# 論文 モルタルの耐凍害性に及ぼす気泡と繊維混入の影響

岩崎 嘉宏\*1·梅村 拓馬\*2·浅野 幸男\*3·六郷 恵哲\*4

要旨: モルタル,繊維補強モルタル,気泡モルタル,繊維補強気泡モルタルの4種類の供 試体について凍結融解試験を実施し,凍結融解0,161,300サイクル後の供試体の物性の違 いを比較した。具体的には、100×100×400mmの供試体から小さな供試体を切出して,圧縮, 引張,曲げ試験を行った。繊維補強モルタルは高い耐凍害性を示し、繊維補強気泡モルタル も、気泡を混入することによる強度低下はあるものの、凍結融解作用による大きな強度低下 はなく、引張変形性能も繊維補強モルタルと同程度であった。

キーワード:凍結融解試験,耐凍害性,繊維,気泡,切出し供試体,引張試験

#### 1. はじめに

モルタルに気泡を混入した気泡モルタルは軽 量性,流動性に優れ,充填材や気泡混合盛土とし て利用されている。しかし,気泡モルタルは一般 に耐凍害性に劣っていることが知られており,凍 害に厳しい環境下での適用は困難である。

一方,近年の研究でモルタルに繊維を混入した 複数微細ひび割れ型繊維補強セメント複合材料 (以下,HPFRCC)は高い耐凍害性を示し,繊維 混入による耐凍害性の向上が認められている<sup>1)</sup>。

本研究では、モルタルに気泡や繊維を混入し た供試体に凍結融解試験を実施した。また同時 に凍結融解作用を受ける前後の供試体から小さ な供試体を切出して、圧縮、引張、曲げ試験を 行い、モルタルの耐凍害性に及ぼす気泡と繊維 混入の影響について検討した。 2. 実験概要

- 2.1 供試体
  - (1) 母供試体

凍結融解試験を実施する供試体(以下,母供 試体)の寸法は100×100×400mmとした。母供 試体種別はモルタル,HPFRCC,気泡モルタル, 繊維補強気泡モルタル(以下,気泡 HPFRCC) の4種類とした。それぞれの種類とも,凍結融 解を受けないものと凍結融解作用の程度が違う ものについて破壊試験をするため,凍結融解を 300サイクルまで行う供試体,途中の161サイク ルまで行う供試体,凍結融解を行わない(0サイ クル)供試体を各2体ずつ,計6体作製した。

供試体の記号,種別,気泡及び繊維の混入状 況,フレッシュ時の単位容積質量,フロー値を

表-1 母供試体作製状況

記号	母供試体種別	水セメント比 (%)	混入気泡の 体積割合	繊維混入率 (%)	単位容積質量 (g/cm <sup>3</sup> )	フロー値 (mm)
М	モルタル	47	0	0	2.06	183×177
MF	HPFRCC	47	0	2.0	1.92	190×188
AM	気泡モルタル	47	0.5	0	1.55	225×223
AMF	気泡 HPFRCC	47	0.5	1.3	1.29	236×214

\*1 株式会社クラレ 産資開発部 (正会員)

\*2 岐阜大学 工学部社会基盤工学科 (非会員)

\*3 岐阜大学 工学部社会基盤工学科 (正会員)

\*4 岐阜大学 工学部社会基盤工学科教授 工博 (正会員)

**表**-1 に示す。水セメント比は全種別 47%で統一 した。気泡の混入にはプレフォーム法を用い, モルタル, HPFRCC に対する混入気泡の体積割 合 0.5 で混入して気泡モルタル,気泡 HPFRCC を作成した<sup>2)</sup>。繊維は PVA で径 0.04mm 長さが 8mm のものを用いた。これを体積繊維混入率 2.0%で混入して HPFRCC を作製し, 1.3%で混入 して気泡 HPFRCC を作製した。

### (2) 切出し供試体

凍結融解 161,300 サイクル後の供試体各 2 体 のうち,片方の供試体の両端を約 50mm 切断し (以下,母供試体 A) もう一方の供試体の両端 を 25mm 切断した(以下,母供試体 B)。母供試 体 A から圧縮試験用供試体として 30×30× 60mm の供試体 3 体,引張試験用供試体として約 30×30×300 mm の供試体 3 体を切出した。ただ し,劣化面の影響を受けないように母供試体表 面を約 15mm ずつ切断し,母供試体内部のみを 用いた。さらに母供試体 B から曲げ試験用供試 体として約 30×40×350mm の供試体 4 体を切出 した。劣化面の材料特性を評価するために 4 本 のうち母供試体表面を引張縁に含むもの 2 体, 含まないもの 2 体とした。

