



土木研究所資料1140号

第7章 基礎工に関する調査試験

— 明石層および神戸層のクリープ特性に関する調査研究 —

基礎研究室

室 長 矢作 枢

研究員 大志万和也

島崎一男

杉崎光義



7-1 概要

本調査・試験は、本州四国連絡橋、明石—鳴門ルートにおいて、吊橋基礎の長期安定性に関し、その支持地盤に予定されている明石層および神戸層のクリープ特性についてなされたものである。試験は土木研究所で所有している大型三軸圧縮試験機、高圧三軸クリープ試験機を用いてなされた。また、この試験調査は、本州四国連絡橋公団（以下、本四公団と略す）で実施された原位置クリープ試験結果と比較することにより、設計に用いる地盤構成モデルを作成する一手段となることを目的としたものである。

試験実施に当っては、明石層試料に対してB海域を、神戸層試料に対してはAおよびC海域を想定して、拘束圧、載荷重など試験条件を決定した。

7-2 試験に使用した試料

7-2-1 明石層試料

明石層試料は、神戸市垂水区海岸通りに面した地点に沈設したケーソン内より採取された砂礫層不攪乱試料（採取位置については図-1に示す。）で、当所の試験機にセットできる大きさ（直径：30cm、高さ60cm）にはほぼ成形済みであり、鋼製円筒管内に保護されトラック輸送されてきたものを用いた。なお、この試料は本四公団が大型三軸圧縮試験を行なったものと同じであり、その内第三層Cシリーズ（明石層現位置載荷試験その1報告書参照）として用いたものに相当する。試料状態を観察すると、礫を主体とした暗緑灰色の砂礫層であり、角礫、円礫（礫の最大粒径9cm程度）により成る。礫種はチャート、花崗岩、凝灰岩を含み、特に風化の進んだ花崗岩（クサリ礫）を多く含んでいる。

粒度構成は礫分70～80%、砂分20%前後、シルト、粘土分5%前後を示しており、本四公団・資料⁽¹⁾と比較して第三層の粒度結果としては、平均よりやや礫分が多い試料である。含水比は7.4～10.8%、湿潤密度は1.97～2.06 g/cm³であった。

7-2-2 神戸層試料

神戸層試料は、神戸市垂水区下畑町の宅地造成地内（図-1参照）よりブロックサンプルされたもので、新第三紀泥岩および砂岩であった。この試料は、本四公団で現位置載荷試験を予定しているA地区の調査地内において実施されたボーリング試料の内、Na 1、Na 3-1、Na 3-2、Na 3-3、Na 5-1、Na 6-2の砂岩ブロックと補助試料の泥岩ブロックよりなる。

泥岩は、暗緑灰色の色調を呈しており、ブロックにはクラックが多くみられその周辺が黄褐色に酸化されている。また、凝灰質細砂薄層（厚さ数mm）と泥質薄層（厚さ数mm～数cm）からのラミナ状を呈し、雲母を多く介在している。

砂岩は、色調から淡褐灰色と暗青灰色の2種に分かれるが、今回の試験においては暗青灰色砂岩を試料とした。この試料は、ところどころ細粒子で粘土分をやや含み、雲母、輝石等を含んでいる。部分的

須 磨



- No 1 神戸層 TP+7.06~+7.13m (地表面下30cm~100cmの区間) 神戸市垂水区下畑町
住友生命宅地造成地内
- No 2 明石層 TP-16.00~-17.00m 神戸市垂水区海岸通り

図-1 明石層，神戸層試料サンプリング地点

に脆いところがあり、白色の凝灰質部をまだら状にはさんでいる。

泥岩の含水比は 21.3～232%，湿潤密度は $1.99 \sim 2.04 \text{ g/cm}^3$ であり、砂岩では含水比 9.3～13.3%，湿潤密度 $2.10 \sim 2.30 \text{ g/cm}^3$ であった。

神戸層試料については、コアカッターにてブロックより切り出し、供試体を作成した。なお、砂岩の場合はクラウン冷却水により供試体表面の崩れが懸念されたので、所定の寸法（直径：5 cm 高さ：10 cm）よりやや大きめに切り出し、その後、トリマーと直ナイフにて成形した。

7－3 試験に用いた試験機

7－3－1 大型三軸圧縮試験機

明石層の大型三軸クリープ試験に使用した大型三軸圧縮試験機は、本来、砂礫材料の三軸圧縮試験用に開発されたものであるが、クリープ試験も機構上は可能である。しかし、これまでにクリープ試験を行なった実績はない。そこで、本試験を行なう前に予備試験を行ない側圧、軸荷重の長期安定性を主にチェックし、良好な結果を得たので、本試験を実施した。試験機の主要諸元を表－1 に配管系統を図－2 に示す。

表－1 大型三軸圧縮試験機の主要諸元

供 試 体 寸 法	30 cm $\varnothing$ $\times$ 60 cm
軸 圧	0 $\sim$ 50 kg/cm ²
側 圧	0 $\sim$ 20 kg/cm ²
軸 歪 速 度 制 御	0.5 mm/min $\sim$ 6 mm/min
軸 力 計	100 ton, 20 ton
側 圧 計	max 20 kg/cm ²
間 隙 水 圧 計	－1 $\sim$ 20 kg/cm ² 2 台
軸 歪 計	max 150 mm
側 歪 計	max 40 mm 9 台
体 積 変 化 計	max 10,000 cc 2 台
計 測	アナログ計測

7－3－2 高圧三軸クリープ試験機

神戸層の高圧三軸クリープ試験に使用した本試験機は、軟岩および洪積世粘性土、砂質土のような土と岩石との中間的性質を有する地盤のクリープ変形、クリープ強度を推定するために、昭和42年度に製作されたものである。以来、試験機本体の仕様に変化はないが、測定の合理化、省力化をはかるために昭和48、49年度と2連分の計測部改造が行なわれた。したがって全体からみれば機構上の変動があるの

圖-2 大型三軸壓縮試驗機配線配管系統圖

で、主要諸元を表-2に示すと共に本文中でも改造点を中心に補足説明する。

表-2 高圧三軸クリープ試験機の主要諸元

型 式	3 連 式
供 試 体 寸 法	50mm Ø, 100 mm
軸 荷 重	0 ~ 20 ton
側 圧	0 ~ 50 kg/cm ²
軸 力 計	10, 5, 1 ton(レンジ切替)
軸 歪 計	± 5 mm
定 ひ ず み 機 構	‘土木研究所資料第723号,「平戸大橋における地盤のクリープ変形について」参照
計 測	デジタル及びアナログ計測

改造内容は軸荷重および軸変位の計測部をデジタル計測としたもので、デジタルプリンターには指定した測定時間がくると出力を自動的に指示するプログラムが内蔵されている。なお、デジタルタイマーは20日間継続する。測定に際してはモニター用にアナログ方式をも併用している。これら計測部の改造に伴ない一部検出器の新調、合理化も行なわれた。

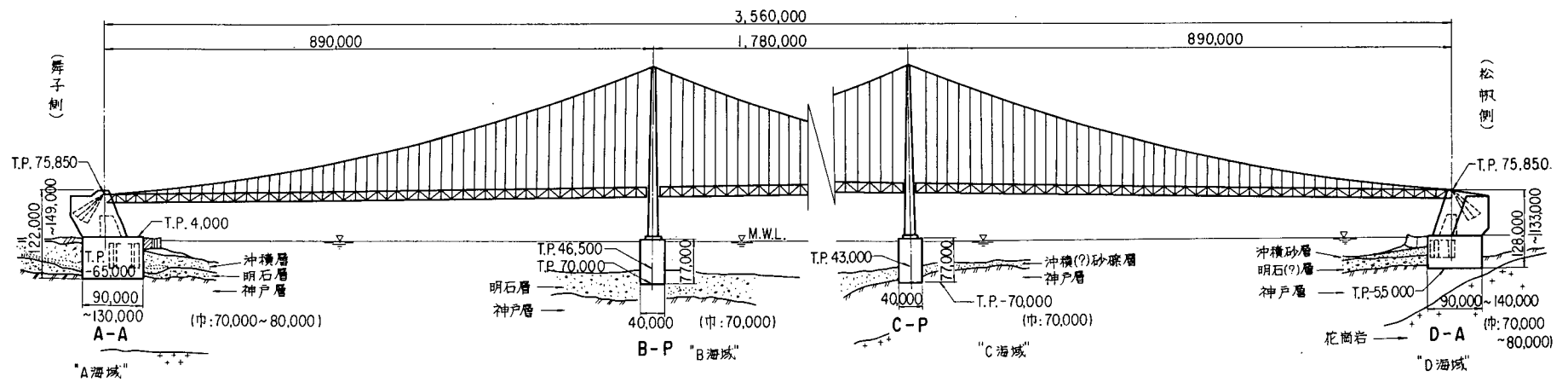
7-4 試 験 方 法

本調査における試験は大別して、明石層試料に対しての大型三軸クリープ試験と神戸層試料に対しての高圧三軸クリープ試験に分けられる。試験実施に当っては、“明石海峡大橋下部工の概要”(図-3に示す)より、明石層試料に対してB海域を、神戸層試料に対してはAおよびC海域を想定して、拘束圧、載荷重など試験条件を決定した(拘束圧は水深、土被りより、C海域で110 t/m², B海域でも110 t/m², 載荷重は橋脚あるいは橋台の常時最大地盤反力より、A海域: 270 t/m², B: 200 t/m², C: 170 t/m²と想定した。)。

また、試料の力学的性質を知る目的から、神戸層試料に対して超音波弾性波速度測定器によるP波、S波の測定を行なった。その他物理試験として、全ての供試体について含水量試験、単位体積重量試験、試料の一部を使って土粒子の比重試験、また粒度分析試験を行なった。

7-4-1 大型三軸クリープ試験

試験方式は圧密排水試験であり、圧密に先立っての飽和は24時間飽和することとし、飽和の確認は側圧を1%程度かけ間隙水圧がこれに近い値を示したら、飽和されたこととした。圧密は、所定の側圧を



図－3 明石海峡大橋下部工の概要

作用させて24時間圧密を目標とし、その確認は排水量のチェック、間隙水圧が減少し消散することによって。側圧は80, 100, 120 ㉯の3種類とし、数段階の軸圧載荷で供試体を破壊させることを目標とした。なお、一段階での載荷は、圧縮量の増分が30分間で $1/100$ mm 以下になるまで測定を継続することとした。段階軸荷重の載荷については、本四公団実施の大型三軸圧縮試験結果を参考とし、その内に20 ㉯近傍の荷重を載荷させることとした。供試体には高側圧の負荷により、尖った礫粒子がゴムスリーブを破損させる恐れがあるため、厚さ1 mmと2 mmの2枚のゴムスリーブを重ねて用いた。

7-4-2 高圧三軸クリープ試験

試験方式は圧密排水試験としたが、試料が岩石ということから圧密沈下も無視され、また透水性も小さいので、実際は非排水試験の状態に近いものと思われる。高圧三軸クリープ試験は、泥岩、砂岩とも側圧は100, 120, 140 ㉯の3種類とし、軸荷重の載荷は大型三軸クリープ試験と同要領で行なった。なお、170, 270 ㉯近傍の軸荷重の載荷を行なおうとしたが、荷重コントロールが難かしく、必ずしも目標通りではなかった。

クリープ試験に先立って、その試料のせん断特性を知り、軸荷重載荷の目安を得るために三軸圧縮試験を実施した。三軸圧縮試験は排水試験とし、ひずみ速度 $0.3\%/min$ を目標に、泥岩で85, 100, 120, 145, 170 ㉯の5種、砂岩で80, 100, 117, 138 ㉯の4種の側圧状態で実施した。なお、供試体には高圧をかけるため、厚さ1 mmのゴムスリーブで被覆した。

7-5 調査結果とまとめ

7-5-1 試料の一般的性質

明石層試料の物理試験結果を表-3に、粒径加積曲線を図-4に示す。

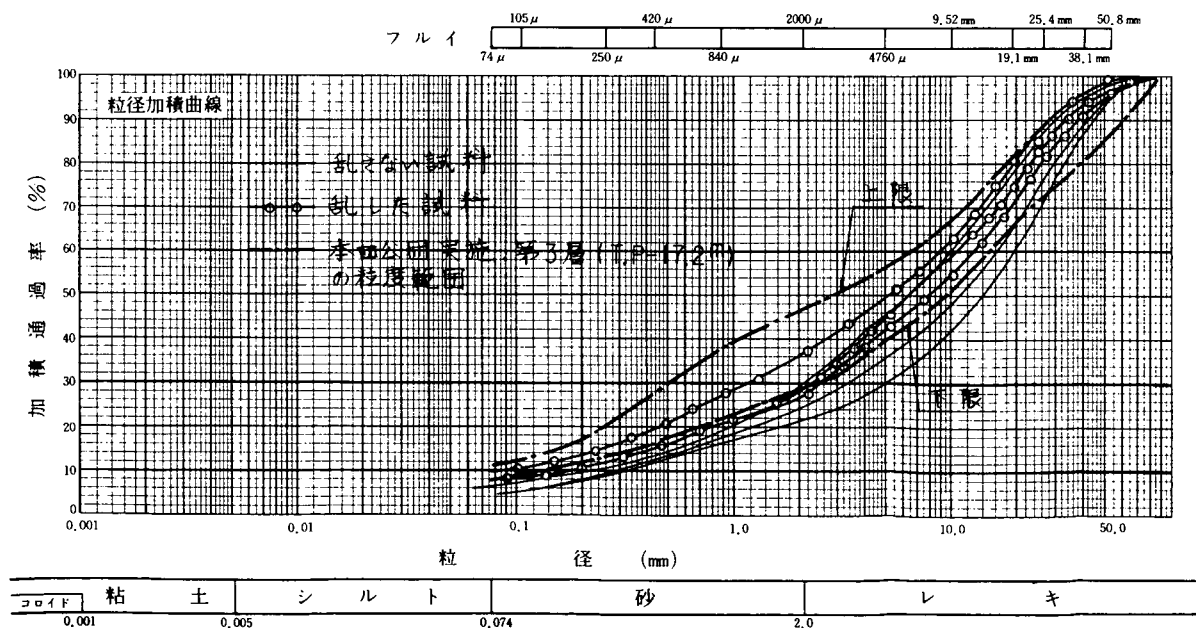


図-4 明石層試料の粒径加積曲線

表-3 明石層試料の物理試験結果

供試体番号	④初期状態 ⑤圧密度	高さ (cm)	直径 (cm)	重量 (g)	湿潤密度 (g/cm ³)	含水比 (%)	乾燥密度 (g/cm ³)	間隙比 e	飽和度 S (%)	試料状態	備考
1 (3-10)	A	60.0	29.96	87.043	2.059	9.6	1.878	0.399	63.2	乱さない	クリープ試験
	B	58.8	—	89.003	2.245	12.1	2.003	0.313	101.6		
2 (3-5)	A	60.5	30.26	87.200	2.004	9.5	1.830	0.437	57.2	乱さない	クリープ試験
	B	60.3	—	91.100	2.170	14.4	1.897	0.386	98.1		
3 (3-9)	A	60.0	30.61	88.400	2.003	7.7	1.860	0.413	49.0	乱さない	クリープ試験
	B	59.2	—	93.330	2.198	13.7	1.934	0.359	100.3		
4 (3-11)	A	60.0	30.42	86.100	1.976	7.4	1.840	0.429	45.4	乱さない	クリープ試験 1ステップ後ゴム スリプ破損
	B	58.4	—	90.010	2.240	12.3	1.995	0.318	101.7		
5 (3-6)	A	59.8	30.13	87.700	2.058	9.7	1.876	0.401	63.5	乱さない	三軸試験
	B	58.7	—	89.560	2.225	12.0	1.987	0.323	97.6		
6 (3-7)	A	60.0	30.19	87.400	2.036	10.8	1.838	0.431	65.9	乱さない	飽和時に試料 自立せず
	B	—	—	—	—	—	—	—	—		
7	A	60.0	30.0	88.500	2.087	10.9	1.882	0.397	72.2	乱した	クリープ試験 突固めて作成
	B	59.0	—	89.500	2.218	12.2	1.977	0.330	97.2		
8	A	60.0	30.0	84.500	1.993	7.9	1.847	0.423	49.1	乱した	クリープ試験 突固めて作成
	B	59.2	—	89.000	2.193	13.6	1.931	0.361	99.0		
9	A	60.0	30.0	85.200	2.010	8.9	1.846	0.424	55.2	乱した	クリープ試験 突固めて作成
	B	59.0	—	88.500	2.198	13.1	1.943	0.353	97.6		

