

立命館大学理工学部 正 員 福本 武明
立命館大学大学院 学生員 ○深津 真彦

1. まえがき 粒度変化現象は、杭の支持力や土構造物の安定性など実際問題と関連して重要な工学的関心事である。本報では、手近な文献中に扱われている諸種の粒度変化の事例^{1)~6)}を取りあげ、先に提案した粒度式⁷⁾を援用して、異種多彩な試験条件下での土粒子の壊れ方に規則性が認められるか否かの検討を行ったので、その結果について報告する。

2. 粒度式と粒度変化データ 粒子の壊れ方を検証するために、次式の粒度式を用いる。この式は、岩石の風化過程を数学的に考察して得られた式である。式中、 p_n は最大粒径 D_{max} から数えて n 番目のふるい目開き D_n を通過する加積質量百分率、 λ はふるい比、そして、 m と r は試験条件などにより決まる定数である。一方、粒度変化現象のデータとしては、今回、表-1に示すようなものを用いた。

$$p_n = 1 - \sum_{i=0}^{n-1} \left(\frac{m+i-1}{m-1} \right) \cdot (1-r)^m \cdot r^i \quad \cdots (1a)$$

$$n = \frac{\log(D_{max}/D_n)}{\log \lambda} \quad \cdots (1b)$$

表-1 本報で扱った粒度変化現象

	文献番号	研究目的	試験のタイプ	主な試験条件
機械的 外力による 粒度変化	1	高圧力下における粒状材のせん断挙動の解明	高圧三軸試験	Chattahoochee 川砂 拘束圧 $\sigma_3=211\text{kgf/cm}^2$ 、633kgf/cm ²
	2	各種道路用砕石の荷重下における粉砕則の確立	衝撃試験	玄武岩碎片 (12.5~8.0mm) DIN52109に準拠、衝撃回数 $N=10, 20, 30, 50, 70, 100$ 回
	3	道路用細骨材の強硬さの評価のための試験方法の提案	ダブル試験	愛知県産真砂土 (2.5~0.3mm) 耐摩耗陶器球: 25mm径、140個 試験時間: 10, 25, 50, 100, 150分
	4	脆い粒状体の圧縮特性に内在する粒子破碎の影響の定量的把握	高圧圧密試験	生駒真砂土 (0.85~0.6mm) 上載応力: $\sigma_v=12.8\text{kgf/cm}^2 \sim 707.7\text{kgf/cm}^2$
乾湿繰返しによる 粒度変化	5	盛土材料としての脆弱岩の圧縮沈下対策の検討	スレーキング試験	泥岩材 (38.1~19.1mm) 乾湿繰返しサイクル (110℃で24時間、常温水中に24時間)、試験: 1, 2, 3, 5, 7, 10サイクル
	6	流体輸送式TBM工法における右肩輸送時の粒径変化の検討	特殊劣化試験	泥岩ズリ (37.5~2.0mm) 耐スレーキング試験 (20rpm/minで60分)、試験時間: 5, 10, 15, 20, 25, 30, 60分

3. 式の当てはめ結果 粒度式の当てはめ方法は、従来と同様で、まず試験後の実測粒径分布曲線から分布の平均 μ と分散 σ^2 を求め、(2)式により m と r を算定する。

こうして得られた m と r を(1)式に代入して理論分布曲線を描くと、図-1から図-6中の点線のようにになる。これらの図から、いずれの場合も点線と実測線との一致性は相当に良いことがわかる。

4. 考察 粒子に作用する力のかかり方(試験タイプの違い)や外力の大きさ(σ_3 、 N 等)の如何に拘らず、また乾湿繰返し条件などが異なるにも拘らず、破碎後の実測粒径分布に(1)式が良く当てはまる。この事は、(1)式の誘導過程をさかのぼり、(1)式を相隣るふるい径間に残留する粒子の質量百分率 q_n 、 q_{n-1} で表現し直せば(3)式になるから⁸⁾、結局、(3)式を常に満足するように粒子が壊れることを意味する。 $m=1$ の時、(3)式は公比 r の等比数列となる。次に、粒度変化現象の考察に、周知の対数正規確率紙(図-2)やRosin-Rammler線図(図-6)が良く利用される。図-2の場合、破碎後の粒径分布の特徴を対数正規確率紙上で2つの直線部分と1つの曲線部分から成り立つとして捉えている。一方、図-6の場合、RR線図上で折れた2本の直線で表し、直線勾配をパラメータとして対象地山の流体輸送時の負荷土量を推定しようと試みている。これに対し(1)式を利用すれば、実用上支障のない精度で広い粒径範囲のほぼ全域を、それぞれ1本の滑らかな曲線で描くことが

