

建設省土木研究所 ○笹原 克夫  
海老原和重  
綱木 亮介

1. 土壌硬度によるのり面・斜面安定度評価について

しらすのり面の切土勾配については、鹿児島県しらす対策委員会の「しらす地帯における土工設計指針」<sup>1)</sup>や土質工学会しらす基準化委員会「地山しらすの判別分類に基づく切土の設計施工指針」<sup>2)</sup>等の基準に示されるように、山中式土壌硬度計で計測した土壌硬度より決定されている。土壌硬度はしらすの強度特性を示す指標の一つと考えられるので、その値よりのり面・斜面の安定勾配が推定できると考えられている。逆に考えるとある勾配を持つしらすのり面・斜面の安定度を山中式土壌硬度計で計測した土壌硬度により評価することができることになる。以上のような考えに基づき、1993年8月に発生した鹿児島災害直後に、崩壊を起こしたのり面・斜面の崩壊（すべり）面上の勾配と土壌硬度の関係を調べた<sup>3)</sup>。その結果を図-1に示す。図中には上記2基準による土壌硬度と切土勾配の関係も示している。これより上記2基準はやや安全側の勾配を与えることになることが判明した<sup>3)</sup>。

土壌硬度と同様にしらすのり面・斜面の土質強度のインデックスとして用いられたものに、土研式簡易貫入試験器を用いて調査するNc値がある。例えば昭和61年に発生した鹿児島市内のがけ崩れについて、斜面内の崩壊（すべり）面深度はNc値=10となる深度とほぼ一致することがいくつかの斜面で確認された<sup>4)</sup>。山中式土壌硬度計による硬度測定は基本的に地表面でしかできないのに対して、土研式簡易貫入試験器は地盤内の調査を行うものであるため、潜在すべり面の調査に適している。しかし強度の小さな風化土に対しては土研式簡易貫入試験器では貫入に要する打撃エネルギーが大きく、土質強度の差異がNc値の変化となって表現されない可能性がある。例えば硬質まさ土について得られたNc値xと土壌硬度yについての関係は以下の式で表される<sup>5)</sup>。

$$y = 8.685x + 4.608 \dots\dots\dots(1)$$

この式は土壌硬度22~29mmのかなりかたいまさ土について求められた式であるが、これをしらすについても適用可能と仮定すると、例えば土壌硬度20~30mmの範囲についてNc値の範囲は1.8~2.9となり、ほとんど変化がみられないということになる。よって風化表層土の土質強度を表現する指標としては不適と考えられる。

2. のり面・斜面勾配と土壌硬度の関係

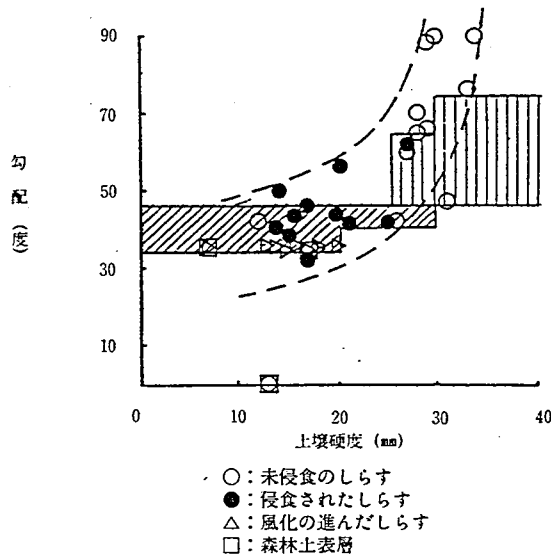
上記図-1で行った検討をさらに進めるために、1993年11月にも山中式土壌硬度計による土壌硬度とのり面・斜面勾配や崩壊（すべり）面勾配の関係について調査を行った。この調査では鹿児島県蒲生町及び吉田町で2本林道を選定し、それらの林道沿いに自然斜面や切土のり面について行った。崩壊（すべり）面勾配を一応安定勾配とみなし、それらと土壌硬度の関係、崩壊斜面や未崩壊のり面の表面勾配と土壌硬度との関係について検討した。

