

林業が主産業である地域における
貯水池堆砂を活用した流域保全方法の開発

宮崎大学工学部・社会環境システム工学科

入江 光輝

1. 本研究の目的

宮崎県内および九州圏内のダムでは、治水や利水の機能を低下させる堆砂が国内の他地域のダムと比較して顕著である。例えば宮崎県北の耳川では、総合土砂管理として下流側 3 ダムで通砂事業が開始された一方で、上流側 3 ダムの著しい粘土・シルト分の堆積に対する対策は未検討である。堆砂の中でも特に濁りの元となる細粒分は置き土や通砂による下流還元ができないため、有効利用が期待されている。本研究では同流域の主産業の林業の発展に寄与する用途を模索する。現地では斜面崩壊地や伐採更新中裸地面の土砂生産が多いため、これらの状況を改善する利用方法によって流域土砂生産を削減する。

具体的には、同流域では人工林が伐採更新期を迎えるので、更新に必要な健全な苗の育成に適した通気性、軽量性の高い育苗用容器を多孔性セラミックスで作製する。また、近年、大規模な斜面崩壊が見られるが、侵食対策が成されていない森林作業道がその一因となっている。そこで、セラミックスを使用した簡便な作業道整備を実現する。

2. 森林作業道の実態調査

施策対称の一つとなる林内路網の実態調査を実施した。林内路網の分類は平成 22 年度に、森林経営と水源涵養機能など森林が有する機能を持続的に発揮するために、表-1 の分類に変更された¹⁾。このうち、林道及び林業専用道は公道としての機能を有し、斜面保護や路面舗装が施工されており地域インフラとしても活用可能な設計がされ、土砂流出の問題は発生しにくい。よってここでは規格相当道及び森林作業道を対象とし、調査を行った。

表-1 森林路網 分類

区分	役割	単価 (円/m)
林道 (公道)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 国県道等と連携し森林整備の幹線となる ・ 最大20t積みトラックが走行 	200,000
林業専用道 (公道)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 林道と森林作業道をつなぐ林道より簡易な構造 ・ 最大10t積みトラックの走行を想定 	50,000
規格相当道	<ul style="list-style-type: none"> ・ 林業専用道と森林作業道の間の規模の路網 	25,000
森林作業道	<ul style="list-style-type: none"> ・ 主に林業機械の走行を想定し簡易な構造であるもの ・ 森林所有者や林業事業者など、特定の者が森林施業のために利用 	2,000

まず路網整備基準について、平成 23 年度以降は「宮崎県林業専用道作設指針」及び「宮崎県森林作業道作設指針」(以下、新基準)に沿い路網の開設が実施されてきた。しかし、地域によっては改定前の指針に従って開設された道路も見られ、路網の規格が同じでも路面は地山状態と砂利敷設の二種類が混在していた。新旧の路網開設指針が並行して利用されているが、両者には土砂流出の抑制対策には大差が見られなかった。

路網は間伐時期に開設されることが多く、植林初期の利益が得られていない状況で開設されるため、費用がかけにくい。生活道路も兼ねる林道の開設は需要が高く、開設後のアクセスも期待されるため優先的に施工される一方で、特に林内の路網整備は優先度が低くなる。また、行政や組合を通さない、個人の伐採が森林破壊に影響していることも問題となっている。林内路網の開設及び再造林などの森林整備は採算が取れないため、伐採のみを行い、間伐や再造林などの森林整備を実施しないケースも増加し、土砂流出の一因となっている可能性がある。今後、林内路網

の優先度の向上と、個人開設や林業機械道など、低規格な作業道の検討が必要と考えられる。

こうした背景に鑑み、土砂流出対策の一案として、送電などに利用される鉄塔脚部の保護技術が挙げられる。鉄塔は山間部にも設置され、重機の搬入が困難な場所では人力による作業が行われている。鉄塔保護技術の一つであるストーンバッグ（図-1）²⁾を参考とする。

ストーンバッグの規格について表-2に示す。ストーンバッグの特徴として浸食防止や分散工などの敷地保全工事に使用可能である点がある。その特徴を生かして、鉄塔脚部の浸食防止や雨水分散工、また足場工として利用されている。通常は現地で調達した石を充填し、バッグ本体1つ当たり約650gと軽量であり、またネット状であるため運搬が容易である。これに貯水底泥で作製した多孔性セラミックス小片を充填し、より軽量化をはかって作業性を向上させる一方で、バッグのサイズを大きくして雨水分散性能と斜面上での安定性を向上させる。多孔性セラミックスストーンバッグ(以降、軽量ストーンバッグ)の路網整備への適用可能性としては、流末処理工の代用として洗掘対策としての利用が考えられる。流末処理工としての利用では、従来の資材だと木材を加工し現場に運搬し重機等を利用して設置する必要があるが、軽量ストーンバッグでは人力での設置が可能のため、施工が簡易になることが期待される。表-2では天然石を入れた場合の重量を示しているが、多孔体セラミックス片を充填することにより重量は後述する試作多孔セラミックスの比重実績に基づく約0.4倍程度まで下げることが可能である。

