

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年5月27日現在

機関番号：17701

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2009～2011

課題番号：21560595

研究課題名（和文）：復元力によるモーメントに着目したRC架構の地震後の残留変形抑制に関する研究

研究課題名（英文）：Control of depressing resultant displacements and failures in RC frame subjected to large displacements due to Earthquake.

研究代表者：塩屋 晋一 (SHIOYA SHINICHI)

鹿児島大学・理工学研究科・教授

研究者番号：80170851

研究成果の概要（和文）：鉄筋コンクリート造建物が大地震時に大変形を経験しても、構造体の損傷を軽微に留め、残留変形角を抑制する技術開発である。梁降伏形機構を想定して、梁上端筋を高強度鉄筋にして残留変形抑制機構を部材内部に内蔵させる梁の概念を提案し、制震構造と同様に最大応答後の振動を利用して残留変形を抑制できることを明らかにした。また降伏する1階柱では軸力による復元モーメントにより最大応答後の振動を利用して残留変形が抑制できることを明らかにした。

研究成果の概要（英文）：This project is to develop a structural design that would depress resultant displacements and failures in reinforced concrete building subjected to large displacements due to Earthquake. A concept of RC beams has been proposed, which is to make top reinforcement high strength steel bar and give the beams secondary stiffness after yielding of bottom reinforcement. This make it possible to depress resultant displacements and failures in RC frame subjected to large displacements due to Earthquake.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2010年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2011年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学 建築構造・材料

キーワード：鉄筋コンクリート、損傷抑制、残留変形抑制、柱、梁、ラーメン、制震構造

### 1. 研究開始当初の背景

鉄筋コンクリート構造の耐震構造は地震時には構造体の損傷により振動エネルギーを吸収するため地震後に損傷や残留変形が残り、それらの修復性の改善が今後の重大課題となっている

本研究は、コンクリートを建設現場で一体的に打設する工法(以後、現場打設)の鉄筋コンクリート造(以後、RC造)建物を対象にし、大地震時に大変形(層間変形角が1/50rad.程度の変形)を経験しても構造体の損傷を軽微に留め、残留する層間変形角を使用上問題にならない程度(1/500rad.以内)に抑制する技術とその設計方法の開発を目指している。

### 2. 研究の目的

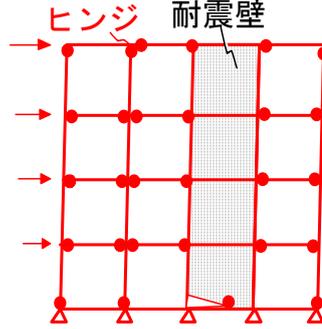
図1に示すように架構の最終降伏機構を想定して、残留回転角を減少させる曲げ降伏ヒンジ(以後、ヒンジ)位置を示す。本研究では復元力と最大応答後の振動によりヒンジの残留回転角を減少させる。ヒンジだけを塑性化させ、これら以外の領域と部材は応力を許容応力度の範囲に留め、補修を必要とする損傷を生じさせない。エネルギー吸収はヒンジ領域の主筋の降伏エネルギーに期待する。研究期間内では以下のことを明らかにすることを目的とした。

#### 1) RC 柱の残留変形を抑制する方法の開発とその効果および抑制条件の解明

図2に示すようにヒンジ領域における、復元力によるモーメント成分復元モーメント $M_o$ と、主筋の圧縮抵抗力により塑性回転角を残留させようとする降伏モーメント成分 $sMy$ の比 $M_o/sMy$ (以後、復元モーメント比 $\gamma$ )を変化させた場合の曲げ降伏型柱の最大変形角と残留変形角の関係、吸収エネルギー量や等価減衰定数の変化を明らかにし、残留変形角を設計で許容する範囲に減少させる条件(特に復元モーメント比 $\gamma$ )を明らかにする。 $M_o$ は除荷後に長期軸力(主に固定荷重)が、引張降伏した主筋を圧縮降伏させようとするモーメント成分である。

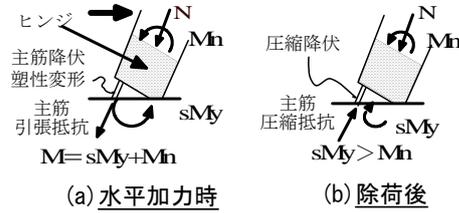
#### 2) RC 梁の残留変形を抑制する方法の開発とその効果および抑制条件の解明

