

管路処理システムを用いた処理土混練技術の開発

守屋 典昭* 池田 省三*
大久保 泰宏* 中島 勝治**
岸田 宣幸*** 和泉 敏幸***

要旨

近年、海面処分場の建設、環境浄化、建設発生土のリサイクル、軟弱地盤処理などの共通要素技術として効率的かつ大規模施工が可能な粉体計量技術、混練技術のニーズが高まっている。

技術研究所では、2002 年度から本課題に取り組み、管路内に攪拌軸を有し、軸心から添加材を供給する機構を持った新しい連続式混練装置“管路ミキサ”と、精密な粉体供給が可能な粉体供給装置に着目して各種の基礎実験を行い、有効性の確認を行った。

本報では、管路処理システムの紹介と、2002～03 年度に本システムを採用し施工および実験を行った結果について報告する。

1. はじめに

近年、建設工事で発生する細粒分に富み含水比が高い泥土の処分が問題となっている。特に港湾整備事業などで発生する大量の浚渫土砂についても泥土相当のものは処分の対象であるが、処分場の残余年数が減少するとともに、新規処分場の確保が困難になっており、その処分が大きな課題となっている。一方、沿岸域の自然再生事業や海域環境創造事業では、干潟造成や覆砂など大量の土砂が必要であるが、砂などの良質な地盤材料の確保が困難になっているため、浚渫土などの建設発生土を積極的にリサイクル材料として活用することが期待されている。

このような背景の中、建設発生土を利用した付加価値の高い各種地盤材料の研究が進み、実用化されており、その製造においては、大量の土砂を対象とすることから、さらなる大規模化、効率化が求められている。

本報では、大規模施工に対応した混練技術である管路処理システムの紹介および、管路処理システムの高含水泥土造粒固化処理工法、クレイガード工法、軽量混合処理土工法への適用事例について報告する。

2. 管路処理システム

2.1 概要

管路処理システムは、管路ミキサを中心に粉体供給装置および比重調整装置などを組み合わせ、浚渫土などの建設発生土に、圧送過程で添加材を添加して連続的に処理する技術である。固化処理、脱水処理、気泡混合土製造、汚染土処理、その他の連続混練処理など幅広い分野に適用が可能である。平成 15 年 8 月に 22 社によって、「管路処理シ

テム研究会(千田昌平会長)」が設立され、研究会の保有技術として会員の使用が可能となっている。

写真-1に管路ミキサの外観を示す。



写真-1 管路ミキサ

2.2 システムの特長

管路処理システムの特長を以下に示す。

- ①連続処理のため、コンパクトかつ大規模施工が可能
- ②特殊な構造を持つ管路ミキサにより優れた混練性を発揮
- ③管路内で添加材を吐出するため、粉体添加であっても粉塵などの飛散が少なく、環境への負荷低減が図れる
- ④比重調整装置、粉体供給装置による精密な供給によって高品質な処理が可能
- ⑤原料土の性状にも幅広く対応でき、添加材は、粉体、液体問わず対応できるため、幅広い適用性を持つ

