

山口大学工学部 正員 三浦哲彦
同上 正員 O山本哲朗

1. まえがき 砂を高拘束圧下でせん断すると著しい粒子破砕を生じる。本報告は、せん断過程で破砕された聖浦標準砂の鉱物組成を調べ、その結果とせん断特性との関係を検討したものである。実験の概要：密つめおよびゆるつめの飽和供試体 (sat. dense; $e_0 \approx 0.61$, sat. loose; $e_0 = 0.83$), ならびに密つめの乾燥供試体 (dry dense; $e_0 = 0.61$) について拘束圧 (σ_3) 一定の CD 試験を行ない、試験試料を所定の粒径区分にふるい分けた。各試料について作製した厚さ約 0.02 mm の薄片を偏光顕微鏡で観察し、500 個の粒子を対象に各鉱物の個数%を求めた。

2. 破砕粒子の鉱物組成 表 1 に示した実験結果から次のことが知れる。(a) 標準砂原試料について; 粒径が細くなるにつれて個数%を減ずるもの (石英) と増える鉱物 (長石, 磁鉄鉱) があり, 前者は風化され難く 後者は風化され易いことを示している。たとえば、フェートの個数%は ほぼ一定である。(b) 拘束圧の影響について; sat. dense 試料についてみると $\sigma_3 = 25 \text{ kg/cm}^2$ の条件下で、長石粒子の個数%は粗粒で減少し細粒で増加しており、かなり破砕されたことを示している。一方石英粗粒子はほとんど減少していない。すなわち前記圧力条件では長石粒子が選択的に破砕されたことが分かる。 σ_3 が 100 kg/cm² を超えると、長石粒子は調べた全粒径において著しく破砕される限界値に近づく傾向を見せる。粒度分析の結果を用いて $105 \mu > D > 74 \mu$ における石英粒子量を試料全量に対して求めてみると、原砂のそれは 0.1%, $\sigma_3 = 25, 50$, および 100 kg/cm² におけるそれらはおのおの 1.0, 2.3, および 5.3% となって、拘束圧が 100 kg/cm² 程度になると石英粒子もかなり破砕されることが分かる。上述のように、鉱物粒子が著しく破砕されはじめる拘束圧は長石粒子では 25~50 kg/cm², 石英粒子においては 50~100 kg/cm² であると思われる。このことから、後者の破砕強度は前者のおよそ 2~4 倍であると推定できよう。(c) 供試体作製条件の違いの影響; 図 1 に、 $\sigma_3 = 50 \text{ kg/cm}^2$ でせん断

表 1 各粒径における 鉱物組成

した sat. dense, sat. loose, および dry dense 各試料の鉱物組成と粒度曲線を示す。sat. loose の鉱物組成~粒度の関係は、sat. dense の $\sigma_3 = 50$ および 100 kg/cm² 条件におけるそれらの中間に位置している。また、dry dense の同関係曲線は、sat. dense と sat. loose 両者のその中間にある。この三者の関係曲線は、より高い σ_3 のもとでは次第に接近し、その開きは 2~3% 内におさまる。作製条件の異なる三種類の供試体の粒子破砕特性とせん断強度特性との関係を、表 2 のデータをもとに以下に検討する。

3. 粒子破砕特性とせん断特性との関係について 図 1 に見られるように sat. dense 試料の細粒化の程度は、sat. loose のそれより高く、既報¹⁾の $\sigma_3 \approx 75 \text{ kg/cm}^2$ の場合における両者の関係と逆になっている。前者の $(\sigma_1 - \sigma_3)_f$ は後者のそれより高いことがう

