

ガラス質微小中空球体の建材への応用 (その3)

——繊維補強複合板の熱変形および屋外暴露結果の検討——

青山 幹 森下 和仁
林 好正

Application of Glass Microspheres in Construction (Part 3)

——Thermal Deformation and Natural Ageing Behavior of Fiber Reinforced Concrete——

Tsuyoshi Aoyama Kazuhito Morishita
Yoshimasa Hayashi

Abstract

This study is concerned with the application of glass microspheres in construction. The purpose of the investigations described in this report is to study thermal deformations due to temperature variation through the thickness only and natural ageing behaviors of fiber reinforced composites (unsaturated polyester resin-glass microsphere system) from the viewpoint of its application to external wall cladding. The results indicate that precautions are necessary for application as thermal deformations are large and that composites reinforced with glass fiber cloth with gel-coat treatment have little decrease in mechanical properties at two-year exposures.

概 要

本報告は、ガラス質微小中空球体を骨材として用い、不飽和ポリエステル樹脂を結合材として用いた繊維補強複合板に関するものであり、外装材料への応用を考慮して、表裏温度差による変形および屋外暴露の結果について述べたものである。熱変形に関しては、ガラス繊維布類の積層によって補強された複合板についてのみ検討したが、いずれの複合板も表裏温度差により大きく変形しており、その使用にあたっては十分な配慮が必要であることが判った。また屋外暴露2年間の結果に関しては、非補強および繊維材料のプレミックスによる複合板の曲げ特性は低下しているのに対して、表面にゲルコート処理が施されているガラス繊維布類の補強による複合板の曲げ特性の低下は無く、むしろ向上する傾向が認められた。

1. まえがき

第1報¹⁾においてはガラス質微小中空球体（以下ガラスバルーンまたはバルーンという）を骨材とするレジンモルタルの建築材料への有効利用を目的とし、そのバインダーとして不飽和ポリエステル樹脂を用いて各種の検討を行い、コンクリート用曲面型枠としての応用例について述べた。第2報²⁾においてはポリマーセメントモルタルの基本調合について述べた。本報では第1報にひきつづき、当時作成した繊維材料を補強材とする各種複合パネルの熱変形試験および屋外暴露2年後の曲げ試験の結果について報告する。

2. 実 験

2.1. 検討項目

- (1) 熱変形に関する検討
- (2) 屋外暴露による経時的変化についての検討

2.2. 使用材料

- (1) ガラス質微小中空球体 表—1に示す。
- (2) 不飽和ポリエステル樹脂および硬化剤 表—2に示す。
- (3) ガラス繊維チョップストランド Eガラス、比重: 2.54, 引張強さ: 150 kg/mm², 弾性係数: 7.0 × 10⁵ kg/cm², 長さ: 6 mm。
- (4) カーボン繊維チョップストランド 比重: 1.80, 引張強さ: 200 kg/mm², 弾性係数: 3.7 × 10⁶ kg/cm², 長さ: 6 mm。
- (5) ガラス繊維布類 ガラスメッシュ, ガラスクロ

化学組成		PM:	
シリカ(SiO ₂)	55~60%	中反応性タイプ不飽和ポリエステル樹脂	
アルミナ(Al ₂ O ₃)	25~30%	ポットライフ15分(25°C:CT1%)	
酸化鉄(Fe ₂ O ₃)	< 5%	粘度 2. PS.	
アルカリ(Na ₂ O, K ₂ O)	0.5~4.0%	ゲルコート:	
その他(CaO, MgO, MnO...)	微量	スチレンモノマーおよびメタクリル酸	
物理的性質		メチル配合不飽和ポリエステル樹脂	
形状	微小中空球体	ポットライフ30分(25°C:CT1%)	
色	灰白色	粘度 10. PS.	
嵩比重	0.3~0.4	TP:	
見掛比重	0.6~0.7	ポリスチレン系樹脂 粘度75PS.	
粒径	20~250μ	(低取縮剤として使用)	
球体殻厚	2~20μ	CT:	
融点	1200°C	メチルエチルケトンモノオキシド	
50%破壊静水圧	100~200kg/cm ²	(重合触媒として使用)	

