

表 1. 6-1-2 たため池底泥土改質に使用する安定材・助材の比較検討表

	安定材			助材			
	高炉セメント B 種 (BB)	消石灰 (Ca(OH) ₂)	生石灰 (生石灰)	石灰灰 (FA)	クリンカアッシュ	PS 灰	高炉スラグ微粉末 (BFS)
製品概要	・高炉において鉄鉱を製造する過程で副産される高炉スラグの微粉末をボルトランドセメントに混合したセメント。	・酸化カルシウム (生石灰) に加水・熟成したものを分級選別して生成。	・石灰石 (炭酸カルシウム) を 900℃ 以上の温度で焼成して生成。	・石灰火力発電所において、石灰を焼成させた際に発生する石灰灰のうち、集塵機により捕捉された微粉末の灰で、シリカ (SiO ₂) とアルミナ (Al ₂ O ₃) を主成分とする。	・石灰火力発電所において、石灰を焼成させた際に発生する石灰灰のうち、集塵機により捕捉された微粉末の灰で、シリカ (SiO ₂) とアルミナ (Al ₂ O ₃) を主成分とする。	・製鉄製造過程で、製品とならずに排水中に流出した鐵滓、タルク (石粉) などを濾過脱水し、これを減量化・安定化するため焼却したあとに発生する灰。	・高炉において鉄鉱を製造する過程で副産される高炉スラグを急冷して微粉砕したもの。
硬化特性	・セメント中のクリンカー鉱物が土中水と反応して各種水和物を生成し、間隙を充填して土を緻密化するのと同時に、土粒子を結合して固化する。	・イオン交換反応が先ず短期的に生じ、次いで土中の粘土鉱物とのポゾラン反応による硬化が中長期的に生じて強度増加につながる。	・土中の水分が水和水として取り込まれ、かつ、発熱反応により土中水が蒸発する消化吸水分反応が最初に起こり、次いでイオン交換反応、ポゾラン反応が中長期的に生じて強度増加につながる。	・石灰灰の主成分であるシリカ (SiO ₂) とアルミナ (Al ₂ O ₃) が、セメント水和物である水酸化カルシウム (Ca(OH) ₂) とポゾラン反応を起こし、強度が増加する。 ・自硬性を有するものもあるといわれる。	・石灰灰の主成分であるシリカ (SiO ₂) とアルミナ (Al ₂ O ₃) が、セメント水和物である水酸化カルシウム (Ca(OH) ₂) とポゾラン反応を起こし、強度が増加する。	・主成分が石灰灰と類似しているため、自硬性を有すると考えられるが、明確に示された報告はない。 ・自硬性を有するものもあるといわれる。	・それ自体に水硬性はないが、アルカリや硫酸塩の刺激により硬化する潜在水硬性を有する。 ・セメントの代替材料として、スラグ石膏セメントの主要材料として使われる。
吸水特性	・土中の自由水と結合水として取り込む。	・結合水としては取り込まないが、物理的な吸水能力がある。	・水和反応により追加した生石灰質量の 32% の水を吸収し、発熱に伴う蒸発により、CaO・1g に対して 45% の水が消費する。	・吸水性が高い。	・ガラス質であるため、吸水能力はほとんどない。	・物理的に吸水能力が高い。 ・物理的な吸水能力がある。	・物理的な吸水能力がある。
重金属溶出抑制	・水和生成物が重金属を固定化して、溶出を抑制する。 ・重金属を固化させ溶出を抑制させる目的で使用された事例多数あり。	・都市ゴミ焼却灰に消石灰を添加することで、重金属安定効果の高いバモライトが生成され、溶出を抑えた事例あり。 ・酸性～中性域で溶解しやすい重金属等の溶出を抑えるために、焼却灰に石灰を添加した事例あり。	(知見なし)	・エトリンサイトはふっ素不溶性に有効であるが、セメントだけでは Al ₂ O ₃ 成分が不足するため、石灰灰は Al ₂ O ₃ 成分の補足手段として有効である。	(知見なし)	・PS 灰中のカルシウムイオンがふっ素と結びつき、ふっ素の溶出抑制効果があるといわれる。	・エトリンサイトはふっ素不溶性に有効であるが、セメントだけでは Al ₂ O ₃ が不足する。浄水汚泥には凝集剤である PAC のアルミナ成分が残存しているため、アルミナの補足手段として有効である。
pH	・強アルカリ性	・強アルカリ性	・強アルカリ性	・強アルカリ性	・強アルカリ性	・強アルカリ性	・弱酸性
その他	・OPC より少ないが、六価クロムの溶出が懸念される。	・生石灰より高価 (処理工程)。 ・生石灰と比べると発熱がない分取扱いが容易。 ・石膏による高含水比泥土改良の研究において、補助添加剤として使われた事例は少ない。 ・肥料取締法におけるアルカリ分の公定規格は 60% 以上。	・消石灰より安価。 ・水と反応すると激しく発熱し膨張する。 ・石膏による高含水比泥土改良の研究において、補助添加剤として使われた事例は少ない。 ・肥料取締法におけるアルカリ分の公定規格は 80% 以上。	・固化強度増強を目的として、エトリンサイトの生成量を増加させるため、Al ₂ O ₃ 成分に富む石灰灰を混入した事例あり。 ・重金属を含んでおり、県に届出した用途以外に使用する場合は提供不可 (中部地区)...	・多孔質で排水性、通気性、保水性に優れる。 ・不純物、有害物含有量が少ない。 ・砂に比べて最適含水比が高く、最大乾燥密度が小さいため空隙率が大きく、転圧に対する抵抗性が大きい (硬くなりやすい)。	・吸水改善が基本であるため、有機質土にも効果的である。	・高炉スラグの潜在水硬性は、セメントのようなアルカリ刺激によって著しく促進されるとされているが、硫酸塩によっても急激に発現される。
採否	土管用	土管用	△	△	土管用	△	土管用 △

3) 高分子凝集剤

高分子系改質材のうち、上下水処置場などで多用されている高分子凝集剤は、水中に浮遊している固体状の微細な懸濁粒子に吸着・架橋してフロックと呼ばれる集合体にする機能を持つ薬剤で、化学構造的には分子内に多数の極性基を有する非常に大きな分子量の水溶性高分子である。高分子凝集剤は、排水の清澄化、懸濁物質の沈降促進を目的として主に水処理分野で使われている。

自然界に存在する微細粒子は一般にマイナスに帯電しているため、互いに反発して凝集しないが、ここにプラスの電荷を帯びた高分子凝集剤を添加すると、電荷が中和され、凝結を生じてフロックを形成する。そして高分子凝集剤中の架橋体（Cross-Linker）がフロックを吸着して相互を結び付け、粗大化する。

イーキューブシステム開発時に、前処理として高含水比泥土に高分子凝集剤を添加することで、土中の水分を吸収して拘束し、流動性を低下させ、その結果、改質材の添加量を抑制し、改質時間を短縮するなど、改質効率が向上することを確認している。

高分子凝集剤は他の改質材に比べて高価であるため、高含水比泥土の改質において単独で用いられることはほとんどなく、助材として用いられることが多い。天然物由来系に比べて合成系のものは比較的少量添加で効果を発揮するが、適量以上添加すると逆に分散現象が起こることがあるといわれる。少量の添加材を高含水比泥土と均質に混ぜることは技術的に難しく、イーキューブシステムで主に使用していた高分子凝集剤（エコハード B S1-T）は、アニオン型ポリアクリルアミド*を主成分とし、無機粉体（珪石粉末）と混合して増量化を図っており、通常、過去の実績に基づき添加量は 10kg/m^3 としているが、高分子凝集剤自体の添加量は 1kg/m^3 程度である。

※健康への影響が問題となるのはアクリルアミドのモノマーであり、ポリアクリルアミド自体の毒性は低いとされている。また、ポリアクリルアミド中にモノマーのアクリルアミドが不純物として混入する恐れを指摘する声もあるが、高分子凝集剤中の残存モノマーの含有量は、従前の自主規制値である 0.2%以下から、2006 年 10 月の安衛法省令改正により 0.1%未満となった。

