

建設汚泥の中性固化処理方法について

山 本 達 生 勝 又 正 治
鶴 田 慎 之 介

要 旨

建設汚泥の再利用の割合は減量化を含め僅か14%に過ぎず、建設汚泥の適正な処理と有効利用は重要な課題になっている。一方、深刻な問題となっている湖沼の水質改善には、底泥の浚渫処理が不可欠であるが、浚渫した底泥の有効な再利用方法が確立されておらず、これが水質汚濁対策のひとつである底泥処理の妨げになっている。

建設汚泥や湖沼底泥を有効利用する場合、セメントや石灰等で固化処理する方法がある。しかし、有効利用の用途により、改良土のpHが中性を示していることが求められる事例が多々あり、建設汚泥のリサイクルや湖沼底泥処理を促進するためには、中性固化材の開発が急務の課題と考える。

以上のような状況を鑑み、大気浄化植物として注目されている『ケナフ』を特殊加工した中性固化材を開発した。本報告書は、本中性固化材による建設汚泥の中性固化処理方法について述べたものである。

キーワード ケナフ／建設汚泥／湖沼底泥／固化処理／中性／有効利用／植生

目 次

- | | |
|-------------------|-----------------|
| 1. はじめに | 5. 中性固化処理方法について |
| 2. 中性固化材について | 6. まとめ |
| 3. 建設汚泥に対する固化処理実験 | 7. おわりに |
| 4. 底泥に対する固化処理実験 | |

ABOUT A STABILIZATION PROCESSING METHOD OF CONSTRUCTION MUD
SLURRY USING THE NEUTRALITY STABILIZER

Tatsuo YAMAMOTO Masaharu KATSUMATA
Shinnosuke TSURUTA

Synopsis:

Because the re-utilization rate of construction mud slurry is only 14%, proper processing and effective use of construction mud slurry have become an important problem. To improve the water quality of the lakes and marshes, dredge up processing of the bottom mud is indispensable. But, there were no suitable processing methods of the sludge that dredge up was done, and this matter has become the obstruction of a water quality purification measure. So as to recycle the construction mud slurry and the bottom mud, there are many cases that are stabilized by cement or lime. It is sometimes requested that pH of improved soil is neutrality. So as to promote recycle the construction mud slurry and lakes and marshes bottom mud processing, development of neutrality stabilizer has become the problem of an urgent task. So, the writers developed neutrality stabilizer using kenaf. The kenaf is collecting attention as the atmospheric purification plant. This paper describes the neutrality stabilizer processing of construction mud slurry and the bottom mud.

1. はじめに

建設工事から発生する水分を多量に含んだ土砂は、『建設汚泥』と称され産業廃棄物に該当する。この建設汚泥の再利用率は減量化率を含めてもわずか 14%にしか過ぎず、建設省においては『建設リサイクル推進計画’97』を策定し、2000 年までに建設汚泥のリサイクル率を当初目標値である 35%から 60%に引き上げることとした。このような状況の中、建設汚泥の適切な処理と有効利用は重要な課題となっている。

一方、国内には数十万箇所湖沼があるが、生活環境項目(化学的酸素要求量(COD)または生物化学的酸素要求量(BOD))の環境基準を達成している湖沼は全体の 42.0%¹⁾にしか過ぎず、水質改善が依然として進んでいない状況にある。汚れた湖沼では、特に夏になるとアオコの発生や悪臭などの水質汚濁が深刻な問題となるが、これは閉鎖水域の富栄養化によるもので、有機物を含む底泥の堆積が原因となっている。富栄養化の原因となる窒素・リンは底泥から溶出するため、湖沼の水質を改善するには、この底泥の浚渫処理が不可欠となる。しかしながら、浚渫した底泥の適切な処理方法が確立されておらず、これが底泥処理の妨げになっている。

建設汚泥や湖沼の底泥を有効利用する場合、セメントや石灰等の固化材を用いて固化処理する方法がある。しかし、セメントや石灰等の固化材により固化処理された改良土からは、セメントや石灰等の固化材に含まれる六価クロムが土壤環境基準を超える濃度で溶出する恐れがあること²⁾、改良土は高アルカリ性を示すことなどから、有効利用用途に制限を課せられる事例が増加している。

