

# 新型瓦の耐風性能の評価

立川 正夫・松崎 浩司  
(受理 昭和63年5月31日)

## ESTIMATION OF THE WIND RESISTING PROPERTY OF A NEW TYPE ROOFING TILE

Masao TACHIKAWA and Koushi MATSUSAKI

With the purpose of estimating the wind resisting property of a new type roofing tile which has peculiar overlapping corners, loading tests of roofing tiles were made assuming that the wind force acting on a roofing tile is perpendicular to the roofing surface.

The test results showed that this kind of roofing tile is able to withstand strong gusts having velocities up to 60 m/s if all tiles are nailed on battens tightly. However, it was also found that the advantage gained by using this tile is almost lost if the tiles are nailed on battens at intervals of several rows following the conventional roofing method.

### 1. はじめに

昭和60年8月31日に薩摩半島に上陸した台風13号は、鹿児島県本土の建築物に徐々に強風による被害をもたらした。全半壊等、軸部の損傷は少なかったが、屋根葺材、特に瓦の飛散が目立ち、瓦の留め付け工法の改善が、耐風設計上の無視できぬ緊急な問題であることが、この台風の被害状況から明らかにされた<sup>1)</sup>。

瓦の飛散については、著者は以前に実物瓦に強風を吹き付ける実験を行い、屋根面上の気流が35 m/sをこえると飛散はさけられないことを示した<sup>2)</sup>。また、最近行われた建築研究所の境界層風洞での1/20の縮尺の模型実験からも、軒高風速30 m/s前後で、飛散の始まることが示されている<sup>3)</sup>。これらの結果から、50~60 m/s程度の風速が予想される場合の瓦の飛散防止には、金物による留め付けが必要なことが明らかである。しかし、在来の瓦で瓦尻を留め付ける工法では、仮に全数を留め付けたとしても、どの程度の強風に耐えられるか疑問であり、まして、建設省告示109号或は住宅金融公庫仕様書に示された部分留め付けで、強風に対する保証を得ようとするは無理といえよう。新しいタイプの瓦、新しい留め付け工法の普及が望まれる所以である。

本報は以上のような背景の下に行った瓦の加力実験結果に関する報告である。屋根瓦に作用する風力は屋根面に垂直で上向きと仮定し、最近市販されている耐風瓦と称するものの中から、S協業組合製の和風粘土瓦を選び、同組合製の普通瓦とともに加力試験を行い、その結果から瓦の耐風性能を検討した。

図1(a)に耐風瓦の形状を示すが、この瓦は斜め隅角部にかみ合わせがあり、(b)に示したように下段の瓦を留め付けることにより、左上段の瓦のめくり上げを押さえるメカニズムになっている。留め付けは長さ50mmの亜鉛めっき釘、銅釘或はステンレス・スクリュー釘が用いられる。瓦の単体の重量は2.8kgである。

全数を留め付ければ、かなり強い耐風性をもつことが予想されるが、実際にはほとんど間隔をおいた部分留め付けが行われている。その場合の耐力が普通瓦よりどの程度優れているかを知ることも目的に含め、加力実験を行った。

### 2. 実験方法

図2に示すような横5枚、登り7枚の瓦が敷ける広さの屋根の部分をもつ木製骨組を製作した。屋根勾配は4/10とし、野地板は厚さ12mmの市販のコンパネを用い、瓦の留め付けには長さ50mm、直径2.5mmの亜鉛

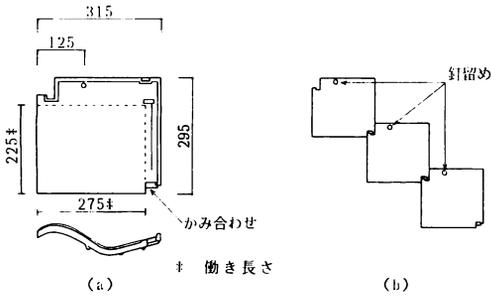


図1 耐風瓦の形状 (単位mm)

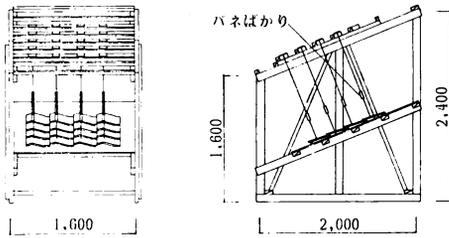


図2 加力試験方法 (単位mm)

