
投稿論文
Paper

泥岩のスレーキング特性

SLAKING PROPERTIES OF MUDSTONE

山口晴幸*・吉田廣太郎**・黒島一郎***・福田 誠****

By Hareyuki YAMAGUCHI, Koutarou YOSHIDA, Ichirou KUROSHIMA and Makoto FUKUDA

In general, the tertiary mudstone, which is classified into the soft rock, is subjected to the effect of slaking. In this investigation, in order to investigate the effects of drying, submergence and freezing on the slaking properties of mudstone, five kinds of slaking tests with various environmental conditions were performed on the parent materials of mudstone.

After various slaking tests, the measurements of pore diameter and pore volume distributions of mudstone were carried out with porosimeter apparatus. Also, X-ray analysis was performed on the mudstone subjected to the effect of slaking. The changes in pore distribution and mineral composition due to the slaking were investigated.

Keywords: mudstone, slaking test, particle-crushing, pore volume, pore diameter, mineral composition, ignition loss

1. はじめに

泥岩は鉱物土粒子間の固結力や強度が低く、付加応力下で大きな変形性を示し、土と岩の中間的力学特性を呈する地盤材料といわれ軟岩に分類される。一般に、応力の解放や温度変化に伴う乾湿等の環境変化の影響を強く受け、特に、乾湿の繰り返し作用により岩塊自身が破碎して細片化するスレーキング現象を示すことは周知のことである^{1)~3)}。そのため、地表面に露出した泥岩層は風化作用を受けて劣化し細片化が進行している場合が多く、掘削や切土斜面等でスレーキングに伴う崩壊現象がしばしば観測されている。

そこで、泥岩が工学的に対象となる場合には、特に、乾湿等の作用に起因するスレーキング機構を十分に把握し、設計・施工上に適切に反映させていく必要がある。

泥岩の地盤材料としての長期的信頼性を損なっている主因は上述したスレーキング現象にあるものと考えられ

る。その現象は原位置ではとうてい遭遇し得ない非常に高い温度条件下で乾燥された試料（一般に、110°Cでの炉乾燥試料）を対象とし、乾湿の繰り返しに伴い生じた細粒化した岩片の粒度変化に基づいて論じられている場合がほとんどである^{2), 4)~6)}。しかし、泥岩層では、亀裂に浸透した雨水や地下水位の変動等により保有される水分の凍結効果が泥岩層のスレーキングを助長する重要な役割を果たすものと考えられ、高温よりもむしろ常温や冷温の温度条件下でのスレーキング現象を究明することが必要である。また、乾湿の繰り返し過程において、当然、細片化した泥岩塊は空隙構造に変化を生じている。この空隙構造の変化を究明することは、スレーキング作用に伴う細片化現象を解明するための主要な手段になり得るものと考えられる。

本研究では、新第三紀泥岩を対象として、凍結効果を加えた種々の乾湿条件下で岩塊の室内スレーキング試験を実施し、スレーキングによる細片化の進展度および細片化して生じた岩片の空隙分布の測定およびX線回折結果等を通して、泥岩のスレーキング特性に関する基本的事項について考察を加える。

* 正会員 工博 防衛大学校助教授 土木工学教室
(〒239 横須賀市走水1-10-20)

** 正会員 工修 防衛施設庁東京局技官
(〒107 港区赤坂9-7-45)

*** 正会員 三井建設(株) 技術研究所主任研究員
(〒270-01 千葉県流山市駒木518-1)

**** 正会員 工博 三井建設(株) 技術研究所主席研究員
(同上)

2. 試料と実験

(1) 試料

神奈川県横須賀市郊外に分布する新第三紀泥岩層から試料AとBを採取し実験試料として準備した。試料AとBは表土を剥ぎ表層下約50~100 cm付近から削岩機を用いて最大長約250~300 mmの岩塊(質量約2.5~3.5 kg)として基盤から切り出された。両試料の物理的性質を表一に示す。両試料はかなり高い自然含水比(w_n)を示し飽和度(S_r)が90%以上で、間隙がほぼ飽和状態にあることがわかる。また、強熱減量(Li)が約10%であり、有機物含有量試験より有機物含有量の存在がほとんど認められなかったことから、この Li 値はかなりの結晶水を含んでいることを示唆している。なお、この地域で表面に露出し乾湿の効果を受けた岩肌は写真一に示すように、スレーキング作用を受け著しく細片化の進展しているのが観察できる。この状況にある泥岩の自然含水比は3~5%程度であった。

(2) 実験

a) スレーキング試験

試料AとBの岩塊(最大長約250 mm, 質量約3 kg)を用いて、110°Cで炉乾燥して水浸する通常のスレーキング試験(HW試験)のほかに、凍結操作を与えた試験を加え、乾燥(炉乾と気乾)・水浸・凍結操作をそれぞれ組み合わせて一連の過程を繰り返す5種類のスレーキング試験を実施した。図一の(a)~(e)に各試験での1サイクルの状態変化を示している。試験名での英字HとAは炉乾燥(温度 $T=110^{\circ}\text{C}$)と気乾燥($T=20^{\circ}\text{C}$)、Wは水浸、Cは凍結($T=-30^{\circ}\text{C}$)過程を意味している。

HW試験: 110°Cで炉乾燥した後、水浸する過程を1サイクルとして、炉乾燥・水浸作用を繰り返す試験。

AW試験: 炉乾燥せずに、原位置から採取した岩塊を20°Cの恒温室に放置して気乾燥した後、水浸する過程を1サイクルとして、気乾燥・水浸操作を繰り返す試験。

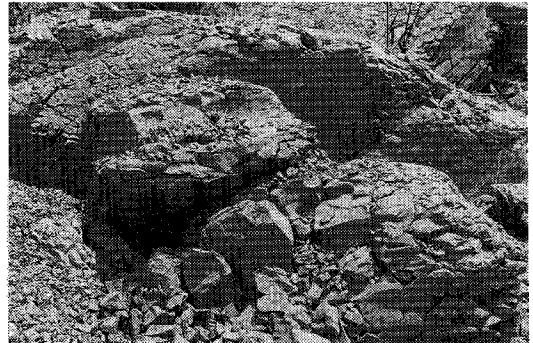
WCH試験: 採取岩塊を水浸した後、 $T=-30^{\circ}\text{C}$ に保持した冷凍ボックスで保有水を凍結させた後、 $T=110^{\circ}\text{C}$ の下で炉乾燥する過程を1サイクルとして、水浸・凍結・炉乾燥操作を繰り返す試験。

