

[88] コンクリートの凍結融解促進試験

正会員 石田 宏 (岩手大学 工学部)

1. まえがき

コンクリートの耐久性、特に凍結融解に対する抵抗性に影響を与える要素は、一般に構造物がおかれる環境、ならびに気象作用のほかコンクリートをつくるために用いた材料や、施工の良否に関係することはよく知られている。この凍結融解作用によるコンクリートの劣化に関する試験はASTMの凍結融解試験方法を準用しているが、我が国ではいまだにJISに規定されていないのが現状である。在来から行なわれているこの試験方法は大型の試験装置であるため、より簡易でかつ劣化の状態を迅速に求めることができること、ならびにコンクリートの内部がどのように劣化するかを検討することも有意義と考えられたので、簡易な促進試験方法の一案について検討したことを報告する。

2. 簡易な促進試験方法を開発する目的

(1) 在来のコンクリートの凍害についての研究は室内試験では次のようなことが一般に行なわれている。すなわち、コンクリート供試体(10×10×40cm程度のもので、以下に標準供試体と仮によぶことにする)を一定の条件のもとで凍結融解を行ない、劣化の進行状態を動弾性係数の変化、劣化による供試体の一部が剝離することによる重量の変化、ならびに供試体の長さの変化などについて試験を行ない耐久性の判定、ならびに劣化機構の研究を行なっているが、いずれもASTMの凍結融解に関する方法を準用している。しかし、コンクリートの内部がどのように劣化しているかを直接に検討することができないとともに比較的長期間を要する。また、在来のASTMの試験方法はコンクリートの耐久性の判定、ならびに凍害の機構の研究に大きく効頭してきたが一般に試験装置の規模が大きく、他の試験方法のごとく容易に試験できない欠点がある。

(2) 凍害に関する野外調査によると、凍害はコンクリートが多孔質で直接の原因となる水分の含有量が多いコンクリート、すなわち吸水量の多いコンクリートに発生する。また、凍害の著しい部分は隅角部のごとく、外気、または水分にふれる部分の多い場所、ならびに同一条件では部材断面が比較的小さい場合に劣化の進行が速く、また構造物の使用目的に与える影響が大きい。

(3) コンクリートの凍結融解作用による劣化の状態を速く求めるため、前記(1)、(2)項を参照し、在来の供試体より、小断面の供試体を用いると供試体の温度変化を小規模な設備でより速く行なうことができること、ならびに供試体の形状を薄片状にすると外気、または水分にふれる表面積が大きくなり、伝熱上からも有利となる。また供試体を薄片状とすることにより、試験用供試体を多くとれること、ならびに現場から採取したコアからも試験用供試体を容易に作成することができることともに野外におけるコンクリートの凍害との関係を検討することができる利点がある(特に凍害をうけたコンクリートの内部の凍害をうけない部分からコアを採取して試験用供試体を作成し試験するなど)。

以上の3点に留意し、凍害に対する耐久性の判定、ならびに機構の研究にかかせない簡易な促進試験方法を開発する必要がある。

3. 促進試験用供試体の作成方法

試験用供試体は図-1に示すごとく標準供試体(10×10×40cm)を1.0~3.0cmの厚さに切断し薄片状の供試体として劣化の促進とコンクリートの内部、特に骨材とペーストとの劣化の状態を観察によって判定できるようにした。

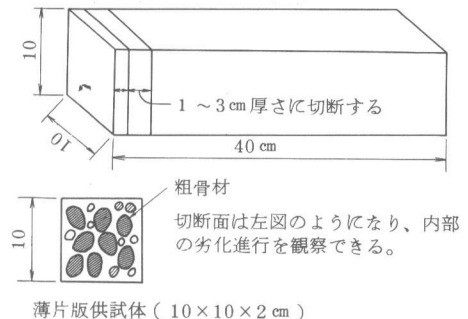


図-1 促進試験用薄片状供試体の作成方法

4. 薄片状供試体を作成する場合の問題点

標準供試体を切断して薄片状供試体とする場合に、切断時に供試体にクラックなどが発生して供試体を損傷することも考えられたので、切断した供試体表面を実体顕微鏡によって観察するとともに、場所打ちとして薄片状供試体を作成してコンクリートの吸水量を測定し両者を比較検討することにした。さらに、場所打ちとして作成した薄片状供試体についても同様な条件で凍結融解試験を行ない比較検討した。

5. 試験方法

供試体を薄片状とした理由は前述せるごとく、コンクリートの内部の劣化機構の検討と促進試験用供試体としての適否の判定を行なうためであり、次のような試験を行なった。

試験は空冷式の完全自然熱サイクル試験機を用い薄片状供試体が凍結融解にともない劣化がどのように進行するかを検討することにした。また、標準供試体(10×10×40cm)についても同一条件で試験を行ない在来のごとく動弾性係数の変化、重量の変化による劣化の進行についての検討を行ない比較することにした。

また、凍結融解によるクラックの発生などによる劣化の進行にともないコンクリートの吸水量が増加することが考えられるので、劣化の進行を判定する一方法としてコンクリートの吸水量の測定を行ない、劣化の進行と吸水量の増加との関係について検討することにした。

