

2022(令和 4)年 3 月 16 日 23 時 36 分頃の福島県沖を震源とする地震による鉄筋コンクリート造建築物等の地震後継続使用に関する被害調査報告

概要：2022 年 3 月 16 日 23 時 36 分頃、福島県沖にてマグニチュード 7.4，最大震度 6 強の地震が発生した。国土技術政策総合研究所および建築研究所では、福島県において鉄筋コンクリート造（以下、RC 造）等建築物の被害の概要や地震後の継続使用性並びに過去の地震被害との比較を目的として、現地被害調査を実施した。その結果、過去の地震の被害の復旧が間に合わずさらなる被害を受けてしまった建築物や、今回の地震で初めて被害が確認された建築物などが確認された。また、地震後の継続使用性が阻害されるような被害も確認された。

1. はじめに

2022 年 3 月 16 日 23 時 36 分、福島県沖にてマグニチュード 7.4，最大震度 6 強の地震が発生した。国土技術政策総合研究所，建築研究所では、福島県において鉄筋コンクリート造（以下、RC 造）等建築物の被害の概要や地震後の継続使用性並びに過去の地震被害との比較を目的として、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

2022 年 6 月 17 日 13:00～17:30 福島県相馬市
2022 年 6 月 18 日 9:00～15:00 福島県相馬市

2.2 調査者

坂下雅信（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）
中村聡宏（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）
小原 拓（国土交通省国土技術政策総合研究所 建築研究部 構造基準研究室 研究官）
有木克良（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）

2.3 調査建築物

本調査では、下記の 3 棟の RC 造建築物の被害調査を実施した。

1. 建築物 A （相馬市，建築物 A-1：地上 3 階，RC 造建築物，2003 年竣工
建築物 A-2：地上 3 階，RC 造+S 造置き屋根建築物，2003 年竣工
建築物 A-3：平家建て，木造建築物，1933 年竣工）
2. 建築物 B （相馬市，地上 3 階，RC 造+S 造小屋組建築物，2018 年竣工）
3. 建築物 C （相馬市，地上 2 階，RC 造+S 造置き屋根建築物，1982 年竣工）

3. 地震概要

3.1 地震概要

2022年3月16日23時36分頃、福島県沖（北緯37度41.8分，東経141度37.3分）にてマグニチュード7.4（震源の深さ57km）の地震が発生した（以降，2022年3月地震とする）。この地震の震度分布を図3.1.1に示す。最大震度は宮城県登米市米山町，南方町，迫町，蔵王町円田，福島県国見町藤田，相馬市中村，南相馬市鹿島区西町にて震度6強を記録した。参考として，2021年2月13日に発生した福島県沖地震（以降，2021年2月地震とする）の震度分布を図3.1.2に，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3.1.3に示す。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。最大震度はJMA蔵王町円田にて6強を記録した。また，2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震では，最大震度はJMA栗原市築館（旧）にて震度7を記録した。

