

関東地震における東京低地の液状化履歴

LIQUEFACTION-INDUCED GROUND FAILURES DURING THE 1923 KANTO EARTHQUAKE IN TOKYO LOWLAND

草野 郁*

By Kaoru KUSANO

Information about liquefied and not-liquefied sites during past earthquakes is useful for liquefaction potential mapping of wide area. Therefore, inquiry of liquefaction-induced ground failures during the Kanto earthquake was performed for preparing a liquefaction potential map in Tokyo lowland. Interviews with above 300 persons who had experienced the hazard in Tokyo lowland were carried out. Historic liquefaction-induced ground failures are determined from these narratives and the reports concerning the earthquake. Liquefied sites distribute along the rivers and old river beds, and in reclaimed lands. Not-liquefied sites distribute away from the coast or rivers. Liquefied grounds along the rivers consist of sandy deposits containing only a small amount of fines, and the grounds containing considerably fines hardly liquefied. However, the sandy deposits containing fines were prone to liquefaction in reclaimed lands.

Keywords: earthquake, alluvial deposit, liquefaction, history

1. ま え が き

大地震の際に地割れから水や砂が噴き出すことは昔から知られていた。しかし、このような現象が地盤の液状化として地震災害と関連させて考えられるようになったのは1964年の新潟地震以降である。今日では、地域防災計画をたてる際に液状化に関する情報は欠かせないものになっている。東京都は震災予防計画を作成するために、地震被害想定の一環として東京低地の液状化予測を行った¹⁾。その中で、1923年の関東地震における東京低地の液状化履歴の実態調査をもとに、東京低地の地盤特性に適した予測法の検討がなされた。

関東地震では、東京は火災による被害が大きく、火災に多くの関心が注がれ、液状化に関する情報は少なく、既往の文献^{2), 3)}だけでは液状化による被害の程度や、地割れ、沈下・陥没などの地盤災害の実態は把握しきれなかった。そのため、液状化の可能性がある沖積砂層が分布する都内14区(千代田, 中央, 港, 台東, 墨田, 江東, 品川, 大田, 荒川, 北, 板橋, 足立, 葛飾, 江戸川)について、液状化に関連する資料調査と関東震災体験者の面接調査を行い、液状化などの地盤災害を調べた。

ここでは、関東地震における東京低地の液状化などの地盤災害の実態と液状化発生地域の地盤特性について報告する。

2. 調 査 法

資料調査としては、震災予防調査会⁴⁾、土木学会⁵⁾、地質調査所⁶⁾、震害調査委員会⁷⁾の関東地震に関する被害調査報告などの文献のほかに、区史や区役所で編集した関東震災体験記、町会誌や学校誌なども調査の対象とした。

面接調査では、各区の防災担当課と町内会の協力を得て関東震災体験者の名簿を作成した。名簿作成にあたっては区内全域から情報が得られるように留意し、震災当時から同一区内に居住し、調査時点(1985年)で75~80歳前後(震災当時, 13~18歳前後)の人を選ぶことを原則とした。また、文献から液状化が発生したと判断される地域や、液状化が発生しやすい地盤特性がある地域については震災体験者を捜し出すように努めた。このようにして作成した名簿から300名強について個別訪問による面接調査を行った。

調査内容は、液状化に関連するものとして、噴砂・噴水の有無、井戸の被害、肥溜や木杭、電柱などの浮き上がりや沈下などを選び、その他に地割れや地盤の沈下・

* 正会員 工修 東京都土木技術研究所
(〒108 港区港南 1-1-18)

陥没などの地盤災害、家屋や土木構造物の被害、揺れの体感も含めた。

震災から60年以上経過した時点の調査のため、面接調査は信憑性が危惧されたが、液状化などの地盤災害が発生していたという証言は、複数の情報が一致するなど記憶違いは少なかった。また、文献では災害の状況や発生地点がはっきりしない場合があるが、面接調査では詳細に判断できる場合が多かった。そのため、地盤災害が生じたという情報は単独の情報であっても採用した。一方、地盤災害がなかったという証言は、その人が目撃していないだけで、他の人の証言や文献等によると、液状化や地割れなどが発生していた場合があった。そのため、地盤災害がないという情報は複数の証言や文献などと一致したものだけを採用した。

3. 調査結果

(1) 地盤災害分類図

文献調査と面接調査の結果から、地盤災害に関する情報のうち、地盤の液状化に関連するものとして次に示す現象を選び、下記の記号で分類した。

- 噴砂・噴水、木杭の浮き上がりが確認できた地域
 - 噴砂・噴水の情報はあがるが、発生地点までは限定できなかった地域
 - ① 噴砂・噴水の情報はあがるが、井戸が砂で埋まったり、井戸から砂や水が噴き出す、井戸枠がつぶれるなどの井戸の被害が生じた地域
 - ② 噴砂・噴水の情報はあがるが、地盤が陥没したり、すべり出すような水平変位が生じた地域
 - ⊗ 堤防・護岸の大規模な沈下・陥没・すべり破壊、橋脚の沈下・傾斜・水平移動が生じた地域
- 液状化と無関係な地盤災害、または、液状化との関連がはっきりしない地盤災害を次に示す。
- ◇ 地割れや沈下が生じたり、井戸水の濁りや水位の上昇が生じた地域
 - ⊕ 堤防や護岸の亀裂、はらみ出し、小規模な沈下やすべり破壊が生じた地域

以上の地盤災害の分類に「△印の地盤災害がなかった地域」を加え現在の地形図上に表示し、図-1に示す東京低地の関東地震地盤災害分類図を作成した。図中では、関東地震以降に埋め立てられた当時の海岸線と、現在は埋土されているが当時河川であった所を鎖線で表示した。

図-1によると、新河岸川・隅田川(旧荒川)、古隅田川(足立区と葛飾区の区境)、中川・旧中川・江戸川・旧江戸川、多摩川などの河川沿いの地域と、江戸川区南葛西、江東区の砂町(東砂・南砂・北砂)、中央区の月島と勝どき、港区の芝浦と海岸、大田区の大森から羽田

にかけての地域などの東京湾岸の埋立地や干拓地で液状化が発生している。震災当時において河川や海岸線から離れた地域では、液状化が発生した地域は少なく、むしろ液状化や地割れなどの地盤災害がなかった地域が多い。

