

D 滑走路における軽量混合処理土の大量急速施工について

○護岸・埋立()工区 永留健, 御手洗義夫, 大和屋隆司

キーワード 軽量混合処理土 配合試験 現場配合 大量急速施工

1. はじめに

羽田 D 滑走路建設エリアは多摩川河口部に位置しているため、河川流を阻害しないように河口部を栈橋構造とし、埋立人工島との複合構造となっている。埋立部護岸の背面全周には、護岸断面のスリム化、原地盤の圧密沈下量の低減および工事で発生する浚渫土砂の有効利用を目的として固化処理土(管中混合固化処理土¹⁾、軽量混合処理土²⁾)が約 550 万 m³ 施工された(全埋立土量約 3800 万 m³)。

軽量混合処理土は、高含水比の浚渫土に気泡や発泡ビーズなどの軽量材とセメントを混合することで軽量化と強度増加を同時に期待する材料として利用されている。我が国の港湾工事で、気泡混合処理土(Super Geo-Material:以下、SGM)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³⁾、それ以来、本工事に適用されるまでの総打設量は、約 52 万 m³ に達している(2009 年 3 月まで)。本工事では、接続部護岸背面に約 79 万 m³ の SGM を 2009 年 5 月末～11 月末の約半年間の短期間で施工する、これまでにない大量急速施工での工事が行われた。

本報告は、羽田 D 滑走路建設外工事において適用された気泡混合処理土の配合設計から大量急速施工に対応した現場での品質管理の結果の一部について報告するものである。

2. 羽田 D 滑走路建設工事における軽量混合処理土の概要

本工事における埋立部の護岸形式の平面図を図-1 に示す。埋立/栈橋接続部以外の護岸は緩傾斜堤形式であり、接続部護岸は高耐力鋼管矢板井筒構造となっている。図-2 に接続部護岸の断面図を示すが、この構造は鋼管矢板井筒によって護岸背面の埋立土砂の偏土圧を支える抗土圧構造としている。

接続部護岸背面では、盛土高が約 30m にもおよび偏荷重が鋼管矢板井筒に作用するため、一般的な埋立柱より軽量の管中混合処理土と SGM を採用することによって、護岸断面のスリム化と埋立部の圧密沈下による栈橋部との段差低減を図る設計としている⁴⁾。SGM は、基礎にある軟弱地盤が将来的に沈下した後に残留水位以下となる部分の水中配合(軽量混合固化処理土 1:目標密度 1.12g/cm³)とその上部に打設する気中配合(軽量混合固化処理土 2: 目標密度 1.02g/cm³)の 2 種類の配合とし、どちらの配合も設計基準強度は $q_{\text{uck}}=200\text{kN/m}^2$ (不良率: 15.9%以下)としている。また、SGM の原料土は東京港第一航路の移設に伴い発生する浚渫土砂と他事業から供給される東京港内の浚渫土砂である。

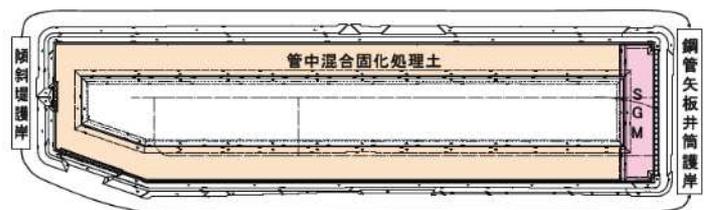


図-1 埋立部全体平面図

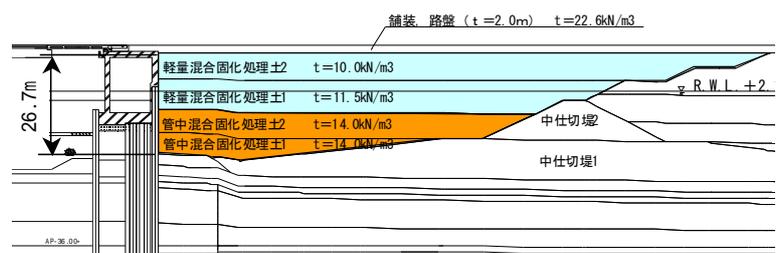


図-2 接続部断面図

3. SGM の既往実績と技術的課題

表-1 に、本工事の施工規模を既往の実績と併せて整理した。SGM は、1995 年の阪神淡路大震災で被災した神戸港のケーソン護岸の復旧工事で裏込め材として

本格的に採用された。それ以来、国内での施工は17年間(1992年～2009年3月実績)で44件、総打設量は約52万m³となっている。また、従来の工事では、一つの工事当たりの打設量が平均約1.2万m³で、1万m³以下の工事が多く、施工能力は時間当たり50～200m³/hr程度、日当たりの施工数量は500～1000m³/day程度である。それに対して、本工事では総打設数量が約79万m³、施工能力が時間当たり300～350m³/hrの専用船2隻による日当たり施工量は約6000～8000m³/day程度である。したがって、気泡製造機や打設用ポンプなどの施工機械も従来の数倍の能力が必要となる。さらに、本工事では圧送距離も既往実績の2倍以上もある。また、大量の浚渫土を使用し、しかもその浚渫場所も広域であるため、多種多様な原料土が対象となる。したがって、本工事の準備段階から留意すべき技術的課題が多く挙げられ、それらに対処しながら実施工を進める必要があった。

表-1 既往のSGMの施工実績との比較

	従来の工事	羽田D滑走路建設工事
施工規模	施工数量:約52万m ³ (1992年～) 工事件数:44件,約1.2万m ³ /工事 1万m ³ 以下の工事:67%	施工数量:約79万m ³ 施工期間:約6ヶ月
施工能力	1プラント:50m ³ /hr級 2または4プラントで施工	専用船1隻:300～350m ³ /hr ※専用船2隻で施工
日当たり施工量	500～1000m ³ 程度 2または4プラントで施工	6000～8000m ³ 程度 ※専用船2隻で施工
圧送距離	100～400m	300～700m
打設ポンプ	50m ³ /hr級1機 1プラント当たり	250m ³ /hr級2機 ※専用船1隻当たり
気泡製造装置	240リットル/min 1プラント当たり	18000リットル/min ※専用船1隻当たり
原料土	概ね1土源,数千m ³ 浚渫面積:3000～10000m ² 程度	2区域4土源,約30万m ³ 浚渫面積:約10万m ²

