

繰返し圧密特性に関する研究

齋藤 二郎
平間 邦興

Studies on Consolidation Characteristics of Cohesive Soil under Repeated Loads

Jiro Saito
Kunioki Hiramata

Abstract

There are many problems in analyses and applications of consolidation characteristics of cohesive soil under repeated loads. These consolidation phenomena are thought to happen in road subgrades and railway bases subjected to traffic loads, ground subjected to cyclic stresses such as under oil tanks and docks, and clay layers subjected to fluctuations in ground water levels. Usually, these repeated loads have been handled to substitute for static stress. However, it is believed these consolidation settlements of ground due to repeated stresses is different from static phenomena and it is necessary to carry out design taking effects of repetitions into consideration.

This report attempts a clarification of consolidation characteristics of cohesive soil under repeated loads in lateral restraint similar to standard static consolidation using an apparatus capable of giving cyclic repeated stresses. Many interesting results were obtained and a number of the characteristics are introduced.

概 要

繰返し応力を受ける粘性土の圧密性状の解釈と適用には数多くの問題が残されている。このような圧密現象は、実際には交通荷重を受ける道路の路床や鉄道の路盤、オイルタンクやドックのような周期的応力を受ける地盤、地下水位の変動を受ける粘土層などにおいて起ると考えられるが、このような繰返し応力によって生ずる地盤の圧密沈下は静的現象とは異ったものと考えられ、繰返し効果を考慮に入れて設計する必要がある。

この報文は静的標準圧密と同仕様に側方拘束された条件で、周期的な繰返し応力を与えることのできる試験装置を試作して粘性土の繰返し圧密特性の解明を試みたものである。数多くの興味ある結果が得られたので、その特性のいくつかを明らかにしたい。

1. まえがき

定荷重が繰返し負荷されて起る粘性土の圧密沈下はいわゆる静的圧密とは異った現象と考えられるが、これに関する研究例は少なく、その影響を実際問題として設計などに取り入れられた例は殆んどみられない。しかしながら、このような繰返し荷重が加わる地盤では長期間にわたって大きな沈下の続く事例¹⁾が報告されており、繰返し効果を考慮に入れた精度の高い設計をおこなう必要がある。

筆者らは、かねてより上記の諸問題の解決を図って繰返し圧密試験装置を試作し、実験をおこなってきた。

この報文では、東京都内で採取した河成沖積土を試

料として、条件を変えて実験をおこない、その結果を検討して繰返し圧密特性の一端を明らかにする。

2. 実験装置

実験に使用した繰返し圧密試験装置は、いわゆる静荷重による一次元圧密と同様に側方拘束された条件で、周期的な一定繰返し応力を与えて、土の圧密特性を明らかにすることができる。また供試体を静的に圧密することも可能である。試験装置の概要および機構系統を図—1、図—2に示す。

圧密荷重は特殊なエア—シリンダーを介して空気圧により与える。繰返し荷重は矩形波であり、切換タイマーを調節することによって載荷・除荷の時間比を任

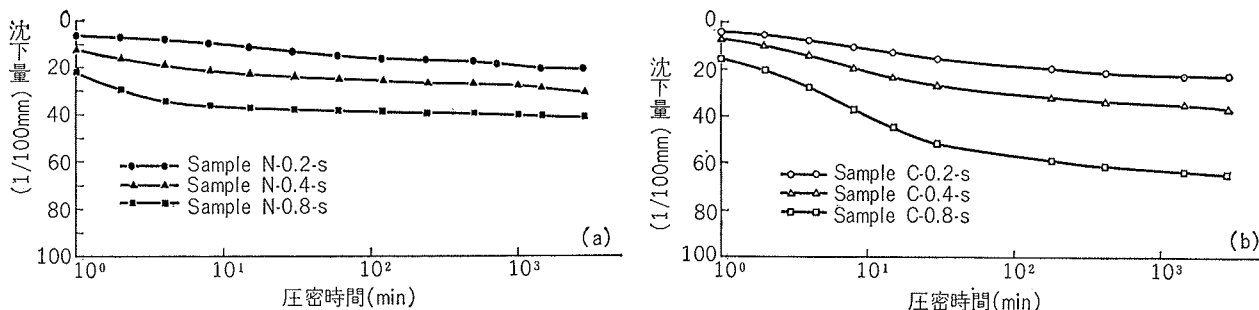


図-3 静的圧密の時間-沈下量曲線 (静荷重変化)

