

九州における 3 種類の特殊土の動的変形・強度特性

永瀬英生¹・廣岡明彦²・田上 裕³・栗屋宜典⁴

^{1,2}正会員 工博 九州工業大学助教授 工学部建設社会工学科 (〒804 北九州市戸畑区仙水町 1-1)

³正会員 基礎地盤コンサルタンツ(株)九州支社 技術部 (〒814 福岡市早良区原 2-16-7)

⁴学正会員 九州工業大学大学院工学研究科 (〒804 北九州市戸畑区仙水町 1-1)

1995 年兵庫県南部地震以降、九州においても地震対策に強い関心が寄せられ、その検討が現在も続けられている。このような検討を行う上では、地域特性を十分に考慮することが重要であると思われる。そこで本研究では、地盤の地域特性に注目し、九州の特殊土である有明粘土、灰土(火山灰質粘性土)、沖積しらす(火山灰質砂質土)の動的変形・強度特性を調べた。実験は中空ねじり試験装置を用いてステージ載荷により行った。また、用いた試料はそれぞれの特殊土の不攪乱および攪乱試料である。この結果、①せん断弾性定数・減衰定数～せん断ひずみ関係は過去に提案された式による値と比較的良く一致すること、②有明粘土の動的強度比はかなり大きな値を示し、灰土の動的強度比は攪乱試料の黒ぼくや関東ロームと同程度であること、等が明らかになった。

Key Words: Dynamic, Special soil, Deformation, Strength, Shear modulus, Damping constant

1. はじめに

1995 年兵庫県南部地震によって橋梁、道路、港湾施設等の土木構造物が甚大な被害を受けたことは周知のとおりである。これが契機となって、全国的に地震防災対策に強い関心が寄せられ、地震発生頻度が比較的低いと思われてきた九州地方においても、それに関する検討が現在行われている。このような状況下、鹿児島県地方において今年の 3 月より二度の比較的大きな地震が発生した。これにより、地震対策の重要性を再認識するとともに、より地域に適した対策を施す必要があると思われる。

本研究では、九州の地盤の地域特性に着目し、中空ねじりせん断試験装置を用いて、特殊土である有明粘土、灰土および沖積しらすの動的変形・強度特性を調べてみたので以下に報告したい。

2. 実験方法

実験に用いた試料は、有明粘土(佐賀県福富町)、灰土(熊本県植木町)および沖積しらす(鹿児島市)である。これらは共に不攪乱試料であるが、有明粘土と沖積しらすはシンウォールサンプラーを用いてボーリング孔より採取されたもので、灰土はブロックサンプリングで採られたものである。表-1 には動的変形試験に用いた不攪乱試料の物理的性質を示す。なお、灰土と沖積しらすについては不攪乱試料と乾燥単位体積重量を等しくした攪乱試料の試験も行った。攪乱試料の名称は不攪乱試料名の最後に D の文字を付けたものとした。また図-1 には、今回用いた 3 種類の試料の粒径加積曲線が含まれる範囲を示している。それらは不攪乱試料であるため、粒度がかなりばらついているようである。

表-1 動的変形試験に用いた不攪乱試料の物理的性質

試料名	粘土		灰土		沖積しらす	
	ARI1	ARI2	HF2	HF6	SR1	SR2
比重 Gs	2.509	2.609	2.642	2.624	2.503	2.514
自然含水比 w(%)	94.1	112.5	65.5	61.2	39.2	44.7
液性限界 W _L (%)	103.99	116.93	60.06	65.20	N.P.	N.P.
塑性限界 W _p (%)	44.00	44.44	43.90	41.20	N.P.	N.P.
塑性指数 I _p (%)	59.99	72.49	16.16	24.00	N.P.	N.P.
乾燥単位体積重量 γ _d (g/cm ³)	0.726	0.697	0.815	0.778	1.002	0.788
深度(m)	11~11.85	7~7.85			13~14	11~12

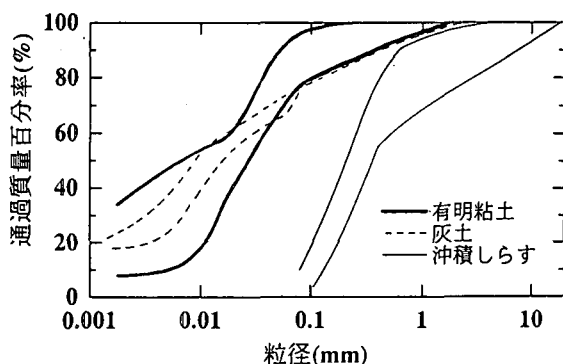


図-1 粒径加積曲線

供試体は、外径 7cm、内径 3cm、高さ 7cm の中空円筒形である。圧密は飽和後に $K_0=0.5$ の異方圧密で行い、圧密時間は 3t 法に従って決定した。ただし、沖積しらすの場合は、圧密時間を 1 時間半とした。

