

建設汚泥をリサイクルするための室内改質実験

戸田建設(株) 正会員 〇真島 知博 戸田建設(株) 正会員 落合 正水

東京電力(株) 子安 英夫 戸田建設(株) 寺下 徹

1. はじめに

建設汚泥のリサイクル技術の一例として、シールド工事により発生する建設汚泥を、排出現場内で構造物の埋戻しや盛土材に利用できる改質土に改良する現地処理技術がある。本報は、この技術において、改質材添加量のコスト低減を目的として、汚泥の種類と含水状態、改質材とその添加量の違いによる改良効果の確認、および最適な添加量の選定を行ったので、その実験結果について報告する。

2. 要求品質

改質土の必要強度は、排出現場内で改質し、1 日養生してから搬出および再利用することを想定して、改質 1 日後に第 2 種改良土(コーン指数 $q_c \geq 800 \text{ kN/m}^2$)とした。その他の要求品質は表—1 に示す。

表—1 改質土の要求品質

項目		要求性能
改質土の pH		一般の改質材；規制なし 中性固化材；5.8～8.6
安定性	初期	雨水の浸透、ダンプ運搬時の振動等により改質土が泥状を呈しないこと
	長期	長期的な強度低下、溶出が生じないこと
強度と判定時間		改質後 1 日において、第 2 種改良土($q_c \geq 800 \text{ kN/m}^2$)
耐溶出性		改質土の第 2 種特定有害物質(重金属類)の溶出量は基準値*以下とする (※土壌汚染対策法第 2 種特定有害物質の土壌溶出量基準値)

表—2 実験対象土の基本的性質

項目		粘性泥土	砂質泥土	濃縮スラリー
土粒子の密度 ρ_s g/cm^3		2.687	2.671	2.662
含水比 W_n %		88.0	54.6	177.5
粒度	砂分(0.075～2mm) %	10	74	2
	シルト分(0.005～0.075mm) %	50	20	30
	粘土分(0.005～0.075mm) %	40	6	68
	最大粒径 mm	0.425	2	0.250
	均等係数 U_c	—	19.0	—
	曲率係数 U_c'	—	4.3	—
分類		砂まじり粘土 (CH-S)	細粒分質砂 (SF)	シルト (MH)
コンシステンシー特性	液性限界 WL %	59.9	NP	112.1
	塑性限界 Wp %	26.9	NP	52.1
	塑性指数 Ip %	33.0	NP	60.0
pH		9.6	9.3	10.7
強熱減量 Li %		5.9	2.5	6.5

3. 実験対象土および改質材

本実験では、泥土圧シールドから発生する 2 種類(粘性土、砂質土)の泥土と泥水式シールドから発生する濃縮スラリーの計 3 種類の汚泥を対象とした。表—2 に対象土の基本的性質を示す。改質材は、中性固化材(半水石膏を主材とし、セメント系材料とアルミニウム系中和剤を添加したもの)と市販の固化材の 2 種類(高炉セメント B 種と特殊固化材(高含水比土壌用改質材))とした。

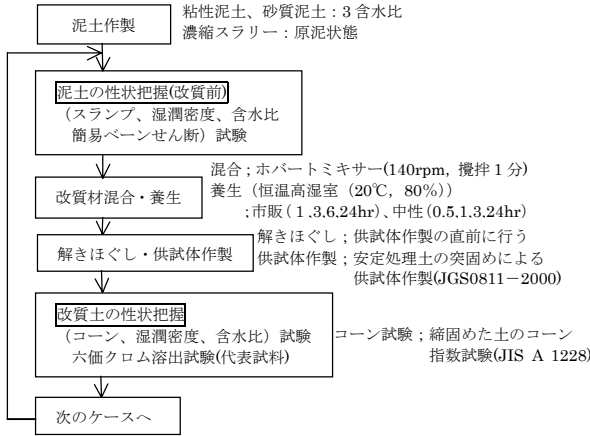
4. 実験方法

表—3 に示した設定含水比で、予備試験と本試験を行う。泥土の設定含水比は、原泥状態の含水比を上限、切羽における泥土の想定スランプ(17cm)相当の含水比を下限に 3 種類設定した。濃縮スラリーは原泥状態のみとした。