高分子系改質材である高分子凝集剤や高吸水性樹脂（SAP : Super Absorbent Polymer）は、建設分野における汚泥や泥土改良に際しての凝集剤（固液分離）、ハンドリング性向上のための改良助剤としての研究が進められており、一部は実用化している。

また、高吸水性樹脂は、農林分野での利用に関する研究も進められており、育苗用土での効果が認められているほか、土壌の団粒形成促進効果があるとされるポリエチレンイミン系（PEI）とポリビニールアルコール系（PVA）資材は、政令指定土壌改良資材に指定されている。このため、令和 2 年度の事業では過去の実績と経験に基づき、ため池底泥土の改質にエコハード B S1-T を使用した。

しかし、資材として登録されていないものを農地土壌に混入させて良いとする根拠が明白でないことや、高分子凝集剤や高吸水性樹脂はマイクロプラスチックに該当するため、使用を差し控えるべきではないかという意見が内部より発せられた。

高分子系改質材を土に混ぜると、土中の水分を吸収してゲル状になり、団粒を形成して土中に留まるため、少なくとも海洋生物への影響は皆無と考えられるが、高分子凝集剤の有無が改質効果に及ぼす影響を把握することと、改質処理のコストダウンを視野に、令和

3 年度の事業では高分子凝集剤を使用しない方針で計画を進めた。

4) 試験試料

配合試験に使用した改質材を表 1. 6-13 に示す。

主材となる石膏粉は、建築物解体に伴って発生する廃石膏ボードをリサイクルした再生石膏粉を用いた。中間処理施設に搬入された廃石膏ボードは、粗破碎したのち、選別ライン（手選別、磁選機）において釘やステープルなどの金属や木片などの異物を取り除き、次いで粉碎・分離機にかけてボード片を破碎しながらボード紙と石膏粉に分離する。その後石膏粉をふるい分けにして粒度調整することで、再生二水石膏粉が得られる。再生半水石膏粉は、再生二水石膏粉を所定温度で焼成したものである。

土木用改質土の場合、ある程度の強度が要求され、それを満足する改質材の多くはアルカリ性であることが多いが、貯水池底泥改質土を農業分野に用いる場合、改質土のアルカリ化をできる限り抑える必要があり、そのためには所定強度を得るのに添加する固化材が少ないことが求められる。

セメントはコストパフォーマンスが高く、石膏に含有されているふっ素の溶出抑制効果が期待できることから、農業土木の安定材としては高炉セメント B 種を選定した。

石灰は消石灰（SL : Slaked Lime）と生石灰（QL : Quick Lime）を比較した場合、製造工程の違いから材料費は生石灰の方が安価であるが、生石灰は水と接すると発熱して危険であること、消石灰の方がアルカリ分が少なく固化強度が小さいこと、農業分野での使用実績、さらには消石灰による重金属の溶出抑制効果などを踏まえ、農地土壌の安定材としては消石灰を選定した。

土木用改質材の助材には、潜在水硬性とスラグ石膏セメントの実績を踏まえ、高炉スラグ微粉末を選定した。

石炭灰には、石炭を燃焼させたときに浮遊する飛灰を電気集塵機で捕集したフライアッシュ（FA : Fly Ash）と、ボイラ底部に落下した燃え殻を回収して脱水・粉碎したクリンカアッシュ（CA : Clinker Ash）とがある。どちらも二酸化ケイ素（ SiO_2 ）と酸化アルミニウム（ Al_2O_3 ）、酸化第二鉄（ Fe_2O_3 ）で 80%以上を占め化学組成は類似しているが、フライアッシュの方が重金属含有量が多く、アルカリ分も高い。また、クリンカアッシュを畑の土壌に混合すると、土壌の保水性や通気性が改善されるとされていることから、農地土壌の助材としてはクリンカアッシュを選定した。

なお、安定材及び助材は、それぞれのメーカーから製品として製造されているものである。

表 1. 6-1-3 配合試験に使用した主材・安定材及び助材の種類と目的

利用用途	項 目	主 材	安定材	助 材
農業土木	品 目	半水石膏 (B)	高炉セメント B 種 (BB)	高炉スラグ微粉末 (BFS)
	目的・効果	・固化・硬化 ・含水比低下 (Solid 分増加) ・吸水作用 (化含水)	・固化・硬化 ・含水比低下 (Solid 分増加) ・吸水作用 (化含水) ・重金属等の固定化 (溶出抑制)	・固化・硬化 (潜在水硬性) ・含水比低下 (Solid 分増加)
農地土壌	品 目	二水石膏 (G)	消石灰 (SL)	石炭灰 (CA)
	目的・効果	・土の団粒化促進 ・含水比低下 (Solid 分増加)	・吸水作用 (物理的吸水) ・含水比低下 (Solid 分増加) ・重金属等の溶出抑制	・粒度調整作用 ・含水比低下 (Solid 分増加) ・排水性, 通気性, 保肥性 ・転圧抵抗性大 (締まりにくい)

5) 物理試験

改質材の物理試験項目を表 1. 6-14 に示す。

表 1. 6-14 改質材の物理試験項目

試験項目	規格	摘要
改質材粒子の密度試験	JIS R 5201	
改質材の含水比試験	JIS A 1203	
改質材の粒度試験	JIS A 1204	ふるい分けのみ
再生石膏粉の嵩比重試験		
再生石膏粉の吸湿試験		
再生石膏粉の組成分析	X線回折法	

以下、各試験項目の意義と目的について述べる

(a) 改質材粒子の密度試験

改質材の密度は、改質土の組成等を求めるときに不可欠な物性値である。

改質材によっては、水と接触すると硬化するため、鉱油を用いるセメントの物理試験方法に基づいて行った。

(b) 改質材の含水比試験

改質材の含水比は、改質土の含水比を計算する際に不可欠な物性値である。

なお、JIS A 1203 では、含水比の測定は $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$ で恒量となるまで乾燥することとされているが、石膏の場合、図 1. 6-10 に示すように、 110°C で乾燥すると結晶水の一部が消散して二水石膏は半水石膏に、半水石膏は無水石膏に転化することが指摘^{1,2)}されている。

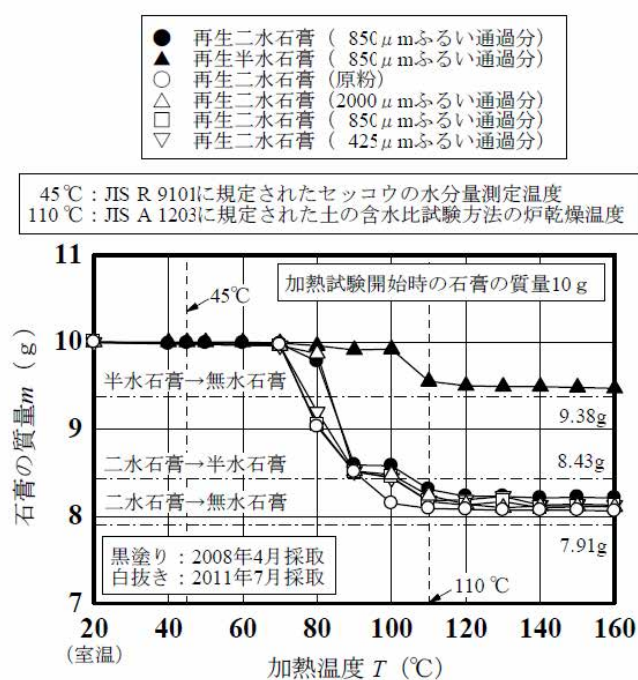


図 1. 6-10 加熱温度と石膏の質量との関係^{1,2)}

既往の研究では、天然半水石膏、再生半水石膏及び再生二水石膏の乾燥温度 50～110℃における質量変化についての測定結果から、いずれの石膏も 70℃以上で質量が大きく減少したことから、二水石膏の水和水を維持できるよう、乾燥温度を 50℃として実験を行っている。しかし、70℃で乾燥した場合の土の含水比は、110℃で乾燥した場合の含水比より小さく測定され、含水比を過小評価することになる。含水比の対象が自由水ということであれば 110℃で乾燥した場合には、石膏及び石膏を添加した改質材の含水比が過大に評価されることになるが、JIS A 1203 は定量対象とする水の種類ではなく、乾燥温度で規定していることから、今回は含水比測定の乾燥温度は (110±5)℃とした。

