

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2)

元前橋工科大学 フェロー会員 ○那須 誠

1. 目的

これまでに地震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地盤の上下・水平方向の不同変位等で被害を受けることが多いことを明らかにするとともに、地震時に発生する地盤歪と構造物被害形式の関係の分類を行ってきた¹⁾。今回は、(1) 前回の土木建設技術発表会 2011 に引き続いて 2011 年東日本大震災による各種構造物被害について地盤の影響を調べるとともに、(2) 関東大地震で被害を受けた品川台場や火災をまぬがれた地域の地盤等も調べた結果を報告する。

2. 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) 防災科学研究所や建築研究所

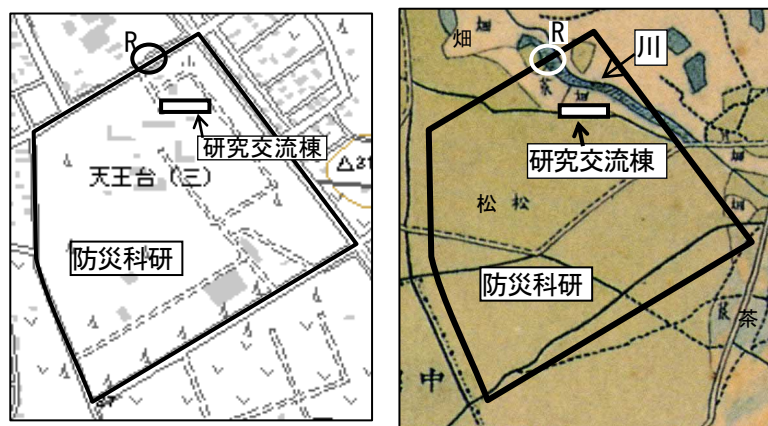
(a) 前報で防災科研の地盤状態(形状と土質)がかなり複雑即ち地盤が水平・上下方向に不連続で、極軟弱粘性土層の厚さが急変するところがあり、その結果東日本大震災において酷く揺れたといわれる研究棟も同一敷地内にあり、上記と同様の地盤状態になっている可能性がある¹⁾。今回、東日本大震災で研究交流棟が酷く揺れて情報室の書庫の本が散らばっており、新旧地形図でその位置を調べたところ図-1 のようになり、明治時代の旧地形図では研究交流棟の近くを川が流れていたため、敷地の地盤が均質でないため、地震時に建物が一様に動かず、揺れが激しく生じたのではないかと推察される。なお、その川は現守衛室前の道路を横切って南東方向へ流れていたことと、守衛室前のアスファルト舗装に多数の亀裂が存在しているのはその位置が川の埋立地で、極軟弱層等が含まれていて不同沈下等が発生しているためと推察される。

(b) 東日本大震災で建築研究所の本館(図-2 の a 建物)と新館(図-2 の b 建物)をつなぐ渡り廊下のエキスパンションジョイント部でジョイント部材の破損や

天井材の落下等の被害が発生した⁴⁾。新旧地形図でその位置を調べたところ図-2 のようになり、明治時代の旧地形図では本館の西端付近に北上する道の存在が認められる。一般に道は地質境界(地盤の不連続点)に存在することが多いため、ここでも道の左右の地盤状態が異なっていたことが考えられる。なお、本館建物と新館建物はともに直接基礎であるが、基礎底面の深さが異なっている(新館の方が 60cm 浅い)⁴⁾。両建物は高さが同じで、ほぼ同じつくりであり、地盤の強度が同じなら、同じ床付位置でいい筈である。しかし、床付位置が異なるのは、地盤の支持層が違うためと考えられる。従って、本館建物と新館建物は地盤境界につくられたと考えられる。相対的に地盤の西(左)側がよくて右側が悪いと考えられ、今回の地震で不同変位が発生したため、渡り廊下被害が発生したことが考えられる。

