

木材チップ入り繊維質処理土の降雨耐久性に 関する実験的研究

EXPERIMENTAL STUDY ON DURABILITY OF FIBER-MIXED PLANTING SOILS

WITH WOOD CHIPS FOR RAINFALL

高橋 弘¹・里見 知昭¹・森 雅人²・柴田 聡²

Hiroshi TAKAHASHI, Tomoaki SATOMI, Masato MORI and Satoshi SHIBATA

¹東北大学大学院環境科学研究科 (〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-20)

E-mail: {htaka, satomi}@mail.kankyo.tohoku.ac.jp

²(株)森環境技術研究所 (〒996-0071 新庄市小田島町 7-36)

E-mail: metr@vega.ne.jp

Key Words: Fiber-mixed planting soil, wood chip, durability for rainfall

1. はじめに

建設汚泥やヘドロなどは含水比が高く、直接利用が困難であるためリサイクル率が低いのが現状である。そこで著者らは、これらの高含水比泥土のリサイクル率向上を目指し、古紙破砕物と高分子系改良剤を用いた新しい再資源化処理工法(繊維質固化処理土工法)を開発した¹⁾。本工法で再資源化される土砂(繊維質固化処理土)は、破壊強度および破壊ひずみともに大きく¹⁾、乾湿繰り返しに対する耐久性が高い²⁾などの利点を有することから、本工法は既に200を超える施工実績を有し、処理土は盛土材や裏込め材などに再利用されている。

本工法は後述するように脱水工程を必要とせず高含水比泥土を良質な土砂に再資源化する工法であるため、換言すると、生成される土砂は大量の水分を保持することが可能であると言える。従って、セメント系固化材を含有しない建設汚泥、すなわち非自硬性汚泥や浄水発生土などに本工法を適用した場合、極めて大きな保水力を有する土砂(繊維質処理土)を生成できる可能性がある。そこで、著者らは浄水発生土に本工法を適用し、植生土壌を生成し、保水力、軽量性、保肥力などを計測した結果、新たに生成された植生土壌は保水力、軽量性、保肥力に優れることを確認した³⁾。さらに木材チップを繊維質処理土に混合した場合、その骨格構造から十分な保水力を有しつつ、植物の生育に必要な通気性も確保できることを確認した⁴⁾。

ところで、多雨地域での緑化工事に繊維質処理土を用いる場合、繊維質処理土の降雨に対する耐侵食性について十分に検討しておく必要がある。しかし、降雨に対する耐侵食性についてはまだ明らかになっていないのが現状である。

そこで、本研究では、降雨による流出土砂量を定量評価し、木材チップ入り繊維質処理土の降雨に対する耐侵食性について実験的に検討することを目的とする。

2. 繊維質処理土の作成方法

繊維質処理土の作成手順を簡単に記述すると以下のようになる。

- ①高含水比泥土は、図-1(a)に示されるように土粒子が自由水の中で自由に動くことができるため、若干の降伏応力を持っているが、流体としての挙動を示す。
- ②この状態の高含水比泥土に吸水性の高い新聞の古紙のような繊維質物質を混入すると、図-1(b)に示すように土粒子の周りの自由水が繊維質物質に吸水され、見かけの含水比が低下する。繊維質物質の添加量は含水比に応じて変化させる。例えば含水比が100%の場合、添加する古紙破砕物の量は50kg/m³程度である。