*技術研究所 **環境研究所 ***東京支店

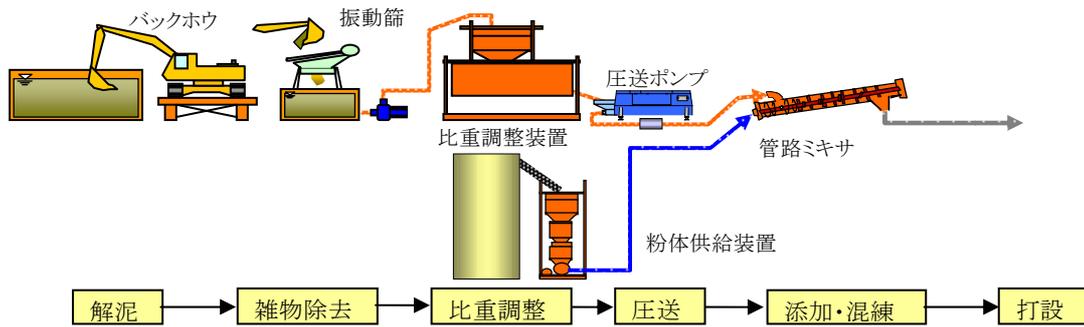


図-1 施工フロー

2.3 施工フロー

管路処理システムを用いた処理の代表的な施工フローとして固化処理の例を以下に示す。図-1にフローを示す。

①解泥・雑物除去

原料土を解泥処理機などで加水・攪拌し、振動篩などで雑物除去を行う。

②比重調整

比重調整装置で原料土を所定の調整泥土とする。

③圧送

調整泥土を管路ミキサへポンプ圧送する。

④添加・混練

添加材(固化材など)を粉体あるいはスラリーで管路ミキサに添加し、混練する。

⑤運搬、打設

製造された処理土は、処理土の性状にもよるが、運搬あるいはそのまま管路ミキサ出口から打設装置に送り打設を行う。

(2) 比重調整装置

比重調整装置は、解泥した浚渫土の体積と重量を測定して密度を求め、所定の物性(含水比、フロー値など)にするために加水し、調泥を行う装置で、従来は複数の泥水槽が必要であった個所を簡略化したものである。写真-2に比重調整装置の外観を示す。

(3) 粉体供給装置

粉体供給装置は、計量、圧送を連続的に行い、粉体の精密供給が可能である。従来、大気圧開放された状態で粉体を切り出し、投入するものが一般的であるが、本装置は、空気圧送で粉体を送り出すことができるため、管路ミキサのような压力下への連続添加が可能である。写真-3に粉体供給装置の外観を示す。

2.4 主要設備の原理と仕様

(1) 管路ミキサ

管路処理システムの中心技術である管路ミキサの原理は、図-2に示すように、密閉された管路内に攪拌翼が設けられており、回転中の攪拌軸上噴射口から添加材を直接土砂内に圧入することにより、添加材が均等に添加され、複数の攪拌翼で十分に混練されるようになっている。

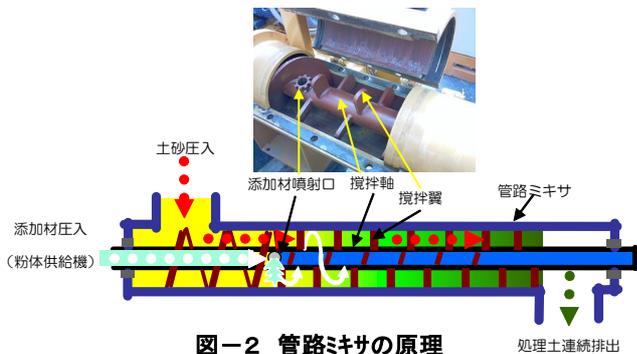


図-2 管路ミキサの原理



写真-2 比重調整装置 写真-3 粉体供給装置

管路処理システムの仕様を表-1に示す。

表-1 主要設備の仕様

※材料の種類、性状による

1) 管路ミキサ			
型式	混練能力*	寸法	電動機
TK80M	最大 80m ³ /h	L3,200×W800×H680mm	15kW
TK200M	最大 200m ³ /h	L4,700×W1,000×H840mm	22kW
2) 粉体供給装置			
型式	供給能力	寸法	電動機
HA-3型	最大 300kg/min	L2,400×W2,200×H4,600mm	9.7kW
3) 比重調整装置			
型式	調整能力※	寸法	電動機
HT	最大 60m ³ /h	L7,740×W2,200×H6,940mm	17kW

3. 高含水泥土造粒固化処理工法への適用

3.1 工法概要

高含水泥土造粒固化処理工法は、特殊ミキサを用いて浚渫土砂や建設汚泥のような高含水泥土に、固化材と疎水化材（水溶性ポリマー）等の含水比調整材を添加・混練し、粒状に改良する工法である。従来技術として、最大 25m³/h の処理能力を有するハイファンクションミキサ（以下、HF ミキサ）によるバッチ処理をすでに開発・実用化¹⁾しており、数多くの実績を有している。しかし、造粒固化処理は、液性から塑性まで性状を急変させる上、形状も粒形にする必要があり、従来のバッチ処理では大規模化が困難であった。そこで管路処理システムの適用性検証を行った。工法の特長を以下に示す。