(2) ミューザ 川崎シフォニーホール

2011 年東日本大震災でミューザ 川崎シフォニーホール(以下 MKS と略す)の吊り天井が大規模に落下した⁵⁾。図-3⁵⁾に地震時に天井の揺れた方向の推定結果が示されているが、西側と南側が特に揺れており、その揺れの大きかったところの天井の落下が激しかったところである。天井落下後の建物の振動測定による振動モード図が図-4⁵⁾に示されている。それによると X 方向(図の左右方向で東西方向)には北側より南側の方の振動が大きく、振じれ

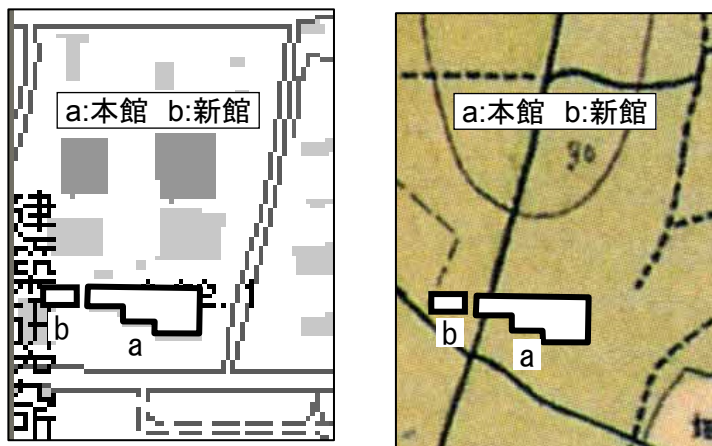


(a)新地形図²⁾

(b)旧地形図³⁾(新地形図より加筆)

図-1 防災科学研究所の位置地形図(原図に加筆)

キーワード：2011 年東日本大震災，1923 年関東大震災，各種構造物，ター，台場，火災延焼，地盤
連絡先：〒359-0021 埼玉県所沢市東所沢 2-34-8 TEL. 04-2944-5833



(a)新地形図²⁾ (b)旧地形図³⁾(新地形図より加筆)
図-2 建築研究所の位置地形図(原図に加筆)

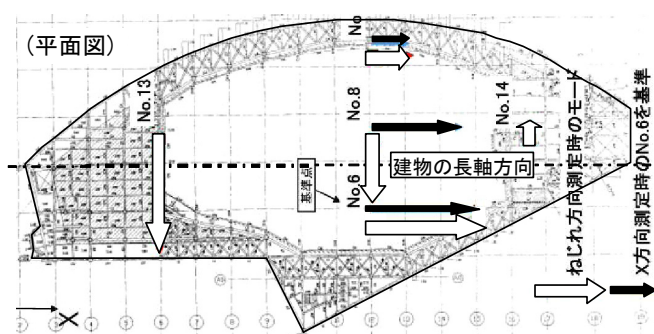


図-4 振じれ方向とX方向の振動モード測定結果図⁵⁾

的には西側(左側)の方と南側(下側)の方が大きい振動を示し、南西側が大きく回転するような振じれ振動が認められている。以上の図-3と図-4からMKS建物は地震時に左下方向(南西方向)から地盤から力(東海道線に平行方向に近い力)を受けて天井被害が発生したように考えられるし、建物に振じれが発生したのは建物の長軸方向と力の作用方向が斜交しているためと考えられる。

ここで図-5の旧地形図上⁶⁾のMKS建物の位置をみると、地盤面等高線が右上方向に凸状のところ、いわば谷の源頭部のようなところに存在しているし、図-6のMKS建物付近の沖積層の等厚線分布図(等高線分布図か)⁷⁾をみると、右上方向(北東方向)に沖積層が薄くなるようなところにMKS建物が存在している。また、付近の沖積層基底等高線²⁵⁾をみると、この建物の地点当たりから右上方向にかけて沖積層底面が急に浅くなっていることが分かる。

