

8. 軽量薄肉 PCa カーテンウォールの研究開発 (その3. 耐火試験)

石原誠一郎
崎山 和隆
恩村 定幸
高見 錦一
熊谷 由弘*
新田 稔*

要 旨

PCaカーテンウォールのパネル部の材料として従来から用いられているコンクリートに代えて、短繊維補強セメントモルタルを使用し、さらにそのパネル部をスチールフレームで補強したPCaカーテンウォールの開発をこれまですすめてきた。そのPCaカーテンウォールの耐火性能を把握するため、簡易耐火試験、および実大の予備耐火試験を行った結果、外壁1時間耐火構造の基準を十分に満たしている事を確認できた。

キーワード

カーテンウォール／ガラス繊維／ステンレス繊維／繊維補強／耐火試験

目 次

1. はじめに
2. 簡易耐火試験
3. 実大予備耐火試験
4. ま と め

8. RESEARCH AND DEVELOPMENT OF LIGHTWEIGHT THIN PCa CURTAIN WALL (Part 3 : FIRE RESISTANCE TEST)

Seiichiro Ishihara	Kazutaka Sakiyama
Sadayuki Onmura	Kin-ichi Takami
Yoshihiro Kumagai	Minoru Nitta

Abstract

Development has been continued of PCa curtain walls having panels made of short-fiber-reinforced cement mortar instead of conventional concrete, and strengthened with steel frame system. As a result of simplified fire resistance tests and full-size preliminary fire resistance tests conducted to identify fire resistance performance of the PCa curtain wall, it has been confirmed that it fully met the criteria for fire-resisting construction of external walls for one hour.

* 東京本店プレハブ工場

1. はじめに

これまで、PCaカーテンウォールのパネル部の材料として用いられてきたコンクリートにかえ短繊維補強セメントモルタルを採用し、さらにそのパネル部をスチールフレームで補強する方式のPCaカーテンウォールの開発をめざしてきた。(以下、軽量薄肉PCCWと略記する。)

この軽量薄肉PCCWには、ガラス繊維にビロニオン繊維を混合して繊維補強セメントモルタルとしたGVタイプと、ステンレス繊維を混合して繊維補強セメントモルタルとしたSUタイプの2種類がある。

前報で、軽量薄肉PCCWについて行った耐風圧試験の結果を報告した。本報では、軽量薄肉PCCWの耐火性能を把握するために行った簡易耐火試験、および耐火認定の取得に先立ちおこなった実大の予備耐火試験の概要とその試験結果について述べる。

2. 簡易耐火試験

PCaカーテンウォールとして要求される力学的特性を満たしつつ、外壁として必要な耐火性能を満足できる短繊維補強セメントモルタルの調合を絞り込む目的で、まず簡易耐火試験を行った。試験のパラメーターを設定する前提として、耐風圧試験等の結果をふまえ、以下のように軽量薄肉PCCWの開発目標性能値を設定した。

- 1) GVタイプは短繊維補強セメントモルタルの気乾比重を1.6以下、パネル部の板厚を50mm程度とする。
- 2) SUタイプでは短繊維補強セメントモルタルの気乾比重1.8以下、板厚60mm程度とする

2.1 試験方法

2.1.1 試験体

開発目標性能値を満足するために、短繊維補強セメントモルタルの水セメント比、比重および試験体厚さ

表-1 試験体種類と調合

[GVシリーズ]

a) 平板試験体

試験体記号	セメント (kg)	水 (kg)	細骨材 (kg)	混和剤 (kg)	ガラス繊維 (kg)	ビロニオン繊維 (kg)	W/C (%)	板厚 (mm)
GV1	1000	375	587	41	54	13	37.5	50
GV2	1000	375	587	41	54	13	37.5	60
GV3	1000	400	535	41	54	13	40	50
GV4	1000	400	503	51	54	13	40	50
GV5	1000	425	435	51.5	54	13	42.5	50
GV6	1000	450	370	46.5	54	13	45	50
GV7	1000	450	355	51.5	54	13	45	50

