

強震観測記録に基づく

既存 RC 建物の耐震補強効果に関する研究

日大生産工(院) ○桐山 拓也

日大生産工 藤本 利昭

1. まえがき

本報告では既報¹⁾に引き続き、地震応答解析による建物モデルの妥当性の検証、鉄骨鋼管ブレースおよびRC造耐震壁による補強効果を確認するため、補強前後におけるモデルに地震波を入力して耐震補強効果の検証を行う。

2. 対象建物概要

本研究では1962年に建設された日本大学生産工学部4号館を対象とした。表1に建物概要を示す。本建物は東西方向に細長い平面形状で、構造形式は耐震壁付きラーメン構造である。2020年に行われた耐震補強工事により鉄骨鋼管ブレース補強（図1参照）および、RC造増設壁補強が各階に施された。

表 1 建物概要

	耐震補強前	耐震補強後
用途	大学校舎	
規模	地上4階、地下1階、塔屋1階	
構造概要	上部：RC造、基礎：直接基礎（布基礎）	
建築面積	653.17m ²	
建物高さ	20.855m ²	20.215m ²



図 1 鉄骨鋼管ブレース外観

3. 建物モデル概要

図2および図3に耐震補強前後の建物モデルを示す。解析で使用する建物モデルの作成は、Super Build/SS7²⁾を用いた。モデル化にあたり、柱梁の接合部は剛域を考慮し、耐震壁は壁エレメント置換とした。

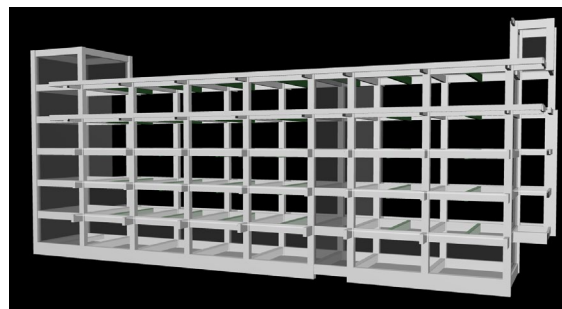


図 2 補強前建物モデル

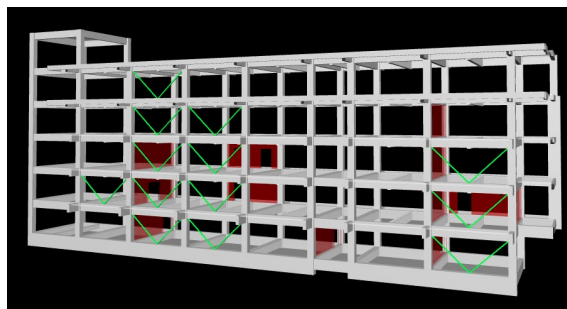


図 3 補強後建物モデル

4. 地震応答解析

モデルの妥当性を検証するため、まず弾性域における応答解析を行い、観測記録と比較を行う。入力地震波は4号館地下1階に設置されている強震計の建物北側で観測された加速度記録を用い、NS（短辺）、EW（長辺）成分の1方向入力とする。解析にはSS21/3D・DynamicPro³⁾を用いた。粘性減衰は瞬間剛性比例型とし弾性一次固有周期に対する減衰定数は3%とした⁴⁾。

入力地震動の特性を見るため、地震波の加速度応答スペクトルをNS方向、EW方向をそれぞれ図4に示す。さらに、卓越周期と加速度の最大値を表2に示す。なお、スペクトルの作成には国立開発研究法人建築研究所の地震解析ソフト「View Wave」⁵⁾を用い、減衰定数は3%として解析を行った。各地震波の卓越周期は、茨城県南部地震で0.17秒（NS方向）、0.11秒（EW方向）、千葉県東方沖地震で0.38秒（NS

Research on the effectiveness of seismic retrofitting of existing reinforced concrete buildings based on strong-motion observation records.

