

## 研究助成実施報告書

助成実施年度	2016 年度（平成 28 年度）
研究課題（タイトル）	人口減少社会を見据えた戦略的減築後の建物における耐震性能の体系化
研究者名※	金子 健作
所属組織※	東京工業大学 環境・社会理工学院建築学系 助教
研究種別	研究助成
研究分野	建築技術
助成金額	98 万円
概要	建物の維持管理費等の問題を解決する方法として、上層階減築による改修が着目されている。本研究では、建物重量を大きく減少させる減築を、耐震性能の観点から論じた。低層階から高層までの共同住宅、事務所、ホテルを対象とした計 26 棟の建物に対して立体骨組地震応答解析をおこない、様々な減築パターンを踏まえた最大層間変形角を整理した。その結果、RC 建造物については、減築層数が少ない場合、層間変形角が増加する可能性を示した。そのうえで、時刻歴解析を介さずに、地盤種別、建物の軒高および限界状態条件として与えられれば、減築後の建物の層間変形角を簡易に予測できる手法を構築した。さらに、この手法を発展させ、耐震性能の向上に必要な減築層数の略算法を提案した。本研究により、どのような建物が減築に適しているかを即座に判断することが可能になった。
発表論文等	

※研究者名、所属組織は申請当時の名称となります。

( ) は、報告書提出時所属先。

## 1. 研究の目的

既存不適格建築物の耐震改修として、上層階を減築することで建物重量を軽減させる方法が近年注目されている（図 1）。減築工事は上層部を解体する工事であるため、下層階の建物機能を維持したまま施工できる。そのため、耐震性能を向上させるために一時的な移転が困難な場合、減築は選択肢となりうる。また、通常耐震改修と比較して、鉄骨ブレースなどの補強材が少なく済むため、建物の景観の観点からも減築改修は利点がある。実際、1981年以前に建設された既存不適格の中高層鉄筋コンクリート造や鉄骨鉄筋コンクリート造の建物を中心に、減築が採用される事例が増えつつある。このような状況のもと、減築に適した建物の解体技術が開発されている。

また、国内の人口減少に伴う空き家問題や建物の維持管理・更新費問題などの解決策としても、減築は目を向けられている。ドイツのライネフェルデの都市再生計画は、都市計画として減築が行われた点でよく知られている。急激な人口減少がライネフェルデで発生したことがこの計画の背景にあり、団地の虫食い化問題の解消やサステナブル化、景観整備を目的として減築が実施された。人口減少が深刻化している日本でも、近い将来、ライネフェルデと同じような状況に陥る地域が生まれる可能性がある。また、一般的に、老朽化が進むにつれて建物の維持管理・更新費は増加する。そのため、十分なテナントがない場合、数十年先を見据えると減築が維持管理・更新費を抑える選択肢の1つとして挙がる。このような場合は、現行の建築基準法で構造設計された建物が対象となりうる。

以上より、減築に対する需要は、既存不適格建築物以外の建物に対しても今後増大すると考えられる。本研究では、建物重量を大きく減少させる減築を、耐震性能の観点から論じる。

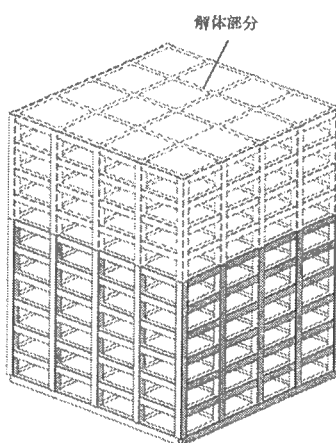


図 1 上層階減築の概要

## 2. 研究の経過

建物用途として共同住宅、事務所およびホテルの3種、構造形式として鉄筋コンクリート造（RC造）、鉄骨鉄筋コンクリート造（SRC造）および鉄骨造（S造）を対象とした。建物の地上階数は、5階、10階および14階建てである。これらを日本建築防災協会が刊行する構造設計

・部材断面事例集から選定し、表1に示す総計26棟を対象とした。

対象建物について立体骨組モデルを作成し、時刻歴地震応答解析を通じて、最大層間変形角、最大床応答加速度および最大層せん断力が減築後にどのように変化するかを分析した。地震動は模擬地震動に限定し、(極めて稀に生じる)大地震時を対象とした。

