

「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」

（令和4年度～令和6年度）評価書（年度）

令和5年2月9日（木）
建築研究所研究評価委員会
構造分科会長 田才 晃

1. 研究課題の概要

（1）背景及び目的・必要性

人口減少・高齢化・未使用既存住宅（空き屋）が顕著化する昨今、地域の活力を維持しながら生活機能を確保し、高齢者が安心して暮らせるよう地域公共交通と連携したコンパクトに集約された都市形成の促進が近年強く求められている。そのような集約化された高機能な都市が巨大災害を受け、当該都市機能の一時的な停止が我が国の経済活動に与える影響は計り知れない。こういった将来求められている高機能な都市の地震後継続使用という観点において、例えば、再開発によって新たに建設される建築物や現在既に使用されている既存建築物が保有すべき耐震性能は明示されていない。そのような中、建築研究所においては、1995年の新構造総プロで示された方向性に基づき、2006年以降、「地震後の機能維持・早期回復」、「地震後の継続使用性確保」に資する耐震設計手法に関する検討を行い、個別の建築物の耐震性能評価法を提示している。また近年、日本建築学会特別調査委員会において耐震レジリエンス性能が議論され、建物性能の低下と復旧時間を指標とした検討が行われ、その結果が2020年に報告書として取りまとめられている。

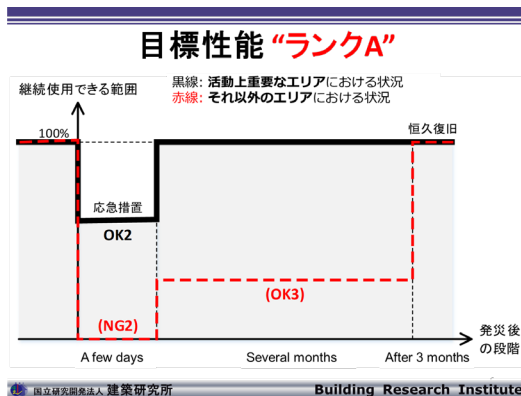


図 継続使用性確保のための要求性能
(2017, 建築研究所)

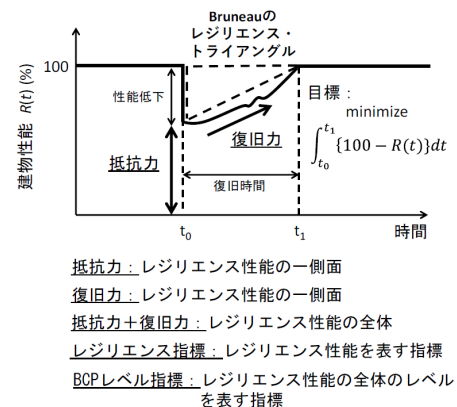


図 建物のレジリエンス性能指標等の概念
(2020, 日本建築学会)

（2）研究開発の概要

本研究課題では、現行基準で許容される損傷軽減や迅速な被災判定により建築物のレジリエンス性を高めた建築物の推進を目的とし、耐震レジリエンス性能として耐震安全性能および復旧性能を考慮した建築物の設計手法構築に資する各種評価手法を大きく分けて以下の2つの項目を検討する。

1. 建築物の耐震レジリエンス性能の算定方法とその要求性能の提案
2. 建築物の耐震レジリエンス性能を確保する設計のための耐震性能評価技術の調査・開発

（3）達成すべき目標

以下のアウトプットを具体的な目標とする。

- ① 建築物の耐震レジリエンス性能の算定手法に関する技術資料
- ② 耐震レジリエンス性能を確保した建築物の設計・評価に関する技術資料

(4) 令和4年度の進捗・達成状況

事後評価における自己評価結果：a (目標を達成できた)

研究テーマ1：建築物の耐震レジリエンス性能の算定方法とその要求性能の提案

1) 建築物の耐震安全性および地震後復旧性を考慮した指標の整理と各種建築物への適用条件・方法の整理

① 建築物の地震後の耐震安全性と復旧性の評価手法の提案

耐震レジリエンスと関連する近年の建築研究所、建築学会等における検討事例の整理、収集を行い、今後の検討の方向性についての議論を行った。

耐震レジリエンス性能の評価を行う際の指標となる地震後の耐震安全性と復旧性のうち、耐震安全性に関しては、被災度区分判定で用いられる耐震性能残存率Rを用いた評価を行う方針とし、大地震時の損傷が補修で対応できる程度(中破相当)に留まる建築物を対象とすることとした。但し、構造種別(鉄筋コンクリート構造、鉄骨造、木造)や構造形式(柱梁、耐力壁、ブレース等)によって、各部材の損傷度の計算方法(最大応答、累積応答)や架構(建物全体)における耐震性能残存率の計算方法が異なる(損傷を平均化した評価、最大の損傷を評価)ため、評価方法の違いが及ぼす影響の検証が必要である。

地震後の復旧性については、下図に示す衣笠、向井らの提案による理想的な修復時間(以下、理想修復時間)に基づく評価方法を用いることとし、耐震レジリエンス性能との関連性を整理した。また、鉄筋コンクリート構造、鉄骨造を対象とした理想修復時間を算定するための計算シートを試作し、鉄骨造に関しては、時刻歴応答解析によって各階梁端の損傷度Dを求めた事務所ビルの設計例に適用して、理想修復時間の試算を行った。

