

非構造壁を含む鉄筋コンクリート造構造物の地震被災度判定の実用化研究

A Feasibility Study on Earthquake Damage Evaluation for RC Building Structures with Non-structural Wall

東京大学生産技術研究所 助教 崔 琥

（研究計画ないし研究手法の概略）

2011年3月に発生した東日本大震災では、中層鉄筋コンクリート（以下、RC）造集合住宅が大きな振動被害を受けた。申請者が宮城県および岩手県を中心にRC造集合住宅の被害形態を調べたところ、主構造部材である柱、梁およびRC耐震壁に比べ、非構造RC壁（特に、方立壁）に損傷が集中する事例が多かった。一方、日本では迅速な震災復旧の観点から、被害を受けた建築物の被災程度を判定し、その程度に応じて被災建築物の継続使用や補修・補強の可否を判断する手法が整備されているが、この手法には主構造部材のみを対象としている。

そこで本研究では、非構造RC壁の破壊メカニズムを含むRC造フレームの耐震性能を明らかにするとともに、その被災度区分判定手法を試案することを主目的に、その第1段階として、非構造壁を有するRC造フレームの静的載荷実験を行い、柱・梁・非構造壁の損傷量の推移や各部材の損傷量と耐力比の関係について詳細に検討する。

（実験調査によって得られた新しい知見）

1. 実験概要

1.1 試験体概要

本試験体は宮城県仙台市に実在する中層 RC 造集合住宅の設計例を参考にし^[1]、非構造壁の有無およびその長さをパラメータとした計3体（純 RC 造架構試験体（以下、BF 試験体）、長さ 300mm と 450mm の非構造壁を有する RC 造架構試験体（以下、それぞれ NW-300 試験体および NW-450 試験体））の 1/4 スケールの縮小試験体を制作した。NW-300 試験体の詳細を図 1 に示す。

1.2 材料試験結果

コンクリートおよび鉄筋の材料試験の結果を表 1 および表 2 にそれぞれ示す。コンクリートの設計基準強度は 27MPa としたが、設計値を 20~30%程度上回る結果となった。また、鉄筋の降伏強度も規格降伏点強度を 10~20%程度上回った。

1.3 計測計画および加力計画

本実験では、架構の相対水平変位、両柱および壁体の鉛直変位、両柱および梁の曲率算定用変位などを計測した。また、危険断面位置を含む両柱および梁の主筋および補強筋の主要箇所と、非構造壁両端の主筋および対角線上に歪ゲージを貼付し、それぞれの歪を計測した。

図2に本実験の載荷システムを示す。本試験体に作用する水平力は、基本的に試験体の梁中央位置の水平変形に対する部材角0.1, 0.2, 0.4, 0.67, 1.0, 1.5, 2.0, 3.0, 4.0%を2.5サイクルずつ載荷することとした。ただし、試験体の破壊状況に応じて載荷ルールを変更または載荷を終了した。また、実験の際には柱一本あたり110kN（軸応力度としては約5.0MPa）の一定軸力を与えた。

表1 コンクリートの圧縮強度試験結果

	圧縮強度(MPa)	ヤング係数(MPa)	引張強度(MPa)
BF試験体	34.3	2.1×10^4	2.2
NW-300試験体	32.7	2.1×10^4	2.2
NW-450試験体	34.8	2.2×10^4	2.3

表2 鉄筋の規格および引張強度試験結果

直径	使用箇所	鉄筋規格	降伏強度(MPa)	引張強度(MPa)	ヤング係数(MPa)
D4	柱・梁補強筋 非構造壁横筋	SD295	349	527	1.9×10^5
D6	非構造壁縦筋	SD295	322	509	1.8×10^5
D6	柱・梁主筋	SD345	419	498	1.9×10^5
D10	非構造壁縦筋	SD295	363	493	1.8×10^5
D10	梁主筋	SD345	384	524	1.8×10^5