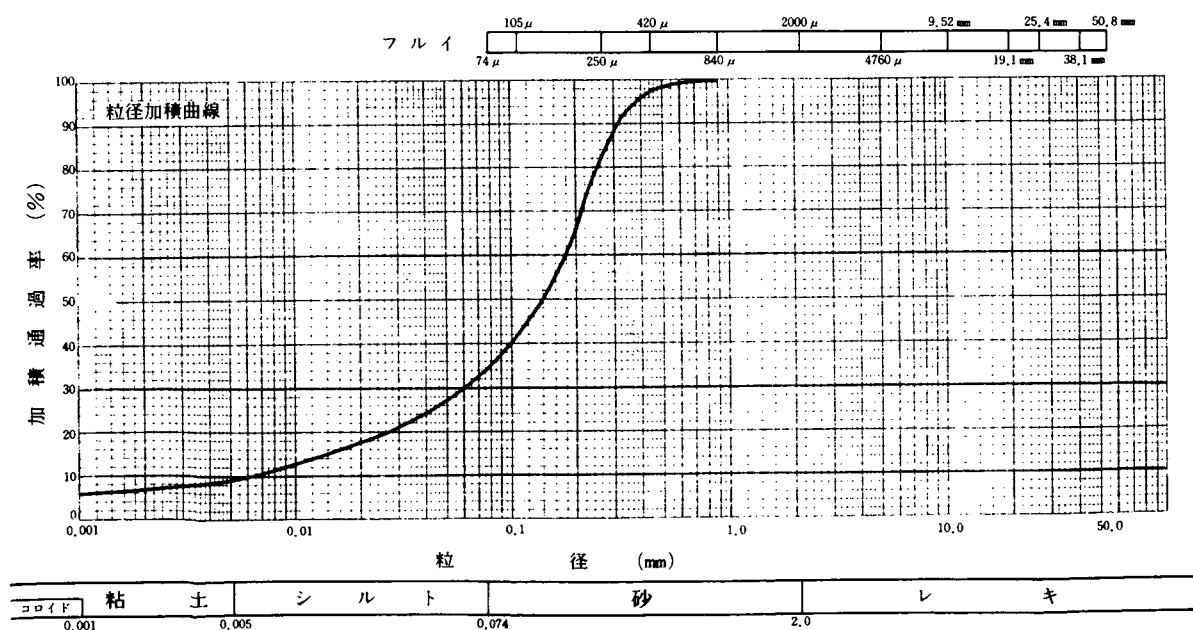


図-5 砂岩試料の粒径加積曲線

表-4 神戸層試料の物理試験結果および弾性波速度測定結果

項 目	泥 岩			砂 岩		
	範 囲	平 均	試 験 数	範 囲	平 均	試 験 数
含 水 比 (%)	21.3~23.2	22.1	11	9.2~13.3	10.2	14
土 粒 子 の 比 重 G_s		2.612			2.584	
湿 潤 密 度 γ_t (g/cm^3)	1.99~2.04	2.01	11	2.10~2.30	2.23	14
乾 燥 密 度 γ_d (g/cm^3)	1.56~1.66	1.65	11	1.85~2.08	2.02	14
間 隙 比 e		0.583			0.279	
飽 和 度 S (%)		99.0			94.5	
P 波 速 度 (km/sec)	1.82~2.07	1.99	10*(9)	2.02~2.61	2.35	10
S 波 速 度 (km/sec)	0.48~0.57	0.51	10	0.48~0.80	0.66	10
ポ ア ソ ン 比	—	0.470	—	—	0.457	—
ヤ ン グ 係 数 E (kg/cm^2)	—	1.55×10^4	—	—	2.81×10^4	—
セ ン 断 弾 性 係 数 G (kg/cm^2)	—	5.3×10^3	—	—	9.63×10^3	—
一 軸 強 度 qu (kg/cm^2)	—	—	—	35.4~48.4	41.9	2

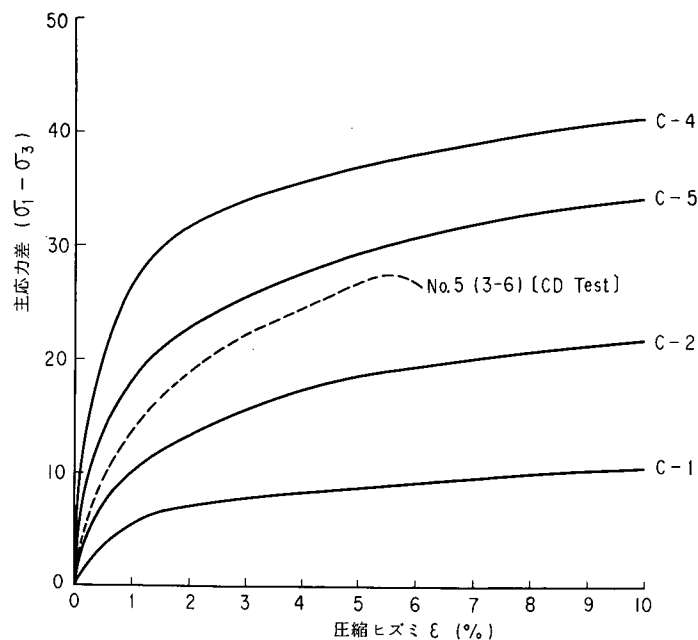


図-6 大型三軸圧縮試験・主応力差-圧縮ひずみ関係

粒度分析結果を見ると本四公団・資料⁽¹⁾より転載した粒度範囲に比し、乱さない試料よりは乱した試料の曲線がその範中に入っている。また、物理試験結果から乱さない試料で比較した場合、含水比7.4~10.8%, 湿潤密度1.97~2.06 g/cm^3 であり、若干乾燥されていると思われる(本四公団の資料⁽¹⁾によると含水比10.9~12.4%, 湿潤密度2.16~2.42 g/cm^3 であった。)。

神戸層試料の物理試験結果および弾性波速度測定結果を表-4に示す。砂岩試料の粒径加積曲線を示したのが図-5である。

なお、表－４においてP波速度の試験数が10^{*}(9)となっているが、これは試験体数は10個であるが、試験データとして採用したのは9個という意味が含まれている。以下に弾性波速度の測定結果よりのポアソン比、ヤング係数、せん断弾性係数の整理計算式を列記する。

$$\text{ポアソン比 } \nu = \frac{Pv^2/2Sv^2 - 1}{Pv^2/Sv^2 - 1}$$

$$\text{ヤング係数 } E = \frac{rt(3Pv^2 - 4Sv^2)}{(Pv^2/Sv^2 - 1)} \times 10^4 (\%)$$

$$\text{せん断弾性係数 } G = rt \cdot Sv^2 \times 10^4 (\%)$$

Pv は P 波速度，Sv は S 波速度で，rt とともにそれぞれ平均値を計算に用いた。

7-5-2 大型三軸クリープ試験結果

大型三軸クリープ試験結果についてふれる前に、その試験実施に際して参考とした本四公団実施の大型三軸圧縮試験結果（圧密非排水試験）並びに、今回当所にて実施した1試験結果（圧密排水試験）の側圧と破壊時の主応力差の関係を表－５に示す。また、図－６に示された主応力差と圧縮ひずみの関係では、土木研究所で実施したものが $\epsilon_f = 5.49\%$ とピークが見られるのに対し、本四公団実施の試験データにおいてはピークが判然とせず、 $\epsilon_f = 10\%$ として処理している。両者の傾向的な相違は、試験方式の違いによるものと思われる。そして、圧密非排水試験データを有効応力で処理すると、せん断定数は $c = 0.6\%$ 、 $\phi = 36.0^\circ$ となった（本四公団・大型三軸圧縮試験結果）。

表－５ 大型三軸圧縮試験結果

供試体番号	側 圧 (%)	破壊時の主 応力差(%)	備 考
C-1	5	10.55	本四公団実施 (cu 試験)
C-2	10	21.76	"
C-4	30	41.14	"
C-5	20	34.37	"
Ⅱ-5 (3-6)	10.0	27.57	土 研 実 施 (CD 試験)

表-6 大型三軸クリープ試験結果

試験体番号	側 圧 (kg/cm^2)	破壊時の主応力差 (kg/cm^2)
No. 1	8.0	2 5.5 8
No. 2	8.0	2 5.1 5
No. 3	1 0.0	3 6.4 7
* No. 7	1 0.0	2 8.7 4
* No. 8	8.0	3 5.4 0
* No. 9	1 0.0	3 7.6 9

* ; 乱した試料

表-7 高圧三軸圧縮試験結果

試 料	供試体番号	側圧 (kg/cm^2)	破壊時の主応力差 (kg/cm^2)	ϵ_f (%)
泥 岩	No. 1	8.5	2 2.0 2	1.8 0
	No. 2	10.0	2 8.4 8	1.4 2
	No. 3	12.0	2 9.3 9	2.5 0
	No. 4	14.5	2 9.1 8	1.8 0
	No. 5	17.0	2 7.4 9	3.0 9
砂 岩	No. 1	8.0	8 5.0 2	0.9 1
	No. 2	10.0	1 0 3.0 8	1.2 2
	No. 3	11.7	8 2.8 7	1.2 5
	No. 4	13.8	1 2 3.2 4	1.6 6

次に大型三軸クリープ試験の結果であるが、側圧と破壊時の主応力差の関係を表-6に、各荷重ステップにおける経過時間と圧縮ひずみの関係を図-7~12に示す。乱さない試料においては、荷重ステップの途中で、クサリ礫の破碎によるものと思われる急激なひずみ量の増加の後、再び、ひずみ勾配の減少、定常化という現象が見られた。供試体の試験前及び試験後の状況の1例を、写真-1, 2に示す。

7-5-3 高圧三軸クリープ試験結果

高圧三軸圧縮試験結果の側圧と破壊時の主応力差の関係を表-7に、そして、それをモールの応力円表示にしたものを図-13, 14に示す。セン断定数は、泥岩： $c = 8.9$ ㌔, $\phi = 10.9^\circ$, 砂岩： $c = 8.4$ ㌔, $\phi = 46.3^\circ$ という結果であった。なお、主応力差と圧縮ひずみの関係を図-15, 16に示す。

高圧三軸クリープ試験を行なった側圧とそれに対応する破壊時の主応力差を示したのが表-8である。図-17~30には経過時間と圧縮ひずみの関係を荷重ステップ毎に示す。なお、高圧三軸試験結果の供試体破壊状況の一部を写真-3, 4に、クリープ試験後の供試体状況の一部を写真-5, 6に示す。

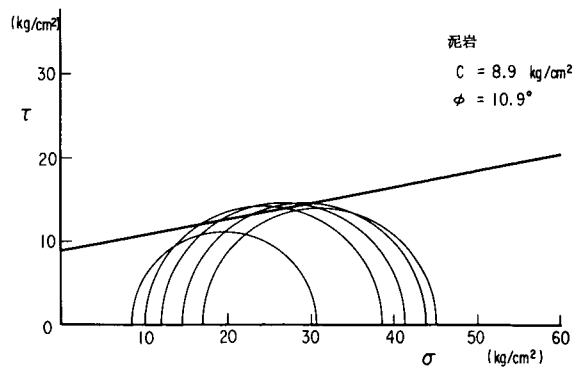


図-13 $\sigma - \tau$ 関係

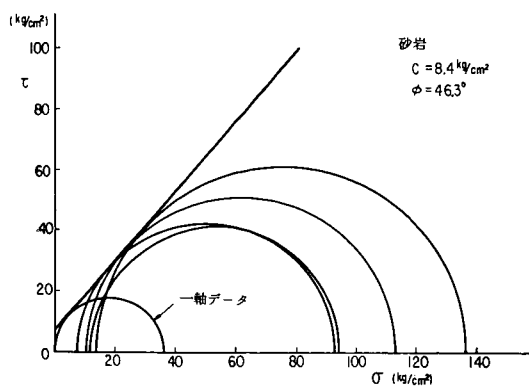


図-14 $\sigma - \tau$ 関係

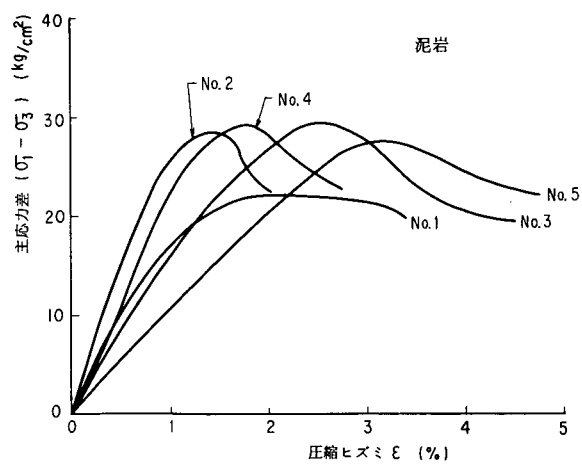


図-15 主応力差と圧縮ヒズミの関係

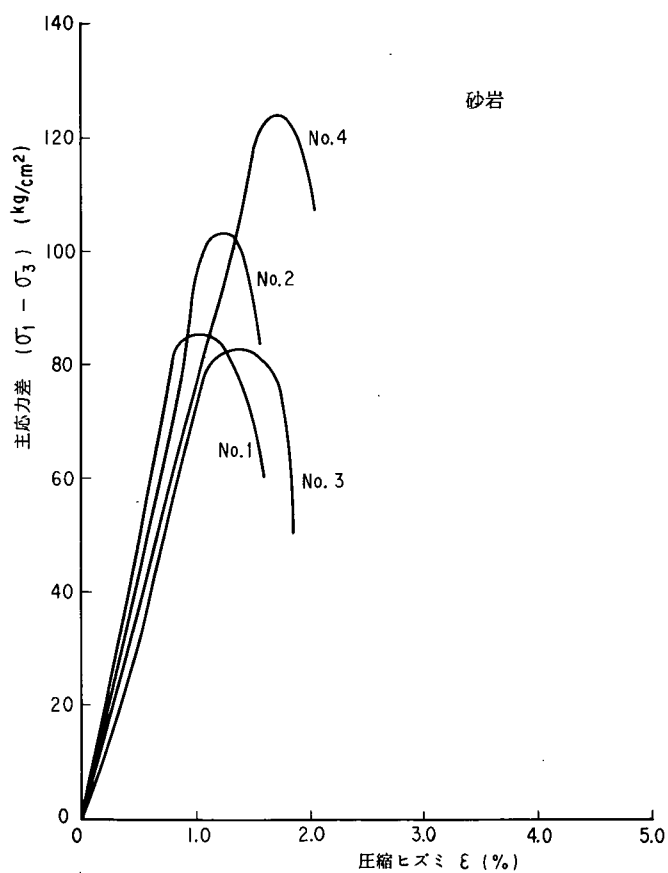


図-16 主応力差と圧縮ヒズミの関係

表-8 高圧三軸クリープ試験結果

試料	供試体番号	側 (%) 圧	破壊時の主応力差 (%)
泥 岩	Na 1	14.0	30.08
	Na 2	14.0	35.79
	Na 3	10.0	32.27
	Na 4	10.0	40.58
	Na 5	12.0	34.98
	Na 6	12.0	33.61
砂 岩	Na 1	10.0	110.19
	Na 2	10.0	77.88
	Na 3	12.0	124.43
	Na 4	12.0	102.91
	Na 5	14.0	132.57
	Na 6	14.0	130.77
	Na 7	12.0	111.72
	Na 8	12.0	101.75