よって、建設汚泥や湖沼の底泥を中性のまま固化処理できれば、その改良土は農地の嵩上げ土、地下水位以下や水源地近くの埋め戻し土、植生用土壌、盛土等の覆土として有効利用することができ、建設汚泥の再利用率の拡大、湖沼底泥処理の促進に大きく貢献できると考えられる。また、湖沼の底泥は植物肥料として栄養分に富んでおり、農地などへ還元した場合には最適な土壌となると考えられる。以上のような状況から、建設汚泥や底泥の積極的な有効利用を目的として、有害物質等を含まない中性の固化材を開発することとした。本報告書は、開発した中性固化材により改良した土の性状について述べたものであり、建設汚泥や底泥の中性固化処理方法を提案するものである。

2. 中性固化材について

開発した中性固化材は、『ケナフ』というアオイ科ハイビスカス属の 1 年草の植物を特殊な方法で加工したものであるため、中性で、有害物質等を含まない環境に配慮したものである。

このケナフは、1 シーズンで茎の直径が 2~3cm、高さが 4m 程度に成長し、この成長過程で地球温暖化の原因となる二酸化炭素を多量に吸収することから、大気浄化植物として注目を浴びているものである³⁾。さらに、

非木材パルプとして利用可能であるため、森林保護の視点からも注目を集めており、現在、その利用方法が検討されている材料である。

このケナフを特殊加工した中性固化材による固化のメカニズムは、吸水による物理反応を利用したものである。したがって、水分を多く含む泥土に本中性固化材を添加することで、泥土のコンシステンシーが変化し強度発現する。また、固化のメカニズムが吸水による物理反応を利用したものであるため、泥土に混合・攪拌するだけで強度発現する特徴を有している。

本中性固化材の特徴を以下にまとめる。

- ① ケナフを特殊加工して主材として用いている。
- ② 固化材の pH は 6.3 を示し中性である。
- ③ 自然材料を利用しているため、有害物質を含まない。
- ④ 固化のメカニズムは、吸水による物理反応である。
- ⑤ 泥土に混合・攪拌するだけで、固化処理できる。

3. 建設汚泥に対する固化処理実験

3.1. 実験に使用した汚泥

開発した中性固化材の建設汚泥に対する効果を確認する目的で、固化処理実験を実施した。固化処理実験の対象とした建設汚泥は、①骨材プラントより排出されたフィルタープレス脱水ケーキ(以下、SF)、②泥土圧シールド排出土(以下、TS)、同じく③泥土圧シールド排出土(以

表- 1 土質性状

			SF	TS	KS
土粒子の比重 G_s [g/cm^3]			2.692	2.676	2.646
粒度特性	礫分 2000 μm 以上 [%]		0.0	1.0	0.0
	砂分 75~2000 μm [%]		8.0	60.0	9.0
	シルト分 5~75 μm [%]		81.0	23.0	54.0
	粘土分 5 μm 以下 [%]		11.0	16.0	37.0
	最大粒径 [mm]		2.0	9.5	2.0
コンシ テンシー 特性	液性限界 W_L [%]		41.5	46.5	66.2
	塑性限界 W_p [%]		28.3	26	32.5
	塑性指数 I_p		13.2	20.5	33.7
含水比 W_n [%]			36.0	40.0	68.9
pH			6.83	9.80	-

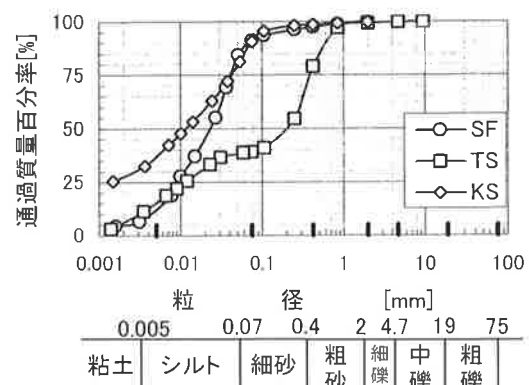


図- 1 粒度分布

下、KS)の3種類である。①～③の土質性状、粒度分布を、表-1、図-1に示す。これらより、SF、KSはともに粘土・シルト分が、TSは、砂分に富む泥土であった。また、TSは、地盤改良区を掘進したときの排泥であったため、高アルカリ性を示す泥土であった。

