公益財団法人大林財団

研究助成実施報告書

助成実施年度	2022 年度
研究課題(タイトル)	地震ラチェットを受ける RC 造柱の残余構造性能に関する解析的
	研究
研究者名※	鈴木 有美
所属組織※	大阪大学大学院 工学研究科 助教
研究種別	研究助成
研究分野	建築技術
助成金額	150 万円
発表論文等	

※研究者名、所属組織は申請当時の名称となります。

()は、報告書提出時所属先。

大林財団2022年度研究助成実施報告書

研究課題 地震ラチェットを受ける RC 造柱の残余構造性能に関する解析的研究

(概要) ※最大 10 行まで

本研究では、地震時に建物が片側一方向に著しく変形が増大する「地震ラチェット応答」を示 し損傷が片側に集中するような既存鉄筋コンクリート造建物に着目した。最終的にこのような建 物の残余耐震性能の評価方法確立を目指し、本研究では、その初期段階として、地震ラチェット 応答を受けた RC 造柱部材についてパラメトリック解析を用いた数値解析による分析をもとに、 残余構造性能を数値解析により明らかにした。

1. 研究の目的

(注) 必要なページ数をご使用ください。

現行の建築基準法のもと設計された建物では、大規模な地震災害時にある程度損傷しても人的 被害をもたらす過度な損傷や崩壊をしないような安全性を確保した耐震設計がなされている.近 年では、建築構造による人的被害の抑制に一定の成果が出ていることから、社会的機能の早期復 旧に繋がる継続使用性改善のニーズも高まっており、研究が盛んにおこなわれている.鉄筋コン クリート(以下 RC)造建物では、安全性の確保と継続使用性を妨げる主要因として構造部材の損 傷一例えば、コンクリートのひび割れや剥落、重度なものでは鉄筋の破断や部材の脆性破壊等一 が挙げられる.

一方,過去の地震被害では,建物の片側一方向に著しく変形が増大することでこのような損傷 が片側に集中する事例が確認されてきている¹⁾.この挙動は「地震ラチェット」と呼ばれ,RC部 材への非対称な損傷の発生や建物片側への残留変形の増大に寄与し,予期せぬ地震応答性状の変 化(ねじれなど)を引き起こす要因となりうる.その非対称な損傷や残留変形から将来的な地震 ラチェットの危険性がさらに高まることから,地震ラチェットは建物の安全性や継続使用性に悪 影響を与える因子であるといえる.しかしながら,地震ラチェットを示した建物が地震後にどの ような残余構造性能を有し,将来的な地震応答にどのような影響を与えているか未だ明らかにな っていない.

以上の背景より,地震ラチェットを示す建物の残余性能の評価法確立を目指し,本研究ではそ の初期段階として,ラチェット応答を受けた構造部材の残余構造性能について数値解析を用いて 明らかにする

所属機関名 大阪大学大学院工学研究科 申請者氏名 鈴木 有美

【研究対象および研究方法】

本研究では,研究代表者が文献2)で実施した鉄筋コンクリート造柱に対する構造実験を対象 とした。図1に,その載荷装置概略図を示す。当該実験では柱上部のジャッキとピン支持した 載荷梁とPC鋼棒により圧縮軸力200KN(軸力比で0.11に相当)を導入し,柱脚端部から高さ1.3 mの位置に接続した水平アクチュエータにより静的加力を実施した。その際,載荷は載荷位置 での変位制御とし,載荷プロトコルは静的載荷実験で一般的なの正負対称繰り返し載荷ではな く,実際の地震応答変位歴を反映した載荷プロトコルとした(詳細は後述)。



図1 研究対象とした柱の載荷試験図²⁾

建物全体の地震ラチェット指標としては例えば文献 3) や文献 4)によるものが挙げられるが, 建物を構成する構造部材の非対称な応答変形の指標ではないため、本研究では、経験した最大 変形角(DR_{forward})および逆方向での最大変形角(DR_{reverse})に基づいた Drift ratcheting index (DRI,式(1))を構造部材の地震ラチェットの程度を表す指標として式(1)により定義した。

$$DRI = \frac{DR_{forward}}{DR_{reverse}} \ge 1.0 \tag{1}$$

すなわち, DRI = 1.0 で応答変形が対称であり, DRI の増加に伴い地震ラチェットによる応答 変形の偏りが大きくなることを意味している。

研究対象とした既往の実験の載荷プロトコルは、DRI = 1.4 から2.0 であった。したがっ て、本研究では負側の最大応答変形を基準とし、DRI = 1.0~2.0 の範囲で、パラメトリック解 析用の載荷プロトコル(図2)を作成し、数値解析を実施した。図2の載荷プロトコルを用いた 解析では、各サイクル(正側半サイクル+負側半サイクルで1サイクル)での等価消費エネル ギーを、文献5)に基づき以下の式(2)と式(3)より算定した。

$$h_{eq} = \frac{1}{4\pi} \frac{\Delta w}{1/2 V_C DRq} \tag{2}$$

$$q = \frac{1 + \delta^{-} / \delta^{+}}{2} = \frac{1}{2} \frac{1 + DRI}{DRI}$$
(3)

