

[19] 乾燥が高強度軽量コンクリートの耐凍結融解性に与える影響

正会員 ○橋 大介（清水建設技術研究所）

正会員 今井 実（清水建設技術研究所）

正会員 岡田 武二（清水建設技術研究所）

1. まえがき

高強度軽量コンクリートの耐凍結融解性に影響を与える支配的要因の1つは、著者らの実験¹⁾で指摘されたように練り混ぜ前の軽量粗骨材の含水率である。含水率5%程度以下の軽量粗骨材を練り混ぜ時に使用すれば乾燥していない場合でも充分耐久性のあるコンクリートを製造することができるということが示唆されている。

一方、洪らの研究報告^{2),3),4)}によれば、含水率が比較的高い（9～20%以上）軽量粗骨材を用いたコンクリートでも、気中乾燥させることによって充分な耐久性が確保されるという知見も得られている。

充分プレウェッチングした軽量粗骨材を用いた高強度軽量コンクリートに関しては、気中乾燥によりコンクリートの含水率を数種類に変化させた場合のコンクリートの飽和度（2.2実験方法参照）と耐久性との関係は明らかにされていない。

本研究は、プレウェッチング軽量粗骨材を使用した高強度軽量コンクリートの耐凍結融解性におよぼす気中乾燥の影響を実験的に検討し、コンクリートの飽和度に着目してその限界を求め、室外の壁体を対象にコンクリート乾燥表面からの深さと含水率・飽和度との関係をも明らかにし、この種コンクリートを使用した実際の構造部材の耐凍結融解性に関して若干の考察をしたものである。

2. 実験概要

2.1 使用材料およびコンクリート配合

セメントは普通ポルトランド

表－1 コンクリート配合

セメント（比重3.16）を使用した。粗骨材は市販の造粒型人工軽量粗骨材P（絶乾比重1.28，粗粒率6.27）と非造粒型人工軽量粗骨材N（絶乾比重1.29，粗粒率6.32）の2種類とした。

細骨材は橋田川産および木曽

配合名	軽量粗骨材の種類	練り混ぜ前の粗骨材の含水率 (%)	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単 位 量 (kg/m³)						混和剤 (C+FA) または (C+SF) ×wt%		
					水 W	結 合 材			細骨材 S	粗骨材 G	高性能 減水剤	A E 剤	流動化剤
						セメント C	フライ アッシュ FA	シリカ フューム SF					
NMF	非造粒型	28.1	30.8	35.0	160	520	52	—	533	612	1.0	0.05	0.5
NMS							—	52	530	609	1.4		0.6
PMF	造 粒 型	29.5					52	—	533	632	1.0		0.5
PMS							—	52	530	629	1.4		0.55

川産の川砂を粒度調整（表乾比重2.57，粗粒率2.69）して用いた。混和材は、フライアッシュ（比重2.28）またはシリカフューム（比重2.02）のいずれかを用いた。また混和剤としては天然樹脂酸塩を主成分とするA E 剤，ポリアルキルアリルスルホン酸塩を主成分とする高性能減水剤および流動化剤を使用した。

コンクリートの配合は、使用軽量粗骨材の種類および混和材の種類を変えて表－1に示す4配合とした。

2.2 実験方法

コンクリートの練り混ぜは以下に示すとおり行った。

強制練りミキサによりベースコンクリートの練り混ぜを1分30秒行った後、可傾式ミキサ（回転数5.3 r.p.m.）に移し、流動化剤を添加して15分間練り混ぜることにより流動化コンクリートを製造した。

試験項目としては、フレッシュコンクリートの物性試験，圧縮強度試験，ASTM-C666 A法に準拠した凍結融解試験およびASTM-C457 リニアトラバース法による硬化コンクリートの気泡組織の測定とした。

凍結融解試験に用いる供試体（寸法10×10×40 cm）は14日標準水中養生後（一部の供試体は7日湿布養生後）

に恒温恒湿室（温度 $20 \pm 1^\circ\text{C}$ ，湿度 $60 \pm 5\%$ R.H.）に移し，乾燥期間 0～78 日経過した供試体を水中浸漬させた後，適宜試験に供した。

コンクリートの耐凍結融解性は，共振装置を用いたたわみ振動方法により測定算出される相対動弾性係数および耐久性指数で評価し，耐久性指数は式(1)より求めた。

$$D.F. = \frac{P \cdot N}{M} \times 100 (\%) \quad (1)$$

ここに，D.F.：供試体の耐久性指数（％），P：凍結融解 N サイクルにおける相対動弾性係数（％），N：P が特定の値（60 ％）となるまでのサイクル数あるいは試験を終了するサイクル数（回），M：試験を終わらせる特定のサイクル数（300 回）