b) 目地部試験体

試験体記号	セメント (kg)	水 (kg)	細骨材 (kg)	混和剤 (kg)	ガラス繊維 (kg)	ビロニオン繊維 (kg)	W/C (%)	板厚 (mm)	加熱方向
GVM1A	1000	450	280	58.5	54	13	45	50	屋外側加熱
GVM1B	1000	450	280	58.5	54	13	45	50	屋内側加熱
GVM2A	1000	450	147.5	44	54	13	45	50	屋外側加熱
GVM2B	1000	450	147.5	44	54	13	45	50	屋内側加熱
GVM3	1000	450	101	44	54	13	45	50	屋外側加熱

[SUシリーズ]

a) 平板試験体

試験体記号	セメント (kg)	水 (kg)	細骨材 (kg)	混和剤 (kg)	ステンレス繊維 (kg)	W/C (%)	板厚 (mm)
SU1	1000	303	835	27	155	30.3	50
SU2	1000	303	835	27	155	30.3	70
SU3	1000	330	730	42	155	33	60
SU4	1000	330	670	42	155	33	60
SU5	1000	335	732	42	155	33.5	65
SU6	1000	350	670	42	155	35	65
SU7	1000	375	585	42	155	37.5	60

b) 目地部試験体

試験体記号	セメント (kg)	水 (kg)	細骨材 (kg)	混和剤 (kg)	ステンレス繊維 (kg)	W/C (%)	板厚 (mm)	加熱方向
SUM1A	1000	350	385	23	155	35	60	屋外側加熱
SUM1B	1000	350	385	23	155	35	60	屋内側加熱
SUM2	1000	380	365	13	155	38	60	屋外側加熱

を試験のパラメーターに設定し、調合と耐火性能の関係を調べた。

試験体は、GVシリーズと、SUシリーズの2種類である。各シリーズとも平板試験体と目地部試験体がある。平板試験体とは軽量薄肉PCCWのパネル部分を想定した試験体である。目地部試験体とはPCCWパネル間のジョイント縦目地部分を想定した試験体である。各シリーズの試験体の種類とその調合を表-1に示す。

平板試験体では、板厚の開発目標性能値を満足するために最適な水セメント比の調査を行った。目地部試験体では、この平板試験体の結果をふまえ、屋内・外の加熱方向の違いによる目地部の耐火性状の確認を行うこととした。

図-1(a)(b)に各試験体の形状・寸法を示す。

各シリーズのセメントモルタルに混入したガラス(GF)、ピニロン(VF)、ステンレス(SSF)などの各補強繊維の物理的・機械的性質を表-2に示す。ガラス繊維にはチョップドストランドタイプの耐アルカリガラス繊維を、ステンレス繊維には430系のドッグボーンタイプを用いた。繊維以外の使用材料を表-3に示す。

試験体はプレミックス法により流し込み成形を行い、棒状バイブレーターにて締固めた。各試験体は打設後2週間、恒温恒湿室(温度20℃、湿度60%)にて静置した。その後、試験体の含水率が5%以下になるまで、室温80℃の乾燥室にて強制乾燥した。

2.1.2 試験方法

昭和44年建設省告示第2999号の規定に準じて、1時間耐火試験を実施した。図-2に示すような加熱炉に試験体を取付け、JIS A 1304の耐火標準加熱曲線に従い1時間加熱し、試験体の裏面温度を図-1に示す位置で杉板付熱電対により測定した。

2.2 試験結果

GV、SUシリーズにおける試験体の水セメント比(W/C)と裏面温度の関係を図-3に、比重と裏面温度の関係を図-4に示す。なお、ここでいう比重とは試験体を強制乾燥した後に計測した比重値をいう。

- 試験体の水セメント比と裏面温度の関係は、直線回帰による相関係数RがGV、SUタイプとも0.8以上あり、強い相関関係を示している。
- 建設省告示に示されているように、壁の裏面温度が260℃を超えない事が外壁耐火構造試験の判定

