

機関番号：53701

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2007～2010

課題番号：19560502

研究課題名(和文) 粒子形状および堆積環境に基づいた沖積砂質地盤のせん断強度の推定

研究課題名(英文) Estimation of Shear Strength of Alluvial Sandy Deposit  
from Grain Shapes and Sedimentary Environments

研究代表者

吉村 優治 (YOSHIMURA YUJI)

岐阜工業高等専門学校・環境都市工学科・教授

研究者番号：30182827

研究成果の概要(和文): 粒状体の内部摩擦角は、粒径加積曲線の縦軸に土粒子全体の個数に対する通過個数百分率をとり調整した粒度分布に影響を受けること、DEM より、粒子形状  $FU$  に比例することが確かめられた。濃尾平野のボーリング試料の熱田層下部の砂質土を分析し、場所は異なっても粒度分布と母岩が同じであれば、鉱物含有率も同じである可能性があることを明らかにした。

研究成果の概要(英文): It was confirmed the tangles of internal friction of granular materials are affected by the adjusted grain-size distribution with the vertical axis of the grain size accumulation curve having passing quantity percentage to the quantity of the whole soil grain. Also, the Distinct Element Method confirmed that angles of internal friction of granular materials are proportional to the particle configuration  $FU$ .

The analysis of sandy soil at the bottom of Atsuta formation ( boring sample of the Nobi Plain ) revealed that if the grain-size distribution and the country rock are the same, the rate of mineral content can be the same regardless of place.

交付決定額

(金額単位：円)

|        | 直接経費      | 間接経費      | 合計        |
|--------|-----------|-----------|-----------|
| 2007年度 | 1,700,000 | 510,000   | 2,210,000 |
| 2008年度 | 700,000   | 210,000   | 910,000   |
| 2009年度 | 800,000   | 240,000   | 1,040,000 |
| 2010年度 | 500,000   | 150,000   | 650,000   |
| 年度     |           |           |           |
| 総計     | 3,700,000 | 1,110,000 | 4,810,000 |

研究代表者の専門分野：土質力学

科研費の分科・細目：土木工学・地盤工学

キーワード：粒子形状，堆積環境，せん断強度

## 1. 研究開始当初の背景

粒状体材料の強度特性は摩擦則に従い、また、粒子間摩擦角、粒子接点角は材料の物理的性質に大きく支配される。したがって、これら相互の関係を見抜ければ粒状体の内部摩擦角はせん断試験を行なうことなく推定できることになる。

一方、これまで地盤や地質を対象とする調査・研究は、理学と工学の両分野で取り扱わ

れてきている。しかし、これらの調査・研究は、理学の分野では主として地盤構造、堆積過程、地質年代の推定などの解明に精力がそそがれているのに対して、工学の分野では主として対象とする地盤の構造、物理的・力学的性質などを精度良く把握し、設計や解析に反映させることに重点が置かれているように、各々の視点に立って独自の路線を歩んできた。したがって、理学の分野では貝化石・

微化石などの分析や<sup>14</sup>Cによる年代測定などにより、地盤構造、堆積環境などはかなり詳細に、しかも具体的に解明されているにもかかわらず、工学の分野では設計や解析に必要な地盤の状態や材料定数は柱状図や土質試験結果に基づき、たとえば土層別の平均値を代表値としたり、深度方向に回帰式を作成するなどして推定しているのが現状である。たとえば、濃尾平野沖積層の主として砂質土を対象として、上述の工学的基礎研究と原位置での堆積学的研究を融合させ、まず現地の堆積環境を把握し、平面位置と深度から物理的性質を推定したうえで、さらにその性質からせん断強度の推定が可能になれば、将来的には各種の設計や解析などに反映できる可能性もあり、また、理学と工学の境界領域を埋める意味でもその意義は大きい。

## 2. 研究の目的

(1) 粒状体の粒子形状などの物理的性質から内部摩擦角というせん断強度を推定する精度を上げる。

(2) わが国の代表的な沖積平野である濃尾平野を研究対象にして、自然に堆積する土の特徴を平面的および深度方向に分析し、運搬に伴う淘汰や海進・海退に伴う上方粗粒化・細粒化などの堆積時あるいは堆積後の環境を推定する。

