

6. 軽量薄肉PCaカーテンウォールの研究開発 (その2. 耐風圧試験)

石原誠一郎 崎山 和隆
高見 錦一 熊谷 由弘*
新田 稔*

要 旨

主構成部材にコンクリート系材料を用いたPCaカーテンウォールは建築物の外装材として広く利用されているが、重量が重い、軽量化が望まれている。本開発では、PCaカーテンウォールの材料としてコンクリートに代わり短繊維補強セメントモルタルを採用することで、パネル部の厚さを薄くし、さらに従来リブで補強していたパネル部を、鉄骨を用いて補強するスチールフレーム方式を使用することでPCaカーテンウォールを軽量化することができた。実大の軽量薄肉PCaカーテンウォールを作製し耐風圧試験を行なった結果、高さ60m程度の建物が受ける風圧力に対しても十分耐えられる事を確認した。

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／耐風圧

目 次

1. はじめに
2. 試験方法
3. 試験結果
4. ま と め

6. RESEARCH AND DEVELOPMENT OF LIGHTWEIGHT THIN PCa CURTAIN WALL (PART 2 : WIND RESISTANCE TEST)

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

Abstract

PCa curtain walls that used concrete to main constitution members is utilized widely as a facing material of a building. However, the reduction of weight of PCa curtain walls is hoped, because the weight of PCa curtain walls is heavy. In this development, the thickness of a panel of the PCa curtain wall was able to be made thin and lightened, because short fiber reinforced cement mortar was used in place of concrete, and a panel was reinforced with a steel frame system, although a panel was reinforced with a rib in formerly. The wind resistance test using a full-scale model of lightweight thin PCa curtain wall (PCCW) was done. That the PCCW bears sufficiently to wind pressure that the building of the height about 60m receives was confirmed from the result of the wind resistance test.

* 東京本店プレハブ工場

1. はじめに

主構成部材にコンクリート系材料を用いたPCaカーテンウォールは、外観に重量感があり、陰影の深いファサードを具現化しやすいなど、造形性に富み、さらにメタルカーテンウォールに比べて耐火性・気密性・遮音性などに優れ、また比較的安価であることから、これまで外壁材として広く使用されてきた。しかし、コンクリート系のPCaカーテンウォールは板厚が150～200mmと厚く、重量も300～400kg/m²と重いため、軽量化する事が望まれている。

本開発では、PCaカーテンウォールの材料として従来用いられてきたコンクリートに代って短繊維補強セメントモルタルを採用することで、パネルの厚さを薄くし、さらに従来リブで補強していたパネルを、鉄骨を用いて補強するスチールフレーム方式を使用することでPCaカーテンウォールの軽量化をめざしてきた。(このカーテンウォールを以下、軽量薄肉PCCWと略記する。)

前報(その1)では、ガラス繊維にビニロン繊維を混合した繊維補強セメントモルタルGVRCと、ステンレス繊維を混合した繊維補強セメントモルタルSSFRCの基本物性について述べ、さらにパネルとスチールフレームを一体化するコネクタの引抜き試験について述べた。

本報では(その2)として、実大の軽量薄肉PCCWについて行なった、耐風圧試験の結果を述べる。

2. 試験方法

2.1 試験体

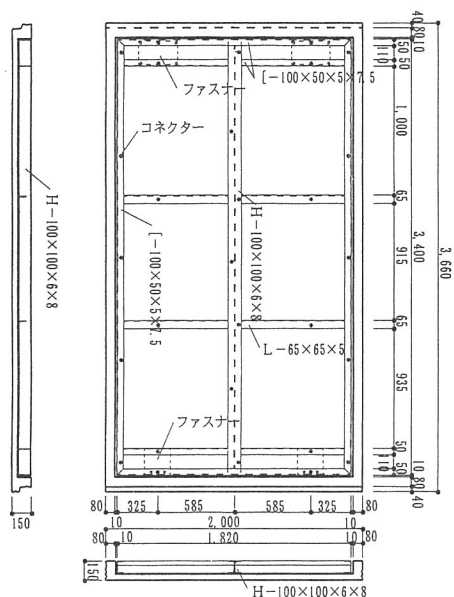
試験体は高層建築物の外壁カーテンウォールを想定した軽量薄肉PCCWの実大パネルである。

