

土の繰返しせん断特性における地質年代・堆積環境の影響

関東学院大学 国際会員 ○若松 加寿江
東北学院大学 国際会員 吉田 望
応用地質 正会員 三上 武子

1 はじめに

筆者らは、地表面における地震動強さの広域的な分布を、従来よりも精度良く効率的に推定することを目的として、関東地方を対象として繰返しせん断特性データを収集し、繰返しせん断特性に及ぼす諸因子の影響を検討した。その結果に基づき、繰返しせん断特性の数値モデル化のための類型化を行った¹⁾。本研究では、地質年代と堆積環境の影響の度合いについてさらに詳しく検討すると共に、既往の実験データとの整合性を検討する。

2 データの収集と分類方法

収集したデータは、東京、神奈川、埼玉、千葉、茨城の5都県の95地点で採取した合計482の試料(砂質土: 206, 粘性土: 276)である。試料は全てチューブサンプラーで採取したものであり、砂の場合は運搬時に凍結させている。試験方法は、繰返し三軸試験(269試料)、中実供試体を用いた共振法+ねじり試験(112)、中空供試体を用いたねじり試験(84)、岩石用の繰返し三軸試験(17)である。これらのデータを砂質土と粘性土に分け、地質年代と堆積環境に基づき26に分類した。分類方法については、文献1)を参照されたい。

3 繰返しせん断特性に対する影響因子

上記の482の試料を用いて、繰返しせん断特性に与える支配要因について整理した。まず、地質年代と堆積環境(以下では略して「地質年代」と記す)別に砂質土と粘性土に分けて繰返しせん断特性を比較した。しかし、それぞれのデータにばらつきがあるため地質年代の影響は明確ではなかった。そこで、地質年代によるグループ別に繰返しせん断特性の平均値を求め、砂質土と粘性土に分けてグラフ化した。その結果を図1と図2にそれぞれ示す。図1の砂質土を見ると、粒度が砂と異なる礫(24-Dg)と、データ数が2個の3-As(完新世の砂丘砂)を除いて、地質年代が古いほど塑性化しにくい傾向が認められる。しかし、その差は小さく地質年代の違いは顕著ではない。これに対して、図2の粘性土では、完新世の腐植土8-Apと更新世前期から鮮新世の軟岩(上総層群)25-Dcを除くと、地質年代が古いほど塑性化しにくい傾向が認められる。

次に、砂質土については拘束圧、粘性土については拘束圧と塑性指数の影響を検討した¹⁾。その結果、砂質土については、拘束圧の影響が大きく、拘束圧が小さいほど塑性化しやすい。粘性土については、塑性指数が30未満では拘束圧の影響は大きい、30以上では拘束圧の影響は小さい。塑性指数が小さいほど非線形化が起こりやすいなど、既往の研究とも整合する傾向が認められた。し

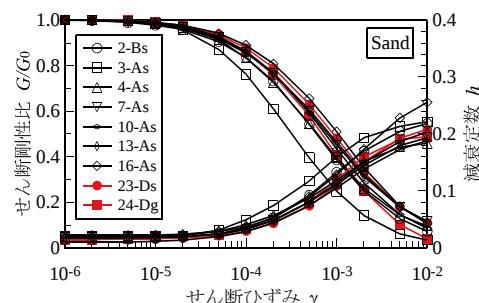


図1 地質年代と堆積環境別に見た砂質土の繰返しせん断特性

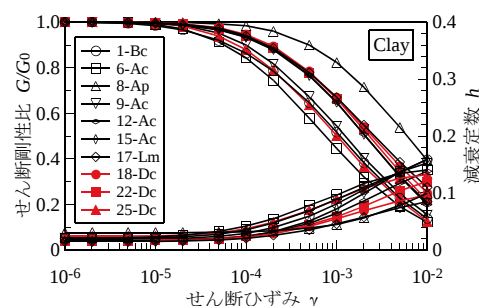
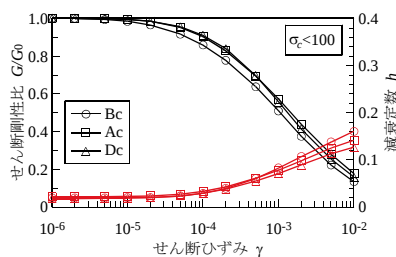