Takuya KIRIYAMA and Toshiaki FUJIMOTO

方向)，0.27秒（EW方向），千葉県北西部地震で0.17秒（NS方向），0.23秒（EW方向）であった。図5に2022年11月9日に茨城県北西部で発生した地震，図6に2023年5月26日に千葉県東方沖で発生した地震，図7に2023年6月4日に千葉県北西部で発生した地震の4階NS（短辺），EW（長辺）方向の観測記録と解析結果をそれぞれ比較したグラフを示す。2022年11月9日に発生した地震は両方向ともに包絡曲線は概ね評価できたが，NS方向の最大応答値には多少の差異が確認できた。2023年5月26日に発生した地震はNS方向については包絡曲線および最大応答値を概ね評価できている。一方，

EW方向の包絡曲線は概ね観測記録の特徴を捉えることができたが，最大応答値には差異が確認できた。2023年6月4日に発生した地震は両方向ともに，包絡曲線は概ね評価できたが，NS方向の最大応答値には少々の差異が確認できた。

続いて，耐震補強によって増設されたRC造耐震壁と鉄骨鋼管ブレースによる補強効果を検証するため，耐震設計でよく用いられる既往の地震波を用いて解析を行った。入力地震波はEl-Centro NS波を建物の短辺，El-Centro EW波を長辺方向に作用させた。解析にあたり内部粘性減衰は瞬間剛性比例型とし，弾性一次固有周

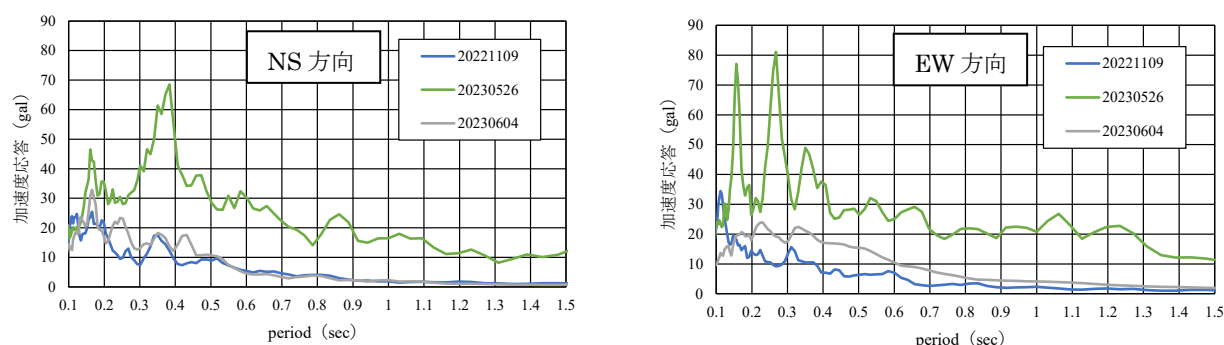


図4 加速度応答スペクトル

表2 加速度応答スペクトルの最大値と卓越周期

発生日時	震源	M	最大震度	加速度応答スペクトル (NS)		加速度応答スペクトル (EW)	
				卓越周期 (sec)	最大値 (gal)	卓越周期 (sec)	最大値 (gal)
2022/11/9 17:40	茨城県南部	4.9	5強	0.17	25	0.11	34
2023/5/26 19:03	千葉県東方沖	6.2	5弱	0.38	69	0.27	81
2023/6/4 10:58	千葉県北西部	4.6	3	0.17	33	0.23	24

