

可搬型フィルタープレス機によるため池底泥の効率的な脱水処理

Experimental Study on the Efficient Dehydration of Dredged Sludge with a Compact Filter Press

滝澤倫顕 Tomoaki TAKISAWA (岡山大学大学院環境学研究科)

村上 章 Akira MURAKAMI (岡山大学大学院環境学研究科)

西村伸一 Shin-ichi NISHIMURA (岡山大学大学院環境学研究科)

本研究では、可搬型フィルタープレス機によるため池底泥の脱水条件と脱水効率の関係について検討した。可搬型フィルタープレス機は浸透圧密試験機によって再現し、脱水効率は作成されたケーキの含水比で表した。また、現場試験を実施し、ため池浚渫へのフィルタープレス機利用の可能性についても検討した。その結果、凝集剤の添加量、圧密時間、圧密圧力、スラリーの投入量が脱水効率に影響を与えること、スラリーの吸引およびエア圧搾によって、脱水ケーキの含水比が大きく減少することを明らかにした。現場試験の結果、脱水処理によってため池底泥の含水比は、第4種建設発生土並みの80%以下になるため、濾室の幅を狭くした機械の開発によって、さらなる脱水効率の向上が見込める。

キーワード：フィルタープレス、浸透圧密、浚渫土、凝集剤

(IGC : D-3, D-5)

1. はじめに

現在、ため池で水漏れなどの老朽化や、堆積土砂による貯水量減少のために改修・浚渫事業が行われ、大量の浚渫土が発生している。浚渫土は埋立地へ投入する前に、セメントや石灰等の固化材を添加し、任意の強度を持った改良土を作る安定処理方法、浚渫土から水を搾り出す、あるいは乾燥させることによって含水比を低減させる脱水処理方法、砂質土系と粘性土系が混合している浚渫土砂を、ふるい分け等によって分級させる分級処理方法によって処理される¹⁾。ため池において、大型の機械による浚渫は、小規模なものが散在しているため困難である。また、一般的なため池浚渫では、水を落としてセメント系固化材を添加して処理するため、浚渫時期が限定される。

本研究では、これらの問題を解決するため、主に建設汚泥処理に利用されている可搬型フィルタープレス機を用いて、底樋周辺を中心とした取水部分について、底泥を落水せずに浚渫することを想定する。可搬型フィルタープレス機による処理は、時期を選ばず、セメント系固化材などを用いないため、処理土について従来までの盛土材、路盤材、客土材などの建設材料としてだけでなく、農地客土としての利用も見込むことができる。

フィルタープレス機を用いた研究としては、小川らのポリエステル短繊維を添加し、高圧薄層フィルタープレスによって脱水を行ったもの²⁾、日高らの脱水処理時にマグネシウム系固化材を添加し、ケーキの強度特性を調

べたもの³⁾、笠間らの固化材混合直後に浚渫粘土を高圧機械脱水したもの⁴⁾、喜田らの建設汚泥の脱水にフィルタープレス機を利用したもの⁵⁾、田畑らのサイクロンを利用して比重を高め脱水時間を短縮したもの⁶⁾などがあるが、それらの多くは、凝集剤や固化材添加後の強度について検討したものである。フィルタープレス機の脱水効率には、底泥の物性やプレス機の性能が大きな影響を与える要素であるが、それらの研究は十分になされていない。

著者らは、フィルタープレス機を模擬した浸透圧密試験機によって、脱水効率の影響要因について検討を行ってきた⁶⁾。本研究では、スラリー含水比、スラリー投入量、圧密時間、凝集剤添加率、フィルターの種類が脱水効率に与える影響について検討する。また、改良を施した可搬型フィルタープレス機による現場試験を実施し、浸透圧密試験結果との比較・検討についてもあわせて行う。これらを調べることによって、フィルタープレス機のため池浚渫への利用について検討する。

2. 試験試料

香川県2地域のため池より採取した底泥を用い、試料間の比較や、脱水処理による特性変化を調査した。脱水ケーキとは、ため池底泥を浚渫分別機にて粗ゴミを分別排出し、浚渫汲み上げ機にて汲み上げた後、スラリータンク内で比重1.07～1.09に調泥攪拌し、高分子有機系脱水剤を凝集剤としてスラリー1m³当たり0.3ℓ添加し、フィ

ルタープレス機によって脱水したものである。ここでは、無処理の底泥をN、脱水ケーキをCとそれぞれ表すこととする。すなわち、表2のA-Nとは無処理のA池底泥を、B-CとはB池脱水ケーキを表している。

表-1に、A、B池底泥の蛍光X線試験結果を示した。A、B池どちらの試料でも、SiO₂、Al₂O₃が主要構成元素となった。またA、B池の全体的な元素組成は、酷似している。

