

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荷重実験

その3 耐震性能の比較

補修 曲げ降伏型部材 耐震壁  
梁 耐震性能の回復

正会員 ○永井 智基\*<sup>1</sup> 正会員 参川 朗\*<sup>1</sup>  
同 三浦 耕太\*<sup>2</sup> 同 Alex Shegay\*<sup>3</sup>  
同 張 政\*<sup>4</sup> 同 穴吹 拓也\*<sup>2</sup>  
同 前田 匡樹\*<sup>1</sup> 同 関 松太郎\*<sup>5</sup>

1. はじめに

その3では実験から得られた荷重変形関係より、部材の耐震性能の回復係数を求め、補修効果を定量的に把握する。

2. 耐震性能の回復度の比較

2.1. 比較方針

耐震性能の回復度合いを表す指標として、新設試験体と補修試験体の荷重変形関係より4つの性能の回復係数(初期剛性 $\phi_{si}$ 、降伏点割線剛性 $\phi_{sy}$ 、耐力 $\phi_q$ 、等価粘性減衰定数)を算出した。このうち初期剛性、降伏点割線剛性の算出の概念図を図1に示す。初期剛性は補修後の実験においてひび割れ点の確認が困難であったため、最大耐力の1/3となる点(第一折れ点)での割線剛性とした。また、降伏点割線剛性は、第一折れ点と降伏点付近(壁:R=0.75%、梁:R=1.0%)までの範囲での最大点を結んだ直線(第二折れ線)と、設計上の終局点と仮定した変位(壁:R=2.0%、梁:R=3.0%)まででエネルギー等価になるように設定した耐力線(第三折れ線)との交点を部材モデル上における降伏点とし、その割線剛性とした。これは、本研究では、文献1)において明らかにすることができなかった架構試験体の補修後の解析モデルの作成を目的としているためであり、部材モデルにおける変形の範囲などは文献1)の実験結果などにに基づき設定している。なお、検討対象は正載荷側とし、基準試験体に対する性能の低減率を回復係数として求めた。

2.2. 比較結果

図2に変形初期における各試験体の包絡線とモデル曲

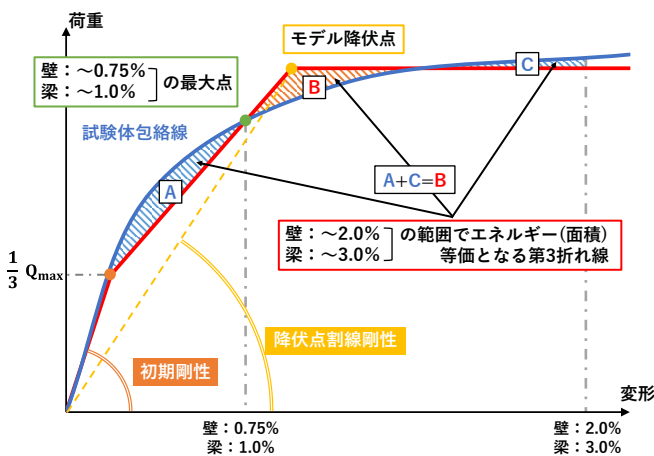
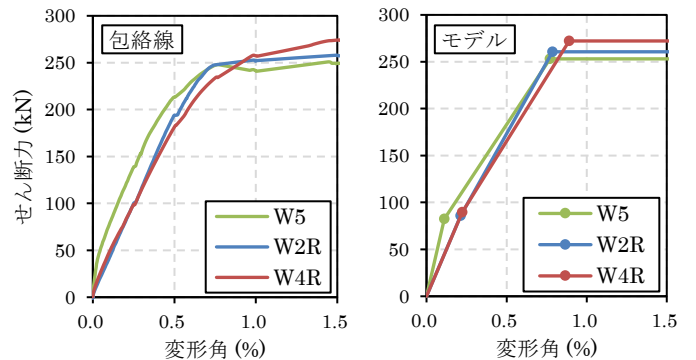
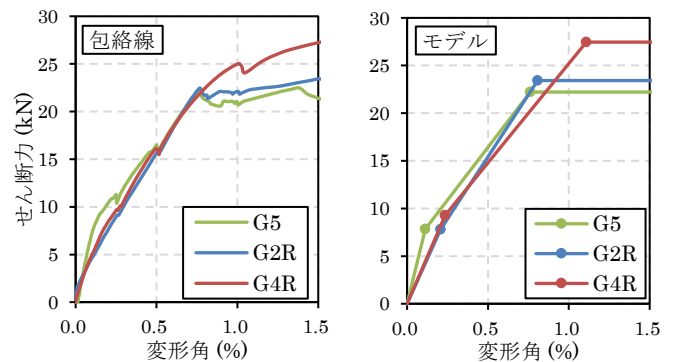