試験体の一覧を表-1に示す。試験体のパラメータは表-1に示すように、短繊維補強セメントモルタルの種類と、パネル部を補強するスチールフレームである。試験体に使用した短繊維補強セメントモルタルはGVRC(試験体の記号GV)とSSFRC(試験体の記号SU)の2種類である。さらに、パネルを補強するスチールフレームの部材寸法を変える事により、PCCWの曲げ性能がどのように変化するかを確認するため、2種類のサイズのスチール部材を用いて比較検討した。図-1(a)(b)に試験体の形状と寸法を示す。

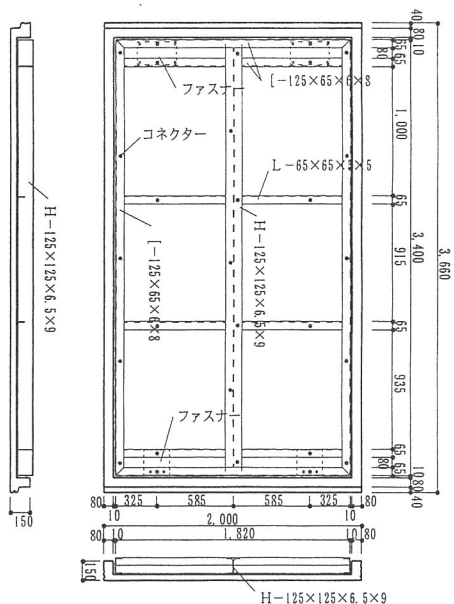
補強フレームのうち、タイプIは図-1(a)に示すよ

表-1 試験体一覧

試験体名	補 強 繊 維	板厚 (mm)	補 強 フレーム	単位面積 当たり重量 (kg/m ²)
GV-1	ガラス+ビニロン繊維	50	タイプI	137
GV-2	ガラス+ビニロン繊維	50	タイプII	147
SU-1	ステンレス繊維	55	タイプI	161
SU-2	ステンレス繊維	55	タイプII	171



(a) タイプIの補強フレームを用いた試験体



(b) タイプIIの補強フレームを用いた試験体

図-1 試験体の形状寸法

うにH形鋼H-100×100×6×8、溝形鋼[-100×50×5×7.5等で構成されている。タイプⅡは(b)に示すようにH-125×125×6.5×9、[-125×65×6×8等で構成されている。補強フレームはパネルに埋め込まれたインサートによりパネルと緊結されている。表-2にその使用した鋼材の力学的特性を示す。

GV試験体のパネルの板厚は50mm、SU試験体の板厚は55mmとした。試験体パネルの単位面積当たりの重量は、従来のコンクリート系PCaカーテンウォールの約1/2程度である。

なお、板の厚さ方向の中央付近にφ4×100×100mmのメッシュ筋を一層配置した。このメッシュは、実際の建物でPCCWが思わぬ衝撃を受けた際の飛散防止が目的である。

2.2 使用材料と調査

各セメントモルタル試験体に混入した補強繊維の物理的・機械的性質を表-3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。GV、SUの各試験体の調査を表-4に示す。

試験体はプレミックス法により流し込み成形し、締固めは型枠支持台にセットした高周波バイブレーターと、棒状バイブレーターを用いて行なった。各試験体は打設後蒸気養生を行なった後、翌朝脱型し、以降屋外にて静置した。

補強繊維モルタルについて行なった素材試験の一覧を表-5に、その結果を表-6に示す。

2.3 試験方法

耐風圧試験は図-3(a)(b)に示すような圧力函方式の圧力装置を用いて行なった。圧力函を構成するため、試験体まわりにふさが板をセットし、試験体を固定するための仮想梁を上下に設け、それぞれ2ヶ所でファスナーを用いて、試験体を鉛直に固定した。試験体への載荷方法は階段状静風圧とし、送風装置で加圧、減圧することで風荷重に相当する等分布荷重を試験体に加えた。その加力ステップを図-2に示す。

まず、建物高さ45m時の風圧力に相当する正圧311kgf/m²、負圧-466kgf/m²を載荷した後、建物高さ60m時の風圧力に相当する正圧334kgf/m²、負圧-501kgf/m²を2サイクル載荷した。さらに、試験装置の最大能力である負圧で-1000kgf/m²まで載荷した。なお、昇降圧速度は10kgf/m²・sec、各圧力段階保持時間は30secとした。

