

# 論文 砕石場脱水ケーキと繊維屑

## を混合して作製した緑化基盤材の性能評価

里見知昭<sup>※)</sup> 高橋 弘<sup>※※)</sup>

### 1. はじめに

砕石場から発生する脱水ケーキは、脱水ケーキが有する遮水性を活かして廃棄物処分場の遮水材料に関する研究<sup>1)</sup>が行なわれているものの、依然として大量の脱水ケーキが埋立て処分されている。また、脱水ケーキの使い道が決まらずに砕石場内に仮置きされていることもある。したがって、脱水ケーキを大量に再利用できる技術を開発できれば、埋立て処分量の削減や環境負荷の軽減に貢献できると考えられる。そこで、本研究では脱水ケーキを用いて緑化基盤材を生成することを目指した。しかし、脱水ケーキを原料として緑化基盤材を作製するためには、脱水ケーキが持つ遮水性を解決する必要がある。

緑化基盤材に求められる性能には、透水性、保水性、軽量性、保肥性がある。脱水ケーキを用いた緑化基盤材がこれらの性能を満たすためには、脱水ケーキに何らかの材料を混合する必要がある。本研究では繊維屑のリサイクル事情に着目した。回収される繊維の素材が不明確であるために、年間総消費量約171万トンのうち大部分が廃棄処分されている<sup>2)</sup>。繊維は土よりも軽く柔軟で、

土粒子同士をつなぐ役割(団粒化)を果たすと期待される。したがって、脱水ケーキに繊維屑を混合することで、低環境負荷の緑化基盤材を生成できると考えられる。

以上の背景より、本研究では砕石場脱水ケーキのさらなる利用促進に貢献するため、脱水ケーキを原料とした緑化基盤材を作製し、室内試験を通して繊維屑を混合した緑化基盤材の性能(緻密度、透水性、保水性)を満たす配合条件(脱水ケーキに対する繊維屑の添加率、加水調整など)について考察する。

### 2. 緑化基盤材作製に関する諸条件の選定のための予備実験

#### 2.1 実験材料

本研究では、宮城県の砕石場で排出された脱水ケーキ(粘板岩、図1を参照)を用いた。表1に脱水ケーキの基本的性質を示す。脱水ケーキはほぼ中性で、透水性は非常に低いことが確認された。

表1 脱水ケーキの基本的性質

平均粒径 $D_{50}$	[mm]	0.0079
均等係数 $U_c$	[-]	13.1
曲率係数 $U_c'$	[-]	1.0
土粒子の密度 $\rho_s$	[kg/m <sup>3</sup> ]	2,738
採取時の含水比 $w$	[%]	25.0
液性限界 $w_L$	[%]	31.0
塑性限界 $w_P$	[%]	15.6
pH	[-]	7.64
強熱減量	[%]	15.1
透水係数 $k$ (湿潤密度 2,051 kg/m <sup>3</sup> )	[m/s]	$2.8 \times 10^{-9}$

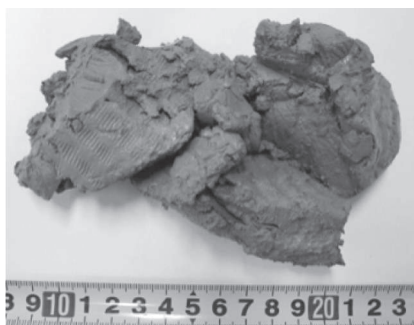


図1 脱水ケーキ (含水比25%)

※) 東北大学大学院環境科学研究科 助教 博士(工学)

※※) 東北大学大学院環境科学研究科 教授 工学博士

(76)

実際の繊維屑は様々な素材が含まれているが、本研究では試料の均質性を保つために使用済みのタオルを使用した。まず、ハサミで約1.5cm四方の大きさに切り、手でほぐして繊維屑を作った。繊維屑の固体密度は $1.658\text{kg/m}^3$ であり、吸水率は720%（繊維屑の乾燥質量と吸水量との比の百分率）であった。繊維屑の固体密度はピクノメータ法で測定した。繊維屑の吸水試験は、駒込ピペットを使って少しずつ吸水させ、繊維屑から水が浸み出すまでの繊維屑の湿潤質量を測定し、繊維屑の吸水率を算出した。

また、繊維屑に加えて他の材料を援用し団粒構造を作る方法を考えた。具体的には、従来の緑化基盤材でも採用されている木チップ<sup>3)</sup>の添加を試みた。木チップは脱水ケーキと繊維屑の大きさを考慮して、粉碎機（三庄インダストリー株式会社製、NH-34）を使用し3mmのスクリーンを通過したものをを用いた。木チップの固体密度は $1.541\text{kg/m}^3$ であり、吸水率は191%（木チップの乾燥質量と吸水量との比の百分率）であった。木チップの固体密度はピクノメータ法で測定した。木チップの吸水試験は、24時間浸水させたあとの木チップの湿潤質量を測定し、吸水率を算出した。