よる日当たり施工量は約6000～8000m³/day程度である。したがって、気泡製造機や打設用ポンプなどの施工機械も従来の数倍の能力が必要となる。さらに、本工事では圧送距離も既往実績の2倍以上もある。また、大量の浚渫土を使用し、しかもその浚渫場所も広域であるため、多種多様な原料土が対象となる。したがって、本工事の準備段階から留意すべき技術的課題が多く挙げられ、それらに対処しながら実施工を進める必要があった。

主な技術的課題をまとめると以下の項目である。

- ・ 広範囲の土源から供給される多種多様な浚渫土を原料土としてSGMを作製し、ばらつきが少ない品質を確保する必要がある
- ・ 大量急速施工に対応できる品質管理、施工管理システムの新たな構築
- ・ 急速混合や長距離圧送などに十分に耐えうる気泡の製造

4. 技術的課題に対する事前検討

4-1 原料土の物性と配合設定

SGMの原料土には、第一航路移設により発生する浚渫土と他事業から供給される浚渫土が使用され、いずれも細粒分含有率が90%程度以上の粘性土である。SGMの現場配合を決定するために、現場着工前に対象箇所を採取して事前配合試験を行った⁵⁾。

図-3に示す通り、今回の土源は第一航路と他事業で浚渫される領域の2区域である。これらの区域内で15箇所の土砂を採取したが、事前配合試験ではその中から平面位置や深度を考慮し、代表的な7種類の土砂

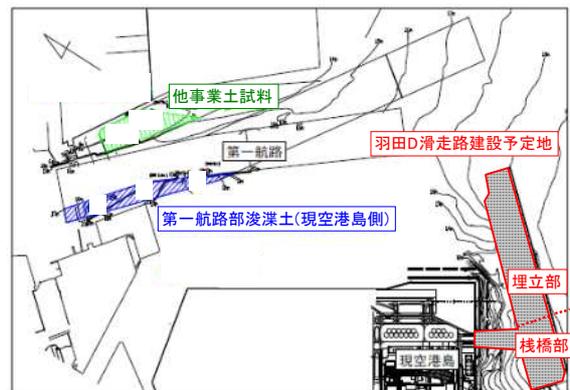


図-3 土源位置図

表-2 浚渫土の物性値

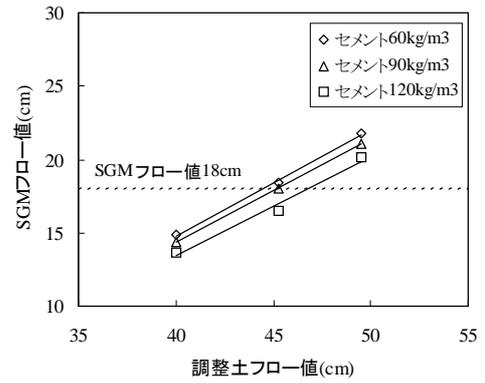
試料名	第一航路浚渫土				他事業浚渫土			
湿潤密度 ρ _w (g/cm ³)	1.449	1.211	1.397	1.298	1.342	1.383	1.399	
土粒子密度 ρ _s (g/cm ³)	2.656	2.557	2.642	2.712	2.685	2.675	2.663	
自然含水比 w _n (%)	99.9	251.7	122.1	112.3	109.7	132.7	124.2	
液性限界 w _L (%)	85.4	173.4	102.3	103.6	104.7	114.1	119.2	
塑性限界 w _P (%)	36.2	53.6	36.5	37.2	35.2	35.8	38.3	
粒度組成 (%)	礫	1	0	0	0	2	1	0
	砂	9	1	0	7	10	2	1
	シルト	53	44	44	28	27	29	23
	粘土	37	55	56	65	61	68	76
pH	8.5	8.0	8.4	8.1	8.1	8.3	8.4	
強熱減量 L _i (%)	8.2	14.0	9.4	9.1	8.4	12.2	11.2	
有機物含有量 (%)	3.5	6.6	3.9	3.7	3.8	4.1	4.2	

を対象とすることとした。対象とした各試料の物理試験結果を表-2に示す。表をみると、他事業試料は第一航路の浚渫土と比べて粘土分含有率が多い。また、第一航路②の試料は、他の試料に比べて、液性限界や塑性限界が高く、強熱減量や有機物含有量が多いのに特徴がある。このように、他事業の試料ではどの採取箇所での浚渫土もほぼ同様の物性を示したのに対し、第一航路の試料では①、③の浚渫土と②の浚渫土で物性に違いがあったことから、この影響を配合設計で適切に検討する必要があった。

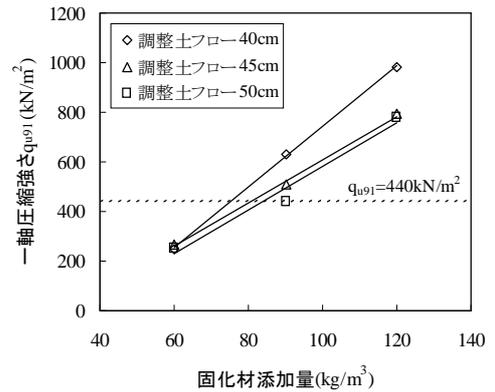
SGMの現場配合を決定するために、採取した試料を用いて事前配合試験を行った。事前配合試験での配合ケースは、それぞれの原料土で加水調整した調整土フロー値3種類、セメント添加量3種類、目標密度2種類の合計18ケースとした。その結果を用いて、SGMの品質要求性能(目標密度: 1.02, 1.12g/cm³, 材齢91日での一軸圧縮強さ: $q_{ul}=440\text{kN/m}^2$, SGMフロー値: 18cm)を満足するような調整土フロー値、固化材添加量を決定した。ここで、配合目標強度 q_{ul} は技術マニュアルに従い、設計基準強度 q_{uck} に2.2の割増率を乗じた値である²⁾、またフロー値とは、内径8cm、高さ8cmの円筒容器に試料を注ぎ、円筒容器を垂直に上げたときの試料の広がり直径であらわしたもので、試料の流動性を示す指標である(シリンダー法: JHS A 313)。今回は、既往の実績値をもとにSGMのフロー値を18cmと設定した²⁾。

