

環境に優しい工事濁水処理システムの開発

Development of the Eco-friendly Turbid Water Treatment System

西田 秀紀*

Hidenori Nishida

伊藤 忠彦**

Tadahiko Ito

平井 裕二*

Yuji Hirai

要 約

昨今の環境保全への強い要望から、ダムやトンネルなどに代表される建設工事で発生する工事濁水には高度な処理が求められている。一般的に、工事濁水は凝集沈殿処理方式により放流基準値以下に処理されているが、無機・有機の凝集剤を使用するため河川等への環境影響が懸念されている。

そこで、本開発ではろ過の原理を応用したコンパクトで凝集剤等の薬剤を使用しない濁水処理装置の開発を進めており、これまでの基礎実験の結果、①ヤシ繊維フィルタにより、SS 濃度 3000 mg/L 以下の濁水を SS:1000 mg/L 以下に処理できる（1 次処理）②特殊ステンレスフィルタと清濁分離装置を組合すことにより、1 次処理で SS:1000 mg/L 以下に処理された濁水を更に任意に設定された SS 濃度まで処理できることを確認した。一方、濁水処理の際に発生する分離泥土についても脱水剤等の薬剤を使用することなく、第 4 種建設発生土（200 kN/m²）以上に改良できることを実証した。

目 次

- § 1. はじめに
- § 2. システムの概要
- § 3. 実験概要および実験結果
- § 4. おわりに

§ 1. はじめに

現在、建設工事で発生する工事濁水は、凝集沈殿方式による処理を行い、放流基準値以下にして河川や下水等に放流するのが一般的である。しかしながら、凝集沈殿方式では、PAC（ポリ塩化アルミニウム）や高分子凝集剤等の薬剤を使用するため、河川等の環境への影響が懸念されている。また、濁水処理の際に発生する分離泥土の脱水・減容化は、フィルタープレスによる加圧脱水方式が主流だが、脱水後の泥土は、強度の不足や薬剤が使用されていることなどにより建設汚泥として取り扱われ、再利用されずに産業廃棄物として処理されているケースが多く見られる。さらに、これらの凝集沈殿処理装置や加圧脱水処理装置はかなり大型で重量もあり、比較的広い設置スペースを必要とするという問題点もある。

本開発は、このような課題の解決のため、ろ過の原理を応用したコンパクトで薬剤を使用しない工事濁水処理装置ならびに同装置から発生する泥土の削減（有効利用）

に寄与する泥土脱水装置の確立を目指すものである。

本稿では、ヤシ繊維フィルタを用いた現場実証実験結果（以下、1 次処理）、特殊ステンレスフィルタを用いた実験機による実験結果（以下、2 次処理）、清濁分離装置による清濁分離性能および泥土の脱水試験結果について報告する。

§ 2. システムの概要

システム全体の概念図を図一に示す。工事濁水は、①ヤシ繊維フィルタによる 1 次処理、②特殊ステンレスフィルタによる 2 次処理、③ 2 次処理水の清濁分離を行った後、放流される。また、④濁水処理の際に発生する泥土は、泥土脱水装置により処理される。

上記構成の詳細を以下に述べる。

① 1 次処理

工事濁水の 1 次処理として、ノッチタンクに天然のヤシ繊維フィルタを装備したヤシ繊維フィルタ濁水処理装置により、原水の SS 濃度（浮遊物質）3000 mg/L 以下の濁水を SS:1000 mg/L 以下にまで処理する。

