

# 論文 凍結防止剤の作用を受けたコンクリートの凍害劣化に及ぼす乾燥の影響

板橋 洋房\*<sup>1</sup>・三浦 尚\*<sup>2</sup>

要旨：積雪寒冷地のコンクリート構造物において、凍結防止剤の影響を受けた場合、凍害による劣化が発生する。そのような環境にあるコンクリート構造物は、冬場は凍結融解の繰り返しを受け、夏場には乾燥することが予想される。そこで、コンクリートが硬化した後に凍結防止剤が供給された場合、それが供給される前までの養生条件、水セメント比、空気量等を変えて、凍結融解試験を行った。凍結融解試験の測定サイクル毎に乾燥の工程を入れて、凍結融解－乾燥の繰り返しを与え、凍結融解途中の乾燥の有無による質量減少率および相対動弾性係数について比較検討した。

キーワード：凍害、凍結防止剤、凍結融解、乾燥、養生条件、水セメント比、空気量

## 1. はじめに

東北地方を含む積雪寒冷地においては、スパイクタイヤの使用が禁止され、冬場の走行路面の安全性を確保する目的で塩化ナトリウム等の凍結防止剤が散布されるようになって、はや数年が経過している。一般の凍結融解作用を受けた場合の養生条件や空気量等を変えた普通コンクリート[1][2]および高強度コンクリート[3]等の凍結防止剤の作用を受けた凍害の劣化については、今までの研究で報告してきた。しかし、実環境にあるコンクリート構造物においては、冬場には凍結融解作用を受けて凍害による表面劣化が発生し、その後、季節も変わり夏場には乾燥するという繰り返しを受けている場合が多いと考えられる。一般に、硬化したコンクリートは乾燥することによって耐凍害性が向上すると言われており、凍結防止剤の作用を受ける場合であってもそのような傾向が見られるのかどうかについては、解明されていない部分もある。

そこで、本研究ではこのような凍結融解および乾燥の繰り返しを受けた場合を考慮し、凍結融解試験途中の測定サイクル毎にそれらの供試体を乾燥させるという繰り返しを行って、その乾燥の影響について調べた。また、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前までのコンクリートの養生方法、水セメント比および空気量等を変化させて比較検討した。

## 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砕石(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。また、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。

\*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)

## 2. 2 実験方法

水セメント比は、65、55、45%の3種類とし、そのコンクリートは、 $4 \pm 0.5\%$ の空気量を有するA EコンクリートおよびNon-A Eコンクリートの2種類とした。

単位水量は、全て $165 \text{ kg/m}^3$ と一定とし、単位セメント量は、それぞれ 254、300、 $367 \text{ kg/m}^3$ である。実験に用いた試験供試体は $10 \times 10 \times 40 \text{ cm}$ の角柱体で、打設後約24時間で脱型し、 $21 \pm 3$ ℃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。これらの養生方法と日数は、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。

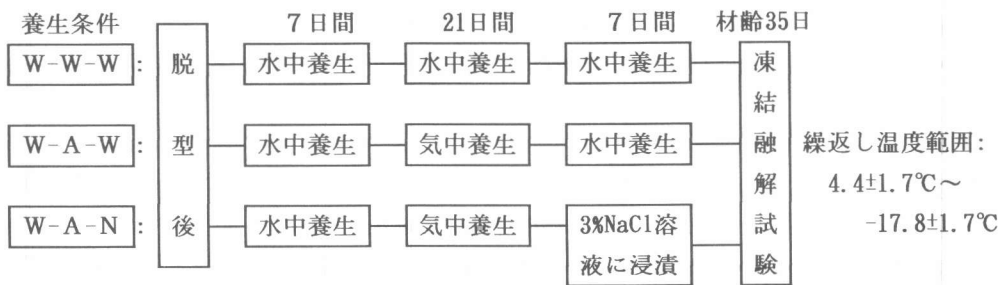


図-1 供試体の種類、養生方法及びその養生日数

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 W-W-Wは、材齢35日までの28日間、水中養生を継続したもの。
- ② W-A-Wは、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。
- ③ W-A-Nは、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、である。

