

液状化した更新統である東京層砂層の液状化強度

沼田 淳紀¹・森 伸一郎²

¹正会員 工修 飛鳥建設株式会社 技術研究所 研究員 (〒 270-02 千葉県関宿町木間ヶ瀬 5472)

²正会員 飛鳥建設株式会社 技術研究所 主任研究員 (〒 270-02 千葉県関宿町木間ヶ瀬 5472)

東京都新宿区四谷の江戸城四谷御門外の一連の遺跡調査において、江戸城外堀の盛土周辺の洪積層である東京層砂層が液状化したことが確認された。この地点の東京層砂層の液状化強度について検討した。周辺地盤のN値に基づく推定液状化強度の統計分析を行い、次に、スウェーデン式サウンディング試験に基づいて東京層砂層の原位置液状化強度を推定した。さらに、液状化地点の不攪乱試料を用いて液状化試験を行い、この推定の妥当性を検討した。この結果、東京層砂層の上部付近には、液状化強度の低い部分が、それ以深の東京層砂層と比較して相対的に多く存在していることがわかった。

Key Words : *liquefaction, historical earthquake, Pleistocene(diluvial) soil, Tokyo Formation, liquefaction resistance, Swedish sounding, SPT, cyclic triaxial test, statistics*

1. はじめに

森・池田^{1), 2), 3), 4)}は、東京都新宿区四谷の遺跡調査で、噴砂脈などの地震の痕跡を調べることにより、更新統(洪積層)である東京層砂層が17世紀から現在までに3度の地震で液状化したことを示した。この事実に基づき、液状化の生じる可能性のある地盤として、完新統(沖積層)などと同様に洪積層を捉えるのは早計であると考ええる。

そこで、ここでは、調査地および周辺地盤で求められているN値を基に推定した液状化強度を統計的に分析し東京層砂層の中で液状化強度の低い層を定量的に把握する⁵⁾とともに、調査地点でのスウェーデン式サウンディング試験と現地採取した不攪乱試料の繰返し非排水三軸試験を実施し液状化強度について検討する^{7), 8)}。

2. N値による推定液状化強度の統計的検討

文献8)より10地点と文献9)より15地点の合計25地点の調査地周辺地盤のボーリング調査結果による東京層砂層の256のN値データについて、建築基礎構造設計指針¹⁰⁾に示される方法に基づき、N値より液状化強度比Rを推定し、Rの統計的性質を検討する。

有効上載圧は、湿潤密度を東京層砂層より上位の層で $1.35t/m^3$ 、東京層砂層で $1.85t/m^3$ 、それぞれの水中之での密度を $0.35t/m^3$ 、 $0.85t/m^3$ と仮定した。細粒分含有率は、土質分類ごとに、砂(S)では10%、シルト混じり砂(S-M)では20%、粘土混じり砂(S-C)では50%と仮定した。なお、地下水位は一律TP+21.44mとした。

図-1にこの25地点のボーリング調査位置を示す。No.67は本調査地点におけるボーリングである。このデータに対し①細粒分含有量の違いを反映していると考えられる土質分類②拘束圧と関連する地表面からの深度③堆積環境を反映していると考えられる層位に対応する東京層上面からの深度、の3つの要因に着目し、累積相対度数(Cumulative Relative Frequency: CRFと略す)で表示して分析を進める。

図-2に、このようにして推定したRのCRF分布を示す。図-2(a)は全体のもの、(b)は土質分類、(c)は地表面からの深度(D)、(d)は東京層砂層上面からの深度(Dt)を要因として区別したものである。

図-2(a)より、Rが0.2以下が東京層砂層全体で14%あり、無視しえないことがわかる。しかし、東京層砂層の70%程度はRが0.4以上であり、全体的には洪積層である東京層砂層は、液状化しにくい地盤であることが理解できる。図-2(b)より、Rが0.2以下の割合は、(S)と(S-C)では10%以下で



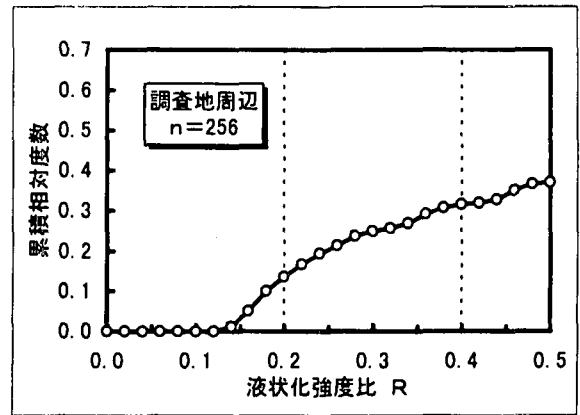
図-1 検討に用いたボーリング調査位置

あるが、(S-M)では35%である。Rが0.2以下の割合は、図-2(c)より深さが15m以浅のものでは18%であり、15m以深で10～13%であるのに比べて1.5倍程度であるが、図-2(d)より東京層砂層上面より3m以浅では25%であり、3m以深で10～13%であるのに比べて約2.5倍となる。また、全体的な分布性状の変化は東京砂層上面からの深度(Dt)でまとめたものの方が深度による違いが明確である。すなわち、液状化強度は、地表面からの深さの違いよりも東京層砂層上面からの深さに依存し、特に東京層砂層の上部層の浅いところほど液状化強度が低い部分が多いことがわかる。