動的変形試験は、中空ねじりせん断装置を用いて、ステージ载荷により行った。この試験では、载荷周波数 0.1Hz の正弦波荷重を用い、1 ステージに 11 サイクルの繰返し载荷を行った。これによるせん断弾性定数 G 、減衰定数 h は各ステージの 10 サイクル目のヒステリシスループより求めた。動的強度試験も同様に中空ねじりせん断装置を用いて行った。すなわち、排水状態で初期せん断応力 τ_s を与えた後、载荷周波数 0.5Hz の正弦波荷重を用い、非排水状態で 1 ステージに 20 サイクルの繰返し载荷を行った。実験方法の詳細については参考文献 5) を参照されたい。これは、斜面のような常時から初期せん断力を受けているところに地震力が作用した状態を想定している。なお、有明粘土については载荷周波数を 0.1Hz に変えた試験も行った。また、動的強度比を得るため、 K_0 圧密終了後、非排水状態でひずみ速度 10%/min の静的载荷試験も行った。

3. 実験結果および考察

図-2~4 には、せん断ひずみ $\gamma=10^{-6}$ でのせん断弾性定数 G の値を G_0 とし、 G を G_0 で除した値、 G/G_0 とせん断ひずみ γ の関係を示している。図-2 は有明粘土、図-3 は灰土、図-4 は沖積しらすのそれぞれのデータによって得られた結果である。また、これらの図にはいくつかの提案された式による $G/G_0 \sim \gamma$ 曲線も示してある。図-2 の結果によると、有明粘土のデータは拘束圧の影響を受けず一本の曲線上にプロットされており、さらに安田らの提案式によく一致していることが分かる。図-3 に示した灰土の場合も、拘束圧の影響を受けず一本の曲線で表されており、岩崎らの沖積砂質土に対する式や永瀬らの式と比較的よい一致が見られる。ただし、永瀬らの式は安田らの式で塑性指数の影響を取り入れたものである。

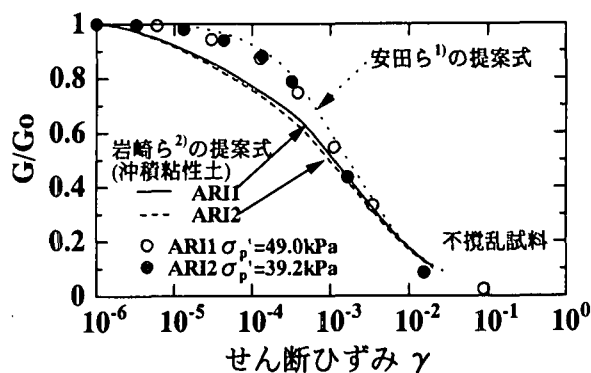


図-2 $G/G_0 \sim \gamma$ 曲線(有明粘土)

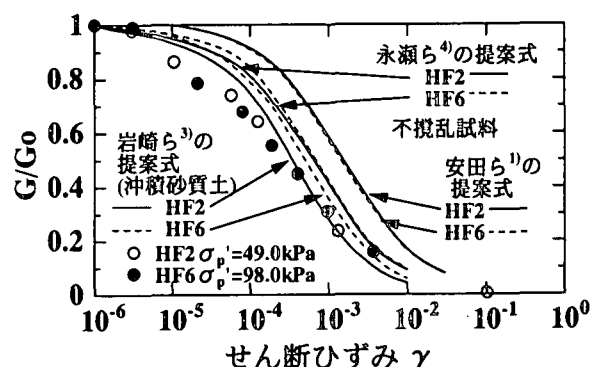


図-3 $G/G_0 \sim \gamma$ 曲線(灰土)

