

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 27 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25420578

研究課題名(和文)非構造壁が損傷したコンクリート系建築の被災度評価法の検証

研究課題名(英文) Study on Post-Earthquake Damage Evaluation for Concrete Buildings with Damage to Non-Structural Walls

研究代表者

眞田 靖士 (Sanada, Yasushi)

大阪大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：80334358

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円

研究成果の概要(和文)：東日本大震災により仙台市をはじめ都市部の集合住宅で、一般の構造設計では無視される非構造壁の被害が多発した。本研究では、非構造壁の潜在的な耐震性能および損傷過程を要素実験により明らかにするとともに、実験より得られた知見に基づく構造解析を実施し、非構造壁が損傷した建物の復旧可否を合理的に判断する基礎資料を整備した。本研究の特筆すべき成果として、非構造壁の耐震性能を適切に評価する構造解析モデルを提示するとともに、非構造壁が建物の地震応答に大きく影響することを実験結果と解析結果を通して明らかにした。

研究成果の概要(英文)：Exterior/partition flat walls monolithically constructed in concrete buildings were severely damaged by the 2011 earthquake off the Pacific coast of Tohoku. Although this type of wall is commonly regarded as non-structural wall, it seems to potentially affect the seismic performance and behavior of overall buildings because of its monolithic connection to structural components. Therefore, this study investigated fundamental behavior and performance of a typical flat wall through experimental and analytical approaches, and provided basic data to judge post-earthquake action for concrete buildings with damage to non-structural walls. In particular, this study presented an appropriate numerical model for non-structural walls and clarified structural/dynamic mechanisms that non-structural walls significantly affected the seismic behavior and performance of concrete buildings.

研究分野：耐震工学

キーワード：非構造壁 二次壁 雑壁 鉄骨鉄筋コンクリート SRC 損傷 構造実験 東日本大震災

1. 研究開始当初の背景

東日本大震災により仙台市をはじめ都市部の集合住宅で、非構造壁の被害が多発した(写真1)。非構造壁とは、文字通り耐震性能に影響しないとされる内外壁である。従って、柱梁などの主要構造が健全であれば、人命保護の観点からは建物の継続使用が可能である。しかし、玄関などの損傷はプライバシー確保や防犯機能の喪失など住宅の機能障害をきたし、居住者が生活を継続できず、避難生活を強いられる事態も発生した。この災害は避難者個人の問題に留まらず、都市型災害における避難者の氾濫に繋がる社会問題である。将来に大都市圏を襲う地震でも同様の災害が予測されるが、その対策はなされていない。



写真1 東日本大震災で被災した集合住宅

2. 研究の目的

本研究の目的は、非構造壁の潜在的な耐震性能および損傷過程を要素実験により明らかにすること、実験より得られた知見に基づく構造解析を実施し、非構造壁が損傷した建物の復旧可否を合理的に判断する基礎資料を整備することである。

3. 研究の方法

(1) 非構造壁を有する RC 架構の実験

平成 25 年度は東日本大震災後の被害調査を実施した 11 層鉄骨鉄筋コンクリート構造の被災集合住宅の典型的な架構(写真1)を模擬する、1 層 1 スパンの非構造壁を有する柱梁架構の縮尺 1/2.5 の試験体(図1)を対象に構造実験を実施した。特筆すべき実験計画として、架構内の非構造壁の負担力を明らかにするため、柱に作用するせん断力と軸力を計測するロードセルを挿入する試験体計画を立案した(図2)。

