

**2021 年 2 月 13 日の福島県沖の地震 (M7.3) に関する免震構造物調査の概要**  
(一社) 日本免震構造協会 (2021 年 3 月 29 日公開)

2021 年福島県沖の地震 (M7.3) では、福島県・宮城県で最大震度 6 強に至る強い揺れ観測しており、(一社) 日本免震構造協会では福島県と宮城県において強い揺れを記録した地域を中心に、下記の 2 チームで免震建物を中心とする調査を実施した。

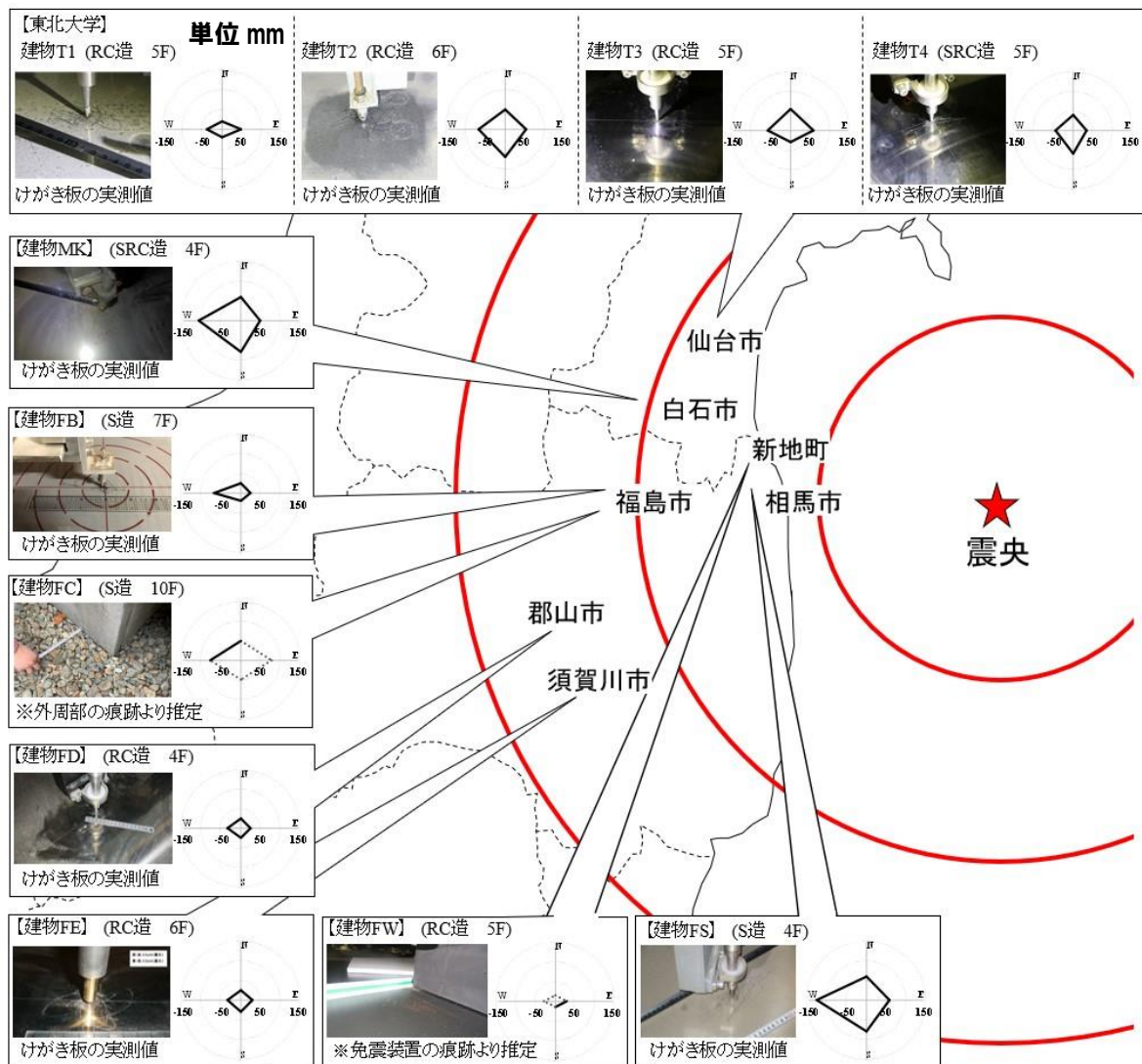
チーム 1 : 調査期間 : 2021 年 2 月 20~22 日 (福島県を中心に調査)