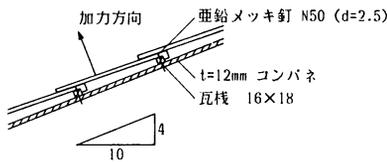


図3 野地板への瓦の留め付け (単位mm)

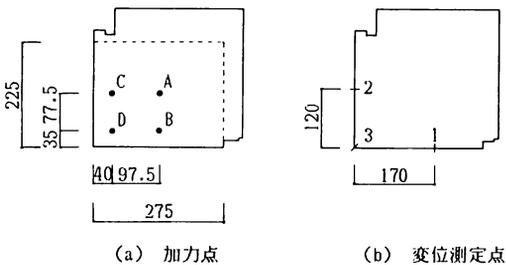


図4 加力点と変位測定点 (単位mm)

めっき釘を使用した (図3参照)。加力は屋根面に垂直な方向に瓦をつり上げるワイヤーを張り、中間に市販のパネばかりをつけ、頂部のボルトを手動で徐々にねじ上げて行った。なお、電動或は油圧による同時加力装置を考えたが、予算や今後の利用価値の点で断念せざるを得なかった。ここで用いた装置はきわめて原始的であるが、変位量の大きい瓦を対象とした実験では、必ずしも高い精度は必要でなく、一応目的は達成できたと考えている。

加力点は図4(a)に示すように、瓦の重ねを除外した面(働き面)の中心であるAと、それより端部によるBCDの合計4点とした。瓦に作用する風力が表面気流によるものとすれば、その作用点は働き面の中心よりも風の当たる瓦の縁の方向に移動するはずで<sup>2),4)</sup>、実際の風力の作用点はこのABCDの四角形の中に含まれる可能性が高い。

瓦の屋根と垂直方向の変位の測定点は、瓦頭或は左手が持ち上げられることが多いことを考慮し、図4(b)に示す3点とした。

実験は(1)留め付けない単独瓦の安定性、(2)全数留め付け時の耐力、(3)部分留め付けの効果、および(4)線状に加力した場合の周辺の瓦の押え効果の4項目について行った。

なお、予備実験として、実験装置と同種の野地板、瓦棧および釘を用い、釘の引き抜き耐力を測定した。結果は表1に示す通りである。なお、 $>50.0$ は荷重50kgまで引き抜きを生じなかったことを示す。

### 3. 実験結果

#### 3.1 留め付けない単独瓦の安定性

まず、瓦棧に引っ掛けただけの単独の瓦の加力試験を行い、単独の瓦がどの程度の安定性をもつかを調べた。なお、瓦は普通瓦を用いたが、耐風瓦も重量および裏面形状に大差はなく、安定性はほぼ同様と考えてよい。

図5に、加力点をA、B、C、Dとした場合のそれぞれの、荷重・変位曲線と支線(回転の軸となる線)の位置を示すが、加力位置によって瓦の安定性はいろいろ異なることがわかる。すなわち、働き部分のほぼ中央のA点の加力では2.0kg、瓦頭によったB点では1.4kgで不安定となり、瓦棧位置を支線として瓦はめくり上がるのに対し、横方向の縁に近いC点、D点の加力では、支線は瓦棧と直角方向に生じ、加力が0.2kgをこえると測定点2、3の変位が始まり、

その後支線が横方向に移動し、1 kg をこえると変位はいちじるしく増大する。同一加力点について3回づつ試験を行い、3つの測定点のうちいずれか1点の変位が5 mm をこえた時の荷重の値を表2に示すが、C、D点の荷重の値はB点の値の6割以下にすぎない。これらの値は当然瓦の形状、特に裏面の瓦棧に接する部分の形状により変わるが、表2の結果から、一般に瓦は下からよりも、横からのめくり上げに不安定であると判断して差し支えなからう。

なお、この実験は単独の瓦について行ったが、敷き並べられた瓦が同時に加力を受ける場合でも、普通瓦の場合には変位を互いに拘束するような瓦のかみ合いは生じない。一方耐風瓦では、A・B点の加力の際にだけ隅角部のかみ合いが生じることが予想される。

### 3.2 全数留め付けた瓦の耐力

図6に示すような3種の状態の留め付けた瓦の加力試験を行った。(a)は普通瓦1枚を釘留めし、その瓦を加力したもので、全数留め付けた普通瓦を、全瓦同時に同一の加力で引き上げた場合(瓦は互いに変位を拘束するような動き方をしない)を代表している。

