

V - 3

硫酸塩の影響を受けたコンクリート部材の凍害に関する実験的研究

東北大学 正員 ○板橋 洋房

東北大学 井戸 和宏

東北大学 フェロー 三浦 尚

1. はじめに

コンクリート部材が凍結融解作用や化学的侵食作用を受けて劣化した場合、その劣化はコンクリート表面から内部へと進行し、それと同時に構造物自体の強度も露出表面部分から内部方向に変化していくものと考えられる。近年、化学的侵食作用の代表的なものとして硫酸塩の環境にある下水管のコンクリートの劣化が深刻な問題となっており、その環境に加えて凍結融解作用も同時に受けた場合、そのコンクリート部材に発生する劣化は更に複雑になると考えられる。

そこで、本研究では硫酸塩の作用と凍結融解作用を同時に受けた場合のコンクリート部材の劣化状況を調べるとともに、そのコンクリート供試体からコアを採取し、当研究室で開発した針貫入試験装置を用いて、供試体露出面から内部に向かって深さ方向の強度分布の測定を行い、検討した。

2. 実験概要

使用したセメントは、市販の普通ポルトランドセメントを、細骨材および粗骨材はそれぞれ山砂(比重 2.60、吸水率: 2.05%)、碎石(最大寸法: 25mm、比重: 2.86、吸水率: 0.96%)を使用した。

水セメント比は 65 および 55% で、単位セメント量はそれぞれ 254、300kg/m³、単位水量は 165kg/m³ と一定であり、5.0% 程度の空気量を有する普通コンクリートを対象とした配合である。

また、硫酸塩環境として、硫酸マグネシウム溶液、実際の海水、3%NaCl 溶液、硫酸溶液を使用し、同時に真水による比較の実験も行った。試験液の種類およびその濃度と凍結融解試験開始材齢 14 日における各水セメント比のコンクリートの圧縮強度 (MPa) を表・1 に示す。

表・1 試験液の種類およびその濃度と材齢 14 日の圧縮強度 (MPa)

		W/C = 0.65	W/C = 0.55
硫酸マグネシウム 0.5、5、10% 濃度、	真水	24.96	32.61
海水、3%NaCl 溶液、	真水	26.54	34.18
硫酸溶液 0.5、1.5、3%	真水	25.04	

凍結融解試験の供試体は 10×10×40cm の角柱体で、打設した翌日に脱型し、凍結融解試験開始材齢まで 21±2℃の恒温水槽で養生した。凍結融解試験は ASTM C-666(A)法により行い、30 サイクルごとに質量変化率および相対動弾性係数を測定した。凍結融解試験開始時の供試体本数は、種類毎それぞれ 4 本である。

コア供試体の採取は、試験開始時の相対動弾性係数が 100%、凍結融解の繰り返しとともに劣化が進行して相対動弾性係数の平均値がそれぞれ 80%、60% になった段階で、試験供試体の中からコア採取用の供試体を取り出し、その供試体から最低 3 本以上のコア供試体を採取した。残りの角柱供試体は次のコア供試体を採取する相対動弾性係数になるまで、凍結融解試験を継続した。

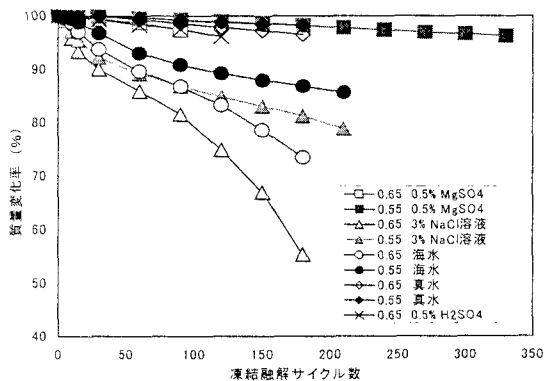
3. 針貫入試験

硫酸塩の環境を想定して、硫酸塩を含んだ試験液によるコンクリート部材の凍結融解試験を行い、質量変化および相対動弾性係数を測定した供試体からコアドリルによって直径約 2 cm の円柱コアを採取する。針貫入試験用のコア供試体(直径約 2cm、長さ約 10cm)は、所定の相対動弾性係数の値になった供試体の側面にサポート部分を取り付け、その部分からコアを採取し、針貫入試験に供した。採取したコア供試体を針貫入試験装置にセットし、その円柱コアを軸方向や円周方向に移動・回転させながら、一定の速度でコア供試体の円周上表面に鋼製の針を貫入させ、針の貫入量と針に加わる荷重を測定し、得られた針の貫入量とその針