以下に示す液状化発生地域の説明のうち文献名を表示しない記述は、面接調査の証言および区役所で編集した震災体験記、町会誌、学校誌などから調べた結果である。なお、図中(図-1~3)の数字は本文中の液状化等の地盤災害発生地域につけた()内の番号に対応する。

(2) 河川沿いの液状化発生地域

a) 新河岸川と隅田川沿い

荒川は沿岸地域に絶えず洪水の被害をもたらしていたが、下町全域に及んだ1910年の水害で荒川流域は泥土と化した。荒川改修工事はその翌年から着手され、1924年に荒川放水路は完成した。新河岸川下流と隅田川は荒川放水路開削以前に荒川が流れていたところで、放水路開削により流路変更させた河川である。関東地震において改修以前の荒川沿いに地割れや液状化が発生した。

新河岸川左岸の北区浮間三・五丁目(1)では、川沿いの湿地で地割れが生じ、井戸の竹樋がつぶれたり、噴砂の跡がみられ、この地域は家屋被害も大きかった。右岸の北区赤羽北二丁目(2)では幅2~3cmの細い地割れに沿って砂が出たところもみられたが、噴出した砂の量は少なかった。

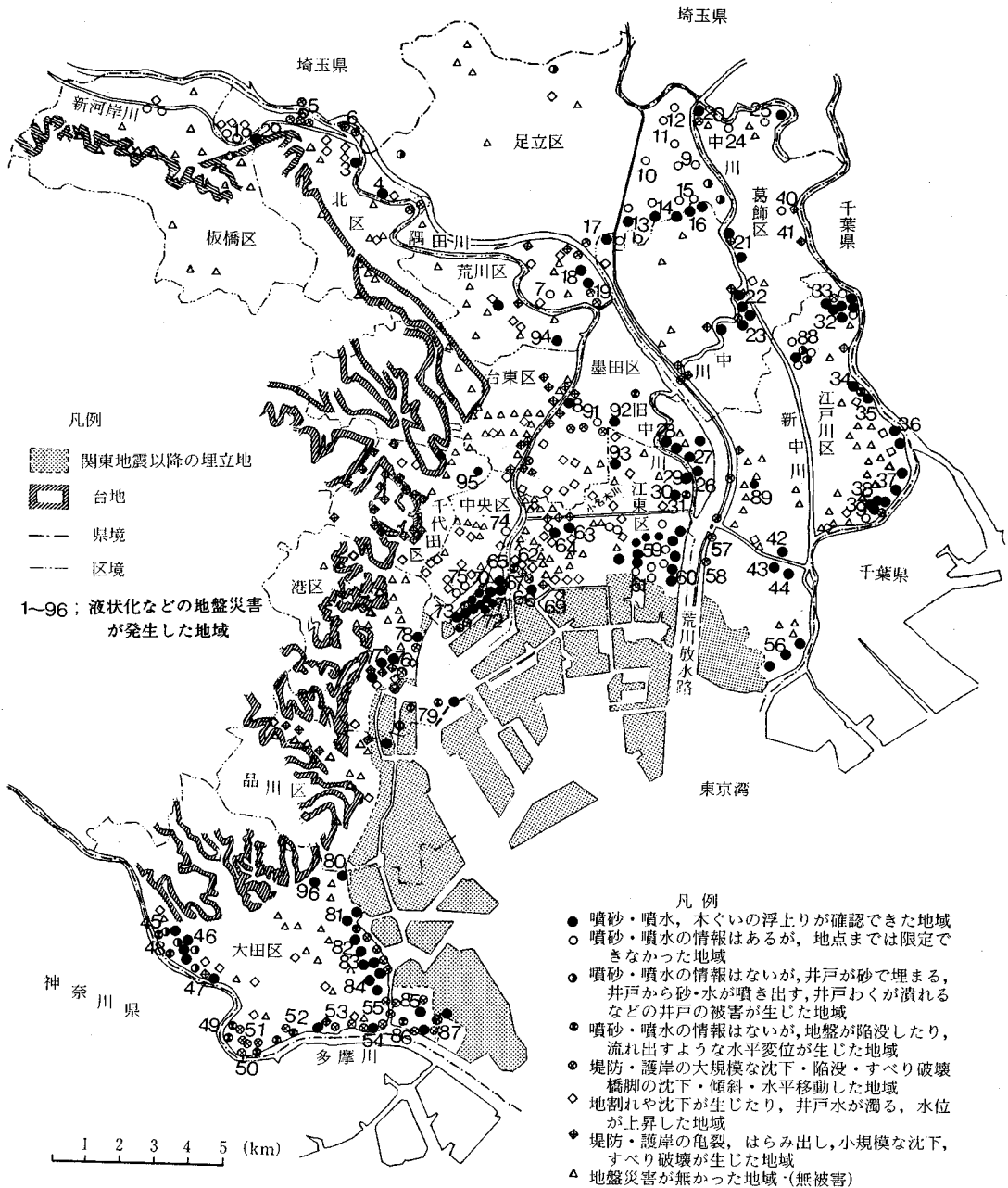
隅田川右岸の北区志茂三丁目(3)では川沿いに地割れが生じ、大きな段差が生じたところもあり、周辺の畑や庭で地割れから砂水が噴出した。左岸では足立区新田二・三丁目(4)で川沿いに幅50~60cmの大きな地割れから青い砂が噴き出した。

東北本線の荒川橋梁(5)で橋脚が沈下し⁵⁾、この橋梁近くの荒川右岸(5)と岩淵水門近く(6)の堤防が大きく沈下した⁶⁾が、いずれも荒川の河道およびその川筋の湿地に築堤したところであった。

隅田川下流沿いでは液状化発生地域は少なく、足立区千住河原町(7)と墨田区向島二丁目(8)で砂水の噴出が確認されただけである。千住河原町では当時湿潤な沼沢地において地割れや陥没が生じ砂水が噴出した。向島二丁目では隅田川堤防・護岸沿いに大きな亀裂が入り、砂水が激しく噴出した。

b) 中川と古隅田川沿い

江戸時代の初期、古利根川は埼玉県の吉川で荒川と合流し、猿ヶ又で江戸川に流入する大場川・小合溜の派川に分流し、主流は中川筋を流れ葛飾区新宿から古隅田川筋を経て足立区柳原付近から入間川を合わせ、隅田川と称し江戸湾に注いでいた。しかし、当時すでに利根川の主流は庄内古川筋から江戸川を経て江戸湾に注ぎ、古利



