

大水深で大量急速打設したSGM軽量土の現場配合設定の事前検討と施工時の品質管理

東亜建設工業㈱

正会員 ○永留 健 御手洗 義夫

正会員 野崎 郁郎 田中 洋輔

非会員 石井 浩和 細川 和成

1. はじめに

平成 23 年度中央防波堤外側外貿コンテナふ頭(-16m)護岸改良工事では、既設護岸の耐震強化および液状化対策を目的として、既設二重鋼管矢板内の中詰材に約 10 万 m³ の気泡混合処理土(Super Geo-Material:以下、SGM と称す)が適用された。本工事での SGM 工は、既往の実績と比較して急速混合、長距離圧送、大水深での打設という厳しい条件であったため、気泡に対する負荷が通常以上に大きく、消泡や縮泡による密度増加や密度のばらつきの増大が懸念された。

本論文は、同様の大量急速施工を行った羽田 D 滑走路建設外工事¹⁾(以下、羽田と称す)での実績をもとに圧送時の消泡量のばらつきを考慮して設定した製造配合の事前検討結果と現場で行った品質管理結果について報告するものである。

2. 配合設定の事前検討

本工事の SGM 工²⁾は、2009 年に行われた羽田の SGM 工と同レベルの大量急速混合、長距離圧送であった。さらに、羽田は気中打設であったのに対し、今回は最大水深 14.8m の水中打設となり、既往実績の中でも最も深い水深での施工であった。そのようなことから、本工事では SGM の圧送時の消泡量や水中打設時の縮泡量が多大になることが想定された。

工事の着工前に現場での圧送距離や打設水深に応じた製造配合を設定するために、羽田のデータを用いてシミュレーションを行なった。検討は、まず、消泡抑制対策として SGM の高流動化を検討し、消泡抑制と水中分離抵抗性のバランスから SGM の打設時(筒先)のフロー値を羽田よりもやや低めの 20~25cm で管理することとした²⁾。

次に、羽田のデータのうち SGM のフロー値が 20~25cm のものを抽出して、消泡率(=消泡量/気泡投入量×100)と圧送距離の関係を整理した。図-1 にそれらの関係を示す。図には代表的な 3 つの圧送距離での消泡率をまとめており、どの圧送距離でも消泡率の頻度分布は正規分布の形状を示し、標準偏差 σ は 8.6~10.7%であった。図には、個々のデータを線形近似した直線とその直線から信頼区間 95%での消泡率の分布幅も記載した(近似直線±1.96 σ , σ =10.7%)。

図-2 に、今回の条件の中で最も気泡混合量が多く必要とされるケース(圧送距離 570m, 水深 14.8m)での SGM のプラント船から打設位置までの体積変化量を推定したイメージ図を示す。ここで、図中にある気中ホースとは打設位置直前に設置した気中の分岐ホースのことであり、水圧が作用する前の SGM の状態をあらわしている。この推定は、事前配合試験で設定した現場配合に対し、図-1 に示した関係とボイルの法則によって消泡量と縮泡量を計算してプラントでの製造配合を算出したものである。図より、水深 14.8m で打設密度を目標密度である 1.17g/cm³とするには、プラント船での製造密度を 0.85g/cm³とする必要があることがわかる。このことは、プラント船で製造した SGM 数量に対して気泡が消泡、縮泡することで打設地盤の数量が 27%程度減少することを意味している。

次に、図-1 に示した消泡率の信頼区間 95%の範囲で計画していた圧送距離で最大水深 14.8m 打設時の SGM 密度を推定した。図-3 に打設密度の推定結果を示す。この結果は、プラントでの気泡混合量を羽田実績値の最大値である 36%(製造密度 0.82g/cm³)としたときの打設密度の推定範囲を示している。図-3 をみると、圧送距離が 410m 以上となると打設密度の最大値が目標

