

各種混和材を用いたコンクリートのPC構造物への適用について

Applicability of Concrete using Various Admixtures to Prestressed Concrete Structure

土木研究所寒地土木研究所 ○正員 吉田 行 (Susumu YOSHIDA)
 土木研究所寒地土木研究所 正員 田口 史雄 (Fumio TAGUCHI)
 北海道大学大学院 正員 名和 豊春 (Toyoharu NAWA)
 日鐵セメント(株) 正員 渡辺 宏 (Hiroshi WATANABE)

1. はじめに

プレストレストコンクリート(以下PC)は、コンクリート部材にあらかじめ計画的に圧縮応力が与えられるため、曲げひび割れの発生を許さない制御が可能である。また、導入したプレストレスの減少を抑制したり、大きなプレストレスに耐えられるように、乾燥収縮やクリープが小さい高強度コンクリートが用いられている。このため、PC構造物は一般的な鉄筋コンクリート構造物に比べて耐久性は高いと言える。しかしながら、近年、PC構造物においても塩害による劣化が発生し、対策が必要な状況にある。特に、北海道のような積雪寒冷地においては、沿岸部だけでなく内陸部においても塩化物系の凍結防止剤の散布による塩害や凍害との複合劣化の発生が懸念されることから、コンクリートの高耐久化を図る必要がある。

一方、高炉スラグ微粉末やシリカフェームなどの混和材を用いたコンクリートは、一般に耐久性が高いことが知られている^{1), 2)}。しかし、その種類や混入量により強度発現や耐久性が異なるため、適用が可能となる領域について検討する必要がある。本研究では、各種混和材を用いたコンクリートの強度特性や塩分浸透抵抗性について検討を行い、PC構造物への適用について検証した。

2. 実験概要

2.1 使用材料および配合

表-1に使用材料を示す。ベースセメントは、PCで一般的な早強ポルトランドセメントを用いた。混和材にはそれぞれのJIS規格値を満足する、比表面積6000クラスの高炉スラグ微粉末(以下スラグと略記)、フライアッシュII種(以下フライアッシュと略記)およびシリカフェームを用いた。高性能AE減水剤は、結合材の分散性に応じて2種類用い、空気量を調節するため消泡剤を併せて用いた。

コンクリートの配合を表-2に示す。水結合材比(W/B)は、一般的なPCの水セメント比がプレキャストを含めると35~45%程度であることから、本研究では40%とした。各混和材の置換率は、コンクリートの強度発現および耐久性への影響を考慮して、スラグおよびフライアッシュに関しては高炉セメントおよびフライアッシュセメントのB種相当置換率の上限値とし、それぞれ60%および20%とした。また、シリカフェームの置換率は一般に5~15%が採用されており、本研究では国内外での使用実績が多い10%とした²⁾。なお、コンクリートの目標スランブは $8 \pm 2.5\text{cm}$ とし、目標空気量は $4.5 \pm 1\%$ とした。

表-1 使用材料

セメント	早強ポルトランドセメント(HP) 4770 [*] 、密度 3.15 g/cm ³
混和材	高炉スラグ微粉末(BS) 6020 [*] 、密度 2.89 g/cm ³
	フライアッシュII種(F) 3710 [*] 、密度 2.11 g/cm ³
細骨材	シリカフェーム(SF) 130000 [*] 、密度 2.20 g/cm ³
粗骨材	登別産陸砂 密度 2.71g/cm ³ 、吸水率 1.46%
高性能AE減水剤	白老産碎石 密度 2.67g/cm ³ 、吸水率 1.74%
消泡剤	末端スルホン基を有するポリカルボン酸系 ポリエーテル系

※比表面積(cm²/g)

