

締固め土の粒子破碎と侵食性

田熊勝利*・河野 洋*・肥山浩樹*

平成2年5月31日受付

Particle Breakage and Erodibility of Compacted Soil

Katsutoshi TAKUMA*, Hiroshi KONO* and Hiroki HIYAMA*

Weathered soils of granite (decomposed granite soil) which were found in the northern part of Kyushu were investigated from the viewpoints of grain size distribution and splash erosion, considering some nature of decomposed granite soil and breaking characteristics of particles of weathered granite by external force such as compaction.

Value of ignition loss of decomposed granite soils is effective for determining degree of weathering, and effective also for evaluating the characteristics of decomposed granite soils. By the breaking of particles of decomposed granite soil, gravel fraction in sandy soil which contains fine-grained fraction, shows decrease and also increase of sand fraction, and sandy soil shows decrease of sand fraction and increase of fine-grained fraction. In either way, tendencies of change are directed to increase of fine particles. Moreover, by the breaking of particles, a tendency of concentration in direction to certain fine-grained fraction was observed. This tendency was observed also in specific surface area, and the existence of certain limiting region of particle breakage by compaction is estimated. In the second place, in the case of splash erosion, rate of splashing shows increase following particle breakage, and showed decrease of coefficient of permeability.

緒 言

花崗岩質岩石が風化して生成されたマサ土は、顕著な粒子破碎特性を有することは一般に知られている。マサ土は突固めにより粒子破碎し、粒度組成に変化をもたらすばかりでなく、他の諸性質にも変化をもたらす。また、

マサ土の分類において、工学的性質に関連づけるためには工学的分類が必要である。この工学的分類の重要な要素としては、風化度、密度、コンシステンシー、粒度組成、強熱減量、保水性等が考えられる。本報では、特にマサ土の二、三の性質と粒子破碎による飛散侵食について検討した。試料としては、北部九州地方に分布する13

* 鳥取大学農学部農林総合科学科生存環境科学講座

* Department of Environmental Science, Faculty of Agriculture, Tottori University.

種類の花崗岩風化土（マサ土）を用いた。これらのマサ土は大部分が白亜紀に属すると考えられる。

実験内容

試料の採取地を第1表に、物理性並びに他の2, 3の

第1表 試料土の採取地

試料名	採取地
唐津	唐津市後河内
前原	福岡県前原町瀬戸
志摩	志摩町
筑紫野-1	筑紫野市吉木
"-2	上西山
須恵	福岡県須恵町
福間	福間町
小倉南-1	北九州市長野
"-2	" "
行橋-1	行橋市高来
"-2	" "
荒尾	荒尾市府本
玉名	玉名市築地小袋

第2表 試料土の物理性及び2, 3の性質

試料名	礫分 (%)	砂分 (%)	シルト分 (%)	粘土分 (%)	比重	強熱減量 (%)	風化度	ファイネス ナンバー (%)	ρ_{dmax} (g/cm ³)	W_{opt} (%)
唐津	24.5	55.4	15.6	4.5	2.694	4.8	0.284	28.1	1.767	16.3
前原	17.0	68.6	10.9	3.5	2.758	3.9	0.085	29.9	1.714	17.5
志摩	44.0	45.2	4.9	5.9	2.690	4.3	0.398	27.8	1.736	18.2
筑紫野-1	18.9	69.0	9.6	2.5	2.669	2.6	0.044	23.2	1.854	14.7
"-2	24.0	59.7	11.8	4.5	2.677	5.3	0.088	30.6	1.700	19.3
須恵	33.2	55.4	7.9	3.5	2.654	2.1	0.326	21.5	1.858	14.6
福間	14.0	55.5	17.0	13.5	2.711	4.0	0.022	28.0	1.815	16.6
小倉南-1	18.8	74.8	5.3	1.1	2.703	2.1	0.068	24.3	1.750	17.4
"-2	20.7	71.8	5.2	2.3	2.695	2.7	0.108	24.6	1.774	16.8
行橋-1	22.1	71.4	4.5	2.0	2.728	2.0	0.074	24.2	1.818	15.5
"-2	17.2	74.1	5.4	3.3	2.707	2.9	0.011	26.6	1.705	18.1
荒尾	40.1	55.3	2.1	2.5	2.648	2.8	0.246	24.3	1.766	16.6
玉名	10.4	67.5	9.6	12.5	2.646	3.4	0.019	24.2	1.780	16.3

