

千葉県環境研究センターでは、地質環境研究室において東北地方太平洋沖地震が発生した 3 月 11 日以後、千葉県における地質環境に関する被害状況の調査を行っています。

今回は、3 月 14 日までに、千葉市～浦安市の東京湾岸埋立地を中心に、液状化－流動化被害の状況を調査した結果の概要を報告します。

地震時の液状化－流動化現象は、地震動により人工地層（埋立層）を主とした軟らかい砂層～粗粒シルト層において、その地下水の水圧が高まることによって液体状になります（液状化）。液状化が起ると地下水が地表より流出するとともに砂も地下水とともに流動し（流動化）噴出するので、地表に砂が堆積し噴砂丘（砂火山）が形成されます。また、液体状になっているときには電柱などの重いものは地中に沈み、地下タンクのような軽いものは浮上したり、地震動により地表面が波打ったりします（地波現象）。この噴出により地中の圧力は減じていき、この際砂層が縮み地盤の沈下を生じます。この砂層よりも深いところまで基礎が入っている構造物があった場合は、その構造物に抜け上がりがみられることとなります。

液状化－流動化被害の分布

本地震では、東京湾岸埋立地において著しい液状化－流動化により大きな被害が発生している。

図 1・2 は東京湾岸埋立地での噴砂の分布である。この分布は大通りを中心に概査をしたものであり、必ずしもすべての噴砂を網羅しているわけではない。本報告以外の液状化に関する情報があれば提供いただくと幸いである。これら噴砂の分布調査から以下のことがわかる。

1. 噴砂は埋立地全域に分布するわけではなく、噴砂が集中する部分と、噴砂がほとんどなく被害がみられないところが存在する。また、多くの噴砂地点近傍では地盤の沈下を伴う場合が多い。
2. 噴砂が集中する部分は帯として連続し、この方向は北～北東方向に延びる。
3. 噴砂が集中する帯の中でも、噴砂がみられない部分がある。
4. 噴砂が集中する帯の中では、海に近い区画（一番新しい埋立）の埋立地が噴砂の規模や地表の変形が非常に大きい傾向がある。また、一部に一番内陸側の区画（一番古い埋立）において著しい被害となっていることもある。
5. 埋立前の干潮時の波打ち際上にあるほぼ京葉線よりも海側では被害程度が一般に著しい。
6. 1987 年千葉県東方沖地震時に液状化－流動化現象が起こったところでは、多くは再度同被害が発生している。また、被害の程度や噴砂の範囲は今回のほうがかなり大きくなっている。

以下に、代表的な被害状況を述べる。

1. A 帯は、千葉市美浜区幸町を通る噴砂を中心とした被害である。幸町では千葉県東方沖地震の際にも噴砂がみられた。
2. B 帯は、千葉市美浜区稲毛海岸 2 丁目付近より同区高洲 2 丁目付近・高浜 1 丁目付近を通り新港の西端に至る。噴砂だけでなく、構造物の傾動・沈降、地下タンクの浮上（B-1）、電柱の沈下（B-2・B-3）、建物の抜け上がりなど液状化－流動化に伴う著しい構造物被害がみられた。噴砂は非常に大量で（B-4）地表面の沈下や地波（高浜 1 丁目）などもみられる。稲毛海浜公園でも非常に大規模な噴砂が 100m 以上も連続する例も見られる（B-5）。
3. C 帯は、稲毛海岸 3 丁目付近より高洲 3 丁目付近・高浜 4 丁目を通り高浜 7 丁目に至る。被害程

度が著しく、亀裂からの大量の噴砂を伴う場合が多い。亀裂は50～100m程度のものも多くみられる(C-1・C-2・C-3・C-4)。沖積層・人工地層が厚くなる海岸部の海浜公園内では被害程度が著しく、噴砂の量が多く、芝生公園では50m×50m程度の大規模な沈下を伴っている(C-5)。この被害の帯の外側では被害は全くなく、その被害のコントラストは著しい。

