

## 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 21 日現在

機関番号：24302

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2010～2012

課題番号：22560569

研究課題名（和文）RC 部材及び SRC 部材の終局せん断耐力及び崩壊性状に関する研究

研究課題名（英文）Ultimate Shear Strength and Collapse Behavior of RC and SRC Members

研究代表者

内田 保博（UCHIDA YASUHIRO）

京府立大学・大学院生命環境科学研究科・教授

研究者番号：80168707

研究成果の概要（和文）：本研究では鉄筋コンクリート(RC) 柱および鉄骨鉄筋コンクリート (SRC) 柱のせん断破壊を防ぐことを目的として、1) 従来の終局せん断耐力式と異なり、せん断崩壊メカニズムを仮定して、終局せん断耐力式および崩壊せん断耐力式を提案した。2) RC 柱, SRC 柱のせん断破壊実験を行い、提案式の妥当性を検証した。3) せん断破壊による崩壊メカニズムにおいて仮定している、ダボ作用による主筋、鉄骨の塑性ヒンジ間距離について調べた。

研究成果の概要（英文）：

Shear cracks often occurs and the strength deteriorates abruptly in reinforced concrete (RC) columns and steel reinforced concrete (SRC) columns subjected to earthquake force, and buildings are damaged severely. In this study on ultimate shear strength and collapse behavior of RC and SRC members, obtained results are as follows:

- 1) Ultimate shear strength formulae and collapse shear strength formulae was proposed by assuming shear collapse mechanism, different from the present shear strength formulae.
- 2) Shear failure test of RC and SRC columns was performed, and the validity of proposed formulae was testified.
- 3) Plastic hinges of main reinforced bars and the steel due to dowel action was assumed, and the distance between plastic hinges were investigated.

交付決定額

(金額単位：円)

|         | 直接経費      | 間接経費      | 合計        |
|---------|-----------|-----------|-----------|
| 2010 年度 | 1,500,000 | 450,000   | 1,950,000 |
| 2011 年度 | 1,000,000 | 300,000   | 1,300,000 |
| 2012 年度 | 900,000   | 270,000   | 1,170,000 |
| 総計      | 3,400,000 | 1,020,000 | 4,420,000 |

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：構造工学, 耐震, RC, SRC, せん断破壊

## 1. 研究開始当初の背景

代表的な RC 部材のせん断終局強度式として、荒川式とトラス・アーチ機構によるせん断耐力式がある。荒川式は多くの実験結果から得られた経験式であり、トラス・アーチ機構式は塑性解析の下界の定理を用いた理論式である。これらの終局強度式により RC 梁や RC 柱のせん断耐力を概ね予測できるが、せん断破壊後の崩壊メカニズム、破壊に至るまでの挙動を十分に説明することができない。また、荒川式は経験式であるので、式中の引張鉄筋比、せん断補強筋比等に関する項を理論的に説明することができない。一方、アーチ・トラス機構式においても、主にコンクリートひび割れ前の力の釣合いに基づいており、ダボ作用によるひび割れ後の主筋の曲げを取り入れた抵抗機構が考えられていない。この他に、トラス・アーチ機構によるせん断耐力式を改良した修正南式、塑性理論に基づく耐力式と付着割裂耐力、斜張力破壊耐力を組み合わせた益尾式、軸力の効果を考慮した市之瀬式などが挙げられるが、いずれもせん断破壊後の崩壊メカニズム等が考慮されていない。

SRC 柱については、経験式による終局せん断耐力式として学会の SRC 規準がある。加藤、称原らは鉄骨ウェブの断面積が発揮しうるせん断力に見合う曲げモーメントを負担する耐力、主筋とフープ筋とで負担する曲げモーメント及びせん断力（トラス機構）、鉄骨フランジの残部と主筋の余力及びコンクリートの圧縮耐力から仮定される圧力場による耐力（アーチ機構）を設定し、実験により鉄骨鉄筋コンクリート部材の曲げ及びせん断耐力を統一的に評価できる式を導いた。若林、南ら、主筋、せん断補強筋および一部分のコンクリートで構成されるはり機構と残りのコンクリートによるアーチ機構

の強度に基づく拡張累加強度理論を提唱し、鉄筋コンクリート部材の終局せん断強度を理論解によって表現した。また、これを拡張累加強度理論によりさらに発展させ、鉄骨鉄筋コンクリート部材及び鋼管コンクリート部材などのコンクリート系合成部材のせん断強度を5つの機構の耐力の相関曲線から終局耐力を求めることで、鉄骨鉄筋コンクリート部材の曲げ強度、圧縮強度、せん断強度、の関連性を統一的および有機的に把握した。土井、称原らは、SRC 規準式の問題点を明らかにするとともに、鉄骨部分にせん断力と曲げモーメントだけでなく軸力の釣り合いをも考慮した耐力式を提案した。しかし、RC 柱の研究と同様、これらにおいてせん断破壊後の崩壊メカニズム等が考慮されていない。