表一 1 ガラスバルーンの組成および性質

表一 2 合成樹脂の性状ならびに記号

PM	TP	CT	結合材/バルーン
90	10	1	60 / 40

* 重量比

表一 3 レジンモルタルの基本配合

試験体 No.	補 強 方 法	補強材 ^{*1} 使用量 g/m ²
1	非 補 強	—
2	樹脂 100重量部に対して、ガラス繊維チョップストランド(長さ6mm)を1重量部混入	147
3	樹脂 100重量部に対して同上を3重量部混入	441
4	樹脂 100重量部に対して、カーボン繊維チョップストランド(長さ6mm)を3重量部混入	441
5	成形体の表面および裏面にガラスメッシュ ^{**2} 1層補強	416
6	同 上 にガラスクロス ^{**3} 1層を補強	400
7	同 上 にガラスマット ^{**4} 1層を補強	932
8	同 上 にガラスクロス ^{**3} 3層を補強	1200
9	成形体の表面および裏面にガラスクロス ^{**3} 1層およびガラスマット ^{**4} 1層を補強	1332

注) *1 厚さ40mmの板として1m²あたりの補強材重量
 *2 5mmメッシュ 208g/m² シラン処理
 *3 織布 200g/m² シラン処理
 *4 不織布 470g/m² シラン処理

表一 4 試験体

スおよびガラスマット 表一 4 脚注に示す。

2.3. 試験体

試験体は第1報¹⁾の2.5. (d) の検討に用いられたものであるが、基本配合は同じ(c)の検討結果により決定した。配合は表一 3 に示す。製作方法は流れ図を図一 1 に示すが、1,300×600×40 (mm) の板状にたた打ちにし、試験体 No. 1 は基本配合のレジンモルタルを、また No. 2~4 は基本配合に表一 4 に示す繊維をプレミックスしたものを注入し、No. 5~9 はゲルコートをあらかじめ型枠に吹き付けその表面にガラス繊維布類を敷設し、樹脂(基本配合のうち結合材のみ)を含浸し、基本配合のレジンモルタルを注入する方法をとった。

2.4. 熱変形に関する検討

(1) 実験方法

試験体 No. 5, No. 7, No. 8 および No. 9 を 2 体ずつ熱冷装置内に建込み、試験体が移動しない程度に 4 隅をボルトで定着した。次に隙間から熱が逃げないように、ガラスウールを充てんした。試験体の建込み完了後、片側面を加熱 4 時間(最高温度: 約 70°C)、冷却 4 時間(最低温度: 約 -10°C) の条件にさらし、その裏面の 5 ケ所に取付けられているダイヤルゲージの読みから、各時点における板中央部のたわみ量を測定した。また試験体の両面にそれぞれ 3 個の銅コンスタンタン熱電対を取付け、各時点の温度を測定した。試験体の形状・寸法およびダイヤルゲージと熱電対の取付け位置は、図一 2 に示す通りである。また試験体の表面温度及び裏面温度の変化は、図一 3 に示す通りである。

