

しらす地帯における最近の土質工学的諸問題

やまのうち
山 内 豊 聡*

1. ま え が き

第二次大戦後に始まったしらすの調査研究は、1952年の「特殊土地帯災害防除及び振興臨時措置法」の公布を契機としてさかんになり、またしらすが代表的な特殊土であることも広く理解された。

振り返ってみると、第二次大戦後いち早く、しらす地帯での土質工学的問題を取り扱った報告として、農業土木学では九州大学の故田町正誉先生（1950年）^{6),9)}によるものと、土木工学では東京大学の三木五三郎先生（1952年）^{6),9)}によるものとがある。ともに謄写版刷りであることは、今昔の感に堪えないが、しらすの研究の嚆矢である。

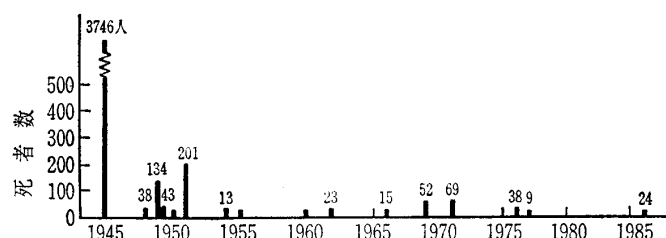
周知のとおり、従来のしらすの土質工学的問題は、地盤災害、特に斜面災害（ガリ侵食、引張り破壊など）を起こしやすく、また大地震時にその沖積堆積層が液状化しやすいことなどであったが、1968年えびの地震以来、しらす地帯は地震災害を受けていないものの、斜面災害は最近でもその跡を絶っていない。

しらす地帯における最近の土質工学的諸問題は、活発で急速な、地域および都市開発に伴う工法上のことが多くなっている。それらは土質工学上の応用問題であるが、その遂行には、膨大ともいえる既往の物理的、化学的、力学的研究、さらに地質学的、災害科学的研究成果が大きく寄与しているといえる。本講演では、1980年前後以降のほぼ最近10年間のしらす地帯における土質工学的諸問題を論述することにしたい。

2. しらす斜面災害

しらす斜面は、自然斜面であると切土斜面であると問わず、いぜんとして問題であり、1986年7月の鹿児島市内の崖崩れ災害によって再び論議がなされるようになったが、1976年以来のことである。

図一は、1945年以来のしらす地帯における災害死者数の移り変りであるが、その原因のほとんどが集中豪雨時に発生した斜面災害である。この図から、死者を伴う大きなしらす災害の頻発にはほぼ20年間の周期性が見られないこともないが、1945年～1951年ころの国土荒廃の頃に比べると、死者を多く伴う災害は比較にならない程著しく減少し



図一 1945年以降のしらす地帯における災害死者数の変遷
(藤本, 1988¹⁾より)

ている。関係諸官公庁の努力の成果である。

しかし、官公庁および旧国鉄のしらす災害復旧費の年度変遷を調べてみると、決して減少しているわけではない。それはよくいわれているように、急速な開発に防災対策が追従できかねていることと、雨の降り方も変わってきているためでもあろう。

2.1 1:1 勾配切土しらす斜面の評価

1974年に竣工開通した鹿児島市内・加治木町間の19 kmのしらす地帯の第1期工事の自動車道は、従来の伝統的急勾配切土斜面から歴史的に脱却して、初めて1:1勾配の切土斜面を採用したことで知られているが、高さ7 mおきの、幅広くかつ表面処理を施した小段を設置するとともに、排水施設を完備することによって、その後13年余を経過した現在まで、問題となるような災害はなく、その立脚した考え方²²⁾が基本的に間違っていなかったことを実証したといえる。

それは、地山しらす斜面では決して円弧せん断すべりを起こすことがなく、起きる破壊は、ガリ侵食、崩落的な表面侵食 (denudation)、引張り破壊のいずれかであり、切土勾配を盛土勾配と同じく1:1にすれば、力学的に安定であるのはもちろん、1:1勾配であれば植生もよくなり、崩落的表面侵食も防止できるので、排水施設を完備するかぎりガリ侵食も防止できるという考え方であった。この考え方に従った自動車道の設計法は、用地さえ許せば、大住宅団地にも応用されて災害を起こしていない。それと関連して、地山しらすの引張り破壊は、しらすの力学のみを論じた大著として知られる、上田の書²⁰⁾でも強調されていることを述べておきたい。

しかし、この設計法による自動車道の切土斜面でも全く問題がないわけではない。その一つは年を経るに従って、

*九州大学名誉教授、九州産業大学教授 工学部

特別講演

斜面先付近に起きる局部的損傷の修復対策として、ブロック張りや石籠が施工され、本来のプレーンの切土斜面の総面積は少しずつ減少していることであり、他の一つは斜面上に成育が進んでいる樹木が自然のものであるにせよ、過大成長しつつあり、それが斜面切土表面の風化と相まって不安定化をもたらしてはしないかということである。

