各種混和材を用いたコンクリートの凍結融解抵抗性

(独) 土木研究所寒地土木研究所 正会員 ○吉田 行 正会員 田口 史雄

北海道大学大学院工学研究科 正会員 名和 豊春

日鐵セメント株式会社 正会員 渡辺 宏

1. はじめに

コンクリートの凍害は塩分の存在により助長されることが知られており、特に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り凍害と塩害の複合劣化が懸念されている.一方、 プレストレストコンクリート(PC)構造物は曲げひび割れの防止が可能であり、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が、近年、PC構造物においても塩害による劣化が顕在化しており、上述したよ うに、凍害との複合劣化の発生が懸念される.これらのことから、本研究では、PC構造物の耐凍害性向上手法の 一つとして、各種混和材を用いたコンクリートの凍結融解抵抗性について検討を行った.

2. 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 I 種およびII種(以下フライアッシュと略記),シリカ フュームを用いた. 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混合セメント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

表-1 使用材料

セ	メン	٢	早強ポルトランドセメント(HP) 4770 [※] , 密度 3.15 g/cm ³
湿		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 I 種(F I) 5250 [※] , 密度 2.40 g/cm ³
755	1.1		フライアッシュ II 種(F II) 3710 [※] , 密度 2.11 g/cm ³
			シリカフューム(SF) 130000 [※] , 密度 2.20 g/cm ³
細	骨	材	登別産陸砂 密度 2.71g/cm ³ , 吸水率 1.46%
粗	骨	材	白老産砕石 密度 2.67g/cm ³ , 吸水率 1.74%
高性	E能 AE 減	【水剤	末 端 スルホン基 を有 するポリカルボン酸 系
消	泡	剤	ポリエーテル系

※比表面積(cm²/g)

	衣一2 配合														
			混和材	W/P	空気	с D	SP	s/a	コンクリート単位量 (kg/m ³)						
記号	セメントの種類	混和村 の種類	置換率	W/ D	量	5 -	添加量		w	в	s	G	SP	AE剤	
			(%)	(%)	(%)	の種類	(C*%)	(%)		D	9	5	5	(C*%)	
HP		-	-			Α	0.65		139	348	877	1022	2.26	0.0007	
HF I (20)	HP	F	20	40	4.5	Α	0.60	46	128	320	890	1041	1.92	0.0005	
HF II (20)		F	20			Α	0.60		128	320	890	1041	1.92	0.0005	
HSF(10)		SF	10			в	0.70		136	340	876	1025	2.38	0.0030	
HBS(60)		BS	60			А	0.60		128	320	891	1042	1.92	0.0020	
이미 후색 산소드가 소나가 가는 산지 않는 것이 가 나는 산지 않는 것이 가 나는 산지 않는 것이 같이 있다.													~ ~ ~		

SP:高性能AE減水剤(分散性B>A)

た,シリカフュームの置換率は国内外での使用実績が多い 10%とした.なお,コンクリートの目標スランプは 8 ±2.5cm とし,目標空気量は 4.5±1%とした.

3. 実験項目および実験方法

凍結融解抵抗性の評価は、水中凍結融解試験と、一面凍結融解試験によるスケーリング試験を実施し行った. 水中凍結融解試験は、JISA 1148 に準拠して、材齢 28 日より試験を開始した. 試験水は淡水と塩水の2 種類で 行った.

スケーリング試験は ASTM C672 に準拠し, -18℃を 16 時間, 23℃を 8 時間の 1 日 1 サイクルで凍結融解作用を 与えた.供試体は,現場での養生条件を考慮して材齢 7 日までは 20℃環境で湿布養生を行い,その後材齢 28 日ま で湿度 60%,温度 20℃の環境で気中養生を行い試験に供した.試験溶液には,塩害との複合劣化を想定して, 3%NaCl 水溶液を使用した.また,水銀圧入法による細孔径分布の測定を行い,凍結融解抵抗性との関係を調べた.

4. 凍結融解抵抗性

図-1に水中凍結融解試験結果を示す.淡水による試験では、何れの結合材も300サイクル終了時の相対動弾性

キーワード 凍結融解,混和材,スケーリング,細孔構造

連絡先 〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3丁目1-34 寒地土木研究所 耐寒材料チーム TEL:011-841-1719

8

質量変化率 -1

%

動彈性係

女 罪

0

-2

-3 100

90

80

70

60

係数は 85 以上であり,高い耐久性 が確認された.一方,塩水による試 験では、結合材の種類により差がみ られ、スラグを用いた供試体は耐凍 害性が極めて高かった.しかし、早 強セメント単味とシリカフューム は同程度で、300 サイクル終了時の 相対動弾性係数は80%を下回り、フ ライアッシュを用いた供試体では 70%程度まで低下した.このように、試験水の違いに より耐凍害性は異なる結果となった.

図-2 にスケーリング試験結果を示す. 早強単味と フライアッシュ I 種は 100 サイクルまでの試験結果を 示しているが、既に他の結合材よりもスケーリング量 が多い傾向がみられた.一方,300 サイクルを終了し た他の結合材をみると、シリカフュームは75 サイクル 以降スケーリング量が増加する傾向がみられ大きくな ったが、スラグを用いた供試体はスケーリング量が漸 増したもののその量は小さかった.また、フライアッ シュⅡ種を用いた供試体は、スケーリングが大きく抑 制された.このように、スケーリング量は結合材の種 類により異なる傾向がみられた.

5. 細孔構造と凍結融解抵抗性の関係

水中凍結融解試験結果と細孔の関係を調べるために,細孔径の範囲を分割 して耐久性指数との相関を調べた結果,細孔直径 50nm を境に傾向が異なっ たため、ここでは耐久性指数と総細孔容積に対する 50nm 以上の細孔容積比 の関係を図-3 に示す.特に,塩水による試験では,50nm 以上の比較的粗 大な細孔が多いほど耐久指数は低下する傾向がみられた.

図-4 にスケーリング試験における 100 サイクル時点のスケーリング量と 総細孔容積の関係を示す.なお、スケーリングはコンクリート表層の細孔組

織と相関が高いと考えられることから、ここではコンクリート表層 5mm における細孔と供試体の内部の細孔の両 者との相関を調べた.いずれの部位においても総細孔容積が多いほどスケーリング量が少なくなる傾向がみられ, 水中凍結融解試験とは傾向が異なった。一般的には細孔容積が多いほど凍結水量が多くなりスケーリングは進行 するものと考えられるが、それとは逆の傾向を示した.なお、細孔径の範囲を分割し相関を調べたところ、細孔 直径 100nm を境にそれぞれ相関が見られたが傾向は同様であった.そこで表層と内部の細孔容積の差とスケーリ ング量の関係について調べた結果,図-5に示したように,100nm以下における表層と内部の細孔容積の差とスケ ーリングに相関がみられ、この領域の表層と内部の細孔容積の差が大きい、換言すれば表層の細孔容積が多く内 部の細孔容積が少ないほどスケーリン量は大きくなる傾向がみられた.これらのことから、スケーリング劣化に ついては凍結水量だけでなく、未凍結水の移動による内部応力の影響などを詳細に検討する必要がある.

6. まとめ

混和材の種類により、特に塩分が作用した場合の凍結融解抵抗性は異なることが明らかとなった。また、水中 凍結融解試験とスケーリング試験では劣化のメカニズムが異なると考えられ、さらに詳細な検討が必要である.