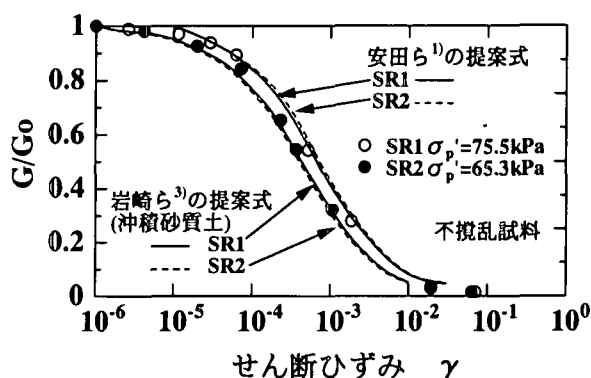


図-4 $G/G_0 \sim \gamma$ 曲線(沖積しらす)

また図-4 に示した沖積しらすの結果によると、試験データが安田らの式や岩崎らの沖積砂質土に対する式によく一致していることが分かる。ただし、この試験では拘束圧をあまり変化させていないにもかかわらず、多少データがばらついている。これは、SR2 の試料により多く礫分の軽石が含まれていたからではないかと考えられる。

図-5、6 には、灰土および沖積しらすの攪乱試料を用いた試験による $G/G_0 \sim \gamma$ 曲線を示している。灰土の場合、不攪乱試料の結果に比べて G/G_0 の値はせん断ひずみの小さいところで減少し始め、岩崎らの提案式による値からより遠ざかっている。このような傾向は攪乱の影響で

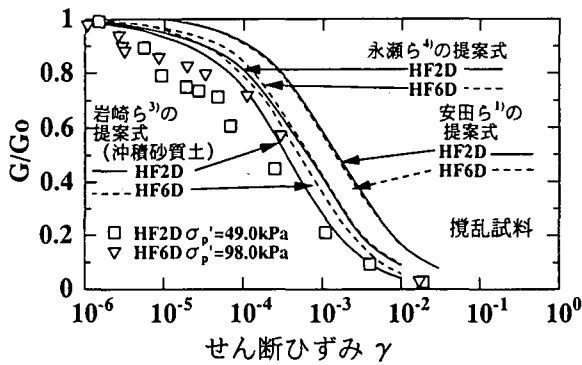


図-5 $G/G_0 \sim \gamma$ 曲線(灰土)

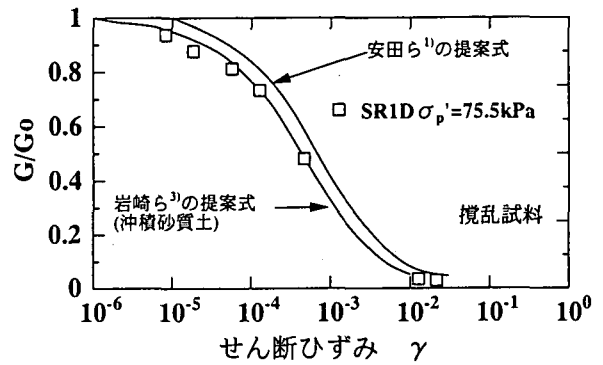


図-6 $G/G_0 \sim \gamma$ 曲線(沖積しらす)

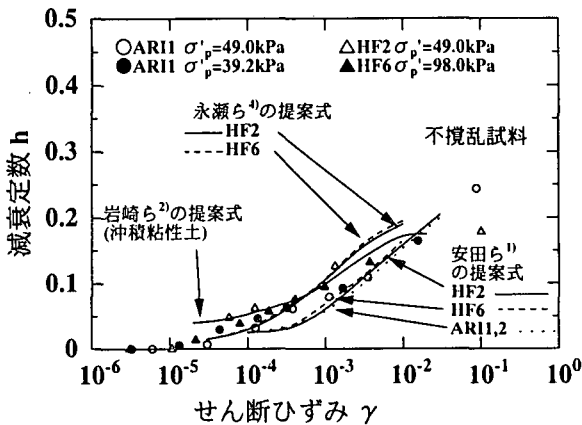


図-7 $h \sim \gamma$ 曲線(有明粘土・灰土)

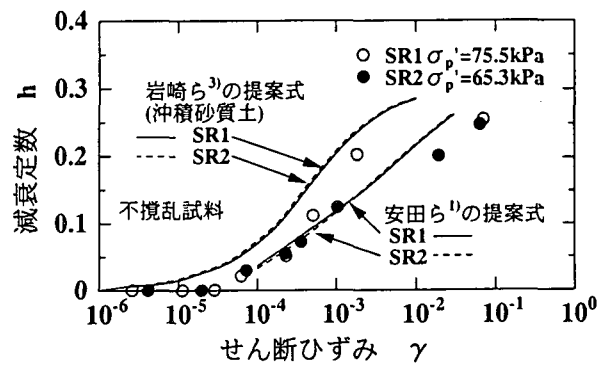


図-8 $h \sim \gamma$ 曲線(沖積しらす)

