

高炉セメント B 種コンクリートの塩分浸透抵抗性に対する高温履歴の影響

広島大学 正会員 〇小川 由布子

広島大学 正会員 村岸 祐輔, 藤山 堯大

広島大学 フェロー会員 河合 研至, 佐藤 良一

防衛省中国四国防衛局 非会員 大石 浩史

1. はじめに

高炉セメント B 種 (BB) は、遮塩効果が高いとされており海洋構造物を含む様々な構造物に使用されている。この BB がマスコンクリートに用いられた場合は高温履歴を受け、その結果自己収縮が増大すると報告されている¹⁾。本研究では、BB を用いたマスコンクリートを想定し、塩分浸透抵抗性に対する高温履歴の影響を検討した。

2. 実験概要

2.1 使用材料および配合

使用材料を表 1 に示す。結合材は高炉セメント B 種を使用した。廃瓦骨材は、島根県産石州瓦の規格外品を破碎したもののうち、1mm～5mm(PCFA)を細骨材に、5mm～13mm(PCCA)を粗骨材に置換し、どちらも 7 日間以上吸水した後、表乾状態に調整して使用した。配合は、表 2 のとおり、単位水量を 165kg/m³、水セメント比を 40%、細骨材率を 45.0%一定とした。ごみ溶融スラグ細骨材 (MS)、PCFA、PCCA の置換率は、それぞれ 30vol.%, 15vol. %および 12vol. %とした。すべてのコンクリートは、目標スランプを 12.5±2.5cm、目標空気量を 4.5±1.0%とし、高性能 AE 減水剤および AE 剤で調整した。

表 1 使用材料

使用材料	種類	性質	記号
セメント	高炉セメントB種	密度:3.04g/cm ³ 、比表面積:3750cm ² /g	C
細骨材	石英粗面岩砕砂	表乾密度:2.60g/cm ³ 、吸水率:2.28%	S
	ごみ溶融スラグ	表乾密度:2.75g/cm ³ 、吸水率:0.55%	MS
	廃瓦細骨材	表乾密度:2.26g/cm ³ 、吸水率:8.92%	PCFA
粗骨材	石英粗面岩砕石1505	表乾密度:2.65g/cm ³ 、吸水率:0.76%	1505
	石英粗面岩砕石2015	表乾密度:2.65g/cm ³ 、吸水率:0.75%	2015
	廃瓦粗骨材	表乾密度:2.27g/cm ³ 、吸水率:9.20%	PCCA
混和剤	高性能AE減水剤(ポリカルボン酸系化合物)		-
	AE剤(特殊アニオン界面活性剤)		-

表 2 配合

配合名	W/C (%)	Air (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)									
				W	C	細骨材				粗骨材			
						計	S	MS	PCFA	計	1505	2015	PCCA
BB40	40	4.5	45.0	165	413	766	766	0	0	952	380	572	0
BB40MS	40	4.5	45.0	165	413	781	536	245	0	952	380	572	0
BB40PCFA	40	4.5	45.0	165	413	751	651	0	100	952	380	572	0
BB40MSPCFA	40	4.5	45.0	165	413	766	421	245	100	952	380	572	0
BB40PCCA	40	4.5	45.0	165	413	766	766	0	0	936	335	504	97
BB40MSPCCA	40	4.5	45.0	165	413	781	536	245	0	936	335	504	97

2.2 養生および試験概要

養生温度は、図 1 に示すとおり、高温履歴を受ける場合 (高温履歴) と 20℃ 一定 (20℃養生) の 2 条件とした。高温履歴は、打込み直後から 3 配合打込み終わるまで 10℃の環境室に静置し、3 配合打込み直後から、マスコンクリート構造物を想定した温度履歴を与えた。20℃養生の供試体は、打ち込み直後から 20℃の恒温室に静置した。すべての供試体は、打込み直後から封緘状態とした。

