(財)日本住宅・木材技術センター事業

屋根瓦振動実験
中間報告書

平成8年6月

財団法人　日本住宅・木材技術センター

まえがき

平成７年１月１７日早朝に発生した兵庫県南部地震により２１万棟の住宅が全半壊し、６，３００人をこえる人命が失われた。これら死亡者の多くは木造住宅の倒壊によって圧死したと発表された。住宅の中でも木造軸組構法住宅の被害が特に目立ったことから、その耐震性に対する疑問が広がった。特に、屋根瓦に関しては、地震直後に瓦の重量が重かったことが木造住宅の被害原因として指摘された。

こうした状況の中で、木造軸組構法住宅の耐震性を確認すべきとする要請が関係業界等に広がった。木造住宅の実大振動実験はこうした要請に応えて行ったものである。

屋根瓦に関しては、建物全体の実験に加えて、その耐震性を確認するため、加力実験及び振動実験を行った。本報告書は、この屋根瓦の実験についてとりまとめたものである。

実験は委員会を設置し、平成７年１０月６日から１２月２５日にかけて実施した。実験が終了してから既に６カ月余の月日が経過したところであるが、未だデータを整理しきれない状況にある。こうした事情から、最終の報告書を公表するには、なおかなりの日数を要するため、この度中間報告を行うこととした。

本報告書では、屋根瓦の耐震性を立証するほか、各実験の膨大なデータを整理し、実験結果を中心にとりまとめを行った。これらは、屋根瓦の耐震設計法の開発において貴重な基礎データとなるものである。また、本編と合わせて、それを補足する図表や写真をまとめた資料編を作成した。

最終報告書では、今回の中間報告書をふまえ、実験の分析結果を集約してゆく予定である。なお、実験成果の主要なものは概ね記述されているので、実験成果の一般的な普及には十分耐えるものであり、最終報告書を公表するまでの間、活用していただければ幸いである。

本実験は初期の目的を達し、この度中間報告を行うことが出来たが、これは、実験をとりまとめていただいた建設省建築研究所第３研究部耐風研究室　岡田　恒室長、山口　修由研究員をはじめとする本委員会及び分科会の委員や実験に携わっていただいた方々、瓦および建築の関係業界の団体及び企業、行政、その他多くの方々による資金、資材、労力等多くの面からの御支援や御協力の賜であり、ここに深く謝意を表する次第である。

平成８年６月

財団法人　日本住宅・木材技術センター
理事長　　岡　　勝　男

木造住宅実大振動実験 委員会　委員名簿

（敬称略、五十音順）

委員長	坂本　　功	東京大学大学院工学研究科建築学専攻　教授
委　員	飯地　　稔	（社）石膏ボード工業会　専務理事
〃	池本　　孝	（社）日本左官業組合連合会　副会長
〃	上田　善規	フクビ化学工業（株）開発本部　部長
〃	大橋　好光	東京大学大学院工学研究科建築学専攻　助手
〃	岡田　　恒	建設省建築研究所第３研究部耐風研究室　室長
〃	佐藤　太郎	全国陶器瓦工業組合連合会　専務理事
〃	高木　任之	（社）日本木造住宅産業協会　専務理事
〃	田辺　英男	日本化成（株）技術開発本部　技術部次長
〃	中川　　敏	松下電工（株）住宅システム事業推進部 課長
〃	中川　　勝	（社）全国中小建築工事業団体連合会　専務理事
〃	難波蓮太郎	工学院大学建築学科　教授
〃	新居　健二	（株）中央住宅　木造工事部　生産課長
〃	西谷嘉寿夫	（社）全国木材組合連合会　専務理事
〃	長谷川匡則	（社）日本ハウスビルダー協会　専務理事
〃	平野　　茂	（株）一条工務店　研究開発部　副長
〃	平松　義久	新日本住研（株）専務取締役
〃	宮澤　健二	工学院大学建築学科　助教授
〃	凌　　克臣	中国木材（株）開発課　係長
〃	渡邊　益美	（社）全日本瓦工事業連盟　理事長
事務局	牧　　勉	（財）日本住宅・木材技術センター試験研究部　部長
〃	林　　晃正	（財）日本住宅・木材技術センター主任研究員

屋根瓦振動実験分科会　委員名簿

（敬称略、五十音順）

主　査	岡田　恒	建設省建築研究所第３研究部耐風研究室　室長
委　員	佐藤　太郎	全国陶器瓦工業組合連合会　専務理事
〃	平野　茂	（株）一条工務店　研究開発部　副長
〃	門司　申生	（社）全日本瓦工事業連盟　技術委員長
〃	山口　修由	建設省建築研究所第３研究部耐風研究室　研究員
協力委員	伊藤　嘉朗	（株）間組　技術研究所　主任研究員
〃	井野　一史	愛知県陶器瓦工業組合理事　技術委員長
〃	今崎　一治	石州瓦工業組合　副理事長・技術委員長
〃	岡田　貞夫	兵庫県陶器瓦工業組合理事・兵庫県粘土瓦協同組合連合会技術委員長
事務局	牧　勉	（財）日本住宅・木材技術センター試験研究部　部長
〃	林　晃正	（財）日本住宅・木材技術センター主任研究員

要約

屋根瓦の耐震性を確認し、耐震設計法開発のためのデータを収集するため、屋根瓦の加力実験及び振動実験を実施した。具体的には以下のとおりである。

①平瓦の留付釘の引き抜き強度を測定するため、釘の加力実験を実施した。

②釘留め付けによる周辺瓦の浮き上がりの抑制効果を測定するため、平瓦の加力試験を実施した。

③棟の水平強度を測定するため、棟の加力実験を実施した。

④屋根瓦の各種補強法について耐震性能を比較するため、屋根瓦試験体を作製し、振動実験を実施した。

⑤屋根瓦の耐震性能を総合的に検証・確認するために実大住宅を建築し、振動実験を実施した。

⑥以上の実験より、棟瓦は、落下被害を防ぐため補強金物による留め付け等の施工が必要であるが、引掛け桟工法による平瓦は、端部が留め付けてあれば落下するような被害は受けないことが確認された。

キーワード

屋根瓦、耐震性能、静的加力実験、振動実験、平瓦、留付釘、引き抜き強度、水平強度、棟瓦、落下被害、補強金物、引掛け桟工法、土葺工法、荷重、変位、棟木緊結、一体棟、強力棟、大回し、のし瓦、傾斜角、せん断破壊、荷重係数、応答倍率、木造住宅実大振動実験、多度津工学試験所

目 次

ﾍﾟｰｼﾞ

1　はじめに ---------- 1

2　全体の目的と対象 ---------- 2

3　釘の加力実験

3．1　実験目的 ---------- 3

3．2　試験体 ---------- 3

3．3　加力方法 ---------- 4

3．4　計測方法 ---------- 4

3．5　実験種類 ---------- 4

3．6　実験結果 ---------- 6

3．7　考察 ---------- 6

4　平瓦の加力実験

4．1　実験目的 ---------- 30

4．2　加力方法 ---------- 30

4．3　試験体 ---------- 30

4．4　計測方法 ---------- 31

4．5　実験内容 ---------- 31

4．6　実験結果 ---------- 32

4．7　考察 ---------- 33

5　棟の加力実験

5．1　実験目的 ---------- 54

5．2　試験体 ---------- 54

5．3　加力方法 ---------- 57

5．4　計測方法 ---------- 57

5．5　実験種類 ---------- 57

5．6　実験結果 ---------- 58

5．7　考察 ---------- 59

6　屋根瓦の振動台実験１（間組）
6．1　実験目的 ---------- 89
6．2　加振方法 ---------- 89
6．3　試験体 ---------- 90
6．4　計測方法 ---------- 91
6．5　実験内容 ---------- 92
6．6　実験結果 ---------- 92
6．7　考察 ---------- 93
6．8　まとめ ---------- 95

7　屋根瓦の振動台実験２（多度津）
7．1　実験目的 ---------- 146
7．2　加振方法 ---------- 146
7．3　試験体 ---------- 146
7．4　計測方法 ---------- 147
7．5　実験内容 ---------- 148
7．6　実験結果 ---------- 148
7．7　考察 ---------- 148

8　全体のまとめ ---------- 171

1、はじめに

平成７年１月１７日に発生した阪神・淡路大震災では、多数の木造住宅が被災し、同時にこれらの建物に使用されていた屋根瓦も大きな被害を受けた。木造住宅が被災した原因として、地震直後には屋根瓦の重量が重いことが指摘されたこともあった。これは屋根重量に対応した建物の構造設計を適切に行うことにより解決でき、屋根瓦自体の問題ではない。しかし、屋根瓦の耐震性を確認し、屋根瓦の耐震設計法を開発する必要性については今後の屋根瓦の耐震対策を実施するうえでも必要不可欠となった。

同時期に、木造住宅実大振動実験委員会が財団法人日本住宅・木材技術センターに設置され、木造住宅の実大振動台実験により木造住宅の耐震性能を検証する作業を開始していた。屋根瓦の多くは木造住宅に使用されており、構造躯体の構造性能の考慮なしに屋根瓦の耐震性能を検討することは困難である。

以上のような経緯を踏まえて、財団法人日本住宅・木材技術センターの木造住宅実大振動実験委員会の分科会として、屋根瓦振動実験分科会が設置され、平成７年度に屋根瓦の振動台実験および棟の加力実験等を実施した。

本報告書は、屋根瓦振動実験分科会が実施した実験について、中間報告書として実験結果を中心に取りまとめたものである。

2、全体の目的と対象

2.1　目的

平成７年１月１７日に発生した阪神・淡路大震災を契機として、屋根瓦の耐震性能を検証し、屋根瓦のより合理的な耐震設計法を開発する必要性が求められた。このため、屋根瓦耐震設計用荷重の設定と、屋根瓦の耐震性能を検証することを目的として、屋根瓦の振動台実験を行った。また、屋根瓦の耐震設計法の開発用の資料収集を目的として、静的加力実験を行った。

2.2　実施内容

①屋根瓦の振動台実験

振動台実験１：間組における実験（小屋組部分だけを使った実験）

振動台実験２：多度津における実験（実大建物を使った実験）

また、屋根瓦の耐震設計法の開発用の資料収集を目的として、以下の静的加力実験を行った。

②釘の加力実験

③釘の引張強度実験

④平瓦の加力実験

⑤棟の加力実験

2.3　検討対象

2.3.1　瓦葺工法

屋根瓦の施工法は、桟瓦土葺工法と引掛桟瓦葺工法に大別できる。本研究では、現在全国的に主流となっている引掛桟瓦葺工法を検討対象とした。

2.3.2　瓦の種類

瓦の種類も多種多様であるが、本研究では、一般的な和形（JIS　53A）と平板瓦を検討対象とした。

2.3.3　屋根種類

最も単純な切妻屋根を検討対象とした。

2.3.4　屋根勾配

一般的な４寸５分勾配を検討対象とした。

3、釘の加力実験

3.1 実験目的

引掛桟瓦葺工法では、平瓦は屋根の野地板に釘打ちされた桟木に引掛けて、野地板の上に設置される。平瓦の飛散・移動・落下を防ぐために、平瓦を釘で桟木に留め付ける。屋根瓦の耐震設計を行おうとする場合、平瓦留付用釘の選択や釘打ち長さの選定のために釘の留付強度を調べる必要がある。このため、桟木と野地板に屋根瓦留付用の釘を打ち込み、釘の引抜・せん断加力実験を行った。

3.2 試験体

3.2.1 寸法

試験体は、瓦を留め付ける屋根板部分とした。試験体は野地板・防水紙・カットベニヤ・桟木で構成し、桟木には加力用の釘を打ち込んだ。試験体の野地板の長さは、実際の建物で桟木を野地板に留め付ける間隔（桟木留付スパン＝455mm）を再現できる大きさ全長520mmとした。野地板の幅は、小幅板の標準的寸法（120mm）に合わせた。その大きさ・形状は、引抜加力、せん断加力（繊維方向、繊維直交方向）で共通とした。桟木は455mm間隔で鉄釘（N45）で野地板に留め付けた。図3-1に試験体の寸法を示す。写真3-1-1に試験体の外観を示す。

3.2.2 加力釘

写真3-1-2に加力釘の種類を示す。加力釘にはｽﾃﾝﾚｽ丸釘・ｽﾃﾝﾚｽｽｸﾘｭｰ釘・銅釘の３種類を用いた。錆の影響を避けるために、加力釘には鉄釘を使用していない。釘の寸法は3.05×65mmを中心的に、比較のために2.45×45mm（ｽﾃﾝ丸の場合）や2.2×50mm（ｽﾃﾝｽｸﾘｭｰの場合）を用いた。加力用釘の強度性能は、引張試験結果を 資料編表3-1および図3-3-1～7に示す。

3.2.3 桟木

桟木には杉を中心に用い、比較対象として、以下の２種類（ 廃プラとｽｶｲﾗﾝﾊﾞｰ）を用いた。表3-1-1にスカイランバーの物性を、表3-1-2に他の材料との物性の比較を示す。写真3-1-3に廃プラとｽｶｲﾗﾝﾊﾞｰの外観を示す。

廃プラ　　（株）チャンピオン製

ＨＤＰＥ（硬質ﾎﾟﾘｴﾁﾚﾝ）　80%

ＬＤＰＥ（軟質ﾎﾟﾘｴﾁﾚﾝ）　20%

軟質ﾎﾟﾘｴﾁﾚﾝの一部に屋根用防水ｼｰﾄの廃棄物を

原料として使用したプラスチック

スカイランバー　東邦レオ（株）

3.2.4　野地板

野地板には合板（厚12mm）を中心的に使用し、比較対象として米松（厚12mm）と杉（厚9、12mm）を使用した。

3.2.5　比重と含水率

試験体材料のうち、桟木と野地板については全数の比重を調べた。また杉の桟木の一部（12体）を取り出し、含水率を調べた。含水率は加力実験後に絶乾法で調べた。結果を 表3-2-1と表3-2-2に示す。

3.3 加力方法

釘の加力実験は、3.2で説明した試験体を写真3-2に示す加力装置に設置して、荷重速度一定の加力を行った。加力方法の仕様を以下に示す。

a,加力方向　釘の引抜方向
　　釘のせん断方向　桟木の繊維方向
　　釘のせん断方向　桟木の繊維直行方向
b,加力装置　万能試験機（建設省建築研究所強度試験棟、最大加力５ton）
c,加力速度　2.54mm/分
d,準拠した試験法　木質構造設計規準
　　JIS Z2121
　　ASTN D1768-88

釘の引抜加力は図3-2-1から図3-2-2、写真3-3-1に示す方法により行った。せん断加力は桟木の繊維方向と繊維直交方向のそれぞれについて、図3-3-1から図3-3-2、写真3-3-3に示す方法により加力した。なお、せん断加力試験の治具の厚さ(18mm)は、瓦の厚さに対応している。

3.4 計測方法

計測は、荷重についてはひずみゲージ型のロードセルを使用した。変位については釘と野地板間および釘と桟木間の相対変位をひずみゲージ型の変位計を用いて計測した。計測方法を図3-4-1から図3-4-3に示す。

3.5 実験種類

3.5.1　引抜加力

表3-3-1に引抜加力実験の種類を示す。和形は波形の断面形状をしており、釘穴は防水のために谷部には設けられていない。釘穴は瓦が桟木から多少浮いた位置にあり、瓦と野地

板の間に隙間がある。従って、桟木や野地板への釘の打込み長さは、瓦の形状・瓦厚・釘穴の位置・釘長さに影響され、釘の桟木や野地板への打ち込み長さは、一定ではない。このため、引抜実験No.1からNo.19は釘の種類と釘の打ち込み長さの関係を、合板野地、杉桟木、ｽﾃﾝ丸65mm、打ち込み長さ35mmの条件を中心として調べる。

引抜実験No.6では、釘打位置にカットベニアをはさみ、カットベニアの影響を調べる。試験体を写真3-4-1に示す。瓦の桟木への留付位置は、垂木間の中央以外の場合もある。このため、引抜No.7とNo.8では、釘位置を桟木留付スパンの中央から端部側へ移動させた場合の影響を調べる。移動距離は、「桟木中央」と「桟木と野地板を留付る釘位置」間の1/3と2/3である。試験体を写真3-4-2と写真3-4-3に示す。

桟木の幅方向に対して釘が打ち込まれる位置は、瓦の引掛用の爪と釘穴間の距離で決定される。桟木の幅は狭く、釘が桟木幅の中央以外に打ち込まれる場合がある。このため、引抜実験No.20からNo.30では、釘留め位置の縁端距離を変えて実験を行う。その例を 写真3-4-4に示す。引抜実験No.31からNO.37では、桟木の種類を廃プラとスカイランバーに変えた場合の効果を調べる。引抜実験No.38からNO.44では、野地板の種類や厚みを変えた場合の影響を調べる

