

フライアッシュコンクリートの耐久性について

北電総合設計(株) 正会員 ○齋藤 敏樹
北海道電力(株) 正会員 山上 光憲
北電興業(株) 高橋 昌之

1. はじめに

コンクリートの使用環境においては、土壌、地下水および下水に含まれる硫酸塩による劣化現象や冬期の路面凍結防止剤の散布による塩化物と凍結融解の複合作用による劣化現状が発生し、その対策が課題となっている。本報告は、ほくでんグループで製造・販売しているフライアッシュを使用したコンクリートの耐硫酸塩性能および耐スケーリング性能について検討した結果をとりまとめたものである。

2. 実験概要

2.1 使用材料および配合

使用材料を表-1に、コンクリート配合を表-2に示す。
コンクリートの配合条件は、耐硫酸塩試験の場合、粗骨材最大寸法20mm、スランプ19±1.5cm、空気量5±0.5%、目標強度(材齢28日)36N/mm²であり、普通ポルトランドセメント(N)、高炉セメントB種(BB)および普通ポルトランドセメントにフライアッシュを15%置換したケース(FB)の3水準とした。スケーリング試験の場合、粗骨材最大寸法25mm、スランプ8±1.5cm、空気量5±0.5%、単位結合材量280kg/m³であり、セメントは耐硫酸塩試験に追加してフライアッシュを25%置換したケース(FC)の4水準とした。

2.2 実験項目および方法

(1) 耐硫酸塩試験

JSTM C 7401「溶液浸せきによるコンクリートの耐薬品性試験方法」に準拠し、硫酸ナトリウム10%溶液に材齢28日から2年間浸せきさせ、共鳴振動による動弾性係数を1ヶ月毎に測定し、圧縮強度を1, 2, 3, 6ヶ月, 1および2年で測定した。供試体は、材齢28日まで標準養生とした。

(2) スケーリング試験

ASTM C 672に準拠し、塩化ナトリウム3%溶液により凍結融解を材齢28日から開始し、スケーリング深さを240サイクルまで測定した。供試体は、材齢3日まで湿布マット養生後、温度20℃、相対湿度60%の気中養生とした。

表-1 使用材料

種 類		諸 元
耐硫酸塩	セメント	普通ポルトランド高炉B種
		密度:3.16g/cm ³ 、比表面積:3,440cm ² /g
		密度:3.04g/cm ³ 、比表面積:3,840cm ² /g
	フライアッシュ(JIS II種灰)	強熱減量:1.4%、SiO ₂ :75.5%、MB吸着量:0.58%、湿分:0.12% 密度:2.15g/cm ³ 、比表面積:4,010cm ² /g、45μm残分:16% フロー値比:105%、活性度28日:85%、活性度91日:101%
	細骨材(陸砂S1)	粗粒率:2.72、単位容積質量:1.77kg/L、実積率:67.3% 密度:2.67g/cm ³ 、吸水率:1.50%、安定性損失量:2.2%
	細骨材(陸砂S2)	粗粒率:2.64、単位容積質量:1.79kg/L、実積率:68.6% 密度:2.64g/cm ³ 、吸水率:1.29%、安定性損失量:2.7%
	粗骨材(砕石2005)	粗粒率:6.79、単位容積質量:1.54kg/L、実積率:59.7% 密度:2.63g/cm ³ 、吸水率:2.10%、安定性損失量:7.2%
	混和剤	AE減水剤 変成リグニンスルホン酸化合物 AE剤 アルキルエーテル型陰イオン界面活性剤
	練混ぜ水	上水道水
	セメント	普通ポルトランド高炉B種
スケーリング		密度:3.16g/cm ³ 、比表面積:3,340cm ² /g
		密度:3.05g/cm ³ 、比表面積:3,880cm ² /g
	フライアッシュ(JIS II種灰)	強熱減量:1.2%、SiO ₂ :71.4%、MB吸着量:0.47%、湿分:0.14% 密度:2.15g/cm ³ 、比表面積:3,830cm ² /g、45μm残分:17% フロー値比:106%、活性度28日:86%、活性度91日:95%
	細骨材(陸砂)	粗粒率:2.62、単位容積質量:1.781kg/L、実積率:67.3% 密度:2.69g/cm ³ 、吸水率:1.71%、安定性損失量:2.6%
	粗骨材(砕石2505)	粗粒率:6.96、単位容積質量:1.622kg/L、実積率:62.1% 密度:2.68g/cm ³ 、吸水率:1.90%、安定性損失量:5.3%
	混和剤	AE減水剤 リグニンスルホン酸化合物とポリオール複合体 AE剤 樹脂酸塩系陰イオン界面活性剤
	練混ぜ水	上水道水

表-2 コンクリート配合およびフレッシュ性状

配合ケース		粗骨材の 最大寸法 (mm)	スランプ (cm)	空気量 (%)	セメント 種類	フライアッシュ 置換率 F/(C+F) (%)	水結合材 比 W/(C+F) (%)	細骨材率 s/a (%)	単 位 量 (kg/m³)							フレッシュ性状の実測値			
									水 W	セメント C	フライ アッシュ F	細骨材		粗骨材 G	AE 減水剤	AE助剤 (g/m³)	スランプ (cm)	空気量 (%)	温度 ()
												S1	S2						
耐硫酸塩	N	20	19±1.5	5±0.5	普通ポルト	—	47.0	45.2	172	366	—	323	478	963	3.66	25.62	19.5	4.9	25.0
	BB				高炉B種	—	45.5	44.6	171	376	—	315	467	963	3.76	33.84	20.0	5.2	24.0
	FB				普通ポルト	15	42.0	43.1	167	338	60	302	446	981	3.98	59.70	19.5	5.5	25.0
スケー リング	N280	25	8±1.5	5±0.5	普通ポルト	—	52.5	44	147	280	—	846	—	1,072	0.70	4.48	8.5	4.5	22.0
	BB280				高炉B種	—	51.4	44	144	280	—	845	—	1,072	0.70	5.32	8.5	4.9	21.8
	FB280				普通ポルト	15	49.6	43	139	238	42	828	—	1,094	0.70	19.04	9.0	5.3	21.0
	FC280				普通ポルト	25	48.6	43	136	210	70	827	—	1,092	0.70	25.20	9.0	5.0	21.2

