

凍結防止剤の影響を受けるコンクリートの凍害に関する基礎的研究

東北大学 学生会員 ○後藤田育司

東北大学 正会員 板橋 洋房

東北大学 正会員 三浦 尚

1. はじめに

積雪寒冷地においては、塩化ナトリウム等の凍結防止剤の散布によりコンクリート構造物が劣化をうける可能性がある。近年粉塵公害等により、スパイクタイヤの使用が法令により禁止され、今後冬期の路上交通の安全を確保する目的で、塩化ナトリウム等の凍結防止剤の使用量が年々増加することが予想される。そこで本研究ではコンクリートが硬化した後に、凍結防止剤として塩化ナトリウムが供給された場合のコンクリートの凍害について、塩化ナトリウムが供給されるまでのコンクリートの養生方法や水セメント比、空気量等の条件を変えて凍結融解試験を行ない比較検討した。

2. 使用材料および実験方法

セメントは、市販の普通ポルトランドセメントを用い、細骨材として宮城県黒川郡大和町産の山砂（比重：2.53、吸水率：2.64%）、粗骨材として宮城県伊具郡丸森町産の碎石（最大寸法：25mm、比重：2.86、吸水率：0.98%）を使用した。水セメント比は、45, 55, 65%の3種類で、空気量は、 $2 \pm 0.5\%$ のNon-AEコンクリートと、 $4 \pm 0.5\%$ のAEコンクリートの2種類とした。実験に用いた試験供試体は $10 \times 10 \times 40$ cmの角柱体で、打設後約24時間で脱型し、 $21 \pm 3^\circ\text{C}$ の恒温水槽で養生した。打設後から凍結融解試験を開始するまでの供試体の種類と養生方法及び日数を図-1に示す。また、コンクリートの気中養生の際の湿度は65%R.H.である。本実験で行なった凍結融解試験は、ASTM C-666 A法で、ゴム容器内のコンクリート供試体の回りの水を真水から3%NaCl溶液に変えたものである。なお、比較のために真水での試験も同時に行なった。また、全ての供試体において、試験開始から試験終了まで供試体の上下方向は変化させず一定とした。試験供試体のたわみ一次共振周波数と質量の測定は30サイクル毎に行ない、相対動弾性係数および質量減少率を求めた。

3. 結果および考察

本報告では、主にDF（耐久性指数）と300サイクルにおける質量減少率を中心に述べる。但しNon-AEコンクリートについては供試体が破壊してしまい、180サイクルのデータとした。図-2・図-3はW/Cと質量減少率についてのグラフである。図-2のAEコンクリートの場合いずれの養生条件でもW/Cが大きくなるにつれて、質量減少率も大きくなっている。また養生条件別に比較すると、W-W-Wのものが最も劣化が大きい。図-3のNon-AEコンクリートでは、全体的にAEコンクリートより質量減少率が大きい。また、W-W-WのものはAEの場合と同様であるが、W-A-W、W-A-Nでは逆に、W/Cが大きくなると質量減少率は小さくなっている。

図-4・図-5はW/CとDF（耐久性指数）の関係を表したグラフである。図-4のAEコンクリートの場合、養生条件

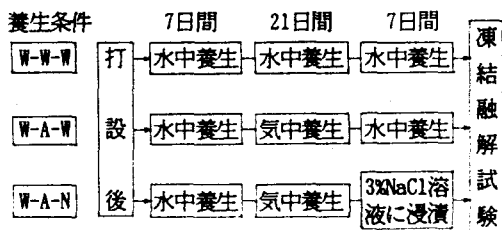


図-1 供試体の種類と養生方法及び日数

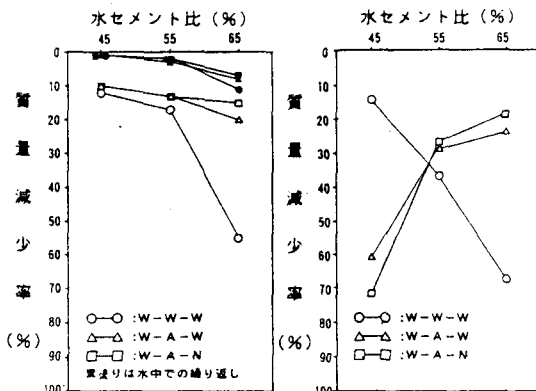


図-2 AEコンクリート W/Cと質量減少率の関係
図-3 Non-AEコンクリート W/Cと質量減少率の関係

によらずW/Cが大きくなるとDFは低下する傾向にある。またW/C=65%の場合には、W-W-Wの落込みが非常に大きい。それに対して図-5のNon-AEコンクリートの場合、全体的に劣化が大きくなっている。また、W-W-WではW/Cが大きくなるに連れてDFが低下しているが、W-A-W、W-A-Nでは逆に、W/Cが大きくなるに連れてDFが向上するという逆転現象がみられる。