図2 地質年代と堆積環境別に見た粘性土の繰返しせん断特性

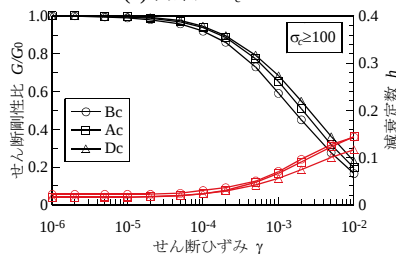
かし、繰返しせん断特性に及ぼすそれぞれの因子の影響の度合いは明確ではない。そこで、せん断剛性比と減衰定数について地質年代ごとの平均値を求め、それぞれの平均値について拘束圧と塑性指数の影響を検討した。

まず、砂質土について、拘束圧100 kPa未満と以上の2種類に分類し、地質年代の影響を検討したが、共に地質年代による有意な差異は認められなかった¹⁾。粘性土については、まず塑性指数別にグラフを作成し地質年代の影響を検討した。その結果、地質年代が若いほど塑性化しやすい傾向が認められた¹⁾。

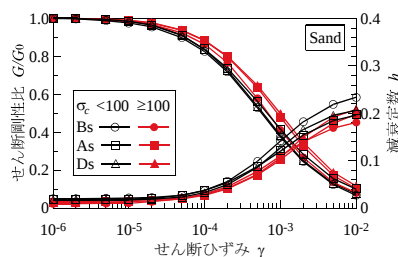
次に、粘性土に関しても砂質土と同様、拘束圧で分類すると地質年代の影響が認められなくなるか否かを確認するために、腐植土(8-Ap)と軟岩(25-Dc)を除く全ての粘性土について、拘束圧別にグループ分けをした。その結果を図3に示す。図3では、塑性指数と地質年代の両方で細分化すると各グループのデータ数が少なくなりすぎるため、塑性指数による分類は行わず、地質年代に関しても、埋土(Bc)、沖積土(Ac)、洪積土(Dc)の3種類に大別した。図3を見ると、地質年代の影響は顕著ではないが依然として認められ、その影響はせん断剛性比の方が幾分大きいことがわかる。



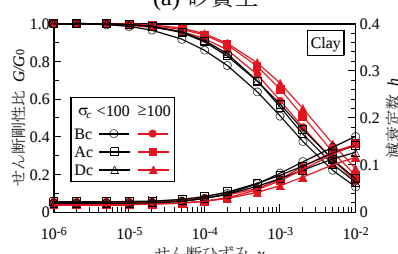
(a) 拘束圧 $\sigma_c < 100$



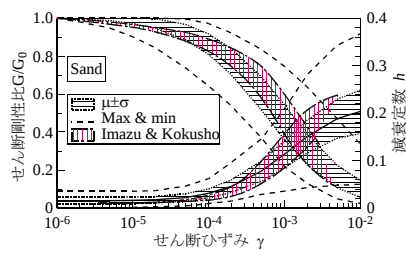
(b) 拘束圧 $\sigma_c \geq 100$



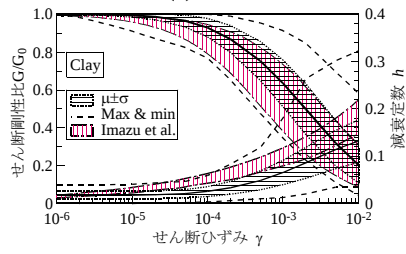
(a) 砂質土



(b) 粘性土



(a) 砂質土



(b) 粘性土

図3 拘束圧別に見た粘性土に対する地質年代の影響
図4 繰返しせん断特性に対する拘束圧と地質年代の影響
図5 今津・福武⁰⁰およびKokusho⁰のデータとの比較

