

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 2 日現在

機関番号：12501

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2014

課題番号：23560667

研究課題名(和文) 実際の配筋を考慮した地震被害を説明しうるRC造柱の変形能の評価法の検討

研究課題名(英文) Study on Evaluation Method of Deformation Capacity of R/C Columns with Cutoff Bars

研究代表者

中村 友紀子(Nakamura, Yukiko)

千葉大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：20313504

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：2007年中越沖地震では、柱のせん断破壊により中破となったRC造学校建物があった。ところが、これらの柱は現在の評価式を用いると曲げ破壊と評価されてしまう。RC造柱部材では、上階の柱部材の主筋が上階の柱部材まで延長されることがある。これらの鉄筋端部で降伏する場合、曲げひび割れが斜め50度程度に進展した部材で変形能が低下すること、定着延長筋の端部が降伏位置の場合、又は腰壁を有する場合曲げ強度が低下することがわかった。被災した建物を対象として定着延長筋の有無による柱の性能の違いを考慮した地震応答解析を実施した。定着延長筋を考慮したものが最も実被災度に近くなることがわかった。

研究成果の概要(英文)：A RC school building was moderately damaged by the 2007 Chuetsu-oki Earthquake. The anticipated design failure modes of most of the columns of the building were flexure, although most of the columns actually failed through shearing. The static loading tests for varying lengths of cutoff bars and presence of spandrel walls were conducted. The conclusions derived from these tests were that the deformation capacity of a column with cutoff bars degraded tremendously under the conditions that the yielding hinge was located at the cutoff point, the diagonal cracks generated from the cutoff point were inclined at approximately about 50 degrees and the effect of the presence of spandrel walls on deformation capacities was small. The structural models with various conditions of cutoff bars and spandrel walls were used in earthquake response analysis. The residual seismic capacity ratio of the model is close to the residual seismic capacity ratio of the real damage of the building.

研究分野：建築耐震構造

キーワード：鉄筋コンクリート造 柱部材 地震被害

1. 研究開始当初の背景

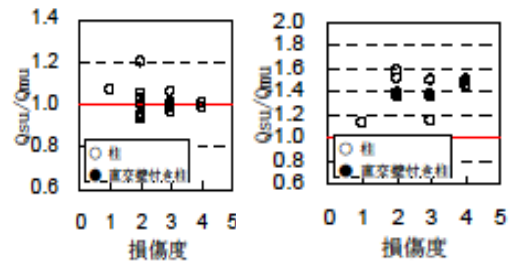
本研究の着想のきっかけとなったのは 2007 年中越沖地震で被災した旧小国町（現長岡市、震度 6 強）の S 小学校（RC 造 4 階建）である。1 階 2 階で大破に近い中破の被害を受け、その柱はその多くがせん断破壊を示していたが、それらの柱の曲げ強度とせん断強度を評価してみると、多くが実際の破壊形式とは異なる曲げ破壊と評価された。その際、鉄筋やコンクリートの材料強度、柱の配筋などを現地調査し、付加軸力および載荷速度・履歴以外はほぼ現実に即したものとなっている。これが本当ならば構造設計や耐震診断において変形能がある曲げ破壊と考えている柱が実際には脆性的なせん断破壊となってしまう場合があり、大きな問題となる。図 1 は、実際の S 小学校の RC 造柱の地震被災後、およびはつり後の写真である。



図 1 S 小学校のせん断破壊した柱例

検討の際、非常に興味深いことがわかった。すなわち、1 階と 2 階でその挙動が異なることである。具体的には、せん断強度評価式として安全側に評価する荒川下限式を用いた場合であるが、せん断破壊した 1 階の柱群の曲げ強度のせん断強度に対する比が平均で約 0.95 であるのに対し、2 階のそれは約 0.7 であるという点である。せん断破壊した柱の診断結果を図 2 に示すように、1 階も平均的には曲げ破壊と評価され実被害を説明できていないが、2 階に至っては全く説明不可能ということである。そこで、これまでの検討から、原因として、特に 2 階において、1 階柱頭で必要とされる主筋の定着が 2 階に延長されており、この定着延長部分が柱部材の破壊形式あるいは変形能に影響している可能性が考えられる。

上階の RC 柱には、下階の主筋の定着部分がある。以後このような鉄筋を「定着延長筋」と呼ぶ。

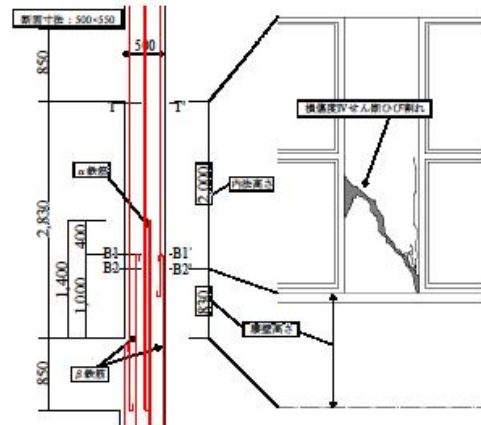


(a-1) 1 階せん断柱 (b-1) 2 階せん断柱

図 2 S 小学校のせん断破壊した柱の診断結果 (Q_{su}/Q_{mu})

