

## 土壤硬度計によって得られたシラス急斜面表層部における劣化分布

横 田 修一郎\*

### Gradual Changes of Hardness Distribution in Slope Surface Composed of Shirasu (Dacitic pyroclastic flow deposits) in Southern Kyushu, Japan

Shuichiro Yokota\*

#### Abstract

Many slope failures have occurred on steep slopes composed of Shirasu (dacitic pyroclastic flow deposits of non welded) in Southern Kyushu, Japan. The occurrence of this type of failures tends to repeat with any recurrence time. This can be understood to have been brought about due to temporal reducing in strength of rocks composing the slopes and thickening of soft soil covering the slopes.

Although the style of reducing in strength may be important to predict the recurrence time and scale of the failures, it is not clarified. Therefore, the author tried to obtain the deteriorating distribution from the slope surface to inward portion in several slopes in Southern Kyushu.

As the index of deteriorating, penetrative hardness by hardness meter is used. As a result, distribution of hardness shows gradual changes from the surface to inward portion in several slopes. While deteriorated zone from the slope surface attains to 7 to 8 meters in top region, it is only 1 to 2 meter in foot of the slope. This may control the amount of volume for a slope failure and its recurrence time.

**Key words:** slope failures, deteriorating, Shirasu, Kyushu, pyroclastic flow deposits, hardness

#### はじめに

南九州に広く分布する“シラス”は特徴的な火砕流台地を形成している。台地縁辺部は急斜面をなし、そこでは崩壊が頻繁に発生することが古くから知られている。1993年の鹿児島豪雨災害においても、個々の規模は小さかったものの、そのようなシラス斜面で多くの崩壊が発生した(下川ほか, 1994; 地頭藪ほか, 1994; 横田ほか, 1994)。

シラスは地質学的には<sup>いと</sup>入戸火砕流堆積物(厳密には比較的軽石の多い入戸火砕流堆積物とその下位にあって軽石の少ない妻屋火砕流堆積物、いずれも約25,000年前)の非溶結部~弱溶結部がその大半を占める(岩松他, 1989)。シラス斜面で発生する崩壊は概して表層に限られており、崩壊部分の大半は火砕流堆積物そのものよりもむしろそれが劣化もしくは土壌化した部分であるという特徴がある(横田, 1995a)。

さらに、時間的にみれば、崩壊がある程度の周期をもって反復することも知られている(下川・地頭藪, 1987)。これは、斜面表層部においてはシラスの劣化または土壌

化(表土の形成)が継続的に進行して斜面が不安定化し、不安定化が一定のレベルに達したとき、崩壊が発生すると解釈されている(下川・地頭藪, 1987)。すなわち、シラスの劣化や土壌化が不安定化の素因として時間とともに顕在化してくることを意味し、具体的にはシラスの強度の時間的な低下といえよう(第1図)。

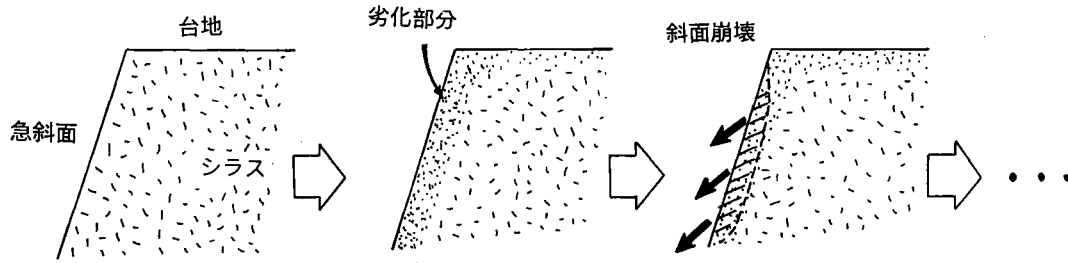
しかしながら、シラスが劣化して土壌化するまでの過程には様々な中間段階があるであろうし、それには様々な機構が複合しているであろう(横田・乙須, 1994)。また、実際に斜面表面から内部に向かっての劣化分布もどのようになっているのか明かではない。

シラス斜面での崩壊予測を目指して、崩壊の規模や周期を議論するには、こういった事柄を把握しておく必要がある。このような試みとして、今回南九州シラス地帯の数箇所において土壤硬度計を用いて斜面表面から内部に向かってのシラスの劣化分布を測定した。

#### 火砕流堆積物としてのシラスの劣化

火砕流堆積物であるシラスは岩石名としては流紋岩質ないしデイサイト質の軽石凝灰岩に相当し、火山ガラスを多量に含んでいる。したがって、これが風化・劣化する場合、火山ガラスの変質(粘土鉱物化)等の化学的変化も伴っていると考えられる。

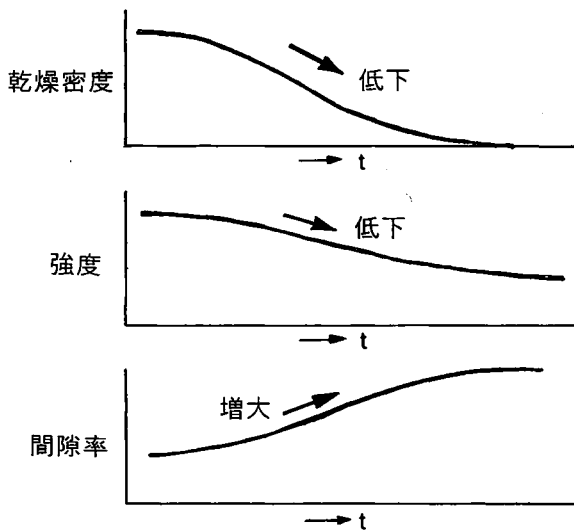
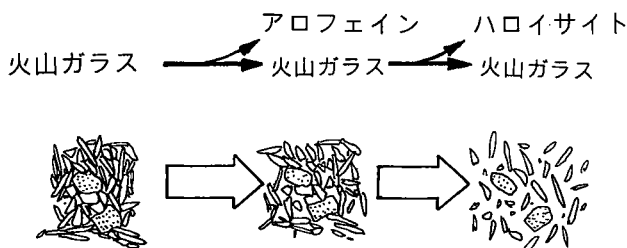
\* 島根大学総合理工学部地球資源環境学教室  
Department of Geosciences, Faculty of Science and Engineering, Shimane University, 1060 Nishikawatsu, Matsue 690, Japan.



第1図 シラス斜面での劣化の進行と斜面崩壊の概念図。表層の劣化した部分が崩壊する。

地表近くで表流水や地下水があれば、まず Fe 成分等が溶脱し、粒子間にわずかな間隙が生ずるであろう。火山ガラスの一部は一般にはアロフェイン、ハロイサイトへと変化することが知られている（須藤談話会編，1986）。この化学的変化（粘土鉱物化）に対応して乾燥密度は低下するとともに、間隙率は増大し、同時に強度も低下していくと考えられる。すなわち、火山ガラスの変質、化学成分の溶脱、間隙率の増大、強度の低下等が斜面表層近くでは同時に進行していくであろう。これら物理的・化学的性質の変化は第2図のようにまとめられる。

シラスの劣化にはこういった鉱物レベルの変化に、クラック面(剥離面)の形成やその開口、クラックの伝播・



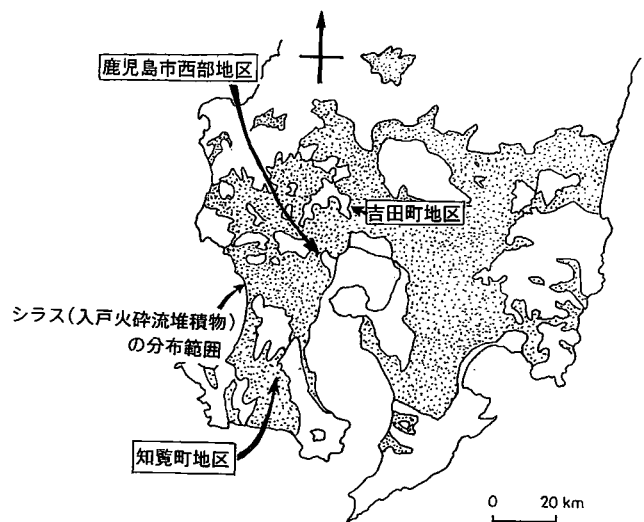
第2図 シラスの劣化過程における化学的性質と物理的性質の変化（横田，1995a）