試験条件				ふるい残留鉱物組成 (個数%: 観測個数各 500 個)							
No.	σ_3 (kg/cm ²)	初期密度	dry or sat.	粒径 (μ)	石英	フェート	長石	角閃石	輝石	雲母	磁鉄鉱
原試料				D>210 105~149 74~105	71.4 54.2 29.7	5.8 11.4 8.6	22.8 24.0 32.9	0 2.2 0.8	0 3.0 1.9	0 0.6 0.2	0 4.6 25.9
56	25	密つめ	sat. D	D>210 149~210 105~149 74~105	84.0 78.6 54.1 42.5	4.2 6.6 9.4 11.3	11.8 13.8 28.2 37.5	0 0.2 1.3 0.9	0 0.2 2.3 2.1	0 0 1.1 1.9	0 0.6 3.6 3.8
				D>210 149~210 105~149 74~105	86.1 79.2 57.8 38.9	4.9 4.8 6.9 10.0	9.0 15.4 30.2 47.1	0 0 3.1 1.6	0 0.2 0.2 0.7	0 0 0 0.2	0 0.4 1.8 1.5
				D>210 105~149 74~105	86.8 67.4 58.2	4.2 4.6 6.8	9.0 26.4 30.6	0 0.2 0.6	0 0.8 0.4	0 0.2 0.8	0 0.4 2.6
63	50	D	S	D>210 149~210 105~149 74~105	86.4 78.0 54.0 42.5	5.0 6.7 9.4 11.3	8.6 26.2 36.8 47.1	0 1.4 1.6 1.6	0 1.2 2.6 2.6	0 0.4 0.7 0.7	0 0.8 2.0 2.0
				D>210 149~210 105~149 74~105	88.0 84.0 74.4 72.6	2.8 5.4 6.2 7.2	9.2 10.4 15.6 17.6	0 0 0.6 0.6	0 0.2 0.8 0.8	0 0 0.2 0.2	0 0 2.2 1.0
				D>210 105~149 74~105	84.3 74.8 72.4	6.2 5.8 5.4	9.5 18.6 20.6	0 0 0.6	0 0.2 0.4	0 0 0.2	0 0.6 0.4
71	100	L	S	D>210 105~149 74~105	86.0 75.0 71.4	4.8 7.2 8.0	9.2 16.4 18.4	0 0.2 0.6	0 0.4 0.8	0 0.2 0.2	0 0.8 0.6
				D>210 149~210 105~149 74~105	85.6 86.2 84.4 77.4	5.6 4.6 5.0 7.4	8.8 7.8 9.6 14.0	0 0.4 0.2 0.2	0 0.8 0.4 0.2	0 0 0.2 0.2	0 0.2 0.2 0.6
				D>210 105~149 74~105	87.6 83.0 79.8	4.0 2.8 2.6	8.4 12.6 16.0	0 0.6 0.8	0 0.2 0.4	0 0.4 0	0 0.4 0.4

これは、あるレベル以上の力が供試体に作用するとせん断過程における粒子破砕量 g_b は供試体の受けた仕事量 W に関係があることを示すものである。 g_b を表わす指数として $74\mu\text{m}$ 通過試料百分率 W に関するものとして $\int_0^{\sigma_3} (\sigma_1 - \sigma_3) d\varepsilon_1$ をとると、図2が得られる。これら二つの物理的意味はあいまいであるが、図2は g_b と W の間に一定の関係があることを示していると言えよう。一方、表2において各粒径の鉱物量を比較すると、sat. denseの石英粒子はsat. looseのそれより多く破砕されており、また前者の長石粒子の破砕程度は後者より低いことが知られる。 $\sigma_3 = 50 \text{ kg/cm}^2$ におけるsat. dense供試体の $\varepsilon_1 \sim W$ 曲線から次のことが推定される。 $\varepsilon_1 = 3 \sim 20\%$ の範囲で供試体全体の体積はわずかに減少しつつも、試料内部においては主として破砕強度の大きい石英粒子間で局所的な膨張—粒子破砕による収縮をくりかえしており、強度の小さい長石粒子は石英粒子間にあってその破砕は緩和される。表2のデータは、以前に指摘した、初期密度が異るとせん断過程における粒子の破砕のされ方に違いを生じる²⁾ということを裏付けている。次に、 $\sigma_3 = 50 \text{ kg/cm}^2$ におけるsat. denseとdry dense両試料について比較する。dry denseの図2の関係は、飽和試料の下側にそれと平行に位置して乾燥試料は破砕されにくいことを示している。dry dense供試体のせん断中の体積減少はsat. denseのそれより明らかに少なくある軸ひずみ範囲では膨張さえ生じる。³⁾ 表2においてdry denseとsat. dense両試料の鉱物組成を比較すると、前者は後者に比べて石英粒子量は多く長石粒子はわずかに少ない。上に述べたことは、いずれも、乾燥砂粒子は飽和砂粒子より破砕されにくいこと、したがって粒子破砕を生じるような高圧下でのせん断抵抗は乾燥砂の方が大きく出であろうことを示している。粒子間けきの水分が粒子破砕現象にどのような機構で関与しているかは今後の検討にまたねばならない。

4. 応力—ダイレイタンスの関係 図3は $\sigma_3 = 50 \text{ kg/cm}^2$ でせん断した供試体についての主応力比 $(\sigma_1/\sigma_3 = R)$ とダイレイタンスファクタ $[(1 - \delta_1/\delta_3) = D]$ との関係を示したもので、この図で示されるせん断過程の特性と粒子破砕との関係は現在検討中なので他日発表したい。

