

建設汚泥の中性土質改良処理システムについて

山 本 達 生 勝 又 正 治
鶴 田 慎 之 介 安 井 利 彰

要 旨

近年、環境保全に対する意識の向上や、処分場の枯渇化に対する対策として、廃棄物発生の抑制を図るとともに、再生資源利用を促進する動きが高まっている。建設業においては、建設汚泥の再利用率が減量化率を含めてもわずか14%にしか過ぎず、「建設リサイクル推進計画'97」の策定により、建設汚泥の再利用促進の動きが活発化してきた。このような状況のなか、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土質改良材を開発し、その適用性について検討した。この結果、開発した中性土質改良材により建設汚泥を、中性のまま土質改良することができることが分かったため、本中性土質改良材による土質改良システムを考案し、その適用性を確認することとした。本報告書は、本中性土質改良材による泥土の土質改良システムの適用性について述べたものである。

キーワード ケナフ／建設汚泥／浄水汚泥／土質改良／中性／有効利用／植生

目 次

- | | |
|-----------------|----------------------|
| 1. はじめに | 4. 底泥の土質改良現場実証試験について |
| 2. 泥土改良システムについて | 5. おわりに |
| 3. 浄水汚泥の土質改良 | |
| 現場実証試験について | |

ABOUT A STABILIZATION PROCESSING SYSTEM OF MUD SLURRY USING THE NEUTRALITY STABILIZER

Tatsuo YAMAMOTO Masaharu KATSUMATA
Shinnosuke TSURUTA Toshiaki YASUI

Synopsis:

In recent years, to be more conscious of environmental conservation, and countermeasure to exhaustion of landfill, a tendency to recycling is increase rapidly. In general contractor business, 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.

In this situation, we develop a neutrality stabilizer that base material is kenf, and examine this material to see if it is suitable or not. Development of the agent is able to stabilize the mud slurry with neutrality after examination. So that, we design the plant for mud slurry stabilize system with the neutrality stabilizer agent, and examine this system to see if it is suitable or not. This paper describe the neutrality stabilizer processing of mud slurry.

1. はじめに

近年、環境保全に対する意識の向上や、処分場の枯渇化の対策として、廃棄物発生の抑制を図るとともに、再生資源利用を促進する動きが活発になってきている¹⁾。建設業では、建設汚泥の再利用率が減量化率を含めてもわずか14%にしか過ぎず²⁾、建設省においては『建設リサイクル推進計画'97』を策定し、建設汚泥のリサイクル率を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。

建設汚泥の再利用方法として、セメントや石灰等の固化材により有効利用の目的に応じた強度に改良する方法がある。しかしながら、これらの固化材により改良された土は高アルカリ性を呈するため、有効利用できない場合がある。そこで、建設汚泥の有効利用用途を拡大できる中性の改良方法が強く望まれている。

以上より、「ケナフ」という植物を主材とした中性土質改良材(以下、中性改良材とする)を開発し、その適用性について検討をした³⁾。この結果、中性改良材で土質改良した建設汚泥や湖沼底泥は、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できることが分かった。

このため、本中性改良材による土質改良システムを考案し、システムの適用性を現場実証実験により確認することとした。本報告書は、この現場実証実験の結果をまとめた報告である。

2. 泥土改良システムについて

中性改良材による土質改良のメカニズムは、主に泥土中の水分を中性改良材が吸水する物理反応を利用したものであるため、中性改良材の添加量は泥土の含水比に大きく影響を受ける³⁾。このため、含水比の高い泥土(泥水)を改良する場合は脱水工程が必要となり、中性改良材による泥土の土質改良システムは、図-1に示す機能を有するシステムとする必要がある。