7-5-4 クリープ試験結果の整理

(1) クリープ変形に関する理論

物質の力学的性質を応力-ひずみ-時間の関係として取り扱う分野はレオロジーと呼ばれ、クリープ特性に関する理論はその一分野である。レオロジーの研究方法には、微視的な取扱いをする方法と巨視的な取扱いをする方法がある。前者は流動を原子論的に説明しようとするもので、特に高分子材料、金属材料の分野において急速な進歩をみている。後者は物質の変形と流動を現象論的に取扱おうとするもので、Hookeの弾性変形を代表する弾性バネとNewtonの粘性流動を代表する粘性機構(粘性液体が満たされたダッシュポット)の適当な組合せにより力学模型を仮定して、物質の流動性を近似的に表現しようとするものである。ここでは実務的な面から、巨視的にクリープ現象を取扱う。ここに使われる力学模型の代表的な要素は、バネとダッシュポットを直列に接続したMaxwell要素、及び並列に接続したVoigt要素であり、応力緩和特性は前者により、クリープ特性は後者によって定性的に説明されている。これら要素の組み合わせ方により種々の力学模型が提案されているが、最も一般的に用いられ、また、試験結果の $\epsilon - \log t$ グラフに見られる傾向(クリープ変形は時間の対数に比例して増大する)からも、今回の試験において最初の検討とした村山・柴田の考え方⁽²⁾について示す。これについては、土木研究所資料・第723号、「平戸大橋における地盤のクリープ変形について」その他の報文に紹介されているので、ひずみに対する関係式と整理方法について以下に示す。

これは最終的な結果が、 $\epsilon = a + b \log t$ として表わされる。ここにおいて、 ϵ は圧縮ひずみ(%), t は時間(min), a, b は任意の応力状態でその地盤に固有の定数で、軸差応力 D の関数として整理する。 a は初期ひずみを与える定数であり、 b はひずみ速度をあらわしている。

なお、村山・柴田の考え方によるクリープ機構の力学模型を示すと図-31である。ここで、 E_1 はmatrix間の弾性、 E_2, η_2 はそれぞれ、matrixの弾性、粘性、 σ_0 は外力の大きさに無関係な固有の内部抵抗としている。

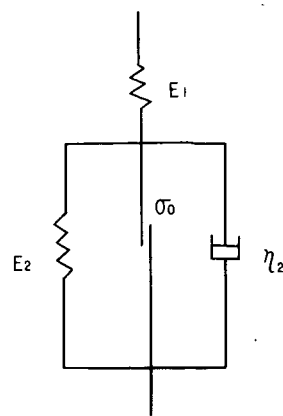


図-31 村山・柴田の考え方による力学模型

(2) $\epsilon = a + b \log t$ 式によるクリープ定数の算出

大型三軸クリープ試験結果および高圧三軸クリープ試験結果の $\epsilon - \log t$ グラフより、初期ひずみ、ひずみ速度と軸差応力 D の関係を示したのが、図-32-37である。

明石層試料においては、図-32, 33に示されるように a の範囲が $1.92 \times 10^{-2} D \sim 8.08 \times 10^{-2} D$, b の範囲が $3.46 \times 10^{-3} D \sim 3.22 \times 10^{-2} D$ であり、乱さない試料の a は非常なバラツキを示している。また、Na 3の試料は a, b とも非常に小さい値を示しているが、他の乱さない2供試体より若干礫の混礫率は多いものの、物理特性は大差なく判断される。そして、クリープ定数の決定にはNa 3試料を除外し、乱した試料、乱さない試料の平均値と判断される a, b を求めた結果、 $a = 6.14 \times 10^{-2} D, b = 2.46 \times 10^{-2} D$ が得られた。なお、乱した試料の試験結果が比較的まとまっているのは、クサリ礫などの多少の破碎とその混合が全体に分散している為と思われる。ちなみに、粒度試験において、乱した試料の粒子の破碎状況を粒径 5 mm をとらえて比較すると、乱さない試料に対し突固めによる破碎は約10%前後と判断される。また、乱さない試料についての結果のバラツキは、クサリ礫を局部的に多く含んでいたり、粘性土の混合状態のかたより等による影響が考えられ、クサリ礫の多少による試験結果と判断される。

神戸層試料のクリープ定数 a, b と軸差応力 D の関係が図-34-37に示されているが、泥岩においては、 a が $2.49 \times 10^{-2} D \sim 3.28 \times 10^{-2} D$, b が $6.36 \times 10^{-3} D \sim 9.86 \times 10^{-3} D$ の範囲とバラツキの少ない結果であった。砂岩においては、 a が $3.75 \times 10^{-3} D \sim 1.04 \times 10^{-2} D$, b が $9.0 \times 10^{-4} D \sim 1.66 \times 10^{-3} D$ と比較的広範囲のバラツキが見られるが、傾向的なものは顕著には出ていない。したがって、試料の混入物による不均一性、その他の影響によるものと判断される。図より、その平均的な値を求めると、泥岩においては $a = 2.83 \times 10^{-2} D, b = 7.96 \times 10^{-3} D$, 砂岩は $a = 6.92 \times 10^{-3} D, b = 1.33 \times 10^{-3} D$ という結果が得られた。

7-5-5 ま と め

以上に述べてきた明石層および神戸層のセン断特性、クリープ特性についてまとめると以下の通りである。

(1) 神戸層のセン断特性

高圧三軸圧縮試験の結果

泥岩……………	$c = 8.9 \%$	$\phi = 10.9^\circ$	
砂岩……………	$c = 8.4 \%$	$\phi = 46.3^\circ$	となり

また、同じく三軸試験の主応力差と圧縮ひずみの関係より、変形係数は、泥岩で1.060～3.030 ㎥と若干せん断傾向の異なる試験結果も得られており、供試体への混入物、微小クラック等の影響も考えられる。砂岩における変形係数は6.680～8.310 ㎥という結果であった。

(2) 明石層および神戸層のひずみに対する実験式

明石層…………… $\epsilon = 6.14 \times 10^{-2} D + 2.46 \times 10^{-2} D \log t$

神戸層

泥岩…………… $\epsilon = 2.83 \times 10^{-2} D + 7.96 \times 10^{-3} D \log t$

砂岩…………… $\epsilon = 6.92 \times 10^{-3} D + 1.33 \times 10^{-3} D \log t$

ここにおいて、 ϵ ：圧縮ひずみ（％）， D ：軸差応力（㎥）， t ：時間（分）

上記の実験式を用いて、変形量の算出を行ない、50年間の予想クリープ変形量を作用荷重による初期沈下量に比較すると、明石層砂礫で3倍、神戸層泥岩で2倍、砂岩で1.5倍程度となる。

なお、本四公団が明石層で実施した現位置クリープ試験の結果、第三層におけるクリープ変形量算定式は、 $\epsilon = 8.62 \times 10^{-2} D + 4.29 \times 10^{-3} D \log t$ が得られている。

参 考 文 献

- (1) 土質工学会・本四地盤支持力委員会：本四基礎地盤検討報告書，昭和50年
- (2) 村山朔郎，柴田徹：粘土のレオロジー的特性について，土木学会論文集第40号，昭和31年12月
- (3) 浅間達雄，足立義雄：平戸大橋における地盤のクリープ変形について，土木研究所資料第723号，昭和47年3月

