

# 更新統の東京層砂層の液状化事例と地震動強さ

森 伸一郎<sup>1</sup> ・ 池田 悦夫<sup>2</sup>

<sup>1</sup>正会員 飛島建設株式会社 技術研究所 主任研究員 (〒 270-02 千葉県関宿町木間が瀬 5472)

<sup>2</sup>非会員 東京都新宿区教育委員会 新宿歴史博物館 研究員 (〒 160 東京都新宿区三栄町 20 番地)

東京都新宿区四谷で行われた遺跡調査において地震の痕跡が検出され、地震の液状化によると考えられる噴砂脈を主体として調査をした。淀橋台地の谷底低地に位置する遺跡において地震跡として検出された砂脈は、液状化による噴砂に起因することを確認した。噴砂脈に土を供給した液状化層は、目視観察のほか、鉍物分析、珪藻分析、粒度分析に基づいて、更新統(洪積層)である東京層砂層であることを立証した。考古学・地震学・地盤地震工学の観点から、地震の発生時期を特定した。液状化しにくいと考えられていた洪積砂層も強地震動の下では液状化しうることを示した。有史以来の歴史地震で洪積層が液状化したことを確認した初めての例である。

**Key Words :** *liquefaction, historical earthquake, pleistocene(diluvial soil), Tokyo formation, archaeology, embankment, sand dyke, grain size, heavy metal, diatom*

## 1. はじめに

第四系更新統である「洪積層」の液状化については、「洪積層が液状化した例は見当たらないようである」<sup>1)</sup>と捉えられ、設計規準<sup>2)</sup>でも事例がないことから液状化の検討対象から除外されている。

東京都新宿区四谷一丁目先で行われた遺跡調査<sup>3)</sup>において、江戸城外堀の盛土周辺で地震の痕跡が検出され<sup>4)</sup>、特に地震の液状化によると考えられる噴砂脈を主体として調査をする機会を得た。

地震の痕跡である証左、噴砂脈の供給源が洪積層である東京層砂層にあることの立証、東京層砂層の貫入抵抗分布特性の把握、液状化を発生させた地震の特定について、地質学・地形学・考古学・地盤地震工学・地震学の面から検討した<sup>5)・6)</sup>。

洪積砂層が液状化した初めての事例であること<sup>7)</sup>と液状化させた地震動の強さ<sup>8)</sup>に関して報告する。

## 2. 調査地周辺の地形・地質

図-1に調査区域の位置図を示す。現在のJR四ッ谷駅西側に位置する。調査地は淀橋台の東端に位置し、標高はTP+28.3 ~ +28.4mである。淀橋台の平坦な面を形成しているのは、東京層と呼ばれる第四

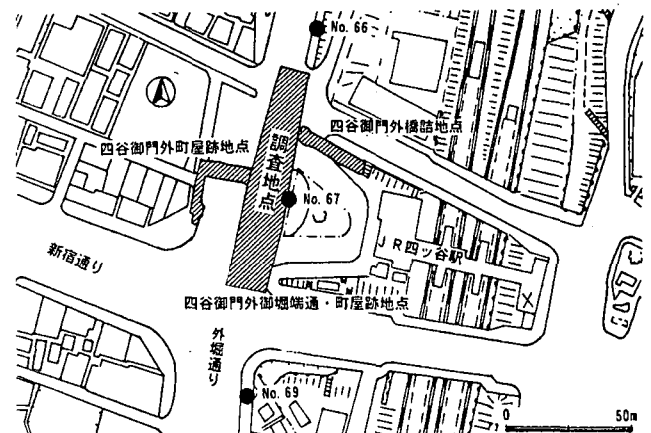


図-1 調査区域の位置図

系更新統である海成層で、約15 ~ 13万年前までの間に起きた下末吉海進により、古東京湾に堆積した浅海・内湾性の堆積物である。

調査地点である四ッ谷駅西側は、大局的に甲州街道を分水界とする尾根筋の延長に位置するが、今回の遺跡調査により、谷底低地の一部であることが判明しており、そこに江戸城外堀構築の際に盛土された。構築前は自然地形、構築後は人工改変地である。

