第１章　調査概要

1.1 検討の内容

転倒被害が確認された鉄筋コンクリート造建築物（以下、A建物という）について、調査及び被害の要因分析が必要であり、主として以下の①～④の検討を行った。

①地盤中に埋まっている当該建築物の損傷状況の調査

②損傷状況を踏まえた転倒メカニズムの検討

③転倒メカニズムに対する現行の建築基準の妥当性の検証

④現行の建築基準の妥当性の検証を踏まえた再発防止の方向性の検討

これらの項目の検討を進めるにあたり、国土交通省及び国土技術政策総合研究所は、(国研) 建築研究所、(一財) 日本建築防災協会及び (一社) 建築基礎・地盤技術高度化推進協議会 (ALLF) との共同研究による協力体制のもと、検討を進めた。これらの調査・分析の方針策定や実施に当たっては、多くの学識経験者及び構造実務者の協力を得た。また、基礎地盤の掘削及び現地調査については、(一財) ベターリビングの協力を受けて実施した。

検討に当たっては、転倒被害が確認された建築物を対象に、主に以下の調査を行った。

・上部構造の調査（建築物の構造躯体（地上部分）の計測および解析）（第２章）

・基礎及び地盤の調査（敷地における地盤調査及び掘削による計測等）（第３章）

また、転倒を免れたものの大きく傾斜・沈下した鉄筋コンクリート造建築物（以下、B建物という）についても、第４章に調査結果を示すとともに、A建物の被害状況との比較検討を行うための調査計画をまとめた。さらに、A建物については、各種の調査結果に基づき、転倒現象を解析的に再現するための詳細解析を実施し、第５章としてまとめた。

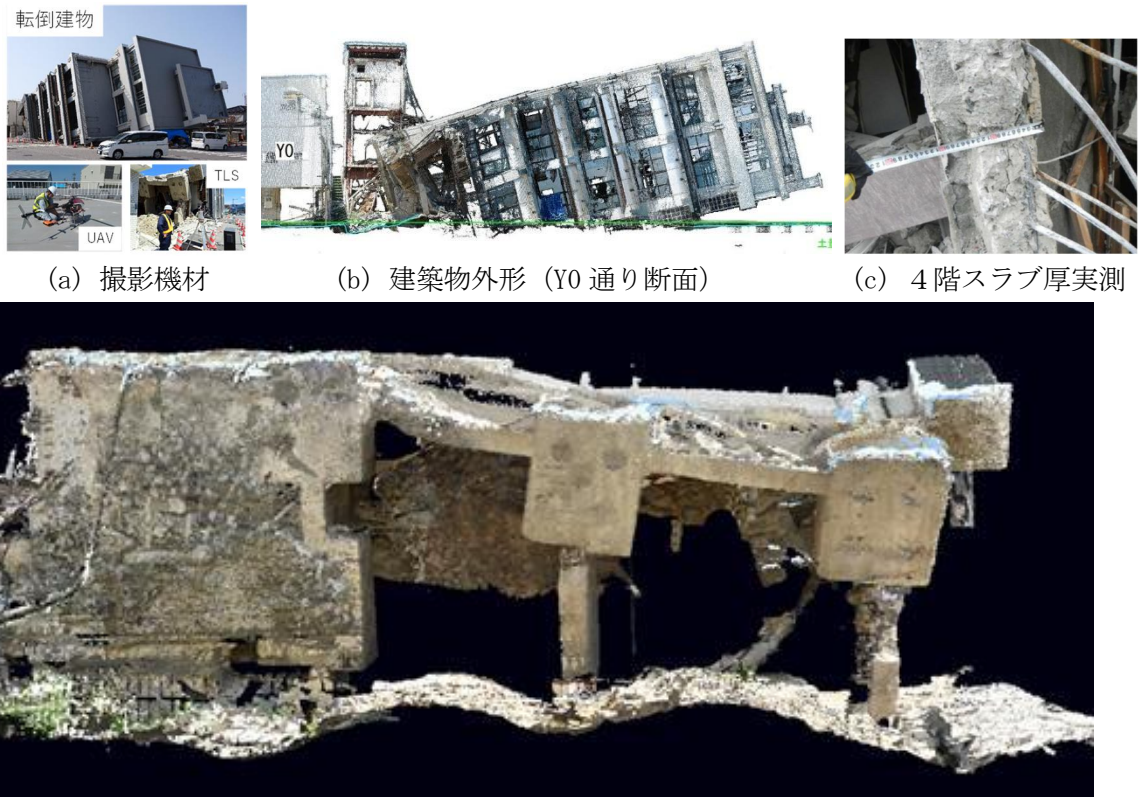
本章では、これらの調査結果を踏まえた転倒被害の要因分析として、以下に検討結果の概要と、再発防止に向けた対策の方向性を示す。これらは、国土交通省による「令和６年能登半島地震における建築物構造被害の原因分析を行う委員会 最終とりまとめ（令和７年 12 月）」[1.1)] の作成にあたり参考とされた。なお、建築物の転倒被害については未解明の部分も多く、現在も精力的に検討が進められており、ここに示す内容については、再検討の余地を残すものであることに留意されたい。

1.2 転倒被害の要因分析（①②関連）

1.2.1 上部構造等の調査結果概要

転倒被害を生じた上部構造等（基礎ばり及びパイルキャップを含む）について、建築物の解体・除却と合わせて部材寸法や配筋、材料強度等の調査を行い、建築物の図面を復元した。さらに、その復元した情報に基づき、階ごとに同一断面であることや、C_0=0.2 の外力に対し許容応力度設計を満足する程度の配筋であることを仮定するなど、一般の構造設計に関する情報を付与して作成した構造図を用いて、一貫構造計算プログラムによる解析を行った。詳細については、第２章を参照されたい。

