

洪積砂地盤における液状化強度の推定 に関する一考察

澤田 亮¹・川西智浩²・大木基裕³

¹鉄道総合技術研究所 構造物技術研究部 主任研究員
(〒185-8540 東京都国分寺市光町2-8-38)

E-mail:sawada@rtri.or.jp

²鉄道総合技術研究所 構造物技術研究部 研究員 (〒185-8540 東京都国分寺市光町2-8-38)

E-mail:kawa@rtri.or.jp

³東海旅客鉄道株式会社 (元 鉄道総合技術研究所) (〒485-0801 愛知県小牧市大山1545-33)

E-mail:motohiro.ohki@jr-central.co.jp

近年の地震外力の見直しにより、これまで液状化に対して安全とされてきた地盤条件においても液状化の可能性があると判定される事例が多くなってきている。特に洪積地盤においてはN値から液状化強度比を指定する場合等には過度に安全側の評価をすることが少なくない。しかし、過去の地震被害の事例や本来の土が持っている強度特性を考慮した場合、妥当な判定結果を与えているとはいいがたい。そこで、洪積地盤からサンプリングしてきた試料を用いた室内土質試験結果から、洪積砂地盤の液状化強度特性について考察した。その結果、堆積年代および細粒分含有率に応じて強度が増加する傾向にあることを把握した。

Key Words : strength ratio causing liquefaction, diluvial, laboratory test, fine fraction

1. はじめに

液状化の影響を考慮した構造物の耐震性能評価の深度化においては、液状化の可能性およびその程度を精度よく予測することが極めて重要となる。これは、液状化した地盤条件での構造物の挙動を推定する際、支持力に影響する土質諸定数の液状化による低減が最も影響を及ぼす要因となるからである。ここで、液状化による土質諸定数の低減は、液状化の程度と関連付けられており、鉄道構造物の耐震設計¹⁾ではこの液状化の程度の指標として液状化の可能性を判定する際に適用している液状化抵抗率を用いている。

液状化抵抗率は、室内土質試験あるいは原位置試験(N値)から求められる地盤の液状化に対する強度(液状化強度比)と地震応答解析結果または地表最大加速度から求められる地震時に地盤に作用する外力(地震時せん断応力比)を比較して得られるもので、地盤の液状化に対する安全率と位置付けられる。この値に応じて液状化の可能性および程度を判断するもので、地盤特性と地震動特性を定量的に評価して地盤の液状化危険度等を予測する最も一般的な手法である。ここで、液状化強度比は、土の繰

返し非排水三軸試験が高価なことや、液状化強度比が相対密度との関連性が強く、また相対密度がN値と関係が深いことを利用して簡易的に推定できることなどから、N値から経験的に推定することを基本としている。

兵庫県南部地震をはじめとした過去の地震においては、大きな地震外力が作用した場合でもある程度密な砂については液状化の発生は確認されていない。特に、堆積年代の古い洪積砂地盤などにおいては液状化の発生が確認されていないのが実状である。しかし、N値から経験的に液状化強度比を推定した場合、これらの条件下における砂についても液状化が発生する結果となり、実態に即した妥当な結果を与えていないと考えられる。

そこで、液状化判定法の精度を向上するため、洪積砂地盤の液状化に対する地盤の抵抗程度を示す液状化強度比の評価方法について、室内土質試験結果に基づいて検討を実施した。

2. 洪積砂層の液状化強度

近年、地震外力の推定精度の深度化により、これまで液状化に対して安全性が高いと考えられていた

地盤条件においても液状化の可能性が指摘される場合が多くなってきている。しかし、洪積地盤においては過度に安全側の評価を行っていることが少なくない。過去の事例や本来の土が持っている強度特性を考慮した場合、妥当な判定結果を与えているとは言いがたい。そこで、洪積砂地盤の液状化強度特性について、室内土質試験結果に基づき検討した。

図-1は液状化強度比の繰返しせん断強度比R(試験)と耐震標準の推定式より求めたR(標準)の比(以下簡単のためR/R値)を、基準化N値(N1値)、細粒分含有率(Fc)と比較したものである。この2つの物性値はいずれも液状化判定式に用いられているパラメータである。なお、今回の検討には、全て凍結サンプリングによる細粒分が全体的に少ない不攪乱試料による試験結果²⁾を用いており、特に沖積層における細粒分含有率は数%レベルである。

これによれば、N1値~R/R関係では、N1値10付近でのR/R値は1.0程度にやや集中しているが、全体の傾向は明確ではない。また、個々に評価した場合、沖積層に関してはN1値=25では発散気味になっている。これは、N値25程度以上では液状化した事例がほとんどなく、N値25程度が液状化の発生する限界であることが推定される。一方、洪積層に関しては、N1値が5~10程度でR/R値は極端に大きな値を示している。このことは、年代効果の影響により液状化に対する抵抗が大きいことを示唆している。

