

繰返し圧密特性に関する研究 (第3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 3)

Jiro Saito Kunioki Hirama
Kaoru Kimura Makoto Maruyama

Abstract

There are many problems in analyses and applications of consolidation characteristics of cohesive soil under continual repeated loads, and particularly, it is unknown how to apply them to design. There has been a tendency for low embankments on poor ground to be adopted in recent highway construction and it is urgently required for a method of analysis of consolidation characteristics of cohesive soil under repeated loads such as traffic loads to be established and applied to design conditions.

In the previous paper, the authors reported on the results of experiments on mixed samples collected in Osaka Prefecture which were carried out using a new back-pressure apparatus. The present paper gives an outline of repeated consolidation tests on behaviors of remolded over-consolidated soil, especially in regard to the effects of loading and unloading time ratio.

概 要

繰返し応力を継続的に受ける粘性土の圧密性状について、その解釈と適用には数多くの不明な問題点が残されており、特に設計条件としてどのように考慮されるべきかについては未知な点が多い。近年、高速道路建設においては、軟弱地盤上の低盛土方式が採用される傾向にあり、交通荷重のような繰返し応力条件下での圧密沈下特性について、その解析方法の確立と設計条件への導入が急がれている。

前報文では、大阪府で採取した試料に用いて、新しくバックプレッシャーを負荷できる装置を作成して実験を行ない、その結果を報告した。今回は、繰返し再圧密した試料の過圧密粘土について、主として載荷除荷時間比をパラメーターにして繰返し圧密実験を行なったので、その概要を報告する。

1. まえがき

一定荷重が繰返して載荷される場合、粘性土の圧密沈下はいわゆる静的な場合と異なった現象と考えられ、その傾向の一端についてはこれまで報告してきた通りである。例えば、実際には交通荷重のような繰返し応力が載かる道路盛土等において、原因不明の沈下が続いていることは、既に数多く報告されており¹⁾、その原因究明とともに設計条件にどのような形で、圧密についての繰返し効果を組み入れていくかが要求されている。

筆者らは、かねてより上述の問題点と取り組み、繰返し圧密の可能な試験装置で数多くの実験を行ってきた。この報文では、人工的に作成した過圧密粘土について、その繰返し圧密特性のいくつかを報告する。

2. 試料の物理的性質

実験に使用した試料は、神奈川県南葉山地区で採取した自然試料で、これを乾燥・粉碎・ふるい分けを行ない、液性限界付近の含水比で十分練りかえし、大型圧密槽を用いて、所定の先行荷重 P_0 まで10日間再圧密を行なったものである。圧密を終えて得た試料は、大体直径10cm、高さ10cmのほぼ均質なもので、これらをいくつか分割して実験に使用した。

なお、試料の物理的性質と概略圧密特性については表-1に示す。

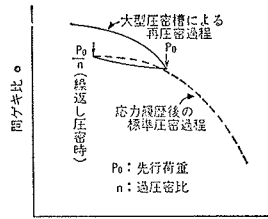
3. 実験方法と試験条件

実験室の大型圧密槽で所定の先行荷重 P_0 まで圧密した試料を分割し、直径6cm、高さ2cmの圧密用供試体に成形して圧密試験機に設置した。

土の組成	砂 (%)	6.8	初期含水比 w_0 (%)	59.9~74.1
	シルト (%)	20.7	初期飽和度 S_{r0} (%)	94.7~98.5
	粘土 (%)	72.5	初期間げき比 e_0	1.636~2.097
D ₆₀		0.024	圧密降伏応力 P_y (kg/cm ²)	0.74~0.35
比重 G _s		2.680	圧密係数 C_v (cm ² /sec)	6.53×10^{-4} ~ 1.39×10^{-5}
コンシステンシー	L.L. (%)	90.0	体積圧縮係数 m_v (cm ² /kg)	2.90×10^{-1} ~ 1.22×10^{-2}
	P.L. (%)	24.9	透水係数 K (cm ² /sec)	3.10×10^{-8} ~ 2.06×10^{-10}
	P.I. (%)	65.1	圧縮指数 C_c	0.731~1.070

