

平成21年 3月 31日現在

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2005～2008

課題番号：17360267

研究課題名（和文）単純軸圧縮挙動に基づいた RC 系柱の軸力負担能力の評価手法の開発

研究課題名（英文）Evaluation of axial load carrying capacity of R/C columns based on uni-axial stress-strain behavior

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

研究成果の概要：本研究では、曲げせん断加力を受ける鉄筋コンクリート造柱が支える軸力を保持したままどこまで変形できるか（軸力負担能力喪失時の水平変形と軸変形）の評価式を作成することである。そのために、まず、せん断破壊する鉄筋コンクリート造柱の静加力実験を行い、軸力負担能力喪失時の水平変形と軸変形の評価式を提案した。このとき、それらの評価式が柱の単純軸圧縮挙動より推定できることを示した。具体的には、柱の軸圧縮挙動の内、最大強度以降の負勾配領域に入り、粘性抵抗を失い、破壊面の滑り抵抗のみで軸力に抵抗しはじめるときの軸力（すべり摩擦開始時軸力）が最も有効な評価因子であることを示した。次に、この評価式を曲げ降伏する柱にも応用する手法を示した。具体的には、一般的に評価される曲げ変形能に前述のせん断破壊試験体の軸力負担能力喪失変形を加えることにより評価する方法を提案した。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2005年度	3,500,000	0	3,500,000
2006年度	4,700,000	0	4,700,000
2007年度	2,500,000	750,000	3,250,000
2008年度	2,800,000	840,000	3,640,000
年度			
総計	13,500,000	1,590,000	15,090,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学・建築構造材料

キーワード：鉄筋コンクリート構造、軸力負担性能

1. 研究開始当初の背景

度重なる地震の経験から、多くの大学・研究所が地震時の柱の挙動（メカニズム）の把握のため、多くの実験を行ってきた。筆者らも

柱の変形能力の研究を行ってきた。配筋詳細を考慮した現実的な RC 系柱の変形能を評価することが目的であり、そのために、素材としての帯筋により拘束されたコンク

リートおよび座屈を考慮した主筋の応力度-ひずみ度に関する研究を行い、その後、これらの素材のモデルを用いた平面保持解析に基づき、曲げが卓越する柱の変形能の評価法を提案することができた。阪神淡路大震災後は層崩壊を防止するための柱の軸力負担性能の研究を開始したが、当初は曲げが卓越する部材を対象にし、手法も従来の曲げ理論を拡張した手法により評価していた。

その後、層崩壊を誘引するという意味でより重要なせん断が卓越する柱の軸力負担性能の研究を開始した。主に載荷履歴の影響に重点をおき成果を発表したが、その中で最も興味深いものは、柱の単純軸圧縮挙動と軸力負担能力喪失点が関連づけられる可能性があるというものである。ただし、この点については、配筋詳細や載荷履歴の影響以外にも、材料強度、主筋量、寸法、などの多くのパラメータが関連し、ぜひ曲げが卓越する柱も含め新たな研究テーマとして起こしたいと考えられるようになった。これが本研究の研究開始当初の背景である。

2. 研究の目的

本研究は、RC系柱を対象にし、軸力負担能力を失うメカニズムを実験的に解明し、軸力負担能力喪失時の復元力（水平力）と変形（水平変形と軸変形）の評価手法を提案することを目的としている。特に、その柱の基本的な性質（ここでは単純軸圧縮加力時の挙動を想定している）がわかれば、その軸力負担能力が評価できるという手法を構築することに力点を置いている。また、ここでRC系としているのは、主にRC造およびSRC造を念頭においているが、これらの柱に新素材を巻くような工法がどんどん出現している状況を考え、それらをも対象に含めているという意味である。すなわち、どのような材料

