁等のとり付いた部材はさまざまな被害形態を示している。被災後の復旧活動に欠かせない被災度判定における損傷度の評価法が曖昧である。例えば、ひび割れが袖壁内だけの場合、あるいは柱に進展している場合、それぞれどの程度の残存性能を有しているのか、これは開口がある場合により複雑な問題となる。この曖昧さは学術的なバックデータの不足によるものである。

2. 研究の目的

本研究は、有開口袖壁付き柱の開口によるせん断強度の低下を把握することを第一の目的としている。次に、有開口袖壁付き柱の開口による曲げ強度と変形能の低下を把握することを代位二の目的としている。

上記目的を達成するために、本研究では有開口袖壁付き柱のせん断破壊実験とせん断強度の開口低減率に関する研究、および、有開口袖壁付き柱の曲げ破壊実験と曲げ挙動の評価に関する研究、の2つの観点からの研究を行っている。

3. 研究の方法

(1)有開口袖壁付き柱のせん断破壊実験

計9体のせん断破壊する有開口片側袖壁付柱の静加力実験を行っている。試験体は参考文献5-1)で行った無開口の袖壁付柱の試験体を原型としている。それらの試験体の主な実験パラメータを表1に示す。主に開口によるせん断強度の低下を把握することを目的としている。

表-1 試験体諸元(2012年実施)

柱帯筋(帯筋比)	-D6@100 (0.0026)		-D4@100 (0.0011)	
壁筋縦横共(壁筋比)	D6@100ダブル (0.0058)		D4@100ダブル (0.0037)	
開口サイズ	無開口	CSW-H	-	-
	200×200	CSWO-S	-	CSWO-S-A-80
		CSWO-SC*	-	-
	250×250	-	CSWO-S25-A	CSWO-S25-A-80 CSWO-S25-A-130
200×350	CSWO-L	CSWO-L-A	-	CSWO-L-B
シアスパン(mm)	500		800または1300	

\*試験体の開口位置は袖壁中央、その他は柱際  
柱断面250mm×250mm、袖壁長さ500mm×厚さ75mm、内法高さ1000mm  
試験体の諸元及び材料強度は文献(1)(2)(3)を参照

(2)有開口袖壁付き柱の曲げ破壊実験

計7体の曲げ破壊型の有開口片側袖壁付柱の静加力実験を行っている。試験体はせん断破壊型のCSWOシリーズを基本とし、試験体形状は同一とし、配筋もほぼ同一としている。変更した部分は、柱帯筋間隔を半分の50mmとした点、袖壁横筋を柱に閉鎖型に定着した点、加力方法を片持ち梁形式とし反曲点高さを長くした点、および、軸力、である。それらの試験体の主な実験パラメータを表2、3に示す。主に開口による曲げ強度と変形能の低下を把握することを目的としている。

表-2 試験体諸元(2013,2014年実施)

試験体名	CSWO-F-U <sup>1)</sup>	CSWO-F-D <sup>1)</sup>	CSWO-F-100U	CSWO-F-100D
柱断面[mm]	250×250			
袖壁断面[mm]	75×500		100×500	
内法高さ[mm]	1000			
せん断スパン長さ[mm] (せん断スパン比)	1500 (2.00)			
柱配筋	主筋	4-D13(SD345)		
	帯筋 (帯筋比[%])	-D6#50(SD295) (0.512)		
袖壁配筋	縦横筋 (壁筋比[%])	D6ダブル(SD295) (0.85)		(0.64)
	端部筋	1-D10(SD345)		
開口	高さ[mm]	150		
	長さ[mm]	150		
コンクリート強度[N/mm <sup>2</sup> ]	位置	中央	中央脚部	中央
	軸力[kN] (軸力比[%])	20.7		22.4
コンクリート強度[N/mm <sup>2</sup> ]	軸力[kN]	400		
	軸力比[%]	(0.19)		(0.16)

表-3 試験体諸元(2015年実施)

試験体名	CSWO-F-100M	CSWO-F-100MC	CSWO-F-100MC-1800
柱断面[mm]	250×250		
袖壁断面[mm]	100×500		
内法高さ[mm]	1000		
せん断スパン長さ[mm] (せん断スパン比)	1400(1.86)		1800(2.4)
柱配筋	主筋	4-D13(SD345)	
	帯筋 (帯筋比[%])	-D6#50(0.512)	
袖壁配筋	縦横筋 (壁筋比[%])	D6ダブル#約100(0.64)	
	端部縦筋	1-D10(SD345)	
配筋	巾止め筋	-	タイ-3-D6#102
	拘束筋 比[%]	Awx/(100*100) Awy/(350*100)	- 0.46
開口寸法(位置)	150×150(柱際中部)		
コンクリート強度[N/mm <sup>2</sup> ]	24.8		
軸力[kN]	400		

