

生物資源の再利用を目指した象糞由来の繊維モルタルの物性評価

DB11054 片岡 功光

1. はじめに

現在、循環生物の廃棄物から建材に応用されていたり、本来廃棄されてしまう用途のない竹などの植物をフィブリル化(微細化)し、再構築することで建材に応用する研究が進んでいる。生物・植物は環境の定義として一部循環しているのに対して、動物はしていない¹⁾。環境の定義と生物資源再利用の関係を図2、人と動物の循環を表1に示す。人の視点から見て、動物から原料を採取し、物質うまく循環させる必要がある。循環のために再利用できる原料となる可能性があると考えられるのは、動物の糞と推測する。動物の糞は、廃棄処理され、畑の肥料として使い道があるが、その他の活用方法は見出せていないのが現状である。動物から排泄される廃棄物に着目し、建材への応用できるかどうかの可否を考える。本研究では、原料となる糞が大量に入手可能で、繊維が多く含まれている象の糞に着目する。象の糞からセルロース繊維を採取し、繊維モルタルとして活用できるか実験を行う。その上で壁材の下地材に活用できるかの物性評価を行う。

2. 象糞を原料とした製品調査(研究1)

2.1. 動物の排泄物処理に関する実態調査(調査1)

動物の産業廃棄物及び排泄物処理の排出・処理に関して実態調査を行った。動物の排泄物は家畜に限定され、糞の量と尿の量の合計値で出されていた。動物園などで飼育されている各動物の排泄物のデータはなかった²⁾。家畜の排泄物(糞)の再利用方法としては、畑の肥料のみの活用となっており、他の使い道が見出せていないのが現状である。

2.2. 象糞から採取可能な繊維調査(調査2)

動物の糞には様々な物質が混ざっている。肉食動物の主食は肉で、糞から繊維採取できないと判断した。草食動物は主食が植物である。よって草食動物の糞から排泄される糞を活用しようと考えた。そこで注目したのが象の糞である。象は消化器官でセルロース繊維を分解することができず、排便でセルロース繊維と分解した余分物質だけを外に出すという特徴がある。個体差によるものの、象は一日に約70~80kgの餌を食べ、20~30kgの糞を排泄する³⁾。繊維を活用するための原料となる象糞の量は申し分ないと推測できる。ただし、

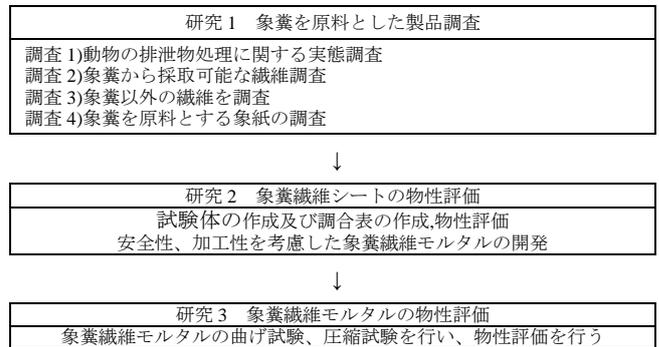


図1 研究の流れ

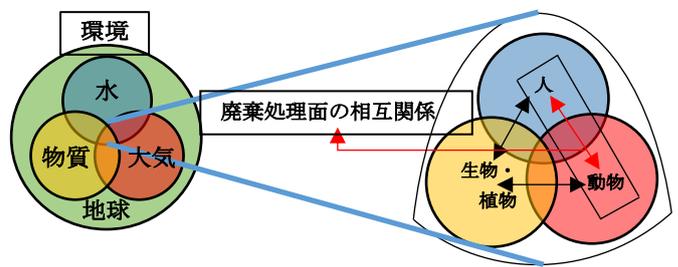


図2 環境の定義と生物資源再利用の関係

表1 人と動物の物質系における循環

環境の定義から動物を循環させる目的	
1)	水,物質,大気という環境三大要素の重なる部分の中に、人,植物・生物,動物が存在している
2)	人の視点で見た時、人と動物の間で物質(廃棄物)が循環する必要がある