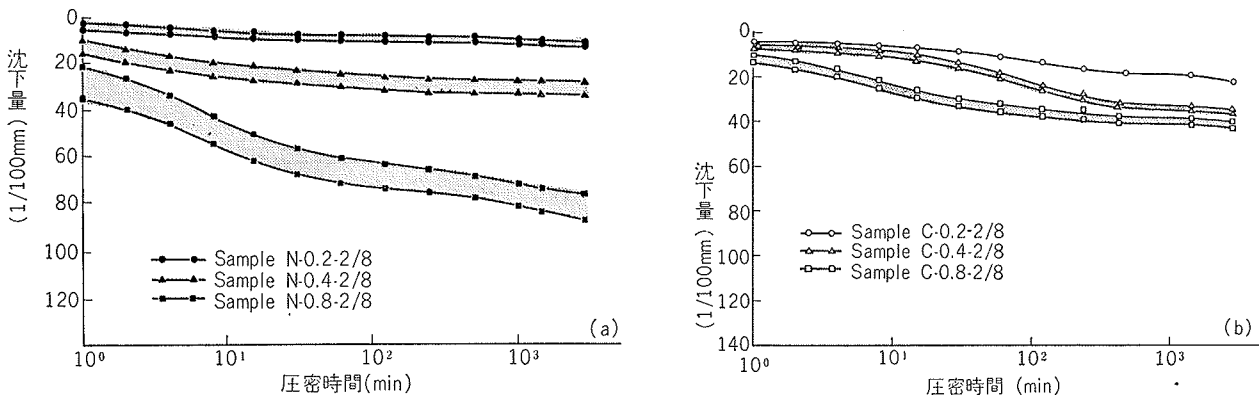


図-4 繰返し圧密の時間-沈下量曲線 (載荷: 除荷時間 = 2 (秒): 8 (秒), 繰返し荷重変化)

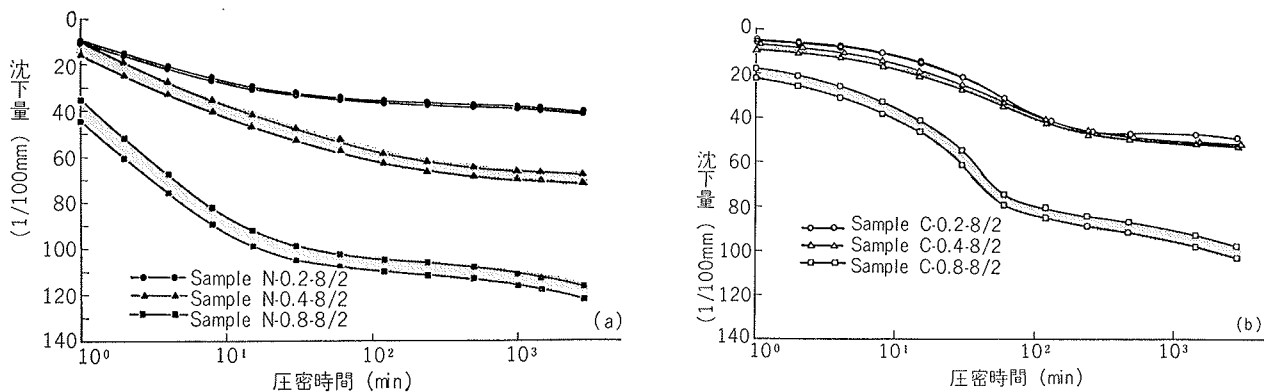


図-5 繰返し圧密の時間-沈下量曲線 (載荷: 除荷時間 = 8 (秒): 2 (秒), 繰返し荷重変化)