表-2に、物理・化学特性試験の結果を示した。試料の特徴として、A、B池の無処理のものは、液性・塑性限界が高く、強熱減量が13%前後となっている。A-NとA-C、B-NとB-Cを比較すると、脱水によって底泥の液性限界、強熱減量が減少し、塑性限界、電気伝導率が増加した。この原因として、高分子系凝集剤を底泥に添加することにより、イオン濃度の上昇や固結化が起こったことが考えられる。

図-1に、粒度試験結果を示した。A、B池試料とも、細微細な粒子が多く、粘土・シルト分が大部分を占めている。

3. フィルター材の性能試験

フィルタープレス機には、様々な種類のフィルターがあり、脱水時間やケーキ作成に大きな影響を与えると考えられる⁷⁾。そこで、フィルター材の違いが100mlスラリーの通過時間とろ液に与える影響を検討した。試験には、A池底泥に水を加えて塑性状態の含水比150%としたス

ラリーが直径5cmのフィルターを通過する時間と、浸透後のろ液の透明度を調べた。フィルターには通気度の異なる4種類、Filter A (37cm³/cm²/sec)、Filter B (25cm³/cm²/sec)、Filter C (11cm³/cm²/sec)、Filter D (5cm³/cm²/sec)を用いた。表-3にフィルター材の材質、粗度、厚み、通気度、ろ過時間を写真-1にろ液の透明度を示した。浸透時間は、Filter Bが5minで最も早くなり、Filter Cが85minで最も長くなった。Filter Bは、厚みが他のものと比べて極端に薄かったため、浸透時間が早くなった。最も時間のかかったFilter Cは、材質が他のものと異なり吸湿性・吸水性のほとんどなく撥水性が強いポリプロピレン製であるため、このような結果になったと考えられる。また、フィルターの粗度・通気度は、脱水時間に影響を与えなかった。

ため池底泥のフィルタープレス機による現場脱水では、その処理効率のみならず、廃液処理も必要となる。浸透時間が最も早かったFilter Bでは、ろ液の透明度が非常に低く、ろ液の廃液処理が必要となる(写真-1)。ろ液の透明度が高いFilter Cでは、脱水時間が長くかかるため処理量が減少する。よって、フィルタープレス機による脱水には、Filter B、CよりもFilter A、Dが適している。

4. 浸透圧密試験

本研究で使用する可搬型フィルタープレス機の構造を図-2に示した。浚渫した底泥は、スラリートンクで貯蔵され、凝集剤を添加し、ポンプによって300kPaの圧力で

表-1 蛍光X線試験結果

Elements	Sample A	Sample B
SiO ₂	53.60	61.09
Al ₂ O ₃	20.05	18.44
Fe ₂ O ₃	4.92	6.75
CaO	0.98	1.80
MgO	0.60	0.57
Na ₂ O	1.19	0.09
K ₂ O	2.11	2.56
Cr ₂ O ₃	<0.01	0.00
TiO ₂	0.60	1.05
MnO	0.06	0.11
P ₂ O ₅	0.24	5.70
SrO	0.01	0.02
BaO	0.05	0.02

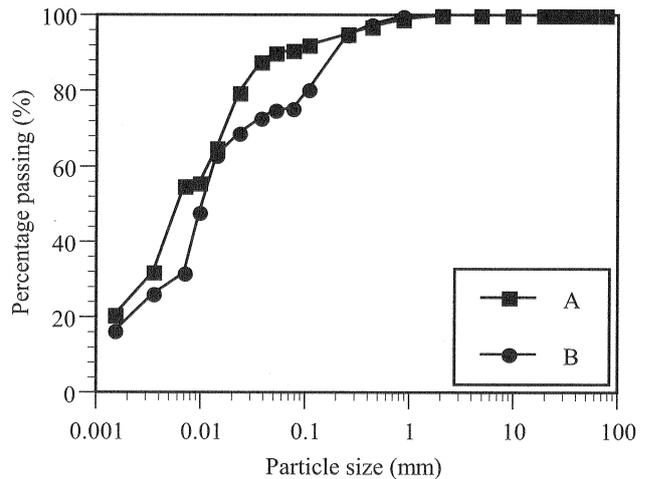


図-1 粒度試験結果

表-2 底泥の物理・化学特性

	W _L (%)	W _P (%)	I _p	Li (%)	pH	EC (mS/cm)	ρ _s (g/cm ³)
A-N	175.0	44.2	130.8	12.1	6.4	0.35	2.49
A-C	137.0	55.6	81.4	11.3	6.2	0.60	2.52
B-N	165.5	47.5	118.0	13.7	6.4	0.26	2.43
B-C	129.5	59.8	69.7	10.9	6.0	0.79	2.51

表-3 フィルター材の特性

	Material	Roughness	Thickness (mm)	Air permeability (cm ³ /cm ² /sec)	Filtration time (min)
Filter A	polyamide	F	1.00	37	51
Filter B	polyamide	M	0.68	25	5
Filter C	polypropylene	S	1.00	11	85
Filter D	polyamide	F	1.03	5	51