#### 4. 研究成果

##### (1)せん断強度の開口低減率に関する結論

有開口片側袖壁付き柱のせん断破壊先行型の実験結果に基づいて、せん断強度式および開口低減率について比較検討した結果、以下の結論を得ている。また、この結果は両側袖壁付き柱についても適用できるものと考えられる。

せん断強度式を長方形断面置換式による場合には、左右強度の平均値とする方法、あるいは左右壁長さを左右平均として算定する方法のいずれかにより無開口せん断強度を算定し、修正開口低減率 ( $\alpha = 1.0$ ) を乗じ、有開口袖壁付き柱のせん断強度式とできる。

分割累加強度式による場合は、分割累加修正式により分割されたせん断強度を算定し、壁部分せん断強度  $Q_{suw}$  に開口低減率 ( $\alpha = 1.0$ ) を乗じ累加し、有開口袖壁付き柱のせん断強度式とできる。

##### (2)曲げ挙動の評価に関する結論

曲げ降伏する試験体について FEM 解析と平面保持解析より解析を行っている。主な結論は以下であるが、まだ不十分でこの観点についての研究は今後も続けていく必要がある。FEM 解析の結論：

最大強度時の圧縮域の応力状態と曲げ終局強度の応力分布は概ね対応しているが、圧縮域の応力中心位置は曲げ終局強度のほうを中心よりである。

試験体 CSWO-F-D は引張縁の柱主筋は降伏していないが、圧縮縁の端部筋および袖壁筋は降伏していた。

各試験体とも FEM 解析の曲げモーメントと曲げ終局強度は概ね同じとなった。

平面保持解析の結論：

軸方向筋の座屈挙動と剛強な基礎からの拘束を考慮して、曲げ降伏した 2 体の袖壁付き柱の平面保持解析を行った。その結果、袖壁付き柱の曲げ挙動を定性的に評価することができた。

今後の課題としては、軸方向筋の座屈後の応力度低下のより現実的なモデル化があげられる。

コンクリートのモデルに関しては、繰り返し劣化の影響を考慮し、過去の最大点を指向しないモデルが必要であろう。

本報告では圧壊高さ  $h_p$  を実験的に求めているため、 $h_p$  の評価法が必要である。さらに、部材の水平力 水平変形に換算する必要があり、 $h_p$  の他により現実的な曲率分布の評価法が必要である。

#### 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)

以下に 2013 年以降の本研究に関連する発表論文のリストを示す。なお、2016 年のものは掲載決定であるが、ページは未定なので、

記載されていない。

〔雑誌論文〕(計 8 件)

(1)佐藤大典,高松恭,小林正英,加藤大介:袖壁の拘束とシアスパンを変化させた有開口 RC 造袖壁付き柱の曲げ破壊実験,コンクリート工学年次論文集,Vol.138, No.2, 2016, pp. -, 査読有

(2)高松恭,小松叶宜,加藤大介:軸方向筋の座屈とコンクリートに対する剛強な基礎の拘束効果に着目した曲げ降伏する RC 造袖壁付き柱の平面保持解析例,コンクリート工学年次論文集,Vol.138, No.2, 2016, pp. -, 査読有

(3)樋熊利亘,坂上正裕,加藤大介,田村良一:せん断破壊型 RC 造有開口袖壁付き柱の曲げせん断加力実験,コンクリート工学年次論文集,Vol.36, No.2, 2014, pp.277-282, 査読有

(4)坂上正裕,樋熊利亘,加藤大介,田村良一:シアスパン比を変化させた RC 造有開口袖壁付き柱のせん断破壊実験,コンクリート工学年次論文集,Vol.137, No.2, 2015, pp.121-126, 査読有

(5)本多良政,坂上正裕,樋熊利亘,加藤大介:開口を有する RC 造袖壁付き柱のせん断強度の評価法,コンクリート工学年次論文集,Vol.37, No.2, 2015, pp.25-30, 査読有

(6)高松恭,渡邊哲央,田村良一,加藤大介:RC 造袖壁付柱の曲げ挙動に及ぼす開口位置の影響に関する実験的研究,コンクリート工学年次論文集,Vol.37, No.2, 2015, pp.115-120, 査読有