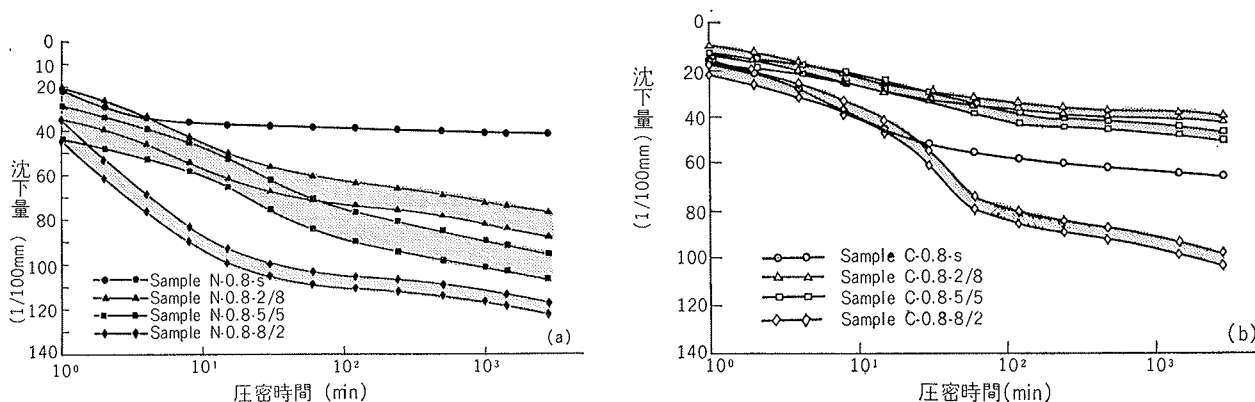


図-6 繰返し圧密の時間-沈下量曲線 (載荷: 除荷時間変化, 繰返し荷重 = 0.8 (kg/cm²))

$$u(z, t) = \sigma_0 \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\sin m_n z}{m_n} \frac{\omega}{\mu^2 + \omega^2} (\omega e^{-\mu t} - \omega \cos \omega t + \mu \sin \omega t) \quad \dots \dots \dots (4)$$

時間 t における沈下量は(4)式の指数関数のみを取り

$$S_t = \frac{1}{E} \sigma_0 \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{m_n^2} \frac{\omega^2}{\mu^2 + \omega^2} (1 - e^{-\mu t}) \quad \dots \dots \dots (5)$$

ここで $\mu = Ekm_n^2$, $m_n = \frac{2n+1}{2H} \pi$ (n=0,1,2,.....)

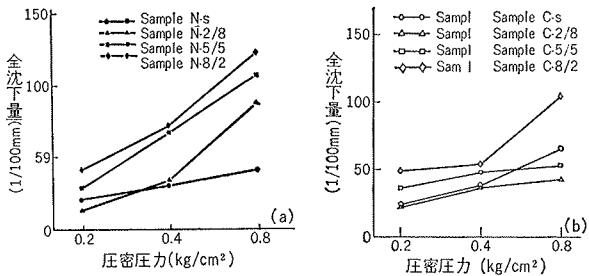
4. 試験結果とその検討

4.1. 繰返し圧密特性について

4.1.1. 沈下性状の検討 自然試料と調整試料について、静的圧密と繰返し圧密試験の時間—沈下量の関係を示したのが図—3～6であり、除荷の際の弾性復元量を意味する幅をもたせて示してある。これらの結果から圧密終了時の全沈下量を一括表示したのが図—7である。

図—3において、自然地盤から採取したままの自然試料が、一度繰返しを受けた調整試料よりも、過圧密領域での静的圧密沈下量が小さいのは妥当な傾向といえるが、図—4, 5における繰返し荷重の下では、この傾向は逆転して自然試料の方が大きな沈下量を示しかも、その傾向は繰返し荷重の大きくなるほど顕著であることが理解できる。

この傾向の相違について、比較的鋭敏な自然試料では、繰返し荷重が載荷の進行とともに粘土内の構造破壊を生じさせ、かく乱効果として沈下を促進させる結果をもたらすのに対して、一度繰返しを受けた調整試料では、沈下量が繰返し荷重と載荷時間に依存する圧密エネルギーに対応する結果、異った傾向が得られた



図—7 全沈下量の比較

と解釈できるようである。この傾向は、さらに図—6において確認することができる。すなわち、自然試料では静的圧密沈下量に比べて繰返し荷重を受けたもの

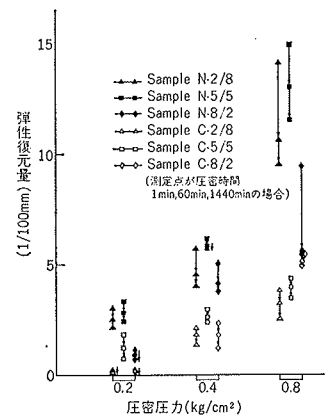
の方がいずれも大きな沈下量を示しているのに対し、調整試料では載荷時間の比較的小さな段階で繰返し荷重を受けた沈下量の方が小さく表われている状況が理解できる。この傾向の関係は図—7の全沈下量の比較で一層明らかにされよう。

また図—3～6の曲線性状より、静的圧密においては二次圧密がほとんど認められないが、繰返し荷重を受けた試料では二次圧密的沈下の極めて卓越していることが明らかで、これまでに報告されてきた結果³⁾とも一致する。

