

ボーリングコアを用いた火山性堆積軟岩の 吸水率と締固めにおける最適含水比 および粒度組成変化との関係

日笠基嘉・成岡 市

Relationship between Water Absorption of Volcaniclastic Sedimentary Soft-Rock Collected by Boring, Optimum Moisture Content and Grain Size Distribution Change in Compaction.

Motoyoshi HIKASA and Hajime NARIOKA

NODAI Research Institute, Tokyo University of Agriculture

Abstract

Fundamental properties, especially specific surface of rock, are useful in order to understand their secondary properties. In boring samples, their fine soil particles are usually lost, therefore another fundamental property instead of specific surface is needed for site investigation.

In this study, water absorption of rock, grain size distribution and compaction on volcaniclastic sedimentary soft-rock as called "Mizoguchi Tuff Brecca" were tested.

The results obtained are as follows :

1. Water absorption of rock collected by boring does not change significantly than that of test pit sample.
2. Higher value of water absorption of rock is observed in compaction as grain size distribution changes to fine side due to grain crushing.
3. As water absorption value of rock becomes higher, maximum dry density in compaction becomes lower.
4. Water absorption of rock is not only related to optimum water content but also maximum dry density in compaction, that is similar to specific surface.

Key words : Boring, Volcaniclastic Sedimentary Soft-Rock, Water Absorption of Rock, Grain Crushing, Maximum Dry Density, Water Content

1. はじめに

上木構造物の工事に際して対象地の地盤情報を得るためには、対象範囲にテストピットを掘削して試料を採取し、室内試験からこれを得る場合が一般的である。この方法は、地盤情報を得ようとする試験者がテストピットの断面を直接に観察でき、また採取された攪乱・不攪乱試料を試験に供することもできて、土(岩盤)の物理

的・工学的な性質を把握するには非常に有効な手段である。

しかし、テストピットの施工が簡単に行える深さは、掘削機械の有効作業範囲により規定されるが、深さ10mを超えることはない。これ以上の深さになると、矢板と梁により地盤の崩壊を防止する方法(支保工)を用いた調査坑の施工が必要である。この方法では、各深さで調査坑の断面を観察する際に、矢板の撤去と再設置が必

要であるため、調査に時間的、経済的な制約がある場合には問題が生じる。

これを補う方法として、ボーリングコアを採取する方法が一般に用いられている。近年、ボーリング技術にも向上が見られる。圧縮空気の中に界面活性剤を注入して、発生させた微粒な気泡を掘削泥水の代わりの掘削流体として利用する気泡ボーリングが開発されている。また、地盤を現位置の構造のまま凍結させてサンプリングする凍結ボーリングなど(保坂ら, 1993)に代表されるような砂地盤でも良質なコアリングを可能にする方法も開発されている。しかし、これらはいまだ特殊ボーリングの範疇であり、一般的には従来の方が多く用いられている。

ところで、ボーリングコアを直接に試験して把握できる物理的・工学的性質としては、コアリングの精度・採取量から考えて粒度、比重、一軸圧縮試験などである。特に、半固結～固結した火山性堆積軟岩などにおいては、通常マトリックスである細粒分が流失するため、コアの全量採取が困難であり、直接に物理的・工学的性質を把握することが不可能である。しかし、半固結～固結した火山性堆積軟岩より採取したボーリングコアを通じて大まかな物理的・工学的性質を把握することは可能である。

そこで、本研究ではボーリングコアを用いて確認できる物理的・工学的性質の中から、礫の吸水率を取り上げ、これと締め固め時の最適含水比および粒度組成変化との関係などを把握することを試みてみた。

2. 調査位置

調査位置は大山火山(主峰は弥山で標高1,711m)の火山噴出物が堆積して形成された尾根であって、ここには溝口凝灰角礫岩と呼ばれる角閃石安山岩礫(多井ら, 1984)を中心とした半固結～固結の火山性堆積岩が広く存在する。

この地層は時代区分的には新生代第四紀更新世中期に形成されたものである(大西, 1987)。周辺の露頭で見られるものは細粒分が極めて少なく、砂および礫が卓越していて、露頭表面に凹凸が目立つ様相を呈している。津久井(1984)によれば、溝口凝灰角礫岩は、大山火山体形成前期の泥流・礫層を中心とした堆積岩であり、すでに山体を構成していた噴出物が二次的に泥流等として流動・堆積したものである。このため、火山の噴出により降下した火山灰とマグマが地表近くで固結した火山岩のように成因の異なる噴出物が混在した堆積岩となっている。

