

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	地震時のRC造建物の鉄筋に発生するひずみの分析 その2 RC梁部材に対する実験結果
Title(English)	Analysis of strain generated in reinforcing bars of RC buildings during earthquakes Part 2: Experimental results for RC beam members
著者(和文)	岡村光晋, 前田匡樹, Alex Shegay, 佐藤大樹
Authors(English)	OKAMURA Koshin, MAEDA Masaki, Alex SHEGAY, SATO Daiki
出典 / Citation	日本建築学会関東支部研究報告集, , , pp. 285-288
Citation(English)	, , , pp. 285-288
発行日 / Pub. date	2024, 3
権利情報	一般社団法人 日本建築学会

地震時の RC 造建物の鉄筋に発生するひずみの分析 その 2 RC 梁部材に対する実験結果

構造—鉄筋コンクリート構造

正会員 ○ 岡村 光晋*1 正会員 前田 匡樹*2
" Alex Shegay*3 " 佐藤 大樹*4

ひずみ時効 鉄筋
補修 梁実験

1. 序論

本報その 1 では材端ばねモデルを用いて RC 造 10 層建物に対して地震応答解析を行い、大梁内の主筋のひずみ時刻歴を導出した。本報その 2 では、三浦ら⁹⁾が行った実験結果と比較し、解析で得た値の妥当性の検証を行う。

2. 実験概要

2.1. 試験体概要

試験体は、既往の研究で行われている振動台実験⁷⁾の 4 層架構 1/4 縮小試験体の梁を縮尺 1/2 にした梁試験体とし、新設試験体として同一の配筋で 3 体製作した。試験体の一覧を表 1 に、試験体作成に用いたコンクリートと鉄筋の材料試験結果を表 2 に、配筋を図 1 にそれぞれ示す。

2.2. 計測方法

ここでは RC 梁部材の回転および主筋ひずみの計測方法

表 1 試験体一覧

試験体	目標 損傷度	断面 [mm]	配筋
G2	II	200×280	主筋：3+3-D13 補強筋：2-D6@65
G4	IV		
G5	V		

表 2 材料試験結果

(a) コンクリート

試験体	呼び強度 [N/mm ²]	材齢 [日]	ヤング係数 [N/mm ²]	圧縮強度 [N/mm ²]
G2	42	75	3.28×10 ⁴	48.6
G4		74	3.31×10 ⁴	48.0
G5		63	3.27×10 ⁴	49.3

(b) 鉄筋

径(材種)	ヤング係数 [N/mm ²]	降伏強度 [N/mm ²]	引張強度 [N/mm ²]
D13(SD345)	1.87×10 ⁵	380	562
D6(SD295)	1.76×10 ⁵	364	546

について示す。図 2 に試験体の計測器セットアップ図を示す。図 2 に示すように、試験体に 18 個の CDP (GbE1~GbE9, GbW1~GbW9) を設置することで部材変形を測定している。梁幅 280 mm の試験体であるため、本報その 1 の式(1)よりヒンジ長さを 140 mm と仮定し、ヒンジ内にある 4 つの CDP の測定結果 (GbE1, GbE2, GbW1, GbW2) から、式(3)を用いて梁の回転角を算出した。また、図 2 に示す通り 6 本ある主筋の内 4 本 a, b, c, d について、図 1 の赤丸部に示す 3 段にひずみゲージを貼り付けることで主筋ひずみを測定した。なお、2 段目以降については主筋 a, b のみ測定を行った。

$$\theta = \frac{((GbE1) - (GbW1)) + ((GbE2) - (GbW2))}{(\text{CDP の標点間距離})} \quad (3)$$