図一 関東地震地盤災害分類図

根川への流れは少なかった^{8),9)}。また、1629年に荒川は瀬替により中川低地から荒川低地の現河道に移されたこともあり⁹⁾、その後、古隅田川の河勢は衰えた。

新宿より下流の中川は、1724年に細流や沼地を開削拡幅した開削河川であり⁹⁾、古隅田川は足立区と葛飾区の区境に激しく蛇行した小河川として今でも残っている。しかし、利根川と荒川の主要な流れが古利根川から隅田川に流れていた時期もあり¹⁰⁾、中川から古隅田川沿

いの周辺は旧川筋の性質が残っており、浅層の地下水は豊富である。関東地震においてこの地域は広範囲に液状化が発生した。

中川右岸の足立区大谷田(9)、加平(10)、辰沼(11)、六木(12)では発生地点までは確認できなかったが、いたるところで地盤の凹凸や砂の小山が生じたり、水溜まりが生じていたという証言が複数の人から得られた。古隅田川右岸の足立区綾瀬(13)、東綾瀬(14)、東和(15)、



図-2 江戸川・旧江戸川沿いの地盤災害

左岸の葛飾区西亀有四・五丁目(16)などの古隅田川一帯は広範囲な地域で噴砂・噴水が生じ、用水路が青い砂で埋まり、水田に段差が生じたり、肥溜がつぶれたり、電柱が倒れたところもあった。葛飾区小管一丁目の東京拘置所(17)では大きな亀裂から砂や水が激しく噴出し、噴き出した水の深さは30 cmに及んだ⁶⁾。

足立区柳原一・二丁目(18)は周辺より土地が低く、震災当時は低湿地で水田が多かった。この地域では随所で幅30 cm前後の地割れから砂水が激しく噴出し、噴き出した水の深さは20~30 cmに及び、用水路や池は

砂で埋まった。東武伊勢崎線の盛土(19)は約300 mにわたって大きく崩壊した。

中川左岸の葛飾区西水元、新宿、高砂、奥戸と、大場川、小合溜沿いで液状化が発生した。西水元四丁目(20)、新宿二丁目(21)では堤防沿いに大きな地割れが生じ、砂水が激しく噴出し、西水元四丁目(20)では地割れに沿って大きな段差が生じた。高砂一丁目(22)、奥戸二・七・八丁目(23)では随所で地割れから砂水が激しく噴出し、地盤が陥没したり段差が生じたところや、盛土した敷地が道路側にずれ出したところもあり、堤防は地面にのめり込むように陥没した。奥戸橋(23)は橋脚が大きく沈下し落橋寸前であった。この地域の井戸の多くは砂で埋まり使用できなくなった⁶⁾。

大場川沿いの西水元六丁目(24)で地割れから砂水が噴出し、小合溜沿いの現水元公園(25)では噴砂の山が60 cmにも達したという証言があった。

旧中川沿いでは、左岸の江戸川区小松川(26)、逆井(27)、平井(28)の川沿いの道の随所に噴砂・噴水がみられた。右岸では江東区亀戸九丁目の堅川にかかる六の橋のもと(29)で砂水の噴出が記録されている⁶⁾。右岸の江東区大島(30)では細い地割れから砂水が噴き出したがその量は少なかった。しかし、砂水の噴出が確認されなかったところでも深井戸のぬけ上がり記録されている⁴⁾(31)。

c) 江戸川沿い

江戸川・旧江戸川沿いの地盤災害を1921年の旧版地図上に表記し図-2に示す。なお、図中では1880年の迅速測図から旧堤を拾い出し図示したが、旧堤は古く、1880年の時点ですでに道路になっており、道路沿いとその堤外地に堤防が造られている。

江戸川沿いでは江戸川区北小岩四(32)、七丁目(33)と、同区の北篠崎町二丁目(34)、上篠崎町・上篠崎町一丁目(35)、篠崎町一・二丁目(36)の河川敷において、また、現在の旧江戸川沿いでは同区の東篠崎一・二丁目(37)、南篠崎五丁目(38)、江戸川一・二丁目(39)で液状化が発生した。これらの地域は、図-2に示すように、当時道路になっていた旧堤より河川側に位置し、当時は谷地や水田のところが多かった。北小岩では四丁目で1か所砂水の噴出とともに道路が陥没したところもあったが、四・七丁目全域は地盤が沈下した⁶⁾にもかかわらず地割れの幅は狭く、砂水の噴出量も少なかった。南篠崎五丁目では砂水が激しく噴出し、広範囲な地域で地盤が沈下し、田畑に段差や陥没が生じたり、家が傾き水びたしになったところもあった。

