

木質バイオマス燃焼灰を用いたセメントレス材料の圧縮強度特性

高知工業高等専門学校専攻科 学生会員 ○弘瀬 密樹
高知工業高等専門学校 正会員 近藤 拓也，横井 克則

1. 序論

近年，循環型社会構築の実現に向けて新たなエネルギー資源の開発，そして森林資源の有効活用手段として木質バイオマス発電への関心が高まっている．木質バイオマス発電は，森林や枝葉などが原料となる木質バイオマスを燃料材としており，その燃焼プロセス中に発生する燃焼灰の処理コストは事業の採算性を悪化させている¹⁾．そこで，燃焼灰の有効利用として建設用資材への利用に着目した．燃焼灰の成分はセメントの成分と類似している部分があり，セメント置換材として有効利用できる可能性がある．

そのため本研究では，燃焼灰の有効利用およびセメント置換材としての有用性を調査することを目的として，燃焼灰をフライアッシュと混合した供試体を作製した．またアルカリ刺激材として使用した消石灰との混合割合を試験要因とし，基礎的物性の検討を実施した．さらに，燃焼灰の密度変化による初期強度増進を調査するため，炉乾燥後に後燃焼灰を分級し比較検討を実施した．

2. 研究方法

2. 1 使用材料

使用材料の密度を表1に示す．本研究で使用した燃焼灰は，高知県の木質バイオマス発電所から排出されたものとした．排出される燃焼灰の内，80%以上は「飛灰」である．そのため本研究では飛灰を用いた．しかし飛灰は吸水率が約30%であるため，そのまま使用すると各種特性に影響を与える可能性がある．そのため本試験では，飛灰を110℃で24時間炉乾燥させたものを使用した．また，初期強度の増進を目的として分級を実施し，0.15mmふるいを通過した試料を使用した．燃焼灰はカルシウムとカリウムが多く含まれている．しかし，普通セメントと比較すると強度発現に起因するカルシウムやケイ素の割合が少ない．そのため，カルシウム成分の補填，初期強度の獲得および燃焼灰のアルカリ刺激材として消石灰（工業用特号）（Ca(OH)₂）を使用した．また，燃焼灰は粒子形状が粗いため練混ぜ直後の流動性が低下することが知られている²⁾．そのため，ケイ素成分の補填及び流動性の改善を目的として，フライアッシュⅡ種を採用した．

2. 2 試験パラメータおよび試験方法

試験パラメータを表2に示す．結合材全体に対するフライアッシュの質量割合をフライアッシュ置換率とし，2水準とした．また，基礎的検討のため養生方法は2水準とした．水結合材比は質量比で0.7であり，結合材は燃焼灰＋消石灰＋フライアッシュとした．また，予備試験より，消石灰置換率は，材齢28日強度が最も発現した26%を採用した．供試体はφ50mm×100mmの円柱供試体とした．供試体は打ち込み後3日で脱型した後，水中（20℃室内）および気中（20℃室内）で養生した．

圧縮強度試験は，JIS A 1108 に準じて実施した．試験実施材齢は炉乾燥では7，14，28，91日とし，炉乾燥＋分級では7日および14日とした．また，圧縮強度試験

表 1 使用材料の密度

種類	材料名	略号	密度 (g/cm ³)
粉体	燃焼灰	M	1.963
	燃焼灰(分級後)		2.564
	消石灰	S	2.21
	フライアッシュ (JIS Ⅱ種)	FA	2.2

表 2 試験パラメータ

試験要因	水準
フライアッシュ置換率	10%(F10)，30%(F30)
養生方法	気中養生（20℃室内） 水中養生（20℃室内）

キーワード 圧縮強度，セメントレス材料，バイオマス燃焼灰，消石灰，フライアッシュ，分級
連絡先 〒783-8508 高知県南国市物部乙 200-1 高知工業高等専門学校 TEL088-864-5659

は同一配合の供試体につき 3 体の試験体で行い、平均値を試験結果として採用した。

3. 実験結果および考察

圧縮強度試験の結果（炉乾燥後）を図 1 に示す。

水中養生では、燃焼灰量が最も大きい F10 で最も大きく、フライアッシュ置換率の増加とともに小さくなる傾向を示した。これは燃焼灰に含まれるカルシウムが影響しているものと推察される。カルシウムおよびフライアッシュ中のケイ素の存在により C-S-H を生成したためと考えられる。またいずれの配合においても材齢とともに圧縮強度が増加している。これは、ポズラン反応には水が不可欠であり、経時的に強度が増加したのはそのためと考えられる。

