東日本大震災等による各種構造物被害と地盤の 関係

那須 誠

フェロー会員 博士(工学) 前・前橋工科大学 (〒359-0021 埼玉県所沢市東所沢2-34-8)

過去の地震によって被害を受けた構造物と地盤の関係を調べた結果から、各種構造物が地盤の不連続点で異種支持地盤状態等で被害を受けることが多いことを明らかにしてきた。今回、2011年3月11日にマグニチュード9.0の東日本大震災で各種構造物に被害が発生したので、被害構造物の地盤を調べて両者の関係を明らかにした。対象は建物、製油所等構造物の他に液状化地盤等も含まれている。この調査結果から、過去の地震被害構造物と同様に不連続地盤で異種支持地盤状態等でつくられた構造物等が多いこと等が分かった。

キーワード: 2011年東日本大震災,各種構造物被害,液状化点,地盤不連続点

1. まえがき

これまでにも過去の地震によって被害を受けた構造物と地盤の関係を調べ,各種構造物が地盤の不連続点で異種支持地盤状態等で被害を受けることが多いことを明らかにしてきた¹⁾.今回,2011 年 3 月 11 日にマグニチュード 9.0 の東日本大震災でも物に被害が発生したので,種々の被害構造物に被害が発生したので,種々の被害構造物の地盤を調べ,両者の関係を明らかにした.この調査結果から,過去の地震被害構造物と同様に不連続地と等が分かった.そのほかに,液状化的連度が組入ともに,複数の地震で大きい加速度がの地盤と同様であること等を述べる.

2. 構造物の地震被害と地盤不連続点の関係

構造物の地震被害が多い地盤の不連続点では**図-1**に示すように地震時の変位変化(不同沈下や水平変位差からなる不同変位)が大きく,その変位勾配(微分値)の歪も大きく集中する。この歪には次に述べるようにせん断歪γと垂直歪εがある²⁾. 構造物の地震時の損傷は地盤の不連続点で上部工等の剛性変化点に発生することが多く,例えば鉄筋段落とし部や部材の溶接部等で発生する。なお,一般に、剛性変化点での損傷は軟質側で発生するが,その発生位置は**図-1**の歪の集中位置である。

図-2 に示すように、鉛直断面内(面内方向)の地盤の不同沈下量を水平距離で除すればせん断歪 γ_{ν} (図-2(a)),紙面垂直方向(面外方向)の水平変位差を水平距離で除すればせん断歪 γ_{τ} (図-2(b)). 紙面平行方向

(面水をで垂図水 $^{\circ}$) 一ないの差離ば、(がる図で位に場ら従うない、平方す考る、のはが発合れっての位距れ $^{\varepsilon}$)) れお、(c)変向るえ、地

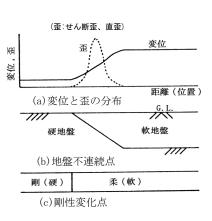


図-1 剛性変化点の変位と歪 の分布²⁾

震時の地盤変位による構造物の被害機構として図-2 に示すように3つが考えられる. 即ち, 地盤のせん 断歪が関係する地盤の不同沈下で強制的に構造物が せん断変形(部分沈下,不陸被害)させられたり(図-2(a)), あるいは地盤のせん断歪が関係する地盤の水平 変位差で構造物が捩れ変形(せん断変形)させられた りして(図-2(b)),被害が発生することが考えられる. また,垂直歪が関係する地盤の水平変位差で発生する, 大きい偏土圧(特に圧縮側の受働土圧)が基礎等に作 用することによって,基礎あるいは上部工が大きい損 傷を受けたり(建物の崩壊、橋脚の折損等)、橋脚間 隔変化による桁の落下等が発生したりすることが考 えられる(図-2(c)). 但し図-2 の各作用力は実際には 単独でなく複合して作用することが多いと考えられ る. また, 以上のせん断歪(ずれや, 捩じれ)と圧 縮・引っ張り歪からなる3つの歪と変形の考え方は 部材(コンクリートやスチール製の脚柱,橋脚や桁 等)にも当てはまることが考えられる.

3. 被害事例 と地盤の関係

次に今回の地 震を中心にして 被害事例と地盤 の関係を述べる.