それぞれの養生条件で養生したこれらの3種類の試験供試体について、材齢35日で凍結融解試験を行った。気中養生の際の恒温室の温度および湿度は、それぞれ20℃、65%R.H.である。本実験で行った凍結融解試験は、ASTM C-666(A)法であるが、ゴム容器内のコンクリート供試体の周りの水を真水から3%NaCl溶液に変えており、供試体を入れ替える時には真水による場合と同様に新しい3%NaCl溶液を毎回入れ替えた。測定毎に毎回入れ替えることにより、実際の構造物に対する塩化物の濃度に対しては、相対的な影響を見ることができると思われる。また、一般的に真水の場合には0℃から凍り始めるが、3%NaCl溶液の場合には約2℃程、凝固点が低下することが知られている。この試験液であるNaCl溶液の濃度を3%とした理由は、3%濃度の場合にコンクリートの凍害による劣化が最も厳しいというヨーロッパの研究報告の値を採用した。また、全ての供試体において、材齢35日の凍結融解試験開始から全工程が終了するまでゴム容器内にある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。

30サイクル毎の測定終了後、試験供試体は養生の途中で気中養生を行った同一の恒温室内で凍

結融解30サイクル分に要する期間と同じ期間(約5日間)乾燥させ、その乾燥期間経過後にまた凍結融解試験に供するという方法で試験供試体に凍結融解-乾燥の繰り返しを与えた。

測定サイクル毎に約5日の乾燥期間を入れて実験を行うことにより、凍結融解試験開始から300サイクルの試験終了までの期間は通常のご二倍となる。そのため、測定までの凍結融解サイクル数に要する期間と乾燥期間を同一にすることにより、試験期間が最短になること、また凍結融解試験槽内から測定する供試体を取り出したと同時に、試験槽内の同じ場所に別配合の試験供試体を入れ替えることができ、同時進行が可能となる。

### 3. 結果および考察

図-2、図-3、図-4には、それぞれW/C=65、55、45%のAEコンクリートの3%NaCl溶液による凍結融解試験の質量減少率を乾燥の有無について比較した結果を示す。縦軸には質量減少率を、横軸には試験サイクル数を示し、図中では、凍結融解途中で乾燥させたものは白抜きで、途中で乾燥させないものは黒塗りで示してある。また、それぞれのデータは、凍結融解後に測定した値である。

これらの図からもわかるように、AEコンクリートにおいて、凍結融解の途中で乾燥させたものは、乾燥させないものと同様に、W-W-W > W-A-W > W-A-Nの養生条件の順で、質量減少の割合が大きくなる傾向が見られた。

W/C=65%で凍結融解途中の乾燥なしのもので、養生条件で試験開始まで水中養生を続けた供試体と気中養生を行った供試体を比較すると、試験終了時に質量減少率で約35%の大きな違いが見られた。これに対して、凍結融解の途中で乾燥させた供試体においては、それらの差が小さくなり、途中乾燥なしのものに比べて、全体的に質量減少が抑制される傾向にある。その中でも、水中養生を続けた供試体でそれぞれ比較してみると、試験終了時に凍結融解の途中で乾燥させた方は質量減少率で約40%も抑制されていることから、水セメント比の大きい配合のコンクリートでも凍結融解の途中で乾燥させることにより凍害による劣化を大幅に抑制する傾向は見られるが、途中乾燥させた場合でも、質量減少は増加している。また、水セメント比55%の場合においても乾燥無しのものに比べ、途中乾燥させ