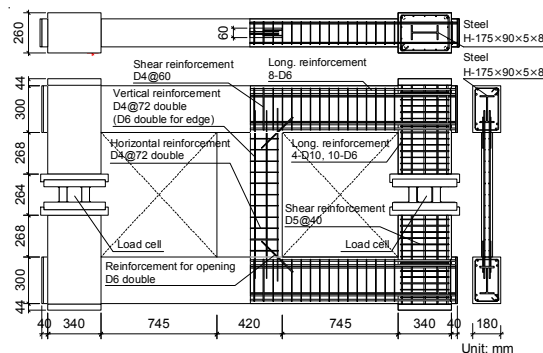


図1 試験体詳細

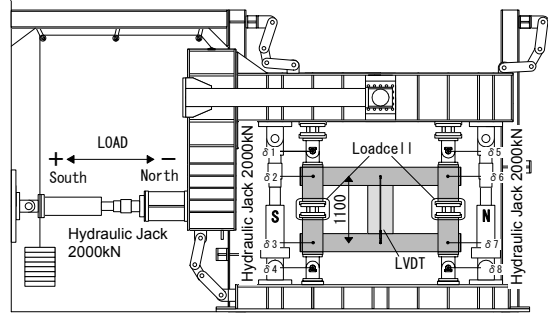


図2 実験装置

(2) 実験結果のシミュレーション

平成 26 年度は上記の実験結果とくに非構造壁の比較的大きな水平力負担を力学的に解釈するため、非構造壁の解析モデル化手法をパラメータとして実験結果を解析的に模擬することを試みた。採用した解析モデル化手法は①曲げと軸力の相互作用を考慮するが、せん断(劣化なし)を独立に評価するモデル、②曲げと軸力の相互作用を考慮するが、せん断(劣化あり)を独立に評価するモデル、③曲げと軸力とせん断の相互作用を考慮するモデルの3通りである。

(3) 東日本大震災の被災建物の構造解析

平成 27 年度は、前年度までに検証した非構造壁の解析モデルを用いて、東日本大震災による実被災建物の構造解析を実施した。非構造壁の考慮の有無をパラメータに東北地方太平洋沖地震(図3)によるシミュレーション解析を実施した。

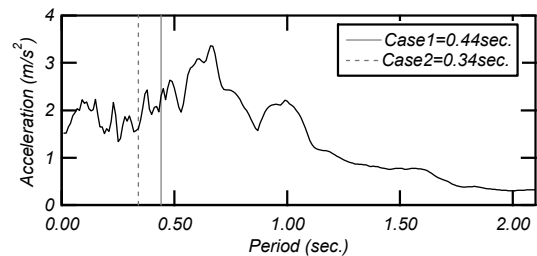


図3 入力地震動の加速度応答スペクトル

4. 研究成果

(1) 非構造壁を有する RC 架構の実験

実験結果より、架構内の非構造壁の負担力を実験的に抽出することに成功した(図4)。非構造壁は①1%未満の部材角でせん断破壊し(図5)、耐力低下すること、②せん断破壊後の損傷状況より、非構造壁の使用限界状態は概ねせん断破壊する変形とみなせること、③ただし、非構造壁はせん断破壊するまで最大で架構の水平耐力の1/3程度を負担しており構造性能への寄与が無視できないこと、などの実験的な知見が得られた。とくに知見③では、非構造壁が塑性化に伴って軸方向伸びを生じ、この伸びを周辺架構が拘束することで非構造壁に軸力が導入された結果(図6)、負担せん断力が大きくなったと考えられる