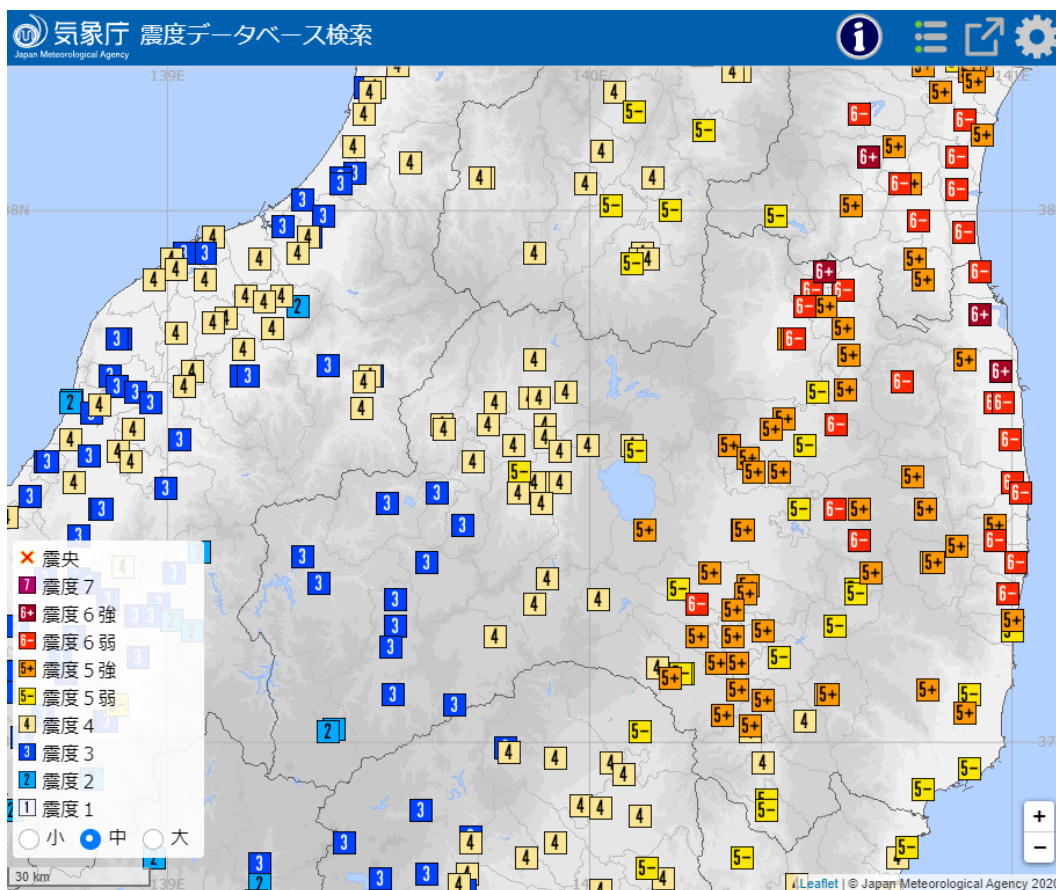


図 3.1.1 2022年3月地震の震度分布¹⁾

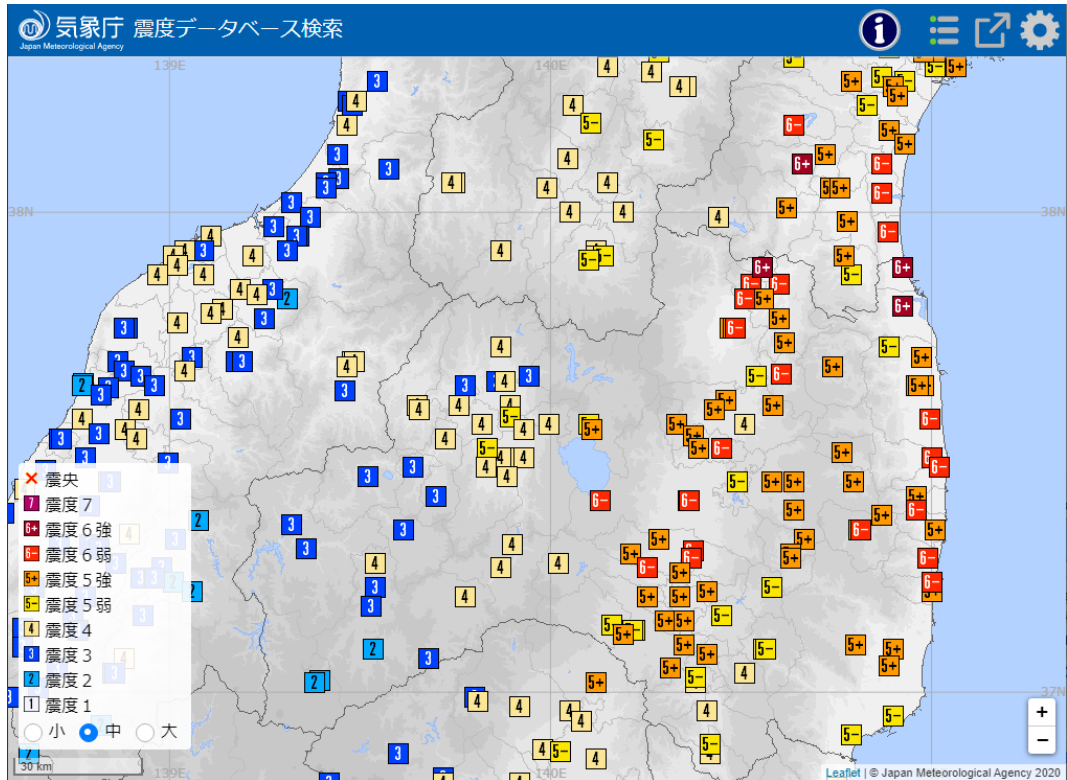


図 3.1.2 2021 年 2 月地震の震度分布¹⁾

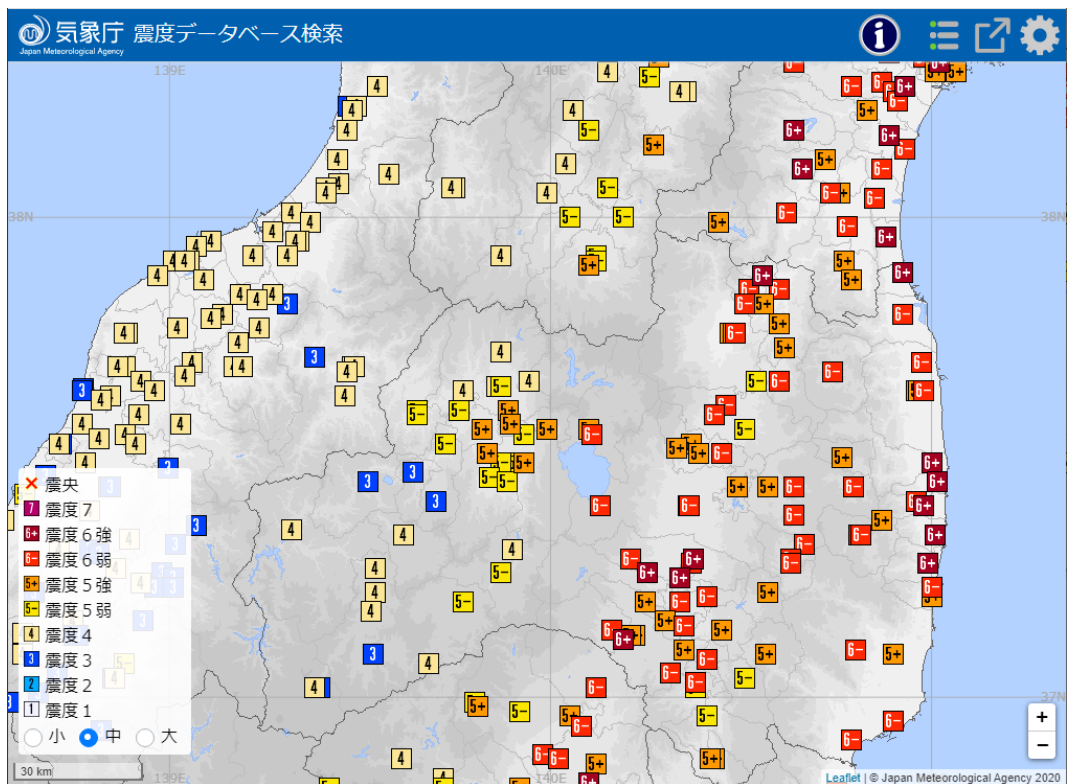


図 3.1.3 2011 年 3 月の東北地方太平洋沖地震の震度分布¹⁾

3.2 観測地震記録

今回調査した相馬市で観測された地震動記録²⁾の概要を示す。調査建物近傍の強震観測点としてK-NET相馬 (FKS001) を抽出した。また、震度観測点として、地方公共団体の強震記録 (相馬市中村) を参考にした。観測点の一覧を表 3.2.1 に示す。調査建物 3 棟はいずれも、近傍の震度観測点は相馬市中村、近傍の強震観測点は K-NET 相馬となる。今回の地震の震度は震度 6 強であり、2021 年 2 月地震でも震度 6 強を観測している。

