

プレストレストコンクリート部材への高炉スラグ微粉末の適用性検討 (塩分浸透抵抗性)

川田建設(株)技術部 北野 勇一, 川口 千大
川田建設(株)西日本統括支店大分事業所九州工場 安藤 功

1. 目的: 本研究では蒸気養生を行い製作されるプレストレストコンクリート部材に高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートを適用するための課題の一つとして塩分浸透抵抗性に着目し, 各種実験的検討を行った。

2. 蒸気養生が塩分浸透抵抗性に及ぼす影響 (実験A)

本実験に用いたコンクリート配合を表1に示す。セメントは早強ポルトランドセメントを用い, 水結合材比一定とし, スラグ種別および置換率を変化させた。試験体は 10×20cm とし, 最高温度 55 を 4 時間保持させる方法にて蒸気養生を行った後, 材齢 28 日まで封をしない状態にて保管した。その後は JSCE-G572 に従い, 供試体を濃度 10%の塩化ナトリウム水溶液中に 7 年弱の間 (2004 年 9 月 ~ 2011 年 6 月), 浸せきした。この試験体を割裂し, 0.1N 硝酸銀溶液を噴霧し, 変色した部分の塩分浸透面からの距離をノギスで測定した。

塩分浸透深さの測定結果を図1に示す。これより, 高炉スラグ微粉末を用いた場合の塩分浸透深さは, スラグ種別や置換率によらず, 早強ポルトランドセメントを用いた配合Hの 1/2 程度となることがわかる。したがって本検討の範囲では, 高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートに対して蒸気養生後に湿潤養生を行わなくとも, 塩分浸透抵抗性が損なわれないことが確認された。

また, 比表面積の大きいスラグを用いると塩分浸透深さが小さくなることは既往の技術指針¹⁾に記述されている傾向と一致したが, スラグ置換率の影響については本検討の範囲では明確でなかった。

3. 蒸気養生後の養生改善策に関する検討 (実験B)

本実験に用いたコンクリート配合を表2に示す。プレテンション方式PC部材の工場製作を想定し, 蒸気養生にて材齢1日で圧縮強度 35N/mm²を確保するよう事前に試験練りを行い, 強度回帰式を求めた上で配合を決定した。スラグ置換率は50%に固定し, スランプ 12cm, 空気量 4.5%が得られるよう混和剤の量を調整した。

供試体は 10×10×20cm とし, 最高温度 55 を 4 時間保持させる方法にて蒸気養生を行ったもの (蒸気養生のみ) と, 蒸気養生後に散水養生を3日間行ったもの (蒸気+散水), 蒸気養生後にケイ酸塩系の改質材をメーカー

表1 コンクリート配合 (実験A)

配合	セメント種別	水結合材比 (%)	スラグ種別	置換率 (%)		
				40	50	60
H	早強	27, 33	-	- (0)		
B4			BS40			
B6			BS60			

早強: 比重 3.13, 粉末度 4630cm²/g の早強ポルトランドセメント BS40: 比重 2.89, 粉末度 4570cm²/g の高炉スラグ微粉末 4000. BS60: 比重 2.91, 粉末度 6190cm²/g の高炉スラグ微粉末 6000. 単位水量は各配合とも 165kg/m³とした。

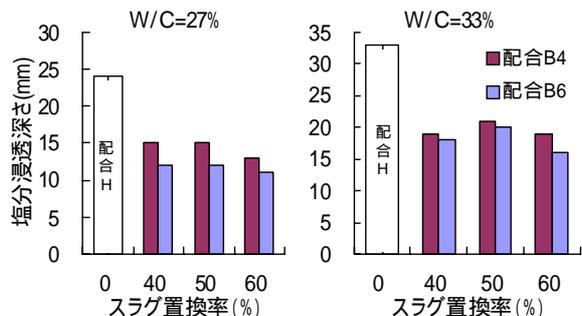


図1 スラグ種別や置換率が塩分浸透深さに及ぼす影響 (実験A)

表2 コンクリート配合 (実験B)

配合	セメント種別	水結合材比 (%)	スラグ種別	置換率 (%)	材齢1日強度 (N/mm ²)
H	早強	36.5	-	- (0)	39.8
B4		29.0	BS40	50	43.7
B6		38.0	BS60		40.2

早強: 比重 3.14, 粉末度 4550cm²/g の早強ポルトランドセメント BS40: 比重 2.91, 粉末度 3920cm²/g の高炉スラグ微粉末 4000. BS60: 比重 2.91, 粉末度 5910cm²/g の高炉スラグ微粉末 6000. 単位水量は各配合とも 160kg/m³とした。



写真1 供試体の暴露状況 (大分県杵築市)

キーワード プレストレストコンクリート, 高炉スラグ微粉末, 塩分浸透抵抗性, 蒸気養生

連絡先 〒114-8505 東京都北区滝野川 6-3-1 川田建設(株)技術部技術課 TEL03-3915-5384

使用量塗布したもの(蒸気+改質)を作製した。これらの供試体の1面を除きエポキシ樹脂塗装を実施した後、材齢28日より飛沫帯に約4.5年間(2005年10月~2010年3月)暴露した。

