

粗粒材料の力学的特性に関する基礎的実験Ⅱ

森 満 雄*・阿 部 道 雄**

1. ま え が き
2. 試料及び試験概要
3. 結果及び考察
 - 3.1 セン断強さ τ_f のバラツキについて
 - 3.2 破砕と強度特性について
4. む す び

1. ま え が き

従来、アースダムなど粗粒材料を用いた構造物は、多分に、経験的な手法を用いて設計されてきたが、大型力学試験機による粗粒材料の試験が可能となるに従って、その力学的性質の解明と理論的裏付けが期待されるようになった¹⁾。

この報告は、大型一面セン断試験機による粗粒材料の力学試験についての基礎的実験で、粗粒材料の形状・堅さ・供試体厚さの相異によって、セン断抵抗角 ϕ ・破砕量がどのように変化するかを検討したものである。

特に、今回は鋼球を粗粒材料としてセン断試験を行ない、破砕しない材料として、その力学的特性を比較検討した。

2. 試料及び試験概要

試験に用いた材料は、川砂利、碎石、軟岩のいわゆる粗粒材 3 種類と鋼球の合わせて 4 種類である。鋼球は粗粒材の破砕が強度特性に如何に影響するかを検討するために、破砕しない材料として、その強度特性を参考とするために用いたものである。

それぞれの材料は 19.1 mm～9.52 mm, 9.52 mm～4.76 mm, 4.76 mm～2.0 mm の 3 種類の粒径に分類し、十分に水洗いした後、炉乾燥して使用した。鋼球は球径 9.5 mm と 2.4 mm の 2 種類である。

供試体の作製方法は上下のセン断箱を組み合わせた後、作製時の材料の破砕を防ぐために、ゆる詰め供試体とすることとし、材料をハンドスコップで注意深く注ぎ込む方法をとった。

試験には大型一面セン断試験機を使用し、そのセン断箱の寸法は直径 30 cm, 深さ 20 cm である。在来型試験機のセン断箱に比べその容積は 250 倍で、試験機の構造は改良型試験機とほぼ同じである²⁾。

供試体の厚さを変えた場合、試験結果にどのように影響するかを検討するために、それぞれの試験を供試体厚さ 20 cm と 10 cm の二通りについて行なった。

* 理工学部土木工学科教授 土質工学・道路工学 ** 理工学部土木工学科助手 土質工学

供試体質量は、供試体厚さ 20 cm, 粒径 19.1 mm~9.52 mm の場合で、川砂利が約 21 kg, 碎石が約 19 kg, 軟岩が約 17 kg, 鋼球（球径 9.5 mm）が約 68 kg であり、供試体厚さ 10 cm の場合はそれぞれおよそ半分の量が詰まった。

試験条件は、ほとんどの場合を UU 試験に準じて載荷と同時にセン断を開始したが、軟岩については一部、破碎後の強度特性を知るために、各荷重段階で最初に使用試験機の最大荷重（ $\sigma=4.0 \text{ kgf/cm}^2$ ）をかけ、供試体の沈下（破碎を期待している）が収まった後に所定の荷重まで除荷してセン断を開始するといった特殊な方法を試みた。

破碎量の比較は、セン断後に供試体全量についてフルイ分け試験を行ない、各フルイ目の通過質量百分率をもって比較した。

3. 結果及び考察

3.1 セン断強さ τ_f のバラツキについて

図-1~4 は、川砂利、碎石、軟岩、鋼球の垂直応力 σ とセン断強さ τ_f の関係を粒径別及び供試体厚さ別に示したものである。図-1, 2 より明らかなように、碎石及び軟岩については σ - τ_f の関係は直線にならず、即ち $\tau=c+\sigma \tan \phi$ なるクーロンの公式が適用できないような結果となった。粒径の粗いものほどそれぞれの σ における τ_f のバラツキが広がる傾向にあり、逆に粒径が細かく粒子間の間ゲキの小さい粒径の試験結果ほど σ - τ_f の関係は直線に近づくといえる（図-4）。特に、碎石や軟岩のように角ばった粒子の場合、そのセン断面を想像すると、粒子は相互に点あるいは線接触をしているものと考えられる。従って、供試体作製条件がゆるい詰めであることも原因してか、セン断面における接触面積は各供試体によってばらつくこととなる。故に、載荷重は同一であっても供試体ごと

