カルシア改質土の空気圧送実験

東洋建設㈱　正　○鶴ヶ崎和博　　正　前田　敏
東洋建設㈱　　西　成孝　　高本　忠志
東洋建設㈱　　草刈　成直　　正　澤田　豊

１．はじめに

鉄鋼生産工程において副産物として発生する鉄鋼スラグは年間約 3300 万トン（2009 年度実績）に及び，道路材料やコンクリート材料などの天然資源代替材としての有効利用が進められている。近年は新たな用途開拓としての海域環境改善材としての適用性についても研究が進められ，各種の成果が得られている [1)2)]。カルシア改質土は，鉄鋼スラグのうち転炉系製鋼スラグを加工，粒度調整したカルシア改質材（以下カルシア材）と軟弱な浚渫土との混合土である。混合により，カルシア材に対しては浚渫土の強度改善効果や硫化水素やリン酸などの溶出抑制効果が期待され，一方浚渫土に対しては製鋼スラグの高アルカリ水の溶出を抑える効果が期待される。今回，カルシア改質土の海域における浅場・干潟造成材や深堀跡地埋戻し材としての適用性に関して，管中混合固化処理工法 [3)]を模した圧送実験を行うとともに打設後の混合土の特性について調査を行った。本報においては圧送実験を中心に述べ，排出混合土の強度調査結果に関しては別報 [4)]において述べる。

２．試料および事前配合試験結果

浚渫土およびカルシア材の特性を表 1 に示す。浚渫土は大阪港北港南地区のシルト・粘土分を主体とする航路浚渫土で，カルシア材は粒径 25mm 以下を使用した。改質土は浚渫土とカルシア材を実質体積比で 7 : 3 となるように混合した。浚渫土の初期含水比を変化させた配合試験結果を表 2 に示す。圧送実験で目標とする混合土の特性は，直径 80mm×高さ 80mm のシリンダーフロー試験値を 90mm 程度以上，一軸圧縮強度 q_u を材齢 28 日で 100kN/m^2 程度以上（現地換算 q_u を 40kN/m^2 程度以上）とした。表 2 より両条件をほぼ満足するのは浚渫土の初期含水比 $1.6w_L$ のケースとなった。なお実験には全て西宮市鳴尾浜の海水を使用した。

表 1　試料の特性

項　目		浚渫土	カルシア材
土粒子密度	(g/cm^3)	2.677	3.274
含水比	(%)	103.92	4.11
液性限界	(%)	105.38	－
塑性限界	(%)	40.95	
強熱減量	(%)	10.121	
粒度特性 粗礫分	(%)	－	0.38
粒度特性 中礫分	(%)	－	50.47
粒度特性 細礫分	(%)	－	14.95
粒度特性 粗砂分	(%)	0.69	25.66
粒度特性 中砂分	(%)	0.83	2.85
粒度特性 細砂分	(%)	1.38	2.45
粒度特性 シルト分	(%)	82.57	3.24
粒度特性 粘土分	(%)	14.52	
粒度特性 均等係数Uc		9.33	8.22
粒度特性 曲率係数Uc'		4.76	0.49
最大粒径	(mm)	2	25

表 2　カルシア改質土の配合試験結果

配合比（浚渫土:カルシア）	浚渫土初期含水比	フロー（mm）	含水比（%）	q_u 7日養生 (kN/m^2)	q_u 28日養生 (kN/m^2)
7:3	$1.6w_L$*	94	40.2	65.93	99.05
7:3	$1.8w_L$	114	44.7	54.32	88.47
7:3	$2.0w_L$	130	50.3	40.08	67.68

＊w_Lは浚渫土の液性限界の含水比(=105%)を示す。

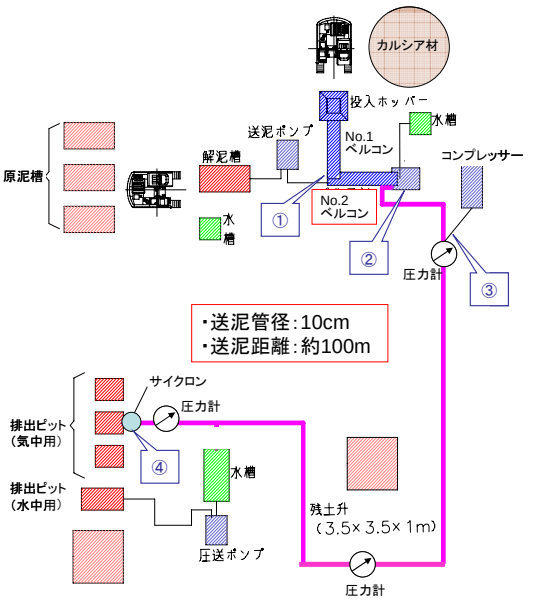

図 1　圧送実験時の資機材の配置

３．圧送実験

圧送実験時の各設備の配置状況を図 1 に示す。また図中の主要な装置，作業状況（①～④）を写真 1～4 に示す。実験は陸上ヤードにおいて実施工の規模をやや縮小したモデルとして実施した。配管は内径 10cm，圧縮空気供給地点から排出口までの配管長は約 100m とした。浚渫土はバックホーにて解泥し，液性限界程度の含水比（≒1.0 w_L）となった。配合試験結果から原泥の含水比調整（1.0 w_L→1.6 w_L）が必要となるが，実験では 1 つのケースを除いて事前の含水比調整を行わず

