

高炉セメントを用いた多空隙製品の養生方法と基礎的物性の評価

DB-12114 河野 亜沙子

1. はじめに

近年、セメントクリンカー製造時に生じる CO2 排出量とそれに伴うエネルギー消費量が地球環境に与える負荷が問題視されている。その対応策としてポルトランドセメントを高炉スラグ微粉末やフライアッシュにて置換した混合セメントとそれを用いたコンクリートが注目されており、温室効果ガスの 1900 年比 6%削減を国際公約とした京都議定書を達成するための「京都議定書目的達成計画」の中にも、混合セメントの生産割合・利用を拡大するといった目標が示されている。グリーン購入法における公共工事分野では高炉セメントが特定調達品目に指定されるなど、自然環境にやさしいセメントとして活躍の場が広がっていくだろう。高炉スラグの生産量は年々増加傾向にあり、中でもセメントへの利用率は大変多く平成 26 年度の統計では生産された高炉スラグのうち 72.5% がセメント用として使用されている (図 2) ¹⁾。

しかしながら高炉セメントの生産量の増加傾向に比べ、それをプレキャスト製品に使用した実績は未だに少なく、データが少ないためにコンクリート製品の原料として使用し難いといった問題がある。実際、鉄鋼スラグ協会が発行している「鉄鋼スラグの高炉セメントへの利用」に掲載されている経済産業省の推計 (図 3) によると、プレキャスト製品において使用される高炉セメントの率は約 2% である。

しかしプレキャスト製品では初期強度発現性の高い蒸気養生を行うことが多く、さらに配合が低水セメント比であるために、高炉セメントのデメリットである初期強度の低さが補われると考えられ、プレキャスト製品における高炉セメント使用は有用であるといえる ³⁾。

本研究ではプレキャスト製品における高炉セメントの利用を促進するべく、高炉セメントを用いた多空隙型コンクリート製品の養生方法について検討し、養生方法の確立を目指す。図 1 で本研究の流れを示す

2. 研究概要

2.1 実験項目

表 1 に研究内容、表 2 に研究 2~4 で行った実験の要因と水準を示す。研究 1 によって日本での高炉セメント使用を調査し、現状を把握する。研究 2 にて高炉スラグ微粉末を混入したモルタルの初期強度発現を普通ポルトランドセメントのものと比較、また水中養生の際の水温による強度発現の変化を測定。その後研究 3 において水セメント比によっての水温変化がもたらす比較、研究 4 にてポーラスコンクリートの特徴