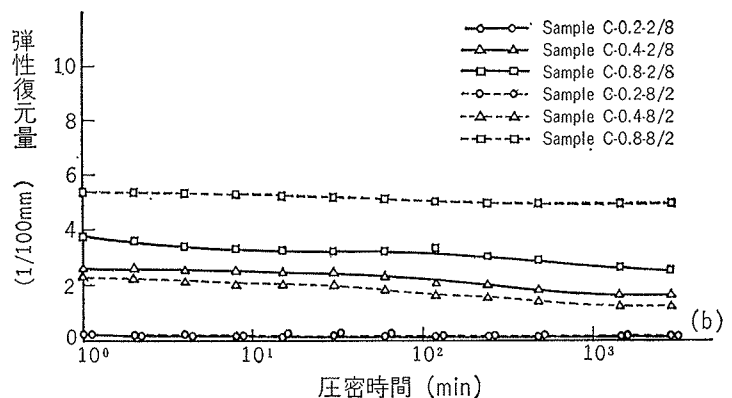
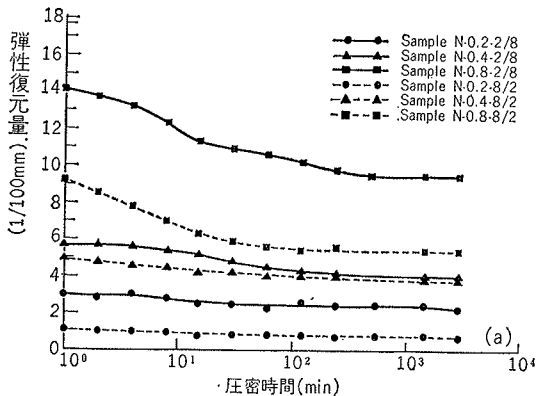
4.1.2. 弾性復元量 繰返し圧密において、除荷の際に生ずる弾性復元量を載荷時間および載荷重に対応して示したのが、それぞれ図—8, 9である。

図—8より、いずれの試料においても繰返し荷重の大きさに対応して弾性復元量の増大する傾向が認められるが、自然試料に比べて、粘土の骨格構造を壊してある調整試料では弾性復元量の絶対値は大きく下廻っている。また自然試料においては繰返し載荷の進行ともなって弾性復元量に明確な低減が認められるが、圧密時間 500min (3000回) の載荷で安定し、ほぼ一定値を示すようである。また調整試料では明確な傾向が認められない。

これらの結果をまとめた図—9について検討すれば弾性沈下量の最も卓越しているのが、自然試料では載荷：除荷時間が5(秒)：5(秒)のもので2：8, 8：2と続いており、調整試料でも載荷：除荷時間, 5(秒)：5(秒)が最も卓越し、続いて8：2, 2：8とな



図—9 荷重—弾性復元量



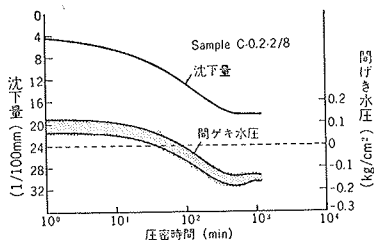
図—8 繰返し圧密の時間—弾性復元量

っている。これらの差は、かなり明確に判別され興味深い傾向といえるが、この時間比の影響については、繰返し圧密機構の解明とあわせて、今後の研究課題となろう。

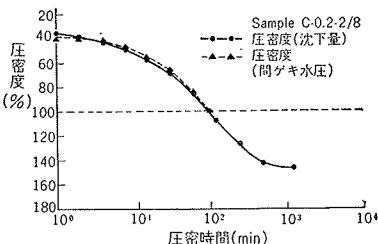
4.1.3. 間げき水圧 静的圧密と繰返し圧密の機構を明らかにするためには、間げき水圧の測定が必要となるはずである。この実験でおこなった測定結果から調整試料について

の例を示したのが図一10であり、間げき水圧の上限値が零の点を圧密度100%として、その経緯を沈下量と間げき水圧から算定したのが図一11である。

図一10より間げき水圧は時間とともに減少するが一方、時間の経過にかかわらず繰返し荷重に対応する間げき水圧の発生はほぼ一定値を示し、これが大きな二次圧密を誘引する結果をもたらすと推定される。また時間の経過とともに間げき水圧は負圧を示すが、この負圧が繰返し圧密に特有なものか、他