4. D帯は、千葉市美浜区真砂2丁目より真砂1丁目・磯辺5丁目をとおり磯辺3丁目に至る。京葉線以北では被害程度はやや小さいが、京葉線以南では被害は著しい。特に中磯辺公園周辺では大量の噴砂を伴う著しい沈下や、一戸建て住宅・ブロック塀の傾動・沈降がみられた。特に、中磯辺公園では、北西部で著しく液状化―流動化し大量の噴砂・噴水があり、幅30×長さ60m程度の範囲が数十cm～1m程度沈下し、水たまりになっている(D-1)。道路を挟んで対面の一戸建て住宅地においても大量の噴砂・噴水があり、ブロック塀や電柱の沈降が複数みられる。また、家屋の傾動もみられた。
5. E帯は千葉市美浜区真砂5丁目より、真砂4丁目・磯辺6丁目を通り磯辺7丁目に至る。京葉線以北では被害程度はやや小さいが、京葉線以南では被害は著しい。特に磯辺7丁目では沈下や地波をとともなう著しい被害がみられた(E-1)。
6. F帯は千葉市美浜区若葉1丁目・2丁目から海浜幕張駅周辺を経て幕張の浜に至る幅の広い帯である。この帯では噴砂量が比較的多く、道路のめくりあがりや構造物の抜上がり(F-1)がみられる。
7. G帯は千葉市美浜区浜田1丁目より豊砂南東部に至る。亀裂を伴う噴砂がみられる。
8. H帯は千葉市美浜区芝園1丁目より芝園3丁目に至る。大きな噴砂がみられる。
9. 千葉市美浜区幕張西、習志野市香澄・袖ヶ浦では噴砂は帯状分布というよりは、埋立地一体に液状化―流動化現象が発生した。また被害程度は著しく、電柱の沈下、ブロック塀の沈降、一戸建て住宅の傾動(H-1)などがみられた。袖ヶ浦では地表の変形もみられる(H-2)。
10. 浦安市の埋立地域では、ほぼ全域にわたって大量の噴砂がみられ、自動車などが埋まったところもみられる。また、杭基礎のない1階建てや2階建て構造物は沈降・傾動がしばしばみられた。一方、杭基礎を持つ構造物は液状化―流動化した人工地層部分が収縮することにより抜けあがりが見られる(U-1)、マンホールの浮上(U-2)、道路施設の柱の傾動・沈降(U-3)もみられる。この地域は人工地層・沖積層が全体に厚く、被害程度が全体に著しいものと考えられる。一方、人工地層のない自然地層部分(沖積層分布域)では、液状化被害はみられなかった。

考 察

以下に、埋立地において、比較的地質ボーリングデータがそろっているところにおいて、噴砂の分布と地質との関係を考察した。また、これまでの千葉県東方沖地震における液状化―流動化被害のメカニズム解明結果も参考にすると以下のことが考えられる。

1. 噴砂の集中する帯の位置は、沖積層の厚い部分に調和的である。約1万8千年前に最も寒冷化した氷河期に海面が約100m低下した際に地層が浸食され谷が形成された。この後、温暖化による海面が上昇するに従い、この谷には約1万3千年前～約2千年前の縄文時代に軟らかな地層(沖積層)が堆積した。このため、この谷を中心とした沖積層の厚い部分では地震動が増幅しやすく、この上に埋立てられて作られた人工地層は液状化―流動化現象をおこりやすいと考えられる。
2. 千葉市美浜区磯辺4丁目の中磯辺公園では、1987年千葉県東方沖地震時にも噴砂がみられたため地質環境調査を行った。その結果、ここでは沖積層や埋立による軟弱な人工地層が厚さ20mを超える厚さを有するため、地震動が増幅しやすいことが明らかとなった。またこの付近では、人工地層はサンドポンプ工法によって埋立てられており、中磯辺公園の南東部では泥層、北西部では砂層によって主に構成されている。噴砂があり沈下したところは砂層を主体とする人工地層で