表1 対象建物の一覧

建物 No.	用途	構造種別	地上階の階数	階高	軒高	D <sub>0</sub> 値		架構形式
						X方向	Y方向	
1-1	共同住宅	RC造	5階	2.9m	14.5m	0.30	0.55	耐力層付ラーメン構造
1-2	共同住宅	RC造	10階	3.0m	29.55m	0.30	0.55	耐力層付ラーメン構造
1-3	共同住宅	RC造	14階	3.0m	42.54m	0.30	0.55	耐力層付ラーメン構造
1-4	共同住宅	SRC造	14階	3.0m	42.34m	0.30	0.45	耐力層付ラーメン構造
1-6	共同住宅	RC造	10階	3.0m	30.45m	0.30	0.55	耐力層付ラーメン構造
1-7	共同住宅	RC造	14階	3.2m	44.54m	0.30	0.55	耐力層付ラーメン構造
1-8	共同住宅	SRC造	14階	3.2m	43.44m	0.30	0.45	耐力層付ラーメン構造
1-10	共同住宅	RC造	10階	3.0m	29.6m	0.30	0.30	純ラーメン構造
1-11	共同住宅	RC造	14階	3.1m	42.44m	0.30	0.30	純ラーメン構造
1-12	共同住宅	SRC造	14階	3.1m	42.39m	0.25	0.25	純ラーメン構造
1-15	共同住宅	RC造	14階	3.6m	46.09m	0.30	0.30	純ラーメン構造
2-1	ホテル	RC造	5階	3.1m	16.85m	0.30	0.55	耐力層付ラーメン構造
2-5	ホテル	RC造	5階	3.1m	17.15m	0.30	0.55	耐力層付ラーメン構造
2-6	ホテル	RC造	10階	3.4m	34.40m	0.30	0.40	耐力層付ラーメン構造
3-1	事務所	RC造	10階	3.9m	39.8m	0.30	0.30	純ラーメン構造
3-3	事務所	RC造	5階	3.9m	19.9m	0.30	0.30	純ラーメン構造
3-4	事務所	RC造	5階	3.8m	19.9m	0.30	0.35	耐力層付ラーメン構造
3-5	事務所	RC造	10階	3.9m	39.8m	0.35	0.40	耐力層付ラーメン構造
3-6	事務所	RC造	5階	3.8m	19.9m	0.30	0.40	純ラーメン構造
4-3	事務所	S造	5階	3.9m	20.1m	0.25	0.25	純ラーメン構造
4-5	事務所	S造	10階	4.1m	41.15m	0.25	0.25	純ラーメン構造
4-8	事務所	S造	10階	4.0m	40.25m	0.25	0.25	純ラーメン構造
4-10	事務所	S造	14階	4.1m	58.00m	0.25	0.25	純ラーメン構造
4-14	事務所	S造	5階	4.0m	20.80m	0.25	0.25	純ラーメン構造
4-15	事務所	S造	10階	4.1m	41.60m	0.25	0.25	純ラーメン構造
4-17	事務所	S造	14階	4.2m	59.30m	0.25	0.25	純ラーメン構造

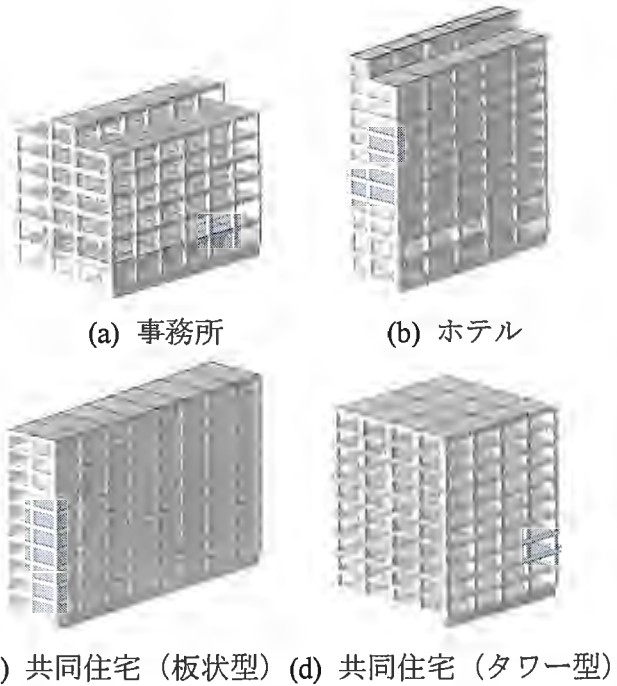


図2 立体骨組解析モデルの例

鉄骨造建物では、減築による建物重量の減少により、最大層間変形角が減少することを確認した(図3(a))。一方、RC造やSRC造建物では、減築層数が少ない場合、下層階での変形集中により最大層間変形角が減少しないことを確認した(図3(b))。これは、減築により耐震性能が向上しないことを意味する。

