

耐震補強・新耐震建物の地震被害への地盤の影響

元前橋工科大学 フェロー会員 那須 誠

1. はじめに

前回までの本発表会で主として東北地方での各種の地震被害と地盤の関係について発表してきた¹⁾。今回は2011年東日本大震災で被害を受けた耐震補強建物や、新耐震設計法でつくられ建物の代表例について調べたところ、被害に対して地盤不連続点の影響が推察されたので報告する。

2. 地震被害事例と地盤の関係

東日本大震災で耐震補強済の東北大学人間・環境系(旧建設系)建物や市貝中学校校舎等、新耐震設計法でつくられた西多賀小学校校舎等が被害を受け、その他に免震・制震建物でも問題が発生している。以下に2つの事例の被害と地盤の関係について述べる。

(1) 東北大学人間・環境系(旧建設系)建物(独立基礎、支持杭基礎)

この建物は、1978年2月と6月(M=7.4)の宮城県沖地震で被害を受け、前者では主に窓ガラス破損等、後者では同破損のほかに妻壁含む耐震壁とこれに連なる境界梁等にせん断亀裂等が生じた。このときの地震力は梁間方向に特に大きく作用した³⁾。この建物は段丘上のほぼ東西方向の小さな沢地形上にほぼ東西に長く、しかも旧沢筋よりも北側斜面に寄せて作られており(図1⁴⁾)、基礎地盤は西側と北側は地山で東側と南側は盛土で、盛土は西側から東側に、北側から南側に厚い。このため盛土及び原地盤表層の軟らかい土層内の杭の長さは北側で短く南側で長く、西側から東側に長いため、建物は東西、南北両方向に異種支持地盤状態にあり、それらの方向の不同変位で被害が生じたことが考えられる。普段から生じ地震でも生じた建物の振じれ³⁾は盛土が厚くなる方向(震央方向とほぼ直角)に大きく揺れて生じたが、盛土厚さが一定でなく最も厚くなる方向と桁行方向が斜交していたため生じたこと、盛土や地盤には最も厚くなる方向に揺れやすい性質があるため振じれや被害が生じたことが考えられる⁴⁾。なお、土質柱状図(図3の Bor. No. 1)³⁾の深さ7m付近と22m付近にあるN値極小値の軟弱層の影響も考えられる²⁾。

1998年9月の仙台市近郊地震(M=7.4)で地震力は桁行方向に卓越した⁵⁾。宮城県沖地震では北側棟(低層棟)東側の下の原地盤面等高線(ほぼ東西方向)にほぼ直角な方向に、研究棟(高層棟)の真下の埋没原地盤面の谷筋方向と直角な方向に、仙台市近郊地震では南側棟(低層棟)の下の原地盤面等高線(ほぼ南北方向)にほぼ直角な方向に地震力が作用しているが、それらの地震力作用方向はいずれも盛土厚さの変化方向である²⁾。この地震では講義棟(RC造、2階建、Expansion joint E.J.で9階建てSRC造の研究棟部分と分離)の柱(地山の切土上か)に曲げ及びせん断亀裂が発生した(図4⁵⁾)。柱には北面と南面に東下がりの斜め亀裂、東面と西面に水平亀裂が発生したが、柱Gの西面には水平亀裂が見

当たらず、柱脚部が東側から西側に向かう強い水平力を受けた。窓ガラス破損も起き、E.J.部にある北側棟建築学科の講義室で天井が落下した。後者ではE.J.部の隙間に開閉等があったことが推定される。研究棟では宮城県沖地震で生じた耐震壁の亀裂がこの地震で進展し、コンクリート剥落も生じ、研究棟2階の西側妻耐震壁に平行なブロック造非構造壁が面外方向(桁行方向)地震力で頂部に残留変形が生じた⁵⁾。柱の亀裂は南側棟においてE.J.よりも西側で顕著に生じたが、E.J.の隙間が北側棟で開いて広くなり、南側棟で閉じて狭くなったことと関係があるようだ。南北棟のE.J.の隙間がそのように変化したのは、建物の下の盛土、地盤表層の状態に応じて建物が変位した結果として建物の東側が右回り(南回り)に回転したように振れたためと考えられる。なお、仙台市近郊地震以前から南棟1階のE.J.より東側にあるコバルートルム側壁に斜め亀裂(図5、南面と北面は東下がり、東面は北下がり)がみられたが、南面と北面の亀裂は仙台市近郊地震で生じた2階柱の亀裂と似ており、東面の斜め亀裂は宮城県沖地震で生じた研究棟3階の東側妻壁の南側の北下がり斜め亀裂と似ている²⁾。これまでに述べてきた、地震時の地盤変位による建物と基礎の変形機構を図化して図6に示す。