(1) 九段会館天井 落下

東京で館模図付形図い破を大九がし段在の30に示跡書でを大九がし段在旧さをきある。 は現に示跡書でをまるのの図4に示跡書でをみの図を表した会の地れ太加るるのでを表した。

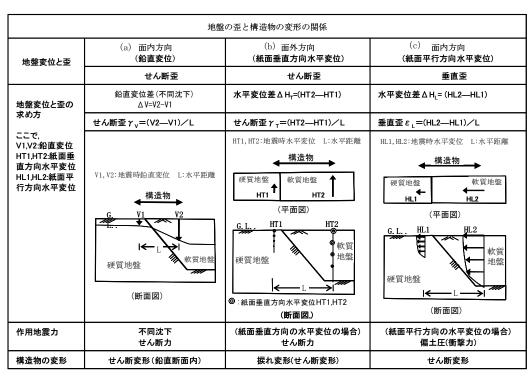


図-2 地盤の不連続点と構造物の地震時変形の関係(文献 2)を修正)

九段会館のホールのある北北西部は池跡に跨ってつくられており、ホールが異種支持地盤状態につくられていたため被害を受けたことが分かる.即ち、地盤の不連続点で地盤に不同変位が発生して建物に歪みが生じて天井が落下したものと推察される.

(2)コスモ石油千葉製油所火災

東日本大震災でコスモ石油千葉製油所でLNGタンク火災が発生した(図-4⁵).本震と余震の茨城県沖地震で満水状態の364番タンクの多くの支柱筋交いの破断,支柱座屈によりタンク本体が倒壊したのに伴って,近接する複数の配管が破断して漏洩,拡散したLPGに着火したといわれている⁶.その位置を地質図⁷に落としてみると図-5のようになり,そこは干潟と海(東京湾)の境界部に当たる.即ち,その敷

地(埋立地)は地山と海の境界部即ち地盤の不連続点に位置しており、前述の九段会館と同様な地盤状態であったことが分かる.

なお、千葉ポートタワー⁸⁾は制振装置(ダイナミックダンパー)が設置されているにも拘らず 1987 年千葉県東方沖地震他の地震で大きい加速度が観測されているが、その地盤を同地質図で調べてみると、コスモ石油千葉製油所のタンク火災箇所の地盤と同様に、干潟と海の境界部に当たり、地盤の不連続点でそのような現象が発生していることが分かる. その外に、東日本大震災で宮城県女川町の鉄筋コンクリート造ビルが横転・移動 ⁹⁾したが、それは旧海岸付近に存在したビルで発生したことが調べられており ¹⁰⁾、コスモ石油千葉製油所のタンク火災箇所の地盤と類似の地盤不連続点である.



図-3 九段会館の位置 3)と池跡 4)の関係



図-4 コスモ石油千葉製油所火災 5)



図-5 コスモ石油千葉製油所火災位置の地質図 7)

3) JX 日鉱日石エネルギー仙台製油所火災

JX 日鉱日石エネルギー(旧東北石油)仙台製油所で東日本大震災により大規模な火災が陸上出荷設備で発生した ¹¹⁾. ここでは 1978 年宮城県沖地震によって屋外タンクの底部(側板とアニュラ接合部)が破断し内容物が流出したり、配管の破損による漏洩、不同沈下等が発生した。内容液のスロッシング、タンク側壁の座屈なども大規模に発生したが、敷地地盤内の基盤が傾斜している部分で普段からの不同沈下方向(基盤面傾斜方向に一致)にスロッシングやタンク側壁の座屈が発生していることが調べられている(図-6¹²⁾参照). また、仙台製油所においては以前から火災や内容物漏洩等が複数回発生しており ¹³⁾、これには地盤の不同変位(不同沈下や水平変位差)が影響していることが推察される.

(4) 日本科学未来館の天井落下

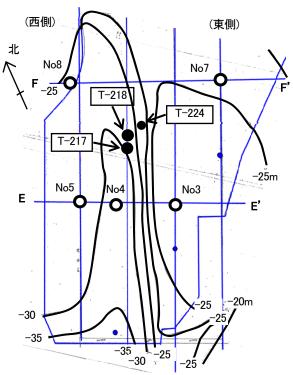
東日本大震災で日本科学未来館でエントランスの1階から6階までの吹き抜けの部分の天井やそれを支える金具が破損して落下した¹⁴. **図-7**(文献15)の図63に追加)をみると、日本科学未来館は同図の矢印の先端部にあり、ここは埋没上位波食台の縁に当たり(その西側は埋没谷の丸の内谷)、地盤の不連続点にあること、一様地盤で無いことが分かる.