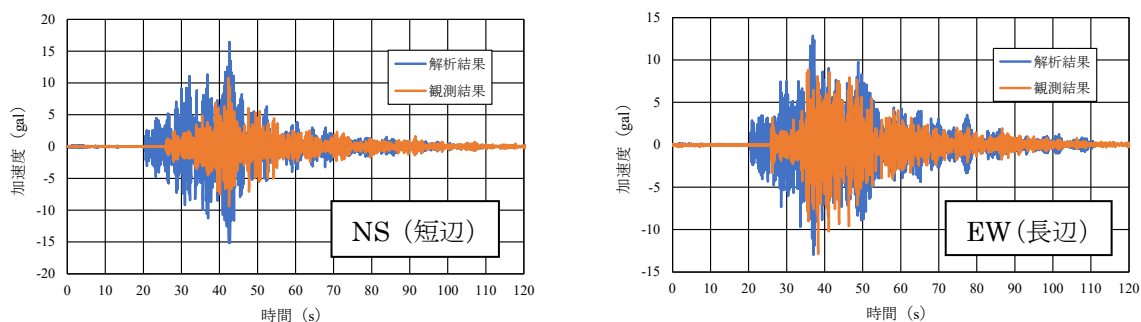


図5 茨城県南部地震の解析と観測の比較

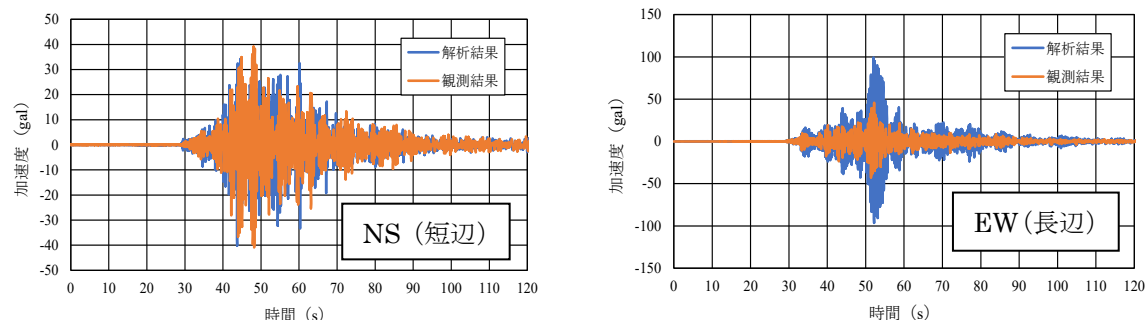


図6 千葉県東方沖地震の解析と観測の比較

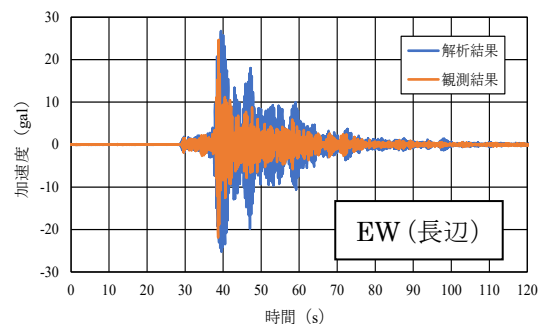
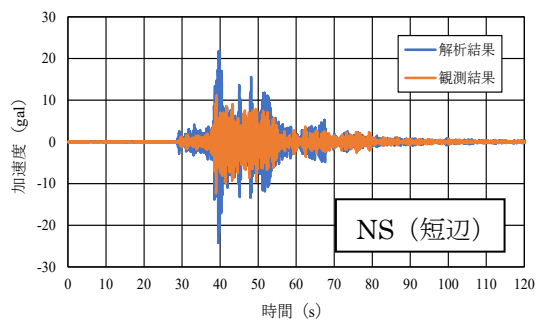