この建物は仙台市近郊地震後、2000年秋から2001年春にかけて鉄骨ブレースと鉄筋コンクリート壁の打ち替え等による大規模な耐震補強工事が実施された。2005年の宮城県沖地震や2008年の岩手・宮城内陸地震も経験している。東日本大震災では柱や壁が破壊し取り壊された。セトバックした3階の4隅の外柱すべてが大破(柱脚部、鉄骨の抜け出し座屈、主筋の破断・座屈)⁶⁾したが、ここは構造の急変化点(いわゆる剛性変化点)で、歪(応力)の集中箇所であるため、3階以上の補強をもう少し余分にしておけばその破壊を防げたのではないかと推察される。

(2) 西多賀小学校校舎

L字型配置の北校舎と西校舎(共にRC造3階建)の内、東日本大震災で西校舎(築約20年、新耐震建物)が被害を受け、北校舎(築約30年、旧耐震建物、補強済み)は無被害である。西校舎の柱・壁に多数のひび、内部壁に多数の剥落、校舎裏側に地盤沈下箇所が発生した⁷⁾。図7の治水地形分類図(更新版と初版⁸⁾に加筆)をみると、校舎敷地は氾濫平野(沖積地盤)に接する段丘面(台地)端部にあり、特に西校舎の南側部分は谷状地形の氾濫平野近くにあるが、さらに文献9)をみるとこの南側部分に比較的大きい亀裂等の損傷が発生している。

ここで、東日本大震災で先端部約5mが東側に約2度傾く被害を受けた東京ターの地盤について述べる。東西南北4本の脚のうち東側の脚の方向に先端部が折れ曲がった。ターは丘陵地にあり、東側には南東方向に伸びる谷地形がありその谷側に傾く傾斜地盤上に建ってい

キーワード:耐震補強, 新耐震, 建物, 地震被害, 地盤, 不連続点

〒359-0021 埼玉県所沢市東所沢 2-34, E-mail:mktonasu@amail.plala.or.jp

る。東側脚の地盤に N 値 3 ~4 の軟弱層が約 3m の厚さであり、西側脚の地盤に N 値が倍近くの土層が約 1m の厚さでみられ、西側よりも東側の脚の方の地盤に軟弱土層が厚く堆積している。このような地盤内の軟弱層の不均等な分布がター先端的の折れ曲りに影響したことが考えられる¹⁰⁾。

このように谷状地形の地盤に他の地盤より比較的軟らかい土層が含まれ、脇の洪積地盤等にもそれが続いて不均質地盤になっていることが多く、谷状地形の氾濫平野近くにある西多賀小学校西校舎の被害も同様な地盤構造で被害を受けたことが推察される。今後、詳細な地盤調査結果を探して確かめる予定である。

3. おわりに

以上のように、東日本大震災で発生した耐震補強建物と新耐震建物の被害について調査した結果、地盤の影響が大きいことが推察された。今後も調査を継続して深度化を図る予定である。なお、以上の調査でお世話になった関係各位に厚く御礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 例え、那須誠：東北地方における地震被害と地盤の関係，平成 21 年度土木学会東北支部技術研究発表会講演概要集，CD-ROM，I-18，2010. 3.
- 2) 那須誠：建物の地震被害と異種支持地盤の関係，第 35 回地盤工学研究発表会発表講演集，p. 1881-1882，2000. 6.
- 3) 志賀敏男，柴田明徳，渋谷純一，高橋純一：東北大学工学部建設系研究棟における強震応答実測とその弾塑性応答解析，日本建築学会論文報告集，第 301 号，pp. 119-129，1981. 3.
- 4) 那須誠：震央方向と直角に生じた地震被害と地盤構造，鉄道総研報告，第 5 巻，第 4 号，pp. 53-61，1991. 4.
- 5) 日本建築学会東北支部構造部会編：1998 年 9 月 15 日仙台市近郊の直下型地震調査報告，1999.
- 6) 東日本大震災に関する東北支部学術合同調査委員会報告書 DVD，第 8 部門 建築工学，2013. 9.
- 7) 伊藤俊介：仙台市立西多賀小学校学校再開の現状ヒアリング・視察報告，電機大学，2011. 7.
- 8) 地理院地図(電子 Web)，治水地形分類図(更新版，2007~2012 年)，治水地形分類図(初版，1976~1978 年)。
- 9) 日本建築学会東北支部 2011 年東日本大震災災害調査報告(CD-ROM 版)，2015. 5.
- 10) 那須誠：東日本大震災等による各種構造物被害と地盤の関係(その 3)，第 57 回地盤工学シンポジウム論文集，No.34，pp. 207-214，2012. 11.

