

平成 28 年 12 月 19 日（最終更新 H29.3.31）

国土交通省 国土技術政策総合研究所

国立研究開発法人 建築研究所

平成 28 年 10 月 21 日 14 時 07 分頃の鳥取県中部の地震による建築物等被害調査報告

1. 調査の目的と概要

本調査は、国土交通省住宅局の要請を踏まえ、報道等および地震後の聞き取り調査により、建築非構造部材及び建築設備等の被害の情報を把握した建築物を主対象に、平成 28 年 10 月 21 日 14 時 07 分頃の鳥取県中部の地震による建築物の被害状況を把握することを目的に、国土技術政策総合研究所及び建築研究所の共同調査として実施した。調査は、建築物内部に入っての調査を 7 件について実施し、設計図書等がある場合は建築物の情報を確認し、管理者等のヒアリングや観察・実測等により地震被害や建築物の情報を取得した。その他、建築物の外観から被害状況を確認する調査を実施した。

2. 調査者

国土交通省 国土技術政策総合研究所

建築研究部 評価システム研究室 主任研究官

脇山 善夫

設備基準研究室 主任研究官

山口 秀樹

国立研究開発法人建築研究所

構造研究グループ 研究員

三木 徳人

構造研究グループ 交流研究員

廣嶋 哲

3. 調査行程

平成 28 年 10 月 27 日（木）

9:00 建築物 A

13:30 建築物 C

11:00 建築物 B

15:00 外観被害状況調査

17:00 調査終了

平成 28 年 10 月 28 日（金）

9:00 建築物 D

14:00 建築物 F

10:30 建築物 E

15:20 建築物 G

11:30 外観被害状況調査

16:10 調査終了

各調査対象建築物の位置概略は図 3.1 に示す通りである。

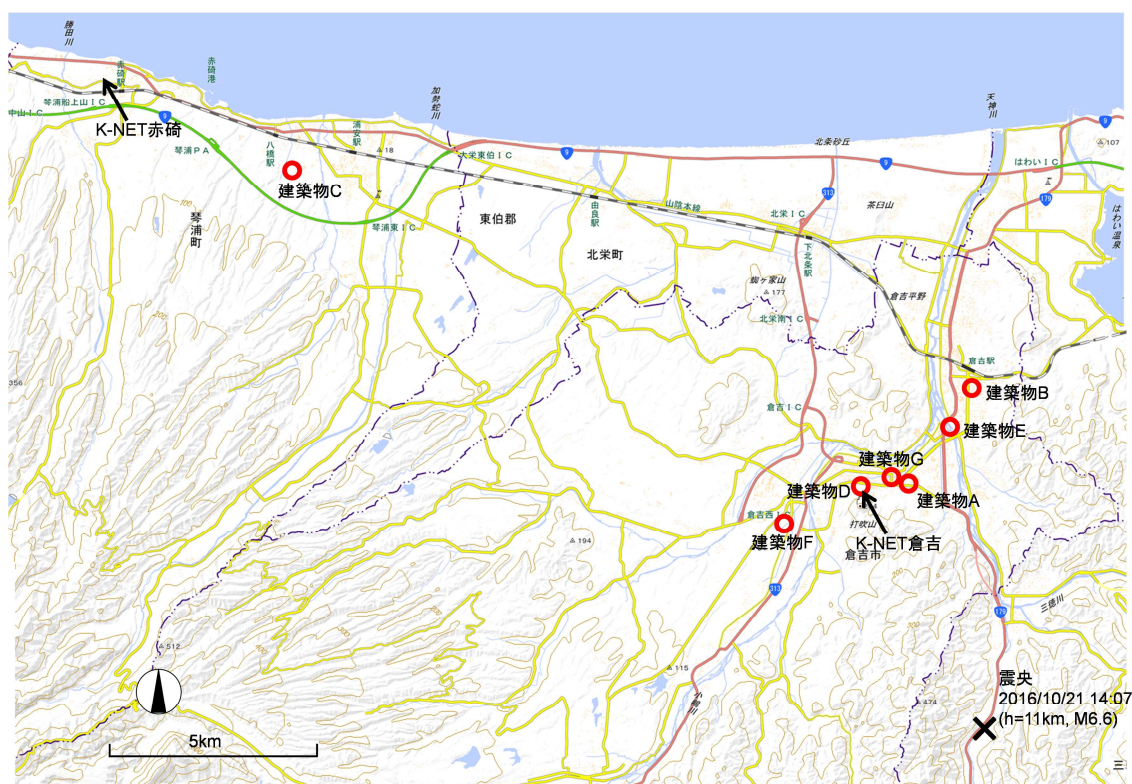


図 3.1 調査を行った建築物等の位置概略（地理院地図を利用）

4. 地震動の概要

気象庁によると、平成 28 年 10 月 21 日 14 時 07 分頃、鳥取県中部を震源とする（北緯 35.4 度、東経 133.9 度）M6.6（暫定値）の地震（本震）が発生した¹⁾。震源深さは約 11km（暫定値）であった。鳥取県倉吉市葵町、湯梨浜町龍島、北栄町土下の震度計では、震度 6 弱を記録した。また、この付近では倉吉市葵町（K-NET）と琴浦町赤崎（K-NET）でも地震動が観測されている。

