

1. 緒 言

コンクリートの凍害については今までに多くの研究がなされ、そのメカニズムについても種々の説が発表されている⁽¹⁾。しかし、最近、世に出つつあるガラス繊維補強セメント製品(以下GRCと略称する)についてはこの研究はほとんど行なわれていない。GRCはその製造方法によって物性値が著しく異なるが、⁽²⁾ここでは一般的によく行なわれているスプレー法で作ったGRCについての凍害抵抗性について検討した。GRCの凍害抵抗性を変える因子としては、原料、製造条件、養生条件、材令などが挙げられるが、GRCの中に含有される気孔内の水の凍結が組織を破壊し強度低下を起すという観点に立てば、GRCの気孔中の水の凍結の程度と気孔を囲むGRCのミクロな部分の強度が最も重要な因子と考えられる。気孔内の水の凍結温度は気孔の径によって著しく異なっている。⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾一般的には気孔の径が小さくなるほど水の凍結温度は下り凍結抵抗性は上がることが知られている。そこで、著者らはGRCの場合もこの中に含有される気孔の構造が凍害に最も大きな影響を与えるものと考えて、GRCの凍害抵抗性とその気孔の構造との関係を検討した。

2. 使用材料

GRCの作製に使用したセメントは普通ポルトランドセメント、早強ポルトランドセメント(共に三菱鉱業セメント社製)およびアルミナセメント(旭硝子社製アサヒフォンジュ)で、砂は君津産珪砂の粒径2mm以下の部分を細骨材として用い、粗骨材は使用しなかった。この珪砂の粒度分布を表1に示す。ガラス繊維は耐アルカリガラス繊維ロービング(商品名:Cem-FILロービング)を用いた。これは3本の繊維ストランドからなり、1本のストランドは204本のフィラメント(直径13μm)が集束されたものである。

3. 試料の作製と凍結融解試験

Cem-FILロービングをチョッパーガンで37mm長さに切断しストランド状となし、セメントモルタルと同時に、これを型枠の上に吹きつけてGRC試料

表-1 君津産珪砂の粒度分布

砂の直径 (mm)	2.0~1.2	1.2~0.6	0.6~0.3	0.3~0.15	0.15~0.07
(wt%)	8.0	17.0	45.5	24.5	5.0

表-2 各種GRCの原料調合

NO.	1	2	3	4
GRC試料符号	DA3/2	D3/2	DOP3/2	D1/1
セメント	アルミナセメント	早強セメント	普通セメント	早強セメント
セメント/砂	3/2	3/2	3/2	1/1
水セメント比 (%)	32	32	32	32
ガラス繊維 (wt%)	5	5	5	5

表-3 20℃28日湿空養生後のGRCおよびモルタル硬化体の物性

NO.	曲げ強度 (kg/cm ²)	衝撃強度 (kgcm/cm ²)	ヤング率 (10 ⁴ x kg/cm ²)	かさ比重	吸水率 (%)
1. DA3/2	367	18.5	25.2	2.14	8.00
2. D3/2	343	17.0	23.2	2.04	9.35
3. DOP3/2	351	17.4	24.5	2.07	8.63
4. D1/1	251	15.0	24.2	2.00	9.91
*1 5. モルタル	83.0	1.1	21.3	2.03	11.0
*2 6. AE剤添加モルタル	75.9	1.0	19.0	1.98	11.4

*1: NO.2のマトリックスモルタル部と同じ調合のモルタルで流し込みによって、作られた。

*2: NO.5のセメントに対してビソル70を0.04%添加。

を作製した。GRCのガラス繊維含有量は5wt%になるようにし、かつ、GRC試料の厚さは25mmになるまで、繊維とモルタルを吹きつけ、こて仕上げによって表面を平滑にした。吹きつけた板状GRCは20℃湿空で28日養生し、凍結融解試験に供した。GRCはコンクリートと異なり一般に板状で使用される事が多いので、供試体の寸法は25×100×400mmとし、ASTM(C666-75)に準じた方法で凍結融解試験をした。すなわち、供試体の中心温度が-18℃から+5℃の間を1サイクルとして1日6サイクルを水中で繰返し、300サイクルまで試験した。

試験に用いられたGRCの原料調合を表-2に示す。吹きつけで作られるGRCのマトリックスモルタル部分の気孔構造は通常の流し込みで作られるモルタル硬化体のものと相当異なることが予想される。そこで表-2のD3/2と同じ調合のモルタル硬化体を流し込み成形し、20℃湿空で28日まで養生し、細孔構造、カサ比重、強度などの測定を行なった。ここで用いられる試料の諸物性を表-3にまとめた。