拡大等の岩盤レベルのそれが加わっている。これらは外気に接している斜面表面ではやくスタートし、内部に向かって徐々に伝搬していくであろう。その結果、表層近くでは劣化ゾーンが形成され、それが崩壊に関与する地質的素因の1つになると考えられる。したがって、いま一定の時間を限ってこれを見れば、劣化ゾーンは外側で著しく、内部に向かっては次第に軽微になっていると考えられる。

劣化分布測定の対象地域と測線の設定

南九州に広く分布しているシラスのうち、今回、対象としたのは鹿児島湾北岸の鹿児島郡吉田町、薩摩半島北部の鹿児島市西部、薩摩半島南部の知覧町の3地区である（第3図）。それぞれの地区ごとに何箇所かのシラス斜面を選び、劣化分布を測定した。地質的にはいずれも入戸火砕流堆積物の非～弱溶結部であり、南九州におけるシラスとシラス斜面の典型的なものである。

測定の対象とした箇所はシラスの自然斜面が道路建設等の目的で横切る方向にカットされたものがほとんどである。ただし、知覧町地区ではシラス斜面に掘られた第2次大戦時の防空壕内の側壁を利用した。それぞれの箇



第3図 南九州におけるシラスの分布（網目部分）と今回の測定箇所（3地区）

所のカット面（掘削面）において、シラス斜面の表面から内部に向かっての劣化分布が得られるように測線を設定した。

シラスの劣化程度を表す指標として、一般には乾燥密度、間隙率、一軸圧縮強度、透水係数等を用いることができるが、ここでは山中式土壌硬度計による貫入硬度を指標とした。これは、シラスが比較的均質であり、その力学的性質の評価に広く用いられていること、さらに強度値との対応が可能であるからである（土質工学会しらす基準化委員会編，1981）。

それぞれの測線上での測定間隔は0.1mを標準としたが、部分的には間隔を狭くとったところや広くとったところもある。測定は各点で1回ずつとしたが、これは各点の周辺で数回測定しても数値には大差なかったこと、貫入硬度を近接して測定すると互いに干渉する恐れがあったためである。以下にそれぞれの測定結果を斜面の地質状況と対応させて示す。

### 吉田町地区での測定結果

鹿児島湾北岸の鹿児島郡吉田町は1993年豪雨によってシラス台地を開析する河川に沿って多量の土砂流出を生じた地域として知られている（地頭菌他，1994；福田他，1995）。とりわけ、吉田町五反田では土砂流出が著しかった（福田他，1995）。この吉田町内で3箇所のシラス斜面を選定した。

吉田町五反田のシラス斜面を横断する掘削面（カット面）、同本城の本名川河床の谷壁斜面、同後本の道路法面の3箇所である。五反田と後本の斜面はシラス斜面のなかでも比較的高標高部であるが、本名川河床のものは常に流水の影響を受ける斜面裾部に相当する。

#### 1. 吉田町五反田

吉田町五反田にはシラス斜面の比較的高標高部（EL.110m前後）に取り付けられた道路があり、道路近くの第4図(a)のような掘削面に測線を設定した。この付近のシラス台地面はEL.140～150mである。

第4図(a)に示すように、シラス斜面は40°前後の緩傾斜をなしており、植生に覆われている。また、シラス本体の表層は崩積土（シラスの2次的堆積物）によって覆われている。掘削面は1993年以降の災害復旧工事の一環として少なくとも今回の測定の1年以内に掘削されたものである。自然のシラス斜面にはほぼ直交方向に掘削されたもので、ほぼ鉛直の壁をなしている。測線は掘削面上で斜面表層部（図中の左側）から斜面内部（同右側）に向かって地表から約1.5mの高さに設定した。距離の基準は左端の斜面表面とした。

測線のうち0.0～3.2mは崩積土であり、これより内部

（右側）がほぼシラスの本体（入戸火砕流堆積物）と考えられる。シラスの色調としては10m付近まではやや褐色化しているが、これより奥ではほぼ白色を呈している。

測定は2.0～15.0mの区間を対象とし、0.1m間隔で測定した。測定結果を第4図(b)に示す。左端の2.0～3.2mは前述のように崩積土の部分である。また、2.0～5.0mは小崩壊によって凹斜面になっているため、凹斜面に沿って測定したものを測線上に投影している。

硬度値は大半では20～30である。個々の値はバラツキが大きく、硬度は測定間隔の0.1mより小さいスケールで変化していることを意味している。もちろん、このバラツキには測線方向の変化だけでなく、掘削面表層の状態の違いもかかわっているに違いない。これらのことを考慮して、図にはバラツキの大きい測定値を多項式近似によってスムージングした曲線を付している。

これによれば、見かけ上新鮮な9～10mより奥（右側）では25～27であるのに対し、褐色化の著しい3～6mでは17～18と低い。すなわち、硬度値は斜面表層に近いほど低く、斜面内部に行くにつれて高くなる傾向が読みとれる。ほぼ一定値になるのは9～10mより奥であり、したがって斜面表層からの劣化は少なくともこの範囲まで及んでいることを示している。

ただし、最も低いのは必ずしも斜面表層ではなく、表層から少し内側に入った4～6m付近である。また、崩積土の部分も意外に硬度値が高い。シラスの場合、2次的な堆積物ではシリカ分のセメント作用が働くのであろう。