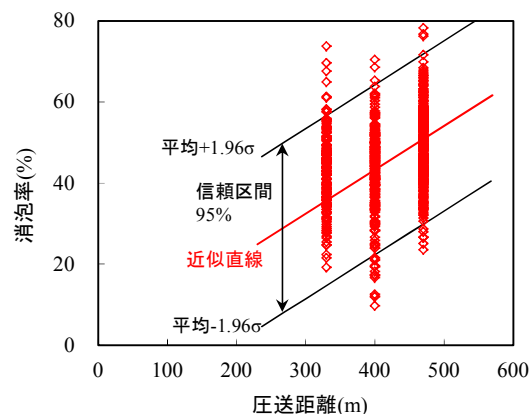


図-1 圧送距離と消泡率の関係(羽田)

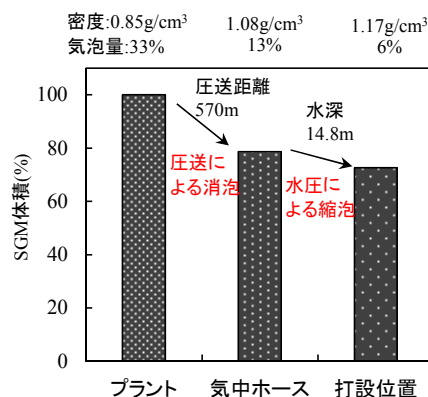


図-2 製造から打設までのイメージ

キーワード 東京港中央防波堤、気泡混合処理土、大量急速施工、長距離圧送、大水深打設

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

密度を上回る可能性が考えられた。現場条件によっては、さらに高い消泡率やそのばらつきが大きくなること以外にも原料土の性状によっては多くの気泡が必要となる可能性も懸念され、現場では日々の品質管理の結果を随時フィードバックさせながら配合を管理することとした。

前述した通り、現場で SGM の要求品質(目標密度 1.17g/cm^3 以内)を確保できない場合も想定され、その場合は、①プラントでの気泡混合量を増量する方法や②地盤全体として目標密度以下の密度を確保できるように水深が浅い部分を軽量化する方法などの対策を講じることが考えられた。

3. 現場での品質管理試験結果

現場での日常品質管理は、打設位置直前に設置した気中ホースから 30 分に 1 回の頻度で SGM 試料を採取して密度試験、フロー試験を行った。着工数日間の密度試験の結果から施工での圧送距離ごとに消泡率とそのばらつきを算出して、水中打設した SGM の密度が $1.12\sim 1.18\text{g/cm}^3$ 程度となるように配合管理を行った。

事前検討で SGM の製造密度について消泡率のばらつきを考慮して検討したが、施工を開始すると調整土の密度が $1.14\sim 1.16\text{g/cm}^3$ 程度と想定していた密度($1.18\sim 1.20\text{g/cm}^3$)よりもやや低く、最も条件が厳しいときの製造プラントでの気泡混合量は 25%程度であった。そのため、前述した①、②の対策を講じることなく施工を行えた。

図-4 は、気中ホースで採取した試料の実測密度から推定した打設密度を施工期間で整理したものである。この推定は、気中ホース試料の実測密度から気泡量を計算し、打設時の平均水深から水压が作用した際の気泡の縮泡を考慮して算出したものである。図より、着工数日以降の打設密度の推定値は概ね $1.12\sim 1.18\text{g/cm}^3$ の範囲を推移しており(平均 1.15g/cm^3)、目標としていた範囲で打設密度を管理することができたと考える。このような管理を行って施工を進めた結果、打設後の SGM ボーリング試料の湿潤密度の平均は目標値である 1.17g/cm^3 を確保することができた³⁾。

図-5 は、本工事での SGM の製造密度と気中ホース密度から計算した消泡率を圧送距離ごとに整理したものである。図には、併せて羽田の結果⁴⁾も記載した。図をみると、今回の工事での消泡率は、羽田よりも高い傾向にあり、羽田ほど高流動化できなかったことが原因の一つであるとする。また、圧送距離ごとの消泡率の標準偏差 σ は $7.6\sim 15.1\%$ (平均 11.6%)と羽田のデータとほぼ同等であった。