図4に、第一航路①の試料を対象とし、SGMの目標密度1.02g/cm³としたときの配合決定の例を示す。まず、調整土とSGMのフロー値の関係からSGMのフロー値が18cmとなるときの調整土のフロー値を求める(図-4(a))。次に、各調整土のフロー値に対する固化材添加量と一軸圧縮強さの関係から配合目標強度 $q_{ul91}=440\text{kN/m}^2$ を満足する固化材添加量を求める(図-4(b))。その後、SGMのフロー値が18cm、配合目標強度 $q_{ul91}=440\text{kN/m}^2$ となる調整土フロー値と固化材添加量の関係を求めて、2つの関係線が重なる点の調整土フロー値45cm、固化材添加量80kg/m³を設計値として配合を決定する(図-4(c))。

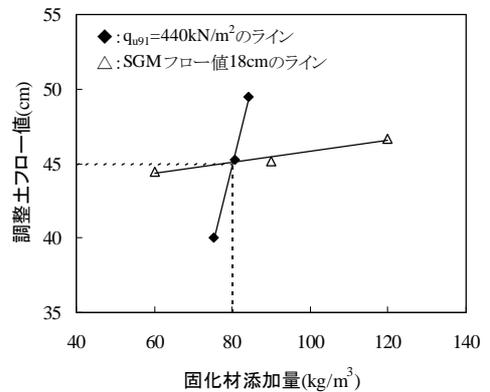
以上のような手順で得ら



(a)調整土とSGMのフロー値の関係



(b)SGMの固化材添加量と一軸圧縮強さの関係



(c)SGMの要求品質を満足する固化材添加量と調整土フロー値の関係

図4 調整土とセメント添加量の決定手順例

表-3 事前配合試験により得られた標準配合

試料名	SGMの目標密度: 1.02g/cm ³				SGMの目標密度: 1.12g/cm ³			
	調整土		固化材添加量 (kg/m ³)	気泡混合量 (体積%)	調整土		固化材添加量 (kg/m ³)	気泡混合量 (体積%)
	湿潤密度 ρ_t (g/cm ³)	フロー値 (cm)			湿潤密度 ρ_t (g/cm ³)	フロー値 (cm)		
第一航路A	1.191	45	80	19.4	1.212	43	78	12.0
	1.201	43	76	19.8	1.210	39	72	11.5
第一航路B	1.144	42	103	17.2	1.152	37	84	7.6
他事業	1.211	43	78	20.5	1.215	42	76	12.1
	1.195	45	70	19.1	1.196	44	68	10.2
	1.210	41	69	20.0	1.204	43	72	11.2
	1.197	44	74	19.4	1.203	42	73	10.9

れたSGMの配合試験結果を原料土ごとに整理したものを表-3に示す。どちらの目標密度でも、第一航路の試料を用いた配合は他の試料と比べて、固化材添加量が多く、気泡混合量が少ない結果となった。表-2に示した通り、第一航路の試料は、有機物含有量や強熱減量が他の試料と比べて高いことも、固化材添加量が多くなった理由の一つであると考えられる。また、気泡混合量が少ないのは、加水調整土の湿潤密度が他の試料と比べて低かったからである。

以上の結果から、現場での固化材添加量や気泡混合量の配合は、2区域(第一航路, 他事業)の原料土を4土源(第一航路①, ②, ③, 他事業), 3種類(第一航路A, B, 他事業)に分類し、3種類に分類したそれぞれで固化材添加量が多い配合を設定することとした。ここで、重要なのは第一航路①, ③の配合と第一航路②の配合が大きく異なっており、第一航路②の土砂の分布が平面方向にも深度方向にも不明瞭であったことから、これらの判別と適切な配合設定を行うことが大きな課題になった。

4-2 原料土ごとの配合決定方法

一般的に、施工規模が小さい工事の場合には、事前配合試験で必要なセメント添加量が多い土砂に統一して、配合設定することが多い。しかし、今回のように大規模工事の場合には、施工性や経済性の点からも、原料土ごとに細かい配合設定を行うことが合理的であると考えられる。一方で、土運船ごとの土砂判別と配合設定を行うためには、短時間で行える方法が求められる。そこで、本工事では浚渫された位置情報の他に事前配合試験結果をもとに現場で簡易に行うことができる湿潤密度試験とシリンダーフロー試験(以下、フロー試験)、セメント混合前後のフロー値の変化を調査することによって土砂判別と配合設定を行う方法を採用した。

(1) 土砂判別および配合決定手順

各土運船での配合決定は、(i)浚渫位置情報、(ii)原料土の密度とフロー値の関係、(iii)加水調整土のセメント低減率をもとに決定した。図-5に、土砂判別手順のフローを示す。ここでポイントとなるのは、位置情報だけではわからない第一航路の浚渫土をいかに適切に判別する方法となる。今回は事前配合試験の結果を使用して、原料土の密度とフロー値の関係、セメント混合前後のフロー値の変化を調査することによって第一航路の浚渫土を判別することとした。

