

III-23 高拘束圧下の砂のせん断強度に及ぼす粒子破碎の影響

九州工業技術試験所 正員 ○三浦哲彦

九州大学 工学部 正員 山内豊聡

1. まえがき 筆者らは先に、飽和した豊浦標準砂について高圧三軸圧縮試験を行ない、次のことを明らかにした¹⁾。i) 拘束圧が $75 \sim 125 \text{ kg/cm}^2$ の範囲では、初期間ゲキ比の大小にかかわらず、最大軸差応力 $(\sigma_1 - \sigma_3)_{\max}$ は同じ値を示す、ii) σ_3 が $150 \sim 500 \text{ kg/cm}^2$ の間では、ゆるめ砂の $(\sigma_1 - \sigma_3)_{\max}$ は密うめ砂のそれより高い、iii) 上述のことはせん断中の粒子破碎に費されるエネルギーの差で説明される。せん断後の試料粒度は、ゆるめ砂の方がより細かくなっておりそのことを裏付けている、等。

本報告は、これまでに得た実験データをもとに、粒子破碎がせん断強度に及ぼす影響を定量的に示そうとするものである。

2. 方法と結果 Lee と Seed²⁾ は、Rowe³⁾ の指摘したことをもとに、高拘束圧下の砂のせん断破抗では次の3つの要素を加えたものであると考えた。i) すべり摩擦による強度 τ_s 、ii) タンゲンス効果、 τ_d (体積収縮のとき負の値)、iii) 粒子破碎と再配列効果²⁾。

ここでは Lee らの考えが成り立つものとして、Rowe のエネルギー補正式、

ここで $\tan^2(45 + \frac{\phi}{2}) = \frac{\sigma_1}{\sigma_3} \cdot \frac{1}{1 + (d\sigma/d\epsilon)_f}$

を用いて τ_s および τ_d を求め、測定したせん断強度からそれらを差し引くことによって τ を求めてみた。ここに、 τ_s を与えるすべり摩擦角 ϕ_μ は、密うめ砂の低圧三軸圧縮試験から求めた³⁾。また ϕ_μ は拘束圧に無関係に一定であると仮定した²⁾。

試験データを Rowe の式で補正すると表-1 のようになる。最大軸

表-1

側圧 σ_3 (kg/cm ²)	初期間 ゲキ比 e_0	最大軸差 応力時の ゲキ比 (%) $(\sigma_3)_{\max}$ (kg/cm ²)	最大軸差 応力 $(\sigma_1 - \sigma_3)$ (kg/cm ²)	タンゲンス 効果 ($d\sigma/d\epsilon$) _f	補正最大 主応力 σ_1 (kg/cm ²)	補正最大 軸差応力 $(\sigma_1 - \sigma_3)_{\max}$ (*)	$\frac{(\sigma_1 + \sigma_3)}{2}$ max (kg/cm ²)	供試体 番号
500	0.606	32.5	1166	-0.031	1719	1219	1110	H 92
	0.790	31.0	1190	-0.032	1746	1246	1123	H 47
300	0.602	34.0	713	-0.064	1082	782	691	H 90
	0.804	33.0	729	-0.047	1080	780	690	H 48
250	0.592	33.0	580	-0.088	910	660	580	H 83
	—	—	—	—	—	—	—	—
200	0.587	32.5	460	-0.107	739	539	470	H 79
	0.814	37.5	477	-0.086	741	541	471	H 82
175	0.593	32.5	393	-0.128	651	476	413	H 78
	—	—	—	—	—	—	—	—
150	0.594	32.0	330	-0.132	553	403	352	H 76
	0.843	38.8	347	-0.123	567	417	359	H 77
125	0.598	30.0	283	-0.145	477	352	301	H 75
	0.846	37.0	283	-0.150	479	354	302	H 74
100	0.609	26.5	228	-0.159	390	290	245	H 73
	0.832	37.5	228	-0.154	388	288	244	H 71
75	0.597	22.5	176	-0.140	292	217	184	H 68
	0.845	35.0	173	-0.193	307	232	191	H 67
50	0.609	12.5	125	-0.042	182	132	116	H 63
	0.819	30.0	109	-0.179	194	144	122	H 61
25	0.618	8.0	76.1	+0.208	83.7	58.7	54.4	H 56
	0.795	19.5	62.3	-0.088	95.7	70.7	60.4	H 58
5	0.616	4.0	16.9	+0.554	14.2	9.2	9.6	L 21
	0.830	8.0	11.8	+0.104	15.2	10.2	10.1	L 43
3	0.622	4.3	11.4	+0.174	8.6	5.6	5.8	L 10
	0.785	7.3	7.0	+0.068	9.4	6.4	6.2	L 46
1	0.604	4.9	4.21	+0.747	2.98	1.98	1.99	L 4
	0.832	4.9	2.41	+0.078	3.16	2.16	2.08	L 49