HC試験: 採取岩塊を $T=110^{\circ}\text{C}$ の下で炉乾燥して岩塊から保有水を脱水した後、 $T=-30^{\circ}\text{C}$ の下で凍結する過程を1サイクルとして、炉乾・凍結操作を繰り返す試験。この試験では、1サイクル目以降の炉乾・凍結過程では岩塊から水の出入りが生じない状態で $-30\sim 110^{\circ}\text{C}$ 範囲での温度履歴を与えている。

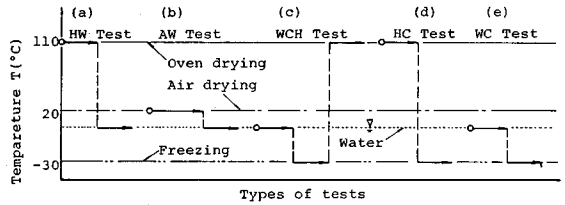
WC試験: 採取岩塊を水浸した後、 $T=-30^{\circ}\text{C}$ で凍結する過程を1サイクルとして、水浸・凍結操作を繰り返す試験。

表一 泥岩試料の物理的特性

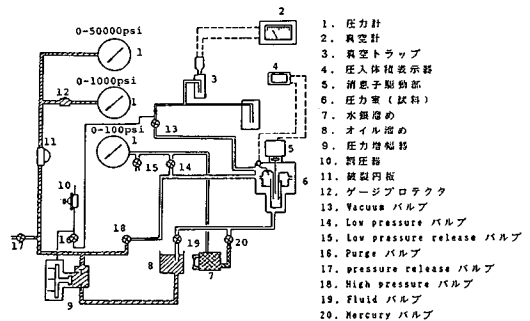
Sample	A	B
w_n (%)	22.5 - 24.2	20.5 - 21.3
S_r (%)	91.2 - 92.1	92.1 - 93.3
G_s	2.45	2.53
Li (%)	9.5 - 10.2	11.8 - 12.4
L.L. (%)	63.8	65.2
P.L. (%)	31.5	32.1



写真一 原位置での泥岩のスレーキング状況



図一 各種スレーキング試験での1サイクルの状態変化



図二 ポロシメーター装置の系統図

返す試験。この試験では、乾燥による岩塊からの保有水の逸散を防止し、含水比がほぼ一定下で凍結・融解履歴を与えている。

なお、上記各試験での炉乾燥、水浸、凍結期間は各サイクルで1日に固定し、気乾燥($T=20^{\circ}\text{C}$)期間は20日とした。また、炉乾燥および凍結した後1日気乾状態で試料を室温まで放置して次の操作に移行した。本研究において、乾燥・水浸による通常のスレーキング試験の

ほかに凍結操作を組み合わせた5種類の試験を実施したのは次の理由による。前節で記述したように、原位置での泥岩層がスレーキングによって細片化するのは110°Cという高温よりもむしろ常温や冷温での温度条件下で生じる場合がほとんどである場合を考慮したものであり、細片化現象に与える乾燥、水浸、凍結効果の果たす役割をもそれぞれ調べるためである。そこで、HC試験は水が全く関与しない試験、また、WC試験は凍結・融解試験であることから、両試験は通常の意味でのスレーキング試験とは異なった性格の試験といえる。

b) 空隙分布測定試験

水銀圧入型ポロシメーター装置を用い、原位置から採取した試料とスレーキング試験によって細片化した岩片について、空隙分布の測定を実施した。図-2にポロシメーター装置の系統図を示す。水銀の圧入圧力は絶対圧 $p = 50\,000$ psi (約350 MPa) まで可能であり、約400~0.0035 μm 範囲の空隙径を測定できる機能を有している。空隙径の測定は、あらかじめ20°Cに保持した真空乾燥炉内で十分に乾燥した試料を圧力室にセットし、さらに、数時間真空状態で脱気した後、試料の空隙に水銀を圧入することにより行われる。空隙径と空隙体積は水銀の圧入量と圧入圧力との関係から算出される。なお、真空乾燥過程での体積収縮率は2種の試料において、いずれも約1%以下であり、飽和状態に近いAとB試料 (S_r が90%以上) では、それぞれ約0.5%と0.2%でほとんど無視できる程度であった。

3. 岩塊の乾燥特性

原位置から採取し、自然含水比 ($w_n = 22\sim 24\%$) の状態で保持された試料AとBの泥岩塊 (初期質量 $m_i = 1\,500\sim 3\,500$ g) について得られた、3種類の温度条件 (110°C 炉乾, 50°C 炉乾, 20°C 気乾燥状態) 下での乾燥時間 (t) に伴う質量変化率 ($\Delta m/m_i$, Δm は質量変化) の結果を図-3, また、乾燥後の体積変化率 ($\Delta V/V_i$, ΔV は体積変化, V_i は初期体積) を図-4に示す。図-4は、同一試料から立方体供試体 (約30 mm × 30 mm × 30 mm) をトリミングし、乾燥前後にスケールを用いて直接計測して得られた結果である。温度 $T = 110^\circ\text{C}$ での炉乾燥下では乾燥時間 (t) が約1000~2000分程度で乾燥に伴う質量の変化割合が急激に減少し、乾燥過程での質量曲線に明瞭な変曲点が認められ、ほぼ乾燥平衡状態に達する傾向にあるといえる。しかし、炉乾燥から気乾燥 ($T = 20^\circ\text{C}$) へと乾燥温度が低くなるに従い、炉乾燥 ($T = 110^\circ\text{C}$) 時の乾燥平衡状態に匹敵する質量に達するまでかなりの乾燥時間を必要とすることがわかる。図-4に示す乾燥後の体積変化率をみると、A試料では乾燥温度 (T) が高くなるに従い、体積

