

環境に優しい工事濁水処理システムの開発（現場実証実験）

Demonstration Test of the Eco-friendly Turbid Water Treatment System

西田 秀紀*

伊藤 忠彦**

Hidenori Nishida

Tadahiko Ito

大里 正博***

川口 嘉明***

Masahiro Osato

Yoshiaki Kawaguchi

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¹⁾、本年度は昨年度の基礎実験の結果を踏まえた現場実証実験を実施した。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。

また、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. 予備実験
- § 4. 現場実証実験
- § 5. 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、特殊ステンレスフィルタを用いた事前実験結果および実現場において実施した現場実証実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一1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、③2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(浮遊物質量)3000 mg/L程度の濁水をSS：1000 mg/L以下にまで処理する。

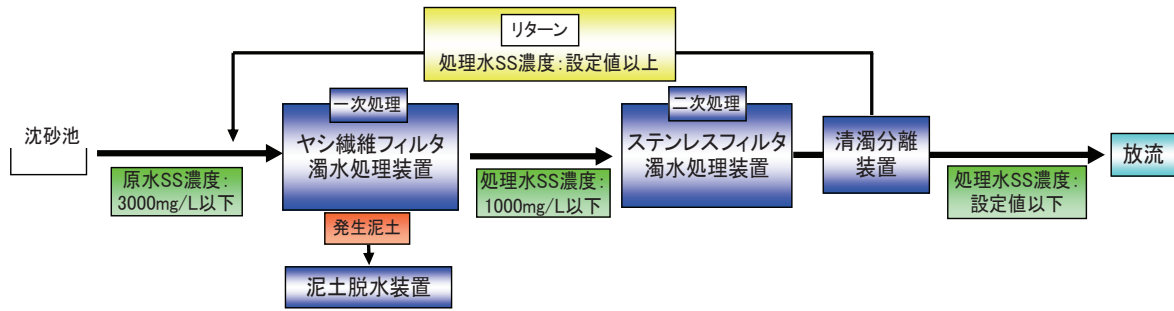
② 2次処理

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压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。

* 技術研究所地域環境グループ

** 技術研究所

*** 平塚製作所



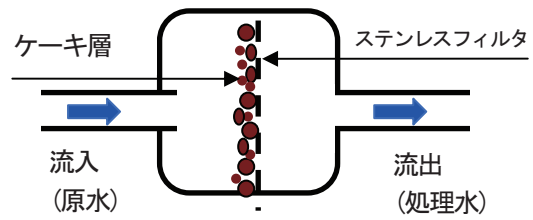
図一 工事濁水処理システムの概念図

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 濁水処理の原理

§3. 予備実験

現場実証実験に先立ち、ステンレスフィルタ濁水処理装置（2次処理）および清濁分離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。

3-1 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-2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、内蔵された自動洗浄装置によりケーキ層はすべて洗浄され、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。

3-2 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：1000mm、最大径：300mm）に通水させ実施した。表-1に実験条件、図-3に粘土AおよびBの粒径加積曲線を示す。

表-1 実験条件

実験条件	
模擬濁水の d (50) [μm]	粘土 A : 23 粘土 B : 135
模擬濁水の SS 濃度 [mg/L]	500, 1000
通水量 [m ³ /h]	1.9~7.7
送水圧 [MPa]	0.2~0.3
圧力差 [MPa]	0.15~0.24
ステンレスフィルタろ過面積 [m ²]	0.15
ステンレスフィルタ目幅 [μm]	25, 50