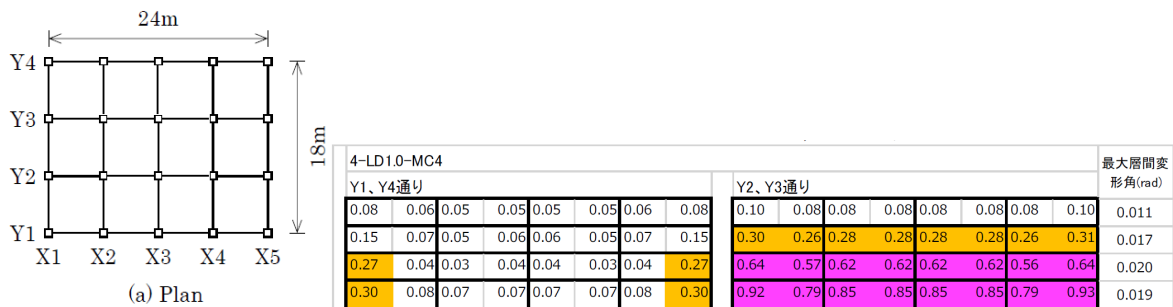


図 JMA Sendai NS (LD1.0: 長継続時間地震) に対するS造事務所ビルの梁端損傷度Dの分布

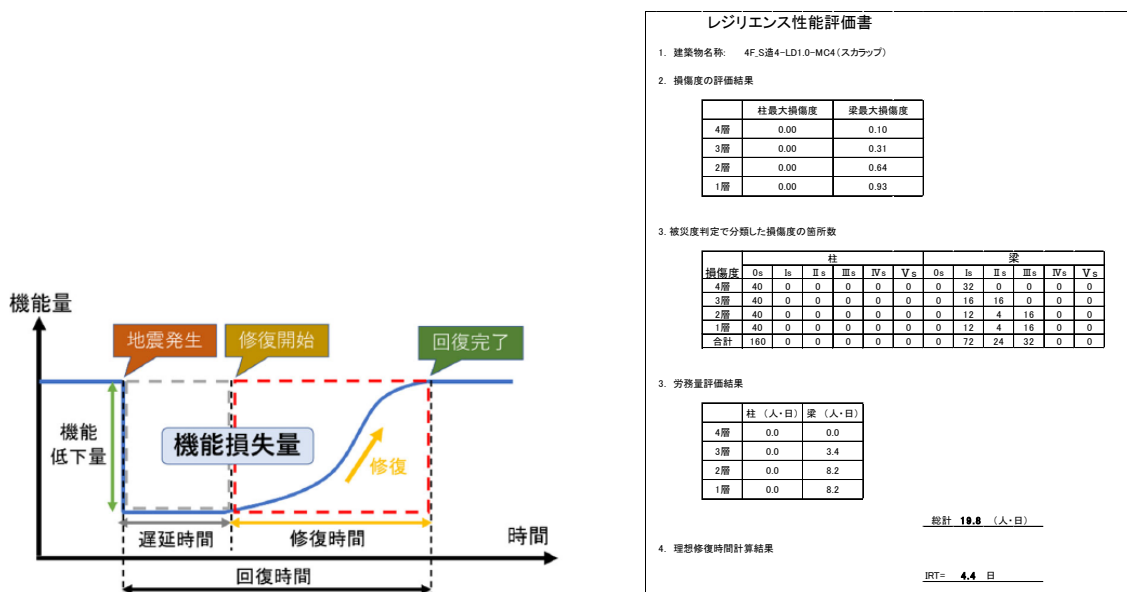


図 地震時における建物機能と回復時間の関係

② 福島県沖を震源とする地震の被害要因分析

2022年3月16日に発生した福島県沖を震源とする地震で、構造的な被害を受けた鉄筋コンクリート構造等の建築物や、設備に被害を受けた建築物の現地調査を計3回実施した。地震後の継続使用性に影響を及ぼす要因の調査を行い、構造部材（大梁、屋上ブレース、小屋組等）に加え、設備（タンク、給水配管、エスカレータ、エレベータ、ガス空調機等）や非構造部材（窓サッシ、外壁、天井材、天井照明、防火扉等）、地震後の継続使用を阻害した要因を具体的に把握し、今後、耐震レジリエンス性能を評価する際に留意が必要な項目として整理した。



図 福島県沖を震源とする地震における設備関係の被害事例

研究テーマ2：建築物の耐震レジリエンス性能を確保する設計のための耐震性能評価技術の調査・開発

1) プロトタイプ建築物の選定と耐震レジリエンス性能向上のための耐震性能評価技術の検討

③ 耐震レジリエンス性能の評価対象となる部位の損傷・修復データの収集

耐震レジリエンス性能を評価するためには、下表に示すような部材の損傷DBと修復DBを構築する必要があるが、事前の調査により、いずれの構造形式でも関連する情報が不足しており、特に鉄骨造や木造では、修復の観点で整理された情報がほとんどないことが確認された。そこで、これらのデータを収集するための調査及び実験を実施した。R4年度は、鉄骨造のブレース構造の振動台実験に加え、木造の軸組耐力壁構造の静的載荷実験を実施している。

なお、耐震レジリエンス性能の評価を行う対象として、鉄筋コンクリート造では「ラーメン構造」と「壁付きラーメン構造」を、鉄骨造では「ラーメン構造（事務所ビル）」と「ブレース構造（体育館）」を、木造では「軸組耐力壁構造（住宅）」と「CLTパネル構造（非住宅）」を想定した検討を行う予定としている。