現在県内で施工されている資材は、宮崎県が制定・管理している宮崎県森林土木工事設計材料単価表に記載されているものが多い。新しい土砂流出対策工を提案した際にはこの単価表に採用される必要がある。そのためには、今後現場実験等を行い、検討していく必要がある。現状では後述するように、一定以上の大きさでの多孔性セラミックスの作製が難航しており、上記の機能に関する定量的な評価には至っていない。



図-1 ストーンバッグ

表-2 ストーンバッグ概要

項目	仕様
サイズ	整形後:縦300mm×横350mm×高さ150mm
単体重量	200袋/箱あたり13kg (1袋/約650g)
詰石のサイズ	直径50~120mm程度
詰石の量	概ね30~40個
詰石後重量	18~25kg程度
施工時間	0.32人工/袋(部掛)
製品価格	1,500円/袋
材料	ステンレスワイヤ(Φ0.19mm×4本)

3. 貯水池堆砂の性状と起源

貯水池堆砂再利用の可能性検討の事例として、耳川最上流の上椎葉ダム底泥を対象にX線回折分析等によりその鉱物特性を調べ、その発生源を特定するとともに、セラミックス原料としての適性について精査した。図-2には上椎葉ダム上流域の地質分布図とともに、斜面崩壊地の表土サンプリングを行った地点を示す。

斜面崩壊地、および貯水池底泥から得られた試料を粉末X線回折にかけ、そのピーク特性から貯水池底泥の含有鉱物を同定し、セラミックス原料としての適性について議論するとともに、ピーク特性の類似性から土砂生産起源について考察した。ダム湖底泥K-sの試料の6種の前処理を行った定方位試料から得られた5~26°のX回折パターンを図-3に示す。処理別のピーク分布から、緑泥石、イライト、白雲母、カオリナイト、灰長石の粘土鉱物が存在していることが確認された。イライト、カオリナイト、灰長石はセラミックス原料となる粘土にも含まれていることが知られており、それらが焼結材として機能することが期待される。ただし、本解析手法では定性的に鉱物の存在が同定されても定量的な含有比の評価は難しく、実際に成型、焼結を試験的に行ってその適正を評価する必要がある。

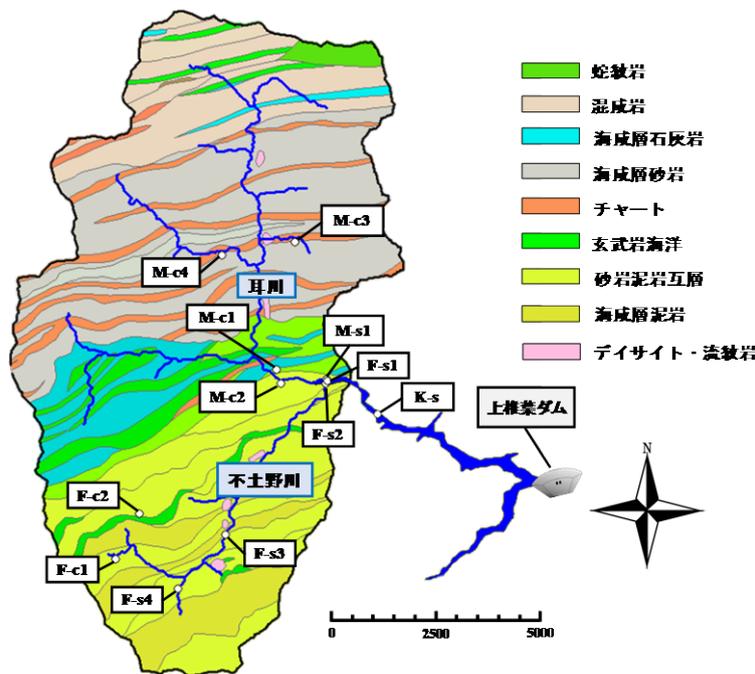


図-2 上椎葉ダム上流崩壊地および河道における土砂サンプリング地点と地質分布図

一方、図-4には各資料のX線回折ピークの類似性をクラスター分析の結果として示したものである。貯水池底泥は不土野川流域に主に分布する砂岩泥岩互層の崩壊地との類似性が高く、上椎葉ダムでは同流域が土砂生産の主たる起源となっている可能性が高い。渡川ダム、一ツ瀬ダムなど濁水長期化や細粒分堆積が顕著な周辺のダムの集水域も頁岩などの粘土堆積岩が主に分布し、ここでの加工方法等の議論がこれら周辺貯水池の堆積土にもあてはまると期待される。