試験体数は、木材のバラツキの影響を考慮して、引抜実験No.16では１２体、引抜実験No.1とNo.19では１０体とする。その他の場合は、３体づつとする。

3.5.2　せん断加力

表3-3-2にせん断加力実験の種類を示す。荷重が棟平行に加わる場合、桟木は瓦を留付る釘から繊維方向の荷重を受ける。荷重が登り方向に加わる場合、桟木は瓦を留付る釘から繊維直交方向の荷重を受ける。このため、せん断実験では桟木の繊維方向と繊維直交方向の荷重を加えた。釘の種類・打ち込み長さ・打ち込み位置・桟木や野地板の種類は、スカイランバーを除いて引抜実験と同様である。

試験体数は、全ての種類について３体づつとする。

3.6 実験結果

3.6.1　引抜加力

釘の引抜加力実験の結果を資料編 図3-1-1から資料編図3-1-44に示す。引抜加力実験例を写真3-5-1と写真3-5-2に示す。

3.6.2　せん断加力

釘のせん断加力実験の結果を資料編 図3-2-1から資料編図3-2-34に示す。せん断（繊維方向）加力実験例を 写真3-6-1と写真3-6-2に示す。せん断（繊維直交方向）加力実験例を 写真3-7-1と写真3-7-2に示す。

3.7 考察

3.7.1　引抜加力

（1）釘の打込み長さの影響

・打ち込み長さ15mmの場合

この実験では、桟木厚は15mmであった。このため、釘の打込み長さ15mmの実験（No.1,3,12,17)では、釘は桟木内で留まり、野地板には達しないため、野地板の影響を受けない。桟木は垂木間隔（@455）で支持されいる。図3-5-1や図3-5-2で示すように、釘の引抜加力が増加するに従って桟木は弓形に変形し、おおむね20kgf以前の荷重で最大耐力に達し、釘は桟木から引き抜け始め、以後耐力上昇はない。

・打ち込み長さ25mmの場合

釘の打ち込み長さ25mmの実験（No.2,4,10,13,15,18)では、釘は10mmだけ野地板に打ち込まれる。しかし、釘先の傾斜部（刃、4～5mm）は桟木との摩擦に対して有効ではなく、実質的な打ち込み長さは5mm程度である。図3-5-2や図3-5-4で示すように、釘の引抜変位が数mmの時に釘先は野地板から引き抜け、釘はアーチ型に変形した桟木だけで支持される構造となる。その後、釘は桟木から引き抜けるまで耐力を増加させ、おおむね20kgf以前の荷重で最大耐力に達する。加力の途中で２つのピークを作るようなプロセスを経て釘の引抜耐力を発揮するため、最大耐力は打ち込み長さ15mmの場合と大差なく、桟木と野地板の耐力は加算されにくい。

・打ち込み長さ35mmの場合

釘の打ち込み長さ35mmの実験では、釘は20mm野地板に打ち込まれる。野地板の厚みは12mm（一部では9mm）のため、釘先の8mmは野地板から抜け出しており、野地板の全厚みが有効長さである。図3-5-5で示すように、加力初期の剛性も高く、加力の上昇に応じて、45kgfの耐力を発揮する。これは、打ち込み長さが25mm以下の場合の２倍以上である。野地板を貫通する程度の釘打ち長さが引抜に対して効果的であり、引抜耐力に関して野地板の支持力の影響が大きいことがわかる。

（2）カットベニアの効果

表3-1-1の引抜実験No.5、No.6とNo.11の結果を比較すると、スペーサーがない場合（No.11）の引抜耐力（48kgf）に対して、カットベニアをスペーサーとして垂木のライン上に敷いた影響（No.5=45kgf）、瓦留付用釘の下に敷いた影響（No.6=49kgf）は9%程度で少ない。

（３）桟木留付スパンに対する釘位置

表3-1-1の引抜実験No.5、No.7とNo.8の結果を比較する。桟木上の釘位置は、桟木スパンの中央（No.5=45kgf）よりも、桟木と野地板を留付る釘位置に近いほう（No.7=49kgf、No.8=54kgf）が、釘の引抜耐力が若干高いが、大きな差は認められなかった。これは、釘の引抜耐力に対して野地板の支持力の影響が大きく、桟木の耐力の違いが相対的に小さいためと考えられる。

（４）釘の種類

表3-1-1の引抜実験No.5,No.16とNo.19から釘の種類（ｽﾃﾝ丸、ｽﾃﾝｽｸﾘｭｰ、銅丸）の影響を調べる。ｽﾃﾝ丸（No.5=45kgf）と銅丸（No.16=49kgf）はほぼ等しく、これらに対してｽﾃﾝｽｸﾘｭｰ（No.19=60kgf）は20%～30%程度高い。

（５）縁端距離

表3-1-1の引抜実験No.20からNo.30では、それぞれの引抜耐力に大きな変化はなく、縁端距離の影響は少ない。打ち込み長さ35mmで実験を行ったため、釘は野地板にも留め付けられている。縁端距離の影響が少なかったのは、引抜耐力に対しては野地板の支持力の影響が大きく、桟木の縁端距離の影響が相対的に少なかったためと考えられる。

（６）桟木の材質

表3-1-1、表3-1-2の引抜実験No.28、No.34、No.36の比較により、桟木材質（杉・廃プラ・スカイランバー）の影響を調べる。杉（No.28=41kgf）とスカイランバー（No.36=43kgf）の引抜き耐力はほぼ等しく、40kgfを少し上回る値を示す。これに対して廃プラ（No.34=33kgf）は、20%以上低い。

（７）野地板の材質

表3-1-1、表3-1-2の引抜実験No.5,No.39,No.40の比較により、野地板材質（合板・杉・米松）の影響を調べる。合板（No.5=45kgf）が引抜耐力が一番大きく、杉（No.39=19kgf）と米松（No.40=28kgf）はそれぞれ合板の42%と62%で、大幅に低い。

（８）計算式との比較

表3-5に木質構造計算規準（建築学会）の釘の引抜の長期許容耐力計算式を用いた結果の２倍（短期耐力）との比較を行う。使用した釘の引抜長期許容耐力計算式を以下に示す。

$$Pw = 150\ \rho^{2.5}\ d \times l$$

Pw:長期許容耐力(kgf)

ρ:木材の気乾比重

d:釘径(cm)

l:打ち込まれた長さ(cm)

計算に使用した木材の比重は、表3-2の測定値を用いた。実験結果との比較を以下の４種類の条件に分けて検討した。

①野地板全厚への釘打ち（釘が桟木の中心に、桟木はもとより野地板も完全に貫いて釘打ちされている場合）

②野地板への釘打ちなし（釘が桟木の中心に、丁度桟木の厚さだけ打ち込まれている場合）

③野地板1/2への釘打ち（釘が桟木の中心を打ち抜き、野地板の半分程度（実質約5mm）の厚さまで釘打ちされている場合

④桟木の幅際3.5mmに釘打ち（釘が桟木はもとより野地板も完全に貫いて釘打ちされている場合）

⑤野地板が杉、米松の場合（釘が桟木の中心に、桟木はもとより野地板も完全に貫いて釘打ちされている場合）

表3-5の実験結果と計算結果の比較によると、①②で計算値を上回るが、③④ではほぼ等しく、⑤では計算値を下回る結果となった。計算式の適用条件は、材厚が釘径６倍以上であり、今回の実験では材厚が釘径の６倍以下で、計算式の適用条件から多少はずれている。この結果から、学会規準による計算値を用いる場合には、適切な低減係数等を設定する必要があると思われる。

3.7.2　せん断（繊維方向）

（１）釘の打込み長さの影響

表3-4のせん断実験No.3，4，5を比較すると、打ち込み長さ15mmの場合のせん断耐力(No.3=25kgf)は打ち込み長さ25mm(No.4=56kgf)や35mm(No.5=96kgf)の場合と比較して、大幅に低い。打ち込み長さ15mmの場合は、野地板の支持力が含まれていない。これに対して打ち込み長さ25mmや35mmの場合は野地板の支持力が含まれており、野地板の支持力がせん断耐力に対しても影響が大きいことがわかる。

（２）釘種類

ｽﾃﾝ丸とｽﾃﾝｽｸﾘｭｰを表3-4のせん断実験No.1,2とNo.8,9で比較する。打ち込み長さ15mmと25mmのせん断耐力は、ｽﾃﾝｽｸﾘｭｰ（40kgf, 66kgf）のほうがｽﾃﾝ丸(29kgf, 54kgf)よりも20%～30%高い。打ち込み長さ15mm、25mmと35mmのｽﾃﾝ丸と銅を表3-4の実験No.3,4,5とNo.10,11,12で比較する。せん断耐力は、2.87×65の銅(24, 44, 68kgf)のほうが3.05×65のｽﾃﾝ丸(25, 56, 96kgf)よりも20%～30%低い。なお、銅釘の釘径は実測値（10個の平均）で、ｽﾃﾝ丸65の実測釘径の平均値（10個の平均）は2.98mmである。

（３）桟木材質

表3-4の実験No.5とNo.26から杉（No.5=96kgf）と廃プラ（No.26=99kgf）を比較する。せん断耐力に関して両者とも同様な性能を示す。

（４）野地板材質

表3-4の実験No.5, No.31, No.32合板・杉・米松を比較する。合板(No.5=96kgf)と杉（No.31=92kgf）は同様な結果を示すが、米松（No.32=65kgf）の場合は低い。

3.7.3　せん断（繊維直交方向）

桟木が杉の場合、繊維方向を表3-4の実験No.3,4,5　繊維直交方向を表3-4の実験No.13,14,15で比較する。せん断耐力に関して、繊維直交方向は繊維方向の約半分である。廃プラの場合は表3-4の実験No.26, No.29で比較でき、杉と同様に繊維直交方向は繊維方向の約半分である。

3.7.4　まとめ

本実験結果によると、釘の引抜やせん断耐力に対しては野地板の支持力の影響が大きい。これは、相対的に桟木の支持力が低いことを示している。桟木と野地板間の留付間隔が通常は垂木間隔(@455)であり、この間に打たれた瓦留付用の釘に加わる荷重は、桟木を介して野地板に伝達される。この時、桟木に曲げ変形が生じる場合には、桟木の支持力が野地板と比較して相対的に低くなると考えられる。

釘を野地板に貫通できる十分な長さの釘を使用して、野地板に対する十分な釘の打ち込み長さを確保することが、確実な引抜・せん断耐力を確保する方法と考えられる。木製の桟木を用いた場合、桟木に節などの欠点が有ることは避けがたく、また桟木幅の中央に常時釘留めできるとは限らない。前述のように野地板の支持力と比較して、桟木の支持力は相対的に小さく、また確実性に乏しい。このため、瓦は野地板に留め付ける考え方が、強度性能上適切と考えられる。ただし、防水紙を貫通する釘まわりの防水性に関しては、別途注意が必要である。

表3-1-1、スカイランバーの物性

	項目	試験法	単位	スカイランバー ※
物理的性質	比重	JIS Z-2102(準拠)	—	0.5
	硬度	ショアーDスケール	—	50
	吸水量	JIS Z-2104(準拠) (24hr)	mg/cm²	6
機械的性質	曲げ強さ(長手)	JIS Z-2113(準拠)	kg/cm²	15t850 25t厚720 70t厚500
	曲げ強さ(横)	JIS Z-2113(準拠)	kg/cm²	25t厚 65
	圧縮強さ(長手)	JIS Z-2111(準拠)	kg/cm²	300
	＊圧強強さ(横)	JIS Z-2111(準拠)	kg/cm²	25
	剪断強さ	JIS Z-2114(準拠)	kg/cm²	35
	衝撃強さ(シャルピー)	JIS Z-2242(準拠)	kg-cm/cm²	150
	曲げヤング係数	(当社規格)	kg/cm²	6.5×10^{-4}
熱的性質	線膨張係数(長手)	JIS K-6911(準拠)	1/℃	0.8×10^{-5}
	線膨張係数(横)	JIS K-6911(準拠)	1/℃	4.8×10^{-5}
	熱伝導率	JIS A-1413(準拠)	kcal/m·h·℃	0.049
電気的性質	体積固有抵抗	ASTM-D-250(準拠)	Ω—cm	$10^{13}\sim10^{14}$
	耐電圧	JIS K-6911(準拠)	kv	25以上

注) 上記物性値は標準値であり、保証値ではありません　＊…部分圧縮比例限強さ

表3-1-2、スカイランバーと他の材料との物性の比較

項目	単位	スカイランバー	桧	合板(タイプI)	硬質塩ビ	FRP(SMC)	PE発泡体
比重	—	0.5	0.55	0.55	1.47	1.7～2.1	0.45
吸水量	mg/cm²	5	注1 100	80	—	—	—
曲げ強さ(長手)	kg/cm²	15t厚850 25t厚720 70t厚500	750	458	900	1260～2100	90
圧縮強さ(長手)	kg/cm²	300	400	379	700	1050～2100	—
圧縮強さ(横)	kg/cm²	25	—	35	—	—	25
剪断強さ	kg/cm²	35	75	—	—	—	—
衝撃強さ(シャルピー)	kg-cm/cm²	150	—	—	6～7	—	—
曲げヤング係数	kg/cm²	6.5×10^{4}	9×10^{4}	5.4×10^{4}	3.2×10^{4}	$9.8\sim14\times10^{4}$	0.5×10^{4}
線膨張係数(長手)	1/℃	0.8×10^{-5}	—	—	$6\sim8\times10^{-5}$	2×10^{-5}	—
線膨張係数(横)	1/℃	4.8×10^{-5}	—	—	—	—	—
熱伝導率	kcal/m.hr℃	0.049	0.082	注2 0.097	0.13	—	—
体積固有抵抗	Ω—cm	$10^{13}\sim10^{14}$	—	—	10^{15}	—	—
耐電圧	KV	25以上	—	—	40以上	—	—
出典		当社測定	木材工業ハントブック	当社測定	当社カタログ	FRP生産と技術	当社測定

注1 当社測定・注2 文献値

表3-2-1, 試験体の比重

	測定数	最小	最大	平均	σ	COV
杉桟木	223	0.319717	0.664045	0.41239	0.046136	0.111874
廃プ桟木	30	0.85142	0.920006	0.890034	0.015228	0.01711
ｽｶｲ桟木	6	0.457769	0.501693	0.481299	0.016937	0.03519
合板野地	10	0.46548	0.540773	0.50295	0.021034	0.041821
杉野地	18	0.352683	0.55992	0.421656	0.047369	0.112341
米松野地	9	0.482897	0.541262	0.520006	0.015998	0.030765

表3-2-2, 試験体の含水率(%)

	測定数	最小	最大	平均	σ	COV
杉桟木	12	11.27	12.17	11.64417	0.251577	0.021605

表3-3-1, 釘の加力実験（引抜）結果一覧

連番	項目	野地板			桟木			釘			試験数	ｽﾍﾟｰｻｰ	最大耐力(kgf)					備考
		材質	巾	厚	材質	寸法	位置	種類	径×長さ	打込長			平均	最小	最大	σ	Cv	
1	釘と打込長さ	合板	120	12	杉	18×15	9	ｽﾃﾝ丸	2.4×45	15	10	有	18	14	25	3.9	0.2	
2	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	25	3	〃	16	14	19	2.1	0.1	
3	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	3.05×65	15	3	〃	14	9.3	17	3.3	0.2	
4	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	25	3	〃	18	16	19	1.2	0.1	
5	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	35	9	〃	45	40	57	7.4	0.2	釘位置中央
6	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	35	3	〃	49	47	53	2.6	0.1	中央にｶｯﾄﾍﾞﾆｱ
7	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	35	3	〃	49	43	55	5.1	0.1	釘位置1/3ずらし
8	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	35	3	〃	54	47	66	8.3	0.2	釘位置2/3ずらし
9	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	45	3	〃	46	37	55	7.2	0.2	
10	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	25	3	無	27	26	29	1.6	0.1	
11	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	35	3	〃	48	46	49	1.2	0	
12	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	ｽﾃﾝ・ｽｸ	2.4×50	15	3	有	17	11	20	4.2	0.2	
13	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	25	3	〃	21	20	23	1.3	0.1	
14	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	3.05×65	15	3	〃	21	17	23	2.8	0.1	
15	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	25	3	〃	30	25	33	3.6	0.1	
16	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	35	12	〃	60	49	90	11	0.2	
17	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	銅丸	2.67×65	15	3	〃	16	15	18	1.5	0.1	
18	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	25	3	〃	24	23	26	1.6	0.1	
19	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	35	10	〃	49	39	61	5.4	0.1	
20	桟木と打込位置	〃	〃	〃	〃	15×15	7.5	ｽﾃﾝ丸	3.05×65	35	3	〃	43	42	44	1.3	0	
21	〃	〃	〃	〃	〃	〃	5.5	〃	〃	〃	3	〃	50	47	53	2.6	0.1	
22	〃	〃	〃	〃	〃	〃	3.5	〃	〃	〃	3	〃	42	38	45	3.3	0.1	
23	〃	〃	〃	〃	〃	18×15	7.5	〃	〃	〃	3	〃	43	38	52	6.3	0.1	
24	〃	〃	〃	〃	〃	〃	3.5	〃	〃	〃	3	〃	42	41	43	0.8	0	
25	〃	〃	〃	〃	〃	24×15	12	〃	〃	〃	3	〃	47	46	50	2.2	0	
26	〃	〃	〃	〃	〃	〃	7.5	〃	〃	〃	3	〃	45	44	47	1.6	0	
27	〃	〃	〃	〃	〃	〃	3.5	〃	〃	〃	3	〃	34	30	41	5.2	0.2	
28	〃	〃	〃	〃	〃	30×15	15	〃	〃	〃	3	〃	41	38	46	3.3	0.1	
29	〃	〃	〃	〃	〃	〃	11	〃	〃	〃	3	〃	47	42	51	3.9	0.1	
30	〃	〃	〃	〃	〃	〃	7.5	〃	〃	〃	3	〃	46	42	49	3.1	0.1	
31	桟木の材質	合板	120	12	廃プ	15×15	7.5	ｽﾃﾝ丸	3.05×65	35	3	有	29	25	32	3.2	0.1	
32	〃	〃	〃	〃	〃	18×15	9	〃	〃	〃	3	〃	31	27	35	3.4	0.1	
33	〃	〃	〃	〃	〃	24×15	12	〃	〃	〃	3	〃	34	31	36	2.3	0.1	
34	〃	〃	〃	〃	〃	30×15	15	〃	〃	〃	3	〃	33	31	35	1.6	0	