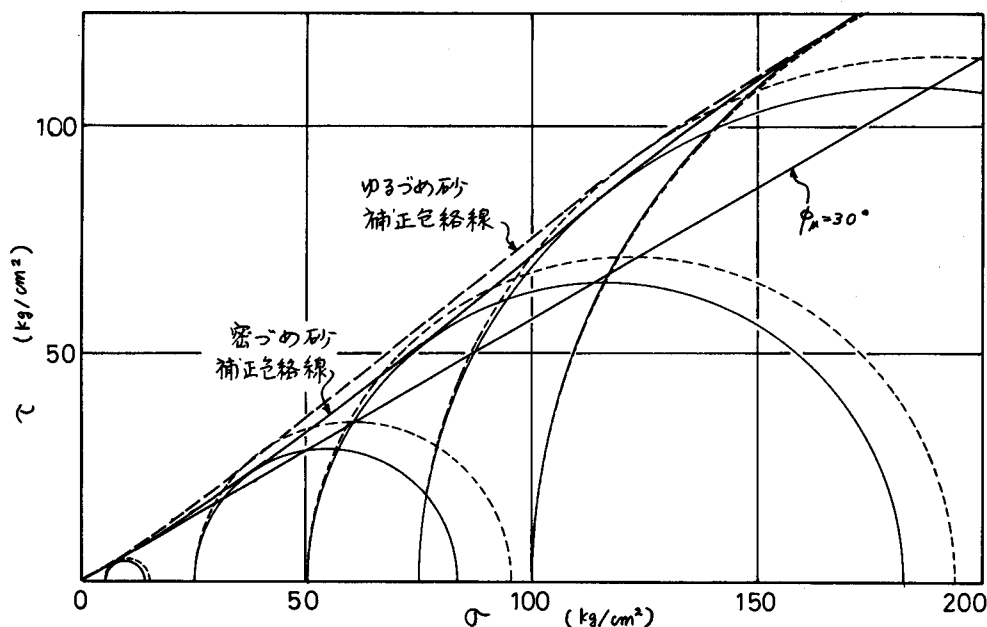


図-1 モール包絡線

差応力時のタイルゲージレート $(dv/de)_f$ は、 $150 \leq \sigma_3 < 500 \text{ kg/cm}^2$ の範囲においては、密めめ砂の方がゆるめめ砂より負の側に大きく、 $\sigma_3 \leq 125 \text{ kg/cm}^2$ では両者の関係は逆になる。そして、補正した最大軸差応力 $(\sigma_1 - \sigma_3)_{\max}$ は、 $100 \leq \sigma_3 < 500 \text{ kg/cm}^2$ の範囲において、初期間ゲキ比の大小にかかわらずほぼ同じ値を示す。一方、 $\sigma_3 \leq 75 \text{ kg/cm}^2$ における $(\sigma_1 - \sigma_3)_{\max}$ は、ゆるめめ砂の方が大きい。この圧力範囲における補正值に基づく強度包絡線図を上を示す。包絡線と、 $\tau_0 = \sigma \tan \phi_\mu$ ($\phi_\mu = 30^\circ$) とではさまれる部分で τ_{cl} に相当すると考えられよう。垂直応力 σ が $16 \sim 18 \text{ kg/cm}^2$ より低いところでは、密めめ砂の τ_c (以後 τ_{cd} とかく) は 0 である。この圧力域におけるゆるめめ砂の τ_c (以後 τ_{cl}) は、主として粒子の再配列効果によるものと考えられる³⁾。 σ の増大とともに、 τ_0 に対する τ_c の割合も増加の傾向をたどり、 $\sigma = 155 \text{ kg/cm}^2$ では、 $\tau_{cd}/\tau_0 = 27\%$ 、 $\tau_{cl}/\tau_0 = 32\%$ にも達する。 $\sigma < 200 \text{ kg/cm}^2$ の圧力範囲で $\tau_{cl} > \tau_{cd}$ となっているのは、ゆるめめ砂の方がより多くの粒子破砕を受ける⁴⁾ことと、再配列に使われるエネルギーの違いによるものであろう。さらに高い σ のもとで、 τ_c/τ_0 は次のような値をとる。 σ が 400, 600 および 800 kg/cm^2 のとき、 τ_{cd}/τ_0 は 19.7, 15.6 および 12.6%、同じく τ_{cl}/τ_0 は 19.7, 15.9 および 14.3% である。このように、垂直応力の増加とともに、 τ_0 に対する τ_c の割合は一度増加の傾向をみせたあと漸減していく。そしてある圧力範囲では、測定されるせん断抵抗の大きな部分を占める。

3. あとがき 本報告では、 $100 \leq \sigma_3 < 500 \text{ kg/cm}^2$ の圧力範囲において、補正した最大軸差応力が初期間ゲキ比の大小にかかわらずほぼ同じ値を示すことについて説明していない。粒子破砕および再配列に使われるエネルギーを別の方法(表面積測定など)で推定することとあわせて検討中である。

文献 1) 三浦・山内; 投稿中。2) Lee, K.L. and Seed, H.B.; Drained Strength Characteristics of Sands, proc. ASCE, Vol. 93, No. 546, 1967. 3) Rowe, P.W.; The Stress Dilatancy Relation for Static Equilibrium of an Assembly of Particles in Contact, Proc. Royal Society, Ser. A, Vol. 269, 1962. 4) 三浦・山内; 標準砂の高圧状態下におけるせん断特性, 土木学会西部支部昭和45年度研究発表会論文集, 昭46, 2.