

令和元年6月20日現在

機関番号：14401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K18187

研究課題名(和文) 有開口CES耐震壁のせん断終局強度式の開発

研究課題名(英文) Development of shear strength for CES shear walls with openings

研究代表者

鈴木 卓 (Suzuki, Suguru)

大阪大学・工学研究科 助教

研究者番号：20738710

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、CES有開口耐震壁の構造性能評価法の開発を目的として開口サイズ、開口位置および開口形状を変数とした耐震壁の構造実験を実施し、最大耐力および破壊性状等の実験結果を取得した。次に、前述の実験を対象とした三次元FEM解析の結果、当該試験体のせん断伝達機構が申請者の提案する終局強度評価モデルと良好に対応する傾向を示した。併せて、構造解析モデルを用いた有開口試験体の静的増分解析を実施し、当該解析モデルがCES有開口耐震壁の実験結果を再現できることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究対象であるCES有開口耐震壁はCES構造周辺フレームによる壁板の拘束効果により高い耐震性能および優れた施工性能を期待することが可能である。本研究において提案したCES有開口耐震壁のせん断終局強度評価モデルは、開口のサイズ、位置および形状の影響から算定される理論式となっており、従来の開口面積の影響のみを考慮した設計法と比べて高い精度で有開口CES耐震壁のせん断耐力を評価可能である。また、当該耐震壁の構造設計法を提案した。これにより、高い耐震性および優れた施工性を有するCES耐震壁の設計が可能となる。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study is to develop a structural performance evaluation method for CES shear walls with openings.

In this project, Static loading tests of the CES shear wall with different openings size, opening positions and opening shape were carried out. Experimental results such as maximum strength and fracture characteristics were obtained. In addition, a shear strength evaluation equation is proposed, which is necessary to construct a structural design model for a CES shear wall with openings. Furthermore, nonlinear static analyses of wall specimens were conducted using the Three Vertical Line Element model applying the proposed equation.

研究分野：鋼・コンクリート合成構造

キーワード：有開口耐震壁 せん断耐力 構造実験

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

1. 研究開始当初の背景

わが国において最も優れた耐震構造として高層建物に適用されてきた鉄骨鉄筋コンクリート構造(以下、SRC 構造)は、鉄筋コンクリート構造の高層化技術の発展および施工の複雑さによる問題が浮き彫りになり、着工件数が減少している。しかし、近年の地震被害調査で明らかにされたように SRC 構造の総合的な耐震性能は他の構造と比べて卓抜している。以上の観点から、SRC 構造の優れた構造性能を活かしつつ施工の合理化をはかるために、繊維補強コンクリートと鉄骨から構成される CES (Concrete Encased Steel) 合成構造システムの研究開発が行われてきた(図 1)。その中で申請者は上記の CES 部材を用いて建築物の主要耐震部材となる CES 耐震壁の研究開発を行っており、高い耐震性能および優れた施工性を有することを明らかにした^{1),2)}など。

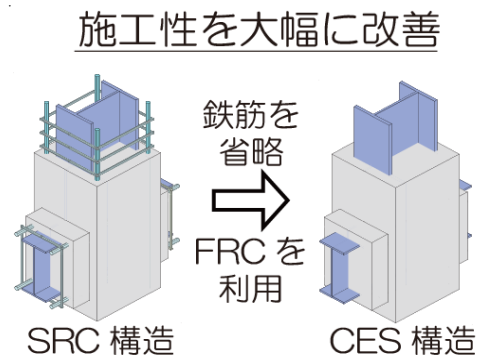


図 1 CES 構造

一方で、耐震壁は窓型や戸型を想定した開口を設ける必要がある。現在、有開口耐震壁のせん断に対する設計は、日本建築学会から提案されている等価開口周比を用いた開口低減率を用いたせん断強度算定法が採用されている³⁾。しかし、この等価開口周比は、開口の面積のみを考慮するものであり、開口の位置や形状が異なる場合でも設計値が同じになるという合理性を欠いた設計法である。