試験は凍結融解温度を-20℃、+5℃とし、1日3サイクルとした。表-1は試験用供試体の配合を示したものである。

次に海洋におけるコンクリート構造物の凍害について検討するため、海水中におけるコンクリートの劣化について同様な試験を行ない淡水中における劣化と比較検討することにした。

6. 試験結果

表-1 コンクリートの配合

(1) 促進試験用供試体としての薄片状供試体の作成方法についての適否について

標準供試体を切断して薄片状供試体とした場合にクラック等が発生し、供試体が損傷を受けることが考えられたので、場所打ちとして同様な供

配合	最大寸法	スランブ	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	1,010
5	20	10	1.0	80	45	210	260	800	1,025
細骨材 比重 2.56, 吸水量 2.81, 粗粒率 2.91									
細骨材 比重 2.59, 吸水量 2.97									

試体をつくり吸水量を測定した結果を示したのが表-2である。試験結果を参照すると場所打ちとした場合に若干ではあるが大きい値となっているが、ほとんど差はないと考えられる。また、実体顕微鏡(100倍程度)による観察によっても微小クラックの発生、ならびに隅角部に損傷がみとめられた場合もあったが、切断時に注意することによってさけることができることがわかった。以上のことから試験用供試体として満足できるものと考えることができる。また、練りませ水として海水を用いた場合についても試験を行ない、淡水を用いた場合と比較した結果、ほとんど差はなかったが、この点に関してはさらに検討を要すると考えられる。

(2) 凍結融解による外見上の変化

写真-1はW/C=80%の標準供試体における凍結融解40サイクル後の劣化の状態を示したもので、供試体はコンクリートのねりませ水として淡水を用いたものを海水中で凍結融解を行なったものである。同様に淡水中での試験では変化はなかった。写真-2はW/C=60%~80%の海水中における促進試験用薄片状供試体の15サイクル後における劣化の状態を示したものであり、5サイクルで劣化の進行があらわれ、10サイクルで外見上は写

表-2 薄片状供試体の吸水量

W/C	切断した供試体	場所打ち供試体
70%		
角柱 淡水	10.71	11.01
角柱 海水	10.88	10.74
円柱 淡水	10.42	10.75
円柱 海水	10.27	10.83

練りませ水として海水と淡水を行使した場合についても比較した。

真に示す状態となった。また、淡水中において 表-3 標準供試体と薄片状供試体の劣化の比較表

同様な試験を行なった場合は、30サイクルで粗骨材が剝離し、50サイクルで崩壊している。以上のことから、供試体を薄片状とすることによって劣化の進行を促進することができ、促進試験用供試体としての目的は達せられたと考えることができるとともに、写真-2を参照するとコンクリート内部の劣化機構をよく説明している。すなわち、海水中においては劣化の進行が急速なこと、ならびにコンクリートの劣化は粗骨材とモルタルとの接触面より進行していることを示しているが、海水中における劣化の急速なことに関する問題点についてはさらに検討を要することである。

写真-1

ねりませ
水淡水
W/C
80%

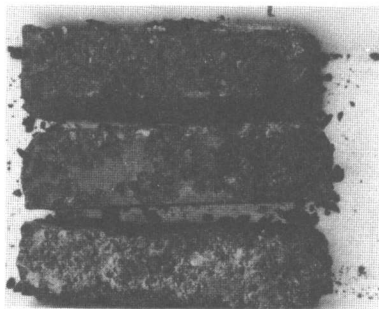
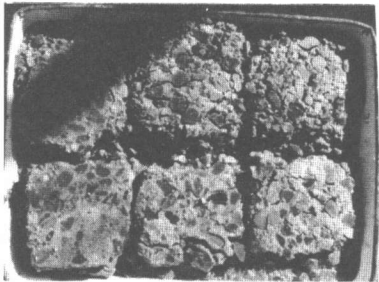


写真-2

ねりませ
水淡水
ねりませ
水海水
W/C 60% 70% 80%



(3) 標準供試体と薄片状供試体との劣化の比較

表-3は凍結融解試験において標準供試体と薄片状供試体とを同一条件のもとに試験を行ない劣化の進行状態を比較検討したものである。淡水中における凍結融解試験では標準供試体の場合は120サイクルではW/C=80%の場合

表-3の説明

1. 下段は外見上の観察による剝離面積の割合を数値で示す。 2. 上段は動弾性係数の測定値

水セメント比 (%)	凍結融解 サイクル (回数)	標準供試体 (10×10×40 cm)		薄片状供試体 (10×10×2 cm)	
		海水中	淡水中	海水中	淡水中
80	10~15		100%	10サイクルで崩壊	外見上変化なし
		表面剝離 30%	外見上変化なし		
	30~40	70%	同上		粗骨材の剝離いちじるしい。
		表面剝離 100%			
	50~60	60%	95%		45サイクルで崩壊
原形をとどめない		同上			
120		85%			
70	10~15		100%	10サイクルで崩壊	外見上変化なし
		表面剝離 20%	外見上変化なし		
	30~40	表面剝離 50%	同上		粗骨材の剝離
		70%	97%		
	50~60	表面剝離 100%	同上		50サイクルで崩壊
120	原形をとどめない	88%			
60	10~15		100%	20サイクルで崩壊	外見上変化なし
			外見上変化なし		
	30~40	表面剝離 30%	同上		粗骨材が剝離しはじめる
		85%	98%		
	50~60	表面剝離 70%	同上		60サイクルで崩壊
120	原形をとどめない	75%	92%		