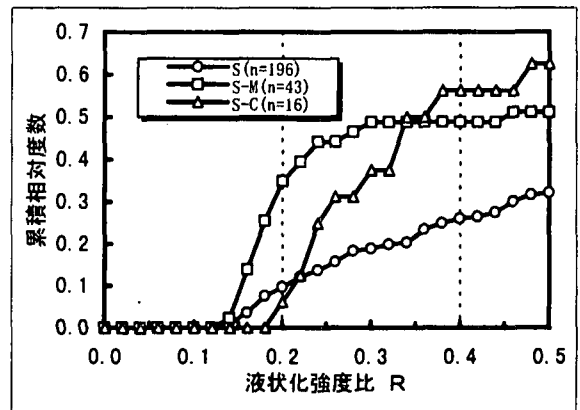
3. 調査地における液状化強度の検討

(1) スウェーデン式サウンディング試験による推定
 噴砂脈確認地点近傍でスウェーデン式サウンディング試験 (JIS A1221) (以下SWSと略す) を実施し^{1), 2)}, 東京層砂層の液状化強度を推定する。

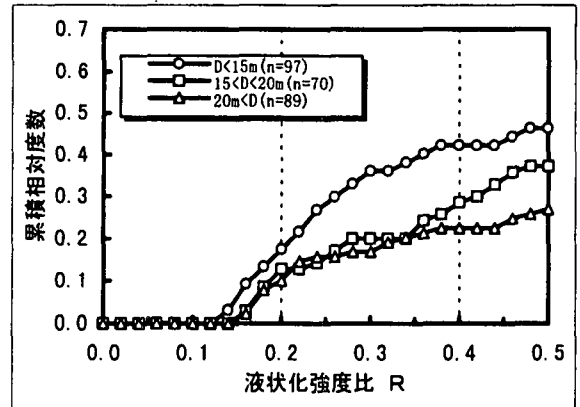
図-3にSWS実施地点の平面図を示す。SWSから得られた N_{sw} を式(1)¹⁾よりN値に換算し、東京層砂層で採取した試料の物理定数を用いて前述の建築基礎構造設計指針¹⁰⁾による方法で液状化強度Rを求めた。