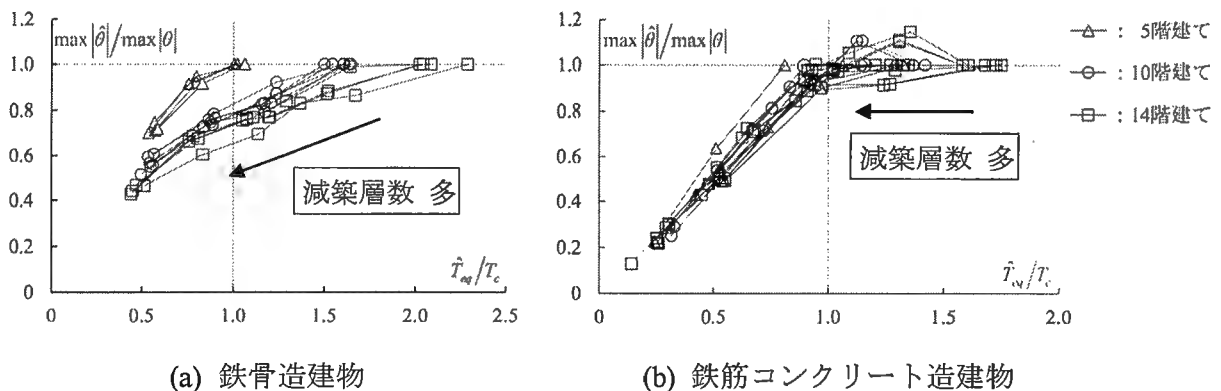


図3 減築前に対する減築後の最大層間変形の比

そのため以降では、RC造とSRC造建物に限定して、耐震性能を向上させるのに必要な減築層数に主眼を置き、地震時における建物の最大層間変形角(損傷程度)の予測法を定式化した。

時刻歴解析で確認された下層階での変形集中現象を分析するため、応答解析による応答の分散共分散行列を用いて、弾塑性応答時の振動モードを推定した。その結果、梁降伏型の建物では、弾塑性振動モードは弾性振動モードで近似でき、弾性振動モードで下層階の変形集中現象を説明できることを明らかにした。その上で、弾性振動モードと等価1質点系に縮約した代表変位について、減築後の値を簡易に評価できる方法を定式化した。これに基づき、減築後の建物について耐震性能を簡易に評価できる2つの手法を提案した。一つは、層間変形角（損傷）の分布を予測できる詳細法である。詳細法は時刻歴解析結果とよく対応することを確認した（図4）。

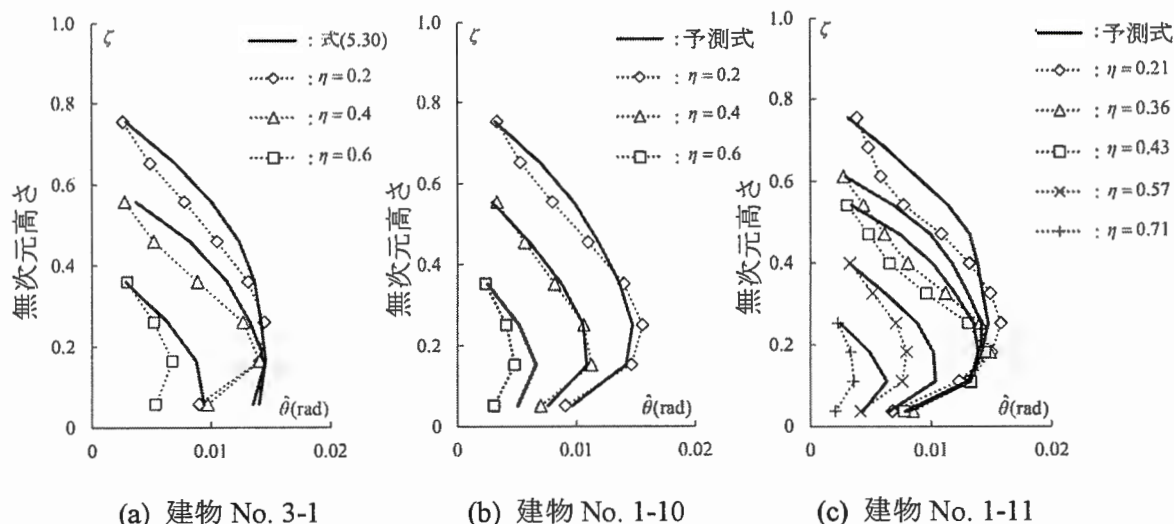


図4 最大層間変形角分布の時刻歴解析結果と予測式の比較

もう一つは簡易法であり、関心のある変形の大きな層を特定して、減築後に層間変形角（損傷）が変化するかを評価する方法である。簡易法で評価した層間変形角と時刻歴解析結果は、よく対応することを確認した（図5(a)）。また、観測波位相（El Centro, Taft, Hachinohe）の模擬地震動を作成し、これを入力した場合も評価法が適用できることを確認した（図5(b)）。