また,図2で作成した載荷プロトコルの直後に図3のようにプッシュオーバー解析をするこ とで,残余構造性能(特に、残余等価剛性と残留変形)の把握を目指した。図4に示すよう に,地震ラチェット載荷後の残留変形はプッシュオーバー解析で得られる性能曲線とせん断力 =0kNの線の交点とし(図4a),残留剛性は文献6)をもとに最大耐力の70%を目指す割線剛性 とした(図4b)。



【参考文献】	
1) MacRae, G., Lee, CL., & Yeow, T. (2022, September 11). Considerations for seismic	
ratcheting. the Asia Conference on Earthquake Engineering, Taipei, Taiwan.	
2) Suzuki, T. (2022). Seismic Response of Existing Reinforced Concrete Buildings Subjected	
to Inelastic Torsion [PhD, the University of Auckland]. https://hdl.handle.net/2292/61438	
3) CCBFC. (2015). National Building Code of Canada: 2015. National Research Council of	
Canada. <u>https://doi.org/10.4224/40002005</u>	
4) SNZ. (2016). NZS 1170.5:2004 Structural design actions-Part5: Earthquake actions-New	
Zealand.	
5) Inai, E., Kitamura, K., Marubashi, N., & Hiraishi, H. (2010). Study on Earthquake Response	
and Equivalent Linearlization Method of Reinforced Concrete Buildings. Journal of Structural	
and Construction Engineering (Transactions of AIJ), 75(650), 859-868.	
https://doi.org/10.3130/aijs.75.859	
6) Marder, K., Elwood, K. J., Motter, C. J., & Clifton, G. C. (2020). Post-earthquake	
assessment of moderately damaged reinforced concrete plastic hinges. Earthquake Spectra,	

36(1), 299-321. https://doi.org/10.1177/8755293019878192

3. 研究の成果

(注) 必要なページ数をご使用ください。

【パラメトリック解析による検討結果】

地震ラチェット下の RC 造柱の挙動

パラメトリック解析で得られた結果のうち,一例として Fiber モデルを用いた解析により得られたせん断力—変形角関係のグラフを図5に示す。図中の青実線は地震ラチェット載荷によるせん断力—変形角の履歴,黒点線はその後のプッシュオーバー解析により得られた性能曲線を示している。





 地震ラチェット載荷時の各サイクルの等価消費エネルギーは、DRI が1に近づくほど(地震 ラチェットの影響が少ないほど)大きくなる傾向がある。このことから、地震ラチェットの 影響を受ける RC 部材は、最大応答変形に対してエネルギー吸収が小さくなる可能性を示唆 していると考えられる。

• 地震ラチェットを受けた部材の残留変形は、DRIの増加に対してほぼ線形的に増加する。

地震ラチェット載荷後の RC 造柱の残余等価剛性は、DRI の増加に伴いほぼ線形に減少する。その減少の程度は、地震ラチェットの影響が大きい(今回の検討で DRI の増加に伴い最大変形が増大している)正側で特に大きいことが確認された。最大応答変形が DRI に伴い増大しない(一定としている)負側でも、DRI の増加に伴い残余等価剛性の低下が見受けられたことから、地震ラチェットは最大応答変形を示す方向とその逆方向の両方向について、残余剛性を低下させる可能性が示された。

なお、本研究の成果の一部は以下の国際セミナーにおいて研究発表された(Proceedings および 口頭発表)。

T. Suzuki, Numerical Study on Residual Performance Characteristics of RC Columns Subjected to Seismic Ratcheting., the 24th Japan-Korea-Taiwan Seminar on Earthquake Engineering for Building Structures (SEEBUS2023), Dec 1-2, 2023, Taipei, Taiwan.

4. 今後の課題

(注) 必要なページ数をご使用ください。

前述の研究成果は,既往の構造実験をもとにした限定的な柱の諸元に対するパラメトリック 解析に基づく結果であり,今後建物全体の残余耐震性能を把握するために,特に以下の点について検討が必要である。

- ・高圧縮軸力・変動軸力を受ける RC 造柱
- ・RC造梁, RC造壁への影響
- ・脆性型 RC 部材への影響
- ・最大応答変形の変動を考慮した地震ラチェットの構造性能に対する影響

また,上記のような様々な検討も含め,地震ラチェット応答を考慮した構造実験により数値解 析の精度を検証する必要もある。