

函館高専 正員 ○佐野 佑房
〃 〃 清水 誠一

1. まえがき

時日と熟練を要するせん断試験等を行なうことなしに適当な精度をもって砂質土のせん断抵抗角 ϕ を求める方法を模索してきた。これまでは直接せん断試験(箱型一面せん断)によって粒度分布、粒径、表面性状(丸味のものと同角張ったもの)が ϕ に与える影響を見い出そうと努めてきた。しかしながら直せん断はやはり精度上難点があり、かつそれらを数値的に分離除外することが困難であるため、三軸圧縮試験により検討することとした。その結果これまでより高い精度で ϕ を推定することができるようになった。

2. 試料と試験方法

試料は従来と同様砕石粉をソイルミキサーでカクハンし角張りをとって丸味をおびるようにしたものを表-1に示すように4種類にフルイ分け乾燥したものである。

表-1 試料の物理常数

試料	粒 径 mm	Cu	D ₅₀ mm	e _{max}	e _{min}
R⑤	0.84 ~ 2.0	1.6	1.59	1.037	0.663
R⑥	0.42 ~ 0.84	1.4	0.59	1.087	0.631
R⑦	0.25 ~ 0.42	1.3	0.325	1.169	0.684
R⑧	0.074 ~ 0.25	1.9	0.135	1.130	0.677

$G_s = 2.669$ 丸味をおびている

供試体直径 50mm 高さ 125 mm を標準とし、供試体の直立方法は真空方式である。载荷はヒズミ制御($\dot{\epsilon} = 1\%/分$)、非排水条件、側圧は 0.5, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0 kg/cm^2 の5段階とした。

初期間ガキ比は作成できるもっとも密なもの、ゆるいもの、およびその中間2種の計4種類に変化させた。

3. 試験結果と考察

(i) 側圧と最大軸差応力との関係

図-1(b)のように一直線上に並ぶもの(R⑦, ⑧)と図-1(a)の $\sigma_3 = 4.0$ のように測定点が外れる場合(R⑤, ⑥)とがある。このことはせん断抵抗を一義的に決定することはできず、土粒子に作用する有効応力の大小によって ϕ が左右されることを意味し、モールの応力円への包絡線が折れ曲がることと同一の現象である。R⑤は折れ曲がりが見え、密な場合には $\sigma_3 = 3.0 \text{ kg}/\text{cm}^2$ から、 $\sigma_3 = 4.0 \text{ kg}/\text{cm}^2$ になると全ての場合において外れている。R⑥は $\sigma_3 = 4.0$

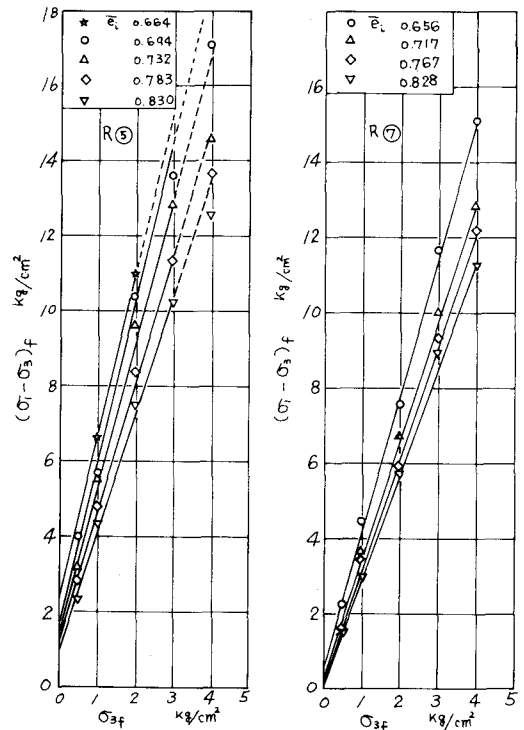


図-1 側圧と最大軸差応力との関係

kg/cm^2 のとき外れるものが多く、R⑦、⑧はこの側圧では外れるものはなかった。この影響を入れ始めため、Cの算出に際しては上述のようなデータを除くこととした。

(iii) 初期間ゲキ比と最大軸差応力との関係

e_i と $(\sigma_1 - \sigma_3)_f$ との関係の一例を図-2に示す。ほとんどが上に凹なる曲線を描き、直線状に分布しないようである。このことは一斉試験の際にも指摘されているが、そのデータよりもきつい曲線が得られた。またR⑤の $\sigma_3 = 4.0 \text{ kg/cm}^2$ の場合について、 $\sigma_3 \sim (\sigma_1 - \sigma_3)_f$ を延長して $(\sigma_1 - \sigma_3)_f$ を計算してプロットすると図の破線のようになり、 $\sigma_3 \sim (\sigma_1 - \sigma_3)_f$ が直線をなすときには $e_i \sim (\sigma_1 - \sigma_3)_f$ は上に凹なる曲線上に分布することが正しいと思われる。またその傾き具合は側圧が高いものほどきつくなることも観察されよう。