2.1 自然斜面における崩壊（すべり）

面勾配、崩壊斜面勾配と土壌硬度の関係

図-2に自然斜面における崩壊（すべり）面勾配及び崩壊斜面勾配と土壌硬度の関係を示す。

崩壊斜面勾配は、崩壊部周辺に残存する亀



○：未侵食のしらす  
●：侵食されたしらす  
△：風化の進んだしらす  
□：森林土表層  
・縦線部は「地山しらすの判別分類に基づく切土の設計施工指針」<sup>2)</sup>の示す切土勾配である。  
・斜線部は「しらす地帯における土工設計施工指針」<sup>1)</sup>の示す切土勾配である。

図-1 土壌硬度と崩壊面勾配 (災害直後)

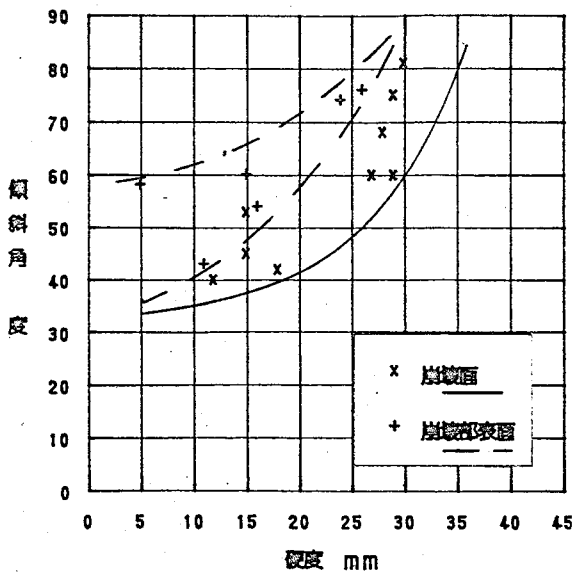


図 - 2 自然斜面における崩壊面  
勾配と崩壊部表面勾配

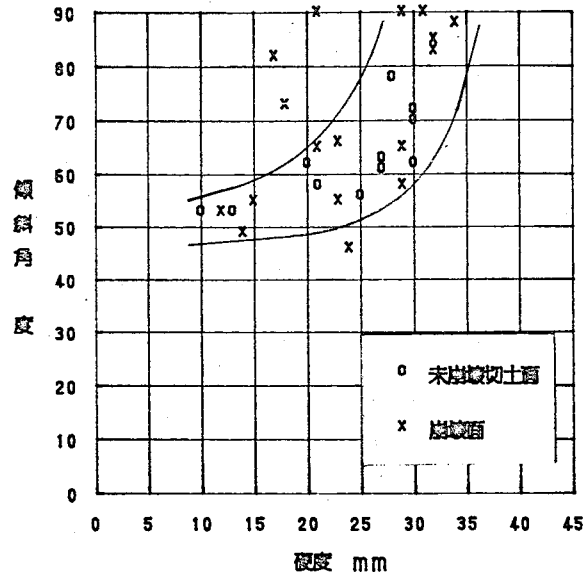


図 - 3 切土のり面における崩壊面  
勾配と未崩壊部表面勾配

裂で囲まれた不安定な部分の表面勾配とした。これについては調査できたサンプル数が少ないので、崩壊面のサンプル数の方が多結果となっている。この図をみるとまず同一土壌硬度における崩壊面勾配が図-1より大きくなっていることがわかる。つまり災害直後より今回の方が不安定な傾向を示している。これが調査地域の差異によるものか、それとも3ヶ月の間に風化が進んだためかは今のところ判断できない。次に同一土壌硬度において崩壊斜面勾配の方が崩壊(すべり)面勾配に比べて大きいことがわかる。つまり崩壊斜面の少なくとも表面部には崩壊面に比べて土壌硬度の小さい不安定な層が存在するということである。

