

再生半水石膏による貯水池底泥土の農業土木用地盤材料への改質

(株) アイコ
飛島建設 (株)
(一社) 泥土リサイクル協会
(一社) 泥土リサイクル協会

正会員 〇鍋田 稔 平田 貴博
正会員 筒井 雅行
正会員 野口 真一
西川 美穂

1. はじめに

貯水池とは、発電、灌漑、上水道、治水等を目的として、ダムや堰堤等で河川をせき止めて水を溜めておく人工施設である。貯水池には流入河川によって運ばれた土砂が堆積するが、堆砂がある程度以上進行すると有効貯水容量が減少し、ダムの治水機能をはじめとする諸機能の低下や阻害を誘発する。貯水池底泥土は一般に高含水比・高流動性を帯びていることが多く、再資源化するには固化材を用いて化学的安定処理することが多い。しかし、通常使用されるセメントや石灰はアルカリ性が高いため、改質土はアルカリ性を示し、使用用途が制限される場合がある。本稿は、再生半水石膏を主材とした改質材によって、室内において化学的安定処理した貯水池底泥改質土の特性から、農業土木用地盤材料としての適用性について検討するものである。

2. 試料及び改質材

試料は、新潟県の多目的ダムの貯水池から泥上掘削機で採取した底泥土である。試料の物理的性質は、改質土の物理的性質と併せて後述する。改質材は、貯水池底泥改質土を農業分野に適用することに鑑みて、pH が中性域の石膏を選定し、資源有効利用の観点から再生石膏を採用した。再生石膏には、廃石膏ボードを中間処理して得られた再生二水石膏を焼成して製造した再生半水石膏を用いた。半水石膏は水と反応すると硬化して二水石膏に転化するが、そのペースト強度はセメントの約 1/20 程度である。また、二水石膏の溶解度は 0.2g/100gH₂O 前後 (0~100℃) と決して大きくはないが、中・長期的に溶け出す恐れがあることから、改質土の品質及び性能を安定並びに向上させるため、安定材 (高炉セメント B 種) や助材 (高炉スラグ微粉末) の併用も検討した。

改質材の化学的性質を表 1 に示すが、改質材は再生半水石膏も含めていずれも pH>7 のアルカリ性を示した。表 2 は改質材の環境安全性 (土壌溶出量) を示すが、再生半水石膏のふっ素と高炉セメント B 種の六価クロムの溶出量が土壌環境基準を超過 (但し、改質材単味には土壌環境基準は適用されない) している。

3. 配合試験

配合試験に用いた改質材の組成を図 1 に示す。4.75mm ふりいを通過させた貯水池底泥土と各種改質材とを所定比率で混合した改質土は、改質材の強度発現と再生半水石膏のエージング (膨張収束) を兼ねて、ポリ袋に入れて 6 日間養生し、7 日目に解砕して 9.5mm ふりい通過分を試験に供した。供試体は「建設汚泥処理土利用技術基準 (平成 18 年 6 月 12 日、国土交通省)」に従って作製し、品質も同基準に倣ってコーン指数を指標とし、第 2 種処理

表 1 改質材の化学的性質

区分	項目	単位	再生半水石膏粉 (B)	高炉セメント B 種 (BB)	高炉スラグ微粉末 (BFS)
水分	水分の付着率	%	<0.1	—	—
	化合水の含有率	%	5.8	—	—
水素イオン濃度	pH	—	9.3	12.4	11.2
	ナトリウム (Na)	mg/g	0.16	0.28	0.018
水溶性成分等	カリウム (K)	mg/g	0.099	1.2	0.24
	カルシウム (Ca)	mg/g	6.5	11	6.8
	マグネシウム (Mg)	mg/g	0.079	<0.001	0.004
	亜硫酸イオン	mg/g	0.049	0.088	0.027
	硫酸イオン	mg/g	15	9	14

表 2 改質材の環境安全性 (溶出量)