所定の材齢で、圧縮強度試験、急速塩分浸透性試験および浸せきによる塩化物イオン (Cl⁻) の見かけの拡散係数試験を行った。圧縮強度試験は、JIS A 1108 に準拠し、材齢 1, 3, 7, 28 日に行った。急速塩分浸透性試験は、渡辺ら²⁾の検討に従い、材齢 28 日まで所定の養生を行った φ100x200mm の円柱供試体から、JSCE G 571-1999 に準拠し φ100x50mm の供試体を作製した。陰極側に 0.5mol/L の NaCl 水溶液、陽極側に 0.3mol/L の NaOH 水溶液を用い、直流電流 40V を印加し、12, 24 および 36 時間通電後に、硝酸銀溶液を供試体割裂面に噴霧し、白色着色した浸透深さを測定し、浸透速度から Cl⁻ 拡散係数を求めた。さらに、BB40, BB40PCFA および BB40MSPCFA については JSCE E 572 に準拠し、浸せきによる Cl⁻ の見かけの拡散係数試験も行った。供試体は急速塩分浸透性試験と同様に作製し、濃度 10%の NaCl 水溶液に 182 日間浸せきした後、開放面から 2.5mm ずつ 10 箇所の Cl⁻ 濃度をイオンクロマトグラフィにより測定した。Cl⁻ 濃度分布を Fick の第 2 法則に基づいた拡散方程式の解により回帰分析し、Cl⁻ の見かけの拡散係数 (D_{ap}) を求めた。

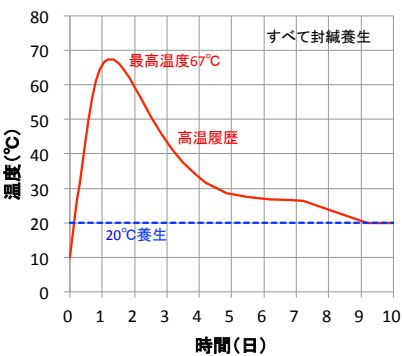


図 1 養生温度

キーワード 高炉セメント B 種, 高温履歴, 塩化物イオン浸透抵抗性, 圧縮強度

連絡先 〒739-8527 広島県東広島市鏡山一丁目 4-1 広島大学 大学院工学研究院 TEL : 082-424-7786

3. 実験結果および考察

3.1 圧縮強度

圧縮強度試験結果を図2に示す。すべての配合で、材齢7日までは高温履歴を受けた場合の圧縮強度が20℃養生よりも大きいが、28日では、BB40PCFAを除き、高温履歴の方が小さくなった。図2に付記した各温度履歴におけるBB40に対する強度比によると、20℃養生においては、PCCAやMSの混入により若干の強度増進があるものの、高温履歴においては若干低下する傾向にあった。

3.2 急速塩分浸透性試験による塩化物イオン拡散係数

急速塩分浸透性試験により求めた Cl^- 拡散係数と材齢28日強度の関係を図3に示す。高温履歴の場合の材齢28日の圧縮強度が20℃養生より小さく、これに伴い、 Cl^- 拡散係数が大きくなった。また、20℃養生の場合は、MSやPCCA混入により圧縮強度が大きくなり Cl^- 拡散係数も小さくなっている。これは、MSの潜在水硬性やPCCAの内部養生によりコンクリート組織が緻密になったことによるものと考えられる。

3.3 浸せきによる塩化物イオンの見かけの拡散係数

浸せき試験により得られた D_{ap} を図4に示す。 D_{ap} は最大で $0.74\text{cm}^2/\text{yr}$ であり、前述の急速塩分浸透性試験による Cl^- 拡散係数と比較すると小さくなったが、高温履歴により増大する傾向は同様であった。また、図4に付記した2007年制定³⁾および2012年制定⁴⁾のコンクリート標準示方書に記載されている Cl^- 拡散係数の予測値と比較すると、本実験において得られた D_{ap} は、2007年版の予測値と同程度以上であり、2012年制定版と比較すると非常に大きかった。

3.4 塩化物イオン拡散係数に対する高温履歴の影響

3.2および3.3で得られた Cl^- 拡散係数の高温履歴と20℃養生の関係を図5に示す。高温履歴の場合と20℃養生の場合は、概ね正の相関が確認された。図5に示す近似式のとおり、高温履歴を受けたコンクリートの Cl^- 拡散係数は、20℃養生の約1.5倍程度に増大することがわかった。