表3-3-2, 釘の加力実験（引抜）結果一覧

連番	項目	野地板			桟木			釘			試験数	ｽﾍﾟｰｻｰ	最大耐力(kgf)					備考
		材質	巾	厚	材質	寸法	位置	種類	径×長さ	打込長			平均	最小	最大	σ	Cv	
35	〃	〃	〃	〃	〃	18×15	9	ｽﾃﾝ・ｽｸ	〃	〃	3	〃	46	43	49	2.8	0.1	
36	〃	〃	〃	〃	ｽｶｲﾗ	30×15	9	ｽﾃﾝ丸	〃	〃	3	〃	43	41	44	1.1	0	
37	〃	〃	〃	〃	〃	30×15	9	ｽﾃﾝ・ｽｸ	〃	〃	3	〃	58	49	68	7.7	0.1	
38	野地板の種類と厚さ	杉	〃	9	杉	18×15	9	ｽﾃﾝ丸	〃	〃	3	〃	25	17	29	5.2	0.2	
39	〃	杉	〃	12	〃	〃	9	〃	〃	〃	3	〃	19	19	19	0.1	0	
40	〃	米松	〃	〃	〃	〃	9	〃	〃	〃	3	〃	28	25	31	2.5	0.1	
41	〃	杉	〃	9	〃	〃	9	ｽﾃﾝ・ｽｸ	〃	〃	3	〃	32	27	38	4.6	0.1	
42	〃	杉	〃	12	〃	〃	9	〃	〃	〃	3	〃	33	29	39	4.1	0.1	
43	〃	米松	〃	〃	〃	〃	9	〃	〃	〃	3	〃	40	39	42	1.4	0	
44	追加	米松	〃	〃	〃	24×15	10	〃	2.4×50	30	3	〃	42	34	49	6.4	0.2	

表3-4、釘の加力実験（せん断）結果一覧

連番	項目	野地			桟木			釘			加力方向	試験数	ｽﾍﾟｰｻｰ	最大耐力(kgf)					備考
		材質	巾	厚	材質	寸法	位置	種類	径×長さ	打込長				平均	最小	最大	σ	Cv	
1	釘径と打込長	合板	120	12	杉	18×15	9	ｽﾃﾝ丸	2.4×45	15	繊維	3	有	29.93	25.6	33.5	3.28	0.109	
2	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	25	〃	3	〃	54.33	46.87	58.2	5.27	0.097	
3	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	3.05×65	15	〃	2	〃	25.51	23.35	27.7	1.76	0.069	
4	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	25	〃	3	〃	56.41	33.54	73.4	16.8	0.298	
5	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	35	〃	3	〃	96.16	89.18	101	5.1	0.053	
6	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	25	〃	3	無	63.11	55.38	76.7	9.65	0.153	
7	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	35	〃	3	〃	103.4	84.4	128	18.1	0.175	
8	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	ｽﾃﾝ・ｽｸ	2.4×50	15	〃	3	有	40.23	32.81	44.1	5.25	0.131	
9	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	25	〃	3	〃	66.05	63.26	71.6	3.94	0.06	
10	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	銅丸釘	2.68×65	15	〃	3	〃	24.92	23.28	28.2	2.33	0.093	
11	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	25	〃	3	〃	44.84	38.28	53	6.11	0.136	
12	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	35	〃	2	〃	68.77	57.44	80.1	9.25	0.135	
13	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	ｽﾃﾝ丸	3.05×65	15	直交	3	〃	13.35	12.43	14.5	0.84	0.063	
14	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	25	〃	2	〃	22.74	17.28	28.2	4.45	0.196	
15	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	35	〃	3	〃	48.47	47.03	50.5	1.46	0.03	
16	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	ｽﾃﾝ・ｽｸ	〃	〃	〃	3	〃	88.2	82.47	94.7	5.01	0.057	
17	桟木と打込位	〃	〃	〃	〃	15×15	7.5	ｽﾃﾝ丸	3.05×65	35	繊維	3	有	67.36	64.06	69.6	2.38	0.035	
18	〃	〃	〃	〃	〃	〃	3.5	〃	〃	〃	〃	3	〃	54.22	46.52	65.5	8.16	0.15	
19	〃	〃	〃	〃	〃	18×15	4.5	〃	〃	〃	〃	3	〃	86.47	75.58	99	9.62	0.111	
20	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	直交	3	〃	63.89	56.85	71	5.77	0.09	
21	〃	〃	〃	〃	〃	24×15	12	〃	〃	〃	繊維	3	〃	112.2	106.8	120	5.43	0.048	
22	〃	〃	〃	〃	〃	〃	6	〃	〃	〃	〃	3	〃	119.3	104.2	144	17.5	0.146	
23	〃	〃	〃	〃	〃	30×15	15	〃	〃	〃	〃	3	〃	116.4	111	124	5.48	0.047	
24	〃	〃	〃	〃	〃	〃	7.5	〃	〃	〃	〃	3	〃	103.4	99.33	106	3.01	0.029	
25	桟木の材質	合板	120	12	廃プ	15×15	7.5	ｽﾃﾝ丸	〃	〃	〃	3	〃	102.5	99.53	105	2.41	0.024	
26	〃	〃	〃	〃	〃	18×15	9	〃	〃	〃	〃	3	〃	99.55	96.91	101	1.9	0.019	
27	〃	〃	〃	〃	〃	24×15	12	〃	〃	〃	〃	3	〃	100.9	91.96	113	8.83	0.088	
28	〃	〃	〃	〃	〃	30×15	15	〃	〃	〃	〃	3	〃	98.67	87.77	107	8.07	0.082	
29	〃	〃	〃	〃	〃	18×15	9	〃	〃	〃	直交	3	〃	55.5	52.44	57.1	2.16	0.039	
30	野地板の種類と厚さ	杉	〃	9	杉	〃	〃	〃	〃	〃	繊維	3	〃	88.42	76.67	95.7	8.38	0.095	
31	〃	〃	〃	12	杉	〃	〃	〃	〃	〃	〃	3	〃	92.86	82.73	109	11.4	0.123	
32	〃	米松	〃	〃	杉	〃	〃	〃	〃	〃	〃	3	〃	65.2	54.53	80.8	11.3	0.173	
33	追加	〃	〃	〃	〃	24×15	10	ｽﾃﾝ・ｽｸ	2.4×50	30	繊維	3	〃	115.8	101.5	127	10.5	0.091	
34	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	直交	3	〃	83.88	69.78	108	17.4	0.208	

表3-5, 釘引抜耐力の計算値との比較

	実験No.	計算値	実験値	実/計	平均値
野地板全厚への釘打ち	5	31.91891	45.26259	1.41805	
	6	31.79604	49.04821	1.542589	
	7	34.68701	48.96178	1.411531	
	8	34.68701	53.94611	1.555225	
	9	33.51626	46.14167	1.376695	
	11	32.38003	47.89193	1.479057	
	19	29.49971	48.53798	1.645371	
	20	32.83219	43.26396	1.31773	
	21	31.4913	50.45342	1.602139	
	23	39.71135	43.04257	1.083886	
	25	46.61179	47.284	1.014422	
	26	39.27513	44.93542	1.144119	
	28	37.40122	41.19633	1.10147	
	29	35.21765	47.27624	1.342402	
	30	35.4431	45.55946	1.285426	1.354674
野地板への釘打ち無し	1	8.684544	18.18668	2.094143	
	3	9.960196	13.56985	1.362408	
	17	12.37648	16.16664	1.306239	1.587597
野地板厚1/2の釘打ち	2	17.41147	16.14583	0.92731	
	4	21.46598	17.53663	0.81695	
	10	22.10081	26.94067	1.218991	
	18	20.82982	23.87928	1.146399	1.027412
桟木の際に釘打ちした場合 際から3.5mm	22	31.62394	42.13628	1.332417	
	24	32.81399	42.04306	1.281254	
	27	35.04622	33.83597	0.965467	1.193046
野地板が杉、米松の場合	38	24.62238	24.68856	1.002688	
	39	31.59706	18.93046	0.599121	
	40	38.86131	28.45655	0.732259	0.778023

実験値は最大耐力
計算値は、木質構造計算規準（建築学会）の釘の引抜計算式による短期許容耐力値。
計算に使用した木材の比重 桟木は全数計測値
野地板（合板）は10個のサンプルの平均値
野地板（杉、米松）は全数計測値
この修正は元データ中の中からピーク以外の最大値を削除した。

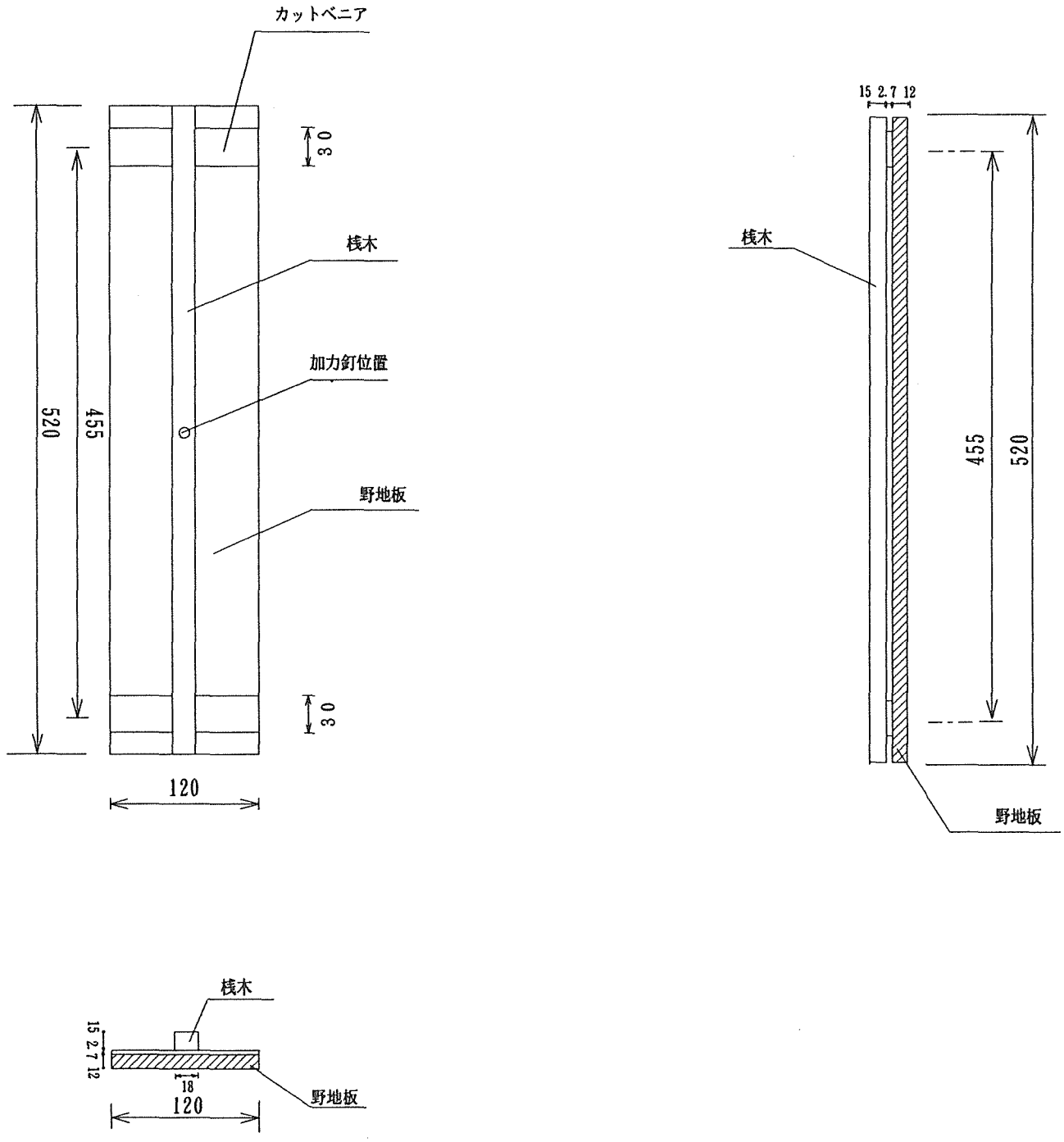

カットベニア
30
桟木
加力釘位置
520
455
野地板
30
120
15 2.7 12
桟木
455
520
野地板
桟木
15 2.7 12
18
120
野地板