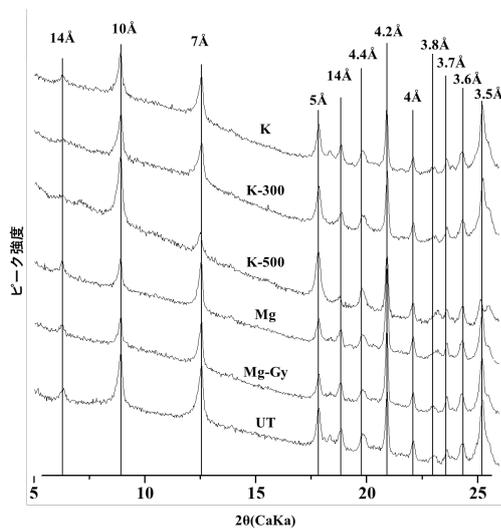


図-3 貯水池底泥X線回折分析結果
中央添字は前処理工程

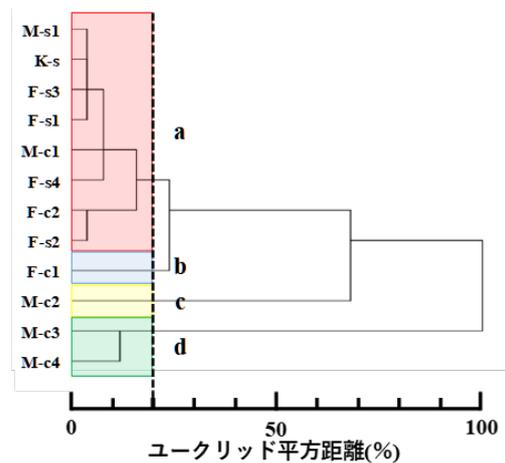


図-4 貯水池底泥X線回折分析結果
中央添字は前処理工程

4. 多孔性セラミックスの作製と課題

多孔性セラミックスの作製法の一つであるゲルキャストリング法では、スラリーに界面活性剤とエポキシ樹脂を混合する。それを攪拌で発泡した後開始剤を投入し、固化させて泡で造られた孔の構造を保つ。Irie³⁾らの底泥を使ったゲルキャストリングの試行では、アルミナ等の純物質を使用した場合より乾燥収縮率が大きく、これを抑制するために添加する樹脂を多くして固結させ、乾燥開始時にある程度の強度を有するようにする必要があった。また、表面から解放された外部への水分移動に対して、内部から表面へのスラリー内の水分移動が緩やかなため、ひずみが

発生しているので、表面からの蒸発を抑制すれば、ひび割れの発生が抑制できる。そのため、スラリー表面をラップで覆い、緩やかに乾燥させた。その結果、乾燥に要する時間が長大となった。

乾燥過程における時間とコストの増大を抑制する方法として、ここでは“電気パン”⁴⁾を参考にした作製方法を試行している。電気パンとは、食塩などの電解質を含むパン生地的交流電流に通電させると生地内にジュール熱が内部全体で発生し、表面に焦げ目のないパンが焼ける。電流を流し続けると、水分が徐々に蒸発していき電気抵抗が大きくなって電流が流れなくなる。

本研究以前までに、スラリーに電気パン生地と同様にベーキングパウダーを配合し、1辺10cm程度の直方体の多孔性セラミックスは問題なく作製できた。本研究では育苗用のコンテナの作成を目標としてモールドイング法による複雑形状のセラミックス作製を検討した。図-4に示すように、石膏でスギの育苗用コンテナを模した形状の肉薄のポットを作成するための型を準備した。乾燥させた貯水池堆積粘土3に対して珪砂1を混ぜたものに対し、その合計重量の2%のベーキングパウダー、1%の分散剤を添加して含水比34%となるように水を添加してよく攪拌したスラリーを作成した。これを肉薄容器の型に流し込み、円筒中央に配置した電極に通電して発泡、乾燥を試みた。

発泡と乾燥はある程度までできるものの、使用している粘土の粘着性が非常に高いためにすみやかに脱型できず、形が崩れて容器完成に至っていない。含水比を調節する、石膏型の表面にフッ素系撥水材を塗布するなど試行したが、現在までのところ、失敗に終わっている。

また、成型が不十分で失敗したものを乾燥したのち、試験的に1000℃で2時間の焼成を試みた(図-5)。その結果、擦ると粘土粒子が剥離して分解する。前述の粘土鉱物解析ではセラミックス原料となる粘土に含まれる鉱物の存在が示唆されたが、流域全体が火山灰性土壌に覆われている影響もあるためか土自体の焼結性が低かった。

