



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	砂の物理的性質に及ぼす粒子形状および粒度分布の影響
Author(s)	三浦, 均也; 松本, 吉英; 長谷川, 敬寿 他
Citation	北海道大學工学部研究報告, 148, 17-31
Issue Date	1989-10-31
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/42201
Type	departmental bulletin paper
File Information	148_17-32.pdf



砂の物理的性質に及ぼす粒子形状および粒度分布の影響

三浦 均也 松本 吉英 長谷川敬寿 土岐 祥介

(平成元年 7 月 25 日受理)

The Influence of Grain Shape and Grain Size Distribution on Physical Properties of Sands

Kinya MIURA, Yoshihide MATSUMOTO, Keiju HASEGAWA
and Shosuke TOKI

(Received July 25, 1989)

Abstract

It is extremely difficult to estimate properly the physical and mechanical properties of sands, because sands all are produced in nature and their properties vary considerably. Each sand has primary properties of its own, such as grain shape, crushability and grain size distribution. To show the significance of primary properties in sand deformation-strength characteristics is the aim of the present study. The report deals with the relationships between physical properties and primary properties.

To investigate the effects of primary properties of sand on physical properties, some 80 sand samples with different grain shapes and grain size distributions were prepared from three different kinds of sands after crushing and sieving processes. On all these sand samples specific gravities, maximum and minimum void ratios were measured, and the grain shape was quantified in terms of angularity. The discussion results are summarized as follows;

- 1) Crushability and specific gravity of sand grain is determined by its mineralogy properties and are also influenced by grain size. With higher grain size, the crushability increases and the specific gravity decreases.
- 2) The main influencing factors of maximum and minimum void ratios are grain shape, uniformity coefficient and grain size. The sand which consists of less angular and larger grains and has a larger uniformity coefficient, exhibits smaller void ratios.
- 3) The deviation between maximum and minimum void ratios depend on the grain shape and size, but not on the uniformity coefficient.

1. ま え が き

ほとんど全ての構造物は、自然あるいは人為的に造られた地盤に支えられている。土はそれら基礎地盤を構成しているのみならず、フィルダムや河川堤防に代表される土構造物の材料としても広く用いられており、土木工学および建築工学における主要な建設材料の一つである。土の場

合、鋼材やコンクリートなどとは異なり天然に産するため、その物性は変化に富み千差万別でとらえにくい。したがって、土質工学の分野における構造物基礎および土構造物の設計や施工に関する諸問題においては、地盤および土の調査を行ないその物性を評価することが第一に重要な作業であり、物性を統一的に評価するための手法に関する研究がさらに求められている。

同一の土についても、その締め固まりの程度や間隙水の有無などの後天的な性質、および、拘束圧や排水条件などの応力・ひずみ条件に強く依存して、その変形・強度特性は顕著に変化することは良く知られている。土の変形挙動をモデル化し解析手法に取り込もうとする場合、それらの影響を評価することが重要であるため、特定の土について、密度や、圧密条件、せん断変形時の排水条件などを変化させて室内試験により変形・強度特性を調べることがこれまで非常に多くの研究者によってなされている。砂質土については、締め固める際のエネルギーの大小によって密度が異なるが、密度の相対的な程度を相対密度 ($D_r = (e_{\max} - e) / (e_{\max} - e_{\min}) \times 100 (\%)$; $e_{\max}$ は土がとり得るもっとも緩い状態の間隙比, $e_{\min}$ は最も締まった状態の間隙比) によって評価すると、たとえ異なった土でも変形・強度特性を一義的に説明できると広く信じられてきた。それゆえ、砂質土においては土粒子を構成する鉱物、形状、粒子径の分布、破碎性などの生得的な性質の影響は小さいとされ、系統的な研究がこれまでに充分に行なわれていないというのが現状である。

土粒子の性質や粒度分布など、土の生得的な性質がその物性に及ぼす影響を明らかにすることが本研究を含む一連の研究の目的である。それらの生得的な性質によって変形・破壊挙動がどのように変化するのかを明らかにし、より信頼性の高い地盤および土の性質の評価法の確立することを目指している。本報告では、物理的性質のうち比重、形状(角張り度)および最大・最小間隙比に着目し、砂の生得的な性質の相違による土の物理的性質の変化について報告している。

2. 砂試料の調整

2.1 試験に用いた砂試料

本研究は砂の生得的な性質の影響を解明することを目的としているため、多くの性質の異なる砂試料を準備する必要がある。実験では市販されている3種類の砂を用いた。珪砂 A(CA-SAND) は愛知県産で、現地で採取後水洗い、ふるい分け、炉乾燥したものがいくつかの等級に分けられている。使用した等級2から8の粒度分布を図1(a)に示す。豊浦砂(TO-SAND) は山口県産、相馬砂(SO-SAND) は福島県産であり、両者とも購入後水洗いして夾雑物や粘土分を除去した後炉乾燥している。この状態での粒度分布は図1(b)に示すとおりである。

これら3つの砂については2系統の試料を準備するために以下に述べるふるい分けによる粒度調整を行なっている。試料名についてはCA-2000-75 というように、砂の名称に続けて最大粒径 $D_{\max}$ 、最小粒径 $D_{\min}$ を μm 単位で並べて表示している。

2.2 均等粒径試料の調整

第一の試料は粒子径がそろっている均等粒径試料(Uniform Sample)である。粒度調整には JIS 仕様の13のふるい(ふるい目 $75 \sim 4750 \mu\text{m}$, 図2(a, b, c)参照)を用いた。ふるい分けは人力によって行い、1分間に各ふるいを通過する試料が全体の1%以下になることを目安として振動を加えた。なお、一度にふるい分ける試料は100g以下とした。

珪砂Aの場合、No. 2-8の等級全ての試料をふるい分けることによって $4750 \mu\text{m}$ 以下の試料を比較的容易に得ることができる。ところが、豊浦砂と相馬砂では図1(b)に示されるように天然の状態では細かい粒径の粒子が得られないために、砂を湿潤状態で凍結した後グラインダーで削るか、あるいは乾燥試料を乳鉢で擦り潰すなどして強制的に粒子を粉碎した。このようにして豊浦

