

再生半水石膏によるため池底泥土の農業土木用地盤材料への改質

ため池底泥土 再生半水石膏 コーン指数

(株) アイコ 正会員 ○錫田 稔
飛島建設 (株) 筒井 雅行
(株) アイコ 正会員 平田 貴博
(株) アイコ 正会員 小島 淳一
(一社) 泥土リサイクル協会 正会員 野口 真一
(一社) 泥土リサイクル協会 正会員 西川 美穂

1. はじめに

ため池は、降水量が少なく、付近に取水できる大きな河川がない地域において、農業用水を確保するために人工的に造られた貯水施設である。我が国のため池は、築造後長い年月が経過しているものが多く、池底には流水によって運ばれた土砂等が堆積し、貯水容量の減少といった機能低下や、老朽化に伴う安全性低下が顕在化している。このように変状をきたしているため池は、改修や補強により機能回復させることが喫緊の課題であるが、その際にため池底泥土を浚渫または落水掘削により除去する必要がある。しかし、ため池底泥土は一般的に含水比及び流動性が高いため、そのままでは再利用はもとより取り扱いも困難である。そこで、こうした高含水比泥土の取扱いを容易にしたり、再資源化するためにセメントや石灰を用いた化学的安定処理が行われる。ところが、こうした汎用的な改質材はアルカリ性が高く、改質土はアルカリ性を呈し、再生利用の妨げとなる場合が少なくない。本報は、ため池の改修や補強に際して発生する底泥土を、廃石膏ボードのリサイクル品である再生半水石膏を用いて再資源化した改質土の特性から、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

実験に供したため池底泥土は、ため池改修工事のために落水干陸した山口県の農業用ため池から採取したものである。試料の物理的性質は、改質土と併せて後述する。改質材は、改質土を農業分野に使用することに鑑みて、pH が中性域の石膏を選定し、廃石膏ボードの処理問題や循環型社会の形成を踏まえて、廃石膏ボード由来の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短時間で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 1/20 程度であり、また、二水石膏の溶解度は 0.2g/100gH₂O 前後 (0~100℃) と必ずしも大きくはないが、改質土から石膏が溶解すると再泥化する懸念があるため、安定材 (高炉セメント B 種) や助材 (高炉スラグ微粉末) を添加する配合も検討した。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種類と組成を図-1 に示す。4.75mm ふるいを通過したため池底泥土と各種改質材を所定の割合で配合した改質土は、ポリ袋に入れて改質材の強度発現と半水石膏の硬化に伴う膨張の収束を待って 6 日間養生し、7 日目に解砕して 9.5mm ふるい通過分を試験に供した。改質土の品質評価は「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)」に基づきコーン指数を指標とし、第 2 種処理土 ($q_c \geq 800 \text{ kN/m}^2$) を

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
	塩化物イオン	mg/g	0.049	0.088	0.027
	硫酸物イオン	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	(0.01) [※]	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
砒素	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 0.003 mg/L に見直された (本分析は 2020 年 12 月に実施)。

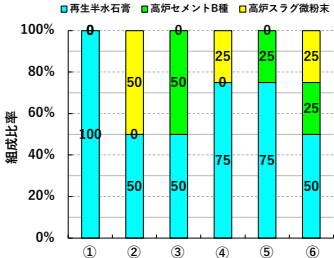


図-1 改質材の組成

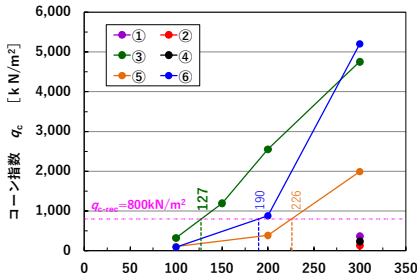


図-2 配合試験結果

適合と判断した。図-2は配合試験結果（改質材総添加量 p とコーン指数 q_c の関係）を示す。 p の増加に伴って q_c も大きくなるが、セメントを添加しない配合①、②、④は、改質材総量を $p=300\text{kg/m}^3$ 添加しても所定の品質を満足しなかった。一方、セメントを添加した配合③、⑤、⑥は所定品質を満たしたため、最少添加量となる配合③の $p=130\text{kg/m}^3$ を設計配合とした。

4. 試験結果

（1）改質土の物理的特性

表-3は改質土の物理的特性を示す。改質材の添加により固形分が増加したことと、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、 I_e 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ことがわかる。

（2）改質土の化学的特性

表-4は改質土の化学的特性を示す。ため池底泥土はpH9.1のアルカリ性を示したが、これは水溶性成分の一つであるカルシウムの濃度が比較的高いため、試料液が塩基性を示したことによるものと考えられる。また、pHがアルカリ性であるため池底泥土に、よりpHが高い改質材を添加したことで改質土のpHはさらに高くなった。なお、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 2mg/g を大幅に超過した。