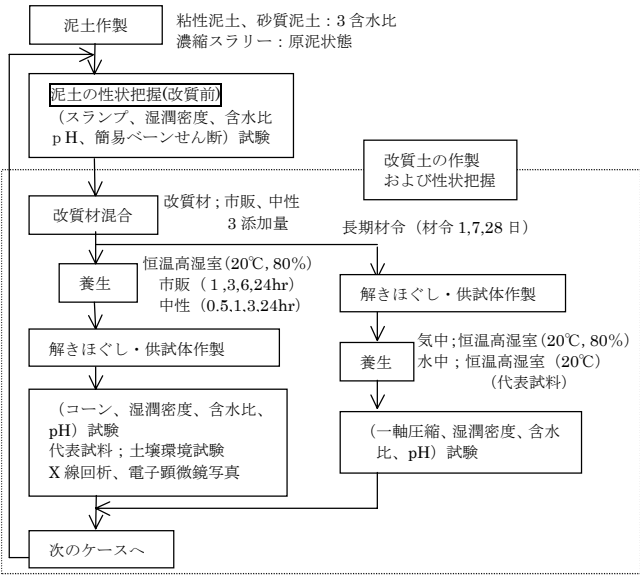
- (1)予備試験 市販の固化材 2 種類のうち、要求性能を満たす経済的な固化材の選定、および添加量をおおまかに把握して本試験用の添加量を決めるために、図—1 に示したフローにより予備試験を行う。
- (2)本試験 中性固化材と予備試験で選定した市販の固化材の計 2 種類の改質材にて、改良効果の確認と最適な添加量の選定をするために、図—2 に示したフローにより本試験を行う。

表—3 設定含水比

	低含水比 (%)	中含水比 (%)	高含水比 (%)
粘性泥土	66	77	88
砂質泥土	35	45	55
濃縮スラリー	—	—	178



図—1 予備試験フロー図



図—2 本試験フロー図

キーワード：建設汚泥、リサイクル、2 種改良土、セメント、中性固化材

連絡先：〒104-8388 東京都中央区京橋 1-7-1 新八重洲ビル TEL 03-3535-6307

5. 実験結果および考察

(1) 予備試験結果

予備試験結果より、高炉セメントと特殊固化材による改質土の強度と経済性を比較し、高炉セメントが有効であると判定した。結果、本試験で使用する市販の固化材は高炉セメントとした。

(2) 本試験結果

①コーン指数の経時変化 図-3より、高炉セメントではコーン指数は継続的な増加傾向を示し、その増加はセメント量に依存しており、添加量が増えるほどセメントの硬化作用により増加が大きくなる。中性固化材では、主成分である半水石膏の吸水硬化作用により、改質直後に1日コーン指数の75~95%に達し、その後の増加は少ない。

②一軸圧縮強度の経時変化 図-4より、高炉セメントではセメントの硬化作用により、一軸圧縮強度は材令を重ねるごとに増加する。中性固化材では材令7日までは増加傾向を示しており、材令28日にかけての増加はほとんどみられない。材令7日までの増加は、中性固化材中のセメント系材料の効果によるものと考えられる。

③pHの経時変化 図-5より、高炉セメントでは改質直後にpH=12程度、材令28日にかけてpH=11程度となり、アルカリ域内での推移となっている。中性固化材では、改質直後にpH=7.5程度、材令1日にかけてpH=9.5程度に上昇し、材令28日にかけてpH=7.5程度に低下する。中性固化材では、材令28日におけるpHは泥土の初期pHより2程度小さくなっており、中性域であるのが特徴といえる。

④耐水浸性の評価 図-6より、水中養生と気中養生の一軸圧縮強度を比較すると、高炉セメントと中性固化材ともに、平均で水中養生は気中養生の90%程度となっており、水浸による強度低下は小さいことを確認した。

⑤長期安定性の評価 材令1日と28日の一軸圧縮強度を比較すると、高炉セメントでは、28日強度は1日強度の3~15倍、中性固化材では1~3倍となっており、長期的な強度低下が生じていないことを確認した。