(iii) 破壊ヒズミについて

最大軸差応力が得られた時のヒズミ ϵ_f は従来言われているように密なものでは小さく、ゆるいものでは大きく、さらに側圧の高いものほど大きいという結果が得られた。粒径の大小についてみるとR⑤(5.5~11.5), R⑥(7~13), R⑦(10~), R⑧(11~)というように粒径の大なるものは ϵ_f が小さく、変位の小さいうちに破壊が生じている(図-3)。

(iv) セソ断抵抗角と見かけの粘着力

試験結果は表-2のとおりである。R⑤⑥については前述のように $\sigma_3 \sim (\sigma_1 - \sigma_3)_f$ 直線にのらないデータを除外して算出したものである。このことは ϕ を決定する上で大きな影響を与える。R⑥の試料については $\sigma_3 = 4.0 \text{ kg/cm}^2$ のデータを加えた時と除いた時とでは表に例示した如く $0.3 \sim 1.0^\circ$ の差を生ずることになる。

(V) $e_i \sim \phi$, $D_r \sim \phi$, $D_r \sim C$ の関係について

平均初期間ゲキ比 e_i について ϕ をプロットする(図-4)とほぼ直線をなし、その傾きも粒径の大小に拘わらずかなり似通った数値をもちそうである。しかしながうゆる詰め状態においては上に凹なるようにワン曲し ϕ を推定しようとする際には甚だ都合

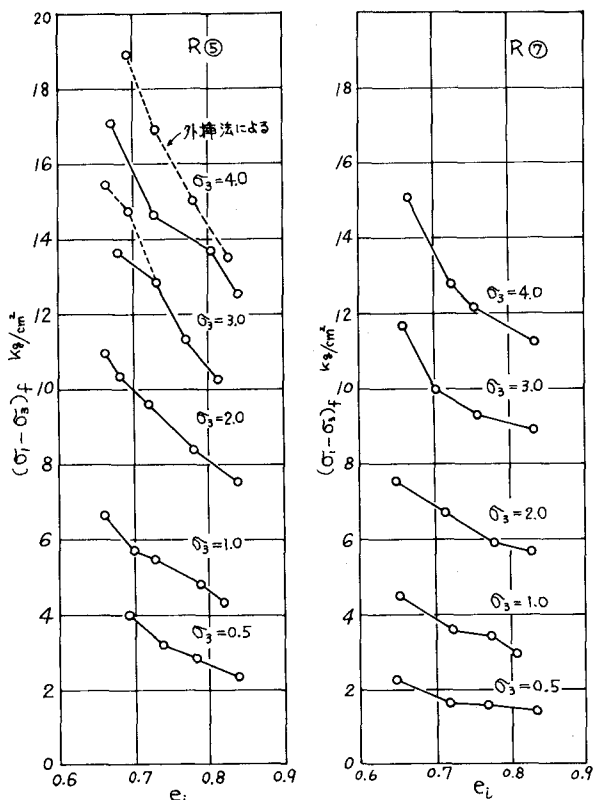


図-2 初期間ゲキ比と最大軸差応力との関係

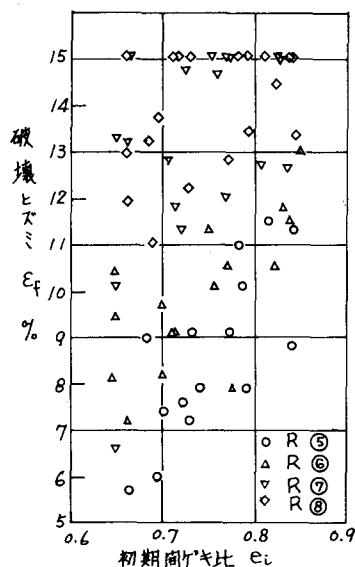


図-3 破壊ヒズミについて

が悪い。そこで相対密度 D_r に対してプロットしてみる(図-5)と多少のズレはあるが直線とみなすにはさほど抵抗を感じない分布が得られ、しかも一定の傾きを示している。従って ϕ を推定するには $\bar{e}_i \sim \phi$ より $D_r \sim \phi$ の方が有利であると考えられる。これを数字で示すと表-3のように1.7~2.8ぐらいであって粒径の大小には左右されていない。ズレがあるにしても ϕ の値で最大1°ふつうには0.5°以内の誤差である。

