

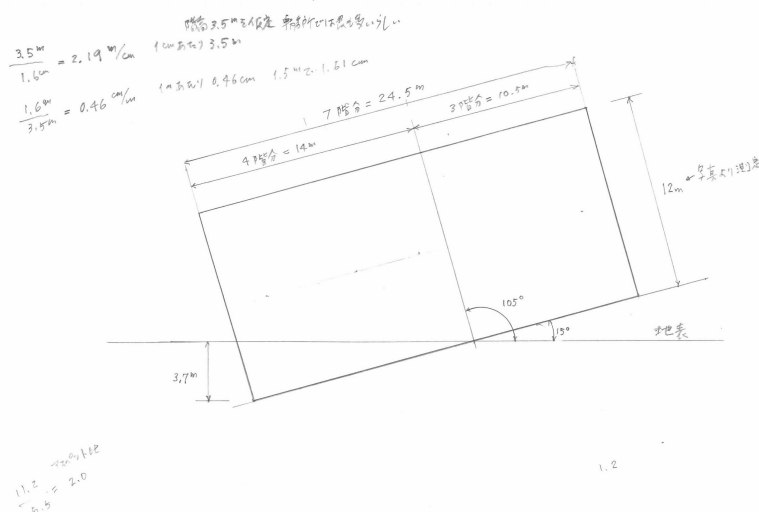
能登半島地震で転倒した 7 階建てビルについて

(一社) 基礎構造研究会代表理事 杉村義広

能登半島地震は今年の元旦午後 4 時過ぎに緊急地震情報がテレビで流れたために知ることになったが、それから何日も経たなかった頃、TBS 系の報道番組で 7 階建てのビルが転倒した事例が流れた。巻き添えを食った隣の(何かの店だと思ふ)ご主人が「息子二人はなんとか引っ張り出せて救うことが出来たが、妻と娘はどうしても引き出すことが出来ず、救援隊もなかなか来てくれない」と言っている姿が映り出されていた。結局、救援隊が到着した時には二人はすでに息絶えてしまっていた。娘さんは笑っていたとのことで、見ることも出来ずにいる父親の気持ちが分かるかと怒っていた姿が忘れられず、痛ましい限りであった。建築としてあってはならないことが起きてしまい、今後に向けて原因調査を徹底しておかないといけないと思ったが、それ以来、頭から離れない事例となった。

1 月 23 日(火)の仙台地元紙河北新報にこのビルの写真とともに、『輪島・7 階ビル倒壊〔倒壊〕ではなく〔転倒〕が正しいが…』くい、基礎から抜けたか、東大調査「特殊事例ではない」との記事が載った。ビルの真正面からの写真であり、4 階の床でなく庇の方が地表面までめり込んでいることが見られたので、どの程度の転倒なのかを推定する図を作成してみた。その図を右に示す。

4 階の庇が地表面にあることを起点にして傾斜が水平面と 15° であること、寸法は鉄筋コンクリート造の場合、階高が 3.5m 程度であることを根拠にして写真から読み取り〔各階で微妙に違い、とくに 6 階と 7 階は階高が低い、すべて同じと仮定〕、地上



3 階分と地中に埋まっている 4 階分をそれぞれ計算して伸ばした。建物の幅は、4 階あるいは 5 階の庇から読み取り、階高から得られた寸法比をそのまま使って描いた。最終的に建物幅は 12m、高さは 24.5m の箱形となり、地中に埋まっている部分を描き出せ、深さは最大 3.7m であると推定出来た。この 1 階分の階高を超える沈下量には驚くしかなかったが、建研の報告書〔令和 6 年(2024 年)能登半島地震による建築物の基礎・地盤被害に関する現地調査報告(速報)、令和 6 年 2 月 14 日、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、以後建研速報と略記〕でも最大 3.5m の沈下があったとの推定が書かれており、筆者が描いたのは概算図であるけれどもあながちおかしい数字ではないと思ったものである。

建物の平面形は正方形に近いが転倒した写真で見られる側面が短辺であり、アスペクト比(高さ/幅)は作成した図から $24.5/12$ と計算され約 2 である。建研速報と照らし合わせてみると、地震時には東西方向に

揺れてロッキングが大きかったであろうが、最終的に転倒したのは東方向となっている。

この建研速報のほか、地盤工学会北陸支部令和6年能登半島地震被害調査団基礎構造部門調査速報、調査日2024.2.3（以後北陸支部速報と略記）、テレビ報道などに基づいて筆者が到達した現在の見解をまとめると以下の通りである。

このビルは1972年の竣工であり、敷地の地盤調査は昭和47年（1972）7月に行われている。筆者は当初液状化が心配される緩い砂層主体の地盤ではないかと想像していたが〔北陸支部速報では“液状化危険度3の液状化の規模はそれほど大きくはないが、ある程度の地盤の剛性・強度の低下は生じる”とされている〕、ボーリングの結果は以下のようにになっている。地表からGL-18mまでは一部に極薄い砂層（50cm程度）を挟むもののN値3～4の粘土層、その下が砂層となって12mほど続き、N値は10以下である。GL-30mほどの深さでN値60以上の約2mの粘土層がある。その下はまたN値10程度のシルト層がある条件なので、その層が支持層となりうるかどうか半断に苦しみそうな粘性土からなる全体としては軟弱地盤である。