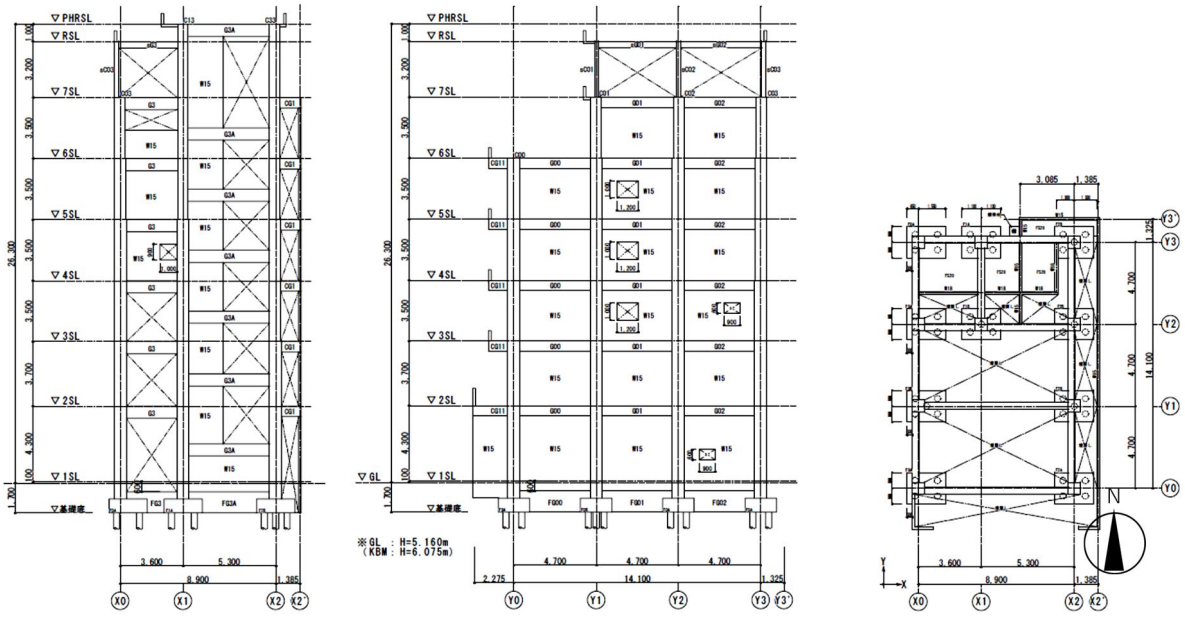
上部構造等の調査状況を図 1.2.1-1 に示す。人による寸法計測とドローン等による点群計測結果を組み合わせ、さらに構造部材から採取した試料の強度試験等により材料物性を把握した。その結果、作成した構造図を図 1.2.1-2 に示す。



