

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

論題(和文)	ひずみ時効による降伏強度上昇を反映したRC造建物の耐震性への影響評価
Title(English)	Evaluation of the impact of Increase in yield strength due to strain ageing on the seismic resistance of RC building
著者(和文)	岡村光晋, SHEGAY ALEX, 佐藤大樹
Authors(English)	Koshin Okamura, Alex Shegay, Daiki Sato
出典(和文)	日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造IV, , pp. 25-26
Citation(English)	, 構造IV, , pp. 25-26
発行日 / Pub. date	2025, 9
権利情報	一般社団法人 日本建築学会

## ひずみ時効による降伏強度上昇を反映した RC 造建物の耐震性への影響評価

ひずみ時効 鉄筋  
補修正会員 ○岡村光晋\*<sup>1</sup> 正会員 Alex Shegay\*<sup>2</sup>  
正会員 佐藤 大樹\*<sup>3</sup>

## 1. 序論

近年、地震で損傷した建物の補修や再利用の意義が強まっている<sup>1)</sup>。補修後の建物の耐震性能変化の一つの要因としてひずみ時効という現象がある。ひずみ時効とは、塑性ひずみを与えた後に、時間の経過とともに強さや弾性限の上昇、降伏点の再現などの起こる現象<sup>2)</sup>である。鉄筋の耐力上昇は崩壊モードを移行させる恐れがあるなど、ひずみ時効は RC 造建物の耐震性に影響を及ぼす恐れがある。

既往研究<sup>3,4)</sup>では鉄筋について、ひずみ時効による特性変化を予測する式の構築を行った。そこで、本報ではひずみ時効による降伏強度上昇を反映した建物モデルの耐震性への影響の評価を行う。

## 2. 建物モデル概要

ひずみ時効による強度上昇を反映した建物モデルを作成し、その応答を解析することで、ひずみ時効による耐震性への影響を評価する。ひずみ時効による強度上昇が発生した際に考えられる耐震性への影響として、梁の強度の上昇に起因する柱梁強度の逆転、層崩壊が挙げられる。一方で現在の基準で設計された RC 造建物<sup>5)</sup>は十分な柱梁強度比  $M_C/M_B$  を確保しており、柱梁強度の逆転が発生しないと考えられる。そこで、柱の細いモデルを作成し、より大きい地震波を入力することによって、どのようなケースでひずみ時効による柱梁強度の逆転が起こるかを探ることを目的とする。

## 2.1 強度上昇前の建物モデル概要

検討対象建物は構造設計・部材断面事例集<sup>5)</sup>内にある 10 階建ての鉄筋コンクリート造建物である<sup>6)</sup> (各種図面を図 1 に示す)。本建物は雑壁を持たない純ラーメン構造であり、梁が柱に先行して曲げ降伏する。これを RESP-D を用いてモデル化し、地震動を与えて応答を解析した。また、柱幅を 0.9 倍にし、鉄筋比が一定になるよう調整したモデルも併せて作成した。 $M_C/M_B$  の平均値から、柱幅が 1 倍のモデルを Model\_1.9、0.9 倍のモデルを Model\_1.4 とする。

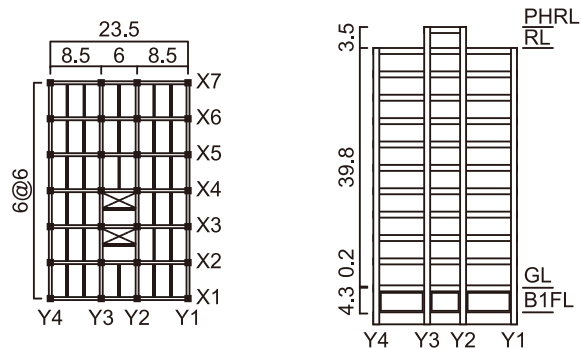
地震波には Trifunac 法を用いて算出した最大速度が 50 kine となるよう調節した 1 倍波を基準とし、1 倍波、2 倍波および 3 倍波を使用する。

## 2.2 強度上昇を反映したモデルの作成

強度上昇モデルの作成の際には、1 回目の地震による損傷から十分な時間が経過しており (ひずみ時効が十分に発生している)、コンクリート部の損傷は適切に補強が加えられている (コンクリート部の損傷による剛性および耐力