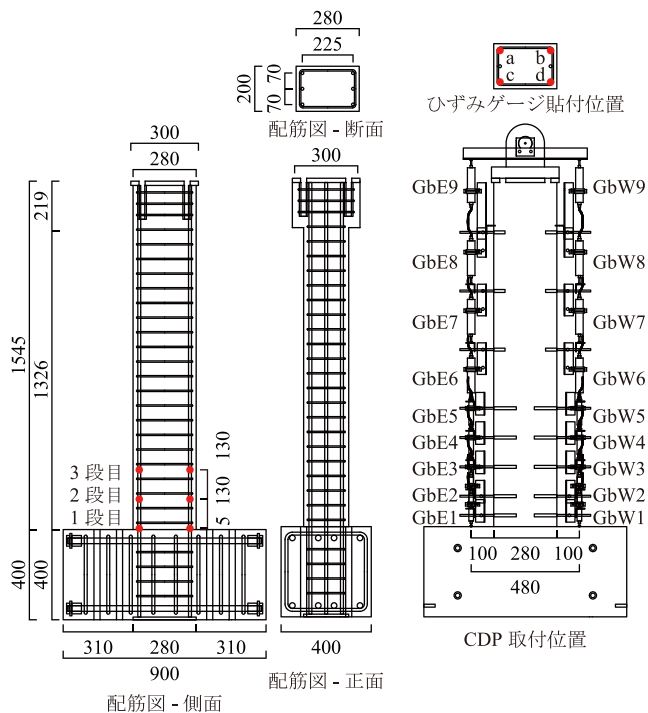


図 1 試験体配筋図

図 2 セットアップ図

2.3. 加力計画

試験体の加力サイクルを図3に示す。図3に示すように本実験では各変形角で2回の繰り返しを行った。図3内にはG2およびG4試験体が加力を終了するタイミングを示している。また、G5試験体は20サイクルが終了した後、破壊に至るまで加力を行った。

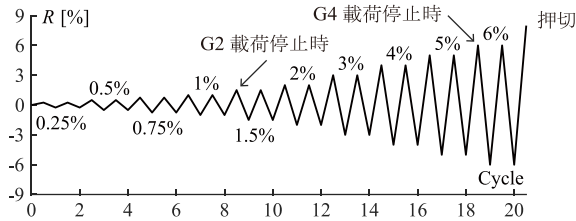


図3 加力サイクル図

3. 実験結果

3.1. 梁回転および主筋ひずみ時刻歴

各試験体について、梁回転の時刻歴を図4、主筋ひずみの時刻歴を図5にそれぞれ示す。なお、図4には本報その1内の解析で得られた最も大きい梁回転である0.012 radを点線でプロットしている。図5より主筋はある程度

引張変形した後に圧縮方向に変形すると図4に示す梁回転時刻歴の振幅が徐々に増加するのとは異なり、振幅が減少する動きを示すことが見て取れる。これはひずみゲージが繰り返し荷重を受けると精度を落とすためであり、本報ではそれぞれのひずみゲージについてひずみが最大値となった以後の計測結果は用いないものとする。

3.2. 解析値に対する実験値の差異

続いて、本報その1で行った解析との差異を確認する。まずは本報その1の式(1)、(2)と同様の方法を用いて試験体の梁回転-主筋平均ひずみ倍率 ϵ_{ave} / θ を算出する。表3にその結果を示す。なお、試験体はスラブの影響を考えないため、 ϵ_{ave} / θ は引張時と圧縮時の2通り考えられる。

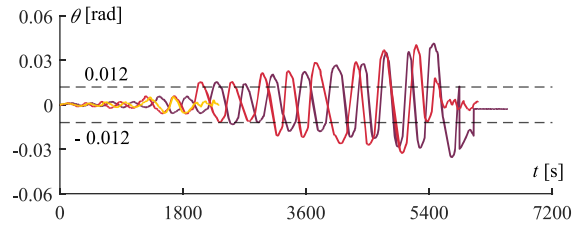
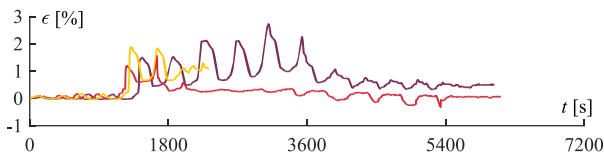
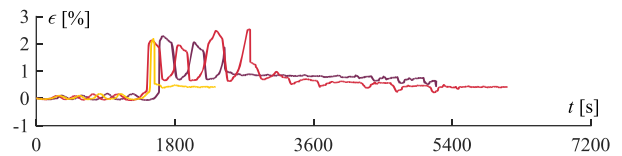


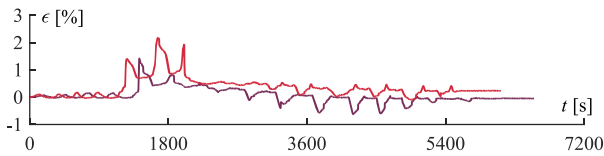
図4 梁回転時刻歴



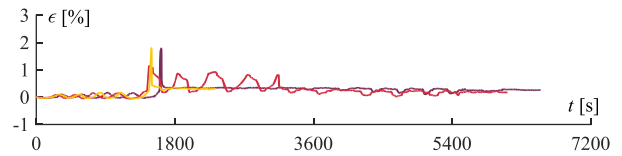
(a) 1 段階目 a(E側)