調査担当者 : 久田嘉章、田村和夫、吉敷祥一、仲田章太郎

チーム 2 : 調査期間 : 2021 年 2 月 22~24 日 (宮城県を中心に調査)

調査担当者 : 高山峯夫、森田慶子、荻野伸行、和田 章

図 1 にけがき板の実測値と免震層の移動痕跡から推定した免震層の最大変位の分布を示す。調査の結果、対象地域では震度 6 以上の強い地震動を受けており、免震建物は 5~15 cm 程度の変位を生じたが、全て被害はなく免震効果を発揮していたことを確認した。一方、免震建物の強震観測の欠如や免震 Exp.J における被害の抑制など検討すべき課題があった。次のページよりチーム 1 (P.1-4) とチーム 2 (P.5-7) による調査概要を示す。より詳細な調査結果は日本免震構造協会・広報誌 MENSIN の 5 月号に掲載される予定である。



※図中、破線(.....)は実測方向の反対側にも同程度の変形があるものと仮定したときの推定値を示している。

図 1 免震層の最大変位の分布図 (けがき板の実測値と免震層の移動痕跡による推定値)

# チーム 1：2021 年 2 月 13 日の福島県沖の地震（M7.3）に関する 免震構造物調査の概要（福島県を中心として）

（一社）日本免震構造協会 調査チーム（調査期間：2021 年 2 月 20～22 日）

久田嘉章（工学院大学）、田村和夫（建築都市耐震研究所）

吉敷祥一（東京工業大学）、仲田章太郎（東京工業大学）

**概要：**2021 年 2 月 13 日 23 時 7 分ごろに発生した福島県沖の地震（M7.3）では、福島県・宮城県で最大震度 6 強に至る強い揺れ観測し、倒壊した建物はないものの様々な被害が報告されている。日本免震構造協会では上記メンバーにより、震度 5 強～6 強を観測した福島県内の免震建物を中心とした調査を実施した。その結果、全ての免震建物に大きな被害はなく、免震効果を発揮したことを確認した。しかしながら、エキスパンションジョイントや外構部の被害や、強震観測やけがきによる記録の欠如により定量的な耐震性能の評価の困難さ、など今後検討すべき課題があった。なお、同時期に別チーム（高山・森田・荻野・和田氏）が仙台市を中心とする調査を行っており、その報告書も併せて参照されたい。

## 1. 調査地域と強震記録

図 1 に示すルートにより、震度 5 強～6 強を観測した福島県のいわき市・相馬市・福島市・郡山市・須賀川市における免震建物や強震観測点、および、その周辺建物の調査を行った。表 1 に対象地域の主な強震観測記録の計測震度と最大振幅、図 2 には EW 成分の加速度応答スペクトル（5%減衰）と変位応答スペクトル（10%減衰）を示す。この地震は M7.3 の大地震であるが、深さが約 55 km のスラブ内地震であり、全体として周期 1 秒以下の短周期成分が卓越しており、特に震度 7 に近い値を記録した KiK-net



