

千葉県東方沖の地震の調査報告

安田 進*
 陶野 郁雄**
 森本 巖***

1. まえがき

昭和62年が暮れようとしていた12月17日の午前11時8分に千葉県東方沖の地震が発生した。東京でも震度IVの大きな揺れを感じたが、マグニチュードは6.7とあまり大きくなかった。千葉県内でブロック塀が倒れたりして2名の方がなくなられた程度と、テレビ、新聞などでも翌日あたりからはあまり被害状況を報道しなくなった。このため、関係者以外は実態があまりつかめないまま記憶から消え去りつつある。

ところが、この地震、しばらくたってからジワーと重く利いてきている。特に、地盤変状関係として、埋立地の液状化や造成盛土地の破壊など、重要な被害を含んでいたことが明らかにされつつある。遠くない将来に来襲が予想されている南関東地震や東京湾直下型地震といった大地震に対する予行演習が行なわれたと言ってもよいであろう。

実は筆者達も前述したように中途半端な地震のため、被害調査を行なうべきか否か悩んだ仲間であった。しかし、年末、年始と数日間に分けて何とか調査を行なったので、以下に被害状況を紹介してみたい。

2. 地震の活動度および地形、地質

被害状況の説明に入る前に、被害を受けた地域付近の地震の活動度および地形、地質の概要をまず述べたい。

今回の地震は図1に示すように、房総半島の太平洋側にある一宮町の沖合約8kmで発生した。震央位置は北緯35度21分、東経140度29分、震源深さは58kmで、マグニチュードは6.7である。図1には過去約1100年間にこの周囲で発生したマグニチュード6以上の地震の震央分布も示す。相模湾から房総半島沖にかけての相模ト

ラフではM8クラスの大地震が発生してきているが、房総半島の沿岸や内陸では今回のようにM6~7クラスの中規模地震が多く発生してきている。

千葉県内の地形は図2¹⁾に示されるように、南側の上総丘陵と北側の下総台地、それに海岸や河川沿いの低地に区分される。上総台地は第三紀から第四紀に堆積した非火山性堆積物からなり、主に砂岩や泥岩およびその互層の岩層を示す。下総台地は上総丘陵の北側に広域な段丘