(2) 結果及び考察

各試験体の表裏温度差 dt と板中央部のたわみ量 δ との関係を図一 4 に、板中央部のたわみ量 δ の経時的変化を図一 5 ~ 8 に示す。

以上の結果から表裏温度差 dt と板中央部のたわみ量 δ との関係を最小 2 乗法を用いて求めると、下記の如く寄与率が高い実験式が得られた。

試験体 No. 5 に対する実験式

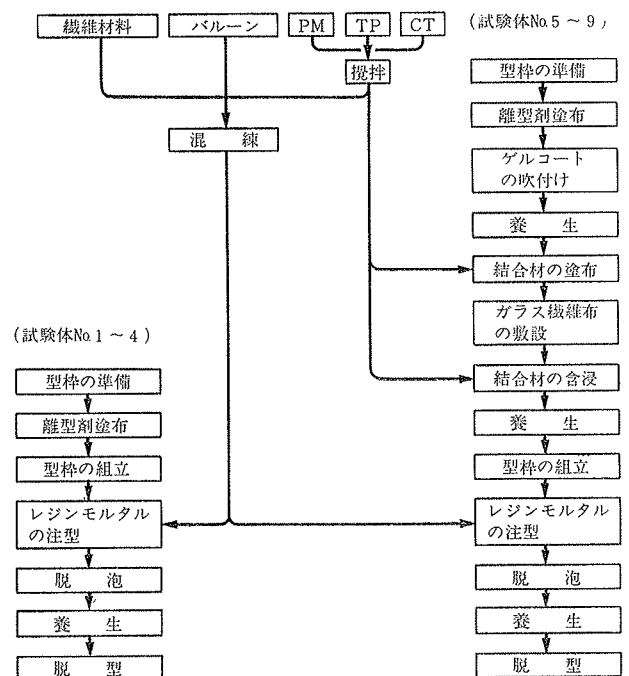
$$\delta = 0.7 - 0.20 dt$$

但し、

δ : 板中央部のたわみ量 (mm)

dt : 板の表裏温度差 (°C)

試験体 No. 7 に対する実験式



図一 1 試験体作成方法流れ図

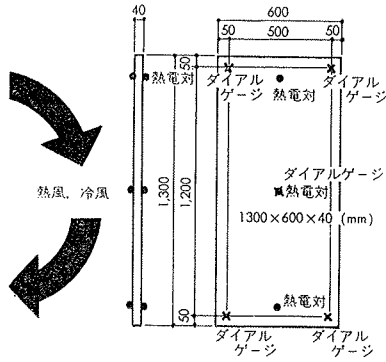


図-2 試験体の形状、寸法およびダイヤルゲージと熱電対の取付け位置

要因	S	ϕ	V	F ₀	寄与率R ²
R	323	1	323	373**	0.961
e	13	15	0.867		
T	336	16			

表-7 分散分析表 (試験体 No. 8)

要因	S	ϕ	V	F ₀	寄与率R ²
R	338	1	338	1015**	0.985
e	5	15	0.333		
T	343	16			

表-8 分散分析表 (試験体 No. 9)

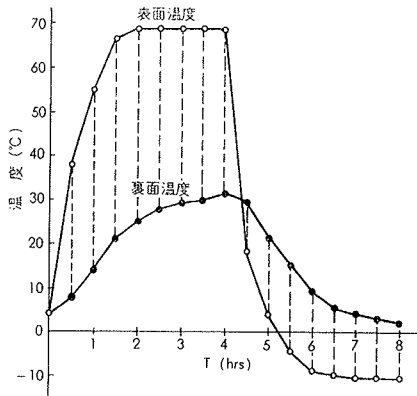


図-3 試験体 No. 9 の表面温度および裏面温度の経時的变化

要因	S	ϕ	V	F ₀	寄与率R ²
R	350	1	350	1310**	0.989
e	4	15	0.267		
T	354	16			

表-5 分散分析表 (試験体 No. 5)

要因	S	ϕ	V	F ₀	寄与率R ²
R	327	1	327	4900**	0.997
e	1	15	0.0667		
T	328	16			

表-6 分散分析表 (試験体 No. 7)

$$\delta = -0.18 \Delta t$$

試験体 No. 8 に対する実験式

$$\delta = -0.3 - 0.17 \Delta t$$

試験体 No. 9 に対する実験式

$$\delta = -0.4 - 0.16 \Delta t$$

板厚方向の温度変化が直線法則に従い、たわみは板厚に比べて小さいものと仮定すれば、この膨張によって生

ずるたわみ面は球面形となる。熱膨張係数を α とすると熱膨張の最大値と中央面の熱膨張との差は、 $\alpha \Delta t / z$ であるから、この不均等な膨張によって生ずる曲率 $1/r$ は(1)式で与えられる³⁾。

