報　文

東北地方太平洋沖地震による東京港新木場埋立地の液状化調査

Investigation of Liquefaction on Shinkiba Reclaimed Landfill in Tokyo Port by the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake

森　　洋†
（*Mori Hiroshi*）

I.　はじめに

2011年3月11日14時46分に，宮城県沖を震源とするマグニチュード9.0の東北地方太平洋沖地震が発生した。南関東地方（東京都内：震度5強）では，大正関東地震（1923年）以来の比較的大きな地震動（K-NET 辰巳：三成分合成最大加速度224.4 Gal[1]）であった。特に，震央から約400 km離れているにもかかわらず，東京湾岸北部の埋立地で，広範囲の液状化が発生した。これらの原因は，①地震動の加速度振幅がそれほど大きくなかったわりには継続時間が非常に長く，地盤内での繰返しせん断回数が多かったこと[2),3)]，②本震の29分後に茨城県沖を震源とするマグニチュード7.6の最大余震の影響が関与していること[4),5)]，③明治時代後半から本格的に埋立事業[6)]が開始されたことによる埋立地盤の年代効果の影響[7),8)]，④道路舗装下での土砂流動の影響による液状化被害の助長[9),10)]など，現在，さまざまな観点から検討が進められており，今後の成果を期待するものである。

本報では，東北地方太平洋沖地震で特に液状化の発生規模が大きかった東京湾岸北部に位置する東京港新木場埋立地での液状化特性を検討するため，噴砂発生（液状化）地点と非噴砂発生（非液状化）地点でのボーリング調査，ならびに，噴砂発生地点でのトレンチ掘削による噴砂痕跡調査を行ったので，ここに報告する。

II.　新木場埋立履歴

図-1には，東京湾全域での埋立分布図とその形成期を示す[11)]。観音崎と富津岬を結ぶ湾口以北の東京湾臨海部で，多くの埋立地が隣接している。

写真-1は，**図-1**の破線領域内での現在の東京港を示しており，白く丸で囲った部分が，今回の調査対象となる新木場埋立地である。新木場地区は，昭和40年代から本格的な埋立事業が開始されており（**写真-2**），主な浚渫土砂は荒川河口付近より採取した砂質土である[12)]。

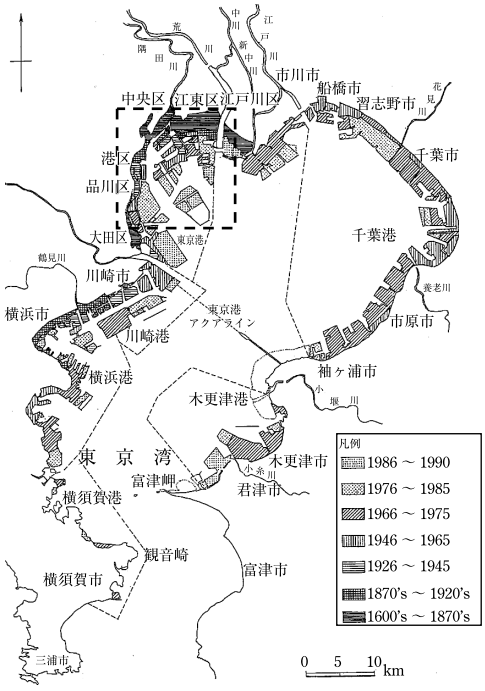


図-1　東京湾全域での埋立分布図と形成期

写真-1　現在の東京港

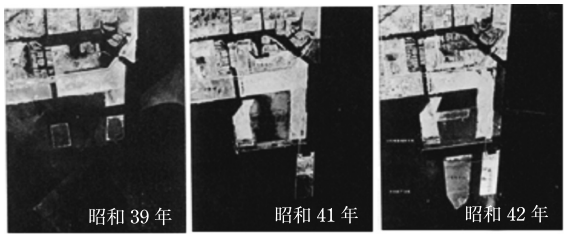


写真-2　新木場地区での埋立履歴変遷

†弘前大学農学生命科学部

キーワード　東北地方太平洋沖地震，新木場埋立地，液状化調査，ボーリング調査，噴砂痕跡調査

III. ボーリング調査

図-2 には，新木場地区で行った3カ所（A，B，C）でのボーリング調査地点を示す。白い線で囲まれた範囲は，国土交通省と地盤工学会[13]が調査した液状化の発生推定範囲を示す。

