

単純せん断時における砂のダイレイタンシー特性に関する一考察

宮崎大学 正員 藤 本 廣

“ 学生 池 下 荘

“ “ 横 山 順一

1. まえがき

単純せん断時における砂の応力-変形-ダイレイタンシー関係については、すでに、小田⁽¹⁾⁽⁶⁾や P.W. Rowe⁽⁵⁾あるいは落合⁽²⁾⁽⁷⁾に代表される多くの優れた研究がある。特にダイレイタンシー現象については、小田は、せん断中における主応力軸の廻転を考慮に入れて独自に提案した式、 $\tau/\sigma_N = \kappa \tan \psi$ ——ここに、 τ と σ_N はそれぞれ水平面に加えられたせん断応力と垂直応力、 κ は実験条件によらない材料定数、 ψ はせん断中に廻転する最大主応力軸と鉛直軸とのなす角——に基づいて、三軸圧縮試験による応力-ダイレイタンシー関係式が平面ひずみ状態の単純せん断や直接せん断試験時の応力-ダイレイタンシー関係には適用できることを示している⁽³⁾。ところで、筆者の一人(藤本)⁽⁸⁾は、以前、三軸圧縮試験による乱したしらすのせん断特性の解明に関連して、砂のダイレイタンシー現象に粒子形状の影響が無視できないことを指摘しておいたが、今回、その問題を改めて単純せん断試験によって照合するために小田の理論の適用を試みてみたところ、三軸試験によるダイレイタンシー式に小田の基本式を導入しても比較的簡単に単純せん断あるいは直接せん断時のダイレイタンシー現象が説明できることが確かめられたので、第1報として報告し、批判を乞うことにした。

2. 提案式の誘導

一般に、三軸圧縮試験時のダイレイタンシー式には赤井⁽⁹⁾が提案した次式が基本になっている。 $(\sigma_1 - \sigma_3)_p = (\sigma_1 - \sigma_3)_r + \left(\frac{d\sigma}{d\epsilon_v}\right) \epsilon_3$ ---- (1)
ここに、 $(\sigma_1 - \sigma_3)_p$ はピーク主応力差、 $(\sigma_1 - \sigma_3)_r$ はせん断のみに消費された部分の主応力差、 $(d\sigma/d\epsilon_v) = d(\sigma/\epsilon)/d\epsilon_v = D_v$ はダイレイタンシー指数である。ところで、小田の基本式をモール応力円について解釈した落合⁽⁷⁾によれば、単純せん断時においては、 $\sigma_1 = (\tau^2 + \kappa \sigma_N^2) / \kappa \sigma_N$ ---- (2)
 $\sigma_3 = (1 - \kappa) \sigma_N$ ---- (3) が成立するので、式(1)に式(2)と(3)を代入すれば、 $\left\{ \frac{\tau^2 + \kappa \sigma_N^2}{\kappa \sigma_N} - (1 - \kappa) \sigma_N \right\}_p = \left\{ \frac{\tau^2 + \kappa \sigma_N^2}{\kappa \sigma_N} - (1 - \kappa) \sigma_N \right\}_r + D_v (1 - \kappa) \sigma_N$ ---- (4)

ここで、式(4)の右辺第2項の D_v の代りに単純せん断時のダイレイタンシーの程度を表わす $(\Delta h / \Delta \delta) = \bar{D}_v$ —— Δh は鉛直方向変位、 $\Delta \delta$ は水平方向変位——を用いれば、 $\left\{ \frac{\tau^2 + \kappa \sigma_N^2}{\kappa \sigma_N} - (1 - \kappa) \sigma_N \right\}_p = \left\{ \frac{\tau^2 + \kappa \sigma_N^2}{\kappa \sigma_N} - (1 - \kappa) \sigma_N \right\}_r + \bar{D}_v (1 - \kappa) \sigma_N$ ---- (5)
式(5)はさらに、 $\left\{ \frac{\tau^2}{\kappa \sigma_N} + \kappa \sigma_N \right\}_p = \left\{ \frac{\tau^2}{\kappa \sigma_N} + \kappa \sigma_N \right\}_r + \bar{D}_v \sigma_N - \bar{D}_v \kappa \sigma_N$ ---- (6)
となる。また、 $(\tau/\sigma_N) = \kappa \tan \psi$ より $\tan \psi = (\tau/\kappa \sigma_N)$ を式(6)に代入すれば、

$$\left\{ \tan \psi + \frac{\tau}{\kappa \sigma_N} \right\}_p = \left\{ \tan \psi + \frac{\tau}{\kappa \sigma_N} \right\}_r + \bar{D}_v \sigma_N - \bar{D}_v \frac{\tau}{\tan \psi}, \text{ この式はさらに次式となる} \\ \left(\frac{2\tau}{\sin 2\psi} \right)_p = \left(\frac{2\tau}{\sin 2\psi} \right)_r + \bar{D}_v (1 - \kappa) \sigma_N \text{ ---- (7)}$$

