

土木研究所資料

軟岩の吸水劣化試験

昭和58年3月

建設省土木研究所

地質化学部地質研究室

Copyright ©1982 fiscal year by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director of P.W.R.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。
したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複写は土木研究所長の承認を得ずしてこれを行ってはならない。

ま え が き

洪水の防除や水資源の開発を主とした多目的ダムは、今日までに数多く建設されてきた。また、水需要の拡大等により、将来的にもその必要性は高まっている。しかし、しだいに地質条件の良好なダムサイトが少なくなり、新期の火山砕屑岩・堆積岩、あるいは破碎、風化、変質等を被う劣った条件の基礎にもダムを建設しなければならなくなってきた。

新第三紀以降の泥岩等、いわゆる軟岩には一般に固結度が低く、乾燥・湿潤の繰り返しにより急激に膨張や崩壊を生じ、著しく劣化する性質（スレーキング現象）をもつものがある。このような地質のところにダムの建設を行う場合には、掘削面の劣化や崩壊、貯水池湖岸等の浸食を防ぐために、これらの地質の性質を良く把握した上で対策工の計画・設計・施工、維持管理を行う必要がある。

本資料は、軟岩のスレーキング現象を定量的に把握するために、正善寺川・柿崎川・所司原・猪牟田・七ヶ宿・金城の各ダムサイトから採取した岩石について吸水劣化試験を実施し、それらを比較検討した結果をとりまとめたものである。

昭和 58 年 3 月

建設省土木研究所地質化学部

地質研究室 室 長	桑 原 啓 三
研究員	平 野 勇
	神 保 悟
	長 沢 政 和

も く じ

まえがき

1. 試験の概要	1
2. 試験方法	2
2.1 試料	2
2.2 膨張量試験	2
2.3 スレーキング試験	2
2.4 浸透能試験	2
2.5 物理・力学試験および粒度試験	4
2.6 粉末X線回折	4
3. 試験結果	6
3.1 物理・力学試験および粒度試験	6
3.2 粉末X線回折	9
3.3 膨張量試験	9
3.4 スレーキング試験	20
3.5 浸透能試験	38
3.6 膨張圧	38
4. ま と め	41
謝 辞	42

1. 試 験 の 概 要

試験は、所定の寸法に整形した軟岩供試体を空気乾燥した後に吸水させ、スレーキングに伴う供試体の吸水量・膨張量・膨張圧・粒径を測定するとともに、視覚的観察によりクラック数や形状変化を調べたものである。そして、空気乾燥後（吸水前）の供試体の含水比（初期含水比 ω_1 という）と各測定項目の関係を調べ、スレーキング現象を定量的に評価するための各指標の比較検討を行った。また、岩石の物理力学試験・粒度試験・粉末X線回折・浸透能試験および乾燥収縮の測定を行い、スレーキング現象を生じ易い岩石についての諸性質を調べた。

2. 試 験 方 法

2.1 試 料

試験に用いた試料の採取地と地質鉱物学的性質を表-1に示す。これらの試料は第三紀中新世～第四紀更新世に属するものである。採取試料は、自然状態での含水比が変化しないように、採取後直ちにパラフィンコーティングを行い、運搬・保存し、整形した。

2.2 膨張量試験

膨張量試験の流れを図-1に示す。供試体寸法は $\phi 50\text{ mm} \cdot \ell 20\text{ mm}$ の円柱形とし、軸方向は岩石の堆積面と直交するよう切り出し方向を選んだ。供試体の初期含水比 ω_1 は、乾燥の時間によって調整した。モールドは内径 50 mm であるので、側方への膨張は許さず（側方拘束条件）一週間まで吸水膨張量を測定した。

膨張量試験では、乾燥過程に乾燥時間の長い供試体について、軸方向高さを経時的に測定し、収縮量を調べた。

2.3 スレーキング試験

スレーキング試験の流れを図-2に示す。供試体寸法は $\phi 50\text{ mm}$ 、 $\ell 20\text{ mm}$ の円柱形とし、軸方向は岩石の堆積面と平行するよう作製した。供試体を所定の時間乾燥させた後、結晶皿（高さの低いビーカ）に入れて吸水させた。測定は、水浸24時間後に吸水量・崩壊試料の粒径を測定し、また、その時の写真からクラック数を調べるとともに、スレーキング指数（土木学会〔案〕1980）等の視覚的形狀変化を調べた。

2.4 浸透能試験

浸透能試験の流れを図-3に示す。浸透

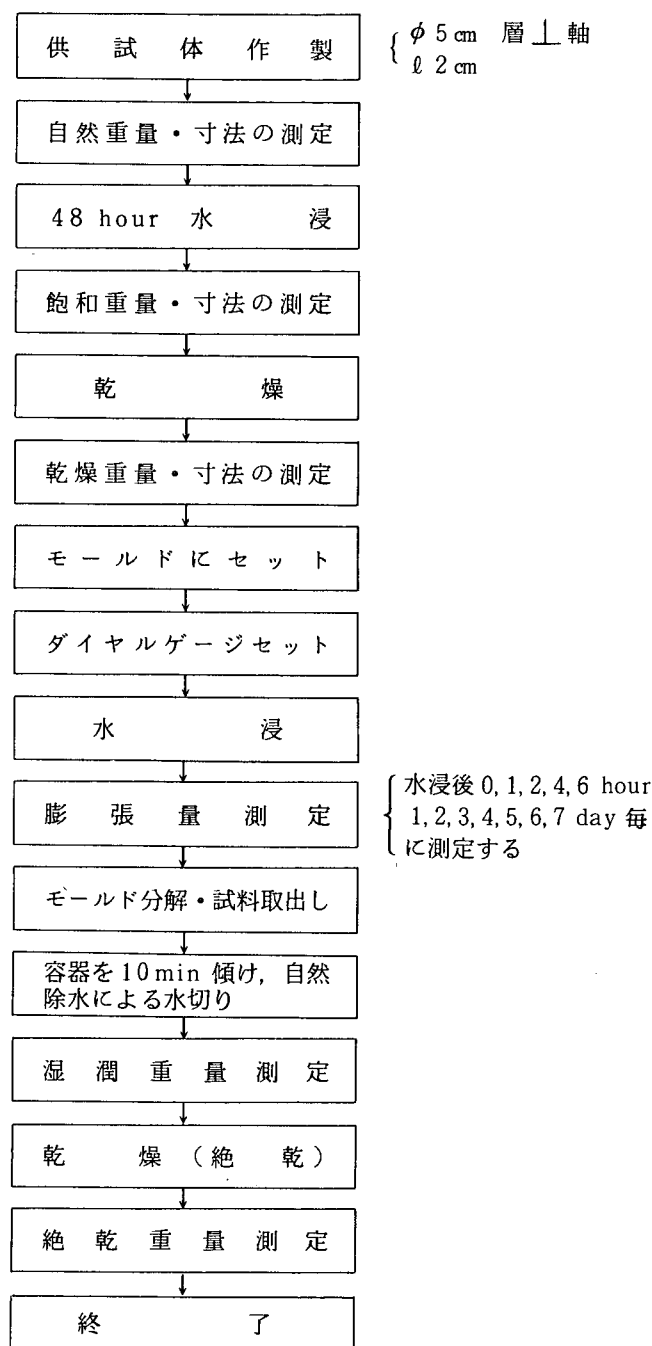


図-1 膨張量試験の流れ

表-1 試料採取地および地質鉱物学的性質

記号	試料採取地	地質年代	地層名	岩種	岩相	含有粘土鉱物
A	正善寺	新第三紀 中新世	能生谷層	含礫泥岩	黒灰色を呈し、軽石やチャート等の小礫を混入した粒度不均一な泥岩。(この中から礫を含まない部分を選んで使用)	Kaolinite Montmorillonite Muscovite
B	柿崎 (新鮮)		寺泊層	泥岩	黒灰色の泥質部と灰色の砂質部からなる細互層。(この中から泥質部を選んで使用)	Kaolinite Montmorillonite Muscovite
C	所司原	新第三紀 中新世	小久米砂岩層	凝灰質砂岩	青灰～青緑灰色を呈し、層理に乏しい。 淘汰の良い、細～中粒の軟質な砂岩。	Montmorillonite Chlorite Illite
D	所司原			泥質砂岩	暗緑灰～暗灰色を呈し、軟質で層理に乏しい。砂岩中に巾10～50 cmの薄層で挟有。	Montmorillonite
E	所司原			砂質泥岩	同上	Montmorillonite
F	猪牟田 (法面)	第四紀 更新世	玖珠層群	泥岩	灰～白色を呈し、脈状に白色を呈する。 もまれて非常にろく半固結状態。	非晶質鉱物?
G	猪牟田 (横坑)			泥岩	灰～暗灰色を呈し、薄く、シルト～砂層を挟む。	Kaolinite Muscovite Montmorillonite
H	猪牟田			シルト岩	青灰～灰色を呈し、比較的均一で、層理に乏しい。	Kaolinite Muscovite Montmorillonite
I	七ヶ宿	第三紀 中新世	赤井畑層	粗粒凝灰岩	白～灰～緑灰色を呈し、葉理の発達顕著、部分的にはシルト・泥岩の円～角礫が点在する。	Kaolinite Chlorite Montmorillonite
J	七ヶ宿		弥太郎山 火山岩類	変質安山岩	白色を呈し、著しく鉱化変質している。酸性水を溶出する。	Kaolinite Montmorillonite
K	柿崎 (風化)	新第三紀 中新世	寺泊層	泥岩	Bと同じだが、露頭より採取のため風化著しい。	Kaolinite Montmorillonite Muscovite
L	島尻	第三紀 中新世 鮮新世	島尻層群	泥岩	灰色～青緑灰色を呈し、部分的にはシルト～砂層を挟み、貝化石も含む。	Kaolinite Montmorillonite Muscovite

能試験は、岩石の水分の浸透能力を調べるために行ったものである。供試体寸法は $\phi 50\text{ mm} \cdot l 100\text{ mm}$ の円柱形として、軸方向は堆積面と直交するものとした。試験は、供試体の側方から水分の出入りをゴムスリーブ等で防ぎ、下端面は常に吸水、上端面からは水を蒸発させる方法で行い、重量変化から蒸発量を測定した。供試体内部の含水比分布が、概ね落ち付いたと判断される試験開始25日後に、供試体を10分割して含水比の分布を測定した。

2.5 物理・力学試験および粒度試験

物理・力学試験および粒度試験の方法は次のようである。

- 1) 一軸圧縮試験：KDKS - 0502 (1968)
- 2) 引張試験：JIS・M - 0303 - 1975
- 3) 粒度試験：JIS・A - 1204・T 1979

2.6 粉末X線回折

粉末X線回折は次の条件で行った。

管球：Cu フィルタ：Ni

電圧：40 KV 電流：30 mA

走査範囲： $2\theta = 2 \sim 40^\circ$

走査速度： $2^\circ/\text{min}$

記録紙速度： $20\text{ mm}/\text{min}$

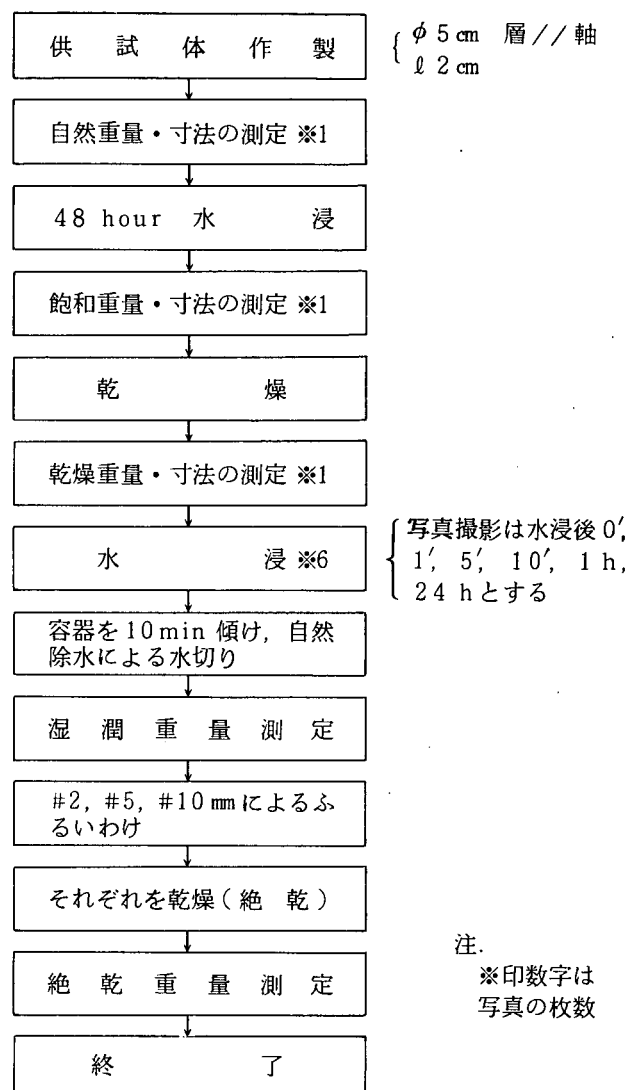


図-2 スレーキング試験の流れ

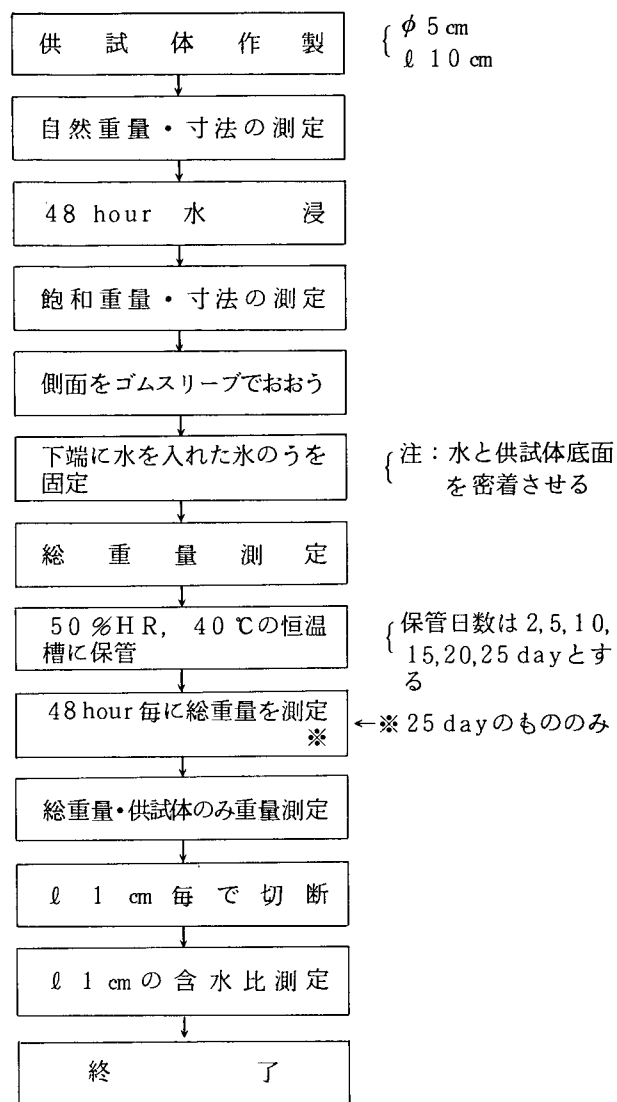


図-3 浸透能試験の流れ

3. 試 験 結 果

3.1 物理・力学試験および粒度試験

供試体の物理・力学試験結果を表-2に示す。一軸圧縮強度ではF：猪牟田（泥岩・法面）の3.48kg/cm²からE：所司原（砂質泥岩）の75.2kg/cm²と、第三紀以降の軟岩の中では広範な岩種をそろえている。

粒度試験結果として表-3に粒度指標の均等係数と曲率係数を、図-4(C)~(J)に各岩種の粒径加積曲線を示す。それらによれば(C)~(E)の所司原、(I)・(J)の七ヶ宿の岩石が粗く、(F)~(H)の猪牟田の岩石が比較的細粒となっている。

表-2 供試体の物理・力学試験結果

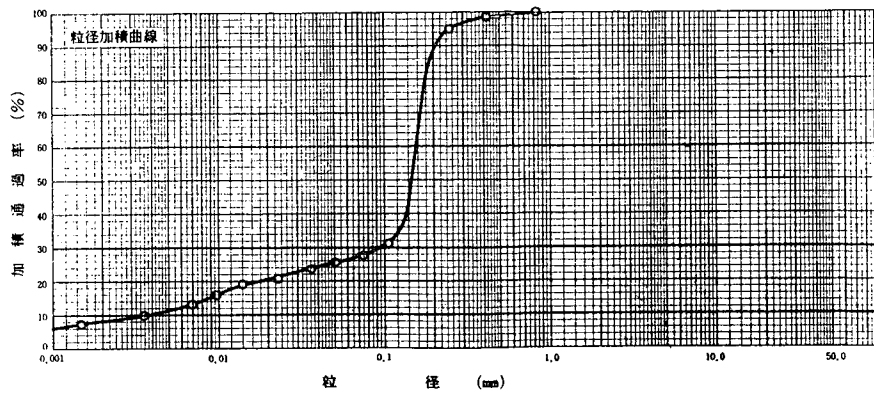
記号	試料名	岩 種	一軸圧縮強度 (kg/cm ²)	静弾性係数 (kg/cm ²)	引 張 強 度 (kg/cm ²)	超音波伝播速度		湿 潤 密 度 (g/cm ³)
						Vp(m/sec)	Vs(m/sec)	
A	正 善 寺	泥 岩	33.8	1.41×10^3	3.6	2,130	1,090	2,168
B	柿 崎	泥岩（新鮮）	22.4	—	—	1,830	595	2,160
C	所 司 原	凝灰質砂岩	49.2	2.21×10^4	4.6	* 2,450	* 1,250	2,088
D	所 司 原	泥質砂岩	62.0	2.33×10^4	6.6	* 2,200	* 1,150	2,104
E	所 司 原	砂質泥岩	75.2	2.08×10^4	4.8	* 2,250	* 1,150	2,222
F	猪 牟 田	泥岩（法面）	3.48	3.67×10^2	0.33	* 1,520	* 460	1,395
G	猪 牟 田	泥岩（横坑）	12.2	7.78×10^2	2.8	* 1,340	* 560	2,102
H	猪 牟 田	シルト岩	13.7	1.14×10^4	1.8	* 1,650	* 700	2,046
I	七 ヶ 宿	粗粒凝灰岩	16.1	1.32×10^4	2.2	* 1,590	—	2,094
J	七 ヶ 宿	変質安山岩	67.8	2.06×10^4	5.1	* 2,110	—	2,317
K	柿 崎	泥岩（風化）	8.5	3.87×10^2	1.7	1,850	1,080	2,166
L	島 尻	泥 岩	27.7	2.01×10^3	2.3	1,750	970	2,010

*印は現場測定のもの

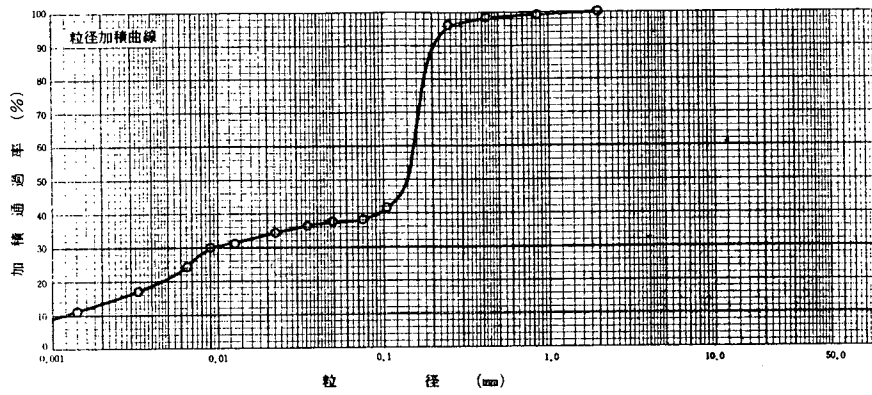
表-3 粒 度 指 標

記号	試 料 名	岩 種	均 等 係 数 U_c	曲 率 係 数 U_c'
A	正 善 寺	泥 岩	—	—
B	柿 崎（新鮮）	泥 岩	—	—
C	所 司 原	凝灰質砂岩	49.0	29.4
D	所 司 原	泥質砂岩	125.0	0.5
E	所 司 原	砂質泥岩	89.3	0.3
F	猪牟田（法面）	泥 岩	* 5.2	* 0.8
G	猪牟田（横坑）	泥 岩	* 11.8	* 0.9
H	猪 牟 田	シルト岩	21.7	1.0
I	七 ヶ 宿	粗粒凝灰岩	36.4	0.3
J	七 ヶ 宿	変質安山岩	107.0	0.6
K	柿 崎（風化）	泥 岩	—	—
L	島 尻	泥 岩	—	—

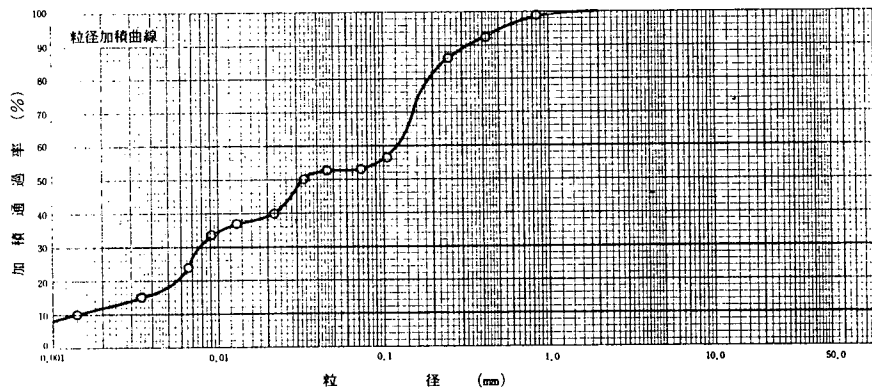
*印は粒径加積曲線より



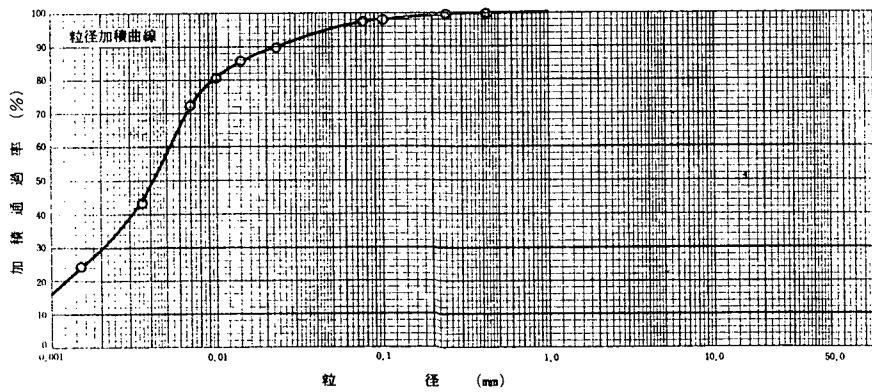
(C) 所司原(凝灰質砂岩)



