

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和元年6月17日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2018

課題番号：17K14755

研究課題名(和文) 鉄筋コンクリート造柱がせん断破壊した後の軸力保持能力評価モデルの実用化研究

研究課題名(英文) implementation oriented research on residual axial capacity evaluation model for reinforced concrete columns

研究代表者

松川 和人 (Matsukawa, Kazuto)

東京大学・生産技術研究所・助教

研究者番号：50709186

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、鉄筋コンクリート造柱がせん断破壊した後の残存軸耐力を評価するモデルであるアーチ抵抗モデルの適用範囲について検討を行った。得られた成果の概要は下記の通りである。(1) せん断破壊時の水平・鉛直両方向の力の釣合条件を満足することが、アーチ抵抗モデルの基本的な仮定条件を満たすために重要であることが明らかとなった。(2) 同モデルの適用範囲は、せん断補強筋比0.2～0.45%程度の範囲にあり、かつ(計算上)主筋の残存軸耐力が主筋の軸耐力を超えないこと、であると考えられる。(3) 曲げ降伏がせん断破壊に先行するような試験体であっても、アーチ抵抗モデルは試験体の残存軸耐力を良好に評価できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまでの地震で崩壊した鉄筋コンクリート造建築物のうち少なくない数は、柱のせん断破壊後の軸力保持能力喪失に起因している。こうした被害を防止し、また適切な補強の可否等を判断するために、高精度な軸力保持能力評価モデルが必要であり、研究代表者らが開発してきたアーチ抵抗モデルはそのうちのひとつである。本研究においては、その実用化を目指し、同モデルの適用範囲の検討が行われた。

研究成果の概要(英文)：This research aims to clarify the applicable range (condition) of the arch-resistance model which is a model to estimate the residual axial capacity of shear failed reinforced concrete columns. The outcomes are summarized as follows; (1) The equilibria of both the vertical and horizontal directions at shear failure are key parameters for satisfying the basic assumptions of the model. (2) The applicable range of the arch resistance model is estimated to be transverse reinforcement ratios from 0.2 to 0.45% and an axial force to axial capacity ratio of longitudinal bars of less than 1.0.(3) Even if shear failure occurs after flexural yielding, the arch resistance model well estimated residual axial capacity of column specimens.

研究分野：建築構造

キーワード：鉄筋コンクリート構造 柱 軸力 残存軸耐力

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

研究代表者らが開発してきた鉄筋コンクリート造柱がせん断破壊した後の軸力保持能力(以下、残存軸耐力)評価手法であるアーチ抵抗モデルは、鉄筋とコンクリートの相互作用が考慮できるという点において、既存の評価モデルである Shear Friction Model 等とくらべて高い精度で残存軸耐力を評価できる可能性が示されていた。しかしながら、その適用範囲や適用条件については未だ明らかにされておらず、新たな構造実験や分析等によりこれらを明らかにすることが、同モデルの実用化を行ううえで必要となっていた。

2. 研究の目的

そこで本研究では、同モデルの実用化へ向けて適用範囲・適用条件を整理することを目的とし、実用化に向けた検討を実施した。ここで、研究代表者が研究開始当初に主として着目したのは、せん断補強筋が90°フックの場合、それらの降伏を仮定している同モデルの適用範囲外となる可能性、曲げ降伏後せん断破壊する試験体への適用可能性、の2点である。

3. 研究の方法

上記を明らかにするため、採用した研究の方法は、新たな部材実験の実施、および、既往の同種の実験より得られたデータの分析、の2種類である。下記でそれぞれ説明する。

(1) まず、平成29年度には、せん断破壊型の柱試験体を用いた実験を計画した。試験体は断面寸法が160×160mm、柱の内法高さが320mm、主筋比2.2%、 $p_w=0.1\%$ であるせん断破壊型RC造柱2体である。せん断補強筋の端部詳細を90°フック/溶接閉鎖型とした試験体を1体ずつ製作した(図1)。また、平成30年度には、断面100mm×100mm、内法高さ1000mmの曲げ型の試験体の加力実験を実施している。

実験においては、柱に一定軸力を作用させた状態で、原則として部材角0.25、0.5、1.0、2.0%までそれぞれ2サイクルずつ正負交番繰り返し載荷し、その後一方向水平載荷を行った。またジャッキに設置したロードセルにより鉛直力および水平力を、変位計により柱の水平変形、鉛直変形を、鉄筋に貼付したひずみゲージにより主筋およびせん断補強筋のひずみ度を計測した。

(2) 日本建築学会・日本コンクリート工学会等で発表された論文から、せん断破壊型・曲げ降伏後せん断破壊型の試験体を抽出し(以下、データベース)、これに(1)の試験体を加え、アーチ抵抗モデルの適用性を検討した。