なお,地盤の不連続点に位置している日本科学技 術未来館の位置は,1995年兵庫県南部地震で被害を 受けた芦屋浜(埋立地)の巨大架構マンションの杭の

先端深度が同じでなく、OP-25.5~32.5m と変化していること 16),17)や地形から推定されるマンションの位置の地盤と似ているものと考えられる.

(5) 新浦安と舞浜の液状化発生地点

東日本大震災で浦安市の新浦安と 舞浜で図-8(文献 18)と 19)を集成) に示す地点(〇印)で液状化が発生し た. それらの地点は、図-9 に示す ように前述の日本科学未来館と同様 に、埋没下位波食台の縁に当たり、 地盤の不連続点にあること、一様地 盤で無いことが分かる. また, 旧地



等高線は基盤面深度(標高(T.P.m))

- ボーリング位置
- 側壁が破断した石油タンク位置

図-6 石油タンク位置と地盤内の基盤状態12)

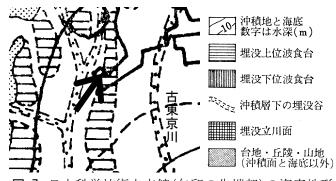
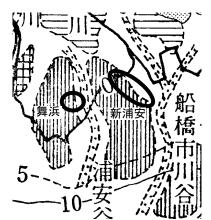


図-7 日本科学技術未来館(矢印の先端部)の海底地形 と沖積層に埋もれた地形(文献15)の図63に加筆)



図-8 舞浜と新浦安の液状化発生地点(文献 18)と 19)を集成)





(太実線楕円内が液状 化発生地点)

図-9 舞浜と新浦安の液状化発生地点の海底地形と沖積層に埋もれた地形(文献15)の図63に加筆. 凡例は図-7参照)

形図²⁰⁾によると舞浜の液状化発生地点は干潟の中の 澪筋に当たる.

なお、地震による再液状化の調査結果が文献 21)に 述べられており、それによると山形県遊佐町では 4 回も発生しているが、その地点は砂丘と低地の境界 である.上記と同様に再液状化が地盤の境界部(地 盤の不連続点)で発生していることが分かる.

なお美浜三丁目の液状化発生地域の土質柱状図 ²²⁾ をみると、地下水位は 2m 程度で、地表から深さ 6m までが N 値 ≒0 の埋土(シルト質細砂)、6~13m が N 値 20 程度のやや固い沖積細砂層、13~30m が N 値 1 程度の沖積粘性土(シルト)、30~41m が N 値 5 程度の洪積粘性土(粘土)、41m 以深が N 値 ≥50 の洪積細砂層であり、軟弱粘性土層が極めて厚く堆積している。地震のときにこの土層が大きく増幅し、かつ地盤の不連続点での不同変位の発生に大きく影響したことが推察される。

(6)屋根瓦破損

東日本大震災で所沢市内の柳瀬川畔の民家の屋根 瓦が破損した.その位置は図-10²³⁾に示されている. この図と旧地形図²⁴⁾,村全図²⁵⁾等を参照すると被 害建物の位置は川沿いの畑(砂州で自然堤防)と西側 の田圃の境界部に当たる.そのため,畑の砂礫質土 地盤と田圃の粘性土地盤の境界部という地盤の不連 続点で被害が発生したことが推察される.現在でも 脇の道路を自動車が通るときには建物に地盤振動が 大きく伝播してくると言われており,ここは一般的 に地盤振動が大きく出る地盤に属している.

