

繰返し圧密特性に関する研究(第2報)

齋藤二郎 平間邦興
木村薫 丸山誠

Studies on Consolidation Characteristics of Cohesive Soil under Repeated Loads (Part 2)

Jiro Saito Kunioki Hirama
Kaoru Kimura Makoto Maruyama

Abstract

There are many problems in analyses and applications of consolidation characteristics of cohesive soil under repeated loads. It may be considered these consolidation phenomena occur in embankments and foundations of roads and railways subjected to traffic loads, ground subjected to cyclic stresses such as under oil tanks and docks, and where there are marked changes in ground water level. However, it is believed these consolidation settlements due to repeated stresses are different from static cases, and it is necessary to carry out design taking effects of repetition into consideration.

In the previous report, using a new consolidation apparatus capable of giving a repeated stress, some interesting results were pointed out regarding natural and mixed samples collected in Tokyo. In the present report, experiments using a back pressure apparatus in order to confirm behavior of pore water pressure are described. Numerous interesting trends were noted and a number of them are introduced.

概要

繰返し応力を受ける粘性土の圧密性状において、その解釈と適用には数多くの問題が残されている。実際には、交通荷重を受ける道路や鉄道の盛土体とその基礎地盤、あるいはオイルタンクやドックのように周期的な応力を受ける地盤、また地下水位の変動を著しく受ける地盤などにおいて起きると想定される。このような繰返し応力によって生じる地盤の圧密沈下は静的な現象とは異なったものと考えられ、したがって繰返し効果による影響を考慮にいれて設計する必要がある。

前報文では、試作した繰返し圧密試験機で東京都内で採取した自然試料と調整試料を用いて実験をおこなったところ興味ある点が指摘された。今回は、そのうち間げき水圧の挙動を明確に見きわめるために、バックプレッシャーを負荷できる装置を試作して実験をおこなった。その結果、興味ある傾向が認められたので、ここでそれらのいくつかについてあきらかにしたい。

1. まえがき

一定荷重が繰返しで載荷される場合、粘性土の圧密沈下はいわゆる静的な圧密沈下とは異なった現象と考えねばならない。たとえば、小さな荷重でも繰返し荷重が加わるとその沈下現象が長期間にわたって起こる事例¹⁾なども報告されており、今後繰返し効果を受ける地盤においてはその影響を設計条件に含んだ精度の高い解析をおこなう必要がある。

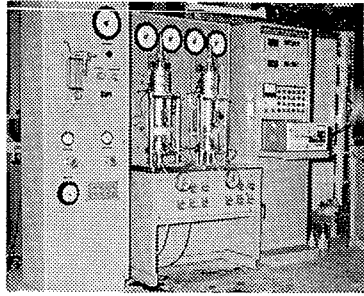
筆者らは、かねてより上述の問題点を解明するために、試作した繰返し圧密試験装置を用いて一連の実験をおこなってきた。この報文では、前報²⁾でその一端をあきらかにした間げき水圧の挙動を明確にするため、バックプレッシャーを負荷して種々の条件下で繰返し圧密試験をおこなった。

2. 実験装置概要

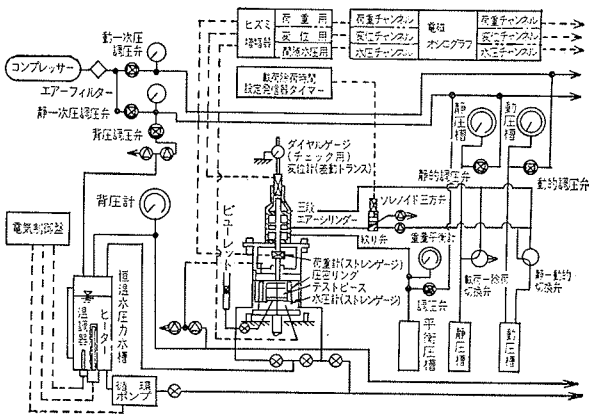
この実験に使用した繰返し圧密試験装置は標準圧密試験と同様に、一定拘束条件で任意の圧密荷重と載荷・除荷時間で繰返し圧密することが可能であり、同時に静的圧密試験もおこなうことができる。また、任意のバックプレッシャー負荷も可能となっている。試験装置の概要、並びに機構系統図を図-1、図-2に示す。