(D) 所司原(泥質砂岩)

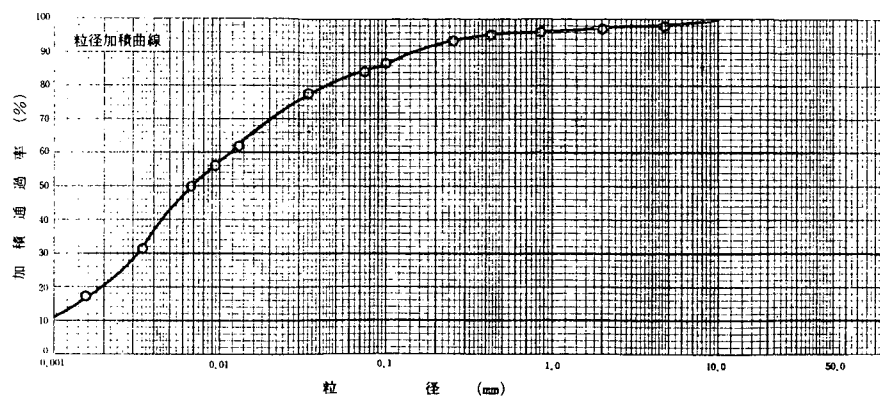


(E) 所司原(砂質泥岩)

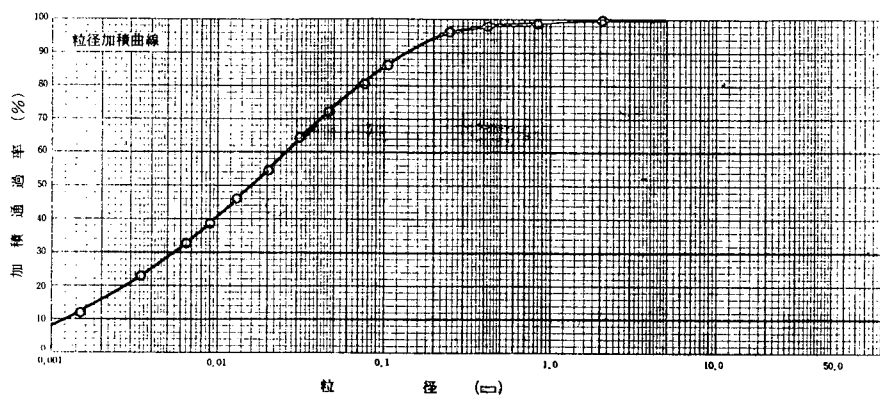


(F) 猪牟田(泥岩・法面)

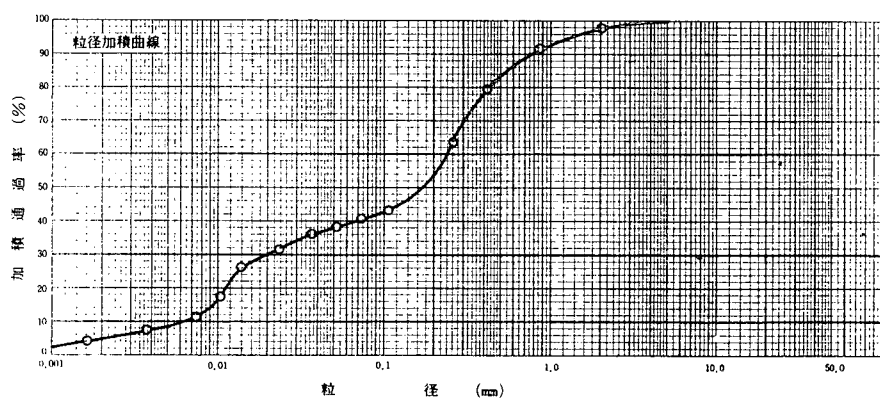
図-4 (1) 粒径加積曲線



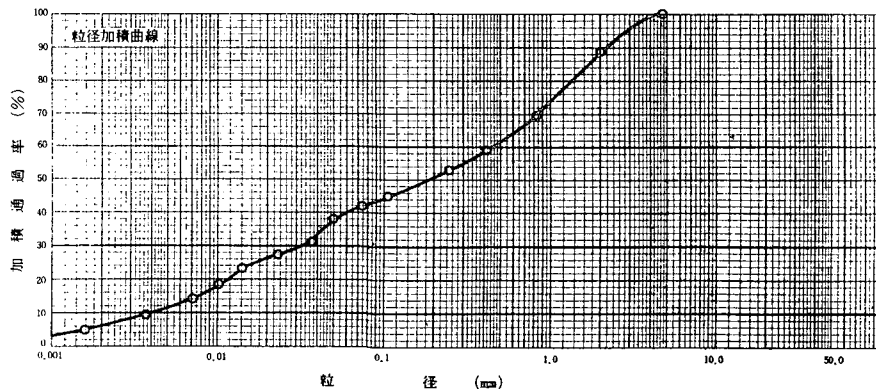
(G) 猪牟田 (泥岩・横坑)



(H) 猪牟田 (シルト岩)



(I) 七ヶ宿 (粗粒凝灰岩)



(J) 七ヶ宿 (変質安山岩)

図 - 4(2) 粒径加積曲線

3.2 粉末X線回折

図-5(A)~(L)に粉末X線回折チャートを、また、表-1にはそれによる含有粘土鉱物名を示した。これらを見ると、石英や長石類はごく普通にどの岩石にも含まれている。そして、吸水によって膨潤する性質を持つとされる粘土鉱物であるカオリナイト・モンモリロナイト・マスコバイト等を含む岩種も多い。しかし、この粘土鉱物と膨張量等を比較するためには、定量回折を行わなければならない。

3.3 膨張量試験

i) 乾燥に伴う収縮量

図-6(A)~(K)に乾燥の程度(飽和度 S_r)と収縮率の関係を示す。ここで、収縮率は次式で定義される。

$$\text{収縮率}(\%) = \frac{\text{飽和時の寸法}(\text{mm}) - \text{乾燥時の寸法}(\text{mm})}{\text{飽和時の寸法}(\text{mm})} \times 100$$

図中の黒丸は1つの供試体の経時的収縮率を示し、白丸はいくつかの供試体の最終的な収縮率を示している。

図-6黒丸によれば、ほとんどの岩石の収縮率は2%以内にとどまり、飽和度80%で平衡するものと飽和度30~50%で平衡するものがある。また、(B)と(K)の柿崎は7~8%と収縮率が最も大きく、(F)猪牟田・(J)七ヶ宿が0.6~0.7%と最も小さい。

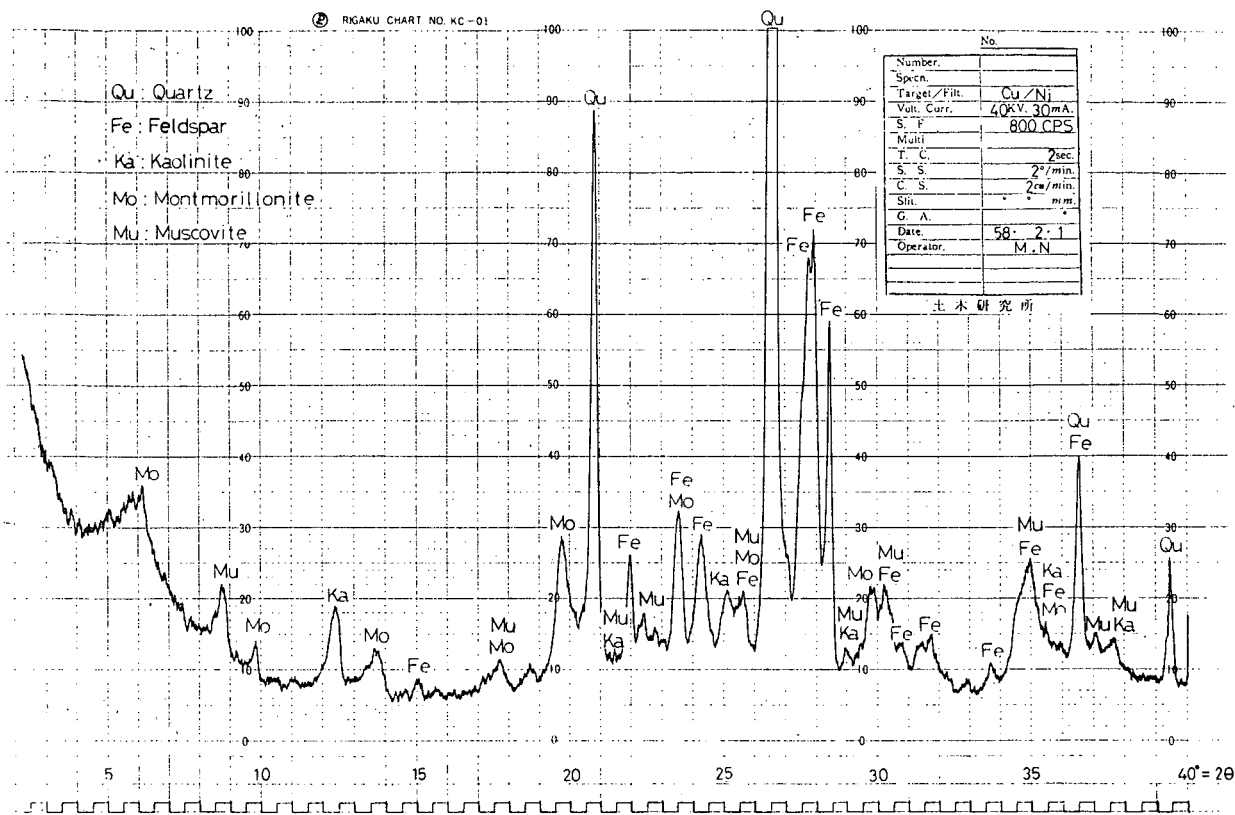
ii) 膨張量試験

各岩種の膨張率と初期含水比 ω_I ・飽和度の関係について図-7(A)~(K)に示す。ここで、膨張率は次式で定義する。

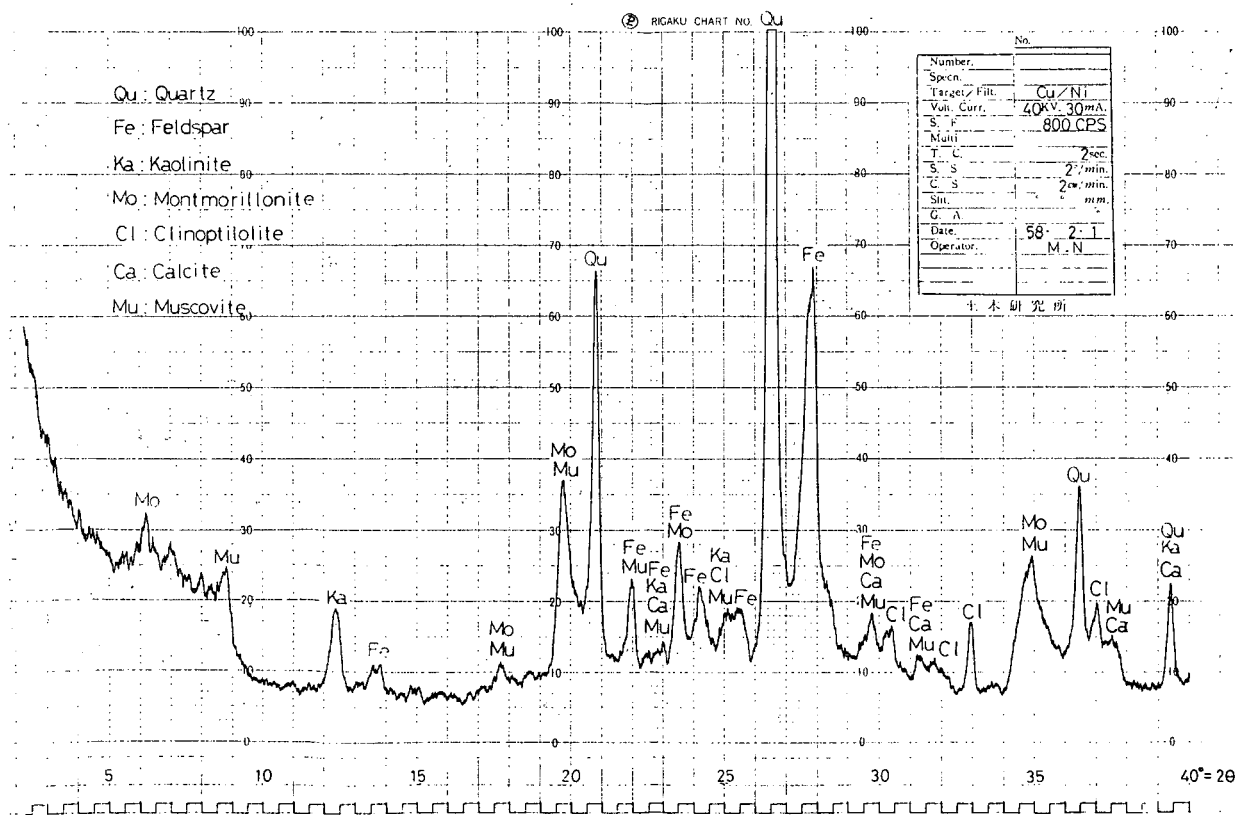
$$\text{膨張率}(\%) = \frac{\text{膨張時の寸法}(\text{mm}) - \text{水浸前の寸法}(\text{mm})}{\text{水浸前の寸法}(\text{mm})} \times 100$$

図-7によれば、初期含水比の低下とともに膨張率は増加する。(B)・(K)柿崎や(G)猪牟田、(J)七ヶ宿の岩石では、飽和度が75%程度以下にならないと膨張を示さない傾向にあり、(C)~(E)所司原では飽和度50%付近まで乾燥しなければ膨張しない傾向がある。逆に、(A)正善寺・(F)・(H)猪牟田等では、飽和含水比よりもやや乾燥した付近から膨張を示す。

膨張率の大きい岩石は、(B)・(K)柿崎であり、飽和度0%付近では40~70%を示す。また、膨張率の小さい岩石は(F)猪牟田・(J)七ヶ宿であり0.5~0.7%程度である。これらを収縮率の図-6と比較すると収縮率の大きいものが膨張率も大きいことがわかる。

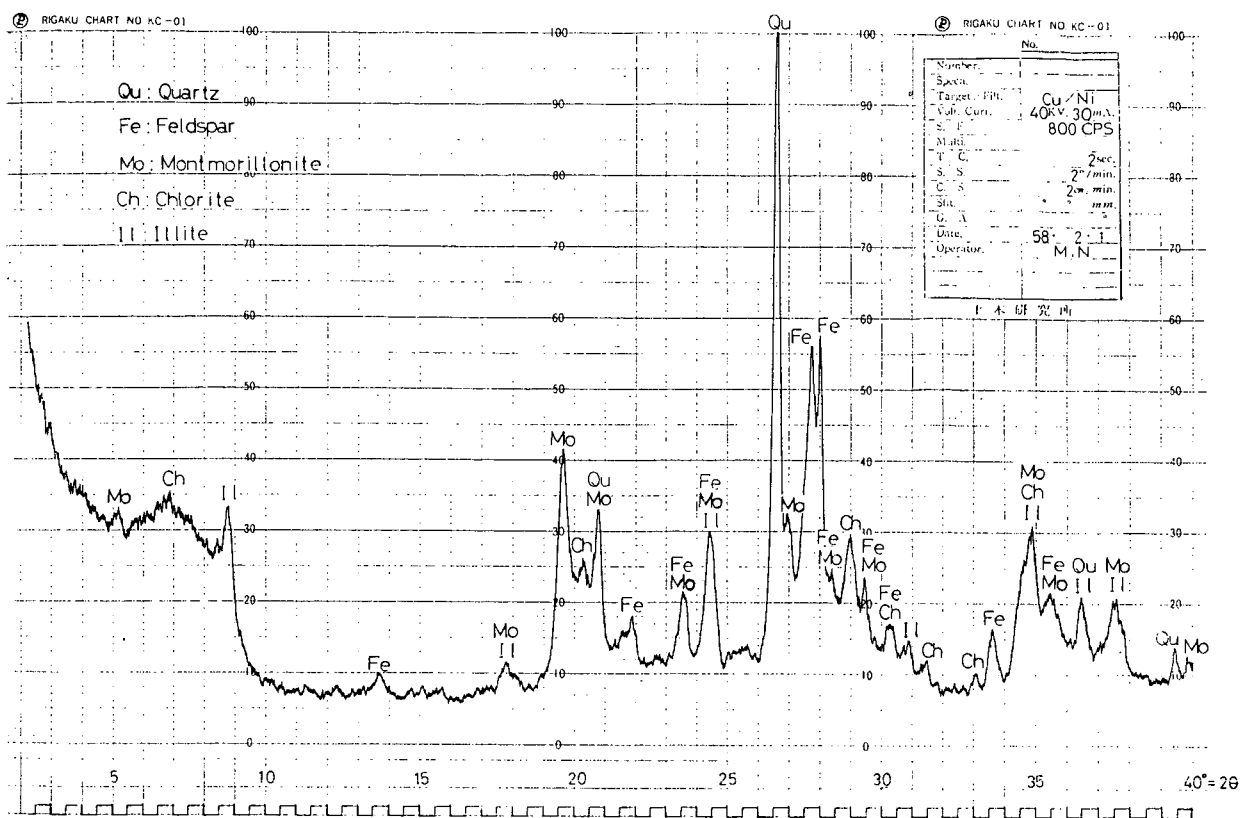


(A) 正 善 寺

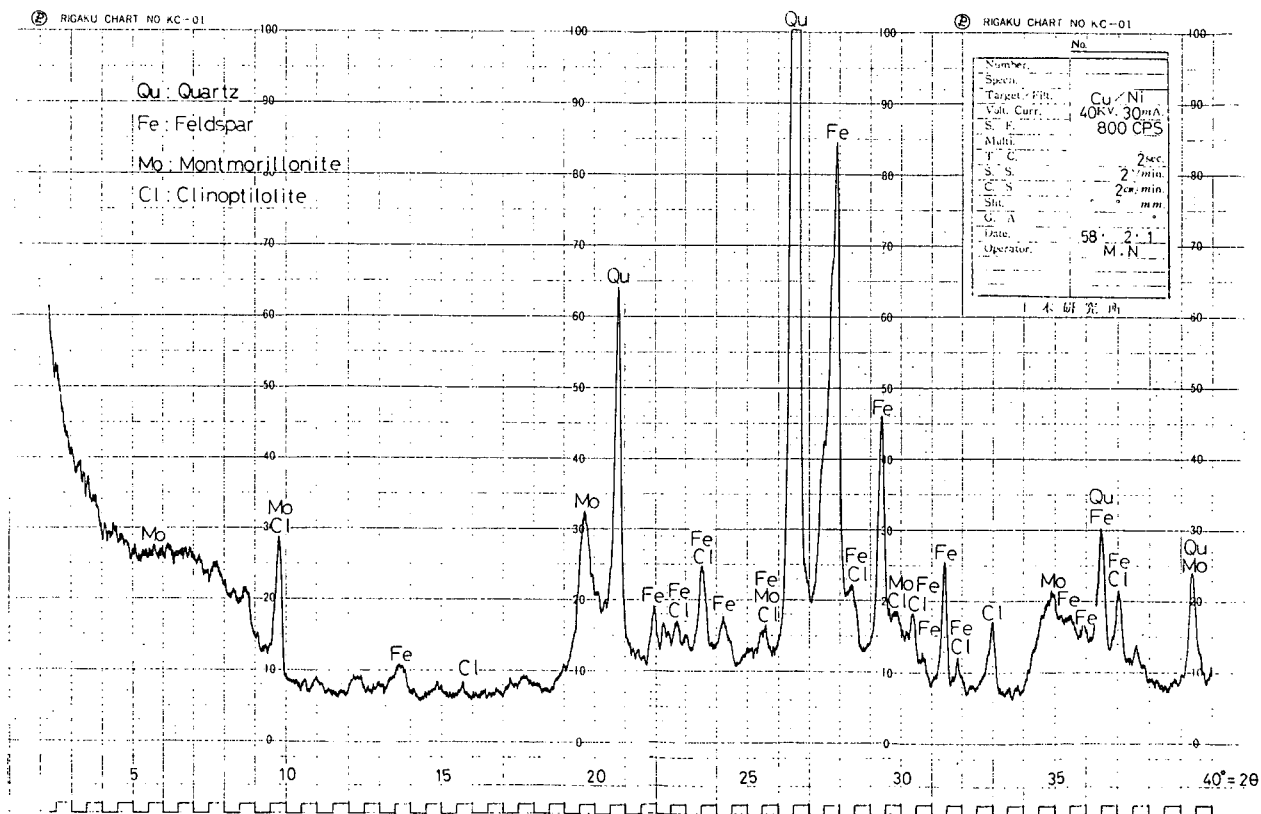


(B) 柿 崎 (新鮮)

