

[1091] コンクリートの凍害に及ぼす凍結防止剤の影響

板橋 洋房*¹・三浦 尚*²

1. はじめに

東北地方などのような積雪寒冷地のコンクリート構造物においては、塩化ナトリウムなどの凍結防止剤散布によってコンクリート部材に凍害による表面劣化が発生する可能性がある。粉塵公害などによりスパイクタイヤの使用禁止が制度化された現在、冬場の積雪寒冷地においては走行路面の安全性を十分に確保する目的でかなりの凍結防止剤が散布され、その使用量は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部材の凍害による劣化について、塩化ナトリウムが供給される前までのコンクリートの養生方法や水セメント比および空気量の違いによる影響について比較検討した。

2. 実験概要

2.1 使用材料

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丸森産の碎石（最大寸法：25mm、比重：2.86、吸水率：0.98%）を使用した。混和剤にはA E剤（Y社製）および高性能減水剤（K社製）を用いた。凍結防止剤として使用した塩化物は市販の塩化ナトリウム（NaCl 99%以上）である。

2.2 実験方法

水セメント比 W/Cは、45、55、65%の3種類で、その空気量は $4 \pm 0.5\%$ 、 $2 \pm 0.5\%$ の範囲のA EおよびNon-A Eコンクリートの配合とした。単位セメント量はそれぞれ 367, 300, 254kg/m³ である。実験に用いた試験供試体は10×10×40cmの角柱体で、打設後約24時間で脱型し、21±3℃の恒温水槽で養生した。脱型後からASTMの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およびその養生日数を図-1に示す。

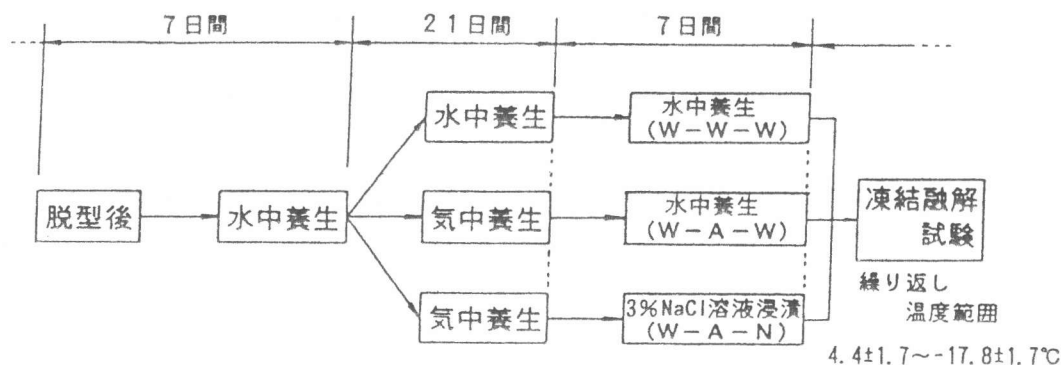


図-1 供試体の種類、養生方法および養生日数

*1 東北大学助手 工学部土木工学科（正会員）

*2 東北大学教授 工学部土木工学科、工博（正会員）

これらの養生方法および養生日数は、RILEMの『凍結防止剤の影響を受けるコンクリートの凍害試験方法』を検討している委員会において、実際の構造物の環境に合うようにとして定めた養生条件を用いた。

試験供試体は、脱型後、全て材齢7日まで水中養生を行ない、その後、

- ①材齢35日までの28日間、水中養生を継続したもの（記号：W-W-W）
- ②材齢28日まで気中養生した後、材齢35日までの7日間、水中養生したもの（記号：W-A-W）
- ③材齢28日まで気中養生した後、材齢35日までの7日間、3%NaCl溶液に浸漬したもの（記号：W-A-N）の3種類とした。

気中養生の際の湿度による影響についてはあまり違いがないということがわかったので[1]、恒温室の温度および湿度はそれぞれ 20℃、65%R.H. と一定にし、これらの供試体についてそれぞれの養生を行なった後、材齢35日で凍結融解試験を行なった。