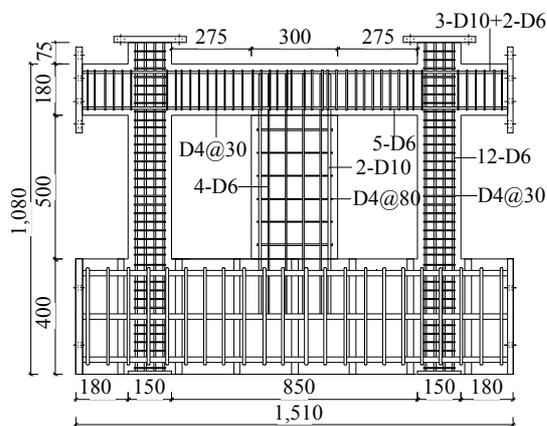


図1 NW-300試験体の詳細 (単位: mm)

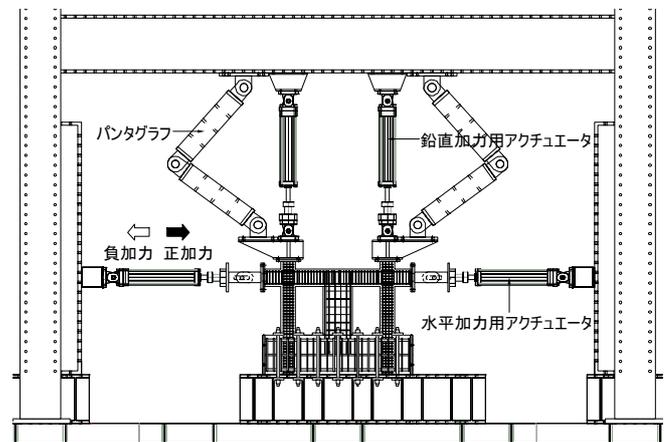


図2 荷重システム (NW-300試験体)

2. 実験結果

図3に各試験体の荷重-変形関係を, 図4に最大耐力時におけるNW-300試験体およびNW-450試験体の非構造壁および左柱の破壊状況をそれぞれ示す。

2.1 BF試験体

本試験体では, 部材角0.1%から両柱に, 部材角0.2%では梁に曲げひび割れが発生した。部材角0.6%付近で柱の主筋が, 部材角1.1%付近で梁の主筋がそれぞれ降伏した。その後, 部材角2.0%で最大耐力+102.9kNを記録した。部材角4.0%以降に各部材の損傷が激しくなり, 部材角8.0%荷重途中, 両柱のせん断ひび割れが急激に開き, 耐力が低下したため実験を終了した。

2.2 NW-300試験体

本試験体では, 部材角0.1%から非構造壁に曲げおよびせん断ひび割れが, 柱および梁に曲げひび割れが発生した。部材角0.3%付近では非構造壁の横筋が, 部材角0.5%と1.3%付近では柱と梁の主筋がそれぞれ降伏した。その後, 部材角1.5%では非構造壁に生じたせん断ひび割れの幅および長さが進展し, 対角線上のコンクリートの剥落が著しくなった。また, この部材角で最大耐力-121.0kNを記録した。部材角2.0%では両柱に圧壊が発生し始め, 部材角3.0%

では柱に圧壊による欠損（剥落）が著しく増加した。その後、部材角6.0%载荷途中、両柱の柱頭部および柱脚部のせん断ひび割れが大きくなり、耐力が低下したため実験を終了した。図4（a）に示すとおり、主要構造部材である柱に比べて非構造壁の損傷が顕著であった。

2.3 NW-450試験体

本試験体の破壊経過はNW-300試験体とほぼ同様である。部材角0.18%では非構造壁の横筋が、部材角0.55%と1.7%付近で柱と梁の主筋がそれぞれ降伏した。また、部材角1.5%では最大耐力-141.8kNを記録した。その後、部材角4.0%以降には各部材の損傷が激しくなり、部材角8.0%载荷途中、両柱のせん断ひび割れが急激に開き、耐力が低下したため実験を終了した。