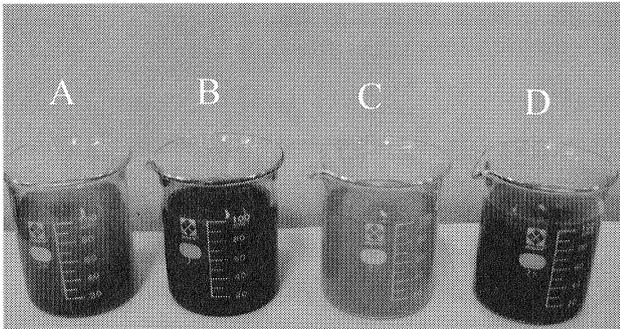


写真-1 フィルター材の種類と透明度の関係

ろ室に投入される。ろ室幅は30mmで、一室約0.1m³のスラリーを投入することができる。このフィルタープレス機の脱水現象は、浸透圧密理論と類似している⁶⁾。そこで、効率的なフィルタープレス機脱水の影響因子を浸透圧密試験機によって調べた。試験機構造については図-3に示した。スラリーを円筒カラムに投入し、排水面にフィルター材を設置し、上部より空気圧をかけて下部より排水を行った。

浸透圧密試験結果を図-4～9に、それぞれの試験条件について表-4に示した。Filterとはフィルター材の種類、

Flocculantとは凝集剤の添加量、Timeとは圧密時間、Pressureとは圧密圧力、Amountとはカラムへのスラリー投入量、w₀とはスラリーの初期含水比を表している。室内試験では現場試験と比べ、圧密圧力や試験機構造の問題から圧密時間が長くなる傾向がある。脱水効率、作成された脱水ケーキの含水比によって評価した。図中“t”とはケーキ上端から1cm程度下の、“b”とは下端からの1cm程度上の地点の含水比を示している。

図-4にフィルターを通気度と含水比の関係を示した。試験結果からフィルターを通気度は、含水比に大きな影響を与えないことが分かった。試験後のフィルターには、底泥が付着して層が形成されていた。この底泥の層が脱水効率に支配的な要因になるため、フィルターの違いによる差がでなかったと考えられる。以下では、5章現場試験にて採用された、通気度が最も低く厚みが厚かったFilter Dを用いて実験を行った。

図-5に凝集剤添加率と含水比との関係を示した。凝集剤を添加しなかったものと比べて凝集剤を添加したものの含水比が高くなった。これは、凝集剤の成分である高分子ポリマーの吸水現象によって、ケーキがスポンジ状