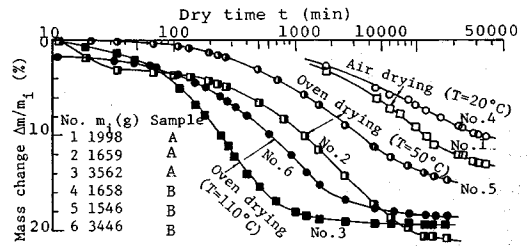


図-3 乾燥時間に伴う質量変化

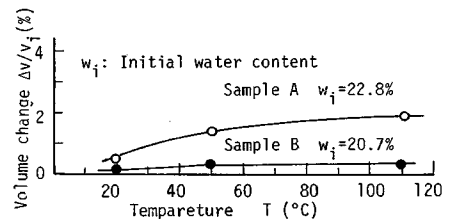


図-4 体積収縮率と乾燥温度との関係

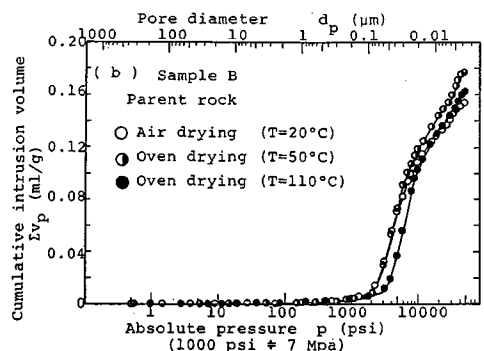
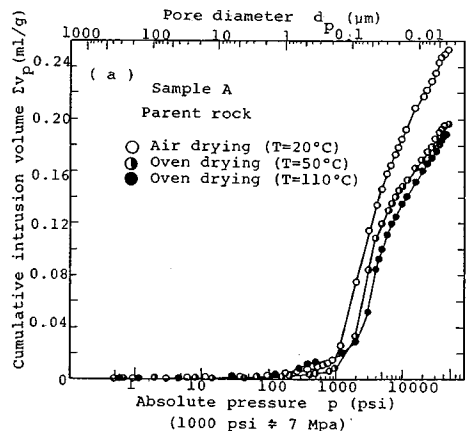
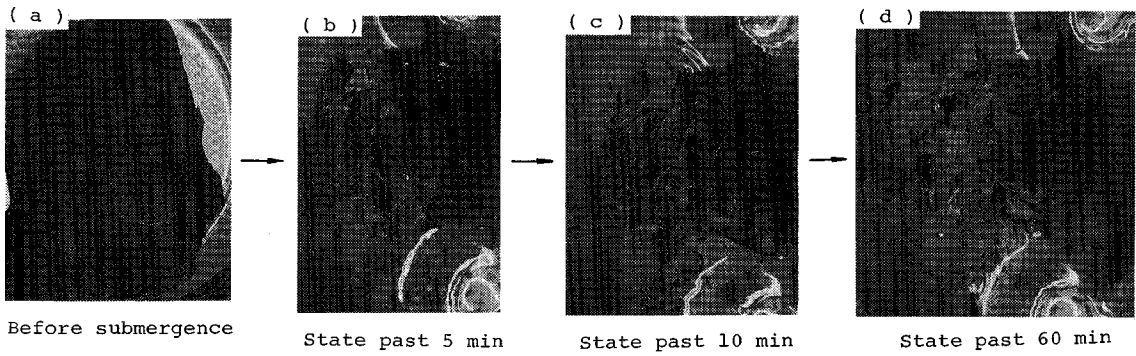
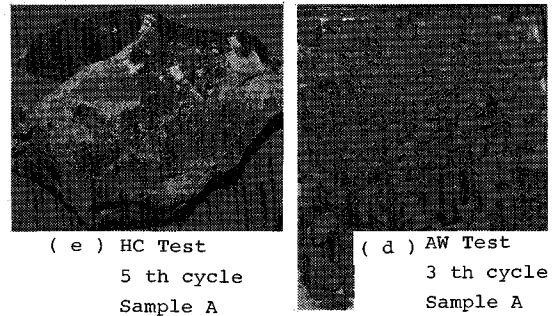
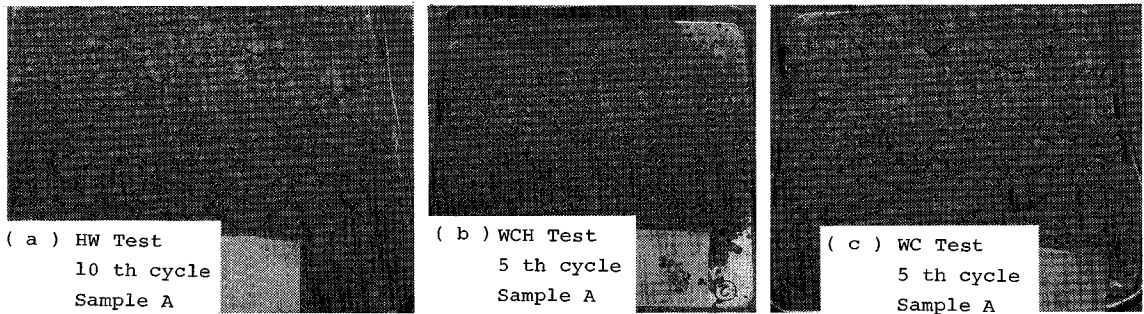


図-5 泥岩の空隙径分布

変化率も増加し110°Cで乾燥した状態では約2%の体積変化率を示し、乾燥温度20~110°C範囲で約0.2~0.4%の体積変化率を示すB試料の結果とかなり異なっている。すなわち、AとB試料の乾燥特性を比較すると、A試料ではいずれの温度条件下においても乾燥速度や



写真—2 水浸に伴う細片化の進展状況



写真—3 各種スレーキング試験での細片化の進展状況

乾燥に伴う質量の減少量および体積変化率が大きく、試料Bに比較して乾燥性に富んでいることがわかる。図—5は各温度条件下で乾燥した両試料についての空隙径分布曲線を示したもので、横軸が空隙径 (d_p) と水銀圧入圧力 (p) を、縦軸が単位乾燥質量当たりの累積空隙体積 ($\sum V_p$) を示す。図—5(a) と (b) の比較から明らかのように、A 試料では乾燥温度によって空隙径分布曲線がかなり異なる。気乾から炉乾へと乾燥温度が高くなるに従い、土粒子構造骨格が収縮し空隙径 (d_p) が約 $0.0035 \mu\text{m}$ 範囲までの累積空隙体積 ($\sum V_p$) もかなり減少する。すなわち、図—4で示したように、炉乾燥過程では乾燥に伴い体積収縮を顕著に引き起こしていることがわかる。これに対して、B 試料では空隙径分布曲線に乾燥温度の影響はほとんど認められず、乾燥収縮がほとんど生じていないといえる。また、A 試料の空隙径 (d_p) は約 $0.2 \mu\text{m}$ 以下、B 試料では約 $0.1 \mu\text{m}$ 以下である。しかも、 $0.0035 \mu\text{m} < d_p$ までの空隙体積 ($\sum V_p$) がB 試料において小さく、気乾燥試料ではA 試料の約 0.63 倍である。