供試体の一部に外見上の劣化が観察され動弾性係数は85%前後の値に低下していることが測定されたが、 $W/C = 60\%$ と 70% の場合は外見上の変化は認められず動弾性係数の低下はそれぞれ90%と88%であった。次に海水中において凍結融解した場合は淡水中におけるよりも劣化の進行が急速であることがわかる。すなわち、 $W/C = 80\%$ では50サイクルで外見上は原形をとどめないほど劣化し、動弾性係数の変化は60%以下にまで低下している。 $W/C = 70\%$ の場合は50サイクルで外見上の変化は $W/C = 60\%$ の場合ほどでないが、かなり進行していて構造物としての使用目的は達せられないほどになり、動弾性係数の低下は70%であった。 $W/C = 60\%$ の場合は50サイクルで表面の剝離があり、外見上は構造物の使用目的をかるうじて達成していると考えられた。動弾性係数の低下は50サイクルで85%であった。また、120サイクルで動弾性係数の測定ができたのは $W/C = 60\%$ の場合だけであり、その低下率は75%であった。

以上の試験結果より、 $W/C = 70\%$ と 80% の場合を比較すると、海水中における標準供試体の崩壊時の60サイクルと薄片供試体の淡水中における崩壊時の50サイクルとほぼ同程度の劣化の進行状態となり、薄片供試体とすると海水中における標準供試体の劣化とほぼ同程度の劣化の進行があらわれるようであるが、 $W/C = 60\%$ の場合は薄片状供試体が海水中では20サイクルで崩壊しているのに対し、淡水中においては100サイクル以上になって崩壊せず、 $W/C = 70\%$ と 80% の場合と異なる結果となったが、さらに検討する必要がある。また、海水中における劣化が急速な原因の求明は今後に残された問題であるが、逆に海水を利用して凍結融解に対する耐久性の判定用としての促進試験方法として研究することも有意義と考えられる。

(4) コンクリートの吸水量による劣化の進行の検討について

コンクリートの凍害の直接の原因となるコンクリート内の吸水量は W/C が大きくなり、単位水量が多い場合に大きくなり劣化しやすいことが判明している。ここで、凍結融解による劣化の進行状態を吸水量の変化によって検討することに関する試験を行なった。

図-2は薄片状供試体についての試験結果であり、劣化の初期(粗骨材の剝離が少ない場合)におけるもので、劣化の進行によってコンクリートの吸水量が増加している。しかし、劣化が著しくなると、粗骨材の剝離によってモルタル部分が多くなること、ならびに発生したクラックが成長するにしがたい、この部分から破壊するため、吸水量の測定結果に誤差が大きくなるとともに、吸水量の測定が困難になる問題点がある。しかし、吸水量の増加は劣化の進行を示しているため、凍害をうけることを示しているわけで、凍結融解をうけても吸水量が増加しないコンクリートが凍害をうけないコンクリートとなるわけで、このことから考えると吸水量の測定が劣化の判定の指標となると考えることができるが、測定誤差が他の方法より大きいようである。ただし、劣化の進行状態を検討する目的で吸水量の測定を行なう場合は前述のごとく限度があるようであるが、劣化の進行の初期におけるクラックの発生等の増加(実体顕微鏡による観察等)と吸水量の増加の関連を求め劣化機構の検討に利用できると思われる。

7. あとがき

凍結融解試験方法の一案として簡易な促進試験方法についての検討を行なった結果、より小規模な設備で試験できることがわかったので試験装置の開発とともにさらに検討する必要がある。また、野外におけるコンクリートの凍結融解に対する劣化との関係を求めるには在来の方法よりも有利であると考えられる。この点に関し検討中であり、まとも次第報告する予定である。本試験では水中における凍結融解試験であるが薄片状供試体の場合は十分湿潤状態にするとほぼ同様な結果となることがあきらかとなったが、さらに検討する必要がある。

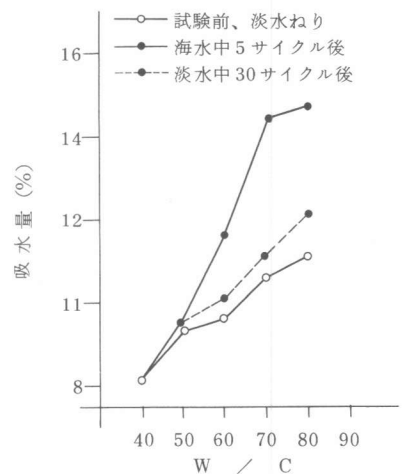


図-2 薄片状供試体の試験結果