表-2 鋼材の力学的特性

使用材料	降伏強度 (tf/cm ²)	引張強度 (tf/cm ²)	弾性係数 (tf/cm ²)	降伏ひずみ (×10 ⁻⁶)
H-125×125×6.5×9	3.42	4.7	2.12	1612
H-100×100×6×8	3.65	4.86	2.12	1812
[-125×65×6×8	3.27	4.83	2.13	1536
[-100×50×5×7.5	3.54	4.94	2.11	1707
L-65×65×5	3.43	4.76	2.12	1594

表-3 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
S S F	500	22	44	100	7.8
G F	13.5	19	1407	150	2.7
V F	200	12	60	90	1.3

表-4 試験体の調査

種類	W/C (%)	S/C (%)	セメント (kg)	骨材種類	高性能 減水材	混和剤	繊維混入率 (vol%)
GV	45	28	早強 1000	珪砂5号 シラス バルーン	セメント 重量×3% AE助剤 添加	乾燥収縮 低減剤 増粘剤	ガラス繊維 2 ビニロン繊維 1
SU	38	52	早強 1000	珪砂5号 シラス バルーン	セメント 重量×3% AE助剤 添加	乾燥収縮 低減剤 増粘剤	ステンレス 繊維 2

表-5 素材試験方法

試験項目	試験方法	試験体形状
単位容積 重量	JIS A 1116	
圧縮強度	JIS A 1108	φ50×100 (mm)
曲げ強度	3等分点載荷 支点間距離を 450mmとする。	厚 幅 長さ 50×100×530 (mm)

表-6 補強繊維モルタルの素材試験結果

	圧縮強度 (材令4週) (kgf/cm ²)	曲げ比例 限界強度 (kgf/cm ²)	曲げ比例 限界歪 (×10 ⁻⁶)	曲げ強度 (kgf/cm ²)
GV	421	53.9	562	101.3
SU	484	43.3	292	57.9

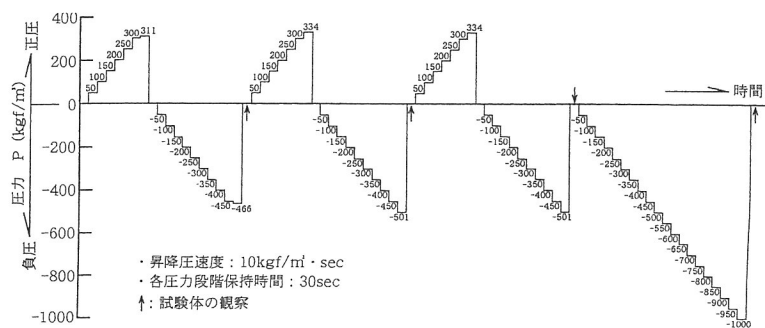
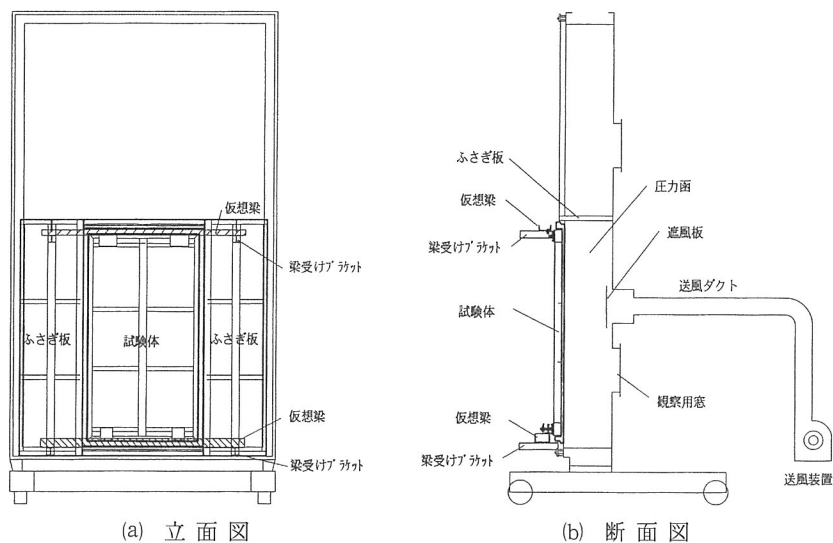