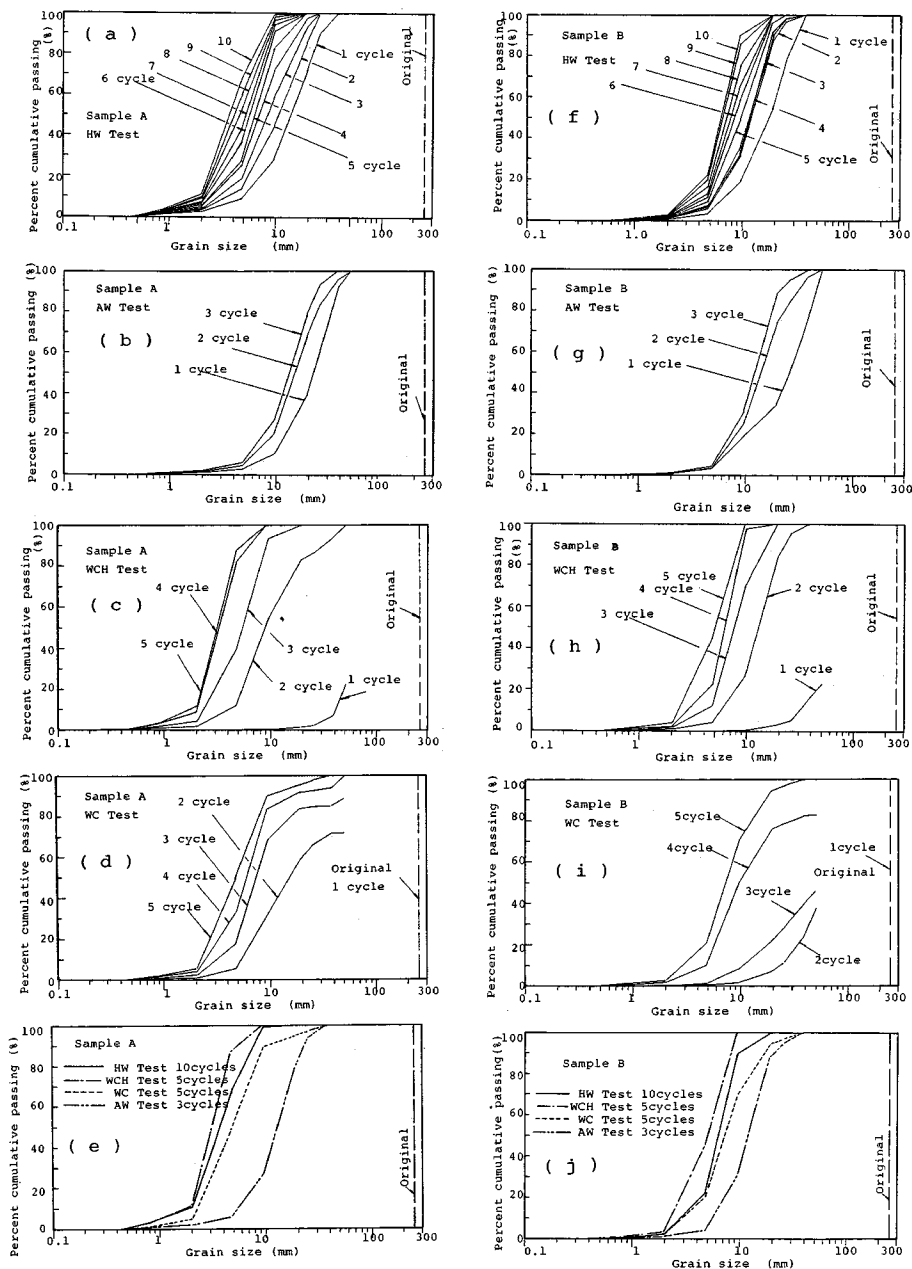
4. スレーキング特性

(1) 細片化の進展状況

写真—1で示した原位置でのスレーキング状況からも明らかのように、対象とした泥岩は乾湿の繰り返し効果によってかなり細片化が進展することが予想できる。試

料AとBについて最大長約 250 mm 、質量約 3 kg の岩塊を用いて、図—1の (a)~(e) に示す1サイクルでの操作を繰り返し行う5種類のスレーキング試験を実施した。写真—2は採取した岩塊を 110°C の温度で炉乾燥し室温まで放置した後水浸する HW 試験での破碎の状況を経時的に示したものである。乾燥した岩塊を水浸した直後大きな亀裂が数本発生し、気泡や破碎音を生じながら約 10 分程度で原形をとどめないほどまでに破碎が進展し、水浸後約 60 分程度で目に見える著しい破碎現象はほぼ収まった。炉乾から水浸への過程でのこのような急激な破碎の進展は WCH 試験での炉乾→水浸過程でも観察された特徴的な現象であった。

写真—3は、A 試料について、乾燥、水浸、凍結に関する一連の操作を $3\sim 10$ 回繰り返した後の各試験での細

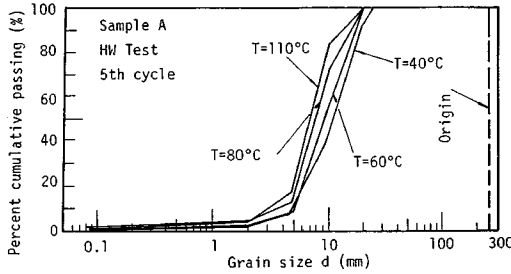


図—6 各種スレーキング試験で生じた岩片の粒度分布の変化

片化した岩片の状況を示している。炉乾・凍結・水浸操作を組み合わせた WCH 試験での 5 サイクル目の状態では、HW 試験での 10 サイクル目に匹敵する以上の細片化の進展が認められる。しかし、写真—3(e) に示すように、水の出入りを伴わない HC 試験では乾燥・凍結操作を 5 サイクル繰り返しても破碎現象は全く認められなかった。以上のことから、泥岩のスレーキングを促進させる主要な因子は、乾湿過程で生じる水の出入りに

