土木学会論文集 No. 475／Ⅲ-24, pp. 11~18, 1993. 9

土の粒径分布に関する検討

福本武明*

本論文では，先に提案したまさ土の粒度式の適合性を，まさ土と生成過程を異にする各種自然土（しらす，レス土，噴砂，月の土）や建設用粒状材料（河川堤体用土，舗装用骨材標準粒度，等）あるいは粒度変化現象（粗粒化，細粒化）などを対象に調べている．その結果，この粒度式は文中で扱った種々のタイプの粒状土の粒径分布に良く適合することから，まさ土に限定せず一般に土の粒度式と見なして差し支えないこと，粒度変化現象の考察にも利用できること，などを明らかにしている．

Key Words : *grain size distribution, granular material, natural soil*

1. 緒　言

土の粒度は，土の工学的諸性質との関連において重要である．特に，粗粒土においては，支配的要素といっても過言でない．それ故，昔から粒度を扱った研究は非常に多い[1]．それらの研究成果は，土の工学的分類法の発展にも寄与した．分類法といっても，それは農業の分野における土壌分類[2]と全く視点を異にするし，また粉体工学の分野などにおいて必要上，種々の粒度式が発達している[3]が，こうした事情とも趣を異にしている．と言うのは，土質工学の分野で扱う土質が実に多種多様であるからであって，それ故に粒度分析結果とそれより求まる粒度特性値を用いて土を分類し，対象土の工学的諸性質を推測するという手段が採られてきた[4]．こうした先達の努力と方向は正しく，今日，この工学的土質分類法が土質工学という学問に1つの特色を与えており，実務上少なからぬ便益をもたらしている．

しかし最近，土の分類によって対象土の工学的性質がある程度判別できたとしても，それだけでは不十分で，さらに深く粒度と工学的諸性質との関係を追究したい場合があり，勢い構成土粒子の粒径分布全体を問題にせざるを得ない場合が生じてきている．そのような場合，他の分野で使われている粒度式（例えば，コンクリート骨材分野のFuller式やTalbot式，“粉砕”を扱う分野のRosin-Rammler式など）の助けを借りて，あるいは確率統計学上の対数正規分布などを援用して，考察を進めるケースが見受けられる[5)~10)]．

ところで，「土質工学」が対象とする多種多様な土質の中でも，特にまさ土のような花崗岩質風化残積土の場合には，河川等で運ばれ堆積したいわゆる運積土と違い，その粒径分布にかなり明瞭な規則性が認められる．著者は，長年の観察から得たこうした認識を背景に，土の起源である岩石の風化過程を数学的に考察して，1つの粒度式を誘導した[11]．その後，この粒度式の適合性を，わが国の多数のまさ土の実測粒径加積曲線に当てはめて検証し，良好な結果となることを公表してきた[12)~14)]．

本論文は，まさ土で成り立つこの粒度式が，まさ土と生成過程を異にする各種自然土（しらす，レス土，噴砂，月の土）や建設用粒状材料（河川堤体用土，関西国際空港埋立土，ロックフィルダム材，舗装用標準骨材粒度）などに対して適用可能かどうか，また河床材料の粗粒化や泥岩の細粒化などの粒度変化現象にも適用可能かどうかについて検討を行ったものである．土の粒度に関するこの種の研究は，土質工学の分野では希少であるが，提案式がまさ土に限らず多種多様な土質材料に精度良く使えるならば，そして又，粒度変化の現象の解釈などにも便利に使えるならば，今後，特に粒状土の工学的諸性質と粒度との関係を解明する上で重要な役割を果たし得る，という点において大きい意義を有する．

2. まさ土の粒度式

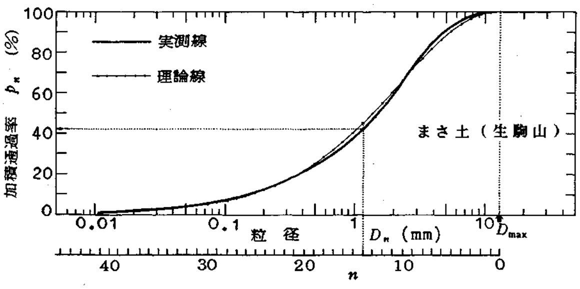
式（1）で示されるまさ土の粒度式は，岩石の風化過程を等比級数的に割れると仮定して誘導したものである．

$$p_n=1-\sum_{i=0}^{n-1}\binom{m+i-1}{m-1}\cdot(1-r)^m\cdot r^i \cdots\cdots\cdots\cdots (1\,\mathrm{a})$$

$$n=\frac{\log\left(\dfrac{D_{\max}}{D_n}\right)}{\log\lambda} \cdots\cdots\cdots\cdots (1\,\mathrm{b})$$

式中，p_n は最大粒径 $D_{\max}$ から数えて n 番目のふるい目開き D_n を通過する加積通過率，λ はふるい比（相隣るふるい目開きの比，$\lambda>1$），そして m と r は粒度曲線の形状を決めるパラメータである．〔誘導過程：文献 14）参照〕

