

令和6年(2024年)能登半島地震による 鉄筋コンクリート造等建築物の被害調査報告(速報)

1. はじめに

2024年1月1日16時10分に能登半島を震源とするマグニチュード7.6、最大震度7の地震が発生した。国土交通省国土技術政策総合研究所と国立研究開発法人建築研究所は、石川県輪島市河井町・鳳至町および金沢市における鉄筋コンクリート造(以下、RC造)等建築物の被害の概要把握および航空レーザー計測による建築物群の面的な損傷評価手法の妥当性検証を目的として、現地被害調査を実施した。本報告は、この現地被害調査の結果を速報としてとりまとめたものである。

2. 調査概要

2.1 調査日および調査場所

2024年4月15日(月)～4月16日(火) 石川県輪島市河井町・鳳至町

2024年4月18日(木)～4月19日(金) 石川県輪島市河井町・鳳至町, 石川県金沢市

2024年6月5日(水) 石川県輪島市河井町

2.2 調査者

向井智久(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 室長)

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 主任研究官)

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)

渡邊秀和(国立研究開発法人建築研究所 国際地震工学センター 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)

2.3 調査対象建築物

本調査では、事前に得られた建築物被害情報（被災建築物応急危険度判定、被害調査報告等）から調査対象建築物を選定し、表 2.3.1 に示す建築物の調査を実施した。

表 2.3.1 調査建築物一覧

建築物名	所在地	規模	構造形式	建設年（耐震改修）	掲載章節	被害形態
建築物 A	輪島市	地上 7 階	RC 造	1972	4.1	転倒
建築物 B	輪島市	地上 7 階	RC 造	1977	4.2	沈下・傾斜
建築物 C-1	輪島市	地上 3 階	RC 造	不明	4.3.1	傾斜
建築物 C-2	輪島市	地上 3 階	RC 造	1968(2023*)	4.3.2	傾斜
建築物 D-1	輪島市	地上 3 階	RC 造	1970 (2012)	4.4	沈下・傾斜
建築物 D-2	輪島市	地上 3 階	RC 造	1970 (2012)		沈下
建築物 D-3	輪島市	地上 3 階	RC 造	1970 (2012)		沈下
建築物 D-4	輪島市	地上 3 階	RC 造	1970 (2013)		沈下
建築物 D-5	輪島市	地上 3 階	RC 造	1970 (2013)		沈下・傾斜
建築物 E-1	輪島市	地上 5 階	RC 造	1975	4.5	沈下・傾斜
建築物 E-2	輪島市	地上 5 階	RC 造	1976		沈下・傾斜
建築物 E-3	輪島市	地上 5 階	RC 造	1977		沈下・傾斜
建築物 F	輪島市	地上 5 階	RC 造	1978	4.6	沈下・傾斜
建築物 G	輪島市	地上 3 階	RC 造	1971	4.7	沈下・傾斜
建築物 H-1	輪島市	地上 2 階	RC 造	1968 (2013)	4.8	沈下・傾斜
建築物 H-2	輪島市	地上 2 階	鉄骨造	2020		
建築物 I-1	輪島市	地上 2 階	RC 造	1985	4.9	
建築物 I-2	輪島市	地上 1 階	補強組積造	1985		傾斜
建築物 J	輪島市	地上 3 階	壁式 RC 造	1992	4.10	傾斜
建築物 K	輪島市	地上 3 階	RC 造	1987	4.11	沈下・傾斜
建築物 L	輪島市	地上 2 階	鉄骨造	1982	4.12	地盤沈下
建築物 M	金沢市	地上 3 階	RC 造	1996	4.13	地盤崩落
建築物 N-1	輪島市	地上 2 階	RC 造+鉄骨屋根	2001	5.2.2	S 屋根損傷
建築物 N-2	輪島市	地上 3 階	RC 造	1995	5.2.2	
建築物 O	輪島市	地上 2 階	鉄骨造	1992	5.2.3	地盤崩落

*改修工事中に被災し工事中断

3. 地震概要

2024年1月1日16時10分頃、石川県能登地方（37° 29.7′ N, 137° 16.2′ E, 震源の深さ16km）を震源とするMj7.6, Mw7.5, 最大震度7の地震が発生した。この地震の震度分布を図3.1.1に示す。石川県志賀町香能で震度7を、石川県七尾市垣吉町, 七尾市能登島向田町, 輪島市鳳至町, 輪島市河井町, 珠洲市三崎町, 珠洲市正院町, 珠洲市大谷町, 穴水町大町で震度6強を記録した。

本地域では被害地震を複数回経験しており、参考として、2023年5月5日14時42分頃、能登半島沖（37° 32.3′ N, 137° 18.2′ E, 震源の深さ12km）を震源とするMj6.5, 最大震度6強の地震の震度分布を図3.1.2に示す。また、2007年3月25日9時42分頃、能登半島沖（37° 13.2′ N, 136° 41.1′ E, 震源の深さ11km）を震源とするMj6.9の地震（平成19年(2007年)能登半島地震）の震度分布を図3.1.3に示す。

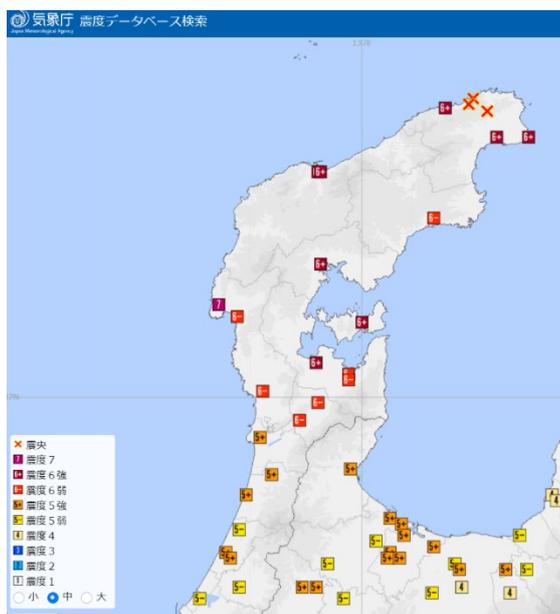


図 3.1.1 令和6年能登半島地震の震度分布¹⁾

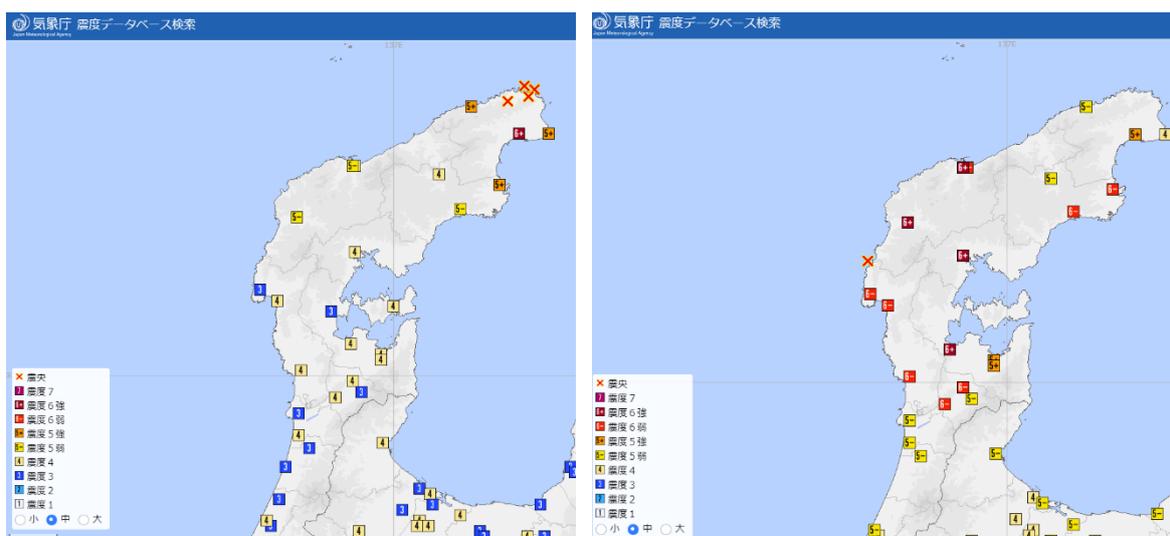


図 3.1.2 2023年5月5日能登半島沖地震の震度分布¹⁾

図 3.1.3 平成19年(2007年)能登半島沖地震の震度分布¹⁾

輪島市で観測された地震動記録²⁾³⁾の概要を示す。観測点一覧を表 3.1.1 に示す。調査地域では、今回の地震で、輪島市で震度 6 強が観測されている。K-NET 輪島 (ISK003) および輪島市鳳至町の観測記録の速度応答スペクトル、および、加速度応答スペクトル (Sa) と変位応答スペクトル (Sd) の関係を表す Sa-Sd 曲線を図 3.1.4 および図 3.1.5 に示す。また、平成 19 年 (2007 年) 能登半島地震での観測記録についても併せて示す。図 3.1.4 より、K-NET 輪島 (ISK003) では、今回の地震で NS, EW それぞれの方向で 1~2 秒の周期帯に高いピークが見られ、平成 19 年 (2007 年) 能登半島地震の観測記録に比べても大きい。図 3.1.5 より、輪島市鳳至町では、今回の地震で NS, EW それぞれの方向で 1~3 秒の周期帯に高いピークが見られ、平成 19 年 (2007 年) 能登半島地震の観測記録は 2 秒付近に卓越しているためスペクトル形状が異なる。

表 3.1.1 観測点一覧

観測点名称	設置者	北緯	東経	震度 (計測震度)		
				2024/1/1 16:10	2023/5/5 14:42	2007/3/25 9:42
K-NET 輪島 (ISK003)	防災科研	37.3924	136.9078	6.2	4.2	5.5
輪島市鳳至町	気象庁	37.3917	136.8950	6 強(6.3)	5 弱(4.9)	6 強(6.1)

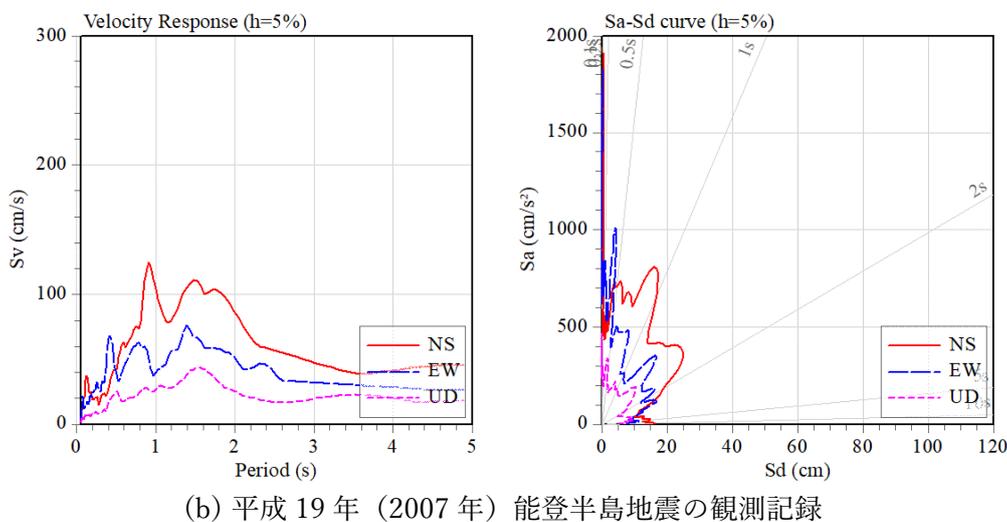
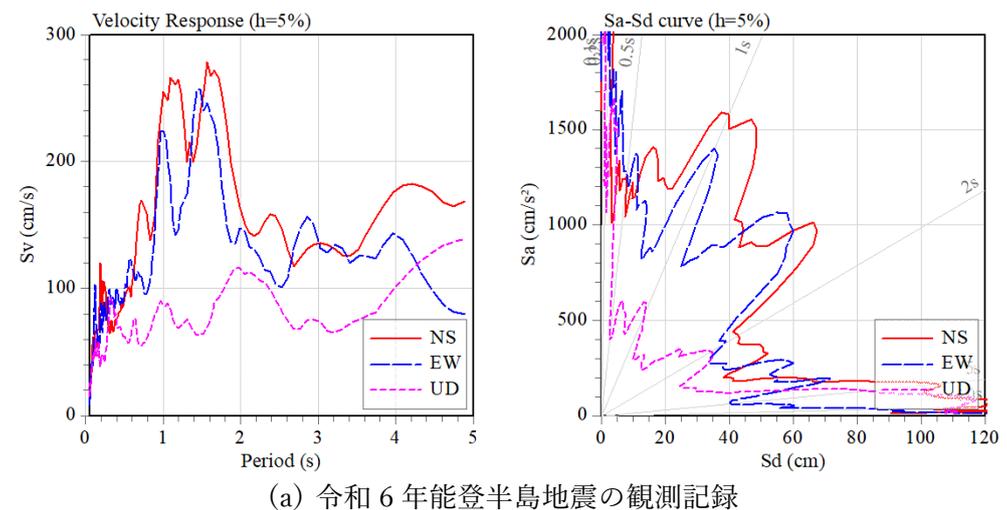
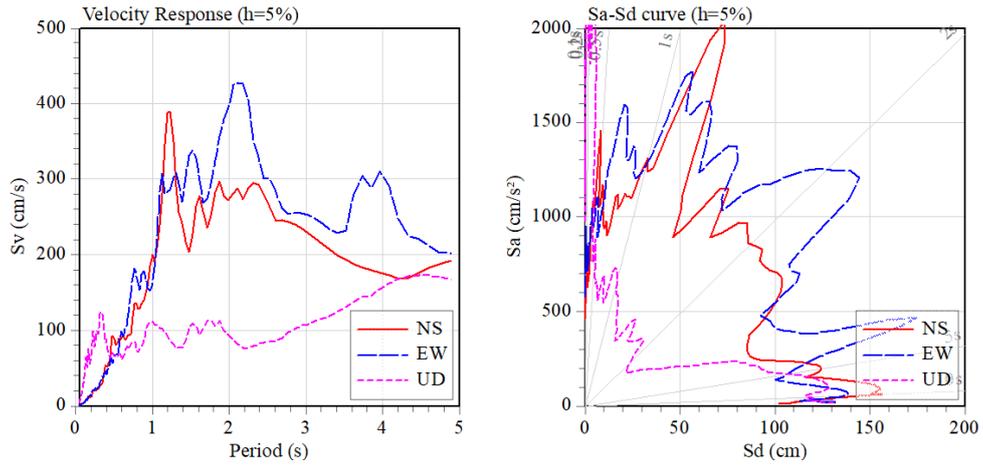
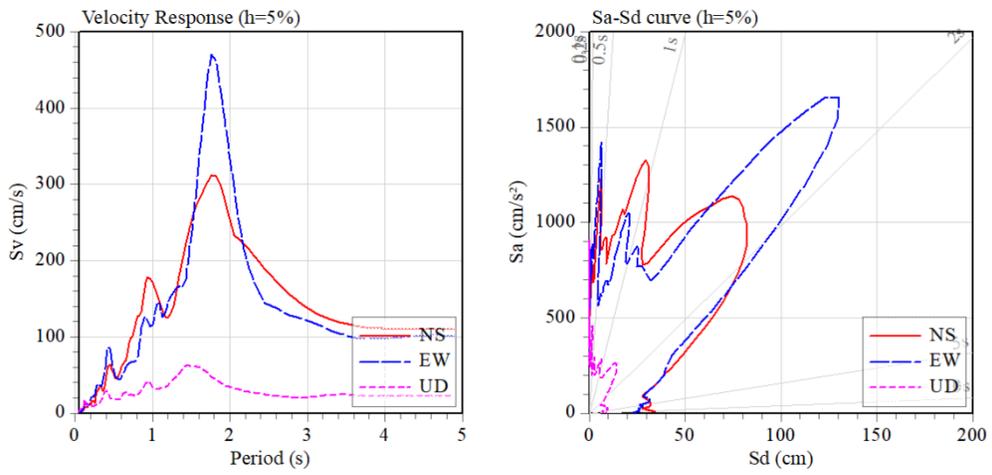