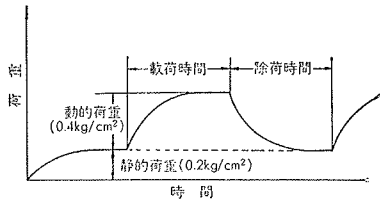
表一 試料の物理的性質一覧

載荷方法は、まず、0.2 (kg/cm²) を48時間載荷し養生した後、繰返し荷重0.4 (kg/cm²) を加え、72時間一定荷重(静的+動的荷重=0.6 (kg/cm²) の繰返し載荷を行なった。



図一 過圧密比 OCR

(図一参照) 過圧密比 OCR としては、OCR = 1, 2, 4, 8 の4種類を選び、したがって、大型圧密槽での試料成形時の先行荷重P₀は、それぞれ P₀ = 0.6,



図二 繰返し載荷方法

1.2, 2.4, 4.8 (kg/cm²) となる。(図一参照) また、載荷除荷時間比については、載荷:除荷時間(秒)を1:9, 2:8, 3:7, 5:5, 7:3, 8:2の6種類とし、載荷除荷時間比の影響をも調べてみた。したがって、周期はすべて10秒となり、72時間載荷で約26,000回載荷となる。

繰返し圧密特性と比較する意味で、それぞれ対応する過圧密比で静的圧密試験もあわせて行なった。なお、実験中は0.5 (kg/cm²) のバックプレッシャーを

静的圧密試験 および 標準圧密試験	過圧密比 (OCR)	1	載荷時間 ・ 除荷 時間 (秒)	1:9
		2		2:8
		4		3:7
		8		5:5
繰返し圧密試験 および 標準圧密試験	過圧密比 (OCR)	1	載荷時間 ・ 除荷 時間 (秒)	7:3
		2		8:2
		4		
		8		
標準圧密試験	P ₀ (kg/cm ²)	0.6		
		1.2		
		2.4		
		4.8		

表二 試験条件一覧

負荷した。また、繰返し圧密・静的圧密終了後にその応力履歴の影響も調べるため、すべての試料について標準圧密試験を実施した。大型圧密槽で先行荷重P₀のみを載けた試料についても、別途それぞれ標準圧密試験を行なった。

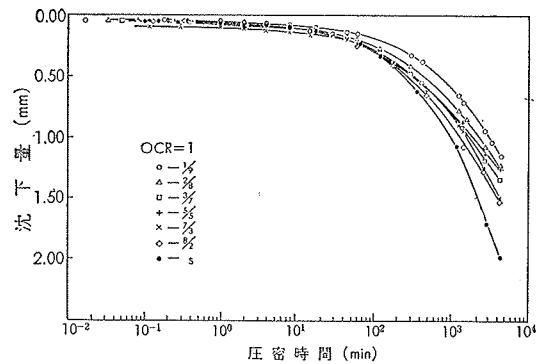
以上の試験条件を一括表示すると、表一2のようになる。なお、繰返し圧密試験装置の概要については、前報³⁾⁴⁾を参照されたい。

4. 実験結果の検討

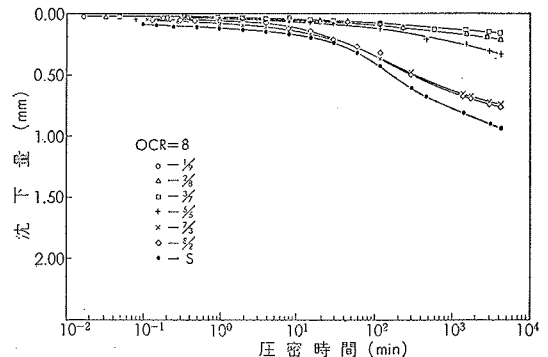
4.1. 繰返し圧密特性について

4.1.1. 圧密沈下特性の検討 静的圧密と繰返し圧密を行なったときの時間一沈下量曲線を、過圧密比・OCR=1, 8 を例にとってまとめてみたのが図一3であり、また載荷除荷時間比・T=1/9, 2/8について間げき水圧を加えてまとめたのが図一4である。

一般に、静的圧密による沈下量が大きい傾向を示し同等か多少なりと卓越している結果が得られた。この傾向については、従来得られていた傾向とは異なったものであるが、以前に使用したのが不攪乱試料であったのに対して、今回の実験では鋭敏な土質性状に加えて、粘土の構造組織を壊した練りかえした調整試料を用いたために、このような傾向が出たと思われる。