従って、被害状況と図-5と図-6等を併せ参照すると、MKS建物は図-7の模式図に示すように沖積層厚さの変化点のようなところにあって、地震時に地盤の動きに

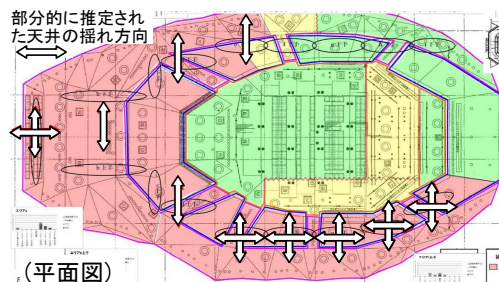
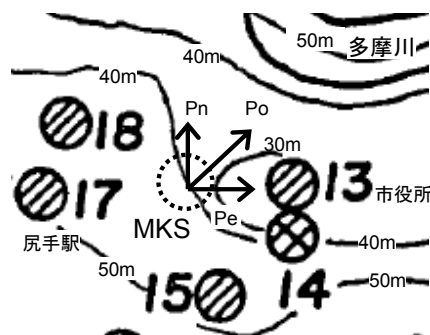


図-3 ミュージアム川崎シンフォニーホールの天井の振動方向⁵⁾



図-5 位置地形図(1917年測図⁶⁾に加筆)



MKS: 川崎シンフォニーホール、Po: 地盤からの作用力、Pe: Poの東方向分力、Pn: Poの北方向分力、○脇の数字は常時微動測定位置⁷⁾

図-6 沖積層の等厚線分布⁷⁾とMKS位置と地盤からの作用力方向(推定)

よる力(土圧)Poを受けたことが推察される。ここで、図-6の合力Poは東方向分力Peと北方向分力Pnに分解され、それぞれの方向に建物の振動が発生することが考えられる。

なお、MKSの北側に位置する東京電気会社(図-5)の大工場が1923年の関東大震災で全壊して多数の死者が発生しており²⁶⁾、この付近の地盤は元々地震被害の発生しやすい地盤であったことが推察される。

(3) 福島県文化センター

平成23年3月11日発生の東北地方太平洋沖地震により、福島県文化センターでは大ホール・中央棟等の施設及び給排水・消防・空調等の設備に著しい被害を受けた。（福島県ホームページ）即ち、2階会議室の窓ガラスがことごとく破損したり、3階展示室の天井が大きく落下したり、大ホール天井の一部落下等が発生した。

同じ敷地内の福島県歴史資料館においても、展示室ガラスの大きい破損、2階閲覧室の廊下側壁の剥落、閲覧室の本棚転倒、事務室内の壊滅的な破壊が発生した⁸⁾。

以上のように甚大な被害が発生した福島県文化センター敷地は、図-8⁹⁾をみると新第3紀のts層からなる山際にあつて、第4紀のc1(碎屑物)層と沖積世のg・s・m(1)(礫・砂・泥)層の地質境界部(地盤の不連続点)に存在していることが分かる。

