

塩類劣化と塩害による複合劣化に関する研究

東京理科大学 学生員 三田 勝也 東京理科大学 正会員 辻 正哲
 東京理科大学 学生員 赤津 雅之 東京理科大学 学生員 佐々木 彬
 東京理科大学 学生員 広瀬 泰之

1 はじめに

コンクリートの表層部分に劣化を生じさせる原因の一つに塩類劣化がある。塩類劣化は部材表面から吸収された雨水や海水中の塩類が部材表層の乾燥に伴って結晶化する際に生じる圧力によって、部材表層すなわちかぶりに微細なひび割れが発生し、剥落を起こす現象である。また、塩類劣化はコンクリート表面から大きく進展するために表面付近の品質に大きく左右される。

一方、養生の影響は、コンクリート内部よりも表層部の品質に大きな影響を及ぼすと考えられる。そのため、コンクリートの表層劣化には養生条件が大きな影響を及ぼすことが考えられる。これまでにコンクリートの脱型時期として、コンクリート標準示方書〔施工編〕に記載されている、日平均気温が15℃以上で普通ポルトランドセメントを使用した場合の養生期間は7日であれば塩類劣化に対する抵抗性が高いことを示してきた。しかし、塩類劣化と塩分浸透との複合劣化については、未だ何ら検討されていない。

本研究では、雨水と海水の乾湿にさらされる場合を想定し、塩類劣化と塩害の複合劣化について検討した。なお、本論では雨水や海水に含まれる塩類の種類と養生条件の関係を報告する。

2 実験概要

2.1 配合および使用材料

コンクリートの配合は、表-1に示す通りである。また、スランプおよび空気量は、それぞれ 12 ± 2.5 cmおよび $4.5 \pm 1.5\%$ の範囲であった。使用材料は、普通ポルトランドセメント（密度 3.16 g/cm^3 ）、鬼怒川産川砂（密度 2.57 g/cm^3 、粗粒率2.58）、山梨産砕石（最大寸法20mm、密度 2.76 g/cm^3 ）である。混和剤には、AE減水剤を用いた。

2.2 供試体の作製および養生方法

供試体は、 $200 \times 300 \times 100$ mm（W×H×D）の平板供試体であり、材齢24時間で脱型の後、材齢28日ま

での養生を変化させた。その養生方法は、気中にさらしたままの気中養生、所定の材齢まで脱型を行なわない封緘養生、所定の材齢まで水中へ浸漬させた水中養生とした。なお、所定の材齢まで封緘養生あるいは水中養生を行った後は気中養生とした。

2.3 使用水溶液

供試体を浸漬させる水溶液の溶質は、海水・雨水に含まれる元素（主に金属元素）と陰イオンのうち、含有mol数の多い3種ずつを組み合わせせた9種（硫酸Na、硫酸Mg、硫酸K、塩化Na、塩化Mg、塩化K、硝酸Na、硝酸Mg、硝酸K）の化合物とした。なお、硫酸塩系以外の化合物水溶液に浸漬させる供試体は、すべて気中養生とした。

2.4 塩類劣化促進試験および塩水浸漬試験

試験開始材齢を28日とし、供試体全体を各水溶液中に48時間浸漬した後、 100 ± 5 ℃の温度で24時間乾燥させた。この乾湿繰返し操作を1サイクルとした繰返し試験により塩類劣化を促進した。1サイクルごとに、測定面（ 200×300 mm）の剥離面積を測定した。その後、その全供試体を質量濃度10%の塩水に1週間浸漬し、塩分浸透深さを測定した。なお、塩分浸透深さの測定は、塩水浸漬終了後、供試体を割裂し 0.1 mol/l の硝酸銀水溶液を噴霧し、白く変色した部分のコンクリートの表面から距離を求め、塩分浸透深さとした。

3 実験結果および考察

図-1は、塩類劣化促進試験結果を示したものである。硫酸Naを用いた塩類劣化促進試験では、繰返しサイクルが小さい範囲での剥離は見られなかったものの、繰返しサイクルとともに乾燥収縮ひび割れに良く似たひび割れが進展し、剥離が生じた。また、全ての期間気中養生とした供試体の劣化が最も大きく、材齢7日までの封緘養生で剥離の進行はかなり抑制されていた。その他の化合物水溶液による塩類劣化促進試験では、繰返しサイクルが進むにつれて微細なひび割れや体積

表-1 示方配合

最大寸法 (mm)	スランプ (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (Kg/m^3)				
					W	C	S	G	Ad
20	12 ± 2.5	4.5 ± 1.5	55	46	189	344	777	980	1.38

キーワード コンクリート、塩類劣化、初期養生、塩分浸透性

連絡先 〒278-8510 千葉県野田市山崎2641番地 東京理科大学理工学部土木工学科 TEL04-7124-1501

E-mail : saori@rs.noda.tus.ac.jp

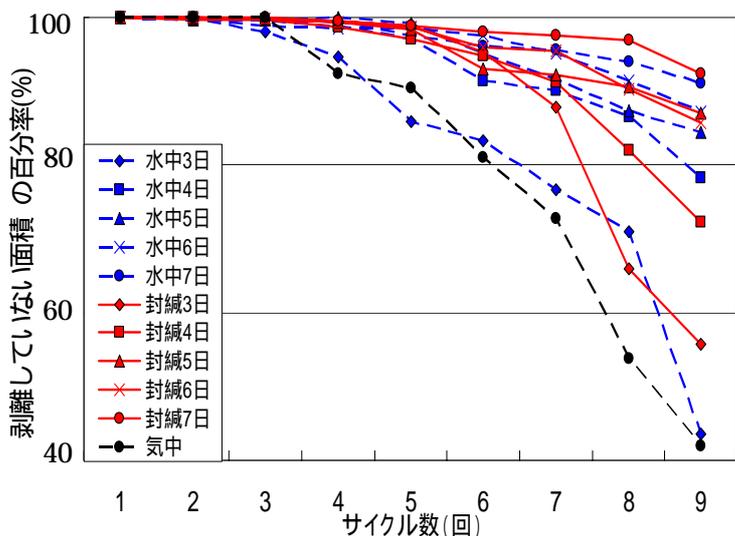


図-1 塩類劣化促進試験結果 (硫酸 Na を使用した場合)

