

報告 高炉セメント B 種と早強ポルトランドセメントを混合したセメントの諸性状および舗装用コンクリートへの適用性検討

新見 龍男^{*1}・加藤 弘義^{*2}・河合 研至^{*3}

要旨：セメント産業における CO₂ 排出量削減対策の一つとして混合セメントの有効利用が挙げられる。高炉セメントは初期の強度発現性がやや遅れる傾向を示すが、早期の交通開放が必要なコンクリート舗装において普通ポルトランドセメントと同様に使用できることが望ましい。そこで本研究では、生コンクリート工場の既存の設備で調整可能な方法として高炉セメント B 種に早強ポルトランドセメントを混合し、セメントの基礎物性およびコンクリート性状を評価するとともに舗装用コンクリートへの適用性を検討した。その結果、物性面において舗装用コンクリートへの適用が可能であることが示された。

キーワード：高炉セメント B 種、早強ポルトランドセメント、舗装用コンクリート

1. はじめに

近年、全世界規模で地球温暖化の進行が深刻な問題となっており、我が国においても産業界での CO₂ 排出量の低減が重要な課題となっている。その中でも、建設工事は規模が非常に大きいことから、CO₂ 排出量低減に対する取り組みがより一層求められており、一般的な土木・建築工事だけでなく舗装やマスコン等、さまざまな状況において材料・施工の両面からの取り組みが重要であると考えられる。

セメント産業における CO₂ の排出削減対策の一つとしては混合セメントの有効利用が挙げられる¹⁾。我が国で使用されている混合セメントはそのほとんどが高炉セメント B 種であり、初期の水和発熱が小さいことや耐海水性や化学抵抗性に優れるといった特徴から、主にダムや港湾などの大型土木工事に用いられる。

近年、LCC や高耐久性、大型車の燃費向上などの理由からコンクリート舗装の活用が推進されている。また、環境負荷の点においては混合セメントを使用した場合にアスファルト舗装より有利になる^{2), 3)}との報告があるが、セメントに高炉スラグ微粉末を混合することにより初期の強度発現性がやや遅れる傾向を示す⁴⁾ことから、早期の交通解放が必要なコンクリート舗装においては初期の強度発現性が課題となると考えられる。しかしながら、環境負荷の低減のためにはコンクリート舗装においても普通ポルトランドセメントと同様に高炉セメントを使用することが望ましい。

一方、高炉スラグ微粉末の混合量が比較的少ない高炉セメント A 種に関して、セメントや高炉スラグ微粉末の改良、混和材の添加等により、普通ポルトランドセメントと同等の性能を得ることが可能である^{5), 6), 7), 8)}と報告

されているものの、セメント製造時の諸条件が煩雑になることや、生コンクリート工場において新規サイロが必要になること等、製造面や設備面で様々な課題が残ると考えられる。

そこで本研究では、高炉セメントの利用拡大および性能向上を目的として、汎用のセメントを用い、且つ生コンクリート工場において既存の設備で調整可能であることを考慮し、高炉セメント B 種に早強ポルトランドセメントを混合する方法を用いて、高炉セメント A 種および B 種の規格の範囲にある量の高炉スラグ微粉末を含有したセメントの基礎物性を評価すると共に、舗装用コンクリートへの適用性を検討した。

2. 実験概要

2.1 使用材料

セメントは高炉セメント B 種（以下、BB）、早強ポルトランドセメント（以下、HC）および普通ポルトランドセメント（以下、NC）を使用した。BB に HC を混合する場合の HC の混合率は、セメントの基礎物性の評価では質量比で 25%、33.3%および 50%、コンクリート性状の評価では質量比で 25%および 50%とした。粗骨材は硬質砂岩砕石 1505、2010 および 4020 を使用し、混合率は体積比で 25 : 35 : 40 とした。細骨材は硬質砂岩砕砂を使用した。混和剤は高機能型の AE 減水剤および AE 助剤を使用した。使用材料の詳細を表 1 に示す。