図-2に調査区域の標準層序を示す。ここでは現地表面から約6.6mの深さで自然堆積層、すなわち、埋没した谷の基底を構成する谷底堆積物、渋谷粘土層、東京層砂層が順に確認された。約TP+21.6mから土は還元色となり、自然水位と調和する。

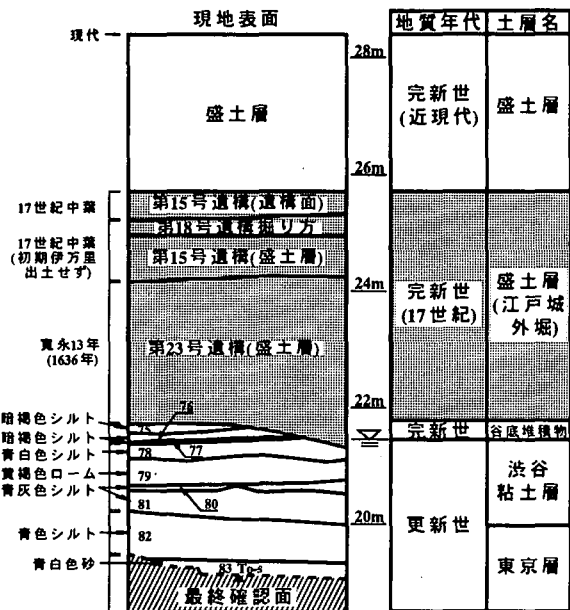


図-2 調査区域の標準層序

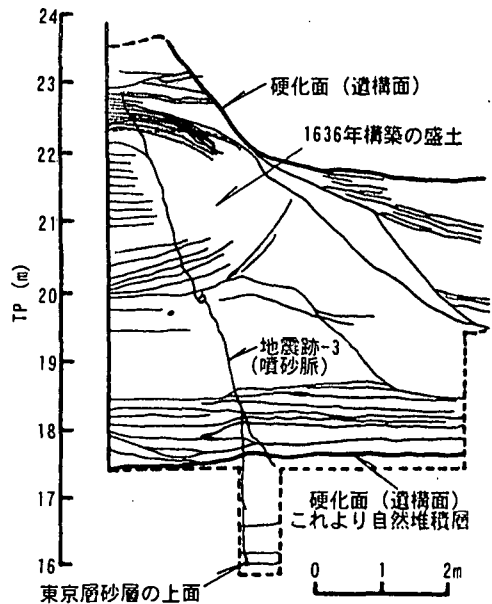


図-3 噴砂脈(地震跡-3)の状況

### 3. 液状化の痕跡と土の粒度分析

この調査区域で確認された9箇所の地震跡の内、噴砂脈は5箇所である。その内の4箇所噴砂供給層が確認または推定できた。図-3に噴砂脈(地震跡-3)の状況を例示する。噴砂脈はTP+16.00mの東京層砂層より上昇し、17世紀中葉の盛土層の上面付近まで伸び、その長さは約7mにも達する。

図-4に噴砂脈(地震跡-7)の検出された様子のスケッチを示す。地山は、須恵器の検出された谷底堆積物の自然地盤である。この地震跡を重点的に調査を実施した。

図-5に(a)東京層砂層、(b)噴砂脈の粒径加積曲線を示す。図中には、港湾基準<sup>9)</sup>の「特に液状化の可能性の高い」粒度の範囲を併せて示した。東京層砂層は、層位により粒度特性が若干異なるが、粒度特性からは、東京層砂層の上層部は液状化しやすい砂と言える。一方、噴砂脈内の土の粒度特性は階段粒度の様相を呈しており、複数の土が混ざり合ったことが推測される。平均粒径より粗い側では東京層砂層と類似している。

