

東京の沖積砂層における液状化の新しい考え方

東京電機大学 正会員 安田 進
 東京ガス(株) 正会員 清水善久, 小金丸健一
 東京電機大学 学生員 松本 昇, 岩谷 裕

1. はじめに

この30年余り,地震時に地盤内に発生する繰返しせん断応力を地震応答解析等で推定し,室内繰返しせん断試験で求めた液状化応力比(強度比)と比較して,液状化の発生を予測してきた。ところが,最近レベル2地震動といった大きな地震動や,細粒分を多く含む砂に対してこの方法で予測すると,いくつかの矛盾が生じてきている。例えば,東京の低地に広く分布する上部有楽町層に対してレベル2地震動下での予測を行うと,ほとんど液状化してしまうとの予測結果となることが多い。そこで,深さ方向に連続サンプリングした不攪乱試料に対する試験をもとに,液状化の予測方法自体を構造物の被害の面から考え直してみた。

2. 液状化試験結果と問題点

実験に用いた試料は東京都墨田区で採取した。ここには図1(a)に示すように,表層から細砂層(第1層),シルトまじり細砂層(第2層),砂まじりシルト層(第3層),シルト層(第4層)の沖積層が堆積している。これを地下水位(GL.-1.6m)以下GL.-10.4mまで連続サンプリングし,物理試験と繰返し非排水三軸試験を行った。

試験結果の詳細は別報¹⁾に示すが,粒度試験結果によると,図1(c)に示すように深くなるにつれて細粒分含有率が10%~90%と多くなっていた。一方,繰返し非排水三軸試験結果によると,20回の繰返し回数で軸ひずみの両振幅がDA=5%となる応力比(以下,液状化強度比と呼ぶ)は,図1(d)に示すように上から0.4~0.3

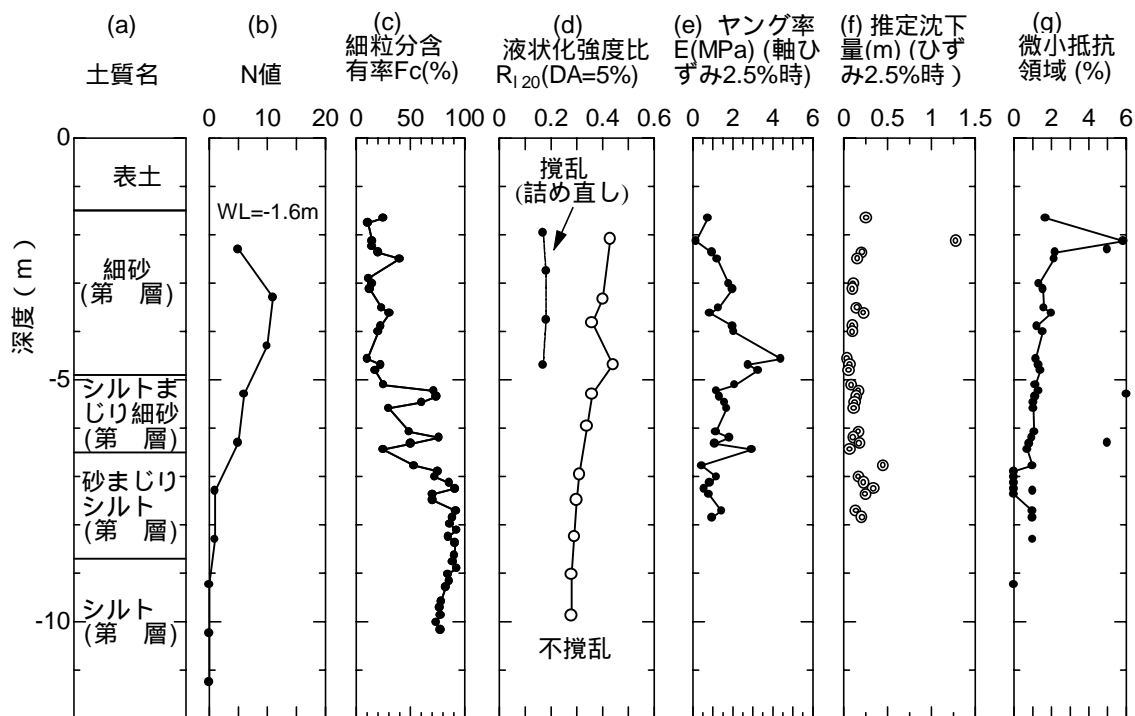


図1 液状化試験結果,沈下量の推定結果等の深度分布

程度と下層になるにつれ小さくなった。このように下層になるほど細粒分が多いのに対し,液状化強度比も大きくなって,通常考えている傾向と矛盾した。また,本調査地点では1923年関東地震の際に噴砂・噴水が

キーワード: 液状化, 砂質土, 地震, 室内実験

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設環境工学科安田進・TEL.0492-96-2911・FAX.0492-96-6501

生じていないようであるが、仮にこの地区で 350gal 程度の地表最大加速度が生じていたと仮定すると、地震時発生せん断力比は 0.4 程度以上になり、第 層～ 層まで液状化したとの結果になって、これも矛盾する。