② 2 次処理

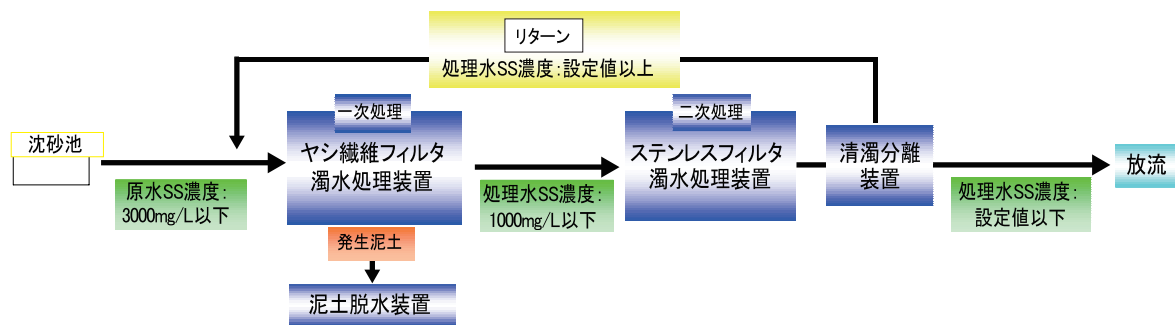
1 次処理で SS:1000 mg/L 以下にまで処理された処理水は、特殊ステンレスフィルタと自動洗浄装置を装備したステンレスフィルタ濁水処理装置に高圧で通水させることによって、さらに清澄な水にろ過される。

③ 清濁分離

2 次処理の際、フィルター洗浄直後は一時的に高濃度

* 技術研究所地域環境グループ

** 技術研究所

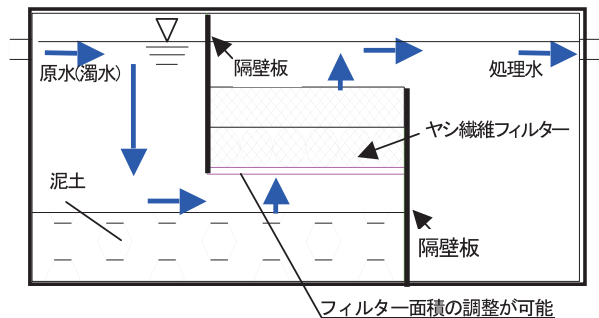


図一 工事濁水処理システムの概念図

の濁水が混入するため、後段に清濁分離装置を設ける。清濁分離装置は、レーザ濁度計と電動3方向バルブから構成され、任意に設定されたSS濃度以下の処理水のみを放流し、設定値以上の処理水はバルブ操作により自動的にリターンされる。

④ 泥土脱水

泥土脱水装置により、濁水処理装置で分離された分離泥土は再利用可能な性状まで脱水剤や固化剤を使用せずに効率的に脱水・減容化される。



図二 ヤシ繊維フィルタ濁水処理装置の概念図

§ 3. 実験概要および実験結果

3-1 ヤシ繊維フィルタ濁水処理装置（1次処理）

ヤシ繊維フィルタ濁水処理装置の基本性能を把握するために実現場にて実証実験を行った。以下に実験概要およびその結果を示す。

(1) ヤシ繊維フィルター

ヤシ繊維フィルターとは、100%天然ヤシ繊維を円筒状に形成し、同質のネットで作製した濁水用ろ過フィルターである。高密度に充填されたヤシ繊維が濁水中の土粒子を効率よく捕捉するため、濁水処理の過程において凝集剤等の薬剤を一切必要としない。さらに、材料すべてが天然繊維からなるため、放流先の河川等への環境影響を極力低減させることができる¹⁾。

(2) ヤシ繊維フィルタ濁水処理装置

図二にヤシ繊維フィルタ濁水処理装置の概要を示す。図に示すように、工事濁水はノッチタンクの中央付近に水平かつ連続的に配置されたヤシ繊維フィルターにより処理される。つまり、ノッチタンクに流入した工事濁水（図の左上）は、連続的に配置されたヤシ繊維フィルターの下面から上方にフィルターを通過することにより処理される。また、工事濁水の処理流量は、ヤシ繊維フィルターの設置数により濁水処理面積を増減させることによって調整可能である。このように、濁水処理面積の調整を可能とし、且つ濁水処理面を水平とすることによって、本装置は以下の特長を有する。

① 装置の小型化

ヤシ繊維フィルターの設置数を調整することにより、幅広い流量への対応が可能となる。つまり、水平に配

表一 実験条件

原水のSS濃度 (mg/L)	20 ~ 1100 (N 現場)
	100 ~ 11400 (H 現場)
処理流量 (m ³ /h)	2
フィルター面積 (m ²)	0.5