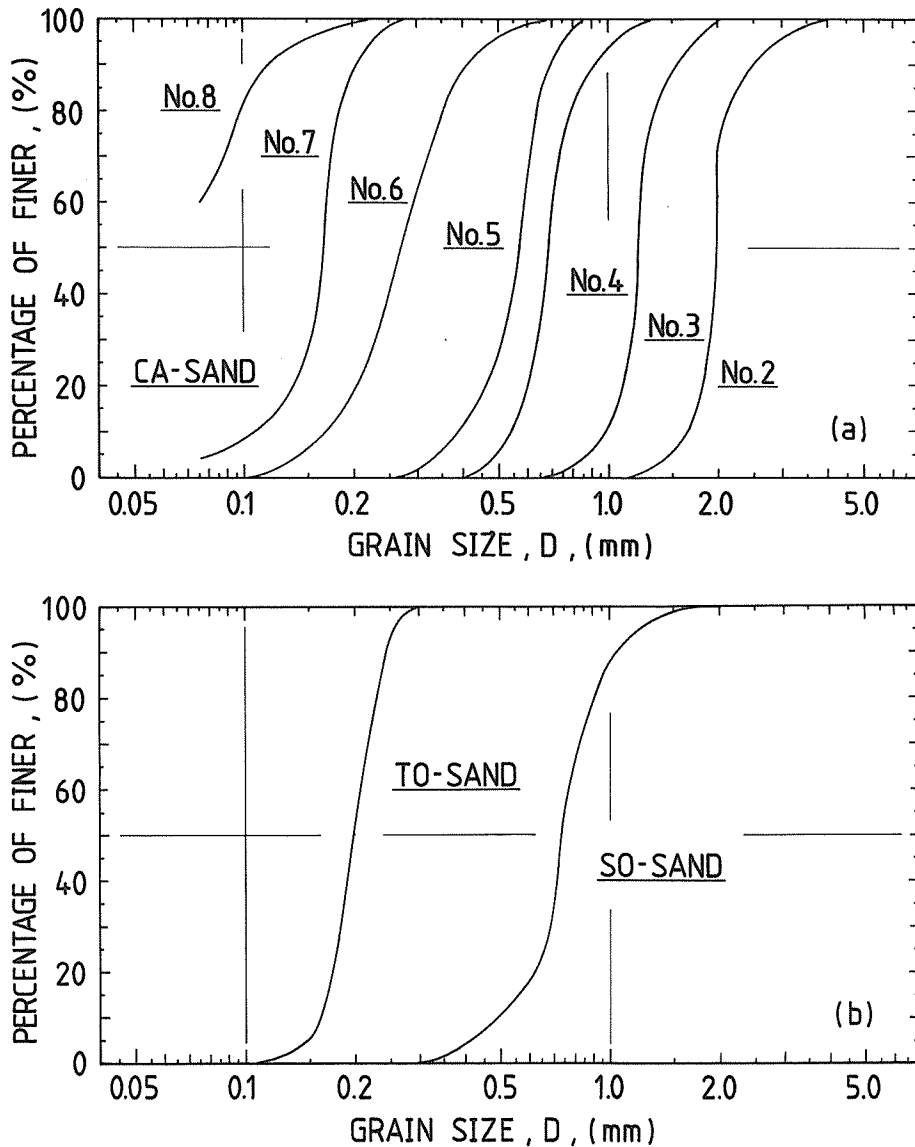


図1 砂の粒度分布；(a)珪砂A，(b)豊浦砂，相馬砂

砂では $300\mu\text{m}$ 以下，相馬砂では $2000\mu\text{m}$ 以下の試料を準備した。

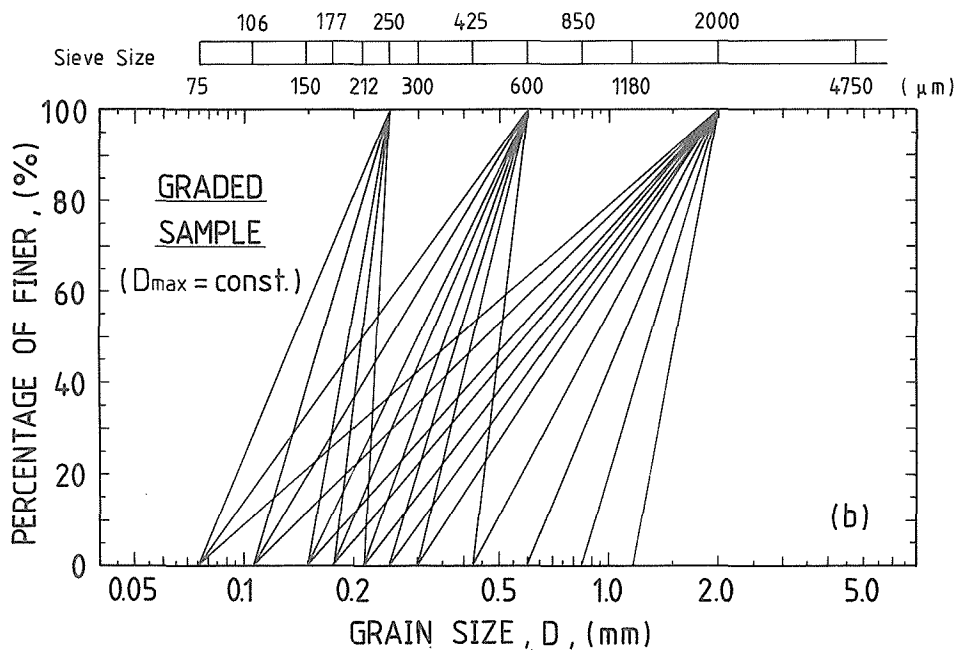
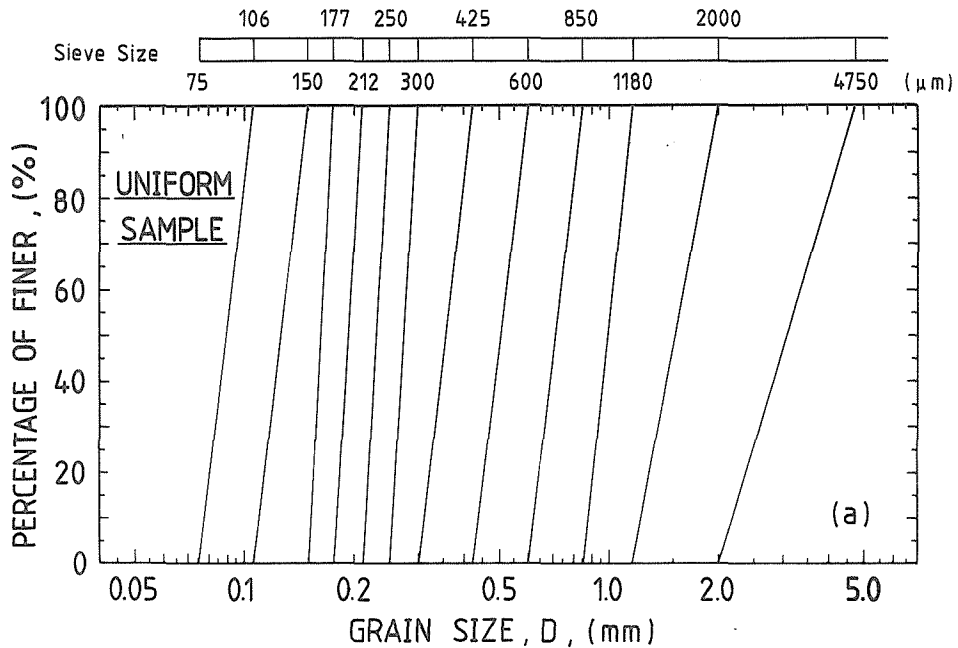
各々の均等粒径試料は近接するふるいに残留する成分から成っているため，CA-4750-2000 を除くとそれらの均等係数 U_c は 1.3 以下となっている。また，それらの粒径加積曲線は図 2 に示すように直線とみなしている。これらの試料について得られる結果を比較・検討することにより，粒子寸法や粒子形状の影響を評価することができる。