塩分浸透深さの測定結果を図2に示す。蒸気のみ結果に着目すると、2章同様、高炉スラグ微粉末を用いることで塩分浸透深さが大きく改善することが、実環境への暴露試験の結果からも確認された。ただし、蒸気養生後に3日間の散水等の後養生を行ったとしても、塩分浸透深さがさらに大きく改善することがなかった。

4. 塩分浸透抵抗性に関する詳細検討(実験C)

表2中の配合Hと配合B6を対象に、JSCE-G574に準拠して図3に示すようなEPMA面分析を実施した結果を元に、塩化物イオン(Cl⁻)濃度分布図を作成した。その結果の一例を図4に示す。図には実測値を拡散方程式の解で回帰した結果を併せて示した。さらに、Cl⁻拡散係数の実測値と、既往の技術指針²⁾による予測値を比較した結果を図5に示す。これより、実測したCl⁻拡散係数は配合Hと配合B6とも予測値より小さく、小島ら³⁾の報告と概ね一致することが確認された。また、水和率および空隙率を文献⁴⁾等に従い測定した結果を表3に示す。高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートは、いずれもスラグの水和率が高く、空隙率が早強ポルトランドセメントよりも少なくなっている。このことが、Cl⁻拡散係数の低減に寄与しているものと推察される。

5. まとめ: 蒸気養生を行うプレレストコンクリート部材を想定し、高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの塩分浸透抵抗性を実験的に検討した。その結果、高炉スラグ微粉末を使用しても塩分浸透抵抗性が損なわれないこと(実験A)、また、蒸気養生後に散水等の後養生を行ったとしても塩分浸透抵抗性が大きくは改善しないこと(実験B)が確認された。この理由として、高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートに対して蒸気養生後にとくに後養生を行わなくても、スラグ水和率が高く、かつ空隙率が小さい組織が形成されること(実験C)に起因していると考えられる。

参考文献 1)土木学会:高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの施工指針,1996. 2)土木学会:コンクリート標準示方書設計編,2007. 3)小島ら:塩害に対応した高耐久性PC構造物の性能評価 屋嘉比橋上部工追跡調査,コンクリート工学,2006. 4)高橋ら:画像解析を用いた高炉スラグセメント硬化体のセメントおよびスラグ反応率の測定,コンクリート工学年次論文集,2009.

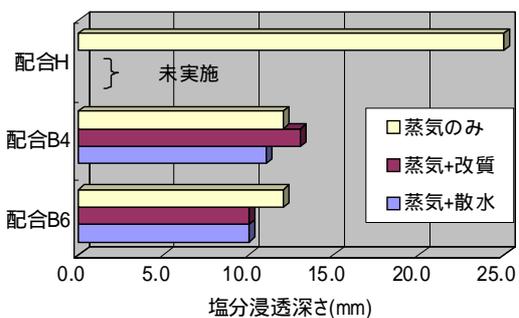


図2 塩分浸透深さの測定結果(実験B)

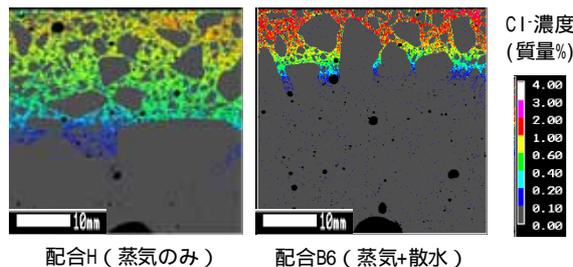


図3 EPMA面分析結果(実験C)

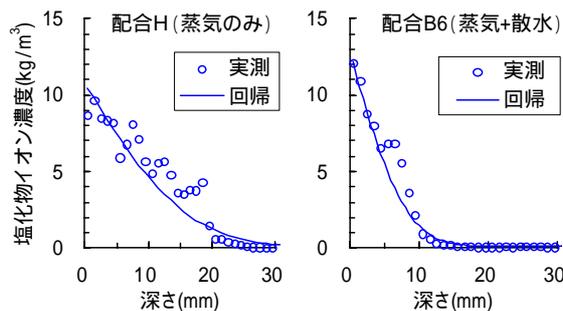


図4 塩化物イオン濃度分布(実験C)

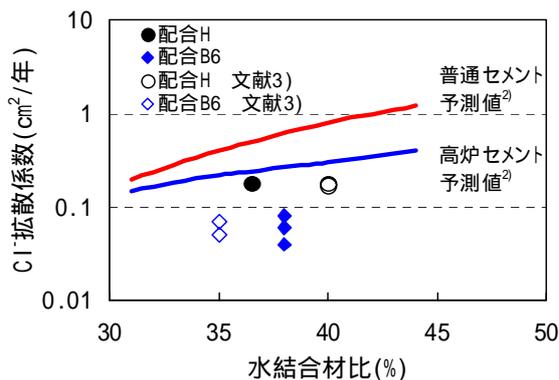


図5 Cl⁻拡散係数の比較

表3 水和率・空隙率・Cl⁻拡散係数(実験C)

配合	養生方法	水和率(%)		空隙率(%)	Cl ⁻ 拡散係数 (cm ² /年)
		セメント	スラグ		
H	蒸気のみ	90	---	12.8	0.176
B6	蒸気のみ	88	87	7.9	0.076
	蒸気+改質	85	85	9.7	0.062
	蒸気+散水	87	85	8.7	0.043