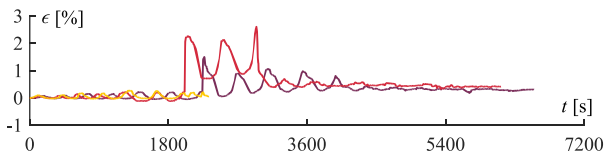
(b) 1 段階目 b(W側)



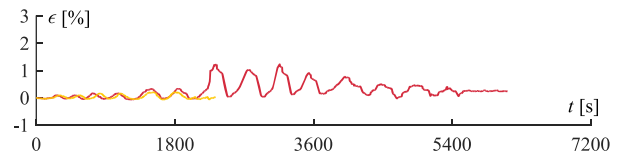
(c) 1 段階目 c(E側)



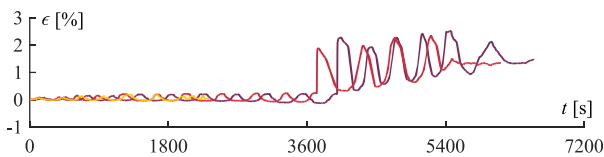
(d) 1 段階目 d(W側)



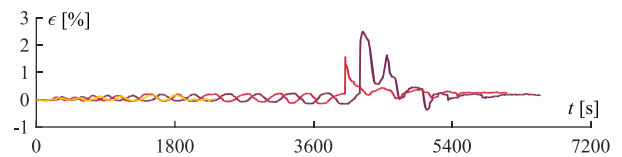
(e) 2 段階目 a(E側)



(f) 2 段階目 b(W側)



(g) 3 段階目 a(E側)



(h) 3 段階目 b(W側)

図5 主筋ひずみ時刻歴

表 3 試験体の梁回転-平均ひずみ倍率

引張時	圧縮時
1.24	0.36

実験の結果得られた梁回転-主筋ひずみ関係を図 6 に示す。図 6 について、試験体 G4, G5 の結果は梁回転部材が 0.012 rad に達する以前のみプロットし、黒線は表 3 に示される引張時および圧縮時の梁回転 - 平均ひずみ倍率を示している。なお、E 側の破線に対して W 側の黒線が対称なのは両者が梁部材内で対象の位置にあり、一方が引張を負担する際もう一方は圧縮を負担するためである。図 6 より 1, 2 段目の一部の鉄筋について、本報その 1 で用いた推定式を超えるひずみ ϵ を示し、本報その 1 の解析で得られた主筋平均ひずみの最大値が 1.7 % であるのに対し最大で 1.6 倍となる 2.7 % を示した。また鉄筋のひずみ ϵ が 2 % を超えているため、岡村ら³⁾が示す通り、ひずみ時効が発生した際に降伏強度が 1.2 倍程度まで上昇することが予測される。

図 7 に実験結果の梁回転 θ に対する主筋の引張ひずみの最大値 ϵ_{max} の関係を示す。なお、黒線は表 3 に示される引張時の梁回転 - 平均ひずみ関係 ϵ_{ave} / θ を示している。図 7 より、多くの主筋が载荷の途中で 2 % 程度まで急激にひずみを増大することが確認できる。これは主筋が降伏を起こすためである。また、急激に鉄筋ひずみが増大するタイミングは 1 段目、2 段目、3 段目の順番に早いことが確認できる。そのため、梁部材内の鉄筋は柱に近い順に降伏し、ひずみを伸ばすことが確認された。なお、 θ が 0 の時点で平均ひずみを超えるひずみを示す主筋はある程度まで圧縮変形したものが引張側へ変形した際に降伏を起こしたものである。また、塑性ヒンジ領域外である 3 段目の主筋は梁回転が 0.012 rad 以内では降伏が発生していないことが確認できる。

図 8 に梁回転-主筋ひずみの倍率の最大値 ϵ_{max} / θ を示す。図 8 の黒線部に示す梁回転-平均ひずみ関係 ϵ_{ave} / θ は実験の値と異なり、特に 1, 2 段目では実験で得た主筋ひずみが平均ひずみの 3 倍以上となる事例もあった。そのためそ