図 4.1 に K-NET 倉吉（TTR005）（震度 6 弱（計測震度 5.8））、図 4.2 に K-NET 赤崎（TTR006）（震度 5 弱（計測震度 4.5））の加速度時刻歴波形と、観測記録から描いた疑似速度応答スペクトル（減衰定数は 5%、変位応答を基準とし算出）を示す。また、図中には、建築基準法に規定される設計用地震動の応答スペクトル（極めて稀に発生する地震動、2 種地盤、表層地盤の増幅は略算、地震地域係数 $Z=0.9$ ）を黒の破線で、加速度 $S_a=1000, 2000\text{cm/s}^2$ と変位 $S_d=5, 10, 15\text{cm}$ をそれぞれ灰色の点線と破線にて参考とし示す。K-NET 倉吉では、NS 方向及び EW 方向で周期 0.4 秒前後の短周期の成分が大きな値となっている。K-NET 赤崎では、NS 方向及び EW 方向で周期領域 1~2 秒の成分が大きな値となっている。

今回調査した建築物の内、「5.調査結果」取り上げる内部に入って調査した 7 棟については、建築物 C は K-NET 赤崎に近く、その他の 6 棟はより震央に近い倉吉市内の K-NET 倉吉の近傍に位置している。また、「6.その他の被害」で取り上げる多くの木造建築物の被害が見られた北栄町は、K-NET 倉吉と赤崎の間に位置している。

