

立命館大学大学院 学生員 ○喜田 啓介
立命館大学大学院 学生員 澤井 大祐
立命館大学理工学部 正会員 福本 武明

1. はじめに

砂の高圧圧縮特性をより明確にする目的で、著者らの研究室では数年前から試作の高圧圧縮試験装置を用い、約70MPaまでの範囲で側方拘束圧縮試験を実施し、得られた主要な結果を公表してきた^{1)~4)}。本報では、これまでの材質・粒径・粒度を変えて行った実験データを基に、主として高圧圧縮過程における砂粒子の破碎状況の影響について検討したので、その結果について報告する。

2. 実験方法

試料は、表-1に示すように脆い粒状土として真砂土(六甲真砂土、生駒真砂土、比叡真砂土)としらずを用いた。また比較のために堅固な粒子からなる相馬標準砂と愛知川砂を用いた。材質の影響を判別しやすくするために試料を均一径(0.85~0.60mm)に統一すると共に、粒径の影響が分かるように、六甲真砂土に対し粒径を粗・細の2通りに変え、更に粒度の良し悪しの影響をも調べられるように六甲真砂土に対し均一粒径・粒度A・粒度B(図-1参照)を設定した。これらの試料(いずれも絶乾状態)を所定の条件下でモールド(内径60mm、深さ40mm)に詰め、これをまず標準圧密試験機にセットし、圧密応力 $p=0.1, 0.2, 0.4, 0.8, 1.6, 3.2, 6.4\text{kgf/cm}^2$ で载荷した後、油圧式高圧圧縮試験装置に移して $p=12.8, 25.6, 51.2, 102.4, 204.8, 409.6, 707.7\text{kgf/cm}^2$ まで段階的に载荷した。载荷終了後、供試体の粒子破碎状況を調べるためにロータリ型振とう機を用いて粒度分析を行った。結果の代表例を図-1に示す。

表-1 試料の物理的性質

試料	初期粒度 (mm)	土粒子比重 G_s	最大・最小密度(g/cm^3)		相対密度 $D_r(\%)$
			ρ_{dmax}	ρ_{dmin}	
六甲真砂土 均一粒径	2.0~0.85 図1の(a)参照	2.619	1.363	1.074	95
六甲真砂土 粒度A	図1の(c)参照	2.633	1.642	1.178	95
六甲真砂土 粒度B	図1の(b)参照	2.625	1.536	1.135	95
六甲真砂土	0.85~0.60	2.622	1.474	1.164	95
生駒真砂土	0.85~0.60	2.648	1.402	1.093	95
比叡真砂土	0.85~0.60	2.678	1.468	1.174	95
しらず	0.85~0.60	2.501	1.106	0.835	95
相馬標準砂	0.85~0.60	2.650	1.619	1.335	95
愛知川砂	0.85~0.60	2.622	1.567	1.283	95

3. 高圧圧縮過程における粒子破碎状況

図-1は今回実施した高圧圧縮試験における試験前後の粒径加積曲線の変化状況を示したものである。図中には実測線(実線)のほかに理論曲線(点線)も併記している。この理論線を求めるために用いた理論式⁵⁾を下記に示す。この式は岩石が等比較数的に風化していくと仮定して数学的に誘導されたものである。

$$q_n = \binom{m+n-2}{n-1} (1-r)^n r^{n-1} \quad p_n = \sum_{i=0}^{n-1} \binom{m+n-2}{n-1} (1-r)^i r^{n-1} \quad \text{----- (I)}$$

式中、 p_n は最大粒径 D_{max} から数えて n 番目のふるい目の開き

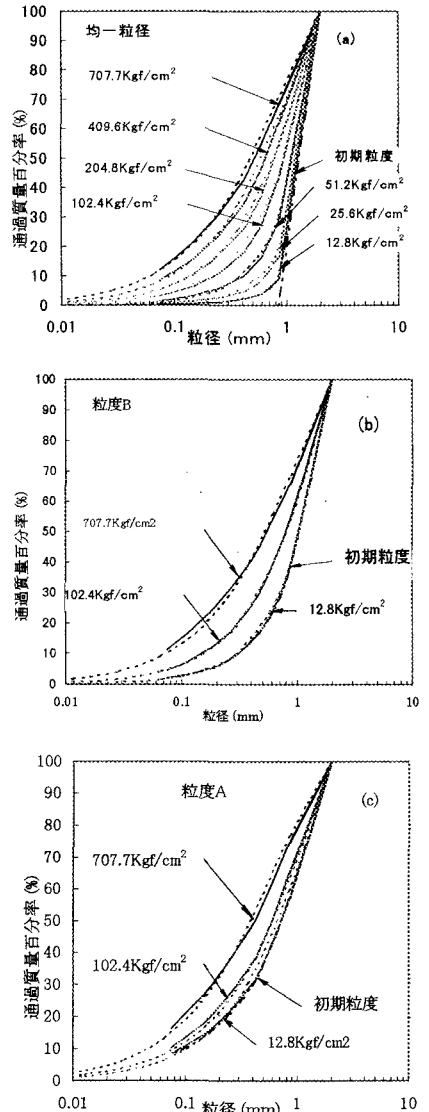


図-1 試験前後の粒径加積曲線
(六甲真砂土の例)