図1 各剛性算出方針

線を、図3に初期剛性、降伏点剛性及び耐力の回復係数を示す。初期剛性回復係数 $\phi_{si}$ は両部材とも損傷度によらず50~60%程度の回復率となった。ただし、実際のひび割れ点での回復係数ではなく、初期剛性はさらに低下している可能性もあることに留意されたい。この理由として、ひび割れに対してエポキシ樹脂が完全には浸透、接着されずに、載荷中の早期にひび割れが再び開いたことが考えられる。降伏点割線剛性回復係数 $\phi_{sy}$ は壁・梁両試験体ともに損傷度IV(W4R、G4R)が損傷度II(W2R、G2R)よりも小さくなった。耐力回復係数 $\phi_q$ は両部材とも損傷度II試験体では同程度、損傷度IV試験体ではおよそ1~2割程度上昇した。これらの原因として、端部の剥落補修に用いたエポキシ樹脂モルタルの強度がコンクリートよりも高いこと、鉄筋のひずみ硬化の進展などが挙げられる。また、降伏した鉄筋が時間経過とともに強度上昇を起す現象である時効硬化<sup>2)</sup>も耐力上昇の一因として考えることができるが、本実験では経過時間が壁試験体では1か月半、梁試験体では3か月



(a) 壁試験体



(b) 梁試験体

図2 変形初期の包絡線と部材モデル

Study on the structural performance and damage characteristics of repaired flexural RC members by static loading test  
Part3: Evaluation of seismic performance

NAGAI Tomoki, MIKAWA Akira, MIURA Kota,  
Alex SHEGAY, ZHANG Zheng, ANABUKI Takuya,  
MAEDA Masaki and SEKI Matsutaro

であり、実際に同現象が生じていたかは今後の検討課題である。

また、文献 3) では、補修後の性能の回復率として耐力回復係数 $\phi$ の目安が示されている。これは部材の性能に一律に乗じることで補修後の部材の性能を評価する係数である。損傷度と補修方法により耐力回復係数は定められており、W2R、G2R では 95~100%、W4R、G4R では 80~90%である。本実験結果と比較すると、初期剛性においては壁・梁両試験体ともに本実験結果の方が小さく、降伏点割線剛性は概ね同程度であり、耐力は損傷度 II 試験体では同程度、損傷度 IV 試験体では大きくなっている。

図 4 にエネルギー吸収能力を表す等価粘性減衰定数の、各変形角での回復率を示す。W2R、G2R では 80~90%以上、W4R、G4R では 40~60%以上の回復率となった。どの試験体もひび割れが完全に補修されたわけではないため、等価粘性減衰定数は低下しているが、W2R、G2R においては未経験領域に到達するにつれ 100%近くまで回復した。W4R、G4R も回復率が上昇しているが、100%まで回復しない要因として、ひび割れ本数の増加に伴うスリップ性状や、繰り返し加力による主筋の付着劣化などが考えられる。

### 3. まとめ

- 1) 補修試験体の性能に関して、初期剛性は 50~60%程度、降伏点割線剛性は損傷度 II 試験体では概ね同程度、損傷度 IV 試験体では 80~90%程度に回復し、耐力は損傷度 II 試験体では同程度、損傷度 IV 試験体では 10%程度上昇した。
- 2) 等価粘性減衰定数は、損傷度 II 試験体では 80~90%以上、損傷度 IV 試験体では 40~60%以上に回復した。また、未経験領域に近づくにつれ回復率は上昇した。
- 3) 本実験結果から、概ね降伏点近傍まで変形した試験体（損傷度 II）では、ひび割れ補修により初期剛性は完全には回復しないが、経験していない大変形領域の性能（耐力、変形性能、エネルギー吸収能力）は新設試験体と同程度まで回復した。また、主筋が座屈する直前まで載荷した試験体（損傷度 IV）では、ひび割れ及びコンクリート断面補修により、初期剛性とエネルギー吸収能力は完全には回復しないが、耐力は新設試験体よりも上昇した。