図３－１．試験体寸法

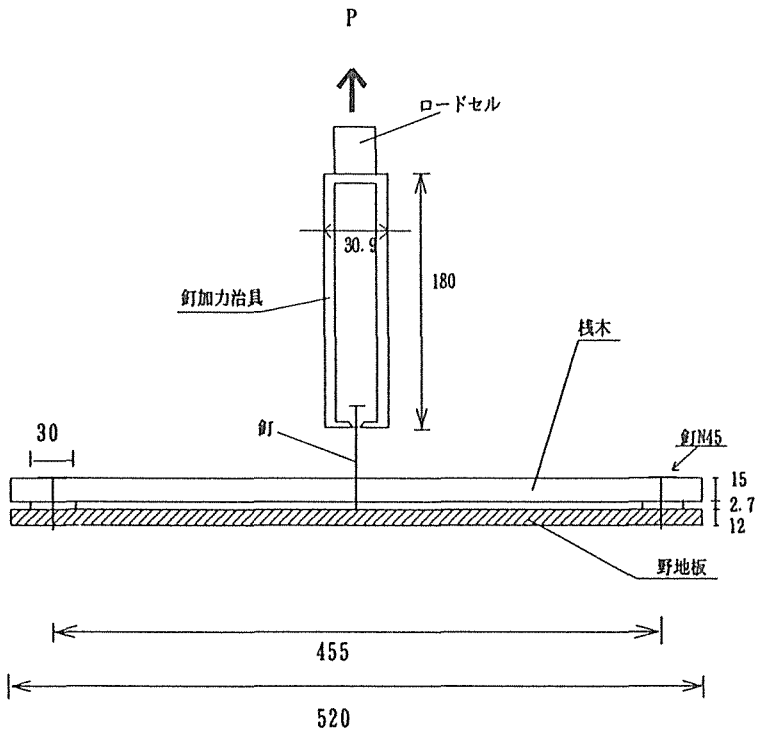


図３－２－１．釘の引張加力（正面）
（反力治具を省略して示す）

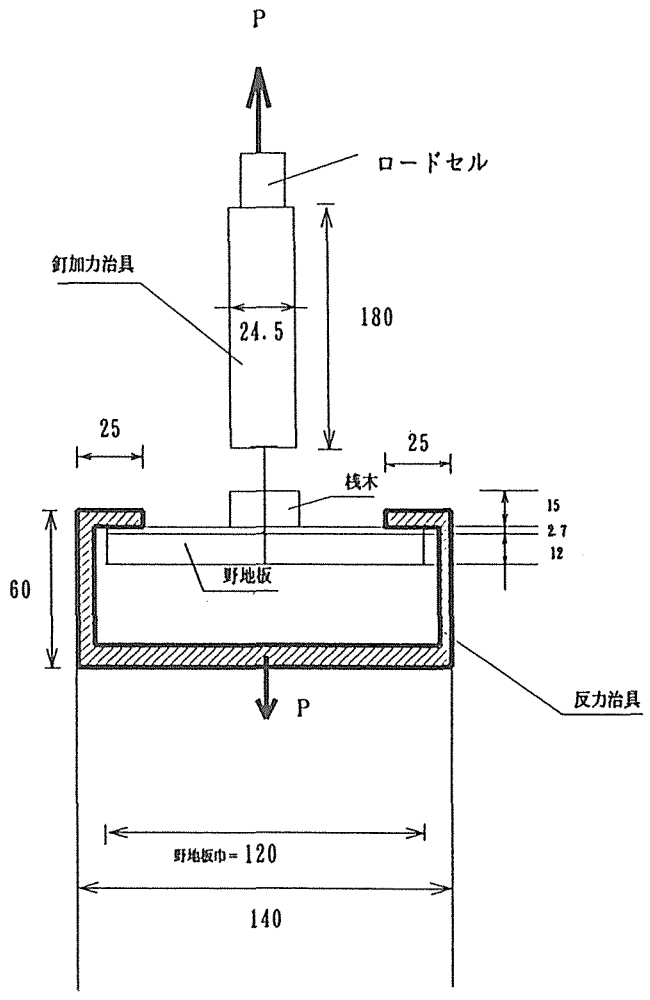


図３－２－２．釘の引張加力（側面）

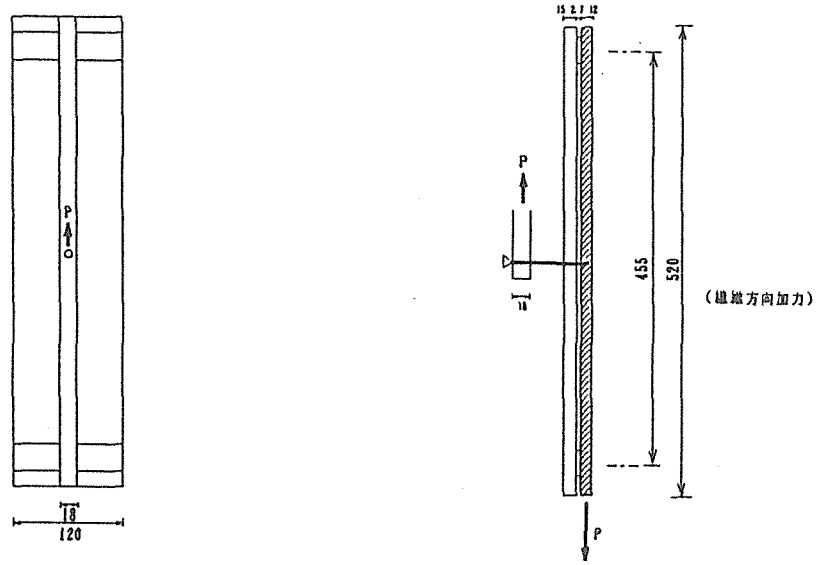


図３－３－１．釘のせん断加力（繊維方向）

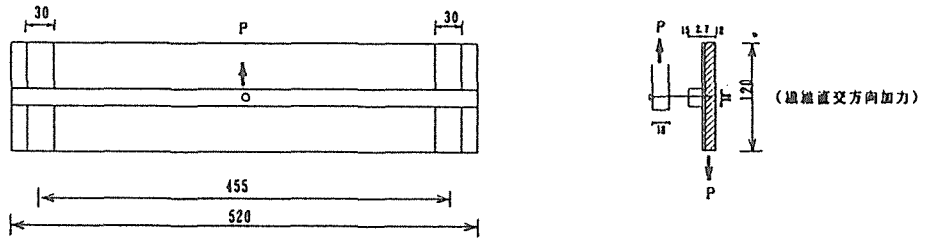


図３－３－２．釘のせん断加力（繊維直交方向）

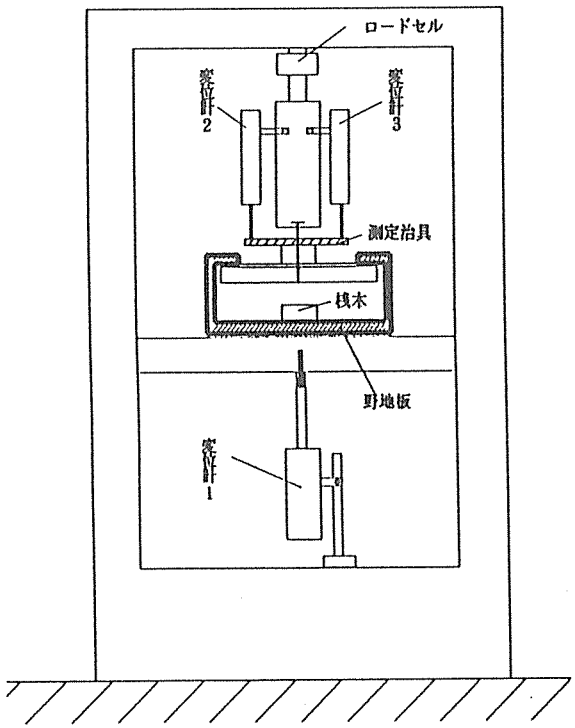


図３－４－１．測定方法（引張）

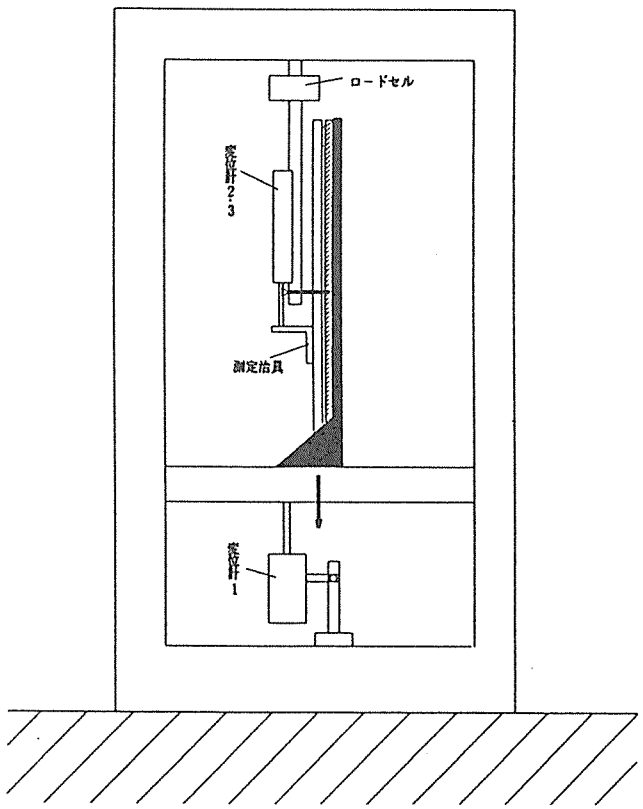


図３－４－２．測定方法（せん断繊維方向）

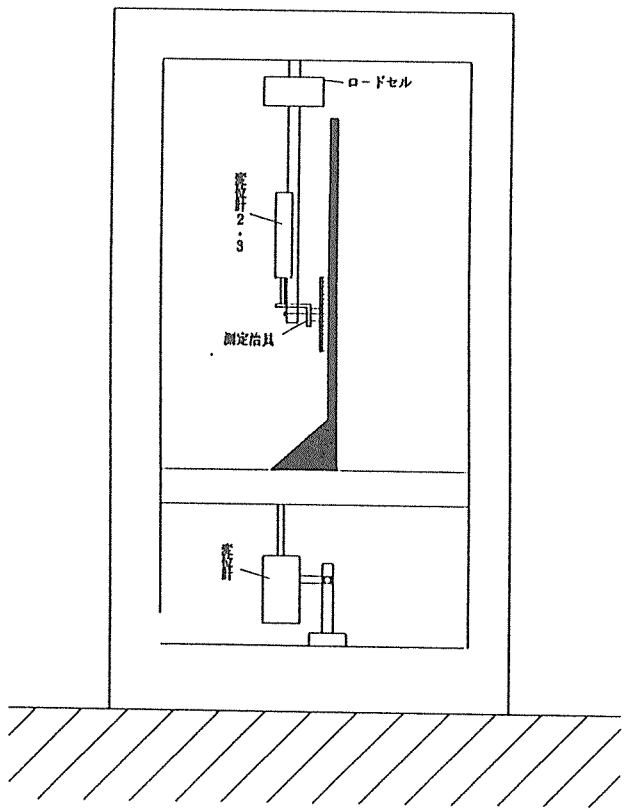
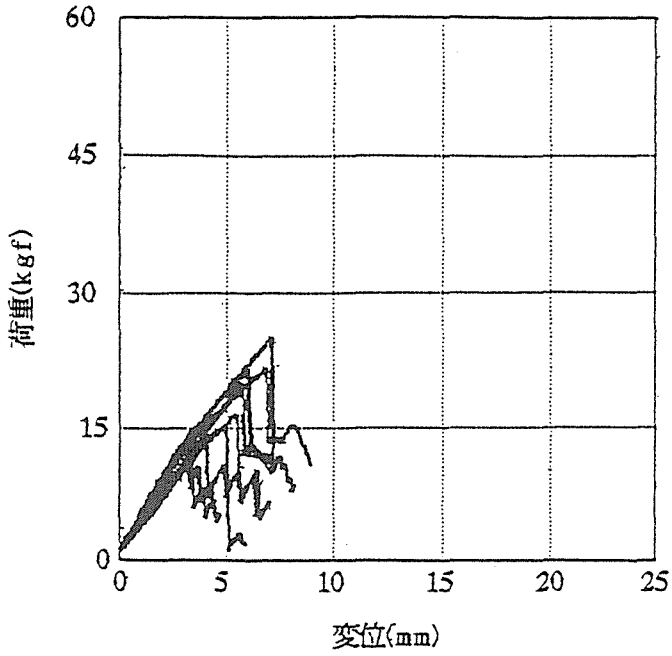
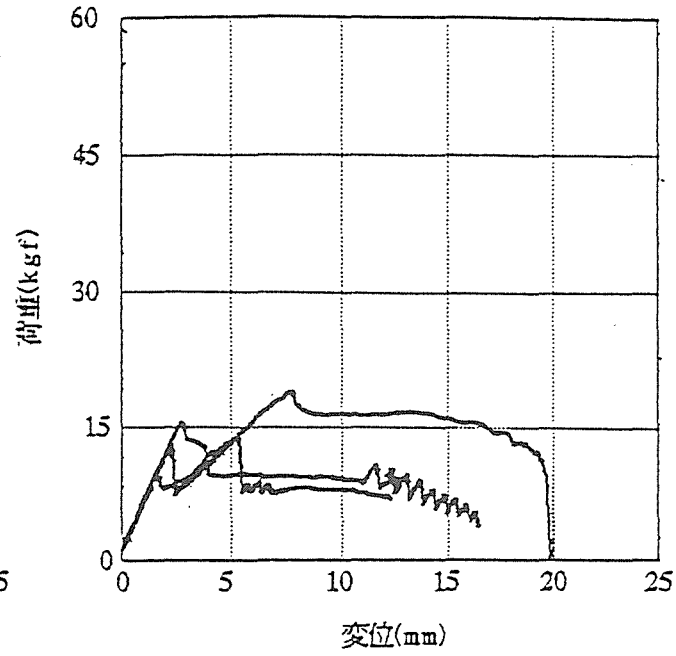


