高圧下における細粒分を含む砂の圧縮特性

山口大学院学生会員 OKIM, Uk-Gie, 立場晴司, KIM, JU-HYUN 山口大学院 正会員 兵動正幸 吉本憲正

1. まえがき 地盤の沈下や安定の評価について検討する際,対象地盤の適切な土質定数を設定する必要が あるが,自然に存在する砂質土地盤のほとんどは細粒分を含み,設計上明確に砂として取り扱うことが困難 な土が多く存在する.砂と細粒分の違いは土粒子径に起因して砂の場合,密度の違いが挙動に大きな影響を 及ぼし,細粒分は圧縮性が大きいため沈下量が大きくなり,透水性が低いため沈下が長期にわたることにな る¹⁾.当研究グループ²⁾は砂から細粒土に至るまで土のせん断強度特性を連続的に調べて結果,混合土はあ る程度の細粒分含有率以上になると細粒分自体の強さによって支配され,細粒分含有率の低い混合土では, 粗粒土が形成する骨格構造がその強度特性に強く影響していることが明らかになった.そこで本研究では, 砂が骨格構造の主体を成す領域に着目し,様々な細粒分含有率の供試体に対して,砂粒子が破砕を生じる高 圧領域に至るまで等方圧縮試験を行うことで,細粒分を含んだ砂の圧縮特性を検討した.

2. 試料および試験方法 実験では,粗粒土として三 河珪砂,細粒土として鳥取県西部地震の際に鳥取県境 港市の竹内工業団地において液状化により噴出した鳥 取シルト(Fc=98%,I_P=NP)を用いた.これらの細粒土と 粗粒土を乾燥重量比で混合することで,様々な細粒分 含有率からなる混合土試料を作製した.表-1に用いた

表-1 試料の物理的性質

Mixture rate by weight (%)	Fines content(%)	Clay content(%)	Gs	I _P	D ₅₀ (mm)	U _C
100	98.0	6.0	2.665	NP	0.019	2.85
20	19.6	1.2	2.655	NP	0.592	45.86
15	14.7	0.9	2.654	NP	0.679	36.93
10	9.8	0.6	2.653	NP	0.757	9.13
0	0.0	0.0	2.652	NP	0.885	3.70

試料および混合土の物性を示す.供試体は,全ての細粒分含有率において湿潤突固め法を用いて突固めエネ ルギー(*E*_c=22,504kJ/m³)を変化させることで行い,なお,等方圧縮試験において *F*c=0.0%の相対密度 *D*_r=65% の供試体に限り,空中落下漏斗法を用いて供試体を作製した後,供試体

を凍結させた. 試験機は油圧サーボ式高圧三軸試験機を用いて等方圧縮 試験条件下で, 圧密圧力 36MPa まで載荷した後は, 除荷を行った.

3. 混合土の間隙比 混合土の間隙比 混合土の構造の主体は細粒分含有率によって変化し,特に細粒分含有率 の低い混合土では,粗粒土が形成する骨格構造がその特性に強く影響を 及ぼし,細粒土の影響は補助的に働くと考えられる.そのため,混合土 の特性をより適切に評価するためには,粗粒土の骨格構造と,それに与 える細粒土の影響を明確にすることが重要である.図-2(a),(b)にそれぞ れ圧密圧力 100kPa, 5MPa で圧密した後の供試体の間隙比 e と細粒分含 有率 Fc の関係を示す.(a)より,圧密圧力 100kPa で圧密した場合,鳥取 シルト混合土の間隙比 e は Fc=20%程度で最小となる.また,Fc=15%~ 20%の間では間隙比があまり変化していないことより,この辺りで砂骨 格の間隙を細粒分が充填し終わり,この先は細粒分が砂骨格を乱すよう になってくると考えられる.(b)より,圧密圧力 5MPa で圧密した場合は, Fc=15%程度で間隙比は最小となる. 圧密圧力が 100kPa のものと比較す ると,最小間隙比となる細粒分含有率が小さくなっていることが分かる.



