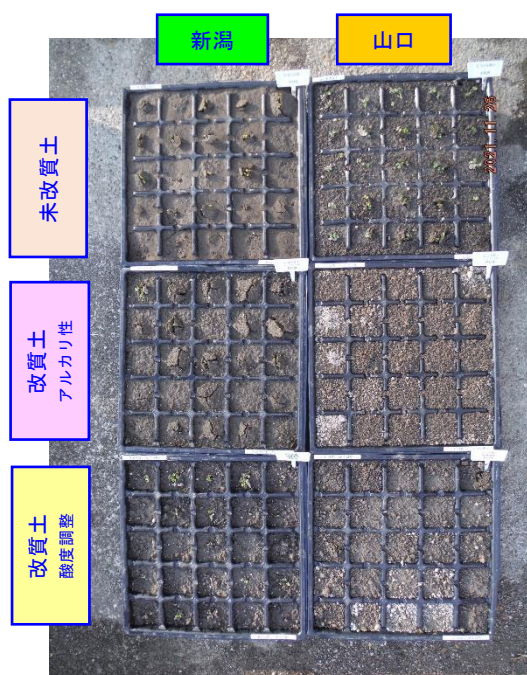




(a) 播種後 7 日目



(b) 播種後 14 日目



(c) 播種後 21 日目



(d) 播種後 28 日目

※左側が新潟，右側が山口。上から未改質土，改質土（アルカリ性），改質土（酸度調整）

写真 1. 8-20 セルトレイによる発芽試験

新潟の未改質土の区画の 1 つのセルにおいて，発芽後に芽が枯死してしまったり，発芽時期，成長の早さ及び葉の大きさには差異があったが，発芽率としては全区画とも 100%であった。

表 1. 8-21 は，各区画の土壌 pH と発芽率を整理したものである。

表 1. 8 - 2 1 発芽試験結果

区画		pH			播種後の経過日数ごとの発芽率 [%]							
		phase1	phase2	phase3	5 日	6 日	7 日	10 日	11 日	12 日	14 日	19 日
新潟	未改質土	6.9	5.0	6.5	0	0	56	100	100	100	100	100
	改質土 (アルカリ性)	11.8	10.2	7.6	0	0	24	100	100	100	100	100
	改質土 (酸度調整)	11.8	6.0	6.4	0	24	64	92	92	100	100	100
山口	未改質土	9.1	7.5	7.3	0	36	100	100	100	100	100	100
	改質土 (アルカリ性)	12.6	12.6	8.0	0	0	4	36	68	76	92	100
	改質土 (酸度調整)	12.6	11.8	8.2	0	0	8	40	80	96	100	100

phase1 ; 原泥採取時または改質直後

phase2 ; 苗圃作成時（酸度調整は 2 日前に実施）

phase3 ; 苗圃撤去時（播種後 90 日経過）

発芽時期が早く、発芽率が 100%に達するのが最も早かったのは山口の未改質土であるが、苗圃作成時の pH は 7.5 で、コマツナの好適 pH (5.5~6.5) からは外れている。また、pH が 10 を超えるアルカリ土壌でも発芽したことは興味深く、発芽後の生育状況と併せて考えなければならないが、作物の好適 pH を外れても発芽することが確認された。

山口のため池底泥土では、発芽率が 100%に達した順序は未改質土⇒改質土（酸度調整）⇒改質土（アルカリ性）であったのに対し、新潟の貯水池底泥土では、未改質土⇒改質土（アルカリ性）⇒改質土（酸度調整）となっており、コマツナの発芽は土壌の pH だけに依存するわけではないこと、特に好適 pH が必ずしも支配的ではないことが分かった。

なお、苗圃の pH に関して、作成時にアルカリだった区画は、撤去時には全て中性域まで低下しており、大気中の二酸化炭素による中性化と推定され、改質時にアルカリ性を示しても大気に晒すことで pH が低下し、農地土壌として利用できることを示唆している。また、苗圃作成時に中性域だった区画は、撤去時にも中性を示した。これらの結果は、室内で行った湿乾燥返しによる pH の推移と同じ傾向を示している。