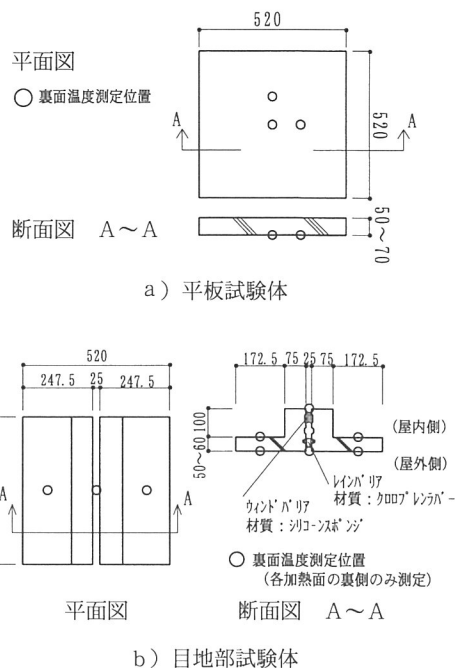


図-1 試験体の形状・寸法

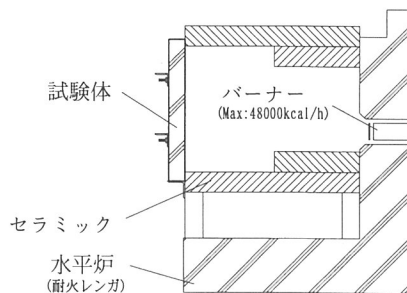


図-2 加熱炉および試験体取付け状況

表-2 繊維の物理的・機械的性質

繊維種類	繊維直径 (μm)	繊維長さ (mm)	アスペクト 比	引張強度 (kgf/mm ²)	比重
GF	13.5	19	1407	150	2.7
VF	200	12	60	90	1.3
SSF	500	22	44	100	7.8

表-3 使用材料

セメント	早強ポルトランドセメント
細骨材	シラスパルーン ケイ砂5号
混和剤	高性能A E減水剤 乾燥収縮低減剤 増粘剤

基準の1つと定められている。(以下、この裏面温度260℃を規定値という。)GVタイプの板厚を50mm、SUタイプの板厚を60mmとした場合、今回の実験に使用した材料の調合範囲では、この規定値を満足するには水セメント比をGVタイプは40%以上に、SUタイプでは35%以上にする必要がある。

- 3) 試験体の比重と裏面温度の相関関係はGV、SUタイプとも水セメント比と裏面温度の相関関係よりも弱くなっている。GVタイプの板厚を50mm、SUタイプの板厚を60mmとした場合、今回の実験に使用した材料の調合範囲では、規定値を満足するには、GVタイプでは比重を1.8以下に、SUタイプは2以下にする必要がある。
- 4) 試験体の厚さと裏面温度の関係を図-5に示す。今回の実験の範囲では水セメント比の値にかかわらず、板厚の増加に伴い裏面温度の低下が明らかに見られる。

軽量薄肉PCCWの目地部試験体において屋外側から加熱した場合と屋内側から加熱した場合の裏面温度の比較を図-6に示す。なお、GVタイプの試験体はW/C=45%、板厚=50mm、SUタイプの試験体はW/C=38%、板厚=60mmである。

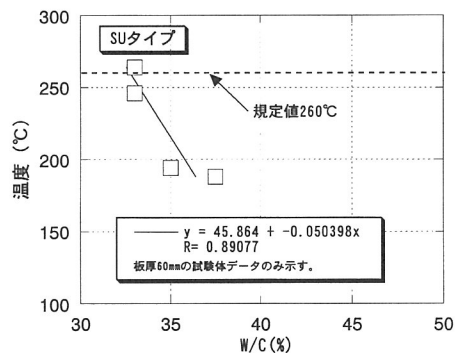
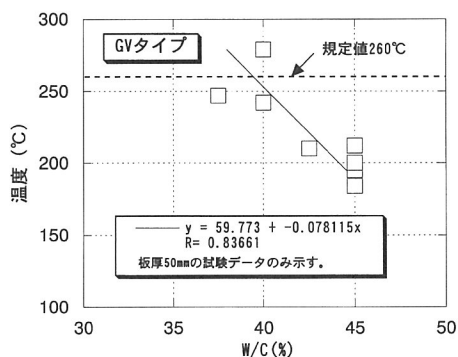