平成 3 年環境庁告示第 46 号					
項 目	単位	基準値	再生半水石膏粉 (B)	高炉セメント B 種 (BB)	高炉スラグ微粉末 (BFS)
カドミウム	mg/L	(0.003)*	0.008	<0.001	<0.001
鉛	mg/L	(0.01)	<0.005	<0.005	<0.005
六価クロム	mg/L	(0.05)	<0.01	0.44	<0.01
ひ素	mg/L	(0.01)	0.005	<0.005	<0.005
総水銀	mg/L	(0.0005)	<0.0005	<0.0005	<0.0005
セレン	mg/L	(0.01)	0.008	0.006	0.002
ふっ素	mg/L	(0.8)	5.5	0.05	0.50
ほう素	mg/L	(1)	0.07	<0.02	0.04

※カドミウムは2021年4月1日より、基準値が0.003mg/Lに見直された (本分析は2021年9~10月に実施)。

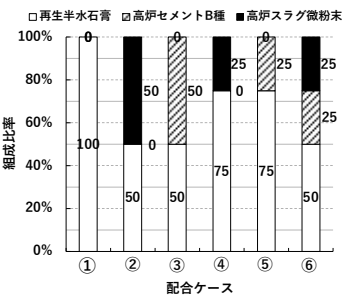


図 1 改質材の組成

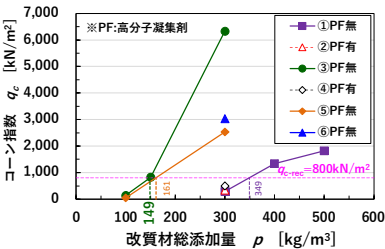


図 2 配合試験結果

キーワード 貯水池底泥土, 再生半水石膏, 化学的安定処理, 改質, コーン指数, 再資源化

連絡先 〒470-0356 愛知県豊田市八草町来姓 1250 番地 (株)アイコ TEL 0565-48-6048

土 ($q_c \geq 800 \text{ kN/m}^2$) を適合と判定した. 図-2 は配合試験結果 (改質材総添総添加量とコーン指数の関係) を示す. 改質材の添加量が多くなるにつれてコーン指数が大きくなるが, セメントを使用しない配合①, ②, ④は, 改質材総量を $p=300 \text{ kg/m}^3$ 添加 (実機の実用最大添加量は $p=300 \text{ kg/m}^3$ 前後) しても所用品質を満足しなかった. そこで, 所定の品質を満足する配合のうち, 総添加量が最少である, 再生半水石膏と高炉セメント B 種の組成比が 50 : 50 である配合③の $p=150 \text{ kg/m}^3$ を設計配合とした.

4. 改質土の物理的性質

改質土の物理的性質を表-3 に示す. 改質材添加に伴う solid 分の増加並びに再生半水石膏及び高炉セメント B 種の化学的吸水作用により, 含水比が低下し団粒化 (砂質土化) したことがわかる. また, コンシステンシー特性のうち, I_c が増加して 1 に近づくとともに, I_L が減少してゼロに近づいたことから, 安定方向に移行したといえる.

5. 改質土の化学的性質

改質土の化学的性質を表-4 に示す. 中性域の貯水池底泥土にアルカリ性の改質材を添加したことから, 改質土はアルカリ性を示した. また, コンクリートの侵食に影響を及ぼすとされる水溶性硫酸イオン濃度が, 化学的劣化環境の基準とされる 2 mg/g を大幅に超過した.

6. 改質土の安定化特性

図-3 は改質土の締固め曲線を示す. 貯水池底泥土に対し, 締固め曲線が右下にシフトし, 曲線形状がなだらかになった. これは, 従来締固めが困難で含水比でも締固めが可能となり, 所定の締固め度を得るための含水比の範囲が広く, 有効活用範囲が広がったことを示す. 図-4 は改質土の荷重~貫入量曲線を, 図-5 は改質土の応力~ひずみ曲線をそれぞれ示す. いずれの供試体も, 改質土の方が貯水池底泥土より含水比が高く, 乾燥密度が小さいにもかかわらず, 設計 CBR, 一軸圧縮強さとも改質土の方が大きな値を示した.