図 1 調査ルート

表 1 各地の強震動による震度と最大振幅

観測点	市町村	計測震度	最大加速度		最大速度	
			NS	EW	NS	EW
FKS011	いわき市	5.1(5強)	340	304	16.1	17
FKS001	相馬市	5.9(6弱)	586	555	43.3	37.6
MYGH10	山元町	6.5(6強)	1426	1076	75.9	40.2
FKS003	福島市	5.3(5強)	209	271	24.6	29.3
FKS018	郡山市	5.8(6弱)	245	513	24.8	38.3
FKS017	須賀川市	5.6(6弱)	309	318	28.5	25.2

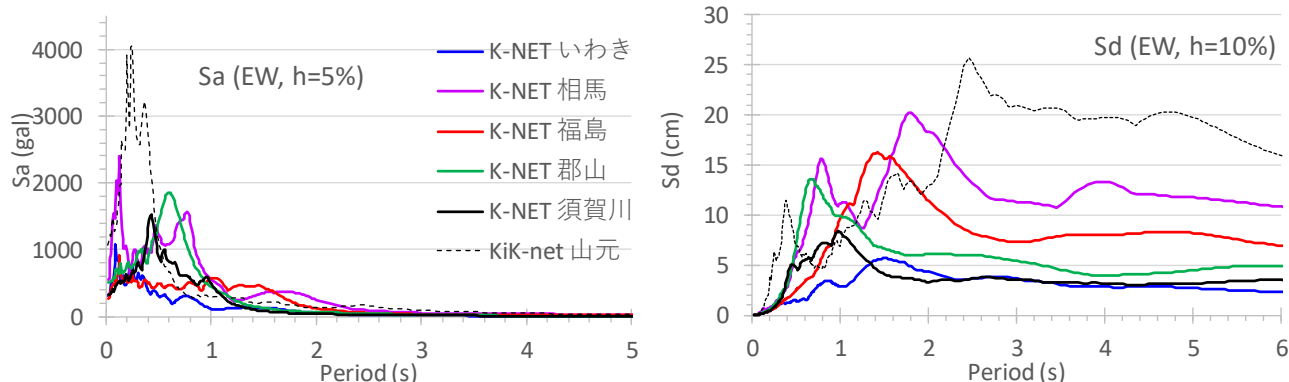


図 2 EW 成分の加速度応答スペクトル（左：h=0.05）と変位応答スペクトル（右：h=0.1）

山元では 4,000 gal を超える応答値を示している。一方、減衰定数=0.1 の変位応答スペクトルでは、周期 2～4 秒で KiK-net 山元で 20～25 cm、相馬市・福島市で 10 cm 前後、県南部のいわき市・郡山市・須賀川市では 5 cm 前後の値である。ちなみに、最も大きな計測震度を記録した山元町において、町内唯一の総合病院である宮城病院（耐震建物）では外観調査による構造的な被害は見られなかったが、「外来棟にある救急外来の壁が崩れたほか、スプリンクラーの配水管などが破損し漏水し、外来患者用のベッドや医療機器がぬれて使えなくなった。特に救急車の搬入口の柱の損傷がひどく、急外来の再開のめどは立っていない（JIJI.com, 2021/2/17）」と報道されており、地震から約 10 日後の 2 月 22 日まで休診を余儀なくされた。

## 2. 免震建物の調査

いわき市で 5 棟、相馬市で 1 棟、福島市で 13 棟、郡山市で 6 棟、須賀川市で 1 棟の計 26 棟の免震建物に関して、主に外観とリアリングによる調査を行った。以下にその概要を紹介する。

いわき市（震度 5 強）で調査した 5 棟の免震建物は、全て外観上は無被害であった。免震層の変位も大きくなく、エキスパンション部分などにも目立った損傷は見られなかった。いわき市は 2011 年東北地方太平洋沖地震（M9.0）に加えて、同年に福島県浜通り地震（M7.0）など何度も強い揺れを経験しており、市内の建物は瓦の落下などを除いて目立った建物被害は確認されなかった。

