

初期状態の pH がほぼ中性域であった配合①, ②, ④は, 湿乾燥返しによる pH の変化はわずかで, 山口がやや低下傾向を示したが, ほぼ横ばいであった。一方, 初期状態が強アルカリ性であった配合③, ⑤, ⑥は, 湿乾燥返しに伴って pH が低下し, 配合③はやや高いが, 配合⑤, ⑥についてはほぼ中性域に達した。

図 1. 6-75 (山口ため池) 及び図 1. 6-76 (新潟貯水池) は, 湿乾燥返しによる農地土壌用改質土の EC の変化を示す。

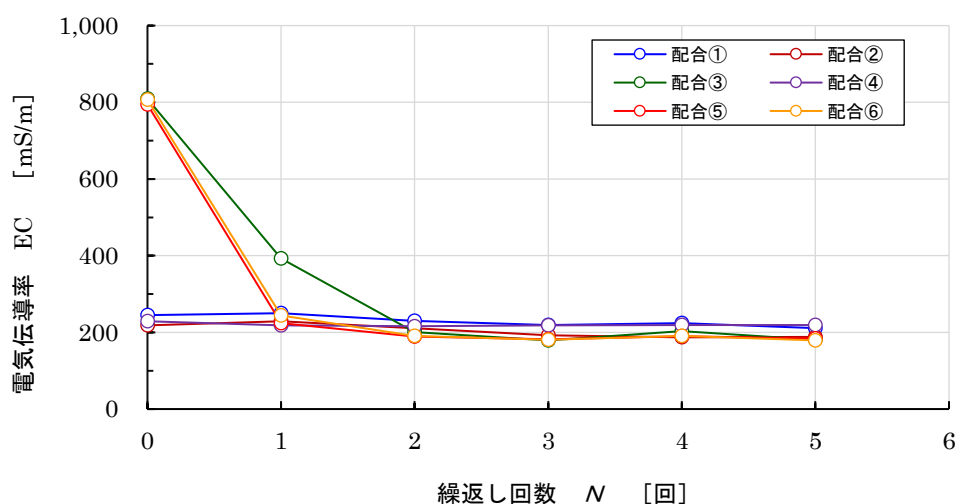


図 1. 6-75 湿乾燥返しによる土壌用改質土の EC の推移 (山口ため池)

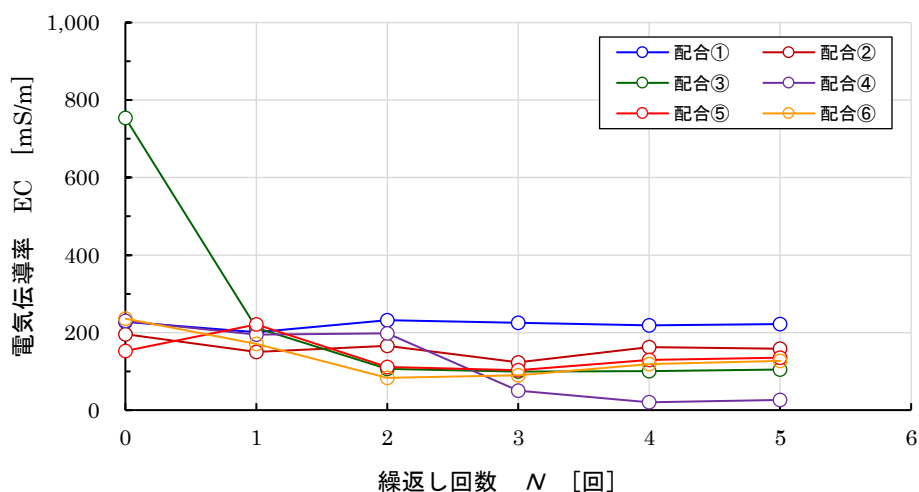


図 1. 6-76 湿乾燥返しによる土壌用改質土の EC の推移 (新潟貯水池)

山口, 新潟とも, 初期状態の EC が 200mS/m 程度であった配合は, 新潟の配合④を除いて湿乾燥返しによる EC の変化は微減であった。一方, 初期状態の EC が 800mS/m 前後であった配合は, 1~2 サイクル終了時点で 200mS/m 前後まで急激に低下し, その後微減している。新潟の配合④を除いては, 湿乾燥返しを受けても, 植付時の適性 EC である 10~80mS/m は満足していない。