本実験で行なった凍結融解試験は ASTM C-666の(A)法であるが、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溶液に変えている。なお、比較のため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、凍結融解試験開始から終了まで試験供試体の上下方向は変化させないで一定とした。

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、それぞれの測定サイクルにおける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

塩化物の作用による凍害は、おもにコンクリートの表面剥離による劣化であるので、本報告では質量減少率についてのみ述べる。

図-2には、3%NaCl溶液中での繰返し試験の際の供試体に入ったゴム容器内のNaCl濃度を測定した結果を示す。この値は、試験槽内において、ゴム容器と供試体の隙間から細い管を入れ、供試体上端部から深さ方向に 5cm間隔で試験液を採取し、Cl⁻イオン量からNaCl量を換算したものである。

この図からもわかるように、各サイクルでの試験開始時には供試体を入れたゴム容器に新しい 3%NaCl溶液を入れるが、測定を行なう30サイクル経過後では供試体上部から30cm程度まではNaCl濃度は大変低く、とくに上部から10cm程度までは殆ど真水に近い状態であった。そして、深さ30cmより深くなるにつれて急激にNaCl濃度が高まり、ゴム容器の底部においては試験液濃度の5~6倍程度になっていた。

したがって、この部分では凍結融解試験中完全には凍結していないことが考

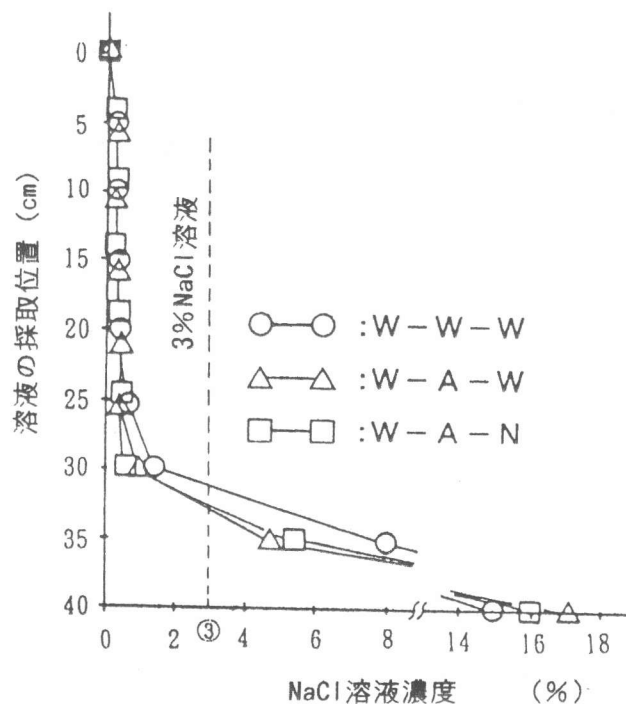


図-2 ゴム容器中の供試体深さ方向のNaCl溶液濃度(%)

えられる。このことは、測定前にゴム容器から試験的に供試体を取り出した際に、ゴム容器の底部の約10cmの供試体部分には殆ど氷が付着していないことから確認することができた。

次に、水セメント比45、55、65%のAEコンクリートの試験結果について述べる。

図-3には、W/C=45%(AE)の供試体の各サイクル数における質量減少率の結果を示す。(図中の黒塗りのデータは、比較のために真水で繰返し試験を行なった供試体1本の値である。)これより、外部から塩化ナトリウムの影響を受けた場合のコンクリートの表面劣化は、その影響を受けない真水の試験値より大きくなっていることがわかる。これは外部から侵入する塩化物の影響によるものと思われる。

各供試体における質量減少は、気中養生後に3%NaCl溶液に浸漬したものの、同養生後に水中養生したものの、その次に水中養生を継続したものの順で大きくなる傾向を示した。このうち、水中養生を継続した供試体においては、他のものに比べ、試験サイクル初期の段階だけ質量減少が大きくなっているだけで、それ以後の60サイクル以降における劣化の勾配は他の養生条件のものとはほぼ等しい。