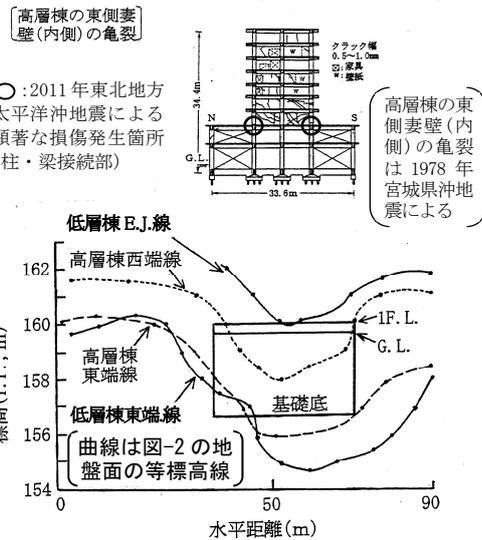


図-1 人間・環境系建物変状と地盤断面の関係(1978 年宮城県沖地震の際の亀裂・地盤断面図の関係図⁴⁾に加筆)

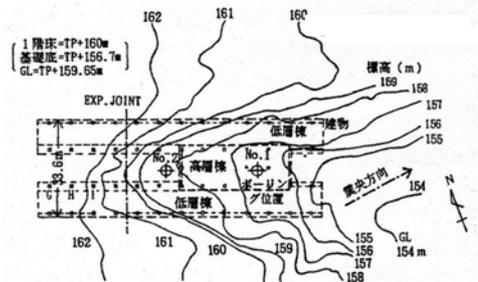


図-2 人間・環境系建物配置図(等高線は建設前の原地盤面の等標高線)^{3), 4)}

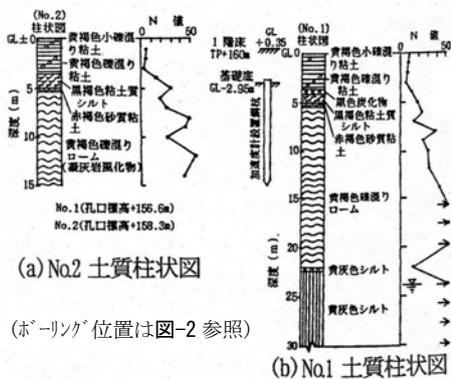


図-3 人間・環境系建物配置図^{3), 4)}

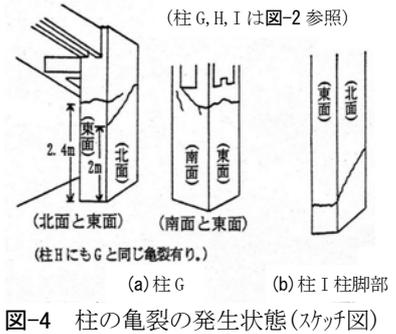


図-4 柱の亀裂の発生状態(スケッチ図)

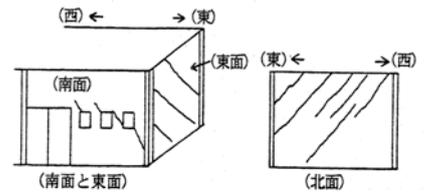
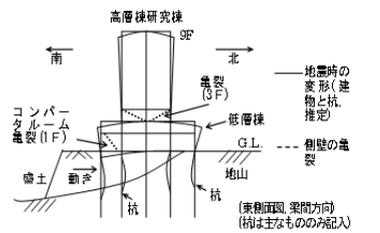
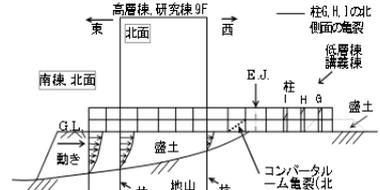


図-5 コンバーカラム側壁の亀裂(スケッチ図)

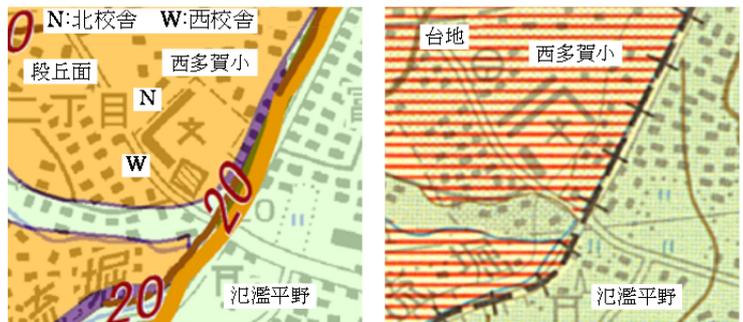


(a) 東側面図(亀裂は 1978 年宮城県沖地震で発生)



(b) 北側面図(柱 G~I の亀裂は 1998 年地震で発生)

図-6 地震時の地盤変位による建物・基礎の変形機構推定模式図



(a) 更新版(2007~2012 年) (b) 初版(1976~1978 年)

図-7 西多賀小学校の新・旧治水地形分類図上の位置(原図⁸⁾に加筆)