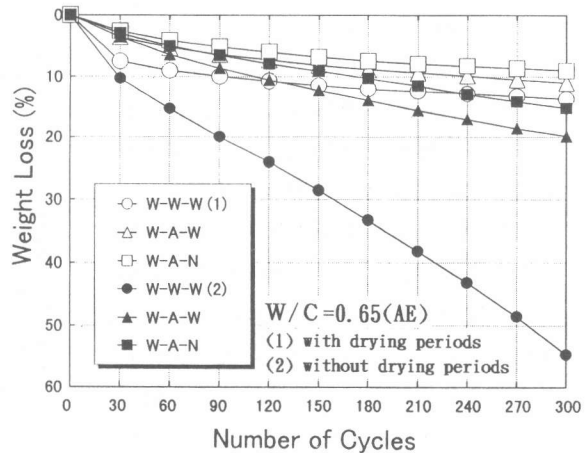


図-2 W/C=0.65(AE)の質量減少率の比較

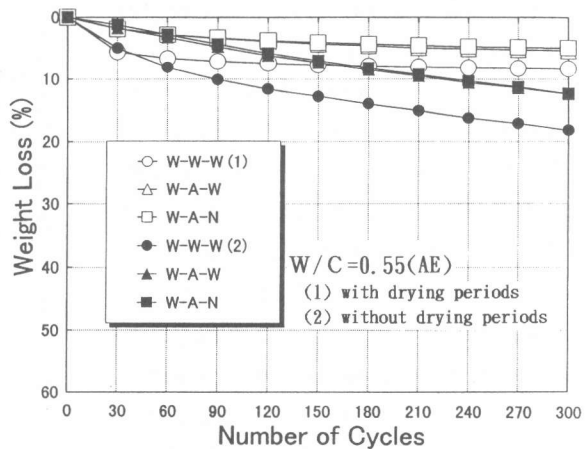


図-3 W/C=0.55(AE)の質量減少率の比較

たものはさらに質量減少が抑制される傾向は見られるが、やはりW/C=65%と同様、質量減少は増加している。水セメント比が小さい45%においては、試験サイクル初期において質量減少が見られただけで、その後は試験終了時まで殆ど変化は見られなかった。

次に、図-5、図-6、図-7には、それぞれW/C= 65,55,45%のAEコンクリートの相対動弾性係数を乾燥の有無について比較した結果を示す。

縦軸には相対動弾性係数を、横軸には試験サイクル数を示し、図中の記号及びデータ等については前述の通りである。

これらの図からもわかるように、AEコンクリートにおいて、水セメント比の大きい65%の途中乾燥なしの供試体において、凍結融解試験開始まで水中養生を継続した供試体は、初期のサイクルから相対動弾性係数の急激な低下を示し、60サイクルの測定において50%を割っているが、他の養生条件の供試体においては、300サイクルまで緩やかな勾配の劣化曲線で低下しており、試験終了時でも相対動弾性係数が60%に至っていない。これに対して、凍結融解の途中で乾燥させた供試体において、水中養生を継続したものは他の養生条件のものに比べて初期の測定時に相対動弾性係数の低下が少々大きくなっているものの、乾燥なしのものに比べてもわかるように、それ以後の急激な低下は見られず、途中乾燥させた他の養生条件の結果と同程度まで改善されている。水セメント比が55%および45%で途中乾燥無しのものでは緩やかな勾配で低下して行くのに対して、乾燥させた場合、55%では試験初期の値を試験終了時まで殆ど一定の傾向を示し、45%においては60サイクル以降から徐々に増加して行く傾向が見られた。

