

明治以降の本邦の地盤の液状化履歴

建設省土木研究所 栗林栄一

〃 龍岡丈夫

1. 緒言

近年、地盤の液状化の可能性を判定することが重要になってきた。その判断の材料の一つとして、明治以降の地震被害記録の中から、地盤や井戸からの噴砂噴泥噴水、木杭の抜け出し、噴砂丘の記述を収集してみた。言うまでもなく、古い記録では調査、記述が網羅的ではないし、記述法も定性的であり、液状化の規模、液状化地点を必ずしも明確に推定できない。又、収集できた資料も十分なものであるのではないが、以下に述べる内容は不十分なものである。今回は、これまでに収集できた資料をある程度まとめて、「明治以降の地震に限定しても、相当多くの河成沖積地、埋立地で、地震の際に液状化現象があったと推定され、その場合、液状化地点では震度5(現行気象庁震度階級)以上の地震動を受けたと推定されること」を報告する。

2. 古い文献における噴砂・噴水に対する認識

日本は急峻な地形を持ち、降雨量も多く、面積は広くはないが砂分の多い厚い河成沖積層を各地に形成しており、又、埋立地も多い。このような条件に加えて、日本は地震国であるため、地盤の液状化現象は、地震の随伴現象として、ほとんどの被害地震で生じていた様である。濃尾地震(1891)の震災についての震害予防調査会報告第2号では「…砂水ヲ噴出ス若シクワ河泉井水等ノ發見ハ凡テ大地震ノ際ニス随伴スル所モ)ニシテニ四年ノ大地震ニ於ケルモ亦其實例尠カラズ故ニ一々之ヲ登載スルハ煩雜ニシル)ミナラス別ニ珍シキ事項ニアラスト雖モ…」と述べられている。又、土木学会の関東大地震震害調査報告の中で引用されている大森博士の震度階級の説明の中で次の様に述べられている。「……第二(木平)加速度毎秒900~1,000耗…低濕の地に於ては地面に小亀裂を生じ、水泥砂を噴出することあり……。第五、加速度2,500耗^(毎秒)~2,600耗…多数の井は異状を呈し水量を變化し若しくは砂を噴出することあり……。第六、加速度毎秒4,000耗…處によりては倍數尺なる地割れより砂及び木の多量を噴出し……」又、官部直巳は、「地震に伴へる地下水の異状に就て」(地震第5巻、昭和8年)の中で、明治24年から昭和6年までの地震記録の中から、11の地震に際しての水及び土砂の噴出の記録をまとめている。

この様に、古来日本各地で噴砂噴水現象は生じており、かつ、よくある現象として認識されていた様ではあるが、その被害としては、噴砂噴泥噴水による田畑、耕作物の被害、井戸の混濁閉塞が主であり、高層ビル重い土木構造物のほとんどなかった時代には、液状化による被害は、地震による被害全体から見れば、一部分を占めたのにすぎず、それほど重要な現象としては認識されてはいなかったであろう。

