

マサ土斜面における貫入試験と 物理的性質について

木村和弘

信州大学農学部 森林工学科

田辺芳宏

信州大学理学部 地質学科

I はじめに

マサ土は、風化残積土で花崗岩および花崗岩類似の岩石を基岩とする地域に広く分布している。これらの花崗岩類の占める分布面積は広く、関東ローム、シラスのようにある地域に限られて分布するというのではなく、わが国の各地に散在している。

この土が、関東ローム、シラスと並んで、わが国の代表的特殊土と云われるのは、花崗岩類の風化が、深層風化であり、また土自体が風化の過程にあり、変形変質をきたしていること、さらに地域によりまた同一地域内においても場所、深さにより変化していることなどから、土粒子が破碎されやすい、水に対する安定性が小さいなどの特徴を有しているためである。

特に地山を切り取りした場合、外気に接し、温度変化、雨水の浸透・溶脱により風化が促進され、土自体の自然にもつ固状態を失い、徐々に崩落していくなどのわずかな特徴をもっている。

このため、マサ土の性質を知るためには、地質学的特性を把握することが必要となっている。

これまで、マサ土に関する研究は多く行なわれ、特に風化については、松尾・西田¹⁾は、風化度の要素として長石粒子の変形からのマサ土の分類を、松尾・西田・山下²⁾は、切り取り斜面において粘土鉱物に変化し、間ゲキ率に差があることを示している。さらに現場における風化度・強度の測定法について、弾性波探査、貫入試験などの研究が行なわれている。

本文は、マサ土斜面のもつ強度および現場でのその測定法について検討し、さらに風化の過程での物理的性質の変化、粘土鉱物の変化について述べたものである。

II 調査地の地質概況

本調査地は、図-1に示すように高遠花崗岩地域のほぼ中央で、46年に開設した林道切り取り斜面である。

この高遠花崗岩は、上伊那郡高遠町入口から南北にのびる岩体で、領家帯花崗岩に属するが、近くの本曾駒花崗岩と同様に塊状岩としての分布を示し、他の領家帯花崗岩のような帯状構造あるいは、領家変成岩類に調和的な分布をしていない。

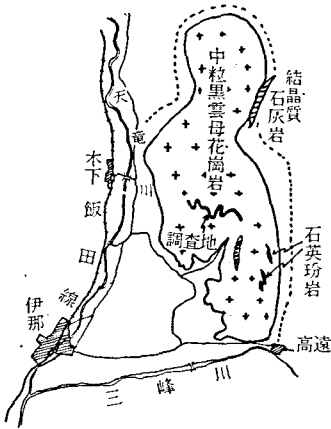


図-1 調査地

高遠花崗岩の新鮮な標本は、流水の洗掘が行なわれている高遠町入口付近で見られる。

これは中粒の黒雲母花崗岩で黒雲母の大きい独立した結晶が目立ち均質で、片状構状を示していない。このため領家の変成作用の終結した後に貫入した花崗岩であると考えられている³⁾。

しかし、調査地点においては、かなり風化が進んでいて、新鮮な標本を得ることは出来ないが、中粒の石英閃緑岩と花崗閃緑岩相が見られる。これらの花崗岩相には、随所に幅10cm位のものから15m前後の石英珩岩～石英斑岩の岩脈があり黒褐色に風化している。またアブライト質の岩脈も多く幅2cm程度の細いものから数mのものまで、沢沿いに見られる⁴⁾。

この岩体全体にみると、高遠町入口付近から、北方に行くにしたがって、かなり風化されていて、本調査地では、ブロック状の風化岩が数カ所に見られるだけで、高遠町入口付近に見られるような花崗岩特有の節理は全く見ることが出来ない。

さらに林道として開削された斜面は、ショベルで容易に掘削できる程風化が進んでいる。斜面の高さは、約2～6mで林道沿いの切り取り面全体についてみると、図-2のようになり、

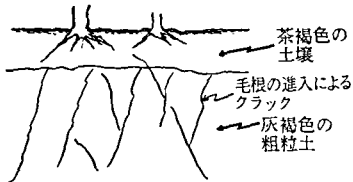


図-2 林道の切り取り面の状態

褐色の細粒土部分いわゆる土壌化された部分は、凸地形では20～30cmの厚さ、凹地形では50～150cmの厚さにおよんでいる。

灰褐色の粗粒土は、一見して岩石状となっている。褐色の細粒土と粗粒土との境界は、はっきりしていて漸移層は見られない。

Ⅲ 現場貫入試験

調査地のマサ土は、前節で述べたようにショベルなどで容易に掘削、破碎することが出来、このため乱さない試料の採取は、極めて困難である。それ故、現場において強度などを容易に測定する方法を考えねばならない。

