

凍結融解による種々のコンクリートのスケーリングに及ぼす塩化ナトリウムの浸透の影響

東北大学 学生会員 ○高山 千晶

(株) ネクスコエンジニアリング東北 正会員 早坂 洋平

東北大学 正会員 宮本 慎太郎 皆川 浩 久田 真

1. はじめに

近年、高規格道路を中心にコンクリート床版の砂利化が散見されている。ここで、積雪寒冷地で生じた砂利化の多くで、劣化部に塩化物イオンが含有しているため¹⁾、凍結防止剤の散布が砂利化を助長している可能性が考えられる。本研究では、塩化物イオンの作用が種々のコンクリートの組織の脆弱化と凍結融解に起因したスケーリング量に及ぼす影響について評価した。

2. 実験概要

2.1 供試体の概要

コンクリートの配合を表-1に示す。本研究では、材料分離や結合材の違いを検討する目的で、結合材として普通ポルトランドセメント（以下、N、密度：3.15 g/cm³）を用いたコンクリート（OPC1）、材料分離を防ぐ目的でOPC1に増粘剤と消泡剤を添加したコンクリート（OPC2）、Nに高炉スラグ微粉末（密度：2.91 g/cm³）を50 %置換したコンクリート（GGBS）の3水準の供試体で実験を実施した。細骨材は宮城県大和町産山砂（絶乾密度：2.58 g/cm³）を、粗骨材は宮城県丸森町産砕石（絶乾密度：2.81 g/cm³）を使用した。空気量は4.5 + 1.5 %とし、内寸法φ100 × 200 mmと140 × 290 × 70 mmの型枠に打ち込んだ。そして、打込みから24±2時間で脱型し、底面に水道水を張ったプラスチック製容器内で28日間の封緘養生を施した。養生が終了した供試体は、速やかに打込み面以外の面にエポキシ樹脂を塗布し、打込み面を浸せき面として浸せき試験に供した。

2.2 浸せき条件

浸せき溶液として 0.5 mol/L の NaCl 溶液（以下、塩水）、イオン交換水の2種類を用いた。浸せき時の室内温度は 20 ± 2 °C とし、円柱供試体と角柱供試体の浸せき期間はそれぞれ 28 日間と 56 日間とした。

2.3 試験項目

(1) ビッカース硬度の測定方法

表-1 示方配合

記号	W/B (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)							単位量 (W × %)		
			W	C	B	S	G	A ₁	A ₂	増		
										A	B	消
OPC1	55	44.7	165	300	0	782	1100	1.35	0.005	0	0	0
OPC2			165	300	0	782	1100	0	0.005	2	2	0.5
GGBS			161	148	148	782	1100	0.59	0.006	0	0	0

A₁ : AE 減水剤, リグニンスルホン酸系

A₂ : AE 剤, アルキルエーテル系

増 A : 増粘剤 A 剤, アルキルアリンスルホン酸塩

増 B : 増粘剤 B 剤, アルキルアンモニウム塩

消 : 消泡剤, シリコン系

ビッカース用試料
80mm × 40mm × 20mm

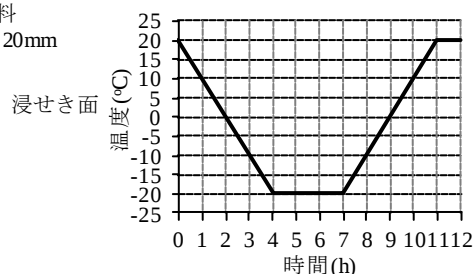
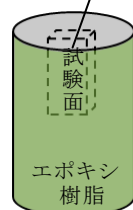


図-1 試料の採取位置

図-2 RILEM-CDF 温度履歴

浸せき試験後の円柱供試体から図-1のように試料を採取し、試料をエポキシ樹脂で包埋した後、試料の面がむき出し、かつ上面と底面が平行になるまで研磨した。浸せき面から深さ 1, 3, 5, 7, 9, 12, 15, 20 mm の位置でそれぞれ 20 回ビッカース硬度計にて圧子を押し込み、得られた測定値の上下 5 点ずつを切り捨て、残りの 10 点の平均をビッカース硬度とした。

(2) 凍結融解試験方法

浸せき試験後の角柱供試体は、打込み底面のエポキシ樹脂を剥がし、側面のみがシールされた状態で、RILEM-CDF 試験を参考にした凍結融解試験によりスケーリング量を測定した。打込み面を下側にして、深さ 5 mm までイオン交換水に浸し、1 サイクル 12 時間の温度履歴（図-2）を繰り返し作用させ、14, 28, 42, 56 サイクルでスケーリング量を測定した。ただし、1 サイクル 12 時間後、凍結した溶液を融解させる目的で、20 ± 2 °C の恒温室に 24 時間静置した。スケーリング量

キーワード 砂利化 凍結防止剤 塩化ナトリウム 凍結融解 スケーリング

連絡先 〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06 東北大学大学院土木工学専攻 TEL 022-795-7427