2.2 配合条件

表 2 に、各種セメントの混合割合、BB 中の高炉スラグ含有率を 45%と仮定した場合の混合セメントの高炉スラグ含有率および評価項目を示す。表 3 にコンクリートの配合条件を、表 4 に配合の詳細を示す。試験に

*1 (株) トクヤマ セメント開発 Gr. 工修 (正会員)

*2 (株) トクヤマ セメント開発 Gr. リーダー 工博 (正会員)

*3 広島大学 工学研究院 社会環境空間部門 教授 工博 (正会員)

表－１ 使用材料

材料	種類	物性値
セメント	高炉セメント B 種	密度:3.04g/cm ³ , 比表面積:3800cm ² /g
	早強ポルトランドセメント	密度:3.14g/cm ³ , 比表面積:4560cm ² /g
	普通ポルトランドセメント	密度:3.16g/cm ³ , 比表面積:3220cm ² /g
細骨材	硬質砂岩砕砂	表乾密度:2.66g/cm ³ , 吸水率:1.44%, 粗粒率:2.93
粗骨材	硬質砂岩砕石	1505 表乾密度:2.73g/cm ³ , 粗粒率:6.34
		2010 表乾密度:2.73g/cm ³ , 粗粒率:7.04
		4020 表乾密度:2.73g/cm ³ , 粗粒率:7.97
混和剤	AE 減水剤（高機能型）	リグニンスルホン酸化合物とポリカルボン酸エーテルの複合体
	AE 助剤	変性ロジン酸化合物系陰イオン界面活性剤

表－２ 各種セメントの混合割合、高炉スラグ含有率および評価項目

	混合率（％）		高炉スラグ含有率 （％）	評価項目	
	BB	HC		基礎物性	コンクリート
BB	100	0	45	○	○
BB3-H1	75	25	33.75	○	○
BB2-H1	66.7	33.3	30	○	－
BB1-H1	50	50	22.5	○	○
HC	0	100	0	○	－

表－３ コンクリートの配合条件

配合名	粗骨材の 最大寸法 (mm)	W/C (%)	単位水量 (kg/m ³)	粗骨材 かさ容積 (m ³ /m ³)	細骨材率 (%)	目標 スランプ (cm)	目標 空気量 (%)
BB	40	43	145	0.705	39.9	6.5 ±1.5	4.5 ±1.5
BB3-HC1					39.6		
BB1-HC1					39.7		
NC				0.695	40.9		

表－４ コンクリート配合の詳細

	単位量（kg/m ³ ）							
	水	セメント			細骨材	粗骨材		
		BB	HC	NC		1505	2010	4020
BB	145	337	-	-	740	518	345	288
BB3-HC1		253	84	-	743			
BB1-HC1		169	169	-	746			
NC		-	-	337	767	510	340	284

使用したコンクリート配合は、生コンクリート工場で実際に使用されている配合を基にし、一般に舗装コンクリートで設定される設計基準曲げ強度（材齢 28 日における曲げ強度）が 4.5N/mm² を満足⁸⁾するように諸条件を決定した。目標スランプは 6.5±1.5cm とし、目標空気量は

4.5±1.5%とした。

2.3 コンクリートの混練および養生

コンクリートは 100L 強制二軸ミキサにより混練した。セメントと細骨材を投入後 30 秒間空練りし、水および混和剤を投入後 30 秒混練した。その後、粗骨材を投入して

60 秒混練し、排出した。

2.4 試験方法

(1)セメントの基礎物性

モルタルの 15 打フロー、セメントの凝結および圧縮強さを JIS R 5201「セメントの物理試験方法」に準拠して試験した。モルタルの 15 打フローに関しては、混和剤の影響を検討するため、混和剤をセメントに対して 0.5%、1.0%および 1.5%添加した場合についても試験した。

(2)コンクリートのスランプおよび空気量

スランプ試験は JIS A 1101「コンクリートのスランプ試験方法」に準拠し、空気量試験は JIS A 1128「フレッシュコンクリートの空気量の圧力による試験方法」に準拠し、試験を行った。