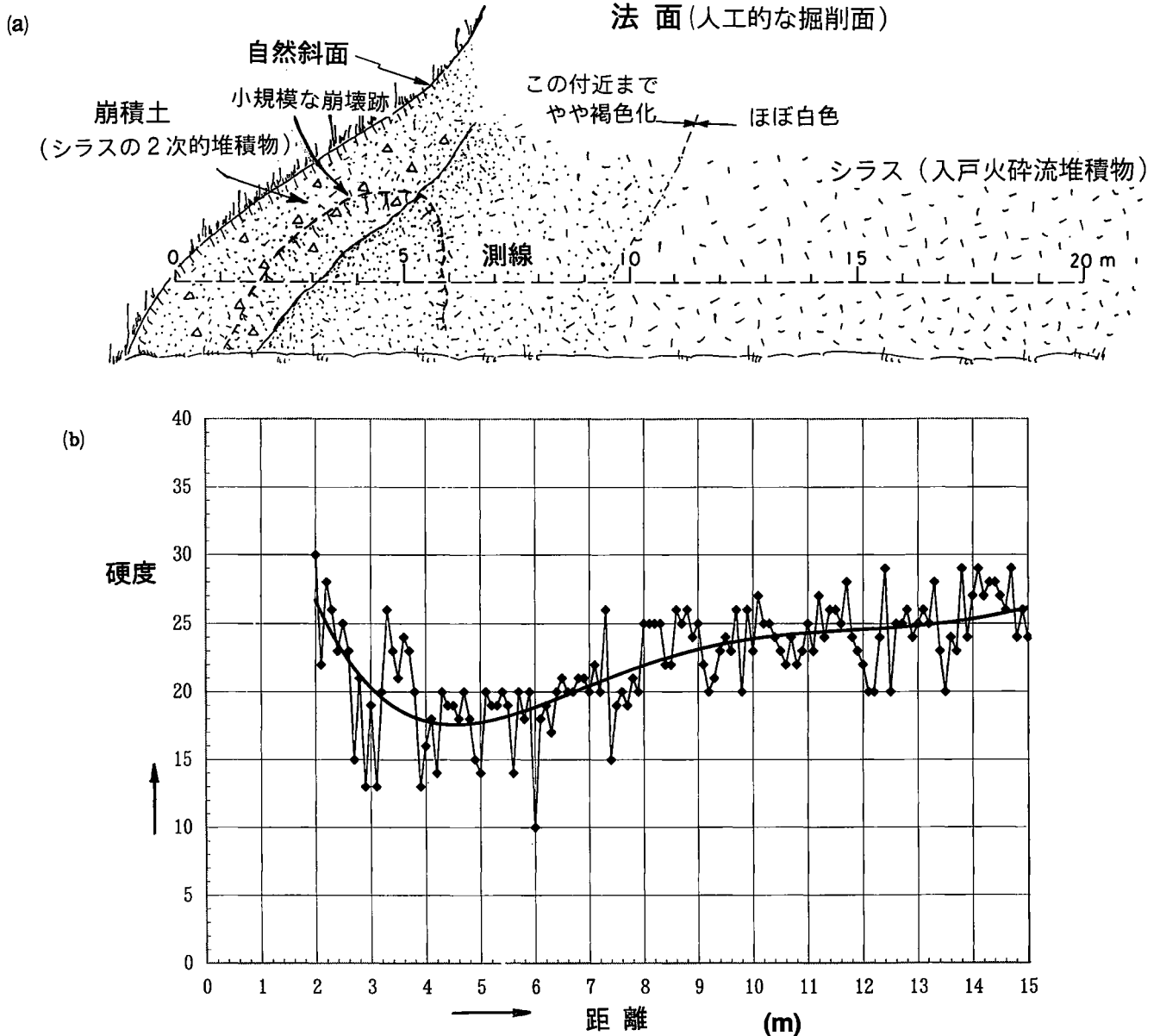
なお、図には表示していないが、15～20mの区間でも1.0m間隔で断片的に測定したが、値は23～28でここでもほぼ一定している。

6.3m付近および13.5m付近には掘削面が少し浸食されて小規模なガリが形成されているし、12.0m付近には掘削面にはほぼ平行したクラックが発達している。測定値がこれらの位置で局所的に低下しているのはこのためと考えられる。

#### 2. 吉田町本城、本名川の谷壁斜面（九州電力高付発電所西側）

吉田町本城の思川支流本名川はシラス台地を開析して流れており、河床（EL.95m前後）にはシラス斜面が広く現れている。このような斜面（谷壁斜面）の1つに測線を設定した（第5図(a)）。

ここではシラス本体は厚さ約3mの河岸段丘堆積物と考えられる砂礫層によって覆われており、河道に沿って地形的にも明瞭な段丘面が認められる。この段丘堆積物はアカホヤ火山灰層（K-Ah）によって覆われていることから、少なくとも6,300年前以前の堆積物といえる。



第4図 (a) 吉田町五反田での測定位置. 左端が自然のシラス斜面.  
(b) 測定硬度値の分布. 実線はスムージングした曲線.

河岸段丘面の現河床面からの比高は約20m, またその背後のシラス台地面はEL.170m前後である.

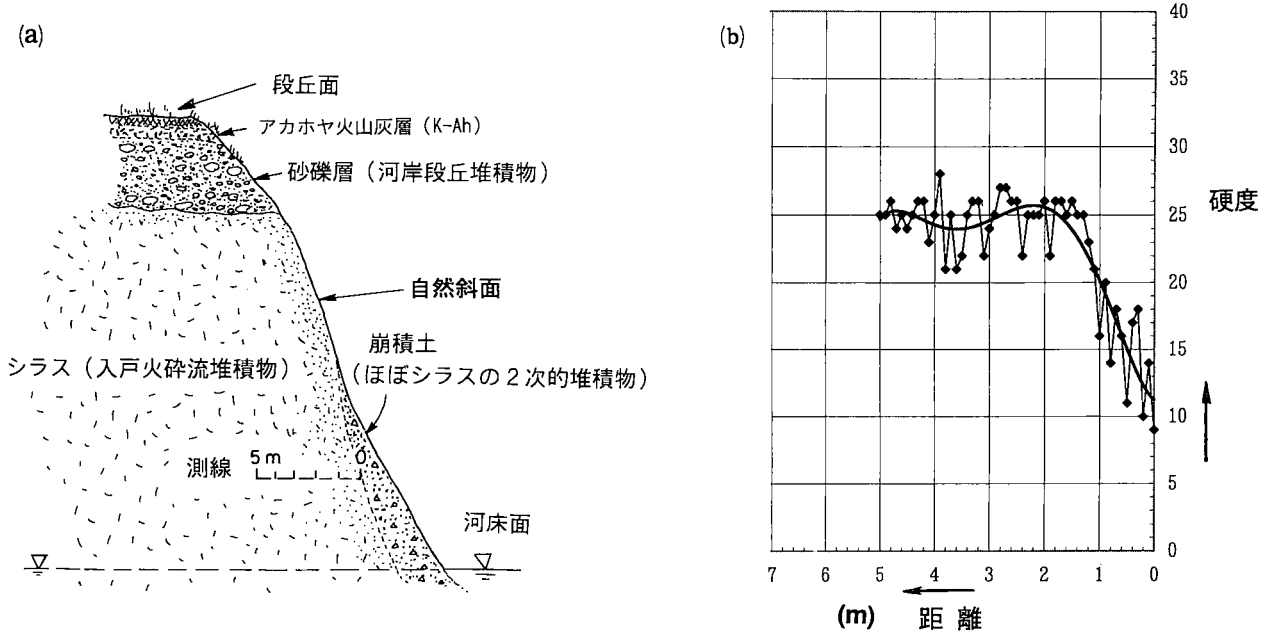
一方, シラス斜面 (図の右端) は70°前後の急斜面をなしており, この斜面も流水による側岸浸食と崩壊の繰り返しによって形成されてきたものと考えられる. 斜面上にはアカホヤ火山灰層は存在しないし, 斜面下部はわずかに崩積土 (シラスの2次的堆積物) によって覆われている.

測定はこのような谷壁斜面のうち, 河床から高さ約5mの位置で行った. 距離はシラス斜面の表層から少し内側らに入ったシラス本体部分の表面を基準とし (第5図(a)), 0.0~5.0mの範囲で測定した. シラスはほぼ白色を呈し, 斜面表層に近い部分のみがわずかに褐色化し

ている.

測定の結果, 第5図(b)に示すように5.0mの測線のうち1.5m前後を境としてそれより奥 (図の左側) では22~27であり, これより表層に近い部分 (図の右側) では20以下の部分が多い. 値はバラツキがあるものの全体として斜面内部から表層に向かって徐々に小さくなっていることがわかる. この図にもスムージングした曲線を付してあるが, これに基づけば, 1.5mより奥ではバラツキがあるものの, ほぼ一定値をとることが分かる. したがって, ここでの劣化は斜面表面から1.5~2.0mまでしか及んでいないと考えられる.

なお, 斜面下部でシラスを覆っている崩積土 (シラスの2次的堆積物) は21~26と, ここでも高い.



