

## 硫酸塩の影響を受けたコンクリート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 正員 三浦 尚

### 1. はじめに

近年、硫酸塩の環境にある下水管等のコンクリート部材の劣化が深刻な問題となっており、更にこの環境に加えて、凍結融解作用や凍結防止剤の影響も同時に受けた場合、化学的浸食作用および凍結融解作用によって、そのコンクリート部材に発生する劣化は、より複雑になるものと考えられる。

そこで、本研究では硫酸塩等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(密度2.60、吸水率:2.05%)、碎石(最大寸法:25mm、密度: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/m<sup>3</sup>、単位水量は165kg/m<sup>3</sup>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、硫酸塩の環境として、硫酸マグネシウム溶液、仙台新港から採取した海水、硫酸溶液を使用し、同時に3%NaCl溶液、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

	W/C=0.65	W/C=0.55
硫酸マグネシウム 0.5、5、10%、真水	25.0	32.6
海水、3%NaCl溶液、真水	26.5	34.2
硫酸溶液 0.5、1.5、3%、真水	25.0	31.8

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、凍結融解試験の材齢14日まで水中養生した後、ASTMC-666(A)法により行い、30サイクル

毎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本とした。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%になった時点で、試験供試体の中からコア採取用供試体を取り出し、その供試体から最低3本以上のコア供試体をコアドリルにより採取した。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

硫酸塩等を含んだ試験液による凍結融解試験を行った供試体から直径約2cmの円柱コアを採取し、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。

### 4. 実験結果および考察

図-1、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

キーワード：硫酸塩、凍結融解、凍害、凍結防止剤、針貫入試験

〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 06 東北大学大学院工学研究科土木工学専攻 Tel&Fax : 022-217-7432

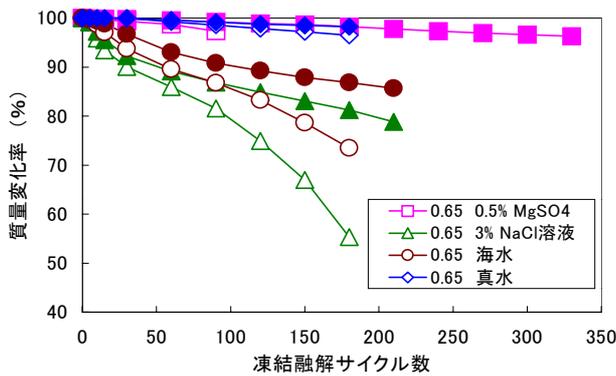


図 - 1 質量変化率の比較

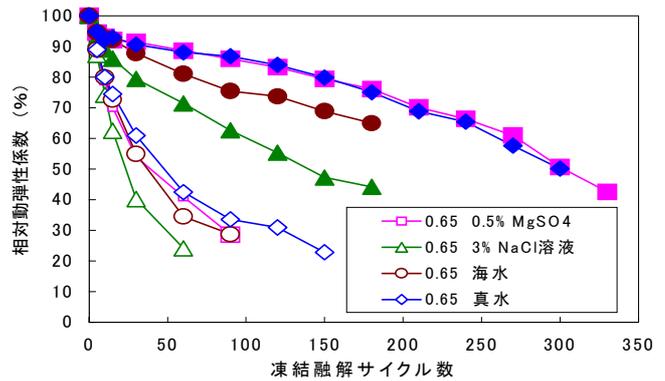


図 - 2 相対動弾性係数の比較

凍結融解サイクル数を示す。白抜きのもは  $W/C=0.65$  であり、中塗りしたものは  $W/C=0.55$  である。

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あることから、海水中に含まれる程度の濃度では、劣化に対して大きく影響を与えていないことがわかる。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%濃度の表面剥離とは異なり、供試体内部に浸透した試験液が骨材とモルタルとの隙間で結晶化して膨れを生じたり、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。また、一般的に凍結防止剤の濃度で最も劣化するとされる3%NaCl溶液のものでは、双方の水セメント比において、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ことから劣化が大きくなると思われたが、海水中には様々な不純物が混入していることもあり、その成分中の硫酸マグネシウム以外の要因が大きく関

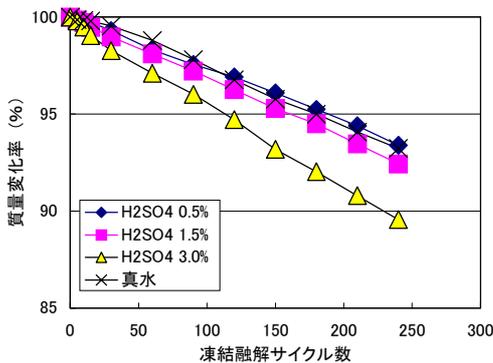


図 - 3 質量変化率

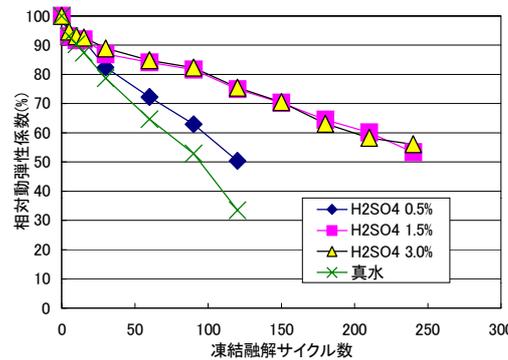


図 - 4 相対動弾性係数

与しているものと考えられる。図 - 2 に示した相対動弾性係数においても、質量変化率とある程度、類似した傾向を示したが、水セメント比の違いがはっきりと現れていることがわかる。図-3、図-4には、水セメント比が65%のものでそれぞれ硫酸溶液による質量変化率と相対動弾性係数を示す。質量減少は、直線的に低下しながら剥離によって劣化しており、硫酸の濃度が高くなる程、その割合は大きくなっている。また、今回の実験では相対動弾性係数においては質量減少の傾向とは逆に硫酸の濃度が低くなる程、低下の割合が大きくなった。硫酸溶液においては表面剥離による劣化を呈するが、その濃度が濃くなるにつれて、硫酸との反応で生じた石膏が供試体表面に張り付き、その厚みを増し、試験液の浸透を大きく抑制している可能性が見られた。現在も実験継続中であるため、内部強度については全国大会で併せて発表致します。

## 5. まとめ

1. 化学的作用と凍結融解作用を同時に受けた場合、その劣化は海水中に含まれる硫酸マグネシウムよりも塩化ナトリウムの方が、より大きく影響を及ぼしている。
  2. 硫酸溶液では、その濃度が高い程質量減少は大きくなるが、相対動弾性係数は逆に抑制される傾向が見られた。この原因としては、その濃度の違いによって生成される石膏量の差によるものと思われる。
- 最後に、本実験を行うにあたり、協力頂いた卒論生の井戸和宏君に謝意を表します。