

打設後 54 ヶ月経過した気泡混合処理土フィールド実験地盤の密度・強度特性

広島大学大学院	正会員	土田 孝
港湾空港技術研究所	正会員	菊池 喜昭
SGM 軽量土工法協会	正会員	山村 和弘
東亜建設工業(株)	正会員	○永留 健
		渡部 要一
		岸 真裕
		御手洗 義夫

1. はじめに

我が国の港湾工事で、気泡混合処理土(Super Geo-Material:以下、SGM と称する)が本格的に実工事で使用されたのは、1995 年の阪神淡路大震災で被災した神戸港の復興事業であり¹⁾、それ以来、約 52 万 m³以上の施工実績がある(平成 21 年 3 月末現在)。現在建設中の羽田 D 滑走路建設工事では、埋立の一部に、SGM を約 79 万 m³使用することが計画されており、施工されればこれまでで最大規模の適用事例となる。SGM を沿岸域で使用するにあたっては、海水や雨水などが SGM 表面と接触し、気泡部分が水に置き換わることによる密度増加や強度低下といった長期的な特性の変化の有無やその程度が鍵となる。

SGM 軽量土工法協会では、羽田 D 滑走路建設工事に先立ち、SGM の長期安定性に関する検討を行っており、平成 16 年には、東京湾臨海部(横浜市鶴見区)で実施工を模擬したフィールド実験地盤を作製し、モニタリング調査を実施している²⁾。本稿は、打設後 54 ヶ月間暴露したフィールド実験地盤の評価を行った結果をまとめたものである。

2. 対象試料

本研究で対象とした試料は、平成 16 年に打設された SGM 地盤の上部を表面から約 25cm 四方の立方体に切り出したブロックサンプルである。施工時の SGM1m³あたりの配合表を、表-1 に示す。SGM 上面には、打設して 1 ヶ月後から細粒分 5.4%の山砂($\rho_s=2.723\text{g/cm}^3$)が 50cm の厚さで覆土されており、ブロックサンプリングは覆土の一部を撤去して行った。また、地下水位は SGM 地盤の下面以深であることが確認されている。ブロックサンプル採取時の SGM 上面付近にあった覆土の含水比を計測したところ 23%程度で、不飽和湿潤状態であった。

今回、採取したブロックサンプルを直径 50mm、深度方向に高さ 100mm の供試体に成形し、同一供試体による深度方向への小型コーン貫入試験、密度計測、X 線 CT スキャナによる内部構造の観察を行った。対象とした深度は SGM 上面から 0~100mm と 150~250mm で両供試体の実測密度はそれぞれ 1.12g/cm³、1.09g/cm³であった。

これらの調査は、まず X 線 CT スキャナによって各供試体の内部を観察した後、小型コーン貫入試験(コーン形状：先端角 30° コーン、貫入速度：2mm/sec、最大貫入量：5mm)を行いながら、深度方向 5~10mm ごとに湿潤密度を測定した。なお、X 線 CT スキャナの仕様および小型コーン貫入試験方法の詳細は、参考文献 3)、4)を参照されたい。

3. 実験結果

(1)作製 54 ヶ月後の SGM の密度・強度特性調査

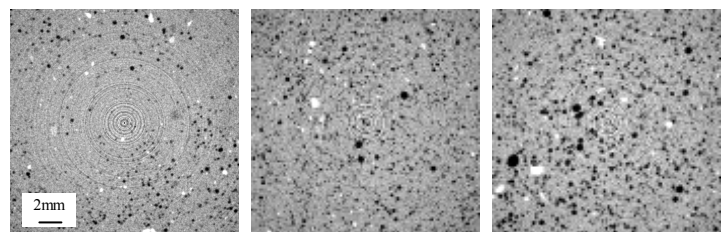
図-1 に、対象とした供試体の内部構造を X 線 CT スキャナにより観察した結果を示す。これらの画像は、供試体水平方向の拡大断面画像である。CT 画像は明るいほど密度が高く、暗いほど密度が低いことをあらわしている³⁾。

図-1(a)に示す深度 25mm の拡大画像では、深度 50mm や 200mm にみられる気泡と考えられる暗い点状の領域が比較的少なく、部分的に存在しているようである。更に、深度 25mm の画像では水と考えられるやや暗いグレーの領域が幾つかみられる。このことから、深度 25mm 付近は気泡と水の置換が部分的に生じている領域であると推測される。

図-2 に、2 つの供試体の CT 解析結果から推定

表-1 1 m³あたりの配合表

	質量 (kg)	体積 (m ³)
乾燥土	238.0	0.086
海水	816.0	0.792
セメント	61.0	0.020
軽量材	5.2	0.102
全体	1120	1.000



(a) 深度 25mm (b) 深度 50mm (c) 深度 200mm

図-1 各深度での水平断面拡大画像

キーワード 気泡混合処理土、長期安定性、劣化、暴露実験

連絡先 〒230-0035 横浜市鶴見区安善町 1-3 東亜建設工業(株) 技術研究開発センター TEL045-503-3741

されたSGM地盤の湿潤密度の深度分布を示す。図には、小型コーン貫入試験と並行して計測した5~10mmごとの湿潤密度を記載した。図をみると、CT解析結果から推定した密度分布は、湿潤密度の実測データとほぼ同様な値と分布傾向を示していることがわかる。CT解析結果をみると、深度15mmから37mm程度まで湿潤密度が 1.16g/cm^3 から 1.11g/cm^3 まで低下している。それ以深は、 1.1g/cm^3 程度でほぼ一定となっており、雨水の浸入による密度増加が進行していない部分(健全な部分)であると思われる。このように、CT解析結果から、表層からの密度増加の範囲が明確に識別できた。

