

駒込図書室

土木研究所資料

第426号

法面保護工に関する資料

昭和44年2月

建設省土木研究所 土質研究室

は　　じ　　め　　に

法面保護工の問題について、今後、土質研究室で研究を進めるにあたって問題点を明らかにし、研究の方向を明確にするため、これまでの我国や国外での研究成果をとりまとめた。

今回は、論文抄録が主体を占め、その論文も量的に多くはないが、資料としてとりまとめ、今後の研究に資することにした。

昭和 4 4 年 2 月 1 4 日

土質研究室　山　村　和　也
　　　　　　　　稲　葉　誠　一

目

次

1. ま え が き	1
2. 法面保護工の問題解決の方向	1
3. 法面保護工の経験的研究	1
4. 保面保護工の解析的研究	3
5. ま と め	4
6. 抄録論文一覧	5
7. 論文抄録	8

法面保護工に関する研究

1. ま え が き

法面保護工の問題は、単に保護工法の設計施工の問題だけではなく、斜面安定、岩盤力学、土のせん断特性、土中水の土の物理的挙動に与える影響、降雨や地下水の水文学と水理学、植生や肥料、土壌学を含めた農学、岩石に関する地質学から、砂防、地スベリ、地震、航空写真や地形学というような、広範囲の種々雑多な関連領域の技術や知識を応用しなければ、問題を解決することができない、複雑な要素を持っている。ここでは、このような関連領域を含めて、これまでの法面の問題についての研究成果を一覧して評価し、さらに、問題点の所在を明らかにして、解決の方向を見出そうという意図のもとに一つの研究資料をとりまとめた。

2. 法面保護工の問題解決の方向

法面保護工を含めた斜面安定の問題の研究に2つの大きな流れがある。1つはこれまでの実際の工事の経験や実績から、適当な法面の勾配や高さや、法面保護工種を定めることを中心とする方法、もう1つは法面や、自然斜面に関する土質力学や岩盤力学の理論的知識を応用して、個々の斜面の力学的な現象を測定し、法面の安定不安定を数値の上で解析しようとする方法である。ここでは前者を経験的研究、後者を解析的研究というように一応呼ぶことにした。

3. 法面保護工の経験的研究

この方法は具体的には、すでにある斜面の高さ、勾配、保護工の種類、岩石の種類、風化の程度、崩壊の生ずる降雨量、地下水の状況、湧水の有無、排水工法、近傍の自然斜面の勾配、植生状況、地質学的分類、斜面全体の地質縦断形状、地形学的分類 等ありとあらゆる斜面の特性に関する情報を集めて、最終的にその法面や斜面の安定、不安定を判断しようとするものである。さらにこのような解析から、法面の設計の基準を作ろうとする方法である。このような試みは、これまで機会あるごとに行なわれているが、斜面の安定、不安定を支配する条件が、非常に複雑で整理が、困難であり又、条件を簡単にすると、これまで自他共に認められているわかりきったことしか出てこないというような結果になるものが多い。又、試料の数を、多くするには、問題があつて、これまでの調査ではせいぜい500例位を取り扱ったのが多い方である。

具体的な研究の例として宮島、堀(A-3, A-5)宮島(A-4)がそれで、法面の高さ、勾配と保護工の実態を調べて、結論としては、これまでの経験を裏付けしたものが得られたのみである。岩石の法面の安定について多数の調査例を集め、岩石の種別と風化程度に分けて、安定勾配を求めようとしたものに、村上、宮内(A-1)応用地質調査事務所(A-2)がある。こ

これも単純化した岩種と風化程度だけでは、得られた結果も、広い範囲の中で示され、確実性に乏しい。

このような方法は、外国においても、2、3試みられていて、岩石斜面の安定解析の調査方法として、アメリカ鉱山局（A-6）のものが、まだ手初めであるが、具体的な方向を示すものとして貴重である。個々の地域的、地質的条件の下での斜面安定を取扱ったものとしては、

B. Aisenstein（A-7）では石灰岩斜面を、田中（D-3，D-7，D-8）では、主として花崗岩やマサ土の斜面についての調査が行なわれている。田中では、地下水の影響、降雨条件等を含めて、細部にわたる調査を行ない、さらには、航空写真により地形、植生、既成の地すべり地の情報等を利用して斜面崩壊を生ずる条件を定め、具体的に、神戸市周辺で崩壊の警戒地域を定めて行政的に利用しているという。斜面崩壊を支配する条件をあまりに多く取り入れると、その解析はあくまでも、類型分類、定性的判断にとどまり数値の上で一般に肯定できる原則を見出すことはこれまでのところ非常に困難で、問題の複雑さを露呈している状態である。

このような斜面の崩壊現象を支配する条件を、評価し、統計的に処理して安定性の判断基準を作ろうとする試みは山田（D-1）によって、なされている。国鉄の斜面災害の調査を多数行ない、防災強度採点基準表をつくり、予想降雨量により定める災害予測度と、採点して出た、法面の現有強度とを比較しようとするものである。

現在のところ採点表の基準が、既往の災害調査の統計量とどのような関係があるのか明らかでなく、採点も、主観的判断に頼る部分もあり、又、採点結果と、崩壊調査例との比較がない等の点もあるが、斜面崩壊、法面保護工の問題をより数量的、統計的に処理する方法として、1つの方向を示しているといえる。

実際の法面の設計に当って、或る設計基準をたてて一貫した方針のもとに施工まで行なったものの報告としては住友（B-6）土肥・松本（B-7）W. J. Turnbull（B-9）L. Casagrande 他（B-10）佐藤・大谷（B-11）伊原（B-11）清水（B-5）等がある。具体的な法面保護工の設計施工に当って、それぞれ参考になる点を含んでいる。しかしこのような報告の大部分は、それまでの常識的な経験の上で、簡単な方針をたてて、現場に応じて設計施工を行なってみたというものが多く、施工後の法面の挙動観測までの検討や反省を含めたものは少ない。したがって、このような各個の工事実施例から、普遍的な法面保護工の設計基準や選択基準を確立しようというのは困難である。

実際に設計施工される法面保護工の各種の実例は、その適用基準も今のところ不明確であるが植生による法面防護についても、統一した方針のもとに設計が行なわれているとはいえない。昭和40年の第8回日本道路会議で「法面保護工の設計施工について」が指定課題として取上げられたが発表論文14編のうち実に9編が、植生法面保護工に関するものであった。その内容は各個ばらばらで、施工例の歩掛や、設計図面の報告、工法の紹介に終り、その効果や問題点を指摘しようとするものは少なかった。その中で新田（B-2）のは、統一的な思想と方針にたち、翌

富な経験から、植生の問題の出発点をよく理解することができる。さらに発展して新田（E-1）には定性的に、植生による法面保護効果の限界について問題の所在を指摘している。

E. C. Roberts 他（E-3）は、除雪のための塩化物を散布する場合の植生への影響について調べたものであるが、新しい問題として興味深い。ただこれを理解するにはアメリカでは降雨も年雨量で1,000～1,500 mmが限度であり、排水溝も殆んどなく、中間分離帯も、法面も3割位の勾配が多く、トラクターでけん引する芝刈機で、維持管理をするというように植生も美観のためであるという事情があることを忘れてはならない。

植生の法面防護効果については、施工後の崩落まで、含めて検討したものの研究は殆んどない。植生がある場合の降雨の浸透量、法面の安定性について、実斜面や、模型斜面の降雨実験に、斉藤、上沢他（C-4）（C-5）があり、若干の研究成果がある程度である。

このようなことから、今後、経験的に現象論として、斜面の安定、法面保護工を取扱う方向として、まず第1に、これらを支配する条件をなるべく統一的にできれば数量化することを考えなくてはならない。自然斜面を含めた法面の勾配、高さ、等の幾何学的条件、保護工の種類、降雨地下水、湧水、岩石、土の分類、風化破碎の程度、地形学的要因、植生、崩壊の可能性や程度等についてなるべく主観によらない判断基準を作らなくてはならない。第2に、斜面の安定、不安定、法面保護の適否を定めるための既設の斜面につき、非常に数多くの調査資料を集め統計的な処理を行なうことが必要である。第3に、これらの調査資料をもとに、法面保護工の選択基準、既設法面の安定の判断基準、法面保護工を含めた斜面全体の設計基準を確立することが、一応の問題解決の方向といえよう。

4. 法面保護工の解析的研究

解析的と名付けるのは不適当かも知れないが要するに法面の安定を支配する間げき水圧の発生、斜面全体のヒズミの進行、地下水位、土のせん断抵抗等を、実物大の斜面や、実際の斜面について測定したり、試験をしたりして数量的に求め、これまでの斜面安定に関する理論的知識によって解析し、安定性の判断、崩壊時期の予知、危険降雨の推定などを行なおうとするものである。

最も注目すべき研究として、斉藤（D-6）が挙げられる。斜面崩壊の時期を斜面のヒズミ測定の結果から予測するというもので、同じような方法の応用研究を斉藤、上沢（C-1、C-6、C-7）で、繰返し行なっている。原理は、斜面のヒズミ速度が、崩壊到達時間に逆比例するというもので、その関係は、自然斜面、切土斜面のみならず、盛土斜面の崩壊にも適用できるというものである。果して、法面保護工など、構造物を含む場合の時や施工途中の法面崩壊等あらゆる問題に適用できるのか、疑問の点もあるが、ある程度実績のある調査方法、解析手段として、非常に重要であるといえる。

斜面の降雨時の地中の間げき水圧を測定し、降雨量と、間げき水圧の上昇を定め、その条件で斜面の安定計算を数多く行ない、崩壊の予測される危険降雨量を定めた研究は、斉藤、上沢、他

(C-2, C-4, C-5, C-6, C-7)によって行なわれている。間げき水圧の上昇と、降雨の関係は盛土材料、締固め、排水条件、植生等種々の要因が働かし、個々の斜面における実測値を多数得て、個々に解析すると共により一般的な原則を見出すことが必要である。崖維のような破碎層の切土、レキや玉石までを含む盛土など種々な条件の斜面で、安定計算を行なうには間げき水圧や、地下水位の測定も重要であるがそれと共に土砂や岩石のせん断特性をどのようにとるか等まだ種々の問題があるようである。

これらの他に、個々の法面や、模型で、降雨時の斜面の挙動を数量的に測定し、解析を試みようとしたものに斎藤、上沢他(B-2, B-3, B-4)羽田野(C-3)上田、長野(D-4)等があるが、その他のものは、現象を把握したままで、実際の応用に役立つまでに至っていないようである。

今後の研究の方向として、崩壊の発生の危険が予測される個所での、斜面の挙動を降雨時も含めて観測すること、降雨時の間げき水圧の上昇、地下水の変動を測定することがあげられる。

これらの測定結果を利用して、安定計算などより解析的な方法で、危険降雨量を定める、あるいは排水工法等の対策をたてる基準を作ることや、危険個所を指定し、対策工法や、法面保護工の設計基準を確立することが考えられる。

5. ま と め

収集したこれまでの研究成果の重要なものを、いくつか抄録した。この他には第8回日本道路会議論文集に、指定課題としていくつか集められているし、建設省技術研究会報告、各地方建設局の研究会、国鉄、道路公団等の機関の研究会の報告にも、多数みられる。また外国のものでは問題の特殊性から、我国のものと研究目的が必ずしも一致しないものもあるが、国際土質基礎工学会議論文集、Highway Research BoardのBulletin, Recordにも少し見受けられる。

今回は、研究の手始めとして、30編あまりの抄録にとどめたが、なお今後の調査研究を進めると共に、この抄録も充実し、もっと現場での設計施工の参考になるものを作ることも考えている。

非常に短かく要約したため十分にもとの論文の意を尽していない点もあるかと思われる。今回ここに抄録させていただいた論文の研究者の方々の豊富な実績と研究に敬意を表すると共に、あえて断りなくこのようにまとめさせていただいたことにお許しを乞う次第である。

文献の提供を心よくして下った鉄道技術研究所上沢弘氏に厚くお礼を申し上げたい。又、抄録や、その他の作業に土質研究室尾林一宇、高野悦也及び佐藤工業弘研修員新谷正隆の助力を得たので、謝意を表したい。

6. 抄録論文一覧

A 一般

- A-1 村上良丸 「花崗岩分布地域の法面処理の実態」
 宮内東洋 (「道路」 昭和41年9月)
- A-2 応用地質 「法面標準化のための調査—とくに堆積岩類について—」
 調査事務所 (未公開資料 昭和42年3月)
- A-3 宮島圭司 「四国における国道の切取法面保護についての考察」
 堀 繁 (第20回建設省技術研究発表会報告 昭和41年11月)
- A-4 宮島圭司 「法面保護工の研究」
 (第8回四国地方建設局技術研究会 昭和40年9月)
- A-5 宮島圭司 「法面保護工の研究」
 堀 繁 (第9回四国地方建設局技術研究会 昭和41年9月)
- A-6 A.E.Long 「岩石斜面の安定—設計法と調査法—」
 R.H.Merrill (Highway Research Record 135 1966)
 D.W.Wisecarver
- A-7 B.Aisenstein 「石灰岩斜面の風化」
 Some Observations on Deconsolidation
 of Limey Rocks on steep slopes
 (Proc of 6th I.C.S.M.F.E vol.II, 1965年.)