2.3 混合粒径試料の調整

第二の試料は粒径が広い範囲で分布していて均等係数 U_c が異なる混合粒径試料(Graded Sample)である。これらは前述の均等粒径試料を適切に配合することによって準備した。図 2 (b-c) に示すように最大粒径 D_{max} と最小粒径 D_{min} をそれぞれ固定し，粒度分布が各々直線となるように

している。これらの試料についての試験結果を比較・検討することによって均等係数の影響を知ることができる。

この種類の試料の準備は珪砂Aと相馬砂に限って行っている。珪砂Aは図2(a, b, c)に示した全条件での調整, 相馬砂では $D_{\max}=2000$, $D_{\min}=75\mu\text{m}$ 条件のみでの調整とした。これにより $U_c=1.189\sim5.164$ の範囲の混合粒径試料を準備することができた。



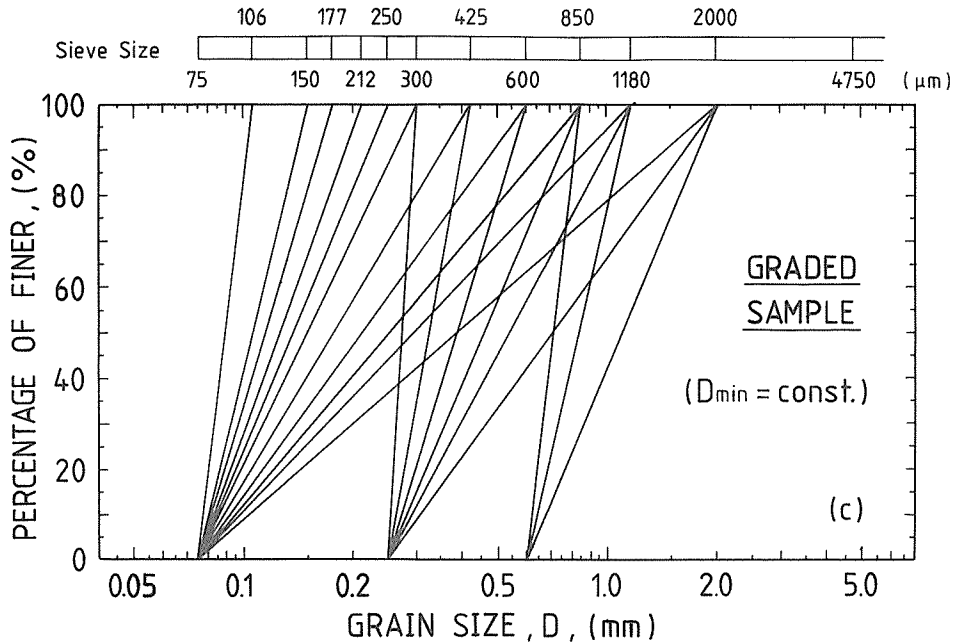


図2 調整試料の粒度分布：(a)均等粒径試料，(b)，(c)混合粒径試料

3. 砂の物理的性質の試験および考察

物理的性質を調べるための検討項目を土粒子の比重，形状，および間隙比とし，準備した試料についていくつかの試験を行った。それ以外の基本的な性質について簡単に説明すると次のようである。

顕微鏡によって観察することができる土粒子形状を写真1に示している。各々の砂の肉眼での色およびそれらから判断できる構成鉱物を示すと表1のようになる。粒子の破碎性については適切な手法が無いため定量的に示すことはできなかったが，乳鉢ですり潰したり，指で摘んですり潰した時の感触から判断すると，表中に示すようである。相馬砂は乳鉢ですり潰すのが大変であったが，珪砂Aは指先でも潰せる程度であった。これらの破碎性は粒子の構成鉱物と密接な関係にあると考えられ，石英分が多いほど粒子は固く，破碎しにくいと言える。また，どの砂についても，粒子が大きいほど破碎し易いようであった。

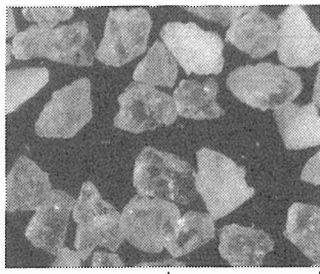
3.1 土粒子の比重

土質を記述する際に最も基本的な指標の一つである土粒子の比重 (G_s) は，土粒子実質部分の密度の水の密度に対する比であり，次式で定義される。

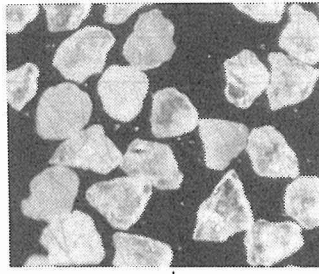
$$G_s = m_s / v_s / \rho_w = \rho_s / \rho_w \quad (1)$$

m_s ；土粒子の質量
 v_s ；土粒子の体積
 ρ_s ；土粒子の密度
 ρ_w ；水の密度

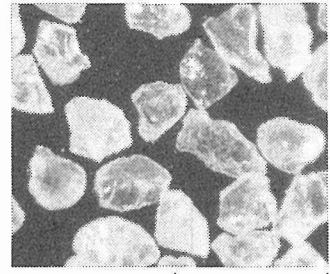
土粒子の比重は珪砂A，豊浦砂，相馬砂，各々準備した均等粒径試料について調べた。試験は「土粒子の比重試験 JISA-1202-1978」に準拠してピクノメータを用いて，煮沸法により飽和して測定した。各々について最低6個の測定を行い，中央4点の平均（標準偏差は0.003以下）を求めて測定値とした。試験結果は図3に示すとおりである。