(a) 撮影機材　(b) 建築物外形（Y0 通り断面）　(c) ４階スラブ厚実測

(d) 建築物底面（転倒により露出した部分の敷地西側からの画像）

図 1.2.1-1　上部構造の調査状況

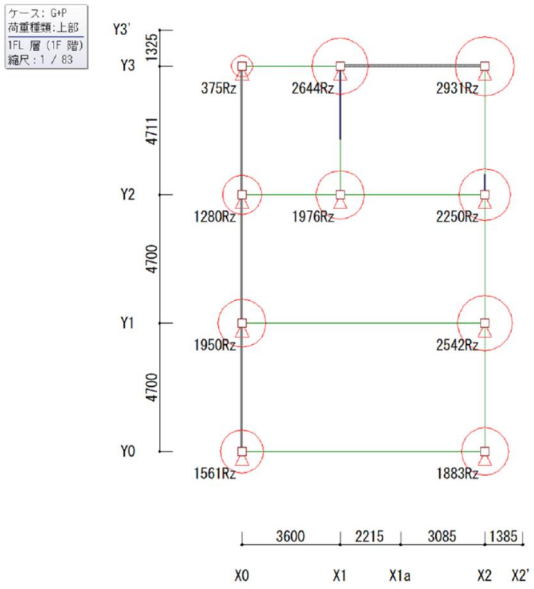


(a) Y3 通り軸組図　(b) X0 通り軸組図　(c) 杭・基礎伏図

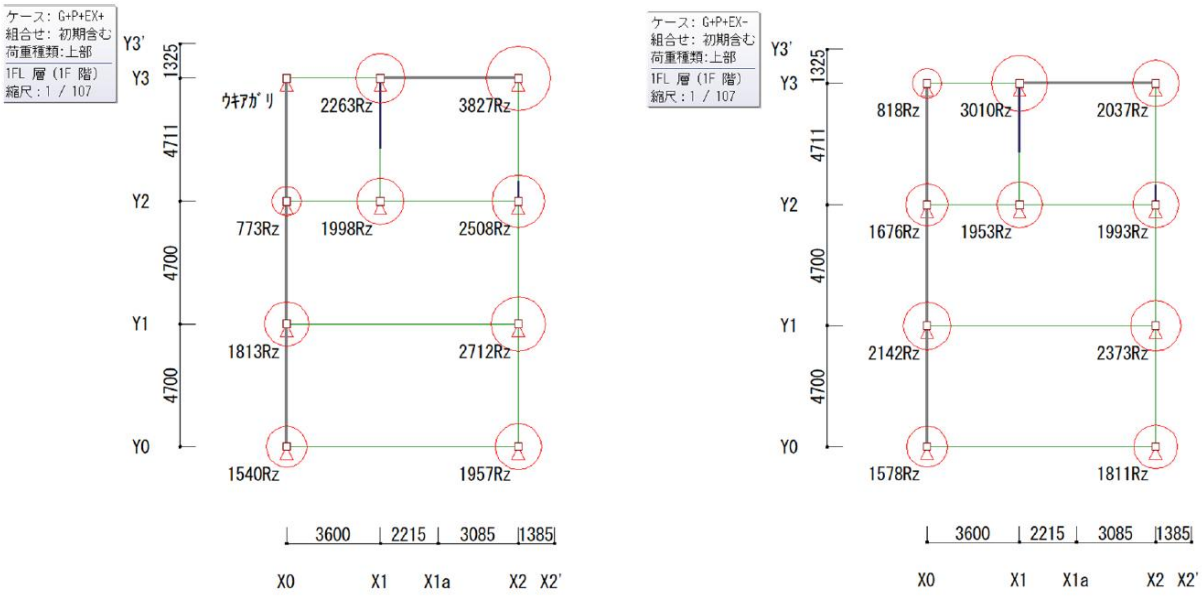
図 1.2.1-2　構造図面（構造計算用）

上部構造等の調査によって得られた主な結果を以下に示す。

- 上部構造等の一部（３階 X0 通り壁脚、基礎ばり Y0 通り及び Y1 通り端部周辺）に大きな被害が見られた。被害の発生位置及び浮き上がり状態（支点反力位置における軸力がゼロとなる状態を、本章では一貫計算プログラムの表示に基づきこのように表現している）の発生の可能性が高いことを考慮して、これらは転倒の過程において生じたもので、地震時には上部構造はおおむね無被害であるものと推測された。
- 転倒により、図 1.2.1-1(d)に示した通りパイルキャップ底面が地上に露出していた。その一部（図 1.2.1-2(c)左上のパイルキャップ４つに囲まれた区画）には変形や損傷は見られなかったことから、当該部分は地震時において沈下等に伴う地盤反力をほとんど受けなかったことが推測された。
- 建築物の高さと架構の見付幅により、各通りにおける上部構造の塔状比を計算した。転倒を生じた方向（東西）では Y3 通りで最も大きく、実測値及び作成した構造図に基づきそれぞれ 2.50 及び 2.46、生じなかった方向（南北）では X0 通りで同様に 1.69 及び 1.51 であった。
- 一貫構造計算プログラムを用いた水平加力下において、一部支点での浮き上がり状態の地震力（標準せん断力係数 C_0 換算）を確認した。転倒を生じた方向（図 1.2.1-2(c)紙面左⇒右方向）で 0.04、逆方向で 0.13 程度であり、これらはいずれも一般的に中地震に対する設計で用いられる数値 C_0=0.2 より小さな数値であった。このことから、転倒を生じた東側の支点に軸力やせん断力などの負担が集中しやすい状況にあったと考えられる。図 1.2.1-3 に長期及び C_0=0.04 時の支点反力の状況を示す。左上位置の X0Y3 支点において、最も早期に支点反力がゼロ（図では「ウキアガリ」と表示）となった。これは、図 1.2.1-3(a)に示した通り、当該支点に長期に作用する軸力（Rz：375kN）が他の支点と比べて特に小さいことが主な要因と考えられる。



(a) 長期



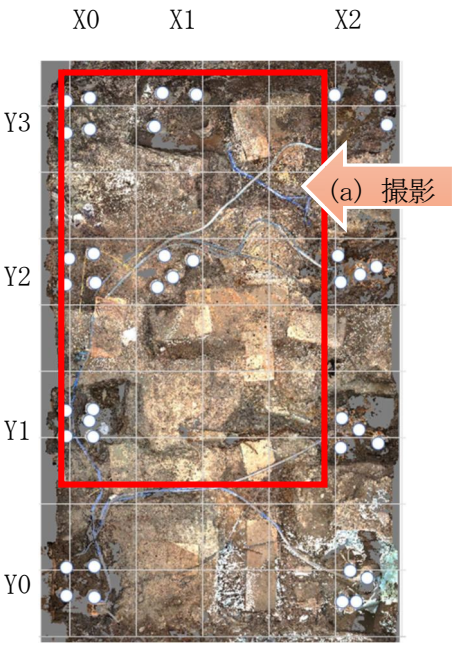
(b) X 方向 C_0=0.04 正加力 (→)　　(c) X 方向 C_0=0.04 負加力 (←)

図 1.2.1-3　長期及び水平加力下における支点反力（単位 kN）の状況

1.2.2 基礎及び地盤の調査結果概要

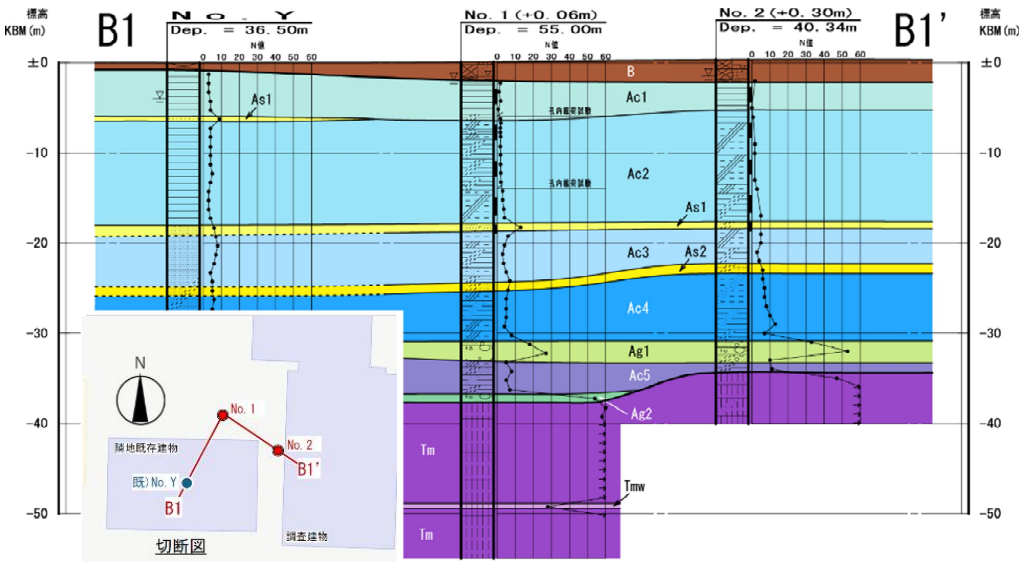
建築物の敷地および周辺において地盤調査を行った。また、基礎（杭）の被災状況を確認するための掘削調査を行った。被災した杭（既製コンクリート杭）については、刻印等の生産状況の確認や強度試験などを行い、また杭頭部周辺及び中空部を利用した寸法・傾斜等の計測を行った。詳細については、第３章を参照されたい。

