

高温養生による木灰コンクリートの強度増進

学籍番号：1210031 氏名：植木大賀 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

要旨：木灰を用いたコンクリートの養生を標準の20℃から50℃、80℃に高めて、炭酸硬化反応の促進による圧縮強度増進効果を調べた。50℃における材齢7日の圧縮強度が最も増進したが、材齢28日に強度低下が見られた。水結合材比が高いほど温度による影響が低いことが分かった。最も強度発現する消石灰置換率は養生温度や水結合材比にかかわらず5%であった。

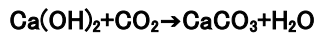
Keywords：木灰コンクリート、圧縮強度、高温養生、消石灰

1. はじめに

木質バイオマス発電により副産物として燃焼灰が生じ、木灰と呼ばれる。この木灰はその発生プロセスから主灰、リドリング灰、飛灰に分類できる。

木灰に水を加えて、必要に応じて消石灰（水酸化カルシウム）を添加して練混ぜて硬化したのが木灰コンクリートである。

3種類の木灰のうち、飛灰に含まれる酸化カルシウムが接水して水酸化カルシウムになり、それが空気中の二酸化炭素と反応して生成する炭酸カルシウムが木灰コンクリートの強度の源である。



これは化学反応であり、高温であるほど促進され、高強度が得られる可能性がある。

本研究では、高温による木灰コンクリートの養生による強度増進効果を調べた。

2. 使用材料、配合と供試体作成

使用材料と基本配合を示す（表-1, 2）。主灰、リドリング灰、飛灰は発生比率と同様の70：15：15で配合した。水結合材比（以下、水比とする）は60%、80%および100%の3種類設定した。消石灰置換率は0%から5%刻みで最大20%まで設定した。

$$\text{水比} = \frac{\text{水(g)}}{\text{飛灰(g)} + \text{消石灰(g)}} \times 100$$

$$\text{消石灰置換率} = \frac{\text{消石灰(g)}}{\text{木灰(g)} + \text{消石灰(g)}} \times 100$$

混合した3種類の木灰と消石灰を30秒間練り、さらに水を加えて90秒間練混ぜ、モールドにバイブレーターを用いて木灰を詰めて円柱供試体（直径50 mm、高さ100 mm）を作成した。供試体は温度20℃、湿度60%の恒温恒湿室で、温度50℃と80℃のものは恒温器を用いて養生した。養生期間は7日間と28日間とした。

表-1 使用材料

水		水道水
消石灰		工業用消石灰 密度2.21g/cm ³
木灰	主灰+リドリング灰	密度2.33g/cm ³
	飛灰	密度2.33g/cm ³

表-2 配合表

No.	水	木灰(kg/m ³)		消石灰
	(kg/m ³)	主灰+リドリング灰	飛灰	(kg/m ³)
1	268	1152	227	0
2	285	1041	205	72
3	301	940	185	137
4	315	848	167	196
5	328	765	150	251
6	296	1089	214	0
7	318	972	191	67
8	338	869	171	127
9	355	777	153	180
10	371	694	136	227
11	322	1032	203	0
12	347	912	179	63
13	369	808	159	118
14	389	716	141	166
15	406	635	125	208

3. 高温養生の効果

水結合材比ごとの圧縮試験の結果を示す（図-1, 2, 3）。各消石灰置換率ごとに、水結合材比が低いほど高い強度が得られた。ただし、現時点での材料と締め固め方法では水結合材比 60%が、モールド内に充填可能な下限値であった。

養生温度 20℃と比較すると、温度を高めることにより強度増進効果を確認できたが、全配合を通して最も強度発現したのは最高温度の 80℃ではなく 50℃のものであった。

材齢 7 日から 28 日にかけての強度の変化も温度によって異なった。20℃および 80℃で養生すると材齢 7 日から 28 日にかけて強度増進した一方、発現強度が最も高かった 50℃ではわずかながら 28 日では強度低下したものがほとんどであった。