<引用文献>

- 1) 鈴木卓, 松井智哉, 倉本洋: CES 造耐震壁の構造特性に及ぼす壁筋の定着状態の影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.32, No.2, pp.1189-1194, 2010.7
- 2) 鈴木卓, 倉本洋, 松井智哉: CES 造耐震壁の復元力モデル, 日本建築学会構造系論文集, Vol.78, No.693, pp.2027-2034, 2013.11
- 3) 日本建築学会: 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説, pp. 289-290, 2018.12

2. 研究の目的

本研究は、鉄骨と繊維補強コンクリートから構成される CES 合成構造システムにおける主要耐震部材である CES 耐震壁の研究開発の最終段階として、有開口耐震壁を対象としたせん断終局強度評価法および構造性能評価モデルの提案を目的としたものである。初年度(2016 年度)はこれまでに実験が行われていない開口形状の異なる壁試験体の静的載荷実験を行い、その最大耐力および破壊性状の実験データの取得を目的とした。次年度(2017 年度)はこれまでの CES 有開口耐震壁の静的載荷実験を対象とした三次元 FEM 解析を行い、当該壁のせん断伝達機構を明らかにすることを目的とした。最終年度(2018 年度)はこれまでに実験を行った CES 有開口耐震壁を対象に、構造設計において必要となる解析モデルの構築を目的とした。

3. 研究の方法

2016 年度の静的載荷実験は次の様に実施した。試験体は中高層壁フレーム建築物における連層耐震壁の下部 2.2 層を想定した実大の約 1/3 スケールのもの 2 体である。試験体の形状を図 2 に示す。実験変数は開口高さを選択した。試験体 CW05 の開口形状は 250×450mm、試験体 CW06 の開口形状は 250×650mm である。

次年度の FEM 解析は次の様に実施した。解析対象試験体は 2016 年度に実験を行った試験体 CW05 および CW06 である。本論文に示す解析モデルおよび材料構成則は文献 4) に示す CES 造無開口耐震壁と同じものを用いた。図 3 に要素分割を示す。試験体は面外方向の対称性を考