図-5 (1) X線回折チャート

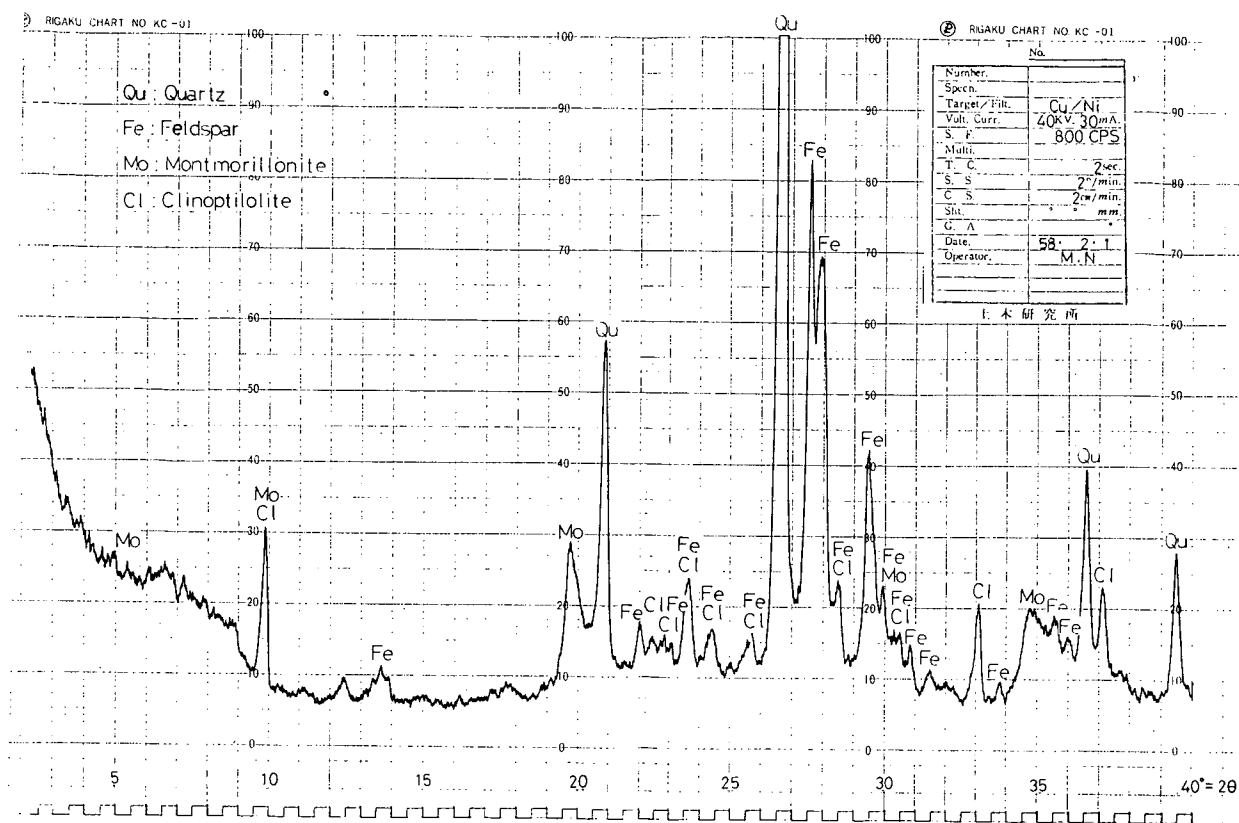


(C) 所 司 原 (凝灰質砂岩)

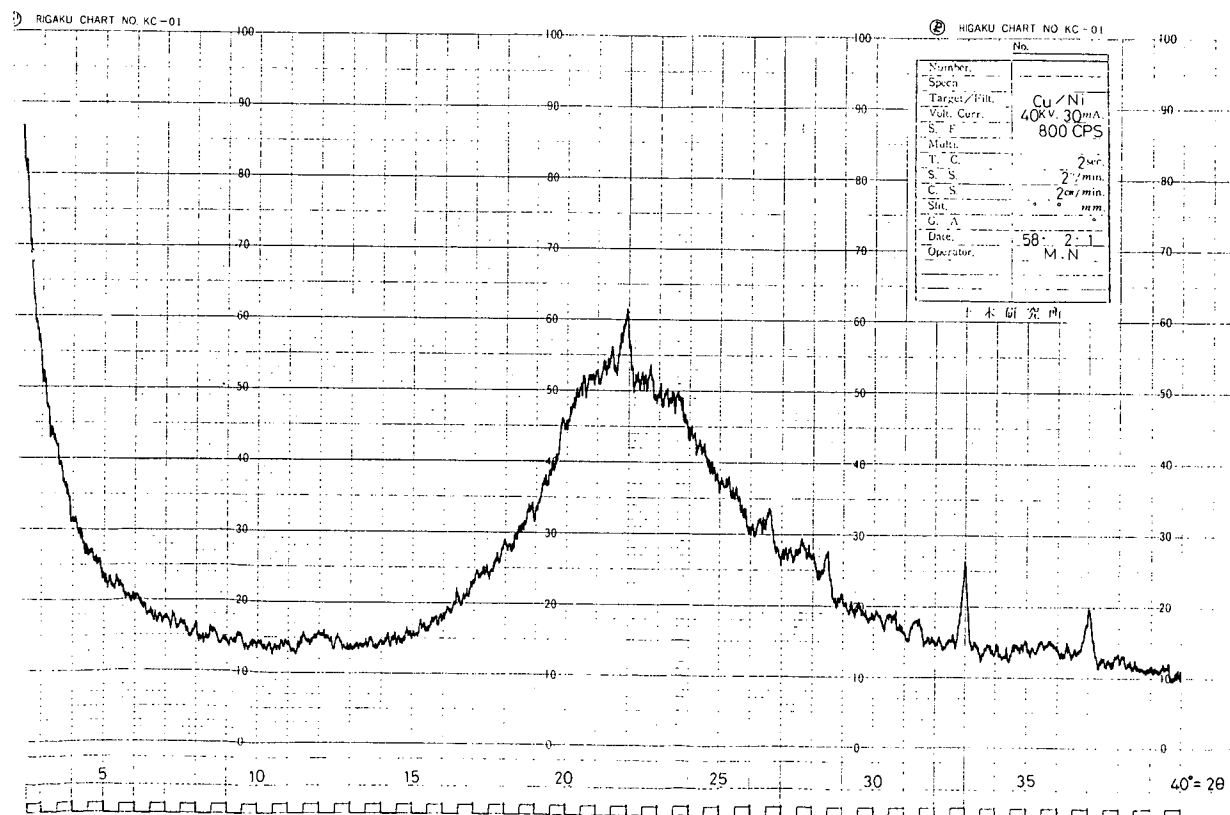


(D) 所 司 原 (泥質砂岩)

図-5 (2) X線回折チャート

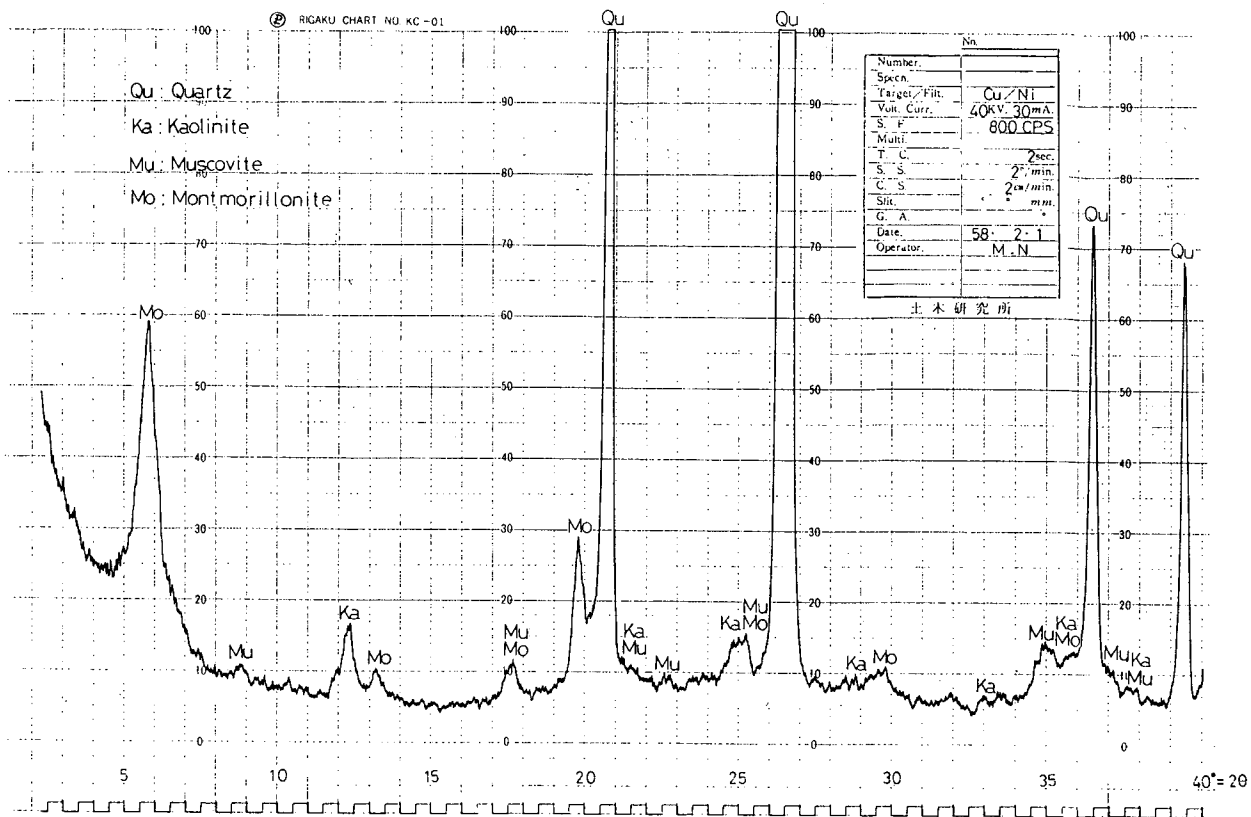


(E) 所 司 原 (砂質泥岩)

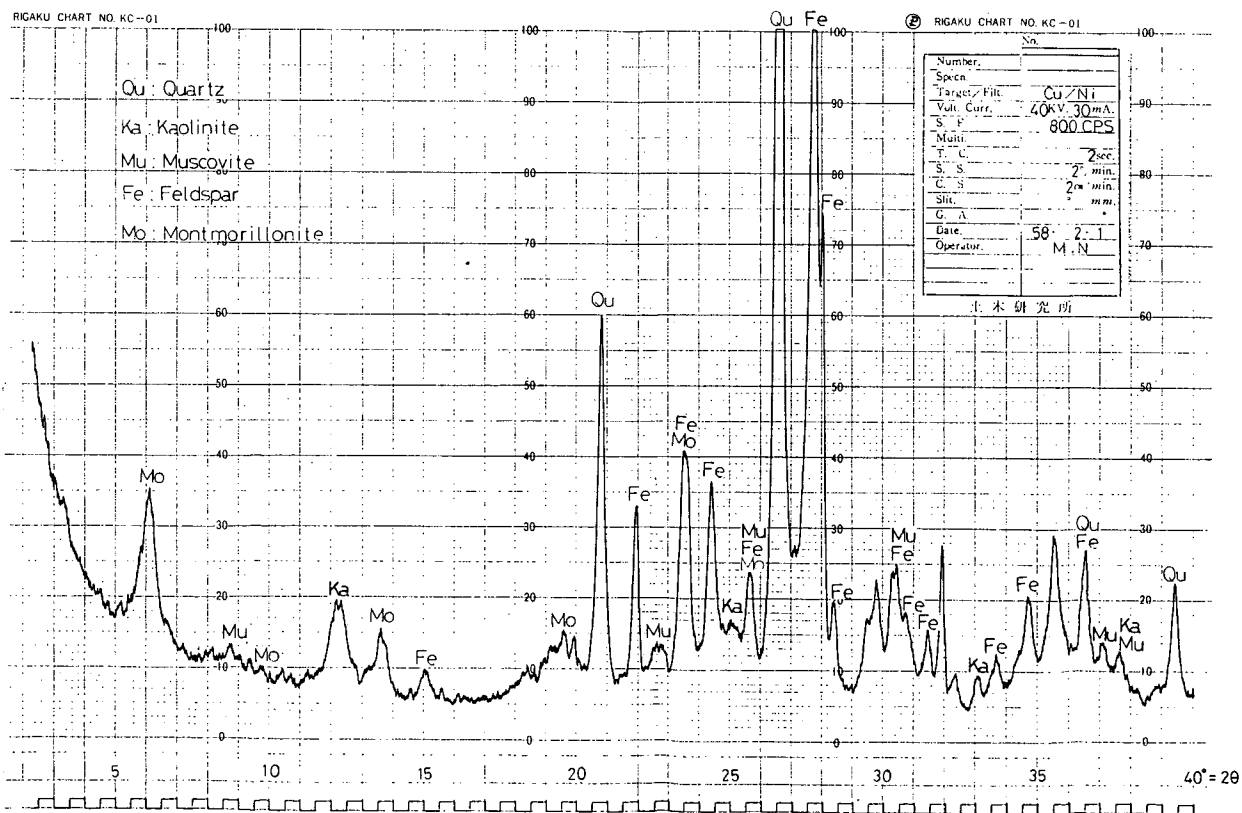


(F) 猪 牟 田 (泥岩・法面)

図-5 (3) X線回折チャート

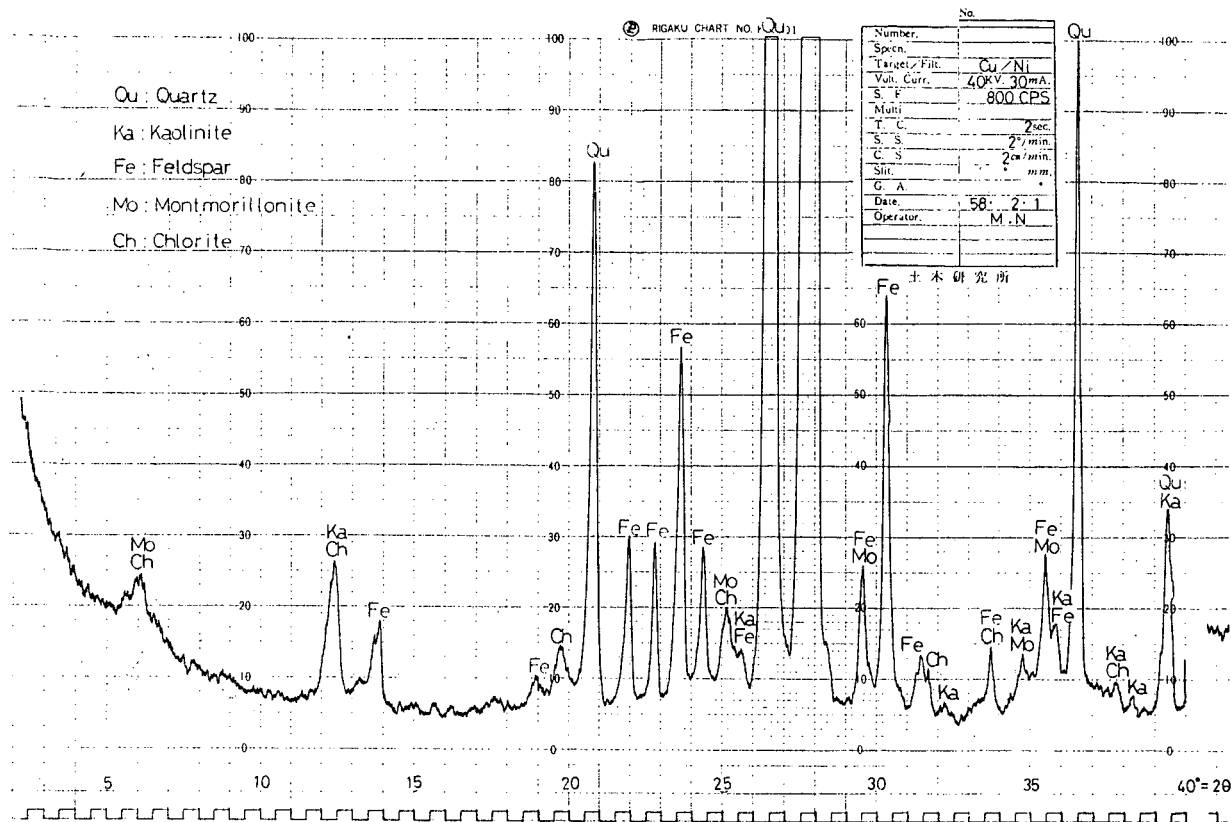


(G) 猪 牟 田 (泥岩・横坑)

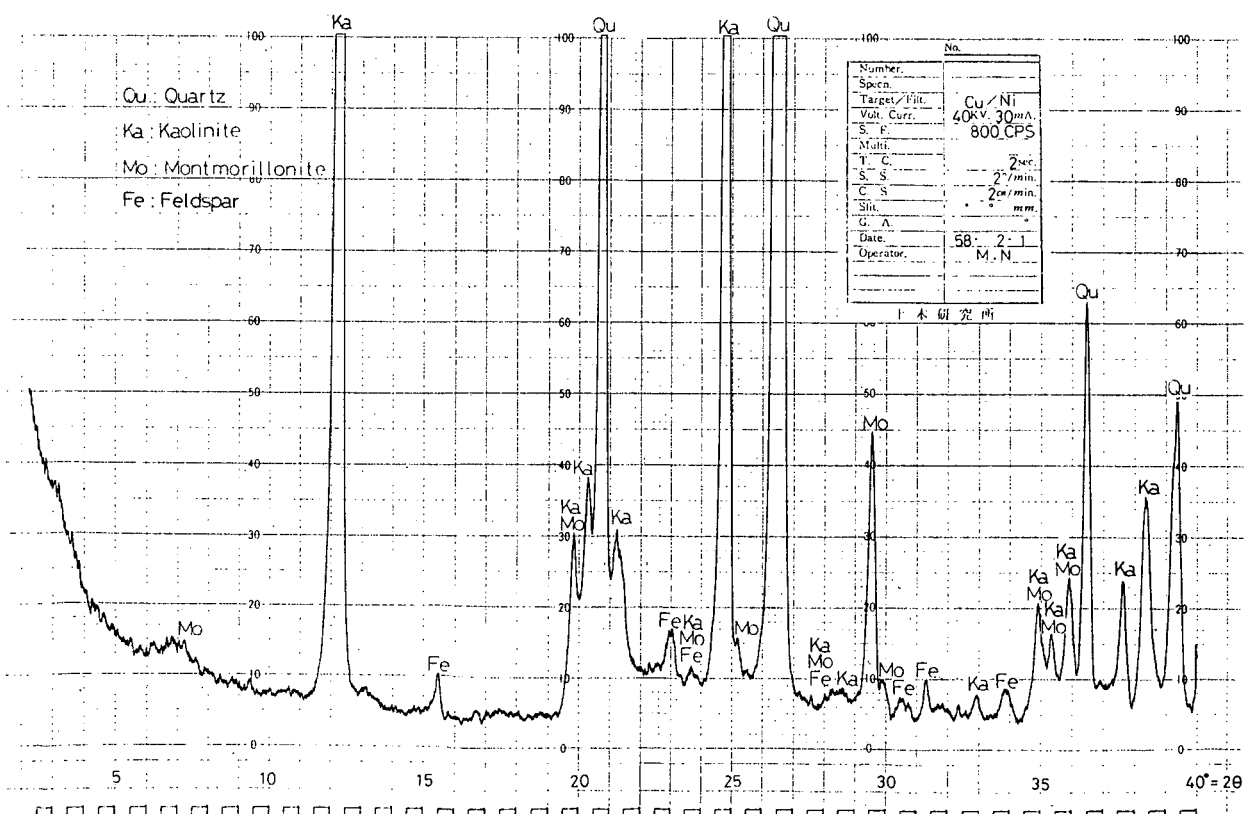


(H) 猪 牟 田 (シルト岩)

図-5 (4) X線回折チャート

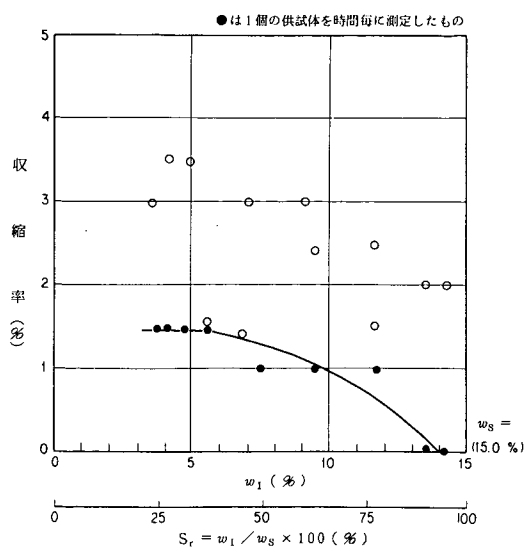


(I) 七ヶ宿(粗粒凝灰岩)

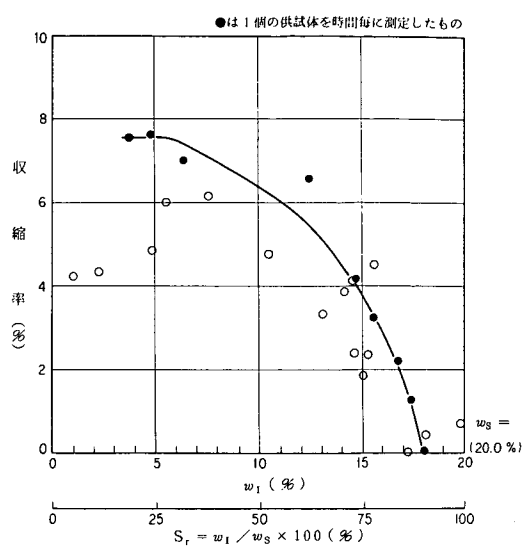


(J) 七ヶ宿(変質安山岩)

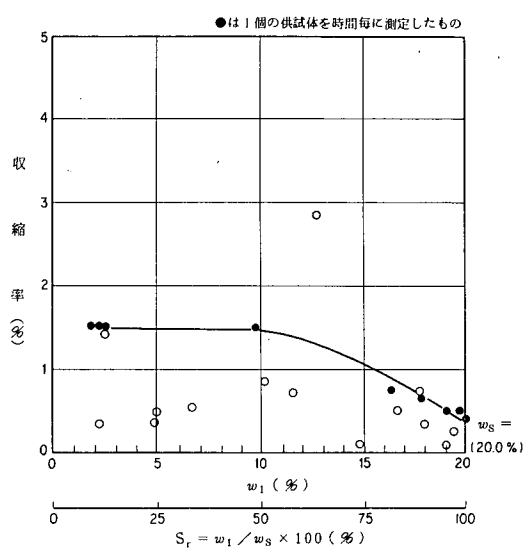
図-5 (5) X線回折チャート



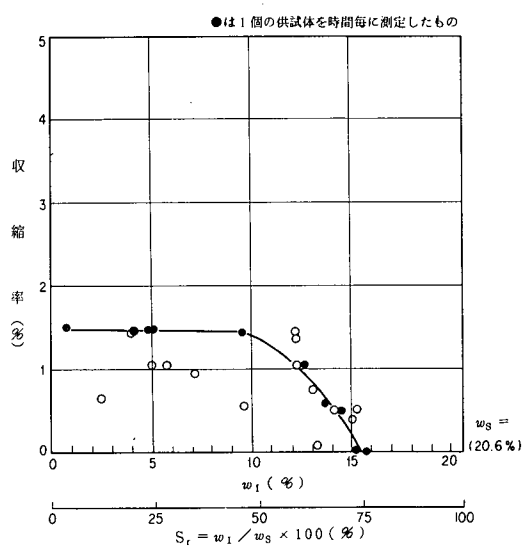
(A) 正善寺



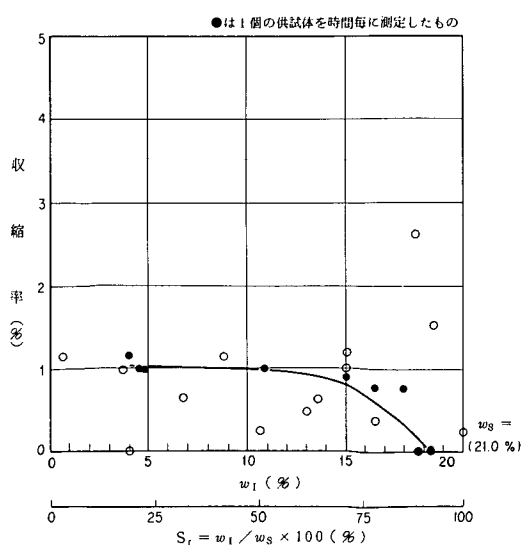
(B) 柿崎 (新鮮)



