

塩水作用を受けるコンクリートの  
凍結融解作用による剝離について

廣 川 一 巳\*・前 川 静 男\*\*

Scaling of the surface of concrete with salt water

Kazumi HIROKAWA and Shizuo MAEKAWA

要 旨

海岸コンクリートでは AE コンクリートでも凍結融解作用を受け表層剝離がおきることが知られている。この剝離の要因をあきらかにするため、乾湿の繰り返し等の養生の影響、凍結融解温度の差の影響について考察したものである。

1. ま え が き

コンクリートの凍結融解に対する耐久性は、AE コンクリートの発達とともに向上してきた。しかし、消波ブロックなどの海岸構造物は、AE コンクリートであるけれども、コンクリートの表層部数 mm のモルタル部が粗骨材上面で剝がれる現象が数多く見られる。これは単に凍結融解作用だけでなく、海水の影響も大きいと考えられる。この表層剝離は美観をそこねるだけでなく、耐久的な面でも問題となっており、この剝離機構を解明するため、いろいろな研究がなされている。そこで、本研究では、養生中の乾湿の影響、凍結温度と融解温度の差が剝離に及ぼす影響を調べることと、剝離に対する耐久性を調べるための促進試験方法を検討することを目的としている。

2. 実験概要

2.1 実験材料及び配合

使用セメントは普通ポルトランドセメント（比重 3.17，以下略号 NP）、高炉セメント B 種（比重 3.04，以下略号 BB）、フライアッシュセメント B 種（置換率 15% で比重 3.02，以下略号 FB）の 3

種を用い、普通ポルトランドセメントと高炉セメント B 種は市販のもので、フライアッシュセメントは市販の普通ポルトランドセメントに江別・砂川火力発電所のフライアッシュを混ぜたものを使用した。

骨材は細骨材に錦岡産の海砂（比重 2.66，吸水率 1.35，粗粒率 3.22），粗骨材に錦岡産の砂利（比重 2.64，吸水率 0.66，粗粒率 7.12，最大寸法 25 mm）を用いた。

コンクリートの配合、練りあがり性状、圧縮強度（標準養生）は表 1 に示した。

表 1 セメント種類、配合、練りあがり性状

| セ<br>メ<br>ン<br>ト | 配 合        |            |           |           |           |           | 練りあがり性状             |                   | 圧 縮<br>強 度<br>(kg f /<br>cm <sup>2</sup> )         |
|------------------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------------------|-------------------|----------------------------------------------------|
|                  | W/C<br>(%) | s/a<br>(%) | C<br>(kg) | W<br>(kg) | S<br>(kg) | G<br>(kg) | スラン<br>プの範<br>囲(cm) | 空気量<br>の範囲<br>(%) |                                                    |
| NP               | 60         | 40.1       | 265       | 159       | 755       | 1117      | 11.5                | 6.4               | 358                                                |
| FB               | 60         | 40.1       | 233       | 140       | 782       | 1159      | 15.0<br>± 3         | 7.0<br>± 0.6      | 材令 28 日<br>141<br>材令 42 日<br>251                   |
| BB               | 50         | 38.1       | 282       | 142       | 724       | 1170      | 16.0                | 6.6               | 226                                                |
| BB               | 55         | 39.1       | 225       | 140       | 755       | 1167      | 16.0<br>± 1         | 6.1<br>± 1.4      | 材令 14 日<br>150<br>材令 28 日<br>160<br>材令 42 日<br>177 |
| BB               | 60         | 40.1       | 220       | 132       | 795       | 1180      | 16.0                | 7.1               | 133                                                |

\* 助手 土木工学科

\*\* 教授 土木工学科

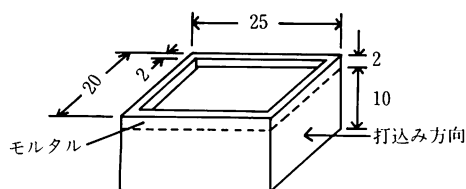


図1 供試体形状 (単位 cm)

## 2.2 供試体

供試体は  $10 \times 20 \times 25$  cm の大きさで、図1に示すように側面を試験面とし、凍結融解試験1日前にモルタルで水を溜めるふちをつけた。

## 2.3 養生方法

養生の種類は8種類とし以下本文は次の記号で表わす。

W…… $20 \pm 3^\circ\text{C}$  の水中で養生

SW… 3%塩水 (3%NaCl) 中で養生 (温度  $20 \pm 3^\circ\text{C}$ )