図 3 に 2 階のせん断破壊した柱の配筋図と被害状況例を示す。はつり調査の結果 S 小学校の 2 階部分は、重ね継ぎ手もあり複雑であるが、概ねこれに類似した配筋になっており（主筋は丸綱で端部はフック）、図 3 の桁行方向（(a)の配筋図に直交方向）の加力を受けた場合、その定着延長筋が曲げに有効に作用したと考えられる。すなわち、定着延長筋の端部付近で曲げ降伏し、その部分に発生した曲げひび割れが斜めひび割れに進展し、せん断破壊の様相を示した、と解釈している。また、1 階にはそのような他部材からの定着延長はなかった。

以上の経緯の下、定着延長筋を有する柱の変形能の評価法に関する実験を計画した。



(a) 柱配筋図 (梁間方向) (b) 被害の様子 (桁行方向)

図 3 せん断破壊した 2 階柱の配筋図と被害の様子

2. 研究の目的

定着延長筋を有する柱の変形能に関しては、定着延長筋の終点位置での曲げ降伏が全体の変形能に及ぼす影響を把握する実験を行う。このような柱端部以外での曲げ降伏によるひび割れは、保有しているせん断強度の大小に係わらず斜めに進展し、その結果ひび割れ間のせん断伝達機構が劣化することにより変形能が低下すると考えている。定着延長筋の量と長さ、及び腰壁の有無をパラメータとした実験によりこの挙動を定量的に明らかにすること、S 小学校の被害をこの成果を用いて崩壊計の再評価を行い、建物全体の被災度について地震応答解析などで検討し実

際の被害を正しく評価できるか定着延長筋の建物の応答に及ぼす影響を明らかにする。

3. 研究の方法

RC 造柱の定着延長筋の影響を検討するための実験シリーズを実施する。基本モデルとして定着延長筋のない柱試験体を作成する。これは曲げ降伏形となる。次に、S 小学校を忠実に再現した試験体を作成する。これも計算上は曲げ降伏形である。さらに、定着延長筋の量と延長長さを変化させて数体試験体を作成する。これらも計算上せん断破壊しないことを設計条件とする。この場合、曲げ降伏位置が重要なポイントとなり得るが、柱脚に曲げヒンジが発生する場合と定着延長筋端部に位置に曲げヒンジが発生する場合がある。また、腰壁の影響を検討するために腰壁のある試験体も計画する。

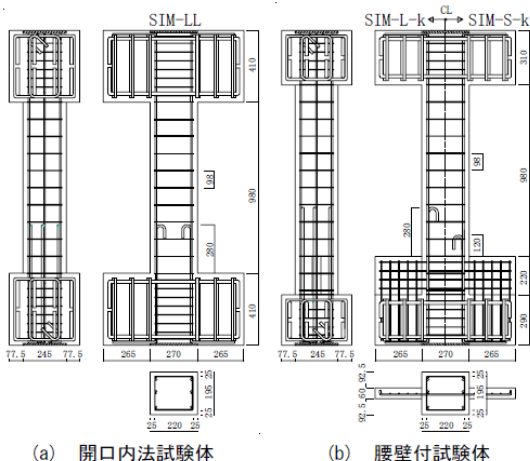


図 4 試験体形状と配筋例

これらの実験シリーズを横断的にまとめ、S 小学校の被害を本研究成果による評価式を用いて柱の崩壊形の再検討を行う。また、それらを踏まえて建物全体の被災度について地震応答解析等で再検討する。さらに、最近、微動計測地域の耐震診断が進み中越地震あるいは中越沖地震時の RC 校舎の耐震性能がわかりつつある。この中で S 小学校以外にも同様の事例があることが明らかになりつつあること、また、被害を受けた建物が実際に受けたであろう地震動強さを用いて、これらの RC 造学校被害の再評価を検討する。S 小学校建物の地震応答解析により、複数のモデル化を行い、柱の崩壊形が建物全体の耐震性能に与える影響を理解する。

4. 研究成果

RC 造柱の定着延長筋の影響を検討するための実験シリーズを実施した。図 5 に水平荷重一部材角関係の例を示すが、定着延長筋のない(a)と比較して、定着延長筋を整理して、長いものだけをモデル化し短いものに合わせた試験体 (b)、定着延長筋の配筋状態が実物にもっとも近いと考えられる(d)、定着延

長筋の配筋状態が実物にもっとも近いと考えられかつ柱脚部に腰壁を設けたもの(e)を示す。(d)は、定着筋端部が降伏するように設計したため、定着延長筋端部に発生した斜めひび割れが広がった。その結果、斜めひび割れの面のかみ合い作用の悪化が早くなり変形が低下したと考えられる。試験体では基礎が剛なため柱脚部の圧縮コンクリートは十分に拘束されるが、実物には腰壁が存在するため、その拘束力が低下して、結果として変形能が悪くなると予測したものが(e)である。(d)に比べ曲げ強度が低下した。腰壁がつくことで柱脚の圧縮コンクリートストラットの合力位置が柱中心方向に移動し、柱の可撓長さが長くなるのと同様の効果があったと考えられる。