①砂の代替材として利用可能

処理土は土木資材や環境材料として利用できる。

②含水比調整材へ廃棄物を有効利用

吸水力のある水溶性ポリマー（以下、ポリマー）のほか、石炭灰や製紙灰、古紙などの廃棄物を含水比調整材として利用できる。

3.2 実証実験概要

今回の実験は、管路処理システム(100m³/h 級)を用いた場合の造粒固化処理技術の性能、品質確認を目的に実施した。実験ケースは、対象土砂を1種類(浚渫土砂)、含水比調整材を2種類(石炭灰とポリマー)、処理能力を10～20m³/h で設定した。なお、固化材などの添加量は、事前検討により決定した配合量である。

表-2に実験ケース、写真-4に全景写真を示す。

表-2 実験ケース

case	初期含水比 (%)	処理能力※1 (m ³ /hr)	添加量 (kg/m ³) ※2			備考
			固化材	石炭灰	ポリマー	
1	130	10	300	1,280	—	管路ミキサ
2	110	10	300	1,110	—	〃
3	110	10	160	—	5.0	〃
4	110	20	270	—	3.3	〃
5	130	—	300	1,280	—	HFミキサ

※1：投入土砂あたり

※2：対象土砂に対する外割配合



写真-4 造粒処理プラント全景

実験は、2種類の粉体を管路ミキサ内で添加し実施した。造粒物の場合、ミキサ出口で塑性状となるため排出はベルトコンベアで行い、養生ヤードにて一時仮置きを行った。

図-3に、ポリマー+固化材添加の場合の施工フロー図を示す。

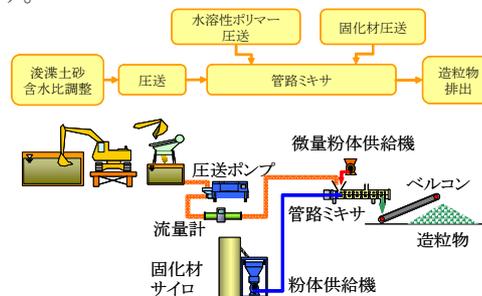


図-3 施工フロー

実験状況を、写真-5、6に示す。



写真-5 管路処理



写真-6 造粒物排出

3.3 実験結果

(1) 土質特性

使用した浚渫土砂の土質試験結果を表-3に示す。

表-3 土質試験結果

項目	単位	浚渫土砂
土粒子密度 ρ_s	g/cm ³	2.5
含水比 w_0	%	124.1
粒度組成	砂分	14.6
	シルト分	68.3
	粘土分	17.1
コンシステンシー	液性限界 w_L	87.9
	塑性限界 w_P	55.2
	塑性指数 I_P	32.7
強熱減量 Li	%	7.7
pH	—	7.9

(2) 強度特性

造粒処理されて排出された処理土(以下、造粒物)の強度試験として、所定材令時に圧潰強度試験を実施した。図-4に圧潰強度試験結果を示す。なお圧潰強度とは、粒そのものの圧縮強さであり、一般的に圧潰強度と一軸圧縮強さの1/4~1/5と言われている。