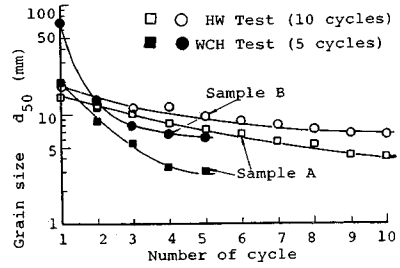
よるものであり、乾燥過程における温度の高低は二次的因子としてとらえることができる。また、凍結作用によって、当然、間隙水が体積膨張を引き起こすと考えられ、この効果は泥岩のスレーキングを助長する重要な因子であるといえる。

なお、試料 A と B について、各試験での繰り返しサイクル数に伴う細片化の進展状況を、生じた岩片の粒度分布の変化として示したのが図—6(a)~(d) と (f)~(i)

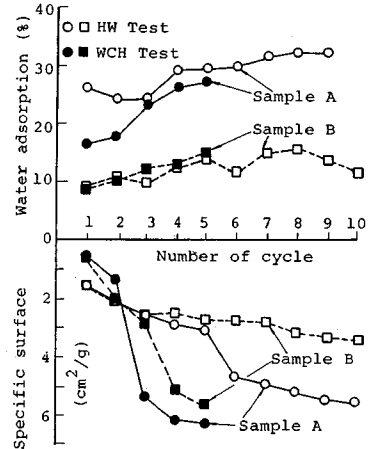


図—7 岩塊の細片化に及ぼす乾燥温度の影響 (HW 試験, 5 サイクル目)

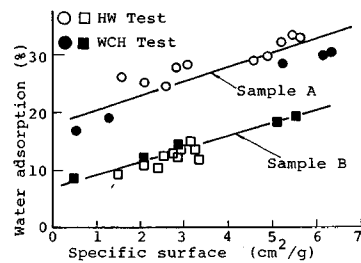
である。また、各試験での最終サイクルにおける状況を比較したのが同図 (e) と (j) である。写真—2 と 3 で記述したように、対象とした泥岩試料 A と B は 1 サイクル目の過程で著しい粒子破碎の進展がみられ、乾燥、水浸、凍結の組合せ操作を繰り返すことによって、破碎して生じた岩片がさらに細片化していく状況が岩片の粒度分布の変化からも明らかである。また、AW 試験 (気乾・水浸) と HW 試験 (炉乾・水浸) での 3 サイクル目までの粒度分布を比較すると、乾燥過程での温度 (20°C と 110°C) の相違ほど粒度分布の変化に差異は認められない。また、図—7 は A 試料について、乾燥時の温度 (T) を 40°C, 60°C, 80°C, 110°C とし、乾燥と水浸時間を 1 日に固定して、乾燥・水浸を繰り返した 5 サイクル目での HW 試験での岩片の粒度分布を比較したものである。この結果からも明らかなように、乾燥時の温度の相違は岩塊の細片化状況に大きな影響を及ぼしていないことがわかる。このようなことから、上述したように、泥岩塊からの水の出入りが重要であり、温度の高低はスレーキング現象に対して二次的因子であることを裏付けている。ところで、水浸・凍結操作を繰り返した WC 試験での粒度分布の変化は、上述したように、凍結による間隙水の体積膨張効果に起因していると考えられている。この効果は図—6(e) と (j) に示すように、他のスレーキング試験に匹敵する細片化状況を示している。図—8 は、HW と WCH 試験でのサイクル数に伴う生じた岩片の粒度分布の変化を加積通過率 50% での粒径 (d_{50}) を用いて示し、試料 A と B のスレーキングに伴う細片化の進展状況を比較したものである。図—6 での粒度分布曲線の推移からも予想されるように、サイクル数に伴い d_{50} の値は漸次低下し、当初、最大長約 250 mm の岩塊において、HW 試験の 10 サイクル目で A 試料では d_{50} の値は約 4 mm、B 試料では約 7 mm、また WCH 試験での 5 サイクル目では、それぞれ 3 mm と 6 mm を示し、ほぼ収束傾向にある。両試料の d_{50} についての推移傾向からも明らかなように、B に比較して A 試料はスレーキングによる細片化現象が著しいといえ



図—8 細片化の進展に伴う粒径 d_{50} の変化



図—9 サイクル回数に伴う吸水率と比表面積の変化



図—10 吸水率と比表面積との関係

る。

(2) 細片化に伴う比表面積と吸水率の変化

乾燥・水浸操作の繰り返し過程において引き起こされる細片化現象は吸水率の増加と密接に関連しているといわれている。図—9 に、本実験で用いた泥岩についての HW 試験と WCH 試験でのサイクル数と吸水率との関係を示している。また同図には、細片化の進展状況を比表面積で表示し併記してある。比表面積は粒度分布曲線を用いて推定する Rosin-Rammler の式⁷⁾を適用して次式より算出した。

$$S_w = \exp \left\{ \log \frac{x}{d_{50}\rho_s} - 5.757 \log^2 \left(\frac{d_{84.13}}{d_{50}} \right) \right\}$$

