

# 廃棄物を利用したのり面緑化基盤材への地盤工学的アプローチ

東洋大学 ○石田哲朗 上毛緑産工業(株) 高橋廣司 東洋大学 下田代知憲

## 1. はじめに

産業廃棄物である下水汚泥、上水汚泥、建設発生木材および菌床オガ粉に、蒟蒻の製粉残渣を添加したものを混合して斜面の緑化基盤材に再利用する環境緑化技術工法がある<sup>1)</sup>。この工法の緑化基盤材を構成する上でのポイントは純植物性粘着材として使用している蒟蒻の製粉残渣とび粉にある。また、とび粉を混合した緑化基盤材は、現状の混合比の汚泥発酵土：木屑：細粒木炭＝4：4：2で配合するのが、その形状を維持するにも、植物の生育上でも最適であることが、実験結果からも分かりつつある<sup>2),3)</sup>。ここでは、緑化基盤材の物理特性、力学的特性と、実験用の斜面模型を用いた屋内や屋外実験(植生の有無を含む)による水分特性や化学的成分について実験を行った結果から提案する緑化基盤材の性能について報告する。

## 2. 実験に使用した緑化基盤材

緑化基盤材は下水汚泥、上水汚泥および菌床オガ粉の混合した汚泥発酵肥料にスギ木チップ、細粒木炭を混合し、さらに とび粉を加えたものを斜面に吹き付けて構築される。上水汚泥は浄水場で発生したものを加圧脱水後粉砕されており、石灰や塩素は加えられていない。下水汚泥は脱水汚泥を15日程度、常時70℃以上(最大80℃)で発酵させ、その後1ヶ月半熟成させてある。菌床オガ粉は椎茸栽培で使用した菌床を破砕機で木屑程度に破砕したものである。これらの混合物には植物の発芽・生育を促進させるという最も重要な役割がある。また、スギ木チップは保水性を高め、細粒木炭が汚泥の消臭効果としてその機能を発揮する。粘着材に使用したとび粉(以下、粘着

材)は、コンニャクの製粉残渣から成る純植物性物質で、これらの混合物を結合させて一体化する役割を果たしている。施工時には、緑化ネットを敷設することで斜面の緑化を促進するとともに盛土面の崩壊と養分流出を防ぐ役割を持つ。

## 3. 緑化基盤材の物理・力学的特性

### 3. 1 物理的性質

緑化基盤材として混合した粒子の密度は1.93 g/cm<sup>3</sup>で、強熱減量で有機物量を測定したところ56.97%と多い(斜面の用いた関東ロームは14.86%)。物理的性質を示す  $w_L=178.0\%$ 、 $w_p=137.0\%$ から  $I_p=41.0\%$ で圧縮性、乾燥強さと強靱性に優れていることが数値から推察される。

### 3. 2 浸水崩壊試験

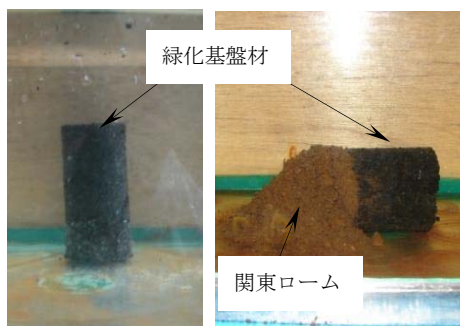
浸水崩壊度試験は供試体に侵入する水とその水の侵入により間隙中の空気が追い出される時に生じる分散力から供試体の結合力を調べるための試験で、浸水開始から24時間を破壊の判断基準として比較した(写真1)。緑化基盤材のみの供試体は、1日の空中養生から粘着効果を発揮し、14日間の空気養生後の浸水試験まで半壊にも至らなかった。また、のり面の地山との粘着効果を調べるために緑化基盤材と関東ロームを結合さ



写真1 浸水崩壊度試験の開始時

Reclaim Different Wastes to Slope Protection with Vegetation as Geotechnical Problems

Tetsuro ISHIDA, Hiroshi TAKAHASHI and Tomonori SHIMOTASHIRO



(a) 緑化基盤材 (b) 緑化基盤材とローム結合体

写真2 浸水崩壊度試験の崩壊状況(水中)