2.2 地山しらすの判別分類法の評価

山中式土壌硬度計による指標硬度に基づいて行う「地山しらすの判別分類基準」は表一に示すとおりで、土質工学会しらす基準化委員会によって、1979年に土質工学会基準案として採択され、建設省、日本道路公団、鹿児島県などで広く利用されている。

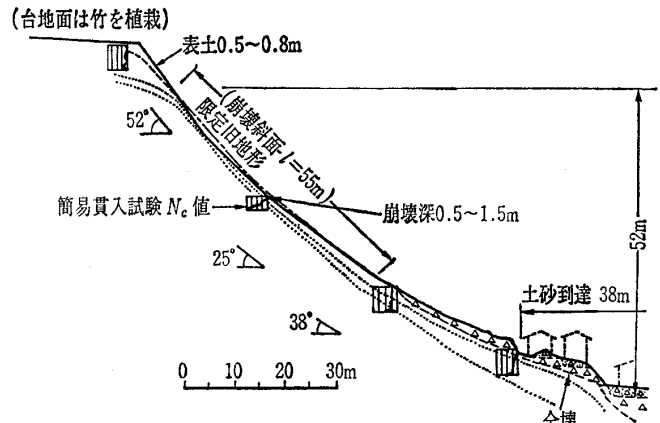
この基準案を実際のしらす切土斜面の工法と関連させる

表一 地山しらすの分類（土質工学会しらす基準化委員会案，1980）*

分 類	し ら す				溶結凝灰岩
	極軟質しらす	軟 質しらす	中硬質しらす	硬 質しらす	
指標硬度(mm)	20以下	20～25	25～30	30～33	33以上

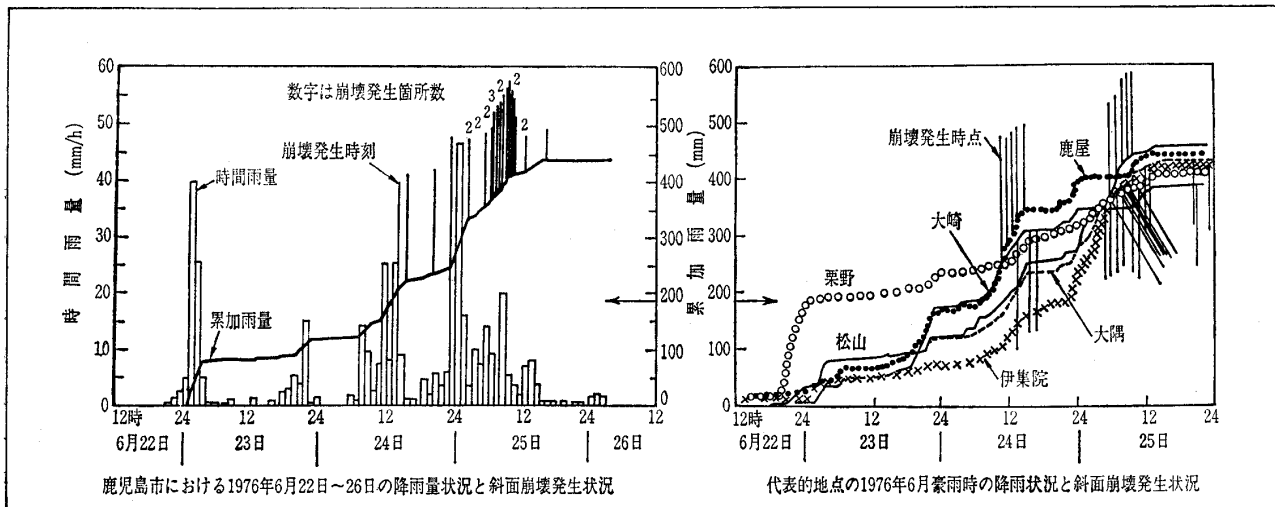
*土と基礎，Vol.27，No.8，p.54.

ため、「土質工学会しらす基準化委員会検討案，1980年」として、指標硬度に基づいて分類したしらすの種類に応じたそれぞれの切土工の設計施工指針が提示された（しらす基準化シンポジウム発表論文集，1979，または土質工学ハンドブック，1982年度版，p.409）。そこでは，1：1勾配切土斜面を原則としながらも，全部がそれに移行することは既開発地では不可能に近いことから，硬い地山しらすで