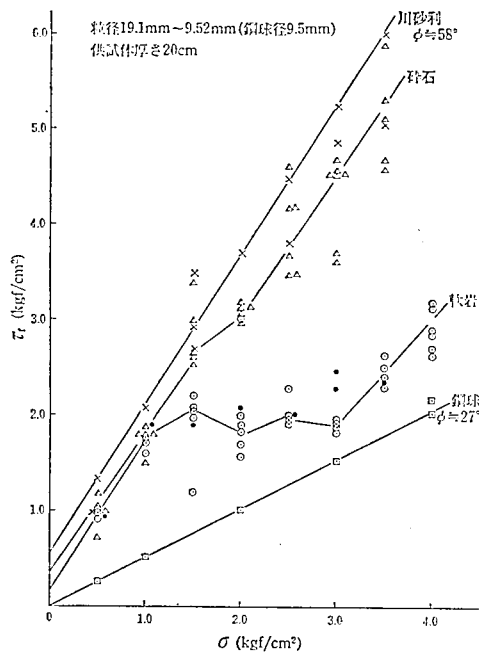


図 1

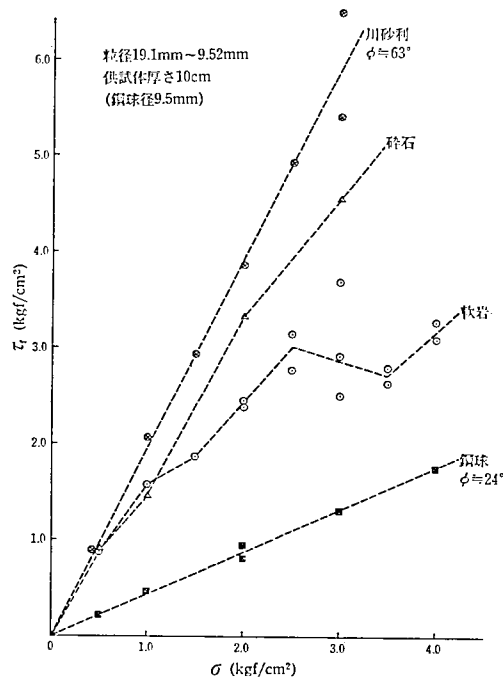


図 2

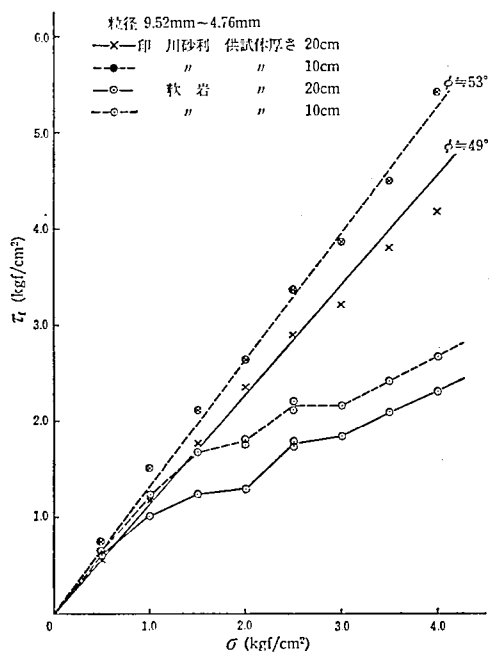


図 3

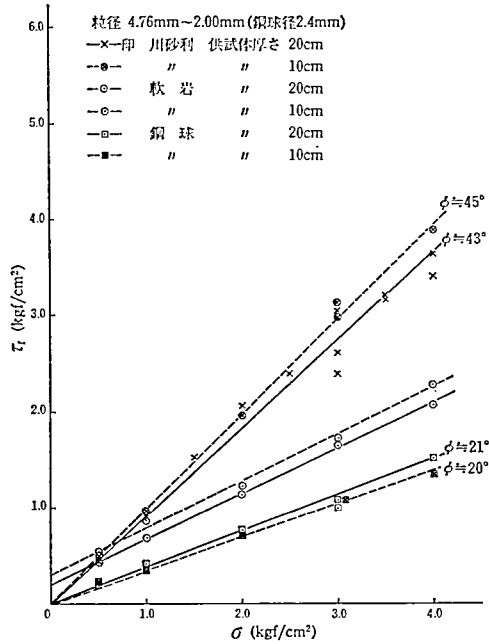


図 4

に微小部分の σ に相異を生じ、結果として τ_f にバラツキを生じるものと考えられる。これに対して粒径の細かい材料ほどセン断面の凹凸が細かく面と面で接触する状態に近づき、各供試体のセン断面における接触面積がほぼ一定となる。従って、 σ も载荷重の増加に伴い順当に増加することとなり、 σ - τ_f の関係はクーロンの公式に沿うものと考えられる。

ここで混合粒度の試験結果の一例を示す。図-5は軟岩の19.1mmフルイを通過した試

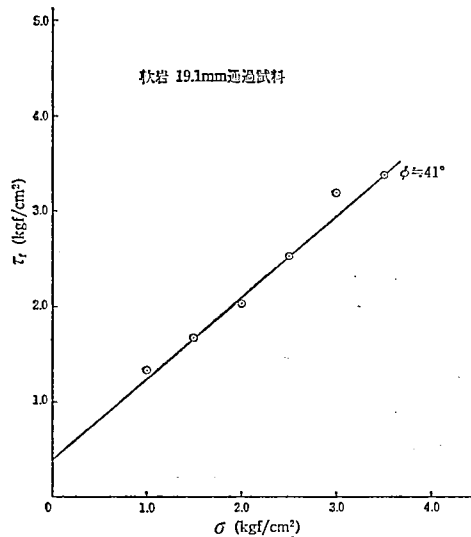


図 5

料の試験結果である。粒径の粗い粒子 (19.1 mm~9.52 mm) が混合してあっても、セン断面の凹凸が細かければ図に示すように $\sigma-\tau_f$ は直線関係を示す。

一方、角ばった材料に対して丸みを帯びた川砂利の結果をみると、碎石に比べて τ_f のバラツキの範囲は狭く、セン断抵抗角は大きい。これは川砂利が丸みを帯びているために、ゆる詰めでありながらも詰まり易く、それが同じ粒径の碎石に比べて供試体の凹凸の細かさを意味する。また、粒子の形のちがいによる噛み合わせ抵抗の差もさることながら、粗粒材の場合密度の増加 (詰まり易さ) はセン断抵抗角の増加に結びつく。これは筆者らが以前に明らかにしている³⁾。