第5図 (a) 吉田町本城の本名川河床での測定位置。右端がシラス斜面。(b) 測定硬度値の分布。

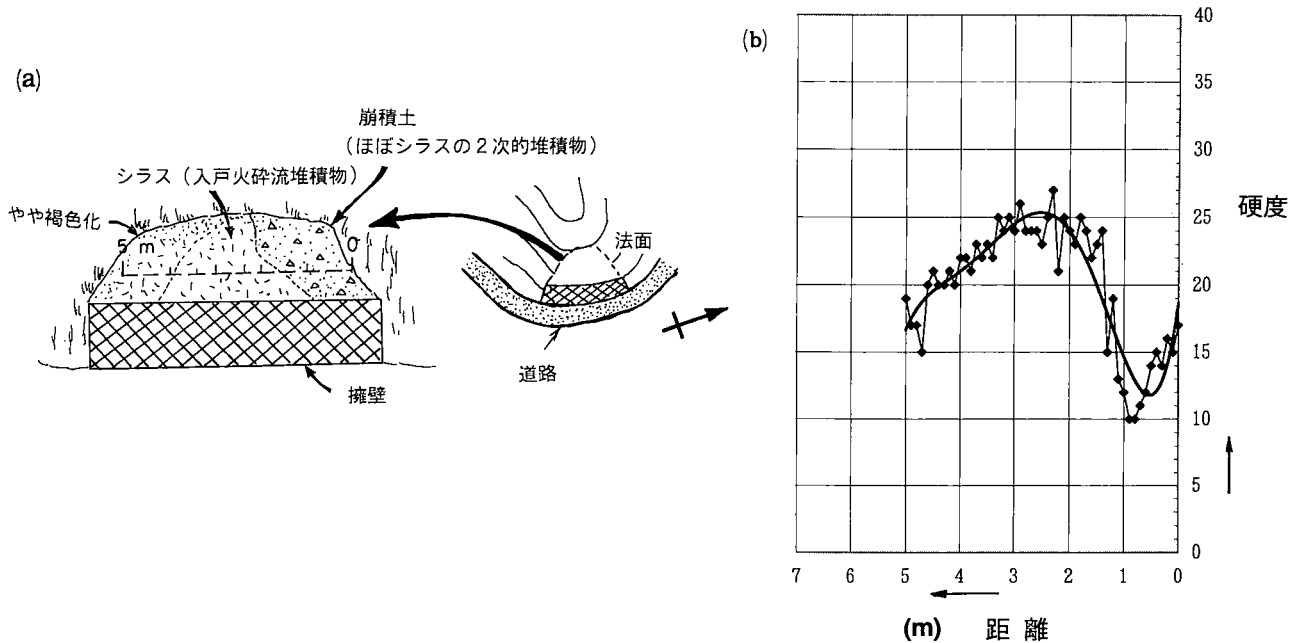
### 3. 吉田町後本の道路法面

シラス台地の上面近くを通る道路のうち、第6図(a)に示すように尾根状部分を切土して作られた道路法面(EL.210m前後)を対象とした。切土された時期は明かではないが、付近の植生から少なくとも今回の測定より数年前以内と推定される。この付近のシラス台地面はEL.230m前後であるから、ほとんど台地面直下の高標高部斜面といえることができる。測定は第6図(a)に示すように、幅約5mの範囲を対象とした。

ここでは距離を切土の右側末端部を基準とした。約5

mのうち0.0~1.5m(図の法面中では右側の部分)は崩積土(シラスの2次的堆積物)であり、シラス本体は1.5~5.0mの約3.5mにすぎない。また、このうち、4.0~5.0m(左側の約1mの部分)は褐色化しており、したがって、新鮮な部分、すなわち自然のシラス斜面の比較的内部が現れているのは中央の1.5~4.0mであろう。

測定結果を第6図(b)に示す。風化を反映して硬度は全般に低い。しかし、2.0~3.0mでは22~26前後と高い値を示す。3.0~5.0mのシラス本体の風化部分では20以下のところもあるが、値は距離とともに徐々に低下し



第6図 (a) 吉田町後本の道路法面での測定位置。(b) 測定硬度値の分布。

ていることが分かる。これに対して、0.0~1.5mの崩積土では、値は15以下のところも多く、また値の変化は急であることがわかる。

なお、当斜面では第6図(a)のような地形から考えて、切土以前の自然のシラス斜面に対しては必ずしも直交していないし、硬度分布の得られたのは斜面表面から内部に向かってせいぜい2m前後と推定される。

鹿児島市西部地区での測定結果

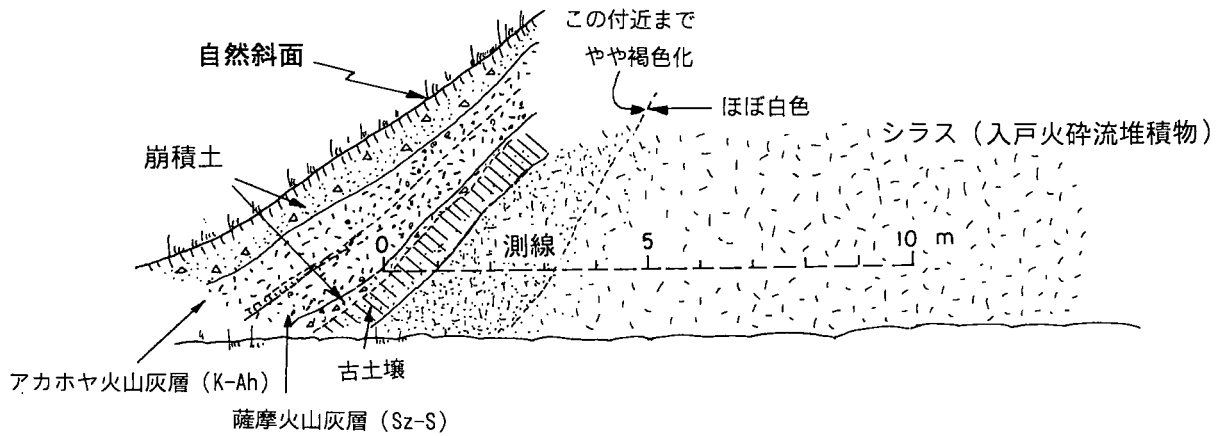
鹿児島市付近にもシラス斜面は広く分布しているが、その大半はすでにコンクリートで覆われているため、このような測定のできる箇所は極めて限定されている。こ

こでは鹿児島市西部の西別府のシラス斜面 (EL.150m前後) を対象とした。これは高速道路の建設工事に関連してごく最近 (おそらく1年以内) に掘削されたものと推定される。この付近のシラス台地面は EL.180m 前後であることから、この斜面もほぼ台地面直下の高標高部といえる。

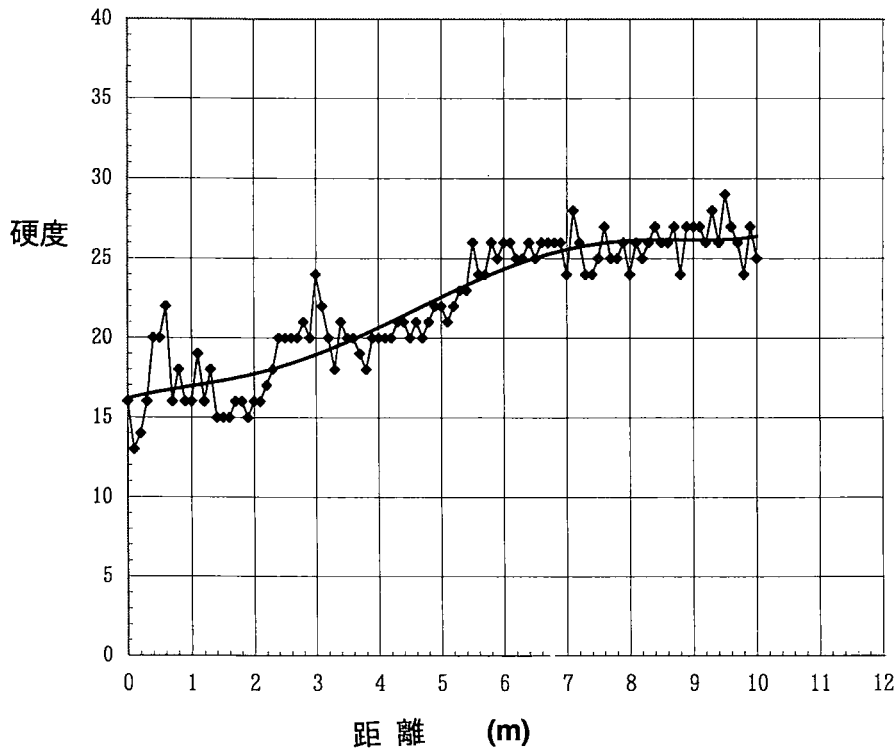
対象とした自然斜面は 20°~30° と比較的緩く、斜面表層には第7図(a)に示すようにアカホヤ火山灰層 (K-Ah, 約6,300年前) と薩摩火山灰層 (Sz-S, 約11,000年前) がマンデルベディングしている。いずれも黄褐色を呈し、厚さ約1mである。アカホヤ火山灰層上にはさらに厚さ約1mの崩積土が覆っている。一方、薩摩火