が出現しても、単純軸圧縮加力挙動の情報により軸力負担能力が評価できるという方法を目指した。

部材の変形能に関する研究は多数行われており、この場合の変形能は、曲げ降伏強度（すなわち設計で期待している水平力）が保てなくなった点（実験的には最大耐力の80%程度に耐力が低下した点で代用される）であることが多い。この変形能は、せん断破壊形であればせん断破壊時の変形、曲げ破壊形であれば曲げ降伏後のせん断破壊時あるいは曲げ圧縮部のコンクリートの圧壊により決まると考えられており、それぞれの考え方により評価式が提案されてきた。その後載荷を継続すると、柱に作用している軸力が保持できなくなる点（建物レベルでは層崩壊に対応）があり、その点が軸力負担能力喪失点となる。この喪失点も変形能と同様にその破壊形式で分類されて評価されつつあるが、そのための知見は十分に得られていない。

筆者らもRC系柱の変形能の評価法に関する一連の研究を行ってきたが、最近では軸力負担能力の研究を開始している。常に実際の配筋方法を考慮したコンクリートの拘束効果に着目し、その効果を合理的に取り入れることを目指してきた。本研究の目的は以下の3つである。

- (i) せん断破壊型の柱を対象に、同一形状試験体を用いて単純軸圧縮実験と曲げせん断実験を行い、両者を比較しながら軸力負担能力を失うメカニズムを解明する。
- (ii) 上記を曲げ破壊型の柱についても行う。
- (iii) 他の研究者の既往のデータも含めて、統計的な処理により評価式を提案し、さらに、新材料に対する適用法を提案する。

3. 研究の方法

以下に具体的な研究方法について示す。

1) せん断破壊する柱の軸力負担能力評価実験

過去の実験で 180×180 の試験体においては、軸力負担能力喪失部材角の評価式は提案されている。そこで、一般の柱に対しても適用が可能か検討するため、寸法(全ての緒元を 1.5 倍にした V シリ - ズ、高さのみ 1.5 倍した L シリ - ズ)を変化させ、実験を行い評価式適用が可能かどうかを検討していった。

2) せん断破壊型の軸力負担能力喪失部材角の評価

過去の試験体に加え、本研究で行った試験体および他大学等で 2002 年までに行われていたせん断破壊と判断された試験体に加え、提案されている評価式に適用が可能かどうかを検討していく。

3) 曲げ破壊型の軸力負担能力喪失部材角の評価

既往の研究では曲げ解析に基づき曲げ破壊型の評価法が提案されているが、ばらつきがあり、多くの試験体が危険側に評価されている結果となっている。曲げ破壊であっても、軸力負担喪失時にはせん断破壊面の滑り挙動によりその限界が定まると考えられる。

そこで、本研究で提案したせん断破壊型の軸力負担能力喪失部材角の評価式を曲げ破壊型に応用する方法を検討する。検討試験体は、他大学・本研究室で 2002 年度までに行われていた曲げせん断実験のうち曲げ破壊形式のものとする。

4. 研究成果

(1) せん断破壊型における部材角の評価法の提案

既往の研究では断面の全強度時の軸力 (b DF c) ではなく、滑り開始時の軸力を用いた軸力比が軸力負担能力喪失時の変形に大きく影響する事が示されている。

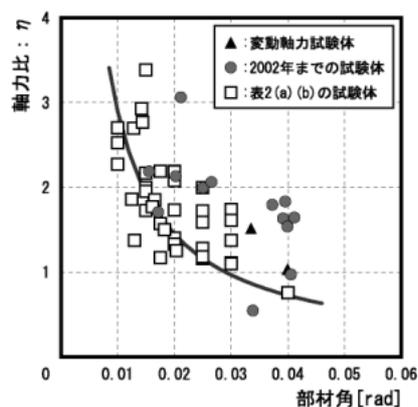
図 1(a)は、横軸に軸力負担能力喪失時の部材角を、縦軸に式(1)に示した軸力比 (初期摩擦軸力計算値 (Pfr0) に配筋詳細の影響で補正した Pfr,cal に対する等価軸力 eN の比を取ったもの) をとって示したものである。また、図 1(b)は軸力負担能力喪失時の部材角の実験値と式(1)による計算値を直接比較したものである。