（7）育成試験

育成試験も、発芽試験同様、新潟（今年度）の貯水池底泥土及び山口（昨年度）のため池底泥土を原土とし、それぞれ未改質土（原土）、改質土（アルカリ性）及び改質土（酸度調整）の 3 区画を設け、新潟については肥料有無の 2 区画、山口は肥料有の 1 区画、合計 9 区画によって試験を実施した。

写真 1. 8 - 2 1 は、プランターによる育成試験状況（播種後 90 日経過）を示す。



写真 1. 8-21 プランターによる育成試験

全区画の中で最も成長が早く、旺盛なのは、山口の未改質土で、これに次いで新潟改質土（酸度調整、肥料無）、新潟改質土（アルカリ性、肥料無）の順となっており、山口改質土はアルカリ性、酸度調整とも発芽は一部であり、ほとんど成長しなかった。

収穫は、草丈が 20cm を越えたものが 40～50%（3～4 株）に達した後に実施する予定であったが、いずれの区画もそこまで成長しなかったため、播種後 90 日目に刈り取った。

表 1. 8-22 は育成調査記録を、表 1. 8-23 は収量調査記録をそれぞれ示す。

表 1. 8-22 プランターにおける育成調査記録

区 分		発 芽		収 穫		収穫時の生育状況					障 害		
		期	良 否	期	到達日数	草 丈	葉 身	葉 数	葉 幅	葉柄長	揃 い	抽 台	病 害
		年月日	指 数	年月日	日	cm	cm	枚	cm	cm	指 数	指 数	指 数
新潟-未改質土-肥料無		2021/11/29	5(8/8箇所)	2022/02/17	90	1.5	1.0	4	0.5	0.5	1	5	5
新潟-未改質土-肥料有		2021/11/26	5(8/8箇所)	2022/02/17	90	3.5	2.5	3	1.0	1.0	1	5	5
新潟-改質土（アルカリ性）-肥料無		2021/12/01	5(8/8箇所)	2022/02/17	90	2.5	2.0	6	1.5	0.5	1	5	5
新潟-改質土（アルカリ性）-肥料有		2021/11/29	5(8/8箇所)	2022/02/17	90	—	—	—	—	—	1	5	5
新潟-改質土（酸度調整）-肥料無		2021/11/29	5(8/8箇所)	2022/02/17	90	5.5	3.5	6	3.0	2.0	1	5	5
新潟-改質土（酸度調整）-肥料有		2021/11/26	5(8/8箇所)	2022/02/17	90	3.5	2.5	4	1.5	1.0	1	5	5
山口-未改質土—肥料有		2021/11/29	5(8/8箇所)	2022/02/17	90	12.5	9.0	7	7.0	3.5	3	5	5
山口-改質土（アルカリ性）-肥料有		(2/8箇所)	1(2/8箇所)	2022/02/17	90	—	—	—	—	—	1	5	5
山口-改質土（酸度調整）-肥料有		2021/12/10	2(5/8箇所)	2022/02/17	90	3.5	2.5	4	1.5	1.0	1	5	5

※2021/11/19播種

項 目	草 丈	解 説
発 芽	植物の地際から先端までの長さを指し、最大値を記載する	
収 穫	葉の平らな部分の長さで、葉身ともいう	
	葉 数	1株の中で、葉長2.5cm以上の葉の数が最大のものを記載する
	葉 幅	葉の平らな部分の幅で、最大値を記載する
	葉柄長	葉身と枝（茎）をつなぐ部分の長さで、最大値を記載する

項 目	障 害	発 芽
抽 台	病害	その他
5	発生が認められない	良
4	10%未満の株に発生	↑
3	10～20%の株に発生	↓
2	20～40%の株に発生	
1	40%以上の株に発生	否・劣

