

初期凍害を受けた高流動コンクリートの品質低下とその対策に関する基礎的研究

東北大学 学生員 ○高 京澤

東北大学 澤井洋介

東北大学 フェロー 三浦 尚

1. はじめに

近年、締固めを必要としない高流動コンクリートが実用化され、寒冷地においても施工例が増加しつつある。しかし、高流動コンクリートの中には、反応の遅い高炉スラグ微粉末を多量に混和したり、高性能 AE 減水剤を比較的多量に使用することがあるため、凝結硬化が遅れる傾向にある。その傾向は低温環境下でより顕著に現れるので、特に高炉スラグ微粉末を混和した粉体系高流動コンクリートを寒冷地で施工する場合、高炉スラグ微粉末を混和しない普通コンクリートに比べ、初期凍害を受ける危険性が高くなると考えられる。そこで、本研究では高炉スラグ微粉末を混和した高流動コンクリートが材齢初期に凍結してしまった場合を取り上げ、初期の凍結による品質低下とその後の各種対策の効果について比較検討を行った。

2. 試験概要

表-1 に使用材料、表-2 に配合を示す。水結合材比 $W/B=35\%$ 、ブレン比表面積 $4240\text{cm}^2/\text{g}$ の高炉スラグ微粉末を置換率 80% で混和した高流動コンクリートを対象に、スランブフロー $65\pm 5\text{cm}$ 、空気量 $4.5\pm 0.5\%$ を満足するように配合を決定した。以下、BS4-80 と記す。凍結条件は、 -20°C で 12 時間とし、打設後すぐに凍結させることとした。養生条件は、表-3 に示す通り材齢 7 日までは養生方法を変えて、それ以後の材齢では促進養生として 20°C で封かん養生を行った。ここで、封かん養生は寒冷地における現場の状況を考慮したものであり、水中養生や給熱養生は凍結後の対策として行うものである。圧縮強度は、材齢 7 日、35 日、91 日で測定を行った。凍結融解試験は材齢 35 日まで所定の養生を行い、2 日間浸水させた後、急速凍結融解試験や緩速凍結融解試験を行った。急速凍結融解試験は JSCE-G51-1986 法に準拠して行った。緩速凍結融解試験は、急速凍結融解試験中の水和の影響を取り除くために行った¹⁾。細孔径分布は材齢 7 日、35 日、91 日で水銀圧入式ポロシメータにより測定を行った。

3. 試験結果及び考察

図-1 に -20°C で 12 時間の凍結を受けた圧縮強度の結果を示す。図より、凍結を受けた F5S は、凍結を受けない 5S に比べ、強度が大きく低下することが分かる。凍結を受けた後の対策として 5°C で水中養生を行った F5W は、材齢初期では対策による効果が見られないが、材齢が経過するに従って、対策による効果が大きくなる傾向を示している。ただし、凍結を受けない 5S までは回復しないことが分かる。 30°C で水中養生を行った F30W の場合、初期強度は改善されるが、それ以後の材齢では強度発現が期待できず、凍結を受けない 5S の強度より小さい値を示している。

表-1 使用材料の性質

材料	記号	物性・主成分
セメント	C	普通ポルトランドセメント 比表面積: $3250\text{cm}^2/\text{g}$ 、比重: 3.16
高炉スラグ微粉末	BS4	比表面積: $4240\text{cm}^2/\text{g}$ 、比重: 2.92
細骨材	S	山砂、比重: 2.531、吸水率: 2.64%
粗骨材	G	碎石、比重: 2.86、吸水率: 0.98%
高性能 AE 減水剤	SP	ポリカルボン酸系と架橋ポリマー複合体
空気量調整剤	AE	変性アルカリカルボン酸系

表-2 高流動コンクリートの配合

配合名	W/B (%)	s/a (%)	単位量(kg/m³)					SP (B×wt%)	AE (B×wt%)
			W	B		S	G		
				C	BS				
BS4-80	35	52	175	100	400	804	839	1.26	0.7

表-3 材齢 7 日までの養生条件

5S	凍結を受けず、材齢 7 日まで 5°C で封かん養生
F5S	凍結を受けた後、材齢 7 日まで 5°C で封かん養生
F5W	凍結を受けた後、脱型まで 5°C で封かん養生を行い、その後材齢 7 日まで 5°C で水中養生
F30W	凍結を受けた後、脱型まで 5°C で封かん養生を行い、その後材齢 7 日まで 30°C で水中養生

図-2 に耐凍害性の結果を示す。ここで相対動弾性係数は、緩速凍結融解試験により補正を行った値である。図より、凍結を受けない 5S では 300 サイクル終了時で相対動弾性係数が 90% 程度と非常に良好であるのに対し、凍結を受けた F5S は 40% 以下まで相対動弾性係数が低下している。凍結を受けた後、対策として水中養生を行った F5W、F30W は、F5S より耐凍害性が改善されているが、凍結を受けない 5S までは回復しない結果を示している。

