

令和3年(2021年)福島県沖を震源とする地震による 鉄筋コンクリート造等建築物の被害調査報告

概要：2021年2月13日23時7分、福島県沖にてマグニチュード7.3、最大震度6強の地震が発生した。当該地震に対して、建築研究所及び日本建築防災協会では、郡山市および福島市における被害概要の把握を目的として、3棟のRC造建築物と1基の鋼製煙突の被害調査を実施した。被害のあった地下1階地上3階のRC造建築物は、2017年に耐震補強されていたものの、耐震補強部材が取り付けしていない構面における被害が確認され、被災度区分判定を実施した結果、1階の張間方向で中破の判定となった。地上6階のRC造建築物では、1階の複数の柱に損傷度IVの被害が見られ、被災度区分判定を実施した結果、1階の桁行方向で大破、張間方向で中破の判定となった。残る1棟の2017年に耐震補強されていたRC造建築物には目立った被害は見られなかったが、併設されている鋼製煙突には被害が確認された。

1. はじめに

2021年2月13日23時7分、福島県沖にてマグニチュード7.3、最大震度6強の地震が発生した。建築研究所及び日本建築防災協会では、福島市および郡山市において発生したRC造建築物等の被害の概要を把握することを目的として現地被害調査を実施した。

2. 調査概要

2.1 調査日及び調査場所

3月4日	9:00～14:10	福島県郡山市
3月4日	15:20～16:15	福島県福島市

2.2 調査者

向井智久（国立研究開発法人建築研究所 構造研究グループ 主任研究員）
渡邊秀和（国立研究開発法人建築研究所 構造研究グループ 主任研究員）
時本和則（一般財団法人日本建築防災協会 保全調査部）

2.3 調査建築物

本調査では、下記の3棟のRC造建築物と1基の鋼製煙突の被害調査を実施した。

1. 建築物 A (郡山市, 地下1階地上3階, RC造建築物)
2. 建築物 B (郡山市, 地下1階地上3階, RC造建築物)
煙突 B (郡山市, 鋼製煙突)
3. 建築物 C (福島市, 地上6階, RC造建築物)

3. 地震概要

3.1 地震概要

2021年2月13日23時7分50秒、福島県沖（北緯37度43.7分、東経141度41.9分）にてマグニチュード7.3の地震が発生した。この地震の震度分布を図3.1に示す。最大震度はJMA蔵王町円田で6強を記録し、JMA郡山市朝日では6弱、JMA福島市松木町では5強であった。

参考として、2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震の震度分布を図3.2に示す。最大震度はJMA栗原市築館（旧）で7を記録し、JMA郡山市朝日では6弱、JMA福島市松木町では5強であった。