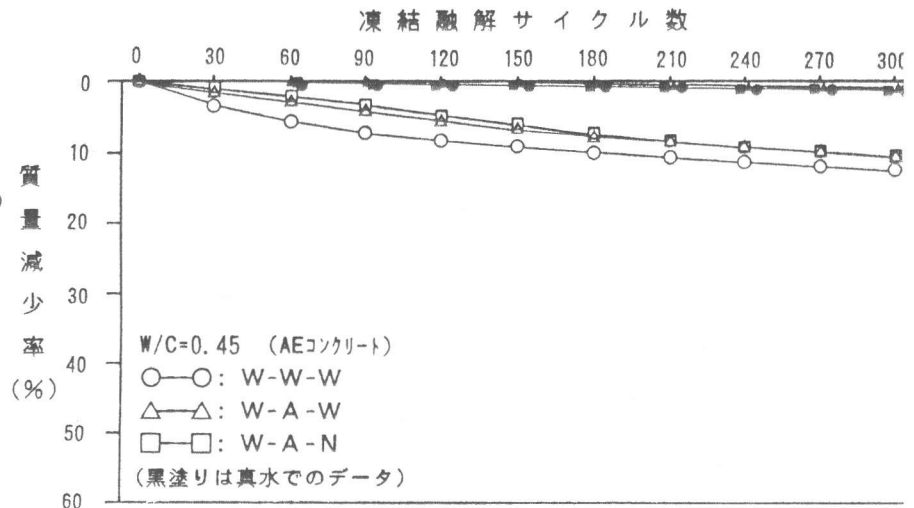


図-3 W/C=45%(AE)供試体の質量減少率(%)

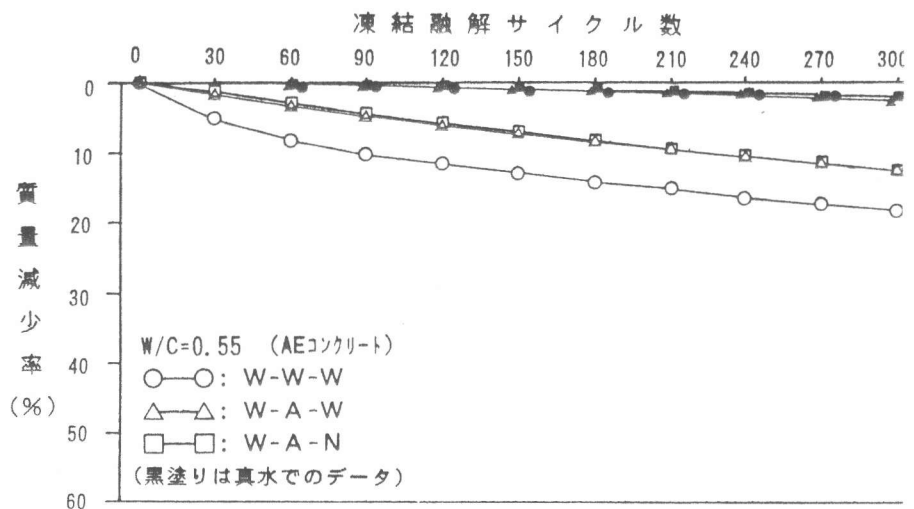


図-4 W/C=55%(AE)供試体の質量減少率(%)