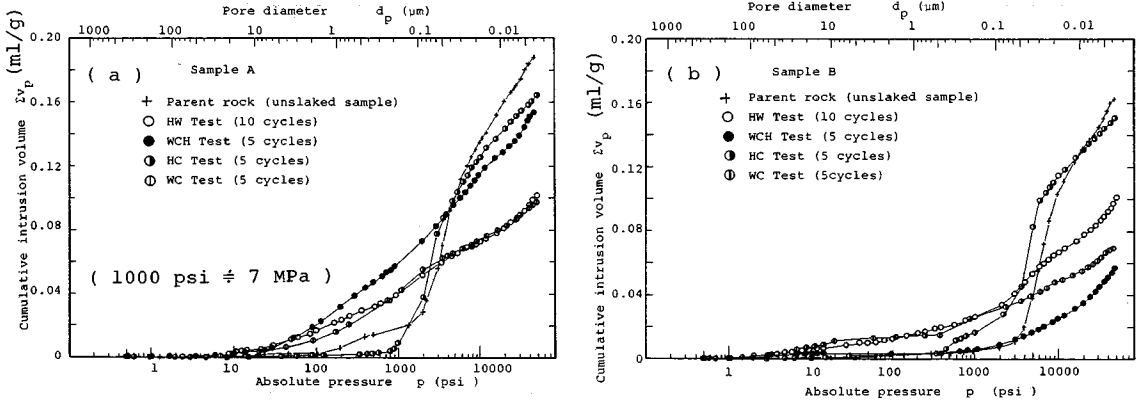


図-11 各種スレーキング試験で生じた岩片の空隙分布の比較

ここに、 S_w (cm²/g) は単位質量当たりの比表面積、 α は比表面形状係数、 ρ_s は密度、 d_{50} と $d_{84.13}$ は加積通過率 50% と 84.13% での粒径である。両試験の結果から明らかなように、乾燥・水浸あるいは水浸・凍結・乾燥操作のサイクル数の増加に伴い、吸水率は増大する傾向を示し、これに呼応して比表面積も増大している。このことから、細片化の進展に伴う吸水率の増加は比表面積の増加と密接に関連しているといえ、図-10 に示すように、吸水率と比表面積との間にはほぼ比例的関係が存在している。なお、B に比較して A 試料の吸水率と比表面積との関係のプロットは上方に位置しており、吸水率の高い A 試料は、図-6 と 8 で記述したように、スレーキングによって顕著な細片化現象を呈していることが比表面積の増加からも明らかである。

(3) 細片化に伴う空隙径分布の変化

乾燥、水浸、凍結作用を繰返し受け細片化が進展する過程において、岩片の空隙構造に変化を生じていることが予想される。そこで、細片化して生じた岩片の空隙構造を調べることはスレーキング機構を究明するうえで重要な役割を果たすものと考えられる。図-11 は、各試験での最終サイクルにおけるスレーキングで細片化した岩片を用いて測定した空隙径分布の結果を示している。横軸は水銀圧入圧力 (p) と空隙径 (d_p) を、縦軸は水銀圧入量から算出された単位質量当たりの累積空隙体積 (ΣV_p) を示している。図から明らかなように、両試料において、試験条件の相違が明瞭に現われ、空隙径分布特性に大きな変化が認められる。ここで注目すべきことは、全く破碎が生じなかった HC 試験 (写真-3(e) 参照) での試料 (●印) では、空隙径にほとんど変化がみられず、空隙径分布はスレーキング試験前の岩塊のそれ (+印) に最も類似していることである。また、泥岩塊からの水の出入りを伴う乾燥、水浸、凍結という状態変化の繰返し作用を受け細片化が進展した場合には、

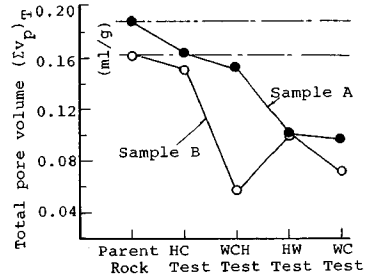


図-12 各種スレーキング試験での累積空隙体積の比較

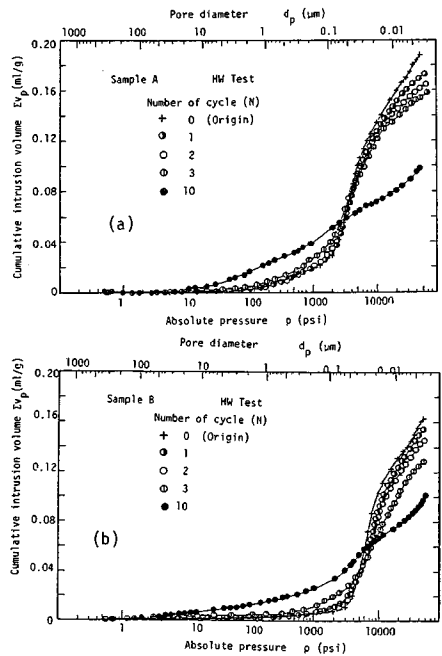
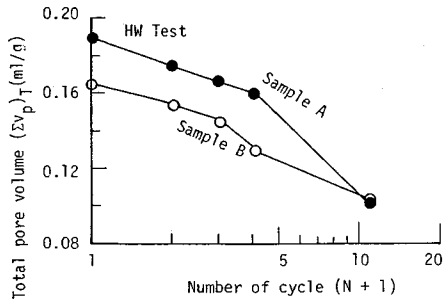