調査地点と尾根続きである近傍で、道路建設のために

掘削、形成された法面での溝口凝灰角礫岩の特徴は図-1に示す通りである。鍵層となる黄灰色を呈す層(図の中央付近)より上位の層が調査対象となった溝口凝灰角礫岩であって、これは調査位置では水成堆積層が砂主体層-礫主体層-砂主体層の互層をなした厚さ2~5m程度のものと考えられる。この法面では、人頭大のものから直径2m程度のものまでの岩塊が観察されるが、多量に存在するものは直径10cm前後のものである。

3. 調査方法

ボーリング調査は溝口凝灰角礫岩で形成されている尾根の頂上付近で実施し、ボーリングによる採取コアを用いた試験と地層断面より直接採取の試料を用いたものとの比較のためにテストピットの掘削も行った。ボーリングにはφ66mmピットのものを用い、削孔深度は孔口から地下水位までの深度に相当する17mとした。削孔ではコア採取率を高めるために水を用いない無水掘進を基本とした。しかし、岩塊が多く存在して掘進が困難になる場合もあったため、注水掘進も併用した。また、ボーリング孔を利用して標準貫入試験を行い、他のデータとの関連を調べることもした。一方、テストピットはボーリング位置に隣接したところでバックホウにより掘削し、掘削深度は場所的制約と機械の作業能力上6mとした。標準貫入試験を実施する各深度では、試験用サンプルを30cm打ち込むためにコアの破壊が生じる。このため、打ち込み部分を中心とした上下10cm(合計50cm)を除外してボーリングコアの試験対象とした。掘進深度が増すにつれて注水掘進を用いる頻度が高くなって、採取コアでは予想通り細砂、シルト分などの細粒分のほとんどが流出してしまい、採取コアは細粒分に乏しく、礫分を主体とするものとなった。このため、ボーリングコアを用いた試験としては礫を対象とする比重および吸水率の物理的性質を測定することとした。礫のコアの長さに長短があるため、工学的性質としての一軸圧縮強度については実施しなかった。

ボーリングによる採取コアとそれに隣接したテストピットより採取した試料についての試験では尾根の頂上付近のみを対象とすることになるので、図-1に示したほぼ水平に堆積した水成層のうち、最上位の褐灰色中粒砂主体凝灰角礫岩層だけが吸水率に影響するのか、地表面からの深度がそれに影響するのか分からない。このため、尾根の中腹から裾部にかけてもテストピットを設けて、採取した試料を、尾根頂上のテストピットより採取した礫の吸水率と締め固め特性の関係に対比させる目的で、一連の物理試験と締め固め試験に供した。