(7) 東北本線梅ヶ沢・新田間の盛土崩壊

東日本大震災で図-11に示すように、東北本線梅ヶ沢・新田間の大浦架道橋(412K250M)の青森方で、下り線側(旧線)盛土が崩壊した^{26),27)}. 1962年宮城県北部地震でもほぼ同じこの付近一帯で下り線(旧線)側盛土で崩壊や沈下(最大で1.7m陥没)が発生しているし^{28),29)}, 1978年宮城県沖地震でもこの付近で沈下、通り狂いが発生した経歴がある³⁰⁾. この付近は丘陵

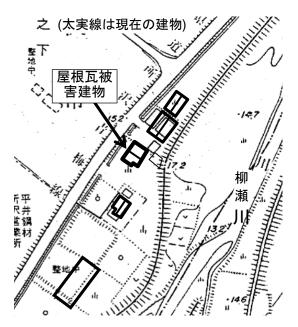
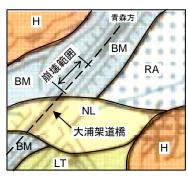


図-10 屋根瓦破損建物の地形図23)



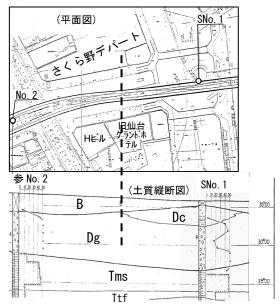
図-11 東北本線梅ヶ沢・新田間の盛土崩壊 地点の空中写真(文献 27)に加筆)



BM:後背湿地 NL:自然堤防 RA:干拓地 H:丘陵地 LT:低位段丘

図-12 盛土崩壊箇所付近の地形(文献 31)に加筆)

地に樹枝状の谷が発達しており線路は谷を縦横断している。図12は崩壊箇所付近の地形分類図を示す³¹⁾、大浦架道橋は谷地形の自然堤防上にあるが、崩壊盛土は後背湿地の礫・砂・泥から成り立つ軟弱地盤上にあり、谷地形の上流側(北西方向)に崩壊している。その地盤と被害形態は、1987年12月の千葉県東方沖



B:盛土·表土層, Dc:洪積粘土層, Dg:洪積砂礫層, Tms:第3紀泥岩, Ttf:第3紀凝灰岩

図-13 さくら野デパート側壁損傷落下付 近の地盤(文献33)に加筆)

地震で崩壊した外房線大網駅構内の盛土の被害³²⁾と 類似である。

(8) さくら野デパート側壁損傷落下

東日本大震災で仙台駅前のさくら野デパートの南側壁が損傷して落下した. 道路をはさんで向い側の旧仙台グランドホテルの北側壁面が 2008 年 6 月の岩手・宮城内陸地震の際に,窓ガラスが破損して落下したが,その現地を見ると建物正面沿いの歩道の高さが東側(図-13 の右方向)に段差を伴って低くなっており,この歩道の段差の位置が地盤条件の変化点でそこを境にして東側の地盤が比較的軟らかく,西側の地盤が比較的固いことが推定された 330. ここで,建物の直下ではないが近くの地盤調査結果を示す図-12 をみると歩道の段差の位置が,洪積層砂礫層(Dg)の上にある盛土・表土層(B,西側)と洪積層粘土

161 162 160 (等高線は原地盤面標高) 1階床=TP+160m 基礎底=TP+156.7m GL=TP+159.65m 標高 (m) 159_158 EXP. JOINT 157 156 低層棟 155 No. f 高層棟 霍史方向 Ф _፝ቍ _ <u>ജ</u> (ーリン グ位置 T g 'n 低層棟 162 161 160 156 154 m 157 平面図(建物周辺の原地形)

図-14 東北大学人間環境系建物の位置と地盤状態 35),36)

層(Dc, 東側)の境界部(太破線位置)に相当していることが分かる. また,自然に堆積した洪積層粘土層(Dc)には軟弱な地層が含まれていることが想定され,建物が地盤条件の不連続点に存在していたために被害が発生したことが考えられた.

今回のさくら野デパートの側壁損傷落下地点も旧仙台グランドホテルの窓ガラス落下地点と略同じ地盤のて側壁が歪んで側壁の損傷落下が発生したことが分かる. なお,2005 年福岡県西方沖地震時の窓ガラスと外壁の落下も,旧仙台グランドホテルと同様に建物沿いの歩道に段差のある位置で発生したことが調べられており³⁴,ここもさくら野デパート等と同様の地盤状態であったことが推察される.