表 3.2.1 観測点一覧

観測点名称	設置者	北緯	東経	震度 (計測震度)		
				2022 年	2021 年	2011 年
K-NET 相馬 (FKS001)	防災科研	37.7946	140.9192	6.2	5.9	5.8
相馬市中村	地方公共団体	37.7969	140.9191	6 強	6 強	6 弱

調査建物の位置関係を図 3.2.1 に示す。また、強震観測点 K-NET 相馬での観測記録の速度応答スペクトル (減衰 5%) を図 3.2.2 に示す。

図 3.2.2 より、K-NET 相馬 (FKS001) では、2022 年 3 月地震で EW 方向で 1 秒付近の周期帯にピークを有しており、2021 年 2 月地震に比べても大きい。一方で、NS 方向では、2022 年 3 月地震は 2021 年 2 月地震のスペクトルにくらべて小さい。観測点近傍の建築物 A~C においては、EW 方向に大きく揺らされることによるものと思われる被害が確認されており、本観測記録と整合する。

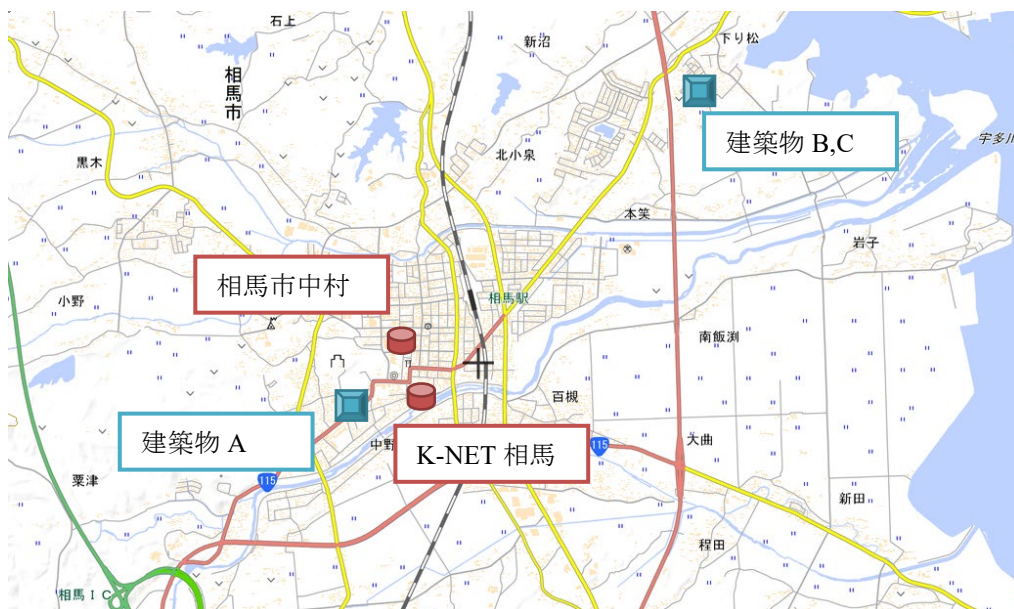
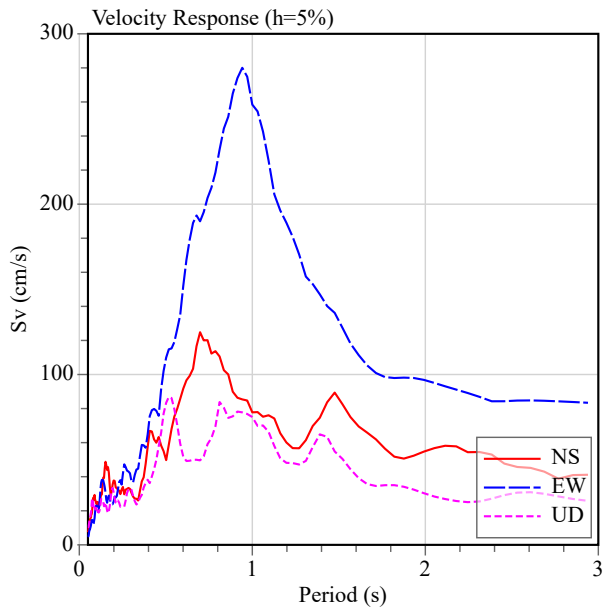
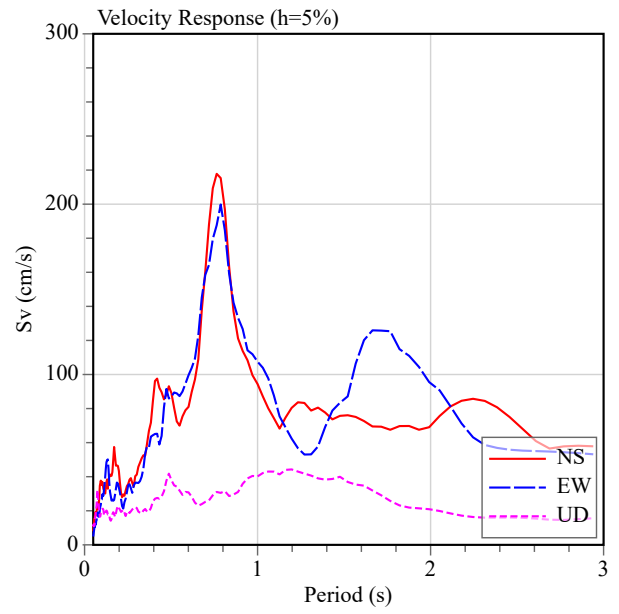


図 3.2.1 調査建物と観測点の位置 (地理院タイルに追記)



(a) 2022年3月地震



(b) 2021年2月地震

図 3.2.2 K-NET 相馬 (FKS001) の観測記録に基づく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