江戸川・旧江戸川沿いの旧堤より堤内地は昔から地盤が高く水害の少ない地域で、関東地震においても井戸水が濁ったところがあった程度で地盤災害はなかった。

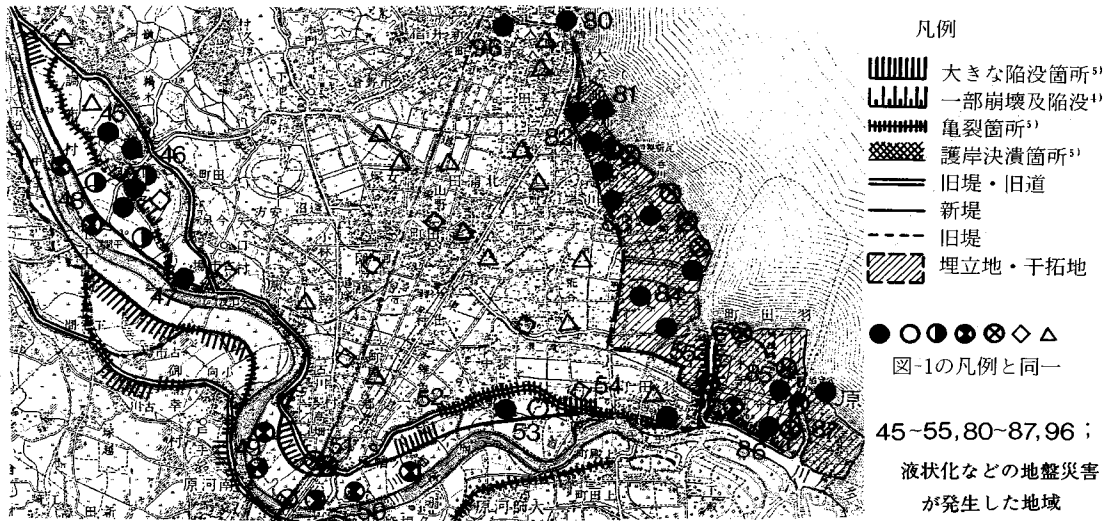


図-3 多摩川沿いの地盤災害

関東地震当時、江戸川の堤防は現在の位置に新堤が完成していた。葛飾区金町三丁目(40)と柴又七丁目(41)で新堤に亀裂が多数入り、北小岩七丁目(33)で陥没が生じたが、その他は若干亀裂が入ったところがある程度で、液状化した地域が多いにもかかわらず堤防の被害は少なかった。

旧江戸川下流域の江戸川区江戸川六丁目(42)、中葛西二丁目(43)、東葛西一・二丁目(44)で液状化が発生したが、この地域は江戸時代初頭にはすでに開拓されていた。江戸川六丁目に江戸川の小派川である古川が流れていたが、この川は江戸川の旧河道で、かつては千葉県行徳から塩を運ぶ重要な水路であった¹¹⁾。この古川沿い(42)に小さな地割れが生じ、微量ではあるが噴砂の跡がみられた。中葛西の葛西小学校⁶⁾(43)と東葛西の桑川神社(44)では地割れから黒ずんだ土砂が泥水と一緒に噴き出し、周辺は水びたしになった。

d) 多摩川沿い

多摩川沿いの地盤災害を1921年の旧版地図上に表記し図-3に示す。図中には1880年の迅速測図から旧堤を拾い出して図示し、また、大森から羽田にかけた東京湾岸の地盤災害と埋立地・干拓地の境界も図示した。

多摩川下流域は震源から近いこともあり、図-3に示すように、堤防はいたるところで亀裂、陥没、崩壊などの大きな被害が生じ、護岸は崩れたり流出したところが多い⁵⁾。旧堤は当時道路になっていたところもあり、その堤外地で液状化が発生した。堤防や護岸の被害の多くは液状化に関連していると思われる。旧堤の堤内地では地割れや井戸水の濁りが生じたところはあるが、噴砂・噴水は発生しなかった。

大田区の鶉の木(45)、下丸子(46)、矢口(47)は、

昔、多摩川が入り込んでいたところであり、旧堤の堤内地側に昔の川筋があり、それに沿って鎌倉街道が通っていた¹²⁾。この街道より河川側の地域では、井戸は底部で亀裂しつぶれて使用に耐えるものではなく⁶⁾、低い土地では随所で砂水が激しく噴出し、水田では点状に、畑では地割れに沿って噴砂の跡がみられた。下丸子二・三丁目と矢口の河川敷(48)では川に平行し数条の大きな地割れが生じ、砂水が噴出した。地割れの大きなものは幅1mに達し、1.5mもの段差が生じ、30~40cm地盤が沈下したと記録されている⁶⁾。この地域の堤防は全長にわたり亀裂が入り、大きく崩壊・陥没し、護岸は決壊した⁵⁾。

同区の西六郷四丁目(49)から南六郷二丁目(50)の河川敷では、河川に平行に数条の大きな地割れが生じ⁶⁾、堤防や橋の取り付け盛土が大きく陥没し⁵⁾、護岸は決壊した⁵⁾。東海道線の当時の六郷橋梁(51)は橋脚基礎に亀裂が入り、橋台が沈下し水平に移動したが落橋に至らなかった⁵⁾。この地域は荒木田で厚く盛土されたところで、砂水の噴出は確認できなかったが、盛土などの被害状況から地盤は液状化したと判断される。

河口近くの大田区南六郷(52)、本羽田(53)、羽田(54)の川沿いでは、広範囲の地域で地盤が沈下し、堤防に亀裂が入り、護岸は決壊した⁵⁾。砂水が噴出したところもあり、護岸が流出したり、川岸に打ってあった杭が立ったまま沖にすべり出す、川の水深が変化するなどの証言があり、この地域は液状化による地盤の変形が生じたと思われる。

海老取川沿いの堤防(55)は、羽田空港側を含めて両岸とも全線に亀裂が入った。海老取川にかかる京浜電気鉄道穴守線の海老取川鉄橋(55)は橋脚が大きく傾き大

破した^{5),6)}。

(3) 東京湾岸の埋立地と干拓地の液状化発生地域

1590年の徳川氏入府当時は、現在の江戸川河口周辺から隅田川下流域にかけた東京湾岸は、多くの洲をもつ干潟や浅海で、隅田川西部はいくつかの入江をもち、その奥には沼地や湿地をひかえていた。徳川氏は入府直後から大規模な江戸普請にかかり、埋立事業を積極に行った。隅田川西部の埋立てには堀の掘削土をあて、隅田川東部の埋立てには小名木川・大横川・仙台堀川などの水路の掘削土や市中のゴミをあてた。

江戸時代以降の明治・大正時代の埋立地は、江東区の東陽一・二丁目と塩浜二丁目、中央区の月島と勝どき、港区の芝浦と海岸、大田区の大森本町と大森東一丁目の海岸沿いで面積は少なく、江戸時代末期の海岸線と関東地震当時の海岸線には大きな差はみられない。

a) 江戸川区の干拓地

江戸川区の南端は江戸時代の干拓地で¹¹⁾、震災当時は低湿な水田であった。この地域の旧江戸川沿い江戸川区南葛西五・六・七丁目(56)の水田で、稲丈半分ほどの高さの噴砂跡が点状に随所でみられた。西葛西一丁目(57)と北葛西二丁目(58)で中川放水路の堤防が崩壊した⁵⁾。

b) 江東区の埋立地と干拓地

江東区の大半は江戸時代に入ってから埋立てや干拓により開拓された低湿地で、1596年に隅田川と江戸川を結ぶ水路として小名木川が開かれる以前は、小名木川周辺まで海であった¹²⁾。

