

# 鉄筋コンクリート造二次壁を有する架構の被害分析と耐震設計法に関する研究

## Study on the damage analysis and seismic design method of Frames with reinforced concrete non-structural walls

伊藤 衛 (性能制御システム学分野)

Mamoru ITO

### Abstract

In recent years, research and practice about seismic performance of buildings have been improved, and damage in structural members such as columns and beams has been reduced notably after recent earthquakes. However, serious damage to nonstructural components, such as a ceiling or R/C non-structural walls has been observed. Furthermore, though there was less damage in the frames, the cases that buildings had to be repaired because of damage of R/C non-structural walls have occurred in the Tohoku-Pacific Ocean Earthquake. For recent structural design, the R/C non-structural walls are disconnected from Frames by providing structure slits. However, it's possible that non-structural walls have effect on seismic performance. In this study, we aimed to establish a design method to consider the contribution of R/C non-structural walls to seismic performance of frames, and investigated the effects of strength and stiffness. Both ideal structure and real structure are modeled and analyzed. As a result, R/C non-structural walls are effective in suppressing deformation and damage-restoration costs of frames.

**Keywords** : Tohoku-Pacific Ocean Earthquake, Non-structural member, R/C non-structural wall

東北地方太平洋沖地震, 非構造部材, RC 二次壁

### 1. はじめに

近年、鉄筋コンクリート（以下、RC）造建物の耐震規定の強化や耐震補強により、建物の地震被害における柱・梁・耐震壁等の構造部材の被害は減少してきており、2011年東北地方太平洋沖地震においても地震動で建物が倒壊して人命を奪うような甚大な構造被害は少なかった。一方で、RC二次壁や天井等の非構造部材の被害が甚大である事例が多数あり、問題視されている。現行の耐震設計では、RC二次壁は構造スリットで架構から切り離すのが一般的である。しかし、RC二次壁が取り付くことによって、構造部材の損傷被害を軽減している可能性もある。写真-1は、2011年東北地方太平洋沖地震で被災した11階建て鉄骨鉄筋コンクリート（以下、SRC）集合住宅である。この建物は写真-2に示すように、RC二次壁にせん断破壊などの大きな被害が生じた。一方で、柱・梁部材の損傷はそれほど大きくなかった（小破程度）ものの、修復費用などの問題から改築された。

本研究では、RC二次壁を耐震要素とし、かつ被災後の修復性向上も考慮した設計法の提案を目的とし、1質点系モデルを用いた静的解析によって、RC二次壁の強度および剛性が架構の安全性・修復性に及ぼす影響について評価する。並びに、RC二次壁を有する実被害建物フレームモデルを用いた動的解析を通して、被害分析およびRC二次壁特性を変化させた際の被害低減効果について検討する。

### 2. 1質点系モデルによるRC二次壁付架構の特性

2章では、主架構に対して、耐力・剛性を変化させたRC



写真-1 被災建物



写真-2 被害概要 (方立壁)

二次壁を組み込んだ1質点系モデルの静的解析により、RC二次壁が架構の耐震性能に及ぼす影響を検討した。

### 2.1 評価手法の概要

耐震性能を評価する手法として、下記に定義する変形抑制率・耐震性能残存率 $R^2$ ・修復コスト指標を用いた。

$$\text{変形抑制率} = \frac{\text{「架構+RC二次壁」の最大応答変形}}{\text{「架構」の最大応答変形}}$$

$$\text{耐震性能残存率} R = \frac{E_r (\text{残存エネルギー吸収能力})}{E_r + E_d (\text{消費エネルギー})}$$

尚、最大応答変形は、地震動に第二種地盤の告示スペクトルを用いた限界耐力計算法に従い算出するものとした。また、耐震性能残存率 $R$ 算出にあたり、 $E_r, E_d$ は片押しの履歴面積から算出した(図-1)。修復コスト指標は耐震性能評価指針<sup>3)</sup>中の変形-修復費用関係に基づいて、塑性率-修復コスト指標(図-2)を求めており、ここでの修復コスト1とは塑性率4時の修復費用、つまり建替レベルの修復費用を要すことを意味している。また、RC二次壁の修復指標は、架構の修復指標に架構に対するRC二次壁の最大耐力の比および0.5