福島市（震度 5 強～6 弱）で調査した 13 棟の免震建物は、外観上はほぼ無被害であったが、エキスパンションジョイント部分には軽微な損傷が見られたものもあった。エキスパンション部の移動状況や、周囲の地盤面の痕跡より、免震層の変形量の多くは 3～4cm 程度であり、中には 4～5cm 程度以上変形した可能性がある建物もあった（写真 1、2）。なお福島市内では、非免震建物に大きな被害は生じなかったが、古い建物の外壁部分などの損傷も散見された。



写真 1 福島市内の庁舎建物の外観（左）と免震装置部仕上げの変形（右：東側に 4cm 程度のずれを確認）



写真 2 福島市内の病院建物の外観（左）と外周部の砂利に残された免震層の移動跡（右：免震建物が周辺の砂利を 4-5 cm 程度押しつけている）



福島市内にある写真 3 の建物は福島県北地区の拠点病院である。東日本大震災の際、旧病院建物の室内や設備に被害を生じたため、平成 28 年に現在の敷地に移転して免震構造として新築した。建物にはエキスパンションジョイント部も含めて建物外部には被害は見られなかった。後日問い合わせた結果によれば、室内の被害も殆どなく、医療活動の継続にも支障はなかったとのことである。送付頂いた 3 カ所のけがき板の変位記録では、建物の変形は東西方向に大きく、建物中央部では西側に 68mm, 東側に 24 mm 程度で、残留変形が西側に 7 mm 程度であった。3 枚のけがき板の記録を比較すると、建物の北側では東側への変形が 29 mm 程度であり、南側での東側への変形 21 mm よりもやや大きい。全体としてはほぼ同じ軌跡を描いており建物のねじれは少なかった。

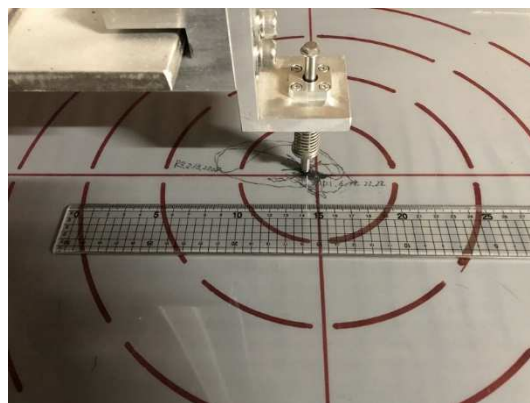


写真 3 福島市内の病院建物の外観（左）と提供頂いたけがき板の記録（西に 68 mm、東に 24 mm 程度）

郡山市（震度 6 弱）で調査した 6 棟の免震は、全て外観上は無被害であった。写真 4 の研究施設の免震建物では免震層を見学させていただき、免震層のけがき板により、変形が北東－南西方向に±20mm 程度であることを確認した。郡山市内の非免震建物では外観上目立った損傷は見られなかったが、ヒアリング調査により、住宅の壁などの被害や市内のタワーマンションの高層階内部で大きな被害があり、まだ出勤できていない方もいるとの情報であった。



写真 4 郡山市内の研究施設の外観（左）とけがき板の記録（右：東西に 20 mm 程度）

須賀川市（震度 5 強）の庁舎建物では、けがき板の記録写真を見せていただき、東西方向に両振幅で 65mm 程度（西 35mm+東 30mm）の変形があることを確認した。

### 3. 免震建物の有効性と今後に向けた課題

今回の調査では主に外観調査ではあるが、計 26 棟の全ての免震に大きな被害は無く、免震機能を発揮していたと思われる。一方、今後に向けて改善すべきと思われるいくつかの課題があり、以下に記した。

