

Ⅲ-A173

破碎性材料の一次元圧縮の時間依存性に関する研究

東京工業大学 正会員 日下部治

東京工業大学 学生会員 林豪人

1. はじめに

日本の国土の約13%は残積土である風化花崗岩に覆われ、その特性である粒子破碎性による時間依存性の沈下挙動が指摘されている。しかし粒子破碎による地盤沈下量の長期的時間依存性についての一般的理論は未だ存在しない。この理由として粒子破碎現象は多様な要因によって変化し、また破碎時における破碎粒子のランダム性、そしてそのミクロ的現象の可視化の困難さが粒子破碎による沈下量の時間依存性に関する理論の確率を困難にしている。

著者らは、破碎性材料の時間依存圧縮特性の研究のため、これらの多様なパラメータを極力すくなくし可視化を可能にするため、破碎性円柱であるチョークを用いて応力制御での一次元圧縮試験を行った。

2. 実験方法

図-1にチョークの一次元圧縮試験の概要を示す。 $L=29.8\text{mm}$, $\phi=9.5\text{mm}$ であるチョークは一次元圧縮容器(幅100mm×奥行30mm×高さ120mm)内に横に一つのチョークの接線が4本になるように横に配列されている。本試験前にあらかじめ単体のチョーク25本それぞれの割裂強度(平均破碎荷重0.289kN、標本標準偏差が $6.242 \times 10^{-2}\text{kN}$)を求めた。載荷試験は全部で7ケース行い、5段階の載荷応力(400,800,1600,3200,6400kPa)をそれぞれ24時間ずつ(但し400kPaについては12時間)供試体にかけたものと降伏点付近で細かく載荷したもの、チョークの6点支持配列にしたものをそれぞれの変位量を時間を追って記録した。同時に各載荷段階でのチョークの破碎状況はビデオやマイクロscopeで観察した。

3. 実験結果

Fig.2は、本実験で得られた代表的なケースにおける各載荷後の供試体のひずみと時間経過の関係である。ここでの破碎率とは各載荷段階で破碎したチョーク数を容器内のチョークの総数で除して得たものである。このグラフから、粒子破碎が卓越する載荷段階において長期的にひずみ速度とひずみ量が大きいことが判明した。なお、破碎率のケースごとの頻度分布はFig.3に示す。

Fig.4-1は、本実験において降伏点付近で細かく載荷したケースでのe-log p曲線を表したものであり、形状は粘土のe-log p曲線と類似したものとなった。また同時に6点支持配列(Fig.4-2)でのe-log p曲線も示した。このグラフからチョークの累積破碎率が40%前後に達すると供試体は降伏に至ることが推測できる。

粒子破碎・粒状体・風化花崗岩・一次元圧縮

東京工業大学(目黒区大岡山2-12-1・03-5734-2592・03-5734-3577)

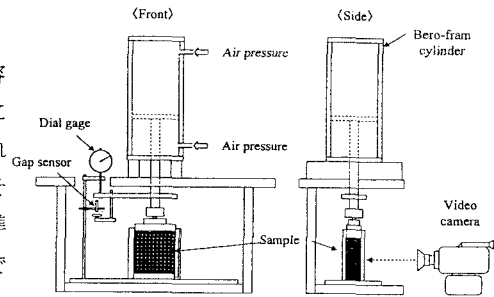


Fig.1 粒子破碎試験装置(応力制御)

