

北海道大学工学部
北海道大学大学院

正 澁谷 啓・三田地利之
学 北 島 明

はじめに：既報の境界応力可測型一面せん断試験機(略称、BSM-SBA)¹⁾および豊浦砂の定圧試験結果²⁾から、この『堆積面(水平面)と最大主応力(σ_1)方向のなす角度 δ が、せん断中に 90° から連続的に減小しある δ の値(未知)で破壊する場合の一面せん断試験強度 $\phi_{a.}$ (=堆積面上での摩擦角)』と、他の『 δ (一定)を $0\sim 90^\circ$ の範囲で変化させた一連の平面ひずみ圧縮試験の強度 $\phi_{p.}$ (=最大応力傾角面上での摩擦角)³⁾』との比較を試みた。これにより、砂の強度異方性を考慮した $\phi_{a.}$ の定量的評価が可能である。

実験：BSM-SBAのせん断箱の詳細(図1)と一面せん断供試体の理想的な単純せん断変形(図2)を示す。BSM-SBAの特長は、(i)上下せん断箱の開き(d)を一定に保持し得る、(ii)仮想せん断面上の平均的な鉛直応力 σ_v (= σ_y)は通常の試験での $(\sigma_v)_{upper}=(W1/A)$ に加えて、供試体とせん断箱内面の摩擦に無関係な $(\sigma_v)_{lower}=(W2+W3)/A$ を測定可能、(iii)9個の内部ロードセル(IL1~IL9)により下せん断箱内壁での鉛直応力(σ_v)_{inner}(IL1~IL6により測定)の分布および水平応力 σ_h (同様にIL7~IL9)の測定が可能、等である(以上、図1)。密詰め豊浦砂供試体(初期間隙比: $e_{0.0}=0.64\sim 0.67$ 、断面: $15\times 15\text{cm}$ 、高さ: 12cm)は、空中落下法により作製した。これらを所定の $(\sigma_v)_{upper}$ まで一次元圧密した後、一定のせん断速度 $dh/dt=0.25\text{mm/min}$ (h:水平変位、図2参照)でせん断した。尚、せん断箱内壁にはメツペイトとゲリスによる摩擦軽減層を設けた。

一面せん断試験結果：
圧密時の $K_0=(\sigma_h/\sigma_{v1, lower})$ の値は $d=0.2\text{mm}\sim 5\text{mm}$ の範囲で $0.5\sim 0.6$ で一定であり、 $d=5\text{mm}$ の供試体においても上下せん断箱の開きによる K_0 値の減少は殆どなかった(図3)。しかし、摩擦軽減層を設けたにもかかわらず上せん断箱と供試体の摩擦のため $(\sigma_h/\sigma_{vupper})$ の値は何れ