CA-300-250 1mm (a)



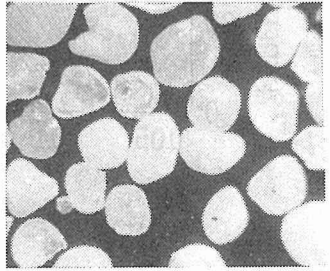
TO-300-250 1mm (b)



SO-300-250 1mm (c)



CA-2000-1180 5mm (d)



SO-2000-1180 5mm (e)

写真 顕微鏡による土粒子形状

表 1 砂の基本的な性質

砂の名称	色	構成鉱物	土粒子の破碎性	
			自然状態	寸法が大
CA-SAND	透明, 白, 黒	石英以外の鉱物多い	1	増大する
TO-SAND	黄褐色	石英以外に長石を含む	2	
SO-SAND	半透明, 灰白色	主に石英	3	

※数字は順位を表わしている

試験結果から、次の二つの傾向を指摘できる。

1) 各々の砂において比重は粒径の増大とともに減少する傾向がある。

一般に、寸法の大きな粒子ほど内部に潜在的な欠陥を多く含んでいると考えられている¹⁾。この原因によって、比重が低下していると考えられる。また、個々の粒子についての点載荷試験の結果より、潜在的な欠陥のために粒径の大きな粒子ほど破碎強度は小さいことが報告されているが¹⁾、この傾向は本研究で粒子を粉碎した際に得られた感触とも一致している(表1)。

2) 比重は相馬砂、豊浦砂、珪砂Aの順に大きい。

この傾向は相馬砂、豊浦砂、珪砂Aの順に長石よりも比重の大きな石英を多く含んでいることにより説明できる(表1, 2参照)。ただし、例外的に、珪砂Aで粒径 $D=150\mu\text{m}$ 付近の比重が高い値を示している。珪砂Aではそれくらいの粒径の雲母粒子が非常に多く含まれているこ

とが観察できたが、表2に見られるように雲母は他の鉱物よりも比重が大きいためこのような結果が得られたと考えられる。また、雲母を除き、石英と長石に限って考えると、比重が大きく硬度の高い石英を多く含んでいるものほど粒子の比重も大きく破碎しにくいことが指摘できる。

上記1, 2)の傾向を総合すると、比重と破碎性はともに構成鉱物の種類によって決まるものであるが、両者はともに粒子寸法の影響を受けていることが分かる。すなわち、粒子寸法が大きくなると内部に潜在している欠陥が増加するため、より破碎し易く、比重はより小さくなる。したがって、粒子の破碎性を定量的に評価することは難しいが、本研究で用いた試料のように粒子の大部分が石英と長石からなる場合には、土粒子の比重によって破碎性をある程度評価できる可能性があると考えられる。

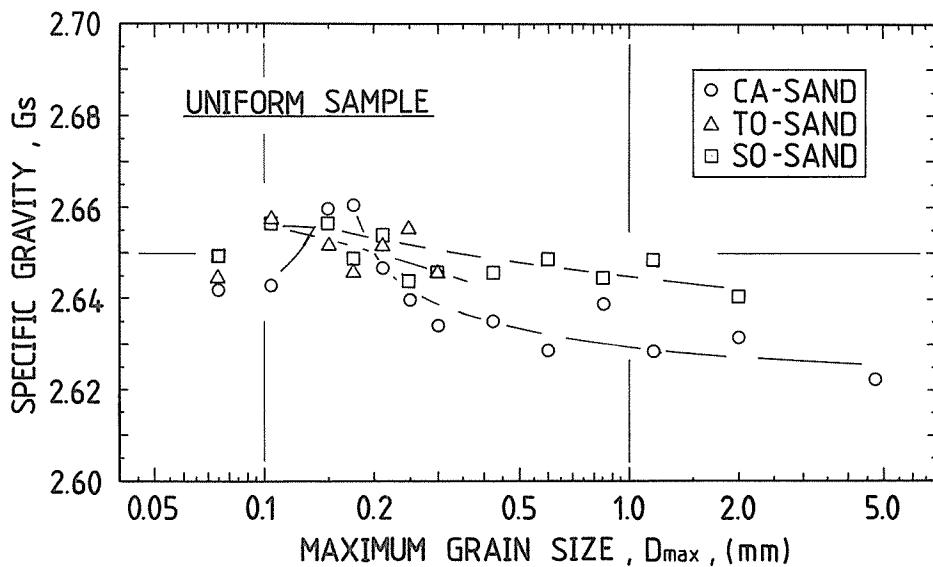


図3 均等粒径試料における土粒子の比重

表2 構成鉱物の物理的性質

名 称	色	光 沢	モース硬度	比 重
石 英	無 色	ガラス質	7	2.7
カリ長石	白	ガラス質	6	2.6
斜 長 石	白	ガラス質	6	2.6
黒 雲 母	黒 ～ 緑	真 珠 質	2.5	3.0
白 雲 母	白	真 珠 質	2.5	2.76～3.0

3.2 土粒子の形状

土粒子の不規則な形状を曖昧さがなく的確に数値化して表現することは不可能に近い。しかし、砂のような粒状体の物理的性質および力学的性質は土粒子の形状に依存していることは明かで、この分野において多くの研究者が粒子形状を適切に評価するための指標を提案している²⁾。それらの中で、本研究では Lees が提案している (Angularity) を採用して粒子の角張りの程度を評価することを試みている。

粒子の投影図において、一つの角に対する角張り度 (Angularity) の定義は、図 4 を参照して次式によって定義される。

$$(\text{Anguarity}) = (180^\circ - a) \times X/r \quad (2)$$

a; 粒子投影像の角の角度 r; 粒子投影像の内接円の半径

X; 粒子投影像の内接円の中心から角までの距離

全ての角の角張り度 (Anguarity) の総和を Total Degree of Anguarity (A) とし、二次限平面での A を A_{2D} としている。 A_{2D} が大きいほど粒子は角張っていることを意味し、投影図が円であれば A_{2D} は 0 となる。Lees はレキ材のように大きな粒子について直交する 3 方向からの投影図についてそれぞれ A_{2D} を計算しそれらの和を取ることを推奨しているが、砂粒についてはこれを行うことが困難である。そこで、本研究では砂粒子を鉛直真上から実体顕微鏡で観察し、任意に選んだ 10 個の粒子について Lees が提供している表 3 に基づいて A_{2D} を 50 の精度で決定し、それらの平均を $\overline{A_{2D}}$ とした。以下では、 $\overline{A_{2D}}$ によって粒子の形状を評価している。