B 設計、施工

- B-1 佐藤幸男 「切土のり面の設計」
 大谷光信 (第20回建設省技術研究会報告 昭和41年11月)
- B-2 斉藤迪孝 「土羽の散水施工」
 上沢弘利 (鉄道技術研究報告 昭和39年12月)
 今井重利
- B-3 斉藤迪孝 「東海道新幹線盛土斜面の仕上りの実状調査」
 上沢弘久 (鉄道技術研究報告 昭和40年8月)
 毛受貞作
 安田祐作
- B-4 斉藤迪孝 「有孔パイプによる新幹線盛土斜面の排水効果」
 上沢弘 (鉄道技術研究報告 昭和40年4月)
 他
- B-5 清水守光 「木曾国道におけるのり面保護工について」
 (第19回建設省技術研究会報告 昭和40年11月)

- B-6 住友栄吉 「名阪国道のり面保護工の設計施工について」
(第8回日本道路会議論文集 昭和40年10月)
- B-7 土肥正彦 「ノリ面保護工の設計施工について」
松本栄一 (第8回日本道路会議論文集 昭和40年8月)
- B-8 稲田倍穂 「ノリ面保護工の設計施工について」
(第8回日本道路会議論文集 昭和40年10月)
- B-9 W.J.Turnbull 「レス(風積土)の工学的問題」
(Highway Research Record 第212 1968年)
- B-10 L.Cosagrande 「ゆるいシルトの長大斜面の電気浸透による安定」
R.W.Loughney (Proc.of 5th I.C.S.M.F.E. Vol.II, 1961年)
M.A.J.Matich
- B-11 伊原 豪 「新幹線の防災工事について」
(国鉄施設局第33回土木工事施工研究会講演概要 昭和41年2月)

0 切取、盛土斜面の崩壊

- 0-1 斉藤孝 「切取斜面の降雨時挙動と崩壊危険度の推定」
上沢弘 (鉄道技術研究資料 Vol.25 第9 1968年)
毛受貞久
今井重利
安田祐作
- 0-2 斉藤孝 「有孔パイプによる新幹線盛土斜面の排水効果」
上沢弘 (鉄道技術研究資料 Vol.25 第9 1968年)
毛受貞久
安田祐作
- 0-3 羽田野 誠 「浅い砂質層斜面の撤水崩壊模型実験例と2、3の考察」
(第13回土質工学シンポジウム 一土と水一 昭和43年)
- 0-4 斉藤孝 「人工降雨による新幹線盛土斜面の耐雨強度の検討」
上沢弘 (鉄道技術研究報告 第588 1967年5月)
毛受貞久
安田祐作
- 0-5 斉藤孝 「人工降雨による盛土法面浸食試験」
上沢弘 (鉄道技術研究所速報 第63-181 昭和38年5月)
小橋澄治
今井篤雄
他
- 0-6 斉藤孝 「人工降雨による砂質盛土の崩壊と排水による防止効果に関する実験」
上沢弘 (鉄道技術研究報告 第654 1968年9月)

- C-7 齊 藤 孝 「切取斜面の降雨時挙動と崩壊危険度の推定」
上 沢 弘 (鉄道技術研究報告 第630 1968年4月)
他

D 自然斜面の崩壊

- D-1 山 田 剛 二 「国鉄沿線の斜面災害と対策」
(鉄道技術研究資料 Vol 25 第9 1968年)
D-2 玉 田 文 吾 「地スベリ地区における地層面の吸水崩壊現象について」
(第13回土質工学シンポジウム 一土と水一 昭和43年)
D-3 田 中 茂 「豪雨に起因する斜面の浸食と崩壊の予想ならびに対策の研究」
(第13回土質工学シンポジウム 一土と水一 昭和43年)
D-4 上 田 通 夫 「シラスの水食と崩壊」
長 野 紀 俊 (第13回土質工学シンポジウム 一土と水一 昭和43年)
D-5 三 谷 健 「シラスの洗掘抵抗について」
安 達 経 治 (第13回土質工学シンポジウム 一土と水一 昭和43年)
D-6 齊 藤 迪 孝 「斜面崩壊発生時期の予知に関する研究」
(鉄道技術研究報告 第626 1968年2月)
D-7 田 中 茂 「近畿ならびに中国地方における斜面崩壊について」
(「土と基礎」 Vol 15 第10 1967年10月)
D-8 田 中 茂 「山地斜面の崩壊個所の予想について」
(建設工学研究所報告 第4 1963年)

E 植 生

- E-1 新 田 伸 三 「水による浸食と崩壊に対する植生工の限界」
(第13回土質工学シンポジウム 一土と水一 昭和43年)
E-2 新 田 伸 三 「ノリ面保護工の設計施工について」
(第8回日本道路会議論文集 昭和40年)
E-3 E.C.Roberts 「法面の植生に対する塩化ナトリウムの影響」
E.L.Zybra (Highway Research Record 第193 1967年)

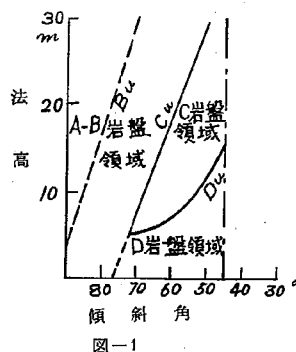
7. 論文抄録

(A-1) 花崗岩類分布地域の法面処理の実態

村上良九・宮内東洋
(「道路」 46307, 昭和41年9月)

花崗岩類を主とする切取法面の安定限界勾配と岩の風化程度、法高、法勾配の関係を求め、法面処理工法との関連を求めた。花崗岩類分布地域の新潟、神戸、広島、奈良の4地区の国道沿い切取法面について調査し、630ヶ所のデータを得て、既存の資料と合わせ、約700ヶ所のデータの統計的処理を行なった。調査は各ヶ所につき、花崗岩類の風化区分、法高、法勾配、法面の安定性を定め、保護工程、断層、節理、湧水、災害記録等を合わせて調査している。風化区分は風化状況により、風化の少ないものからA-B, C, D₁, D₂の4岩盤に分類し、法面の安定性は、崩壊落石のないものを安定、小崩壊落石のあるものを不安定、崩壊のあるものを崩壊の3つに区分している。データの処理は、各風化区分の岩盤ごとに、法面と傾斜角を両軸とするグラフに安定と崩壊にわけて各ヶ所をプロットし、その集団の境界をその岩盤の安定限界勾配線として定めた。各岩盤の限界勾配線 Bu, Cu, Du は、図-1のように求められた。この図に、植生工法面、モルタル吹付工法面の安定ヶ所をプロットすると、植生工法面はD岩盤の安定領域に、モルタル吹付工は、C岩盤の安定領域に入る。岩盤の風化区分ごとの代表的法面保護工はD₂では播種工法の植生工、D₁では穴工法による植生工、Cではモルタル吹付工、A~Bでは無保護あるいは落石防止柵を用いるものである。

全域を通じ、法面最下段に1~2mの余裕巾をとっているのが特徴で、水は表面排水工で処理してあるものが多い。



(A-2) 法面標準化のための調査—とくに堆積岩類について—

応用地質調査事務所
(未公開資料 昭和42年3月)

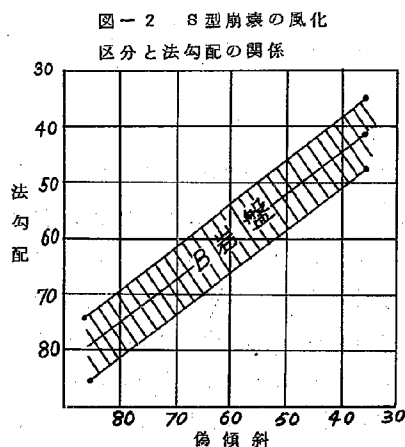
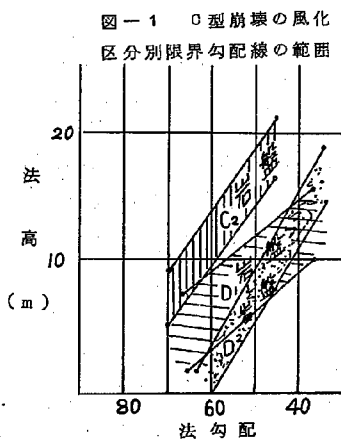
堆積岩類の岩盤風化区分別の切取法面限界勾配線を求めることを目的に調査を行なった。岩盤の法面勾配の安定は、岩盤の風化変質、割れ目間隔とその性状、気象条件、経過時間、等複雑な要素の組合わせによって定まる。これらの各要素と法面の安定との関係を示しているのが崩壊斜面で、限界勾配線を、崩壊斜面の勾配、高さ、割れ目の方向等を統計処理することにより求めようと試みた。

調査は、高知県、徳島県、岐阜県の国道、県道沿いに行なった。法面を構成する岩石の風化

区分はB, C₁, C₂, D₁, D₂に分類し、岩質、割れ目間隔、リップー試験値、シュミットハンマー試験値との関係を求めた。崩壊のタイプは、1)C型崩壊(円弧状崩壊)、2)S型崩壊(層状崩壊)、3)M型崩壊(中間型崩壊)の3種類に分類することができる。C型崩壊は風化により岩石自体のせん断抵抗が小さくなるか割れ目が発達して岩石が小ブロック化し、岩盤全体のせん断抵抗が弱い条件のもとに生ずる。S型崩壊はある面(層理面、壁開面、節理面、断層面)が法面と流れ盤の性状によって定まり、大部分は層理面と、節理面を利用して生じている。各崩壊タイプと風化区分の関係を示すと、第1表のようになりD₂, C₁, C₂岩盤にC型が、C₁, B岩盤にS型が圧倒的に多い。このことから、C型崩壊は法勾配と法高、S型崩壊は、法勾配と偽傾斜(流れ盤の法面に直交する方向の角度)との相関関係を最小自乗法で処理して求めた。C型崩壊の風化区分別限界勾配線の範囲は図-1のようになり、S型崩壊では、図-2のようになった。

第1表 風化区分と崩壊タイプ

風化区分	C型 %	M型 %	S型 %
D ₂	100	0	0
D ₁	93	3	3
C ₂	80	17	5
C ₁	22	22	56
B	0	0	100



(A-3) 四国における国道の切取りノリ面保護についての考察

官島圭司・堀 繁
(第20回建設省技術研究会報告 昭和41年11月)

四国管内の切取りノリ面保護工の設計指針を得るため、国道11, 32, 33, 56号の四路線でノリ面の状況(高さ・向き・小段など)、切取方法、ノリこう配、地質、土質(分類・わ

れ目・風化・湧水など）、ノリ面保護工法（工種・構造規格・単価など）、排水工法、現況（安定性）、崩壊、変状履歴の8項目について高さ10m以上のノリ面を原則として149ヶ所について調査された。ノリ面こう配について地質別、硬軟別調査資料からえられた一般的な切取りこう配は、硬岩1:0.3~0.5、軟岩1:0.5~1.0、土砂1:1.0~1.5の範囲内で安定しているが、ノリ面崩壊を考えると、破碎帯、岩質による特異性、われ目の状況、風化・破碎程度の不均一さを考慮する必要がある。大規模な破碎帯では軟岩、土砂の切取り勾配は1:1.3~1.5に、粘板岩、凝灰岩等風化しやすい岩質の軟岩、土砂の勾配は同じく1:1.3~1.5が必要である。また流れ盤部では流れ盤の傾斜より急には切れない。風化破碎の程度はある切取面でも不均一なことがあり、その場合は、風化や破碎程度に応じたこう配にしなければならない。ノリ面保護工については、一般的適用工法としては種子吹き付け、プラスチックソイルセメント吹き付け、モルタル吹き付け、落石保護網工を、また補助的あるいは特殊な適用法としては、コンクリートノリ枠、石積み、ブロック積み、張りコンクリート工が施工されている。施工後の経過年数が少ないが工法適用の妥当性は、ソイルセメントおよびモルタル吹き付け工に問題があり、今後植生工法とともに検討する必要がある。浸透水の処理・地山の安定勾配を十分調査しないで、ソイルセメントやモルタル吹付けを行なったものが、変状・崩壊した事例がかなり多く、画一的な吹付け工法の適用は絶対に避けなくてはならない。

（A-4） 法面保護工の研究

宮 島 圭 司

（第9回四国地方建設局技術研究会論文 昭和40年9月）

四国地方建設局管内の法面保護工の実状について調査した。調査目的は、法面の状態、切取転圧方法、勾配、地質、土質、保護工、排水工、現状の安定性、崩壊、変状履歴、等である。保護工を施工していない切取面では、岩Ⅳ、Ⅲの中硬岩では1:0.5以上急でも安定し、岩ⅡⅠの軟岩では1:0.5より急では不安定である。流れ盤の場合でもわれ目が密な場合は30mでも安定している。軟岩でも、法勾配が1割でゆるいと安定している。

