

接触ろ材と固形凝集剤を利用した仮設沈砂池の性能向上技術

三浦俊彦 千野裕之
宮岡修二 黒岩正夫 三村 聡
(本社技術本部) (本社技術本部) (本社機械部)

Soil Particle Removal with Settling Basin Using Filter and Solid Flocculants

Toshihiko Miura Hiroyuki Chino
Shuji Miyaoka Masao Kuroiwa Satoshi Mimura

Abstract

Soil particles are being removed using settling basins, in order to reduce the environmental impact of the outflow of turbid water from a construction site. The purpose of existing settling basins is to remove sand from turbid water. However, in recent times, additional turbid water control has been required on account of the increasing commercial demand for the same. To decrease the turbidity concentration, four types of filters were tested and their effectiveness was compared. The combinational effect different filters and solid flocculants was examined by tests using a water tank with a volume of 1.5m³. The results show that the filter media were able to decrease the turbid water concentration but were unable to filter out the soil particles having dimensions of 10μm or less. The combinational effect of different filters was negligible whereas that of filters and solid flocculants was effective for the removal of fine soil particles.

概 要

土工事では工事濁水の流出による周辺環境への影響を低減するため、仮設沈砂池による土粒子除去が行われている。従来の仮設沈砂池は濁水中の砂分除去を目的としていたが、近年では発注者や地域住民等の要望や、総合評価制度対応物件等の課題から、更なる濁度低減が求められる場合がある。そこで、仮設沈砂池内に設置して濁度を低減する複数の接触ろ材を対象に、その土粒子除去性能を比較するとともに、異なる接触ろ材の組合せや固形凝集剤の併用による土粒子除去性能の向上手法を調べることを目的として、室内実験と1.5m³水槽を用いた実験を実施した。その結果、接触ろ材は整流効果や土粒子の付着・捕捉機能により、一定の濁度低減効果があるが、粒径の細かい10μm以下の土粒子の除去は難しいことがわかった。また、異なる接触ろ材の組合せは効果が小さかったが、固形凝集剤と接触ろ材の併用は仮設沈砂池の土粒子除去機能を向上できることがわかった。

1. はじめに

造成や山岳トンネル等の開設工事では、工事濁水の流出による周辺環境への影響を低減するため、仮設沈砂池による土粒子除去が行われている。仮設沈砂池は、主に濁水に含まれる砂分の除去を対象としており、濁水処理プラントのように、シルトや粘土等の細粒分を除去して、排水中の濁度や浮遊物質(SS)濃度を一定の管理値まで低減することを目的としない。しかし近年では、仮設沈砂池であっても、放流先の河川等に貴重種が生育する等の理由から、水域環境への影響が危惧される場合には、発注者や地域住民から濁度や浮遊物質濃度の更なる低減を求められる場合がある。また、総合評価制度対応物件においては、周辺環境への影響を防止するための技術提案が課題となる場合があり、仮設沈砂池から放流される排水の浮遊物質濃度を一定の管理値以下に抑える手法も必要となっている。

仮設沈砂池からの排水に含まれる濁度や浮遊物質の濃度を低く抑えるためには、仮設沈砂池の面積を大きくし

て、濁水の滞留時間を長くすることで、土粒子の沈降を促す方法が有効である。しかし、濁水中に細粒分が多く存在する場合は、沈砂池の面積を大きくする必要があるので、設置費用の増加につながることで、現場によっては用地に余裕がなく、十分な大きさの仮設沈砂池を設置できない場合もある。かかる場合は、限定された敷地に小型の沈砂池を複数設置することや、施工方法を工夫して濁水の発生量そのものを減らす方法、竹粗朶等の接触ろ材を仮設沈砂池に設置して、土粒子除去の能力を向上させる方法が実施されている。接触ろ材には様々な種類が存在するが、その土粒子除去の性能や使用法は明らかではなく、接触ろ材メーカーからの情報や工事実績を参考に使用されているのが現状である。また、接触ろ材は濁水中の細粒分除去には必ずしも有効とは考えられず、細粒分の多い土砂を扱う現場では、土粒子を十分に除去できない場合もある。

そこで、現場で使用されることの多い4種類の接触ろ材を用いて、その土粒子除去性能と使用上の特徴を把握するとともに、接触ろ材の土粒子の除去性能を向上させる

方法を調べることを目的として、室内実験と1.5m³の角型水槽を用いた実証実験を行った。除去性能を向上させる方法としては、種類の異なる接触ろ材の組合せ利用や、管理が容易な固形凝集剤の併用を検討した。

2. 仮設沈砂池の概要

土工事で使用される仮設沈砂池の面積や形状は、次の手順で設計される¹⁾。

2.1 濁水流入量Q (m³/h) の設定

仮設沈砂池の処理対象となる濁水流入量は、雨水流出量と湧水量、工事排水量等を合計して算出する。雨水流出量は、宅地造成の排水路や下水道の設計時に使用される合理式²⁾等を利用して計算する。

$$R = f \times r \times S / 1000$$

ここで、Rは雨水流出量 (m³/h)、fは流出係数、rは降雨強度 (mm/h)、Sは集水面積 (m²) である。降雨強度は、本設構造物では5~10年に1回の確率の降雨強度が設計に用いられるが、仮設沈砂池は工期や放流先の条件等を考慮して、規模が過剰にならないように設定する。ダム工事では30mm/日の設定事例がある³⁾。流出係数は、工種や地域等を考慮して決めるが、発注者によって設定値が示される場合もある。流出係数の設定例²⁾をTable 1に示す。集水面積は、仮設沈砂池の対象となる工事面積を示し、湧水量と工事排水量は過去の同種工事実績⁴⁾を使用する場合が多い。

