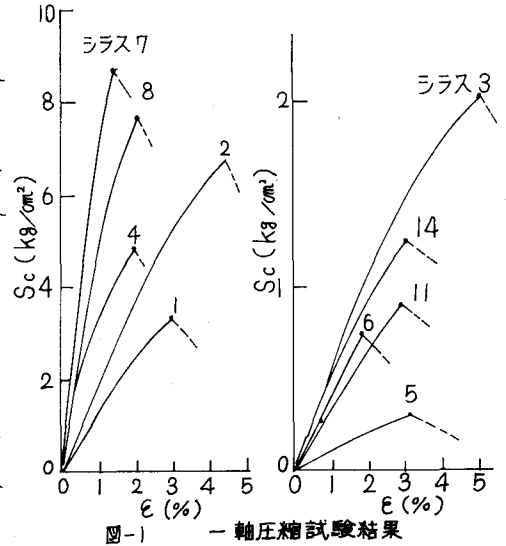


III-34. 地山シラスの強度特性について

鹿児島高専 正員 ○村田孝一
九州大学 正員 山内豊聡

1. まえがき シラスは水に対して極端に侵食されやすく、毎年災害を繰返していることは周知のことであろう。また、地山シラスには侵食破壊以外に脆性破壊がかなり見られる。地山シラスにおいては、垂直に近い急勾配でカットし、斜面に水の流れを当てない方法が伝統的に採用されているが、実際に、約100mの垂直勾配の斜面でさえ、安定を維持しているところがある。しかし、この方法も決して完全なものでなく、その設計がいかにあるべきかは重要な課題になっている。本文は、南九州の各地の地山シラスから採取した乱さない試料について、種々の力学的試験(室内試験)を行い、その強度特性と自然および切土斜面での脆性破壊のクラックの発生機構を考察した結果を報告する。シラスの脆性破壊は、地震のさいは、自然および切土斜面で直接観察されるのに対し、降雨後に見られる斜面破壊は、たとえその以前に脆性破壊が起っていても、最終的には侵食破壊とみなされる場合が多い。

2. 地山シラスの強さ 乱さないシラスの強さの原因として、粒子間の接着または溶結、噛み合わせ作用および静電気的な結合力が考えられるが、そのメカニズムは明らかにされていない。これらの要因のうち、噛み合わせ作用についてはこれまでかなり調べられている²⁾。シラスは場所により性質が異なるので、実験に用いた試料は表一



表一 試料の指数的性質

試料番号	採取地	自然含水比 W (%)	比重 Gs	間隙率 e	乾燥密度 Yd (g/cm³)	飽和度 Sv (%)	一軸圧縮強さ Sc (kg/cm²)	引張り強さ St (kg/cm²)	ゼイ性度 Sc/St
1	KOKUBU	19.0	2.546	0.850	1.376	57.2	3.41	0.16	21.3
2	KOKUBU	21.4	2.584	0.758	1.470	73.0	6.75	0.85	7.9
3	KOKUBU	22.0	2.580	0.843	1.400	67.3	2.05	0.070	29.3
4	HAYATO	24.1	2.446	0.839	1.330	70.3	4.94	1.00	4.9
5	HAYATO	29.0	2.457	1.207	1.113	59.0	0.33	0.044	7.5
6	HAYATO	33.6	2.459	0.970	1.248	85.2	0.76	0.063	12.1
7	KOKUBU	19.4	2.522	0.693	1.490	70.6	8.64	1.90	4.5
8	KOKUBU	19.0	2.522	0.702	1.482	69.7	7.71	1.75	4.4
9	KAGOSHIMA	24.0	2.440	1.300	1.060	45.0	0.43	0.056	7.7
10	KAGOSHIMA	24.0	2.430	1.380	1.020	42.3	0.43	0.023	15.4
11	SHIBUSHI	7.7	2.386	1.077	1.149	17.1	0.90	0.044	20.2
12	IWAGAWA	30.0	2.545	1.471	1.030	51.9	0.76	0.026	29.4
13	KANOYA	15.0	2.456	1.285	1.075	28.5	0.76	0.035	20.7
14	KOYAMA	24.6	2.089	1.100	0.995	46.7	1.22	0.048	25.4
15	SENDAI	24.1	2.473	1.252	1.098	47.6	0.91	0.045	20.3
16	KUSHIKINO	19.1	2.413	0.910	1.266	50.8	0.92	0.043	21.0
17	IJUJIN	21.0	2.461	1.300	1.071	40.0	0.50	0.037	13.7
18	MATUMOTO	22.0	2.454	1.283	1.075	42.1	0.63	0.044	14.4
19	OOSAKI	22.4	2.421	1.187	1.107	45.7	1.15	0.058	20.0