なお、試料を不攪乱試料と同様の密度に詰め直して試験を行ったところ、図 1(d)に示すように液状化強度比は 0.17～0.18 と大幅に低下した。このように、浅い層と言えども”aging effect“ が大きい沖積砂であった。

3. 繰返し載荷後の変形特性に関する実験結果

さて、不攪乱試料について、繰返し載荷後の残留過剰間隙水圧比と細粒分含有率の関係をまとめたところ、細粒分含有率が多くなると残留過剰間隙水圧比は小さくなり、細粒分含有率が 50% 程度以上の試料では残留間隙水圧比は 1 に達していなかった。従って、細粒分が多い場合には、ひずみ振幅は大きく生じたとしても有効応力はゼロ近くまで下がらず、強度や剛性はあまり失われていない可能性がある。

このことを定量的に評価するために、軸ひずみ両振幅が 10% 以上出たら加振を終了し、非排水状態のまま、静的(単調)載荷を行ってみた。図 2 に静的載荷時における各層の代表的な応力～ひずみ関係を示す。図に見られるように、細粒分が少ない細砂層上部では小さい応力でひずみがかなり発生するのに対し、他の層では異なった。そこで、軸ひずみが 2.5% のときの割線からヤング率を求め、深さ方向にプロットすると図 1(e) に示すように、細砂層の上部では非常に小さいのに対し、その下部では大きな値となった。

4. 地盤と構造物の変形を考慮した実験結果の新しい使い方

以上の静的載荷時の試験結果を用いて、構造物に与える影響を考慮した液状化の予測方法を考えてみた。まず、液状化による直接基礎の構造物沈下を対象にし、弾性体を仮定して一様な水平地盤上の基礎の即時沈下量 $S_E(m)$ を求める次式を利用してみた。

$$S_E = I_s \cdot (1 - \nu^2) \cdot q \cdot B / E \quad (1)$$

今、3 階建ての鉄筋コンクリート構造物を想定し、基礎幅 B を 10m、基礎の平均荷重 q を 30kPa、 $I_s = 0.9$ 、 $\nu = 0.5$ として、ヤング率 E に図 1(e) に示した値を適用して沈下量を計算してみた。その結果図 1(f) に示すように細砂層の上部のような砂が堆積した地盤では 1m 程度沈下するのに対し、それ以下の層のような地盤の場合には、0.2m 程度しか沈下しないと推定された。今、許容沈下量を 20cm と仮定してみると、細砂層上部だけがこの値より大きくなり、液状化によって有害な沈下を生じさせる層はこの層だけになる。

次に、図 2 に示す静的単調載荷時の軸差応力～軸ひずみ関係図をもとに、強度が回復するまでのひずみ範囲”微小抵抗領域²⁾ ϵ_L ”を求め、深度分布で示すと図 1(g) となった。図に示されるように細砂層上部のみ微小抵抗領域 ϵ_L が数% となった。液状化に伴う地盤や構造物の変形や地盤流動はこのひずみ範囲で発生すると考えると、やはり液状化による被害が問題なのは細砂層上部だけとなる。

5. あとがき

沖積層に対する試験結果をもとに、現行の液状化の予測方法の問題点とその解決の一案を示した。今後試験方法も含めて体系化していきたいと考えている。なお、本研究は(財)地震予知総合研究振興会の研究の一環として行ったものである。関係各位に感謝する次第である。

参考文献 1) 松本昇・安田進・清水善久・小金丸健一・岩谷裕：東京の沖積砂層における液状化強度の問題点，土木学会第 55 回年次学術講演会，2000(投稿中)。2) 安田進・吉田望・安達健司・規矩大義・五瀬伸吾・増田民夫：液状化に伴う流動の簡易評価法，土木学会論文集，No.638/ -49, pp.71-89, 1999。

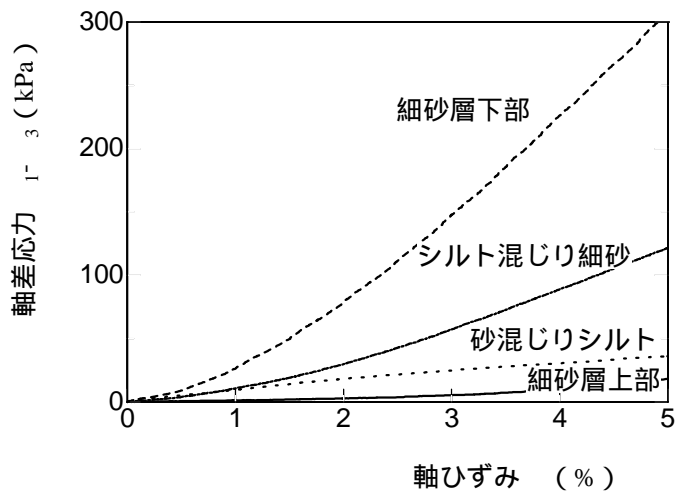


図 2 繰返し後の静的載荷時における応力～ひずみ関係