せた供試体では、浸水崩壊に対する関東ロームの弱さから、その部分の崩壊は見られたが緑化基盤材の部分は崩壊しなかった(写真2)。

### 3.3 緑化基盤材の水分特性

緑化基盤材の水分特性を求めてみた。計測方法は、不飽和土の水分特性を求める一般的な方法ではなく、現在検討中の容器に試料を所定の密度に詰め、ADRやテンシオメータを設置し、ついでに質量の変化量も量りながらビームライトによって乾燥させたときの挙動から水分特性曲線を求める簡単な計測方法である。乾燥過程、つまり排水状態ばかりでなく浸潤状態も再現しようと実験を繰り返している段階での結果で、図1にその装置の概略図を示す。ただし、これはビームライトの数を増やすと、周辺の温度を過度に上昇させ、テンシオメータの受感部が歪曲したり、内部に入れてある水が排水されるといった計測機器に問題が発生し、正常な計測が不可能になるので注意を要する。このときの温度の上限は50℃程度と判断している<sup>4)</sup>。

図2には緑化基盤材の水分特性曲線の計測結果を示した。その形状からも分かるように限界毛管水帯の高さは低いが、水分特性曲線の勾配 $n(= \Delta \text{体積含水率} / \Delta \text{圧力水頭})$ の値は小さく表れている。図2中の水分特性曲線のパラメータと飽和透水係数 $k_s$ を表1にまとめている。

### 3.4 緑化基盤材の一軸圧縮強度

浸水崩壊度試験の供試体と同様に、緑化基盤材単体、緑化基盤材とのり面の地山との重なる層を想定したもの(結合体)、ならびに緑化基盤材と地

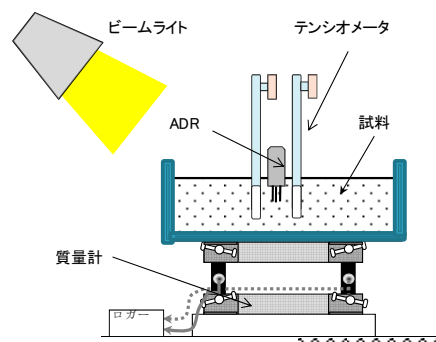


図1 水分特性を求めた装置の概略図

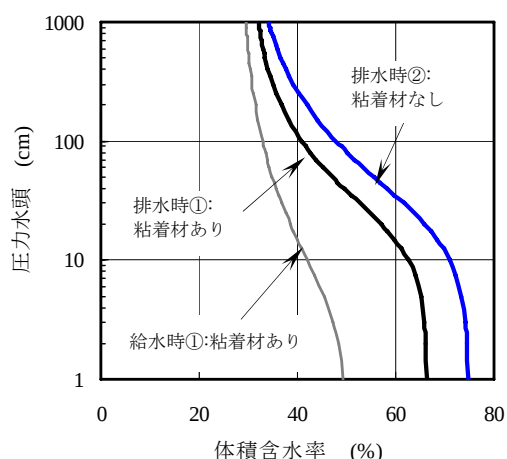


図2 緑化基盤材の水分特性曲線

表1 水分特性曲線のパラメータ

| 条件   | $\alpha$ | $n$   | $\theta_s$ | $\theta_r$ |
|------|----------|-------|------------|------------|
| 排水時① | 0.035    | 1.719 | 0.665      | 0.300      |
| 排水時② | 0.044    | 1.586 | 0.749      | 0.290      |
| 給水時① | 0.201    | 1.486 | 0.499      | 0.278      |

\*) 緑化基盤材の作成直後の $k_s=6.7 \times 10^{-7}$  cm/s

山の材料として選定した関東ロームとを混合した供試体(混合体)の一軸圧縮強度試験を行った。

図3には養生期間ごとの強度の変化を棒グラフで示す。養生日数は供試体を作成し、空気養生した日数を意味する。結果から養生を重ねる毎に強度が増し10日養生では200 kN/m<sup>2</sup>に達する。しかし、12日間養生した試料以降は徐々に強度は低下する。これは結合力を弱めるほどの乾燥状態に至ったためで、20日間養生した試料の含水比は20%であった。図中の実線は結合体や混合体の供試体の値で、緑化基盤材よりも強度は上回る。結合体の場合は写真3に示すように緑化基盤

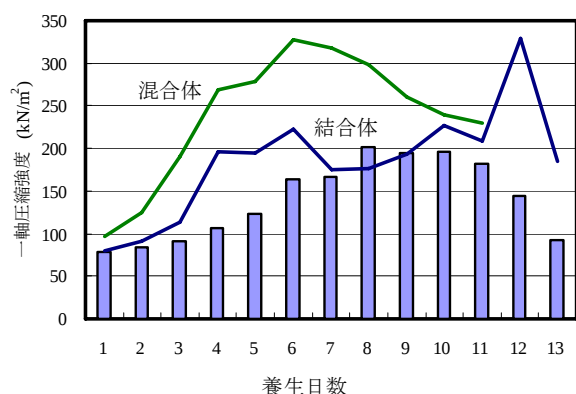


図3 一軸圧縮強度空気養生期間の関係



写真3 結合体の破壊状況

材の部分が破壊して強度が決定される。

#### 4. 斜面模型実験の結果と考察

環境緑化技術工法で使用されている複数の廃棄物を攪拌機で十分に混練した後、モルタル吹付機を利用して、そのホースの先端で圧力水を添加して吹き付ける。この吹き付けを行った斜面の浸透特性を調べるために斜面模型を作成した。