図-3 W/Cと裏面温度との関係

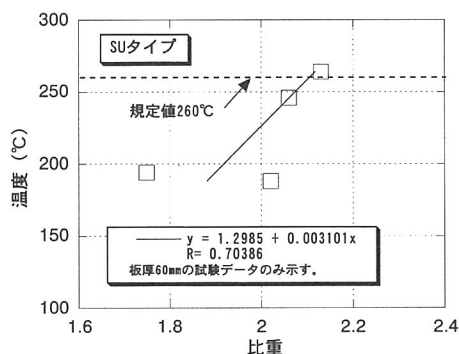
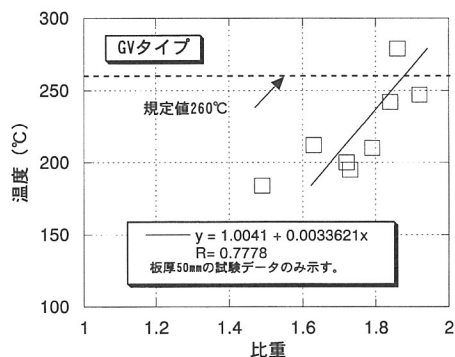


図-4 比重と裏面温度との関係

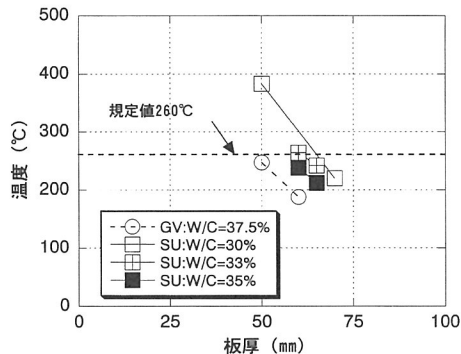


図-5 試験体の厚さと裏面温度の関係

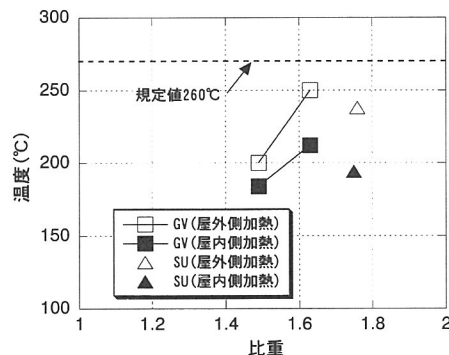


図-6 加熱方向と裏面温度の関係

5) GV、SUタイプとも屋内側から加熱した場合にくらべ、屋外側から加熱した場合の方が裏面温度は高くなっている。これは屋外側から加熱した場合、可燃ゴム製のレインバリアが短時間で燃えつき、目地部に炎が進入し、リブ部分が内部から直接加熱されるため、その加熱による熱影響で裏面温度が上昇したと考えられる。これに対し、室内側から加熱した場合には難燃性のシリコンスポンジガasketが目地部内への炎の侵入を防ぐため、屋外側から加熱した場合のような裏面温度の上昇が起こらないと考えられる。

以上のような試験結果をふまえ、GVタイプは板厚50mm、比重1.5、W/C=45%、SUタイプは板厚60mm、比重1.8、W/C=38%となるように調合することとした。

3. 実大予備耐火試験

3.1 試験方法

3.1.1 試験体

簡易耐火試験の結果を踏まえ、実大の予備耐火試験を行った。試験体の種類を表-4に、試験体の短繊維補強セメントモルタルの調合を表-5にそれぞれ示す。使用材料は簡易耐火試験で用いたものと同じである。