3.2. 実験方法

土質材料と固化材は、20ℓモルタルミキサーで60秒間混合・攪拌した。固化助材を併用した場合には、土質材料と固化助材を20ℓモルタルミキサーで60秒間混合・攪拌した後、これに中性固化材を添加して60秒混合・攪拌した。なお、固化助材とは、泥土中の過剰な水分を吸水する機能を有する高分子系有機材料である。

改良土の強度の測定方法は、『建設発生土利用技術マニュアル』⁴⁾のコーン指数の測定方法に準拠し、改良直後に強度測定を実施した。さらに、改良土のpHは、総理府令の排水基準を参考に5.8～8.6の範囲をもって中性域とし、pHの測定方法は、地盤工学会基準『土のpH試験方法』に準拠して行った。

3.3. 実験結果

(1) フィルタープレス脱水ケーキに対する効果

表-2、図-2に、SFに対する中性固化材添加量と改良強度の関係を示す。なお、表-2の*1に、機械的な乱れを与えずに測定したコーン指数を、*2に機械的な乱れ(*1を20ℓモルタルミキサーで30秒攪拌)を与えてから測定したコーン指数を示す。表-2中の*1、*2に示したように、SFは機械的な乱れを与えらると強度低下する傾向を示す。図-2に示すように、SFに対しては中性固化材添加量とコーン指数が比例関係にあり、SFを第3種改良土($qc \geq 0.4\text{MPa}$)⁴⁾に改良する場合の中性固化材の添加量は約 8kg/m^3 、第2種改良土($qc \geq 0.8\text{MPa}$)に改良する場合は、約 35kg/m^3 であった。なお、表-2に示したように、改良土のpHは全てのケースで中性であり、セメントや石灰等の処理土のような強アルカリ性を示すことはない。

(2) 泥土圧シールド排出土に対する効果

表-3、図-3に、泥土圧シールド排出土であるTS、KSに対する本中性固化材の添加量と改良強度の関係を示す。改良目標強度を第3種改良土($qc \geq 0.4\text{MPa}$)に設定した場合の中性固化材の最小添加量は、TSで約 59kg/m^3 、KSで約 96kg/m^3 となり、フィルタープレス脱水ケーキであるSFに比較して添加量が増大する傾向を示した。特に粘土・シルト分が卓越したKSにおいてその傾向は顕著であり、このままではコスト等の問題から、実用には供せないと判断した。

本中性固化材の固化のメカニズムは、吸水による物理反応が主である。したがって、泥土中の水分が多いと、本中性固化材の添加量も増えることとなる。このため、TS、KS中の過剰な水分を吸水する機能を有する助材を

表-2 フィルタープレス脱水ケーキ(SF)に対する効果

固化材添加量 [kg/m ³]	コーン指数 [MPa]	pH [-]
0 *1	0.38	6.83
0 *2	0.30	6.83
5	0.35	7.59
10	0.44	7.96
30	0.74	7.43

*1:機械的な乱れを与えずにコーン指数を測定

*2:機械的な乱れを与えてコーン指数を測定

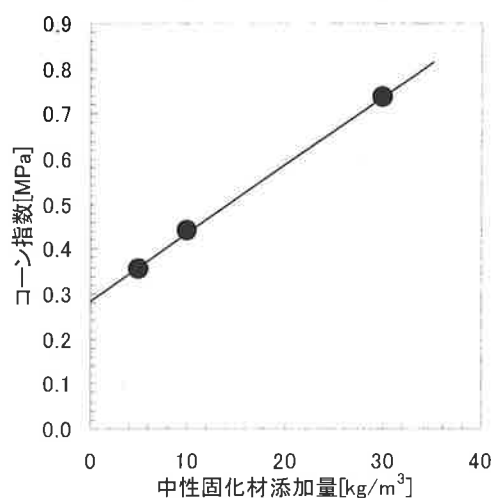


図-2 フィルタープレス脱水ケーキ(SF)に対する効果

表-3 泥土圧シールド排出土に対する効果

土質材料	固化材添加量 [kg/m ³]	コーン指数 [MPa]	pH [-]
TS	0	0.00	9.80
	34	0.07	9.34
	58	0.39	9.16
	107	2.57	9.02
KS	0	0.02	-
	20	0.02	-
	40	0.04	-
	60	0.10	-
	80	0.23	-
	100	0.51	8.26
	120	0.92	8.11