圧密荷重は特殊なエアシリンダーを通して空気圧により与え、繰返しの載荷除荷の時間は切換タイマーによって調節する。供試体寸法は、直径60(mm)×高さ20(mm)で、加圧板・圧密リングには側面摩擦を少なくさせるためにテフロンライニング加工をほどこし、また、標準圧密試験との互換性も可能である。

供試体に載かる応力は上部に取りつけた荷重計（ロードセル）によって、沈下量は変位計によって測定される。また、間げき水圧は試料台下



図一 繰返し圧密試験装置



図二 試験装置機構系統図

端に直結された間げき水圧計によって測定され、測定値はすべてアナログ的に電磁オシログラフに自記記録される。なお、繰返し荷重回数はカウンターによって自動的に表示される。

3. 試料と実験方法

3.1. 試料の物理的性質

この実験に使用した試料の物理的性質を表一に示す。試料は大阪府堺市泉北地区より採取した洪積粘土である。供試体の作成にあたっては、これらの採取した自然試料を一度加水して十分に練り返し、大型圧密槽（直径10cm×高さ40cm）を用いて、1.6(kg/cm²)の荷重で約20日間再圧密し、得られた試料をいくつか分割して実験に供した。

調整試料	
採取場所	大阪府堺市
玉の組成	
砂 %	8.0
シルト %	55.0
粘土 %	37.0
含水比 %	31.0
比重	2.667
湿潤密度 g/cm ³	1.82
間げき比	0.83
飽和度 %	99.3
コンシステンシー	
L.L. %	69.7
P.L. %	27.2
P.I. %	42.5

表一 試料の物理的性質

3.2. 実験方法

(i) 静的圧密試験：

繰返し荷重と同じ静的圧密荷重0.2, 0.4, 0.8(kg/cm²)を2日間載荷し、終了後に静的応力履歴の影響を調べるために同一試料で標準圧密試験をおこなった。

(ii) 繰返し圧密試験：繰返し荷重 0.2, 0.4, 0.8(kg/cm²)の3種類について、それぞれ載荷除荷の時間比を2:8(秒), 5:5(秒), 8:2(秒)で2日間(17000回)繰返し載荷をおこなった。また、間げき水圧の挙動をはっきりさせるためにバックプレッシャー0.8(kg/cm²)を負荷した。載荷終了後に繰返し応力履歴の影響を調べるために同一試料で標準圧密試験をおこなった。

(iii) 標準圧密試験：静的並びに繰返し圧密試験の他に再圧密した調整試料と調整試料を攪乱してリモールドした試料の2種類について標準圧密試験をおこなった。

以上の試験条件を一括表示したのが表一である。

		調整試料	
バックプレッシャー	圧密圧力	載荷：除荷時間比	記号
0.8(kg/cm ²)	0.2		S-0.2
			S-0.4
			S-0.8
繰返し圧密試験 および 標準圧密試験	0.2	2:8	D-0.2- $\frac{2}{8}$
		5:5	D-0.2- $\frac{5}{5}$
		8:2	D-0.2- $\frac{8}{2}$
	0.4	2:8	D-0.4- $\frac{2}{8}$
		5:5	D-0.4- $\frac{5}{5}$
		8:2	D-0.4- $\frac{8}{2}$
	0.8	2:8	D-0.8- $\frac{2}{8}$
		5:5	D-0.8- $\frac{5}{5}$
		8:2	D-0.8- $\frac{8}{2}$
標準圧密試験			調整試料 攪乱・リモールド試料

表二 試験条件一覧

4. 実験結果とその検討

4.1. 繰返し圧密特性について

4.1.1. 沈下特性の検討 静的圧密と繰返し圧密をおこなったときの沈下量・間げき水圧—時間曲線を、繰返し荷重別と載荷除荷時間比別にあらわしたのが図一3～図一7である。除荷時の弾性沈下量をあらわすためにある幅をもたせて示してある。

いずれの場合にも静的圧密に比べて繰返し圧密の沈下量が卓越し、また繰返し荷重が大きくなると載荷除荷時間比によって、その沈下量に相当の差が見られるようになる。

沈下量の経緯については、繰返し圧密のほうが静的圧密と比較して二次圧密は卓越してあらわれており、しかも繰返し荷重が小さいほど、また載荷時間が短いほど二次圧密的沈下を起こしている。これらの傾向については載荷荷重と載荷時間などに依存する、いわゆる圧密エネルギーの相違に起因する挙動と思われる。