(a)

法面 (人工的な掘削面)



(b)



第7図 (a) 鹿児島市西部の西別府での測定位置。左端がシラス斜面。(b) 測定硬度値の分布

山灰層の下位には約 10cm の崩積土（旧期崖錐堆積物）があり，さらにその下位には黒色の古土壌がシラスとの間に認められる。

測線は道路盤から約 1.5m の高さに設定した．距離の基準はこの高さにおける薩摩火山灰層の基底面とした．10.0m の測線のうち表層から約 1.0m までは崩積土および古土壌であり，1.0m～10.0m がシラス本体である．このうち，3.2m 付近までは褐色を呈しているが，これより奥はほぼ白色である．

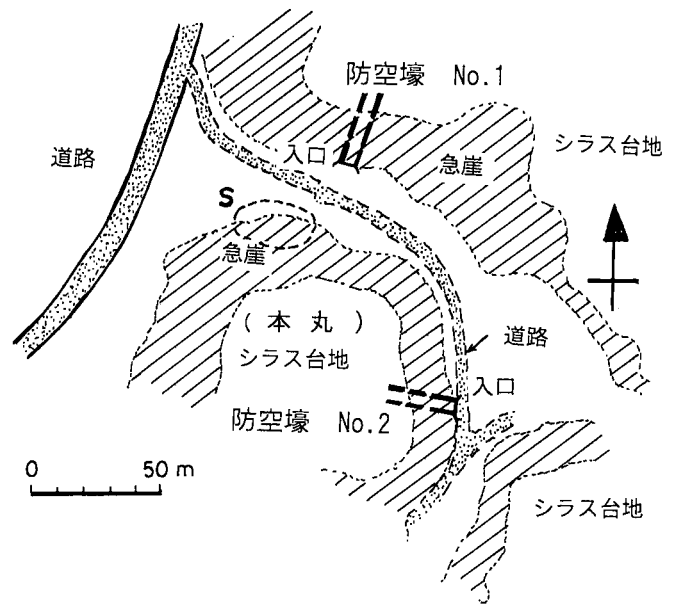
測定結果（第 7 図(b)）をみると，5～6m を境として，それより奥（図の右側）では 24～27 でほぼ一定しているが，これより表層側（図の左側）では 25 以下で，とくに 3.0m 以内では 20 以下が圧倒的に多くなっている．

ここでもバラツキは大きいですが，スムージングした曲線でみると，値は大局的には距離とともに徐々に高くなる傾向がある．細かくみれば，0.6m 付近や 3.0m 付近にやや高い部分を読みとることができる．当斜面でのシラスの劣化ゾーンは 7.0m 付近までおよんでいると推定される．

知覧町地区での測定結果

薩摩半島南部の知覧町地区にもシラスが広く分布している．なかでも知覧町麓にある中世知覧城跡とよばれる一面はシラス台地末端部にあり，広大な城域は開析の進んだ特徴的なシラス地形を利用したものである（横田，1994）．

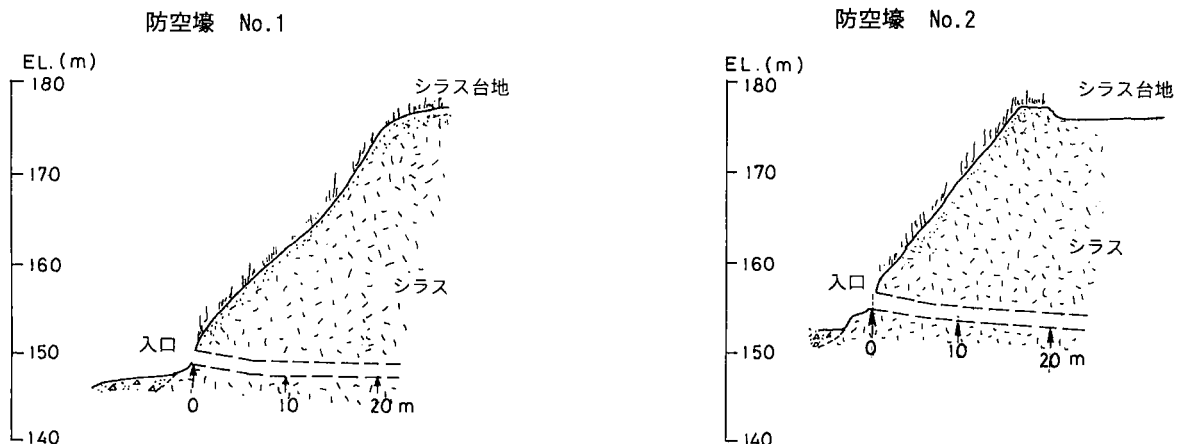
この地域には，また第 2 次大戦時の防空壕が多数存在している．防空壕は軍事施設の一部として使用されてきたらしいが，いずれも自然のシラス斜面に対してほぼ直交ないし若干斜交した方向に設置されている．このため，劣化分布をこれらの防空壕内の側壁でも測定することにした．具体的には第 8 図に示すように 2 箇所（No.1，



第 8 図 知覧町での測定位置．No.1, No.2 は測定に用いた防空壕の位置，S は表層崩壊跡での測定位置．

No.2) の防空壕を利用した．いずれも掘削後 50 年以上を経ている．なお，防空壕の位置は地形的にはシラス斜面の裾部に相当するが，ここではシラス斜面を開析する谷は埋積された状態になっており，吉田町本名川のような流水によって浸食されるような位置ではない．

当城跡では 1993 年の鹿児島豪雨災害においてシラス斜面で広い範囲に表層崩壊が発生し，とくに本丸とよばれる部分のシラス斜面は表土と植生が削りとられ，ほぼ全面的にシラス本体が露出している．そして，そのなかに小崩壊による凹斜面が多数形成されている．崩壊規模は幅数 m 前後のものであり，奥行きもせいぜい 10～30 cm と小さく薄い．凹斜面の奥には斜面にほぼ平行した剥離面が認められる．シラス斜面のごく表層での劣化分布を捉えるのにこのような部分での測定は極めて有効である．そこで崩壊によって生じた斜面上の凹部でも劣化