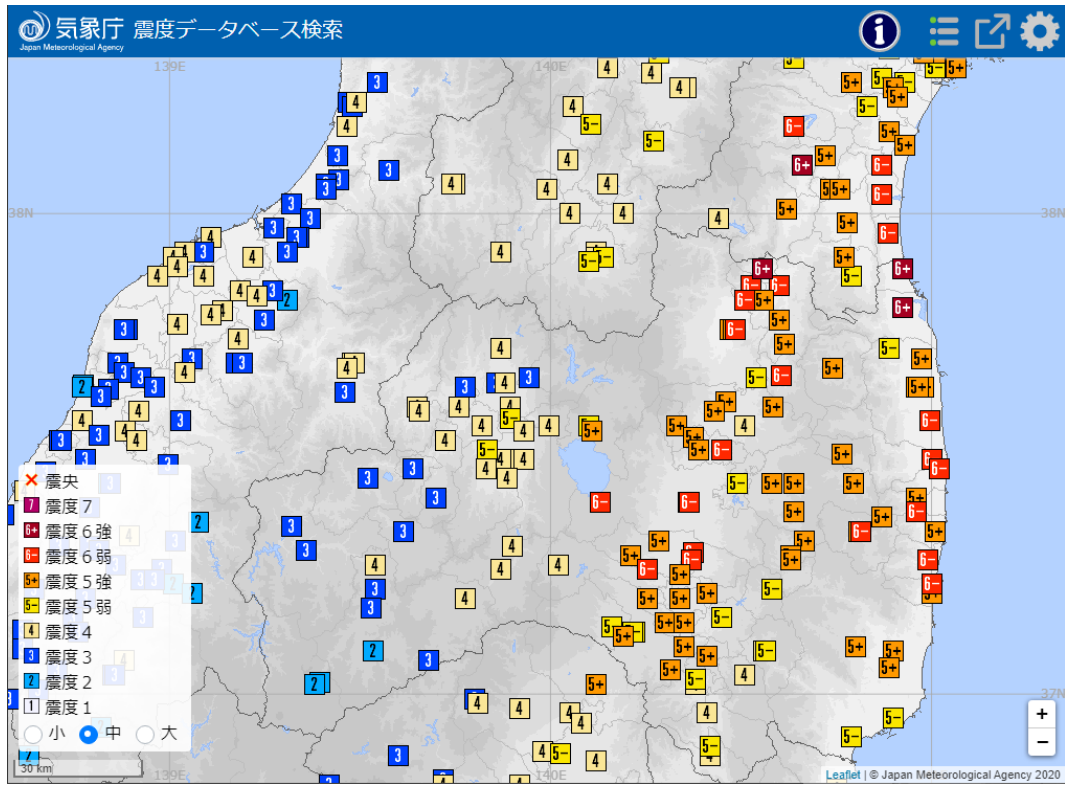


図 3.1 2021 年 2 月地震の震度分布¹⁾

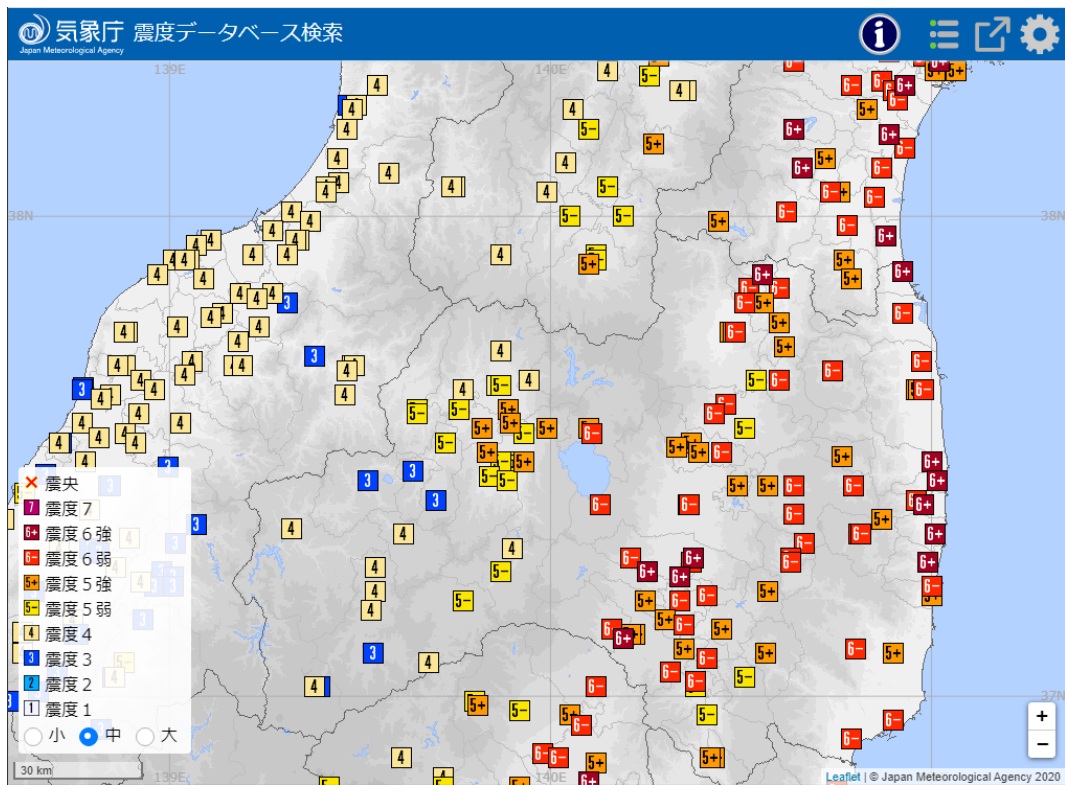


図 3.2 2011 年 3 月の東北地方太平洋沖地震の震度分布¹⁾

3.2 観測地震記録

今回調査した郡山市及び福島市で観測された地震動記録²⁾の速度応答スペクトルと2011年3月の東北地方太平洋沖地震での記録²⁾をそれぞれ示す。

図3.3より水平動について、K-NET 郡山ではEW成分における約0.5秒以下の短周期領域とNS成分は、2011年のそれと比べ小さい。0.5秒を超えた付近でのEW成分の応答は、2011年よりも大きい。一方、K-NET 福島では0.8秒程度までは両者はほぼ同等で、1.2秒以降EW成分で今回の地震の方が大きい。なお今回の調査建築物はいずれも建築物周期が0.5秒以下の中低層規模であることから、今回の調査建築物への地震入力においては、郡山で2011年より小さく、福島で2011年とほぼ同程度であると想定される。

