

不攪乱中間土の繰返しせん断特性

伊東周作¹・兵動正幸²

¹正会員 工修 基礎地盤コンサルタンツ (株) 水戸支店 (〒310 茨城県水戸市梅香2-2-45朝日ビル)

²正会員 工博 山口大学教授 工学部社会建設工学科 (〒755 山口県宇部市常磐台2557)

本論文では、不攪乱で採取した砂質土・中間土・粘性土に対して行った非排水繰返し三軸せん断試験のひずみと間隙水圧発生挙動の違いに注目し、中間土の繰返しせん断特性についての考察を行った。試料は物理特性の違いにより、砂質土・中間土・粘性土に分類し、近似した繰返しせん断応力比の下で、軸ひずみ、間隙水圧発生挙動、有効応力経路についての比較・検討を行った。その結果、中間土のひずみ発生挙動は砂質土と類似し、間隙水圧発生挙動は粘性土に近似し、サイリックモビリティは生じないことが示され、中間土の繰返しせん断特性は、砂質土、粘性土と異なる特徴的な挙動を示すことが確認された。また繰返し回数に対する強度曲線の繰返しせん断強度比の低下傾向は、細粒分の多い試料ほど小さくなることが確認された。

Key Words: Liquefaction, deformation, pore pressure, repeated load, stress path, triaxial compression test

1. はじめに

地震時の地盤の安定性及び対策工法の有効性等を検証する上で、土の粒度配合やコンシステンシー特性の影響は重要な要因となることが知られているが、これらを考慮した検討方法はまだ確立されていない。そこで本報告は、粒度配合の異なる広い範囲の土質の繰返しせん断特性の把握が必要であると考え、不攪乱で採取した砂質土・粘性土・中間土に対し繰返し三軸試験を実施し、試料の違いによる軸ひずみ・間隙水圧発生挙動及び繰返しせん断特性の違いについて考察した結果をまとめたものである。

2. 試料及び試験方法

試験に用いた試料は、茨城県の2地区において、シンウォールサンプラー及びトリプルチューブサンプラーで採取された不攪乱試料である。試料の一覧及び粒径加積曲線は表-1及び図-1に示し、物理特性の違いにより、砂質土 (S-1～4)、中間土 (M-1～M-3)、粘性土 (C-1) に分類した。

3. 軸ひずみ及び間隙水圧発生挙動

図-2に S-2, S-3, M-1及びC-1の4試料の繰返しせん断応力比 $\sigma_d/2\sigma_c=0.25\sim0.30$ 付近における応力・軸ひずみ・間隙水圧比の時刻歴を示した。図中には繰返し载荷開始後10秒付近、及びM-1とC-1の試料は

表-1 試料の物理特性

地区	試料名	深度 (m)	ρ_t	ρ_d	Wn	ec	砂分 (%)	silt分 (%)	粘土分 (%)	Fc (%)	D50 (mm)	IP (%)
			(g/cm3)	(%)								
A	S-1	3.0-3.8	1.79	1.41	27.1	0.875	92	8		80.19	NP	
	S-2	5.0-6.7	1.76	1.27	38.2	1.050	72	24	4	280.12	NP	
	S-3	8.0-9.5	1.68	1.15	45.4	1.143	48	46	6	520.07	NP	
	M-1	14.0-14.8	1.64	1.06	54.3	1.337	16	70	14	840.04	NP	
	C-1	17.0-17.8	1.57	0.92	69.8	1.768	21	50	29	790.02	47	
B	M-2	15.0-15.7	1.79	1.27	41.4	1.117	41	47	12	590.06	6.9	
	M-3	17.0-17.8	1.76	1.21	45.3	1.200	38	50	12	620.05	9.0	
	S-4	20.0-21.0	1.78	1.28	38.5	1.027	64	27	9	360.12	NP	