2.2 除去する土粒子の粒径と沈降速度V (m/h) の設定

砂分除去が目的の場合、シルトと砂の境界となる粒径0.075mmの土粒子の沈降速度を設定する。砂分除去だけではなく、管理値を決めてシルト分も含めた細粒分を除去する場合は、濁水中の土粒子沈降速度と質量積百分率の関係を求めて、除去目標となる粒径とその沈降速度を設定する。Table 2に、ストークスの理論式を用いて算出した土粒子の粒径と沈降速度の関係を示す。実際の沈降速度は、土粒子の粒径が小さいほどストークスの理論式とは異なり分散する傾向にあるため、現場で発生する濁水を用いて沈降速度を測定するのが望ましい。

2.3 仮設沈砂池の面積A (m²) の算出

降雨降水量と沈降速度を用いて、以下の式により仮設沈砂池の面積を算出する。なお、本式に関する仮設沈砂池の断面図をFig. 1に示す。

$$A = \alpha \times Q / V$$

α は乱流や偏流を考慮した安全率である。理論的には、Q/Vよりも大きい面積Aを設定すれば、沈降速度V (m/h)の土粒子を除去できるが、実際には仮設沈砂池内を流れる濁水の乱れや偏りがあるため、安全率として1.5~3を乗じて沈砂池の面積を設定する¹⁾。本実験で用いた接触ろ材は、整流効果により乱流や偏流の影響を減らすため、

Table 1 流出係数の設定例²⁾

Example of Runoff Coefficient

地表面の種類		流出係数
路面	舗装	0.70~0.95
	砂利	0.30~0.70
路肩・法面	細粒土	0.40~0.65
	粗粒土	0.10~0.30
森林地帯		0.20~0.40
平坦な耕地		0.45~0.60
市街地		0.60~0.90

Table 2 土粒子の粒径と沈降速度

Relation between Settling Velocity and Particle Size

土粒子の粒径 (μm)	沈降速度 (m/h)	1m沈降するのに要する時間	10m ³ /hの濁水が発生する場合に必要な面積 (m ² , α=1)
1	0.0025	17日	400
5	0.06	17時間	166
10	0.25	4時間	40
20	1.01	1時間	10
75	13.56	4.4分	0.74

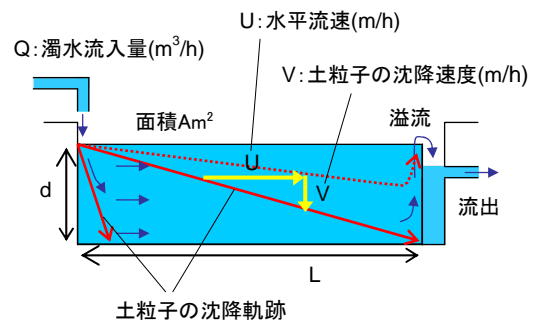


Fig. 1 仮設沈砂池の断面図
Cross Section of Settling Basin

安全率を小さく設定できると考えられる。

2.4 仮設沈砂池の形状の設定

形状は一般的に長方形で、幅に対する長さの比率を2~4で設定する。有効水深には0.5~1mを確保し、沈砂池の深さは堆砂の除去等のメンテナンスを考慮して1.5~2mにするのが一般的である。

3. 固形凝集剤を用いた室内実験

3.1 固形凝集剤の種類

凝集剤は液体または粉体状のものが一般に使用されている。これらの凝集剤は、濁水中ですばやく拡散して土粒子と反応し凝集沈殿を促進させるが、過剰添加になるとpHが低下したり、凝集剤成分であるアルミニウム等の水酸化物が生成して白濁を起こす可能性がある。そのため、濁水の濁度や発生量に応じてプラント等で管理しながら添加する必要がある。本実験では、仮設沈砂池のコンセプト上できるだけ管理が容易な手法が必要と考え

て、液体や粉体状凝集剤と比べて溶解速度が遅く、プラント設備が必要のない固形凝集剤を使用した。本実験で用いた固形凝集剤は、アルミニウム系とカルシウム系の2種類である。アルミニウム系凝集剤はアルミニウムイオン、カルシウム系凝集剤はカルシウムイオンが土粒子表面の負電荷を中和して、粒子間の反発力を弱め、微粒子同士を合一しやすくし、粒子径を大きくして沈降を促進する⁵⁾。

3.2 固形凝集剤の溶解実験

3.2.1 目的 アルミニウム系とカルシウム系固形凝集剤を用いて、沈砂池のような流下水に設置した場合のアルミニウム、カルシウム溶解量をカラム通水実験で求めた。

3.2.2 実験方法 実験装置をFig. 2に示す。固形凝集剤は粒径5mmと20mmに調整したものを使用した。直径10cmの円筒カラムに一層となるように充填し、カラムの下部から水道水を通水した。通水速度は、実際の仮設沈砂池の条件に近い0.5, 5, 25mm/sの3段階とした。通水量に換算すると0.24, 2.4, 12L/minに相当する。通水時間は10分とし、1分ごとに通水後の溶液を採取して、pHとアルミニウム濃度、カルシウム濃度を測定した。

