

## 論文 一定高軸力を受ける面外袖壁つき RC 造柱の変形能評価実験

加藤大介\*<sup>1</sup>・大西幸一\*<sup>2</sup>・大塚祐二\*<sup>3</sup>・土井希祐\*<sup>4</sup>

**要旨：**本研究の目的は面外袖壁の軸力負担能力を定量的に評価することである。本報告では基礎的なデータを得るために行った2体の静加力実験の結果を報告する。直交方向の中央に袖壁を有する場合、軸力に依存する変形能が改善され、その挙動は平面保持解析により大略評価できた。また、本報告で採用した程度の袖壁長さをを用いると、最大軸力が同じ変動軸力試験体と同程度の変形能が得られた。

**キーワード：**高軸力、袖壁、柱、変形能、静加力実験

## 1. はじめに

一般的に、変動軸力を受ける試験体は、その最大軸力比が同じで一定軸力を受ける試験体に比べ、変形能が優れている。一定軸力を受ける場合は、繰り返し载荷により断面中央部の軸ひずみ度が蓄積されるからである。筆者らはRC造の独立柱を対象に軸力の変形能に及ぼす影響を検討してきたが、文献<sup>1)</sup>では、この変動軸力の効果を表現するために、変動軸力を受ける試験体の最大軸力を同じ変形能を示す一定軸力を受ける試験体の軸力に換算する方法を提案した。この換算した軸力を等価軸力と呼び、変動軸力を受ける試験体の変形能はこの等価軸力を受ける一定軸力試験体の変形能として算出できる。

一方、実際の建物には袖壁等の部材がとりつくことが多いが、想定している加力方向に対して面外に袖壁がとりついた場合には、一般的には設計上無視して計算される。しかしながら、この面外袖壁は軸力負担能力には寄与していることが認知されており、例えば既存鉄筋コンクリート造建物の耐震診断<sup>2)</sup>を行う場合などでも、面外袖壁を考慮して第2種構造要素の判定をする場合もある。

しかし、その手法は曖昧であり、本来部材とともに挙動する袖壁に対し、単純に軸力保有性能のみを期待するところに大きな問題がある。本研究の目的は現在曖昧のまま考慮されている面外袖壁の軸力負担能力を定量的に評価することである。本報告では基礎的なデータを得るために行った2体の静加力実験の結果を報告する。

## 2. 実験概要

## 2.1 実験計画

表-1 は本実験の実験計画を示したものである。筆者らは1996年に文献<sup>3)</sup>の中で、ほぼ同じ変形能を示す一定軸力と変動軸力を受ける2体の試験体(試験体 C-1, C-2)の静加力実験の結果を報告している。この2体の試験体は形状と配筋は同一で、試験体 C-1 が全断面の軸力比 0.46 の一定軸力を、試験体 C-2 が最大軸力比 0.60、最低軸力比 0 の変動軸力を受ける試験体である。変動軸力を受ける試験体の载荷方法は、①正加力载荷前に 882kN の軸力を加え、②その軸力を保ったまま目標変形まで水平力を载荷する、③目標変形に到達したら水平力と軸力を同時に除荷し、④軸

\*1 新潟大学教授 工学部建設学科 工博(正会員)

\*2 滋賀県庁

\*3 新潟大学自然科学研究科博士課程前期大学院生

\*4 新潟大学助教授 工学部建設学科 博(工)(正会員)

表-1 実験計画

試験体名	柱断面	直交袖壁	軸力載荷法	軸力比(全断面対象)			軸力比(コア断面のみ)	
				柱断面のみ	袖壁含む	等価軸力比	柱断面のみ	等価軸力比
C-1(1996[3])	共通	なし	一定	0.46	-	同左	0.53	同左
C-2(1996[3])			変動	0~0.60		0.39	0~0.71	0.41
C-5			一定	0.70		同左	0.83	同左
CSWTR-1			あり	0.70		0.53		0.41(*)