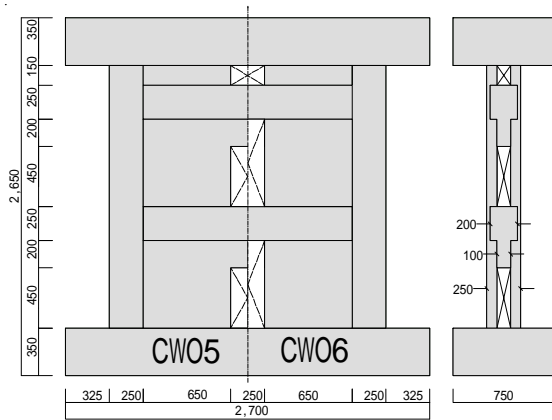


図2 試験体形状

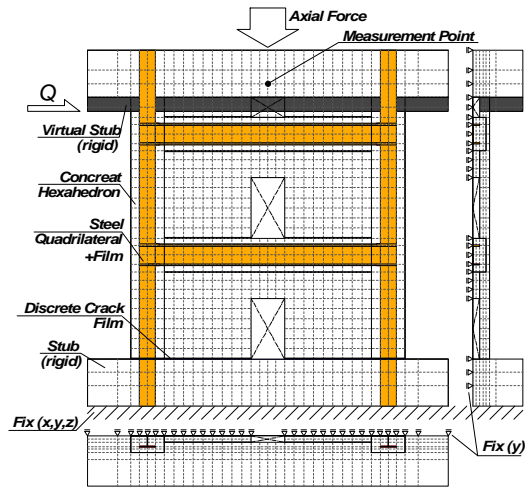


図3 要素分割

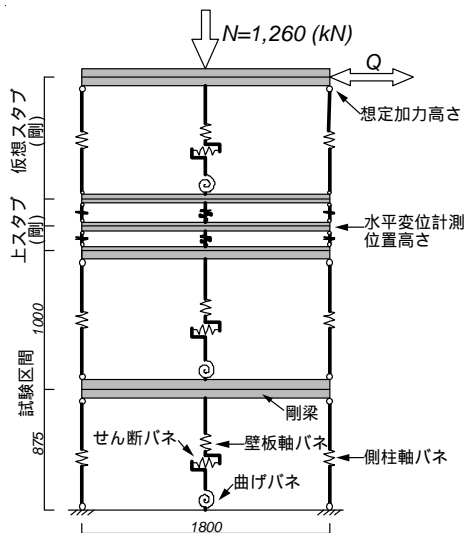


図4 CES 造壁の解析モデル

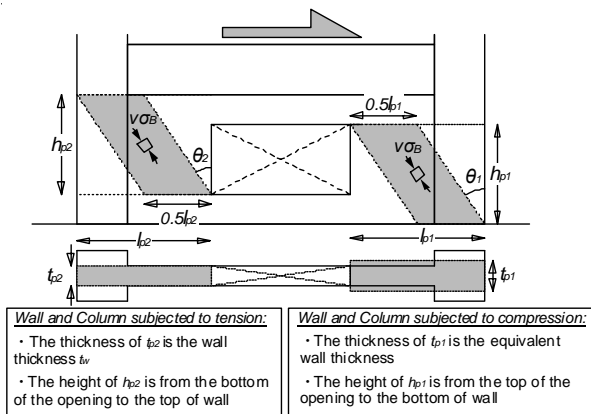


図5 修正ストラット式の概要

慮して片側の半分のみをモデル化した。コンクリートは8 節点アイソパラメトリック立体要素でモデル化し、壁板の鉄筋はコンクリート要素内に埋め込み鉄筋として定義した。また、解析対象試験体では壁縦筋は梁への定着を省略しているため、8 節点アイソパラメトリック接合要素による離散ひび割れを壁板と梁およびスタブの間に仮定した。なお、解析に使用したプログラムは市販の解析ソフト「FINAL」である。

最終年度の静的増分解析は次の様に実施した。解析対象試験体はこれまでに実験を行った CES 有開口耐震壁のすべてである。図4 に解析モデルを示す。同図に示すように耐震壁は両側柱の軸方向抵抗を表す2本のトラス要素および壁板の曲げ、せん断および軸方向抵抗を表すビーム要素に置換する TVLE モデル⁸⁾を採用し、各層ごとに試験体のモデル化を行なった。ここで、壁板のせん断終局強度には申請者の提案する修正ストラット式(式(1)および(2))を適用した。修正ストラット式の概要を図5 に示す。なお、解析には非線形骨組解析ソフト“SNAP”を使用した。

$$Q_{wo} = \sum_{i=1}^n 0.5v\sigma_B \sin \theta_{pi} \cos \theta_{pi} t_{pi} l_{pi} \quad (1)$$

$$v = -0.016\sigma_B - 0.16 \frac{M}{QL} + 0.36 \frac{N}{bD\sigma_B} + 0.27 p_s + 1.23 \quad (2)$$

ここで、 n ：開口により分割された壁板の数、 v ：コンクリートの有効強度係数、 σ_B ：コンクリートの一軸圧縮強度、 θ_{pi} ：壁板で仮定したストラットの角度、 l_{pi} ：壁板長、 t_{pi} ：壁厚、 M/QL ：

せん断スパン比, N : 柱 1 本の長期軸力, b, D : 側柱の幅およびせい, p_s : せん断補強筋比である。

<引用文献>

- 4) 鈴木卓, 倉本洋, 松井智哉: CES 造耐震壁のせん断伝達メカニズムに及ぼす壁板位置の影響, 日本建築学会構造系論文集, Vol. 77, No. 681, pp. 1801-1807, 2012.11

