

不飽和スラリー粘土の乾燥収縮特性（その1）

信州大学大学院 学 瀬谷 曜
信州大学工学部 正 梅崎健夫, 正 河村 隆
信州大学工学部 本間清真 (現(株)鴻池組)
(株)アールエフ 小平計美

1. はじめに X線CTスキャナおよび画像解析を用いて乾燥過程における攪拌脱泡（飽和）と攪拌のみ（不飽和）の粘土供試体の体積変化について検討した。また、攪拌のみの供試体における間隙の変化についても微視的な検討を行った。

2. 試験概要 試料には、NSF(C)粘土（土粒子密度 $\rho_s=2.723\text{g/cm}^3$ 、液性限界 $w_L=57.5\%$ 、塑性限界 $w_P=35.7\%$ 、収縮限界 $w_S=37.6\%$ ）を用いた。本試験では攪拌脱泡と攪拌のみの2つの供試体を作製した。攪拌のみは $D=10\text{cm}$ のビーカーに空気乾燥された粘土試料70gと初期含水比 $w_0=100\%$ になるように純水を加えて攪拌することで作製した。攪拌脱泡は攪拌のみと同様の方法で作製した試料に対して真空脱泡機を用いて真空圧（ $p_v \approx -97\text{kPa}$ ）で30分の攪拌脱泡を行うことで作製した。粘土を純水になじませるために供試体を室温24℃、湿度70%程度で3日間養生した後、室温24℃、湿度30%程度で乾燥試験を開始した。図-1に試験装置を示す。ビニールハウス内の除湿器は乾燥を促進させる

ために設置した。乾燥過程の含水比を測定するために、供試体の質量を約12時間おきにビニールハウスから取り出し、0.01gの精度の電子天秤で測定した。また、体積の算定を行うため、X線CTスキャナ（（株）アールエフ、コンピュータ断層撮影装置NAOMi-CT）を用いてX線CT撮影を行った。NAOMi-CTビューワソフト（（株）アールエフ）および画像解析ソフト（Mover-tr/2D,（株）ライブラリー）を用いて供試体の体積を算定した。また、CT解析で供試体内にある間隙の大きさも測定した。

3. 試験結果および考察 表-1にそれぞれの供試体におけるX線CT画像の断面図の初期と終了時の一例を示す。目立った黒点（大きな間隙）が存在しない攪拌脱泡においては試料と容器の間に隙間が生じているが、クラックは生じていない。一方、攪拌のみの初期には試料内に大きな間隙があり、終了時にはクラックが大きな間隙を通るように複雑に生じている。

図-2(a)に供試体の全体的な質量、図-2(b)に供試体の全体的な含

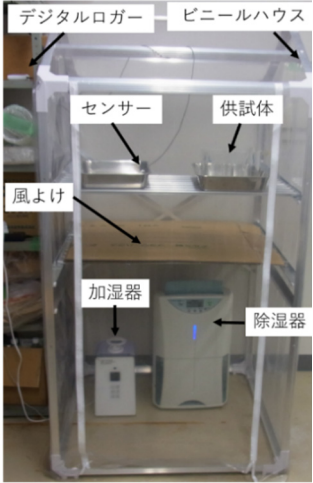


図-1 試験装置

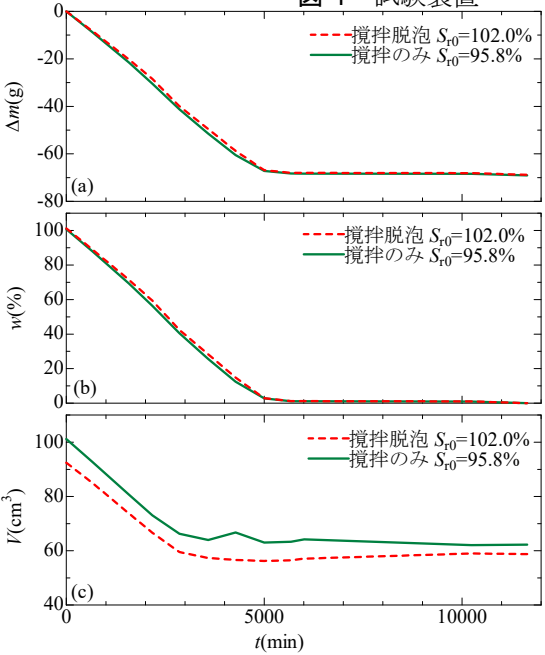


図-2 Δm , w , V の経時変化

表-1 初期および終了時における供試体のCT画像（供試体高さ $h=2\text{mm}$ ）

攪拌脱泡 初期	攪拌脱泡 終了時	攪拌のみ 初期	攪拌のみ 終了時

キーワード 不飽和土、乾燥収縮、スラリー粘土、間隙比、飽和度、X線CTスキャナ

連絡先 〒380-8553 長野市若里4-17-1 信州大学工学部水環境・土木工学科 TEL 026-269-5289

水比、図-2(c)に供試体の全体的な体積の経時変化を示す。試料に内包する大きな間隙によって攪拌のみの初期体積は大きく出ているが、いずれにおいても乾燥開始とともにほぼ直線的に減少し、急激に折れ曲がる2直線で表される。絶乾状態になったときに折れ曲がる質量や含水比に比べて、体積は収縮限界に達したときに折れ曲がるため、折れ曲がるまでの時間は質量や含水比に比べて短い。大きな間隙の有無は質量や含水比および体積の変化速度に影響を与えない。