次に法面保護工を施工した切取斜面では、軟岩-土砂では法枠、ブロック積、石積、種子吹付けが多い。法枠は8分以上のゆるい傾斜で、ブロック、石積は、6分以下の急勾配で用いられている。種子吹付けは、5分から1割までに用いられている。中硬岩に用いられる法面保護工は、モルタル吹付け工、落石防止網工で、法勾配は5分以上の急勾配に用いられている。モルタル吹付け工は頁岩に用いられている。プラスチックソイルセメント吹付け工は中硬岩、軟岩、土砂の全てに用いられていて、法勾配も種々であるが、頁岩を対象にしたものが多い。ブロック積工、吹付け工では変状の生じたものが多い。盛土の法面保護工は、筋芝が多く、雑石張り工、ソイルセメント工がある。筋芝は最近ではロンタイに変わってきている。法面勾配は1割5分が殆んど全てで、安定しているものが多い。

(A-5) 法面保護工の研究

宮 島 圭 司 ・ 堀 繁
(第9回四国地方建設局技術研究会論文 昭和41年9月)

法面保護工の現況を調査したが、さらに切土法面について法勾配、法面保護工を選定するさいの一応の指針を得た。結論として次のようなことがまとめられた。

切土勾配は、一般には岩石の硬軟によって従来から使用している硬岩、 $1:0.3\sim0.5$ 、軟岩 $1:0.5\sim1.0$ 、土砂 $1:1.0\sim1.5$ の範囲を標準としてさしつかえない。われ目の発達が著るしかつたり、流れ盤となつていところ、結晶片岩、頁岩、輝緑凝灰岩、などの地質で、著るしく破碎されたり風化のすすんでいところ、風化、破碎の程度が不均一なところなどの切土勾配については、現地の地質状況をよく検討して、安定な勾配を定める必要がある。

切土の法面保護工の一般的工法としては、岩石の硬さの程度により、種子吹付、法枠、プラスチックソイルセメント吹付、モルタル吹付、落石保護網のいずれかを採用し、湧水われ目の状況に応じて、法枠、張コンクリート、石積などの特殊な補助の工法が使われる。これらの工法は現況では、一般にほぼ妥当なものと判断されるが、ソイルセメント、モルタル吹付については、いくつかの失敗例もでている。

盛土法面については、種子吹付、ロンタイ等が多く使われるが筋芝の生育不良、表面水の処理等十分検討しなくてはならない。

(A-6) 岩石斜面の安定—設計法と調査法—

Stability of High Road Bank Slopes in Rock

— Some Design Concepts and Tools —

A. E. Long, R. H. Merrill, D. W. Wisecarver
(Highway Research Record 135, 1966)

岩石の安定斜面の勾配と高さを定める方法について、鉱山局で行なわれている、調査法とデータの処理についてのべる。この方法は岩石の節理、層、断層等の工学的意味、岩石斜面内の応力分布、斜面状況、地下水、爆破等の影響も含めて定量的に解析しようとするものである。この研究はまだその手初めて、十分な成果はあがっていないが最終的には、岩石斜面設計基準を確立しようとするものである。岩石の斜面を定める重要な要素として、応力分布、岩石構造掘削方法、地下水などの周辺条件の4つがあげられる。応力分布は、地山の状態から、掘削後にわたり、しかも岩石構造や掘削方法も入り、数学的にその分布を見いだしても意味がなく、2次元の光弾性実験、実斜面での応力測定と、理論的検討から定めることができ、いくつかの特長を把握することができた。

岩石構造については、節理、層、断層等の状態をできるだけ詳細に知る必要があり、そのため航空写真による方法や、特別の傾斜測定器が用いられる。地下水の状態を定常時、降雨時の

両方について正確に知ることが必要である。爆破の影響の例として、法尻部分の過度の爆破が斜面の岩石を全体的に弱めることがあげられる。切土の斜面の法尻は応力集中の最も大きい部分で、この部分が爆破や掘削により弱められると、法面の上まで影響して崩壊を惹起する。

安定法面を数量的に解析するには、岩石斜面の模型により、より正確な応力状態を知ることによって確立できそうである。このような模型実験を行なうには、岩石の構造をより詳細に知ることが必要で、さらに大規模な調査と研究が必要である。

(A-7) 石灰岩斜面の風化

Some observations on Deconsolidation of Limey Rocks
on Steep Slopes

B. Aisenstein
(Proc. of 6th I.C.S.M.F.E., vol. II, 1965)

傾斜角 25° 以上の斜面の石灰岩の風化の例が非常に多い。この風化は、地表とスベリ面の斜面が平行の場合に多い。準乾燥地帯での石灰質の 2.3 m の厚さの表土の下に風化する領域が存在している。この風化は岩石クリープやすべりに進行するものである。したがってこの風化部の存在を知することは建設工事にとって非常に重要である。同様の調査を白雲石の斜面についても行なった。

調査の方法としては、1) テストビット、2) ボーリング、3) 弾性波速度の3つがあげられるが弾性波速度によって、多くの場合、非常に良い結果が得られた。

たとえば、風化破砕層では、 $300 \sim 600\text{ m/sec}$ 、風化部では 1000 m/sec 、石灰岩では $2000 \sim 3000\text{ m/sec}$ であり、非常に経済的にポータブルの測定装置で調査することができる。

したがって一貫した調査方法として、まず地質学的知識を十分に得ておくこと、次に弾性波速度により全体的に調査し、さらに確認のためボーリングやテストビットを実施することが必要である。

(B-1) 切土のり面の設計

—主として定山溪国道における岩盤切土のり面の設計—

佐 藤 幸 男 ・ 大 谷 光 信
(第20回建設省技術研究会報告 昭和41年11月)

風化岩盤の場合、安定勾配の標準値をその地域の岩の風化特性から決める。標準の切土のり面勾配を弾性波速度を基準にして求めた。(表-1) また経済的、地理的、気象的条件により切土のり面は植生以外の被覆工法をとらないことを原則とし、のり面の仕上げは a) 一様なり面、b) 凹凸のあるり面、c) 小段のあるり面(永久的小段・一時的小段)の三つありとし

それぞれの適用条件は、a)では Ⅰ)切土のり長が 10 m 以下、Ⅱ) 岩の風化が一樣でのり長 20 m まで、Ⅲ) 風化が一樣で層理とか湧水のない場合のり長 40 m までとし、b)では、Ⅰ) 岩層がはっきりし、それぞれ風化の進度が異なる差別風化岩などで、暫定土工個所や自然露出面のように岩層、風化の特性が良くわかっている場合、c)では Ⅰ)岩層の途中に弱い層をはさんでいる場合、Ⅱ)合理的なりこう配においても空気や水にさらされて、すぐに崩壊する岩に出合った場合、Ⅲ) 岩の種類、厚さ、高さ、基岩の風化の正確な資料がない場合等である。一般に風化岩は含水量の少ない土質が多くリッパ作架の普及で使いやすい盛土材料を安く提供しのり面は風化の進行をまっして植生工を行なう工法が最も有利である。しかし維持費用が高く、また地すべり地形や湧水の多い場所では、この工法は問題となる。

表-1 標準の切土のり面勾配

風化区分	岩種	弾性波速度 Km/s	切土法勾配
土 砂	軟-I	0.9以下	1.3~2.0
E	軟-II	1.0~1.4	1.0~1.3
D	軟-III	1.5~1.9	0.7~1.0
C	硬-I	2.0~2.4	0.5~0.7
B	硬-II	2.5~2.9	0.3~0.5
A	硬-III	3.0以上	0.1~0.3

(B-2) 土羽の散水施工

齊藤迪孝・上沢 弘・今井重利
(鉄道技術研究報告 Ⅷ449 1964年12月)

砂質土の土羽の場合、施工直後に雨を受けると法面上方に龜裂を生じ土羽がずり下ったり滑落することが多い。この原因は、雨水の浸透による土羽土の収縮のためである。締固めがそれ程十分でなくても含水量が多い時は、収縮を生じないので、対策として、施工の際、散水するのが適当であると思われる。

砂質土(SC)を用いて、突固め試験、三軸圧縮試験、締固め試料の散水による膨脹、収縮試験、実物大の盛土による降雨実験を行なった。

締固めた砂質土の小型散水実験の結果a)湿润試料では密度が小さい場合は収縮が生ずるがそれ以外では、膨脹収縮は起らない。b)乾燥試料では、密度が小さい程収縮率は大きく、密度が大きい程、膨脹する。c)収縮率がゼロとなる、含水比と密度は図-1のようになる。高さ3.10 mの盛土に、散水盛土と乾燥盛土をして、人工降雨を加え、崩壊の状態を測定した。散水盛土斜面では法面の沈下も、ひずみも生じなかった。乾燥盛土では大きなひずみと平均1.6 cmの沈下を生じ、体積収縮率は1.6%であった。このような実験から、土羽の締固めは、通常困難といわれているが、散水することにより通常の締固め程度で収縮を防ぎ、収縮

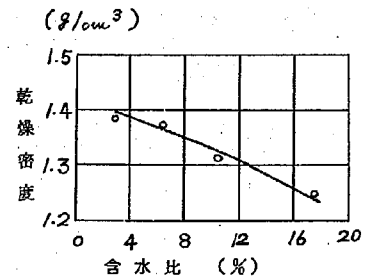


図-1 収縮率0となる含水比(成型時)と乾燥密度

裂による法面の変状や滑落を防止することができるといえる。必要な締固め度と散水量は、あらかじめ、法面の土について実験により、求めておくこともできる。砂質の土羽土の場合、水を十分加えすぎることはないので、施工は、容易に管理することができる。

(B-3) 東海道新幹線盛土斜面の仕上りの実状調査

斉藤迪孝・上沢 弘・毛受貞久・安田祐作
(鉄道技術研究報告 第607 1967年8月)

東海道新幹線の盛土斜面の仕上りの実状について調査した。盛土本体は、機械化施工の結果、十分転圧されているのに対し、土羽部分は、締固めが困難で、ゆるい状態になっている。降雨が盛土本体の浸透能以上になると雨水が、土羽を流下するようになる。このため、間げき水圧を生じ、土のせん断抵抗を減じて、崩壊にいたるものと考えられる。土質、締固めの差が、強度に影響し崩壊に関係するものと考えられる。調査は、まず22ヶ所の地点で法面から3mの深さまでスエーデン式貫入試験を行なった。

さらに代表試料のサンプリングを行ない、分類試験、突固め試験、透水試験、三軸圧縮試験を行なった。

サウンディングからノリ肩部分は異常な締固め状態にあり深さ1.0m迄はゆるい締まりで1.5m以下は、締固めはよくなる。中腹では深さ2.0m迄はゆるい締まりである。とくにのり肩付近に非常にゆるい層があり、この層の下の特に締固められた層の上で、静水圧比が0.45になり、異常な間げき水圧が発生することが認められた。締固め密度は、標準密度の81~96%で、崩壊に対し、不十分であり、乾燥密度で、締固め度を規定するには95%以上にしなければ十分でない。施工基面から1.5m前後の深さに砂利等で、フィルター層を設置しておくことにより、間げき水圧の上昇を抑制することが有効である。

(B-4) 有孔パイプによる新幹線盛土斜面の排水効果

斉藤迪孝・上沢 弘・毛受貞久・安田祐作
(鉄道技術研究報告 第631 1968年4月)

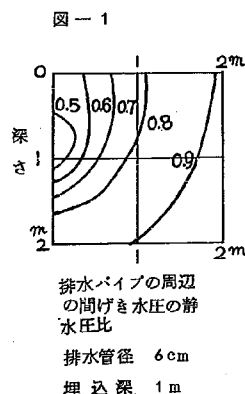
東海道新幹線は開業後一年余りの間に降雨による盛土法面の変状崩壊が多く、災害の実状調査や、試験研究により強化計画が樹立された。基本的には、砂質盛土では排水パイプ、ノリ面クイ打工法を主にし、ローム質盛土では、ノリ面クイ打ちを主に必要に応じ排水パイプ間知ブロック張り及び格子棒を併用するものである。

排水パイプの排水効果と、せん断抵抗について、各種の現場試験や、室内実験を実施した。まず三角形や丸型のパイプに種々の排水孔を作り、排水試験を行なった結果、飽和砂では排水能力はパイプの形状や集水孔面積に左右されなくて、水位と直線的に比例して排水すること、不飽和砂では、パイプの排水量は殆んどないことがわかった。実物大の盛土に排水パイ

ブを打込んだ野外試験の結果からも、排水パイプは飽和している部分には有効であること排水パイプの施工間隔は1 m以下が望ましいこと、崩壊の際パイプの抵抗が、崩壊の抑制に役立つことがわかった。実斜面での降雨実験より、排水パイプによる排水が間引き水圧の上昇を抑制し、安全率を0.20だけ増加させること、パイプによるせん断抵抗の増加が、安全率を0.10増加させることが明らかとなった。排水パイプのまわりの間引き水圧の低下を計算で求めると図-1のようになり、その効果は、排水パイプを中心に上方

がよく、横方向から下側にも及ぶことがわかり、埋込み深さの半分の範囲内で、間引き水圧は静水圧の0.6~0.8に低下する。盛土ののり肩附近は締固めの不均一が生じやすく、延長方向に1 mに1本程度の間隔でパイプを施工することが望ましい。