図7 千葉県北西部地震の解析と観測の比較

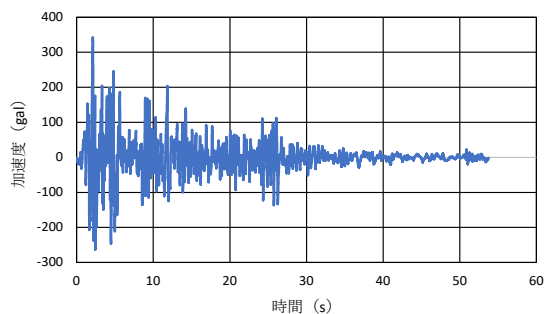


図8 El-Centro NS波（最大値：341.7gal）

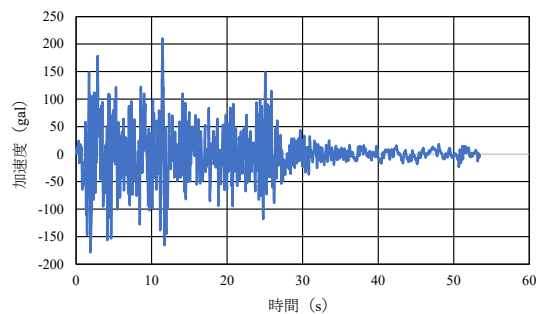


図9 El-Centro EW波（最大値：210.1gal）

期に対する減衰定数は3%として解析を行った。図8、図9に入力地震波の加速度波形を示す。

入力地震波の振動特性を見るため、図10、図11にEl-Centro NS波、El-Centro EW波の加速度応答スペクトルを示す。なお、応答スペクトルを求めるにあたり、減衰定数は3%とした。El-Centro NS波は0.23秒近傍に卓越周期が見られ最大加速度応答スペクトルは1087galであった。その他にも0.12秒、0.26秒近傍にも複数のピークが見られた。El-Centro EW波は0.27秒近傍に卓越周期が見られ、最大加速度応答スペクトルは758galであった。

図12にNS（短辺）、EW（長辺）方向の補強前後における最大加速度応答の比較を示す。補強前後で加速度応答の特性を見ると、補強前に比べ、補強後の加速度応答が4階からPHに渡って増大している結果となった。RC増設壁およ

び鉄骨鋼管ブレースが設けられ、建物全体の剛性と耐力が増したことにより、補強後の加速度応答が増大したと考えられる。

図13にNS、EW方向の補強前後における変位応答の比較を示す。補強後モデルの応答値が補強前モデルの応答値を下回る結果となった。耐震補強によって建物の変形が大きく低減されている。

図14に補強前後におけるNS方向とEW方向の層間変形角の比較を示す。両方向において、補強後の層間変形角が補強前に比べて低減されている結果となった。特に補強前の建物短辺方向では2層から4層まで層間変形角が1/100を上回ったが、RC造増設壁による耐震補強により、補強後の最大層間変形角は大幅に低減された。長辺方向もRC造増設壁および鉄骨鋼管ブレースによる補強により、補強後の層間変形角は低減された。

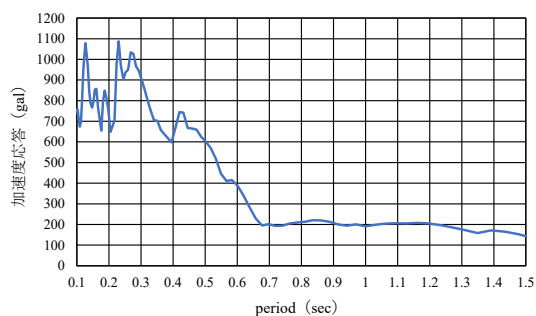


図10 El-Centro NS波加速度応答スペクトル

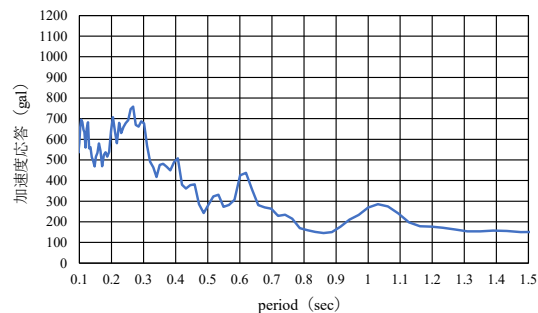


図11 El-Centro EW波加速度応答スペクトル

5. まとめ

地震応答解析により、耐震補強効果の検討を行った。得られた知見を以下に示す。

- 応答解析による建物モデルの妥当性を検証した結果、建物短辺方向では解析結果が観測記録と概ね近い対応を示したが、長辺方向では地震波によってばらつきが見られた。両方向共におよそその観測地震波の特徴を捉えていたと推察できる。
- 応答解析により、加速度応答は補強前よりも補強後が増大した。
- 補強後の応答変位は耐震補強により、大きく減少しており、建物全体の補強効果が確認できた。

- 応答解析により、補強後の層間変形角が補強前に比べて低減されていた。両方向において、耐震補強効果が確認できた。今後は耐震設計で用いられる地震波を複数用いて解析を行い、今回の検討が妥当であるか検証していきたい。