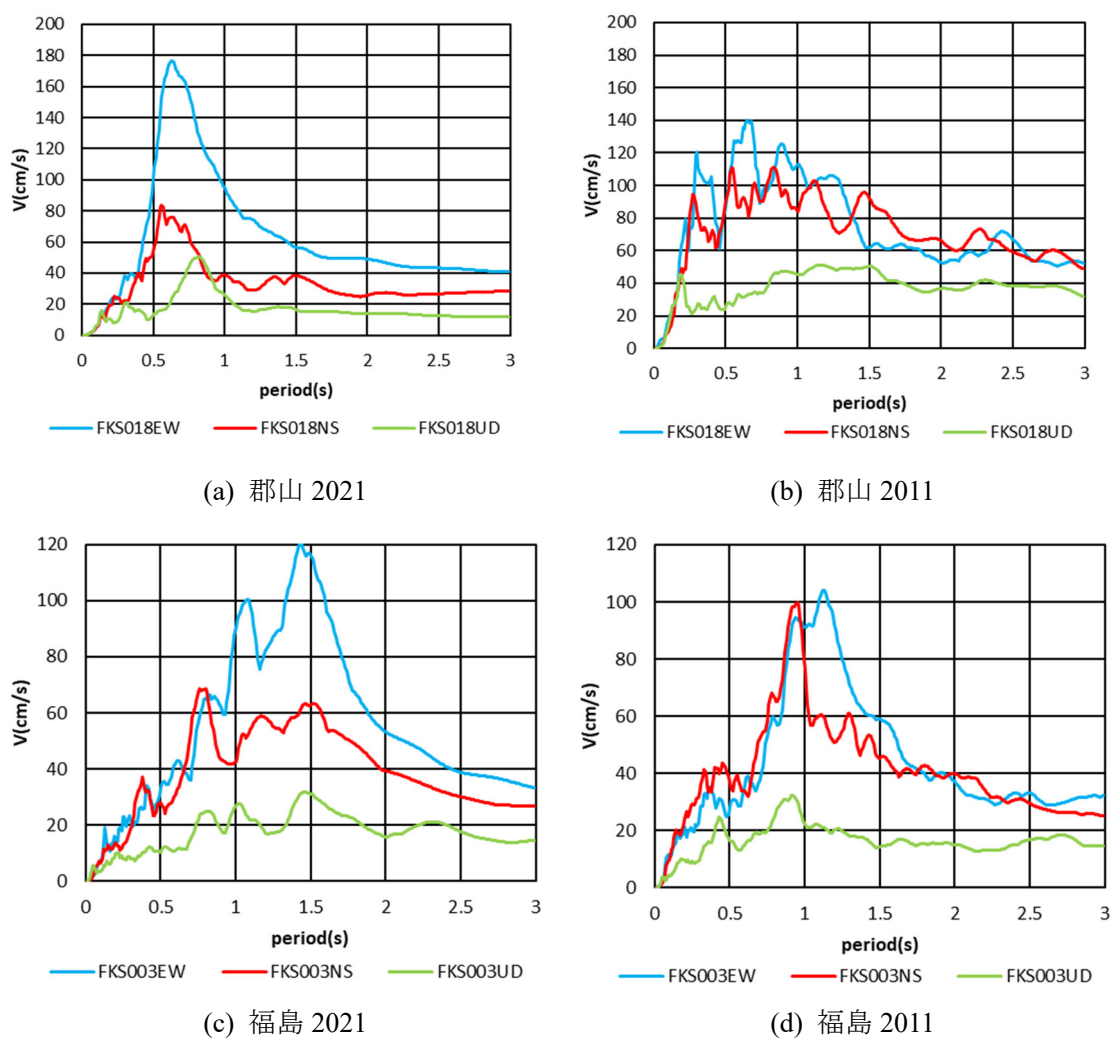


図 3.3 観測地震動の速度応答スペクトル

4. 調査結果

4.1 建築物 A

4.1.1 建築物概要

本建築物は、1981年竣工の地下1階地上3階のRC造建築物である。図4.1.1に建築物外観を示す。本建築物は張間方向5スパン桁行方向12スパンの建築物で、建築物の南側と北側部分にそれぞれ吹き抜けがある。本建築物は、2011年3月の東北地方太平洋沖地震によって構造被害を受けたため、2012年2月にタイルの貼り替えや梁の炭素繊維補強などの応急復旧工事を実施した。その後2014年に耐震診断を、2015年に耐震改修設計を、2016年～2017年にかけて耐震改修工事を実施した。耐震改修は、地下階の柱にシート巻き付け補強（図4.1.2）、1階および2階に枠付き鉄骨ブレース補強（図4.1.3）が施されている。近傍のJMA郡山市朝日の記録によると、今回の地震による震度は6弱であった。



図 4.1.1 建築物外観



図 4.1.2 シート巻き付け補強された地下階の柱



図 4.1.3 鉄骨ブレースで補強された1階の架構

4.1.2 被害概要

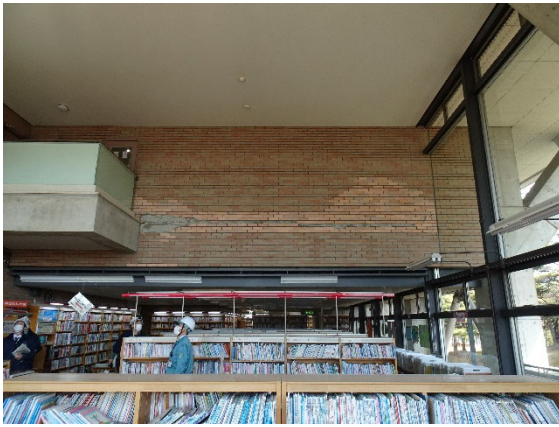
被害の概要を図 4.1.4～図 4.1.8 に示す。

図 4.1.4 の (a) : 1-2 階を貫通する吹き抜け部に面した構面において、2 階が耐力壁で 1 階が壁なしとなるピロティ構造となっている。

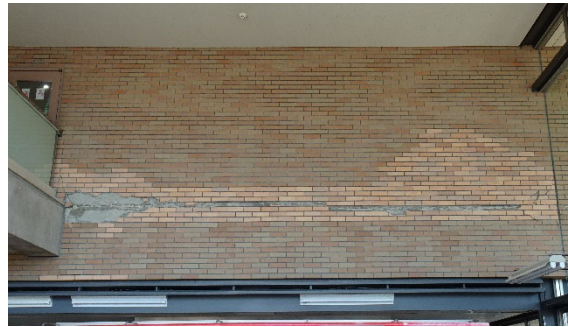
図 4.1.4 の (b) : 図 4.1.4(a)の壁部分の拡大図，壁脚部分が水平に損傷を受けている。タイルの色が違うため、2011 年も同じような被害を受けたものと推察される。

図 4.1.5 の (a) : 南側吹き抜け部の 3 階梁の端部の主筋が座屈し、コンクリートが剥落している。

図 4.1.5 の (b) : 図 4.1.5(a)の拡大図。端部のせん断補強筋が少ない箇所では損傷している。



(a) ピロティ構面



(b) ピロティ構面における耐力壁

図 4.1.4 室内南側のピロティ構面



(a) 3 階梁の破壊



(b) 3 階梁端部の損傷

図 4.1.5 室内南側吹き抜け部の 3 階梁部材の被害状態

図 4.1.6 (a) : 正面出入口構面にて、出隅の壁がせん断破壊している。この壁は隅角部に柱がないため、非耐力壁扱いと考えられる。当該壁の厚さは 150mm である。

図 4.1.6 (b) : (a)の拡大図。今回損傷が生じた部分のタイルのモルタル下地が、周辺とは異なることから、2011 年も被害 (図 (c) 参照³⁾) を受けて補修された箇所と思われるが、今回の損傷程度が大きいように見える。