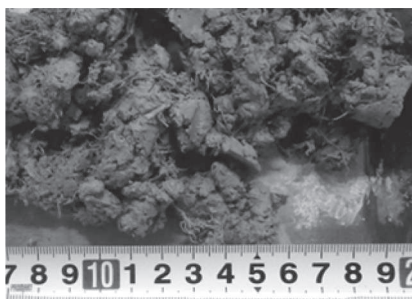
## 2.2 予備実験の方法と結果

脱水ケーキと繊維屑、木チップを混合した緑化基盤材を作製するにあたり、繊維屑と木チップの添加率および加水調整の条件を設定するための予備実験を実施した。脱水ケーキと繊維屑、木チップの混合には、ハンドミキサー（Panasonic製、MK-H4）を使用した。予備実験では、加水条件や繊維屑の添加率を種々変えて脱水ケーキと混合した試料を作製し、その試料が緑化基盤材に要求される団粒構造を形成しているかについて観察した。実験結果を以下に示す。

### (1) 液性限界（含水比31%）まで加水した場合

脱水ケーキと繊維屑の絡み合いを促すには、ある程度の水分量が必要であると考え、脱水ケーキの性状が変わる液性限界まで加水し繊維屑を添加する方法を試みた。今回は繊維屑の添加率（脱水ケーキの乾燥質量と繊維屑の質量との比の百分率）を1.25%、2.5%、5%とした。脱水ケーキと繊維屑の使用量バランスを考慮して、最大添加率は5%と設定した。

図2に脱水ケーキと繊維屑を混合した試料を示す。図2より、添加率5%の場合は繊維屑と脱水ケーキが良好に絡み合い、団粒構造を作ることができた。しかし、添



(a) 添加率1.25%



(b) 添加率2.5%



(c) 添加率5%

図2 液性限界まで加水して作製した試料

加率1.25%と2.5%の試料は大きな塊となり、粘りのある試料となった。このように、添加率5%のような団粒構造を形成できなかったのは、繊維屑の吸水量が脱水ケーキへの加水量よりも少なかったためであると考えられる。そこで、液性限界まで加水して試料を作製する場合は、繊維屑の添加率5%が緑化基盤材になる可能性があると考え、添加率5%の試料の性能（緻密度、透水性、保水性）を調べた。

## (2) 加水なし（含水比25%）の場合

前項(1)の液性限界まで加水した試料のうち、繊維屑の添加率1.25%と2.5%では繊維屑の吸水能力を超えたために団粒構造を作ることができなかったが、添加率5%では試料を作製することができた。しかし、添加率5%では繊維屑がミキサのビータに絡まり、混合の作業性は低下した。作業性が低下したのは、産業廃棄物の重量換算係数（比重）<sup>4)</sup>を参考にすると、汚泥（脱水ケーキを含む）は $1.100\text{kg}/\text{m}^3$ に対して繊維屑は $120\text{kg}/\text{m}^3$ であり、繊維屑が試料全体に占める割合が大きかったためである。そこで、脱水ケーキと繊維屑の使用量バランスに配慮する必要があると考え、繊維屑の添加率1.25%と2.5%で試料を作製することを目指した。具体的には、繊維

屑の吸水能力を超えない程度に脱水ケーキの含水比を設定する必要があるため、排出直後の脱水ケーキを使用する方法（加水しない方法）を試みた。

試料を作製するにあたり、脱水ケーキと繊維屑を良好に混合させるため、脱水ケーキをクレーナイフで解砕し、その後繊維屑を混合した。混合後の試料状況を図3に示す。図3(a)、(b)に示すように繊維屑の添加率が1.25%と2.5%の場合でも、土の団粒構造を作ることができた。一方、図3(c)に示すように添加率5%でも試料は作製できたものの、加水した試料（図2(c)を参照）よりも脱水ケーキと繊維屑の絡み合いが悪くなった。これは、繊維屑が吸水することで脱水ケーキの含水比がさらに低くなったためであると考えられる。

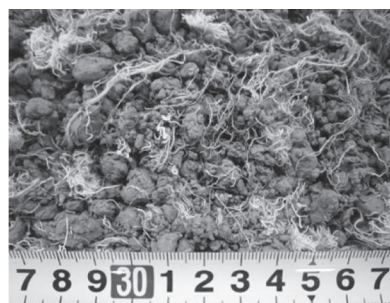
以上の検討より、脱水ケーキに加水しないで繊維屑を混合する場合は全ての添加率が緑化基盤材として適用できる可能性があると考え、全試料の性能（緻密度、透水性、保水性）を調べた。

## (3) 液性限界（含水比31%）まで加水し、繊維屑と木チップを添加した場合

(1) 項の液性限界まで加水して作製した試料のうち、繊維屑の添加率1.25%と2.5%では繊維屑の吸水能力を超



(a) 添加率1.25%



(b) 添加率2.5%



(c) 添加率5%

図3 加水なしで作製した試料

(78)

えて添加率5%のような団粒構造を作ることができなかつた。(2)項では加水しないで試料を作製する方法を検討し、繊維屑との絡み合いが加水した場合と比べて悪くなったが団粒構造は形成された。本項では、繊維屑の添加率が5%以下の条件でも繊維屑の絡み合いが十分となるように液性限界まで加水し、繊維屑に加えて吸水効果のある木チップを援用して団粒構造を作る方法を試みた。