キーワード フライアッシュ、耐久性、スケーリング、耐硫酸塩、圧縮強度

連絡先 〒060-0031 札幌市中央区北1条東3丁目1番地 北電総合設計(株)技術研究所 TEL 011-222-4420

3. 実験結果

3.1 耐硫酸塩試験

材齢28日から硫酸ナトリウム10%溶液に浸せきさせた圧縮強度と動弾性係数の経時変化を図-1に、浸せき104週における供試体状況を写真-1に示す。圧縮強度は硫酸ナトリウムに浸せき後13週までは全ケースで強度増進が認められたが、26週以降NおよびBBの圧縮強度は低下し、52週で100%未満となり104週ではNの圧縮強度は20%以下になった。他方FBの場合、26週以降の強度増進は認められないが104週においても120%の圧縮強度を有していた。動弾性係数は、硫酸ナトリウムに浸せき後13週までは圧縮強度と同様に増進し52週まで変化が認められないが、それ以降、Nの動弾性係数は低下し82週で100%未満となった。他方BBおよびFBは、82週以降動弾性係数が低下し、104週ではBBの場合100%程度、FBの場合110%程度の動弾性係数を有する結果であった。FBの劣化が小さいのは、フライアッシュの反応により生成される水酸化カルシウム量が減少したことやコンクリート組織の緻密化により硫酸イオンの拡散が抑制され耐硫酸塩性能が向上したものと考えられた。

3.2 スケーリング試験

材齢28日から塩化ナトリウム3%溶液により凍結融解させたスケーリング深さの経時変化を図-2に示す。N280、FB280およびFC280のスケーリング深さは同程度であるが、BBは他のケースと乖離し、特に底面のスケーリング深さは8倍程度大きい結果であった。凍結融解開始前の圧縮強度とスケーリング深さの関係(図-3)は明瞭ではなく、スケーリング深さは圧縮強度の影響よりも、凍結融解を受ける部分の細孔構造の影響およびコンクリート中の塩化物イオン濃度の影響が大きいと考えられた。

4. まとめ

(1) 硫酸ナトリウム10%溶液に浸せきさせた場合、フライアッシュコンクリートは普通コンクリートより耐硫酸塩性能は高く、2年間の浸せきにおいても圧縮強度は100%以上であった。

(2) フライアッシュコンクリートの耐スケーリング性能は、単位結合材量が同一の場合においても普通コンクリートと同程度であった。

以上のように、フライアッシュコンクリートは高い耐硫酸塩性能を有し、耐スケーリング性能は普通コンクリートと同等であり、高い耐久性を有していることが確認された。今後そのメカニズムなど検討し、港湾構造物や温泉地域の構造物、污水处理構造物などへの適用性を検証する予定である。



写真-1 硫酸ナトリウム 10%溶液浸せき 104 週後の供試体状況

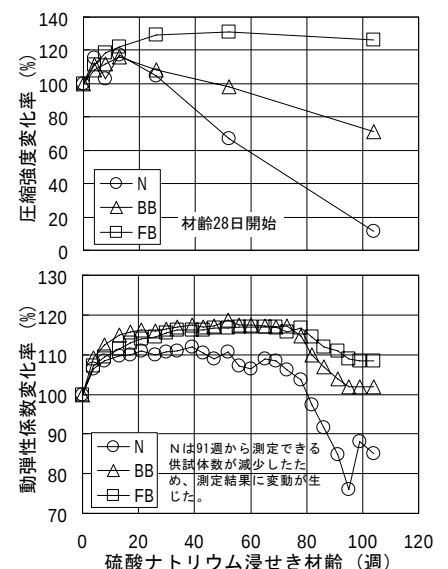


図-1 耐硫酸塩試験結果

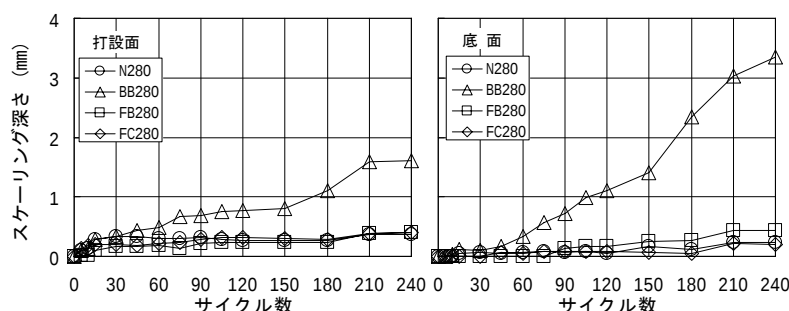


図-2 スケーリング試験結果

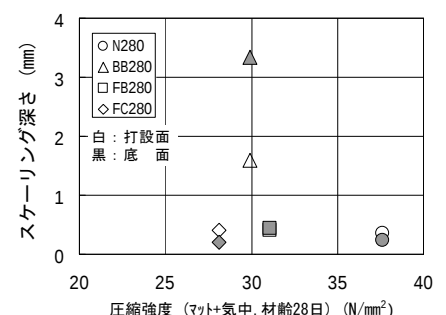


図-3 圧縮強度とスケーリング深さ