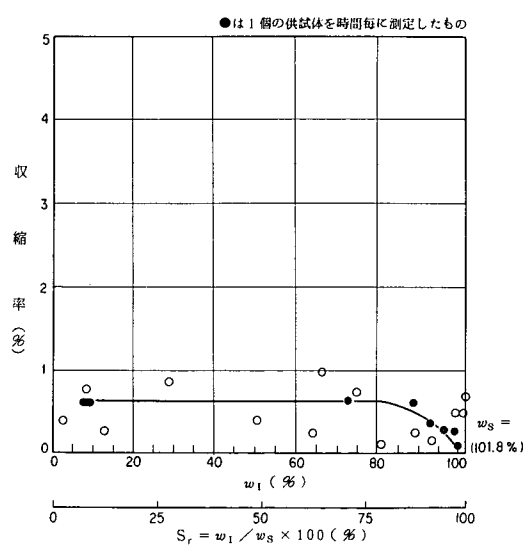
(C) 所司原 (凝灰質砂岩)



(D) 所司原 (泥質砂岩)

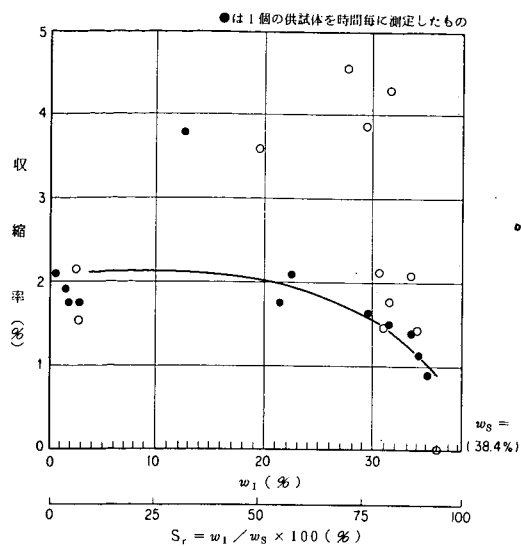


(E) 所司原 (砂質泥岩)

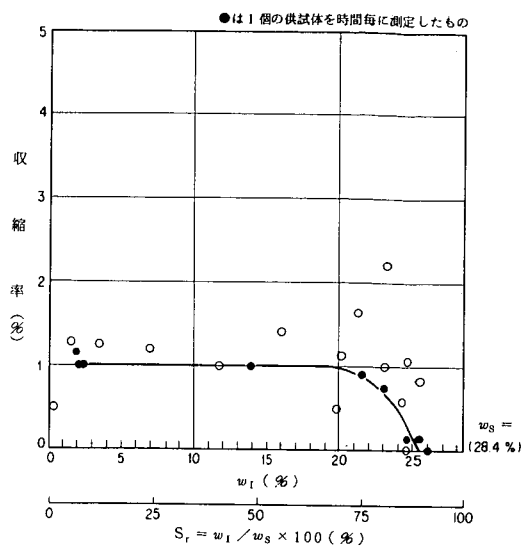


(F) 猪牟田 (泥岩・法面)

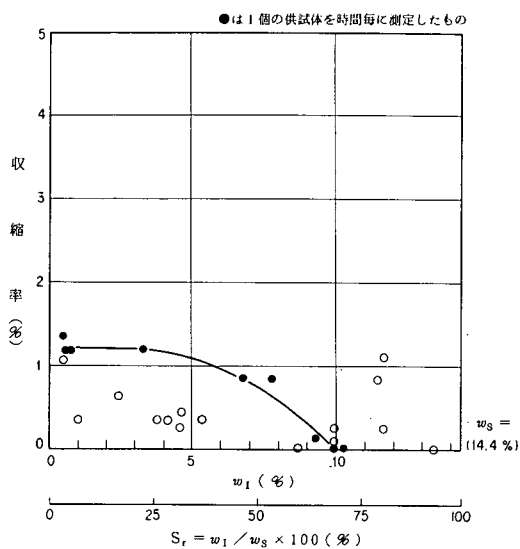
図-6 (1) 飽和度 (初期含水比) と収縮率



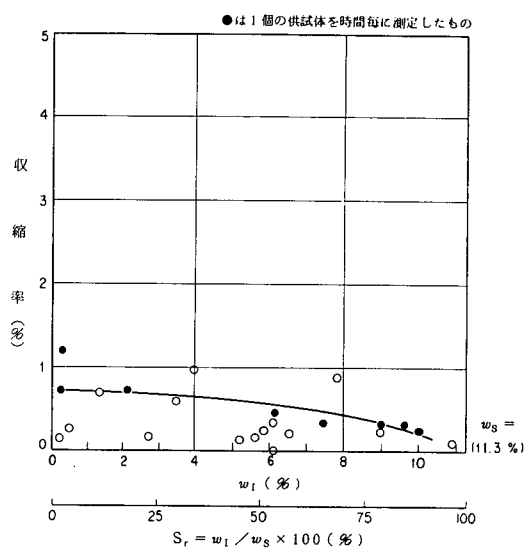
(G) 猪牟田(泥岩・横坑)



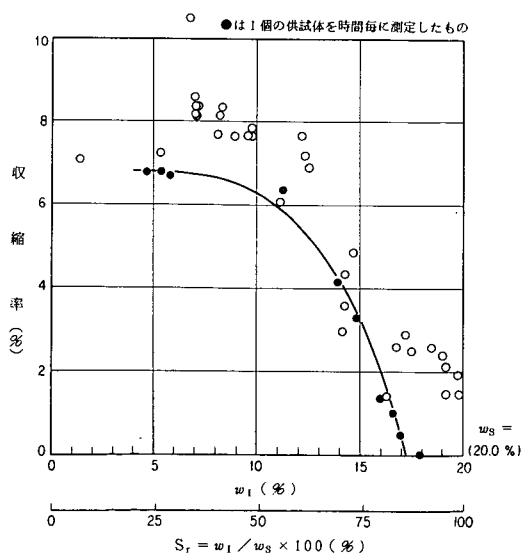
(H) 猪牟田(シルト岩)



(I) 七ヶ宿(粗粒凝灰岩)

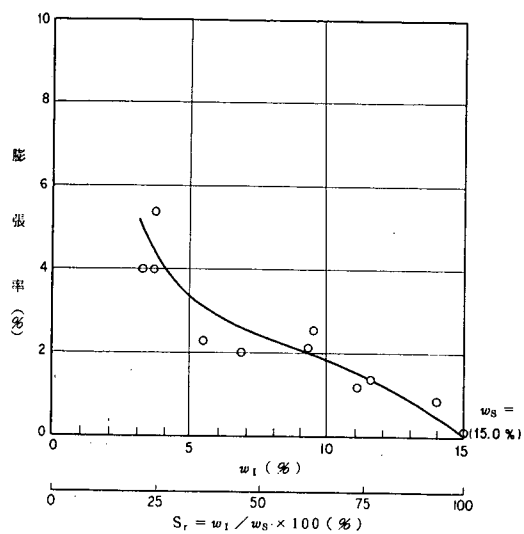


(J) 七ヶ宿(変質安山岩)

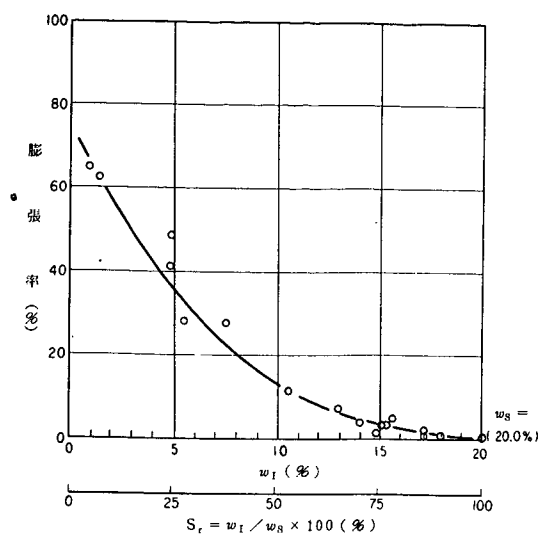


(K) 柿崎(風化)

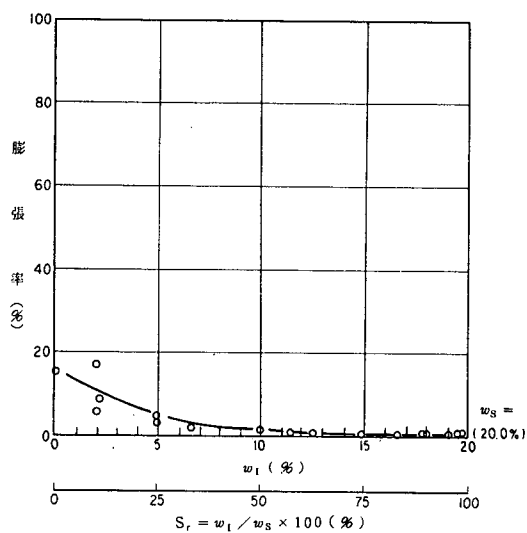
図-6(2) 飽和度(初期含水比)と収縮率



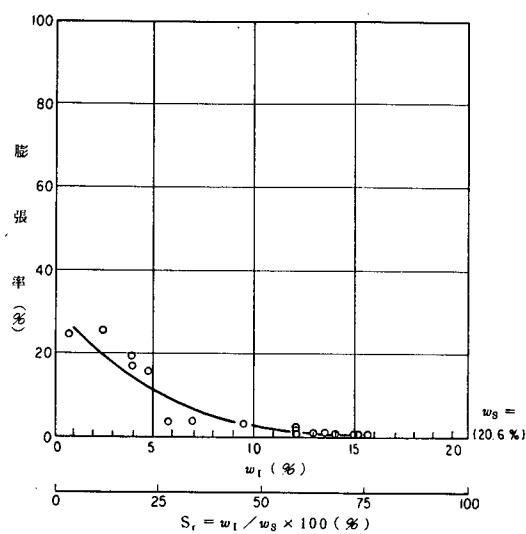
(A) 正 善 寺



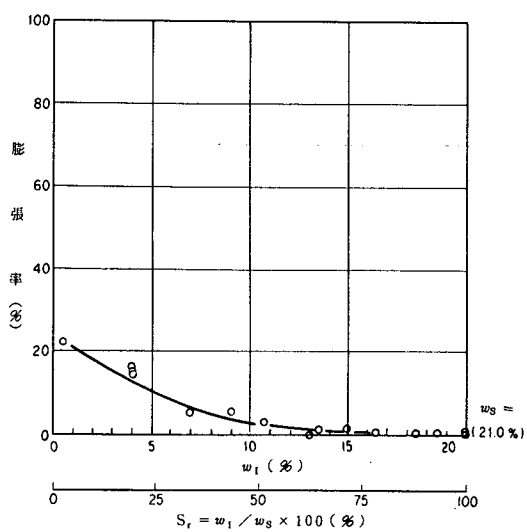
(B) 柿 崎 (新 鮮)



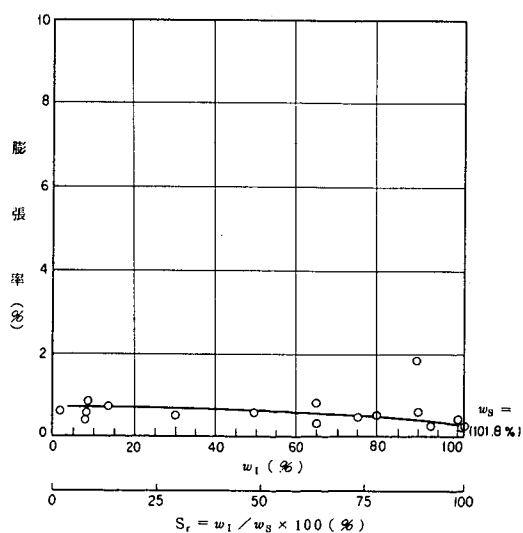
(C) 所司原 (凝灰質砂岩)



(D) 所司原 (泥質砂岩)

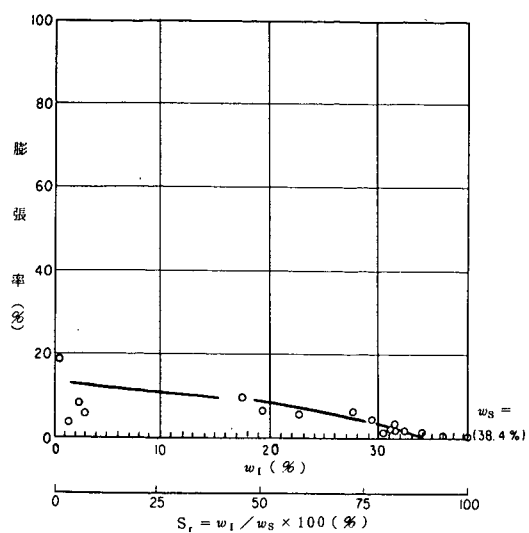


(E) 所司原 (砂質泥岩)

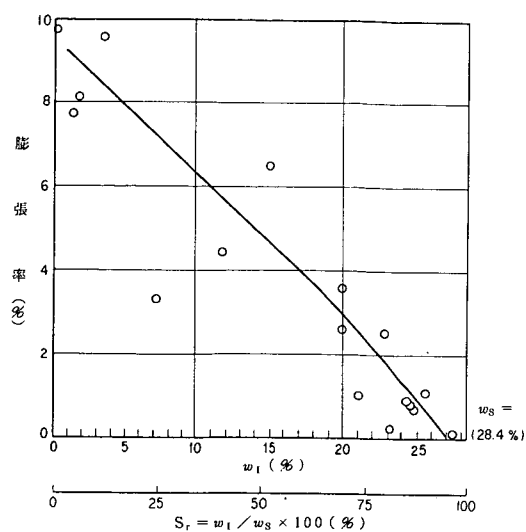


(F) 猪牟田 (泥岩・法面)

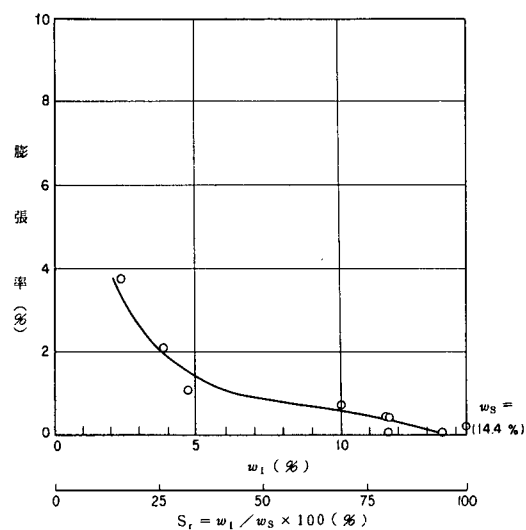
図-7 (1) 飽和度 (初期含水比) と膨張率



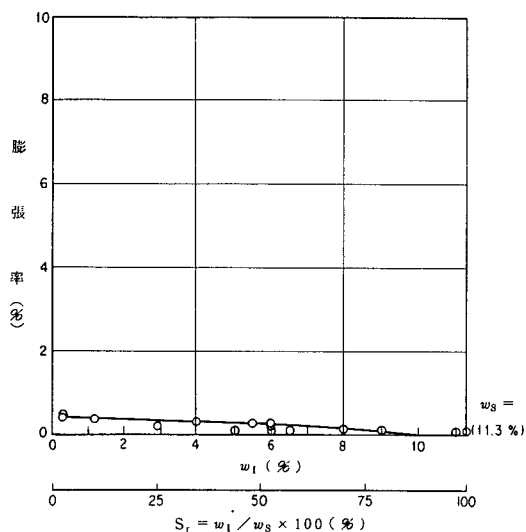
(G) 猪牟田 (泥岩・横坑)



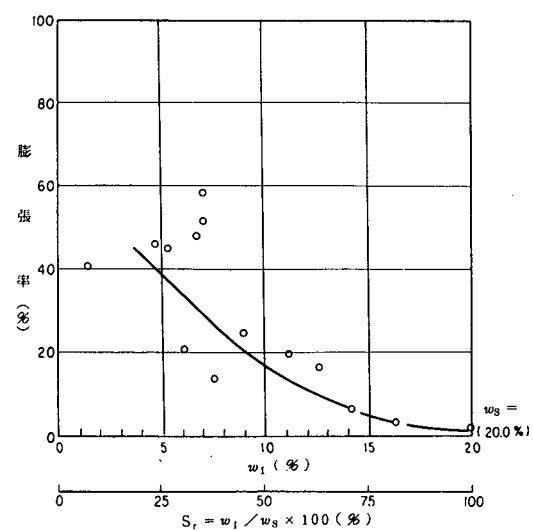
(H) 猪牟田 (シルト岩)



(I) 七ヶ宿 (粗粒凝灰岩)



(J) 七ヶ宿 (変質安山岩)



(K) 柿崎 (風化)

図-7 (2) 飽和度 (初期含水比) と膨張率

3.4 スレーキング試験

i) クラック数

水浸による吸水膨張で生じたクラック数と初期含水比 ω_I ・飽和度の関係を示したのが図-8(A)~(K)である。ここで、クラック数は層理と直交する方向に数え、1cm巾当りの数としている。クラック数は初期含水比 ω_I の低下とともに増加する傾向がある。(A)正善寺、(I)・(J)七ヶ宿を除く岩種は、わずかの含水比の差でクラックが無数に生じてしまう傾向がある。また(A)正善寺は飽和度50%付近から、1cm当り3本以上のクラックは生じなくなり、(I)・(J)七ヶ宿ではクラックをまったく生じない。

ii) 崩壊試料の粒度分布

図-9(A)~(K)は、スレーキング試験によって崩壊した試料の粒度を重量百分率によって表わしたもので、横軸は飽和度・初期含水比 ω_I である。同図によれば、(I)・(J)七ヶ宿は初期含水比 ω_I の大小にかかわらず10mm以上が100%を占め、崩壊を生じないことを示す。(C)所司原・(H)猪牟田では中間粒度の10~2mmがほとんど無いことがわかる。

iii) スレーキング指数（土木学会：1980）

図-10(A)~(K)は飽和度・初期含水比 ω_I とスレーキング指数を示したものである。スレーキング指数は土木学会が「軟岩の調査・試験指針」の中で提唱する簡易スレーキング試験法（案）に示されるものであり、次のように定義されている。

指数	形状・状態
0	変化しない
1	亀裂が入る程度
2	細片化するが泥状化しない
3	細片化と部分的泥状化
4	完全に泥状化

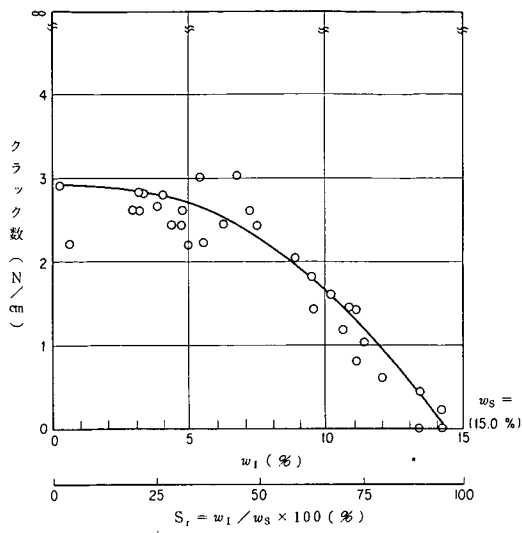
同図によれば(I)・(J)七ヶ宿は変化がみられず、(A)正善寺では泥状化までは至らないことがわかる。そして、崩壊粒度で中間的なものが少なかった(C)所司原・(H)猪牟田では、やはり指数1および2の分布数が少ない。

iv) 吸水量

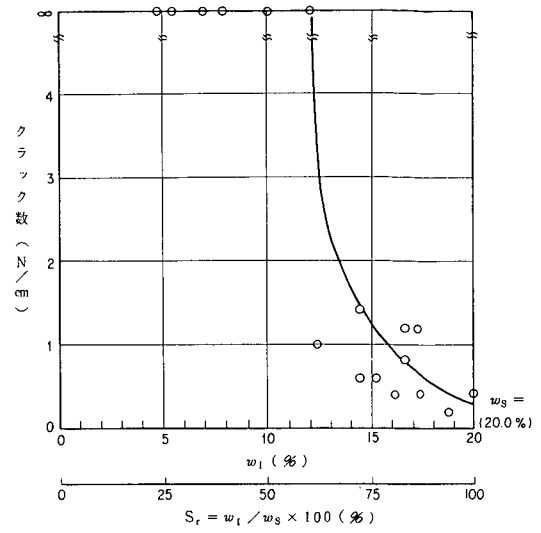
吸水量は、膨張量試験（側方拘束条件での吸水）とスレーキング試験（側方非拘束条件での吸水）の水浸終了後に、水切りを行って測定したものである。図-11(A)~(K)に、水浸前の飽和度、初期含水比 ω_I と吸水率を示した。ここで、吸水率は吸水量より次式を用いて求める（吸水率は含水比と同じ）。

$$\text{吸水量 (g)} = \text{水浸後の重量 (g)} - \text{絶乾重量 (g)}$$

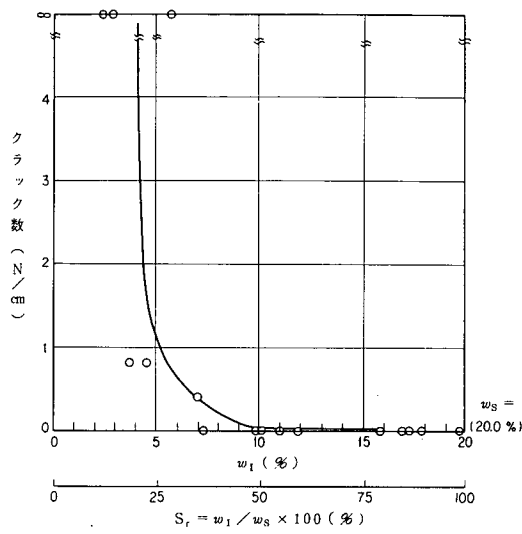
$$\text{吸水率 (\%)} = \frac{\text{吸水量 (g)}}{\text{絶乾重量 (g)}} \times 100$$