# 2.2 実験方法

## (1) 凍結融解試験

JIS A 1148 の A 法に準拠して実施した。凍結 5℃から-18℃,融解-18℃から5℃を合わせて1 サイクルとし,1サイクルは3から4時間とした。 36 サイクル (JIS A 1148 で許容される最大の測 定期間)毎に相対動弾性係数及び質量減少率を 測定した。尚,凍結融解試験の開始材齢は39日 とし,それまでの39日間は20℃の室内で湿布養 生を行った。凍結融解0と161サイクルの供試 体は,凍結融解300サイクルの試験が終わる(材 齢101日)まで,20℃の水中に保存した。

### (2) 超音波伝播速度試験

母供試体 A, B について長手方向の超音波伝播 時間と長さ L を測定し,超音波伝播速度を算出 した。

### (3) 圧縮試験

圧縮試験の様子を図-1に示す。圧縮試験用切 出し供試体にはひずみゲージを2枚貼付した。 圧縮強度の3分の1までの圧縮応力-ひずみ曲 線の傾きから静弾性係数を算出した。

### (4) 引張試験

引張試験用に切出した供試体をダンベル型枠



に入れ,両側に HPFRCC<sup>3)</sup>を詰め,引張供試体 を作製した。手順と形状を図-2に示す。引張供

### (5) 曲げ試験

曲げ試験はスパン 240mm の三等分点曲げ載 荷試験として行った。曲げ試験の様子を図-4に 示す。両端の支点の変位の平均を三等分点の変 位の平均から引くことで支点の沈下をキャンセ ルし、より正確なたわみを測定した。最大荷重 から曲げ強度を算出した。切出した供試体の寸 法に±1mm 程度のばらつきがあったが、本実験 では精度よりも傾向を見ることに主眼を置いて いるため、測定した荷重-たわみ関係をそのま ま用いて比較した。

## 2.3 評価指標

#### (1) 内部劣化

相対動弹性係数 Pn, 超音波伝播速度, 圧縮試 験から求めた静弾性係数、さらに破壊試験で求 めた各強度を用いて,凍結融解作用による内部 劣化の程度と気泡ならびに繊維混入の影響につ いて検討した。相対動弾性係数 Pn は式(1) に より算出した。

 $Pn = (f_n^2 / f_0^2) \times 100$ (1)ここで f<sub>n</sub>, f<sub>0</sub>は n, 0 サイクルでの一次共鳴振動

試体をダンベル型に加工することで筆者らが開 発した引張試験装置<sup>4)</sup> (図-3) を用いて引張載 荷を行うことができた。検長(80mm)間におけ る左右の変位を平均して引張ひずみを算出した。 数である。相対動弾性係数は強度と相関がある とされており, 内部劣化の程度を示す耐凍害性 の主な評価指標である。尚、一次共鳴振動数は JIS A 1127 により算出した。

# (2) スケーリング

表面が剥離する劣化現象があるため, 質量減 少率とともに供試体表面性状も参考にした。

# (3) 材料特性(靭性, 強度)

圧縮試験で得た静弾性係数,引張試験より得 た応力-ひずみ曲線,曲げ試験で得た荷重-た わみ曲線、さらに各強度、ひび割れ性状の観察 結果も用いて、材料特性に及ぼす凍結融解作用 の影響について検討した。

# 実験結果と考察

## 3.1 凍結融解試験

凍結融解作用による相対動弾性係数,質量減 少率の推移を図-5,図-6に示す。相対動弾性 係数は一旦低下した後にほぼ一定となった。い ずれの供試体も凍結融解 300 サイクルで 90%以 上を維持しているため内部は劣化していない可 能性がある。質量は繊維を入れていない供試体

(M, AM)のみ減少しており、特に気泡モルタ ル(AM)については母供試体表面がえぐれるよ





うに剥離していた。繊維を混入した供試体 (MF, AMF) では、表面の部分的な剥離はあるものの、 全体的な剥離は認められなかった。これは、表 面近くの繊維の効果により剥離が抑制されたた めと考えられる。繊維と気泡を混入した供試体

(AMF)では、表面近くにある比較的大きな気 泡が穴として現れていた。また AMF では質量が 増加していたが、これは気泡中の水分が凍結し てその膨張圧により生じたひずみが融解後も残 留ひずみとなり、その結果体積が膨張し、その 分水分を多く含んだためと考えられる。 波伝播速度は凍結融解作用を受けるにつれて低下,あるいは若干低下した後ほぼ一定となる傾向を示した。図-7(b)に示した一次共鳴振動数から推定した動弾性係数と図-7(a)の傾向はMF以外ほぼ同じであった。したがって超音波伝播速度と動弾性係数には整合性が認められる。唯一差異を見せた300サイクルのMFについては,超音波伝播速度を測定する際に表面の繊維が障害となり,低い値が測定されたと考えられる。