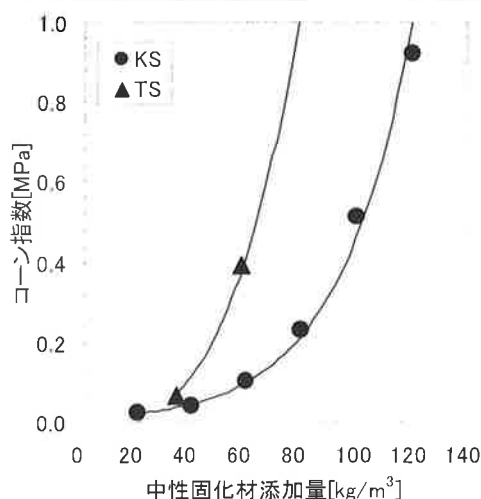


図-3 泥土圧シールド排出土に対する効果

併用することとした。固化助材として、高分子系凝集材、高分子吸水材等の数種類を検討した結果、植物から抽出した高分子材料による効果が最も高かった。

表- 4、図- 4に、植物から抽出した高分子材料を助材として併用した場合の TS、KS に対する本中性固化材の土質改良効果を示す。固化助材を併用する場合の中性固化材添加量は、TS で約 22kg/m³(固化助材 3.0kg/m³)、KS で約 37kg/m³(固化助材 5.0kg/m³)となった。したがって、固化助材を併用しない場合と比較すると、中性固化材の添加量は TS で約 62%、KS で約 30%低減することができ、固化助材を併用することで、十分実用に供することができるかと判断した。

表- 4 固化助材を併用した場合の効果

土質材料	固化材添加量 [kg/m ³]	固化助材添加量 [kg/m ³]	コーン指数 [MPa]	pH [-]
TS	16	3.0	0.32	9.65
	23.6	3.0	0.42	9.40
	29	3.0	0.51	9.35
KS	0	5.0	0.09	-
	20	5.0	0.27	-
	40	5.0	0.43	-
	60	5.0	0.67	-
	80	5.0	0.95	-

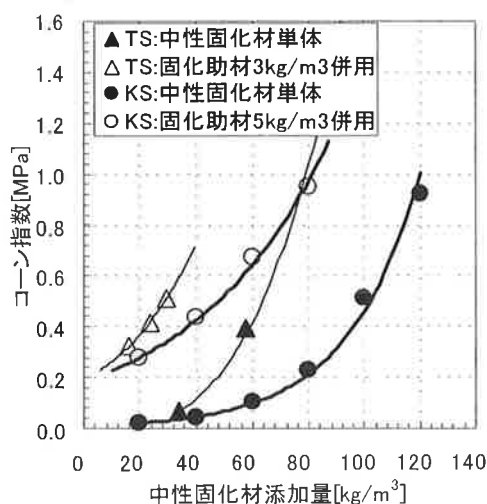


図- 4 固化助材を併用した場合の効果

なお、TS は地盤改良区を掘進したときの排泥であったため、固化材を添加する前の排泥の pH は 9.8 とアルカリ性を示していた。本中性固化材で固化処理していないケース(表- 3、表- 4中の添加量 0.0kg/m³)と、本中性固化材で固化処理したものの改良土の pH を比較すると、固化処理の前後で土の pH はほとんど変化していないことがわかる。つまり、セメントや石灰等で処理した場合の改良土は強アルカリとなるが、本中性固化材を用いると原泥の pH を変化させることなく固化処理することができる。TS のようにアルカリ性を示す泥土から、中性の改良土を得るためには、pH 調整材⁵⁾を併用する方法が考えられる。

以上の結果より、フィルタープレスで脱水処理された比較的含水比が低い建設汚泥に対しては、中性固化材のみで、さらに、泥土圧シールド排出土のような比較的含水比が高い建設汚泥に対しては、固化助材を併用する中性固化処理方法を提案できた。