置されたヤシ繊維フィルターの設置数を増大させることにより、大流量の工事濁水にも対応可能となるため、沈砂池等での1次処理に比較して、30~50%の省スペース化が図れる。

② フィルターの交換頻度の低減

濁水の通過面を下から上にするすることで、フィルター下部に補足された土粒子は自然沈降するため、フィルターの目詰まりや交換頻度を低減させることができる。

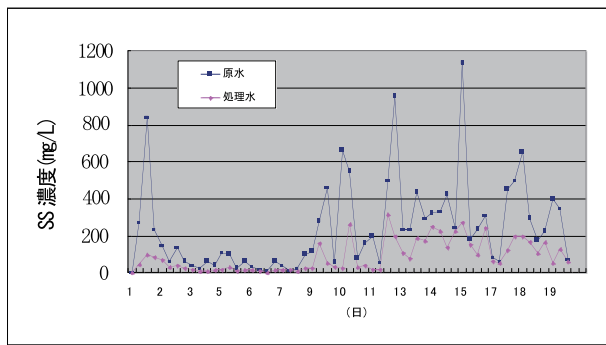
(3) 実験方法

実験は、トンネル工事現場2箇所（N現場およびH現場）にヤシ繊維フィルタ濁水処理装置を設置し、坑内から発生する実工事濁水の一部を本濁水処理装置に導入して実施した。実験条件を表一に示す。

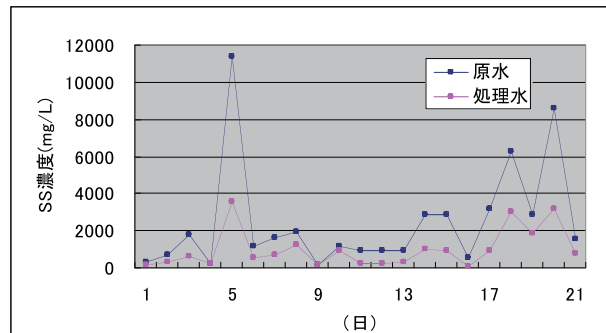
なお、SS濃度の計測は、本装置への流入部および流出部にて同時計測した。

(4) 実験結果

図三および四に、N現場およびH現場における原水および処理水のSS濃度の経時変化を示す。N現場では比較的低濃度の濁水（SS：1000 mg/L程度以下）を、H現場では高濃度の濁水（SS：数千オーダー）を対象とした。これらの図から、ヤシ繊維フィルタ濁水処理装置により、SS：3000 mg/L程度の濁水をSS：1000 mg/L以下にまで処理可能であることがわかる。また、原水と処理水の



図—3 SS 濃度の経時変化 (N 現場)



図—4 SS 濃度の経時変化 (H 現場)

SS 濃度の挙動はほぼ一致し、両者とも平均低減率は約 55%と同程度を示していることから、高濃度および低濃度の濁水に対して適用可能であることがわかる。

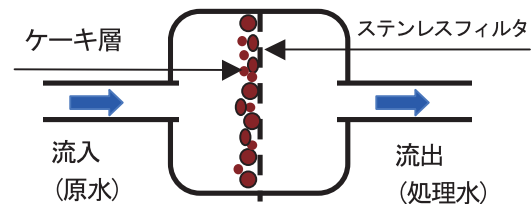
3—2 ステンレスフィルタ濁水処理装置 (2 次処理)

ステンレスフィルタ濁水処理装置の基本性能を把握するために、実験用に調整した模擬濁水を用いて性能確認実験を実施した。以下に実験概要およびその結果を示す。

(1) ステンレスフィルタ濁水処理装置

本装置の濁水処理の原理を図—5 に、濁水処理工程の詳細を以下に示す。

- ① ある一定流量 (設定処理流量) に調整された模擬濁水をステンレスフィルタ濁水処理装置に加圧通水する。
- ② 通水直後またはフィルター洗浄直後は、フィルター目幅より小さな土粒子はフィルターを通過するため、処理水 (ろ過水) の清澄度は低い。
- ③ 時間の経過とともに、フィルター目幅より大きな濁水中の土粒子からフィルタ表面に捕捉され「ケーキ層」が形成される。
- ④ ケーキ層は液体が通過できる多孔構造のため、結果的に粒子捕捉率を向上させ、処理水 (ろ過水) の清澄度は徐々に高くなる。
- ⑤ ケーキ層は通水時間の経過とともに厚くなり (圧力損失が高くなり)、濾過水の清澄性はさらに高くなるものの処理水量は徐々に減少する。
- ⑥ 流入側と流出側の圧力差がある一定値を超えると、