マサ土の二, 三の性質

乱したマサ土の物理的風化作用として風化の度合の目安として風化度がある。風化度を次式にて求める³⁾。

$$\text{風化度} = G_s \cdot \frac{\eta}{100}$$

性質を第2表に示す。実験は4.76mmふるい通過試料に対し、突固め前後についての飛散侵食実験、比表面積試験、透水試験及び粒度分析試験を行った。その他に、強熱減量試験、フォールコーン試験を行った。

飛散侵食実験²⁾は模擬降雨装置（雨滴径2.4mm, 雨滴の落下高150cm), splash-cup (容積40ml, 直径5cm)並びに回転テーブルを使用して行った。実験は、風乾土を splash-cup に詰め、24時間飽和した後、約15cm water suction にて湿潤させ、その後降雨にさらした。模擬降雨装置は水頭によって降雨強度をコントロールすることができ、それに伴う雨滴径の変動は雨滴径の0.5%のみであった。また回転テーブルは供試土面の同一場所に連続して落下する雨滴と回転による影響を防ぐため1分間に1回転とした。

比表面積試験¹⁾はBET法（水蒸気）を用いた。実験はデシケータ内の硫酸水溶液上の平衡水蒸気圧下で吸着させた試料の質量を測定する方法である。

透水試験は100mlの採土円筒を用いる簡易型透水試験器にて行った。

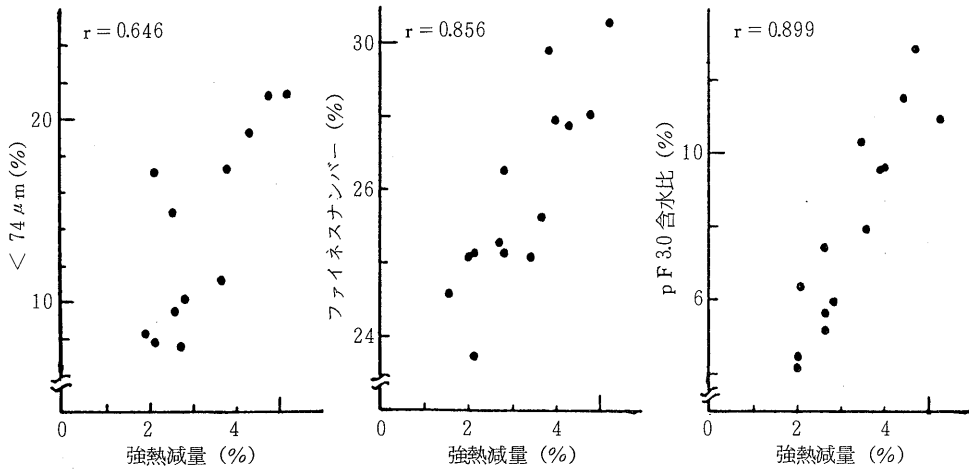
強熱減量試験は土質工学会基準JSF T6によった。

ここに、 η はマサ原土の4.76mm以上の礫含有率(%)であり、 G_s は土粒子の比重である。

13試料土の風化度は、0.398~0.011の間にあり、かなり風化が進んだ試料土であることが分かる。強熱減量値は、風化度を判定する方法として有効であると言われ、

マサ土の工学的性質を示す一指標である。一般に乱したマサ土では、強熱減量値は2~8%の範囲にあると考えられる。北部九州のマサ土では、強熱減量値は2.0~5.3%の範囲に属している。いま、強熱減量値と他の工学的性質との関係を第1図に示す。強熱減量値と3因子は有意水準1%で有意ではあるが、なかでも2土壌因子ファイネスナンバーとpF3.0含水比の値がそれぞれ相関係数0.856, 0.899となり、かなり有意な正の相関を示してい

る。強熱減量値はいずれも水分量に関する土壌因子と高い相関を示し、粒径分とはあまり有意ではない。また、ファイネスナンバー値は、液性限界の一点法から求められたものであり、一種の土の硬さを表すと思われる。故に、強熱減量値がファイネスナンバーと相関係数で0.856の相関があることは、この値が水分を含んだ土のもろさを表現しているとも考えられる。