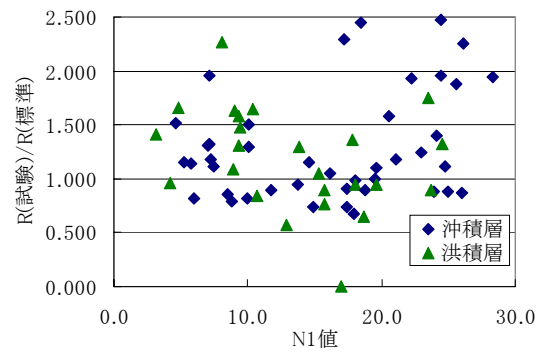
次に、Fc~R/R関係では、若干洪積層と、沖積層で分布形状が異なる。細粒分含有率が増加することに伴い、洪積層のR/R値が大きくなる傾向が確認される。この結果を踏まえて以降では細粒分含有率と堆積年代の影響について考察する。

図-2より工学的土質分類における細粒分含有率の閾値により試料を区分し、年代効果と液状化強度の増加率の関係について考察した。その結果、片対数軸上に線形関係があり、細粒分含有率の増加に伴い、近似曲線の傾きが大きくなることを把握した。この近似曲線の傾きは、Fc=25%~Fc=35%程度の場合が最も大きいことがわかる。しかし、逆にFc=60%程度に細粒分含有率が増加した場合には傾きは減少する傾向にあることがわかる。これは、細粒分含有率がFc=40%以上の場合は、粘性土としての性状を示し、元来から液状化に対する抵抗が大きく、堆積年代に対する感度が小さいためと考えられる。

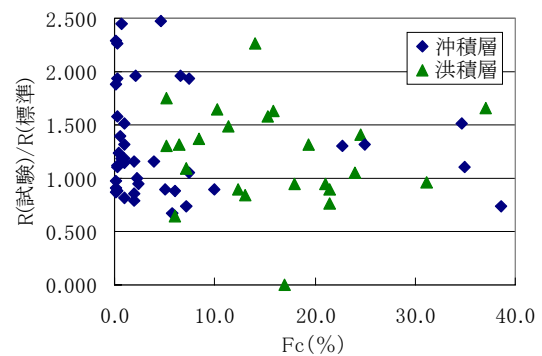
3. 強度増加の要因に関する検討

(1) 現地サンプリング試料による検討

ここでは洪積砂地盤の液状化強度が堆積年代に応じて増加する要因について検討した。検討には、現地で採取した不攪乱試料およびその再構成試料を用い、再構成した試料は年代効果がないものとして考慮し、液状化強度、内部摩擦角、粘着力の変化程度



(1) N1 ~ R/R 関係



(2) Fc ~ R/R 関係

図-1 各種パラメータと R/R 値の関係

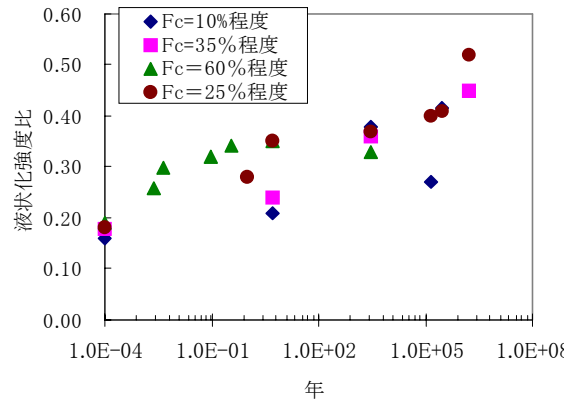


図-2 年代効果と液状化強度の増加率の関係

を調べた。ここで、不攪乱試料は細粒分含有率を考慮し、チューブサンプリングにより採取した。

表-1は、不攪乱試料、再構成試料を用いたCD試験より得られた、内部摩擦角、粘着力を示している。

また、図-3には、表-1に示した3地点での不攪乱試料および再構成試料の液状化試験結果の一例である。これによれば、再構成試料の液状化強度比は不攪乱試料に比べて減少しており、堆積年代が液状化強度に何らかの影響を及ぼしていることが考えられる。