写真-3 には，周辺部での主な液状化の被害状況事例を示す。特に，新木場地区では液状化被害が顕著で，道路脇歩道での大量の噴砂痕跡が見られた[9]。

図-3 には，ボーリング調査結果から推定される地層断面図を示す。AからC地点に向かって，表層部の盛土層（B層）や浚渫土層（H層）は薄くなる傾向にあるが，上部有楽町層の沖積粘性土層（Ycu1層）や沖積砂質土層（Ysu1層）は厚くなる傾向にあった。噴砂発生地点であるAやB地点と比較して，噴砂の痕跡がないC地点のH層やYsu1層でのN値は20以上と比較的大きかった。また，B層は建設残土などが含まれており，非常に不均質な盛土材料であった。

図-4（a）（b）には，AとB地点ならびにC地点から採取した不攪乱試料による，せん断ひずみ両振幅7.5％とした中空ねじりせん断試験結果を，H層とYsu1層で示した。**図-4**（a）に示すH層では，噴砂発生地点の有無による液状化強度の差異をそれ程明確に示さなかったが（繰返し載荷回数20回での繰返しせん断応力比は約0.20），繰返し載荷回数が増加するに従って，繰返しせん断応力比は0.1程度の小さな値を示す傾向にはあった。**図-4**（b）に示すYsu1層では，噴砂発生地点の有無による液状化強度の差異が見られ，噴砂発生（A，B）地点での繰返しせん断応力比（繰返し載荷回数20回）は約0.25となった。

図-5 には，AとC地点での液状化抵抗率（F_L）と液状化指数（P_L）を示す。判定用の地表面加速度は，新木場地区に近いK-NET辰巳[1]で得られた強軸方向での最大加速度224.5Galを，判定式は東京都土木技術研究所式[14]を用いている。C地点では，一部，F_Lが1