4. 研究成果

本研究より得られた成果を以下に示す。

2016 年度に実施した開口高さの異なる試験体の実験の結果, 開口高さの低い試験体では 1 層開口上部の垂壁から 1 層袖壁においてせん断破壊の発生が確認されたのに対して, 開口高さの高い試験体では 1 層と 2 層壁板および 2 層梁中央においてせん断破壊の発生が確認された。しかし, 両試験体ともに, 開口高さの差が最大耐力に及ぼす影響は小さく, 脆性破壊の発生の懸念された開口の間の梁の損傷に伴う早期の耐力低下は認められなかった (図 6 参照)。

2017 年度に実施した開口高さの異なる試験体の FEM 解析の結果, 既往の CES 耐震壁を対象とした FEM 解析モデルは開口高さの異なる試験体の実験の履歴特性および鉄骨の応力分布を制限できることを確認した。また, 解析結果における引張側と圧縮側壁部材の負担せん断力の割合および面内方向せん断応力分布は修正ストラット式の仮定と概ね対応する傾向が認められた (図 7 および図 8 参照)。以上の実験および解析の検討結果より, 修正ストラット式は縦開口を有する CES 造耐震壁のせん断終局強度評価式として妥当であるといえる。

2018 年度に実施した CES 有開口耐震壁試験体の静的増分解析の結果, 既往の CES 有開口耐震壁の最大耐力は提案する修正ストラット式により精度良く評価できることを示した。また, CES 無開口耐震壁と同様に TVLE モデルを適用した CES 有開口耐震壁の構造解析モデルは実験