項 目	期
発 芽	40～50%発芽した日
収 穫	40～50%収穫した日

到達日数	播種～収穫までの日数
------	------------

表 1. 8－23 プランターにおける収量調査記録

※育成予定株数は8株

区 分	総質量	総株数	規格内				規格外		障害株割合			規格内 割合	平均 1株重
			M	L	質量	株数	質量	株数	抽台	病害	その他 (萎れ・枯死)		
新潟-未改質土-肥料無	g	株	g	g	g	株	g	株	%	%	%	%	g/株
	0	2	0	0	0	0	0	2	0	0	75.0	0	0
新潟-未改質土-肥料有	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	87.5	0	0
新潟-改質土（アルカリ性）-肥料無	1	8	0	0	0	0	1	8	0	0	0.0	0	0
新潟-改質土（アルカリ性）-肥料有	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0
新潟-改質土（酸度調整）-肥料無	9	8	0	0	0	0	9	8	0	0	0	0	0
新潟-改質土（酸度調整）-肥料有	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	87.5	0	0
山口-未改質土－肥料有	64	8	0	0	0	0	64	8	0	0	0	0	0
山口-改質土（アルカリ性）-肥料有	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0
山口-改質土（酸度調整）-肥料有	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	87.5	0	0

項 目	調査基準
総質量	収穫した総質量
総株数	収穫した総株数
規格内	M 草丈20cm以上，25cm未満
	L 草丈25cm以上，28cm未満
	質量
	株数
規格外	質量
	株数
障害株割合	対象株数／総株数
	抽台
	病害虫
	その他
規格内割合	対象株数／総株数
	規格内質量／総質量
平均 1 株重	規格内質量／規格内株数

コマツナをはじめとし、農作物の生育は、pH だけでなく栄養分をはじめとする土壌の特性に左右されるが、表 1. 8-24 は新潟と山口の原土（底泥土）及び改質土（アルカリ性）の土壌理化学分析結果等を示す。

機能監視期間中、交換性マグネシウムと可給態リン酸は不足したが、交換性カルシウムと塩基飽和度は過剰であり、これに伴って EC と pH も過剰と診断され、改質材として添加した再生二水石膏と消石灰の影響がうかがわれる。

表 1. 8－2 4 新潟及び山口の底泥土並びに改質土の土壤理化学分析結果

試料名称		新潟(乙見湖)			山口(阿東篠原第二ため池)		
		貯水池底泥土	実機処理土 機能監視(序盤)	実機処理土 機能監視(終盤)	ため池底泥土	実機処理土 機能監視(序盤)	実機処理土 機能監視(終盤)
		分析値			分析値		
分析項目		単 位	分析値			分析値	
pH(H ₂ O)		—	6.1	10.0	9.2	8.6	8.2
電気伝導率(EC)		mS/cm	0.04	2.21	2.08	0.31	1.09
交換性カルシウム(CaO)		mg/100g	153	4,883	3,801	771	2,798
交換性マグネシウム(MgO)		mg/100g	25.4	12.2	7.05	10.9	33.1
交換性カリウム(K ₂ O)		mg/100g	15.6	8.42	8.47	17.0	11.7
Ca/Mg比		—	4.35	288	387	51.0	60.7
Mg/K比		—	3.81	3.38	1.95	1.50	6.62
Ca/K比		—	16.5	974	754	76.4	401
陽イオン交換容量(OEC)		meq/100g	9.97	8.95	9.17	16.9	12.6
塩基飽和度		%	70.8	1,954	1,483	168	804
可給態リン酸(P ₂ O ₅)		mg/100g	11.4	<3.0	<3.0	<3.0	<3.0
アンモニア態窒素(NH ₄ -N)		mg/100g	4.34	1.27	4.17	7.58	6.06
硝酸態窒素(NO ₃ -N)		mg/100g	0.17	<0.1	<0.1	<0.1	0.21
リン酸吸収係数		mg/100g	637	1,907	1,576	613	2,121
腐植		%	1.17	<0.9	<0.9	2.69	1.96
分析項目		単 位	分析値			分析値	
可給態-鉄(Fe)		mg/kg	363	975	381	167	196
可給態-マンガン(Mn)		mg/kg	95.9	30.1	31.6	48.5	19.9
可給態-亜鉛(Zn)		mg/kg	2.10	2.84	2.38	3.59	8.76
可給態-銅(Cu)		mg/kg	2.93	3.35	4.26	1.73	7.22
分析項目		単 位	分析値			分析値	
強熱減量		%	5.3	6.8	6.9	8.8	13.4
有機炭素含有量		%	1.2	1.2	1.0	2.5	2.7
			過剰	適正	不足		