(\*)本来等価軸力比を計算する対象ではないが、袖壁が有効として変動軸力試験体として扱った場合の値

表-2 試験体諸元

試験体名	柱断面	直交袖壁断面(片側)	高さ	柱部全主筋	柱部帯筋(帯筋比)	袖壁部端部縦筋	袖壁部壁筋(縦・横)(壁筋比)	コンクリート強度(MPa)	作用軸力(kN)
C-1	220×220mm	なし	1100mm	8-D10	3-D6@70	なし	なし	24.3	539
C-2								30.2	0~882
C-5		50×150mm				1-D6	1-D6@70	26.2	882
CSWTR-1									

表-3 鉄筋強度(C-5, CSWTR-1)

	D6	D10
降伏強度(MPa)	314	378
破断強度(MPa)	483	517

力を0に保ったまま負方向の荷重を行う、というものであった。その結果、いずれの試験体も最大耐力の80%に低下した点(一定軸力は正負荷の小さい方)として定義した変形能が0.03rad程度であった。

今回新たに2体の試験体を計画した。試験体C-5はC-1,2と全く同じ形状と配筋を持ち、試験体C-2の最大軸力と同じ軸力を一定軸力として荷重したものである。ただし、コンクリート強度が異なっているので、試験体C-5の軸力比は0.7となり、試験体C-2の0.6よりやや高めとなった。この試験体は試験体C-1,2に比べ変形能は悪くなることが予想される。

一方、試験体CSWTR-1は試験体C-5の直交方向に袖壁を偏心させずに設けることにより、繰り返し荷重による断面中央部のコンクリートの圧縮ひずみ度の蓄積を防止し、その結果、変形能が最大軸力比が同じ変動軸力試験体C-2と同程度になることを期待したものである。試験体CSWTR-1は一定軸力試験体なので、本来等価軸力比は作用する軸力を用いて計算した軸力比と一致する。しかしながら、前述した袖壁の軸力低減効果を検討する

ために、表-1には、柱断面のみを考慮し、最小軸力が0となる場合の等価軸力比も示した。

## 2.2 試験体

表-2に試験体諸元を、表-3に今回実験を行った試験体C-5,CSWTR-1に用いた鉄筋強度を示す。さらに、図-1に両試験体の配筋図を示す。前述したように試験体C-5は形状配筋とも試験体C-1,2と同じである。試験体CSWTR-1は図-1に示すように、加力方向に対し直交方向に、片側150mm×50mmの断面をもつ袖壁を断面中心に配置したものである。袖壁量は後述する曲げ解析により必要な最低量程度として設定し、結果として、本報告で採用した袖壁量は、独立柱に対する全断面軸力比0.7が、袖壁も含めると0.53になる程度(面積増1.32)となった。また袖壁の配筋は壁筋による拘束効果を期待しないようにシングル配筋とした。

## 2.3 加力方法

加力は、図-2に示す加力装置図により逆対称変形を与えた。軸力は試験体上部の鉛直ジャッキで一定軸力を与え、左右の2台の鉛直ジャッキにより試験体上部のL型加力ジグを水平に保った。3章で示す水平力はP-Δ効果を考慮して求めた。すなわち、柱試験体の荷重は、1/200, 2/200, 3/200, 4/200, 6/200,