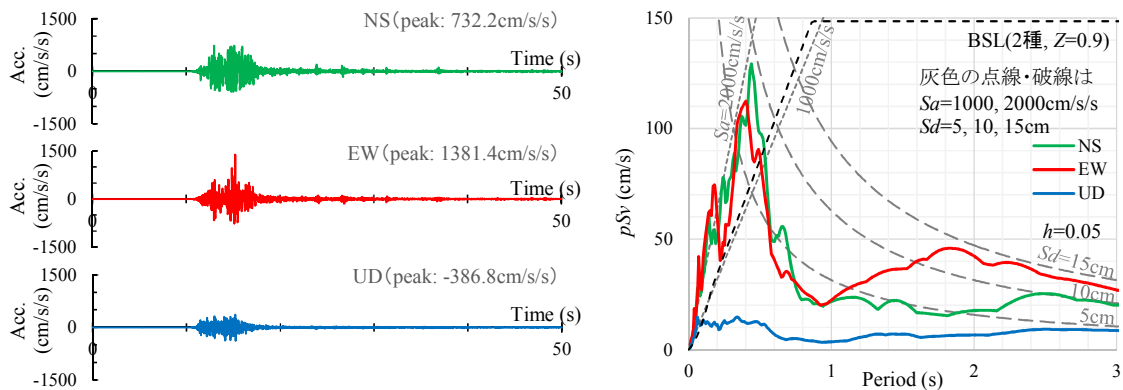


図4.1 K-NET 倉吉で観測された加速度時刻歴波形と擬似速度応答スペクトル

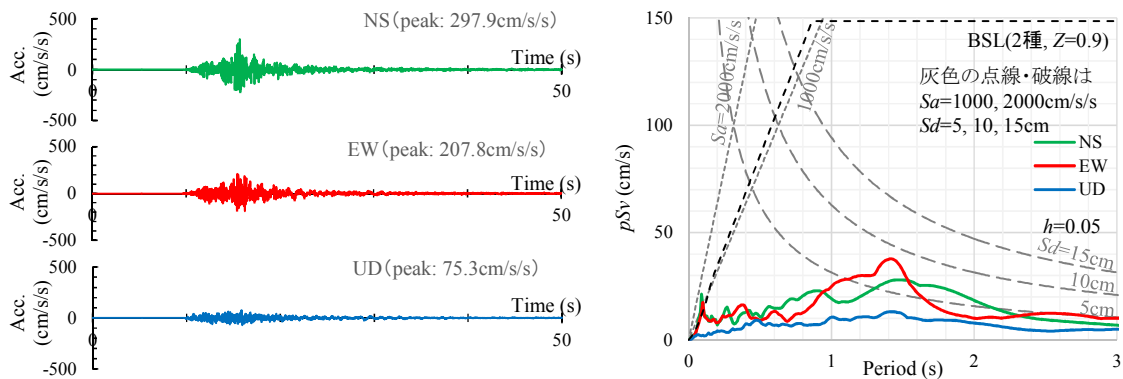


図4.2 K-NET 赤碕で観測された加速度時刻歴波形と擬似速度応答スペクトル

5. 調査結果

5.1 建築物A

2000年に竣工の音楽ホール及びアトリウムを有する複合文化施設で、新耐震基準によるものである(写真5-1)。アトリウム部分については、架構は鉄筋コンクリート造、屋根は木造トラスアーチとなっており、架構と屋根は鉄骨部材を介して接続されている(写真5-2)。また、桁行き方向には、鉄骨造ブレースが木造トラスアーチ及び鉄骨部材に取り付いている。音楽ホール部分については、架構は鉄筋コンクリート造、屋根は鉄骨造トラスとなっている。

構造体の被害については、アトリウム部分において、鉄筋コンクリート造柱と鉄骨部材の接合部7箇所すべてでコンクリートの側方破壊あるいはモルタルの破壊が生じていた(写真5-4、5-5)。また、鉄骨造ブレースの接合部において、ガセットプレートに変形が生じていた(写真5-3)。音楽ホール部分においては、構造体の被害は確認されなかった。

非構造部材の被害は、エントランスホール上部での鋼製下地材による吊り天井(天井高さは実測で8.0~12.5m程度であり、特定天井²⁾に該当する。)の脱落及び周辺部への衝突による損傷が確認された(写真5-6~5-8)。本震に先立って当日の12時12分頃に発生した地震(倉吉市で震度3を記録)の際にエントランス側と逆側の天井端部が損傷して白い粉状のものがエントランス床面で観察されたと

のことである。その他の被害としては、アトリウムで内装の仕上ボードの脱落、音楽ホールで吊り天井（鋼製下地材を用いた天井。天井高さは設計図書によると1階席は14.3～21.2m程度であり、特定天井に該当する。）と建築設備の取合い部分で隙間が生じていた（写真5-10、5-11）。

建築設備の被害は、屋上設置の冷却塔における機器据え付け部に設置された防振ゴムの脱落が確認された。他の主要な電気設備、熱源機器等は地下1階の機械室に設置されており、機器および配管に目立った損傷は確認されなかった。

