

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 25 年 5 月 7 日現在

機関番号：13101

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2010～2012

課題番号：22760422

研究課題名（和文） 新設鉄筋コンクリート建物における短柱の構造性能および設計適合性に関する研究

研究課題名（英文） STRUCTURAL PERFORMANCE OF SHORT COLUMNS FOR NEWLY DESIGNED REINFORCED CONCRETE BUILDINGS

研究代表者

中村 孝也 (NAKAMURA TAKAYA)

新潟大学・自然科学系・准教授

研究者番号：50305421

研究成果の概要（和文）：新設鉄筋コンクリート建物を対象として、せん断破壊型短柱の構造性能および設計適合性を検討した。主要な成果は次のとおりである。1)せん断破壊する柱では、主筋比が大きいほうが崩壊水平変形が大きくなる。主筋比が十分に大きければ、設計でせん断破壊型柱を許容できる可能性がある。2)軸力減少を考慮した柱は、一定軸力の柱に比べ、大きな水平変形まで軸力を保持できる。また、軸力減少の割合が大きくなるほど、崩壊水平変形が大きくなること示した。

研究成果の概要（英文）：Structural performance of short columns for newly designed reinforced concrete buildings was studied. The major findings from the study are as follows: (1) collapse drift of shear-failing RC column tends to be large as the main reinforcement ratio increases. This finding may indicate that column with shear failure mode could be used for structural design; and (2) columns for which axial load was decreased below the initial level showed larger collapse drift than columns for which axial load was kept constant, and as the greater the rate of axial load decrease, the larger the collapse drift.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2011 年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2012 年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

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：鉄筋コンクリート建物，短柱，せん断破壊，崩壊，構造設計

1. 研究開始当初の背景

鉄筋コンクリート (RC) 建物の構造設計においては、柱が腰壁や垂れ壁によって短くなる場合には、壁の柱際に構造スリットを設けることにより柱の内法を長くし、破壊形式をせん断破壊から曲げ破壊に変化させて靱性を向上させる方策が一般的に用いられている。当然のことながら、これは建物の耐震性

向上にとって極めて有効な手段である。しかしながら構造スリットには、靱性が向上する利点がある反面、耐力が低下するという重大な欠点がある。また、耐火性、防水性、遮音性が低下するため建物の使用性や耐久性が低下する欠点もある。このため、短柱に構造スリットを設けずにそのまま残し、構造スリットを極力少なくできる設計法を提案でき

れば、非常に有用であると考えられる。

短柱の危険性は、1968年の十勝沖地震において生じた短柱のせん断破壊の被害により認識され、それが1971年と1981年の耐震規定の強化に繋がった。以後、短柱は極めて危険な存在であり、RC建物中にあるべきでないものと考えられてきている。しかし、近年の研究で、短柱であっても必ずしも脆性的に崩壊するとは限らないことがわかってきた。これまでに得られた知見として、せん断破壊する柱の崩壊水平変形（軸力保持能力喪失時の水平変形）は鉄筋量に大きく左右され、1) せん断補強筋比 p_w が大きいほど、2) 主筋比 p_g が大きいほど、最大耐力後の荷重の低下が緩やかになり、崩壊水平変形が大きくなる、つまり崩壊しにくくなることが示されている。この安定した性状を生かせば、各層の柱のうち少数は構造スリットを設けずにせん断破壊を許容した短柱とし、建物の耐力や剛性を増すという新たな設計手法の可能性が考えられる。しかし、新設建物のRC短柱の耐震性評価には以下のような問題も残されている。

- (1) 過去の崩壊実験は旧耐震基準による脆弱な柱を対象としたものがほとんどであり、新設建物を想定した p_g や p_w が大きい短柱についての崩壊実験はほとんど行われていない。
- (2) せん断破壊型柱の崩壊を防ぐ要素として、梁を介した周辺の柱への軸力移動による軸力の減少が挙げられるが、それを考慮した実験がほとんど行われていない。

以上のように、研究開始当初にはせん断破壊する短柱を新設建物の設計に取り入れることが可能であるか否かを判断する知見が存在しなかった。本研究はこのような問題意識を背景としたものである。

2. 研究の目的

新設建物の設計に対してせん断破壊型柱を適用する可能性を示すことが本研究の目的である。研究対象はせん断破壊が生じやすい短柱とした。前述した(1)と(2)についてそれぞれの研究目的を示す。