(b)は2枚の耐風瓦を斜めに留め付け、上の瓦を加力したもので、右下瓦の留め付けの左上瓦に対する拘束効果を調べることを目的とした。実際の全数留め付けた耐風瓦は、このように斜め方向の列が1つのユニットになって効果を発揮する。(c)はその部分をとったもので、4枚を留め付け、3枚を同時に同一荷重で加力した。なお、この場合、変位は上から2枚目の瓦のみを測定している。

加力試験は、ABCDの4つの加力点について、それぞれ3回繰り返して行った。そのうち各1例の荷重・変位曲線を図7に示す。

表1 釘の引き抜き耐力 (kg)

釘の種類 実験No.	亜鉛メッキ釘	鋼釘
1	42.0	48.0
2	44.0	43.0
3	>50.0	49.0
4	>50.0	49.5
mean		47.4
標準偏差		3.0

表2 測定点のうち1点の変位5 mmをこえる荷重(kg)

加力点 実験No.	A	B	C	D
1	2.1	1.6	0.8	0.7
2	2.2	1.6	1.1	0.7
3		1.5	0.7	1.0
mean	2.15	1.57	0.87	0.8

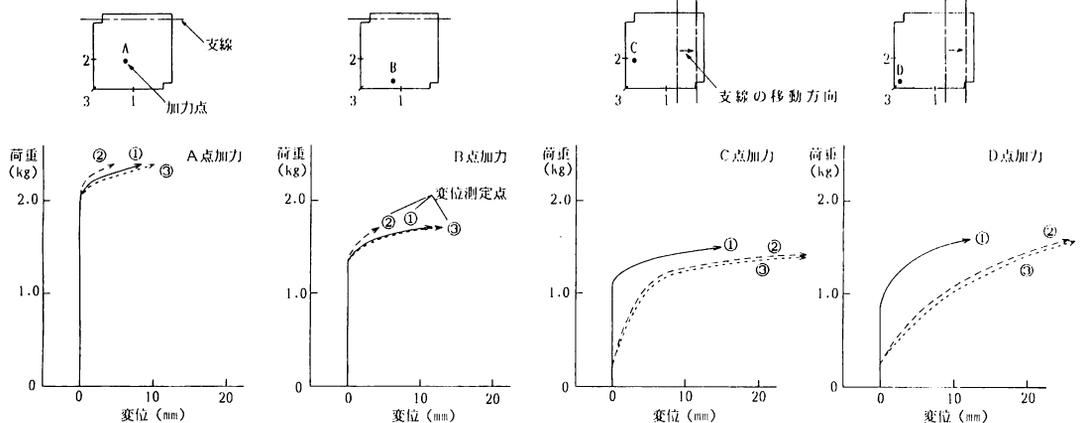


図5 留め付けない単独瓦の加力試験結果

(a)の場合には2 kg前後の荷重で釘の引き抜けが始まり変位が増大するが、加力点がCの場合だけは3~4 kgで引き抜けが始まり、その後も比較的なばりのある曲線をえがく。理由は支線が釘穴から比較的是なれた位置に形成されるため、普通瓦の瓦尻の留め付けは、下からよりは横からのめくり上げに効くことがわかる。

(b)の場合には最大30 kgまでの荷重を加えたが、いずれも瓦は破壊せず(別に行ったセメント耐風瓦では、ほとんど釘穴を通る線で瓦が破壊した)、その前に釘の引き抜けが生じた。

(c)の場合には最大12 kgまでの荷重を加えたが、一部、12 kg以下で釘の引き抜けが生じた。

表3(a)に測定点のうち1点の変位5 mmをこえる荷重、(b)に同じく10 mmをこえる荷重を示す。また表3(c)には釘の引き抜けにより変位が増大し、加力を停止した荷重の値を示す。ただし、表中で\*30.0、\*12.0は、最大荷重まで釘の引き抜けを生じなかった場合である。

表3から、普通瓦の留め付けがC点の加力にのみ大きな効果をもつのにに対し、耐風瓦の留め付けは、すべての点の加力に有効であり、最大耐力で普通瓦と大きな差があることがわかる。また、耐風瓦の2枚留め付け1枚加力と4枚留め付け3枚加力との間にも差があり、全数留め付けた耐風瓦の耐力を求めるには、連続した瓦の加力試験が必要であることもわかる。