表 過去の研究で整備された損傷DB及び修復DBの一例（RC造柱）

大分類	中分類	小分類	細分類	損傷状態	修復工法	修復時間係数		修復費用係数
						人・日/m ²	人・日/m ²	
RC	柱	RC	RC	S-RC-O-F-NF-0	修復無し 軽微	修復不要		0.00
				S-RC-O-F-NF-1	近寄らないヒビに1程度のひび割れ (ひび割れ幅)2mm未満	シーリング		0.10
				S-RC-O-F-NF-2	肉壁ではつき目を見る程度のひび割れ (ひび割れ幅)2~10mm程度	シーリング 手動式エポキシ樹脂注入工法		0.34
				S-RC-O-F-NF-3	比較的好きなひび割れ (ひび割れ幅)10~15mm程度) コンクリートの剥離がある	シーリング 手動式エポキシ樹脂注入工法 Uカト可とう性エポキシ樹脂充填工法 +自動式低圧樹脂注入工法 RCパテ塗り		0.65
				S-RC-O-F-NF-4	大きなひび割れ (ひび割れ幅)15~30mm程度) コンクリートの剥離も多い	シーリング 手動式エポキシ樹脂注入工法 Uカト可とう性エポキシ樹脂充填工法 +自動式低圧樹脂注入工法 RCパテ塗り		1.01
				S-RC-O-F-NF-5	鉄筋露出 内面コンクリートも剥れ落ちている	全撤去 コンクリート打ち直し		0.59

(鉄筋コンクリート造)

建築研究所で実施された研究課題「災害後の建築物の機能の維持・早期回復を目指した技術開発 (H21~H22)」以降に整備された損傷 DB の見直しを行い、構造部材ごと (柱、梁、接合部、壁) に整理した。その結果、修復時間の計算に必要な部材角 (接合部は入力/耐力の比率) と単位面積あたりの損傷量 (ひび割れ長さや剥落量) に関するデータ数は少なく、現状では様々なパラメータに応じた損傷量の詳細な評価は難しいこと、また、耐力壁に関しては引用可能な情報がほとんどないことが確認された。以上の結果を踏まえ、来年度以降に、総プロ「社会環境の変化に対応した住宅・建築物の性能評価技術の開発」(R4~R8) 等と連携した損傷計測を行い、梁や耐力壁の損傷データの収集を行う方針とした。

また、耐震安全性の評価に用いる各部材の損傷度に関して、向井らが提案した手法に基づいて、鉄筋の降伏状況と残留ひび割れ幅を用いて評価する方針とし、既往文献の調査を行い、各部材の変形量、鉄筋の降伏状況、残留ひび割れ幅の関係に関する情報を収集した。

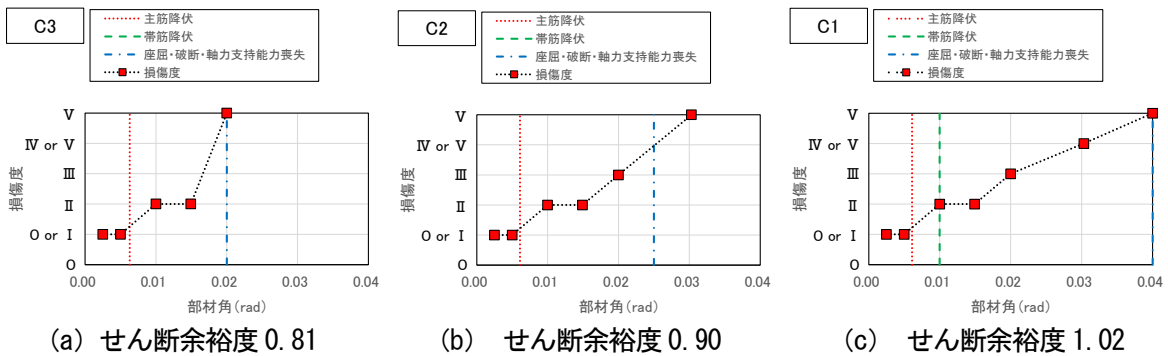


図 曲げ破壊型の RC 造柱における損傷度と部材角の関係

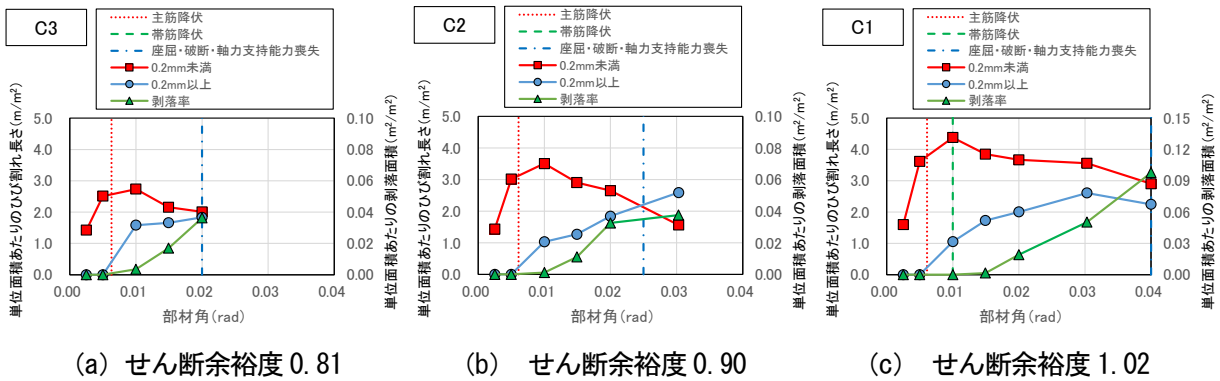


図 曲げ破壊型の RC 造柱における損傷量と部材角の関係

(鉄骨造)

S 造ラーメン構造の事務所ビルを対象に、スカラップ梁端部及びノンスカラップ梁端部について、既往の研究の実験データを調査して、梁端部の損傷度 D 値と被災度区分との関係を整理し、対応する補修方法を検討し提案した。また、既往の文献等を参考にして、提示した各補修方法について、補修工程、作業内容、工数、コストの計算方法を示し、具体的な断面での計算例を示した。

