

『シュレッターハーストは地球を救う！』

1. はじめに

今回の貴大学の高校生建築提案コンテスト「『エコ』な材料と生活空間」という課題についてグループで何を研究するかを考えた。

その中で、以下の2項目については大切にしたいと考えた。

①高校で今まで培った技術・知識を生かす。(将来的に社会・地域へ貢献)

②工業人としての役割を自覚。(高品質なものを生産、環境への配慮)

これらの結果として『エコマテリアルの研究』をすることにした。

2. エコマテリアルとは

エコマテリアルの条件としては、環境にやさしいこと、無駄がないこと、低コストであることの3つが必須であると考える。そして、それと同時に高品質なものでなければならない。

2-1. エコマテリアルの対象について

今回は、建築物の主要材料であるコンクリートについて考えることにした。理由として、現在の建築物はコンクリートなくして成立が難しいほど多く使用されており、このコンクリートをエコマテリアル化できれば、エコ化としての効果も大きいからである。

2-2. コンクリートについて

コンクリートは以下の材料の調合によって成立する。

『水』+『セメント』+『砂』+『砂利』

現在、コンクリートの問題点として、骨材の不足、さらにはコンクリートの二次再生が困難などがある。そうなると省エネの観点から骨材のエコ化について検討してはどうかとなり『骨材のエコ化』を研究の対象とした。

3. 骨材のエコ化について

骨材を省エネの観点からエコ化を計画するにあたり、エコ化の条件として以下の3つをあげた。

①あるものを再利用すること。 ②大量に排出されるものを活用すること。

③地球環境にやさしいものであること。

4. 骨材のエコ化への提案

4-1. 木材の端切れを骨材として導入

骨材の代わりに木材の端切れをコンクリートに使用してはどうか。導入理由は、私たちの住む地元は有数の林業地であり、材木として加工される段階で多くの端切れがでてもったいないからである。



図1 水に浮く木材

導入結果として、木材は水分を含むと膨張し結果としてコンクリートにひび割れを生じさせる。樹脂が木材からコンクリート中に放出されコンクリートの質の均一化が図れない。木材は軽すぎて水に浮いてしまい（図1）混ぜにくいなどの問題点が生じた。資源の再利用と軽量化という観点からはよかったですのですが、それ以外の多くの問題点が生じたため木材の端切れを骨材として導入することは無理と判断した。

4-2. シュレッダーダストを骨材として導入

身の回りにあり余分なものは他にな
いか検討していく中で、シュレッダ
ダストの提案があった。シュレッダ
ダストは紙をシュレッダーにかけるこ
とで裁断されてでてくるゴミ（図2、
図3）のことであり、このシュレッダ
ーによる紙の体積膨張のため廃棄場所



図2. シュレッダーダスト 図3. 図2と同様

の確保の問題、排出量が年々増加し処理の問題、再利用化の問題など社会問題となり始めている。そこで、このシュレッダーダストが骨材として再利用できれば、これらの社会問題も解決できエコ化としての効果は絶大と考えた。

5. シュレッダーダストのエコマテリアル化への流れ

シュレッダーダストが実際に骨材の替わりとしての役割を担うことができるか実験していくことにした。

5-1. シュレッダーダストをそのまま骨材として使用

シュレッダーダスト（以下、ダスト）が束になりまったく混ざらない状況（図4）であ
り、骨材として使用する前の段階で全く効果なしということになり不採用と判断した。

5-2. シュレッダーダストを団子状にして骨材として使用

5-1の状況を踏まえ、ダストを団子状にしてはどうかということで、水に少量のデンプン糊を混ぜ、手でダストを丸めて団子状にした（図5）。ダストが束にはならなかったが、水分が浸透し骨材としての強度は全く期待できるものではなかった。団子状にしたダストに水分が浸透しないように膜をつくってはどうかと考えた。