(9) 東北大学人間環境系建物損傷

東日本大震災で東北大学人間環境系建物(旧名:建 設系建物)が取り壊さなければならないほどの被害 を受けた、この建物は過去にも被害を受けており、 その都度補修補強されて使用してきた経歴がある ^{35), 36)}. 同建物は**図-13, 14** に示すように丘陵の谷間 の盛土に、しかも谷の北側斜面部に寄せてつくられ ている. 同建物(旧名:建設系建物は1978年2月と6 月(M=7.4)の 2 回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が生じた.後者では窓ガ ラス破損のほかに耐震壁(妻壁含む)とこれに連なる 境界梁等にせん断亀裂等が生じた. このときその斜 面の最大傾斜方向(谷軸直角方向)の梁間方向に強い 地震力を受けている. さらに,この建物は 1998 年 9 月の仙台市近郊地震(M=7.4)のときは桁行方向の地 震力を受けて,柱に斜め亀裂が発生している. 宮城 県沖地震では北側低層棟の東側直下の埋没原地盤面 等高線(ほぼ東西方向)にほぼ直角な方向に,あるい は高層棟からなる研究棟の真下の埋没原地盤面の谷 筋方向とほぼ直角な方向に地震力が作用した. 仙台 市近郊地震では南側低層棟直下の埋没原地盤面等高 線(ほ

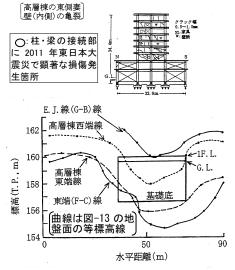


図-15 東北大学人間環境系建物の変状 (1978 年宮城県沖地震の際の亀 裂と地盤の関係 ^{35),36)}に追加)

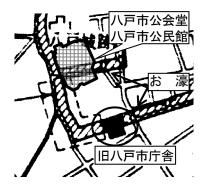


図-16 八戸市公会堂とお濠跡と旧地形図 33)

ぼ南北方向)にほぼ平行な方向(この方向は埋没谷軸方向で、埋没原地盤面が西側から東側に傾斜している)に地震力が作用している. 両地震による地震力作用方向はいずれも谷の埋立盛土厚さの変化方向である. なお, 敷地の土質柱状図をみると深さ 7m 付近と 22m 付近で N 値が極小値を示す軟弱粘性土層があり, この層も地震時の地盤の動きに大きく影響したことがか考えられる.

以上より、東北大学建物は斜面の造成地で支持杭をもち異種支持地盤状態で被害を受け、しかも図-14のボーリング位置では礫混じり土層の下に軟弱粘性土層等からなる弱層があり、ここは上下逆転地盤

となっており不同変位や滑り等 が起きやすい地盤であると考え られる.

(10) 八戸市公会堂・八戸市公民 館被害

東日本大震災で被害が発生した八戸市公会堂・八戸市公民館では、過去の地震でも側壁の亀裂や天井落下等の被害が発生している³³⁾.即ち、八戸市公会堂

では1994年三陸はるか沖地震で壁面に亀裂等が入り、2008年7月24日に発生した岩手県沿岸北部地震で天井落下等の被害³³⁾が生じた.この建物は**図-15**に示すようにお濠埋立地と地山に跨がってつくられている.八戸市公会堂の三陸はるか沖地震で発生した東西両側の壁面の亀裂は縦方向に発生しているのを1999年8月に現地でみたことがあり、このことはその建物が南北方向にお濠跡に跨って建てられていることを示していると考えられる.両者とも異種支持地盤状態にあったことが地震被害の主原因であったことが考えられる.

なお、付近の旧八戸市庁舎は1968年十勝沖地震と1987年岩手県中部地震、1994年三陸はるか沖地震の3回の地震で被害を受けているが、図-15に示すようにお壕跡埋立地と地山に跨って異種支持地盤状態につくられていて被害を受けている³³⁾.