4. 湖沼底泥に対する固化処理実験

4.1. 実験に使用した底泥

開発した中性固化材の効果を確認する目的で、建設汚泥に比較して含水比が高い浚渫へドロに対する固化処理実験を実施した。固化処理実験の対象とした浚渫へドロは、湖水が下がり底泥が露出した部分より採取した湖沼底泥(以下、KH)である。KH の土質性状、粒度分布を表- 5、図- 5に示す。これらより、KH は粘土・シルト分が卓越し、液性限界と塑性限界が高く、含水比は液性限界を上回る泥土であった。

表- 5 KH の土質性状

			KH
土粒子の比重 Gs [g/cm ³]			2.356
粒度特性	礫分 2000 μm 以上 [%]		0.0
	砂分 75~2000 μm [%]		1.0
	シルト分 5~75 μm [%]		77.0
	粘土分 5 μm 以下 [%]		22.0
	最大粒径 [mm]		0.11
コンシステンシー特性	液性限界 W _L [%]		257
	塑性限界 W _p [%]		124
	塑性指数 I _p		133
含水比 W _n [%]			445.7
pH			6.66

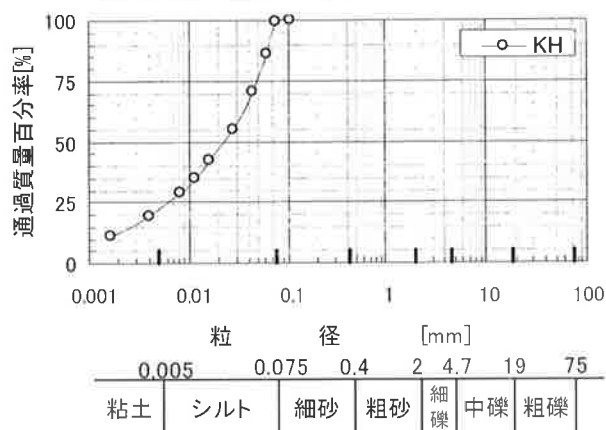


図- 5 KH の粒度分布

4.2. 中性固化材の添加量に関する検討

(1) 実験方法

泥土と本中性固化材は、20ℓモルタルミキサーで 60 秒間混合攪拌した。なお、固化助材を併用した場合には、土質材料に中性固化材と固化助材を同時に添加し、20ℓモルタルミキサーで 60 秒間混合・攪拌した。泥土圧シ

ールド排出土である TS,DP の改良実験では、植物から抽出した高分子材料を固化助材として使用したが、KH には高分子吸収材がもっとも効果的であった。

一方、底泥の含水比は 416.3%と高く、前述した泥土圧シールド排出土の実験結果から予測すると、多量の中性固化材や固化助材を使用することが考えられた。高含水の土をセメントや石灰で固化処理する場合においても、一次脱水(ベルトプレスやスクリーブプレス等の機械脱水)処理を実施することで、固化材添加量を低減できる。そこで、一次脱水処理を模擬し、以下の方法で含水比を低減させた実験を行った。なお、含水比の低減目標値は、液性限界である 257%(表-5参照、機械脱水相当)とした。実験方法 A: 含水比調整をしないで中性固化材のみを底泥に添加したケース。中性固化材を添加する前の底泥の含水比は、416.3%。

実験方法 B: 底泥を乾燥炉で数時間乾燥させて含水比調整を実施した後、中性固化材のみを添加したケース。中性固化材を添加する前の含水比は 254.3%。

実験方法 C: 浚渫土を API ろ過試験器により脱水させてから、中性固化材と固化助材(6kg/m³)を底泥に添加したケース。中性固化材等を添加する前の底泥の含水比は、229.4%。

なお、実験方法 B では、含水比調整を早めるために乾燥炉を使用した。実験方法 C では実際の脱水機を想定し API ろ過試験器による含水比調整を実施した。脱水条件は、ろ過圧力 4.0kgf/cm²でろ水が滴下しなくなるまで(約 30 分間)とした。

改良土の強度の測定方法は、『建設発生土利用技術マニュアル』のコーン指数の測定方法に準拠した。さらに、改良土の pH は、総理府令の排水基準を参考に 5.8~8.6 の範囲をもって中性域とし、pH の測定方法は、地盤工学会基準『土の pH 試験方法』に準拠して行った。

KH は湖沼底泥であるため、農地の嵩上げ用土壌や植生用土壌としての利用が特に有効であると考え、改良目標強度を第 4 種改良土⁴⁾に区分される 0.2MPa 以上とした。

