

二酸化ケイ素試薬を用いた 木灰コンクリートの強度発現における主灰の役割の解明

学籍番号 1240171 氏名 山本 亜実 指導教員 大内 雅博

高知工科大学 システム工学群 建築・都市デザイン専攻

1. はじめに

高知県の豊富な森林資源を活かした木質バイオマス発電では、副産物である木灰の有効活用が求められている。高知工科大学コンクリート研究室ではその燃焼灰である木灰だけを水と練混ぜて硬化する木灰コンクリートを開発した。木灰コンクリートの硬化は水酸化カルシウムの炭酸化反応により生成した炭酸カルシウムによるものであるとされてきた。しかし、二酸化ケイ素と水酸化カルシウムの反応によりケイ酸カルシウム水和物が発生し、それが強度を支配しているという新たな仮説が出された。

本研究では、主灰の代わりに二酸化ケイ素試薬を、飛灰の代わりに消石灰を使用し、強度発現との関係を調べた。

用いた木灰の成分(図-1)および使用材料(表-1)を示す。

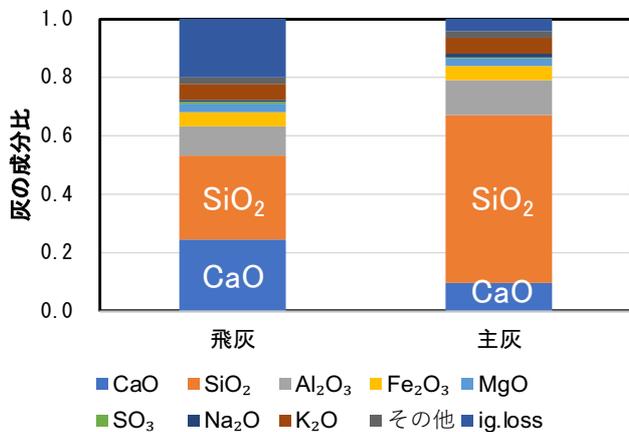


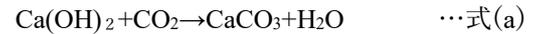
図-1 木灰の化学成分

表-1 使用材料

種類	密度 (g/cm ³)
主灰	2.34 (表乾)
飛灰	2.30
二酸化ケイ素試薬	2.65
消石灰	2.21
水	1.00

2. 消石灰を炭酸水で練混ぜたが強度を発現しなかった

木灰コンクリートでは炭酸硬化反応(式(a))が生じ、炭酸カルシウムの生成量が増加すると強度が増進すると仮定していた。



そこで、炭酸硬化反応を確かめるために、水酸化カルシウムを主成分とする消石灰と炭酸水で練混ぜ、材齢28日圧縮強度を求めたところ、1N/mm²未満となった。強度を発現しているとは言えない結果となった。

3. 主灰+消石灰では強度を発現しなかった

二酸化ケイ素と水酸化カルシウムの反応によりケイ酸カルシウム水和物が発生(式(b))することが強度発現に影響していることを確かめるために、飛灰の代わりに消石灰を使用し、主灰と練混ぜた。材齢7日および材齢28日圧縮強度はいずれも1N/mm²未満となった。強度を発現しているとは言えない結果となった。



4. 木灰コンクリートの強度発現には二酸化ケイ素が寄与していた

主灰の代わりに二酸化ケイ素試薬を使用し、飛灰と練混ぜたところ、強度を発現した。配合計算に使用した式(c)、配合(表-2)、練混ぜ時間150秒の時に充填可能な単位水量(図-2)を示す。

材齢28日圧縮強度試験の結果を示す(図-3)。飛灰には、主灰よりも、純度の高い二酸化ケイ素試薬を混ぜた方が強度は高くなった。木灰コンクリートの強度発現には、飛灰と主灰中の二酸化ケイ素の反応が寄与していると言える。

$$\text{水飛灰比} : W/B(\%) = \frac{\text{水(g)}}{\text{飛灰(g)}} \times 100 \quad \dots \text{式(c)}$$

表-2 配合表

No.	水飛灰比 (%)	単位量 (kg/m ³)			単位水量 (kg/m ³)
		飛灰	主灰	二酸化ケイ素試薬	
①	70	674	478	0	545
②	60	849	245	0	547
③	80	648	0	530	518
④	70	793	0	264	555
⑤	140	337	0	1011	472
⑥	70	832	0	147	583
⑦	70	683	242	279	478
⑧	60	966	0	0	580