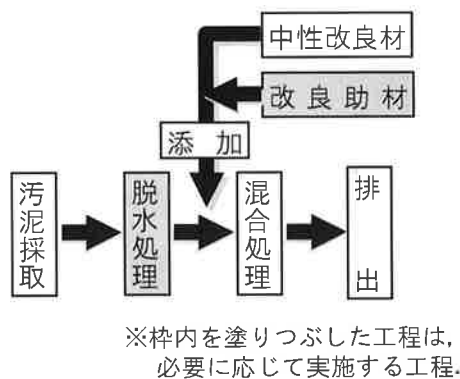


図-1 中性改良材による土質改良フロー概念図

3. 浄水汚泥の土質改良現場実証試験について

3.1 目的

全国の水道事業、および、水道用水供給事業における汚泥発生量は約25.4万t(dry)/年であり、浄水場あたりの平均汚泥発生量は530t(dry)/年である。一方、浄水場で大量に発生する汚泥は産業廃棄物として処理されてきたが、環境保全、費用削減の観点から、汚泥の減量化と再利用を促進する必要に迫られている⁴⁾。浄水汚泥は、セメント用原料としても有効利用されているが、これについてもその利用量に限度がある。そこで、農業用土や植生用土壌として有効利用することを目的とした浄水汚泥改良システムの適用性に関する現場実証実験を、静岡県の浄水場で実施した。なお、浄水汚泥改良システムの適用性の判断基準である改良土の要求品質として、①pHが中性であること、②改良土の強度がコーン指数で0.2MPa以上であること、③植生用土壌に適した団粒構造を示すことの3点とした。

3.2 浄水汚泥の性状について

実験に使用した浄水汚泥の土質性状を表-1に、粒度分布を図-2に示す。これより、本浄水場で発生する汚泥は、シルト・粘土分に富み、液性限界が300%と高いものであった。

表-1 浄水汚泥の土質性状一覧

土粒子の比重 Gs		2.294
粒度特性	礫分 (2000 μ m以上) [%]	0
	砂分 (75~2000 μ m) [%]	12
	シルト分 (5~75 μ m) [%]	53
	粘土分 (5 μ m以下) [%]	35
	最大粒径 [mm]	0.85
コンシステンシー特性	液性限界 W_L [%]	300.5
	塑性限界 W_P [%]	85.2
	塑性指数 I_P [-]	215.3
含水比 [%]		358.2
pH		7.2

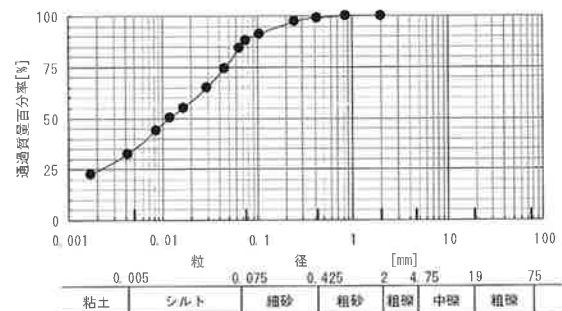


図-2 粒度分布

浄水場で発生する汚泥は、通常天日乾燥が行われている。しかし、シルト・粘土分の卓越している汚泥の天日乾燥は非常に効率が悪いので、今回は、発生した汚泥をそのまま脱水して中性改質を試みた。そこで、発生した時点の汚泥含水比を想定し、処理対象とした浄水汚泥の含水比を700%に調整した。含水比調整した浄水汚泥を写真-1に示す。なお、含水比調整した浄水汚泥の比重は1.07g/cm³、pHは6.72であった。



