

1) 構造研究グループ

1) - 3 建築物の耐震レジリエンス性能指向型設計・評価手法 に関する研究【安全・安心】

Study on Seismic Resilience Performance for Design and Evaluation of Buildings

(研究開発期間 令和 4～6 年度)

構造研究グループ
Dept. of Structural Engineering

坂下雅信 (令和 4 年度～令和 6 年度)
SAKASHITA Masanobu
中島昌一 (令和 4 年度～令和 6 年度)
NAKASHIMA Shoichi
小山信 (令和 4 年度～令和 6 年度)
KOYAMA Shin
片山雄太 (令和 5 年度～令和 6 年度)
KATAYAMA Yuta
有木克良 (令和 4 年度)
ARIKI Katsuyoshi
渡邊秀和 (平成 4 年度～令和 6 年度)
WATANABE Hidekazu
諏訪田晴彦 (平成 4 年度)
SUWADA Haruhiko

長谷川隆 (令和 4 年度～令和 6 年度)
HASEGAWA Takashi
中村聡宏 (令和 4 年度～令和 6 年度)
NAKAMURA Akihiro
森田高市 (令和 4 年度～令和 5 年度)
MORITA Koichi
澤田知也 (令和 4 年度)
SAWADA Tomoya

国際地震工学センター
International Institute of
Seismology and Earthquake
Engineering

中川博人 (令和 4 年度～令和 6 年度)
NAKAGAWA Hiroto

Based on new design goals based on seismic resilience performance, research for reinforced concrete, steel and wood structures was conducted in order to realize and promote buildings with high-quality. Seismic resilience performance in this research was evaluated by seismic safety and restoration performance after earthquakes. Design examples focusing on particular members, such as walls and beams, show methods for calculating residual seismic performance, retrofit time and cost based on the amount of damage to each member during extremely rare earthquakes.

【研究開発の目的】

耐震レジリエンス性能に基づいた新たな設計目標に基づいて、建築物の地震時の被害状況の予測や被害を低減するための対策等を事前に実施することで、建築物の所有者や使用者のニーズにあった質の高い建築物の実現や普及を図ることを目的として、研究開発を実施した。

【研究開発の内容及び成果】

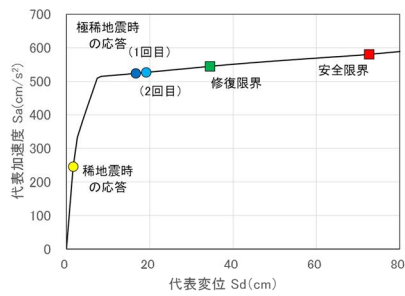
本研究開発では、耐震レジリエンス性能を「地震後の耐震安全性」及び「地震後の復旧性」に基づいて評価することとし、鉄筋コンクリート造(RC 造)、鉄骨造(S 造)、木造(W 造)への適用を想定した評価手法を提案した。

「地震後の耐震安全性」は、日本建築防災協会で提案されている構造躯体の耐震性能残存率¹⁾、「地震後の復旧性」は衣笠・向井らが提案する理想修復時間(IRT)の考え方^{例えば 2)}を参考に評価を行っている。

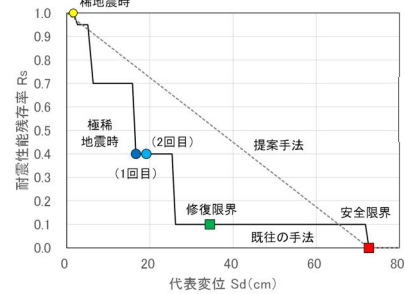
RC 造では、共同住宅に用いられる 14 階建て連層耐力壁架構を対象とした設計例として、静的載荷実験や Pushover 解析の結果を用いて、図 1 に示すように架構の代表変形と耐力壁の損傷状態、耐震性能残存率や修復時

間、修復時間率(修復限界に対する余裕を示した数値)の関係を求めると共に、等価線形化法によって求めた極稀地震時の応答変位との関係を調べた。耐震性能残存率は安全限界時にゼロ、修復時間率は修復限界時にゼロとなる指標であり、それぞれの限界状態に対する余裕の程度を示す指標として定義できる。上記とは別に、損傷した RC 造梁の載荷実験を実施し、修復に掛かる時間の集計や構造性能の回復の程度も確認した。

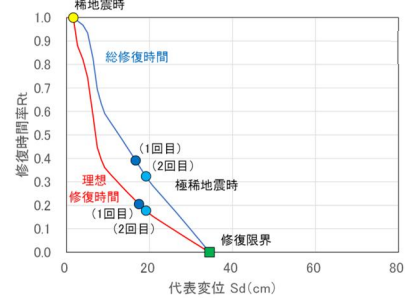
S 造では、ラーメン構造の事務所ビルを対象に、スカラップ及びノンスカラップによる異なる梁端仕様について、図 2 に示すように、梁端部の損傷度と被災度区分、対応する修復方法とそれに掛かる時間やコストの計算方法を整理した。また、4, 9 階建ての設計例について、地震動特性(極希地震、長継続時間地震、2 倍のレベルの断層近傍地震)や計算方法(時刻歴応答解析、エネルギー法)、梁端部の仕様の違いが、損傷量や修復時間、コストに及ぼす影響を検証した^{例えば 3)}。梁端の損傷度 D 値や断面寸法等の条件を入力することで、建物単位の修復時間、コストを集計できる自動計算プログラムの開発も行った。上記とは別に、体育館等に用いられる引張プレ