である空隙がもたらす養生温度による強度変化を測定。以上の研究より多空隙コンクリートの養生方法を検討する。

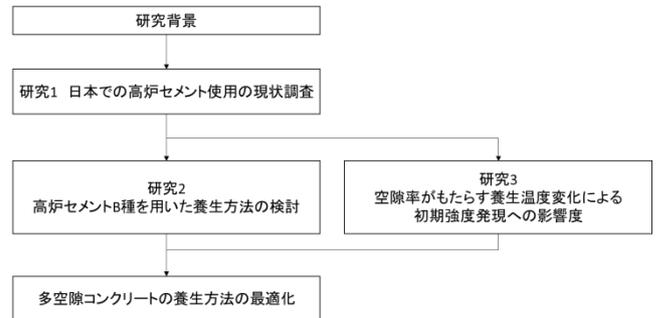


図 1 研究の流れ

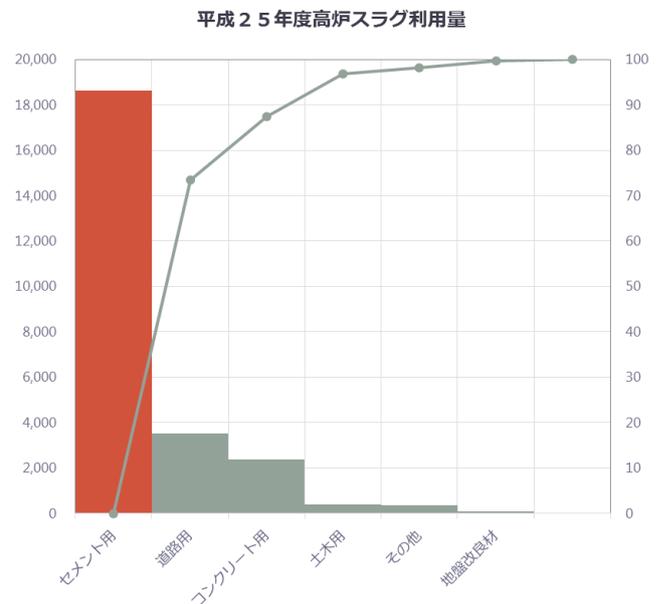


図 2 平成 26 年度高炉スラグ生産量及び利用率 ²⁾

用途区分	全セメント 使用量 (百万 t)	高炉セメント B 種 使用率 (%)										高炉セメント B 種 使用量 (百万 t)	
		10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%		
建築	基礎・地下構造	6	BB 率 20~30%										1~2
	上部構造	22	BB 率 0%										0
土木	国土交通省 国土利用	3	BB 率 94%										2
	その他 土木	17	BB 率 50~60%										9~10
プレキャスト製品	7	BB 率 約 2%										0	
固化材	6	BB 率 20%										1	
輸出	10	BB 率 0%										0	
全セメント計	71											高炉セメント B 種 (BB) 計 14	

※エコックス都市研究所推計

図 3 用途ごとの高炉セメント B 種使用状況 ²⁾

(H19 年を前提とした推定)

表 1 研究内容

研究	実験項目	方法
研究 1	日本での高炉セメント使用の現状調査	・2014年11月コンクリートサステナビリティフォーラムでのヒアリング調査
研究 2	セメント種類	普通ポルトランドセメントと高炉スラグ微粉末混合セメントの比較
	養生方法	水中養生で水温 20 度、60 度
	養生時間	7 日、14 日、30 日、35 日
研究 3	空隙率	7号砕石を使用したポーラスコンクリート
	養生方法	水中養生で水温 20 度、60 度

表 2 実験の要因と水準

項目	要因	水準	
モルタル調査	水セメント比	45%, 60%	
	セメント	普通ポルトランドセメント 高炉セメント B 種	
	砂	大井川陸砂	
	砕石	7号砕石	
	養生条件	水中養生(水温 20 度)	7 日, 14 日, 30 日, 35 日
		水中養生(水温 60 度)	7 日, 14 日, 30 日, 35 日

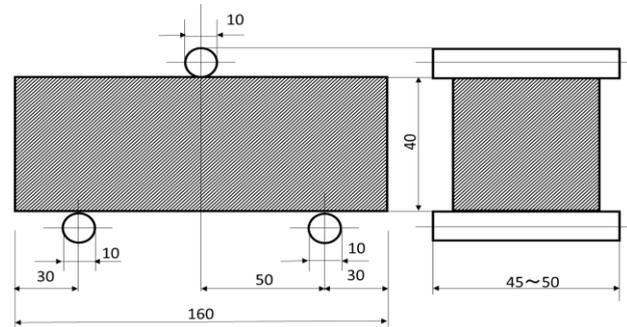


図 4 曲げ試験方法⁴⁾

2.2 セメント種類による強度発現変化の測定 (研究 2)

2.2.1 セメント種類による強度発現変化の測定に関する概要

40mm×40mm×160mm の角柱供試体を普通ポルトランドセメント 100%のもの、普通ポルトランドセメントに高炉スラグ微粉末を 40%混合し高炉セメント B 種と同条件としたものの 2 種類作成し、それらを水温 20℃の水中と水温 60℃の水中で養生する。それらを養生 7 日、28 日で曲げ試験を行い曲げ強さを測定し、その断片を用いて圧縮試験を養生 7 日、14 日、30 日、35 日に行い圧縮強度を測定する。実験の方法を図 4、図 5 に示す。計算には以下の式(1)(2)を用いた。

$$\text{曲げ強度} = 1.5Ft/b^3 - (1)$$

ここに、 Ft:破壊時に角柱の中央に加わる荷重(N), l:支点間の距離(mm)

$$\text{圧縮強度} = Fc/A - (2)$$

ここに、 Fc:破壊時の最大荷重(N), A:加圧板または補助板の面積(mm)