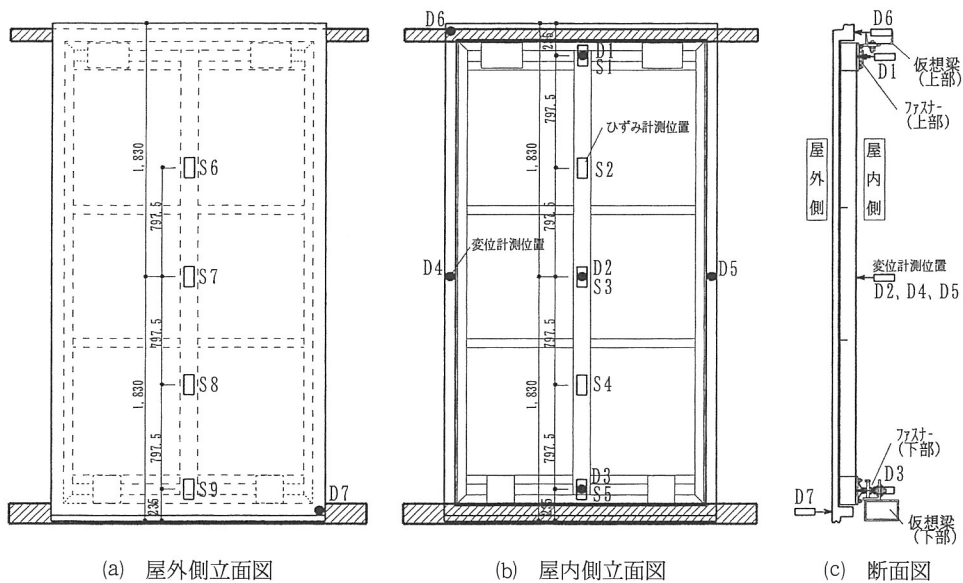
図-2 加力ステップ



(a) 立面図

(b) 断面図

図-3 耐風圧試験装置



(a) 屋外側立面図

(b) 屋内側立面図

(c) 断面図

図-4 変位量・ひずみ測定位置

各荷重時での試験体のパネルと補強フレームの変形およびひずみを測定するとともに、目視観察をおこなった。特に、圧力函内側の載荷後のパネル表面状態の確認については、図-2に示す各加力サイクルの載荷終了後、圧力函内に入り目視観察を行なった。試験体の変位計測位置およびひずみ測定位置を図-4(a)(b)(c)に示す。各変位は高感度型変位計により、補強フレームとコンクリートのひずみはひずみゲージを用いて測定した。

3. 試験結果

3.1 試験体のたわみ

図-5に風圧力 P と各試験体のパネルの短辺方向の面外たわみ量 δ_{PS} との関係を示す。なお、GV-1試験体のグラフは計測不備のため割愛した。図からもわかるように短辺方向の性状は負圧 -1000kgf/m^2 まで弾性的挙動を示し、面外たわみ量も著しく小さく、除荷後においても残留変形は観察されなかった。

図-6に風圧力 P と各試験体の補強フレームの長辺方向の面外たわみ量 δ_{FL} との関係を示す。さらに、図-7に各試験体の風圧力 P とパネルの長辺方向の面外たわみ量 δ_{PL} との関係を示す。

図から明らかなように、各試験体とも正圧 311kgf/m^2 、負圧 -501kgf/m^2 までの載荷において補強フレームおよびパネルとも試験体長辺方向の面外たわみ性状は弾性的挙動を示し、面外たわみ量は、設計たわみ制限($\delta=L/300$)よりも十分小さい値であり、除荷後においても残留変形は観察されなかった。ただ、負圧が上昇するに従い各試験体により異なる面外たわみ性状を示した。試験体GV-1は負荷載荷 -600kgf/m^2 以降において、補強フレームの面外たわみ量が大きくなった。補強フレームの鋼材のサイズを大きくした試験体GV-2は補強フレームおよびパネルとも負圧 -1000kgf/m^2 まで面外たわみ性状は弾性的挙動を示した。除荷後においても残留変形は観察されなかった。試験体SU-1は負荷載荷 -550kgf/m^2 以降において、補強フレームおよびパネルの面外たわみ量が大きくなった。補強フレームの鋼材のサイズを大きくした試験体SU-2では補強フレームは負圧 -1000kgf/m^2 まで弾性的挙動を示したが、パネルは負荷載荷 -700kgf/m^2 以降において面外たわみ量が少し大きくなった。