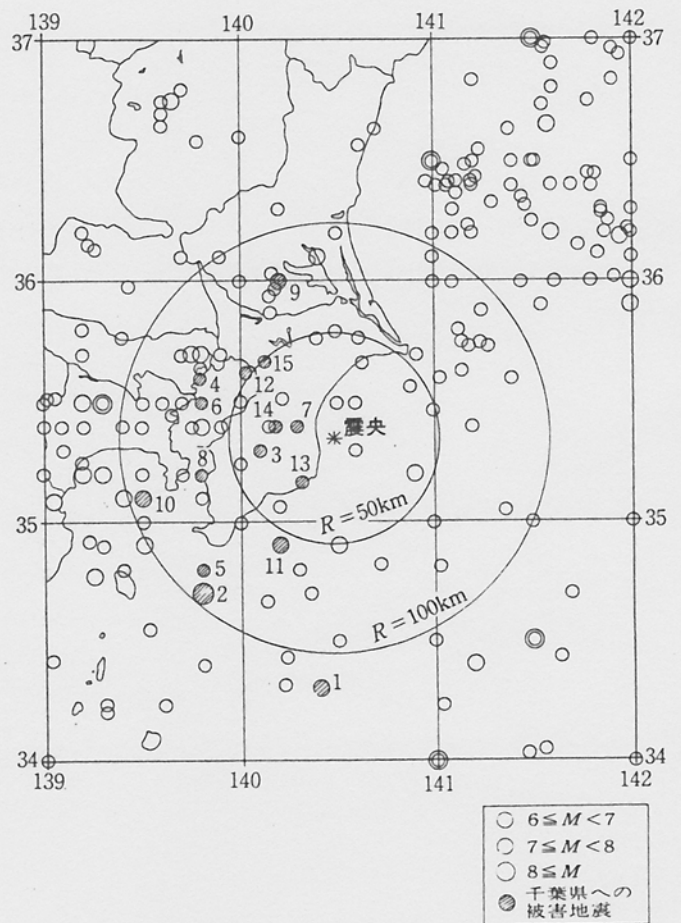


図1 今回の地震の震央と過去1100年間に周囲で発生した地震

* 九州工業大学工学部 開発土木工学科 助教授

** 国立公害研究所 地盤沈下研究室 室長

*** 基礎地盤コンサルタンツ(株) 地震防災室 室長

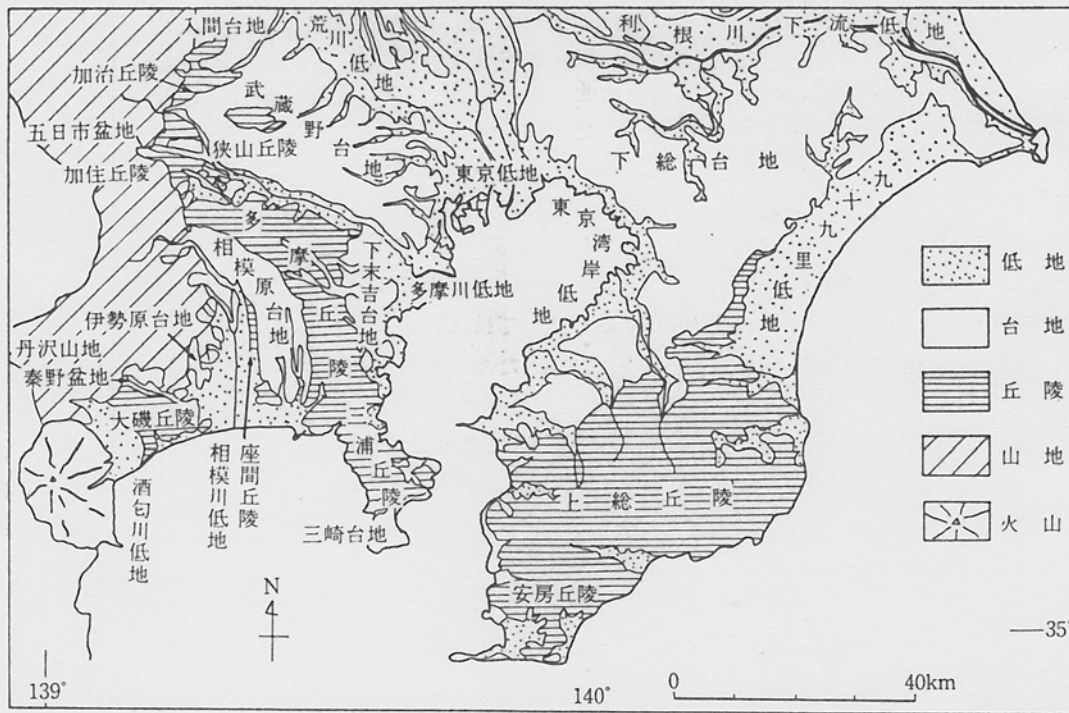


図2 関東地方の地形区分と名称 (堀口編集より一部抜粋)

面をつくり、中部更新統の下総層群で構成されている。台地の表面は厚5m前後の関東ロームで覆われ、その下に比較的固結した砂層、粘土層が存在している。

低地は太平洋に面した九十九里低地や東京湾岸沿いの東京湾岸低地、河川沿いの低地などがあり、沖積層で構成されている。九十九里低地は南西から北東に弓形にのび、数列の砂堤列と堤間湿地が海岸線に平行して形成されている。また、東京湾岸低地では養老川、小櫃川などの三角州が広がり、沿岸部には人工的に埋め立てられた京葉工業地帯が形成されている。

3. 被害の全容

(1) 被害を受けた地域

今回の地震により、関東南部の千葉、東京、神奈川、茨城の各県で種々の被害が発生した。最も多くの被害を受けたのは震源に近い千葉県で、1月5日の千葉県の発表によると、被害を受けた住家63795棟、道路1565箇所、河川119箇所、水道4907箇所…となっている。