上記に加え、一般研究課題「極大地震動に対する避難施設等の建築物の終局状態の評価と被災度の判定」と連携して、損傷評価を行う上で、データが不足していると考えられる引張ブレース構造 (体育館等) 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。

表 S造梁端の損傷度D, 被災度区分判定, 損傷の状況, 補修方法の一覧表

(a) スカラップ梁端部

損傷度Dの区分	損傷に関する被災度区分判定	予想される震害時の損傷の状況	震害時の補修方法
D=0 (緑)	0s (軽微害、軽微)	梁端部は脆性破壊の恐れがないため、確認(目視検査)のみとする。	初期不良
0<D<0.2 (黄)	I s (小破)	梁端部は脆性破壊の恐れがあるが、脆性発生していない状態。	補修不要
0.2≤D<0.5 (オレンジ)	II s (小破~中破)	梁端部のスカラップ部から亀裂が発生し、それがやや進展している状態(相対方向に亀裂は発生していない)。フランジ部材の欠損が生じている状態。	スカラップを少し挿入して、亀裂部分のフランジを削り、それを溶接する補修。
0.5<D<1.0 (ピンク)	III s (中破)	スカラップ部の亀裂が相対方向に進展して亀裂、または、脆性的に進展している状態。フランジで梁部座屈(小)が生じている状態。	スカラップを大きく挿入して、相対方向のフランジを削り、梁部座屈部分で亀裂を削り、脆性的に進展している状態。フランジで梁部座屈(小)が生じている状態。フランジとスカラップの両方を削り、それを溶接する補修。
1.0≤D<1.5 (赤)	IV s (中破)	梁端部のフランジが全断面破断し、ウェブも少なからず亀裂が進展している状態。フランジで梁部座屈(中)が生じている状態。	損傷部のフランジとウェブを切断して、T形材の部材を同部分に溶接して補修する方法。
1.5≤D (紫)	V s (大破)	梁端部の下フランジが全断面破断し、ウェブにも亀裂が進展している状態。フランジで梁部座屈(大)が生じている状態。	上記DⅣの補修方法または、ウェブを溶接してウェブ部分を切断して取り替える方法。ウェブ部分のウェブを溶接してウェブ部分を切断して取り替える方法。

(b) ノンスカラップ梁端部

損傷度Dの区分	損傷に関する被災度区分判定	予想される震害時の損傷の状況	梁端部の補修方法
D=0 (緑)	0s (軽微害、軽微)	梁端部は脆性破壊の恐れがないため、確認(目視検査)のみとする。	初期不良
0<D<0.4 (黄)	I s (小破)	梁端部は脆性破壊の恐れがあるが、脆性発生していない状態。フランジでわずかな曲がりが生じている状態。	初期不良
0.4≤D<0.7 (オレンジ)	II s (小破~中破)	梁端部のフランジ部材等から亀裂が発生している状態。フランジで梁部座屈(小)が生じている状態。	梁端部の梁部座屈(小)から、梁部座屈防止に加工した鋼製スチフナーによる補修。
0.7≤D<1.0 (ピンク)	III s (中破)	梁端部のフランジ部材等から亀裂が進展している状態。フランジで梁部座屈(中)が生じている状態。	梁端部の梁部座屈(中)から、梁部座屈防止に加工した鋼製スチフナーによる補修。
1.0≤D<1.5 (赤)	IV s (中破)	梁端部のフランジが全断面破断し、ウェブも少なからず亀裂が進展している状態。フランジで梁部座屈(大)が生じている状態。	梁端部のフランジとウェブを切断して、ウェブを溶接してウェブ部分を切断して取り替える方法。
1.5≤D (紫)	V s (大破)	梁端部の下フランジが全断面破断し、ウェブにも亀裂が進展している状態。フランジで梁部座屈(大)が生じている状態。	T形材の補修が主だが、ウェブを溶接してウェブ部分を切断して取り替える方法。

スカラップ梁Ⅱsの補修 (H-400x200x9x12)

作業過程	作業内容	使用材料とその数量	材料費(円)	作業時間(min)	単価(円)
1	スカラップ加工	鋼製スチフナー 215x4, 70x10x8 2枚	7	11.2	30,000
2	フランジ加工	長さ10mm, 長さ130mm	65	33.3	40,000
3	G仕上	G仕上: 9x90L 研削砥石, G仕上面積 39.3cm ²	136	13.1	30,000
4	溶接	溶接材料, 溶接部 長さ130mm	62	33.9	50,000
5	溶接	溶接材料, CO ₂ 長さ98g	61	14.9	40,000
6	外観検査	溶接部の外観, UT 検査長さ130mm	0	13.4	50,000
7	塗装	錆止め塗料, 面積 520cm ²	52	3.3	30,000
合計			384円	工数: 0.215人日	9,005円

(a) スカラップ梁Ⅱs

スカラップ梁Ⅳsの補修 (H-400x200x9x12)

作業過程	作業内容	使用材料とその数量	材料費(円)	作業時間(min)	単価(円)
1	損傷部切断	鋼製スチフナー 215x4, 70x10x8 2枚	160	68.3	30,000
2	G仕上	G仕上: 9x90L 研削砥石, 仕上面積 125cm ²	434	41.7	30,000
3	T形材製作	T形材: 重量10.8kg	2,170	121.5	30,000
4	T形材取付	鋼製スチフナー 215x4, 70x10x8 2枚	950	233.3	30,000
5	溶接	溶接材料, CO ₂ 長さ1235g	766	76.4	40,000
6	外観検査	溶接部の外観, UT 検査	0	113.5	50,000
7	塗装	錆止め塗料, 面積 5,076cm ²	508	32.5	30,000
合計			4,988円	工数: 1.43人日	49,275円