試験体GV-2は負圧 -1000kgf/m^2 載荷後においても試験体にひび割れ等の異常は認められなかった。

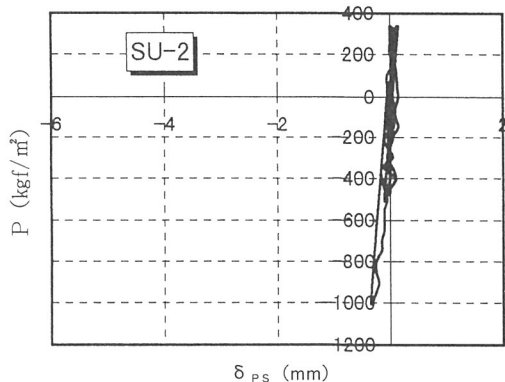
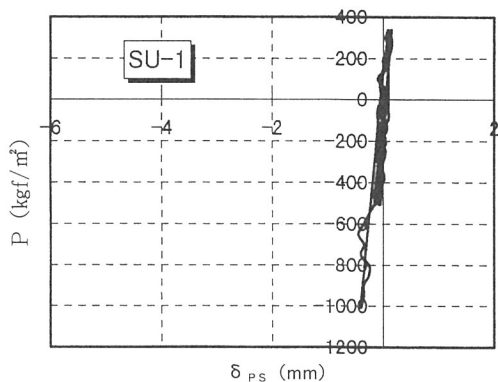
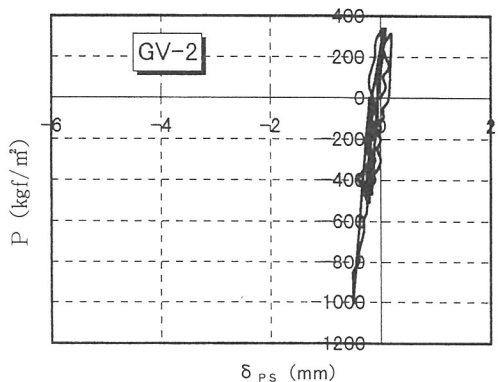


図-5 風圧力とパネルの短辺方向の面外たわみ量との関係

しかし、試験体GV-2以外の試験体は負圧 -1000kgf/m^2 まで載荷した後、パネルの表面を観察するとパネルの屋外側中央部付近にひび割れが観察された。特に、試験体SU-1は、他の試験体に比べひび割れ本数が多かった。