建築物 A は、2003 年竣工の地上 3 階 RC 造建築物（建築物 A-1）および地上 3 階 RC 造体育館（建築物 A-2）であり、平家建ての講堂（建築物 A-3）が隣接している。近傍の震度観測点（相馬市中村）の震度は 6 強であった。図 4.1.1 に建築物の外観を示す。本建築物は 2021 年 2 月地震で校舎および体育館の損傷が確認されており、当時実施された体育館の被災度区分判定調査では小破と評価されたとのことである。2021 年 2 月地震で発生した建物損傷の修復工事を 6 か月程度の期間で実施予定であったが、修繕前に 2022 年 3 月地震が発生し、既に発生していた損傷の進展や新たな損傷が生じた。地震後 1 ヶ月半ほど体育館片側妻面の非構造部材の被害により、体育館の半分程度のスペースは使用禁止となっていた。調査時点（2022 年 6 月）では体育館内側にシートによる落下防止措置を取り、被害があった近傍のみ 2022 年 3 月地震の被災直後から使用禁止としていた。また、体育館の外側はプールとなっており、プールについても調査時点（2022 年 6 月）でも引き続き使用禁止とされていた。窓も数か所損傷しており木板で応急措置を施していた。

隣接する講堂は 1933 年竣工の建築物（改修は為されている）で登録有形文化財に登録されており、2021 年 2 月地震で内壁（漆喰塗り）が損傷したため修復したが約 1 か月半後に 2022 年 3 月地震で再度被災した。