の低下は考えない) と仮定した。

Model\_1.9 および Model\_1.4 に 1 倍波を入力し、大梁主筋ひずみ  $\epsilon$  を算出、降伏強度変化率  $\beta_Y$  の予測式<sup>3)</sup>を用いてひずみ時効による降伏強度上昇を反映させた。各層の代表的大梁主筋のひずみ時効による降伏強度上昇の倍率を表 1 に示す。なお、背景色が橙色のものは十分に大梁主筋のひずみが発生し、大きく強度上昇を起こしたことを示している。また、Model\_1.9 および Model\_1.4 の強度上昇前後の柱脚部の代表的大梁強度比  $M_C/M_B$  を表 2 に示す。表 2 より、Model\_1.9 では強度上昇前後共に  $M_C/M_B$  が 1 を上回っているのに対し、Model\_1.4 は強度上昇後に 2 階および 10 階で柱梁強度の逆転を起こしている。



(a) 基準階平面図 (b) X1 通り軸組図

図 1 検討対象建物概要

表 1 ひずみ時効後の代表的大梁の降伏強度の倍率

	Model_1.9	Model_1.4
9F ~ PHR	1.04	1.04
2F ~ 8F	1.15	1.15
1F	1.04	1.04

表 2 モデルの柱脚部柱梁強度比

(1 を下回るものは背景を橙色にする)

	Model_1.9		Model_1.4	
	強度上昇前	強度上昇後	強度上昇前	強度上昇後
RF	2.21	2.13	1.52	1.46
10F	1.52	1.47	0.99	0.96
9F	1.65	1.59	1.11	1.07
8F	1.70	1.48	1.28	1.12
7F	1.81	1.57	1.38	1.20
6F	1.57	1.37	1.21	1.05
5F	1.74	1.51	1.36	1.18
4F	1.40	1.21	1.09	0.95
3F	1.61	1.40	1.25	1.09
2F	1.67	1.45	1.31	1.14
1F	2.86	2.76	2.26	1.96

なお、材端ばねモデルの地震応答解析から直接大梁主筋ひずみ  $\varepsilon$  を求めることは出来ないため、図2の橙色線に示すような、梁部材実験<sup>7)</sup>の結果を用いた大梁回転角  $\theta$  に対する  $\varepsilon$  の予測式(式2)を作成し、使用した。

$$\varepsilon = \frac{1.9}{1 + e^{(-1400\theta+4)}} \quad (2)$$

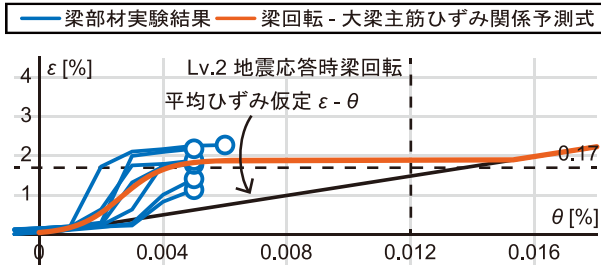


図2 大梁回転角に対する大梁主筋ひずみの関係

### 3. 強度上昇モデルの耐震性評価

2.2節で作成した強度上昇モデルに1倍波、2倍波および3倍波を入力し、その応答を比較する。解析の結果得られた層間変形角を図3に示す。図3より、ひずみ時効による降伏強度上昇前では応答が小さかった上部層について、強度上昇を反映したモデルの応答が増大している。これは強度上昇以前には塑性変形を起こしていた部材が塑性変形を起こさなくなったため、そのエネルギーが弾性変形に変換されたためであると考えられる。また、図3(b)より、Model\_1.4はひずみ時効を反映した際に計算結果が発散している。これは層崩壊を起こしたためであると考えられ、表2よりModel\_1.4は強度上昇で柱梁強度比が1を下回った接合部があるため、柱梁強度の逆転によって層崩壊が発生したと考えられる。

この層崩壊の原因である柱梁強度の逆転を防ぐためには、ひずみ時効により大梁の降伏強度  $M_B$  が上昇した後も柱の降伏強度  $M_C$  の方が大きければよいと考えられる。原則として両者の値が鉄筋の降伏強度に比例する<sup>8)</sup>ため、強度上昇前の  $M_C / M_B$  がひずみ時効による鉄筋の降伏強度上昇  $(1 + \beta_Y)$  を上回ればよいと考えられる。これは最大でも概ね1.15程度の値となる<sup>3)</sup>ため、現行の基準<sup>8)</sup>である1.20を上回れば柱梁強度の逆転に起因する層崩壊は防げると考えられる。