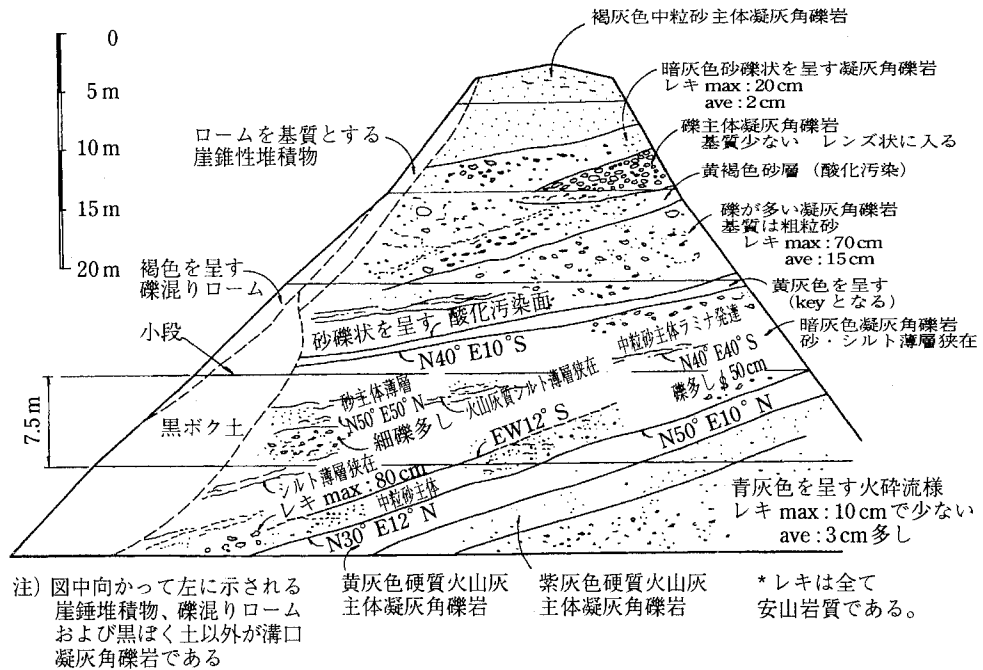


図-1 掘削法面での凝灰角礫岩の特徴

Fig. 1 The characteristic profile of Tuff Breccia at excavated slope.

4. 試験結果

1) ボーリングを用いた場合

ボーリングは合計4カ所で行われ、それぞれのボーリング位置に隣接してテストピットを設けた。それらの中から代表的なボーリングコアの採取深度と採取された礫の吸水率を図-2示す。これによると、表層近くで吸水率が高く、深くなるにつれて吸水率が低くなる事が分かる。また、図-2の中隣の隣接したテストピットから採取した礫の吸水率と比較してみると、両者での供試体の形状が異なるため一致はしないが、深さ方向にボーリングコアのものとはほぼ同様の傾向が見られる。この傾向は他の3カ所のボーリングコアのものについても同様であり、ボーリングコアの礫の吸水率の測定により、溝口凝灰角礫岩の礫の吸水率の傾向が把握できるといえる。図-3に前出のボーリングと同じ孔で実施したボーリング深度に対する標準貫入試験値を示すが、N値は表層近くの部分が深部よりも低い。

2) テストピットでの採取試料を用いた場合

中腹から山裾部分に設けられたテストピットおよび後日の工事の際のテストピット地層断面の下位に相当する掘削地層断面からそれぞれ採取した試料の層位関係は図-4に示す通りである。図中右端の試料番号1~8は後出

の各図のSAMPLE-1~8に相当する。なお、前出の図-1の鍵層となる黄灰色を呈す層は図-4に示した深度よりさらに下位の深度22mの位置で確認された。採取した各試料の上粒子の比重は2.68~2.72の値を示し、各試料間に大きな差異はない。

採取した試料の締固めでは、JIS-A-1210に相当するエネルギーで、非繰返し-非乾燥法を用いた。なお、サンプリングでは直径150mm程度までの礫も採取した。しかし、締固め試験で直径200mmのモールドを用いることとし、併せて最大粒径の統一も図るため、モールド直径の1/4程度(土質工学会, 1990a)の53mmを許容最大粒径とした。許容最大粒径を超える礫を含む場合の粒度調整試料には大きく3種類(土質工学会, 1990b)がある。それらは、許容最大粒径以上の大粒径粒子を除くせん頭粒度試料、原粒度材料の粒度分布を基準に粒度曲線上で相似形となるように人為的に粒度調整する相似粒度試料、および原粒度材料の粒度分布を基準に許容最大粒径以上に相当する粒子の重量分を、許容最大粒径からその1/5(あるいは1/10)の範囲に相当する粒子の重量を増やすことで置き換える礫補正粒度試料である。ここでは、礫の混入効果を再現する工夫をした調整方法(土質工学会, 1995)である礫補正粒度に試料を調整した。