3.2.3 実験結果 Fig. 3と4に、通水速度と通水液中に溶解したアルミニウムとカルシウムのそれぞれ10分間の平均濃度の関係を示す。図中の通水速度を示すSV値は、1時間に通過する水量を固形凝集剤の充填体積で除した値である。通水液のアルミニウムとカルシウム濃度は、通水速度が同じ条件では、10分間はほぼ一定の値であった。両凝集剤ともに、通水速度が遅くSV値が小さいほど、アルミニウムとカルシウム濃度が大きくなる傾向を示した。また粒径が小さいほど、同じ通水速度でも大きい値を示した。これは接触時間が長く、水と接触する表面積が大きいほど、水に溶解しやすいことを示している。通過液のpHは、アルミニウム系固形凝集剤はpH3~5、カルシウム系固形凝集剤はpH7~8であった。一般に、凝集沈殿に必要なアルミニウム濃度は2~10mg/L、カルシウム濃度は200mg/L程度とされている。凝集に必要なアルミニウム濃度を確保するためには、図から粒径20mmの場合はSVが20,000~30,000と推測できることから、通水量に対して非常に少ない体積で凝集沈殿が期待できるが、必要以上に添加すると過剰に溶解するため、小量を頻度よく添加する方法が適当と考えられる。一方カルシウム系固形凝集剤は、粒径20mmの場合はSV4が適当であることから、通水量に対して比較的多くの固形凝集剤量を投入する必要があるが、効果の持続時間は長くなる。これら固形凝集剤の特徴に応じて、仮設沈砂池に設置することが望ましいと考えられる。

3.3 固形凝集剤による土粒子の沈降実験

3.3.1 目的 現場から採取した粘性土で作成した濁水を対象に、固形凝集剤を添加した際の沈降速度を測定して、凝集沈殿の促進効果を調べた。

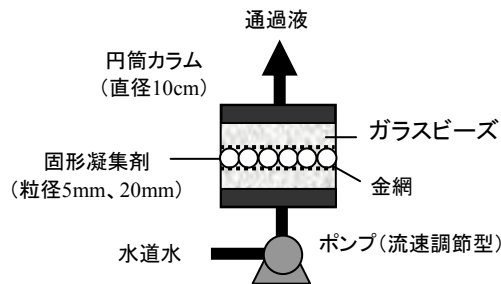


Fig. 2 固形凝集剤の溶解実験に用いたカラム装置
Column of Dissolution Experiment

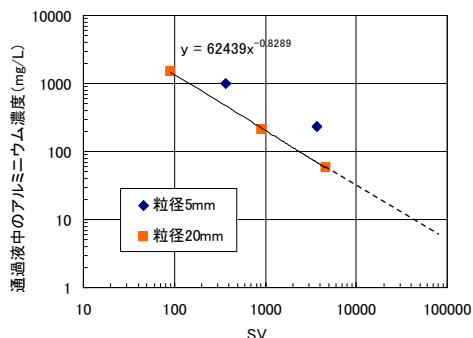


Fig. 3 アルミニウム系固形凝集剤の溶解速度
Solution Rate of Aluminum Solid Flocculants

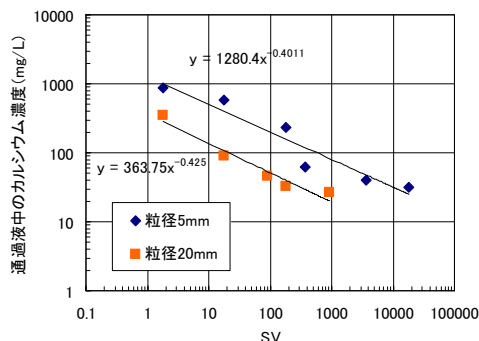


Fig. 4 カルシウム系固形凝集剤の溶解速度
Solution Rate of Calcium Solid Flocculants

Table 3 対象土の一般性状
Properties of Soil Samples

項目	単位	粘性土 (砂混じり火山灰質粘土)
自然含水比	%	64.0
土粒子密度	g/cm ³	2.636
粒度分布	>2mm	2.0
	0.075~2mm	10.2
	0.005~0.075mm	41.2
	<0.005mm	46.6
液性限界	%	92.7
塑性限界	%	40.4
塑性指数	—	52.3

3.3.2 濁水試料 Table 3に使用した土の一般性状を示す。土に同量の水を添加した後、カッターミキサーを用いてよく混合して泥水状態とした。作成した泥水を75μmの篩いに通過させて、75μm以下の通過泥水を採取した。浮遊

物質濃度が約2500, 100mg/Lとなるように水で希釈して、2種類の濁水試料（以下、高濃度濁水と低濃度濁水と記す）とした。なお、実測した浮遊物質量は、それぞれ2620mg/L, 108mg/Lであった。

3.3.3 実験方法 濁水試料にアルミニウム濃度が2, 5, 10mg/L, カルシウム濃度が50, 200, 500mg/Lとなるように固形凝集剤を添加し、攪拌混合した。凝集剤を入れた濁水を1Lビーカーに入れた後、25°Cの室温内に静置した。10, 30, 60, 240, 1440分後に水面から10cmの箇所をピペットで50~200mL採取して、浮遊物質量を測定して沈降速度を求めた。比較のため、凝集剤の入っていない濁水についても沈降速度を測定した。また、固形凝集剤を添加して1440分後の濁水を用いて、土粒子の粒度分布をレーザー回折により測定した。