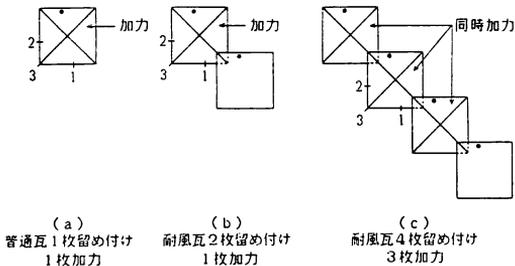


図6 留め付けた瓦の加力試験

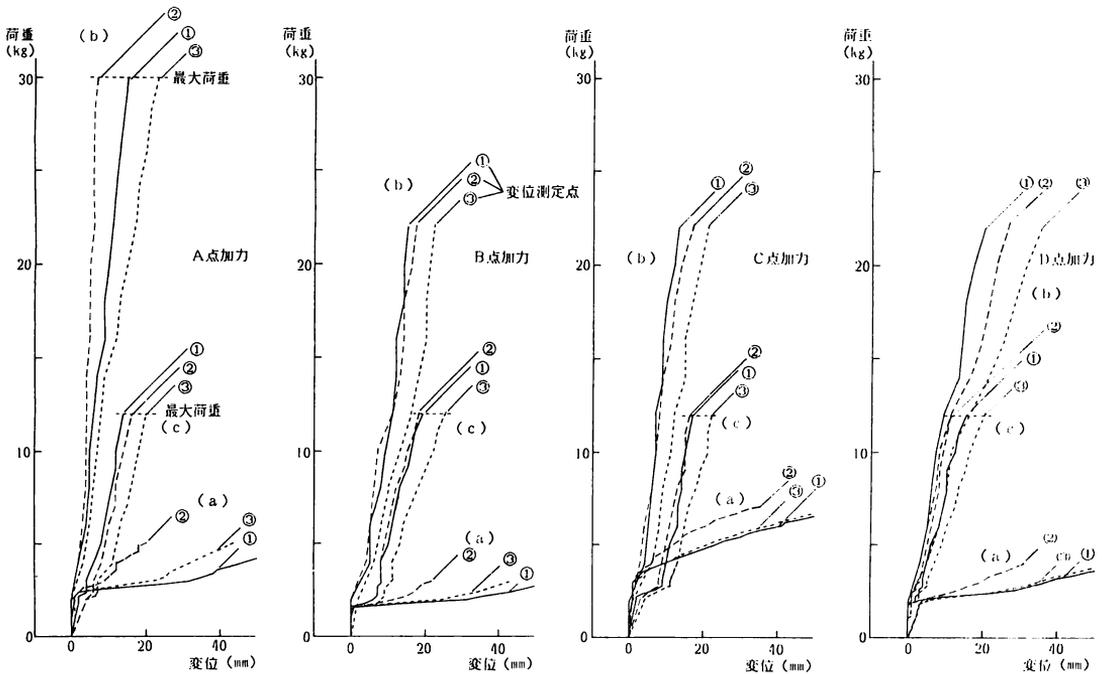


図7 留め付けた瓦の加力試験結果

表3(a) 測定点のうち1点が変位5mmをこえる荷重 (kg)

実験内容	加力点	A	B	C	D
(a) 普通瓦	1	2.3	1.6	3.6	2.0
	2	2.5	1.4	3.0	2.0
	3	2.5	1.7	4.1	1.9
	1枚加力 mean	2.43	1.57	3.57	1.97
(b) 耐風瓦	1	6.0	7.0	4.3	2.8
	2	3.6	3.5	3.6	1.4
	3	6.0	1.6	4.6	4.0
	1枚加力 mean	5.2	4.03	4.17	2.73
(c) 耐風瓦	1	2.1	5.0	3.2	1.7
	2	3.0	1.6	2.2	2.1
	3	2.5	1.7	2.7	2.8
	1枚加力 3枚加力 mean	2.53	2.77	2.7	2.2

表3(b) 測定点のうち1点が変位10mmをこえる荷重 (kg)

実験内容	加力点	A	B	C	D
(a) 普通瓦	1	2.5	1.7	4.1	2.2
	2	2.8	1.6	3.4	2.2
	3	2.6	1.8	4.6	2.1
	1枚加力 mean	2.63	1.7	4.03	2.17
(b) 耐風瓦	1	14.6	14.0	5.4	4.8
	2	8.0	8.0	9.0	3.0
	3	10.4	7.3	7.5	8.0
	1枚加力 mean	11.0	9.77	7.3	5.27
(c) 耐風瓦	1	3.8	7.3	3.8	3.0
	2	8.0	2.0	2.7	4.5
	3	5.0	2.8	6.0	6.0
	1枚加力 3枚加力 mean	5.6	4.03	4.17	4.5