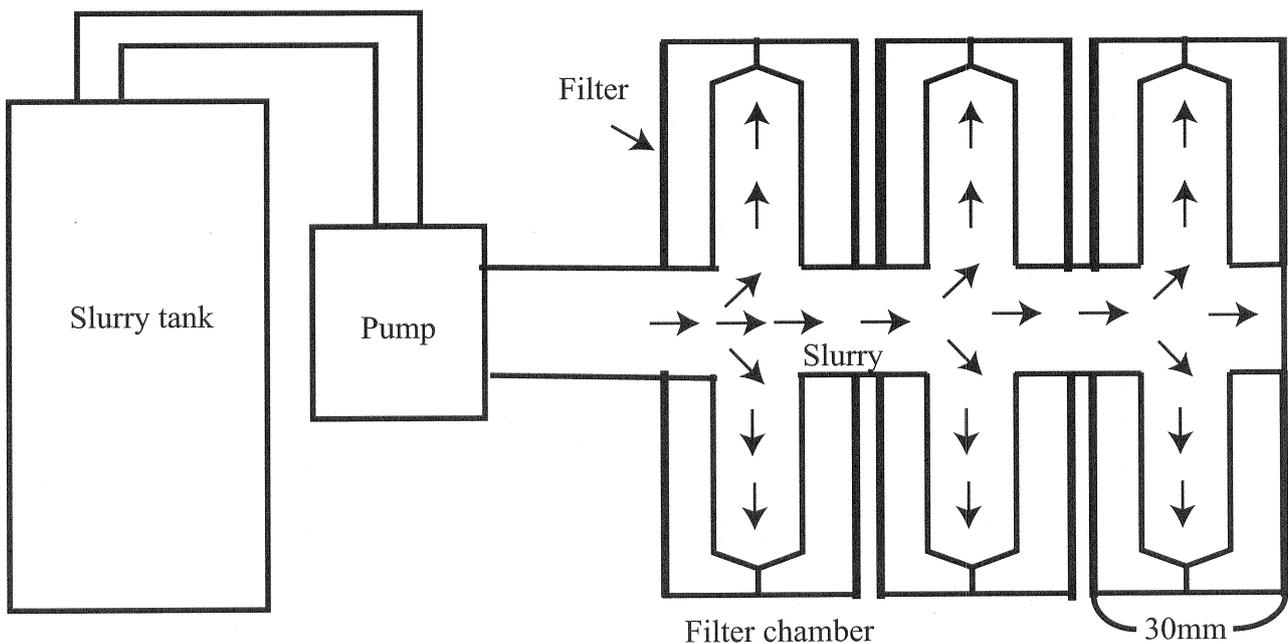


図-2 フィルタープレス機構造

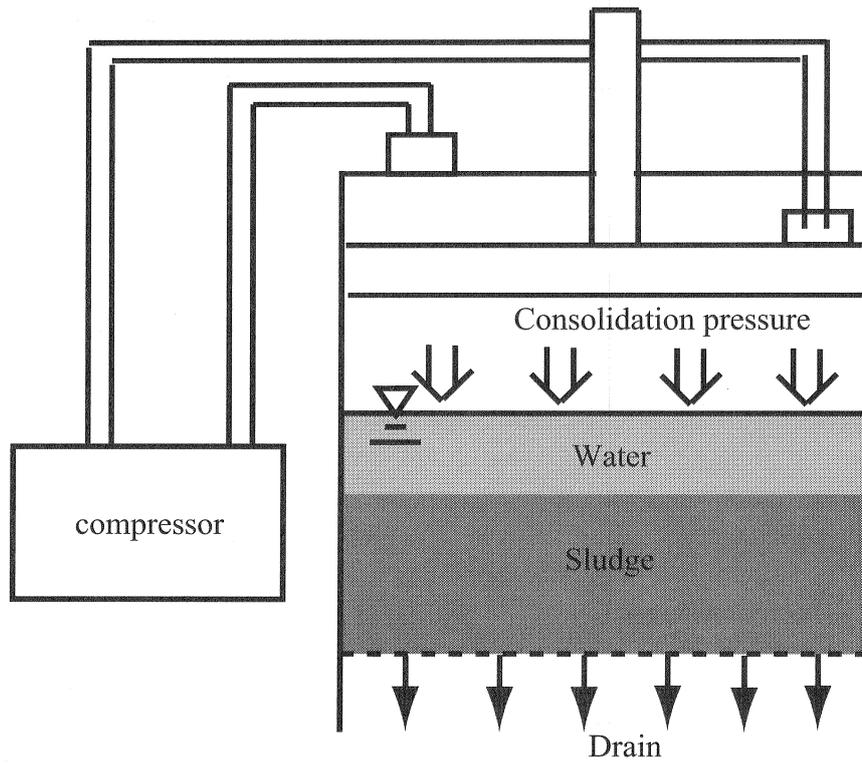


図-3 浸透圧密試験機構造

表-4 浸透圧密試験条件

	Filter	Flocculant (ℓ/m^3)	Time (h)	Pressure (kPa)	Amount (kg)	w_0 (%)
図-4	Filter A	Untreated	2	300	1	380
	Filter B					
	Filter C					
	Filter D					
図-5	Filter D	0.15	2	300	1	380
		0.20				
		0.40				
図-6	Filter D	Untreated	1	500	1	380
			2			
			3			
図-7	Filter D	Untreated	2	100	1	380
				300		
				500		
図-8	Filter D	Untreated	2	300	0.25	380
					0.50	
					0.75	
					1.00	
					2.00	
図-9	Filter D	Untreated	2	300	1	215
						294
						380
						452
						530

となり、底泥の脱水が困難となるためである。また、凝集剤を添加したものでは、添加量が増加すると、脱水ケーキ上部の含水比が減少することが分かった。これは、底泥の排水性が、凝集剤添加によって向上するためである。しかし、ケーキ下部では、短時間で排水が完了するため、試料間の差がみられない。

図-6には、含水比と圧密時間との関係を示した。ケーキ上部の含水比は、1時間から2時間の間で大きく減少した。圧密時間1時間の試料で含水比が高いのは、脱水ケーキ上部にスラリー状態の底泥が残っているためである。これらの排水は、圧密時間1時間から2時間の間に進行し、脱水ケーキの含水比を大きく減少させる。

図-7には、圧密圧力と含水比の関係を示した。図中“N-t”とは、無処理の脱水ケーキ上部の含水比を、“C-b”とは、凝集剤添加率0.4%の脱水ケーキ下部を表している。脱水ケーキの含水比は、上部・下部とも凝集剤添加の有無にかかわらず、圧密圧力が上昇することで減少した。これは、

高い圧密圧力を加えることによって、同じ体積になるまでに必要な圧密時間が早まり、脱水量多くなるためである。また、凝集剤を0.4%添加した脱水ケーキの含水比は、無処理のものと比較して高くなった。これは凝集剤の成分である高分子ポリマーの吸水現象によって、ケーキがスポンジ状となり、底泥の脱水が困難となったためである。

