



土 木 研 究 所 資 料

第 9 1 8 号

平戸大橋平戸側橋台基礎地盤の力学特性

昭和49年 3月

建設省土木研究所

目 次

1. ま え が き	1
2. 試 験 概 要	2
3. 試 験 結 果 と そ の 考 察	3
3-1 試料の一般的性質	3
3-2 砂岩の高圧三軸試験結果	6
3-3 頁岩の高圧三軸試験結果	7
3-4 頁岩のクリープ試験結果	9
4. ま と め	17

1. ま え が き

長崎県平戸大橋（中央スパン465.4m）は昭和44年度よりボーリング調査が開始され、その後各種の調査および設計が進められた結果、昭和48年度に本工事に着工するはこびとなった。

土木研究所基礎研究室では、当初より長崎県の調査に対して種々の技術指導を行ない、昭和46年度からは受託研究として調査の一部を引き受けてきた。

昭和46年度は吊橋基礎の長期安定性に関する検討を行なうため現場より採取した試料を用いた基礎地盤のクリープ特性試験を行ない、昭和47年度は実施設計で決定された最終的な形状寸法を用いてF.E.Mによる地盤の応力状態の解析を行ない安定性を確認した。

昭和48年度はこれらの調査に引き続いて、特に平戸側橋台の基礎地盤（砂岩と頁岩で構成される）を対象として室内試験を行ない、その力学特性についての最終的な検討を行なった。その結果をここに報告する。

昭和49年 3月

基礎研究室

駒 田 敬 一
山 川 朝 生
島 崎 一 男

2. 試験概要

平戸側の地盤構成は図-1に示す通りであり、橋台位置では砂岩と頁岩の互層になっている。平戸側橋台のセット面は最終的には頁岩におくことになったが、今回の調査は頁岩の力学特性（ C 、 ϕ 、クリープ定数）だけでなく、取付部の基礎への適用の意味も含めて、支持面の上に位置する砂岩の力学特性（ C 、 ϕ ）をも対象とした。図-2は砂岩および頁岩のサンプリング位置を示す。試料はいずれもブロックサンプル（砂岩・頁岩とも3ブロックずつ）をとりパラフィンでシールした上で東京まで空輸し、土木研究所基礎研究室の高圧三軸クリープ試験機を使って試験した。

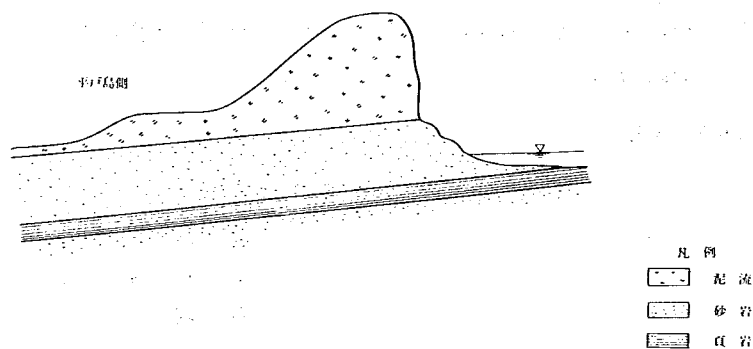


図-1 平戸側基礎地盤

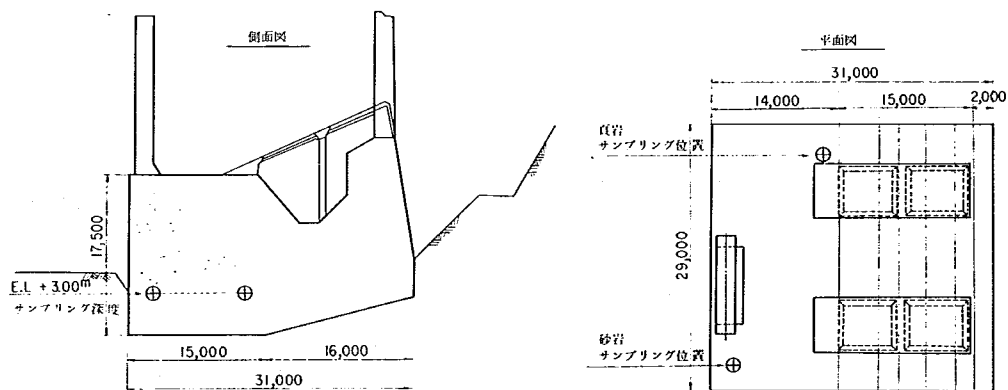


図-2 試料サンプリング位置図

試験内容は下記の通りである。

(1) 砂岩

ブロックより適当な大きさに切り取った塊からトリマーと直ナイフで供試体を作成し、側圧を2、4、5、6、8、10 kg/cm²の6種類に変えて高圧三軸試験（排水試験、ひずみ速度0.4～0.5%/min）を実施した。

(2) 頁岩

ブロックよりコアカッターで供試体を作成し、側圧を2、5、10、20、30、40 kg/cm²の6種類に変えて高圧三軸試験（排水試験、ひずみ速度約0.3%/min）を実施した。その後、この結果をもとに側圧を2～11 kg/cm²に変えて高圧三軸クリープ試験を行なった。各供試体につき、一段階での載荷は、その試料の圧縮量の増分が30分間で1/100 mm以下になるまで測定を継続し、1/100 mm 以下になった段階で次の載荷に移ることを原則とした。ただし、夜間は荷重を載荷したまま放置したので、一部測定時間の長い段階もある。

砂岩・頁岩とも三軸圧縮試験に先立って、すべての供試体について弾性波速度試験（P波、S波速度の測定）を行なった。ただし、砂岩については供試体が弱いためS波測定はできなかった。また物理試験は、すべての供試体について含水量試験（JISA1203）、単位体積重量試験、サンプリング試料の一部を使って土粒子の比重試験（JISA1202）ならびに粒度分析試験（JISA1204）を実施した。

なお、高圧三軸クリープ試験機の仕様およびクリープ試験結果の整理法については末尾に示す参考文献を参照されたい。

3. 試験結果とその考察

3-1 試料の一般的性質

砂岩および頁岩について行なった物理試験の結果を表-1に、弾性波速度試験結果を表-2に示す。図-3は砂岩の粒度分布曲線、図-4は頁岩の粒度分布曲線である。砂岩については各ブロックサンプルについて行なった粒度分析結果がほぼ一致し有意な差はない。ところが頁岩については、高圧三軸試験に用いたブロック（「 κ 1ブロック」と名づける）と高圧クリープ試験に用いたブロック（「 κ 2ブロック」と名づける）との間に、近接してサンプリングしたにもかかわらず明らかな特性の相違が見られる。すなわち κ 1ブロックは κ 2ブロックに比べて粒径が大きく（砂質分が多く）、弾性波速度からもわかるように