式(7)が今回提案する単純せん断あるいは直接せん断時のダイレイタンシーに関する基本式である。

3. 実験的考察

(1)実験方法：実験に使用した単純せん断試験機はチェルマンタイプで、供試体寸法は直径10cmで高さが3cmで

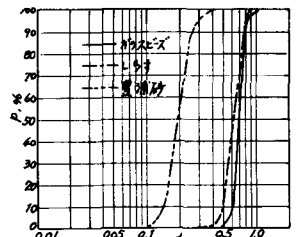


図1. 試料の程度曲線

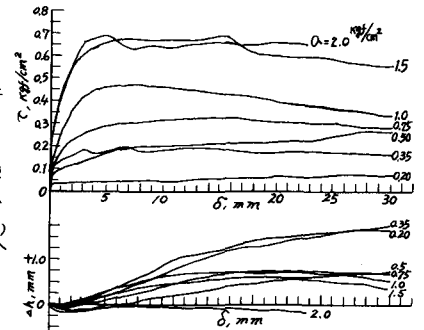


図2a 単純せん断試験による応力変位曲線 (ガラス砂・L砂)

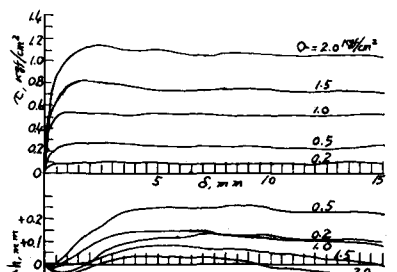


図2b 改良型一面せん断試験による応力変位曲線 (ガラス砂・L砂)

	$e_{\max.}$	$e_{\min.}$
ガラスビーズ	0.698	0.585
シリカ	1.821	1.317
重曹砂	0.956	0.642

0.75, 1.00, 1.50 及 α 2.0 Kgf/cm² を目安として 5 段階採用した。さらに、單純せん断試験と比較する目的で、改良型一面せん断試験機で $\sigma_n = 0.20, 0.50, 1.0, 1.5$ 及 α 2.0 Kgf/cm² の下で同様の試験を行った。せん断は、試料をセットして上記の σ_n で 10 分間圧着させた後、1 mm/min. の変位速度で変形を与えた。

参考文献 1) M.Oda & J.Konishi: Microscopic Deformation Mechanism of Granular Material in Simple Shear, Soils and Foundations, Vol.14, No.4. 2) M.Oda & J.Konishi: Rotation of Principal Stresses in Granular Material during Simple Shear, Soils and Foundations, Vol.14, No.4. 3) On Stress-Dilatancy Relation of Sand in Simple Shear Test, Soils and Found. Vol.15, No.2. 4) Oda, M.: On the Relation $\sigma_v = K \sigma_h \phi$ in the Simple Shear Test, Soils and Found. Vol.15, No.4. 5) P.W.Rowe: Geotechnique Vol.19, No.1. 6) 著者発表: 直接二軸試験における砂の剪動, 工學士學會論文報告集 15-4, 7) 著者発表: 土の直接二軸試験における砂の二軸試験との関係, 同誌. 8) 藤本・川田・堀江: 硬質砂の直接二軸試験, 1983年工學士學會論文集, 35-59.

表-2. 強度足数一覧表

試料 強度足数	量補正				πγスビー			
	ビーク力	D _i 補正	残余力		ビーク力	D _i 補正	残余力	
試験法	C ₀ % <i>c₀</i>	C ₀ % <i>c₀</i>	C ₀ % <i>c₀</i>	C ₀ % <i>c₀</i>	C ₀ % <i>c₀</i>	C ₀ % <i>c₀</i>	C ₀ % <i>c₀</i>	C ₀ % <i>c₀</i>
厚紙切断	0.180	33.2	0.180	32.9	0.160	23.1	0	26.3
一面切断	0	37.5	0	37.5	0	32.2	0	27.5
二面圧縮	0	40.9	0	36.8	—	—	—	—