基礎及び地盤の掘削調査状況を図 1.2.2-1 に、地盤調査結果（土質柱状図に基づく地層構成図）を図 1.2.2-2 に、それぞれ示す。



(a) 掘削（深さ約４ｍ～一部６ｍ）　　(b) 杭推定位置（深さ約４ｍ基準）

図 1.2.2-1　基礎及び地盤の掘削調査状況



5

主な土質	地層記号	上端標高 KBM (m)	確認層厚 (m)	N値平均値 (下段：最小～最大値)
瓦礫混じり砂質粘土 瓦礫混じり粘土	B	0.30 ～ 0.06	2.00 ～ 2.50	— (1.7)
粘土	Ac1	-1.94 ～ -2.20	3.10 ～ 4.50	1.0 (0 ～ 2)
粘土質シルト シルト質粘土	Ac2	-5.30 ～ -6.44	11.40 ～ 12.35	2.4 (2 ～ 5)
シルト混じり中砂 シルト質中砂	As1	-17.65 ～ -17.84	0.75 ～ 0.90	— (13)

図 1.2.2-2　地層構成図（推定）及び表層の主な土質

基礎及び地盤の調査によって得られた主な結果を以下に示す。

・ 図 1.2.2-2（No.2 位置）に示した通り、敷地内の地層は G.L.－６m程度までN値２以下、G.L.－15m程度までN値５以下の軟弱な地層で、支持層は G.L.－30m以深と考えられる。使用されていた杭は打込み工法による施工と考えられ、杭の中空部から杭長の確認を兼ねて先端位置付近の試料採取を実施し、支持層への到達を確認した。

・ 各パイルキャップにおいて、図 1.2.1-2(c)及び図 1.2.2-1(b)に示した通り、４本または５本の既製コンクリート杭が配置されていた。これらはいずれもＡ種のＰＣ杭（JIS A5335（プレテンション方式遠心力プレストレストコンクリートくい））で、主な規格値として直径 350㎜、厚さ 75㎜で、緊張材として径７㎜のＰＣ鋼材を８本用いたものである。

・ 転倒によって基礎の浮き上がりを生じた西側（X0 通り）及び中央（X1 通り）の構面では、掘削調査の結果、図 1.2.2-3 に示す通り、杭頭に斜めひび割れや縦ひび割れ、PC 鋼材に沿ったコンクリートの割れなどの著しい被害が見られた。その一方で、図 1.2.1-1(d)に示した通りパイルキャップに目立った損傷はなかったことから、杭頭部における引抜き等で、杭とパイルキャップとは接合されていない状態であったものと考えられる。掘削調査における杭の出現深度を図 1.2.2-4 に示す。同図には被災前のパイルキャップ下面位置（想定）も表記した。

・ 図 1.2.2-4 に示した通り、転倒を生じた東側（X2 通り、押込み側）と基礎の浮き上がりを生じた西側（X0 通り、引抜き側）では、杭の出現した深度に差があった。特に、東側の杭では、緊張材（PC 鋼材）が残存し繋がれたまま折損した状態の杭（図 1.2.2-6）が数本あったが、被災前のパイルキャップ下面位置（想定）から約２mの間（G.L.－４m程度までの範囲）では、構造体としてはほとんど確認できなかった。地震時の杭体の被害に加えて、転倒に伴う基礎の大きな沈下や地盤の動きに伴って杭体が破砕された可能性がある。また、杭の中空部を利用した傾斜計やボアホールカメラ等による調査の結果、図 1.2.2-5 に示す通り、X2 通り（東側）のほとんどの杭で地中部（G.L.－５m～－６m付近）に杭体の折損やずれが確認された。

(a) 杭 No.1　(b) 杭 No.2　(c) 杭 No.3　(d) 杭 No.4

図 1.2.2-3　転倒により基礎の浮き上がりを生じた杭頭部の被害状況（X0Y0 位置）

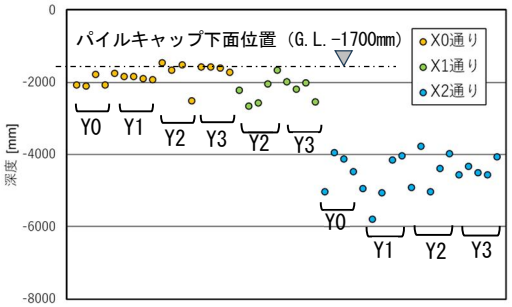


図 1.2.2-4　掘削時の杭の出現深度

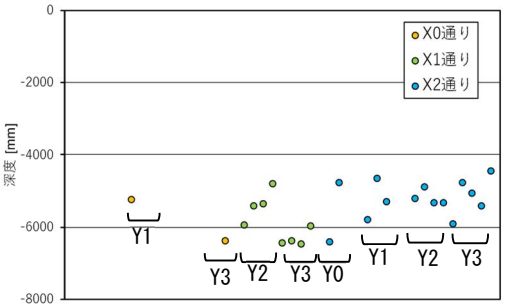


図 1.2.2-5　杭地中部の損傷深度

(a) 全体（G.L.-5.5m 付近）

(b) 折損した杭（G.L.-4.2m 付近）

図 1.2.2-6　杭の被害状況（X2Y3 位置）

図 1.2.2-7 に、転倒を生じた構面（Y3 通り）における上部構造及び基礎（杭）の被災状況に、作成した構造図（図 1.2.1-2(a)）を重ね合わせたものを示す。