図 1. 6-77 (山口ため池) 及び図 1. 6-78 (新潟貯水池) は、湿乾燥返しによる土壌用改質土の ORP の変化を示す。

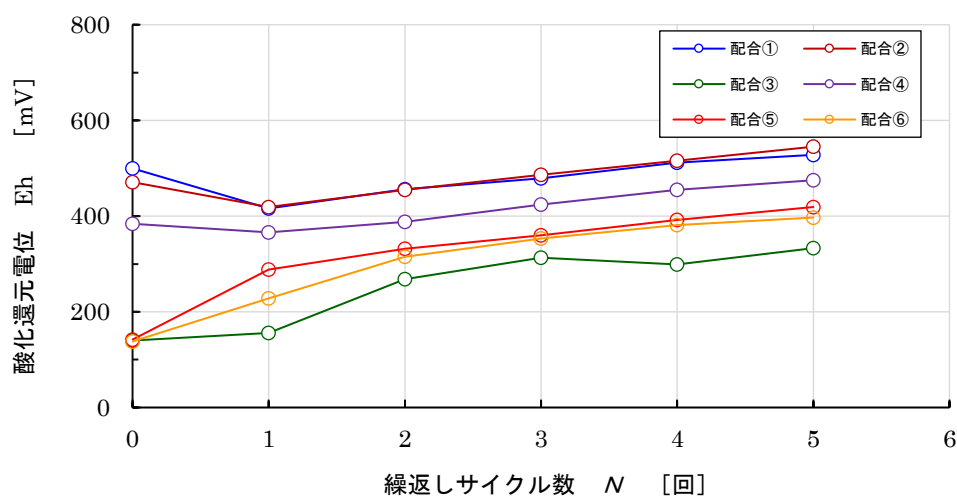


図 1. 6-77 湿乾燥返しによる土壌用改質土の ORP の推移 (山口ため池)

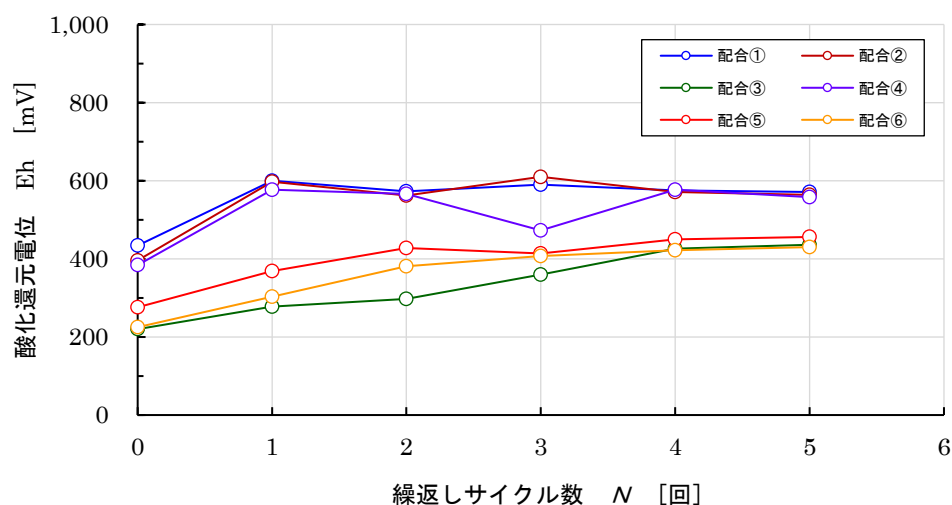


図 1. 6-78 湿乾燥返しによる土壌用改質土の ORP の推移 (新潟貯水池)

ORP の観点からは、土壌用改質土は、初期状態が $Eh=200\sim300\text{mV}$ の配合③、⑤、⑥と、初期状態が $Eh=400\sim500\text{mV}$ の配合①、②、④とに区分できる。前者は湿乾燥返しに伴って Eh が漸増している。一方、後者は、ため池底泥土は 1 サイクル目に Eh が減少したが、以降は増加に転じ、貯水池底泥土は 1 サイクル目に Eh が増加したが、その後は横ばいで推移している。2 つのグループは消石灰添加有無で分けられており、消石灰を添加した方が Eh が抑えられるのは興味深い。

5 サイクル終了時の供試体の土壌硬度を、初期状態と比較して図 1. 6-79 (山口ため池) 及び図 1. 6-80 (新潟貯水池) に示す。湿乾燥返しを受けた改質土の配合別土

壤硬度は、ため池底泥土については初期状態と変わらないが、貯水池底泥土はどちらかという逆位相を示している。いずれも湿乾燥返しにより、全体的に土が硬くなっていることがわかる。