* 正会員　工博　立命館大学教授　理工学部土木工学科
（〒603　京都市北区等持院北町 56-1）



図―1 粒度式の当てはめ（A法）

上記の式は，もともと花崗岩のまさ化という細粒化現象を念頭に置いたものであったが，以下の議論ではこうした式の出所にとらわれず，式（1）を1つの確率密度関数として捉え，まさ土以外の土の粒度曲線や粗粒化を含む粒度変化現象などに当てはめ，曲線近似の度合いを調べてゆくことにする．

3. 粒度式の当てはめ

まさ土以外の自然土などの実測粒度曲線に式（1）を当てはめる場合，次の2通りの当てはめ方法が考えられる．（1）実測最大粒径 D_{max} の位置を図上に固守して当てはめる方法[14)]（文中ではA法と呼ぶ）と，（2）D_{max} の図上の位置を任意に変えて粒度曲線を描き，当てはめ精度の最良の曲線を選び出す方法（B法）とである．

（1） A法

いま，図―1のような実測粒度曲線（太線）が与えられたとしよう．この図において，まず横軸の n の位置を決めなければならない．実測最大粒径 D_{max}，ふるい比を Tyler Series を想定して $\lambda=\sqrt[4]{2}\,(\fallingdotseq 1.189)$ とすれば，式（1b）より次の関係，すなわち，

$$n=13.2877\log\left(\frac{D_{max}}{D_n}\right) \quad \cdots\cdots(2)$$

があるから，この式（2）を用いて，図のように横軸の粒径 D_n と重ね合わせて n scale を目盛ることができる．こうして決められた n の位置に対応する縦軸の加積通過率 p_n を実測線上から読み取る．そして，残留率 q_n を求める．

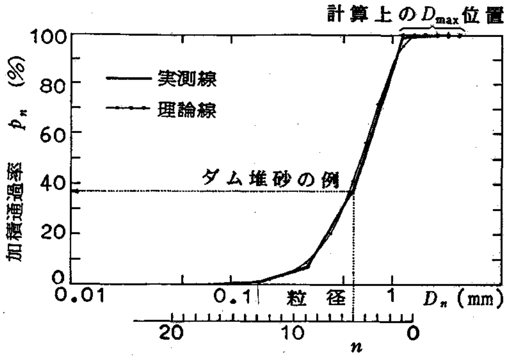
次に，平均 μ と分散 σ^2 を次式より求める．

$$\left\{\begin{aligned}\mu&=\frac{\sum q_n\cdot n}{\sum q_n}\\ \sigma^2&=\frac{\sum q_n\cdot(n-\mu)^2}{\sum q_n}\end{aligned}\right. \quad \cdots\cdots(3)$$

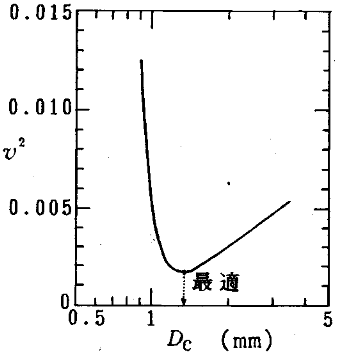
一方，理論的に次式の関係[14)]が成り立つから，

$$\left\{\begin{aligned}\mu&=\frac{mr}{1-r}\\ \sigma^2&=\frac{mr}{(1-r)^2}\end{aligned}\right. \quad \cdots\cdots(4)$$

これより，粒度式中の m と r が次式のように求まる．



図―2 粒度式の当てはめ（B法）



図―3 当てはめ精度

$$\left\{\begin{aligned}m&=\frac{\mu^2}{\sigma^2-\mu}\\ r&=1-\frac{\mu}{\sigma^2}\end{aligned}\right. \quad \cdots\cdots(5)$$

