

異なる湿度で養生した気泡混合処理土の長期安定性について

気泡混合処理土, X線 CT スキャナ, 密度

港湾空港技術研究所 国際会員 菊池喜昭  
 港湾空港技術研究所研修生 国際会員 ○永留 健  
 国土交通省関東地方整備局 福本裕哉

1. はじめに

地盤や構造物に作用する荷重を軽減する地盤材料として、高含水比の浚渫粘土に気泡を混ぜて軽量化し、セメントを混ぜて強度増加を期待する気泡混合処理土<sup>1)</sup>がある。この材料を空气中で曝露すると気泡混合処理土内の水分が蒸発して自身が体積収縮することが懸念されている<sup>2)</sup>。また、体積収縮することによって強度が低下することも考えられる。これらの現象は、材料の乾燥特性と深く関係がある。このため、気泡混合処理土の乾燥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、気泡混合処理土の長期安定性を把握するために、異なる湿度で養生した気泡混合処理土供試体の曝露試験を実施し、試験期間中における供試体の内部状況の変化を X線 CT スキャナによって調査したものである。また、併せて固化処理土の曝露試験も実施した。

2. 対象試料および実験方法

本研究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、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、固化材を加えミキサーで5分間練り混ぜて固化処理土(CTC)を作製し、更なるその固化処理土に所定量の気泡を加え、3分間手練りで混合、攪拌して気泡混合処理土(SGM)を作製した。各試料 $1\text{m}^3$ 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日後の一軸圧縮強さが $400\text{kN/m}^2$ となるように配合を決定した。試料は直径5cm、高さ12cmのソフトモールドにそれぞれ10cm以上の高さに詰め、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。試験に用いた供試体は養生した試料をソフトモールドから取り出し、端面成形のみを行い、直径50mm、高さ100mmに成形した。

曝露試験は、温度 $20^\circ\text{C}$ で、湿度が60%程度と95%以上の2種類の環境で行った。写真-1に試験状況を示す。湿度が60%程度のケースの試験は、供試体をプラスチック容器(口 $500\times 350\times \text{h}300\text{mm}$ )に入れて、プラスチック容器の蓋を開けた状態で室温 $20^\circ\text{C}$ 、湿度60%程度の実験室に放置した。湿度が95%以上のケースの実験は、供試体をプラスチック容器(最大内径250mm、高さ250mm)に入れて、蓋を密閉した状態で室温 $20^\circ\text{C}$ の実験室に放置した。湿度95%以上のケースの実験では、プラスチック容器底面に水を入れて常時湿度95%以上となるようにした。この時、供試体はプラスチック容器内の台座にのせており、容器底面の水と直接接しないようにしている。各ケースの実験では、それぞれの容器内に温湿度計を設置し、温度と湿度を管理した。

試験は、供試体をそれぞれの容器の中にむきだしのまま養生して開始した。湿度95%以上のケースでは、周辺をラップで覆った供試体についても試験した。各供試体の試験直前の実測密度を表-2に示す。試験開始後は、所定の期間ごとにそれぞれの容器の中から供試体を取り出してCT撮像を行った。同時に供試体の重量も実測した。湿度60%程度の曝露試験は開始してから120日後まで、湿度95%以上の曝露試験は開始してから91日後まで行った。

3. 試験過程における内部構造の変化

図-1に、曝露試験を開始してからの経過日数と各供試体の重量の関係を示す。図をみると、湿度60%程度の環境で養生した供試体は、試験直後から試験開始14日あたりまでに重量が大きく減少した。これは、試験初期に供試体

表-1  $1\text{m}^3$ あたりの標準配合表

	SGM		CTC	
	質量 (kg)	体積 (L)	質量 (kg)	体積 (L)
乾燥土	211.5	78.4	250.9	92.9
海水	760.4	741.8	901.8	879.8
セメント	70.0	23.0	82.7	27.2
軽量材	8.1	156.8	—	—
全体	1050	1000	1235	1000