また，凍結融解試験時のコンクリートの飽和度（％）は，飽水状態の供試体に含まれる水量（供試体内の全空隙量）に対する試験時の供試体に含まれる水量（湿潤空隙量）の比とした。これらの値は凍結融解試験開始直前に飽和度測定用供試体の重量を測定し，重量変化しなくなるまで炉乾燥（ 110°C ）して絶乾重量を求め，さらにこの供試体を容器に入れ真空ポンプ（真空度 0.01mmHg ）で 2 時間脱気した後，水圧（ $40\text{kg}/\text{cm}^2$ ）を加えて 1 日吸水させて飽水重量を求めることで算定した。

次にある期間乾燥させたコンクリートの乾燥表面からの深さと含水率・飽和度との関係は，長さの異なる供試体（長さ $l=8, 16, 24, 32$ および 40cm ）の重量変化から求める方法⁵⁾とし，式(2)より求めた。

$$c_i(x_i, t) = \left\{ 1 - \frac{w_i - w_{i-1}}{w_0(l_i - l_{i-1}) \cdot S} \right\} \times 100 (\%) \quad (2)$$

ここに， $c_i(x_i, t)$ ：ある時間 t における乾燥表面からの深さ x の点の残留水量（％）， l_i ：供試体の長さ（cm）， w_i ：長さ l_i の供試体の時間 t における逸散水量（g）， w_0 ：単位体積当りの可能逸散水量（ kg/ℓ ）—炉乾燥（ 110°C ）により求める， S ：乾燥表面の面積（ 100cm^2 ）

なお本実験に限っては，供試体を材令 14 日まで標準水中養生し，恒温恒湿室に移し乾燥を開始する前に乾燥表面である両端面を残し，他の 4 面はエポキシ樹脂で被覆し，水分逸散が 1 次元方向のみとなるように配慮した。

3. 実験結果

3.1 コンクリートの諸物性

フレッシュコンクリートの物性，材令 28 日における圧縮強度および硬化コンクリートの気泡組織の測定結果は表-2 に示すとおりとなった。

混和材にシリカフュームを用いた場合，フライアッシュに比較して圧縮強度が大きくなり，気泡間隔係数が小さくなる傾向がみられた。

3.2 凍結融解試験に用いる供試体の含水率と飽和度

図-1 は乾燥によるコンクリートの含水率および飽和度の経時変化の 1 例を示したものである。（ここでいう含水率は供試体に含まれる水量の，供試体容積に対する百分率を言う。）同図より明らかなように混和材にシリカフュームを使用した場合，乾燥による水分逸散量がフライアッシュに比較して幾分少なかった。これはシリカフュームがかなりの微粉末であるためフライアッシュを用いたコンクリートより緻密になり，水密性が向上したためと考えられる。

表-2 コンクリートの諸物性

配合名	フレッシュコンクリートの物性			材令 28 日における圧縮強度 (kg/cm^2)	硬化コンクリートの気泡組織		
	スランブ (cm)	空気量 (%)	単位容積重量 (kg/m^3)		比表面積 α (nm^2/mm^3)	空気量 (%)	気泡間隔係数 L (μm)
NMF	20.0	5.2	1902	525	19.4	4.5	290
NMS	21.0	5.5	1891	547	29.5	4.1	199
PMF	22.0	5.8	1891	507	24.6	4.1	239
PMS	22.0	6.3	1890	567	26.9	4.7	206

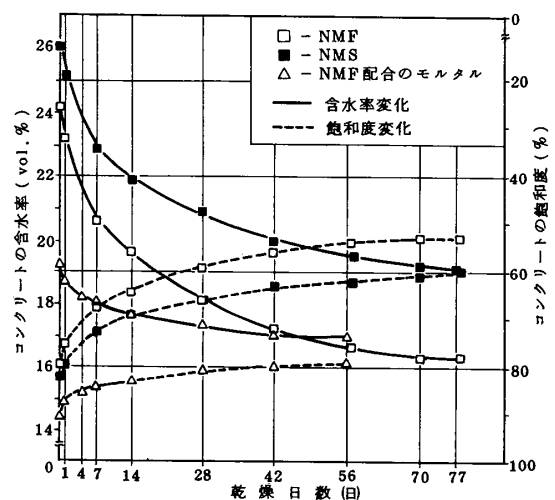


図-1 乾燥によるコンクリートの含水率および飽和度の経時変化

またコンクリートと同一配合のモルタルとを比較すると、コンクリートはモルタルに比較して乾燥による水分逸散量が3倍以上となり、プレウェッチング粗骨材中の水分が急激に蒸発拡散していることがわかる。

このように0～78日間気中乾燥させることで逸散水量が0～8 vol. %の範囲となった供試体を用いて凍結融解試験を行った。なお、この期間でのコンクリートの圧縮強度の差は約80 kg/cm²程度であった。