写真-1 含水比調整後の浄水汚泥

3.3 浄水汚泥の土質改良システムの概要

(1) 全体の概要

図-3に実証実験に使用した機器類を示し、写真-2に全景を示す。脱水機には連続処理が可能なスクリーンプレス、混練機には二軸パドルミキサーを使用することとした。

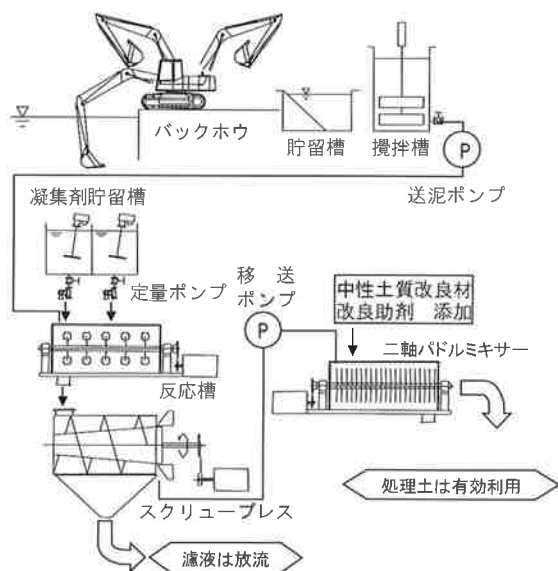


図-3 浄水汚泥の土質改良システム概要図



写真-2 土質改良実験装置全景

(2) 脱水工程

現場実証実験では、写真-3に示すテスト機(公称能力20~30kg(dry)/hr)を使用した。なお、高含水の汚泥を中性改質する場合、含水比を液性限界付近まで下げることで、添加する改良材の量を減らせることが分かっている³⁾。そこで、スクリーンプレスによる脱水ケーキの要求品質は、

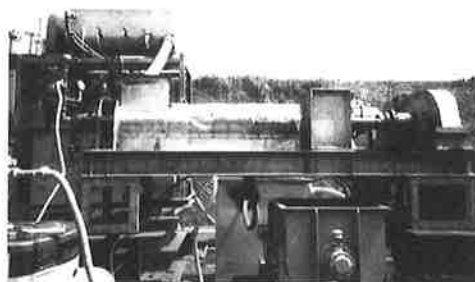


写真-3 スクリュープレス全景

液性限界付近(300%)まで脱水処理できることとした。

(3) 混練工程

浄水汚泥処理システムの混練機は2軸の連続パドルミキサーを、また、中性改良材の添加は定量フィーダーによる連続投入を想定しているが、本現場実証試験では処理量が少ないため、土質改良材の添加はバッチで、混練機は写真-4に示すバッチ式二軸パドルミキサー(100ℓ)を使用した。なお、スクリーンプレスからの脱水ケーキの移送には、移送量を定量的に把握できるという観点よりモノーポンプ(公称能力 吐出量2.5m³/hr、回転数70rpm)を使用した。土質改良材には、開発した中性改良材と市販の改良材(高分子吸水材)を使用した。

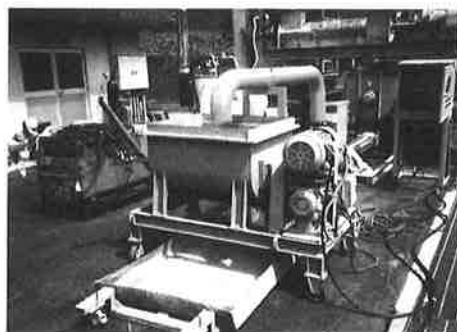


写真-4 混練機

3.4 実験結果

(1) 脱水実験結果

表-2に品質管理項目と方法を示す。なお、現地でのピーカーテスト等によって、凝集剤の種類、および、添加量を以下のように決定した。

ポリ塩化アルミニウム : 2.5ℓ/m³
 アニオン系高分子凝集剤 : 0.1%濃度 170 ℓ/m³
 カチオン系高分子凝集剤 : 0.1%濃度 170 ℓ/m³

このときの脱水特性を表-3 に示す。脱水処理を行うことで、含水比 165% の良好な脱水ケーキ（写真-5 参照）が得られ、さらに、脱水ケーキのコーン指数は 0.39MPa を示した。しかし、モノーポンプによる移送中の練り返しによって 0.10MPa まで強度低下を示した。

表-2 品質確認項目と方法

工程	確認品質項目	要求品質	分析法
汚泥採取工程	含水比	700%	電子レンジを用いた含水比試験 (JGS T 122-1995) 準拠
脱水工程	含水比	300%以下	電子レンジを用いた含水比試験 (JGS T 122-1995) 準拠
混練工程	コーン指数	0.2MPa以上	『建設発生土利用技術マニュアル』 ⁵⁾ 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
	pH	5.8～8.6	土のpH試験方法 (JSF T 211-1990) に準拠