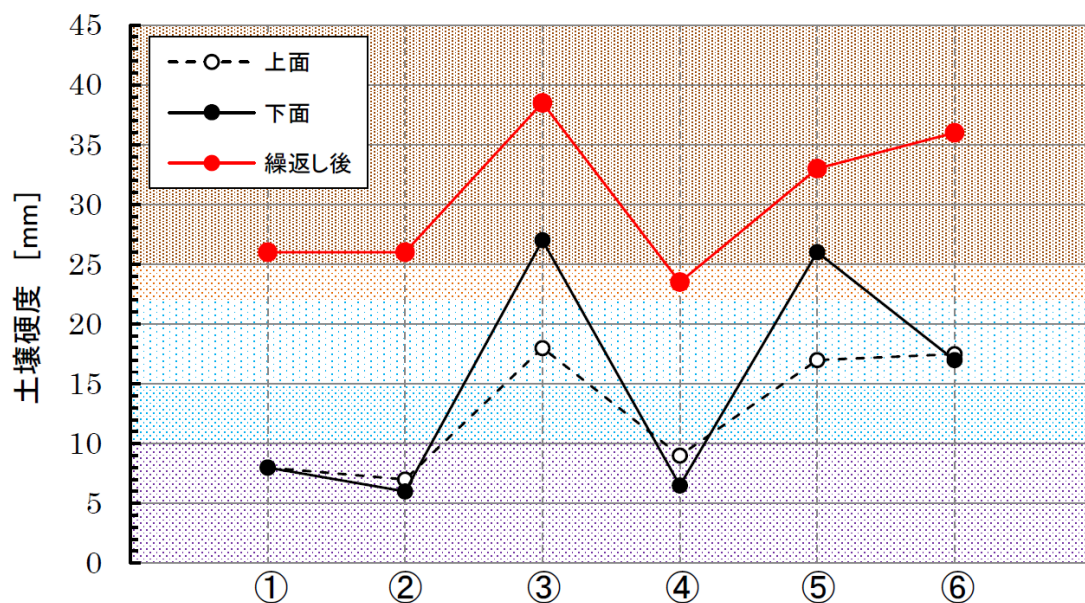


図 1. 6-79 湿乾燥返しによる土壤用改質土の土壤硬度の変化（山口ため池）

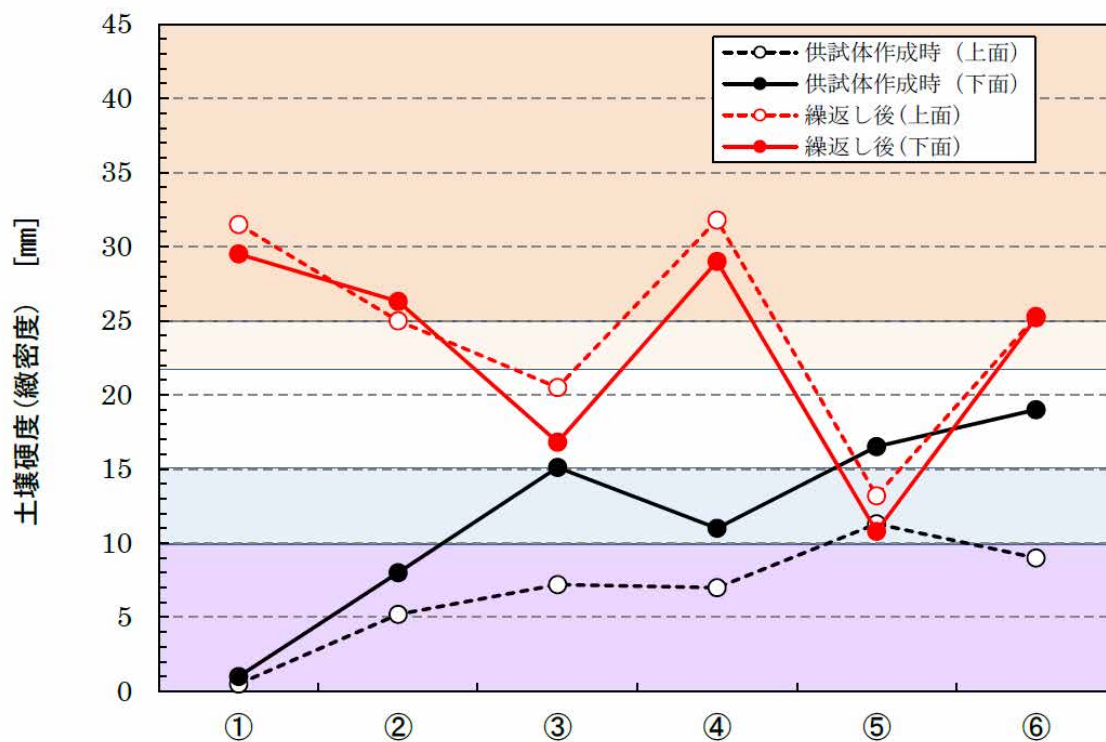


図 1. 6-80 湿乾燥返しによる土壤用改質土の土壤硬度の変化（新潟貯水池）

1. 6. 3 研究開発の課題

表 1. 6－86 は、室内試験に基づく本技術の課題を示す。

表 1. 6－86 室内試験に基づく本技術の課題と対応策（案）

	土木用改質土		土壌用改質土	
	課 題	対応策（案）	課 題	対応策（案）
水素イオン濃度	・地下埋設物の劣化，腐植	・中和剤による改質土の中和処理 ・CO ₂ による改質土の中性化 ・アルカリ改質材の使用回避	・栄養素（Mn, Fe など）の欠乏症による発芽，生育不良	・肥料，土壌改良資材（ピートモス，硫安，硫黄華，サンドセットなど）による改質土の中和処理 ・アルカリ改質材の使用回避
電気伝導率	・地下埋設物の劣化，腐植	・改質土の除塩，希釈	・塩類濃度障害（根が水分や養分を吸えなくなることに伴う生育不良）	・クリーニングクロープ ・稲わらすき込みによる希釈 ・天地返しや深耕による希釈
水溶性成分（塩基類）			・拮抗作用により，Ca 過剰に伴う K 欠乏症	・クリーニングクロープ ・稲わらすき込みによる希釈 ・天地返しや深耕による希釈