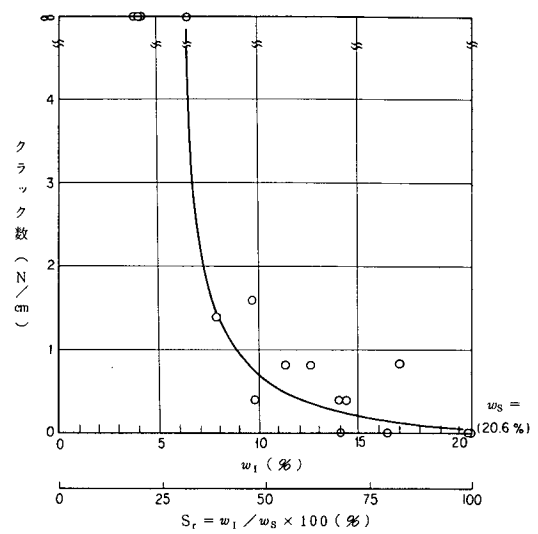
(A) 正 善 寺



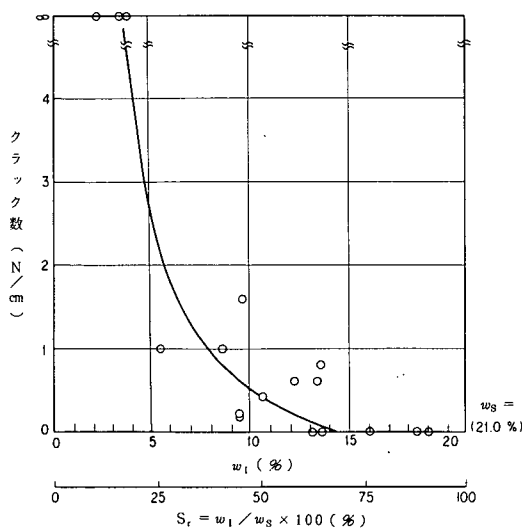
(B) 柿 崎 (新 鮮)



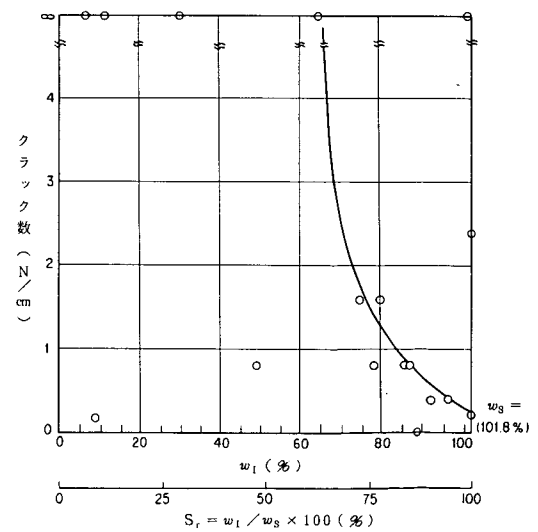
(C) 所司原 (凝灰質砂岩)



(D) 所司原 (泥質砂岩)

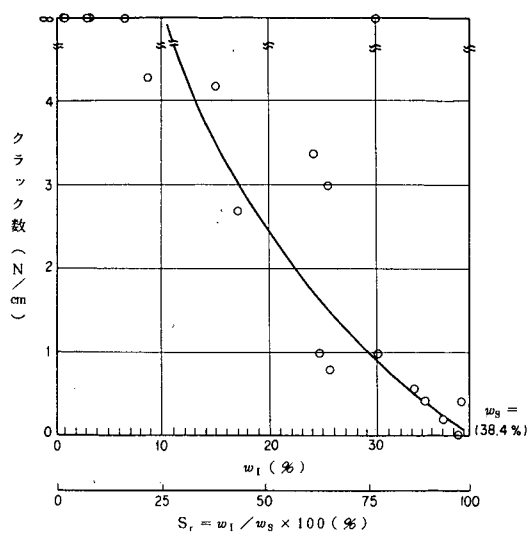


(E) 所司原 (砂質泥岩)

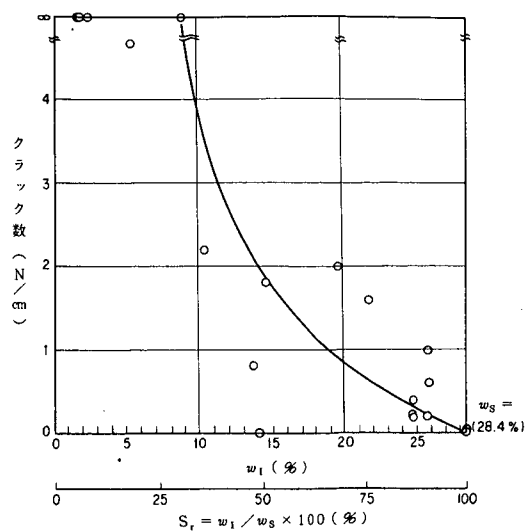


(F) 猪牟田 (泥岩・法面)

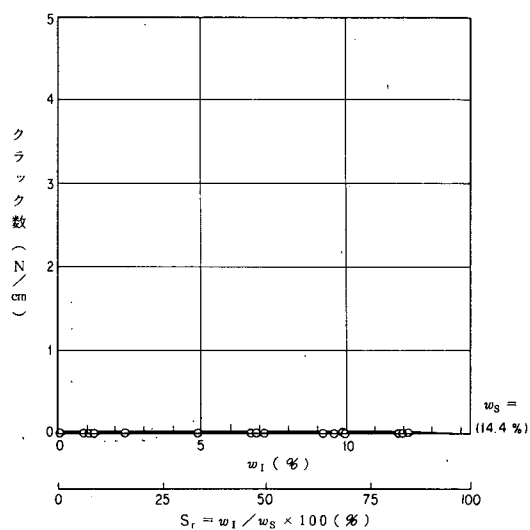
図- 8(1) 飽和度 (初期含水比) とクラック数



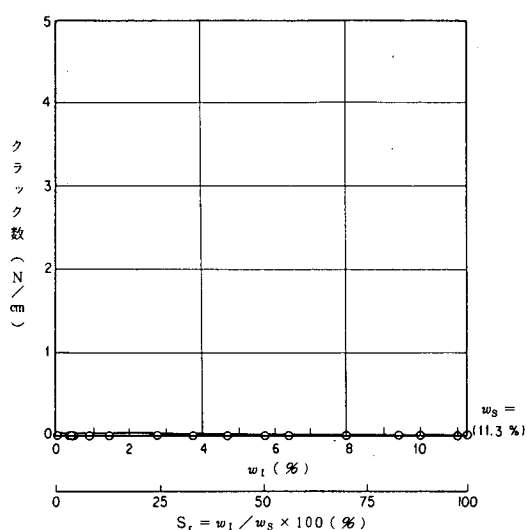
(G) 猪牟田 (泥岩・横抗)



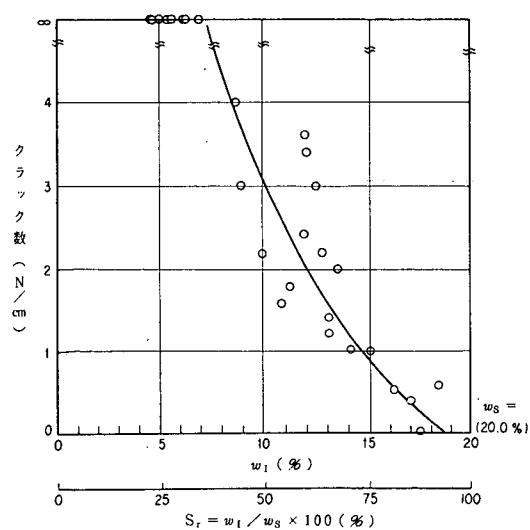
(H) 猪牟田 (シルト岩)



(I) 七ヶ宿 (粗粒凝灰岩)

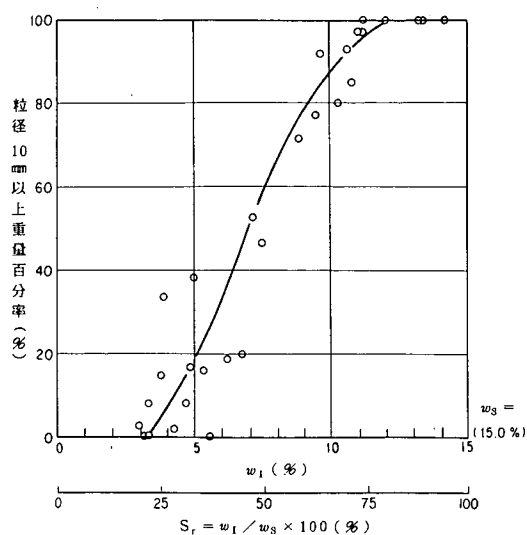


(J) 七ヶ宿 (変質安山岩)

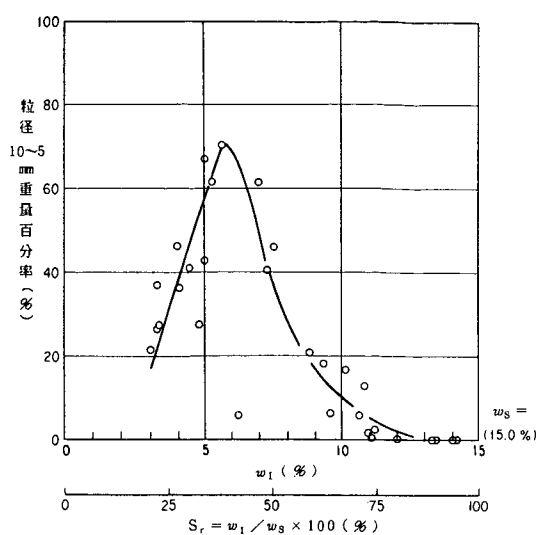


(K) 柿崎 (風化)