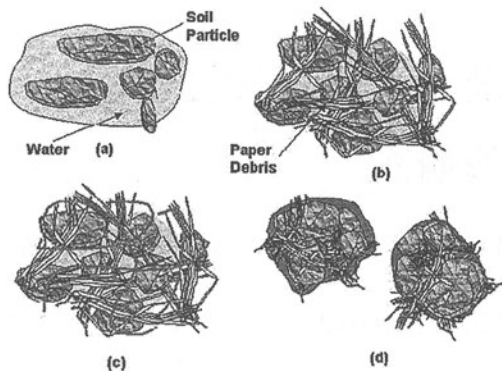


図-1 繊維質処理土の作成手順

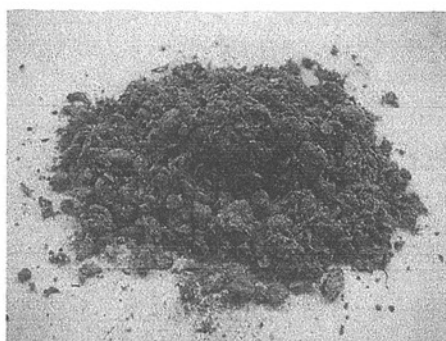


図-2 作成された繊維質処理土

③さらに高分子系改良剤を添加し(1.0kg/m³)攪拌すると、図-1(c)に示すように水溶性高分子が溶解し、土粒子の表面に吸着する。土粒子間の架橋・吸着効果により団粒化構造の中に自由水を封じ込め、流動性を失わせ団粒状態となる。

④最後に助剤(無機系凝集剤)を混合し(7.2kg/m³)、攪拌機により泥土を攪拌してせん断を与えると、土粒子が団粒化して保水性の高い土砂が生成される(図-1(d))。

⑤生成された土砂を天日乾燥すると団粒化が促進されるので、これを解砕機で解砕し、さらに篩にかけて粒度を整え、繊維質処理土を生成する。

以上の方法により生成した繊維質処理土を図-2に示す。この図に示すように、繊維質処理土はフレーク状で毛羽立っているのが特徴である。

3. 実験試料

本実験では、降雨に対する耐侵食性を比較するために3種類の土壌を用意した。1つは法面緑化に対して一般的に用いられているバーク堆肥であり、他の2つはチップと繊維質処理土の混合割合を変化させた木材チップ入り繊維質処理土である。木材チップ入り繊維質処理土は、木材チップと繊維質処理土を混合することによ



(a)



(b)

図-3 (a)木材チップ、(b) 木材チップ入り繊維質処理土(混合割合は、質量比で繊維質処理土:木材チップ=50:50)



図-4 空気圧縮機を用いて木枠に植生土壌を吹き付けている様子

り作成した。図-3(a)に木材チップを、また(b)に木材チップ入り繊維質処理土を示す。本研究では、特殊な機械を使用することなく、通常の吹き付け機で緑化工事が行えるように、木材チップの大きさは、長さ30mm以下、太さ5mm以下とした。また本研究では、繊維質処理土と木材チップの質量混合比を50:50および25:75の2種類に変化させて木材チップ入り繊維質処理土を作成した。

本実験では、実際の法面緑化の工事現場に近い状態を模擬するため、図-4に示されるように空気圧縮機を用いてバーク堆肥および木材チップ入り繊維質処理土を木枠(90cm×60cm×10cm)に吹き付けた⁵⁾。

図-5に木枠の概略図と写真を示す。木枠の底部はベニヤ板で作成し、多数の排水孔を設けた。ベニヤ板の上部には、水だけを排出し、土壌は排出しないように透水性マットを設置した⁶⁾。さらに、透水性マットの上部には吹き付けた植生土壌が剥がれ落ちず、木枠内に保持されるように、ワイヤーネットを設置した。上述したよ

うに、植生土壌は空気圧縮機を用いて透水性マットの上に吹き付けた。吹き付け厚さは5cmとした。

ところで、植生土壌を吹き付ける際、通常は土粒子の結合力を増加させるため、接着剤を土壌に混合し、法面に吹き付けを行う⁷⁾。この接着剤は水溶性であるため、土中の水分量が異なると、接着剤の量が同じであっても接着剤の能力は変化する。従って、今回のような比較実験の場合、試料作成に際しては、土中の水分量を同一にする必要がある。それゆえ、初めにそれぞれの試料に対して初期水分量の測定を行い、3つの試料に対して同一の水分量になるよう加水調整した。なお、接着剤の添加量は $2.3\text{mg}/\text{cm}^3$ とした。