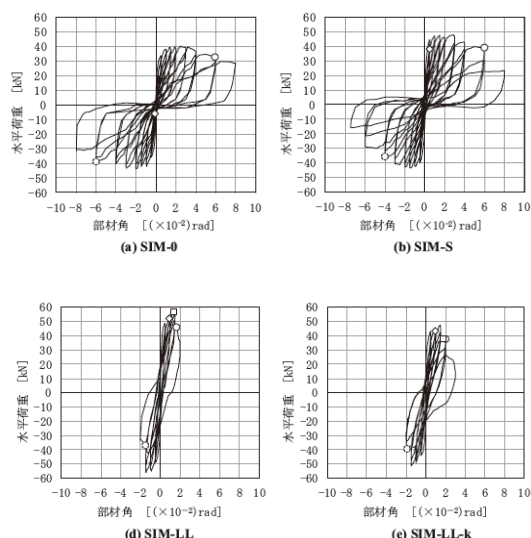


図 5 水平荷重一部材角関係の一例

実験シリーズにより、定着延長筋端部が降伏する場合で、斜めの曲げひび割れた 50 度程度で進展する場合変形能が低下した。柱脚が降伏位置であっても腰壁を有する場合、曲げ強度は低下した。耐震診断で変形能力がある曲げ降伏型と診断される柱でも、腰壁と定着延長筋の影響により、変形能は診断による性能を発揮していないと考えられることが分かった。

これらを踏まえて、耐震診断では説明できない破壊形式の被害が生じた S 小学校を対象に、被災度の関係を検討した。定着延長筋による柱破壊形式の違い、積載・積雪荷重の有無、材料強度など影響などの諸条件を反映させた解析モデルを作成した。地震応答解析には、新潟県中越沖地震の応答解析結果を用いた。地震応答解析と実被害について耐震性能残存率 R を比較した。その結果、積雪・積載荷重なし、材料強度が試験強度のケースでは、実際の被災度より小さい応答となった。定着延長筋による柱の変形能の低下を考慮した場合も耐震性能残存率 R の低下量は小さく、被災度は小破にとどまることが分かった。

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 4 件)

- ① 加藤大介, 吉沢克司, 長橋鉄雄, 中村友紀子, カットオフ筋を有する RC 造柱の強度と変形能 -主筋降伏位置と腰壁の有無の影響-, 日本建築学会構造系論文集第 683 号、査読有り、2013 年、pp. 139-145
- ② 加藤大介, 吉沢克司, 定着延長筋を有する RC 造柱の破壊実験 : その 1 実験概要及び結果と考察, 2012 年度大会(東海) 学術講演会梗概集, 査読無し, 2012 年、pp. 767-768
- ③ 吉沢克司, 加藤大介, 定着延長筋を有する RC 造柱の破壊実験 : その 2 実験結果の検討, 2012 年度大会(東海) 学術講演会梗概集, 査読無し, 2012 年、pp. 769-770
- ④ 吉沢克司、広瀬雄三郎、加藤大介、中村友紀子、定着延長筋を有する RC 造柱の強度と変形能に及ぼす主筋降伏位置と腰壁の有無の影響、第 34 回コンクリート工学年次論文集、査読有り、第 34 巻、2012 年、pp. 1159-1164

[学会発表] (計 2 件)

- ① Yukiko NAKAMURA, Daisuke KATO and Kamolchanok BUNSIRISHAI, EVALUATION OF THE SEISMIC PERFORMANCE OF AN EXISTING REINFORCED-CONCRETE BUILDING DAMAGED BY THE 2007 NIIGATA CHUETSU-OKI EARTHQUAKE - DAMAGE RATING OF THE BUILDING CONSIDERING THE FAILURE MECHANISM OF COLUMNS -, Second European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, 要旨査読有り、No. 448、2014 年 8 月 26 日、The Istanbul Convention & Exhibition Centre (ICEC), Istanbul, Turkey
- ② 加藤大介、吉沢克司、長橋鉄雄、中村友紀子、Failure Mechanism of Columns of Existing R/C Building Damaged during the 2007 Niigata Chuetsu-Oki Earthquake、Proceedings of the 15th World Conference on Earthquake Engineering、要旨査読有り、No. 0434、2012 年 9 月 27 日、Lisbon Congress Center, Lisbon, Portugal

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
取得年月日：
国内外の別：

[その他]
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中村 友紀子 (NAKAMURA Yukiko)
千葉大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号：20313504

(2) 研究分担者

加藤 大介 (KATO Daisuke)
新潟大学・自然科学系・教授
研究者番号：90169503

(3) 連携研究者

()

研究者番号：