水溶性成分（硫化物）	地下埋設物の劣化，腐植	・改質土の除塩，希釈		

本事業は、ため池底泥土を農業分野に適した物理的性状に改質する技術開発に取り組むものである。改質土を農業分野に適用することから、環境安全性については十分配慮し、pH についても中性域を目指しているが、栄養分を含め、理化学特性については特に考慮しておらず、理化学特性については、ため池底泥土を取扱い可能な性状に改質することで、どのような値を示すかにとどまっている。

こうした中、土の水溶性成分は土中構造物の耐久性や作物の育成に大きく関与することが知られており、次のような条件になると腐食を生じやすくなるといわれている。

- ①土の電気伝導率が 200mS/m より大きい
- ②土の塩化物含有量が 1mg/g より大きい
- ③土の塩化物含有量が 0.5mg/g より大きい
- ④土の pH が 6 より低いか 9 より高い

写真 1. 6－14 は、硫酸塩による住宅布基礎の表面剥離¹⁷⁾、写真 1. 6－15 は、同じく硫酸塩による住宅束柱の膨張破壊¹⁸⁾ の状況を示す。

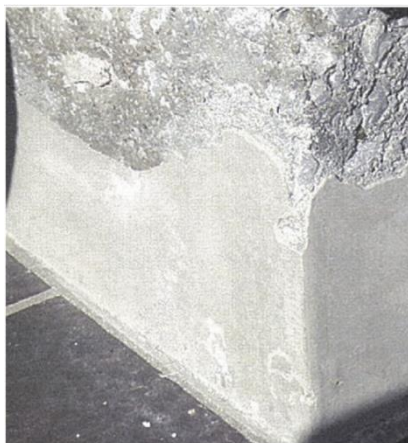
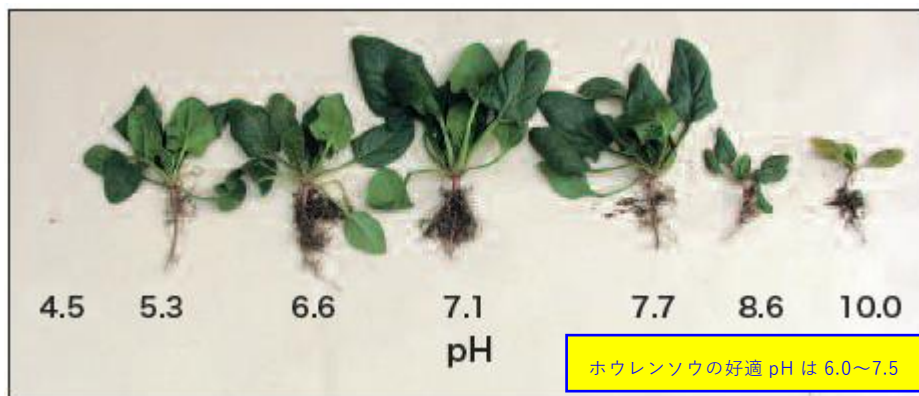
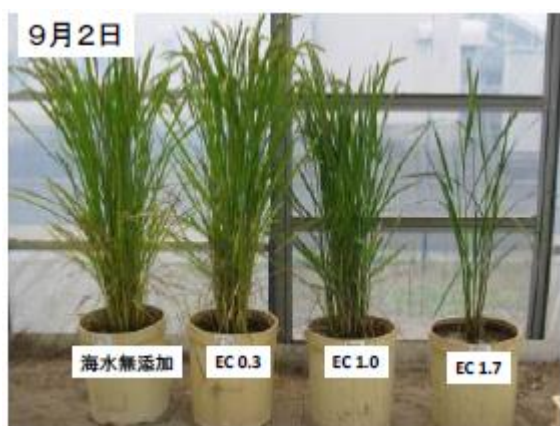