実験試料は、図-6に示されているように、51度と59度の傾斜角になるように設置した。一般に、斜面の傾斜角は、鉛直方向の単位長さに対する水平方向の長さの比によって定義され、(1:n)の形で示される⁸⁾。道路法面の一般的な傾斜角は1:1(45度)であるが、今回の自然降雨実験では、より厳しい状況下で実験を行うため、試料の傾斜角を1:0.8(51度)および1:0.6(59度)に設定した。なお後述の人工降雨実験では、試料の傾斜角は1:0.8(51度)、1:0.6(59度)および1:0.3(73度)とした。1:0.3(73度)を加えた理由は、岩盤緑化を想定したためである。

また図-6に示されるように、6個のメッシュトレーと容器を木枠の下に設置した。降雨が生じると、試料表面の土粒子と木材チップは、試料表面を流れる水流によって侵食される。比較的サイズの大きい土粒子と木材チップはメッシュトレーにより捕捉され、アンダーサイズの土粒

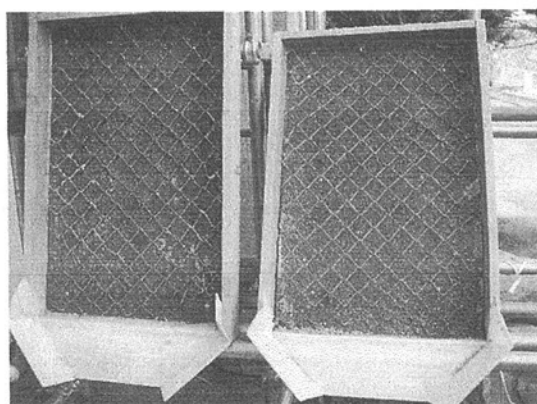
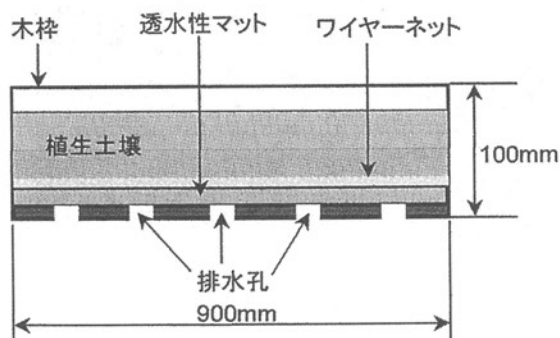


図-5 植生土壌を吹き付ける木枠の概略と写真

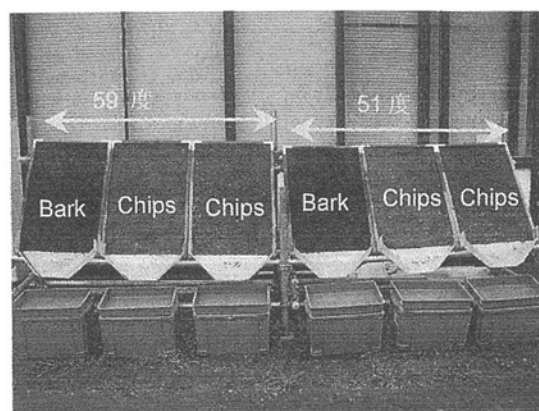


図-6 試料の設置の様子と傾斜角

子および木材チップは容器へ流れ込むようになっている。なお、隣の試料の土粒子や木材チップが混合することが無いように、木枠の下部にガイドを設置した。降雨が止んだ後、メッシュトレーおよび容器内の土粒子と木材チップを回収し、電気炉で乾燥した後、乾燥質量を計測することにより流出土砂質量を計測した。

4. 実験結果および考察

(1) 自然降雨実験

本実験は、2007年9月17日～2008年1月13日の期間に行われた。この実験期間中の降雨量を図-7に示す。横軸は実験期間中の週を示し、縦軸は各週ごとの累積降雨量(白いバー)とその週において1時間当たりの最大降雨量(黒いバー)を示している。この図より、実験を開始した第1週には非常に激しい降雨があったことが分かる。しかし、累積降雨量と最大降雨量がほぼ同じ値を示していることから、この激しい降雨は長時間継続しなかったことが分かる。これに対して、第6週では、1時間当たりの最大降雨量は小さいものの、その週の累積降雨量はかなり大きな値を示している。つまり、第6週は、降雨強度そのものはさほど強くないものの、降雨が長時間継続したことが分かる。