3.3.4 実験結果 Fig. 5にレーザー回折で測定した粒度分布の結果を示す。高濃度と低濃度濁水試料ともに、1~10 μ m粒径の土粒子が多く、10 μ m以上の粒径が約20%で、1 μ m以下の土粒子は約4%であった。Fig. 6と7に沈降速度の結果を示す。なお、レーザー回折による粒度分布の結果から、ストークスの式を用いて沈降速度を算出した結果も併せて示す。いずれの濁水試料においても、凝集剤を入れたケースは、凝集剤のないケースに比べて浮遊物質量の減少が早く、沈降速度が大きくなることが確認できた。高濃度濁水の場合は、アルミニウム濃度とカルシウム濃度が高くなるほど、浮遊物質量が低下する傾向にあったが、その差は僅かであり、少量の凝集剤成分が存在するだけで沈降速度を大きく増加できると考えられた。低濃度濁水の沈降速度も同様に、アルミニウムとカルシウム濃度による差は小さかったが、アルミニウムを添加したケースでは、添加量が多いと浮遊物質量が僅かに増加する傾向にあり、10mg/Lの添加は過剰であったことが考えられる。粒度分布から算出した沈降速度は、高濃度と低濃度濁水試料ともに、沈降時間100分までは凝集剤のないケースと同程度であったが、沈降時間100分以降では大きくなる傾向を示した。これは実際の濁水では微細粒子が分散系にあり、計算（ストークスの式）結果よりも沈降し難いことを示している。固形凝集剤を添加した高濃度濁水試料においては、沈降の初期段階から沈降速度が大きくなっている。これは土粒子の凝集により、見掛けの粒径が大きくなったことが原因と考えられる。一方低濃度濁水の場合は、固形凝集剤を添加した場合の沈降速度と粒径分布から算出した沈降速度とほぼ同じであることから、土粒子の粒径が大きくなった効果よりも、凝集成分により土粒子表面にある負電荷同士の反発が減少し、細粒分の分散性が低減した効果が主体であったと考えられる。

Fig. 8にレーザー回折の結果から算出した高濃度濁水（固形凝集剤なし）の沈降時間ごとの粒度分布を示す。固形凝集剤を添加した高濃度濁水は、10分後に浮遊物質量が2620mg/Lから約160mg/Lまで減少したが、Fig. 8に図示されるように、10分後に沈降するのは主に粒径が10 μ m

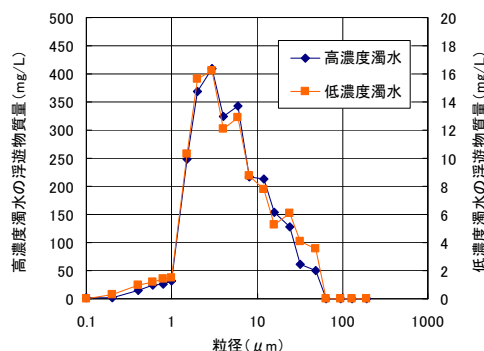


Fig. 5 濁水試料の粒度分布
Particle Size Distribution of Turbid Water

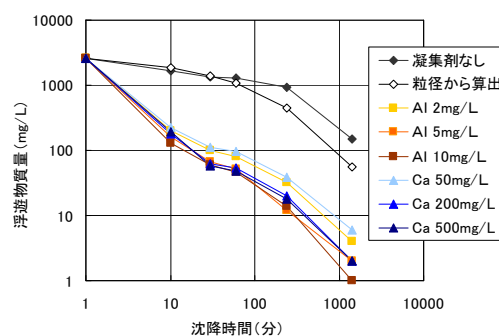


Fig. 6 高濃度濁水における沈降時間と浮遊物質量濃度の関係
Relation between Settling Time and Suspended Solids Concentration of High Density Turbid Water

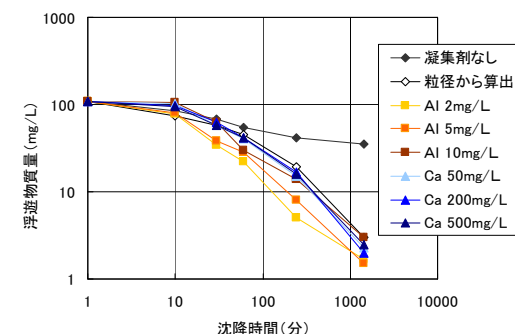


Fig. 7 低濃度濁水における沈降時間と水面下10cm浮遊物質量濃度の関係
Relation between Settling Time and Suspended Solids Concentration of Low Density Turbid Water

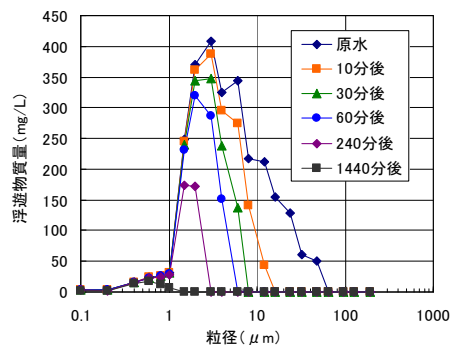


Fig. 8 高濃度濁水の沈降時間ごとの粒度分布
Changes of Grain Size Distribution of High Density Turbid Water

以上の土粒子であることから、固形凝集剤の添加により、濁水中土粒子の大部分が粒径 $10\mu\text{m}$ 以上になったことが推測される。Fig. 9に固形凝集剤を添加した高濃度濁水を対象に、レーザー回折により土粒子の粒径分布を測定した結果を示す。なお、通常のレーザー回折測定時は、超音波により土粒子を分散して測定するが、本実験は凝集による粒径変化を調べるため、凝集した土粒子を再度分散させないように、スターラーで弱く攪拌しながら測定を行った。固形凝集剤を添加したケースでは、全体的に粒径が大きくなり、 $10\mu\text{m}$ 以上が約50%に達した。したがって、固形凝集剤の添加は、土粒子の凝集により沈降速度を上昇させる効果があることが確認できた。