(2) 浚渫土の湿潤密度とフロー値の関係

粘土分を含む土砂では、湿潤密度とフロー値の関係がほぼ線形となり、それぞれの土の固有なものとなる。この関係は、粒度や液性限界などに影響を受けることがわかっている。図-6に、事前配合試験で行った対象土砂の湿潤密度とフロー値の関係を示す。第一航路③の関係が他の試料と比べて、密度とフロー値の関係が左側(同じフロー値でも湿潤密度が小さい)に位置していることがわかる。そこで、第一航路の浚渫土については図中に示す判別ラインを設けて2種類に分けて土砂判別を行った(判別ラインの右側：第一航路A, 判別ラインの左側：第一航路B)。

(3) セメント添加による調整土フロー値低減率の調査

スラリー状に加水調整した粘性土に、セメントを添加・混合するとセメント成分の影響によって粘土粒子に凝集反

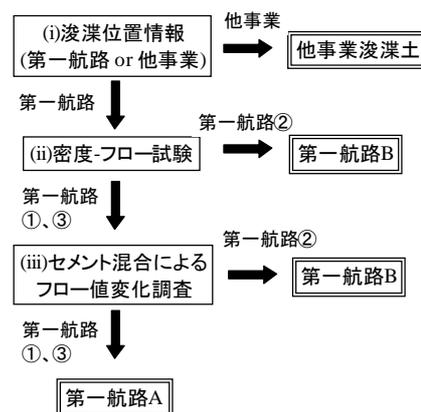


図-5 土砂判別手順

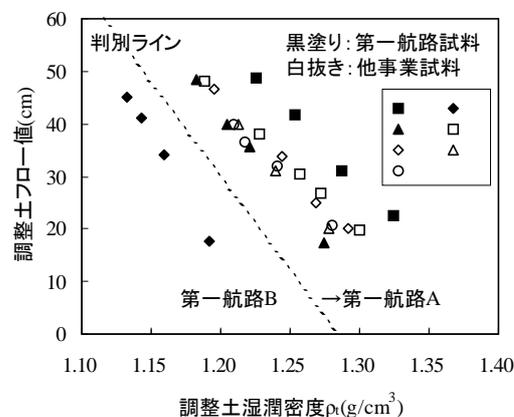


図-6 各土砂の密度とフローの関係

応が生じ、流動性が低下する。図-7は、事前配合試験で使用した第一航路の浚渫土砂1リットル当たりセメントを60g混合し(=60kg/m³)、セメント添加前後のフロー値低減率(=セメント添加後フロー値/セメント添加前フロー値)を調査した結果で、調整土フロー値とフロー値低減率の関係を整理したものである。この結果をみると、第一航路②の浚渫土のセメント低減率が第一航路①や③の浚渫土よりも高く、セメント添加による低減効果が小さい。そこで、第一航路の原料土を低減率0.65以下のもの(第一航路A)と0.65以上のもの(第一航路B)の2種類に分け、第一航路の土砂判別を行った。

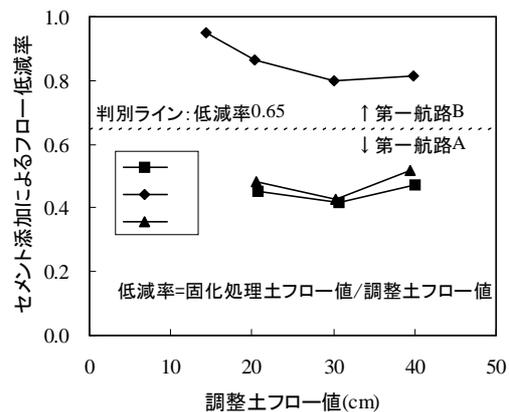


図-7 調整土フローとフロー低減率の関係

4-3 耐久性のある気泡の作製方法

一般的に、SGMの軽量化材である気泡は、混合時やポンプ圧送時の負荷などによって消泡し、その結果SGMの密度が増加することが知られている⁶⁾。本工事は既往の実績と比較して、大量急速施工、長距離圧送となるため、気泡に対する負荷が大きく、消泡とそれによる密度増加が大きくなることが懸念された。従来の工事では、消泡分の気泡は割り増しを行なうことで対応してきたが、今回は大量施工のため経済性に与える影響が非常に大きい。また、消泡により製造量から実打設量への体積減少が生じることで、実施工能力の低下と工期への影響も少なくないと考えられた。したがって従来と比較して、急速混合や長距離圧送などの負荷に対して耐久性のある気泡を安定して製造することが求められた。そこで、工事着工前に、実大規模の気泡作製機で作製した気泡の耐久性に関して、次のような項目に関して検討を重ねた。

- ・気泡作製ノズルの形状、中詰材種類の影響
- ・気泡作製時の流量と圧力の影響
- ・起泡剤の希釈倍率、気泡の発泡倍率の影響
- ・気泡膜強化用添加剤の検討

図-8は、事前検討結果の一例であり、気泡作製機のノズル断面積を変化させて作製した気泡を用いて、大量急速施工を模擬して、急速混合で作製したSGMに減圧、加圧などの圧力変動と機械攪拌による負荷をかけ、SGMの消泡率を調査した結果である。ここで、気泡の消泡率は、混合、圧送過程で消えた気泡量を混合前に入れた全気泡量で除した値である。気泡を作製するノズルは長さ1mの円柱管で、断面積の異なる4種類のものを用いて検討した。図をみると、同じ気泡量を作製する場合は、ノズル断面積が小さい方が、消泡率も小さい傾向にある。断面積が小さいノズルの方が気泡の作製圧力が高くなるため、作製圧が低い(断面積が大きい)ものより、耐久性が高い気泡が作製できるものと考えられた。そこで、本工事では、異なる3種類の断面積の気泡作製ノズルを用意し、SGMの配合(気泡混合量)ごとに変えることによって、消泡が少ないSGMの作製を目指すこととした。