図-8には、スラリーの投入量と脱水ケーキ含水比の関係を示した。スラリーの投入量は、フィルタープレスにおけるろ室の幅に相当する。試験の結果、スラリーの投入量を減少させることによって、脱水ケーキ上部の含水比が大きく減少した。投入量1kgと比べて0.75kgでは、ケーキ上部の含水比が大きく減少した。投入量2kgにおいて、上部の含水比が高いのは、図-6と同様にスラリー状態の底泥が残ったためである。投入量0.25kgでは、0.5kgと比べて含水比が上昇した。この理由として、浸透圧密現象に必要な水が、スラリーの投入量が少なすぎる

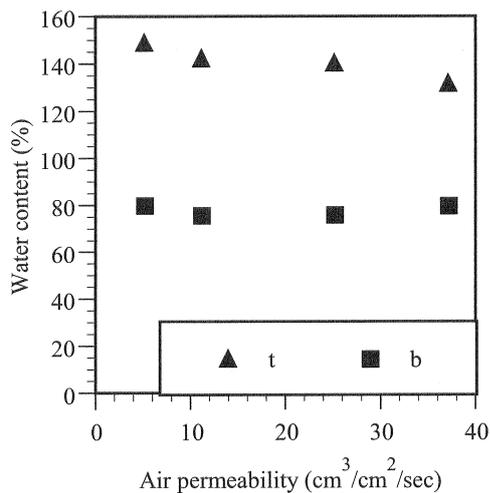


図-4 フィルターの違いと含水比の関係

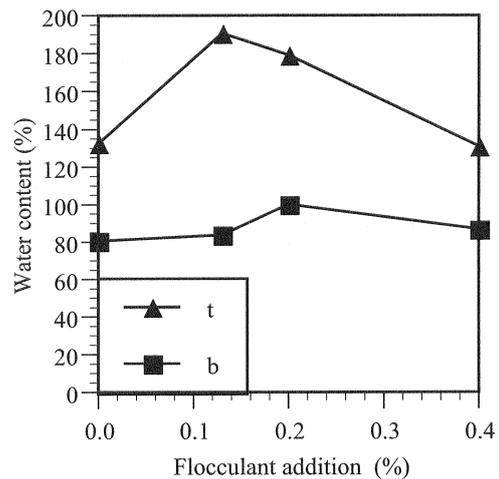


図-5 凝集剤添加率と含水比の関係

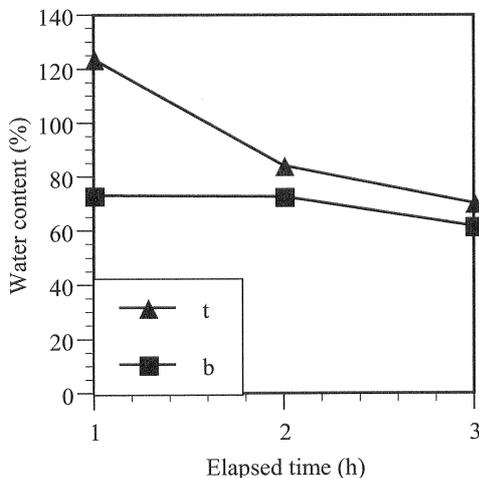


図-6 圧密時間と含水比の関係

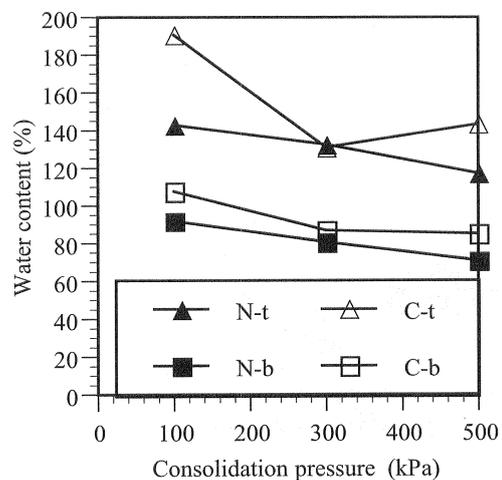


図-7 圧密圧力と含水比の関係

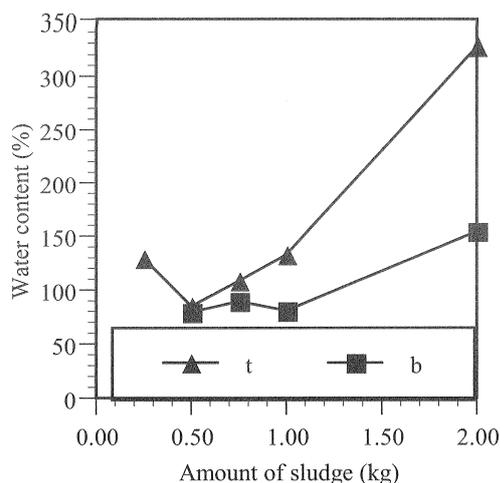


図-8 スラリー投入量と脱水ケーキ含水比の関係

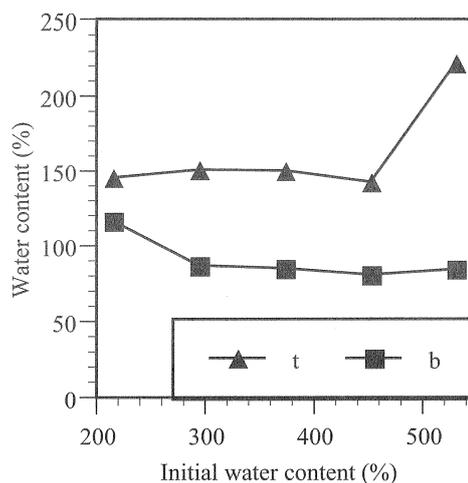


図-9 スラリー初期含水比と脱水ケーキ含水比の関係

と足りないため、十分に圧密されなかったためと考えられる。

図-9には、脱水前のスラリー含水比と圧密後の脱水ケーキ含水比との関係を示した。試験より、スラリーの初期含水比300～450%の範囲では、スラリーの初期含水比が脱水後のケーキ含水比に影響を与えないことが分かる。また、スラリーの初期含水比450%程度で脱水ケーキ上部含水比が220%と高くなったのは、図-6、8と同様に底泥がスラリー状態のまま残ったためであり、初期含水比が200%で脱水ケーキ下部の含水比が120%に増加しているのは、図-8と同様に浸透圧密に必要な水が足りなかったためである。