これまで、鋳打銃を用いた貫入試験、水ジェットによる洗掘深による強度の測定など⁵⁾の研究がある。

3-1 試験方法

現場貫入試験は、長さ40cm、直径11mmの鋼棒を切り取り斜面に垂直に立て、1ポンドのロックハンマーで20回打撃したときの貫入量を求めた。同時に、貫入量と土壤硬度との関係を求めるため、中山式土壤硬度計を用いて測定した。

貫入試験を行なった地点は、35カ所で、このうち7カ所については、切り取り上端より下部に向かって、ほぼ1m間隔で行なうとともに、地山内部20cmのところの貫入試験も行なった。

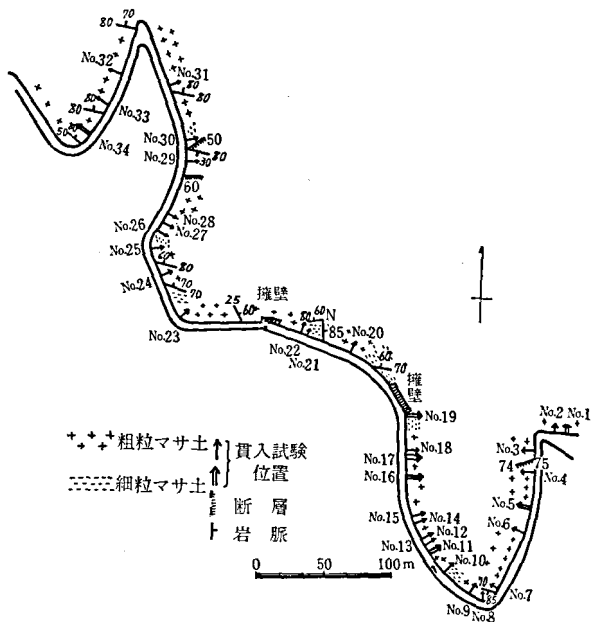


図-3 マサ土の分類と貫入試験位置

貫入試験位置とマサ土の分類を図-3に示した。

3-2 試験結果および考察

切り取上端からの距離と貫入量との関係を図-4に、全ての測点における貫入量と土壌硬度との関係を図-5に示した。

図-4から、測点11, 16, 16 (内部), 17, 19, 35および35 (内部)においては、斜面下

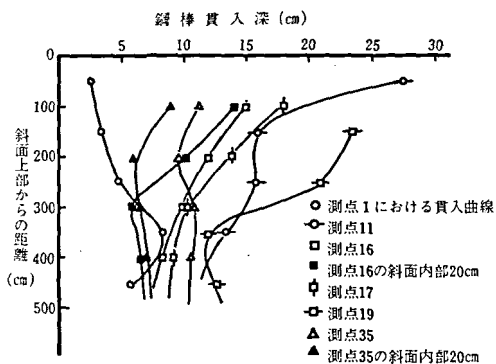


図-4 鋼棒貫入曲線

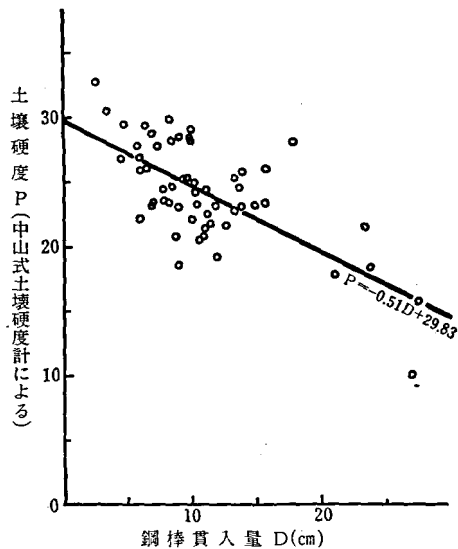


図-5 鋼棒貫入量と土壌硬度

部に向って貫入量が減少していることがわかる。特に、測点11, 17, 16 (内部), 35 (内部) では、上端より 200~300cm 以下では、貫入量の減少率が小さく、一定値となる傾向が見られる。