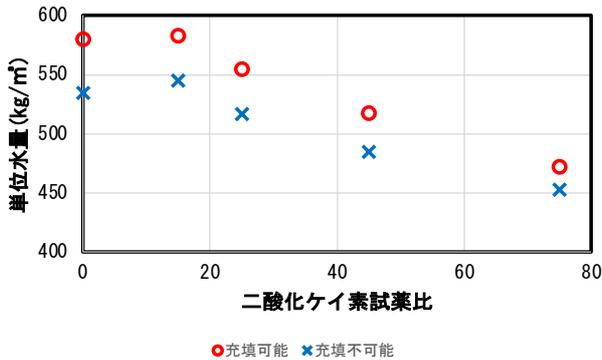


図-2 練混ぜ時間 150 秒の時に充填可能な単位水量

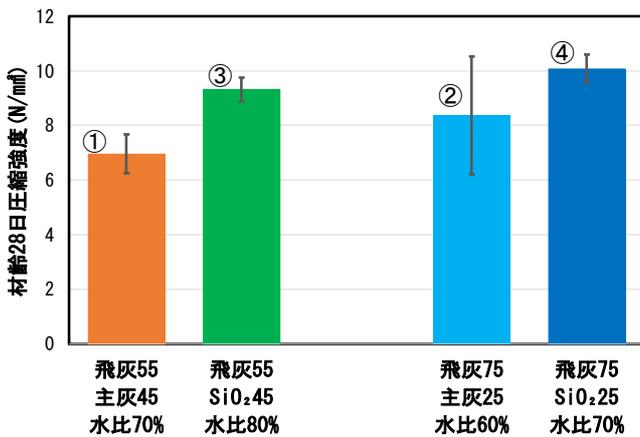


図-3 材料の違いによる材齢 28 日圧縮強度の比較

5. 強度発現における二酸化ケイ素に対する酸化カルシウムの最適な比率の存在

圧縮強度が最大になる時の二酸化ケイ素と酸化カルシウムの mol 比率を計算により求めた。主灰に含まれる CaO は化学組成分析の際に生成されるものであると仮定して考慮しないこととし、反応に必要な水量は十分に確保されているものと仮定した。

二酸化ケイ素試薬を使用したものの CaO/SiO₂ と圧縮強度の関係を示す(図-4)。強度が最も高かった時の二酸化ケイ素の比率は 46.5%、酸化カルシウムの比率は 18.4% であった。この時の飛灰と二酸化ケイ素試薬の質量比は 75:25 であった。

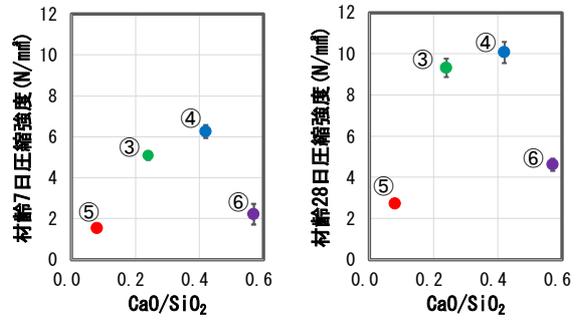


図-4 CaO/SiO₂ と圧縮強度の関係

全配合についての CaO/SiO₂ と材齢 28 日圧縮強度の関係を示す(図-5)。図-4 に示した③④⑤⑥を基準にすると、二酸化ケイ素試薬ではなく、主灰を使用したもの(①②⑦)の強度が低くなっていることが分かる。一方、飛灰 100% (⑧) は材齢 28 日強度の伸びが大きかった。酸化カルシウムと二酸化ケイ素の反応以外による生成物が関係している可能性がある¹⁾。

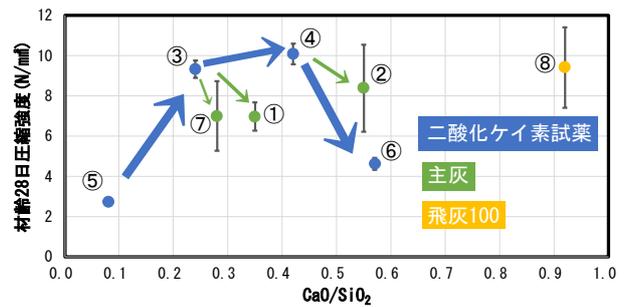


図-5 全配合についての CaO/SiO₂ と材齢 28 日圧縮強度の関係

6. 結論

- (1) 消石灰の炭酸水練混ぜ、または、主灰+消石灰の水道水練混ぜでは強度を発現しなかった。木灰コンクリートの強度発現には飛灰に代わるものが見つからなかった。
- (2) 二酸化ケイ素試薬を用いたものの強度発現から、飛灰と主灰中の二酸化ケイ素の反応が木灰コンクリートの強度発現に寄与している可能性を得た。
- (3) 飛灰 75 対二酸化ケイ素試薬 25 の時に最も高い強度が得られた。この時の二酸化ケイ素に対する酸化カルシウムの mol 比率は約 0.4 であった。

【参考文献】 1) 金 尚奎他：水酸化カルシウムおよびケイ酸カルシウム水和物の炭酸化反応, Inorganic Materials, Vol.2, No.254, pp.18~25, 1995 年