

おわりに

本資料は、国土技術政策総合研究所と建築研究所が連携し、多数の関係者の協力を受けて実施した令和6年能登半島地震に関わる諸々の調査のうち、令和7年10月に公表した速報以降の状況を資料としてまとめたものである。本資料では以下の4つの調査項目がそれぞれの部で報告されている。速報のようにそれぞれを章としていないのは、本報告における調査は、「令和6年能登半島地震における建築物構造被害の原因分析を行う委員会」最終とりまとめⁱにおいて報告された内容の技術的な裏付けのための調査として、それぞれの分野において本省との調整の上実施されたものであり、速報における能登半島地震の調査研究が両研究所全体としての調査活動である点と一部性格の異なる調査となったためである（「第Ⅰ部 地震動等による木造建築物の被害」、「第Ⅱ部 地震動等による鉄筋コンクリート造等建築物の被害」及び「第Ⅳ部 建築物の機能継続に関する調査」）。さらに、速報からの時点修正である「第Ⅲ部 火災による被害」も、現時点の状況を示すものとして収録している。以下に、各部の記載の概要をまとめる。

第Ⅰ部では、「地震動等による木造建築物の被害」として、2007年および2024年の能登半島地震における悉皆調査結果を基に、建築物被害の比較および追跡調査を実施した。その結果、同じ地域で同じ震度であるものの、2024年の地震では2007年と比べて被害棟数および被害程度が著しく増大しており、倒壊・全壊に至る建築物が各地で多く確認された。特に木造住宅においては、2007年には半数以上が無被害であったのに対し、2024年では大破以上の被害を受けた棟数が大幅に増加しており、両地震の被害が大きく異なることが明らかとなった。

建築年代別の比較からは、いずれの地震においても旧耐震基準で建設された木造住宅の被害が多い傾向が確認されたが、2024年の地震では大破以上の被害棟数が2007年の約2倍に増加していた。また、2007年に半壊以上の被害を受けた建築物を対象とした追跡調査の結果、建て替えや補修が行われた建築物の一部では、2024年の地震において被害が軽微に抑えられている事例が確認された。一方で、外観上に明確な補修や構造的改変が認められなかった建築物の多くは、2024年に全壊または倒壊に至っており、十分な耐震対策が講じられなかった場合には、次の地震において被害がより増大することが示された。

さらに、追跡調査の対象となる建築物の多くが2007年地震後に取り壊されていたことから、震災後の建築物の存続・更新の判断が、長期的な被害低減に関与することが明らかとなった。また、穴水町と鳳至町の比較では、穴水町の方が建て替え率が高く、対応の違いが被害推移に影響している可能性が示唆された。

以上より、本章の分析では適切な補修・耐震補強や建て替えが実施されなかった場合には、次の地震で再び甚大な被害を受ける可能性が高いことを示している。一方で、補修や構造的改善が行われた建築物では、被害の軽減がある程度確認されており、過去の地震被害を踏まえた継続的な耐震対策の

ⁱ 国土技術政策総合研究所：令和6年能登半島地震における建築物構造被害の原因分析を行う委員会最終とりまとめ（令和7年12月），https://www.nilim.go.jp/lab/hbg/iinkai/notohantouzisinniinnkai/file/251223_torimatome.pdf

重要性が改めて明らかとなった。今後は、当時の補修内容の詳細に関する情報を収集・分析することで、より定量的な被害低減効果の評価が求められる。

第Ⅱ部では、「地震動等により転倒・沈下等を生じた鉄筋コンクリート造等建築物の被害」として、令和6年能登半島地震において転倒被害を生じた建築物（A建物）及び転倒には至らなかったものの大きな沈下被害を生じた建築物（B建物）について、被害の要因分析のための調査を行った。調査によって得られた知見を以下に示す。

- ・ A建物の転倒被害に係る状態について、杭の支持性能の喪失（杭の圧縮軸力下での破壊）、一部の杭への被害の集中による過大な傾斜の発生、建築物の沈下に伴う傾斜の進行があり、これらが連鎖的に生じたことが転倒につながったとして、被災シナリオを示した。また、再発防止については、転倒被害の要因を「基礎が地震時に支持性能が容易に失われるおそれのある杭に支持されたもの」「上部構造が地震時に片側への過大な傾斜を生じやすい構造（計画）であるもの」「杭の支持力が喪失した後、地盤の支持力不足により建築物が著しい沈下を生じるおそれのあるもの」とし、それぞれについて上部構造、基礎、地盤で可能な対策の方向性を現時点における提案として示した。

- ・ A建物の上部構造（パイルキャップ、基礎ばりを含む）について、部材寸法や強度・配筋の実測、3D点群データに基づく形状の分析、転倒に伴い移動した地盤の体積（土量）の算出、掘削により露出した杭頭部との位置関係の把握等により、構造図面の復元及び転倒状況の断面図の作成等を行った。さらに、復元した図面を用いた一貫構造計算プログラムによる解析を行い、作用する水平力に応じた各部材の応力、杭の鉛直力（支点反力）の状況を確認した。