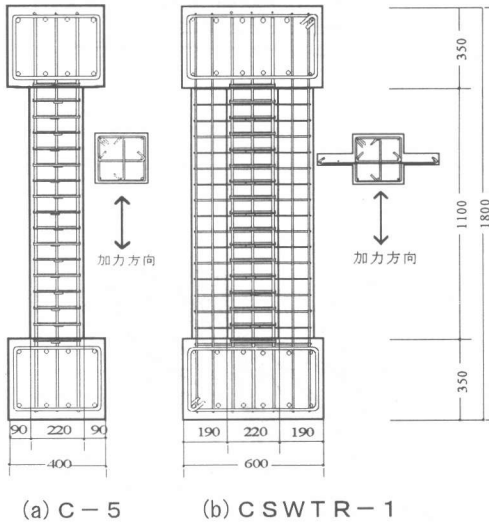


図-1 試験体配筋図

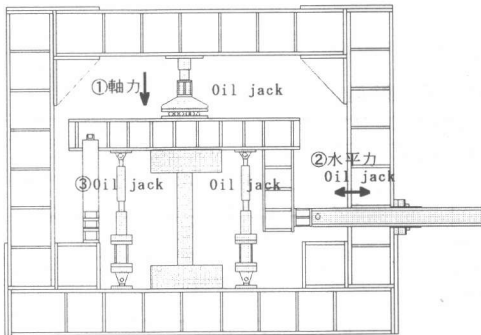
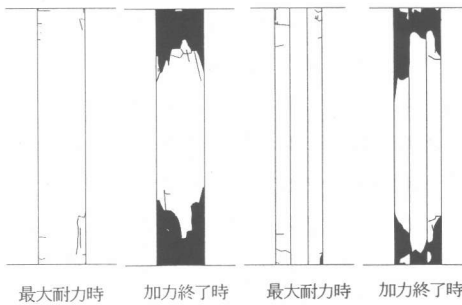


図-2 加力装置図

負方向⇔正方向



(a) C-5 (b) CSWTR-1  
図-4 ひび割れ図

8/200, 10/200rad の部材角をそれぞれ 2 回づつ繰り返し、所定の軸力を負担できなくなるまで載荷を続けた。

### 3. 実験結果

図-3 (a) (b)には各試験体の水平力-水平部材角関係、および、軸ひずみ度-水平部材角関係を示す。また、図-4に各試験体の最大耐力時(C-5, CSWTR-1共に+3サイクル)及び加力終了時のひび割れ図を示す。同図の水平力は前述したP-Δ効果を考慮したもので、水平変形角は上下の基礎間の水平変形をその高さで除したものの、軸ひずみ度は柱軸芯位置での上下基礎間の垂直変形を高さで除した値である(伸びを正)。表-4に使用限界状態、修復限界状態、および終局限界状態に関連する試験体の損傷状況をまとめておく。

試験体C-5とCSWTR-1はいずれも+3サイクル(1/100rad)で最大耐力を示した。最大耐力時のひび割れ図をみると試験体C-5の柱右下と右上にせん断ひび割れが確認されているが、試験体CSWTR-1の柱には曲げひび割れしか確認されていない。

最大耐力時以降、柱のみの試験体C-5は-6サイクルで柱右下主筋の座屈が確認された。+7サイクルではコンクリートの剥落とともに主筋、帯筋の露出が柱の上下部で確認された。-7サイクル加力途中で、試験体が軸力を保持できなくなり、加力は終了した。

また袖壁付柱の試験体CSWTR-1は-7サイクルで柱右下部の帯筋が露出するまでは、曲げひび割れとせん断ひび割れが数箇所確認される程度で、大きな変化はなかった。-10サイクルで柱左下の主筋が座屈し、-13サイクルの途中で壁縦筋が座屈したとともに試験体が軸力を保持できなくなり、加力は終了した。