⑥耐溶出性の評価 土壤環境試験により、改質土（高炉セメント、中性固化材）の第2種特定有害物質溶出量は、土壤溶出量基準値以下であることを確認した。

⑦水和生成物確認 X線回折および電子顕微鏡写真（写真-1）により、水和生成物が高炉セメントではエトリンガイト（写真-1中の針状結晶）、中性固化材では二水石膏（写真-1中の板状結晶）であることを確認した。

⑧最適な改質材の添加量の選定 本試験結果より第2種改良土に必要な改質材添加量は、粘性・砂質泥土では、高炉セメントで50~150kg/m³程度、中性固化材で150~350kg/m³程度となる。また濃縮スラリーでは、高炉セメント、中性固化材ともに500kg/m³程度と非常に多くなった。

(3) 養生ヤードを考慮した場合の改質材添加量

本実験においては、発生泥土を排出現場で改良および養生（1日）して、搬出先へ運搬し利用するケースを想定している。仮に搬出先で養生ヤードが確保できる場合には、ヤードにて養生（2,6日）してから利用する時の改質材添加量を算定すると、3日養生（ヤード養生2日）の場合には平均14.4%（最大50.0%）、7日養生（ヤード養生6日）の場合には平均26.1%（最大68.7%）の添加量が減少し、コスト低減に非常に有効である。

6. まとめ

今回の実験により、粘性・砂質泥土では、高炉セメントは要求品質を満たすことと経済性の両面から有効な手段であり、中性固化材は今回のような高含水比泥土の場合、中性が必要とされる時に有効である。また、濃縮スラリーでは、高炉セメント、中性固化材とも添加量が非常に多くなるために、脱水処理等が必要であると考えられる。

【参考文献】柴田靖ほか”排煙脱硫石膏を主材とした中性土質改良材による軟弱土の改良実験”土木学会第56回年次学術講演会（Ⅲ部門 pp59~60）：平成14年9月

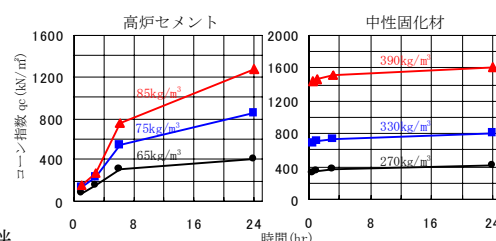


図-3 コーン指数 qc の経時変化の例（粘性泥土 w=77%）

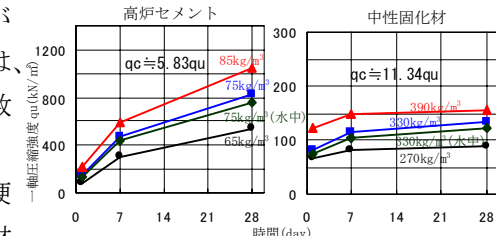


図-4 一軸圧縮強度 qu の経時変化の例（粘性泥土 w=77%）

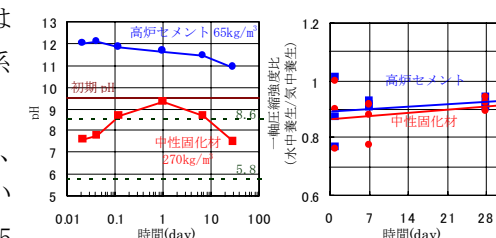


図-5 pH の経時変化の例（粘性泥土 w=77%）

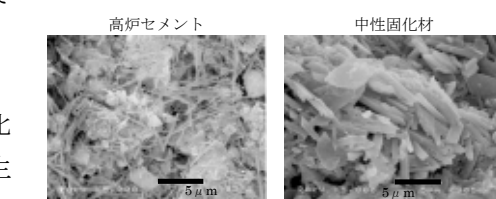


図-6 水中養生と気中養生による一軸圧縮強度比の関係

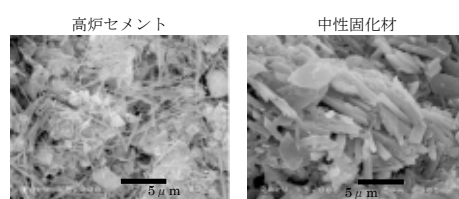


写真-1 電子顕微鏡写真