また、音楽ホール舞台装置のバトンの昇降機構として設けられているカウンターウェイトが、ガイドレールから外れていることが多数確認された（写真5-12～5-14）。



写真5-1 外観

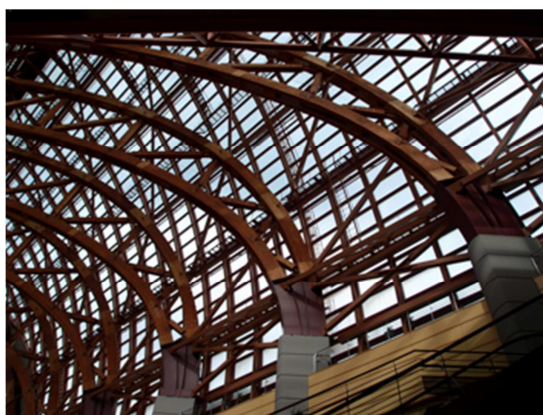


写真5-2 アトリウム内観



写真5-3 ガセットプレートの変形



写真5-4 コンクリートの破壊



写真5-5 モルタルの破壊



写真5-6 エントランスホール内観

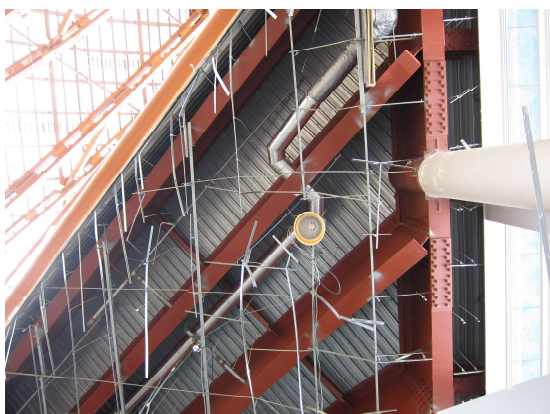


写真5-7 天井脱落箇所

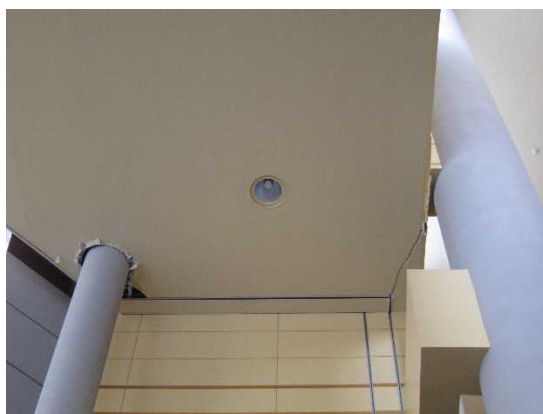


写真5-8 エントランス側と逆側の天井の状況



写真5-9 音楽ホール内観

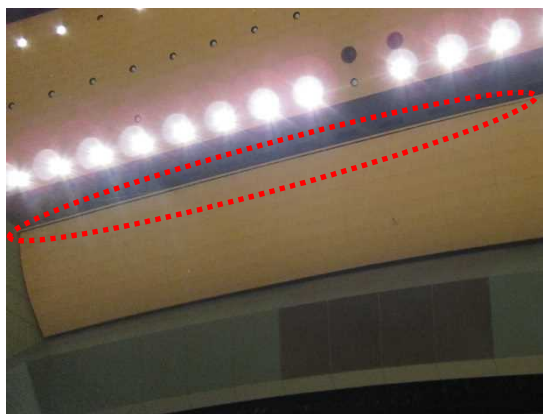


写真5-10 天井と建築設備との隙間（楕円内）



写真5-11 前写真箇所を天井裏から見る



写真5-12 バトン用カウンターウェイトの被害



写真 5-13 ガイドがレールから外れたカウンタ
ーウェイト



写真5-14 舞台上への落下物（ガイド部分）

5.2 建築物B

1975年竣工の体育館であり、下部（ギャラリー部分の途中まで）は鉄筋コンクリート造、上部は鉄骨造となっており、屋根は立体トラスである（写真5-15）。旧耐震基準によるものであり、2007年に耐震補強が行われている。

構造体の被害は、鉄筋コンクリート造柱と鉄骨造柱の接合部分において、化粧材に軽微な損傷が確認されており、接合部分がある程度変形したことが推測される（写真5-16、5-17）。

非構造部材の被害は、アリーナ上部の吊り天井（中央部分はグラスウール板によるシステム天井、その他は鋼製下地材による天井。天井高さは実測で11.2～13.2m程度であり、特定天井に該当する。）についてグラスウール板の脱落、勾配切り替え箇所での天井の損傷が確認され（写真5-18～5-20）、バルコニー上部の軒天井（鋼製下地材を用いた天井）が3箇所で脱落していた（写真5-24、5-25）。天井は、2007年の工事で、天井裏に斜め材や水平補剛材が追加されており、斜め材の足下近傍で、クリップと野縁受け、斜め部材と野縁受け等がねじどめされていた（写真5-21～5-23）。その他、鋼製サッシ窓で硬化性パテどめのガラスが、全部で20～30枚損傷したとのことである。

建築設備の被害としては、アリーナのダウンライトのカバーが多数脱落した（写真 5-26）。その他、別棟（1978 年建設の鉄筋コンクリート造 2 階建て）の塔屋上部に設置された高架水槽の下部の配管から漏水していた（写真 5-27、5-28）。