(a) 校舎外観



(b) 講堂外観

図 4.1.1 建築物 A 外観

4.1.2 被害概要

被害の概要を図 4.1.2 に示す。

図 4.1.2 (a) : トイレの非構造壁の窓開口の周辺がせん断破壊していた。

図 4.1.2 (b) : トイレの非構造壁のせん断破壊により、トイレの窓枠が変形し、ガラスが割れていた。

図 4.1.2 (c) : 窓周辺に位置する壁のせん断破壊が生じていた。



図 4.1.2 (a) 非構造壁のせん断破壊



図 4.1.2 (b) トイレの窓の損傷



図 4.1.2 (c) 非構造壁のせん断破壊

図 4.1.2 (d) : 非構造壁にせん断ひび割れが発生し、タイルの剥落が見られた。

図 4.1.2 (e) : 水飲み場と非構造壁の接続部にひび割れが発生していた。ひび割れはタイルを貫通するように生じていた。

図 4.1.2 (f) : 窓の下端付近の高さにおいて、2 階壁に曲げひび割れが生じていた。

図 4.1.2 (g) : 2 階非構造壁の高さ中央付近から脚部にかけてせん断ひび割れが生じていた。梁においては水平方向のひび割れが発生していた。

図 4.1.2 (h) : 鉄筋の座屈を伴う壁脚部の圧壊が発生していた。



図 4.1.2 (d) 非構造壁せん断ひび割れとタイルの剥落



図 4.1.2 (e) 水飲み場と非構造壁の接続部のひび割れ

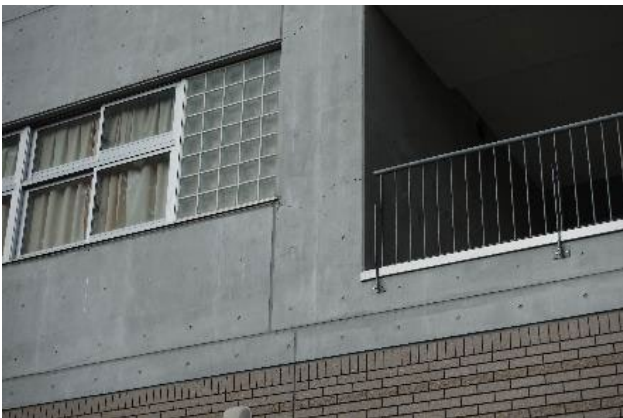


図 4.1.2 (f) 壁脚部の曲げひび割れ

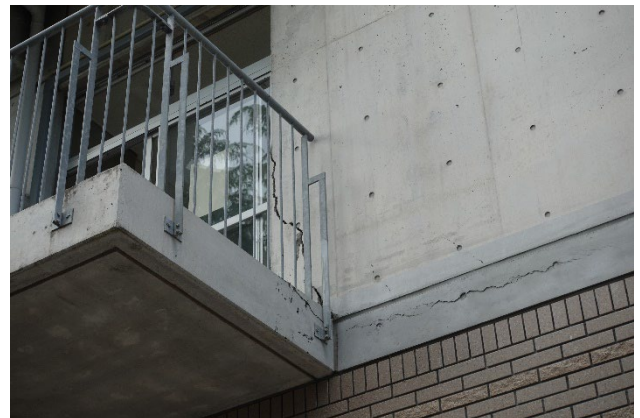


図 4.1.2 (g) 非構造壁せん断ひび割れ



図 4.1.2 (h) 壁脚部コンクリートの圧壊

図 4.1.2 (i) : ガラス扉の鍵部が変形し扉の鍵が閉まらない状況であった。

図 4.1.2 (j) : 室外機が 2022 年 3 月地震で多数転倒したため、転倒防止金具を取り付けていた。

図 4.1.2 (k) : スリットを設けていた腰壁の上部が左側の柱と接触しタイルの浮きが生じていた。ガラス窓の枠も変形していた。

図 4.1.2 (l) : 壁に貼付したタイルにひび割れが貫通し、タイルの剥落が発生していた。

図 4.1.2 (m) : 校舎軒下面の落下が発生していた。

図 4.1.2 (n) : 機械室ドアの損傷が発生していた。

図 4.1.2 (o) : 防火扉が閉まらずブロックで止めている状況であった。

図 4.1.2 (p) : 正面玄関の扉に変形に伴う開閉障害が生じていた。

図 4.1.2 (q) : 校舎と体育館の境界部のエキスパンションジョイントが損傷していた。

図 4.1.2 (r) : 光庭上部の反射板が倒れ、落下寸前であった。



図 4.1.2 (i) 扉の鍵部の変形



図 4.1.2 (j) 室外機の転倒防止金具



図 4.1.2 (k) タイルの浮き



図 4.1.2 (l) タイルの剥落



図 4.1.2 (m) 軒下板の落下



図 4.1.2 (n) 機械室ドアの損傷



図 4.1.2 (o) 防火扉の損傷



図 4.1.2 (p) 入口ドアの故障



図 4.1.2 (q) エキスパンションジョイントの損傷



図 4.1.2 (r) 落下寸前の光反射板の状況

図 4.1.2 (s) : 地盤沈下に伴う地割れが発生していた。

図 4.1.2 (t) : 階段部のコンクリートが破壊していた。

図 4.1.2 (u) : 2021 年 2 月地震で修復した床に再度ひび割れが発生していた。

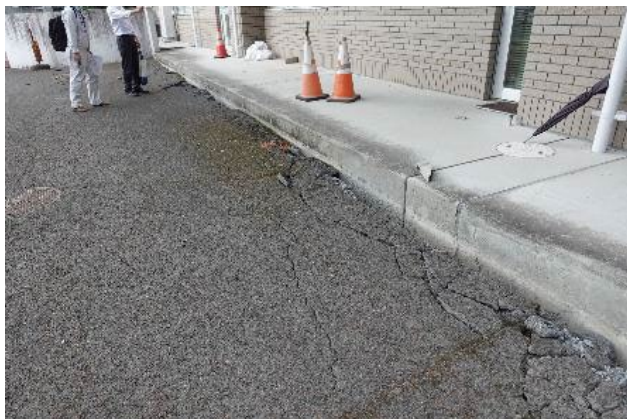


図 4.1.2 (s) 地盤沈下



図 4.1.2 (t) 外階段の損傷



図 4.1.2 (u) 地盤沈下に伴う床のひび割れ

図 4.1.2 (v), 図 4.1.2 (w) : 体育館 2 階妻面の非構造部材に対して補剛材が十分に配置されておらず, 非構造部材が面外に変形しタイルやサッシが落下していた。

図 4.1.2 (x) : 体育館の照明器具が一部落下した。取り付いている照明器具を点検し落下の危険性のある照明器具を全体の 1/3 程度取り外した。



図 4.1.2 (v) 体育館外壁の損傷

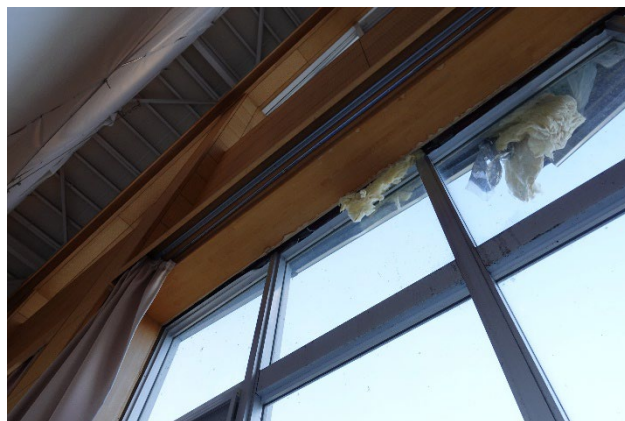


図 4.1.2 (w) 内部から見た体育館外壁の損傷

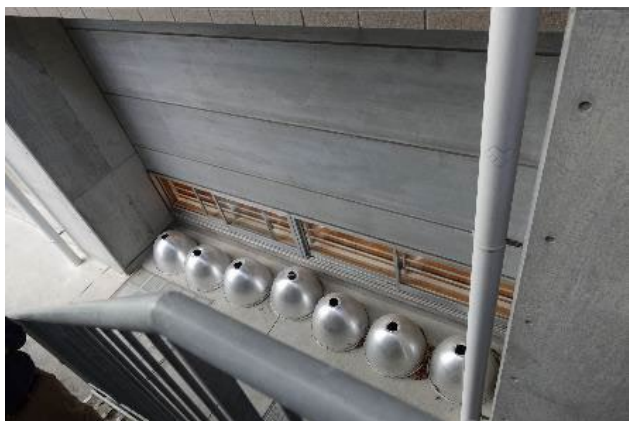


図 4.1.2 (x) 取り外した照明器具

4.2 建築物 B

4.2.1 建築物概要

本建築物は、2018 年竣工の地上 3 階の RC 造建築物である。図 4.2.1 に建築物外観を示す。本建築物は東西方向の桁行方向が 8 スパン、南北方向の張り間方向が 4 スパンである。3 階の床スラブの上には S 造の切妻の小屋組が設けられている。本建築物では、2021 年 2 月地震（近傍の震度計による震度は 6 強）によって生じた非構造壁のひび割れを補修するための補修工事が計画されていたが、その実施前に 2022 年 3 月地震に被災し、これらのひび割れがさらに進展すると共に、小屋組の被害が確認されている。小屋組や外壁の被害が確認されたことから、地震後に一部関係者以外は立ち入り禁止の措置が取られたが、地震後半月程度で図 4.2.12(d)に示す安全通路を使った立ち入りが可能となった。2022 年 3 月地震による近傍の震度観測点（相馬市中村）の震度は 6 強であった。なお、本建築物にエキスパンションジョイントを介して接続されている地上 1 階の S 造建築物（図 4.2.1 の手前の建築物）では、同じような形状の切妻屋根が設けられているが、被害は確認されていない。

後述するように、本建築物の屋根面には目立った損傷は見られないが、屋根面を支える鉄骨骨組では、柱脚のボルトが破断したことによる鉄骨柱の脚部でのすべりや、鉄骨柱の傾斜が確認されている。2022 年 3 月地震では鉄骨骨組が 3 階の天井にあたるスラブ上に留まったが、仮に鉄骨骨組がスラブから脱落した場合には早期の復旧は難しくなると推測されることから、小屋組の鉄骨骨組やその RC 造躯体との接合部が地震力に対して十分に抵抗できるように配慮することが、継続使用の観点からは重要である。



図 4.2.1 建築物 B 外観

4.2.2 被害概要

外観から見た被害を図 4.2.2 に示す。

図 4.2.2(a)：小屋組の東側では、小屋組の足元が外側（東側）にずれていた。

図 4.2.2(b)：小屋組の西側では、小屋組の足元が内側（東側）にずれていた。



図 4.2.2 外観から見た被害状況

屋根面の平面図を図 4.2.3 に、小屋組の内部の様子を図 4.2.4 に示す。

図 4.2.3, 図 4.2.4 : 鉄骨骨組のスパン数は、桁行方向で 15, 張り間方向で 6 であり, 鉄骨柱脚のベースプレートと 3 階の天井にあたるスラブがボルト (2-M16) で接合されている。鉄骨骨組は H 形鋼によって構成されており, 一部の構面では, ターンバックルによる丸鋼ブレースや K 形ブレースが配置されている。ブレースの直下には, 水平方向のチャンネル材が取り付けられているが, いずれも鉄骨柱のウェブやフランジに溶接されたガセットプレートに取り付けられている。