2.2.2 セメント種類による曲げ応力変化の測定

図 6 にセメント種類による曲げ強度の比較を示す。高炉セメントのほうが普通ポルトランドセメントのものよりも強度発現が低いという結果がでたが、養生温度が 60℃の供試体は普通ポルトランドセメントとほぼ同じ曲げ強度となっている。養生温度を高くすることで高炉セメントコンクリートの初期強度問題は改善するといえるだろう。

2.2.3 セメント種類による圧縮強度変化の測定

図 7 に各養生段階での実験結果を示す。初期段階では曲げ強度と同じように、高炉セメントを用いたものは普通ポルトランドセメントを用いたものよりも一回り下回る値となっている。しかし水温 60℃による水中養生をしたものは通常の水 中養生を行った普通ポルトランドセメントのものと同じ、もしくはそれを上回る結果が出た。図 8 にセメント種類による強度発現の変化を示した。強度発現の差は養生 30 日の段階でほぼなくなり一定の強度発現となった。

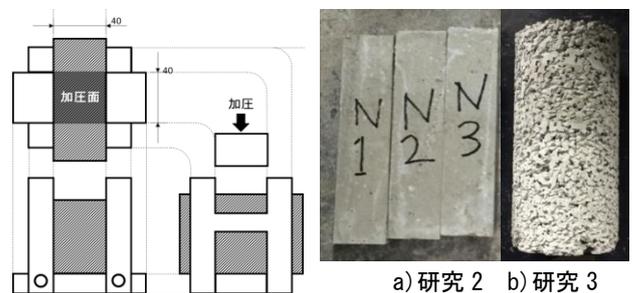
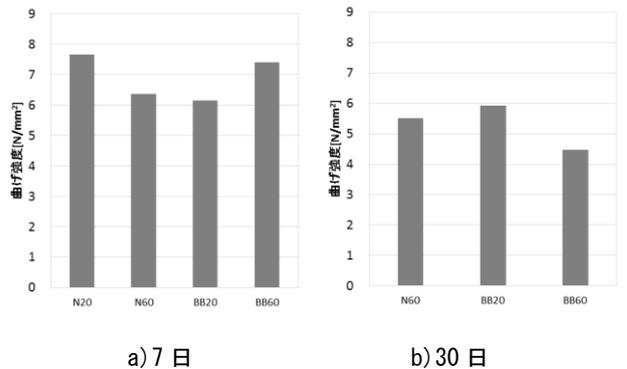


図 5 圧縮試験方法

a) 研究 2 b) 研究 3

図 6 試験体写真



a) 7 日 b) 30 日
図 7 養生 7 日、30 日の曲げ強度比較

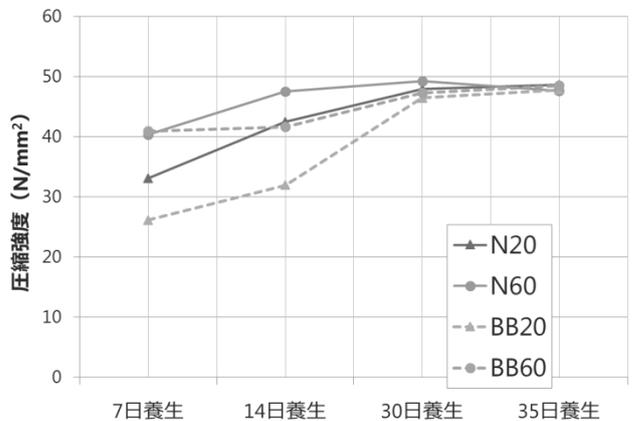


図 8 養生時間による圧縮強度発現の変化

2.3 高炉セメントを用いた多空隙コンクリートの基礎的物性の評価 (研究3)

2.3.1 高炉セメントを用いた多空隙コンクリートの基礎的物性の評価に関する概要

7号砕石を用いた低水で多空隙のコンクリート供試体を高炉セメント B 種のもと普通ポルトランドセメントのもとで作成し空隙率を測定する。それらを温度 20℃、60℃の水中で水中養生した際の初期強度を測定し、養生方法による強度発現の変化率を調べる。空隙率の算定には容積法として式(3)を用いた。

$$At = \left[1 - \frac{(W_2 - W_1) / \rho_w}{V_1} \right] * 100 \quad (3)$$

ここに、 W_1 :水中質量(g), W_2 :気中質量(g), V_1 :供試体容積(cm_3), ρ_w :水の密度(g/cm_3)