3.3 耐凍結融解性

文献1)では、コンクリートを気中乾燥させることなく凍結融解試験を行った場合の耐久性指数と練り混ぜ前の粗骨材の含水率との関係について報告されているが、この関係を耐久性指数とコンクリートの飽和度との関係に置き換えてグラフ化すると図-2が得られる。同図によれば、コンクリートの飽和度が55%程度以上の場合耐久性指数が極めて小さくなるが、飽和度が50%程度以下になると耐久性指数は急激に増大し、飽和度が45%程度以下で十分な耐久性が得られるようである。

本実験でのプレウェッチング粗骨材を用いたコンクリートの気中乾燥後の凍結融解試験結果は、以下に示すとおりになった。

図-3は、配合NMSの供試体の凍結融解作用による相対動弾性係数の変化を示したものである。同図によれば、乾燥日数の増加に伴い凍結融解作用による相対動弾性係数の低下は小さくなり、供試体を乾燥させることでかなり耐久性が向上することが確かめられた。

この結果をより明確にするために、コンクリートの飽和度と耐久性指数との関係を求めると図-4に示すとおりになった。コンクリートの飽和度と耐久性指数との間にはかなりの相関性がみられ、プレウェッチング骨材を使用したコンクリートの場合優れた耐久性（耐久性指数80%以上）を得るには、乾燥によりコンクリートの飽和度を55%程度以下にする必要があると思われる。

この結果はコンクリートの飽和度が等しい場合でも、気中乾燥したコンクリートと気中乾燥しないコンクリートとでは、気中乾燥したコンクリートの方が耐久性指数が大きくなることを示している。このような結果になったのは、凍結融解試験時における両者のコンクリート中の水分分布状態にかなりの相違があったため等によるものと思われる。

