

正会員 ○苅谷信次\*  
 正会員 前田 豊\*  
 正会員 西村宏昭\*\*

瓦                      フォーム接着工法      ウレタンフォーム  
 耐風強度              変位量                      ルーフィング

1. はじめに

建築物における強風被害のこれまでの観察では、瓦が飛散する被害が目立って多い。瓦の飛散は瞬間風速 30m/s 程度から発生すると言われている。瓦に作用する風荷重は、屋根勾配、建物や屋根の大きさや形状、地形や周辺建物の接近の程度等によって変化するが、概ね瞬間風速 30m/s のときの風荷重は瓦の重量と等しいと考えられる。一般に、ある地域の建築外装材の被害の総量はある値を超えた瞬間風速の 3~4 乗に比例すると言われている。つまり、一旦被害が発生すると、風速が増加するにつれて被害が急激に拡大する。しかし、近年の台風では、設計風速に達していない風速で被害が発生しており、設計風速レベルの台風が襲来した時には今以上の被害の発生が懸念される。

瓦を固定するために一般に釘が使われるが、釘留位置は瓦の上端近くにあるため、風荷重に十分に抵抗できない。近年になって、いわゆる防災瓦が開発され、風荷重に耐える瓦が登場し、これに合わせて、設計・施工ガイドライン<sup>1)</sup>が作られ、瓦の耐風性能評価法が決められた。

本研究では、1992 年に瓦屋根にも広範囲の被害を出したハリケーン・アンドリュー<sup>2)</sup>の後に開発されたウレタンフォームで瓦を接着する工法（フォーム接着工法）の耐力試験を実施し、この工法が有益であることを確認した。ここでは、屋根の一般面に葺かれる瓦を対象とした。

2. 試験方法

瓦とルーフィングを発泡ウレタンフォームで接着したものを試験体とし、瓦を機械的に引き上げて、そのときの変位量と荷重の関係を調べた。ガイドライン工法<sup>1)</sup>で決められた試験方法は、9 枚または 16 枚の瓦を同時に引き上げるものであるが、この実験では 1 枚のみの瓦を引き上げる方法とした。ガイドラインの方法は、複数枚の瓦が相互に拘束し合う効果を考慮したものであるが、風圧は複数枚の瓦に同時に作用するので、隣接する瓦が注目する瓦を押え付ける効果は小さいと考えられることから、この方法は安全側の設定である。なお、FBC-TAS110<sup>3)</sup>においても 1 枚の瓦を引き上げる方法を採用している。

試験装置は図 1 に示すように、1 枚の瓦の中央に固定したアイボルトをコンピュータ制御の電動ジャッキで引き上げるもので、そのときの荷重  $F(N)$  と瓦の 4 隅の変位量

を測定した。瓦の浮き上がり量  $\delta$  は 4 点の変位量の平均値とした。フォーム接着工法では、ルーフィングの種類と強度が重要である。ここでは、野地板に接着するタイプのルーフィング（表面樹脂塗装、合成繊維不織布心材、両面特殊ゴムアスファルトコンパウンド、裏面粘着層）を用いた。

発泡ウレタンフォームは 2 液混合タイプのもので、十分な練り混ぜを行う必要がある。実際の屋根の上での作業性を考えると 2 液の混合はできる限り容易に行われなくてはならず、写真のような 2 液を入れたポンペを用い、ノズルの先端で混合し、即座に射出して発泡させる方法が考案されている。この方法は、施工性は良いが、混合された液がノズルから出るときにはすでに発泡が始まっており、発泡されたウレタンの中に隙間が生じることがある。そのため、接着力にばらつきが生じるが、それを許容して強度を決定することが望ましい。

必要な接着面積を確認するためにルーフィングとウレタンフォームの間に穴を開けたビニルシートを挿入し、その穴の直径を変化させてルーフィングとウレタンフォームの接着面積を調整した。ウレタンフォームはビニルシートに開けられた穴を超える範囲の量を発泡させたが、ビニルシートはルーフィングと接着されていないので、ルーフィングに直接接着された穴の部分だけのフォームで力が伝達される。接着面の大きさは大 ( $\phi=15\text{cm}$ )、中 ( $\phi$



写真1 発泡材のポンペ

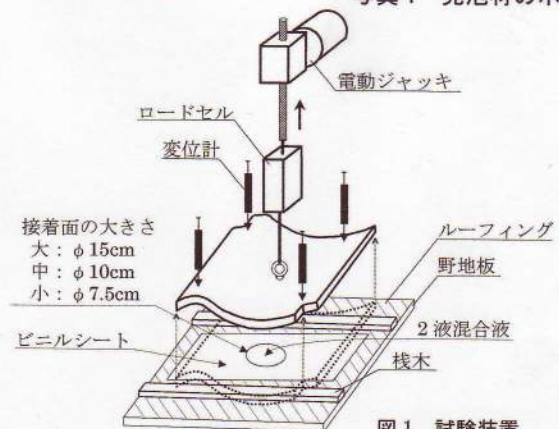


図1 試験装置

=10cm), および小 ( $\phi=7.5\text{cm}$ ) とした。瓦側の接着面積はルーフィング側に設定した面積より少し大きい。

試験目標荷重は告示 1458 号を用いて、粗度区分Ⅲ、基準風速  $V_0=40\text{m/s}$ 、屋根の平均高さ  $H=8\text{m}$ 、隅角部のピーク風力係数  $C_{pe}=-3.2$  と仮定して、 $P=1.77\text{kN/m}^2$  とした。これより、 $1\text{m}^2$  当りに 11 枚の瓦があるとして、1 枚の瓦が負担すべき引き上げ荷重を  $F=157\text{N}$  とした。この目標荷重を瓦の中心線上に接続したジャッキで鉛直上向きに 150 回の繰返し载荷 ( $0-F$  を 150 回) を行い、その後、剥離が生じるまで瓦を引き上げた。瓦は J 型、F 型および S 型の 3 種類とした。F 型瓦は、いわゆる防災瓦で瓦どうしを互いに拘束し合うものであるが、前述のように、それらはすべての瓦に同時に風圧が作用するため、拘束する効果はここでは考えず、自由な 1 枚の瓦のみを対象とした。