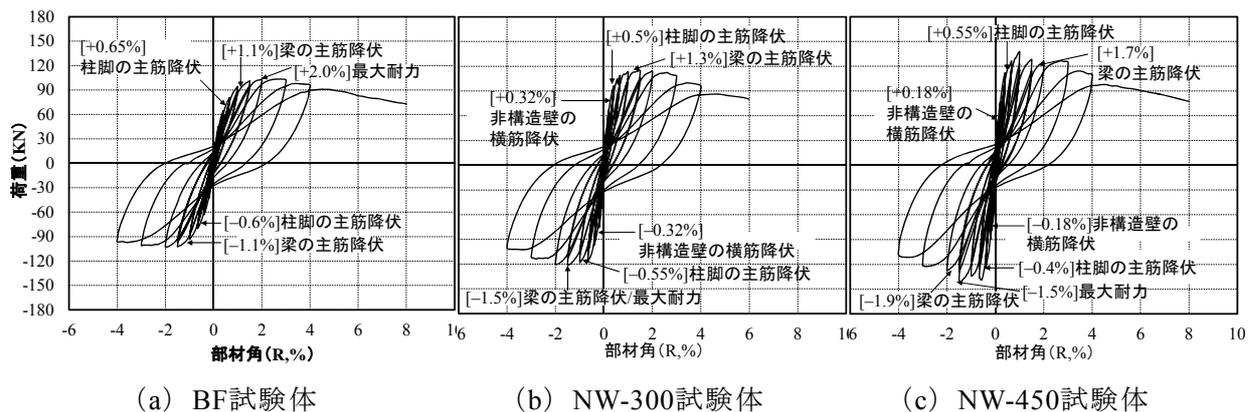


図3 荷重－変形関係

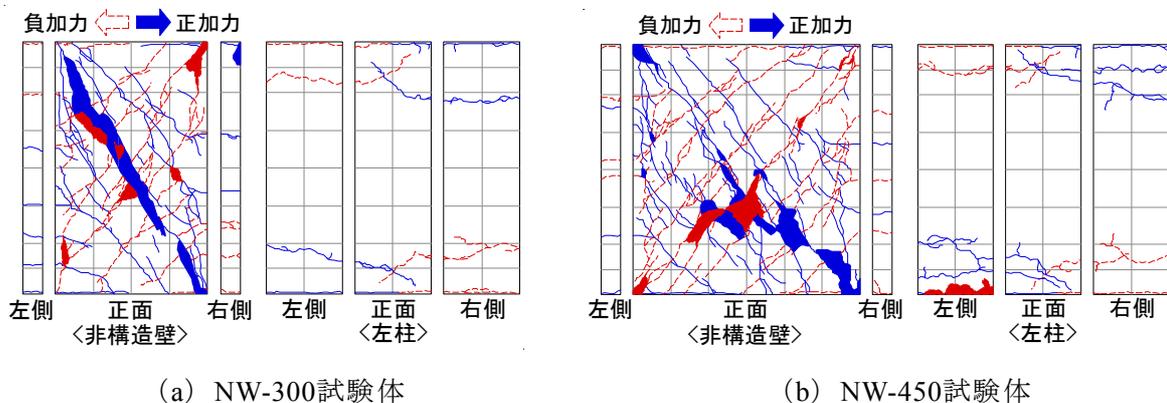


図4 最大耐力時（1.5%）の破壊状況

3. 柱、梁および非構造壁の損傷量の推移

実験から得られたNW-300試験体およびNW-450試験体における各部材の損傷量（残留ひび割れ総長さ、最大残留曲げひび割れおよびせん断ひび割れの幅および本数、欠損面積）の推移を検討する。各損傷量は以下の仮定および条件下で算定した。

- ① 本実験では各部材の前面および両側面の損傷量を計測したため（図4）、残留ひび割れ総長さおよび欠損面積の算定において、背面は正面と同様であると仮定し、正面での計測値を2倍して計算した。
- ② 残留ひび割れ総長さの算定の際には、残留ひび割れ幅が0となったひび割れの長さ、コンクリートの剥落により貫通した部分のひび割れの長さは対象外とした。

