

早稲田大学 正員 森 麟
同 大学院 准員 田村 昌仁

1, はじめに,

薬液で固結した砂の長期載荷時の強度を問題にする場合、そのクリープ特性が重要となる。Warner, Cloughs, Borden³⁾は、1軸フリープ試験で破壊が生じない限界強度(q_{cr})に対して考察を行っており、これらの結果を総合すると、水ガラス系固結砂の q_{cr} は、急速試験で得られる1軸強度 q_u の50%程度である。今回の研究は、この q_{cr} の発現機構を検討したものである。なお、1軸クリープ試験の際には、体積変化も測定しており、クリープ特性とダイレイタンスーの関係について考察を行なっている。

2, 試験方法、及び 試料

1軸試験の際に、体積変化を測定することは、ゴムスリーブの負入等により困難であり、実測例も少ない。今回の試験では、この点に留意し、供試体に通じるビュレットの水位、及び、セル内の水位(水頭)があまり変動しないように調整しながら測定した。試料は、モールドに薬液を入れ上部より薬液を流し込んで固めた。使用した砂、薬液外ガラス濃度 N 、試料等は、Table-1~3に示している。Table-1の ϕ_{Rt} は、Roweの補正式より求めた摩擦角であり、Table-2の C_0 は、ホモゲルのせん断強度である。

3, 結果、及び 考察

Fig-1にTD-35のクリープ試験結果を示す。Fig-1(a)(b)には、 $\varepsilon_1 \sim \log t$, $\varepsilon_v \sim \log t$ の関係を示しており、クリープ破壊が生じる場合には、 $\varepsilon_v \sim \log t$ の方が $\varepsilon_1 \sim \log t$ に比して急激な変化が見られる。これは、(1)式において、クリープ破壊が生じる場合には、ダイレイタンスー係数 $D(d\varepsilon_v/d\varepsilon_1)$ が急増することを意味する。

$$d\varepsilon_v/d\log t = (d\varepsilon_v/d\varepsilon_1)(d\varepsilon_1/d\log t) = D \times (d\varepsilon_1/d\log t) \quad (1)$$

Fig-1(c)には、ひずみ速度($d\varepsilon_1/dt$)と ε_v の関係を示しており、正の体積ひずみ(膨張)が生じると、 $(d\varepsilon_1/dt) \geq 0$ となり、クリープ変形が促進されることがわかる。これらの結果は、他の試料についても得られており、クリープ破壊がダイレイタンスーと密接な関係にあると推定できる。

Roweは、粘着カ C を含むストレス-ダイレイタンスー式(2)を提案しているが、本実験の $\sigma_1 = q_0$ (軸圧、一定値)、 $\sigma_3 = 0$ では、(2)式は(3)(4)式となる。

$$\sigma_1/(1+D) = \sigma_3 \tan^2(45^\circ + \phi/2) + 2C \tan(45^\circ + \phi/2) \quad (2)$$

$$q_0 = 2C \tan(45^\circ + \phi/2) + 2CD \tan(45^\circ + \phi/2) \quad (3)$$

$$C = q_0 / (1+D) / [2 \tan(45^\circ + \phi/2)] \quad (4)$$

(3),(4)式を用いて、クリープ変形の過程で発揮されている粘着力成分 C を求めることにするが、変形の初期においては、完全な排水条件が得られず、また、摩擦角 ϕ が完全に発揮されているかどうか問題となるため、 $D \geq 0$ となる時点以降を考えた。なお、(3),(4)式の ϕ の値は、Table-2に示されている ϕ_{Rt} の値を用いている。

1軸クリープ試験では、 $q_0 =$ 一定であり、 D が変形に伴い増加するの

Table-1

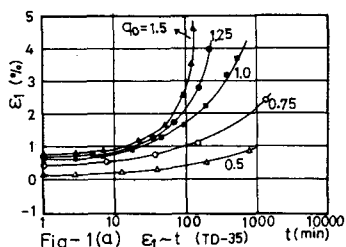
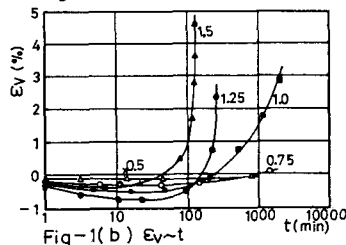
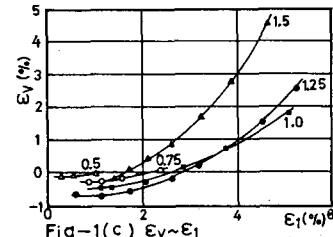
Sand	粒径(mm)	ϕ_{Rt}
豊浦	Q11-Q25	2.9
相馬Ⅰ	Q42-Q84	29.5
相馬Ⅱ	Q84-200	29.5

Table-2

$N(\%)$	$C_0(kg/cm^2)$
1.5	0.0.9
3.5	0.2.5
3.5H	0.3.5

Table-3

Sample	Sand	$N(\%)$	$\gamma_d(q/kN)$
TD-35	豊浦	3.5	1.5.0
TL-35	"	3.5	1.3.1
TD-35H	"	3.5H	1.5.1
TD-15	"	1.5	1.5.0
SD-35	相馬Ⅰ	3.5	1.5.7
SL-35	"	3.5	1.3.4
SD-15	"	1.5	1.5.9
DD-35	相馬Ⅱ	3.5	1.6.0

Fig-1(a) $\varepsilon_1 \sim t$ (TD-35)Fig-1(b) $\varepsilon_v \sim t$ Fig-1(c) $\varepsilon_v \sim \varepsilon_1$