表-3 スクリュープレスによる浄水汚泥脱水特性

脱水ケーキ含水比	[%]	165
脱水ケーキコーン指数	[MPa]	0.39
ポンプ移送後コーン指数	[MPa]	0.1
脱水ケーキpH		6.15
減容化率※	[%]	78.7

※減容化率：脱水ろ液量/処理汚泥量×100



写真-5 脱水ケーキの状況

(2) 混練工程実験結果

混練工程で、移送された脱水ケーキに中性改良材と改良助材を添加し、二軸パドルミキサーで1分間混練した。混練実験結果を表-4、図-4 に示す。これより、中性改良材 10kg/m³、改良助材 6kg/m³ の添加で、改良土のコーン指数は要求品質の 0.2MPa に達した。また、中性改良材添加により塊状であった脱水土は団粒化し(写真-6 参照)、改良土の pH は中性改良材の添加量に関わらず中性域を維持する結果が得られた。

表-4 土質改良結果

添加量[kg/m ³]		コーン指数 [MPa]	pH
中性改良材	改良助材		
0	0.0	0.10	6.15
10	6.0	0.22	6.24
20	6.0	0.26	6.18
30	6.0	0.31	6.09
40	6.0	0.32	6.26
60	6.0	0.42	6.31
80	6.0	0.48	6.29

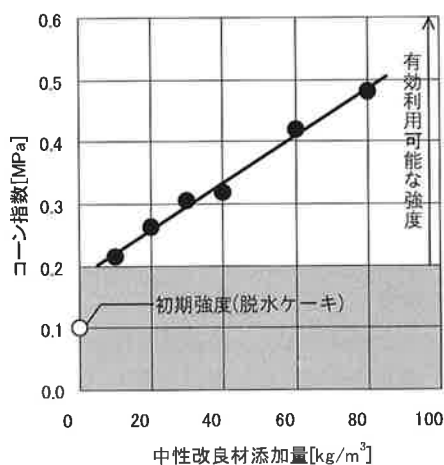


図-4 中性土質改良材添加量と改良土の強度の関係

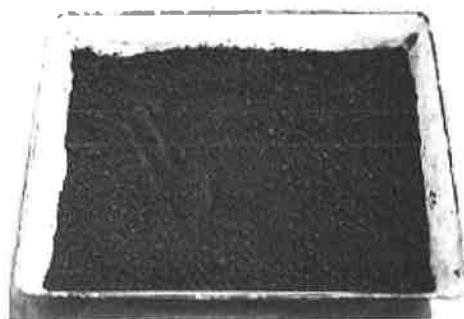


写真-6 改良土の状況

3.5 浄水汚泥の土質改良実験結果のまとめ

中性改良材を用いた浄水汚泥の土質改良現場実証実験を行い、浄水汚泥の土質改良システムの妥当性を検証した結果、今回の実験で使用した機械の機能を有することで、浄水汚泥を要求品質を満足する土へ改良できることを確認した。しかし、スクリュープレスで脱水可能な程度に浄水汚泥を凝集するためには、ポリ塩化アルミニウム、アニオン系高分子凝集剤、カチオン系高分子凝集剤の3種類の凝集剤が必要となり、また、342.5ℓ/m³もの添加量が必要となった。比較的自然に対する影響が少ないとされているアニオン系高分子凝集剤は、ポリ塩化アルミニウムを併用しても、スクリュープレスで脱水可能な程度まで浄水汚泥を凝集させることができなかった。本