1972年といえば、建築学会の基礎構造設計規準・同解説1974年版の2年前であり、既製杭の施工は打込み杭が普通であった時代にあたる。したがって、一応GL-30mのN値60以上の層を支持層と考えて打込み杭の基礎を採用したのではないかと想像する。杭種については、北陸支部速報ではRC杭（1955JIS）、PC杭（1968JIS）あるいは1970年頃から普及し出したPHC杭（この杭のJISは1982）のいずれかと想定されているが、建研速報では35cm径のPC杭A種（PC鋼材、7～8mm径8本）と断定的に書かれている。現地での杭の観察調査とJISとの照合などに基づいての結論であるが、観察による普通鉄筋とPC鋼材（PC鋼棒とPC鋼線と呼ぶ2系統がある）の区別は可能なのでRC杭であるかPC杭であるかの判断は出来ることが多い。ただし、PC杭であるか、PHC杭であるかの区別、言い換えればコンクリートの圧縮強度の違いは外観からは全く分からない（既製コンクリート杭は製品の段階では杭種が印字されるが、現場では長年の間に消えてしまうか切斷されて読み取れなくなっていることが多い）。しかし、1978年宮城県沖地震の被害調査とその後の原因追及のための実験的研究での筆者の経験からみれば、当時のプレストレストコンクリート杭と言えばPHC杭はまだ特殊であり、ほとんどがPC杭A種であったので、それより時代が古いことを考え合わせればPHC杭であるとは考えにくいので、建研速報の記述の信頼性は高いと判断することにした。

以下には現在までに筆者が得た結論的な見方を示すことにするが、まず、この建物について不可解な点があることを書いておきたい。北陸支部速報では次のような記述があるからである。

『所有会社Webサイトに「昭和47年（1972）地上7階地下1階（地下は現在埋設）工場兼店舗の社屋建設」とある。現地で地上に露出していた範囲（基礎幅の2/3程度）を確認した限りでは、パイルキャップ底面より深い地下室の存在は確認できなかったが、道路より奥側は土間コンの打設高さがパイルキャップ底面となっており、この部分を地下室と称していた可能性が考えられる。』

ここにはいくつかの不可解な点があり、謎めいた文章である。「地上は算用数字の7、地下は漢字の一で示されているのは何故か？」地下が「現在埋設」とはどういうことを言っているのか不明である。転倒した写真からみれば確かに7階あるが、地下室があるとすると8階分なければならない筈である。露出していない奥側1/3に一部地下室があるのか？〔これについては、地下室は後に増築した部分に付いているとの情報もある。〕

「道路より奥側は土間コン…地下室と称していた可能性が考えられる」の文章は実際には地下室はなかったと言いたいのか？転倒した写真の1階は外観も2階以上とは違う外壁となっており、この階が土間コンということか？疑問ばかりが続いてしまい、謎が深まるばかりである。

建研速報では次のような記述がみられる。「道路側の1階床スラブは基礎梁と一体化されておらず、土間コンクリートであった（仕上げ含め厚さ190mm）。」

結局、これらの情報をまとめるにあたって筆者は“地下階はなく地上7階建てであり、1階は土間コンの建物”と考えることにした。現在までに得られた要点は以下の通りである。

1) 露出した3つのパイルキャップには4本あるいは5本の杭頭埋込み孔の跡が見られるが、埋込み深さは小さなものであるから「あってもせいぜい5cmほどと推定される」、最近よく使われるようになっている定着鉄筋付きの中詰めコンクリートによる杭頭接合法ではなく、杭体を直接パイルキャップに接するように繋げる方法が取られたものと想像される〔杭頭部は削り出している筈であるのでプレストレスは抜けているであろうと思われる〕。このことは、杭中空部に型枠として取り付けられたベニヤ板が観察されていることから類推できる。

杭とパイルキャップの接合部の挙動については、建研速報では「確認できた範囲において、引抜き側の杭は全て杭頭がパイルキャップで破断していた」との記述がある。北陸支部速報では「地上に出ているパイルキャップは、全て杭本体からは分離していた」となっている〔主語が別の方向からの書き方になっているが、ニュアンスの違いは理解出来る〕。筆者は、杭頭接合部の破壊モードは地震動による水平力で“切断”されたというよりも、ロッキングによる鉛直方向（回転動であるから傾斜はあるだろうけれど）の動き“引抜け”あるいは“分離”が最も大きな要因であったのではないかと想像しているので、ニュアンスとしては北陸支部速報に近い。