5-3. 団子状のダストを膜で覆い、骨材として使用

骨材の膜として石膏を採用した。石膏は水硬性で水の侵入を防ぐのではないかと考えたからである。しかし、石膏は速乾性が強すぎるため、ダストの団子に膜を作り始めるとすぐに固まり、結果として厚みのある膜が作れず薄い膜しかできず、コンクリート作成中（図6）に団子内部に水分が浸透し骨材の強度もなくなった。よってこれも不採用と判断した。



図4. そのままダストを導入した様子 図5. 団子状にしたシュレッダーダスト 図6. ダストの団子を混練中

5-4. 団子状のダストを膜で覆い、骨材として使用（改良）

5-3で作成した石膏の膜の外側に、さらに石灰の膜で覆ってみることにした。石灰は強度があり石膏ほど速乾性がないため厚みのある膜ができると考えたからである。よって以下の図7のような形状となる。形状としてはピーナツをイメージするとよい。作成には時間が要するが、今までの中では最も期待のできる品質の良い骨材が完成した。（図8）

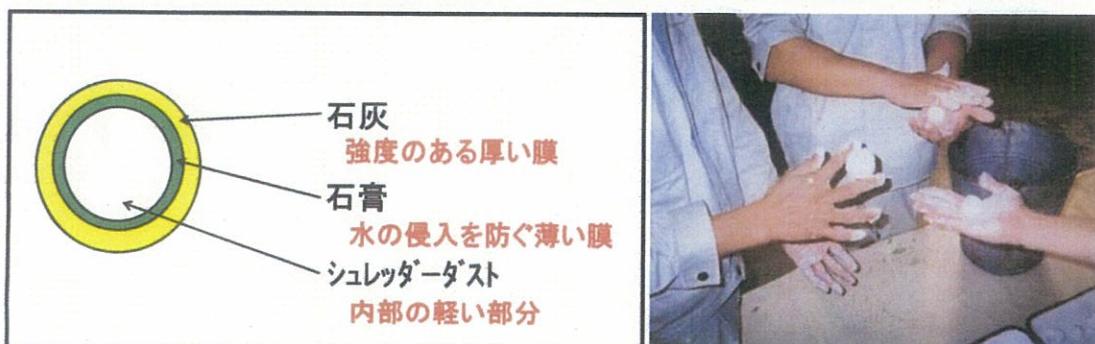


図7. ダストによる団子の形状

図8. 作成の様子

5-4-1. 透水試験

5-4で作成した骨材の内部に水が浸透するかどうかを確認するために、作成した骨材を水に24時間浸し、その後に指でつぶすという簡易的な試験を実施した。結果は以下のようになった。



5-5. ダストによる団子の更なる品質向上を目指して

5-5-1. 密度と強度の関係

ダストが密に詰まった団子の方が強度が発現することもわかった。強度は密度に大きく影響するためダストを短冊状にして巻き付けていくことにした(図9)。ちなみにAは短冊状に巻き付けることで密度の大きい団子。Bは適当に丸めた団子で密度は小さい。

5-5-2. 密度と強度の関係

強度を確実に向上させるため、膜の作成前に団子の内部の水分を完全に蒸発させが必要不可欠であるためオーブンを使用し完全に水分を蒸発させることとした。(図10)

5-6. エコマテリアルが完成した。(図11)



図9. 団子の外観上の違い 図10. 水分を蒸発させた 図11. エコマテリアルの完成

6. エコマテリアルを実際に骨材としコンクリートに導入。

6-1. 圧縮強度試験

ダストの骨材を導入したコンクリートが実際に強度を発現し、さらには実際に使用可能かを圧縮強度試験で判断することにした。圧縮強度試験の結果を表1に示す。

骨材としてシュレッダーダストの団子の調合を変えながら混入した場合、供試体①が最も強度が発現した。供試体①は普通コンクリートの圧縮強度の約半分の強度があることがわかる。

次に試験結果を棒グラフ(表2)