2.3.2 高炉セメントを用いた多空隙コンクリートの基礎的物性の計測

図9にセメント種類による圧縮強度の比較を示す。ポーラスコンクリートの圧縮強度は空隙率や施工状態に大きく左右され、ばらつきが出やすいため、有効なデータが少ない結果となった。高炉セメント B 種を用いた供試体では、高温養生による初期強度発現が高まったと考えられるが、普通ポルトランドセメントを用いた供試体では高温養生による初期強度発現促進が確認されなかった。

2.4 養生方法による強度発現速度の検討

2.4.1 強度発現速度についての概要

研究2、研究3の結果を踏まえ、コンクリートの空隙率が養生方法に対してどのように影響するのかを検討する。材齢0-7日、7-14日で区分し、以下の式(4)により求めた強度グラフの傾きを強度発現速度とし、比較する。

$$\Delta V_{(7)} = (F_{c(7)} - F_{c(0)}) / (t_{(7)} - t_{(0)}) \quad (4)$$

ここに、 F_c :圧縮強度(N), t :材齢(day)

2.4.2 強度発現速度の評価

研究2、研究3の結果を図10に、算出された強度発現速度を図11、図12、図13、図14に示す。

水温60度で養生したものは水温20度で養生したものよりも0-7日間に強度発現速度が高くなり、7-14日間に低下することがわかる。またポーラスコンクリートは0-7日間での強度発現速度は低いが、7-14日間での強度発現速度は大きく高まり、特に高炉セメント B 種での強度発現速度が優れていることが確認された。