図—5 濁水処理の原理

表—2 実験条件

模擬濁水の d(50) [μm]	粘土 A : 23 粘土 B : 135
模擬濁水 (原水) の SS 濃度 [mg/L]	500, 1000
通水量 [m^3/h]	1.2~3.0
送水圧 [MPa]	0.2~0.3
圧力差 [MPa]	0.15~0.24
フィルター過面積 [m^2]	0.0465
フィルター目幅 [μm]	25, 50

内蔵された自動洗浄装置によりケーキ層は全て洗浄され、ステンレスフィルタはフレッシュな状態となる。

⑦ 上記、①～⑥の工程を繰り返す。

このように本装置に流入した濁水の SS 濃度および処理水の流量は、時系列的なサイクルをもって処理されることになる。

(2) 実験方法および実験条件

実験は、2 種の粘土 (粘土 A および B) を溶解させた模擬濁水を高圧でステンレスフィルタ濁水処理装置の実験機 (最大高: 1000 mm, 最大径: 300 mm) に通水させ実施した。表—2 に実験条件を示す。

(3) 粒度分布とフィルタの選定

ステンレスフィルタにより濁水を処理するためには、フィルタ表面のケーキ層の形成が必要不可欠である。そこで、(1)式に示す岡村ら^{2),3)}の研究を基に、2つのパラメータ (フィルタ目幅および粘土の 85% 粒径) を用いたパイピングの発生基準について考察を加える。ここに、パイピングとはすべての濁水中の土粒子がフィルターを通過し、ケーキ層が形成されない現象をいう。

$$F_m < a \times d(85) \quad (\text{パイピングに対する基準}) \quad (1)$$

ここに、 $d(85)$: 粘土の 85% 粒径, a : 定数, F_m : フィルタ目幅

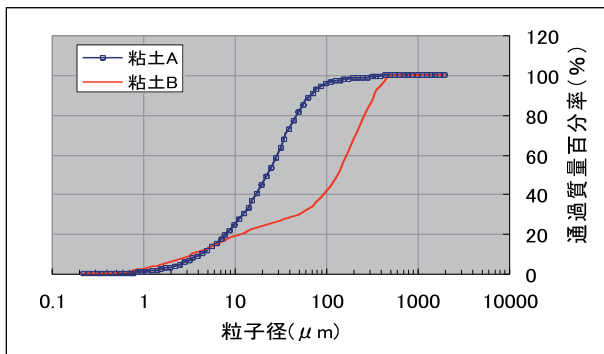
① 粘土 A の場合

図—6 から粘土 A の $d(85)$ は $60 \mu\text{m}$ である。また、実験からフィルタ目幅 F_m が $25 \mu\text{m}$ より大きな目幅のフィルターにおいてパイピングを発生したことから、(1)式に $d(85) = 60 \mu\text{m}$ および $F_m = 25 \mu\text{m}$ を代入し、整理すると、

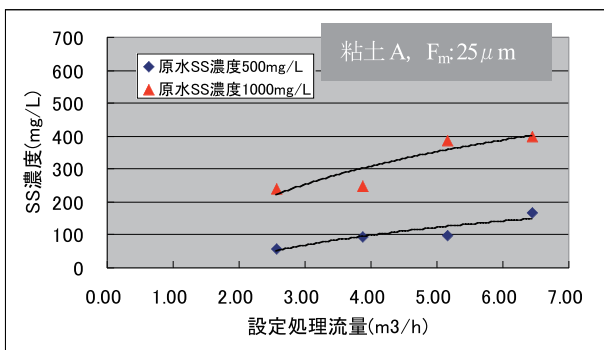
$$0.4 < a \quad (F_m: 25 \mu\text{m}, \text{粘土 A の場合}) \quad (2)$$