1に示すように広い範囲から採取したものを用いた。これはすべて、水中で指で容易に解きほぐすことができる程度のものである。表-1にこれらの指数性質と一軸圧縮および引張り強さを示す。一軸圧縮試験では、図-1に示すようにヒズミと応力の間にはすべて顕著なピークが現われ、破壊時には、ほとんど縦方向にクラックを生じて脆性的に破壊した。引張り強さは圧裂引張り試験より求めている。一軸圧縮および引張り強さと、試料の乾燥密度 γ_d の関係を図-2に示す。引張り強さ σ_t は、 1.35 g/cm^3 以上において、一軸圧縮強さ S_c は 1.25 g/cm^3 以上において急激に増大することが分かる。しかし、増大の割合は、 σ_t の方が S_c より大であるので、かなりバラツキはあるが、脆性度 S_c/σ_t の値は γ_d の増加に伴って減少する傾向がみられる。そして、普通の岩石において、その値が4~10であるのに比べて、シラスの場合には最大30にも達する。シラスの自然および切土斜面の設計に関係して、地山シラスの判別分類の要因を何に求めるかは今後の課題であるが、従来のように、 γ_d や S_c だけでなく、 σ_t に着目する必要がある。これらの要因は、含水比の影響をかなり受けるので、地山シラスの含水状態の変動を知ることも重要である。ゆるい試料と密な試料について、含水比 w と S_c および σ_t の関係は前報で述べたが^{2,3)}、 σ_t に関しては最適含水比が存在することが分った。図-3は、各々の試料の飽和度 S_r と S_c/σ_t の関係でシラス1と8に関しては各々の S_r における値を示した。また、図中の破線で示したシラス分類は、 σ_t, S_c に着目してCoulomb-Navier論に従ったものである。シラス1の密度は中位で8はかなり密な試料である。両試料とも、通常の S_r 以上の水分を含むと S_c/σ_t の値が増大し、性質も異ったシラス地山になる。 S_r の増大に従い、 S_c に比べ σ_t の減少の割合が大であるためである。このように、 σ_t は S_c より密度と含水比の影響をはるかに大きく受ける。次に、静的な三軸圧縮試験においては、ヒズミと軸差応力の関係では、拘束圧 σ_3 が大きいほどピークが顕著に現われる。また、体積変化は、かなりゆるい試料であっても、初期において若干体積が収縮するが後はかなり膨張する傾向にある。従って、実際、ゆるく堆積している地山においても、せん断特性は密な砂に類似している点が地山シラスの特色である。せん断特性は、別の機会に報告した