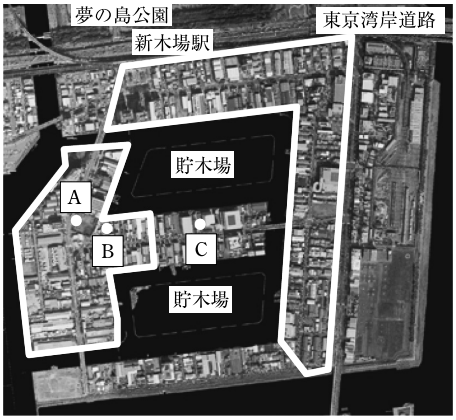


図-2　ボーリング調査地点（3カ所：A・B・C）

写真-3　液状化の被害状況事例

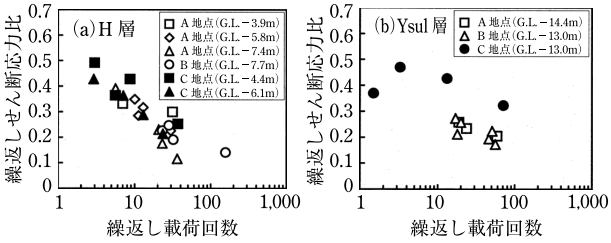


図-4　中空ねじりせん断試験結果（H層・Ysu1層）

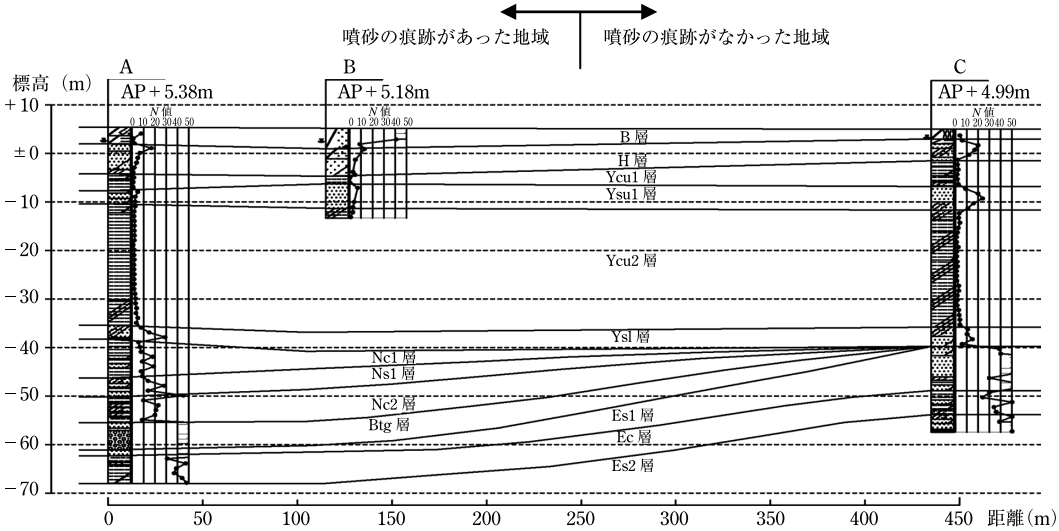


図-3　地層断面図（新木場地区）

を下回る箇所もあるが，P_Lも5以下と比較的小さいことから，噴砂の発生がなかったとする理由の判断根拠になると考える。

Ⅳ．噴砂痕跡調査

液状化による噴砂挙動を検討するため，B地点でのトレンチ掘削による噴砂痕跡調査を行った。**写真-4**は，トレンチ掘削箇所（T事務所内駐車場）での当時の噴砂発生状況を示しており，5cm程度のアスファルト舗装の亀裂部分から噴出した大量の噴砂堆積物が確認されている。

写真-5は，掘削状況を示しており，地表面へと到達する噴砂痕跡をうまく観察することができた。**写真-6**は，地下水が流出し始めるG.L.−3.5m付近から採取した砂質土であるが，貝殻を多く含んでいることから，荒川河口沿岸部より運搬された浚渫土砂と思われる。

図-6には，トレンチ掘削での観測断面図を示す。G.L.−1.0m以深では噴砂痕跡幅が局所的に広く，噴砂が地表面に向かって噴出する際の流速が急激に変化したことが考えられる。また，G.L.−3.5m以深にあるH層（浚渫土層）が，液状化層であるかの確認を行うための試料採取を実施した。**図-7**には，**図-6**に示す試料採取位置での粒径加積曲線を示す。G.L.−3.5mでの採取試料による粒度分布は，B層（盛土層）とは明らかに異なった形状を示しており，G.L.−0.3mとG.L.−1.0mでの細粒分含有率は20%程度と若干大きくなるが，噴砂痕跡での粒度分布に近似していることから，盛土直下の浚渫土砂が液状化して噴出したものと考えられる。また，均等係数もB層で約20.9，噴砂痕跡位置で約3.6，H層（G.L.−3.5m）で約2.7であることからも明らかである。

図-8，9には，埋立て当時の竣工図面から想定する現況断面図と，昭和50年の航空写真にそれぞれの現況想定配置図を重ねたものを示す。二重木柵（初期仮護岸）を伴った初期埋立地が完成した後，第二期仮護岸（タイロッドによる控え工を伴う鋼矢板）を伴う護岸拡張工事（第二期埋立地），さらに第三期埋立地と造成が進められたと推察される。**図-9**に示した今回のトレンチ掘削箇所を勘案しての大凡の亀裂発生区域を**図-8**に示した。二重木柵を含めた控え工付近で地表面に亀裂が発生していることから，既存の地中構造物が，噴砂規模を拡大させた地中内亀裂に何らかの影響を及ぼしている可能性があると考えられる。表層部での盛土層厚が3m以上と比較的厚いにもかかわらず，大量の土砂が噴出したのは，本震後，浚渫土層の間隙水圧が高い状態を維持したまま，余震による再液状化