(2) 実験結果

表-6、図-6に KH に対する中性固化材の添加量と改良強度の関係を実験方法毎に示す。実験方法 A では、改良土の強度を qc=0.2MPa にするために必要な中性固化材の添加量が約 168kg/m³となり、事前に予測したとおり実用に供さない。これは、KH の含水比が SF,TS,KS に比較し 6.5~12.4 倍高いためである。

実験方法 B では、改良土の強度を qc=0.2MPa にするのに必要な中性固化材添加量が約 83kg/m³となり、改良方法 A に比較して中性固化材添加量を約 50%縮減できた。

実験方法では、改良土の強度を qc=0.2MPa にするために必要な中性固化材添加量は約 27kg/m³となり、実験方法 A に対して 83.6%、実験方法 B に対して 67.1%、中性固化材添加量を縮減できた。含水比の高い底泥に対

しては、一次脱水を行い中性固化材と固化助材を併用することで、実用に共せる改良が行えるものと評価できる。

また、実験方法 A,C では、改良後も土は中性を示すが、実験方法 B では、改良前の土は弱酸性を示した。これは、浚渫土を乾燥した影響と考えられる。

表-6 中性固化材添加量と改良強度の関係(KH)

実験方法 (改良前含水比)	固化材 添加量 [kg/m ³]	固化助材 添加量 [kg/m ³]	コーン指数 [MPa]	pH [-]
A (416.3%)	160	0	0.13	6.19
	170	0	0.24	6.00
	180	0	0.31	6.07
	200	0	0.52	5.93
B (254.3%)	0	0	0.03	5.55
	80	0	0.16	5.53
	100	0	0.37	5.49
	120	0	0.61	5.51
C (229.4%)	0	0	0.03	6.42
	20	6	0.16	6.54
	40	6	0.26	6.55
	60	6	0.36	6.46

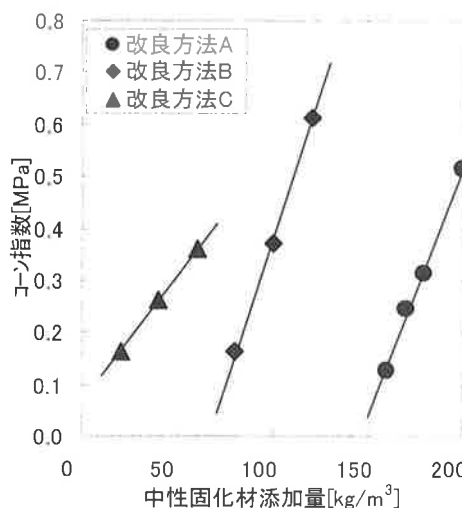


図-6 中性固化材添加量と改良強度の関係(KH)

4.3. 強度低下に関する検討

(1) 実験方法

有効利用先での敷き均し作業等を受けた場合を想定し、繰り返しの効果による改良土の強度特性変化を把握する検討を行った。改良土は以下に示す方法により作成した。実験条件 A: 絶乾させた KH に水を添加して含水比を 180%に調整。

実験条件 B: 実験条件 A で作成した改良土を攪拌。

実験条件 C: 180%に含水比調整した KH に、中性固化材を 60kg/m³添加し攪拌。

実験条件 D: 実験条件 C で作成した改良土を再攪拌。

なお、攪拌は 20ℓモルタルミキサーで 60 秒間実施した。

(2) 実験結果

表-7、図-7に実験結果を示す。実験条件 A,B で示し

たように、脱水処理しか実施していない改良土は、練り返されることで大幅に強度低下をする。一方、実験条件 C、D で示したように、本中性固化材で改良した土は、練り返されても強度低下しないことが分かった。この結果から、本中性固化材により改良された土は、有効利用先での敷き均し作業等で練り返された状態においても、強度低下しにくい材料であると評価できる。

5. 中性固化処理方法について

本中性固化材の固化のメカニズムは、吸水による物理反応が卓越している。よって、目標強度に改良するために必要な中性固化材の添加量は、泥土中の水分量に大きく依存する。泥土圧シールド排出土のように、機械脱水処理を実施しても、泥土の含水比を大幅に改善できないようなものについては、固化助材を併用が必要である。