表2 使用材料

項目	内容
水	水道水
次亜塩素酸	象糞を殺菌するために使用
象糞繊維	象糞から採取できる繊維
木チップ(リサイクルチップ)	パーティクルボードの原料
普通ポルトランドセメント	密度(3.16g/cm ³)
細骨材	大井川(砂),密度 2.64g/cm ³ 吸水率:2.5%

表3 調査・実験要因と水準(研究1,2)

		実験要因	水準
研究1	調査3	比較対象となる繊維調査	木チップ,ビニロン繊維,象糞繊維
研究2		モルタルに混入する繊維の種類	木チップ,象糞繊維,繊維なし
		物性評価	密度,曲げ強度(曲げ強度とたわみ量の関係,曲げ強度の最大荷重及びその時のたわみ量,面積及び破壊エネルギー)

原料となる繊維は、象の食べ物に依存してしまう。固形の餌を主食として食べている象からは繊維を採取することができない。象が食べる野菜からセルロース繊維を採取するのも難しい。よって、草を主食として食べている象の糞でなければ、繊維を採取できないということが最大の難点である。

2.3. 比較対象となる繊維調査(調査3)

象糞繊維モルタルを開発するにあたって、木チップ(リサイクルチップ)を選定した。木チップは都内にある建築副産木材からパーティクルボードを製造する業者が加工する木チップを試料とした。木チップは2軸式のローラークラッシャー及びローラーミルによって破碎されたものである。ビニロンは、一般的に建築材料として市販されているビニロン繊維を試料とした。ビニロン繊維は、モルタルやコンクリートを作る際、セメントの補強材として使用されることが多い。

今回試験材料として使用する木チップとビニロン繊維には大きな特徴がある。木チップは本来リサイクル材料として使用するパーティクルボードの原料のため、幅、長さ、厚みにばらつきがある。試験体に使用する木チップは幅約2mm～7mm、長さ約5mm～22mm、厚み約1mm～1.5mmの大きさのものを使用した。象糞繊維と同様に一つ一つの木チップの大きさが異なるため、比較対象には適正だと考察できる。また、繊維方向も、モルタルの練り具合によって大きく変化するため、その点からみても象糞繊維と同様に、適正な実験結果が得られると考えられる。繊維方向を決めてモルタルを練り上げることはほぼ不可能と言えるが、それぞれの繊維を固体化し、繊維方向を統一できるような技術があれば、安定した実験結果が得られることが期待できる。

2.4. 象糞を原料とする象紙の調査(調査4)

象糞を原料として扱っている製品(建材)はなかった。そのため象糞を原料に何が作れるか調査したところ、紙が作れることがわかった。ワークショップに参加し、実際に象紙を作ってきた。象紙ができるまでの工程を表5に示す。まず、原料となる象糞を一斗缶や鍋で2時間ほど煮込み、繊維と余分な成分を分解していく。それが終わったら、繊維をすり鉢に入れて棒で磨り潰していく。その後繊維を漉し、熱しているアルミ板に水分が蒸発するまで貼り付け、乾燥させたら完成した。繊維方向にバラツキがあるが、紙としては使用できるレベルにある。製品化するには設備が必要だが、繊維としてモルタルに混ぜることは可能であることがわかった。

3. 繊維モルタルの実験項目と方法(研究1,2)

3.1. 象糞の材料提供

生物資源の再利用を目指した象糞由来の繊維モルタルを作るために、動物園から材料提供を受けた。動物園からの材料提供に関わる書類(研究材料譲り受け願い,物品等受領書,同意書)に必要事項を記入し、象糞を提供して頂いた。

表4 調査・実験項目と方法(研究1,2)