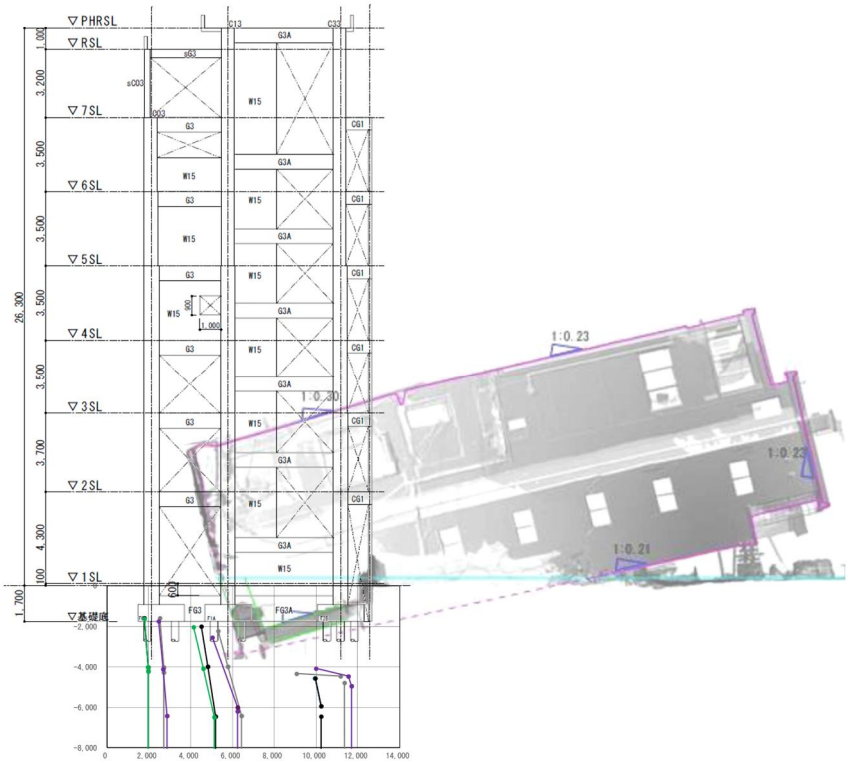


図 1.2.2-7　被災状況と図面との重ね合わせ（Y3 通り断面）

1.2.3 転倒被害の被災シナリオ

1.2.1 項（第２章）及び 1.2.2 項（第３章）及び第５章の調査結果を踏まえ、現時点における転倒被害の要因分析の結果として、今回の地震による建築物の転倒メカニズムを、地震動の作用から転倒に至る「被災シナリオ」として、以下の通り整理した。ただし、これらは順序良く推移するものではなく、一つのパイルキャップあるいは一つの杭体でも相互に影響しながら進行する現象であることに注意が必要である。

また、冒頭で述べた通り建築物の転倒については未解明の部分も多く、以下は今後の詳細な調査研究に基づく再検討の余地を残すものであることに留意されたい。

（１）被災シナリオの基本的な流れ

a. 建築物の転倒のきっかけは、地震時に杭の支持性能を喪失する破壊が生じたことである。

b. さらに、建築物の傾斜を助長する各種の要因も加わり、特定の構面において、地中深さ方向に比較的長い区間で支持性能が損なわれ、片側への過大な傾斜の発生につながった。

c. 最終的に、基礎底面の直下の地盤における支持力の不足により、著しい沈下に伴う建築物の傾斜が進行した結果、転倒に至った。

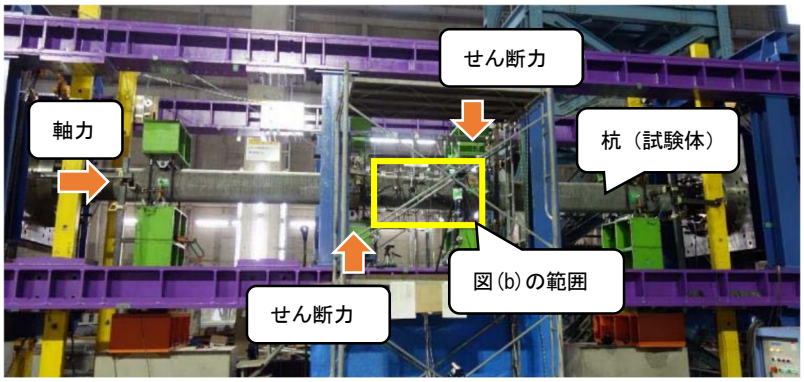
（２）杭の支持性能の喪失（杭の圧縮軸力下での破壊）

d. 杭の被害のうち、転倒への影響があるような支持性能を喪失する破壊としては、日本建築学会「基礎部材の強度と変形性能」[1.2)] などに示されたせん断破壊（斜めひび割れ及び縦ひび割れ）、コンクリートの圧壊であり、これらの被害は、図 1.2.2-3 に示した通り、転倒した建物においてもほとんどの杭頭部で確認された。

e. 建築物の一部の杭に地震時の水平力が集中し、杭の耐力を超えたことでこのような杭の被害を生じたと考えられる。計算上は、中地震（C_0=0.2）程度でも比較的大きな被害が生じる結果となった。このような杭の破壊により、軸力の保持が不可能な状況にあったことが考えられる。

　また、敷地の地盤が軟弱であり杭頭部付近で地震時の地盤変位（水平）が大きくなることも、被害を生じやすくした要因と考えられる。

f. 縦ひび割れを伴うせん断破壊については、中空の既製杭に高軸力が作用した状態で生じることが報告されている。参考として、既報[1.3)] における破壊実験時（図 1.2.2-8）の軸力比（作用軸力の圧縮強度に対する比）は 0.32 である。本建築物においては、構造計算による杭頭付近の軸力比は、C_0=0.2 相当時点で軸力による負担の集中を考慮した場合、最大 0.36 程度となった。なお、これらはいずれもプレストレスを考慮した数値である。