### 2.2 切土のり面における崩壊(すべり)面勾配、未崩壊切土のり面勾配と土壌硬度の関係

図-3に切土のり面における崩壊(すべり)面勾配、未崩壊切土のり面勾配と土壌硬度の関係を示す。この図でも崩壊面勾配が図-1より大きくなっている。また土壌硬度が20mm以下と小さい場合でも崩壊面勾配が70°以上とかなり大きな値を与えている。崩壊(すべり)面勾配、未崩壊切土のり面勾配の差異については特に無く、両者と土壌硬度の関係はほぼ同じ範囲に分布する結果となった。よって崩壊面と未崩壊切土のり面は同等程度の安定性を有すると考えられる。

### 3. 斜面勾配と土壌硬度変化特性の関係

切土のり面において土壌硬度の深度方向へのプロファイル測定した。また同時に旧地山の斜面勾配も測定した。前者については図-4に示すように地山に垂直な方向への深度になるように補正を行い、それらと旧地山の斜面勾配との関係を検討する。

図-5に旧地山の斜面勾配を10°毎に区分し、各々の斜面勾配をもつ土壌硬度プロファイルを整理した。図中の直線は土壌硬度の分布の上限と下限を示している。これらを見ると最も斜面勾配の小さい10~20°の場合を除いて、斜面勾配の大きな場合ほど土壌硬度の分布帯の傾斜が小さくなる。つまり地山の斜面勾配が大きいほど、同一の土壌硬度の出現する深度が小さくなる。これは斜面勾配が大きいほど風化層が薄くなることを示していると考えられる。