## 2. 研究の目的

RC 部材の終局せん断耐力の経験式として荒川式、代表的な理論式としてトラス機構・アーチ機構に基づくせん断終局耐力式がある。これらの終局耐力式により RC 部材や SRC 部材のせん断耐力を概ね予測することができるが、せん断破壊後の崩壊メカニズム、崩壊に至るまでの挙動を説明することができない。そこで、以下の研究を行うことを目的とする。

(1) RC 柱のコンクリート、主筋、せん断補強筋のせん断抵抗機構について調べ、従来のトラス・アーチ機構式とは異なる主筋のダボ作用を考慮した新しい抵抗機構を示し、RC 柱の終局せん断耐力式を提案する。提案式におけるコンクリートおよび軸力部のせん断耐力には、従来の経験式およびせん断破壊に関する実験データベースを基に重回帰分析から求められる提案式を用いる。また、実験データベースのせん断耐力と本提案式の計算結果との比較・検討を行うことにより、本終局せん断耐力式の妥当性を検証する。さら

に、従来の荒川式やトラス・アーチ機構式のせん断耐力との比較も行う。そして、コンクリート強度、主筋およびせん断補強筋の降伏応力度、軸力比、せん断補強筋比、引張鉄筋比、せん断スパン比、主筋およびせん断補強筋径などの各パラメータにおける終局せん断耐力式の影響についても調べる。

(2) RC 柱のせん断破壊実験を行い提案式によるせん断耐力、荒川式によるせん断耐力、トラス機構とアーチ機構によるせん断耐力と実験値とを比較して提案式の妥当性について検証する

(3) 日本建築学会の SRC 構造特性小委員会のデータを基に作成されている SRC 柱の実験データベースに対して、重回帰分析を行い、SRC 部材のコンクリートと軸力によるせん断耐力式を提案する。そして、この提案式と、SRC 柱の実験データベースの結果とを比較・検討することにより、本提案式の妥当性を検証する。また、学会式や分割アーチ式による結果との比較・検討も行う。

(4) SRC 柱のせん断破壊実験を行い、提案した終局せん断耐力式および崩壊せん断耐力式、崩壊メカニズムの妥当性について検証する。

(5) ダボ作用により RC 柱および SRC 柱の主筋および鉄骨に塑性ヒンジが発生することを歪ゲージにより確認し、せん断耐力式の主要なパラメータである塑性ヒンジ間距離について調べる。さらに、RC 柱のせん断崩壊メカニズムにより、水平耐力が 0 となる崩壊時の水平変位を求め、実験値との比較を行う。

### 3. 研究の方法

RC 柱及び SRC 柱のせん断耐力に関する提案式及びせん断崩壊時の変位の計算方法の妥当性を検証するため、平成 22, 24 年度に RC 柱の実験、平成 23, 24 年度に SRC 柱の

実験を行った。また、平成 22~24 年度には、既往の研究成果を基に RC 柱、SRC 柱のせん断破壊に関するデータベースを作成し、提案したせん断耐力式との比較を行うとともに、学会規準式やアーチ・トラス機構式のせん断耐力式との比較・検討を行う。

#### 平成 22 年度

コンクリートにせん断亀裂が入るとき、コンクリートはせん断で抵抗するとともに、亀裂の両側の合計  $l_c$  の位置の主筋に塑性ヒンジが発生して、主筋は曲げで抵抗し、せん断補強筋は伸びで抵抗すると仮定する。このとき、RC 部材及び SRC 部材のせん断耐力  $P_u$  は次式で表される。

$$P_u = P_{uc} + P_{um} + P_{uw} + P_{us} + P_{un}$$

ここに、 $P_{uc}$  = コンクリートのせん断耐力、 $P_{um}$  = 主筋の曲げによるせん断耐力、軸力を考慮した全塑性モーメントにより求める、 $P_{uw}$  = せん断補強筋によるせん断耐力、 $P_{us}$  = 鉄骨のせん断耐力、 $P_{un}$  = 軸力によるせん断耐力、SRC の場合は 0 とする。

柱の場合、 $P\Delta$  効果を考慮して、梁の場合と同様に  $P-\delta$  関係を得ることができる。主筋に生じる軸力は、コンクリートによる主筋の変形の拘束を考慮して求める。また、せん断耐力の算定の際、主筋の塑性ヒンジ間距離  $l_c$  の仮定が重要になる。 $l_c$  及びせん断耐力式の妥当性については、RC 柱の実験により検証した。