以上のようにして算定した m と r を式（1）に代入して計算すれば，図―1の理論線（細線）が得られる．

（2） B法

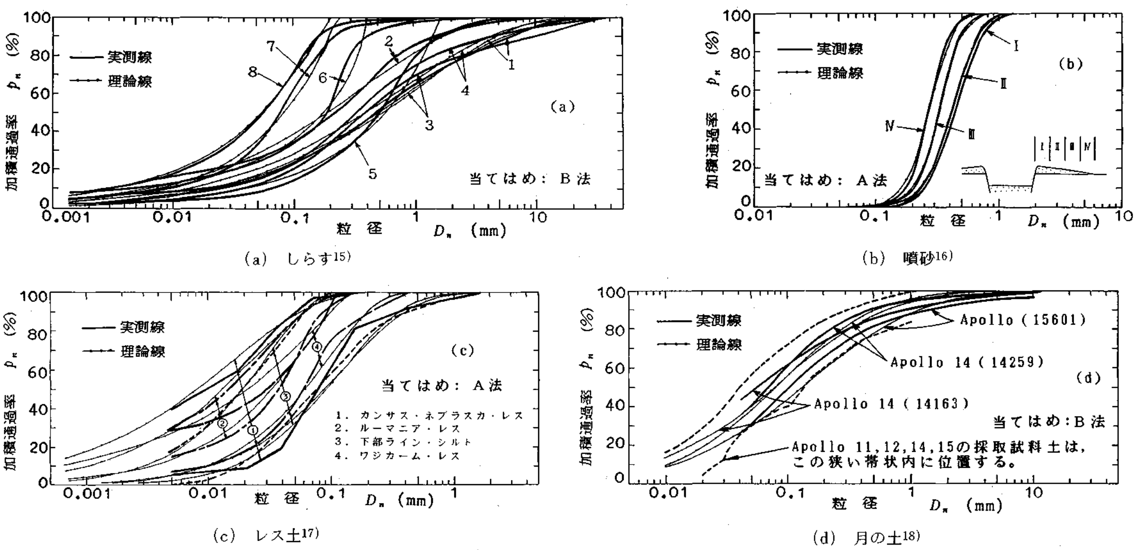
実測最大粒径 D_{max} の位置を固守せずともよい場合には，B法によればよい．まず図―2に示すように計算上の $D_{max}\,(=D_c)$ の位置を幾つか適当に設定する．

次に分布の平均 μ と分散 σ^2 を同一値に保ち，各 D_c 値に対応する m_c と r_c の値を求める．そのためには，次の関係，すなわち，

$$\left\{\begin{aligned}\mu_c&=\mu+\frac{\log\left(\frac{D_{max}}{D_c}\right)}{\log\sqrt[4]{2}}\\ \sigma_c^2&=\sigma^2\end{aligned}\right. \quad \cdots\cdots(6)$$

を利用して，μ_c，σ_c^2 を求め，次式から m_c，r_c を求める．

$$\left\{\begin{aligned}m_c&=\frac{\mu_c^2}{\sigma_c^2-\mu_c}\\ r_c&=1-\frac{\mu_c}{\sigma_c^2}\end{aligned}\right. \quad \cdots\cdots(7)$$



(a) しらす[15)]　(b) 噴砂[16)]　(c) レス土[17)]　(d) 月の土[18)]

図―4　各種自然土の粒径加積曲線

表―1　生成過程の異なる各種自然土

試料名称		生成過程	採取場所、等（引用文献）
a	しらす	火山性降下堆積物	九州南部（文献15）
b	噴　砂	地震時噴出物	日本海中部地震（1983）、青森県車力村(文献16)
c	レス土	風　成　土	米国中部、ルーマニア、リビア、等(文献17)
d	月の土	月面環境下の生成物	アポロ採取試料（文献18）

これらの値，すなわち D_c, m_c, r_c の値を式（1）の粒度式に代入して計算すれば，あとはA法と同様の方法で理論粒度曲線が得られる．

こうして描かれた理論曲線と実測粒度曲線との隔りの度合を調べるために，ここでは次のような v^2 なる量

$$v^2=v_{10}^2+v_{30}^2+v_{50}^2+v_{70}^2+v_{90}^2 \cdots\cdots(8)$$

を定義し，それを最小にするような曲線を捜して最適粒度曲線とする．式中，例えば v_{10} は理論曲線の10％径 D'_{10} と実測曲線の10％径 D_{10} との比の対数をとったもの，すなわち

$$v_{10}=\log\left(\frac{D'_{10}}{D_{10}}\right)$$

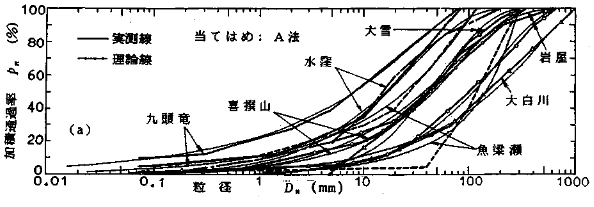
である．以下，v_{30}, v_{50}, v_{70}, v_{90} も同様である．

この方法により D_c の位置を変えて v^2 の変化を調べた具体例を，図―3に示す．図から明らかなように，この例では D_c（計算上の D_{max}）=1.38 mm 付近で当てはめ精度が最良となり，このときの理論曲線が図―2中の細線である．