第1図 強熱減量と細粒分, ファイネスナンバー, pF3.0含水比

粒子破碎の評価

従来、マサ土の締固めによる粒子破碎量の評価としては、色々提案されているが、確固たるものはないのが現状である。本報では、粒子破碎の評価の因子として粒度組成の変化に着目し、粒子破碎量 (S.I.)³⁾, 破碎係数 (S.P.), 破碎百分率及び破碎率を選択し、それぞれの因子は以下の式にて求める。

$$\text{粒子破碎量} = 2(P_2' - P_2) - (P_1' - P_1)(P_1' + P_1 - 2)$$

ここに、 P_1 と P_2 は破碎前の1回目と2回目の加積通過率の百分の1。同様に P_1' と P_2' は破碎後のものである。

$$\text{破碎係数} = \frac{1 \times 10^6}{\sum \frac{\text{各階級の粒径百分率}(\%)}{\text{各階級の粒径平均直径}(\text{cm})}}$$

$$\text{破碎百分率} = \frac{\sum \text{各階級における破碎量}(\text{g})}{\text{全乾土量}(\text{g})} \times 100(\%)$$

$$\text{破碎率} = \frac{\text{突固め前のS.P.} - \text{突固め後のS.P.}}{\text{突固め前のS.P.}} \times 100(\%)$$

また、飛散侵食における締固めによる粒子破碎量の評

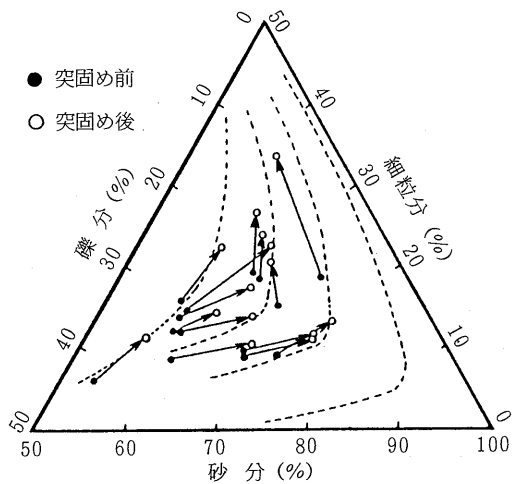
価は、飛散比の変化率として表す。ここで、飛散比は以下のように定義して求めた。飛散容積(飛散乾燥質量/乾燥密度)が同一な雨滴径と速度をもつ降雨強度に対し直線的関係がある⁴⁾。試料土が実験前約15cmの water suction にて十分に湿らされていたので、飛散は供試土の表面を雨滴が打つと同時に起こると考え、飛散容積と降雨強度の関係を示す直線は原点を通ると仮定した。各試料土の直線の回帰係数の単位は、mm/mlとなり水の単位体積当りの飛散した単位土塊となるので、この回帰係数を飛散比と称した。突固め前後の飛散比と破碎係数を第3表に示す。

(1) 粒子破碎による粒度分布, 比表面積の変化

突固め前後の粒度組成の変化を第2図に示す。第2図にて矢印で示すように細粒分混じり砂 [S-F] のものは、礫分が減少し、砂分が増す方向へ、砂質土 [SF] のものは、砂分が減少し、細粒分が増す方向へと変化していく。これらを無理なく点線で連ねていくと、全てが細粒分となるような領域へと集結する傾向にある。この終局の領域は、突固めという手段によって粒子破碎を生起しえな

第3表 突固め前後の飛散比及び破碎係数

試料名	突固め前		突固め後	
	飛散比	破碎係数	飛散比	破碎係数
唐 津	45.5	181.7	134.2	134.2
前 原	43.3	212.2	72.3	170.7
志 摩	34.8	284.9	72.9	229.3
筑紫野-1	22.9	238.0	89.9	171.6
" -2	44.4	212.8	68.0	166.2
須 恵	38.3	234.3	67.2	195.2
福 間	41.8	194.4	66.7	180.8
小倉南-1	67.2	294.8	102.1	250.8
" -2	56.8	292.5	89.6	246.2
行 橋-1	46.3	318.6	85.8	276.3
" -2	38.4	297.4	97.2	220.2
荒 尾	30.7	427.8	85.5	304.9
玉 名	37.5	181.7	102.7	124.3