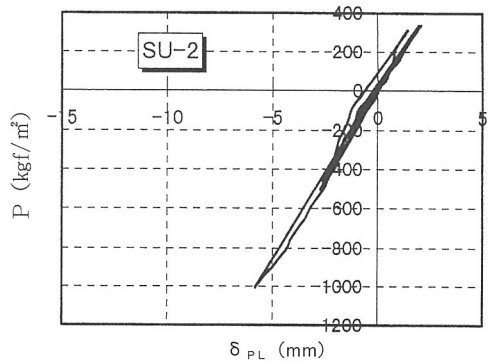
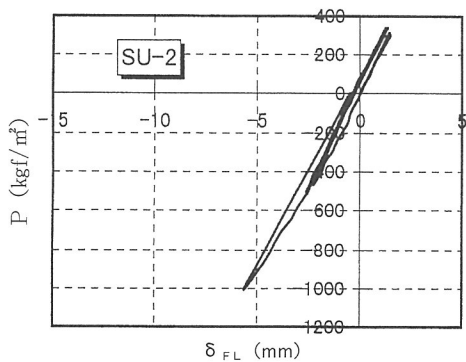
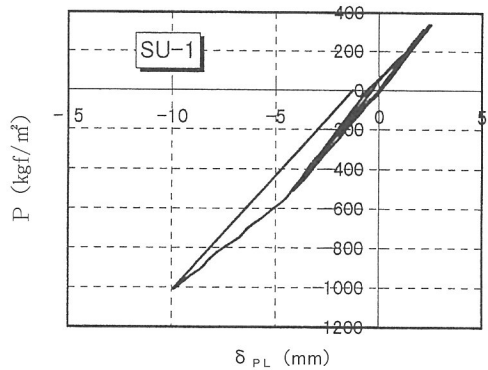
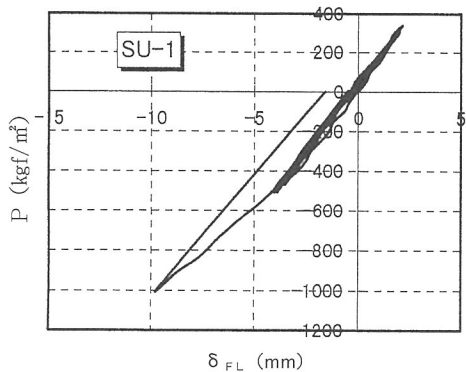
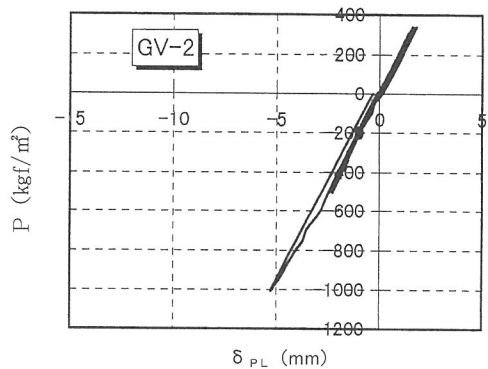
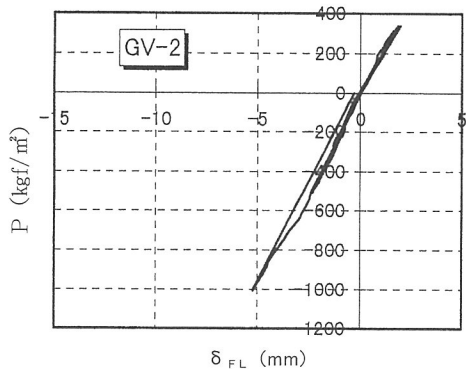
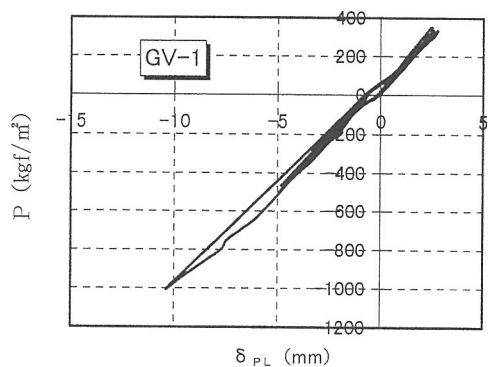
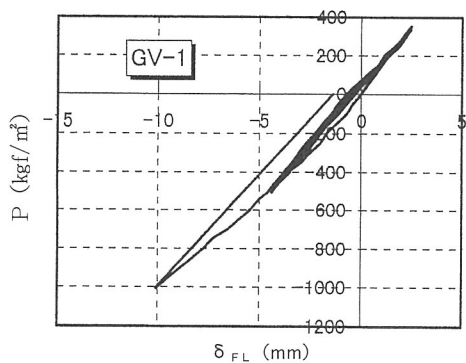


図-6 風圧力と補強フレームの長辺方向の面外たわみ量との関係

図-7 風圧力とパネルの長辺方向の面外たわみ量との関係

3.2 試験体のひずみ分布

正圧334kgf/m²、負圧-501kgf/m²、負圧-1000kgf/m²の各ピーク時の補強フレームのひずみ分布を図-8に示す。グラフの縦軸は補強フレームのH鋼に貼り付けたS1～S5の各ひずみゲージの位置を示す。