キーワード 混合土,骨格構造,圧縮特性

連絡先 〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1 山口大学 理工学研究科 地盤工学研究室 TEL(0836)85-9344

このことより, 圧力が高くなると, 砂骨格の構造が 乱され始める細粒分含有率は低下していくと予想で きる.

3. 試験結果および考察 図-2 に、各細粒分含有率 における等方圧縮曲線を示す. (a)の Dr=65%と $E_c=504kJ/m³$ によって作製された供試体は、平均有効 主応力が20MPaに達した付近で1本に収束している が Host sand として用いた珪砂は比較的固く, 高圧 域に至るまで粒子破砕が生じなかった.そのため測 定した応力域内では、初期に緩い供試体は残りの2 本の曲線に収束するに至らなかった. そこで, 図中 により高圧域での挙動を予測したものを破線で書き 加えている. 密な供試体と緩い供試体の圧縮曲線の 傾きを比較すると、緩いものの方が急勾配となり、 いずれ残りの2本と一致すると考えられる.(b)-(d) は, それぞれ細粒分を含んだ初期に密な供試体およ び緩い供試体の圧縮曲線である.いずれの細粒分含 有率においても、曲線は収束するに至らなかった. 各載荷段階における圧縮曲線の傾きのうち最大のも の $C_{c(neak)}$ と細粒分含有率の関係を図-3に示す.図よ



iner

Percent

breakage,





図-3 最大圧縮指数-Fcの関係

図-4 試験前後の粒径加積曲線

● : E₀=504kJ/r ▲ : E₀=22kJ/m

り、初期密度の違いによらず、細粒分含有率の増加とともに最大圧縮指数は小 さくなるという一義的な傾向が得られた.ここで,試験前後にどの程度粒子破 砕が生じたかに着目する.図-4は試験前後の粒径加積曲線の変化を示したもの である. 粒子破砕の度合いを表すため, Hardin³⁾らが提案した破砕量を表す Relative breakage; B_r を用いる. B_r は次式より求めることができる.

$$B_r = B_t / B_n \tag{1}$$

Fines content, Fc(%) 図-5 相対破砕率-Fcの関係

ここで, B_pは Breakage potential; 粒径加積曲線において, 75µmの直線と試験前の粒径加積曲線のうち0.075mm 以上の部分で囲まれる面積. B,は Total breakage; 75µm の直線と試験前後の粒径加積曲線に挟まれる面積であ る.図-5は Relative breakage と Fc の関係を表している.図より、細粒分の増加に伴い粒子破砕率は減少傾向 となる.これは、細粒分が増えることで粗粒子が細粒分に覆われるようになり、その細粒分がクッション代 わりとなることで粗粒子同士の接触を妨げるため、粒子破砕が起こりにくくなっていることによると考えら れる.また,Fcの増加に伴う圧縮指数の低下および降伏応力の増大が確認された.つまり、この領域におい て中間土はまだ密度の影響を受ける状態にあると考えられる.より高い応力域で実験が可能であれば、いず れ一本のNCLに収束することが確認できると予測する.

4. まとめ 1. 砂の圧縮特性としては、降伏するまでは初期密度が非常に大きな影響を持っているが、粒子 破砕が起こることで降伏に達した後は1本のNCLに収束することが挙げられる.また,密度が緩いものの方 が密なものよりも降伏応力は小さくなる. 2. 混合土の圧縮特性は、細粒分の増加とともに粗粒子が細粒子 によって保護されるようになり、粗粒子のみの粒子破砕に着目すると、破砕を起こしにくくなることから圧 縮曲線の最急勾配が緩くなり、また降伏応力も大きくなることが挙げられる.

参考文献 1)土質工学会編:ジオテクノート2中間土-砂か粘土か-, 1992.2)金郁基ら:砂・粘土混合土のせん断強度特性に及ぼす細粒分の影響,第42 回地盤工学研究発表会. 3)Bobby O. Hardin: Crushing of Soil Particles, Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 111, No. 10, pp.1177-1192, 1985.