ため、その構造解析のモデル化では同現象を適切に考慮すべきことが確認された。

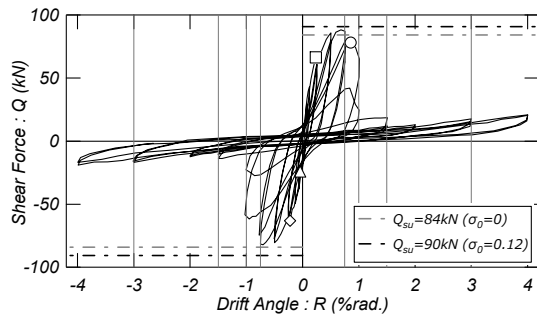
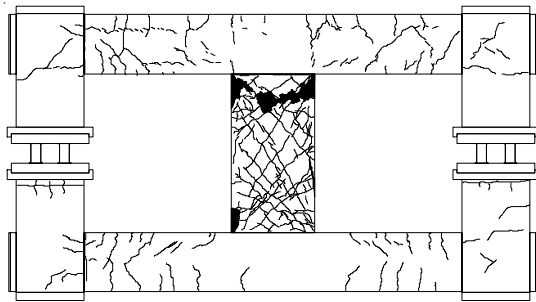
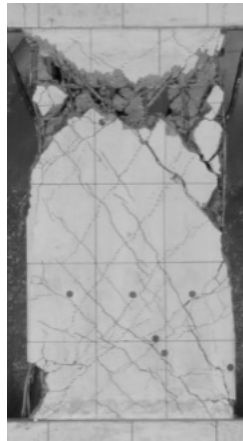


図4 非構造壁の荷重-変形関係



試験体全体の損傷図



非構造壁の損傷

図5 せん断破壊時の試験体の損傷状況

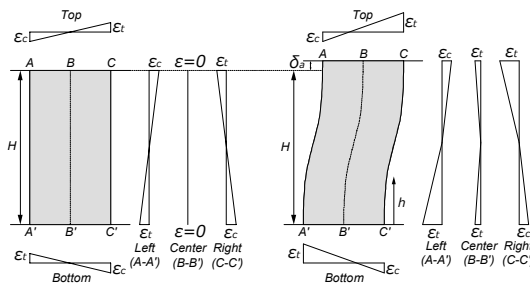


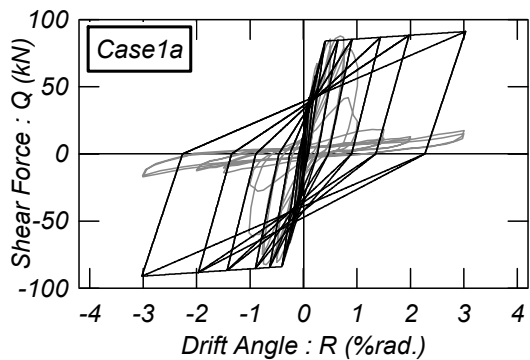
図6 非構造壁の非線形挙動

(2) 実験結果のシミュレーション

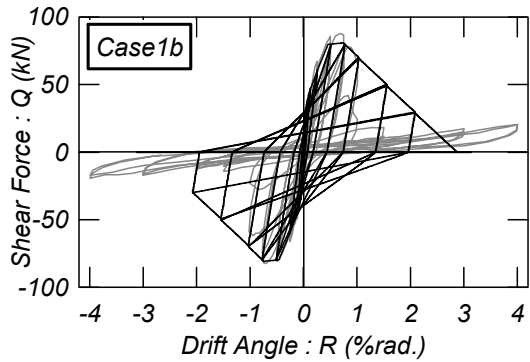
設定した3つの解析モデルによる解析結果を実験結果と比較して示す(図7)。

いずれのモデルも非構造壁の軸方向伸びを梁が拘束して、軸力、曲げ耐力が増大する挙動を評価できたが、モデル(A)はせん断破壊後の劣化を考慮していないため、耐力劣化挙動は模擬できないこと、一方、モデル(B)、(C)はせん断破壊後の耐力劣化挙動を模擬できること、モデル(C)はせん断破壊に伴う軸耐力の喪失現象も模擬できることを示した(図8)。従って、建物全体を対象とする解析ではモデル(C)が適切であることを明らかにした。

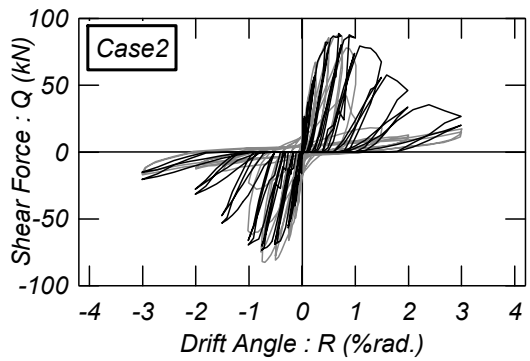
以上より、④非構造壁の解析モデル化手法として曲げと軸力とせん断の相互作用を考慮するモデルが適切であることを明らかにした。