本研究ではこの2つを研究目的とし、濃尾平野沖積層の砂質土について、堆積土の平面位置と深度から、堆積環境の把握 物理的性質の推定 せん断強度の推定を最終目的とする。しかしながら、研究が予定どおりに進まず研究期間内に最終目標まで到達しない見込みとなった場合でも、途中で軌道を修正し、前述2つの目的のいずれかを中心に研究を実施する。

## 3. 研究の方法

複数の理学情報と工学情報を収集し、地盤の生成過程と堆積環境を分析し、その相関を調べて、深度や原位置の地理的な情報のみから主として砂質土の物理的性質や液状化判定、せん断強度の推定を行うことを最終目標にしている。したがって、一方では粒状体の粒子形状という一つの物理的性質から内部摩擦角というせん断強度を推定する精度を上げる必要があり、種々の形状、表面粗度を有するアルミ棒の二次元一面せん断試験さらにはその実験結果に基づいた DEM (個別要素) 解析を実施し、粒子形状や表面粗度がせん断特性に与えるメカニズムを明らかにする必要がある。そのために、以下の研究計画を実施する。

(1) 粒状体の物理的性質からせん断強度の推定の精度向上のため、下記試験・解析を実施する。

アルミ棒の二次元一面せん断試験 (粒度分布と内部摩擦角の関係)

粒状体の三軸圧縮試験 (粒度分布と内部摩擦角の関係)

DEM (個別要素) 解析 (粒子形状と内部摩擦角の関係)

## (2) 濃尾平野ボーリング試料の分析

なお、本研究申請時には、内部摩擦角に及ぼす表面粗度を含めた粒子形状の影響について検討する予定であったが、実験を進めるうちに粒度分布の影響の検討が必要になり、

(1) , のとおり、予定外の実験を実施した。検討項目が増えたこともあり、当初予定の最終目的達成のための「地理情報等から物理的・力学的性質の推定の試みと濃尾平野の工学的性質の図化」まで研究を進めることができなかった。

## 4. 研究成果

(1) 粒状体のせん断強度に関する研究結果の一例

### アルミ棒の二次元一面せん断試験

表面が滑らかで長さ50mmのアルミ丸棒 (直径1.6, 3, 5mmの3種類) を本数比で図-1に示す粒度分布になるように配合して試料とした。各試料の個数均等係数  $U_{cn}$  は1.42 (本数比1.6mm:3mm:5mm = 1:9:0), 3.46 (本数比1.6mm:3mm:5mm = 0:4:1), 6.28 (本数比1.6mm:3mm:5mm = 6.9:1.7:1.4), 11.6 (本数比1.6mm:3mm:5mm = 7.7:1.3:1) である。また、粒径の影響を検討するため、 $U_{cn}$  が等しく ( $U_{cn} = 3.5$ ),  $D_{50n}$  (縦軸に通過個数百分率をとった際の平均粒径) が異なる3つの試料を作成した。アルミ棒を緩詰めにパッキングすることは難しく、本研究の全試験を通じて供試体はほぼ密詰め状態となっていると考えられる。

二次元一面せん断試験装置は、簡易一面せん断試験機に電動モーターを取り付け、せん断速度は0.005mm/sec程度、全実験において上載応力  $\sigma$  は17.50kN/m<sup>2</sup>に統一した。

図-2は試験結果から内部摩擦角  $\phi$  と個数均等係数  $U_{cn}$  との関係をもとめたものであり、ばらつきは見られるものの  $U_{cn}$  の増加に伴い  $\phi$  も増加傾向にある。すなわち、密詰め状態の粒状体は、粒度分布がよくなるほど (個数均等係数が大きくなるほど)、せん断強度は大きくなる。

### 粒状体の三軸圧縮試験

試料は、図-3に示すように個数によって粒度分布を調整した砕砂 (岐阜揖斐川町長瀬産: 頁岩の岩片) を使用した。

実施した試験は排水三軸圧縮試験であり、バックプレッシャーは196kPaであり、有効拘束圧  $c' = 49kPa$  で圧密した後、0.5%/minのひずみ制御方式の拘束圧一定のCD試験とした。供試体は乾燥試料を空中落下法により、