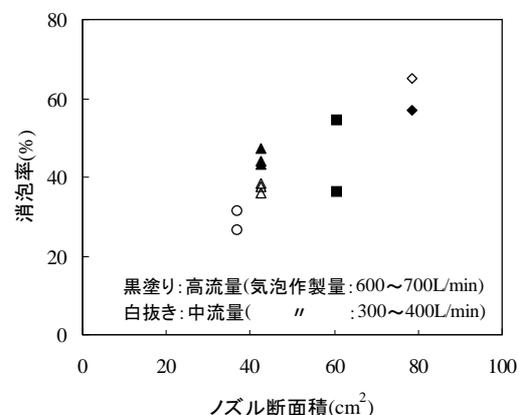


図-8 ノズル断面積の違いによるSGM消泡率

5. 気泡混合処理土の現場施工

5-1 施工方法

これまでの実績でのSGM製造能力は、 $40\text{m}^3/\text{hr} \times 4 \text{基} = 160\text{m}^3/\text{hr}$ 程度がほとんどであり、2006年にSGM専用船(製造能力: $360\text{m}^3/\text{hr}$)で大量急速施工(施工数量:約6.8万 m^3)を行った事例が1件のみある⁷⁾。

本工事では、打設能力 $360\text{m}^3/\text{hr}$ 級のSGM専用船と陸上プラント施設を台船上に艀装した艀装台船の2つの船団で施工を行った。図-9に、SGM専用船の全景を示す。図-10には、専用船でのSGMの製造フローを示す。SGMの製造は、次の通りである。① 1300m^3 級の土運船によってSGM船まで浚渫土を運搬する。②運搬されてきた浚渫土をSGM船のバックホウで均一に解泥する。このとき、土運船内の浚渫土を別途採取し、船内にある試験室で浚渫土の試験を行い、浚渫位置や試験結果から、SGMの配合を決定する。③土運船で均一に解泥された浚渫土をホッパーに揚土し、振動ふるいにより異物を除去した後、解泥土は3つある調泥槽で適切な含水量となるまで順次調整される。④調整された土砂はミキサーに送られ、所定量の固化材および気泡と十分に混練りされる⑤混練されたSGMは内径25cmの鋼製配管2系統で打設位置までポンプ圧送し、100t吊クローラークレーンによってトレミー管を用いて、打設される。

圧送距離は、打設位置によって異なっており、おおよそ300~700mの範囲である。打設はSGM全体で6層の打設を行っており(水中部3層、気中部3層)、1層あたり約2~2.5m程度の仕上がり高さで管理し、約1ヶ月間で打設した。打設は、高さ約2.5m程度、延長60m程度のクローラークレーンの足場となる仮設搬路を単粒碎石で造成し(6搬路/1層)、その上から打設を行い、所定の高さまで打設されたところで仮設搬路を随時移動して施工を行った。

5-2 品質管理試験

本工事におけるSGMの品質管理試験項目(自主管理項目含む)を、表-4に示す。品質管理試験のタイミングは、大きく4つの時期に分けられる。

SGM作製前には、原料土(調整土:原料土+海水)の密度、フロー値およびセメント添加実験によるフロー低減率を測定し、原料土となる浚渫土の特性を(i)浚渫位置、(ii)密度とフロー値の関係、(iii)セメント添加によるフロー低減率の3つの指標で原料土を判別する(第一航路A、B、他事業)。



図-9 SGM専用船(龍神II)

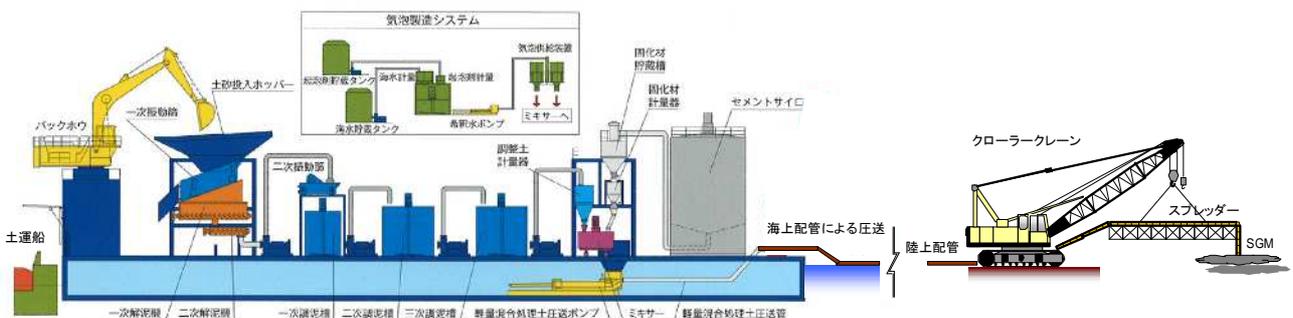


図-10 SGM製造フロー(SGM専用船:龍神II)

表-4 SGMの品質管理試験項目

試験時期	目的	対象	試験項目	調査内容	試験頻度
作製前	配合決定	原料土	密度試験	原料土の密度を調査	1回/1土運船
		調整土	密度、フロー試験	調整土の密度、フロー値の関係を調査	
			セメント添加試験	セメント60kg/m ³ を加水調整土に添加し、フロー値の低下率を調査	
圧送前	品質確認	調整土	密度、フロー試験	調整土の密度、フロー値の確認	1回/1時間
		SGM	〃	圧送前のSGMの 〃	
圧送後	品質確認	SGM	〃	圧送後の 〃	1回/30分
			一軸圧縮試験	材齢7, 28, 91日後に強度を確認	1回/1土運船
打設後	品質確認	SGM	ボーリングによる密度、一軸圧縮試験	ボーリング試料の密度、強度を確認	16箇所程度
			ブロックサンプリングによる密度、一軸圧縮試験	ブロック試料の密度、強度を確認	12箇所/1層
			スウェーデン式サウンディング試験	仮設搬路設置前の支持力確認	1層目
	支持力確認 ※搬路直下	SGM 硬度計による硬度試験	〃	2~6層目	

