

## X線CTスキャナによる乾燥収縮過程における粘土の状態評価(その2)

信州大学大学院 正〇田中幹宏  
 信州大学工学部 正 河村 隆, 正 梅崎健夫  
 信州大学工学部 非 松田倅哉(現(株)フジタ)  
 (株)アールエフ 非 小平計美

**1. はじめに** 本研究は、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)で得られるCT値を適用して粘土の状態評価を行うことを目的とする。本研究で使用するX線CTスキャナは、X線被爆防止の遮蔽空間を用意する必要がない。本文では、施工現場での活用を考慮し、空気・水・土粒子の3相構造が存在する粘土の状態評価を行うための第2報であり、乾燥収縮過程にあるスラリー粘土を対象に、同一の位置において抽出したCT値に平均化処理を行い、測定した供試体全体の含水比との相関性の検討を行った。さらに、前報<sup>1)</sup>の圧密再構成粘土の結果との比較も行った。

**2. CT値に対する平均化処理** 図-1, 2に、CT値の抽出位置と抽出したCT値を示す。図-2に示すCT値は分散が大きいため現状は局所的な評価が困難であり、装置の特性上、CT値の3次元分布の出力も不可能である。一方で要素試験として取り扱われる土質試験の供試体全体を評価することは可能であると考えられる。そのため、測線(1)(2)で抽出されたCT値を測点ごとに平均化処理を行った上で、測線ごとに平均化処理したCT値の平均値を代表CT値として検討を行った。

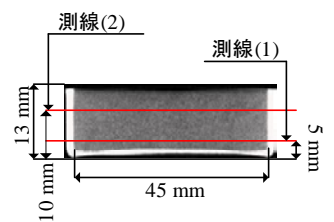


図-1 CT値の抽出位置

**3. 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。脱気時の水分の蒸発を考慮した所定の含水比のスラリー試料を真空脱泡機によって攪拌脱泡し、収縮皿(内径約47 mm, 深さ約16 mm, 容量約23,100 mm<sup>3</sup>)に入れてさらに脱気した。その後、上端面を直ナイフで平らに成形して供試体( $w_0/w_L=1.07, 1.26, 1.67, 2.02, 2.44$ )とし、X線CTスキャナを用いて撮影を行った。そして、恒温室(24°C)において自然乾燥させた。乾燥に伴う供試体の質量変化を測定した上で、一定時間ごとに供試体のX線CT撮影を行った。CT値の抽出には、撮影画像に対してNAOMi-CTビューワソフト((株)アールエフ)を用いた。さらに、試験終了後に炉乾燥供試体のX線CT撮影を行った。

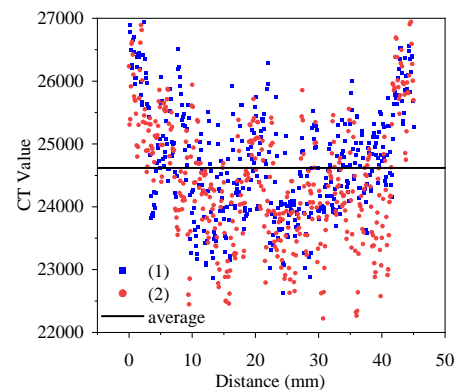


図-2 抽出したCT値(平均値)の初期分布

**4. 試験結果および考察** 表-1にCT画像の経時変化を示す。CT画像は、スキャンにより得られたCT値を256階調のグレースケール画像に変換したもので、一般的に白色であれば密度が高く黒色になるにつれて密度

表-1 CT画像の経時変化 ( $w_0/w_L=1.67$ )

(a) $t=0 \text{ min}$ ( $w=98\%$ )	(b) $t=720 \text{ min}$ ( $w=73\%$ )	(c) $t=1,200 \text{ min}$ ( $w=61\%$ )	(d) $t=1,920 \text{ min}$ ( $w=44\%$ )	(e) $t=2,160 \text{ min}$ ( $w=39\%$ )
(f) $t=2,640 \text{ min}$ ( $w=29\%$ )	(g) $t=3,120 \text{ min}$ ( $w=29\%$ )	(h) $t=3,600 \text{ min}$ ( $w=20\%$ )	(i) $t=4,080 \text{ min}$ ( $w=4\%$ )	(c) 炉乾燥後

キーワード スラリー粘土, 乾燥収縮, 密度, 含水比, X線CTスキャナ, CT値

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

が低くなるとされている。初期はグレー基調で始まり、時間経過により  $t=2,160$  min で白色が強くなり、その後黒色へと変化して絶乾状態に近い状態に至る。

図-3(a), (b)に CT 値と含水比  $w$  の経時変化を示す。図-3(a)に示すように、初期含水比により CT 値が最大となる時間と、最大 CT 値が異なる。初期含水比  $w_0/w_L=1.67$  のケースにおいて、 $t=2,160$  min 付近で CT 値が最大となり、表-1 に示したようにこの時の CT 画像の白色基調が最も強くなる。この傾向は他の初期含水比においても同様である。 $t=4,000$  min 以降において含水比の変化がほとんど生じなくなると、CT 値はそれぞれほぼ一定値に収束する。収束値は、初期含水比ごとに異なり、初期含水比が小さいほど大きくなる。図-3(b)に示すように、初期含水比  $w_0/w_L=1.67, 2.02, 2.44$  のケースでは、 $t=800 \sim 1,500$  min の間 ( $w=75 \sim 90\%$ ) で含水比  $w$  の減少量に変化が見られる。このとき CT 画像よりスラリー粘土の乾燥収縮によって収縮皿との間にすき間が生じていることが確認できる。 $w_0/w_L=1.07, 1.26$  のケースでは含水比  $w$  の減少量に明確な変化は見られないが、同様の現象が CT 画像より確認されている。