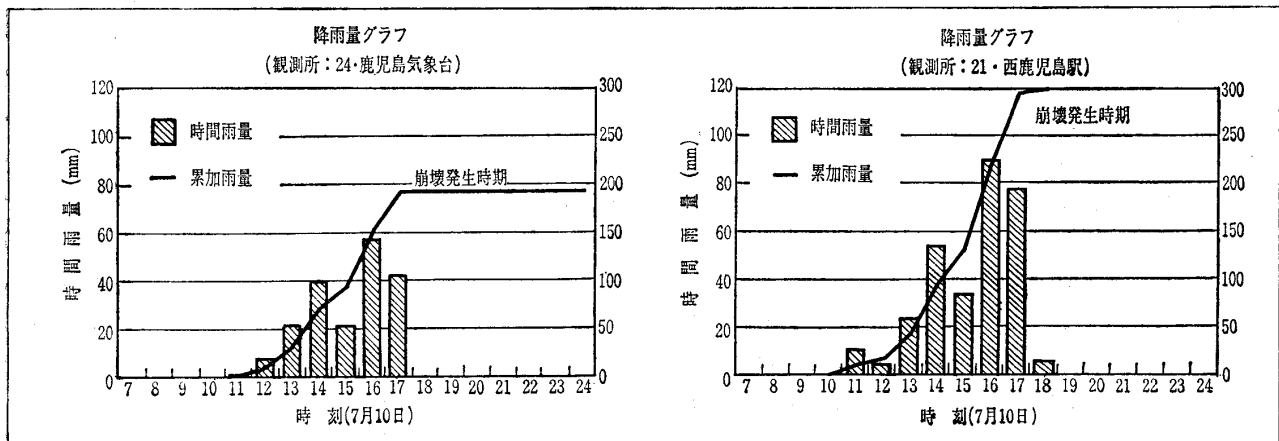


図一2 1986年7月しらす崖災害の典型的な崩壊断面（鹿児島県土木部）⁹⁾

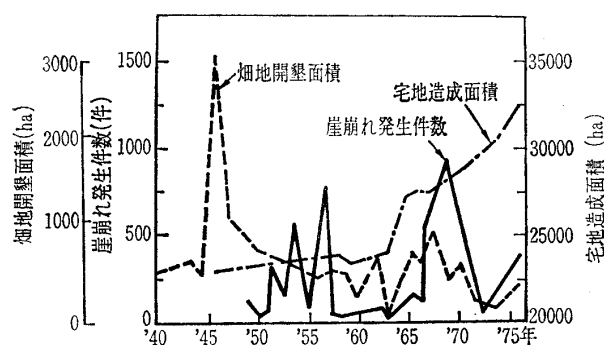
昭和51年6月・降雨災害時の降雨状況



昭和61年7月10日・豪雨災害時の降雨状況



図一3 1976年と1986年のしらす斜面災害における雨の降り方の比較（鹿児島県土木部）⁹⁾



図—4 鹿児島県下の崖崩れ発生件数と開発（畑地と宅地）の推移（1940年～1975年）（春山・地頭²⁾・林³⁾より転載）

は、在来的な急勾配の切土斜面をも認め、斜面工事の方法で補っているが、やはり大きな前進であったといえよう。しかし、その後10年近くを経過しているの、その指針の見直しが必要である。

2.3 1986年7月鹿児島市内崖崩れ災害

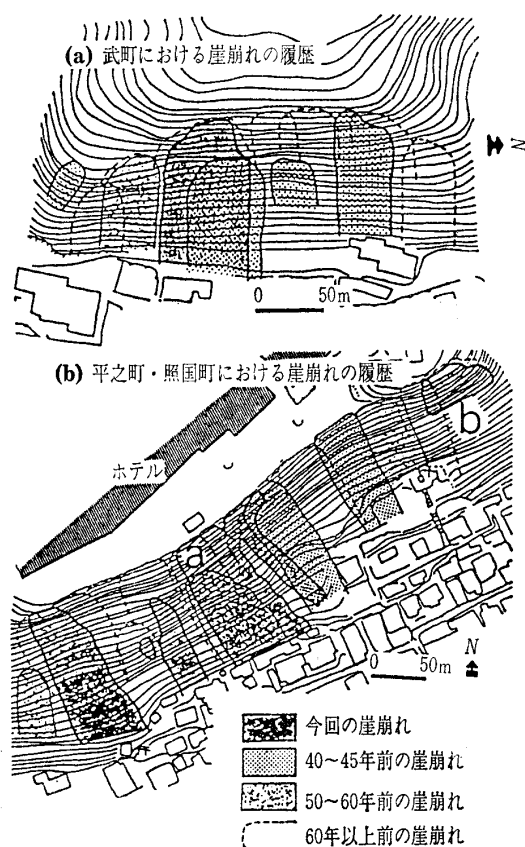
1976年以来、多数の死者を伴う大きなしらす災害を見なかったが、ちょうど10年目に当たる1986年7月10日に、鹿児島市内で突発的に崖崩れ災害をいくつも引き起こした（図—2）。集中豪雨は極めて短時間に局部的に集中しており、図—3に示すように、雨が降り始めてから4～5時間後に、時間雨量90mm（局部的にはそれをはるかに上回ると推定されている）を受けたため、従来の経験より低い累積降雨量180mmで崖崩れ災害を起こしている⁹⁾。この異状な雨の降り方を崖崩れ災害の直接的原因とすることは、その後発表された露木・岩松¹⁰⁾と下川¹⁶⁾の報告でも一致して認められている。しかし、間接的な要因として、1979年までを調べた春山による図—4²⁾で示すように、防災対策が宅地開発の早さに追従していなかったことも認めざるを得なかった。