4. 気孔の測定方法

細孔の半径が75Åから100μまでの範囲のものについては水銀圧入式ポロシメーターを用いた。試料としては所定の材料の試験体から12個の5mm角の試料を切り出しこれを40℃で2日乾燥したものをを用いた。測定される気孔はモルタル内の気孔とガラス繊維とモルタル界面に存在する気孔も含んでいる。一方、モルタルのペースト中に含有されるエントレインドエアーとエントラップドエアーについては前者と同じ乾燥条件の試料から薄片を作り、これの9倍の写真を取り、この写真の中に見られる気孔の直径と気泡数の関係を求めた。但し砂の中にある気泡は少ないので計数しなかった。この関係から気泡の直径とその体積百分率を計算で求めた。計測した気泡はすべて球状であり、薄片試料の測定面積は2.5~4.0cm²であった。試料の一定体積中に占めるこの気泡の総容積率は薄片の中の気泡の面積の合計を測定面積で除して求めた。

5. 実験結果と考察

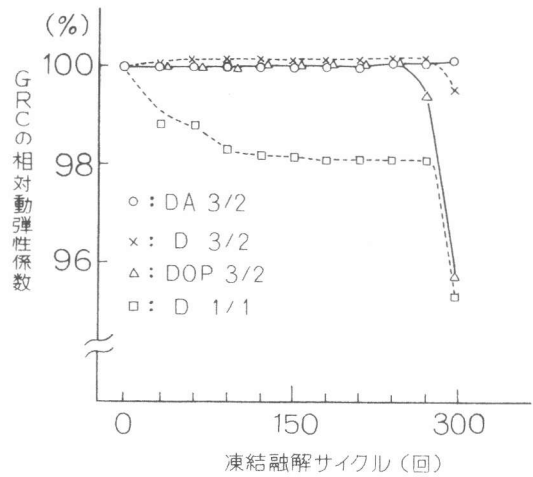


図-1 各種GRCの凍結融解試験結果

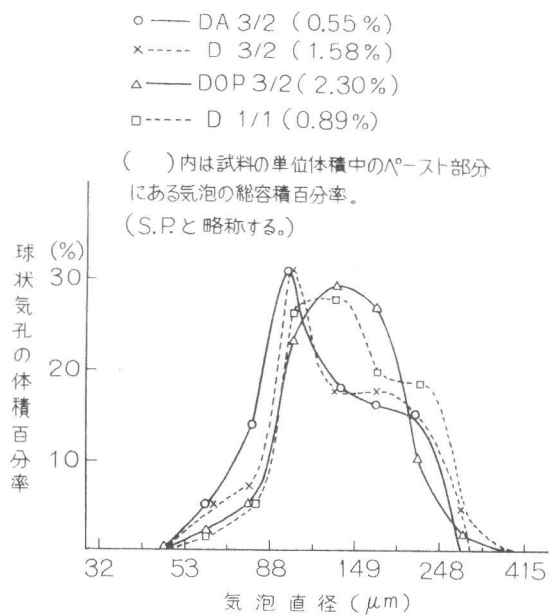


図-2 GRC薄片で観察される球状気泡分布

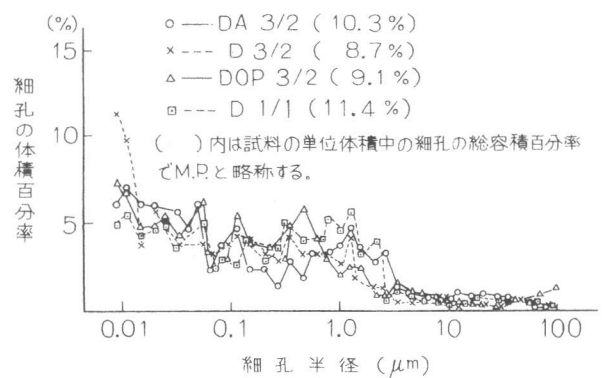


図-3 各種GRC細孔分布の水銀ポロシメーターによる測定結果

凍結融解試験による相対動弾性係数の低下は3個の試料の平均値で図-1に示した。アルミナセメントのGRC(DA3/2)が最も優れていて、300サイクルまで弾性係数の低下は全くなかった。早強セメントの場合(D3/2)は300サイクルで若干の低下が認められた。普通セメントの場合(DOP3/2)は270サイクルで若干低下し、300サイクルではさらに低下した。D1/1の場合は90サイクルで、すでに低下が認められ、300サイクルで、さらに大きく低下した。しかし、全般的に見て普通のコンクリート製品などと比べると300サイクルにおいても95%の弾性率を保持していることから、GRCの凍害抵抗性は非常に優れていると考えられる。