表 - 1 物理試験結果

項 目	砂 岩			頁 岩			
	範 囲	平 均	試 験 数	範 囲	平 均	試 験 数	
比 重	2.620	2.620	3	2.653	2.653	1	2
				2.677	2.677	1	
単位体積重量 (g/cm^3)	1.925~2.011	1.968	6	2.227~2.460	2.380	7	16
				2.252~2.332	2.292	9	
乾 燥 密 度 (g/cm^3)	1.741~1.840	1.776	6	2.035~2.350	2.236	7	16
				2.041~2.163	2.094	9	
含 水 比 (%)	9.3~14.6	10.8	6	4.68~9.43	6.53	7	16
				7.13~10.45	9.49	9	
間 隙 比	0.424~0.505	0.476	6	0.129~0.304	0.189	7	16
				0.238~0.312	0.279	9	
飽 和 度 (%)	51.2~77.4	59.3	6	82.4~99.3	93.0	7	16
				80.3~97.8	90.8	9	
粒 度	砂 分 (%)	85~86	3	57	57	1	2
				11	11	1	
	シルト分 (%)	9~10	3	32	32	1	2
				77	77	1	
	粘土分 (%)	4~5	3	11	11	1	2
				22	12	1	
	最大径 (mm)	0.84	3	0.84	0.84	1	2
				0.25	0.25	1	
	60%径 (mm)	0.24	3	0.112	0.112	1	2
				0.052	0.052	1	
	10%径 (mm)	0.034~0.047	3	0.0034	0.0034	1	2
				0.0034	0.0034	1	

※ 頁岩においては、上段が高圧三軸試験用、下段が高圧クリープ試験用の試料である。

表 - 2 弾性波速度測定結果

試 料		P波速度(Km/sec)	S波速度(Km/sec)	単位体積重量 $\gamma t (g/cm^3)$	ポアソン比 ν	ヤング係数 $E (Kg/cm^2)$	せん断弾性係数 $G (Kg/cm^2)$
		平均値. $\bar{P}_v$	平均値. $\bar{S}_v$				
頁 岩	No. 1 ブロック	3.14 ~ 5.16	1.77 ~ 2.46	2.380	0.32	29.1×10^4	11.0×10^4
		4.21	2.15				
	No. 2 ブロック	2.25 ~ 2.52	1.06 ~ 1.48	2.292	0.30	9.79×10^4	3.76×10^4
		2.41	1.28				
砂 岩		0.822 ~ 1.18	—	1.968	—	—	—
		0.976	—				

$$\text{ポアソン比 } \nu = \frac{\frac{P_v^2}{2S_v^2} - 1}{\frac{P_v^2}{S_v^2} - 1}$$

$$\text{ヤング係数 } E = \frac{\gamma t (3P_v^2 - 4S_v^2)}{\left(\frac{P_v^2}{S_v^2} - 1\right)} \times 10^4 \quad (Kg/cm^2)$$

$$\text{せん断弾性係数 } G = \gamma t \cdot S_v^2 \times 10^4 \quad (Kg/cm^2)$$

※頁岩においてNo.1ブロックは高圧三軸用、No.2ブロックは高圧クリープ用の供試体である。

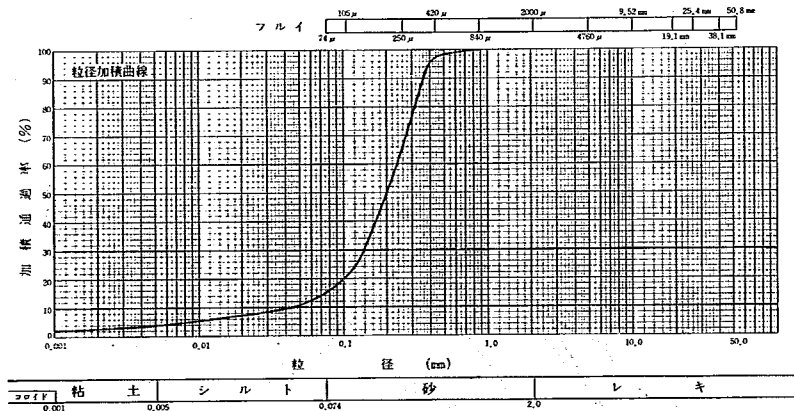


図 - 3 砂岩の粒度分布曲線

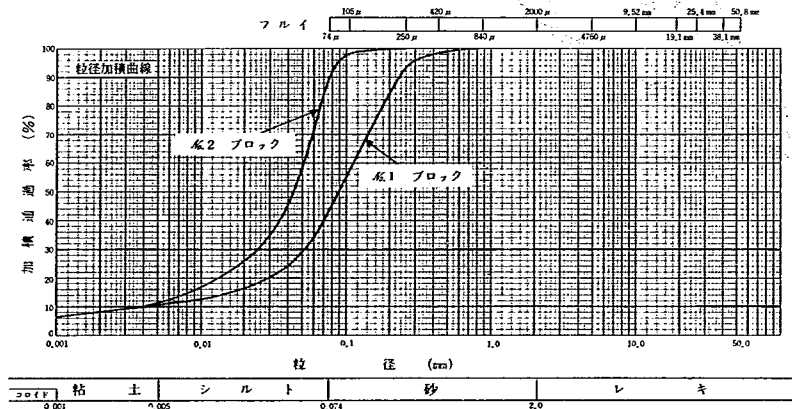


図 - 4 頁岩の粒度分布曲線

強度的にもかなりの開きがある。

3-2 砂岩の高圧三軸試験結果

表-3に砂岩についての高圧三軸試験結果を示し、図-5に主応力差と軸ひずみの関係をグラフ化した。

この結果をモールの応力円表示にしたのが図-6であり、包絡線から平均的な粘着力Cと内部摩擦角 ϕ を読みとると

$$C \div 4.6 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\phi \div 29^\circ$$

となる。

表-3 高圧三軸試験結果

試料分類	試料番号	側圧 (Kg/cm^2)	破壊時の主応力差 (Kg/cm^2)
砂 岩	№1	2.0	18.10
	№2	5.0	28.64
	№3	4.0	20.65
	№4	6.0	30.43
	№5	8.0	31.33
	№6	10.0	32.82