で示すと、膜が『石灰』のタイプ、『石膏+石灰』のタイプにおいても強度に大きな違いが出ていたこともわかった。

しかし、一般的には重量が大きいほど、強度も大きくなるので、重量と圧縮荷重の関係をわかりやすく散布図(表3)に示すことにした。この散布図では縦軸に圧縮荷重、横軸に試験体の重量を表す。重量比強度を考えた場合、普通コンクリートを赤線で示す。①については圧縮強度は約半分ではあるが重量比強度で見るとまあまあの強度だと考えられる。

供試体番号	重量[g]	耐荷重[kN]	圧縮強度[N/mm ²]	体積[cm ³]	比重[g/mm ³]
普通コンクリート	3408.5	275.0	35.03	1571	2.18
①	1970.7	102.0	19.11	1570	1.26
②	1847.5	54.0	6.88	1570	1.18
③	2388.8	45.0	5.73	1570	1.52
④	2287.0	62.5	7.96	1570	1.46
⑤	2061.2	66.5	9.47	1570	1.82
⑥					1.22
⑦					1.54
⑧					1.24
⑨	2870.7	35.0	4.27	1570	1.83
⑩	2762.6	49.6	6.32	1570	1.76
⑪	2087.1	45.5	5.80	1570	1.33
⑫					
⑬					

骨材として
シュレッダーダストの団子を混入！

試験体①が最も圧縮強度があった。

表2. 圧縮強度試験グラフ

各供試体の圧縮強度[N/mm²]

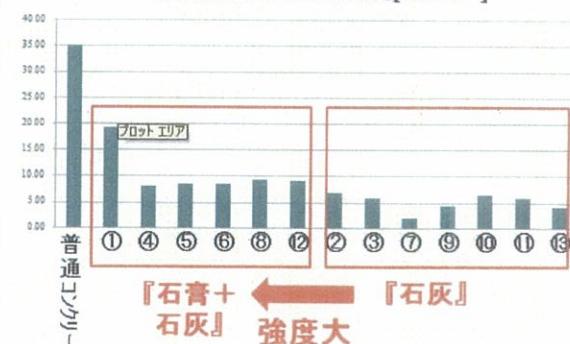
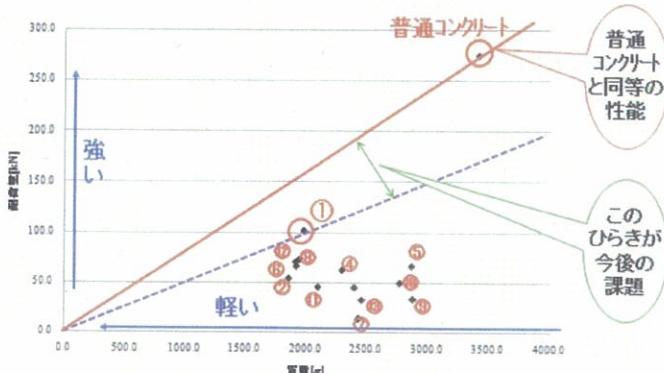


表3. 圧縮強度と重量の関係



6-2. 圧縮強度の原因を探る

供試体を切断して内部の状態(図12)を調べると、ダストの団子が軽いため、コンクリートとして硬化するまでに上面へ浮かび上がり(図13)、結果として上方には骨材が多く、下方には骨材が少ないといった供試体内部に不均一な骨材の分離が生じていたこと

がわかった。これを改善しない限り強度は向上しないと考えた。

6-3. 圧縮強度向上のための改善

ダストからなる軽量の骨材を均等にコンクリート中に分散させるには、ダストの骨材が浮き上がるのを防がなければならない。方法については網状あるいはネット状もしくは繊維状などの何らかのもので骨材をからませたらどうだろうかとなった。しかし、からませるにしても省エネの観点からエコな材料でなければならない。そうしたところ学校の裏山に荒大化した竹林がありこれは使えると考えた。発想はエジソンがフィラメントを竹繊維で作ったことからである。では、竹から繊維を取り出してみようとなった。