写真 5-15 外観

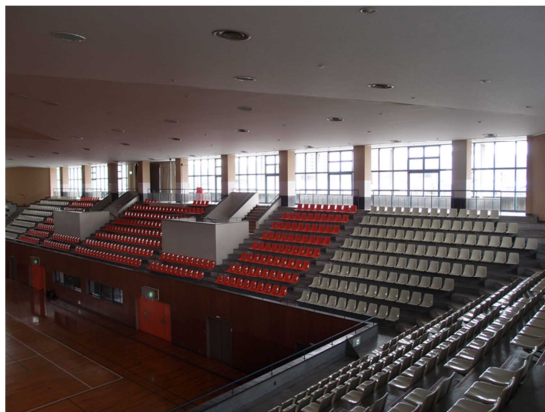


写真 5-16 観客席

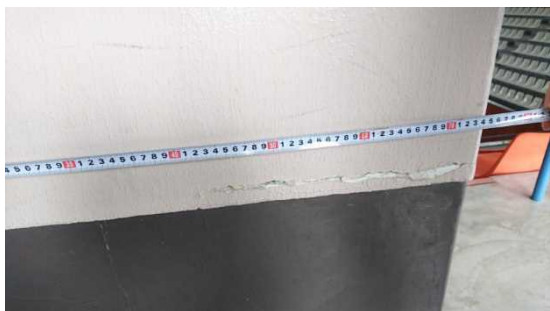


写真 5-17 鉄筋コンクリート造柱と鉄骨造柱の接合部の損傷



写真 5-18 内観



写真 5-19 天井脱落箇所の状況



写真 5-20 脱落したガラスウール板



写真5-21 天井裏（システム天井）



写真5-22 天井裏（鋼製下地材による天井）



写真5-23 ねじどめした接合部の詳細



写真5-24 舞台裏の軒天井の被害



写真5-25 前写真と対角位置での軒天井の被害

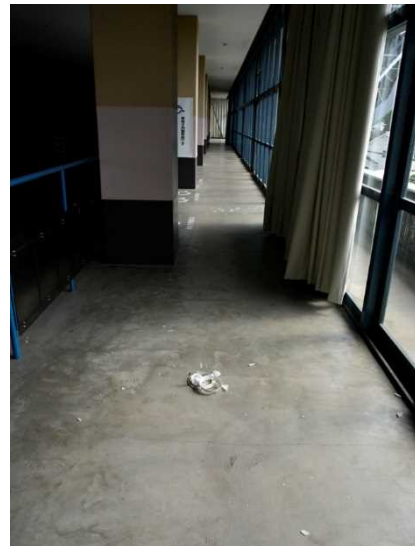


写真5-26 ダウンライトカバーの落下



写真 5-27 別棟の高架水槽外観



写真 5-28 別棟の高架水槽下部の配管被害

5.3 建築物C

1983 年竣工の体育館であり、架構は鉄筋コンクリート造、屋根は鉄骨造トラスであり、新耐震基準によるものである（写真 5-29）。

構造体の被害については、鉄筋コンクリート造架構と鉄骨造トラス屋根の接合部において、一部ずれが生じていた（写真 5-30～5-32）。

非構造部材の被害は、アリーナ上部の吊り天井（鋼製下地材を用いた天井。天井高さは実測で 11.9 ～14.5m 程度であり、特定天井に該当する。）について、2×4m 程度の天井面の脱落（野縁、せっこうボード、ロックウール化粧吸音板）、天井板の外れ、天井面の垂れ下がり 2 箇所（20cm 程度の下がり）等が確認された（写真 5-33～5-38）。

建築設備の被害は、天井設置の照明器具のずれが見られた（写真 5-39）。



写真 5-29 外観



写真 5-30 鉄筋コンクリート造架構と鉄骨造トラス屋根の接合部のずれ



写真 5-31 鉄骨部材と鉄筋コンクリート部材の
ずれ



写真 5-32 モルタルの破壊



写真 5-33 内観（パノラマ合成）

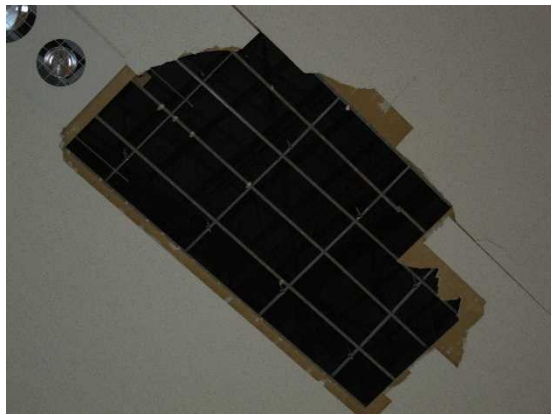


写真 5-34 天井脱落箇所の状況



写真 5-35 脱落した天井



写真 5-36 天井板の外れ



写真 5-37 天井面垂れ下がり



写真 5-38 天井面垂れ下がり箇所の天井裏でのクリップの外れ（赤円内が外れたクリップ）



写真 5-39 天井設置の照明器具のずれ（写真内の右上と左下の照明が定位置からずれている）

5.4 建築物D

1956年に竣工した旧耐震基準による4階建ての鉄筋コンクリート造の庁舎（本庁舎）であり、1998年に耐震補強が実施された（写真5-40、5-41）。議場部分は2階から3階にかけて吹き抜けており、屋根は3階建て相当の高さである（図5-1）。

構造体の被害は、議場部分の鉄筋コンクリート造柱（3階）の柱頭部にコンクリートの破壊が生じていた（写真5-45～5-47）。

非構造部材の被害は、執務室等において鋼製サッシに硬化性パテどめした窓ガラスが60数枚破損したとのことであり、アルミサッシに入ったガラスの損傷は確認されなかった（写真5-42）。調査時は、損傷した窓を合板で塞ぐなどして庁舎での業務が継続されていた（写真5-44）。その他、外壁タイル数枚の脱落（写真5-43）や、議場屋上にある小屋のALCパネルの損傷が見られた。