表-2 コンクリートの配合

記号	セメントの種類	混和材の種類	混和材置換率(%)	W/B	空気量(%)	S/Pの種類	S/P添加量(C*)	s/a	コンクリート単位量 (kg/m ³)					
									W	B	S	G	SP	AE剤(C*)
HP	HP	—	—	40	4.5	B	0.70	46	136	340	876	1025	2.38	0.0030
HBS60		BS	60			A	0.60		128	320	891	1042	1.92	0.0020
HF20		F	20			A	0.60		128	320	890	1041	1.92	0.0005
HSF10		SF	10			B	0.70		136	340	876	1025	2.38	0.0030

SP:高性能AE減水剤(分散性B>A)

2.2 実験項目および実験方法

本研究で行った各実験概要を以下に示す。なお、供試体の養生は、作製後相対湿度90%以上の試験室に静置し、翌日脱型の後所定の材齢まで20℃水中養生を行った。

圧縮強度試験はJIS A 1108に準拠して材齢1、3、7、28および91日の5材齢で行った。

細孔径分布測定は、材齢3、7、28および91日の4材齢で水銀圧入法により行った。

塩分浸透抵抗性は、電気泳動によるコンクリート中の実効拡散係数試験方法(案)(JSCE-G571-2003)に準拠して塩化物イオンの実効拡散係数を求め、実効拡散係数により評価を行った。なお、供試体は、養生による影響を考慮して材齢91日まで水中養生したφ10×20cmの円柱供試体の中央部を、厚さ5cmの円盤状になるように切断したものを用いた。

3. 試験結果および考察

3.1 圧縮強度

図-1に各材齢における圧縮強度試験結果を示す。HPは材齢1日から3日までの強度増加が大きく、それ以降は強度が漸増したが、材齢28日以降の強度増加は他の結合材よりも小さかった。HSF10はHPと同程度の強度で推移したが、材齢28日以降も増加して最も強度が大きくなった。これに対し、HBS60とHF20の材齢3日までの初期強度はHPやHSF10と比較して小さく、材齢3日における強度はHPの7割程度だった。HBS60は材齢3日までの強度発現が最も小さかったが、それ以降の強度の

増加が他の結合材より大きく、材齢7日で HF20 を上回り、さらに材齢28日以降は HP を上回った。一方、HF20 は期待されたほど強度が伸びず、材齢28日以降も他の結合材より 15N/mm^2 程度小さい結果となった。図-2に各材齢におけるコンクリートの細孔径分布を示す。いずれも材齢の経過に伴い、細孔容積のピークは微細孔側にシフトし、細孔容積は減少した。また、HF20 はいずれの材齢においても他の混和材より細孔容積が多かった。これらの傾向は強度発現と概ね一致する。このように、結合材の違いにより強度発現特性は異なることがわかった。しかし、いずれも通常設計基準強度とされる材齢28日強度は 40N/mm^2 以上であり、プレテンション方式で必要とされる 30N/mm^2 以上の強度となる材齢は、HSF10 で1日、HBS60 と HF20 は3日であることから、強度の面からは PC 構造物への適用は十分可能と考えられる。

3.2 塩分浸透抵抗性

図-3に各コンクリートの塩化物イオンの実効拡散係数を示す。図には参考として、普通セメント(記号 OPC)と高炉セメント B 種(記号 BB)のデータを併記している³⁾。なお、HP については現在試験を実施中である。HF20 は OPC と BB の中間で、比較的実効拡散係数は大きかった。これに対し、HBS60 や HSF10 は実効拡散係数が極めて小さかった。試験開始時の材齢91日の細孔を比較すると(図-2)、HF20 は 10nm から 100nm の領域の細孔容積が他の混和材より多く、これが影響していることが考えられる。しかし、その一方で HSF10 は 100nm から $5\mu\text{m}$ の領域の細孔容積が他の結合材より多いものの、強度発現や塩分浸透抵抗性は良好であることから、今後これらについて詳細な検討が必要である。図-4に実効拡散係数とフィックの拡散方程式を用いて行った100年後の塩化物イオンの浸透予測結果を示す。なお、予測に用いた表面塩化物イオン量は、2002年制定土木学会コンクリート標準示方書施工編の塩化物イオンに対する照査で示されている汀線付近に相当する 9.0kg/m^3 を用いた。図より、コンクリートのみで100年後の鋼材位置における塩分濃度を鋼材腐食限界値以下に抑制するには、HF20 ではかぶりが 15cm 程度必要なのに対し、HBS60 や HSF10 では一般的なかぶり 7cm 程度でも十分な抵抗性を有する試算となり、ライフサイクルコストの低減に寄与できる可能性が極めて高いことがわかった。なお、実効拡散係数は通常耐塩害設計で用いられている見かけの拡散係数とは異なるが、通常の拡散による塩分浸透の場合、塩分の固定化や吸着などの影響が含まれることから、実効拡散係数は安全側で評価できると考えられる。

