拘束圧の増加に伴う砂の Ko 値及び強度定数の変化

山口大学工学部 正 員 中田幸男 兵動正幸 村田秀一 山口大学工学部 学生員 篠田龍一 加登文学 HAM teagew

<u>1.まえがき</u>著者ら¹⁾は、数種類の砂を用いたせん断試験を行い、せん断中の力学特性と粒子破砕の関係について 研究を行っている。特に応力の増加に伴う内部摩擦角の低下は、砂粒子の粒子破砕に大きく依存していることを 把握している。一方、これまでの地盤工学の経験や Jaky の理論式に代表されるように、内部摩擦角と K₀値には相 関性があることが知られている。本研究では、広範な応力域における K₀値の把握を行い、排水せん断試験により 得られた内部摩擦角との関係について考察を行った。

2. 試料の概要 本研究では 0.85 - 1.0mm に粒度調整した粒子形状が真円に近いガラスビーズ及び角張ったガラス ビーズ、1.4 - 1.7mm、0.18 - 2.0mm に粒度調整したシリカ砂、細粒分を除去したカーボネイト系のチイビシ砂、豊 浦標準砂を用いた。試料物性及び粒度分布を表-1、図-1 に示す。表中の fm は粒子が耐えうる最大の鉛直荷重を 粒径の2乗で除し、試料ごとに平均したものである。表-1より、形状の複雑な angular glass・Chiibishiは、他の試 料と比較して emax eminが大きく、 fm が小さいことがわかる。

<u>3. K₀ 圧縮試験の制御</u>本研究で用いた供試体は直径 50mm、高さ 100mm であり、相対密度 90%を目標に作製された。また、用いたメンブレンの厚さは 2mm である。K₀ 圧縮試験はパーソナルコンピューターにより自動計測可能な高圧三軸試験機を用い、軸ひずみ速度 0.1mm/min で行った。試験中に 5 秒間隔で軸変位・体積変化・軸荷重・ 側圧を計測し、各試料の各拘束圧における供試体の変形係数を随時算出し、それを基に側方ひずみが生じないように側圧を制御した。全ての試料において試験中の側方ひずみは \pm 0.05%以内に制御され、K₀ 圧縮状態を再現することができたといえる。しかし、全ての試料において平均有効主応力 p 35MPa 以降の高い応力域においては、 間隙水がほぼ排出され、側圧を負荷させても体積変化が生じず K₀ 圧縮状態が保たれにくいことが分かった。特に、 破砕性砂である Chiibishi においてその傾向は顕著であった。また、p < 1MPa の低い応力域においては、メンブレ

ンの貫入による間隙水の排水があるため、側方応力が低い値と なる傾向がみられた。しかしながら、p > 1MPa の応力域におい てはメンブレンと砂粒子とが密着した状態となるため、メンブ レンの貫入の影響は無視できる程度であるといえる。

4. 試験結果 図-2 は、K₀ 圧縮試験中の間隙比 e と鉛直応力 、 との関係である。全ての試料において、応力の増加に対する間 隙の減少割合が変化する応力域(降伏応力域)がみられ、形状 が複雑、粒度分布の良い試料ほど、降伏応力域が広くなってい る。特に形状の複雑な、angular glass、Chiibishi におけるその傾 向は顕著である。粒子形状の影響について round glass と angular glass を比較すると、round glass は 、=30MPa付近で応力一定の まま間隙が急激に減少している。angular glass は 、=5MPa付近 から 、の増加に伴い間隙が急激に減少している。しかしながら 、=40MPa 以降の高圧域においては 、、e の値はほぼ一致して おり 、=40MPa 以下にみられた粒子形状の影響はほぼ無くなっ ていることが分かる。初期粒度の影響について silica_{1.4-1.7} と silica_{0.18-2.0} を比較すると、粒度分布の良い silica_{0.18-2.0} のほうが圧

表 - 1 試料物性値					
sample	Gs	e _{max}	e _{min}	Uc	ó _{fm} (MPa)
round glass	2.490	0.699	0.600	1.08	339.6
angular glass	2.505	1.145	0.746	1.08	60.02
silica ₁₄₋₁₇	2.639	0.881	0.632	2.20	73.13
silica _{0 18-2 0}	2.655	0.936	0.588	9.91	147.3
Chiibishi	2.812	1.574	0.983	2.40	34.82
Toyoura	2.643	0.973	0.635	1.33	136.6



キーワード:砂, Ko値, せん断強度

連絡先:〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1山口大学工学部 TEL(0836)85-9344 FAX(0836)85-9301



縮降伏応力は高くなっており、緩やかに間隙の減少が起こっている。以上のことは、気乾状態の砂を用いた一次 元圧縮試験の結果²¹と類似した傾向となった。また、一次元圧縮曲線と応力の増加に伴う粒子破砕の進行との関係 が明らかにされており²¹、K₀ 圧縮試験中も同様の破砕が生じているといえる。図-3 に 、と K₀ 値の関係を示す。 全ての試料について 、の増加に伴い K₀ 値が上昇し、高圧域で一定となる挙動を示している。特に各試料におい て 、の増加に対するK₀値の増分が大きい応力域は、図-2 でみられた降伏応力域と良い対応を示している。また、 全体的に粒子表面の滑らかなガラスの K₀ 値は砂に比べ高い値となっていることがみてとれる。図-4 は silica_{1.4-1.7}・ silica_{0.18-20}・Chiibishi のせん断試験により得られたピーク時のセカントアングル 'peak とK₀ 圧縮試験により得られ た K₀ 値と平均有効主応力 p との関係である。この図より、p の増加に対する K₀ 値の変化は p の増加に伴う 'peak の変化と逆転した傾向となっており、K₀ 値と 'peak とに密接な関連性があることが推察される。図-5 は、 K₀-value/K₀'-value と平均有効主応力 p との関係である。ここで K₀'-value は排水せん断試験から得られたピーク時 のセカントアングル 'peak を Jaky の式(K₀=1 - sin)に代入し得られた値である。また K₀-value は K₀ 圧縮試験よ リ得られた K₀ 値であり、せん断試験のピーク時の p に対応した値である。この図より、p=300kPa~5MPa の応力 域における K₀-value/K₀'-value の値に着目すると、試料により弱冠違いがみられるが p の大きさに依らずおおよそ 0.6~0.9 の範囲で分布していることがわかる。このことは K₀ 圧縮試験から得られる K₀ 値からセカントアングル 'peak およびその拘束圧依存性を推察可能であることを示唆している。

5. まとめ 粒子特性の異なる材料を用いた K₀ 圧縮試験を行い、広範な応力域における K₀値の把握、および排水せん断試験により得られた内部摩擦角との関係について考察を行った。その結果、K₀ 圧縮試験から得られる K₀値からセカントアングル 'peak およびその拘束圧依存性が推察できる可能性を見出せた。

【参考文献】1)中田幸男・兵動正幸・村田秀一・加登文学・篠田龍一: 排水せん断中の砂の粒子破砕と全エネルギー, 第36回地盤工学会 発表会講演集, 2001. (投稿中) 2) Nakata, Y., Hyodo, M. Hyde, A.F.L., Kato, Y. and Murata, H.: Microscopic particle crushing of sand subjected to high pressure one dimensional compression, *Soils and Foundations*, Vol.41, No.1, pp69-82, 2001

-41-