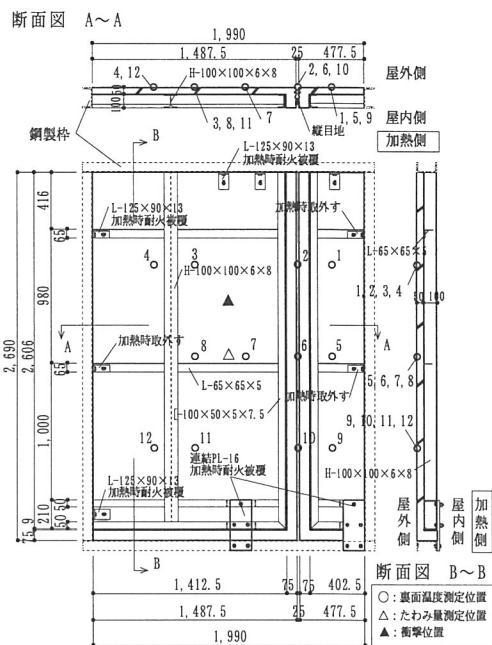
試験体の構造・寸法・温度測定位置を図-7に示す。

表-4 試験体の種類

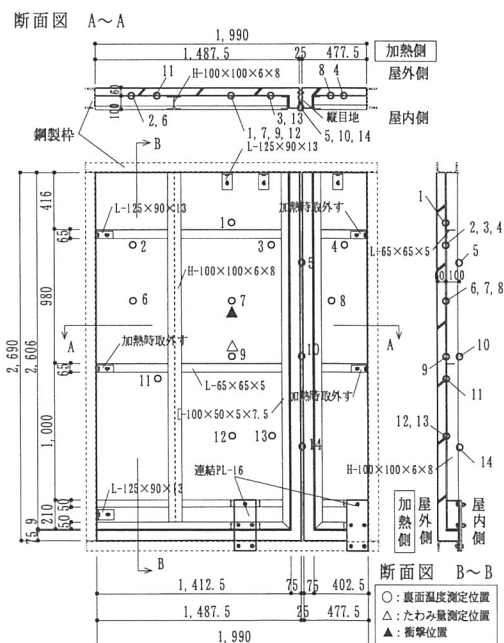
試験体記号	板厚 (mm)	加熱方向	比重 (乾燥後)	含水率 (%)
GVTK	50	屋内側加熱	1.4	4.27
SUTK	60	屋外側加熱	1.7	3.36

表-5 試験体の調合

試験体記号	セメント (kg)	水 (kg)	細骨材 (kg)	混和剤 (kg)	ガラス繊維 (kg)	ピロニン繊維 (kg)	W/C (%)
GVTK	1000	450	150	40.5	54 (2vol%)	13 (1vol%)	45
試験体記号	セメント (kg)	水 (kg)	細骨材 (kg)	混和剤 (kg)	ステンレス繊維 (kg)	W/C (%)	
SUTK	1000	380	365	19.5	155 (2vol%)	38	



a) GVTK試験体 (屋内側加熱)



b) SUTK試験体 (屋外側加熱)

図-7 試験体の構造・寸法・温度測定位置

試験体はGVTK、SUTKの2種類でそれぞれ屋内側、屋外側から加熱した。

各試験体は大小2枚の板からなり、幅25mmのオープンジョイントの縦目地を設け、ファスナーおよびアンクルで鋼製枠に固定した。試験体の寸法が均等ではなく大小2枚の板からなるのは、加熱時の板の反りによる目地部での目違い発生の有無を確認するためである。なお、試験体のスチールフレーム部分には耐火被覆を行わなかったが、ファスナー部はセラミックブランケット(厚さ30mm)で被覆した。

この試験は、耐火性能のうち特に以下の点を把握することを主な目的として行った。GVTKについては、SUTKに比べ板厚が薄いため曲げ剛性が低く、さらに屋内側から加熱した場合、板を補剛しているスチールフレームが加熱されることで剛性低下をきたし、試験体がかなりたわむことが予想された。そこで、試験体を屋内側から加熱することでどの程度まで試験体がたわむか、また大きくたわむことで目地部の目違いが大きくなるか確認をした。SUTKについては、屋内側から加熱した場合よりも裏面温度がより高くなる屋外側から加熱を行い、試験体の裏面温度がどの程度まで上昇するか確認した。