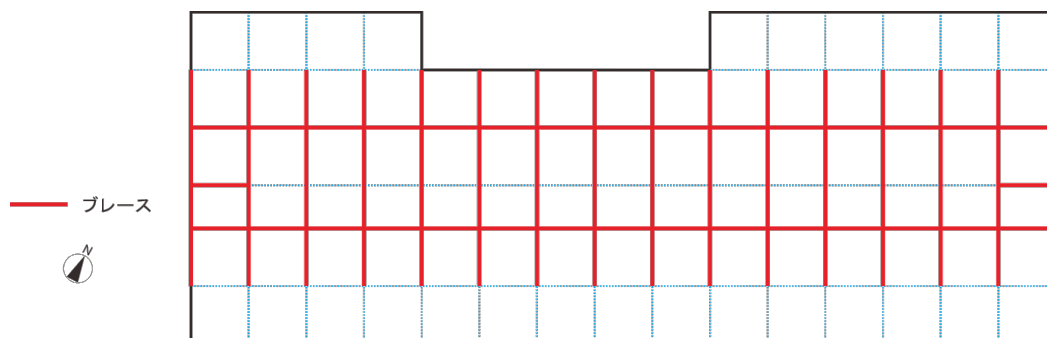
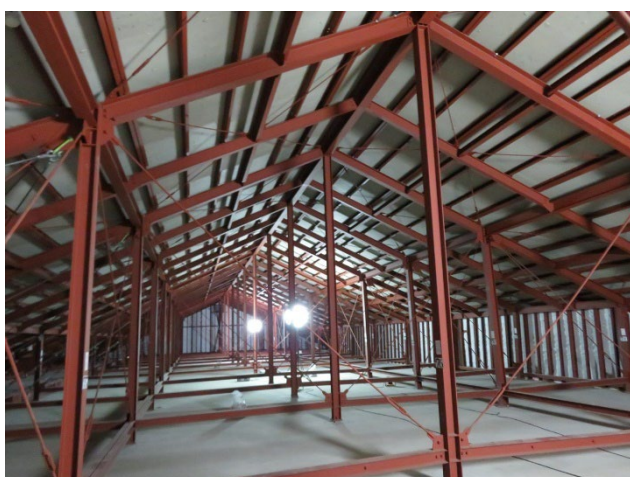


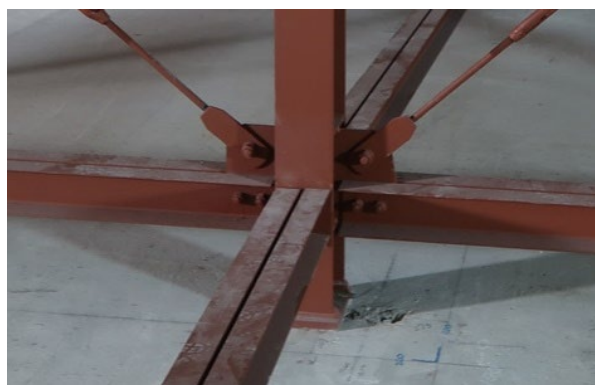
図 4.2.3 屋根面の平面図



(a) 桁行方向



(b) 張り間方向



(c) 鉄骨柱立ち上がり部の丸鋼ブレースと水平材



(d) K 形ブレース

図 4.2.4 小屋組内部

被害の概要を図 4.2.5～図 4.2.11 に示す。また、被災後の安全対策を図 4.2.12 に示す。

図 4.2.5：屋根面自体には目立った損傷は見られないが、屋根面を支える鉄骨骨組が全体的に東側に変位していた。また、水平剛性が低い構面（ブレースが配置されていない構面）と水平剛性が高い構面（ブレースが配置されている構面、または切妻端部の鉄骨柱脚と水平材のみで構成される構面）では、鉄骨柱脚の移動量が異なっており、水平剛性が高い構面での移動量が大きい。これは、水平剛性が高い構面では鉄骨柱脚がすべり移動しているのに対し、水平剛性が低い構面では柱脚でのすべりが小さく、鉄骨柱が大きく傾いているためである。

図 4.2.6(a), (b)：屋根版の端部を支持する構面は、鉄骨柱脚の立ち上がり部と水平材のみの構成となるため、水平剛性が相対的に高く、ブレースが配置された構面と同じように、鉄骨柱脚が東側に 150～180mm 程度移動し、RC 躯体に埋め込まれたボルト（2-M16）の破断が生じていた。