補強フレームのひずみは各試験体とも中央部(S3)のひずみが一番大きかった。試験体のうち、補強フレームの長辺方向の面外たわみ量の一番大きい試験体GV-1(図-6参照)が、各サイクルともひずみが一番大きくなった。ただ、最大負圧-1000kgf/m²においても、どの試験体の補強フレームのひずみも鋼材の降伏ひずみ値を大幅に下まわる値を示した。さらに、GV、SUの各試験体とも補強鋼材のサイズが大きいほうがひずみが小さくなった。

次に、正圧334kgf/m²、負圧-501kgf/m²、負圧-1000kgf/m²の各ピーク時のパネルのひずみ分布を図-9に示す。グラフの縦軸はパネルに貼り付けたS6～S9の各ひずみゲージの位置を示す。

パネルの長辺方向のひずみをみると各試験体とも正圧311kgf/m²、負圧-501kgf/m²までの载荷において

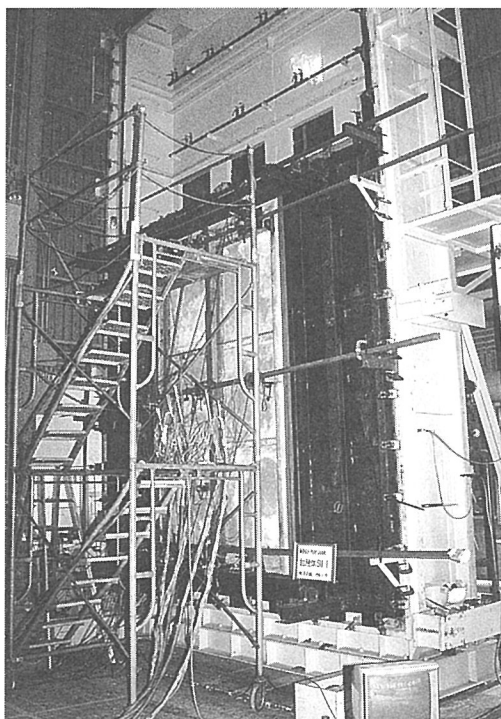


写真-1 試験状況

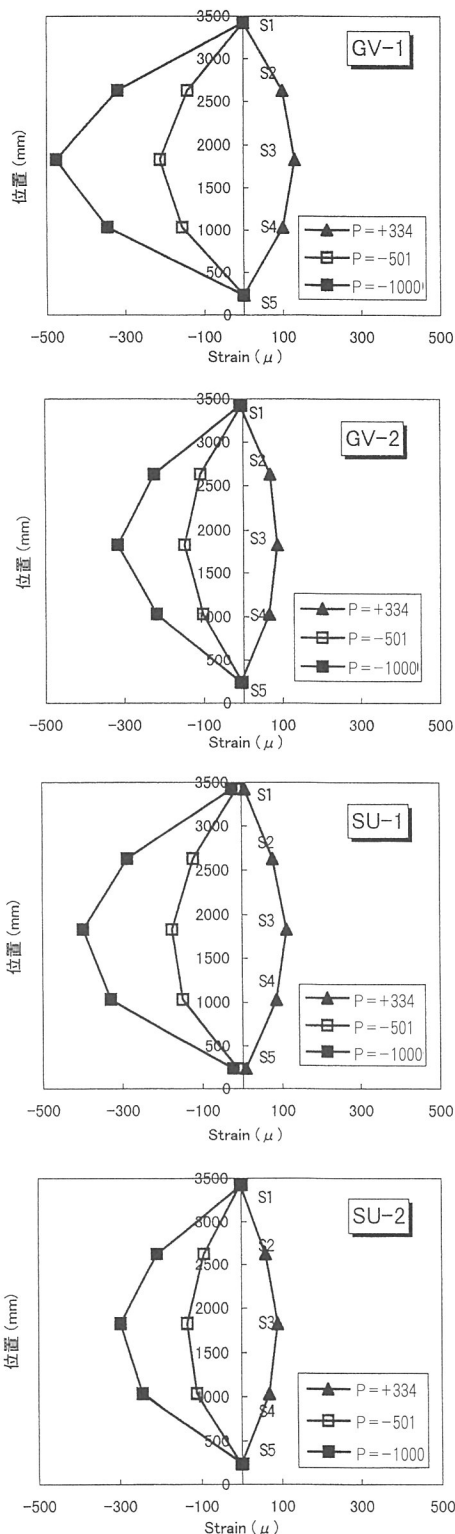


図-8 補強フレームのひずみ分布

は素材試験からえられた各セメント板の比例限界ひずみ値よりもかなり下回った。負圧-1000kgf/m²時では試験体GV-2のひずみはすべて比例限界ひずみ値以下であった。しかし、試験体GV-1およびSU-1には比例限界ひずみ値を大きく上回るカ所がみられた。試験体SU-2も中央部(S7)が比例限界ひずみ値を若干上回った。

