

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3 補修によるX方向の架構全体の耐震性能回復の検討

補修	動的解析	耐震性能回復	正会員	○Alex Shegay *1	正会員	参川 朗*2
RC造架構	耐震壁	振動台実験	正会員	藤田 起章*3	正会員	前田 匡樹*2
			正会員	米澤 健次*4	正会員	諏訪 仁*4
			正会員	三浦 耕太*4	正会員	関 松太郎*5

1. はじめに

その3では、X方向について、その1、その2で述べた実験結果及び文献1)に示した新設試験体の実験結果に基づいて、補修による耐震性能の回復度合いについて検討を行う。

2. 荷重変形関係の比較

補修後の試験体（以下、補修試験体）の各RUNの荷重変形関係（ベースシア-頂部変形角関係）と2019年度に行われた振動台実験の試験体（以下「新設試験体」）の荷重変形関係の包絡線の比較を、図1に示す。剛性と耐力について、補修試験体の新設試験体に対する比率（回復率）を表1に示す。新設試験体と比べて初期剛性（RUN1の割線剛性で計算）が正側で66%まで回復し、負側に81%にまで回復した。負側の方が回復率が大きいのは、耐震壁の負側の変形時に引張側となる側は、補修時にコンクリートを打ち替えたためと考えられる（圧縮側はエポキシ樹脂注入のみであった）。

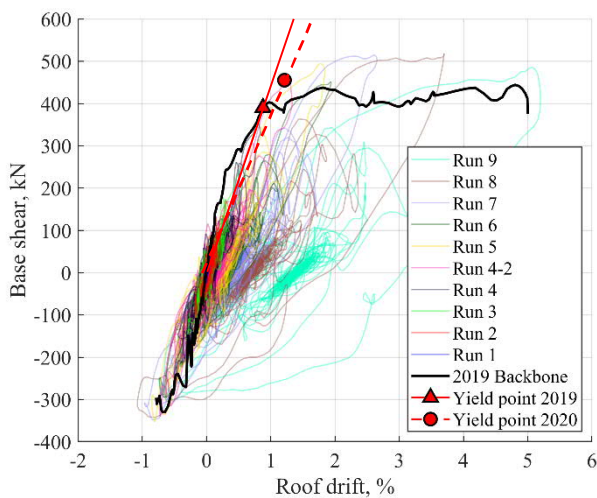


図1 各加振のベースシア-頂部変形角関係

表1 剛性と耐力の回復率

	新設実験	補修実験	回復率(%)
初期剛性 (正)	36.2 kN/m	24.0 kN/m	66
初期剛性 (負)	40.3 kN/m	32.6 kN/m	81
降伏割線剛性	14.8 kN/m	12.5 kN/m	84
降伏強度	390.5 kN	455.3 kN	117
最大強度	444 kN	518 kN	117

各RUNの最大層間変形の分布の比較を、図2に示す。ここでは、最大頂部変形が同程度となるRUN同士で行っている。補修試験体では、新設試験体と比較して、4階ではわずかに変形が大きく、1階では変形が小さくなっており、新設試験体の振動台実験の加振による損傷とその後の補修によって、架構の動的応答特性(モード系)がわずかに変化している可能性があることがわかる。ただし、両者の差はわずかであり、架構の性能に影響を与えている可能性は低いと考えられる。

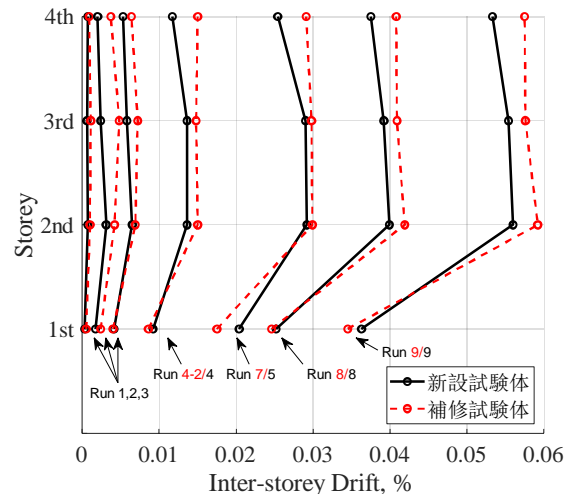


図2 最大層間変形角分布

3. 降伏点と降伏割線剛性の比較

新設試験体と補修試験体の降伏点（文献2）の定義に従って計算）を、図1の赤点及び表2に示している。補修試験体の降伏時割線剛性は新設試験体の84%に回復した。降伏点の変形が大きくなったのは、柱の補修に使用したエポキシ樹脂モルタルの剛性が小さい（コンクリートの20%程度）ことも影響しているためと考えられる。