(1) 鉄筋量が多い短柱の構造性能

新設建物に配置されるRC短柱を想定として、比較的せん断補強筋が多い場合の崩壊までの大変形領域を含む実験を行う。実験においては主筋比 p_g を実験パラメータとし、主筋量が柱の構造性能および崩壊性状に及ぼす影響を検討する。

(2) 軸力減少が柱の崩壊に与える影響

過去の大地震では、RC建物の柱がせん断破壊して激しく損傷したにも関わらず、崩壊を免れた事例が見られた。これは、柱にかかる軸力が梁を介して周辺の健全な柱へ移動し、結果的に軸力が減少したためと考えられる。既往の研究において一定軸力下における

せん断破壊型RC柱の崩壊実験は多数行われてきた。しかし、軸力の減少を考慮した実験を行った例は非常に少ない。また新設建物を対象としたせん断補強筋量が多い柱の崩壊実験は過去に行われていない。そこで、せん断補強筋量が比較的多いRC短柱の軸力減少を考慮した崩壊実験を行う。

3. 研究の方法

以下、2テーマに分けて、研究結果を含む研究方法の概要を述べる。

(1) 鉄筋量が多い短柱の構造性能

① 実験概要

試験体は実大スケールとした計3体である。3体の試験体は主筋の径が異なるのみで、配筋は同様である。試験体はすべてせん断破壊するように設計した。試験体形状を図1に示す。

共通因子は以下の通りである。柱断面寸法 ($b \times D$) を $450 \times 450 \text{mm}$ 、内法高さ (h_0) を 900mm とし、すべてクリアスパン比 (h_0/D) が 2.0 の短柱とした。せん断補強筋比 P_w は新設建物を想定して 0.53% とした。コンクリート強度は 25.0N/mm^2 であった。鉄筋の規格はすべてSD345とした。軸力は軸力比 0.18 の一定軸力とした。

実験パラメータは主筋比 P_g （主筋全断面積の柱断面積に対する比）とし、 1.2 、 1.7 、 3.0% の3種類とした。試験体名はそれぞれPG1.2、PG1.7、PG3.0とした。

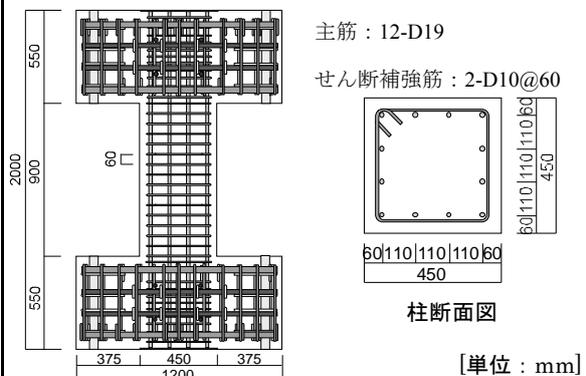


図1 試験体形状 (PG1.7)

加力には、パンタグラフにより上下スタブの平行が保持される逆対称加力装置を用いた。崩壊に備えて鉛直変形に 60mm のリミットを設け、鉛直変形が 60mm に達すると実験を強制終了させることとした。

載荷履歴は $\pm 0.5\%$ 、 $\pm 1.0\%$ 、 $\pm 2.0\%$ を各1サイクル行った後、軸力を保持できなくなるまで正方向に押し切ることを原則とした

② 実験結果

実験の結果、すべての試験体が最終的に軸力保持能力を喪失して崩壊した。以下では、

崩壊時の水平変形を「崩壊水平変形」と呼ぶ。

崩壊水平変形の比較により、せん断破壊する柱では主筋比が大きいほど崩壊水平変形が大きくなり、構造性能が向上することが明らかとなった。主筋比と崩壊水平変形の関係を図2に示す。図2には過去の実験の結果も併せて示してある。なお、過去の試験体の実験因子の範囲は、主筋比が1.7%~2.65%、せん断補強筋比が0.11%~0.21%、軸力比が0.19~0.2、 h_0/D が2.0~3.0であり、材料はすべて普通強度のものである。検討対象試験体の破壊型式はすべてせん断破壊である（PG1.2のみ曲げ降伏後のせん断破壊であるが、参考のため示す）。図2の実線で結んだ試験体は、主筋比のみを実験変数とし、他の因子は共通としたものである。図2より、主筋比が大きいほうが崩壊水平変形が大きい傾向があるといえる。