降雨試験は斜面模型を屋外・屋内に設置して人工降雨を降らせたときの植生の有無による斜面土中の水分特性や変位量を検討するために行った(写真4)。斜面模型の寸法は法面長 910 mm、高さ 900 mm とした。緑化基盤材の下地山は関東ロームを締固めた。斜面角度は施工目標としている 50° とした。緑化基盤材の吹付け厚さは 50 mm とし、その締固めはモルタル吹付機を利用したときと同様に、山中式硬度計を使用して土壌硬度で 15 mm～22 mm を目安として調整した。この値は植物の生育基盤に適したものである。また、降雨試験の降雨強度は 30 mm/h を採用した。斜面には ADR、テンシオメータおよび土壌水分計を設置し、斜面の土壌体積含水率や圧力水頭の計測



写真4 斜面模型(降雨試験時)

を実施した。

斜面模型は4組作成し、2組ずつ屋内と屋外に設置した種子を含んだ緑化ネットは共に設置したが、太陽光を得られない屋内のものは僅かに葉がでるだけで、主に降雨試験時の水分移動や排水量内の養分排水量の確認のための実験を繰り返した。一方、屋外のものは自然の条件を十分に受けて設置後8週目には葉が斜面を覆うほど植生が活発であった。この十分に時間が経過した段階で、屋内・屋外で人工降雨を与えて斜面内の水分の時間的変化を計測した。図4、図5に降雨時(吸水時)の圧力水頭と体積含水率の変化を示した。計測位置は、斜面の上、中、下部で表面から約 25 cm 下の値である。屋内の斜面模型の圧力水頭のグラフを見ると負圧から正圧に変化し始める時間が早く、斜面表面付近の含水比も高い。これは、緑化ネット敷設により降雨の浸透を抑制しているが、植物が少ないため土中に水分が早く浸透してしまうためと考える。他方、屋外の模型は、負圧から正圧に変化する時間が遅い。これは植物が降雨の多くを跳ね返し、直接土中へ浸透するのを時間的に遅らせていると思われる。上部、中部の体積含水率は植生の有無による大きな差異はないが、降雨は表面水として下部へ流れ出るためか屋外の下部の体積含水率の値は屋内の模型より 20% も高くなった。図6、図7に示した排水過程は環境に違いはあるが屋内の模型の方が速く、植物の影響で吸水・排水過程は異なることが分かった。ただし、模型実験の範囲の結果で、今後はこれらの結果を踏まえて精査していきたいと考えている。