火山灰土は焼成温度を上げると焼結性が高くなる傾向があるため、別途高温焼成(1200℃)を試みたところ、黒色ガラス状となって高い硬度を得た(図-6)⁵⁾。成型が順調にいけば高い焼成温度によって所要の強度を発揮させることが可能であると考えられた。

さらに、作製サイズを大きくしたとき、特に鉛直方向の厚みを大きくした場合に、大きくなった自重によって通電時にできた気泡がつぶれやすくなり、当初より作成できていた1辺10cm程度の大きさで作製した場合よりもやや密度の大きい焼結体となった。

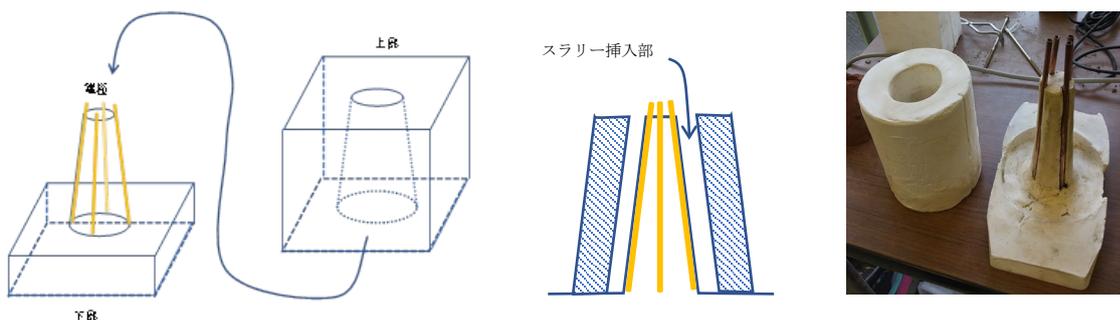


図-5 育苗用多孔体ポットのモールドイング法による作製



図-5 試験焼成した多孔体



図-6 焼成温度比較
左: 1200℃ 右: 1000℃



図-7 粒状多孔体

一方で、育苗で土壌資材に代わる材料として底泥を原料としたセラミックスボールの作製を試みた。まず、回転式の造粒装置で乾燥粉末試料に霧吹きで水を噴霧して球状に造粒した。その結果、造粒できた粒子は通常のカオリンなどの粘土で造粒した場合よりも土粒子どうしが緩やかに密着した。さらに焼成しても十分な強度を得ることができず、指先で容易に破壊できる程度の強度となった。そこで、回転式での造粒の前に食品加工用のミンチ加工機に含水比 27%のやや硬い試料を練って入れてペレット状の粒を作り、それを回転皿で回して造粒した。その結果、回転機での造粒のみの場合より密に詰まった粒が作成でき、粒の形状をある程度保てる資材を作成することができた(図-7)。今後はこれにフライアッシュ等の添加により肥効機能を付与しつつ、十分な強度を維持した素材の作成を進める。

5.おわりに

本課題では貯水池堆砂を有効利用して土砂流出を抑制する資材作製を目指したが、原料となる貯水池底泥の調達が遅れたこともあって十分な機能を有する資材作製を達成することができず、その効果を十分評価するところまで至らなかった。しかしながら、安価な工法による多孔性セラミックスを作製するためのノウハウを蓄積でき、今後の研究進展の基礎を構築できた。また、森林管理の実態について現地調査を進め、対策重点箇所を明らかにし、資材に求められる諸元を特定できた。今後は資材開発を進めるとともに、現地での実証実験も含めて検討を行なっていく。

【参考文献】

- 1) 林野庁ホームページ：森林作業道作設指針の制定について <https://www.rinya.maff.go.jp/j/seibi/sagyoudo/attach/pdf/romousuisin-7.pdf>
- 2) 中部電力グループ株式会社シーテック：新たな敷地保全技術のご案内,p.10,2018.
- 3) Mitsuteru Irie, Sena Taga, Jamila Tarhouni, and Ma-sayoshi Fuji: Trial Production of Porous Ceramics Filter Made from Sediments in Water Reservoirs for Sustainable Use of Surface Water Resource in Arid Land, International Journal of Environmental Science and Development, Vol. 8, No. 8, 2017
- 4) 青木孝:電極式パン焼き器を使った炊飯実験の特性理解.神奈川大学理学誌 29:5-12、2018
- 5) 寺尾剛, 肥後盛英, 川原キクエ, 菌田徳幸, 桜島火山灰の性状と陶磁器素地および釉薬としての活用, 鹿児島県工業試験場年報, 32, pp.69-80, 1985.