$$1/r = \alpha \Delta t / h \quad \dots\dots\dots(1)$$

但し、 h : 板厚

また、 $1/r = 8\delta / l^2$ (l : 弦の長さ) で表わされるから、(1)式は(2)式に変形できる。

$$\delta = \alpha \Delta t l^2 / 8h \quad \dots\dots\dots(2)$$

これより、

$$\alpha = 8h\delta / \Delta t l^2 \quad \dots\dots\dots(3)$$

しかし実際には、①板厚方向の温度変化が直線法則に必ずしも従っていない、②プラスチック材料の線膨張係数 α は温度によって変化する、③試験体の構成が必ずし

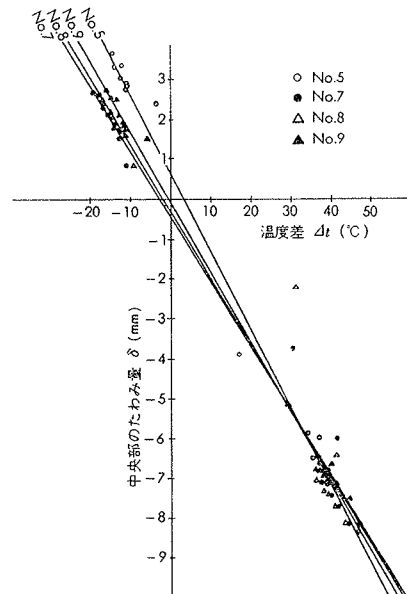


図-4 表裏温度差 Δt と板中央部のたわみ量 δ との関係

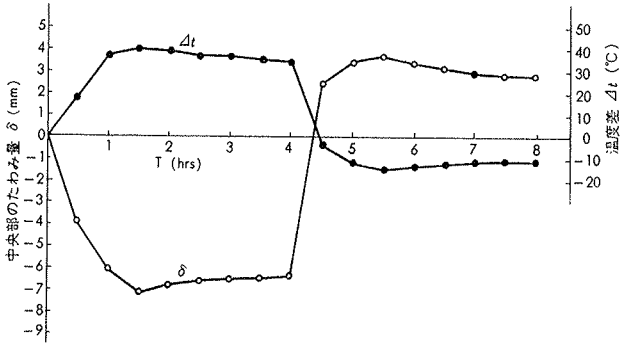


図-5 板中央部のたわみ量 δ の経時的変化 (試験体 No. 5)

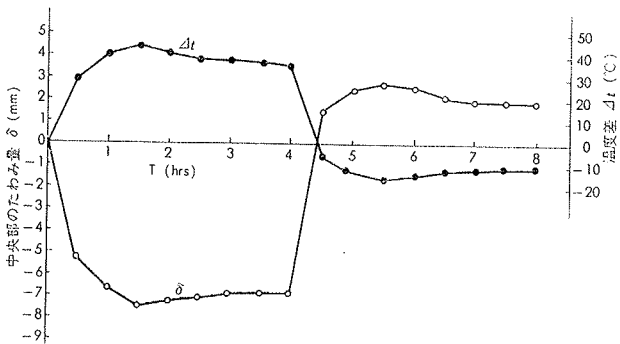


図-6 板中央部のたわみ量 δ の経時的変化 (試験体 No. 7)

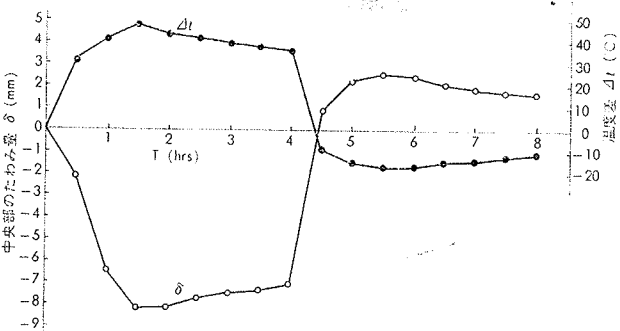


図-7 板中央部のたわみ量 δ の経時的変化 (試験体 No. 8)