見かけの粘着力 C については図-6のとおりである。乾燥砂であるから従来からの考え方によると $C=0$ となるはずである。乾燥砂のときに C が測定されるのは測定上の誤差と考えられておりしかも 0.1 kg/cm^2 くらいの大ききまでとされている。これに対して本実験ではかなり大きい場合がある。しかもそれは密度の高いもの、粒径の大きなものについて著しい。これらの状態の試料の場合には σ_3 が小さいときからすでにモールの破壊包絡線が折れ曲がり始めるためであって単なる測定の誤差ではないと考えられる。今粘着力がないと考えて各側圧毎に計算した ϕ の一部を表-4に示す。R⑧の場合にはそう大きな差は出ていない。

表-2 試験結果一覧

試料	$\bar{e}_i$	D_r	ϕ	$C \text{ kg/cm}^2$
R⑤	0.664	1.00	43.2	0.498
	0.691	0.93	41.6	0.456
	0.732	0.82	41.2	0.344
	0.783	0.68	39.0	0.317
	0.830	0.55	37.6	0.254
R⑥	0.652	0.95	43.5 (43.0)	0.336
	0.708	0.83	42.0 (41.0)	0.199
	0.765	0.71	40.0 (39.1)	0.151
	0.838	0.55	38.4 (38.7)	0.129
R⑦	0.656	1.06	40.2	0.133
	0.717	0.93	37.8	0.068
	0.767	0.83	36.9	0.043
	0.828	0.70	35.9	0.026
R⑧	0.673	1.01	38.8	0.133
	0.718	0.91	37.5	0.104
	0.783	0.77	35.2	0.109
	0.834	0.65	34.4	0.030

注 R⑤ $\bar{e}_i=0.664$ $\sigma_3=1.0, 2.0 \text{ kg/cm}^2$ のみ
 その他 $\sigma_3=4.0 \text{ kg/cm}^2$ を除外
 R⑥ 上段 $\sigma_3=4.0 \text{ kg/cm}^2$ を除外
 下段()内 4.0 kg/cm^2 を含む
 R⑦, R⑧ 4.0 kg/cm^2 を含む

表-3 $D_r \sim \phi$ の傾きと切片

試料	傾き	切片	$D_r=1.0$ おときの ϕ	$D_r=0.5$ おときの ϕ
R⑤	12.69	30.59	43.3	36.9
R⑥	12.77	31.36	44.1	37.7
R⑦	11.73	27.30	39.0	33.2
R⑧	12.16	26.50	38.7	32.6

表-4 $C=0$ としたときのせん断抵抗角

試料	$\sigma_3 \text{ kg/cm}^2$	ϕ	試料	$\sigma_3 \text{ kg/cm}^2$	ϕ
R⑤ dense $\bar{e}_i=0.691$	0.5	53.2	R⑤ loose $\bar{e}_i=0.830$	0.5	44.7
	1.0	47.8		1.0	43.3
	2.0	46.2		2.0	40.8
	3.0	44.0		3.0	39.2
R⑧ dense $\bar{e}_i=0.673$	0.5	43.4	R⑧ loose $\bar{e}_i=0.834$	0.5	33.5
	1.0	42.0		1.0	36.7
	2.0	40.0		2.0	34.5
	3.0	39.6		3.0	34.7
	4.0	39.3		4.0	34.6

