

九州工業技術試験所 正員 三浦哲彦

1. まえがき 筆者らは先に、間げき水の存在が高い等方圧力下の砂の圧縮特性に著しい影響を与えることを示した¹⁾。ここでは、高拘束圧下の砂のせん断特性に及ぼす間げき水の影響について検討した。実験の概要は、豊浦標準砂(炒乾燥後デシケーターに保存、含水比 $w=0.1\%$)を用いて初期间げき比 $e_0 \approx 0.61$ の密づめ供試体を作製し、圧力 $25 \sim 500 \text{ kg/cm}^2$ の範囲で σ_1 - σ_3 一定の排水三軸圧縮試験を行なった。実験の結果を、先に得ている同一試料飽和供試体($e_0 \approx 0.61$)についてのデータ²⁾と比較検討した。

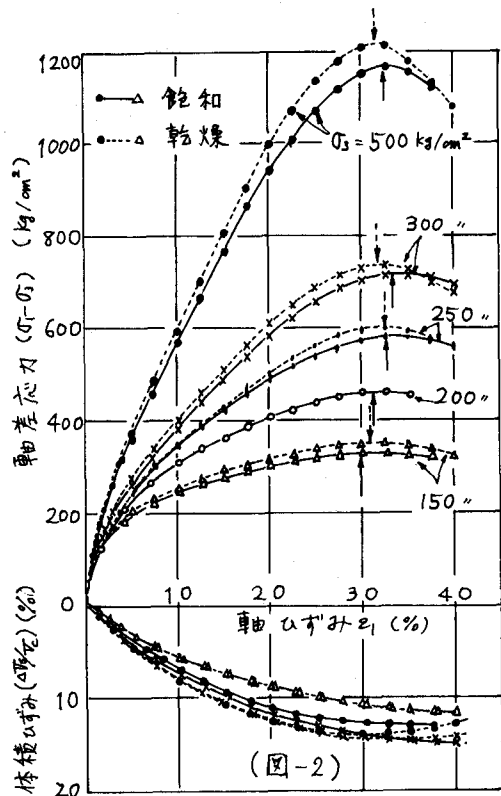
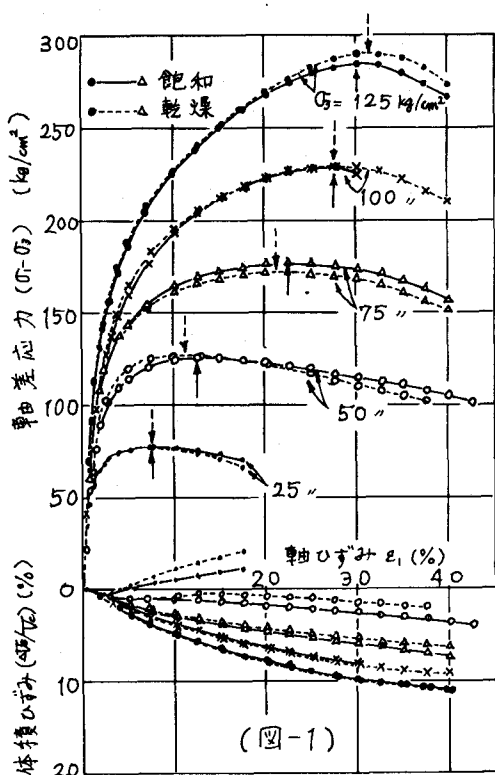
2. 実験の結果と考察 軸差応力 $(\sigma_1 - \sigma_3)$ 、体積ひずみ $(\Delta V/V)$ と軸ひずみ ϵ_1 の関係を図-1, 2に示す。 $0 \leq 100 \text{ kg/cm}^2$ において、 $(\sigma_1 - \sigma_3) \sim \epsilon_1$ 曲線は、間げき水の有無によらずほぼ同じ軌跡をたどっている。しかし、せん断中の体積減少は飽和供試体の方が著しい。次に、 σ_3 が 125 kg/cm^2 をこえると、乾燥供試体の $(\sigma_1 - \sigma_3) \sim \epsilon_1$ 曲線は常に飽和供試体のそれより上に位置している。また、 $(\Delta V/V) \sim \epsilon_1$ 曲線において、飽和供試体の $dV/d\epsilon_1$ は負または0であるが、 $\sigma_3 \geq 250 \text{ kg/cm}^2$ の条件下で乾燥供試体の $dV/d\epsilon_1$ は途中で負から正へ転じ、 ϵ_1 も符号が変わる ϵ_1 の位置は σ_3 の増加に伴って小さくなる傾向にある。このように、間げき水の存在の有無は高拘束圧下における砂のせん断特性に顕著な影響を及ぼすが、その原因として次のようなことが考えられよう。間げき水が存在すると、i) 水膜作用で粒子間摩擦係数が減少する、ii) その結果せん断過程における粒子の破壊のされ方に違いを生ずる、iii) 高圧下においては粒子接触部分においてシリカの溶解、局部的塑性変形および粒子間凝着などが生じる可能性がある³⁾。上述のことを検討するために行なった実験の結果は次に示すとおりであった。

