

## X線CTスキャナによる気泡混合処理土の吸水特性評価

港湾空港技術研究所 正会員 菊池 喜昭  
 港湾空港技術研究所研修生 正会員 ○永留 健  
 関東地方整備局 港湾空港部 福本 裕哉

### 1. はじめに

港湾工事では、軽量混合処理土のひとつである気泡混合処理土を主に水面下で使用するため、長期間経過後に気泡の一部が水に置き換わり、密度が増加することが懸念されている。この現象は、材料の吸水特性に深く関係がある。このため、気泡混合処理土の吸水特性を把握することは、この材料の長期的な特性の変化を考える上で非常に重要な課題である。

本研究は、気泡混合処理土の吸水特性を把握するために、①供試体全方向から水の浸入が可能な水浸試験(三次元水浸試験)と、②供試体上端面一方向からの水の浸入が可能な水浸試験(一次元水浸試験)を行い、各試験期間中の気泡混合処理土の内部状況をマイクロフォーカス X 線 CT スキャナ<sup>1)</sup>で観察することによって、気泡混合処理土の吸水特性を評価した。

### 2. 対象試料および実験方法

ここで対象とした試料の母材は、東京湾で浚渫された粘土( $\rho_s=2.66\text{g/cm}^3$ ,  $w_L=104\%$ )である。固化材には、高炉セメント B 種を用いた。また、起泡剤には、タンパク系のものを用いた。

試料は、浚渫粘土に海水を混ぜて所定の含水比としたのちに、気泡と固化材を混練りして作製した。対象とした試料  $1\text{m}^3$  あたりの配合表を表-1 に示す。気泡混合処理土は、湿潤密度が  $1.05\text{g/cm}^3$ 、作製 28 日後の一軸圧縮強度が  $400\text{kPa}$  となるように配合を決定した。供試体は、試料を直径  $5\text{cm}$ 、高さ  $12\text{cm}$  のソフトモールドにそれぞれ  $10\text{cm}$  以上の高さに詰めた後、蓋で密閉し、温度  $20^\circ\text{C}$ 、湿度  $95\%$ 以上の養生容器に入れて 28 日以上養生した。

三次元水浸試験は、ポリバケツに蒸留水を入れて、その中に供試体全体を水浸させて行った。ここで供試体は、養生した試料をソフトモールドから取り出し、端面成形のみ行い、直径  $50\text{mm}$ 、高さ  $100\text{mm}$  に成形した。試験は、供試体を水温  $20^\circ\text{C}$  の水の中にむきだしのまま浸け、全ての方向から水が浸入する状態にして試験を開始した。

一次元水浸試験は、ポリバケツに蒸留水を入れて、その中にソフトモールドに詰めたままの供試体全体を水浸させて行った。試験は供試体を水温  $20^\circ\text{C}$  の水の中に浸け、上面のみ水と接触させて一方向からの水浸試験を開始した。気泡混合処理土の側面と底面は、ソフトモールドで覆われたままであり、直接水と接触しないようにした。

試験開始後は、所定の期間ごとにポリバケツから各々の供試体を取り出して CT 撮像を行った。同時に供試体の湿潤密度も実測した。

### 3. 内部構造の観察

図-1 に、各供試体の水浸試験における経過日数と湿潤密度の関係を示す。図をみると、各供試体とも時間の経過とともに密度が増加しており、一次元水浸試験に用いた供試体の密度の増加量が、三次元水浸試験の供試体の増加量よりも小さい。これは、一次元水浸試験に用いた供試体の方が、水との接触面積が小さいためである。

図-2 に、三次元水浸試験における供試体中央部(供試体高さ  $50\text{mm}$ )付近の水平断面 CT 画像を示す。CT 画像は、明るいほど密度が高く、暗いほど密度が低いことをあらわしている。これらの画像では、明

表-1  $1\text{m}^3$  あたりの配合表

|      | 質量 (kg) | 体積 (L) |
|------|---------|--------|
| 乾燥土  | 265.2   | 98.2   |
| 海水   | 710.1   | 692.8  |
| セメント | 65.0    | 21.4   |
| 軽量材  | 9.7     | 187.6  |
| 全体   | 1050    | 1000   |

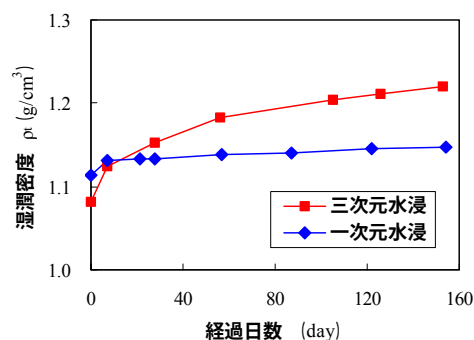


図-1 経過日数と湿潤密度の関係

キーワード 気泡混合処理土、水浸試験、X線CTスキャナ、可視化、画像解析

連絡先 〒239-0826 横須賀市長瀬 3-1-1 (独) 港湾空港技術研究所 TEL046-844-5057

るさの程度によって概ね4つの部分に分けて考えることができる。すなわち、極めて明るい部分(セメントの塊や貝殻と考えられる部分)、グレーの部分(固化処理土と考えられる部分)、やや暗いグレーの部分(水と考えられる部分)、暗い部分(気泡と考えられる部分)の4つである。

