## 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<sup>1)</sup>.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,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 盤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.そのほかに,液状化被害地盤など も調べるとともに,複数の地震で大きい加速度が観 測されているポートタワー等が上記の被害構造物の 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<sup>2)</sup>.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<sub>γ</sub>(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<sub>7</sub>(図-2(b)).紙面平行方向



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



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-4<sup>5</sup>).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<sup>6</sup>.その位置を地 質図<sup>7</sup>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<sup>8)</sup>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<sup>90</sup>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<sup>10)</sup>、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<sup>11)</sup>.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-6<sup>12)</sup>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<sup>13)</sup>, 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<sup>14)</sup>. 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、0P-25.5~ 32.5m と変化していること<sup>16),17)</sup>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



図-6 石油タンク位置と地盤内の基盤状態<sup>12)</sup>



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)



 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<sup>20)</sup>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<sup>22)</sup> 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  $\Rightarrow$ 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  $\geq$ 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-10<sup>23)</sup>に示されている. この図と旧地形図<sup>24)</sup>,村全図<sup>25)</sup>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<sup>26),27)</sup>.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<sup>28),29)</sup>,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<sup>30)</sup>.この付近は丘陵



図-10 屋根瓦破損建物の地形図<sup>23)</sup>



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<sup>31)</sup>. 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



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<sup>32)</sup>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<sup>33)</sup>.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 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<sup>34</sup>,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 <sup>35), 36)</sup>. 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-14 東北大学人間環境系建物の位置と地盤状態<sup>35),36)</sup>



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<sup>35),36)</sup>に追加)



図-16 八戸市公会堂とお濠跡と旧地形図<sup>33)</sup>

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<sup>33)</sup>.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<sup>33)</sup>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<sup>33</sup>.

## (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





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<sup>37)</sup>

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m<sup>3</sup>)に滑って崩壊している<sup>37)</sup>. 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<sup>38)</sup>



旧地形図(図-18)<sup>38)</sup>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.隣の市 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)<sup>39)</sup>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<sup>40)</sup>.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<sup>41)</sup>.



0 10 20 30 40 50 60 0 深さ 0.0mm 標高 1.15m 褐色 観交じり 湖色 砂餐店土 5 参理交じり 単反変換土 82 3 10 S 初 。 账 3 土交じり 観交じり 13.10m (玉石に当た り貫入不能 10 15 В 账 **砂質泥岩** オズを 15 ク質 凝灰岩 貫着き 20 展天會 首庆色 份思 黄褐色 20 里拉砂 砂質泥岩 (c)5 号館の土質柱状図 INC. (No.2 ボーリング) (ボーリング位置は(a)図参照)

(b) 3 号館の土質柱状図
(No.1 ボーリング)



### (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)<sup>35)</sup>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<sup>1)</sup>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<sup>2)</sup>.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, 土木建設技術ンンポジウム 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)ー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 スペジャル,NHK総合テレ

- t<sup>\*</sup>, 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), 芦屋浜ンーサイドタウン, 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ガラス破損への地 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ガラス破損への地 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.