7. 改質土の環境安全性

ふっ素及び六価クロムの溶出量が土壤環境基準を超過した再生半水石膏及び高炉セメント B 種を貯水池底泥土に添加したことで, 改質土のふっ素及び六価クロムの溶出量が増加したが, いずれも基準値以内 (ふっ素 ; $<0.05 \Rightarrow 0.30 \text{ mg/L}$, 六価クロム ; $<0.01 \Rightarrow 0.03 \text{ mg/L}$) であり, 高炉セメント B 種による重金属等の固定化作用が機能していると考えられる.

8. まとめ

石膏単味では所定の品質が得られないが, 安定材及び助材を併用することで, 物理的特性及び安定化特性 (力学的特性) の面から, 貯水池底泥改質土は農業土木用地盤材料として適用可能と判断できる. また, 実機を用いた実証実験から, 現地での実現可能性についても確認できた. しかし, 一方で pH がアルカリ性を示したり, 硫化物イオン濃度が化学的劣化環境の基準を超過するなど, 化学的特性に課題が残ったことから, 今後はそれらの改善に努める予定である. なお, 本研究は, 農林水産省の補助 (官民連携新技術研究開発事業, 2 農振第 2166 号, 3 農振第 2049 号) を受けて実施したものである.

表-3 改質土の物理的性質

物理試験項目		貯水池底泥土	改質土
土粒子密度	ρ_s (Mg/m^3)	2.699	2.716
自然含水比	w_c (%)	56.7	43.2
粒度組成	礫分 (%)	0.4	6.4
	砂分 (%)	7.8	43.1
	シルト分 (%)	60.3	37.4
	粘土分 (%)	31.5	13.1
コンシステンシー	液性限界 w_L (%)	48.8	53.7
	塑性限界 w_p (%)	34.3	37.6
	塑性指数 I_p	14.5	16.1
	コンシステンシー指数 I_c	-0.54	0.65
	液性指数 I_L	1.54	0.35
分類	地盤材料の分類名	シルト (低液性限界)	シルト (高液性限界)
	分類記号	(ML)	(MH)

表-4 改質土の化学的性質

化学試験項目	単位	貯水池底泥土	改質土
土懸濁液の pH	-	6.9	11.0
土懸濁液の電気伝導率	mS/m	8.5	140.6
土の水溶性成分	ナトリウム	mg/g	0.009
	カリウム	mg/g	0.02
	カルシウム	mg/g	0.02
	マグネシウム	mg/g	0.006
	塩化物イオン	mg/g	0.004
	硫酸イオン	mg/g	0.039

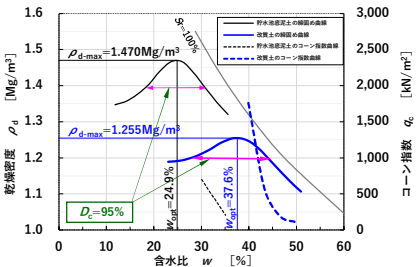


図-3 改質土の締固め曲線

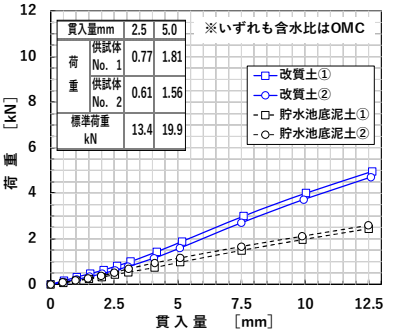


図-4 改質土の荷重~貫入量曲線

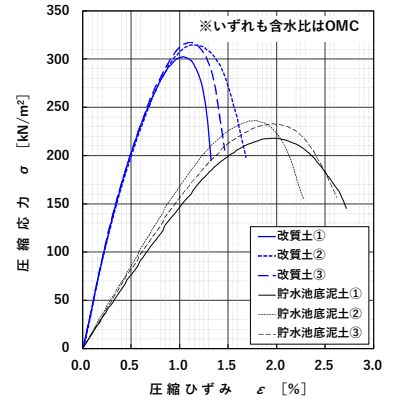


図-5 改質土の応力~ひずみ曲線