#### ○免震建物における強震計・けがきによる記録の欠如

調査した全ての免震建物には強震記録がなく、その多くにはけがき板も設置されておらず、揺れの大きさや免震建物の応答性状を正確に知ることはできなかった。周辺には K-NET などの公開されている強震記録があるが、建物から数 km も離れている場合があり、さらに強震計の設置条件や表層地盤などのサイト特性や、建物・地盤系の相互作用などの影響により、免震建物への実効入力や建物の応答を正確に知ること困難である。近年、精度が高く簡易で安価な地震計やデータ送信のシステムが開発されており、さらに被災度判定システムを導入すれば、免震層や建物の健全性を即時に判定することも可能である。免震建物にこのような観測システムを設置して運用することを強く勧めたい。

#### ○エクspansionsジョイントと外構部の被害

揺れが大きい免震建物では、エクspansionsと外構部に被害が生じる場合があった。写真 5 はその 1 例であり、他の調査チーム（高山ほか）によると、この新築の免震庁舎は西側に約 13 cm 移動したことが確認されている。エクspansionsは免震建物の犬走り部材の跳ね上げ方式であるが、受け側の傾斜角が約 45 度と急こう配であり、かつ地盤が軟弱であったため、免震層の衝突により外構部に顕著な損傷が生じていた。周辺の耐震建物には殆ど被害が無いため、免震建物の被害が目立つ結果となり、その耐震性に誤解を招く恐れがあると思われる。



写真 5 10cm 以上移動した免震の犬走り部分が、周辺の外構部に衝突し、破壊した例

#### ○大地震と並行して、中小地震の揺れにも配慮した耐震設計

耐震と比べて、免震は震度 6 強程度以上の大地震時にも機能継続を可能とする大きな利点があり、これまでに多くの実績がある。しかしながら、建物の耐用年数内に経験する大半は震度 6 弱程度以下の中小地震であり、その際の応答性状によって耐震性の評価が下される可能性に注意すべきである。近年では耐震建築の性能が著しく向上し、非構造部材や室内の安全対策と併せれば、中小地震ではほぼ無被害にすることも可能である。従って、免震建築でも中小地震に対して写真 5 のような被害を生じないよう、今後はきめ細かな耐震設計が求められる。一方、重要施設として設計される免震建築には、近年、海溝型超巨大地震や活断層帯地震など数千年に 1 度程度の地震を想定して、非常に大きな地震動を用いて耐震設計を行う場合がある。従来の想定を超える地震動に対する安全性への配慮は必要であるが、極端に大きな地震動を用いると、変形を抑えるために剛性の高い免震層を採用し、過剰な減衰ダンパーの付加するなどにより、中小地震で免震効果を発揮せずに加速度が大きくなるなど、バランスの悪い設計になる可能性がある。今回の調査でも、想定される地震動の大きさに比べて免震層の変位が非常に小さいと考えられるケースがあり、今後は大地震とともに中小地震にも配慮した耐震設計の重要性を感じた。

#### 謝辞

本報告書では防災科学技術研究所の K-NET、KiK-net での強震記録を使用させていただきました。また免震建物の記録に関して、福島赤十字病院、須賀川市の皆様より情報をご提供いただきました。今回の調査を通じて、免震建物の調査に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。

## チーム2：2021年2月13日の福島県沖の地震（M7.3）に関する 免震構造物調査の概要（宮城県を中心として）

2021年2月13日に発生した福島県沖の地震では、最大震度6強を観測した。（一社）日本免震構造協会では震度6強を観測した地域と仙台市内を中心に免震建物の調査を下記のとおり実施した。

調 査 日：2021年2月22日～24日の3日間

調査担当者：高山峯夫、森田慶子、荻野伸行、和田 章

調査の結果、震度6以上の強い地震動を受けているものの、調査した免震建物は全て被害はなく、免震効果を発揮していた。しかしながら、エキスパンションジョイントの被害抑制の点で今後検討すべき課題があった。ここでは調査の概要を報告する。

### 1. S市役所

本建物は地上4階建ての鉄骨造（写真1）で、延べ床面積9574m<sup>2</sup>。この地域では震度6強を観測している。2016年に完成。使用している免震システムは、天然ゴム系積層ゴム＋鉛プラグ入り積層ゴム＋弾性すべり支承（摩擦係数0.01）＋転がり支承（CLB）であり、大変形時の免震周期は4.6秒、降伏せん断力係数は約2%となっている。