千葉県内で住家や道路、河川などの被害が特に多かった地域を示してみると図3となる。震央に近い太平洋側の九十九里低地で被害が多く発生し、西側の市原市に向かっても被害が多かったようである。

(2) 各構造物の被害

各構造物の被害のうち、まず住家では千葉県内で全壊10、半壊93、一部破壊63692棟の被害が発生している。一部破壊の数が非常に多いが、これは写真1にみられるように、主に屋根瓦の落下による被害である。例えば被



図3 住家など特に被害の多かった地域

害の多かった茂原市では約11700戸の住家の屋根瓦が被害を受けた。屋根瓦の被害は1974年の伊豆半島沖地震の際にも目立ったが、鉛直動が大きかったことを物語るのかもしれない。これに対し、全壊や半壊の建物が過去の地震に比べて少なかったのは、地震の規模があまり大きくなかったことと、住宅地では液状化やすべりといった地盤変状が発生しなかったことに起因していると考え

られる。なお、震央から数十 km も離れた東京都内でも窓ガラスや外壁の破損といった軽微な被害が発生した。

河川の被害は一宮川や真亀川など、九十九里低地を通過して太平洋にそそぐ河川の平野部に多く発生した。ただし、1978年宮城県沖地震のように大規模な沈下や崩壊が生じたのではなく、護岸の破損や天端の亀裂といった程度のものであった。九十九里低地以外では、利根川や常陸利根川でも亀裂などの被害を受けた。

道路の被害のうち大きなものとしては写真2に示すように一宮町の海岸で約1 km にわたって発生したすべりやうねりがある。この詳細については4(2)で後述する。このほか、九十九里低地や市原市などの多くの箇所でも亀裂、陥没等の被害を受けたり、崖崩れのための被害も一部で発生した。

ライフラインでは、主に東金市や成東市などの市街地で水道やガスの被害が多く発生した。また、谷あい位置する長南町ではほぼ全域で水道、ガスが止まり、ガスの復旧までに12日ほど費した。写真3に水道管での被害例を示す。なお、水道の被害は震央から数十 km も離れた東京都でもいくつか発生した。

建造物の被害として、このほか、橋梁の被害が震央に

近い地域でいくつか発生したが、さらに震央から約80 km も離れた神奈川県三浦海岸でも京浜急行の高架橋が被害を受けた。写真4にその状況を示すが、橋桁の水平移動と橋脚のクラックが発生していた。ここは丘陵の谷間を横断している所である。

(3) 地盤の変状

地盤の変状としては、①液状化、②斜面崩壊、③造成盛土地の沈下やクラック、が発生した。液状化については広い範囲で発生し、特筆すべきことがいくつかあるため、章を改めて次章で述べることにし、ここでは②、③について述べてみる。

斜面崩壊は千葉県内の385箇所でも発生した。特に、成東町や東金市などの台地ぎわ（下総台地と九十九里平野の境）の比較的低い斜面で多く発生した。写真5に崩壊例を示すが、厚さ1~2 m、高さも10~20 m前後と小規模な表層滑落が主である。前述したように下総台地では



写真1 屋根瓦の被害例 (山武郡成東町)

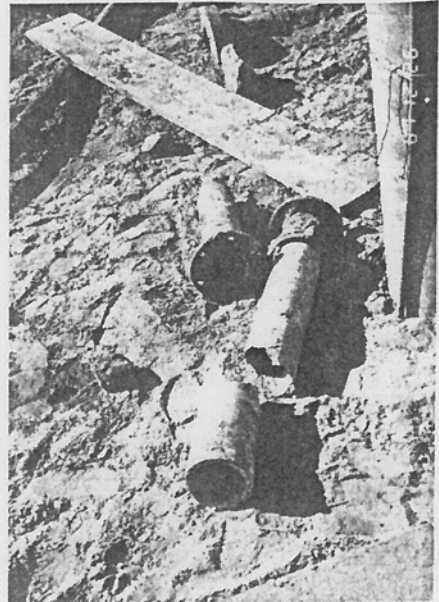


写真3 水道管の被害例 (長生郡長南町)



