

東日本大震災で液状化した地点に対する各種液状化判定結果の比較

東京電機大学 正会員 ○石川 敬祐

東京電機大学 フェロー会員 安田 進

東京ガス株式会社 非会員 濱中 亮

東京電機大学大学院 学生会員 肥後 成一 中畝 将太

1. はじめに

2011年3月11日に宮城県沖を震源とする東北地方太平洋沖地震が発生した。この地震によって、東北地方から関東地方にかけての広範囲で液状化による地盤被害が発生した。特に東京湾岸エリアの埋立て造成地盤では、液状化により戸建て家屋の傾斜や沈下、ライフライン施設の機能損傷等の甚大な被害を与えた。本検討では、液状化による被害が激しかった千葉市美浜区磯辺地区において詳細な地盤調査（標準貫入試験、PS 検層、乱れの少ない試料採取）を実施し、その結果を用いて道路橋示方書¹⁾や東京ガス式²⁾を用いて液状化強度比を推定し、全応力法(SHAKE)による詳細な予測³⁾による液状化判定の比較検討を実施した。

2. 地盤調査結果の概要

地盤調査は、千葉市美浜区磯辺地区の2地点で実施した。調査箇所の位置図及び東日本大震災時の液状化発生の有無⁴⁾を図1に示す。図中の赤線は、液状化時の噴砂を確認した地点であり、青線は非液状化地点である。今回調査を実施した2地点はいずれも液状化発生を確認した場所となる。代表例としてNo.1地点の地盤調査結果を図2に示す。当該地の地層構成は、盛土層・埋土層(B, F層)、沖積粘性土・砂質土(Ac, As層)、洪積粘性土・砂質土(Dc, Ds層)の順で構成されている。各層の特徴として、B層は山砂であり、比較的均質な細砂が主体である。F層は砂質シルト～細砂であり、不均質にシルトを含みシルトと細砂の互層状である。また、 $V_s=90$ (m/s)と軟弱な状態であった。沖積層は、Ac層とAs層が互層状に堆積している。Ac1層はN値が0回(自沈)するような軟弱なシルトであった。洪積層は、GL-20m付近より確認され、GL-27m付近より $V_s \geq 300$ (m/s)の工学的基盤相当が確認された。

3. 液状化試験結果

各調査地点のF層及びAs層において乱れの少ない試料を採取し、繰返しねじりせん断試験を用いて液状化試験を実施した。なお、F層のサンプリングは、シンウォールチューブを用いて実施し、As層はトリプルチューブサンプリングを用いて実施している。液状化試験時の拘束圧は、採取試料の中心深度での平均有効主応力としている。各層の繰返しせん断応力比～液状化回数の関係を図3に示す。F層は、 $F_c=21.9, 41.0$ (%)と比較的多く細粒分を含むシルト質砂であるが、各試料の塑性指数はN.Pと非塑性であった。As2層は、 $F_c=3.2$ (%)であり、均質な細砂である。液状化強度比 $R_{L20}(\gamma_L=7.5\%)$ は、F層が0.256, 0.297となり、As2層が0.233であった。当該地の液状化強度比は、

キーワード 液状化, 液状化判定, 繰返しねじりせん断試験, 地震応答解析

連絡先 〒350-0394 埼玉県比企郡鳩山町石坂 東京電機大学理工学部建築・都市環境学系 TEL: 049-296-3289



図1 調査検討位置図

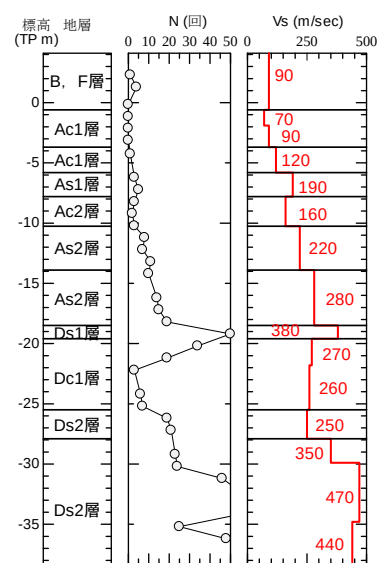


図2 No.1地点の地盤調査結果

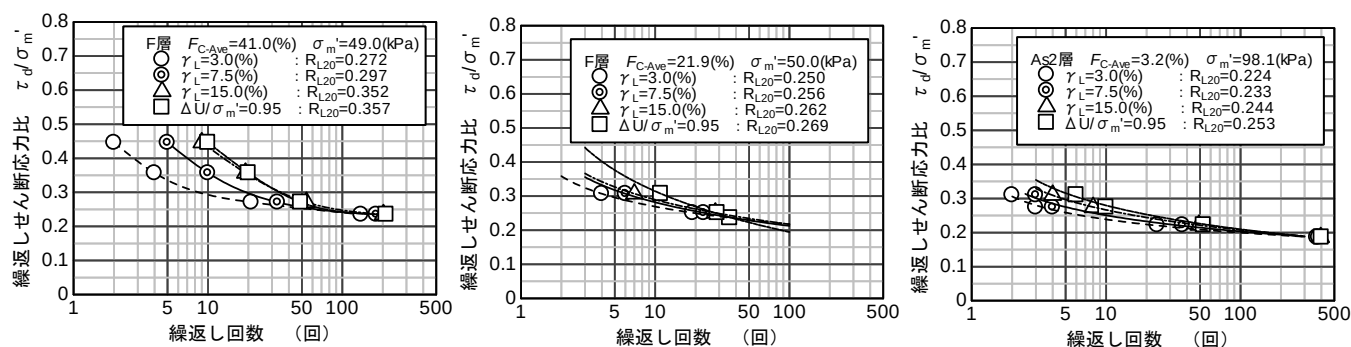


図3 液状化試験結果 (左: F層 ($F_c=41.0\%$), 中: F層 ($F_c=21.9\%$), 右: As2層 ($F_c=3.2\%$))