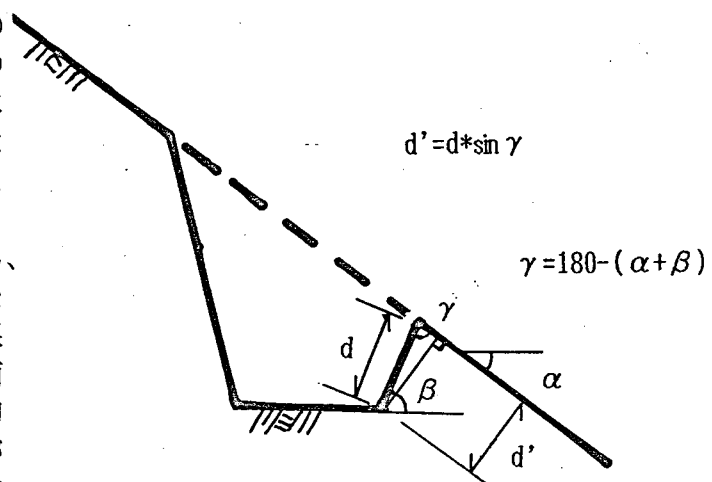


図 - 4 切土のり面の測定深度補正  
方法

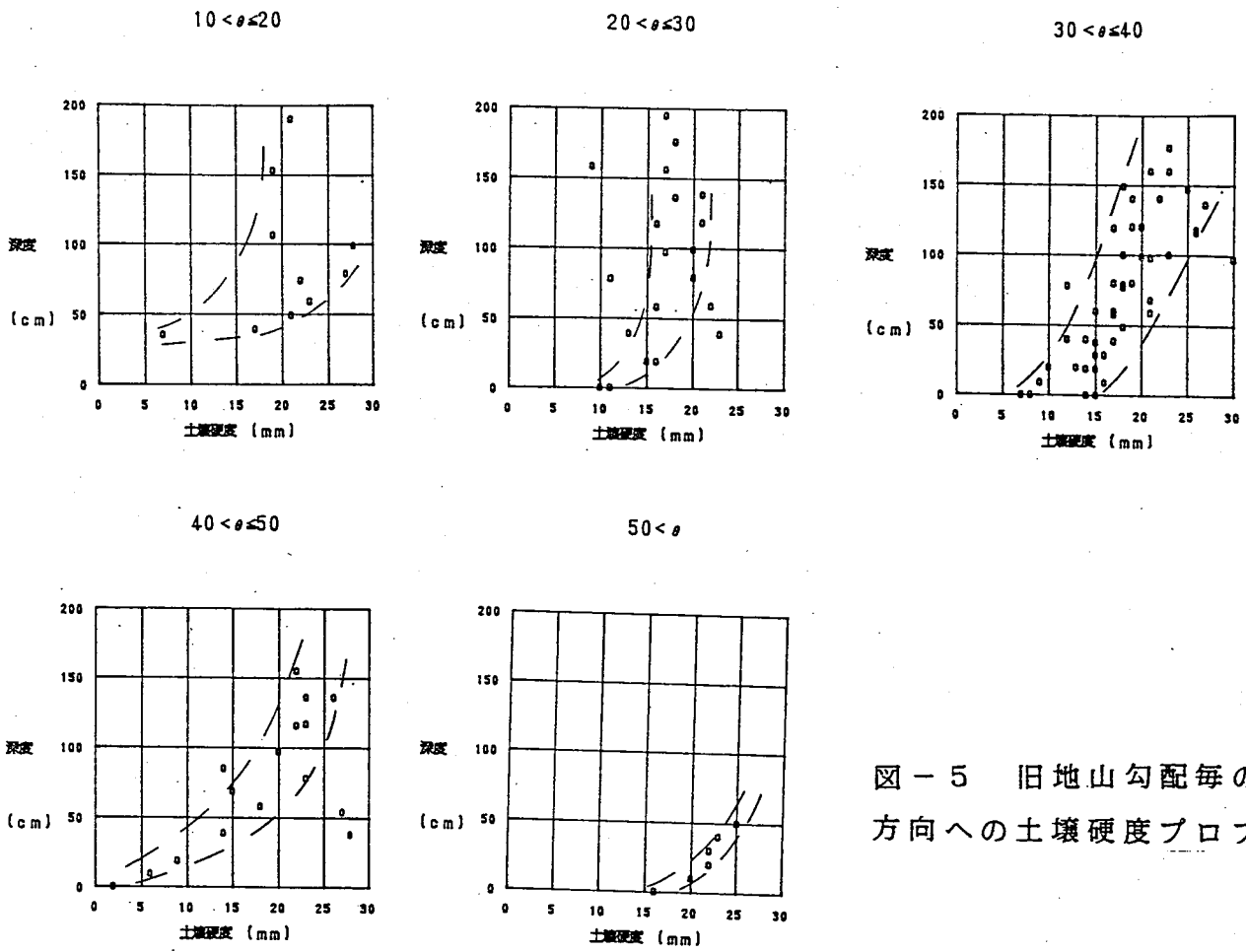
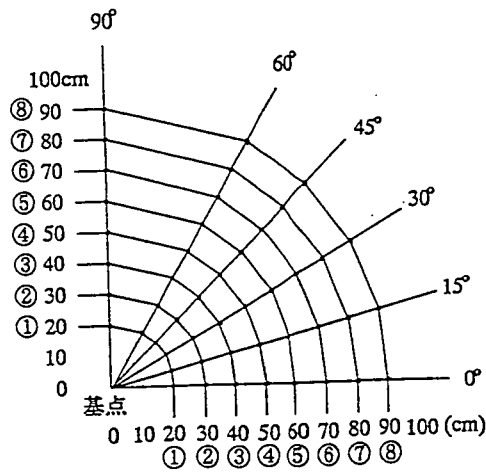