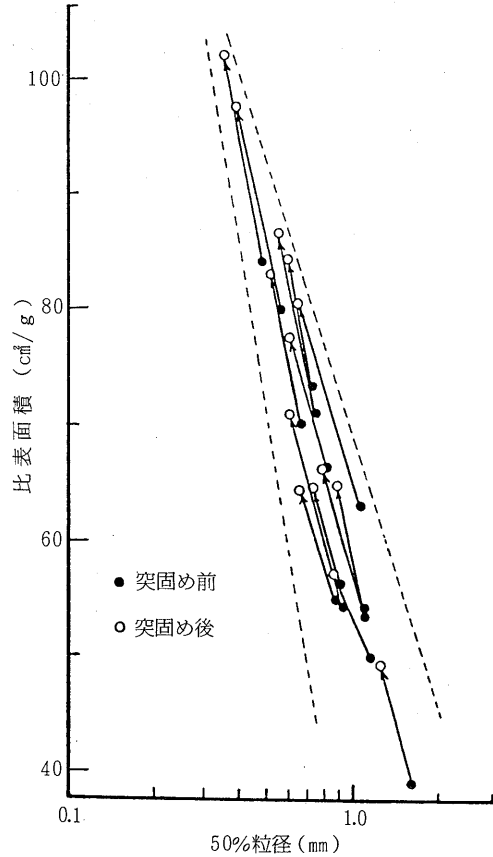


第2図 突固めによる粒度組成の変化

い領域と考えられる。

次に、突固め前後の粒度組成の変化を第3図に50%粒径と比表面積との関係から示す。突固めることにより粒子破碎を起こし、50%粒径が減少し、この50%粒径の減少とともに、比表面積は増大している。そして、人的手段による粒子破碎の限度として粒子破碎と無縁な領域が存在するようである。

以上のことから、マサ土粒子は、一定の方向性をもって粒子破碎し、粒子破碎のパターンは、風化度、原土の



第3図 50%粒径と比表面積

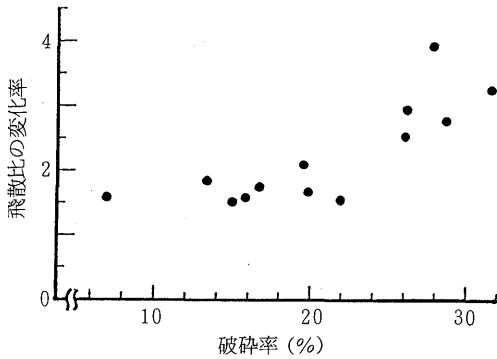
諸性質によらず一定であることが推定される。

福本³⁾は、土の粒度分布を対数正規型と仮定し、土粒子の破碎がその個数と表面積の増大を招くという事実に基づき、破碎前の表面積 S_w (cm²/g) に対する破碎後の表面積 S_w' の比が、粒子破碎量 (S.I.) と近似的に次のように表現できると考えた。

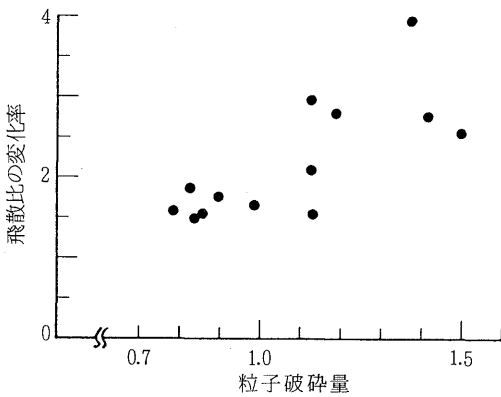
$$\frac{S_w'}{S_w} = (\sqrt[3]{2})^{s.i.}$$

(2) 粒子破碎と飛散

マサ土の粒子破碎が飛散侵食に与える影響を考える。第3表に示すように、飛散比は粒子破碎の影響を受け、各試料とも増加を示している。特に、吉木マサ土においては4倍近くの増加量を示している。粒子破碎の影響による飛散比変化率と突固め前後の破碎係数の差を突固め前の破碎係数で割った破碎率との関係を第4図に示す。突固めに伴う粒子の細粒化により、破碎率が増加すると飛散比変化率も増す傾向を示している。破碎係数は単位