1. 8. 3 機能監視の課題

機能監視自体に問題や課題はなかったが、機能監視を通じての所見を以下に述べる。

(1) 土木用改質土

- ①監視期間が 2 箇月足らずと短かったため、改質土の中・長期挙動の解明ができなかった
- ②同様の理由で、化学物質等による地下埋設物及び隣接構造物に対する影響を明らかにできなかった

(2) 土壌用改質土

- ①土壌の理化学特性と発芽・育成状況の関連性が解明できなかった
- ②コマツナが標準出荷サイズまで成長しなかった原因を究明できなかった

2 事業の成果

2. 1 成果の内容

2. 1. 1 改質材の開発

ため池底泥土を農業分野に再生利用できる改質材の開発に取り組んだ結果、含水比が高く可塑性に富むため池底泥土や、流動性が高いため池底泥土に対し、団粒化させてハンドリング性を確保するとともに、所定の品質を確保することができる、再生石膏粉を主材とする改質材を開発した。農業分野といっても、地盤材料として利用する農業土木と、作土等として利用する農地土壌とでは、共通する部分はあるものの、全く異なる品質・性質が求められる中、特殊材料を用いることなく、既存材料の組み合わせ、配合により、適正な改質材を見出すことができた。

2. 1. 2 処理システムの開発

ため池底泥土を農業分野に再生利用できる処理システムの開発に取り組んだ結果、含水比が高く可塑性に富むため池底泥土や、流動性が高いため池底泥土に対し、前処理や補助工法の併用を含め、合理的かつ効率的に所定の品質を確保することができる処理システムを開発した。

建設汚泥が比較的均質であるのに対し、ため池底泥土は採取位置等によってその特性が異なることが多い。これに対して、処理工程に“調泥（貯留した底泥土をバックホウ等で混合攪拌して均質にすること）”という施工ステップを組み入れることで、ため池底泥土を均質にし、改質土の品質を確保できることを確認した。

2. 2 目標の達成度

2. 2. 1 成果から得られる効果

ため池底泥土の再生利用の目途が立ったことで、従前と比べて環境負荷を軽減しつつ、底泥土の処分がネックとなっていたため池の機能回復や安全性確保・向上に関わる事業を推進できる。その結果

- ①農業水利施設としてのため池の貯水機能を確保
- ②防災施設としてのため池の洪水調節機能の確保
- ③堤体の安全性，安定性確保
- ④管理・監視体制が弱体化して事故発生リスクが高かったため池の潰廃取組

といった効果が期待できる。

2. 2. 2 従来技術との比較

(1) 比較する従来技術

産業廃棄物或いは土砂として処分，または土砂の場合，内陸受入地における盛土材・埋立材として流用。

(2) 従来技術に対する優位性

1) 経済性

- ①地域及び地理条件（運搬距離）によって異なる
- ②ため池底泥土が汚泥（産業廃棄物）か土砂かによって異なる
- ③処理数量によって異なる（改質に優位性が出てくるのは 1,000m³ 以上）
- ④概算処理費（直接工事費）は 12,000～20,000 円/m³

2) 工程

- ①ため池底泥土の性状によって異なる
- ②処分の場合，水切り，乾燥などの前処理することなくそのまま積込んで運搬できるか否かによって異なる
- ③改質の場合，貯泥して固液分離を要するか否か，またその所要時間によって異なる
- ④処理システムは，処理能力によって 3 種類の機種（100m³/hr，40m³/hr，25m³/hr）あるが，汎用機種は 40m³/hr である