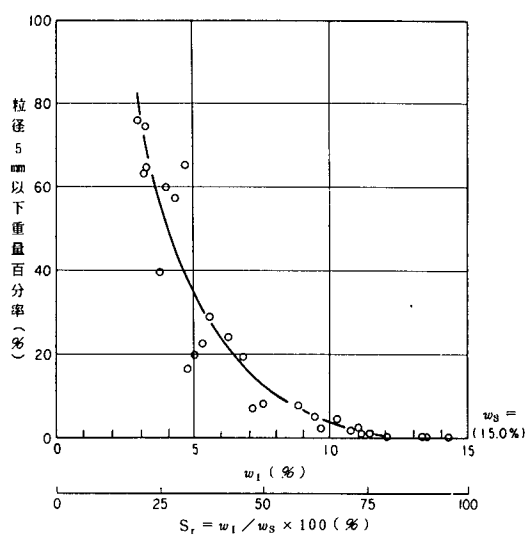
図-8(2) 飽和度(初期含水比)とクラック数



(A) 正善寺 ①

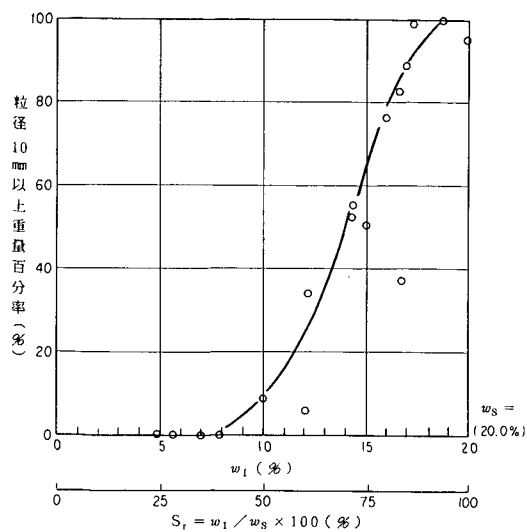


(A) 正善寺 ②

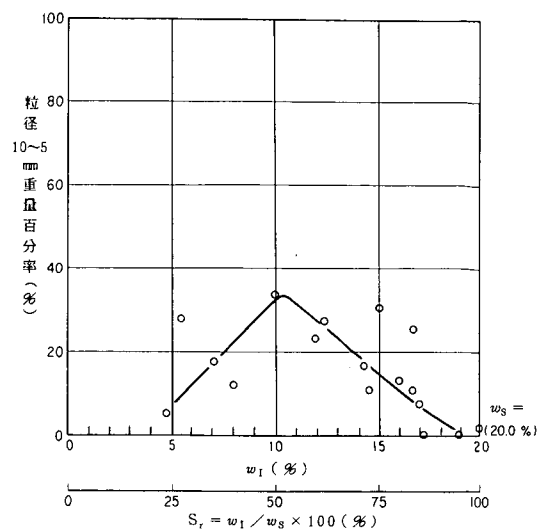


(A) 正善寺 ③

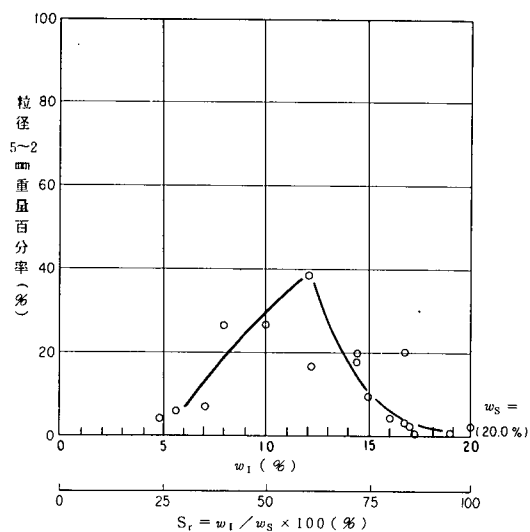
図-9(1) 飽和度(初期含水比)と崩壊粒度



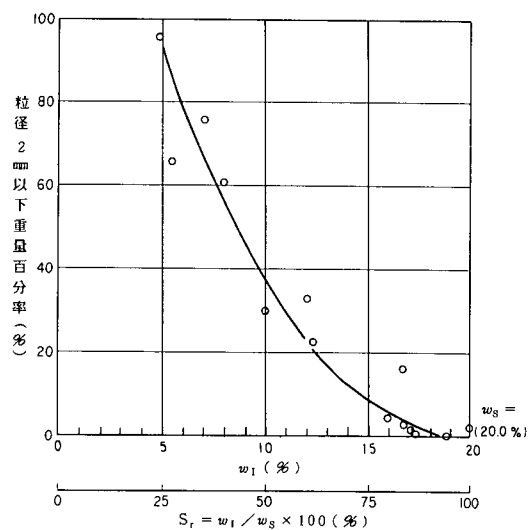
(B) 柿崎(新鮮) ①



(B) 柿崎(新鮮) ②

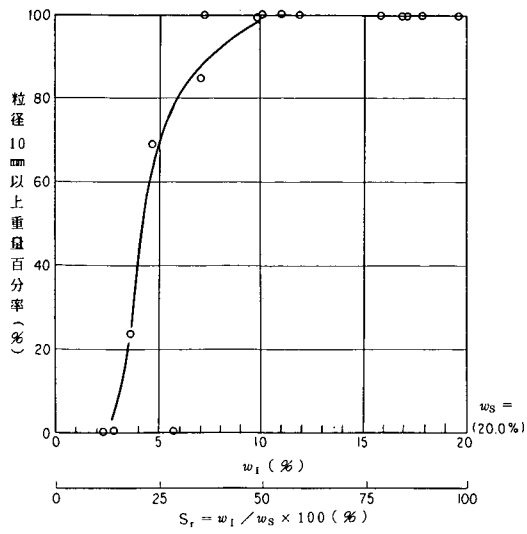


(B) 柿崎(新鮮) ③

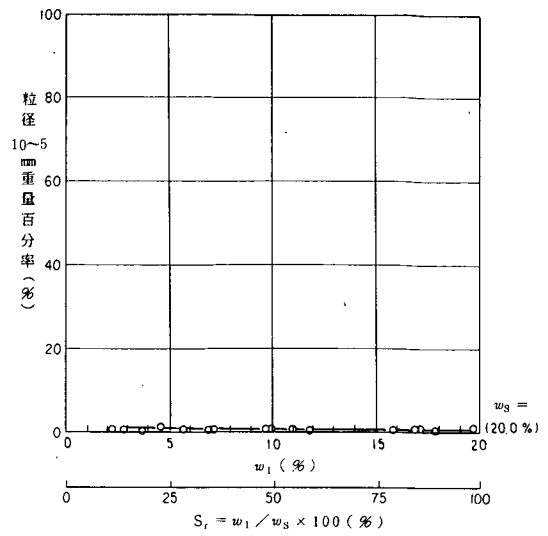


(B) 柿崎(新鮮) ④

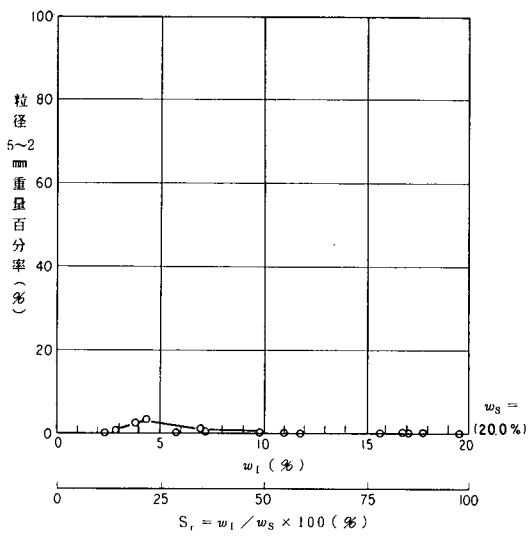
図一 9 (2) 飽和度(初期含水比)と崩壊粒度



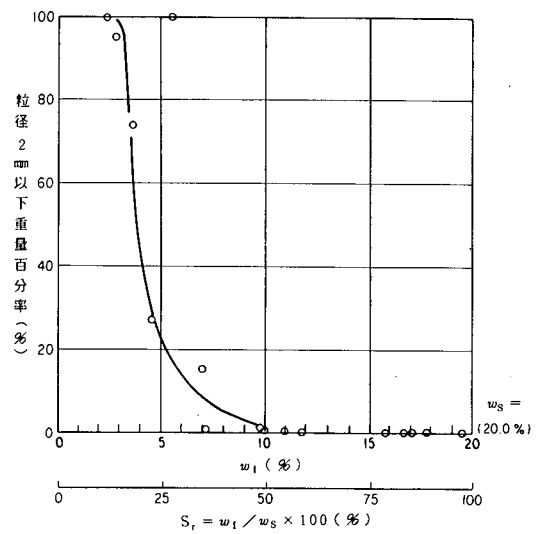
(C) 所司原 (凝灰質砂岩) ①



(C) 所司原 (凝灰質砂岩) ②

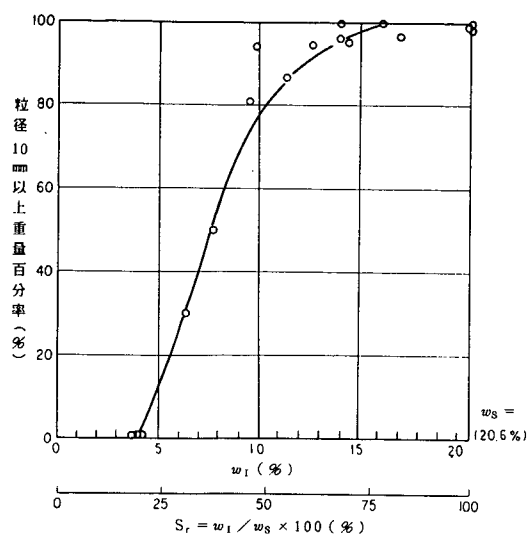


(C) 所司原 (凝灰質砂岩) ③

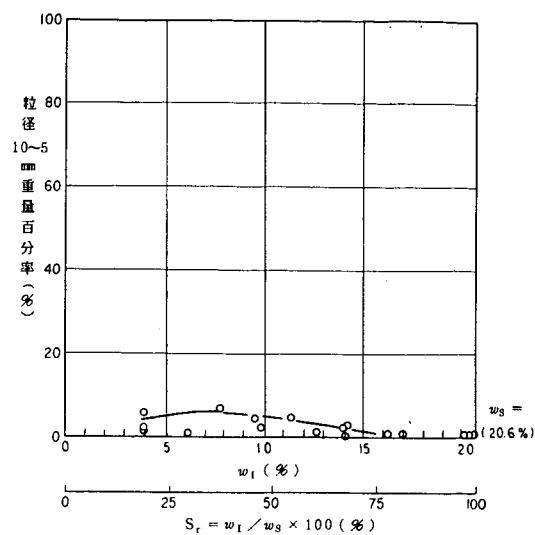


(C) 所司原 (凝灰質砂岩) ④

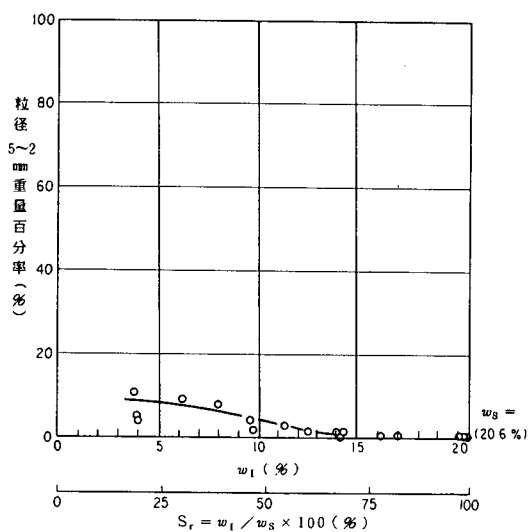
図-9(3) 飽和度 (初期含水比) と崩壊粒度



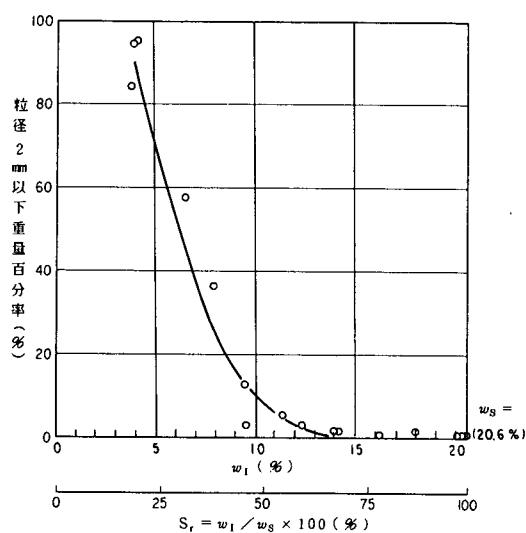
(D) 所司原 (泥質砂岩) ①



(D) 所司原 (泥質砂岩) ②

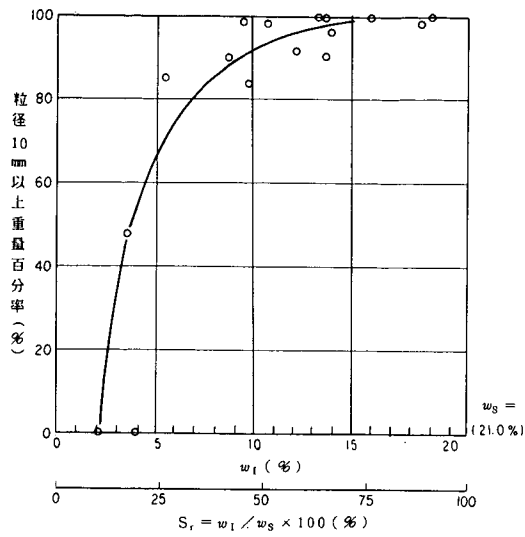


(D) 所司原 (泥質砂岩) ③

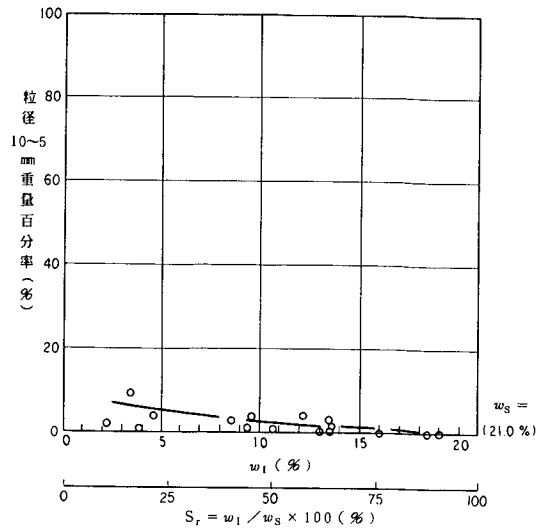


(D) 所司原 (泥質砂岩) ④

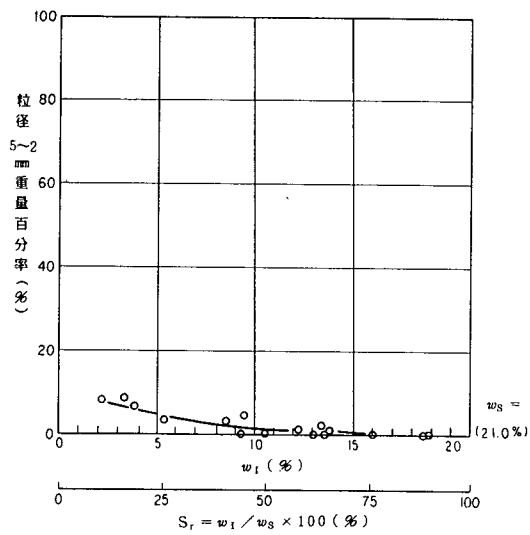
図一 9 (4) 飽和度 (初期含水比) と崩壊粒度



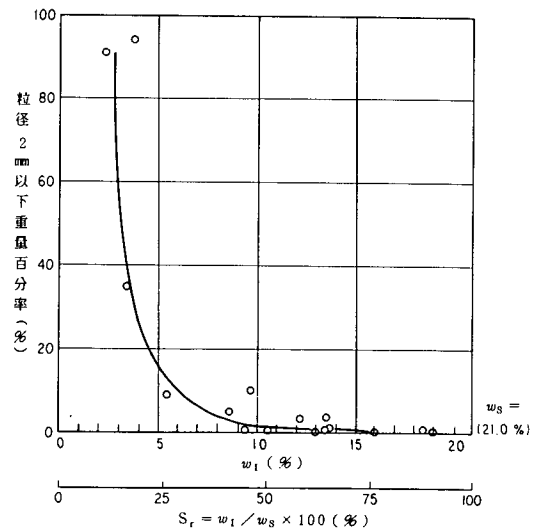
(E) 所司原 (砂質泥岩) ①



(E) 所司原 (砂質泥岩) ②

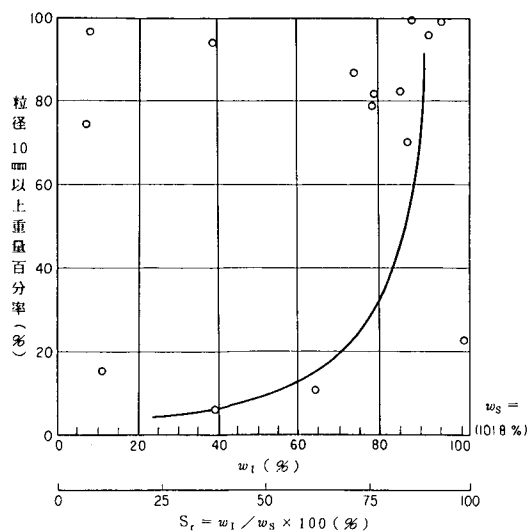


(E) 所司原 (砂質泥岩) ③

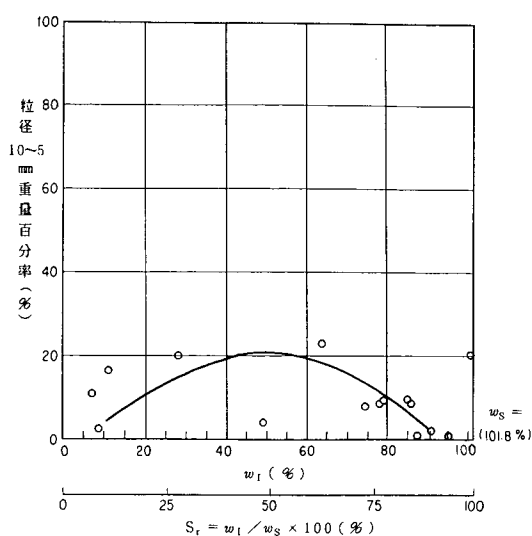


(E) 所司原 (砂質泥岩) ④

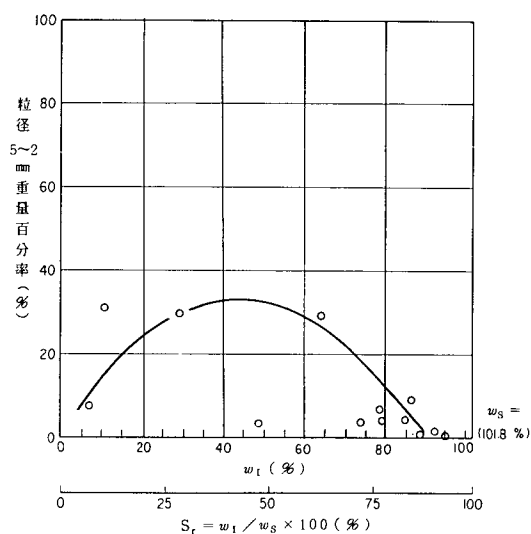
図一 9 (5) 飽和度 (初期含水比) と崩壊粒度



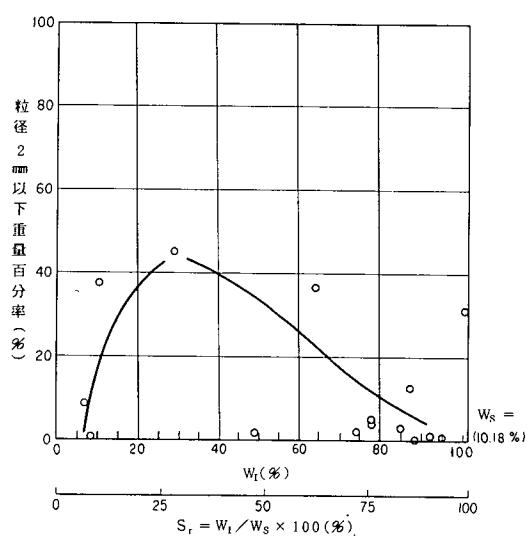
(F) 猪牟田 (泥岩・法面) ①



(F) 猪牟田 (泥岩・法面) ②

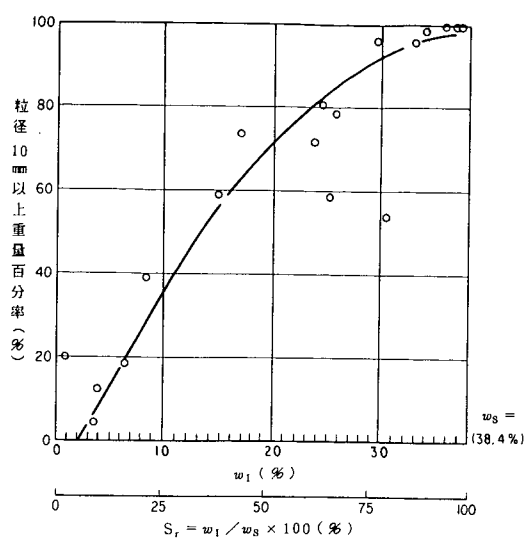


(F) 猪牟田 (泥岩・法面) ③

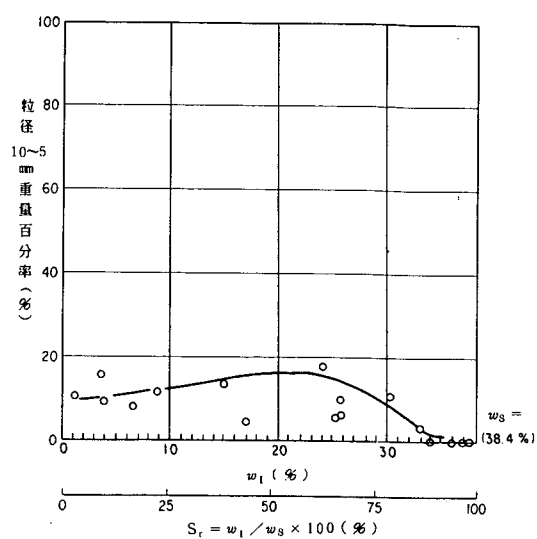


(F) 猪牟田 (泥岩・法面) ④

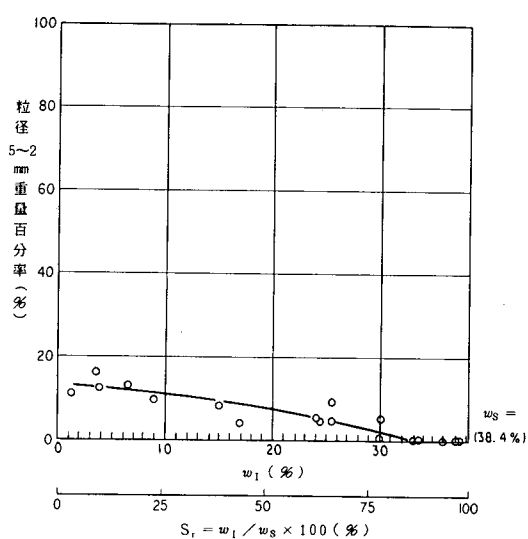
図一 9(6) 飽和度 (初期含水比) と崩壊粒度



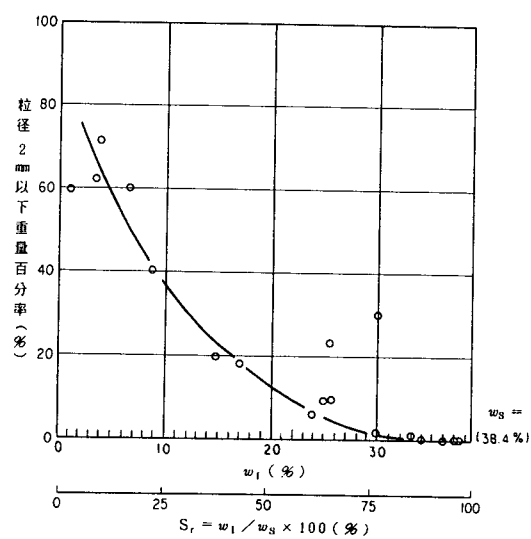
(G) 猪牟田(泥岩・横坑) ①



(G) 猪牟田(泥岩・横坑) ②

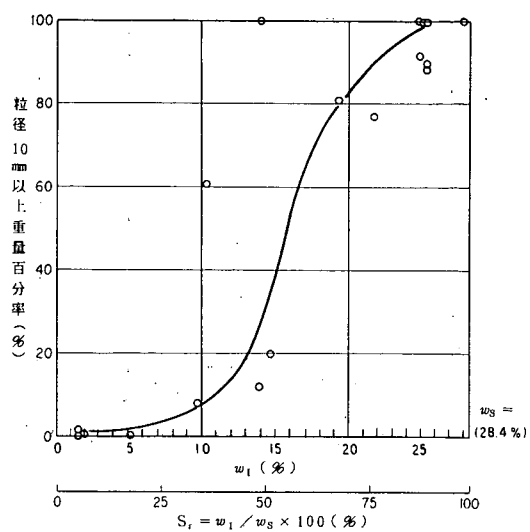


(G) 猪牟田(泥岩・横坑) ③

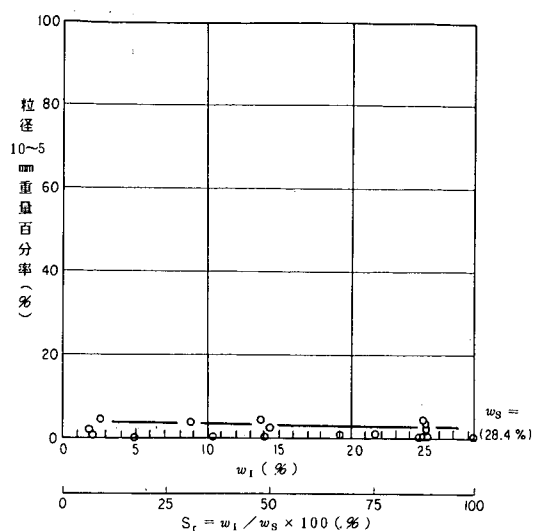


(G) 猪牟田(泥岩・横坑) ④

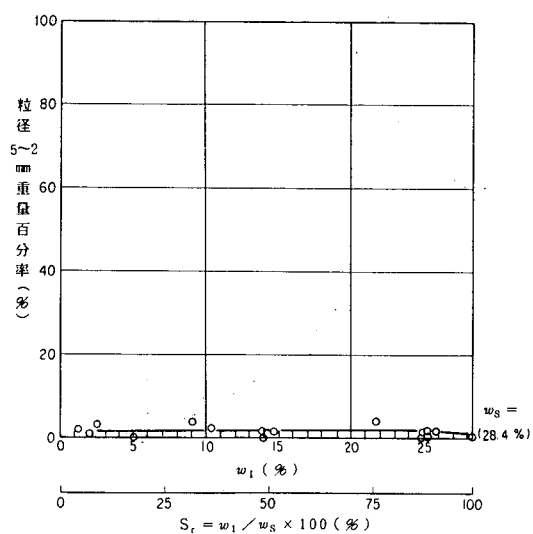
図-9(7) 飽和度(初期含水比)と崩壊粒度



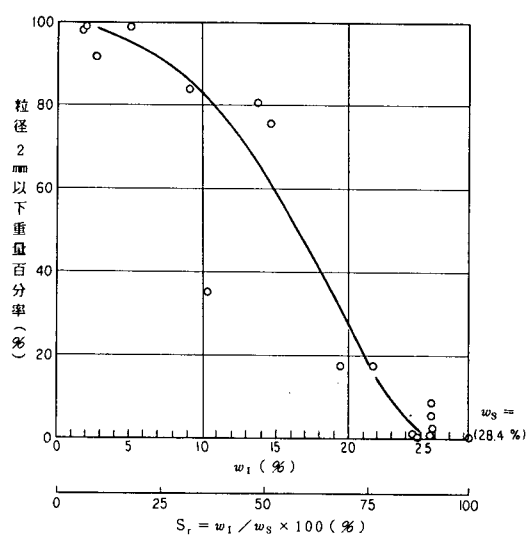
(H) 猪牟田 (シルト岩) ①



(H) 猪牟田 (シルト岩) ②