木チップの添加率(脱水ケーキの乾燥質量と木チップの質量との比の百分率)を2.5%、5%、7.5%と変化させて試料を作製した。木チップは試料作製時の使用量バランスを考慮して、最大添加率は7.5%と設定した。図4に繊維屑の添加率1.25%に木チップを加えて作製した試料を示す。図4より、全ての添加率で団粒構造を持つ試料を作製することができた。また、木チップの添加率が高くなるほど団粒径は小さくなった。これは、液性限界まで加水調整した脱水ケーキ、繊維屑、木チップをハンドミキサーで混合するときに、木チップが吸水するとともに脱水ケーキを解砕する働きをしたためであると考えられる。実際、繊維屑のみの試料よりも団粒径は小さくなった(図2、図3を参照)。したがって、木チップの添加が試料の性能に影響を与えると推察される。なお、

繊維屑の添加率が2.5%の場合も添加率が1.25%の場合と同じように試料は作製することができ、木チップの添加率が高くなるにつれて団粒径は小さくなった。

### 3. 緑化基盤材の性能評価試験の方法

#### 3.1 緑化基盤材の作製条件

前章の予備実験結果をもとに、脱水ケーキ、繊維屑、木チップを混合した試料を用いて、土壌硬度試験、透水試験、保水性試験を行った。緑化基盤材の性能目標値(硬度<sup>5)</sup>、透水係数<sup>6)</sup>、有効水分保持量<sup>7)</sup>、固相率<sup>8)</sup>)を表2に示す。硬度は土の緻密度を示す指標であり、有効水分保持量は保水性を評価する指標で、pF1.5からpF3.0までの範囲で保持できる水分量である。土は土粒子(固相)、水(液相)、空気(気相)から構成されており、表

表2 緑化基盤材の性能目標値

指標	目標値
硬度 [mm]	11 mm 以上 20 mm 以下
透水係数 [m/s]	$1.0 \times 10^{-5}$ m/s 以上
有効水分保持量 [L/m <sup>3</sup> ]	80 L/m <sup>3</sup> 以上
固相率 [%]	30%以上 50%以下



(a) 添加率2.5%



(b) 添加率5%



(c) 添加率7.5%

図4 繊維屑の添加率1.25%で木チップを変化させた試料

表3 性能評価試験（土壌硬度試験，透水試験）の条件

	Case1	Case2	Case3
加水条件 (含水比 $w$ )	加水あり ( $w = 31\%$ )	加水なし ( $w = 25\%$ )	加水あり ( $w = 31\%$ )
繊維屑の添加率 $M_f$ [%]	5	1.25, 2.5, 5	1.25, 2.5
木チップの添加率 $M_c$ [%]	0	0	2.5, 5, 7.5
乾燥密度 $\rho_d$ [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]	800, 900, 1,000, 1,100, 1,200	900, 1,000, 1,100, 1,200, 1,300, 1,400	1,000, 1,100

2の固相率の目標値は植物が健全に成長するための範囲である。本研究では、土の三相構造をもとに導出した式(1)を用いて試料の固相率 $S_{\text{solid}}$  [%]を算出した。

$$S_{\text{solid}} = \frac{V_{\text{solid}}}{V} \times 100 = \frac{\rho_d}{1 + M_f/100 + M_c/100} \left( \frac{1}{\rho_s} + \frac{M_f}{100\rho_f} + \frac{M_c}{100\rho_c} \right) \times 100 \quad (1)$$

ここで、 $V$ は全体の体積 [ $\text{m}^3$ ]、 $V_{\text{solid}}$ は固相部分の体積 [ $\text{m}^3$ ]、 $\rho_d$ は試料の乾燥密度 [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]、 $M_f$ は繊維屑の添加率 [%]、 $M_c$ は木チップの添加率 [%]、 $\rho_s$ は脱水ケーキの固体密度 [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ] (=2,738 $\text{kg}/\text{m}^3$ )、 $\rho_f$ は繊維屑の固体密度 [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ] (=1,658 $\text{kg}/\text{m}^3$ )、 $\rho_c$ は木チップの固体密度 [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ] (=1,541 $\text{kg}/\text{m}^3$ )である。

作製した試料の性能評価試験（土壌硬度試験、透水試験）の条件を表3に整理する。一方、保水性試験は土壌硬度試験および透水試験の結果をもとに試験条件を限定したため、詳細な条件は「4.2 保水性の評価」で示すことにする。

表3の乾燥密度は試料の固相部分（脱水ケーキの粒子、繊維屑、木チップ）の質量 $m_{\text{solid}}$ を全体の体積 $V$ で除したものであり、試料の締め具合を表す。なお、Case2では、乾燥密度を900 $\text{kg}/\text{m}^3$ から1,400 $\text{kg}/\text{m}^3$ の範囲で作製した試料で土壌硬度試験を行い、硬度が目標範囲（11mm以上20mm以下、表2を参照）付近の試料に対して透水試験を実施した。そのため、Case2で設定した乾燥密度で透水試験を実施していない条件があることを付記する。詳細は「4. 試験結果および考察」で述べる。