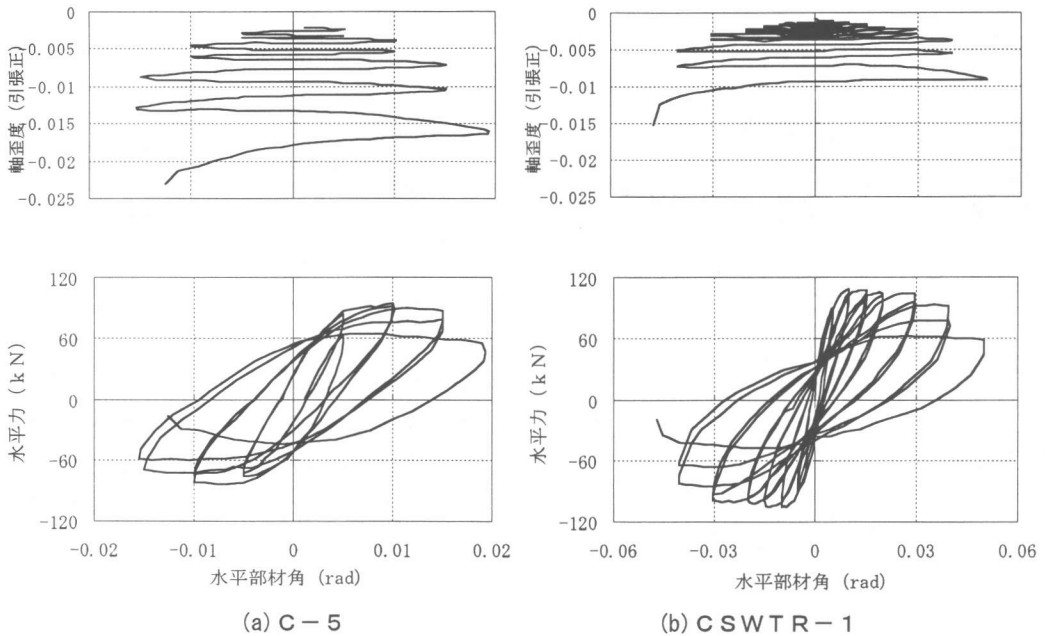


図-3 水平力-水平変形角，軸ひずみ度-水平変形角関係

表-4 限界状態変形角実験値

試験体名	使用限界状態	修復限界状態			終局限界状態	
	柱主筋引張降伏 (rad)	柱部コンクリート圧壊 (rad)		袖壁コンクリート 圧壊 (rad)	最大耐力の 80%に低下 した点	軸力負担能力 喪失までの最 大部材角
		かぶり	コア	かぶり		
C-1	0.007	0.010	0.020	-	0.040	-
	-0.005	-0.010	-0.010		-0.030	
C-2	0.008	0.008	0.020		0.029	-
	-0.006	0.010	-0.006		-	
C-5	0.0022	-0.001	0.015		0.015	0.019
	-0.0022	-0.002	-0.007		-0.015	
CSWTR-1	0.0064	0.006	0.025	0.020	0.040	0.050
	-0.0059	-0.004	-0.017	-0.009	-0.030	

#### 4. 結果の考察

##### 4.1 変形能の比較

図-5は1996年に報告した2体の試験体を含め、計4体の試験体の正方向の包絡線を比較したものである。図中の黒丸はその方向の加力で最大強度の80%に耐力が低下したとして定義した靱性限界点、白丸が所定の軸力が負担できなくなった時点で経験した最大部材角の点を示している（実際に軸力を負担できなくなったのはその直後の繰り返し載荷中）。なお、1996年の2体は、その後補修を行う予定だったので、軸力負担能力喪失点まで加力

を行っていない。同図より試験体C-5のみが他の試験体より変形能が悪く、他の3体はほぼ同じ挙動を示していることが分かる。

以上は正方向の挙動であるが、表-4には正負両方向のデータを示してある。最大耐力の80%に低下した点の終局限界状態を正負の小さい方とすれば、試験体C-5の他の3体はほぼ同じ値であった。

この変形能を定量的に把握するために、文献<sup>1)</sup>で提案した変形能（終局限界状態時の変形）評価式を適用してみる。同文献では高軸力を受ける試験体の変形能をコア断面の軸力

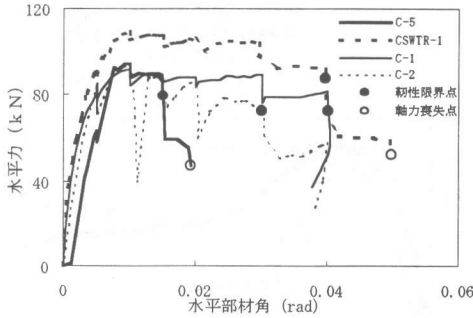


図-5 包絡線の比較 (正方向)