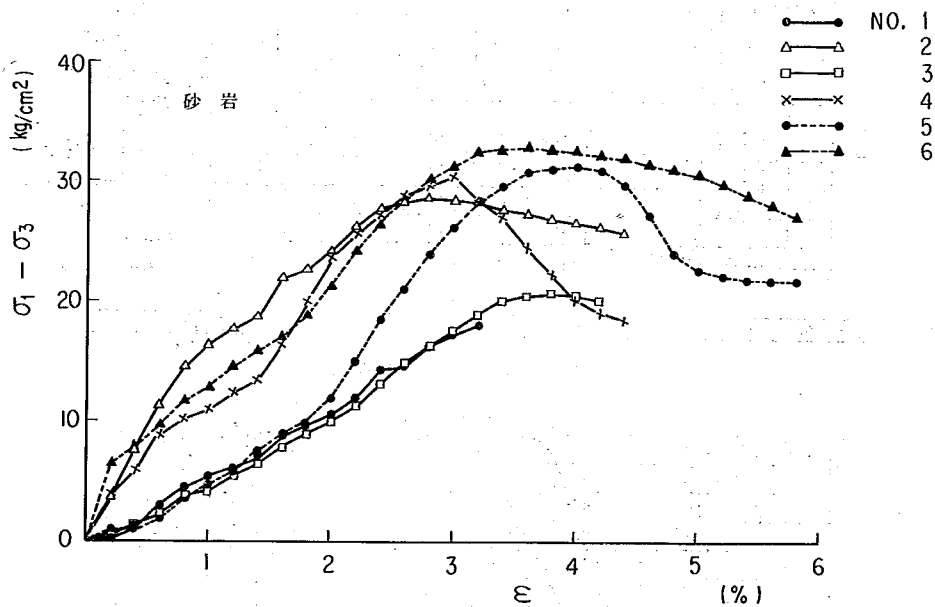


図-5 主応力差と軸ひずみの関係

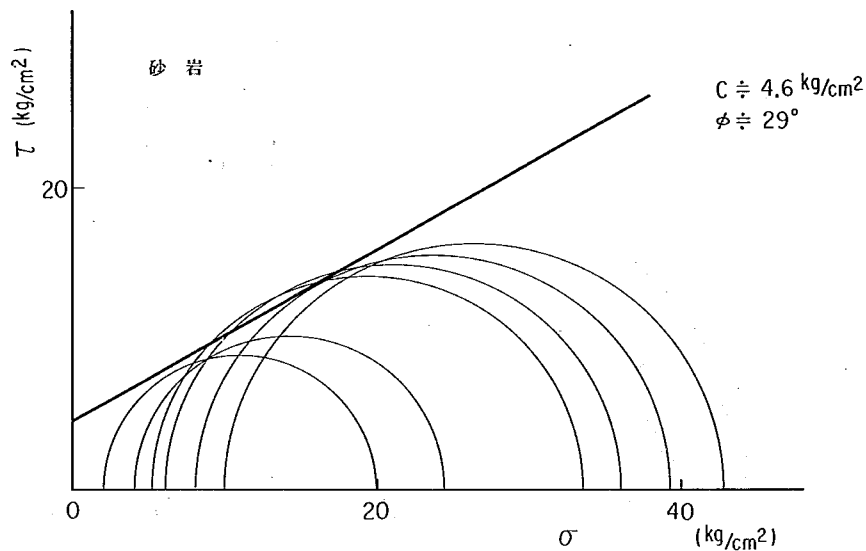


図-6 $\sigma - \tau$ 関係

3-3 頁岩の高圧三軸試験結果

表-4に頁岩についての
高圧三軸試験結果を示し、

図-7に主応力差と軸ひず
みの関係をグラフ化した。

この結果をモールの応力
円表示にしたのが図-8で
あり、包絡線から平均的な
粘着力Cと内部摩擦角 ϕ を
読みとると

$$C \div 2.1 \text{ kg/cm}^2$$

$$\phi \div 4.8^\circ$$

となる。

表-4 高圧三軸試験結果

試料分類	試料番号	側圧 (kg/cm^2)	破壊時の主応力差 (kg/cm^2)	備考
頁岩	№1	2.0	85.63	
	№2	5.0	144.00	
	№3	10.0	200.86	
	№4	15.0	(202.94)	荷重計の容量、限界に達し、中止
	№5	20.5	363.94	
	№6	30.0	284.77	
	№7	40.0	330.16	

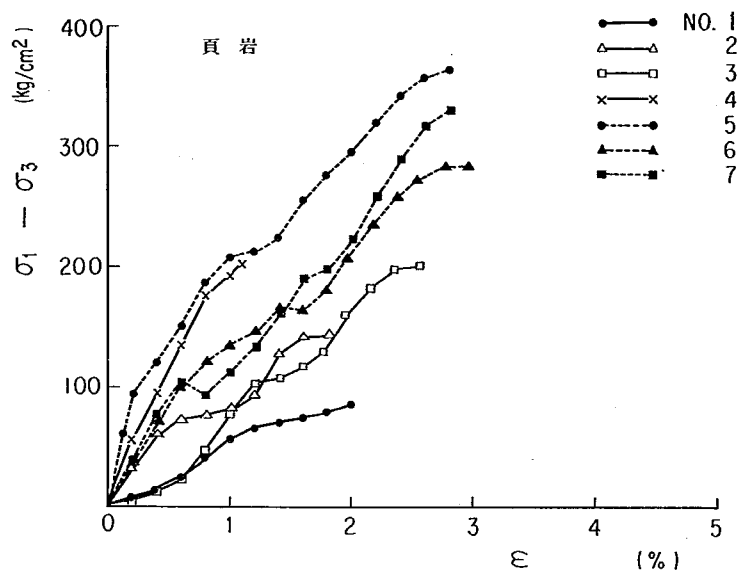


図-7 主応力差と軸ひずみの関係

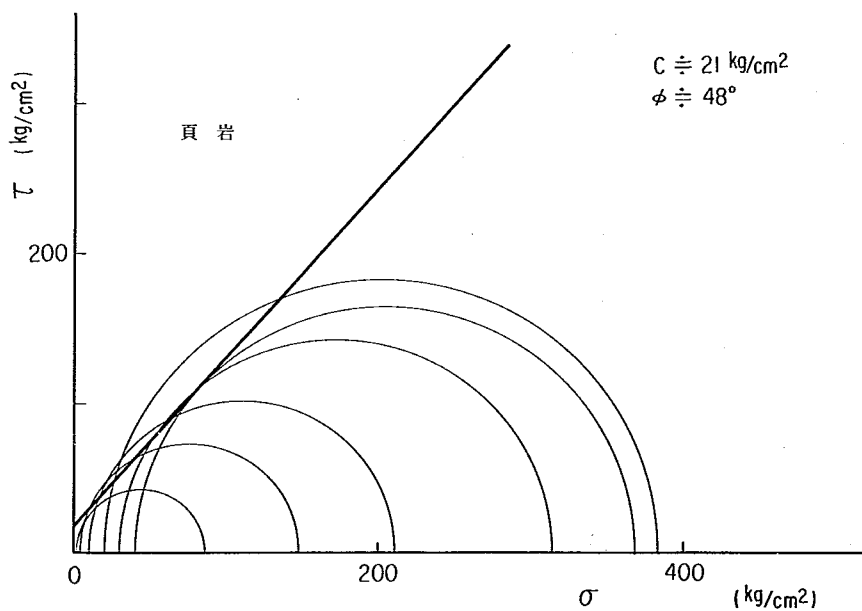


図-8 $\sigma - \tau$ 関係

3-4 頁岩のクリープ試験結果

表-5に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す。ただし、先に述べたように高圧三軸に使った試料とクリープ試験に使った試料との間には物理的な性質の違いが見られるので、表-4