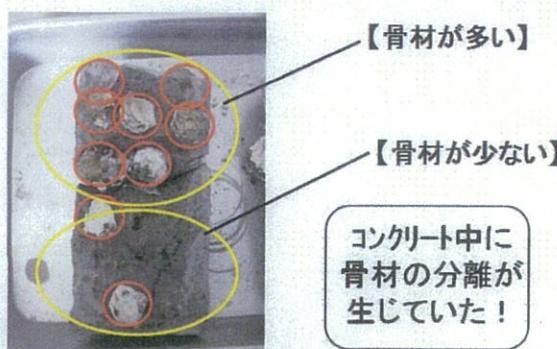


図12. 供試体の断面の様子

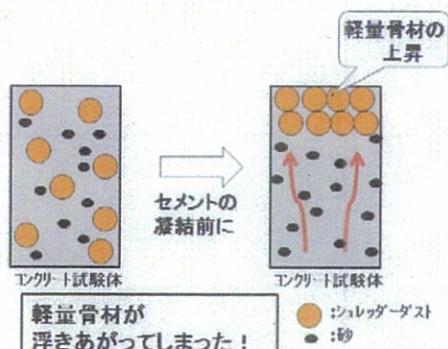


図13. コンクリート硬化までの様子

6-3-1. 竹を採用するメリット

昔と生活様式は変わり、生活用品に竹を使わなくなった。さらには竹は強い再生力を持つことから全国で竹林が拡大し、山林を荒らしている。ここで、もし竹繊維が有効であれば伐採した竹林の『資源の有効活用』、竹林の拡大を防ぎ山林を守る『地域への貢献』とまさしくエコであることに違いない。

6-3-2. 竹繊維の採取について（図14～図18）

小学校の時、葉脈のしおりづくりを思いだし、水酸化ナトリウム水溶液（10%濃度）で煮沸した。その後、手でほぐした。しかし、細かい繊維を取り出すには限界があった。



図14. 竹の採取

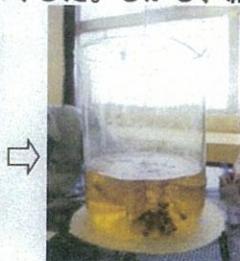


図15. 煮沸開始

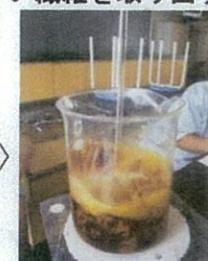


図16. 煮沸20分後



図17. 手でほぐす

そこで、さらに竹繊維を細かくするため、ピーターという植物等を纖維化する機械を借

りて試してみることにした。機械の写真（図19）とメカニズム（図20）は以下に示す。ちなみに、ピーターは製紙屋から借りた。（パルプから紙を作るのに必要な機械とのこと。）



↑図19. ピーター

←図18. 採取した竹繊維

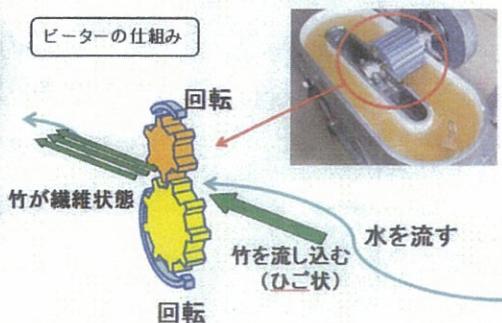


図20. ピーターのメカニズム

よって最終的に細かい竹繊維を採取することに成功した。（図21、22）



21. 細かい竹繊維（採取時）



図22. 細かい竹繊維（乾燥）

ここで、思わぬ嬉しい出来事が起こった。竹はパンダの好物でわかるように糖分が多く含まれており、糖分はセメン団の硬化を阻害するので気になっていた。しかし、糖度計（図

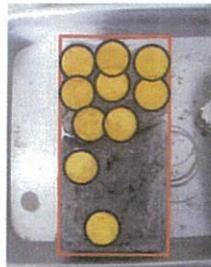
23）で測定したところ水酸化ナトリウムで煮沸することで竹に含まれる糖分が大幅カットできることがわかった。その数値を以下に示す。（表4） 表4. 煮沸前後の糖度数値