2) 露出した3つのパイルキャップのうち2つの底面は基礎梁底面と同じレベルにあるが、道路側のパイルキャップだけは底面が基礎梁底面よりもさらに下がった位置にあることが気に掛かる。杭頭接合部の設計に統一性が感じられないからである。さらにそのパイルキャップからめり込んだ側へ伸びる基礎梁はせん破壊とも言える梁背方向のひび割れなどの損傷が著しい。それとともに、隣の基礎梁との間の空間が向こうまで通り抜けていて、1階の床がないのかと思わせる点が気に掛かる〔これは1階は土間コンであると前記したことに通じる〕。1階が土間コンであれば架構体としての一体性が崩れ、柱下のパイルキャップそれぞれが独自にバラバラに変位する可能性が増大するので、基礎梁が大破していると前記した破損に結びつくことになる。

3) 転倒して埋まった部分がかかなり大きい体積なので、それに応じた土が動かされた結果、地表面に大量の土が盛り上がっている。

以上が現時点での筆者の見解であるが、この被害事例を見て思い出す写真がある。1985年に起きたメキシコ地震の際にメキシコ市で転倒した9階建ての写真である。メキシコ市は湖を埋め立てて出来た世界的に



有名な超軟弱地盤である。地震が起きたのは9月のことであったが、その11月にJICAの仕事があつてペルーに行く途中でメキシコへ寄り、2週間ほど市内の状況を調査したことがあつた。その時に撮った写真2枚である。左の写真は、転倒した4階以上の部分がすでに撤去されており、残骸として残っていた3階まで

を撮影したもので、右側の写真は浮き上がった側の基礎と杭が見られる状況を示している。当初は杭が引き抜かれていることが被害の要点かと思われたが、よくよく観察してみると、以下のようなメカニズムで転倒するに至ったのであろうと考え直したのである。

9階建てなので地震時には建物のロッキング成分が大きい振動をしていたであろう。ということは、杭には地震動による大きな変動軸力を伴った繰り返し水平動が作用し、杭が破壊したのではないか。その損傷が激しくて杭の支持能力を全く失ったために直接基礎の状態になったことが考えられる。メキシコ市は超軟弱地盤であるから、押込み側の支持力が不足して地盤内へ傾斜を伴ってめり込むように沈下し、建物の重心が接地面の外へ飛び出して転倒した。その影響で、杭も引き抜かれたのであろうとの考えに至ったのである。

当時、建物が転倒するなどの被害は日本ではあり得ないと言った覚えがあるが、条件が重なるとどこでも起こり得る事例であると考えておく必要がありそうである。今回の輪島市の事例もこのメキシコの事例と酷似していると思えてならないのである。9階建てと7階建ての違いはあるがロッキングの成分が大きい振動をしたであろうこと、杭は大きな軸力変動を受けながら地震動を経験していたであろうこと、などが想像される。その影響で杭は大きなダメージを受けたのではないか。

建研速報に次のような記述がある。「東側の地表面で1本の頭部が確認された。杭頭は目測で西側に30°程度傾斜しており、杭の中空部にコンベックスを挿入したところ1.1m程度で止まった。深さ1mで杭に顕著な破壊が生じている可能性が示唆される。」この“顕著な破壊”とは、宮城県沖地震（1978）の調査や、その原因追及で行った実験、さらにその後いくつかの地震で被害状況を観察した筆者の経験に基づけば、PC杭の被害形式である“せん断破壊としての斜めひび割れ”が典型的なものであるが、今回の場合はそれを通り越した全面圧壊に近い損傷であったのではないかと思われるのである。せん断破壊としての斜めひび割れの場合でも支持力低下を起こしているが、沈下量は最大でも数十センチメートルであり、今回のような階高あるいはそれを超えるメートルオーダーの沈下ではないから、被害程度は違うと考えた方がよいと思われる。それでも建物の傾斜や、他の棟との接続部の段差などの被害となって現れるので“大沈下”による被害であることに変わりはない。斜めひび割れの被害の場合でも杭の断面欠損は生じているが、全面的な圧壊までには至っていないので、ある程度の支持性能は残っているから転倒までには至っていないということなのであろう。

今後は杭の断面欠損の割合が被害程度を知る上で重要な要素になるのではないかとと思われる。極一部なのか、3割程度なのか、5割程度なのか、それともそれを超すのかといった具合である。今回の場合は転倒まで起こしてしまったので、断面欠損5割は優に超えて、ほぼ全面にわたっていたのではないかと想像される。杭は“ぐちゃぐちゃ”になった状況になり、支持能力を完全に失ったため、いわば直接基礎状態になって、軟弱地盤の地耐力不足が重なって沈下・傾斜が進行し、建物の重心が底面を飛び出して転倒に至ったという経緯をたどったのではないか。とすれば、メキシコ地震の事例と全く同じではないか、それ以外にはこのような階高を超えるような沈下を起こす原因は考えられない。

筆者の想像ではあるが、以上がこれまで得た情報を総合して得た現在の見解である。今後への教訓として本格的な原因追及がなされることを望みたい。

注）ある筋からこの建物は五島屋ビルという名前であることを知った。インターネットで調べてみると、輪島塗の老舗であり、工場のほか店頭としても使われているとのことである。巻き添えを食った隣のご主人が転倒の原因がはっきりするまで解体をしないようにとの要望を出しているらしい。人命を失った事例でもあるから、原因調査と今後への対策が早急に望まれ、筆者の願いでもある。