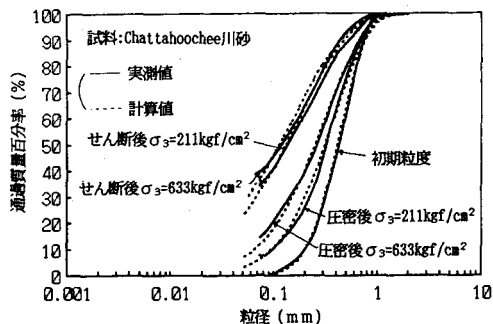


図-1 高压三軸試験後の粒径分布

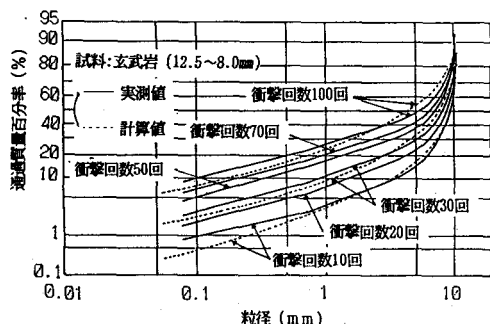


図-2 衝撃試験後の粒径分布

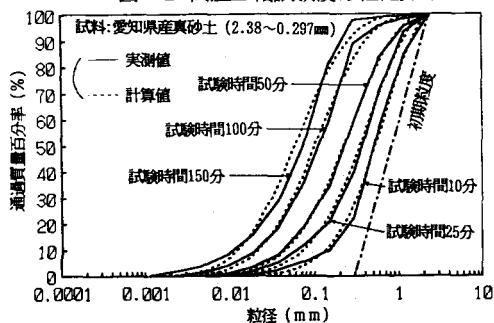


図-3 ドブル試験後の粒径分布

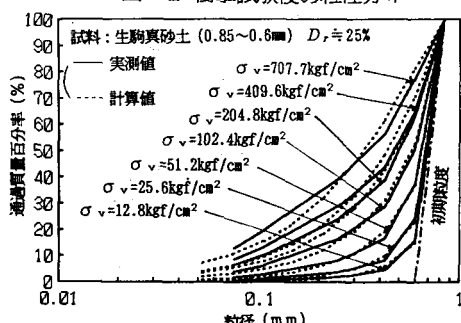


図-4 高压圧密試験後の粒径分布

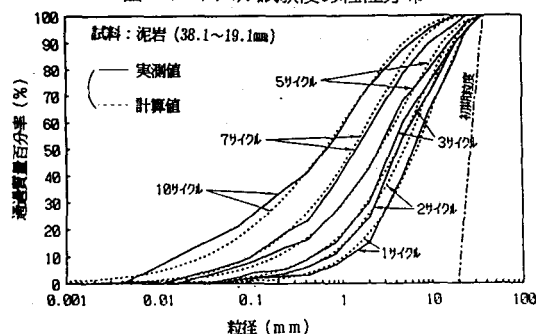


図-5 スレーキング試験後の粒径分布

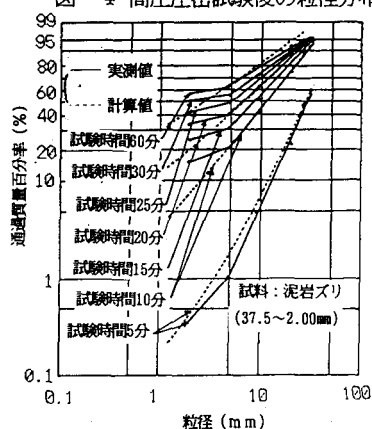


図-6 特殊劣化試験後の粒径分布

できるから、(1)式中のパラメータ (D_{max} 、 m 、 r) と試験条件等との対応関係を追究していけばよいことになる。

5. 結び 以上により、1) 多様な粒度変化現象 (表-1) の考察に(1)式が十分使えること、2) 常に(3)式を満足するような粒子の壊れ方をする事、3) 対数正規分布やRosin-Rammler式よりも(1)式の適用範囲が広いこと、等の諸点が確認できた。今後、この種の粒度変化現象を扱う場合、(1)式中の粒度パラメータと試験条件との関係を詳しく分析することによって、その特徴なり全貌をかなり明確に把握できるのではないかとと思われるので、その方向で検討を進めていきたい。

【参考文献】1) Vesic, A.S., et al.: Behavior of Granular Materials under High Stress, ASCE, Vol. 94, No. S M3, 1968. 2) Loos, H.: Gesetzmäßigkeiten der Kornzerkleinerung bei der Beanspruchung von Splittkörnung durch Schlag, Druck und Scherkräfte, Straße und Autogahn, Vol. 21, No. 4, 1970. 3) 井上武美: 道路用細骨材の強度試験方法の提案, 土木学会論文報告集 No. 250, 1976. 4) 岡部泰夫・福田英和: 砂質系地盤材料の圧縮沈下特性に関する研究, 1992年度卒業論文. 5) 島博保, 他: スレーキング材料 (せいのり) の圧縮沈下と対応策, 土木基礎, Vol. 28, No. 7, 1988. 6) 土原久哉, 他: 流体輸送1BM工法における負荷土量推定法 (その1), 第26回土質工学研究発表会講演集, 1991. 7) Fukumoto, T.: A Grading Equation for Decomposed Granite Soil, Soils and Foundations, Vol. 30, No. 1, 1990. 8) Fukumoto, T.: Particle Breakage Characteristics of Granular Soils, Soils and Foundations, Vol. 32, No. 1, 1992.