測点16と35についてみると、斜面表面から直接貫入した場合と、斜面表面の土を排除して内部20cmのところから貫入した場合とでは、その貫入量に明らかな差があり、両測点とも、内部20cmからの貫入量が減少している。

これは地山切取りによる土の拘束圧の除荷作用、さらには、切取り後の雨水の侵透、温度変化などの作用により、斜面表面での風化が促進され、土粒子間の結合がゆるんだためと考えることが出来る。

鋼棒による貫入量は、斜面の土のもつ全ての要素（せん断力、粘着力など）を包含した総合的な強度を表わすものと考えられる。しかし、この試験からは、直接強度定数を得ることは出来ない。

そこで現場への適用化という面から、中山式土壌硬度計による土壌硬度との関係を求めた。これにより、相関々係が見いだされれば、斜面のもつ総合的な強度は、土壌硬度をもって表わすことが出来る。

図-5から、土壌硬度 (P) と鋼棒の貫入量 (D) との間には、ある程度の関連性があることがわかった。

そこで両者について相関分析を行なったところ、相関係数 (r_0) は 0.662 であり、危険率 1% 以下で相関のあることが認められた。

そのときの回帰直線は、次式で示めされた。

$$P = -0.51D + 29.83 \quad (r_0 = 0.662, N = 56)$$

さらに、この鋼棒の貫入試験の問題点について述べると、この方法は、1ポンドのロックハンマー20回の打撃後の貫入量によって測定するものであり、そのためロックハンマーの打撃に対する打撃エネルギーが測定者によって変わる点が、一番の問題点である。そして、この点が測定誤差の主な原因となっているように思える。

今回の試験においては、測定者（打撃者）を1人にきめ、個人差による打撃エネルギーの変化するのをさけ、さらに同一測点においては、できるかぎり多くの測定を行なうことにより、誤差の生ずるのをさけることにつとめた。

今後の課題としては、手軽でしかも安全な方法、例えばプロクター・ニードルによる貫入試験や貫入エネルギー一定の何らかの方法を取らねばならないと考える。

現在二・三の試験方法について、調査を行なっている。

IV マサ土の物理性および粘土鉱物

4-1 物理的性質

現場貫入試験を行なったうち、測点35の地点において、切取り斜面の表面および表面に垂直な地山内部 20cm のところ（以下内部と呼ぶ）より採取した試料について物理試験を行なった。但し、現場乾燥密度（以下密度と呼ぶ）は斜面表面より 15cm 区間の平均密度である。