締固め前後における粒度の変化を確認する目的で粒度

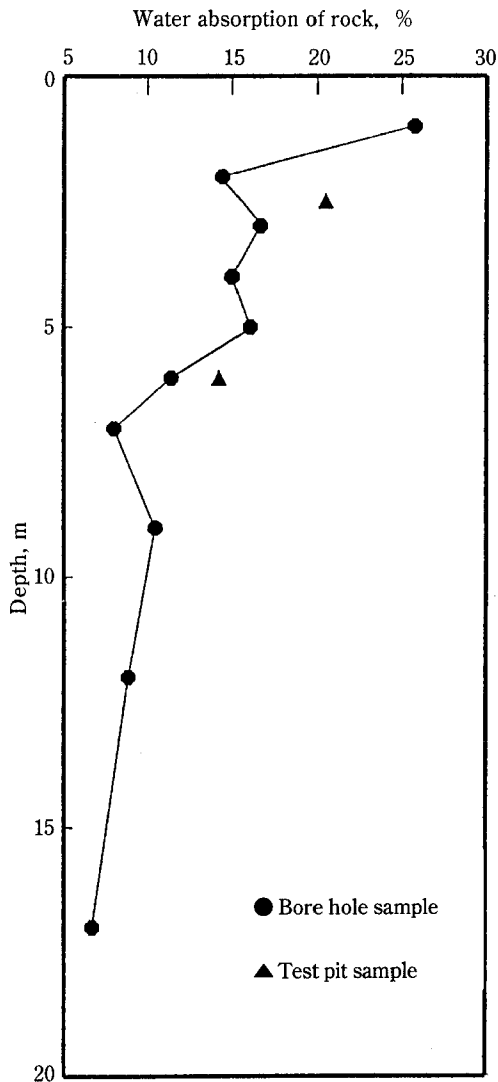


図-2 試料採取深度-吸水率

Fig. 2 Depth from the ground surface - water absorption of rock.

試験も行った。締固め前の粒径加積曲線は図-5に、締固め試験で得られた最大乾燥密度と礫の吸水率との関係は図-6に示す通りである。

各試料の採取深度は、SAMPLE-1からSAMPLE-8にかけて順次深くなるが、図-5によれば、花崗岩が現位置風化したマサ土のように、深度が深くなるに従って粗粒分が増す傾向は見られない。しかし、図-6によれば、礫の吸水率は地表から浅い位置にある地層で高くなる傾向がある。このことと先のボーリングを用いた場合の深度-礫の吸水率の関係とから、礫の吸水率の違いは地層の違いによるものよりもむしろ風化の強さの影響による

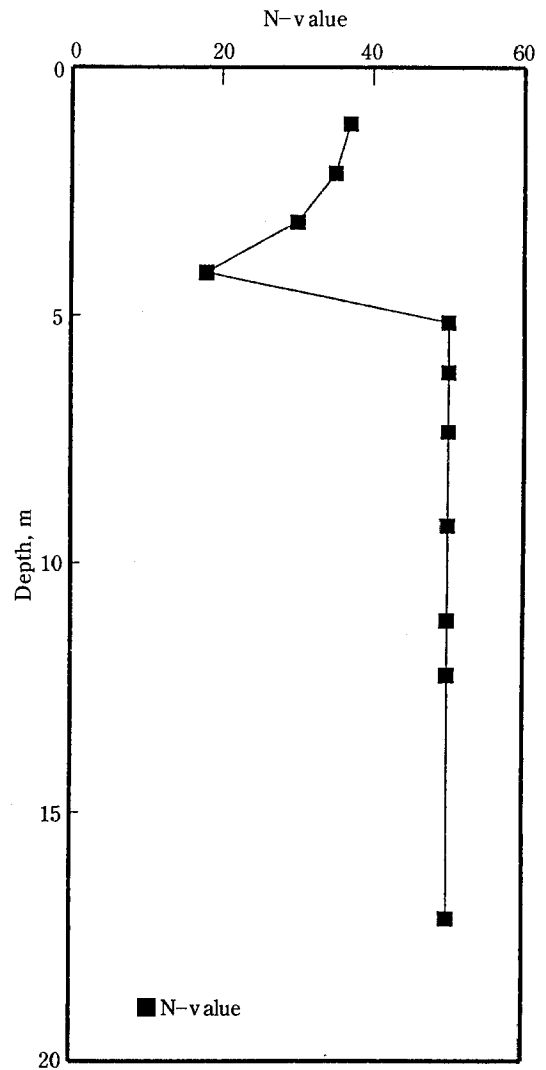


図-3 ボーリング深度-N値

Fig. 3 Depth from the ground surface - N value.