細粒分含有率が低く粒径が均質なAs2層の液状化強度比がF層に比べて小さい結果を示している。また、各試料ともに繰返しせん断回数が増えると液状化強度比が小さくなる結果であった。液状化強度曲線の形状を比較すると、As層に比べてF層の液状化強度曲線の傾きが大き

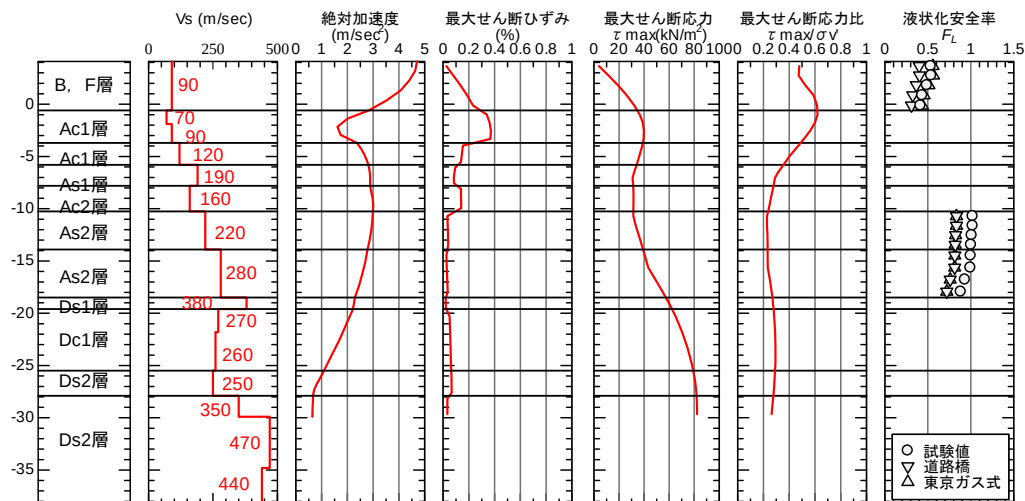


図4 液状化判定結果 (No. 1 地点)

く、本地震動の特徴である主要動の継続時間が非常に長い場合には、液状化強度の低下率はAs2層に比べて大きく、より液状化し易かったことが考えられる。

4. 液状化判定結果

液状化判定を検討する手法は、調査目的や検討する構造物毎に検討手法が定められている。本検討では、No. 1地点の地盤調査結果より次元地震応答解析 (SHAKE) を用いて、各層の繰返しせん断応力 (L) を求め詳細な液状化判定を実施した。検討に用いた地震外力は、夢の島 (GL-89m: EW 成分)⁵⁾を解法基盤波と仮定して検討モデルの工学的基盤相当層に入力している。各層の動的変形特性は、試験結果若しくは安田・山口式⁶⁾を用いて設定している。液状化強度比 (R) は、液状化試験結果、道路橋示方書 (N 値, F_c より設定)、東京ガス式 (東京低地の細粒分の影響補正) の条件とした。液状化判定結果を図4に示す。同図より、試験値による液状化安全率 F_L (R/L) はF層では $F_L \approx 0.5$ 程度を示した。As2層は、試験値を用いた場合 $F_L \geq 1.0$ 程度を示し、液状化の程度は軽微である。一方、道路橋示方書を用いた場合には、F層では $F_L \approx 0.3 \sim 0.4$ 程度と試験値に比べて判定結果は小さい値を示した。また、As2層の判定結果は $F_L \approx 0.8$ となった。しかし、旧海岸線より内陸の自然堆積地盤では液状化の発生が確認されていないことから液状化判定結果は過大評価と考えられる。

5. まとめ

埋立地盤のように不均質で軟弱な地盤に対して液状化判定をする場合は、詳細に地盤調査を実施して適切に評価する必要があることが確認された。また、東京ガス式のように地域特性を考慮した推定式を用いることで液状化判定結果の精度の向上が確認できた。

参考文献: 1) (社) 日本道路協会; 道路橋示方書 (V耐震設計編)・解説, pp. 121-125, 2002. 2) 安田ら; 液状化ハザードマップにおける作成方法の現状と今後のあり方, 土木学会地震工学論文集, 第30巻, pp. 188-194, 2009. 3) 安田進; 液状化の調査から対策工まで, 鹿島出版会, pp. 123-132, 1997. 4) 国土交通省関東地方整備局; 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, 2011. 5) 東京都港湾局; 港湾局地震観測所で観測した地震動について, <http://www.kouwan.metro.tokyo.jp/> 6) 安田ら; 種々の不攪乱土における動的変形特性, 第20回土質工学研究発表会講演集, pp. 539-542, 1985.