### 3.2 試験方法

性能評価試験（土壌硬度試験、透水試験、保水性試験）の方法について説明する。

#### (1) 土壌硬度試験

土壌硬度試験は山中式土壌硬度計（株式会社藤原製作所製、No.351）を使用した。土壌硬度試験は透水試験と同じ大きさの供試体（直径5 cm、高さ5.1cm）を1つの試験条件に対して6～8個作製し、硬度測定結果の平均値を算出した。

#### (2) 透水試験

透水試験は土壌透水性測定器（大起理化工業株式会社製、DIK-4012、図5を参照）を使用して定水位透水試験を行い、透水係数を算出した。供試体の作製には内径5 cm、高さ5.1cmのステンレス製の容器を使用した。定水位透水試験は1つの試験条件に対して3個の供試体を作製し、各3回測定した結果を用いて平均値を算出した。

#### (3) 保水性試験

保水性試験は地盤工学会に準拠した方法<sup>9)</sup>で試験装置を作製した。pF1.5の水分量を測定するための吸引法（水頭法）の試験装置を図6に示す。水頭法は供試体を大気圧条件下に置き、水頭により負圧を与えて土中の水

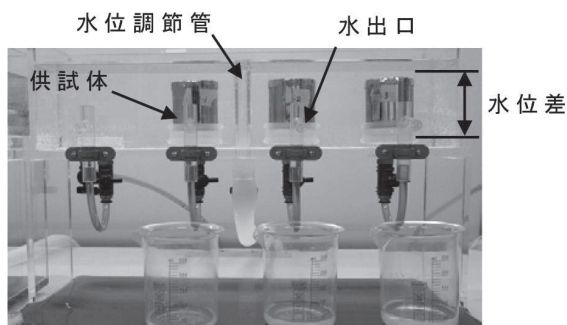
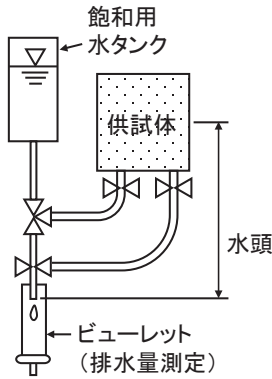
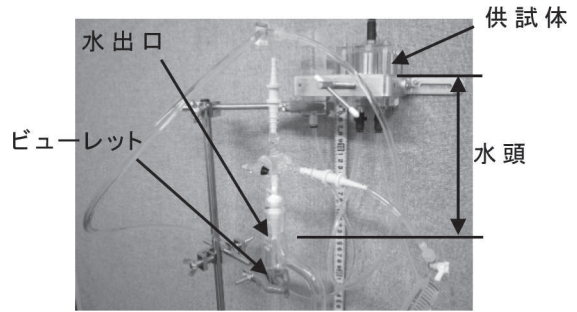


図5 透水試験装置



(a) 試験装置の概要



(b) 試験の様子

図6 保水性試験装置（水頭法）

圧が負圧に平衡するまで排水させる方法である。一方、pF3.0の水分量を測定するための加圧法（加圧板法）の試験装置が不具合のため、pF3.0の水分量は測定できていない。今後継続して測定する予定である。

飽和時の水分量 $W_{wsat}$  [L/m<sup>3</sup>] は試料の二相構造（固相、液相）をもとに式（2）から算出した。

$$W_{wsat} = \frac{V_{wsat}}{V} \times 1,000 = \left(1 - \frac{S_{solid}}{100}\right) \times 1,000 \quad (2)$$

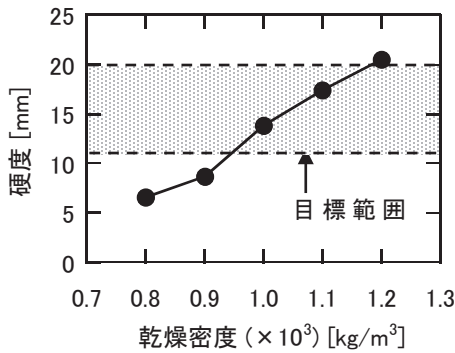
ここで、 $V$ は全体の体積 [m<sup>3</sup>]、 $V_{wsat}$ は飽和時の液相部分の体積 [m<sup>3</sup>]、 $S_{solid}$ は固相率 [%]（式（1）を参照）である。一定の圧力をかけた状態の供試体の水分量は、飽和時の水分量 $W_{wsat}$ とそのときの排水量の差から算出した。

保水性試験は土壌硬度試験や透水試験のように全条件で複数回行うことが望ましい。しかし、保水性試験は長期間の測定が必要となるため、硬度および透水係数の目標値を満足する条件に限定し、1つの試験条件に対して1個の供試体で測定した結果で評価した。