図-8に各週ごとの流出土砂質量を示す。同一試料で見た場合、傾斜角59度における流出土砂質量の方

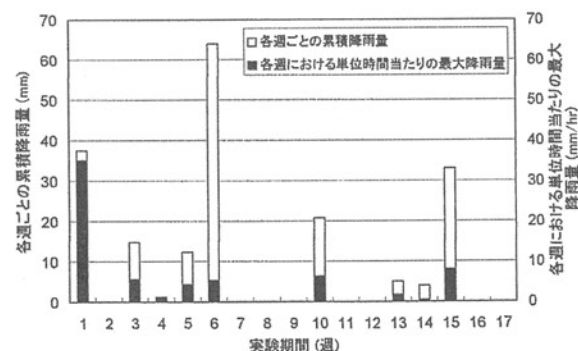


図-7 実験期間中の降雨量

が傾斜角 51 度における流出土砂質量よりも大きいことが分かる。試料の傾斜角が大きくなるに従い、土砂表面を流れる水流の速度も大きくなるため、水流の速度の増加とともに侵食能力も増加し、その結果、流出土砂質量も大きくなったと考えられる。

ところで、今回用いた3種類の植生土壌の密度が全て同じであれば、質量によって耐侵食性を比較することができる。しかしながら、バーク堆肥の密度と木材チップ入り繊維質処理土の密度は異なるので、流出した土砂の質量では、試料の違いによる耐侵食性を比較することは難しい。そこで、それぞれの試料の密度を計測し、流出土砂体積を算出した。密度は、JIS A1202(土粒子の密度試験)に従って測定した。10 サンプルに対して測定を行い、上位および下位 2 サンプルのデータを削除した残り 6 サンプルの平均値をもって密度とした。その結果、バーク堆肥、チップ入り繊維質処理土(チップ 75%)、チップ入り繊維質処理土(チップ 50%)の密度は、それぞれ 1.02kg/m^3 、 1.88kg/m^3 および 2.31kg/m^3 と得られた。

以上の結果を用いて体積に換算した結果を図-9 に示す。図に示されるように、バーク堆肥の流出土砂体積は木材チップ入り繊維質処理土の流出土砂体積よりもかなり大きく、ほぼ 2 倍の値を示していることが分かる。つまり木材チップ入り繊維質処理土の降雨耐久性はバーク堆肥の降雨耐久性よりも高いことが分かる。これは、木材チップと繊維質処理土がお互いに絡み合い、侵食され難い複雑な構造を生み出しているためと考えられる。

(2) 人工降雨実験

本実験では人工降雨機を用いて強い降雨に対する繊維質処理土の耐侵食性について実験的に検討した。人工降雨機は図-10 に示すような市販のノズルを用いて作成した。このノズルの容量は $3000\text{cm}^3/\text{min}$ であり、試料から約 60cm の高さの位置にセットした。本実験では、上述したように、試料の傾斜角は 51 度、59 度および 73 度とした。なお、1 時間当たり 10mm 以下の降雨に関して木材チップ入り繊維質処理土の耐侵食性がバーク堆肥の耐侵食性よりも優れていることを自然降雨実験より確認したので、人工降雨実験では、試料は木材チップ入り繊維質処理土のみで作成した。木材チップと繊維質処理土の質料混合割合は、繊維質処理土:木材チップ = 100:0(繊維質処理土のみ)、75:25、50:50 および 25:75 の 4 種類とした。本実験では、降雨強度は 100mm/時にセットし、降雨時間は 1 時間/日とし、5 日間繰り返した。すなわち累積降雨量は、500mm である。

図-11 に、累積降雨量と流出土砂質量との関係の一例を示す。これは、繊維質処理土:木材チップ = 75:25 の時の結果である。流出土砂質量は、試料の傾斜角にかかわらず累積降雨量の増加とともに増大することが分かる。この傾向は、いずれの混合割合でも同様であった。