写真-1 ステンレスフィルタ濁水処理装置（実験機）

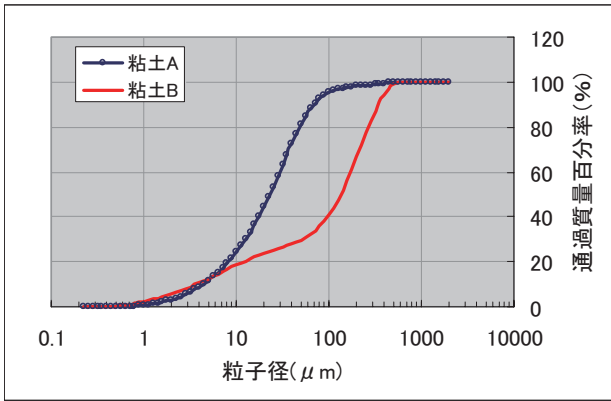


図-3 粒径加積曲線

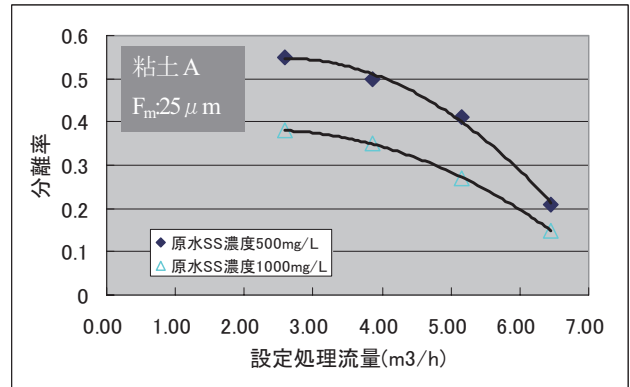


図-4 設定処理流量と分離率の関係

3-3 実験結果

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、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、設定処理流量はフィルタろ過面積を0.1 m²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-4は、粘土Aおよびフィルタ目幅Fm: 25 μm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、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-5および6は、粘土Bの模擬濁水を目幅Fm: 25およびFm: 50 μm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Fm: 25 μmでの分離率は、目幅Fm: 50 μmのそれより低減していることがわかる。これは、フィルタ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。

(2) 設定処理流量と分離流量

図-7~9は、設定処理流量と分離流量との関係を示したものである。図-7~9は、それぞれ図-4~6に対応

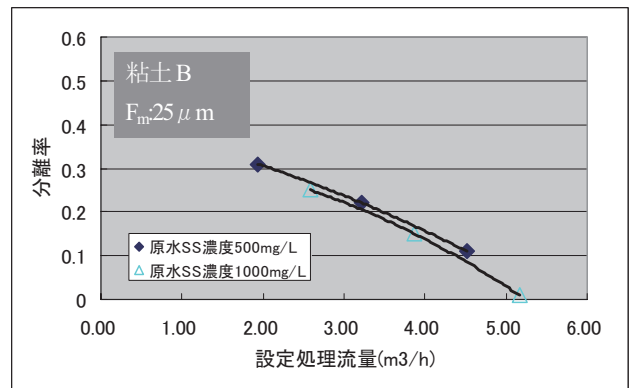


図-5 設定処理流量と分離率の関係

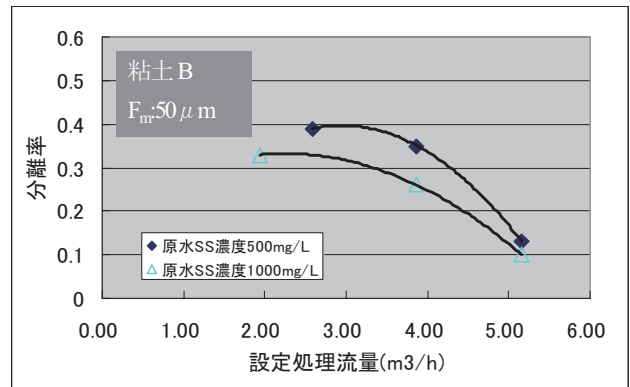


図-6 設定処理流量と分離率の関係

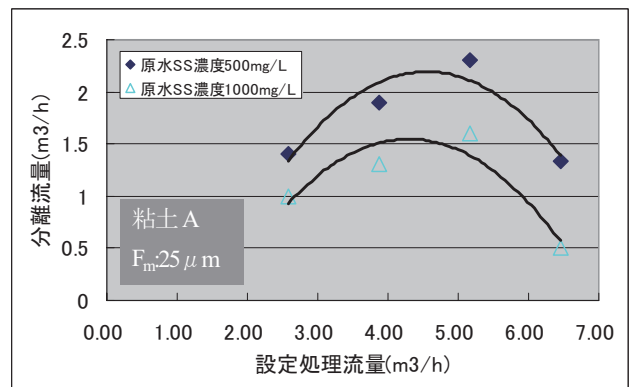


図-7 設定処理流量と分離流量の関係

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、分離流量はある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。

§4. 現場実証実験

前述の事前実験の結果、浄化目標性能を満足することを確認した。そこで、実工事濁水を使用した場合の浄化性能および実運転を考慮に入れた長期間における装置稼動状況を確認するため現場実証実験を実施した。以下に実験概要およびその結果を示す。