(a) 載荷装置及び試験体

(b) 破壊状況

図 1.2.2-8 既製コンクリート杭（PHC 杭）のせん断加力実験結果（縦ひび割れを伴う破壊）[1.3)に加筆]

（３）一部の杭への被害の集中による過大な傾斜の発生

g. 上記（２）のような被害は、地震時にどの杭にも起こる可能性があるが、今回大きな被害を受けた杭は押込み側(X2 通り)の構面に集中していた。このことが上部構造の過大な傾斜につながり、最終的に転倒に至ったものと考えられる。

h. 仮に過大な傾斜が発生しない状況では、杭が支持性能を喪失したとしてもパイルキャップや基礎梁の直下地盤の支持力により転倒を免れ人命に影響する被害にはつながらない可能性がある。実際に、これまでの震災においても、杭頭部の破壊などを生じた建築物について、大きな沈下や傾斜が見られたが転倒に至らなかった被災事例として多くの報告[1.4)など]がある。

i. 杭の被害の集中については、地震時に杭に作用する軸力の差異の影響が考えられる。一般的に、杭に圧縮力が作用している場合と比較して、軸力が小さいあるいは負の値(引張り)の条件では、杭が負担できる水平力は小さくなる。通常、地震時に杭に作用する軸力は地震動の方向に伴ってさまざまに変動するが、本建築物では、以下のように引抜き側となる一部の杭の軸力が小さくなりやすい条件が重なり、これにより他の杭の負担（軸力および水平力）が増大し被害が集中したことで、上部構造に過大な傾斜が発生したものと考えられる。

i) 計算上で一部杭の支点反力がゼロとなる時点のベースシア係数 C_0 は方向ごとで差があり、転倒を生じる側の加力（西→東）で特に小さかった。

ii) また、転倒方向（東西構面）の塔状比が最大で約 2.5 と比較的大きく、上部構造に作用する地震動の杭の軸力に対する影響も大きかった。

iii) さらに、転倒方向のスパン数が１または２と少なく、図 1.2.2-9 に示す通り、場合によって中間の構面（X1 通り）の影響で、押込み側（X2 通り）の杭に軸力が集中しやすい条件となっていた。

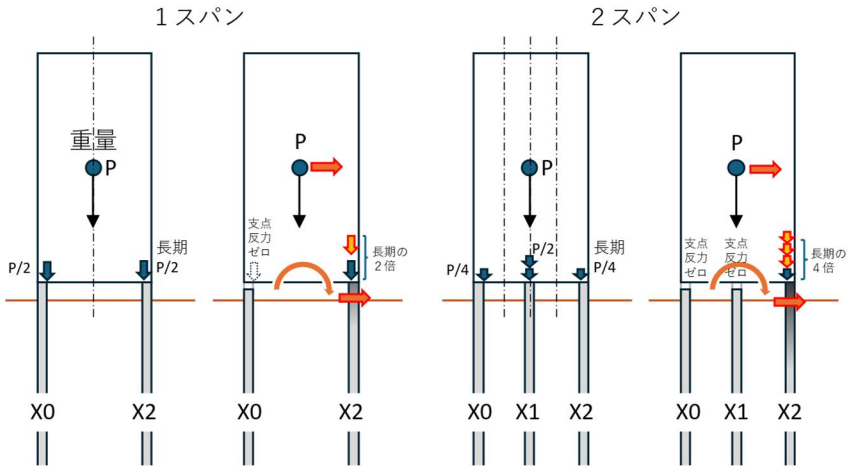


図 1.2.2-9　建築物のスパン数と杭への負担の偏りの例

なお、もともと杭頭部にはパイルキャップとの定着筋もなく、その点からも、引抜き側となった杭には応力伝達ができなかったと想定される。

j. この他、図 1.2.1-1(d)に示した通り転倒により露出した１階スラブ（図中左側、X0-X1 及び Y2-Y3 間）には大きな損傷や変形の痕跡が見られなかったことから、他の部分と比較して一定の面外剛性・強度を有した床版であったと考えられる。その区画ではパイルキャップも密に配置され、西側よりも東側で沈下しやすい状況であった可能性がある。

（４）建築物の沈下に伴う傾斜の進行

k. 上記（２）（３）のように杭の支持性能の喪失で傾斜が発生したとしても、鉛直変位（沈下）が一定の範囲で収まっていれば、傾斜の進行が抑えられ転倒には至らなかった可能性がある。今回過大な鉛直変位が発生した原因については、地表面付近が軟弱な地盤であり、杭の破壊後に建築物を支持することとなるパイルキャップや基礎ばり底面について、直接基礎的な支持力発現が十分に期待できなかったことが考えられる。

l. さらに、杭頭がパイルキャップから離脱し残存する杭体が鉛直支持要素として働かないこと、杭に区間の長い縦ひび割れを伴うせん断破壊が生じること、また、X0 通りの杭が引抜きに、X1 通りの杭頭が転倒モーメントに抵抗できないことから不安定な状態になりやすいこと（図 1.2.2-10）、こうした可能性があることも沈下を助長したおそれがある。

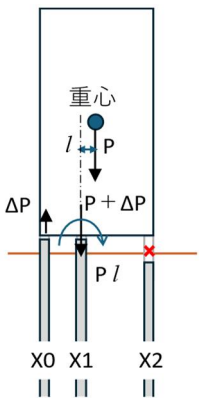


図 1.2.2-10　各構面の杭の影響による不安定な状態

（５）建物の転倒被害の被災シナリオについて

上記を踏まえ、想定する被災シナリオ及び転倒被害の要因について、以下の通り整理した。概要を図 1.2.2-11 に示す。

状態１：被災前の状態
状態２：地震動による杭頭部の鉛直・水平抵抗の喪失（要因１）
状態３：圧縮側杭への水平力負担の集中による杭の支持力喪失につながる著しい破壊（傾斜の発生）（要因２）
状態４：杭の支持力喪失後の地盤の支持力不足による建築物の著しい沈下に伴う傾斜の進行（要因３）
状態５：被災後の状態（転倒）