強度試験から得られた結果を以下に示す。

- ①HF ミキサ造粒物(case5)と比較して、同じ配合である管路ミキサ造粒物(case1)の強度は同等である。

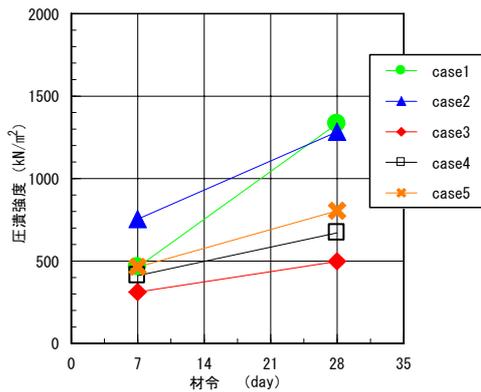


図-4 圧潰強度試験結果

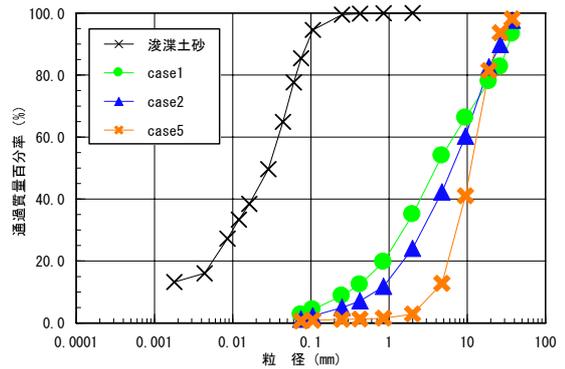


図-5 ミキサの影響

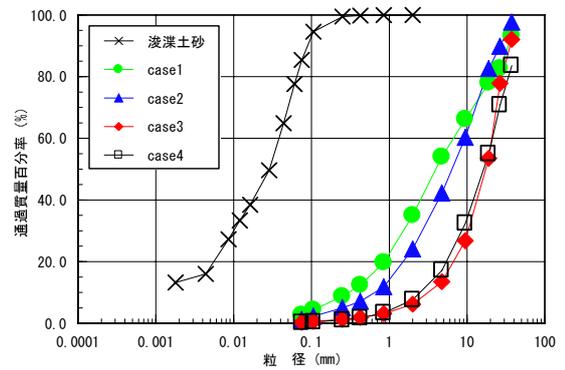


図-6 含水比調整材の影響

(3) 粒度特性

造粒物の粒度特性を比較するために、粒度試験を実施した。粒度試験から得られた結果を以下に示す。

- ①HF ミキサ造粒物(case5)に比べると、管路ミキサ造粒物(case1,2)の曲線勾配は若干緩い。(図-5参照)
- ②含水比調整材の違いによる影響は、石炭灰造粒物(case1,2)と、ポリマー造粒物(case3,4)で若干粒度分布が異なる。(図-6参照)

写真-7~9に代表的な実験ケースの造粒物の性状を示す。

(4) まとめ

管路処理システムを使用した造粒固化処理技術の実証実験を行った結果、以下のことが確認できた。

- ①造粒物の強度、粒度特性
管路処理システムによる造粒物は、圧潰強度、粒度ともに若干の差はあるものの従来から実績のあるHFミキサによる造粒物と同等であることが確認できた。
- ②処理能力
20m³/h 程度までの処理性能と品質が十分であることが確認できた。



写真-7 case2 造粒物
(石炭灰造粒物:管路処理)



写真-8 case3 造粒物
(ポリマー造粒物:管路処理)



写真-9 case5 造粒物
(石炭灰造粒物:HFミキサ)

4. クレイガード工法への適用

4.1 工法概要

クレイガード工法とは、土質系変形追随遮水材²⁾³⁾“クレイガード材料”を遮水構造に取り入れることで、海面処分場などの遮水構造物に変形追随性を持たせる工法である。クレイガード材料(以下遮水材料とする)は、浚渫などで発生する海成粘土が持つ高い遮水性に着目し、これを主材料にさらに遮水性を高めるために間隙調整材(ベントナイト)、ゲル強度を増すためにゲル化材(珪酸ソーダ)を添加混合したものである。本工法では、難溶性粉体であるベントナイトの混練性能が課題となる。

4.2 工事概要

東京港の中央防波堤外側廃棄物処分場の南側水域に新海面処分場 G ブロック外周護岸の整備が進められている。クレイガード工法は、西側護岸の一部に、遮水工で採用された護岸形式は、二重鋼管矢板式の遮水護岸である。写真-10に施工現場全景を、図-7に護岸の標準断面図を示す。

図-8、9は、側面部と底面部の遮水構造の拡大図である。側面部の遮水工は、φ1200mmの鋼管矢板の継手部を中心として円弧を描くように保護シートを取り付け、この保護シートと鋼管矢板で囲まれた空間に遮水材料を充填することによりなされる。底面部の遮水工は、側面遮水部とCDM改良部を一体化するように遮水材料を打設することによって行われる。