		項目	方法
研究1	調査1	文献調査	動物の排泄物がどのように処理されているかの現状調査
	調査2	規格調査	現在認可されている象糞を原料とする製品の企画調査分析・分類
	調査3	比較対象の繊維調査	比較対象として、木チップ,ビニロン繊維を選定
	調査4	ワークショップ参加(象のUNKOアート展)	象糞を原料とした象紙作りを学ぶ
研究2・3	試験体	試験体作成	象糞から採取したセルロース繊維を用いて象糞繊維モルタル試験体作成 試験体:長さ 160mm,幅 40mm,厚さ 40mm
		物性評価	50t アムスラー式圧縮試験機で圧縮強度, 曲げ強度を測定
		品質調査	日本工業規格(JIS)に則り、曲げ強度, 圧縮強度, 密度を測定
建築材料	性能評価	象糞繊維モルタル比較対象の木チップモルタルとモルタルとの性能評価を行う	

表5 象紙ができるまでの工程

	
a.)原料の象糞を用意する。	b.)象糞を一斗缶で2時間ほど煮込み、消石灰を加えて消毒する。
	
c.)煮込んだ象糞からセルロース繊維を取り出し、すり鉢に入れて細かく磨り潰す。その後さらに繊維を漉していく。	d.)漉した象糞セルロース繊維を、熱しているアルミ板に10分ほど張り付け、乾燥させれば象紙の完成。
考察 この作業工程を参考に、象糞繊維モルタルを作る。繊維方向を定め、強度を出すことが今後の課題となる。	

3.2. 象糞の殺菌処理

象糞からセルロース繊維を採取するための殺菌処理工程を表6に示す。排泄された象糞をバケツでもらい、蓋をして密閉し、運搬した。余分な物質を取り除くために、象糞4粒と水をバケツに入れ木の棒でかき混ぜる。繊維がほぐれたら、ざるに移し、漉す。この工程を3回行った後、手作業で揉みほぐしを行う。この工程が終わったら、殺菌を行う。殺菌は、次亜塩素酸が含まれている漂白剤を使用した。漂白剤は市販されているものを使用し、水：次亜塩素酸=10：1の割合で殺菌剤を作り、密閉したバケツに一日漬け込んで殺菌を行った。殺菌後、漂白剤を洗い流すために、もう一度、水で

洗う、ほぐす、漉す工程を3回行った。これを乾燥させ、鍋で煮沸させた水に繊維を入れ2時間煮込む。煮込んだ繊維をざるに移し、お湯を切った後、板に布を敷きその上に繊維を置き、一日外で乾燥させたら殺菌処理は完了となる。

4. 象糞繊維と比較対象となる繊維の研究(研究1)

4.1. 木チップと象糞繊維の密度比較

密度は、質量を計測し、シリンダーに水を入れ目盛りを読み取り、繊維をシリンダーの中に投入し、目盛りが増えた分を体積とした。計測した数値を基に、質量/体積の公式を使用し、密度の値を出した。木チップと象糞繊維の密度を表7に示す。木チップの密度は0.62g/cm³、象糞繊維の密度は0.59g/cm³とほぼ変わらない結果となった。

4.2. モルタル・繊維モルタル作製(研究2)

JIS R 5201 を基に、モルタル、繊維モルタルの試験体を作成した。木チップモルタル試験体、象糞繊維モルタル試験体の水セメント比40%、繊維セメント比を1%に設定し、試験体の作成を行った。構造体コンクリートに多用されているビニロン繊維の含有量を基に、水セメント比を40%、繊維セメント比を1%、に設定し試験体を作成した。また、モルタルも作成し、比較対象として試験体を作った。繊維を1%混ぜただけでも、練る際にダマとなり、練りにくくなったことから、繊維がモルタルの水分を吸収している推測される。

5. モルタル・繊維モルタルの物性評価(研究3)

5.1. モルタル・の密度と製品化されている木片セメント板、木毛セメント板の密度の比較

モルタル・繊維モルタルの密度と木毛セメント板、木片セメント板の密度を図3に示す。モルタル、象糞繊維モルタル、木チップモルタルの密度と大きさに、差異は見られなかった。製品化されている木毛・木片セメント板と比較すると倍以上の差が出た。この結果から、象糞繊維モルタルの密度を倍小さくし、繊維が密集している状態に持っていけないと製品化できないということが分かった。