(a) 湿度 60%程度 (b) 湿度 95%以上  
 写真-1 曝露試験状況

表-2 各供試体の実測密度

	湿潤密度 ( $\text{g/cm}^3$ )		
	湿度60%	湿度95%、ラップ無し	湿度95%、ラップ有り
SGM	1.068	1.069	1.063
CTC	1.243	1.249	1.243

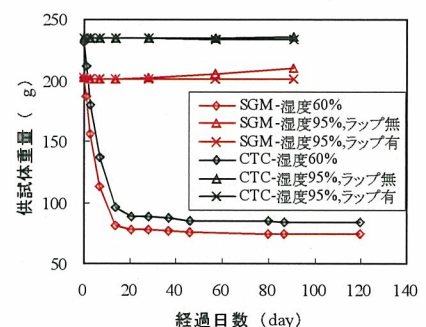


図-1 経過日数と供試体重量の関係

Long term stability of lightweight soil with air foam under different humidity

KIKUCHI, Y., NAGATOME, T. (Port & Airport Research Inst.) and FUKUMOTO, H. (Kanto Regional Development Bureau)

内部の水分が蒸発したため生じた結果である。その後、試験終了までどちらの供試体とも重量の変化はほとんどない。ここで、試験開始 14 日までの重量変化量から水分の蒸発量を計算すると、どちらの供試体とも初期含水量の 80%以上の水分が試験開始 14 日までに蒸発していたことになる。

これに対し、湿度が 95%以上の環境で養生したラップで覆っていない気泡混合処理土供試体は、試験開始 28 日後以降に重量が増加する結果となった。また、95%以上の環境で養生したラップで覆った気泡混合処理土供試体とラップの有無に関わらず固化処理土供試体の重量は、ほとんど変化しなかった。

試験過程における各供試体中央部付近の水平断面 CT 画像を図-2~4 に示す。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。

まず、図-2 の湿度 60%程度の環境で養生した供試体を見ると、どちらの供試体とも試験開始 3 日後に供試体中央部までわずかに暗くなっている。この暗くなったところは、供試体内部の水分が蒸発したことによって密度が低下したことを示している。さらに時間が経過すると、どちらの供試体とも亀裂が観察された。これらの亀裂はまず供試体側面に発生し、その後供試体中央部に向かって進展しているようである。また、最初に供試体側面に発生した幅の広い亀裂は、亀裂が中央部に進展すると閉じていく傾向にある。また、固化処理土供試体に発生した亀裂の一部は供試体の円周方向に発生しているのにも特徴がある。そして、曝露試験開始 14 日以降は、画像中の変化はあまりみられなかった。試験開始 120 日後では、どちらの供試体とも直径 4cm 程度、高さ 8.5cm 程度まで収縮した。

次に、図-3 の湿度 95%以上の環境で養生したラップで覆っていない気泡混合処理土供試体を見ると、試験開始から 28 日後までの画像中の変化はあまりみられない。その後、試験開始 57 日後に供試体側面から数 mm 程度内側に明るいリング状の領域が形成されている様子が観察された。そして、試験開始 91 日後には、明るいリングの幅がさらに広がっている。この明るくなったところは、気泡混合処理土供試体が周辺の湿度の高い空気中の水分を吸水したことによって気泡と水分が置き換わった領域を示しているものと思われる。また、固化処理土供試体は試験開始から 7 日後までの画像中の変化は、あまりみられない。しかし、試験開始 28 日後の画像では、試験初期にあった暗く丸い領域が明るくなっている。このことは、供試体作製時に混入した微量の空気と考えられる領域に供試体周辺の空気中の水分が浸入したことによって生じたものと思われる。これに対し、図-4 のラップで覆った気泡混合処理土供試体と固化処理土供試体の曝露試験での画像中の変化はほとんどなかった。

