

Ⅲ-A176

一次元圧縮中の砂の粒子破碎特性

山口大学工学部 正会員 ○中田幸男 兵動正幸 村田秀一
山口大学大学院 学生会員 加登文学 原田孝行

1. まえがき

これまで砂の一次元圧縮挙動は多くの研究者¹⁾³⁾によって検討され、圧縮降伏応力や粒子破碎量に与える砂の粒子サイズや粒度分布、粒子形状、鉱物、そして密度の影響が議論されている。しかし、一次元圧縮曲線の勾配の変化と、粒子破碎の特徴との関連性を明確にするための検討はほとんどなされていない。その粒子の破碎は、粒子の表面が削れるというレベルから、角がかけられるレベル、粒子が完全に割れるというレベルとが考えられる⁴⁾。一次元圧縮に限らず、粒子破碎に関する多くの検討において、このような個々の粒子の破碎レベルに関連するような研究は行われていないのが現状である。そこで本研究の目的は、一次元圧縮を受ける粒状材料の個々の粒子破碎挙動の特徴を把握するとともに、一次元圧縮挙動に与える粒度分布の影響について明らかにすることである。この研究は、一次元圧縮を対象に行った検討ではあるが、砂の粒子破碎を伴う力学特性をより理解する上できわめて有益な情報を提供するものといえる。

2. 一次元圧縮中の粒子レベルの破碎の特徴

微視的な粒子破碎の特徴を捉えるために、一次元圧縮試験が着色された粒子を挿入した供試体に対して行われた⁴⁾。油性の塗料により着色された粒子を、まず、顕微鏡を用いて写真撮影する。そして、その着色された粒子が、一次元圧縮供試体に挿入された。一次元圧縮試験は、内径 50mm、高さ 10mm の圧密リングに初期間隙比を 0.6 となるように試料を充填した供試体を用いて、鉛直変位 0.01mm/min の一定速度で行うものである。後述する所定の鉛直応力まで実験を行った後、着色粒子が取り出され、再び写真撮影された。試料は、気乾状態の石英を主成分とする Silica 砂である。今回は、一次元圧縮の進行に伴う微視的な粒子破碎の進行の特徴を捉えること、そして、粒度分布特性がその粒子破碎の進行の特徴に与える影響を明確にするために、異なる粒度分布を有する 2 種類の試料を用いて実験を行った。この一次元圧縮試験結果を図 1 に示す。この図から、良い粒度分布を有する材料の圧縮降伏応力は、単一粒径材料に比べて大きいこと、その降伏応力付近の圧縮曲線の曲率は、良い粒度分布を有する材料の方が小さいことがわかる。上述した観察は、図中のプロットによって表される各応力レベルまで載荷された供試体中の着色粒子について行われた。観察された粒子は、粒子破碎のレベルに応じ、以下に示すような 5 つに分類された。Type I: 試験前後で変化が認められないもの; Type II: 粒子の角が 1 つでもかけたもの、あるいは 1 部分が削れるような破碎を示したもの; Type III: Type II と Type IV の中間的な破碎で、数箇所角がかけられるか、削れるような破碎を起こしたもの; Type IV: 粒子が完全な破碎を示したもの; Type V: 2 つか 3 つに割れるような完全な破碎

キーワード: 一次元圧縮、粒子破碎、顕微鏡観察、砂、粒度分布

連絡先: 〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2557 山口大学工学部 TEL(0836)35-9111 FAX(0836)35-9429