写真1 S市役所の外観

免震層に設置されていたけがき式変位計では西側に130mm、東側に60mmの最大変形が記録されていた。ベクトル方向では最大で150mm程度の変形が確認された。庁舎の方からは、地震時には事務スペースの被害は無かったと確認している。

K-NET 相馬（FKS001）で記録された地震波（EW成分）を使って変位応答スペクトルを求めた。図1に弾性系モデルによる変位応答を粘性減衰10%、20%、30%について示す。図2にはバイリニア型モデルによる変位応答を示す。バイリニア型の降伏変位は1cmに固定し、降伏せん断力係数を2%、4%、6%としている。なお、横軸の周期は降伏後剛性を用いて求めている。これらの応答からFKS001の地震波は2秒付近にピークを持つことがわかる。今回の地震で免震層が150mmほど変形したことが確認された。この変形による等価周期は約3.7秒となる。この周期付近での応答変位は10～13cm程度であり、けがき式変位計による変形と整合している。



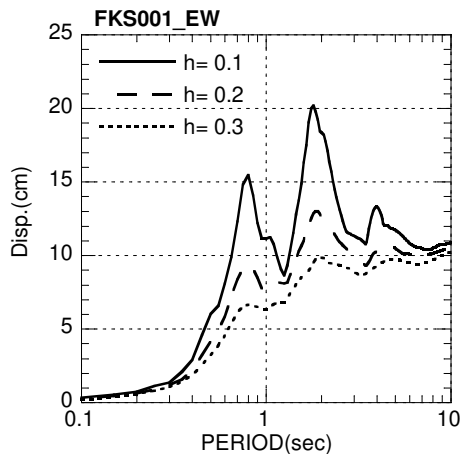


図1 FKS001 による弾性変位応答

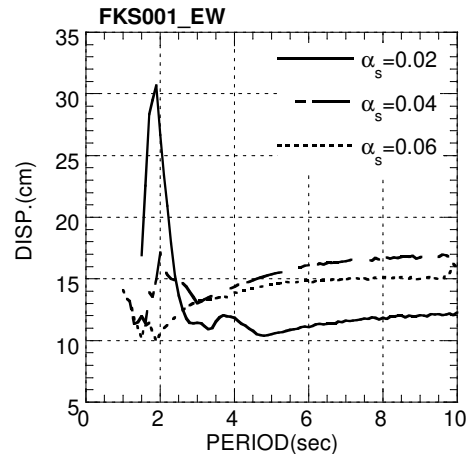


図2 FKS001 によるバイリニア系変位応答

## 2. W 病院

本建物は地上 5 階建て、RC 造、延べ床面積 12,388m<sup>2</sup> (写真 2)。免震システムは、鉛プラグ入り積層ゴム＋弾性すべり支承（摩擦係数 0.01）が使われており、告示免震となっている。大変形時の接線周期は 4.3 秒。免震層にけがき式変位計は設置されていない。すべり支承の滑り痕跡から最大で 50～60mm 変形したと推定される。



写真 2 W 病院の外観

## 3. K 病院

本建物は地上 4 階建て、SRC 造、延べ床面積 25,141m<sup>2</sup> で 2002 年に完成した (写真 3)。免震システムは、鉛プラグ入り積層ゴム＋転がり支承 (CLB) ＋オイルダンパーで、レベル 2 時の免震周期は 3.6 秒である。

今回の地震ではけがき式変位計で西側に 110mm、東側に 50mm、ベクトル方向で最大 130mm 程度の変形が確認された。2011 年東日本大震災のときには、ベクトル方向で最大 190mm 程度の変形が記録されたという。病院の方からは東日本大震災のときも今回の地震でも何も被害がなく大変よかったと伺った。また 10km 離れた別の病院では壁にヒビが入ったという話も聞いた。