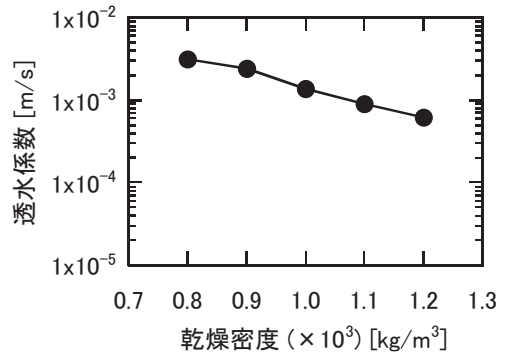
#### 4. 試験結果および考察

##### 4.1 土壌硬度および透水性の評価

図7にCase1（液性限界まで加水した場合）の硬度試験および透水試験の結果を示す。図7に示すように、試料が密になると硬度は増加し、透水係数は減少した。また、乾燥密度は1,000kg/m<sup>3</sup>および1,100kg/m<sup>3</sup>の条件であれば、硬度および透水係数の目標値を満足することが明らかとなった。なお、乾燥密度1,000kg/m<sup>3</sup>および



(a) 乾燥密度～硬度の関係



(b) 乾燥密度～透水係数

図7 乾燥密度～硬度・透水係数の関係（Case1）

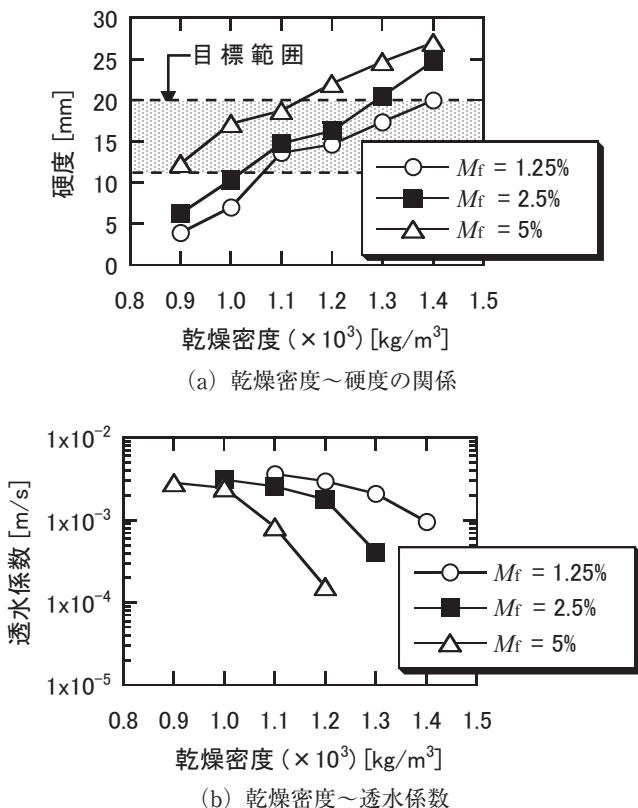


図8 繊維屑の添加率を変えた場合 (Case2)

1,100kg/m<sup>3</sup>の固相率はそれぞれ37%、41.4%であり、固相率の目標値を満足する結果が得られた。

図8にCase2 (加水なしの場合)の乾燥密度と硬度の関係および乾燥密度と透水係数の関係を示す。Case2では、設定した乾燥密度(900kg/m<sup>3</sup>から1400kg/m<sup>3</sup>の範囲、表3を参照)の試料に対して土壌硬度試験を行い、硬度が目標範囲(11mm以上20mm以下、表2を参照)付近の試料で透水試験を実施した。そのため、以下の条件で作製した試料の透水性は評価していない。

- 1) 繊維屑の添加率 $M_f$ : 1.25%、乾燥密度: 900kg/m<sup>3</sup>、1,000kg/m<sup>3</sup>
- 2) 繊維屑の添加率 $M_f$ : 2.5%、乾燥密度: 900kg/m<sup>3</sup>、1,400kg/m<sup>3</sup>
- 3) 繊維屑の添加率 $M_f$ : 5%、乾燥密度: 1,300kg/m<sup>3</sup>、1,400kg/m<sup>3</sup>

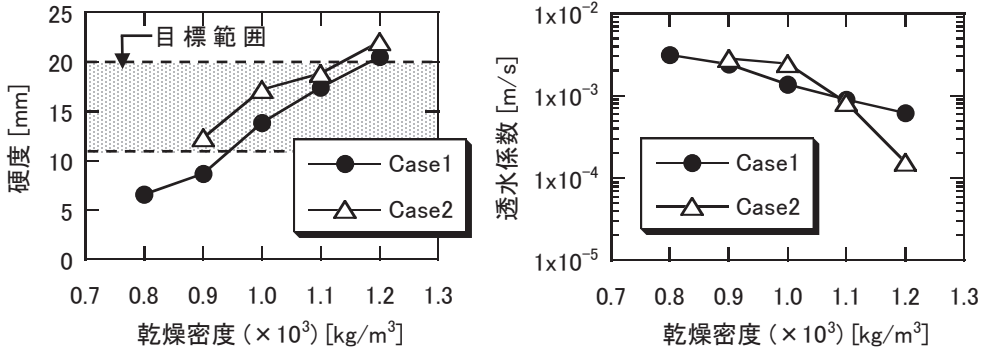
図8 (a) より、乾燥密度が同じでも繊維屑の添加率

が増加すると硬度は増加することが分かる。図8 (b) に示すように、乾燥密度が増加すると透水係数が減少し、乾燥密度が同じでも繊維屑の添加率が増加すると透水係数は減少した。このような結果が得られたのは、繊維屑の添加率が増えると固相部分の密度は小さくなり、団粒間に繊維屑が多く入り込み、供試体の間隙比が減少したためであると考えられる。図8より、乾燥密度が1,100kg/m<sup>3</sup>であれば繊維屑の添加率の違いによらず硬度および透水係数の目標値を満足することが分かった。また、乾燥密度が1,100kg/m<sup>3</sup>のときの固相率は約41%であり、目標の範囲内であった。