江東区東部の北砂(59)、東砂(60)、南砂(61)は江戸時代初期に河岸の寄り洲を新田に開発した干拓地で、震災当時も土地は低湿で水田が多かった。関東地震でこの地域一帯は広範囲にわたり液状化が発生した。

荒川放水路寄りの地域の東砂(60)では地割れから砂水が激しく噴出し、庭の敷石が噴き出した砂で斜めに立ってしまったとか、噴き出した水で膝まで浸かったところもあり、地震後に深井戸が20~30cmぬけ上がった。荒川放水路の堤防は盛土が終了していたが、周辺地盤が液状化しているにもかかわらず大きな被害は生じなかった。北砂(59)は東砂、南砂に比べて地割れ幅は小さく、噴出した砂や水の量も少なかった。

江東区の西部、当時の深川(62)は砂町と同時代かあるいは少し早い時代の埋立地で、埋立て後の開発が早く、江戸時代中期にはすでに市街地化されていた¹³⁾。この地域は地割れは生じたが比較的地盤災害が少なく、液状化は白河四丁目(63)と三好二丁目(64)の2地域で確認されただけである。白河四丁目の元加賀小学校隣の高等小学校校庭(63)でいく筋もの地割れが生じ水が噴き出した。三好二丁目の善徳寺敷地(64)では2~3cmの小

穴から水がしみ出した。

湾岸地域では越中島一丁目の当時糧秣廠の缶詰工場(65)の一部で40cm程度の沈下が生じ⁷⁾、越中島三丁目の当時帝国大学航空研究所(66)では砂水が噴出し⁶⁾建物に不等沈下し傾いた⁷⁾。当時、越中島沿いの越中堤(67)とよばれた盛土堤は亀裂が入り、崩れたところもあり、そこで水が噴き出したという証言もあった。木場一・二丁目・東陽一丁目(68)では、砂や水の噴出は確認できなかったが、川沿いの道に地割れが多数発生した。明治以降の新しい埋立地である塩浜二丁目(69)では砂や水が噴出したという情報は得られなかったが、地割れが多数発生し⁶⁾、海岸堤防・護岸は被害を受けた⁵⁾。

c) 中央区、港区の埋立地

中央区の佃一・二丁目(70)は江戸時代に開拓された佃島であり、関東地震でこの地域は液状化しなかった。一方、明治以降の埋立地である佃三丁目(71)、月島(72)、勝どき(73)は随所で液状化が発生し⁶⁾、大きな地割れから泥水や砂が噴き上げ、地盤に段差やくい違いが生じた。また、泥が主体で埋め立てられたところでは地割れから泥が出たなどの証言もあった。この地域は家屋被害も大きく⁶⁾、護岸はいたるところで亀裂が入り、崩壊した箇所も多かった⁵⁾。

中央区の隅田川右岸は江戸時代の埋立地である。この地域は地割れは生じたが、砂や水が噴き出したところは少なかった。日本橋箱崎町(74)で庭から泥水が噴き出した記録があったが、これは大名屋敷の池を埋め立てた場所であったと記されていた。その他では、築地六・七丁目(75)で地割れから砂水が噴出した情報が得られただけである¹³⁾。

港区の芝浦、海岸は明治末期から大正にかけて埋め立てられた地域である。この地域はほぼ全域で地割れや液状化が発生し⁶⁾、河岸の陥没や護岸の被害が多数発生した⁵⁾。芝浦一丁目の当時東京ガスの敷地(76)で地割れから砂水が激しく噴出し⁶⁾、芝浦三丁目の当時東京地方専売局芝工場敷地(77)では地中より泥水を噴出し一面泥海になったが、建物はわずかに床が沈下したにとどまり、工場の高い建物はほとんど被害が生じなかった⁷⁾。海岸二丁目(78)では道路に亀裂が生じ、そこから激しく水が噴き出し路面は沈下した⁶⁾。

品川台場(79)は1853年江戸防備のため埋め立て構築されたもので、大きな地割れから砂や水が噴出し、陥没や段差が生じた¹⁴⁾。

d) 大田区の埋立地と干拓地

大田区の内海沿いの大森東、大森南、東糶谷、羽田空港は、図-3に示すように江戸時代の干拓地であり、震災当時の大森海岸、現在の大森本町と大森東一丁目の一部は明治以降の埋立地である。震災当時は低湿地で水田が

多く、芦原の湿地も残っていた。この地域一帯は随所で砂水が噴出し、河川や堀、海岸の堤防・護岸は全線にわたり沈下やすべり破壊、決壊などの被害が生じ、また、広範囲にわたり地盤が沈下し、震災後出水しやすくなった。

大森海岸の埋立地（80）では地割れから泥水が噴出した⁶⁾。大森東一丁目の当時日本特殊鋼敷地（81）では大きな地割れから泥水が噴出した⁶⁾。

大森東（82）、大森南（83）の干拓地では砂水が噴き出し、特に海寄りの低い土地では点状の噴砂跡が多くみられた。大森東では道が蛇行したとか、東菟谷（84）の当時北前堀の土手がずれ落ち海苔獲りの小船が入れなくなったり、古い木杭が浮き上がったなどの証言があった。

羽田空港では、穴守神社周辺（85）や多摩川沿い（86）で地割れから砂水が噴出した。当時の穴守神社東側の東貫川沿いの堤防（87）は、全長にわたり堤頂に堤防を二分するような大きな亀裂が入り崩壊し、東貫川にかかる木橋は橋の中央が2mあまり持ち上がった。

図-3に示す干拓地を境に、埋立地、干拓地以外は約60~100cmばかり土地が高く、地割れは生じたが、井戸が砂で濁ったり増水した程度で、噴砂・噴水は生じなかった。

（4） その他の液状化発生地域

河川沿いと湾岸の埋立地・干拓地以外の地域では、隅田川以東では江戸川区の南小岩六・七丁目（88）、東小松川三丁目（89）、平井四丁目（90）、墨田区押上一・二丁目（91）、同三丁目（92）、江東区の亀戸二丁目（93）、隅田川以西では荒川区南千住四丁目（94）、千代田区神田佐久間町三丁目（95）、大田区大森北四丁目（96）において液状化が発生したことが確認されたがその数は少ない。