結論として、今後の盛土の構築に対しては、まず土羽も十分に転圧すること、のり肩附近に締固めのむらが生じ、雨水が停滞しやすいので、その部分に排水フィルター層を設置してのり肩附近の間引き水圧の上昇を抑制すること、築造後は、観測パイプを打ち込み、雨の翌日、水位を測定し、水位の高い異状個所に、排水パイプを施工することが望まれる。



(B-5) 木曾国道におけるのり面防護工について

清水 守 光
(第19回建設省技術研究会報告 昭和40年)

木曾国道で昭和38年より昭和40年までに実施した、のり面防護工について、報告する。木曾国道は、標高370m~1,000mで、夏期に降雨が多く、積雪も30~60cmある。

地形、地質、工費、早期効果等を考慮して、表-1を標準の法面保護工とした。セメントモルタル吹付工の基準を表-2、ソイルセメント吹付工の基準は表-3に示す通りである。特殊なものとして、PNCブロック積み工、落石および防護樹工を施工した。

表-1 (a) 切取りノリ面保護工一覧表

地 質	ノリ面こう配	風化土壌層の深淺	保護工の種類	施工方法	摘 要
ロームおよび 粘土層	1割~1割2分	深	種子吹付け工, 張り芝工 条状混播工	張り芝工は市松芝とする ノリ長および地形等により 植樹工を併用する。	ノリ長1.0mごとに0.5 m~1.0mの小段を設け 湧水箇所については暗渠 U字溝により排水、また ノリ面の広い面積で湧水 箇所においては植生のか わりに玉石の空張り等を行 ない湧水の処理を行なう。 植樹はノリ面に適当 したものを選定する。
	"	浅	" 点状混播工(箱易)	同 上 種子吹付け工に一部溝切を 行なう。点状混播工 10~12個/m ²	
レキ岩石混り 土 砂	1割	深	種子吹付け工, 張り芝工 条状混播工	同 上	同 上
	"	浅	" 植生盤工	同 上 植生盤施工間隔60cm	同 上
砂レキ層(転 石混り土砂)	"	深	種子吹付け工, 植生盤工 張り芝工	張り芝工は全張りとする 植生盤施工間隔を40cm ~50cm	同 上
	"	浅	コンクリートブロック張り, 枠工, 基層ソイルセメント, 表層モルタル吹付け工	ノリ長に応じブロック厚を 9cm~15cmとする。 基層厚5cm, 表層3cm厚 としてラス張りを行なう	モルタル吹付けについ ては湧水があつてはなら ない。
風 化 土	8分~1割	深	点状混播工	混播工穴数18個以上/m ² とする。	
	8分	浅	基層ソイルセメント, 表層モ ルタル吹付け工ソイルセ メント	基層厚5cm, 表層3cmと してラス張りを行なう。 5cm	
崖 錐	1割		コンクリートブロック張り, 枠工併用による岩座 張りまたは玉石張り	50cm×50cm厚9cm15 cmコンクリートブロック ノリ長に応じて枠工の寸 法および種類をきめる。	枠工にはコンクリートま たはコンクリート製品ま たは玉石等で行なう。
風 化 岩	5分		モルタル吹付け工	ラス張りとする	湧水箇所の水抜きをしな くはならない。
軟 岩	"		"	"	同 上
硬 岩	3分		"	"	同 上

表-1(b) 盛土ノリ面保護工一覧表

地 質	ノリ面こう配	風化土・礫層の深さ	保護工の種類	施 工 方 法	摘 要
	1割5分～ 1割8分以上		植生帯工(ロンタイ, 土羽帯), 種子吹付け工, 玉石張り工, 岩盤張り工	30cm間隔でノリ仕上げと併用して行なう。	ノリ長10mごとに1.0m～1.5mの小段を設けU字溝を敷設、路肩部分にはL型側溝を設置して路肩を保護、地形、河川洪水高、その他の条件により選定、ソダ橋工の併用

表-2 ソイルセメント吹付工適用範囲

地 質	厚 さ	併 用 工	摘 要
砂レキ層 (転石混り土砂)	5 cm	モルタル表層 3 cmラス張り	風化土、土壌の浅いところ湧水および湿地個所は不適当 河床準積砂レキ層に使用 ノリこう配8分以上
風 化 土	5 cm		一部風化岩を含む

表-3 セメントモルタル吹付工適用範囲

地 質	厚 さ	併 用 工	摘 要
砂レキ層	3 cm	基層ラス張りソイルセメント5cm	ソイルセメント吹付け後、ラス張りを行ない吹付ける。 湧水および湿地個所は不適当 風化土、土壌の浅いところ
風 化 土	〃	〃	〃
風 化 岩	5	ラス張り	湧水個所の水抜きをする。 ラス張りアンカー1～2/m ² 穴径4～6本/m ²
軟 岩	3～5	ラス張り	〃 節理によりラス張りを削除
硬 岩	3～5		〃 節理によりラス張りを行なう

(B-6) 名阪国道のり面保護工の設計施工について

住 友 栄 吉

(第8回日本道路会議論文集 昭和40年10月)

名阪国道中部地盤傾42K_nの大部分は立体交差方式のため平均盛土高5m以上で、高さ3.5m以上の切土、盛土高3.0mに達する区間があり、切土、法面の処理に苦心を重ねた。設計の基

準とその実績は表-1のようになっている。高盛土区間に特殊な工法として井桁擁壁を用いた。

表-1 名阪国道法面処理施工実績一覧表

		法面処理工	施工数量	適用(土質)基準	備 考
植生工	盛土	ロ ン タ イ 工	366,800 m ²	一般土砂	規格 7cm 8 型, 30cm ビッチ
		種子吹付工	59,100 m ²	一般土砂	グリーンベルト種子吹付 " (切土部 44,900)
	切土	混合種肥土挿入工	62,100 m ²	やせた土質の土砂真砂 古生層及び一部軟岩	深さ 10×10 軟岩部 15×15cm 50cm ビッチ
		S 式緑化工法	38,900 m ²	古琵琶湖層の泥岩(土丹)	φ 6cm 16箇所/m ² , 深さ 15cm ドロゲン種子吹付 アスファルト乳剤吹付 グリーンベルト種子吹付 植生網張吹付
法面止工	盛土	粗 染 柵 工	62,100 m ²	法長が 5m 以上及び崩壊すべりの恐れのある部分	ロ ン タ イ 植生工と併用 2.5m 間隔, 枕長 1.2m
		井 桁 工	6,500 m ²	高盛土区間 (平均盛土高 2.5m 以上)	
		格子枠工	4,800 m ²	地下水湧水箇所, 崩壊箇所	
		コンクリート擁壁工	8,800 m ²	切土の高い所, 崩壊箇所, 其他	
		石積張工	1,400 m ²	同上	
	切土	格子枠工	6,200 m ²	地下水湧水箇所, 崩壊箇所	
		コンクリート擁壁工	5,100 m ²	切土の高い所, 崩壊箇所, 其他	
		セメントモルタル吹付工	45,000 m ²	花硬岩, 砂岩, 礫岩, 粘板岩, 等の硬岩	
排水工	盛土	小段排水工	2,500 m	盛土, 延長 10m 毎 (1段おき)	UF-250
		法面縦溝工	12,100 m	切土, 法長 (14m 毎 1段おき) 盛土高 5m 以上間隔 40m 毎 切土法高 1.5m 以上 間隔 60m 毎	UF-250 盛土 UF 300 切土 UF 250
	切土	路肩排水工	30,300 m	盛土区間は転圧中必ず実施し土質の悪い部分	U-400 (切土部) 13,600m U-150 (盛土部) 16,700m
		ボーリング排水工	106 m (17箇所)		国鉄関西線, 敷地内
その他	盛土	EB 剤散布 ロ ン ケ ッ ト	47,400 m ² 2,000 m ²	ロ ン タ イ 工にて粗染柵工を施工せず土質の悪い部分	
		ロックネット	2,100 m	礫岩等崩壊しそうな箇所	
	切土	蛇 籠 工	1,500 m	地すべり等崩壊箇所	関トンネル東, 中出, 治田等 3箇所
		落石防止柵	370 m		関, 加太トンネル出入口附近

施工の実績から次のことが結論される。盛土部については、種々の緑化工法を原則として採用したが、春頃の集中豪雨により被害が多く、その原因は盛土本体と底土部分の締固めの状態が違っていて、その部分で滑動することが多く、盛土本体は被害を受けていない。盛土法面は 1.5 割が多いが、ブルドーザ転圧の可能な勾配で 1.8 割より緩くし、底土と共に転圧したのち、吹付けを行なうことが必要である。切土部については、切土法は、工費の高い工法は種々ある

が、法復工の決定は、当初より決定して設計すべきでなく、切土完了後に湧水、節理、破碎、風化の程度により、判断して適切な工法を設計することが工費節減の上から望ましい。高盛土部の井桁擁壁は、地質の複雑な個所、軟弱地盤で基礎工の必要な個所、現地材料の入手可能な現場においては実には有効と思われる。

(B-7) ノリ面保護工の設計施工について

土 肥 正 彦 ・ 松 本 栄 一
(第8回日本道路会議論文集 昭和40年10月)

高速道路のノリ面保護工の設計施工には締固めを含めて、決定的な工法がなく、維持管理でも多くの災害や手戻りを受けている。東名高速道路ののり面保護工の設計施工は名神の実績から各々の地形、工質に応じた、法勾配や、保護工法がとられている。

盛土法面について、盛土材料と盛土高に対するのり勾配の標準値は表-1の通りである。ノリ面の締固めを機械によって行なうには、少なくとも1.8割りの勾配が必要であり、隣接する物件、特殊な保護工を実施しない限り全て1.8割にすることが望ましい。法面保護工は原則として植生にする。この場合、盛土材料が植生に適さないもの以外は土羽土を設ける必要はない。岩砕、切込砂利等の粗粒材料の時は、深さ50cmまで、粗粒土以外で植生に適さない時は、深さ20cmまでを土羽土を施工する。

切土法面の標準勾配は表-2の通りである。

高さ5~7mごとに1~2m巾の小段を硬岩以外の場合、必らず設けることとする。小段は5~10%の横断勾配をつけ、縦方向にも排水構造を考慮して勾配をつける。法面の保護工は切土の場合も、植生による保護を原則とする。この場合、崩壊しやすい所で綱楯工を併用したり、石張、ブロック張、ノリ砕工等、現場条件に応じて保護工を施工することが考えられる。

表-1 盛土材料、盛土高に対するノリ面勾配の標準値

盛 土 材 料	盛土高(m)	勾 配
粒 度 の 良 い 砂 利 及 び 砂 利 交 り 砂	0~5	1:1.5
	5~15	1:1.8
粒 度 の 悪 い 砂	0~10	1:1.8
	0~10	1:1.5
岩 塊 ・ ザ り	10~20	1:1.8
	0~5	1:1.5
砂 質 土 硬い粘性土、硬い粘土(洪積層の粘性土、粘土など) 軟い粘性土(関東ロームなど)	5~10	1:1.8
	0~5	1:1.8

表-2 切取り材料に対するノリ面勾配の標準値

地山の土質および地質		切取深さ	勾 配
砂 質 土	密 実 な も の	5 m以下	0.8~1.0
		5~10m	1.0~1.2
	密実でないもの	5 m以下	1.0~1.2
		5~10m	1.2~1.5
砂 利 又 は 岩 塊 ま じ り 砂 質 土	密実なもの 又は 粘度の良いもの	10m以下	0.8~1.0
		10~15m	1.0~1.2
	密実なもの 又は 粘度の悪いもの	10m以下	1.0~1.2
		10~15m	1.2~1.5
粘性土（関東ロームを含む）		0~10m	0.8~1.2
砂 利、岩 塊 ま じ り 粘 性 土		5 m以下	1.0~1.2
		5~10m	1.2~1.5
硬 岩			0.5~0.8
軟 岩			0.5~1.2

(B-8) ノリ面保護工の設計施工について(盛土ノリ面の崩壊防止)

稲田 信 登

(第8回日本道路会議論文集 昭和40年10月)

盛土のり面崩壊の原因として盛土高が大きい勾配が急、高含水比粘性土、砂質土で高い間げき水圧が発生する、盛土の締固め不良、まき出し不良、不均質層の形成、急速施工、軟弱層の存在、地山斜面の浸透水、降雨による間げき水圧の増大等があげられる。

名神高速道路の施工実績、崩壊の観測等から、次のような対策を設計で考慮することが必要と思われる。

a) 盛土のり面附近に作用する材料は、粘着性に富むレキ混り土とする。b) フィルター層など適当な地下排水を行なつて、のり面に浸出する地下水を低下させ、のり先部の強化をはかる。表面排水を確実にしない、浸透水の集水を防止する。c) ノリ面の締固め作業を入念に実施すると共に、腹付施工その他の異質の盛土をのこすことを避ける。どうしても腹付けをする場合は、水平フィルターを設置するなど図-1、2のような施工方法を採用する。

図-1 ノリ面排水の例
(腹付施工部または崩壊復旧)

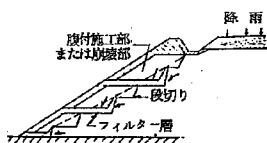
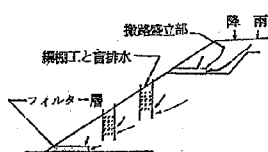