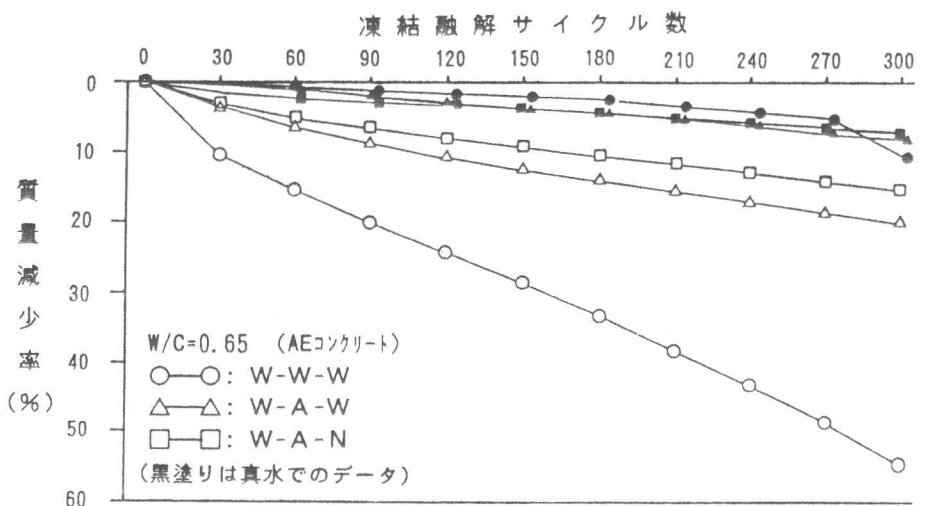


図-5 W/C=65%(AE)供試体の質量減少率(%)

すなわち、この場合養生の途中で乾燥させても劣化におよぼす影響が現れるのは供試体の乾燥の影響が残っている時期のみであり、全体としては今回比較した範囲の養生条件の影響にはあまり違いがないことを示している。また、質量減少の値は、試験終了時でいずれも十数%程度であった。

図-4には、W/C=55%(AE)の供試体の各サイクル数における質量減少率の結果を示す。(黒塗りのデータは前述と同様である。)この図においても供試体は外部から侵入する塩化物の影響を大きく受けており、コンクリートの表面劣化はその影響を受けない真水の場合より更に大きくなっていることがわかる。3%NaCl溶液中での質量減少率の増加する順序は、水セメント比が45%の結果と同様であり、その中でも試験開始までの水中養生を継続したものの質量減少が最も大きく約20%の値となっている。この供試体における表面劣化は試験サイクル初期の段階ではW/Cが45%のものより大きくなっているが、繰返し回数60サイクル以降における劣化を曲線の勾配で比較してみると他の養生条件のものとはほぼ等しい勾配で質量減少していることがわかる。

図-5には、W/C=65%(AE)の供試体の各サイクル数における質量減少率の結果を示す。(黒塗りのデータは前述と同様である。)この図において真水での繰返しの質量減少は水セメント比が小さいものに比べて若干ではあるが大きくなっている。3%NaCl溶液中での繰返しの供試体では外部からの塩化物の影響を大きく受けており、コンクリートの表面劣化による質量減少はその影響を受けない真水での繰返し試験に比べ、かなり大きくなっていることがわかる。水セメント比が大きい65%のものでは、水セメント比45、55%のものに比べてもかなり質量減少が大きいことがわかる。水中養生を継続した供試体の質量減少は、繰返しの初期の段階でかなり大きく、更にその後の劣化の勾配は養生の途中で乾燥させた供試体のもの以上に急勾配で質量減少が起こっている。このことより、水セメント比が65%の供試体においては、コンクリートの養生条件がその後のコンクリートの劣化に大きく影響していることがわかる。すなわち、外部から塩化物の影響を受けて凍害が発生した場合、AEコンクリートであっても水セメント比が大きくなるにしたがって表面劣化による質量減少が顕著に現れる。また、凍害による水セメント比の異なるコンクリートの質量減少はその劣化曲線の勾配によって比較することができるものと考えられる。更に、図-5から水セメント比が大きい場合であっても、養生の途中で乾燥させることにより、凍害による劣化をある程度抑制することができることも示している。

次に、水セメント比が45、55、65%のものでNon-AEコンクリートの試験結果について述べる。

図-6には、W/C=45%(Non-AE)の供試体の各サイクル数における質量減少率の結果を示す。(黒塗りのデータは前述と同様である。)