図 1(a)(b)を見ると式(1)による評価式は十分に実用的だと判断できる。

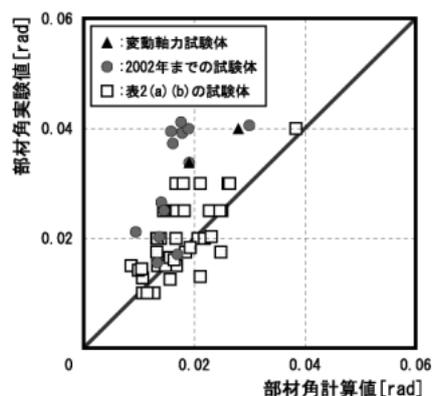
$$R = \frac{0.029}{\eta} \left(\eta = \frac{eN}{P_{fr,cal}} \right) \quad (1)$$

$$eN = N + Q \frac{\sin^2 \theta - \cos^2 \theta - 2\mu \sin \theta \cos \theta}{\sin \theta \cos \theta - \cos^2 \theta}$$

$$P_{fr,cal} = P_{fr0} \times \left(1 - 0.5 \frac{S}{D} \right) \times R_d = \beta \times P_{fr0}$$



(a) 軸力比 - 部材角関係



(b) 実験値と計算値の整合性

図 1 等価軸力比と軸力負担能力喪失までの最大部材角の関係

(2) 曲げ破壊型における部材角の評価法の提案

過去に行った曲げ解析に基づいた曲げ破壊型の軸力負担能力喪失部材角の評価式は全体的にばらつきがあり、評価式としての整合性があまり取れていなかった。そこで、本論ではせん断破壊型の軸力負担能力喪失部材角の評価式で、曲げ破壊型の試験体を評価できるのかという事を検討し、両破壊形式に適用できる評価式を提案する。

図2はせん断破壊および曲げ破壊の軸崩壊までのせん断強度 - 部材角関係の模式図である。図の下にそれぞれの軸力負担能力喪失部材角(R)の内訳を示しているが、せん断破壊型のせん断破壊後の軸崩壊までの変形増分 R_u (式(1)の部材角)と曲げ破壊の場合の靱性能力喪失点(曲げ破壊後のせん断破壊といえる)から軸崩壊までの変形増分 R_u を同等と考えるというのがこの考え方である。(1)項ではせん断破壊型柱の R_u を式(1)で評価してよい事を示したので、この考え方によれば、その R_u に曲げ破壊型の R_y と R_p を加えれば曲げ破壊型の部材角が得られるという事になる。なお、曲げ破壊の場合、曲げは脚部での破壊のため、引っ張り側と圧縮側で主筋が負担する力が相殺されるので、軸力は負担できない。そこで、曲げ破壊型では主筋の負担分を無視する必要がある。

以上を踏まえた上で、曲げ破壊型の実験値 - 計算値の関係を図3に示す。図を見ると、せん断破壊型に比べるとばらつきがあるが、許容範囲内の誤差であり、評価式として妥当と判断できる。

このように、せん断破壊・曲げ破壊の両者の関係性を結びつける事が可能となり、1つの評価法で軸力負担能力喪失部材角(R)を求める事ができるようになった。今後は多種多様な寸法の試験体について検討し、一般の柱