### 3. 試験結果

150 回の繰返し载荷時の変位量と荷重の例を図 2 に示す。目標荷重の繰返し载荷の後、剥離せずに残った瓦を用いて瓦が剥離するまで単調に荷重を加えた。得られた荷重-変形曲線を図 3 に、試験結果の一覧を表 1 に示す。

接着面積が小と中では目標荷重まで達しないものがあり、それらは繰返し回数が 150 回に達せず、終局耐力が得られていない。接着面積が大の試験体は、瓦の種類によらず目標荷重の 150 回の繰返し载荷に耐え、2.9 倍から 6.4 倍の強度があることが確認できた。剥離面の観察では、発泡されたウレタンフォーム内部にいくらかの間隙が見られ、強度のばらつきは主に発泡のムラによると思われる。この発泡のムラは改良の余地があるが、施工性を考えるとある程度は妥協せざるを得ない。その発泡ムラを許したとしても、直径 15cm 程度の発泡塊が形成できれば、

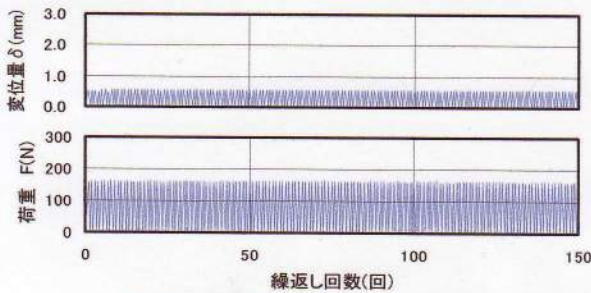


図 2 瓦の変位量と荷重(150回繰返し载荷時)

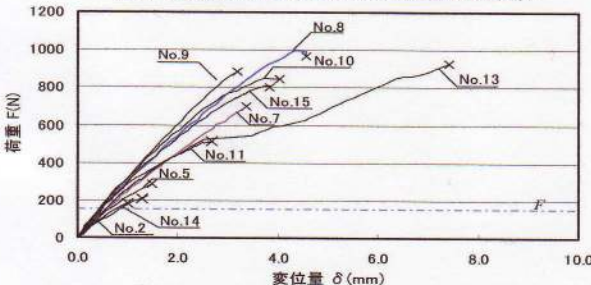


図 3 瓦の引き上げ耐力(150回繰返し载荷後)

設計に十分な強度を発現できると思われる。なお、試験したのは冬季で、発泡のための温熱条件としては不利な条件であった。接着面積大の試験体ではヤング率は  $33\text{N/mm}$  で、大部分の設計荷重下においても瓦の浮き上がり量は  $\delta < 1\text{mm}$  程度であり、変形量が非常に小さいこともこの工法の特徴である。瓦の浮き上がり量が小さいことは、瓦が浮き上がることによる風荷重の増加が小さいことを意味し、耐風性能上有利である。

### 4. まとめ

発泡ウレタンフォームによる瓦接着工法は、設計風荷重より十分大きい引き上げ耐力を有することができ、瓦の種類によらない。その耐力はルーフィングの特性とフォームの量に依存する。屋根上の作業効率を考慮したポータブル 2 液混合ポンプを用いた施工では、発泡したフォーム内部に間隙が生じることがあるが、ある程度の量(接着面積)を確保すれば、必要な耐力は保証される。

謝辞 発泡ウレタンフォームをポリフォーム社から、ルーフィングをガムスター社から提供頂いた。感謝致します。

### 参考文献

- 1) 全日本瓦工業事業連盟, (独) 建築研究所監修: 瓦屋根標準設計・施工ガイドライン, 平成 13 年
- 2) FEMA: Building Performance: Hurricane Andrew in Florida, 1992.
- 3) FBC (Florida Building Code) TAS110-2000; Testing requirements for physical properties of roof membranes, insulation, coatings, and other roofing components, 2004.

表 1 瓦の引き上げ試験結果

試験体 No.	瓦の種類	接着面積	$\delta$ (mm)	繰返し回数	終局耐力(N)	破損タイプ*
1	J 型	小	-	1	-	B
2		中	0.8	150	186	B
3			0.9	6	-	B
4			0.8	81	-	B
5			0.9	150	286	B
6			-	1	-	B
7		大	0.7	150	699	A
8			0.6	150	999	B
9			0.5	150	882	B
10			0.6	150	853	A
11		0.6	150	515	A	
12	F 型	中	0.7	80	-	B
13		大	0.6	150	927	A
14	S 型	中	0.9	150	222	B
15		大	0.7	150	811	A

\* 破損タイプ A は瓦とフォーム間, タイプ B はフォームとルーフィング間の剥離を示す。

\* 日本建築総合試験所 建築物理部耐風試験室

\*\* 日本建築総合試験所 建築物理部耐風試験室室長

\* General Building Research Corporation Wind Eng. Lab

\*\* General Building Research Corporation Wind Eng. Lab, Chief