システムで改良した土の利用目的は植生用土壌であるため、改良土に多量の凝集剤が残留することは望ましくない。

スクリーンプレスやベルトプレスなどの連続脱水機は、バッチ式脱水機であるフィルタープレスに比較してろ過圧力が小さい。このため、フィルタープレスに比較して小さい設備で脱水処理が行えるが、ろ過圧力が小さい分、泥水のろ過抵抗を小さくする必要がある。このため、脱水性の劣るシルト・粘土分に富む浄水汚泥や底泥を脱水する場合、連続式脱水機に対しては、凝集力の強い薬剤を多量に添加する必要がある。今回の実験では、多量の凝集剤を添加する結果となった。以上より、浄水汚泥改良システムを実現現場で適用する場合には、脱水機の選定を再検討する必要があることが分かった。

4. 底泥の土質改良現場実証試験について

4.1 目的

日本全国には、数十万カ所の湖沼があるが、生活環境項目(COD または BOD)の環境基準を達成している湖沼は全体の 42.3%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⁶⁾。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。このため、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いるとは言い難く、底泥処理が積極的に行われていないのが現状である。底泥は植物肥料としての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。このため、底泥の土質改良システムに対するニーズも浄水汚泥処理と同様に高い。このため、土質改良システムの再検討を、兵庫県明石市のため池の浚渫底泥を使用して実施することとした。なお、現場実証実験期間中、本ため池は築堤工事により、写真・7に示すように、池の水を排水してドライ状態としていた。



写真-7 現場実験期間中のため池の状況

4.2 底泥の性状について

底泥の土質性状を表-5 に、粒度分布図を図-5 に示す。これより、本ため池の底泥は、シルト・粘土分に富み、液性限界が 160%と高かった。また、底泥の pH は弱酸性を示していた。

湖沼の水を排水し湖面をドライ状態にできる場合は少ないため、今回の実験では、水をはったままグラブ浚渫船、または、ポンプ浚渫船により浚渫した底泥を処理することを想定し、バックホー浚渫した底泥に加水して含水比調整を行った。含水比調整は実験期間中に 3 回実施した。含水比調整後の底泥の性状を表-6 に示す。

表-5 底泥の土質性状一覧

土粒子の比重 Gs		2.484
粒度特性	礫分 (2000 μ m以上) [%]	0
	砂分 (75~2000 μ m) [%]	3
	シルト分 (5~75 μ m) [%]	60
	粘土分 (5 μ m以下) [%]	37
	最大粒径 [mm]	0.425
コンシステンシー特性	液性限界 W_L [%]	160.1
	塑性限界 W_P [%]	58.5
	塑性指数 I_P [-]	101.6
含水比 [%]		153.5
pH		5.8

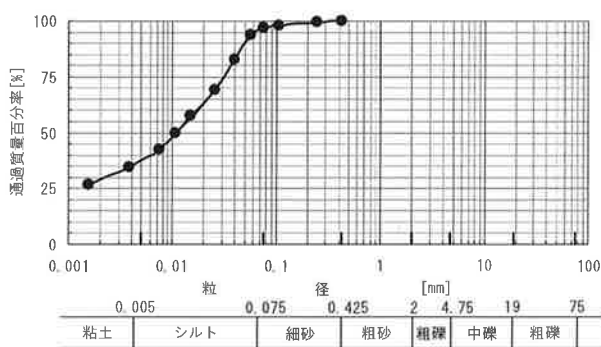


図-5 粒度分布

表-6 含水比調整した泥水性状一覧

希釈原泥 No.	比重 [g/cm ³]	含水比 [%]	pH	粘性 [sec]
1	1.155	493.2	4.55	-
2	1.190	318.5	5.07	8.51
3	1.160	334.8	5.38	8.30

4.3 底泥改良システムの概要

(1) 全体概要

浄水汚泥の土質改良システム同様、脱水工程と混練工程から成るシステムを検討することとした。なお、今回

は、ろ過圧力の高いフィルタープレスを選定した。今回の実験に使用した機器類を図-6に、全景を写真-8に示す。

(2) 脱水工程

本現場実証実験では、写真-9に示す0.06m³の簡易型フィルタープレスを使用した。また、脱水機の運転条件は、ろ過圧力を4.0、または、5.0kgf/cm²一定とし、単位時間あたりの脱水ろ液量が一定値に収束した時点で脱水工程終了とした。また、脱水工程における要求品質は、液性限界(160%)付近まで脱水されていることとした。