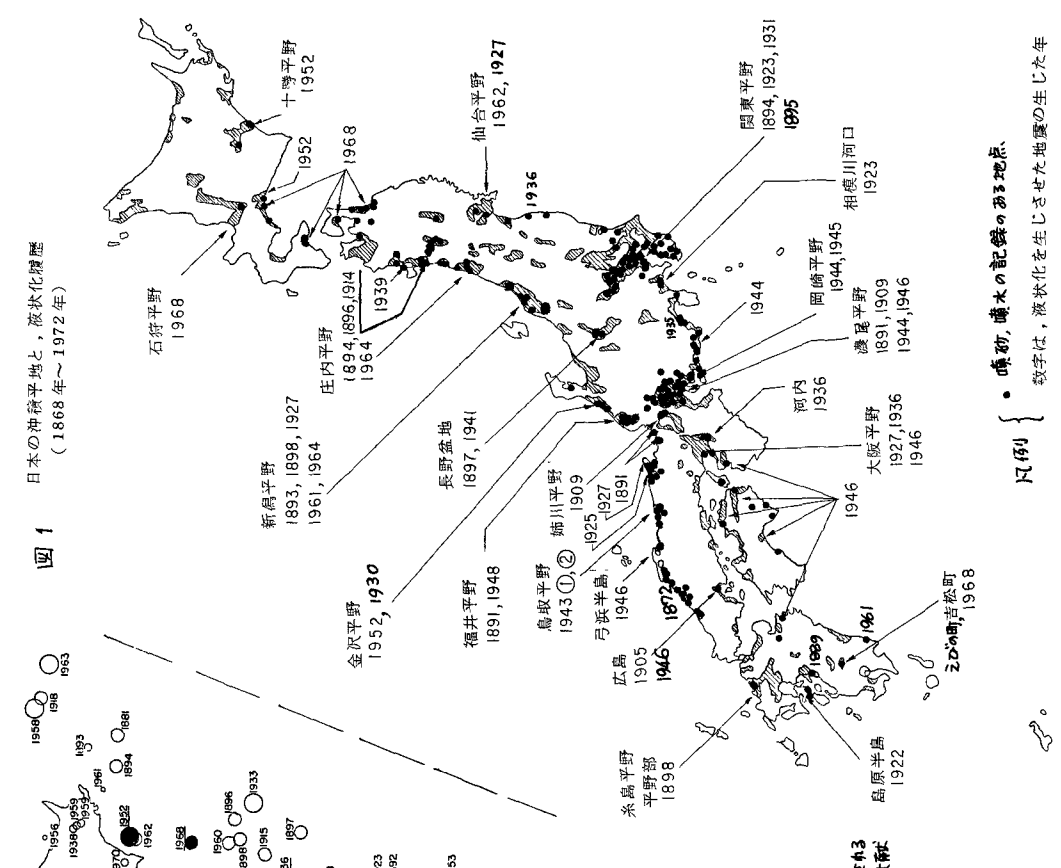
3. 液状化履歴地図(1868~1972)

表-1
噴砂、噴水の記録のある地震
(地震語元は文献1), 2)による)

発生年月	通称	マグニチュード
1872.3.(45)	浜田	7.1
1887.7.(44)	新潟(新潟)	6.1
1887.7.(44)	熊本	6.3
1891.10.(44)	鹿児島	8.4
1894.6.(47)	東京	7.5
1894.10.(47)	庄内	7.3
1895.1.(48)	利根川下流	7.3
1896.8.(49)	徳島	7.5
1897.1.(49)	上高井	6.3
1898.5.(49)	利根川(利根)	6.7
1898.5.(49)	福岡	6.5
1905.6.(49)	釜石	7.6
1909.8.(49)	江籠	6.9
1914.3.(52)	羽後仙	6.4
1922.12.(51)	関東	6.5
1923.9.(52)	徳島	7.9
1925.5.(54)	但馬	7.0
1927.3.(52)	北丹後	7.5
1927.8.(52)	石巻	5.3
1927.10.(52)	尾原	7.0
1930.11.(53)	北伊豆	7.0
1931.9.(53)	西埼玉	7.0
1933.9.(53)	鹿野	6.0
1933.9.(53)	鹿野	6.3
1936.2.(54)	河内和	6.4
1936.11.(54)	全島沖	7.7
1939.5.(54)	男鹿	7.0
1941.7.(54)	尾野	6.2
1943.3.(54)	尾野	6.1
1943.9.(54)	高取	7.4
1944.12.(54)	東南海	8.0
1946.1.(54)	三河	7.1
1946.12.(54)	南海	8.1
1948.6.(54)	福井	7.3
1952.3.(54)	十勝沖	8.1
1952.3.(54)	大津沖	6.8
1955.7.(54)	徳島沖	6.0
1955.10.(54)	二ツ井	5.7
1961.2.(55)	香川	5.2
1961.2.(55)	日向沖	7.0
1961.9.(55)	宮城沖	6.5

1964.6.(55)	新潟	7.5
1965.2.(55)	三つの	5.4~6.1
1965.5.(55)	十勝沖	7.9

図1
日本の沖積平地と、液状化履歴
(1868年~1972年)