に適用できるようにする必要があると考えられる。

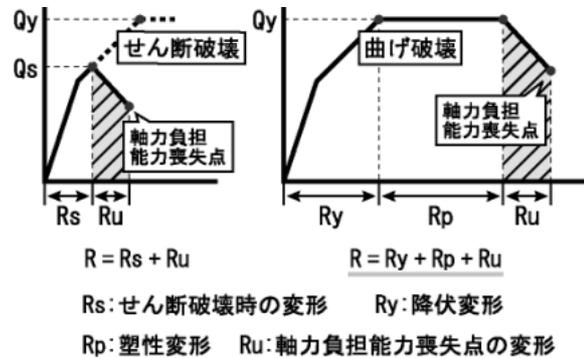


図2 曲げ破壊型の軸力負担能力喪失部材角評

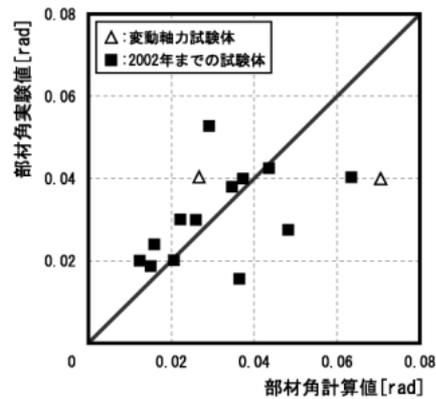


図3 実験値と計算値の整合性

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](計23件)

- 1) Daisuke KATO, LI Zhuzhen, Mareyasu Doi and Yukiko NAKAMURA, EXPERIMENTAL STUDY ON RESIDUAL AXIAL LOAD CAPACITY OF R/C COLUMNS FAILING IN SHEAR, the 14-th World Conference on Earthquake Engineering, 2008, CD-ROM, 査読無

- 2) 飯田大貴、松野葵、宮島雄代、阿部博之、加藤大介 : 試験体寸法を変化させた RC 造柱の軸力負担能力の評価実験 (その 1, 中心軸圧縮実験の結果) (その 2, 曲げせん断実験の結果) (その 3, 実験結果の考察)、日本建築学会大会学術講演梗概集(中国),2008、pp.515-520、査読無
- 3) 阿部博之、加藤大介、宮島雄代 : 寸法を変化させた RC 柱の単純軸圧縮実験、日本建築学会大会学術講演梗概集(中国),2008、pp.513-514、査読無
- 4) 阿部博之、宮島雄代、本多良政、加藤大介 : RC 造柱の残存軸耐力に及ぼす配筋詳細の影響の評価実験、第 30 回コンクリート工学年次論文報告集 30-2、2008 年、pp.1297-1302、査読有
- 5) 宮島雄代、阿部博之、加藤大介 : 試験体寸法を変化させた RC 造柱の軸力負担能力の評価実験、第 30 回コンクリート工学年次論文報告集 30-2、2008 年、pp.163-168、査読有
- 6) Daisuke KATO, Zhuzhen LI, Yukiko NAKAMURA and Yoshimasa HONDA : Experimental study on residual axial load capacity of R/C columns, Journal of Structural and Construction Engineering, Architectural Institute of Japan, No.619, pp.-,September, 2007 (in Japanese)
- 7) 加藤大介, 李柱振, 中村友紀子, 本多良政 : RC 造柱の残存軸耐力に関する実験と考察、日本建築学会構造系論文集、第 619 号、2007 年 9 月、pp.127-132、査読有
- 8) Daisuke KATO, LI Zhuzhen, Yukiko NAKAMURA and Yoshimasa HONDA : STUDY ON EVALUATING METHOD OF AXIAL LOAD CAPACITY OF SHEAR FAILING R/C COLUMNS CONSIDERING REINFORCING DETAILS, Journal of Structural and Construction Engineering, Architectural Institute of Japan, No.616, pp.-,June, 2007 (in Japanese)
- 9) 加藤大介, 李柱振, 中村友紀子, 本多良政 : 配筋詳細に着目した RC 造せん断破壊柱の軸力保持性能の評価法に関する考察、日本建築学会構造系論文集、第 616 号、2007 年 6 月、pp.173-178、査読有
- 10) 加藤大介, 阿部博之、李柱振、本多良政 : 軸圧縮力を受ける RC 柱の最大耐力以降のモデル化に関する検討(その 1, 実験の概要と結果)(その 2, モデル化の提案)、日本建築学会大会学術講演梗概集 C-2 構造、2007 年 9 月、pp.321-324、査読無
- 11) 宮島雄代、李柱振、富田泰宇、加藤大介 : RC 造柱のせん断破壊後の軸力負担能力に及ぼす配筋詳細の影響の評価実験 (その 1, 実験の概要) (その 2, 実験結果の考察)、日本建築学会大会学術講演梗概集 C-2 構造、2007 年 9 月、pp.305-308、査読無
- 12) 阿部博之、李柱振、本多良政、加藤大介 : 軸圧縮力を受ける RC 造柱の最大耐力以降の拘束効果の評価、第 29 回コンクリート工学年次論文報告集 29-2、2007 年、pp.103-108、査読有
- 13) 宮島雄代、富田泰宇、李柱振、加藤大介 : RC 造柱のせん断破壊後の軸力負担能力に及ぼす配筋詳細の影響の評価実験、第 29 回コンクリート工学年次論文報告集 29-2、2007 年、pp.79-84、査読有
- 14) Daisuke KATO, LI Zhuzhen, Yukiko NAKAMURA and Yoshimasa HONDA : TESTS ON AXIAL LOAD CAPACITY OF SHEAR FAILING R/C COLUMNS CONSIDERING REINFORCING DETAILS (RELATIONSHIP BETWEEN AXIAL LOADING TEST AND LATERAL LOADING TEST), Journal of Structural and Construction Engineering, Architectural Institute of Japan, No.610, pp.153-159,December, 2006