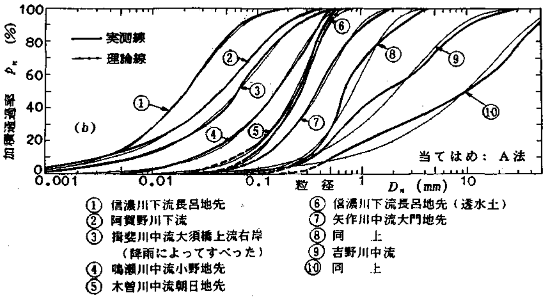
4.　まさ土以外の自然土への粒度式の適用

まさ土で成り立つ式（1）がまさ土以外の各種自然土に使用可能かどうかについて検討する．まさ土と成因を異にする自然土として，ここでは表―1に示すような4種類，すなわち火山活動に由来する堆積物のしらす[15)]，地盤の液状化に伴い地中から噴出した噴砂[16)]，世界各地に分布する風積土のレス土[17)]，そして隕石の衝突が主たる成因とされる月面の土[18)]を取り上げる．図―4（a）～（d）に，これらの粒径加積曲線（太線）を示す．（a）図は南九州地方のしらすの代表的な粒度曲線であり，粗礫を含む粗粒土から細粒土に属するものまで存する．（b）図は日本海中部地震時の噴砂の粒度曲線の一例で，比較的粒のそろった均等粒度のものである．（c）図は4つの地域（図中に記載）のレス土の粒度曲線で，粒度にかなり広い変化の幅をもつがいずれも細粒分含有率50％以上の細粒土である．（d）図はアメリカのアポロ計画で宇宙飛行士が持ち帰った月面の土の粒径分布で，どれも非常に狭い帯状内に位置し粒度のよいシルト質砂か砂質シルトに属する[18)]．

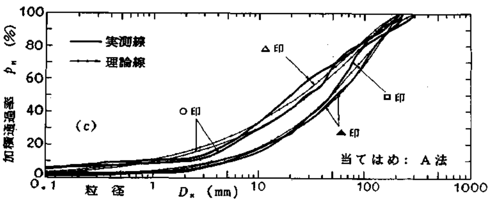
これら4種の自然土の実測粒径加積曲線に，3節で述べた方法で式（1）の当てはめを行う．その際，例えば原図上で（c）図のように75 μm以下の曲線が描かれていない場合，実測線を無理なく延長して滑らかな推定線を引いて行った．また（d）図では原図上 D_{max} の位置が不定のため D_{max}=1 000 mm とおいて行った．当てはめの結果得られた理論粒度曲線は，図―4中に細線で示してある．図から，理論線（細線）と実測線（太線）との間に部分的な隔たりが認められるものの，またしらすの場合（当てはめ：B法），D_{max} の図上位置が実測値と異なっているものの，全体として適合性の良いことが分かる．このことは，まさ土以外の土にも，まさ土の粒度式が使えることを示唆するものである．なお参考までに，理論曲線を描くときに用いた粒度パラメータ（式（1）中の D_{max}, m, r）の数値を一覧表にまとめて文末に示しておく．この一覧表中の数値からも，土の成因の違い



（a） フィルダム用ロック材[19]

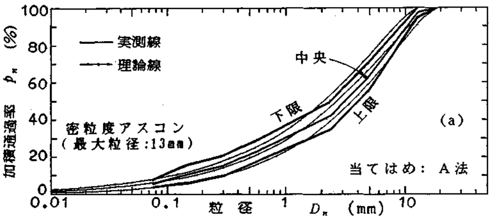


（b） 河川堤防堤体用土[20]

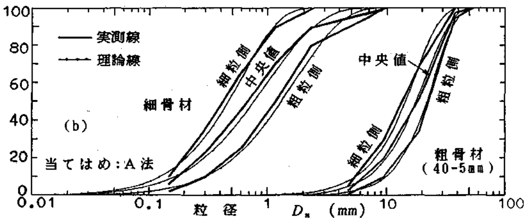


（c） 関西国際空港埋立土[21]

図—5 堤体用材料の粒径加積曲線

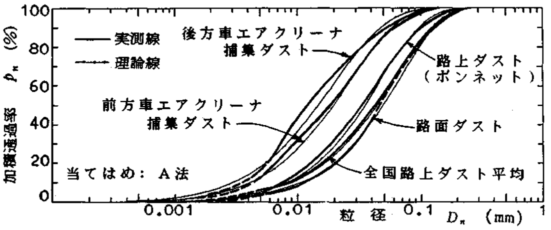


（a） 密粒度アスファルトコンクリートの標準配合[22]



（b） コンクリート舗装用粗・細骨材の標準粒度[23]

図—6 舗装用骨材の粒径加積曲線



図—7 路上ダストの粒径加積曲線[24]

を反映して，例えば噴砂の m や r がマイナスの値になるなど，それ相応の特徴が確認できる．

5. 建設用粒状材料への粒度式の適用

種々の建設用粒状材料を対象に式（1）の適合性を調べる．まず堤体材料の粒径分布の実際例として，フィルダム用ロック材[19]（図—5（a），太線），河川堤体用土[20]（図—5（b），太線），そして関西国際空港埋立土[21]（図—5（c），太線）を取り上げる．これらの粒状材料に関して留意すべき点は，現地付近で経済的に入手可能という制約条件下で，築造後の堤体の安全性と耐久性を十分保障するに足る厳選された粒度配合を具備している点である．これらの実測粒度曲線に式（1）を当てはめて描いた理論粒度曲線が，図—5中の細線である．図から知れるように，理論線（細線）と実測線（太線）との一致性は，いずれの場合も大変良い．