Case1とCase2を比較した結果(繊維屑の添加率5%、加水条件の違い(Case1は加水あり、Case2は加水なし))を図9に示す。図9は硬度と透水係数の双方が得られている結果を示している。図9に示すように、繊維屑の添加率が同じでも加水の有無の違いによって試料の性能が異なった。実際、

図2 (c) と図3 (c) の試料の状態から判断されるように、Case2はCase1と比べて脱水ケーキと繊維屑の絡み合いが悪く、作製された試料の団粒径が異なっていた。そのため、試料の性能に違いが見られたと考えられる。

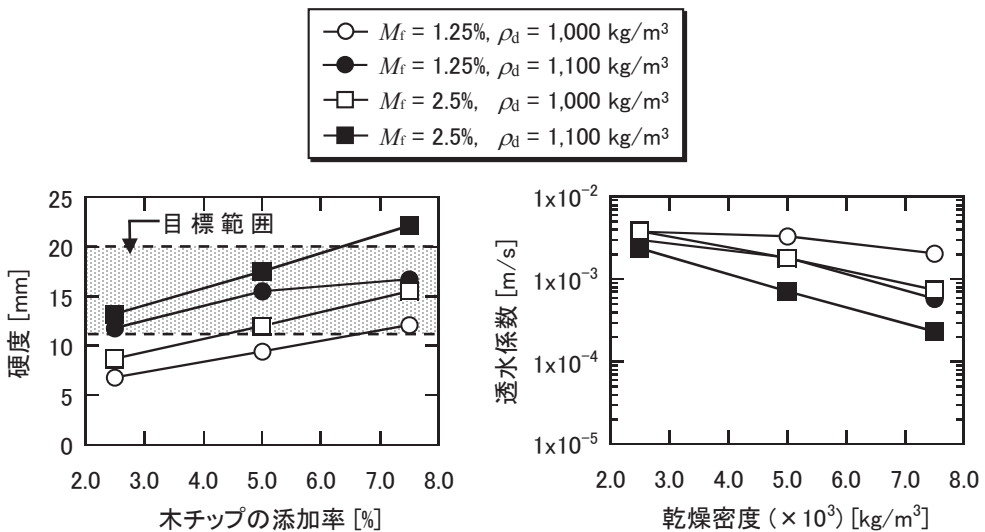
図10にCase3 (液性限界まで加水し、繊維屑と木チップを添加した場合)の繊維屑の添加率および乾燥密度の違いによる測定結果を示す。図10 (a) より、木チップの添加率が増えると硬度が増加した。また、繊維屑の添加率および乾燥密度が増えると硬度は増加した。図10 (b) より、木チップの添加率が増えると透水係数は減少した。これは、図4で示したように木チップを混合するほど団粒径が小さくなったため、乾燥密度が同じでも透水性は低くなったと考えられる。また、繊維屑の添加率が増えると透水係数が減少した。これは図8で述べた考察と同様、繊維屑の添加によって供試体の間隙比が減少したためであると考えられる。



(a) 乾燥密度～硬度の関係

(b) 乾燥密度～透水係数

図9 Case1とCase2の比較 (繊維屑の添加率5%)



(a) 木チップの添加率～硬度の関係

(b) 木チップの添加率～透水係数の関係

図10 繊維屑の添加率および乾燥密度を変えた場合 (Case3)

#### 4.2 保水性の評価

土壌硬度試験および透水試験の結果をもとに保水性試験の条件を限定して測定した。表4に保水性試験における試料の作製条件を示し、図11に試験結果を示す。

図11 (b)、(c)より、同じ乾燥密度でも繊維屑の添加率が減少すると、試料の保水性は低下していることが分かる。つまり、繊維屑の添加量が多いほうが試料の保水性は良くなることを示唆している。

木チップも添加した図11の (d) から (g) までの結

果と繊維屑のみ (c) を比較すると、乾燥密度が同じで繊維屑の添加率が同程度以下であるにも関わらず、木チップを援用したほうが高い水分量を持つことが分かった。これは、繊維屑のみの試料の団粒径よりも木チップを援用した試料の団粒径のほうが小さくなったためであると考えられる (図3 (b)、図4を参照)。一方、繊維屑の添加率が5%の場合の図11 (b) と比較すると、木チップを添加することで繊維屑のみの試料とほぼ同等の保水性性能を持つことが分かった。したがって、繊維屑の添加



