

神戸大学工学部 正員 田中 茂
神戸大学大学院 学生員 ○新田 精邦

1. 緒言

昭和42年7月9日、六甲山系を中心として降った豪雨のために特に神戸背山地帯一帯に山腹崩壊が集中的に多数発生したので、筆者らは崩壊斜面現場およびほとんど崩壊が発生していない斜面現場を対象として現地調査を行ってきた。現場調査の方法は田中が考えた独自のもので、しかも簡単なものであり、これに関してはずでに報告した。上記のような調査を行って得た多くの貴重な資料をいろいろな角度から整理して、その整理したものに考察を加えた。なお、この場合、斜面そのものの条件と斜面安定との関連性はある程度明らかになった。勿論この場合において、豪雨の特性とをあわせ考慮したのは勿論である。昭和43年8月18日に発生した飛騨川バス転落事件などにおいてもあの当時の豪雨の際にこの災害を起した現場付近における斜面の崩壊は到底現在の科学技術では予想し得ないものであると述べられていたが、ここに問題があると筆者は考えるのであり、斜面崩壊の予想は不可能ではなくて、適当な調査法を使用して平素からきめの細い調査を行って斜面条件もしくは斜面特性を明らかにしておき、これと対象と考える降雨特性の2、3のものとは組合せて考慮すれば、斜面崩壊の予想はかなり高い確率で可能と考えるのである。ここに言う崩壊予想とは、崩壊の位置は勿論その形状および土量までも予想しようということである。かなり高い確率で斜面崩壊を予想しうるならば、そこに適当な予防工法を施工しうるのである。適確な斜面崩壊予防工法はその斜面の崩壊機構を充分よく把握しておきさえすれば比較的容易に確立しうるのである。

2. 筆者らの行った斜面調査法

筆者らが行った斜面調査法を説明するとつぎのようである。

(1) 地表条件の調査：斜面の表面の地状を明らかにするために、予め作製せられてゐる信頼性の高い地形図があればこれを利用する。この種の適当なものが利用不可能の場合には、現場において、ハンドレベル、ポール、テープなどを使用して地形を測量するか、スタジア測量が可能な場合にはこれを行う。既報の通り、斜面の表面の等高線が凹状または直線状の時に、その表土の浸透能よりも降雨強度の方が大きい降雨が降ると表面流出が生じ、しかもその降雨継続時間がかなり長いと、斜面上の表流水流の斜面下手におけるものがその上手におけるものに比して大きくなり、したがって基岩の上に浸透水の貯留せられたものの水面が斜面とある交角で変わることになり、表土層の崩壊を招来しやすい。つぎに地被植物の有無とその種類、密度とその寸法などの調査を行う。崩壊斜面については、その形状、寸法、深さ、などを調査する。

(2) ジェットによる洗掘深の調査：18リットル入りの水入れ容器内の圧力を3.0 気圧保ち、径2.5mmのノズルを固定して、測定しようとする土層または風化岩を鉛直に切った面に向かって狙いを付けて、10秒間だけ噴流（ジェット）を噴出させる。この時ノズルの先端は前述の鉛直面より30cmの距離を保った。噴流によりこのようにして洗掘せられた孔の深さ（mm）を測定する。

この値が大きいものは流水の作用に対する抵抗性が小さいことを意味している。田中はこの値が、 100 mm を超えるものは一応「パイピング現象」が発生する可能性がある土壌とみなしている。

(3) 土壌硬度の測定：山中式土壌硬度計を使用して、斜面を構成している材料の表面にこれをおしあてて貫入抵抗値(mm)を読み取った。測定は測定時の含水状態の時と噴流を吹きつけて水でぬらした後の2つの場合について行った。

(4) 浸透能調査：表層や基岩などの浸透能を計測して上F層の間にこの値の差がどれほどあるかを明らかにすると同時に、それらの値と降雨強度との大小をも明確にすることは極めて大切な点がある。

銅製円筒（肉厚 5 mm 、内径 15.5 cm 、 20 cm 、先端は刃状になっている。）を地盤面を水平に切った面上にのせて、刃の先端を地盤面から深さ $5\sim6\text{ cm}$ 地中へ打込み、上からビュレットで水を注入して常に円筒内の灌水圧が一定値（この測定では 1 kg ）を保つようにビュレットの下端のコックを調節して注水を続ける。このようにして $20\text{ 秒}\sim30\text{ 秒}$ 間隔に注入した水量(cc)を読み取りながら、 $15\text{ 分}\sim20\text{ 分}$ 程度継続して、読みがほぼ一定になるまで続ける。この値から浸透量-時間曲線を求める。さらに、このときの値に補正係数を乗じて浸透量を補正した。