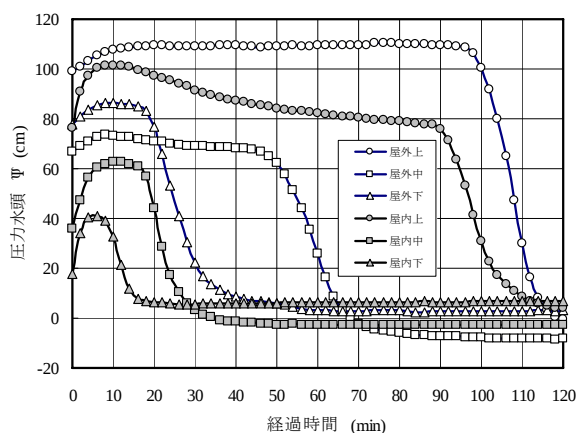


図4 降雨時の圧力水頭の変化

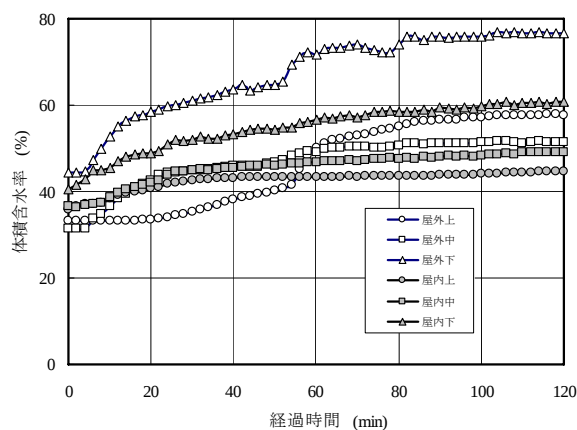


図5 降雨時の体積含水率の変化

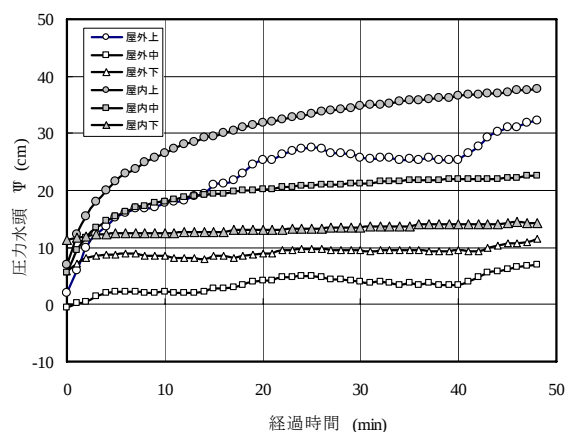


図6 降雨後の圧力水頭の変化

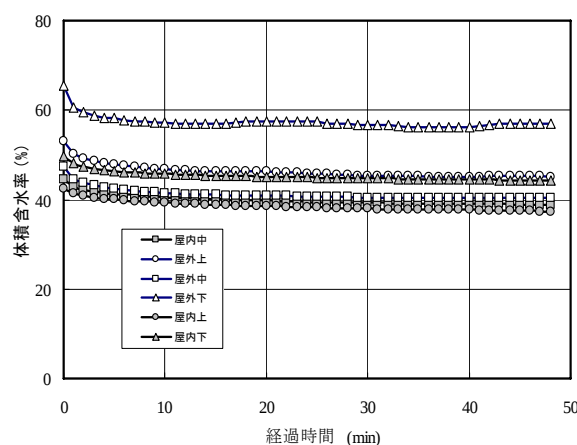


図7 降雨後の体積含水率の変化

最後に、降雨試験により斜面模型底部から流出した浸出液を採取して計測した結果を図8に示す。電気伝導率試験は浸出液の電解質濃度を測るための試験で、屋内模型よりも屋外の方が1.5～2.0 mS/cmほど高く光合成により植生が活発に行われていることを示している。また、養分濃度は屋内よりも屋外の方がリン酸、全窒素共に低く、植物が養分を吸収したものと推察される。屋外・屋内ともにpHは6.8～8.2の中性から弱アルカリ性の範囲で植生に問題はなかった。

## 5. おわりに

本研究は、筆者の一人が大学院生時代から関係するテーマでありながら、未だに納得した結果に至らない。ここでの内容以外にも、実際ののり面での計測を2008年には実施した。しかし、雷により計測機器を全て破壊されるなど自然の力に驚かされている状況にある。末筆ながら、本研究を行う機会を頂戴した生命工学・リサーチ・センター(日大院生産工研)の皆様にお礼申し上げる。

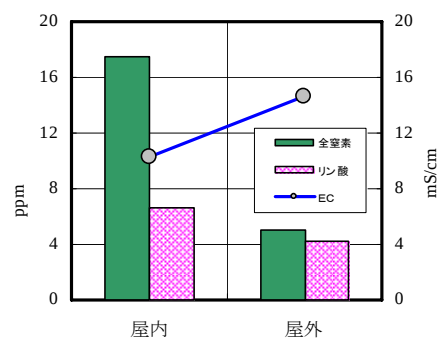


図8 浸出液の成分比較

## 参考文献

- 1) 大木高公・石田哲朗・大木宜章・高橋岩仁:複数の廃棄物を混合した緑化基盤材の施工事例から見た再資源化への取り組み, 土と基礎, Vol.55, No.10, pp.17-19, 2007.
- 2) I. TAKAHASHI, T. ISHIDA, T. OHKI and T. OHKI :Recycling Different Wastes to Produce 'Topsoil' for Seeding of Embankment Slopes, International Conference GREEN 5, (in press), 2008.
- 3) 石田哲朗・高橋岩仁・目黒まい香:複数の廃棄物を混合した緑化基盤材の力学的特性, 第43回地盤工学研究発表会, pp.2185-2186, 2008.
- 4) 唯根徹郎:蒸発現象を利用した水分特性曲線の簡易的計測方法, 東洋大学工学部環境建設学科平成20年度卒業論文(地盤環境学研究室), 97 pp., 2009.