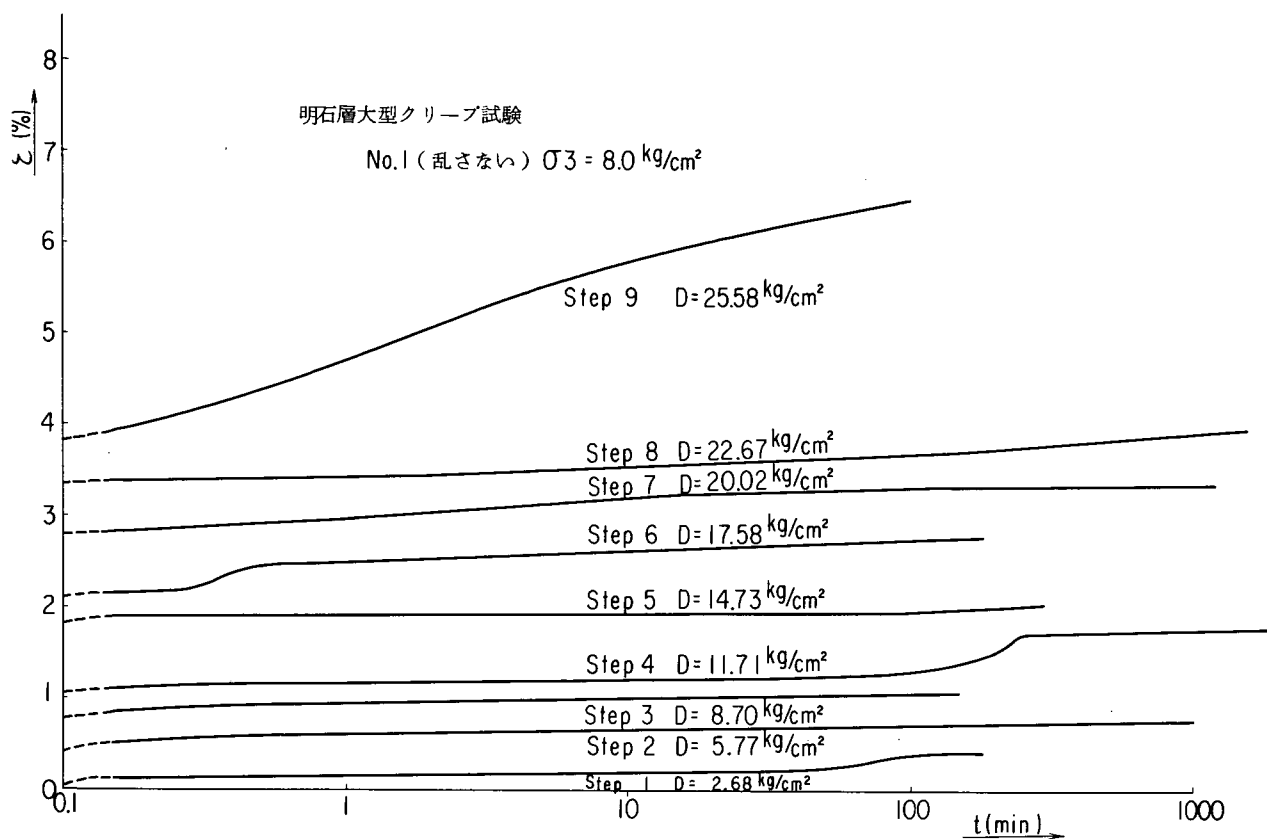


図-7 $\varepsilon - \log t$ グラフ

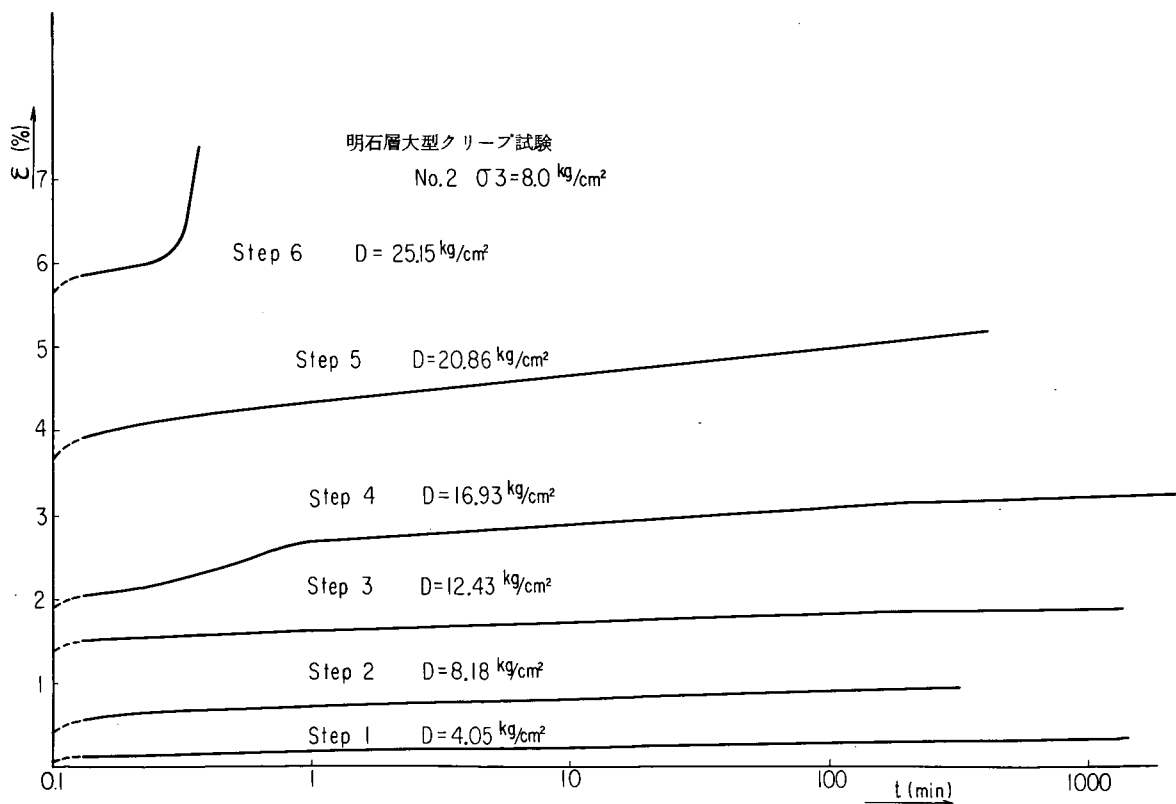


図-8 $\varepsilon - \log t$ グラフ

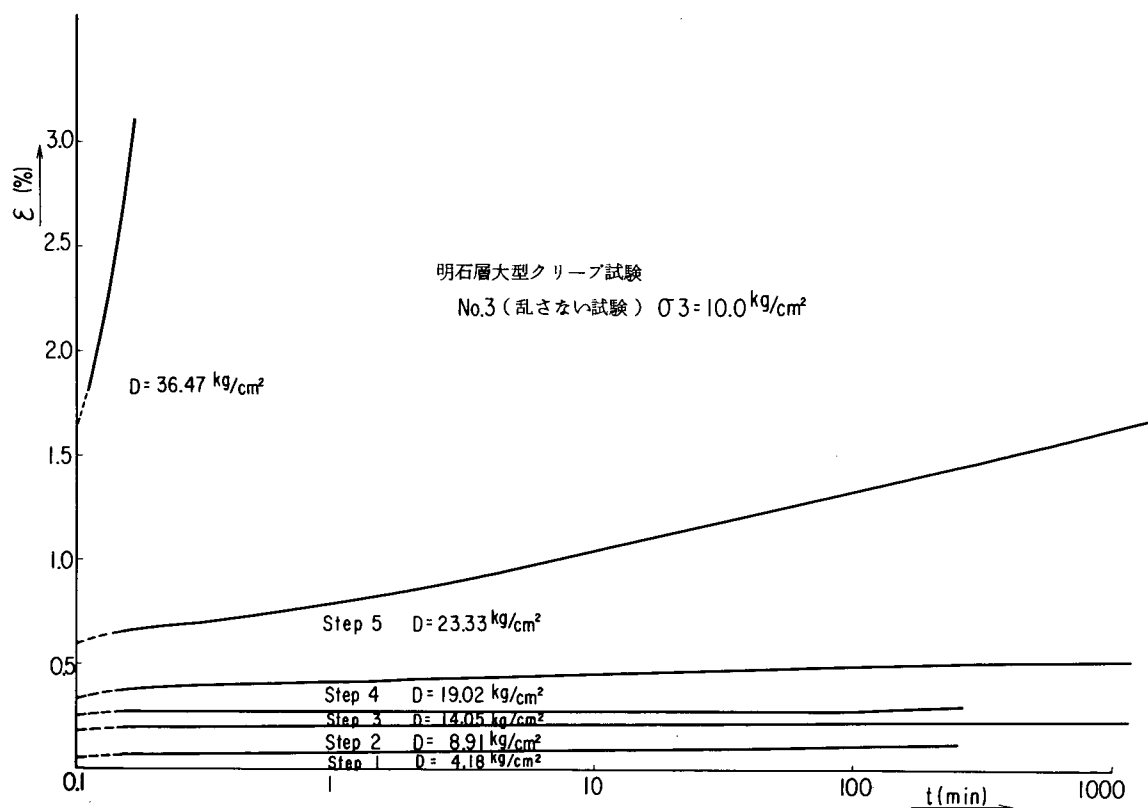


図-9 $\epsilon - \log t$ グラフ

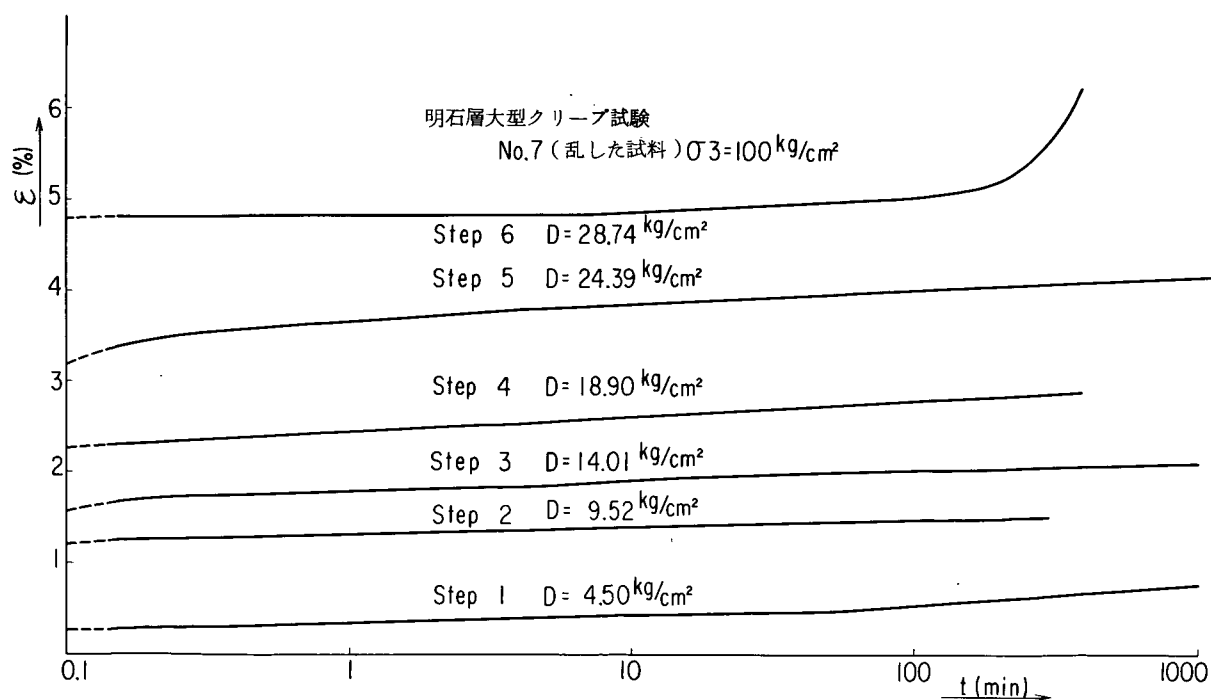


図-10 $\epsilon - \log t$ グラフ

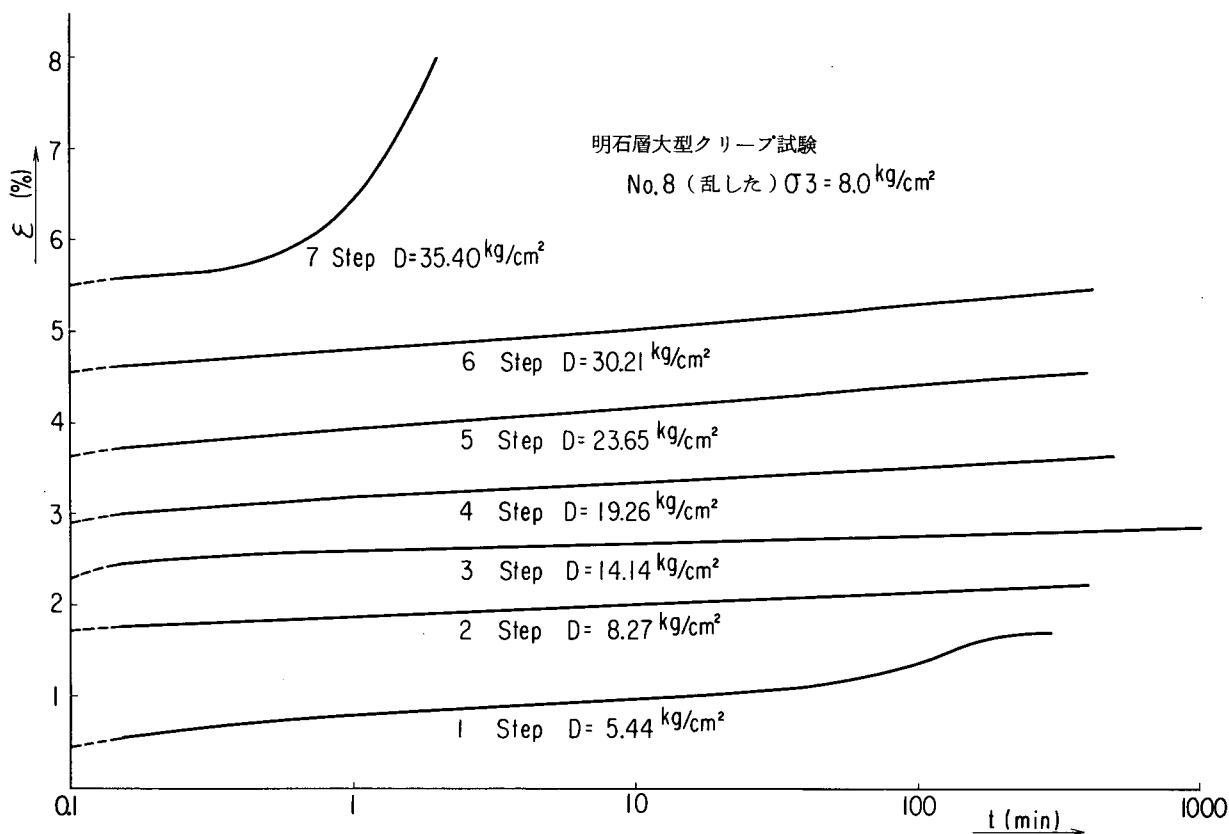


図-11 $\epsilon - \log t$ グラフ

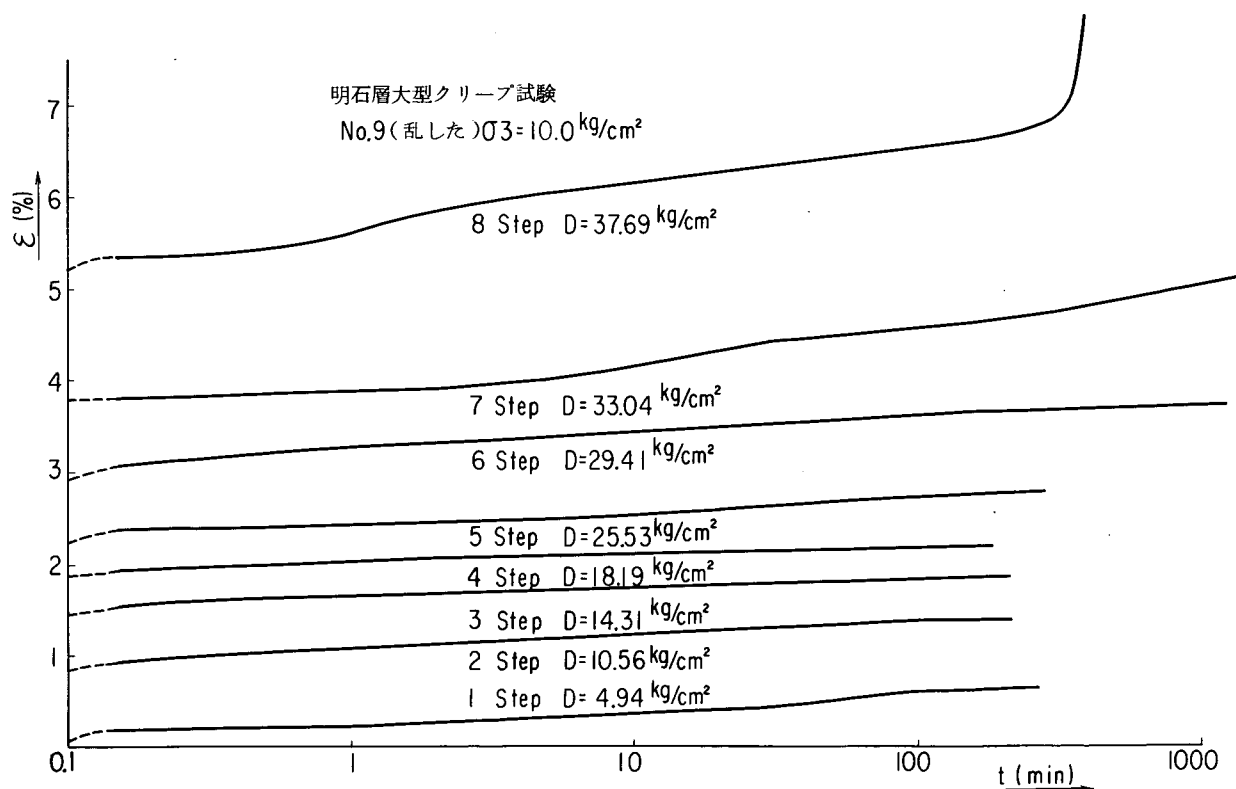


図-12 $\epsilon - \log t$ グラフ