南小岩七丁目（88）では小さな地割れ沿いに微量の微細砂が出た跡がみられ、東小松川三丁目では池を砂で埋め立てた敷地（89）で砂水が激しく噴出し家が1mあまり沈んだ。平井四丁目の荒川放水路沿い（90）は放水路開削の土砂で湿地を埋め立てた直後の地盤で、黒い泥水が泡と一緒に激しく噴き出した。押上一・二丁目（91）では地割れからどす黒い泥水が噴き出し、押上三丁目（92）では幅20~30cmの地割れから余震のたびに砂水が噴き出すのがみられた。亀戸二丁目の当時日清紡敷敷地（93）で地割れから砂水が噴き出した⁶⁾。南千住四丁目の隅田貨物駅構内（94）で地割れから水が噴き出した。神田佐久間町三丁目（95）で幅10cmぐらいの細長い地割れから少量ではあるが砂水が噴き出した。大森北四丁目の大田区立新井第一小学校の校庭（96）で地割れから泥水が噴き出した。

これらの地域のうち、南小岩、押上、亀戸、南千住、

大森北は江戸時代以前に陸化されており、明治の初期には水田や蓮田などの湿地であったところを、明治の後期から大正時代にかけて盛土し宅地や畑にした地域が含まれている。神田佐久間町は江戸時代以前に陸化されており、江戸時代に市街地化された。これらの地域はいずれも地盤の成因として特に液状化しやすいという条件は見当たらなかった。

4. 液状化履歴地域の地盤特性

（1） 液状化発生地域の地形

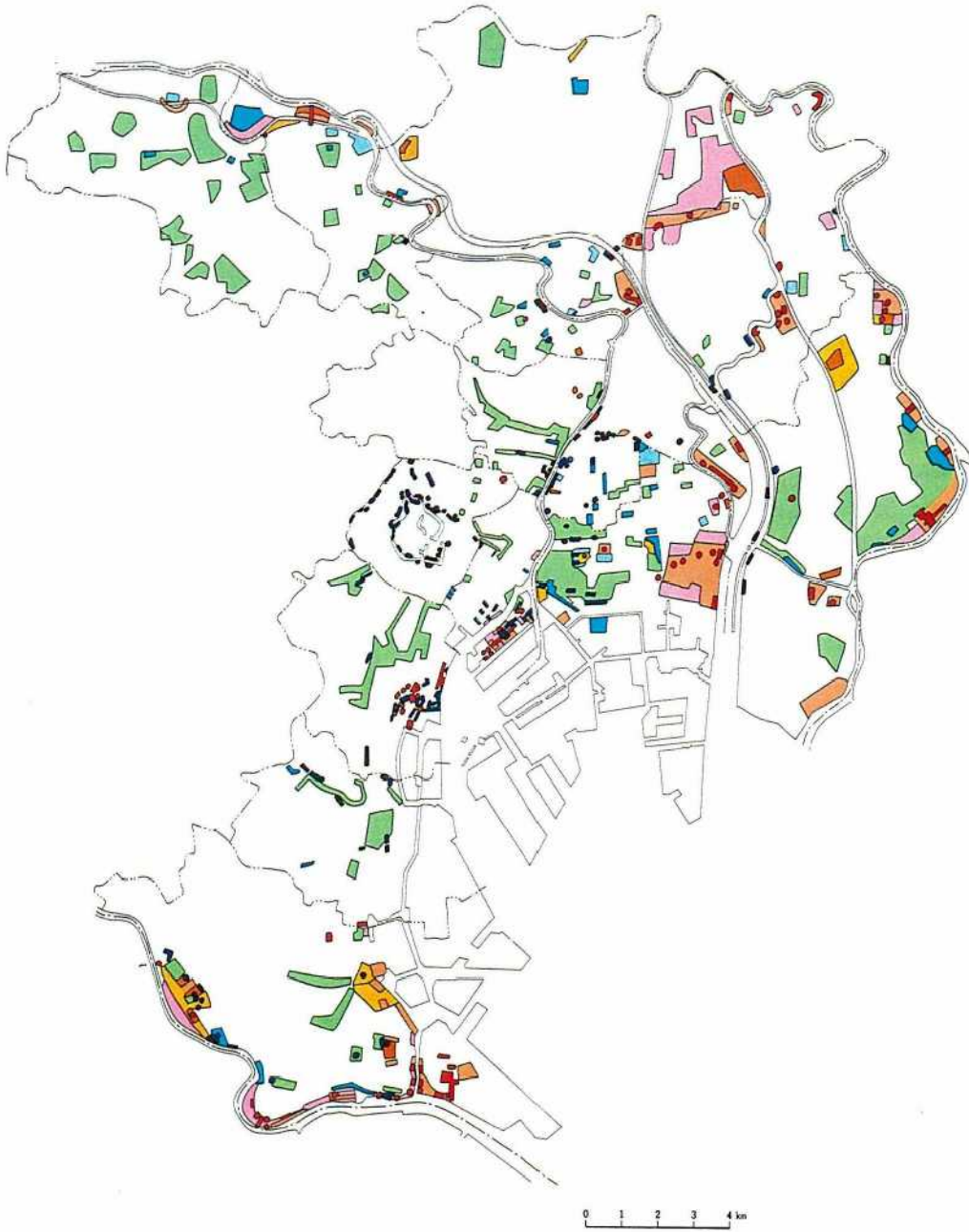
図-1に示す地盤災害分類図のうち、丸印の液状化に関連する災害を「激しい液状化」と「軽度な液状化」に2区分し、菱形印のうち、地盤の沈下と堤防・護岸のすべり破壊や大きな亀裂など地盤の強度低下に関連する災害を「軽度な液状化」に加え、次に示すⅠ~Ⅳの4つに分類し、さらにⅤとして「判断保留および未調査地域」を加え、「関東地震液状化履歴図」として図-4に領域表示で示した。