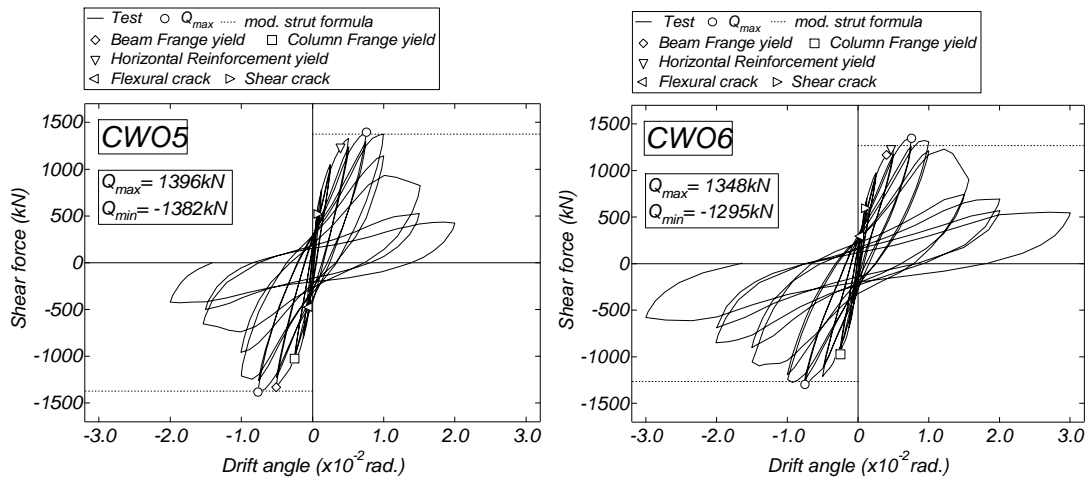


図 6 せん断力 - 部材角関係

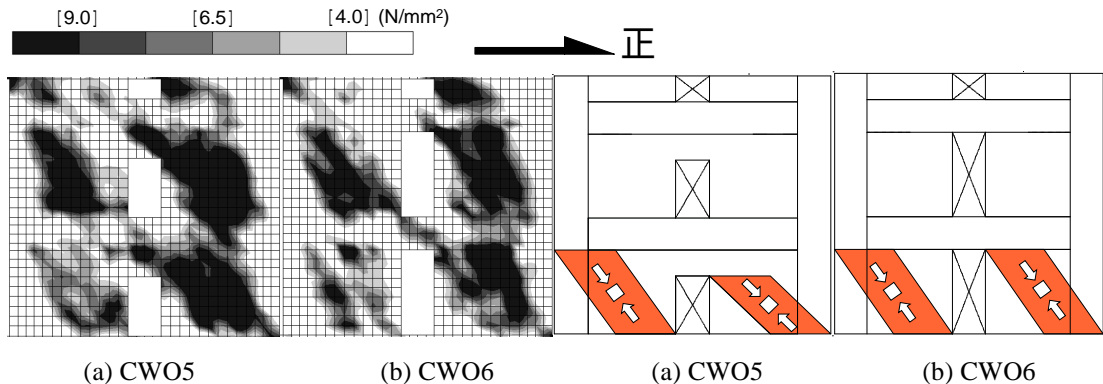


図 7 せん断応力度分布

図 8 修正ストラット式の応力分布

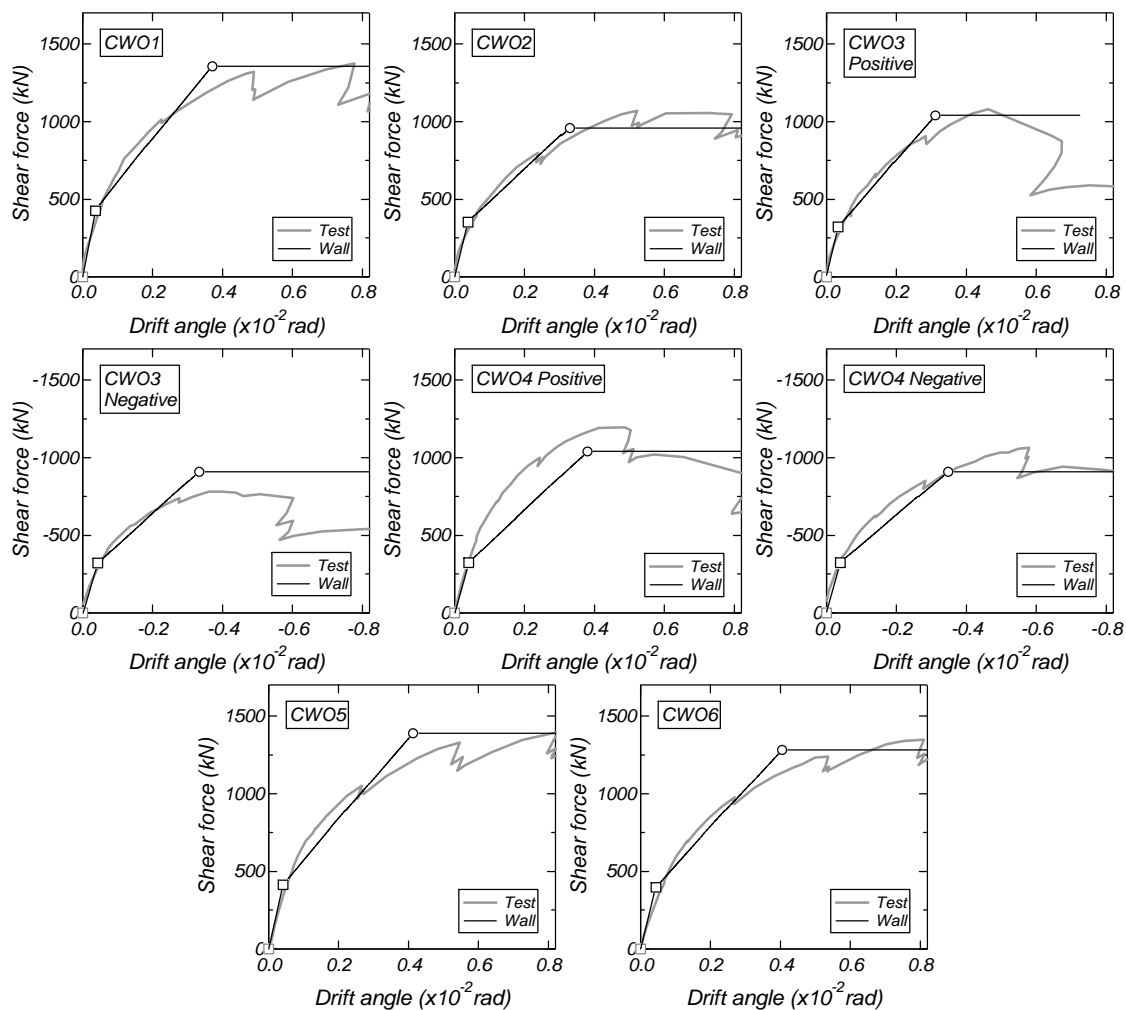


図9 実験結果および解析結果の比較

の復元力特性を精度良く評価可能である(図9)。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 7件)

- [1] 陸逸先, 鈴木卓: CES 造耐震壁の構造性能に関する研究(その16)CES 造有開口耐震壁: TVLE モデルを用いた解析結果, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1355-1356, 2018.9
- [2] 鈴木卓, 陸逸先: CES 造耐震壁の構造性能に関する研究(その15)CES 造有開口耐震壁: TVLE モデルの概要, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1353-1354, 2018.9
- [3] 陸逸先, 鈴木卓: CES 有開口耐震壁の構造性能に関する研究(その5. 中央開口耐震壁の構造解析モデル), 日本建築学会近畿支部研究発表会, 第58号, 構造系, pp.597-600, 2018.6
- [4] 神鳥拓也, 鈴木卓: CES 造耐震壁の構造性能に関する研究(その14)縦開口耐震壁の構造性能: 履歴特性およびせん断終局強度, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造, pp.1459-1460, 2017.8
- [5] 鈴木卓, 神鳥拓也: CES 造耐震壁の構造性能に関する研究(その13)縦開口耐震壁の構造性能: 構造実験の概要および破壊性状, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造, pp.1457-1458, 2017.8
- [6] 神鳥拓也, 鈴木卓: 開口高さが異なる CES 造有開口耐震壁の構造性能, コンクリート工学年次論文集, 査読有り, Vol. 39, No. 2, pp. 301-306, 2017.7