で、(4)式により求められる粘着力 C が減少することになる。従って、固結砂のクリープ変形は、粘着力が減少しながら、一方では、ダイレイタンシーが増加する過程であると考えることができる。Fig-1(c)より、 D を求め、(4)式を用いることにより、 $D \sim \dot{\epsilon}_1$, $C \sim \dot{\epsilon}_1$ の関係が得られ、その結果がFig-2に示されている。

Fig-3には、同様の整理を材料DD-35に対して行なった結果を示す。

Fig-2, 3より、粒径の大きい相馬砂の方が、豊浦砂に比して、 $\dot{\epsilon}_1$ の増加に対する C の低下率が大きくなっていることがわかる。また、 C の最大値は、粒径を問わず、 $C_{max} \approx 0.23 \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$ となっており、ゲル強度 C_0 程度である。

Table-4には、固結砂の1軸強度 q_u ($\dot{\epsilon}_1 = 0.5\%/min$)と限界強度 q_{cr} 、及び、 $R (= q_{cr}/q_u [\%])$ の関係を示す。但し、 q_{cr} を厳密に決定することは、困難であるため、今回は、24 hr 載荷で完全に破壊した軸圧 q_0 を q_{cr} とみなした。なお、クリープ試験の軸圧 q_0 の大きさは、15%固結砂では、 $q_0 = 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$ 、35%固結砂では $q_0 = 1.5, 1.25, 1.0, 0.75, 0.50 \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$ 、35H%固結砂では、 $q_0 = 2.0, 1.75, 1.50, 1.25, 1.0 \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$ とした。

Table-4より、固結砂の q_{cr} は、 q_u の50%以下となっており、従来指摘されている結果とも一致していることがわかる。 R の値は、薬液の種類が等しい場合、粒径が小さいほど小さくなっており、 q_{cr} の値は、粒径、密度(ρ_d)の影響が少なく、薬液の種類にかなり依存している。このように、 q_{cr} が q_u より小さくなる理由としては、急速試験では、負圧が発生し、摩擦抵抗を増大させていること、及び、ダイレイタンシー成分が大きいこと等が考えられる。Fig-2, 3で示したように、 C_{max} は粒径にあまり関係なく、 $C_{max} = C_0$ (ゲル強度)である。また、正の D 値は、ゲル内にクラックが発生し、ゲルの連続性が低下すること意味する。従って、 q_{cr} と C_0 の関係は、次のように表わすことができる。

$$q_{cr} = 2 C_0 \tan (45^\circ + \phi/2) \quad (5)$$

(5)式は、(3)式において、 $D=0$ とした場合に相当する。(5)式と、Table-2の C_0 の値より求められる q_{cr} を q'_{cr} としてTable-4に示している。 q_{cr} の値は、 q'_{cr} より若干小さいが、ほぼ一致しており、 q_{cr} と C_0 の間には、(5)式が近似的に成立すると思われる。

4 まとめ

- 1) 固結砂のクリープ変形は、粘着力 C が減少しながら、一方では、ダイレイタンシーが増加する過程であり、クリープ限界強度 q_{cr} は、 q_u ($\dot{\epsilon}_1 = 0.5\%/min$)の50%以下となった。
- 2) クリープ限界強度 q_{cr} の値は、粒径、密度にあまり左右されず、ゲル強度 C_0 にかなり依存している。そして、 q_{cr} と C_0 の間には、近似的に(5)式が成立することかわかった。

参考文献

- (1). Warner, ASCE, Vol 98, SM 11 (1972) P. 1163, (2). Clough et al. ASCE Vol 105, GT1 P. 65 ~ 82 (1979), (3). Borden et al. (1982). Proc of Conf. on Grout in Geot. Eng.
- (4). Goughnor (1968) ASCE, SM 4. (5) 森, 田村. 20回土質工学研究会. (6) 森, 田村, 酒井. 40回土木学会年次講.

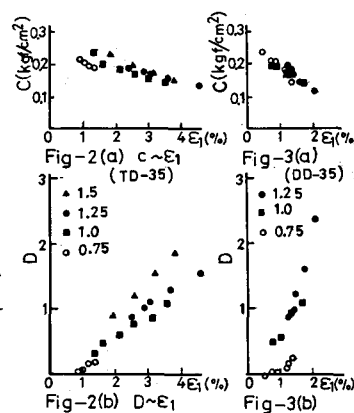
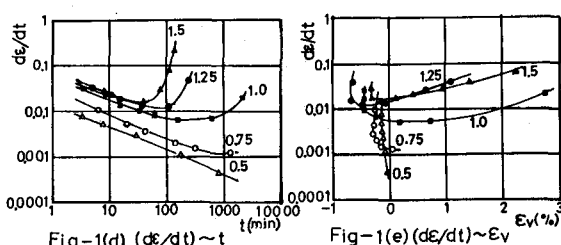


Table-4

Sample	q_u	q_{cr}	$R(\%)$	q'_{cr}
TD-35	4.13	1.0	24	0.85
TL-35	3.65	1.0	27	0.85
TD-35H	4.91	1.5	31	1.19
TD-15	1.47	0.5	34	0.31
SD-35	2.86	1.0	35	0.86
SL-35	2.50	1.0	40	0.86
SD-15	0.87	0.4	46	0.31
DD-35	2.32	1.0	43	0.86

q_u, q_{cr}, q'_{cr} (kgf/cm²)