今回使用した遮水材料は、新海面処分場の場内で浚渫された海成粘土に水ガラスをゲル化剤として、ベントナイトを間隙調整材として、添加することにより製造された。施工数量は、側面遮水部で約 380m³、底面遮水部で約 2,900m³、合計約 3,300m³であった。表-4に、側面遮水材料および底面遮水材料に必要な設計物性値を示す。



写真-10 施工現場全景

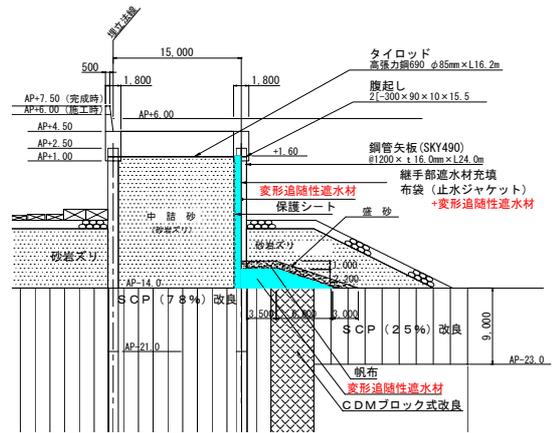


図-7 標準断面

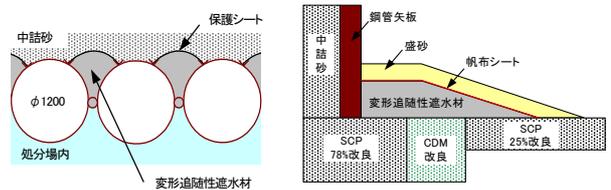


図-8 側面遮水構造平面 図-9 底面遮水構造断面

表-4 遮水材料の設計物性

	透水係数 k(cm/s)	せん断強度 τ(kN/m ²)
側面遮水材料	1.0 × 10 ⁻⁶ 以下	—
底面遮水材料	1.0 × 10 ⁻⁶ 以下	1.0以上

4.3 施工方法

遮水材料の製造プラントには、特殊な装備を必要とせず、施工数量や現場条件に応じた汎用機械を用いて、構成することができる。図-10に施工フローを示す。この中で、遮水材料の混練、ベントナイトの添加に管路処理システム(60m³/h級)を採用し連続処理を行った。写真-11に遮水材料の製造プラント全景を示す。



写真-11 遮水材プラント船全景

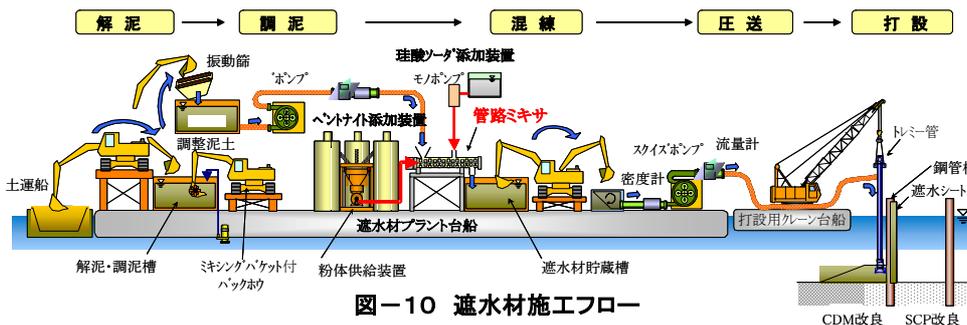


図-10 遮水材施工フロー

4.4 品質

品質管理としては、原料土を品質管理基準で定めた含水比およびフロー値⁴⁾になるよう加水調整を行い、間隙調整材やゲル化剤を添加して混練後、貯蔵槽に一時ストックして遮水材を採取し、打設前の含水比およびフロー値を確認し打設を行った。また打設後に遮水材の現場サンプリングを実施し、設計物性値を満足しているか確認した。

表-5に、含水比およびフロー値の品質管理基準値をしめす。図-11、12に、遮水材の含水比および底面部の遮水材フロー値試験結果の一例を示す。表-6に、現場でサンプリングした遮水材の室内品質管理試験結果を示す。図表に示すように、どの試験結果においても基準値を満足している。