図 4.1.6 (c) : 2011 年の被害直後の状態³⁾を示す。

図 4.1.6 (d) : (b)の赤丸部分の室内側からの壁の被害状態である。室内は空調機械室として利用されている。排気用の開口の影響で短スパン壁となり、せん断応力が集中したものと思われる。



(a) 南側正面出入口構面

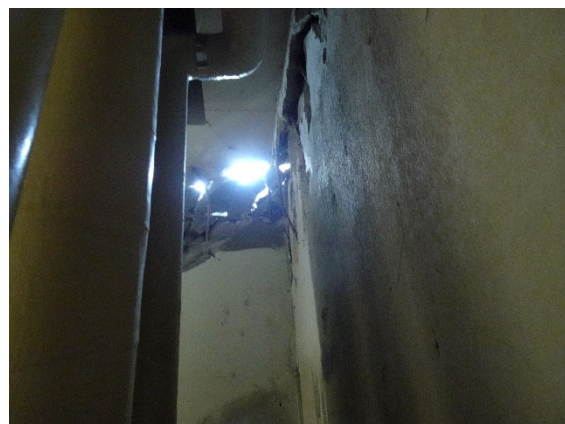


(b) 壁の損傷



平成 23 年 10 月 13 日	測点	外壁	タイル
工事概要		着工前	

(c) 2011 年地震後の壁の損傷³⁾



(d) 室内側から見た壁の損傷

図 4.1.6 屋外南側の壁の被害状態

図 4.1.7 (a) : 正面出入口構面, 南西側柱の南面の被害状態を示す。主筋に沿った顕著な付着割裂ひび割れが見られる。

図 4.1.7 (b) : (a)の柱の西側柱脚部の被害状態を示す。コンクリートが圧壊し, 鉄筋が座屈している。

図 4.1.7 (c) : 正面出入口構面, 南東側柱の南面の被害状態を示す。こちらも主筋に沿った付着割裂ひび割れが見られる。柱頭部の損傷は柱が 3 本に分岐する位置に見られる。

図 4.1.7 (d) : (c)の柱の東側柱脚部の被害状態を示す。コンクリートが圧壊し, 鉄筋が座屈している。

なお文献 3)では 2011 年の地震によって図 4.1.7(a)~(d)の柱の被害は報告されていない。



(a) 南西単独柱南側



(b) 南西単独柱西側



(c) 南東単独柱南側



(d) 南東単独柱東側

図 4.1.7 屋外 1 階南側の柱部材の被害状態

図 4.1.8 (a) : 南側妻構面の 1 階耐力壁にせん断破壊が見られる。

図 4.1.8 (b) : (a)とは違う箇所の南側妻構面の 1 階耐力壁にせん断破壊が見られる。

図 4.1.8 (c) : 2 階の本棚の脚部に損傷が見られる。

図 4.1.8 (d) : 2011 年東北地方太平洋沖地震を契機に取り替えられた本棚に被害は見られていない。



(a) 南側妻構面耐力壁



(b) 南側妻構面耐力壁



(c) 本棚の被害 (赤丸部)



(d) 被害のなかった本棚

図 4.1.8 屋外南側の 1 階耐力壁部材および 2 階本棚の被害状態

図 4.1.9 (a) : シート巻き付け補強された地下 1 階の柱で, 補強後にモルタル仕上げがされているが, そのモルタル部分に損傷度 I の曲げひび割れが見られた。

図 4.1.9 (b) : 2 階の枠付き鉄骨ブレースの鉄骨と既存部の接合部分のコンクリートに軽微なひび割れが見られた。

図 4.1.9 (c) : 南側室外の炭素繊維補強された梁には細かいひび割れはあるものの地震による損傷は確認できなかった。

図 4.1.9 (d) : 2011 年時点³⁾でも被害はないように見えるが, 応急復旧として炭素繊維補強されたとのこと (ヒアリング結果による)。



(a) 地下 1 階補強柱



(b) 枠付き鉄骨ブレース



(c) 南側室外の炭素繊維補強 (赤丸部分) された梁



(d) 南側室外の梁(2011 年時点補強前)³⁾

平成 23 年 10 月 13 日	測点	梁炭素繊維補強部
工事概要		着 工 前

図 4.1.9 補強部材の被害状態

4.1.3 被災度区分判定結果

本建築物に対して2015年版の基準⁴⁾に基づき、被災度区分判定を実施した。その計算は、層崩壊形を想定しており、その場合の計算に必要となる部材である柱、梁支配型柱、壁を対象として計算を実施した。図4.1.10～図4.1.13に実施結果を示す。

整理番号：_____番	調査日時：2021年 3月 4日 午前 11時
調査回数：_____回目	調査者：向井智久 渡邊秀和 時本和則
	所属：建築研究所 日本建築防災協会

1. 建築物概要

1.1 建築物名称 _____

1.2 建築物所在地 _____

1.3 所有者 _____ 連絡先 _____

1.4 連絡者 _____ 連絡先 _____

1.5 建物用途
事務所 住宅 共同住宅 店舗 工場 倉庫 学校
保育所 庁舎 公民館 体育館 病院 その他 ()

1.6 構造種別
鉄筋コンクリート造 プレキャストコンクリート造 ブロック造
鉄骨鉄筋コンクリート造 併用構造 (_____ 造と _____ 造)

1.7 構造形式
ラーメン構造 壁式構造 その他 (_____)

1.8 基礎構造
直接基礎 杭基礎 (種別 _____)

1.9 建築物規模
 地上_3階 地下_1階 塔屋_階 1階寸法：約_65_m×約_35_m

1.10 敷地の地形
平坦地 傾斜地 台地 凹地 その他 (_____)

1.11 周辺の地形
 崖から_____m 川・海・湖・沼から_____m (注：50m以上の場合には記入不要)

1.12 外装仕上げ
 (複数選択可)
打放し モルタル タイル 石貼り カーテンウォール
PC板 ALC板 ブロック その他 (_____)