(a) 代表加速度－代表変位関係

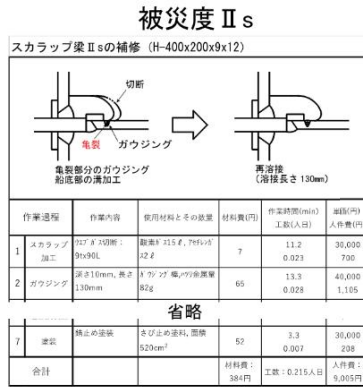


(b) 耐震性能残存率－代表変位関係



(c) 修復時間率－代表変位関係

図1 RC造の評価例（共同住宅，耐力壁）



(a) 梁端の修復時間，コスト

Y2, Y3通り									最大層間変形角(rad)
0.05	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05		0.013
0.17	0.14	0.16	0.16	0.16	0.16	0.14	0.17		0.017
0.37	0.32	0.36	0.36	0.36	0.36	0.32	0.37		0.016
0.44	0.37	0.40	0.40	0.40	0.40	0.37	0.44		0.014

(b) 地震応答解析で求めた梁端の損傷度 D 値

地震動	スキャップ梁(MC4)の建物				耐震性能残存率R
	損傷度 (D 値の最大)	被災区分	補修箇所数	補修工数、コスト	
稀地震動 ER1.0	0.44	Ⅱs (小破～中破)	Ⅱs: 32箇所	9人日, 382,788円	71%
長周期時間地震 LD1.0	0.93	Ⅲs (中破)	Ⅱs: 24箇所 Ⅲs: 32箇所	25人日, 994,819円	38%
断層近傍地震 NF2.0	2.83	Ⅴs (大破)	Ⅱs: 4箇所 Ⅲs: 20箇所 Ⅴs: 4箇所 Ⅴs: 32箇所	修復不可、取り壊し	0%

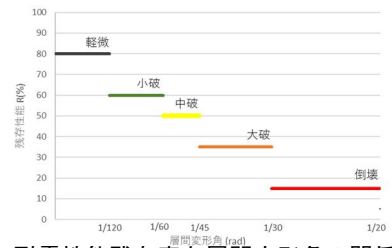
(c) 入力地震動と修復時間，コスト等の関係
図2 S造の評価例（事務所ビル，ラーメン）



(a) 耐力壁の損傷状況（損傷大：オレンジ，中：黄色，小：緑）

損傷度	修復方法	損傷箇所合計	時間 (人日)	費用 (円)
小	S湿式			
	S塗装			
	S乾式			
	S内装			
中	M湿式	3.5	1.0	20,123
	M乾式			
	M内装	4.0	1.4	30,811
	L湿式	15.0	29.8	648,356
大	L乾式			
	L内装	20.5	9.6	215,678
合計		43.0	41.8	914,967

(b) 修復時間，コストの集計



(c) 耐震性能残存率と層間変形角の関係

図3 W造の評価例（戸建住宅，耐力壁）

ース構造を対象とした振動台実験を実施し，最大変形とブレースの損傷状態の関係を検討した。

W 造では，戸建住宅に用いられる枠組壁工法について，最大変形角，損傷状態，対応する修復方法とそれに掛かる時間やコストの関係をヒアリング等に基づいて整理した。また，図3に示すように，2，3階建ての戸建住宅の設計例を対象とした時刻歴応答解析を実施し，壁倍率や壁配置の違いが損傷量や修復時間，コストに及ぼす影響を検証した（例えば4）。上記とは別に，事務所等に使用される CLT 構造の接合部を対象とした要素実験，部材実験を実施し，振幅や繰返し数等のパラメータが，ドリフトピンの曲がりや破断といった損傷に及ぼす影響や，各実験における破断寿命の関係，エポキシ樹脂の充填やドリフトピンの増し打ちによる修復方法の効果も検討した。

また，ヘルスマonitoringや地上型レーザースキャナを活用して，地震後の継続使用性の判断や損傷箇所の検出を行うことで，迅速な対応に繋げるための被災判定手

法についても，外部機関や民間企業と連携して，社会実装に向けた検討を進めている。

次期研究では，各構造で1種類の提示に留まっている設計例を増やし，多様な建築物に耐震レジリエンスの考え方を適用できるようにすると共に，耐震レジリエンスの総合指標についても検討を進める予定である。

【参考文献】

- 1) 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
- 2) 衣笠秀行ほか：建築物の地震後機能回復性の観点からの損傷評価指標，日本建築学会構造系論文集，Vol.84, No.757, pp.425-435, 2019.3
- 3) 長谷川隆ほか：地震後の建築物の損傷部位の補修工数に基づく鉄骨造事務所ビルの耐震性能表示，日本建築学会関東支部 研究報告集，pp.221-224, 2023.2
- 4) 片山雄太ほか：木造住宅における損傷状況に応じた修復手順の整理及び耐震シミュレーションを用いた修復時間と費用の算出，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.659-660, 2024.8