ものと推察される。なお、礫分のふるい分けでは、ナイロン製ブラシで礫の周囲に付着している土粒子をはき落す方法を用いた。これは、ふるいの上で何度も振動させる衝撃で礫が割れるのを防ぐためであった。

締固めでは、図-6のように、吸水率の増大とともに最大乾燥密度が低下する傾向にある。また、多くは粗粒分が多いほど最大乾燥密度値が高い傾向(河上ら, 1975)にある。図-6で特に注目に値するのは、採取深度は異なるが、ほぼ同程度の粒度組成を示すSAMPLE-2と6の2試料間の最大乾燥密度と吸水率との差異が見られる点である。締固め前後における粒度の変化には、SAMPLE-1と2で細粒分の増大が見られ、他のSAMPLE-3~8で

標尺 (m)	深度 (m)	層厚 (m)	柱状図	テストピット及び 工事掘削法面での状態	試料 (No.)	採取時期
	0.30	0.30		表土		
1	1.00	0.70		基質砂、シルト、レキ; AVE. 3cm	1	テストピット
2				基質細粒砂、レキ; AVE. 10cm 褐灰色	2	
3	3.00	2.00		基質粗粒砂、レキ; AVE. 10cm 暗灰色	3	
4	4.30	1.30		基質粒砂、レキ; AVE. 15cm 暗灰色	4	
5	6.00	1.70		基質粗粒砂、レキ; AVE. 5cm 褐灰色	5	
6	7.40	1.40		基質粗粒砂、レキ; AVE. 10cm 褐灰色	6	
9	8.90	1.50		基質粗粒砂、レキ; AVE. 20cm 暗灰色		工事による掘削
10				基質粗粒砂、レキ; AVE. 3cm 暗灰色		
13	13.00	4.10		基質粗粒砂、レキ; AVE. 10cm 赤褐色	7	
14	14.20	1.20		基質粗粒砂、レキ; AVE. 30cm 赤褐色	8	
15						
16						
17						
18	18.10	3.90				
19	20.00	1.90				

図-4 試料採取地点での柱状図

Fig. 4 Material column of Tuff Breccia : each column and material, from 0m to 8.9m in depth was observed and sampled in the test pit, and from 14.2m to 20m in depth was observed and sampled during dam construction works for dam's materials excavation.

はそれが見られなかった。これらのうち、締固め前に同程度の粒度組成を示した SAMPLE-2 と 6 の 2 試料の締固め前と最適含水比における締固め後の粒径加積曲線は図-7 に示す通りである。図-7 によれば、●で示される締固め後の試料の SAMPLE-2' では細粒分が増大して

いる。

5. 考 察

- 1) 風化指標としての吸水率
農地造成、フィルダムなどに代表される盛上構造物の

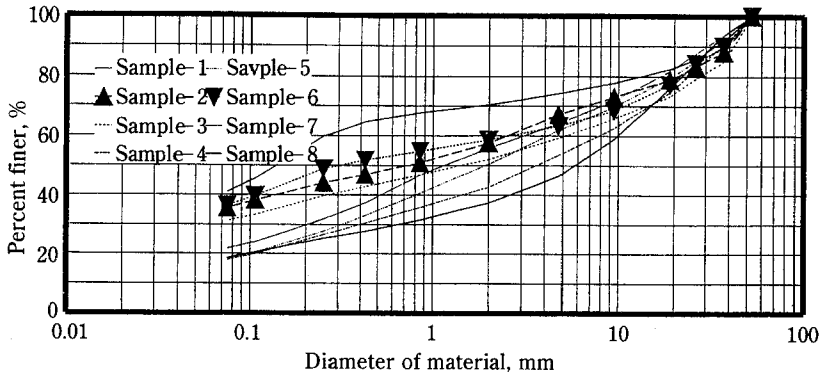


図-5 試料の粒径加積曲線

Fig. 5 Grain size distribution curve of test pit samples.