(11) 緑ヶ丘(旧寿山団地)被害

東日本大震災で白石市にある緑ヶ丘団地が被害 を受けている.この団地は元々は寿山第四団地とい



₹ 埋土の範囲 旧谷底の等高線 造成後の等高線 地震による崩壊土の範囲

図-17 寿山団地盛土の崩壊図(1978 年宮城 県沖地震)³⁷⁾

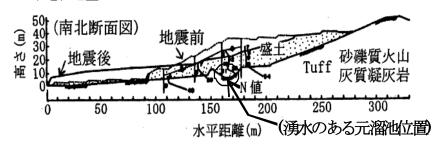


図-18 寿山団地盛土の 1978 年宮城県沖地震崩壊前後の断面図 37)

われたところであり、1978 年 6 月の宮城県沖地震 で同団地の宅地造成盛土が図-16~17 に示すように 大規模(土量約8万 m³) に滑って崩壊している 37). そ の崩壊部の側方は切土と盛土の境界部にほぼ一致し ていた.この盛土は元の谷を埋めてつくられており, 元の谷には旱天でも涸れたことがないという湧水と それを受ける溜池が存在していた. また,ここの盛 土の末端の法面には,前々年の夏に台風による強い 雨の影響で崩壊して土石流が起きた経歴があること と,地震による崩壊箇所がほぼその強雨の際の被害 箇所と一致していたこと等が報告されている. この ように湧水があって雨による崩壊歴があったこと等 を考慮すると、ここの盛土は水を溜めやすい構造に なっていたこと等が崩壊に影響したことが推定され ている. 今回の被害は前回とはまったく同じではな いが、上記の地盤の構造が影響したことが考えられ る.

(12)入間市市民会館被害

東日本大震災で入間市市民会館の天井が破損した.

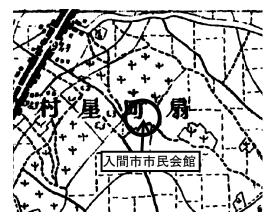


図-19 入間市市民会館と旧地形図38)

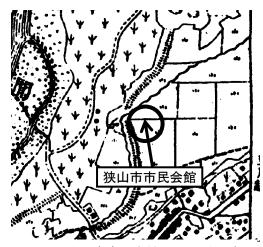
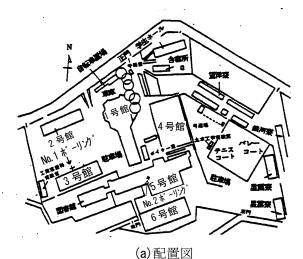


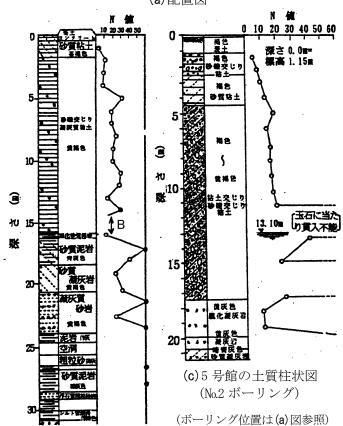
図-20 狭山市市民会館と旧地形図39)

旧地形図(図-18)³⁸⁾の上に同会館の位置(矢印の先端付近)を示すが、ここは植生の境界部で地盤条件の境界部と考えられるところであり、異種支持地盤状態に会館があったため被害を受けたことが推察される. 隣のの狭山市市民会館は無被害であったが、付近の旧地形図(図-19)³⁹⁾をみると、矢印の先端付近に同会館があるが、ここはほぼ一様な地盤と考えられるところである. 上記の2つの会館のうち片方が被害を受け、もう片方が被害を受けなかったのは、このような地盤の違いによるものと考えられる.

(13) サニーハイツ高砂被害

東日本大震災でサニーハイツ高砂が被害を受けた.サニーハイツ高砂は築35年の14階建てのマンションでL字形に建つ2棟が激しくぶつかり合うとともに、窓やドアは変形し、廊下の壁には亀裂ができて鉄筋がむき出しになった 40 . サニーハイツ高砂は1978年宮城県沖地震でも被害を受けており、敷地の地盤内の中間位置に標準貫入試験のN値=0の弱層がある.このように軟弱地盤でも上方の地盤がそれ程弱くないのに、中間に弱層(多くは粘性土からなる)があるため上下逆転地盤となって被害が生じている 41 .