結局、材齢 7 日で最も強度発現した養生温度 50℃の場合、長期的には強度増進が抑制されるどころか低下する可能性を得たことになる。

一方、水結合材比が高くなるほど養生温度の影響が小さくなった。そして、養生温度 50℃における材齢 7 日から 28 日かけての強度低下がほぼ見られなかった。

4. 消石灰置換率の影響

設定したすべての水結合材比において、程度の差はあるものの、最も強度発現した消石灰置換率は、養生温度にかかわらず 5%のものであった。ただし、水結合材比が高くなるほど消石灰置換による強度増進効果は小さくなった。

最も強度発現する消石灰置換率は養生温度や水結合材比にかかわらず 5%であった。

また本研究の結果から、温度と消石灰置換率との関係を明らかににはできなかった。

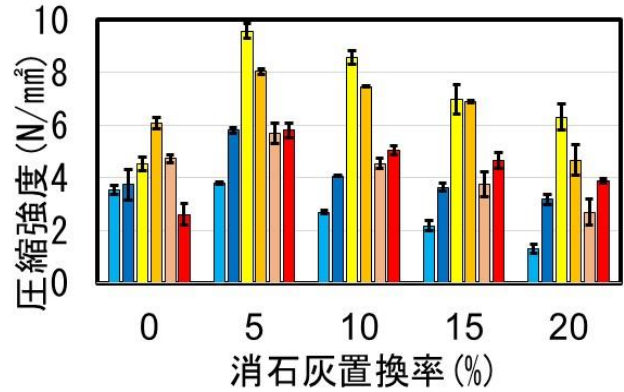


図-1 水結合材比 60%における強度発現

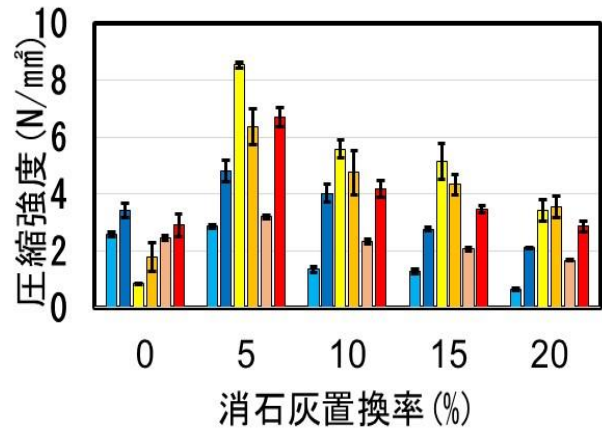


図-2 水結合材比 80%における強度発現

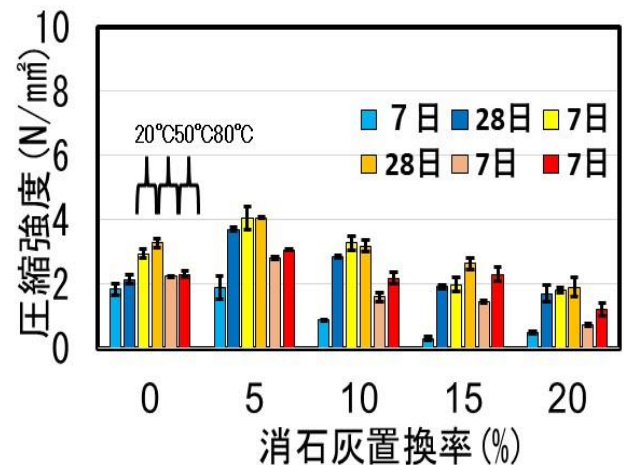


図-3 水結合材比 100%における強度発現

5. 包装養生による影響

5.1 重量差と圧縮強度との関係

温度による影響が高かった水結合材比 60%と 20°C, さらに 50°Cのみに着目し, 練混ぜ直後から養生後の重量差と圧縮強度を比較すると, 最も強度が高かった消石灰置換率 5%では重量差が最も小さくなった(図-4)。また, 消石灰置換率が高くなるごとに重量差が大きくなり, 強度が下がった。このことから, この重量差を生じさせたのは炭酸硬化反応で生じた水であると仮定し, 重量差を小さくすることによる圧縮強度の増進を目指した。