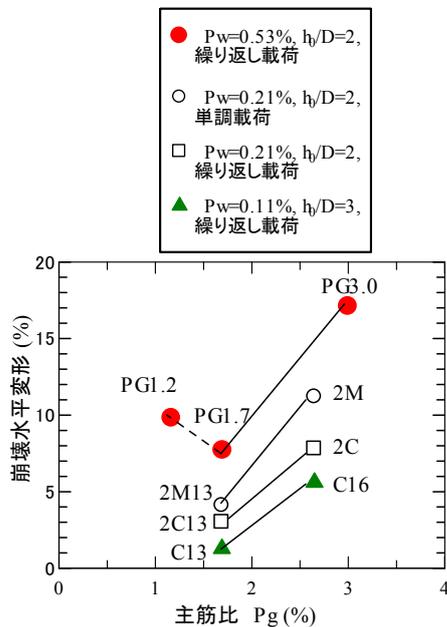


図2 主筋比—崩壊水平変形関係

(2) 軸力減少が柱の崩壊に与える影響

①実験概要

約 1/2 スケールのせん断破壊型柱試験体を4体作製した。試験体形状を図3に示す。

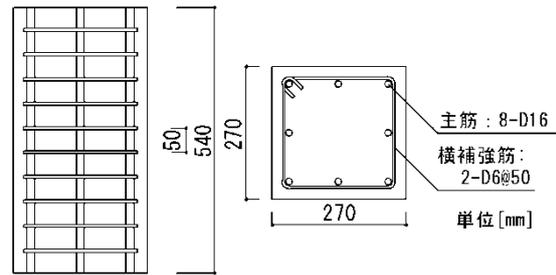
共通事項

柱断面寸法を $b \times D = 270 \times 270 \text{mm}$ 、柱内法高さを $h_0 = 540 \text{mm}$ とした(クリアスパン比 $h_0/D = 2.0$ の短柱)。主筋比 p_g は 2.18%、せん断補強筋比 p_w は比較的新しい柱を想定して 0.47% とした。コンクリート強度は 30.4N/mm^2 であった。主筋には SD345(降伏強度 397N/mm^2) を、せん断補強筋には SD295(同 378N/mm^2) を用いた。

実験変数

実験変数は軸力の荷重方法であり、一定軸力および軸力減少とした。軸力比 η は、試験体 N3 では 0.3 の一定軸力、N3-21 では 0.3 か

ら 0.21 に減少(100%→70%)、N3-12 では 0.3 から 0.12 に減少(100%→40%)、N21 では 0.21 の一定軸力、の4種類とした。



試験区間の立面 柱断面図
図3 試験体形状

加力は逆対称変形を保つ形式とし、試験体に所定の軸力を作用させた状態で水平1方向加力を行い、最終的に崩壊するまで加力した。荷重履歴は、水平変形 $\pm 0.5\%$ 、 $\pm 1\%$ 、 $\pm 2\%$ を各1サイクル加えた後、軸力を保持できなくなるまで正方向に押し切る荷重とした。

軸力を減少させる試験体においては、加力の途中で軸力を減少させた。軸力減少点は、せん断破壊後水平変形が進み崩壊に近づいた点とした。本論では一定軸力の試験体 N3 の結果を基に水平変形 6% 付近とした。

②実験結果

実験の結果、すべての試験体が最終的に崩壊した。

初期軸力比が同一の試験体 N3、N3-21、N3-12 を比較する。軸力を減少させた試験体(N3-21、N3-12)は、一定軸力の試験体(N3)に比べ、崩壊水平変形が大きくなった。基準試験体(N3)に対する崩壊水平変形の増加倍率を図4に示す。図4から、軸力の減少度合いが大きいほど崩壊水平変形が大きくなるのが分かる。崩壊に近い点で軸力を減少させたにも関わらず、崩壊水平変形はもとの軸力の70%まで軸力を減少させる(N3-21)と1.32倍、40%まで軸力を減少させる(N3-12)と1.90倍となった。