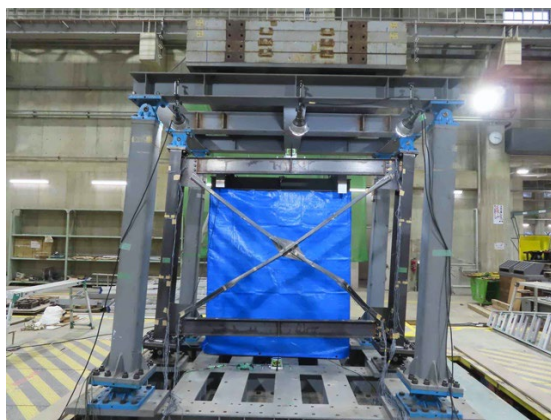
(b) スカラップ梁Ⅳs

ノンスカラップ梁Ⅱsの補修 (H-400x200x9x12)

作業過程	作業内容	使用材料とその数量	材料費(円)	作業時間(min)	単価(円)
1	梁形計測	鋼製スチフナー 215x4, 70x10x8 2枚	0	60	30,000
2	スチフナー取付	CAD図面作成	0	30	3,750
3	スチフナー製作	型切り	903	14.5	30,000
4	塗装除去	取付面のG仕上	83	23.8	30,000
5	スチフナー取付	スチフナーの取付	0	133.3	30,000
6	溶接	溶接材料, CO ₂ 長さ315g	315	41.7	40,000
7	外観検査	溶接部の外観検査	0	14.5	50,000
8	塗装	錆止め塗料, 面積 2,430cm ²	243	16	30,000
合計			1,544円	工数: 0.695人日	22,317円

(c) ノンスカラップ梁Ⅱs

図 梁端部の各補修方法の補修工程, 作業内容, 補修工数, コストの計算例



(a) JMA Kobe NSによる加振



(b) JMA Sendai NSによる加振

図 S造引張ブレース構造の損傷評価を目的とした振動台実験の様子(最終破壊状況)

(木造)

枠組壁工法の外壁や内装について、損傷状況に対応する被災区分と最大変形角の区分を定義した。また、被災区分に対応する具体的な補修方法を提案、整理した。

上記に加え、一般研究課題「中層木造建築物の崩壊機構の検討と簡略な保証設計技術の開発」と連携して、提案内容の妥当性（累積損傷の影響がないかどうか）を検証するため、耐力壁試験体の修復時間を評価するための施工実験および最大変形角と損傷度の関係を明らかにするための載荷実験を行った。

表 面材を用いた軸組耐力壁における被災区分、変形角、内壁損傷の一覧表（◇内装仕上げ材、◆石膏ボード）

被災区分*1	被災区分*2	変形角	損傷状況：(文献) 石膏ボードいも張り	損傷状況：(文献) 石膏ボード掛け張り	損傷状況：(検証実験) 石膏ボードいも張り	補修工法
I	D0	1/450	◇開口部隅にしわ	◇開口部隅にしわ	◇開口部隅にしわ	D-1
I	D0	1/300	◇開口部隅に亀裂、 ボード目地しわ	◇開口部隅に亀裂	◇開口部隅に亀裂	D-1
I	D0	1/200	◇ボード目地しわ通る ◆開口部隅ボード亀裂	◇開口部隅に亀裂、 ボード目地しわ通る	◇開口部隅に亀裂、 ボード目地しわ通る	D-2
I	D0	1/150	◇ボード目地亀裂 ◆開口部隅～下枠ボード 亀裂	◇ボード目地亀裂 ◆開口部隅～下枠ボード 亀裂	◇ボード目地亀裂 ◆開口部隅～下枠ボード 亀裂	D-2, G-1, G-2
II	D1	1/100	◆開口部隅・上枠～下枠 にかけボード目地亀裂	◆開口部隅～下枠ボード 亀裂、ボード目地亀裂	◆開口部隅～下枠ボード 亀裂、ボード目地亀裂、 ボードビス浮き	D-2, G-1, G-2
II	D1-D2	1/75	◆開口部隅ボード剥がれ、 ボードビス浮き	◆開口部隅ボード 剥がれ、ボードビス浮き	◆壁全体～ボードビス 浮き	D-2, G-1, G-2
III	D3-D4	1/50	◆開口部隅ボード剥がれ 拡大、欠片落下	◆開口部隅ボード剥がれ 拡大、欠片落下	◆壁端部の欠けが上下に通 る	D-2, G-1, G-2

*1 建築防災協会の被災度区分判定基準による区分

*2 既往文献による区分

表 外壁、内壁の修復方法、修復時間の一覧表の一例

記号	工事名	工事概要	単位壁長さあたりの 工期 (人日/m)
G-1	耐力壁の壁量増加による補強	耐力壁に釘を増し打ちする (@100→@50)。	0.22
G-2	耐力壁線内の開口部を壁と する補強	耐力壁の合板を撤去し、合板を張り替える。	0.27

記号	工事名	工事概要	単位壁長さあたりの 工期 (人日/m)
D-1	仕上材の張替え	内壁仕上材を撤去し、張り替える。下地板は既設の ままとし、表面の仕上材のみを交換する。	0.05
D-2	下地材・仕上げ材の取替え (内壁 部)	内壁仕上材及び下地材を撤去し、新規の下地材 (ボ ード等) や仕上材に取り替える。	0.12