梁では上端筋に高強度鉄筋を配筋して1/40rad.まで弾性抵抗させ、下端筋を普通鉄筋としてエネルギー吸収させる方法の効果を検証する。その1/40rad.までは図3に示すように降伏に二次勾配を發揮する履歴特性にして、制振構造と同様に、最大応答後の残存振動により残留変形角を抑制する効果を明らかにする。



ヒンジ領域以外は許容応力度の範囲に設計して損傷を抑制

図1 降伏機構とヒンジ位置



$$M_n \approx 0.5 \cdot N \cdot D \cdot (1 - \eta) \quad sMy \approx 0.8 \cdot a_t \cdot \sigma_y \cdot D$$

$M_n$ : 柱軸力の復元モーメント  
 $sMy$ : 主筋の抵抗モーメント

$$\gamma = \frac{M_n}{sMy} \quad \gamma \gg 1: \text{残留回転角は減少}$$

$$\gamma = \frac{M_n}{sMy} \quad \gamma \ll 1: \text{残留回転角は残る}$$

図2 復元モーメント比と柱脚の残留回転角の抑制

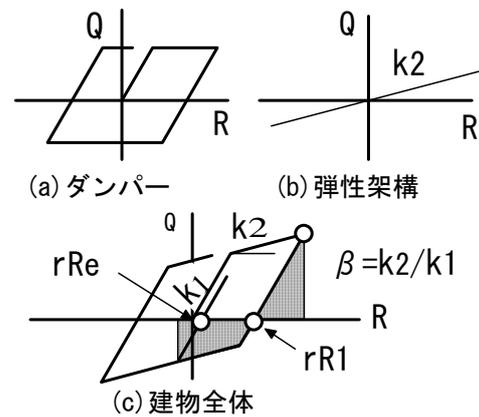


図3 制震構造の復元力特性

### 3. 研究の方法

柱の残留変形を抑制する方法については、柱の復元モーメントを変数として、それを段階的に変化させて、最大経験変形角に対応する残留変形角を特定する加力実験を行って、復元モーメント比と残留変形角の関係、残留

変形を抑制できる条件が明らかになるように計画した。

梁については上端筋の高強度鉄筋の量を変数として、最大経験変形角に対応する残留変形角を特定する加力実験を行って、最大経験角と残留変形角の関係と残留変形を抑制できる条件が明らかになるように計画した。

これらの実験では、地震時の最大応答後の残存振動の効果を利用するために、自由振動による準静的加力を計画した。

#### 4. 研究成果

##### 1) 柱の残留変形の抑制方法と損傷抑制法についての成果

図4に準静的加力実験より得られた、柱で軸力を変化させて復元モーメント比 $\gamma$ を変化させた場合のせん断力-変形角関係の例を示す。 $\gamma$ が大きいと残留変形角が減少する。

図5に残留変形角 $\gamma$ の関係の例を示す。 $\gamma$ が0.5以上であれば1/50rad.を経験しても残存振動の効果により残留変形が許容範囲の1/400rad.以下に抑制できる。また残留変形が決定するメカニズムを明らかにした。

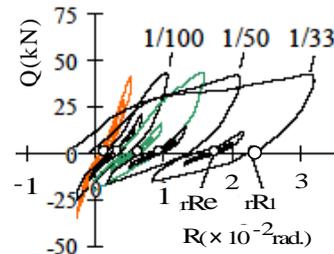
##### 2) 梁の残留変形の抑制方法と損傷抑制法についての成果

上端筋を高強度鉄筋にして二次剛性を与えることにより、残存振動の効果により残留変形を抑制できることを実験で明ら

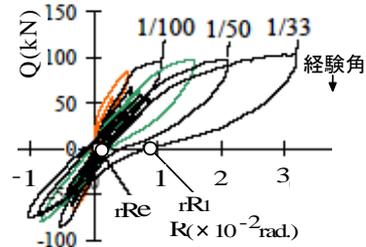
かにし、残留変形の評価式を整備している。損傷抑制については圧縮抵抗筋を配筋する改良を行うと、梁端のコンクリートの圧縮破壊を防止できることを立証している。残存振動を想定した準静的加力実験により得られたせん断力-変形角関係の例を図6(a)(b)に示す。両者は上端筋の強度だけが異なる。上端筋を普通強度にした従来型梁は最大経験角 $R_{max}$ が大きくなると残留変形角 $rRe$ も連動して大きくなる。しかし上端筋を全て高強度鉄筋とした改良型梁は $R_{max}$ が1/40rad.になっても残存振動の効果により $rRe$ が零に近づき、1/40rad.まで上端筋を弾性抵抗させることができた。図7に残留変形角-最大経験角関係の例を示す。改良型梁は最大経験角 $R_{max}$ が1/40rad.になっても残留変形角 $rRe$ を1/800rad.に抑制している。