これらの実験より、圧密時間や圧密圧力などと比べて、スラリーの投入量を減少させることによって脱水効率が大きく向上することが分かった。

5. 現場試験

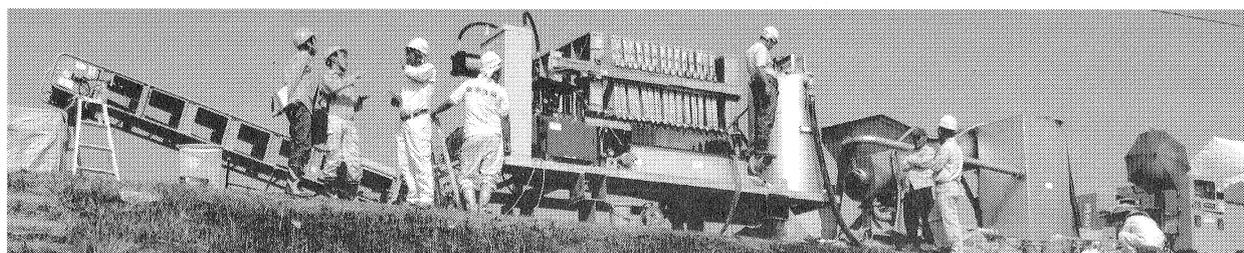
ここでは、可搬型フィルタープレス機により、効率的な脱水手法の検討を行った結果を示す。また、併せて現場試験結果と浸透圧密試験結果を比較・検討した。

写真-2には、フィルタープレス機現場設置概要を、写真-3にはスラリータンク概要を、写真-4にはプレス室

概要を示した。底泥は、チューブポンプによって汲み上げられ、浚渫分別機にて粗ゴミが分別され、スラリータンクにて凝集剤を添加し(写真-3)、比重1.07～1.09になるよう調整される。このスラリーを打ち込みポンプにてプレス室に圧送し、脱水を行う(写真-4)。このとき作成された脱水ケーキの含水比は、フィルターに接している外側に比べ内側で高くなる。これは、脱水が完了した部分に、スラリーを打ち込み続けることで水が浸透し、脱水ケーキ内部の含水比が減少しないためである。これを解消するため、フィルタープレス機のスラリー投入部分に真空ポンプとコンプレッサーを接続し、脱水完了後に、スラリー状の底泥を吸引し、スラリーの代わりにエアを投入し、乾燥による脱水ケーキの含水比減少を目指した(図-10)。

図-11には、脱水時間と含水比との関係を示した。凝集剤添加率0.3%、脱水時間30～70分で試験が実施された。脱水ケーキの含水比は、室内試験の結果と同様に、時間増加とともに減少した。底泥の運搬には、第4種建設発生土の含水比80%程度があれば十分であるため、40分程度処理を実施すればよいことが明らかとなった。

図-12には、凝集剤添加率と脱水ケーキの含水比との関係を示した。脱水時間を50分、凝集剤添加率を0%、0.3%、0.4%で試験した。凝集剤添加率0.3%と比べて、0.4%の脱水ケーキ含水比は高かった。これは過度の凝集