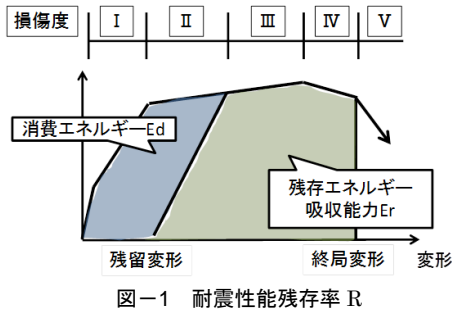


図-1 耐震性能残存率 R

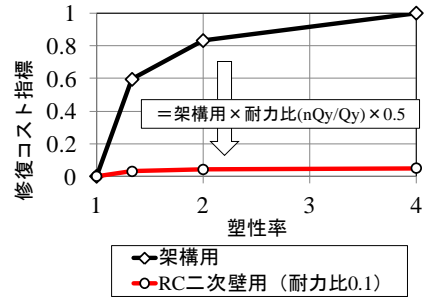


図-2 塑性率-架構修復費用指標

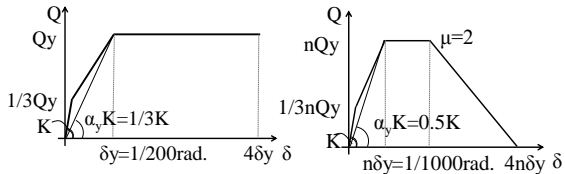
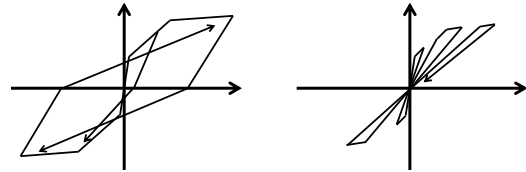


図-3 復元力特性 (左: 架構 右: RC 二次壁)



Takeda モデル

原点指向モデル

図-4 履歴モデル

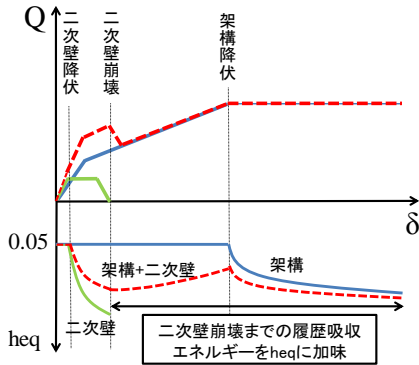


図-5 heq の設定

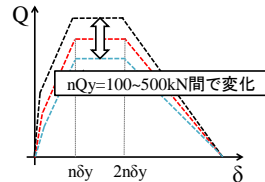


図-6 二次壁耐力変化モデル

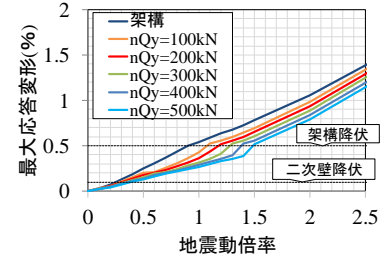


図-7 応答変形 (耐力変化)

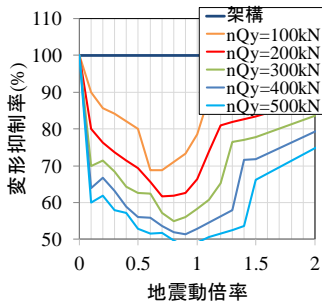


図-8 変形抑制率 (耐力変化)

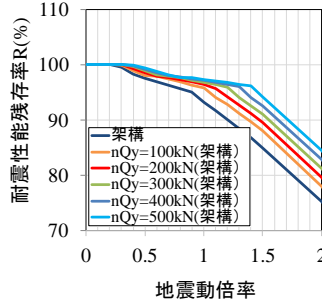


図-9 耐震性能残存率 (耐力変化)

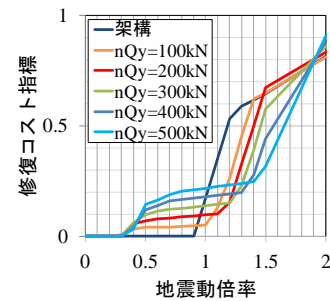


図-10 修復コスト (耐力変化)

を乗じる仮定のもと算出している。

## 2.2 解析モデル

解析モデルは、4層 15m 建物を想定した 1 質点系モデルとし、主架構は、最大耐力  $Q_y=1000\text{kN}$  ( $C_0=0.3$ )、降伏変形角  $1/200\text{rad}$  に固定し、RC 二次壁は剛性・強度を変化させたモデルを設定した (図-3)。