4. まとめ

以上のことから、混和材を用いた場合でも、PCとして要求される強度を確保できること、および混和材の使用により、極めて高い塩分浸透抵抗性を付与できることが明らかとなった。今後は、さらなる適用性を評価するために、寸法安定性などのひび割れに対する検討を行う。

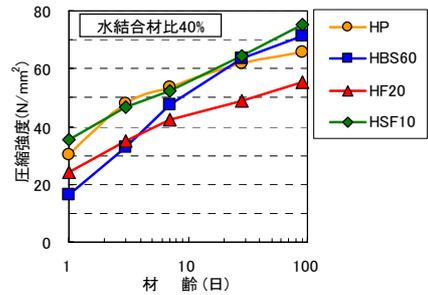


図-1 圧縮強度試験結果

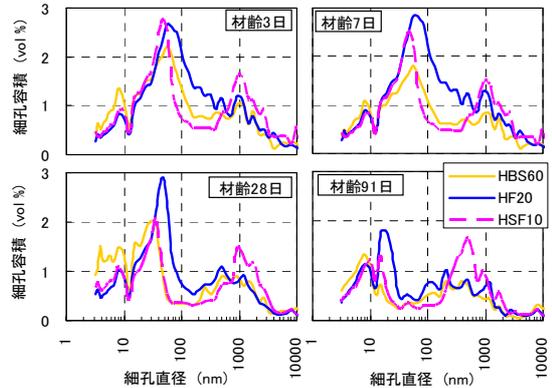


図-2 各材齢における細孔径分布

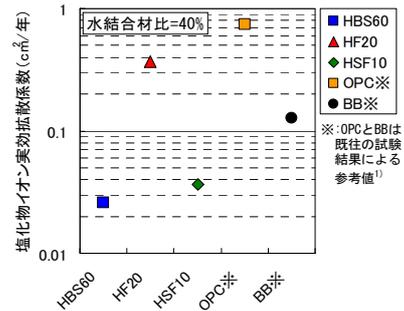


図-3 塩化物イオンの実効拡散係数

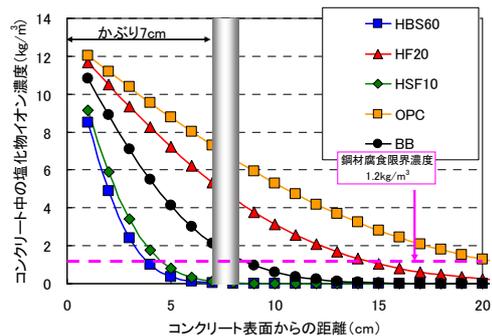


図-4 100年後の塩化物イオンの浸透予測

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、コンクリートライブラリー第86号、平成8年6月
- 2)土木学会：シリカフェームを用いたコンクリートの設計・施工指針(案)、コンクリートライブラリー第80号、平成7年10月
- 3)吉田行、田口史雄、嶋田久俊：ビーライト系セメントおよび高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの塩害と中性化に対する抵抗性、寒地土木研究所月報、No.637、pp.17-25、2006.6