図一3-1 時間一沈下量曲線 (OCR=1)



図一3-2 時間一沈下量曲線 (OCR=8)

また、載荷除荷時間比の違いについては、比率の小さいものほど（載荷時間の短いもの）沈下量が少なくあらわれる傾向が認められるが、これらについては前報⁴⁾でも同様な傾向が得られており、載荷荷重と載荷時間に関係する圧密エネルギーに依存していると言える。

以上の傾向について、過圧密比 OCR をパラメータとして、全沈下量をまとめてみたのが図-5である。過圧密比によって全沈下量に差があらわれており、特に過圧密比が大きくなると、載荷除荷時間比によって

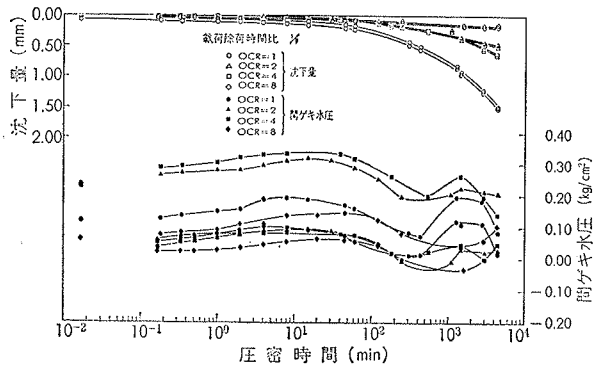


図-4-1 時間-沈下量・間げき水圧
(載荷除荷時間比 1/9)

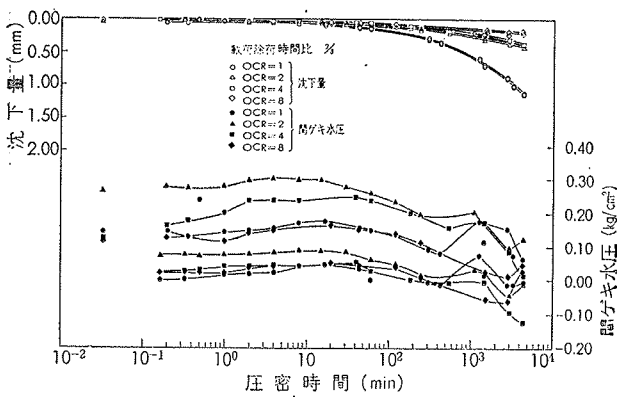


図-4-2 時間-沈下量・間げき水圧
(載荷除荷時間比 2/8)

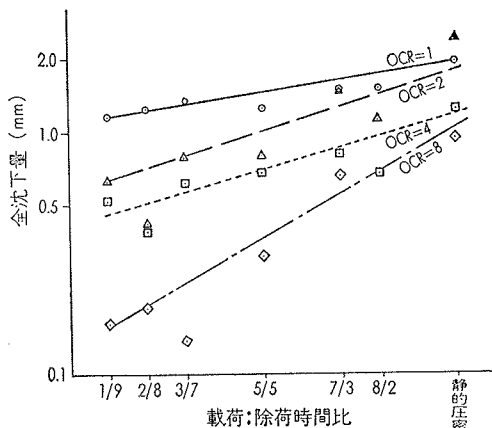


図-5 全沈下量の変化

著しい差が出ていることがわかる。載荷除荷時間によって沈下量に与える影響が大きいと言える。

4.1.2. 弾性沈下量の推移 繰返し圧密中に発生する最大の弾性沈下量（全沈下量-残留沈下量）について、載荷除荷時間比をパラメータにとり、過圧密比 OCR でまとめてみたのが図-6で、また繰返し載荷中の弾性沈下量の経時変化を過圧密比 OCR ごとにとりまとめてみたのが図-7である。