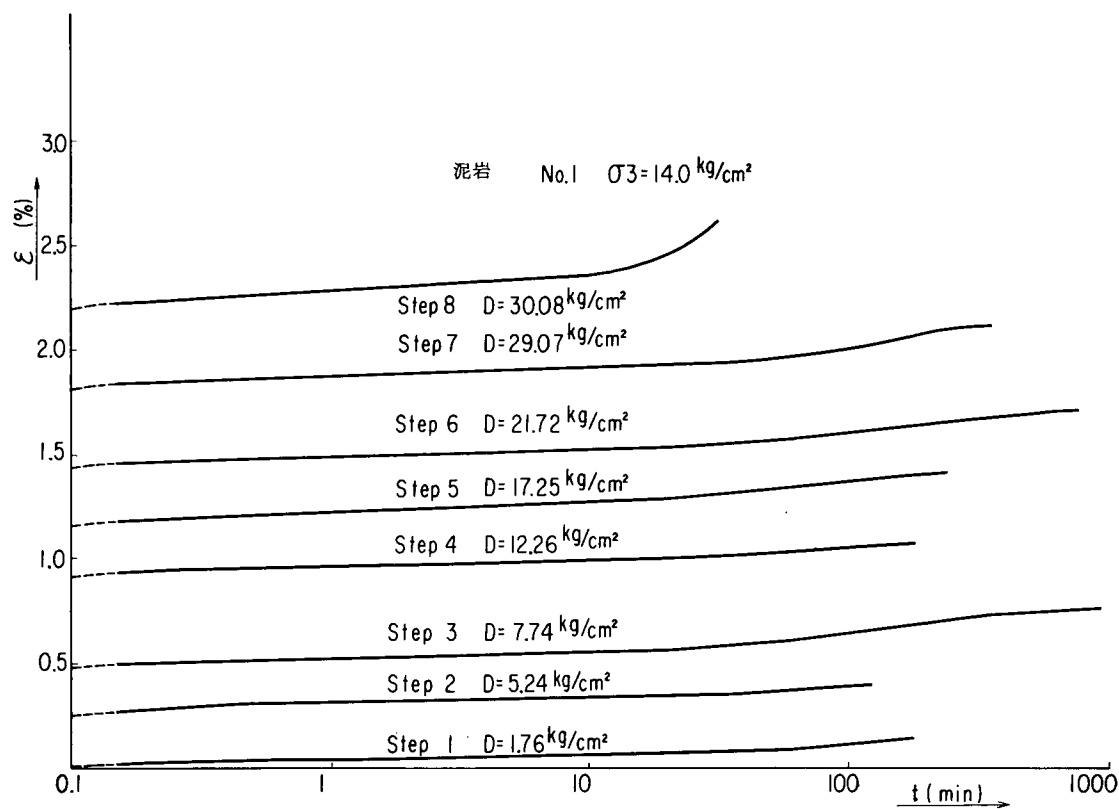


図-17 $\epsilon - \log t$ グラフ

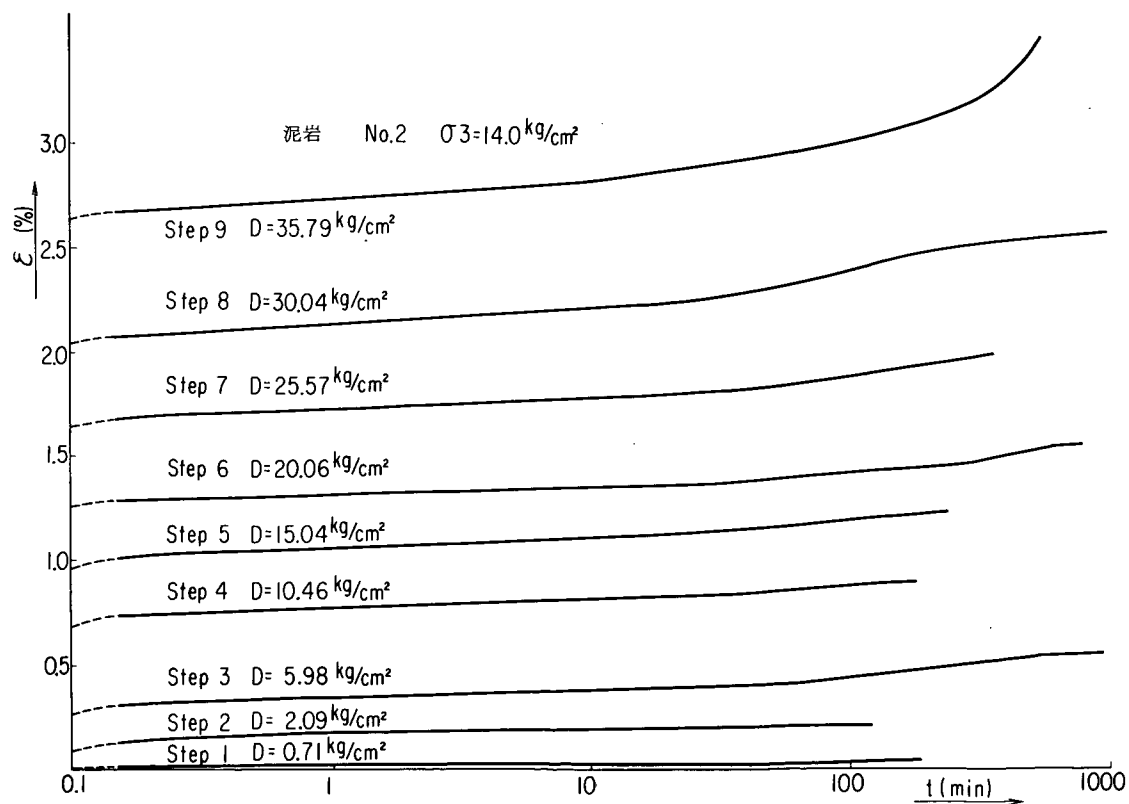


図-18 $\epsilon - \log t$ グラフ

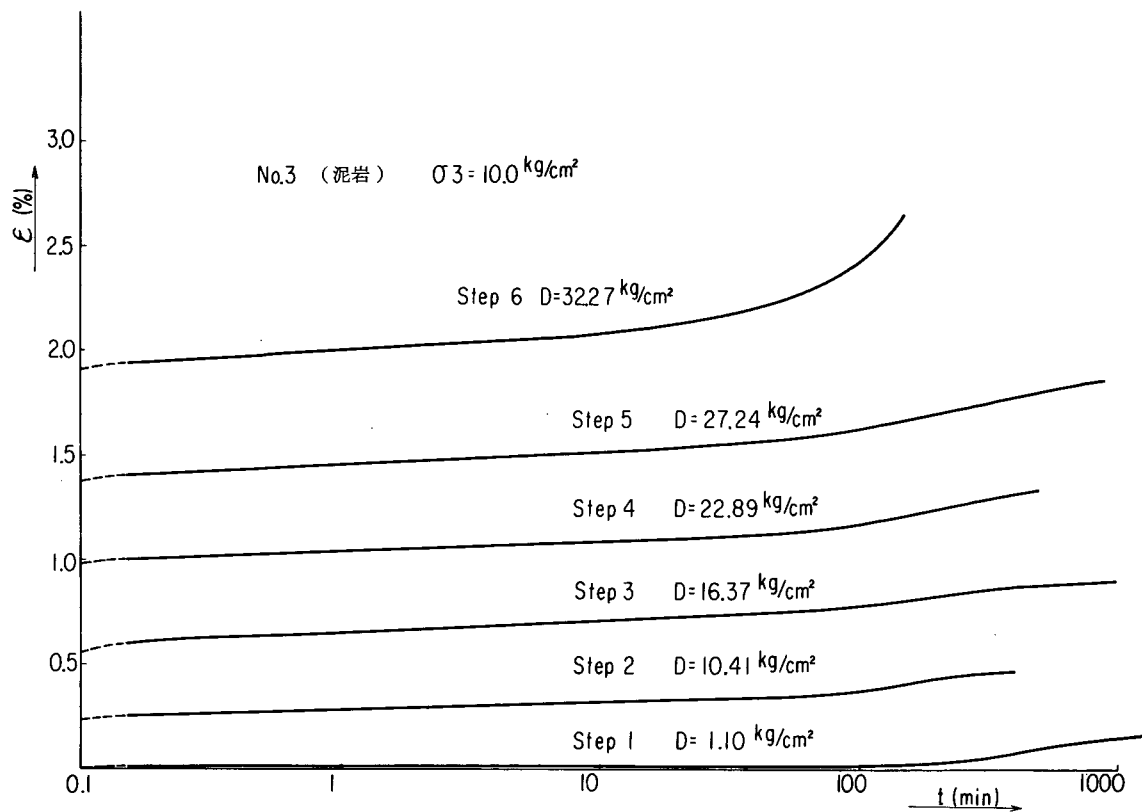


図-19 $\epsilon - \log t$ グラフ

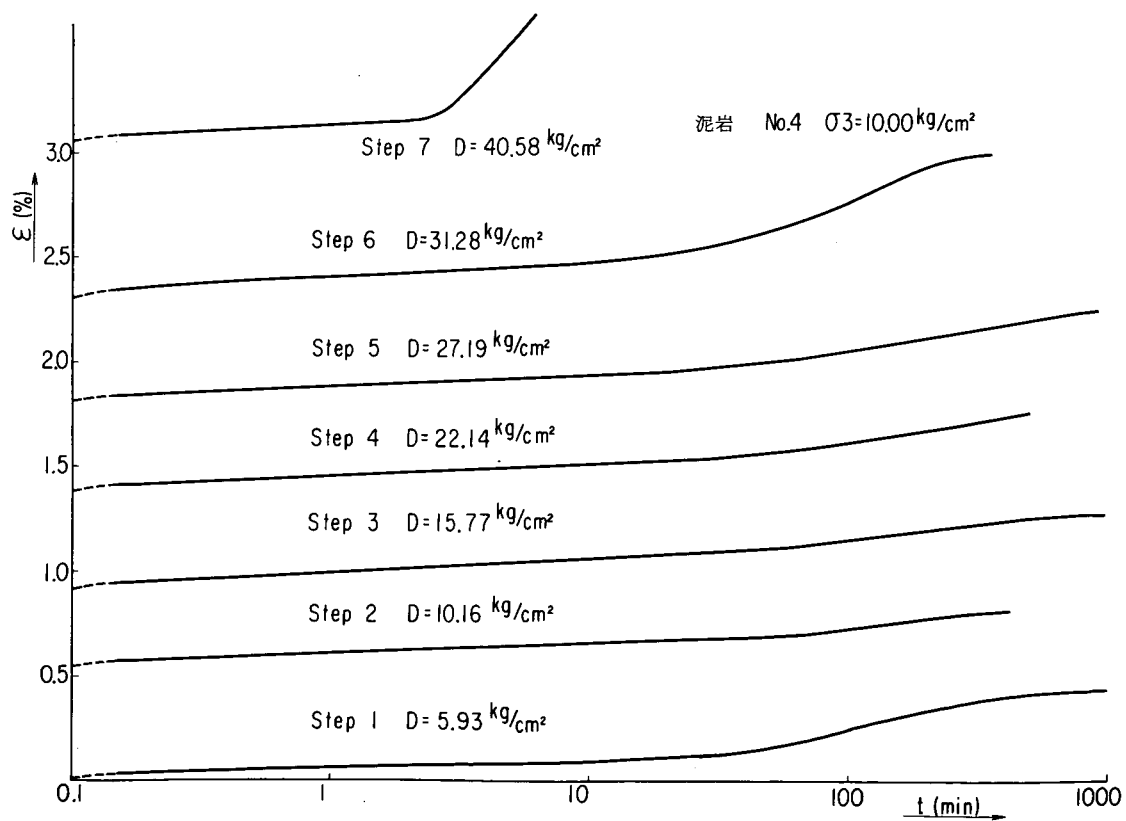


図-20 $\epsilon - \log t$ グラフ

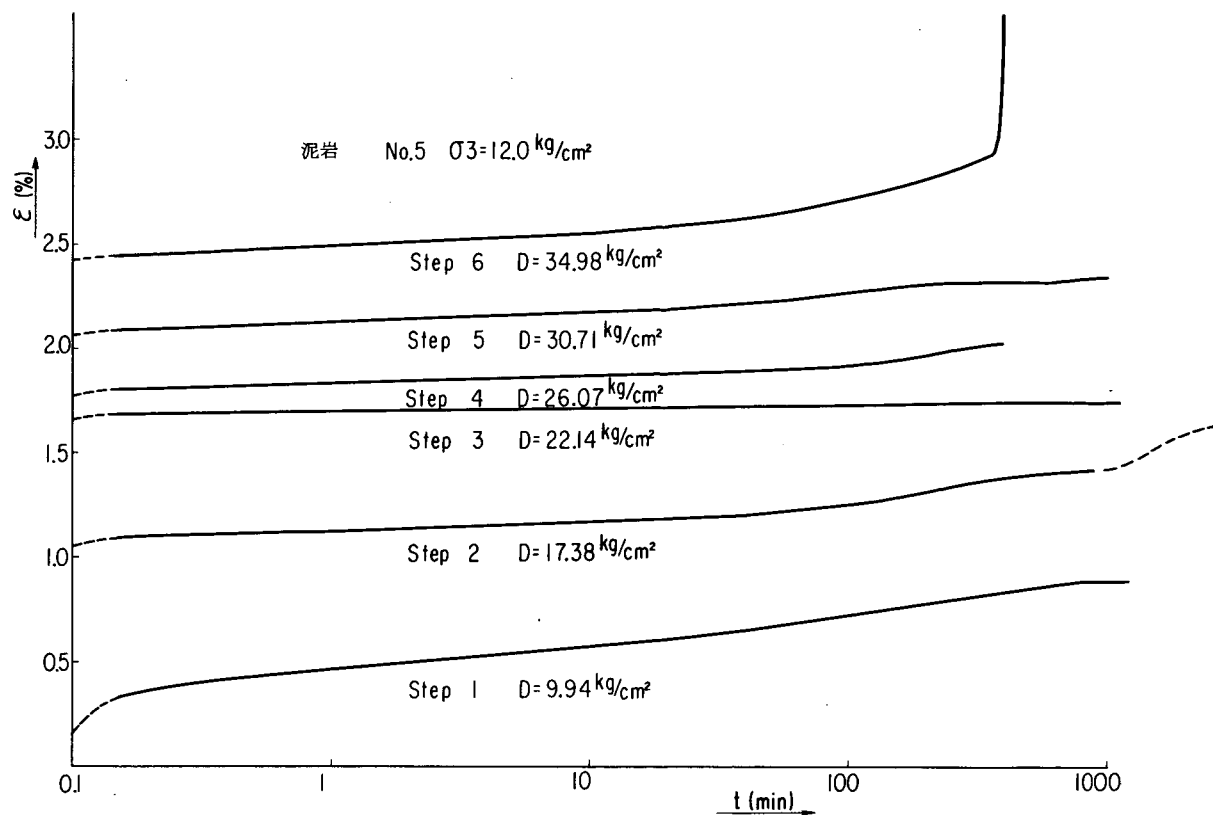


図-21 $\epsilon - \log t$ グラフ

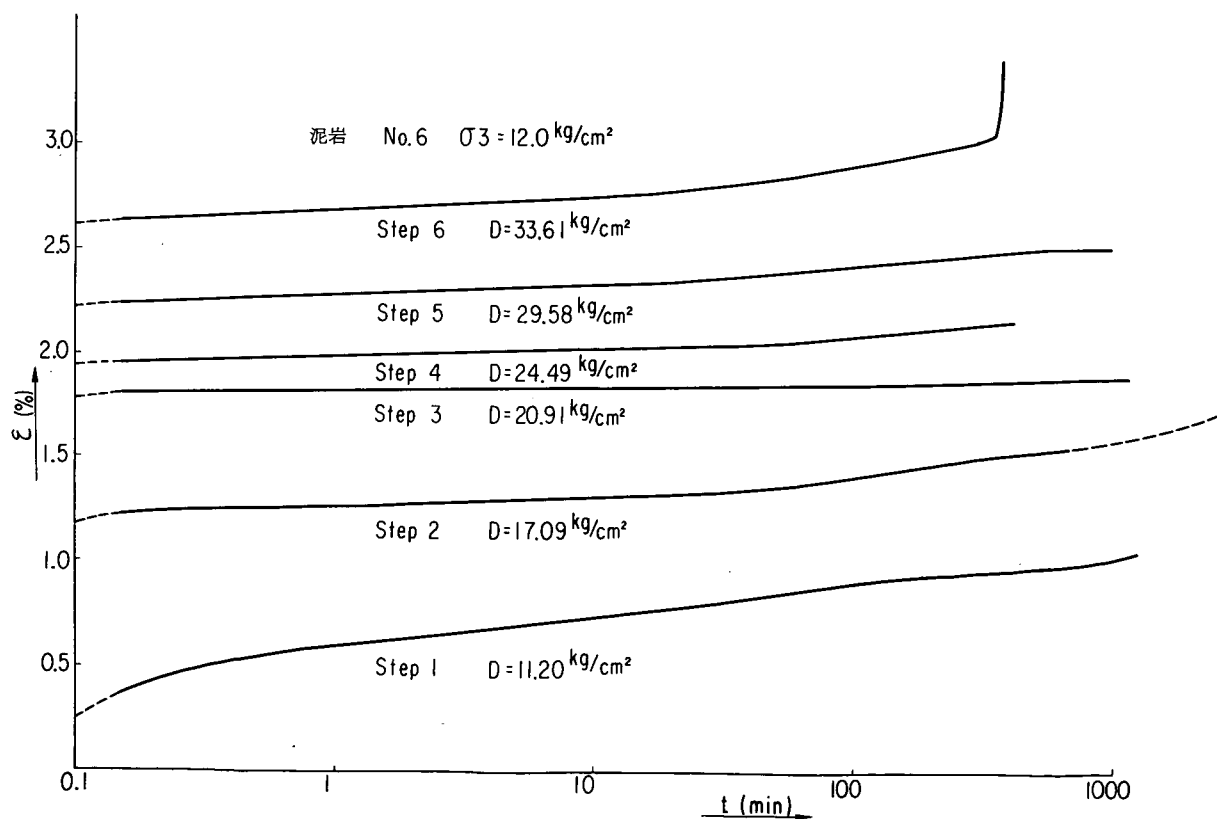


図-22 $\epsilon - \log t$ グラフ

