

九州工業技術試験所 正員 三浦哲彦

1. まえびき 筆者は先に、水の存在の有無によって、高拘束下の砂の変形および強度特性に若干の差違が生じることを報告した¹⁾。その後、低拘束圧下においても、水は砂の力学的性質に明らかな影響を及ぼすことを確かめた。水の作用として最も確からしいと考えられるのは、それが粒子間の摩擦角を変化させるということであろう。事実、石英固体間の摩擦角は水の添加によって変化することはよく知られている。しかし、せん断過程における粒子間の相対移動は、単純なすべり現象のみによるものとは考え難いので、固体間摩擦の変化をもって直ちに粒状材料の強度特性の変化を論じることには多少の疑問が残る。ところでRowe²⁾は、粒状材料のせん断変形に關し、考へる一方の限界状態として最小エネルギーの概念を示した。最小エネルギー線は粒子の相対移動がすべりを主体とするものと考えてその摩擦角 ϕ_u によってきまる。他の一つの限界状態はいわゆるcritical stateに相当(ϕ_{cv})するもので実験的に定められる。一般には、粒子のせん断変形はこれらの中間的な状態(ϕ)で進行しようが、このときもし小さなひずみの間は曲線は一つの直線にとされている。ただし、 $\phi_{cv} > \phi > \phi_u$ で、非常に密な状態においては $\phi = \phi_u$ 。上述のことから、乾燥および飽和状態の砂の ϕ を比較することによって、砂の粒子間摩擦角に及ぼす水の影響を知ることができると考えた。

表-1 密うめ豊浦砂についての排水せん断試験結果

試験番号	σ_3 (kg/cm ²)	飽和(%) 乾燥(%)	初期 間ひき 比 e_i	圧密後 間ひき 比 e_c	ϵ_{avo} (%)	最大軸差力時				補正後	
						e_f	$(\sigma_3/\sigma_1)_f$	ϕ_{max} (deg)	$(\sigma_3/\sigma_1)_f$	$(\sigma_3/\sigma_1)_f$	ϕ_{cr} (deg)
4	1.0	S	0.609	0.604	0.60	0.634	5.20	42.6	+0.757	2.96	29.7
101		d	0.611	0.608	0.35	0.641	5.92	45.3	+1.043	2.90	29.2
10	3.0	S	0.622	0.613	0.90	0.636	4.80	40.9	+0.677	2.86	28.8
102		d	0.611	0.599	0.90	0.627	5.24	42.8	+0.854	2.78	28.1
21	5.0	S	0.616	0.605	0.88	0.620	4.97	38.9	+0.508	2.90	29.2
104		d	0.609	0.594	0.80	0.629	5.16	42.5	+0.848	2.79	28.2
55	25	S	0.611	0.578	2.79	0.588	4.09	37.4	+0.183	3.46	33.5
117		d	0.596	0.569	-	0.587	4.08	37.4	+0.360	3.00	30.0
63	50	S	0.609	0.569	-	0.547	3.49	33.7	-0.042	3.64	34.7
115		d	0.607	0.568	-	0.556	3.54	34.0	+0.003	3.53	34.0
79	75	S	0.603	0.556	-	0.482	3.35	32.7	-0.157	3.97	36.7
127		d	0.605	0.560	-	0.494	3.26	32.0	-0.131	3.75	35.4
73	100	S	0.609	0.556	-	0.438	3.28	32.2	-0.158	3.90	36.3
119		d	0.610	0.550	-	0.429	3.28	32.2	-0.212	4.16	37.8
75	125	S	0.598	0.538	-	0.388	3.26	32.0	-0.145	3.81	35.7
120		d	0.615	0.535	-	0.397	3.32	32.5	-0.137	3.85	36.0
76	150	S	0.594	0.528	-	0.363	3.20	31.6	-0.132	3.69	35.0
121		d	0.600	0.536	-	0.367	3.35	32.0	-0.132	3.86	36.0
79	200	S	0.587	0.507	-	0.317	3.30	32.3	-0.107	3.70	35.1
123		d	0.604	0.527	-	0.326	3.30	32.3	-0.116	3.73	35.3
90	300	S	0.602	0.479	-	0.272	3.38	32.9	-0.064	3.61	34.5
125		d	0.599	0.478	-	0.264	3.45	33.4	-0.053	3.64	34.7
92	500	S	0.606	0.420	-	0.231	3.33	32.6	-0.031	3.44	33.3
126		d	0.606	0.426	-	0.230	3.44	33.3	+0.044	3.30	32.3

2. 実験およびその結果 炉乾燥後デシケータに保存した豊浦砂($w=0.09\%$)を16層に分け30回づつ軽くタムで実固めた。数分間これを真空吸引で締めたるのち、飽和度試験では下部から脱気水を供給し、乾燥試験については負圧を減じて、ともに -40 cmの負圧をかけた状態で寸法(5×125 cm)を測った。上述の方法で乾燥および飽和両供試体の準備段階における詰り方に大きな差は生じないと考えた。