以上の結果より、管路ミキサは良好な混練方法であることが分かる。

表-5 遮水材の含水比およびフロー値の品質管理基準値

試験項目	許容値	
	含水比試験	シート部
	底面遮水部	168%以下
フロー値試験	シート部	140mm以下
	底面遮水部	120mm以下

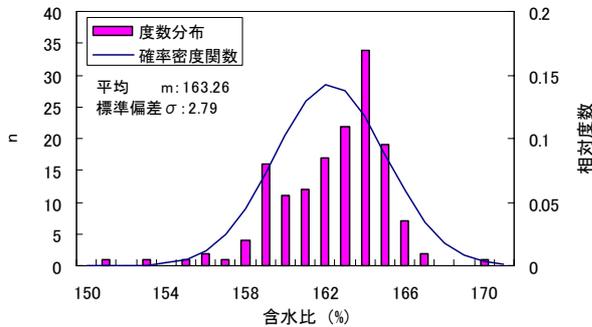


図-11 遮水材含水比の品質管理試験結果

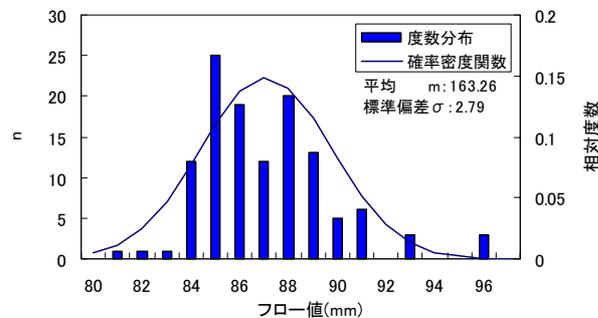


図-12 遮水材フロー値の品質管理試験結果

表-6 現場サンプリング試料の品質管理試験結果

打設箇所・サンプリング位置	サンプリング時 (%)	透水係数	$\tau_{28日}$ (kN/m^2)	
		(cm/sec)		
側面1層目	練り混ぜ直後(1回目)	162	7.4×10^{-7}	—
	練り混ぜ直後(2回目)	163	7.6×10^{-7}	—
底面部	練り混ぜ直後(1回目)	162	7.4×10^{-7}	1.03
	原位置(1回目)	163	7.6×10^{-7}	1.09
	練り混ぜ直後(2回目)	162	6.5×10^{-7}	1.14
	原位置(2回目)	160	7.9×10^{-7}	1.15
側面2層目	練り混ぜ直後(1回目)	161	4.6×10^{-7}	—
	原位置(1回目)	159	7.6×10^{-7}	—
	練り混ぜ直後(2回目)	160	5.3×10^{-7}	—
	原位置(2回目)	162	7.8×10^{-7}	—

5. 軽量混合処理土工法への適用

5.1 工法概要

軽量混合処理土工法⁵⁾は、浚渫土などの建設発生土に水、固化材、気泡または発泡ビーズを添加・混合し、軽量で安定した地盤材料として埋込材などに用いる工法である。

従来、二軸のパドルミキサを利用し混合する事が多かったが、大量急速施工と施工の効率化を目的として、管路処理システム(100m³/h級)を適用した。

5.2 工事概要

青海埠頭ではコンテナ船の大型化に伴い、既存の岸壁の増深化を進めている。軽量混合処理土は土圧低減の目的で岸壁背面に適用された。図-13に施工断面を写真-12に施工状況を示す。

軽量混合処理土は東京港第1航路の維持浚渫土を原材料として利用した。目標密度は水中 1.1g/cm³、設計強度は200kN/m²以上であり、施工数量は約9,500m³である。表-7に浚渫土の物理特性、表-8に設計配合を示す。

