

立命館大学大学院理工学研究科 学生員○井上真澄 東レ(株) 正会員 鈴川研二
立命館大学理工学部 正会員 高木宣章 立命館大学理工学部 正会員 児島孝之

1. はじめに

本研究では、三次元中空構造ガラス織物（以下、ガラス織物）を拘束体として用い、膨張材混入ペーストを充填してケミカルプレストレスを導入したプレートの膨張および曲げ特性について実験検討を行った。

2. 実験概要

実験要因を表-1に示す。ガラス織物の力学的特性を表-2に示す。ガラス繊維にはE-ガラスを使用し、養生方法は気中養生と水中養生の2種類とした。セメントは普通ポルトランドセメント(密度 3.16g/cm^3)を、シリカフューム(SF)はノルウェー産粉体(密度 2.20g/cm^3 、比表面積 $20\text{m}^2/\text{g}$ 、 $\text{SiO}_2=93.1\%$)、膨張材はCSA系のもの(密度 2.93g/cm^3)、石灰石微粉体として炭酸カルシウム(密度 2.70g/cm^3 、比表面積 $4000\text{cm}^2/\text{g}$)を使用した。混和剤には、ポリカルボン酸系高性能AE減水剤を用いた。ガラス織物に充填する膨張ペーストの配合は、水結合材比 $[\text{W}/(\text{C}+\text{SF})]$ を50%、シリカフューム置換率 $[\text{SF}/(\text{C}+\text{SF})]$ を20%で一定として、単位膨張材量(EP)を0, 100, 200, 300, 400, 600kg/m^3 と変化させた6配合とした。

プレート供試体の形状寸法を図-1に示す。プレート供試体は、ガラス織物を木製型枠内に設置し、膨張ペースト打設後材齢1日で脱型を行った。その後、気中養生の場合は高湿恒温恒湿室($20\pm1^\circ\text{C}$, $90\pm5\%\text{RH}$)の中で、水中養生の場合は養生室内の水槽($20\pm1^\circ\text{C}$)の中で養生を行った。プレート供試体の膨張特性を把握するために、膨張ひずみを膨張ペースト打設直後から材齢10日まで計測した。材齢10日でプレート供試体を $75\times9.5\times300\text{mm}$ にダイヤモンドカッターで切断し、曲げ強度試験用供試体の圧縮縁および引張縁にひずみゲージを貼付した。本実験ではプレート供試体を切断してから1時間以内に載荷試験を実施した。図-2に示すように曲げ強度試験は、スパン240mm、曲げスパン80mmの対称2点集中載荷とし、支間中央には変位計を設置した。また、比較用として水結合材比50%、シリカフューム置換率20%、単位膨張材量 30kg/m^3 のペーストを用いてプレート供試体と同寸法の無拘束供試体を製作し、拘束供試体と同じ条件で養生を行った後、材齢10日に曲げ強度試験を実施した。

3. 実験結果および考察

図-3に気中養生供試体の膨張ひずみの経時変化を、図-4に材齢10日における膨張ひずみと単位膨張材量の関係を示す。気中養生および水中養生ともに、膨張ひずみは単位膨張材量の増加に伴い増加する傾向にある。膨張ひずみは、水中養生供試体の方が大きな値を示した。これは供試体が常に水分の補給される状態にあるため、膨張ひずみが増大したものと考えられる。単位膨張材量が気中養生供試体では 400kg/m^3 以上、水中養生供試体では 200kg/m^3 以上の配合になると、養生中に目視で変形を確認できるほど大きく膨張した。

表-1 実験要因

要因	仕様
繊維の種類	ガラス繊維(E-ガラス)
充填材(配合の種類)	膨張ペースト(6配合)
養生方法	気中養生・水中養生
計測項目	膨張ひずみ 曲げ強度

表-2 ガラス織物の物性

厚み (mm)	目付け量 (g/m^2)	縦方向		横方向	
		引張強度 (N/mm^2)	弾性係数 (N/mm^2)	引張強度 (N/mm^2)	弾性係数 (N/mm^2)
9.5	1020	250	15×10^3	230	14×10^3

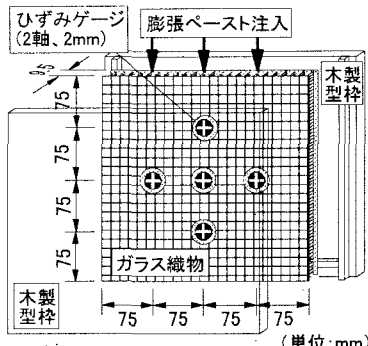


図-1 プレート供試体の概要

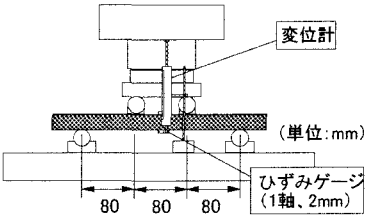


図-2 曲げ強度試験方法

これらの配合では、ガラス繊維の厚さ方向の繊維が膨張圧を拘束できなくなっており、ガラス繊維は拘束体としての機能を果たしていないものと考えられる。本実験の範囲では、膨張ペーストを用いてガラス繊維供試体に効果的にケミカルプレストレスを導入する