## 3.2 超音波伝播速度試験

母供試体 A, B の超音波伝播速度の平均と凍結 融解サイクルの関係を図-7(a)に示す。超音

### 3.3 破壊試験

#### (1) 圧縮試験

静弾性係数ならびに圧縮強度と凍結融解サイ クルとの関係を図-7(c),図-7(d)に示す。



### 図-7 材料物性と凍結融解作用との関係



図-8 引張応カーひずみ曲線

まず,静弾性係数はサイクル数によらずほぼ一 定となる傾向を示した。また圧縮強度は,161 サ イクルの M を除けば,若干低下した後ほぼ一定 となる傾向を示した。但し AM では動弾性係数 などで低下傾向が見られ,質量減少および表面 のスケーリングから見ても内部劣化が進行して いることが伺える。また AM, AMF については 伝播速度,動弾性係数,静弾性係数は,気泡を 混入していない供試体の2分の1程度,圧縮強 度は4分の1程度であった。

### (2) 引張試験

引張強度を図-7(e)に示す。また MF と AMFの応力-ひずみ曲線をサイクル別にまとめ たものを図-8に示す。MF を除き 161 サイクル で引張強度が最大となった。しかしながら M を 除き 0 サイクルと 300 サイクルを比べるとさほ ど変化はなく、内部は劣化していないと考えら れる。MF と AMF の応力 --ひずみ曲線を比較す ると、強度は AMF が MF の 2 分の 1 程度になる ものの引張変形性能は同等であり、AMF におい ても内部劣化は認められなかった。

### (3) 曲げ試験

曲げ強度を図-7(f)に, MFとAMFの荷重 ーたわみ曲線を図-9に示す。曲げ強度は, AMF 以外の供試体において,多少のばらつきはある ものの全体的に0サイクルと300サイクルの差 は小さく,引張試験結果と同様に内部劣化は生 じていないと考えられる。一方 AMF の曲げ強度 は,161 サイクルまで低下は見られないものの, 300 サイクルでは低下した。また荷重-たわみ曲 線をみると, MF では凍結融解作用による変形性 能の変化が認められなかったのに対し, AMF で は気泡の影響でマトリクス強度が低いため MF より大きな変形性能をみせるが、凍結融解300 サイクルにおいては,特に供試体表面を引張縁 とした場合に変形性能が失われた。このように 他の破壊試験結果と異なる傾向は、曲げ試験に おいて表面劣化の影響がより反映された結果と 考えられる。



図-9 荷重-たわみ曲線

# 4. まとめ

本研究では、モルタルの耐凍害性に及ぼす気 泡と繊維混入の影響について、相対動弾性係数 と質量減少率に加えて切出した供試体から求め た,超音波伝播速度、静弾性係数、圧縮、引張、 曲げの各強度を用いて総合的に検討した。特に 切出した供試体をダンベル型に加工して引張試 験を行っている点に特徴がある。得られた結果 は以下の通りである。

(1) モルタルに繊維を混入することで耐凍害 性が向上し,かつ凍結融解作用を受けても材料 の力学的特性に大きな変化は認められなかった。

(2) モルタルに気泡を混入すると強度が低下 し、さらに凍結融解作用を受けることでスケー リングが発生して著しく表面が劣化するが、こ れに繊維を混入することで繊維のみ混入した場 合と同様に耐凍害性を向上させることができた。

(3) モルタルに気泡と繊維を混入することで、 軽量で高い引張変形性能と高い耐凍害性を持た せることができた。

# 参考文献

- 林大介, 芦澤良一, 横関康祐, 坂田昇: 有 機繊維補強セメント複合材料の耐久性評価 に関する研究, コンクリート工学年次論文 集, Vol.27, No.1, pp.1585-1590, 2005.6
- 山本基由,鎌田敏郎,国枝稔,六郷恵哲: 複数ひび割れ型繊維補強軽量気泡モルタルの開発とその特性に及ぼす繊維種別と空気 混入率の影響,コンクリート工学論文集, Vol.17, No.1, Issue40, pp.103-111, 2006.1
- 4木章宏,稲熊唯史,山下賢司,六郷恵哲: HPFRCC の一軸引張試験による引張特性評価に関する研究,コンクリート工学年次論文集,Vol.28,No.1,pp.317-322,2006.6
- 4) 森山守,林承燦,内田祐市,六郷恵哲:複 数微細ひび割れ型繊維補強セメント複合材 料の引張性能と試験装置,コンクリート工 学年次論文集,Vol.28,No.1,pp.311-316, 2006.6