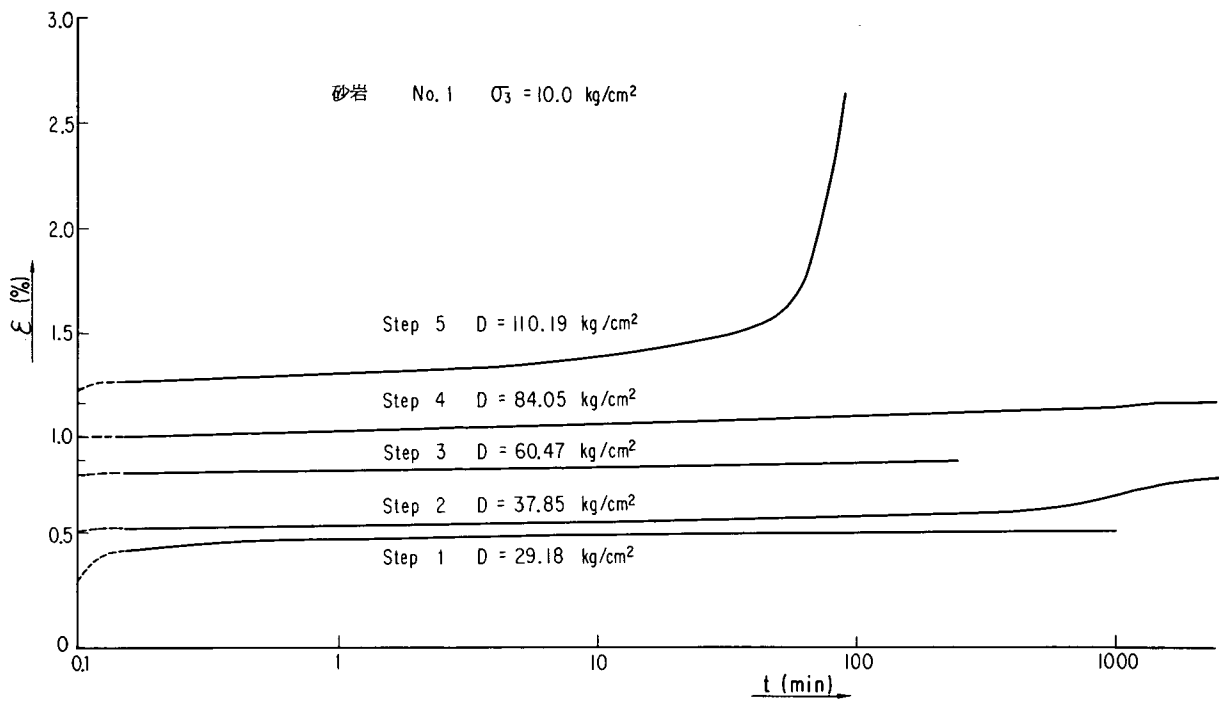


図-23 $\varepsilon - \log t$ グラフ

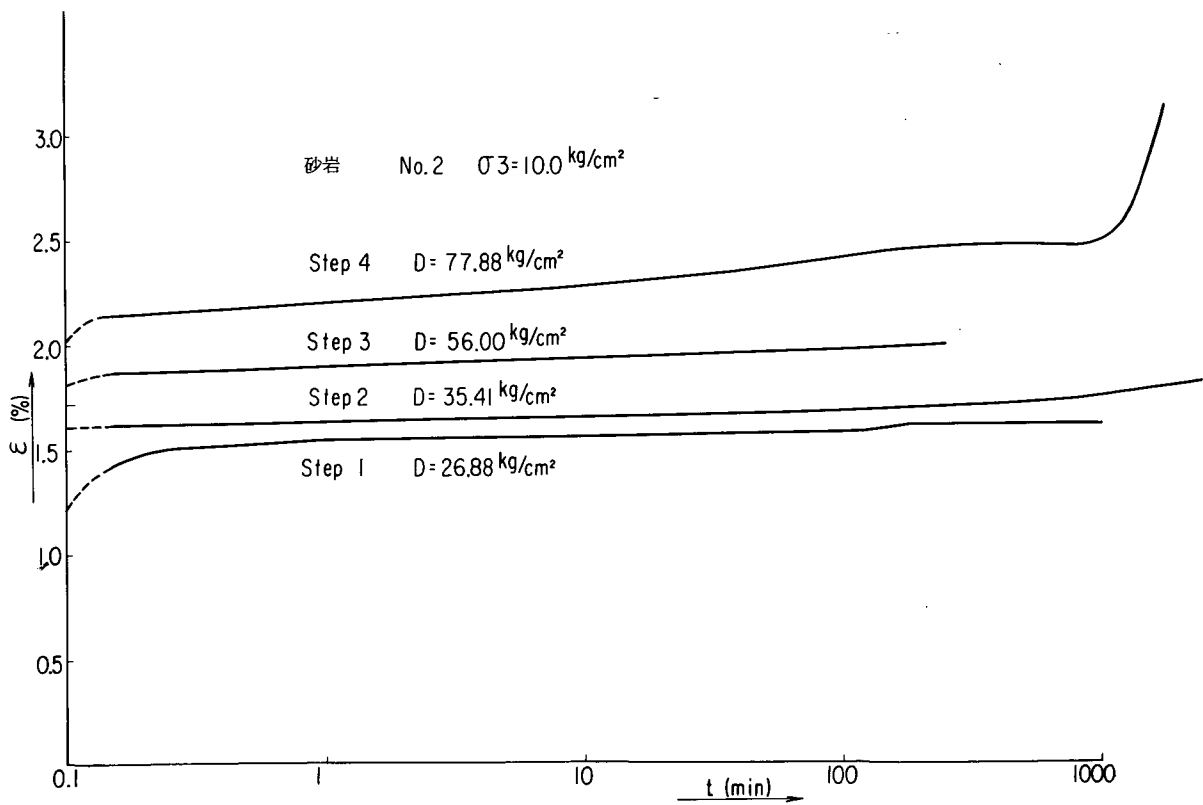


図-24 $\varepsilon - \log t$ グラフ

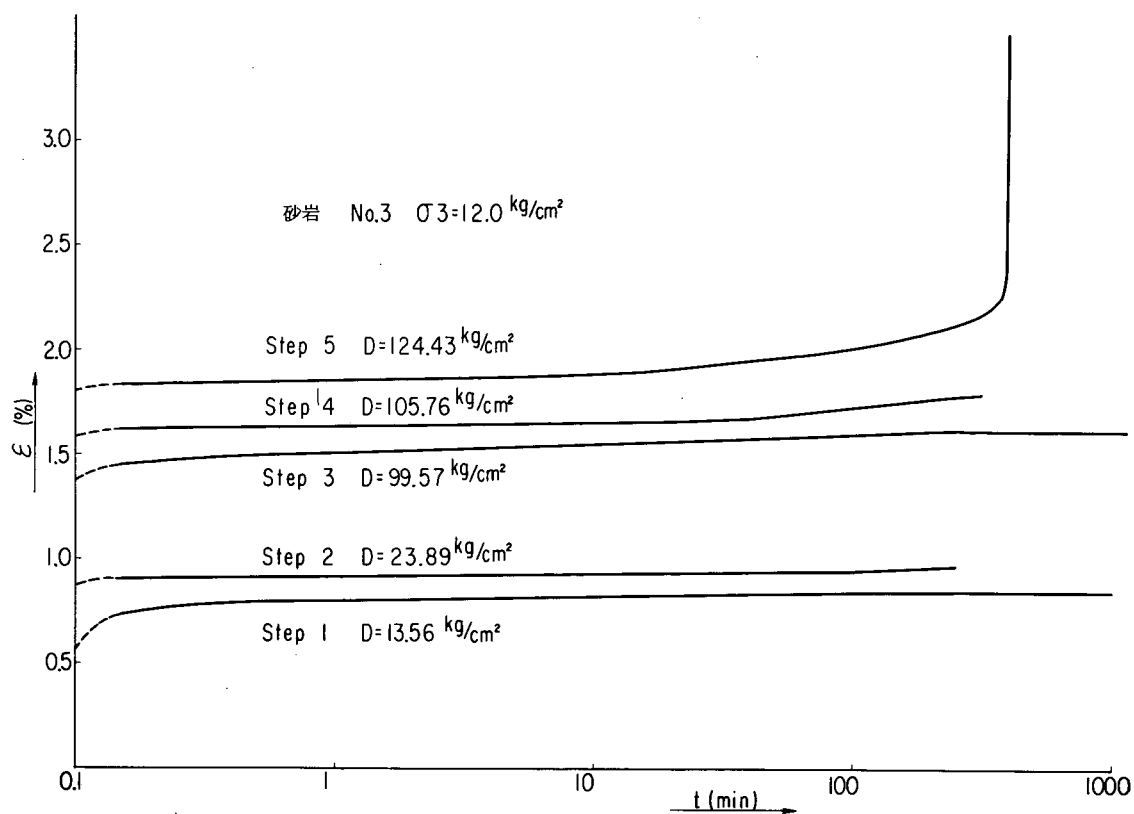


図-25 $\varepsilon - \log t$ グラフ

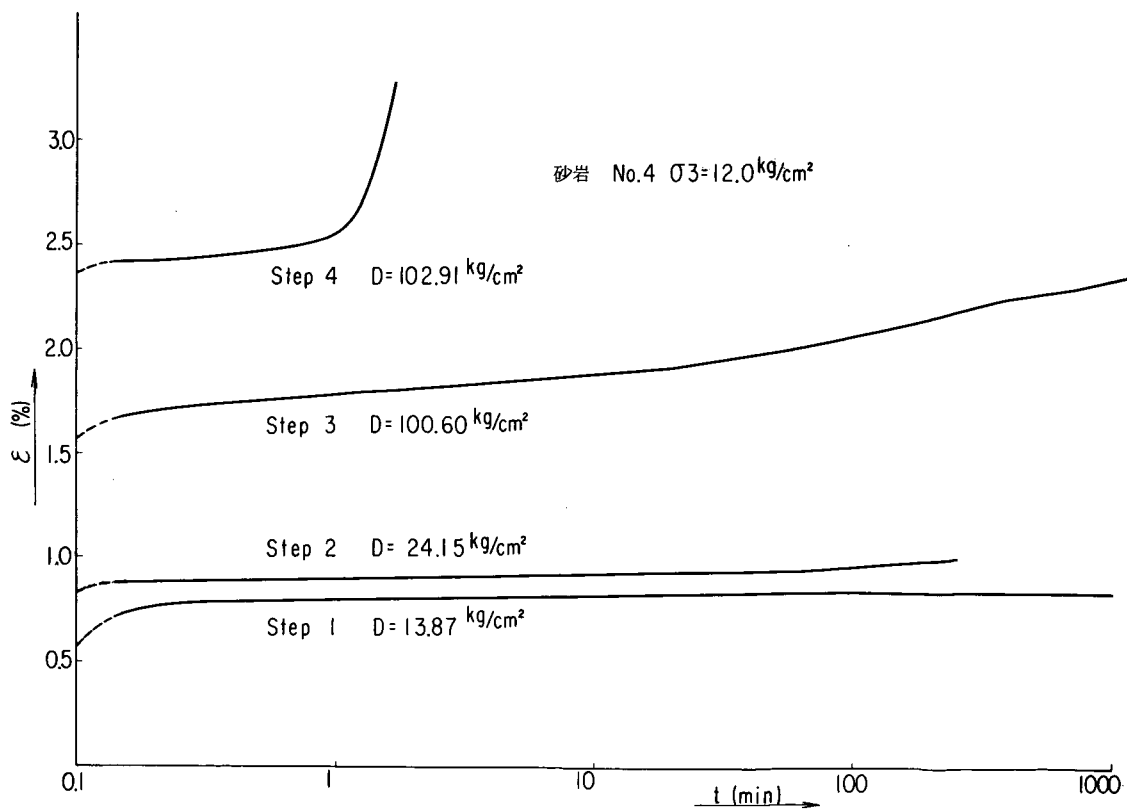


図-26 $\varepsilon - \log t$ グラフ

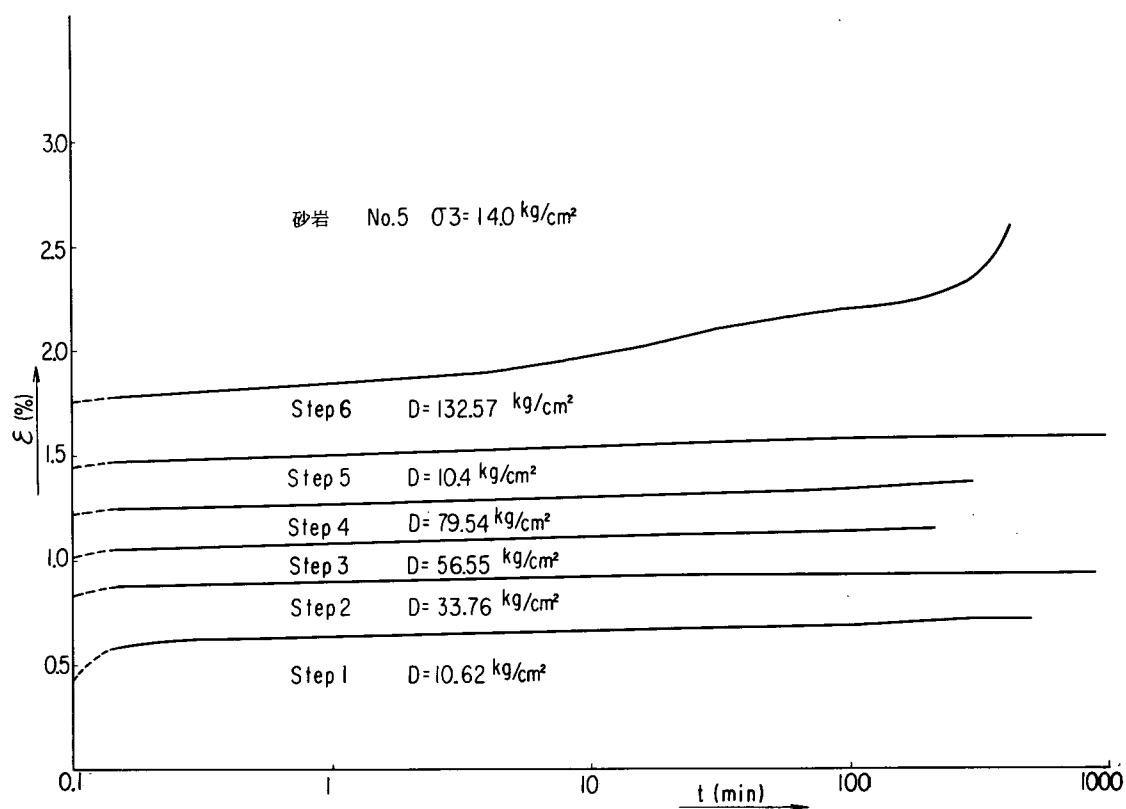


図-27 $\epsilon - \log t$ グラフ

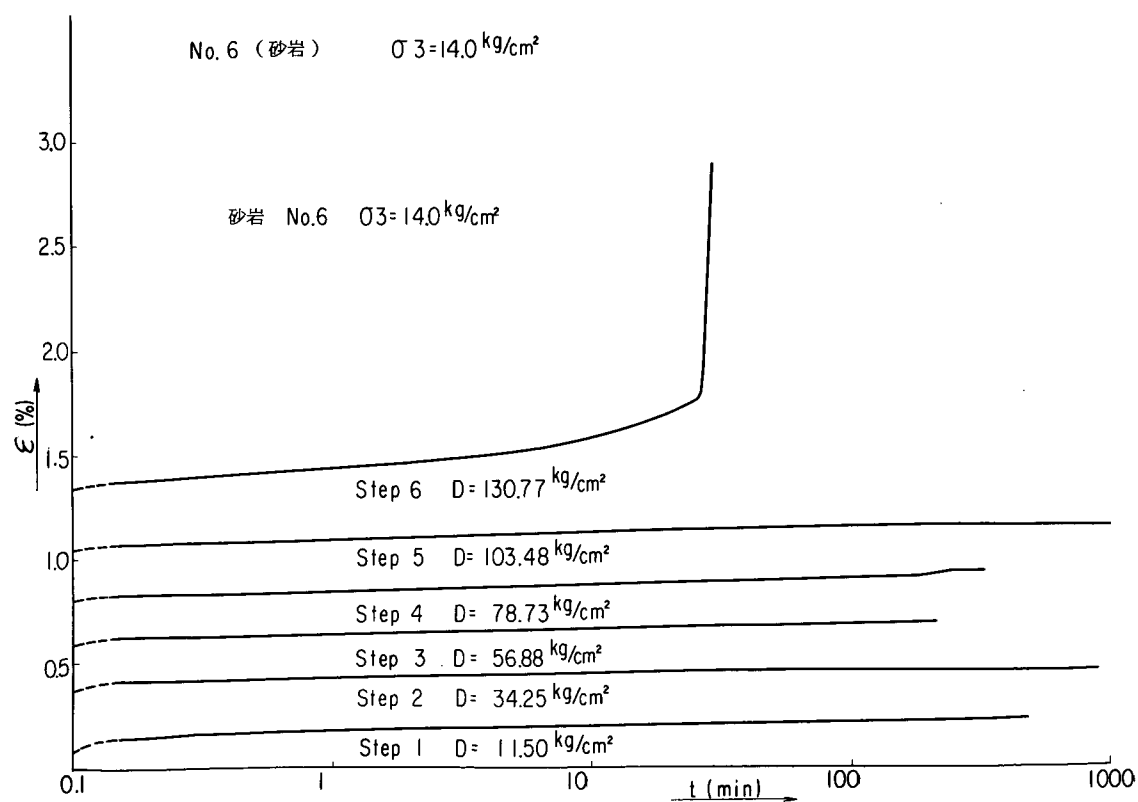


図-28 $\epsilon - \log t$ グラフ