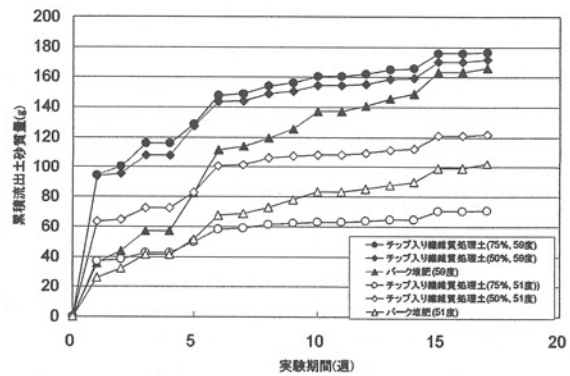


図-8 各週ごとの流出土砂質量

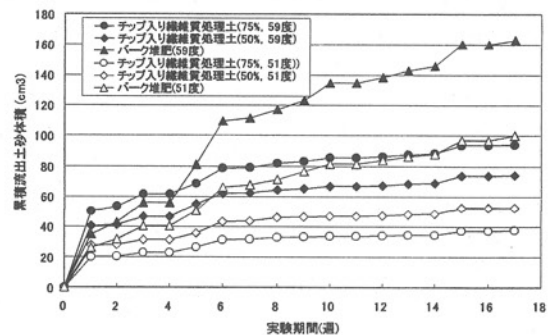


図-9 各週ごとの流出土砂体積

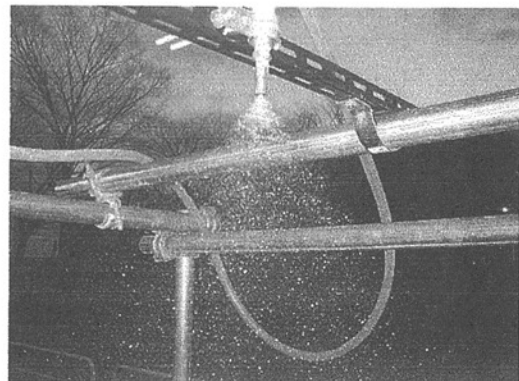


図-10 本実験で用いた市販のスプレー

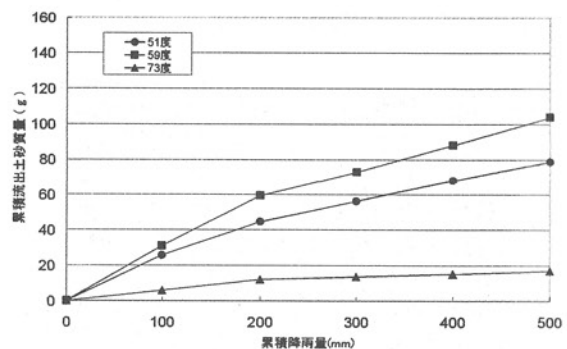


図-11 累積降雨量と流出土砂質量との関係の一例
(繊維質処理土:木材チップ=75:25)