と5の結果を単純に比較することはできない。図-9~17は各試験の各ステップについて経過時間と圧縮ひずみの関係を示す。

軟岩のクリープひずみ ϵ と時間 t とはほぼ対数関係にあることが一般に認められている。ここでは、

$$\epsilon = a + b \log t$$

とおき、試験結果からクリープ定数 a 、 b の算定を行なった。図-9~17に示したクリープ試験結果から、それぞれの軸差応力

表-5 高圧クリープ試験結果

試料分類	試料番号	側圧 (kg/cm ²)	破壊時の主応力差 (kg/cm ²)
頁 岩	№ 1	2.5	42.08
	№ 2	2.0	37.26
	№ 3	6.0	75.67
	№ 4	6.0	91.7
	№ 5	11.3	111.8
	№ 6	11.3	100.26
	№ 7	6.0	61.66
	№ 8	6.0	58.44
	№ 9	9.5	111.18

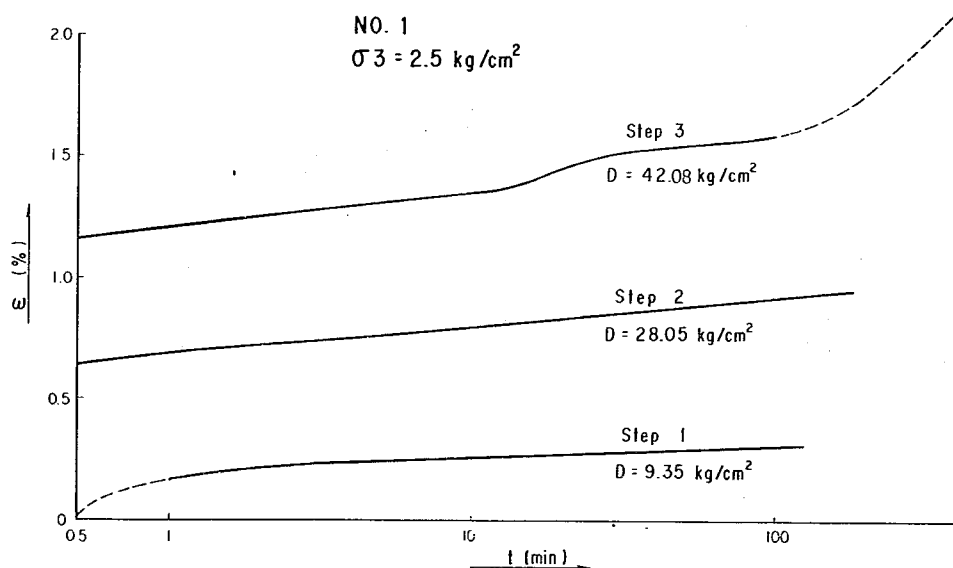


図-9 $\epsilon - \log t$ グラフ

D (kg/cm^2) に対するクリープ定数 a , b を読み取ってプロットしたのが図-18、19 である。両図によると、 a , b とも測圧によって2つの群に分かれる傾向にある。測圧が比較的小さい試料 ($\sigma_3 = 2 \sim 6 \text{ kg}/\text{cm}^2$) については、両図とも上の直線で近似でき、測圧が比較的大きい試料 ($\sigma_3 = 6 \sim 11 \text{ kg}/\text{cm}^2$) については下の直線で近似できる。

以上の結果から、実験的に求めたひずみの推定式は表-6 のようになる。

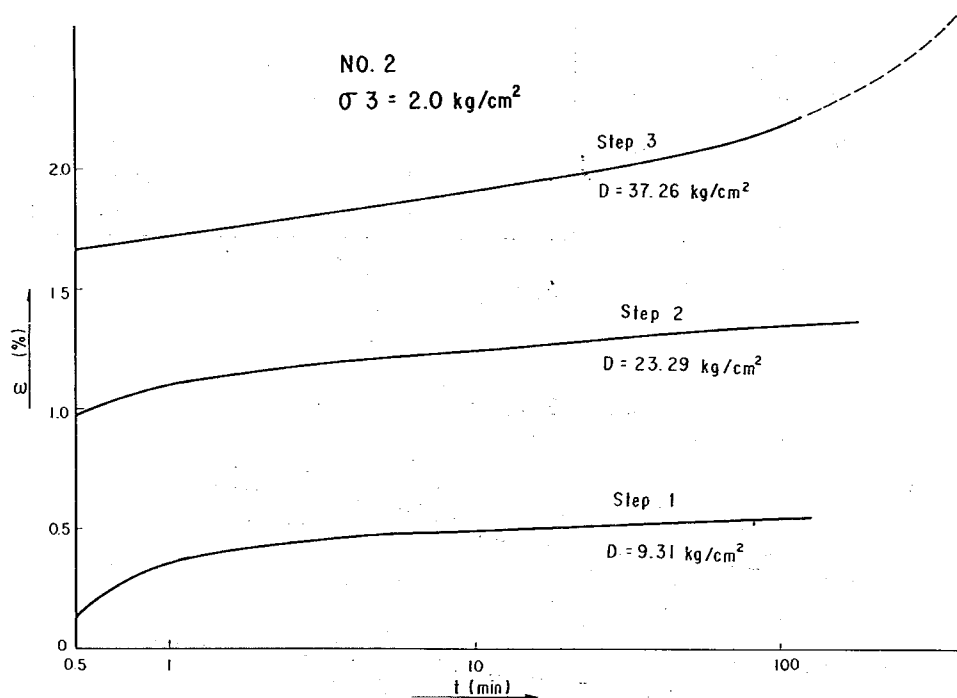


図-10 $\varepsilon - \log t$ グラフ

表 - 6 ひずみに対する実験式 (頁岩)

測圧 (Kg/cm^2)	ひずみ ϵ (%) と 載荷時間 t (分) の関係
2 ~ 6	$\epsilon = 3.3 \times 10^{-2} \times D + 7.3 \times 10^{-3} \times D \log t$
6 ~ 11	$\epsilon = 1.7 \times 10^{-2} \times D + 2.9 \times 10^{-3} \times D \log t$

(注) D は軸差応力 ($\sigma_1 - \sigma_3$)

(Kg/cm^2)

