

竹炭を用いたセメントモルタルのフローおよび強度に関する基礎的検討

九州大学大学院 学生会員 ○木村 宇希 九州大学大学院 正会員 佐川 康貴
西松建設（株） 正会員 原田 耕司

1. はじめに

コンクリート分野では近年、CO₂排出量の削減が求められている。本研究では、コンクリートにCO₂を固定化（貯留）する方法を検討するため、現在J-クレジット制度で認証されている68の方法（2023年1月現在）¹⁾のうち、バイオ炭の農地転用に着目し、コンクリートへの応用を想定した。バイオ炭（Biochar）とは、「バイオマス（生物由来の有機物）を燃焼しない水準に管理された酸素濃度の下、350℃以上の温度で加熱して作られた固有物」と定義されている²⁾。近年、コンクリートへのCO₂固定化の観点からバイオ炭に着目した研究は、海外³⁾および国内⁴⁾⁵⁾で多く報告されてきている。本稿では、セメントコンクリートにCO₂を固定化するための基礎的研究として、バイオ炭の一つである竹炭に着目し、竹炭を混合したモルタルのフレッシュ性状および強度について検討した結果について示す。

2. 実験方法

本研究では、表-1に示すような粒径が7～10mmの試料TL、0.5～1mmの試料T、0.2mm程度の試料TSの3種類の竹炭（いずれも、市販品）を用いた。セメントには普通ポルトランドセメントを、細骨材には標準砂（JIS R 5201）を用いた。配合は、JIS R 5201と同じ水セメント比W/C=50%、砂セメント比S/C=3.0を基準と

表-1 使用した竹炭の特性

項目	試料 TL	試料 T	試料 TS
加熱処理温度（℃）*1	800～1200		
炭素含有率（wt%）*1	93 以上	95 以上	94 以上
MB 吸着量（mg/g）*2	0.11	0.13	0.60
粒径範囲（mm）*3	7～10	0.5～1	0.2 程度

*1 カタログ値、*2 セメント協会法 JCAS-61:2008「フライアッシュのメチレンブルー吸着量試験方法」で測定、*3 実測値

した。1バッチ当たりの練混ぜ量（水225g、セメント450g、細骨材1350g）に、竹炭を添加率4%～24%（セメントに対する質量比）の範囲で加えた。セメント質量は一定とし、竹炭は骨材（炭素骨材）として取り扱った。炭素骨材を添加する場合、計量時に標準砂の質量から炭素骨材の質量を差し引いた。モルタルのCO₂排出量がセメントのみに由来すると考えた場合、21%以上の添加率でカーボンニュートラルとなる。一部の配合では流動性の改善の目的で、ポリカルボン酸エーテル系化合物を主成分とする高性能減水剤を用いた。配合名は、（試料名）-（添加率（%））のように表記する。

練混ぜは、JIS R 5201の方法で行った。竹炭は、セメントと同時に練り鉢に投入した。練上がり後にフロー値（15打フロー）を測定し、その後、強度試験用としてプラスチック製の型枠（φ50×100mmの円柱供試体）にモルタルを詰めた。なお、モルタルが分離しない程度に、テーブルバイブレータを用いて振動を与えた。練混ぜ後から約24時間後に脱型を行い、標準水中養生にて保管し、材齢28日で圧縮強度を求めた。圧縮強度試験を行う前には、打込み面の研磨を行った。比較用として、竹炭が無添加の配合Nも作製した。

3. 結果および考察

3.1 フロー

図-1に竹炭添加率とフロー値の関係を示す。竹炭無添加の配合Nのフロー値は189mmであった。全体的には、竹炭の添加率が高くなるにつれ、フローの値が小さくなるという傾向が見られた。これは、竹炭による練混ぜ水の吸収や、竹炭の粒形の影響が原因として考えられる。TL粒子は細骨材よりも大きいため、添加率が高くなるとモルタル表面に凹凸が生じたが、分離はほとんど認められず型枠への充填には問題なかった。Tについては、TLとフロー値は同様であったが、添加率が高くなるとペースト部が先に周囲に移動し、細骨材や竹炭が中央部に留まるような分離傾向が認められた。Tの添加率を12%以上に高くすると流動性がさらに低下するか、

キーワード CO₂ 排出量削減、炭素固定、竹炭、モルタル、フロー、強度
連絡先 〒819-0395 福岡市西区元岡 744 番地 TEL：092-802-3387