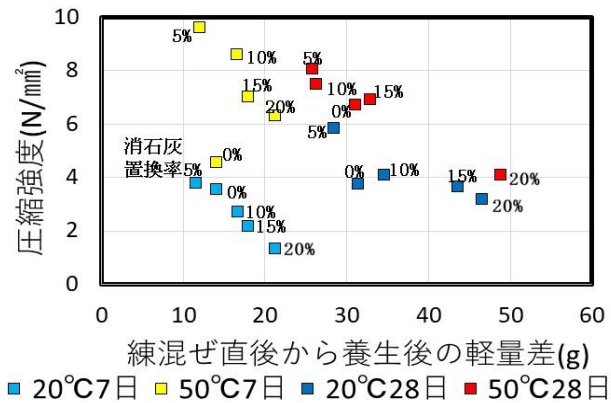


図-4 水結合材比 60%における練混ぜ直後から養生後の重量差と圧縮強度との関係

5.2 包装養生での圧縮強度

包装養生したものの圧縮試験を行った(図-5,6)。包装養生や通常養生にかかわらず, 材齢 7日から 28日にかけて 20°C養生では強度増進が確認された。特に, 消石灰置換率 0%, 5%, 10%の包装養生のもので強度増進が著しく見られた。

一方, 50°Cでの養生は包装によって強度増進は確認できず, 強度は低下した。また, 材齢 7日から 28日にかけて, 50°C養生では強度増進は見られなかった。特に, 消石灰を添加した供試体では強度の低下が見られ, 消石灰無添加のもののみ強度増進がみられた。

また, 20°C, 50°Cのいずれでも包装養生では重量差が小さくなるという結果になったが, 強度との関係は明らかにできなかった。

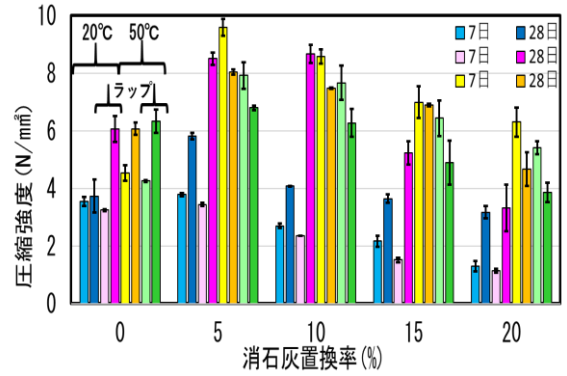


図-4 水結合材比 60%における強度発現

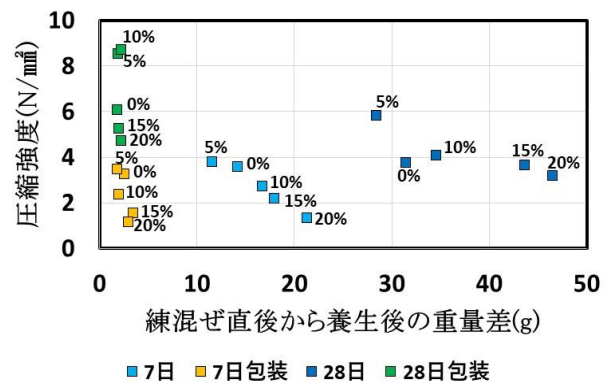


図-5 水結合材比 60%, 20°Cにおける, 練混ぜ直後から養生後の重量差と圧縮強度との関係

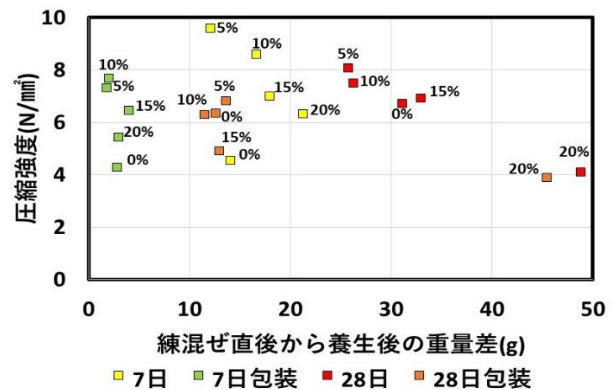


図-6 水結合材比 60%, 50°Cにおける練混ぜ直後から養生後の重量差と圧縮強度

6. CaCO₃含有量の影響

6.1 CaCO₃含有量と温度

28日強度での消石灰置換率 5%, 10%, 15%で 20°Cと 50°Cの通常養生または包装養生による質量 5 mg

の試料に含まれていた、熱分析により求めた炭酸カルシウムの含有量を示す(図-7)。20℃、50℃ともに消石灰置換率が低いほど含まれていた炭酸カルシウム含有量が増えていた。また、50℃より20℃の方が炭酸カルシウム含有量が多かった。