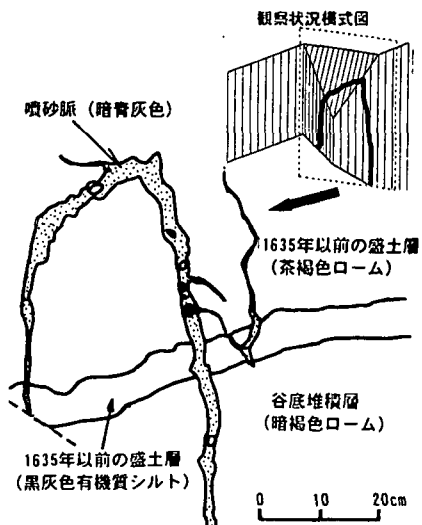
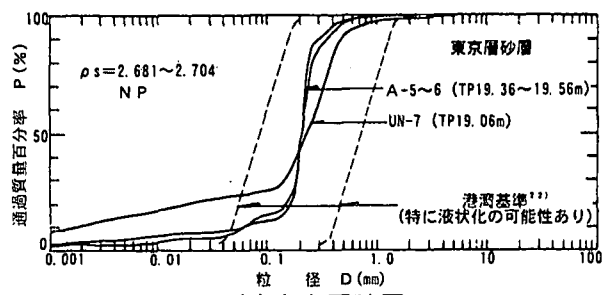
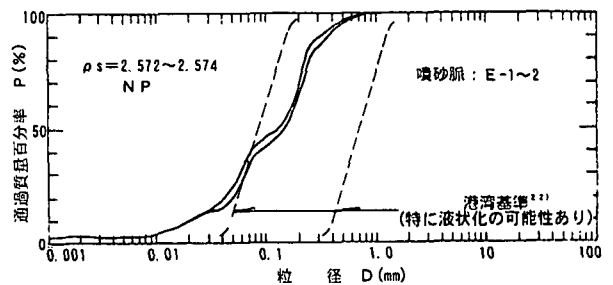


図-4 検出された噴砂脈(地震跡-7)のスケッチ



(a) 東京層砂層



(b) 噴砂脈

図-5 東京層砂層と噴砂脈の粒径加積曲線

### 4. 鉱物・珪藻分析による噴砂供給層の検討

鉱物分析の結果、本調査地の東京層と噴砂脈中の土の重鉱物組成が、既往の東京層のそれ<sup>10)</sup>とほぼ同様であった。表-1に珪藻分析より得られた海水生種と海水-汽水生種の珪藻と個体数を示す。これより海成の東京層であることが裏付けられた。なお、盛土層で認められた珪藻は全て淡水生種であった。一方、噴砂脈中の土からも海水生種、海水-汽水生

表-1 東京層および噴砂脈から検出された海水生種の珪藻とその個体数

珪藻種名	生態性	環境指標	東京層		噴砂脈	
			82層	83層	E-1	E-2
<i>Paralia sulcata</i> (Ehr.) Cleve	海水生種	内湾指標種	なし	2	なし	なし
<i>Cyclotella striata</i> C.stylorum	海水生種-汽水生種	内湾指標種	なし	1	1	2
<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehr.) Simonsen	海水生種-汽水生種	湖沼浮遊性、広適応種	1	なし	なし	なし
<i>Triceratum</i> sp.	海水生種	-----	なし	なし	なし	1
<i>Cyclotella striata</i> (kuetz.) Grunow	海水生種-汽水生種	内湾指標種	なし	なし	2	1
<i>Diploneis smithii</i> (Breb.) Cleve	海水生種-汽水生種	汽水泥質干潟指標種	なし	なし	なし	1

種が認められたので、この土の由来は東京層である。

また、調査区域における暗青灰色の東京層砂層上面はTP+17~+20mで確認されており、この標高は、既往の資料<sup>11)・12)</sup>の東京層の上面高度に一致する。