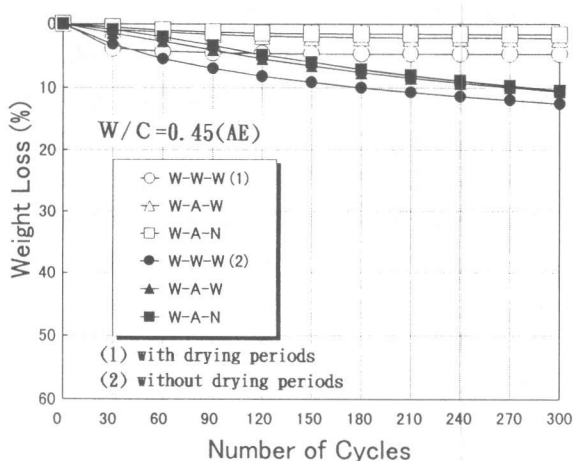


図-4 W/C=0.45(AE)の質量減少率の比較

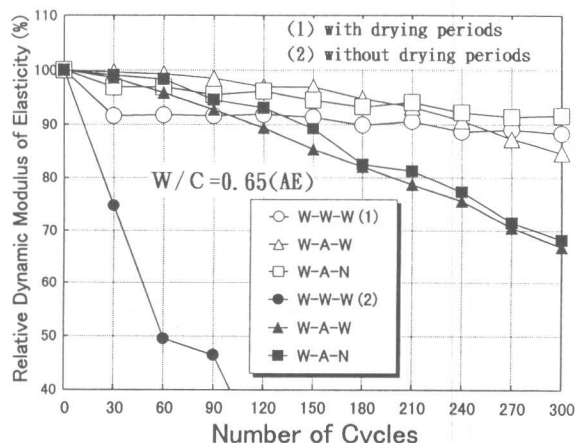


図-5 W/C=0.65(AE)の相対動弾性係数の比較

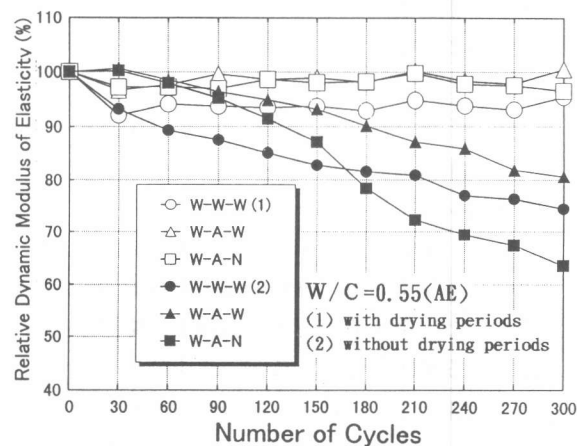


図-6 W/C=0.55(AE)の相対動弾性係数の比較

以上のことから、AEコンクリートの場合、凍結融解作用の途中で乾燥させたものと乾燥させないものを比べてみると、前者の質量減少の割合はかなり抑制され、耐凍害性が向上する傾向にある。これは、凍結融解試験前での養生でコンクリートを21日間乾燥させた後に、再び水中に戻して7日間浸漬したが、元の供試体重量まで回復しなかったことから、その差し引き分が、供試体表面付近に空気の泡として残ってしまい、それがAEコンクリートの気泡と同等な働きをしたものと考えられる。また、凍結融解途中の5日間の乾燥においても同様な気泡等がコンクリート内部に残留したと思われる。これらのことから、冬場に同じような凍結融解を受け、夏場にもコンクリート表面が濡れていて乾燥しないような場所に構造物が造られる場合には水セメント比をより小さくする必要があると思われる。凍結融解途中で乾燥させた場合、水セメント比が小さくなるにつれて、凍害による質量減少がさらに小さくなり、相対動弾性係数も低下傾向から増加傾向へと改善されることが確認された。

次に、図-8、図-9、図-10には、それぞれ  $W/C=65, 55, 45\%$  のNon-AEコンクリートの質量減少率を乾燥の有無について比較した結果を示す。

これらの図からもわかるように、Non-AEコンクリートにおいて、凍結融解の途中で乾燥させても、させなくても、同じ水セメント比の配合におけるそれぞれの養生条件のものは、同様な曲線勾配で劣化して行く傾向であった。また、水セメント比が小さい45%の場合には、試験開始まで水中養生を継続したものでは、凍結融解途中の乾燥の有無によらず、その質量減少は抑制される傾向にある。参考までに、相対動弾性係数の結果におい