次に鋼球の場合は、球径が 9.5 mm で 19.1 mm~9.52 mm の範囲の下限に近く、4種類の材料のうちでは最もよく詰まるが、完全なる球体であるために噛み合わせ抵抗はほとんど期待できない。従ってクーロンの公式にはよく適合するものの、セン断抵抗角は4種類の材料中最も小さくなったと考えてよい。

3.2 破碎と強度特性について

表-1~4 は3種類の材料の 19.1 mm~9.52 mm におけるセン断後の供試体のフルイ分け試験結果の一例である。9.52 mm の通過率をみると、いずれの場合も川砂利、碎石に比べて軟岩の通過率が突出している。これは当然のことながら、軟岩の粒子自体の硬度の低さを示している。3.1 でふれた、粒子の形状や粒径が及ぼす影響以上に、材料の堅さが

表-1 $\sigma=0.5 \text{ kgf/cm}^2$ 供試体厚さ 20 cm
加積通過率 (%)

mm	9.52	4.76	2.00	0.84	0.42	0.25	0.105	0.074
川砂利	0	—	—	—	—	—	—	—
碎石	1.2	0.08	0.05	—	—	—	—	—
軟岩	9.2	2.0	1.0	0.65	0.62	0.45	0.30	0.25

表-2 $\sigma=0.5 \text{ kgf/cm}^2$ 供試体厚さ 10 cm
加積通過率 (%)

mm	9.52	4.76	2.00	0.84	0.42	0.25	0.105	0.074
川砂利	0.40	0.10	0.04	—	—	—	—	—
碎石	0.65	0.20	0.10	0.08	0.05	—	—	—
軟岩	13.2	4.2	1.7	1.1	0.90	0.75	0.50	0.45