図 3.1.4 K-NET 輪島 (ISK003)



(a) 令和 6 年能登半島地震の観測記録



(b) 平成 19 年 (2007 年) 能登半島地震の観測記録

図 3.1.5 輪島市鳳至町

4 調査結果

4.1 建築物 A

建築物 A は、地上 7 階建ての RC 造建築物であり、建設年は 1972 年である（図 4.1.1）。建築物が東側に大きく沈下し、転倒の被害が発生している建築物である。2024 年 4 月 19 日の調査では、小型ドローンを用いて転倒した建築物の損傷状況を確認した。転倒した上面（建築物西側）では、2 階と 3 階の境界付近で大きな損傷が発生しているのを確認した（図 4.1.2）。図 4.1.3 及び図 4.1.4 に西側壁面の詳細を示す。西側壁面の損傷付近では、柱外周部の主筋とシングル配筋の壁縦筋を確認できた。図 4.1.5 に西側壁面基部の状況を示す。西側壁下端の南側が建築物の内側に凹むような損傷が確認された。

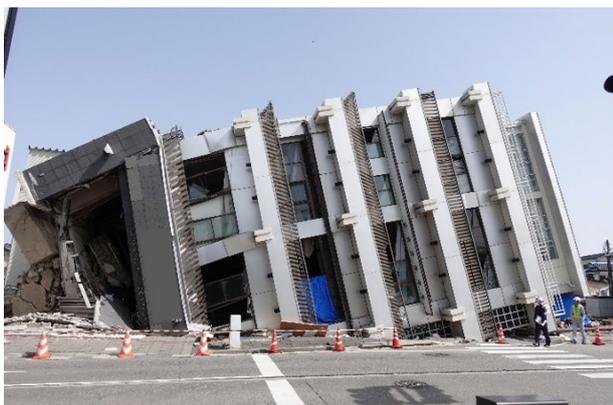


図 4.1.1 建築物外観（南側）



図 4.1.2 建築物外観（西側）



図 4.1.3 西側壁面の損傷



図 4.1.4 西側壁面の損傷（拡大図）

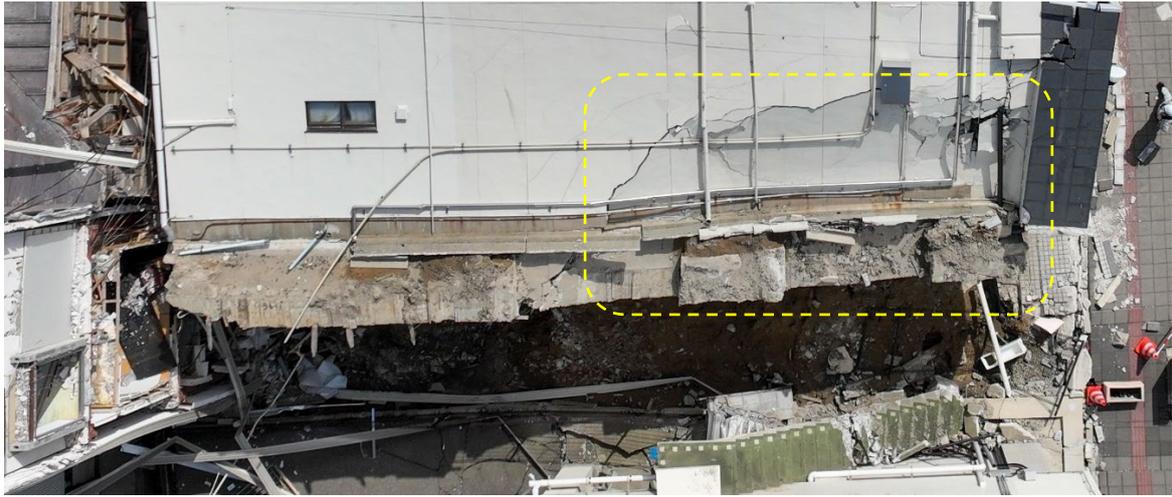
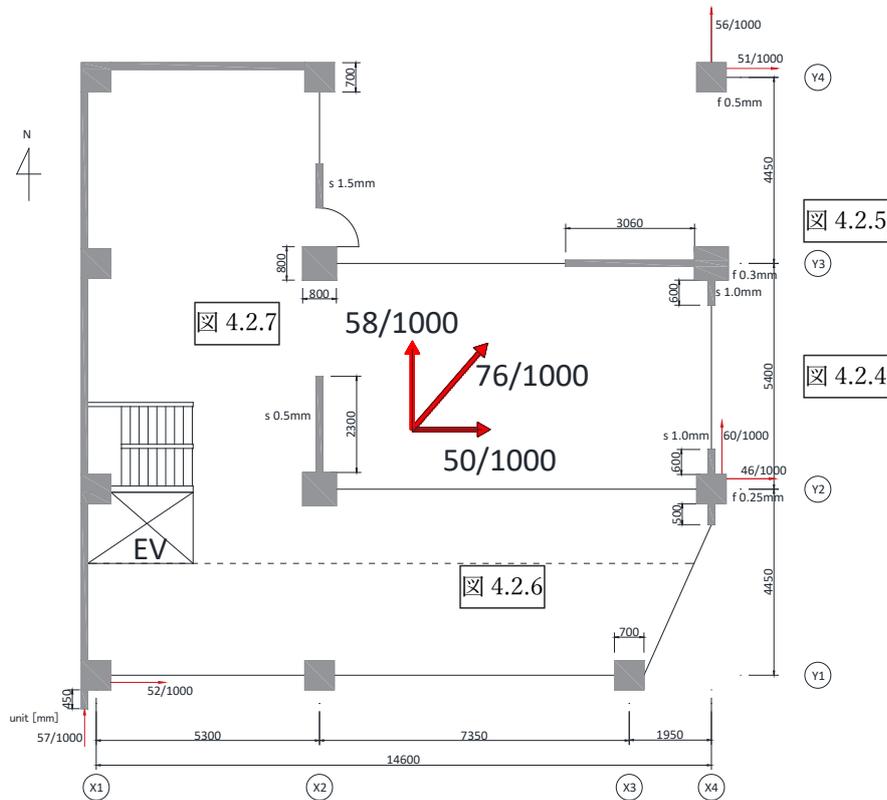


図 4.1.5 西側壁面基部の損傷

4.2 建築物 B

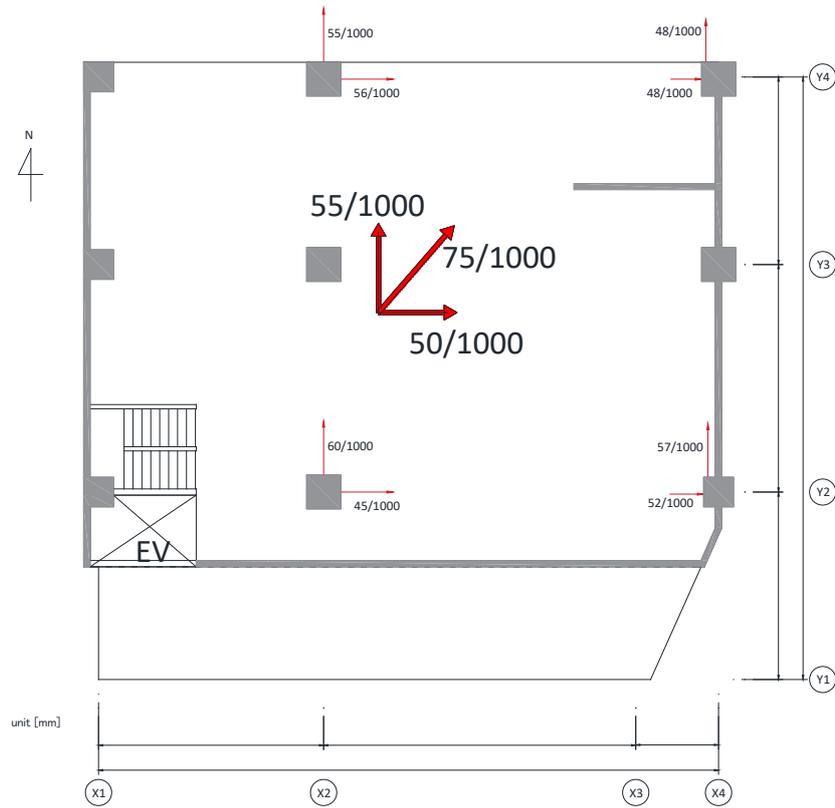
建築物 B は、地上7階建て RC 造建築物であり、建設年は 1977 年である。1階、4階の概略平面図および傾斜計測結果を図 4.2.1 に示す。図中の太線赤矢印は建築物における傾斜の代表値として、各部の傾斜実測値を平均して求めた数値である。なお、後述する図 4.2.4～図 4.2.7 の箇所も図 4.2.1(a)中に示している。建築物の著しい沈下および傾斜が認められる（図 4.2.2～図 4.2.4）。2024 年 6 月 5 日の調査で建築物の傾斜を計測したところ、1階部分では北東方向に 76/1000 の傾斜が、4階部分では 75/1000 の傾斜が確認された。沈下量については、1階 X4-Y3 柱（図 4.2.1(a)参照）の東側面において、1390mm と測定された。応急危険度判定における③傾斜は「C ランク」と判定され、被災度区分判定基準⁴⁾における杭基礎構造の被災度区分は「大破」と判定される。

1階部分の柱（X4-Y4 柱，X4-Y3 柱，X4-Y2 柱）には 0.3mm 程度のひび割れが確認され，X4 構面 Y2～Y3 間の袖壁や，X2 構面 Y3～Y4 間の方立壁には 1.0～1.5mm 程度のひび割れが認められたが，沈下や傾斜の程度と比べると損傷程度は小さい（図 4.2.5）。沈下に伴い 1階床の土間コンが膨れ上がるような状況が 1階の広い範囲で確認された（図 4.2.6，図 4.2.7）。



(a)1F 概略平面図

図 4.2.1 建築物 B の概略平面図



(b)4F 概略平面図

図 4.2.1 建築物 B の概略平面図



図 4.2.2 南東面外観



図 4.2.3 北面外観



図 4.2.4 X4 構面 1 階部分の沈下



図 4.2.5 X4-Y3 柱の損傷



図 4.2.6 Y1~Y2 構面 1 階床の膨れ上がり



図 4.2.7 Y2~Y3 構面 1 階床の膨れ上がり



図 4.2.8 西面外観

4.3 建築物 C-1～C-2

建築物 C については、敷地内のそれぞれの建築物について個別に被害程度を記載する。

4.3.1 建築物 C-1

建築物 C-1 は、3階建て RC 造事務所であり、入口部分の1階建て鉄骨造構造とはエキスパンションジョイント（以下、Exp. J.）で接続されている（図 4.3.1, 図 4.3.2, 図 4.3.3）。また、裏手側に木造平屋建て建築物が同じく Exp. J. で接続されている。基礎構造は杭基礎である。建設年は不明である。

RC 造部分の建築物の傾斜が認められた。建築物の傾斜は、西方向に 35/1000 であった。応急危険度判定における③傾斜は「C ランク」と判定され、被災度区分判定基準⁴⁾における杭基礎構造の被災度区分は「大破」と判定される。

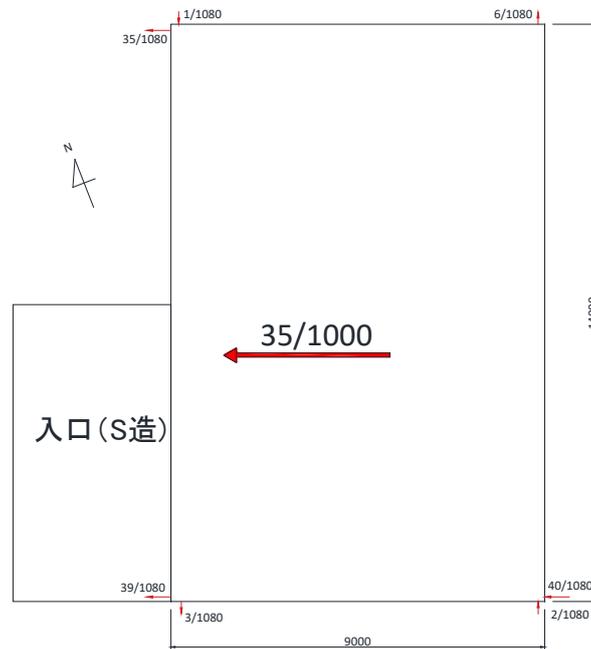


図 4.3.1 建築物 C-1 の概略平面図



図 4.3.2 西面外観



図 4.3.3 入口部と本棟の接合部

4.3.2 建築物 C-2

建築物 C-2 は 3 階建て RC 造共同住宅であり、建設年は 1968 年である (図 4.3.4, 図 4.3.5, 図 4.3.6)。基礎構造は杭基礎との情報があるが詳細は不明である。2017 年に耐震診断が行われ、長辺方向の 1 階で $I_s=0.45$, 2 階で $I_s=0.52$ であり、その他長辺方向 3 階および短辺方向では I_{s0} (0.6) 以上であったため、耐震改修として、1 階 A 構面に開口閉塞および増設袖壁の設置、2 階 A 構面に増設袖壁および構造スリットの設置、3 階 A 構面は構造スリットの設置が計画されており、耐震改修工事中に被災したため工事は中断されている (図 4.3.7)。