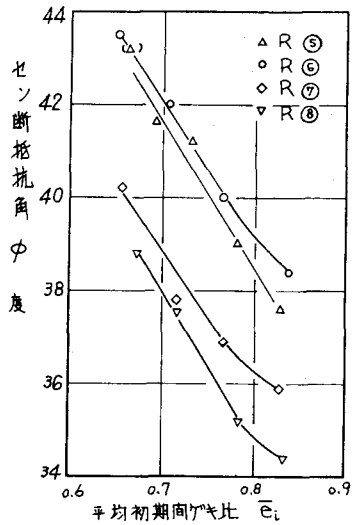


図-4 $\bar{e}_i \sim \phi$

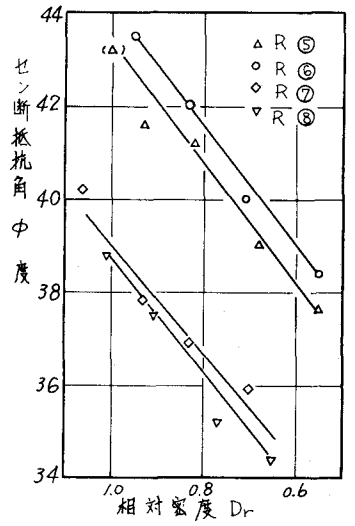


図-5 $D_r \sim \phi$

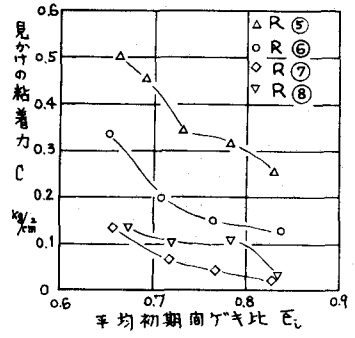


図-6 見かけの粘着力

それに対してR⑤の場合は側圧が高まるにつれはっきりとした差が生じている。ここには示していないがCの大なるものについてはすべて同じ傾向がある。

(VI) $D_r \sim \phi$ の傾きと切片

ある砂の任意の状態におけるセン断抵抗角 ϕ を推定するには $D_r \sim \phi$ の傾きと切片を簡単にしかも適確に決定することが必要である。今回得られた傾きはほぼ同一の値であることからみて、ある一定の表面性状をもち、同じ程度の均等係数 C_u をもつ試料については粒径の大小にかかわらず一定であるとの傾向がある(図-7, 図-8)。しかしながら均等係数が異なったものについては差を生ずるかどうかは不明である。前回直センにより大ざっぱに検討した際には差を生じていたので詳細な調査を要する。

傾きには大差がないとすれば切片が大変重要な常数となるわけである。前回のデータでは均等係数によってはその効果の程度は表現できなかった。今回も同様である(図-7)。そこで50%粒径 D_{50} についてプロットしてみると図-8のとおりである。切片は $D_r=0$ のときの ϕ の値であり、もっともゆるい状態における ϕ というものはある一定の値に近づくべきものではないかと推定される。しかし実際にはそのようなゆるい状態のものの実測値はなかなか得られない。そこで $D_r=1$ のときの ϕ の値(図-9)についてみるとある程度の様相をつかむことができると思われる。そして三軸の場合にはピークらしきものの存在もみられKirkpatrickが述べているように粒径大なる方が常に大なる ϕ をもつものではないようである。

表-3の数値を用いて ϕ を計算して実測値と比較してみると $-0.9^\circ \sim +0.7^\circ$ (平均 ± 0.23)、傾きを平均値 12.3 としたときにも $-1.2^\circ \sim +0.9^\circ$ (平均 0.37°)程度である。

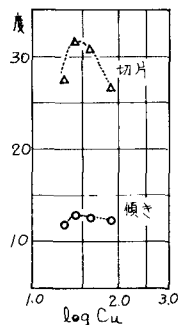


図-7 $D_r \sim \phi$ の傾きと切片(その1)

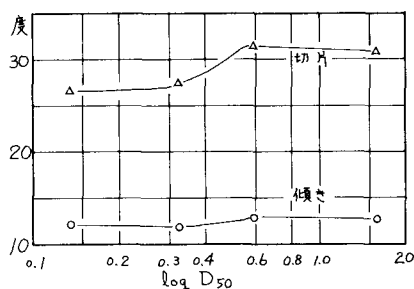


図-8 $D_r \sim \phi$ の傾きと切片(その2)

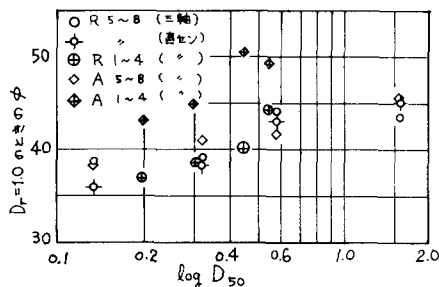


図-9 $D_r=1.0$ 時の ϕ の大小について

4. あとがき

誤差 1° 程度を許容できるとすれば $D_r \sim \phi$ を直線とみなせることが確かめられ、また ϕ を相対密度から推定するにはその傾きよりも切片が重要であることが分った。今後は多くの砂についてこの点を確かめると共にその傾きと切片の大小を左右する因子を追求したい。

- 参考文献 1. W. M. Kirkpatrick: Effects of grain size and grading Proc. 6 ICSMFE 1965
 2. 土質工学会: 土のセン断試験法に関する基礎的研究 1968
 3. 佐野, 清水: 乾燥砂のセン断特性について(オ3報) オ6回土質工学研究発表会 1971