表3(c) 加力を停止した荷重 (kg)

実験内容	加力点	A	B	C	D
(a) 普通瓦	1	6.0	3.0	7.0	3.6
	2	5.0	3.0	7.0	4.0
	3	5.0	4.0	7.0	4.0
(b) 耐風瓦	1	*30.0	18.0	23.0	21.0
	2	26.0	24.0	23.0	28.0
	3	23.0	24.5	16.0	24.0
(c) 耐風瓦	1	*12.0	11.6	10.0	9.0
	2	*12.0	*12.0	*12.0	11.0
	3	*12.0	*12.0	8.0	*12.0

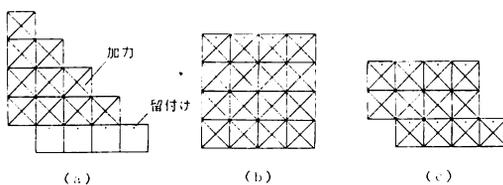


図8 部分留め付けの効果を調べるための加力試験

### 3.3 部分留め付けの効果

住宅等の屋根工事では、実際に瓦を全数釘或は銅線  
で留め付けることはほとんどない。留め付けは周辺のみとするか、更に中間部を住宅金融公庫標準仕様書に従って登り5枚おきに留め付けるかが常識的な工法とされている。このような部分留め付けがどの程度の効果をもつかを知る目的で、3種の加力試験を行った。

図8に瓦の配置と釘の留め付け位置および同時に加力した瓦(斜線たすきで表示)の位置を示す。(a)は耐風瓦の留め付けの左上方への押え効果(b)は普通瓦の留め付けの下方への押え効果(c)は耐風瓦を登り1枚おきに留め付けた場合の効果を調べるためのもので、斜線で表示した瓦を同時に同一荷重になるように徐々に加力し、各瓦3点(図4参照)の変位を測定した。図9にA~Dの加力点毎に荷重と変位の状況を示す。なお、図中の数字は3つの測定点のうちの最大の変位(mm)、矢印はめくり上り方向を示す。

図9(a)はA点加力の場合で、下部留め付けの耐風瓦(図上段)、上部留め付けの普通瓦(図中段)および1枚おきに留め付けた耐風瓦(図下段)のいずれの場合も2.4kgでかなり浮き上がり、2.6kgでは1枚おき留め付け以外は配列が大きく乱れる。

図9(b)はB点加力の場合で、このような下からのめくり上げの荷重に対しては普通瓦の上部留め付けの、効果はほとんどなく、耐風瓦の隅角部のかみ合いが或程度有効なことがわかる。

図9(c)はC点加力の場合で、図9(b)とは逆に横からのめくり上げには耐風瓦のかみ合いは効果がなく、普通瓦の上部留め付け(耐風瓦の上部留め付けも同様)は或程度の効果をもつ。

図9(d)はD点加力の場合で、耐風瓦のかみ合いも普通瓦の上部留め付けもあまり大きな効果はない。

全体を通して、耐風瓦の1行おきの留め付けは或程度有効といえるが、全数を留め付けた場合(たとえば図7の(c)の場合で、20mmの変位に対応する荷重はおおむね10kgをこえる)と比較すると、期待できる耐力はかなり低いといえる。

### 3.4 線状に加力した場合の周辺の瓦の押え効果

今まで述べた加力試験は、屋根に葺かれた瓦には同時に同一の風力(揚力)が作用するという前提で行った。しかし、瓦に作用する風力が瓦に附着した表面気流によるものとすれば、各瓦に作用する風力が、気流と直角方向に比較的均一に作用することはあっても、