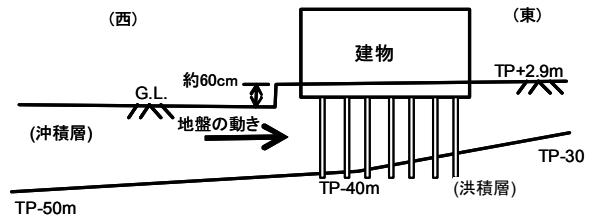


図-7 被害機構推定模式図

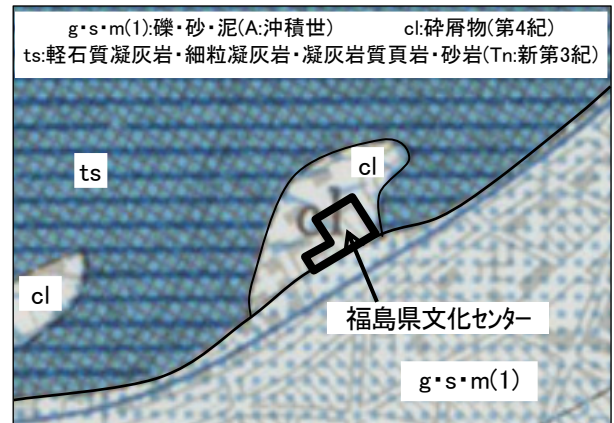


図-8 福島県文化センターの地盤⁹⁾

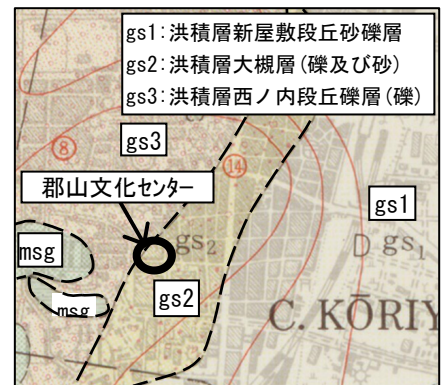
(4) 郡山市民文化センター

平成23年3月11日発生の地震で外見は損傷が少ないように見えた郡山市民文化センターであったが、大ホールの天井の一部が落ちて座席等に被害を受けたり、空調設備などから広範囲にわたる水漏れが発生したりした¹⁰⁾。

ここで、図-9^{11), 12)}をみると、郡山市民文化センターは、洪積層の大槻層(礫及び砂, gs2)と西ノ内段丘礫層(礫, gs3)の境界部に存在しており、地質境界部(地盤の不連続点)に存在していることが分かる。



(a)位置地形図(原図¹¹⁾)に加筆)



(b) 地質図(原図¹²⁾)に加筆)

(5) 松井公民館建物

2011年東日本大震災で所沢市松井公民館建物が被害を受け、壁タイルの剥落等が発生した。位置の新旧地形図を図-10¹³⁾、11¹⁴⁾に示す。特に、旧地形図を見ると建物は67.5mの地盤面の等高線と斜めに交わっていることが分かる。南側の県道は西側に上りこう配で傾斜しており、また県道から公民館建物を挟んで北方向に下りこう配で地盤面が傾斜している。そのような状況と現地状況を合わせてみると、図-12の南北方向断面模式図に示すように公民館建物は切土と盛土に跨って建てられていることが推定される。公民館建物はこのように切り盛り境界部に建てられている