そこで、実際の載荷時間（正味圧密時間）に対して沈下量のプロットを試みた。通常の圧密時間と正味圧密時間について、それぞれ繰返し荷重別に比較したのが図一8である。

載荷除荷時間比の影響を除くことによりいずれの沈下曲線も互いにある程度の収束を示す傾向にあるが、

その分布幅はかなり大きい。この分布幅が載荷除荷加速度および間げき水圧など動的試験にまだあきらかにされていない要因に支配されている範囲と考えられる。

4.1.2. 間げき水圧の挙動 静的圧密並びに繰返し圧密の機構を明確にするために、その間げき水圧の挙動を知ることは重要な手がかりとなる。

沈下特性の検討でも指摘した通り間げき水圧にも同じような傾向が認められ、繰返し荷重が大きくなるほど高い間げき水圧が発生するが、その割合は載荷除荷時間比によって大きく左右される。載荷時間が長いほど繰返し荷重の影響が顕著にあらわれ、また繰返し荷重が大きいほど載荷除荷時間比の影響が大きくあらわれている。

初期間げき水圧は載荷荷重に見合うだけの値が発生

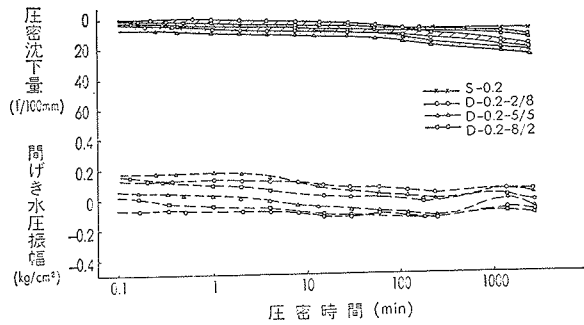


図-3 圧密沈下量, 間げき水圧曲線
(繰返し荷重 0.2 kg/cm²)

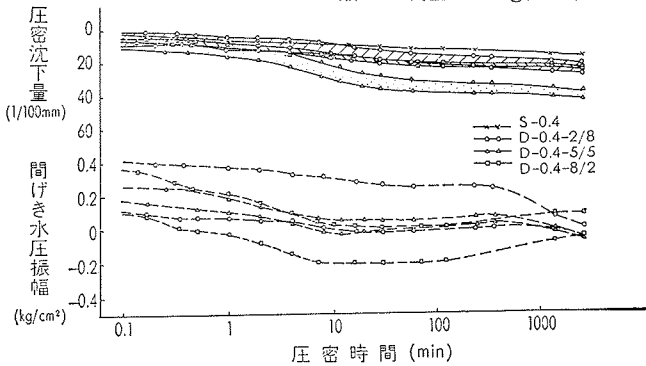
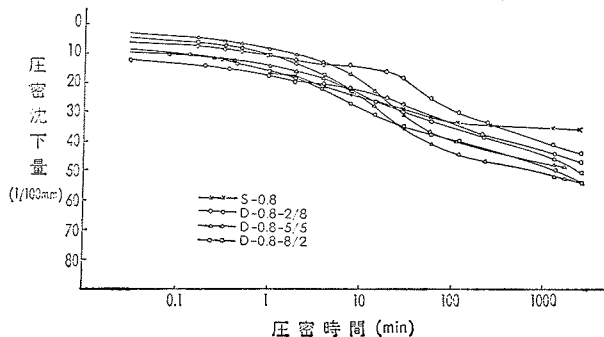


図-4 圧密沈下量, 間げき水圧曲線
(繰返し荷重 0.4 kg/cm²)



していると言えるが、静的圧密の場合には間げき水圧の消散は早いのに対して、繰返し圧密の場合、平均値

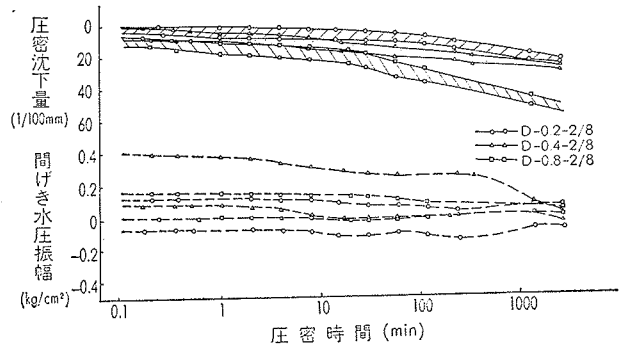


図-5 圧密沈下量・間げき水圧曲線
(載荷除荷時間比 2/8)