SGMの圧送前に、プラント船上で、加水調整した調整土およびSGMが所定の密度やフロー値で作製できているかを確認する。次にSGM圧送後には、筒先で圧送後のSGMの密度、フロー値測定を行い、圧送前後の密度やフロー値の変化を製造側（プラント船）に報告し、作製時の配合設定に逐時フィードバックさせながら施工を行った。さらに筒先では、モールドによる試料採取を行い、所定の日数(材齢 7, 28, 91 日)で一軸圧縮試験を実施することによって品質や配合の妥当性を確認した。

SGM打設後には、打設したSGM地盤をボーリングやブロックによるサンプリングを行い、密度試験、一軸圧縮試験を行うことによって打設されたSGM地盤の品質を確認した。また、今回、SGM打設用のクローラークレーンが移動するための搬路を敷設するタイミングが重要になるが、SGM打設から搬路敷設までの時期が比較的短い場合(3~5日程度)は、搬路直下のSGMの支持力をスウェーデン式サウンディング試験や山中式土壌硬度計を用いて確認しながら施工を行った。

6. 施工の結果

ここでは、着工当初の施工状況から判断して設定した現場配合と、品質管理試験のうち、材齢 91 日が経過した目標密度 1.12g/cm³のSGM(軽量混合固化処理土 1)を対象として、筒先で採取された試料、ボーリング試料、ブロックサンプリング試料の湿潤密度試験、一軸圧縮試験結果について報告する。

6-1 現場配合の設定

SGMの施工は、水中打設から開始された。着工当初は、送距離は550~700mとこれまでにない長距離圧送であり、また、原料土が有機物含有量の多い「第一航路②」が主であったことから、消泡率が大きくなり、密度のばらつきも大きくなることが懸念される条件であった。

図-11に、施工当初(圧送距離570m)の1日間における筒先でのSGMのフロー値と実測密度から計算した消泡率の関係を示す。その結果、SGMのフロー値が大きいほど消泡率が小さくなる傾向が確認された。この原因として、SGMの流動性が低い(フロー値が小さい)の場合、圧送時の圧送管内での摩擦の影響が大きく消泡しやすいと考えられる。既往の工事では、筒先のフロー値が15~20cm(平均18cm程度)となるように施工を行っており、消泡率は10~50%程度で圧送距離に比例して大きくなる傾向にある。このような場合、消泡分を割り増すことで対応するが、今回の場合は消泡量が極めて多かったことから、筒先でのSGMのフロー値を25~30cm程度に管理することで、消泡率を40~60%程度の範囲に抑制することとした。

また、水中打設では、トレミー管の筒先を打設中のSGMの内部に挿入した状態で打設を行なう。これにより材料分離や海水の巻き込みを防止することが出来る。しかし、今回のように、消泡率を低減するために

通常より流動性の大きい状態で施工を行うことと、急速施工のためトレミー管の先端からの SGM の流速が大きいことから、従来よりも材料分離や海水の巻き込みが大きくなることが、実際の打設状況を観察した結果から予測された。

以上の状況から、流動性を大きくして SGM の加水量を大きくしたことと、水中打設時の材料分離や海水のまき込みを予測して、当初よりセメント添加量を多く設定することとした。具体的には、配合目標強度 $q_{u91}=440\text{kN/m}^2$ を $q_{u91}=600\sim 700\text{kN/m}^2$ となる配合設定とし、打設後の原位置試料で密度、強度を逐次確認しながら配合を調整して行くものとした。

6.2 筒先試料の湿潤密度、一軸圧縮試験結果

図-12 に、筒先試料の材齢 91 日での湿潤密度の頻度分布を示す。これらのデータは、信頼区間 99% 以外のデータは棄却して整理している(以降のデータも同様)。ここで、筒先試料とは、SGM 打設時に筒先の手前にあるホースから採取された試料で、直径 5cm、高さ 10cm のプラスチックモールドに充填した後、上面をラップで覆い、材齢 91 日まで恒温恒湿養生(温度 $20\pm 3^\circ\text{C}$ 、湿度 95% 以上)を行ったものである。

図-12 をみると、湿潤密度の平均値は 1.09g/cm^3 であり、ほぼ目標どおりの品質が確保できている結果が得られた。

次に、図-13 に筒先試料の材齢 91 日での一軸圧縮強さの頻度分布を示す。材齢 91 日の一軸圧縮強さの平均値は 859kN/m^2 であり、配合目標強度 $q_{u91}=600\sim 700\text{kN/m}^2$ より、やや高め of 強度が得られた。この理由として、4-2 項で示した土砂判定を行う際に、やや安全側に判定となっており、高めの強度が得られたものと考えている。

6-3 原位置採取試料の湿潤密度、一軸圧縮試験結果

(1) 試料の採取及び養生方法

原位置で採取した試料は、ボーリング試料とブロックサンプリング試料(以下、ブロック試料)の 2 種類である。

ボーリング試料は、軽量混合固化処理土 1 が打設された後にスリーブ内蔵 2 重管式ロータリーコアサンプラー(直径 65mm)を用いて採取した。SGM の打設後の材齢は 14 日以上であった。採取後は直径 6.5cm、高さ 13cm の供試体に成形して、供試体全面をラップで覆って、材齢 91 日まで恒温恒湿養生(温度 $20\pm 3^\circ\text{C}$ 、湿度 95% 以上)を行った。