図-2の供試体の断面画像をみると、時間の経過とともに明るい部分が供試体側面から中心に向かって同心円状に広がっていることがわかる。この明るくなったところは、密度が増加したところで、供試体が吸水したことによって気泡と水が置き換わったことを示している。

図-3に、一次元水浸試験における供試体の鉛直断面CT画像を示す。画像は、供試体上面から約25mmまでの範囲を表示している。図をみると、時間の経過とともに供試体上面から次第に下部の方に明るい領域が広がっていることがわかる。この白く変化していく部分で空気と水の置換が生じている。また、図-3の鉛直断面画像の中央部付近で水浸試験前に4mm程度の大きな気泡が確認できる。水浸87日あたりから、この大きな気泡に水が浸入している様子が観察できる。このとき、水は気泡を取り巻くように浸入しており、気泡は球形状を保ったまま存在している。その後、気泡が次第に小さくなり、154日後には、大きな気泡は水に置き換わっていた。なお、今回の実験では、気泡混合処理土側面とソフトモールドの境界面から水が浸入している様子は、CT画像から、観察されなかった。

図-4は、図-2, 3の断面画像からCT解析によって各試験での水の浸入距離を測定したものである。ここで、浸入距離は、密度が変化している領域の水との接触面からの距離を求め、それを浸入距離と定義した。全体が水に接触した供試体の浸入距離と経過時間は、供試体中央部であるため、一方向からの水の浸入距離と考えてよいと思われる。この図をみると、どちらの試験でも浸入距離と経過時間の関係は一方向に対してほぼ同じ関係を示しており、浸入速度は、0.1 mm/day程度であることがわかる。

#### 4. おわりに

今回の水浸試験(供試体直径50mm, 高さ100mm)結果から、気泡混合処理土に水が浸入する場合、水は接触面からほぼ一定の速度で浸入してくることがわかった。この速度は、母材の透水係数などによって影響されるものと思われる。ただし、10年前に神戸港で打設された覆土直下の気泡混合処理土地盤では、水の浸入範囲が数cm程度だったことが報告されていることから<sup>2)</sup>、接触面から離れると浸入速度が遅くなり水の浸入が収束すると推測される。また、今回の水

浸試験は、直接水と気泡混合処理土が接する条件にしているが、これは気泡混合処理土のおかれる環境としては、特異な環境である。一般的に、気泡混合処理土地盤の周辺は、土で覆われている条件であることが考えられる。砂で覆われているケースについても現在調査中であり、水の浸入は試験開始9ヶ月でほとんど確認されていない結果となっている。結果がまとまり次第、報告する予定である。

【参考文献】1) 菊池ら: X線CT法を用いたゴムチップ混合固化処理土の工学的特性評価, 第6回環境地盤工学シンポジウム論文集, pp. 343-350, 2005. 2) 菊池ら: 神戸ポートアイランドの気泡混合処理土の長期安定性, 第41回地盤工学研究発表会, 2006. (投稿中)

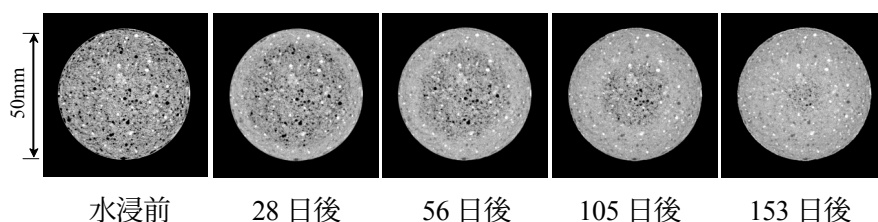


図-2 水平断面画像(三次元水浸試験)

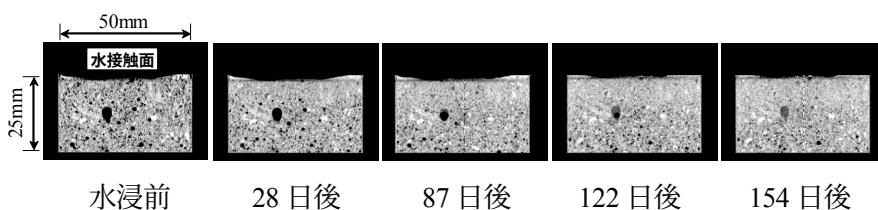


図-3 鉛直断面画像(一次元水浸試験)

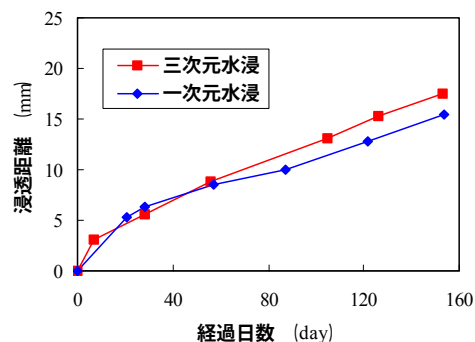


図-4 経過日数と浸入距離の関係