建築物には傾斜が認められ、傾斜は北東方向に 17/1000 であった。応急危険度判定における③傾斜は「B ランク」と判定され、被災度区分判定基準⁴⁾における杭基礎構造の被災度区分は「大破」と判定される。なお、隣接する 3 階建て鉄骨造共同住宅は、1 階部分に損傷が集中し、東方向に著しく傾斜し、東側の別建築物に寄り掛かった状態となっていた (図 4.3.8)。

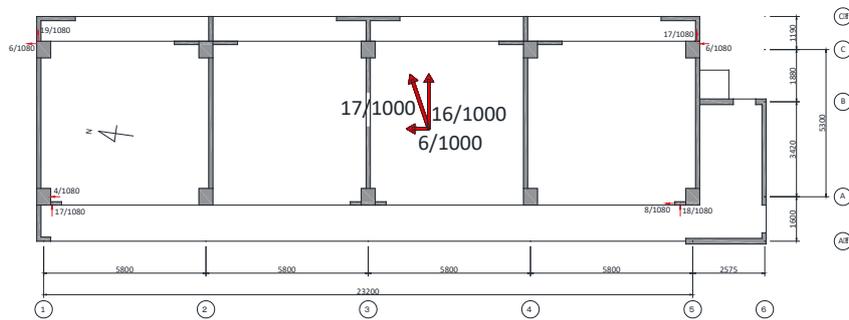


図 4.3.4 建築物 C-2 の概略平面図



図 4.3.5 西面外観



図 4.3.6 東面外観



図 4.3.7 開口閉塞



図 4.3.8 隣接する鉄骨造共同住宅

4.4 建築物 D-1～D-5

本建築物は、3階建てRC造建築物であり、建築物D-1～D-5の計5棟および別棟（体育館）がExp.Jで接続されている（図4.4.1～図4.4.7）。建設年は1970年である。2012年（第1期）および2013年（第2期）に耐震改修工事が行われており、第1期では建築物D-1～D-3について、鉄骨ブレース補強、増設壁補強、袖壁補強等が施された。第2期は、建築物D-4～D-5について、鉄骨ブレース補強、柱の炭素繊維巻き立て補強、増設壁補強および開口閉塞が施されている。基礎構造は杭基礎との情報があるが詳細は不明である。

建築物の傾斜を測定したところ、建築物D-1は南方向に22/1000の傾斜が、建築物D-5は北方向に26/1000の傾斜が認められた。建築物周辺は地盤変状が激しく、地盤沈下が生じていることが確認された（図4.4.8）。建築物D-1内部では、傾斜・沈下に伴うと思われる1階床の膨れ上がりが確認された（図4.4.9）。建築物D-1と建築物D-2の間のExp.Jは乖離が見られる（図4.4.10）。建築物D-2の鉄骨ブレース補強部分では、両側柱の脚部でのかぶりコンクリート剥落が認められたが、ブレース部分の損傷はなかった（図4.4.11）。建築物D-2と別棟の間のExp.Jは鉛直方向と水平方向にずれが生じており、鉛直方向のずれは430mm程度であった（図4.4.12, 図4.4.13）。建築物D-1と建築物D-3の間、建築物D-4と建築物D-5の間でもExp.Jの剥離が見られた（図4.4.14, 図4.4.15）。建築物D-5と別棟の間のExp.Jでは370mmの鉛直ずれが確認された（図4.4.16, 図4.4.17）。

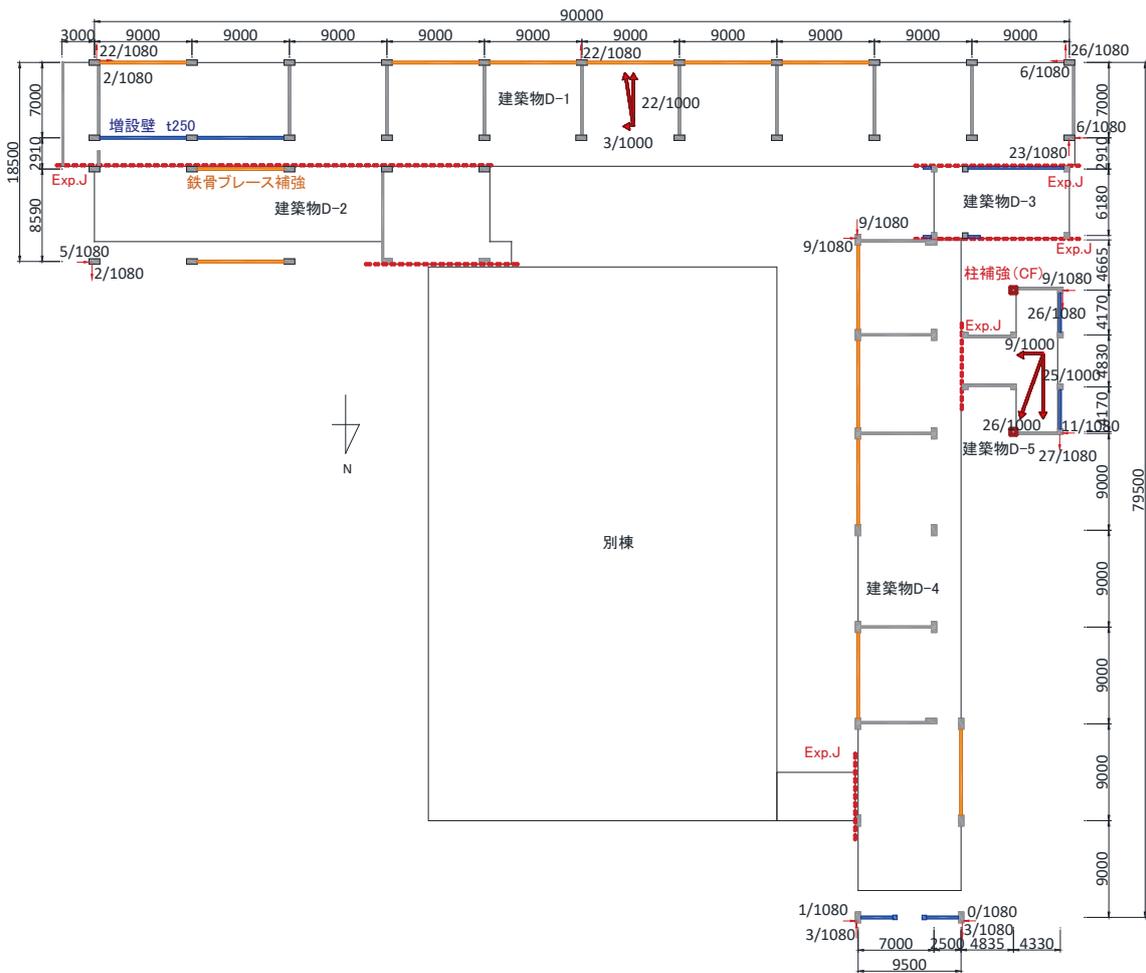


図 4.4.1 建築物 D-1～D-5 の概略平面図および傾斜計測結果



図 4.4.2 建築物 D-1 南側外観



図 4.4.3 建築物 D-2



図 4.4.4 建築物 D-3



図 4.4.5 建築物 D-4



図 4.4.6 建築物 D-5



図 4.4.7 西側外観



図 4.4.8 周辺地盤の沈下・外構部の被害



図 4.4.9 建築物 D-1 内部 1階床の膨れ上がり



図 4.4.10 建築物 D-1 と建築物 D-2 の Exp. J.



図 4.4.11 建築物 D-2 の鉄骨ブレース補強

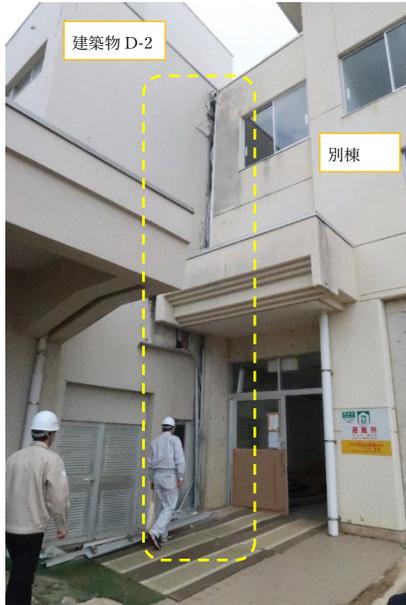


図 4.4.12 建築物 D-2 と別棟の Exp. J.



図 4.4.13 建築物 D-2 と別棟の Exp. J.の段差



図 4.4.14 建築物 D-1 と建築物 D-3 の Exp. J.

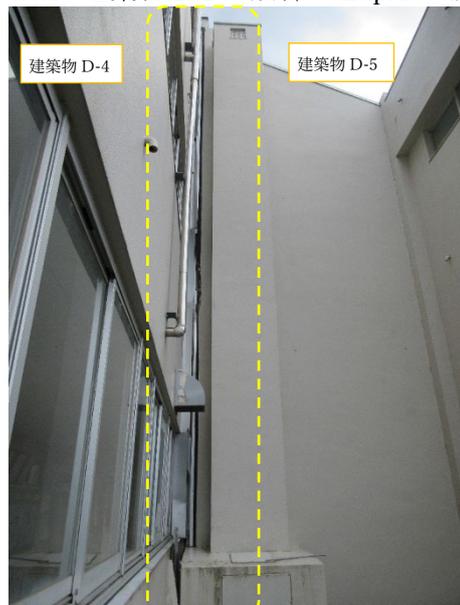


図 4.4.15 建築物 D-4 と建築物 D-5 の Exp. J.



図 4.4.16 建築物 D-4 と別棟の Exp. J.



図 4.4.17 建築物 D-4 と別棟の Exp. J.のずれ

「震災建築物の被災度区分判定基準および復旧技術指針 2015 改訂版」⁴⁾に従って、被災度区分判定を実施した。被災度区分判定基準では、杭基礎建築物の基礎の傾斜・沈下量により基礎構造の被災度区分が定義されている。沈下量は不明であるが、図 4.4.13 や図 4.4.17 に示すように、別棟と比較して対象建築物部分は数十 cm の沈下が生じていると考えられるため、沈下量は 0.1m 以上と考える。傾斜については図 4.4.1 のように計測されているため、それに基づいて杭基礎構造の被災度区分を判定すると、建築物 D-1、建築物 D-5 は「大破」、その他は「中破」と判定される。

続いて、上部構造の被災度区分を判定する。層崩壊形を想定し、部材損傷度に基づき、方向別に 1 階の耐震性能残存率 R を算定した。なお、柱は建設年（1971 年以前）を考慮して“せん断柱”とし、鉄骨ブレース補強されている構面は両側柱付き壁（CWC）と同等と判断した。部材損傷度および耐震性能残存率 R を計算した結果を図 4.4.18 に、被災度区分判定結果を表 4.4.1 に示す。上部構造の被災度区分は「軽微」～「中破」と判定されるが基礎構造の被災度区分と比較しても被災程度は小さい。

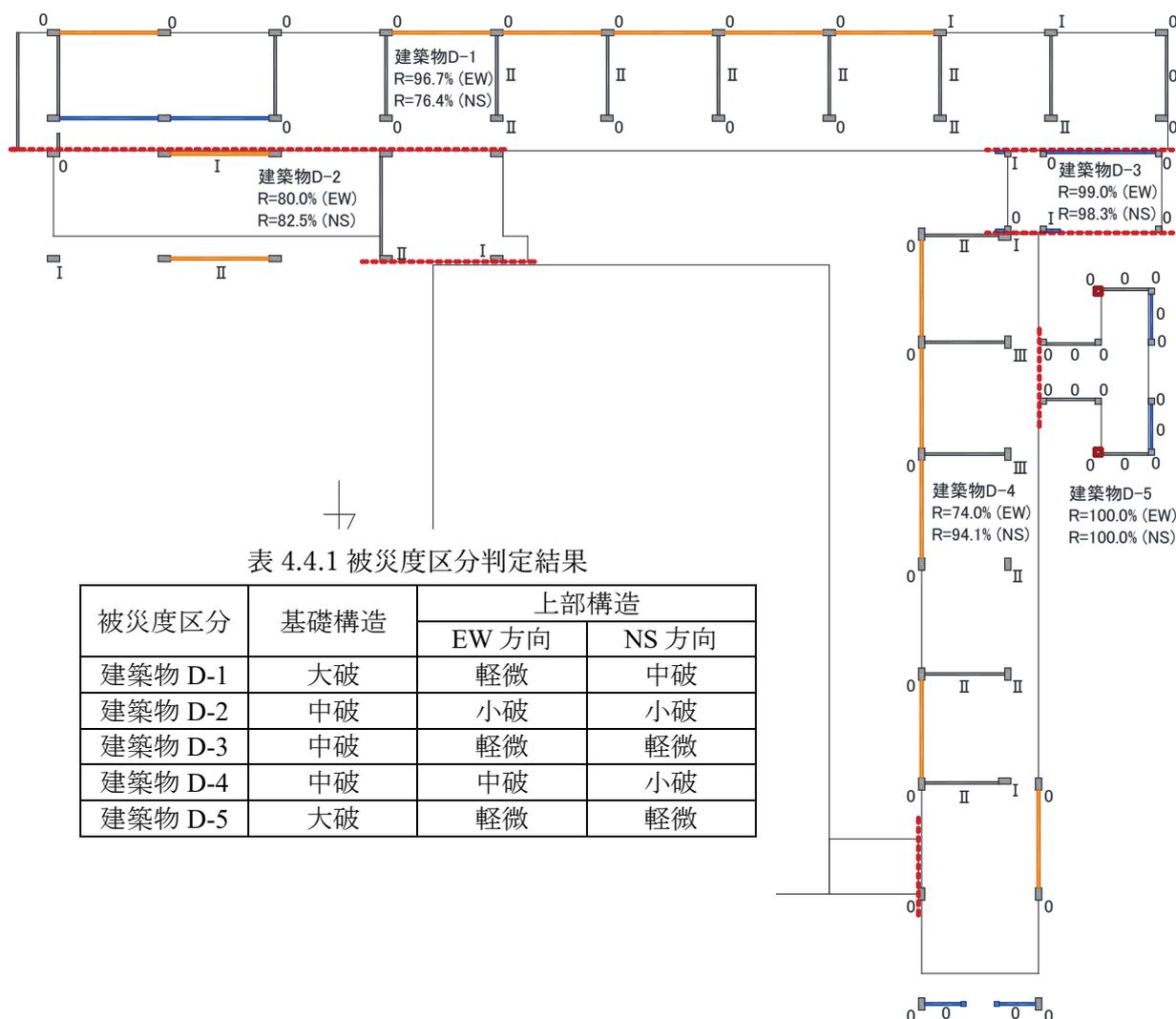


図 4.4.18 上部構造の被災度区分判定結果

4.5 建築物 E-1～E-3

本建築物は、川沿いに建設された5階建てRC造共同住宅であり、建設年は建築物E-1が1975年、建築物E-2が1976年、建築物E-3が1977年である(図4.5.1)。図4.5.2に建築物E-1～E-3の概略平面図および傾斜計測結果を示す。図4.5.3、図4.5.6および図4.5.8に建築物外観を示す。上部構造の平面形状は長方形であり、南北方向が桁行方向である。基礎構造は杭基礎である。