(3)コンクリートの凝結試験

コンクリートの凝結試験は JIS A 1147「コンクリートの凝結時間試験方法」に準拠し、試験を行った。

(4)曲げ強度試験

供試体寸法は 150×150×530mm とし、脱型直後および 20℃水中養生を行った供試体について、JIS A 1106「コン

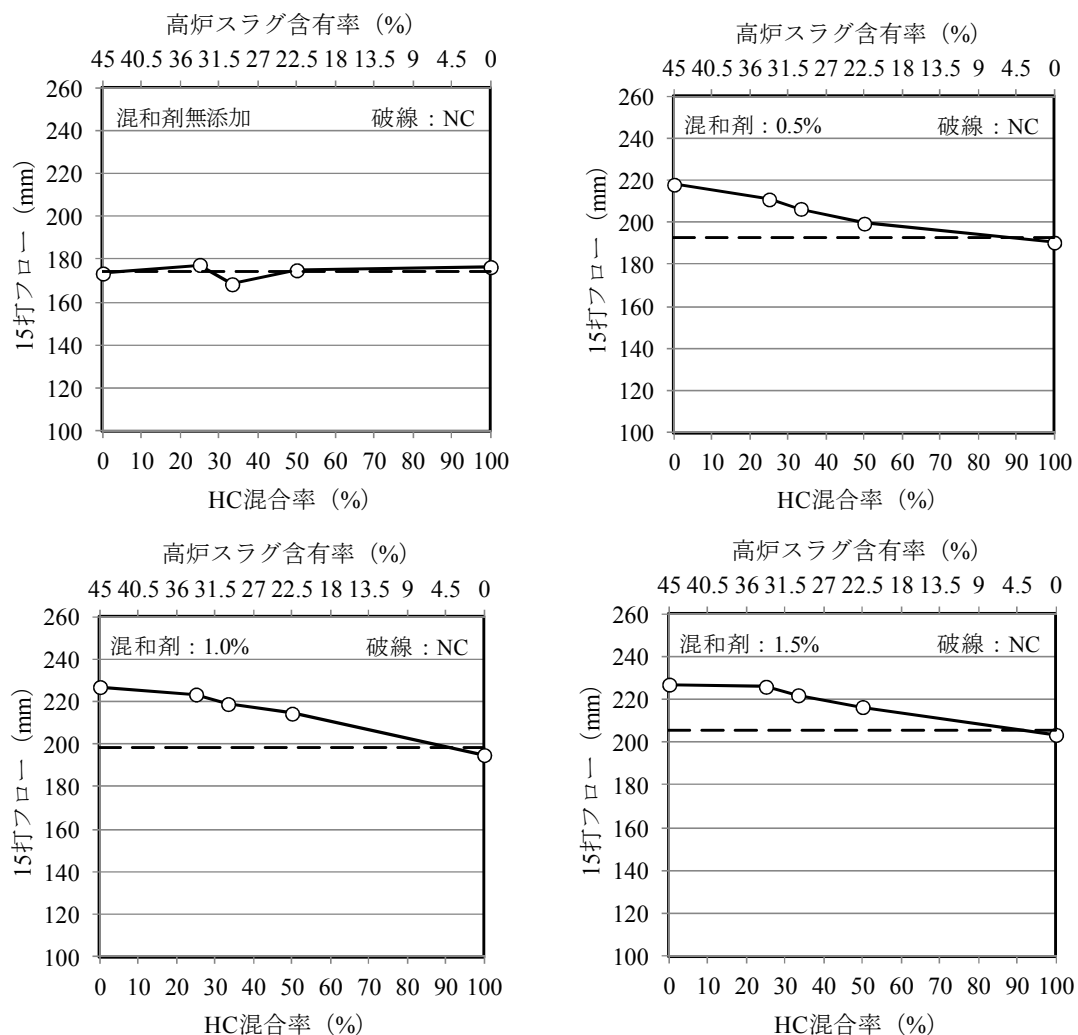
クリートの曲げ強度試験方法」に準拠して曲げ強度試験を行った。強度試験材齢は 1, 3, 7 および 28 日とした。