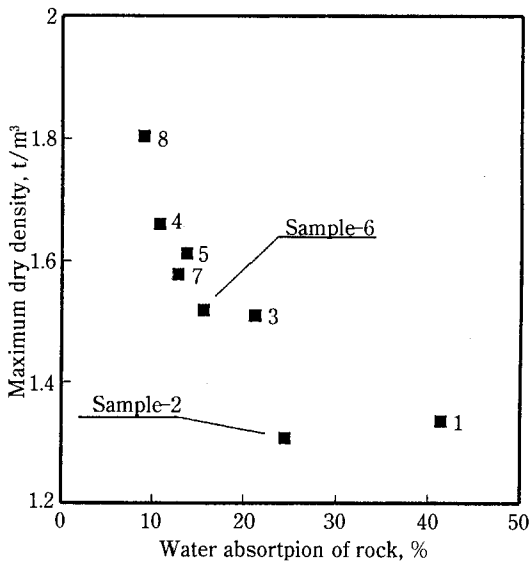


図-6 最大乾燥密度-吸水率

Fig. 6 Relationship between maximum dry density and water absorption of rock.

設計,あるいは道路設計における切上斜面の安定性の検討に際しては,事前調査として締固め特性,せん断特性を把握するための試験が通常実施される。これらは,土の二次的性質と呼ばれ,許容最大粒径,施工含水比,締固めエネルギーなどの一定の外的条件下で決まる土の三相構造に規定される。

これに対し,外的条件に左右されない一次的性質とは,比重,粒度,比表面積などに代表されるその土特有の基本的性質を言う。

上の二次的性質はその一次的性質に依存していると言われている。たとえば,締固めにおいては,細粒土は粗粒土に比べ最適含水比が高く,最大乾燥密度が低くなる

傾向(河上ら,1975)にあり,また,三軸圧縮においては,細粒土は粗粒土に比べて内部摩擦角が低いが,見かけの粘着力が大きくなることなどはよく知られている。締固めにおける粒度と最大乾燥密度および最適含水比との関係は,前出の図-6におけるSAMPLE-1,3,4,5,7,8の試料に関しては本研究でも細粒分の多いもので最大乾燥密度が低くなる傾向が見られるが,SAMPLE-2と6の2試料はこの傾向に適っていない。

マグマが冷えて固まった母岩が現位置で風化し,土壌化したものが風化残積土である。それらのうち,特に花崗岩の風化物であるマサ土は特殊土と呼ばれ,近畿地方を中心に広く分布すること,一般に地表に近い部分から風化が進行するため,同じ母岩でありながら深度方向に細粒土から粗粒土へと変化するなどで,一次的性質が幅広く変化することから,これに関する研究も多い。

たとえば,穴瀬ら(1990)は,マサ土の一次的性質のうちの比表面積を風化の指標として,その増加に伴って二次的性質である最大乾燥密度が減少して最適含水比が増加し,水分保持特性も増加する傾向にあることを指摘し,その主因として黒雲母を代表とした有色鉱物の風化を挙げている。

マサ土以外の風化残積土については青柳(1991)が,母岩の異なる4種類の火成岩風化残積土に関して一次的性質である比表面積を指標とした研究を行っている。この研究では,コンシステンシー特性で比表面積の増加に伴い液性限界,塑性限界および塑性指数の値が増加し,締固め特性で比表面積の増加に伴い最適含水比が高くなる傾向にあることが明らかにされている。

これらの風化残積土は,花崗岩に代表される火成岩が現位置で風化してそのまま残留したもの,あるいはそれらが崩落して堆積したものであり,試験に供した試料の生成母岩は同一である。

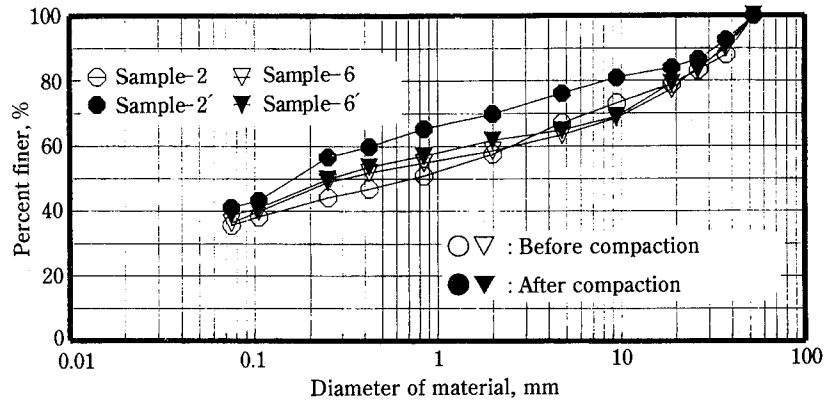


図-7 締固めによる粒度の変化

Fig. 7 Grain size distribution curve before-after compaction test.