写真 1. 6－14 硫酸塩による住宅布基礎の表面剥離¹⁷⁾

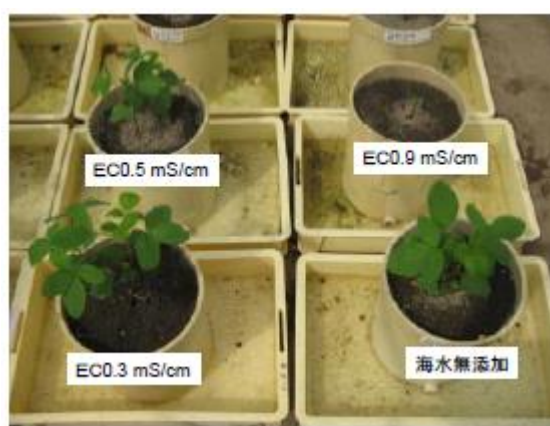


写真 1. 6－15 硫酸塩による住宅基礎束柱の膨張破壊¹⁸⁾

また，作物の生育には好適 pH というものがあり，写真 1. 6－16 に示すように，好適 pH を外れると作物の生育が不良¹⁹⁾ になったり，写真 1. 6－17 に示すように，電気伝導率 EC についても，植付時の適性 EC を越え，高すぎる場合は塩類濃度障害を起こして生育に違い²⁰⁾ が生ずる．

写真 1. 6-16 pH とハウレンソウの生育¹⁹⁾

(a) 水稲



(b) 大豆

写真 1. 6-17 EC の違いが作物の生育に与える影響²⁰⁾

室内試験により改質したため池底泥土の理化学特性について調べた結果、次のような課題が明らかになった。

- ①土木用改質土、土壌用改質土とも改質土の安定性を高め、重金属等の溶出を抑制するためにアルカリ性の安定材（高炉セメントB種、消石灰）を添加したことで、改質土の pH は目標とする中性域（ $6 \leq \text{pH} \leq 8$ ）を外れ、アルカリ性を示した（土木用改質土；山口 11.3, 新潟 11.0, 土壌用改質土；山口 12.6, 新潟 11.8）ことから、土中埋設物の腐植や、作物の発芽・育成不良が懸念される
- ②ため池底泥改質土（山口）の電気伝導率 EC が 200mS/m を越えた（土木用改質土；211, 土壌用改質土；794）ため、土中埋設物の腐植や、塩類濃度障害が懸念される
- ③土壌用改質土中の交換性カルシウムが過剰（山口；7,974mg/100g, 新潟；5,631mg/100g）であるため、拮抗作用によりカリウムの欠乏症を誘発する恐れがある
- ④土木用改質土の硫化物イオンが 0.5mg/g を越えた（山口 8.3, 新潟 12）ことから、硫酸塩によるコンクリート構造物の劣化が懸念される

なお、これらの現象は今回の事例からも明らかなように、常時発生するわけではなく、対象とする底泥土や改質土のロットによっても異なることが考えられるので、配合試験によって見極めていくことが肝要である。

1. 7 実証試験（現場適用）の概要、結果、課題等

1. 7. 1 実証試験の概要

（1）目的

実証試験は、室内試験で得られた知見を基に、現地において実機を用いて実際にため池底泥土を処理して、システムの実用化に向けた実現可能性（フィジビリティスタディ）の検証を目的とするものである。

具体的には、ため池底泥土及び改質材の処理機への供給方法、混練時間等を検証したのち、室内で求めた処理土品質の実施工における再現性を確認した。

（2）評価方法及び指標

実証試験における改質の適否については、農業土木、農地土壌とも処理土のハンドリング性の改善（取扱いの容易さ）を第一とし、かつ、現地でできる項目ということで、目視によるコンシステンシーを確認した。そのうえで、土木用改質土についてはコーン指数、土壌用改質土については指頭法（採取した土を指でこねて、砂の感触の程度、粘り具合、どの程度まで細長く伸ばせるかなどを調べる）による土性を判定指標とした。

コーン指数は、「建設汚泥処理土利用技術基準」に基づき、材齢 7 日におけるコーン指数が第 2 種処理土の品質基準値である $q_c \geq 800 \text{ kN/m}^2$ を満足することを目標とした。