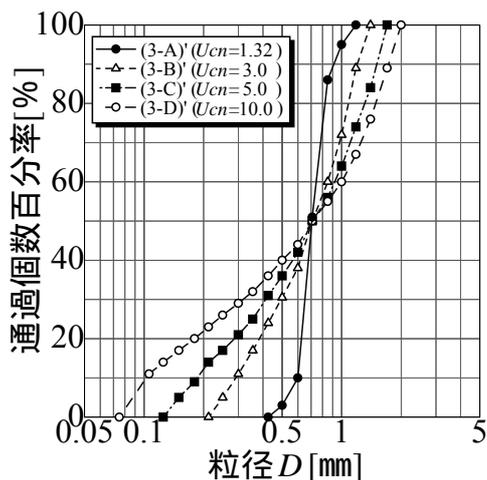


図-1 アルミ丸棒の粒径加積曲線（本数）

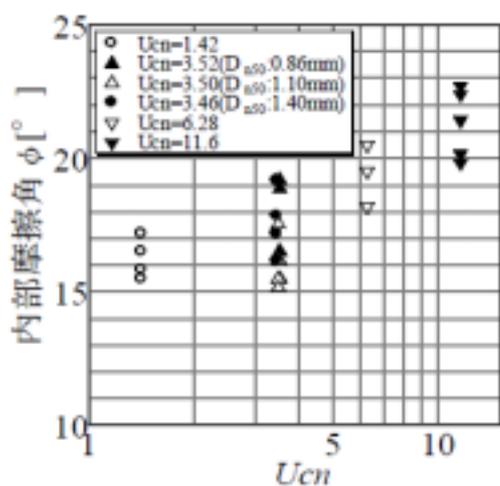


図-2 と個数均等係数の関係

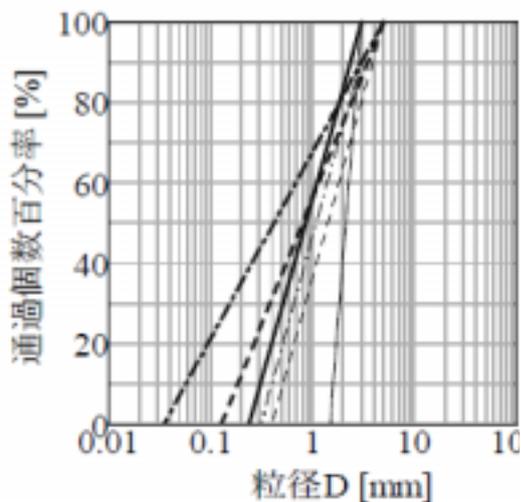


図-3 粒径加積曲線（個数）

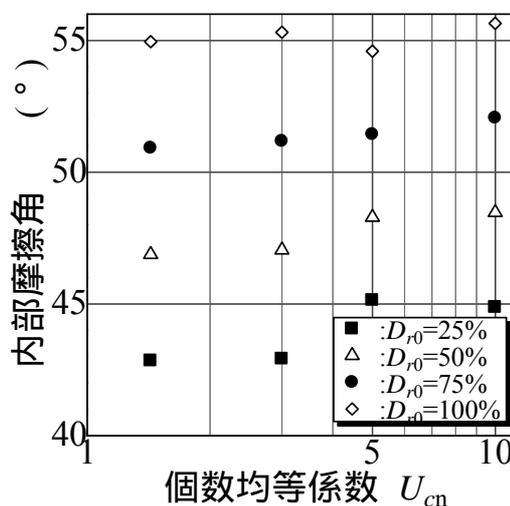


図-4 と  $U_{cn}$  の関係

直径 50mm，高さ 100mm に作成した。

図-4 は、初期相対密度  $D_{r0} = 25, 50, 75, 100\%$  の状態の内部摩擦角 と個数均等係数  $U_{cn}$  との関係を示したものである。この図から、密詰状態では  $U_{cn}$  に依らず一定であるが、状態が緩詰めになるほど  $U_{cn}$  に依存し、 $U_{cn}$  が大きくなるほど も大きくなる傾向にあるようである。図-5 は、実験を行った全データの と初期間隙比  $e_0$  の関係を示したものである。この図から、 は初期相対密度  $D_{r0}$ 、個数均等係数  $U_{cn}$  に依らず、 $e_0$  と比例関係にあるのがわかる。

これらの結果から、粒状材料においては、縦軸に土粒子全体の個数に対する通過個数百分率をとり、粒径加積曲線を描いた際の粒度分布の違いは、内部摩擦角 に影響を及ぼし、その程度は緩る詰めほど大きいこと、または初期相対密度  $D_{r0}$ 、個数均等係数  $U_{cn}$  に依らず、 $e_0$  と比例関係にあることが明らかになった。