(c) 改質材の粒度試験

改質材の粒度は、改質土の粒度分布及び土性を判定する上で不可欠な物性値である。

(d) 再生石膏粉の嵩比重試験

再生石膏粉の嵩比重とは、いわゆる見掛け上の比重、すなわち単位体積当たりの質量のことで、改質材や改質土の特性には直接影響しないが、施工においては梱包や運搬車両の選定、サイロへの貯蔵などに際して重要な指標となる。

石膏粉の嵩比重の一例として、粉体輸送業者においては、嵩比重を 0.7～0.8 としているが、嵩比重の測定方法に基準はなく、通常は“緩詰嵩比重”（一定容器に、力を加えずに充填し、摺り切りしたもの）が用いられている。一方、硫酸カルシウムの真比重は、形態によって大きく異なるが、2.32～2.98とされている。その結果、単位質量当たりの体積差は最大 4 倍以上にもなり、これを見誤ると材料納入や保管の際にトラブルとなりかねない。

今回の試験は、 $\phi 50\text{mm}$, $h=100\text{mm}$ ($V=196.35\text{cm}^3$) のサミットモールドに、緩詰嵩比重（粗；loose）の条件としてはモールド天端からスプーンで自由落下させて 5 層に分けて詰め、密詰嵩比重（密；dense）の条件としては、loose の各層ごとにジグギング（JIS A 1104）で締固めて質量を測定し、嵩比重を算定した。

(e) 再生石膏粉の吸湿試験

石膏は、気相において吸湿したり、液相において水和反応を起こして結晶相が転移する。半水石膏はセメントと同様に、気中の湿気を吸っていわゆる“風邪ひき”状態になると、緩やかに二水石膏に転化して固化特性を喪失する恐れがあることから、保管時には湿気や水分から離隔し、製造後なるべく早く使用することが推奨されている。そこで、半水石膏の吸湿試験を行って、半水石膏の吸湿特性を確認した。

再生半水石膏の吸湿試験は、3 つの方法で行った。

手法 1 は、サミットモールドを用いて行った嵩比重試験の後、約 4 か月半大気中に曝し、その間の質量変化を測定した。 $V=196\text{cm}^3$ の体積に対し、吸湿面積は $A=19.63\text{cm}^2$ となる。

手法 2 は、吸湿面積（大気との接触面）を広げるべく、含水比を測定するアルミ容器（口径 $D=12\text{cm}$ 、深さ $H=4.5\text{cm}$ 、容積 $V\approx 340\text{cm}^3$ のボール型）に再生半水石膏を $M\approx 100\text{g}$ ($V\approx 200\text{cm}^3$) を入れ、大気中に 192 時間（8 日間）曝して、その間の質量変化を測定した。

手法 3 は、手法 2 と同じアルミ容器に再生半水石膏を 20～30g 入れ、それを水を張った蓋付発泡スチロール容器内に格納し、“吸湿促進”環境中で恒量になるまで質量変化を測定した。

なお、特性値は吸水比とし、1－（5）式で算定した。

$$M = \frac{mb - ma}{ma - mc} \times 100$$

1 - (5) 式

ここに M : 吸水比 ma : (化合水を含んだ石膏) + (容器) 質量 mb : (湿気) + (化合水を含んだ石膏) + (容器) 質量 mc : (容器) 質量

なお、吸湿後、再生半水石膏粉の組成がどのように変化するかを、X線回折を行って成分の同定と定量を行った。

(f) 再生石膏粉の組成分析

再生石膏粉は結晶水の量によって特性が大きく異なる。再生半水石膏は再生二水石膏を焼成して製造するが、焼成温度及び焼成時間によっては二水石膏のまま（いわゆる“生焼け”）であったり、無水石膏に転化することがある。このため、試験に供した再生半水石膏の純度を確認するためにX線回折を行って成分の同定と定量を行った。

6) 化学試験

改質材の化学試験項目を表 1. 6 - 1 5 に示す。

表 1. 6 - 1 5 改質材の化学試験項目

試験項目	規 格	摘 要
水分・化合水の定量	JIS R 9101	再生石膏粉
改質材懸濁液の pH 試験	JGS 0211	
改質材懸濁液の EC 試験	JGS 0212	
改質材の水溶性成分試験	JGS 0241	
改質材の化学成分試験 1	JIS R 9101	再生半水石膏，再生二水石膏
改質材の化学成分試験 2	JIS R 5202	高炉セメント B 種，高炉スラグ微粉末，クリンカアッシュ
改質材の化学成分試験 3	JIS R 9011	消石灰
改質材の酸化還元電位	ORP 計	HORIBA D-74

以下、各試験項目の意義と目的について述べる。

(a) 再生石膏粉の水分・化合水の定量

石膏の「水分」とは、化合水を除く付着水をいい、具体的には石膏粉の表面付着水や間隙内部に蓄えられている水をいう。試料を加熱したり温風にさらすと蒸発する水で、慣例的には「自由水」といわれる。JIS R 9101 では、はかり取った石膏の質量に対する（40 ± 2）℃で消散する水の量を「水分の付着率」と定義している。半水石膏や無水石膏は水と反応すると水を結晶水として取り込んで結晶構造が異なる石膏に転化するため、理論上は“水分”はないことになる。

一方、石膏の「化合水」とは、化学結合により結晶中の特定の位置を占め、結晶構造を

安定に保っている水をいい、慣例的には「結晶水」といわれる。加熱により段階的にその一部が失われ、結晶構造が変化する。JIS R 9101 では、はかり取った石膏の質量に対する 240～260℃で消散する水の量を「化合水の含有率」と定義している。石膏の分子量から求めた理論上の化合水の含有率は、二水石膏 20.9%、半水石膏 6.2%、無水石膏 0%であり、石膏粉の化合水含有率を求めれば、各種石膏の組成比を推定することができる。

(b) 改質材懸濁液の pH 試験

ため池底泥改質土は農業分野に適用することを考えているので、改質土懸濁液の pH は中性域であることが求められる。

改質土の pH を測定した時、測定結果に対してため池底泥土が支配的なのか、改質材が支配的なのかを判定するために、改質材懸濁液の pH を測定した。

(c) 改質材懸濁液の電気伝導率 (EC) 試験

ため池底泥改質土を農地土壌に適用する場合、改質土懸濁液の EC は適正範囲であることが求められる。また、土木分野に適用する場合は、土中構造物に影響を及ぼさない範囲であることが要求される。

改質土の EC を測定した時、測定結果を支配するのはため池底泥土なのか、改質材なのかを判定するために、改質材懸濁液の EC を測定した。

(d) 改質材の水溶性成分試験

ため池底泥改質土を農業土木分野に適用した場合、塩化物や硫化物は土中構造物を腐食させたり劣化させる恐れがある。また、農地土壌において、過剰な塩化物や硫化物の存在は EC を高くする原因となり、塩類濃度障害を引き起こす恐れがある。

改質土の水溶性成分を測定した時、測定結果がため池底泥土、改質材のいずれが支配的なか判定するために、改質材の水溶性成分を測定した。

(e) 改質材の化学成分

今回の研究開発の目標の一つは、ため池底泥土を農業分野に適した性状に改質するための改質材を開発することである。特に、土木分野に適用する場合には、土を固化して強度を発現させる必要があり、土を化学的に固化させるためには、ケイ酸カルシウムやエトリンガイトなどの水和物の生成が不可欠となる。改質材の化学分析は、固化機能を有する適切な改質材を選定する際の判断材料として活用した。