建築物の傾斜は、建築物E-1では西方向に22/1000の傾斜が確認された。建築物E-2では南方向に8/1000傾斜しており、建築物E-3では東方向に8/1000の傾斜が確認された。建築物E-1～建築物E-3の周辺では地盤変状が見られた(図4.5.5、図4.5.7、図4.5.9)。建築物E-3の東側で建築物の沈下状況を確認し、図4.5.2の建築物E-3概略平面図のA、B、Cの箇所で、周辺地盤と比べて228mm、170mm、290mm程度の沈下が生じていた。

応急危険度判定の傾斜に係る評価は、建築物E-1では「Bランク」、建築物E-2および建築物E-3では「Aランク」となった。被災度区分判定基準⁴⁾における杭基礎建築物の基礎の傾斜と沈下量による被災度区分では、建築物E-1および建築物E-3では「大破」、建築物E-2では「中破」となった。

上部構造では、建築物E-1および建築物E-3の塔屋が傾斜しており、建築物E-1の基礎立ち上がり部のコンクリートが一部剥落していたが、その他の顕著な構造被害は確認できなかった(図4.5.4)。

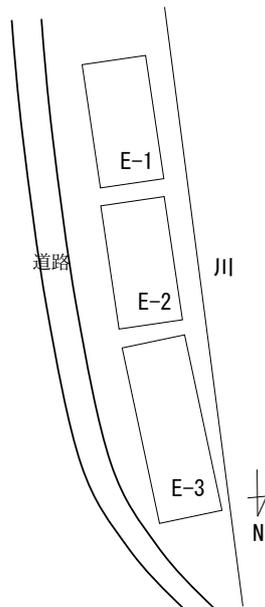


図4.5.1 建築物E-1～建築物E-3の位置関係

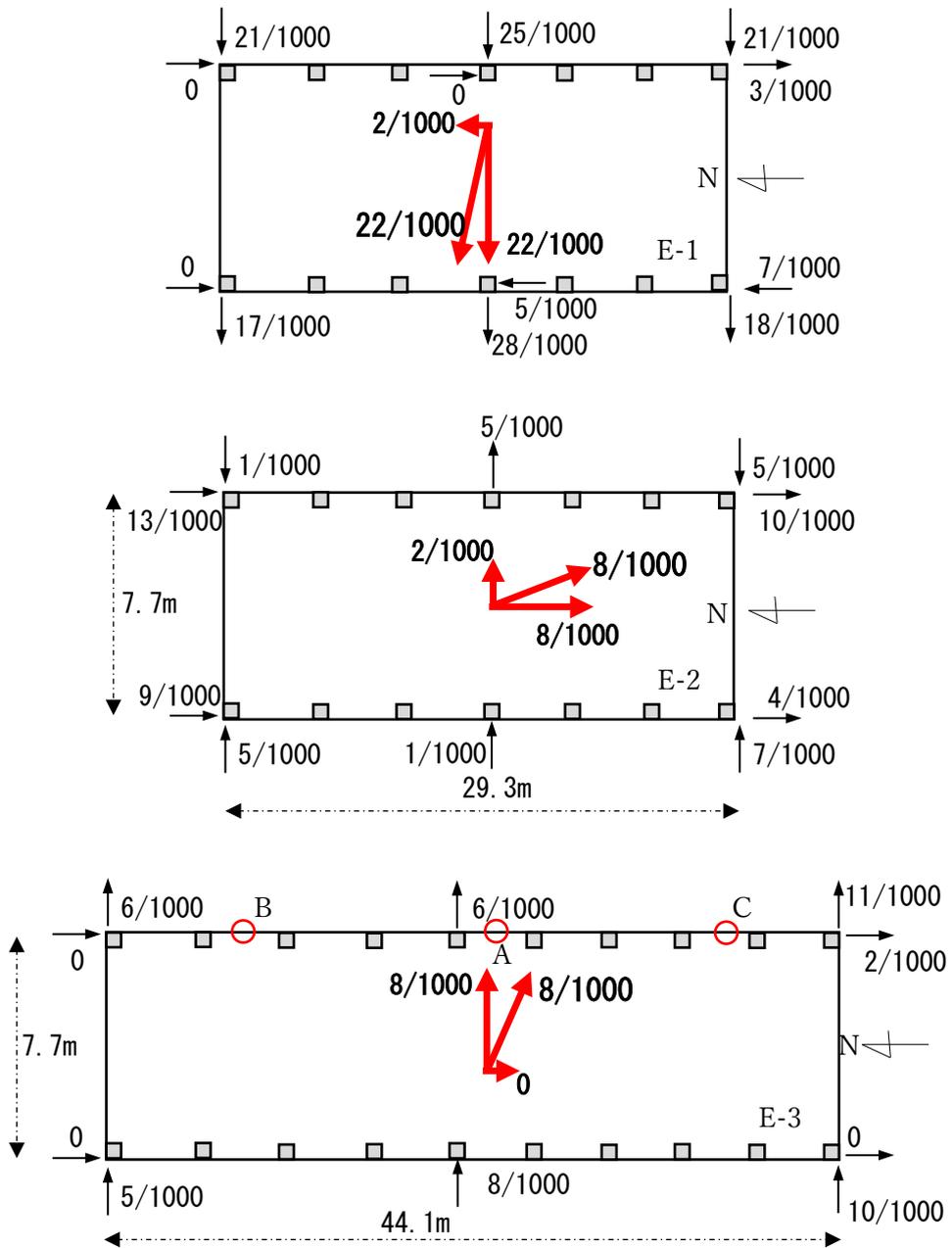


図 4.5.2 建築物 E-1～E-3 の概略平面図および傾斜計測結果



図 4.5.3 建築物 E-1 外観および塔屋の傾斜



図 4.5.4 上部構造基部のコンクリートの剥落 (建築物 E-1)



図 4.5.5 建築物 E-1 東側の地盤変状



図 4.5.6 建築物 E-2 外観



図 4.5.7 建築物 E-2 東側の地盤変状



図 4.5.8 建築物 E-3 外観



図 4.5.9 建築物 E-3 北側の地盤変状

4.6 建築物 F

建築物 F は、地上 5 階建ての RC 造建築物であり、建設年は 1978 年である。図 4.6.1 に建築物平面の概略を示す。建築物の平面形状は 7m×30.3m の長方形である（図 4.6.2）。基礎構造は、杭基礎であり杭径 $\phi 500\text{mm}$ の PC 杭が使用されている。上部構造では主な被害は確認されなかったが、建築物が北西側に 28/1000 傾斜していた。沈下量については、図 4.6.1 の A 点で 467mm、B 点で 403mm、C 点で 330mm、D 点で 380mm 生じていた。また、建築物周辺の地盤には変状が見られた（図 4.6.3）。

応急危険度判定の傾斜に係る評価は、「B ランク」となった。被災度区分判定基準⁴⁾における杭基礎建築物の基礎の傾斜と沈下量による被災度区分では、「大破」となった。

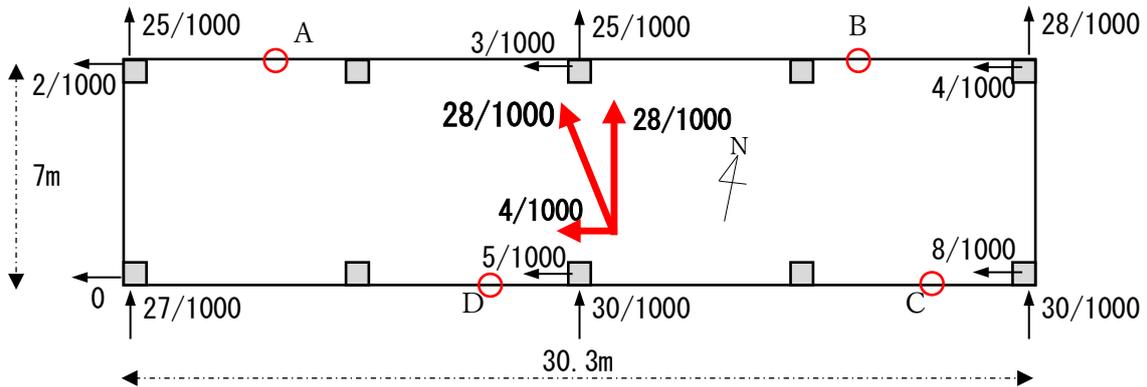


図 4.6.1 建築物 F の概略平面図



図 4.6.2 建築物外観



図 4.6.3 建築物周辺の地盤変状

4.7 建築物 G

建築物 G は、地上 3 階建ての RC 造建築物であり、建設年は 1971 年である(図 4.7.1)。図 4.7.2 に建築物平面の概略を示す。基礎構造は、杭基礎であり杭径 $\phi 400\text{mm}$ の遠心力鉄筋コンクリート杭が使用されている。上部構造では主な被害は確認されなかったが、建築物が南西方向に傾斜しており、 $10/1000$ 傾斜していた。沈下量については、図 4.7.2 の A 点で 220mm 、B 点で 270mm 、C 点で $35\sim 50\text{mm}$ 生じていた。

応急危険度判定の傾斜に係る評価は、「B ランク」となった。被災度区分判定基準⁴⁾における杭基礎建築物の基礎の傾斜と沈下量による被災度区分では「大破」となった。



図 4.7.1 建築物外観

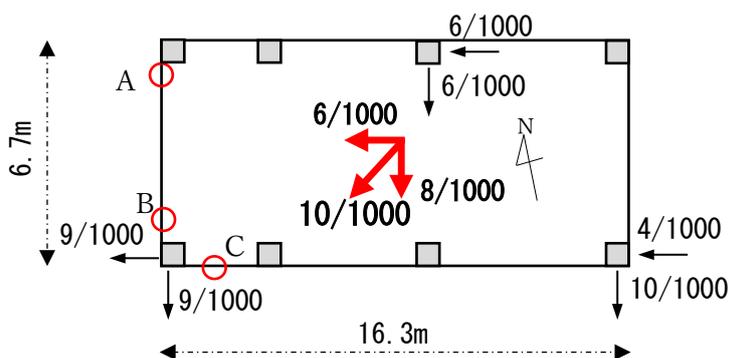


図 4.7.2 建築物 G の概略平面図

4.8 建築物 H-1～H-2

建築物 H-1 は、地上 2 階建ての RC 造建築物であり、建設年は 1968 年である。2013 年に耐震改修工事が行われている。2020 年に、建築物 H-2（地上 2 階建て鉄骨造）が増築されている。基礎は杭基礎であり、既存部の杭には杭径 $\phi 300\text{mm}$ の遠心力鉄筋コンクリート杭が使用されている。建築物外観を図 4.8.1 に示す。

建築物 H-1 の上部構造は、Exp. J. の損傷（図 4.8.2～図 4.8.3）や間仕切りの変形（図 4.8.4）が確認されたが、構造部材に目立った被害は確認されなかった。建築物 H-2 の上部構造も同様に構造部材に目立った被害は確認されなかった。建築物の周辺は地盤変状による地割れ等が発生していた（図 4.8.5）。

図 4.8.6 に建築物の概略平面図を示す。建築物 H-1 について南方向に 12/1000 程度の傾斜が見られた。沈下は図 5.4-21 の A 点で 260mm、B 点で 145mm、C 点で 390mm 生じていた。応急危険度判定の傾斜に係る評価は、「A ランク」となった。被災度区分判定基準⁴⁾における杭基礎建築物の基礎の傾斜と沈下量による被災度区分では、「大破」となった。建築物 H-2 の傾斜はわずかであった。