D_n を通過する加積通過率、 q_n は残留率、 m と r は粒径加積曲線の形状を決めるパラメーターである。 n に対応する q_n を求めれば、次式から分布の平均 μ と分散 σ^2 が求まる。

$$\mu = \frac{\sum q_n \cdot n}{\sum q_n} \quad \sigma^2 = \frac{\sum q_n \cdot (n - \mu)^2}{\sum q_n} \quad \text{----- (2)}$$

これより m 、 r が次の式の理論的關係より求まる。

$$m = \frac{\mu^2}{\sigma^2 - \mu} \quad r = \frac{\mu}{\sigma^2} \quad \text{----- (3)}$$

この m 、 r を式(1)に代入して計算すれば図-1中の理論線が求まる。

図-1(a)~(c)から理論線と実測線の一貫性が全体的によいこと、粒度配合のよい砂ほど粒子破碎が起こりにくいことなどが分かる。特に前者は側方拘束圧縮試験における砂粒子の壊れ方がアトランダムでなく規則的におこなわれることを物語っている。

4. 平均と分散について

各載荷段階における分布の平均 μ と分散 σ^2 の値を圧縮応力 p に対してプロットすると図-3が得られる。図から μ と σ^2 はいずれも p の増加と共に増大し、究極的にある一定値に近づく傾向があるということが分かる。途中の増加の仕方や究極値などに、材質や粒径あるいは粒度の影響が反映していることも分かる。

5. まとめ

以上より側方拘束圧縮試験の過程で起こる砂粒子の壊れ方に規則性のあること、試験後の粒度分布の平均と分散が圧縮応力の増加とともに増大し、一定の究極値に近づく傾向があること、途中の増加の仕方や究極値が材質・粒径・粒度などの試験条件によって異なることなどが判明した。

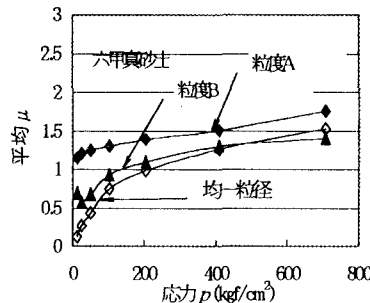


図2 平均-圧縮応力の関係

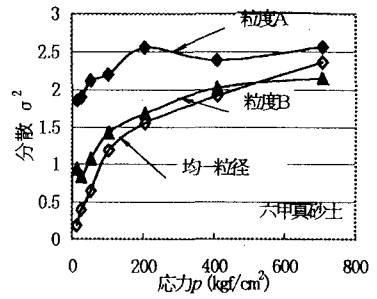


図3 分散-圧縮応力の関係

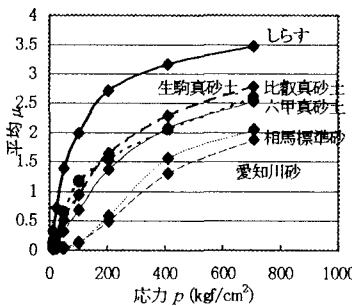


図4 平均-圧縮応力の関係

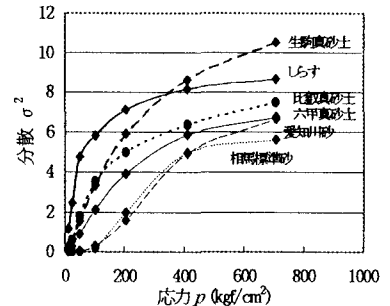


図5 分散-圧縮応力の関係

【参考文献】

- 1) 福本・福田・岡部：まさ土の圧縮特性に及ぼす粒子破碎の影響，第28回土質工学研究 発表会講演集，pp.457~458,1993
- 2) 福本・野口：砂の高圧圧密特性，平成7年度土木学会関西支部年次学術講演会概要集，ppⅢ-21-1~2,19953)
- 3) 野口・福本：高圧下での砂の圧密特性に関する考察，土木学会第51回年次学術講演会概要集，pp.386~387,1996
- 4) 野口・澤井：高圧圧縮時の粒子破碎特性，平成9年度土木学会関西支部年次学術講演会概要集，ppⅢ-58-1~2
- 5) Fukumoto,T: A Grading Equation for Decomposed Granite soil and Foundations,vol30 no1 pp27~34,1990