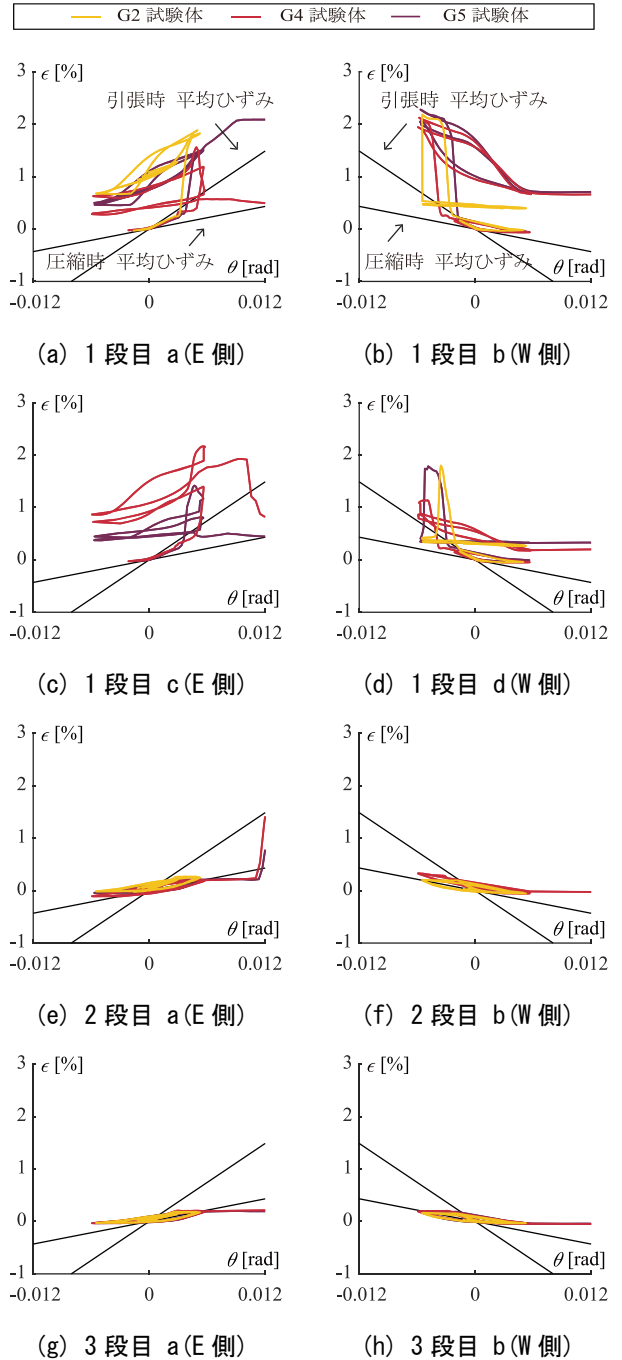


図 6 梁回転と主筋ひずみの関係

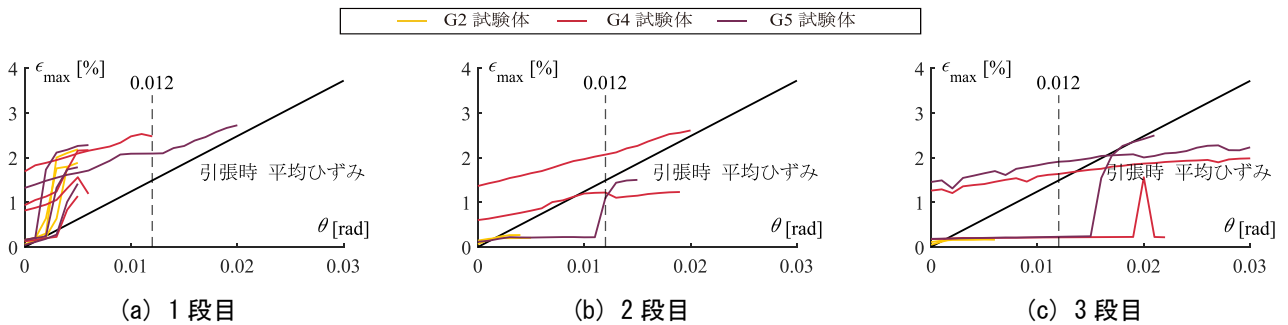


図 7 梁回転と主筋ひずみの最大値の関係

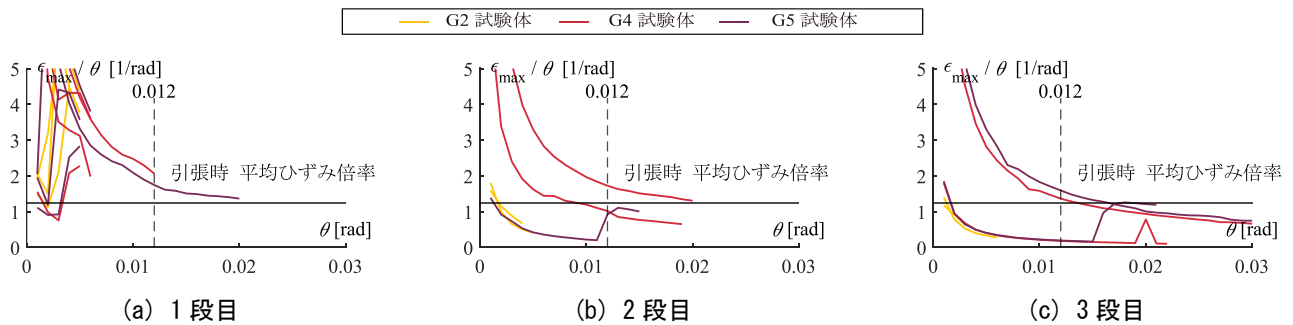


図8 梁回転と梁回転-主筋ひずみ倍率の最大値の関係

の1で行った主筋の平均ひずみの導出方法は、実験で計測した局所的な主筋ひずみとは大きく異なる値を示し、地震時に発生すると考えられる梁回転が0.012 rad以内の変形についても、1段目のような柱に近い位置の主筋や一度ある程度まで圧縮変形を起こした主筋は平均ひずみより大きいひずみが発生する可能性が考えられる。

4. 結論

本報その2では、縮尺1/2の梁試験体3体について、ヒンジ領域の主筋ひずみの測定結果を検討した。得られた結論について以下に示す。

- 1) 実験の結果から塑性ヒンジ内の梁回転および鉄筋ひずみの時刻歴を求め、その1で得られた最大速度が50 cm/sの地震時に発生すると考えられる0.012 rad以内の梁回転について、最大で2.7%の鉄筋ひずみが発生することを確認した。これは本報その1で得られた主筋平均ひずみの最大値の1.6倍程度であり、岡村ら³⁾が示す、ひずみ時効が発生した際に降伏強度が1.2倍程度まで上昇する恐れのあるひずみである。
- 2) 本報その1の地震応答解析で得られた、梁回転-主筋平均ひずみ関係を上記の結果と比較した際、特に柱部付近の主筋や一度圧縮変形を起こした主筋では実験結果が平均ひずみと比べ大きな値を示したため、平均ひずみを用いて梁回転から鉄筋ひずみを導出する手法は危険である。

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。本報その2の実験は東北大学前田研究室と大林組の共同研究として実施したものです。また、本

実験の一部は JST 産学共創プラットフォーム共同研究推進プログラム・大規模都市建築における日常から災害時まで安心して社会活動が継続できる技術の創出(領域統括: 吉敷祥一 東京工業大学教授, 課題番号 JPMJOP1723)の支援を受けました。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, 2021.
- 2) 宮川大海. 金属材料工学 改定・SI 版, 森北出版株式会社, 2019, 294p.