② 粘土 B の場合

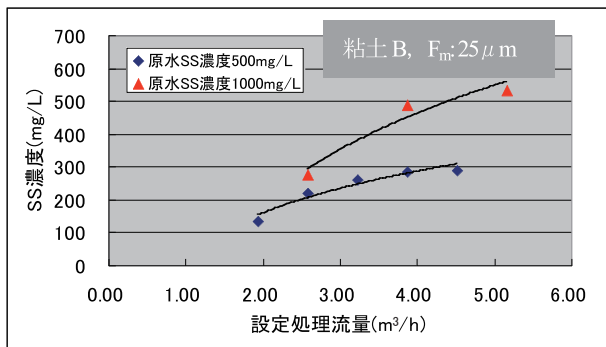
同様に、 $d(85) = 300 \mu\text{m}$ および $F_m = 50 \mu\text{m}$ より大き



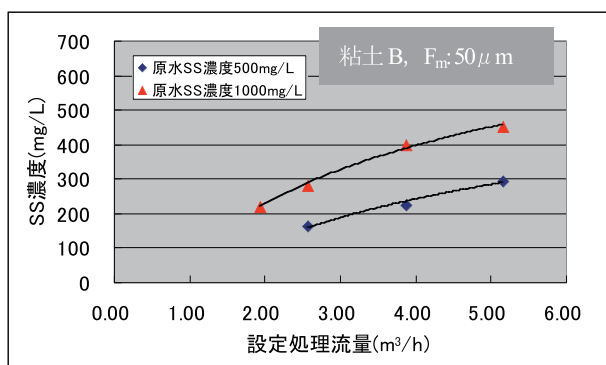
図一六 粒径加積曲線



図一七 設定処理流量とSS濃度の関係



図一八 設定処理流量とSS濃度の関係



図一九 設定処理流量とSS濃度の関係

な目幅でパイピングが発生したことから、

$$0.2 < a \quad (F_m: 50 \mu\text{m}, \text{粘土Bの場合}) \quad (3)$$

となり、本実験の範囲内では、概ね $a: 0.2 \sim 0.4$ を境にパイピング現象が発生していることがわかる。

(4) 実験結果

図一七は、粘土Aの模擬濁水を目幅 $F_m: 25 \mu\text{m}$ のフィルターに通水させた場合の設定処理流量と処理水のSS濃度との関係を示したものである。なお、設定処理流量はフィルター過面積を 0.1 m^2 に換算した値であり、送水圧および差圧については、本実験の範囲内で最も処理水のSS濃度低減を示したケースを採用している。

図から、原水のSS濃度 500 mg/L については、排水基準 (SS: 200 mg/L) をクリアしていることがわかる。また、原水のSS濃度 500 および 1000 mg/L とも、設定処理流量が増大するにつれて処理水のSS濃度も高くなることがわかる。これは、設定処理流量が大きくなるにつれて濁水処理のサイクルが短くなり、フィルター洗浄直後に高濃度の濁水が処理水に混入する頻度が増加したためである。

同様に、図一八および九は、粘土Bの模擬濁水を目幅 $F_m: 25$ および $50 \mu\text{m}$ のフィルターに通水させた場合の設定処理流量と処理水のSS濃度との関係を示したものである。これらの図は、図一七と同様の特性を有していることがわかる。また、図一八と図一九を比較した場合、図一九 ($F_m: 50 \mu\text{m}$) が高いSS濃度低減効果を示していることがわかる。これは、目幅 $F_m: 50 \mu\text{m}$ のフィルターは $F_m: 25 \mu\text{m}$ に比較して、フィルター表面のケーキ層によるSS濃度低減への寄与が高かったためと考えられる。

3-3 清濁分離装置

上述したように、ステンレスフィルタ濁水処理装置で処理された処理水には、フィルター洗浄直後、一次的に高濃度の濁水が混入する。このため、清濁分離装置によって、任意に設定されたSS濃度以下の処理水と設定値以上のリターン水に分離させると合理的である。ここでは、3-2(4)節の実験から得られた処理水のSS濃度と処理流量の時系列波形から算定された分離率および分離流量について考察を加える。