耐風圧試験の状況を写真-1に示す。

4. まとめ

実大の軽量薄肉PCCWについて耐風圧試験行なった結果、以下のことが確認できた。

- 1) 繊維補強セメントモルタルを用いたパネルは板厚を50mm程度にしても、スチールフレームで補強することで、高さ60m程度の建物が受ける風圧力に対しても十分耐えられる事が確認できた。
- 2) 軽量薄肉PCCWの曲げ耐力は繊維補強セメントモルタルパネルのひび割れ強度で決まった。

今後は、今回行なった実験結果にもとずき軽量薄肉PCCWの設計法を確立するとともに、耐火性能の検討を進めていく予定である。

最後に本実験をすすめるにあたり御指導いただいた、(財)日本建築総合試験所の耐風試験室の方々、および、ご協力いただいたジャパンライフ(株)の各位に深く謝意を表します。

[参考文献]

- 1) 石原、立松 他：軽量モルタルマトリックスにおけるガラス繊維とビニロン繊維の混成補強効果に関する基礎研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp851~854,1993
- 2) 石原、崎山 他：ステンレス繊維補強モルタルに関する基礎的研究、浅沼組技術研究所報 No.5、pp49~54,1993
- 3) 石原、森口 他：モルタルマトリックスにおけるガラス繊維とビニロン繊維の混成補強効果に関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp433~434,1995
- 4) 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

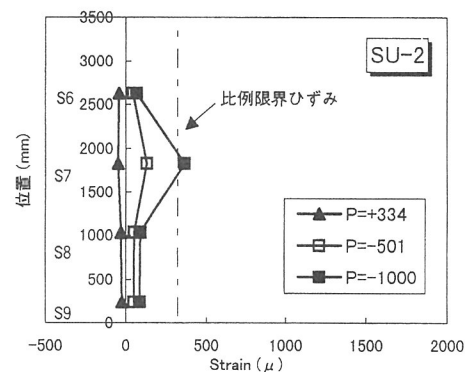
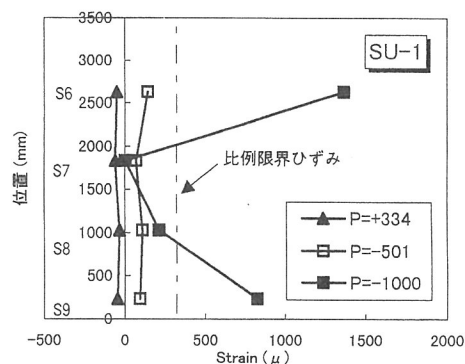
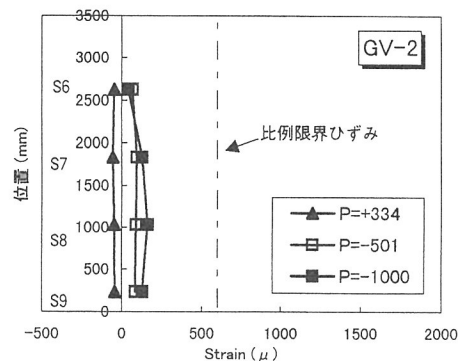
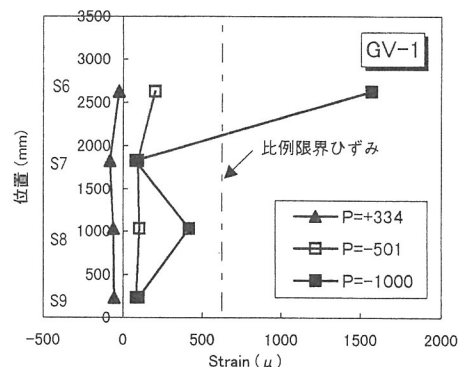


図-9 パネルのひずみ分布