## 2.3 等価粘性減衰定数 $heq$ の設定

等価粘性減衰定数  $heq$  (以下、 $heq$ ) は内部減衰を 5% とし、各変位時のポテンシャルエネルギーに対する消費エネルギー (片押しの履歴面積  $\times 2$ ) の比を  $4\pi$  で除したものとした。架構の履歴特性には Takeda モデル、RC 二次壁は、耐力低下前を Takeda モデル、耐力低下後は原点指向モデルとした (図-4)。なお、本研究では、RC 二次壁崩壊後においても、RC 二次壁が架構に与える減衰効果を考慮するため、主架構の消

費エネルギー量に、崩壊時における RC 二次壁の復元力特性が囲む面積を累加して、架構全体の  $heq$  を算定した (図-5)。

## 2.4 RC 二次壁耐力の影響

図-6 に示すように、RC 二次壁の降伏変形を固定し、耐力のみを変化 ( $nQ_y=100\sim 500\text{kN}$ ) させた際の検討を行う。

図-7~10 に最大応答変形角、変形抑制率、耐震性能残存率  $R$ 、修復コスト指標の比較を示す。耐力が高いモデルほど、変形抑制率や耐震性能残存率  $R$  は高いが、修復コストも地震動倍率が小さい時から高く生じてしまう。地震動倍率 1.5 程度の巨大地震の際は架構全体の修復コストを大幅に下げることが可能だが、地震動倍率 1.0 程度を想定する上では、耐震性能残存率も高く、修復コストも架構に対し半分に抑えることの出来る  $nQ_y=100\sim 200\text{kN}$  モデルが適切であるように思われる。

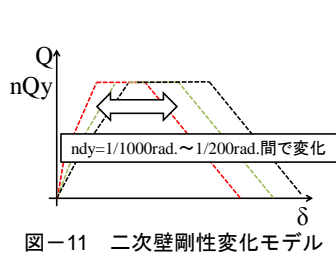


図-11 二次壁剛性変化モデル

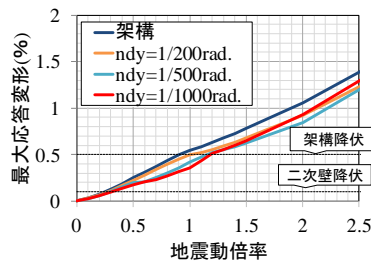


図-12 応答変形（剛性変化）

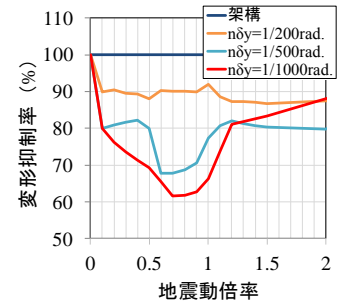


図-13 変形抑制率（剛性変化）

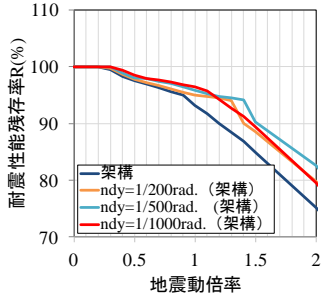


図-14 耐震性能残存率（剛性変化）

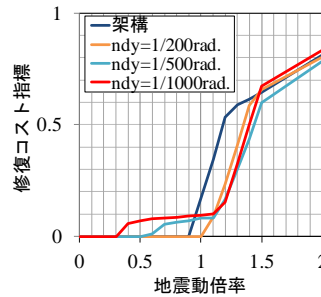


図-15 修復コスト（剛性変化）

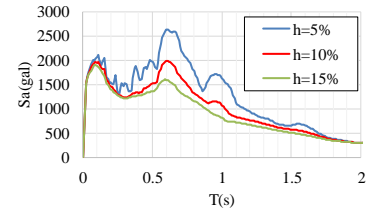


図-16 加速度応答スペクトル

## 2.5 RC 二次壁剛性の影響

図-11 に示すように、RC 二次壁の最大耐力を固定し、降伏点剛性のみを変化 ( $ndy=1/200\sim 1/1000rad.$ ) させた際の検討を行う。

図-12～15 に最大応答変形角、変形抑制率、耐震性能残存率  $R$ 、修復コスト指標の比較を示す。剛性が高いモデル ( $ndy=1/1000, 1/500rad.$ ) は地震動レベルが小さい時に変形抑制効果が高いが、早期に RC 二次壁が壊れてしまうため修復コストは高くなる傾向が見られた。一方で剛性が低いモデル ( $ndy=1/200rad.$ ) は、変形抑制効果は低いものの、大地震レベル時に RC 二次壁が壊れるため、中小地震レベルでの修復コストは低く抑えることが出来ている。