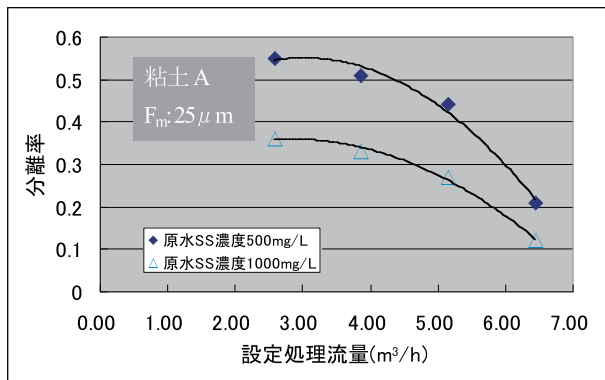
(1) 設定処理流量と分離率

分離率とは、設定処理流量に対する任意に設定されたSS濃度以下に分離された流量 (分離流量) の割合である。

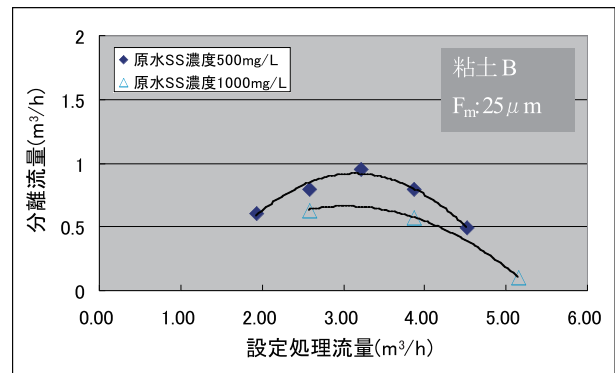
なお、分離流量は、実験から得られた処理流量の時系列波形を積分することにより算定した。

図一十は、粘土Aおよび $F_m: 25 \mu\text{m}$ のケースを整理したものであり、処理水の設定値をSS: 25 mg/L (環境基準値) 以下とした場合の処理水の分離率と設定処理流量の関係を示したものである。ここに、分離率が大きい程、放流できる処理水の割合は大きいことを意味する。