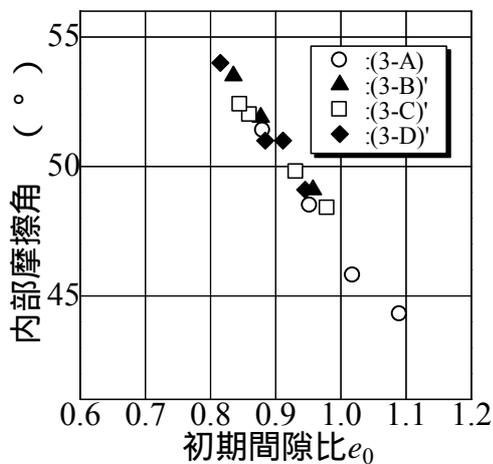


図-5 と  $e_0$  の関係

### DEM 解析

出来るだけ簡便で最も少ない要素数で粒子形状を表現する方法として、円要素の重なりを許容した3要素連結による粒子モデルを作成し、DEMによる二軸圧縮解析を実施して、粒子形状がせん断強度に与える影響について定量的検討を行った。

図-6は、せん断中に動員される内部摩擦角と粒子の断面形状を表す凹凸係数FU(断面に凹凸があつたり、尖っていると小さく、完全円で1.0となる)の関係を示したものである。DEM解析の結果は、は揺詰めから密詰めになるほど大きくなり、FUに比例して小さくなっており、この線形関係は図中に併記したアルミ棒の二次元せん断試験結果とも一致している。この結果は、二次元DEM解析において、粒子形状と相対密度が決まれば動員される最大内部摩擦角を予測できる可能性を示している。

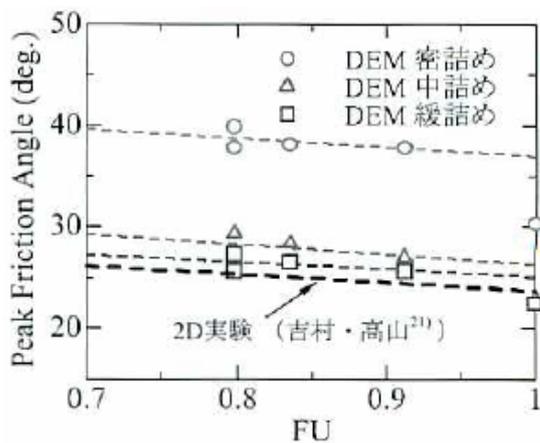


図-6 内部摩擦角 と凹凸係数 FU の関係

### (2) 濃尾平野ボーリング試料の分析結果の一例

図-7は分析した尾平野ボーリング試料の採取場所を示したものである。分析地点は、大江(大-12)、鍋田(STA.38)、清洲(12)、西春(22)の4地点であり、熱田層下部の試料を分析した。

図-8に全試料の熱田層下部の粒径過積曲線を示す。粒径過積曲線は、大-12の粒度分布は変動があるものの深度が深くなるほど左側に移動して粒径が小さくなっており、海退期の上方粗粒化を表している。また、運搬距離が短いほど粒径は大きくなり、河川長が短くなるほど均等係数  $U_c$  が大きくなる傾向を示している。

図-9は、大江(大-12)の試料 22, 23と西春(22)の試料について好物鑑定を行った結果を示したものであり、これらの試料は鉱物の含有率が類似している。図-8によれば大江

(大-12)の試料 22, 23と西春(22)の試料の熱田層下部の粒度分布が似ていることがわかる。大江と西春の試料は、図-7より河川、河川長、河口からの距離が違ふことがわかる。しかし、上流の母岩はいずれの河川も、同じ花崗岩であった。これより、河川、河川長、河口からの距離が違つても、上流の母岩が同じで粒度も同じならば、鉱物含有率は同じになると言えそうである。