## 3. RC 二次壁の有無による被害の検討

3章では、1章で示した 11 階建て SRC 造実被災建物のフレームモデルを用いた動的解析を行い、RC 二次壁の有無による被害の違いを検証する。並びに 2章での静的解析同様に RC 二次壁耐力をパラメータとした比較を行い、実建物モデルに与える影響を検討した。

### 3.1 動的解析概要

地震動には東北地方太平洋沖地震波（地震動倍率を 0.2～1.0 で変化させた）を用いて、被災建物の動的解析を行う。地震波応答加速度スペクトルを図-16 に示す。その際、初期減衰は 5% とし、減衰モデルには瞬間剛性比例型を設定した。

### 3.2 解析モデル

解析モデルは前述した SRC 造集合住宅（図-17）の Y1 構面とし、RC 二次壁の有無により 2 ケース設定した。代表部材を表-1 に示す。その際、RC 二次壁は X 方向における各梁の中間に剛接合として配置した。尚、架構モデルは  $1/200rad.$  で降伏するモデルとなっている。

### 3.3 RC 二次壁の有無による被害分析

#### (1) 各層の応答変形・変形抑制率

図-18 に地震動倍率を 0.2 倍～1.0 倍に変化させた際の各層の最大応答変形・変形抑制率の RC 二次壁有無の比較を示す。

表-1 代表部材

	1F 柱	1F 梁	1F RC 二次壁
断面図			
b×D	850×850	550×750	1050×150
主筋	16-D25.6-D19	8-D25	D-10@180
鉄骨	BH-600-250-12-22	BH-500-250-12-25	
横筋	D13@100	D13@100	D-10@180

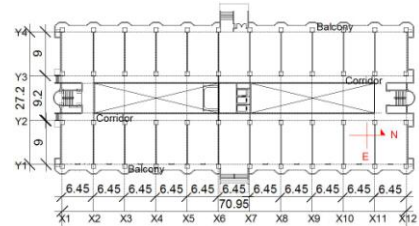


図-17 対象建物

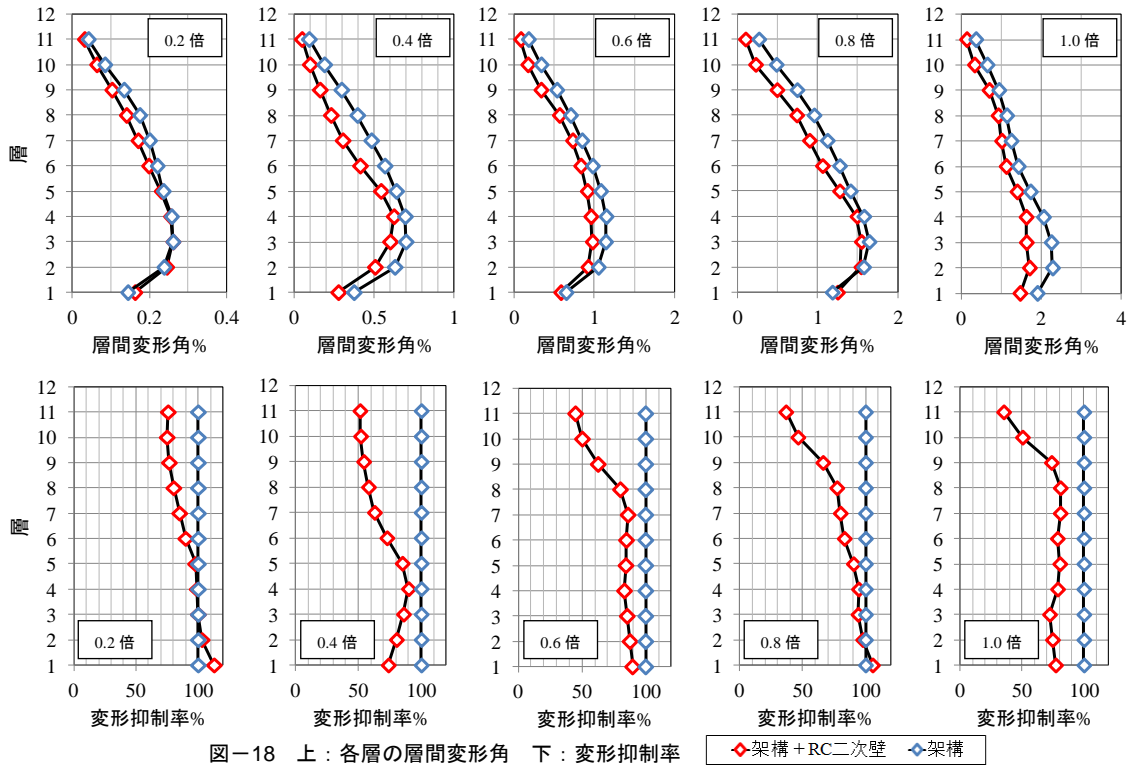
いずれの地震動倍率においても概ね RC 二次壁付架構の方が架構モデルに比べ変形を抑えることが出来ており、地震動倍率 0.2 時は、両モデルともに変形が小さく、層間変形角 0.2% 程度である。地震動倍率 0.4 倍になると、RC 二次壁付架構も層間変形角 0.5% を超え、塑性化が生じた。さらに、地震動倍率を上げた 1.0 倍時は層間変形角が 2.0% を超え、二次壁が完全にせん断破壊しているため、変形抑制に与える効果は殆どないものの、RC 二次壁付モデルの最大応答変形の方が小さかった。