(5) 乾燥密度測定：基岩が風化してゆるくなっている程、乾燥密度は小さくなっている。

花崗岩が全然風化を受けていないものの乾燥密度は 2.65 g/cm^3 であると考えてよいが、風化を受けてる程度が大きくなるにつれてこの値が小さくなる。現場の地盤を水平に切り、そこに直径 $20\sim30\text{ cm}$ の半球状の孔を掘り、その掘り出した土をビニール袋に入れて実験室に持ち帰り、乾燥炉ですっかり乾燥させてその重量を計量する。一応、孔の容積を知るために厚さ 0.1 mm のビニール薄膜を孔の内面のしわを少なくしてはりつけた後、この孔中に水を注入してその容積を cc 単位で読み取る。

乾燥重量をこのようにして得た容積で除して乾燥密度(g/cm^3)を求めた。

(6) 鉄筋打込みによる表土層厚の測定：径 19 mm 、長さ 1.0 m 、 1.3 m 、 1.5 m の鉄筋で先端を適當にとがらせたもののうち適宜一本と取り出し、斜面に直角にあて、重さ 30 kg のロープ（フック）マーでたたき、その一打撃毎の貫入量が急に低下する所までの深さ(cm)を求める。この値を一応斜面に直角に測った表土層厚とした。なお、この方法は表層中に転石や石炭などが多い場所では適当ではない。しかし、この方法で充分信頼して表土層厚を求めうる場所がかなり多い。

(7) 断層、基岩の節理と亀裂などの調査：断層が当該斜面の近くに存在しているや否や、存在しているとするればその走向、傾斜、幅、粘土化や破砕の程度とその構造、破砕帯内の地下水の存在の様子などを調査した。この外、基岩の露出している所では、基岩に節理および亀裂などの存在の有無、それらが存在しているとするればその大きさおよびそれらにより割れた岩片または岩塊の大きさやそれらの割れ目の走向と傾斜、さらに、割れ目などの間に粘土層が介在しているや否や、湧水の有無などを明らかにしておく。

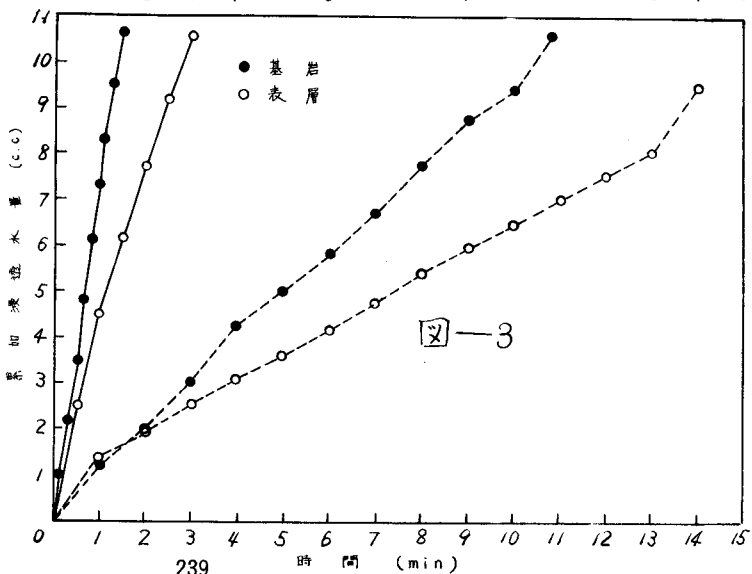
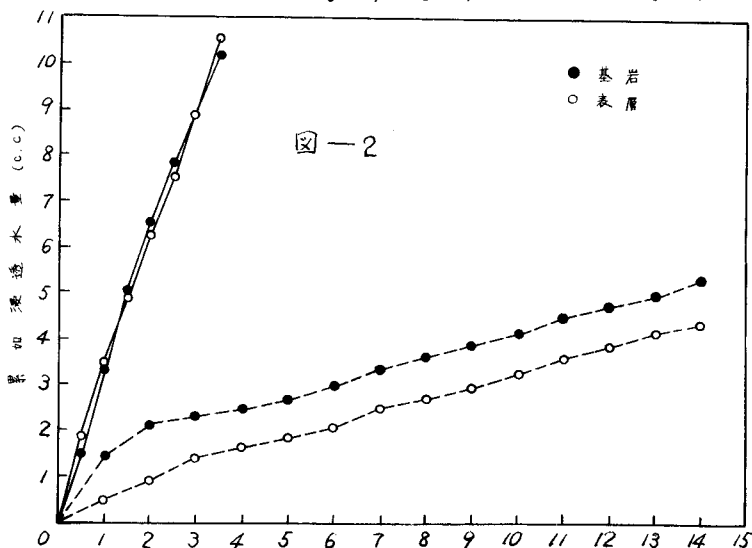
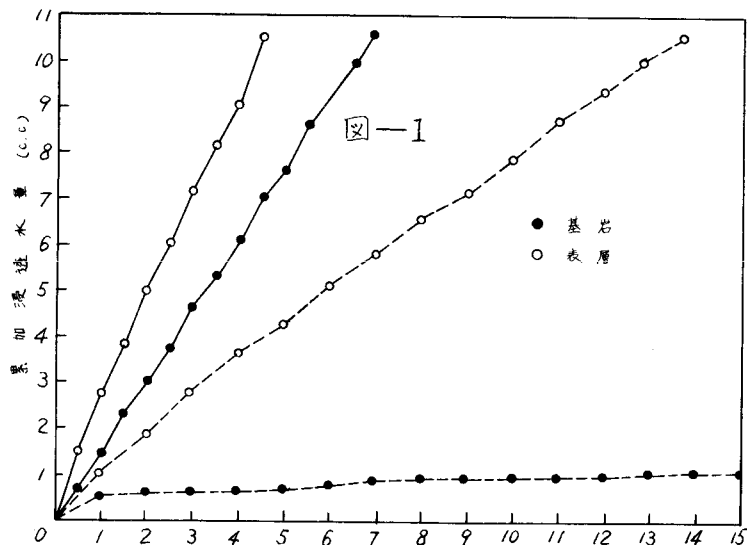
(8) 斜面に入りを加えた場合の影響の調査：当該斜面が切り取りなどを施してあるや否や、人工を加えている場合には、その斜面にどのような条件の変化をきたえたかを明確にし、それが当該斜面の安定にどのような影響を及ぼしたかを明らかにする。