- Ⅰ：激しい液状化が生じた地域 砂や水の激しい噴出、地盤の陥没。地盤の強度低下による構造物の大きな被害
- Ⅱ：軽度な液状化が生じた地域 砂や水のわずかな噴出、井戸の被害。地盤の沈下、地盤の強度低下による構造物の比較的軽い被害
- Ⅲ：井戸水の変化、地割れした地域 井戸水の濁りや水位上昇、地割れ、堤防の破壊に至らない亀裂
- Ⅳ：地盤災害がない地域
- Ⅴ：判断保留および未調査地域

調査結果のうち、液状化などの地盤災害が発生した地点まで詳細に把握できるものと、地点までは確定できないものがあり、図-4では発生地域の情報の確実性を次の3つに区分して表わした。

- ① 家や寺社の敷地、校庭など、地点を確認できる。
- ② 何丁目のいたるところで、堤防沿い、河川敷など、地点は確定できないが地域までは確定できる。
- ③ 町名まではわかるなど、地域としておおよそ確定できる。

図-4と1970年発行の土地条件図¹⁵⁾を計算機上で重ね合わせ地形分類ごとに面積集計し、関東地震の液状化履歴と地形の関係を調べた。面積集計にあたり、地盤災害の有無が判別できるⅠ~Ⅳの領域を調査領域として集計の範囲とし、Ⅴの領域は除外した。土地条件図で盛土地と高い盛土地に分類される地形は、そのほとんどが震災以降に盛土されたり埋め立て造成された地域であり、現在の地形分類から震災当時の地形を推定することに無理がある。そのため、ここでは盛土地と高い盛土地で分類される地域を面積集計から除外した。また、東京低地



凡 例

液状化程度の区分	情報の確定性の区分		
	地点を確定できる	地点は確定できないが地域までは確定できる	地域としておおよそ確定できる
激しい液状化が生じた地域	● 赤線	■ 赤	■ 紫
軽度の液状化が生じた地域	● 黒線	■ 橙	■ 黄
井水の変化・地割れした地域	● 青線	■ 青	■ 水色
地盤災害がない地域	■ 緑		
判断保留および未調査地域	■ 白		

図-4 関東地震液状化履歴図

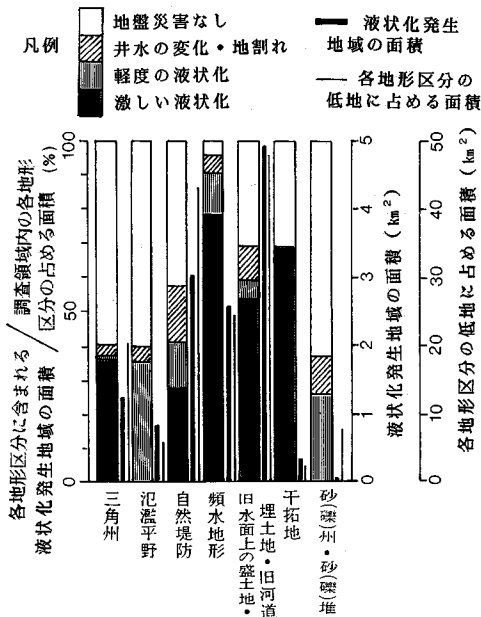


図-5 関東地震液状化履歴と地形の関係

は市街地化が進み、震災当時は旧河道の性質を示していた地域でも、1970年の土地条件図¹⁵⁾では旧水面上の盛土地・埋土地で表示されている場合が多く、旧河道で表示されている面積も少ない。そのため、ここでは地形分類として旧水面上の盛土地・埋土地と旧河道を一括して集計した。以上の操作から、各地形分類の面積と、地形分類ごとの液状化発生地域（ⅠとⅡ）の面積および調査地域面積に対する液状化発生地域の面積比を図-5に示す。この図によると、旧水面上の盛土地・埋土地・旧河道、頻水地形¹⁶⁾、自然堤防における液状化発生地域の面積は大きい。一方、図-4では判断保留および未調査地域（Ⅴ）が多く、調査地域の面積は低地全域の13%であり、また、各地形分類の低地に占める面積に大きな差

があり、そのため液状化発生地域と地形との関係を生じ地域面積から直接判断することはできない。そこで、ここでは各地形分類の調査地域面積に対する液状化発生地域の面積比から判断することにする。

図-5によると、液状化発生地域は激しい液状化（Ⅰ）と軽度の液状化（Ⅱ）を含めると、頻水地形、干拓地、旧水面上の盛土地・埋土地・旧河道で多い。Ⅰの激しい液状化が発生した地域は砂（礫）州・砂（礫）堆、氾濫平野ではなく、砂（礫）州・砂（礫）堆はⅣの地盤災害が発生しなかった地域が多い。

図-5の結果と、旧河道筋、現河川沿い、干拓地、明治以降の新しい埋土地で液状化が発生したという関東地震の液状化履歴調査結果を合わせると、東京低地では液状化が発生しやすい地形は頻水地形、旧水面上の盛土地・埋土地・旧河道、干拓地、新しい埋土地であり、液状化が発生しにくい地形は砂（礫）州・砂（礫）堆である。

(2) 液状化発生地域の土質

河川沿いの自然地盤および湾岸の埋土地・干拓地の液状化発生地域の柱状図（昭和40年代以降の調査）から、表層砂層のN値と粒度試験のデータが揃い、かつ、その地域の地盤特性を代表しているものを選び図-6に示す。図中の D_{50} は平均粒径、 F_c は細粒分含有率、N値は標準貫入試験値を示し、液状化層は液状化解析結果¹⁾と液状化履歴調査による地盤災害状況から推定した。図-6(3)の下丸子一丁目では地表での噴砂・噴水はみられなかったが、井戸が砂で埋まった地域の柱状図である。その他は、噴砂・噴水が生じた地域の柱状図である。

河川沿い自然地盤の液状化発生地域では、図-6(1)~(3)にみられるように表層の砂層は厚く、細粒分が少なく粒径は比較的粗い場合が多く、砂層のN値は必ずしも小さいとは限らない。これに対し、埋土地・干拓地の液状化発生地域では、図-6(4)~(6)にみられる