##### 3) 残存振動による残留変形の抑制効果を非線形時刻歴応答解析により検証した成果

1質点モデルで非線形応答解析を行い、曲げ降伏型RC部材の履歴特性を有するダ



(a)  $\gamma$ が0の場合 ( $\eta=0$ )



(b)  $\gamma$ が1.0の場合 ( $\eta=13\%$ ,  $F_c42$ )

図4 同じ柱で $\gamma$ を変化させたQ-R関係

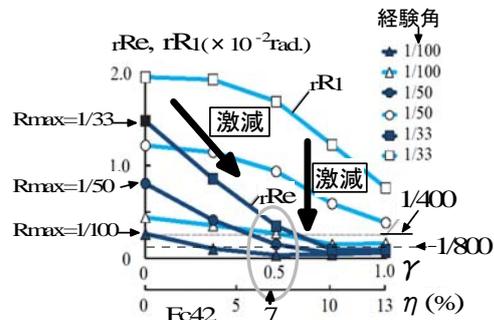
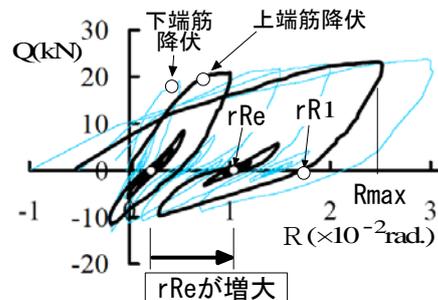
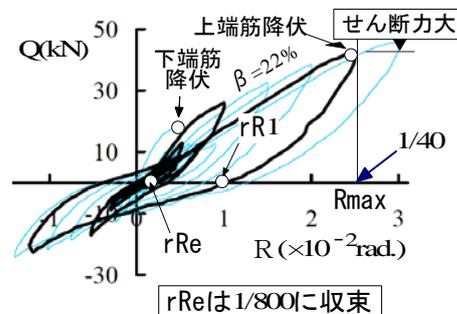


図5  $rRe, rR1 - \gamma$ 関係



(a) 従来型梁(上端:普通鉄筋)



(b) 改良型梁(上端:高強度鉄筋)

図6 梁のせん断力-変形角関係

ンパーの方(図3(b))が完全弾塑性型(図3(a))より残留変形を効率的に抑制でき、図8に示すように $R_{max}$ が1/50の場合、二次剛性比 $\beta$ を5%にすることで残留変形角が零に近づくことを明らかにした。

#### 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6件)

- ① 岡崎駿也, 塩屋晋一, 武矢直子: 残留変形抑制機構を部材内部に内蔵するRC梁の実験的研究, 日本コンクリート工学年次論文集, Vol. 34, No. 3 (2012年7月) 査読有  
<http://data.jci-net.or.jp/intro.html>
  - ② 古賀武司, 塩屋晋一, 武矢直子: 残留変形抑制機構を部材内部に内蔵するRC梁の残留変形を抑制する条件の検証, 日本コンクリート工学年次論文集, Vol. 34, No. 3, (2012年7月) 査読有  
<http://data.jci-net.or.jp/intro.html>
  - ③ 濱崎哲也, 塩屋晋一, 門田基靖: 残存振動による残留変形抑制効果を発揮させるRC柱の実験的研究, 日本コンクリート工学年次論文集, Vol. 34, No. 3 (2012年7月) 査読有  
<http://data.jci-net.or.jp/intro.html>
  - ④ 山田直樹, 塩屋晋一, 佐々木泉: 損傷と残留変形を抑制するRC柱の残留変形角の評価, 日本コンクリート工学年次論文集, Vol. 32, No. 3 (2010年7月) 査読有  
<http://data.jci-net.or.jp/intro.html>
  - ⑤ 今村祐輔, 塩屋晋一, 景山勇輝, 浜岡和史: 高復元性と損傷抑制を有するRC梁に関する実験的研究, 日本コンクリート工学年次論文集, Vol. 32, No. 3 (2010年7月) 査読有  
<http://data.jci-net.or.jp/intro.html>
  - ⑥ 佐々木泉, 塩屋晋一: 復元モーメントに着目するRC柱の地震後の残留変形抑制に関する実験, 日本コンクリート工学年次論文集, Vol. 32, No. 3 (2009年7月) 査読有  
<http://data.jci-net.or.jp/intro.html>
- [学会発表] (計11件)
- ① 岡崎駿也, 塩屋晋一, 武矢直子: 残留変形抑制機構を部材内部に内蔵するRC梁の実験的研究, その1. 提案する残留変形抑制機構と実験概要, 日本建築学会九州支部研究報告, 平成24年3月24日, 北九州
  - ② 武矢直子, 岡崎駿也, 塩屋晋一: 残留変形抑制機構を部材内部に内蔵するRC梁の実験的研究, その2. 残留変形抑制効果と