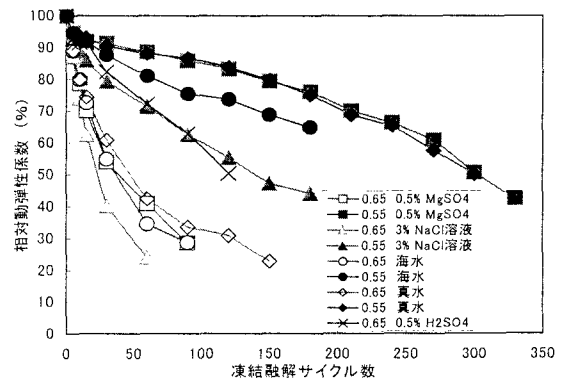
に加わる荷重の関係からコンクリートの強度を推定するというものである。コア供試体に針を貫入させる位置は、抜き取った供試体の露出面から深さ方向に、5,10,15,20,30,40,50mm とし、コア供試体 3 本の平均とした。それぞれの測定点で得られるデータ数は、1箇所当たり円周方向で螺旋状に2回転して40個で、合計で120個である。この針貫入試験では、一般的にコンクリートの強度はモルタル部分の影響を大きく受けていることから、原則としてモルタル部分を針で貫入して得られた結果からコンクリートの強度を推定する。

4. 実験結果および考察

図・1 および図・2 には代表的な濃度の試験液で行った凍結融解試験におけるそれぞれのコンクリートの質量変化率と相対動弾性係数の結果を示す。縦軸には、それぞれ質量変化率および相対動弾性係数を、横軸には凍結融解サイクル数を示す。白抜きと×のものは W/C=0.65 であり、中塗りには W/C=0.55 のものである。



図・1 質量変化率の比較



図・2 相対動弾性係数の比較

質量変化率においては、凍結融解サイクルの前半まで、0.5%硫酸マグネシウム溶液による質量変化は真水で比較を行ったものと同程度で、どちらも供試体全面からの表面剥離による劣化形態であり、初期サイクルにおいては水セメント比の違いによる差は殆ど見られず、0.5%硫酸溶液と0.5%硫酸マグネシウム溶液による質量減少は同程度であった。さらに、濃度が濃い5、10%硫酸マグネシウム溶液で行った場合の劣化形態は0.5%濃度の時の表面剥離とは違って、表面近くにある骨材とモルタルの隙間に入りこんだ試験液の結晶化による膨れや供試体の縁や角の部分から塊状の剥落となる劣化傾向を示した。一般的に凍結防止剤の濃度で最も劣化されている3%NaCl溶液による質量減少の方が水セメント比に関わらず、海水のものよりも大きくなっている。これは、海水の方が濃度も少々高いため、より劣化すると思われたが、海水中には様々な不純物が混入していることから、その中に硫酸塩として含まれている硫酸マグネシウム以外の要因が大きく関係しているものと考えられる。また、水セメント比が大きくなるにしたがって、その質量減少は大きくなる傾向が見られる。

図-2 に示した相対動弾性係数においても、質量変化率と類似した傾向であったが、こちらは水セメント比の違いがはっきりと現れた。下方に位置する W/C 0.65 のものは凍結融解試験開始から30サイクルまでの段階で、コンクリート供試体の相対動弾性係数の値が60%を下回ったが、0.5%硫酸溶液によるものだけは劣化が抑制されている W/C の小さい側に移行し、3%NaCl 溶液のものと類似の傾向を示した。

このことから、今回の実験で行った硫酸塩の環境に加えて、更に凍結融解作用も同時に受けると、不純物を多く含んだ海水よりも3%NaCl 溶液の方の劣化は大きくなり、水セメント比が大きくなる程、短いサイクルで相対動弾性係数60%の値を下回ることがわかった。さらに、0.5%硫酸溶液による試験では、供試体全面から表面剥離の劣化であるが、その濃度が濃くなるにしたがって、硫酸と反応した石膏が供試体表面の全面に生成され、その量も増え、試験液の浸透を大きく抑制している可能性が見られている。他の濃度での凍結融解試験結果とコンクリート内部の強度分布等については、支部発表会で併せて報告する予定である。