図-13 サイクル回数に伴う空隙分布の変化

スレーキング試験前の岩塊の空隙径 (d_p) より大きな空隙径の形成が観測され、 $d_p=0.1 \sim 0.01 \mu\text{m}$ 範囲主体



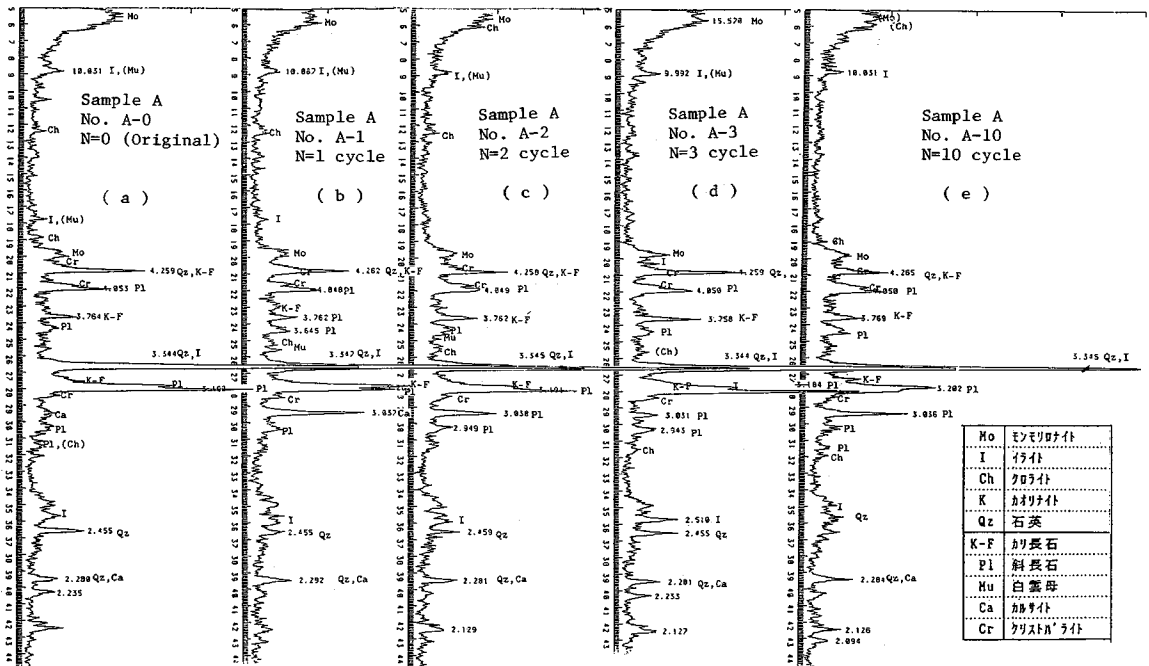
図—14 累積空隙体積とサイクル回数との関係

の空隙径から広範囲な空隙径を示す分布曲線へと空隙径分布曲線が推移していることである。 $d_p > 0.1 \mu\text{m}$ 範囲の空隙径の形成は水浸による膨潤と凍結による水の体積膨張の効果が反映されたものと考えられる。さらに、図—12に示すように、細片化した岩片ではポーア径約 $0.0035 \mu\text{m}$ (測定可能範囲) までの単位質量当たりの累積空隙体積 (ΣV_p)_T はかなり減少し、空隙径の小さな部分が残存するように岩片が形成されていることがわかる。さらに、細片化の進展に伴う岩片の空隙分布の変化を調べるために、試料AとBについてHW試験において、各サイクル(N)で生じた岩片の空隙分布曲線を示したのが図—13(a)と(b)である。また図—14には、空隙径(d_p)約 $0.0035 \mu\text{m}$ までの累積空隙体積 (ΣV_p)_T をサイクル数(N)との関係でプロットしている。乾燥・水浸のサイクル数(N)の増加に伴ってスレーキングに

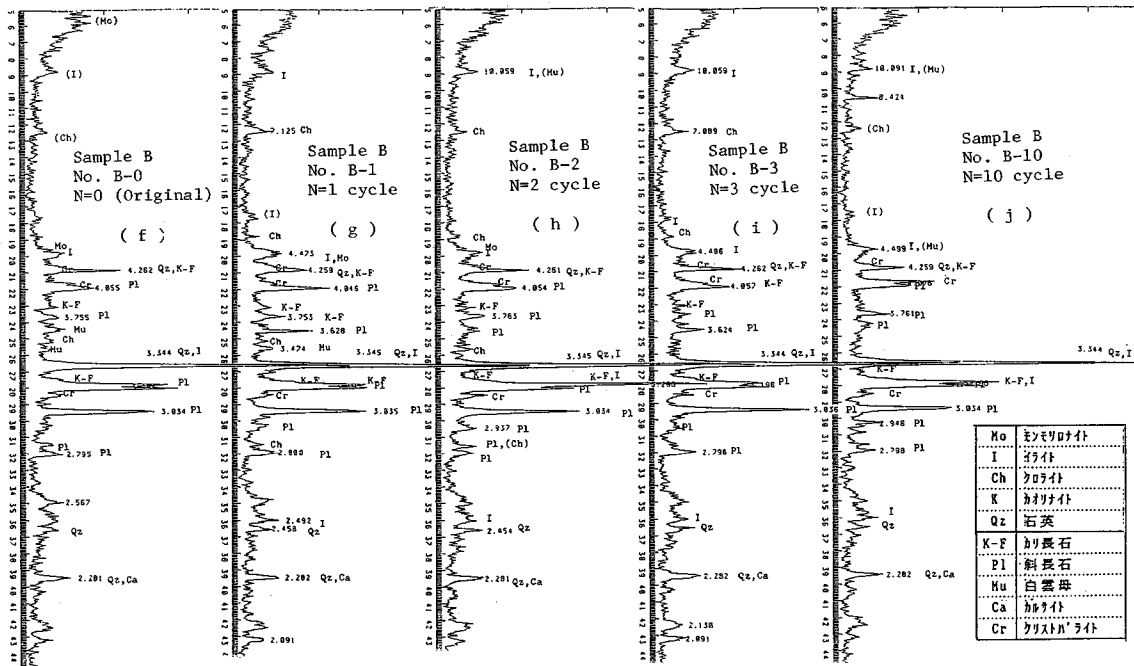
よって生じた岩片の空隙分布曲線にはある傾向をもった明瞭な変化が認められ、特に、岩片の空隙体積 (ΣV_p)_T が漸次減少する傾向にある。すなわち、空隙分布から見ると、当初、岩塊の比較的大きな空隙部分を介して破砕面が発生し、細片化の進展に伴って、徐々に小さな空隙部分を主体とした岩片が形成されるためと考えられる。このようなことから、スレーキングに伴う細片化現象は空隙径分布の変化としてとらえることができ、当然、温度やサイクル数等の試験条件に依存するが、各試験条件に対応して単位質量当たりある量の空隙体積を保有した岩片が形成されるまで岩塊の破砕が進展する現象とみなすことができる。

5. スレーキングで生じた岩片の鉱物組成

対象とした泥岩の主要な含有鉱物を同定するとともに、スレーキングによる細片化の進展過程において、含有鉱物にどの程度変化が認められるかを調べるために、炉乾燥 ($T=110^\circ\text{C}$)・水浸を繰り返すHW試験において、それぞれ $N=1, 2, 3, 10$ サイクル目で生じたAとB両試料の岩片の鉱物組成をX線回折によって求め、スレーキング試験前の原試料の結果 ($N=0$) と対比して回折曲線を示したのが図—15(a)~(e)と(f)~(j)である。また同図に基づき表—2に含有鉱物対比表を示す。スレーキング試験前の両原試料の主な含有鉱物は石英(Qz)、カリ長石(K-F)、斜長石(Pl)、モンモリロナイト(Mo)、イライト(I)、クロライト(Ch)、カルサ



図—15(a)~(e) 各サイクル状態で生じた岩片のX線回折曲線の比較 (Sample A, HW Test)



図—15(f)~(j) 各サイクル状態で生じた岩片のX線回折曲線の比較 (Sample B, HW Test)