3.1.2 試験装置

加熱炉は、壁用中型垂直加熱炉(炉壁材：セラミックファイバー、熱源：都市ガス13A 11000kcal/m²)を使用した。

3.1.3 試験方法

建設省告示第2999号の規定に準じて、1時間耐火試験を実施した。鋼製枠に固定した試験体を加熱炉にセットし、セラミックフェルトで周囲を遮蔽した後、JISA 1304の耐火標準加熱曲線に従い1時間加熱した。試験体の裏面温度を図-7に示す位置で杉板付熱電対を用いて、デジタル多点式温度計測装置により1分間隔で自動測定した。

さらに、図中(図-7)に示す位置で、試験体の加熱によるたわみ量の測定をおこなった。加熱終了後、試験体を炉に固定したまま自然冷却した。

試験体の裏面温度が最高値を示した後、試験体を加熱炉から取外し、衝撃試験を行った。加熱した試験面を上面にして試験体の中央部に重量5kgのおもりを1mの高さから落下させ、損傷の程度を観察した。

3.2 試験結果

図-8に示すように、JISの耐火標準曲線に従い、60分加熱を実施した。GVTK、SUTKの裏面温度の測定結果を図-9に示す。試験結果の概要を表-6に示す。

測定結果から以下のことが確認できた。

- 1) 図から明らかなように両試験体とも、どの測定箇所も裏面温度は規定値の260℃を下まわっている。
- 2) 裏面温度の約100℃における停滞現象(以下、横這現象と呼ぶ)は、GVTKの方がSUTKに比べ長くなっている。横這現象はモルタル中の水分の気化

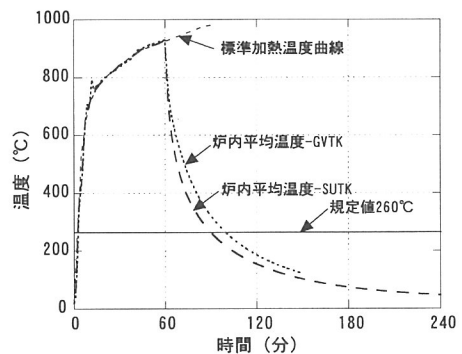


図-8 加熱温度測定結果

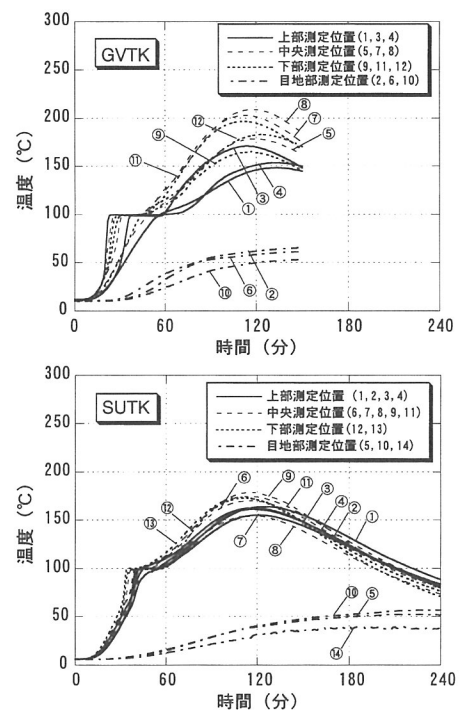


図-9 裏面温度測定結果

により引き起こされる事から、GVTKがSUTKに比べ試験体の含水率が大きかったことが原因と思われる。

3) 加熱開始から横這現象の始まるまでの時間を比べると、GVTKの測定点の多くが加熱開始後20分過ぎには横這現象が始まっているのに比べ、SUTKでは35分過ぎから横這現象が始まっている。これはSUTKがGVTKに比べ熱抵抗が大きく、加熱による熱影響が裏面に到達しにくいためと思われる。