表4 保水性試験の条件

	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)
表3のCaseに対応	Case1		Case2	Case3			
作製時の含水比 $w$ [%]	31		25	31			
繊維屑の添加率 $M_f$ [%]	5		2.5	2.5	1.25		
木チップの添加率 $M_c$ [%]	0			5	2.5	5	7.5
乾燥密度 $\rho_d$ [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]	1,200	1,100					

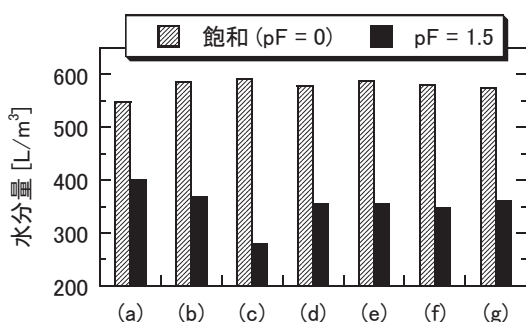


図11 保水性試験の結果

量が少ない場合でも木チップを添加することで細かい団粒構造を形成し、試料の保水性を高められる可能性を示唆することができた。

#### 4.3 炭化処理繊維が緑化基盤材の性能に与える効果に関する一考察

「2.2 予備実験の方法と結果」で述べたように、繊維屑の添加率が5%では脱水ケーキに対して繊維屑の使用量が多いため、繊維屑の添加率は2.5%以下が望ましい。しかし、添加率が2.5%でもハンドミキサーで脱水ケーキと混合すると、繊維屑がミキサーのビータに絡みついて作業性が悪かった。そこで、繊維屑をより細かくすることができれば、脱水ケーキと繊維屑の混合作業の効率を改善できると考えた。本節では、繊維屑をより細かくする方法を提案し、より細かくした繊維屑を用いて作製した緑化基盤材の性能（緻密度、透水性、保水性）を調べた。

本研究では繊維屑をより細かくするため、繊維屑を炭化処理して繊維の束を壊す方法を考えた。具体的には、繊維屑が炭化する温度の280℃に設定した電気炉（株式会社水上電気製作所製、MF1200）で1時間さらし、炭

化させた繊維屑をすり鉢で細かくした（以下、炭化処理繊維と記述）。そして、その炭化処理繊維と脱水ケーキを用いて試料を作製した。炭化処理繊維の添加率は2.5%と設定し、脱水ケーキには加水しない条件（表3のCase2と同じ）で試料を作製した。

図12に炭化処理繊維を用いた試料を示す。図12より、図3(b)の繊維屑（添加率2.5%）をそのまま使用した試料と比べて、団粒径は小さくなった。つまり、炭化処理繊維が試料の性能に影響を与えると推測される。

炭化処理繊維を混合して作製した試料を用いて、土壌硬度試験、透水試験、保水性試験（乾燥密度  $\rho_d = 1,200 \text{ kg}/\text{m}^3$ ）を行った。乾燥密度  $\rho_d$  を  $1,200 \text{ kg}/\text{m}^3$  とし

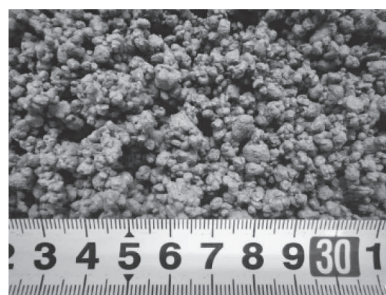


図12 炭化処理繊維を混合した試料

表5 繊維屑の炭化処理の有無の違いによる試験結果

	炭化処理	無処理
硬度 [mm]	13.3	16.3
透水係数 $k$ [m/s]	$2.2 \times 10^{-3}$	$1.8 \times 10^{-3}$
pF=1.5の水分量 [ $\text{L}/\text{m}^3$ ] (飽和時の水分量)	332.1 (554.8)	280.3* (591.9)*

\*  $\rho_d = 1,100 \text{ kg}/\text{m}^3$  の結果（参考値）

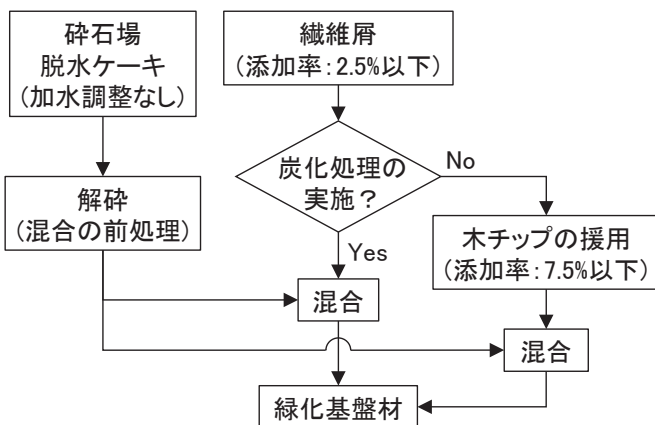


図13 砕石場脱水ケーキを用いた緑化基盤材の作製の流れ

たのは、 $1,100\text{kg/m}^3$ のときの硬度が $11\text{mm}$ 以下であったためである。試験結果を表5に示す。比較のため、繊維屑をそのまま用いた試験結果（図8、図11の結果より抜粋）も併せて示す。表5より、透水性は繊維屑の炭化処理の有無によって違いはほとんどなく、保水性は乾燥密度が高くなったにも関わらず $pF=1.5$ の水分量は多くなった。つまり、炭化処理繊維を混合して作製した試料の団粒径が小さくなり、試料の性能が良くなったと解釈される。このように、試験条件は限られているものの、炭化処理繊維を用いたほうが緑化基盤材の性能を改善できる可能性が高いことを示すことができた。