1.13 設計図書
 構造計算書 有 無 設計図 有 無 施工記録 有 無

1.14 建設年代
 1981年 (1971年以前 1972年～1981年 1982年～ 不明)

1.15 耐震診断等
 耐震診断 有 無 耐震補強 有 無

図 4.1.10 被災度区分判定結果 建築物概要

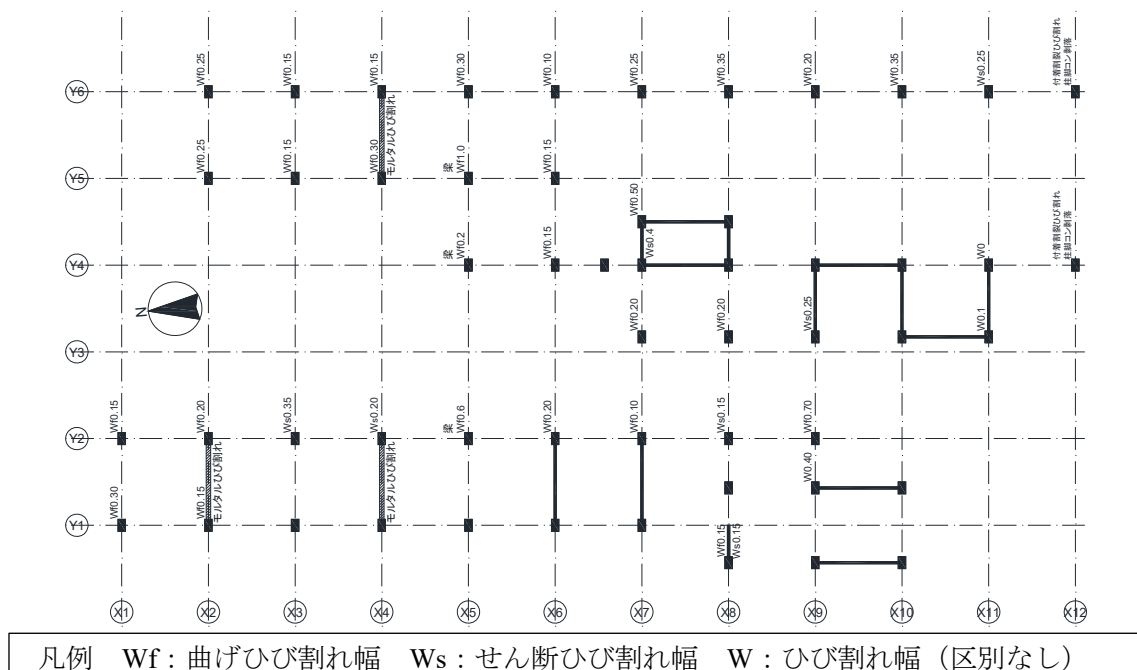
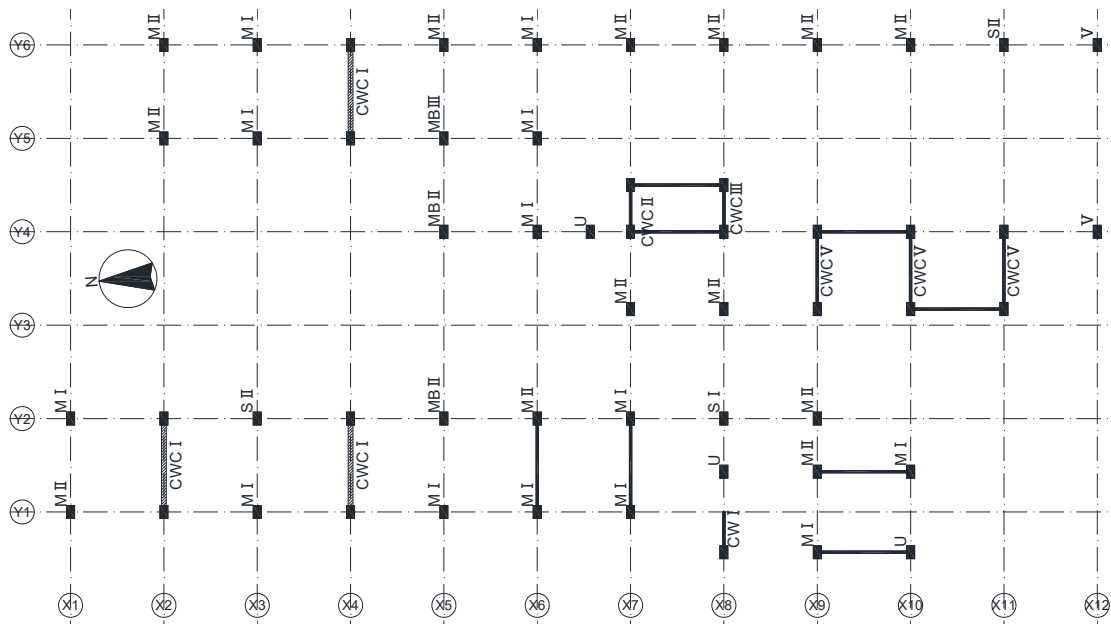


図 4.1.11 1階構造部材のひび割れ幅計測結果



凡例 S : せん断柱 MS : 曲げせん断柱 M : 曲げ柱 SB : 梁支配型せん断柱 MB : 梁支配型曲げ柱
W : 柱無し壁 CW : 片側柱付き壁 CWC : 両側柱付き壁 U : 不明