これらの結果を見ると、繰返し圧密中に発生する最大の弾性沈下量は過圧密比 OCR によって多少異なっ

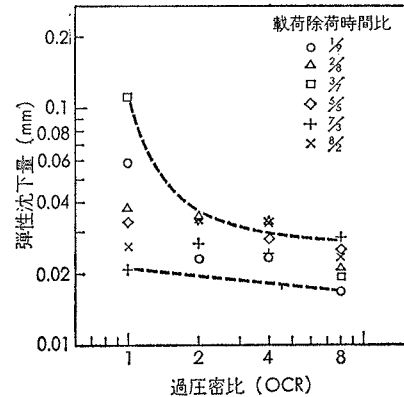


図-6 弾性沈下量の変化

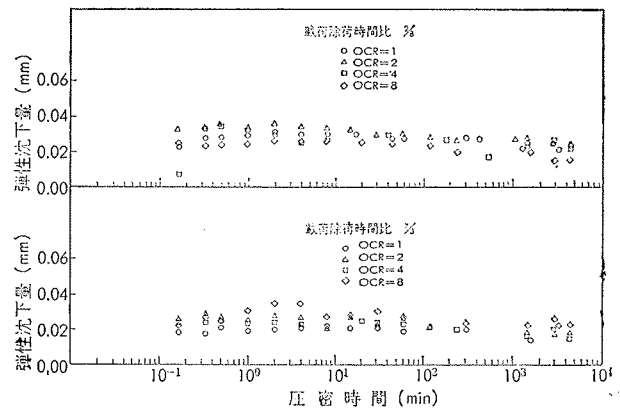


図-7 時間-弾性沈下量曲線
(載荷除荷時間比 2/8・7/3)

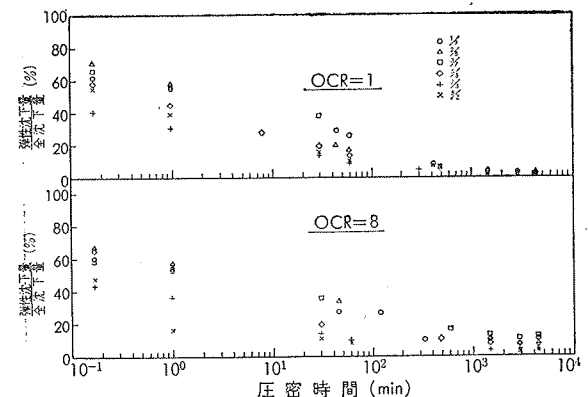


図-8 弾性沈下量/全沈下量の推移
(OCR=1, 8)

ているが、過圧密比が大きくなると載荷除荷時間比による影響は少なく、一定幅に収束してくると言える。また、繰返し載荷中はほぼ一定の弾性沈下量（最大・0.02~0.06mm）が発生していると言え、前報⁴⁾における組織構造を壊した攪乱試料の傾向と一致している。試みに、弾性沈下量の全沈下量に対する割合の経時変化を追ってみたのが図-8である。時間とともに弾性沈下量の割合が減少し、しだいに一定値に落ちついてくることがわかる。

4.1.3. 間げき水圧特性 繰返し圧密の機構を究明する上で、間げき水圧の挙動を知ることは重要な手がかりとなることは以前にも指摘した。今回の実験において、間げき水圧特性を調べてみたのが図-4であるが、初期間げき水圧は、勿論載荷荷重に見合う間げき水圧が発生している場合が多いが、載荷除荷時間比と過圧密比によって、その発生間げき水圧には大きな幅があり、定性的な傾向をつかむことは難しい。また間げき水圧の経時変化を追ってみると、初期においては徐々に上昇を示し、ピークがあらわれた後は沈下性状と同様に下降して、最終的には一定値に落ちつくようである。

4.2. 繰返し応力履歴に与える影響

4.2.1. 圧縮性の比較

応力履歴の影響を調べるために、載荷後同一試料について標準圧密試験を実施した結果を、 $e-\log P$ 曲線と圧縮ヒズミ ($\Delta\varepsilon$) - $\log P$ 曲線について過圧密比 OCR と載荷除荷時間比ごとに示したのが図-9・10であり、圧縮指数 C_c を求め、過圧密比 OCR をパラメーターにして載荷除荷時間比を横軸に示したのが図-11である。

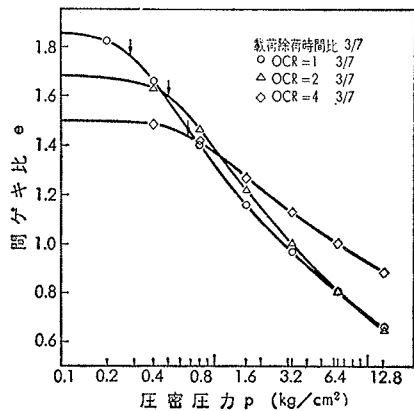


図-9-1 $e-\log P$ 曲線 (載荷除荷時間比 $3/7$)