#### 4.4 砕石場脱水ケーキを用いた緑化基盤材の作製方針

本研究で得られた結果をもとに、砕石場脱水ケーキを用いて緑化基盤材を作製するための方針について述べる。緑化基盤材の作製の流れを図13に示す。

脱水ケーキは加水せずに砕石場で排出された脱水ケーキをそのまま使用する。そして、図1で示したように脱水ケーキは大きな塊で排出されるため、混合の前処理として脱水ケーキを解砕する作業を行う。この解砕作業により、脱水ケーキと繊維屑を良好に混合することができる。

繊維屑の添加率は繊維屑の容積を考えると2.5%以下が望ましく、繊維屑はそのまま使用する場合と、繊維屑をより細かくするために炭化処理した繊維を使用する場合が考えられる。繊維屑をそのまま使う場合には繊維屑に加えて木チップを援用する。木チップを援用する理由

は、図11の保水性試験の結果から判断されるように、木チップを援用したほうが保水性は良好になったためである。一方、炭化処理繊維を用いる場合は木チップを援用しないで緑化基盤材を作製する。この理由は、透水試験の測定結果（図10、表5を参照）と保水性試験の測定結果（図11、表5を参照）から判断されるように、木チップを使用した場合の透水性よりも高く、保水性は同等であったためである。なお、繊維屑を炭化処理するか否かは、緑化基盤材の性能をより高める必要がある場合に要求される作業であると考えられる。

このように、図13の作製過程を経ることで、砕石場脱水ケーキを用いた緑化基盤材が生成されると考えられる。

## 5. むすび

本研究では、砕石場脱水ケーキを大量に再利用できる技術を開発するために緑化基盤材に適用することを目指し、脱水ケーキ、繊維屑、木チップを混合した試料を作製した。そして、その試料の性能（緻密度、透水性、保水性）を室内試験で調べ、その性能を満足する配合条件について考察した。得られた知見を以下に示す。

- 1) 繊維屑を添加することで植物の根のように脱水ケーキと絡み合い、団粒構造を作ることができた。その結果、脱水ケーキの持つ遮水性を改善することができた。
- 2) 繊維屑の使用量バランスを考慮すると2.5%以下が望ましく、木チップを援用することで団粒径は小さくなり、透水性および保水性を改善できることが分かつ

た。

3) 炭化処理繊維を用いることで脱水ケーキの混合作業の効率が向上し、木チップを援用した試料の性能と同程度以上であることが確認できた。

今後は植生実験も視野に入れて緑化基盤材の目標値を満足するための条件を追究する予定である。また、脱水ケーキの種類の違いが緑化基盤材の性能にどの程度影響を与えるかを検討する必要がある。さらに、本研究の根幹でもある不特定な繊維屑を用いた場合の緑化基盤材の性能評価も進めたいと考えている。

### 謝 辞

本研究は「一般社団法人日本砕石協会平成25年度研究助成」を受けて実施しました。記して謝意を表します。

### 参考文献

- 1) 武田都, 末竹良, 佐藤研一, 山田正太郎, 藤川拓朗, 森本辰雄: 砕石場の脱水ケーキを用いた重金属捕集能を有する遮水材料に関する基礎的研究, 第43回地盤工学研究発表会概要集, CD-ROM, 2008.
- 2) 中小企業基盤整備機構: 繊維製品3R関連調査事業報告書, 2009.
- 3) 横塚享, 小林正宏, 斉藤茂, 細江清二: 未分解チップ施用土壌による法面緑化事例, 日本緑化工学会誌, Vol.25, No.4, pp.471-474, 2000.
- 4) 環境省廃棄物・リサイクル対策部産業廃棄物課: 産業廃棄物管理票に関する報告書及び電子マネーフエストの普及について(環産廃発第061227006号), (別添2) 産業廃棄物の体積から重量への換算係数, 2006.  
[https://www.env.go.jp/recycle/waste/nt\\_061227006.pdf](https://www.env.go.jp/recycle/waste/nt_061227006.pdf) (アクセス日: 2015.7.14)
- 5) 地盤工学会: 自然環境の保全と緑化, p.71, 2004.
- 6) 日本道路協会: 道路緑化技術基準・同解説, p.308, 2005.
- 7) 地盤工学会: 前掲5), p.72, 2004.
- 8) 日本道路協会: 前掲6), pp.309-310, 2005.
- 9) 地盤工学会: 土質試験の解説と方法, 第7章 土の保水性試験, pp.118-135, 2000.