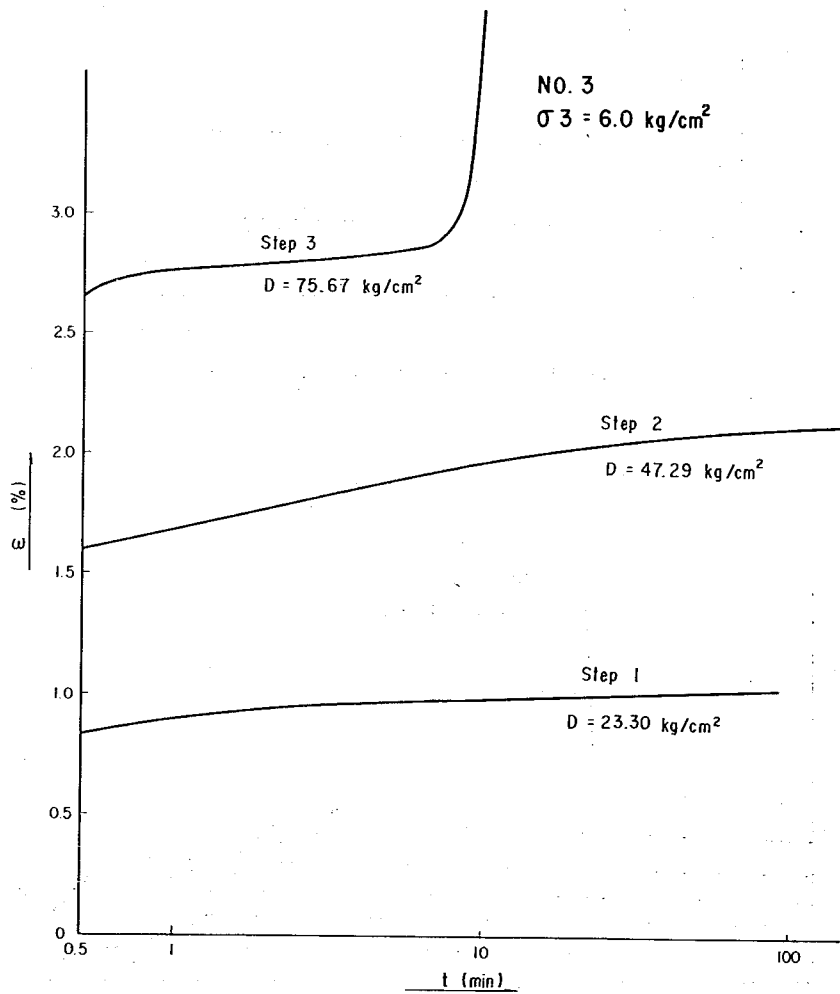


図 - 11 $\epsilon - \log t$ グラフ

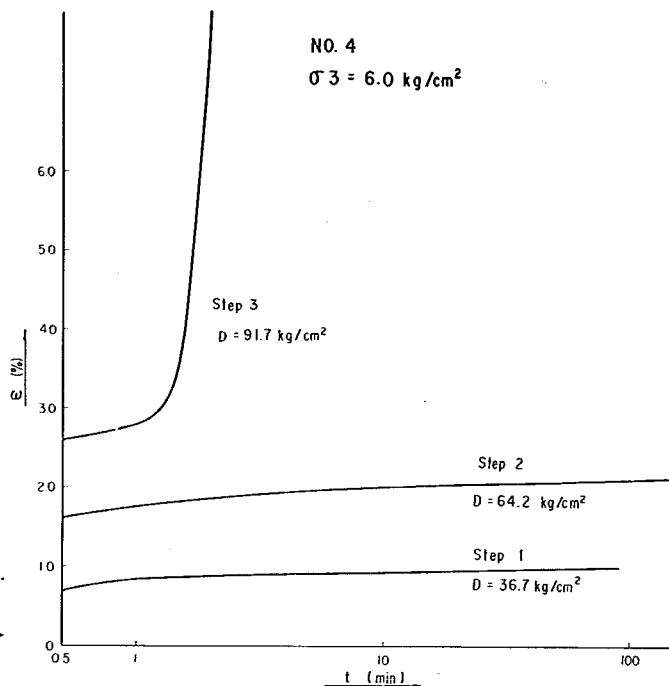


図 - 12 $\varepsilon - \log t$ グラフ

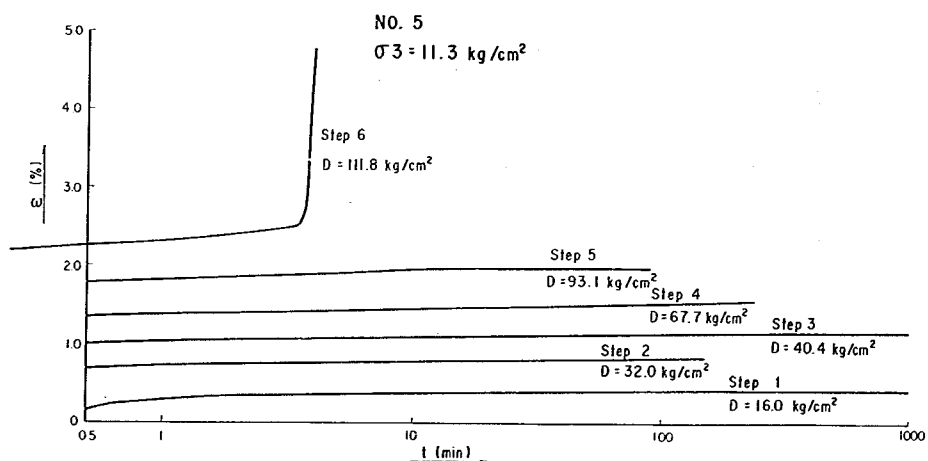


図 - 13 $\varepsilon - \log t$ グラフ

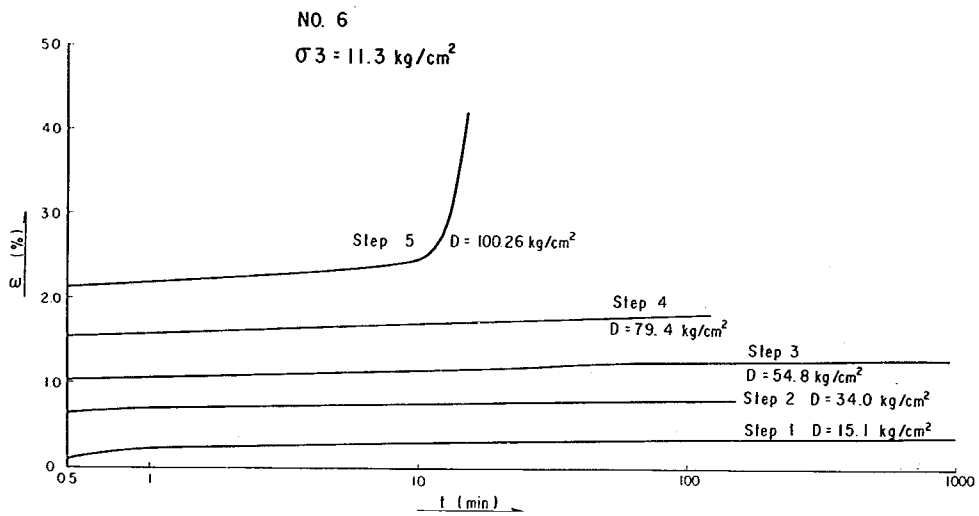


図-14 $\epsilon - \log t$ グラフ

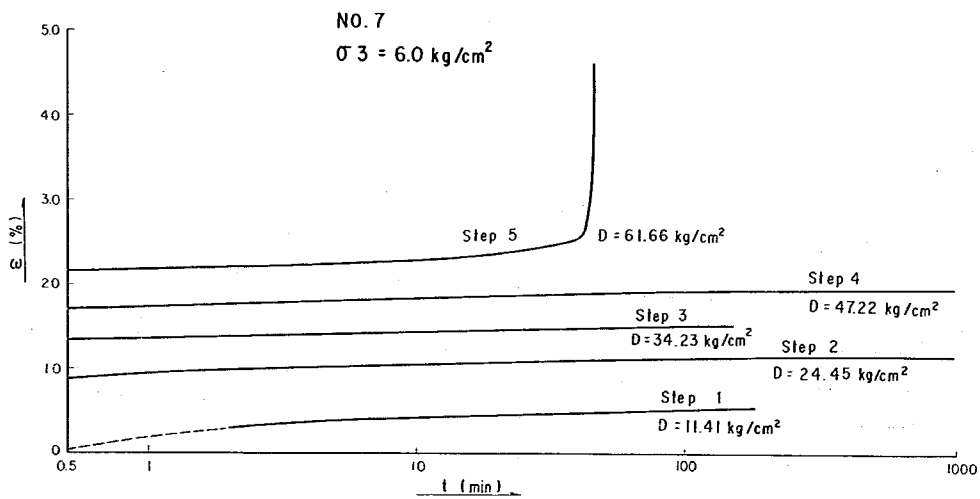


図-15 $\epsilon - \log t$ グラフ

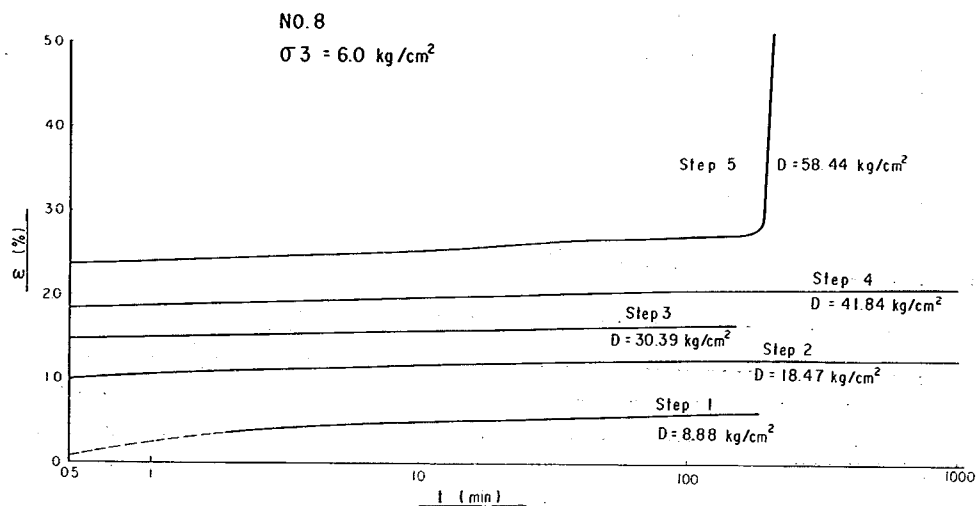