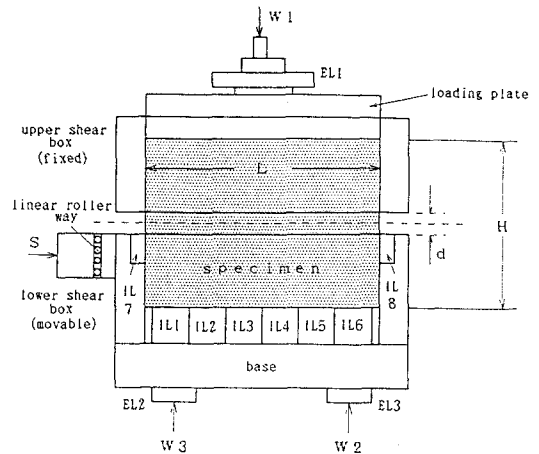


図1 せん断箱

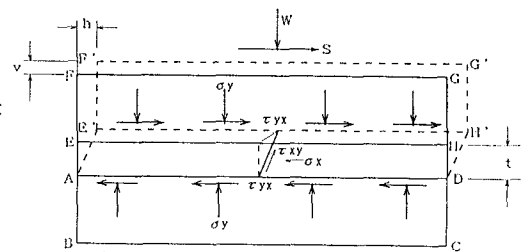


図2 理想的な単純せん断変形モード

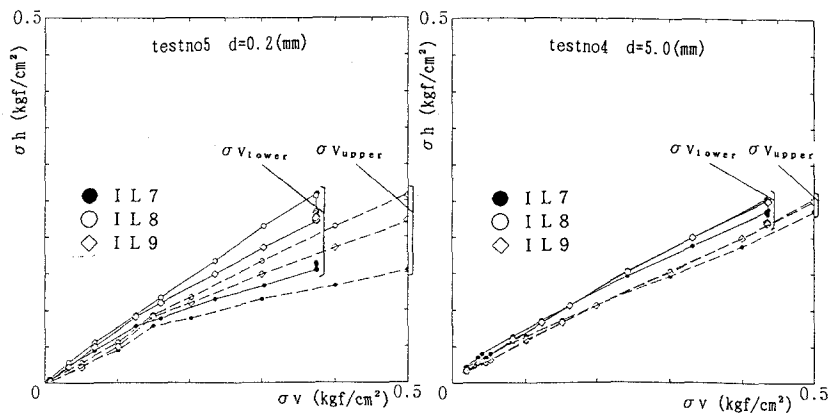


図3 圧密時の σ_v と σ_h の関係

の場合もこれより小さい。図4と図5は、 $e_{0.0}=0.64\sim0.65$ の供試体の「 $h\sim\tau_h$ ($=\tau_{xy}$) (水平せん断応力) 関係および $h\sim v$ (鉛直変位) 関係(図2参照)に及ぼす d の影響」および「 $h\sim\tau_h/(\sigma_v)_{lower}$ (水平面上の応力比) 関係に及ぼす d の影響」である。 $\tau_h/(\sigma_v)_{lower}\sim h$ 関係および $h\sim v$

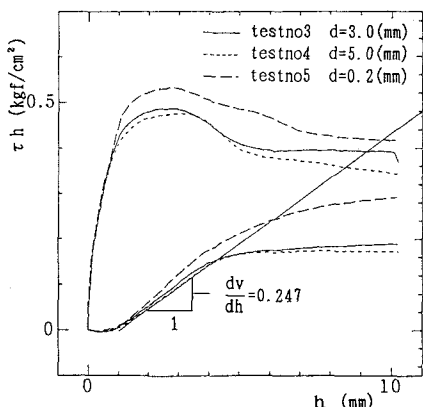


図4 せん断応力とダイレイタンス

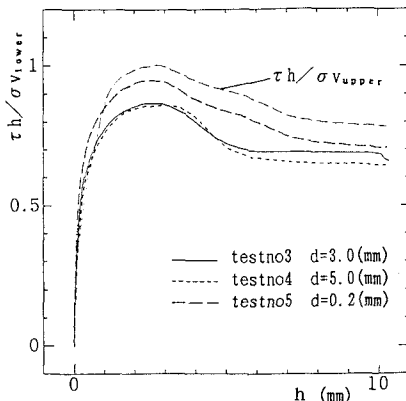


図5 応力比とhの関係

v 関係において $d=3\text{mm}$ と $d=5\text{mm}$ の両者の間に殆ど有意な差はない。しかし、これらと比較して $d=0.2\text{mm}$ の場合は $\{\tau_h/(\sigma_v)_{lower}\}_{max}$ およびダイレイタンス率 dv/dh (v :膨張が正)共に大きい。これは $d=0.2\text{mm}$ の場合、せん断層の自由な発達を拘束しているためであろう。図6は $d=3\text{mm}$ の試験における破壊時の $\tau_h\sim\sigma_{viewer}$ 関係である。図に示す σ_v の範囲では $c'=0$ であり『破壊時の摩擦角 $\phi_{ds}=\arctan(\tau_h/(\sigma_v)_{lower})_{max}$ 』は σ_v の大きさによらないようである。