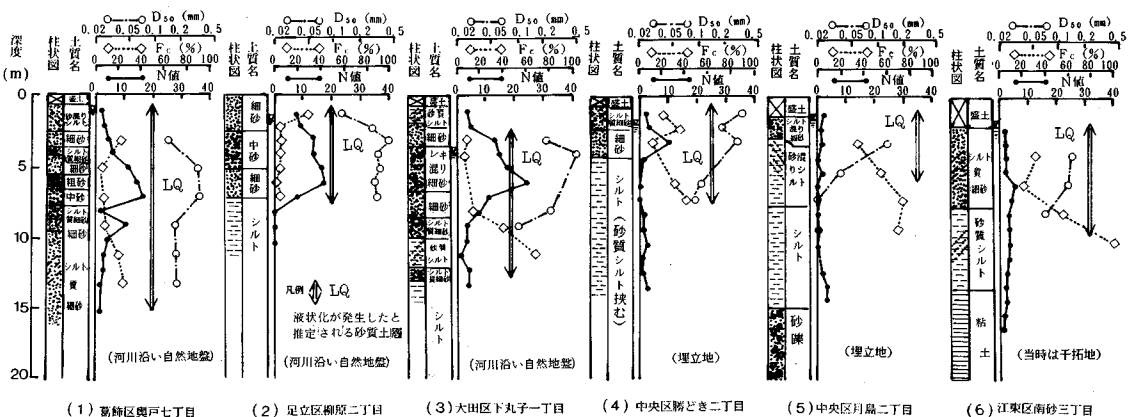


図-6 液状化発生地域の柱状図

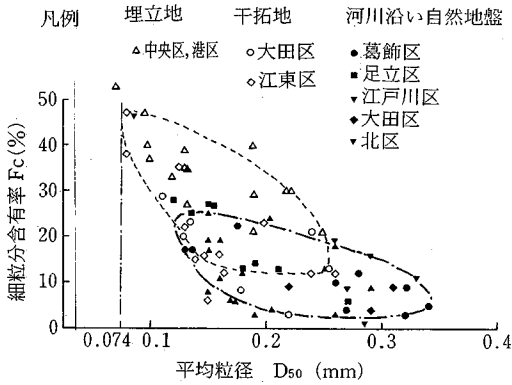


図-7 液状化発生地域の砂層の粒度特性

ように砂層の N 値は小さく、細粒分を多く含んでいる場合が多い。特に、埋立地ではこの傾向が強くみられる。

液状化発生地域のボーリング資料から表層砂層の粒度試験が多いものを選び、液状化解析¹¹⁾により液状化抵抗係数 F_L 値が 1.0 を割る砂層内で、地表から 6~7 m 以浅の N 値が最小の深度の砂層の D_{50} と F_c を図-7 に示す。 N 値最小深度の砂層は液状化砂層内で最も細かい粒径を示す場合が多い。したがって、図-7 から、河川沿いの自然地盤では、液状化が発生した地域の砂層の D_{50} は 0.15~0.30 mm 以上、 F_c は 20% 以下の場合が多く、これに対して、埋立地と干拓地では、 D_{50} が 0.10~0.25 mm、 F_c が 20% 以上の場合でも液状化が発生し、特に埋立地は F_c が 30% 以上であっても液状化が発生したことがわかる。

液状化履歴調査によると、河川沿いの自然地盤では「きれいな砂や水が噴出した」という表現に対し、埋立地では「泥水が噴出した」という表現が多く得られているが、図-7 から、河川沿いの自然地盤では細粒分が少ない砂層で液状化が発生し、埋立地では細粒分を多く含んだ砂層でも液状化が発生したことが裏付けられる。

5. あとがき

関東地震において東京低地では、現・旧河川沿いの地域と湾岸の埋立地・干拓地で液状化が発生した。

地形的には、頻水地形、旧河道、旧水面上の盛土地・埋土地、干拓地、埋立後の経過年数の少ない新しい埋立地で液状化が発生しやすく、砂(礫)州・砂(礫)堆で液状化が発生しにくい結果が得られた。

液状化が発生した地域の土質は、河川沿いの自然地盤では細粒分が 20% 以下と少なく平均粒径が 0.15~0.30 mm 以上と比較的粒径の粗い砂地盤が多い。これに対し、埋立地では細粒分が 30% 以上の地盤であっても液状化が発生している。この結果は、河川沿いの自然地盤で「きれいな砂や水が噴出した」、埋立地で「泥水が噴出した」という液状化履歴調査の情報と符合する。

この論文をまとめるにあたり、地図類の電算処理については東京都土木技術研究所の阿部 博、小川 好の両氏に、関東地震の面接調査については当時中央大学理工学部の学生、坂口茂記、畑中保志、浜本哲也の 3 氏に協力していただいたことに厚く感謝を表します。

参考文献

- 1) 東京都土木技術研究所編：東京低地の液状化予測，土質工学会，1987。
- 2) 栗林栄一・龍岡文夫・吉田精一：明治以降の本邦の地盤液状化履歴，土木研究所彙報，No. 30，pp. 45~62，1974。
- 3) 古藤田喜久雄・若松加寿江：関東大地震の液状化地図，基礎工，Vol. 6，No. 11，pp. 77~90，1978。
- 4) 震災予防調査会：関東地震調査報文，地震編，震災予防調査会報告，第 100 号甲，1925。
- 5) 土木学会：大正 12 年関東地震震災調査報告，第 1 巻~第 3 巻，1926 (1984 年復刻版，雄松堂出版)。
- 6) 農商務省地質調査所：関東地震調査報告，1925。
- 7) 震災調査委員会編：大正大震災震害及火害の研究 1927。
- 8) 小出 博：日本の河川研究，東京大学出版会，pp. 8~93，1972。
- 9) 大熊 孝：利根川治水の変遷と水害，東京大学出版会，pp. 1~61，1981。
- 10) 菊池山哉：沈みゆく東京，上田泰文堂，pp. 97~118，1935。
- 11) 角川日本地名大辞典 13 東京，角川書店，1978。
- 12) 日本図誌大系 関東，朝倉書店，1972。
- 13) 高木隆史：大地震・1923 東京，原書房，pp. 46~48，1983。
- 14) 渡辺久吉：品川台場の震災，地学雑誌 35，pp. 23~26，1923。
- 15) 建設省国土地理院：土地条件図，東京東北部，東京東南部，東京西北部，東京西南部，1970。
- 16) 建設省国土地理院：1:25,000 土地条件図の見方と使い方，p. 7，1970。

(1988. 10. 19・受付)