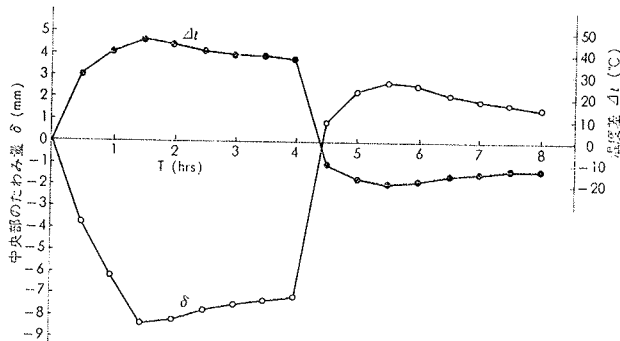


図-8 板中央部のたわみ量 δ の経時的変化 (試験体 No. 9)

も均質でない、等の理由により、上記の様に板の表裏温度差 Δt と板中央部のたわみ量 δ との関係を単純には表わせないが、本複合板の熱変形を把握する上での一資料とすることができた。

(3)式に加熱4時間後のデータと $h=4\text{ cm}$, $l=130\text{ cm}$ を代入することにより、各試験体のおおよその線膨張係数を求めると、試験体 No. 5 で $3.6 \times 10^{-5}/^\circ\text{C}$ 、試験体 No. 7 で $3.6 \times 10^{-5}/^\circ\text{C}$ 、試験体 No. 8 で $3.7 \times 10^{-5}/^\circ\text{C}$ 、試験体 No. 9 で $3.6 \times 10^{-5}/^\circ\text{C}$ となった。

ガラス質微小中空球体の混入により複合板の熱伝導率は低くなるために (結合材/バルーン比=60/40の時、熱伝導率 $\lambda=0.186\text{ kcal/mh}^\circ\text{C}$)、表裏温度差が大きくなることと、結合材としての不飽和ポリエステル樹脂の線膨張係数が大きいことにより ($\alpha=7\sim 9 \times 10^{-5}/^\circ\text{C}$)、本複合板の熱変形は非常に大きいものとなる。従って板厚方向に温度差を生ずる様な外装への使用に当たっては、十分な配慮が必要である。

2.5. 屋外暴露による経時の変化についての検討

(1) 実験方法

屋外暴露は当技術研究所 (東京都清瀬市) 屋外暴露場のコンクリート土間上に試験体を水平に設置する方法をとった。

曲げ強度、破壊曲げひずみの測定は、2.3. に述べた試験体を約 $600 \times 100 \times 40(\text{mm})$ に切断し、JIS A 1408の3号試験体に準じスパン 40 cm でオートグラフ IS-5000 (クロスヘッドスピード 0.5 mm/min) により加力し、実験を行った。

比重は、曲げ試験用試験体の大きさ、重量を計測し、計算により求めた。

(2) 結果および考察

結果は表-9 に示す。

強化プラスチックは一般に日光、風雨に長年月さらされると次第に黄変化し、さらに長時間経るとガラス繊維の露出が目立ち、強度は低下する傾向にあることは知られている。最近ではこの方面のデータも次第に蓄積され、信頼性を増している。フランスの AEPB (Association Pour L'emploi des Plastiques dans le Bâtiment) では、強化プラスチックを4ヶ所で暴露し、その経時の変化を追跡している。その結果によると、強化プラスチックの強度は、暴露4年で20~40%の低下を示している⁴⁾。また強化プラスチックの欠点も樹脂の改善によって向上してきているが、その劣化が直接外気に接する表面層から始まることから、表面層の保護と美観をかねた塗装、ゲルコートなどの処理も発達してきている⁵⁾。本複合板においても、2年間の暴露結果ではあるが、屋外暴露による経時の変化について有益な資料が得られ