(b) 3 号館の土質柱状図 (No.1 ボーリング)

図-21 東北工業大学の建物配置と地盤状態 35)

(14) 東北工業大学被害

東日本大震災で東北工業大学の正門を入って右側にある建物が、免震装置のオイルダンパー(2005年取付)の効きが不足して大きく揺れたと言われている.1978年宮城県沖地震等でここのキャンパスの建物に被害が発生している.そのときの様子を以下に述べる.図-20(a)³⁵⁾に示すように、ここのキャンパスは段丘上の沢地形部(澪筋がほぼ北側から南側に下がる)に存在している.図20(b)に示す旧3号館の土質柱状図によると、深さ14.7~15.5m(同図のB付近)に含水比が高く非常に軟弱で無水掘進でもコア

が採取できない弱層がある.5号館の土質柱状図にはそのような弱層が見られない.1978年宮城県沖地震では壁や柱への各種亀裂その他の被害が生じたが、3号館は取り壊した後で建て替えられ、5号館(RC造,5階建,B3F)はその後補強して使用されたが、1998年仙台市近郊地震で5号館で壁に亀裂等が発生し、6号館で柱や壁、床に亀裂が発生した.両地震ともに地震力は亀裂等から推定すると、東西・南北両方向に大きく作用している.谷地形と斜面地形状態からそのように地震力が作用するのは、谷筋方向と谷斜面方向に下り勾配になっているためと考えられる.

今回の建物の大きく揺れた位置は正門の右側にあり、高含水比の非常に軟弱でコアが採取できない弱層がある範囲であり、地震のときにこの地層が大きく影響したことが推察される.

(15) 防災科研被害

東日本大震災で防災科研の建物が酷く揺れたといわれている。そこで文献 36)をみるとここの地盤状態はかなり複雑であることが分かる。堆積するいくつかの土層がほぼ水平に堆積していないし,極軟弱粘性土層がみられるが厚さが急変するところがあり(地盤が水平,上下方向に不連続),これまでの地震被害調査結果から、ここの地盤は地震被害が多くみられる不均質地盤状態に属する。今回酷く揺れた研究棟も同一敷地内にあり、文献 36)と同様の地盤状態になっている可能性がある。そのときは地盤が均質でないため、地震時に建物が一様に動かず、揺れが激しく生じたのではないかと推察される。

5. あとがき

以上のように、2011 年東日本大震災で発生した各種被害構造物と液状化地盤の関係を調べた結果、過去の地震被害構造物等¹⁾と同様に地盤の不連続点で異種支持地盤状態でつくられた構造物が多いこと等が分かった. 地盤の不連続点では地盤変位が急変してせん断歪や垂直歪が集中するところであり、その地盤変位が被害に大きく影響することが推定される²⁾. おわりに、以上の調査に当たってお世話になった多くの方々に厚く御礼を申しあげます.

参考文献

- 1) 那須誠: 地震による被害構造物と無被害構造物の地盤の違い, 土木建設技術シンポジウム 2003, pp. 299-306, 2003. 7.
- 2) 那須誠: 地盤不連続点に着目した橋梁の地震被害機構の推定,第14回性能に基づく橋梁等の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集, A7-1, 2011. 7.
- 3)地図閲覧サービス,2万5千分の1,東京首部(東京),2009.6.
- 4)2万分の1迅速測図,麹町区,1880年(明治13年)測量.
- 5) Google maps, 2011. 5. 4.
- 6)コスモ石油株式会社,プレスリリース,2011.8.2.
- 7) 地質調査所編: 7.5 万分の1, 地質図, 千葉, 1935.
- 8) 阿部康彦, 寺本隆幸, 北村春幸, 又木義浩, 天池文男: 千葉 ポートタワーの地震観測(その 1) 観測概要及び地震時挙動, 建築学会大会学術講演梗概集(関東), 1988. 10.
- 9) (独) 建築研究所, 国土技術政策総合研究所編: 建築物の津波