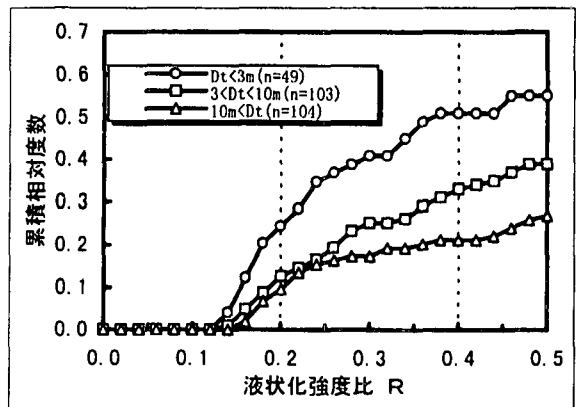
(a) 調査地周辺全体



(b) 土質分類別



(c) 地表面からの深さ別



(d) 東京層砂層上面からの深さ別

図-2 東京層砂層の各要因に対する液状化強度比Rの累積相対度数CRF

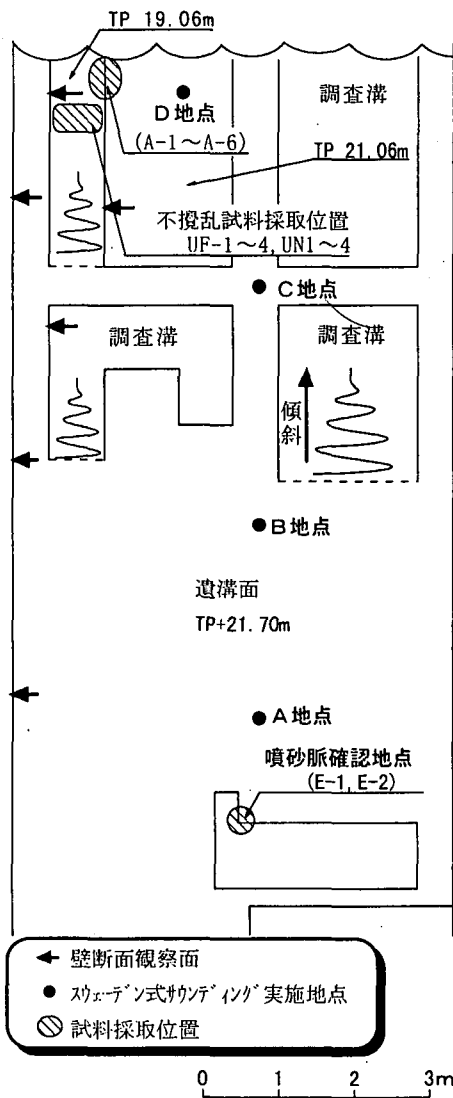


図-3 スウェーデン式サウンディング試験実施地点平面図

$$N = N_{sw} / 12 \quad (1)$$

ここで、N: 推定 N 値

N_{sw} : スウェーデン式サウンディングで求められる 1m 貫入するのに必要な半回転数

図-4に各地点ごとの SWS より推定した R の深度分布を示す。この図には、壁面観察による区域内の土層の等高線とサウンディング結果を基に推定した土層境界を記入してある。深さ方向には、A 地点を除き、東京層砂層上面から約 1m 以上深くなると液状化強度が 0.3 以上と大きくなっているが、東京層砂層上面付近には 0.15 以下の液状化強度の低い部分が存在していることがわかる。噴砂脈確認地点に最も近いため擾乱によって砂層が緩くなったものと考えられる^{1), 2)} A 地点では、R はいずれも 0.17 以下と低かった。

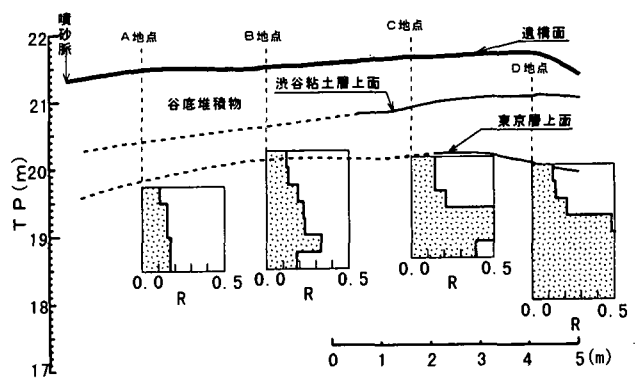


図-4 スウェーデン式サウンディング結果より推定した液状化強度の深度分布

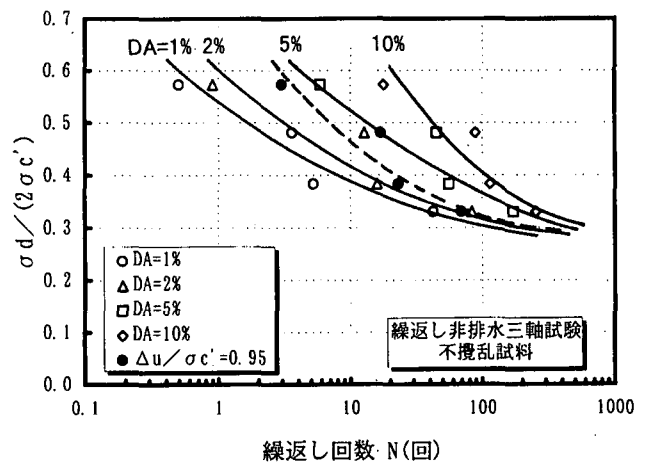


図-5 不攪乱試料の繰返し非排水三軸試験より求められた繰返し強度曲線

(2) 不攪乱試料による推定

図-3に示した TP+19.06m の東京層砂層で、シンウォールチューブを用いて不攪乱試料を採取した。採取深度では $N_{sw} = 500 \sim 600$ である。採取した不攪乱試料について、繰返し非排水三軸試験を実施し液状化強度を求めた。供試体は直径 75mm × 高さ 150mm である。試料採取地点の上載圧が $\sigma'_z = 1.1 \text{kgf/cm}^2$ なので、静止土圧係数を $K_0 = 0.5$ と仮定すると平均有効主応力は $\sigma'_m = 0.73 \text{kgf/cm}^2$ となることから、有効拘束圧を $\sigma'_{c0} = \sigma'_m = 0.75 \text{kgf/cm}^2$ とした。背圧は 2.0kgf/cm^2 、B 値は 0.96 以上である。試験前には微小ひずみ領域でせん断剛性を求めた^{6), 7)}。