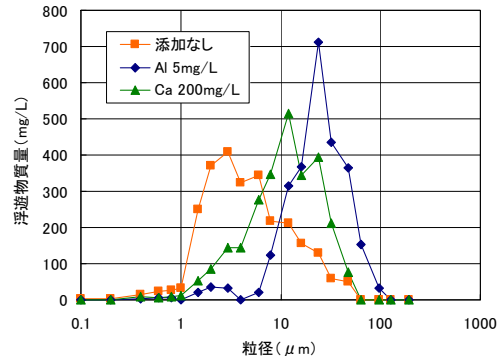


Fig. 9 固形凝集剤時の土粒子の粒径分布
Grain Size Distribution after Adding Solid Flocculants

4. 水槽を用いた実証実験

4.1 目的

仮設沈砂池を模した 1.5m^3 の角型水槽に濁水を通水させて、各種接触ろ材の土粒子除去機能を比較するとともに、土粒子除去の向上を図るため、接触ろ材の組合せや、固形凝集剤の併用効果について調べた。

4.2 実験概要

4.2.1 濁水試料 固形凝集剤の実験と同じ方法で土粒子粒径が $75\mu\text{m}$ 以下の泥水を作成し、浮遊物質量として50, 150, 300mg/Lに調整した濁水試料を使用した。

4.2.2 接触ろ材と固形凝集剤 接触ろ材は、現場で一般に使用されている竹粗朶とひも状ろ材、繊維ろ材、碎石の4種類を使用した。接触ろ材の特徴をTable 4に示す。竹粗朶は直径20cmに束ねたものを水槽内に4層設置した⁵⁾。繊維ろ材は、直径30cmの天然素材の材料を使用し、4層設置した。ひも状ろ材は、直径10cmの合成繊維の材料を1mあたり11本吊るし、それを2列設置したものを1層として4層設置した。碎石は、4号碎石を20cmの厚みの鉄かごに充填したものを1層として4層設置した。これら接触ろ材による濁度の低減は、1) 整流効果による土粒子沈降促進、2) ろ過における土粒子の捕捉機能、3) ろ材による土粒子の付着・沈殿機能によって説明される。本実験で使用した接触ろ材は、ろ材の空隙が大きいことから、主に1) と3) の効果による土粒子の除去効果を調べることとなる。固形凝集剤は、アルミニウム系とカルシウム系の2種類を使用した。固形凝集剤は、アルミニウム系とカルシウム系ともに、直径約20mmに調整した材料を網袋に入れて、濁水が水槽へ入る流入部に吊るして接触させた。

4.2.3 通水条件 濁水の通水速度は、実際の仮設沈砂池の条件に近づけて、水平流速で1.8, 9, 18m/hの3レベルとし、横に均一に通水する方式とした。水槽の通水断面積は 0.615m^2 であったため、流量に換算すると1.2, 3.7, 11 m^3/h に相当する。なお、通水してから定常状態に到達する時間を確保するため、少なくとも 1.5m^3 の水槽のうち濁水の体積に相当する 1.1m^3 の2倍量を通過させることを

Table 4 接触ろ材の特徴
Characteristics of Filters

種類	特徴
竹粗朶	比較的硬くて丈夫であり、軽い設置や撤去等の施工性が良い。仮設沈砂池内に設置した柵内に竹粗朶の束を充填して配置する。工事期間中は洗浄により繰り返し使用でき、工事終了後は束を細切れにしたりチップ化して、裸地表面の表土抑えや林床等に撒くなど、現場内での再利用も報告されている ⁶⁾
ひも状ろ材	細かい繊維で編んだ組みものを単管等に掛け付け、仮設沈砂池に上部から垂らすように設置する。竹粗朶と同様に軽い設置や撤去等の施工性がよい。また、付着した土粒子をハイウォッシャー等で容易に洗浄除去できるため、再利用しやすい。直径10cmのひも状ろ材を重ね合わせるようにして1mあたり10~12本を吊るしたものを1列として、このひも状ろ材の列を5列以上設置する方法等の使用例がある。
繊維ろ材	合成繊維や天然のヤシ繊維等を高密度で充填した材料で、繊維を充填して厚み10~30cmの板状または丸太状に成型したものがある。重量が大きすぎて施工性に劣るが、ろ過性能に優れている特徴がある。繊維ろ材を1列設置することで土粒子を30~50%除去できると仮定して、目標濁度に低減するのに必要な列数を算出して使用する例が報告されている。
碎石	粒径30~40mmの3号碎石や粒径20~30mmの4号碎石等が使用される。入手しやすいが、重量が重くて施工の負担が大きいことや、目詰まりした場合の洗浄が難しい等の欠点がある。ろ過方程式とろ過抵抗式から碎石の粒径と必要な層厚を求めて設計するが、実際は理論値と異なることが多く、ろ過に必要な層厚Lと碎石粒径Dとの比L/Dを実験的に求めて設計する場合が多い ⁷⁾ 。