キーワード：製鋼スラグ，浚渫土，カルシア改質土，管中混合処理工法
連絡先：東洋建設　西宮市鳴尾浜 1-25-1　Tel：0798-43-5903　Fax：0798-40-0694

に，図 1 における浚渫土と製鋼スラグが混合する No.2 ベルトコンベア先端のホッパー内に必要量の加水を行った(写真 2)。この場合，浚渫土，スラグ，水の 3 者の実質的な混合・練混ぜは管内圧送時に行われることになる。なお，この時点の加水については，空気圧送作業における管内抵抗を低減するための軸封水に相当するものと考える。表 3 に実験ケースを示す。ケース 1～3 は気中打設，ケース 4 は一旦気中で打設した後にポンプにより水中打設した。

4．圧送実験結果

各ケースの単位時間あたりの排出量は 10～12m^3/h であった。排出土の特性を表 4 に示す。ケース 1 を除き，若干高めではあるが目標とするフロー値や含水比状態となり，管中での空気圧送により混合体は適切に混練されたものと評価できる。一方ケース 1 は，試験時の雨天の影響やスラグの混合量が少なかった可能性があり，フロー値は目標値に近いものの，含水比は高く，湿潤密度が低い結果となった。図 2 にケース 3 における圧送時の圧力計の推移を代表例として示した。比較的規則性のある変動を示しており，混合体がプラグ流となって断続的に管内を移動していったことが予想される。図 3 は，元圧からの距離と圧力平均値の関係を示したものである。どのケースにおいても元圧からの距離との関係において，一様な勾配で圧力は分布しており，図に示す各ケースの平均勾配 i は 2.2～2.8（kPa/m）を示した。この値はセメント固化処理土を用いた各種の実験や施工において，フロー値，管径や流量といった諸量との関係で整理されており [3]，今後カルシア改質土における同様の調査およびデータの蓄積により，実施工におけるプラント構成を検討する際の重要な指標になるものと考える。

5．まとめ

カルシア改質土に関する管中混合方式での圧送実験を行った結果，排出された混合土は目標とするフロー値や含水比にほぼ近い状態となり，圧送された混合土は管内で良好に混練されたものと思われる。また，原泥の含水比（≒1.0w_L）を調整することなく，軸封水相当の水を添加水として利用できることを確認した。

謝辞

本実験は，（一社）日本鉄鋼連盟から発注された業務成果の一部をとりまとめたものです。鉄鋼連盟の関係者，工事関係者およびカルシア改質土研究会の関係者の方々に多大なるご協力をいただきました。末筆ながら，ここに謝意を表します。

参考文献

1)中川雅夫：鉄鋼スラグによる海域環境改善技術，土木学会誌，Vol.96，No.4，pp.29-30，2011.
2)（一社）日本鉄鋼連盟：転炉系製鋼スラグ　海域利用の手引き，平成 20 年 9 月.
3)（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），平成 20 年 7 月.
4）前田他：管中混合方式で圧送されたカルシア改質土の材料特性，土木学会第 67 回年次学術講演会講演概要集投稿中，2012.

写真 1　各材料の合流

写真 2　ホッパー投入

写真 3　圧縮空気の注入

写真 4　混合土の排出

表 3　圧送実験ケース

	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4
調泥時浚渫土含水比	原泥のまま（加水なし）	1.2w_L相当	原泥のまま（加水なし）	原泥のまま（加水なし）
混合後に想定される浚渫土含水比	1.6w_L	1.6w_L	1.8w_L	1.6w_L
打設方法	気中打設	気中打設	気中打設	気中打設後に水中打設

表 4　混合排出土の性状

	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	
打設位置	気中	気中	気中	気中	水中
フロー値（mm）	107	88	93	103	105
含水比（%）	75.8	55.9	48.7	46.4	55.0
湿潤密度（g/cm3）	1.61	1.78	1.87	1.89	1.81

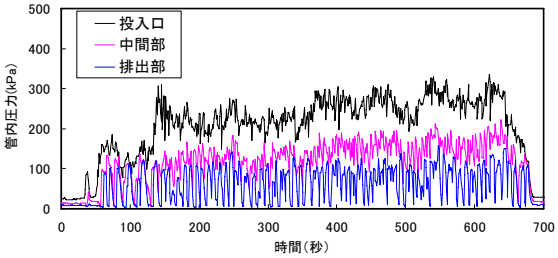

図 2　圧送時の管内圧力変動（ケース 3）

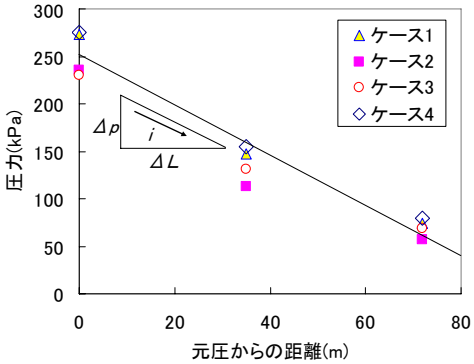

図 3　元圧からの距離と圧力の関係