第 9 図 No.1, No.2 防空壕付近におけるシラス斜面の縦断面図

分布を測定した（位置は第8図参照）。

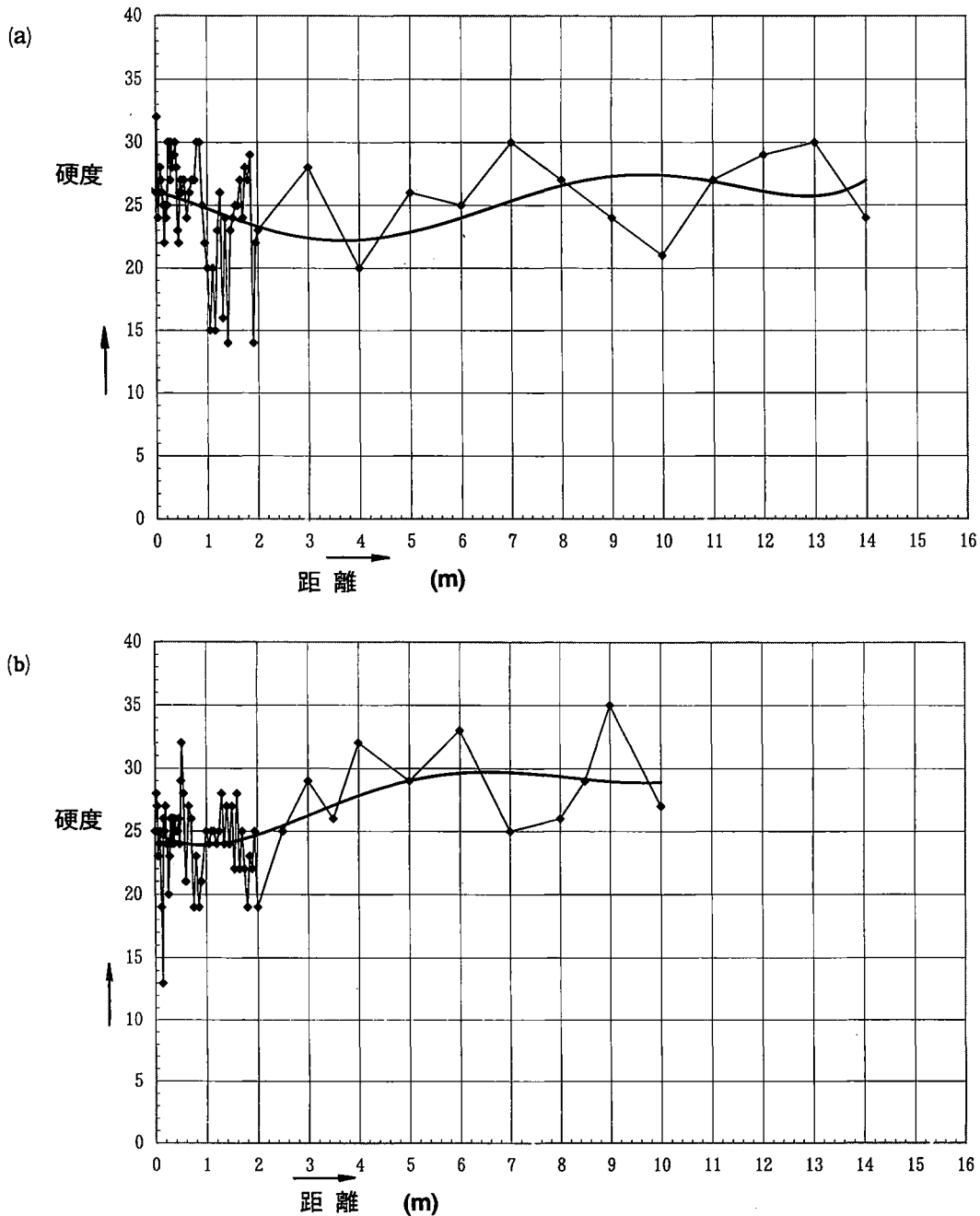
1. No.1 防空壕

No.1 坑はほぼ東西に延びるシラス斜面に対して75°前後で若干斜交する方向（北北東）に掘られている（第8図）。幅、高さとも2~3mで、縦断面図（第9図左側）に示すように坑口から数mの間は緩やかに下り勾配となっているが、その奥ではほぼ水平となっている。シラス斜面の勾配は40~50°である。ここでは表土はほとんど存在せず、ほぼ直立した坑口付近からすべて入戸火砕流堆積物の本体と考えられる。すべて白色であり、褐

色化したところはみられない。坑口および坑内には側壁にはほぼ平行するクラック（すなわち、シラス斜面にほぼ直交した方向のクラック）がいくつか認められる。

硬度の測定は西側の側壁を対象とした。坑口を距離の基準として0~14mの範囲で測定した。0.0m~1.0mでは0.02m間隔で、1.0m~2.0mは0.05m間隔で、また2.0~14.0mは1.0m間隔で測定した。それらの結果を第10図(a)に示す。

坑口付近では2cm間隔で測定しているにもかかわらず、22~32とバラツキが大きい。このことは硬度分布



第10図 (a) No.1 防空壕内側壁での硬度値分布。(b) No.2 防空壕内側壁での硬度値分布



は cm オーダーまたはそれ以下で細かく変化していることを意味している。

スムージングした曲線で見ると、2~5m 付近は他よりやや低いようであるが、全体としてはほとんど変化はみられない。なお、本坑の側壁には測線方向のクラックが見られることがあり、そのような部分では値は小さくなっている。

## 2. No.2 防空壕

No.2 坑は第 8 図に示すように本丸とよばれている部分の斜面裾部である。全体として多少屈曲しているが、坑口近くではほぼ南北のシラス斜面に対してほぼ直交方向（西方向）に掘られている。第 9 図右側に示すように少なくとも坑口より 20m 付近までは緩やかな下り勾配がつけられており、そこで天端が崩落している。幅、高さとも No.1 のそれとほぼ同様である。シラス斜面の勾配は  $50^\circ$  前後である。ここでもすべて入戸火砕流堆積物であり、褐色化しているところは見られない。

なお、本坑では坑口より 7m 前後の側壁にクラックが認められるところがあり、それらの走向・傾斜は  $N23^\circ W/68^\circ N$ ,  $N53^\circ W/57^\circ N$ ,  $N46^\circ E/90^\circ$  であった。もちろん、これ以外に側壁に平行な方向のものもいくつか認められる。上記の  $N23^\circ W$  のクラックは坑口付近のシラス斜面に平行に近いものであり、このようなシラス内部にもクラックが存在することが分かる。

ここでは北側の側壁を対象とし、0.0~10.0m で測定を行った。距離の基準は坑口である。0.0m~0.52m は 0.02m 間隔で、0.52m~2.0m は 0.05m 間隔で、また、2.0~10.0m は 1.0m 間隔にて測定した。