図一10 沈下量と間げき水圧



図一11 圧密度曲線

の原因によるのかは判然としない。図一11の圧密度曲線については、沈下量と間げき水圧から求めた曲線は良く一致しているようである。

4.2. 繰返し応力履歴をうけた試料の標準圧密特性について

4.2.1. e-log p 曲線 繰返し圧密荷重を与えた試料について、その後、標準圧密試験をおこない、得られたe-log p 曲線の2種の例が図一12である。

図一12(a)は自然試料について示したもので、あわせて繰返し荷重を与えていない不かく乱試料と繰返しした不かく乱試料の結果も併記してある。試料条件によってe-log p 曲線に差のあることが解かる。特に繰返し荷重を受けた試料では不かく乱試料に比して圧密降伏荷重はいずれも小さく表われており、過圧密領域における繰返し荷重は土の降伏を促すと解釈できるようである。

図一12(b)は調整試料について載荷時間を変えた場合のe-log p 曲線を示したものであるが、圧密降伏荷重に定性的傾向は見い出せない。

4.2.2. 体積圧縮係数 体積圧縮係数の変化を調べるため自然試料と調整試料についての分布を一括表示したのが図一13である。

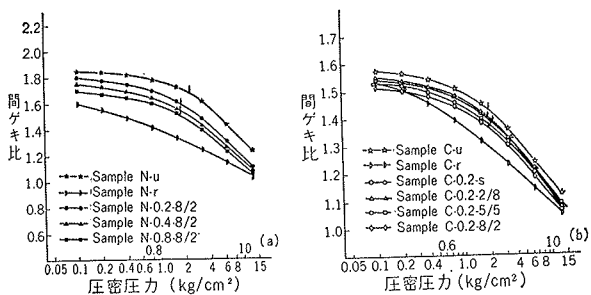
自然試料について正規圧密領域では収束を示して傾向に差はないが、過圧密領域では繰返し荷重を受けた試料の体積圧縮係数が不かく乱試料を境にして静荷重を受けた試料より大きな値を示し、しかもその傾向はかなり明確である。この傾向は前述の圧密降伏荷重の変化とあわせて、繰返し荷重の粘土構造破壊に基因する現象と解釈することができる。

調整試料についても、正規圧密領域では収束を示し過圧密領域で繰返し荷重を受けた試料と静荷重を受けた試料との間に同様の傾向は認められるが、自然試料ほどには明確でない。

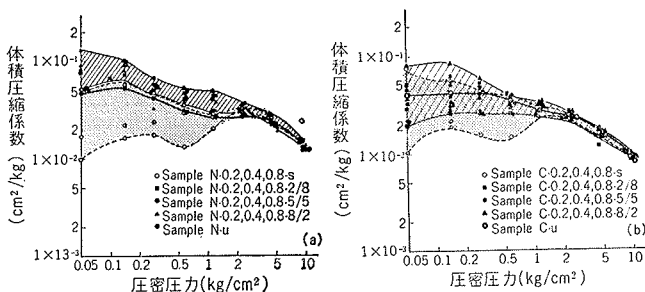
5. まとめ

ここでは、自然地盤から採取したままの自然試料と同一の土を加水して繰返し、粘土内の構造を壊して再圧密した調整試料についておこなった一連の繰返し圧密、静的圧密試験の結果を報告した。以上の結果をまとめると、大略次の如く示すことができる。

- (1)自然試料は静的荷重の下では調整試料よりも小さな沈下量を示すが、繰返し荷重の下でこの傾向は逆転し極めて大きな沈下を示す。調整試料では繰返し荷重効果があまり認められない。
- (2)静的圧密に比べて繰返し圧密では二次圧密的沈下が卓越するが、この性状には間げき水圧の発生機構が関連づけられる。
- (3)弾性復



図一12 e-log p 曲線の比較



図一13 体積圧縮係数の比較

元量は自然試料において大きく表われるが、繰返し載荷の進行にともなって減少し、ほぼ一定値を示すようである。(4)繰返し応力履歴を受けた試料では、特に自然試料で圧密降伏応力の値が減少し降伏が促されるとともに、過圧密領域における体積圧縮係数は増加する。

以上の傾向は、すべて繰返し荷重が粘土内の構造におよぼす影響として関連づけられるようであり、また静的圧密および繰返し圧密機構の究明には間げき水圧の挙動の詳細な把握が必要となる。今後の研究課題としたい。

謝辞

この研究をおこなうにあたっては、日産基礎工業(株)山下善也、佐藤栄、両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, IUTAM, symp. Rheology and Soil Mechanic (1966)
- 2) 沢田・辻; 振動荷重による飽和土の圧密に関する理論的研究, 農業土木学会論文集, No. 33 (1970)
- 3) 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年土木学会西部支部講演発表会概要集, (1971)