3. まとめ

高炉セメント B 種の圧縮強度は高温による水中養生で発現促進ができると考えられる。これらは特に材齢0-7日の初期強度に影響をもたらすといえる。

ポーラスの場合、特に高炉セメント B 種への影響度が高く、

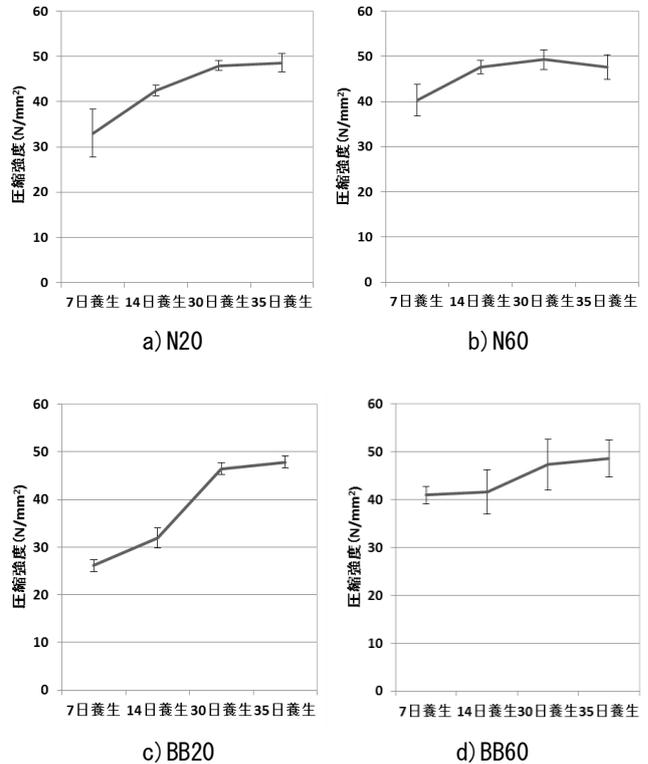


図9 セメント種類による圧縮強度の比較

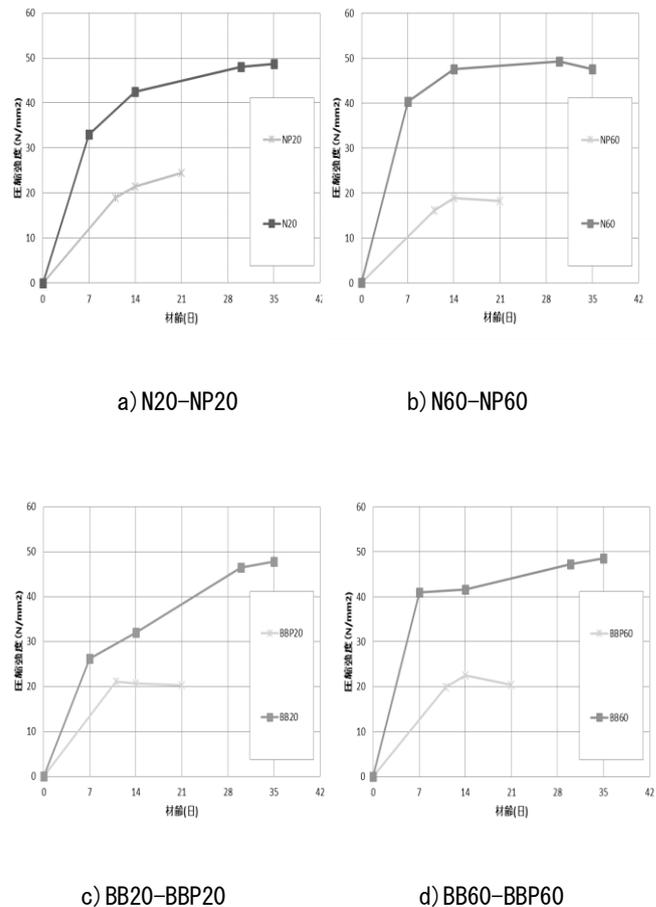


図10 空隙率とセメント種類による圧縮強度の比較

材齢 7-14 日の強度発現速度は普通ポルトランドのものとは比べて高まっていることが確認できた。

これらのことから、高炉セメント B 種は材齢 0-7 日に高温養生することで初期強度発現の促進ができると考えられるだけでなく、空隙率の高いものには温度による影響が大きくであるということも確認できた。これらをふまえて高炉セメント B 種を用いた多空隙のコンクリート製品に対し適切な養生方法を検討することができるだろう。

参考文献

- 1) 鉄鋼スラグ協会, 高炉スラグ・製鋼スラグの生産量及び利用量 - 2014 年
- 2) 経済産業省, 平成 20 年度セメント産業における非エネルギー起源二酸化炭素対策に関する調査－混合セメントの普及拡大方策に関する検討 - 2009 年 9 月 30 日
- 3) 委員会報告 混和剤を大量利用したコンクリートのアジア地域における有効活用に関する研究委員会-野口貴文 渡辺博志 鹿毛忠継 中村英佑
- 4) JIS R 5201 - 2004 年