写真3 K病院の外観

#### 4. 東北大学の免震建物

東北大学の青葉山キャンパスにある免震建物4棟を調査した。いずれの建物でも建物に被害はなく、一部のエキスパンションジョイントに損傷があった程度であった。4棟のうち3棟の免震システムは、天然ゴム系積層ゴム＋鉛プラグ入り積層ゴム＋直動転がり支承＋オイルダンパーとなっていた。残りの1棟だけ天然ゴム系積層ゴム＋錫プラグ入り積層ゴムというシンプルな構成となっていた。



写真4 東北大学の免震建物

免震建物によって免震層の変形は多少異なるものの、けがき式変位計には最大で 50mm～70mm 程度の変形が記録されていた。



## 5. 仙台市内の免震建物

仙台市内の免震病院や免震マンションなどについては外観調査を実施した。調査できた免震建物には損傷なども見られず、エキスパンションジョイントの移動した痕跡もほとんど見られなかった。仙台市内の免震建物では変形したとしても 10mm 以下程度ではなかったと推察される。今後、仙台市内の免震層のけがき式変位計等での変位量の確認が必要だろう。

## 6. まとめ

今回の免震建物の調査では、7 棟の免震建物について免震層内部や建物外周部の確認を行った。震度 6 強を観測した地域では最大で 150mm ほどの変形が確認されたものの、免震建物に被害などはなかった。けがき式変位計を設置していない建物もあり、すくなくともけがき式変位計の設置を強く推奨することもあると思われる。また、エキスパンションジョイントでは損傷が見られた例もあり、エキスパンションジョイントの設計や施工法についてさらなる検討が必要と思われる。

今回調査した建物で使われているエキスパンションジョイントの事例を写真 5 に示す。これらのエキスパンションジョイントは犬走りを基本として、出入り口部分だけをスライド式や滑動式の機構としていた。意匠設計との関係もあると思われるが、エキスパンションジョイント部分に被害が出にくい設計であると思われる。免震建物の設計ではエキスパンションジョイントの設計上の工夫も必要であると思われる。

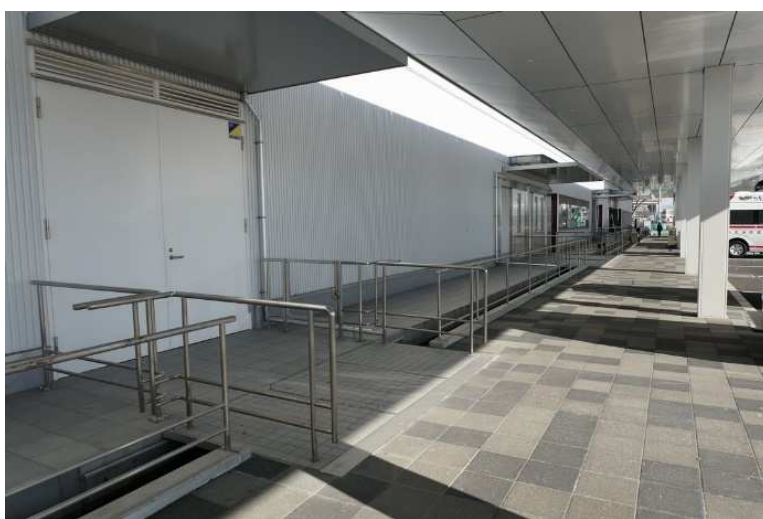


写真 5 エキスパンションジョイントの事例

## 謝辞

本報告書では防災科学技術研究所 K-NET での強震記録を使用しました。免震建物の調査にご協力いただいた建物所有者、設計者・施工者の皆様に感謝申し上げます。また東北大学の免震建物の調査においては、東北大学の 大野 晋准教授、古川 幸助教に大きなご支援を頂きました。ここに記して感謝申し上げます。