図 4.8.1 建築物外観



図 4.8.2 Exp. J.の損傷①



図 4.8.3 Exp. J.の損傷②



図 4.8.4 間仕切りの損傷



図 4.8.5 建築物周辺の地盤状況

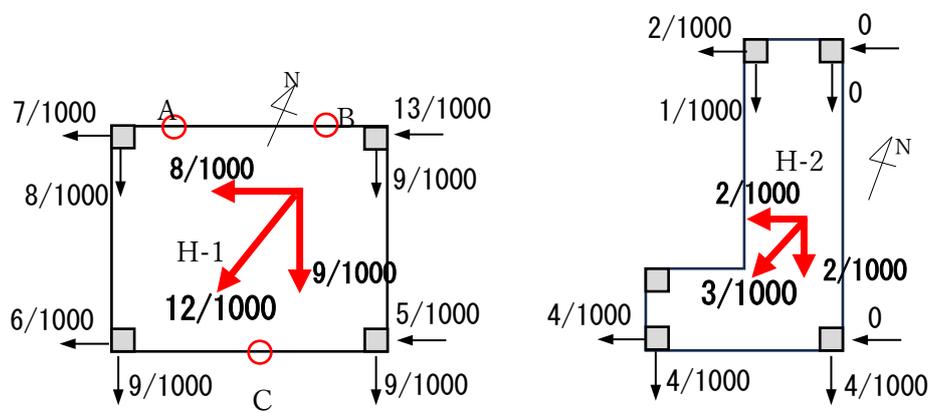


図 4.8.6 建築物 H-1 および H-2 の概略平面図

4.9 建築物 I-1～I-2

建築物 I-1 は、2階建て RC 造建築物であり、建設年は 1985 年である。南東部には、建築物 I-2（1階建て補強組積造）が付随している（図 4.9.1、図 4.9.2）。

建築物 I-1 では、地震により内部収蔵物が散乱した（図 4.9.3）ものの、柱や壁などの構造部材には損傷は認められず、傾斜もほとんど生じていない。一方で、南東部の建築物 I-2 では、南東方向に 28/1000 程度の傾斜が生じていることが確認された（図 4.9.4）。コンクリートブロックは 9 段積みとなっており、鉄筋探査により縦筋が 400mm ピッチ、横筋が 600mm ピッチで配筋されていることは確認されたが、基礎部には水平方向の亀裂が生じており、亀裂よりも下の部分には縦筋が定着されていないようであった（図 4.9.5）。

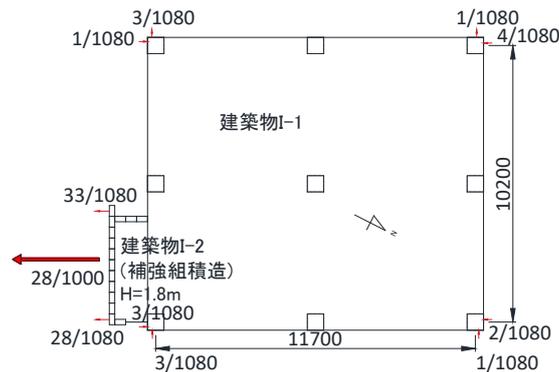


図 4.9.1 建築物 I-1 および I-2 の概略平面図



図 4.9.2 北東面外観



図 4.9.3 内部収蔵物の散乱



図 4.9.4 建築物 I-2 の傾斜



図 4.9.5 建築物 I-2 基礎部の亀裂

4.10 建築物 J

建築物 J は、3 階建て壁式 RC 造共同住宅であり、建設年は 1992 年である（図 4.10.1, 図 4.10.2）。基礎構造は杭基礎であり、PHC 杭（A 種） $\phi 350$ 、杭長 9m が用いられている。

周辺地盤の沈下および建築物の傾斜が認められた（図 4.10.3）。傾斜は南方向に 12/1000 である。応急危険度判定の③傾斜は「A ランク」と判定され、被災度区分判定基準⁴⁾における杭基礎建築物の基礎の傾斜と沈下量による被災度区分は「大破」と判定される。

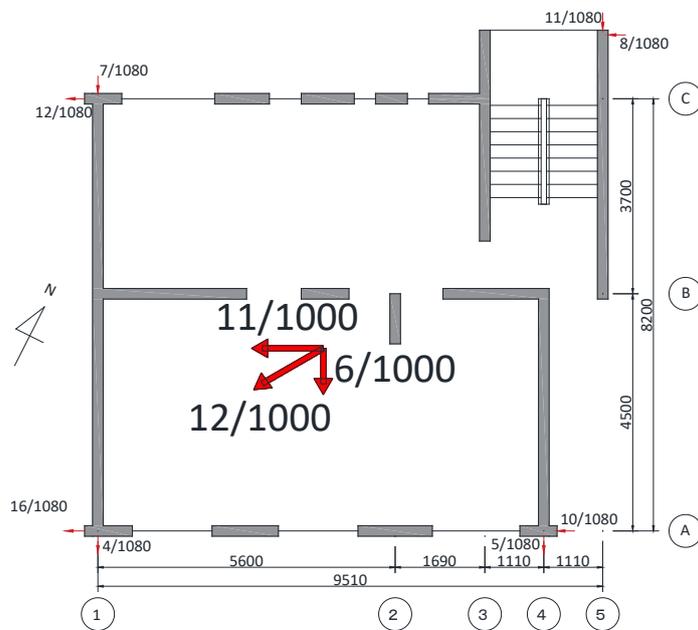


図 4.10.1 概略平面図



図 4.10.2 東側外観



図 4.10.3 周辺地盤の沈下

4.11 建築物 K

建築物 K は、3 階建て（一部 4 階建て）RC 造建築物であり、建設年は 1987 年である（図 4.11.1～図 4.11.3）。周辺地盤の沈下が認められ、上部構造は南方向に 8/1000 程度傾斜していることが確認された（図 4.11.4）。応急危険度判定の③傾斜は「A ランク」と判定される。3 階床スラブ上面には、今回の地震との関連性は不明であるが、東西方向に複数のひび割れが生じていた（図 4.11.5）。

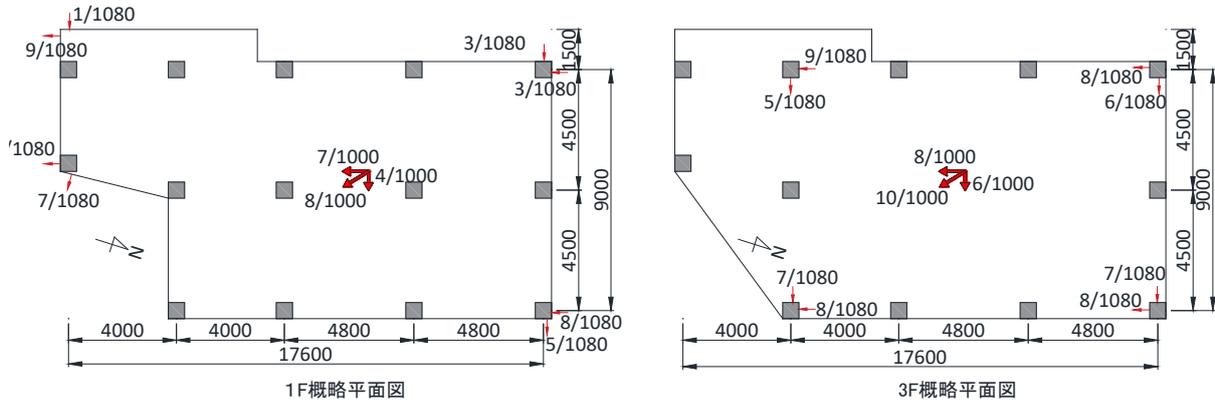


図 4.11.1 概略平面図



図 4.11.2 西面外観



図 4.11.3 東面外観



図 4.11.4 周辺地盤の沈下と外構部損傷



図 4.11.5 3 階講堂床スラブのひび割れ

4.12 建築物 L

建築物 L は、2階建て鉄骨造建築物であり、建設年は1982年である（図4.12.1、図4.12.2）。周辺地盤の沈下が認められた（図4.12.3）。周辺地盤の沈下量は西側位置で計測したところ50～100mmであった。西側奥の1階居室は床のたわみが顕著であり、床下面が地盤沈下により空洞になっていることが推察される。

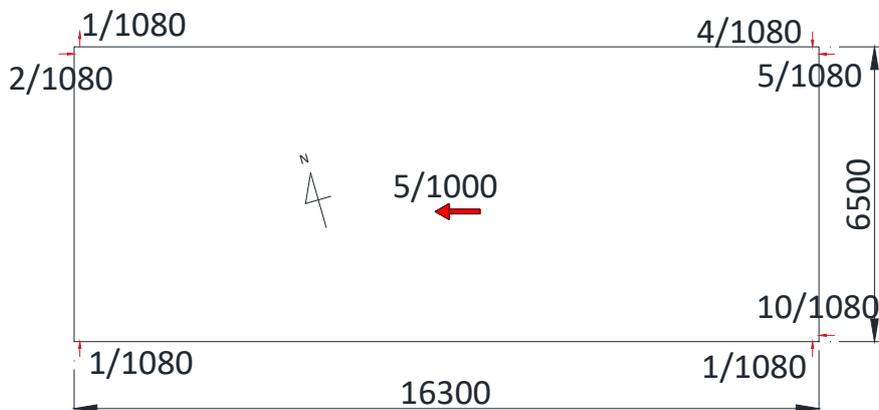


図 4.12.1 概略平面図



図 4.12.2 東面外観



図 4.12.3 東側入り口部の周辺地盤沈下



図 4.12.4 西側の周辺地盤沈下

4.13 建築物 M

建築物 M は、地上 2 階～3 階建ての RC 造の渡り廊下であり、建設年は 1996 年である。図 4.13.1 に示す地盤の崩落が大規模に発生していることが特徴的である。図 4.13.2 に杭頭が露出した状況を示す。地盤崩落の周辺に渡り廊下が存在するが、図 4.13.3 に示す Exp. J. や壁に若干の損傷があるものの、目立った傾斜および沈下は発生していないと思われる。



図 4.13.1 地盤崩落の状況



図 4.13.2 杭頭の露出



図 4.13.3 Exp. J. の損傷

5. 航空レーザ計測による建築物の崩壊評価

5.1 評価概要・評価結果

輪島市河井町・鳳至町を対象に「航空レーザを用いた崩壊建築物の分布把握に資する計測および評価手法ガイドライン(案)」⁵⁾(以下ガイドライン)に基づいた崩壊評価を実施した。

<使用したデータ>

- ・地震後：2024/1/14,17 国際航業計測(1 図郭における点密度 41.3 点/m²)
- ・地震前：2020/9~10 石川県計測「令和2年度森林情報整備業務」成果(共に国土地理院より提供、(1 図郭における点密度 8.3 点/m²))

地盤変位の計算について、ガイドライン 3.3.2 敷地地盤変位量計測に基づいて算出した(図 5.1.1)。対象エリア内で地盤変位の大きな地域が3か所(図 5.1.1 中の①~③)確認されるため、それらの地域について被害調査を実施した(5.2 節)。

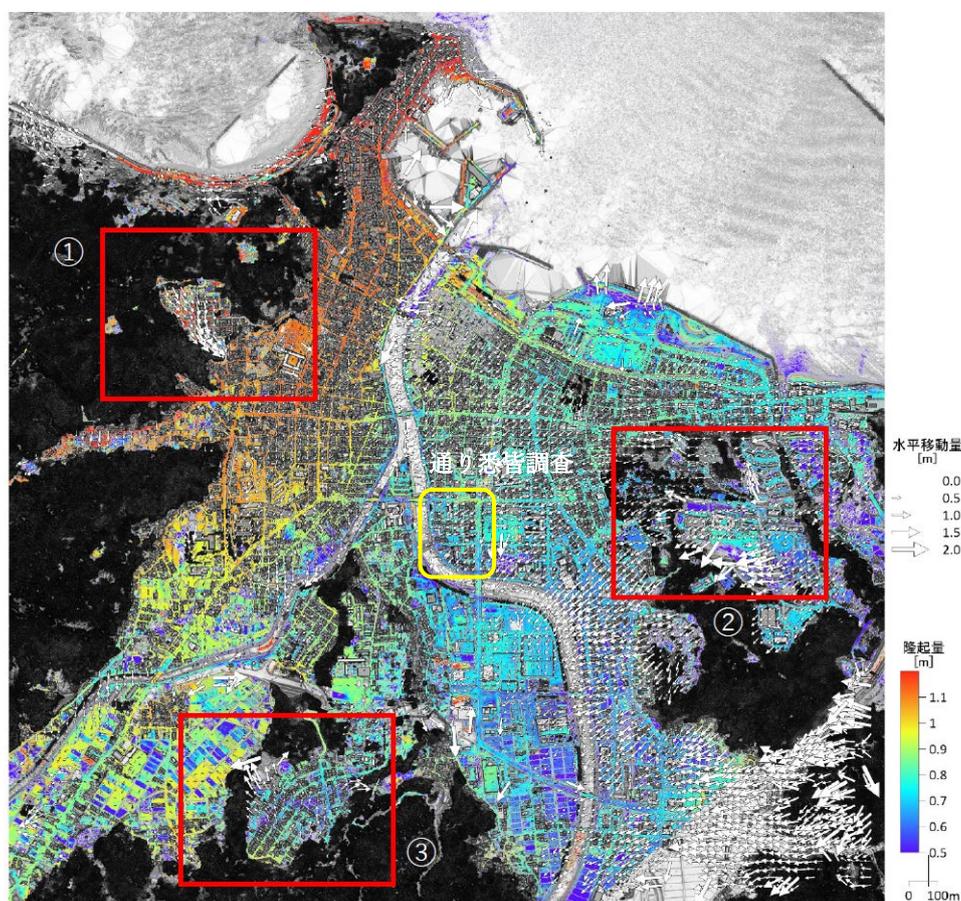


図 5.1.1 地盤変位

続いて、ガイドライン 3.3.4 差分解析による建築物の崩壊評価に基づき、建築物の屋根面内の被災前後の沈下量・傾き変化を用いて崩壊評価を行った。なお、ガイドラインでは地盤変位による評価も行うこととしているが、今回の地震において対象エリアでは図 5.1.1 に示すように大きな地盤変位が確認されており、評価結果が地盤変位に大きく依存することとなるため、地盤変位を除いた評価を暫定的に実施した。沈下量および傾き変化に基づく評価結果を図 5.1.2 および図 5.1.3 に示す。評価は、崩壊危険性が高いものから順に C~A ランクで評価され、沈下量に基づく評価においては新築および撤去についても評価される。