4. 研究成果

得られた研究成果を下記(1)~(5)に示す。

(1) まず、せん断破壊型試験体の加力実験結果より、アーチ抵抗モデルの重要な仮定条件のひとつである「軸崩壊時に作用せん断力がゼロまで低下する」が満たされない、すなわち、せん断破壊直後に崩壊する性状が両試験体に見られた。図2に試験体の荷重-変形関係を示した。(この点が軸崩壊点であり、この点が水平力=0より明らかに大きい)

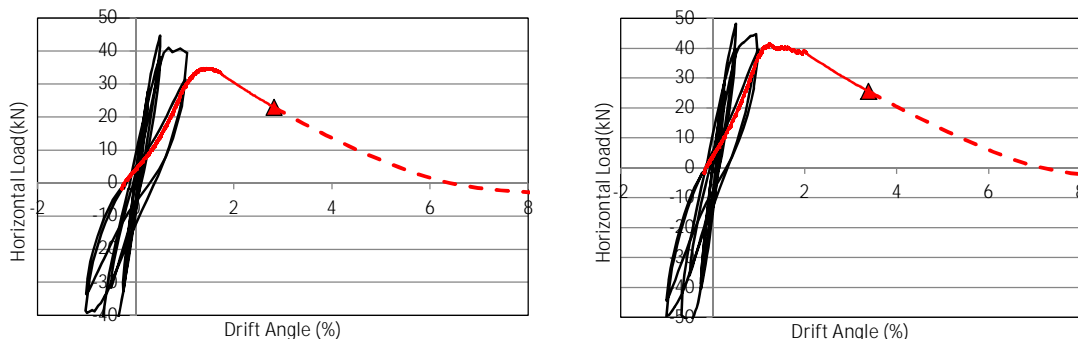


図2 90°フックの試験体(左)と溶接閉鎖型の試験体(右)の荷重-変形関係

これらの試験体は、上記の仮定条件を満たさないため、アーチ抵抗モデルの適用範囲外であると考えられる。そこで、こうしたせん断破壊直後に崩壊する条件を整理し、アーチ抵抗モデル

ルのひとつの適用範囲を考案した。それは、せん断破壊直後に崩壊する試験体は、鉛直・水平いずれかのせん断破壊時の力の釣合が成立していないと仮定し、成立しない柱は適用範囲外とするものである。具体的な式を [1], [2] (式[1]が水平方向, [2]が鉛直方向である。いずれも左辺の分子がせん断破壊時の作用水平力・軸力、分母が鉄筋のみを考慮した耐力に相当する。なお、鉛直方向のみ右辺が 0.8 であるのは、せん断破壊時変形角を 1/250 としたときの P- 効果を考慮したためである。) に示す。

$$V_{max} / (n_t A_t f_{yt} + V_d) < 1.0 \quad [1]$$

$$P / n A_s f_y < 0.8 \quad [2]$$

ここに、 V_{max} : せん断破壊時の耐力、 n_t : せん断補強筋本数、 A_t : せん断補強筋断面積、 f_{yt} : せん断補強筋降伏強度、 V_d : 斜めひび割れを架橋する主筋のダボ効果による水平抵抗、 P : 作用軸力、 n : 主筋本数、 A_s : 主筋断面積、 f_y : 主筋降伏強度、である。

その後、その妥当性をデータベースを用いて検証した(図3)。その結果、鉛直・水平両方の力の釣合がせん断破壊時に成立する試験体については、せん断力ゼロまで加力可能(図3の のプロット)であり、アーチ抵抗モデルの仮定条件を満たすことが明らかとなった。

(2) 上記に加え、せん断力ゼロまで加力できた試験体と、データベースに含まれる同種の試験体を用いて、アーチ抵抗モデルの適用性を検討した。その結果、アーチ抵抗モデルにおける残存軸耐力の成分である主筋 1 本あたりの残存軸耐力計算値 P_s が、軸耐力 $A_s f_y$ を超えてしまうと、実験値と極端に乖離してしまうことが明らかとなった(図4の縦軸)。こうした試験体は数が少ないものの、適用条件のひとつとして、留意が必要であることがわかった。

(3) さらに、(1)と(2)の条件を満たす試験体であっても、せん断補強筋比 p_w が 0.2%以下であったり、逆に 0.45%以上である試験体については、相対的に精度が低い結果となった(図4の横軸)。これは先にも述べた通り、アーチ抵抗モデルでは、せん断補強筋がすべて降伏し降伏耐力を発揮することを仮定しているため、せん断補強筋が少ない試験体では同鉄筋の破断が起こっていること、せん断補強筋が多い試験体では一様な応力負担が実現されていないこと、により生じたものと考えられる。しかしながら、これらの条件が満たされれば、アーチ抵抗モデルは非常に高い残存軸耐力評価精度を示した(図4)。アーチ抵抗モデルが対象とする既存不適格建築物では、 p_w 0.2~0.4%の範囲であることが多いと思われるので、適用可能な建築物は多いと思われる。以上の結果から、アーチ抵抗モデルの適用範囲は、 $P_s / A_s f_y < 1.0$ かつ式[1]~[2]式を満たし、さらに p_w が 0.2~0.45%程度の範囲にある可能性が高い。