D……実験室内 ( $17 \pm 3^\circ\text{C}$ , 湿度 40~60%程度) で空气中に放置した養生

3 DW… 3 日間を乾湿の1サイクル (66 時間実験室内放置し, 6 時間  $20^\circ\text{C}$  の水中で養生) とし, 所定の養生期間繰り返した養生

5 DW… 5 日間を乾湿の1サイクルとしたもの (114 時間実験室内放置し, 6 時間  $20^\circ\text{C}$  水中養生)

3 DS… 3 DW と同じ乾湿サイクルだが, 6 時間水中養生のところを, 6 時間湿布でおおう養生としたもの。

3 DSW…これも 3 DW と同じ乾湿サイクルだが, 水中養生のところを 3%塩水養生としたもの。

3 H 4 S 21 D…打設1日後にドライヤーで1日4時間加熱を3日間し, そのあと4日間湿布でおおい, 材冷28日になるまで実験室内に放置した養生。

加熱状態 (加熱している側より NO.1, No.2, No.3, とした) 温度測定個所, 温度変化を図2~4に示す。

養生の日数は 14, 28, 42 日の3種とした。

そこで, 以下本文では, 養生方法と養生日数をセメントの種類と W/C の種類とで組み合わせ, 各供試体を記号で表わすことにする。

例えば, BB 55-3 DS-42 ならば, 高炉セメン

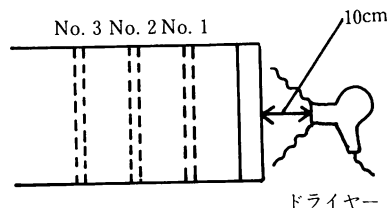


図2 加熱状況 (側面図)

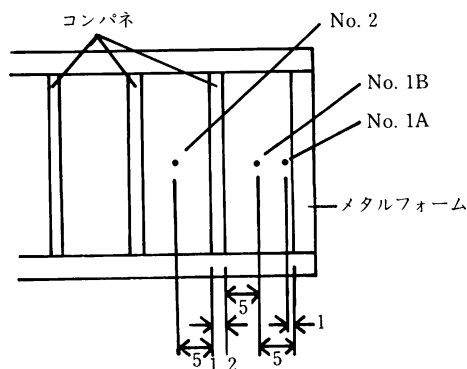


図3 cc 熱電対の電置図 (単位 cm) (上面図)  
No. 1A, No. 1B, No. 2 の位置は試験面の中央とする

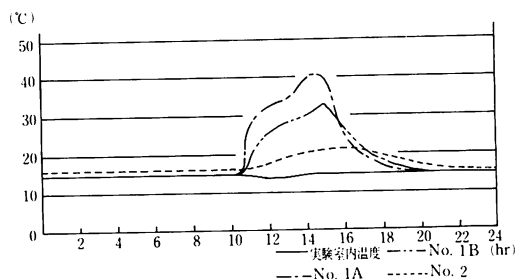


図4 加熱等における温度変化

ト B 種の W/C が 55% で 3 DS 養生を 42 日間繰り返した供試体を示す。

## 2.3 凍結融解試験方法

### シリーズ I

このシリーズでは養生による影響を見ることを目的としている。養生を終えた供試体を RILEM RECOMMENDATION に準じて凍結融解試験を行なった。1 日 1 サイクルとし凍結 ( $-12 \pm 2^\circ\text{C}$ ) 18 時間, 融解 ( $17 \pm 3^\circ\text{C}$ ) 6 時間で 15 サイクルとした。凍結は冷凍室を利用し, 融解は実験室内で空气中に放置とした。図5に1サイクルの温度変化を示す。また試験面には 3% の塩水を溜め,

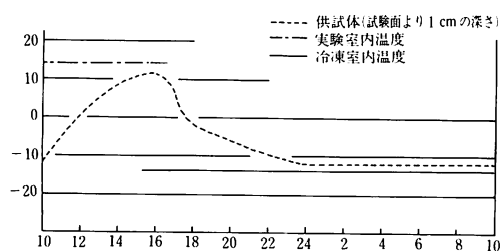


図5 凍結融解における温度変化(-12~17°C)

氷の厚さ 1 cm 程度となるよう凍結させ、融解後は、毎回新しい 3% 塩水を試験面に溜め凍結させた。剥離の程度を評価するため、剥離個所を OHP シートにトレースし、試験面全体に対する割合をもって剥離面積率とし、剥離ごとに測定し算出した。