ここで、軟弱地盤において杭基礎を採用することや、その場合の地震時の杭の被害といった条件は、建築物に広く当てはまる可能性がある一方、特に要因２は転倒被害が確認された建築物の計画上の特徴と言え、これらが複合的に危険側に働いた（例えば、塔状比が高い構面において、片側が沈み込みやすい条件が重なり、杭の損傷の集中による傾斜の進行が止まらなかった、など）ことが、転倒に至る現象面での特に注意すべき要因ではないかと考えられる。

なお、転倒被害が確認された建築物については、過去に 2007 年能登半島地震を経験しており（所在地である輪島市河井町で震度６弱）、その際にすでに基礎に損傷を生じていた可能性も想像される。ただし、その後、上部構造の傾斜や基礎の不同沈下等の兆候もなく使用上の支障等を生じていないことから、基礎は状態１または状態２のごく初期の状況にとどまっていたものと考えられ、今回提示した被災シナリオには過去地震の影響については考慮する必要はないものとした。

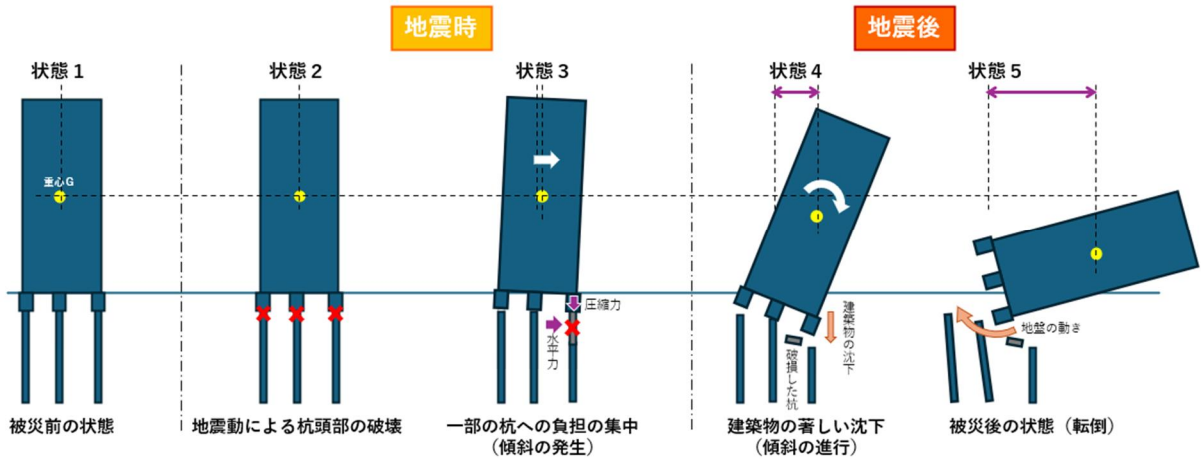


図 1.2.2-11　被災シナリオ

1.3 再発防止に向けた対策の方向性（④関連）

1.3.1 転倒被害の要因について

転倒被害の要因分析の結果を踏まえると、地震時に建築物の転倒を生ずる条件は以下の通り整理される。

現時点における転倒現象の過程の検討によると、現行基準（平成 13 年国土交通省告示第 1113 号）以前に建築された建築物については、建築物の基礎、上部構造及び地盤について、次の要因が重なることによって、転倒の可能性が高まる。

・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。

なお、建築物が転倒するか否かを構造計算により直接的に確認することは、高度な技術を有する設計者であっても困難な現状であり、判断基準の明確化のためには、多くの技術的課題が残されている。また、建築物の転倒については未解明の部分も多いことや、これまでの震災では、杭に大きな被害を受けたものは数多く報告されているものの、今回のように転倒に至ったものはなく、当該建築物が転倒に至ったことは上述の要因が重なったことにより生じた非常に稀な被害であったと考えられることから、現行基準以前に建築された建築物が直ちに危険であるとは言えないが、今後、その安全性の確保に向けた取り組みが必要である。

1.3.2 対策の方向性について

1.2.3（５）の被災シナリオに示す通り、地震時に被害を受けた建物が転倒に至るまでに、注意すべき点として３つの要因を示したことから、それぞれを確認すべき項目として示した。実際には、これら全ての要因が複合的に関連して転倒したと考えられ、転倒を防止するための対策としては、いずれかの要因に対処できればよいものとするが、できるだけ多くの項目について確認しておくことが望ましい。

（１）基礎について

「地震時に支持性能が容易に失われるおそれのある杭」は、原則として、耐震設計を行っていない既製コンクリート杭が該当するものとする。

耐震設計については、現行基準において基礎・杭の一次設計が必須となっている。このため、現行基準に従って耐震設計されたものはこの条件に該当しない。また、中地震に対する一次設計を行うことは、杭頭部に一定の定着性能を与えるため転倒防止上の有効性が期待できる。なお、今回転倒被害が確認された建築物は、「中間とりまとめ」[1.1)] にある通り、杭基礎の短期荷重に対する設計の指針[1.5)] が示された 1984 年以前に建設されたものであった。