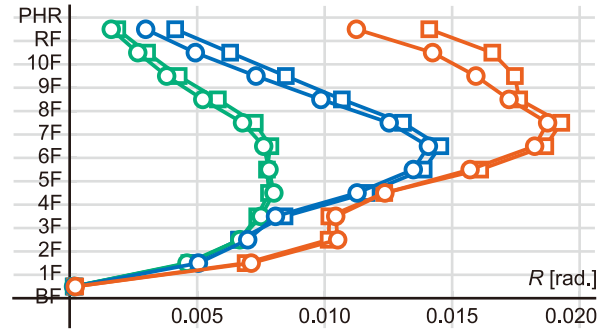
### 4. 結論

本報ではひずみ時効による鉄筋の特性変化を反映した際のRC造建物の耐震性への影響を評価するため、ひずみ時効による降伏強度上昇を反映した建物モデルへの地震応答解析を行った。確認した事項を以下に示す。

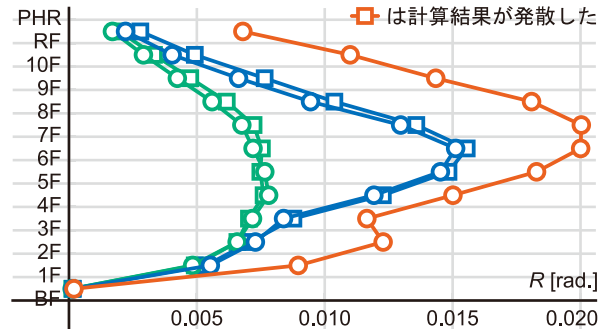
- (1) ひずみ時効による大梁主筋の特性変化を反映した解析モデルに再度地震波を入力して応答を解析した際、検討した範囲では、ひずみ時効による強度上昇後に柱梁強度比が1に満たない一部のケースで柱梁強度の逆転に起

因する層崩壊が起こる恐れがあることを確認した。

- (2) この柱梁強度比の逆転を防止するためには、ひずみ時効による大梁の降伏強度上昇を上回る柱梁強度比での設計を行えばよいと考えられ、現行の基準である1.20を上回れば柱梁強度比の逆転は防げると考えられる。



(a) Model\_1.9



(b) Model\_1.4

図3 地震応答解析結果

### 謝辞

本研究に当たり、東京鐵鋼(株)の各位には貴重なご助言を賜りました。本研究はJSPS科研費22K14315の助成を受けたものです。ここに記して謝意を表します。

### 参考文献

- 1) Resilient Repair Guide Source Report: Post-Earthquake Assessment of Reinforced Concrete Buildings, Applied Technology Council, 517p, 2021
- 2) 宮川大海. 金属材料工学 改定・SI版, 2019
- 3) 岡村光晋, Alex Shegay, 佐藤大樹. ひずみ時効による鉄筋の特性変化の予測式の構築, 日本建築学会技術報告集, 30(76), pp. 1263-1268, 2024
- 4) 岡村光晋, Alex Shegay, 佐藤大樹: 繰返し載荷を受けた鉄筋のひずみ時効による特性変化, 日本建築学会関東支部研究報告集, 2035, pp.361-364, 2025
- 5) 構造設計・部材断面事例集, 日本建築防災協会, 2007
- 6) Koshin OKAMURA, Alex SHEGAY, Daiki SATO, Masaki MAEDA: Strain ageing effects in reinforcing bars subjected to earthquake damage, fib Symposium 2024 in New Zealand, pp.2471-2480, 2024
- 7) 三浦耕太, 永井智基, 参川朗, Alex Shegay, 穴吹拓也, 張政, 前田匡樹, 米澤健次, 関松太郎, 水越一晃. RC造曲げ降伏型部材の補修後の構造的な性能と損傷性状に関する静的載荷実験 その1~その5, 日本建築学会学術講演梗概集, pp. 425-434, 2022
- 8) 日本建築学会, 鉄筋コンクリート構造計算基準・同解説, 2018

\*1 清水建設株式会社 (元東京科学大学)  
 \*2 オークランド大学 土木環境工学部 講師・Ph. D.  
 \*3 東京科学大学 総合研究院 准教授・博士(工学)

Shimz Corporation (Former Institute of Science Tokyo)<sup>\*1</sup>  
 University of Auckland, Civil and Env. Dept., Lecturer<sup>\*2</sup>  
 Associate Professor, IIR., Institute of Science Tokyo, Dr.Eng.<sup>\*3</sup>