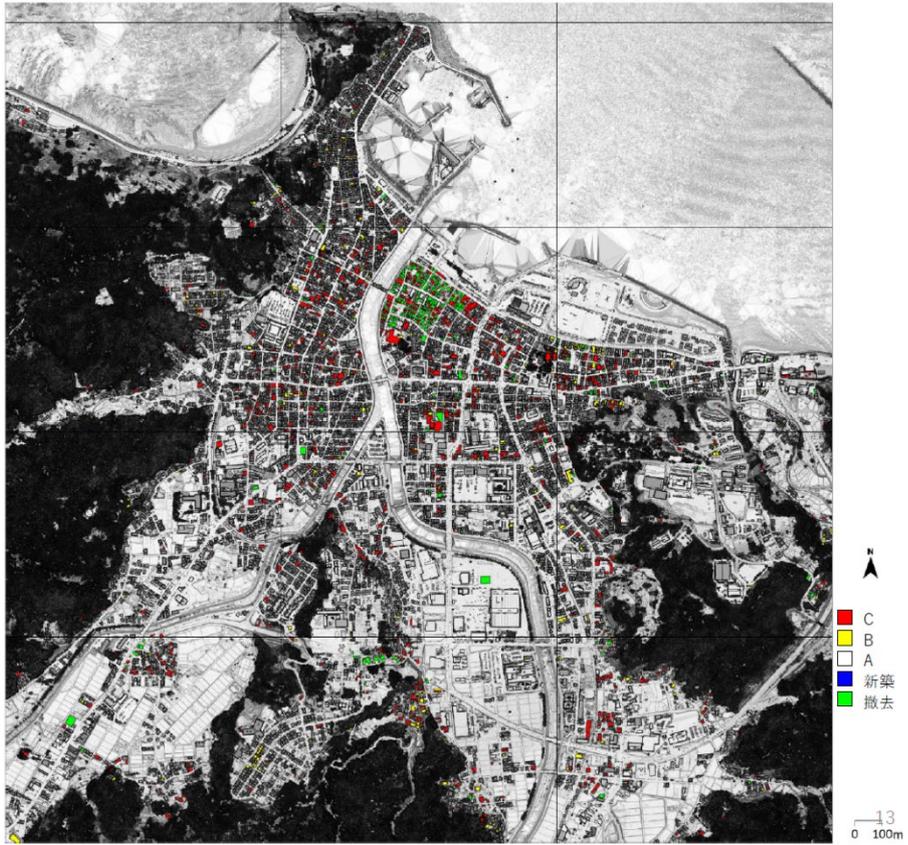


図 5.1.2 評価結果：沈下量

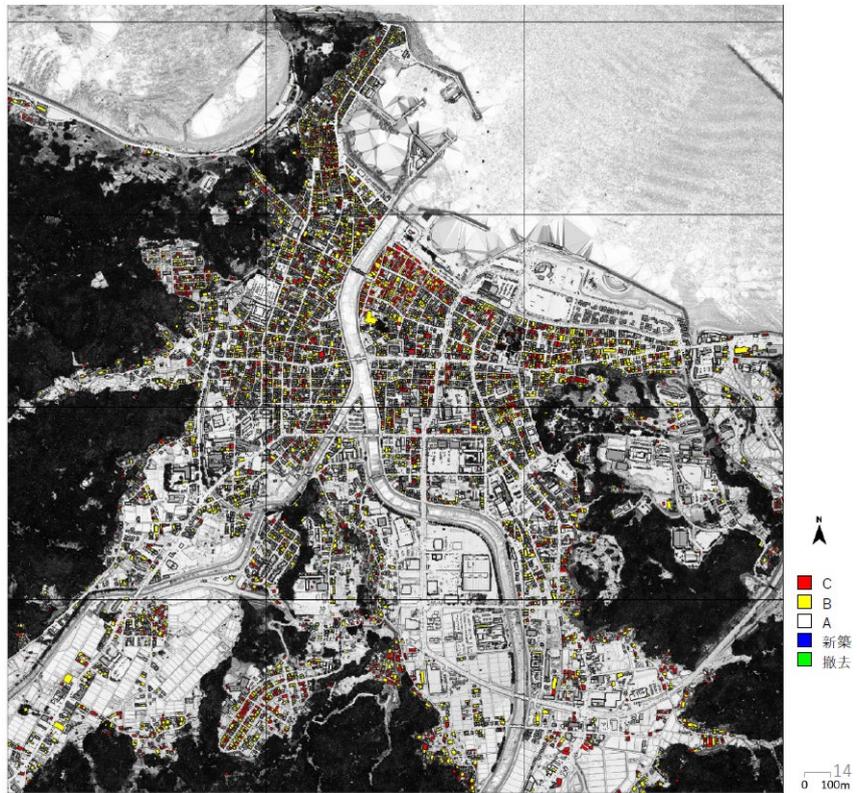


図 5.1.3 評価結果：傾き変化

5.2 地盤変状の大きい地域の調査

5.2.1 エリア①

図 5.2.1 に航空レーザ計測による地盤変位の評価結果（エリア①）を示す。航空レーザ計測結果によると南に向かうほど水平移動量が大きい結果となっている。図 5.2.2 に西から東に撮影した地盤の状況を示す。手前の西側では地盤変状が見られ、写真奥側の東側では地盤変状は小さく、航空レーザ計測結果と一致している。図 5.2.3 に図 5.2.1 の北側の通りを示す。図 5.2.3 に示す道路では、顕著な地盤変状は見られず、航空レーザ計測の水平移動量の結果と一致している。当該エリアでは図 5.2.4 に示す地盤の変位量のモニタリングが為されていた。同エリアに県営住宅（図 5.2.5）が建設されていたが、目視では建築物に目立った被害は確認されなかった。

図 5.2.6 及び図 5.2.7 に土間等の変状や地割れの状況を示す。図 5.2.6 は南側から北側に撮影しており、土間や庭の土が北側から南側に押し上げるような変状が発生していた。このことは、図 5.2.1 に示す地盤の水平移動の方向と一致している。

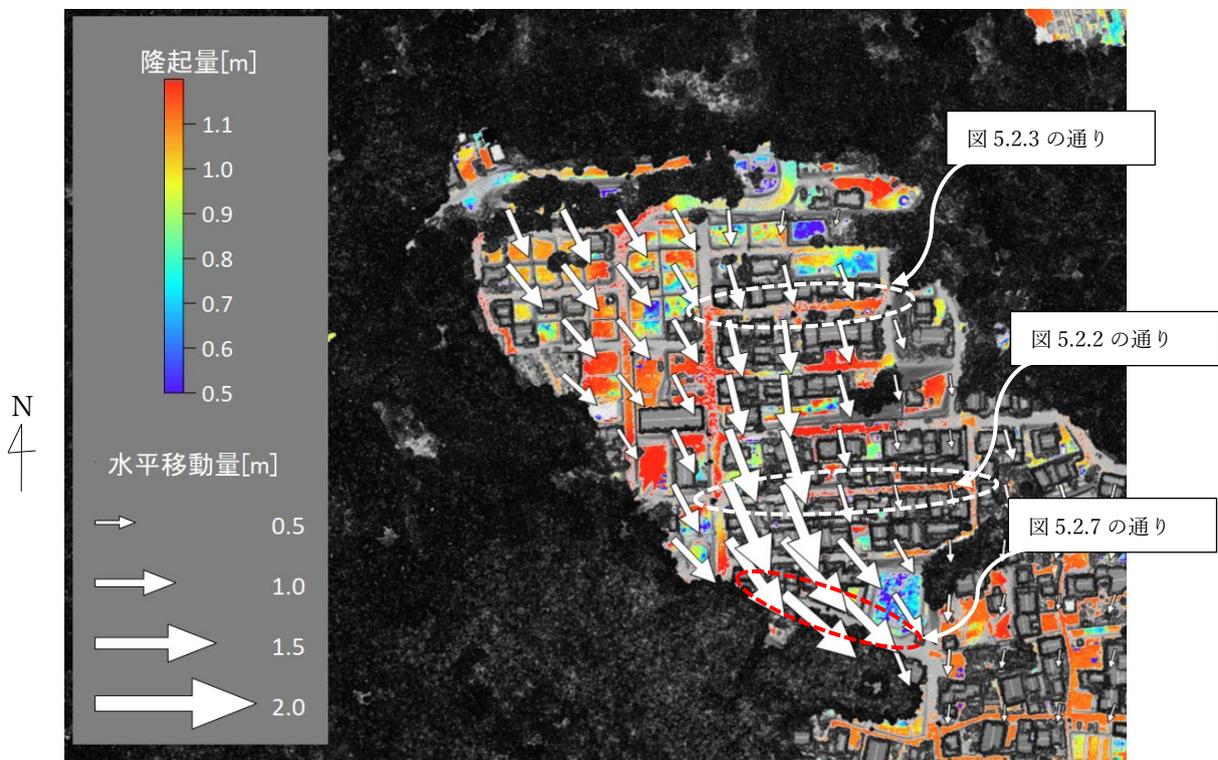


図 5.2.1 航空レーザ計測による地盤変状が大きいエリア①の算定結果



図 5.2.2 地割れの状況①



図 5.2.3 地盤状況



図 5.2.4 地盤変位のモニタリング



図 5.2.5 県営住宅の外観



図 5.2.6 土間等の変状



図 5.2.7 地割れの状況②

5.2.2 エリア②

図 5.2.8 に航空レーザ計測による地盤変位の評価結果（エリア②）を示す。当該エリアは、航空レーザ計測によると地盤変状が大きいエリアの一つであり、図 5.2.9 に示すようにエリア②の周辺では地割れ等が確認され、航空レーザ計測結果と一致していた。

図 5.2.9 のエリアから南に 300m ほど離れた建築物 N の周辺では図 5.2.10 に示す地盤変状が生じていた。

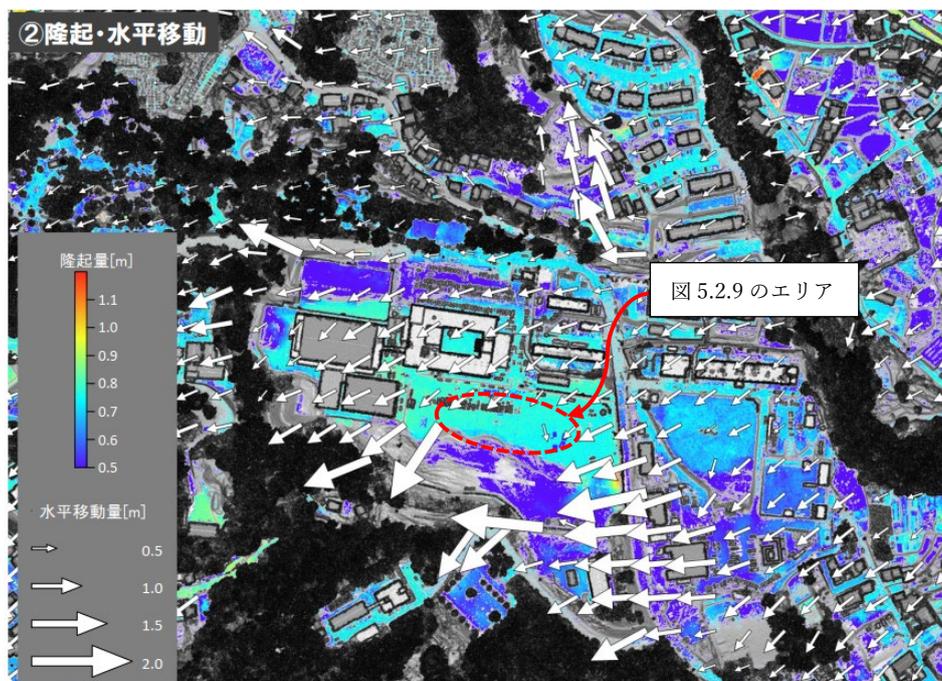


図 5.2.8 航空レーザ計測によると地盤変状が大きいエリア②



図 5.2.9 周辺地盤の変状



図 5.2.10 建築物 N-1,N-2 周辺の地盤変状

建築物 N-1 は、2 階建ての建築物で、建設年は 2001 年であり、用途は体育館である。隣接している建築物 N-2 は一部 3 階建ての建築物で、建設年は 1995 年である。建築物 N-1 の主架構の構造形式は RC 造であり、屋根部はシステムトラス構造が用いられている。基礎構造は、建築物 N-1 及び N-2 ともに杭基礎であり杭径 ϕ 300mm~500mm 程度の PHC 杭が用いられている。

建築物 N-1 の主な被害では、図 5.2.12 に示すような内装材の落下が見られた。妻構面及び平構面の全ての構面で RC 造壁の面外破壊が生じていた（図 5.2.13~図 5.2.15）。図 5.2.16~図 5.2.18 に屋根支承部の損傷状況を示す。屋根支承部のアンカーボルトの伸びや接合部の損傷によるコンクリートの剥落、敷きモルタルの圧壊が確認された。なお、屋根支承部のアンカーボルト孔はルーズホールとされていた。図 5.2.19 及び図 5.2.20 にシステムトラス屋根の被害を示す。システムトラス屋根の主部材の座屈及び破断等が見られ、ポールジョイント部側での主部材の破断も確認された。その他では、受水槽が建築物周辺に設置されており、受水槽の下部に亀裂が発生していた（図 5.2.21）。



図 5.2.11 建築物 N-1 の外観

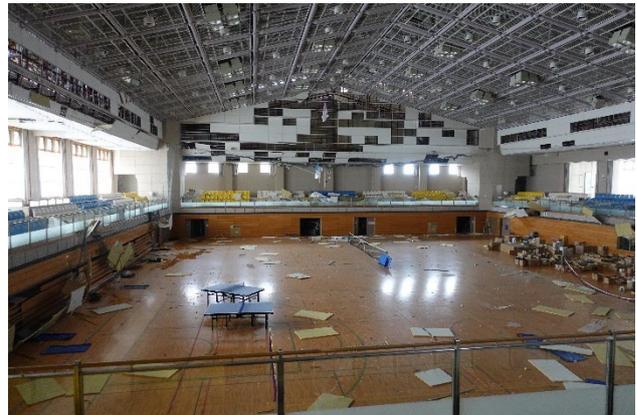


図 5.2.12 内装材の落下被害



図 5.2.13 妻構面の RC 造壁の面外破壊①



図 5.2.14 妻構面の RC 造壁の面外破壊②



図 5.2.15 平構面の RC 造壁の面外破壊



図 5.2.16 屋根支承部のアンカーボルトの伸び



図 5.2.17 屋根支承部のモルタルの損傷



図 5.2.18 屋根支承部の接合部損傷



図 5.2.19 システムトラス屋根のポールジョイント部での破断



図 5.2.20 システムトラス屋根の主部材の座屈及び破断



図 5.2.21 受水槽の亀裂

建築物 N-2 では、ドア部のガラスの割れが発生していた（図 5.2.22）。地震後にプールの水が抜けていたことから排水設備等が損傷している可能性が考えられる（図 5.2.23）。