試験体 No	暴 露 前					暴 露 1 年					暴 露 2 年				
	ρ^*	σ_b^* (kg/cm ²)	E_b^* ×10 ⁴ (kg/cm ²)	δ_b^* (cm)	W^* (kg·cm)	ρ	σ_b (kg/cm ²)	E_b ×10 ⁴ (kg/cm ²)	δ_b (cm)	W (kg·cm)	ρ	σ_b (kg/cm ²)	E_b ×10 ⁴ (kg/cm ²)	δ_b (cm)	W (kg·cm)
1	0.85	200	3.5	0.37	107	0.87	172	4.1	0.28	66	0.86	157	4.1	0.25	55
2	0.86	155	3.5	0.30	64	0.90	161	3.9	0.27	60	0.87	154	4.1	0.25	55
3	0.88	209	3.6	0.37	103	0.91	206	4.3	0.32	83	0.88	185	4.3	0.28	73
4	0.81	200	3.3	0.37	113	0.90	211	4.3	0.32	92	0.87	179	4.2	0.27	69
5	0.90	262	3.9	0.42	156	0.92	271	4.5	0.40	146	0.90	258	4.6	0.36	130
6	0.89	240	3.9	0.39	135	0.94	262	4.7	0.38	133	0.91	283	4.5	0.41	161
7	0.90	245	3.9	0.40	140	0.95	291	4.8	0.41	159	0.92	304	4.5	0.43	185
8	0.90	296	4.1	0.44	187	0.94	314	5.0	0.42	176	0.91	322	5.2	0.40	185
9	0.91	290	4.2	0.43	178	0.96	301	5.0	0.40	163	0.94	333	5.1	0.43	198

注) *1 比重 *2 曲げ強度 (破壊荷重による) *3 曲げ弾性係数 (破壊荷重による) *4 破壊時の曲げたわみ量
 *5 変形仕事 (破壊時) $W = \frac{1}{2} P \delta_b$ P: 破壊荷重 *数値は3体の平均値である

表—9 屋外暴露結果

た。

試験体 No. 1 (非補強) について 他試験体と比較すると、曲げ強度の変化率は大きく、1年で14%、2年で22%の低下を示している。曲げ弾性係数は1年で18%の増加を示しているが、2年での変化は少ない。変形仕事は1年で39%、2年で49%の低下を示しているが、弾性係数が増加していることから、ぜい化したと考える。

試験体 No. 2~4 (繊維材料のプレミックスによる補強) について 曲げ強度は余り変化がなく、曲げ弾性係数は1年目で増加している。また変形仕事は暴露するに従い低下している。

試験体 No. 5~9 (ガラス繊維布類の積層による補強) について ガラス繊維布類の形状、密度等により結果は異なるが、一部を除き、各数値とも暴露されるに従い増加している。その理由としては、表面に塗装されているゲルコートが、内部を保護しているためだと考えられる。但し No. 5 と 8 については、それらの変形仕事は低下しているが、これらの関連については現在不明である。

3. あとがき

以上の検討結果より、ガラスバルーン、不飽和ポリエステル、繊維材料より構成される複合板の熱変形および屋外暴露による曲げ特性の経時的変化について把握する

ことができた。特に後者については、暴露10年後においても検討する予定であり、結果がでた時点で報告したいと考えている。

おわりに、本研究を行うにあたり、ショックベトンジャパン(株)諸橋滋巳氏、高須峯男氏、新田ベルト(株)渡辺卓二氏、清水肇氏、日立化成(株)永瀬昇三氏、各氏より多大な御協力を受けました。ここに深い謝意を表わす次第であります。

参考文献

- 1) 青山幹 他: ガラス質微小中空球体の建材への応用, 大林組技術研究所報, No. 12, (1976)
- 2) 青山幹 他: ガラス質微小中空球体の建材への応用 (その2), 大林組技術研究所報, No. 14, (1977)
- 3) S. チモシェンコ (鶴戸口英善 他訳): 材料力学 (中巻), 東京図書(株)
- 4) L. Rechner: Contribution à l'étude du vieillissement naturel des matières plastiques utilisables dans la construction, (1^{re} partie), CAHIERS DU CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BATIMENT, NO. 125, Déc. 1971)
- 5) 滝山栄一郎: プラスチック材料講座(10), ポリエステル樹脂, 日刊工業新聞社