図-10 位置(新)地形図¹³⁾

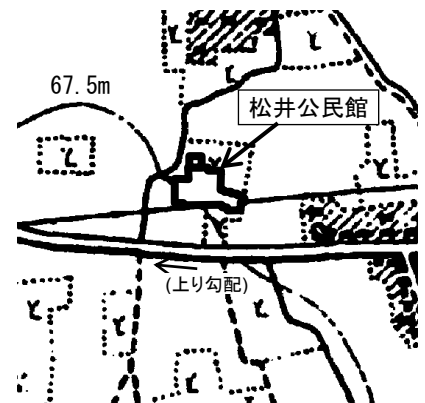


図-11 位置(旧)地形図¹⁴⁾

上に地盤等高線に斜交して建てられていたため被害が発生したことが推察される。

(6) 東京タワーと八戸タワー

東京タワーの先端部が2011年東日本大震災で東側に折れ曲がった¹⁵⁾。浜松町駅方面から坂を上って到達する正面1階の裏側の駐車場は2階から通じていることから

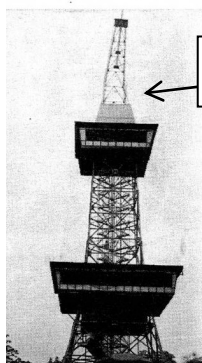


図-13 八戸タワーの傾斜¹⁷⁾

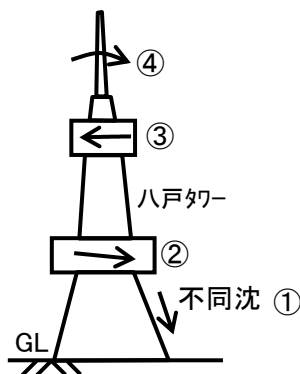


図-14 変形機構の推定

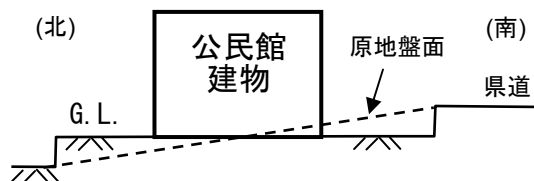


図-12 松井公民館の南北方向断面推定模式図



図-15 八戸タワー跡付近の地形図¹⁸⁾



図-16 八戸タワー跡付近の旧地図(原図¹⁹⁾に加筆)

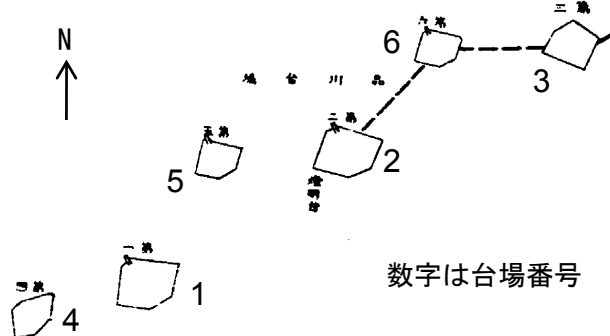


図-17 品川台場の配置図²⁰⁾

想定されるように、その地盤面は南東方向に傾斜しており、タワーの4本ある脚の内、東側の脚が他のほぼ同じ長さの3本の脚よりも長い。その最も長い脚の方向にタワー先端部が折れ曲がった¹⁶⁾。それは一様でないと考えられる地盤で発生した八戸タワーの先端部の折れ曲がり状況と似ている。

1968年十勝沖地震で八戸遊園地のタワー(八戸タワー、高さは東京タワーの約10分の1)の先端部が、図-13¹⁷⁾に示すように太さの急変部で折れ曲がった。それは脚元の不同沈下で発生したことが調べられている¹⁹⁾、²²⁾。太さの変化点は剛性変化点(不連続点)であり、一般的に物体が損傷を受けやすい部位に属する。また、その変形機構としては図-14(の矢印)に示すように、まず脚元に不同沈

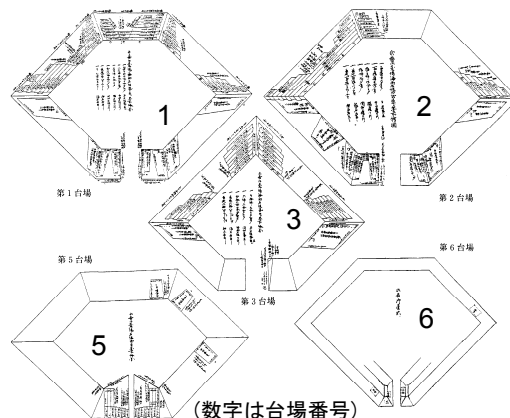


図-18 品川台場の地震被害個所(関東大地震)²⁰⁾

下が発生すると②の展望台が右側に移動し、すると作用反作用の法則が働いて③の展望台が左側に移動し、さらに同法則が作用して結局は八戸ター先端部が右側に折れ曲がるのが推察される。

図-15¹⁸⁾、16¹⁹⁾に示すように、八戸ター-の敷地は沖積地盤(長根堤跡)に接する洪積台地の端部の崖際にあり、その跡地に建てられた弓道場の建物には2011年の東日本大震災で亀裂等が多数発生したといわれていることから、ここの地盤は一様でないことが推察される。