モデル(A)



モデル(B)



モデル(C)

図7 非構造壁の荷重-変形関係の解析結果

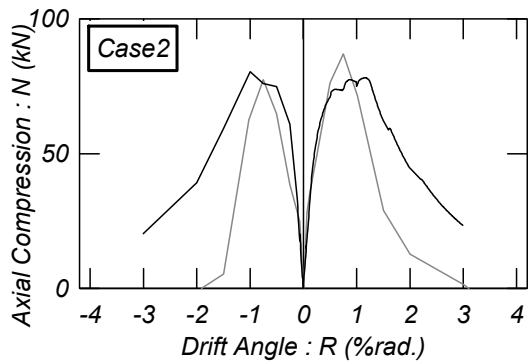


図8 壁の軸挙動の解析結果 (モデルC)

(3) 東日本大震災の被災建物の構造解析

各解析ケースの地震応答解析を行い、解析から得られた各層のせん断力-層間変位関係から文献①に基づいて抽出した1次モード応答を比較した(図9). 非構造壁を考慮したCaseBの最大応答変形は考慮しないCaseAをやや下回った. また, CaseBでは建物全体として最大耐力記録後の耐力劣化が生じた. これは下層から中層にかけて非構造壁の耐力劣化が生じたためである.

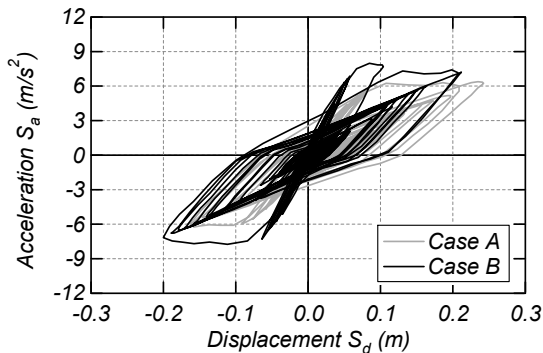
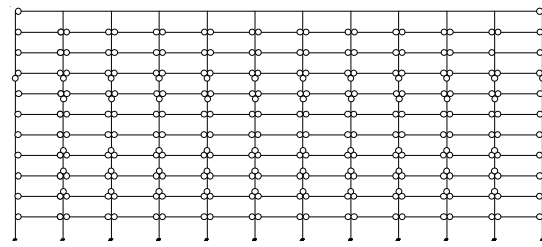
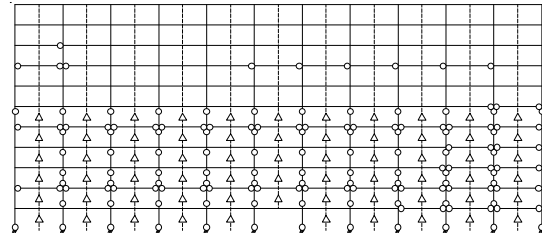


図9 建物の1次モード応答の比較

両解析ケースについて最大応答変形を記録した時刻における建物 Y4 フレームのヒンジ発生状況と各層の層間変形角分布を比較した(図10, 11). 図10中の○は柱, 梁および方立壁の曲げ降伏を, △は方立壁のせん断破壊(最大耐力到達)を示す. 図11にはPushover解析に基づく層間変形角分布も比較して示した. 方立壁のモデル化の有無によりヒンジ発生状況や層間変形角分布に大きな差がみられる. 地震応答解析結果によるヒンジ発生状況より, CaseAでは上層部を除いて概ね梁部材が降伏し, 建物全体として中層部で部分崩壊機構をおよそ形成した. CaseBでは下層から中層にかけて塑性ヒンジが生じ, 下層部で部分崩壊機構をおよそ形成した. 各層の層間変形角分布に関する地震応答解析結果, Pushover解析結果ともに, CaseAでは中層部の変形が総じて大きく, CaseBでは下層部により大きな変形が生じた.