各層の荷重変形関係において、各RUN頂部変形最大時刻における割線剛性の回復率（新設試験体に対する比率）を計算した結果を図3に示す。降伏前の傾向として、割線剛性の回復率が1階で80-88%、4階で54-69%となっており、上層になるにつれて減少していることが分かる。これは、1階ではより大がかりな補修方法（コンクリートと鉄筋の交換）を用いており、新設試験体と近い状態になっていることと、一般に構造の上部に向かって狭くなるひび割れ幅に起因すると考えられる。つまり、エポキシ樹脂は既存のひび割れに深く浸透することはできない。なお、降伏後（変形角約1%以上）の範囲で、回復率が大きくなって

いるのは表 1 及び 5 章に示すように、補修試験体において耐力が増加したためである。

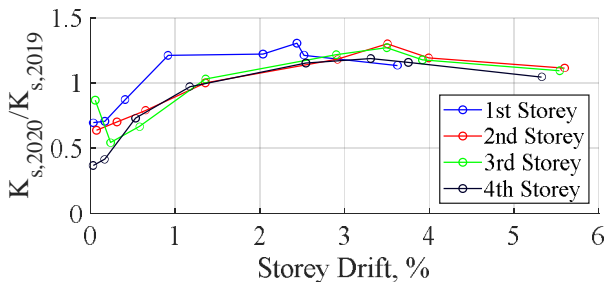


図 3 各 RUN の割線剛性回復率

4. 減衰の比較

減衰は、応答スペクトル法を使用して、各 RUN について評価を行った。この方法は、減衰 5% の S_a - S_d スペクトルに対する応答低減率 F_h を用いて計算した応答の推定値が、実験結果における応答点と一致するような減衰定数 (h_{eq}) を逆算するというものである。手法の詳細は文献 3) を参照されたい。各 RUN における減衰定数の算定結果を、図 4 に示す。同図では、横軸に等価 1 自由度系に縮約した際の代表変位 (S_d) の値を用いている。降伏 ($S_d \approx 30\text{mm}$) の以前及び最終の 2 つ RUN においては、補修前後の値がほぼ一致する結果となった。降伏後は、補修試験体の減衰がわずかに低くなる結果となった。すべての RUN の減衰定数の低下を平均すると減衰の回復率が 0.92 となる。しかし、補修試験体は、RUN7 で $S_d \approx 60\text{mm}$ に達したのに対して、新設試験体では RUN5 と少ない加振で達していることから、新設試験体と比較して、エネルギー吸収性能が減少していることが考えられる。このため、図 4 の結果は、補修試験体における減衰の減少を過大評価している可能性がある。したがって上述の 0.92 という値は、補修の効果による減衰の回復率の下限値に該当すると考えられる。

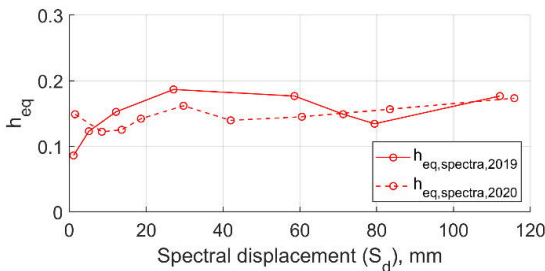


図 4 等価粘性減衰定数

5. 耐力の比較

表 1 に示すように、補修試験体の降伏耐力及び最大耐力は、新設試験体よりも大きく、降伏耐力及び最大耐力の回復率は共に 117% であった。2 章に示したように、動的モード系が大きく変化していないことを考えると、耐力の増加は、降伏した主筋のひずみ硬化と時効硬化の結果であると考えられる。