表-1 検討に用いた試料およびC D試験結果

| | | A地点 | | B地点 | | C地点 | |
|------------|-------------------------|---------------|-------|---------------|-------|--------------------|-------|
| 地質年代 | | 洪積世中期 30万年 | | 洪積世後期 15万年 | | 洪積世前期～鮮新世 170万年 | |
| 深度(m) | | 6.5 | 10.5 | 13.0 | 21.0 | 17.0 | 21.0 |
| N値 | | 14.0 | 20.0 | 21.0 | 14.0 | 5.0 | 7.0 |
| Fc(%) | | 5.0 | 5.0 | 21.0 | 13.0 | 37.0 | 22.0 |
| 有効上載圧(kPa) | | 78.5 | 118.0 | 78.5 | 117.7 | 98.1 | 117.7 |
| 不攪乱 | c_d (kPa) | 2.0 | 2.4 | 5.2 | 6.4 | 61.0 | 59.0 |
| | ϕ_d ($^{\circ}$) | 44.0 | 44.9 | 41.1 | 40.3 | 28.6 | 30.1 |
| 再構成 | c_d (kPa) | 0.9 | 2.1 | 1.6 | 6.8 | 2.4 | 9.5 |
| | ϕ_d ($^{\circ}$) | 38.1 | 33.2 | 36.3 | 34.9 | 31.9 | 32.2 |

このことを踏まえ、不攪乱試料におけるC D試験結果からは、図-3に示した液状化強度が低めに計測された、A地点の粘着力が最も低く、堆積年代が最も古いC地点の粘着力が突出して大きな値を示していることがわかる。また、ほぼ同等の細粒分含有率を有する、B地点 13mとC地点 21mを比較すると、粘着力は大きく異なっていることがわかる。これより、年代効果により発揮される粘着力の大きさは、細粒分含有率と堆積年代が大きく影響していることが示唆される。

次に、年代効果がないものとして考慮した再構成試料との比較によれば、A地点、B地点では主に内部摩擦角が、C地点では粘着力が大幅に増加していることがわかる。これから、液状化強度の増加に影響を及ぼす要因は粘着力の増加程度であることが推測される。

しかし、今回の検討においては、年代効果がないものとして再構成試料を用いたが、試料作成時に骨格構造が乱れていることが推測され、不攪乱試料との違いの要因に、年代効果の有無に加えて骨格構造の乱れの影響があることが考えられる。

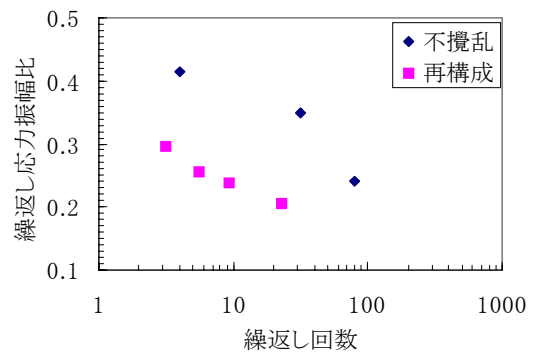
このことは、比較的堆積年代が若く年代効果があまり大きくないと考えられる、A地点、B地点の試験結果から推測することができる。A地点、B地点では内部摩擦角の増加程度が大きく、これは土が締固ることにより、骨格構造がある程度安定したためと考えられ、骨格構造の乱れの影響は内部摩擦角に大きく寄与すると考えられる。

年代効果の影響が強いとされるC地点の試験においてもこの点は同様にあるものの、年代効果の有無による粘着力の変化程度の影響が大きく、顕著にその影響が現れていないと考えられる。

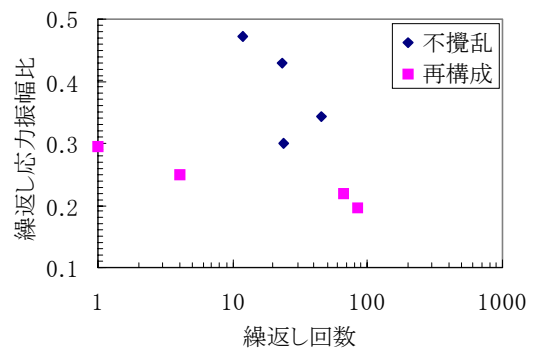
(2) 室内再構成試料による検討

前項で示した不攪乱試料と再構成試料の試験結果の違いには、前述したように骨格構造の乱れの影響も含まれていると考えられる。特に、液状化強度に及ぼすサンプリングの影響については、N1値が高いほど、乱れの影響が大きくなることが知られており³⁾、機械的な乱れは液状化強度に強く影響することが推測される。