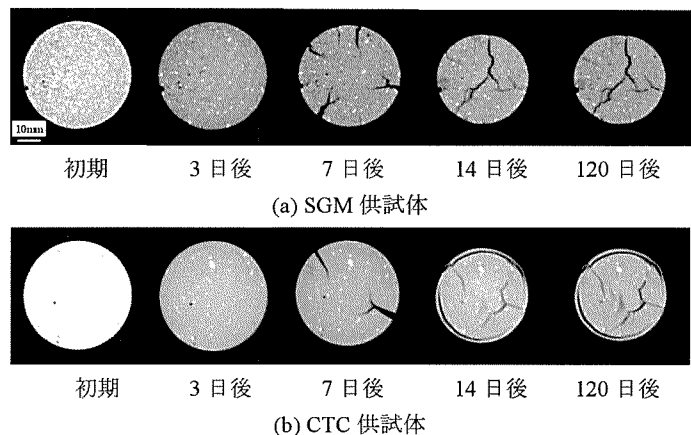


図-2 水平方向断面画像(湿度 60%程度)

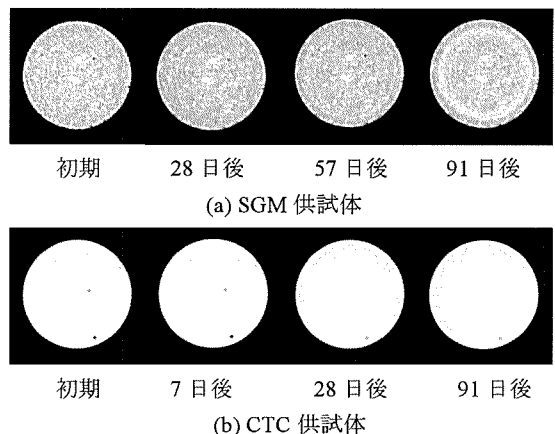


図-3 水平方向断面画像(湿度 95%以上, ラップ無し)

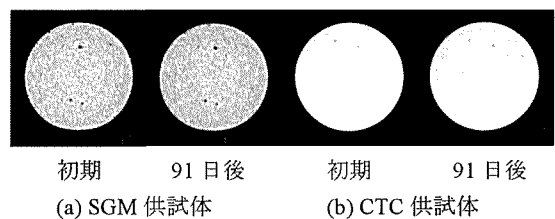


図-4 水平方向断面画像(湿度 95%以上, ラップ有り)

#### 4. おわりに

今回湿度の異なる環境での乾燥試験を実施したところ、湿度 60%程度の環境で養生した気泡混合処理土や固化処理土は、試験後すぐに乾燥収縮し、亀裂が発生したのに対し、湿度 95%以上の環境でむきだしのまま養生した気泡混合処理土は、乾燥せずに周辺の空気中の水分を吸って重量が若干増加する結果となった。

気泡混合処理土や固化処理土は、一般的に覆土などで覆われて使用される場合が多く、覆土表面の乾燥している部分を除けば、土壌内空气の湿度は、常に 100%近くあるということからも<sup>3)</sup>、その条件であれば気泡混合処理土や固化処理土は乾燥しにくい状態にあると考えられる。なお、神戸ポートアイランドで施工された気泡混合処理土の打設 10 年後の劣化調査<sup>4)</sup>や屋外での曝露実験<sup>5)</sup>で覆土直下の気泡混合処理土が乾燥していなかった。その理由は、今回の室内試験と同じような現象が起っていたものと思われる。

[参考文献] 1) 例えば、沿岸開発技術センター：軽量混合処理土マニュアル, 1999. 2) 大谷ら：X線CT法を用いた気泡混合処理土の浸透・乾燥現象の解明, 土木学会論文集, No. 701/III-58, pp293-302, 2002. 3) ダニエル・ヒレル著, 岩田進午ら監訳：環境土壌物理学 I 土と水の物理学, 農林統計協会, pp293-294, 2001. 4) 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回地盤工学会年次講演会講演集, pp815-816, 2006. 5) 菊池ら：覆土環境下における気泡混合処理土の長期的な密度・強度特性, 第41回地盤工学会年次講演会講演集, pp809-810, 2006.