図-2 ノリ面排水の例
(搬路盛立部および崩壊防止)



(B-9) レス(風積土)の工学的問題

Construction Problems Experienced With Loess Soils

W. J. Turnbull

(Highway Research Record No. 212, 1968)

レスとは、風によって滞積したシルトの層で、粒経が均一であること、細粒であること等から、種々の問題を実際の土木工事にもたらしている。ネブラスカの水力開発に際して経験したレスについて述べる。レスの切土斜面は、緩斜面の場合、表面水によりガリーができた、アーチアクションによる洞をのこして、崩壊が進む傾向がある。そのため、なるべく急斜面で切るようになってきているが、ここでは、高さ30ft(10m)までは、0.25割で、50ft(17m)までは0.5割で、それ以上の高さに対しては、0.75割で切ることにした。実際の設計施工にあたっては、実際の斜面で、切土の安定試験を行なった。一つの問題として薄い砂の層が風により侵食されることがあり、防風柵を設置してみた。盛土は、締固めを入念に行なうことにより、従来よく見られたような流動性の崩壊を完全に防止することができた。

このネブラスカ中央水力開発事業が行なわれるまで、盛土材料や基礎地盤としてのレスの不適当であることが一般にいわれてきた。本工事で大規模模型実験を行なうことにより、堤防、アースダムの材料としても、用いてさしつかえないことが、証明された。盛土の締固めに当たっては、最適含水比の湿潤側で、行なうことが必要で、これにより、堤体の不等沈下に対しても盛土全体が流動化し崩壊することを防止できたと信ぜられる。急斜面で、維持することができたのは、古い掘削斜面の例を見て、レスにおいては急斜面が、安定であることを結論づけ、実際に切土斜面の実験を行なって、斜面勾配の設計を行なった。

(B-10) ゆるいシルトの長大斜面の電気浸透による安定
Electro-Osmotic Stabilization of a High
Slope in Loose Saturated Silt

L. Casagrande, R. W. Loughney, M. A. J. Motiuh
(Proc. of 5th. I. C. S. M. F. E. vol. II, 1961)

橋梁の建設に当り、非常に不安定なシルト層の斜面の安定に電気浸透法を利用して成功した。種々の工法を比較検討した結果、電気浸透が最適であるとの結論がでた。室内と現場で電気浸透の実験、調査を行なった。

現場は、高さ120ft(40m)で水平距離70ft(23m)のシルト層の斜面で、シルト層は非常に軟らかく、N値は0~6であった。その層は大体厚さ20~30ft(6~10m)で地表部を覆っている。橋台と橋脚は長さ105ft~120ft(35~40m)のH-パイルの基礎工を持っていて、その施工中に各オープンカット部分で、斜面の崩壊が進み、H-Pileが傾斜するものまでできた。工事を中止した上で対策を考え、化学剤注入、凍結、ケーソン等が検討され、最後に電気浸透工法をとることになった。

電気浸透により、地下水位は33ft(11m)から40ft(13m)下げることができた。ある橋脚の掘削ではもとの2割5分勾配から1割の急勾配に切土しても安定であった。

強調すべき点として、電気浸透の処理をした後も、この斜面の土が安定していたことで、杭打ちによる振動によっても何らの変動を生じなかった。さらに本橋梁完成後2年以上経過するが、定期的な観測でも、橋台、橋脚に何らの変動も生じていないことがわかった。

(B-11) 新幹線の防災工事について

伊 原 森

(国鉄施設局第33回土木工事施工研究会講演概要 昭和41年2月)

新幹線土工区間延長27.4Kmでのり面積372万 m^2 で開業時に140万 m^2 ののり面防護工が施工してあったが、開業後の度重なる降雨に対し、崩壊を生じ、又当初の時雨量2.0mm換算雨量100mmを超過する場合、運転規制をする計画では1年に数10回そうなる確率があり、

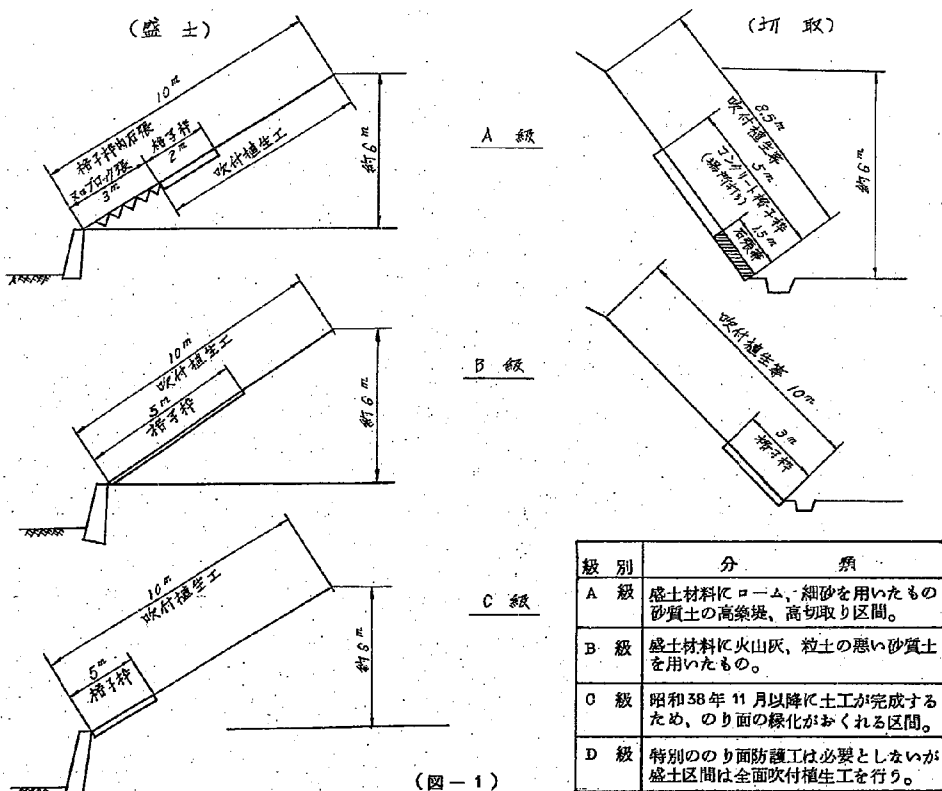
短期間のうち防災強度を高め、時雨量 50 mm の数時間の連続降雨量に対して耐えるようにすることにした。開墾時ののり面防護工の基準は図-1 のようであった。強化計画の基準は図-2 のようになっている。切取りのり面はのり長 5 m 以上ののり面は全部のり面工で防護する。

盛土のり面はのり肩から 2 m 以下は全部のり面工で防護する。さらに強化計画の修正が、被害の実地調査の結果から立てられた。切土のり面は既定方針通りとする。

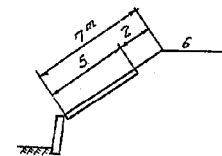
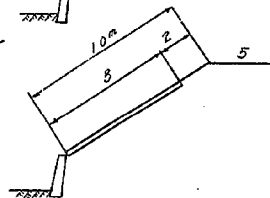
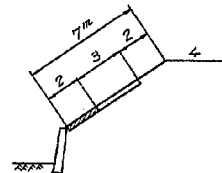
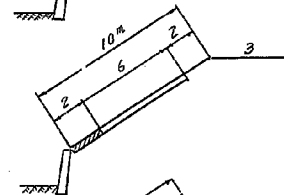
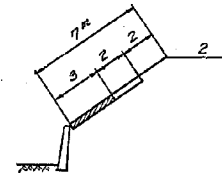
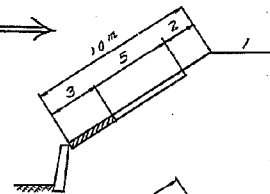
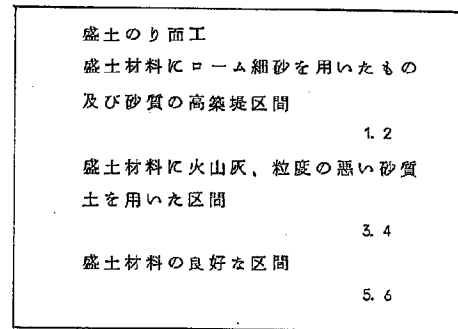
盛土のり面では、砂質盛土では排水パイプ、杭打ちを行なう。ローム質盛土ではくい打、排水パイプ、間知ブロック張り、格子砕工の施工順位で、適宜併用する。砂レキ、ずい道ずりの盛土部はそのままとする。勾配の落ち込み部、切り盛り土の境界には必ず横断排水溝を設ける。排水パイプの施工基準は図-3 のとおりである。

結論として、崩壊の防止には良好な盛土材料を選ぶこと、盛土本体と土羽部の締固めを均等にすること、雨水の浸透しないようにする、排水する、盛土のせん断抵抗を増やすというようなことがあげられる。

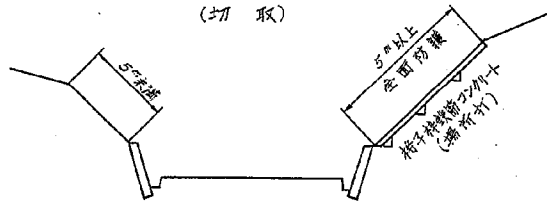
砂質盛土区間では長大のり面勾配は 1 割 8 分にする、排水パイプ、排水ブランケットの設置、格子砕工等の表面安定と、植生の生長を助けること等が必要である。



(盛土)



(切取)



法長5m未満でも地質が
A級、B級の箇所は間知
ブロック等で防護する。

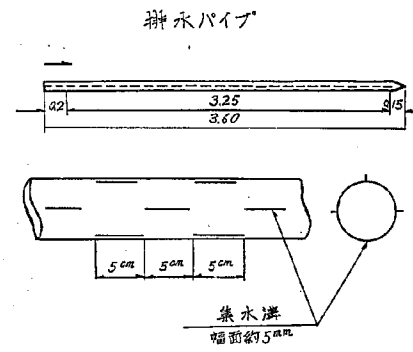
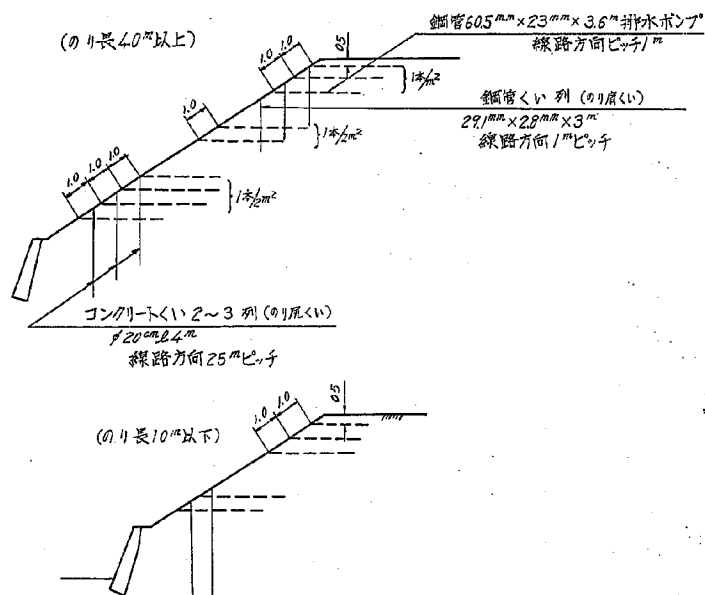
幹内は地質によりブロッ
ク張り又は石張りとする。

張ブロック(平級ブロックは間知ブロック)

該当箇所で格子枠を施工している場合は
石張りを追加する。

格子枠

図-2



排水パイプのり厚くいのり厚くい
(図-3)

(C-1) 切取斜面の降雨時挙動と崩壊危険度の推定

齊藤迪孝・上沢弘・今井重利・毛受貞久・安田昭作
(鉄道技術研究報告 第630, 1968年4月)

降雨による斜面崩壊の場合に最も重要であるのは斜面内に発生する間げき水圧であるが、これまでの所では全く不確定なもので、とくに切取りや自然斜面の場合は、土層構成ならびに雨水の浸透経路が複雑で、単純な解析はできない。間隙水圧の変動を、現場の切取斜面で継続観測し、水位上昇は降雨量に比例し、水位低下は、その時点の水位のみの関数として考えてよいことがわかった。したがって、ある地点で水位観測を行ない、水位の昇降特性を求め、安定解析によって危険降雨量を算定する事を試みた。斜面崩壊の調査方法として、崩壊の挙動観測を行なう他に、災害調査、土質、地質、地形、気象等の調査や、相互間の関連性について統計的に検討されることも多いが、明確に崩壊の場所、時期、条件を予測することは不可能である。観測斜面として、盛岡、千曳、多良の切取部を選び、土質調査、地下水位測定をまず行ない、間げき水圧計、ヒズミ計を設置で挙動観測をすると共に、降雨資料をあつめた。測定結果から間げき水圧の水位の昇降 h は降雨強度 R 、水位上昇係数 K によって、 $\frac{dh}{dt} = K \cdot R - \frac{h^2}{a}$ で表わされ、観測結果から各個所の間げき水圧は任意の降雨に対して求められる。さらに測定結果より、各個所における間げき水圧分布は、降雨量に対して求められ、すべりの安全率を求めることができる。例として図-1に安定計算の方法を、図-2に降雨量と最小安全率の関係を示した。崩壊発生の予知としては、自記式ヒズミ計を設置して記録させることにより、図-3より崩壊時間と、定常ヒズミの関係で、崩壊を予測することができる。結論として、水位昇降特性を斜面の間げき水圧の測定から求め、安定計算によって、危険降雨量を算定することができること、ヒズミ計の長期観測記録より、崩壊の可能性と時間を予測できることが強調される。