土性は、スプーン 1 杯ほどの改質土を手に取り、そのままでは難しい場合には水を 1 滴ずつ加えながら塊にしたのち、親指と人差し指でこねたり、手のひらと平らな面の間で転がすようにしてひも状にし、その形状を表 1. 7-1^{2.1)} 及び表 1. 7-2^{2.2)} を参考に判定し、SL（砂壤土）から LiC（軽埴土）の範囲にあることを確認した。

表 1. 7-1 現場での土性の簡易判定法（その 1）^{2 1)}

粘土と砂との割合の感じ方	ガラガラとほとんど砂だけの感じ	大部分 (70 ~ 80%) が砂の感じで、わずかに粘土を感じる	砂と粘土が半々の感じ	大部分は粘土で、一部 (20 ~ 30%) 砂を感じる	ほとんど砂を感じないで、ヌルヌルした粘土の感じが強い
分析による粘土	12.5%以下	12.5 ~ 25.0%	25.0 ~ 37.5%	37.5 ~ 50.0%	50%以上
記 号	S	SL	L	CL	C
区 分	砂土	砂壤土	壤土	埴壤土	埴土
簡易的な判定法*	棒にもハシにもならない	棒にはできない	鉛筆くらいの太さにできる	マッチ棒くらいの太さにできる	コヨリのように細長くなる
					

表 1. 7-2 現場での土性の簡易判定法（その 2）^{2 2)}

土 性	基 準
砂土	転がしても粒状のままで固まらない。
砂壤土	多少固まりになるが、転がしても紐状に伸ばすことができない。転がして伸ばすと太紐 (>3mm) になるが、さらに細くしようとすると切れてしまう。
壤土	転がして伸ばすと紐 (3mm) になるが、さらに伸ばしたり、曲げたりすると切れてしまう。
埴壤土	転がして伸ばすと細い紐 (<3mm) になるが、さらに伸ばしたり曲げたりすると切れてしまう。
埴土	転がして伸ばすと細い紐 (<3mm) になり、曲げるときれいに輪になる。

(3) 試験装置

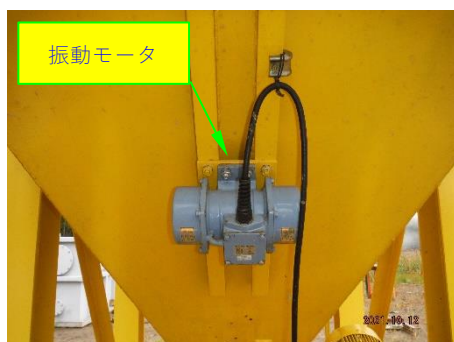
実証試験で使用した処理装置は

- ①泥土供給装置
- ②改質材供給装置
- ③連続混練ミキサー（攪拌混合装置）
- ④搬出装置（ベルトコンベア）

等から構成される。

バックホウによって投入されたため池底泥土は、振動ふるいによって 40mm を超える異物を排除したのち、写真 1. 7-1 に示す泥土定量供給機の振動モーターを装着したテーパー付き土砂ホッパー内に貯蔵され、ホッパー下部に設けられたスクリーフィーダーにより連続混練ミキサーに送られる。

連続混練ミキサーは、写真 1. 7-2 に示すように移動翼と攪拌翼からなり、泥土に改質材を添加・混練しながら搬送し、この過程で改質土は粉碎・分散されるので、処理効率と混練の均質性が向上し、連続的な処理が可能となる。



(a) 振動モーター



b) 土砂ホッパーとスクリーフィーダー

写真 1. 7-1 泥土定量供給機



写真 1. 7-2 連続混練ミキサー

処理装置は $40\text{m}^3/\text{h}$ 、 $100\text{m}^3/\text{h}$ の 2 タイプあるが、今回は $40\text{m}^3/\text{h}$ タイプを使用した。処理装置のシステム概要を図 1. 7-1 に、レイアウトを図 1. 7-2 に示す。