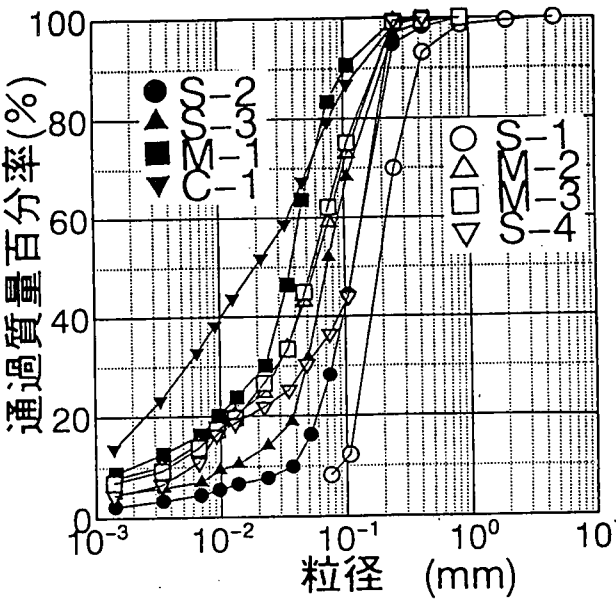


図-1 粒径加積曲線

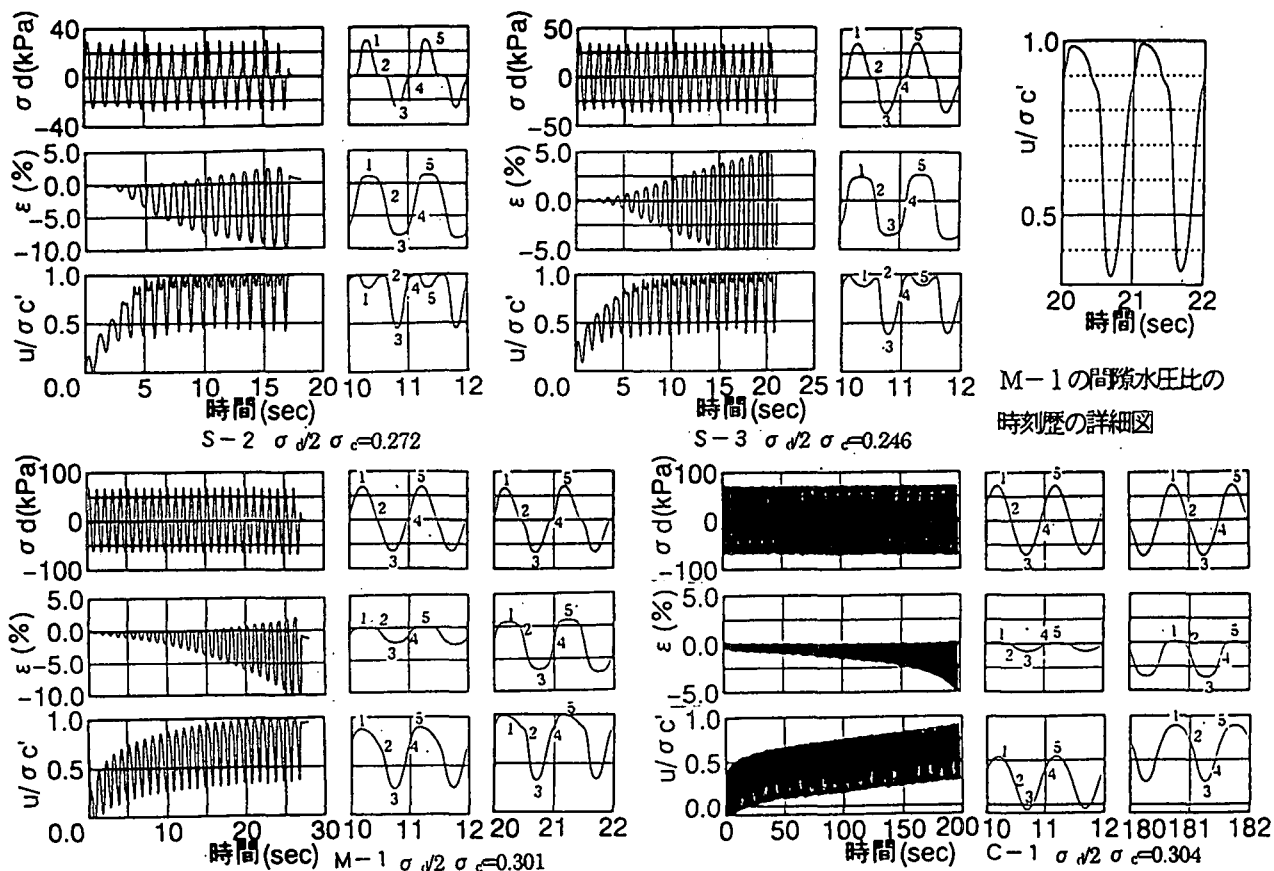


図-2 応力・軸ひずみ・間隙水圧比の時刻歴

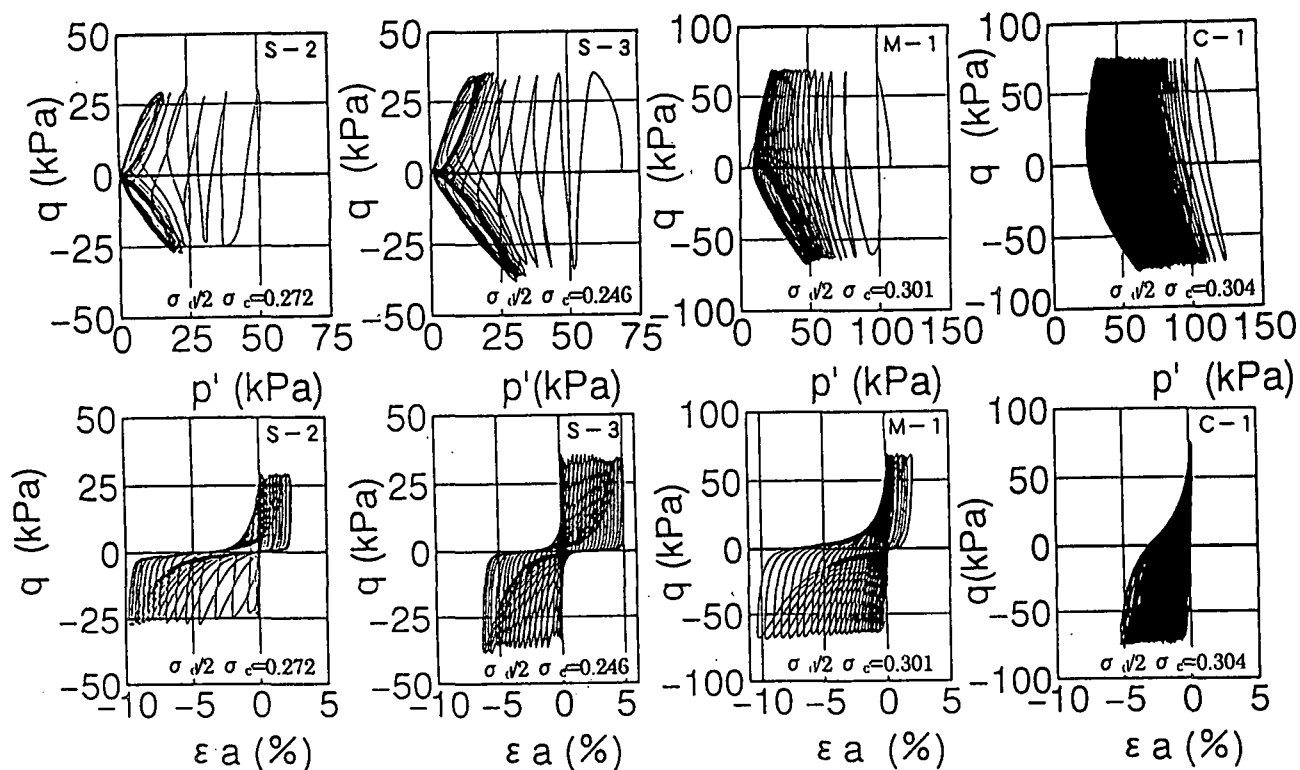


図-3 有効応力経路、応力・軸ひずみ関係

破壊状態に近い時間での拡大図をあわせて示した。またそれぞれの試料に対する有効応力経路と応力・軸ひずみの関係を図-3に示し、さらに繰返し回数と軸ひずみの関係、

繰返し回数と間隙水圧比の関係を図-4、図-5に示した。砂質土 (S-2, S-3) は、図-2より繰返し載荷に伴い間隙水圧が上昇し、間隙水圧比が1に近くなるとひずみ