4. まとめ

- 1) 急速塩分浸透性試験および浸せきによる塩化物イオンの拡散係数試験の結果、高温履歴を受けたコンクリートは、20℃養生に対して Cl^- 拡散係数が約1.5倍となり、 Cl^- 浸透抵抗性が小さくなることがわかった。
- 2) 急速塩分浸透性試験により得られる Cl^- 拡散係数は、浸せきによる見かけの拡散係数よりも大きくなった。浸せき試験による塩化物イオンの見かけの拡散係数は、2012年制定版示方書における予測値より非常に大きく、2007年制定版示方書の予測値に近いものであった。

参考文献

- 1) 宮澤伸吾ほか: 高温履歴を受ける高炉セメントコンクリートの自己収縮予測式, コンクリート工学年次論文集, Vol. 30, No. 1, pp. 465-470, 2008
- 2) 渡辺豊ほか: コンクリートの急速塩分浸透性試験による塩化物イオン拡散係数の算定について, コンクリート工学年次論文集, Vol. 24, No. 1, pp. 663-668, 2002
- 3) 土木学会: 2007年制定コンクリート標準示方書[維持管理編], pp. 111-113, 2008
- 4) 土木学会: 2012年制定コンクリート標準示方書[設計編], pp. 154-156, 2013

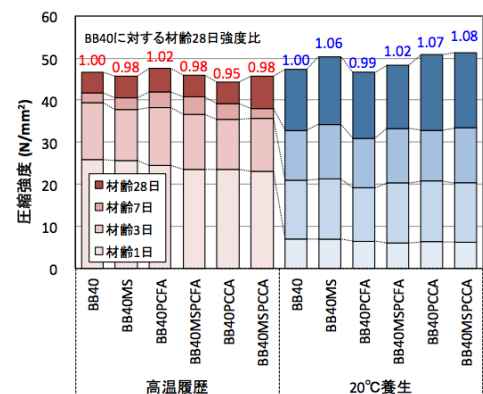


図2 圧縮強度

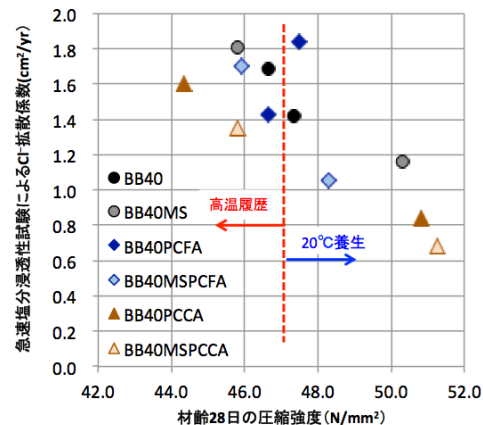


図3 急速塩分浸透性試験による Cl^- 拡散係数と材齢28日圧縮強度の関係

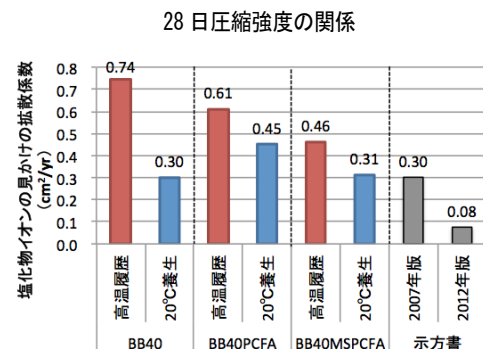


図4 浸せきによる塩化物イオンの見かけの拡散係数

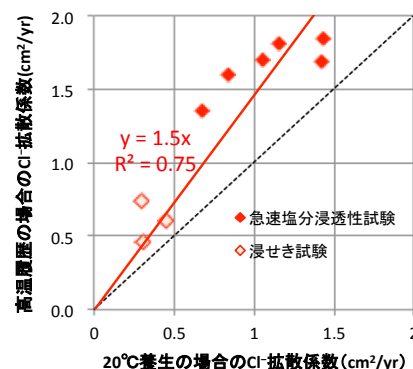


図5 Cl^- 拡散係数に対する高温履歴の影響