4-1 実証実験サイトの概要

実証実験は、高速道路橋工事の現場内に予備実験で使用した装置（2次処理および清濁分離装置）とヤシ繊維フィルタ濁水処理装置（1次処理）および泥土脱水装置を搬入し、図-1に示す一連の濁水処理システム（写真-2）に通水することにより実施した。

なお、ヤシ繊維フィルタ濁水処理装置とは、図-10に示すように、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工事濁水を処理する装置である²⁾。つまり、ノッチタンクに流入した工事濁水（原水）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。

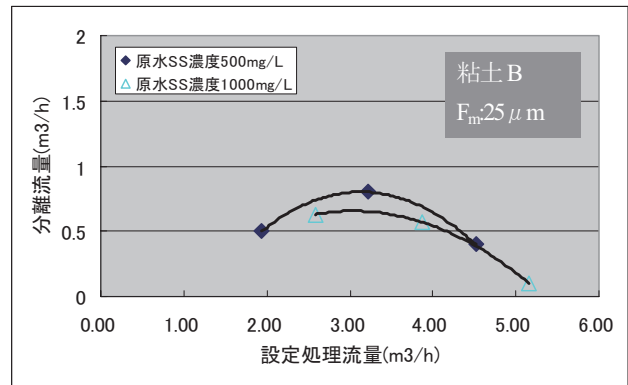


図-8 設定処理流量と分離流量の関係

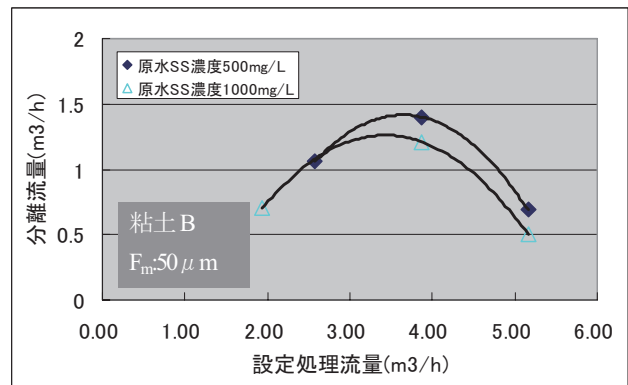


図-9 設定処理流量と分離流量の関係

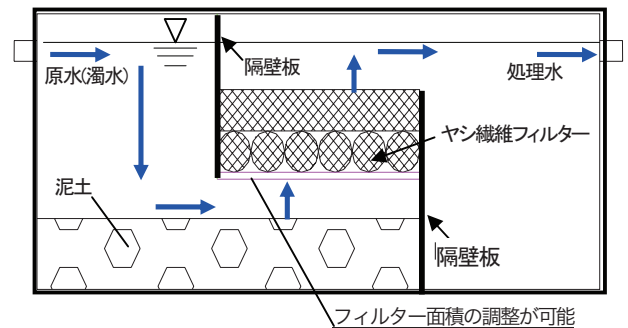


図-10 ヤシ繊維フィルタ濁水処理装置の概念



写真-2 工事濁水処理システム実験状況（全景）

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事で、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。

4-2 実験方法および実験条件

実証実験は、高速橋工事で発生する実工事濁水の一部を濁水処理システムに導入して約1ヶ月間実施した。実験条件を表-2に示す。

なお、ステンレスフィルタの目幅は、図-11に示す実工事濁水の粒径加積曲線から25 μ mを採用し、設定処理流量は予備実験の結果から得られた最適処理流量を中心に3~5ケース実施した。

4-3 実証実験結果

(1) ヤシ繊維フィルタ濁水処理装置（1次処理）

図-12は、ヤシ繊維フィルタ濁水処理装置に流入する原水および処理水のSS濃度の経時変化（10日間）を示したものである。図から、ヤシ繊維フィルタ濁水処理装置により、SS：2000mg/L程度の濁水をSS：1000mg/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SS濃度の挙動はほぼ一致していることから、高濃度および低濃度の実工事濁水に対して適用可能であることがわかる。