この災害の調査において、しらす崖崩壊がほぼ周期性をもつことはかねがねいわれていたことではあったが、さらに「表層土の厚さが40cm程度になる80年を経過した斜面は要注意である」と下川¹⁶⁾および岩松⁴⁾が述べているのは、植物との関係には触れていないものの、従来より一歩進んだ調査の成果として興味深い。それは図—5によってよく理解される。

復旧工事は、図—6に示すような工法で行われて、1987年度に完成している。

2.4 しらす崖面における樹木の問題

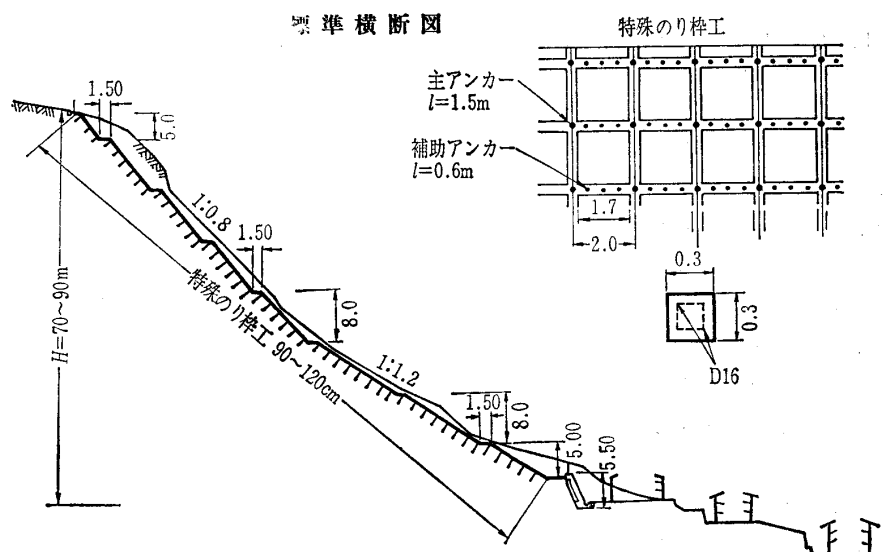
斜面上の樹木が斜面安定とどのようにかわりを持つか、どの地域でもいぜんから論議されてきている。斜面上の樹木が繁茂すれば、風化表層土下面の仮想すべり面において、すべらせようとする力



図—5 しらす崖災害の履歴（下川¹⁶⁾・林³⁾より転載）

がせん断抵抗力を上回るのではないかとということ、さらに降雨時にはすべらせようとする力は樹葉が重くなって増大し、風が吹けばそれがいっそう増大するであろうということは、常識的に考えられるが、根系のせん断抵抗と関連させて論じられたことはないようであった。

1986年7月の鹿児島市内の崖崩れ災害のあと、鹿児島県シラス防災技術委員会では、調査報告書^{8), 12)}を基にして、しらす崖面における樹木繁茂の斜面安定との関係が論じられた。しらす斜面災害研究の新しい観点として興味深いので、以下いくらか論議の要点を紹介しておきたい。