(7)渡邊哲央,中村孝也,田村良一,加藤大介:RC 造有開口袖壁付柱の曲げ破壊実験,コンクリート工学年次論文集,Vol.36, No.2, 2014, pp.283-288, 査読有

(8)坂上正裕,樋熊利亘,加藤大介,田村良一:RC 造有開口袖壁付き柱の曲げせん断加力実験,コンクリート工学年次論文集,Vol.35, No.2, 2013, pp.361-366, 査読有

〔学会発表〕(計 26 件)

(1)本多良政,加藤大介,手塚晃斗:袖壁厚に着目した RC 造有開口片側袖壁付き柱のせん断強度に関する検討,日本建築学会大会学術講演梗概集(九州),2016,構造 pp. -, 福岡大学(福岡県,福岡市)

(2)佐藤大典,高松恭,小林正英,加藤大介:袖壁の拘束とシアスパンを変化させた有開口 RC 造袖壁付き柱の曲げ破壊実験,日本建築学会北陸支部研究報告集,第 59 号,2016 年,pp. -, 福岡大学(福岡県,福岡市)

(3)加藤大介,小林正英,高松恭,佐藤大典:袖壁の拘束とシアスパンを変化させた有開口 RC 造袖壁付き柱の曲げ破壊実験(その 1 実験概要と結果),日本建築学会大会学術講演梗概集(九州),2016,構造 pp. -, 福岡大学(福岡県,福岡市)

(4)佐藤大典,加藤大介:袖壁の拘束とシ

アスパンを変化させた有開口 RC 造袖壁付き柱の曲げ破壊実験(その2 各種計算値との比較), 日本建築学会大会学術講演梗概集(九州), 2016, 構造 pp.-, 福岡大学(福岡県, 福岡市)

(5)小松 叶宜, 高松 恭, 加藤 大介: 軸筋の座屈とコンクリートに対する基礎からの拘束効果に着目した RC 造袖壁付き柱の平面保持解析-その1 コンクリートと軸筋のモデル-, 日本建築学会大会学術講演梗概集(九州), 2016, 構造 pp.-, 福岡大学(福岡県, 福岡市)

(6)高松 恭, 小松 叶宜, 加藤 大介: 軸筋の座屈とコンクリートに対する基礎からの拘束効果に着目した RC 造袖壁付き柱の平面保持解析-その2 解析結果-, 日本建築学会大会学術講演梗概集(九州), 2016, 構造 pp.-, 福岡大学(福岡県, 福岡市)

(7)佐藤 大典, 加藤 大介: RC 造壁部材の等価粘性減衰の評価法, 日本建築学会北陸支部研究報告集, 第59号, 2016年, pp.-, 福井大学(福井県, 福井市)

(8)小松 叶宜, 高松 恭, 加藤 大介: 軸筋の座屈とコンクリートに対する基礎の拘束効果に着目した RC 造袖壁付き柱の平面保持解析-コンクリートと軸筋のモデル-, 日本建築学会北陸支部研究報告集, 第59号, 2016年, pp.-, 福井大学(福井県, 福井市)

(9)高松 恭, 小松 叶宜, 加藤 大介: 軸筋の座屈とコンクリートに対する基礎からの拘束効果に着目した RC 造袖壁付き柱の平面保持解析-解析結果-, 日本建築学会北陸支部研究報告集, 第59号, 2016年, pp.-, 福井大学(福井県, 福井市)

(10)寺嶋 啓, 加藤 大介: RC 造有開口袖壁付き柱のせん断強度の評価法 トラスアーチ理論の適用方法, 日本建築学会大会学術講演梗概集(関東), 2015, 構造 pp.51-52, 東海大学(神奈川県, 平塚市)

(11)田村 良一, 加藤 大介: 鉄筋コンクリート造有開口袖壁付き柱の残存耐震性能評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集(関東), 2015, 構造 pp.121-122, 東海大学(神奈川県, 平塚市)

(12)坂上 正裕, 本多 良政, 加藤 大介: RC 造有開口袖壁付き柱のせん断強度式の提案, 日本建築学会大会学術講演梗概集(関東), 2015, 構造 pp.327-328, 東海大学(神奈川県, 平塚市)

(13)本多 良政, 加藤 大介: RC 造有開口袖壁付き柱の曲げ終局強度に関する考察, 日本建築学会大会学術講演梗概集(関東), 2015, 構造 pp.119-120, 東海大学(神奈川県, 平塚市)