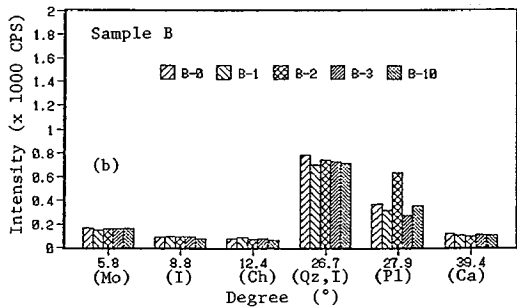
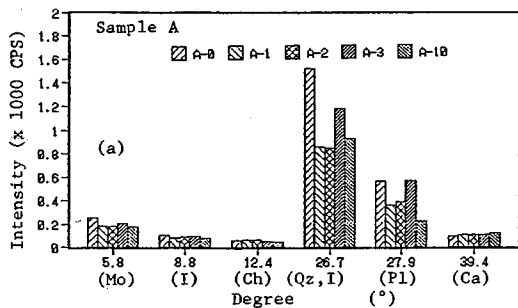
表—2 主要含有鉱物対比表

Sample No.	Mo	I	Ch	K	Qz	K-F	Pl	Mu	Ca	Cr
A-0	○	○	△	?	○	○	○	△	?	△
A-1	○	○	△	?	○	○	○	△	○	△
A-2	○	○	△	?	○	○	○	△	△	△
A-3	○	○	?	?	○	○	○	△	△	△
A-10	○	○	?	?	○	○	○	?	△	△
B-0	△	△	○	?	○	○	○	?	○	△
B-1	△	○	○	?	○	○	○	△	○	△
B-2	△	○	○	?	○	○	○	○	○	○
B-3	△	○	○	?	○	○	○	?	○	△
B-10	△	○	△	?	○	○	○	?	△	△

凡	Mo	モンモリロナイト	K-F	カリ長石
	I	イタイト	Pl	斜長石
Ch	クロライト	Mu	白雲母	
K	カリナイト	Ca	カリナイト	
Qz	石英	Cr	クリストバライト	

例

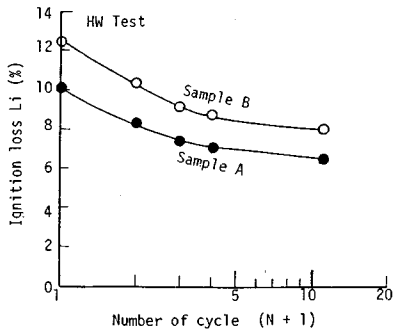
- 含有する
- △ 少量含有、又は含有する可能性有
- ? 含有しない、あるいは判定不可能



図—16 主要含有鉱物の回折強度の比較

イト (Ca), クリストバライト (Cr) からなっている。また、炉乾燥・水浸のサイクル数 (N) が増加しても、両試料において、回折曲線に明瞭な推移傾向は認められないが、回折曲線のピーク値を比較した図—16(a)と(b)に示す主要鉱物の回折強度はスレーキングの回数が増え

ると多少減少する傾向にあり、幾分その含有鉱物の構造あるいは結晶分の量に変化をきたしている可能性が示唆される。しかし、図—17に示すように、特に、サイクル数の増加に伴って強熱減量値 (Li) に明瞭な推移傾向が認められた。有機物含有量試験から有機物の存在が



図—17 サイクル回数に伴う強熱減量値の変化

ほとんど認められなかったことから、この Li 値は結晶水の存在を意味していると考えられ、サイクル数の増加に伴って細片化が進展する現象はサイクル数の増加に伴う鉱物組成の変化よりもむしろ、 Li 値の減少と密接に関連しているものと考えられる。

6. 結 論

新第三紀泥岩についての各種の室内スレーキング試験や空隙分布測定試験から得られた泥岩のスレーキング特性に関する本結果は下記のように要約できる。

(1) 対象とした原位置泥岩の空隙径はおおむね $0.1 \sim 0.01 \mu\text{m}$ 範囲に卓越し、顕著な乾燥収縮性を示す A 試料では空隙分布も温度条件によって大きく変化することが明らかになった。このような性質は岩塊のスレーキング性や吸水性と密接に関連していることが B 試料の結果との比較からわかった。

(2) 対象とした泥岩のスレーキング現象は乾湿過程で生じる水の出入りが主因であり、温度の高低は二次的因子であること、また、凍結による水の体積膨張効果はスレーキング現象を著しく助長する役割を果たすことが、各種の室内スレーキング試験結果から明らかとなった。なお、スレーキングによる細片化現象によって生じた岩片の単位質量当たりの累積空隙体積はかなり減少し、空隙分布もかなり変化していることがわかった。

(3) スレーキングに伴う吸水率の増大は、細片化が進展することによる比表面積の増大と密接に関連している。

(4) X 線回折結果より、炉乾燥・水浸のサイクル回数が増加しても対象とした泥岩の X 線回折曲線には明瞭な推移傾向は認められなかった。しかし、サイクル回数の増加に伴って岩塊の細片化が進展する状況と強熱減量値の減少傾向とは互いに呼応しており、サイクル回数の増加に伴う鉱物組成の変化よりもむしろ結晶水の消失を意味する強熱減量値の減少が岩塊の細片化現象と密接に関連していることが示唆される。

最後に、X 線回折結果等に関して種々のご教示をいただいた防衛大学校助教授 鷹部屋亮平先生に深甚の謝意を表します。また、本研究を遂行するにあたり、防衛大学校研究科学生 中山美佐緒君、同本科学学生 廣田成雄君に実験およびデータ整理で多大な協力を受けた。記して謝意を表します。さらに、防衛大学校共同利用器材粉体物性測定室の各種試験装置を利用させていただき便宜を計って下さった関係各位に感謝致します。

参 考 文 献

- 1) 中野良紀：軟岩をめぐる諸問題—泥岩の力学特性—，土と基礎，Vol. 28, No. 75, pp. 1~10, 1980.
- 2) 島 博保・今川史朗：スレーキング材（ぜい弱材）の圧縮沈下と対応策，土と基礎，Vol. 28, No. 7, pp. 45~52, 1980.
- 3) 小島圭二・斉藤保佑：軟岩の膨張・スレーキング特性（その 1），応用地質，Vol. 25, No. 1, pp. 10~22, 1984.
- 4) 桑原啓三：平野 勇・神保 悟：軟岩の吸水劣化試験，土木研究所資料，第 1930 号，1983，同（その 2），第 2067, 1984.
- 5) 大住明夫・今川史朗：スレーキング試験の一提案，第 13 回土質工学研究発表会講演集，pp. 1121~1124, 1978.
- 6) 土質工学会編：堆積軟岩の工学的性質とその応用，土質基礎工学ライブラリー，30, 1987.
- 7) 北川公大・小石真純・種谷真一：粉体工学，基礎編，槇書店，1974.

(1987. 12. 1・受付)