3. 調査結果の整理とその考察

調査結果のうちすでに報告したものの以外について取り上げることにする。そこで報告するのは主と

して浸透能が一地点で表層と基岩とにおいてどのような差異を示しているかを明らかにした。こと、ジェットによる洗掘深と貫入抵抗値とのいずれを採用するのがこの場合の目的に叶っているかを明らかにしたこと、さらに、乾燥密度が斜面の表面から鉛直下方に向かってどのように変化するか、またその密度と浸透能とがどのような関係を示すかという問題、崩壊を生じ易い斜面と生じ難いそれとにおいてジェットによる洗掘深がどのように異っているかの問題を取り上げる。図1～3は神戸市の妙法寺川と千森川との間にはさまれた地域の北部山地において田中の指導の下に神戸市開発局が調査した資料の内の、この地点で表層とその基岩とについてそれぞれの浸透能を測定した結果を示したものである。表層の浸透能の方が基岩のそれに比較して大きい場合とほぼ同じ場合とさらに前者の方が後者よりも小さい場合が見られる。

豪雨が相当時間継続する時、第1の場合には雨水が基岩上に貯留されることになるが、第2、第3の場合には雨水は基岩上に貯留せられず、そのまま基岩の内部へ浸透することは明白である。図4は昭和42年7月豪雨により多くの崩壊を生じた地域および崩壊がほとんど発生し



なかつた芦屋剣谷地域を対象として筆者らが測定したジェットによる洗掘深(mm)と P_r 自然状態の土についての土壤硬度計の読み(mm)との関係をプロットしたものである。風化岩から比較的乾燥密度が比較的大きい表土層下部についてはこれらの両値はほぼ直線的な関係にあり、ジェット値が約100mm以下の小さい値の範囲では上記2つの方法のいずれの方法を用いてもよいが、ジェット値が100mmを超える大きな値の領域では P_r 値の値の示はほぼ一定の値を示している。ジェット値が150mm以上の大きな値を示すのは上部の表土層に多く、この領域でもジェット値はかなり大きな変化を示しているから、ジェット値を使用する方がよい。

芦屋剣谷の斜面では表土層は溪流付近の堆積土の部分以外の表層は「パイピング現象」などから生じ難いことが明らかである。図-5は乾燥密度と浸透能との関係を神戸天王谷の斜面を対象として調査した結果からまとめたものである。風化基岩への浸透はどのような亀裂を通して行なわれるものであるが、表土層内への浸透は粒子間隙を通じて行われるのに比してこれらの関係が異なっている。