図-5 旧地山勾配毎の深度方向への土壌硬度プロファイル



測定面勾配は水平方向を基準に計測した。  
各測定面での土壌硬度は8箇所の測定値の  
平均値とした。

図-6 土壌硬度測定面の勾配

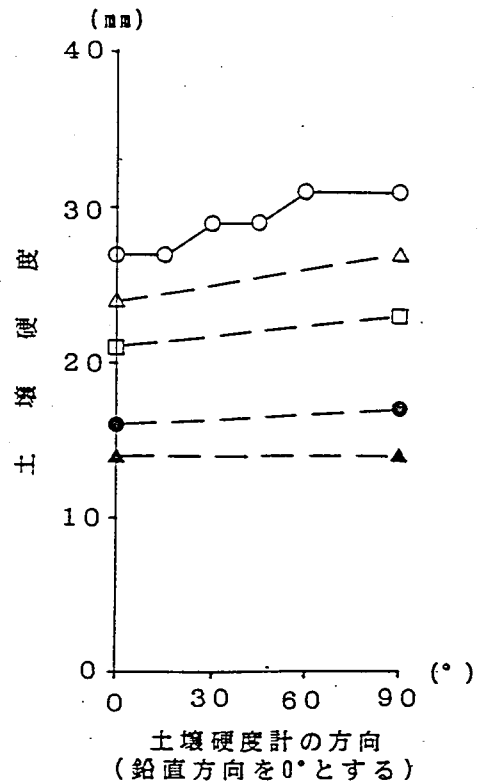


図-7 土壌硬度計の方向と測定された土壌硬度

#### 4. 土壤硬度計測時の問題点

しらすの土壤硬度をを山中式土壤硬度計で計測する時に留意すべき点の一つとして地山しらすの初期構造異方性がある<sup>6)</sup>。つまり堆積時の成層方向とせん断破壊の破壊面の方向の間の勾配が異なると、破壊強度が異なるということである。土壤硬度計による計測に関しては、鉛直方向と硬度計の方向のなす角度が異なると、土壤硬度の値も異なってくるのではないかという問題である。

この問題について検討するために、吉田町表郷地内の崩壊地（表郷1地区）で次のような実験を行った。まず水平方向に土壤硬度計を刺して測定した土壤硬度が31mmのブロックを削り出す。次に水平方向と0°、15°、30°、45°、60°、90°の角度をなす面を順次つくり（図-6）、各々の面に垂直に土壤硬度計を刺して計測を行う。つまり土壤硬度計と鉛直方向のなす角度が各々90°、60°、45°、30°、15°、0°の時の土壤硬度の値を計測した。また他にもいくつかブロックを削り出し、水平方向と鉛直方向に土壤硬度を測定した結果も合わせて図-7に示す。これを見ると以下のことがわかる。水平方向に測定した土壤硬度が31mmの場合には鉛直方向との角度が45°以下になると測定される土壤硬度の値が小さくなり、0°で土壤硬度は最小となる。しかしその値の減少は4mmと小さい。また他の計測例では水平方向に測定した（硬度計の方向0°）土壤硬度より鉛直方向に測定した（硬度計の方向90°）土壤硬度の値の方が小さくなるが、その減少の程度は水平方向に測定した土壤硬度の小さなものほど小さくなり、水平方向の土壤硬度が14mmのブロックでは、鉛直方向に測定した土壤硬度の値が等しくなってしまう。

以上より硬いしらすサンプルの土壤硬度を計測するときは土壤硬度計の方向について考慮する必要があるが、そうでなければ土壤硬度計の方向の差異もそれほどの影響を測定値に及ぼさないとと言える。

#### 5. おわりに

以上しらすのり面・斜面及びその崩壊面の勾配と、山中式土壤硬度計により測定された土壤硬度特性について検討した。また土壤硬度測定時のしらすの構造異方性の影響についても検討した。

今後はしらすの不攪乱サンプルを用いた土質試験により、土壤硬度と土質強度定数の関係について検討し、土壤硬度としらすのり面・斜面の安定勾配の関係について力学的に明らかにしていくつもりである。

最後に解析に御協力頂いた当研究室部外研究員藤元隆彦氏に感謝いたします。

#### 参考文献

- 1) 鹿児島県しらす対策委員会：しらす地帯における土工設計施工指針，1975
- 2) 土質工学会しらす基準化委員会：地山しらすの判別分類に基づく切土工の設計施工，1980
- 3) 矢澤昭夫他：平成5年7～9月の鹿児島災害調査速報，土木技術資料，36-2，p.26，1994.2
- 4) 浅井涌太郎他：昭和61年7月10日の梅雨前線豪雨による鹿児島市のがけ崩れ災害について，新砂防，pp.20～23，1986.9
- 5) 森本幸裕：緑地における樹木生育基盤に関する研究，緑化研究別冊号，京都緑化研究会，p.145，1985.4
- 6) Haruyama.M and Kitamura.R：“Anisotropic deformation-strength properties of soft sedimentary rock “Shirasu” originated from pyroclastic flows”，Soils and Foundations，24-4，pp.84～94，1984.12