噴砂脈中の土は東京層から供給されたものである。

### 5. 地震跡に対応する地震の推定方法

工学的には東京層砂層が液状化したときの地震動の大きさが重要である。考古学的な調査では、遺構面の検出と詳細な土層観察が行われ、出土遺物によって出土層の年代がある幅を持って特定できる。

検出された地震跡の形態は、地滑り、地割れ、噴砂脈である。地滑りでは、変形した部分の最上部の層の形成された時期とその上を覆う土層の時期との間の地震であると判断できる。地割れについても、同様である。噴砂脈については、土層断面に現れる遺構面が地震当時の噴砂の堆積面として検出される場合や遺構面で切られたように噴砂脈が途切れる場合には、地震発生は遺構面を形成する時期とその上を覆う土層の形成時期の間であると判断できる。

### 6. 地震跡に対応する地震と地震動の推定

表-2に9つの地震跡を、現地調査からわかった発生順序ごとに、地震跡の形態、考古学的に推定される発生時期、地震起因の根拠に関して整理したものを示す。推定地震は表-3を根拠に決めた。表-3には宇佐美<sup>14)・15)</sup>に基づいて、江戸城または江戸の被害の様子に関する記述がある地震の内、考古学的に推定される時期に相当する地震に関して整理した表を示す。表-2には考古学的推定時期から地震工学的な考察に基づいて推定した地震を併せて示した。1703年の元禄地震や1923年関東地震に対応する地震跡は検出されていない。なお1923年関東地震では、本調査地の僅か南側で地割れが生じている<sup>16)</sup>。

表-2によれば、四谷御門付近の東京層砂層に液状化を発生させた3つの地震の内2つは、江戸直下の地震であること、その際の江戸の震度はいずれもVI程度であり、家屋の倒壊がかなりあるという程度の地震動であることがわかる。

### 7. 結論

- (1) 淀橋台地の谷底低地に位置する東京都新宿区四谷の遺跡調査において地震跡として検出された砂脈は、液状化による噴砂に起因することが確認できた。
- (2) 噴砂脈に土を供給した液状化層は、目視観察のほか、鉦物分析、珪藻分析、粒度分析に基づいて、更新統（洪積層）である東京層砂層であることが立証できた。
- (3) 東京層砂層を液状化させた歴史地震が3つあり、推定された地震はいずれも江戸直下型の地震であり、江戸で震度VI程度と見積もられている。

謝辞：今回の調査では、帝都高速度交通営団ならびに地下鉄7号線溜池・駒込間遺跡調査会（調査団長：早稲田大学人間科学部 谷川章雄 教授）をはじめ関係機関の方々、通産省地質調査所の寒川旭 主任研究員、日本大学文理学部の遠藤邦彦 教授、中央学院大学の久保純子 先生、千葉県風岡修博士、飛鳥建設（株）技術研究所の沼田淳紀 研究員と染谷昇氏にお世話になりました。最後に記して深甚なる謝意を表します。

### 参考文献

- 1) 安田 進：5.5密な砂の予測方法、液状化の調査から対策工まで、鹿島出版会、pp.134-136、1987。
- 2) 日本道路協会：3.7.2液状化する砂質土層、道路橋示方書・同解説V耐震設計、丸善、pp.38-42、1990.2。
- 3) 帝都高速度交通営団 地下鉄7号線溜池・駒込間遺跡調査会：江戸城外堀跡 四谷御門外橋詰・御堀端通・町屋跡、地下鉄7号線溜池・駒込間遺跡調査報告書4-1、1996.3。および同報告書4-2、1996.3。
- 4) 池田 悦夫：江戸城外堀跡四谷御門外西詰・四谷御門外町屋跡における地震跡について、江戸遺跡研究会第8回大会、pp.48-71、1995.1。
- 5) 森 伸一郎、池田 悦夫：第3章 第2節 東京層砂層の液状化の痕跡調査と一考察、江戸城外堀跡 四谷御門外橋詰・御堀端通・町屋跡（考察編）、地下鉄7号線溜池・駒込間遺跡発掘調査報告書4-3、pp.345-362、1997.3。
- 6) 森 伸一郎、池田 悦夫：東京層砂層の液状化の痕跡調査と一考察、土木学会論文集第3部門、(1997.2投稿)
- 7) 森 伸一郎、池田 悦夫：更新統である東京層砂層の液状化事例、第32回地盤工学会研究発表会、1997.6（投稿中）
- 8) 森 伸一郎、池田 悦夫：更新統である東京層砂層を液状化させた地震動の大きさ、土木学会第52回年次学術講演会講演概要集、第Ⅲ部、1997.9。（投稿中）
- 9) 日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説、pp.203-209、1988.6
- 10) 稲子 誠、辻 誠一郎、遠藤 邦彦：淀橋台地西縁地域の関東ローム層と段丘地形、日本大学文理学部自然科学研究所研究紀要、13、pp.31-42、1978。
- 11) 東京都土木技術研究所：東京都総合地盤図Ⅰ、東京都地質図集3、東京都の地盤(1)、1977。