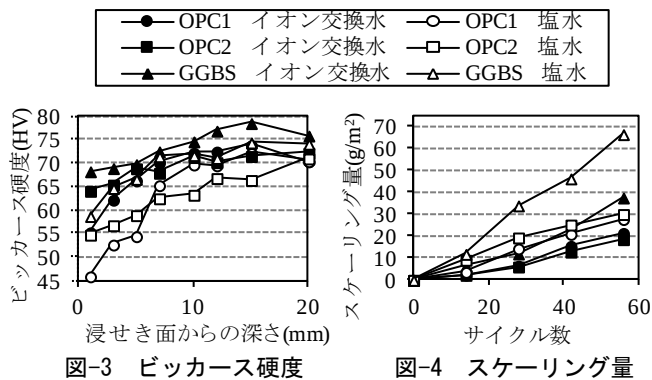


図-3 ビッカース硬度

図-4 スケーリング量

は、サイクル終了後、試験液をろ過し、残渣を 105℃ の乾燥炉で 1 日乾燥させたものとした。スケーリング量は以下の式(1)から算出した。

$$m_n = \frac{\sum \mu_s}{A} \times 10^6 \quad (1)$$

ここに、 m_n ：試験面に対する n サイクル後のスケーリング量(g/m²)、 μ_s ： n サイクル後に測定したスケーリング量(g)、 A ：試験面の表面積(mm²)である。

3. 実験結果および考察

3.1 種々の条件がビッカース硬度に及ぼす影響

図 - 3 にビッカース硬度の深さ方向の変化を示す。図 - 3 より、全ての水準で塩水に浸せきした供試体の方が、イオン交換水に浸せきしたそれと比較してビッカース硬度が低下した。この理由は、既往の研究²⁾を踏まえると、塩化物イオンの浸透によりポルトランドライトが溶脱し、構造が粗になったためと考えられる。

3.2 種々の条件がスケーリング量に及ぼす影響

図 - 4 にスケーリング量の推移を示す。図 - 4 より、コンクリート種類によらず、塩化物イオンの作用によりスケーリング量が増加することが確認できた。また、OPC1 と OPC2 の結果に明確な差は認められなかったが、GGBS は既往の研究³⁾と同様に OPC の系と比較してスケーリング量が大きくなった。

次に、図 - 5、図 - 6 に塩水に浸せきしたときのビッカース硬度の低下率とスケーリング量の増加率を示す。なお、ビッカース硬度の低下率およびスケーリング量の増加率である β は、式(2)より算出した。

$$\beta = 1 - A/B \quad (2)$$

ここに、 A ：イオン交換水に浸せきしたときのビッカース硬度 (HV)あるいは塩水に浸せきしたときのスケーリング量(g/m²)、 B ：塩水に浸せきしたときのビッカース硬度 (HV)あるいはイオン交換水に浸せきしたとき

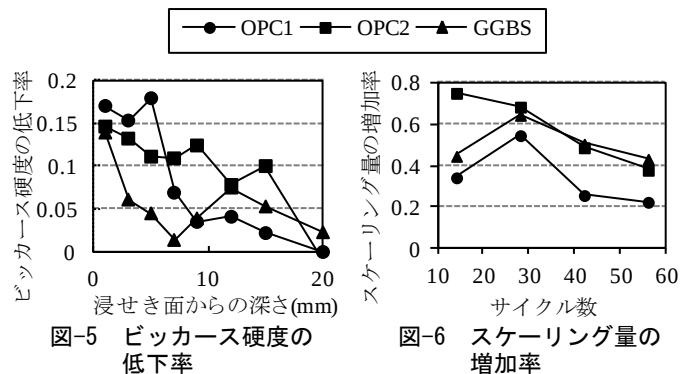


図-5 ビッカース硬度の低下率

図-6 スケーリング量の増加率

のスケーリング量(g/m²)である。

図 - 5 より、GGBS は塩水に浸せきした場合においてもビッカース硬度の低下は表層 5 mm 程度までに留まっており、OPC は材料分離の大小によらず、GGBS と比較して深部までビッカース硬度が低下していることがわかる。このことから、GGBS は OPC の系と比較して塩水の影響は表層に留まっていると考えられる。一方で、図 - 6 のスケーリング量に着目すると、コンクリートの配合により明確な差異が認められないことを踏まえると、スケーリング量はごく表層の塩化物イオン量の影響を強く受けている可能性が考えられる。

4. 結論

塩化物イオンを浸透させたコンクリートは、浸透させていないものと比較して、その種類によらずビッカース硬度は低下し、凍結融解作用によるスケーリング量は増加した。ただし、高炉スラグ微粉末を混和材に用いたものは、用いていないものと比較して、ビッカース硬度の低下は表層に留まった。一方で、塩水の作用によるスケーリング量の増加は高炉スラグ微粉末の使用の有無によらず、ほぼ同一であった。

参考文献

- 1) 早坂洋平ら：東北地方におけるコンクリート床版の劣化状況評価に関する一考察，コンクリート構造物の補修，補強，アップグレード論文報告集，vol.14，pp.603-610，2014
- 2) 井元晴丈ら：塩化ナトリウム水溶液に浸漬させた普通ポルトランドセメント硬化体の溶脱挙動，コンクリート工学年次論文集，Vol.26，No.1，pp.903-908，2004
- 3) 権寧腿ら：微粉末系の高流動コンクリートの気泡組織と耐凍害性に関する研究，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.16，No.1，pp.207-212，1994