3. 実験結果

3.1 セメントの基礎物性

図－1 に、混和剤無添加および添加した場合のモルタルの 15 打フローを示す。混和剤無添加の場合、BB および HC 単独の 15 打フローは NC と同等の値を示したが、BB に HC を混合した場合も同様にフロー値は NC と同等であった。一方、混和剤を添加した場合、混和剤添加率に関わらず BB は NC よりも大きいフローを示したが、HC は NC と同程度の値を示した。BB に HC を混合した場合、HC の混合率が増えるとフローは小さくなる傾向を示したが、いずれの混合率でも NC より大きい値を示した。

図－2 に、セメントの凝結時間を示す。BB に HC を混合することにより凝結時間は短縮され、始発、終結ともに HC の混合率にほぼ比例して短くなる傾向を示した。また、BB の凝結時間は NC と比較して 30～40 分程度遅



図－1 モルタルの 15 打フロー

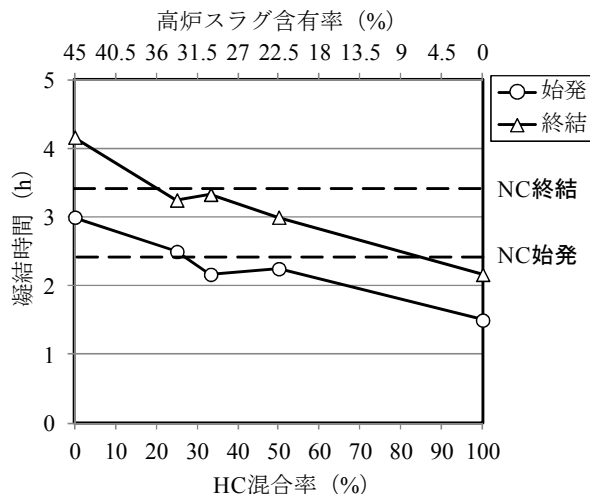


図-2 セメントの凝結時間

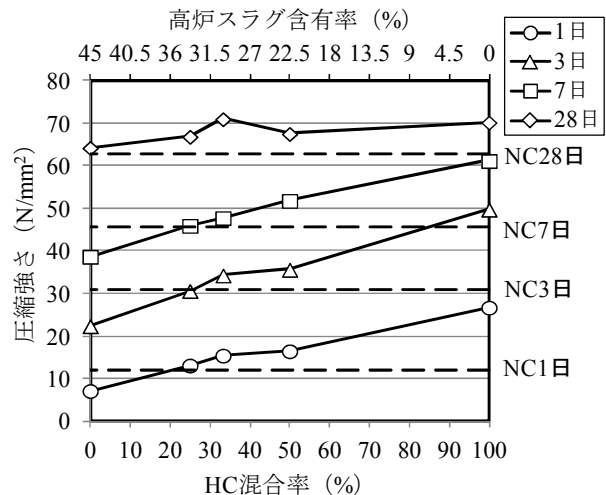


図-3 セメントの圧縮強さ

表-5 コンクリートのスランプおよび空気量

	混和剤添加量 (Cx %)		スランプ (cm)	空気量 (%)
	高性能型 AE 減水剤	AE 助剤		
BB	1.2	0.025	7.0	4.0
BB3-HC1		0.025	5.5	3.9
BB1-HC1		0.020	5.0	4.6
NC		0.012	7.0	3.9

い値を示したが、HC を 25%混合することにより NC と同等の凝結時間を示した。

図-3 に、セメントの圧縮強さを示す。凝結時間と同様、BB に HC を混合することにより圧縮強さは BB 単体より高い値を示し、HC の混合率にほぼ比例して高い値となる傾向を示した。また、BB の材齢 7 日までの圧縮強さは NC よりも低い値を示したが、HC を 25%混合することにより NC と同等以上の値を示し、材齢 28 日においても HC の混合率に関わらず NC より高い値を示した。