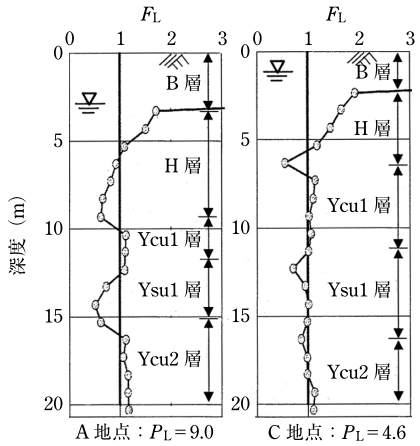


図-5　液状化抵抗率（F_L）と液状化指数（P_L）

写真-4　噴砂発生状況（T事務所内駐車場）

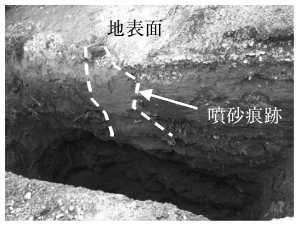


写真-5　掘削状況

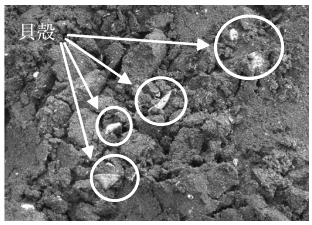


写真-6　浚渫土砂

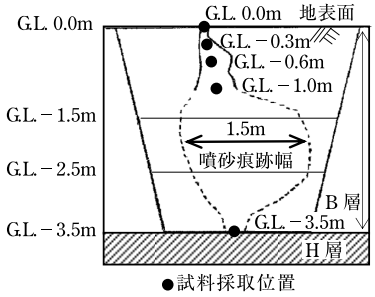


図-6　トレンチ掘削での観測断面図

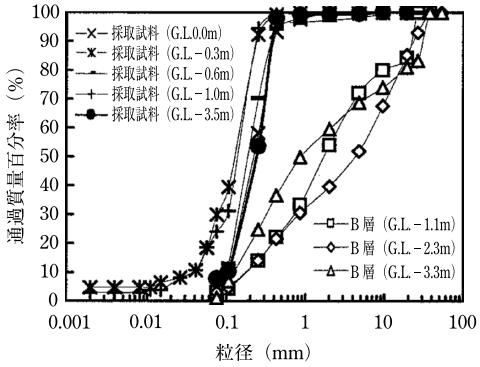


図-7　粒径加積曲線

の影響で，浚渫土砂が亀裂部分に沿って噴砂したものと考えられる。また，トレンチ掘削箇所は護岸屈曲部分に近いため，特に地震時の応答特性が複雑に変化して影響を与えた可能性もあり，今後検討する必要がある。

V. まとめ

東北地方太平洋沖地震で，特に液状化の発生規模が大きかった東京港新木場埋立地での液状化特性を，噴砂発生地点と非噴砂発生地点でのボーリング調査，ならびに,噴砂発生地点でのトレンチ掘削調査を行った。

1) 噴砂発生地点の有無による液状化強度の差異を，浚渫土層での繰返しせん断応力比で明確に示すことはできなかったが，F_LとP_Lによる差異によって示すことは可能であった。
2) トレンチ掘削では，噴砂痕跡が浚渫土層から地表面まで貫通している様子が確認され，浚渫土砂が噴砂した試料であることを，粒度分析より推定することができた。
3) 埋立て当時の竣工図面から想定する現況断面図と噴砂規模の拡大を助長させたと推測する亀裂発生区域の関係から，既存の地中構造物（控え工など）が何らかの影響を与えたと同時に，余震による再液状化により，亀裂部分に沿って大量の噴砂が発生したものと考える。

謝辞　本報をまとめるに当たって，東京電機大学の安田 進先生，石川敬祐先生，ならびに，大成建設（株）技術センターには，貴重なデータや資料を提供いただき，ここに，記して深く感謝の意を表する。