5.2. モルタル、各繊維モルタルの曲げ試験方法(研究2,3)

50t アムスラー式圧縮試験機、ひずみゲージ、データロガーを用いて、曲げ強度試験を行った。

5.3. 各試験体の試験結果(研究3)

5.3.1. 曲げ強度とたわみ量

曲げ強度とたわみ量の関係を表したグラフを図4に示す。繊維が入っていないモルタルは曲げ強度が最大に達すると破

表6 象糞から繊維を採取するための殺菌処理工程

a)象糞,b)保存・運搬(密閉):動物園から運搬してきた象糞と、バケツ(20ℓ以上)を2つ、熊手、ざる、ゴム手袋を用意する	
c)洗い作業:2つのバケツの内1つは空にしてざるをはめ込む。ゴム手袋を着用し、熊手を使ってもう1つのバケツに象糞を4粒入れ、水をバケツに入れる。水はバケツが満タンになる1cm手前まで入れる。水がこぼれないように、ゆっくりと木の棒でかき混ぜ、象糞繊維と余分な成分を分解する	
d)洗い作業(揉みだし,漉す):バケツから繊維を取り出し、ざるをはめ込んだバケツに移し、水分を絞るようによく揉み出し、漉す。	
e),d)を1セットの工程とし、それを3回行う	
e)次亜塩素酸処理:洗い終わった象糞繊維を、バケツにすり切れまで入れ、殺菌剤を入れて1日密封する。この時、殺菌剤がバケツの底まで行渡るように、象糞繊維を押し込み過ぎないように注意する。殺菌剤は次亜塩素酸:水を1:10の割合で作る	
f)煮込み:1日経過したら、殺菌剤を洗い流すために、もう1度2,3の工程を3回行う。洗い終わったら、象糞繊維に染み込んでいる殺菌剤を取り除くために、繊維を鍋に入れ、最大火力で2時間煮込む	
g)乾燥,h)作業完了:煮込んだ象糞繊維を外で干し、乾燥したら殺菌処理が完了となる	
	
a) 象糞	b) 保存・運搬(密閉)
	
c) 洗い作業	d) 洗い作業(揉みだし,漉す)
	
e) 次亜塩素酸処理	f) 煮込み
	
g) 乾燥	h) 作業完了

断してしまったのに対し、繊維モルタルは曲げ強度が最大に達してもその後繊維が入っているため粘りがみられた。剛性の変化が急で不安定な曲線である木チップモルタルに対して、象糞繊維モルタルは安定した剛性の結果を得た。

5.3.2. 曲げ強度最大時の平均と標準偏差

曲げ強度最大時の平均と標準偏差のグラフを図5に示す。一般的に、モルタルに繊維を混ぜると強度が落ちる傾向にあるが、大きな差異は見られなかった。

5.3.3. 曲げ強度最大時たわみ量の平均と標準偏差

曲げ強度最大時たわみ量の平均と標準偏差のグラフを図6に示す。モルタルは破断してしまったため、たわみ量は大きくなった。木チップモルタル、象糞繊維モルタルはさほど大きくなり、たわみ量の変化の差異も少ない。しかし、木チップは、たわみ量の変化にばらつきがあり、象糞繊維はばらつきがみられず安定した結果となった。このことから、象糞繊維モルタルの方が製品向きと期待される。

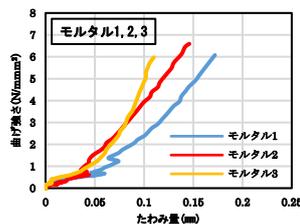
5.3.4. 面積及び破壊エネルギー

面積及び破壊エネルギーのグラフを図7に示す。モルタルは試験体に荷重がかかってからすぐ破断してしまったため、破壊エネルギーは極端に小さかった。木チップモルタルと象糞繊維モルタルを比較してみると、破壊エネルギーの差異は象糞繊維モルタルに比べて木チップモルタルの方が若干上回る結果となった。木チップモルタルにはばらつきがあったのに対して、象糞繊維モルタルのばらつきは少なく、モルタルに繊維を入れた時に安定するということが分かった。