図-4 に乾燥収縮過程におけるスラリー粘土の含水比と CT 値の関係を示す。図中には、第1報<sup>1)</sup>で示した圧密再構成粘土 ( $w_0/w_L=0.87 \sim 0.89$ ) の結果も示した。圧密再構成粘土の場合は X 線が供試体のみを透過するが、スラリー粘土の場合は収縮皿も透過するため X 線強度の低下の影響が推測される。本文ではその補正は行っていない。スラリー粘土、圧密再構成粘土のいずれも収縮限界  $w_s$  付近において CT 値が最大となる。同じ含水比における CT 値は、圧密再構成粘土の方がスラリー粘土よりも大きく、圧密再構成粘土の  $w \sim$  CT 値関係が上方に位置する。圧密再構成粘土の場合、 $w \sim$  CT 値関係は、収縮限界  $w_s$  を境界として2本の直線で近似できることを報告している<sup>1)</sup>。一方、スラリー粘土の場合、 $w \geq w_s$  以上においては、初期含水比  $w_0/w_L$  によらずほぼ同一の下に凸な曲線関係となるが、 $w < w_s$  未満においては、初期含水比  $w_0/w_L$  ごとに折れ曲がり点の異なる直線関係となり、 $w_0/w_L$  が小さいほど上方に位置し、圧密再構成粘土に近づく。乾燥収縮過程においては、CT 値が同じでも含水比が異なる状態が存在しており、CT 値は粘土の初期含水比  $w_0/w_L$  と飽和度および骨格構造によっても異なると推測される。

**5. まとめ** 得られた知見は以下のとおりである。①CT 画像は、収縮限界  $w_s$  付近で最も白色に転じる。②収縮限界  $w_s$  付近で CT 値が最大となるが、CT 値の最大値やその時の含水比は初期含水比により異なる。③CT 値と含水比の関係は、 $w \geq w_s$  以上においては初期含水比によらず概ね1本の下に凸な曲線関係となるが、 $w < w_s$  未満においては初期含水比  $w_0/w_L$  ごとに折れ曲がり点の異なる直線関係となる。④スラリー粘土と圧密再構成粘土の含水比と CT 値の関係は異なる。⑤CT 値は粘土の初期含水比と飽和度および骨格構造によっても異なると推測される。

【参考文献】1)河村隆, 梅崎健夫, 田中幹宏, 松田倅哉, 小平計美: X 線 CT スキャナによる乾燥収縮過程の粘土の状態の検討 (その1), 第57回地盤工学会研究発表会, p.2, 2022.

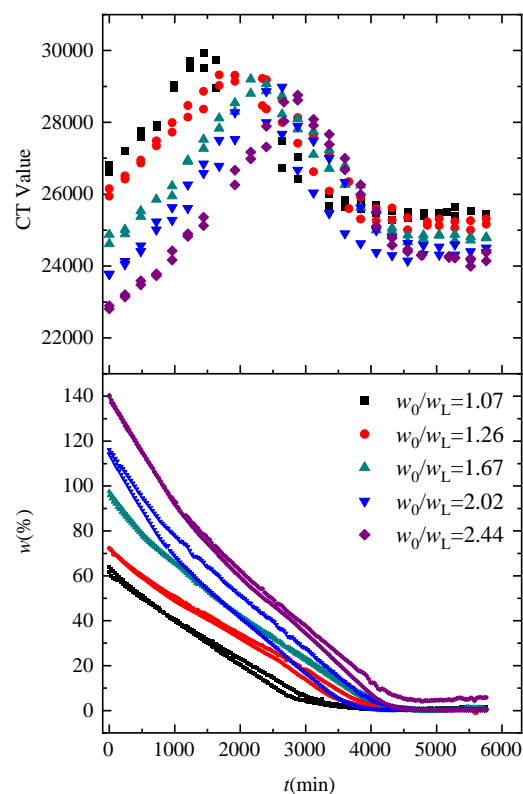


図-3 含水比と CT 値の経時変化

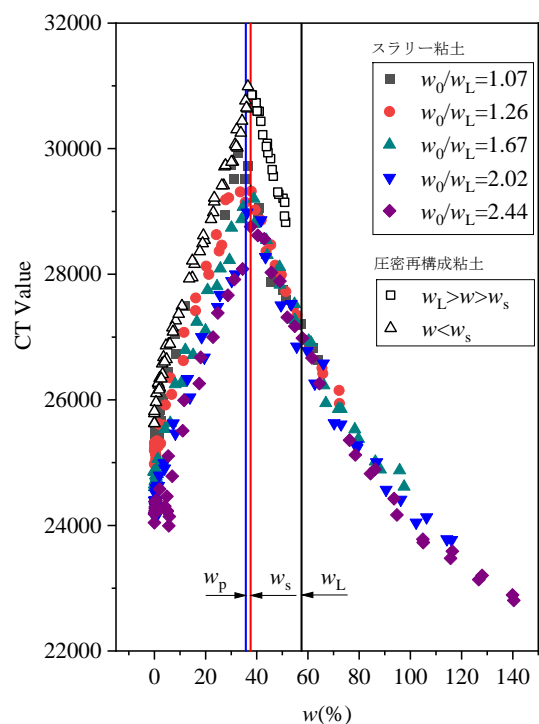


図-4 含水比と CT 値の関係