図 5.2.22 建築物 N-2 のドアのガラスの割れ

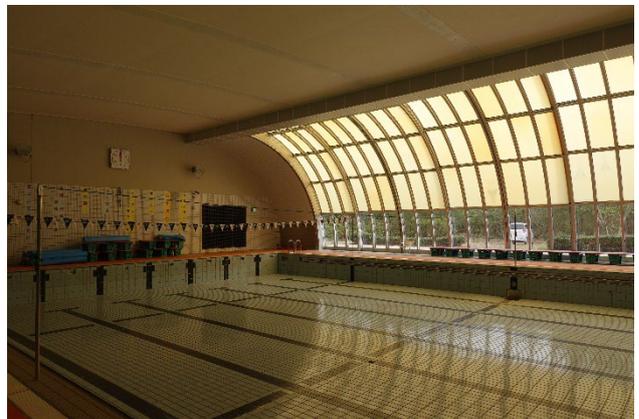


図 5.2.23 建築物 N-2 内部の状況

5.2.3 エリア③

図 5.2.24 に航空レーザ計測による地盤変位の評価結果（エリア③）を示す。対象エリアの北東部に地盤変位が特に大きいエリアが見られるが、そこに位置する建築物 O について被害調査を実施した。

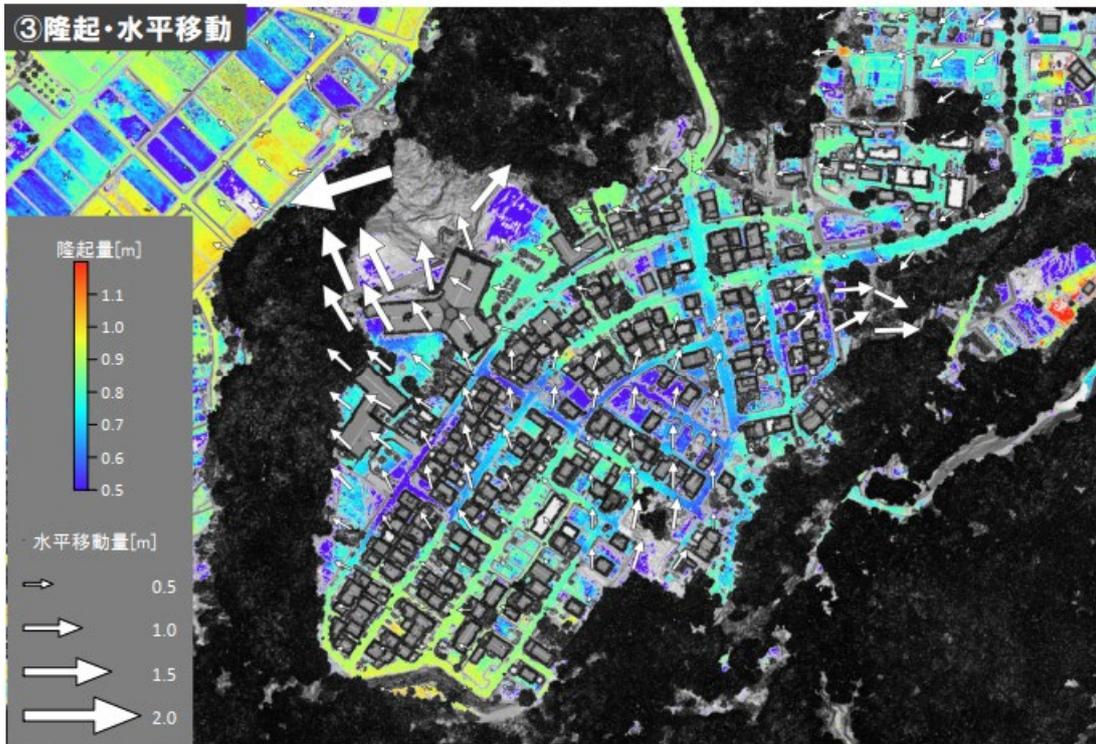


図 5.2.24 航空レーザ計測による地盤変状が大きいエリア③の算定結果

建築物 O は 2 階建ての鉄骨造建築物であり、施設管理者によると竣工年は 1992 年である。建築物の平面概略を図 5.2.25 に、建築物外観を図 5.2.26 に示す。地盤の一部が崩落しており、杭頭及びパイルキャップが露出している状況を確認できた（図 5.2.28）。建築物内部では、床の一部が下がっており、その周辺では地盤変状及び杭頭の露出が確認された（図 5.2.29 及び図 5.2.30）。図 5.2.31 にパイルキャップ及び基礎梁の被害を示す。パイルキャップでは、杭頭に図 5.2.31 に示すひび割れが発生していた。また、パイルキャップ中央に斜めひび割れが確認された。基礎梁では梁端コンクリートの剥落が確認された。

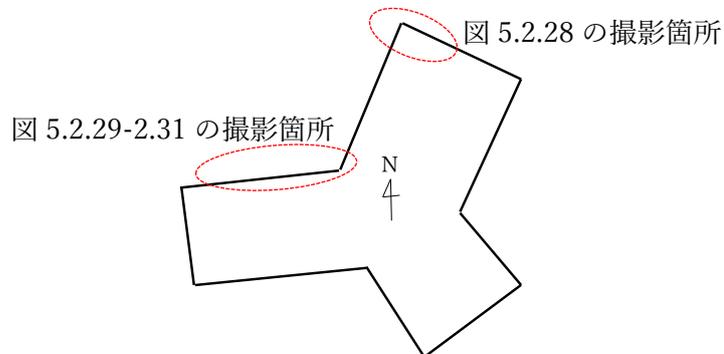


図 5.2.25 建築物 O の概略平面図



図 5.2.26 建築物外観



図 5.2.27 地盤状況



図 5.2.28 杭頭及びパイルキャップの露出



図 5.2.29 床の傾斜



図 5.2.30 地盤変状



図 5.2.31 パイルキャップの杭頭近傍位置及びパイルキャップ中央位置でのひび割れ

5.3 実測結果と航空レーザ計測による算定結果の比較

以下に、4章で調査した建築物の傾斜・沈下量の実測結果と、航空レーザ計測による算定結果との比較を示す。ここで示した沈下量や傾斜の値は以下の定義で算定している。

- ・沈下量：同一屋根面内の格子点における鉛直方向の差分を集計し、0.1m 間隔のヒストグラムを作成し、その最頻値を代表値とした。ただし、最頻値と当該屋根面データの平均値に 50cm 以上の差が生じる場合にはその平均値を代表値とした。
- ・傾斜：屋根面内の格子点の鉛直方向の差分と水平方向の距離から東西方向および南北方向の傾きを算出し、それぞれの値を合成した値を代表値とした。

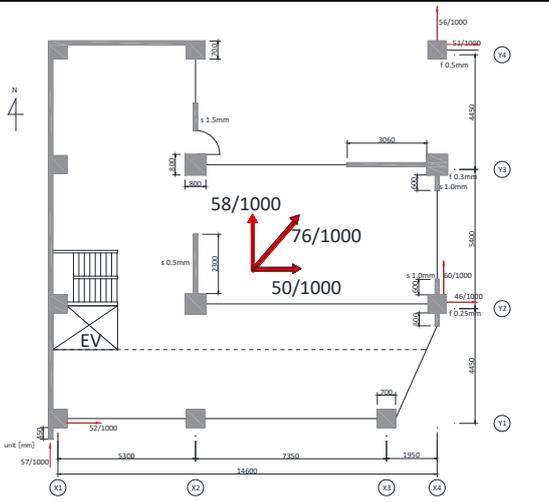
<p>建築物 A</p>		 <p>傾斜不明 沈下 5.3m</p>
<p>建築物 B</p>	 <p>傾斜 7.6% 沈下 1.39m</p>	 <p>傾斜 7.18% 沈下 1.4m</p>
<p>建築物名称</p>	<p>(a) 実測結果</p>	<p>(b) 航空レーザ計測による算定結果</p>

図 5.3.1 実測結果と航空レーザ計測による算定結果の比較

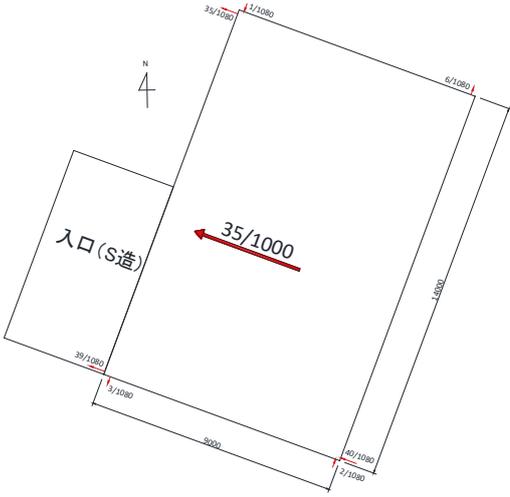
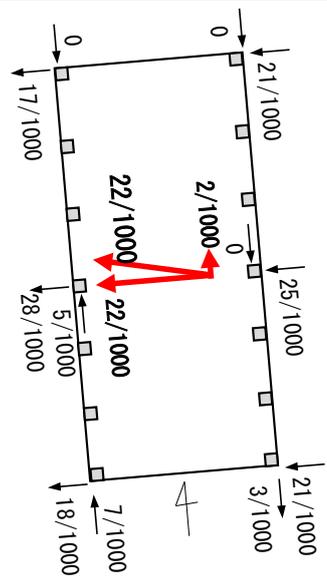
<p>建築物 C-1</p>	 <p>傾斜 3.5%, 沈下なし</p>	 <p>傾斜 0.76% 沈下 0m</p>
<p>建築物 E-1</p>	 <p>傾斜 2.17%, 沈下不明</p>	 <p>傾斜 1.49% 沈下 0.1m</p>
<p>建築物 名称</p>	<p>(a) 実測結果</p>	<p>(b) 航空レーザ計測による算定結果</p>

図 5.3.1 実測結果と航空レーザ計測による算定結果の比較

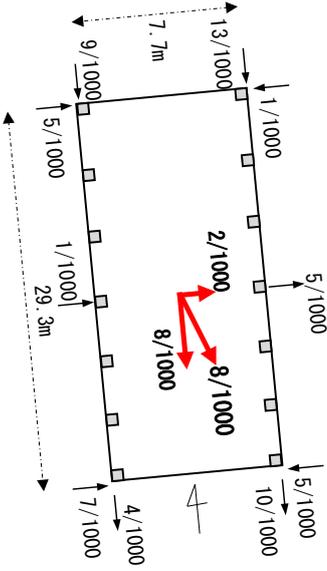
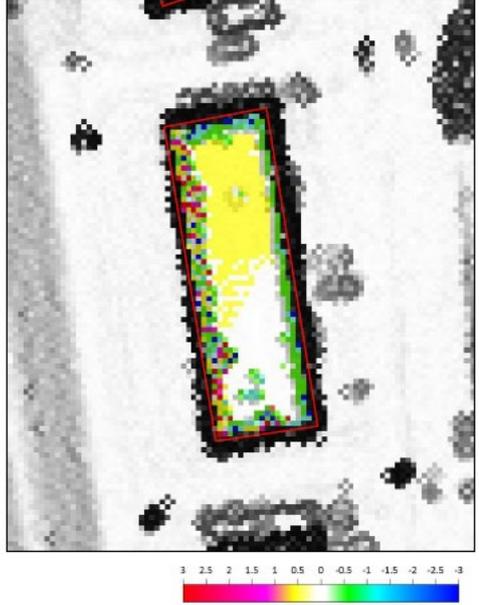
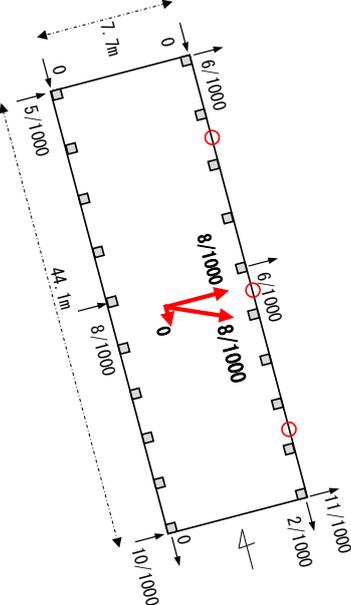
<p>建築物 E-2</p>	 <p>傾斜 0.92%, 沈下不明</p>	 <p>傾斜 1.55% 沈下 0m</p>
<p>建築物 E-3</p>	 <p>傾斜 0.77%, 沈下 0.23m</p>	 <p>傾斜 1.31% 沈下 0.2m</p>
<p>建築物 名称</p>	<p>(a) 実測結果</p>	<p>(b) 航空レーザ計測による算定結果</p>

図 5.3.1 実測結果と航空レーザ計測による算定結果の比較

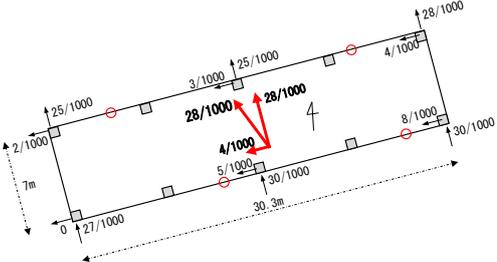
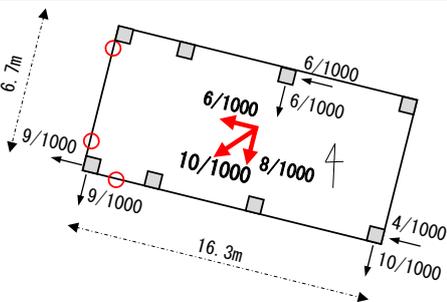
<p>建築物 F</p>	 <p>傾斜 2.77%, 沈下 0.4m</p>	 <p>傾斜 0.66% 沈下 0.5m</p>
<p>建築物 G</p>	 <p>傾斜 1.05%, 沈下 0.18m</p>	 <p>傾斜 2.43% 沈下 0.2m</p>
<p>建築物 名称</p>	<p>(a) 実測結果</p>	<p>(b) 航空レーザ計測による算定結果</p>