図-16 $\epsilon - \log t$ グラフ

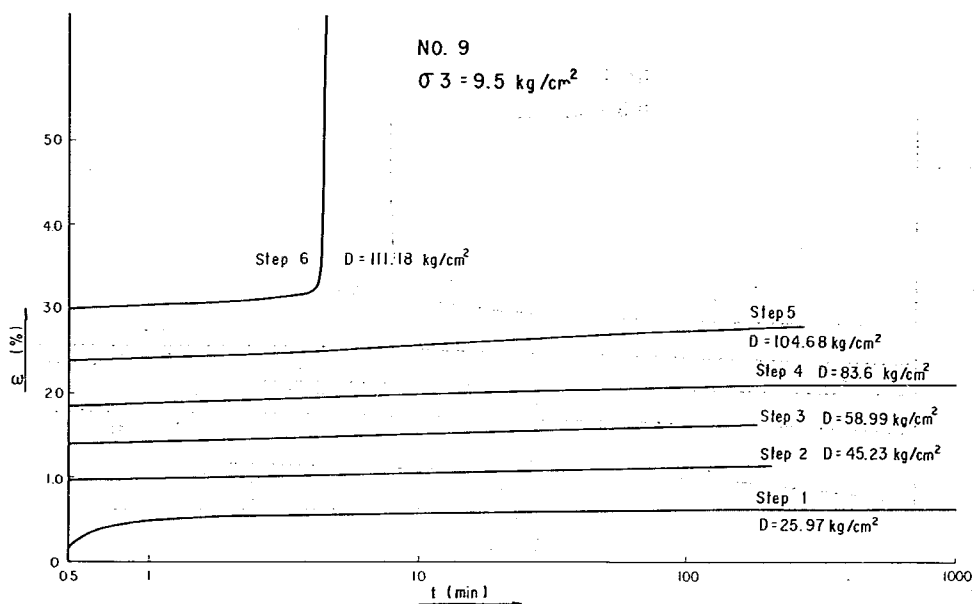


図-17 $\epsilon - \log t$ グラフ

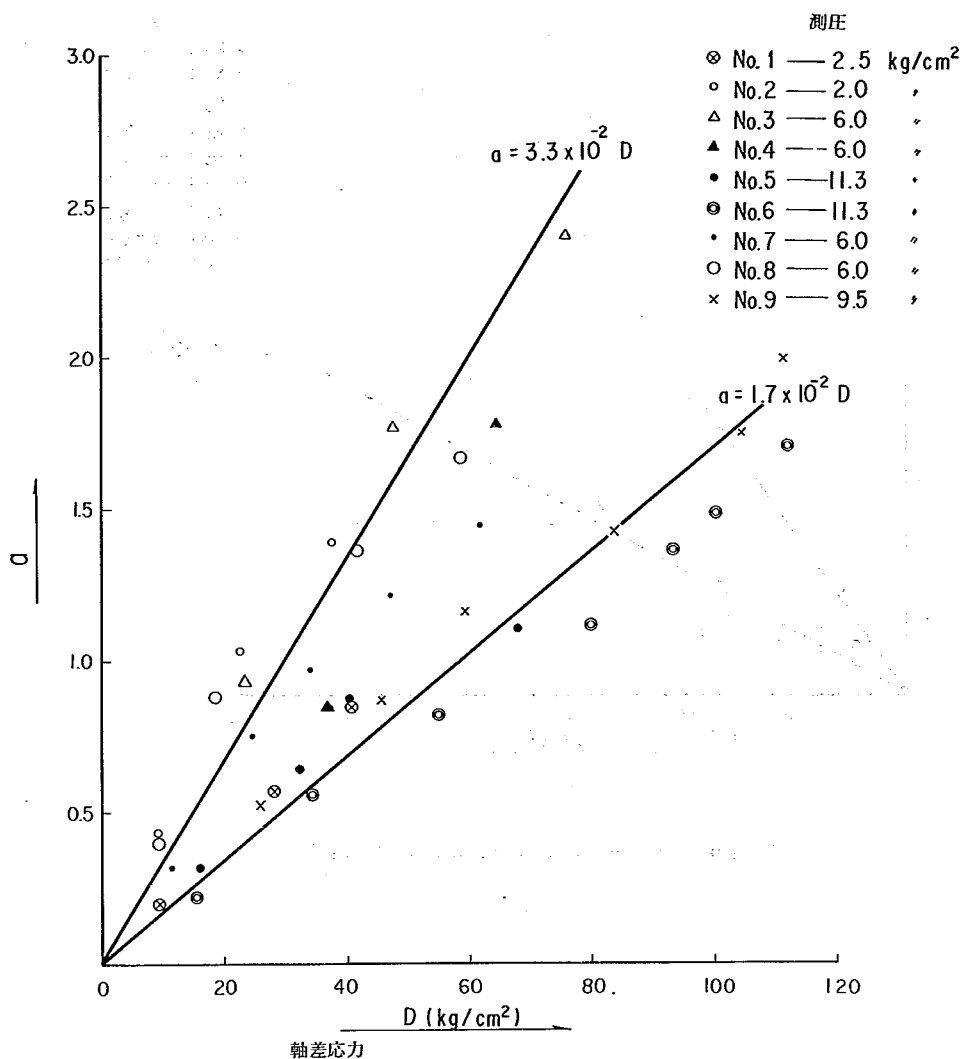


図 - 18 クリープ定数 a と軸差応力 D の関係

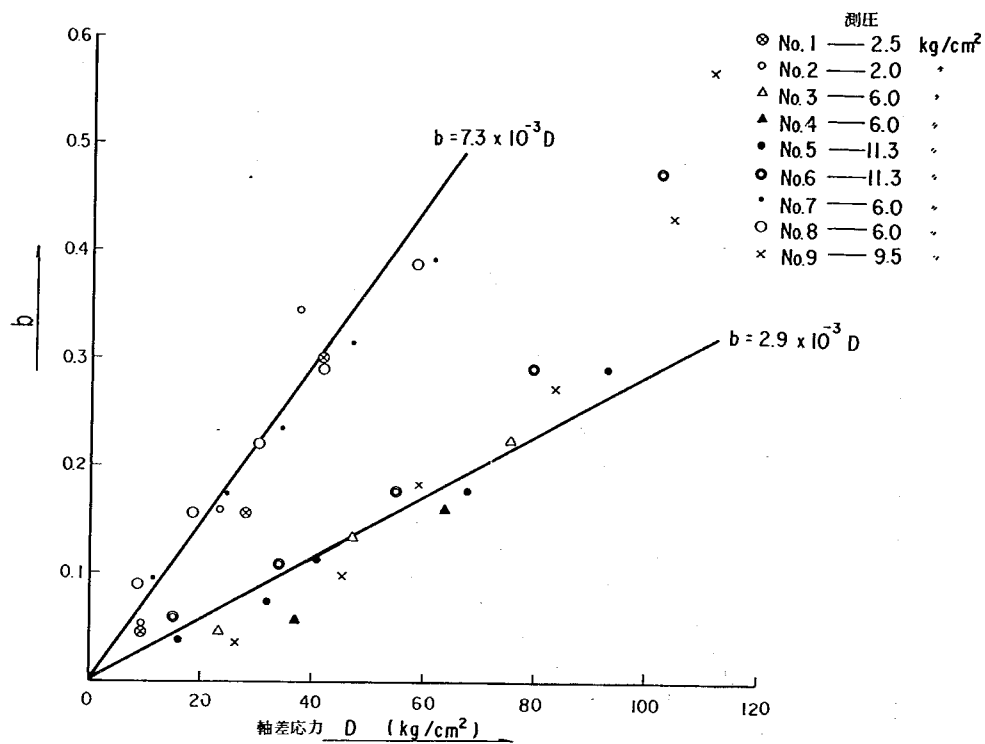


図 - 19 クリープ定数 b と軸差応力 D の関係

4. ま と め

以上の試験の結果、平戸側橋台の支持層である頁岩とその上に位置する砂岩の力学特性として次の点が結論づけられる。

- (1) 高圧三軸試験の結果、粘着力 C と内部摩擦角 ϕ は

$$\text{砂岩で } C \doteq 4.6 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\phi \doteq 29^\circ$$