写真2 道路のうねり (長生郡一宮町)

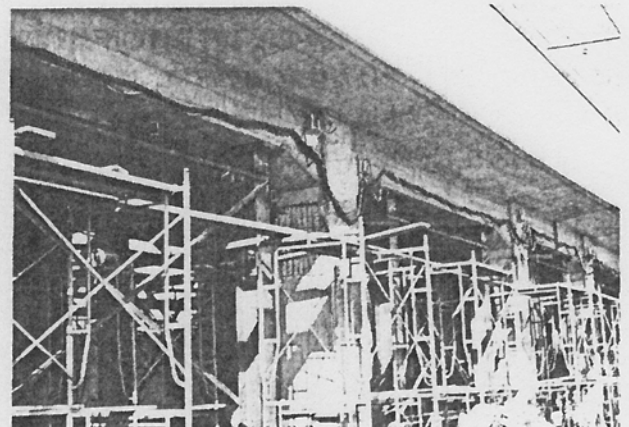


写真4 高架橋の被害 (神奈川県三浦市)

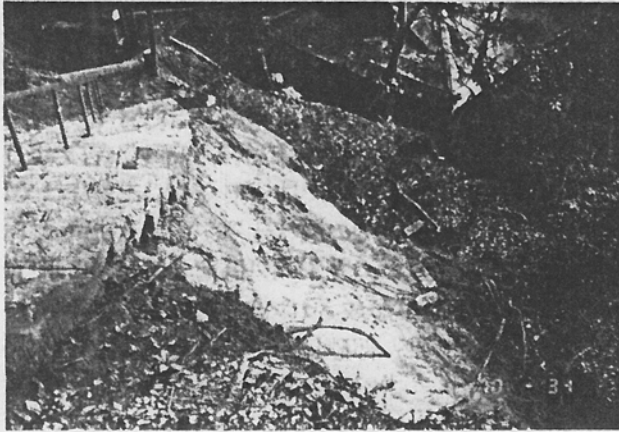


写真5 斜面崩壊例 (山武郡松尾町)

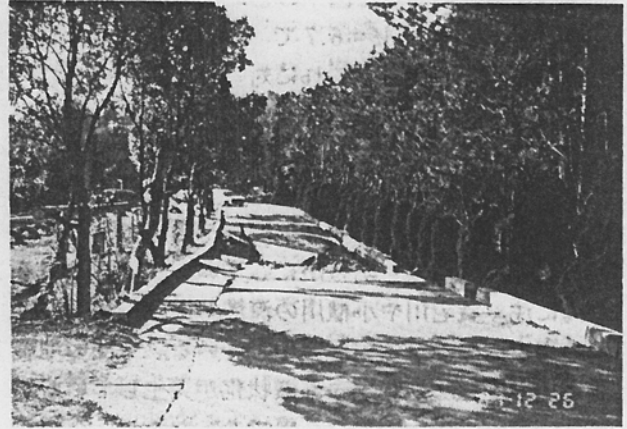


写真6 造成盛土のすべり (長生郡長南中学校)



注1) 液状化地点には筆者達が直接踏査したもの以外に、千葉県や他機関²⁾による調査結果も含めてある
注2) 地形区分は日本第四紀学会³⁾に従った

図4 液状化発生地点

表層が関東ロームで覆われ、その下に比較的固結した砂層が続いているが、その砂層(成田砂層など)がすべり面にみられた。この近付では昭和46年の豪雨の際などにも崩れた履歴を多くもっており、表層の風化の進行とともに、雨や地震で崩壊を繰り返してきている。

造成盛土地の被害のうち最大のもは長南中学校で発生した盛土の崩壊である。写真6に被害状況を示すが、ここでは盛土の液状化に被災原因があると考えられるため、次章で改めて述べることにする。このような大きな被害ではないが、造成地の変状はいくつかあるようである。例えば、姉ヶ崎市の青葉台団地でも盛土端の崩れなどによって家屋が被害を受けている。また、前述した三浦海岸の高架橋被害箇所付近でも造成地の地盤が沈下