本文ではCT画像で確認される 0.0001cm^3 以上の四方を試料に囲まれている間隙を“独立間隙”と定義する。図-3に独立間隙と総体積の割合と含水比の関係を示す。攪拌脱泡は独立間隙の割合が最大でも全体の0.01%程度に対して、攪拌のみは最大で1%程度である。攪拌のみにおいて、乾燥直後は含水比の低下に伴って独立間隙の割合が増加するが、クラック発生によって一気に減少する。その後、絶乾状態に至るまで少しずつ増加する。図-4に攪拌のみにおける含水比と独立間隙の体積の関係を示す。独立間隙1つ当たりの大きさを色分けした。クラック発生および進展の過程で 0.01cm^3 以上の独立間隙が消失している。クラックが複雑な形状となる原因の一因に試料内に 0.01cm^3 の間隙が複数点在していることが示唆される。

図-5に含水比と間隙比および飽和度の関係を示す。図-5(a)に示す $w \sim e$ 関係は、同じ含水比においても独立間隙の有無によって違いが生じる。しかし、その挙動はともに含水比の低下とともに正規収縮線($S_r=100\%$)に平行に減少し、その後、折れ曲がるとほぼ無収縮となる。独立間隙の有無やクラックの複雑さによる両者の収縮挙動に関して、初期間隙比の差のみでその後の挙動は同様である。図-5(b)に示す $w \sim S_r$ 関係は、攪拌脱泡に関しては既報1)の脱気脱泡を行ったスラリー粘土と同様の変化が見られたが、攪拌のみに関しては乾燥開始から徐々に飽和度が減少している。含水比の低下とともに試料の体積は減少しているが、図-4にあるようにクラックが発生するまでの独立間隙の体積の変化は小さいためだと考えられる。乾燥過程における間隙比および飽和度は独立間隙の有無の影響を受ける。

4. まとめ 恒温恒湿条件下におけるスラリー粘土の乾燥試験に対して得られた主な知見は以下のとおりである。①初期体積に違いはあるが、独立間隙の有無は全体的な質量や含水比および体積の減少速度に影響を及ぼさず、それぞれの変曲点までは一定の速度を保つ。②粘土内の 0.01cm^3 以上の間隙を結ぶようにクラックが生じる。③含水比と間隙比の関係は、含水比の低下とともに正規収縮線($S_r=100\%$)に平行に減少し、急激に折れ曲がる。また、含水比と飽和度の関係は初期飽和度によって異なり、飽和スラリー粘土は含水比が低下しても無収縮状態となるまでは飽和度100%を保つが、不飽和スラリー粘土は含水比が低下すると徐々に飽和度が低下する。その後、両者ともほぼ直線的に原点に向かう。乾燥過程における間隙比および飽和度は独立間隙の有無の影響を受ける。

参考文献 1) 瀬谷 曜, 梅崎健夫, 河村 隆: スラリー粘土の真空蒸発および空気乾燥に伴う体積収縮, 第52回地盤工学研究発表会, pp.327-328, 2017.

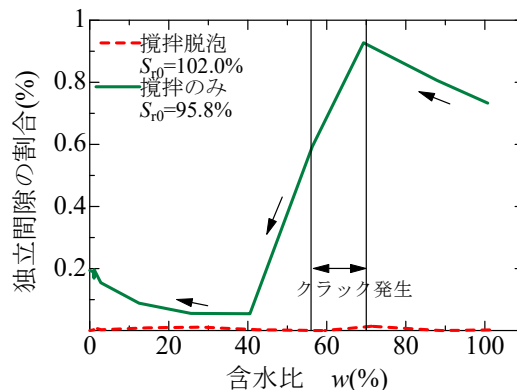


図-3 含水比と独立間隙の関係

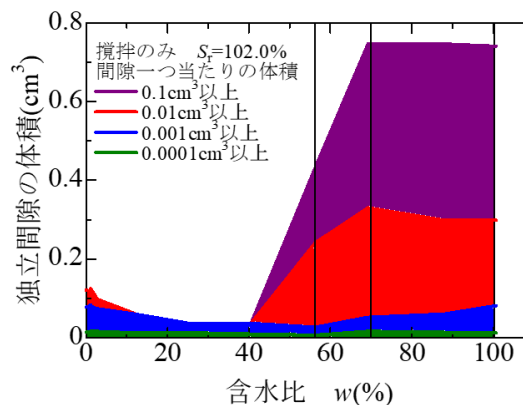


図-4 攪拌のみにおける含水比と独立間隙の体積

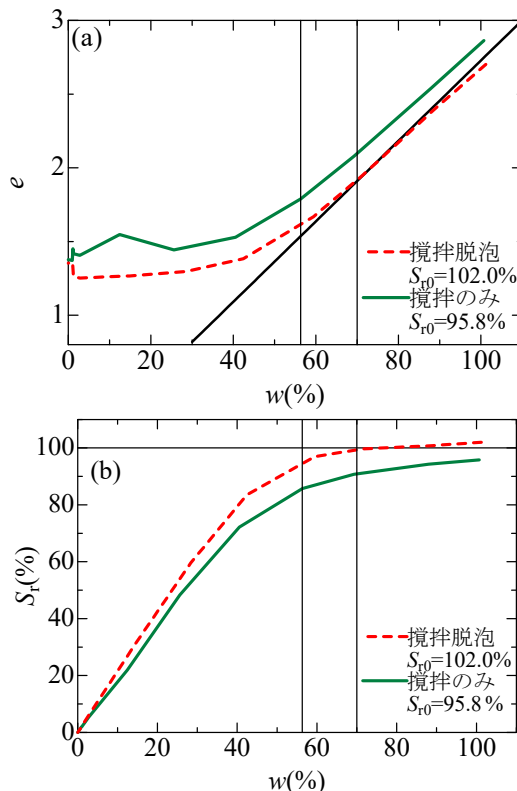


図-5 含水比と間隙比および飽和度の関係