- [7] 鈴木卓, 藤谷涼, 倉本洋: CES 造有開口耐震壁のせん断伝達に及ぼす上下層開口位置の影響, 日本建築学会構造系論文集, 査読有り, Vol.82, No.731, pp.135-143, 2017.1

〔学会発表〕(計 6件)

- [1] 陸逸先, 鈴木卓: CES 造耐震壁の構造性能に関する研究(その 16)CES 造有開口耐震壁: TVLE モデルを用いた解析結果, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1355-1356, 2018.9
- [2] 鈴木卓, 陸逸先: CES 造耐震壁の構造性能に関する研究 (その 15) CES 造有開口耐震壁: TVLE モデルの概要, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1353-1354, 2018.9
- [3] 陸逸先, 鈴木卓: CES 有開口耐震壁の構造性能に関する研究(その 5. 中央開口耐震壁の構造解析モデル), 日本建築学会近畿支部研究発表会, 第 58 号, 構造系, pp.597-600, 2018.6
- [4] 神鳥拓也, 鈴木卓: CES 造耐震壁の構造性能に関する研究(その 14) 縦開口耐震壁の構造性能: 履歴特性およびせん断終局強度, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造, pp.1459-1460, 2017.8
- [5] 鈴木卓, 神鳥拓也: CES 造耐震壁の構造性能に関する研究(その 13) 縦開口耐震壁の構造性能: 構造実験の概要および破壊性状, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造, pp.1457-1458, 2017.8
- [6] 神鳥拓也, 鈴木卓: 開口高さが異なる CES 造有開口耐震壁の構造性能, コンクリート工学年次論文集, 査読有り, Vol. 39, No. 2, pp. 301-306, 2017.7

〔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)研究分担者(該当しない)

(2)研究協力者(該当しない)