2.1 せん断試験試料の粒度 $0 \leq 100 \text{ kg/cm}^2$ の圧力下においては、全体的な粒子破壊は飽和試料の方が多く負けているが、 30μ 以下の小さな破壊粒子は乾燥試料における方が多い。また、 $0 \leq 75 \text{ kg/cm}^2$ で乾燥供試体のせん断中の体積減少は飽和試料より常に小さく、したがって最大軸差応力時の間げき比も大きい。一応、拘束条件下では、粒子間摩擦係数が大きいほど粒子配列を乱そうとするせん断変形に対する抵抗力は大きく、粒子間圧力がある値に達したときの接触部分の摩耗の程度は摩擦係数の小さい場合より大きいであろう。以上のことから、間げき水は粒子間摩擦係数を低下せしめるよう作用したものと考える。飽和試料の粒子破

表-1 せん断試験試料の粒度

試験 番号	σ_3 (kg/cm^2)	飽和 (e_0) 乾燥 (e_0)	加積通過率(%)					粒径(μ)					ϵ_1 (%)
			250	210	177	149	105	74	50	30	10	5	
92	500	s	—	97.5	86.5	70.2	64.5	60.6	47.3	37.8	19.2	10.8	40
126		d	98.9	97.8	87.8	79.2	69.3	61.1	54.0	44.7	25.0	15.0	40
90	300	s	99.0	—	85.5	66.0	59.7	54.6	42.5	32.5	15.8	9.6	40
125		d	99.0	97.8	84.0	73.2	62.2	53.4	45.6	36.0	20.2	11.2	40
72	100	s	97.2	—	68.0	48.8	37.4	30.0	22.0	15.1	7.8	5.2	40
119		d	97.0	94.0	62.6	46.9	35.2	27.4	22.3	17.7	10.3	7.0	40
68	75	s	97.3	—	62.0	41.2	32.1	24.8	19.5	13.9	6.6	4.5	40
116		d	95.8	91.7	53.4	37.3	27.0	20.4	16.2	12.5	7.8	6.2	40
63	50	s	95.8	—	—	31.4	21.9	16.2	—	—	—	—	42
115		d	95.3	91.1	45.8	25.8	16.5	11.2	—	—	—	—	38
原 粒 度			92.0	84.9	18.9	3.4	0.4	0.1	—	—	—	—	—

砕量がより多いのは粒子配列が乱されて不安定な状態がより多く出現したため、また $(\sigma_1 - \sigma_3) \sim \epsilon_1$ 曲線が乾燥試料のそれとほぼ重なっているのは粒子破壊に消費されたエネルギーが乾燥試料より大であることに起因する、と考えられる。次に、 $\sigma_3 \geq 300 \text{ kg/cm}^2$ の場合、飽和試料の粒子間摩擦係数は、水膜作用のほかに接触部分のシ



リカの僅かな溶解によっても減少すると思われる。同時に、接触部の局部的塑性変形をも考えてみる必要がある。水の作用で前述の現象が生じるとすれば、飽和供試体は乾燥供試体におけるより小さな軸ひずみのもとでほぼ終局的な粒度に達し、その後は等体積で塑性的変形が続けるものと考えられる。一方乾燥供試体においては、飽和供試体におけるより大きな軸ひずみに至るまで粒子間摩擦力和粒子破碎によってせん断過程に抵抗し、結果として飽和供試体より高い $(\sigma-\sigma_0)_{max}$ 値に達したものと考える。乾燥供試体のせん断後の試料粒度が飽和供試体のそれより細かいのは上述のことを裏付けていると思われる。

2.2 供試体の変形特性 乾燥供試体は $\sigma_0 \geq 250 \text{ kg/cm}^2$ の条件下で、飽和供試体と同様に、ゴースリーフ内面に斜交線群のキズが観察され、せん断過程で多重すべり面が発生したことを示す。しかし、あるひずみ(おそらく $\epsilon_1 \approx 40\%$ が負から正へ反転したとき)に達したあと一つの卓越すべり面が発生し、試験後とり出した供試体はその面が容易に分離できる。一方飽和供試体においては、 $\sigma_0 < 200 \text{ kg/cm}^2$ で卓越すべり面が見られるが、それ以上の圧力下では観察されない。飽和供試体が高拘束圧下で塑性的に変形することから、その粒子接触部においては局部的な塑性変形が生じていると推定される。

2.3 試験供試体の強度と水中崩壊性 試験供試体のいくつかについて一軸圧縮強度 (σ_c) を調べた(表-2)。また、これらの試験片を乾燥後水浸したところ、No.126乾燥供試片は約1分間で完全に崩壊したが、No.49飽和供試片は数個のブロックに分離するものの24hr後も塊状を保っていた(ペグスル直下のコン部分は急速に崩壊)。上述のことから高圧下の飽和試料は、塑性変形領域で粒子間凝着をおこなっていると思われる。

文献 1) 三浦・山内; 土木学会論文報告集, No.203, 1972. 2) 三浦・山内; 土木学会論文報告集, No.193, 1971. 3) バウレン・ティバー; 固体の摩擦と潤滑, 曾田誠, 丸善。

表-2 試験供試体の軸強度						
No.	sat.	e_0	σ_0 (kg/cm ²)	σ_c (kg/cm ²)	ϵ_1 (%)	保存期
126	dry	0.6	500	0.4	0	0
4	sat.	0.6	500	9.3	1.3	750
49	sat.	0.8	500	4.2	8.7	700
45	sat.	0.6	300	2.0	0	695
29	sat.	0.8	300	0.7	10.5	730