ϕ_{ds} と ϕ_{ps} の比較: 図7の破線は、同一バッチの豊浦砂($e_{0.05}=0.654\sim0.657$)を用いた朴らの平面ひずみ圧縮試験³⁾における強度異方性($\phi_{ps}=\arcsin\{(\sigma_1-\sigma_3)/(\sigma_1+\sigma_3)\}_{max}\sim\delta$ 関係)、実線は $e_{0.05}=0.644\sim0.647$ に補正した場合の同様の関係である。図中のプロットは、図4,5の $d=5\text{mm}$ の一面せん断試験結果($e_{0.0}=0.647$, $\phi_{ds}=40.7^\circ$)に対して、『供試体が図2に示した理想的な単純せん断変形の下で破壊時に σ_1 方向と主ひずみ増分 $d\epsilon_1$ 方向が一致(完全塑性体)する』と仮定したDavisの式⁴⁾: $\phi_{ps}=\arcsin\{\tan\phi_{ds}/(\cos\nu_r+\tan\phi_{ds}\sin\nu_r)\}$ (ν_r :破壊時のダイレイタンス角)(1)から算定した $\phi_{ps}\sim\delta$ 関係である。計算に用いた $\nu_r=\arctan(dv/dh)=14^\circ$ は、 $\delta=23^\circ\sim45^\circ$ 供試体の平面ひずみ圧縮試験での $\nu_r\approx 14\sim17^\circ$ ⁵⁾とはほぼ一致している。一面せん断試験から(1)式により算定した ϕ_{ps} は平面ひずみ圧縮試験(要素試験)の ϕ_{ps} よりも 4° 程度大きいことが分かる。Pradhanら⁶⁾は豊浦砂の中空ねじり単純せん断試験から、(i)破壊時の $\delta=40^\circ\sim45^\circ$ 、(ii)密詰め供試体($e_{0.05}\approx 0.65$)の場合、(1)式から算定した ϕ_{ps} は実測の ϕ_{ps} より 2° 程度大きい、ことを報告している。供試体の境界条件が大きく異なるにも拘らず得られた傾向は同じであるのが興味深い。

まとめ: 密詰め豊浦砂の一面せん断試験において、強度異方性を考慮しても ϕ_{ds} およびダイレイタンス角から算定した内部摩擦角 ϕ_{ps} は、平面ひずみ試験(要素試験)の ϕ_{ps} と比較して 4° も高い。今後は供試体高さを変えた一連の一面せん断試験によりこの結論の一般性を検討したい。

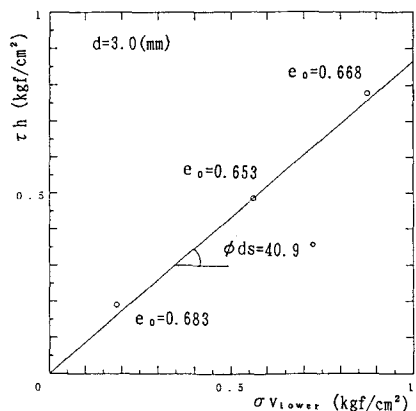


図6 破壊時の応力点

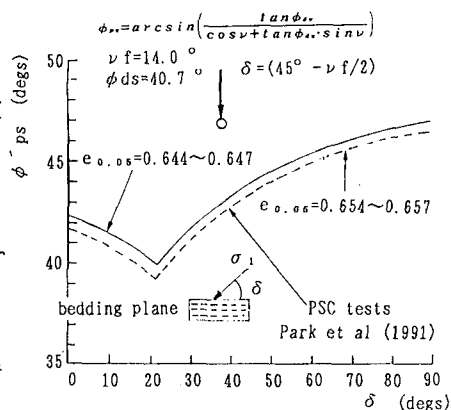


図7 ϕ_{ps} と δ の関係

参考文献: 1) 渡谷・三田地・北島(1992): 境界応力可変型一面せん断試験装置の試作, 2.7 回土質工学研究発表会。2) 北島・渡谷・三田地(1992): 砂の一面せん断強度に及ぼす上下せん断箱間隔の影響, 2.7 回土質工学研究発表会。3) 朴・春植・武田悦雄・籠田文夫(1991): 平面ひずみ圧縮試験による砂の变形・強度特性, 2.7 回土質工学研究発表会, 495-498。4) Davis, E. H. (1968): Theories of plasticity and the failure of soil masses, selected topics (Ed. by I. K. Lee), London Butterworth, 5) Tatsuoka, T. (1987): Discussion, Geotechnique, 37-2, 219-226。6) Pradhan, T. B. S., Tatsuoka, F. & Horii, N. (1988): Strength and deformation characteristics of sand in torsional simple shear, Soils and Foundations, 28-3, 131-148。