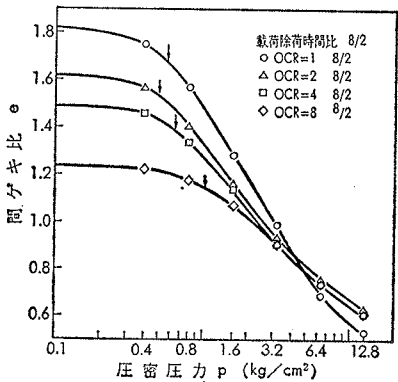


図-9-2 $e-\log P$ 曲線 (載荷除荷時間比 $8/2$)

いずれの場合についても、静的応力履歴を受けた試料に比較して、繰返し応力履歴を受けた試料のほうが沈下量が卓越し、応力履歴による影響が明らかに出ている。つまり、繰返し応力条件下では土試料は攪乱されており、従ってその度合は載荷除荷時間によって大きく左右されるはずである。

また、圧密降伏応力については繰返し応力履歴によって、降伏応力 P_y は多少なりと増加している傾向をつかむことができ、繰返し応力載荷による土質改良の可能性が期待できる。

また、圧縮指数を求めた結果を見てもわかるように、載荷除荷時間比によってその変形特性に違いがあらわれていることがわかる。

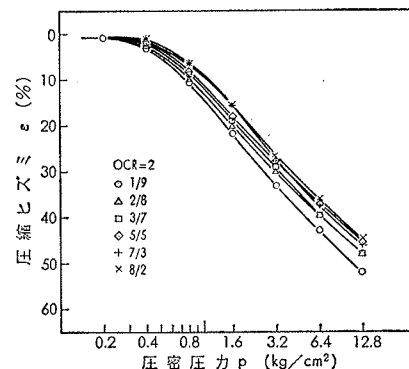


図-10-1 $\Delta\varepsilon-\log P$ 曲線 (OCR=2)

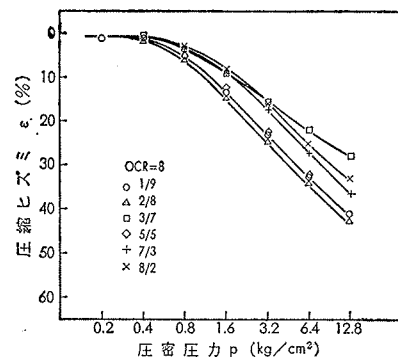


図-10-2 $\Delta\varepsilon-\log P$ 曲線 (OCR=8)

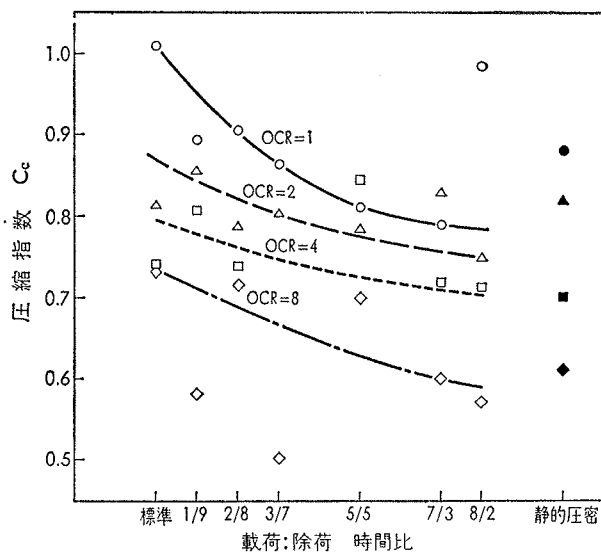


図-11 圧縮指数の変化

4.2.2. 体積圧縮係数と圧密係数の変化 繰返し履歴を調べるために、体積圧縮係数 m_v と圧密係数 C_v の推移を、すべての載荷除荷時間比について一括して過圧密比 OCR ごとにまとめて示したのが図-12, 13 である。

m_v -log P 曲線は、一般に過圧密比によって特徴ある曲線が得られ、正規圧密領域近くでは一直線に収束してくる傾向が認められている⁹⁾。今回の実験結果では、過圧密比によってそれぞれ違った曲線傾向を示しており、正規状態でほぼ一直線に収束しているといえよう。また、静的圧密の場合と比較すると、一部を除いて体積圧縮係数は静的よりも大きくあらわれており、