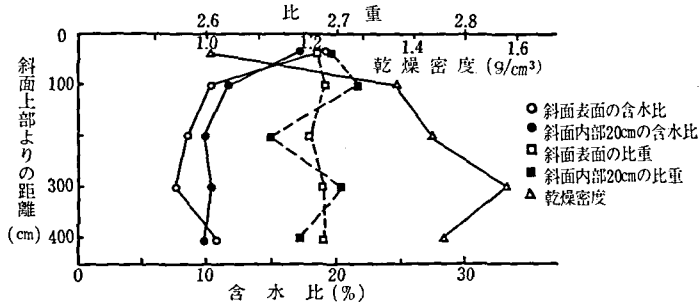


図-6 測点35の斜面における物理的性質

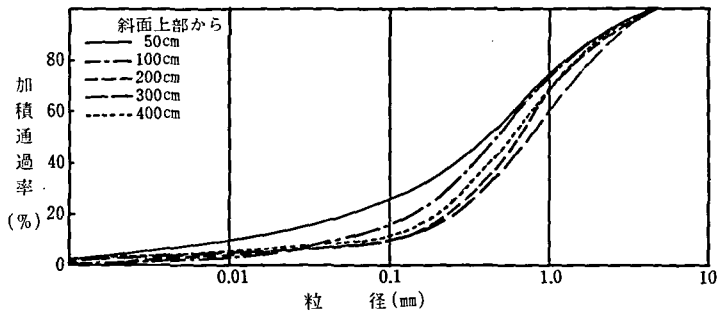


図-7 測点35の斜面表面土の粒径加積曲線

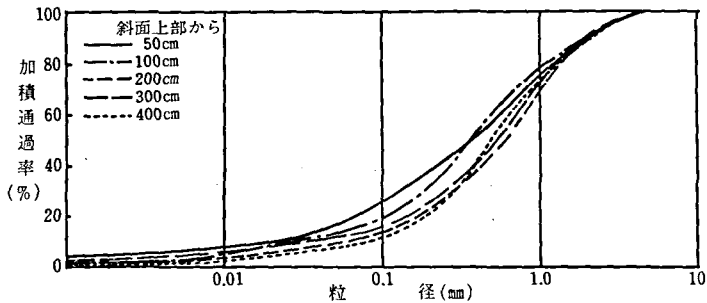


図-8 測点35の斜面内部20cmの土の粒径加積曲線

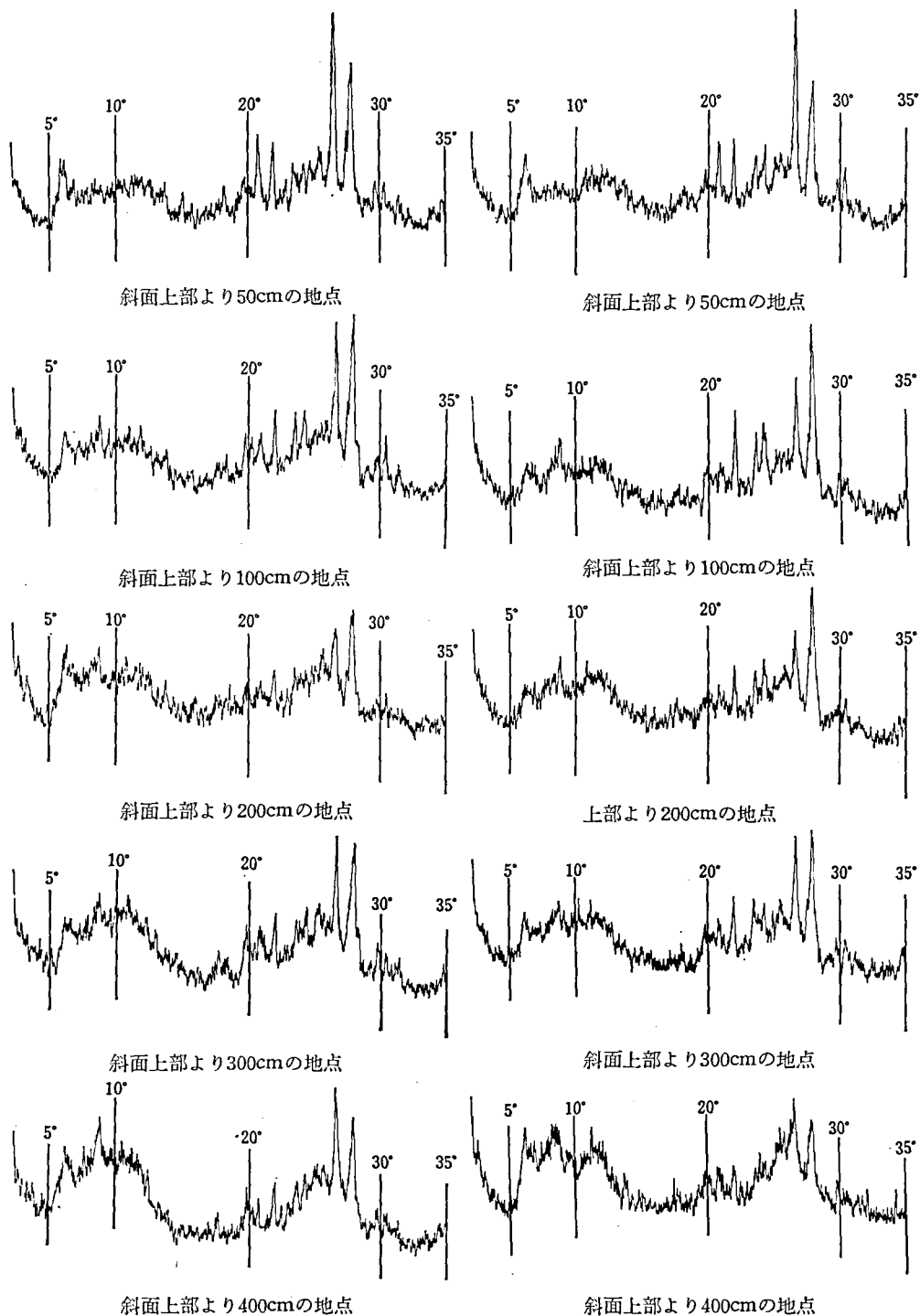
図-6には、切り取面上端よりの距離と自然含水比・土粒子の比重・密度の関係を、また図-7、図-8には、表面および内部の土の粒度分析の結果を示した。