図３－４－３．測定方法（せん断繊維直交方向）



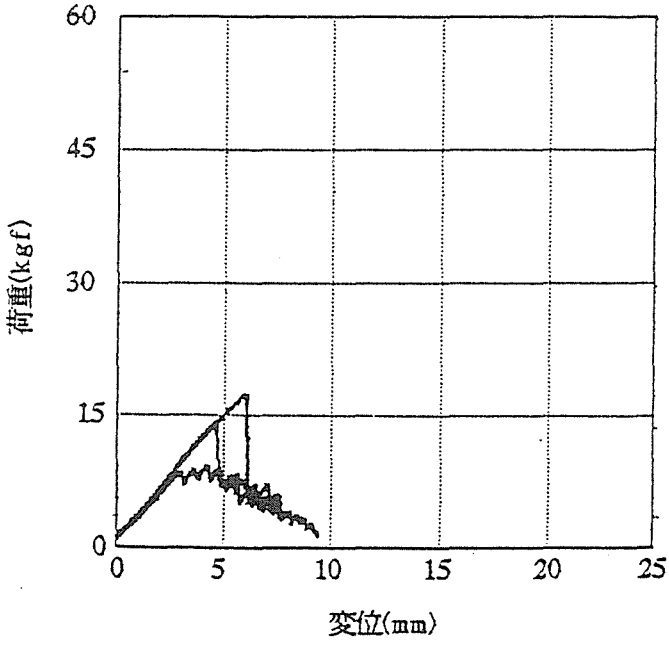
釘の引抜加力による荷重変形曲線

図３－５－１．実験結果（引抜ＮＯ．１）



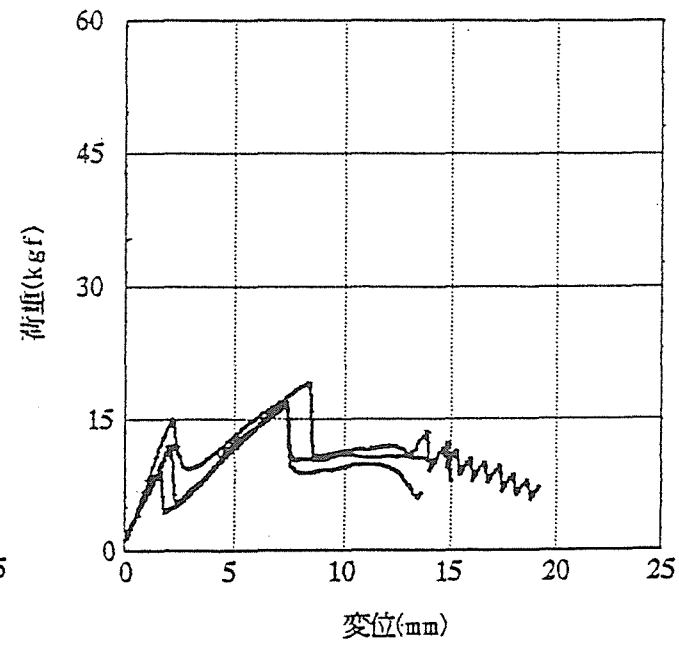
釘の引抜加力による荷重変形曲線

図３－５－２．実験結果（引抜ＮＯ．２）



釘の引抜加力による荷重変形曲線

図３－５－３．実験結果（引抜ＮＯ．３）



釘の引抜加力による荷重変形曲線

図３－５－４．実験結果（引抜ＮＯ．４）

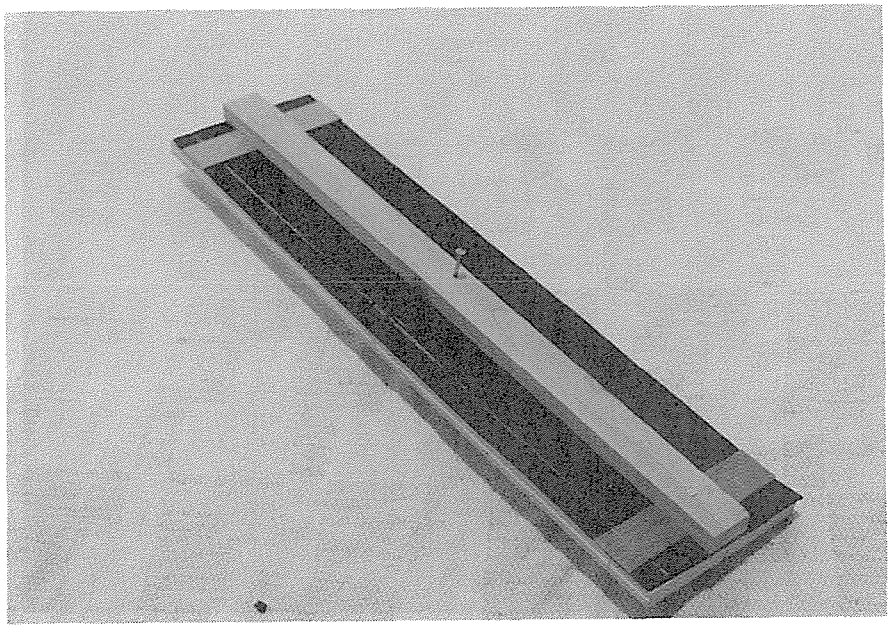


写真３－１－１．試験体（野地板＋防水紙＋カットベニア＋桟木）

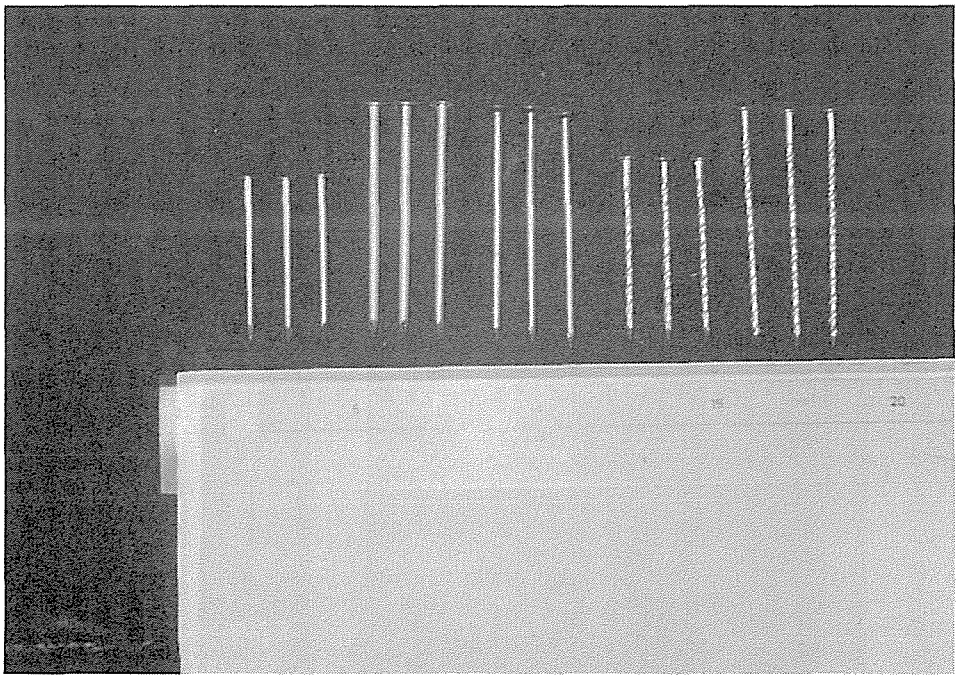


写真３－１－２．加力用釘種類

（左から：ステン丸45．ステン丸65．銅丸65．ステンスクリュー45．ステンスクリュー65）

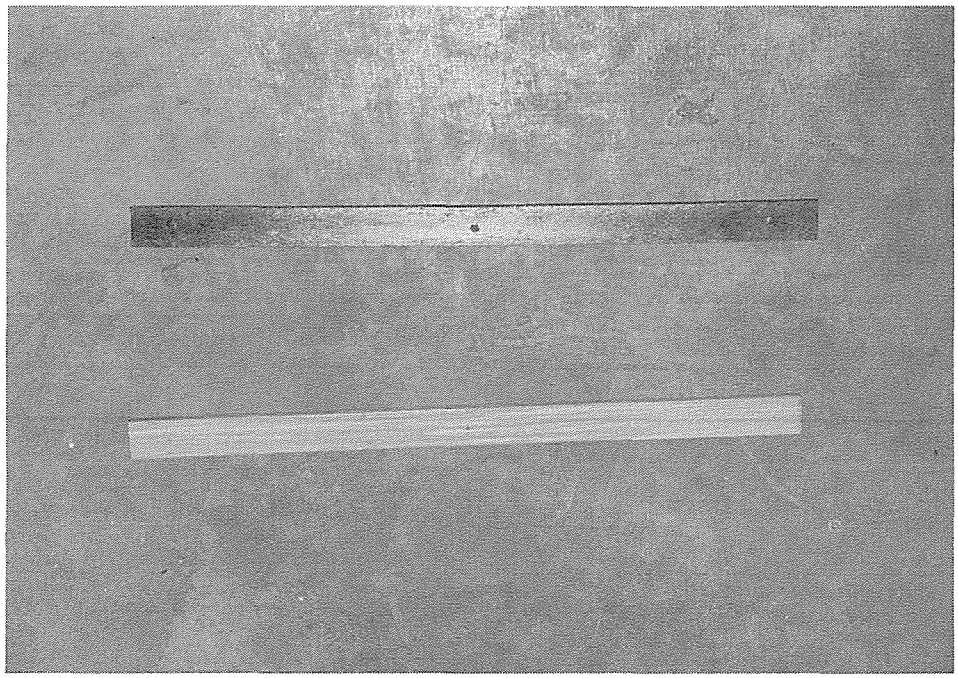


写真３－１－３．廃プラとスカイランバー

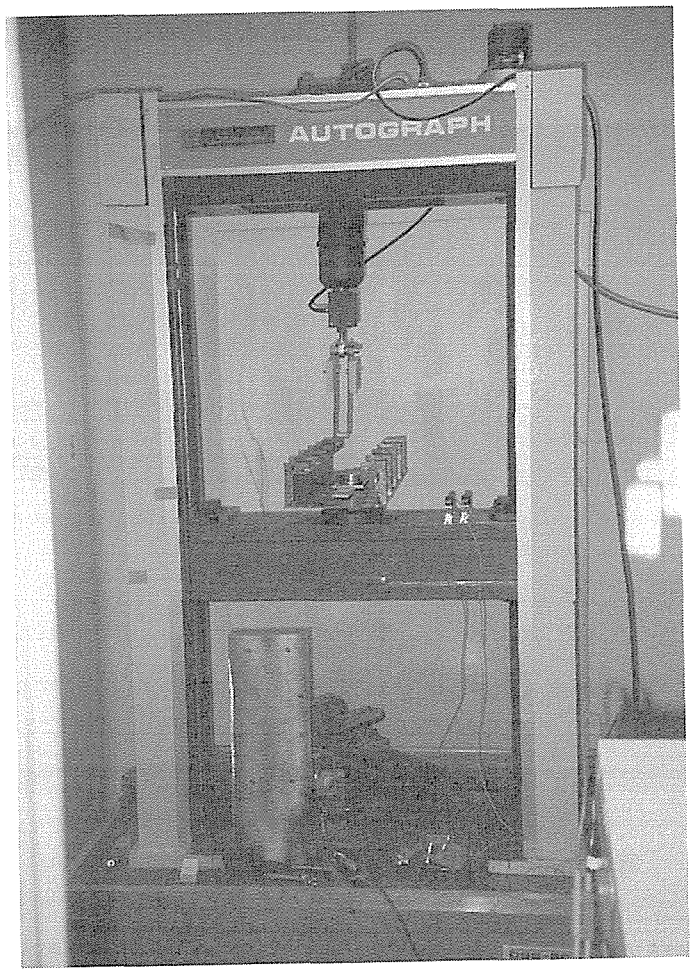


写真３－２．加力装置

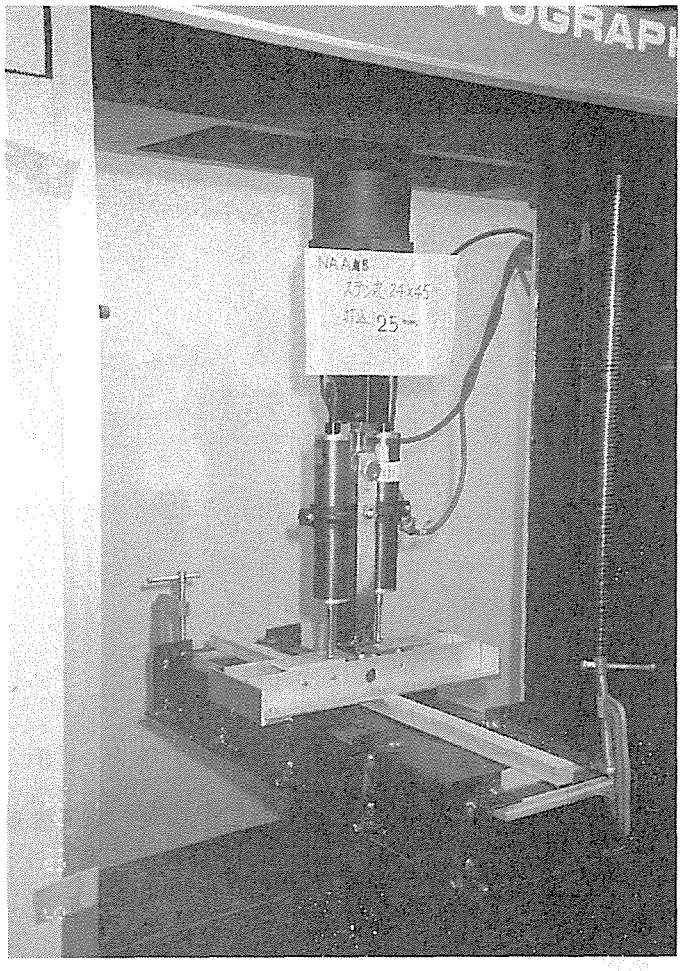


写真３－３－１．加力方法
（引張）

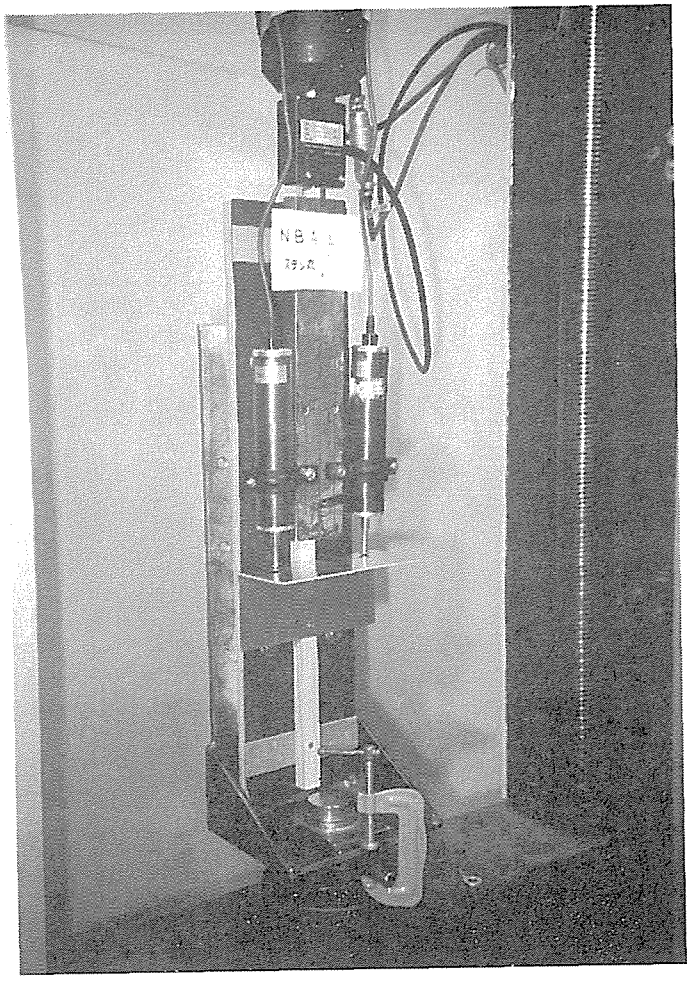


写真３－３－２．加力方法
（せん断・繊維方向）

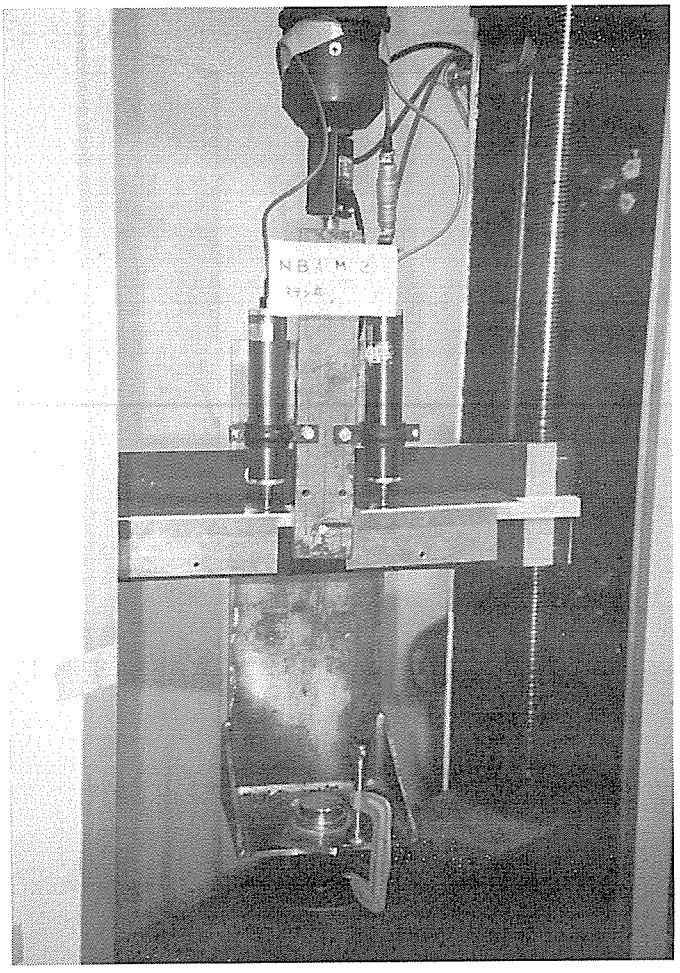


写真３－３－３．加力方法
（せん断・繊維直交方向）

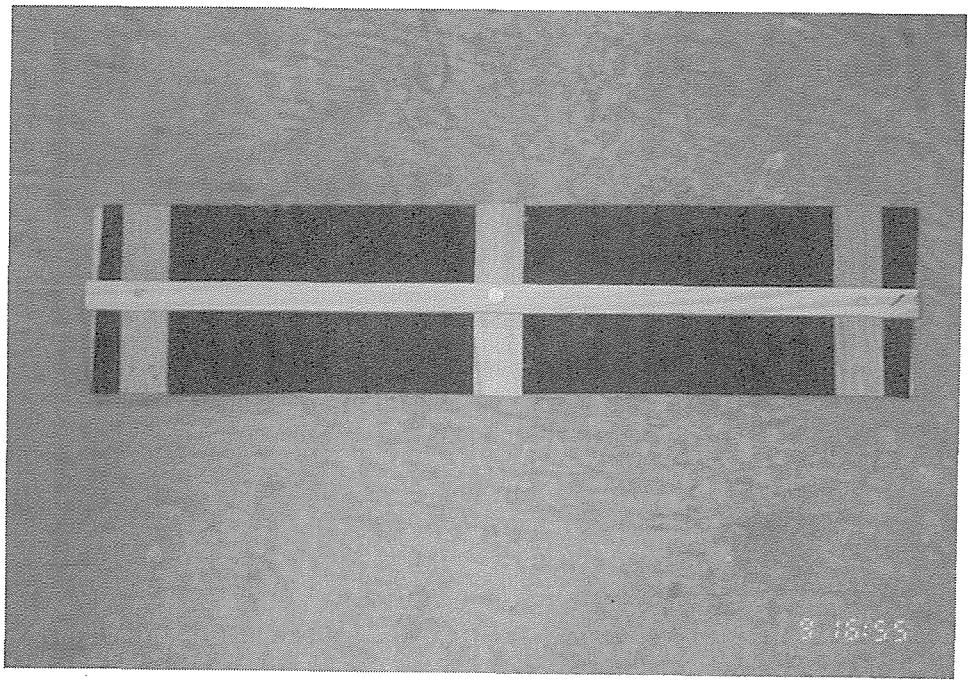