角張り度 $\overline{A_{2D}}$ は均等粒径試料についてのみ求めた。結果は図 5 に示すようである。角張り度の傾向については以下の様にまとめられる。

- 1) 粉碎する以前の天然の状態では珪砂 A、豊浦砂 ($D \approx 200 \mu\text{m}$)、相馬砂 ($D \approx 700 \mu\text{m}$) の順に $\overline{A_{2D}}$ は小さく角がとれている。

これは砂の生成過程が異なるためで、相馬砂、豊浦砂、珪砂 A の順に河川などでより摩耗しているためであろう。

- 2) 珪砂 A が粒径によって形状にさほど変化がないのに対し、豊浦砂と相馬砂は粒径が小さくなるに従って角張り度に顕著な増加傾向がみられる。

珪砂 A の全試料が天然の状態であるのに対して、相馬砂と豊浦砂では砂の粒子を強制的に粉碎することによって、小粒径の粒子を作り出したことが原因であろう。

表 3 角張り度決定のための表

0 99	100 199	200 299	300 399	400 499	500 599	600 699	700 799
800 899	900 999	1000 1099	1100 1199	1200 1299	1300 1399	1400 1499	1500 1599

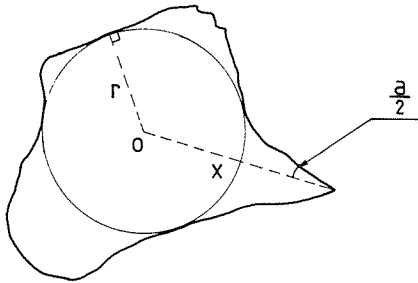


図4 土粒子の角張り度の定義

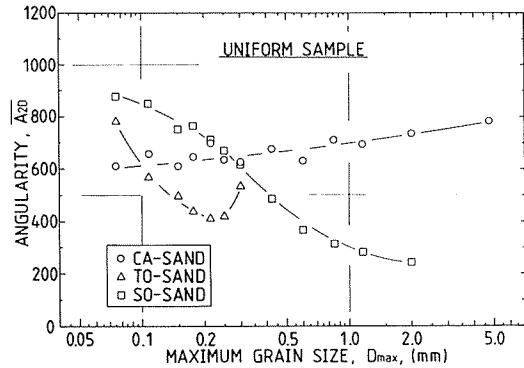


図5 均等粒径試料の角張り度

3.3 最大・最小間隙比

砂のような粒状体は締め固めて粒子の配列構造を変化させることによりある範囲の密度を取ることができる。砂の締め固めの程度を示す指標として間隙比が通常用いられるが、本研究では試料が乾燥した状態で取り得る間隙比の範囲、すなわち最大間隙比 $e_{\max}$ と最小間隙比 $e_{\min}$ を調べている。試験は土質工学会が定める「砂の最大・最小密度試験」に基づいて行われ、一度炉乾燥した試料についてロート法および水平打撃法を適用して、それぞれ最大・最小間隙比を調べている。これらは次式によって乾燥密度と比重から計算される。

$$e_{\max} = G_s / \rho_{\min} - 1 \quad e_{\min} = G_s / \rho_{\max} - 1 \quad (3)$$

$\rho_{\min}$; 砂の最小密度 $\rho_{\max}$; 砂の最大密度

3種の砂について行った試験結果をそれぞれ図6(a, b, c)に示す。ここで図6(a)は均等粒形試料について最大粒径 $D_{\max}$ に対してまとめたものであり、図6(b)は所定の最大粒径 $D_{\max}$ を有する試料の間隙比を均等係数 U_c に対して、図6(c)は所定の最小粒径 $D_{\min}$ を有する試料の間隙比を均等係数 U_c について整理したものである(粒度分布は図2(a, b, c)参照)。試料は $e_{\max}$ および $e_{\min}$ の間の間隙比を取り得るわけであり、したがって、 $(e_{\max} - e_{\min})$ は砂が取り得る粒子配列構造の自由度の尺度になると考えられる。図7(a, b, c)には図6(a, b, c)に対応して $(e_{\max} - e_{\min})$ の傾向を示している。

[Uniform Sample] 図6(a)および図7(a)に示されている試験結果に基づいて次のような傾向を指摘できる。

- 1) 最大粒径 $D_{\max}$ が増大すると最大間隙比 $e_{\max}$ および最小間隙比 $e_{\min}$ はともに減少する傾向がある。

相馬砂と豊浦砂では $D_{\max}$ の増大にともなう $e_{\max}$ と $e_{\min}$ の顕著な減少傾向が認められる。

図5との比較から分かるように、間隙比の変化は粒子の形状に強く依存していることが明かである。すなわち、角張り度 $\overline{A_{2D}}$ が大きく粒子が角張っているほど間隙比は大きくなっている。この関係は3種類の砂の間で比較しても言えるようで、図5の角張り度と図6(a)の間隙比とはよく対応している。一方、珪砂Aは他の砂とは異なり、粒子寸法の相違によって角張り度はあまり変化しないが、粒径の増大にともない若干の角張り度の増加が認められる。ところが、図6(a)は珪砂Aにおいて粒径の増大にともなう間隙比の減少を示していることから、粒子形状の