謝辞

本研究にあたり、ポーラスコンクリート製造業の関係各位よりヒアリングで協力をいただきました。皆様に多大なる感謝の意を表し、謝辞とさせていただきます。

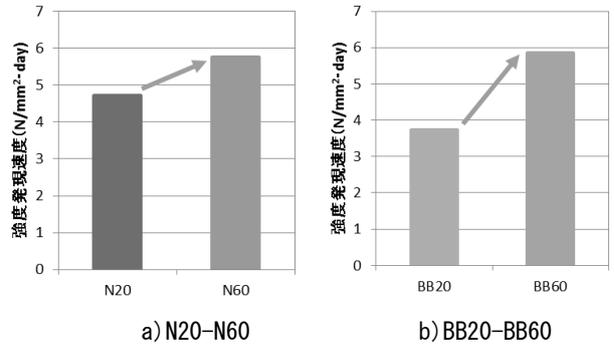


図 11 材齢 0-7 日の養生温度による強度発現速度の比較

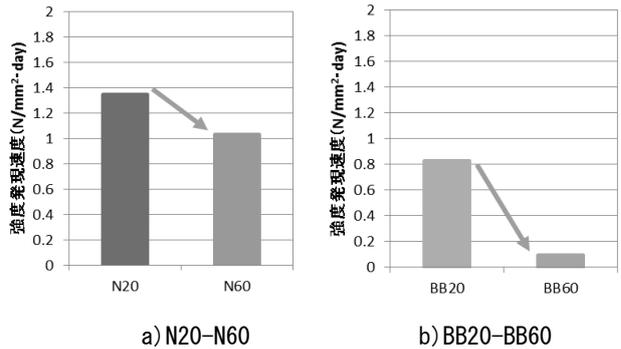


図 12 材齢 7-14 日の養生温度による強度発現速度の比較

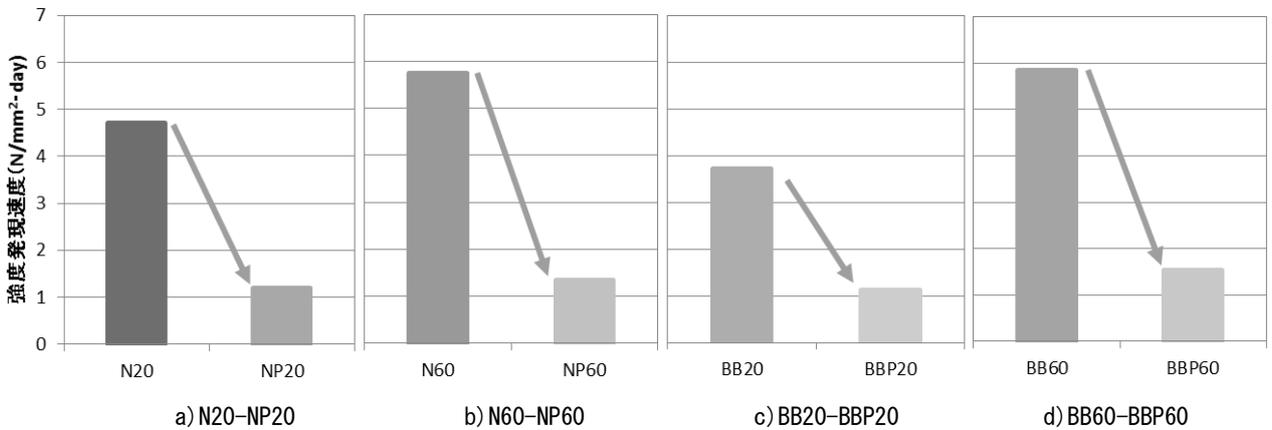


図 13 材齢 0-7 日の空隙率による強度発現速度の比較

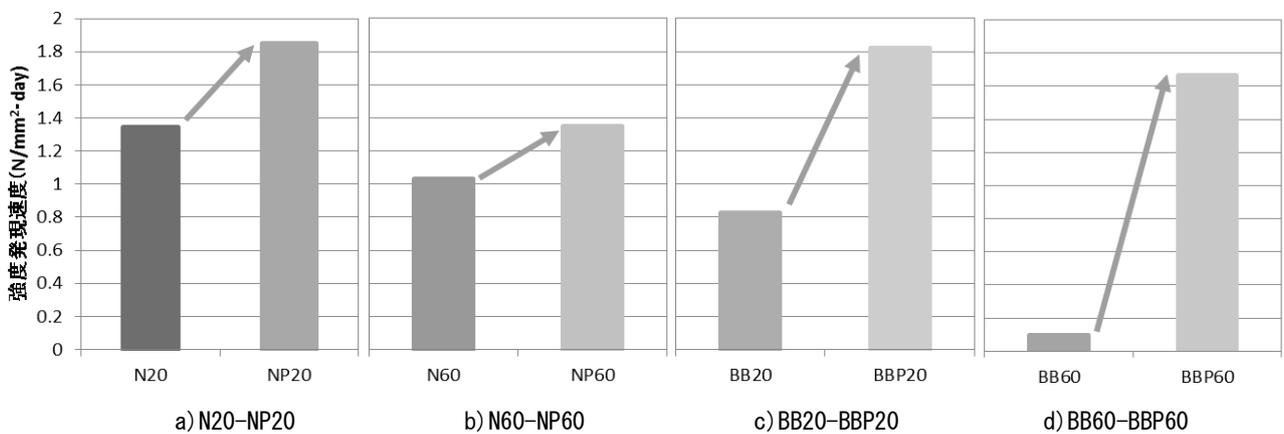


図 14 材齢 7-14 日の空隙率による強度発現速度の比較