土粒子の比重は、JIS A1202-1969により行ない、密度の測定は、直径5 cm、長さ15 cmの金属製中空サンプラーを用いて行なった。

図-6から、土粒子の比重は、斜面表面において、ほぼ一定の値を示しているが、内部では、かなりのばらつきを示していることがわかる。また自然含水比は、斜面上部より100 cmまではかなりの減少を示すが、それ以下では、ほぼ一定値となっている。

密度は、斜面上部より下方に行くにつれ、急激な増加を示している。しかし上部より400 cmのところでは低い値を示している。

これは、浸透した流下水が斜面下部の林道敷近くに集まり、たえず乾湿をくり返しているため、斜面の他の部分より風化が促進されて土粒子間のゆるみが生じているものと考えられる。



図一9 斜面表面の土のX線回折曲線

図一10 斜面内部20cmの土のX線回折曲線

図一7, 8の粒径加積曲線からは, 斜面上部のいわゆる土壌化された部分を除いて, 斜面上部から下部に向っての規則性は見られず, 斜面上部の方が粗粒であったり, 下部の方が細粒であったりして複雑にいりくんでいる。

4-2 粘土鉱物

物理試験を行なったのと同じ地点より採取した試料で, 粘土鉱物の同定を行なった。

試料は, 2μ 以下の粘土鉱物を取りだすために, 原土を鉄乳鉢で粉碎した後, 水篩により粘土鉱物を取りだした。それを自然乾燥させてX線分析用試料とした。

斜面表面および内部のX線回折曲線を, 図一9, 10に示した。

これらの図によると, 全ての試料中に石英, 長石などの一次鉱物の他に粘土鉱物と思われる 14\AA , 10.4\AA , $8\sim 7\text{\AA}$, 5\AA , 3.4\AA などの回折線が見られる。 14\AA 附近の回折線は, エチレングリコール処理を行なった結果, 消滅したので, クローライトであると考えられる。

10\AA 附近で見られる回折線は, セリサイトと考えられる。また 8\AA 附近の回折線は, ハロイサイトと考えられ, ほとんどの試料中には, クローライト, セリサイト, ハロイサイトが存在していることがわかった。

クローライト, セリサイト, ハロイサイトの記録紙上で表われたピーク高さでの相対的量を表わすと, 図一11, 12, 13のようになる。

この図からは, あまり顕著な傾向を示していないが, わずかにセリサイトの量が, 表面において, 内部より全体的に増大している。

図一9, 10において表われた石英, 長石のピークは, 斜面上部に行くにしたがい高くなっている。すなわち, 相対的には, これらの鉱物の量が増大しているものと考えられる。さらに斜面上部に行くにしたがい粒子の細粒化が進み 2μ 以下の石英・長石の鉱物が多くなったものとも考えられる。

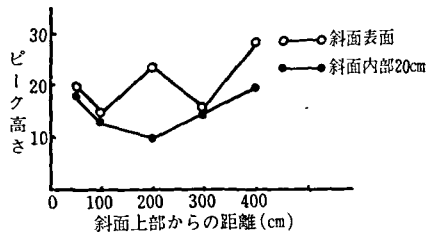
そこで, 図一9, 10の回折線の石英・長石の増減について検討するため, 石英の $3,351\text{\AA}$, 長石の $3,197\text{\AA}$ の反射ピークの面積比を求め, 相対量比曲線として図一14に示した。

この図から, 斜面上端より200cmのところでは, 石英の量が最大になり, それより上下方向では, 減少し, 長石量が増大していることがわかる。

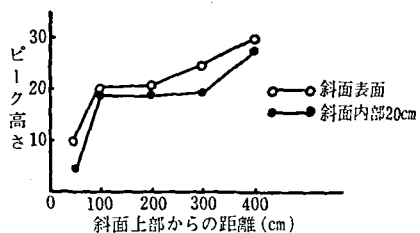
これは, クローライトのピーク高さをとった図一11と同様の傾向を示している。

また, このマサ土の基岩である高遠岩体の新鮮岩および切り取り斜面においてマサ土まで風化が進行せずブロック状塊となっている風化岩を採取して, 粉末としてX線分析を行なった。