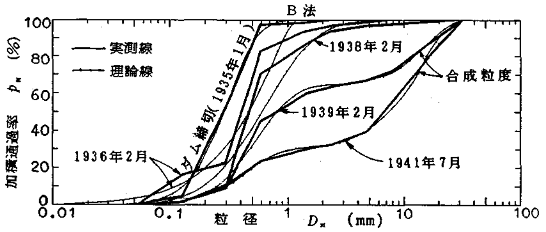
次に舗装用骨材の粒径分布の実際例として，わが国のアスファルト舗装要綱[22]より密粒度アスコン（図—6（a），太線）を，またセメントコンクリート舗装要綱[23]より粗・細骨材の標準粒度（図—6（b），太線）をそれぞれ取り上げて検討する．舗装要綱中に規定の粒度は，古くからの最大密度の探究を含む膨大な研究実績を踏まえてのものであるだけに重い価値をもつ．これらの実測粒度曲線に式（1）を当てはめた結果が図—6中の細線である．図から明らかなように，粒度式はこうした舗装用骨材の標準粒度に対し非常に良く適合する．

6. 路上ダストへの粒度式の適用

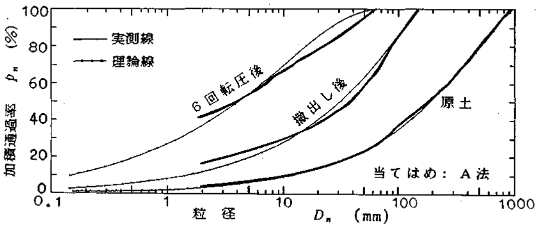
特異な例として，自動車走行時に生産される路上ダストの場合[24]を取り上げる．この場合，中型車2台が砂利道を一定速度で直列走行するとき前方車の舞い上げるダストを，後方車のエアクリーナなど指定の位置で捕集し，ダストの粒度分布を調べたもので，その結果が図—7である．図中の実測線（太線）に式（1）を当てはめた結果が同図中の細線である．両者の比較から，このような場合にも粒度式の適合性は良いようである．このことは，粒度式が土木工学の分野にとどまらず粉粒体工学など，およそ粒度を扱う諸分野へ拡げて使える可能性のあることを期待させるものである．

7. 粒度変化現象への粒度式の適用

自然環境下あるいは人工的外力の作用下で，粒度組成



図—8 河床材料の粗粒化現象[25)]



図—9 泥岩材の転圧に伴う細粒化現象[26)]

の変化する現象が見受けられる．それらは，粗粒化と細粒化の現象に大別できる．

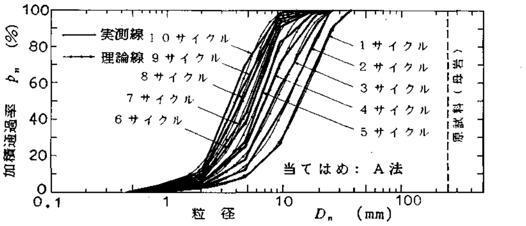
(1) 粗粒化現象

農業の分野で植物の生育と関連して重視される団粒化の問題などは，一種の粗粒化現象であるが，ここではダム建設に伴う下流部河床材料の水流による粗粒化現象を取り上げてみたい．図—8は，Hooverダム下流約8km地点における実測結果（太線）[25)]であって，ダム締切（1935）後の年月の経過とともに粗粒化が進み，同時にいわゆる双峰性の粒度傾向が強まることを示している．それに呼応して，必然的に式（1）を当てはめて描いた理論粒度曲線（細線）と実測線との隔たりが次第に大きくなる．それ故，図中の1939年と1941年の実測線に対しては，粒度パラメータ（D_{max}, m, r）の値を異にする2本の粒度曲線を合成した，いわゆる合成粒度（文末の一覧表中の数値，参照）の当てはめを行った．得られた結果は，図示の通り粗粒側も細粒側も適合性の良いものとなっている．

(2) 細粒化現象

ローラ転圧などの建設時にみられる粒度変化は，典型的な細粒化現象である．図—9は，泥岩材（原土）の撒き出し後とタンピングローラで6回転圧したあとの細粒化の状況（太線）[26)]を示しており，併せてそれらとそれらに当てはめて描いた理論粒度曲線（細線）との一致性がかなり良いことをも示している．なお，こうした機械的外力の作用下における細粒化現象については，ほかにも当てはめ事例[13),27)]が報告されている．

一方，泥岩のように脆弱な岩石の場合には，特に機械的外力が作用しなくても，乾燥・水浸の繰返し作用によって細粒化する，いわゆるスレーキング現象がある．図—10は，室内スレーキング試験の例[28)]であって，初