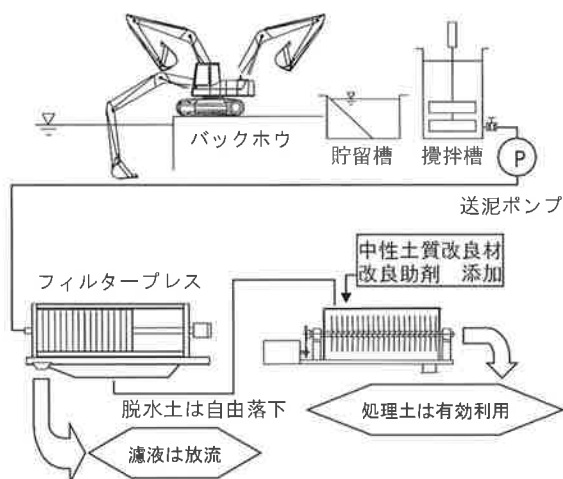


図-6 底泥の土質改良システム概要図



写真-8 底泥の土質改良実験装置全景



写真-9 実験に使用したフィルタープレス

(3) 混練工程

混練機は、浄水場での現場実証実験に使用した混練機(写真-4参照)と同じ機械を用いた。なお、フィルタープレスから混練機への脱水ケーキの移動は自由落下により行い、中性改良材の添加はバッチで計量して投入した。なお、脱水ケーキの重量は、フィルタープレスのろ室容積、

脱水ケーキの湿潤密度から算出した。中性土質改良材には、開発した中性改良材と、市販の改良助材(高分子吸水材)を使用した。

4.4 実験結果

(1) 脱水工程

現地でのビーカーテストによって、凝集剤にポリ塩化アルミニウム30ℓ/m³を使用することとした。脱水結果を表-7に示す。得られた脱水ケーキは、液性限界(160.1%)を大幅に下回る含水比を示すもの(写真-10)が得られた。

表-7 脱水結果

	1回目	2回目	3回目
脱水ケーキ含水比 [%]	52.4	57.1	49.1
脱水ケーキコーン指数 [MPa]	0.45	-	-
脱水ケーキpH	4.55	5.07	5.38
減容化率※ [%]	82.2	72.8	75.6

※減容化率：脱水ろ液量/処理汚泥量×100



写真-10 脱水ケーキ

(2) 混練工程

脱水ケーキは表-7に示すように、含水比が大幅に低下したことから、0.45MPa(コーン指数)を示し、土質改良を行わなくても有効利用可能な強度を示していた。しかし、表-8、図-7に示すように、混練機で練り返すことで急激に強度低下する傾向を示し、4分間以上の練り返しでコーン指数は0.20MPaを下回る結果となった。

改良土は有効利用先で敷き均しや転圧などの作業中に、重機等で練り返される。以上の実験結果より、脱水ケーキは練り返しの影響で強度低下を招くため、そのままでは有効利用できない。また、脱水ケーキを植生用土壌として利用する場合、脱水ケーキは団粒化しておらず、やはり土質改良を行う必要がある。なお、練り返しを実施した脱水ケーキを写真-11示す。

簡易型フィルタープレスで脱水したケーキに対する中性改良材の混練実験結果を表-9、図-8に示す。なお、脱水ケーキに対する混練実験は、バッチ式パドルミキサー(100ℓ)で6分間、脱水ケーキを練り返して十分強度を低下させた状態から中性改良材を添加した。なお、6分間混練ミキサーで練り返した脱水ケーキの強度は0.16MPa(表-9中の中性土質改良材添加量0kg/m³、土質改良助材添加量0kg/m³参照)であった。