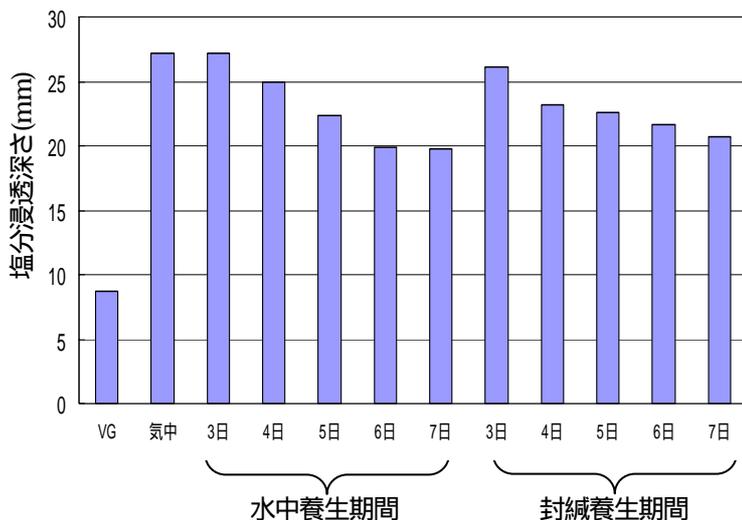


図-2 養生方法・初期養生期間別の塩水浸漬試験結果(硫酸 Na)



図-3 養生方法・初期養生期間別の塩水浸漬試験結果 (硫酸 K)

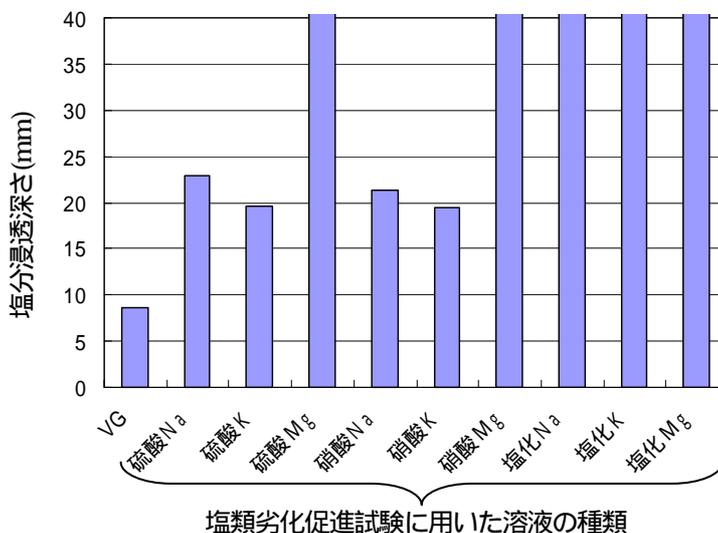


図-4 化合物別塩類劣化促進試験 9 サイクル後の塩水浸漬試験結果 (気中養生)

膨張が認められたものの、剥離や局所的な破壊は確認できなかった。

図-2 および図-3 はそれぞれ硫酸 Na と硫酸 K を用いた場合の養生方法および初期養生期間の影響を示したグラフである。なお、図中の VG は塩類劣化促進試験を全く行っていない供試体についての結果である。気中養生のみのものが最も塩分が浸透しており、水中養生及び封緘養生期間が短いほど塩分が浸透しやすい傾向にあった。しかし、VG と比較するといずれも塩分浸透深さが 3 倍程度となっていた。一方、硫酸 Mg による塩類劣化試験では表面剥離が全く見られなかったにもかかわらず、その後のいずれの養生条件でも塩水浸漬試験で供試体中心部まで全て塩分が全浸透していた。

図-4 は塩類劣化促進試験開始材齢 28 日目まで気中養生をした供試体についての塩水浸漬試験結果である。硫酸 Na, 硫酸 K, 硝酸 Na, 硝酸 K の水溶液での塩類劣化がその後の塩分浸透性に及ぼす影響には、ほとんど差が見られなかったものの、VG に比べるとかなり

塩分浸透深さが大きくなっていた。これは、塩類劣化によりコンクリート表層部が脆弱化したため塩分が入りやすくなったと考えられる。しかし、硫酸 Mg, 硝酸 Mg による塩類劣化を受けると供試体中心部まで全て塩分浸透していた。それは、他の硫酸塩や硝酸塩の場合に比べても塩分浸透する結果となっており、Mg イオンとの複合劣化作用によって塩分は浸透しやすくなると考えられる。

4 まとめ

今回のコンクリートの表層劣化および耐久性に関する実験結果から、初期養生が表層劣化に及ぼす影響は大きく、材齢 7 日目までは水中および封緘養生を行うことが望ましい。また、目視で剥離などの劣化が確認されない場合であっても、表層劣化によりコンクリートが脆弱化することでコンクリートの耐久性に大きな影響を与える可能性があることが明らかになった。また、塩化物イオンは Mg イオンとの複合劣化によって浸透しやすくなる可能性も示された。