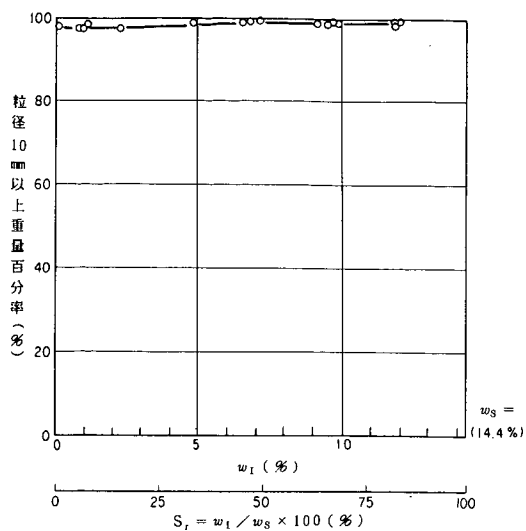


(H) 猪牟田 (シルト岩) ③

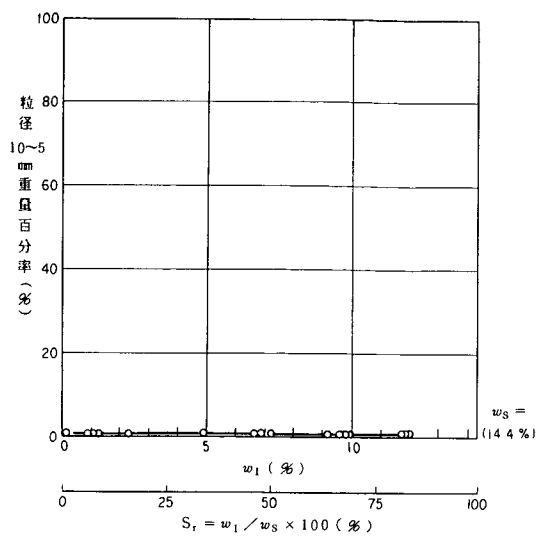


(H) 猪牟田 (シルト岩) ④

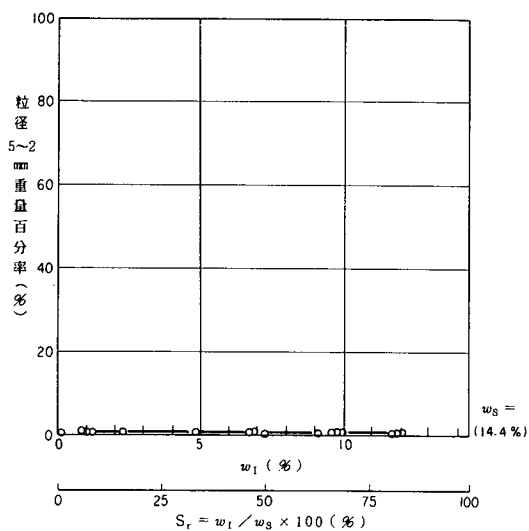
図-9(8) 飽和度 (初期含水比) と崩壊粒度



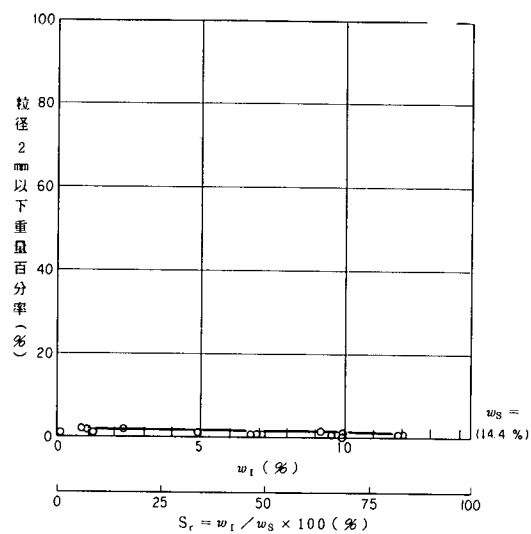
(I) 七ヶ宿(粗粒凝灰岩) ①



(I) 七ヶ宿(粗粒凝灰岩) ②

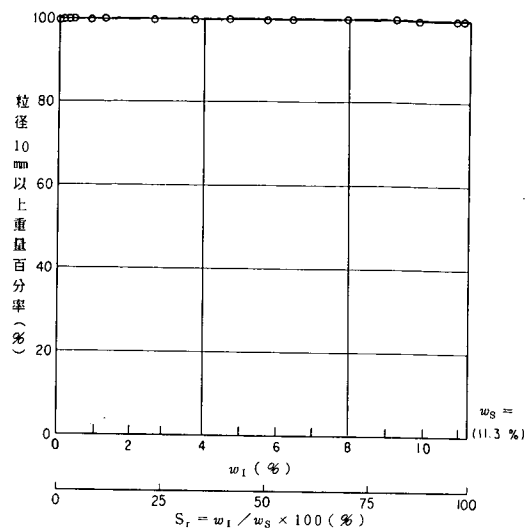


(I) 七ヶ宿(粗粒凝灰岩) ③

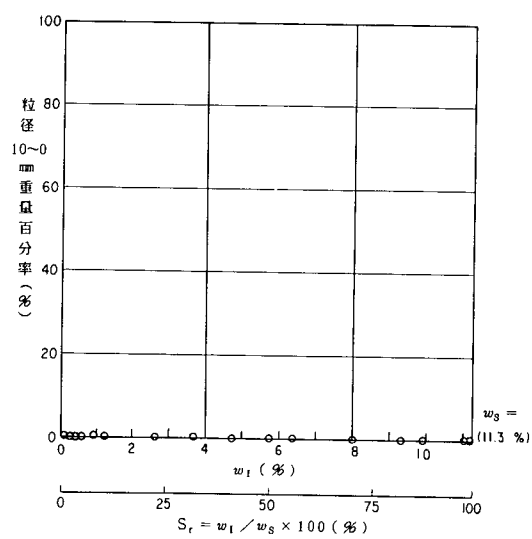


(I) 七ヶ宿(粗粒凝灰岩) ④

図-9(9) 飽和度(初期含水比)と崩壊粒度

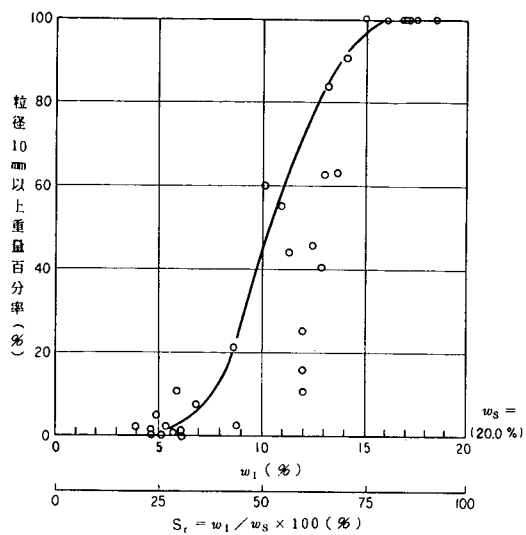


(J) 七ヶ宿 (変質安山岩) ①

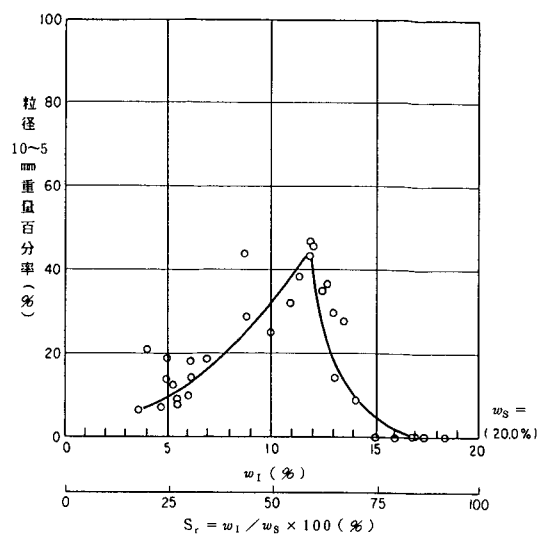


(J) 七ヶ宿 (変質安山岩) ②

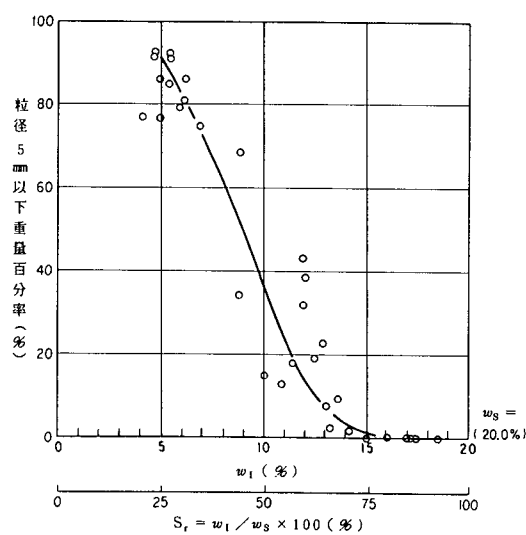
図-9(10) 飽和度 (初期含水比) と崩壊粒度



(K) 柿崎(風化) ①

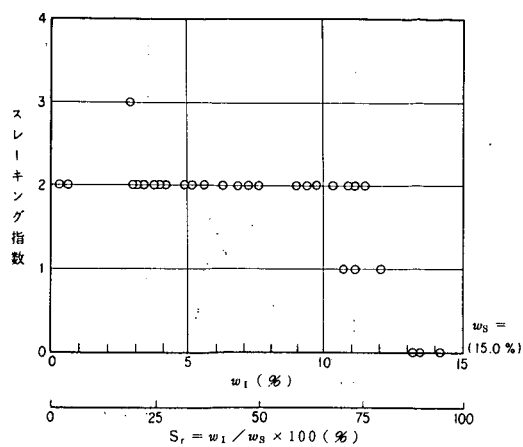


(K) 柿崎(風化) ②

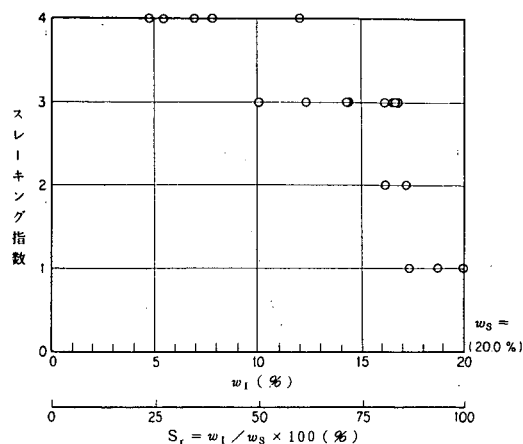


(K) 柿崎(風化) ③

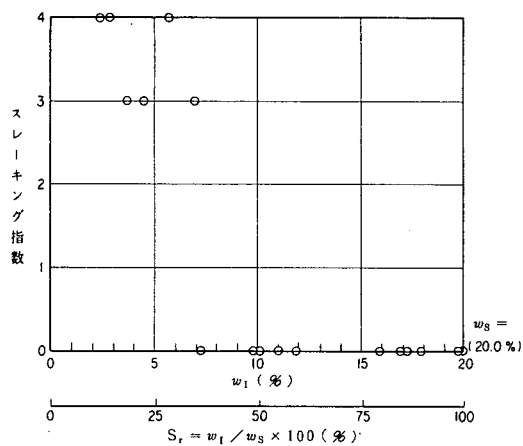
図-9(11) 飽和度(初期含水比)と崩壊粒度



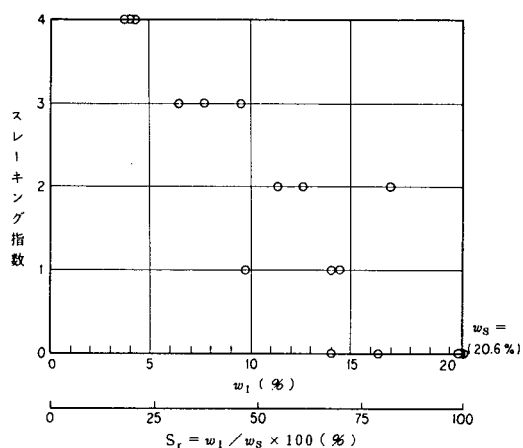
(A) 正 善 寺



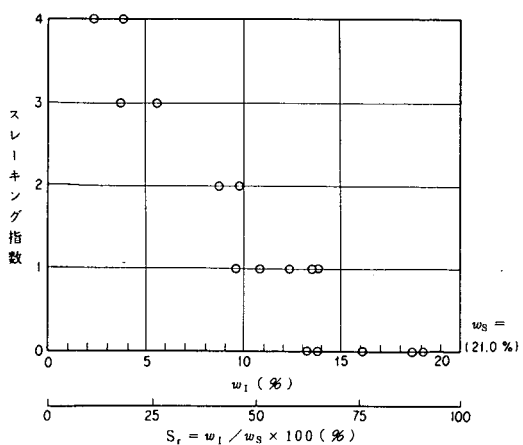
(B) 柿崎 (新 鮮)



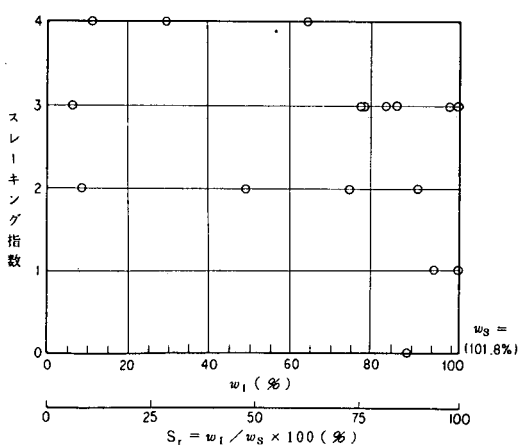
(C) 所司原 (凝 灰 質 砂 岩)



(D) 所司原 (泥 質 砂 岩)

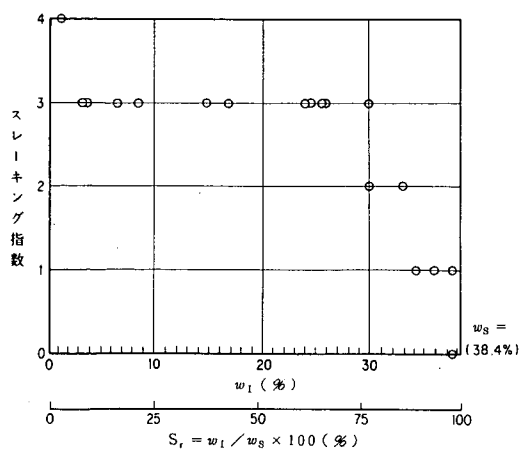


(E) 所司原 (砂 質 泥 岩)

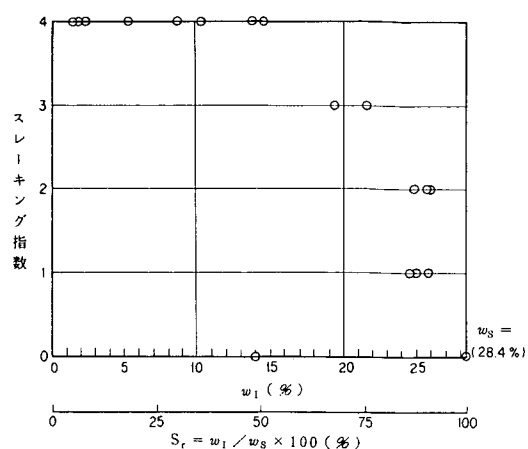


(F) 猪牟田 (泥 岩 ・ 法 面)

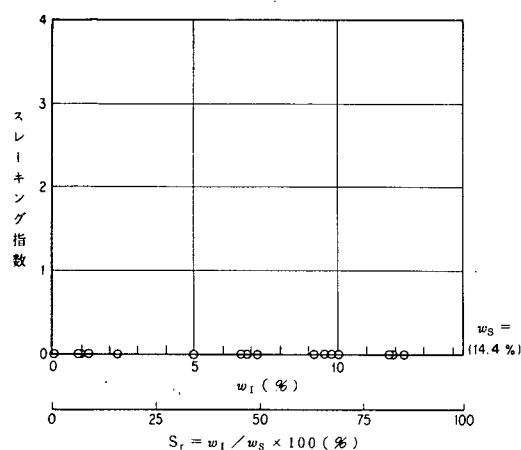
図- 10 (1) 飽和度 (初期含水比) とスレーキング指数



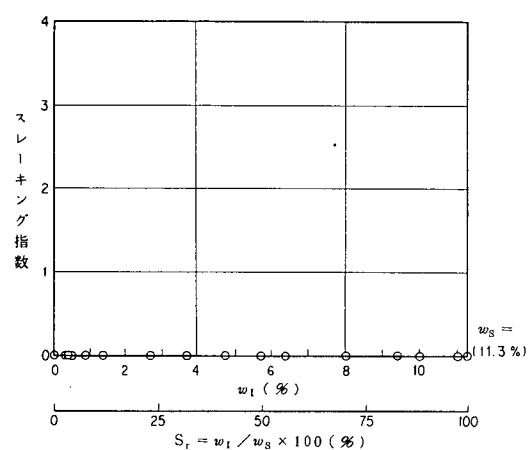
(G) 猪牟田 (泥岩・横坑)



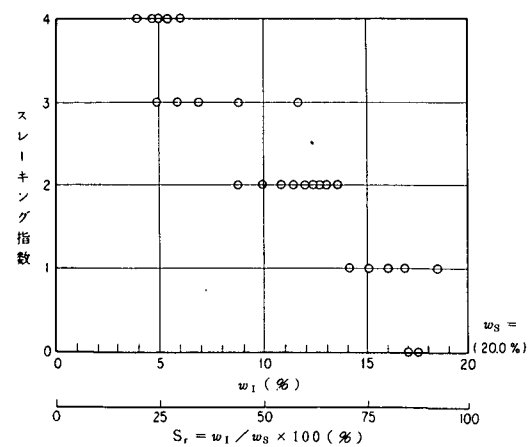
(H) 猪牟田 (シルト岩)



(I) 七ヶ宿 (粗粒凝灰岩)

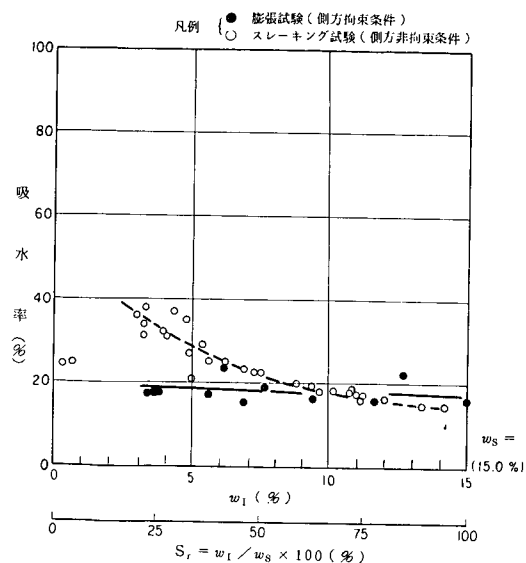


(J) 七ヶ宿 (変質安山岩)

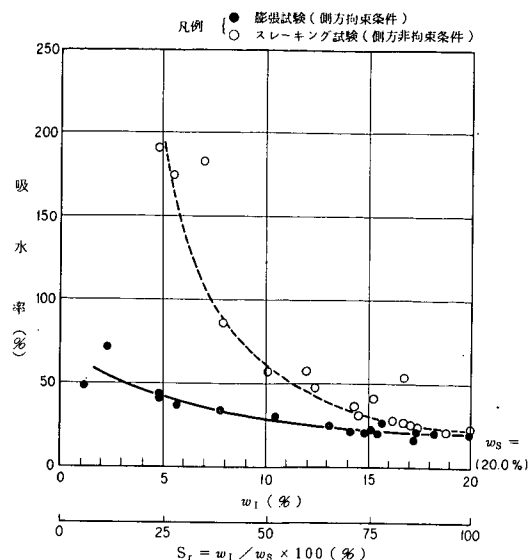


(K) 柿崎 (風化)

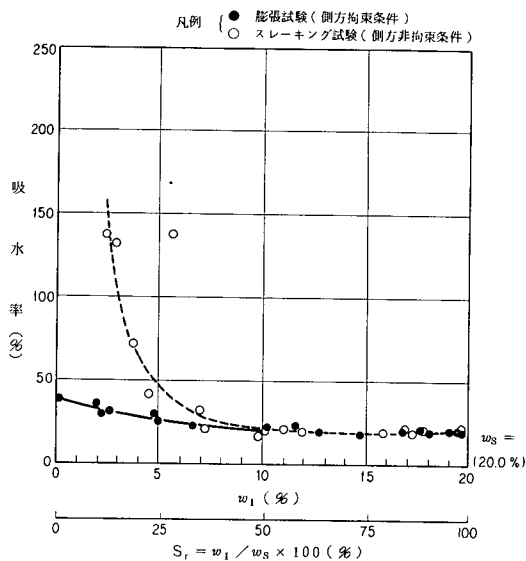
図-10(2) 飽和度 (初期含水比) とスレーキング指数



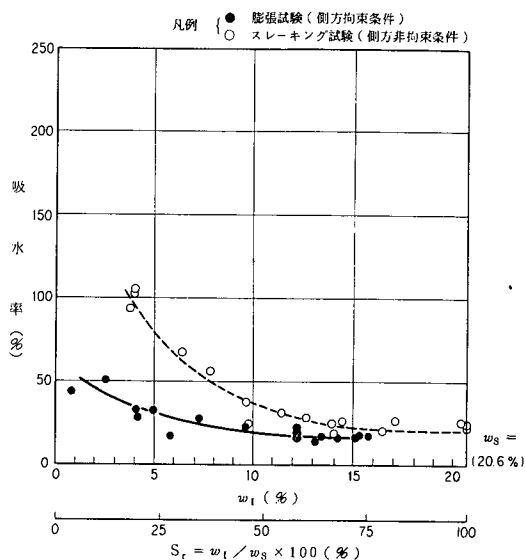
(A) 正善寺



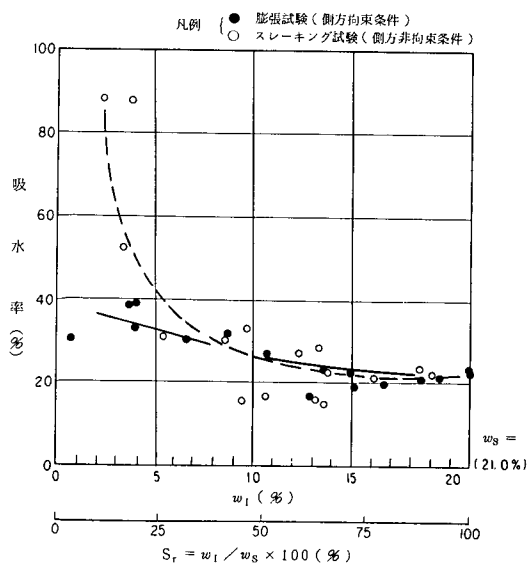
(B) 柿崎 (新鮮)



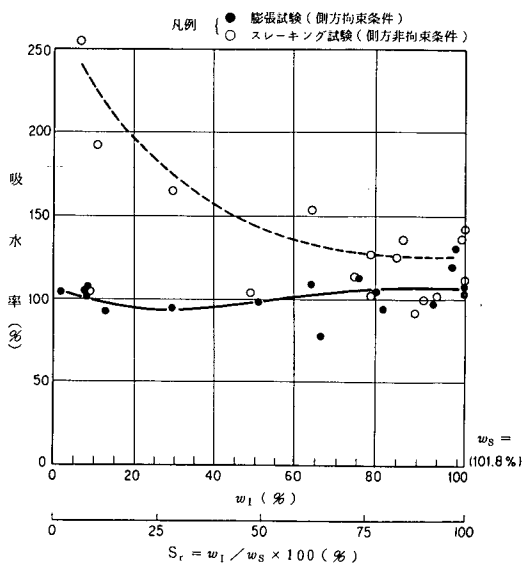
(C) 所司原 (凝灰質砂岩)



(D) 所司原 (泥質砂岩)

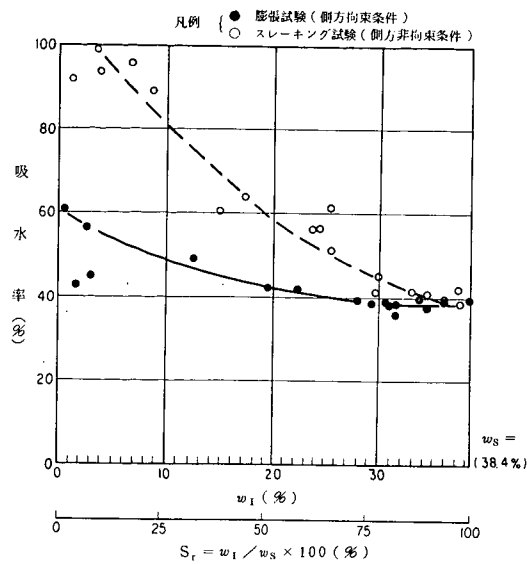


(E) 所司原 (砂質泥岩)

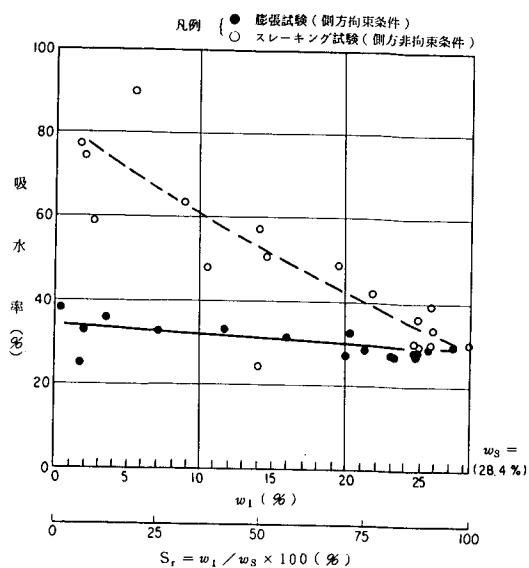


(F) 猪牟田 (泥岩・法面)

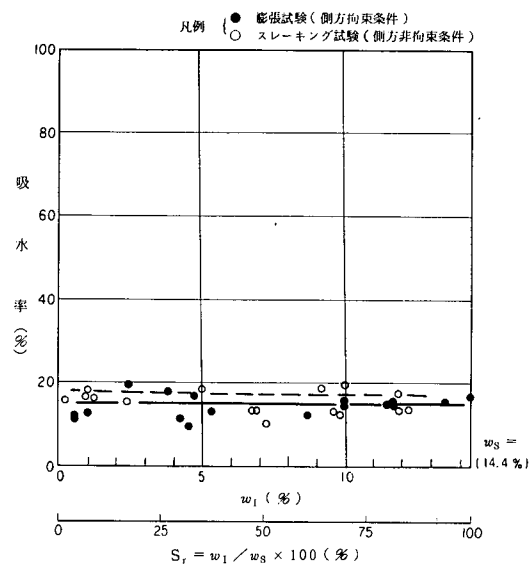
図-11(1) 飽和度 (初期含水比) と吸水率



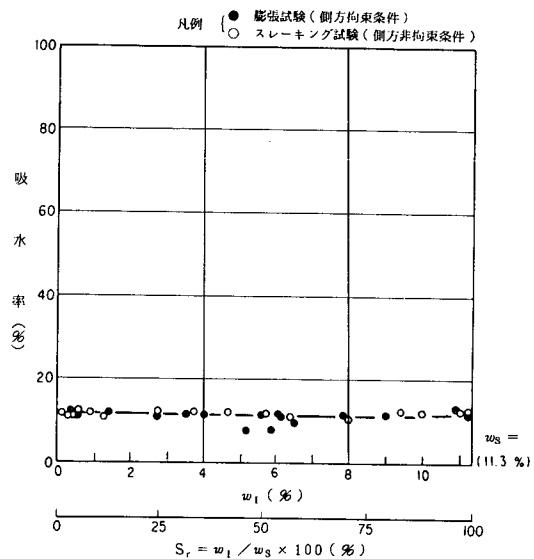
(G) 猪牟田 (泥岩・横坑)