建築設備の被害は、受水槽へ給水する配管が砂で詰まるという被害があったとのことであったが、調査時には復旧していた。

また、隣接する庁舎（南庁舎。2階建ての鉄筋コンクリート造、1962年竣工、1972年に増築。）において、エキスパンションジョイント部分の残留変形が確認された（写真5-48）。



写真5-40 外観（北東から見る）



写真5-41 外観（南面。白い柵内にあるのがK-net倉吉（TTR005）。）

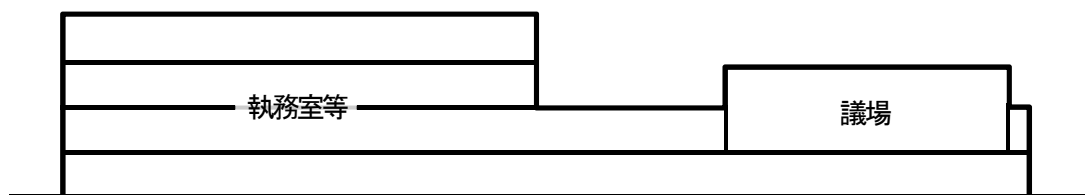


図5-1 建築物D断面模式図（北側から見る）



写真5-42 窓ガラスの損傷（左：無被害のアルミサッシ、右：ガラスが割れた鋼製サッシ）



写真5-43 外壁タイルの脱落



写真5-44 庁舎内部の状況（パノラマ合成）

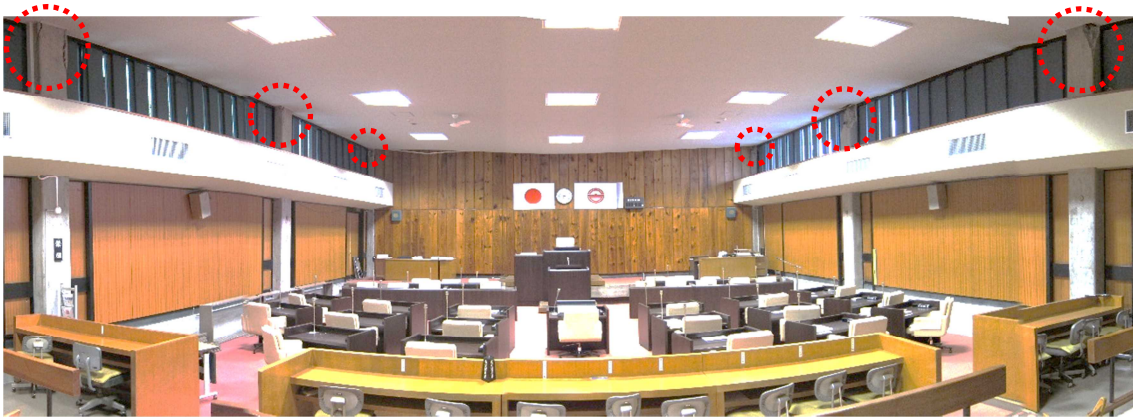


写真5-45 議場の内観（赤円内で柱頭の破壊。パノラマ合成。）



写真 5-46 鉄筋コンクリート造柱の柱頭部の破壊（外部から）



写真 5-47 鉄筋コンクリート造柱の柱頭部の破壊（外部から）



写真 5-48 南庁舎でのエキスパンションジョイント部のずれ

5.5 建築物E

1961年に竣工し、1992年に増築された2階建ての鉄筋コンクリート造庁舎である（写真5-49）。旧耐震基準による既存部分については、耐震補強はされておらず、新耐震基準による増築部分は、既存の建築物の南側にエキスパンションジョイントを介して1スパンが独立した形で設けられている。

構造体の被害は、いずれも既存部分について確認された。既存部分と増築部分を接続しているエキスパンションジョイントの近傍で、柱にひび割れが（写真5-52）、梁にはコンクリートの剥離が（写真5-50、5-51）生じていた。また、部分的に平屋となっている箇所の柱頭部と梁接合部に、それぞれ1箇所でコンクリートの剥離が生じていた（写真5-53）。

非構造部材の被害は、エキスパンションジョイントカバーの脱落、2階執務室におけるエキスパンションジョイント近傍での天井の脱落や内壁のひび割れが見られた（写真5-54～5-57）。

建築設備の被害は確認されなかった。



写真 5-49 外観



写真 5-50 梁接合部のコンクリートの剥離（既存部分）



写真 5-51 鉄筋コンクリート造梁のコンクリートの剥離（既存と増築の接続箇所）



写真 5-52 鉄筋コンクリート造柱のひび割れ（既存部分）



写真 5-53 柱頭部のコンクリートの剥離（既存部分）



写真 5-54 エキスパンションジョイント部での天井と内装の損傷



写真 5-55 エキスパンションジョイント近傍での可動間仕切りの損傷



写真 5-56 エキスパンションジョイントカバーの部材の外れ



写真 5-57 階段室周りの内装のひび割れ (既存部分)