全岩状態での新鮮岩・風化岩のX線回折曲線を図一15に, バイオタイトだけをとりだしたものについてのX線回折曲線を図一16に示した。



図一11 記録紙上に表われたクローライトのピーク高さ



図一12 記録紙上に表われたセリサイトのピーク高さ

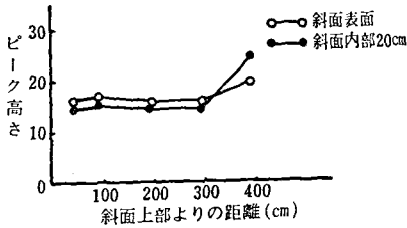


図-13 記録紙上に表われたハロイサイトのピーク高さ

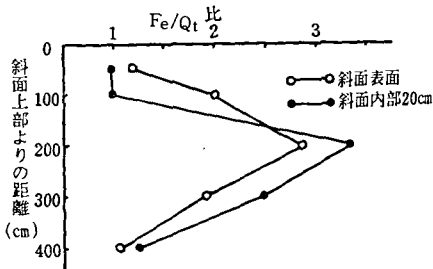


図-14 長石・石英比

図-15, 16の新鮮岩からは、完全に石英・長石の分離が出来ずわずかに、これらの鉱物の回折線がみられるほか、粘土鉱物と思われる8.8Å, 7.14Å, 5.07Åの回折線がみられ、ハロイサイト・クローライト・セリサイトの存在がうかがえる。

しかし、図-15, 16の風化岩からは、全く粘土鉱物が存在すると考えられる回折線ピークは見られなかった。

このように風化が進んでブロック状となっている部分において粘土鉱物の存在が見られず、未風化の新鮮岩にこのような粘土鉱物が存在するか、その理由については不明な点が多く、今後究明しなければならない課題である。

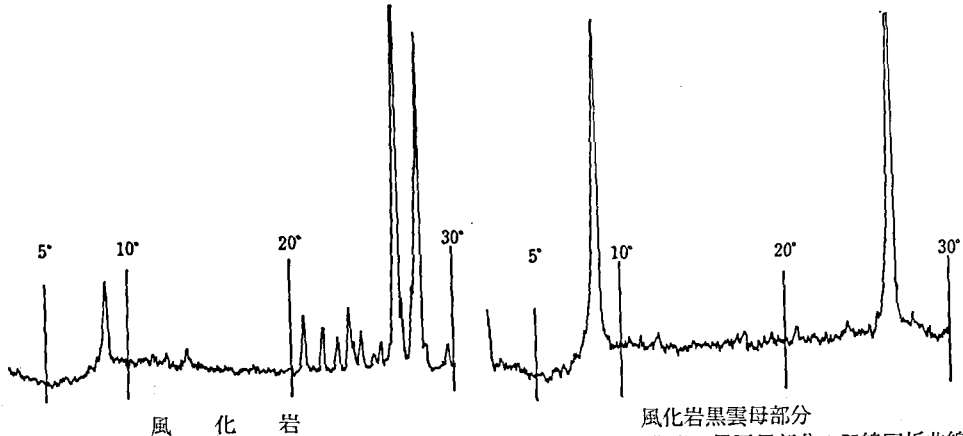
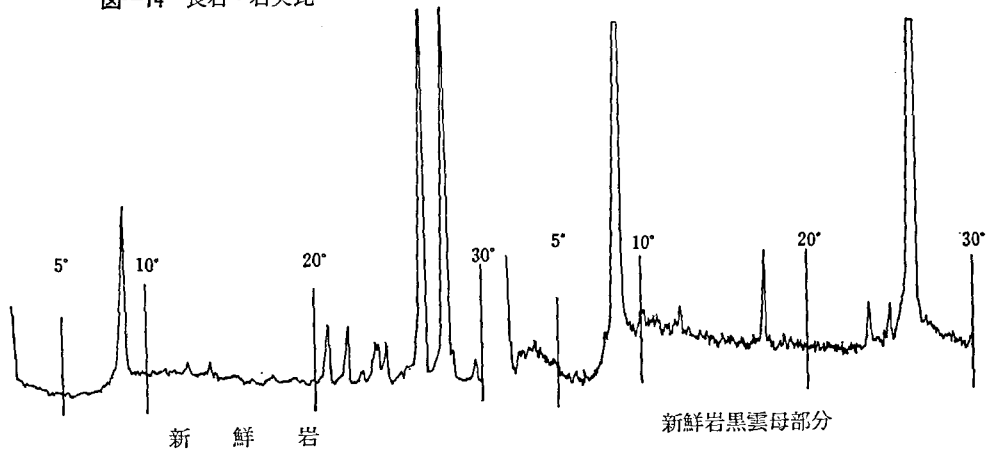