引用文献

1) 防災科学技術研究所：強震ネットワーク K-NET
2) 山崎浩之：東日本大震災での液状化被害について，港湾 2012・3 特集「東日本大震災から 1 年を振り返って」，pp.28～29（2012）
3) 安田　進，萩谷俊吾：地震動特性に関する補正係数 C_w が液状化判定結果に与える影響の試算，第 47 回地盤工学研究発表会，pp.1563～1564（2012）
4) 安田　進，石川敬祐，青柳貴是：東京湾岸エリアで液状化した砂の強度や変形特性の影響要因に関する研究，第 47 回地盤工学研究発表会，pp.403～404（2012）
5) 安田　進，橋本　尚：液状化被害に与える余震の影響，第 47 回地盤工学研究発表会，pp.1595～1596（2012）
6) 東京都港湾局：PORT OF TOKYO 2012
7) 田口雄一，東畑郁生，青山翔吾，大坪正英：東北地方太平洋沖地震による東京湾周辺地帯の液状化に基づく年代効果の検討，第 47 回地盤工学研究発表会，pp.1603～1604（2012）

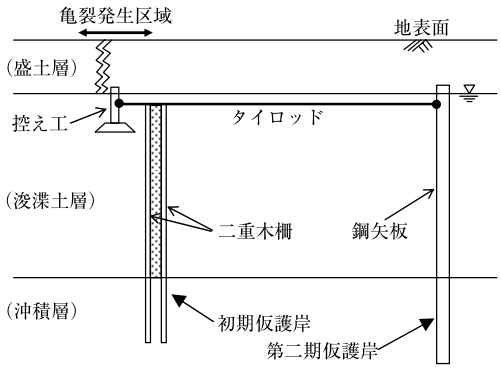


図-8　現況想定断面図

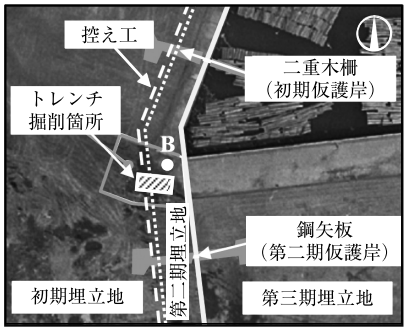
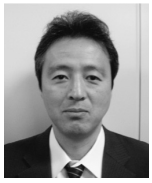


図-9　現況想定配置図（平面図）

8) 安田　進，石川敬祐，高野　務，中畝将太：東日本大震災における液状化地点と埋立て履歴の関係，第 47 回地盤工学研究発表会，pp.1691～1692（2012）
9) 瀬良良子，小池　豊，佐々木基成，米本幸子，武石夢：路面下空洞の発生状況に関する考察（その 2），第 47 回地盤工学研究発表会，pp.1459～1460（2012）
10) 伊藤浩二，疋田喜彦，古屋　弘：液状化地盤上に地震時道路変状防止対策「タフロード」，大林組技術研究所報 75，pp.1～10（2012）
11) 遠藤　毅：東京都臨海域における埋立地造成の歴史，地学雑誌 113(6)，pp.785～801（2004）
12) 東京都土木技術支援・人材育成センター：平成 23 年度東京都液状化予測図修正検討委託報告書（2012）
13) 国土交通省関東地方整備局，地盤工学会：東北地方太平洋沖地震による関東地方の地盤液状化現象の実態解明報告書（2012）
14) 東京都土木技術研究所：東京低地の液状化予測（1987）

〔2012.11.2.受稿〕

森　　洋（正会員）



略　歴

1992年　明治大学農学部農学科卒業
1995年　東京都土木技術研究所（入都）
1998年　明治大学大学院農学研究科博士後期課程終了，博士（農学）
2005年　（財）リバーフロント整備センター（東京都より出向）
2007年　東京都建設局河川部
2010年　東京都港湾局港湾整備部
2013年　弘前大学農学生命科学部准教授
現在に至る