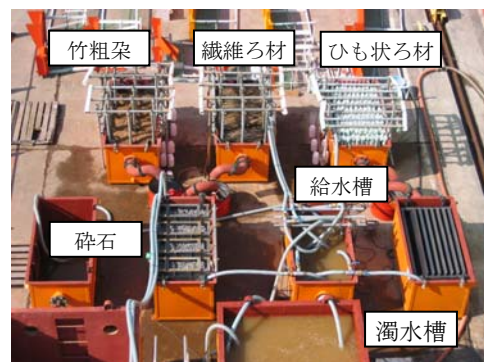


Photo 1 実験設備の概要
Experiment Equipment

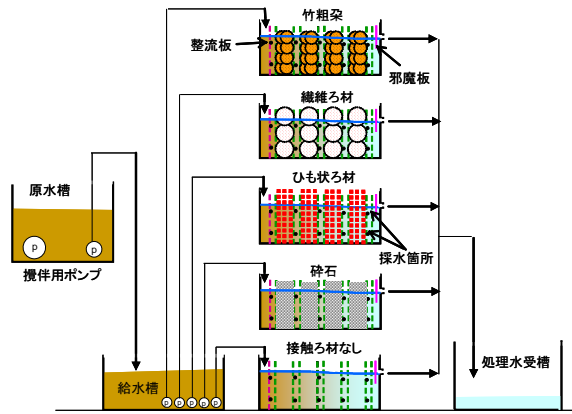


Fig. 10 実験設備の概要
Experiment Equipment

目標として、1.8m/hのケースでは95分、9m/hでは35分、18m/hでは13分の通水時間を確保した。

4.2.4 実験方法 Photo 1とFig. 10に実験設備の概要を示す。Table 5に実験ケースを示す。No.1～10は、接触ろ材として使用実績の多い竹粗朶を使用し、初期濁水の浮遊物質量や水平流速の影響を調べた。No.11～13は接触ろ材の種類を比較し、No.14と15は異なる接触ろ材の組合せ効果を調べた。No.16～19は固形凝集剤の効果を調べたケースである。実験手順は次のとおり。1)20m³水槽に濁水を作成し、均一な状態を維持するため、水中ポンプで常時循環した。2)濁水を給水槽へと移し、接触ろ材を設置した4つの1.5m³角型水槽と、接触ろ材のない水槽へ濁水を一定速度で通水した。水槽の断面図をFig. 11に示す。3)定常状態を確保するため、水槽中の濁水が少なくとも1回以上交換される時間を確保して濁水を通水した。4)水槽の流入部を初期濁水試料として採取し、また接触ろ材の層間と流出部の合計5点から、深度5cmと50cm濁水を2Lずつ採取して、濁度(カオリン)と浮遊物質量を測定した。5)接触ろ材の組合せや固形凝集剤の併用効果を調べるケースは、水槽を2つ連結して濁水を通水した。

4.3 実験結果

4.3.1 濁度と浮遊物質量の関係 接触ろ材を単独で利用したケースと、ろ材のないケース (No.1～13) における濁度と浮遊物質量の関係をFig. 12に示す。ろ材のないケースの浮遊物質量は、濁度の1.2倍程度の値を示し、高い正の相関が認められた。一方接触ろ材通過後の濁水の浮遊物質量は、濁度との相関が少し低下する傾向にあった。特に竹粗朶や繊維ろ材等の天然素材で作られたろ材を使用する場合は相関性が低く、実験時の観察から、有機物等の溶出による着色が濁度の値に影響を与えている可能性が考えられた。

4.3.2 初期濁水の浮遊物質量の影響 Fig. 13に水平流速9m/hで竹粗朶に濁水を流した場合の、浮遊物質量を示す。図中の浮遊物質量は、深度5cmと50cmの測定値を平均した値である。接触ろ材なしの浮遊物質量は、流入部

Table 5 実験ケース
Experimental Cases

No.	目的	濁水試料 (mg/L)	通水速度 (m/h)	通水時間 (min)	接触ろ材	固形凝集剤
1	浮遊物質量の影響	50	9	35	竹粗朶	—
2		50	9	35	—	—
3		150	9	35	竹粗朶	—
4		150	9	35	—	—
5		300	9	35	竹粗朶	—
6		300	9	35	—	—
7	水平流速の影響	150	18	13	竹粗朶	—
8		150	18	13	—	—
9		150	1.8	95	竹粗朶	—
10		150	1.8	95	—	—
11	接触ろ材の比較	150	9	35	繊維ろ材	—
12		150	9	35	ひも状ろ材	—
13		150	9	35	砕石	—
14	接触ろ材の組合せ	150	9	35	ひも+繊維	—
15		150	9	35	ひも+竹粗朶	—
16	固形凝集剤の併用	150	9	35	ひも+繊維	Ca系
17		150	9	35	ひも+繊維	Al系

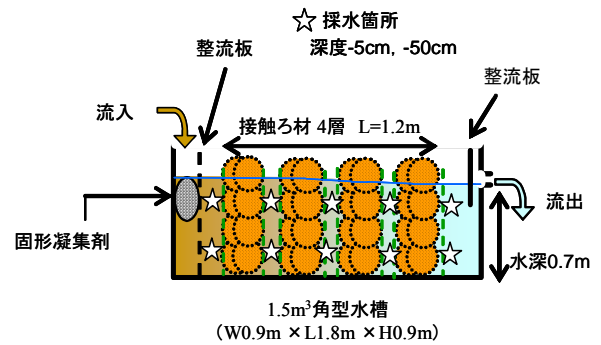


Fig. 11 実験水槽の断面図

Cross Section of Experiment Tank

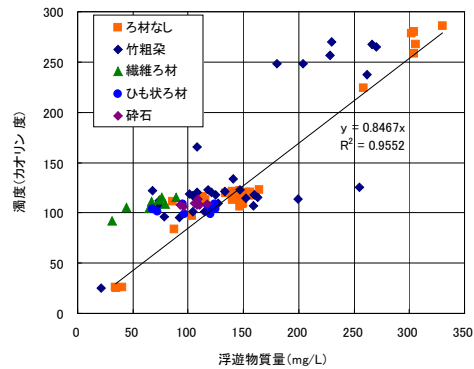


Fig. 12 濁度と浮遊物質量の関係
Relation between Turbidity and Suspended Solids Concentration

からの距離が増えても大きな変化はなく、初期値と同程度であった。水平流速9m/hの流量は3.7m³/hなので、1.5m³の水槽では約25分間の滞留時間がある。そのため、室内沈降実験における低濃度濁水の30分後と同じ約37%の低減が見込まれたが、実際にはほとんど低減しなかった。これは通水時に発生した乱流や偏流等の影響により、室内沈降実験で行った静置条件よりも土粒子が沈降し難かったためと考えられる。一方竹粗朶を使用した場合の浮