前述のように、砂質土では拘束圧による分類を行うと地質年代による有意な差異は認められなかったことから、地質年代の影響は拘束圧に包含されているとも考えられる。そこで、拘束圧以外に別途、地質年代の影響があるのか否かを確認するために、拘束圧と地質年代の両方でグループ分けしたグラフを作成した。その結果を図4に示す。なお、拘束圧と地質年代共に細分化しすぎると、個々のグループのデータ数が少なくなりすぎるため、ここでも拘束圧は2種類、地質年代は、埋土、沖積土、洪積土の3種類に分けた。図4を見ると、砂質土・粘性土ともに、B(埋土)、A(沖積土)、D(洪積土)の順で塑性化しやすく、拘束圧100 kPa 以上より、100 kPa 未満の方が塑性化しやすいといえる。また、砂質土・粘性土ともに、地質年代より拘束圧の影響の方が大きくなっている。

以上のことから、繰返しせん断特性（非線形特性）に関して地質年代の影響は、拘束圧とは別に存在するものの、その影響は拘束圧に比べて小さいといえる。

4 既往の研究結果との比較

既往の研究では、少数の試料に基づいた検討が行われていたり、本研究で分類したような詳細な分類ではなく、全体の傾向をまとめて論じている。そこで、ここでは、これらの分類にしたがって既往の研究データと比較する。

図5は、今津・福武²³⁾のデータの比較を示している。図中の $\mu \pm \sigma$ は、本研究で用いた砂質土、粘性土の平均値 μ から標準偏差 σ はずれた範囲であり、点線は砂質土、粘性土それぞれの最大値と最小値である。なお、今津・福武の定式化は減衰定数に対してはひずみのべきで表されているため、砂の大ひずみ時の減衰定数は大きい。文献3)では Kokusho⁴⁾の研究を参考にして、砂の減衰特性を修正している。本研究でも、これに沿って比較している。砂質土については、今津・福武のせん断剛性比の範囲および Kokusho のデータの範囲は、本研究の範囲とほぼ一致している。また、粘性土ではせん断剛性比の範囲はほ

ぼ一致しているが、本研究の範囲の方がやや大きめである。これに対して、減衰定数は中小ひずみ領域では本研究の範囲は小さめであるが、大きいひずみ領域では差は小さくなっている。

以上の他、古山田ら⁵⁾、善ら⁶⁾、岩崎ら⁷⁾のデータとの比較を行った。排水条件の違い、堆積年代の影響と考えられる差異などが一部認められたが、用いたデータは全体としては既往の研究と整合していた。

5 まとめ

地震被害想定調査等に用いられる地震応答解析の高精度化を目的として、関東地方の5都県の95地点、482試料の繰返しせん断特性データを収集し、地質年代と堆積環境に基づき26に分類し、繰返しせん断特性に与える支配要因について整理した。その結果、地質年代・堆積環境、拘束圧、塑性指数（粘性土のみ）のいずれもが繰返しせん断特性に影響を与えるが、この中では地質年代・堆積環境の影響は最も小さいことがわかった。本研究で用いたデータを、詳細な分類が行われていない既往の研究結果と比較した結果、全体としては、既往の研究と整合していた。

参考文献

- 1) 若松加寿江, 吉田望, 三上武子, 山本明夫: 広域を対象とした地盤の地震応答解析のための地盤の繰返しせん断特性の類型化, 日本地震工学会大会-2009梗概集, pp.188-189, 2009.
- 2) 今津雅紀, 福武毅芳: 動的変形特性のデータ処理に関する一考察, 第21回土質工学研究発表会, pp. 533-536, 1986.
- 3) 土質工学会: わかりやすい土質力学原論 [第1回改訂版], 1992.
- 4) Kokusho, T.: Cyclic Triaxial Test of Dynamic Soil Properties for Wide Strain Range, Soils and Foundations, Vol. 20, No. 2, pp. 45-60, 1980.
- 5) 古山田耕司, 宮本裕司, 三浦賢治: 多地点での原位置採取試料から評価した表層地盤の非線形特性, 第38回地盤工学会研究発表会, pp. 2077-2078, 2003.
- 6) 善功企, 山崎浩之, 梅原靖文: 地震応答解析のための土の動的特性に関する実験的研究, 港湾技術研究所報告, Vol.26, No.1, pp. 41-133, 1987.
- 7) 岩崎敏男, 龍岡文夫, 高木義和: 地盤の動的変形特性に関する実験的研究 (II), 土木研究所報告153号の2, 1980.