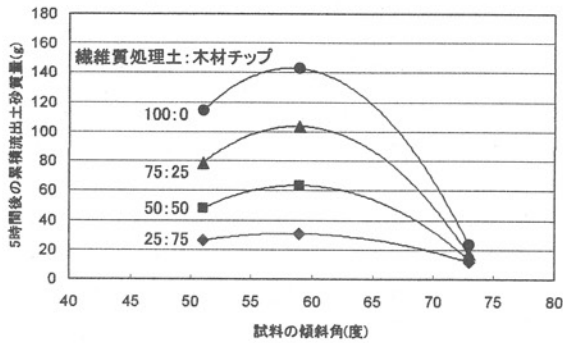


図-12 5時間後の累積流出土砂質量と傾斜角との関係

図-12に5時間後の流出土砂質量と試料の傾斜角との関係を示す。図中の実線は、それぞれの試料に対する3つの実験点を基に得られた2次近似曲線を示している。全ての試料に対して実験点は同一の傾向を示していることが分かる。すなわち、傾斜角51度から59度までは、流出土砂量は傾斜角の増加とともに増大するが、傾斜角が73度になると、流出土砂質量は大幅に減少した。試料の傾斜角が小さい場合、試料表面に降り注ぐ降雨量は大きい、試料表面に沿って流れ落ちる水流の速度は小さい。傾斜角が大きくなると、試料表面に降り注ぐ降雨量は小さくなるが、逆に試料表面に沿って流れ落ちる水流の速度は大きくなる。傾斜角59度の流出土砂質量が傾斜角51度の場合の流出土砂質量よりも大きくなっているのは、水流の速度増加の影響が試料表面に振り注ぐ降雨量の減少の影響を上回ったためであると考えられる。一方、傾斜角が73度のように非常に大きくなると、水流の速度の増加による影響よりも試料表面に降り注ぐ降雨量の減少の影響の方が顕著になり、流出土砂質量が大きく減少したと推察される。それゆえ、降雨量が一定の場合、流出土砂質量は、ある傾斜角で最大値を示すと考えられる。

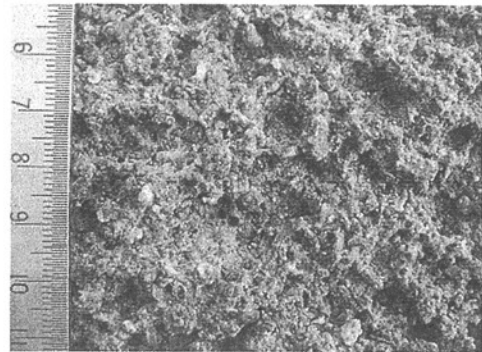
さらに、図-12より、木材チップの混合割合が大きくなるほど流出土砂質量は小さくなるのが分かる。特に木材チップの混合割合が75%の場合、傾斜角にかかわらず流出土砂質量は非常に小さな値になっている。これは、木材チップが植生土壌の耐侵食性に対して重要な役割を果たしており、土壌の耐侵食性を高めるには、できるだけ木材チップの混合割合が高い方が望ましいこと示している。また木材チップの混合割合が高くなると、施工コストも削減できるため、木材チップの混合割合を高めた繊維質処理土は耐侵食性や施工コストに対して非常に大きなメリットがあると判断できる。

ただし、繊維質処理土の混合割合が少なくなると、保水力の低下に繋がる可能性があるため、最適な木材チップ混合割合については、耐侵食性のみならず保水力などの土壌物理特性の観点も含めて今後検討する必要がある。