左から、大型コンベア、可搬型フィルタープレス機、スラリータンク、浚渫分別機、濁水タンク、コンプレッサ
写真-2 可搬型フィルタープレス機設置の様子

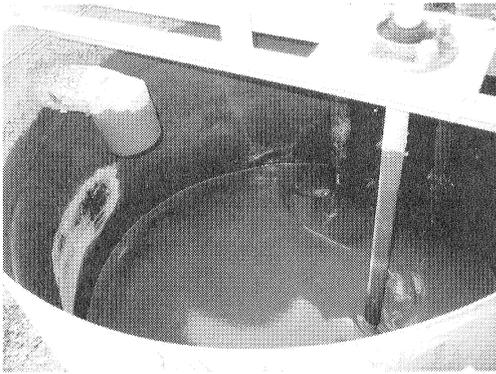


写真-3 スラリートランクの様子

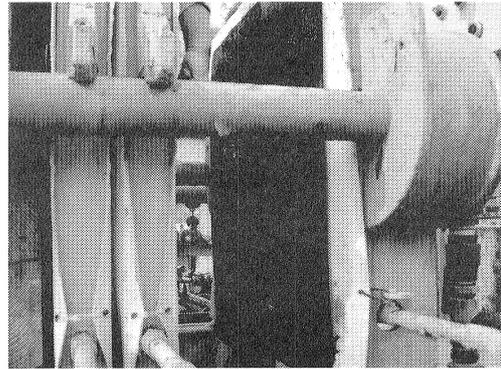


写真-4 プレス室の様子

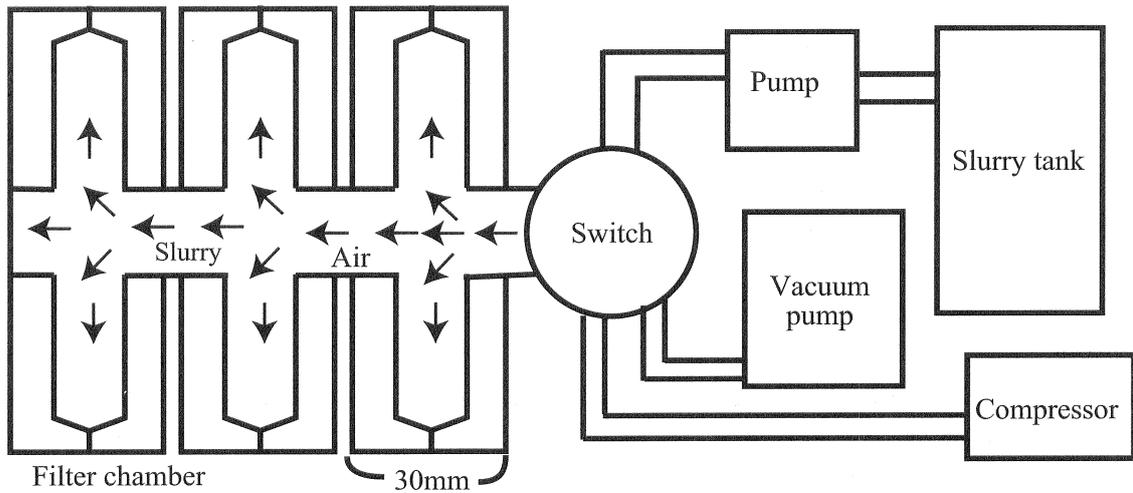


図-10 改良型フィルタープレス機

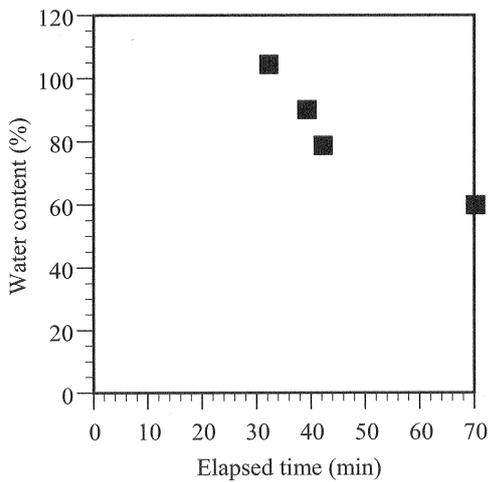


図-11 プレス時間と含水比の関係

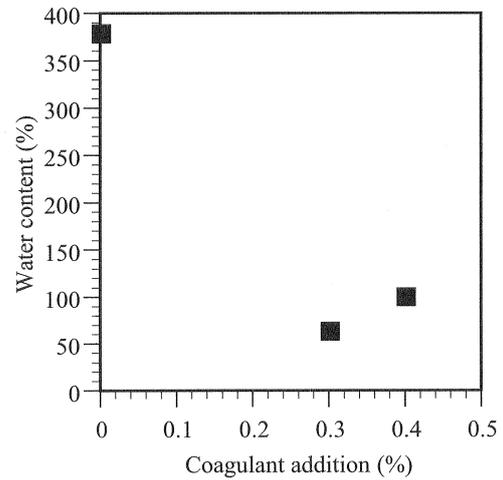


図-12 凝集剤添加率と含水比の関係

表-5 エアー圧搾による含水比の変化

	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 5
Elapsed time (Consolidation) (min)	70	70	32	39	72
Elapsed time (Vacuum) (min)	0	0	3	5	3
Elapsed time (Air compression) (min)	0	0	5	10	10
Water content (%)	132.02	134.74	104.91	90.48	60.26