4) 試験体の裏面温度についてみると、GVTK、SUTKとも試験体上部の測定点での裏面温度が、中央部、下部の測定点よりも低くなっている。

図-10に各試験体の加熱によるたわみ量の変化を示す。GVTKは当初の予想どおり、SUTKにくらべ、たわみ量が相当大きくなった。GVTKにおいてたわみが最大に達した時点で、目地部に若干目違いが生じたが、耐火上、特に問題とはならなかった。

表-6に示すように、両試験体とも変形・破壊・脱落・割れ目等の耐火上有害となるところは認められなかった。さらに、火気の残存、衝撃試験についても大きな問題は起こらなかった。

耐火予備試験の状況を写真-1に示す。

4. まとめ

現在開発中の軽量薄肉PCCWについて行った簡易耐火試験と実大予備耐火試験の概要と結果について述べた。今回行った耐火試験の範囲では、GVタイプ、SUタイプとも、建設省告示第2999号の規定する外壁（非耐力）1時間耐火構造の基準を十分満たしていることが確認できた。今後は、GVタイプ、SUタイプのそれぞれについて、外壁（非耐力）1時間耐火構造の認定取得を目指したいと考えている。

最後に、耐火試験を行うに際し、ご指導いただきました（財）日本建築総合試験所の耐火防火試験室の方々には心より御礼申し上げます。

表-6 試験結果概要

試験体記号	SUTK	GVTK
裏面最高温度	179℃（113分）	209℃（114分）
最大たわみ	1.05cm （58分、加熱側に凸）	3.44cm （9分、加熱側に凸）
変形・破壊 脱落・割れ目等	耐火上有害な点は認められなかった。	耐火上有害な点は認められなかった。
火気の残存	目地部で残炎3分30秒間有り。	目地部で残炎6分間有り。
衝撃試験結果	衝撃部に凹みを生じたが、裏面に達する穴は認められなかった。	衝撃部に凹みを生じたが、裏面に達する穴は認められなかった。

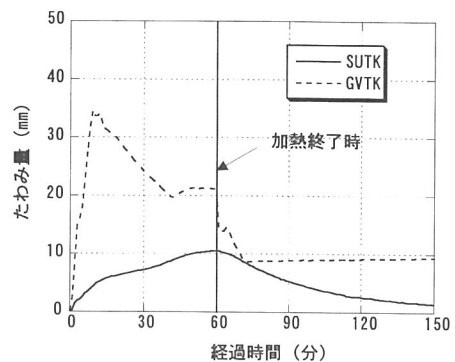


図-10 加熱によるたわみ量

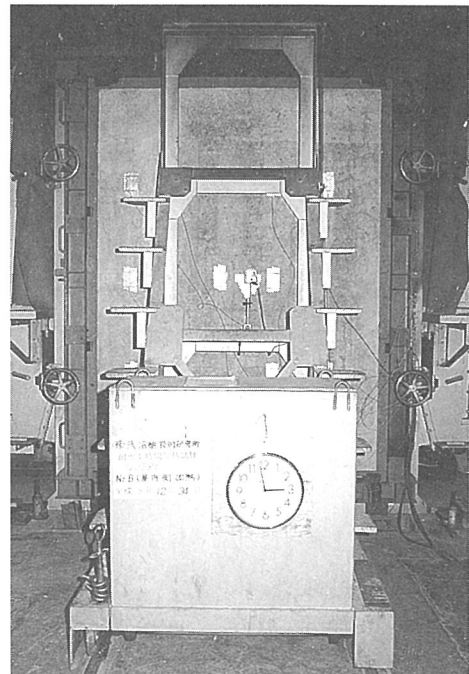


写真-1 試験状況

[参考文献]

- 1) 石原、崎山 他：軽量薄肉PCaカーテンウォールの研究開発（その1）、浅沼組技術研究所報
No.7 pp57～65,1995
- 2) 石原、崎山 他：軽量薄肉PCaカーテンウォールの研究開発（その2）、浅沼組技術研究所報
No.8 pp45～52,1996
- 3) (財)日本規格協会：「JISハンドブック建築」