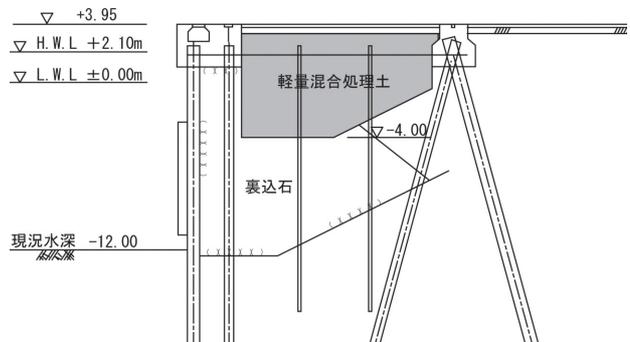


図-13 標準断面



写真-12 施工状況

表-7 浚渫土の土質試験結果

土粒子密度 ρ_s (g/cm ³)	2.661	
自然含水比 w_0 (%)	106.2	
粒度組成	砂分 (%)	12.5
	シルト分 (%)	49.8
	粘土分 (%)	37.7
液性限界 W_L (%)	79.5	
塑性限界 W_p (%)	46.8	
塑性指数 I_p	32.7	
強熱減量 L_i (%)	8.54	

表-8 基本配合表

軽量土 目標密度 (g/cm ³)	1m ³ 当たりの配合				上段：重量 (kg)，下段：体積 (l)	
	調整泥土		固化材		軽量化材	
	乾燥土	海水	固化材	海水	気泡	
1.1	309.5	581.0	100.0	100.0	9.487	
	116.3	564.1	32.8	97.1	189.7	

5.3 施工方法

施工は、解泥処理機（ロータリー式攪拌装置付バックホウ）、振動篩にて解泥・雑物除去を行い、比重調整装置にて含水比調整後、添加材（固化材）をスラリーで1つ目の管路ミキサに添加・混練、その後事前発泡した気泡を2つ目の管路ミキサ内に添加・混練した。製造された処理土は、そのまま打設装置（トレミー管式）に送られ、水中打設（一部気中打設）を行った。図-14に施工システムを示す。

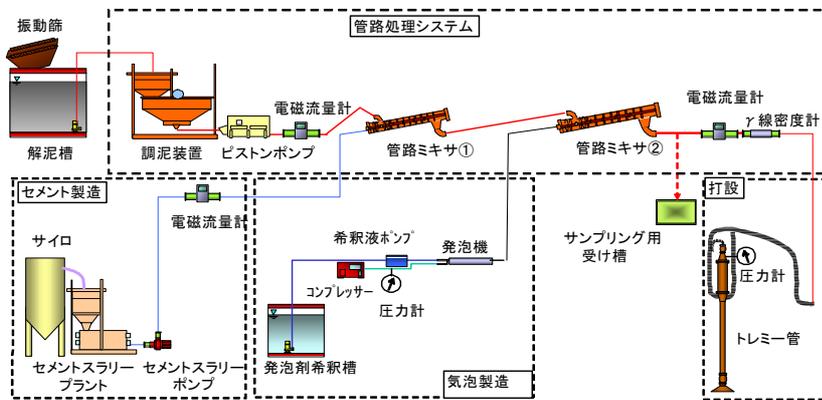


図-14 施工システム

5.4 品質

軽量混合処理土を打設完了から28日経過後にサンプリングし、試料の湿潤密度と一軸圧縮強さを測定した。その結果を表-9に示す。また、図-15に湿潤密度の度数分布を、図-16に一軸圧縮強さの度数分布を示す。湿潤密度は、1.033~1.194g/cm³の範囲、また一軸圧縮強さはすべて200kN/m²以上であり、目標の密度と強度を満足している。これは、泥土、セメントスラリー、気泡の密度、流量の厳密な管理と管路ミキサの優れた混練性能によって得られた結果だと考えられる。

表-9 サンプリング試験結果

採取位置	密度試験 (g/cm ³)		一軸圧縮試験 (kN/m ²)	
	No.	測定値	No.	測定値
A.P.+3.48	(1)	1.101	(1)	722
~	(2)	1.056	(2)	488
A.P.+3.00	(3)	1.153	(3)	376
A.P.+3.00	(1)	1.118	(1)	722
~	(2)	1.033	(2)	768
A.P.+2.00	(3)	1.155	(3)	744
A.P.+2.00	(1)	1.154	(1)	499
~	(2)	1.136	(2)	800
A.P.+1.00	(3)	1.194	(3)	739
A.P.+1.00	(1)	1.185	(1)	799
~	(2)	1.117	(2)	742
A.P.±0.00	(3)	1.106	(3)	934
A.P.±0.00	(1)	1.187	(1)	913
~	(2)	1.175	(2)	766
A.P.-1.00	(3)	1.183	(3)	310
A.P.-1.00	(1)	1.141	(1)	961
~	(2)	1.128	(2)	1,026
A.P.-2.00	(3)	1.134	(3)	1,288
A.P.-2.00	(1)	1.138	(1)	947
~	(2)	1.181	(2)	1,274
A.P.-3.00	(3)	1.147	(3)	1,169
A.P.-3.00	(1)	1.132	(1)	1,218
~	(2)	1.133	(2)	1,220
A.P.-4.00	(3)	1.123	(3)	951