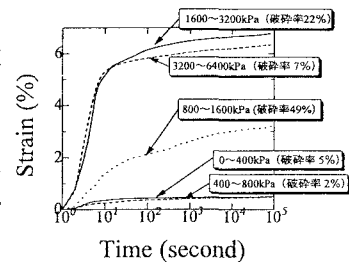


Fig.2 ひずみと時間の関係

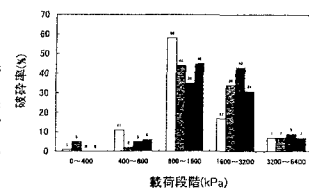


Fig.3 載荷段階と破碎率の関係

ミクロ的に見た単粒子の破碎状況は観察によって载荷段階に応じ亀裂発生破碎と圧縮降伏破碎に分類することができた（Fig.5-a,b）。亀裂発生段階は約 400kPa から降伏応力 P_s までの範囲で卓越し、図のように亀裂発生後も側方からの拘束力が働いているので変形は生じない。したがって間隙に粒子の破片が入り込むことはなかった。载荷応力が P_s 付近に達すると、徐々に圧縮降伏破碎に変化する粒子が卓越してくる。この段階に至ると破碎粒子は上下からの圧壊が進行し荷重に対する抵抗力が低下（降伏）して、接点 4 点からちぎれるようにして空隙に粒子の破片が入り込む。そして供試体中にこのような破碎のモードの粒子が一つ発生すると、その粒子に接している粒子は拘束を受けている接点にかかる拘束力が増大し、また拘束力のバランスが急に変化するため、結果として最初に圧壊降伏破壊を起こした粒子の周囲にまで破碎が生じる結果となることの原因だと考察できる（再配列のメカニズム Fig.6）。特にこの傾向は P_s 付近での载荷応力（1600kPa）で多く見られた。マクロ的な観察結果として、Fig.7 は各载荷段階における粒子破碎の状況を簡素にモデル化したものである。この 1600kPa（ P_s 付近）载荷の図から明らかに、破碎する粒子は単独ではなく必ず周囲にも破碎粒子が存在し、拘束点にかかる荷重の変化の効果が現れるといえよう。

载荷後 1 時間以降の変位を自然対数時間で除したクリープ係数と载荷応力との関係を Fig.8 に示す。このグラフから供試体のクリープ係数は P_s と密接な関係であり、 P_s 野津気の载荷段階段階でクリープ係数のピークを迎え、それ以降のクリープ係数は減少傾向にあることが判明した。Case3 に関してはクリープ係数のピークは見られないが、これは P_s と P_s の次の载荷段階との差が大きいためだと考えられる。つまりこれらの結果から、 P_s 付近で圧壊降伏破碎が卓越し再配列が活性化するので、クリープ係数（速度）が卓越すると考察することができる。また、6 点支持では他と比べて小さなクリープ係数となった。

4. まとめ

- ①破碎性円柱における e-log p 曲線の形状は一般の土の e-log p 曲線とほぼ等しくなる。
- ②圧縮降伏点は破碎率 40% 付近で現れる。
- ③圧縮降伏応力 P_s よりわずかに大きな载荷応力で長期的な沈下量の時間依存性（大きなクリープ係数）が認められた。

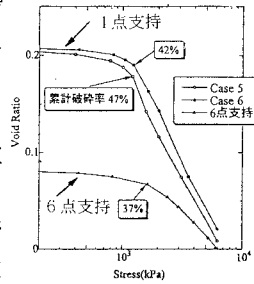


Fig.4-1 e-log p 曲線

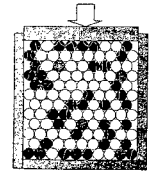
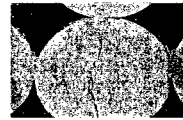


Fig.4-2 6点支持配列



(a) 亀裂発生破碎



(b) 圧縮降伏破碎

Fig.5 単粒子の破碎状況

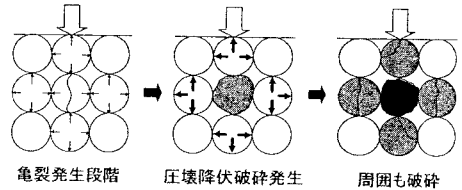


Fig.6 再配列のメカニズム

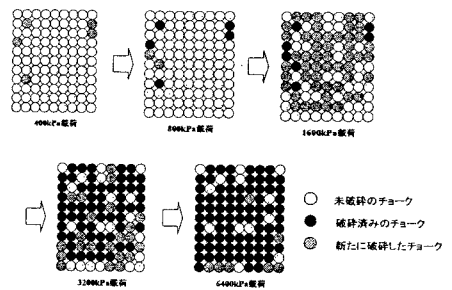


Fig.7 マクロ的破碎状況

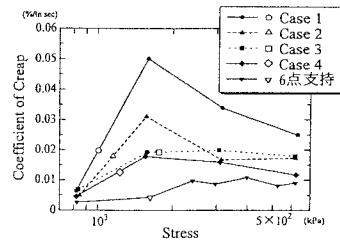


Fig.8 クリープ係数と応力の関係