(2) ステンレスフィルタ濁水処理装置（2次処理）

図-13は、1次処理後の濁水のSS濃度を500および1000mg/L近傍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。なお、処理水の設定値をSS：25mg/L（環境基準値）以下とした。図から、濁水のSS濃度500および1000mg/L近傍とも、設定処理流量が増大するにつれて分離率は低減し、図-4の模擬濁水に対する結果とほぼ一致することがわかる。

一方、図-14は、設定処理流量とSS：25mg/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-14も図-7と同様の特性を有しており、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。

表-2 地表面沈下計測値による変形特性値の推定

原水のSS濃度 (mg/L)	100~2200
実工事濁水のd(50) [μ m]	17.2
設定処理流量 (m ³ /h)	2.0~8.0
ステンレスフィルタ目幅 [μ m]	25
ステンレスフィルタろ過面積 [m ²]	0.15
ヤシ繊維フィルターろ過面積 [m ²]	2.0

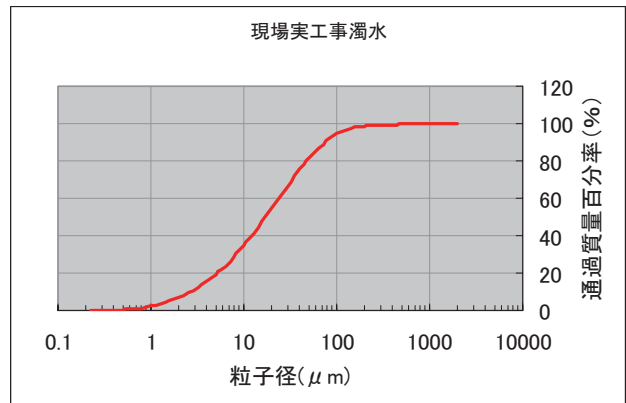


図-11 粒径加積曲線

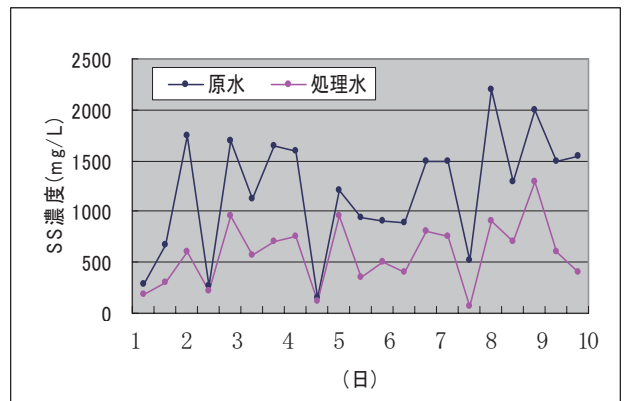


図-12 SS濃度の経時変化

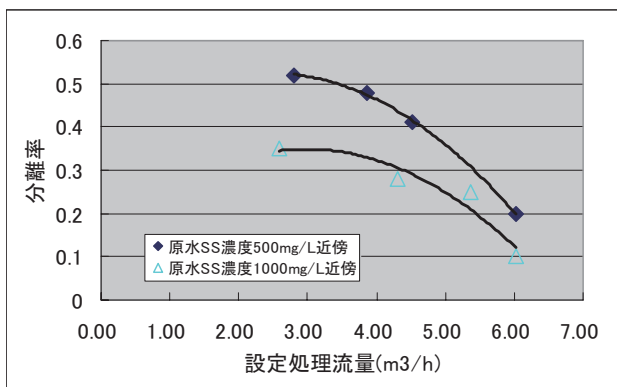


図-13 設定処理流量と分離率の関係

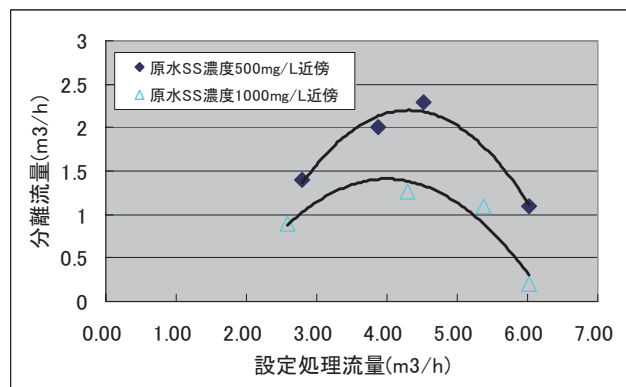


図-14 設定処理流量と分離流量の関係

4-4 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。

(1) 泥土脱水装置

泥土脱水装置とは、袋状に加工された綿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、単体で吊り下げることによって脱水・減容化を図る。