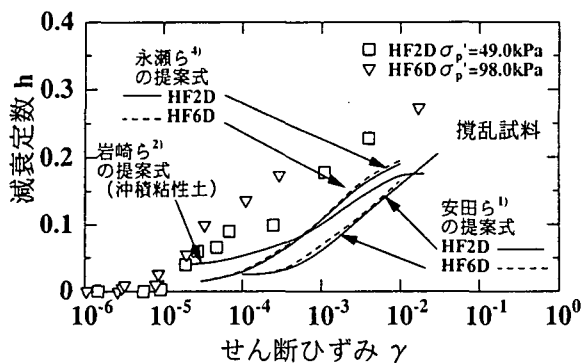


図-9 $h \sim \gamma$ 曲線(灰土)

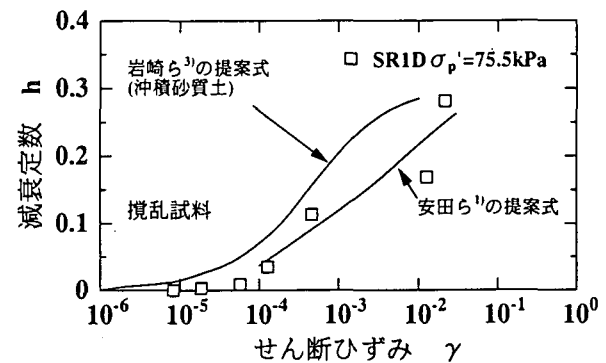


図-10 $h \sim \gamma$ 曲線(沖積しらす)

現れるのではないかと考えられる。図-6に示した沖積しらすの結果でも同様に、わずかではあるが、不攪乱試料の場合よりも G/G_0 の値はせん断ひずみに対し大きく減少している。

図-7、8は減衰定数 $h \sim$ せん断ひずみ γ 関係を提案式による値と比較したものである。これらの図より、試験結果は岩崎らの沖積粘性土に対する式や安田らまたは永瀬らの式による値と比較的良く一致していることが分かる。同様に攪乱試料の減衰定数 $h \sim$ せん断ひずみ γ 関係を図-9、10に示す。灰土の結果では、不攪乱試料のと

きよりかなり減衰定数の値が大きくなっている。しかしながら、沖積しらすの場合は不攪乱試料の結果とほとんど同一の傾向を示している。以上のことから、灰土のほうが沖積しらすに比べ、より顕著に攪乱の影響を受けているようである。

図-11には3種類の特殊土の動的試験および静的試験で得られた動的強度比 $(\tau_s + \tau_{ad})/\tau_f$ と初期せん断応力比 τ_s/τ_f の関係を示している。 $\tau_s + \tau_{ad}$ および τ_f の値としてはせん断ひずみ γ が15%のときのものを採用した。また、安田らの結果⁵⁾ はそれぞれの特殊土の攪乱試料を