影響に加えて、粒子寸法の影響についても検討する必要がある。

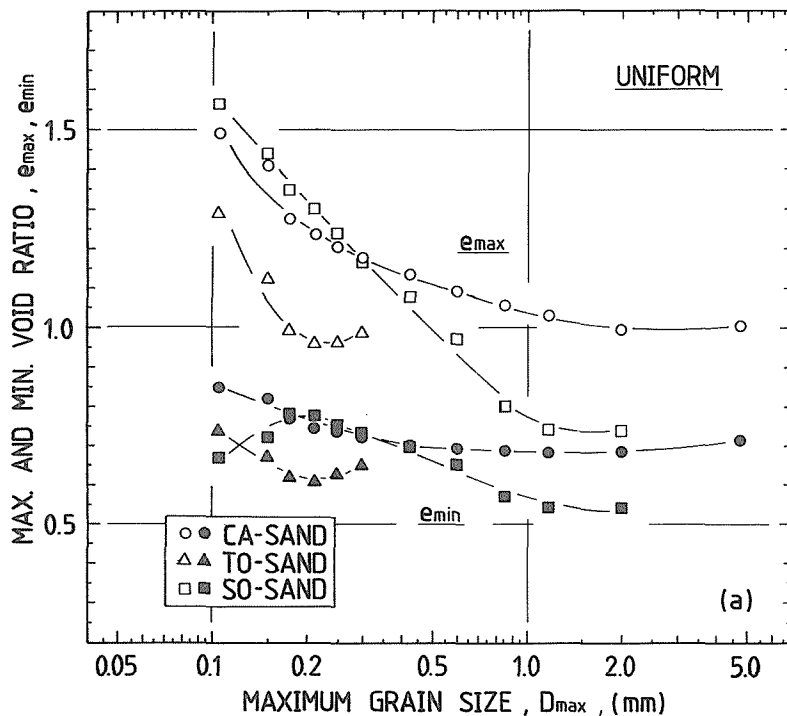
立元³⁾はガラスビーズを含む角張り度の異なる種々の粒状材料について最大・最小間隙比を測定し、その結果、粒子が角張っているほど最大間隙比と最小間隙比は大きくなることを報告しており、粒子形状の影響が大きいとしている。さらに、ガラスビーズのように形状が一様で均等係数が等しいものでは、最大粒径が大きくなると間隙比が減少することを示している。したがって、粒子寸法の影響については、粒子径が大きい方が間隙比は小さくなると推定できる。

2) 最大粒径 $D_{\max}$ による最大間隙比 $e_{\max}$ と最小間隙比 $e_{\min}$ の変化傾向はほぼ同じであるが $e_{\max}$ の方が $e_{\min}$ よりも大きく変化している。

$e_{\max}$ および $e_{\min}$ には、粒子の形状や寸法が同じように影響を及ぼすことが確かであるが、 $e_{\min}$ よりも $e_{\max}$ の方が変化量が大きく、影響を受け易いと考えられる。したがって、粒子の形状や寸法の影響を評価するパラメータとしては、より敏感な最大間隙比 $e_{\max}$ の方が優れていると考えられる。

3) 各々の砂において、最大粒径 $D_{\max}$ が增大するに従い間隙比減少の傾向は弱まり、極小値をとった後若干の間隙比増加が見られる。

この傾向については図 8 (a), (b) に従って次のように説明できる。自然状態の土の最大粒径に近い部分 (粒子寸法, $D1 \sim D2$) をふるい分けによって抽出する場合でも、その粒度分布を直線と見なして解析している。しかし、実際には図 5 (b) に示すように分布は小粒径の方に偏っているため、計算値よりも実際の均等係数がかなり小さくなっていると推定できる。後に説明するように、均等係数が減少すると間隙比は増加する傾向があるため、このことが調整試料の最大粒径が自然状態の最大粒径 (豊浦砂では $D=300\mu\text{m}$, 相馬砂では $D=2000\mu\text{m}$) に近づくと、間隙比を増大させ、これが極小値が現われる理由と考えられる。