3) 品質

- ①処理することで，廃棄物或いは不要物ではなく，有用物としての品質を有するので，新技術に優位性がある

4) 安全性

- ①処分地までのため池底泥土運搬に伴う交通事故リスク（第三者災害）と，改質に伴う処理工程における労働災害との比較がメインとなるが，単純な比較とはならない
- ②ため池底泥改質土の環境安全性は，型式検査や受渡検査により確認

5) 施工性

- ①改質は処分と比べて“施工性”という概念が生ずるが，改質に伴う処理装置は，10t トラックで運搬可であり，改質に伴う特殊技能は不要である
- ②可搬式の処理プラントを現地に設置して改質するので，定置式処理プラントに運搬して改質するより施工性が良い
- ③場内から搬出する際に，従来技術（処分）の場合泥状であるため深ダンプや天蓋ダンプが必要であるが，新技術（処理後）は土砂状であるため普通ダンプで運搬可能

6) 周辺環境への影響

- ①運搬に伴う CO₂ 排出量削減，処分地の残余年数延長の点で，新技術に優位性がある

2. 3 成果の利用に当たっての適用範囲・留意点

2. 3. 1 底泥土について

(1) 汚染土壌

本技術の対象とするため池底泥土は、環境基本法に基づく土壤環境基準及び土壤汚染対策法に基づく特定有害物質の含有量基準に適合するものであり、いわゆる“汚染土壌”は対象外である。

2. 3. 2 改質材について

(1) 重金属等の溶出

改質土の pH を中性域に抑えたいとき、底泥土の性状によっては石膏単味でも所定の品質が得られることもあるが、その場合、改質土から重金属等（特にふっ素）の溶出量が基準値を超過することがあるので、事前確認が必要である。

(2) 改質土の pH

底泥土に、改質主材である石膏と、安定材である高炉セメント B 種または消石灰を添加することで所定の品質が得られるが、安定材を添加することで改質土がアルカリ性を示すため、酸度調整材などの併用要否を検討する必要がある。

(3) 塩基濃度

カルシウムを主成分とする改質材を用いる場合、土中の塩基類（カルシウム分）が増加して電気伝導度 EC が高くなると、農業土木の場合埋設物の劣化、農地土壌の場合肥焼け（根が水分を吸収できなくなる）を起こしたり、拮抗作用によりカリウムの欠乏症を起こす恐れがあるため、除塩や塩類濃度の希釈、低下について検討する必要がある。

(4) 硫酸塩

水溶性成分のうち、硫酸塩は土中のコンクリートを侵食するとともに、ソイルセメントの耐久性を低下させることが知られており、土の硫化物含有量が 0.5mg/g より大きい場合には電気伝導率が増加して電気が流れやすくなり、鋼材の腐食が生じやすくなるといわれているため、事前確認が必要である。特に、土の硫酸塩含有量が 2mg/g 以上の場合、コンクリートに対して侵食性があると判定される。これは、硫酸塩中の硫黄分が、セメント中のクリンカー鉱物であるアルミネート相 (C_3A ; $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$) もしくはコンクリート中の水和生成物であるモノサルフェート (AFm ; $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$) のアルミニウム及びカルシウムと化学反応を起こしてエトリンガイト (AFt ; $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$) を生成し、その結晶生成圧で剥離（スケーリング）や膨張破壊を引き起こすことによるものと考えられている。

2. 3. 3 処理システムについて

(1) 前処理及び補助工法

本技術は、コンシステンシーが液状から塑性状といった幅広い底泥土に適用可能であるが、品質を確保し、処理コストを抑えるためには、前処理や施工中の補助工法の併用を検討する必要がある。