(f) 改質材の酸化還元電位

酸化還元電位は、物質の酸化力や還元力を示す指標であり、重金属等の溶出や作物の根の伸び方に影響を及ぼすため、改質土の性状評価と改質材選定の参考情報とした。

7) 安定化試験

改質材の安定化試験項目を表 1. 6－16 に示す。

表 1. 6－16 改質材の安定化試験項目

試験項目	規 格	摘 要
石膏のペースト強度	JIS A 1216	
石膏の膨張量		

以下、各試験項目の意義と目的について述べる

（a）半水石膏のペースト強度

半水石膏は水と反応して二水石膏に転化して硬化する。ため池底泥土を改質するに際しては、再生半水石膏を粉体添加するが、石膏の練混ぜ水量と強度の関係を把握するため、石膏のペースト強度を調べた。

（b）半水石膏の吸水膨張

半水石膏は凝結硬化の際に約 0.35%膨張するが、その原因は半水石膏が二水石膏に転化する際に析出される針状結晶の発達によるものといわれている。また、石膏安定処理地盤が膨張するのは、カルシウム（CaO）、石膏（CaSO₄）、そして土中の水とアルミナ（Al₂O₃）の水和反応によって形成された針状結晶のエトリンガイトの析出によるものとされている。今回は圧密リングを利用して、半水石膏が転化した二水石膏の吸水膨張量を測定した。

8）環境安全特性試験

環境基準は土壌、大気、公共用水域の水質、地下水の水質について、人の健康保護と生活環境保全のために維持することが望ましい基準として定められたものである。このうち土壌環境基準は、土壌の汚染に係る環境基準を定めたもので、再利用物に関して、土壌に混ぜ合わせて使用する場合は混合させた土壌には適用するが、構造物の一部となっている場合や、周辺土壌と区別できる場合には適用しないとされている。一方、土壌汚染対策法は、土壌の特定有害物質による汚染の状況の把握に関する措置及びその汚染による人の健康に係る被害の防止に関する措置を定めること等により、土壌汚染対策の実施を図り、もって国民の健康を保護することを目的とするものである。

土壌汚染対策の端緒は土地の調査であるが、副生成物が土木用・道路用資材等として用いられ、かつ、周辺土壌と区別して用いられる場合は、そもそも土壌とはみなされない、としている。すなわち、改質材単味については、土壌環境基準及び土壌汚染対策法は適用されないことになる。しかし、改質土の環境安全性を分析した場合、それが自然由来（ため池底泥土に依存）なのか、改質によるもの（改質材に依存）なのかを判定するため、改質材単味についても分析を行った。

表 1. 6－17 に改質材の環境安全特性試験項目を示す。

表 1. 6－17 改質材の環境安全特性試験項目

試験項目	規 格	摘 要
改質材溶出量	平成 3 年環境庁告示第 46 号	土壌環境基準
改質材含有量	環水大発第 120725002 号	底質調査法
農用地特定有害物質	農用地土壌汚染防止法	指定要件に係る検定の方法を定める省令
硫化水素ガスの発生ポテンシャル	NIES（国立環境研究所）法	二水石膏

以下、各試験項目の意義と目的について述べる。

（a）改質材の溶出量

ため池底泥改質土の溶出量試験結果が、ため池底泥土由来なのか、改質材由来なのかを

判別するために行った。なお、溶出量は、改質材の製造過程に鑑みて、揮発性物質や農薬等が混入する恐れがないことから重金属等についてのみ行った。

(b) 改質材の含有量

ため池底泥改質土の含有量試験結果が、ため池底泥土由来なのか、改質材由来なのかを判別するために行った。

(c) 改質材の農用地特定有害物質

ため池底泥改質土の特定有害物質試験結果が、ため池底泥土由来なのか、改質材由来なのかを判別するために行った。

(d) 硫化水素ガス発生ポテンシャル

ため池底泥改質土の硫化水素ガス発生ポテンシャルが、ため池底泥土由来なのか、改質材由来なのかを判別するために行った。

(4) 配合試験

ため池底泥土の改質を行うに際して、改質材の添加量を決定する配合試験を行った。

1) 配合試験の要因と水準

(a) 土木用改質土

土木用改質土の配合試験の要因と水準を表 1. 6-18 に示す。

表 1. 6-18 土木用改質土配合試験の要因と水準

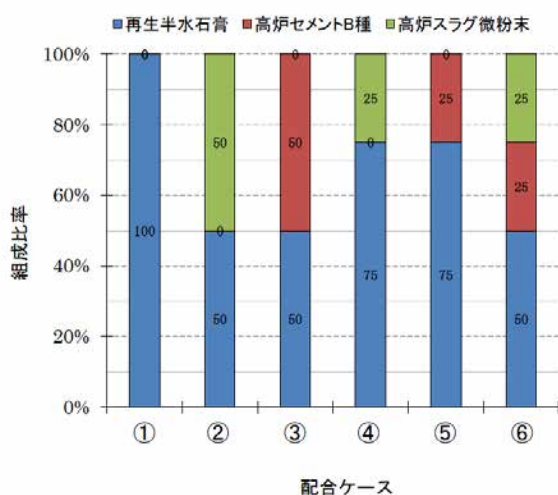
要 因	水 準	摘 要
ため池底泥土	1	阿東篠原第 2 ため池（令和 2 年度） 乙見湖（令和 3 年度）
含水比	1	自然含水比
改質材添加量	3	$p=100, 200, 300\text{kg/m}^3$
改質材組成（配合）	6	表 1. 6-19, 図 1. 6-11
高分子凝集剤※	1	エコハード BS-1T
高分子凝集剤添加量※	1	10kg/m^3
試験材齢（養生期間）	1	7 日

※令和 3 年度は高分子凝集剤を使用せず

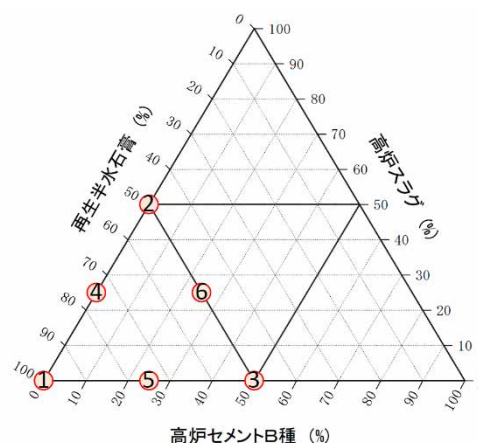
また、改質材の組成（配合）を表 1. 6-19 及び図 1. 6-11 示す。

表 1. 6－19 土木用改質材の組成（配合）

配合ケース	組成比 [%]		
	主 材 (再生半水石膏)	安定材 (高炉セメント B 種)	助材 (高炉スラグ微粉末)
①	100	0	0
②	50	0	50
③	50	50	0
④	75	0	25
⑤	75	25	0
⑥	50	25	25