気中養生では、材齢 14 日までは圧縮強度が増加する傾向を示したが、水中養生と比較するとその値は低い。また材齢 28 日では圧縮強度が低下する傾向を示した。材齢 14 日までは、練混ぜ以降供試体に残存する水分や、消石灰の炭酸硬化反応などにより強度が増加したものと考えられる。しかし、以降は供試体中に十分な水分がないことより、強度を発現させるほどのポズラン反応が行われなかったことが挙げられる。また、水結合材比が大きいこと、材齢 3 日からの乾燥による収縮の増加により供試体表面にひび割れが発生し、圧縮強度に影響を与えたと考えられる。

圧縮強度試験の結果（乾燥＋分級）を図 2 に示す。

養生方法に関わらず、F10 の材齢 7 日圧縮強度は約 4N/mm^2 であり、炉乾燥のものと比較すると約 2N/mm^2 増加している。これは、分級により密度および比表面積が増加したため水和反応が促進されたものと推察される。また、水和反応の促進によりポズラン反応の促進につながる可能性がある。そのため、今後も継続的な調査が必要である。また、課題点として分級により、粒形が小さくなったため収縮量の増加が懸念される。そのため、収縮によるひび割れへの影響を調査する必要がある。

4. 結論

本研究では、燃焼灰のセメントレス材料へのセメント置換材としての有用性を調査することを目的として、燃焼灰を炉乾燥後および炉乾燥＋分級後で圧縮強度の比較検討を実施した。その結果、炉乾燥のみの結果から、水中養生環境下においてポズラン反応による強度増進が示唆された。また、分級後の F10 において材齢 7 日強度が約 4N/mm^2 であった。そのため、燃焼灰の分級は初期強度獲得に有効である傾向が得られた。

【参考文献】

- 1) 前川明弘, 市川幸治, 松浦真也, 奥山幸俊, 坂口貴啓: 木質バイオマス燃焼灰を混入したモルタル硬化体の各種特性に関する基礎的研究, 第 29 回廃棄物資源循環学会講演集, Vol.29, pp.209-210, 2018.12
- 2) 鈴木真理子, 長谷川雄基, 小出健人, 周藤将司: 木質バイオマス燃焼灰を活用した植栽基盤ポーラスコンクリートの開発に向けた基礎的検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.44, No.1, pp.1138-1143, 2022.7

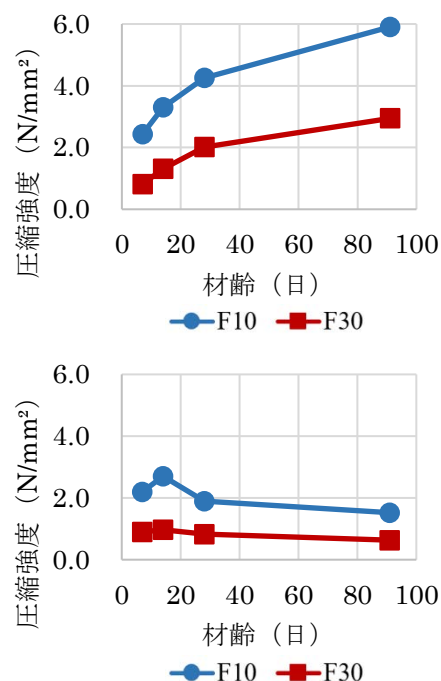


図 1 圧縮強度（炉乾燥）
（上図：水中養生，下図：気中養生）

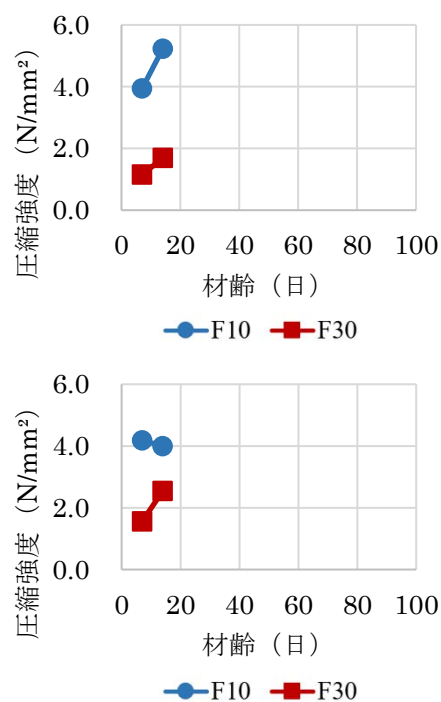


図 2 圧縮強度（炉乾燥＋分級）
（上図：水中養生，下図：気中養生）