#### (2) 層の塑性化率

各層の塑性化率—地震動レベルの関係を図-19 に示す。二次壁付架構の方が低く、RC 二次壁の効果が大きく表れたのは、塑性率  $\mu=2$  になる割合で地震動倍率 0.6 倍時であり、中小地震レベルで RC 二次壁の効果が期待できる結果となった。

### 3.4 RC 二次壁耐力の違いが架構に与える影響

前述のとおり、地震動倍率 0.4 時に RC 二次壁の層間変形角が 0.5% に至り、塑性化が生じている。そこで、RC 二次壁が架構に対して負担する耐力を 1～5 に変化（実建物の RC 二次壁は 1 割負担モデル）させることで、塑性化を防止でき

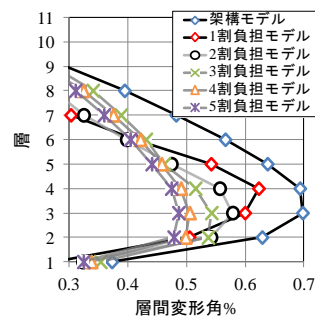
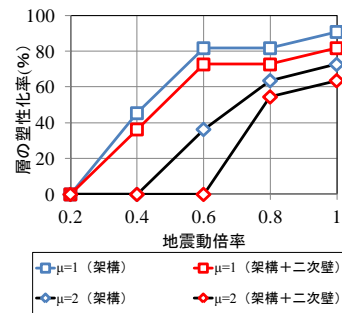


るのか、検証を行った。図-20にRC二次壁の耐力をパラメータとした、各層の応答変形・変形抑制率を示す。1割負担モデルでは、2～5層で塑性化が生じていたが、RC二次壁耐力を上げることで、応答変形が小さくなり、5割負担モデルとすることで、全層の変形角が0.5%以下、つまり塑性化の防止が出来る。これより、実建物モデルでもRC二次壁の耐力を上げる効果を確認できたと言える。一方で上層部は変形が進む層がみられたため、変形の集中する下層部のみRC二次壁の耐力を上げるといった方法も有効である可能性があり、今後検討が必要である。

#### 4. まとめ

本研究では、RC二次壁を耐震要素とする設計法の提案を目的とし、RC二次壁が架構に対して与える影響について検討を行い、以下の知見を得た。

- (1)4層建物を想定した1質点系モデルを用いた静的解析より、RC二次壁の耐力及び剛性が架構全体の応答変形、残存耐震性能R及び修復費用に及ぼす影響を定量的に示した。その結果、耐力、剛性が高いほど、中小地震レベルでの変形抑制効果があるが、修復コストは高くなる。設計時に想定する地震動に対し、適切な性能を有したRC二次壁設計が必要である。
- (2)フレームモデルを用いた動的解析による実被害建物の分析より、当該建物におけるRC二次壁が(東北地方太平洋沖地震波の)各地震動レベルに対する架構の応答変形をどの程度低減させたか定量的に示した。
- (3)実建物モデルに対し、RC二次壁の耐力をパラメータとした動的解析から、RC二次壁の耐力負担を上昇させることで主架構の塑性化及び損傷の軽減に対し、有効であることを示した。



#### 参考文献

- 1) 向井智久：RC造壁付架構の構造特性と損傷状態に関する研究 その1～その4，第14回日本地震工学シンポジウム論文集，p758-794，2014
- 2) 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，2001
- 3) 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建物の耐震性能評価指針(案)・同解説，2004