長期荷重時の支点反力の解析結果より、被災後に地表に露出していたX0通りより、その逆のX2通り側の支点反力が相対的に大きい結果となった。層せん断力係数（ベースシア） $C_0=0.04$ のX方向正加力時に北西角X0/Y3の支点反力が最初にゼロとなり、 $C_0=0.10$ 、 0.15 、 0.20 と増加させるに従い、支点反力がゼロとなる支点も増える結果となった。

基礎梁に生じる応力を確認した結果、転倒を生じたX方向加力において、基礎ばりの一次設計時の応力による許容応力度は満足していることを確認した。

- ・ A建物の下部構造（基礎ばり、パイルキャップ、杭及び地盤）の調査を行った。杭について部材寸法や強度・配筋の実測を行い、A建物全体で45本、すべて同寸（ $\phi 350\text{mm}$ ）の既製コンクリート杭であることを確認した。被災した杭の中空部を用いた調査により、杭の先端深度、中間部の損傷及び傾斜を確認し、上部構造と基準点を共有した測量結果に基づき、上部構造・基礎・地盤の被害状況を一つの断面図にまとめた。

掘削により露出した杭頭部の詳細な調査を行い、被害状況を確認した。転倒時に引抜き側となるX0通りの杭頭部では、せん断破壊や縦ひび割れの様子が確認された。転倒により地中に押し込まれたX2通り側の杭については、地震時の被害か上部構造の転倒に伴う被害かの区別は困難であったが、同様の被害状況が確認された。

A建物の敷地に関する微動アレイ探査を行い、その分析結果及び周囲の観測点（JMA 輪島）における本震の観測記録を用いてA建物に作用した地震動を推定した。計算された本震地動の応答スペクトルは、周期1秒程度以下では現行規定と概ね同程度であった。一方、建物の上部構造の被害や杭基礎の損傷に影響する地盤変位に影響する周期1秒～3秒程度では、現行規定の値を大きく回っていた。

パイルキャップの調査から、杭頭部が引抜き力を受けた際に離間等を生じて存在応力を伝達できなくなるとし、支点反力がゼロとなったパイルキャップ位置の杭は水平力を分担できない条件で地震時の杭の損傷の検討を行った。解析の結果、 $C0=0.2$ の状態で、杭頭の支持条件（固定またはピン）によらず、建物北側の Y3 通りにおいて破壊の N-M 曲線を大きく超える応力が見られた。

- ・ A 建物の上部構造、基礎及び地盤の調査結果に基づき、転倒現象を解析的に再現することを目的として、杭の損傷に着目した杭-地盤-建物系の三次元地震応答解析、杭の破壊による建物の不安定化に着目した 3 次元 FEM 地震応答解析、粒子法による A 建物の 2 次元転倒解析、直接基礎的支持における支持力・沈下の検討、杭破壊後の直接基礎的支持における転倒メカニズムの検討を実施した。いずれも、今回の事例をある程度再現できている部分はあるが、今後より詳細な検討が必要と考えられる。
- ・ B 建物について、大きな沈下被害を受けたものの転倒には至らなかったことから、転倒を生じた A 建物との差異について検討するため、A 建物同様、一部の基礎ばり及びパイルキャップの掘り出し等による実測、敷地内の地盤調査や微動アレイ探査を実施した。調査の結果、杭頭部において大きな傾斜等の被害が確認されたことから、A 建物と同様に深度 6 m 程度までの掘削を想定した調査計画を立案した。
- ・ 転倒や沈下の要因分析のため、A 建物及び B 建物の敷地及び周辺において標準貫入試験、コーン貫入試験をはじめとする各種の地盤調査を行い、また、採取した試料を用いた土質試験なども実施した。これらの結果は今後転倒に関する詳細な解析を実施する上で貴重な記録となることから、別途付録として取りまとめた。

第Ⅲ部では、「火災による被害」として、2024 年 1 月 1 日に輪島市河井町で発生した市街地火災について、同年 1 月 4 日に実施した現地調査の結果を整理した。主要な結論は以下の通りである。

- ・ 焼失区域の面積は約 50,800 m^2 、区域内に含まれる建物の数は約 300 棟と推定される。ただし、最終的な被害規模については、焼損面積（焼失区域面積とは異なる）および焼損棟数が消防により確定される。なお、総務省消防庁によれば焼失面積は約 49,000 m^2 とされている。
- ・ 焼け止まりの最も大きな要因は離隔距離であったと考えられるが、一部、離隔距離が小さい場合でも焼け止まりが確認された。消火活動の効果があつた可能性があるが、本調査では確認できていない。
- ・ 火の粉の消し炭は概ね焼失区域の北側で確認された。火災発生期間中は、比較的緩やかな南寄りの風が吹いていたものと推測される。
- ・ 本火災の延焼の速さは 20~40m/h 程度で、弱風時の市街地火災（地震火災）である 1995 年阪神淡路大震災における市街地火災と同程度、強風時の市街地火災である 2016 年糸魚川市火災よりは遅かったと推測される。