図—10 乾燥・水浸の繰返しに伴う細粒化現象[28)]

期粒径約250mmの岩塊が乾燥・水浸の繰返しサイクル数Nの増加とともに次第に細粒化する様子を示している．図中の実測粒度曲線（太線）をみると，相当険しく立った曲線となっている．同図中の細線は，実測線に式（1）を当てはめて描いた理論曲線である．図から，理論線が実測線にかなりうまく合致していることが分る．このように乾燥・水浸の繰返しによる粒子の壊れ方と上記のローラ転圧の場合の壊れ方とがともに式（1）の粒度式に従うことは，大変興味深いことである．

8. 結 言

本論文では，先に提案したまさ土の粒度式〔式（1）〕がまさ土以外の生成過程を異にする各種自然土や建設用粒状材料あるいは粒度変化の現象などに適用可能かどうかについて実証的検討を行った．その結果に基づき，主として次のような事柄が結論として記述できる．

（1） まさ土の粒度式は，文中で扱ったまさ土以外の自然土（しらす，レス土，噴砂，月の土）の粒度に対し適合性が良い．それ故，今後はこの粒度式の適用範囲を拡げ，一般に“土の粒度式”と見なし利用して差し支えない．

（2） 粒度式は，文中で扱った堤体材料（河川堤体用土，フィルダム用ロック材，関西国際空港埋立土）や舗装要綱中の骨材粒度に対し非常に良く適合する．このように舗装用標準骨材粒度をはじめとする各種建設用材料の粒度配合に対して式の適合性が良いことは，看過し得ない重みを持つ．何故ならば，こうした建設用粒状材料の粒度配合を規定するに至る背景に，最大密度の探究や強度・耐久性に関する長い検証の歴史があり，こうした最大密度などの重要な材料特性とこの粒度式とが密接な関係をもつと思われるからである．この点の明確化が今後の主要な課題の1つである．

（3） 粒度式は，文中で扱った粒度変化の現象，つまりダム建設に伴う下流部河床材料の粗粒化現象や泥岩材のローラ転圧時の細粒化現象あるいは乾燥．水浸の繰返しによるスレーキング現象に対しても意外にうまく適合する．このことから今後，この種の粒度変化現象の解釈や機構の解明などに際して，この粒度式に一定の役割を期待することができる．

付録　粒度パラメータ m, r の算定値

土の種類			当はめ	最大径 D_{max} 実測	最大径 D_{max} 計算	m	r	備考（文中の図，等）
当てはめ説明用		生駒まさ土	A	13.1	−	3.544	0.7980	図−1
当てはめ説明用		ダム堆砂	B	2.38	1.38	5.107	0.4611	図−2
生成過程の異なる各種自然土（まさ土を除く）	しらす	しらす　1	B	19.1	26.3	4.015	0.8572	図−4 (a)
	しらす	しらす　2		9.52	9.29	4.092	0.8570	
	しらす	しらす　3		38.1	421.0	12.395	0.7628	
	しらす	しらす　4		38.1	37.2	5.090	0.8467	
	しらす	しらす　5		4.76	1.64	0.896	0.9079	
	しらす	しらす　6		4.76	0.345	0.462	0.9449	
	しらす	しらす　7		2.00	0.244	0.980	0.8951	
	しらす	しらす　8		0.84	0.205	1.134	0.9003	
	噴砂	噴　砂　I	A	1.41	−	95.514	0.0609	図−4 (b)
	噴砂	噴　砂　II		1.19	−	48.907	0.1030	
	噴砂	噴　砂　III		0.84	−	−52.998	−0.1042	
	噴砂	噴　砂　IV		0.71	−	−223.782	−0.0233	
	レス土	1．カンサス・ネブラスカ・レス　粗粒側	A	2.00	−	7.008	0.7274	図−4 (c)
	レス土	1．カンサス・ネブラスカ・レス　細粒側		0.25	−	4.018	0.8409	
	レス土	2．ルーマニア・レス　粗粒側		0.149	−	1.754	0.8535	
	レス土	2．ルーマニア・レス　細粒側		0.149	−	3.020	0.8359	
	レス土	3．下部ラインシルト　粗粒側		2.00	−	10.170	0.6400	
	レス土	3．下部ラインシルト　細粒側		0.105	−	2.902	0.7872	
	レス土	4．ワジカーム・レス　粗粒側		0.42	−	3.622	0.7671	
	レス土	4．ワジカーム・レス　細粒側		0.149	−	1.314	0.9180	
	月の土	Apollo 14 (14163)	B	9.52	1000	58.444	0.4826	図−4 (d)
	月の土	Apollo 14 (14259)		76.2	1000	113.631	0.3229	
	月の土	Apollo 15 (15601)		101.6	1000	41.784	0.5474	
各種建設用粒状材料	フィルダム用ロック材	岩屋　粗粒側	A	650	−	2.538	0.8181	図−5 (a)
	フィルダム用ロック材	岩屋　細粒側		600	−	3,517	0.8315	
	フィルダム用ロック材	大白川		1000	−	1.425	0.9002	
	フィルダム用ロック材	魚梁瀬　粗粒側		300	−	0.777	0.8869	
	フィルダム用ロック材	魚梁瀬　細粒側		118	−	1.102	0.9167	
	フィルダム用ロック材	大雪		300	−	4.565	0.7165	
	フィルダム用ロック材	水窪		200	−	3.349	0.8220	
	フィルダム用ロック材	喜撰山		330	−	2.163	0.8570	
	フィルダム用ロック材	九頭竜　粗粒側		83	−	1.291	0.9019	
	フィルダム用ロック材	九頭竜　細粒側		79	−	1.261	0.9310	
	関西国際空港埋立土	□　印	A	297	−	2.154	0.8496	図−5 (c)
	関西国際空港埋立土	▲　印		210	−	1.155	0.8969	
	関西国際空港埋立土	△　印		210	−	1.645	0.9015	
	関西国際空港埋立土	○　印		210	−	1.486	0.9053	
	河川堤防堤体用土	①	A	0.25	−	6.599	0.6939	図−5 (b)
	河川堤防堤体用土	②		0.42	−	3.194	0.8167	
	河川堤防堤体用土	③		0.59	−	3.770	0.7849	
	河川堤防堤体用土	④		0.59	−	2.426	0.7829	
	河川堤防堤体用土	⑤		0.59	−	2.422	0.7074	
	河川堤防堤体用土	⑥		0.84	−	5.951	0.5461	
	河川堤防堤体用土	⑦		2.00	−	6.119	0.6097	
	河川堤防堤体用土	⑧		4.76	−	10.412	0.4924	
	河川堤防堤体用土	⑨		38.1	−	6.950	0.7118	
	河川堤防堤体用土	⑩		76.2	−	2.365	0.8519	
	アスコン密粒度	上限	A	19.1	−	1.755	0.8664	図−6 (a)
	アスコン密粒度	中央		19.1	−	1.937	0.8723	
	アスコン密粒度	下限		12.7	−	1.569	0.8910	