前者について検討するため、部材毎に、変位計の記録から新設試験体の実験における主筋の残留ひずみを求めた。続いて、補修試験体における変位計の記録からひずみの増分を求め、新設試験体の残留ひずみに加えることで、補修試験体の最大ひずみを求め、材料試験結果における応力-ひずみ関係から最大応力を推定した。ひずみ硬化の影響があるため、補修試験体の主筋の応力は、ひずみが増加した

分だけ新設試験体よりも大きな値となる。続いて、断面曲げ解析によって部材の耐力を計算し、新設試験体に対する比率を計算した結果を表 2 に示す。全体的な補修試験体の耐力に対するひずみ硬化の影響を検討するために、新たに計算された断面強度を使用して文献 1) に示した解析モデル (新設試験体のモデル) を修正し、地震応答解析を実施した。解析結果を図 5 に示す。解析結果における補修試験体の最大耐力は、新設試験体に対して 18% 増加している。これは、実験で観察された 17% の増加と一致している。

表 2 ひずみ硬化による補修試験体の部材の耐力上昇率

部材	補修前の最大ひずみ	ひずみ硬化による耐力上昇
柱 C1	2.2%	119%
梁 G1* (正)**	2.3%	110%
梁 G1* (負)**	2.5%	118%
壁 CW1	3.3%	128%

*すべての層の梁の平均値

**正=スラブが圧縮状態；負=スラブが引張状態

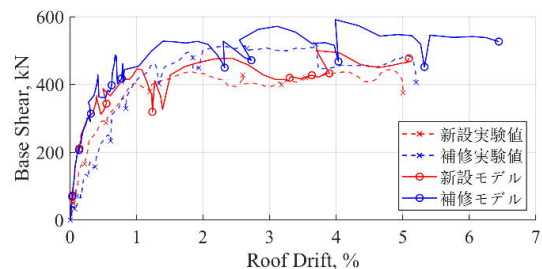


図 5 ひずみ硬化を考慮した補修試験体のモデルの解析結果 (ベースシア-頂部変形角関係)

6. まとめ

X 方向の実験結果について、補修試験体と新設試験体を比較し、補修の影響について検討した結果、次の結論が得られた。

- 1) 建物の補修による振動モードの全体的な変化は小さい。
- 2) 初期剛性は正側 (エポキシ樹脂補修のみ) で 66% に回復し、負側 (コンクリートの打替え) で 81% に回復した。
- 3) 降伏時割線剛性の回復率は架構全体では 84% であり、層毎に見ると、下層から上層に向かって増加した。
- 4) 補修試験体の減衰定数の回復率は、すべての RUN の平均で約 92% となった。ただし、補修試験では同一変形に達するまでより多くの加振 (RUN) を行い、エネルギー吸収が減少したということを考慮すると、現実の減衰の回復率は 92% より大きい可能性がある。
- 5) 架構全体の耐力は、17% 増加した。ひずみ硬化の影響を考慮して補修試験体の部材強度を計算し、地震応答解析を行った結果、実験における耐力の増加を再現することが出来た。

参考文献

1. 前田匡樹, 藤田起章, 田畑佑, 三浦耕太, Shegay Alex, Alwashali Hamood, 関松太郎: 連層耐震壁を有する RC 造建物縮小試験体の振動台実験による被災評価と応答予測 その 1~その 5, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 IV, pp. 441-450, 2020.7
2. Park, R., "Evaluation of ductility of structures and structural assemblages from laboratory testing," Bulletin NZ National Society of Earthquake Engineering, Vol.22, No.3, pp.155-166, 1989.
3. 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, コンクリート工学年次論文集, 2021.7 (投稿中)

*1 東京工業大学 *2 東北大学

*3 大林組 (元東北大学) *4 大林組 *5 建築研究所

*1Tokyo Institute of Technology *2Tohoku Univ.

*3Obayashi Corporation (Former graduate student of Tohoku Univ.)

*4Obayashi Corporation *5Building Research Institute