(4) 曲げ降伏後せん断破壊する試験体については、部材全長にわたってせん断ひび割れが発生する試験体については、せん断破壊型試験体と同様、十分な精度で実験結果を推定できた(図5)。部材両端部にヒンジが生じて損傷が両端部に集中する試験体については、それぞれのヒンジ部にせん断ひ

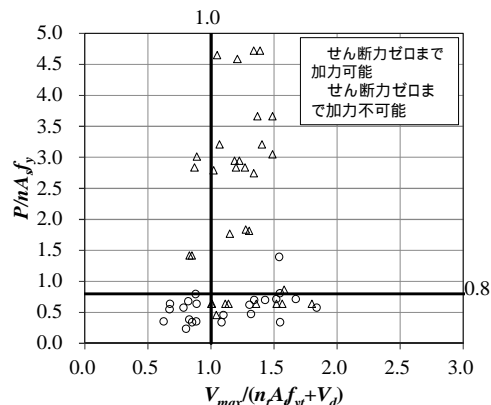


図3 せん断破壊時における鉛直・水平方向の力の釣合に着目した適用範囲の妥当性

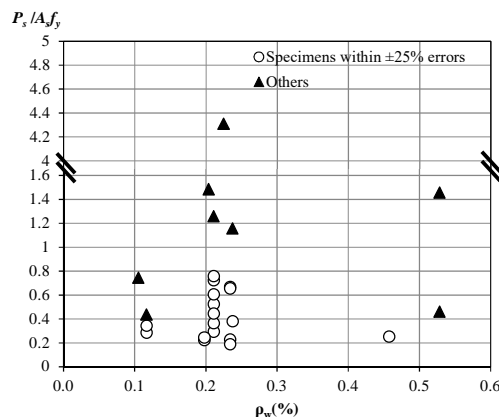


図4 アーチ抵抗モデルの適用精度が高かった試験体()とそうでない試験体()の分布

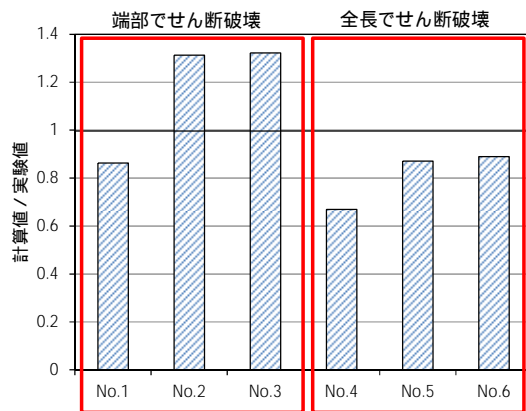


図5 アーチ抵抗モデルの曲げ型試験体への適用結果

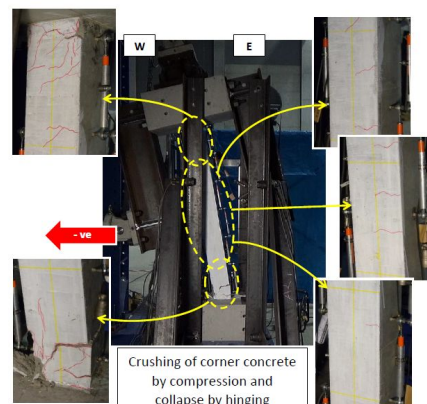


図6 曲げ型試験体の最終破壊状況

び割れが生じ、両ヒンジ部のせん断変形が全変形の大部分を占めるとの仮定のもと、アーチ抵抗モデルの変形の項に全体変形の 1/2 の値を代入して残存軸耐力を算定したところ、十分な精度で実験値を評価することができた(図5)。

(5) 曲げ型の試験体についても(2)の条件が成立するかどうか、 $P_s/A_s f_y$ が 1.0 を超える試験体 2 体を設計し、構造実験で検討した。図 6 にその最終破壊状況を示す。材端にせん断ひび割れが生じ崩壊に至ったが、やはり精度が大きく低下する結果(計算値/実験値=1.69)が得られた。従って、曲げ型の試験体であってもアーチ抵抗モデルは(4)で述べたように適用可能であるが、せん断破壊型と同様に、 $P_s/A_s f_y < 1.0$ の条件を満たす必要があることが明らかとなった。

5. 主な発表論文等

[学会発表](計2件)

小島大輝, 鈴木涼平, 楊勇, 松川和人, 崔琥, 中埜良昭: せん断破壊型 RC 造柱の残存軸耐力評価法とその適用性に関する研究 その 1 せん断破壊型 RC 造柱の崩壊実験, 日本建築学会大会, 2018 年.

鈴木涼平, 小島大輝, 楊勇, 松川和人, 崔琥, 中埜良昭: せん断破壊型 RC 造柱の残存軸耐力評価法とその適用性に関する研究 その 2 崩壊性状の分類と残存軸耐力評価法の適用性, 日本建築学会大会, 2018 年.

6. 研究組織

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。