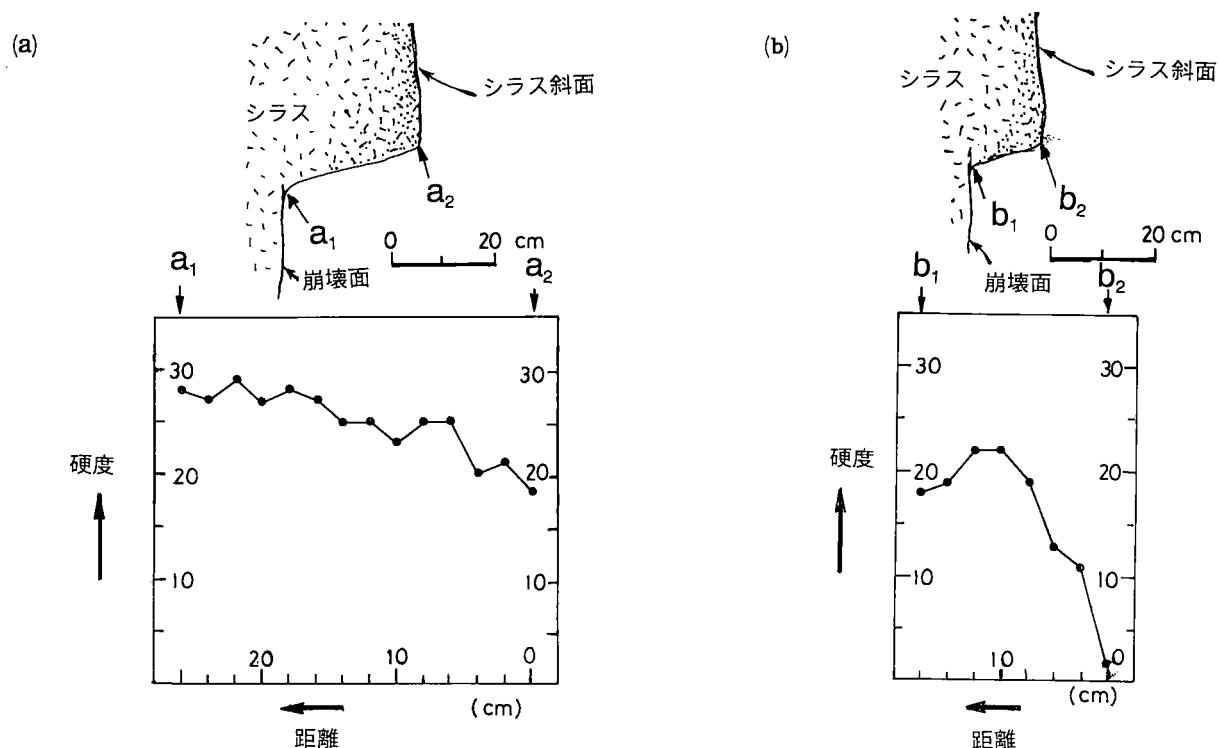
この坑口のすぐ南側は知覧城跡で“空堀”とよばれている部分であることから、坑口付近を含めてシラス斜面は多少人工的に加工・掘削されている可能性がある。したがって、ここでは当初の斜面表面からどの程度の距離かは明かではない。

硬度の測定結果を第 10 図(b)に示す。硬度値は 20~30 と全体として比較的安定しているが、坑口から 2m までが 25 前後またはそれ以下であるのに対し、5m 以奥ではほぼ 30 前後の高い値となっている。

スムージングした曲線で全体としてみると、2.0m 以内では平均値は 24 前後であるのに対し、これより奥では 25 以上に達しており、30 以上のところも多い。したがって、防空壕内でも斜面表層近くは硬度が低く、劣化によるものと考えられる。ただし、吉田町地区や鹿児島市西部地区での測定結果と比較すると、コントラストはそれほど高くない。

側壁に沿ったクラック部では局所的に硬度は低下しており、図で 7~8m や 10m 付近で値が急に低下しているのはこのようなクラックに沿った部分である。

前述の吉田町地区で見られるような 15 以下といった



第 11 図 表層崩壊跡での測定位置と硬度値分布。

(a), (b)いずれも上は崩壊部分の水平断面図, 下は斜面表面から内部に向かっての硬度値分布。

低い値は見られなかったが、これは、この斜面ではそのようなレベルまで劣化しても繰り返される斜面崩壊によってすでに削剥されてしまったか、あるいは上記の空掘に関連して人工的に掘削されてしまったかのどちらかと考えられる。なお、坑奥で30以上の値がみられることから、吉田町地区や鹿児島市西部地区に比較して当地域のシラスは形成当初から概して硬質であった可能性がある。

### 3. 表層崩壊跡での測定

知覧城跡付近ではすでに述べたように1993年9月の台風に伴う豪雨で斜面崩壊が多発した。崩壊はいずれも極めて表層のものであり、表土を含め斜面に沿って薄く崩壊したと考えられる。崩壊跡をみると、奥行きは15~25cmで、崩壊は斜面に平行に形成された剥離面に沿ったらしく、崩壊面はほぼ平面の奥の部分とそれと直交する側壁からなっている。このような崩壊面のうち、2箇所を水平断面図として第11図に示す。(a)の奥行きは約28cm、また(b)は約16cmである。

それぞれの崩壊面において現在の斜面表面から崩壊面の奥の剥離面までの間で硬度値を測定した。その結果を第11図(a)、(b)の下図に示す。

前述の数m~10数mに及ぶシラス斜面での測定例に比べれば表面からわずかな距離であるが、(a)、(b)いずれにおいても内部に向かって硬度が増加していることが分かる。

(a)では距離25~28cmの崩壊面最奥部では硬度値は28~30前後であるが、値は外側(シラス斜面)に向かって徐々に低下し、表層では20前後となっている。

(b)では全体に値が低く、距離8~14cmでは18~22であるが、表層の数cmでは15以下となり、外側に向かって急速に低下していることが分かる。

ここでの測定は斜面崩壊が発生した1993年9月から約2年を経た時期であったが、上記の劣化分布がその後の約2年間で生じた劣化を表すのか、あるいはそれ以前の劣化を表すのかは明かではない。もし前者であれば、劣化速度が分かるし、逆に後者であれば、表層崩壊がどの程度の劣化レベルまで及ぶかという議論ができる。

### シラス斜面表層での劣化分布

第12図は以上述べた測定例うち、代表的なものを同一の横軸上に1つの図としてまとめたものである。横軸はシラス斜面の表面(シラス本体部分の表面)から内部に向かっての距離を、また縦軸は得られた硬度値の平均値(スムージングした曲線で表される硬度値)を表している。

前述の測定例のうち、吉田町後本の道路法面のものと

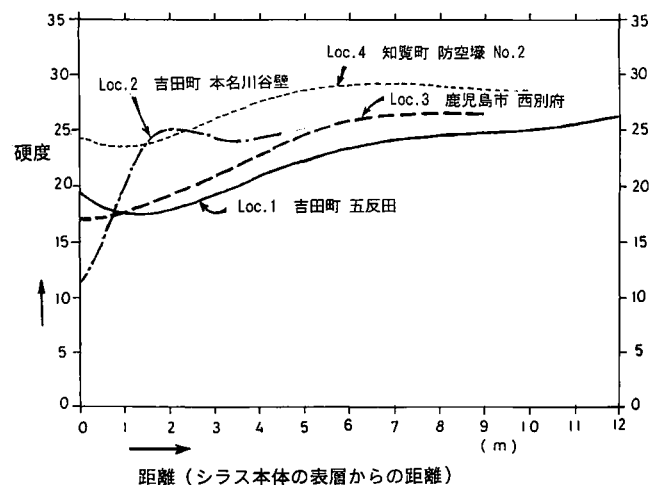
知覧町地区のNo.1防空壕のものは載せていない。前者は当初のシラス斜面の形状が不明確であるため、また後者はバラツキが大きいためである。

また、図中のLoc.4はNo.2防空壕での測定例であり、これは前述のように坑口が人工的にカットされているため、必ずしも自然斜面の表層からの距離にはなっていないが、参考のため載せている。

第12図のいずれの曲線も斜面から一定の距離をへた斜面内部では25~30でほぼ一定値をとることから、それらが個々の場所での初生硬度をほぼ表していると考えられる。25~30という値は、硬さによる分類では“中硬質シラス”(土質工学会しらす基準化委員会編, 1981)に該当する。ただし、個々の値は必ずしも同一ではなく、たとえば、知覧地区の防空壕No.2での測定値は28前後と他のものよりも概して高く、これに対して吉田町五反田地区のものでは25~26と概して低い。これはそれぞれの場所での火砕流堆積物としての溶結程度の微妙な違いを反映したものとみてよいであろう。

しかしながら、いずれの曲線でも斜面の表層近くになると内部に比べて値が低い。すなわち、いずれのシラス斜面でも、表層近くでは本来の硬度とはかなり違った状態になっており、シラス斜面における一般的な劣化分布の様式といえよう。こういった水平方向への劣化分布は台地表層から深部への鉛直方向の変化(横田・乙須, 1994; 横田, 1995a)とも同様である。