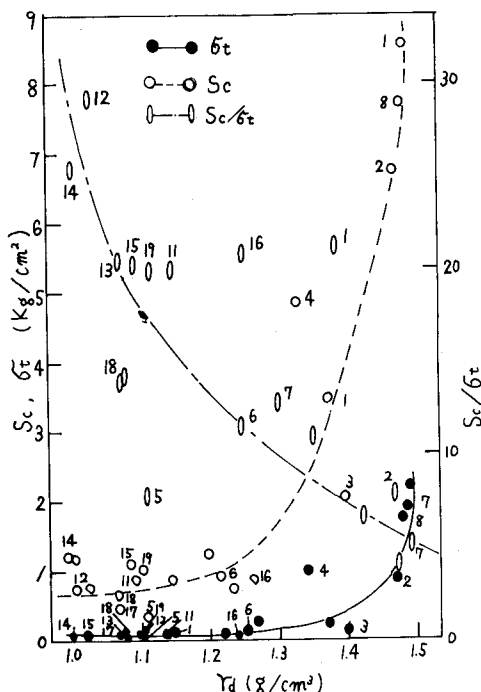


図-2 γ_d と S_c および σ_t の関係

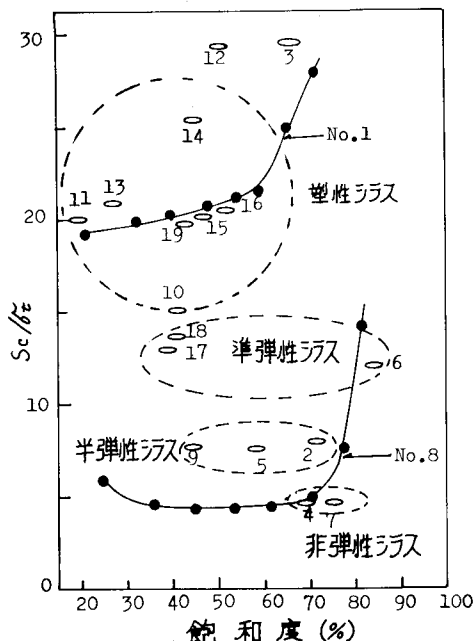


図-3 飽和度と S_c/σ_t の関係

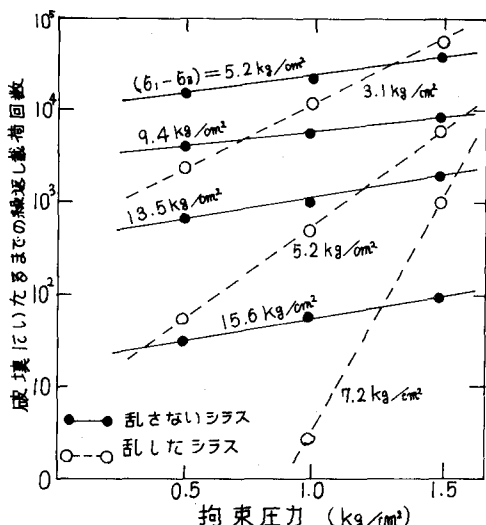


図-4 種々の繰返し載荷応力に対する拘束圧力と破壊に至るまでの載荷回数との関係

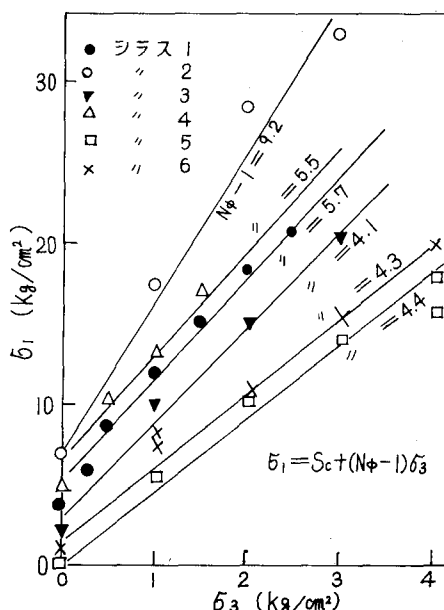


図-5 三軸圧縮試験結果

い。他方、繰返し三軸圧縮試験のもとでは、脆性破壊の発生までの載荷回数は図-4に示すように σ_3 にほとんど影響されない。Terzaghi (1960) によれば、岩石についての静的な三軸圧縮試験における主応力の間には、 $\sigma_1 = S_c + (N\phi - 1)\sigma_3$, $N\phi = \tan^2(45^\circ + \frac{\phi}{2})$ なる関係がある⁹⁾と示している⁹⁾。乱さないシラスについてもこの関係に従うことが図-5によって示され、乱さないシラスが岩石の性質を持つものであることがわかる。

3. 地山シラスの脆性破壊 前に述べたように、地山シラスは岩石的な性質を持つため、その破壊の様相は盛土された場合とは大きく異なる。地山シラスの自然および切土斜面の崩壊は、雨水等による侵食崩壊の他は図-6に示す様に大別される。(a)は上部のローム層のスベリにともない、斜面上部のシラス層が崩落するタイプである。つぎに、降雨、したがって乱さないシラスの含水比の増加によっておきる斜面の脆性破壊が(b)と(c)である。シラス斜面の通常の含水比は飽和度約45%で、降雨後は斜面表面部(約4m)においてかなり高い含水比を示し、飽和度は80%以上になる場合もある。しかし、斜面内における平面的な含水比の分布の違いも大きい。(b)(c)に鹿児島市の崖における通常時(9月)と降雨後(6月)における測定結果を示す。鉛直方向における地山シラスの強度の変化は殆んど認められない。また、地下水面の測定ができなかったが、斜面先下3~4m位であると推定される。斜面から採取した乱さない試料(内径5cm, 高さ14cm)を室内に放置し、乾燥状態になった後、体積を測定したところ2.7%収縮していた。このときの W は23%から6%に変化した。したがって、斜面表層部においては長年月の間に繰返しの収縮膨張が行われていると考えられ、そのため乾燥時では斜面内部と表層との収縮量の差によりクラックを発生するものと考えられる。他方は、図-7に示すように、長年月の間の地山内の水位の変動のため、鉛直方向の繰返し載荷を受け、その結果、底部が圧密され、水平方向の引張り力が働いて鉛直方向のクラックを生じる結果、(c)のような脆性破壊が起ると判断される。このようなときは、含水比が高いため、引張り強さが減少しているのでクラックの発生はより容易になっている。乱さないシラスの脆性破壊が同じ繰返し載荷回数のもとでは、図-4に示したように拘