5.6 建築物F

1993年に竣工した2階建ての鉄骨造の給食センターで、新耐震基準によるものである(写真5-58)。張間方向は山形屋根のラーメン構造であり、桁行き方向には2丁つづりの山形鋼ブレースが配置されている(写真5-59)。

構造体の被害は、柱脚部のコンクリートにひび割れが数箇所見られた(写真5-60、5-61)。

非構造部材の被害は、調理室において壁ボードが多数脱落するとともに鋼製下地材による吊り天井が脱落し、洗浄室においても壁ボード及び鋼製下地材による吊り天井(洗浄室の高所にある天井の天井高さは実測で約6.1mであり、特定天井に該当する。)が多数脱落しているのを確認した(写真5-62～5-68)。壁、天井ともにボードはけい酸カルシウム板である。なお、ボードが脱落した調理室の壁は、設計図書及び現場での確認によると、□-100x100x2.3の軽量形鋼を最大で3.8m程度の間隔で上下に配置し、その間にJIS90形の鋼製下地材による下地を組み、厚さ6mmのけい酸カルシウム板の下張りの上に同6mmの化粧けい酸カルシウム板で仕上げたものである。

建築設備の被害は、内装材の落下に伴う空調吹き出し口の外れが確認された(写真5-64)。



写真 5-58 外観

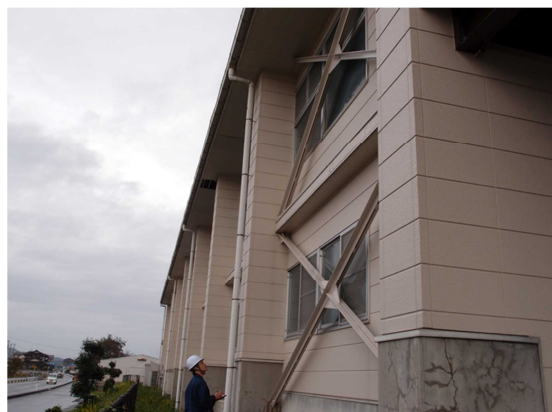


写真 5-59 外観



写真 5-60 柱脚部にコンクリートのひび割れ



写真 5-61 柱脚部にコンクリートのひび割れ



写真 5-62 内観（調理室。パノラマ合成。）



写真 5-63 脱落した壁ボード（同）

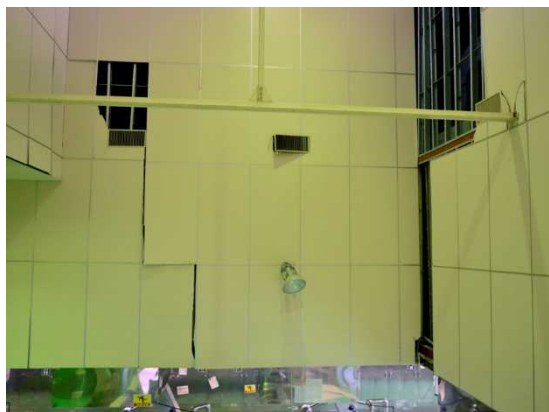


写真 5-64 空調吹出し口の外れ（同）



写真5-65 内観（洗浄室。パノラマ合成。）



写真5-66 天井面端部での損傷（同）



写真5-67 ダクトスペース下の天井の損傷（同）



写真5-68 脱落した天井板（同）

5.7 建築物G

2001年に竣工した平屋建ての鉄骨造の運動施設で、新耐震基準によるものである（写真5-69）。

構造体の被害は確認されなかった。外壁周りには最大5cm程度の地盤沈下が確認された（写真5-70）。

非構造部材の被害は、外壁パネルの一部に損傷が見られた。

建築設備の被害は、屋内プールの空調用ダクトの吹出し部のパネルが落下する被害が確認された（写真5-71、5-72）。また、後述するFRP製の流水プールの損傷に伴って流れ出た水により地階の機械室が浸水して、機械室内の建築設備も浸水によって被害を受け、調査時までには復旧していなかった（写真5-73）。

その他、FRP製の流水プールが階段付近の2箇所で損傷して、流水プールの水が流れ出ている（写真5-74～5-78）。



写真5-69 外観



写真5-70 外壁周りでの地盤沈下



写真5-71 空調吹出し部パネルの落下



写真5-72 落下した吹出し口パネル



写真5-73 機械室の被害状況



写真5-74 流水プール



写真5-75 流水プールの底の損傷



写真5-76 前写真の近景



写真5-77 流水プールの底の損傷



写真5-78 流水プールの床下の様子

6. その他の被害

前章で報告した以外に、建築物の外観から被害を把握したものについて、以下に記載する。

北栄町では多くの木造建築物に被害が見られ、屋根瓦のずれなど部分的に損傷しているものが多かったが、仕様から1981年以前の旧耐震基準時代または建築基準法制定以前建築と推定される木造建築物で、全体が壊れているものなどもあった（写真6-1～6-3）。