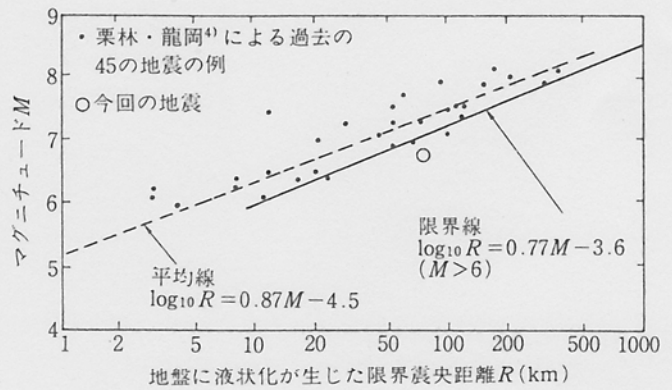


図5 液状化が発生した限界震央距離とマグニチュードの関係

し、道路に亀裂も発生している。これ以外にもいくつか被害があると推察されるが、残念ながら筆者達はまだ全容を把握していない。最近宅地等の造成盛土が都市圏で急増しており、今回の地震による被害の実態をよく調べ、参考とする必要がある。

4. 液状化による被害

(1) 液状化発生地域

噴砂・噴水が発生した地点を液状化発生地点とみなし、地図上にプロットすると図4のようになる。この図には筆者達が直接現地調査したもの以外に、千葉県の調査結果や他機関からの情報²⁾も含めてある。調査を全域くまなく行なうのは困難であるため、このほかにもいくつかの地点で液状化が発生したものと考えられるが、地域的にはほぼこの範囲内ではないかと推測される。

図4を見ると今回の地震で液状化が発生した地点で最も震央から遠い地点は三浦半島であり震央距離は約75 kmである。栗林・龍岡⁴⁾は過去100年間の液状化地点を調べ、地震のマグニチュード M と液状化が発生した限界震央距離 R の関係を図5のようにまとめているが、今

回の値をプロットすると図中の○印となる。過去の地震での限界線によると $M=6.7$ で $R=36$ km となり、市原市あたりが限界となる。これに対し、東京湾岸の埋立地ではそれより遠い 40 km~70 km の範囲内でも液状化が数多くの地点で発生している。埋立地は特に液状化しやすかったことを物語っており、注目に値すると言えよう。

なお、栗林・龍岡⁹⁾は 1923 年関東地震における千葉県内の液状化発生地点も明らかにしている。それによると東京湾に注ぐ養老川や小櫃川の流域および館山、木更津、千葉の東京湾岸で液状化が発生している。今回の地震でも養老川の同様な地域で一部液状化が発生しているが、地震の規模が小さく震央も外房であったため、東京湾岸の自然堆積地盤では液状化が発生するまでの地震動とならなかったであろう。

さて、図 4 を見ると、今回の液状化発生地点は次の三つのタイプに大別されるようである。

- ① 九十九里低地で、海岸より少し内陸側の自然堆積地盤での液状化
- ② 東京湾岸の千葉から東京にかけての埋立地での液状化

③ 内陸の造成地における液状化

これらのうち、①は震央に近く、また砂質土が堆積している環境のため、従来と同じタイプの液状化と言える。これに対し、②、③は最近造られた人工地盤であり、震害例もまだあまりなく、注目に値するタイプと言えよう。以下、順を追って少し詳しく述べてみる。

(2) 九十九里低地での液状化

2.で前述したように、九十九里低地では海岸に平行に砂堤列と堤間湿地が形成されている。砂堤堆積物は中~細粒砂からなり、一部砂丘砂が砂堤堆積物上になっている。

今回の地震では、海岸から少し内陸側に入った地域で液状化が発生した。写真 7 に例を示すが、噴砂は田んぼの中や河川敷などで発生していた。図 6 には採取した噴砂の粒径加積曲線を示す。平均粒径は 0.2 mm 程度で細粒分はほとんどない“きれいな砂”であった。