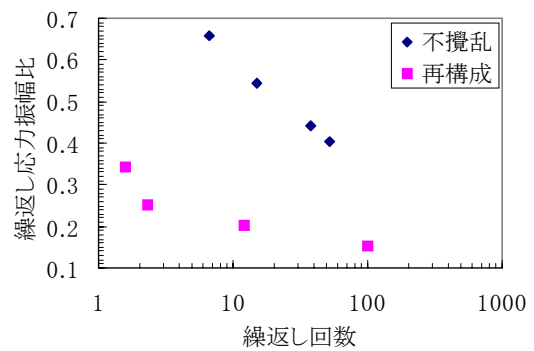
今回の試験結果では、A地点、B地点の試料の再構成時に内部摩擦角が低下する傾向、すなわち、骨



(1) A地点(6.5m)



(2) B地点(13.0m)



(3) C地点(17.0m)

図-3 液状化試験結果

格構造の乱れが生じた可能性が推測される。

一方、C地点における試験結果では、内部摩擦角に大きな変化はないが粘着力が極端に低下していたが、砂の粘着力に及ぼす乱れの影響についてはあまり検討されていない。しかし、年代効果は粘着力に影響されることが推察されるので、骨格構造の乱れによる減少分と年代効果による増加分を適切に評価する必要がある。

そこで、以下の特徴を有する室内再構成試料を用いて、前項と同様の検討を実施した。なお、検討にはB地点と同等の細粒分含有率である稲城砂($F_c=16\%$)を用いた。

室内再構成試料による試験には、現地サンプリング試料と異なり、次の特徴がある。

- ・サンプリングの乱れの影響が回避される。
- ・構成成分(砂分、礫分)や堆積時間など、完全に条件が一致
- ・パラメータを任意に設定可能

図-4には予圧密なしと予圧密1ヶ月の2ケースにおける液状化試験結果を示す。これによれば、1ヶ月の圧密においてわずかながらに液状化強度が増加していることがわかる。また、図-5に示したCD試験においても、わずか1ヶ月間の圧密により、明かに粘着成分が増加していることがわかり、年代効果による液状化強度の増加は粘着力が発揮されることが主要因であることが示唆された。

4. おわりに

洪積砂地盤における液状化強度の評価方法について検討した結果、細粒分含有率と年代効果により液状化強度は増加し、その要因は粘着力が発揮されることを把握した。これにより、洪積砂地盤の液状化判定精度の向上を図れることの目的を得た。

謝辞：本研究は、国土交通省からの補助金を受けて得られた研究成果の一部である。また、現地サンプリングに関しては、鉄道運輸機構にご協力を頂いた。ここに記して謝意を表する。

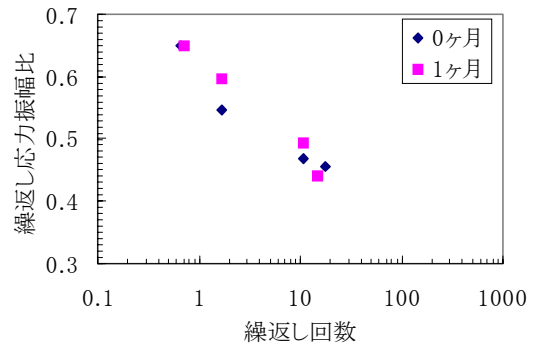


図-4 室内再構成試料の液状化試験結果

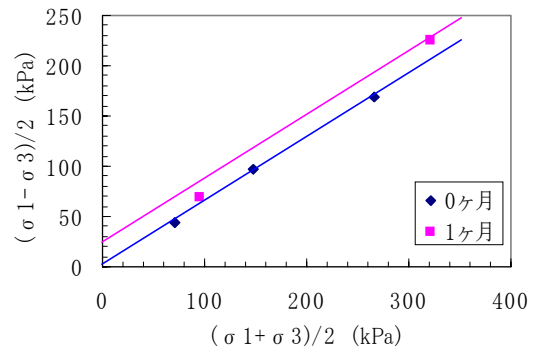


図-5 室内再構成試料のCD試験結果

参考文献

- 1) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準同解説（耐震設計），丸善株式会社，平成11年10月
- 2) 建設省土木研究所：室内土質試験に基づく液状化強度-細粒分含有量の影響-，土木研究所資料，昭和63年2月
- 3) 松尾修, 村田健司：砂質土の試料採取方法による液状化抵抗の違い，第32回地盤工学研究発表会，平成9年7月

(2005. 6.16 受付)

STRENGTH RATIO CAUSING LIQUEFACTION OF DILUVIAL GROUND

Ryo SAWADA, Tomohiro KAWANISHI and Motohiro OHKI

The authors investigated the strength ratio causing liquefaction of diluvial sandy ground based on laboratory tests. As a result, it is clarified that the strength ratio causing liquefaction of diluvial sandy ground was larger than it of alluvial sandy ground. Because, the diluvial sandy ground was appeared the cohesion by the effect of an age. And the level of increase of strength ratio causing liquefaction was depended on it's the fine fraction content ratio.