- (in Japanese)、査読無
- 15) 加藤大介, 李柱振, 中村友紀子, 本多良政:
配筋詳細に着目した RC 造せん断破壊柱の
軸力保持性能に関する実験(軸加力実験と
曲げせん断加力実験の関係)、日本建築学
会構造系論文集、第 610 号、2006 年 12 月、
pp.153-159、査読有
- 16) Daisuke KATO, LI Zhuzhen, Takuya
YATSUTSUKA and Yukiko NAKAMURA,
Axial load capacity of R/C columns with
various reinforcing details and concrete
strength, First European Conference on
Earthquake Engineering and Seismology (a
joint event of the 13th ECEE & 30th General
Assembly of the ESC), Geneva, Switzerland,
3-8 September 2006, Paper Number:347、査
読無
- 17) 李柱振, 加藤大介: RC 柱の残存軸力性能に
及ぼす載荷方法とコンクリート強度の影響、
日本建築学会大会学術講演梗概集 C-2 構
造、2006 年 9 月、pp.397-398、査読無
- 18) 李柱振, 八塚卓哉, 加藤大介: RC 柱の軸力
保持性能に及ぼすコンクリート強度の影響、
日本建築学会北陸支部研究報告集、2006
年、pp.53-56、査読無
- 19) 李柱振, 加藤大介: RC 柱の残存軸力性能に
及ぼす載荷方法とコンクリート強度の影響、
日本建築学会北陸支部研究報告集、2006
年、pp.49-52、査読無
- 20) 八塚卓哉, 加藤大介: RC 造柱の軸力保持性
能に及ぼす主筋の効果、日本建築学会大
会学術講演梗概集 C-2 構造、2005 年、
pp.141-142、査読無
- 21) 李柱振, 加藤大介: 異なる配筋詳細を有する
RC 造柱のせん断破壊後の軸力負担能力の
評価実験、日本建築学会大会学術講演梗
概集 C-2 構造、2005 年、pp.139-140、査
読無

22) 八塚卓哉, 加藤大介: RC 造柱の軸力保持
性能に及ぼす主筋の効果、日本建築学会
北陸支部研究報告集、2005 年、pp.127-130、
査読無

23) 李柱振, 加藤大介, 菅勝博, 中村友紀子: せ
ん断破壊する RC 造柱の軸力負担能力に及
ぼす載荷方法の影響、第 27 回コンクリート工
学年次論文報告集 27-2、2005 年、
pp.217-222、査読有

[その他]
ホームページ等
<http://zaikou.eng.niigata-u.ac.jp/index.html>

6. 研究組織

(1) 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：9 0 1 6 9 5 0 8

(2) 研究分担者

土井 希祐 (DOI MAREYASU)
新潟大学・自然科学系・教授
研究者番号：6 0 1 3 4 9 5 4

中村 友紀子 (NAKAMURA YUKIKO)
新潟大学・自然科学系・講師
研究者番号：2 0 3 1 3 5 0 4