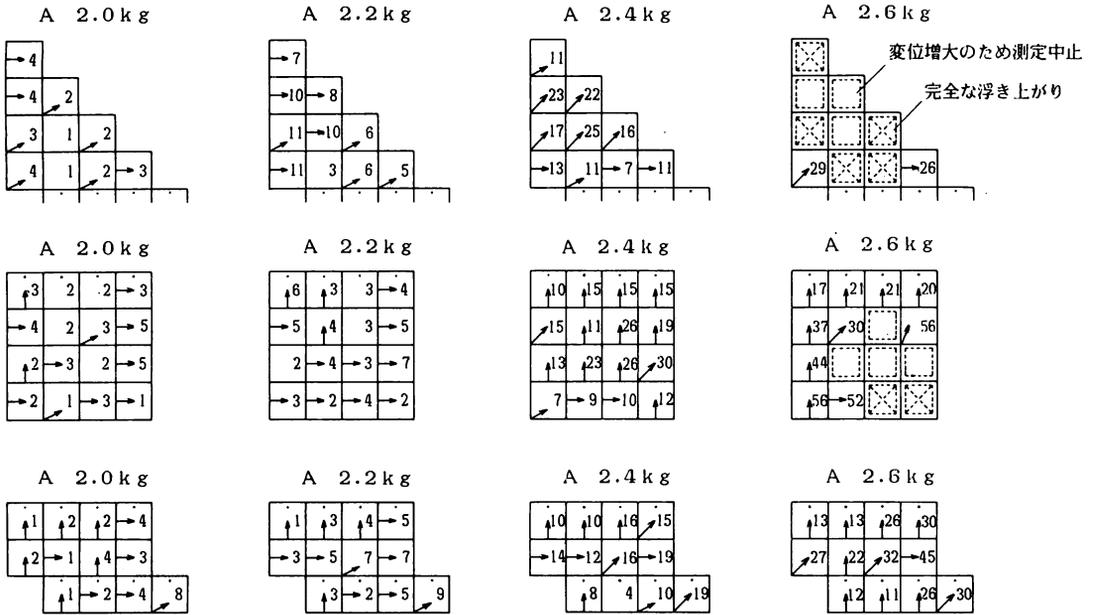


図9(a) A点加力の場合の変位と傾き方向 (変位の単位mm)

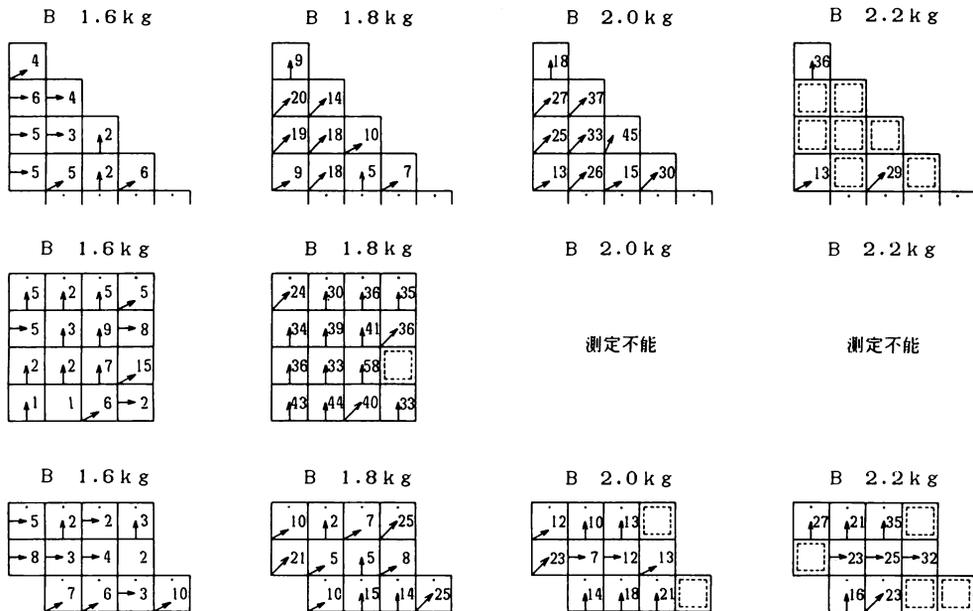


図9(b) B点加力の場合の変位と傾き方向 (変位の単位mm)