(a) 積上縦帯



(b) 三角座標

図 1. 6－11 土木用改質材の組成（配合）

判定指標は前述のようにコーン指数とし、所定の品質が得られそうな配合から試験を実施して、品質を満足しないと思われるケースについては試験練りを省いて効率化を図った。

(b) 土壌用改質土

土壌用改質土の配合試験の要因と水準を表 1. 6－20 に示す。

表 1. 6-20 土壌用改質土配合試験の要因と水準

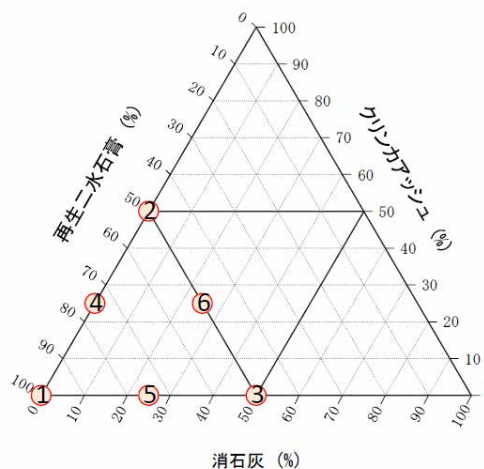
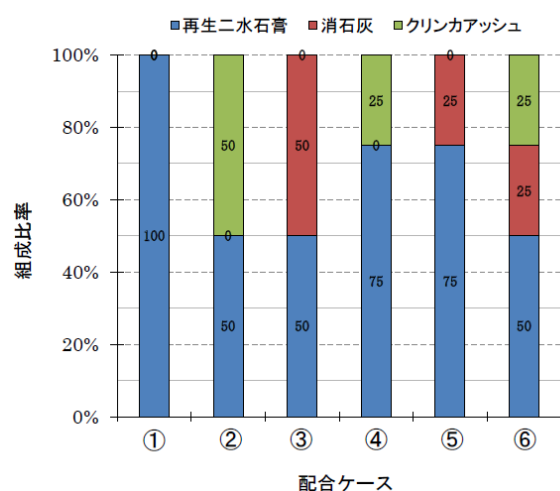
要 因	水準	摘 要
ため池底泥土	1	阿東篠原第 2 ため池（令和 2 年度） 乙見湖（令和 3 年度）
含水比	1	自然含水比
改質材添加量	1	$p=200\text{kg/m}^3$
改質材組成（配合）	6	表 1. 6-21, 図 1. 6-12
高分子凝集剤※	1	エコハード BS-1T
高分子凝集剤添加量※	1	10kg/m^3
試験材齢（養生期間）	1	7 日

※令和 3 年度は高分子凝集剤を使用せず

また、改質材の組成（配合）を表 1. 6-21 及び図 1. 6-12 示す。

表 1. 6-21 土壌用改質材の組成（配合）

配合ケース	組成比 [%]		
	主 材 (再生二水石膏)	安定材 (消石灰)	助材 (クリンカアッシュ)
①	100	0	0
②	50	0	50
③	50	50	0
④	75	0	25
⑤	75	25	0
⑥	50	25	25



(a) 積上縦帯

(b) 三角座標

図 1. 6-12 土壌用改質材の組成（配合）

判定指標は前述のように土性（粒度）、コンシステンシー、三相分布とし、所定の品質が得られそうな配合から試験を実施して、品質を満足しないと思われるケースについては試験練りを省いて効率化を図った。

2) 配合試験項目

(a) 土木用改質土

農業土木用改質土の配合適否の一次判定は、「建設汚泥処理土利用技術基準」のコーン指数で行い、適合判定基準は $qc \geq 800 \text{ kN/m}^2$ とした。

(b) 土壌用改質土

農地土壌用改質土の配合適否の一次判定は、土性（粒度）、コンシステンシー、三相分布で行った。それぞれの項目について、明確な基準値というのは定められていないことから、以下に述べる方法で判定した。

i) 土性（粒度）

JIS A 1204 で規定される粒度試験は、沈降分析による土粒子の粒径測定精度を向上させるため、団粒化している土粒子を一つ一つの粒子に分散させ、試験中に再び結合しないように分散剤を加える。しかし、土壌学の分野では、元々団粒を形成している土粒子構造を破壊して、単粒構造とすることに意味はなく、むしろ団粒構造を形成している土粒子は、分散させることなく団粒径で評価すべきとされている。

そこで、山田らの提案¹³⁾に基づいて、水中篩別法と沈降分析を併用した方法により、改質土の粒度を（土性）を評価した。団粒分析の手順を図 1. 6-13 に示す。

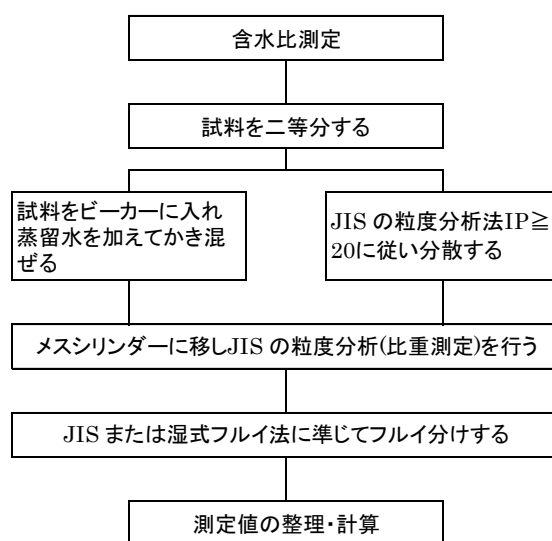


図 1. 6-13 団粒分析の手順¹³⁾

ii) コンシステンシー

土は含水比の多寡によりその性状が変わるが、ため池底泥土を農地土壌に適用するためには、取り扱いが容易な性状に改質する必要がある。端的に言えば、含水比を低下させ、安定した状態にすることが第一であるため、土壌学では直接は関係しないコンシステンシー特性（ I_p ：塑性指数， I_c ：コンシステンシー指数， I_L ：液性指数）の視点からも評価した。

iii) 三相分布

土は固相 (Solid), 液相 (Liquid), 気相 (Air) より構成されているが, 農地土壤に適した膨軟な土は気相が 20%以上といわれる. 実際のは場であれば採土管等で採取した試料から三相分布が分かるが, 試験室で作製した改質土は, 供試体の作製条件によって三相比率が異なる. そこで, モールドにジグギングにより充填した改質土の三相分布で評価した.

(5) 改質土

1) 物理試験

物理試験は, ため池底泥改質土の物理的基本特性を把握することを目的とするもので, 表 1. 6-22 に示す項目について実施した.

表 1. 6-22 ため池底泥改質土の物理試験項目

試験項目	規 格	摘 要
土粒子の密度試験	JIS A 1202	
土の含水比試験	JIS A 1203	
土の粒度試験	JIS A 1204	
土の液性・塑性限界試験	JIS A 1205	
土の保水性試験	JGS 0151	pF1.5($-\phi=3.1$), pF3.0($-\phi=98$) 農地土壤のみ
土の透水性試験	JIS A 1218	変水位透水試験

以下, 各試験項目の意義と目的について述べる.

(a) 改質土の土粒子密度試験

ため池底泥土, 各種改質材の密度及び添加量から, 改質土の土粒子密度がどのように変化したかを把握した.

(b) 改質土の含水比試験

ネオ・イーキューブ工法による改質は, 固化特性を有する改質材による化学的安定処理と, Solid 分増量による含水比低下の物理的处理が基本となる. 農業土木・農地土壤とも, 粘性の高いため池底泥土のコンシステンシーを改善して, 取り扱いが可能な性状に改質できたかどうかを, 含水比によって確認した.

(c) 改質土の粒度試験

地盤改良の一手法として粒度調整というものがあり, 粒度組成や分布を改善することで液状化抵抗や締固め密度を増加させるものである.

ネオ・イーキューブ工法は原泥に対して改質土の粒度を積極的に改善するものではないが, 粒度分布が変化することで, 土木分野においては均等係数や曲率係数が変化して締固め特性が向上したり, 農地土壤に関しては, 目標とする土性に近づけたり, 三相分布の改善などの効果が期待される. そこで, 改質により, ため池底泥土の粒度がどのように変化したかを評価した.

