

早稲田大学理工学部

正員 森 麟

同 大学院

学生員 ○小峯秀雄

同 大学院

学生員 田村昌仁

1. はじめに 本研究では偏平砂を用い、最大主応力を堆積方向に垂直(V方向)と平行(H方向)に作用させた場合、粒子破碎の違いが内部摩擦角と粘着力の異方性に及ぼす影響について調査している。粘着力についての調査には偏平砂を水ガラス薬液で固結させたものを用いている。

2. 試料及び実験方法 本研究で使用する砂は仙台地方で産出された粘板岩原石を実験室内で、ジョークラッシャー、サンプルグラインダー等を用いて粉碎し、粒径 $2.00 \sim 0.84 \text{ mm}$ に調整したものである。試料作製方法は、

図-1に示す2種類のモールドを使用した。未固結飽和砂の場合は、モールドに水を入れ、砂を自由落下させて振動を与えることにより一定密度に詰め凍結させた。固結砂の場合、水の代わりに固化していない薬液をモールドに入れ、同様に詰め固化させた。試料の乾燥密度 ρ_d は、 $\rho_d = 1.43 \pm 0.03 (\text{g/cm}^3)$ であった。また、軸差応力による粒子破碎量は、ふり振とう機で一定時間振とうさせ測定したものであり、実験前後のふるい残留率の増減で評価した。(未固結砂のみ実施)実験条件は未固結砂の場合は、CD及びCU条件、固結砂の場合はCU条件のみである。CU条件の場合は、いずれもB値が0.95以上になるよう背圧を与えた。なお、薬液は、水ガラス濃度が35%と15%のものを使用し、薬液のみが固化したモデルのせん断強度 C_0 は、35%で $C_0 = 0.25 (\text{kgf/cm}^2)$ 、15%で $C_0 = 0.09 (\text{kgf/cm}^2)$ であった。

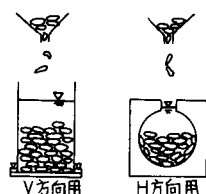


図-1 モールド図

表-1 試料

試料薬液配列

0-V	未固結	V
0-H	未固結	H
15-V	15%	V
15-H	15%	H
35-V	35%	V
35-H	35%	H

3. 実験結果及び考察 本研究で使用した砂の粒子形状を評価するために、G. Leesの方法により分類した。その結果を図-2に示す。

図-2より、この砕砂は主に葉状、板状に分布していることがわかり、偏平砂といえる。図-3, 4に未固結飽和砂のCD条件での軸差応力($\sigma_1 - \sigma_3$)と軸ひずみ ϵ_1 、 ϵ_3 の曲線、体積ひずみ ϵ_v と軸ひずみ ϵ_1 の曲線を示す。これよりV方向がH方向よりもダイレイタンスーが小さいにもかかわらず、強度が大きいことがわかる。図-5には図-3, 4の結果に対してBishop, Roscoe, Roweのダイレイタンスー補正を行って求めた破壊包絡線を示す。図-5において、包絡線は原点を通る直線ではなく曲線となり、またV方向とH方向とで包絡線の相違が見られる。補正後は、摩擦のみに起因する強度であり、V方向とH方向とで相違はなく、包絡線も原点を通る直線で表されると考えられるが図-5の結果では差異が見られ、ダイレイタンスー補正式は適当でないと思われる。この差異は粒子破碎と関係があると思われるので、実験前後の試料の粒度分布と、ふるい残留率の

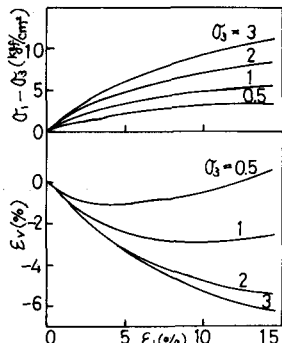


図-3 CD試験結果(V方向)

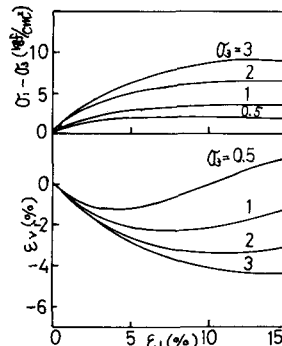


図-4 CD試験結果(H方向)

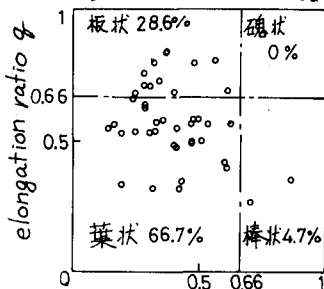


図-2 粒子形状の分類

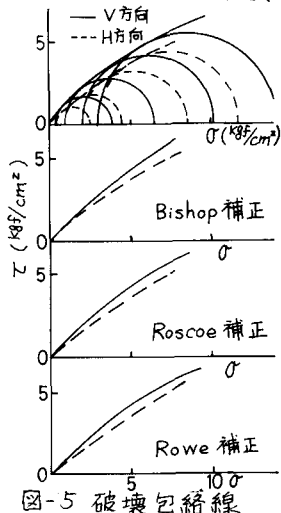


図-5 破壊包絡線

増減により破砕率を評価した。残留率を調べたふるい目盛は、1.65mm, 1.167mm, 0.840mm, 0.420mmであり、図中ではそれぞれ、a, b, c, dで表示している。破砕率は(1)式により求め、その結果を図-7に示した。

$$\text{破砕率} = \frac{\text{実験後のふるい残留率} - \text{実験前のふるい残留率}}{\text{実験前のふるい残留率}} \times 100(\%) \quad (1)$$