以上に述べたように、ともに2つの展望台を有し先端が折れ曲がった八戸ター-と東京ター-のうち、前者の先端の折れ曲がりとは不同沈下が原因で発生したが、このことと後者で脚の最も長い方に折れ曲がったことが似ているように推察される。即ち、地震のときに短い方より長い方の脚の湾曲度が大きい、見かけ上は短い方より長い方の脚が短くなり不同沈下と類似の現象が発生すると考えられるからである。

(7) 関東大地震被害箇所

a) 品川台場

1923 年関東大地震において、図-17²⁰⁾の品川台場が被害を受けている。その様子は図-18²⁰⁾に示されている。被害の程度は第 1, 2, 3 台場が酷くて、第 5 台場がそれに次ぎ、第 6 台場の被害程度が極めて小さい。それらの位置を図-19²⁰⁾の滯筋と洲の分布図でみると、第 1, 2, 3, 5 台場は滯の端部にあり、第 6 台場は中洲のほぼ真ん中にあり、被害程度の酷いところは滯筋の端部に有ることが分かる。ここで、図-20²⁰⁾を見ると滯は地質境界部(地盤の不連続点)になっており、台場の地震被害も地質境界部で異種支持地盤状態になっていたため発生したことが推察される。ただし、第 5 台場は滯の端部にあるのに被害程度が小さかったのは他の原因が有るのかもしれない。

b) 佐久間町

1923 年発生 of 関東大地震では浅草観音境内や神田区佐久間町、和泉町一帯(図-21²³⁾、22²³⁾、23²²⁾)等が焼失をまぬがれている²¹⁾。その内、浅草寺境内の沖積層下底(T.P. 約-20m)は深くてほぼ水平に近いが、地盤は厚い自然堤防で地盤状態が比較的良かったことが調べられている²²⁾。