図 4.1.12 1 階構造部材の損傷度一覧

	柱			梁支配型柱		壁			合計
	せん断 (S)	曲げせん断 (MS)	曲げ (M)	せん断 (SB)	曲げ (MB)	柱なし (W)	片側柱付き (CW)	両側柱付き (CWC)	
総部材数	3		31		3		1	8	46
調査部材数	3		28		3		1	8	43
	× 1+	× 1+	× 1+	× 1+	× 1+	× 1+	× 2+	× 6=	84 =Aorg
損傷度 0									0 =A0
損傷度 I	1		13				1	3	32.3 =A1
損傷度 II	2		13		2			1	16.05 =A2
損傷度 III					1				2.3 =A3
損傷度 IV									0 =A4
損傷度 V			2					3	0 =A5
									$\sum A_j = 50.65$

耐震性能残存率R= 60.30 性能残存率Rによる被災度区分: **中破**

図 4.1.13 1 階張間方向の被災度区分判定結果

調査時間の都合から、一番被害の大きかった 1 階の張間方向についてのみ被災度区分判定を実施した。図 4.1.12 に示すように、建築物の南側の損傷度が大きく、南側の単独柱 2 箇所と張間方向の両側柱付き壁 3 箇所に損傷度 V の被害が見られた。北側に配置された 3 箇所の鉄骨ブレースは、両側柱付き壁として計算を行った。また、西側の X6 構面および X7 構面の両側柱付き壁は壁部分の損傷度が不明のため、両側柱付き壁ではなく 2 本の柱として損傷度の評価を行った。また梁支配型柱については梁の損傷度を考慮している。被災度区分判定の結果、図 4.1.13 に示すように中破 (R=60.3) となった。

4.2 建築物 B, 煙突 B

4.2.1 建築物概要

本建築物は、築約 90 年の地下 1 階地上 3 階の RC 造建築物である。図 4.2.1 に建築物外観を示す。本建築物は 2011 年 3 月の東北地方太平洋沖地震では大きな構造被害を受けていない。2017 年に耐震改修工事を実施しており、地下 1 階と 3 階に RC 造壁を増設している。今回の 2021 年の地震で被害にあったのは本建築物の南西に位置する鉄骨製の煙突 B（図 4.2.2）である。この煙突 B は建築物 B とは構造的には別の構造物であるが、建築物 B のボイラー室と接続され、排煙を行っている。煙突は 1976 年竣工である。近傍の JMA 郡山市朝日の記録によると、今回の地震による震度は 6 弱であった。

なお、隣接する建築物は、2011 年 3 月の東北地方太平洋沖地震にて構造被害を受け大破判定となったため、この建築物を除却し新しい建築物が建設されている（図 4.2.3）。



図 4.2.1 建築物 B 外観



図 4.2.2 鋼製煙突 B 外観



図 4.2.3 建築物 B に隣接する建築物の外観

4.2.2 被害概要

被害の概要を図 4.2.4 に示す。

図 4.2.4 (a) : 2017 年の耐震改修により増設された 3 階の増打ち壁であるが、特段の被害は見られていない。

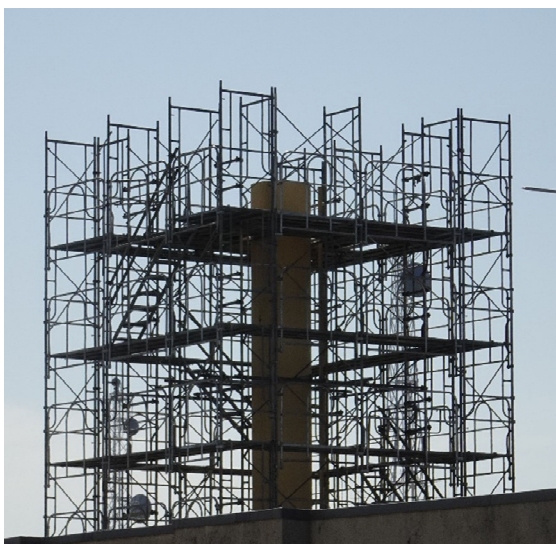
図 4.2.4 (b) : 煙突の上部が損傷を受け、落下の危険があったため、地震後に上部を切断し除却されていた。担当者へのヒアリングによると、錆による腐食が激しかったようである。

図 4.2.4 (c) : 煙突の下部には目立った損傷は見られなかった。

図 4.2.4 (d) : (c)の拡大図。ボルトの下部（赤丸部）で鋼材がやや腐食している様子が見られる。



(a) 建築物 3 階増打ち壁



(b) 鋼製煙突の上部



(c) 鋼製煙突の下部



(d) 鋼製煙突の下部の拡大

図 4.2.4 補強された耐力壁および鋼製煙突

4.3 建築物 C

4.3.1 建築物概要

本建築物は、1968年竣工の6階のRC造建築物である。図4.3.1に建築物外観を示す。本建築物は張間方向1スパン桁行方向6スパンの建築物で、張間方向は両側妻面が連層耐力壁構面、中央5構面がピロティ構面となる一部連層耐力壁付きピロティ形式である。桁行方向は純ラーメン構造と思われる。本建築物は、近傍（JMA 福島市松木町）で震度5強を記録した2011年3月の東北地方太平洋沖地震では大きな構造被害を受けていない。今回の2021年の地震での近傍（JMA 福島市松木町）の震度も5強であった。