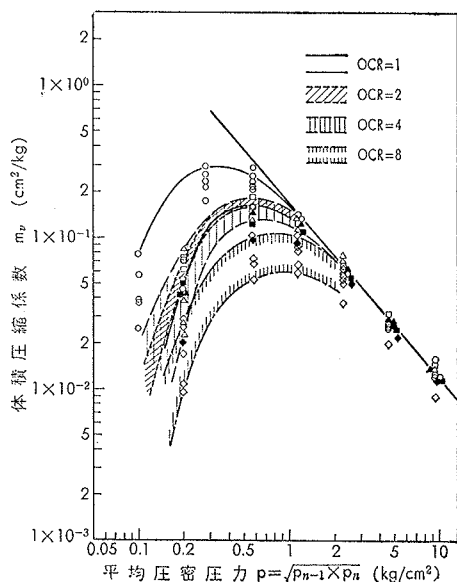


図-12 体積圧縮係数の変化

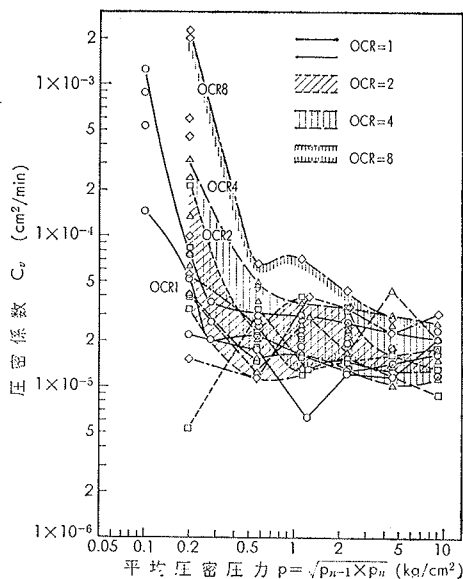


図-13 圧密係数の変化

載荷除荷時間比によっては静的圧密より小さい場合も見受けられる。

C_v -log P 曲線も、一般に過圧密比によって一定の傾向が得られると言われている⁹⁾。今回の実験では、過圧密領域において、それぞれの過圧密比により変化を示し、大きい圧密係数が得られており、正規圧密領域に入ると、ほぼ一定値を示していることがわかる。

また、静的圧密と比較してみれば、いずれも繰返し圧密よりも小さい圧密係数が得られている。

5. あとがき

練りかえした自然試料を用いて、人工的に圧密させた過圧密粘土について、一連の繰返し圧密試験を行ない、その実験結果の概要を報告した。実験に用いた試料が鋭敏性の高い膨張性に富んだ粘土（主要粘土鉱物モンモリロナイト）であったために、供試体作成上の困難に加えて二次圧密部分に相当すると考えられる沈下傾向が卓越し、その取扱いなどについて多少問題が残っている。

また以前に指摘したように、繰返し圧密機構を究明する上で重要なポイントと言える間げき水圧の挙動については、未だ不明な点が多く、定性的傾向をつかめるまでには至っていない。さらに、長期間の繰返し圧密を行ない、その二次圧密機構を探るとともに、間げき水圧の挙動についてもより精密な実験を押し進めていくことが今後の研究課題となろう。

謝辞 この研究を押し進めるにあたって、日産基礎工業(株) 佐藤 栄氏の尽力に負うところが非常に多く、ここに深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) L. Bjerram: Secondary Settlement of Structure Subjected to Large Variations in Load, IUT-AM, Symp. Rheology and Soil Mechanic (1966)
- 2) 山内・安原・弓戒: 過圧密粘土の繰返し圧密特性, 第7回土質工学研究発表講演集 (1972)
- 3) 齋藤・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)
- 4) 齋藤・木村・平間・丸山: 繰返し圧密特性に関する研究(第2報), 大林組技術研究所報 No. 9(1974)
- 5) 齋藤・平間・丸山: 粘性土の繰返し圧密特性について(第3報), 土木学会第29回年次学術講演概要集第3部 (1974)
- 6) 中瀬・小林・兼近: 過圧密粘土の圧密特性, 港湾技術研究所報告, 第12巻, 第1号 (1973)