図 5.3.1 実測結果と航空レーザ計測による算定結果の比較

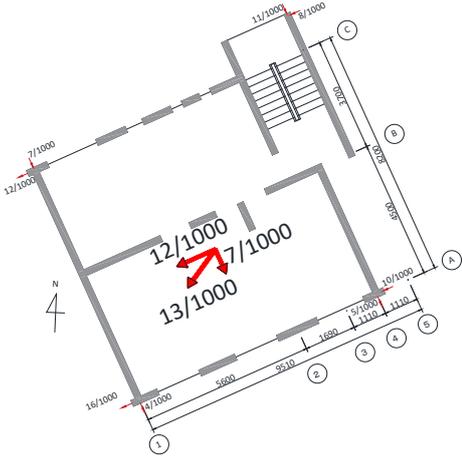
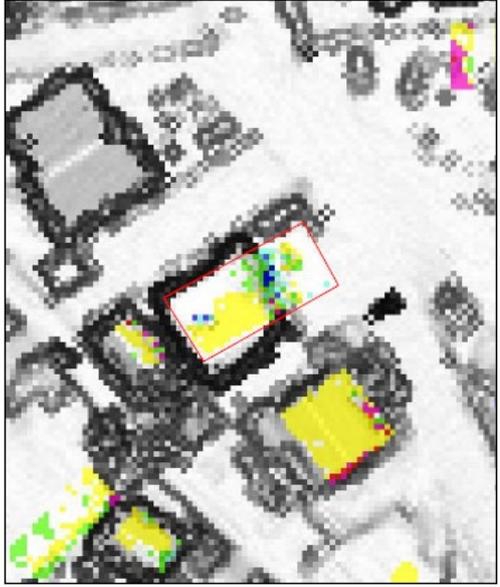
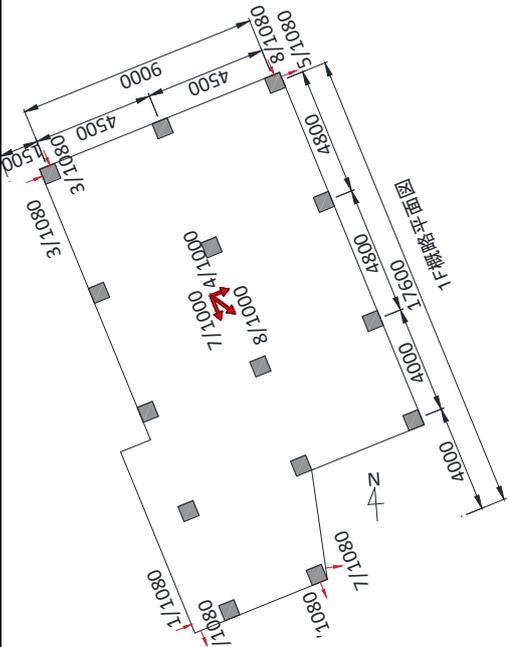
<p>建築物 J</p>  <p>傾斜 1.23% 沈下なし</p>		 <p>傾斜 4.07% 沈下 0m</p>
<p>建築物 K</p>  <p>傾斜 0.8% 周辺地盤沈下</p>		 <p>傾斜 1.39% 沈下 -0.3m</p>
<p>建築物名称</p>	<p>(a) 実測結果</p>	<p>(b) 航空レーザ計測による算定結果</p>

図 5.3.1 実測結果と航空レーザ計測による算定結果の比較

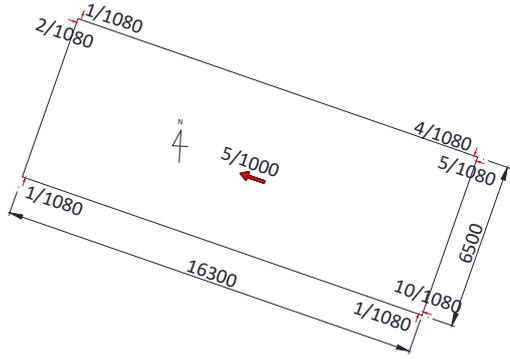
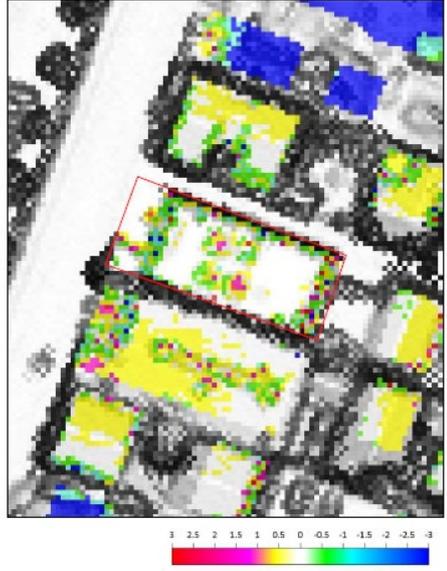
<p>建築物 L</p>	 <p>傾斜 0.5% 周辺地盤沈下 0.1m</p>	 <p>傾斜 0.28% 沈下 0m</p>
<p>建築物 名称</p>	<p>(a) 実測結果</p>	<p>(b) 航空レーザ計測による算定結果</p>

図 5.3.1 実測結果と航空レーザ計測による算定結果の比較

5.4 通り悉皆調査

航空レーザ判定の精度検証のため、輪島市河井町の図 5.1.1 に示すエリアで通り悉皆調査を行った。通り沿いの建築物50棟について、建築物の存在、沈下および傾斜の程度の確認を行い、航空レーザ計測による判定結果と比較した。地盤変位を除いた総合評価結果と実際の被害状況写真を比較した図を図 5.4.1 に示す。

また、航空レーザ計測による沈下量および傾き変化（傾斜）判定について、外観調査で確認した被害程度と比較した結果を表 5.4.1 および表 5.4.2 に示す。外観調査では、傾斜量や沈下量を直接計測しておらず、調査者が外観で確認できる被害状態から、航空レーザによる判定表に照らし合わせて判断をしている点について留意が必要である。また、5.3 節で示した現地調査を実施した建築物についても表 5.4.1 および表 5.4.2 に含んでいる。表中の整合率は航空レーザ計測によるそれぞれの判定ランク棟数に対して、外観調査で判定された結果がどのランクに属するかの割合を示しており、総合整合率は全判定棟数に対して、航空レーザ計測による判定と外観調査による判定が整合している棟数の割合を示す。総合整合率は、沈下量については86.9%、傾斜については67.2%となった。

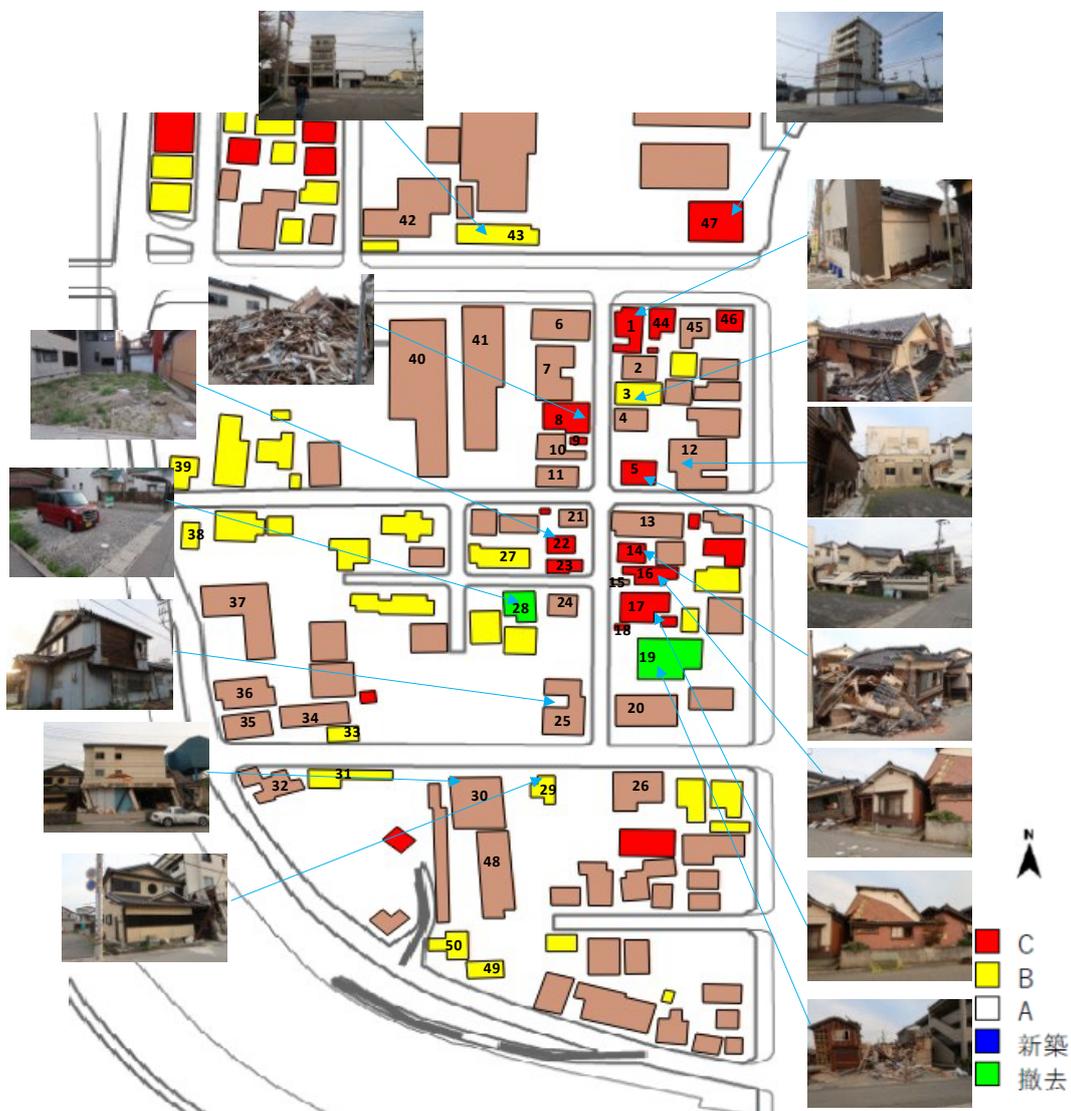


図 5.4.1 通り悉皆調査

表 5.4.1 沈下量判定結果の整合性

沈下 判定件数		→ 外観判定			
		A	B	C	D
↓航空 レーザ 判定	A	45	1	1	0
	B	3	1	0	0
	C	2	0	6	0
	D	0	0	1	1

沈下 整合率		→ 外観判定			
		A	B	C	D
↓航空 レーザ 判定	A	95.7	2.1	2.1	0.0
	B	75.0	25.0	0.0	0.0
	C	25.0	0.0	75.0	0.0
	D	0.0	0.0	50.0	50.0
					総合整合率
					86.9

表 5.4.2 傾斜判定結果の整合性

傾斜 判定件数		→ 外観判定		
		A	B	C
↓航空 レーザ 判定	A	32	3	1
	B	7	2	3
	C	6	0	7

傾斜 整合率		→ 外観判定		
		A	B	C
↓航空 レーザ 判定	A	88.9	8.3	2.8
	B	58.3	16.7	25.0
	C	46.2	0.0	53.8
				総合整合率
				67.2

6. まとめ

令和 6 年能登半島地震における石川県輪島市河井町・鳳至町を中心とした RC 造等建築物の被害の概要把握を目的として、現地被害調査を実施した。得られた知見を以下に示す。

- 1) 建築物の転倒や沈下・傾斜といった、地盤の変状および建築物の基礎の損傷に起因すると思われる被害が確認された。傾斜の程度や方向は様々であり、基礎構造の詳細や立地地盤の影響が顕著であると考えられる。基礎部分の損傷程度と比較して、上部構造の損傷程度は小さい。RC 造杭基礎建築物（建築物 A）の転倒被害は初めて確認された被害であるが、基礎の損傷に起因する傾斜被害や、傾斜・沈下に伴う 1 階床の盛り上がり等の被害は過去の地震でも確認されている（例えば 6）。
- 2) 耐震補強された建築物（建築物 D-1～D-5、建築物 H-1）において、基礎の被害に起因すると思われる傾斜被害が確認されたが、それが耐震補強の影響によるものかどうかは現状では判断できない。
- 3) 航空レーザ計測結果に基づいて地盤変位の大きいエリアについて重点的に調査を行い、計測結果と同様の地盤変状が確認された。また、当該エリアにおいて地盤変状に起因する建築物被害も確認された。
- 4) 航空レーザ計測による建築物の被害判定結果と実建築物被害の関係について分析し、一定の整合性が確認された。

今後は、転倒・沈下・傾斜被害の生じた RC 造杭基礎建築物について、その被害要因の詳細分析を実施する。また、航空レーザによる損傷評価については、得られた知見に基づいて必要に応じて手法の見直しを検討する。

おわりに

本報告書では、防災科学技術研究所の K-NET の強震記録および気象庁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、石川県庁並びに輪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。

また、航空レーザを用いた損傷評価において、国土地理院および国際航業に被害分析に必要となる情報を提供頂きました。

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>（2024/1/19 閲覧）
- 2) 防災科研：K-NET 観測記録，<https://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/>（2024/1/19 閲覧）
- 3) 気象庁：強震観測データ，<https://www.data.jma.go.jp/eqev/data/kyoshin/jishin/index.html>（2024/1/19 閲覧）
- 4) 日本建築防災協会：震災建築物の被災度区分判定基準および復旧技術指針 2015 改訂版
- 5) 建築研究所：航空レーザを用いた崩壊建築物の分布把握に資する計測および評価手法ガイドライン（案），2023.7

- 6) 国土技術政策総合研究所，建築研究所：平成 28 年（2016 年）熊本地震建築物被害調査報告（速報），
国土技術政策総合研究所資料第 929 号，建築研究資料第 173 号，2016.9