この付近は田、畑の中に住家が点在するのみで、液状化による被害は目立たなかったが、一部の河川、用水路の被害や、写真 2 に示した道路の被害は液状化に起因していると考えられる。この道路は図 7 に模式図を示した

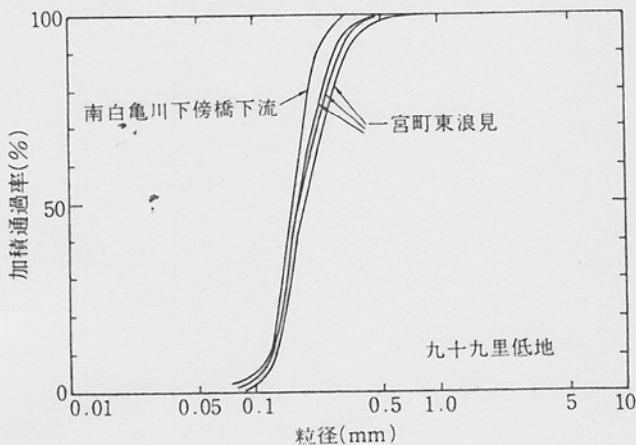


図 6 噴砂の粒径加積曲線 (九十九里低地)

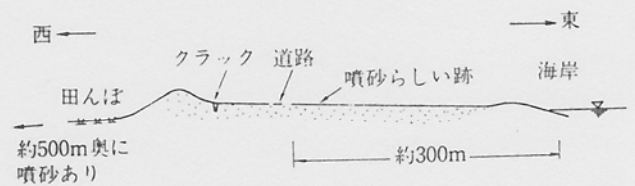


図 7 一宮の道路での被害発生位置模式図



写真 7 九十九里低地での噴砂例 (長生郡一宮町)

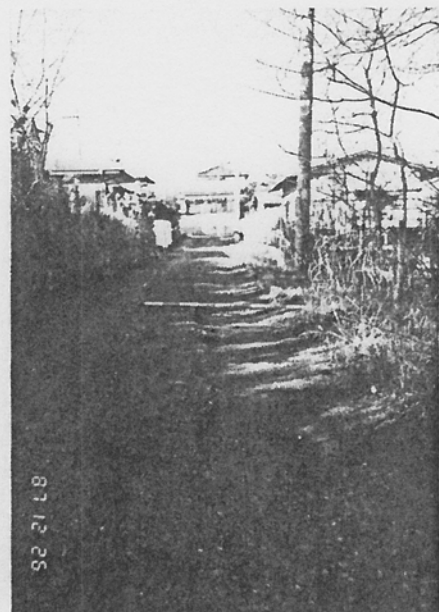


写真 8 うねりを受けた道路 (写真 2) の上部に発生していたクラック

ように、海岸から約 300 m 内陸側を走っており、さらに内陸側約 100 m 付近には小高い砂丘が存在する。この砂丘の海岸側に写真 8 のようなクラック（引張りによる）が道路に平行に入り、また、道路が数区間で海側へ少しすべったようになっている。日本海中部地震の際に能代市などで発生した緩い斜面の永久変位（すべり）⁹⁾が、ここでも発生したのではないかと考えられる。ただし、付近一帯で噴砂跡を捜したが図 7 に示した箇所で噴砂らしいものを見つけただけであり、現在のところ“液状化による地盤の永久変位”と断言はしにくい。

(3) 東京湾の埋立地での液状化

東京湾では千葉県から神奈川県にかけてほぼ全域にわたって埋立地が造成されている。古くは江戸時代から埋立が始まっているが、昭和 30~40 年代の高度成長期には飛躍的にその量が増している。特に千葉県の埋立地はこれ以後のものが多い。埋立材料としては、千葉県では海底土砂の浚渫によるものが主である。なお、東京都の埋立地では浚渫土以外に残土や山砂、ゴミなど多種にわたっている⁹⁾。