- 12) 帝都高速度交通営団：7号線日黒～駒込間第1次地質調査報告書，1987。  
 13) 若松 加寿江：日本の地盤液状化履歴図，東海大学出版会，1991。  
 14) 宇佐美 龍夫：東京地震地図，新潮選書，1983。  
 15) 宇佐美 龍夫：新編 日本地震被害総覧，東京大学出版会 1996.8  
 16) 佐藤 戈止：東京西部地震調査報文，関東地震調査報告第一，地質調査所，pp.111-139, 1924.8.

表-2 考古学的に推定される地震の時期と地震史料に基づく地震の推定

順序 *1	根拠地震跡	地震跡 の形態	考古学的推定による 地震跡の形成時期 *2	地震起因の根拠	地震工学的推定 *3		
					推定地震	震度	被害等級
I	地震跡 -7 地震跡 -1 地震跡 -8	噴砂 噴砂 地割れ	6c末～1636年 17c前葉～1636年 17c前葉～1636年	噴砂脈の確認 噴砂脈の確認 地割れの延長上に噴砂	1615. 6.26	VI	3-
II	地震跡 -2 地震跡 -3	地滑り 噴砂	1636年～1655年頃 1636年～1655年頃	噴砂脈の近傍である 噴砂脈の確認	1647. 6.16	IV～V	2+
III	地震跡 -4	地割れ	1636年～1655年頃	変状形態が地震起因	1649. 7.30	≤VI	2
IV	地震跡 -5	地割れ	1636年～1655年頃	変状形態が地震起因	1649. 9. 1	--	--
V	地震跡 -6 地震跡 -9	噴砂 噴砂	19c中葉 17c末葉～19c中葉	噴砂脈の確認 噴砂脈の確認	1855.11.11 *4	VI	4

- \*1 地震順序：地震跡の検出された層や砂脈の切り合い関係（上下関係など）によって順序が確定できる。  
 \*2 時期の考古学的推定根拠（各検出地点での根拠に基づく。表中，cは世紀を意味する。）  
 6c末：須恵器のかけらを含む土層を噴砂脈が貫通している。  
 17c前葉：江戸城外堀より前の盛土を噴砂脈が貫通、もしくは地割れ。志野・唐津など17c前葉の様相の遺物検出。  
 1636年（寛永13年）：1635年から始まった江戸城外堀普請の完成が文献より知られる。  
 1655年頃：江戸城外堀の修築に伴い、1655年（明暦元年）に玉川上水が敷設された（「蔵有院殿御実」）。  
 外堀の修築に当たり1656年（明暦2年）に大下水が構築されたという説がある（「御府内備考」）。  
 19c中葉：19c中葉の遺物を含む覆土層を噴砂脈が貫通するが、明治26年工部省による旧国鉄四谷駅構築の際の盛土下面で噴砂は切れる。  
 \*3 地震の推定根拠：宇佐美（1983），宇佐美（1996）を参照して作成した表-3に基づき，著者らが推定した。  
 \*4：地震跡-9については1855.11.11安政江戸地震と推定されるが，1703.12.31元禄地震の可能性も残されている。