比 (帯筋による拘束効果を考慮したコア断面の軸耐力に対する作用軸力の比で、その値は表-1の後半に示した)の関数として評価しており、図-6(a)はこの関係を図示したものである。縦軸が変形能を表すが、終局限界状態の変形を曲率に換算し、さらに、 $(\epsilon_p/D_c)$ で除して無次元化したものである ( $\epsilon_p$ は拘束コンクリートの最大応力度時軸歪度、 $D_c$ は柱断面のコア幅)。2つの線は一定軸力を受ける試験体を平均的に表すものと、変動軸力を受ける試験体を平均的に表すものを意味している。同図には4体の実験データもプロットしたが、一定軸力の2体は一定軸力評価式のやや上方に、変動軸力試験体と袖壁付き試験体は変動軸力評価式のやや上方に位置している。

一方、変動軸力試験体と袖壁付き試験体を文献<sup>1)</sup>で提案した等価軸力を用いて評価したものが図-6(b)である。4体とも一定軸力試験

体の上方に位置していることがわかる。すなわち、試験体 CSWTR-1 程度の袖壁があれば、一定軸力試験体であっても、変動軸力試験体として変形能を評価できることを示唆している。

#### 4.2 面外袖壁量の影響の検討

本節では、どの程度の袖壁があれば一定軸力試験体であっても変動軸力試験体として評価できるかを検討する。図-7(a)は面外袖壁量の影響の検討するために行った平面保持を仮定した曲げ解析による結果である。解析手法の詳細は文献<sup>4)</sup>に示してあるが、袖壁部分は異形断面として忠実にモデル化した。

図中2つの実線が独立柱であり、細い実線が一定軸力を受ける試験体 C-5 を解析した結果の包絡線である。太い実線は試験体 C-5 を最小軸力を0とする変動軸力試験体として解析した結果である。他の線は試験体 C-5 に幅5cmの袖壁をつけて、一定軸力下で解析した結果の包絡線であり、両側の袖壁の長さの和をパラメータにして解析した。いずれの解析値も部材角0.05radまで達していないものは、その時点で軸力が負担できなくなり解析終了していることを意味している。