図—6 1986年7月災害斜面の復旧工事例（鹿児島県）¹¹⁾

特別講演

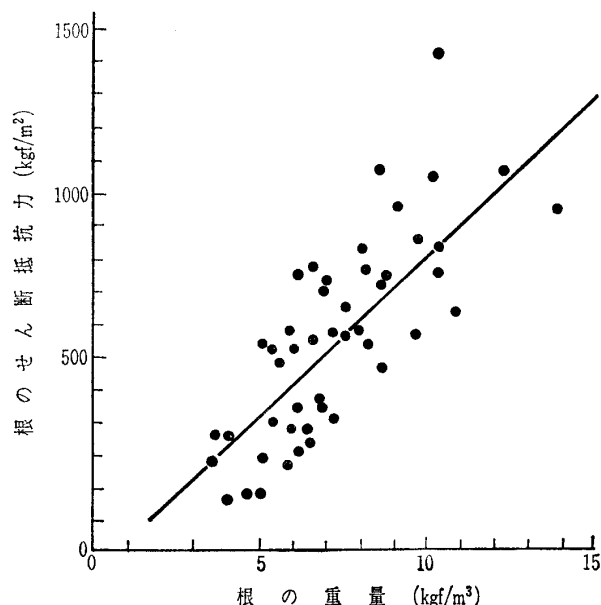


図-7 根の重量とせん断抗抵力の関係 (林業土木コンサルタンツ)¹²⁾

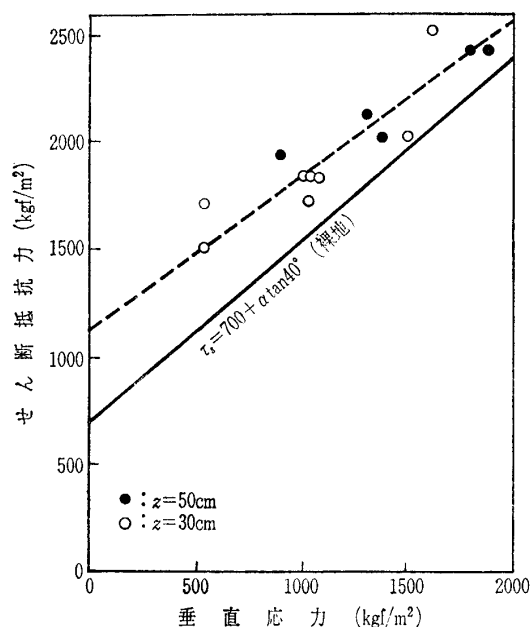


図-8 大型直接せん断試験によって得られた垂直応力とせん断抗抵力の関係 (林業土木コンサルタンツ)¹²⁾

各地の森林斜面の調査から、図-7, 8, 9に示すような事実が得られている。それらによると、森林斜面の崩壊防止機能は次のように要約される。

- (1) 針葉樹、広葉樹ともに20年以下の林地の崩壊面積率が高い。
- (2) 針葉樹では、特に10年以下の林地の崩壊面積率が高い。10～20年の針葉樹の崩壊面積率は広葉樹よりも大きい場合がある。
- (3) 40年以上では、針葉樹より広葉樹の崩壊面積率が高い場合が多い。
- (4) 広葉樹は針葉樹と比較して、樹齢別の崩壊面積率の差が少ない。

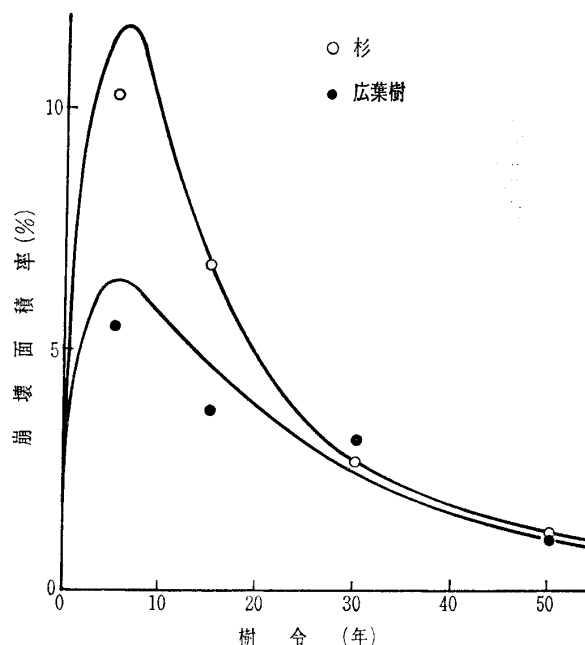


図-9 森林地における樹齢と崩壊面積率の関係 (林業土木コンサルタンツ)¹²⁾

次に、今回の崖崩れ災害のうち、鹿児島市照国町(城山)の災害斜面を対象にして、崩壊地の隣接地の樹木繁茂状況が詳しく調べられた。それに基づいて、この地区全般のこととして、次のような指摘がなされた。

- (1) 災害地、城山付近の崖面のクスの樹林帯は、樹齢も古いが本数管理が行われていて過密でないため、根系の発達がよく、また樹根が腐朽しにくいので崩壊防止に寄与した。
- (2) スギ、ヒノキが人工林で施林され、密度管理を行うのに対し、広葉樹では管理が行われないうので繁茂しすぎ、その結果過密による競合で十分広がった根系を持たない。

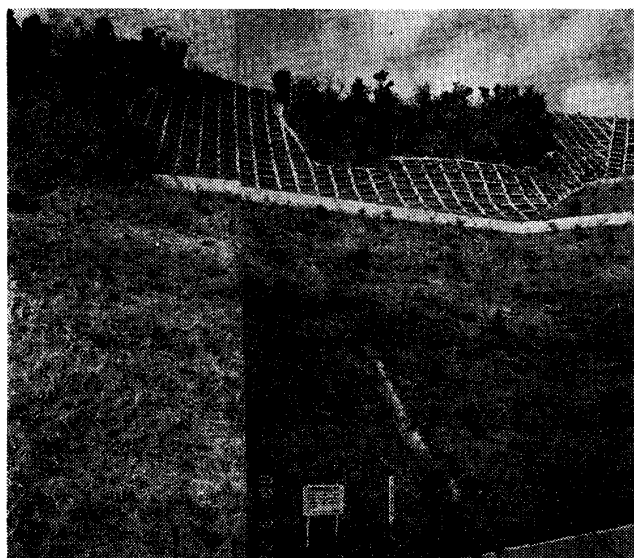
そこで、当該地は基本的に次のような対策が提案された。

- (1) 根系の垂直方向の発達を促すため、本数を間引きして疎林を造る。
- (2) クス、タブ等の比較的高齢まで成長を続ける樹種を残す。特にクスは残すことが望ましい。
- (3) 尾根付近で風による被害が予想される樹木の高さをつめる。根系の活動を低下させないために、低い根が残るような高さで伐る。
- (4) 最終的な林相として150 m³/ha、主林木の本数は1000本/haの広葉樹林を目途とする。
- (5) その後の更新のため1000本/haの萌芽を残し、被覆林的な形態を形成させる。