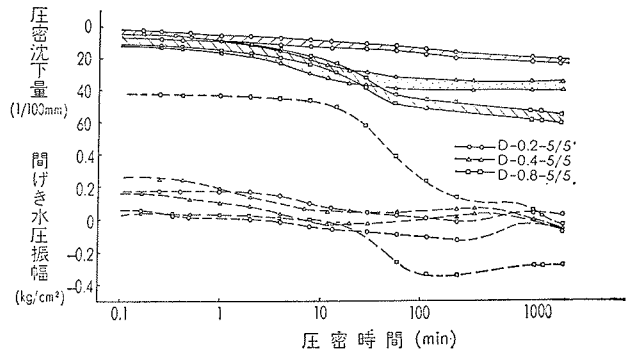


図-6 圧密沈下量・間げき水圧曲線
(載荷除荷時間比 5/5)

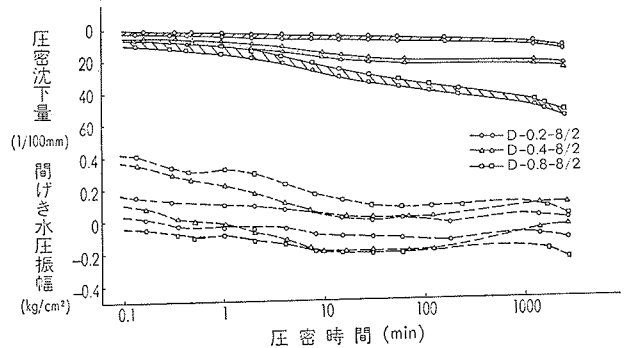


図-7 圧密沈下量・間げき水圧曲線
(載荷除荷時間比 8/2)

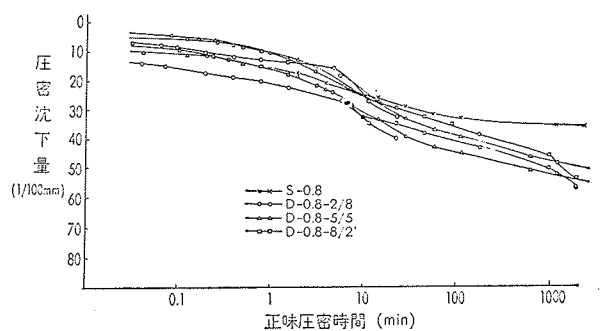


図-8 圧密沈下量の圧密時間と正味圧密時間との比較 (繰返し荷重 0.8 kg/cm²)

的には大略ゼロとなるが、繰返し応力に対応する間げ

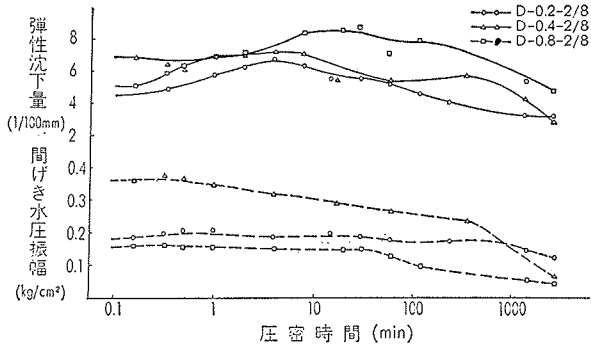


図-9 沈下量・間げき水圧の復元量
(載荷除荷時間比 2/8)

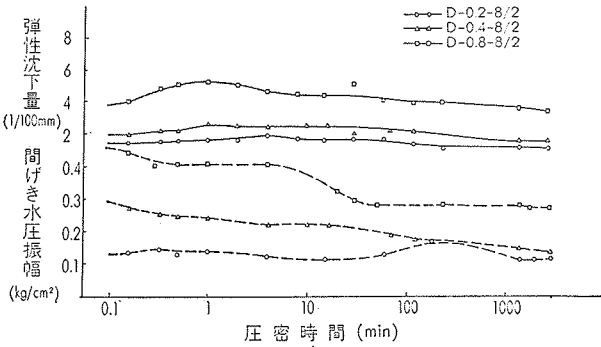


図-10 沈下量・間げき水圧の復元量
(載荷除荷時間比 8/2)