さらに、泥水加圧シールド排出土や浚渫土のように比較的高い含水比の土に対しては、機械脱水処理を実施して含水比を大幅に縮減し、固化助材の併用を考慮して中性固化処理を行うのが効果的である。

なお、本中性固化材で建設汚泥や湖沼底泥を改良する方法として、図-9、図-8に示す方法が提案できる。

泥土圧シールド排出土のように、比較的含水比が低い土に対しては、図-9に示したように、固化助材を併用し、中性固化処理する方法が最適であるといえる。

さらに、泥水加圧シールド排出土や浚渫土のように、含水比が比較的低い土に対しては、図-8に示したように機械脱水処理をした後、必要に応じて固化助材を併用し、中性固化処理する方法が最適であるといえる。

6. まとめ

以上の実験結果から、以下に示すことが分かった。

- ① 本中性固化材の添加量を調整することで、改良土の強度設計が可能である。
- ② 本中性固化材の添加量は、脱水処理や、固化助材の併用で縮減できる。
- ③ TS、DP の泥土圧シールド排出土には植物から抽出した高分子材料が、KH には高分子吸水材が最適であり、泥土によって最適な固化助材の種類が異なった。
- ④ 改良前の土の pH は、本中性固化材、固化助材を添加しても変化せず、改良前の土の pH が中性であれば、本中性固化材により強度改善された改良土も中性である。

7. おわりに

今回の実験から、本中性固化材は、建設汚泥や湖沼底泥の pH を中性のまま改良することができることが分かった。なお、改良土は農地の嵩上げ土、植生用土壌、地下水位以下や水源地近くの埋め戻し、さらには盛土の覆土に有効に利用していけるものと考えらる。

今後は、泥土の種類によって最適な固化助材の種類が異なる理由を含め、本中性固化材の添加量をさらに縮減

する方法、改良土の植生実験、固化処理システム装置の開発等を実施して行く予定である。

表-7 強度低下に関する実験結果

実験条件	固化助材添加量 [kg/m ³]	コーン指数 [MPa]
A	0	0.11
B	0	0.03
C	60	0.31
D	60	0.29

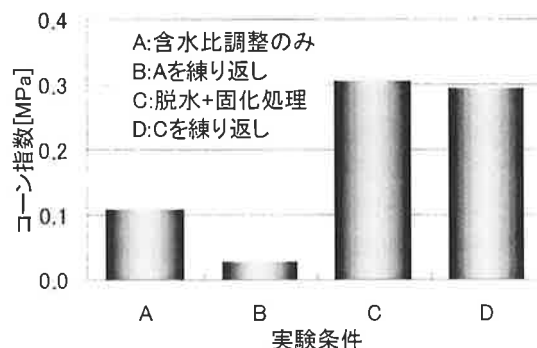


図-7 強度低下に関する実験結果

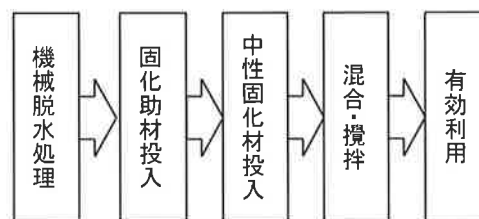


図-8 含水比の比較的高い汚泥を処理する方法

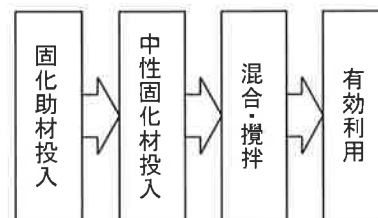


図-9 含水比の比較的低い汚泥を処理する方法

参考文献

- 1) 環境庁：環境白書(各論), 1998, 6, p85
- 2) 建設省技調発第 48 号建設大臣官房技術審議官通達：セメント及びセメント系固化材の地盤改良への使用及び改良土の再利用に関する当面の措置について, 2000, 3
- 3) 非木材紙普及協会：ケナフの話, 1996, 2
- 4) (財)土木研究センター：建設発生土利用マニュアル, 1997
- 5) 勝又正治, 山本達生, 八重樫重雄, 上田紀彦：建設汚泥の中性固化処理方法について, 土木学会第 54 回年次学術講演会, 1999, 9, pp550-551