改質材の添加量を抑えるには底泥土の含水比が低い方が有利であるため、高含水比底泥土はピットや水槽に貯泥して固液分離させた後、分離水を除去することが有効である。

また、細粒土が堆積しているため池で、落水陸干後時間が経過した底泥土は、含水比の低下等に伴って粘性が高くなっていると、土砂ホッパー内壁に付着してフィーダー開口に落ちず、その結果底泥土の供給が安定しないことが想定されるため、高圧洗浄機などで壁面との縁を切ったり、団塊状になっている底泥土を水切りして滑動しやすくするなど、の対応準備をしておくことが必要である。

(2) 点検清掃

粘性が高い底泥土の場合、改質材供給装置の連続ミキサー取り付け部の管口に、ミキサー内の跳ね上がり土が付着して管口を閉塞し、その結果ジャミングを生ずる恐れがあることから、改質土の性状を適宜確認するとともに、処理中、時折改質材供給装置管口の点検や掃除を行うことが望ましい。

2. 3. 4 改質土について

ため池底泥土は、自治体によっては汚泥（産業廃棄物）とみなされる。これを処理したものの扱いについては、環境省から通知（平成 17 年 7 月 25 日、環廃産発第 050725002 号、建設汚泥処理物の廃棄物該当性の判断指針について）がなされており、5つの“有価物判断要素”が示され、各種判断要素を総合的に勘案して判断することが必要とされている。

また、廃棄物の有価物該当性、すなわち“卒廃棄物（End of Waste）”については

- ①平成 17 年 3 月 25 日；環廃産発第 050325002 号（「規制改革・民間開放推進三か年経計画」（平成 16 年 3 月 19 日閣議決定））において平成 16 年度中に講ずることとされた措置（廃棄物処理法の適用関係）について）
- ②平成 17 年 7 月 25 日；環廃産発第 050725002 号（建設汚泥処理物の廃棄物該当性の判断指針について）
- ③平成 18 年 7 月 4 日；環廃産発第 06070401 号（建設汚泥の再生利用指定制度の運用における考え方について）
- ④平成 25 年 3 月 29 日；環廃産発第 13032911 号（「エネルギー分野における規制・制度改革に係る方針」（平成 24 年 4 月 3 日））において平成 24 年度に講ずることとされた措置（廃棄物処理法の適用関係）について（通知）
- ⑤令和 02 年 7 月 20 日；環循規発第 2007202 号（建設汚泥処理物等の有価物該当性に関する取扱いについて（通知））
- ⑥（公財）大阪府産業廃棄物協会の「廃棄物の定義と事業者の特定に関する FAQ」
（<http://www.o-sanpai.or.jp/images/books/data/about01/vol.09.pdf>）（参照 2022.3.25）

等で示されているが、法的な規定はまだない。

ただ、これらによれば、有価物と判断する要件の一つとして、当該行為及び処理物が計画的なものであることが挙げられており、需要がないにもかかわらず、無計画に処理して製造しても、それは有用物とは認められず、廃棄物の管理基準が適用されることがある。なお、ため池泥土が汚泥（産業廃棄物）ではなく、土砂と判断された場合でも、同様の考え方をすべきと思われる。

したがって、本技術は改質土の需要のもとに実施するもので、必要な改質は本技術の適用除外と考えられたい。

3 普及活動計画

3. 1 想定される利用者

- ①ため池管理者，所有者（国，地方自治体，土地改良区，管理組合等）
- ②農業農村整備事業従事者（ため池整備工事担当者，ため池整備設計担当者，コンサルタント，施工業者）

3. 2 利用者への普及啓発等の方法

- ①インターネット（含，ホームページ）を通じた工法 PR
- ②技術説明会，研修会の開催
- ③現場説明会（デモンストレーション）の開催
- ④学協会への技術論文の投稿

3. 3 利用者に対するサポート体制，参考資料等

- ①設計・施工マニュアルの整備
- ②積算基準の整備
- ③技術相談の対応
- ④工法パンフレットの整備

3. 4 特許・実用新案等の申請予定

3. 4. 1 申請者予定者

- ①特許，実用新案等，知財関連の登録申請は未定
- ②NNTD や NETIS への登録を検討

3. 4. 2 申請予定時期

未定