③ 残留ひび割れ本数の算定の際には、残留ひび割れ幅が 0 のものは対象外とした。

3.1 残留ひび割れ総長さおよび欠損面積

変形レベルに応じて、各部材における残留ひび割れ幅別の残留ひび割れ総長さの推移を図5に、欠損面積の推移を図6示す。ここで、図5 (d) は縦軸の最大値が他と異なることに注意されたい。図5より、変形レベルの増加に伴い、いずれの部材においても残留ひび割れ総長さは概ね増加する傾向を示した。ただし、部材角約1.5%以降では非構造壁のひび割れ総長さが減少する傾向が見られたが、これは主にコンクリートの剥落による貫通部分の増加に起因するものである。また、非構造壁の残留ひび割れ長さは柱と梁に比べ遥かに大きい結果となった。これは、図4に示すとおり、非構造壁のひび割れが壁体全面に亘って発生したためである。欠損面積は図6に示すとおり、変形レベルに応じて増加傾向にあり、非構造壁における欠損面積の発現が他の部材に比べて早く、大きい値を示した。

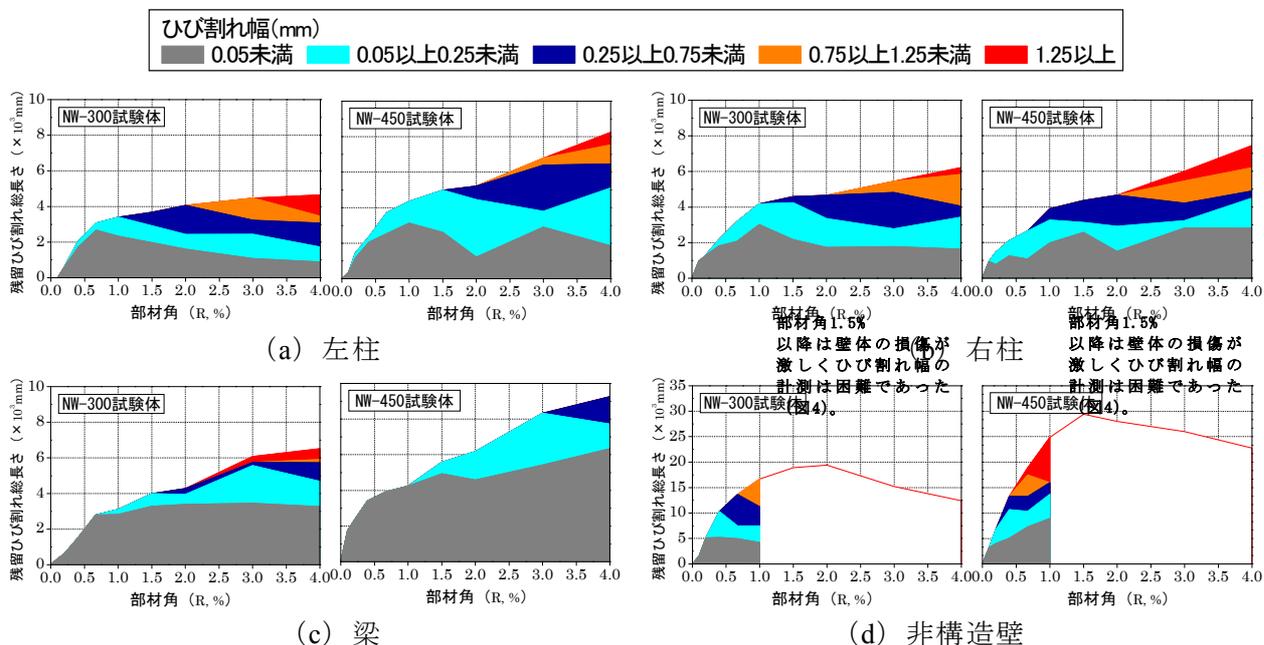


図5 残留ひび割れ総長さ

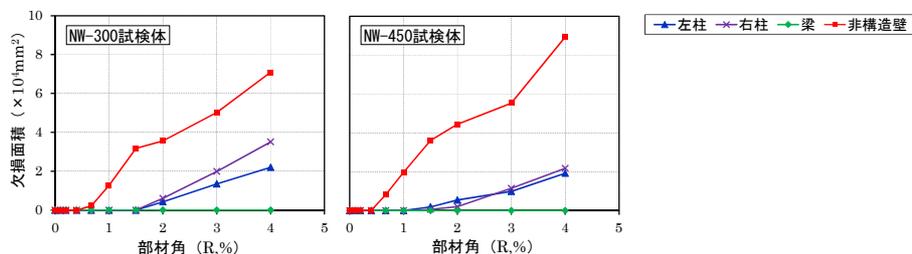


図6 欠損面積

3.2 最大残留ひび割れ幅

各部材の最大残留曲げひび割れ幅および最大残留せん断ひび割れ幅の推移を図7に示す。同図より、非構造壁には曲げひび割れよりせん断ひび割れが顕著に現れたことがわかり、非構造壁が早期にせん断破壊した実験結果と整合した。

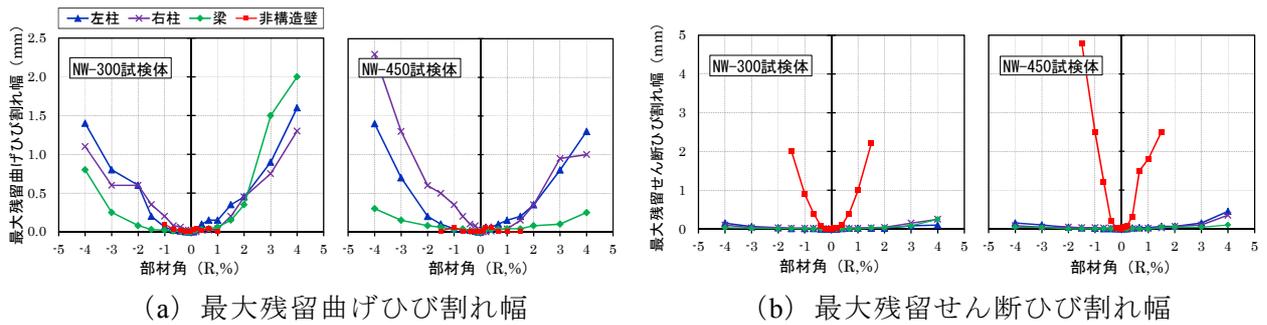


図7 最大残留ひび割れ幅

3.3 残留ひび割れ本数

各部材の残留曲げひび割れおよび残留せん断ひび割れの本数の推移を図8に示す。同図より、残留ひび割れ幅と同様、非構造壁には曲げひび割れよりせん断ひび割れが顕著に現れたことが確認できた。非構造壁および梁の残留曲げひび割れの本数が減少する箇所が見られたが、これは主に残留曲げひび割れ幅が0になるひび割れが発生したためである。