遊物質は、流入部からの距離とともに減少し、土粒子除去作用が認められた。竹粗朶による浮遊物質量の流出部における除去率は、初期浮遊物質量が300mg/Lの場合は約43%、150mg/Lの場合は約44%、50mg/Lの場合は約47%で、初期の約半分に相当する土粒子が除去できた。これは、竹粗朶による整流効果や付着・沈殿機能が作用したためである。初期濁水の浮遊物質量が異なっても除去率が同程度であったのは、土粒子の粒径分布が同じであるためと考えられる。

4.3.3 水平流速の影響 Fig. 14に初期濁水の浮遊物質量が150mg/Lの場合の、水平流速と竹粗朶の土粒子除去効果の関係を示す。接触ろ材のないケースの浮遊物質量は、作成時の誤差から初期値に少し差はあったが、いずれの水平流速においても顕著な変化はなかった。一方竹粗朶を使用した場合の浮遊物質量は、流入部からの距離とともに減少し、流出部における除去率は1.8m/hの場合は約51%、9m/hの場合は約44%、18m/hの場合は約35%であった。水平流速が早いほど、浮遊物質量の除去率が低下する傾向にあった。このことは、ろ過材の無い仮設沈砂池では沈降があまり起こらない滞留時間の範囲でも、竹粗朶等の接触ろ材を設置することで、土粒子除去の増加効果が期待できることを示している。また、流速が早いほど除去率が低下したのは、接触ろ材の整流効果や土粒子の付着・沈殿機能が、流速に影響されることを示している。

4.3.4 接触ろ材の比較 Fig. 15に初期濁水の浮遊物質量が150mg/Lで、水平速度が9m/hの場合における、各種接触ろ材の浮遊物質低減量の比較を示す。各種ろ材に通過させたケースの浮遊物質量は、いずれにおいてもろ材なしと比べて小さく、低減効果が認められた。流出部における除去率は、竹粗朶が約44%、繊維ろ材が約55%、ひも状ろ材が約53%、碎石が約33%であった。碎石は他のろ材に比べて浮遊物質量の低減効果が小さかったが、これは使用した碎石に微細な土粒子が存在しており、それが通過濁水に混入したことも影響している。繊維ろ材は、他のろ材と比べて一層目の通過後の浮遊物質低減量が小さく、土粒子の除去効率が高かった。しかし、二層目以降の低減量は小さく、流出部においては他のろ材と同程度の低減量となったのは、接触ろ材によって除去できる土粒子粒径に限界があることを示している。

Fig. 16に各種ろ材通過後の土粒子の粒径分布を示す。ろ材を通過したケースは、ろ材を通過していないケースと比べて、いずれも10 μ m以上の粒径が減少し、24 μ m以上の土粒子はほぼ100%除去された。24 μ mよりも大きい土粒子は、接触ろ材の補足機能により除去されている可能性があるが、24 μ m以下の土粒子は主に整流効果や付着・沈殿機能によって除去されていると考えられる。

4.3.5 異なる接触ろ材の組合せ効果 設置が容易で使いやすいひも状ろ材を第一水槽に設置し、繊維ろ材または竹粗朶を第二水槽に設置してろ過した場合の浮遊物質量をFig. 17に示す。距離0~174cmの範囲が第一水槽で

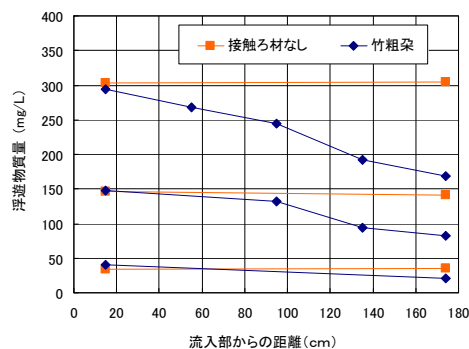


Fig. 13 初期浮遊物質量が竹粗朶に与える影響
Influence of Initial Suspended Solids Concentration on Bamboo Brush woods

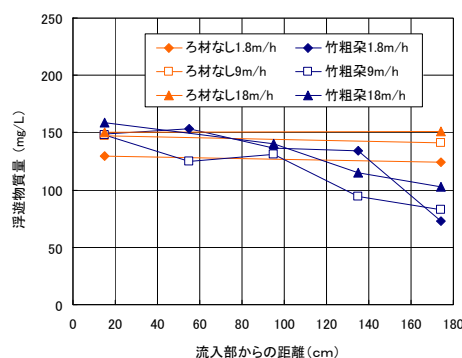


Fig. 14 水平流速が竹粗朶に与える影響
Influence of Linear Speed on Bamboo Brush woods

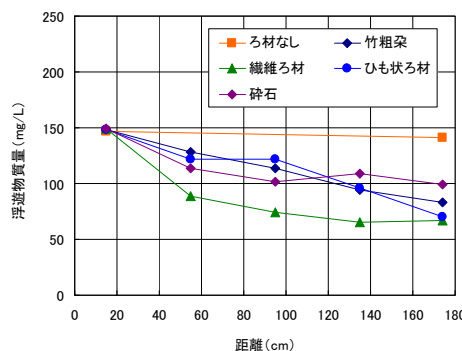


Fig. 15 各種接触ろ材による浮遊物質低減量
Amounts of Suspended Solids Decrease Using Filter

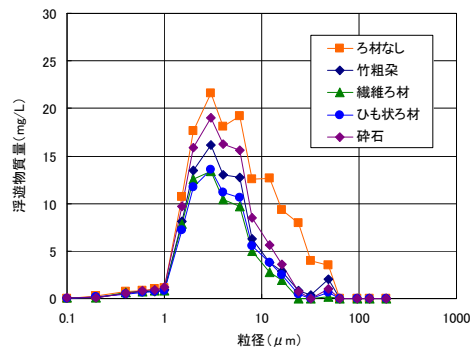


Fig. 16 各種接触ろ材通過後の土粒子の粒径分布
Grain Size Distribution after Filtration

174~357cmの範囲が第二水槽に相当する。繊維ろ材と竹粗朶ともに、浮遊物質量は第一水槽のひも状ろ材で約50%まで減少し、第二水槽で約40%まで低減した。通過させるろ材を増やしても、浮遊物質量は大きく低減しないことから、接触ろ材の土粒子除去機能は、初期に整流効果や補足機能が大きく作用し、その後は沈殿・補足作用により少しずつ浮遊物質量を低減させていることが推測される。