(d) 改質土の液・塑性試験

液性限界や塑性限界に代表される土のコンシステンシーは, 含水比の変化に伴う土の粒度特性又は硬軟の程度を表す. コンシステンシーは地盤の工学的性質と密接な関係にあり,

各種指数から土の状態を概略的に評価することが可能である．そこで，改質によりため池底泥土のコンシステンシーがどのように変化したかを評価した．

(e) 改質土の保水性試験

土中の水分が土にどれくらいの強さで保持されているかを示す土の保水性は，含水比が水の量的な状態を表すのに対し，質的狀態を表すといわれる．土の保水性は，不飽和土解析などでは避けて通ることができない問題である一方で，農業分野においては，作物の生育と密接な関係がある．そこで，改質によりため池底泥土の保水性がどのように変化したかを評価した．

(f) 改質土の透水性試験

土の透水性によって示される，土中自由水の移動のしやすさは，土木分野，農業分野いずれにおいても重要な指標である．そこで，改質によりため池底泥土の透水性がどのように変化したかを評価した．

2) 化学試験

化学試験は，ため池底泥改質土の化学的基本特性を把握することを目的とするもので，表 1. 6-23 に示す項目について実施した．

表 1. 6-23 ため池底泥改質土の化学試験項目

試験項目	規 格	摘 要
土懸濁液の pH 試験	JGS 0211	
土懸濁液の電気伝導率試験	JGS 0212	
土の水溶性成分試験	JGS 0241	
土の陽イオン交換容量試験	JGS 0261	農地土壌のみ
酸化還元電位	ORP 計	HORIBA D-74

以下，各試験項目の意義と目的について述べる．

(a) 改質土懸濁液の pH 試験

土の pH が土の工学的特性に及ぼす影響としては，構築される構造物の耐久性に関わるコンクリートの劣化や，鋼材の腐食，軟弱地盤や高有機質土などの土質改良効果並びに土中からの重金属等の溶出などがある．一方，農地土壌においては，pH は土壌の健康状態を示し，作物の生育に大きく影響する．そこで，改質によりため池底泥土の pH がどのように変化したかを評価した．

(b) 改質土懸濁液の電気伝導率試験

土中の電解質は植生に影響するほか，埋設されたコンクリートの劣化や鋼材の腐食，土の透水性や強度などにも影響を及ぼす．そこで，改質によりため池底泥土の EC がどのように変化したかを評価した．

(c) 改質土の水溶性成分試験

土中の水溶性成分は，土の物理的・力学的性質や，コンクリート・鋼材の耐久性などに影響を及ぼすことが知られている．また，農地土壌においてカルシウム，マグネシウム，カリウム，ナトリウムの 4 つの塩基類は土壌の pH に大きく影響するとともに，窒素，リンと並ぶ作物にとって重要な肥料養分（多量要素）であり，不足すると作物生育に影響が

現れる。そこで、改質によりため池底泥土の水溶性成分がどのように変化したかを評価した。

(d) 改質土の陽イオン交換容量試験

粒径が 2～0.02mm の砂は、通気性や排水性を高める働きはあるが、養分を保持する能力はない。これに対して、土壌中の粘土や腐食等の有機物はマイナスの電荷を帯びており、カルシウム、マグネシウム、カリウム、ナトリウム等の陽イオンに変化した肥料分を吸着・保持する。この吸着・保持能力を示す CEC は土壌固有の性質で、改善することが難しいといわれるが、改質によってどう変化したかを評価した。

(e) 改質土の酸化還元電位試験

土中の酸素が多い状態を酸化状態、少なくなった状態を還元状態といい、有機物の分解が進行すると酸素が少なくなり、還元状態になる。還元状態になると、水田では老朽化が進行し、更に進むと水稻の根腐れやごま葉枯れといった生育障害につながる恐れがある。また、酸素が少ない嫌気性環境は多量の硫化水素ガス発生の一要因となる。そこで、改質によりため池底泥土の酸化還元電位がどのように変化したかを評価した。

3) 安定化特性

土木用改質土の安定化特性を調べるため、表 1. 6-24 に示す安定化試験を行った。

表 1. 6-24 ため池底泥改質土の安定化試験項目

試験項目	規 格	摘 要
突固めによる土の締固め試験	JIS A 1210	A-c 法
締固めた土のコーン指数試験	建設汚泥処理土利用技術基準	JIS A 1228 に準拠
CBR 試験	JIS A 1211	設計 CBR w=OMC
膨張量試験	JIS A 1211	
土の一軸圧縮試験	供試体作製：JCSL-01:2006 ^{注)} 圧縮試験：JIS A 1216	w=OMC 試験材齢 7 日

注) セメント系固化材による改良体の強さ試験方法，(一社)セメント協会，2006.03

以下、各試験項目の意義と目的について述べる。

(a) 突固めによる改質土の締固め試験

土は含水比や粒度，コンシステンシーが変わると、締固め特性が変化する。ネオ・イーキューブ工法はため池底泥土の粒度を積極的に改善するものではないが、改質によって締固め特性がどのように変化したかを把握した。

(b) 締固めた改質土のコーン指数試験

コーン指数は土木用改質土の要求品質の一次判定指標である。

これにより、ため池底泥改質土が、所定の品質を満足しているかどうかを判定した。

(c) 改質土の設計 CBR 試験

農水基準では、路床土は設計 CBR3 以上が望ましいとされており、ため池底泥改質土が、路床土として適用可能かを判定するために設計 CBR 試験を実施した。

(d) 改質土の吸水膨張量試験

貯水池底泥土の吸水膨張比 ($= \Delta H / H_0$, H_0 : 供試体高さ, ΔH : 膨張量) が, 改質によってどう変化するかを把握した. 設計 CBR 試験に先立って行う吸水膨張試験によって確認した.

(e) 改質土の一軸圧縮試験

コーン指数は改質土が地盤材料として適正かどうかを判定するための指標であり, それが目的用途に適した性能を発揮するかどうかを確認するには, 用途に対応した力学試験の実施が必要となる. そこで, 貯水池底泥土と同一条件で作製した供試体を用いて試験を行うことにより, 一軸圧縮強さから見た改良効果を評価した.

4) 土壤理化学試験

本研究開発は, ため池底泥土を農業分野に適用するための技術に関することであるが, 含水比及び粘性が高いため池底泥土を, 農業土木の地盤材料, 農地土壌として再生利用できる物理的, 力学的性状に改質するもので, 特に, 農地土壌として適用する場合の栄養素については考慮していない. しかし, ため池底泥土の性状を改善することで, 農地土壌として必要な性質をどの程度満たしているかを確認するため, 土壌用改質土について土壤理化学分析を実施した. 土壤理化学試験項目は表 1. 6-25 に示すとおりである.

表 1. 6-25 ため池底泥改質土の土壤理化学試験項目

区分	分析項目	分析方法	摘要
土 壌 理 化 学 性	pH (H ₂ O)	1:5 水振とう抽出, ガラス電極法	
	電気伝導率 (EC)	1:5 水振とう抽出, 電気伝導率計	
	交換性カルシウム (CaO)	振とう抽出法 (1M/L 酢酸アンモニウム抽出), 吸光度法又は原子吸光光度法	
	交換性マグネシウム (MgO)		
	交換性カリウム (K ₂ O)		
	Ca/Mg 比	(計算値)	
	Mg/K 比		
	Ca/K 比		
	陽イオン交換容量 (CEC)	振とう抽出法 (10%塩化カリウム抽出), 吸光光度法	
	塩基飽和度	(計算値)	
	可給態リン酸 (P ₂ O ₅)	トルオーグ法, 吸光光度法	
	アンモニア態窒素 (NH ₄ -N)	1:10 1M/L 塩化カリウム抽出, 吸光光度法	
	硝酸態窒素 (NO ₃ -N)		
	リン酸吸収係数	オルトリン酸法, 吸光光度法	
	腐植	全農法 (熊田式簡便法), 吸光光度法	
微 量 要 素	可給態鉄 (Fe)	DTPA 抽出法, 原子吸光光度法	
	可給態マンガン (Mn)		
	可給態亜鉛 (Zn)		
	可給態銅 (Cu)		

5) 環境安全特性試験

ため池及び貯水池底泥改質土を農業分野に適用するにあたり, 安全環境特性として, 環境基本法に基づく土壤環境基準 (溶出量基準) と, 土壤汚染対策法に基づく特定有害物質含有量基準並びに農用地特定有害物質について確認した。