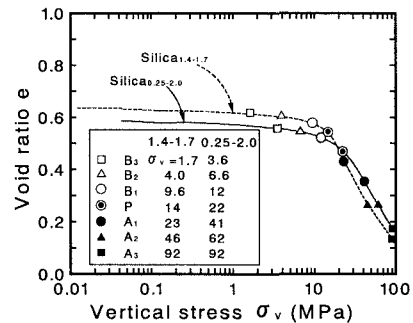


図1 間隙比と鉛直応力の関係

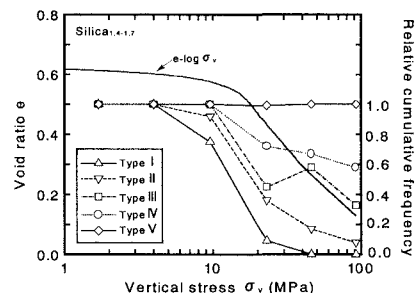


図2(a) 単一粒径試料

を示した後で、さらに破碎を起こしているもの。観察から得られた破碎の進行をより明確にするために、統計処理を行った。5つに分類された破碎状況をそれぞれの階級とし、おのこの階級で得られた粒子個数を度数とする。おのこの階級の相対累積度数を、観察された鉛直応力に対してプロットしたものが図2である。図2(a)は単一粒径材料の結果を示したものである。粒子破碎は、 $e-\log \sigma_v$ 曲線が折れ曲がり始める Point B₂ から起こり始めることがわかる。いずれの階級の粒子破碎についても、相対累積度数は、圧密降伏応力点で大きく変化している。たとえば Type III の相対累積度数は、Point B₁ から Point A₁ で 1.0 から 0.5 まで減少していることがわかる。また、Point A₁ 以降の相対累積度数の減少量は、いずれの階級の粒子破碎についても、Point B₁ から Point A₁ の間のそれよりも小さいことがわかる。図2(b) は良い粒度分布を有する材料に挿入された 1.4-1.7mm の着色粒子の結果について示したものである。この図から、1.4-1.7mm の粒子破碎は、Point P 以降から生じ始めること、Type II のような角がかかるような破碎によって特徴づけられること、Type IV のような完全な破碎をほとんど起こさないことがわかる。また、最終的な応力レベルにおける Type I の相対累積度数は、0.5 となっている。図2(c) は良い粒度分布を有する材料に挿入された 0.3-0.355mm の着色粒子の結果について示したものである。0.3-0.355mm の粒子破碎は Point B₂ から生じ始めていること、Type I の相対累積度数と鉛直応力の関係は Point B₁ から Point A₁ の間で 0.9 から 0.2 まで急激に減少していること、またその減少割合は 0.71-0.85mm の Point P から Point A₁ の減少割合とほぼ等しいこと、Type III の相対累積度数と鉛直応力の関係は Point P から Point A₁ の間で 0.5 程度の急激な減少を示していることがわかる。相対累積度数と鉛直応力の関係を単一粒径試料と良い粒度試料と比較すると、小さい粒径の圧密降伏応力付近での減少割合は、単一粒径試料のそれとほぼ等しいものの、大きな粒径の粒子の減少割合は単一粒径試料のものより小さいことがわかる。

3. あとがき

本研究では、一次元圧縮を受ける砂の個々の粒子破碎挙動の特徴を把握するとともに、一次元圧縮挙動に与える粒度分布の影響について検討を行った。その結果、良い粒度分布を有する材料の圧縮降伏応力は、単一粒径材料に比べて大きいこと、その降伏応力付近の圧縮曲線の曲率は、良い粒度分布を有する材料の方が小さいことがわかった。また、粒子に対する観察から、粒度分布によらず、降伏応力付近での粒子破碎は、完全な破碎を示す粒子の急増によって特徴づけられた。ただし、完全な破碎を示している粒子は、小さい粒子の方が多く、粒径が大きなものほど、完全な破碎を示しにくくなっているという結論を得た。

<参考文献>

- 1) Terzaghi, K. and Peck, R. B. (1948): "Soil mechanics in engineering practice, John Wiley and Sons, Inc., New York, N. Y., pp.65-67.2) Hargerty, M. M., Hite, D. R., Ullrich, C. R., and Hargerty, D. J. (1993): "One-dimensional high pressure compression of granular media," Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol.119, No.1, pp.1-18.3) Yamamuro, J. A. and Lade, P. V. (1996): "One-dimensional compression of sands at high pressures," Journal of geotechnical engineering, ASCE, Vol. 122, No.2, pp.147-154.4) Nakata, Y., Hyde, A. F. L., Hyodo, M. and Murata, H. (1999): "A probabilistic approach to sand particle crushing in the triaxial test," Geotechnique (printing).

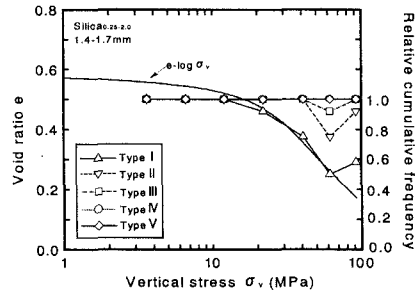


図2(b) 1.4~1.7mm

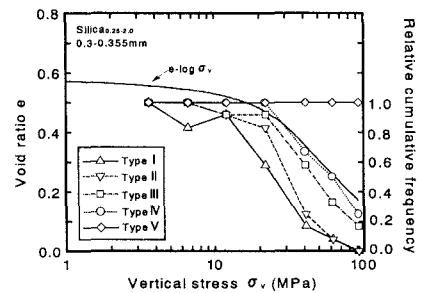


図2(c) 0.3~0.355mm

図2 観察から得られた粒子破碎の進行