表-8 練り返し強度結果一覧

練り返し時間 [分]	コーン指数 [MPa]
0	0.45
2	0.24
4	0.20
6	0.16

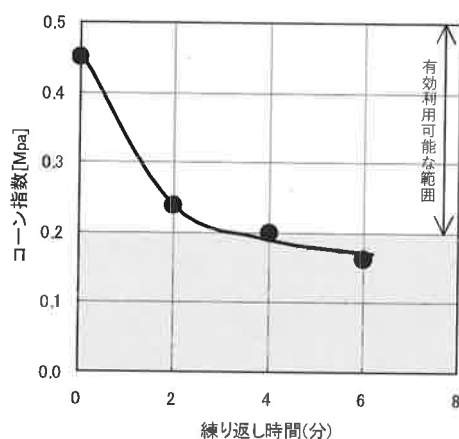


図-7 練り返し実験結果

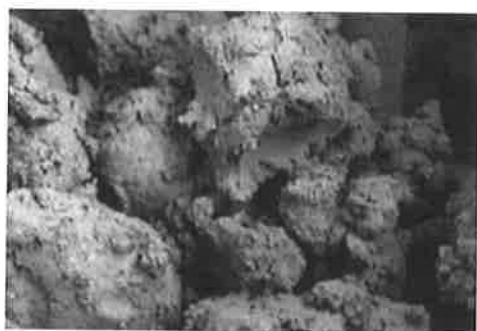


写真-11 練り返した脱水土

図-8 中の◆に示すように、中性改良材のみを添加した場合、コーン指数 0.2MPa 以上に改良するために必要な添加量は、25kg/m³程度であった。

さらに、図-8 中の●に示すように、改良助材を 4kg/m³ 併用することで、コーン指数 0.2MPa 以上に改良するために必要な中性改良材添加量は、5kg/m³ 程度に縮減できた。また、改良助材を添加しただけでは改良土の団粒化が十分進行しなかったが(写真-12 参照)、中性改良材を添加することで、改良土(写真-13 参照)は十分に団粒化した。なお、表-9 に示すように、元々の底泥の pH が 5.79 と弱酸性を示していたことが要因で改良土の pH は弱酸性をしているが、中性改良材を用いても pH は変化しないことが分かる。

(3) 改良土の練り返し抵抗性

脱水ケーキの改良土に対する練り返し抵抗性の検討結果を、表-10、図-9 に示す。ここで、実験条件 A は脱水ケ

表-9 土質改良実験結果

改良材添加量 [kg/m ³]		コーン指数 [MPa]	pH
中性改良材	改良助材		
0	0	0.16	5.03
10	0	0.16	4.72
35	0	0.25	4.76
40	0	0.25	4.80
5	4	0.33	5.90
10	4	0.69	5.80
15	4	0.80	5.67
25	4	1.08	5.59

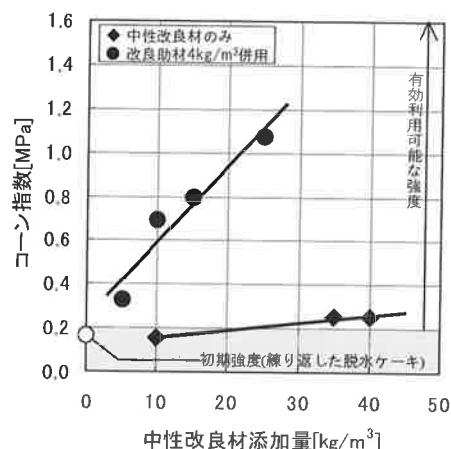


図-8 中性土質改良材添加量と改良土の強度の関係



写真-12 脱水ケーキに改良助材(4kg/m³)を添加した状況



写真-13 脱水土に土質改良助材(4kg/m³),
中性改良材(5kg/m³)を添加した状況

ーキの初期強度、B はバッチ式パドルミキサー(100ℓ)で 6 分間練り返した後の強度、C は脱水ケーキに固化助材 4kg/m³、中性改良材 5kg/m³ を添加した改良土の強度、D は C をバッチ式パドルミキサー(100ℓ)で 6 分間練り返し

た後の強度をそれぞれ示したものである。

表-10、図-9 に示すように、脱水ケーキの初期強度は0.36MPaを示し、そのままでも有効利用できる強度を有していた。しかし、実験条件Bで示すように、脱水ケーキを練り返すことで強度が大きく低下する傾向を示した。