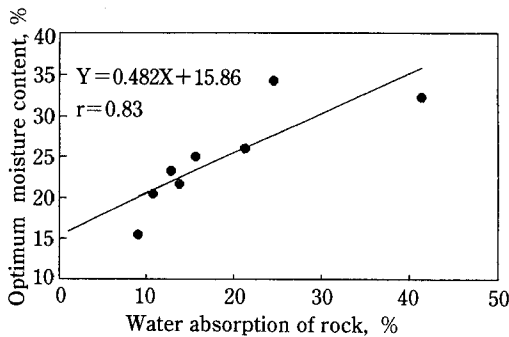


図-8 最適含水比-礫の吸水率

Fig. 8 Relationship between optimum moisture content and water absorption of rock.

一方、本研究の対象となった溝口凝灰角礫岩は、火山岩である安山岩質の礫と火山灰という成因の異なる構成物が湖沼で二次的に堆積して生成されたものであり、上述の風化残積土とは異なる。このため、溝口凝灰角礫岩の一次的性質を把握するにあたり、安山岩質の礫を対象とするか、あるいは火山灰と細粒化した安山岩とによって構成されるマトリックスを対象とするかによって、成因とともに対象粒径も異なることとなる。しかし、一般的な送水ボーリングで後者のマトリックスが流出してしまう場合が多いため、これの把握においても前者の礫を対象とせざるを得ない。

ところで、穴瀬ら(1990)や青柳(1991)の研究により、比表面積の増加に伴って保水性が増大し、また、比表面積の増加に伴い締固めの最適含水比が増加する傾向にあることが認められている。このことは、一次的性質である比表面積が二次的性質の指標となることを示しているが、本研究のボーリングコアにおけるように、土粒

子の流出がある場合には、比表面積をその指標として用いることが困難である。

比表面積は、構成上粒子の表面の凹凸の形状で、また同じ形状であれば粒径の小さいものでその値が大きくなる。礫の吸水率においては、割れ目や多孔隙により礫の内部の凹凸が多い形状で、また礫の表面に同じ厚さで割れ目や多孔質な層を持つ礫では粒径の小さいものでその値が大きくなるといえる。また、本研究では礫の吸水率の増大に伴って最大乾燥密度の低下傾向が認められた。このことから、比表面積に代わる一次的性質として礫の吸水率を用いることとし、これと最適含水比との関係を求めてみた。図-8に最適含水比と礫の吸水率との関係を示す。

青柳(1991)によれば、比表面積-最適含水比の関係に前者を対数目盛として高い正の相関($r=0.95$)が認められている。このデータの母集団が正規分布するとして、筆者は母集団の相関係数の95%信頼区間を求めてみた。これは $0.876 \leq r \leq 0.980$ となっており、高い相関を示した。一方、図-8では通常目盛ではあるが、吸水率-最適含水比の関係において正の相関($r=0.83$)が認められ、このデータの母集団の相関係数の95%信頼区間は $0.302 \leq r \leq 0.968$ となっており、比表面積と最適含水比との関係ほどは高くないものの、線形性が認められた。一次的性質である礫の吸水率が二次的性質である締固め特性を把握する一つの指標となり得ることが分かった。

2) 締固めによる粒度組成の変化

締固め前に同程度の粒度分布を示していたSAMPLE-2と6の2試料のうち、吸水率の高いSAMPLE-2では、礫分の範囲ではあるが、締固め後に細粒な礫の増加が認められた。この増加は乾燥密度の低下に影響を与えた要因の1つとして考えられる。

締固め前後における粒子破碎の影響については、松尾ら (1976) のマサ土の粒子破碎による締固め密度の増加、また谷口 (1979) の粗粒火山灰の粒子破碎による締固め密度の増加などの指摘がある。