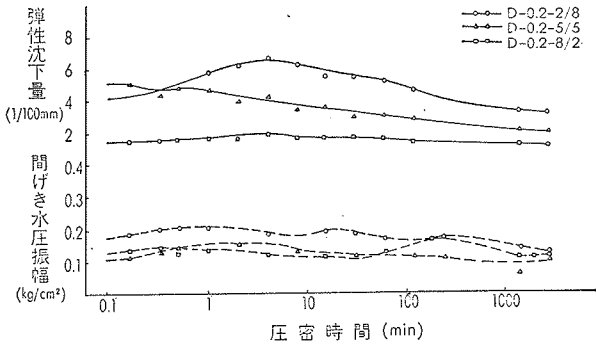


図-11 沈下量・間げき水圧の復元量
(繰返し荷重 0.2 kg/cm²)

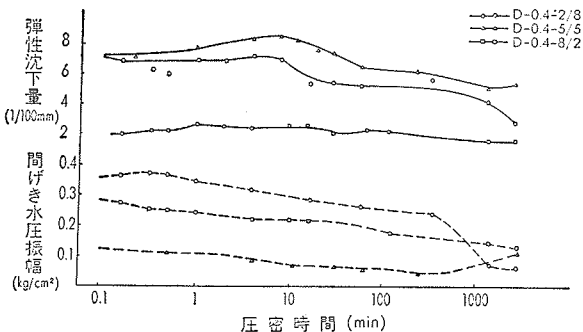


図-12 沈下量・間げき水圧の復元量
(繰返し荷重 0.4 kg/cm²)

き水圧の振幅は長時間継続し、やがてその振幅は減少する傾向を示して平均的にも負圧の領域にはいつてくる。この傾向についてはこれまでの実験過程においても認められたが、この間げき水圧の挙動が繰返し圧密沈下のメカニズムを探り出す一つの着眼点となるはずである。繰返し圧密機構を究明するうえで間げき水圧特性の把握が今後とも必要となる。

4.1.3. 弾性沈下量の推移 繰返し圧密において除荷のときに認められる弾性沈下量と間げき水圧の復元量を載荷時間に対応して示したのが図-9～図-12である。

やはり繰返し荷重が大きくなるについて弾性沈下量は増大するが、その曲線形状は載荷除荷時間比によって大きく異なる。たとえば載荷時間が短いほど載荷途中で弾性沈下量は一度増大して上に凸の形状を有し、なんらかの構造的な硬化現象の発生が予想され、そのうち載荷回数とともに徐々に減少して一定値に落ちつくようである。また、弾性沈下量の絶対値から比較してみると載荷除荷時間比 5 : 5 (秒) が平均的に最も卓越している状況が理解できる。これらの載荷除荷時間による影響については、前報でも指摘した通りである。