一方、改良処理をした脱水ケーキの改良土は、練り返しを実施しても強度低下をほとんど示さなかった。この結果より、本中性改良材で改良した土は、有効利用先で敷き均しや転圧を行っても、ほとんど強度低下をしないことが示された。

表-10 練り返し抵抗性実験結果

*実験条件	練り返し時間 [min]	改良材添加量 [kg/m ³]		コン指数 [MPa]	備考
		中性改良材	改良助材		
A	0	0	0	0.36	脱水ケーキの初期強度
B	6	0	0	0.16	脱水ケーキを練り返し
C	0	5	4	0.33	脱水ケーキ改良土の初期強度
D	6	5	4	0.30	脱水ケーキ改良土を練り返し

* A: 脱水ケーキ初期強度、B: Aを6分間練り返し、C: 中性改良土、D: Cを6分間練り返し

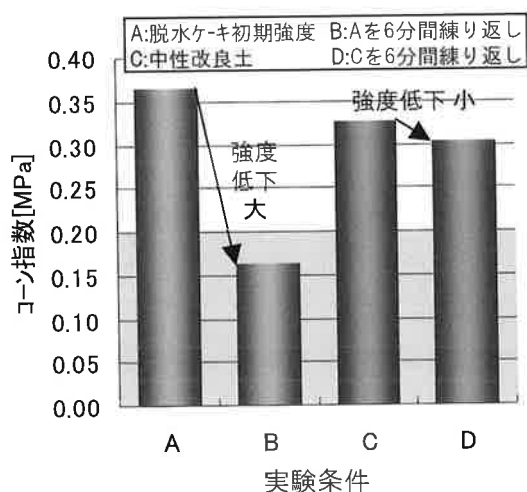


図-9 練り返し抵抗性実験結果

4.5 底泥の土質改良実験結果のまとめ

ろ過圧力の高いフィルタープレス脱水機として使用することで、液性限界を大幅に下回る脱水ケーキが得られ、これにより添加する改良材の量を大幅に減らすことができることが現場実証実験においても示された。また、本土質改良システムの処理能力は、脱水機の処理能力に依存する。今回の実験では、ろ過圧力が4.0～5.0kgf/cm²のフィルタープレス実験機を用いた実験であったため、処理能力は0.06～0.14m³/hrとなり、浄水汚泥の実験機に比較して処理能力は劣る結果となった。しかし、ろ過圧力が7kgf/cm²程度、ろ室容積が3～5m³程度の実機を用いることで、処理能力は大幅に向上するため、本中性土質改良材による泥土改良システムは、フィルタープレスと二軸パドルミキサーによるシステムが最適であると

判断した。

5. おわりに

今回の現場実証試験により、フィルタープレスと二軸パドルミキサーを主要設備とすることで、土質改良システムを構築できることが検証できた。汚泥の有効利用は、環境問題がクローズアップされている現在、重要な課題である。本中性改良材は、産業廃棄物として処理しているものに対し、中性で改良して有効利用範囲の拡大を図ることを目的として開発したものである。中性で改良するコストは、セメントや石灰等の固化材で改良する場合に比較して高くなるが、産業廃棄物処理コストと比較することにより、コストメリットが生まれてくる。

参考文献

- 1) 再生資源の利用の促進に関する法律、【平成03法律048】、(平成3年4月26日法律第418号)、平成3年10月25日、平成5年11月12日法律第89号書籍の場合
- 2) 建設省：リサイクル推進計画'97, 1997
- 3) 山本達生、勝又正治、鶴田慎之介：前田建設技術研究所報(Vol. 41)、建設汚泥の中性固化処理方法について、pp121～126、2000.9
- 4) 厚生省水道環境部水道整備課：浄水汚泥の減量化及び再生利用に関する手引き、平成12年3月
- 5) (財)土木研究センター：建設発生土利用マニュアル, 1997