各種GRCの気孔分布の測定結果を図-2と図-3に示す。直径40 μ ~400 μ の間の球状の気泡についてはDA3/2, D3/2, DOP3/2, D1/1の順に直径の小さい気泡の比率が多く、凍害抵抗性と良い相関が認められた。これは気泡内の水が凍結し始めた時に水の圧力は増加するが気泡が小さいほど、その水が気泡表面から拡散によって気泡外へと逃げる面積は大きくなるので水の圧力が上りにくくなるためと考えられる。また、図-2に示されるS.P.値はDA3/2, D3/2, DOP3/2の順に増加し凍害性と相関を示すが、これはセメントの硬化速度とその機構に関係があると思われる。D1/1では比較的S.P.の値が少なくなっているのは砂の量が多くなりペーストの部分が減少するからであると考えられる。

気孔の半径が0.01~100 μ までの細孔については、3 μ 以上の細孔量は比較的少なかった。DA3/2を除けば細孔の半径が3 μ 以下の範囲でより小さい半径の細孔を多く含むものほど耐凍害性が優れている傾向が認められた。しかし、図-3のM.P.値については各GRC間で大きな差がなかった。気孔構造と凍害抵抗性の間にはDA3/2を除けば、図-1, 2, 3から、気孔はできる限り小さいものが多い方が優れた凍害性を示すことが判明した。DA3/2の例外はM.P.に対してS.P.の値が非常に小さいためと考えられる。したがって、GRCの凍害も気孔の直径の減少による気泡内の水の凍結温度の低下と、凍結時に生じる気孔内の加圧水の微細孔への拡散速度によって大きく左右されるものと考えられる。

以上の実験結果によってGRCの凍害抵抗性は非常に優れていることが判明した。この原因の一つにはモルタルをスプレーして作る製造方法が挙げられる。これを明らかにするため、流し込み法でモルタル硬化体(D3/2のGRCマトリックスモルタルと同じ調合)を作り気孔分布を検討した。この結果を図-4と図-5に示す。モルタル硬化体の薄片で観察できる88 μ 以上の気泡については、88~250 μ までの気泡はGRC(D3/2)に比べて非常に少なくなり、250 μ 以上の気泡が大部分をしめるようになった。凍害抵抗性を高めるのに有効なA.E.剤を0.04%セメントに対し