4.3.6 接触ろ材と固形凝集剤の併用効果 Fig. 18にひも状ろ材と繊維ろ材の組合せに、カルシウム系とアルミニウム系の固形凝集剤を併用した場合の浮遊物質量を示す。固形凝集剤は第一水槽の流入部に必要量設置した。固形凝集剤を併用したケースの浮遊物質量は、併用なしと比べて、第二層の中間（距離で約240cmの箇所）までは同じ減少傾向にあったが、最終の第二層の流出部で小さくなり、凝集剤を使用しないケースの約半分に相当する20~30mg/Lまで減少した。通水初期においては、接触ろ材の整流効果が主体であり固形凝集剤の影響はなかったが、滞留時間とともに固形凝集剤による土粒子の沈降促進効果が現れたためと考えられる。

5. まとめ

固形凝集剤を用いた室内実験と、接触ろ材と固形凝集剤を用いた1.5m³水槽の実証実験から、仮設沈砂池の土粒子除去効果を向上させる手法の調査を実施した。結果を以下に要約する。

5.1 接触ろ材の効果

75μm以下に粒度調整した濁水試料を用いて、4種類の接触ろ材の土粒子除去率を比較した結果、竹粗朶が約44%、繊維ろ材が約55%、ひも状ろ材が約53%、碎石が約33%で、碎石以外ではほぼ同程度の土粒子除去性能を示した。一層目の浮遊物質低減量は、繊維ろ材が最も大きかったが、複数設置することで接触ろ材の差は小さくなり、いずれの材料も24μm以上の土粒子除去には効果が高いことが示された。接触ろ材を設置する面積が限定される場合は繊維ろ材が有効だが、十分な面積が確保できる場合は、竹粗朶やひも状ろ材等の施工しやすい接触ろ材を多層に設置する方法が適当と判断される。ひも状ろ材は、設置や撤去、洗浄等の施工面から扱いやすいが、使用后材料の再利用の観点からは竹粗朶が優れており、現場状況に応じて適切な接触ろ材を選定することが必要である。異なる接触ろ材の組合せ効果は、本実験の範囲では認められなかった。

5.2 接触ろ材と固形凝集剤の併用効果

アルミニウム系固形凝集剤は、凝集に必要な通水条件はSV20,000~30,000で、カルシウム系固形凝集剤はSV4程度であった。アルミニウム系固形凝集剤は溶解速度が早く、過剰添加となってpHの低減や水酸化アルミニウム

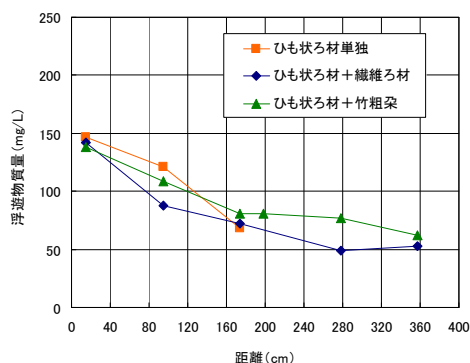


Fig. 17 接触ろ材の組合せ効果
Effect of Combination of Different Filter Media

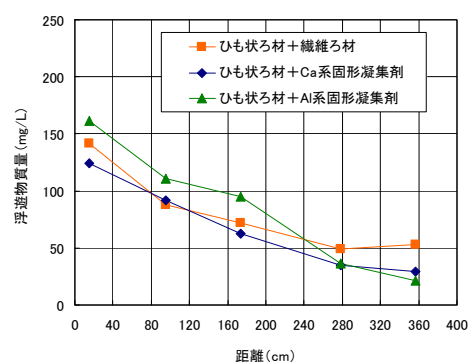


Fig. 18 固形凝集剤の併用効果
Effect of Combination of Filters and Solid Flocculants

の白濁を起こす可能性があるため、仮設沈砂池では比較的溶解速度の遅いカルシウム系固形凝集剤が適当である。接触ろ材と固形凝集剤の併用は、接触ろ材だけを使用した場合に比べて、流出部の浮遊物質量を約50%低減できた。これは、固形凝集剤による土粒子粒径の増大と、それに伴う沈降速度の増加、接触ろ材の整流効果と沈殿・捕捉機能が作用したためであり、仮設沈砂池の能力を向上させる手法として有効であると判断された。

参考文献

- 1) 社団法人産業環境管理協会：新・公害防止の技術と法規2006, (2006)
- 2) 社団法人日本道路協会：道路土工 排水工指針, (1987)
- 3) 財団法人日本ダム協会：ダム建設工事における濁水処理, (1995)
- 4) 社団法人日本トンネル技術協会：トンネル工事中の濁水処理に関する調査研究報告, (1988)
- 5) 藤田賢二：水処理薬品ハンドブック, (2003)
- 6) 矢作川環境技術研究会：建設工事における汚濁防止対策の手引き, (2003)
- 7) 井出哲夫：水処理工学—理論と応用—, (1976)