この結果から考察するとAEコンクリートの場合、エントレインドエアが存在することにより、凍結時の水の膨張圧やNaClによる浸透圧が軽減されており、Non-AEコンクリートに比べて劣化が小さくなっているものと考えられる。また、W/Cが大きい場合、W-W-Wで劣化が大きいのは、空隙の一部が水で満たされており、膨張圧や浸透圧を緩和する余地が少ないためと考えられる。W/Cが小さいときはペースト自体の強度が向上するため、劣化は非常に小さくなっている。一方、Non-AEコンクリートでW/Cが大きい場合、W-A-WやW-A-Nのように気中養生を行ったものは空隙が多く存在し、これが膨張圧や浸透圧を緩和しているため、劣化が小さくなっていると考えられる。W-W-Wは空隙が水で満たされており、膨張圧や浸透圧を緩和できないため、劣化が大きくなっていると考えられる。W/Cが小さい場合は、水和度が関係していると考えられる。W-W-Wでは水和が十分進行し、コンクリート全体が密になっており、外部からの水の浸透がほとんど無いので劣化は非常に小さくなっている。一方、W-A-WやW-A-Nでは通常のスケーリングとは異なる劣化が進行する。塊状の部分が剥落するボリュームブレイクダウンと呼ばれる劣化である。

図-6はW/C=45% Non-AEコンクリートの劣化の進行を表したグラフである。W-W-Wでは質量減少率は緩やかに増加しているのに対し、W-A-W、W-A-Nでは凍結融解試験開始直後から相対動弾性係数が急落し、60サイクルから質量減少率が急に増加する。この時供試体からスケーリングとは異なり、クラックを境に塊状の部分がポロポロと剥落する。このボリュームブレイクダウンは、比較のために水中で凍結融解試験を行った供試体にも観察された。一方、図-7のW/C=45% AEコンクリートでは、このような現象はみられなかった。

4. 結論

凍結融解作用を受けるコンクリートの劣化は、AEコンクリートでは養生条件によらずW/Cが大きくなると劣化は大きくなる。Non-AEコンクリートでは養生条件により異なり、水中養生を継続したものではW/Cを小さくすれば耐凍害性を向上させることが出来る。しかし、気中養生を行ったものではW/Cを小さくすると、ボリュームブレイクダウンという従来のスケーリングとは異なる劣化を起こしW/Cが大きい場合よりもむしろ劣化が大きくなることがある。

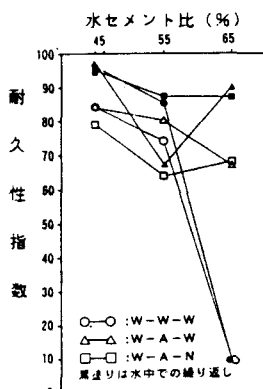


図-4 AEコンクリート

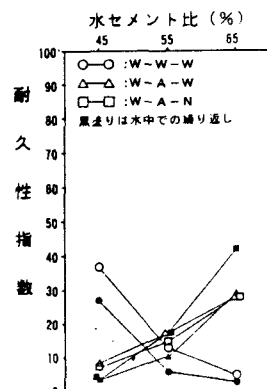


図-5 Non-AEコンクリート

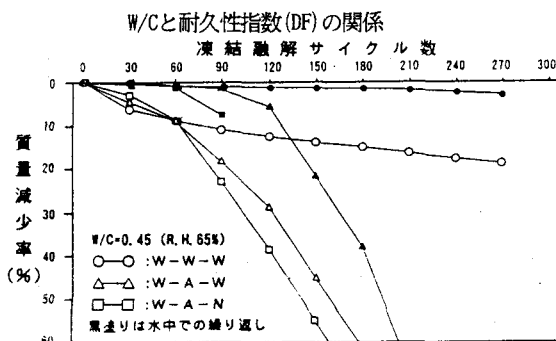


図-6 W/C=45% Non-AE供試体の質量減少率

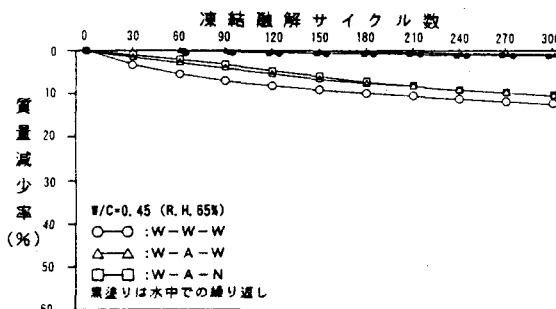


図-7 W/C=45% AE供試体の質量減少率