写真6-1 木造建築物の被害



写真6-2 木造建築物の被害



写真6-3 木造建築物の被害

倉吉市内では、ラスシートモルタル外壁の脱落被害(写真6-4)、ガラススクリーンの損傷(写真6-5)、PC カーテンウォールの部分的な欠け(写真6-6) などが確認された。また、共同住宅(1986年竣工(定礎板より)、鉄筋コンクリート造4階建て)の屋上塔屋に設置されたFRP製の高架水槽が破壊する被害が確認された(写真6-7)。



写真6-4 ラスシートモルタル外壁の脱落



写真6-5 ガラススクリーンの被害



写真 6-6 PC カーテンウォールの欠け



写真 6-7 FRP 製の高架水槽の破壊

7. まとめ

今回の地震による建築物の被害調査は、運動施設 3 件、庁舎 2 件、複合施設及び給食センターそれぞれ 1 件について内部調査を行い、その他、外観調査を複数の建築物について実施した。

内部調査により確認した被害の概要を以下にまとめる。

構造体については、鉄筋コンクリート造柱の柱頭部の被害が旧耐震の建築物で、鉄骨造ブレース接合部、鉄骨造柱脚部、エキスパンションジョイント部の被害が新耐震基準による建築物で、鉄筋コンクリート造柱と鉄骨部材との接合部での被害が、旧耐震基準、新耐震基準による建築物いずれにおいても確認された。

非構造部材については、特定天井を含めた吊り天井の損傷・脱落（いずれも特定天井に関する告示制定以前のもの）、高所からを含めた壁の損傷・ボードの脱落などが確認された。

建築設備の被害については、給排水・衛生設備に関して、給水経路における配管の損傷が確認された。また電気設備に関して、照明器具のカバー破損が確認された。空調・換気設備に関して、吹出し口のカバーが脱落する被害が確認された。

その他、音楽ホール舞台装置のバトンの昇降機構として設けられているカウンターウェイトのガイドレールからの外れや FRP 製のプールの損傷被害が確認された。

外観調査により確認した被害は、木造建築物について、屋根瓦のずれなど部分的に損傷しているものや、現行の耐震基準制定以前建築と推定されるものについて全体が壊れているものなどが確認された。その他の建築物について、非構造部材については窓ガラスの損傷、ラスシートモルタル外壁の脱落や PC カーテンウォールの欠けなどの被害が、建築設備については FRP 製の高架水槽の損傷被害が確認された。

おわりに

今回の地震で被災された方々に心からお見舞いを申し上げますとともに、一刻も早い復興を祈念いた

します。本調査を実施するにあたり、各自治体並びに被災建築物の調査についてご対応を頂きました関係機関の皆様には大変お世話になりました。また、本稿では、国立研究開発法人防災科学技術研究所が公開している K-NET の観測記録を利用させて頂きました。ここに深謝申し上げます。

注：

- 1) 平成 28 年 10 月 21 日 14 時 07 分頃の鳥取県中部の地震について（第 3 報）

<http://www.jma.go.jp/jma/press/1610/28a/201610281000.html>

- 2) 現行の建築基準法施行令第 39 条第 3 項に規定する「特定天井」。① 6 m 超の高さにあり② 水平投影面積 200 m² 超で③ 質量 2kg/m² 超であり④ 居室廊下その他の人が日常立ち入る場所に設けられる吊り天井が該当する。

<更新履歴>

- 1) 平成 29 年 3 月 31 日に、「3. 調査行程」における図 3. 1 の差し替え、「4. 地震動の概要」における図 4. 1, 4. 2 の訂正及び本文の訂正、「5. 調査結果」における特定天井に関する説明の「面積等の他の条件も満たすため、」の記述を 5 箇所削除、バトン用ガイドレールの記述の訂正、写真 5. 16～5. 18 の並び替え及び本文の対応、写真 5-28「別棟での」→「別棟の」、「RC」→「鉄筋コンクリート」、「平面上で執務室等が入る部分から独立する形となっている議場部分」→「議場部分」、「6. その他の被害」において「FRP 製の高架水槽の破断」→「FRP 製の高架水槽の破壊」及び本文の対応、「7. まとめ」において「現行の耐震基準制定以前のもの」→「現行の耐震基準制定以前建築のもの」と訂正を行いました。