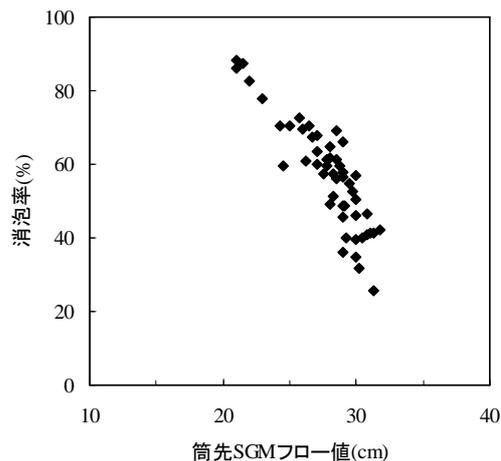


図-11 筒先 SGM のフロー値と消泡率

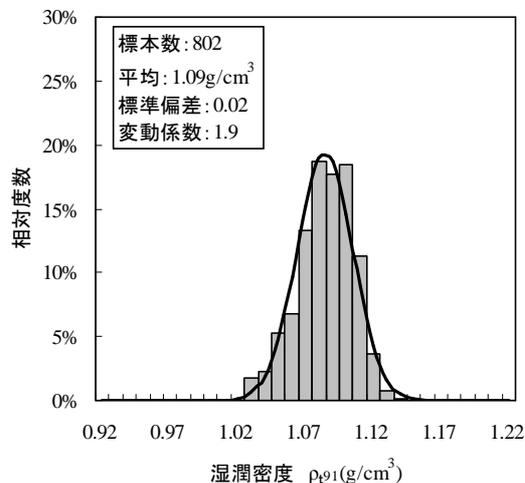


図-12 筒先試料の湿潤密度

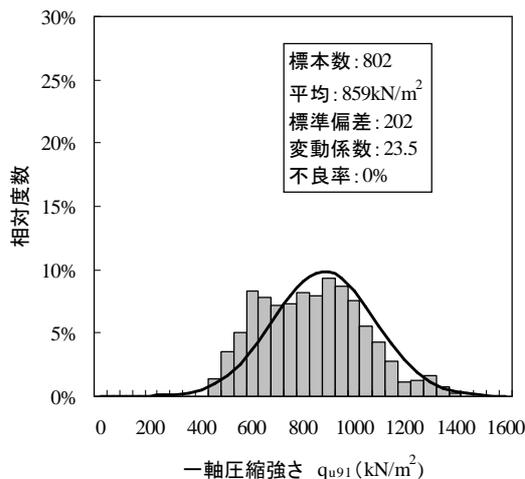


図-13 筒先試料の一軸圧縮強さ

ブロックサンプリング試料は、SGMが打設された層毎に行い、1層当たり12箇所(約40~100m間隔)からそれぞれ約20cm角のブロック塊を採取した。採取したブロック塊から、直径5cm、高さ10cmの供試体を3本ずつ成形し、ボーリング試料と同様の方法で材齢91日まで養生した。

(2) 試験結果

図-14に、ボーリング試料の材齢91日後での湿潤密度の頻度分布を示す。図をみると、湿潤密度の平均値は 1.10g/cm^3 である。なお、湿潤密度が設計値の 1.12g/cm^3 以上の結果が幾つかみられるが、それらは集中して存在しているわけではなく、全体的にばらつきをもって分布している。以上のことから、ボーリング試料の湿潤密度は、筒先モールドの結果と同様に目標としている品質を満足しているものといえる。

図-15にボーリング試料の材齢91日での一軸圧縮強さの頻度分布を示す。一軸圧縮強さは、変動係数が38.9%と計画時の35.0%よりもやや大きいものの、平均値が 431kN/m^2 で不良率も7.6%であり、一軸圧縮強さも所定の品質を満足できている結果となっている。

次に図-16に材齢91日でのブロック試料の湿潤密度の頻度分布を示す。湿潤密度の平均値は 1.06g/cm^3 で、筒先試料やボーリング試料と比べて、やや小さい結果となっている。

図-17には、ブロック試料の材齢91日での一軸圧縮強さの頻度分布を示す。一軸圧縮強さは、ボーリング試料同様、変動係数が41.4%とやや大きいものの、平均値が 391kN/m^2 で、不良率も3.9%で許容の15.9%未満となっており、所定の品質仕様を満足した結果となっている。また、ボーリング試料との強度を比較すると、ブロック試料の値がやや低くなっているが、SGMの気泡混合量が多かったこと(湿潤密度が低かったこと)が原因のひとつとして考えられる。

以上より、水中配合の「軽量混合処理土1」については、湿潤密度と一軸圧縮強さ共に、要求品質を満足した結果が得られていることが確認された。なお気中配合の「軽量混合処理土2」についてはH22年2月末まで調査中である。

6-4 強度比と現場配合設定

ここでは、筒先採取試料と原位置採取試料の平均強度を用いて現場強度比を算出した結果を示す。強度比とは、モールド試料の強度に対する原位置採取試料の強度の大きさの割合を計算した値である。