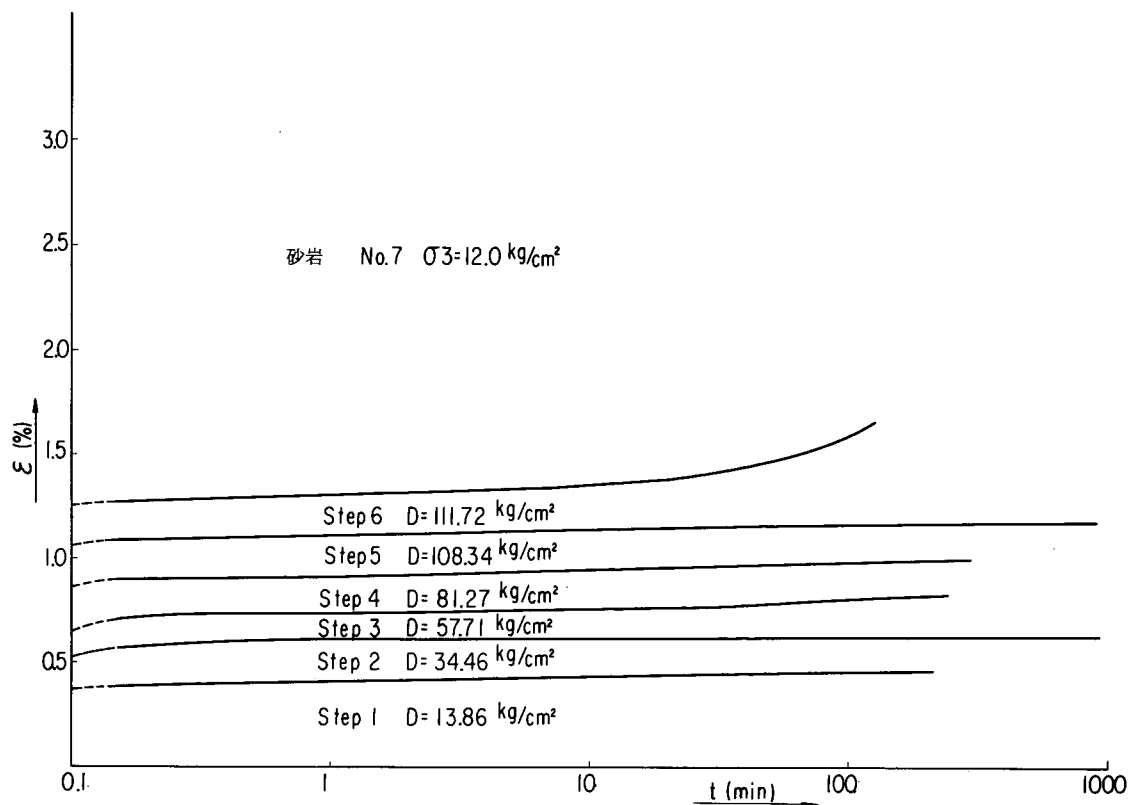


図-29 $\varepsilon - \log t$ グラフ

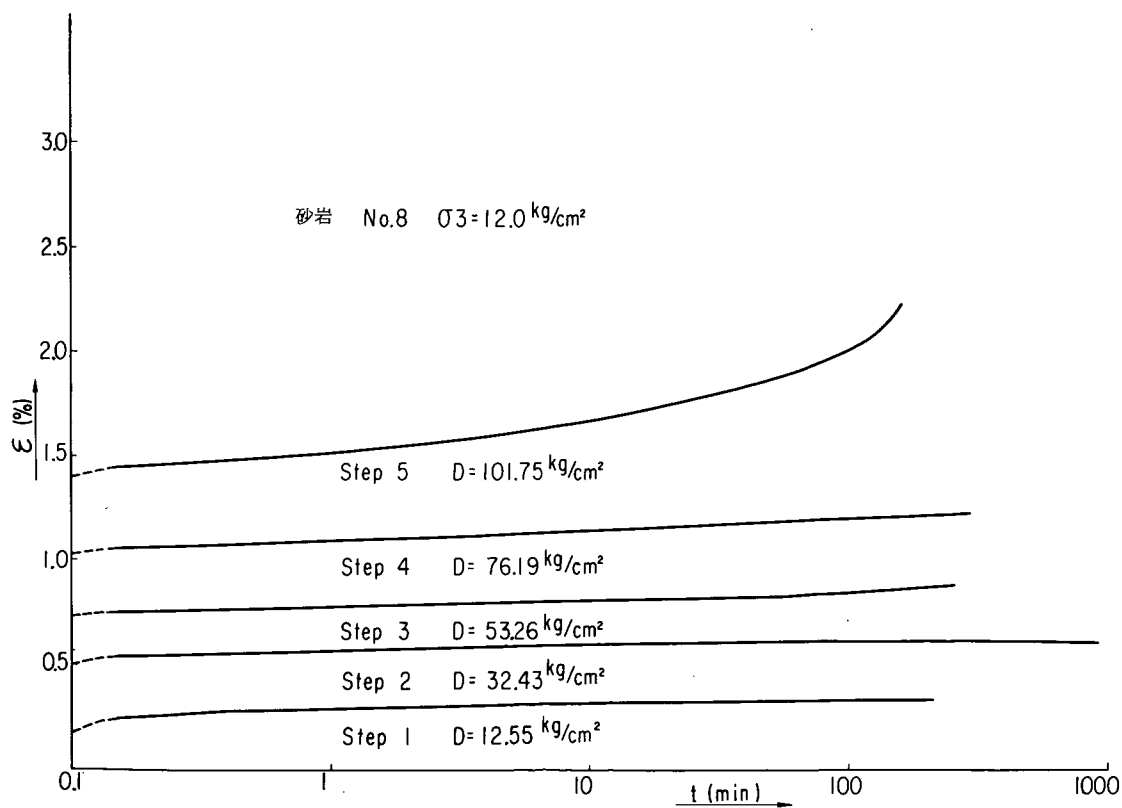


図-30 $\varepsilon - \log t$ グラフ

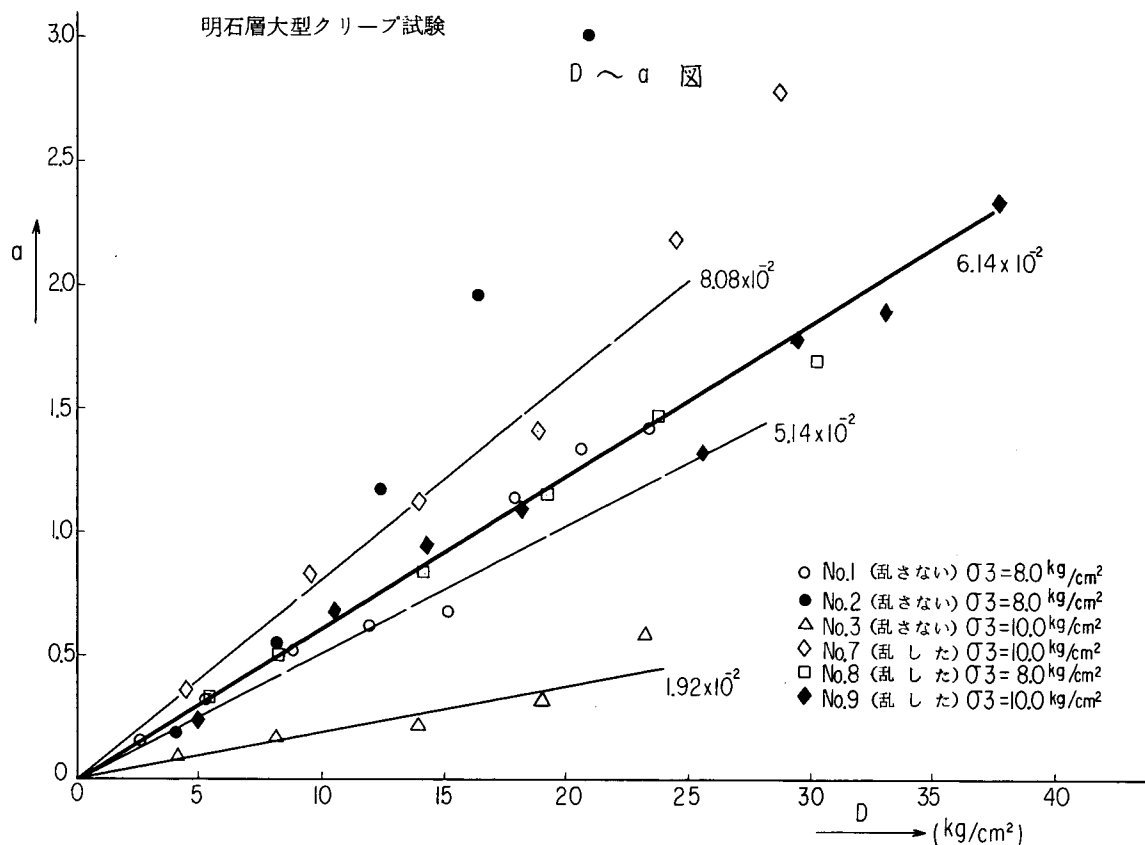


図-32 クリープ定数 a と軸差応力 D の関係

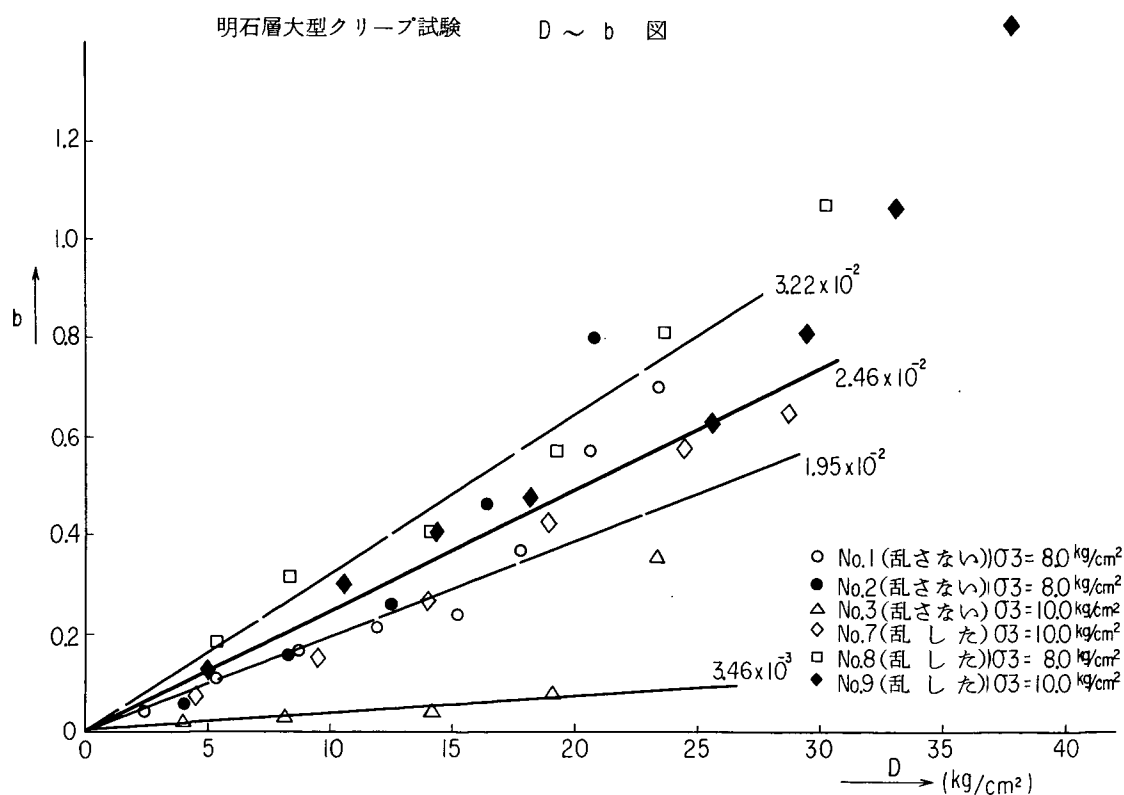


図-33 クリープ定数 b と軸差応力 D の関係

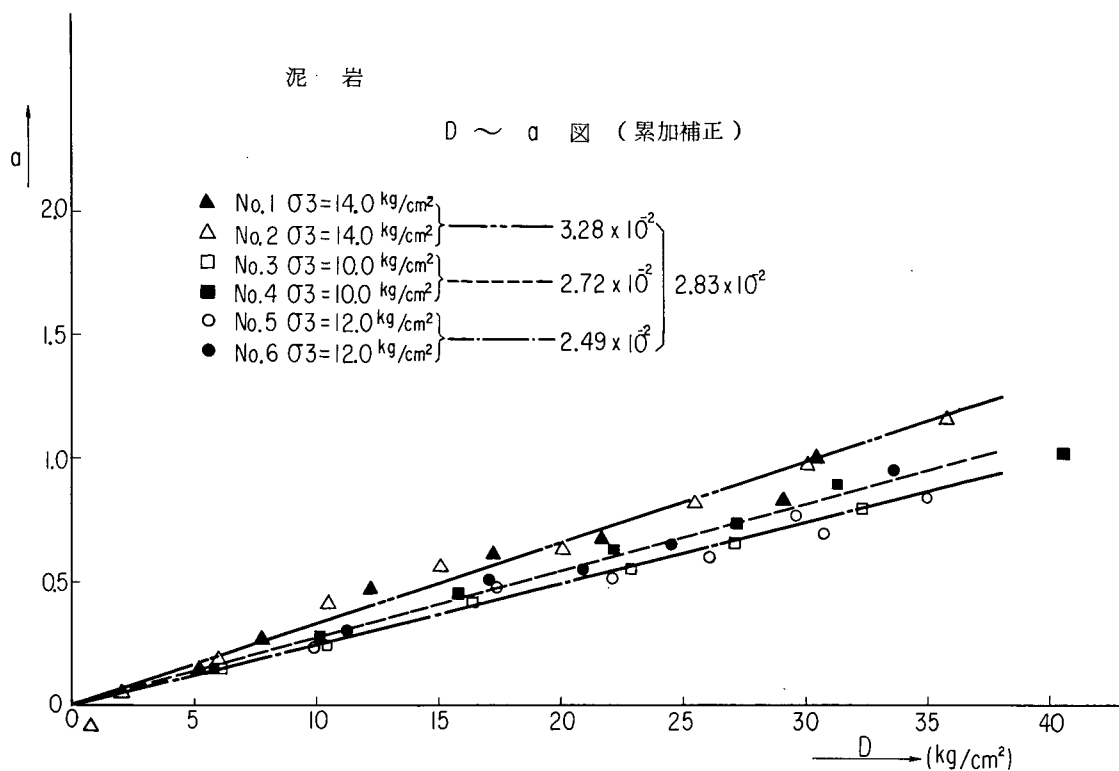


図-34 クリープ定数 a と軸差応力 D の関係

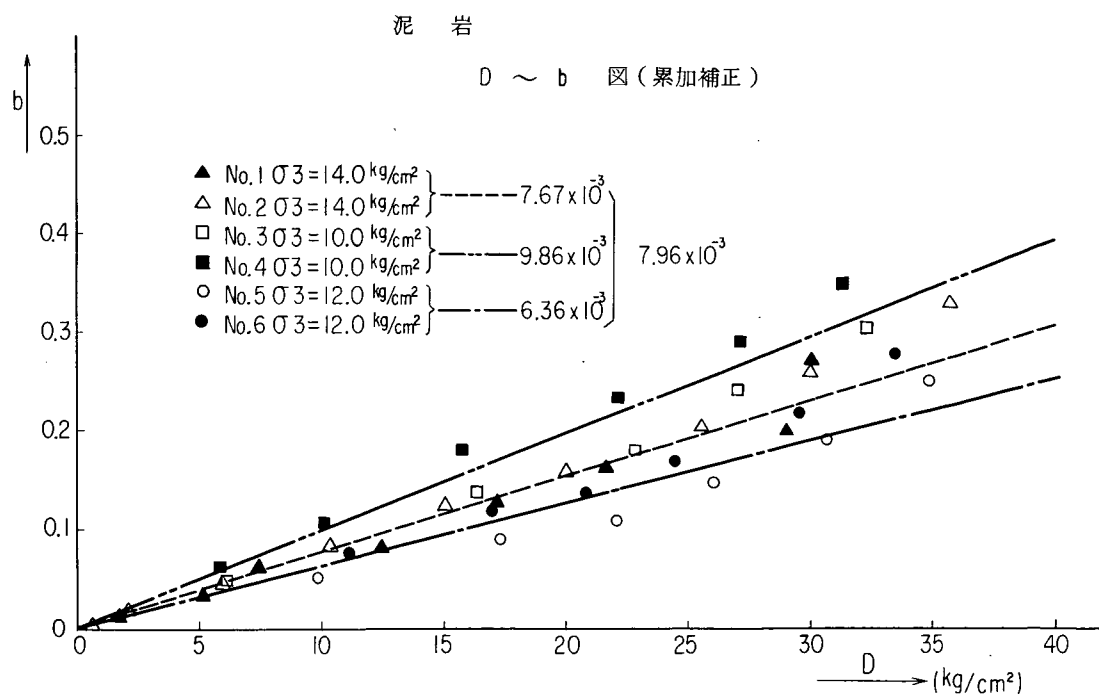


図-35 クリープ定数 b と軸差応力 D の関係

砂 岩

D ~ a 図 (累加補正)