さらに, 再生石膏を用いることで, 条件次第では多量の硫化水素ガスが発生する恐れがあることから, その可能性についても確認した。

貯水池底泥改質土の環境安全特性試験項目を表 1. 6-26 に示す。

表 1. 6－26 ため池底泥改質土の環境安全特性試験項目

試験項目	規 格	摘 要
土壌溶出量	平成 3 年環境庁告示第 46 号	土壌環境基準
土壌含有量	平成 15 年環境省告示第 19 号	土壌含有量に係る測定方法を定める件
農用地特定有害物質	農用地土壌汚染防止法	指定要件に係る検定の方法を定める省令
硫化水素ガスの発生ポテンシャル	NIES（国立環境研究所）法	

1. 6. 2 研究開発の結果

(1) ため池底泥土

1) 物理試験

令和 2 年度に行った山口のため池底泥土の物理試験結果を表 1. 6－27 に、令和 3 年度に行った新潟の貯水池底泥土の物理試験結果を表 1. 6－28 に示す。令和 3 年度の試験結果には、別事業で行った試験結果も併記している。

表 1. 6-27 ため池底泥土の物理試験結果（山口）

項 目			試験値 ^{注1)}	備 考
一般	土粒子の密度	ρ_s Mg/m ³	2.620	
	自然含水比	w_n %	111.1 [94.9]	
	湿潤密度	ρ_t Mg/m ³	1.361	ジグギング試料
粒度組成	礫分	(2~75mm) %	4.3 [19.8]	
	砂分	(0.075~2mm) %	14.7 [12.3]	
	シルト分	(0.005~0.075mm) %	36.1 [30.2]	
	粘土分	(0.005mm 未満) %	44.9 [37.7]	
	最大粒径	D_{max} mm	4.75 [75.0]	
	細粒分	$F_d(0.075\text{mm 未満})$ %	81.0 [67.9]	
特性 コンシステンシー	液性限界	w_L %	124.0	
	塑性限界	w_P %	46.4	
	塑性指数	I_P -	77.6	
	コンシステンシー指数	I_C -	0.17	
	液性指数	I_L -	0.83	
水理	易効性有効水 (体積含水率)	w_e Vol.%	7.0	pF1.5 ($-\phi=3.1$) pF3.0 ($-\phi=98$)
	透水係数 ^{注2)}	k m/sec	2.23×10^{-6}	土砂 (保水性試験試料)
			3.23×10^{-8}	泥土 (ジグギング供試体)
分類	地盤材料の 分 類 名		粘土 (高液性限界)	JGS 0051
	分類記号		(CH)	JGS 0051
	土性区分		SiC (シルト質壤土)	国際法

注 1) 4.75mm ふるい通過試料の値. [] 内は有姿試料の値.

注 2) 上段は, $q_c=200\text{kN/m}^2$ が得られる含水比に調整した試料を突固めて都市公団仕様で締固めたとき
と同一密度となるように突固めて作成した供試体.

下段は, JIS A 1104 に準じてジグギング※により作製した供試体.

※ジグギング (JIS A 1104)

容器をコンクリート床のような強固で水平な床の上に置き, 材料をほぼ等しい 3 層に分けて詰める.
各層ごとに容器の片側を約 5cm 持ち上げて床をたたくように落下させる. 次に反対側を約 5cm 持ち上
げ落下させ, 各側を交互に 25 回, 全体で 50 回落下させる.

表 1. 6-28 貯水池底泥土の物理試験結果（新潟）

項 目			本事業 2021.09 採取試料 ^{注1)}	他事業 2017.08 採取試料 ^{注2)}
一般	土粒子の密度	ρ_s Mg/m ³	2.699	2.662
	自然含水比	w_n %	56.7 [55.9]	48.7
	湿潤密度	ρ_t Mg/m ³	1.615	1.735
粒度組成	礫分	(2~75mm) %	0.4 [1.2]	6.1
	砂分	(0.075~2mm) %	7.8 [7.7]	15.8
	シルト分	(0.005~0.075mm) %	60.3 [59.8]	48.9
	粘土分	(0.005mm 未満) %	31.5 [31.3]	29.2
	最大粒径	D_{max} mm	4.75 [26.5]	26.5
	細粒分	$F_d(0.075\text{mm 未満})$ %	91.8 [91.1]	78.1
特性 コンシステンシー	液性限界	w_L %	48.8	42.5
	塑性限界	w_P %	34.3	25.2
	塑性指数	I_P —	14.5	17.3
	コンシステンシー指数	I_C —	-0.54	-0.36
	液性指数	I_L —	1.54	1.36
水理	易効性有効水 ^{注3)} (体積含水率)	w_e Vol.%	7.9	—
	透水係数	k m/sec	1.15×10^{-7} ^{注4)}	1.0×10^{-8} ^{注6)}
			3.74×10^{-6} ^{注5)}	
分類	地盤材料の分類 ^{注7)}		(ML) シルト (低液性限界)	(FS-G) 礫まじり砂質細粒土
	土性区分 ^{注8)}		SiCL (シルト質埴土)	—

注 1) 官民連携新技術研究開発事業，4.75mm ふるい通過試料の値．〔 〕内は有姿試料の値．

注 2) 平成 29 年度 関川用水農業水利事業笹ヶ峰ダム緊急堆砂対策検討業務

注 3) pH1.5 ($- \phi = 3.1$) のときの水分量と pF3.0 ($- \phi = 98$) のときの水分量の差

注 4) $q_c = 200 \text{ kN/m}^2$ が得られる含水比に調整した試料を突固めて都市公団仕様で締固めたときと同一密度となるように突固めて作成した供試体．

注 5) JIS A 1104 に準じてジグギング*により作製した供試体．

注 6) JIS A 1210 呼び名 A で ρ_{dmax} の 90% になるように，最適含水比で締固めた供試体．

注 7) JGS 0051

注 8) 国際法（国際土壌科学連合法）

※ジグギング（JIS A 1104）

容器をコンクリート床のような強固で水平な床の上に置き，材料をほぼ等しい 3 層に分けて詰める．各層ごとに容器の片側を約 5cm 持ち上げて床をたたくように落下させる．次に反対側を約 5cm 持ち上げ落下させ，各側を交互に 25 回，全体で 50 回落下させる．

(a) 土粒子密度

ため池底泥土（山口）の土粒子密度は $\rho_s = 2.620 \text{ Mg/m}^3$ ，貯水池底泥土（新潟）の土粒子密度は $\rho_s = 2.669 \text{ Mg/m}^3$ で，ともに土の標準的な値を示し，特に火山灰性の軽質土や有機質土を多量に含んでいる様子はない。

(b) 含水比及び液・塑性

ため池底泥土（山口）の自然含水比（尖頭粒度）は $w_n = 111.1\%$ で，液性限界（ $w_L = 124.0\%$ ）に近いことから液性指数が $I_L = 0.83$ となり，やや鋭敏（練り返しによる強度低下が顕著）な粘土といえる．コンシステンシー指数は $I_c = 0.17$ であることから土が軟らかく，また，塑性指数が $I_P = 77.6$ であることから比較的粘性が高いことが分かる。

一方，貯水池底泥土（新潟）の自然含水比（尖頭粒度）は $w_n = 56.7\%$ で，液性限界（ $w_L = 48.8\%$ ）を越えていることから液性指数が $I_L = 1.54$ となり，圧縮性が大きく鋭敏（練り返しによる強度低下が顕著）な土といえる．コンシステンシー指数は $I_c = -0.54$ とマイナスであることから，土が極めて軟らかく，また，塑性指数が $I_P = 14.5$ であることから，塑性範囲が広く，粘性が高いことになる．自然含水比が液性限界より高いことは，既存調査でも確認されており，この土の状態は図 1. 6-3 でいえば“液状”ということになるが，写真 1. 6-3 (b) に示す状況から，土の状態としては写真 1. 6-1 に示す“泥土状”と“塊状”の間で，含水比が液性限界を超えても形を保持する，ある種特殊な土といえる．しかし，写真 1. 6-4 に示すように，振動をあたえることで液状を呈した。