図-13に人工降雨試験開始前と5時間経過後の繊維質処理土(木材チップ無し)の表面の状態を示す。また

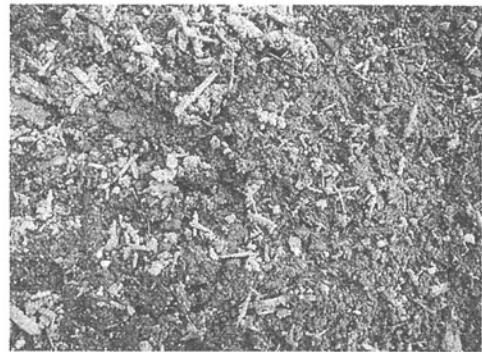


(a) 試験前

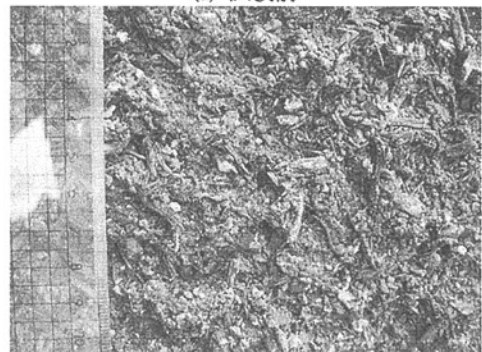


(b) 5時間後

図-13 人工降雨試験開始前(a)と5時間経過後(b)の繊維質処理土(木材チップ無し)の表面の様子



(a) 試験前



(b) 試験後

図-14 人工降雨試験開始前(a)と5時間経過後(b)の木材チップ入り繊維質処理土(混合割合=50:50)の表面の様子

図-14に人工降雨試験開始前と5時間経過後の木材チップ入り繊維質処理土(混合割合=50:50)の表面の状態を示す。図-15に示されるように、繊維質処理土のみの

場合、土砂内部に木材チップを含有していないため、強い降雨により試料表面が大きく侵食されていることが分かる。これに対して、木材チップ入り繊維質処理土の場合、土砂内部に木材チップが含まれているため、強い降雨により試料表面の細かい土粒子が侵食されても、内部から木材チップが現れ、土粒子表面を覆うようになるので、侵食される量が少なくなる。

以上のことより、強い降雨に対する耐侵食性を高めるためには、保水力・保肥力などの土壌物理特性を損なわない範囲内でできるだけ多くの木材チップを混合することが望ましいと考えられる。

5. むすび

本研究では以下の結論が得られた。

- (1) 降雨強度 10mm/時間以下の自然降雨実験により、木材チップ入り繊維質処理土の降雨に対する耐侵食性は、斜面緑化に一般的に用いられているパーク堆肥よりもかなり大きいことが確かめられた。一方、降雨強度 30mm/時間以上の強い降雨に対しては、逆にパーク堆肥の方が土砂流出量が少ない結果が得られているが、データ数が1個と極めて少なく、また強い降雨では液滴による侵食の影響なども考慮しなければならないと考えられる、強い降雨に対する耐侵食性については今後詳細に検討して行きたい。
- (2) 1時間当たり10mm以下の通常の降雨であれば、流出土砂量は降雨量にほぼ比例することが確認された。
- (3) 木材チップ入り繊維質処理土の流出土砂量は、試料の傾斜角が51度から59度に増加するとともに増大するが、傾斜角が73度になると大きく減少した。すなわち、同一の降雨量でも木材チップ入り繊維質処理土の流出土砂量が最大になる傾斜角が存在することが想定された。

- (4) 木材チップ入り繊維質処理土の場合、土砂の内部に木材チップを含有するため、降雨により土粒子が侵食されても内部から木材チップが現れ、土粒子表面を覆うようになるため、流出土砂量が小さく抑えられることが分かった。木材チップの混合割合が大きくなると施工コストも低くなるので、木材チップの混合は、施工コスト削減および降雨に対する耐侵食性の増加に効果的である。ただし、十分な保水力・保肥力などの土壌物理特性を確保しつつ、耐侵食性も確保できる最大の木材チップの混合割合については今後さらに検討する必要がある。

参考文献

- 1) 森 雅人, 高橋 弘, 逢坂 昭治, 堀井 清之, 片岡 勲, 石井 知征, 小谷 謙二: 故紙破砕物と高分子系改良剤を用いた新しい高含水比泥土リサイクル工法の提案と繊維質固化処理土の強度特性, J. of MMIJ, Vol.119, No.4-5, pp.155-160, 2003.
- 2) 森 雅人, 高橋 弘, 熊倉 宏治: 繊維質固化処理土の乾湿繰り返し試験による耐久性に関する実験的研究, J. of MMIJ, Vol.121, No.2-3, pp.37-43, 2005.
- 3) 山崎 淳, 高橋 弘, 金成 英夫, 森 雅人: 土壌物理特性の観点から見た緑化基盤材の生成に関する実験的研究, J. of MMIJ, Vol.124, No.12, pp.818-823, 2008.
- 4) 高橋 弘: ボンテラン工法の技術開発と施工事例について, 建設マネジメント技術, 2008年8月号, pp.27-35, 2008.
- 5) 日本法面緑化技術協会: 有機質系厚層基材吹付工 技術資料, p.12, 2003.
- 6) マザーソイル協会: マザーソイル工法, 設計・施工の手引き, pp.98-101, 2007.
- 7) *ibid.* 4), p.27, 2003.
- 8) 日本道路協会: 道路土工, のり面工・斜面安定工指針, p.138, 1999.

(2010.5.14 受付)