謝辞 本学工学部資源工学科島敏史助教授ならびに北風真助氏から、鉱物鑑定その他で多くの御助言を得た。ここに感謝の意を表す。

文献 1) 三浦・山内：土木学会論文報告集，NO.193，1971。

2) 三浦・山内：土木学会西部支部研究発表会論文集，1972.2。

3) 三浦：土木学会27th年次学術講演会講演集，

Ⅲ-31，1972.10。

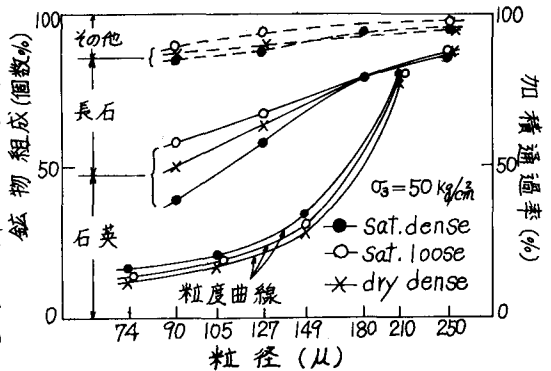


図1 試験試料の鉱物組成および粒度曲線

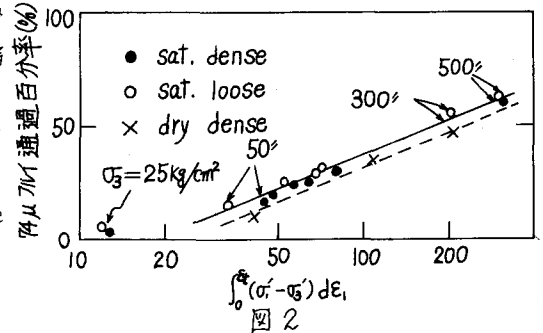


図2

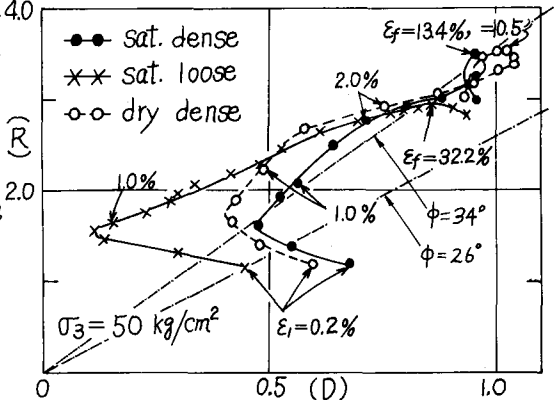


図3 主応力比(R)とダイレイタンスファクタとの関係

表2. $\sigma_3 = 50 \text{ kg/cm}^2$ で軸ひずみ(自然) $\varepsilon_1 = 51\%$ を受けた供試体の鉱物組成

供試体 作製条件	鉱物名	各粒径の試料に含まれる鉱物(全試料に対する%)				
		74-105μ	105-149μ	149-210μ	210μ以上	合計
原試料	石英 Q	0.1	2.5	-	30.3	-
	4+1 C	0	0.5	-	2.5	-
	長石 F	0.1	1.1	-	9.7	-
No.63	Q	2.3	7.3	37.1	16.5	63.2
	C	0.6	0.9	2.3	0.9	4.7
	F	2.8	3.8	7.2	1.7	15.5
sat. dense	Q	3.0	8.0	40.1	17.0	68.1
	C	0.4	0.5	2.2*	0.8	3.9*
	F	1.6	3.1	7.2	1.8	13.7
No.60	Q	2.7	7.2	39.3	19.2	68.4
	C	0.3	0.8	3.2*	1.1	5.4*
	F	2.0	3.0	6.9	1.9	13.8
sat. loose	Q	2.7	7.2	39.3	19.2	68.4
	C	0.3	0.8	3.2*	1.1	5.4*
	F	2.0	3.0	6.9	1.9	13.8
No.115	Q	2.7	7.2	39.3	19.2	68.4
	C	0.3	0.8	3.2*	1.1	5.4*
	F	2.0	3.0	6.9	1.9	13.8
dry dense	Q	2.7	7.2	39.3	19.2	68.4
	C	0.3	0.8	3.2*	1.1	5.4*
	F	2.0	3.0	6.9	1.9	13.8

* 1%以下の他の鉱物を含む