図 4.3.1 建築物外観

4.3.2 被害概要

被害の概要を図 4.3.2 に示す。

図 4.3.2 (a) : ピロティ柱のせん断破壊が見られた。張間方向も桁行方向も損傷度 IV でせん断破壊している状態である。

図 4.3.2 (b) : ピロティ構面の 1 階の梁部材に損傷が見られていない。

図 4.3.2 (c) : 両側の妻面耐力壁は損傷度 I または II である。

図 4.3.2 (d) : (c)の拡大図。0.2mm のせん断ひび割れ（赤丸部）が確認されている。



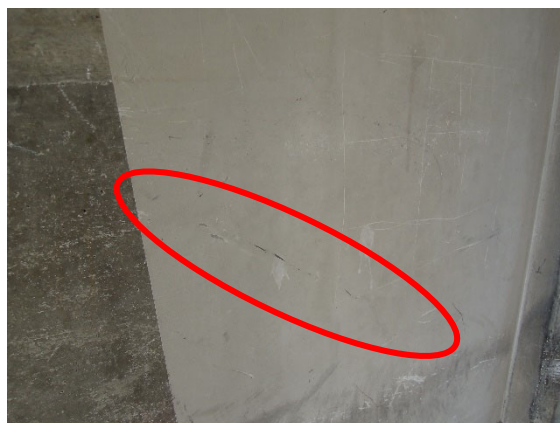
(a) ピロティ柱のせん断破壊



(b) ピロティ構面の梁



(c) 妻面耐力壁（西側）



(d) せん断ひび割れ

図 4.3.2 1 層柱の被害状態

4.3.4 被災度区分判定結果

本建築物に対して2015年版の基準⁴⁾に基づき、被災度区分判定を実施した。その計算は、層崩壊形を想定しており、その場合の計算に必要な部材は柱、梁支配型柱、壁を対象として計算を実施した。図4.3.3～図4.3.6に実施結果を示す。

整理番号： _____ 番	調査日時：2021年 3月 4日 午前 15時
調査回数： _____ 回目	調査者： 向井智久 渡邊秀和 時本和則
	所属： 建築研究所 日本建築防災協会

1. 建築物概要

1.1 建築物名称 _____

1.2 建築物所在地 _____

1.3 所有者 _____ 連絡先 _____

1.4 連絡者 _____ 連絡先 _____

1.5 建物用途 事務所 住宅 共同住宅 店舗 工場 倉庫 学校
(複数選択可) 保育所 庁舎 公民館 体育館 病院 その他 ()

1.6 構造種別 鉄筋コンクリート造 プレキャストコンクリート造 ブロック造
鉄骨鉄筋コンクリート造 併用構造 (造と 造)

1.7 構造形式 ラーメン構造 壁式構造 その他 ()

1.8 基礎構造 直接基礎 杭基礎 (種別)

1.9 建築物規模 地上 6階 地下 階 塔屋 階 1階寸法：約 m×約 m

1.10 敷地の地形 平坦地 傾斜地 台地 凹地 その他 ()

1.11 周辺の地形 崖から m 川・海・湖・沼から m (注：50m以上の場合には記入不要)

1.12 外装仕上げ (複数選択可) 打放し モルタル タイル 石貼り カーテンウォール
PC板 ALC板 ブロック その他 ()

1.13 設計図書 構造計算書 有 無 設計図 有 無 施工記録 有 無

1.14 建設年代 1968年 (1971年以前 1972年～1981年 1982年～ 不明)

1.15 耐震診断等 耐震診断 有 無 耐震補強 有 無

図 4.3.3 被災度区分判定結果 建築物概要

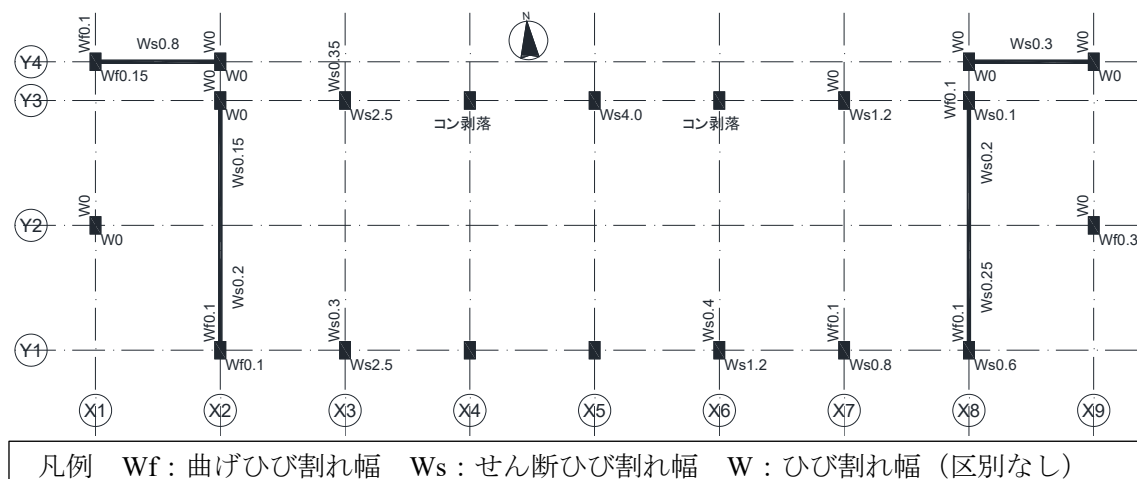
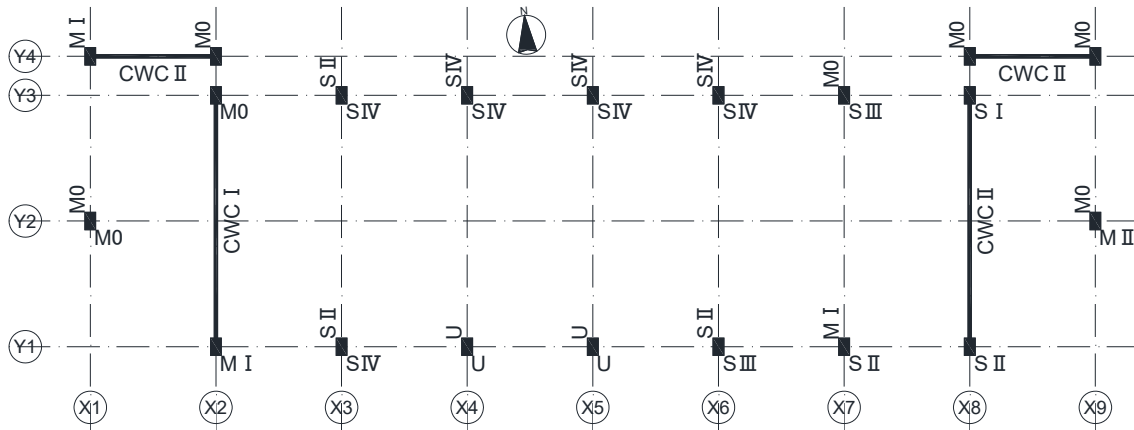