ためには、単位膨張材量を気中養生では300kg/m³以下、水中養生では100kg/m³以下とすることが推奨される。

表-3に曲げ強度試験結果を、図-5に気中養生供試体の曲げ応力-下縁ひずみ曲線の例を示す。プレート供試体は、曲げ応力-下縁ひずみ曲線の変曲点までは、ガラス繊維と膨張ペーストが一体となって荷重に抵抗している。その後、下縁ひずみが急激に増加し、この時点で膨張ペーストにひび割れが発生した。本実験では、この曲げ応力-下縁ひずみ曲線の変曲点をプレート供試体のひび割れ発生強度とした。その後、プレート供試体は下縁のガラス繊維のみで荷重を伝達し、最終的に下縁のガラス繊維が破断して終局に至った。

図-6にひび割れ発生強度および曲げ強度と単位膨張材量の関係を示す。養生条件に関わらず、ひび割れ発生強度は、単位膨張材量の増加に伴い増加した。膨張ペーストの膨張圧をガラス繊維で拘束することにより、プレート供試体にはケミカルプレストレスが導入され、ひび割れ発生強度が増大したものと考えられる。気中養生供試体の曲げ強度は、単位膨張材量が300kg/m³以下では配合の相違による大きな影響は観察されず、19.2~25.0N/mm²であった。しかし、単位膨張材量が400kg/m³以上になると、膨張による大きな変形が生じたため、曲げ強度は著しく低下した。一方、水中養生すると、曲げ強度はW50-0供試体で19.8N/mm²、W50-100供試体で16.0N/mm²であった。そして、単位膨張材量が200kg/m³以上になると、曲げ強度は著しく低下した。養生条件に関わらず、比較用無拘束供試体と比較すると曲げ強度は大きく増大するものの、ガラス繊維に膨張ペーストを充填することによる曲げ強度の改善は認められなかった。ガラス繊維の拘束度が小さいため、曲げ強度を改善するほどの効果は期待できないと考えられる。

4. 結論

(1) プレート供試体にケミカルプレストレスを導入することにより、ひび割れ発生強度は増加する。

(2) 三次元中空構造ガラス繊維を拘束体として、膨張ペーストに適切な配合を選定することにより、ひび割れ発生強度を改善したプレート供試体を製作することが可能である。

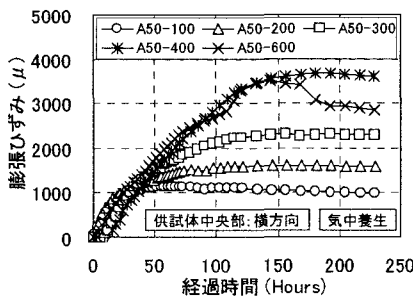


図-3 膨張ひずみの経時変化 (気中養生供試体)

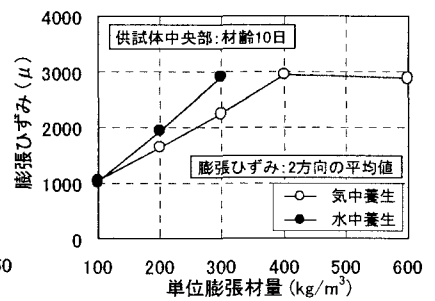


図-4 膨張ひずみと単位膨張材量の関係

表-3 曲げ強度試験結果

配合名	養生方法	ひび割れ発生強度 (N/mm ²)	曲げ強度 (N/mm ²)*2	最大変位 (mm)
RA50-30*1	気中	6.52	6.52	—
A50-0		8.69	22.7	9.32
A50-100		11.1	19.2	7.65
A50-200		12.6	25.0	7.21
A50-300		17.2	22.0	5.05
A50-400		—	8.65	0.86
A50-600		—	2.26	—
RW50-30*1	水中	4.18	4.18	—
W50-0		9.13	19.8	7.38
W50-100		11.2	16.0	4.09
W50-200		—	7.64	0.97
W50-300		—	—	—
W50-400		—	—	—

注) *1: 無拘束供試体 (比較用)

*2: $\sigma = M/W (W = bh^3/6, b: \text{供試体幅}, h: \text{供試体高さ})$

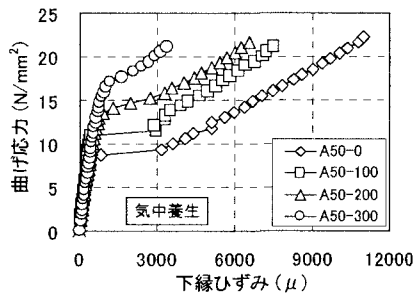


図-5 曲げ応力と下縁ひずみの関係

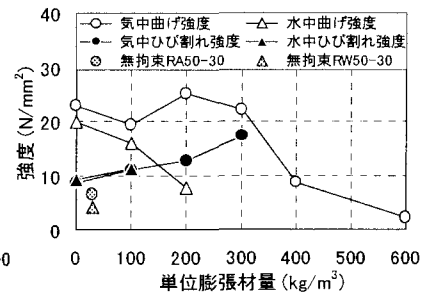


図-6 曲げ強度およびひび割れ発生強度と単位膨張材量の関係