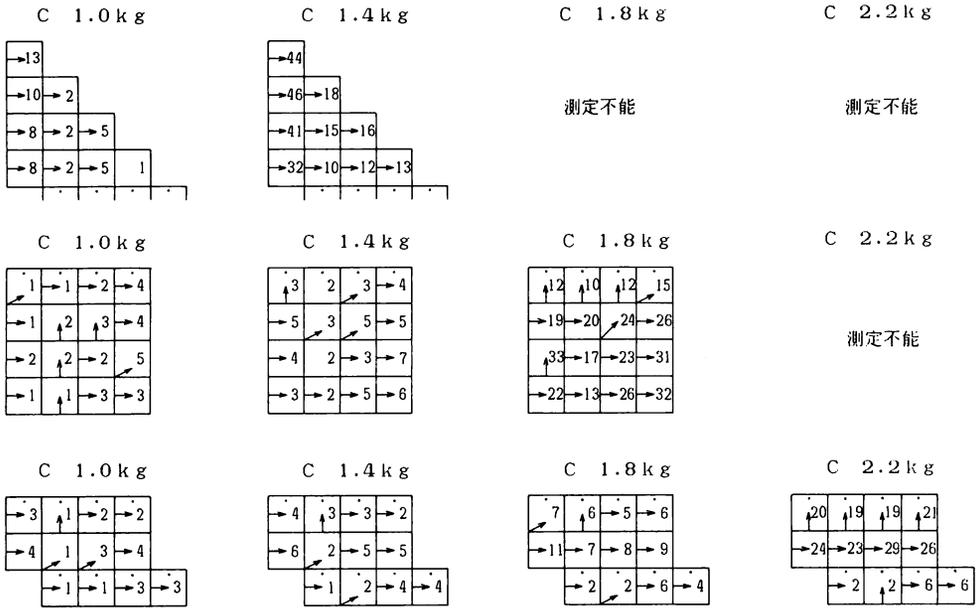


図9(c) C点加力の場合の変位と傾き方向 (変位の単位mm)

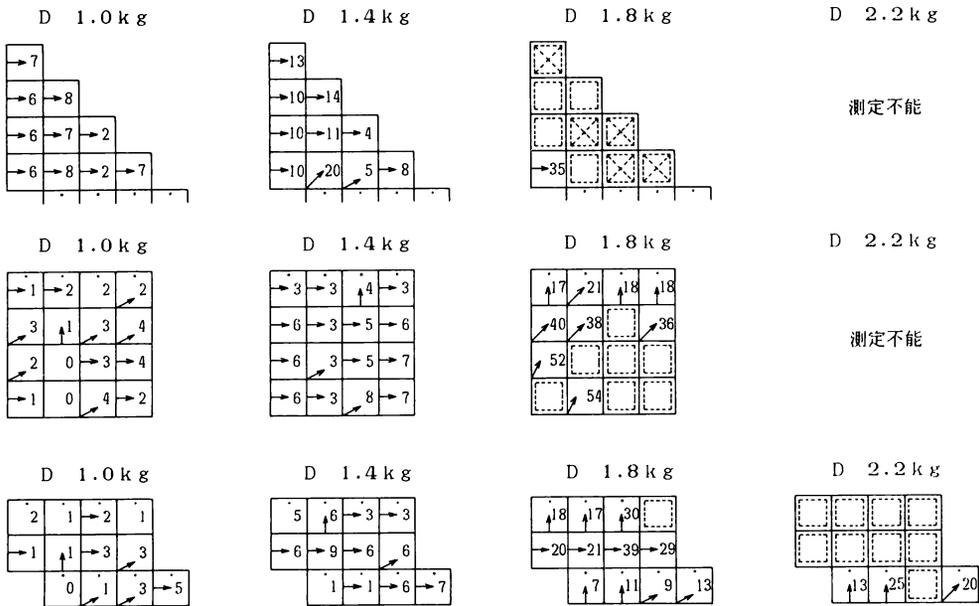


図9(d) D点加力の場合の変位と傾き方向 (変位の単位mm)

気流方向に均一に作用することはあまりない、という推定も成り立つ。その場合、かみ合のある耐風瓦では、前後の瓦の押え効果が若干期待できるとも考えられる。このような押え効果の有無を知る目的で、縦横4枚、計16枚の瓦を留め付けなしに葺き、その1列を同時に加力し、耐風瓦と普通瓦の差を調べてみた。

加力した列は棟方向、登り方向および45°方向の3種(表4中の図を参照)である。なお、瓦に作用する風力の作用点は瓦の働き面の中心より風上側に移動するという考えから、加力列とA~Dの加力点の組合せのうち、重要と思われるものは実験から省いた。実験結果から、加力した4枚の瓦のうち中央の2枚の瓦の最大変位(3個の測定点のうちの最大値)の平均が5mmおよび10mmをこえる荷重を表4にまとめて示す。

表4から明らかなように、耐風瓦と普通瓦で明らかな差があるのは棟方向の列でA点、B点を加力した場合(棟と直角方向の風をうけた場合)、および45°方向の列でA点を加力した場合に限られる。登り方向の列に加力した場合は、裏面およびかみ合い部のわずかな形状の差によるためか、全体に耐風瓦の方がむしろ不安定で、棟と平行の風を受けた場合には留め付けのない耐風瓦の効果は期待できないことが明らかといえる。

4. 考 察

1) 瓦がどの程度の風速(この場合は瓦の表面気流の速度)に耐えるかを推定するためには、まず瓦の風力係数を知る必要があるが、これについては著者の実験<sup>2)</sup>やHazelwoodの実験<sup>4)</sup>以外にたよるべき情報はほ