$$\text{頁岩で } C \doteq 2.1 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\phi \doteq 48^\circ$$

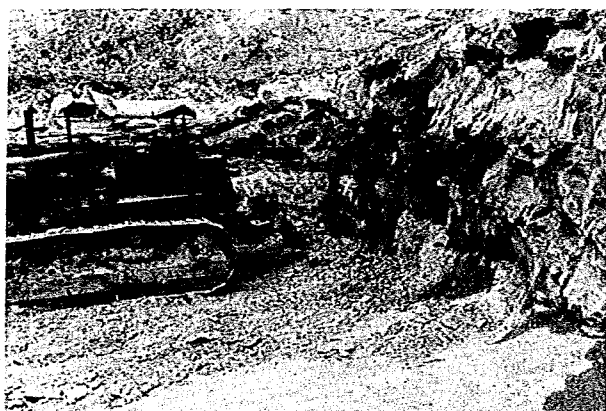
- (2) クリープ試験によって頁岩のクリープ定数を定めた。側圧の大きさによって特性が変化する傾向にあるが、ひずみはほぼ時間の対数に比例して増大し 50 年間のクリープ変形量でも弾性変形量と同程度の大きさであることが推定でき、上部構造に与える影響は小さいと言える。

〔参考文献〕

- (1) 土木研究所資料 723 号 「平戸大橋における地盤のクリープ変形について」建設省土木研究所、昭和 47 年 3 月
- (2) 土木研究所資料 798 号 「平戸大橋における基礎地盤内の心力分布について」建設省土木研究所、昭和 48 年 3 月