同図より、試験体 C-5 の場合、直交方向に袖壁を設けて変動軸力試験体と同程度以上の変形能を持たせるためには、袖壁長さの和

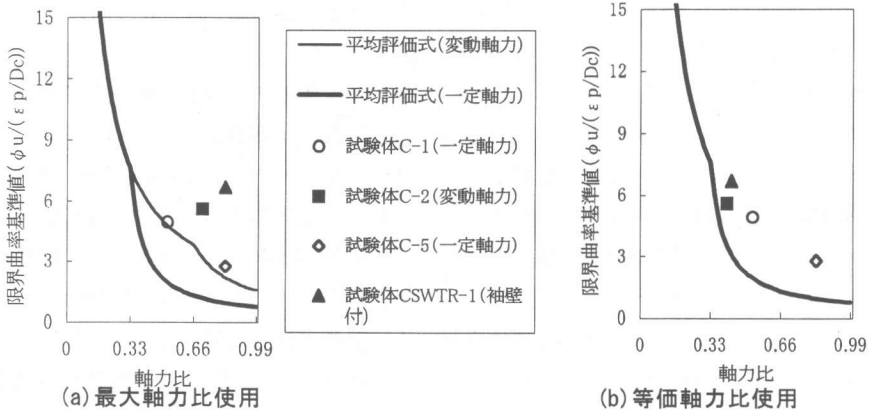


図-6 軸力比と変形能の関係の検討

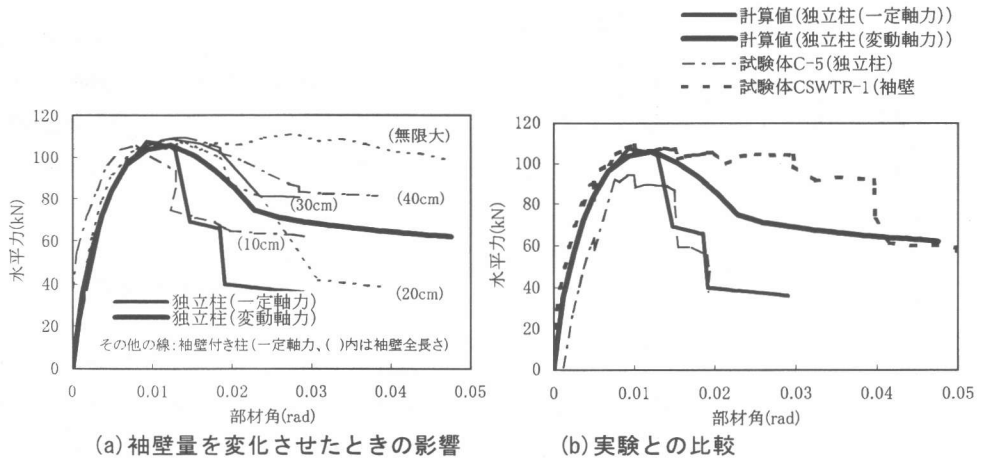


図-7 面外袖壁量の影響の検討

が 30cm あればよいことがわかり、これが試験体 CSWTR-1 である。

図-7 (b) は図-7 (a) で示した 2 例の独立柱の解析結果と今回行った 2 体の実験結果を包絡線で比較したものである。試験体 C-5 は解析値と実験値がほぼ同様の挙動を示しており、解析法が妥当であることが分かる。また、試験体 CSWTR-1 は袖壁を無視して変動軸力として扱った計算値よりやや変形能に優れた挙動を示し、計算結果が安全側であることを示している。

## 5. まとめ

(1) 直交方向の中央にシングル配筋の袖壁を有する場合、軸力に依存する変形能が改善され、その挙動は平面保持解析により大略評価できた。

(2) 本報告で採用した袖壁量は、独立柱に対する全断面軸力比 0.7 が、袖壁も含めると 0.53 になる程度 (面積増 1.32) であったが、この程度の袖壁長さをを用いると、最大軸力が同じ変動軸力試験体と同程度の変形能が得られた。このときの等価な一定軸力試験体の軸力比 (等価軸力比) は 0.41 であった。

(3) まとめ (2) より、独立柱に直交袖壁を付ける場合、袖壁を考慮した軸力比 (CSWTR-1 の場合は 0.53) が等価軸力比 (CSWTR-1 の場合

は 0.41) 以下になるように袖壁量を選べば、その軸力比を一定軸力として受ける試験体として変形能を十分安全側に評価できると考えられる。

(4) 上記の結論は 1 体の試験体のみから得られたものであり、より詳細な検討が必要である。また、直交袖壁が偏心してとりつく場合は考え方が異なるので、別途検討が必要である。

## [参考文献]

- 1) 加藤大介, 芝讓, 松田壮史: 変動軸力を考慮した R C 柱の変形能の評価法, 日本建築学会構造系論文集, 第 506 号, 1998 年, 4 月, pp. 155-161
- 2) 日本建築防災協会: 既存鉄筋コンクリート造建物の耐震診断基準
- 3) 芝讓, 松田壮史, 遠藤健太郎, 加藤大介: 変動軸力と斜め横力を受ける R C 柱の靱性能評価実験, 第 18 回コンクリート工学年次論文報告集 18-2, 1996 年, pp. 905-910
- 4) 加藤大介: 配筋法を考慮した鉄筋コンクリート造柱の変形能の評価法, 日本建築学会構造系論文報告集, 第 450 号, pp. 81-88, 1993. 8