剤添加が、高分子系ポリマーの吸水作用を多く引き起こし、ケーキ内部に過剰な水が蓄えられたためである。また、凝集剤を添加しなかったケースでは、スラリーがろ室から噴射して脱水ケーキが作成できず、過度な添加の場合には含水比が増加したことから、凝集剤には最適な添加量があることが分かった。

表-5には、スラリーの吸引およびエア圧搾の有無が脱水ケーキ含水比に与える影響を示した。凝集剤添加率0.3%、脱水時間30、40、70分で試験を実施した。それぞれの脱水条件についてはCase 1~5に表した。スラリーの吸引およびエア圧搾を実施したCase 3、4、5では、実施しなかったCase 1、2と比較して脱水ケーキの含水比が低くなった。また、Case 1と同じ時間で吸引及びエア圧搾を追加したCase 3の含水比が大きく減少した。これは、脱水によって成形されたケーキ内部がエア圧搾によって乾燥し、含水比が減少したためである。脱水時間30分のCase 3と比較してCase 1では2倍以上の脱水時間にもかかわらず脱水ケーキの含水比が高くなった。これは、脱水時間を増加させるよりも、スラリー状態の底泥を吸引しエア圧搾する方が含水比を減少させることを示している。

可搬型フィルタープレス機によるため池底泥の脱水後に、スラリーの吸引およびエア圧搾を実施することで、より短いプレス時間で低含水比の脱水ケーキを作成することが分かった。

6. まとめ

本研究では、可搬型フィルタープレス機のため池浚渫への利用と、脱水に影響を与える因子の特定を目的に実験を行い、以下の知見を得た。

- 1) 浸透圧密試験の結果、フィルター材の違いは、作成される脱水ケーキの含水比に影響を与えない。
- 2) 凝集剤を添加せずに作成されたケーキに比べて、添加したものでは、含水比が高くなった。これは、凝集剤の成分である高分子ポリマーの吸水現象によって、ケーキがスポンジ状となり、底泥の排水を妨げたためである。
- 3) 脱水効率に最も影響を与える因子は、スラリーの投入量であった。現場試験において投入量を減少させるには、ろ室幅を狭くすることが効果的である。
- 4) 現場試験の結果、脱水時間の増加とともにケーキ含水比が減少すること、40分程度の脱水処理で第4種建設発生土と同等の含水比となること、凝集剤の添加には最適な量があること、脱水後にスラリーの吸引およ

びエア圧搾を行うことで含水比が減少することが分かった。

結果として、フィルタープレス機によるため池浚渫は十分可能であり、フィルタープレス機のろ室幅を狭くすることによって、脱水効率をさらに上昇させることができると考えられる。

謝辞

香川県内のため池底泥の採取に関して、中四国農政局香川農地防災事業所・木下勝義氏、西山正志氏、現場脱水試験については、(株)藤原設備にご協力いただいた。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 港湾・空港等リサイクル推進協議会：港湾・空港等整備におけるリサイクル技術指針，pp. 2-6 - 2-30，2004.
- 2) 小川伸吉，飽本一己，清野勝博，大北康治：短繊維添加による高圧薄層フィルタープレス脱水実験，第31回地盤工学研究発表会，pp. 315-316，1996.
- 3) 日高 厚，川西順次，小山 孝，永塚典幸：脱水・固化処理による湖沼浚渫土の有効利用に関する検討，第6回環境地盤工学シンポジウム発表論文集，pp. 373-376，2005.
- 4) 笠間清伸，善 功企，江頭和彦，陳 光斉：固化材混合および高圧機械脱水による浚渫粘土の高強度化，粘土地盤における最新の研究と実際に関するシンポジウム発表論文集，pp. 235-240，2002.
- 5) 喜田大三，脇村典夫，辻博和：固化材混合および高圧機械脱水による浚渫粘土の高強度化，第23回土質工学シンポジウム発表論文集，pp. 75-82，1978.
- 6) 田畑寛士，篠田康弘，小林卓矢，市川政美：前処理によるフィルタープレス処理性能の向上：サイクロン使用によるシステムの一例，土木学会年次学術講演会講演概要集第6部，pp. 190-191，1999.
- 7) Takisawa, T., Murakami, A., Nishimura, S.: Experimental study on the efficient dehydration of dredged sludge with a filter press, *Journal of Environmental Science for Sustainable Society*, Vol. 2, pp. 21-26, 2008.
- 8) Imai, G.: Development of a new consolidation test procedure using seepage force, *Soils and Foundations*, Vol. 19, No. 1, pp. 45-60, 1979.

(2008年8月18日 受付)