とんどない。瓦の代表面積は重ね部分をさし引いた働き面積とし、揚力係数をやや保守的であるが0.5と仮定(抗力は無視)すると、60 m/sの風速(速度圧は225kg/m<sup>2</sup>)により生じる風力は、今回実験で用いた瓦では225×0.225×0.275×0.5=7 kgとなる。実際の風力は屋根の周辺部を除いてこれよりもかなり小さいとしても、留め付け部に衝撃的な力がくり返し加わることを考えれば、留め付けには十分な安全率を見込む必要がある。今度の加力試験結果から、60 m/sの風速に耐えるためには耐風瓦を全数留め付ける以外にないと考えられるが、表3(b)をみると、7 kgの揚力では瓦の重ね部に1cmをこえるすき間の生じることが予想される。すき間を生じた状態での風力係数についても、あらためて検討する必要があるように思われる。

2) 普通瓦の瓦尻の釘留めは棟と直角な方向からの風による下からのめくり上げにほとんど効果がないが、棟と平行或は斜めの方向からのめくり上げに対してかなり効果のあることが今度の実験でわかった(表2と表3(a)の普通瓦の加力点C、Dを比較)。実際に被害の生じやすい風向は後者であるから、普通瓦でも全数留め付ければ、それなりの耐風性能の増加は期待できよう。

3) 図9に示した結果から一般に行われる部分留め付けの効果は、耐風瓦にせよ普通瓦にせよ、あまり大きな期待はできないと判断できる。耐風瓦を1行おきに留め付けた場合、C点加力に対しては変位量はかなり押さえられる(図9(c)下段参照)が、これは上部瓦尻の留め付けの効果と考えられる。

4) 隅部に逆の重ねのある耐風瓦は、互いに変位を

表4 加力した瓦のうち中央の2枚の最大変位の平均が5mm及び10mmをこえる荷重(kg)

加力点		A		B		C		D	
変位(mm)		5	10	5	10	5	10	5	10
加 力 し た 瓦 図	棟方向 耐風瓦	4.4	5.0	2.8	3.6			2.2	2.8
	普通瓦	3.0	3.0	2.2	2.2			2.2	2.4
	登り方向 耐風瓦	2.2	2.4			1.2	1.4	1.2	1.4
	普通瓦	2.6	2.8			1.4	1.4	1.4	1.4
	45°方向 耐風瓦	3.6	4.2					2.4	2.6
	普通瓦	3.2	3.8					2.2	2.6

拘束し合うため、全く留め付けない場合も普通瓦より耐風性は高いという説明をきく。これに対しては表4に記した実験結果から、耐風瓦の重ねは棟と直角な方向からの風によるめくり上げに効果はある(表4上段、加力点 A, B 参照)が、棟と平行な方向からの風に対しては効果がない(表4中段、加力点 A, C 参照)ということができる。

## 5. む す び

強風時の屋根瓦には、動的な、しかも各瓦で必ずしも均一でない風力が作用すると推定できる。今度行った簡単な静的な加力試験結果から、耐風瓦の耐風性能を正確に評価することはできないが、直観も交え結論を要約すると次のようになる。

1) 耐風瓦は全数留め付けることによってはじめて大きな耐風性能を発揮する。野地板、瓦棧、釘の種類および経年変化によって耐風性能は変化するが、一応このような瓦を用いることにより、風速60 m/s程度の表面気流を予想しなければならない強風地帯の屋根

を、瓦葺で設計することは可能と思われる。

2) 留め付けない耐風瓦の隅部の重ねは、棟に直角方向の風によるめくり上げには有効であるが、棟に平行方向の風によるめくり上げに効果がない。部分留め付けをした耐風瓦の耐風性能には問題があり、効果を上げるためには少なくとも1行おきの留め付けが望ましい。

## 参 考 文 献

- 1) 立川正夫, 三谷勲: 1985年の台風13号による建築物の被害について, 鹿児島大学工学部研究報告第28号, 1986
- 2) 立川正夫: 強風による屋根瓦の飛散について, 日本建築学会大会梗概集, 1971
- 3) 岡田恒: 強風による屋根瓦の飛散に関する風洞実験, 日本風工学会誌第35号, 1988
- 4) R.A.Hazelwood: The interaction of the two principal wind forces on roof tiles, J.Wind Eng.Ind. Aerodyn., Vol.8, 1981