側圧(σ_3)一定、排水条件で行った一連の三軸圧縮試験の結果を表-1に示す。最大軸差力を示したときの主応力比 $(\sigma_3/\sigma_1)_f$ およびそれから計算した ϕ_{max} 値 $(\sin \phi_{max} = (\sigma_1 - \sigma_3)_f / (\sigma_1 + \sigma_3)_f)$ は、多くの場合乾燥砂の方が飽和砂のそれより大きいことが認められる。しかし、式 $(\sigma_3/\sigma_1)_f =$

$(d\sigma/\sigma)/(1+d\epsilon/d\epsilon_1)$ によってタイルゲージ効果を補正すると、多くの場合むしろ飽和砂の値の方がより大きくなった。

一方、図-1, 2 は変形の全過程における主た力比 R とタイルゲージファクター D の関係を示したものである。図-1 (a) において、飽和試料の曲線は小さきひみ域で $\phi_f = 27.8^\circ$ の直線 $[(d\sigma/\sigma) = (1+d\epsilon/d\epsilon_1) \tan(45 + \phi_f/2)]$ に沿っており、また図-1 の他の曲線もほぼこの直線をベースに変化しているようである。そこで、一たこの線をこの飽和試料の実験密度条件に対応する ϕ 値と考えよう。また図から、 $\phi_{cu} < 33.8^\circ$ である。さて、図-1 (a), (b) および (c) に示される飽和試料がいずれも $\phi_f = 27.8^\circ$ と $\phi_{cu} = 33.8^\circ$ の間で変化し、しかも圧力の大小にあまり影響されまいように見えるように対し、乾燥試料の曲線は $\phi_f = 27.8^\circ$ 線よりかなり上側組れたところを経由し、拘束圧が大きくなるにつれて下へずれてくる傾向にある。また図-1 において興味深いのは、 $(d\sigma/\sigma)_f$ を追って critical state に至る過程で二つの曲線がほぼ同一の軌跡をたどることである。図-1 中破線は、タイルゲージ効果を差引いたもので、もし測定値が ϕ 線に一致するならば補正曲線は水平な一果鎖線に一致し、その縦軸上の座標は ϕ の大きさと関係がある $[(d\sigma/\sigma)_f = \tan(45 + \phi/2)]$ 。図-1 の意味することについては、後日発表したい。

図-2 は、 $\sigma_3 = 125 \text{ kg/cm}^2$ の場合の $R \sim D$ 曲線であるが、あるひすみを越えたと先の $\phi_f = 27.8^\circ$ 線にほぼ平行に変化しており、粒子破碎を伴う場合の平均的粒子間摩擦角および粒子破碎エネルギー等の観点から考察を進める予定である。

文献¹⁾三浦：高拘束圧下の砂の力学的特性に関する研究、同が主水の影響、27 国土学会講演集、西部、昭47。
2) Rowe, P.W.: The stress dilatancy relation for static equilibrium of an assembly of particles in contact, Proc. Roy. Soc. A 269, 1962.

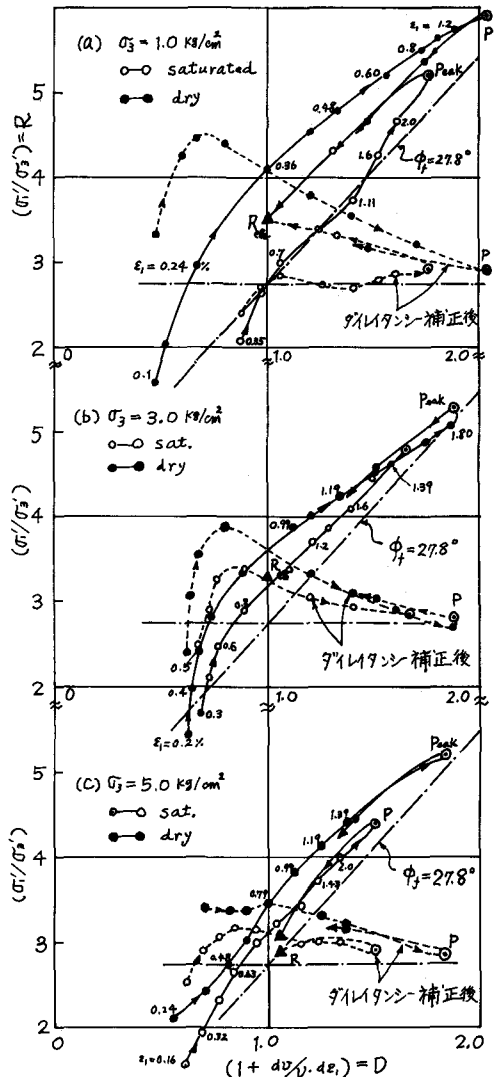


図-1 低拘束圧下の $R \sim D$ 関係

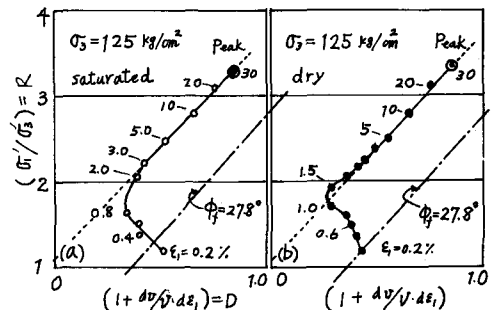


図-2 高拘束圧下の $R \sim D$ 関係