● 液状化現象を生じせしめた地震、
黒く塗りつぶしているのは、
東北に記録が見つかっていない
地震を示している。

図-2. 1868年~1972年の、おちよき地震の
震央分布図と、噴砂、噴水の記録
のある地震の震央分布図
〔文献1)の図を修正したもの〕

(注) 此の図、表は、暫定的なものであり、今後、補正修正が必要
なものがある。又、個々の地震発震記録に関する文献
の名前は省略した。

凡例
● 噴砂、噴水の記録のある地点。
数字は、液状化を生じさせた地震の生じた年

図-1は、日本の河成沖積地(中野らによる³⁾)と、明治以降の地震記録の中で、液状化現象(噴砂、噴水、くいの抜け出し)のあったと思われる地点(図中の黒点)を書き入れたものである。非常に大雑把な図であり、液状化の程度や、更にこまかい地盤特性を示していないが、この図からでも、液状化現象は、大河川の中流の沖積地、河口の大沖積地、海岸部の中小河川の沖積地、埋立地に限って生じていることが分るのであろう。もっと大縮尺の地図で検討した所、噴砂、噴水地点は、例外なく河成沖積地、埋立地であり、旧河道の埋立地、海岸・湖岸の埋立地という場所が実に多かった。又、図-2は、宇佐美らによる図¹⁾に加筆したものであるが、明治以降に限っても、数多くの地震で液状化現象があつたことが分るのであろう。表-1には、図-2に示した地震をまとめてある。

又、興味深いことは、果して地震によって噴砂、噴水の生じやすい地域が、いくつかあることである。もちろん、厳密に同地点とは言い切れなから、たとえば、埼玉県東部の利根川、古利根川、元荒川、荒川にかこまれた地域は、東京(1894)、利根川下流(1895)、関東(1923)、西埼玉(1931)の各地震で噴砂、噴水の記録がある。又、福井平野南部は、濃尾(1891)、福井(1948)で、長野盆地の千曲川沿岸では、上高井(1897)、長野(1941)で、横手盆地の極物川沿岸では、陸羽(1896)、羽後仙(1914)で、濃尾平野北部は、濃尾(1891)、江濃(1899)、南部は、濃尾(1891)、東南海(1944)で、それぞれ噴砂、噴水の記録がある。

4. 液状化の生ずる震度

液状化がある地点で生じうるか否かは、その地盤の特性(土下木位、構成している土の種類、ゆるさ、層序、地形…)と、地震動の特性(最大加速度、継続時間…)などによって決るのであろうが、液状化のあった地点で、液状化の規模と上記要因との相関を求めたために、この要因について、精度の高い記録を集めるのは早急には困難である。そこで、諸文献に出ている震度分布を現行の気象庁震度階になおしたものと、液状化地点の位置を対応させて、表-2のように、液状化地点の震度と地震のマグニチュードで分類してみた。古い文献の震度分布はあいまいであり、下表の分類は不正確さを含んだものではあるが、少なくとも次のことが分る。1. 液状化が生じているのは、震度5以上の所である。表中の震度4の所で噴砂噴水のあるケースは例外的であり、本当に震度4であつたかは、きりない面もある。2. マグ

表-2. 液状化の生ずる震度

ニチュードの小さい地震であつても震度5以上の沖積地があれば、液状化は生じうる。マグニチュードが大きくなると、液状化が生ずる範囲が広くなりうる様になると言えよう。マグニチュードが

マグニチュード	5.0-5.4	5.5-5.9	6.0-6.1	6.2-6.3	6.4-6.5	6.6-6.7	6.8-6.9	7.0-7.1	7.2-7.3	7.4-7.5	7.6-7.7	7.8-7.9	8.0-8.1	8.2-8.3	8.4-8.5	
震度VI(250~400gal, 烈震)以上の地域で、噴砂噴水の記録のある地震	関原		2つ	長野	羽後仙		江濃	北伊豆 男鹿	福井	静岡 北伊豆 高取 新田		関東	東南海 十勝沖 (1952)		濃尾	
震度V(80~250gal, 強震)以上の地域で、噴砂噴水の記録のある地震	長岡	二井	熊置 高取	熊本 上高井 静岡	福岡 高原 河内 河内 鳥取 北野		大豊沖	但馬 西埼玉 三河 伊豆 次田	庄内*	東京 陸羽 新田	釜下*	十勝沖 (1968) 関東	東南海 南海 十勝沖 (1952)		濃尾	
震度IV(25~80gal, 中震)以上の地域で、噴砂、噴水の記録のある地震					河内**					陸羽*** 東京						

*文献の震度分布は不明確なので、全体の震度分布の形が推定した。 **堺の埋立地 ***花巻、能代

小さい場合は、液状化区域は、非常に局所的になる。

表-3 震央の位置とマグニチュードと液状化の生じ方

5. 液状化の生じ方の分類
次に、やはり強引ではあるが、液状化の生じ方を分類してみた。(表-3) 表に示されている様に、広範囲の地域で、大規模な液状化が生じうるのは、震央が広い沖積平地か、それに非常に近接した海底・山岳地域に震央がある