3.2 コンクリートのスランプおよび空気量

表-5 に、練上がり直後のコンクリートのスランプ試験および空気量試験の結果を示す。所定のスランプを得るための混和剤添加量は、セメント種類に関わらず同じ値であった。なお、混和剤を添加した場合のモルタルの 15 打フローでは、BB および BB に HC を混合した場合の方が NC よりも高い値を示したが、コンクリートの方がモルタルよりも全容積中に骨材が占める割合が多いことから、セメント種類の違いによる影響が小さかったものと考えられる。

空気量に関して、BB に HC を混合したセメントは、BB 単体より若干少なく NC より若干多い AE 助剤の添加量で、所定の範囲の値を示した。

3.3 コンクリートの凝結時間

図-4 に、コンクリートの凝結時間を示す。BB は NC

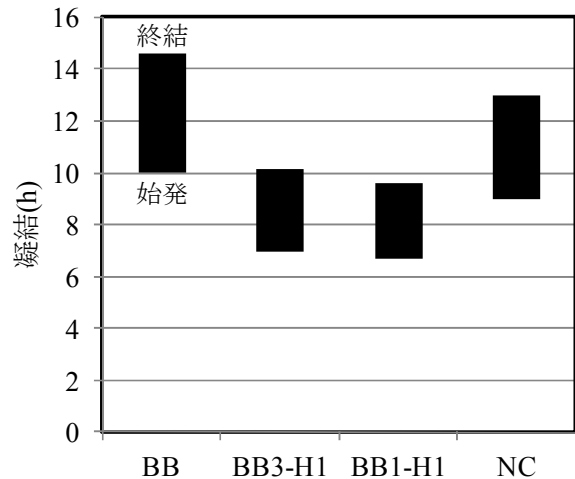


図-4 コンクリートの凝結時間

よりも 1~1.5 時間程度遅い凝結時間を示したが、HC を 25%混合することにより BB よりも大幅に早い凝結時間を示し、NC と比較しても 2 時間以上早い値を示した。一方、HC 混合率が 25%以上では、HC 混合率の増加による影響は小さく、BB1-HC1 は BB3-HC1 より若干早い凝結時間を示した。

3.4 コンクリートの曲げ強度

図-5 に、コンクリートの曲げ強度を示す。BB の曲げ強度は、初期材齢では NC よりも小さい値を示したが、材齢 28 日では NC と同等となり、設計基準強度を満足し

た。一方、BBにHCを混合した場合、いずれの混合率でも材齢3日まではBBより高い曲げ強度を示し、材齢7日以降はBBと同等の値を示した。また、NCと比較した場合、材齢1日ではいずれのHC混合率でもNCより高い値を示し、HC混合率が50%であるBB1-HC1は材齢3日まではNCと同等の強度を示した。

3.5 舗装コンクリートへの適用性評価

表－6に、BBとHCの混合率、BB中の高炉スラグ微粉末を45%と仮定した場合の高炉スラグ微粉末含有率およびその際の高炉セメントの区分を示す。BBにHCを混合する場合、25%混合および33.3%混合では高炉セメントB種相当、50%混合では高炉セメントA種相当の高炉スラグ微粉末の含有率となる。

本検討において、舗装用コンクリートの範囲におけるコンクリート試験結果より、高炉スラグ微粉末の含有率に関わらずフレッシュ性状および凝結時間はNCと同等の性状を示した。また、曲げ強度に関しては、高炉スラグ微粉末の含有率に関わらず設計基準強度を満足するとともに、高炉スラグ微粉末の含有率が高炉セメントB種の規格の範囲にあるBB3-H1では1日強度で、A種の規格の範囲にあるBB1-H1では3日強度までNCと同等の値を示した。

以上より、コンクリート物性の面において、BBとHCを混合して製造した高炉スラグ微粉末の含有率が高炉セメントA種およびB種の規格の範囲にある混合セメントを、舗装用コンクリートへ適用することは可能であると考えられる。