このような見地から、写真-1に示すような樹木処理が行われた。周期的なしらす崖崩壊の発生と森林保全の間のジレンマを解決しようとする新しい試みとして注目される。

2.5 しらすによる盛土

前述のしらす地帯での自動車道はまた、排水を完備した



写真一 しろす崖災害復旧工事の例（1988年3月現在，保安林の枝，幹の切りつめに注意）

とはいえ，しろすによる長大盛土の耐久性をも実証したといえる。しろすによる盛土としては歴史的な最大規模の盛土においても変状を経験していないからである。

しろす盛土についての最近の話題に，新幹線築造に備えて行ったしろす盛土斜面の試験工事があり，1981年の植生の比較実験に続いて，1986年度には各種の斜面工に対し，人工降雨として長時間の散水試験を行っている。これらの実験は在来的なものに見えるが，道路と比べてはるかに高いレベルの安定性が要求される観点から行われたものである。

3. しらす地帯におけるトンネル工事

過去約10年間におけるしろす地帯の主な開発工事のうち，最も顕著なものにトンネル工事がある。しろす地帯にお

表一2 しらす地帯におけるトンネル工事

機 関	場 所	地 盤	工 法	完成など
旧日本国有鉄道	上伊集院一西鹿児島	一次しろす台地（ほぼ地下水位より上）	在来工法	1968年
同	同	同	同	1968年
同	西鹿児島一鹿児島	同	同	1978年
同	隼人一加治木	同	同	1979年
旧日本電信電話公社	鹿児島市上荒田町	沖積しろす地盤（地下水位より下）	土圧式シールド工法	1979年
建設省	鹿児島市武町	一次しろす台地（地下水位より上）	パイプルーフ，JSG工法併用	工事中
日本道路公団	鹿児島市小野町	同	NATM	1988年
鹿児島道路公社	鹿児島市西陵町	同	在来工法	1988年
同	鹿児島市山田町	同（地下水位より下）	在来工法，ウェルポイント	1988年
建設省	鹿屋市	同	NATM，隔壁，ウェルポイント	工事中（側壁導孔掘削）

るトンネル工事を列挙すると表一2に示すとおりである。

このうち，特に難工事として特筆されるのは，まず，1979年完成の旧日本電信電話公社による鹿児島市内の沖積しろす地盤における洞道工事であり¹⁷⁾，次いで，現在工事中の建設省による鹿屋市内の肝属（きもつき）川洪水対策としての，一次しろす台地を貫く導水トンネル^{19)，20)}である。ともに，難工事であった鹿児島道路公社による山田トンネルと同じく，地下水位より下でのトンネル工事であるが，前者は鋼管杭とソイルセメントパイルの併用によって掘進した立坑工事の段階ですでに困難が多く，また水平掘進では，新しく開発された土圧式シールド工法を採用し，さらに注入工法の助けを借りて完成し，後者は透水性の極めて高い降下軽石層（ぼら層）からのボーリング対策に格別の配慮が払われているが，地下連続壁による方法の効果がすでに実証されている。掘進はウェルポイント工法による水位低下法によって実行できることも数年まえの試験によって分かっている。これら2つのトンネルは，ともに歴史的に初めての工事例として，高く評価されてよい。

建設省による武トンネルでは，その地上が住宅団地であったため，九州地方としては初めての区分地上権確定のための解析が行われた。その他のトンネルでも，NATMトンネル工事のための解析プログラムを選択のうえ解析がなされた。日本道路公団による小野トンネルのNATM工法採用については，その応用の必要性について疑問をいさぐ技術者もいるので，1979年に土木学会年次学術講演会（福岡）で開催されたような「しろす地帯におけるトンネル工法」の研究討論会²³⁾の類いを，再度開催すべき時機に来ているように思われる。

4. しらす地帯におけるダム工事

南九州，特にしろす地帯では，ダムサイトがしろすや凝灰岩であるため，従来からダムの築造には極めて慎重であった。1968年完成の高隈ダム以後，しばらく間をおいて，表一3に示すような実績が農林水産省によって得られている。これは，調査が進み，また工法も発達したためである¹⁵⁾。

しろす地帯におけるダム築造についての問題点は，猿山¹⁴⁾によれば次のとおりである。

(1) 堤敷および付帯構造物に関するもの

1) 支持力：しろす，降下軽石層，旧期河床堆積物

表一3 第四紀火砕流堆積物地帯のダム（猿山，1988）¹⁵⁾

ダム名	タ イ プ	高 さ (m)	堤体積 (m ³)	完成など
高 隈	重力式コンクリート	47.0	67.0	1968年完成
永 吉	傾斜コア型ロックフィル	37.0	1 221.3	1979年完成
緑 川 (副堤)	重力式コンクリート	76.5	367.4	1971年完成
	中央土質心壁フィル	35.0	347.0	
日 南	重力式コンクリート	47.0	191.0	1985年完成
天 神	中心遮水型ロックフィル	62.5	1 993.0	1988年着工