また混和材にシリカフュームを使用した場合、フライアッシュを用いた同一飽和度のコンクリートと比較して耐久性指

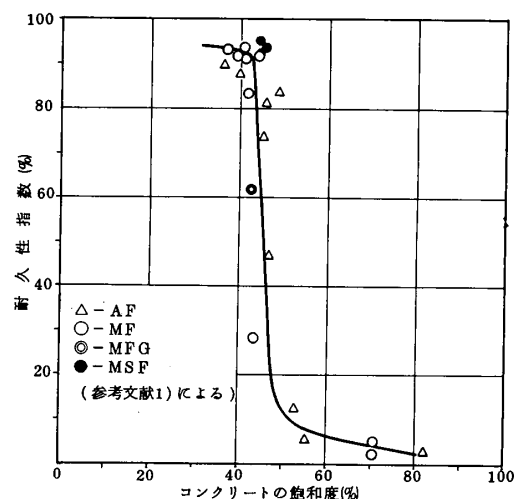


図-2 コンクリートの飽和度と耐久性指数

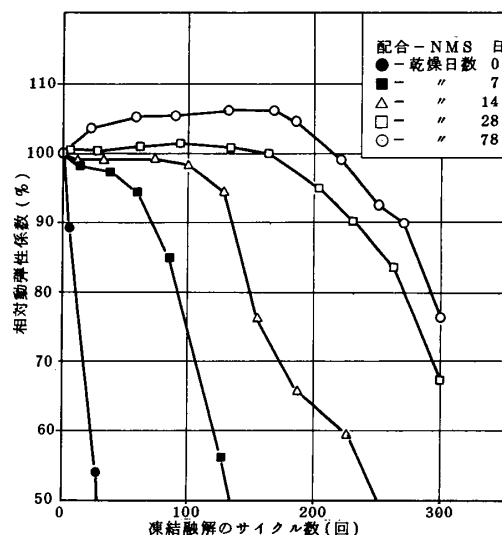


図-3 凍結融解作用による相対動弾性係数の変化

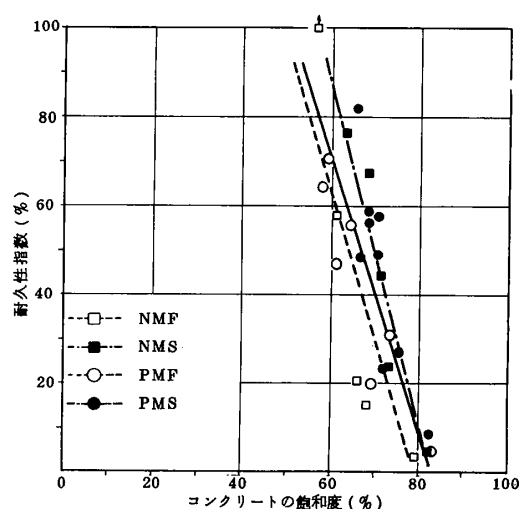


図-4 コンクリートの飽和度と耐久性指数

数が大きくなる傾向がみられた。一方、軽量粗骨材の種類の違いによる影響は殆どみられなかった。

3.4 乾燥表面からの深さと飽和度との関係

図-5は長さの異なる供試体の乾燥による逸散水量の経時変化を示したものである。

コンクリート乾燥表面からの深さと残留水量・飽和度との関係は、この結果を用いて式(2)より算出した。

図-6は乾燥126日におけるコンクリートの残留水量および飽和度の分布を示したものである。同図より明らかなように、高強度軽量コンクリートの乾燥は、表層部では比較的顕著であるが内部では極めて緩慢であるという結果になり、普通コンクリートを対象として行った既往の研究報告⁵⁾とほぼ同等な結果が得られた。乾燥126日におけるコンクリートの残留水量および飽和度は、深さ2cmのところにおいては、各々73%および59%程度までしか低減していない。

従ってプレウェッチング骨材を使用した高強度軽量コンクリート部材の飽和度は、部材厚が薄く、かつかなりの乾燥日数を経なければ55%以下にはならないと言える。

4. ま と め

本研究の範囲内で得られた結果をまとめると以下に示すとおりになる。

- 1) 十分にプレウェッチングした軽量粗骨材を用いた高強度軽量コンクリートの耐凍結融解性は、コンクリートを気中乾燥させることで耐久性を向上させることができ、乾燥によりコンクリートの飽和度を55%程度以下に低減すれば、優れた耐久性(耐久性指数80%以上)を得ることができた。
- 2) コンクリートの乾燥は表層部では比較的顕著であるが内部では極めて緩慢であるという従来の普通コンクリートとほぼ同等な結果が得られた。

以上の事から、プレウェッチング軽量粗骨材を使用した高強度軽量コンクリートを凍結融解作用を受ける地域で構造部材として用いる場合、部材厚が薄い場合には乾燥を促進することにより耐凍結融解性の向上ができる。しかし部材厚が大きく、屋外の壁体の場合には低含水率(5%程度以下)の軽量粗骨材を使用するのが肝要かと思われる。

参考文献

- 1) 橋大介, 大野義郎, 黒木一実, 岡田武二: 高強度軽量コンクリートの耐凍結融解性に関する研究, コンクリート工学年次講演会論文集, No.6, 1984
- 2) 長谷川寿夫, 洪悦郎: コンクリートの湿潤程度と耐凍害性の関係について, セメント技術年報, No.28, 1974
- 3) 中村修吾, 松貝勇: 軽量コンクリートの凍結融解耐久性, 土木学会年次講演会講演概要集, vol. 29, 1974
- 4) 横山昌寛, 山下時夫, 伊藤芳雄: 人工軽量骨材コンクリートの急速凍結融解作用抵抗性に関する実験研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1984
- 5) 阪田憲次, 蔵本修: 乾燥に伴うコンクリート中の水分の逸散と乾燥収縮に関する研究, 土木学会論文報告集, 第316号, 1981

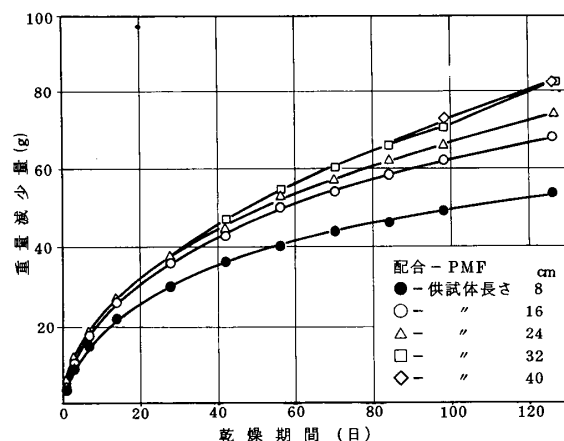


図-5 乾燥による供試体の逸散水量

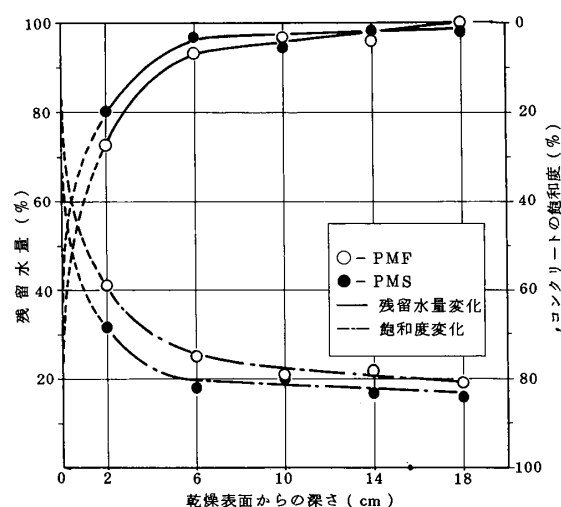


図-6 コンクリートの残留水量および飽和度の分布(乾燥126日)