表-3 江戸城開闢から19世紀にわたる江戸被害地震と江戸城付近の被害の様子

地震発生年月日		地震の 場所	地震の 規模 M	江戸の 震度	江戸 被害 等級	江戸城または江戸の被害の様子	江戸等 液状化
西 暦	和 暦						
1615. 6.26	元和 1. 6. 1	江戸直下	6.4	VI	3-	家屋損壊多し，死傷多し*，地割れ	----
1628. 8.10	寛永 5. 7.11	江戸*	6.0*	V	1	江戸城石垣所々崩れる	----
1630. 8. 2	寛永 7. 6.24	江戸*	6-1/4*	V	1	江戸城石垣多少崩れる	----
1635.3.12*	寛永 12.1.23*	江戸*	6.0*			長屋の塀破損，増上寺石灯籠倒れる	----
1643. 7. 7*	寛永 20.10.26*	江戸*	6.2*			屋根落ち，壁崩れる	----
1647. 6.16	正保 4. 5.14	武蔵相模	6.5*	IV～V	2+	江戸城石垣破損多し，大名屋敷・御城破損*，死者少なからず*	----
1649. 7.30	慶安 2. 6.21	川越*	7.1	≤VI	2	江戸城石垣・石塀 10ヶ所余破損	----
1649. 9. 1*	慶安 2. 7.25*	江戸川崎	6.4			江戸城平川口腰掛，御春屋破損	----
1683. 6.18	天和 3. 5.24	日光*	6.5-7.0	V-	1	江戸城内築屋少々倒れる	----
1697.11.25	元禄 10.10.12	相模武蔵	6.5*	≤V	1	江戸城平川口梅林坂多門石垣崩れる*	----
1703.12.31	元禄 16.11.23	房総南方	7.9-8.2	VI	3	32御門で被害。四谷御門で渡櫓ひずむ	2ヶ所
1706.10.21	宝永 3. 9.15	江戸*	5-3/4*	V	1	江戸城石垣多少破損*	----
1767.10.22*	明和 4. 4. 7*	江戸*	6.0*			江戸で瓦落ち 14-15軒潰れ*	----
1782. 8.23	天明 2. 7.15	相・武甲斐	7.0*	V-	2	江戸で瓦落ち壁破損，地裂け・潰家*	小田原
1784.8.29*	天明 4. 7.14*	江戸*	6.1*			江戸で傾いた家，瓦落ちた家多し	----
1791. 1. 1*	寛政 2.11.27*	川越・蕨	6.0-6.5			江戸で土蔵に小損*	----
1794.11.25*	寛政 6.11.3*	江戸*				鳥取藩上屋敷土蔵崩れ，書物蔵破損*	----
1812.12. 7	文化 9.11. 4	川崎付近	6-1/4*	V	1+	江戸では僅かな被害，書物蔵破損	----
1854.12.23	安政 1.11. 4	東海	8.4	V	1+	江戸で家屋に小被害	静岡
1855.11.11	安政 2.10. 2	江戸直下	6.9	VI	4	死者1万余，江戸城内石垣・見附被害 四谷で玉川上水の樋が崩れて破損*	9ヶ所

宇佐美龍夫：東京地震地図，新潮選書，1983を参照して作成。ただし，地震の場所と被害概要は若干表現を修正。  
 \*の付いたものは，宇佐美龍夫：新編 日本地震被害総覧，1996に基づき修正した。ただし，「疑わしきか」の地震は除く。  
 被害等級：1:破損，倒壊なし，2:小被害，倒壊まれ，3:中被害，倒壊かなり，死者あり，4:大被害，倒壊・死者多い  
 江戸の震度と江戸の被害等級は宇佐美による。江戸等液状化：江戸または周辺の低地での液状化の発生の事例<sup>1,3)</sup>。