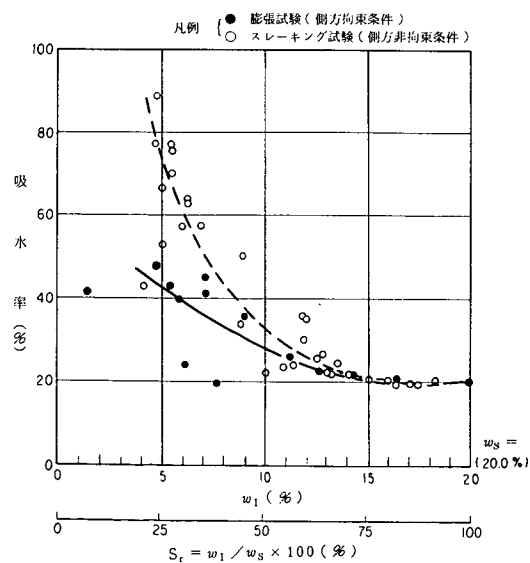
(H) 猪牟田 (シルト岩)



(I) 七ヶ宿 (粗粒凝灰岩)



(J) 七ヶ宿 (変質安山岩)



(K) 柿崎 (風化)

図一 11(2) 飽和度 (初期含水比) と吸水率

図中の黒丸は側方拘束、すなわち上下両端面から吸水させたもので、白丸は非拘束、すなわち全面から吸水させたものである。

岩石の性質が、飽和→乾燥で変化しないとすれば、再び乾燥→飽和としても乾燥前の飽和含水比と変わらないと思われる。しかしながら図-11に示すように初期含水比 ω_I の低下とともに吸水率は増加する。それは拘束と非拘束で吸水率に差があることから、膨張によりクラック内に毛管現象が生じ、保水されていると解釈できる。

3.5 浸透能試験

現場における掘削面・貯水池・湖岸等スレーキングによる劣化や崩壊は、雨水や地下水の浸透・蒸発に伴う岩石中の水分移動と重要な関わりを持つものと考えられる。本試験では、そのような岩石の基本的性質を調べるため、水分の浸透量を測定した。

図-12は各供試体の経過日数毎の蒸発量を累計して示したものである。蒸発量は(F)・(H)猪牟田が大きく(D)・(E)所司原が小さい。累計蒸発量を表-2の各岩種の密度と比較すると、密度の小さいものほど蒸発量は大きく、密度の大きいものほど蒸発量は小さい傾向がある。

図-13は蒸発量の変化を測定間隔毎に時間数で除したものを縦軸に示したものである。同図によれば、蒸発量の小さい岩種(D)・(E)所司原・(J)七ヶ宿は7日経過時で蒸発量は一定となり、やや大きな蒸発量を示す(C)所司原・(G)・(H)猪牟田・(I)七ヶ宿でも20日程度で一定となって、内部の含水状態が落ちつくことを示している。しかし、(F)猪牟田においては20日以降もばらつきが大きく、全体的には低下する傾向がある。

図-14は、25日浸透を継続した後の各供試体の含水比分布を示したもので、サンプル番号0が湿潤・吸水側、番号10が乾燥側である。図-12と比較すれば、必ずしも蒸発量の大きいものの含水比が低下しているわけではない。(F)猪牟田は、含水比分布がほとんどサンプル1～10までで変化なく、浸透能力が大きいと言える。

3.6 膨張圧

膨張圧の測定は膨張圧試験機により、膨張量試験と同様の方法で行った。膨張圧試験機は、吸水による膨張量を1/100mm毎に油圧シリンダによって押し戻し、膨張を許さずに圧力に変換する機構になっている。

図-15(F)・(L)は、吸水前の飽和度、初期含水比 ω_I と膨張圧および吸水率を示したものである。同図によれば、吸水率は(F)・(L)ともに飽和含水比程度で一定であるが膨張圧は変化が大きい。(F)猪牟田は、初期含水比 ω_I が小さいほど膨張圧が小さく、(L)島尻ではその逆の傾向がある。そして、(L)島尻の膨張圧は、初期含水比 ω_I が4%以下になると大きくばらつき、ほとんど発生しないものもある。(F)猪牟田の膨張圧は、初期含水比 ω_I が2%程度になるとまったく発生しない。(F)猪牟田について図-7の膨張率と比較すれば、膨張率はほぼ全般にわたって一定で、初期含水比 ω_I が小さくなくても低下しない。これは、膨張量試験が垂直方向に無負荷であるためと考えられる。

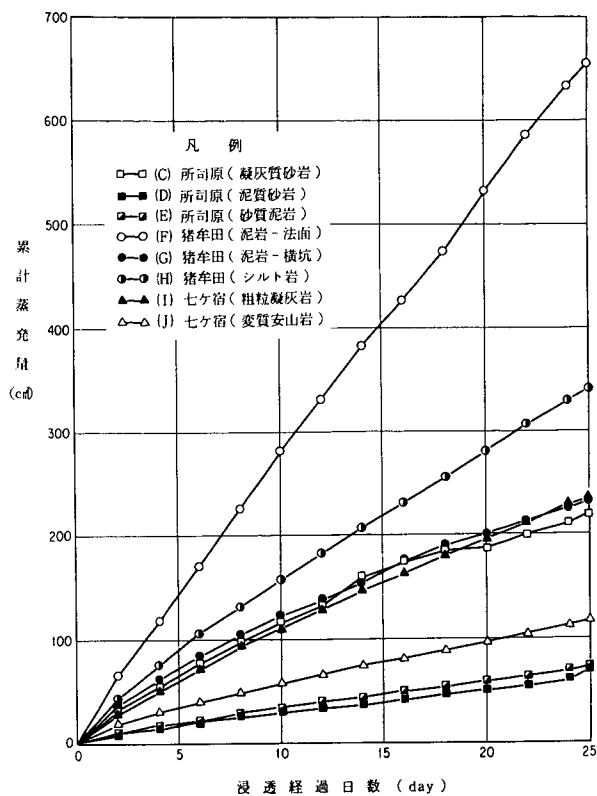


図-12 蒸発量累計曲線

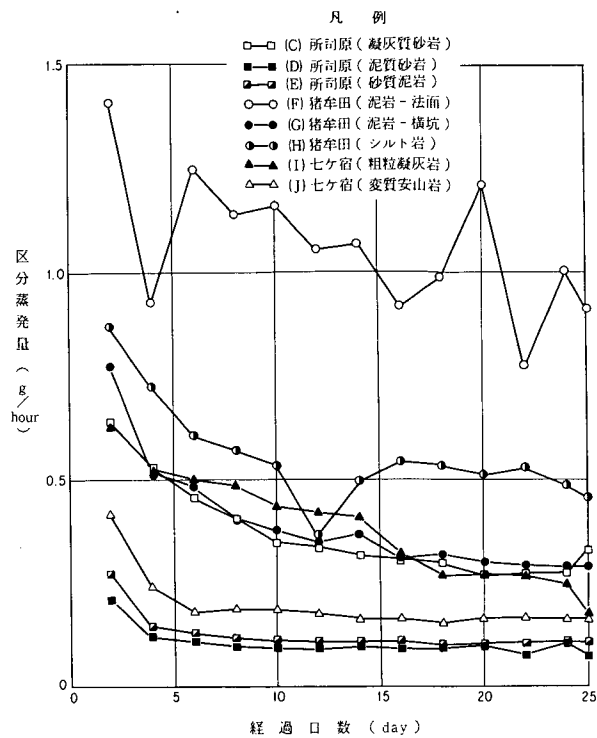


図-13 区分蒸発量曲線

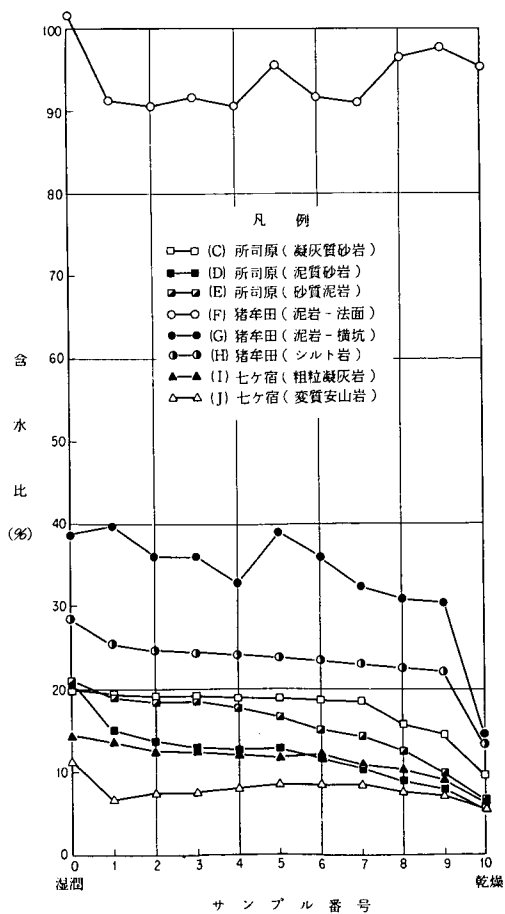
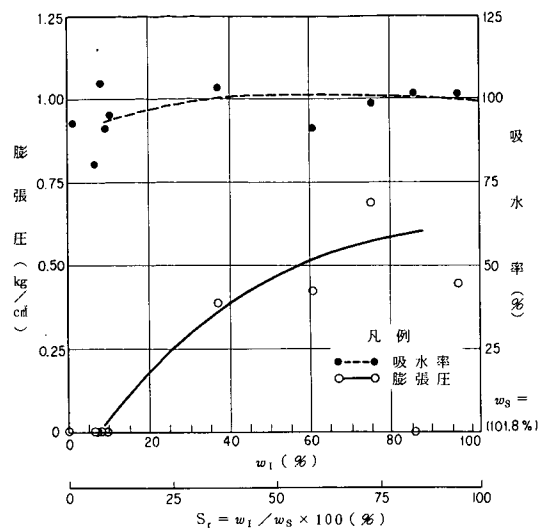
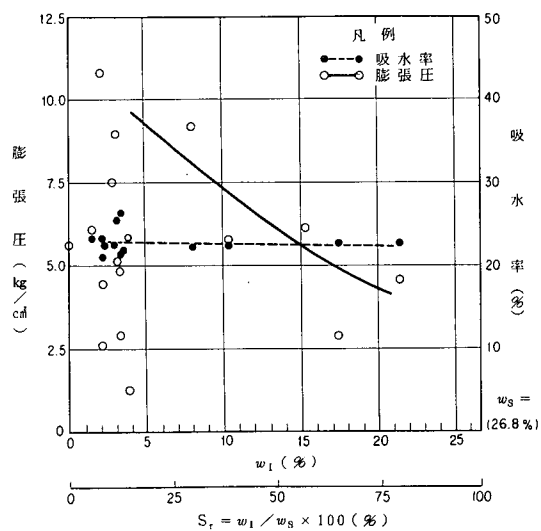


図-14 25日経過後の含水比分布



(F) 猪牟田 (泥岩・法面)



(L) 島 尻 (泥岩)

図-15 膨張圧試験結果

4. ま と め

以上の試験結果をまとめると次のことがわかる。

- ① スレーキング指標として求めた拘束しない時の吸水率・膨張率・クラック数・スレーキング指数は、いずれも初期含水比 ω_I の低下とともに増大する。
- ② 膨張率の大きな岩種は、収縮率も大きい。
- ③ 吸水率は、拘束したものと非拘束の試験とでは差があり、拘束したものはほぼ飽和含水比程度である。
- ④ 膨張率・吸水率は、視覚的にとらえたクラック数・スレーキング指数や崩壊粒度で変化ないものの微小な劣化の程度も表わせる利点がある。
- ⑤ クラック数は、劣化が著しく泥状化した岩種を表現しにくい欠点がある。
- ⑥ 崩壊粒度は、スレーキング指数やクラック数の大きな範囲を、粒径におきかえて定量的に表現できる利点がある。ただし、岩石を構成する鉱物粒子の径の大小によって異なる場合がある。
- ⑦ スレーキング指数は、劣化を定性的に表現するには簡便である。ただし、この指標も初期含水比 ω_I によって変化するので、土木学会（1980）「軟岩の調査・試験指針」簡易スレーキング試験（案）に記されている供試体の乾燥条件「60℃24時間」「風乾一週間」を確実に絶乾状態になるよう改ためるのが適当であると思われる。
- ⑧ 今回行った劣化試験は、湿潤→乾燥→湿潤の1サイクルとした。しかし、崩壊粒度等には変化が無く、わずかに膨張率・吸水率に変化がある岩種もあった。現場における自然の斜面等は、何サイクルもの乾湿の繰り返しを受けて劣化するので、多サイクルでの供試体実験も試みる必要がある。
- ⑨ 膨張率は、膨張率の大きい含水比の範囲においても必ず大きいとは限らない。

膨張率・吸水率・クラック数・スレーキング指数・崩壊試料の細粒化は、初期含水比 ω_I の低下に伴って、増大する傾向にある。これらの指標は、初期含水比 ω_I が100%で発生するものは少なく、ある程度乾燥した所で発生し増大するものが多い。岩種毎のスレーキング特性を把握し著しい劣化の進行を防げるためには、この指標の立ち上がりを示す点、すなわち変曲点の飽和度 S_r を把握する必要がある。

また、岩種の違いでは(I)・(J)七ヶ宿のように、崩壊粒度（図-9）・スレーキング指数（図-10）等の指標で0であっても、膨張率（図-7）を指標とすれば微小な劣化の程度が表現できるものもある。スレーキングを生じる多くの岩種で広範な劣化の程度を表現するためには、どのような指標が適切であるかを充分検討する必要がある。

今回の試験では、岩石の物理・力学試験、粒度試験、粉末X線回折、浸透能試験も行ったが、これらと劣化指標との関連が明確にできなかった。この原因として、データ数の少なさが挙げられる。そこで今後は、さらに多くの岩種でデータを集積するとともに、スレーキングの評価指標を決定し、同一指標で整理する必要がある。

謝

辞

本資料をまとめるにあたり、実験の計画・実施に有意義な御助言を頂いた岡本隆一前地質官（現〔財〕ダム技術センター）および蒔田実地質化学部長ならびに菅原捷前地質研究室長（現水資源開発公団試験所第三試験課長）、また、試料採取において多大な御協力を頂いた各ダム関係各位に心からお礼申し上げます。

付 録 : デ ー タ シ ー ト

膨張量試験（その1）

供試体番号 _____

試験年月日 _____ 年 _____ 月 _____ 日

試験条件

試料採取地	岩 種	飽和時間	乾燥温度	乾燥時間	供試体直径	供試体高さ
		48 hr	常 温		50 mm	20 mm

状態 測定項目	自 然 状 態			飽 和 状 態			初 期 状 態		
高 さ H (cm)									
直 径 D (cm)									
体 積 V (cm ³)									
重 量 W (g)									
密 度 ρ (g/cm ³)									
含水比 ω (%)									

水 浸 時 間 (hr)	0	1	2	4	6	24
水 温 (°C)						
ダイヤルゲージの読み (mm)						
供 試 体 高 さ (cm)						
膨 張 率 (%)						
水 浸 時 間 (day)	2	3	4	5	6	7
水 温 (°C)						
ダイヤルゲージの読み (mm)						
供 試 体 高 さ (cm)						
膨 張 率 (%)						

水切り（7日間水浸後）

	総 重 量	結 晶 皿 重 量	試 料 重 量
湿 潤 重 量 (g)			
絶 乾 重 量 (g)			
含 水 比 (%)			

膨張量試験（その２）

供試体番号 _____

試験年月日 _____ 年 _____ 月 _____ 日

試験条件

試料採取地	岩 種	飽和時間	乾燥温度	乾燥時間	供試体直径	供試体高さ
		48 hr	常 温		50 mm	20 mm

測定項目	経過時間					
気温(℃)・湿度(%)						
高 さ H (cm)						
直 径 D (cm)						
体 積 V (cm ³)						
重 量 W (g)						
密 度 ρ (g/cm ³)						
含水比 ω (%)						
超 音 波 (P 波)	時間 (μs)	伝播速度(m/s)	時間 (μs)	伝播速度(m/s)	時間 (μs)	伝播速度(m/s)

測定項目	経過時間					
気温(℃)・湿度(%)						
高 さ H (cm)						
直 径 D (cm)						
体 積 V (cm ³)						
重 量 W (g)						
密 度 ρ (g/cm ³)						
含水比 ω (%)						
超 音 波 (P 波)	時間 (μs)	伝播速度(m/s)	時間 (μs)	伝播速度(m/s)	時間 (μs)	伝播速度(m/s)

乾 燥 時 間 (h)	0	2	4	8	16	24	48	144	288	576
供 試 体 高 さ (cm)										
収 縮 率 (%)										

スレーキング試験（その1）

供試体番号 _____

試験年月日 _____ 年 ____ 月 ____ 日

試験条件

試料採取地	岩 種	飽和時間	乾燥温度	乾燥時間	供試体直径	供試体高さ
		48 hr	常 温		50 mm	20 mm

状態 測定項目	自 然 状 態			飽 和 状 態			初 期 状 態		
高 さ H (cm)									
直 径 D (cm)									
体 積 V (cm ³)									
重 量 W (g)									
密 度 ρ (g/cm ³)									
含水比 ω (%)									

水切り（24 hour 水浸後）（水温 _____ °C）

	総 重 量	結 晶 皿 重 量	試 料 重 量
湿 潤 重 量 (g)			
絶 乾 重 量 (g)			
含 水 比 (%)			

水中フルイ分け後の絶乾状態

	総 重 量 (g)	結晶皿重量(g)	試料重量(g)	百 分 率 (%)
粒径				
10 mm 以上				
10 mm ~ 5 mm				
5 mm ~ 2 mm				
2 mm 以下				
計				
ク ラ ッ ク 数	総 数		1 cm 当りの単位数	

スレーキング試験（その２）

供試体番号 _____

試験年月日 _____

試験条件

試料採取地	岩 種	飽和時間	乾燥温度	乾燥時間	供試体直径	供試体高さ
		48 hr	常 温		50 mm	20 mm

測定項目 \ 経過時間									
気温 (℃)・湿度 (%)									
高 さ H (cm)									
直 径 D (cm)									
体 積 V (cm ³)									
重 量 W (g)									
密 度 ρ (g/cm ³)									
含水比 ω (%)									
超 音 波 (P 波)	時間 (μ s)	伝播速度 (m/s)		時間 (μ s)	伝播速度 (m/s)		時間 (μ s)	伝播速度 (m/s)	

測定項目 \ 経過時間									
気温 (℃)・湿度 (%)									
高 さ H (cm)									
直 径 D (cm)									
体 積 V (cm ³)									
重 量 W (g)									
密 度 ρ (g/cm ³)									
含水比 ω (%)									
超 音 波 (P 波)	時間 (μ s)	伝播速度 (m/s)		時間 (μ s)	伝播速度 (m/s)		時間 (μ s)	伝播速度 (m/s)	

乾 燥 時 間 (h)	0	2	4	8	16	24	48	144	288	576
供 試 体 高 さ (cm)										
収 縮 率 (%)										

浸透試験（その1）

供試体番号 _____

試験年月日 _____ 年 _____ 月 _____ 日

試験条件

試料採取地	岩 種	恒 温 度	恒 湿 度	浸透時間	供試体直径	供試体高さ
		40 ℃	50 %		50 mm	100 mm

測定項目 \ 状 態	自 然 状 態			飽 和 状 態		
高 さ H (cm)						
直 径 D (cm)						
体 積 V (cm ³)						
重 量 W (g)				試料重量 _____ 総重量 ○ _____		
密 度 ρ (g/cm ³)						

供試体寸法 \ 浸透後状態	高 さ (cm)			直 径 (cm)			
	1	2	① 平均	1	2	3	② 平均

測定項目 \ 浸透後状態	① 高 さ H (cm)	② 直 径 D (cm)	体 積 V (cm ³)	③' 総重量 W' (g)	試料重量 W (g)	密 度 ρ (g/cm ³)	④ - ③' 蒸 発 量 (g)

測定項目 \ サンプル番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
湿 潤 重 量 (g)										
絶 乾 重 量 (g)										
含 水 比 (%)										

※ サンプル番号は、高さ10cmの供試体を1cm毎に切断し、供試体の下端（水浸面）より浸透方向に1番から10番まで付す。

浸 透 試 験 (その 2)

供試体番号 _____

試験年月日 _____ 年 月 日

試験条件

試料採取地	岩 種	恒 温 度	恒 湿 度	浸透時間	供試体直径	供試体高さ
		40 ℃	50 %		50 mm	100 mm

測定項目 \ 状 態	自 然 状 態			飽 和 状 態		
高 さ H (cm)						
直 径 D (cm)						
体 積 V (cm ³)						
重 量 W (g)				試料重量		
密 度 ρ (g/cm ³)				総重量◎		

測定項目	高 さ (cm)			直 径 (cm)			
	1	2	㊶ 平均	1	2	3	㊷ 平均
浸透後状態	㊶ 高さ H (cm)	㊷ 直径 D (cm)	体 積 V (cm ³)	総重量 W' (g)	試料重量 W (g)	密度 ρ (g/cm ³)	◎ - ◎' 蒸 発 量 (g)

項 目 \ 経過時間	0 h (0日)	48 h (2日)	96 h (4日)	144 h (6日)	192 h (8日)	240 h (10日)	288 h (12日)
総 重 量 (g)							
区分蒸発量 (g)							
累計蒸発量 (g)							

項 目 \ 経過時間	336 h (14日)	384 h (16日)	432 h (18日)	480 h (20日)	528 h (22日)	576 h (24日)	600 h (25日)
総 重 量 (g)							
区分蒸発量 (g)							
累計蒸発量 (g)							

項 目 \ サンプル番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
湿 潤 重 量 (g)										
絶 乾 重 量 (g)										
含 水 比 (%)										

※ サンプル番号は、高さ10cmの供試体を1cm毎に切断し、供試体の下端（水浸面）より浸透方向に1番から10番まで付す。

軟岩の吸水劣化試験

ISSN 0386 - 5878

土 研 資 料 第1930号

昭和58年3月 (1983)

桑原啓三・平野 勇・神保 悟・長沢政和

キーワード: スレーキング, 軟岩, 吸水劣化, 膨張

要 旨

新第三紀以降の軟岩を供試体として吸水劣化試験等を行い、スレーキング現象を定量的に把握するための試験方法の検討を行った。



郵便はがき

40円切手
をはいて
下さい

3 0 5 - □ □

茨城県筑波郡豊里町大字旭一番地
建設省土木研究所
地質化学部地質研究室御中

No. 12

No. 12

配布先氏名

配布先住所





土木研究所資料第 1930 号 部

上記のとおり受領しました。

所 属（住所）

氏 名

印