(a) 貯泥水槽から採取した底泥土



(b) 振動を与えた底泥土

写真 1. 6-4 振動による貯水池底泥土の性状変化（新潟）

(c) 粒度

地盤工学会では，地盤材料の分類として，粒子径 $75 \sim 2 \text{ mm}$ を礫分， $2 \sim 0.075 \text{ mm}$ を砂分， $75 \mu\text{m}$ 未満を細粒分（ F_c ）と定義しており，細粒分中 $5 \mu\text{m}$ 以上をシルト分，それ未満を粘土分としている．ため池底泥土（山口）の細粒分含有率は $F_c = 81.0\%$ ，貯水池底泥土（新潟）の細粒分含有率は $F_c = 91.8\%$ であり，いずれも地盤材料の工学的分類体系による「細粒土； F_m 」に分類される．液性限界等に基づく小分類においてはため池底泥土は「粘土（高液性限界）；（CH）」に，貯水池底泥土は「シルト（低液性限界）；（ML）」に

分類される土質である．いずれも農水基準で望ましいとされている $f_c \leq 35\%$ は満足していない．

ため池底泥土の粒径加積曲線を図 1. 6-14 に，三角座標分類を図 1. 6-15 に，塑性図を図 1. 6-16 にそれぞれ示す．

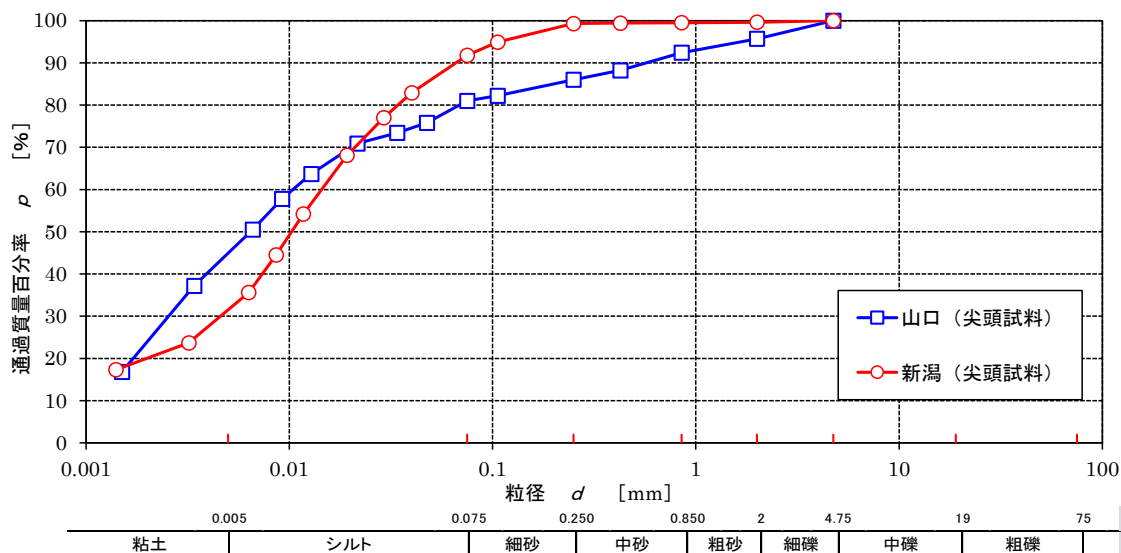


図 1. 6-14 ため池（山口）及び貯水池（新潟）底泥土の粒径加積曲線

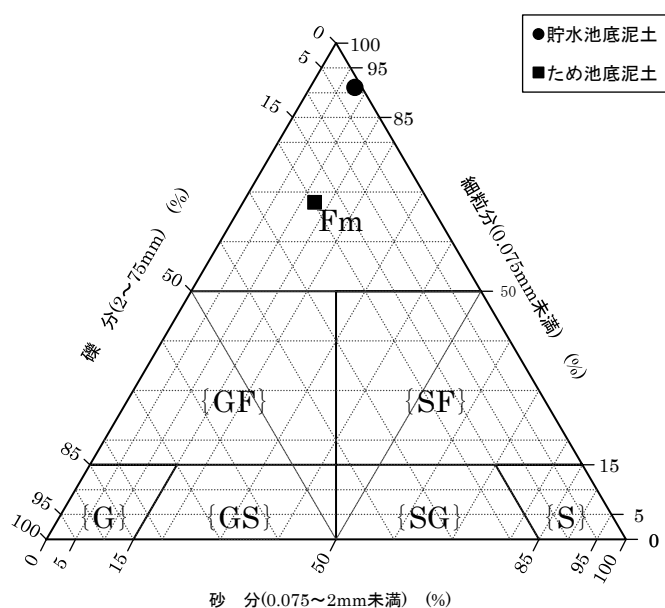


図 1. 6-15 ため池（山口）及び貯水池（新潟）底泥土の三角座標分類

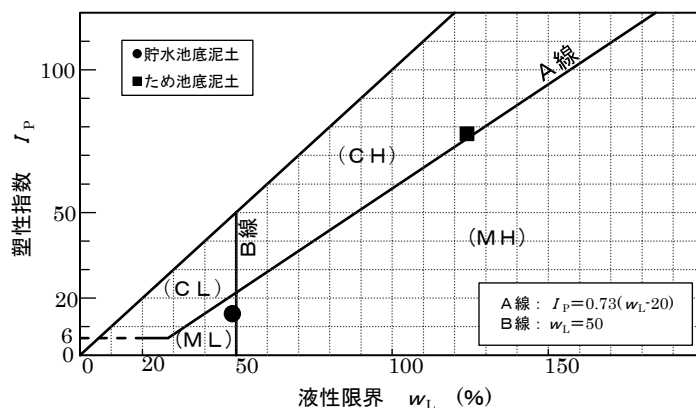


図 1. 6-16 ため池（山口）及び貯水池（新潟）底泥土の塑性図

一方、農学土壌の土性判定における土壌の粒径区分及び土性区分は表 1. 6-3 及び表 1. 6-4 に示したとおりで、これに基づく、ため池底泥土の土性分類は SiC（シルト質埴土）、貯水池底泥土の土性分類は SiCL（シルト質埴壤土）に分類される。

国際法に基づくため池及び貯水池底泥土の粒度組成を表 1. 6-29 に、土性三角図表を図 1. 6-17 にそれぞれ示す。結果、貯水池底泥土（新潟）は土性の目標範囲内に収まっているが、ため池底泥土（山口）はわずかながら目標範囲から外れている。

表 1. 6-29 国際法に基づくため池及び貯水池底泥土の粒度組成

区 分	項 目	粒度構成		
		砂分 (2~0.02mm)	シルト分 (0.02~0.002mm)	粘土分 (0.002mm 未満)
ため池底泥土 (山口)	含量 (%)	27.0	47.9	25.1
	土性区分	SiC（シルト質埴土）		
貯水池底泥土 (新潟)	含量 (%)	30.5	49.3	20.2
	土性区分	SiCL（シルト質埴壤土）		

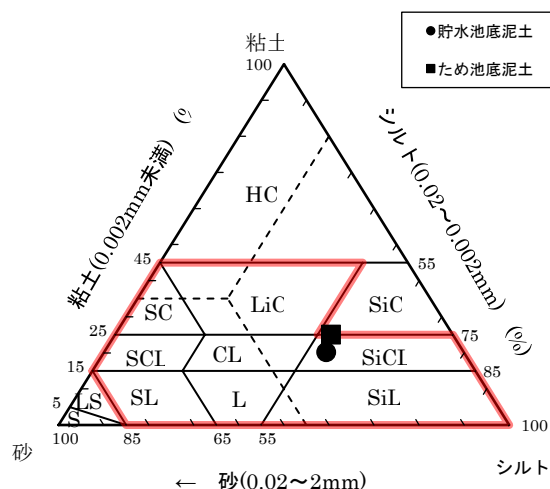


図 1. 6-17 ため池（山口）及び貯水池（新潟）底泥土の土性三角図表