煮沸時間: 45分	
計測時	糖度(%)
煮沸前	0.97
煮沸後	0.03

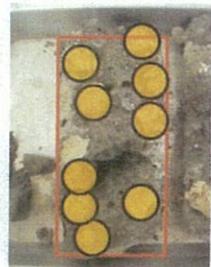
図23. 糖度計

6-3-3. コンクリートに竹繊維を混入した結果

竹繊維を導入することで、ダストの骨材が浮かび上がるのを防ぐことに大きく貢献していることがわかる。結果として供試体中に骨材の分離はなく均等に混ざり合っている（図24）。



竹繊維混入 (無)



竹繊維混入 (有)

図24. 竹繊維混入前後の供試体の断面

6-4. 圧縮試験に見る考察

竹繊維を混入していないコンクリートは脆性破壊（図25）を起こした。骨材の浮き上がりが原因であり、これは弾性領域内で起こる破壊であり、破壊に至るまでの変形能力が乏しいということになる。これは構造上あってはならない破壊でありエコマテリアルとして不成立。そして、竹繊維を混入し

たコンクリートはせん断破壊（図26）を起こした。骨材が均等に混ざっていたため、塑性領域内で起こる破壊であり、破壊に至までの変形能力があるということになる。今回は強度はまだ弱いが鉄筋などの補強で対応が可能であると考えられる。



図25. 竹繊維混入無し



図26. 竹繊維混入あり

6-5. 試験による数値による考察

表. 5 竹繊維混入の有無によるコンクリート供試体の圧縮強度の変化

竹繊維を混入することで圧縮強度は最大48%（混入前と比較して）向上した。例として試験体①、⑤を例にあげる（表5）。

供試体番号	竹繊維混入前	竹繊維混入後	供試体番号	竹繊維混入前	竹繊維混入後
①	19.11	23.55	⑤	8.47	13.11
①	19.11	24.45	⑤	8.47	12.45
①	19.11	22.87	⑤	8.47	11.99
平均	19.11	23.62	平均	8.47	12.52

24%アップ!

48%アップ!

そして、圧縮強度を棒グラフ（表6）で比

較すると歴然と変化があるのが見て取れる。

竹繊維混入前を緑、混入後を赤で示す。さらに、散布図（表7）においても性能が向上したことを見て取れる。黄色の部分が性能が向上した部分であり、普通コンクリートとの性能の差が縮まってきていることもわかる。

7.まとめ

シェレッダーストはコンクリートのエコ化に大きく貢献でき、竹繊維は骨材の問題点を解決するエコマテリアルとして導入可能である。またエコ化と同時に建築材料の軽量化は耐震的に重要な要素であり大きな効果が期待できる。今後は、エコ化に向けて弱点補強をしながら品質向上を図り明確で規格化された作成方法の確立を研究課題としていき次世代のエコ材料としていきたい。

表. 6 竹繊維混入の有無による圧縮強度の変化
各供試体の圧縮強度[N/mm²]

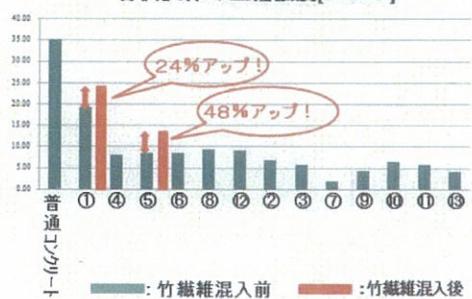


表. 7 圧縮強度と重量の関係（竹繊維混入）