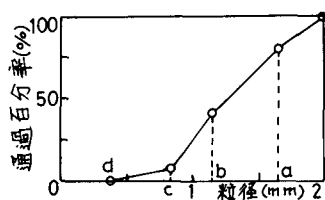


図-6 実験前の粒度分布

図-7よりV方向がH方向よりも破砕率が大きくなっていることがわかる。したがって、粒子破砕に消費されたエネルギーの相違が図-5の結果をもたらしたと考えられる。図-8には未固結飽和砂のCU試験、図-9には35%薬液による固結砂のCU試験の結果より得られる応力経路 $(\sigma_1 - \sigma_3) \sim$ 平均主応力 σ_m を示す。CU試験ではダイレイタンスが生じないので、その摩擦角 ϕ' は密度等の影響が少なく、一定値と考えられるが、V方向の摩擦角 ϕ'_V とH方向の摩擦角 ϕ'_H とは差異があり、CU試験と同様に、図-10に示した粒子破砕率に反映している。図-8, 9のうち、高圧下(初期圧密圧 σ'_c がV $\approx 16.6 \text{ kg/cm}^2$, H $\approx 18.7 \text{ kg/cm}^2$)

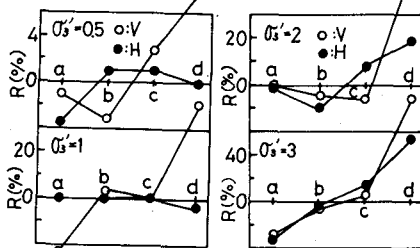


図-7 CU試験における破砕率

での応力経路は低圧下と異なり、低圧下の破壊包絡線に達したのち、包絡線から離れ、次第に低下していく。またVとHの応力経路は互いに近づいている。この現象は、高圧下ではV, Hとも破砕率はかなり大きい、その差は小さく、ある程度破砕が進んだ後は軸ひずみ増分に対する破砕量増分が小さくなるためであると考えられる。

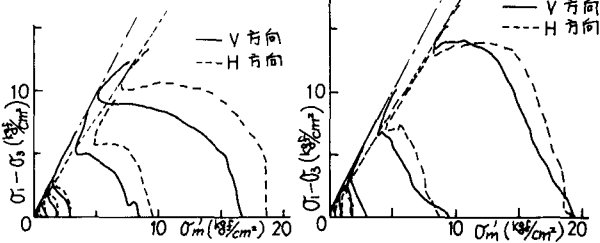


図-8 未固結飽和砂の応力経路

図-9より得られる ϕ'_V , ϕ'_H は図-8の結果の ϕ'_V , ϕ'_H とはほとんど一致している。また包絡線の切片 α より求められる粘着力成分はV, Hともほとんど一致しており、粘着力の発現に及ぼす異方性の影響はないと考えられる。粘着力 C' と内部摩擦角 ϕ' は次式により求め、表-2にまとめた。

$$C' = \frac{3}{2} \cdot \frac{\alpha}{\sqrt{(3+2 \tan B)(3-\tan B)}} \quad (2)$$

$$\phi' = \tan^{-1} \left(\frac{3}{2} \cdot \frac{\tan B}{\sqrt{(3+2 \tan B)(3-\tan B)}} \right) \quad (3)$$

なお、 B は、低圧での破砕包絡線の切片及び傾きである。表-2より粘着力 C' についてはV, H方向ともほとんど等しい値であり、またホモゲルのせん断強度 C_0 とはほぼ等しい。なお本実験での初期圧密圧 σ'_c 程度では、粒子破砕はあまり生じなかった。

4. まとめ 1). 粒子破砕に及ぼす方向別の影響を調べた結果、V方向がH方向より破砕率が大きく、この破砕エネルギーの差により内部摩擦角に異方性が生じる。

2). 水ガラス薬液による固結砂の粘着力成分は、内部摩擦角の場合とは異なり、等方的に発揮され、その大きさはホモゲルのせん断強度 C_0 程度である。

参考文献 (1)土質力学 最上武雄編著 技報堂出版(P897)

図-10 CU試験における破砕率

表-2 粘着力と内部摩擦角

試料	$\alpha (\text{kg/cm}^2)$	$B (^\circ)$	$C' (\text{kg/cm}^2)$	$\phi' (^\circ)$
0-V	0	62.5	0	46.7
0-H	0	57.2	0	38.1
15-V	0.15	62.5	0.08	46.7
15-H	0.20	57.5	0.10	38.5
35-V	0.42	62.5	0.23	46.7
35-H	0.49	57.5	0.25	38.5