図 4.2.5 ブレースの配置の有無による脚部の移動量の違い



(a) 北西隅角部



(b) 左図の拡大図（ボルトが破断している）

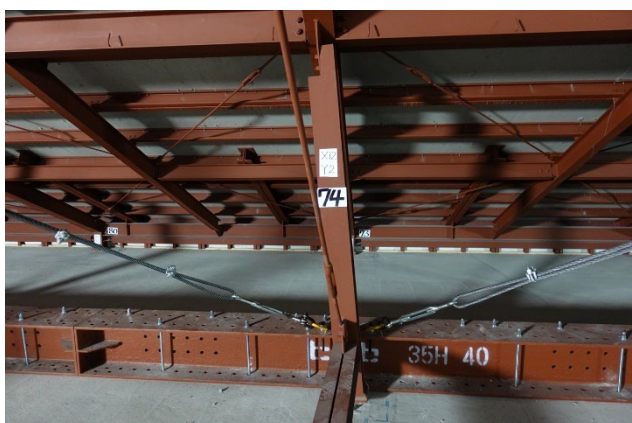
図 4.2.6 屋根版の端部を支持する構面の被害

図 4.2.7(a) : ブレースの配置がない構面のうち、鉄骨柱のせいが短い構面では東側への傾斜が大きく、4 度程度傾いていた。

図 4.2.7(b) : 鉄骨柱脚のベースプレートでは、モルタルの破損やボルト (2-M16) の抜け出しが鉛直方向に生じていた。

図 4.2.7(c) : 鉄骨柱が傾斜した柱頭部では、鉄骨梁とのボルト接合部における回転が確認された。

図 4.2.8 : 外装材が鉄骨骨組の変形に追随できず、一部の固定用ボルトが外れた。



(a) 柱の傾斜



(b) モルタルの破損とボルトの抜け出し



(c) 鉄骨梁の端部における回転

図 4.2.7 ブレースが配置されていない構面の被害

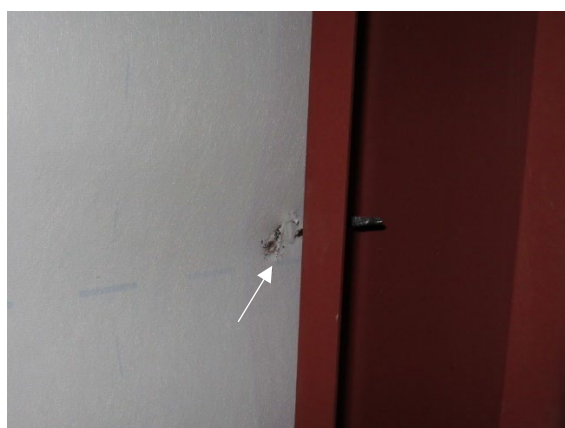


図 4.2.8 外装材の浮きによるボルトの外れ

図 4.2.9(a) : 丸鋼ブレースが配置された構面では、鉄骨柱の傾斜は小さかった。

図 4.2.9(b), (c) : 鉄骨柱脚ではベースプレートが東側に 150~180mm 程度移動しており、ボルト (2-M16) の破断が確認された。鉄骨柱脚の 3 階の天井にあたるスラブからの脱落は確認されなかった。

図 4.2.10(a) : 丸鋼ブレースの交差部では、地震時に擦れて塗装がはがれた跡 (180mm 程度) があった。

図 4.2.10(b) : 丸鋼ブレースのたわみが生じたため、地震後にターンバックルが締め直された (塗装のないねじ部分が、地震後の締め直しに相当する)。



(a) 柱の様子



(b) ボルトの破断と柱脚の移動



(c) 端部における柱脚のずれ

図 4.2.9 ブレースが配置された構面の被害



(a) 交差面の擦れ



(b) ターンバックルの増し締め

図 4.2.10 丸鋼ブレース

図 4.2.11(a) : 2022 年 3 月地震で 1 階南面にある方立壁にせん断ひび割れが生じていた。

図 4.2.11(b) : 2021 年 2 月地震によって生じた非構造壁のひび割れが, 2022 年 3 月地震で進展していた。



(a) 方立壁 (南面)



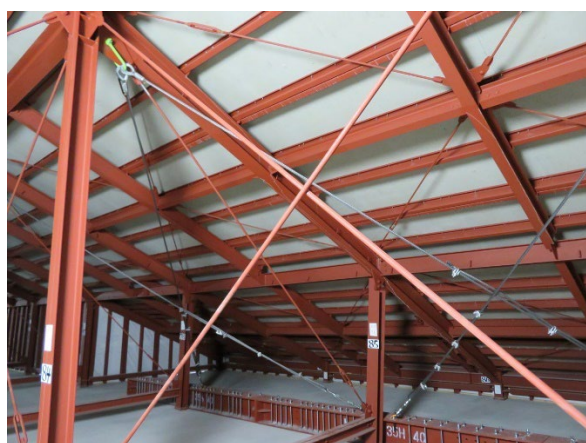
(b) 階段室壁 (北面)

図 4.2.11 RC 躯体の被害

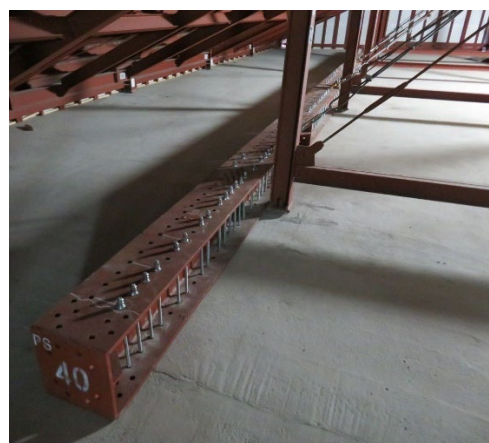
図 4.2.12(a), (b) : 3 階の天井にあたるスラブに固定した H 形鋼と屋根版をワイヤーで固定し, 落下防止の応急措置が行われていた。

図 4.2.12(c) : 図 4.5.7 で示したボルトが外れた外装材の屋外側への脱落防止のための応急措置として, 落下防止用のワイヤーが鉄骨材に巻き付けられていた。

図 4.2.12(d) : 建築物の出入り口にはボックスカルバートによる通路が設けられ, 落下物に対する安全対策が講じられていた。



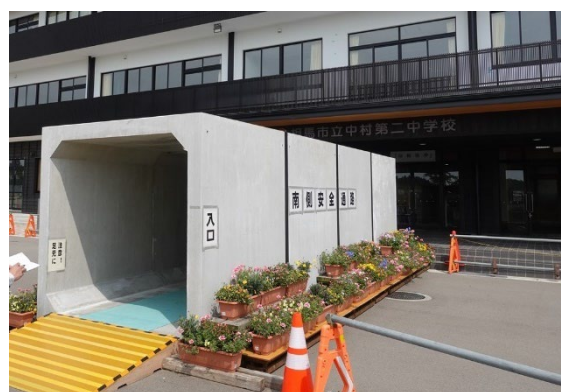
(a) 緑色のシャックルに取り付けられたワイヤー



(b) ワイヤー固定用の H 形鋼



(c) 外装材の落下防止のためのワイヤー



(d) ボックスカルバートを用いた安全通路

図 4.2.12 落下防止措置

4.3 建築物 C

4.3.1 建築物概要

建築物 C は、1982 年竣工の地上 2 階の RC 造体育館である。図 4.3.1, 4.3.2 に建築物外観, 内観を示す。本建築物は東西方向の桁行方向が 7 スパン, 南北方向の張り間方向が 5 スパンの建築物である。2 階はキャットウォークとなっており, 屋根は S 造の置き屋根である。2021 年 2 月地震 (近傍の震度観測点での震度は 6 強) では, 妻壁の内壁の一部のパネルが外れる被害が見られたが, 2022 年 3 月地震では, 東面 2 階窓の破損, 屋根面の水平ブレースの座屈, 2 階柱頭の置き屋根支承部やキャットウォークにおける手すりや腰壁の損傷等が確認されている。地震直後は避難所として開放されたが, その後は一部関係者以外の立ち入りが禁止された。ブルーシートを用いた東面窓の応急措置が完了し, 被害を受けた東面の部分制限を行うことで, 地震後半月程度で建築物内への立ち入りが可能となった。2022 年 3 月地震による近傍の震度観測点の震度は 6 強であった。