佐久間町、和泉町等で火災を免れたのは住民の一致協力で 30 時間にもおよぶバケツリによる消火活動のお陰であるといわれている²¹⁾。ここで、神田区佐久間町、

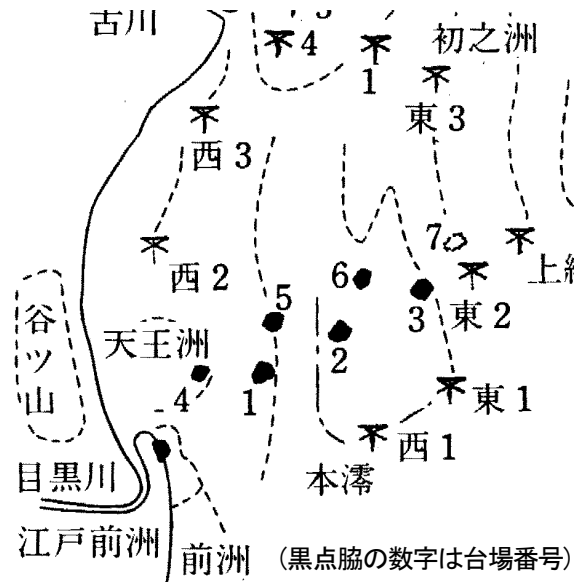


図-19 品川台場の配置図²⁰⁾

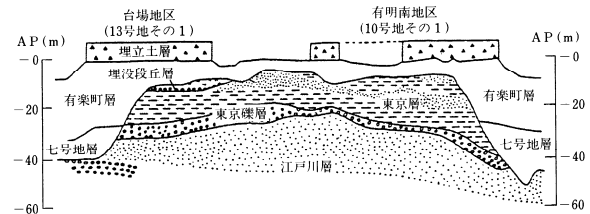


図-20 臨界副都心地区における東京都の地質²⁰⁾

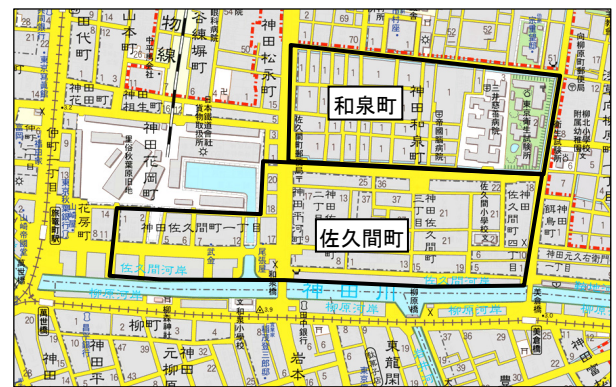


図-21 明治時代の佐久間町・和泉町付近地図²³⁾

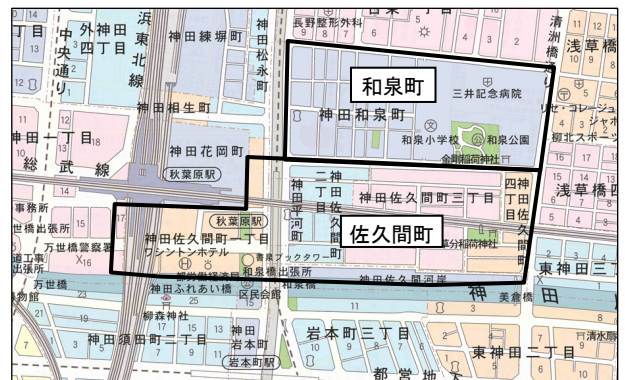


図-22 現代の佐久間町・和泉町付近地図²³⁾

和泉町付近の地盤状態を図-24(東京地盤図²⁴⁾)に加筆から判断すると、両町は新橋付近から神田付近まで伸びる砂洲の上にあり、しかも砂洲上端までの深さ(その上の軟弱層厚さ)は東京駅付近²²⁾と同様に5m以内と薄いところである。火災が甚大に発生した他の下町と比べると地盤状態に限って言えばよいところである。地盤状態のよいところでは地震動は比較的小さいためそれによる精神的な動揺も比較的小さくて、火元を消す余裕があるし、地震動による建物の損壊も比較的小さくて火の粉等による着火も比較的小なかつたり遅れたりすることが考えられ、そのような状況がバケツリによる消火活動をしっかりと行うことを可能にした理由の1つであると推察される。なお、1995年兵庫県南部地震による神戸市内の火災が長田区などで甚大に発生した理由の1つとして、軟弱粘性土地盤が比較的厚く堆積していて地盤状態が極めて悪かったため地震動が比較的大きく発生したこと等の影響が推察される。

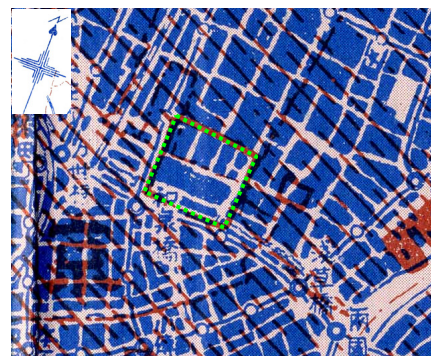


図-23 焼失免れた佐久間町・和泉町(緑色破線枠内)(原図²⁶⁾に加筆)

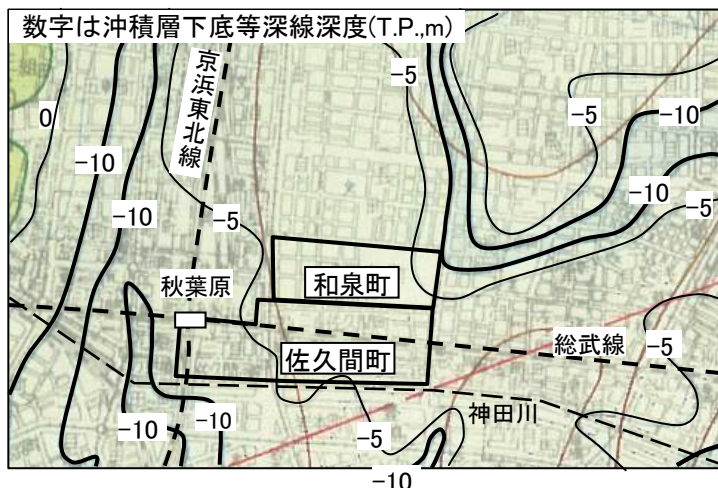


図-24 佐久間町・和泉町付近の地盤(東京地盤図²⁴⁾に加筆)