特別講演

2) 漏水, パイピング: 透水性, 地下水位 (頭)

(2) 池敷に関するもの

1) 崩壊

2) 漏水, パイピング

3) 堆砂

(3) 材料に関するもの

1) 透水性ゾーン: 溶結凝灰岩

2) 半透水性ゾーン: しらす, 凝灰岩

3) 不透水性ゾーン: 火山灰

しらす地帯では, ダムサイトにおいても注入工法が欠かせないが, 注入工法についても, 各種工事を総合した討議を行った方がよい時期にきている。

5. しらす地帯における新材料, 新工法の応用

1968年えびの地震災害後に, セメントモルタルまたはコンクリートの吹付け工法がしらす地帯でも広く普及したが, 切土しらす斜面工ではのり枠工が近年多く採用されている。もちろん緑化対策を兼ねることができからである。吹付け工法はその安定性を実証したが, 鉄網の腐食や切土面との間の空洞化が発生してきているのではないかと懸念される。それに替るポリマーグリッド応用の吹付け工法は新しい提案といえる。

ポリマーグリッド補強急勾配斜面工事は, しらす地帯における新工法採用の第1号といえるが, 1985年に鹿児島市星が峰団地で成功している。この工事では観測と解析もよく行われている²⁴⁾。

その他, 実績をもつものとして, “多数アンカー擁壁”がある。この重い擁壁の基礎の支持力については, 個々に支持力の異なるしらす地帯では十分な注意が必要であろう。支持力に不安があれば, 柔構造であるポリマーグリッドによる, 星が峰工事のような工法も比較検討されるべきであろう。

実績をもたないが, 検討中である新工法に, 発泡スチロール (ESP), 気泡セメント (foamed cement; FC), 透水性ソイルセメントなどがあるが, これらは応用が, 復旧工事, 暫定工事, 恒久工事のいずれであるかによって実用性が変わる²⁵⁾。“テクソル”工法は, しらすに対しては, まだ評価が決まっていない。

6. しらす地帯における耐震設計・施工

1968年えびの地震以後, 災害を伴うような地震災害はしらす地帯では経験していないので, 耐震設計・施工について最近配慮が足りなくなっているのではないと思われる。

しらすに即した調査研究の報告では, 耐震設計・施工については, 寡聞にして1976年の山内ら²¹⁾以後, わずかに Yamanouchi ら²²⁾, Sasaki と Matsuo¹³⁾と, 西田ら¹¹⁾の発表を知るのみである。最後の二つのうちの前者は, しらすによる河川堤防の大型振動実験結果であり, 液状化軽減に

ジオテキスタイルなどの効果を認めている。後者は, 自動車道における実際の橋梁基礎の液状化対策の設計法を報告したものである。

住宅棟など高層建築物を沖積しらす地盤に築造するときは, 鹿児島市内に関するかぎり, その基礎に大地震時に発生する間隙水圧の消散のための碎石杭 (通称グラベルドレーン) 工法が基礎地盤に施工されているはずである。それは, 1976年に旧日本住宅公団が鹿児島市鴨池で高層住宅棟のために行った実験の結果 (山内²¹⁾) によるものである。

7. 結 び

以上, 最近ほぼ10年間におけるしらす地帯での土質工学的諸問題を, 見解を加えながら紹介したが, それぞれ新しい知見を生みながら防災工事や開発工事が遂行されているとはいえ, まえがきで述べたように, それ以前の基礎的, 応用的研究成果の積重ねによってそれらを可能にしているといえるので, 1975年までの主要な研究成果は, 九州地方建設局 (1966)⁹⁾, 鹿児島県農政部耕地課 (1969)⁶⁾, 九州地方建設局 (1975)¹⁰⁾に集大成されていることを述べておきたい。

しらす地帯における土質工学的諸問題は, しらすの研究そのものだけでなく, 地質学はもちろん, 気象学, 水文学, 植物学など, 種々の他分野の知識をも総合して, 初めて防災や開発工事がなしとげられることは, 本稿からもうかがわれるであろう。それは土質工学そのものの手法でなく, むしろ応用地質学的手法であるように思われる。

今後, 検討されるべきであると考えられるしらす地帯における工学的課題を, これまでの記述の中から取りあげると次のようなものがある。

- (i) 2, 3 観点の異なるしらす崖崩れ災害発生の周期性についての総合的検討。
- (ii) 地山しらすの判別分類法に基づく切土工の設計施工指針の見直し。
- (iii) しらす地帯におけるトンネル工法の総合的検討。
- (iv) しらす地帯における注入工法の総合的検討。

参考文献 (著者名 ABC 順)