さて、前述したように東京湾の埋立地では多くの地点で液状化が発生したが、その特徴を列挙してみると次のようになる。

① 前述したように、過去の地震に比べて震央からかなり遠くまで液状化が発生している。埋立地の周辺では液状化した場所がほとんどないことも合わせて考えると、東京湾の埋立地は自然堆積地盤より液状化しやすかったと言えよう。ただし、東京都の埋立地では一部しか液状化していなく、埋立材料などの条件の違いがあることも考えられる。

なお、関東地震の際に横浜市や千葉市の埋立地で液状化が発生した履歴があるが、今回の液状化はそれ以来のことであり、特に高度成長期以降に急増した埋立地では初めての経験である。

③ 写真 9 に噴砂の例を示すが、今回見られた噴砂孔



写真 9 埋立地での噴砂例 (姉崎市)

は大きいものはなく、また道路は大部分舗装されているため、電柱の足元や側溝あたりから少し噴いただけのものが多かった。建造物の大きな被害もみられなかった（千葉県内の埋立地の多くは企業の所有地であり、内部の状況について筆者らはわからないが、新聞によると大きな被害はなさそうである）ことから考えて、液状化の程度（液状化層厚や液状化に伴う変形係数の低下割合など）はあまり激しいものではなかったようである。

③ 採取した噴砂の粒径加積曲線を図 8 に示すが、平均粒径で 0.1 mm 前後、細粒分（74 μm 以下）含有率で 20~80% と、シルト質砂や砂質シルトのものが多かった。噴砂の粒径分布が液状化層のそれと完全に一致するか、といった問題はあはしる、かなり細粒分を含んだ砂が液状化したことは事実のようである。現行の設計基準類では細粒分含有率が 35% 程度以上含まれると液状化しにくいと考えたりしているものもあり、その程度細粒分が含まれていると液状化には強いと一般に考えられているが、今回の噴砂をもとに再考する必要があると考えられる。シルト分（74 μm ）以下で判断するだけでよいのか粘土分（5 μm ）以下も考慮すべきか、とか、粒径だけでなく砂と粘土のどちらでマトリックスを構成しているのか、といったような研究も今後必要であろう。

ところで、前述したように埋立地の歴史は新しいため、全国的に大地震の経験をまだあまり受けてきていない。最近“ウォーターフロントの開発”と賑やかになってきているが、埋立材料の液状化特性（埋立材料、施工方法、地下水位、埋立後の年月などと液状化のしやすさ）や、埋立地の地震応答特性の解明が今後積極的に行なわれ、また、前向きな液状化対策が行なわれることが望まれよう。

(4) 造成地での液状化

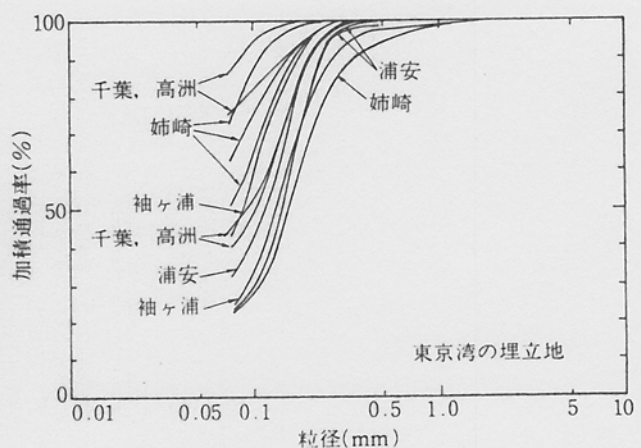


図 8 噴砂の粒径加積曲線 (埋立地)

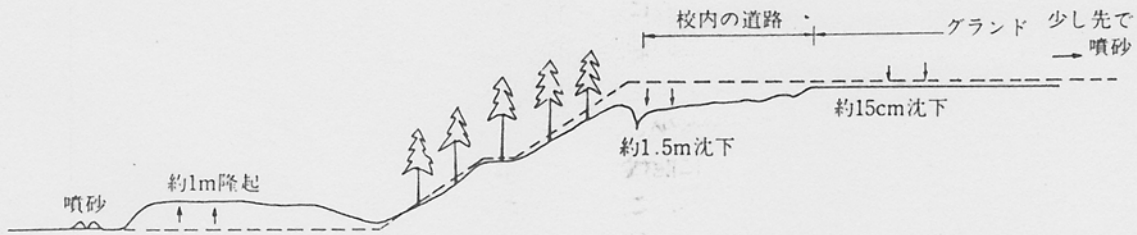


図9 長南中学校での造成盛土の被害 (模式図)