第4図 破碎率と飛散比の変化率との関係



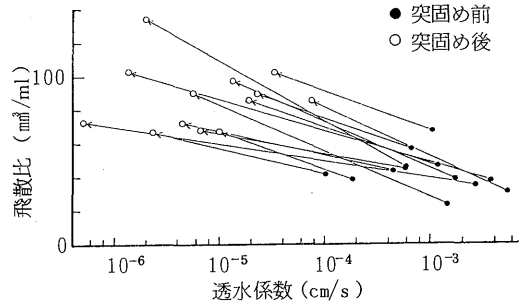
第5図 粒子破碎量と飛散比の変化率との関係

土量当りの全表面積の逆数に比例する値であり、係数の値が小さいと表面積が増していることを示し、破碎率の値が大きいほど、粒子が細粒化していることを表している。

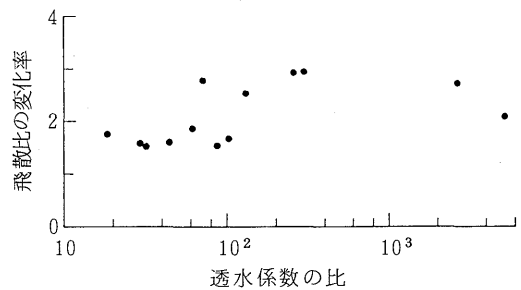
第5図に粒子破碎量と飛散比変化率との関係を示す。これらの関係も破碎率と飛散比変化率と同様な傾向を示している。このことは、粒子破碎量がもともと比表面積から導き出されたものだからである。

この他に、突固め後の粒度分析における各階級での残留土を、突固め前のそれに換算し、残留土量の差をもって飛散比変化率との検討を加えたが、相関係数0.718となり、他の因子に比べ少し有意ではなくなる。やはり粒子破碎の推定には、土粒子の比表面積に関係する因子がよいようである。しかし、マサ土の粒子破碎における飛散を推定する場合には、これら粒度組成に関する因子だけではなく、他の諸因子も評価しなければ十分とは言えない。

第6図は突固め前後の飛散比と透水係数の関係を表し



第6図 突固め前後の透水係数と飛散比



第7図 透水係数の比と飛散比の変化率

たものである。図より明らかなように、一般に突固めによって透水係数は 10^{-2} cm/s程度低下し、飛散比は約2倍に増加していることがわかる。マサ土においては粒子破碎により、透水係数が低下し、飛散比は増加することが分かる。マサ土においては、粒子破碎により粒度組成あるいは比表面積において、ある一定の方向性、パターンが示されていた。このことから、飛散比の変化率においても何らかの方向性があるものと考えられる。いま、第7図に突固め前後の透水係数の比（透水係数の低下度）と飛散比変化率を示し比較すると、ある透水係数の低下度にて飛散比変化率のピークを生じることが分かる。すなわち、粒子破碎に伴う飛散比変化率の増加には限度があるものと思われる。また、マサ土において突固めを行い試料の破碎が起こると、飛散量が増加する。このことは最も飛散し易いといわれている $600 \sim 105 \mu\text{m}$ 画分が生成されることが、飛散量を増加させることの一因と考える。

総 括

わが国における花崗岩質風化土は日本の国土面積の13%を占め、1種類の岩種では最大の面積といわれ、全国各地に分布している。有名な岩体としては、神戸以西の六甲山、岡山、広島、山陰に分布する広島型花崗岩類と中部地方から九州西部に分布する領家型花崗岩類がある。

本報は、北部九州に分布する花崗岩質風化土マサ土を取り上げ、マサ土の2、3の性質と突固めという外力による風化花崗岩の粒子破碎特性について、粒度組成、飛散侵食の面から検討を加えたものである。

マサ土の強熱減量値は風化度を判定するうえで、そしてマサ土の性質の特徴を評価するうえで有効であると考えられる。マサ土の締固めによる粒子破碎により、細粒分混じり砂のものは、礫分が減少し、砂分が増す方向へ、砂質土のものは、砂分が減少し、細粒分が増す方向へと変化し、いずれも細粒化の傾向を示している。また、粒子破碎によりある細粒分へと集結するような方向性が認められた。この傾向は比表面積においても認められ、突固めによる粒子破碎の限度となる領域が存在することが分かった。

次に、飛散侵食においては、粒子破碎に伴う飛散量の増大、透水係数の低下を示した。この飛散量の増大にお

いても透水係数の低下との兼ね合いから、ある限度が考えられた。今後、マサ土の締固めによる粒子破碎量の評価と共に、飛散侵食における粒子破碎の影響について定量化へと研究を進めていきたい。

引用文献

- 1) 土壤物理性測定法委員会編：土壤物理性測定法。養賢堂、東京（1972）P.78
- 2) 藤川武信、内田勝利：土性と飛散侵食について。農土論集、90 1-8（1980）
- 3) 福本武明：締固めたマサ土の密度に関する粒子破碎の影響。土質工学会論文報告集、12（3）55-63（1972）
- 4) Mazurak, A.P. and Mosher, P.N. : Detachment of soil particles in simulated rainfall, *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 32（5）716-719（1968）