参考文献

- 1) 桐山拓也, 藤本利昭, 大崎美羽: 強震観測記録に基づく既存RC建物における耐震補強効果に関する研究—その2 解析結果に基づく検討—, 日本建築学会大会学術講演
- 2) ユニオンシステム株式会社: 一貫構造計算ソフトウェア「Super Build/SS7」
- 3) ユニオンシステム株式会社: 立体フレーム動的弾塑性解析ソフトウェア「SS21/3D・Dynamic PRO」
- 4) 日本建築学会: 建築物の減衰と振動, 2020.12
- 5) 国立研究開発法人建築研究所「View Wave」

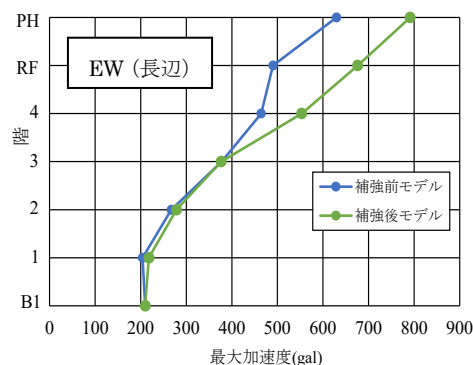
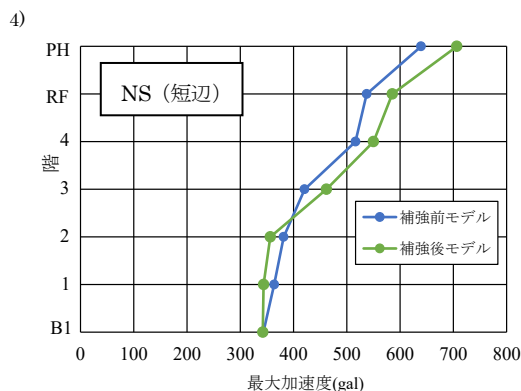


図 12 最大加速度応答の比較

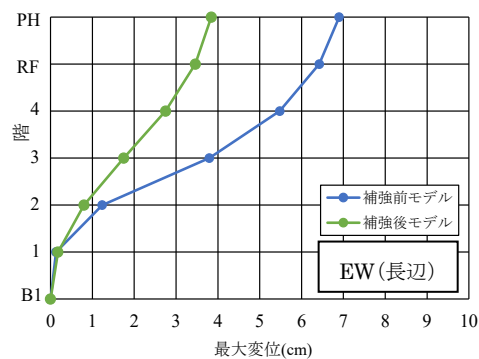
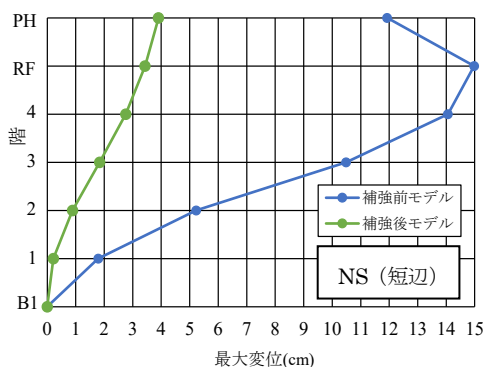


図 13 最大変位応答の比較

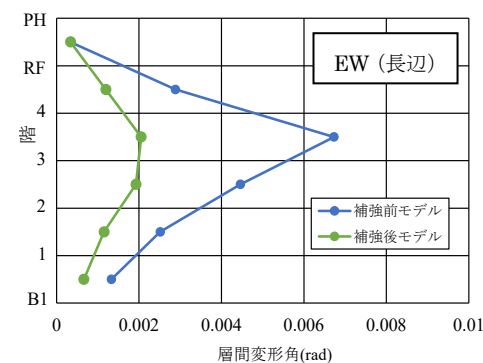
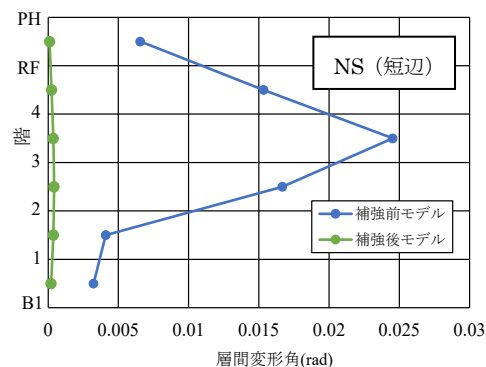


図 14 層間変形角の比較