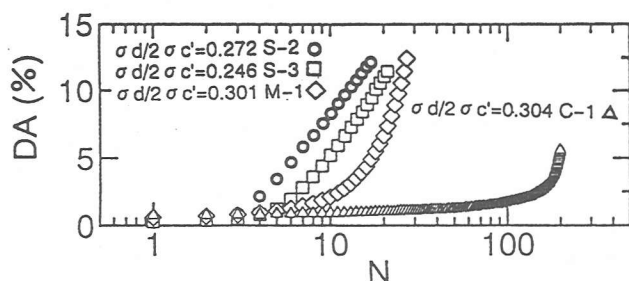


図-4 繰返し回数と軸ひずみの関係

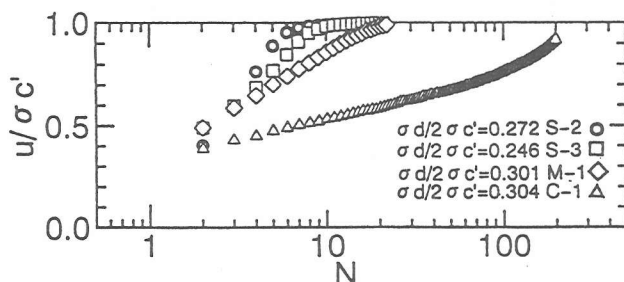


図-5 繰返し回数と間隙水圧比の関係

が大きくなる傾向を示している。また正の間隙水圧が1に到達し有効応力がゼロを示した後、サイクリックモビリティを繰返し図-3では有効応力が減少し破壊包絡線に沿った有効応力経路が確認されている。ここで図-2の間隙水圧比の時刻歴の拡大図に着目すると、S-2の間隙水圧比が番号2において1に達しているのに対し、S-3のそれは1に達していないことが認められている。S-2と同様な挙動はS-1 (FC=8%)で、S-3と同様な挙動はS-4 (FC=36%)で確認されており、これらは細粒分の影響によりダイレイタンス特性に変化が生じたためと考えられる。一方ひずみはS-2で伸張側に大きく発生しているのに対し、S-3では圧縮側と伸張側でほぼ同程度生じており、等方的なひずみ発生挙動が認められる。

粘性土 (C-1) では、図-2より繰返し载荷に伴い間隙水圧比及び軸ひずみは上昇する傾向を示すが、砂質土と異なり間隙水圧比は1に達しておらずまたひずみの急増もみられない。また図-3から砂質土にみられたサイクリックモビリティは確認されておらず、有効応力経路では有効応力の減少はみられるがゼロまで達していないことがわかる。さらにひずみの発生量は砂質土と比べてかなり小さくなっており、伸張側に大きく生じている。

図-2で中間土 (M-1) における軸ひずみ・間隙水圧比は、比較的少ない繰返し载荷で発生しており、全体に砂質土に類似した挙動を示している。しかし図中の間隙水圧比の拡大図に着目すると、破壊直前の20秒付近で間隙水圧比が1にかなり近づいているが、完全に1に達しておらず、またその波形は砂質土と異なり粘性土と類似している。さらに図-3の有効応力経路は原点に近づいているが、ゼロには達しておらずサイクリックモビリティは確認されない。図-2の中間土と粘性土の間隙水圧の波形を比較す

表-2 DA=5%、間隙水圧比95%に達するに必要な繰返し回数の対比

試料名	S-2	S-3	M-1	C-1
$\sigma_d/2\sigma_{c'}$	0.272	0.168	0.246	0.178
繰返し回数 N	6.6	22.6	9.8	56.7
DA=5%	5	20	7	48
$u/\sigma_{c'}$	15	15	15	15
=95%	161.2	23.0	195.7	---