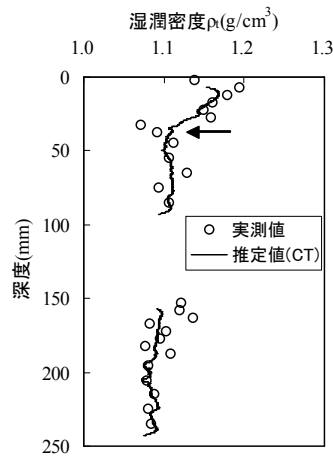


図-2 湿潤密度の深度分布

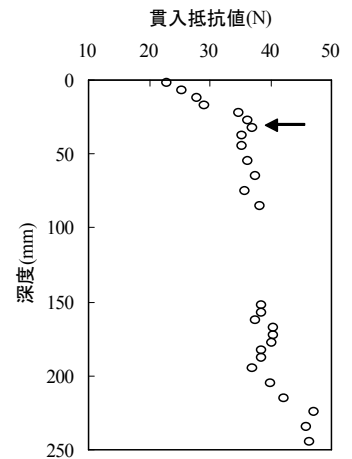


図-3 貫入抵抗値の深度分布

図-3に、小型コーン貫入試験により得られた貫入抵抗値の深度分布を示す。図をみると、貫入抵抗値は処理土表面付近が一番小さく、表面から深くなるにつれて次第に大きくなっている。深度28mmから200mm程度までは、ばらつきはあるものの35~40Nの範囲を推移している。深度250mm付近は45N程度の抵抗値であった。以上のことから、強度低下の影響深さは表面から28mm程度と推測され、前述の密度増加の影響深さ(37mm程度)よりもやや浅かった。

(2)SGMの長期安定性評価

図-4に、暴露期間と強度低下による劣化深さおよび密度増加による劣化深さを整理した。それぞれの劣化深さは、劣化が認められる時期以降のデータである(強度低下:38ヶ月以降、密度増加:12ヶ月以降)。図には、固化処理土に対する経時的な強度低下の劣化深さ $D(\text{mm})$ の経験式(1式)⁵⁾の値を記載している。

$$D = A \times t^{0.5} \cdots (1)$$

ここに、 A は劣化速度をあらわす定数、 t は経過年数である。今回、 A 値は38ヶ月暴露の劣化深さに基づいて設定した(A 値=12.6)。図をみると、今回調査した54ヵ月後の劣化深さは、38ヶ月後のデータから設定した劣化深さの推定ライン上にあることがわかる。劣化深さを精度良く推定するにはさらなるデータの蓄積が必要になるが、SGMの強度の劣化速度も、固化処理土と同様に、(1)式で推定できる可能性があることを示唆しているといえる。

密度増加による劣化深さをみてみると、既に述べたように、密度増加の劣化深さは強度低下の劣化深さよりもやや深くまで広がっていた。また、図には菊池ら⁶⁾が行った施工後10年経過した神戸ポートアイランドでの気泡混合処理土地盤の密度調査結果をプロットしており、今回の結果と同様な傾向にあることがわかる。そして、図には、(1)式の A 値を20と設定した場合の推定ラインを記入したが、湿潤密度の劣化の程度についても(1)式のような関係で整理できる可能性も考えられる。

4. おわりに

今回、作製して54ヶ月経過した覆土環境下にある気泡混合処理土の長期的な密度特性や強度特性を調査した。その結果、気泡混合処理土表面付近において数cmの劣化が見られたものの、その速度は非常に遅いことを確認した。今後も、フィールド実験地盤の継続的な長期安定性調査を行い、データを蓄積していくことによって、気泡混合処理土の長期的な安定性について明らかにしていきたいと考えている。

《参考文献》1)輪湖ら：軽量混合処理土工法の港湾施設への適用，土木学会論文集，No.602/VI-40，pp.35-52，1998. 2)渡部ら：覆土した気泡混合処理土地盤の養生環境について，第41回地盤工学研究発表会講演集，pp.807-808，2006. 3)菊池ら：マイクロフォーカスX線CTスキャナの地盤工学への適用性の検討，港湾空港技術研究所資料，No.1125，2006. 4)田中ら：小型コーン貫入試験による覆土環境下の気泡混合軽量土地盤の強度分布-SGM暴露実験-，土木学会第60回年次学術講演開要集第III部門，pp.571-572，2005. 5)池上ら：セメント改良土の劣化進行に関する簡便予測手法，土木学会第59回年次学術講演開要集第III部門，pp.1073-1074，2004. 6)菊池ら：覆土環境での気泡混合処理土の吸水特性評価，材料第57巻 第1号，pp.56-59，2008.

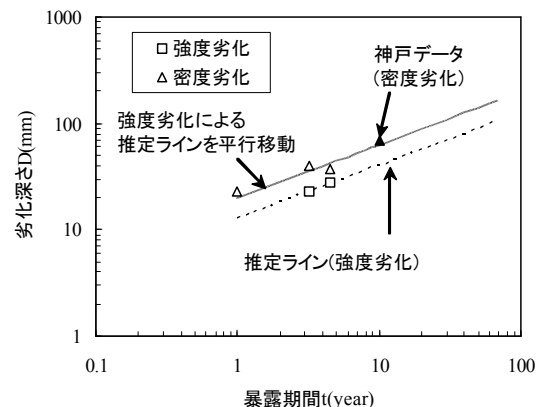


図-4 劣化深さの経年変化(強度，密度)