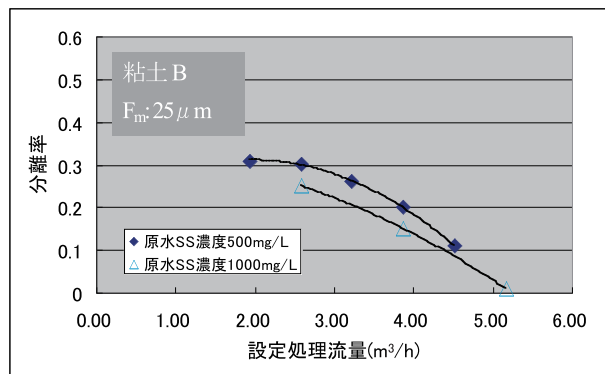
図から、原水のSS濃度 500 および 1000 mg/L とも、設



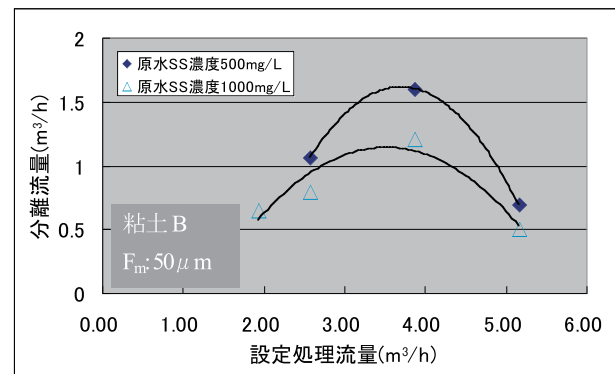
図一10 設定処理流量と分離率の関係



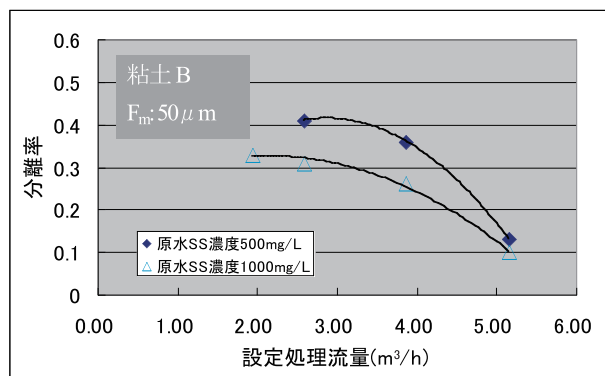
図一14 設定処理流量と分離流量の関係



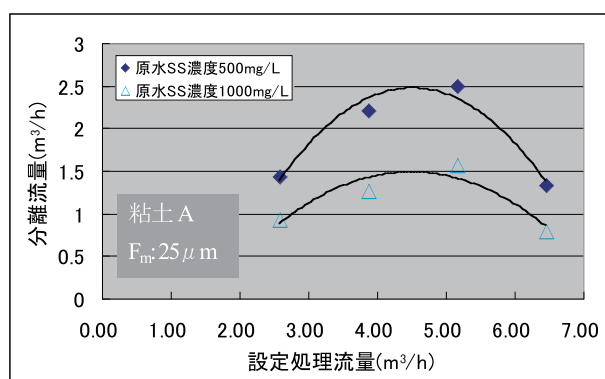
図一11 設定処理流量と分離率の関係



図一15 設定処理流量と分離流量の関係



図一12 設定処理流量と分離率の関係



図一13 設定処理流量と分離流量の関係

定処理流量が増大するにつれて分離率は低減することが分かる。これは、図一7と同様、設定処理流量が大きくなるにつれて、濁水処理のサイクルが短くなる、つまり洗浄間隔が短くなったためであると考えられる。

同様に図一11および12は、粘土Bの模擬濁水を目幅 $F_m: 25$ および $F_m: 50 \mu m$ のフィルターに通水させた場合の設定処理流量と分離率との関係を示したものである。これらの図から、目幅 $F_m: 50 \mu m$ での分離率は、目幅 $F_m: 25 \mu m$ のそれより低減していることがわかる。これは、図一8と図一9の関係と同様、フィルタ表面のケーキ層形成の影響と考えられる。

(2) 設定処理流量と分離流量

図一13～15は、設定処理流量とSS: 25 mg/L以下に設定した場合の分離流量との関係を示したものである。

図一13～15はそれぞれ図一10～12と対応しており、本実験の範囲内では、分離率は設定処理流量が増大すると共に減少するものの、分離流量は一定のピークを示し、最適な設定処理流量が存在することがわかる。