写真３－４－１．引抜実験　ＮＯ．６用試験体

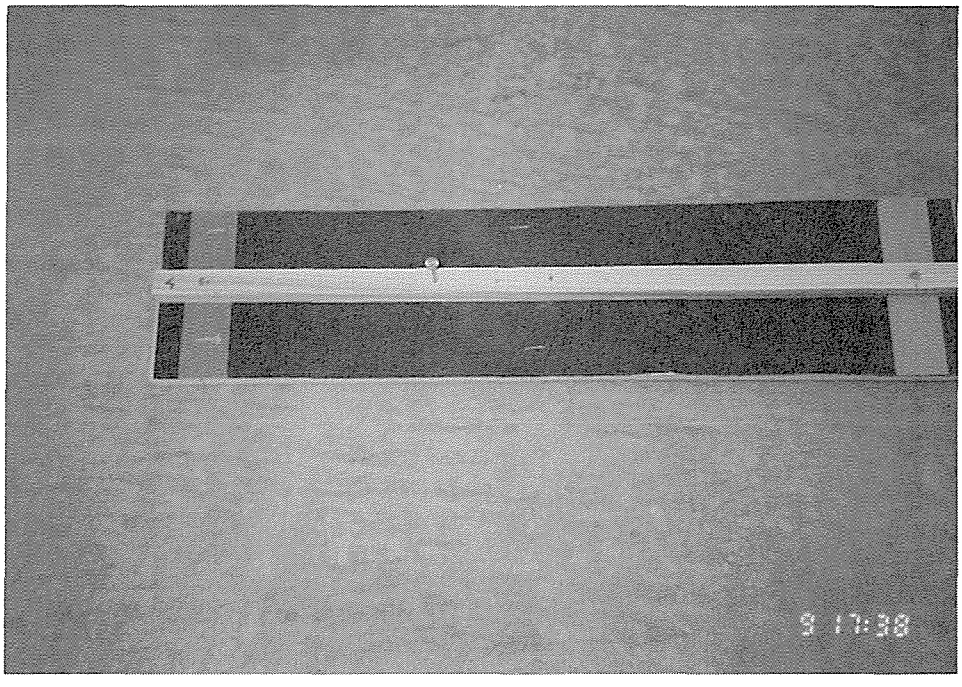


写真３－４－２．引抜実験　ＮＯ．７用試験体

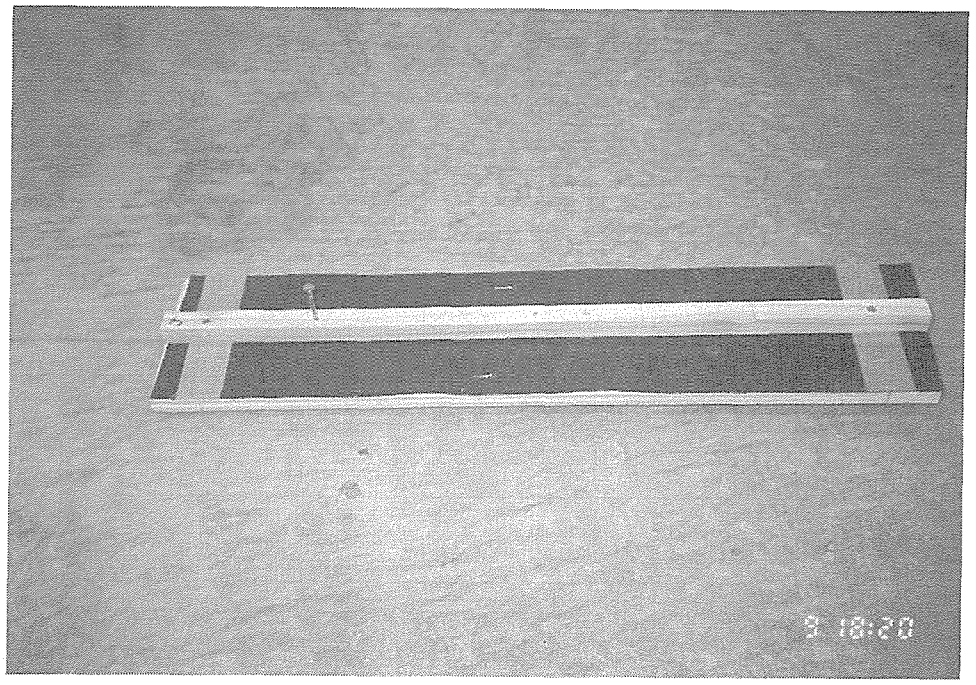


写真３－４－３．引抜実験　ＮＯ．８用試験体

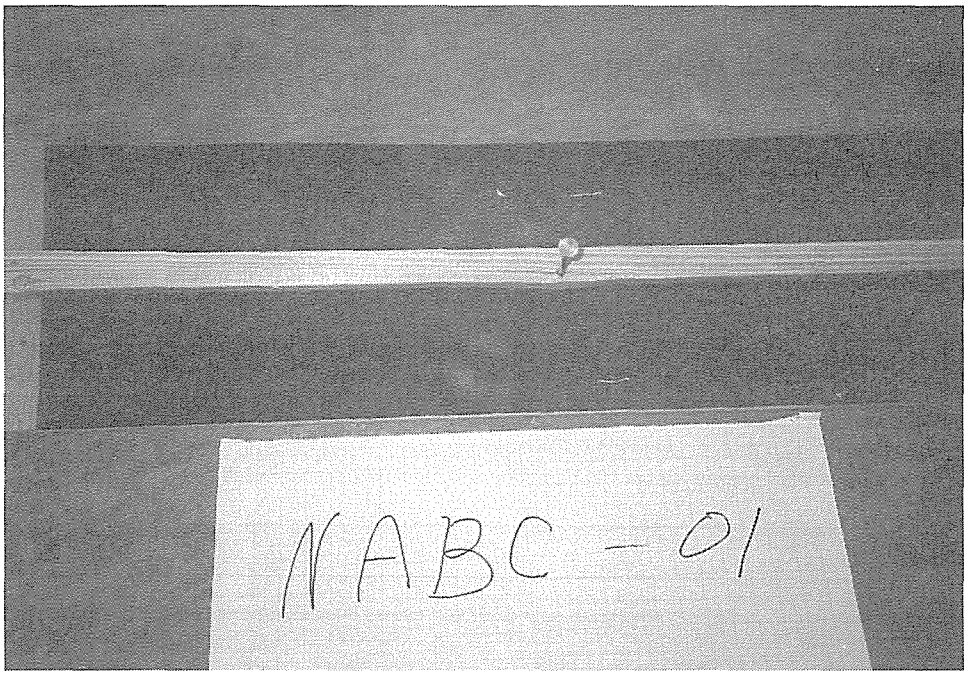
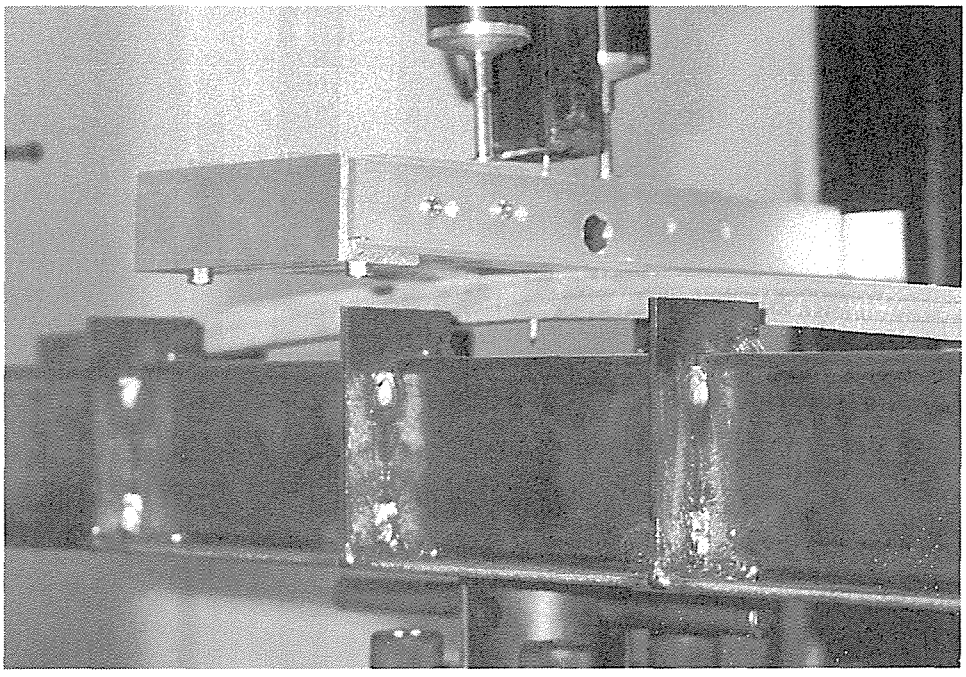


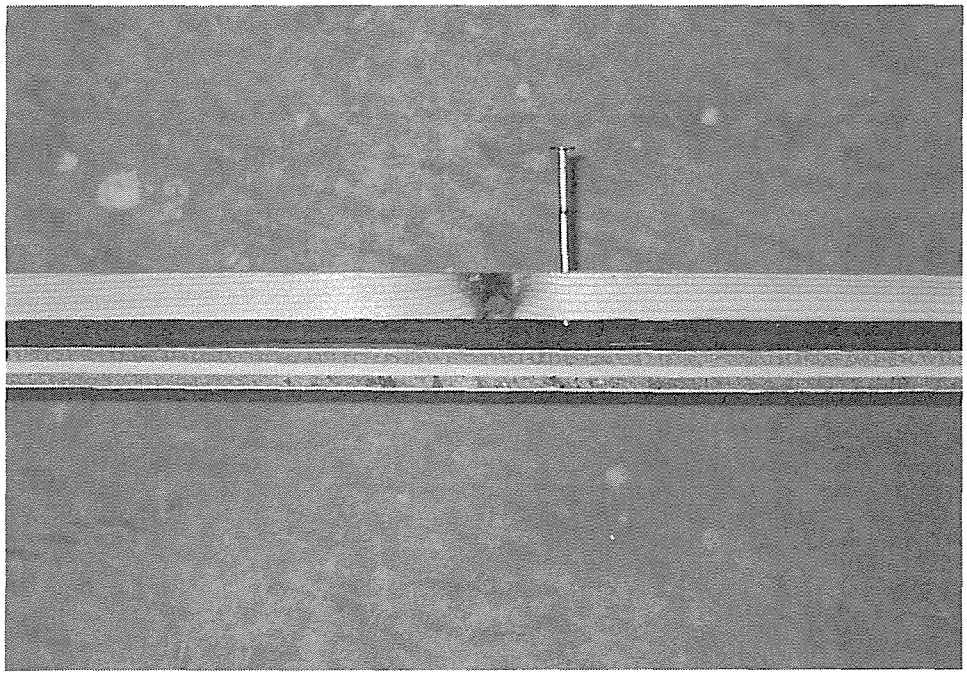
写真３－４－４．引抜実験　ＮＯ．２２用試験体（加力前）

［桟木側面から3.5mmの位置に釘打］



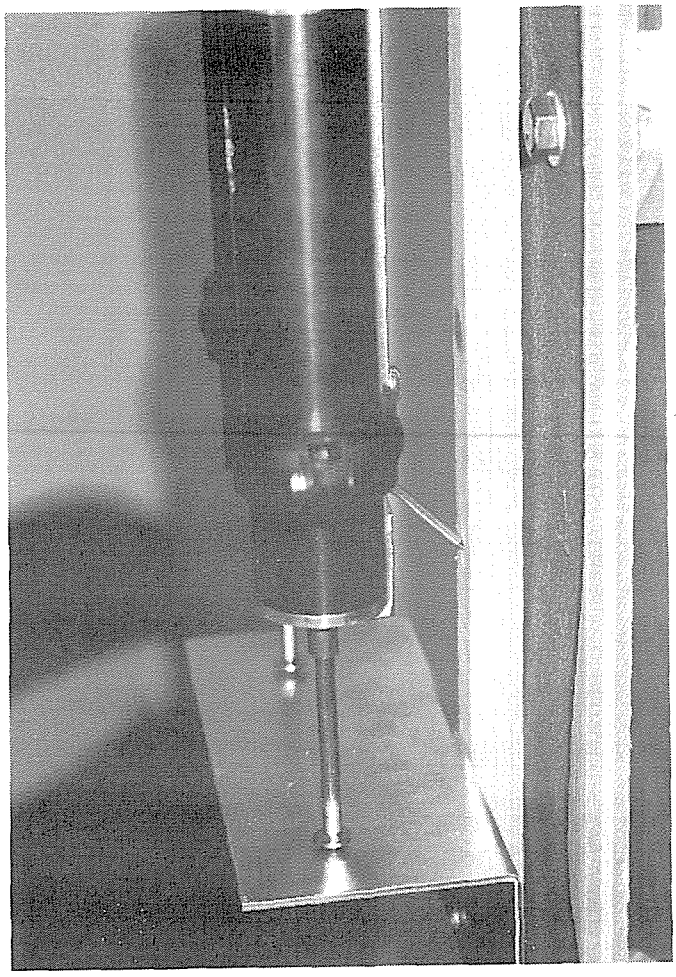
NAAL

写真３－５－１．引抜加力中（引抜ＮＯ．１５）



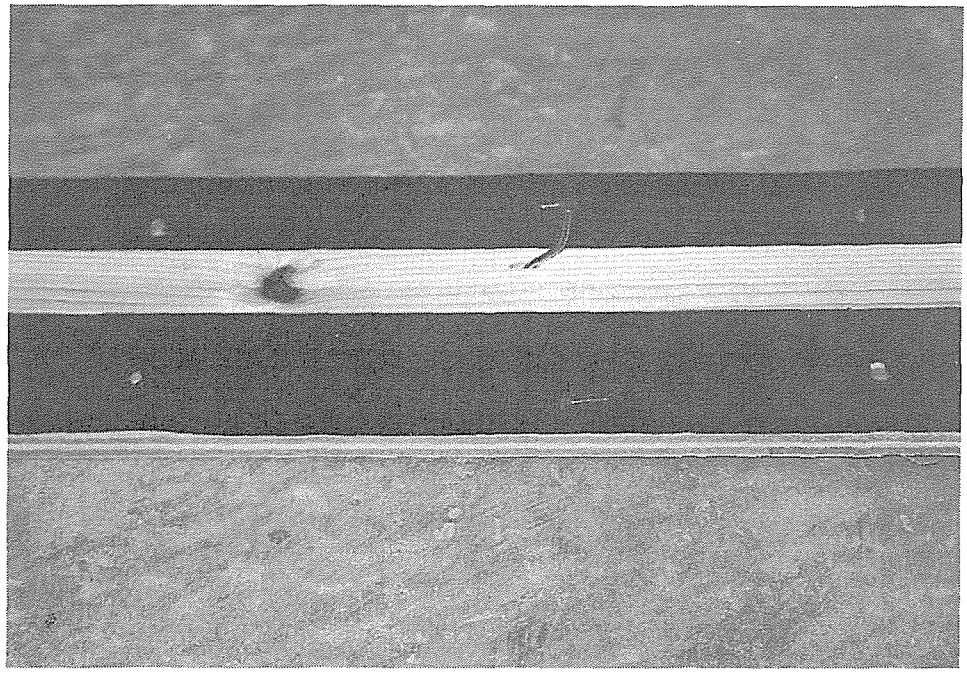
NAAF

写真３－５－２．引抜加力後（引抜ＮＯ．９）



ＮＢＡＣ

写真３－６－１．
せん断加力中（繊維方向）
（せん断ＮＯ．３）



ＮＢＡＡ

写真３－６－２．ぜん断加力後（繊維方向）
（せん断ＮＯ．１）

NBAM

写真３－７－１．せん断加力中（繊維直交方向）

（せん断ＮＯ．１３）

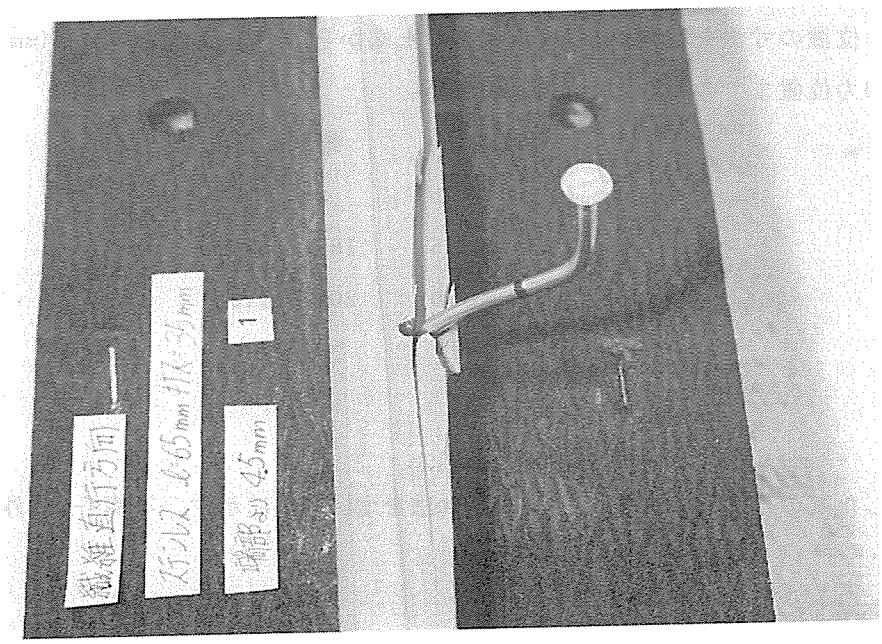


写真３－７－２．せん断加力後（繊維直交方向）

（せん断ＮＯ．２０）

4、平瓦の加力実験

4.1 実験目的

引掛桟瓦の留付法として、数列おきに釘留めする方法がとられている。上下左右に重なりのある平瓦の場合、瓦相互がどのような重なりの影響を有しているか不明である。これらの瓦相互の重なりの影響を荷重伝達性能の観点から調べるために、平瓦の加力実験を行った。