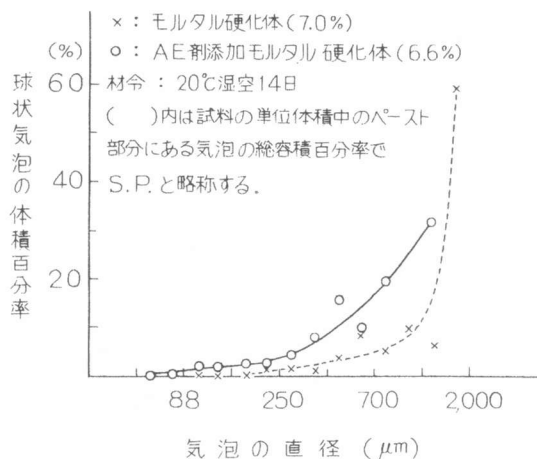


図-4 モルタルの薄片で観察される球状気泡の分布

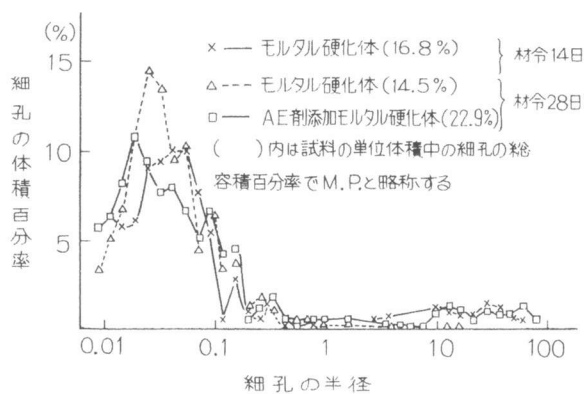


図-5 モルタルの細孔分布の水銀圧入式ポロシメーターによる測定結果

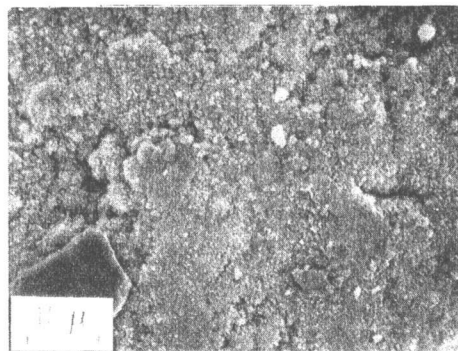


図-6 流し込みで作られたモルタル硬化体の破面

て添加したモルタル硬化体についても，気泡の直径は無添加モルタルよりも相対的に小さいものが増加するが250 μ 以下の気泡の割合はほとんど増加しなかった。また，図-4のS.P.の値はD3/2よりも4倍以上となった。図-5に示されるモルタルの細孔分布は材令の経過によって若干径の小さい方へ変化する傾向があるが，⁽⁶⁾⁽⁷⁾ AE剤の添加によっても同じ傾向が認められた。⁽⁸⁾ モルタルの細孔分布はGRC（図-3）に比べ，半径0.2 μ 以下にほとんどが集まっている。GRCでは0.2 μ 以上でも，かなりの細孔が分布するのと対比的である。これはGRCの場合にはガラス繊維のストランドが含有されているために，繊維とモルタルの間隙にも毛管状気孔が存在しやすくなるためであろう。

このことはGRCとモルタルの微細構造をSEMによって比較しても明らかであった（図-6，7，8，9）。モルタルの部分については外見上，GRCと流し込みモルタル硬化体との間には著しい差は認められないが，ストランドとモルタルマトリックスの界面や，フィラメント間にはかなりの空隙が認められ，その空隙の一部に水和物が付着しているのが認められた。

以上に述べたようにGRCはガラス繊維とモルタルが同時吹きつけによって混合されるので，気孔構造はモルタルとは非常に異なるものとなっていた。これはGRCの優れた耐凍害性の一つの要因と考えられる。

6. 結 言

GRCの耐凍害性を明らかにし，凍害の重要因子と考えられる気孔構造の凍害に及ぼす影響について検討した。この結果，GRCの耐凍害性は非常に優れていることがわかった。各種GRCの耐凍害性を比較すると，大きい気孔の総容積に対して，より小さい気孔の総容積が多いものほど優れた耐凍害性を有することが判った。またGRCの気孔構造はモルタルの場合と著しく異なることもGRCの耐凍害性を特徴づける一つの要因であろう。

〔文 献〕

- (1) 浜 悦郎，鎌田英治，コンクリート工学，16〔5〕 p 1（1978）
- (2) 三島清敬，大東 隆，セラミックス，14〔3〕（1979）
- (3) R.H.Helmuth，Fourth International Symposium on the Chemistry of Cement，Washington（1960）
- (4) J.B.Blachere and J.E.Young，J.Am.Ceram.Soc. 55〔6〕 p306（1972）
- (5) 鎌田英治，浜 悦郎，セメント技術年報，p258（1971）
- (6) 近藤連一，大門正機，岡林茂生，セメント技術年報，p 82（1971）
- (7) 須藤儀一，秋葉徳二，新井和政，セメント技術年報，p 62（1974）
- (8) 鎌田英治，大内一之，吉野利幸，セメント技術年報，p292（1976）

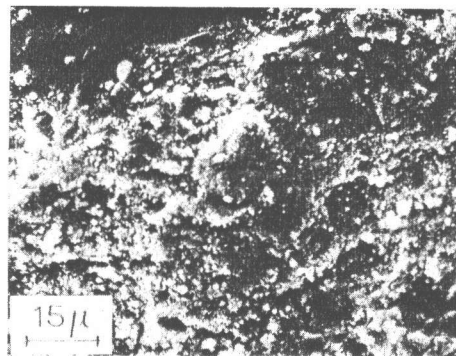


図-7 GRC(DOP^{3/2})のモルタル部分の破面

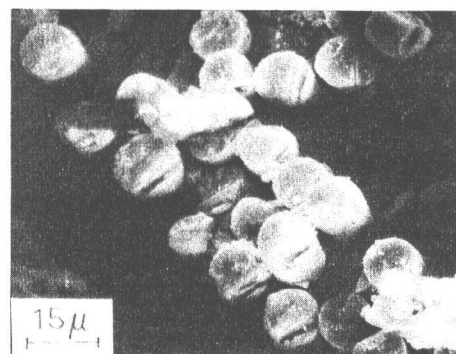


図-8 GRC(DOP^{3/2})中のストランド部分の破面

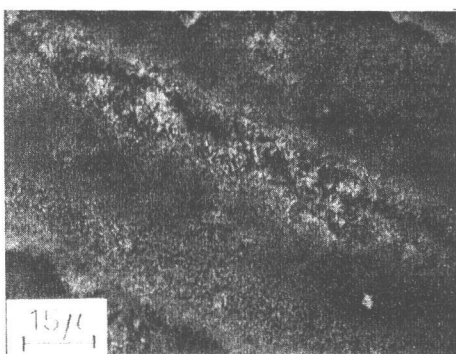


図-9 GRC(DOP^{3/2})中のストランド部分の側面