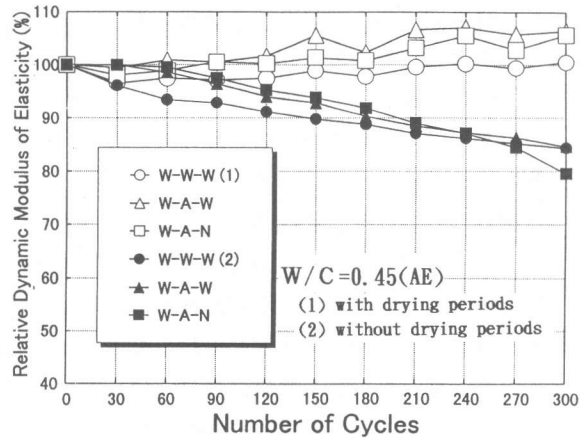


図-7  $W/C=0.45(AE)$ の相対動弾性係数の比較

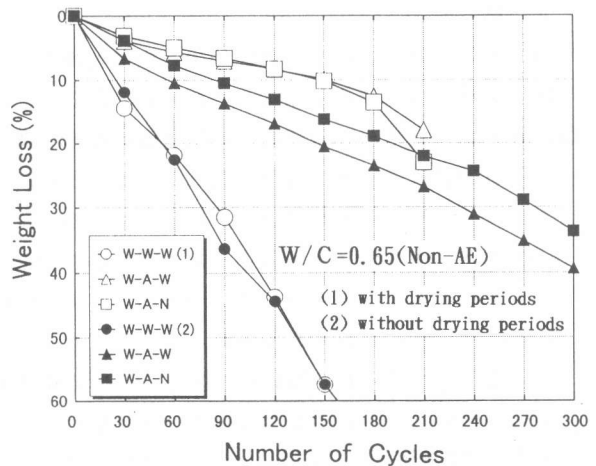


図-8  $W/C=0.65(Non-AE)$ の質量減少率の比較

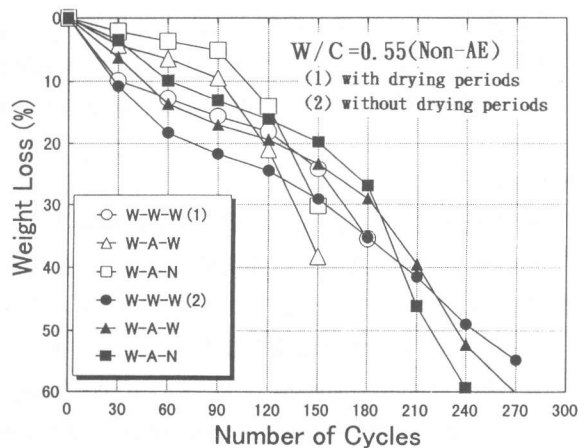


図-9  $W/C=0.55(Non-AE)$ の質量減少率の比較

ても、質量減少率と同様に途中乾燥の有無による違いは見られなかった。

以上のことから、Non-AEコンクリートの場合、途中乾燥させることにより、AEコンクリートの場合に見られたような質量減少の抑制や耐凍害性の向上は殆ど見られず、水セメント比が大きい場合には劣化がさらに大きくなる可能性があると思われる。しかし、 $W/C$ が45%以下の場合の水中養生を継続した供試体においては、その質量減少は乾燥の有無によらず抑制される傾向にある。

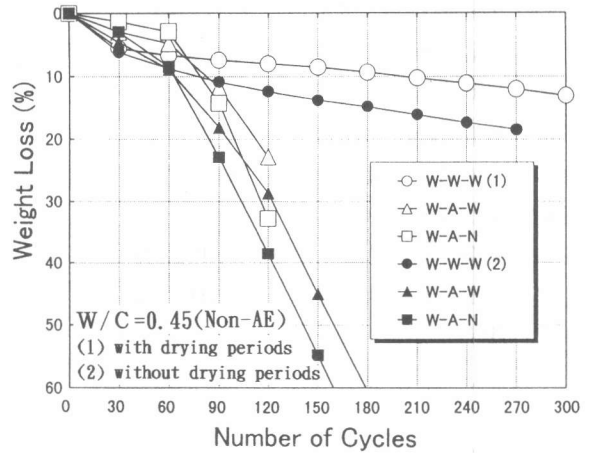


図-10  $W/C=0.45$ (Non-AE)の質量減少率の比較

#### 4. 結論

以上のことから、凍結融解作用の途中で乾燥させるという凍結融解-乾燥の繰返しを与えた今回の実験では、次のようなことが分かった。

(1) AEコンクリートの場合、凍結融解の途中で乾燥させることにより、凍結防止剤の影響を受ける凍害の劣化をかなり抑制されることから、その乾燥による影響はかなり大きい。

水セメント比65%の水中養生を継続したものにおいて、凍結融解の途中で乾燥なしのものに比べて、乾燥させたものの劣化はかなり小さくなり、改善される傾向にある。更に、水セメント比が小さくなるにつれて、凍害による劣化の抑制は顕著になる。これらのことから、凍結防止剤が散布される実環境にあるコンクリート構造物において、乾燥しないような場所にその構造物が造られる場合は、水セメント比をより小さくする必要があると思われる。また、初期の養生で気中養生した場合とそれに加えてさらに凍結融解の途中で乾燥させた場合には同様な劣化傾向になることから、初期に気中養生させて実験することで、凍害の劣化をより的確に判断できるものと思われる。

(2) Non-AEコンクリートの場合、途中乾燥させても、させなくても、AEコンクリートのように凍害による劣化を抑制するような効果は見られないことから、その凍害による劣化は大きくなる可能性を示唆している。但し、 $W/C=45\%$ 以下の水中養生を継続したものにおいては、途中乾燥の有無によらず、質量減少が抑制される傾向がある。

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
- [2]板橋洋房・三浦 尚：コンクリートの凍害に及ぼす凍結防止剤の影響 コンクリート工学年次論文報告集 pp.555-560, 1994
- [3]T. Miura and H. Itabashi：Effect of De-icing Salts on Frost Damage of High-Strength Concrete, 1995, Proc. International Conference on Concrete under Severe Conditions pp. 265-272