### シリーズII

シリーズ I では一定の凍結融解温度で養生の影響を見たが、このシリーズでは、温度変化の影響を見るため、-12~17°C の他に -12~60°C、-12~5°C、-5~5°C の 3 種の凍結融解温度を設定した。

方法はシリーズ I と同様で -12°C、-5°C は冷凍室で、融解は 17°C が実験室放置、60°C は乾燥機、5°C は恒温室 (5 ± 3°C) を用いた。温度変化は図 6 に示す。

凍結融解の時間比はシリーズ I と同じ 3 : 1 で 1 日 1 サイクルで 15 サイクルまで行なった。ただし、-5~5°C は凍結と融解の時間比は 1 : 7 とした。

### シリーズIII

このシリーズでは塩水湿潤と乾燥の繰り返しで養生したものが淡水 (シリーズ I, II では 3% 塩水を作用水として使用) で凍結融解させるとどうなるかを見るものである。

## 3. 結果及び考察

### 3.1 シリーズ I

#### (1) 普通ポルトランドセメントについて

3 DS, 3 DW, 5 DW の 3 種の乾湿繰り返し養生について凍結融解試験を行なったが、3 つともすべて剥離はおきなかった。他の養生についても、あまり剥離は出ないと思われる。

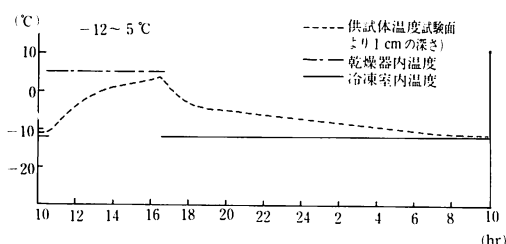
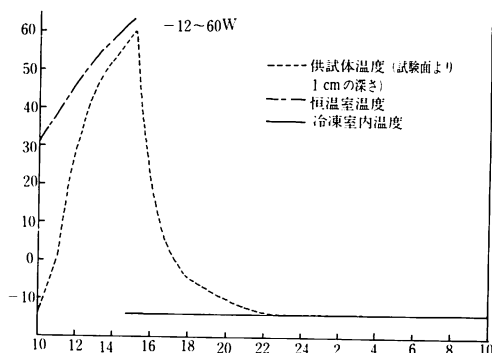
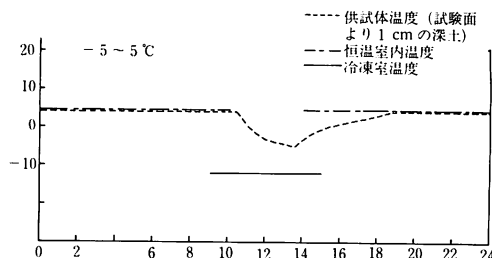


図6 凍結融解における温度変化

#### (2) フライアッシュセメント B 種について

ドライヤーで加熱を加えたもの、つまりコンクリートを夏期に打設した場合の温度上昇を考えた養生による影響は図 7 に示されるように、加熱の No. 1 が 3 つのなかではやや剥離が多いが、他のものとほとんど差がない。(ただし真中のものは剥離なし) つまり、3 日間で 1 日 4 時間の加熱の影響がなく、ずっと乾燥 (室内) したものとほとんど差がなかった。(図 8) 他の養生について見ると、図 8 より塩水で 28 日養生したものが多く、供試体に含まれる水分の影響が出ている。他のものは、試験面全体に対する剥離の割合で考えると、各供試体ともそんなに差はなく、3 DS-42 と D-28 がやや多い程度であった。

#### (3) 高炉セメント B 種について

図 7 より加熱したものについて見ると、フライアッシュセメントと同様に加熱側が剥離が多く、残りのものは少なく出ている。図 9 の D-42 と D-28 と比較すると、加熱側のものは D-42 と剥

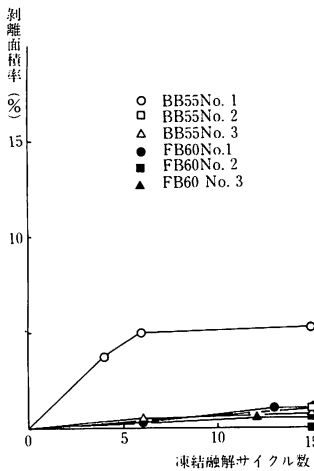


図7 加熱養生 (3H4S21D) をしたもの

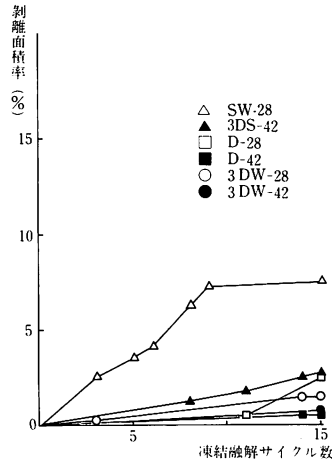


図8 FB60

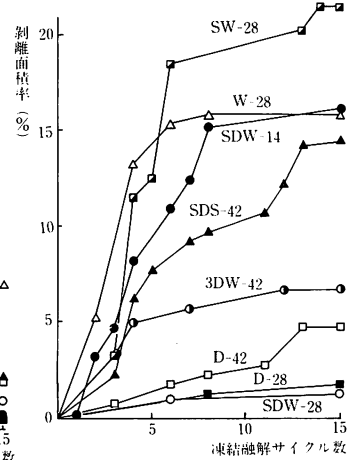


図9 BB55

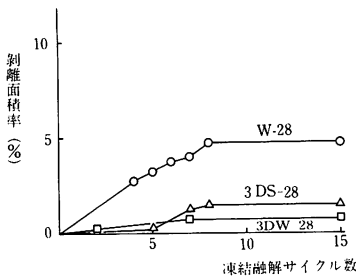


図10 BB50

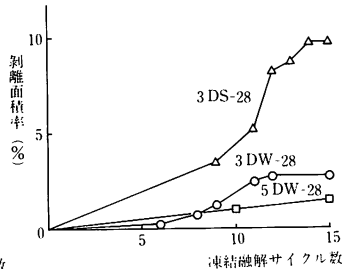


図11 BB60

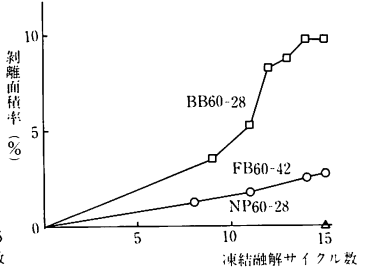


図12 3DS養生のセメントによる相違

離面積率が近く、残りはD-28と同程度の剥離面積率となった。これは、加熱したため強度増進が考えられるものの、表面は乾燥しているため、42日間乾燥したと同じ状態になったと考えられる。加熱側でないものは、4日間湿布をかぶせているものの、28日乾燥状態のものと変わりがなかったことを示している。湿布でかぶせても表面だけ湿り、内部まで湿らなかったことが考えられる。つまり、図9より水中養生よりも乾燥養生の方が剥離が少なく、乾燥養生の方に近い養生状態になったと思われる。

他の養生について見ると、図9、図10より塩水中で28日間養生したものが多く剥離し、次に水中養生したもの、そして3DSが他に比べ多く剥離している。養生日数14日を入れると3DW-14も多く剥離している。乾湿の繰り返し養生であ

る3DWが少ないのは、フライアッシュも同様である。つまりある程度水中養生を受けたあと適度に乾燥を受けると剥離が少なくなることが考えられる。ただし、養生日数が42日と長くなると、28日に比べやや剥離が多くなっている。さらに14日となると、材令数が少ないため、強度が弱く剥離が多く発生している。

BB60においては、図11より乾湿養生の中でも表面だけ湿らせる養生が、BB55同様剥離が多く発生した。

#### (4) セメントの種類について

普通ポルトランドセメント、フライアッシュセメントB種、高炉セメントB種の3種のセメントを比較すると、今回行ったW/Cが60%で3DS養生のものについては高炉セメントB種が多く、フライアッシュセメントが次で、そして剥離

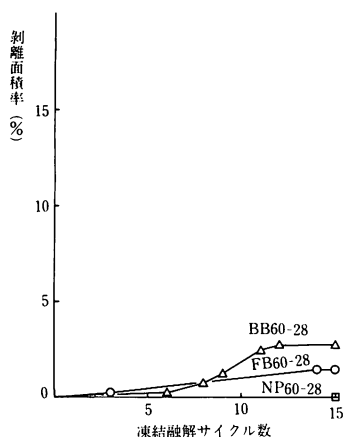


図13 3DW 養生のセメントによる相違

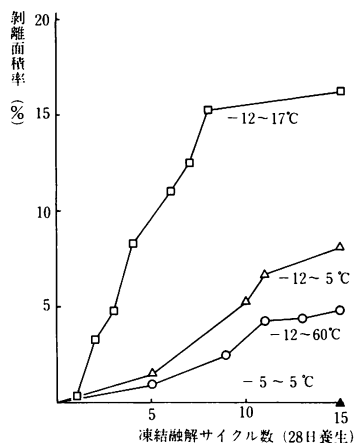


図14 BB55-3DW-14における温度変化の影響

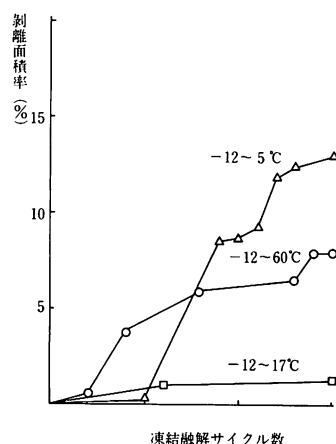


図15 BB55-3DW-28における温度変化の影響

のなかったポルトランドセメントとなった。(図12) 3 DW 養生については、3 DS 養生と同じ傾向(セメントの種類でいうと)であるが、剥離としては少ない結果となっている。(図13)最近の研究において、高炉セメントを打設後一週間程度湿潤養生すれば、水中養生や乾燥養生したものより剥離が少ないという報告がある<sup>4)</sup>。しかし、今回のようにコンクリート打設後すぐに乾湿、とくに表面だけを湿らせるという養生では、高炉セメントの方が普通ポルトランドセメントやフライアッシュセメントB種より多く剥離が発生した。ところが、同じ乾湿でも、供試体全部を水中養生するタイプの乾湿では、高炉セメントとフライアッシュセメントでは差があまりなく、高炉セメントにおいてはW/Cが50, 55, 60の3種を比べても、養生日数28日においては剥離は少ない結果が出ている。

高炉セメント、フライアッシュセメントはともに塩水中養生で剥離が多く、フライアッシュセメントでは水中養生していないが、水中養生においても剥離が多いことが考えられる。(高炉セメントは多い)つまり、内部から表面まですべて水で飽和されているため、凍結を受けると剥離しやすくなっていると考えられる。これとは逆に乾燥状態のものは、作用水を吸水する能力があり、凍結を受けても間隙水圧を減少する空隙を多く持っているため、15サイクルという短期間内では剥離が少ないと考えられる。

### 3.2 シリーズII

乾湿を繰り返したものについて、 $-5 \sim 5^{\circ}\text{C}$ を

除き、融解の+側に温度変化させたときの影響についてみると、図14より3 DW-14については $-12 \sim 17^{\circ}\text{C}$ が多く、 $-12 \sim 5^{\circ}\text{C}$ そして $-12 \sim 60^{\circ}\text{C}$ の順になった。 $-12 \sim 60^{\circ}\text{C}$ が少ないのは、温度を $60^{\circ}\text{C}$ にするのに時間がかかり、すぐ温度を下げたため(図6)あまり高い温度という影響は少ない。また、温度上昇より強度が増進したことも考えられる。

また、3 DW-28については $-12 \sim 5^{\circ}\text{C}$ と $-12 \sim 60^{\circ}\text{C}$ については養生日数14日と同じ傾向が出たが、 $-12 \sim 17^{\circ}\text{C}$ についてはまったく逆の結果となってしまった。(図15)凍結速度が早いほど凍害を受けやすいと言われているが<sup>7)</sup>、今回の実験では、融解側しか温度変化をみていないため、あまりうまく傾向がつかめなかった。

$-5 \sim 5^{\circ}\text{C}$ については凍結時間が短いため、剥離が発生しなかった。

### 3.3 シリーズIII

作用水を3%塩水としたときの、塩水での乾湿繰り返し養生の3 DSW-14と3 DSW-28を比較すると、14日養生したものでは剥離がなく、28日養生では少しではあるが剥離がおきた。しかし結果的には3 DSW-28養生においては、淡水で行なった3 DW-28と剥離の割合が同じとなった。つまり、養生としての淡水、塩水の差はないと考えられる。

いままでは、作用水を塩水として凍結融解をしたが、このシリーズでは塩水養生のものを淡水で作用水として凍結融解を行なった。図16を見ると3 DSW-14では剥離が起きなかったが3