4. まとめ

高炉スラグ微粉末を含有したセメントについて、生コンクリート工場で調整可能な方法としてBBにHCを混合したセメントの基礎物性および舗装用コンクリートへの適用性を検討した結果、以下の知見が得られた。

- (1) BBにHCを混合したセメントの基礎物性として、HCの混合率25%以上でNCと同等の凝結時間および圧縮強度を示した。
- (2) BBにHCを混合したセメントの15打フローは、HCの混合率に関わらずNCと同程度の値を示した。

(3) BBにHCを混合したセメントのコンクリートのフレッシュ性状は、HCの含有率に関わらずNCと同程度のコンクリート性状を示した。

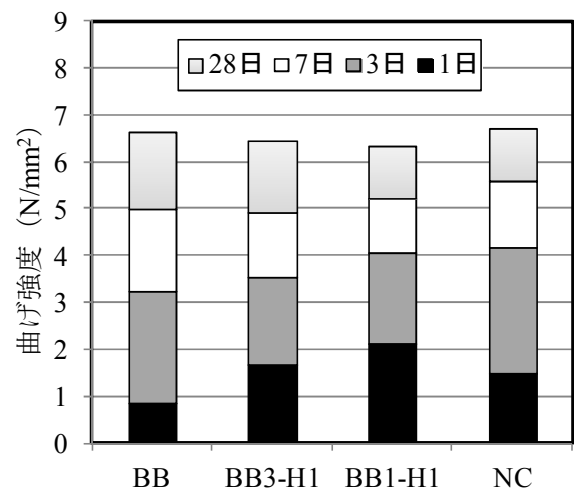
(4) BBにHCを混合したセメントのコンクリートの凝結時間は、HCを25%混合することによりNCより大幅に早い値を示した。

(5) BBにHCを混合したセメントのコンクリートの曲げ強度は、HCを混合することによりNCと同程度の初期強度を示すとともに、設計基準強度を満足した。

(6) コンクリート物性の面において、BBとHCを混合して製造した混合セメントを、舗装用コンクリートへ適用することは可能であると考えられる。

参考文献

- 1) 経済産業省：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－，平成20年度中小企業支援調査，2009
- 2) 岩谷祐太，河合研至：コンクリート舗装の環境影響評価および環境負荷低減策の検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.33，No.1，pp.1889-1894，2011.6
- 3) 新見龍男，中村明則，加藤弘義，徳久陽一，河合研至：高炉セメントを使用した舗装用コンクリートのCO₂排出量，第69回土木学会年次講演概要集，



図－5 コンクリートの曲げ強度

表－6 セメント中の高炉スラグ微粉末含有率および想定される高炉セメントの区分

	セメント混合率 (%)		高炉スラグ微粉末含有率 (%)	想定される高炉セメントの区分
	BB	HC		
BB	100.0	0.0	45.0	B種
BB3-H1	75.0	25.0	33.8	B種
BB1-H1	50.0	50.0	22.5	A種

pp.421-422, 2014.8

- 4) 日本建築学会：高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの技術の現状, 1992
- 5) 宮澤伸吾, 横室隆, 藤原浩巳, 鯉渕清：化学組成を調整した高炉セメントA種を用いたコンクリートの基礎性状, セメント・コンクリート論文集, No.64, pp.244-250, 2010.2
- 6) 谷田貝敦, 二戸信和, 宮澤伸吾, 坂井悦郎：鉱物組成を調整したクリンカーを用いた高炉セメントA種の特性, セメント・コンクリート論文集, Vol.66, pp.338-345, 2012.2
- 7) 伊代田岳史, 村上祐：耐久性向上と環境負荷低減を目的とした高炉セメントA種への少量混合材の適用検討, コンクリート工学論文集, 第25巻, pp.125-134, 2014.6
- 8) 古賀博章, 新見龍男, 中村明則, 加藤弘義：高炉スラグを含有したセメントに及ぼす水酸化カルシウム微粉末の影響, セメント・コンクリート論文集, Vol.67, pp.151-156, 2013
- 9) 日本道路協会：舗装設計便覧, pp.157-158, 2006