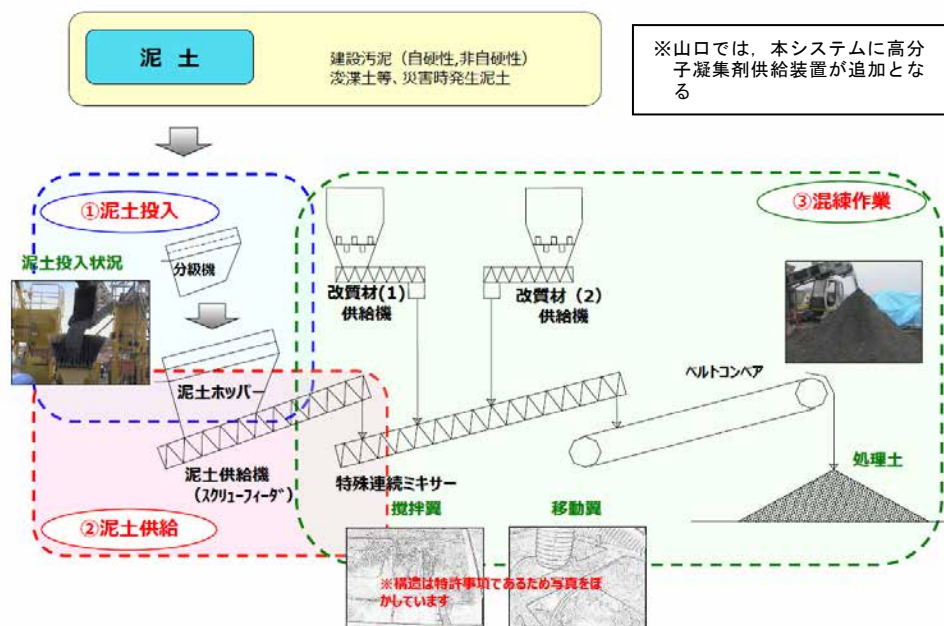


図 1. 7-1 処理装置システム概要

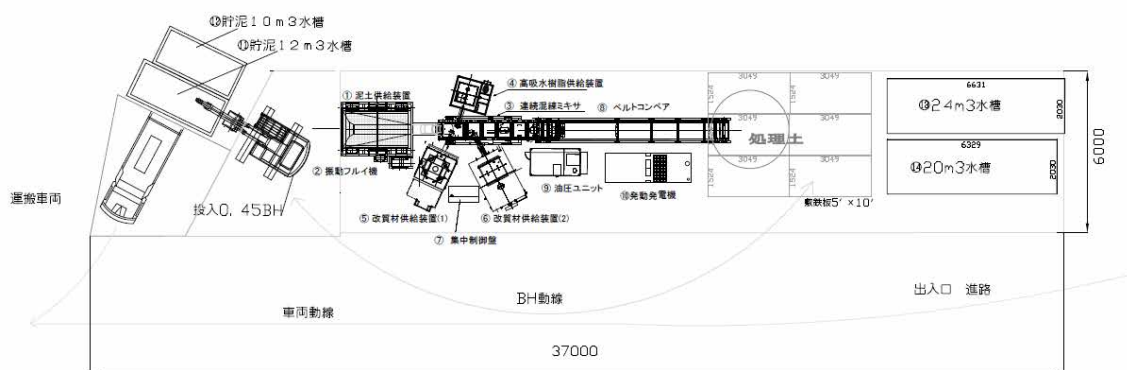
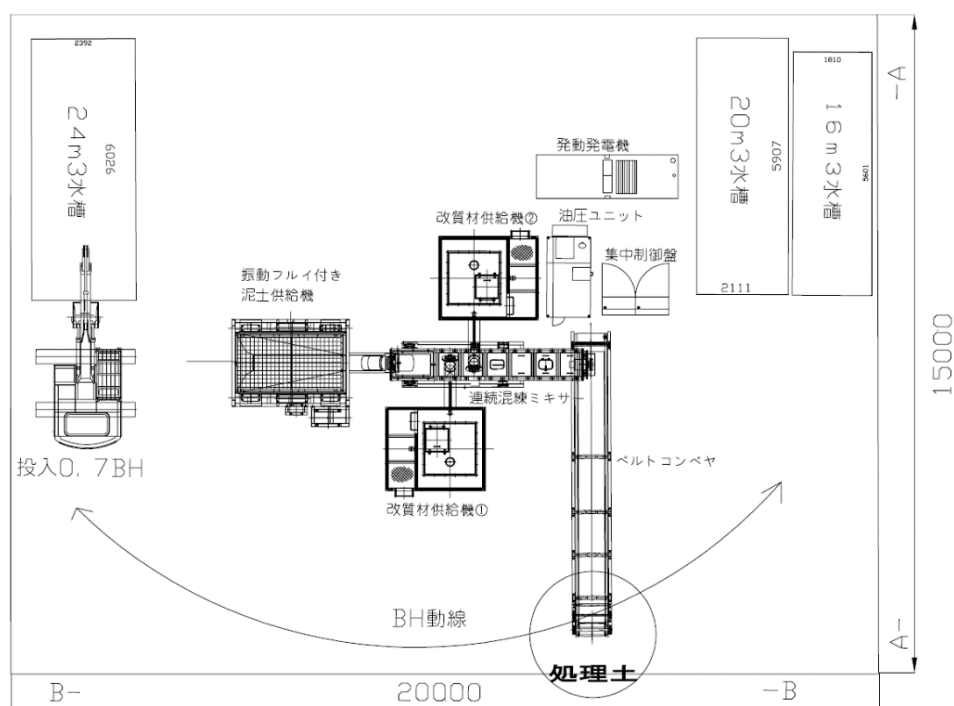
(a) 山口ため池 ($A = 222\text{m}^2$)(b) 新潟貯水池 ($A = 300\text{m}^2$)