図-5に試験により求められた、両振幅軸ひずみ $DA = 1, 2, 5, 10\%$ と過剰間隙水圧比 $\Delta u / \sigma'_c = 0.95$ の繰返し強度曲線を示す。図より $DA = 5\%$ に対する繰返し回数が 15 回と 20 回の時の繰返しせん断応力比 SR を読みとると、それぞれ $SR_{15} = 0.485$, $SR_{20} = 0.463$ となる。このように、不攪乱試料よ

り求められた液状化強度は大きい。これは不攪乱試料を採取した GL-19.06m の地点の推定 R が、図-4 に示したように $R = 0.48$ と大きいことと対応している。

SWS より求められた推定 R と繰返し非排水三軸試験より求められた SR とは、定義の違いで直接値そのものを比較できないので注意を要する。図-4 によれば東京層砂層上面付近の R が低い部分では、推定 R は 0.15 以下であり、不攪乱試料採取地点の 0.48 の 1/3 程度である。仮に、不攪乱試料採取地点の液状化強度と東京層砂層上面の液状化強度の関係が 1/3 であるとし、TP+19.06m 地点で採取された不攪乱試料の SR より東京層砂層上面付近の SR に換算すると、 $R_{15} = 0.162$, $R_{20} = 0.154$ となり低いことがわかる。

以上より、不攪乱試料からも、東京層砂層の上部では液状化強度が低いことが推測された。

4. まとめ

- (1) 全体的には東京層砂層は、N 値から推定した液状化強度が大きく、液状化しにくい地層である。
- (2) N 値からの推定液状化強度は、地表面からの深さよりも東京層砂層上面からの深さに強く依存し、東京層上部砂層の浅い部分の「シルト混じり砂」は液状化強度が低い場合が多い。
- (3) 東京層砂層の液状化による噴砂が検出された地点では、東京層砂層の上部 1～2m に、スウェーデン式サウンディング試験結果より推定した液状化強度が小さい層が存在する。
- (4) 東京層砂層の N_{sw} の大きい深さから採取した不攪乱試料の液状化強度は $SR_{15} = 0.485$ であったが、 N_{sw} からの推定 R との相関を考えると、東京層砂層上面付近は $SR_{15} = 0.162$ と低い。
- (5) 東京層砂層の上面から 3m 程度は液状化強度の低い割合が少くないため液状化に対して注意が必要である。

謝辞：調査でお世話になった、新宿歴史博物館の池

田悦夫研究員、帝都高速度交通営団ならびに地下鉄 7 号線溜池・駒込間遺跡調査会（調査団長：早稲田大学人間科学部 谷川章雄教授）をはじめ関係機関の方々、飛島建設㈱の染谷昇氏に対し、深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 森 伸一郎, 池田 悦夫: 東京層砂層の液状化の痕跡調査と一考察, 土木学会論文集Ⅲ, (投稿中)
- 2) 森 伸一郎, 池田 悦夫: 第 3 章第 2 節 東京層砂層の液状化の痕跡調査と一考察, 江戸城外堀跡四谷御門外橋詰・御堀端通・町屋跡 (考察編), 地下鉄 7 号線溜池・駒込間遺跡発掘調査報告書 4-3, pp.345-362, 1997.3.
- 3) 森 伸一郎, 池田 悦夫: 更新統である東京層砂層の液状化事例, 第 32 回地盤工学研究発表会発表講演集, (投稿中), 1997.7.
- 4) 森 伸一郎, 池田 悦夫: 更新統である東京層砂層の液状化と地震動の大きさ, 第 24 回地震工学研究発表会, (投稿中), 1997.7.
- 5) 沼田 淳紀, 森 伸一郎: 東京層砂層の推定液状化強度に関する統計的性質, 第 32 回地盤工学研究発表会発表講演集, (投稿中), 1997.7.
- 6) 森 伸一郎, 沼田 淳紀: 東京層砂層の液状化強度に関する一考察, 土木学会論文集Ⅲ, (投稿中).
- 7) 森 伸一郎, 沼田 淳紀: 第 3 章第 3 節 東京層砂層の液状化強度に関する一考察, 江戸城外堀跡四谷御門外橋詰・御堀端通・町屋跡 (考察編), 地下鉄 7 号線溜池・駒込間遺跡発掘調査報告書 4-3, pp.363-377, 1997.3.
- 8) 東京都土木技術研究所: 東京都総合地盤図 I, 東京都地質図集 3, 東京都の地盤 (1), 1977.
- 9) 帝都高速度交通営団: 7 号線目黒～駒込間第 1 次地質調査報告書, 1987.
- 10) 日本建築学会: 建築基礎構造設計指針, 丸善, pp.163-169, 1988.1.
- 11) 三木 五三郎: 基礎地盤調査に用いる各種のサウンディング方法について, 生産研究, 第 11 巻, 第 3 号, pp.55-62, 1959.3.