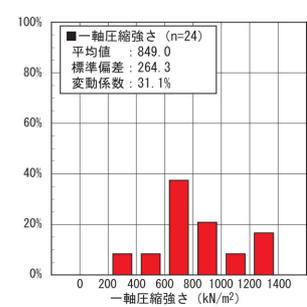
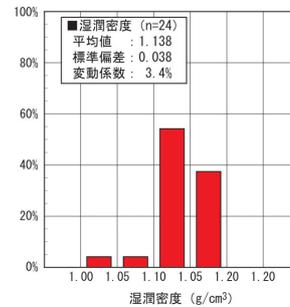


図-15 湿潤密度の度数分布 図-16 強度度数分布

6. まとめ

(1) 高含水泥土造粒固化処理工法

公称能力 100m³/h 級の管路処理システムを使用して、処理能力 20m³/h で実証実験を行った結果、処理土の強度や粒度特性などは従来のミキサによる粒状物と同等の品質が得られた。造粒物の製造は、液状から塑性まで性状を変化させるとともに、形状も粒形にしなければならず、最も取り扱いが困難な処理であるが、本システムで十分に処理できることが確認できた。今後は 100m³/h 程度の大量処理へ適用を目指す。

また、含水比調整材として、水溶性ポリマー、石炭灰を使用し、リサイクル材として十分な性能を確認でき、今後各種廃棄物の処理においても期待できる。

(2) クレイガード工法

処理能力 60m³/h 級の管路処理システムで施工を行った結果、難溶性粉体の精密添加が可能で、混練性も十分であることが確認できた。

また洋上施工で台船などへ艀装する場合でも、コンパクトなため配置しやすく、処理能力も高くなることが確認できた。

(3) 軽量混合処理土工法

処理能力 100m³/h 級の管路処理システムを用いて施工を行った結果、密度、強度ともに要求された品質を確保できた。

装置がコンパクトなため設備用地が縮小できること、添加・混練が完全密閉状態で行われるため汚れや飛散がないことなどが確認できた。

また、従来なら混練後の再圧送が必要であったが、本システムでは 1 台のポンプで圧送から混練、打設まで完全密閉状態で施工を行うことができ、効率化を図ることができた。

7. おわりに

はじめに述べたように、建設発生土の処分の問題や、新たな材料確保の問題が注目される中、各種工事へ管路処理システムを適用し、その有用性を確認できた。大量かつ高品質な処理が可能であることから大規模な建設発生土のリサイクルのみならず、幅広い分野で利用可能であると考えられる。

今後は、各分野へシステムの有用性を示し、積極的に工法提案を進め、工事適用を図る予定である。

最後に本開発の実施に当たり、ご協力頂いた関係各位に謝意を表す。

参考文献

- 1) 塩田耕司、椎名貴彦、斉藤到、池田省三、杉原広晃：五洋建設技術年報、Vol.32、pp86～90、2002.10
- 2) 山田耕一、上野一彦、羽田晃、土田孝、渡部要一：海洋開発論文集、Vol.18、pp77～82、2002
- 3) 羽田晃、山田耕一、上野一彦、土田孝、渡部要一、長江泰史、桑原蒸二：土木学会第 57 回年次学術講演会講演集 第Ⅶ部門、pp273～274、2002
- 4) 日本道路公団規格 JHS A 313 「エアモルタルおよびエアミルク試験方法」のシリンダー法(φ80mm×H80mm)
- 5) (財)沿岸開発技術研究センター：軽量混合処理土工法技術マニュアル、1999.4