本研究では、粒子破碎が認められた SAMPLE-2 において、これと同程度の粒度組成で粒子破碎が認められなかった SAMPLE-6 に比べ、最大乾燥密度が低くなった。この理由としては、松尾ら (1975) もマサ土と川砂との比較で指摘しているように、「突固め回数が少ない場合、突固めエネルギーの多くは土粒子の破碎に消費され、主に強さの弱い土粒子が破碎されて細粒化する」ことがあげられる。SAMPLE-2 では礫の吸水率が高いことから、礫の吸水率を高める潜在的亀裂や発泡後の空隙が多く、そのために礫は外圧に対して脆弱な骨格構造をなして、突固めエネルギーの多くが礫の破碎に消費されたと考えられる。このことが SAMPLE-2 と SAMPLE-6 との最大乾燥密度の差を生じさせた原因と推察される。

礫の中の微細な構造については現段階では詳細が把握されていない。しかし、本研究の結果から見て、礫中に存在すると考えられる潜在的な亀裂、割れ目および発泡後の空隙などは、吸水率の大小によりその多少を表現することができる。吸水率の大きい、すなわち多孔性が脆弱な礫の骨格構造が破碎されることにより、締固めエネルギーが消費され、結果として礫の細粒化と低い締固め密度がもたらされたと結論づけられる。

6. ま と め

粒子破碎を生じるような礫の微細構造については、今後研究が必要である。本研究においては、次のことが明らかになった。

水成堆積した安山岩質の礫をもつ溝口凝灰角礫岩のボーリング調査および締固め試験から、一次的性質である礫の骨格構造のうち、割れ目、亀裂および発泡後の空隙などの脆弱な部分が破碎されることにより、二次的性質である締固め密度が高まらず、JIS A 1210 でのエネルギーは礫の破碎にその多くが消費される。また、礫の脆弱な骨格構造を形成する亀裂、空隙の多少が礫の吸水率によって表現できる。

これは、締固めによる盛土構造物の施工に際し、対象とする礫層の工学的な取り扱い回数が少ない場合の事前調査で、礫層の二次的性質を把握する指標として礫の吸水率が有効であることを示すものである。

終わりに、本研究を行うに当たってご協力をいただい

た中国四国農政局大岡山麓開拓建設事業所江府支所および(株)三祐コンサルタンツ技術第1部の皆さま、ご指導をいただいた東京農業大学総合研究所の穴瀬眞教授に対し、厚く感謝の意を表する。

参 考 文 献

- 青柳省吾 (1991): 風化残積土の比表面積と二次的性質の関係について—風化残積土の工学的性質に関する研究 (4)—, 農業土木学会論文集, No. 151, pp. 1~7
- 穴瀬 眞・全 禹亭・加藤 誠・高橋 悟 (1990): 農地造成地のマサ土の理工学的特性, 農業土木学会誌, 58-1, pp. 39~44
- 大西郁夫 (1987): 日本の地質「中国地方」編纂委員会編: 日本の地質 7・中国地方, 共立出版, pp. 103
- 多井義郎 他 (1984): 中国地方上土地質図解説書, 中国地方上土地質図編纂委員会編, 国土開発技術センター, pp. 69
- 河上房義 他 (1975): 土の締固め 3. 2 土質, pp. 22~29, 鹿島出版会
- 谷口秀男 (1979): 締固めによる粗粒火山灰の粒子破碎が締固め密度に及ぼす影響, 土と基礎, Vol. 27-6, pp. 29~34
- 津久井雅志 (1984): 大山火山の地質, 地質学雑誌, 90 (9), pp. 643~658.
- 土質工学会 (1990 a): 土質試験法, 突固めによる土の締固め試験, 土質工学会, pp. 201~214.
- 土質工学会 (1990 b): 粗粒材料の現場締固め, 2. 3. 1 室内試験粒度, 土質工学会, pp. 81~82.
- 土質工学会 (1995): 堆積軟岩による盛土の工学的諸問題に関するシンポジウム発表論文集, 土質工学会, pp. 9~10.
- 保坂雅夫・小池豊 (1993): 地質調査ボーリング—その歴史と最近の技術の傾向, 土と基礎, vol. 41-9, pp. 13~18.
- 松尾新一郎・沢 孝平 (1975): マサ土の突固め試験における土粒子破碎について, 第10回土質工学会研究発表会講演集, pp. 369~372.
- 松尾新一郎・福本武明 (1976): マサ土の締固め特性に及ぼす粒子破碎の影響, 土質工学会論文報告集, Vol. 16, No. 4, pp. 93~102.

受稿年月日: 1996年8月7日
受理年月日: 1997年1月31日