土の種類			当てはめ	最大径 D_{max} 実測	最大径 D_{max} 計算	m	r	備考（文中の図，等）
各種建設用粒状材料	コンクリート用骨材	粗骨材（40~5 mm） 粗粒側	A	50.8	－	5.048	0.4896	図-6 (b)
		粗骨材（40~5 mm） 中央		50.8	－	5.198	0.5395	
		粗骨材（40~5 mm） 細粒側		38.1	－	4.183	0.5785	
		細骨材 粗粒側		9.52	－	6.182	0.6557	
		細骨材 中央		9.52	－	9.110	0.6180	
		細骨材 細粒側		2.38	－	5.529	0.6364	
その他	路上ダスト	路面ダスト	A	0.25	－	4.425	0.6890	図-7
		全国路上ダスト平均		0.25	－	4.041	0.7234	
		路上ダスト（ボンネット）		0.25	－	6.877	0.6289	
		前方車エアクリーナ捕集ダスト		0.149	－	5.959	0.6703	
		後方車エアクリーナ捕集ダスト		0.149	－	7.110	0.6588	
粒度変化現象	河床材の粗粒化	ダム締切り（1935年1月）	B	4.76	0.977	10.710	0.3905	図-8
		1936年2月	B	8.00	1.16	1.763	0.7759	
		1938年2月	A	31.7	－	196.722	0.1032	
		1939年2月 36.15%	粗粒	31.7	31.3	3.182	0.6143	合成粒度
		1939年2月 63.85%	細粒	－	2.32	13.053	0.3998	
		1941年4月 70.00%	粗粒	31.7	31.3	3.452	0.6425	合成粒度
		1941年4月 30.00%	細粒	－	1.38	6.602	0.5236	
	転圧に伴う細粒化	原土（泥岩材）	A	900	－	1.417	0.8888	図-9
		撒出し後		150	－	1.265	0.9033	
		6回転圧後		63.5	－	2.394	0.8828	
	乾燥・水浸の繰返しに伴う細粒化	1サイクル	A	37.2	－	3.005	0.6574	図-10
		2サイクル		26.3	－	2.579	0.6730	
		3サイクル		26.3	－	4.290	0.6004	
		4サイクル		22.1	－	5.664	0.5388	
		5サイクル		18.6	－	6.281	0.4999	
		6サイクル		15.6	－	6.623	0.4829	
		7サイクル		13.1	－	4.471	0.5541	
		8サイクル		13.1	－	5.755	0.5123	
		9サイクル		11.1	－	4.370	0.5562	
		10サイクル		11.1	－	6.119	0.4943	

参考文献

1) たとえばTerzaghi, C. : Principles of Soil Mechanics V-Physical Differences Between Sand and Clay, Engineering News Record, Vol.95, No.23, pp.912~915, 1925. Glossop, R. and Skempton, A. W. : Particle-size in Silts and Sand, Jour. Instn Civ. Engrs, Vol.25, pp.81~105, 1945. (A Century of Soil Mechanics, The Institution of Civil Engineers, pp.381~407, 1969).