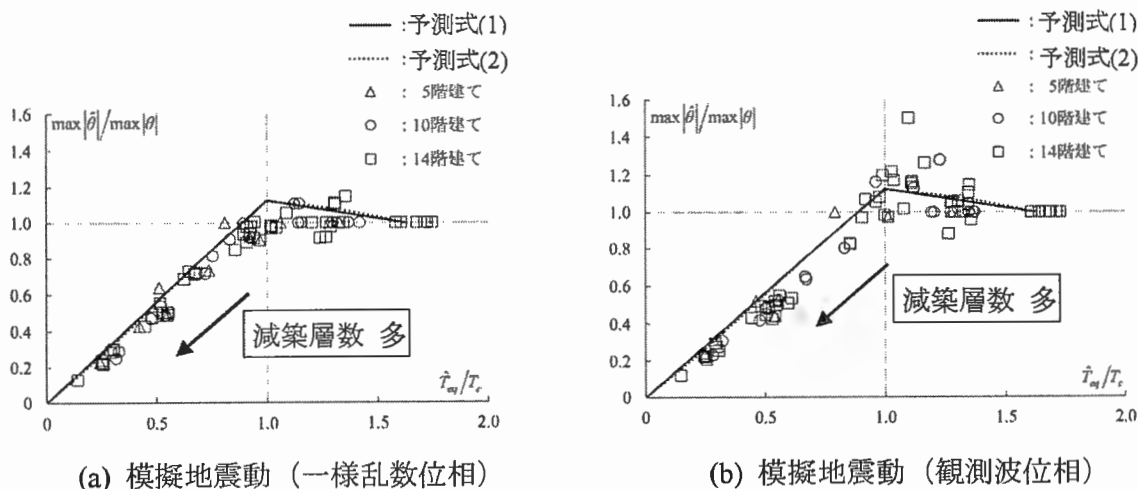


図5 減築前に対する減築後の最大層間変形角の比の予測

### 3. 研究の成果

耐震性能を向上させるのに必要な減築層数の判断手順が得られたことが成果物である。地盤種別、建物の軒高および限界状態を与えれば、耐震性能の観点から必要な減築層数が手計算で求まる（表2）。この計算式により、例えば図6のような減築パターンが想定される。これにより、減築に適している建物を即座に判断できる。

表2 必要減築層数

必要減築層数 (階高3m)			
建物階数	第1種	第2種	第3種
14階	—	9	7
10階	—	5	3
5階	2	1	1

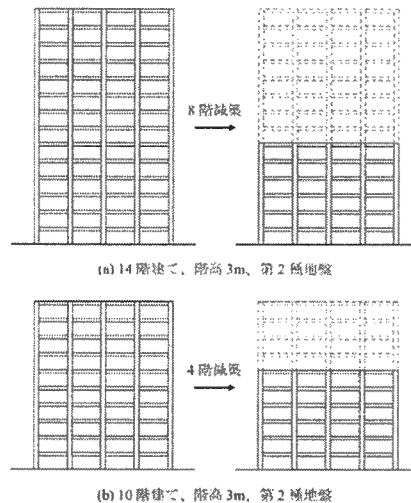


図6 減築パターンの例

本研究を取り纏めた論文を日本建築学会構造系論文報告集へ投稿し、現在、審査中である。また、日本建築学会大会学術講演集に2題投稿し、2018年9月に口述発表の予定である。

(査読付き論文)

- ・府川和樹, 金子健作, 梁川幸盛: 梁降伏型の非木造建物における地震応答低減に必要な減築層数の条件算出の試み, 日本建築学会構造系論文集 (査読あり, 審査中)

(口述発表)

- ・角友太郎, 金子健作ほか: 立体骨組モデルを用いた減築後建物の地震応答性状に関する網羅的分析 その1: 弾塑性応答時の振動モードの推定, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2018.9
- ・府川和樹, 金子健作ほか: 立体骨組モデルを用いた減築後建物の地震応答性状に関する網羅的分析 その2: 鉄筋コンクリート造建物の最大層間変形角の簡易評価法, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2018.9

### 4. 今後の課題

今後は、本研究で除外した既存不適格建築物への対応を図りたい。また本研究を通じて、減築により建物骨組の損傷は低減できるものの、室内被害に関係する床応答加速度の上昇が避けられないことがわかった。これを如何に解決するかが今後の課題である。

耐震性能の側面からみた減築の弱点に対して、ソフト的な解決方法は、本研究で無視した建物と地盤の動的相互作用を考慮して、より精緻な解析をすることである。これにより、減築による低層化がもたらす地盤への逸散効果の増大が期待でき、地震応答が減少する可能性がある。一方、ハード的な解決方法は、減築工事の際に屋上庭園を新設して、その下から建物躯体を解体し、屋上庭園による防水効果と同時にマスダンパー効果を得ることである。両者の方法から、これからも減築に関わる研究・技術の高度化を継続的に図り、我が国の中長期的な都市環境の改善に貢献したい。