図 1. 7-2 処理装置レイアウト

(4) 実証試験における配合

地盤材料のように、強度・変形特性が求められる改良・改質においては、室内と現場の条件の違いなどから、しばしば“割増係数”の概念が導入される。

イーキューブシステムはこれまでに 35 万 m^3 を超える実績があるが、泥土と改質材の混合攪拌効率が良好なこともあり、室内配合試験結果と実機処理土の比較から、現場／室内強度比を考慮しなくても問題なかった。しかし、今回は試験施工であることに加え、ため池底泥土の採取場所によって粒度や含水比など、底泥土特性に差異があることを踏まえ、土木用改質土については、配合設計で求めた改質材の添加率を 30% 増ししたものを設計添

加量とした。

この場合、山口のため池では、現場の工程の関係で底泥土をかき上げて水切りを促進し、室内試験時より実証試験時の方が含水比が低下していることが想定されたこと、一方、新潟の貯水池では、試料採取の関係で室内試験時より実証試験時の方が含水比が高くなることが想定されたことから、実証試験における配合は、表 1. 7-3 及び表 1. 7-4 のように設定した。

表 1. 7-3 実証試験配合（山口ため池）

（a）農業土木用

農業土木用				
分 類		主 材	安定剤	助 剤
名 称		再生半水石膏	高炉セメントB種	高炉スラグ微粉末
配合ケース		③		
改質材組成比	%	50	50	0
配合総添加量	kg/m ³	127		
割増率	%	30		
設計総添加量	kg/m ³	166		
設計添加量	kg/m ³	90	90	0

※個別の改質材の設計添加量は10kg/m³ラウンドとする

（b）農地土壌用

農地土壌用				
分 類		主 材	安定剤	助 剤
名 称		再生二水石膏	消石灰	クリンカーアッシュ
配合ケース		⑤		
改質材組成比	%	75	25	0
配合総添加量	kg/m ³	200		
設計総添加量	kg/m ³	200		
設計添加量	kg/m ³	150	50	0

※個別の改質材の設計添加量は10kg/m³ラウンドとする

表 1. 7-4 実証試験配合（新潟貯水池）

（a）農業土木用

農業土木用				
分 類		主 材	安定材	助材
名 称		再生半水石膏	高炉セメントB種	高炉スラグ微粉末
配合ケース		③		
改質材組成比	%	50	50	0
配合総添加量	kg/m ³	150		
割増率	%	30		
設計総添加量	kg/m ³	195		
設計添加量	kg/m ³	100	100	0

※個別の改質材の設計添加量は10kg/m³ラウンドとする

（b）農地土壌用

農地土壌用				
分 類		主 材	安定材	安定剤
名 称		再生二水石膏	消石灰	消石灰
配合ケース		⑤		
改質材組成比	%	75	25	0
配合総添加量	kg/m ³	200		
設計総添加量	kg/m ³	200		
設計添加量	kg/m ³	150	50	0

※個別の改質材の設計添加量は10kg/m³ラウンドとする

（5）具体的な検証事項

処理システム中の各装置に関して検証した事項は以下のとおりである。

①泥土供給装置

- i) 振動ふるいによりため池底泥土中の異物を除去し、かつ、泥土がふるいメッシュを通過して土砂ホッパーにスムーズに落下するか
- ii) ホッパー内に貯留された泥土がホッパー内壁を滑り落ち、スクリーフフィーダー開口にスムーズに落下するか

- iii) スクリューフィーダーにより，泥土が混練ミキサーに連続的に定量供給ができるか

②改質材供給装置

- i) ホッパー内の改質材が，アーチアクションを生ずることなくスクリューフィーダー開口に落下するか
- ii) スクリューフィーダーにより改質材が連続的に定量供給できるか
- iii) 供給機吐出口でジャミングを起こさないか

③連続混練ミキサー

- i) スクリューミキサーによる混練時間は適切か

(6) 実証試験状況

山口のため池底泥土を用いた実証試験の状況を写真 1. 7-3 に，新潟の貯水池体で土を用いた実証試験の状況を写真 1. 7-4 に，それぞれ示す.

1) 山口ため池



(1) 実証試験ヤード



(2) 機材搬入



(3) 機材荷降ろし



(4) 振動フルイ