- 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 その2 予測式の構築および検証, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 013-014, 2023. 9.
- 4) 構造設計・部材断面事例集, 日本建築防災協会, 2007, 6.
- 5) M. D. Trifunac. Low frequency digitization errors and a new method for zero baseline correction of strong-motion accelerograms, California institute of technology earthquake engineering research laboratory, Report No. EERL 70-07, 1970, 9.
- 6) 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, 9.
- 7) 三浦耕太, Alex Shegay, 参川朗, 藤田起章, 前田匡樹, 穴吹拓也, 増田安彦, 栗田康平, 関松太郎, 米澤健次, 諏訪仁. RC造4層縮小架構の振動台実験による補修補強建物の性能評価 その1~その4, 日本建築学会学術講演梗概集, pp. 463-470, 2021, 9.

*1 東京工業大学 環境・社会理工学院 大学院生
 *2 東北大学 グリーン未来創造機構 教授・博士(工学)
 *3 オークランド大学 土木環境工学部 講師・Ph.D. (元東京工業大学)
 *4 東京工業大学 科学技術創成研究院 准教授・博士(工学)

Graduate Student, Tokyo Institute of Technology*¹
 Professor, Green goals initiative, Tohoku University, Dr.Eng.*²
 University of Auckland, Civil and Env. Dept., Lecturer (Previously at Tokyo Institute of Technology)*³
 Associate Professor, IIR, Tokyo Institute of Technology, Dr.Eng.*⁴