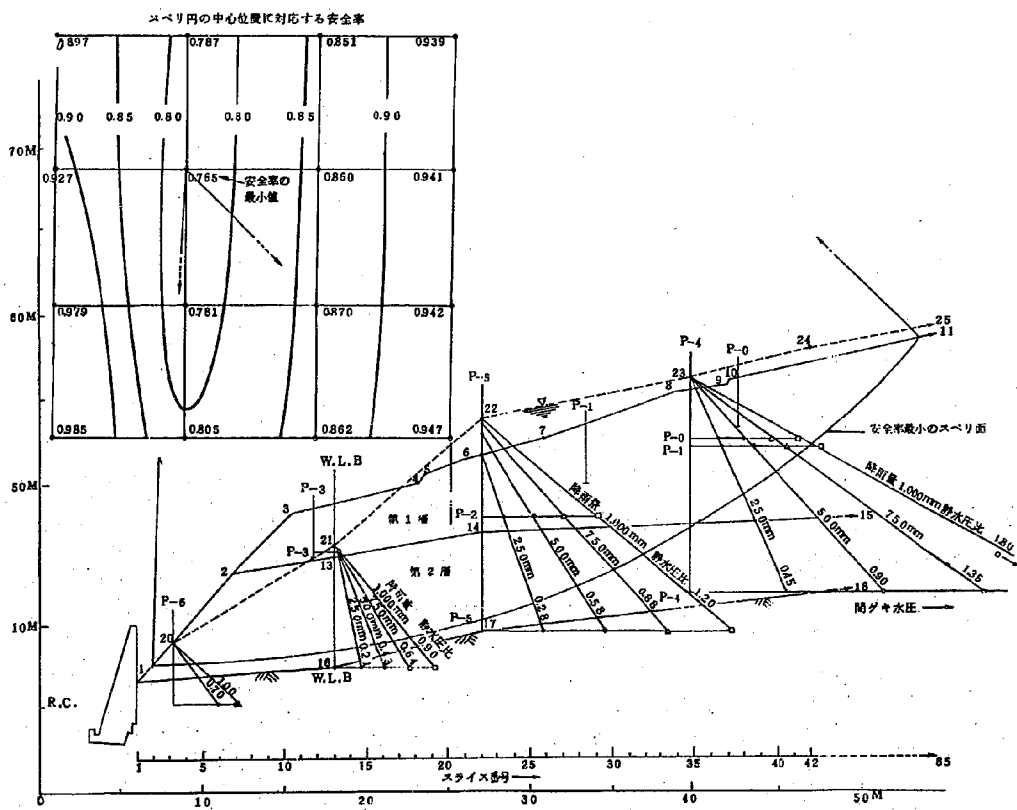


図-1 降雨量 1,000mm の場合の安定解析図—多良防災センター

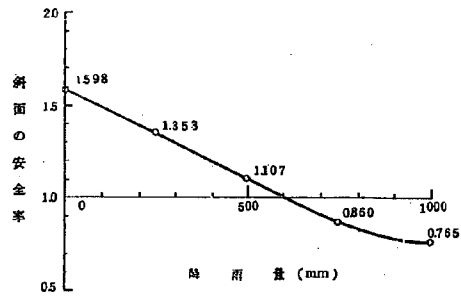


図-2

降雨量と安全率との関係—多良防災センター

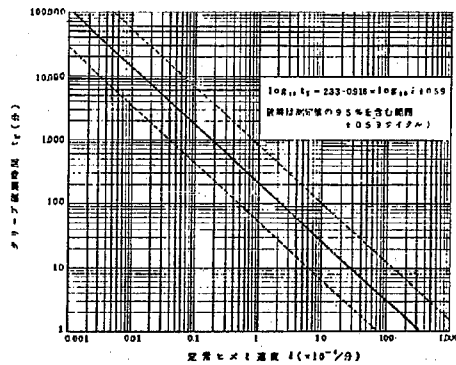


図-3

ヒズミ速度とクリープ破壊時間との関係

(C-2) 有孔パイプによる新幹線盛土斜面の排水効果

斎藤 進孝・上沢 弘・毛受貞久・安田 祐作
(鉄道技術研究資料 vol.25, 第2号, 1968年)

雨水が砂質土盛土の土羽に集中的に浸透しそのため間ダキ水圧が増して土の強度が低下しノリ面が崩壊すると推定され、その強化対策として排水パイプによる盛土ノリ面防戩効果の判定を行なった。そのため鉄道技術研究所構内で1)パイプの性能試験および2)大型斜面による崩壊試験と名古屋保線所管内の314.1 Km付近の下り線傾斜面でパイプの打込前後の2回に人工降雨試験を実施した。鉄研構内の試験1)から、降雨の際に、飽和した土中であって初めて排水し不飽和の土中では排水しなくその排水量は水位に直線的に比例し、パイプの形状などにはあまり左右されない。2)から、パイプからの排水は底面近くの飽和している下段のみでパイプの多い程単位時間当りの水位上昇が低く排水量が多くなる。また名古屋での現地試験から、盛土ノリ肩付近の締固めのムラが生じやすく、そのため雨水が停滞する部分に打込まれたものはとくに排水効果が発揮され、この効果によるノリ面の安全率の向上は、排水により20%、パイプの強度により10%、計30%程度期待できる。また排水パイプの施工間隔は、滞水部分の深さと同程度のピッチであれば効果がある。施工間隔は、線路方向に1mにつき1本の程度でよいと思われる。

(C-3) 浅い砂質層斜面の散水崩壊模型実験例と2, 3の考察

羽田野 誠一
(第13回土質工学シンポジウム—土と水— 昭和43年)

この実験は、浅い盛土斜面での崩壊を検討したものであり、斜面条件と崩壊型は表-1に示す。A)点発生後退拡大型とは、浸透水により地下水が上昇し斜面下方に浸透流による洗堀が生じ局部的崩壊が斜面上方に移行拡大していく型である。B)面発生全層滑落型とは、地下水面の全体的上昇が継続した

後、斜面上方にワレメを生じ、下方の土層全体が不透水層表面に沿って滑落する。C)表面侵食型とは、斜面被覆や撒水噴霧装置の不備による。D)非崩壊(安定)型の4つの型に分けられる。またB)型崩壊において、撒水量・

表-1

斜面条件	A	B	C
斜面横断形	直線・後方平坦・前方平坦	直線	後方平坦・前方平坦
斜面勾配	1/1, 1/2	1/2	1/2
不透水基層表面	斜面下部に露出	斜面下部に露出せず	斜面下部に露出せず
供試土の種類	(関東ローム) 長尾珪砂、マサ土	長尾珪砂、マサ土	長尾珪砂、マサ土
斜面比高 m	0.5~0.75	1.2	0.5
斜面長 m	0.5~1.2	2.4	1.0
土層厚 (斜面上部) m	0.2~0.5	0.1	0.1~0.2
土層厚 (斜面下部) m	0~0.1	0.1	0.1~0.2

土中水分貯留量・地下水位・底面流速・斜面下端土留板にかかる土圧などの変量測定を行った。その結果、土圧だけが段階的で不連続的变化を示した。又崩壊時における含水比はマサ土の液性限界に比較的近く、飽和土層体の液性流動化の傾向を示すことなどが理解された。

(C-4) 人工降雨による新幹線盛土斜面の耐雨強度の検討

斉藤迪孝・上沢 弘・毛受貞久・安田祐作
(鉄道技術研究報告 Ⅲ588 1967年5月)

東海道新幹線盛土斜面は開業初期に降雨のために、崩壊と変状を生じた。この原因と対策の調査のため、実斜面に人工的に豪雨を降らせて、斜面の挙動を観測し、崩壊原因を明らかにした。

法勾配1割5分の盛土斜面で人工降雨を降らせ、測定はヒズミ計、間げき水圧計、水位検知器、含水量計、雨量計、水位計等によって行なった。人工降雨によって盛土法面が表面近くまで飽和し、ノリの上半部ごとくにノリ層附近の間隙水圧の上昇が著るしい。第2、第3の試験では、防災対策の1つである、排水のための有孔管を盛土に施工した場合の効果についても調査した。水位上昇の一般的傾向として、降雨後2、3時間後に達した後間げき水圧が発生し、急速に増加し、降雨終了と同時に、又は、しばらくしてその最大値に達し、以後は徐々に下降し翌日まで残るのが見られた。雨水の浸透による間げき水圧は特に締固められた層が、実験では70cmの深さにあってその上で、最大値を生じている。排水管の効果は深くなる程排水により間げき水圧の値が小さくなることで認められる。測定結果から、法面の各部分の間げき水圧の値を推定し、圧密非排水試験による有効応力表示の σ' 、 ϕ' を用いて、多くのすべり面を想定して、電子計算機により安全率の計算を行なった。式は、次式を用いた。

$$F_s = \frac{\sum (C' + \tan \phi' (W \cdot \cos \alpha - U \cdot \ell))}{\sum W \cdot \sin \alpha}$$

安全率最小のすべり面中心は大体ノリ層を含む、斜面上方のすべりとなっている。ここで求めた安全率最小のすべり面について、土の強度を種々に変えて安全率を計算すると図-1のようになり、安全率が1となる限界の摩擦角と粘着力の関係は図-2のようになった。砂質土盛土区間の土質試験結果を18ヶ所であてはめてみると7地点が限界以下で、盛土構築後の初期降雨により、危険箇所があったことが知られる。

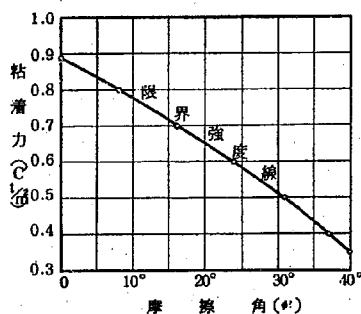
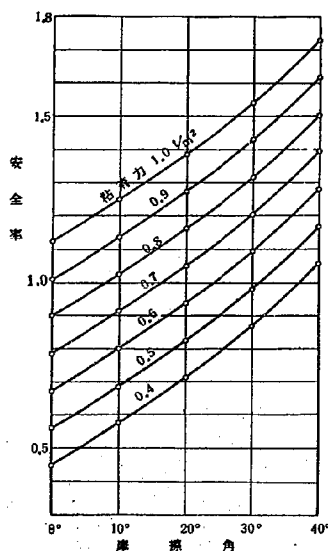


図-2 安全率が1である摩擦角(ϕ)と粘着力(C)の関係



土の強度と安全率との関係

(c-5) 人工降雨による盛土法面侵食試験

斉藤迪孝・上沢 弘・小橋澄治・今井篤雄・他
(鉄道技術研究所速報 第63-181, 昭和38年6月)

東海道新幹線の盛土法面の雨裂の発生や崩壊を防ぐには法面を急速に緑化させるのが、最もよいと考えられるが、植生が根を張り斜面全体をおおうには相当の年月を要し、その間に雨期を迎え、被害を受けることが多い。そのため、横断盲下水、縦下水、のり肩側溝等で排水を図るが、このような排水小構造物やその周辺に水が集中し、盛土の侵食、崩壊が、助長される例が多い。このような表面水の集中を避けて、のり肩やのり面を補強し、表面水をのり面全体に分散させることを考えた。このような考え方にもとづき、盛土のり肩、のり面に各種の防護工を施し、人工降雨をあてて、施工直後の砂質盛土に果して、予期した効果があるか、試験を行なった。人工降雨は、時間降雨 35mm/hr を7時間連続し、全雨量 250mm 程度の降雨である。試験結果は大略次の通りである。

- 1区：のり面筋芝、のり肩切込砂利：のり面に雨裂、小崩壊が生じるが、のり肩はわずかな段落ちだけで、雨裂をとめる。
- 2区：のり面筋芝、のり肩アスファルト乳剤吹付：筋芝部の雨裂が拡大、侵食、崩壊が生ずる。のり肩に段落ちができる。
- 3区：全面アスファルト乳剤散布：のり面に侵食を生じないで、3時間後からのり肩段落ちとそこから侵食、雨裂が形成される。
- 4区：グラスマット：降雨直後より細い雨裂が多数発生し、縦のマット継目から、侵食が進み

雨裂を生じる。

9区：全面張芝：降雨開始後2時間は、土砂流出がなく流水も少ないが、その後のり屑段落ち流動滑りが各ヶ所に生じ、3時間50分で張芝は全て流され、防護機能を失ってしまった。

10区：のり面筋芝、のり屑2段張芝：のり面全体に雨裂が生じ、1時間後にのり屑の侵食が進み、屑の芝は2時間で脱落し、雨裂の拡大が進み、5時間で雨裂が連絡し、大きな崩壊を生じた。