- 被害の概要について,東日本大震災調査報告会,2011.4.26.
- 10) 東日本大震災, 世界最大の液状化, NHKスペシャル, NHK総合テレビ, 2011. 7. 10.
- 11) JX日鉱日石エネルギー仙台製油所ニュースリリース、東北地方太平洋沖 地震による仙台製油所での火災について(第4報),2011.3.15.
- 12) 那須誠: 各種工場の地震被害と地盤条件変化点の関係, 土木建設技術発表会2008概要集, IV-3, pp. 241-248.
- 13) 例えば, 仙台・新日石精製製油所でまた火災, 操業以来13件目, 河北新報, 2005. 6. 12付.
- 14)日本科学未来館はどうしてまだ会館しないの?, 同館 Home Page, 2011. 4. 26.
- 15) 貝塚爽平: 東京の自然史, 増補第 2 版, 紀伊国屋書店, 1991. 5.
- 16) 建設省建築研究所編:平成7年兵庫県南部地震被害調査報告(速報), 芦屋浜シーサイドタウン, pp. 130-131, 1995. 2.
- 17) 新日本製鉄・竹中工務店・松下電工・松下興産・高砂熱学工業編:工業化工法による芦屋浜高層住宅プロジェクト提案競技第1位入選案,季刊カラム, No. 51, pp. 5-68, 1974. 3.
- 18) 舞浜と新浦安(千葉県浦安市) の震災地図+写真, まちマスター, 日経 BP 社ケンプラッツ, 2011. 7. 4.
- 19)浦安都市計画地区計画の決定(浦安市決定),舞浜地区,2008.5.16
- 20) 陸地測量部編:5万分の1地形図, 東京東南部, 1926年発行.
- 21) 若松加寿江:2009年までの最新データによる再液状化地点 および液状化発生の限界震央距離の検討,第46回地盤工 研究発表会, №861, p. 1721-1722, 2011. 7.
- 22) 主要災害調査第29号, 千葉県東方沖地震災害調査報告, 昭和63年3月, 科学技術庁国立防災科学技術センター.
- 23) 所沢市編: 2.5 千分の1, 所沢市全図(基18), 修正1974.4.
- 24) 2.5 万分の1地形図, 志木, 1917 測図, 19198. 12 発行.
- 25) 柳瀬村全図(昭和12年当時), 1992.4.
- 26) 吉田信之, 深田隆弘外: 宮城県北部の道路・鉄道の被害状況, 地盤工学会誌, Vol. 59, No. 7, pp. 34-37, 2011. 7.
- 27) Google maps, 2011. 5. 4
- 28) 大山忠: 地震の話一宮城県北部地震を中心として一, 鉄道土木, 4-9, pp. 6-11, S37. 9.
- 29) 河上房義: 宮城県北部地震による土木構造物の被害について, Vol. 48, No. 11, pp. 31-36, 1963. 11.
- 30) 1978 年 宮 城 県 沖 地 震 調 査 報 告, 鉄 道 技 術 研 究 報 告, No.1111 (施設編第494号), 1979. 3.
- 31)5万分の1土地分類基本調査,地形分類図(若柳一関),1986.3,宮城県発行.
- 32) 那須誠, 羽矢洋外: 千葉県東方沖地震による被害盛土の地 盤構造, 第 25 回土質工学研究発表会, pp. 853-854, 1990. 6.
- 33) 那須誠: 地震による建物の天井落下や窓が ラス破損への地盤の影響, 第7回地盤工学会関東支部研究発表会発表講演集, CD-ROM, No. 114, pp. 328-331, 2010. 11.
- 34) 那須誠: 地震による建物の天井落下や窓が ラス破損への地盤の影響, 地盤工学会関東支部第7回研究発表会 CD-ROM, pp. 328-331, 2010. 11.
- 35) 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,No. 959, pp. 1881-1882, 2000. 6.
- 36) 那須誠: 地震被害への地盤の影響と被害機構の推定(その 5, 地震動と地形の関係), 前橋工科大学研究紀要, 第 5 号, pp. 39-46, 2002. 3.
- 37) 那須誠: 各種斜面災害への地盤構造と透水性の不連続性 等の影響, 土木建設技術発表会概要集,pp. 105-112, 2010. 11.
- 38)2万分1地形図,飯能村,明治14年測量,同19年製版
- 39)2万分1地形図,扇町屋村,明治14年測量,同19年製版
- 40)被災マンション解体できない,朝日新聞,2011.7.1付.
- 41) 那須誠: 地震被害と地盤条件(その 10), 第 46 回土木学会 年次学術講演会講演概要集, Ⅲ-PS10, pp. 20-21, 1991. 9.
- 42) 箕輪親宏, 大八木規夫, 小川信行, 大谷圭一: 大型耐震実験装置基礎補強工事(補強工事概要と基礎振動応答測定), 防災科研研究資料, 第151号, p. 25, 1991.3.