震央は、海岸に近い陸地か、非常に近い海底にあるか、近くに大沖積平地がない

震央は山岳地帯の河川の沖積平地か、その極近く

震央が陸地から近距離の海底にあり、近くには大きな沖積平地がない

震央の位置	マグニチュード	地震名 (M _{マグニチュード} (H _{深さ} (km)))	液状化の生じ方
広い沖積平地か、それに非常に近接した海底・山岳地域に震央がある	M ≥ 8.0	濃尾 (M=8.4, H=?)	相当な範囲で大規模な液状化
	8.0 > M ≥ 7.0	関東(7.9, ?) 東京(7.5, ?) 陸羽(7.5, ?), 新潟(7.5, 40 ^{km}) 庄内(7.3, ?), 福井(7.3, 20) 三河(7.1, 0), 西埼玉(7.0, 10~20)	かなり広範囲で、大規模な液状化が生じる
	7.0 > M ≥ 6.0	江巻(6.9, ?), 羽後仙(6.4, ?) 宮城県北部(6.5, 0) ^{*)} , 福岡(6.5, ?) 河内大和(6.4, 20)	限られた範囲で噴砂、噴水しかし、その規模は小さくはない
震央は、海岸に近い陸地か、非常に近い海底にあるか、近くに大沖積平地がない	6.0 > M	関原(5.3, 0~10km) 長岡(5.2, 20km)	この場合、非常に限られた範囲で、小規模な噴砂、噴水
	8.0 > M ≥ 7.0	岩手(7.6, ?) 北相模(7.5, 10) 鳥取(7.4, 10), 但馬(7.0, ?) 茨田(7.1, ?), 男鹿(7.0, 0)	埋立地、あるいは深い海岸沖積平地の沖積川沿いで、選択的に、かなりの噴砂、噴水
震央は山岳地帯の河川の沖積平地か、その極近く	7.0 > M ≥ 6.0	大聖寺沖(6.8, 20), 高原(6.5, ?) 静岡(6.3, ?), 鳥取県沖(6.1, 20) 能登(6.0, 15)	狭い海岸沖積地、埋立地で局所的、小規模な噴砂、噴水
	6.0 > M	上高井(6.3, ?) 長野(6.2, 5~20) 乙川(6.0, 0)	河川沿いの旧河道などの沖積地で噴砂、噴水、規模も範囲も、小さいと云えない
震央が陸地から近距離の海底にあり、近くには大きな沖積平地がない	M ≥ 8.0	南海(8.1, 30), 1952年十勝沖(8.1, 45), 東南海(8.0, 30)	相当な範囲の地域の中で埋立地、海岸の沖積地で選択的に噴砂、噴水
	8.0 > M ≥ 7.0	1968年十勝沖(7.9, 0) 日向灘(7.0, 40) ^{*)}	

6. まとめ

*) 地震エピソード、震央の位置から見て、他の地震よりも噴砂、噴水の生じ方が少ないと思われる地震

明治以降の本邦の被害地震

震の記録を収集して、ある程度のまとめを行なった所、次のことが分った。

1. 明治以降に限っても、噴砂、噴水等液状化現象を示すと思われる現象の記述が残っている地震は少なくとも、40数例を数えている。従って、日本各地の沖積地、埋立地で、液状化が生じたことのある地点は非常に多い。
2. 液状化は、少なくとも震度5以上の地震動に対して生じた様である。
3. 震央が広い沖積地か近接の海底、山岳地域にあり M ≥ 7.0 を越えた範囲で大規模な液状化が生じうる。今後は、液状化発生特性と、地盤特性・地震動特性の相関をつけてゆきたいと思う。なお、資料収集にあたって、色々ご教示いただいた東大石原研一先生、御力をまして下さった北陸地建富山三郎氏、近畿地建下岡文雄氏、中国地建石木一之氏、土研振動研究室吉田精一氏に感謝いたします。

参考文献

- (1) 神沼克彦ら(1973) "図説日本の地震" 東大大学地震研究所研究速報 No. 9
- (2) 宇佐美龍夫(1966) "日本付近のおもな被害地震の表" 震研彙報 Vol. 44
- (3) 中野、小林 "日本の自然" 岩波新書 No. 346, (各地震の資料の名前は膨大になるため省略する)