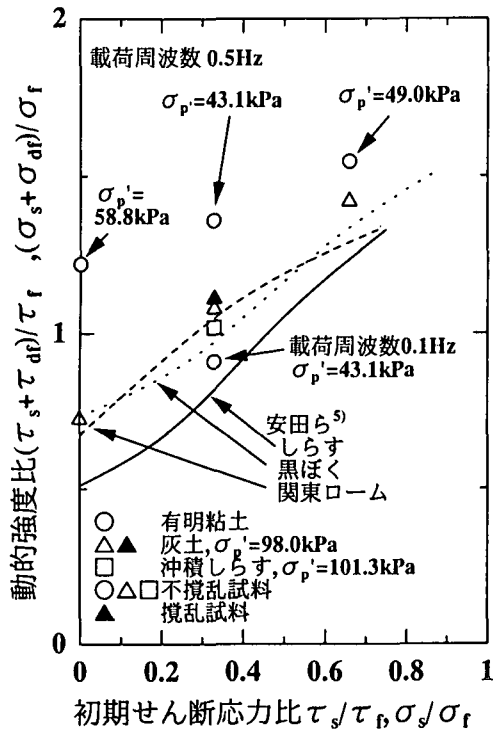


図-11 動的強度比と初期せん断応力比の関係

用いて行った繰返し三軸試験によるものである。図-11より、載荷周波数が 0.5Hz のとき、有明粘土と灰土の動的強度比はともに初期せん断応力比の増加に伴って大きくなっていることが分かる。また、有明粘土（載荷周波数: 0.5Hz）の動的強度比はここに示す他の特殊土に比べ、かなり大きくなっている。これは有明粘土が粘性を有していることから、いわゆる速度効果によって動的強度が静的強度に比べ大きく増加したことによると考えられる。このことはまた、有明粘土の試験で載荷周波数 0.1Hz のときの動的強度比が 0.5Hz のときよりもかなり小さくなっていることから推察される。一方、灰土の結果を見ると動的強度比は攪乱・不攪乱で同程度の値を示し、さらに、同一の火山灰質粘性土である黒ぼくや関東ロームとも同程度の値を示している。このことより、動的強度試験の結果を動的強度比～初期せん断応力比関係で整理すると、攪乱の影響が現れなくなる可能性があると考えられる。さらに、沖積しらすの動的強度比はしらすの攪乱試料の値より若干大きくなっている。この原因は今のところ明確ではないが、不攪乱試料に礫分が不均一に含まれていたこと等、試料の相違によるのではないかとと思われる。

図-12 は、有明粘土と灰土の試験による初期せん断応力が作用していないときの動的強度比と塑性指数の関係を示したものである。図には石原ら⁶⁾による沖積粘土および盛土ロームの結果がプロットされた範囲も併せて示してある。これより、今回の試験結果も石原ら⁶⁾、安田ら⁵⁾と同様に塑性指数が小さいほど動的強度比は小さく

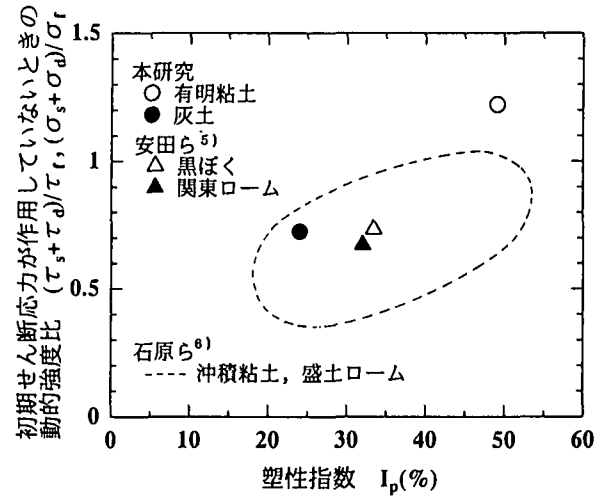


図-12 初期せん断応力が作用していないときの動的強度比と塑性指数の関係

なる傾向であることが分かる。ただし、有明粘土の動的強度比が幾分大きくなっていることも伺える。

4. まとめ

九州における 3 種類の特殊土、すなわち有明粘土、灰土および沖積しらすの動的変形・強度特性を調べ、次のような挙動が観測された。

- (1)せん断弾性定数 G ・減衰定数 h ～せん断ひずみ γ 関係は過去に提案された式による推定値と比較的よい一致を見た。
- (2)有明粘土の動的強度比は速度効果の影響で他の特殊土よりかなり大きくなった。
- (3)灰土の動的強度比は攪乱試料の黒ぼくや関東ロームと同程度の値を示した。

参考文献

- 1)安田進・他：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発表講演集、pp.539-542, 1985.
- 2)岩崎敏男・他：沖積粘性土の動的変形・強度特性について、第 15 回土質工学研究発表会発表講演集、pp.625-628, 1980.
- 3)岩崎敏男・他：砂のせん断変形係数と減衰の歪依存性について、第 12 回土質工学研究発表会発表講演集、pp.417-420, 1977.
- 4)永瀬英生・他：平均粒径および塑性指数を考慮した地盤の動的変形特性の推定、第 31 回地盤工学研究発表会発表講演集、pp.1017-1018, 1996.
- 5)安田進・他：三種類の火山灰土の動的強度特性、第 26 回土質工学研究発表会発表講演集、pp.835-836, 1991.
- 6)石原研而・他：多摩ニュータウンに分布する稲城砂および粘性土の動的性質、第 13 回土質工学研究発表会発表講演集、pp.589-592, 1978.