表-3 $\sigma=3.0 \text{ kgf/cm}^2$ 供試体厚さ 20 cm
加積通過率 (%)

mm	9.52	4.76	2.00	0.84	0.42	0.25	0.105	0.074
川砂利	4.8	1.3	0.50	0.30	0.25	0.15	0.10	0.10
碎石	3.5	1.3	0.50	0.29	0.23	0.20	0.15	0.15
軟岩	19.0	6.4	2.8	1.7	1.4	1.3	0.80	0.80

表-4 $\sigma=3.0 \text{ kgf/cm}^2$ 供試体厚さ 10 cm
加積通過率 (%)

mm	9.52	4.76	2.00	0.84	0.42	0.25	0.105	0.074
川砂利	7.6	2.4	0.93	0.50	0.33	0.25	0.15	0.12
砕石	6.2	2.2	0.95	0.55	0.41	0.35	0.29	0.21
軟岩	32.5	13.5	5.5	3.2	2.5	1.7	1.2	1.0

粗粒材の強度特性に大きく影響している。硬度の低い材料ほど τ_f のバラツキが大きく、図-1～4 中の軟岩が示すように、クーロンの公式には全く沿わないような結果を呈する。

図-1 中の●印は、軟岩の 19.1 mm～9.52 mm、供試体厚さ 20 cm について破碎後のセン断抵抗を知るために行なった試験の結果である。2 の試験概要の項で述べたように特殊な方法で載荷しているが、その結果は載荷と同時にセン断した試験の結果と大差は認められなかった。即ち、セン断開始前に加えた 4.0 kgf/cm^2 の垂直応力は供試体に τ_f に影響する程の大きな変化をもたらすことはなく、従って、破碎の大部分はセン断開始後に発生するものと考えられる。

表-1～4 より、 σ が同じであれば、供試体厚さ 20 cm より 10 cm の方が通過率が多くなる傾向がある。これは図-1～4 に示したセン断抵抗角の差と関連がある。即ち、厚さ 20 cm と 10 cm の供試体に同じ σ を加えてセン断した場合に、厚さ 10 cm の供試体中の粒子の移動は、厚さ 20 cm の供試体中の粒子よりも、より強く拘束される。この粒子の移動に対する拘束力の差こそセン断抵抗の差であり、また、拘束力の大きい中で移動する方の破碎量が多くなるのも当然であろう⁹⁾。

今回の破碎量の捕え方には欠陥があった。即ち、各粒径の上限 (19.1 mm, 9.52 mm, 4.76 mm) にごく近い粒子の一部が破碎しても、残りの大きい部分は各粒径の下限のフルイ目 (9.52 mm, 4.76 mm, 2.0 mm) に残留することになるが、この破碎してもなお下限のフルイに留まる量を未破碎の粒子と定量的に区別することができなかった。これは、試験前・後の材料の粒度変化を比較する際にも問題となる。

尚、鋼球に限って、供試体厚さ 20 cm の方が厚さ 10 cm よりセン断抵抗角が大きくなった。この原因については現在のところは不明である。

4. む す び

大型一面セン断試験機による粗粒材料の力学的特性に関して、基礎的な検討を行なったが、得られた結果を要約すれば下記のようになる。

碎石や軟岩のような角ばった材料は、鋼球や丸みを帯びた川砂利よりも、セン断強さ τ_f にバラツキが多く、特に今回用いた軟岩のような材料については、クーロンの公式が適用できない。

軟岩を圧密後にセン断しても強度的には圧密しない場合と大差は認められない。また、 τ_f に影響する破碎はセン断中に主に発生すると考えられる。

供試体の厚さを半分にすると、セン断中の粒子の移動に対する拘束力が増加し、その結果セン断抵抗角 ϕ は大きくなり、破碎量も多くなる。

今後の課題として、破碎の発生条件を更に明らかにし、破碎量の的確な捕え方について

検討を予定している。

参考文献

- 1) 土質工学会「粗粒材料の変形と強度」昭和61年5月.
- 2) 土質工学会「土質試験法」昭和55年4月
- 3) 森・阿部「粗粒材料の力学的特性に関する基礎的実験」明星大学研究紀要 第19号 昭和58年3月.
- 4) 阿部「一面セン断試験機の比較実験について」明星大学研究紀要 第12号 昭和51年1月.