当初、温度が高いほど、また消石灰置換率が高いほど炭酸硬化反応が促進されて強度増進が図られると予想していたが、実際は逆の結果となった。その理由として、低い水結合材比では炭酸硬化反応が不十分であった可能性があると考えた。

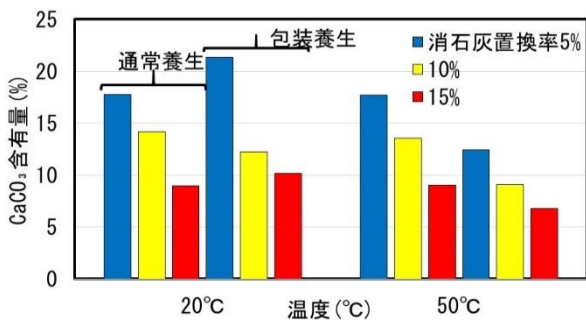


図-7 温度と炭酸カルシウム含有量との関係

6.2 CaCO₃含有量と圧縮強度との関係

28日強度での消石灰置換率5%、10%、15%で20℃と50℃の通常養生または包装養生での質量5mgの試料に含まれていた炭酸カルシウムの含有量と強度と関係を示す(図-8)。消石灰置換率が低いほど、試料中に含まれていた炭酸カルシウム含有量が多くなり、圧縮強度が高くなる傾向にあった。また、消石灰置換率が高くなると炭酸カルシウム含有量が減り、それに伴い圧縮強度も低くなった。

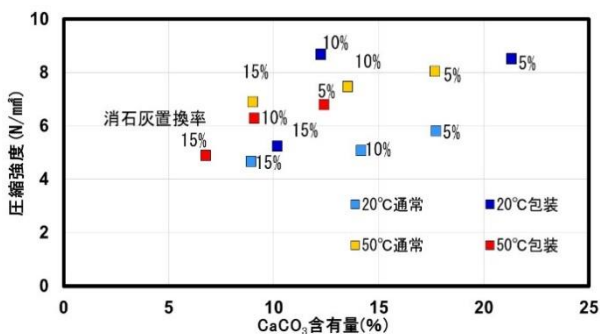


図-8 炭酸カルシウム含有量と圧縮強度との関係

7. まとめ

養生温度を変えた木灰コンクリートの材齢7日および28日における圧縮強度は、本研究の範囲内では50℃で最も高くなった。水結合材比が高いほど強度発現に対する温度の影響が小さくなる結果となった。なお、温度変化による消石灰置換率の強度への影響は明らかにできなかった。

最も高い強度が得られた水結合材比60%での試料に含まれていた炭酸カルシウム含有量は、消石灰置換率が高くなるほど圧縮強度が低くなった。これは低い水結合材比による不十分な炭酸硬化反応による可能性がある。

しかし、低い水結合材比の方が比較的高強度が得られたため、炭酸硬化反応を十分に生じさせ、強度増進をさせるような養生方法を検討することが今後の課題であるといえる。

また、試料中の炭酸カルシウム含有量と圧縮強度との関係から、消石灰置換率が高いほど圧縮強度が低くなる傾向になった。炭酸カルシウム生成量と温度、強度を比較した際、温度を20℃から50℃へと上げることで試料に含まれていた炭酸カルシウム含有量が減ったのに対し、圧縮強度は増加していた。これらのことから、炭酸カルシウム以外の他の要因が強度増進に影響を与えている可能性が得られた。今後の解明が必要である。

【謝辞】

本研究にて使用した木灰は(株)グリーン・エネルギー研究所 宿毛バイオマス発電所より御提供頂きました。心よりお礼申し上げます。

【参考文献】

人形寺郁哉：木灰コンクリートの強度増進に寄与する養生方法の選定，高知工科大学卒論文，2020年3月