2) 野口弥吉・川田信一郎監修：農学大辞典（第2次増訂改版），4. 土壌，pp. 184~239，養賢堂，1987.

3) 久保輝一郎・水渡英二・中川有三・早川宗八郎共編：粉体—理論と応用，pp. 81~83，1962.

4) 集約的に，土質工学会編：土質工学ハンドブック（1982年版）；Rodriguez, A. R. et al : Soil Mechanics in Highway Engineering, TRANS TECH PUBLICATIONS, 1988.

5) 岩井重久・松尾新一郎：土の粒度加積曲線に関する統計学的研究，土木学会誌，第36巻，12号，pp. 560~563，1951.

6) 箭内寛治：土の粒度分布に関する一考察，第10回土質工学研究発表会，pp. 51~54，1975.

7) 福岡正巳：河川堤防堤体材料の理想的粒度曲線について，土木研究所報告，No. 86，1953.

8) Fukuoka, M. : Testing of Gravely Soils with Large Scale Apparatus, Proc. 4 th I. C. S. M. F. E., Vol.1, pp.153~155, 1957.

9) 赤井浩一：土の粒度配合による締固め特性の変化，土と基礎，Vol. 23，pp. 19~23，1957.

10) 神崎 清・中崎英彦・手塚信典：粒径および粒度分布が土の力学特性に及ぼす影響（その1），第14回土質工学研究発表会，pp. 189~192，1979.

11) 福本武明：まさ土の粒径分布に関する一考察，第22回土質工学研究発表会，pp. 165~166，1987.

12) 福本武明：まさ土の粒度式について，第23回土質工学研究発表会，pp. 197~198，1988.

13) 福本武明・三好力也：花崗岩質風化残積土の粒度特性，立命館大学理工学研究所紀要，第48号，pp. 55~68，1989.

14) Fukumoto, T. : A Grading Equation for Decomposed Granite Soil, Soils and Foundations, Vol.30, No.1, pp.27~34, 1990.

15) Haruyama, M.: Geological, Physical, and Mechanical

Properties of "Shirasu" and its Engineering Classification, Soils and foundations, Vol.13, No.3, pp.45～60, 1973.
16） 陶野郁雄：液状化層の堆積構造に基づく液状化深度の推定に関する研究，科研報告（自然災害特別研究（1）），pp. 108～116, 1987.
17） 三木五三郎・斉藤孝夫：生成に由来するレス土の工学的特性，土と基礎，Vol. 24, No. 5, pp. 37～44, 1976.
18） Carrier, W.D.Ⅲ, Mitchell, J. K. and Mohmood, A. : The Nature of Lunar Soil, ASCE, Vol.99, No.SM 10, pp.813～832, 1973.
19） 土木学会岩盤力学委員会編：ダムの地質調査，pp. 134～147，土木学会発行，1977.
20） 土木学会編：土木工学ハンドブック（下巻），技報堂，pp. 1940～1941, 1964.
21） 関西国際空港（株）建設事務所発行パンフレット：岩砕埋立地盤の改良，p. 4, 1991.
22） 日本道路協会編：アスファルト舗装要綱，昭和61年28版，1986.
23） 日本道路協会編：セメントコンクリート舗装要綱（昭和61年5版），1986.
24） 粉体工学会・日本粉体工業技術協会編：改訂増補・粉体物性図説，日本技術図書，pp. 591～593, 1985.
25） 吉良八郎：ダムの堆砂とその防除，第4章ダム建設に伴う河床変動の予測，森北出版，pp. 201～288, 1982.
26） 土質工学会編：日本の特殊土，第7章泥岩および山砂，pp. 314～356, 1974.
27） Fukumoto, T. : Particle Breakage Characteristics of Granular Soils, Soils and Foundations, Vol.32, No.1, pp.75～89, 1992.
28） 山口晴幸・黒島一郎・福田　誠：第三紀泥岩の空隙分布，土と基礎，Vol. 36, No. 12, pp. 55～60, 1988.

（1992. 3. 30 受付）

A STUDY ON THE GRAIN SIZE DISTRIBUTION OF VARIOUS SOILS

Takeaki FUKUMOTO

In this paper, the conformity of a grading equation for decomposed granite soil was verified in detail to natural soil (volcanic soil,loeses soil, sand boil, lunar soil), whose process of formation is different from that of decomposed granite soil, granular materials for construction (river embankment soil, rock fill materials, the aggregate for pavement) and so on. This grading equation showed unexpectedly good conformity to the granular soil of various types treated in this study, and could be used also to examine the change in grain size distribution such as particle breakage and riverbed degradation.