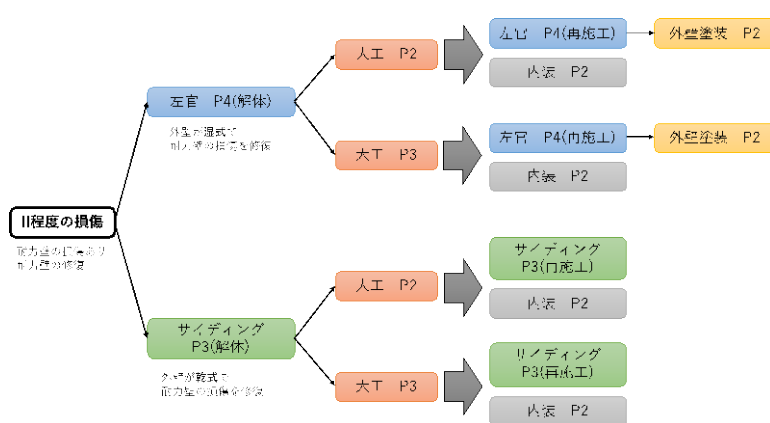


図 損傷が大きい場合 (1/150rad 以降) の修復工程のフロー

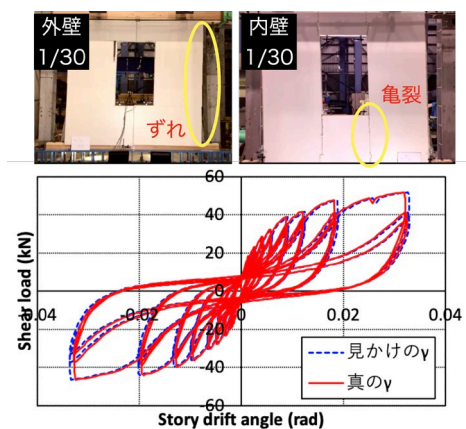


図 壁試験体の静的載荷実験の様子

2) 地震直後に被災判定できる手法の調査および検討

④ 加速度センサやレーザースキャナを用いた被災判定手法に関する検討

PRISM 課題, SIP 課題において整備される加速度センサやレーザースキャナを用いた被災判定手法を用いて, 耐震レジリエンス性能を評価する手順や方法を示すために, 本年度で終了するこれらの課題と連携して, 被災判定を目的として設置された収集サーバの利活用に関する検討(日本建築防災協会と連携), 共同住宅への観測機器類の導入による観測, 検証体制の整備(東京都と連携), 3D 点群によるレーザースキャナを用いた損傷評価手法の汎用ソフトウェアへの展開を通じた普及に向けた取り組み(民間企業との共同研究)を行った。

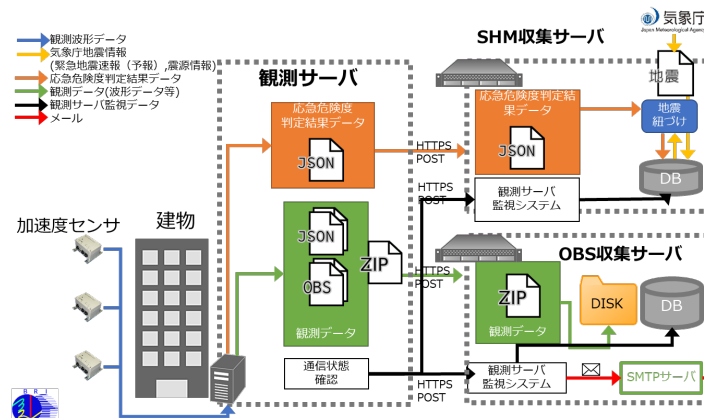


図 PRISM 課題で整備される加速度センサを用いた被災判定システムの概要

2. 研究評価委員会(分科会)の所見

(1) 背景(目的・必要性)及び目標とする成果, 成果の活用方法が国の方針や社会のニーズに適合しているか。研究開発の計画が具体的に立案されているか。

- 本開発研究は, 過去数年にわたり建築研究所が実施してきた, 地震後の建築物の継続使用性に関する研究によって豊富に蓄積された成果を踏まえ, 「耐震レジリエンス性能」をキーワードに, 発展的に計画されたものである。目的として, 建築物の耐震レジリエンス性能を確保するための設計手法の構築, および当該性能の評価手法の構築を挙げている。地震後の速やかな復旧性能を建物の設計段階から考慮することを可能とする, 安心・安全な社会の実現に資する重要なテーマであり, 概ね具体的な研究計画が提示されている。
- 災害からいかに早く復旧するかは国全体として大きな課題であり, 建築研究所が取り組む意義は非常に深い。過去の継続使用性に関する研究では復旧時間は定性的な評価であったので, 本研究で深堀り・定量化が期待される。ただし, 復旧までの遅延時間や復旧に着手してからの修復時間は災害の大きさや社会構造にも依存すると思われる。大規模災害での回復時間を合理的に評価したいニーズが高いので, そのような災害での試算・事例検討もしていただきたい。(所見 1)
- 第一フェーズとしての本プロジェクトでは結構かと思えます。しかし, 現時点ではレジリエンス評価が矮小化されていると感じています。地震の被害様相, 地域(大都市と地方都市)によって求められるレジリエンス性能も変わるようにも考えます。(所見 2)

(2) 他機関との関係等, 効果的かつ効率的な研究のために必要な体制が取られているか。技術的支援や普及のための活動等, 成果の最大化のための取組がなされているか。

- 研究体制では, 十数名の専任研究員を主担当・担当に配置し, 十分な陣容と思われる。ただし, 本研究開発の先行研究を主導した研究員の異動があり, 可能な範囲で助言等の連携が望まれる。(所見 3) サブテーマそれぞれに相応しいと思われる多くの他機関との連携が企画されていること, および本課題に関連する少なくない共同研究を実施していることにより, より優れた成果を得る取組みが意識さ

れている。

- ・各構造形式に応じて多くの研究員が参加するとともに、多くの外部機関と連携を図っている。さらに、外部研究資金を獲得している。今後もこの研究体制が円滑に回っていくことを期待する。復旧性の高い建築物を普及させる取り組みについては、研究成果の一方的発信だけでなく、広く建築行政の施策に盛り込むことや民間意欲を掘り起こすような工夫を期待したい。（所見 4）
- ・なされていると考えます。