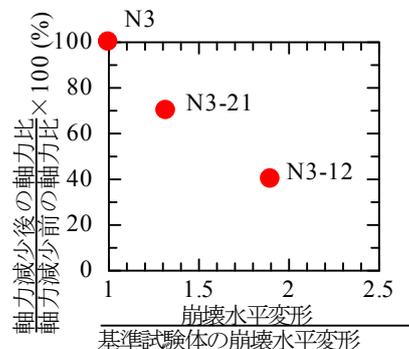


図4 崩壊水平変形の増加倍率

既往の研究で示されている崩壊水平変形推定式を本実験の試験体に適用し、その妥当性を検討する。推定式は、式(1)で表される。ここで cRu が崩壊水平変形推定値である。ただし、式(1)は p_w の適用範囲が本実験における 0.47% よりも小さいこと、および加力途中での軸力減少を考慮していないことに留意が必要である。

$$cRu = 22.42 \cdot p_w + 4.57 \cdot p_g - 51.27 \cdot \eta + 1.52 \quad (1)$$

本実験の4つの試験体に対する式(1)による計算値 (cRu) と実験値 (eRu) の関係を図5に示す。図5は、軸力減少前と減少後の η で計算した値で分けて表示している。 eRu/cRu の平均値と変動係数を表1に示す。図5と表1より、一定軸力の試験体では、 eRu/cRu の平均値は 0.93 であり、式の精度は高い。一方、軸力を減少させた試験体では、軸力減少前の η で計算すると、 eRu/cRu の平均値と変動係数はそれぞれ 1.64 と 0.25 なのに対し、軸力減少後の η で計算するとそれぞれ 0.80 と 0.12 となり、軸力減少後の η で計算する方が精度が高いことが分かる。これは、前述の実験結果と一致した。

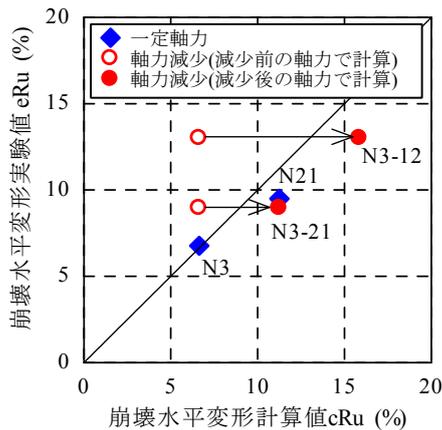


図5 崩壊水平変形計算値と実験値の関係

表1 eRu/cRu の平均値と変動係数

	一定軸力	軸力減少	
		減少前の η で計算	減少後の η で計算
eRu/cRu の平均値	0.93	1.64	0.80
変動係数	0.12	0.25	0.12

4. 研究成果

以上、2 テーマに分けて研究の概要を示した。得られた成果を以下にまとめる。

(1) せん断破壊する柱では、主筋比が大きいほうが崩壊水平変形が大きくなる。主筋比が十分に大きければ、設計でせん断破壊型柱を許容できる可能性があるといえる。

(2) 軸力減少の試験体は、一定軸力の試験体に比べ、大きな水平変形まで軸力を保持できる。また、軸力減少の割合が大きくなるほど、崩壊水平変形が大きくなる。更に、既往の崩壊水平変形推定式によれば、一定軸力の試験体と軸力減少の試験体の実験値/計算値、変動係数の値は、崩壊時の軸力比で計算すると実験値とほぼ対応した。

以上の成果は、新設 RC 建物の構造設計に新たな知見を提供するものと考えている。

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)

[学会発表] (計 4 件)

- 1) 中村孝也, 武藤 哲, 伊藤 祥, 芳村 学: 主筋量がせん断破壊型RC柱の構造性能に与える影響—せん断補強筋が比較的多い短柱の崩壊実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-2, pp.161-162, 2011年8月25日, 早稲田大学
- 2) Takaya Nakamura and Manabu Yoshimura: Simulation of Old Reinforced Concrete Column Collapse by Pseudo-dynamic Test Method, Proceedings of the fifteenth World Conference in Earthquake Engineering, Sep. 27, 2012, Lisbon, Portugal
- 3) 中村孝也: 軸力減少を考慮した鉄筋コンクリート柱の崩壊性状, 日本建築学会北陸支部研究報告集, 2013年5月12日, 金沢工業大学
- 4) 中村孝也: 軸力減少が鉄筋コンクリート柱の崩壊性状に与える影響, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-2, 2013年8月, 北海道大学 (発表確定)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中村 孝也 (NAKAMURA TAKAYA)

新潟大学・自然科学系・准教授

研究者番号: 50305421