4.2 加力方法

平瓦の加力には、図4-1および写真4-1に示す加力装置を用いた。加力装置には、屋根瓦を設置する試験用台があり、試験用台には野地板（合板12mm）と桟木を設置した。この試験用台の傾斜は他の試験と同じ４寸５分とした。加力装置上部の反力柱上には、ｾﾝﾀｰﾎｰﾙ型ジャッキがあり、引上用板と連結されている。引上用板と加力用瓦をワイヤーで連結した。ジャッキを伸ばすことにより、加力用瓦は引き上げられる。

瓦の重なりの影響を調べるために、加力は瓦１枚に対して行った。加力方向は、上向き加力（Ｕ）・斜め加力（Ｓ１、Ｓ２）の３種類とした。上向き加力の場合は、ロードセルを介して瓦と引上用板を繋いだ。斜め加力の場合は、引上用板とロードセルの中間に滑車を設置して、加力方向を変化させた。加力位置は、加力瓦の図心と瓦の露出部中心の２種類とした。図心の加力は、地震力を想定したものである。地震を想定した加力位置は瓦の重心位置であるべきであるが、ここでは図心と重心位置が一致しているものとした。露出部中心の加力は、風による負圧力を想定したものである。 図4-2に加力位置と加力方向を示す。以下に加力位置の寸法を示す。なお、aは瓦の上端から加力位置までの距離(mm)、bは瓦の右端から加力位置までの距離(mm)を示す。

	図心用		露出部中心	
	a	b	a	b
和形	152	155	185	170
平板	175	170	202	143

4.3 試験体

4.3.1 和形

実験に使用した瓦の仕様を以下に示す。瓦の寸法を 図4-3-1に示す。写真4-2に外観を示す。

・名称（JIS 53A、鶴弥製）

重量（実測による平均値）　2.648 kgf

釘孔位置　上端から21mm、右端から195mm

和形の瓦には上端近傍に山側と谷側に計２個の釘留め用孔がある。釘留めが１箇所の場合は、防水効果を期待して山側に釘打ちすることを考慮して、左上（山側）部の釘孔を１箇所釘留めした。

4.3.2 平板

実験に使用した瓦の仕様を以下に示す。瓦の寸法を 図4-3-2に示す。写真4-2に外観を示す。

・名称（ロアール、三州石川製）

重量（実測による平均値）　3.415　kgf

釘孔位置　上端から25mm、右端から230mm

平板には上端近傍に２個の釘留め用穴があるが、右上部の釘孔を釘留めした。

4.3.3 留付

引掛用の桟木は、杉24mm×15mmで、455mm間隔で釘N45(2.45mm×45mm)を用いて野地板および垂木に留め付けた。平瓦の桟木への留付には、ｽﾃﾝﾚｽ丸釘65(3.05mm×65mm)を用いた。

4.4 計測方法

4.4.1　荷重

ひずみゲージ型ロードセル（容量200kgf）を、加力用瓦に設けたフックと加力用ジャッキの間に設置して、荷重を計測した。写真4-3に荷重計測方法を示す。計測荷重に用いた加力用瓦の重量を以下に示す。（実験結果の荷重から、加力瓦の重量は除去されていない。）

	重量
和形	2630 g
平板	3400 g

4.4.2　変位

加力用瓦上に変位計測用治具を設置し、非接触型変位計（測定範囲±15mm、±100mm用）を用いて、加力用瓦の変位を計測した。変位計は非接触型のレーザー変位計を使用した。瓦上の変位測定位置と方向を図4-4に示す。図4-4中の瓦の上に設けた箱は、変位測定用のレーザー光を反射させるためのプラスチック製治具である。写真4-4に変位計測方法を示す。

4.5 実験内容

4.5.1　和形

和形の実験内容を表4-1-1に示す。実験は屋根面に６枚６列に瓦を配置して行う全体配置実験と、１枚の加力瓦に対して周辺の瓦を徐々に増加させる個別配置実験の２種類を行った。全体配置の実験の場合の加力瓦の位置を 図4-5-1に示す。図4-6（図中のWのﾊﾟﾀｰﾝ）に個別配置の場合の、加力瓦と周辺の瓦の配置を示す。全体配置実験の実験No.1からNo.6では、瓦の重なりの影響を調べるために、右上端のＡ瓦から左下端のＦ瓦まで加力した。実

験No.7から実験No.20では、最上段と最下段の瓦を釘留めした場合、および最右段の瓦を釘留めした場合の２種類の実験を行い、釘留めの効果が影響する範囲を調べた。実験No.10では、釘留めした最上段の瓦から３列目（加力瓦Ｄ）に加力しており、全瓦連推奨の留付間隔と同じである。同様に、実験No.11では４列目（加力瓦Ｅ）に、実験No.12では５列目に加力しており、それぞれ現在の金融公庫仕様と旧金融公庫仕様の留付間隔と同じである。個別配置実験の実験No.21以降は、加力瓦の周辺に瓦を増やした場合を、露出中心に斜め方向に加力した場合について調べた。

4.5.2　平板

和形の実験内容を表4-1-2に示す。実験は屋根面全体に瓦を配置して行う全体配置実験と、１枚の加力瓦に対して周辺の瓦を徐々に増加させる個別配置実験の２種類を行った。全体配置と加力瓦の位置を図4-5-2に示す。図4-6（図中のYのﾊﾟﾀｰﾝ）に個別配置の場合の、加力瓦と周辺の瓦の配置を示す。実験No.35からNo.39では、瓦の重なりの影響を調べるために、上端のＡ瓦から下端のＥ瓦まで加力した。実験No.40から実験No.44は、最上下段の瓦を釘留めした場合で、釘留めの効果が影響する範囲を調べた。実験No.43は、全瓦連推奨の留付間隔で、実験No.11は金融公庫仕様の留付間隔である。実験No.45以降は、加力瓦の周辺に瓦を増やした場合を、露出中心に斜め方向に加力した場合について調べた。

4.6 実験結果

(a) 和形

実験結果を資料編図4-1-1から資料編図4-1-34に示す。各図中ａは瓦と加力瓦の配置を示す。図中bは実験パラメーターを示す。図中Cは荷重と垂直変位（図4-4中の変位計②＝瓦面に垂直な変位、変位計⑤、⑥＝瓦面と平行な変位）の関係を示す。図中dは荷重と変形角（図4-4中の回転角θ）の関係を示す。瓦の移動状況を 資料編写真4-1-1から写真4-1-34に示す。実験結果を、所定変形量時の荷重で整理した結果を 表4-2-1に示す。

(b) 平板

実験結果を資料編図4-2-35から図4-2-56に示す。各図中ａは瓦と加力瓦の配置の示す。図中bは実験パラメーターを示す。図中Cは荷重と垂直変位（図4-4中の変位計②など）を示す。図中dは荷重と変形角（図4-4中の回転角θ）を示す。瓦の移動状況を 資料編写真4-2-35から写真4-2-56に示す。ただし、資料編写真4-2-40から写真4-2-42は写真記録がないため、欠番とする。実験結果を、所定変形量時の荷重で整理した結果を 表4-2-2に示す。

(c)実験結果の見方

資料編図4-1-1から資料編図4-1-34および資料編図4-2-35から図4-2-56の図中Cの実線は、瓦前部の垂直方向の変位②を示している。和形の瓦の厚みは20mm程度である。このため、垂直変位②が20mmを越える、瓦は左側の瓦に滑り上がることが可能になり、ずれやすくなると考えられる。従って、主として垂直変位②が20mm時の荷重で性能比較を行った。なお、

瓦の左下端部にこれらの変位を生じた場合、瓦の前後変形角θ_1と左右回転変形角θ_2は、垂直変位20mmに対していずれも0.07(rad)である。

資料編図4-1-2（実験No.2：釘留めなしのＢ瓦の加力）では、鉛直変位②が5mmから20mmの比較的初期の変位の範囲で、荷重が大きくなる範囲がある。この範囲の荷重については、重なる瓦相互の摩擦が滑らかでなかった等の影響が含まれている可能性がある。

資料編図4-1-12（実験No.12：釘留めしたＦ瓦の加力）では、最大耐力が極めて高く、他の実験結果と異なる傾向を示している。資料編図4-1-12の図cによると、荷重が33kgf付近から鉛直変位②、瓦の左右回転角θ_2の増加が停止し、瓦の前後回転角θ_1が減少しながら荷重だけが増加している。θ_1の減少は荷重36kgf付近で止まるが、その後も荷重の増加が続いている。荷重60kgf付近で鉛直変位や回転変形角が激しく増減しているのは、瓦が抜け出し始めているためと考えられ、資料編写真4-1-12では、実験終了後に抜け出た状態の加力瓦の状態が示されている。最大耐力が高い原因は不明であるが、釘留めしたＦ瓦の上に右側から重なる５枚の瓦は全て釘留めされており、これらの瓦の釘留め効果が現れている可能性が考えられる。

(d)荷重変位関係図に現れる釘留め効果の傾向

資料編図4-1-1から図4-2-56の荷重変位関係に現れる、釘の留付効果の傾向を図4-7に示す。一枚の瓦の場合を図4-7の上図に示す。瓦１枚の場合、加力瓦自身が釘留めされており、荷重変位関係の差は釘留めの効果である。瓦を全体配置して、周辺瓦が加力瓦に重なる場合の傾向を図4-7の下図に示す。この場合、荷重変位関係は階段状に上昇する形となる。階段状の区間は、荷重と変形が共に上昇する区間と、荷重一定の区間の２つの区間に分けられる。荷重一定区間とは、加力瓦と共に変位が増加し、瓦の重量だけが抵抗要素になっている区間と考えられる。一方で、荷重と変位が共に上昇する区間は、変位の増加に従って瓦とその周辺の瓦との間のガタが吸収される区間と考えることができ、周辺瓦の留付や重量などの拘束効果が徐々に現れる区間と考えられる。加力瓦が釘留め瓦に近い場合、釘留めの影響は荷重変位関係に現われると考えられる。

4.7 考察

4.7.1 釘留めの効果と影響範囲

（１）瓦単体の釘留付の効果（和形）

上向きに加力した実験No.1～実験No.12を比較することにより、瓦を全体配置した状態での釘留めの効果を検討した。

瓦全体配置でのＡ瓦を鉛直方向に加力した実験No.1（釘留めなし）と実験No.7（釘留めあり）の結果を、同一軸上に合わせて図4-8-1に示す。Ａ瓦の上に重なる瓦はないため、この結果は瓦単体の釘留めの効果を示す。釘留めなしの場合、約2kgfで瓦が浮き上がり始め、その後荷重と変位が共に上昇するが、約2.4kgfで荷重は一定になり、変位だけが増加するようになる。一方で、釘留めありの場合は、荷重約2.4kgfで浮き上がり始め、以後は荷重

と変位が共に上昇し続ける。鉛直変位20mmの状態での耐力は、約3.7kgf程度である。以上の結果から、釘留めの効果は浮き上がり開始荷重を約0.4kgf上昇させ、変位増加に従って釘留めの効果は明確になる。第３章の釘の加力実験の結果から、釘の引抜強度は最大耐力レベルでは数十kgfと大きいことが明らかになっている。しかし、釘留め位置が瓦の回転中心に極めて近いために、瓦の浮き上がり開始荷重に対しては、0.4kgfの効果しか現れない。浮き上がり開始時と変位20mm時の荷重を以下に示す。ただし、括弧内に瓦の自重(2.63kgf)で除した、浮き上がり開始加速度(G)を示す。

	釘留なし	釘留あり
浮き上がり開始時	2 kgf(0.75)	2.4kgf(0.9)
鉛直変位20mm時	2.4kgf(0.9)	3.7kgf(1.4)

（２）釘留め効果の影響範囲（和形）

図4-8-2から図4-8-5にＢ瓦からＥ瓦に加力した場合に、横一列に釘留めした瓦が下側の瓦に及ぼす影響、及び縦一列に釘留めした瓦が左側の瓦に及ぼす影響を、釘留めなしの場合と比較して示す。釘留めの無い場合（図4-6中のw-1）を「釘留なし」と示す。横一列に釘留めして下側の瓦を加力した場合（図4-6中のw-2）、加力した瓦の上側の瓦が釘留めされているため、この場合を「上釘留」として示す。縦一列に釘留めして、左側の瓦を加力した場合（図4-6中のw-3）、加力された瓦の横（右）方向にある瓦が釘留めされているため、この場合を「横釘留」として示す。

縦方向の釘留め効果を比較する場合、図4-8-2（Ｂ瓦加力）と図4-8-5（Ｅ瓦加力）の場合を除いて、「釘留なし」の場合は「上釘留」と比較して、より低い荷重で浮き上がりを開始し、荷重の増加と共に階段状のステップを描きながら変位が上昇する。 図4-8-3のＣ瓦加力の場合、「上釘留」の荷重は「釘留なし」の荷重よりも高く、釘留した瓦が下側の瓦を拘束する効果は明確である。しかし、図4-8-4のＤ瓦加力の場合、「釘留なし」と「上釘留」の結果は部分的に差がある程度で、釘留めした瓦が下側の瓦を拘束する効果は明瞭でない。このように、釘留めした瓦から下方向に離れるに従って、釘留めの影響が低下しており、釘留めした瓦が下側にある瓦の浮き上がりを拘束する影響範囲は、釘留めした瓦から２枚目程度までである。

横方向の釘留め効果を比較すると、「横釘留」と「釘留なし」の場合では加力した瓦が異なっているために、加力瓦の上に重なる瓦の枚数が異なり判断が難しい。しかし、後述の4.7.3項「重なりの影響（和形）」の結果によると、瓦の重なりの影響範囲は加力瓦の右または上の２列目までである。加力瓦を含めて、右または上に３行３列計９枚の瓦が、瓦の浮き上がりに影響を及ぼす範囲である。この結果を用いると、 図4-8-3（Ｃ瓦加力）から図4-8-5（Ｅ瓦加力）の場合が比較可能で、図4-8-3から図4-8-5のＣ瓦からＥ瓦に加力したいずれの場合でも、「横釘留」のほうが「釘留なし」よりも引き上げ荷重が大きい。しかし、図4-8-5のＥ瓦を加力した場合には、「横釘留」と「釘留なし」の違いはかなり減少し

ており、釘留めした瓦が横（左）方向の瓦の浮き上がりを拘束する影響範囲は、釘留めした瓦から３枚目程度までである。

釘留めの影響範囲は、縦方向よりも横方向に影響範囲が大きい。この理由を類推すると、縦方向の瓦の重なりは、上の瓦が下の瓦の後端だけを拘束している。横方向の瓦の重なりは、右側の瓦が左側の瓦の前後両端を拘束する。瓦の浮き上がりは、瓦の後端を支点として前端が浮き上がるために、前端に重なりを有する横方向の重なりの効果が大きい。このため、釘留の効果は縦方向よりも横方向に影響範囲・拘束効果が大きいと考えられる。ただし、影響範囲は縦方向で瓦２枚、横方向で３枚程度であり、あまり大きな範囲とはいえない。

（３）横一列の釘留め効果（平板）

瓦全体配置でのＡ瓦を鉛直方向に加力した実験No.35（釘留めなし）と実験No.40（釘留めあり）の結果を、同一軸上に合わせて図4-8-6に示す。両実験において、Ａ瓦には左側の瓦が重なっている。この実験結果の差は、最上段の瓦への釘留めの効果を示す。正確には、加力瓦および加力瓦に重なる左横方向の瓦に対する釘留めの効果である。釘留めなしの場合、約2kgfで瓦が浮き上がり始め、その後荷重と変位が共に上昇するが、約4kgfで荷重は一定になり、変位だけが増加するようになる。一方で、釘留めありの場合は、荷重約10kgfで浮き上がり始め、以後は荷重と変位が共に上昇し続ける。鉛直変位20mmの状態での耐力は、約17kgf程度である。以上の結果から、横一列の釘留めの効果は浮き上がり開始荷重を約6kgf上昇させ、変位増加に従って釘留めの効果は明確になる。釘留めは、瓦の浮き上がり開始荷重を約6kgf上昇させている。浮き上がり開始時と変位20mm時の荷重を以下に示す。