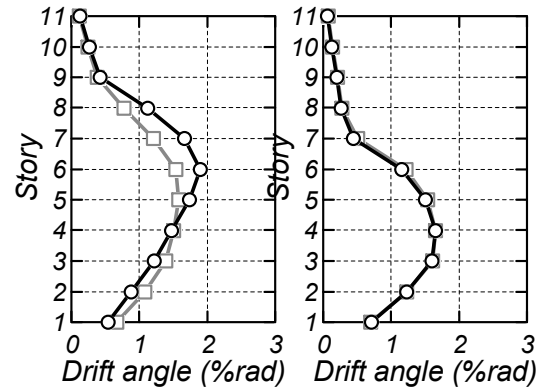


CaseA



CaseB

図10 最大応答変形時ヒンジ発生状況の比較



CaseA

CaseB

図11 最大応答変形分布の比較

以上の解析結果より, ⑤非構造壁は建物の地震応答に大きく影響すること, とくに非構造壁を考慮する場合, 非構造壁のせん断破壊に伴い耐力劣化すること, ⑥現地調査に基づく, 柱梁および非構造壁の損傷度が下層部において卓越したが, この結果の再現には非構造壁のモデル化が必要であること, ⑦非構造壁の破壊は下層が中上層に対して先行し, その結果, 下層の剛性が低下し変形が相対的に大きくなる非線形挙動が発生すること, などの知見が得られた. 従って, とくに非構造壁が損傷した建物の復旧可否を合理的に判断するためにはその効果を適切に評価する必要がある.

<文献>

- ① 倉本洋, 多層建築物における等価1自由度系の地震応答特性と高次モード応答の予測, 日本建築学会構造系論文集, Vol. 580, pp61-68, 2004. 6

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2件)

- ① 小塩友斗, Thandar Oo, 真田靖士, 崔琥, 東北地方太平洋沖地震により非構造壁が損傷した SRC 建物の現地調査結果と地震応答の解析的分析, コンクリート工学年次論文集, Vol. 35, No. 2, pp. 853-858, 2013. 7
- ② 小塩友斗, 真田靖士, 金裕錫, 主体架構と一体の RC 造方立壁の構造性能評価, 日本建築学会構造系論文集, Vol. 80, No. 713, pp. 1145-1153, 2015. 7

[学会発表] (計4件)

- ① 小塩友斗, Thandar Oo, 真田靖士, 崔琥, 前田匡樹, 非構造壁を有する靱性型 SRC 建物の被災度区分判定, 日本建築学会近畿支部研究報告集, 第 53 号・構造系, pp. 149-152, 2013. 6
- ② 小塩友斗, Thandar Oo, 真田靖士, コンクリート系柱梁架構と一体的に建設された非構造壁の有限要素法解析, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造IV, pp. 33-34, 2013. 8
- ③ Yasushi Sanada and Yuto Ojio, Effects of Secondary Walls on Damage to a Concrete Building Attacked by the 2011 Tohoku, Japan Earthquake, 15th European Conference on Earthquake Engineering & 34th General Assembly of the European Seismological Commission, Paper ID 550, Aug. 2014
- ④ 小塩友斗, 真田靖士, 塚本竜二, 主体架構と一体の RC 非構造壁の性能評価に関する実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造IV, pp. 455-456, 2014. 9

[図書] (計1件)

- ① 日本建築防災協会, 再使用の可能性を判定し、復旧するための震災建築物の被災度区分判定基準および復旧技術指針 2016 年改訂版, 2016. 3

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

[その他]

該当なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

真田 靖士 (SANADA, Yasushi)
大阪大学, 工学研究科, 准教授
研究者番号: 80334358

(2) 研究分担者

該当なし

(3) 連携研究者

該当なし