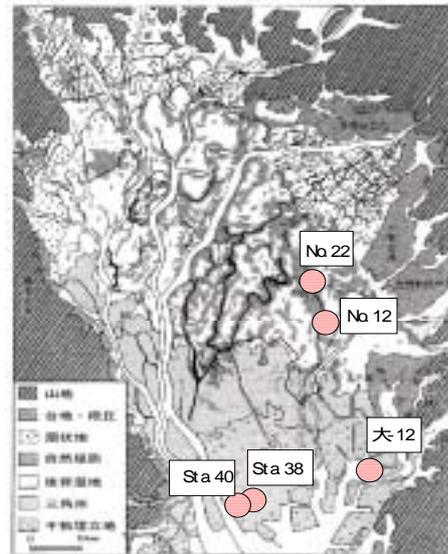


図-7 ボーリング試料採取場所

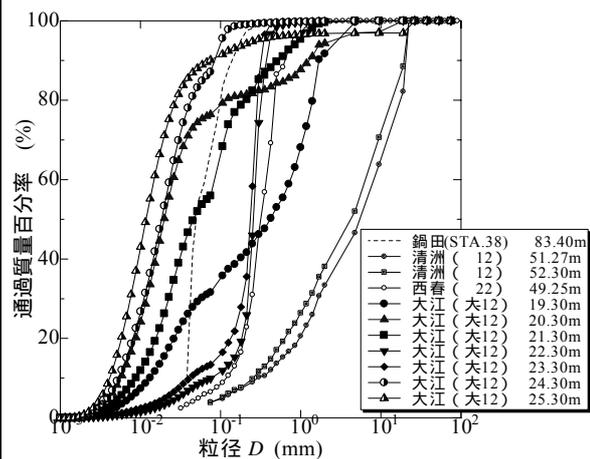
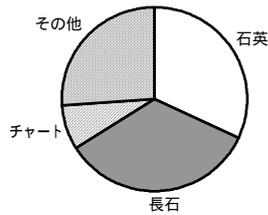
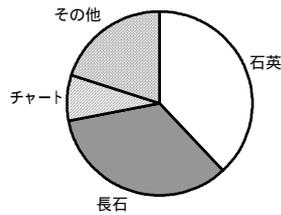


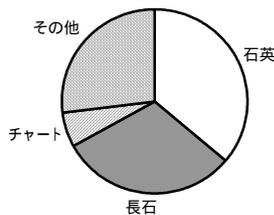
図-8 全試料の熱田層下部の粒径過積曲線



(a)大江(大-12) 22.30m



(b) 大江(大-12) 23.30m



(c)西春( 22) 49.25m

図-9 鉱物含有率

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計2件)

神原辰雄・加藤正司・吉村優治・澁谷 啓：  
砂のような粒状材料のせん断挙動およびせん断層に与える粒子形状の影響，土木学会論文集C，査読有，Vol.64，No.3，2008，pp. 456～472．

吉村優治：二次元一面せん断試験による粒状材料のせん断特性に及ぼす粒度分布の影響，地盤工学会中部支部第19回地盤工学シンポジウム論文集，査読無，2007，pp.1-4．

〔学会発表〕(計7件)

吉村優治・西川竜太・井上あかね・加藤正

司：粒状体の粒度分布が内部摩擦角に及ぼす影響，平成21年度土木学会中部支部研究発表会，2010.3.(金沢工業大学)

吉村優治・西川竜太・吉岡竜也・宮澤千枝・加藤正司：粒度分布の違いが粒状体の工学的性質に及ぼす影響，平成20年度土木学会中部支部研究発表会，2009.3.(名城大学)

神原辰雄・加藤正司・吉村優治・澁谷啓：粒状材料のせん断挙動に与える粒子形状の影響，第42回地盤工学研究発表会，2007.7.(名古屋国際会議場)

吉村優治・加藤正司・澁谷啓・神原辰雄：粒状材料のせん断特性に及ぼす粒度分布の影響，第42回地盤工学研究発表会，2007.7.(名古屋国際会議場)

T.N.Lohani, S.Kato, S.Sakakibara, S.Shibuya, Y.Yoshimura：DEM Simulation in studying the effect of gradation for triaxial specimens，第42回地盤工学研究発表会，2007.7.(名古屋国際会議場)

〔図書〕(計2件)

吉村優治，他，地盤工学会，「都市と地盤(仮称)」(「岐阜市」，「高山市」を執筆)，印刷中

吉村優治，他，地盤工学会中部支部，「最新名古屋地盤図」追補版(「第3章 名古屋地盤の土質工学的性質」を執筆)，印刷中

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕

特記事項無し

## 6. 研究組織

(1)研究代表者

吉村 優治 (YOSHIMURA YUJI)

岐阜工業高等専門学校・環境都市工学科・教授

研究者番号：30182827

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし