

[39] コンクリートの薄片供試体による凍結融解試験

正会員 石田 宏 (岩手大学 工学部)

1. まえがき

コンクリートの凍結融解作用による劣化の状態を早く知るために、在来から用いられている供試体(10×10×40 cm程度のもの、以下に標準供試体とよぶことにする)よりも小断面の供試体、特に標準供試体を1.5 cmから3 cm程度の厚さに切断した薄片供試体を用いると有利であること、ならびにコンクリート内部の劣化機構の検討に有利であることは前回に報告した。また、水中における凍結融解においては淡水中よりは、海水中の場合に劣化が著しいが、海水中における劣化の急速な事実を利用し劣化機構の検討を行なうこと、ならびに、この試験方法についての問題点などを重量減少率によって検討することにした。

2. 海水の代用として塩水を用いるための試験

試験用供試体は前回と同様に標準供試体を2 cm程度の厚さに切断した後、凍結融解を行なった。凍結融解サイクルは1日1サイクルとし±20℃とした。海水中における凍結融解による劣化の急速な理由は海水中の塩分によるものと考え、海水中、人工海水中、塩水中(食塩3.5%溶液)の3種について比較試験を行ない以後に塩水を用いることに関する検討を行なうことにした。図-1は試験結果を示したものであり、人工海水と塩水の場合は4サイクルで崩壊し、海水中では5サイクルで崩壊している。試験結果を参照すると劣化の原因は海水中の塩分によるものと考えられ、ほぼ同程度の劣化の進行であるため、以後の試験は塩水を用いる。

3. 薄片供試体の厚さと劣化の進行との関係についての試験

供試体の厚さが劣化に影響すると考えられるため、厚さを1.5 cm, 2.0 cm, 2.5 cmの3種について塩水中で試験を行ない、適正な供試体を作成するための参考とするものものである。試験結果を示す図-2を参照すると、供試体の厚さが薄くなると劣化の進行が早いことがわかる。すなわち、厚さ1.5 cmでは5サイクルで、2 cmでは6サイクルで、2.5 cmでは8サイクルで崩壊している。このことから薄片とすると劣化が急速であるが、薄すぎると供試体の作成に問題をのこすこと、また、厚すぎると劣化の進行がおそくなるとともに、水中における試験はホローバットを用いて行なうことから考えると試験設備に問題があるため、適正な厚さについては劣化機構の検討とともに今後の問題点であると考えられるが、できるだけ簡易な設備で試験することから考えると1.5 cmから3.0 cmの範囲が適当であると考えられる。

4. 試験材料

セメントは早強ポルトランドセメント

表-1 コンクリートの配合

配合	最大寸法	スランプ	空気量	W/C	S/A	W	C	S	G
1	20	10	1.0	40	45	210	520	700	900
2	20	10	1.0	50	45	210	410	740	950
3	20	10	1.0	60	45	210	345	770	985
4	20	10	1.0	70	45	210	300	780	1010
5	20	10	1.0	80	45	210	260	800	1025

S比重2.56, 吸水率2.81%, G比重2.59, 吸水率2.97%

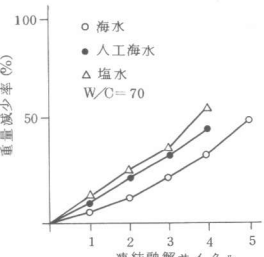


図-1 海水等の劣化の比較

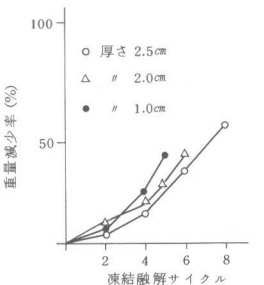


図-2 供試体厚と劣化

トを使用し、コンクリートの配合、ならびに骨材の諸数値を表-1に示す。また、コンクリートの凍害はセメントの新旧、コンクリートの経過日数に係ると考えられたので1年以上経過したセメント、ならびにコンクリートを用いて試験した。

5. 試験方法

5.1 塩水中凍結融解試験

海水中における凍結融解によってコンクリートが急速に劣化する原因は海水中の塩分によることがあきらかとなったので塩分の含有量を変化させて試験を行ない、塩分の含有量と劣化の進行について検討することにした。試験は塩水中の塩分の濃度を35

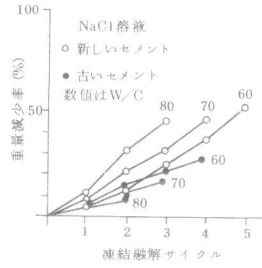


図-3 新、旧セメント使用した場合の劣化の比較

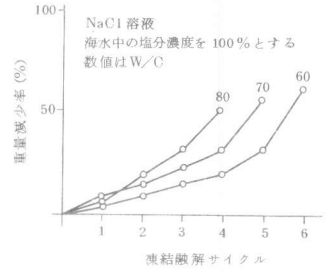


図-4 塩水濃度を50%とした場合の劣化

50%, 25%の場合について試験を行ない比較検討した。また塩分濃度を120%とし凍結温度を-10℃として塩水をアイスクリーム状に凍結させ、一部不凍結水が存在するような状態で試験を行ない劣化の進行を前記の試験結果と比較し劣化機構についての検討を行なうことにした。

5.2 空气中凍結融解試験

空气中の試験は十分吸水させた供試体に表面水が存在する程度のものをビニール袋につつま、水分の流出を防ぐ方法で試験した。試験は淡水の場合と、一度気乾した後、塩水をしみこませた供試体を用いて行ない比較検討することにした。

5.3 供試体内部の劣化の状態を検討するための試験

標準供試体を切断して薄片供試体とした理由は凍結融解による供試体内部の劣化機構を検討する目的があるため、場所打ちとして作成した薄片供試体について同様に試験を行ない比較検討した。

以上の試験種別につき凍結融解サイクルを1日1サイクルとし±10℃、±20℃で凍結融解を行なった。試験に用いた機種は小型の凍結融解試験に用いられるようなものとして一般に市販されている電気低温機を用いた。

6. 試験結果と考察

6.1 塩水中凍結融解試験

コンクリートを製造する場合は新しいセメントを使用するのであるが、古いセメントを使用した場合の劣化について試験を行ない比較するとともに劣化機構について検討することにした。図-3を参照すると新しいセメントを用いた場合は3~5サイクルで崩壊し、重量減少率は50%程度になっているが、古いセメントを用いた場合は2~4サイクルで崩壊し、重量減少率は30%以下であり、急激にコンクリートのモルタル部分から劣化した。写真-1, 2は崩壊の状態を示したものであり、新しいセメントを用いた場合はモルタル部分と粗骨材の接触面からの劣化もみられるが、古いセメントを用いた場合はモルタル部からの劣化が主な原因であり、図-7に示すごとく粗骨材が浮き出たようになって劣化するとともに劣化後はコンクリートが粉末状となって塊状の破片がほとんどないのが特徴である。

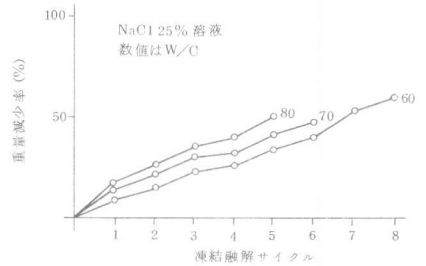


図-5 塩水濃度を25%とした場合の劣化

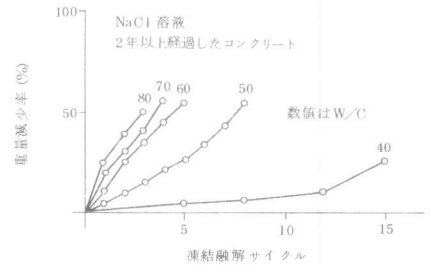


図-6 長期間経過した後の凍結融解による劣化

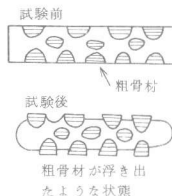


図-7 モルタル部分からの劣化

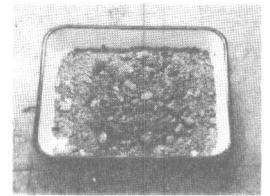


写真-1 新しいセメント使用

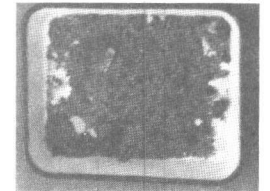


写真-2 古いセメント使用

図-3～5は塩分の濃度を変化させた場合の劣化の進行状態を供試体の重量減少率で示したものである。試験結果を参照すると塩分濃度100%の場合は3～5サイクルで崩壊し、50%の場合は4～6サイクルで崩壊し25%の場合は5～8サイクルで崩壊していることから塩分濃度が小さくなると劣化の進行がおそくなることを示している。また、重量減少率は45%から60%の範囲にあり、ほぼ同様な劣化の傾向を示しているが、塩分濃度が25%の場合は後述する淡水中における劣化状態に近い崩壊の様相を示した。以上のことから塩分の含有量が少ない場合でも劣化の進行が急速であることがわかる。

図-6は2年以上経過したコンクリートを塩水中で試験した結果を示したものであり、 $W/C = 60\%$ 以上の場合は劣化が急速であり5サイクル以内で崩壊しているが、 $W/C = 50\%$ では8サイクルで崩壊し、 $W/C = 40\%$ では15サイクルで崩壊している。また、重量減少率は $W/C = 50\%$ 以上の場合は50%から60%の範囲であり、海水中における写真-1に示すような劣化性状を示しているが、 $W/C = 40\%$ の場合は25%であり、コンクリートの劣化は粗骨材の品質不良の部分からの劣化が多く、供試体にクラックが発生し、後述する淡水中における劣化に近い崩壊を示した。以上のことから塩水中では $W/C = 40\%$ になると耐久性が向上することがわかる。

図-8は塩水中においてアイスクリーム状に凍結した場合の劣化の進行を示したものである。この場合は一部の水分が未凍結である場合の劣化の状態を示したものであり、供試体内部に未凍結水がある場合の劣化について検討しようとしたものである。試験結果を参照すると、みかけ上完全に凍結した場合より劣化の進行がおそいことがわかる。

6.2 淡水中凍結融解試験

図-9は淡水中における試験結果を示したものであり、古いセメントを用いた $W/C = 80\%$ の場合は40サイクルで崩壊しているが、新しいセメントを用いた場合は60サイクルで崩壊している。このことは塩水を用いた場合と同様な傾向を示しているが、淡水中では劣化の進行がおそいことがわかる。また、 $W/C = 60\%$ の場合は110サイクルで崩壊していることから淡水中では $W/C = 60\%$ 以下になると劣化の進行がおそいことがわかる。重量減少率は古いセメントを使用した場合が30%で急激に崩壊しているが、新しいセメントを用いた場合は40%から50%の範囲であり、写真-3に示すような崩壊を示し、粗骨材とモルタル部の接触面からの劣化にはじまり多数のクラックが発生し、多数の小片となって崩壊した。また、 $W/C = 70\%$ の場合は50サイクルで重量減少率が大きくなっているのは大きい粗骨材の部分からの劣化によるもので重量減少率を求める場合の問題点と考えられる。

6.3 空气中凍結融解試験

図-10は塩水をしみこませた場合と淡水をしみこませた場合について空气中凍結融解を行なった場合についての試験結果である。試験結果を参照すると、塩水をしみこませた場合は40～50サイクルで崩壊しているが、淡水をしみこませた場合は110～130サイクルで崩壊し劣化の進行がおそいことがわかる。また、野外においては冬期においてもコンクリートの表面が乾燥する場合がありますと考え、50サイクルごとに気乾して再吸水させた供試体について試験を行ない比較した。試験結果を参照すると気乾して再吸水させた場合は特に劣化の進行がおそく $W/C = 80\%$ の場合でも150サイクルで崩壊している。

以上の試験結果により、凍結融解の途中で気乾させて吸水させると劣化の進行がおそくなることから考えると

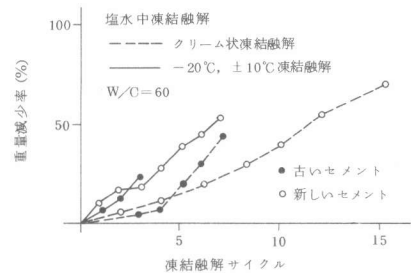


図-8 クリーム状凍結融解による劣化

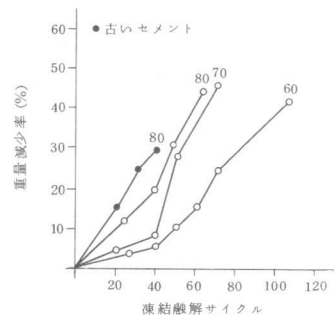


図-9 淡水中凍結融解による劣化

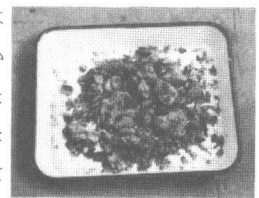


写真-3 淡水中の劣化

室内試験と野外のコンクリートの凍害との関係はコンクリートがおかれる環境、気象条件とによって大きく異なるため、その相関性を求めることは一層複雑な問題であることがわかるが、野外においても常時湿潤状態である場合、ならびに水中にある場合などは薄片供試体による試験によって相関性を求めることは比較的容易と考えられるが、一方、アイスクリーム状に凍結させた場合のごとく一部未凍結水がある場合でも劣化は進行すること、ならびに、水中においても表層部が凍結し、内部が未凍結の場合でも劣化が進行することが確認されているため、供試体が完全に凍結することが必ずしも必要でないようである。以上のことから考えると一部に未凍結水がある場合は当然供試体内部にも未凍結水があると考えてよいわけで凍害に関する水圧説を立証していると考えられさらに検討する必要がある。特に図-8を参照するとみかけ

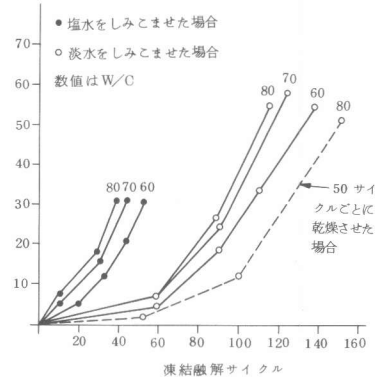


図-10 空气中凍結融解による劣化

上完全に凍結した場合と、アイスクリーム状に凍結した一部に未凍結水がある場合との劣化の差が水圧説と無関係とは思わず、さらに検討する必要がある。また、水セメント比が大きい場合はコンクリートの吸水量も大きいわけで、凍結水の膨張圧を無視できないと考えられた。

標準供試体を切断して薄片供試体とした理由は供試体内部の劣化機構を検討する目的があることは前述したが、場所打ちとして同様な薄片供試体を作成し同様な試験を行なった結果を示したのが写真-4である。写真-4を参照すると劣化の進行とともに供試体内部が膨張し以後崩壊したものであり、外部から劣化の観察は困難であり、供試体を破壊して劣化の状態を判定しなければならない欠点があった。しかし、この膨張の原因はモルタル、またはペーストと骨材との付着がはがれてクラックが発生するなどにより空隙が増加したことによることであきらかとなり、切断供試体と同様な劣化を示していることが確認できた。写真-4はW/C = 70%の供試体を淡水をしみこませ空気中で試験したものである。

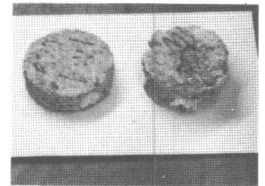


写真-4 場所打ち薄片供試体の劣化

7. 結 論

以上の試験結果、さらに検討しなければならない問題点を結論として記述する。

(1) 古いセメントを使用した場合と新しいセメントを用いた場合、ならびに塩水中、淡水中、空气中など試験材料の変化、試験条件の変化により劣化の進行が異なることはよく知られているが、劣化するにしても劣化の性状が異なることがあきらかとなった(写真1~4参照)。すなわち、劣化はモルタル部からの場合、モルタルと粗骨材との接触面からの場合、前記の両者の混合型、ならびにクラックの発生が多い場合などがあり、劣化機構の検討とともに今後に残された問題点であると考えられる。

(2) 塩水中ではW/C = 40%以下の場合、ならびに淡水中ではW/C = 60%以下の場合に劣化の進行がおそくなり耐久的となるようである。特に海水中の場合は良質の骨材を用いる必要がある。

(3) 塩水中における劣化はアイスクリーム状に凍結した場合のごとく未凍結水が存在する場合でも劣化は進行することから、みかけ上完全に凍結することが劣化の条件でないことがあきらかとなった。

8. あとがき

薄片供試体を用いて凍結融解試験を行なった結果、凍害の機構の複雑なことが理解できたが、野外のコンクリートの凍害との関連を求めることの困難なことも理解できた。しかし、水中にある場合のごとく試験条件が統一された場合は野外の凍害との関連を求めることはそう困難ではないように考えられ、現在、薄片供試体について試験中であり、まとめ次第報告する予定である。また、薄片供試体とすると種々の試験ができる利点がある。