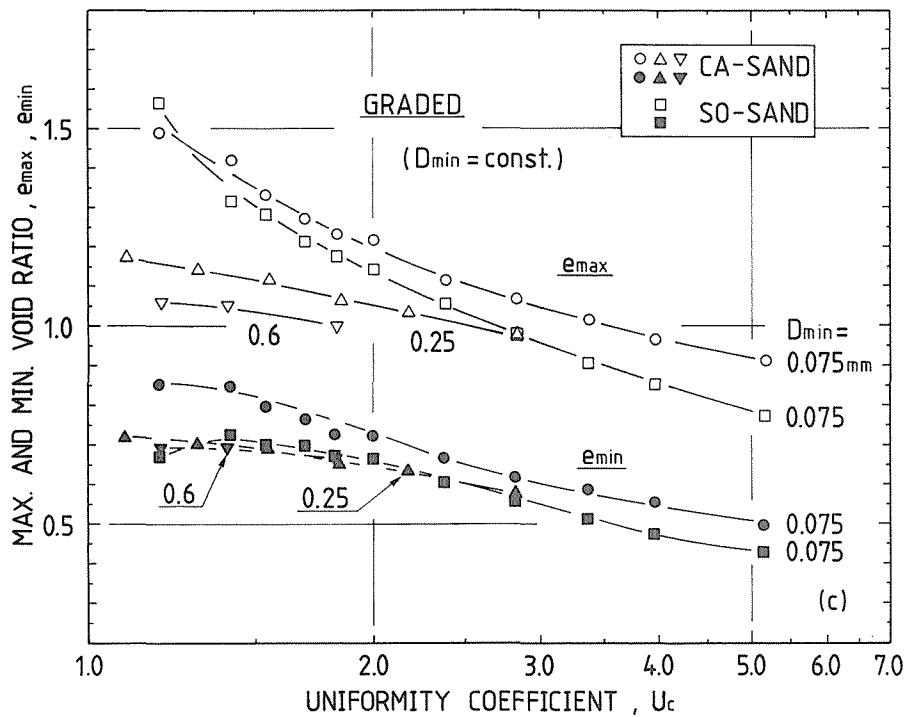
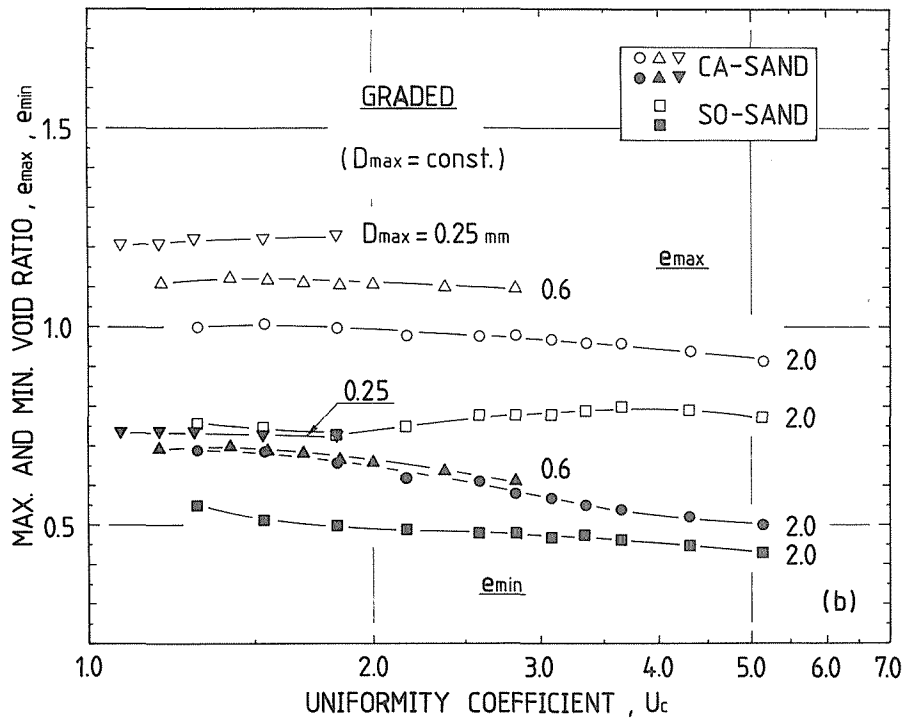
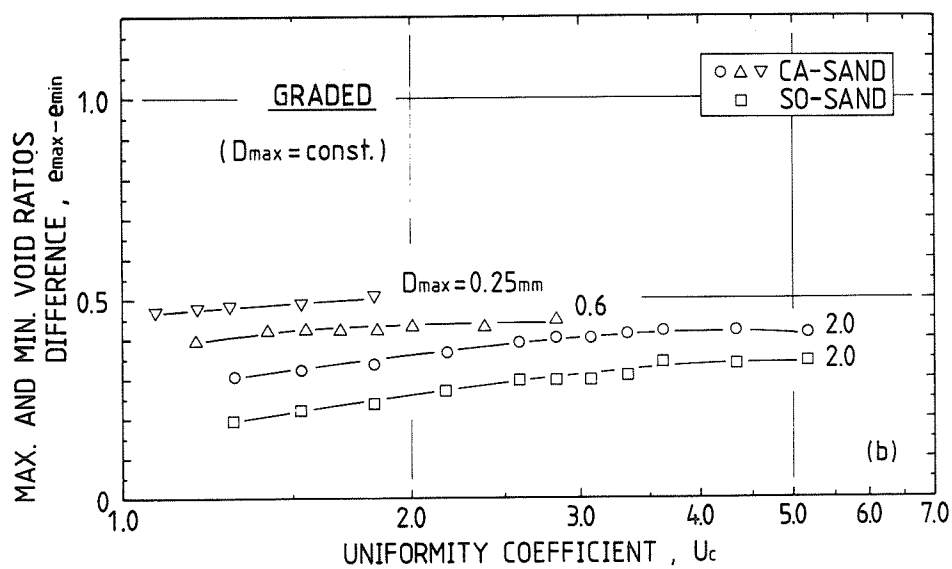
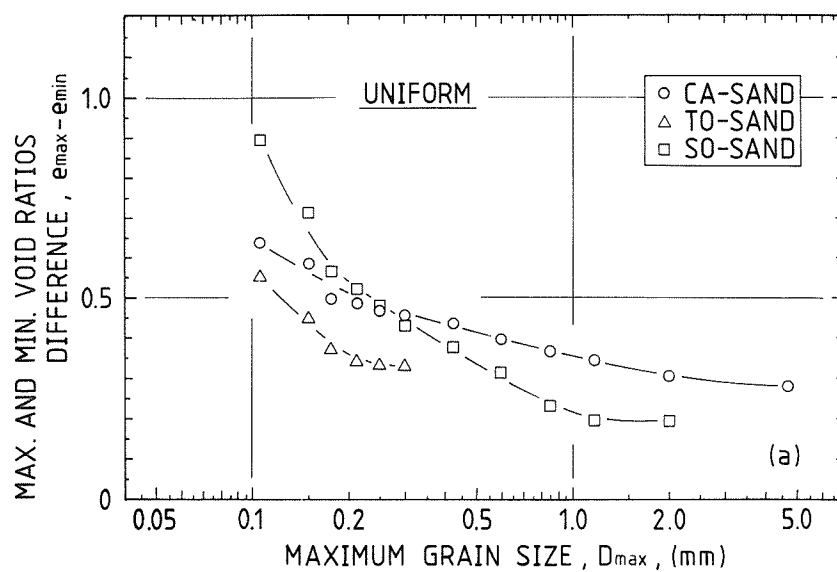