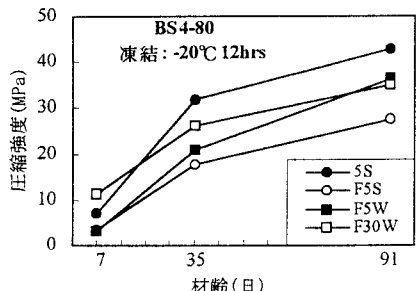


図-1 圧縮強度の結果

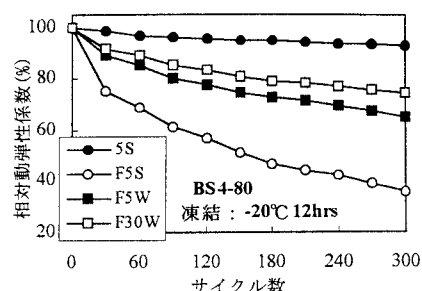


図-2 耐凍害性の結果

図-3 に各材齢における細孔径分布の結果を示す。図より、凍結を受けた F5S は、凍結を受けない 5S に比べ、全ての材齢で、全細孔量が多くなっていることが分かる。また、凍結を受けたことにより、初期材齢では 0.2 μ m 以上の細孔量、材齢 35 日と材齢 91 日では 0.01~0.1 μ m の細孔量が多くなることを示している。更に、F5S の材齢 35 日と材齢 91 日において 0.01~0.1 μ m の細孔量は殆ど変化していないため、この空隙は、その後も緻密化されることはないと思われ。凍結後対策として 5°C で水中養生を行った 5W は、材齢の経過とともに F5S に比べ、全細孔量及び 0.01~0.1 μ m の細孔量が減少しているが、凍結を受けない 5S の全細孔量及び 0.01~0.1 μ m の細孔量よりは多くなる結果を示している。また、対策として 30°C で水中養生を行った F30W は、材齢 7 日において 5S よりも全細孔量は少なくなり、より小さい細孔径に分布している。しかし、材齢の経過に伴い、細孔径分布の変化が少なくなり、材齢 91 日において 5S に比べ、全細孔量及び 0.01~0.1 μ m の細孔量が多くなる結果を示している。

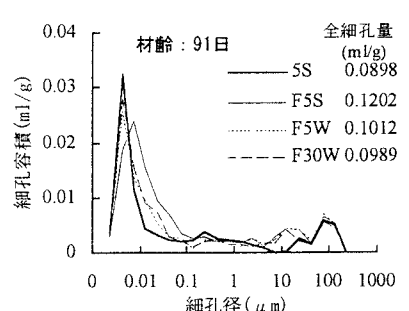
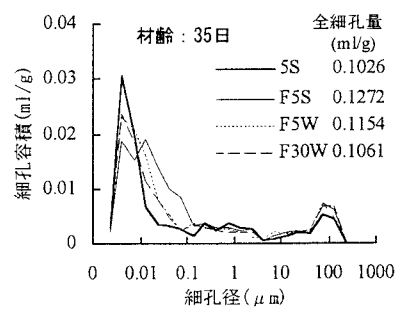
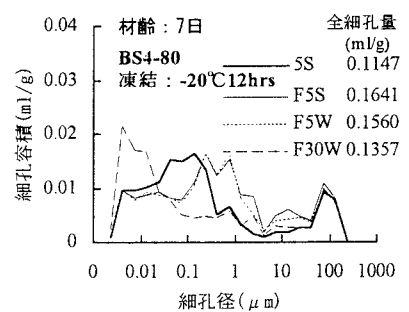


図-3 細孔径分布の結果

4. 結論

- (1) 初期に凍結を受けた高炉スラグ微粉末を混和した高炉スラグ微粉末を混和した高流動コンクリートは、強度、耐凍害性ともに大きく低下する。しかし、初期に凍結を受けた後、養生中に水分を供給するなどの対策により、強度、耐凍害性ともに改善される。ただし、凍結を受けないものまでは回復しない。
- (2) 初期に凍結を受けたことにより、全細孔量や比較的大きい径の毛細管空隙に相当する細孔径が多くなり、細孔組織がポーラスになる。しかし、初期に凍結を受けた後、養生中に水分を供給するなどの対策を行うことにより、全細孔量や比較的大きい径の毛細管空隙に相当する細孔量は少なくなり、細孔組織はある程度緻密化する。ただし、凍結を受けないものの細孔組織までは緻密化しない。

参考文献

1) 三浦尚, 黒川聡: 高炉スラグ微粉末コンクリートの耐凍害性に関する一考察, セメント技術年報, No.43, pp247-250, 1988.