平成 22 年度は軸力比  $N/N_y$  (軸力/軸耐力) を 2 種類、せん断補強筋比  $p_w$  を 2 種類、計 3 体の RC 柱のせん断加力実験を行い、せん断耐力を得るとともに、塑性ヒンジ間距離を目視により求めた。実験により得られた終局せん断耐力、崩壊時の水平変位、軸力が 0 のときの崩壊せん断耐力等の実験結果とせん断耐力提案式の結果や  $l_c$  の仮定値との比較・検討を行った。

RC 柱試験体の断面は 150×150mm、材長は 300mm とする。主筋は D13 を 6 本、せん断補強筋には D6 の異形鉄筋 (SD295) を用いる。せん断補強筋の間隔は 150mm (0.28%) の 2 種類、軸力比  $N/N_y=0, 0.15$  の 2 種類とした。

他の研究者による、RC 柱、SRC 柱のせん断破壊実験のデータベースを作成し、本研究で提案しているせん断耐力式の値との比較を行い、本せん断耐力式の妥当性の検証を行った。また現行の学会規準のせん断耐力式である荒川式やアーチ・トラス理論のせん断耐力式等との比較・検討を行った。

#### U平成 23 年度

SRC 柱のせん断破壊実験を行った。軸力比を 3 種類、せん断補強筋比  $p_w$  を 3 種類、計 5 体の試験体とした。SRC 柱試験体の断面は RC 柱試験体と同様に、150×150mm、材長は 300mm とした。主筋は D13 を 6 本、せん断補強筋は D6 の異形鉄筋、せん断補強筋の間隔は 100mm と 150mm とし、軸力比  $N/N_y$  は 0 と 0.3 の 2 種類とした。内蔵する H 形鋼柱の鋼種は SS400、寸法は H-60×60×4.5×4.5mm である。試験体の耐力はいずれも、せん断破壊で決まる。

せん断耐力、塑性ヒンジ間距離を実験により求め、計算値との比較・検討を行った。また、水平耐力が 0 になるときの水平変位、軸力が 0 のときの崩壊せん断耐力について、実験値と計算値の比較を行った。RC 柱と同様に塑性ヒンジを  $l_c$  の長さを仮定して、鉄骨部のせん断耐力  $P_{us}$  を求めて RC 柱の  $P_u$  に加算し、SRC 柱のせん断耐力  $P_u$  を求めた。軸力はコンクリートが負担すると仮定した。

実験データベースを用いて、提案した RC 柱および SRC 柱の終局せん断耐力式および崩壊せん断耐力式の妥当性の検討を行った。

#### U平成 24 年度

軸力比 2 種類、せん断補強筋比 2 種類の RC 柱 2 体および SRC 柱 1 体の実験を行った。ま

た、汎用有限要素解析ソフト「ATENA Ver. 4.0」を用いて RC 柱のコンクリートおよび主筋、せん断補強筋のせん断挙動を調べ、主筋の塑性ヒンジ間距離の仮定値の妥当性について調べた。

#### 4. 研究成果

RC 柱および SRC 柱の終局せん断耐力式、崩壊せん断耐力式を提案し、せん断破壊実験を行って、提案式の妥当性を検証した。また、ダボ作用による主筋、鉄骨の塑性ヒンジ間距離について調べた。終局せん断耐力式の提案において、実験データベースを作成し重回帰分析を行うとともに、提案式の妥当性を検討した。以下に得られた結論を示す。

- (1) 実験データベースおよび本実験結果を用いて比較・検討した結果、提案した RC 柱および SRC 柱の終局せん断耐力は、他の終局せん断耐力式と比べて実験値を良好に予測し、またばらつきの少ないことが分かった。
- (2) 提案した RC 柱および SRC 柱の崩壊せん断耐力式は、実験データベースおよび本実験の結果を概ね良好に予測した。
- (3) 本研究で仮定する崩壊メカニズムとせん断抵抗機構により SRC 柱の崩壊性状を概ね予測できる。
- (4) 仮定した主筋の塑性ヒンジ位置、塑性ヒンジ間距離は、実験結果と大旨一致した。

#### 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 1 件)

- ① 内田保博：鉄筋コンクリート部材の終局せん断耐力およびせん断抵抗機構に関する研究、構造工学論文集、査読有、Vol. 59B, pp. 39-47, 2013. 3

〔学会発表〕 (計 16 件)