11区：全面種子吹付け10^{g/m²}、12区：全面種子吹付け20^{g/m²}；

降雨直後より、全面に雨裂を生じ、2時間で相互に雨裂が連絡し、3時間後に大きい崩壊になった。12区も、安定していたが3時間で、上方にき裂が生じ、3時間40分で上方に、流動性崩壊を生じ、その後全面の崩壊を生ずようになった。

防護効果のみから順位をつけると、1)全面アスファルト吹付、2)法面筋芝、のり屑切込砂利3)グラスマツト、4)全面張芝である。しかし、施工の条件、維持等を考慮して最も望ましい工法として次のようなものが考えられる。

土羽は散水を行ないながら締固め、築造後の降雨による収縮を除去する。法面はグラスマツトの継目及び強度上の弱点をなくし、幅を更に広くしたものをを用いる。法屑は上記のものを密に施工するが、天端のみアスファルト乳剤吹付又は切込砂利置換を行なう。

(C-6) 人工降雨による砂質盛土の崩壊と排水による防止効果に関する実験

齊藤・迪孝・上沢 弘

(鉄道技術研究報告 654, 1968年9月)

人工降雨による砂質盛土の崩壊実験ならびに各種排水工による防止効果の実験を、室内及び野外の実物大斜面を用いて行なった。

崩壊実験により、崩壊が生ずる条件として第1に雨水が盛土の中へ浸透しやすいこと、第2に不透水の基盤があること、第3に相当量の降雨があり間引き水圧が上昇し、地下水面がノリ面を切るが、ノリ面近くに達することが挙げられる。したがって、盛土の崩壊は、ノリ屑付近が最も多く、対策としては、排水工法が有効でとくに不透水性基盤の上に、全面に設置した排水フィルターは最も効果がある。新幹線には、ノリ屑排水ブランケットとしてとり入れられているが、ノリ屑にも設置することがのぞましい。その次にノリ面の締固めの励行も対策として重要で、締固め程度によって透水係数の値に100~500倍の変化が生じている。表面の雨水の浸透を抑制し崩壊の可能性を軽減することが必要である。このためには、ノリ面の仕上がりやのり面の検査と間引き水圧測定を大量に実施することが必要である。その方法としては現在のところ、貫入試験による検査と埋設水位管による読取り測定が適当であると思われる。

(C-7) 切取斜面の降雨時挙動と崩壊危険度の推定

齊藤迪孝・上沢 弘・今井寛利・毛受貞久・安田祐作
(鉄道技術研究資料 vol.125, 頁9, 1968年)

降雨による斜面崩壊の場合に最も不確定な要素は斜面内に発生する間ゲキ水圧であって、その変動性状を明らかにするため、観測斜面の選定にあたり、1)東北本線盛岡～厨川(土層構成粘性土中に大きな間ゲキを有し斜面一帯に湧水が見られる。)、2)東北本線千曳駅構内(粘性土中の砂層が水の通路となる。)、3)長崎本線多良～肥前大浦(基盤と表土との間が水の通路となる。)の3地点で継続観測を実施した。使用された観測計器は間ゲキ水圧計、水位計、ヒズミ計、傾斜計などである。観測結果から降雨時にもっとも変動が大きいのは間ゲキ水圧でヒズミは切取斜面の上縁が他の位置より少し大きい程度で傾斜の変動量は殆んど問題にならない。また、水位は基底流の上に降雨による水位の急激な増大が加わった形で変動し降雨と水位上昇は直線的関係を示し、水位上昇係数 $K (\text{cm/mm/day})$ を求めている。また降雨の継続による水位昇降の方程式は $\frac{dH}{dt} = K \cdot R(t) - \frac{1}{a} (H+b)^2$ 、 H : 水位、 R : 降雨強度(日雨量)、で示され降雨のない時の水位低下はその時点の水位のみの函数として考えられる。それゆえ、ある地点で水位観測を行なって水位昇降特性を求めれば安定計算によって危険雨量を算定することが可能となる。

(D-1) 国鉄沿線の斜面災害と対策

山 田 剛 二
(鉄道技術研究資料 vol.125, 頁9, 1968年)

降雨による地すべり、切取盛土のり面の崩壊についての災害の実状と防災対策を検討している。斜面の安定に関係する因子としては、外力となる雨の降り方、斜面を構成する土や岩の強度、防護工の機能などがある。これらの因子の性質と相互の関連性が把握できれば問題となる斜面がどの程度の雨量で崩壊するか、それに対しどの種類の防護工法を施工すれば崩壊を効果的に防止できるかが決定される。また安定度を判別する方法として、崩壊機能にもとづいて力学的釣合い(分割法など)から安全率を算定する方法と、崩壊事例を収集し斜面崩壊の形態分類を定め安定度の順位を判定する方法がある。地すべりにおいては岩質構造に密接な関係があり、地域的集中性、周期性をもち特有の地すべり地形を示し構造的な地すべりと崩土すべりがあり崩土すべり(斜面長100m、幅100m)程度の規模までが防止工法適用効果が期待できる。切取斜面では、安定性は構成する土質、地層、とくにその岩質、地層の走行傾斜、節理、片理、劈開面などのわれ目の状態によって左右される。また盛土斜面においては一般に盛土斜面は表面が植生で完全に被覆され、表面水の排水処理が完全であれば崩壊の危険性はほとんどなく、とくに土質が不透水性の粘性土では極めて安定である。盛土斜面の崩壊は、施工上の問題であり、盛土全体が一様に締固められるよう法面転圧を行なうことが必要となる。

切取法面の簡単な判定方法として弾性波速度は、岩質、きれつ風化程度により定まる量なのでこれらの量と崩壊事例を結びつけて斜面の実態を判断することが可能であると思われる。斜面の強度判定は、個々には長期的な調査が必要であるが、表面から観察できるものとして、岩質土質、こう配、高さ、防護工程に関する実態調査を進め、斜面崩壊の形態分類を確立して安定度判定の尺度とする方向が望まれる。具体的な方法として、全数調査による法面発生率の推定災害調査表による統計解析、採点法による法面防災強度の判定等が挙げられる。表-1に法面防災強度を判定する採点基準表を示した。防災強度は日降雨量を最大450mmとしこれを100点とし、50mm

表-1 採点基準表（切取）

下るとに
10点減点とし、それが、
表より算定される現有強度
 $K = C + k + f + y$ より大きくならない
ことが必要である。

基本点C		60			
素因点K ($K=l_1+l_2+l_3+l_4+l_5$)	土 質 l_1		砂 質 土	粘 性 土	軟 岩
			-20	0	+10
	湧 水 l_4	乾 燥	0	0	0
		湧水, 湿潤	-10	-20	-30
	の り 高 l_2	15m以上	15m未満	15m未満	5m未満
		-10	-5	0	+5
	の り こう 配 l_3	標準より急		標準(1割)	標準より緩
		-5		0	+5
の り 肩 付 近 l_5	自 然 斜 面			水 が 集 中	
	0			-20	
防護点f	防 護 工 の 種 類	モルタル吹付け、雄石空張、雄石空積			+5
		盲排水こう、堅下水、のり肩下水、特に施工した植生			+10
		格子わくコンクリート工(中張なし)、張コンクリート、張ブロック、割石縁張、割石縁積			+20
		格子わくコンクリート(中張あり)			+70
		土留壁			+100
判断点y	雨に対して特に弱い場合			-20~0	
	強雨に対して特に考慮する場合			-30~0	
	経年老化、地形環境条件等により必要がある場合			-30~0	
	のり面下部に土留壁がある場合等間接的に強度の割増を必要とする場合			0~+20	
	その他特に必要がある場合			-20~0	

(D-2) 地すべり地区における地層面の吸水崩壊現象について

玉 田 文 吾

(第13回土質工学シンポジウム 一土と水-昭和43年)

地すべり地層の室内実験より、吸水膨張、含水比と粘着力との関係を地表面の動きと合わせて考察し、地中において地層面が地下水によって吸水崩壊してゆく過程を検討した。

地下水による頁岩の吸水崩壊過程を調べるため、ボーリングコアより試料を作り、静水中に水没して時間毎に直接せん断試験を行なった。せん断強度の低下率はケツ岩が最も小さく、ある程度まで低下すると変化しない。砂岩は徐々に強度が低下する。試料を空気乾燥すると岩種

を問わず、短時間に崩壊して水中に流れ出す。又、地スベリ粘土層の吸水膨張試験を行なった。その結果、a)適当な含水比と間げき比のもとで最もよく膨張する。b)初期含水比が同じ試料では間げき比が大きい程、吸水量が多い。c)吸水には膨張を伴うが、間げき比の大きい試料は収縮現象を生じる。等の事がわかった。又、吸水した粘土の直接せん断試験により、粘着力と含水比の関係を求めた。

結論として、泥岩、ケツ岩、凝灰岩などの堆積岩の一部が地下水によって崩壊して粘土化を起すには長大な時間と龜裂を含む構造が必要であり、とくに龜裂空間の状態が重要な鍵を握っているようである。又、乱されるような条件と共に加水される必要があり、降雨と地スベリ粘土化との関係は、今後、十分検討する必要がある。

ある条件下では、いくら加水しても、含水比は増加しない場合があり、降雨と地スベリ粘土化とは直接に関係がないと考えられる。

(D-3) 豪雨に起因する斜面の浸食と崩壊の予想ならびに対策

田 中 茂

(第13回土質工学シンポジウム 一土と水一 昭和43年)

豪雨による斜面の浸食と崩壊の機構を明らかにし、その予想ならびに対策を検討する。斜面浸食、斜面崩壊に影響する要素としては、境界条件、土質・地質条件、先行条件、降雨条件、地被条件が作用する。斜面浸食は、斜面が裸地か地被植物があるか、土の耐食性、流線の収斂性、小段のあるなしに最も大きく支配される。また浸食は、土粒子分散作用と土粒子運搬作用の二作用を伴う。斜面崩壊は、雨裂状浸食、土の内部摩擦角と粘着力の減少、バイビング現象、水圧の増大などにより崩壊する。これら浸食と崩壊の機構(雨水の表流、浸透)から、この対策を考察するとき、一つの降雨の表流と浸透の割合がどうなっているか、また雨水が難透水層の上に貯留されその水面が上昇して斜面に浸出線を生ずる場合にその水面形状が地表面のそれと相対的にどのように交叉するかを正しく把握する必要がある。その上で崩壊の型に対応する適当な対策工を行なう必要がある。

(D-4) シラスの水食と崩壊

上 田 通 夫 ・ 長 野 紀 俊

(第13回土質工学シンポジウム 一土と水一 昭和43年)

シラスは地震等の大きな外力による以外では、水の介在があつて安定状態を失うので、自然状態では自重のみによるスベリ崩壊は起らず、鉛直に近い状態で自立する。水により抵抗を失ない浸食から崩壊に進むと考えられる。流水による浸食は平地と斜面をとわず、地山を削りあるいは穿つように進行する。緩傾斜の斜面では水食は甚だしく天然のシラスのかけは、自然の水食により整形されて、表土、植物の保護層をその上部に、露出面が最小の状態、直立して

いるものが安定している。

シラスの崩壊の原因は、水食による裂け崩壊で、その水としては流動水によるものと、過多含水との2つの原因に分けられる。流動水によるものの例として、地中湧水により内部浸食が進行し、空洞化して、突如、陥落流出することがあげられる。湧出水をパイプを通じて出すことにより安定させている。含水比が30%を越えるとシラスは結合力を失ない、スベリ性状を見せるのが過多含水による崩壊である。シラスは、通常の自然含水比約20%の時、最も安定度が高く、より乾燥しても湿っていても強度は減少する。シラスの結合力は、主として化学的物質に原因があり、適量の水の存在法則を乱すことが、このシラスの結合力を破壊することの原因となる。

シラスの水に対する抵抗性能には、工学上意味のある差を認めることは出来ない。要するに水に対しては徹底して弱く、いかなるシラス斜面も、完全な水処理がなければ、植生のような法面保護工を殆くしても、水食と崩壊を防止することは不可能である。

結論として、シラスは、適当な自然含水比の下のみで安定な、電気化学的結合力で固結した尖角の多いガラス質細骨材と軽石礫を粗骨材とする多空隙極弱コンクリート様物質と名づけられる。強度と安定性は結合力によるもので、過剰水、液体の添加により結合力が減少し、引張りとせん断による破壊が容易に生ずるというメカニズムがシラスのスベリ現象であると考えられる。

(D-5) シラスの洗掘抵抗について

三 谷 健 ・ 安 達 経 治

(第13回土質工学シンポジウム 一土と水—昭和43年)