今後は、今回の火災が大規模な市街地火災に発展した原因の分析を含めて、さらに調査を進めていく予定である。これに伴い、本報告の内容には修正が加えられる可能性がある。

第Ⅳ部では、「建築物の機能継続に関する調査」として、令和 6 年能登半島地震によって被害を受けた 33 施設 75 棟の建築物について、建築物の被害やそれらに設置されている設備機器を対象に被害調査を実施した。同時に、地震後継続使用性の実態を把握するための調査を実施した。

調査によって得られた知見を以下に示す。

- ・ 調査の結果、耐震改修された鉄筋コンクリート造建築物の既存構造部材（梁や床スラブ）や天井など非構造部材の被害によってその周囲の安全性の確保ができず、当該部分を立ち入り禁止措置としたことに加え、建築物内の給水設備機器につながる埋設配管の損傷など建築設備の被害により継続使用性が損なわれた事例が確認された。また、構造部材・非構造部材の被害がない建築物であっても、埋設配管の破断など建築設備の被害により継続使用性が損なわれた事例が確認された。このほか、建築設備の被害がない建築物であっても、大広間や客室の天井や照明器具の落下など非構造部材の被害により継続使用性が損なわれた事例が確認された。
- ・ 調査対象のライフライン途絶状況（停電・市水断水・排水制限）を整理した結果、停電は平均 3 日程度、市水断水は平均 40 日程度であり、最大で市水断水が 120 日となった施設もあった。排水設備は、ライフラインでの被害がなかったにも関わらず、多くの施設において排水機能が停止した。中には調査時点（発災後 270 日以上経過）でも排水機能が回復していない事例があった。それに加え、地盤沈下等の地盤変状によって配管被害が多く見られ、ライフライン途絶の影響と重なり、給排水機能の継続使用の阻害となっている。このことから、地震後継続使用性を考える上で対策を行う必要があることがわかった。
- ・ 震度 5 弱以上の被災をした場合に、被災後に改めてバリデーションを実施する事前準備がされていた建築物（生産施設）があった。発災後 3 か月でバリデーションを完了し生産再開できたのは、事前準備があったことによるもので BCP 計画の手本といえる。
- ・ 調査を行った医療施設では、その多くが BCP 計画を策定されていたが、給排水設備被災の復旧が長期化したため継続使用できなかった例があった。その中でも、断水時の行動（水道利用から井水利用への切替手順）や被災時の連携行動（Microsoft Teams を活用した情報共有）など、効果的な事前準備が見られた建築物があった。被災時の活動状況をまとめられている医療施設も複数あり、今後の BCP 計画の参考になる。
- ・ 調査建築物を対象に、機能レベルと発災後の経過日数（継続時間）の関係についてグラフ化し、各設備項目に着目しながら、建築物用途別に検討を行った。その結果、給排水設備に着目すると、庁舎では、ある時点で給排水機能が一度で完全復旧しているのに対し、病院施設では完全復旧までに段階的な復旧経過を歩んでいる様子が見られた。これは建築物の継続使用において、医療施設では庁舎より給排水設備の機能が必要であり、早期復旧が必要であったこと、建築物内に給水設備が分散しているため復旧作業に時間がかかることによる。老人福祉施設では給水設備が復旧しているが、調査時点では排水設備が未復旧状況である施設もあり、排水管は埋設配管となるため、埋設配管の復旧の困難さを示していると考えられる。また老人福祉施設では、おむつ利用による排水設備の代替が復旧時間に影響していると考えられる。商業施設では、被災地では早期の営業開始が求められるため、早期復旧が実施された。生産施設では、給水排水設備等の供給設備に支障無くても、生産施設特有の設備機能が確保できないと継続使用ができないことがわかった。以上より、建築物の地震後継続使用性には、地震後に使用する機能を把握して計画することが重要ということがわかった。
- ・ 今回の検討では、各設備（機能）の地震後継続使用性の単純和により建築物全体としての地震後継続使用性をグラフ化した。グラフ化することで地震後継続使用性に大きく影響した要素を明らかにすることができ、地震後継続使用性に寄与する技術や耐震設計の評価手法につながると考えられる。その一方で、本来は各設備（機能）についてそれぞれ重みづけを行ったうえで、建築物

全体として評価できると、よりよい地震後継続使用性の判断（活動できる）の指標につながると考えられるため、今後はこの重みづけの方法について検討を行っていきたい。

- ・ 今回の地震被害では、給排水設備の被害により地震後継続使用性が阻害されたケースが多く見られた。今回の地震被害で見られた阻害要因ごとに、それぞれ地震後継続使用性を確保するための改善例を示した。

5

以上の調査分析等の結果は本報告書の発行時点までのものであり、さらに必要な調査や検討を継続していく予定である。したがって、調査や検討の進展に伴って速報や本報告の内容に一部修正が加えられる可能性がある。国土技術政策総合研究所及び建築研究所は、今後も、引き続き関連する調査研究活動を推進し、建築物の安全性の確保に積極的に取り組んでいく所存である。

10

最後に、本地震で亡くなられた方々とそのご遺族に対し、深く哀悼の意を表しますとともに、被災された方々に心から御見舞いを申し上げます。また、被災地の困難な状況にもかかわらず、調査にご協力頂いた方々や関係機関各位に厚く御礼申し上げます。