4.2. 繰返し応力履歴の影響

4.2.1. 間げき比の変化 繰返し応力の履歴性状を検討するために、静的載荷を受けた試料と繰返し載荷を受けた供試体について標準圧密試験をおこなった結

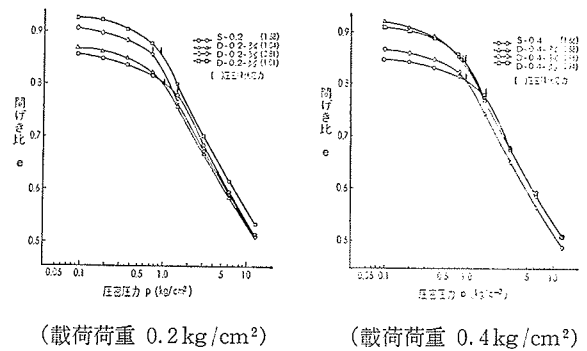


図-13 間げき比-圧密荷重

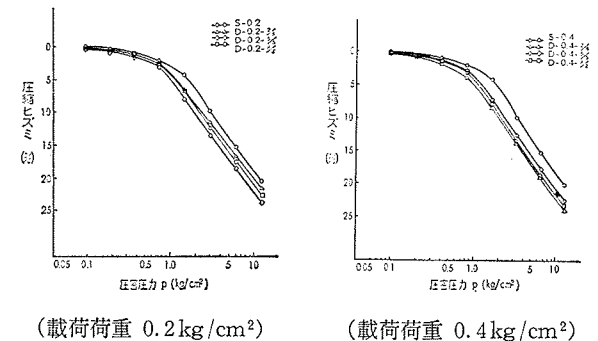


図-14 圧縮ヒズミ-圧密荷重

果を図-13～図-14に示した。

圧縮曲線には、圧密降伏応力を併記してある。いずれの場合も繰返し荷重が載かると降伏を早めるとともに圧縮指数も若干低く出ていることがわかるが、初期間げき比に多少の相違があるため明確な傾向は認められない。そこで各荷重段階ごとに圧縮沈下ヒズミ(%)であらわすと、静的応力履歴と繰返し応力履歴を受けた場合とでは、はっきりその変形特性に違いがあらわれている。つまり繰返し応力履歴を受けた供試体の沈下量がより卓越すると言えよう。

4.2.2. 体積圧縮係数の変化 体積圧縮係数の変化を追ってみると静的履歴と繰返し履歴の相違が更にはっきりしてくる。正規圧密領域では静的・繰返し圧密とも差は小さくほぼ一直線上に収束しているが、過圧密領域では差は大きくなる傾向があらわれて、繰返し応力履歴を受けた供試体では高い体積圧縮係数が得られるようである。また繰返し応力履歴の中でも一般に載荷時間が長いほど静的応力履歴に近づく傾向が見られる。

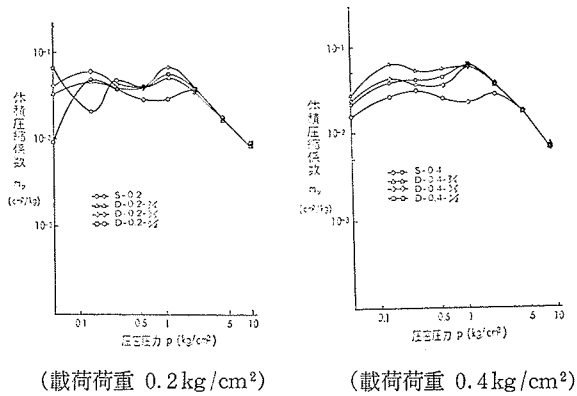


図-15 体積圧縮係数—圧密荷重

5. あとがき

この報文では、自然試料に加水して繰返し、再圧密した調整試料について一連の静的および繰返し圧密試験をおこない、その実験結果の概要を報告した。特に

間げき水圧の挙動を明確にするために、バックプレッシャーを負荷して実験をおこない一応の結果を得るとともに、従来より指摘されている大略的ないくつかの傾向をつかむことができた。しかしながら、実験データ量が少ないこともあってその傾向の詳細を十分に把握することはできなかった。

なお、間げき水圧の挙動についてはいまだ不明な点も多くその詳細は明確でないが、繰返し圧密の機構を究明するうえで重要なポイントと言える。特に、動的間げき水圧の発生機構、あるいは間げき水圧負圧発生との関連性、また弾性沈下量との相互関係などについては、今後ともより緻密な実験をくりかえしておこなわねばならない。また、繰返し載荷時において重要な要素と考えられる載荷除荷時間比の問題については、圧密エネルギーなどの概念を取入れて統一的な見解でまとめてみる必要があるようである。

以上については、繰返し圧密試験機の改良並びに実験方法の再検討と合わせて、今後の研究課題として押し進めていかねばならない。

謝辞

この研究をおこなうにあたっては、日産基礎工業㈱ 佐藤栄氏の尽力に負うところが多い。ここに記して、深甚なる謝意を表します。

参考文献

- 1) L. Bjerrum: Secondary Settlement of Structure Subjected to Large Variations in Load, IVTAM, symp. Rheology and Soil Mechanic (1966)
- 2) 斎藤・平間: 繰返し圧密特性に関する研究, 大林組技術研究所報 No. 7 (1973)
- 3) 山内・藤原: ヘドロの繰返し圧密について, 第5回土質工学研究発表会講演集 (1970)
- 4) 山内・安原・了戒: 有機質土の繰返し圧密特性について, 昭和45年度土木学会西部支部講演発表概要集