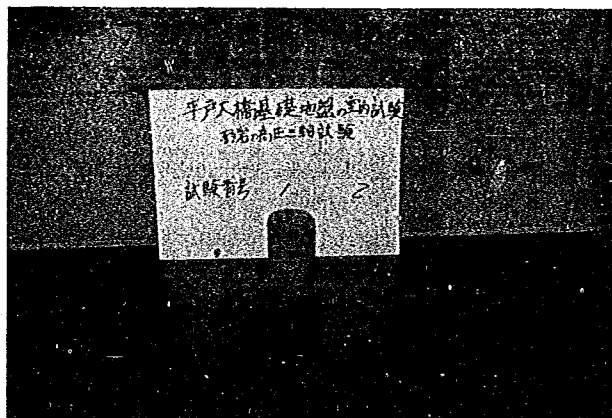
砂岩 試料採取位置



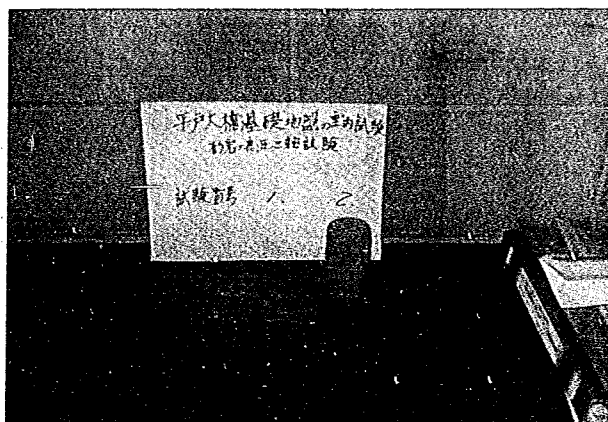
頁岩 試料採取位置

砂岩の高圧三軸試験 試験後

試験番号 1

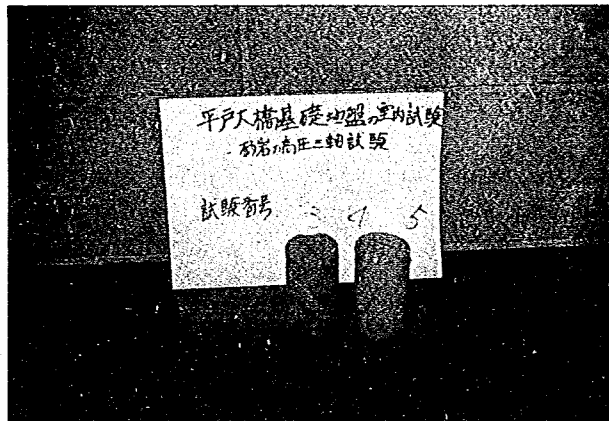


試験番号 2

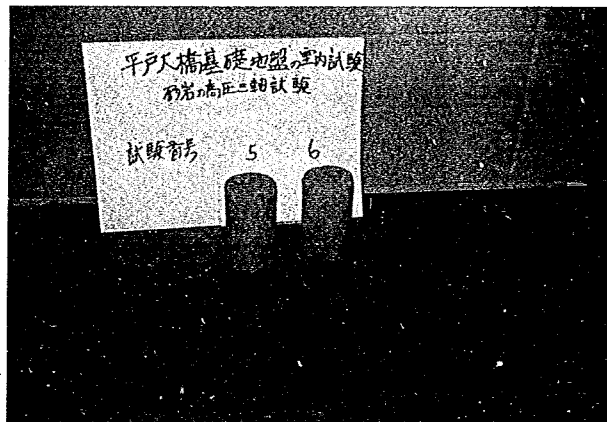


砂岩の高圧三軸試験 試験後

試験番号 3.4

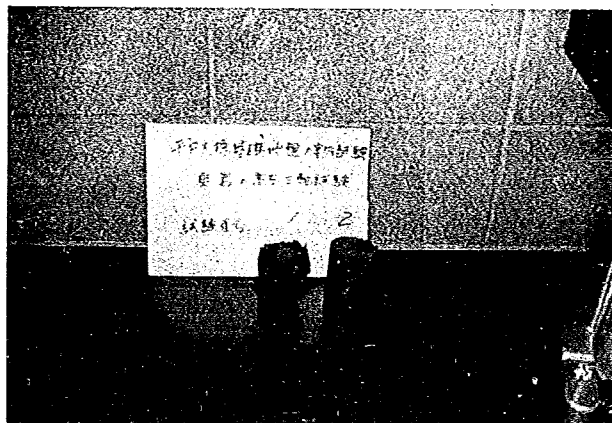


試験番号 5.6



頁岩の高圧三軸試験 試験後

試験番号 1. 2

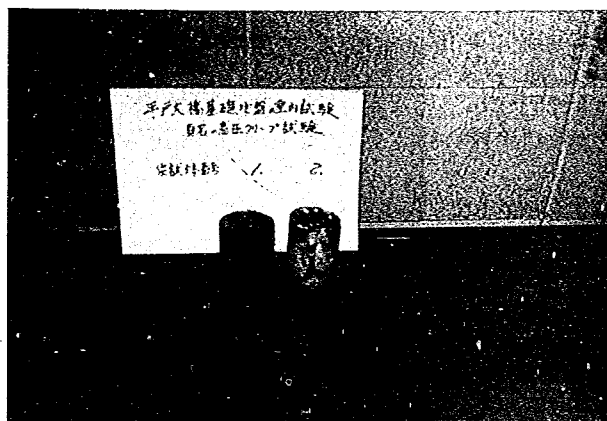


試験番号 3

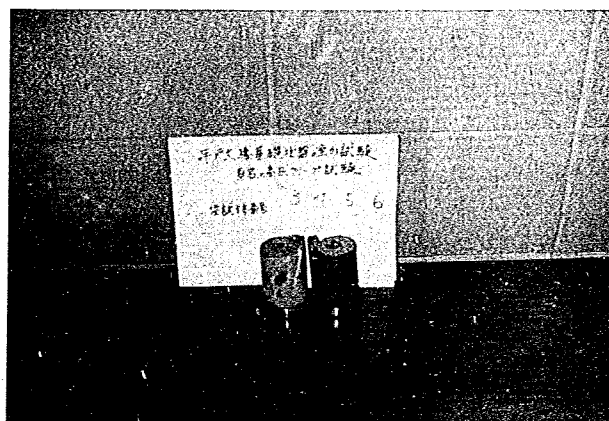


頁岩の高压クリープ試験 試験後

試験番号 1.2



試験番号 3.4



試験番号 5.6



頁岩の高圧三軸試験 試験後

試験番号 7