### 参考文献

- 1) 参川朗, Alex Shegay, 三浦耕太, 前田匡樹: 縮小 4 層 RC 造架構の振動台実験による補修効果の評価, コンクリート工学会年次論文集, 第 43 巻, 第 2 号, pp.829-834, 2021.5

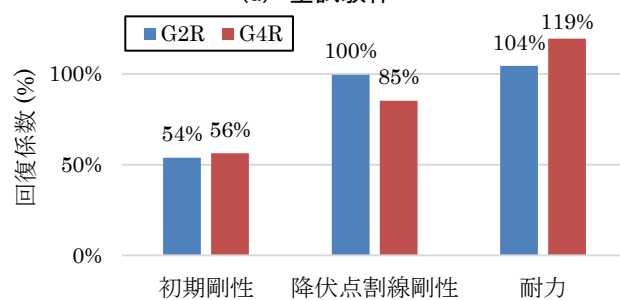
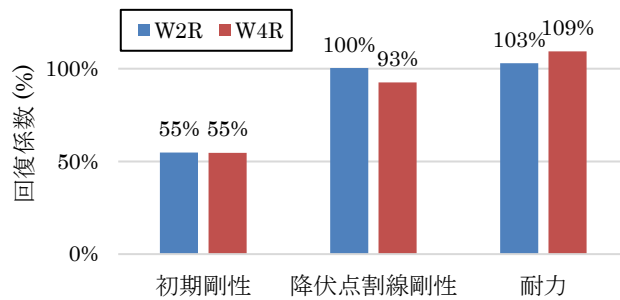


図 3 各性能値の回復係数

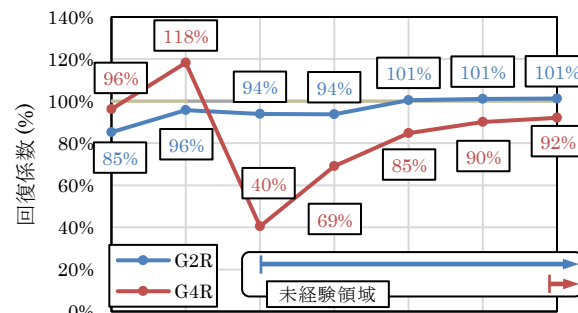
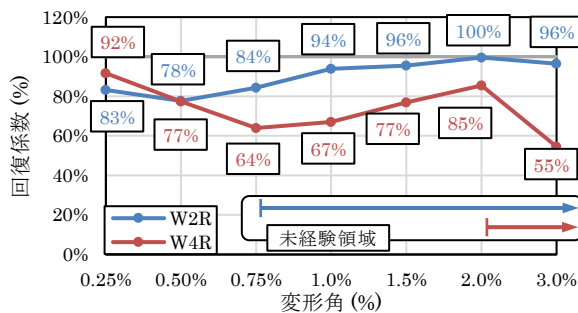


図 4 等価粘性減衰定数の回復度推移

- 2) G. Loporcaro, S. Pampanin and M.V. Kral : Investigating the relationship between hardness and plastic strain in reinforcing steel bars, New Zealand Society of Earthquake Engineering, 2014
- 3) 日本建築防災協会: 2015 年改訂版 震災建築物の被災度区分判定基準および復旧技術指針, 2016.3

\*1 東北大学 \*2 大林組 \*3 東京工業大学  
\*4 清水建設(元東北大学) \*5 建築研究所

\*1 Tohoku University \*2 Obayashi Corporation \*3 Tokyo Institute of Technology  
\*4 Shimizu Corporation (Former Tohoku University)  
\*5 Building Research Institute