- 1) 藤本 廣: 九州・沖縄の土質と基礎, 土と基礎, Vol. 36, No. 3, p. 7, 1988.
- 2) 春山元寿・地頭菌隆: 鹿児島県における気象災害による被害の歴史的推移, 応用地質, Vol. 23, No. 3, pp. 28~40, 1982.
- 3) 林 重徳: VI. 地滑り崩壊とその対策における役割と課題, 日本応用地質学会九州支部10周年記念シンポジウム, 同支部会報, No. 9, pp. 62~64, 1988.
- 4) 岩松 暉: シラス災害ハザードマップ作成の一手法, 昭和61年度文部省科研費特別研究奨励会研究成果, 1986年梅雨末期集中豪雨による鹿児島市内のシラス災害に関する調査報告書, pp. 69~81, 1987.
- 5) 鹿児島県土木部砂防課: 61. 7. 10シラスがけ崩れ災害の概要, 鹿児島シラス防災対策委員会資料 (1987. 3), 29 pp., 1987.
- 6) 鹿児島県農政部耕地課: シラスに関する研究論文集 (抜粋), 278 pp., 1969.
- 7) 鹿児島県森林保全課: 昭和61年7月10日鹿児島市を中心とした大雨被害について, 5) と同じ (1987. 3), 1987.

- 8) 鹿児島県森林保全課・樹林業土木コンサルタンツ(1987): 地域防災対策特別整備治山事業調査報告書(鹿児島市城山地区), 5)と同じ(1988年3月).
- 9) 九州地方建設局: シラスに関する主要研究論文集, 技術管理資料, 385 pp., 1966.
- 10) 九州地方建設局: シラスに関する主要研究論文集(第2集), 技術管理資料, 1018 pp., 1975.
- 11) 西田 巖・田原賢二・前田良刀: シラスの液状化と橋梁基礎の設計, 九州自動車道鹿児島・宮崎線の事例, 基礎工, 7月号, pp.80~84, 1984.
- 12) 樹林業土木コンサルタンツ: 山地保全計画(鹿児島地区)調査報告書, 5)と同じ(1987.3), 1986.
- 13) Sasaki, Y. and Matsuo, O.: Shaking table tests on the remedial measure to improve seismic stability of embankments, Paper, 15th Joint Meeting US-Japan Panel on Wind and Seismic Effects, UJNR, Tsukuba, 1983.
- 14) 猿山光男: しらす地帯のダム計画, 日本応用地質学会九州支部会報, No.3, pp.16~22, 1982.
- 15) 猿山光男: まさ土・第四紀火砕流堆積物および琉球層群地帯のダム基礎地盤, 土と基礎, Vol.33, No.3, pp.81~86, 1988.
- 16) 下川悦郎・地頭蘭隆・中村淳子: シラス急斜面における崖崩れの周期性と発生位置の予知, 4)と同じ, pp.69~81, 1987.
- 17) 志村博正・高森 文・山内豊聡: チュウ積シラス地盤における立坑工事のための薬液注入工法, 土と基礎, Vol.26, No.8, pp.29~34, 1978.
- 18) 露木利貞・岩松 暉: 1986年7月鹿児島市内豪雨災害の経過と被害, 4)と同じ, pp.7~13, 1987.
- 19) 露木利貞・吉田三郎・羽田忠彦・松雪清人: しらす地盤地帯における地下水以下のトンネル工事, 土と基礎, Vol.36, No.3, pp.43~48, 1988.
- 20) 上田通夫: シラスの力学的性状の解明と防災技術の研究, 上田通夫先生退官記念事業会, 302 pp., 1984.
- 21) 山内豊聡・是枝慶一・阪口 豊: 鹿児島におけるチュウ積シラス地盤“特にその地盤工学的特性”について, 土と基礎, Vol.24, No.7, pp.25~32, 1976.
- 22) Yamanouchi, T., Mochinaga, R., Gotoh, K. and Murata, H.: Studies of cut-off slopes in a pumice-flow deposit and their applications to the design standards for an expressway, Proc. 9th Int. Conf. SM & FE, Tokyo, Case History Volume, pp.371~430, 1981., または山内豊聡・持永龍一郎・後藤恵之輔・村田秀一: 5. しらす切土斜面の研究と高速道路の設計基準, 土質工学ケースヒストリー集, 第1集, pp.267~318, 1983.
- 23) 山内豊聡・歳田正夫・長野 実・高森彬文: しらす地盤のトンネル工法, 土木学会誌, Annual '80, pp.26~35, 1980.
- 24) 山内豊聡・福田直三・赤崎敏也・池上正宏・宮崎良知: ポリマーグリッドを応用した急勾配補強盛土の設計と実際, 第30回土質工学シンポジウム論文集, 東京, pp.29~34, 1985など.
- 25) 山内豊聡: しらす工事における新材料の応用, 九州技報, 創刊号, pp.5~11, 1987.
- 26) Yamanouchi, T., Saito, Y. and Matsuyuki, K.: Tunneling in a water-bearing "Shirasu" plateau, Proc. 8th Asian Reg. Conf. SM & FE, Kyoto, Vol.1, pp.329~332, 1987.

(原稿受理 1988.8.9)