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。

(2) 実験方法

実験は容量 2 m³ の袋に初期含水比 446% の泥土を充填させ、実施した。測定項目は含水比とコーン指数で、実験は 15 日間実施した。

(3) 実験結果

図-15 は、材令と含水比の関係を示したものである。図から、実験開始から材令 5 日程度で含水比に大きな低下がみられる。

図-16 に含水比とコーン指数との関係を示す。図中の曲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³⁾。

ここで、図-15 および 16 を用いて、泥土のコーン指数 (qc) が第 4 種建設発生土の要求強度 (qc: 200 kN/m²) に達するまでの材令について考察を加える。図-16 の実線から要求強度 (qc: 200 kN/m²) に対応する含水比は概ね 67% であり、図-15 から含水比が 67% となる材令は、概ね 5 日となる。つまり、要求強度 (qc: 200 kN/m²) が発現するまでの要求日数は概ね 5 日目となる。同様の手法で含水比をコーン指数に変換し、材令とコーン指数の関係を示したものが図-17 である。なお、図中のマーカーは材令 3 日と 5 日経過後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。

§5. 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現場実証実験を行った。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、実機による濁水処理システム構築しシステム全体の性能を確認すると共に、早期の現場導入を図る予定である。

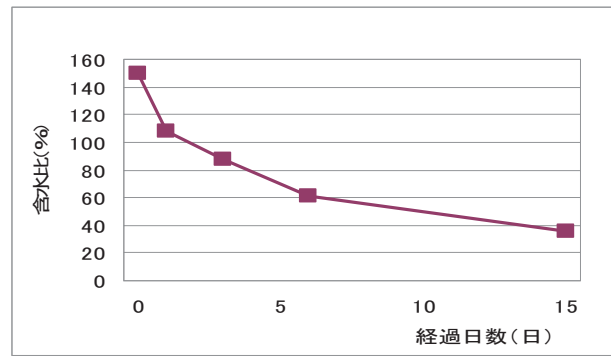


図-15 材令と含水比の関係

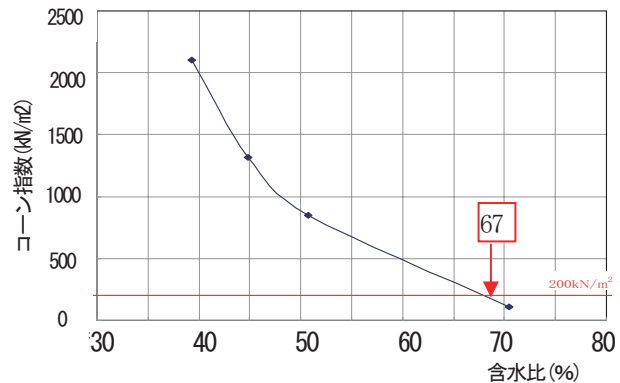


図-16 含水比とコーン指数の関係

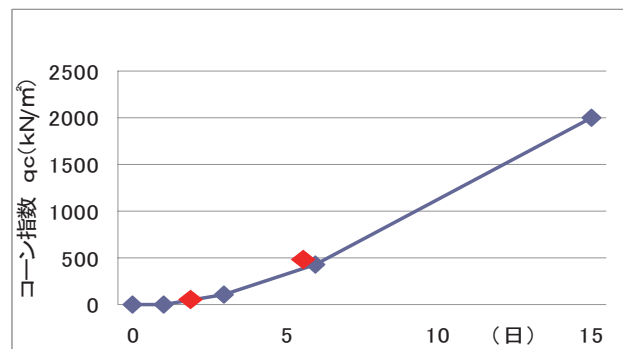


図-17 含水比とコーン指数の関係

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。また、実証実験を実施するにあたり関東土木支社・野中康治所長、他関係者の方々に多大なるご配慮を頂いた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 西田秀紀他：環境に優しい工事濁水処理システムの開発，第 66 回年次学術講演会，pp. 385-386, 2011.
- 2) 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，第 65 回年次学術講演会，pp. 1083-1084, 2010.
- 3) 土質基礎工学ライブラリー：ジオテキスタイル，p. 120, 1994.