比較で行なった真水

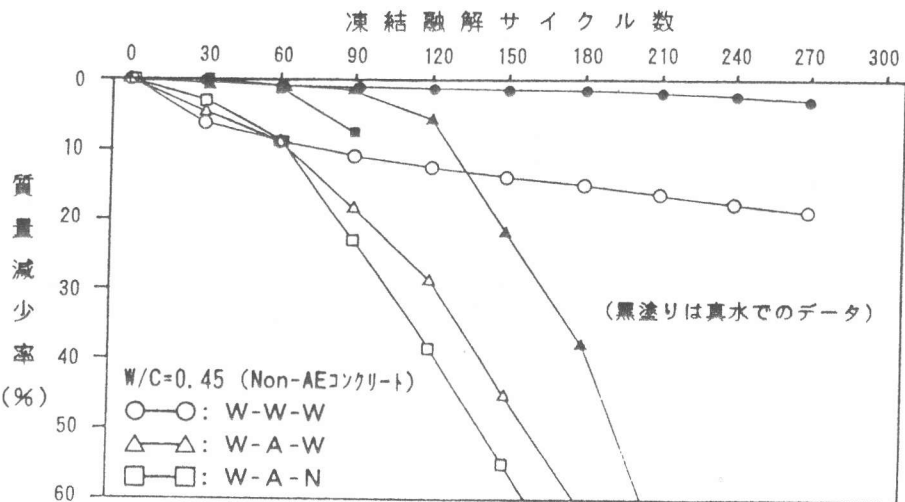


図-6 W/C=45%(Non-AE)供試体の質量減少率(%)

での繰返しにおいて、水中養生を継続した供試体ではA Eコンクリートの質量減少と同様に表面剥離によって劣化しているが、養生の途中で乾燥させた供試体では塊状の剥落による急激な劣化を示している。また、3%NaCl溶液中においても水中養生を継続した供試体の場合は前述したA Eコンクリートの場合と同様な表面剥離による劣化であるが、乾燥させた場合には塊状の剥落による急激な劣化であった。繰返し回数30サイクルまでの各供試体の質量減少の順序はA Eコンクリートの場合と同様な傾向を示している。

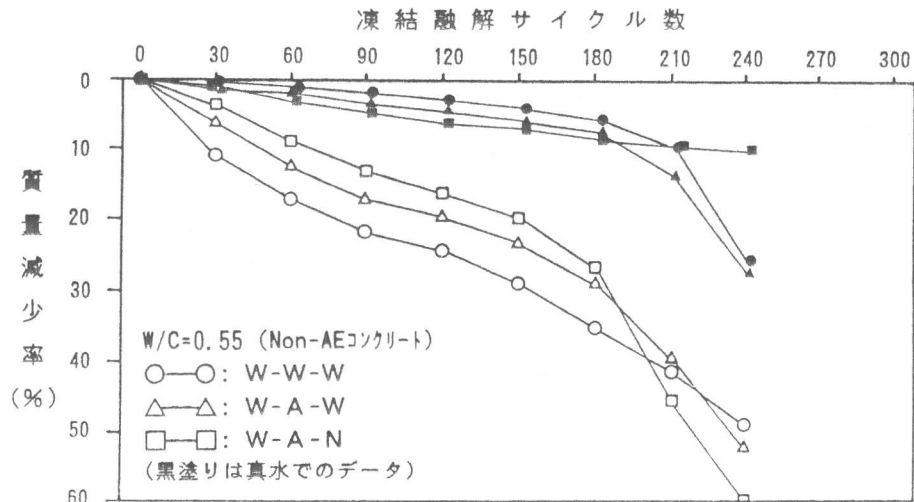


図-7 W/C=55%(Non-AE)供試体の質量減少率(%)