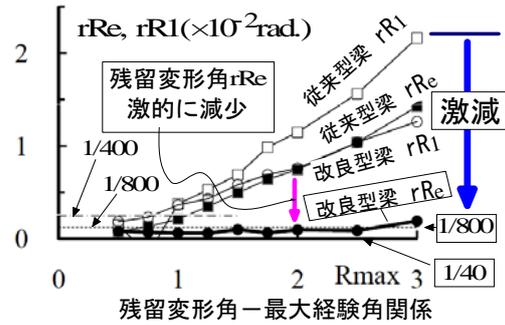


図7 残存振動による残留変形抑制効果

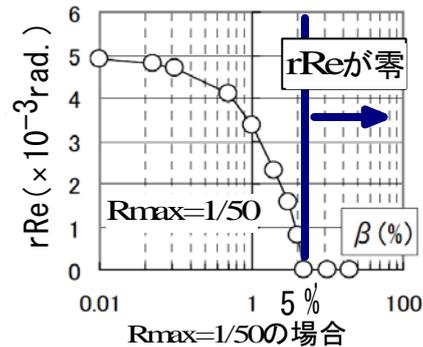


図8 応答解析による二次勾配比 $\beta$ と $r_{Re}$ の関係

条件および梁の力学的特性, 日本建築学会九州支部研究報告, 平成24年3月24日, 北九州

- ③ 武矢直子, 塩屋晋一: 高復元性と損傷抑制を有するRC梁の曲げ降伏後の残留変形抑制に関する研究, その1 最大応答変形後の残存振動による梁の残留変形の抑制効果, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 平成23年8月, 平成23年8月23日, 東京都
- ④ 塩屋晋一, 武矢直子, 山本憲司: 高復元性と損傷抑制を有するRC梁の曲げ降伏後の残留変形抑制に関する研究, その2 残存振動により残留変形が零になる条件式と動的応答解析による検証, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 平成23年8月23日, 東京都
- ⑤ 塩屋晋一, 武矢直子, 山本憲司: 高復元性と損傷抑制を有するRC梁の曲げ降伏後の残留変形抑制に関する研究, その2 残存振動により残留変形が零になる条件式と動的応答解析による検証, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 平成23年8月23日, 東京都
- ⑥ 門田基靖, 濱崎哲也, 塩屋晋一: 復元力によるモーメントに着目したRC柱の地震後の残留変形抑制に関する実験, その1 柱主筋を変化させた場合の研究目的と実験概要, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 平成23年8月23日, 東京都

- ⑦ 濱崎哲也, 門田基靖, 塩屋晋一: 復元力によるモーメントに着目したRC柱の地震後の残留変形抑制に関する実験, その2 柱主筋を変化させた場合の実験結果の考察, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 平成23年8月23日, 東京都
- ⑧ 武矢直子, 塩屋晋一: 梁降伏型RC造ラーメンの損傷と残留変形を抑制する設計法に関する実験的研究, 日本建築学会九州支部研究報告, 平成23年3月6日, 鹿児島
- ⑨ 門田基靖, 塩屋晋一: 復元力によるモーメントに着目したRC柱の地震後の残留変形抑制に関する実験, 日本建築学会九州支部研究報告, 平成23年3月6日, 鹿児島
- ⑩ 塩屋晋一, 今村 祐輔, 武矢 直子: 高復元性と損傷抑制を有するRC梁に関する実験的研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 平成22年9月9日, 富山市
- ⑪ 今村祐輔, 塩屋 晋一: 高復元性と損傷抑制を有するRC梁の開発に関する実験的研究, 日本建築学会九州支部研究報告, 平成22年3月7日, 長崎市

[その他]

ホームページ等

<http://sos.aae.kagoshima-u.ac.jp/11/kenkyuu/kenkyuu.html>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

塩屋 晋一 (SHIOYA SHINICHI)

鹿児島大学・工学部・教授

研究者番号: 80170851