目標密度 1.12g/cm^3 の配合で打設したSGMの現場強度比

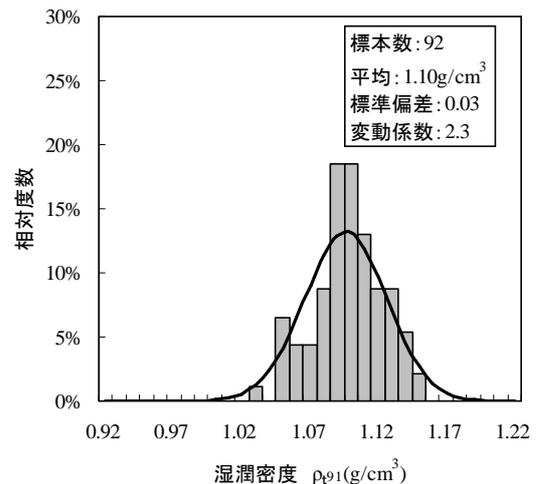


図-14 ボーリング試料の湿潤密度

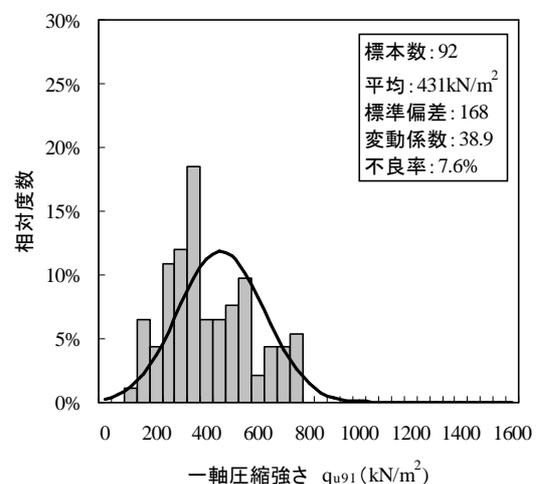


図-15 ボーリング試料の一軸圧縮強さ

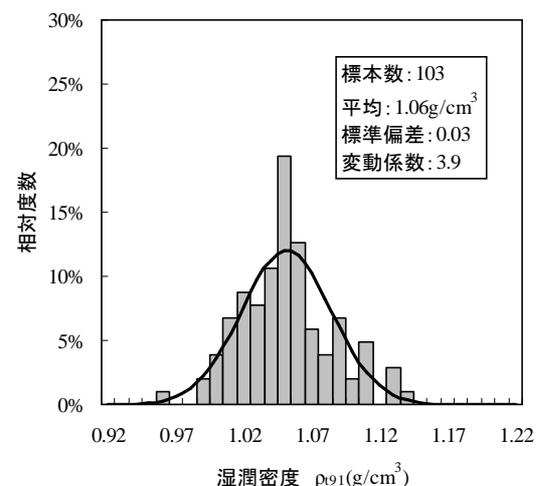


図-16 ブロック試料の湿潤密度

は、当初 0.70 を想定していたが、ボーリング試料で 0.50、ブロック試料で 0.45 となった。この値は既往の実績値(0.59～0.88)²⁾よりもやや低い結果である。

したがって、現場においては 1 層目のブロック試料の一軸圧縮強さの強度比が小さかったことから、水中配合の「軽量混合処理土 1」の配合目標強度は、着工前の $q_{u91}=440\text{kN/m}^2$ から $q_{u91}=600\sim 700\text{kN/m}^2$ と配合設定と大きめに設定したままで施工を行った。その後の層毎に実施したブロック試料の試験結果も同様の強度比であったため、気中配合の「軽量混合処理土 2」についても、同程度に配合目標強度を高くして施工を行った。

強度比が低くなった理由に関しては現在調査中でいくつかの理由が考えられるが、そのひとつとして、次のようなことを考えている。

今回の工事では SGM の消泡率を低減する目的で、従来の工事と比較して、SGM の流動性を高めて施工を行っている。さらに今回の工事では打設面積が広いため、打設された SGM は薄層に重なりながら造成されている。その結果、原位置採取試料の強度試験時には薄層で打設した層境が弱面となった可能性が考えられる。それに対して、筒先試料は打設直前にモールドに採取されており、層境は存在していない。ちなみに従来の規模の工事では、高流動状態で施工されても、施工範囲が狭いため、1 層あたりの打設高さが 0.3m から 1.0m 程度で行われるため、原位置採取試料には、層境の影響が現れにくいものとなる。

6. おわりに

今回の羽田 D 滑走路建設工事における軽量混合処理土工では、表-1 に示したように、従来との実績と比較して、規模や施工のスピードが数倍以上の大量急速施工が行なわれた。したがって、計画の段階からいくつかの新たな技術的課題が想定され、着工前から準備を行ってきた。さらに着工直後も現場配合の再設定を行うなどの対応を行ってきた。その結果、水中配合の「軽量混合処理土 1」に関しては、原位置における SGM は所定の要求品質を満足した結果が得られていることが確認された。今後は、さらにデータの分析を行い合理的な設計、計画から品質管理を行うための知見の整理を行っていく予定である。

【参考文献】

- 1) (財)沿岸技術研究センター：管中混合固化処理工法技術マニュアル(改訂版),2008.7.
- 2) (財)沿岸技術研究センター：軽量混合処理土工法技術マニュアル(改訂版),2008.7.
- 3) 輪湖建雄, 土田孝, 松永康男, 濱本晃一, 岸田隆夫, 深沢健：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.
- 4) 大和屋隆司, 御手洗義夫, 小林雅幸：羽田再拡張 D 滑走路建設における軽量混合処理工の設計と計画, 土木学会第 64 回年次学術講演会, pp.979-980, 2009.
- 5) 居場博之, 御手洗義夫, 永留健, 貴船哲央：羽田再拡張 D 滑走路における軽量混合処理工の配合検討, 土木学会第 64 回年次講演会, pp.981-982, 2009.
- 6) (社)地盤工学会：軽量土工法, pp.25-31, 2005.
- 7) 松崎忠彦, 浅香智明, 魚住邦男, 平輝明, 坂本暁紀, 田中洋輔：気泡混合処理土の急速施工, 土木学会第 62 回年次学術講演会, pp.271-272, 2007.

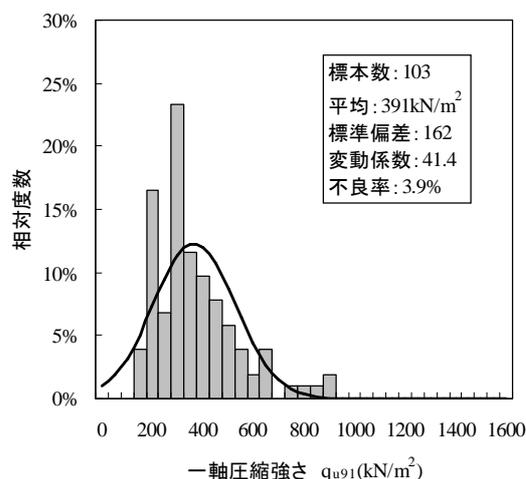


図-17 ブロック試料の一軸圧縮強さ