写真10 長南中学校のグラウンド (造成盛土) での噴砂

写真6に示されるように、長南中学校では造成盛土の大きな崩壊が生じた。この付近は以前谷あいの田んぼであったが、周囲の砂岩からなる山を切りとって盛土が行なわれている。最も厚い所で約7mの盛土が行なわれ、緩い状態にあったようである。図9に崩壊状況の模式図を示すが、のり尻およびのり肩から少し離れたグラウンドに噴砂が写真10のように発生していた。図10に噴砂の粒径加積曲線を示すが平均粒径0.15mm、細粒分含有率15~35%程度の細砂であった。詳細は今後の調査結果を待たねばならないが、造成した盛土中で液状化が発生し、それによりすべりが生じたものと考えられる。

このほか、成東町の大富小学校でも液状化が発生し、校舎が被害を受けた。筆者達は直接調べてはいないが、低地の田んぼに造成した箇所のようなのである。

ところで、今回の地震による造成地の液状化はこの程度のものであるが、埋立地と同様に造成地は高度成長期以降に各地で大変多く造られている。造成材料や締固め程度、排水条件によっては液状化が発生する可能性があるが、これまであまり考慮されずに造成が行なわれてきている。盛土材料の液状化特性、造成後の地下水位の分布、対策工などの研究が今後行なわれることが望まれる。

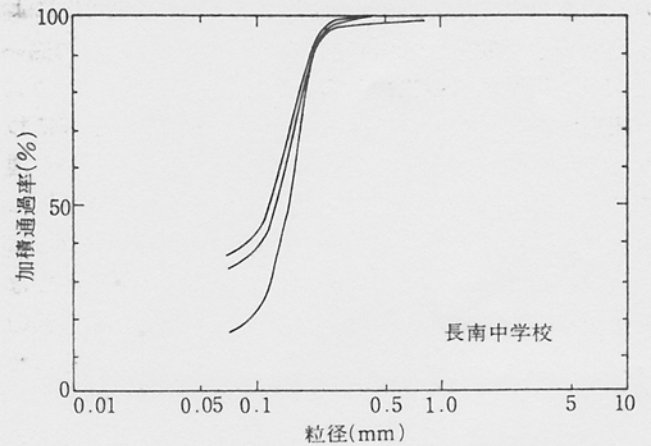


図10 噴砂の粒径加積曲線 (長南中学校)

5. あとがき

著者のうちの一人は最上武雄先生の訃報を聞き、急遽東京へ向かう機中で今回の地震の発生を知った。羽田空港が閉鎖されたため上空を旋回している間にニュースにより甚大な被害ではないことを聞き、ヤレヤレとせて胸をなでおろしたものである。

地震がいったん発生すると、地盤の悪い箇所を見事に洗い出してくれる。今回の地震では首都圏の東部について明らかにされたと言えよう。これを教訓にし、首都圏や他の地域の地震防災対策がより一層進められることが望まれよう。

参考文献

- 1) 日本の地質「関東地方」編集委員会編：日本の地質・3関東地方、共立出版、1986。
- 2) 磯山龍二：和信による。
- 3) 日本第四紀学会編：日本第四紀地図、東京大学出版会、1987。
- 4) 栗林栄一・龍岡文夫：Brief Review of Liquefaction during Earthquake in Japan, 土質工学会論文報告集, Vol. 15, No. 4, pp.81~92, 1975。
- 5) 浜田政則・安田進・磯山龍二・恵本克利：液状化による地盤の永久変位の測定と考察, 土木学会論文集, 第376号/III-6, pp.211~220, 1986。
- 6) 清水恵助：東京港の埋立地について一埋立地の地質学的考察一, 地質学論集, No. 23, 日本地質学会, pp.141~154, 1983。