図 4.3.1 建築物 C 外観

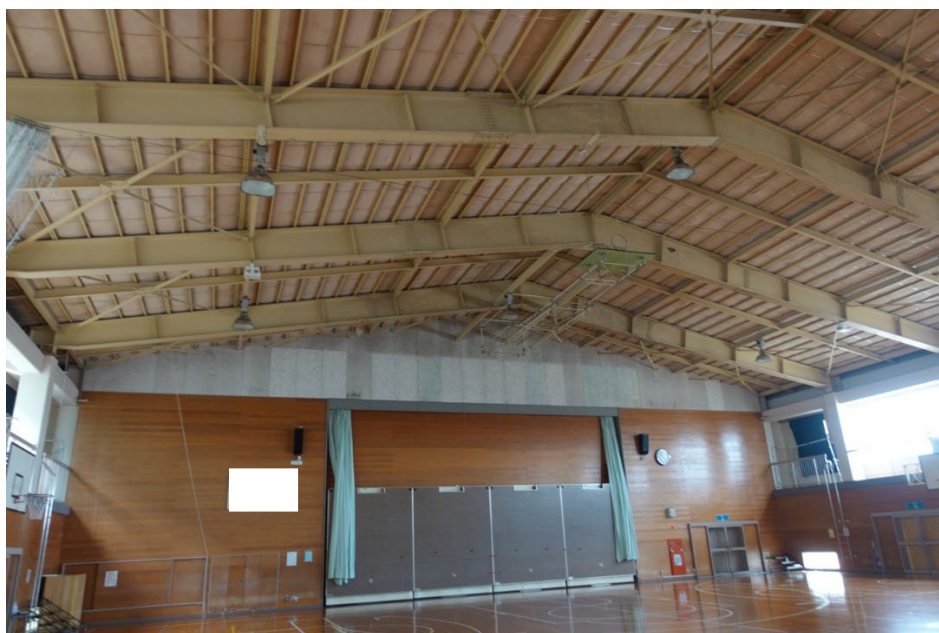


図 4.3.2 建築物 C 内観

4.3.2 被害概要

被害を図 4.3.3～図 4.3.5 に示す。

図 4.3.3(a), (b), (c) : 建物の東, 北, 南面に配置された窓のうち, 東面の 2 階窓のみが破損したため, 応急措置としてブルーシートによる養生を行い, 1 階東面の一部を立ち入り禁止としていた。

図 4.3.4(a), (b) : 屋根面の L 字断面の水平ブレースの座屈や接合部分の塗装の剥がれが見られた。



(a) 被災直後 (管理者提供)



(b) 応急措置



(c) 東面における立ち入り禁止範囲 (暗幕の部分が破損した 2 階窓)

図 4.3.3 東面の 2 階窓の損傷



(a) ブレースの変形



(b) ブレースの座屈と接合箇所における塗料の剥がれ

図 4.3.4 S 造置き屋根における水平ブレースの損傷

図 4.3.5(a) : 2 階柱頭の置き屋根の支承部において、コンクリートのひび割れが見られた。

図 4.3.5(b) : 2 階キャットウォークの手すりと RC 柱の接合部でコンクリートが剥落していた。

図 4.3.5(c) : 2 階キャットウォークの開口下の腰壁にひび割れが見られた。



(a) 2 階柱頭の置き屋根支承部



(b) RC 柱と手すりの接合部分



(c) 窓直下の腰壁部分

図 4.3.5 2 階における損傷

5. まとめ

調査を行った3棟の建築物について、被害の概要を以下のようにまとめる。

- 1) 建築物 A (相馬市, 建築物 A-1 : 地上3階, RC造建築物, 2003年竣工・建築物 A-2 : 地上3階, RC造+S造置き屋根建築物, 2003年竣工・建築物 A-3 : 平家建て, 木造建築物, 1933年竣工)
 - ・ 2021年2月地震で、小破程度の被害が生じたため修繕工事を計画していたが、2022年3月地震を受けて損傷がさらに進展した。被害は主に外装材・タイルの剥落や非構造壁のせん断破壊等の被害が生じた。
 - ・ 2022年3月地震において継続使用性が阻害される被害としては、体育館の妻面の非構造部材が面外に変形したため、体育館の半分程度のスペースが地震後1カ月半ほど使用禁止とされた。
- 2) 建築物 B (相馬市, 地上3階, RC造+S造小屋組建築物, 2018年竣工)
 - ・ 屋根面を支えるS造小屋組において、柱脚ボルトが破断したことによる鉄骨柱の脚部のすべりや、鉄骨柱の傾斜が生じ、継続使用性を阻害する大きな要因となった。
 - ・ S造の小屋組や外壁の被害が確認されたことから、地震後は建物内への立ち入りが制限されたが、安全通路の設置等の応急措置を経て、約半月後に建築物の使用が再開されている。
- 3) 建築物 C (相馬市, 地上2階, RC造+S造置き屋根建築物, 1982年竣工)
 - ・ 妻壁側の窓の破損、屋根面の水平ブレースの座屈、変形、塗料の剥がれ等の被害が確認された。地震後は建物内への立ち入りが制限されたが、被害を受けた窓に対する応急措置を行い、その周囲への立ち入りを制限することで、約半月後に建築物の使用が再開されている。

謝辞:

本報告書では、防災科学技術研究所のK-NET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、福島県庁並びに相馬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> (2022年6月20日閲覧)
- 2) 防災科研：K-NET観測記録, <https://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/> (2022年6月20日閲覧)