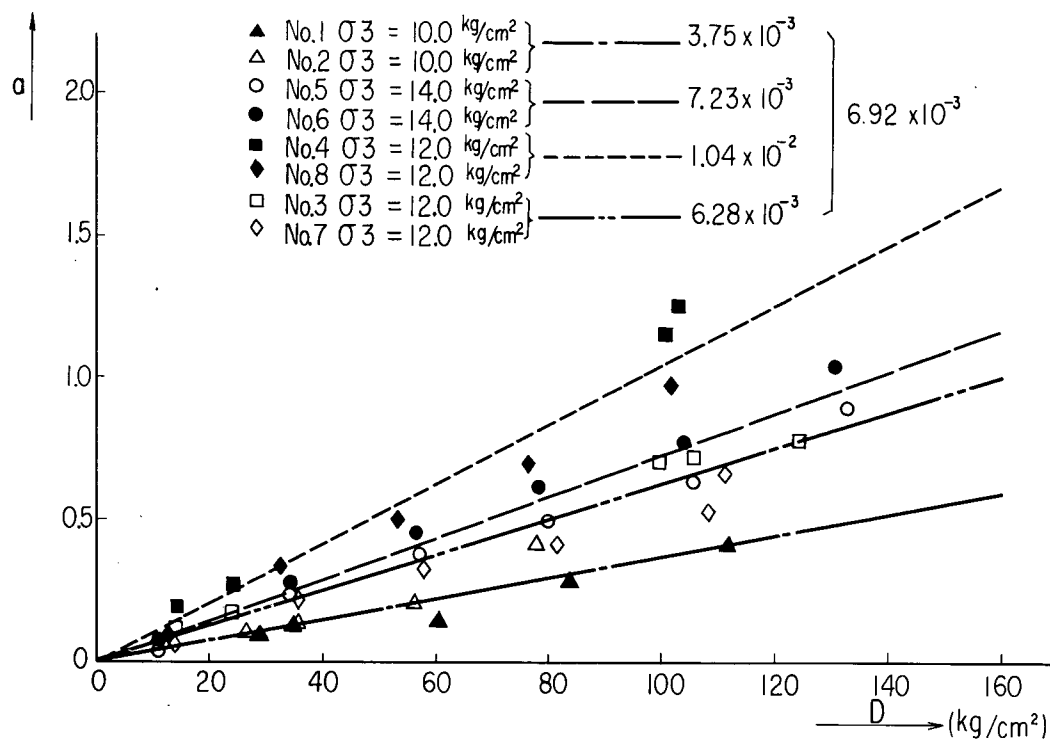


図-3 6 クリープ定数 a と軸差応力 D の関係

砂 岩

D ~ b 図 (累加補正)

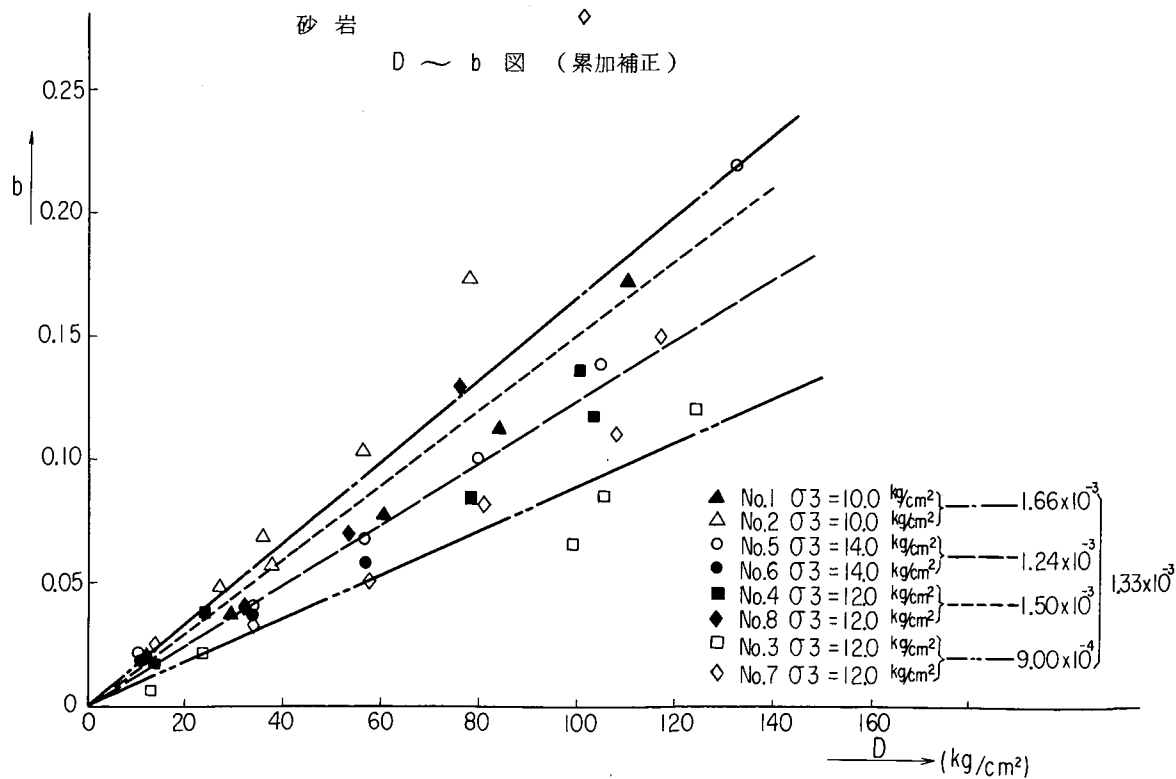


図-3 7 クリープ定数 b と軸差応力 D の関係

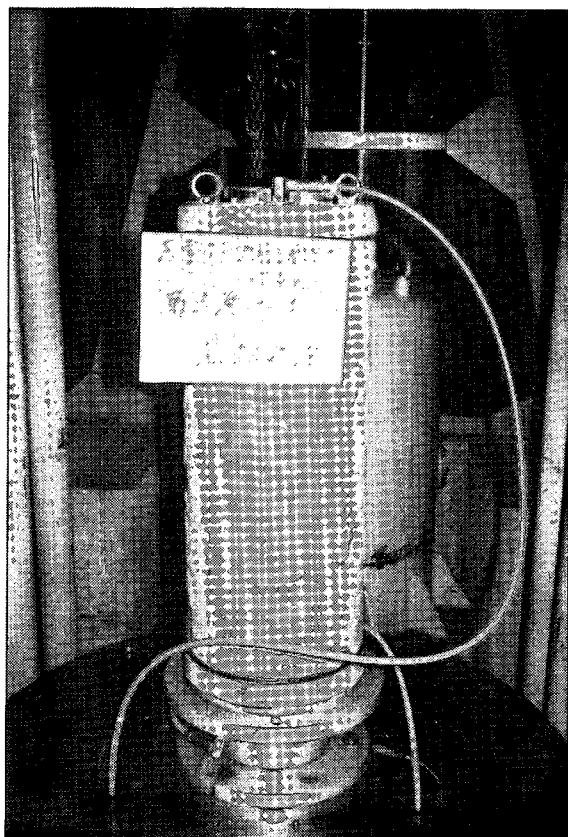


写真-1 大型三軸クリープ試験前

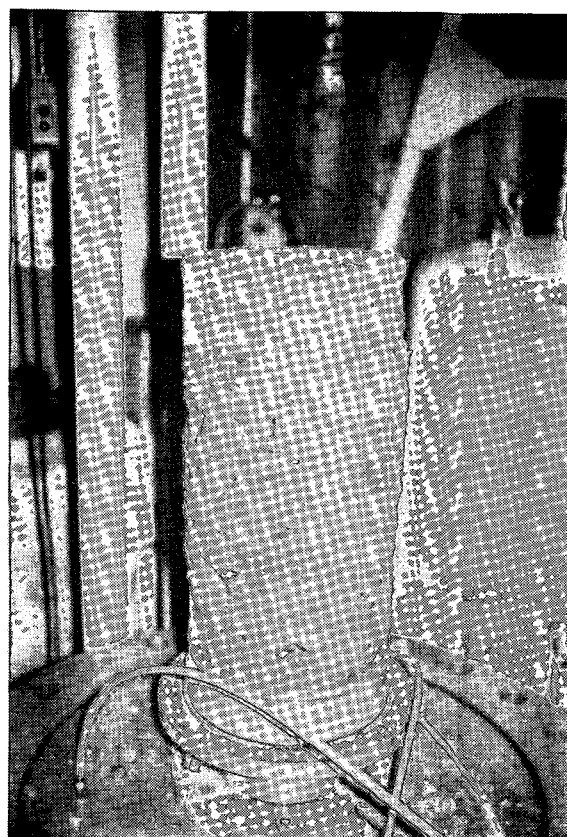


写真-2 大型三軸クリープ試験後

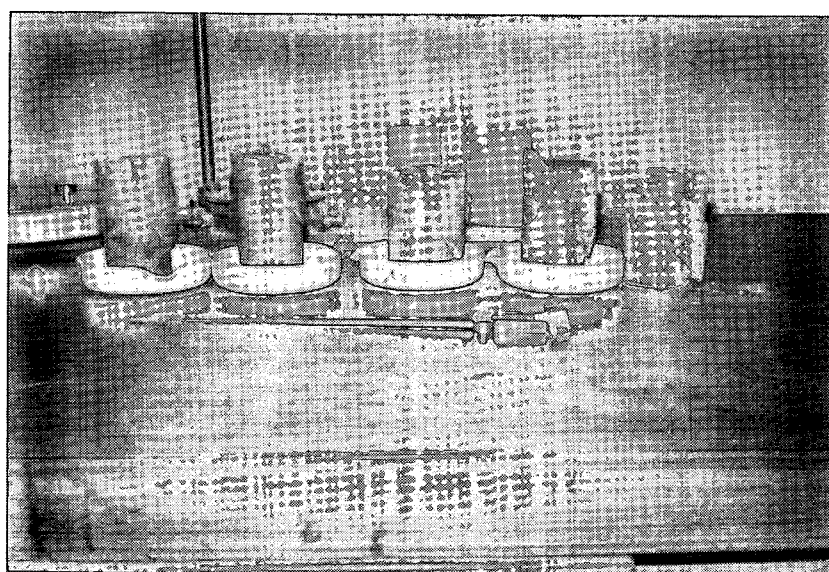


写真-3 泥岩，高圧三軸試験後

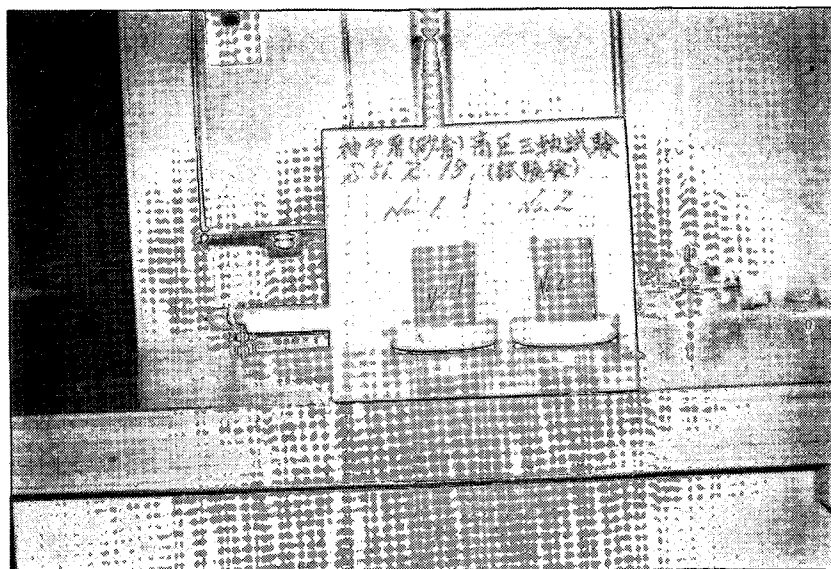


写真-4 砂岩, 高圧三軸試験後

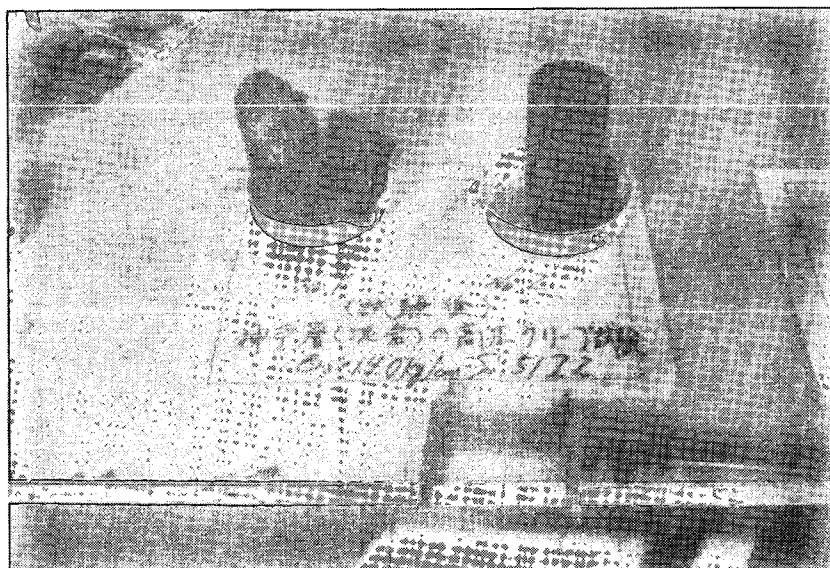


写真-5 泥岩, 高圧三軸クリープ試験後

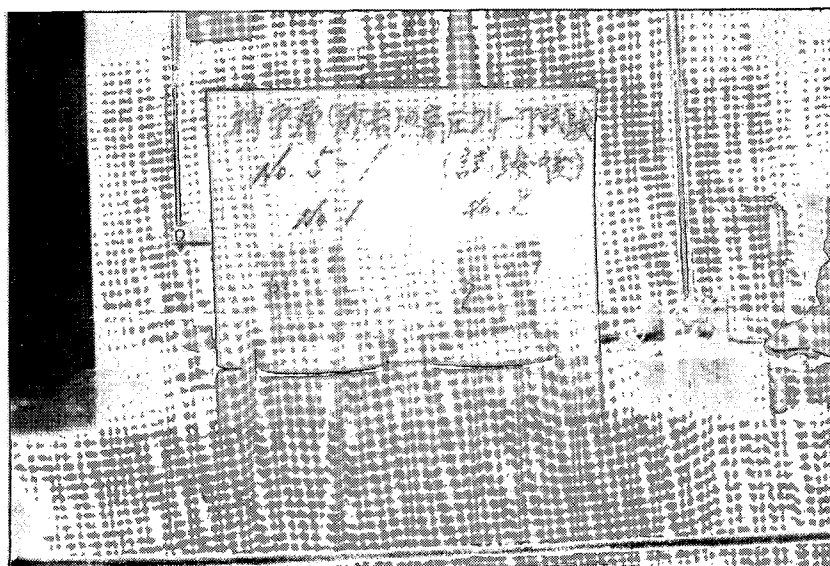


写真-6 砂岩, 高圧三軸クリープ試験後