（3）改質土の安定化特性

図-3は改質土の締固め特性を示す。改質により最大乾燥密度 $\rho_{d-\max}$ が減少、最適含水比 w_{opt} が増加し、締固め曲線は右下にシフトして形状がなだらかになった。 $\rho_{d-\max}$ の減少については、緻密で重厚な土構造物を築造する際には議論の余地があるが、改質土は構造物に対する側圧が軽減できるため、合理的設計への寄与が期待される。また、 w_{opt} が増加したことで、従来は締固めが困難だった含水比でも締固めが可能になるとともに、曲線形状がなだらかになったことは、含水比の広い範囲で所定の締固め度を得ることができ、扱いやすい地盤材料になったことを示している。図-4は改質土の荷重～貫入量曲線を示す、ため池底泥土、改質土とも最適含水比に調整した試料によって供試体を作製しており、改質土の方が含水比が大きく乾燥密度が小さいにもかかわらず、改質土の設計CBRはため池底泥土の3倍以上を示している。図-5は改質土の応力～ひずみ曲線を示す。これも最適含水比に調整した試料によって供試体を作製しており、改質土の方が含水比が大きく乾燥密度が小さいが、改質土の一軸圧縮強さ q_u はため池底泥土の約1.1倍、変形係数 E_{50} はほぼ倍になった。

（4）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壌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ため池底泥土と比べて増加したが、いずれも基準値以内（ふっ素； $<0.25 \Rightarrow 0.47\text{mg/L}$ 、六価クロム； $<0.01 \Rightarrow 0.02\text{mg/L}$ ）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。

5. おわりに

ため池底泥土を、廃石膏ボードのリサイクル品である再生半水石膏を用いて再資源化した改質土の特性から、農業土木用地盤材料としての適用性について検討した。その結果、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、物理特性及び安定化特性（力学特性）の面からは、ため池底泥土を農業土木用地盤材料として適用できることが確認された。また、実機を用いた実証実験から、現地処理土の品質と、現地での実現可能性についても検証できた。しかし一方で、改質土を耕土などの農地土壌として直接用いるわけではないが、pHがアルカリ性を示したことから、アルカリ性を帯びた表面排水や法面排水、浸透水が用水路に流れ込むことが考えられることや、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ることから、今後はこれらの改善に努めていきたい。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 改質土の物理的特性

物理試験項目		ため池底泥土	改質土
土粒子密度	ρ_s (Mg/m ³)	2.620	2.731
自然含水比	w_n (%)	111.1	88.0
粒度組成	砂分 (%)	4.3	21.2
	シルト分 (%)	14.7	44.2
	粘土分 (%)	36.1	26.0
	粘土分 (%)	44.9	8.6
コンシステンシー	液性限界 w_L (%)	124.0	96.4
	塑性限界 w_p (%)	46.4	71.1
	塑性指数 I_p	77.6	25.3
	コンシステンシー指数 I_c	0.17	0.33
	液性指数 I_L	0.83	0.67
分類	地盤材料の分類名	粘土 (高液性限界)	細粒分質 硬質砂
	分類記号	(CH)	(SFG)

表-4 改質土の化学的特性

化学試験項目		単位	ため池底泥土	改質土
土懸濁液のpH		-	9.1	11.3
土懸濁液の電気伝導率		mS/m	26.8	211
土の水溶性成分	ナトリウム	mg/g	0.023	0.011
	カリウム	mg/g	0.034	0.060
	カルシウム	mg/g	0.53	6.7
	マグネシウム	mg/g	0.012	0.002
	塩化物イオン	mg/g	0.011	0.027
	硫化物イオン	mg/g	0.072	8.3

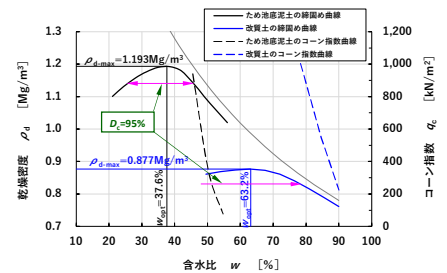


図-3 改質土の締固め特性

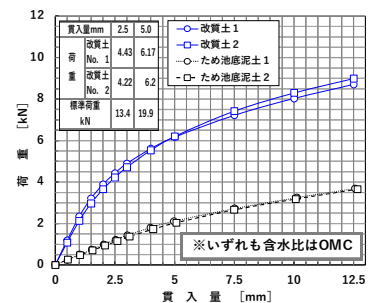


図-4 改質土の荷重～貫入量曲線

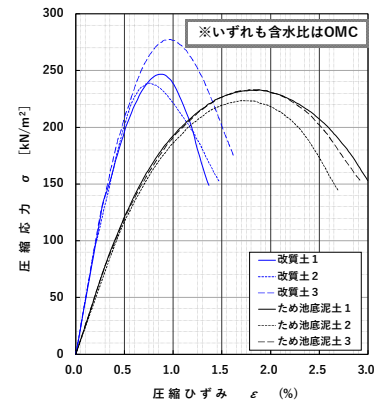


図-5 改質土の応力～ひずみ曲線