分離が顕著となる懸念があったため、20%の添加率では0.3%の混和剤を添加したところ、フロー値は183mmを保つことができた。また、24%で混和剤が0.3%の場合には、フロー値が166mmに低下したため、混和剤を0.5%に増やしたところフロー値が202mmまで増加し、流動性が回復した。TSについては、添加率4%の時点ですでにフロー試験後に、竹炭を含む水分がモルタルの周囲に集まる状況が観察された。セメントペーストとのなじみがよくないと考えられた。10%以上になるとフロー値が150mmを下回り、著しく流動性が低下した。そこで、TS-12%では、混和剤を0.5%添加したところフロー値が224mmに回復したが、水分が浮いてしまうような分離傾向が見られた。TS-16%では、混和剤を0.5および0.8%使用したものは、フロー値がそれぞれ163mm, 206mm, TS-24%では、混和剤を1.0%使用したものが198mmといった結果となり、TSでは混和剤を適量使用することによって、分離を生じさせることなく、流動性を回復させることができた。

3.2 強度

図-2に材齢28日の圧縮強度を示す。配合Nの28日強度は、58.3N/mm²であった。Tについては、竹炭の添加率が高くなるほど、強度が徐々に低くなった。添加率20%および24%で化学混和剤が0.3%のものは、配合Nに比べて約24%低下した。添加率が24%で、化学混和剤が0.5%のものは若干強度が小さくなった。TLについては、添加率にかかわらずTと同等であったが、材齢7日では6%を超えるとTと異なり、強度の低下が顕著となっていることから、材齢が伸びることで試料TLと、セメントペーストとの接着力が伸びたのではないかと考えられる。TSを用いた場合は、今回使用した竹炭の中では、強度低下が最も小さくなった。TSは粉体であり、モルタル中の空隙を充填するフィラーとしての効果を有しているとも考えられる。

4. 結論

本研究では、バイオ炭によるコンクリートへの炭素固定に関する基礎的研究として、粒径の異なる3種類の竹炭（炭素骨材）を添加したセメントモルタルのフレッシュ性状と強度を調べた。竹炭の添加率を増やすと、フロー値および圧縮強度は概ね低下した。試料Tでは、化学混和剤（高性能減水剤）を適切に使用することにより、カーボンネガティブとなる添加率24%でも無添加の場合と同程度の流動性が得られた。一方、材齢7日の強度は75%程度に低下した。長期材齢での強度や物質透過性などについては、今後の検討課題である。

【参考文献】

- 1) J-クレジット制度HP, “方法論”, <https://japancredit.go.jp/about/methodology/>, (参照2023-1-5)
- 2) IPCC, Publications, 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Glossary, p.3, CHAPTER 1 (iges.or.jp)
- 3) Mensah, R.A. et al.: Biochar-Added Cementitious Materials—A Review on Mechanical, Thermal, and Environmental Properties, Sustainability, 13(16), 9336, 2021
- 4) 幸田圭司ほか：バイオ炭を混和した環境配慮型コンクリートのフレッシュ性状，令和4年度土木学会全国大会第77回年次学術講演会，V-244，2022
- 5) 木原亮太ほか：バイオ炭を混和した環境配慮型コンクリートの硬化性状，令和4年度土木学会全国大会第77回年次学術講演会，V-245，2022

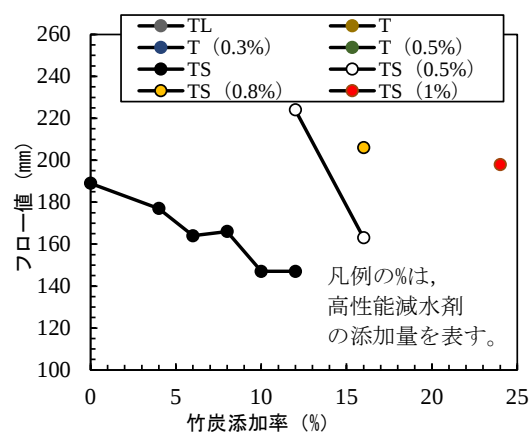


図-1 竹炭添加率とフロー値の関係

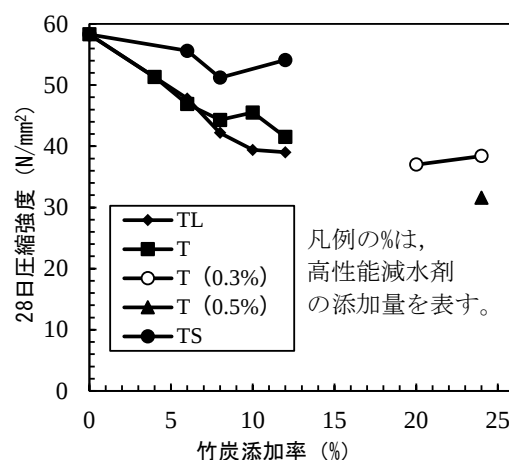


図-2 竹炭率添加率と圧縮強度の関係 (材齢 28 日)