構成され、噴砂がなく被害もみられないところでは泥層を主体とする人工地層で構成されている。今回の地震では、この砂層を主とする人工地層部分が著しく液状化・流動化することによって、大きな被害となったものと考えられる。一方、泥層主体の人工地層部分では被害とならなかったと推定される。このように、1に加えて、埋立層の種類によって液状化・流動化現象が左右される可能性が高い。

3. 被害集中帯の中には場所によってはなんらかの液状化防止対策が施されている部分があり、このような部分は被害がみられないことがあるようである。
4. 1・2の検討に関しては、必ずしも地質ボーリングデータがそろっているわけではない。また、1987年東方沖地震での被害状況と今回の地震では被害の範囲が異なる。今後、将来予想されている関東地震をはじめとする地震時にこの埋立地での液状化被害の予測・予防のためには、オールコアボーリングによる沖積の谷の構造の把握と、これによる地震動の増幅を検討する基礎資料を得るためのP-S検層を行い、地震動シミュレーションを行う必要がある。また、このシミュレーションの精度を高めるため、3期にわたって埋立を行った埋立地の中で3つの区画ごとに、沖積の谷を横断する断面において各断面6地点程度の観測点での地中・地表の地震動観測により地震動の増幅について調査する必要がある。
5. 場所によってはなんらかの液状化防止対策が施されている部分があり、このような部分は噴砂集中部分でも被害がみられないことがあるようである。

最後に、液状化被害地の今後について、従来の被害調査で一般的にみられる現象を述べる。

1. 一般に噴砂があった付近では、数日～数週間にわたりゆっくりとした地盤の沈下が続く。特に東京湾岸埋立地では細粒な砂層が主体に構成されるので、一度高まった地下水圧が元の状態にもどり、砂層の硬さが戻るには長い時間がかかることとなる。このため、地盤の沈下は長期にわたってすすむ可能性が高い。
2. 上記のため、地表の変形部分の補修は、当面は応急処置とし、本復旧工事は地盤の沈下が止まるまでまっで行わないと、本復旧後に再度復旧が必要となる。よって、液状化被害地では時系列的な地盤の沈下を把握（水準測量など）する必要がある。
3. 噴砂が細粒砂～粗粒シルトを主体としており、水と一緒に流れやすい。このため、排水溝や排水管に砂や泥が流入し、堆積してしまい、これによって排水が詰まっているところが多い。これら排水管の迅速な洗浄が必要となる。

ま と め

以上、液状化現象の分布を調査し、被害が集中する帯が複数みつき、これらは地質構造と関係が深い可能性が考えられる。今後の関東地震などの強震動の際に液状化現象の予測・予防のためには、先に述べたように、人工地層と沖積層を対象にした地質ボーリングと地質構造を考慮した地震動観測が必要である。なお、本研究室はC帯の被害集中部に位置し、玄関部分の破損や、ガス・水道の一部破損や食糧不足といった正常とはいえない条件下において室員の調査によって作成されたものである。