（3）研究開発が目標に向けて順調に進捗しているか。

- ・耐震レジリエンス性能算定方法に関して、大地震時に中破相当に被災した残余耐震性能は、構造種別ごとに評価方法が異なることの影響の検証が課題となること、復旧性は理想修復時間で表示することが有効であることを鉄骨造の試算例で示した。耐震レジリエンス性能評価技術に関して、構造種別ごとに検討し、いずれの構造種別においても、損傷 DB と修復 DB の情報が不足している現状を踏まえ、鉄骨造と木構造では実験により評価に必要なデータを収集した。概ね当初計画に沿った進捗であろう。
- ・各構造形式に応じて目標を設定して、着実に実施されている。ただし、ハイブリッド構造の普及を考えると、各構造を横断する考え方に基づく評価にも挑戦していただきたい。（初見 5）過去の実験データや補修データを振り返るとともに不足したデータを実験で補うなど、効率的に行っている。損傷の調査や評価の自動化研究の成果も期待したい。（所見 6）
- ・順調にすすんでいると考えます。

（4）総合所見

- ・本指定課題は、建築物の耐震レジリエンス性能を確保するための設計手法の構築、および当該性能の評価手法の構築を目的としている。地震後の速やかな復旧性能を建物の設計段階から考慮することを可能とする、安心・安全で持続可能な社会の実現に資する重要なテーマである。研究体制は、十分な陣容配置と思われるが、本開発研究の先行研究を主導した別組織の研究員からの、可能な範囲での助言等による連携が望まれる。令和 4 年の進捗状況は、概ね当初計画に沿った進捗であろう。なお、最終的な成果に関わる、やや気になる点を以下に列挙する。
- ・関連する先行研究で杭を対象とした研究成果を多く公表しているが、一体としての構造システムとして、基礎構造も耐震レジリエント性能に大きくかわる重要部位ではないか。（所見 7）
- ・性能評価技術の開発に損傷 DB・修復 DB の構築が必要不可欠であるとしたら、研究期間内にそれは可能なのか。（所見 8）
- ・同じ損傷に対しても復旧技術は一つではないが、人工と時間だけでなく、採用する技術による復旧後の性能の差は考慮しなくてよいか。（所見 9）
- ・新築建物の設計において、つまるところ強度抵抗型の建物にすべし、という単純な帰結となりはしないか。（所見 10）
- ・復旧費用・期間・工数は、時代や社会情勢・景気動向・国際関係・国内生産力や物流、などによって変化すると思われる、数字が一人歩きしないようにデータを取得した状況（年代など）を明確にしなければならない。また、新しい工法が登場したときに、この種のデータの存在が普及を妨げるのではなく、後押しになるようなアウトプットの仕方が望まれる。（所見 11）復旧性に関してピロティ構造の方が梁崩壊建物より良さそう、という議論はかなり昔からある。地震損傷が大きくなるリスクはあるが、修復工事の範囲が限定されるため、費用や工期の短縮になる、とされていた。また、マンションであれば住民の意識として専有部の工事より共用部の工事が望まれる、という事例も多い。構造技術者が復旧性を考慮しても梁崩壊を推奨するのであれば、エビデンスを持ってこれらに答えることが必要であり、その方法論や試算例をこの研究の中で示していただきたい。（所見 12）自然災害は地震だけでなく、洪水・台風・地すべり、など多くの種類がある。これらをいずれ包含するような枠組

みでレジリエンス研究を推進できれば、と思われる。

- ・研究は順調に進んでいると思います。機能量を何では計っているのか？（所見 13）遅延時間・修復時間が個別建物の被害状況だけで決まらないのでは？地震動の規模、被災地域の範囲、資材やその流通の状況によって変化するのではないかと思います。（所見 14）軽量 S 造については行わないのか？レジリエンス評価事例を作成してもらいたい。また、軽量 S 造については、構造性能の実態がよくわからないので、データ収集をしていただきたい。（所見 15）理想修復時間やコストなども、政府の発表資料として、独り歩きして取り扱われないように、注意いただきたい。（所見 16）

（参考）建築研究所としての対応内容

- ・所見 1・2・14 への対応

本研究課題において耐震レジリエンス性能の評価項目として採用した理想修復時間は、建築物の復旧性能を工学的に評価するために、修復時間の算定において「周辺環境に起因する制限」や「社会環境に起因する制限」による影響が排除されており、設計上の工夫や配慮が復旧性能に反映されるように工夫されています。一方で、ご指摘のように、実際には上記の制限（具体的には、災害の大きさや社会環境、地性等の要因）に左右されることから、理想修復時間の定義や実際の修復時間との乖離の要因についても、事例等を踏まえて丁寧に説明したいと思います。

- ・所見 3 への対応

本研究開発の先行研究を主導した研究員は、国土技術政策総合研究所に異動しましたが、総合開発プロジェクト「社会環境の変化に対応した住宅・建築物の性能評価技術開発」（R4～R8）の主担当者として、大地震後の継続使用性を住宅性能表示制度に反映するための検討を実施しています。同プロジェクトは、耐震レジリエンスを取り扱う本研究課題とも密接な関係があるため、損傷 DB・修復 DB を構築するための構造実験を共同で実施する等、連携して検討を実施します。

- ・所見 4 への対応

本研究課題は、国土技術政策総合研究所で実施されている総合開発プロジェクト「社会環境の変化に対応した住宅・建築物の性能評価技術開発」（R4～R8）と連携して検討を進めており、本研究課題の成果は、同プロジェクトにおける住宅性能表示制度の提案内容にも活用される予定です。