束圧力に影響されず、軸応力によって支配される。このことは、1968年のえびの地震のときに、各所に脆性破壊がおきたことでもわかる。一つは、斜面先付近のクラックを伴う破壊であり、他の一つは、切土斜面に現われた長いクラックのランダムな発生であった。

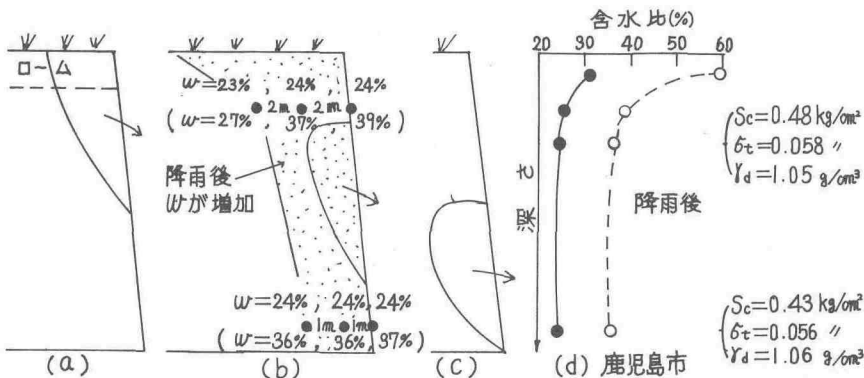


図 6 地山シラスの破壊と含水比の分布

しかし、この応力はかなり複雑であるため定量的な解析はかなり困難である。地震時以外においては、地山シラスの脆性破壊に含水比が大きな影響を及ぼしている

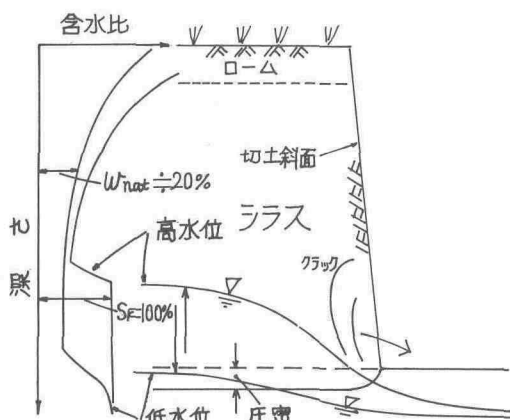


図 7 地山シラスの脆性破壊

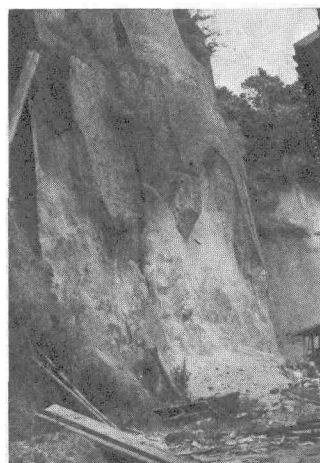


図-8 地山シラスの脆性破壊の実例

が、脆性的なクラックの発生は、必ずしも降雨時ではないと考えられる。しかし、崩壊は斜面内、斜面先においても水分を十分に含み、過大な密度になり力学的に安定を維持できなくなったとき起り、最終的には、侵食破壊された状態でしかみられないことが多い。しかし、降雨時期以外に、斜面先が氷の流れにより洗掘されたり、スカリ掘りしている時、長年月安定を保っていた斜面が脆性的に崩れる場合、本文で述べたクラックの発生が、すでに以前に起っていたためであると考えられる。また、著者等は地山シラス層に先天的に形成されている“たまねぎ構造”が地山シラスの脆性破壊に影響しているとは判断している。

あとがき 本研究を進めるにさいし、鹿児島高等血良五夫技官に手伝いを受けた。ここに深謝の意を表す。

参考文献 1) YAMANOUCHI, T and HARUYAMA, M, "Shear characteristics of such granular soil as Shirasu," Memoirs of Faculty of Eng., Kyushu University, Vol. 29 No. 1

2) 村田秀一・山内豊聡; 乱さないシラス供試体の引張り強さに関する含水比の影響について, 第26回土木学会年次学術講演会講演概要 S 46. 10.

3) 村田秀一・山内豊聡; 乱さないシラス供試体の強度特性(第2報 含水比の影響) 土木学会西部支部昭和46年度研究発表会論文集 S 47. 2.

4) Terzaghi, K, "Stress condition for the failure of saturated concrete and rock," Proc. ASTM, Vol. 1 PP 771 ~ 80/