シラスは乱した状態と乱さない状態での土質力学的性質が著しく異なり、原位置あるいは乱さない試料での試験値が重要である。しかしシラスは、軽石片や安山岩礫を多量に含み、原位置試験や、乱さない試料によるせん断試験は困難である。またシラスの特性として降雨等による洗掘抵抗が少なく水流に対する抵抗の大きさが、斜面安定の要因と関連があるように予測される。簡単に原位置測定もできる洗掘抵抗試験機を開発して、現地のシラスの洗掘抵抗試験を行ない、シラスの分類格付けや斜面安定との関連、乱したシラスの突固めと洗掘抵抗等を検討した。洗掘抵抗試験機は図-1に示されるもので噴射水压をパイプ出口で 0.5kg/cm^2 とし、噴射パイプの先端は内径3mmである。試料とパイプの間隔は15cmで水平に噴射させ、現位置では10秒間の洗掘長を測定し、室内試験ではモールド長12.7cmを貫通に要する時間で測定しデータとしては、貫入所要時間 $\text{sec}/12.7\text{cm}$ に換算し統一表示した。地山におけるシラスの洗掘抵抗の分布は図-2に示される。乱した試料の試験により、シラスの突固め試験結果と、洗掘抵抗試験の結果からシラスをA、B、C、D、Eの5種類に分類でき、その類型の地域分布図が求められた。地山の洗掘抵抗の値とその地点のシラス斜面の自然勾配には相関が見られ、

(D-6) 斜面崩壊発生時期の予知に関する研究

(鉄道技術研究報告 第626, 1968年2月)

土の定常ヒズミ速度とクリープ破壊時間との関係は、図-1で表わされる。すなわち $\log tr = 2.33 - \log \dot{\epsilon} \pm 0.59$ である。または、 $tr \cdot \dot{\epsilon} = 214$ でクリープ破壊時間が、定常ヒズミ速度に逆比例を示すことになる。このことは、三軸圧縮試験により土の試料について求められたのであるが、実際の斜面崩壊実験、あるいは、崩壊の実測によってもこの関係が立証された。したがって、定常ヒズミを測定することによって、ヒズミ速度を求めた破壊時間を予測することが実際の斜面の崩壊の場合にも適用することができる。以上はクリープ破壊の第2次クリープ領域についてであるが第3次クリープ領域についても、ヒズミ速度と破壊時間との間に逆比例が成立する。実際の方法は、ヒズミ又は移動量を普通目盛で、 $(tr-t)$ を対数

目盛で半対数座標に記入して、破壊時間の t_r の選定が適正であれば、直線上にならぶことになる。図-2に示したように、この直線で修正曲線を求めて崩壊時刻を予想すると、非常によい接近を示す。ヒズミの観測には自記装置を用いるのがよい。部分的な、凹凸にまどわされることがあるので絶えず、ひずみ、あるいは移動の状況を目で見て判断することが必要である。ヒズミ計の設置箇所は、移動範囲がわからないときは、不安定斜面の最急勾配に、計器を配置しその動きから判断して、最適位置を求める。龜裂等が出て移動範囲が明らかになれば、斜面上方の龜裂をまたいで設置し、下端の変状が目立つ場合は、そこにも取付ける。土のヒズミを全体的に測定するのであるから、測定距離は10 m程度にするのが良い。

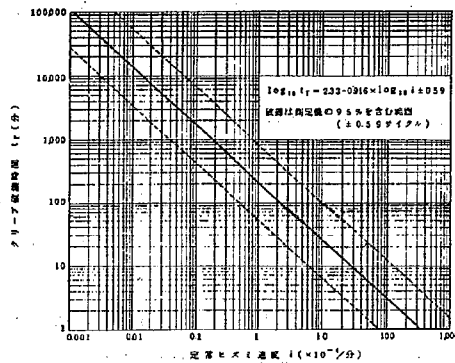


図-1 ヒズミ速度とクリープ破壊時間との関係

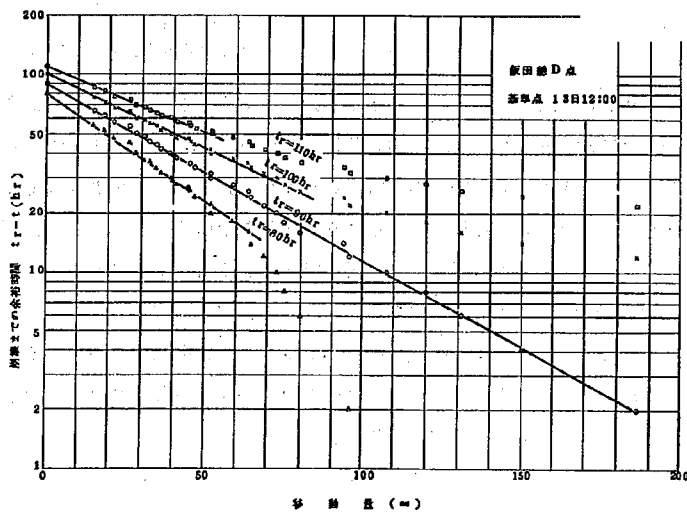


図-2 第3次クリープにおける測定値の修正方法

(D-7) 近畿ならびに中国地方における斜面崩壊について

田 中 茂
(「土と基礎」 vol.15 版10, 1967年10月)

昭和42年7月の集中豪雨により兵庫県、岡山県、広島県等で斜面崩壊による大きな被害を受けた。従来斜面の安定を問題にする時、傾斜や高さの關係で論じられることが多いが、實際斜面は、均一のものではなく、表土層、基岩層があり、風化程度、岩質、土質も種々のものが互層をなし、三次元的な斜面特性も、考慮しなければならない。考えるべき斜面特性として a) 表土層の厚さ、b) 表土層と基岩層の浸透能、c) 表土層のバイピングに対する抵抗性、d) 地被状態と耐食性、e) 斜面の表面、表層と基岩層境界面の等高線の形状と三次元配置である。降雨特性は1時間強度よりも10分間強度など短いものが望ましい。この地帯は、花崗岩の基岩とマサ

土よりなり、マサ土内の浸透は速く、厚さ2.0mの表土層を8時間内外で、さらに浸出線が出るのに3、4時間かかる。さらにバイピング現象が生じ崩壊が始まるのは、基岩面30°以上ではきわめて短時間である。今回の自然斜面の崩壊は表層土の厚さ2.0m以下の所に限られる。宅地道路等の造成が行なわれている斜面では、排水施設の不備より表流水の集中流下した部分や、盛土の転圧不十分のところで、浸透水の浸出に起因するものが多い。降雨特性と斜面特性地質条件を総合的に検討すれば、崩壊の予知が可能である。防止工法を施工することも可能である。地下排水を十分合理的に行なうと共に、転圧締固めを行ない、斜面全体の安定が豪雨により破られないように注意して設計を行なわなくてはならない。

(D-8) 山地斜面の崩壊個所の予想について

田 中 茂
(建設工学研究所報告 版4, 1963年)

斜面崩壊の原因として次のようなものがあげられる。1) 表流水の作用による。2) 浸透水により、土のせん断抵抗が減る。3) 自由水面が、斜面に出てバイピング現象を生ずる。4) 斜面下部が流れにより侵食洗掘される。5) 斜面の断層の表われた部分が、水流により洗掘、侵食される等である。斜面崩壊の予想方法として、次のような方針を用いることができる。a) 斜面の急勾配から緩勾配に移る個所、斜面の下部で、流出可能性のある所、b) バイピングを生じる所として、花崗岩、雲母花崗岩のマサ土で殖生のない場合、自由水面の勾配が、 $1/3.5$ 以上急傾斜であるときは、殖生のあるときは $1/2.5 \sim 1/2$ 以上の急な水面勾配のあるところ、c) バイピングを生ずる部分より上の地表部等である。また降雨の特性すなわち、雨量強度や連続性によるパターンで、斜面崩壊の生ずる可能性も異なる。

斜面崩壊の危険個所を神戸地域について表示した。これは地形図、地質図、航空写真、過去の崩壊資料、土質調査、現地踏査によって行なった。降雨特性による等、級別崩壊予想個所を示すことも試みた。

(E-1) 水による浸食と崩壊に対する植生工の限界

新 田 伸 三

(第13回土質工学シンポジウム 一土と水一 昭和43年)

浸食の要因は、雨滴の衝撃作用と流下水の洗掘作用であり浸食は面浸食からリル(浸食溝の深さが表土の範囲内)、さらにガリ(下層土におよぶ)へと発達する。この対策工としての植生に関し次の事柄を検討している。集中水と植生の剥離について、ノリ面では経験的には垂直高7m程度の1小段分の水量では剥離は見られない。植生本数と被覆度では、のり面被覆度、100%にするには1㎡当り100株程度で十分被覆される。植生部の浸透能と土の含水量では、植生による浸透能と水抜き作用の相反する効果があり、粘性土では施工直後浸透能の増大により含水量が増加し、水抜き効果は徐々に現われるが、砂質土では含水量比の増加は目立たず水抜き効果は顕著に現われる。またのり肩がくずれる主な原因は、のり肩の上側と下側とでは植生の有無、勾配の緩急のため浸食や凍上に対する抵抗性が相違するため浸食防止のためののり肩ラウンディングが必要となり、のり肩の前後は接線長で最小50cm程度必要である。また盛土の表層崩壊防止対策として、のり面も本体と一緒に十分転圧し、播種を行ない、のり面はアスファルト被膜で保護し浸透と洗掘を防ぎ、のり先の浸出部に水抜きフィルターを設置すると効果的である。

(E-2) ノリ面保護工の設計施工について

新 田 伸 三

(第8回日本道路会議論文集 昭和40年10月)

道路の法面保護工は、植生が可能なかぎり全面植生によるのが望ましく、機械化土工に追従できる施工能率を持つものとして機械播種工、ことに種子吹付工が広く用いられるべきものと考えられる。のり面の崩壊を防止するには1)路面からの浸透を防ぐ。2)ノリ肩排水溝。3)ノリ面の機械転圧。4)転圧各層に横断勾配とフィルター層。5)腹付けを避ける。6)粘性土羽土をさける。7)法面の余盛り切取仕上げ。8)早期全面播種。9)法面をゆるめる植生工法をやめる等のことが考えられる。

種子の発芽率は80%前後で、平均気温10℃以上で各温度条件に合わせて種子の種類と量を定めることが必要で平方米当りの例は表-1のようである。平均気温10℃以下(東京で12月~2月)ではアスファルト散布でのり面の洗掘を防止し、春に播種を行なうのが良い。肥料はやせた土には1㎡につき、チッ素6g、リン酸24g、加里10g以上が必要である。種子を土で覆うことが必要で、標準は0.005m³/㎡以上である。保水材料としてファイバー、樹皮くず等も用いられる。粘着剤として、ポリビニールアルコール(PVA)を40g/㎡程度用いるのが良い。ペントナイトは細粒土に浸透しないで、乾くとはがれやすい。吹付工の上の被膜養生にはアスファルト乳剤が耐水性もよく豪雨期、台風期に良い。アスファルト被膜の厚さは

0.2~0.3_{mm}で、発芽をさまたげることはない。アスファルト分20~55%のを2~3倍にうすめて1_ℓ/m²用いる。

旱天の場合、散水養生が必要で、日雨量5_{mm}があるまで、毎日5_ℓ/m²を日中をさせて朝夕に行なうことが必要である。

表-1 標準播種量(1m²あたり)

日平均気温 15℃~25℃	ケンタッキー31フエスキユ 7.5g	ワイーピングラブグラス 1g	ワイーピングラブグラス 12g
	レッドトップ 0.5g	ケンタッキー31フエスキユ 7g	
	ホワイトクローバー 2g	ホワイトクローバー 2g	
日平均気温 25℃以上 7.8月	ワイーピングラブグラス 4g		
日平均気温 10~15℃	イタリアンライグラス 7g		
	ケンタッキー31フエスキユ 7g		
10月中旬 ~11月中旬	ホワイトクローバー 2g		

(E-3) 法面の植生に対する塩化ナトリウムの影響

(Effect of Sodium Chloride on Grasses for Roadside Use)

E.C. Roberts, E.L. Zybura

(Highway Research Record 193, 1967年)

アイオワ州の州際道路80号線のある区間では、4車線の高速道路1マイルにつき24,000ポンド(7,500Kg/1Km)の塩化ナトリウム(食塩)が、氷雪除去のために用いられている。1963年から64年、1964年から65年にかけての冬季間に、その割合で用いられた食塩により、中間分離帯と盛土法面の土の化学的性質を変えて、植生の順調な発育を阻害していると見られた。植生の増殖や、生長した芝生に対する被害は、有機物含有量の少ない重粘土すなわち氷河滞積粘土の場合に最も著しい。

可溶性塩分含有量を州際道路80号線沿線の土について試験してみると、塩化ナトリウムの集中している部分が発達し、舗装から10フィート(3m)離れた部分までの植生の生長を阻害していることがわかった。

ケンタッキー31フエスキユ、スレンダーホイトグラス、ミディアムホイトグラス、ウエスタンホイトグラス、ロシアワイルドライとリードカナリアグラスなどは、早期生育して強力を増殖をし、道路法面に適当な3インチ(8cm)の丈に刈込む場合にも、耐久性があるといわれている。

これらの草のうち、ケンタッキー31フエスキユと、ウエスタンホイトグラスの2つが最

も耐塩化物性に富んでいる。600 ppm までの塩化ナトリウム分は、試験した全ての草で、その生育をむしろ促進することがわかった。

しかし、塩分含有量が1000 ppmから5000 ppmになると、明らかに、植生の生育に被害が生ずることがわかった。試験した10種類の草のうちケンタッキー31フエスキユは、道路法面の土が、塩化物によって汚染される場合に、用いるべき植生として最も適当であると、結論できる。