(14)高松 恭, 加藤 大介: RC 造袖壁付き柱の復元力特性のモデル化に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集(関東), 2015, 東海大学(神奈川県, 平塚市)

(15)高松 恭, 坂上 正弘, 加藤 大介, 中村 孝也: 有開口 RC 造袖壁付柱の曲げ破壊実験とその

復元力特性のモデル化に関する研究, 日本建築学会北陸支部研究報告集, 第58号, 2015年, pp.52-55, 長岡造形大学(新潟県, 長岡市)

(16)坂上 正裕, 本多 良政, 古布 宗斗, 加藤 大介: RC 造有開口袖壁付き柱の開口によるせん断強度への影響に関する考察(その1: せん断強度の検討), 日本建築学会大会学術講演梗概集(神戸), 2014, 構造 pp.297-298, 神戸大学(兵庫県, 神戸市)

(17)本多 良政, 坂上 正裕, 古布 宗斗, 加藤 大介: RC 造有開口袖壁付き柱の開口によるせん断強度への影響に関する考察(その2: 強度低下率の検討), 日本建築学会大会学術講演梗概集(神戸), 2014, 構造 pp.299-300 構造 pp.305-306, 神戸大学(兵庫県, 神戸市)

(18)樋熊利巨, 坂上正裕, 加藤大介, 田村良一: せん断破壊する RC 造有開口袖壁付き柱の曲げせん断加力実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集(近畿), 2014, 構造 pp.315-316, 神戸大学(兵庫県, 神戸市)

(19)渡邊 哲央, 加藤 大介, 中村 孝也, 田村 良一: RC 造有開口袖壁付柱の曲げ破壊実験 等価粘性減衰の検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集(近畿), 2014, 構造 pp.337-338, 神戸大学(兵庫県, 神戸市)

(20)樋熊利巨・坂上正裕・加藤大介・田村良一: せん断破壊する RC 造有開口袖壁付柱の曲げせん断加力実験, 日本建築学会北陸支部研究報告集, 第57号, 2014年, pp.17-20, 富山大学(富山県, 高岡市)

(21)本多良政, 加藤大介: RC 造有開口袖壁付き柱の FEM 解析, 日本建築学会北陸支部研究報告集, 第57号 2014年 7月, pp.152-155, 富山大学(富山県, 高岡市)

(22)渡邊 哲央, 坂上正裕, 加藤大介, 中村孝也: RC 造有開口袖壁付柱の曲げ破壊実験, 日本建築学会北陸支部研究報告集, 第57号, 2014年, pp.1-4, 富山大学(富山県, 高岡市)

(23)坂上正裕・樋熊利巨・古布宗斗・加藤大介・田村良一, RC 造有開口袖壁付き柱の曲げせん断加力実験(その1 実験概要), 2013年度大会(北海道)学術講演梗概集・建築デザイン発表梗概集, 2013 構造 pp.117~118, 北海道大学(札幌市)

(24)樋熊利巨・古布宗斗・坂上正裕・加藤大介・田村良一, RC 造有開口袖壁付き柱の曲げせん断加力実験 その2 実験結果, 2013年度大会(北海道)学術講演梗概集・建築デザイン発表梗概集, 2013 構造 pp.119~120, 北海道大学(札幌市)

(25)古布宗斗・坂上正裕・樋熊利巨・加藤大介・田村良一, RC 造有開口袖壁付き柱の曲げせん断加力実験 その3 最大強度に関する検討, 2013年度大会(北海道)学術講演梗概集・建築デザイン発表梗概集, 2013 構造 pp.121~122, 北海道大学(札幌市)

(26)樋熊利巨・坂上正裕・加藤大介・田村

良一：RC 造有開口袖壁付き柱の曲げせん断加力実験 -柱と袖壁の変形性状-日本建築学会北陸支部研究報告集，第 56 号，2013 年，pp.115-118，金沢工業大学（石川県，金沢市）

## 6．研究組織

### (1)研究代表者

加藤 大介 (KATO DAISUKE)  
新潟大学・自然系 (工学部)・教授  
研究者番号：9 0 1 6 9 5 0 8

### (2)研究分担者

中村 孝也 (NAKAMURA TAKAYA)  
新潟大学・自然系 (工学部)・准教授  
研究者番号：5 0 3 0 5 4 2 1

本多 良政 (HONDA YOSHIMASA)  
小山工業高等専門学校・建築学科・准教授  
研究者番号：8 0 5 0 9 9 1 9