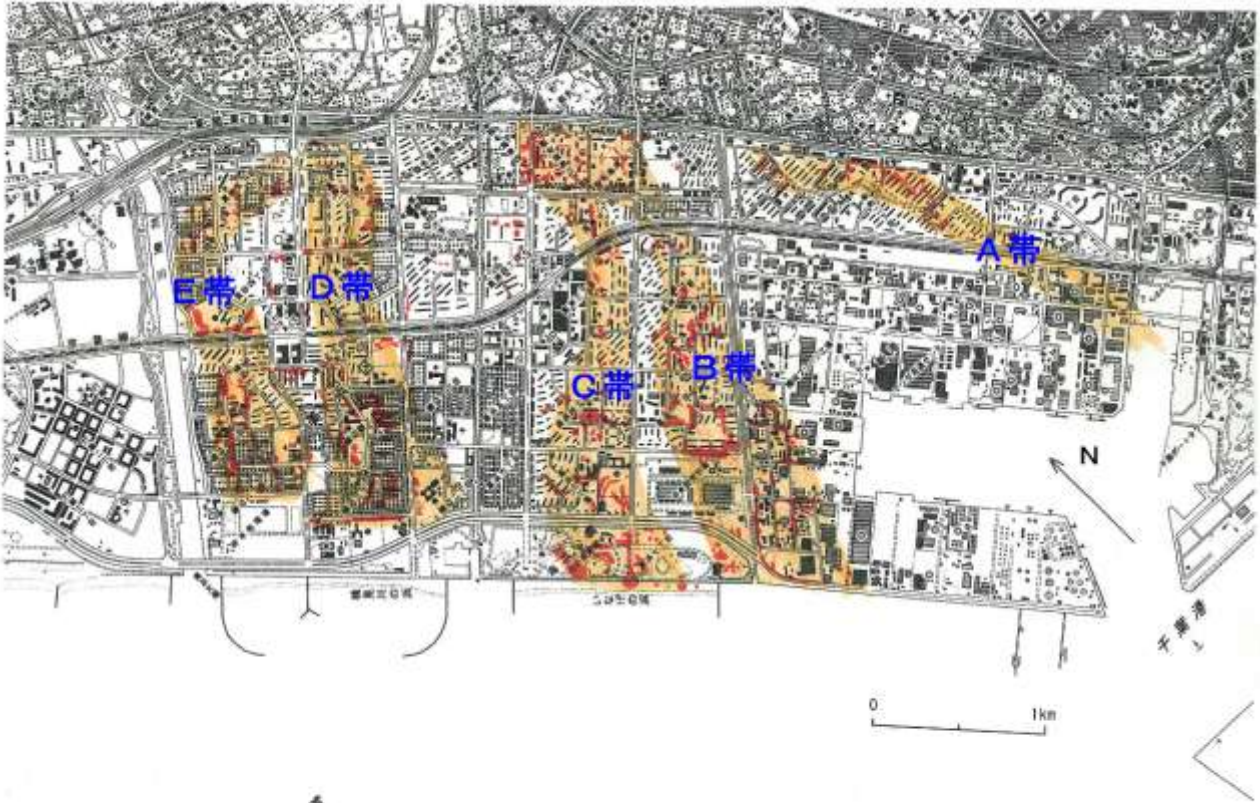


図1 千葉市美浜区幸町～真砂における噴砂の分布と噴砂の集中帯（国土地理院地形図 1/2.5 万「千葉西部」を使用）

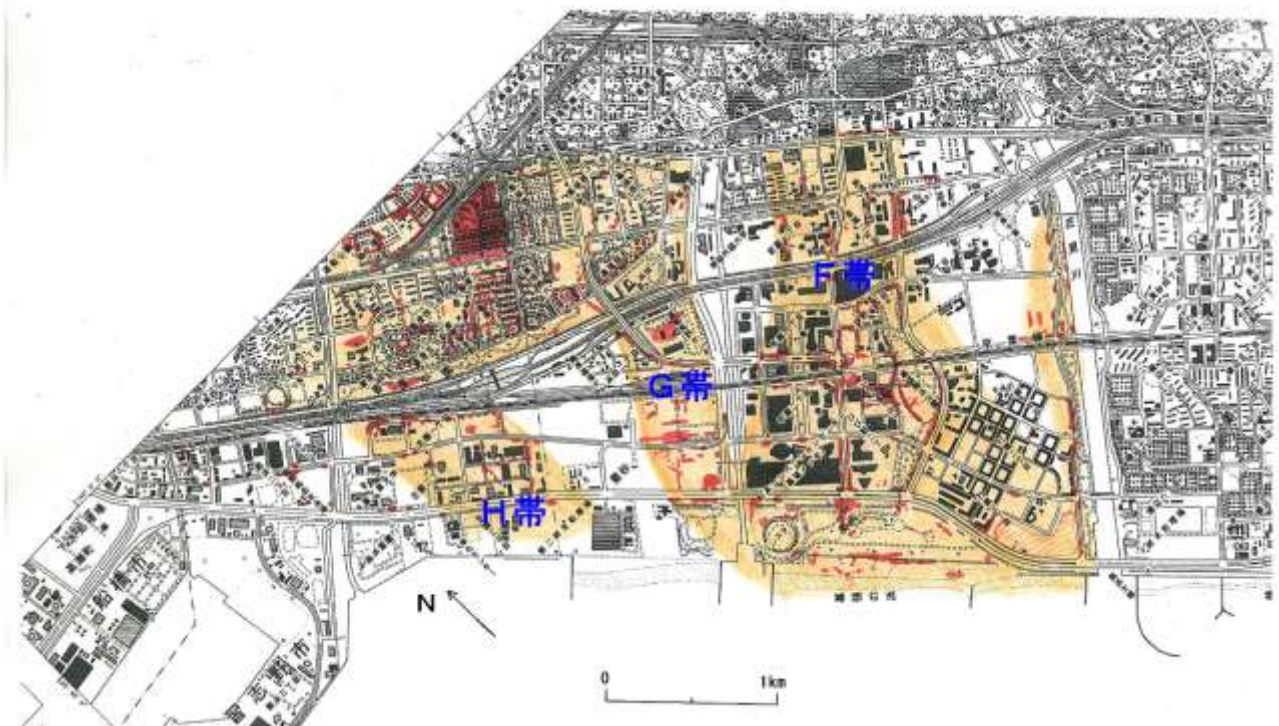


図2 千葉市美浜区若葉～習志野市芝園における噴砂の分布と噴砂の集中帯（国土地理院地形図 1/2.5 万「千葉西部」を使用）



B帯-1 新港における地下タンクの浮上と噴砂



B帯-5 高浜1丁目 道路全面にわたる大量の噴砂



B帯-2 新港 電柱の沈降と大量の噴砂



C帯-1 稲毛海岸3丁目 数十mの亀裂を伴う大規模噴砂



B帯-3 稲毛海岸1丁目 電柱の沈降・傾動



B帯-4 稲毛海浜公園南東端での大規模噴砂





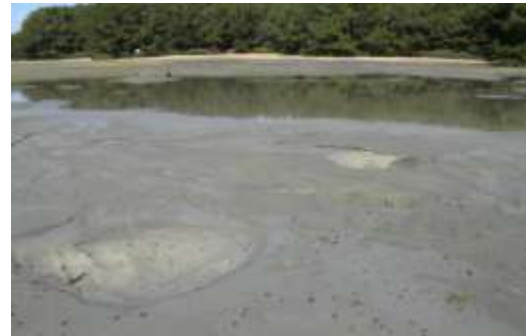
C 帯-2 高浜 4 丁目高浜三小 大規模な亀裂に伴う噴砂と沈下でできた水たまり



C 帯-4 海浜公園でみられる長さ 100m にも及ぶ亀裂を伴う噴砂



C 帯-3 高浜 3 丁目稲毛高校 長い亀裂に伴う噴砂と沈下



C 帯-5 海浜公園芝生公園での非常に大規模な噴砂群と地盤の沈下. 千葉県東方沖地震では小規模な噴砂があっ

た.



D 帯-1 中磯辺公園での大規模な噴砂と大規模な沈下



E 帯-1 磯辺 7 丁目での噴砂と地盤の変形



F 帯-1 海浜幕張駅周辺での噴砂と地表の変形



F 帯-1 海浜幕張駅周辺での噴砂と地表の変形



U-1 浦安市での噴砂と地盤の沈下による抜け上がり



H 帯-1 香澄での噴砂，電柱の傾動，塀の倒壊



U-2 浦安市での噴砂とマンホールの浮上



H 帯-1 香澄での噴砂，電柱の傾動，塀の倒壊



U-3 浦安市での大量の噴砂と道路施設の柱の傾動



H 帯-2 袖ヶ浦での噴砂と地表の変形，電柱の傾動