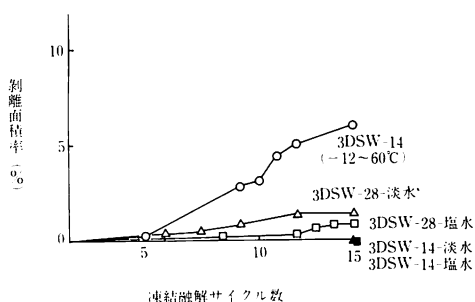


図16 3DSWで淡水を作用させたときの影響

DSW-28ではわずかではあるが剝離が生じた。このことは、海岸近くでコンクリート構造物に海水で養生を行なうと、凍結時に水の補給があれば剝離のおきる可能性を示している。

3 DSW-14で作用水を塩水として $-12\sim-17^{\circ}\text{C}$ で凍結融解を行なったものは、剝離がなかったことはすでに述べたが、同じ養生のもので作用水も同様の塩水を用い凍結融解温度を $-12\sim-60^{\circ}\text{C}$ に変えると3 DSW養生の中で一番多い剝離を生じた。しかし、塩水を水でおきかえた3 DW-14養生と同程度(図14)の剝離であり、塩水による繰り返し養生の影響は少ないものと考えられる。ここでも、塩水と淡水による養生水の影響は少ないものと思われる。

#### 4. ま と め

以上のことをまとめると次のことが考えられる。

1) 普通ポルトランドセメントでは、乾湿の繰り返しの影響がなく、高炉セメント、フライアッシュセメントでは、乾湿の繰り返しの影響があり、特に表面を湿めらせるだけの乾湿繰り返し養生が比較的多く剝離し、逆に材齢14日を除き、凍結融解温度が $+12\sim-17^{\circ}\text{C}$ のときにおける乾燥と水中湿润の繰り返し養生は剝離発生が少なくでた。これは、ある程度水中養生を受けたあと適度に乾燥を受けると、剝離の抑制に有利と思われる。

2) 水中養生するのも塩水養生するのも、そんなに差がなく剝離が生じた。フライアッシュセメントでは実験を行っていないが、高炉セメントにおいては、若干の塩分を含んでいると淡水が作用水でも凍結融解作用を受けると剝離がおきることがわかった。

3) 加熱養生したものについては、フライアッシュセメントではほとんど剝離しなかったが、高

炉セメントでは多少の影響が見うけられた。金属製の型枠などを使用するとき、初期に直射日光などで加熱されると剝離がやや多くなる可能性があり、金属製の型枠などでは、初期においては十分湿润養生を行なうべきであると考えられる。

4) 温度変化では、凍結温度一定としたとき融解側の温度を上昇させても剝離は増加しなかった。今回の実験ではデーターが少なくはっきりとした関係はつかめなかった。

5) 剝離の促進試験方法としては、本実験で使った、凍結( $-12\pm 3^{\circ}\text{C}$ )で18時間、融解( $17\pm 3^{\circ}\text{C}$ )で6時間で1日1サイクルで行ない、3%塩水(3%NaCl)を作用水とする方法は、現場における剝離と形態が類似しており、剝離の再現性が良いと考えられ、剝離の促進試験方法として適するものである。しかし、剝離面積率を求めるのに手間がかかるのが若干難点と思われる。

以上、乾湿の繰り返し、凍結融解温度の融解側の温度差について論じたが、凍結速度、凍結側の温度変化、塩分濃度との関係など、今後継続して研究を進めたいと考えている。

最後に本研究を進めるにあたり、実験に協力していただいた土木7期、川村省司、小谷地貢、工藤正志、荒井知司の諸氏に深く感謝する次第である。

#### 参 考 文 献

- 1) RILEM RECOMMENDATION, Methods of carrying out and reporting freeze thaw tests on concrete with de-icing chemicals
- 2) Corden, W. A. ACI Monograph NO.3, 1966
- 3) 鮎田, 林, 猪狩; 海岸コンクリートの冬期における剝離現象について, 土木学会第33回年次学術講演会講演概要集, (V), p. 31~32, 1978
- 4) 鮎田耕一; 海岸コンクリートの凍害による表面剝離に関する研究, 土木学会第35回年次学術講演会講演概要集, (V), p. 335~334, 1980
- 5) 林, 鮎田, 宮部; 海岸コンクリートの凍害に及ぼす夏期乾燥の影響, 土木学会北海道支部論文報告集, 第37号, p. 439~442, 1980
- 6) 林, 鮎田, 長山; 乾湿に伴うコンクリート露出面の強度変化, 土木学会北海道支部論文報告集, 第37号, p. 443~448, 1980
- 7) 岩崎調明; コンクリートの特性, p. 157~168 共立出版

(昭和57年11月30日受理)