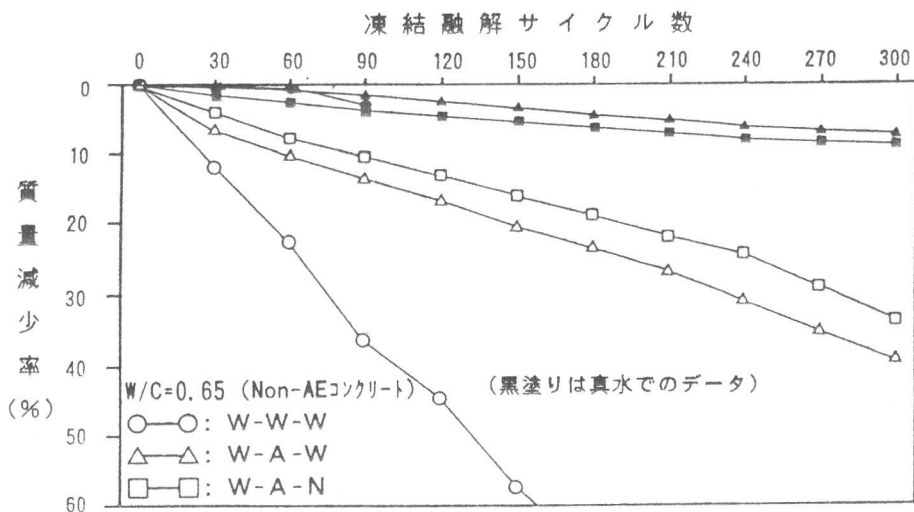


図-8 W/C=65%(Non-AE)供試体の質量減少率(%)

図-7には、W/C= 55% (Non-AE)の供試体の各

サイクル数における質量減少率の結果を示す。(黒塗りのデータは前述と同様である。)

この図において、同配合のA Eコンクリートの場合と質量減少する供試体の順序や質量減少の傾向は類似しているがA Eコンクリートに比べて、全体的に質量減少は大きくなっている。しかし、150サイクルあたりから塊状の剥落による急激な劣化を示した。これは真水での場合および3%NaClの場合の両者で同様な傾向を示している。表面剥離による劣化を示す初期の部分を水セメント比45%のものと比べると、水セメント比55%のものの方が劣化は大きくなっているが、これは水セメント比の違いが大きく影響しているものと思われる。また、途中で乾燥させたものは水中養生を継続したものに比べ、質量減少は小さくなっている。

図-8には、W/C= 65%(Non-AE)の供試体の各サイクル数における質量減少率の結果を示す。(黒塗りのデータは前述と同様である。)

この図において、同配合のA Eコンクリートの場合と同様な質量減少の傾向を示しているが、質量減少の劣化曲線の勾配はさらに大きくなっていることがわかる。また、真水での繰返しにおいては水中養生を継続したものは120サイクルにおいて完全に破壊してしまったので、質量減

少も測定できず、A Eコンクリートのものに比べて早期に劣化している。水セメント比の大きいNon-A Eコンクリートの場合には、A Eコンクリートのものに比べ全体的に質量減少は大きくなっているが、コンクリート内の空気量が少ないにもかかわらず、途中で乾燥させることによりコンクリートの劣化を抑制していることがわかる。

これらのことから、Non-A Eコンクリートであっても水セメント比が小さい場合には水中養生を継続することにより質量減少を抑制することができるものと考えられるが、逆に乾燥の影響を受けると急激な質量減少を引き起こす原因となる。また、水セメント比が大きい場合には、A Eコンクリートの場合に比べ全体的に質量減少は増加するが、同様に途中で乾燥させることにより質量減少を大幅に減少することができる。

4. 結論

以上のことから、今回の実験では次のようなことが分かった。

(1)凍害によるコンクリートの質量減少量は塩化ナトリウムの作用によって大変大きくなる。

コンクリートが表面剥離を受ける劣化範囲では、コンクリートの表面劣化の程度は劣化曲線の勾配によって比較することができる。

(2)塩化ナトリウムの影響を受けるA Eコンクリートの表面劣化は、水セメント比が55%以下の場合、水セメント比が小さくなるほど小さくなるが、初期養生の影響は小さい。

また、水セメント比が65%になると劣化の程度は大変大きくなるが、劣化作用を受ける前にコンクリートを乾燥させることによって劣化を大幅に小さくすることができる。

(3)塩化ナトリウムの影響を受けるNon-A Eコンクリートの場合の表面剥離による劣化はA Eコンクリートより大きくなり、水セメント比が小さくなるほど小さくなる傾向にある。

しかし、劣化作用を受ける前にコンクリートを乾燥させると水セメント比が小さくなるほど、塊状の剥落による急激な劣化を生じやすくなる。

[謝辞]

本研究の実施に際しては、東北大学工学部土木工学科卒論生、後藤田 育司君の協力を得ました。ここに記して感謝の意を表します。

[参考文献]

[1]板橋洋房・三浦 尚：凍結防止剤の影響を受けたコンクリートの劣化に関する実験的研究
第47回セメント技術大会講演集 pp. 478-483, 1993