6. まとめ

1) 象糞繊維をモルタルに混ぜた時の曲げに対する抵抗力強度はモルタルより劣る。しかし、象糞繊維を混ぜることで、繊維が破断してからの粘りがあり、繊維として安定した結果が得られた。

2) 産業廃棄物を用いて建材にすることで、環境の定義から考えた時に、動物が循環する可能性があることがわかった。象の排泄物からでも、建材に応用できる可能性が見えた。



a) モルタル

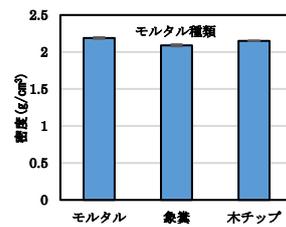
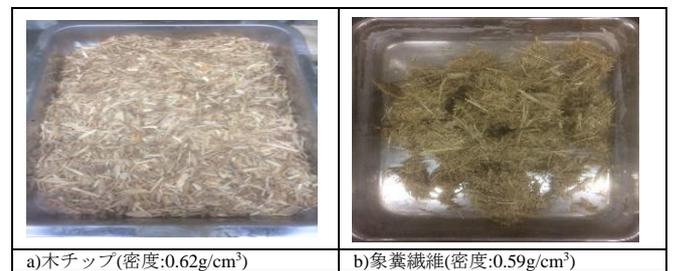
謝辞

本研究では、研究の目的として、多摩動物公園から象糞の材料提供をして頂きました。象の保護活動を行っている中村亜矢子さんに象糞の繊維採取方法、象を保護することの重要性、象糞から紙を作ることの意味について教えて頂き、多大なる協力を頂いた。

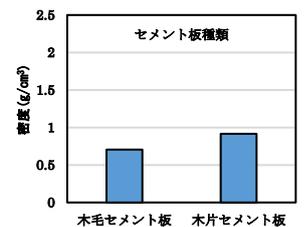
参考文献

- 1) 社団法人 日本建築学会 鉄筋コンクリート造建築物の環境配慮施工指針(案)・同解説 pp.24~25 2008年
- 2) 環境省ホームページ 産業廃棄物の排出及び処理等 (<http://www.env.go.jp>)
- 3) 草食動物の秘密 ホームページ(<http://www.hiho.ne.jp>)
閲覧日:2016年10月12日

表7 木チップ・象糞繊維の密度

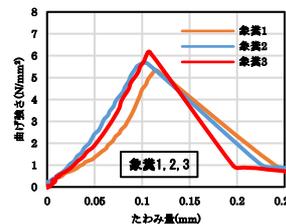


a) モルタル・繊維モルタル密度

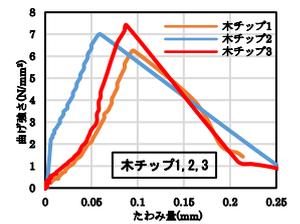


b) 繊維セメント版密度

図3 モルタル・繊維モルタルと木毛・木片セメント版密度



b) 象糞繊維モルタル



c) 木チップモルタル

図4 曲げたわみ曲線

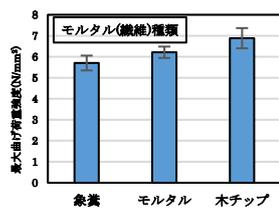


図5 曲げ強度最大時の平均と標準偏差

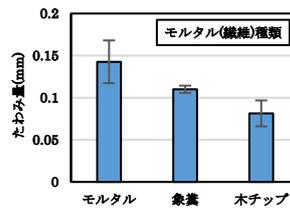


図6 曲げ強度最大時たわみ量の平均と標準偏差

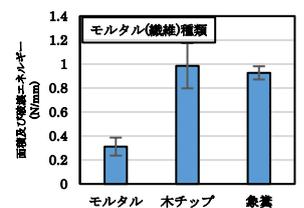


図7 面積及び破壊エネルギー