既製コンクリート杭については、中空部を有し、中実の場所打ちコンクリート杭や鋼材を用いる鋼管杭と比較して地震時に脆性的な破壊が生じやすい。今回の転倒建物において、場所打ちコンクリート杭や鋼管杭など、より高い変形性能を有する杭体を用いることで、結果として転倒が避けられた可能性がある。ただし、今回被災した建築物の敷地は軟弱な地盤であり、地震時の地中変位（水平変位）が大きくなり杭の被害を生じやすい。地中変位の影響を考慮するためには、日本建築学会「建築基礎構造設計指針」[1.6)] による二次設計の適用も推奨される。

（２）上部構造について

本検討において整理した被災シナリオでは、上部構造側の要因として、地震時に杭に被害を生じるうち、さらに一部の杭に負担（水平力）が集中し、過大な傾斜となったことが転倒という現象を増長したとしている。そこで、「地震時に片側への過大な傾斜を生じやすい構造（計画）」については、以下の全てに該当するものとする。

①地震力による支点反力の減少が方向により差が大きいもの

現地調査や構造計算の結果、転倒被害が確認された建築物においては、計算上、地震時に特定の方向（西→東）の地震力に対して杭の支点反力がゼロになる状況に達しやすいことがわかった。その結果一部の杭に負担が集中することになるため、これを項目としたものである。実質的には中地震程度の地震力を想定し、計算によって確かめる必要がある。

なお、全体に地階を有する場合は、これに該当しないものとしてよい。

②塔状比の大きなもの（2.5 以上）

上部構造への地震力の作用に伴って、特に建築物の両端の杭に鉛直力（押込みや引抜きの力）が作用し、建築物の幅が短く高さが高いほど、その影響は大きくなる。そこで、当面は上部構造の塔状比が 2.5 以上であることとした。現行規定においても、平成 19 年国土交通省告示第 594 号第４第五号で、塔状比４を超える場合に転倒の検討を行う必要がある。2.5 はこれより小さいが、耐震設計を行っていない場合は杭の支点反力がゼロになる状況が早期に生じやすいこと（圧縮側の杭への水平力の集中）、良好な支持条件では自重は傾斜に伴う浮き上がりを引き戻す効果があるが、今回の想定の一つである軟弱な地盤ではそれが期待できないこと、また被災建物の調査結果も考慮したものである。

なお、建築物が低層の場合は、調査結果からもこうした影響が小さくなることが期待できるので、塔状比の数値に関わらず、５階以下は該当しないものとしてよい。

③スパン数の少ないもの（１又は２）

浮き上がり挙動を考慮した場合の杭の負担の増分は、スパン数が少ないほど影響が大きく、また、スパン数が２で中央に杭がある場合、構面の配置の偏り等の影響で不安定な構造となりやすいなど、想定によっては傾斜挙動への影響が大きくなる可能性がある。そこで、スパン数が１又は２であることも条件に加えた。

（３）地盤について

地盤については、今回の被害を踏まえると、地表から深さ約６～８m程度の地盤がＮ値＜２程度と軟弱であったことの影響が大きく、これを、建築物の傾斜の進行につながる「支持力の不足による建築物の著しい沈下を生じるおそれのあるもの」とする。

また、地中変位の観点からは、液状化や側方流動についても同様に考慮すべきである。なお、過去には地盤の側方流動が原因となって架構が大きく被災した事例[1.7)]もあり、できるだけ配慮することが望ましい。

1.4 転倒メカニズムに対する現行の建築基準の妥当性の検証（③関連）

「1.2 転倒被害の要因分析」では、建築物が転倒するメカニズムについて一部の杭に荷重及び外力の作用が集中したことと、その作用によって著しい杭体の損傷が生じたことが挙げられている。この点については、建築基準法は最低基準として、大地震時の部材の一定の損傷を許容しており、杭頭部の損傷についても、これまでに多くの報告がある。なお、建築物に係る台帳により当該建築物が確認済証及び検査済証の交付を受けた記録が確認された一方、原設計の構造計算図書が保存されていないため、当該建築物が当時の建築基準法における構造関係規定に適合しているかどうかを検証することは困難であった。

今回の被災シナリオ上で提示された要因はいくつかあり、それぞれ単独で生じただけではなく、これらが相互に影響したことが、被災シナリオを進展させる条件として特に重要な観点である。現行基準（平成 13 年国土交通省告示第 1113 号）に従って杭の耐震設計を行い、一次設計における水平力およびそれに伴う鉛直力（軸力変動）に対して短期の許容応力度以内とすることで、杭頭部とパイルキャップとの接合に一定の耐力や定着が確保される。これにより、圧縮側の杭への水平力の集中をある程度緩和し、早期の浮き上がり挙動に伴う地震中の傾斜の進行を避けるとともに、引抜きを伴う転倒が抑止されることが期待できる。

【第１章　参考文献・資料】

1.1） 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， https://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/build/jutakukentiku_house_tk_000221.html (閲覧 2026.6)

1.2）(一社)日本建築学会：「基礎部材の強度と変形性能」，2022.3

1.3）向井ほか：「大地震後の継続使用性を確保するためのコンクリート系杭基礎構造システムの構造性能評価に関する研究」第３章　既製コンクリート杭（PHC 杭，PRC 杭）のせん断破壊実験，建築研究資料 No.195，国立研究開発法人建築研究所，2019.10，https://www.kenken.go.jp/japanese/contents/publications/data/195/index.html （閲覧 2026.6）

1.4） 二木ほか：「建築基礎の被災度区分判定指針及び復旧技術例」，建築研究資料 No.90，建設省建築研究所，1997.8，https://www.kenken.go.jp/japanese/contents/publications/data/90/90.pdf （閲覧 2026.6）

1.5）建設省建築技術審査委員会 建築基礎検討小委員会:「地震力に対する建築物の基礎の設計指針」，日本建築センター，1984.9

1.6）(一社)日本建築学会：「建築基礎構造設計指針」，2019.11

1.7）西田ほか：兵庫県南部地震による市立西宮高校校舎の破壊機構，土と基礎 45(3)，17-20，地盤工学会，1997.3