4. おわりに

今回の工事では、大量急速混合、長距離圧送、大水深打設を伴う施工であり、SGM の要求品質である湿潤密度の確保において非常に厳しい条件下での工事であった。特に消泡率に関しては、一部の打設地盤で目標密度を確保できない可能性も懸念された状況であったが、着工前から実施の段階までにおける対応の結果が反映されたものと評価できる。

謝辞 工事を遂行するにあたって東京都港湾局東京港建設事務所の方々から懇切なご指導を頂きました。ここに、謝意を表します。

【参考文献】 1)御手洗ら：SGM 軽量土工法の大規模急速施工-羽田 D 滑走路建設工事 埋立/棧橋接続部での適用、地盤工学会誌, Vol.59, No.8, pp.44-47, 2011. 2)野崎ら：大水深における気泡混合処理土の大量急速施工(その 1 現場配合設定の事前検討と施工時の品質管理)、第 48 回地盤工学研究発表会, 2013, (投稿中). 3)永留ら：大水深における気泡混合処理土の大量急速施工(その 2 原位置サンプリング試料の品質評価)、第 48 回地盤工学研究発表会, 2013, (投稿中). 4)永留ら：羽田 D 滑走路における SGM 軽量土の大規模急速施工(その 1 施工時の配合管理)、土木学会第 65 回年次学術講演会, pp.243-244, 2010.

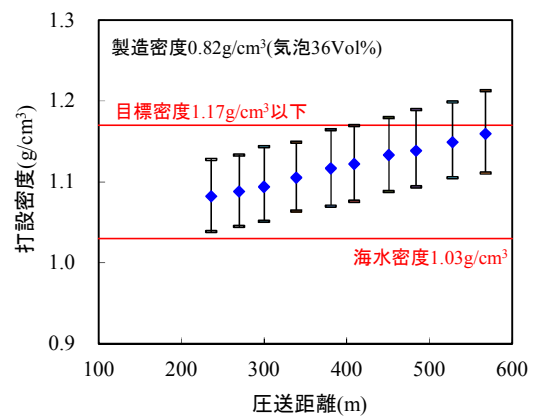


図-3 圧送距離と打設密度の推定値

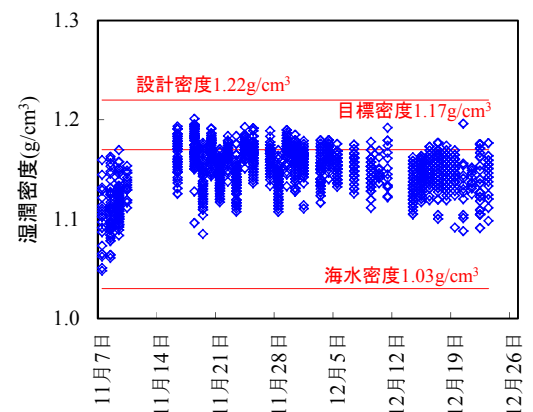


図-4 打設密度の推移(推定値)

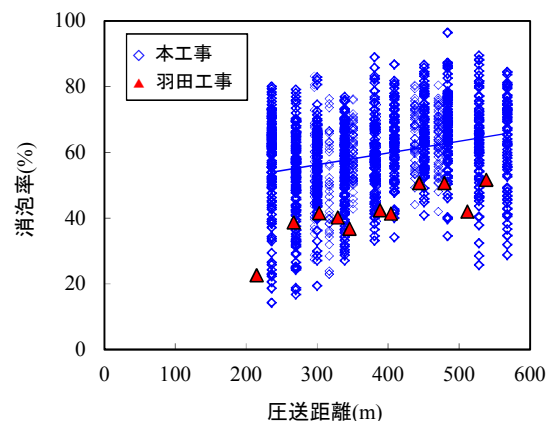


図-5 圧送距離と消泡率の関係