以上の外の整理結果については講演時にゆずる。

図-4 貫入抵抗値-ジェット洗掘深

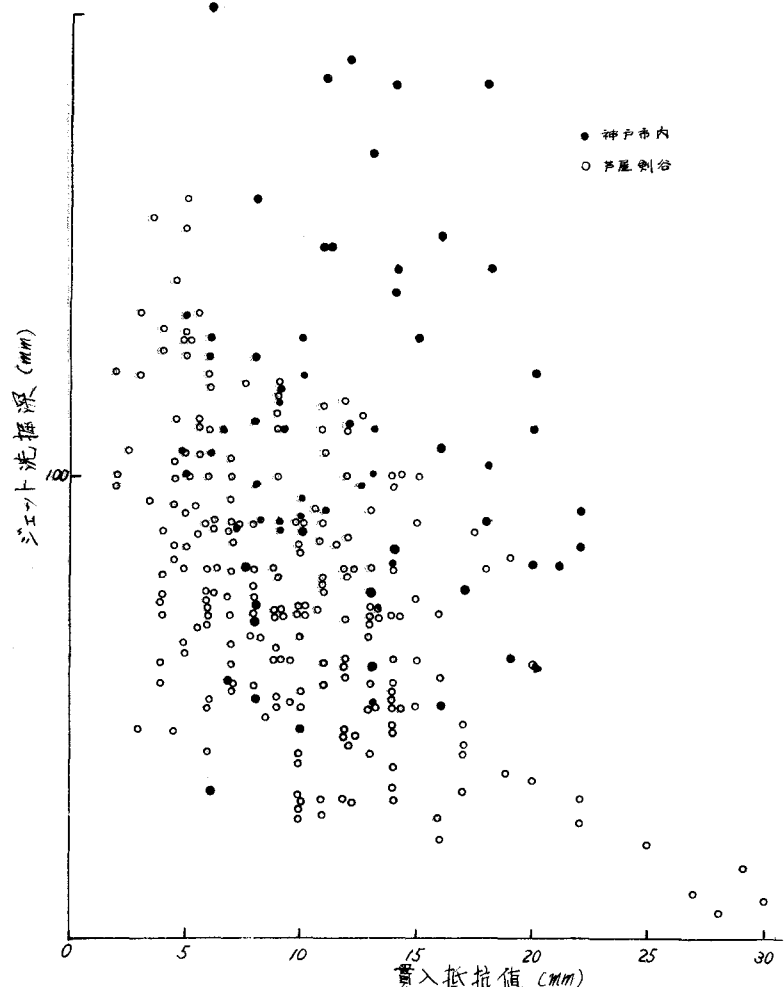
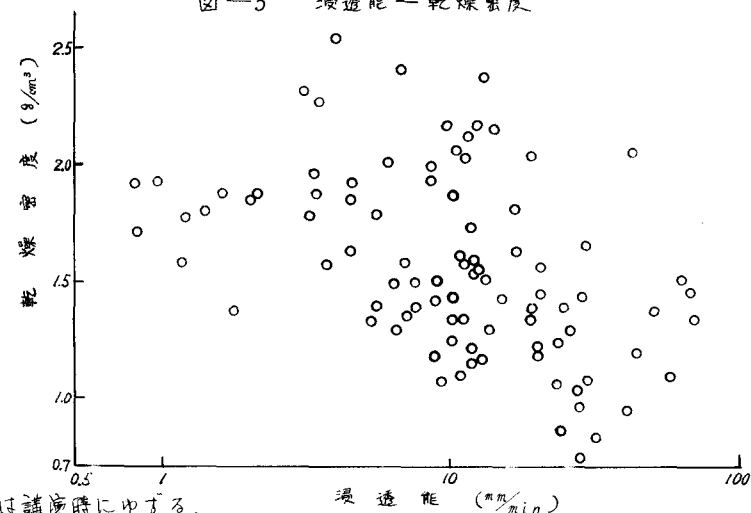


図-5 浸透能-乾燥密度



- 1) 田中茂: "六甲山系南側斜面の崩壊調査第1報" 関西地区研究報告 1968年3月 pp.57-88.
- 2) 田中茂: "豪雨に起因する斜面の浸食と崩壊の予想なかに対策の研究" 第13回土木工学シンポジウム, 土と水, pp.77-82
- 3) 田中茂, 片山邦康: "フロック状に破砕した基岩よりなる山腹斜面の豪雨による崩壊の研究" 第5回災害科学総合シンポジウム講演論文集, 1968年 pp.201-204.