

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

高知工業高等専門学校 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. 背景

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、石炭火力発電所における副産物である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。

2. 実験概要

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、全体の3割が水分である。そのため、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時間炉乾燥させた後に使用した。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剤として消石灰（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割合をフライアッシュ置換率とし、4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、所定の方法で養生した。

ペーストの流動性評価は、JIS R 5201に準じて実施した。圧縮強度試験は、JIS A 1108に準じて実施した。試験実施材齢を7, 14, 28, 91日とし、所定の材齢で供試体を取り出し載荷面が平滑になるように研磨した。また、圧縮強度試験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。

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 (乾燥後)	M	1.96
	消石灰	S	2.21
	フライアッシュ (JIS II種)	FA	2.20

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) 50%(F50), 70%(F70)
養生方法	気中養生 (20℃室内) 水中養生 (20℃室内)

3. 試験結果

3.1 スランプフロー

フロー試験から得られたフロー値の最大値, および直交方向を表3に示す。フロー値は, フライアッシュ置換率が増加するほど大きくなる傾向が得られた。これは, 燃焼灰の吸水率が高いことに起因すると考えられる。またフライアッシュは滑らかな球形粒子から成り立っているため, ワーカビリティ改善の一助となった可能性がある。また, 全体の傾向として, フロー試験終了後一定時間が経過すると, 供試体の端部からブリーディング水が発生した。またその状況はフライアッシュ置換率が増加するほど顕著であった。これは, 水結合材比が大きい上に, 吸水率が高い燃焼灰の使用量が少なくなったことに起因していると考えられる。

3.2 圧縮強度

圧縮強度試験の結果を図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経過日数につれて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ているのは, ポズラン反応が促進されているためと考えられる。

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量は低かった。また材齢28日ではF70を除く供試体で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いため, 材齢3日からの乾燥により, 収縮の増加が考えられる。これ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ているものと考えられる。



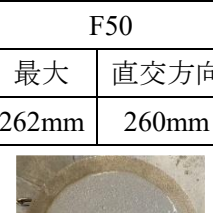
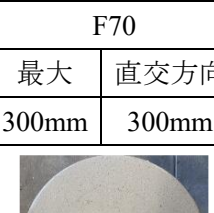

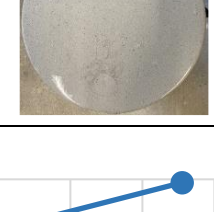
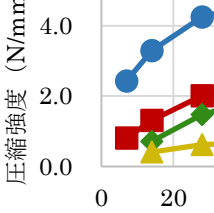
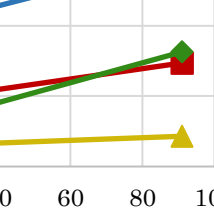
4. まとめ

本研究では, 燃焼灰を用いたセメントレス硬化体を作成し, 基礎的物性の検討を実施した。その結果, 燃焼灰の吸水率がフレッシュ性状に影響を与えている傾向が得られた。また, 水中養生環境下における圧縮強度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。今後は, 最大強度の増加, 強度の早期発現に向けた検討およびそのプロセスの解明を行う予定である。

[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

表3 スランプフロー値

F10		F30	
最大	直交方向	最大	直交方向
155mm	152mm	196mm	194mm
			
F50		F70	
最大	直交方向	最大	直交方向
262mm	260mm	300mm	300mm
			

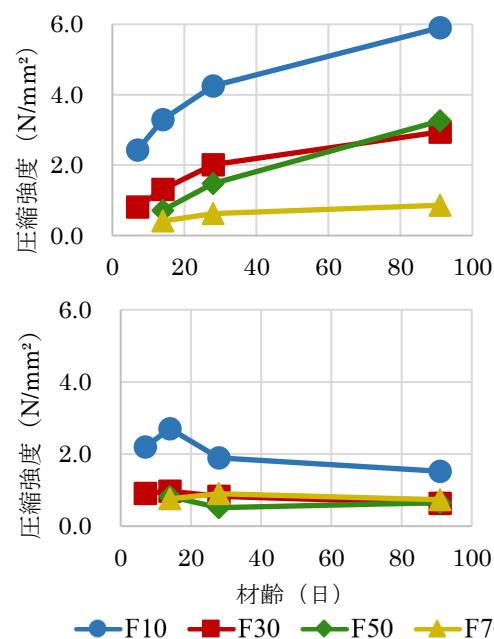


図1 圧縮強度 (上: 水中, 下: 気中)