- ・所見 5 への対応

本研究課題では、鉄筋コンクリート造、鉄骨造、木造を対象に、耐震安全性能や復旧性能の評価方法の共通化に向けた検討を実施しており、構造ごとの共通点や相違点の整理を進めることで、将来的に混合構造にも適用できる知見が得られるものと考えています。

- ・所見 6 への対応

本研究課題と連携している PRISM の研究課題「デジタルデータを活用した建築物の被災判定による迅速な復旧促進」（H30～R4）では、地上型レーザースキャナを用いた損傷の計測や評価に関する手引きを策定しており、部材表面の浮きや剥落を定量的に評価する手法が示されています。このような手法も活用しながら、損傷情報を効率的に収集する手法についても検討したいと思います。

- ・所見 7 への対応

ご指摘のように、基礎構造は耐震レジリエンス性能に関わる重要な部位であり、将来の検討対象として考えていますが、本研究課題は耐震レジリエンス性能を取り扱う最初の課題であり、鉄筋コンクリート造だけでなく、他の構造（鉄骨造や木造）に評価対象を拡大することを優先しているため、現時点では対象外としています。

- ・所見 8 への対応

ご指摘のように、損傷 DB や修復 DB が構築できないと、耐震安全性能や復旧性能が評価できませんが、本研究課題の実施期間内だけで多種多様な架構形式を幅広く取り扱うことができるような DB を構築することは困難なため、まずは対象とする架構形式（構造ごとに 2 つ程度）を対象とした評価が

行えるように情報収集を行う予定です。

・所見 9 への対応

対象建物が被災した場合、元々の構造性能に応じて修復や補強が行われますが、本研究課題では、新築で地震によって生じる損傷が修復可能な中破程度までに留まる建築物を対象としており、基本的には修復によって構造性能が元に戻ることを想定しています。そのため、採用する技術による復旧後の性能差は小さいものと考えています。今後、既存建築物を対象として、修復に加えて補強を行う際に、耐震レジリエンス性能においてどのように採用する技術による性能差を評価すべきか検討したいと思います。

・所見 10 への対応

強度抵抗型の建築物は、地震時の応答変位が小さく、ほぼ修復が必要ないレベルに損傷が留まることから、耐震レジリエンス性能を向上させる一つの有効な手法です。一方で、全ての建築物に適用できる形式ではないため、強度型だけでなく、靱性型に対応した設計手法も必要になると考えています。本研究課題では、複数の構造形式（鉄筋コンクリート構造、鉄骨造、木造）や架構形式（純ラーメン、壁付きラーメン等）を取り扱いますが、例えば全ての形式を横並びに評価しようとする「強度抵抗型の建築物にすべき」という単純な結論に至る可能性があるため、比較や評価の方法に注意して検討を進めたいと思います。

・所見 11・16 への対応

ご指摘のように、復旧費用・期間・工数は、社会情勢の影響を受けて常に変動するものと思われるため、資料を公表する際にはこれらの算定根拠も丁寧に説明して、将来の修正や更新が可能な形で整理を行いたいと思います。また、算定根拠を示すことで、新しい技術や工法を導入する際に耐震レジリエンス性能の評価を行うためにどのような検討が必要になるか明確になるため、これらの普及にも寄与するものと思われま。

・所見 12 への対応

ピロティ構造では地震時の変形を下層階に集中させることで、修復範囲が制限され、復旧性を評価する上で有利になりますが、熊本地震では新耐震の鉄筋コンクリート造のピロティ建築物が大破しており、耐震安全性能を評価する上で注意が必要な形式であると認識しています。日本建築学会においても、二次設計を取り扱う「鉄筋コンクリート構造保有水平耐力計算規準・同解説」や「鉄筋コンクリート造建物の等価線形化法に基づく耐震性能評価型設計指針（案）・同解説」では、現在ピロティ構造が適用範囲外とされており、RC 構造運営委員会直下の WG において周辺部材の保証設計に関する検討が行われている状況であるため、これらの研究動向も踏まえながら、耐震レジリエンス性能を高める方法として取り扱えるかどうか引き続き検討したいと思います。

・所見 13 への対応

機能量としては、「利用可能な床面積の割合」を考えています。

・所見 15 への対応

ご指摘いただきました軽量 S 造は、鉄骨系のプレハブ住宅などに使われ、重要な検討対象であると考えられます。その構造的な特徴として、一般的に板厚が薄いことから座屈が生じやすいものと考えられます。本研究課題では、鉄骨造の最初の検討として、事務所ビルなど、最も一般的な鉄骨ラーメン構造を対象に検討を進めており、塑性変形性能が高く座屈しにくい構造に対しての適用を考えています。そのため、現状の検討の成果を軽量 S 造の建物にそのまま用いることは難しいと思いますが、現在、建築研究コンソーシアムの研究委員会「鋼構造建築物の損傷評価と性能設計」では、比較的座屈が生じやすい鉄骨部材も対象にして同様の調査、検討が行われており、その情報は参考になる可能性がありますので、そちらの情報も適宜収集しながら、検討を進めていきたいと思。

また、鉄骨系のプレハブ住宅は、基本的には、各社で独自の構造形式の骨組について、実験などに基づく型式認定を取得して運用がされているため、構造性能のデータを収集するのは難しいと考えら

れますが、その実態の調査など可能な範囲の調査を行いながら、幅広い対象に適用することを念頭において今後検討を進めていきたいと思いをします。

3. 評価結果

- A 研究開発課題として、目標の達成を見込むことができる。
- B 研究開発課題として、目標の達成を概ね見込むことができる。
- C 研究開発課題として、目標の達成を見込むことができない。