3-4 泥土脱水装置

泥土脱水装置の基本性能を把握するために、実現場のヤシ繊維フィルタ濁水処理装置から排出された泥土を用いた泥土脱水実験を行った。以下に実験概要およびその結果を示す。

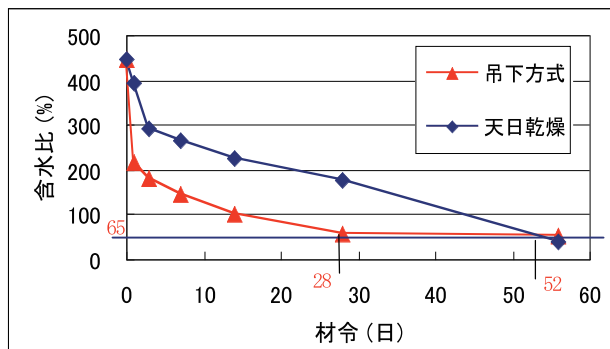


図-16 材令と含水比の関係

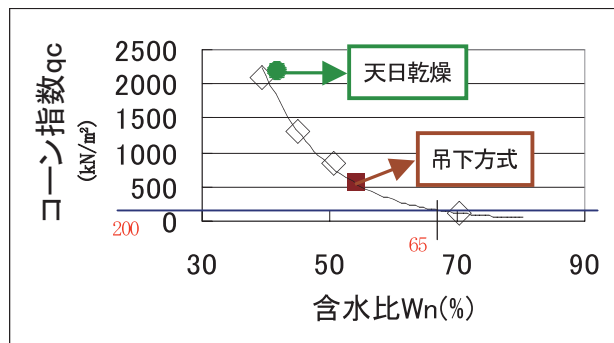


図-17 含水比とコーン指数の関係

(1) 泥土脱水装置

泥土脱水装置とは、袋状に加工されたポリエステル製の特殊布材に高含水比の泥土を充填することによって、脱水・減容化を図る袋式の脱水装置である。袋は通常、単体で吊り下げる（以下、吊下げ方式）ことによって脱水・減容化を図るが、盛土上等に直接横置きすることも可能である。

以下に本装置の特長を示す。

- ① 従来のフィルタープレス等の加圧脱水装置に比較して、大幅なコスト縮減と省スペース化が図れる。
- ② 脱水処理の過程において脱水剤等の薬剤を一切使用しないため、脱水ケーキの有効利用が広がる。
- ③ 通常、袋材は1回のみ使用するケースが多いが、本袋材は数回再利用することができ、更なるコスト縮減が図れる。

(2) 実験方法

実験は容量20リットルの袋に初期含水比446%の泥土を充填させ、吊下げ方式にて実施した。また、比較のため天日乾燥（厚さ5cm）による脱水実験も同時に実施した。

測定項目は含水比とコーン指数で、実験は56日間実施した。

(3) 実験結果

図-16は、吊下げ方式と天日乾燥の場合における材令と含水比の関係を示したものである。図から吊下げ方式

においては、実験開始から材令20日程度までは含水比に大きな低下がみられるが、その後は一定値を示している。一方、天日乾燥においては、材令にかかわらずほぼ一定の減少率で低下していることがわかる。

図-17に含水比とコーン指数との関係を示す。図中の実線は実験的に対象土の含水比を低下させた場合の含水比とコーン指数の実測値である。また、図中のマーカーは材令56日経過後の吊下げ方式と天日乾燥の実測値をプロットしたものであり、実線との相関性は高いことがわかる。

ここで、図-16および17を用いて、泥土のコーン指数(q_c)が第4種建設発生土の要求強度($q_c: 200\text{kN/m}^2$)に達するまでの材令について考察を加える。図-17の実線から要求強度($q_c: 200\text{kN/m}^2$)に対応する含水比は概ね65%であり、図-16から含水比が65%となる吊下げ方式および天日乾燥の材令は、それぞれ28日および52日となる。つまり、要求強度($q_c: 200\text{kN/m}^2$)が発現するまでの要求日数は吊下げ方式では28日、天日乾燥では52日となり、吊下げ方式は天日乾燥に比較して高い脱水性能を有していることがわかる。

§ 4. おわりに

今回、ろ過の原理を応用したコンパクトで凝集剤等の薬剤を使用しない濁水処理システムの基礎実験を行った。実験の結果、本システムは原水のSS濃度 3000 mg/L 以下の濁水に対する十分な処理性能を有することを確認した。また、濁水処理の際に発生する泥土についても第4種建設発生土の要求強度まで脱水可能であることを確認した。

今後は、これら基礎実験の成果を踏まえ、実工事現場での実証実験を行い、長期且つ実工事濁水に対する本システムの性能確認を行う予定である。

謝辞：本開発は、(独)産業技術総合研究所 地圏資源環境研究部門 丸井敦尚氏との共同研究にて実施された。本論作成にあたり、多大なるご指導を頂いた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 西田秀紀他：天然ヤシ繊維フィルタを用いたノッチタンク式濁水処理装置の開発、土木学会第65回年次学術講演会，pp.1083-1084，2010。
- 2) 岡村昭彦他：ジオテキスタイルチューブによる汚染土壌の封じ込めに関する研究，ジオシンセティックス論文集，pp.5-10，2006。
- 3) 土質基礎工学ライブラリー：ジオテキスタイル，p120，1994。