- ① 西野みづほ、内田保博：鉄筋コンクリート柱の終局せん断耐力に関する研究(その

- 2) 重回帰分析によるコンクリート部および軸力に関するせん断耐力式の提案, 日本建築学会大会学術講演梗概集 C-2, 構造IV, pp. 415-416, 2012. 9. 12, 名古屋
- ② 木村和真, 内田保博, 李歆, 横山義靖: 鉄骨鉄筋コンクリート柱の終局せん断耐力及び崩壊性状に関する研究(その1) 終局せん断耐力の検証, 日本建築学会大会学術講演梗概集 C-2, 構造IV, pp. 1303-1304, 2012. 9. 12, 名古屋
- ③ 李歆, 内田保博, 木村和真, 横山義靖: 鉄骨鉄筋コンクリート柱の終局せん断耐力及び崩壊性状に関する研究(その2) 主筋および鉄骨の塑性ヒンジ間距離の検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集 C-2, 構造IV, pp. 1305-1306, 2012. 9. 12, 名古屋
- ④ 内田保博, 中村早希: 鉄骨鉄筋コンクリート柱の終局せん断耐力に関する研究, (その2) 重回帰分析によるコンクリート部分のせん断耐力の提案, 日本建築学会大会学術講演梗概集 C-1, 構造III, pp. 1301-1302, 2012. 9. 12, 名古屋
- ⑤ 西野みづほ, 内田保博: 鉄筋コンクリート柱の終局せん断耐力に関する研究(その2) 重回帰分析によるコンクリート部および軸力に関するせん断耐力式の提案, 日本建築学会近畿支部研究報告集, pp. 289-292, 2012. 6. 17, 大阪
- ⑥ 横山義靖, 内田保博, 木村和真, 李歆: 鉄骨鉄筋コンクリート柱の終局せん断耐力及び崩壊性状に関する研究(その1) 終局せん断耐力式の検証, 日本建築学会近畿支部研究報告集, pp. 313-316, 2012. 6. 17, 大阪
- ⑦ 李歆, 内田保博, 木村和真, 横山義靖: 鉄骨鉄筋コンクリート柱の終局せん断耐力及び崩壊性状に関する研究(その2) 主筋および鉄骨の塑性ヒンジ間距離の検討, 日本建築学会近畿支部研究報告集, pp. 317-320, 2012. 6. 17, 大阪
- ⑧ 中村早希, 内田保博: 鉄骨鉄筋コンクリート柱の終局せん断耐力に関する研究(その2) 重回帰分析によるコンクリート部分のせん断耐力の提案, 日本建築学会近畿支部研究報告集, pp. 321-324, 2012. 6. 17, 大阪
- ⑨ 木村和真, 内田保博, 荊浩, 李歆, 中村勇太: 鉄筋コンクリート柱の終局せん断耐力及び崩壊性状に関する研究(その1) 終局せん断耐力の検証, 日本建築学会大会学術講演梗概集 C-2, 構造IV, pp. 197-198, 2011. 8. 23, 東京
- ⑩ 李歆, 内田保博, 荊浩, 木村和真, 中村勇太: 鉄筋コンクリート柱の終局せん断耐力及び崩壊性状に関する研究(その2) せん断抵抗機構の検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集 C-2, 構造IV, pp. 199-200, 2011. 8. 23, 東京
- ⑪ 西野みづほ, 内田保博: 鉄筋コンクリート柱の終局せん断耐力に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集 C-2, 構造IV, pp. 159-160, 2011. 8. 23, 東京
- ⑫ 竹内創太郎, 内田保博: 鉄骨鉄筋コンクリート柱の終局せん断耐力に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集 C-1, 構造III, pp. 1231-1232, 2011. 8. 23, 東京
- ⑬ 木村和真, 内田保博, 荊浩, 李歆, 中村勇太: 鉄筋コンクリート柱の終局せん断耐力及び崩壊性状に関する研究(その1) 終局せん断耐力の検証, 日本建築学会近畿支部研究報告集, pp. 317-320, 2011. 6. 18, 大阪
- ⑭ 李歆, 内田保博, 荊浩, 木村和真, 中村勇太: 鉄筋コンクリート柱の終局せん断耐力及び崩壊性状に関する研究(その2) せん断抵抗機構の検討, 日本建築学会近畿支部研究報告集, pp. 317-320, 2011. 6. 18, 大阪

ん断抵抗機構の検討, 日本建築学会近畿支部研究報告集, pp. 321-324, 2011. 6. 18, 大阪

- ⑮ 西野みづほ, 内田保博: 鉄筋コンクリート柱の終局せん断耐力に関する研究, 日本建築学会近畿支部研究報告集, pp. 325-328, 2011. 6. 18, 大阪
- ⑯ 竹内創太郎, 内田保博: 鉄骨鉄筋コンクリート柱の終局せん断耐力に関する研究, 日本建築学会近畿支部研究報告集, pp. 377-380, 2011. 6. 18, 大阪

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

内田 保博 (UCHIDA YASUHIRO)  
京都府立大学・大学院生命環境科学研究科・教授

研究者番号 : 80168707