図6 最大・最小間隙比；(a)均等粒径試料，(b, c)混合粒径試料



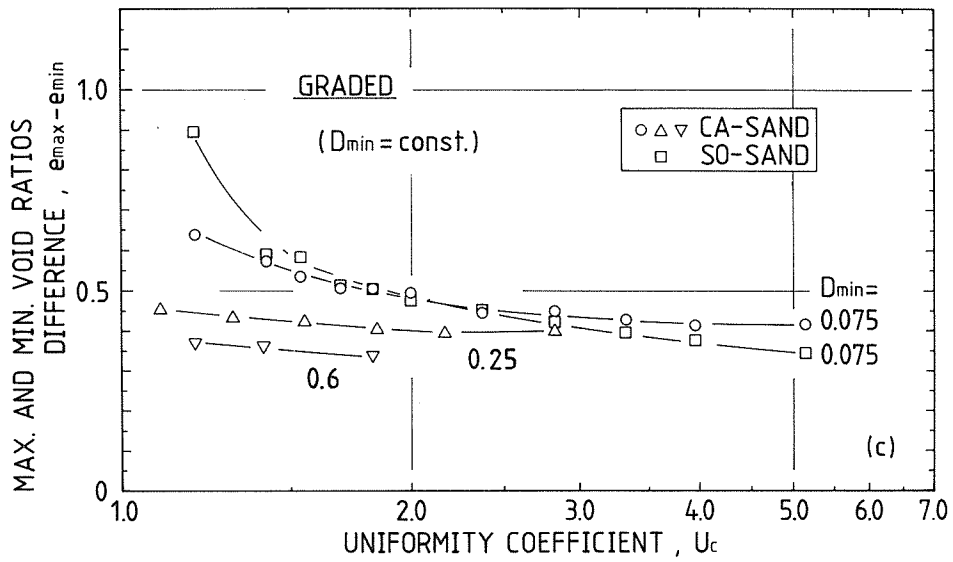


図7 (最大間隙比－最小間隙比)；(a)均等粒径試料，(b, c)混合粒径試料

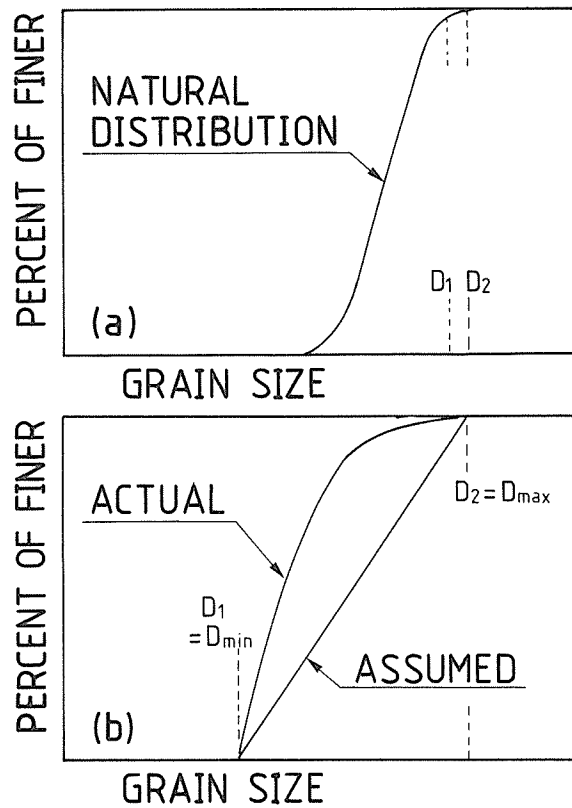


図8 真の均等係数と見かけの均等係数

- 4) 取り得る間隙比の幅($e_{\max} - e_{\min}$)の値は最大間隙比 $e_{\max}$ および最小間隙比 $e_{\min}$ とほぼ同様な変化傾向を示している。

($e_{\max} - e_{\min}$)は粒子配列構造の自由度を表していると考えられるが、図7(a)と図5を比較すると粒子の角張り度が大きいほど、また、粒子寸法が小さいほど粒子配列構造の自由度は大きいと言えることができる。

[Graded Sample] 均等係数の異なる試料について取りまとめた図6(b, c)および図7(b, c)で見られる傾向を整理すると以下のようにまとめることができる。

- 1) 最大粒径 $D_{\max}$ あるいは最小粒径 $D_{\min}$ を一定にした試料, どちらについても均等係数 U_c の増加にともない最大間隙比 $e_{\max}$ および最小間隙比 $e_{\min}$ はともに減少するという傾向がある。すなわち, 「均等係数の大きな砂ほど間隙比は小さい」という一般に信じられている傾向を本研究の結果は支持している。

- 2) 最大粒径 $D_{\max}$ 一定より最小粒径 $D_{\min}$ 一定試料の方が1)の傾向が顕著である。

このことは、均等係数の変化にともない構成している粒子の形状も変化することが原因と考えられる。すなわち、 $D_{\min}$ が一定で U_c が増加すると構成粒子の粒子寸法は全体的に大きくなる。粒子寸法が大きいと図6(a)に示すように粒子の形状や寸法の影響により間隙比は小さくなる。よって、 U_c との相乗効果によって間隙比は著しく低下している(図6(c))。これに反して、 $D_{\max}$ が一定の場合には、 U_c の増加にともない粒子寸法が減少するため、結果的として $D_{\min}$ 一定の場合に比べて間隙比の減少傾向は抑えられ小さくなっている。

- 3) 最大粒径 $D_{\max}$ 一定の場合には均等係数 U_c の増加にともない($e_{\max} - e_{\min}$)は増加するが、最小粒径 $D_{\min}$ 一定の試料では逆に U_c の増加とともに($e_{\max} - e_{\min}$)は減少している。

したがって、($e_{\max} - e_{\min}$)は U_c に依存していないと考えられる。 U_c の変化により($e_{\max} - e_{\min}$)が変化しているように見えるのは、 U_c の変化にともなう構成粒子の寸法と形状の変化の影響が現われているためと説明できる。

4. ま と め

本研究では、3種類の砂を調整して作成した砂試料について、砂の物理的性質を調べた。砂粒子の比重、角張り度および最大・最小間隙比について詳細に検討した結果、以下のように取りまとめることができる。

1) 比重について

- 1.1) 土粒子の比重や破碎性は土粒子を構成している鉱物によって決定される。たとえば、比較的硬い石英を多く含んだ粒子は、長石が多いものに比べて比重が大きく、破碎しにくい。
- 1.2) 粒子寸法の大きなもののほど比重は小さく、破碎し易い。これは粒子寸法が大きなもののほど粒子内部の欠陥が存在している確率が高いのでこのことを反映していると考えられる。
- 1.3) 本研究で用いた試料のように粒子の大部分が石英と長石から成っているとき、比重と粒子の破碎性には相関があると期待できる。したがって、定量的な評価が難しい粒子の破碎性を比重によって間接的に評価できる可能性がある。

2) 粒子形状(角張り度)について

- 2.1) 本研究では、Leesの提案している角張り度を導入し、粒子の角張りの程度を評価することを行った。粒子を顕微鏡で観察することによって角張り度 $\overline{A_{2D}}$ を計算することができる。
- 2.2) 天然状態の砂では、生成されるまでの状態に依存して角張り度が異なっている。
- 2.3) 粒子を破碎させる前の天然の状態と人工的に破碎させた後の砂では、後者の方がより角

ばっている。

3) 最大・最小間隙比について

- 3.1) 砂の間隙比に影響する因子としては、粒子形状、粒子寸法、均等係数が挙げられた。
- 3.2) 最大・最小間隙比および取り得る間隙比の幅は粒子形状の影響を強く受け、粒子が角張っていて、角張り度が大きいほどそれらは大きくなる。
- 3.3) 粒子の形状が等しく均等係数が同じ場合でも、粒子寸法が大きいほど間隙比は小さくなるといえる。
- 3.4) 最大・最小間隙比は均等係数の影響を受け、均等係数が大きく粒度分布のよい砂は間隙比が小さい。
- 3.5) 最大間隙比と最小間隙比の差、すなわち、間隙比の取り得る幅は粒子の形状や寸法の影響を受けるが、均等係数の影響は受けない。

なお、成果を表4に取りまとめている。

表4 物理的性質に及ぼす生得的性質の影響

	構成鉱物	(粒子寸法大) (構成鉱物脆い) 破砕性が大	角張り度が大	粒子寸法が大	均等係数が大
Gs	◎依存する	○減少	—	—	—
$e_{\max}$	—	—	◎増大	○減少	△減少
$e_{\min}$	—	—	◎増大	○減少	△減少
$e_{\max} - e_{\min}$	—	—	◎増大	○減少	—

※◎影響大、○影響あり、△影響小

本研究は、文部省「科学研究助成金・一般研究(C) (No. 63550355)・奨励研究(A) (No. 63750487)」の補助を受けて行ったものである。

文 献

- 1) 八島三郎：「粉碎と粉体物性」，培風館，(1986)，pp. 79-86.
- 2) 最上武雄：「土質力学」，技報堂，(1969)，pp. 896-904.
- 3) 立元 勉：「砂の相対密度と工学的性質に関するシンポジウム」，土質工学会，(1981)，pp. 71-78.