3. あとがき

以上のように、前回に引き続いて2011年東日本大震災で発生した各種被害構造物の他に、1968年十勝沖地震によるターの損傷や1923年関東大地震で被害を受けた品川台場等と地盤の関係を調べて、被害に対する地盤の不連続点の影響が大きいこと等が分かった。また、1923年関東大地震で延焼を免れた地域の地盤は比較的良好であり、その影響が比較的大きかったことが考えられた。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上げます。

参考文献

- 1) 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, 土木建設技術発表会2011概要集, III-7, 2011. 11. 15.
- 2) 基盤地図情報, つくば付近, 2011. 11. 28.
- 3) 2万分1地形図, つくば, 1884年測図, 地図で見る100年前の日本, 小学館, 1998.
- 4) 平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震被害調査報告, 4. 3, 建築研究資料No.136, 建築研究所, 2012. 3.
- 5) 川崎シフォニーホール震災被害調査最終報告書, 日本建築防災協会, 2012. 3.
- 6) 2.5万分1地形図, 川崎, 1917(大正6)年測図
- 7) 金井清, 田中貞二, 長田甲斐男: 地震研彙報 35, 常時微動の測定結果, 第7報(川崎市内), pp. 191, 1956. 12.
- 8) 福島県文化センター・福島県歴史資料館, (被害状況), 仮ホームページ, 2011. 3. 24. pdf
- 9) 5万分の1都道府県土地分類基本調査(福島), 表層地質図, 1983年3月, 福島県.
- 10) 福島県郡山市市民文化センター他被害状況, 広報こおり

- やま/2011. 5. pdf
- 11) 2.5万分1地形図, 郡山, 1998年修正測量, 1999. 6 発行.
- 12) 土地分類基本調査, 5万分の1都道府県, 郡山, 表層地質図, 1968. 3 発行, 経企庁.
- 13) 地図閲覧サービス, 2.5 万分 1 地形図, 所沢(東京), 2012. 1. 12.
- 14) 2.5 万分 1 地形図, 所沢, 1921 年測図, 1929 年鉄道補入, 1930. 12 発行.
- 15) 震災で曲がった先端改修 東京ター上部に足場, MSN 産経ニュース, 2012. 4. 7.
- 16) 那須誠: 橋梁の2011年東北地方太平洋沖地震等による被害と地盤の関係, 第15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(2012年7月), pp. 371-378.
- 17) 河上房義: 東北地方における1968年十勝沖地震災害の概要, 土木学会誌, Vol. 53, No. 7, pp. 109-116, 1968. 7.
- 18) センソリン住宅地図, 青森県, 八戸市①, 南部, p. 196, 2009. 11.
- 19) 日本建築学会編: 1968年十勝沖地震災害調査報告, 1968. 12.
- 20) 佐藤正夫: 品川台場史考, 幕末から現代まで, 理工学社, 199706
- 21) 吉村昭: 関東大震災, 文芸春秋, 2004. 8.
- 22) 那須誠: 建物の地震被害と地盤構造, 鉄道総研報告, No. 4, Vol. 4, pp. 35-44, 1990. 4.
- 23) 江戸明治東京重ね地図, (株)エピー・ビー・カンパニー発行, 丸善(株)発売, 2009.
- 24) 東京地盤図, 1959年, 技報堂.
- 25) 5万分の1土地分類基本調査図(CD-R版), 横浜・東京西南部・東京東南部・木更津, 神奈川県, 1991. 3.
- 26) 実写実録 関東大震災, p. 22, 講談社, 1988. 8.