図-15 新鮮岩・風化岩のX線回折曲線

図-16 新鮮岩・風化岩の黒雲母部分のX線回折曲線

V 鋼棒貫入量と物理性・粘土鉱物との関連について

前節までに、鋼棒による貫入量および土の物理性・粘土鉱物について述べてきた。

貫入量は、斜面の上部より下部に向って減少し、また斜面表面と内部とを比較すると、内部の方が小さい値を示している。

このことは、斜面の切取りによって、風化が促進されるものと考えてきた。

また物理性のうち、自然含水比および密度について、前者は下部に向って減少を示し、後者は、下部に向って急激に増大することがわかった。

土粒子の比重は、表面では一定であるが、内部ではかなりのばらつきがある。さらに粒度組成では、表面および内部における差は見られず、一定の傾向は見られなかった。

このことから、貫入量との関連があるものは、自然含水比と密度の2つの因子である。しかし、自然含水比は、試料採取時の気候状態により変化し、常に一定の値を示さない。このため、今回の場合、密度だけが関連のある因子である。

さらに、粘土鉱物が存在すると思われる 2μ 以下の細粒分は、図-7、8に示すようにきわめて少ない。またX線分析の結果をみても、各部分に存在する粘土鉱物は、クローライト、セリサイト、ハロイサイトがほとんどであり、その他の粘土鉱物はほとんど得られず、その量は、絶対量で検量することが出来なかった。このため、今回の貫入量との関連は得られなかった。

VI ま と め

領家帯花崗岩に属する高遠岩体を基岩とするマサ土の切取り斜面において、鋼棒の打撃による貫入試験および斜面土の物理性・粘土鉱物について検討を行なった。

得られた結果をまとめると次のようになる。

(1) 貫入量は、斜面上部から下部に向って減少する。また斜面表面と内部とでは差があり、内部から打込んだ方が小さい値を示す。

すなわち、貫入量は、斜面の風化の度合を示している。

地山切取り後、斜面表面では風化が促進され、土粒子間の結合がゆるむ。

(2) 貫入量 (D) と土壌硬度 (P) との間には、次式で示すような相関が見られる。

$$P = -0.51D + 29.83$$

(3) 貫入量と斜面土の物理性との関連においては、主として密度との関連が強い。

(4) この地域のマサ土は、細粒分が極めて少なく、その細粒分中に存在する粘土鉱物は、主としてクローライト、ハロイサイト、セリサイトであり、切取り高さ4~5mの範囲では、その量の変化は、ほとんどみられない。

終りに本研究を行なうにあたり、たえず御指導いただいた本学部、酒井信一教授に深く謝意を表します。またX線分析、示差熱分析については、理学部 渡辺晃二講師、熊井久雄助手には、ひとかたならぬ御指導、御助力を得た。心から謝意を表したい。

さらに本研究の一部は昭和47年度文部省科学研究費によった。

参 考 文 献

- 1) 松尾・西田：マサ土粒子の物理，化学的性質について，第2回土質工学研究発表講演集，1967
- 2) 松尾・西田・山下：マサ土の工学的性質について，土と基礎，VoL. 15, No.3, 1967
- 3) 柴田編：日本岩石誌Ⅱ，朝倉書店，1969
- 4) 木村，他：林道に関する研究Ⅱ，信州大学演習林報告第9号，1972
- 5) 土質工学会：土質調査法，1971
- 6) 須藤：粘土鉱物，岩波全書，1969

(1973.6.30受理)

On the Penetration Test of Granite Soil Slope and it's Physical Properties

Kazuhiro KIMURA* and Yoshihiro TANABE**

* Dep. Forest Engineering, Fac. Agri., Shinshu Univ.

** Dep. Geology, Fac. Science, Shinshu Univ.

Summary

Granite soil is generally called "Masa-tsuchi".

"Masa-tsuchi" is formed by the in-situ decomposed granite.

Engineering properties of the soil depend on the degree of weathering and geological properties.

The purpose of this report are to find the relation between the degree of weathering and the strength of the soil.

And following experiments were performed;

- (1) the penetration test on the soil slope,
- (2) the physical test as follows: wet density, natural moiature content, specific gravity, grading and clay mineral.