第12図ではLoc.1(吉田町五反田)、Loc.3(鹿児島市西部)、およびLoc.4(知覧町のNo.2防空壕)は硬度値のレベルは異なっているものの、曲線のパターンは比較的よく似ている。これに対してLoc.2(吉田町本名川河床)は大きく異なっている。前2者はシラス斜面でも比



第12図 同一横軸上に表した様々なシラス斜面での劣化分布。No.4を除いていずれもシラス本体表面からの距離。

較的標高の高い部分であり、これに対して後者は裾部に相当することから、同じシラス斜面でも斜面の上端部と裾部とでは劣化状態はかなり異なることを表している。

前二者は長期間の劣化を経たものあり、かなり内部まで劣化が進んでいるのに対し、後者では河川水による頻繁な浸食・崩壊の結果、劣化はごく表層だけしか及んでいない。

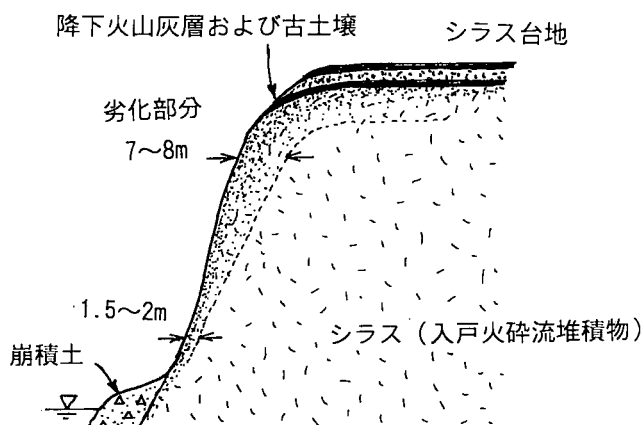
表層から内部に及ぶ劣化範囲の違いとしてみれば、Loc.1の吉田町五反田やLoc.3の鹿児島市西部では劣化範囲はシラス斜面の表面から6~7mであるのに対し、Loc.2の吉田町本名川河床のものでは劣化範囲は1.5~2.0mにすぎない。

第13図はこれらのことを考慮してシラス斜面での劣化分布を概念的に表現したものである。このようにシラス斜面といっても斜面での位置とそこでの過去の風化・浸食といった地質作用の影響の受け方によって風化・劣化分布は大きく異なると考えられる。

個々の斜面におけるこのような劣化分布は豪雨等の誘因が加わったとき、崩壊の厚さや崩壊土量を規制すると考えられる。逆に、個々の斜面で傾斜角等に加えてこのような劣化分布を得ることによって崩壊土量と崩壊の危険性評価の可能性が広がるであろう。

他の災害に比べて遅れている感のある斜面崩壊のハザードマップについても、このような劣化分布に加え、劣化ゾーンの形成に要する時間の情報が詳細になれば、時間を考慮したハザードマップの作成(横田, 1995b; Yokota, 1996)へ資することになる。

山中式土壌硬度計による指標硬度の変化は密度や間隙率、化学的性質の変化といったものの複合した結果を表していると考えられる。筆者らがこれまでに行ったシラス台地から地下への鉛直方向の変化では硬度値とともに乾燥密度の低下や有効間隙率の増大が得られている。



第13図 シラス斜面上での位置による劣化範囲の違いの概念図。

今回の測定は断片的なものであるため、南九州全体のシラス斜面を議論するには同様の測定を増やす必要があるかも知れない。なお、吉田町五反田の測線上(第4図(a))ではいくつかの試料を採取し、粘土鉱物とともに粒度分布、乾燥密度ならびに有効間隙率を測定した。粘土鉱物に関しては比較的表層の5.7mではハロイサイトが認められたが、10m付近では認められず、これは外見の色調とも対応しているし、硬度分布とも対応している。その他粒度分布や乾燥密度等の結果については別途報告する予定である。

ま と め

シラス斜面表層部を対象として、斜面表層から内部に向かっての劣化分布を土壌硬度計による貫入硬度値として測定した。その結果は以下のようにまとめられる。

- (1) シラス斜面の表層ではシラスとそれから生産される土壌という図式ではなく、シラス自身も様々なレベルに劣化し、硬度値は連続的に変化している。
- (2) 表面から一定の距離内部に入れば硬度値はほぼ一定値をとる。これを初生硬度とすれば、それより外側が劣化ゾーンといえる。
- (3) 劣化ゾーンは斜面上の位置によって大きく異なり、高標高部では表面から7~8mにおよんでいることもあるが、斜面裾部ではせいぜい1~2mにすぎない。これは、それぞれの位置での風化・浸食といった地質作用の影響の受け方に規制されたものと考えられる。
- (4) シラス斜面上の2次的堆積物は、場合によってはシラス本体と同様の強度がある。その結果、この部分が斜面崩壊に対して一種のプロテクションの役割を担っていることも考えられる。
- (5) 降雨を誘因として崩壊が発生するとき、上記の劣化分布は崩壊の厚さと土量を規制すると考えられ、したがって、将来的にはこのような劣化分布を測定することによってそれらある程度予想することが可能になると考えられる。

謝辞：現地での測定に際しては鹿児島大学大学院生福田徹也・鬼頭伸治さんならびに同学生佐々木登範さんに手伝っていただいた。記して謝意を表します。なお、本研究には文部省科学研究費補助金「シラスの劣化分布における空間的連続性の研究」(研究代表者：横田修一郎, No.07640608)を使用した。

文 献

土質工学会しらす基準化委員会編, 1981, 土質工学基準「硬さによる地山しらすの判別分類法 (JIS 規格, M2

- 81) 」, 土と基礎, 29, 45-46.
- 福田徹也・横田修一郎・岩松 暉, 1995, 豪雨時に多量の土砂災害をもたらすシラスの2次の堆積物, 1993年鹿児島豪雨災害の総合的調査研究報告書第2集, 73-80.
- 岩松 暉・福重安雄・郡山 栄, 1989, シラスの応用地質学的諸問題, 地学雑誌, 98, 379-400.
- 地頭藪 隆・下川悦郎・松本舞恵・加藤昭一・三浦郁人, 1994, 空中写真判読による斜面崩壊・土石流の分布と土砂量, 1993年豪雨災害調査報告書, 97-113, 1993年鹿児島大学害調査研究会.
- 下川悦郎・地頭藪 隆, 1987, シラス急斜面における崖くずれの周期性と発生位置の予知, 文部省自然災害特別研究突発災害研究成果, B-61-1, 69-81.
- 下川悦郎・地頭藪 隆・松本舞恵・三浦郁人・加藤昭一, 1994, 1993年豪雨による鹿児島県下の土砂災害, 1993年豪雨災害調査報告書, 47-59, 1993年鹿児島大学災害調査研究会.
- 須藤談話会編, 1986, 土をみつめる, 三共出版, 220pp.
- 横田修一郎, 1994, 知覧城跡の地形・地質特性, 鹿児島県知覧町埋蔵文化財発掘調査報告書, 第5集, 「知覧城跡(二)」, 71-82, 知覧町教育委員会.
- 横田修一郎・乙須 稔, 1994, シラスの劣化とシラス斜面崩壊, 日本地質学会第101年学術大会講演要旨, 289.
- 横田修一郎他11名, 1994, 斜面崩壊の地形・地質的側面, 1993年豪雨災害報告書, 75-92, 1993年鹿児島大学災害調査研究会.
- 横田修一郎, 1995a, シラスの劣化とシラス斜面崩壊, 1993年鹿児島豪雨災害の総合的調査研究報告書第2集, 63-72.
- 横田修一郎, 1995b, デジタルデータをもとにした多目的ハザードマップ作成への課題, 情報地質, 6, 123-132.
- Yokota, S., 1996, Multi-purpose digital hazard map for slope failures, *Geoinformatics*, 7, 51-59.