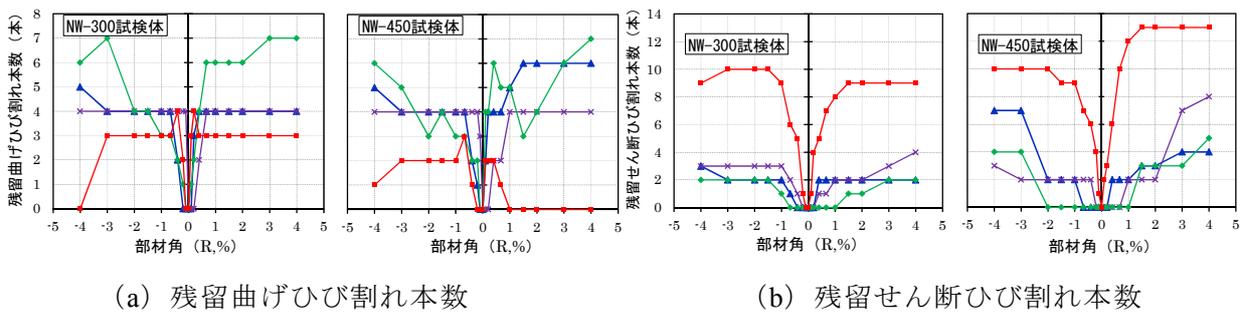


図8 残留ひび割れ本数

4. 損傷量と耐力比の関係

本研究では、部材の損傷量の代表値として各部材の全表面積に対する残留ひび割れ総長さの比を「ひび割れ長さ率」^[2]と定義し、各部材の架構全体に対する各部材の水平耐力の比（以下、耐力比）との関係を検討した。その結果を図9に示す（柱は2本の平均値である）。ここで、耐力比は図10に示す各部材の荷重－変形関係から算定した。非構造壁の荷重－変形関係は、非構造壁による周囲架構の破壊メカニズムおよび両柱の耐力にほとんど影響はないことを別途確認したため、NW-300およびNW-450試験体の荷重－変形関係からBF試験体の荷重－変形関係を単純に差し引いたものを用いた。図9より、柱は両試験体ともに変形レベルの増加に伴い耐力比およびひび割れ長さ率が増加する傾向を示した。一方、非構造壁は架構全体への耐力寄与分は低下するものの、損傷量は著しく増加した。以上の結果より、損傷量だけに着目すると、同一部材角において非構造壁は柱に比べて損傷量が著しく大きく、同程度の修復レベルを目指すときより多い修復費用が掛かると予想されるため、各部材の修復費用について検討する必要があると思われる。

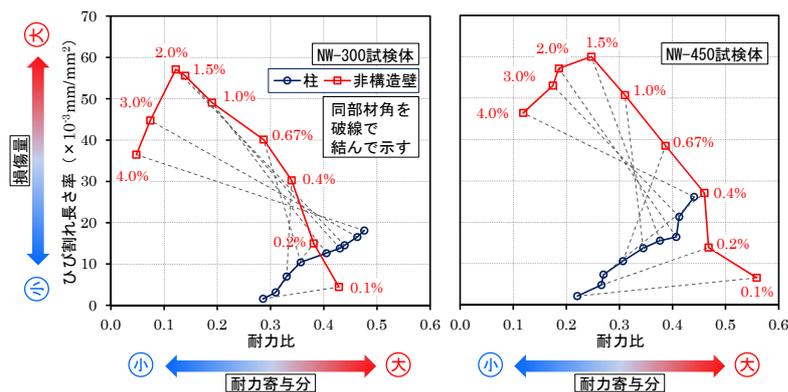


図9 ひび割れ長さ率－耐力比の関係

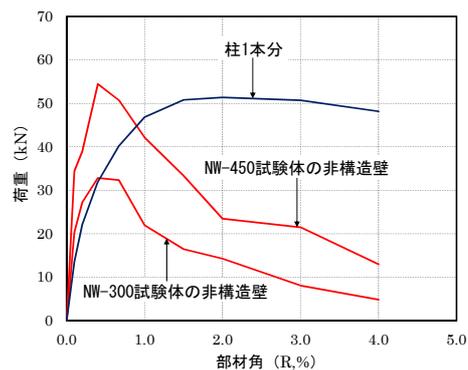


図10 柱・非構造壁の荷重－変形関係

5. まとめ

本研究では、非構造壁を有する RC 造架構の静的載荷実験を行い、非構造壁の損傷量の推移を柱および梁部材と比較するとともに、各部材の損傷量と耐力比の関係について検討した。本研究で得られた知見は以下のとおりである。

- (1) 実被害事例と同様、柱に比べ非構造壁の損傷が顕著であることが確認できた。
- (2) 非構造壁は早いうちにせん断破壊し、架構全体への耐力寄与分は低下するものの、損傷量は著しく増加することがわかった。

今後、本実験結果に基づき、変形レベルに応じた非構造壁の各損傷度を定義し、非構造壁の有無による RC 造中層マンションの被災度や修復費用の判定手法について解析的検討を行う予定である。

[参考文献]

- [1]小塩友斗ら：非構造壁が損傷したコンクリート系建物の被災度区分判定のための課題，東日本大震災2周年シンポジウム，日本建築学会，2013.3
- [2]金景玖ら：鉄筋コンクリート部材の損傷状態を考慮した損傷量評価，コンクリート工学年次論文集，Vol.27，2005.6