: 図-1～図-5に表示したもの

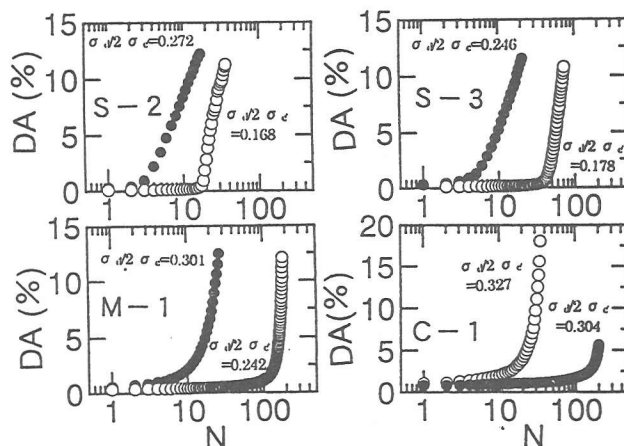


図-6 繰返しせん断応力比の変化による繰返し回数と軸ひずみの関係

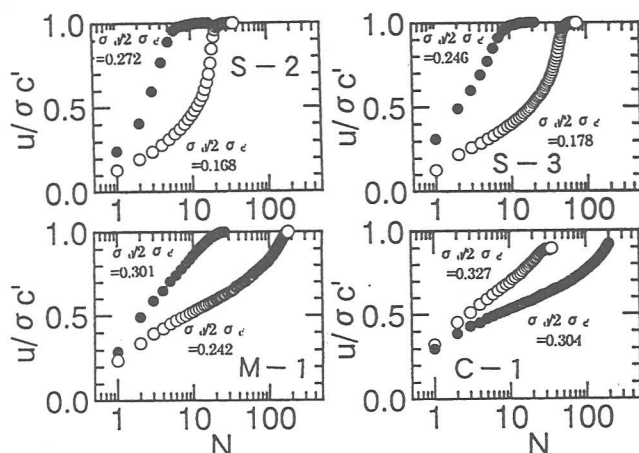


図-7 繰返しせん断応力比の変化による繰返し回数と間隙水圧比の関係

ると、両者は近似した形状を示しているが、中間土の間隙水圧の上昇傾向は粘性土に比べてかなり早くなっている。一方ひずみは比較的少ない繰返し回数で発達し、砂質土と近似した挙動を示し、伸張側に卓越する挙動がみられた。

図-4に示す繰返し回数と軸ひずみ両振幅の関係より、砂質土と中間土は近似した傾向を示し、粘性土のひずみ発生量はかなり小さくなることが認められる。また砂質土と中間土を比較すると、細粒分の少ない試料ほどひずみが早く発生する傾向がみられる。一方図-5に掲げる間隙水圧比・繰返し回数関係において間隙水圧は、砂質土と中間土が比較的少ない繰返し回数で上昇しているのに対し、粘性土はかなり遅くなっている。また中間土と粘性土の間隙水圧の上昇勾配は、砂質土と比べてがなだらかとなっている。

4. 繰返しせん断強度に及ぼす各試料の軸ひずみ、 間隙水圧発生挙動の違い

ここでは繰返しせん断応力比の変化が、各試料の繰返しせん断強度に及ぼす影響について述べる。そこで S-2, S-3, M-1 は繰返しせん断応力比が減少した場合、C-1 は繰返しせん断応力比が増加した場合の軸ひずみ及び間隙水圧発生挙動の変化に注目し、表-2 に各試料に与えた繰返しせん断応力比に対する、 $DA=5\%$ 、間隙水圧比 95% に達するに必要な繰返し回数の対比を、また各試料別にまとめた繰返し回数と軸ひずみの関係、繰返し回数と間隙水圧比の関係をそれぞれ図-6、図-7 に示した。さらに、 $DA=5\%$ に達するに必要な繰返しせん断応力比 $\sigma_d/2\sigma_c$ と繰返し回数の関係を図-8 に示し、同様な関係を表-1 に示した全ての試料について図-9 にまとめて示した。

図-6 における S-2、S-3 及び M-1 は、繰返しせん断応力比の低下によりひずみの発生が始まる繰返し回数が大きくなる傾向がみられ、細粒分が増加するほど繰返し回数が大きくなる傾向がみられる。図-7 より間隙水圧の発生は、細粒分を多く含む試料ほど遅くなる傾向がみられる。また粘性土では繰返しせん断応力比が 0.304 から 0.324 に大きくなると、ひずみ及び間隙水圧の発生が大きくなり、図-4 及び図-5 に示した中間土の挙動に近い結果となっている。このことより粘性土は繰返しせん断応力比の変化によるひずみ発生の変化が他の試料より大きいと考える。さらに粘性土・中間土の発生する最終間隙水圧比は、繰返しせん断応力比の大きさによらずほぼ一定の値を示していることが明らかである。