図 4.3.4 1階構造部材のひび割れ幅計測結果



凡例 S : せん断柱 MS : 曲げせん断柱 M : 曲げ柱 SB : 梁支配型せん断柱 MB : 梁支配型曲げ柱
 W : 柱無し壁 CW : 片側柱付き壁 CWC : 両側柱付き壁 U : 不明

図 4.3.5 1 階構造部材の損傷度一覧

長手方向	柱			梁支配型柱		壁			合計
	せん断 (S)	曲げせん断 (SM)	曲げ (M)	せん断 (SB)	曲げ (MB)	柱なし (W)	片側柱付き (CW)	両側柱付き (CWC)	
総部材数	12		4					2	18
調査部材数	10		4					2	16
	× 1+	× 1+	× 1+	× 1+	× 1+	× 1+	× 2+	× 6=	26 =Aorg
損傷度0			2						2=A0
損傷度 I	1		1						1.9=A1
損傷度 II	2		1					2	9.15=A2
損傷度 III	2								0.6=A3
損傷度 IV	5								0=A4
損傷度 V									0=A5
	$\Sigma A_j =$								13.65
耐震性能残存率R=	52.50		性能残存率Rによる被災度区分 : 大破						

短手方向	柱			梁支配型柱		壁			合計
	せん断 (S)	曲げせん断 (SM)	曲げ (M)	せん断 (SB)	曲げ (MB)	柱なし (W)	片側柱付き (CW)	両側柱付き (CWC)	
総部材数	8		8					2	18
調査部材数	6		8					2	16
	× 1+	× 1+	× 1+	× 1+	× 1+	× 1+	× 2+	× 6=	26 =Aorg
損傷度0			6						6=A0
損傷度 I			2					1	7.6=A1
損傷度 II	3							1	5.4=A2
損傷度 III									0=A3
損傷度 IV	3								0=A4
損傷度 V									0=A5
	$\Sigma A_j =$								19
耐震性能残存率R=	73.08		性能残存率Rによる被災度区分 : 中破						

図 4.3.6 1 階の被災度区分判定結果

調査時間の都合から、被害の大きかった 1 階のみ被災度区分判定を実施した。図 4.3.5 に示すように、建築物の桁行方向の中央部の柱の損傷度が大きく、北側の単独柱は両方向ともに損傷度IVの被害が見られた。Y1 構面の X4 および X5 の単独柱は損傷度が不明として被災度算定を行った。その結果、図 4.3.6 に示すように桁行方向で大破 (R=52.5)、張間方向で中破 (R=73.1) となった。

5. まとめ

調査を行った 3 棟の建築物及び 1 基の鋼製煙突について被害の概要を以下のようにまとめる。

- ✧ 被害のあった建築物 A は、2017 年の耐震改修の際に耐震補強部材が取り付けしていない構面での被害が確認された。また、本建築物の一部に下階壁抜け構面があり、2 階の耐力壁脚部のスリップ変形を伴う被害が確認された。また、1 階の張間方向について被災度区分判定を実施した結果、中破の判定となった。
- ✧ 建築物 B では、建築物には被害は見られなかったが、敷地内の鋼製煙突 B に被害が見られた。
- ✧ 被害のあった建築物 C は、RC 造 6 階建てであり 1 階の複数の柱に損傷度 IV の被害が見られた。また、1 階について被災度区分判定を実施した結果、桁行方向で大破、張間方向で中破の判定となった。

今回の調査から、耐震改修された建築物 A について、改修設計時の目標は大地震時に倒壊させないことであり、今回の震度 6 弱の地震に対しては倒壊を免れていることを確認した。一方、耐震補強部材が取り付けしていない構面に被害が集中したことで地震後の継続使用性は阻害されたといえる。今後、地震後の継続使用性を確保するための建築物の耐震改修の実施を促進するために、耐震改修された建築物の被災調査や保有耐震性能に関する調査研究など幅広く技術資料の整備を行う必要がある。また 2011 年に損傷した建築物 C は本地震によって大破となったことから、今回の入力地震動の大きさを考慮すると、2011 年の地震被害が本被害に与えた影響について、詳細に検討する必要がある。

謝辞：

本報告書では、防災科学技術研究所の K-NET での強震記録を使用させていただきました。また現地調査に関して、福島県庁並びに郡山市役所、福島市役所の皆様より情報をご提供いただきました。今回の被害調査において、ご協力いただきました多くの関係者の皆様方に感謝申し上げます。最後に、本地震で亡くなられた方及びそのご遺族に対し深く哀悼の意を表するとともに、被災された方々に心からお見舞い申し上げます。

参考文献：

- 1) 気象庁：震度データベース検索，<https://www.data.jma.go.jp/svd/eqdb/data/shindo/index.html>（2021 年 2 月 14 日閲覧）
- 2) 防災科研：K-NET 観測記録，<https://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/>（2021 年 4 月 8 日閲覧）
- 3) 郡山市提供資料：東北地方太平洋沖地震時の復旧工事写真，2011
- 4) 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 [鉄筋コンクリート造／鉄骨鉄筋コンクリート造編]，2016