図-8 または図-9 の強度曲線より、繰返しせん断強度は細粒分の少ない砂質土が最も弱く、粘性土が最も強い値を示している。また繰返し回数に対する強度曲線の低下の度合は、砂質土では大きく中間土・粘性土では小さくなる傾向が認められる。砂質土は繰返し回数の増加に対して大きく低下するのに対し、中間土と粘性土は 20 回付近まで大きく低下し、それ以降はなだらかに低下する傾向を示している。さらに 100 回付近で中間土の方が粘性土より強度曲線の低下傾向が大きくなっている。これらは図-7 で確認されたように、繰返しせん断応力比の変化によるひずみの発生挙動が砂質土・中間土・粘性土でそれぞれ異なるため、強度曲線に違いがみられたと考える。

4. まとめ

粒度配合及びコンシステンシー特性の異なる中間土・砂質土・粘性土の繰返しせん断試験結果に注目し、中間土の繰返しせん断特性についての考察を行った。その結果中間土のひずみの発達、細粒分を多く含む砂質土より若干遅くなり、粘性土よりかなり大きいことが明らかとなった。

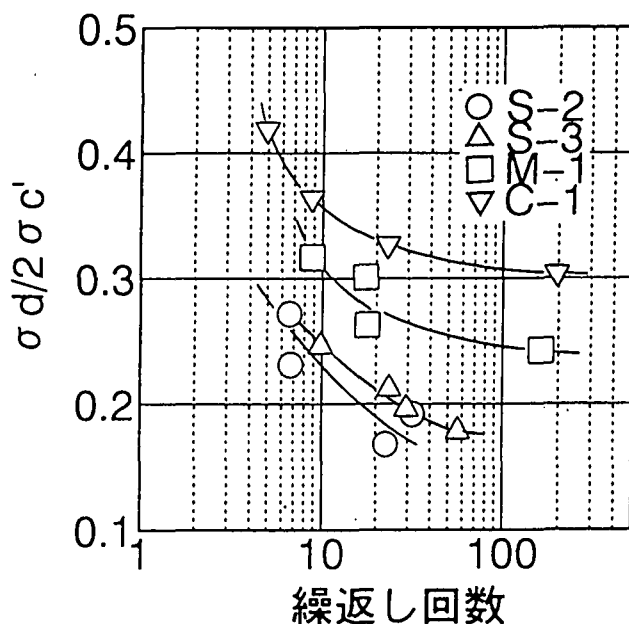


図-8 繰返しせん断強度曲線 ($DA=5\%$)

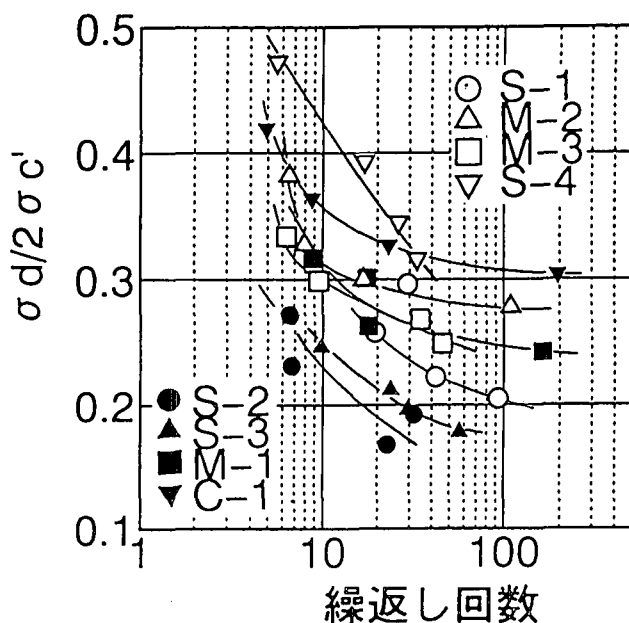


図-9 繰返しせん断強度曲線 ($DA=5\%$)

また間隙水圧比は完全に 1 にならず、時刻歴にみられる波形は粘性土に近く、サイクリックモビリティは確認されなかった。繰返しせん断応力比の変化によるひずみと間隙水圧の発生挙動に注目した結果、細粒分の多い試料ほど繰返しせん断応力比低下によるひずみと間隙水圧の発生が遅くなる結果が示された。これらの影響は強度曲線に現われ、細粒分の少ない試料ほど強度が弱く、また細粒分の多い試料ほど強度の繰返し回数に対する低下傾向が小さくなることが確認された。

参考文献

川手、兵動、村田、米村、河原：塑性指数の異なる不攪乱海成粘土の非排水繰返しせん断特性、第 30 回土質工学研究発表会講演集 pp935~936, 1995