	釘留なし	釘留あり
浮き上がり開始時	4kgf	10kgf
鉛直変位20mm時	4kgf	17kgf

（４）横一列の釘留め効果の影響範囲（平板）

図4-8-7と図4-8-8にＢ瓦とＣ瓦に加力した場合、釘留めありとなしの結果を同一軸に合わせて示す。両図において、釘留めなしの場合は釘留めありと比較して、より低い荷重で浮き上がりを開始し、荷重の増加と共に階段状のステップを描きながら変位が上昇する。Ｂ瓦に加力した場合、釘留めありの荷重は釘留めなしの荷重よりも高く、釘留めの効果は明確である。Ｃ瓦に加力した場合も釘留めの効果は明瞭であるが、Ｂ瓦での釘留めの効果よりは低下している。釘留めした瓦から離れるに従って、釘留めの影響が低下していることがわかる。

4.7.2　瓦の斜め加力

（１）釘留めなしの場合

単体の和形瓦に対して、右上斜めに加力した場合を資料編 図4-1-22に示す。左上斜めに加力した場合を資料編図4-1-29に示す。右上斜めに加力した場合、1.6kgf程度で回転し始める。左上斜めに加力した場合、瓦は0.6kgf程度で回転し始める。従って、瓦は左斜め上の加力に対して、右回転し易い。

（２）釘留めの効果

単体の和形瓦に対して、右上斜めに加力した場合を資料編 図4-1-21に示す。左上斜めに加力した場合を資料編図4-1-28に示す。右上斜めに加力した場合、1.6kgf程度で回転し始め、釘留めの効果はほとんどない。左上斜めに加力した場合、瓦は0.6kgf程度で回転し始めるが、以後は変位の増加に従って荷重は安定して増加する。従って、釘留めは左斜め上の加力に対して、右回りの回転を抑制する効果が明瞭である。

4.7.3　重なりの影響（和形）

瓦の重なりの影響を比較するために、釘留めのない和形の瓦に加力した実験番号1（Ａ瓦加力）から実験番号6（Ｆ瓦加力）を比較した結果を 図4-9に示す。この結果によると、Ｃ瓦からＦ瓦に加力した場合は、20mmの垂直変位量時の耐力が8kgfから9kgf程度で、ほぼ同様の値を示す。これに対して、Ａ瓦(2.4kgf)とＢ瓦(5.5kgf)の場合は大幅に低い。ただし、Ｂ瓦の場合は、垂直変位量が0mmから4mmまでの範囲では、Ｃ瓦以降とやや似た荷重変位関係を示す。これらの結果から、右１列と上１列に上から重なる瓦を持つＢ瓦、右２列と上２列に上から重なる瓦を持つＣ瓦までは、重なる瓦の影響を受け、瓦を引き上げる荷重が増加する。しかし、Ｄ瓦以降の瓦のように、右と上に３列以上の重なる瓦があっても、瓦の重なりによる引き上げ荷重は、Ｃ瓦以上に増加しない。従って、瓦の引き上げ荷重に対する瓦の重なりの影響範囲は右上の方向に瓦２列程度までで、３列目以降の瓦はあまり影響しない。

4.7.4　まとめ

①　和形の単体瓦に対する釘留めの効果は明瞭である。和形の場合、浮き上がり開始加速度を２割増加させる。鉛直変位20mm時の加速度を５割増加させる。

②　和形の場合、釘留めの周辺瓦への影響範囲は、縦方向に釘留め瓦から２枚目の瓦まで、横方向に対しては３枚目までである。

③　平板の場合、横一列の釘留めの縦方向の瓦への影響範囲は、釘留め瓦の列から２列目の瓦まである。

④　和形の瓦は右回転し易い。しかし、瓦の左上部への釘留めは、瓦の右回転の抑制に効

果的である。

⑤　和形の場合、瓦の引き上げ荷重に対する釘留めのない瓦の重なりの影響範囲は、右および上に２列までである。

表4-1-1,　　実験内容（和形）

	項目	実験番号	試験対象瓦	釘留位置	緊結仕様	釘打本数	加力瓦数	加力対象瓦		加力方向	加力位置	釘種類
全体	重なりの影響	1	36	なし	なし	なし	1	W-1	A	U	重心	ｽﾃﾝ丸65
		2	36	なし	なし	なし	1	W-1	B	U	重心	ｽﾃﾝ丸65
		3	36	なし	なし	なし	1	W-1	C	U	重心	ｽﾃﾝ丸65
		4	36	なし	なし	なし	1	W-1	D	U	重心	ｽﾃﾝ丸65
		5	36	なし	なし	なし	1	W-1	E	U	重心	ｽﾃﾝ丸65
		6	36	なし	なし	なし	1	W-1	F	U	重心	ｽﾃﾝ丸65
	重なり	7	36	1,6段目	あり	各1	1	W-2	A	U	重心	ｽﾃﾝ丸65
	+留付の影響	8	36	1,6段目	あり	各1	1	W-2	B	U	重心	ｽﾃﾝ丸65
		9	36	1,6段目	あり	各1	1	W-2	C	U	重心	ｽﾃﾝ丸65
	(全瓦連仕様)	10	36	1,6段目	あり	各1	1	W-2	D	U	重心	ｽﾃﾝ丸65
	(新公庫仕様)	11	36	1,6段目	あり	各1	1	W-2	E	U	重心	ｽﾃﾝ丸65
	(旧公庫仕様)	12	36	1,6段目	あり	各1	1	W-2	F	U	重心	ｽﾃﾝ丸65
	(全瓦連仕様)	13	36	1,6段目	あり	各1	1	W-2	D	S1	重心	ｽﾃﾝ丸65
	(全瓦連仕様)	14	36	1,6段目	あり	各1	1	W-2	D'	S2	重心	ｽﾃﾝ丸65
	重なり	15	36	最右列	あり	各1	1	W-3	A	U	重心	ｽﾃﾝ丸65
	+留付の影響	16	36	最右列	あり	各1	1	W-3	B	U	重心	ｽﾃﾝ丸65
		17	36	最右列	あり	各1	1	W-3	C	U	重心	ｽﾃﾝ丸65
		18	36	最右列	あり	各1	1	W-3	D	U	重心	ｽﾃﾝ丸65
		19	36	最右列	あり	各1	1	W-3	E	U	重心	ｽﾃﾝ丸65
		20	36	最右列	あり	各1	1	W-3	F	U	重心	ｽﾃﾝ丸65
個別	右斜め上加力	21	1	加力瓦	あり	1	1	W-4		S1	露出中心	ｽﾃﾝ丸65
		22	1	なし	なし	なし	1	W-5		S1	露出中心	ｽﾃﾝ丸65
		23	2	なし	なし	なし	1	W-6		S1	露出中心	ｽﾃﾝ丸65
		24	4	なし	なし	なし	1	W-7		S1	露出中心	ｽﾃﾝ丸65
		25	6	なし	なし	なし	1	W-8		S1	露出中心	ｽﾃﾝ丸65
		26	7	なし	なし	なし	1	W-9		S1	露出中心	ｽﾃﾝ丸65
		27	9	なし	なし	なし	1	W-10		S1	露出中心	ｽﾃﾝ丸65
	左斜め上加力	28	1	加力瓦	あり	1	1	W-4		S2	露出中心	ｽﾃﾝ丸65
		29	1	なし	なし	なし	1	W-5		S2	露出中心	ｽﾃﾝ丸65
		30	2	なし	なし	なし	1	W-6		S2	露出中心	ｽﾃﾝ丸65
		31	4	なし	なし	なし	1	W-7		S2	露出中心	ｽﾃﾝ丸65
		32	6	なし	なし	なし	1	W-8		S2	露出中心	ｽﾃﾝ丸65
		33	7	なし	なし	なし	1	W-9		S2	露出中心	ｽﾃﾝ丸65
		34	9	なし	なし	なし	1	W-10		S2	露出中心	ｽﾃﾝ丸65

U:上
S1:右斜め上
S2:左斜め上

表4-1-2,　　実験内容（平板瓦）

	項目	実験番号	試験対象瓦	釘留位置	緊結仕様	釘打本数	加力瓦数	加力対象瓦		加力方向	加力位置	釘種類
全体	重なりの影響	35	23	なし	なし	なし	1	Y-1	A	U	重心	ｽﾃﾝﾏﾙ65
		36	23	なし	なし	なし	1	Y-1	B	U	重心	ｽﾃﾝﾏﾙ65
		37	23	なし	なし	なし	1	Y-1	C	U	重心	ｽﾃﾝﾏﾙ65
		38	23	なし	なし	なし	1	Y-1	D	U	重心	ｽﾃﾝﾏﾙ65
		39	23	なし	なし	なし	1	Y-1	E	U	重心	ｽﾃﾝﾏﾙ65
	重なり +留付の影響	40	23	1,5段目	あり	各1	1	Y-2	A	U	重心	ｽﾃﾝﾏﾙ65
		41	23	1,5段目	あり	各1	1	Y-2	B	U	重心	ｽﾃﾝﾏﾙ65
		42	23	1,5段目	あり	各1	1	Y-2	C	U	重心	ｽﾃﾝﾏﾙ65
	(全瓦連仕様)	43	23	1,5段目	あり	各1	1	Y-2	D	U	重心	ｽﾃﾝﾏﾙ65
	(新公庫仕様)	44	23	1,5段目	あり	各1	1	Y-2	E	U	重心	ｽﾃﾝﾏﾙ65
個別	右斜め上加力	45	1	加力瓦	あり	2	1	Y-3		S1	露出中心	ｽﾃﾝﾏﾙ65
		46	1	なし	なし	なし	1	Y-4		S1	露出中心	ｽﾃﾝﾏﾙ65
		47	3	なし	なし	なし	1	Y-5		S1	露出中心	ｽﾃﾝﾏﾙ65
		48	3	なし	なし	なし	1	Y-6		S1	露出中心	ｽﾃﾝﾏﾙ65
		49	3	なし	なし	なし	1	Y-7		S1	露出中心	ｽﾃﾝﾏﾙ65
		50	7	なし	なし	なし	1	Y-8		S1	露出中心	ｽﾃﾝﾏﾙ65
	左斜め上加力	51	1	加力瓦	あり	2	1	Y-3		S2	露出中心	ｽﾃﾝﾏﾙ65
		52	1	なし	なし	なし	1	Y-4		S2	露出中心	ｽﾃﾝﾏﾙ65
		53	3	なし	なし	なし	1	Y-5		S2	露出中心	ｽﾃﾝﾏﾙ65
		54	3	なし	なし	なし	1	Y-6		S2	露出中心	ｽﾃﾝﾏﾙ65
		55	3	なし	なし	なし	1	Y-7		S2	露出中心	ｽﾃﾝﾏﾙ65
		56	7	なし	なし	なし	1	Y-8		S2	露出中心	ｽﾃﾝﾏﾙ65

U:上
S1:右斜め上
S2:左斜め上

表4-2-1,　　実験結果（和形）

	項目	実験番号	試験対象瓦	釘留位置	緊結仕様	釘打本数	加力対象瓦		加力方向	所定変形量時荷重(kgf)				
										0.5mm	5mm	10mm	20mm	Pmax
全体	重なりの影響	1	36	なし	なし	なし	W-1	A	U	2.34	2.34			2.34
		2	36	なし	なし	なし	W-1	B	U	5.17	5.37	6.27	4.28	6.27
		3	36	なし	なし	なし	W-1	C	U	2.44	6.52	7.46	7.51	8.76
		4	36	なし	なし	なし	W-1	D	U	3.13	7.01	7.11	8.61	9.60
		5	36	なし	なし	なし	W-1	E	U	3.98	7.76	8.21	8.01	12.94
		6	36	なし	なし	なし	W-1	F	U	4.63	7.61	7.96	7.71	12.98
	重なり +留付の影響	7	36	1,6段目	あり	各1	W-2	A	U	2.64	2.79	3.13	3.73	13.83
		8	36	1,6段目	あり	各1	W-2	B	U	4.03	5.57	5.57	5.97	8.71
		9	36	1,6段目	あり	各1	W-2	C	U	4.48	7.51	7.91	8.91	12.24
	(全瓦連仕様)	10	36	1,6段目	あり	各1	W-2	D	U	4.08	7.41	8.21	8.71	10.65
	(新公庫仕様)	11	36	1,6段目	あり	各1	W-2	E	U	2.54	6.92	7.61	7.81	10.60
	(旧公庫仕様)	12	36	1,6段目	あり	各1	W-2	F	U	5.42	9.15	11.09	20.99	66.57
	(全瓦連仕様)	13	36	1,6段目	あり	各1	W-2	D	S1	11.29	16.37	18.81	18.41	19.75
	(全瓦連仕様)	14	36	1,6段目	あり	各1	W-2	D'	S2	11.44	31.79	36.12	37.61	40.30
	重なり +留付の影響	15	36	最右列	あり	各1	W-3	A	U	2.99	3.28	3.28	4.53	27.96
		16	36	最右列	あり	各1	W-3	B	U	6.97	7.36	7.91	7.91	17.41
		17	36	最右列	あり	各1	W-3	C	U	6.52	8.91	9.45	10.75	16.37
		18	36	最右列	あり	各1	W-3	D	U	3.88	9.00	9.35	9.85	13.23
		19	36	最右列	あり	各1	W-3	E	U	5.27	7.91	8.61	10.00	13.93
		20	36	最右列	あり	各1	W-3	F	U	7.01	8.91	9.75	10.50	12.54
個別	右斜め上加力	21	1	加力瓦	あり	1	W-4		S1	1.64				1.84
		22	1	なし	なし	なし	W-5		S1	1.79	1.94			
		23	2	なし	なし	なし	W-6		S1	1.79	1.94			2.34
		24	4	なし	なし	なし	W-7		S1	2.59	2.99	3.38	3.58	3.73
		25	6	なし	なし	なし	W-8		S1	1.69	2.44	3.23	3.93	4.53
		26	7	なし	なし	なし	W-9		S1	5.12	5.57	7.41		7.51
		27	9	なし	なし	なし	W-10		S1	5.57	7.46			
	左斜め上加力	28	1	加力瓦	あり	1	W-4		S2					6.02
		29	1	なし	なし	なし	W-5		S2					
		30	2	なし	なし	なし	W-6		S2	0.50	1.00	0.85		1.19
		31	4	なし	なし	なし	W-7		S2	1.44	2.84	3.63	2.39	3.63
		32	6	なし	なし	なし	W-8		S2	2.69	2.74	3.13	3.98	
		33	7	なし	なし	なし	W-9		S2					
		34	9	なし	なし	なし	W-10		S2	6.07	6.57	6.32	6.12	41.64

U:上
S1:右斜め上
S2:左斜め上

表4-2-2,　実験結果（平板）

	項目	実験番号	試験対象瓦	釘留位置	緊結仕様	釘打本数	加力対象瓦		加力方向	所定変形量時荷重(kgf)				
										0.5mm	5mm	10mm	20mm	Pmax
全体	重なりの影響	35	23	なし	なし	なし	Y-1	A	U					
		36	23	なし	なし	なし	Y-1	B	U	4.28	9.15	9.55	9.85	12.14
		37	23	なし	なし	なし	Y-1	C	U					
		38	23	なし	なし	なし	Y-1	D	U	3.93	9.45	11.49	12.89	22.34
		39	23	なし	なし	なし	Y-1	E	U					
	重なり	40	23	1,5段目	あり	各1	Y-2	A	U	3.28	10.95	11.89	17.11	57.76
	+留付の影響	41	23	1,5段目	あり	各1	Y-2	B	U	4.28	9.45	12.24	12.09	14.58
		42	23	1,5段目	あり	各1	Y-2	C	U	4.83	9.45	10.60	11.49	28.71
	(全瓦連仕様)	43	23	1,5段目	あり	各1	Y-2	D	U					
	(新公庫仕様)	44	23	1,5段目	あり	各1	Y-2	E	U	8.61	12.54	13.13	17.41	69.95
個別	右斜め上加力	45	1	加力瓦	あり	2	Y-3		S1	8.01	9.20	10.15	11.59	36.32
		46	1	なし	なし	なし	Y-4		S1	2.14				
		47	3	なし	なし	なし	Y-5		S1	2.49	5.32	5.47	5.37	5.67
		48	3	なし	なし	なし	Y-6		S1	5.52	4.53	3.88	4.13	5.77
		49	3	なし	なし	なし	Y-7		S1	6.17	5.02			6.57
		50	7	なし	なし	なし	Y-8		S1	7.06	12.89	8.56	10.45	11.69
	左斜め上加力	51	1	加力瓦	あり	2	Y-3		S2	3.48	5.47	6.27	7.46	15.57
		52	1	なし	なし	なし	Y-4		S2	2.49				2.69
		53	3	なし	なし	なし	Y-5		S2	4.58	4.68			4.83
		54	3	なし	なし	なし	Y-6		S2	4.53	4.48	3.43		4.53
		55	3	なし	なし	なし	Y-7		S2					
		56	7	なし	なし	なし	Y-8		S2					

U:上
S1:右斜め上
S2:左斜め上

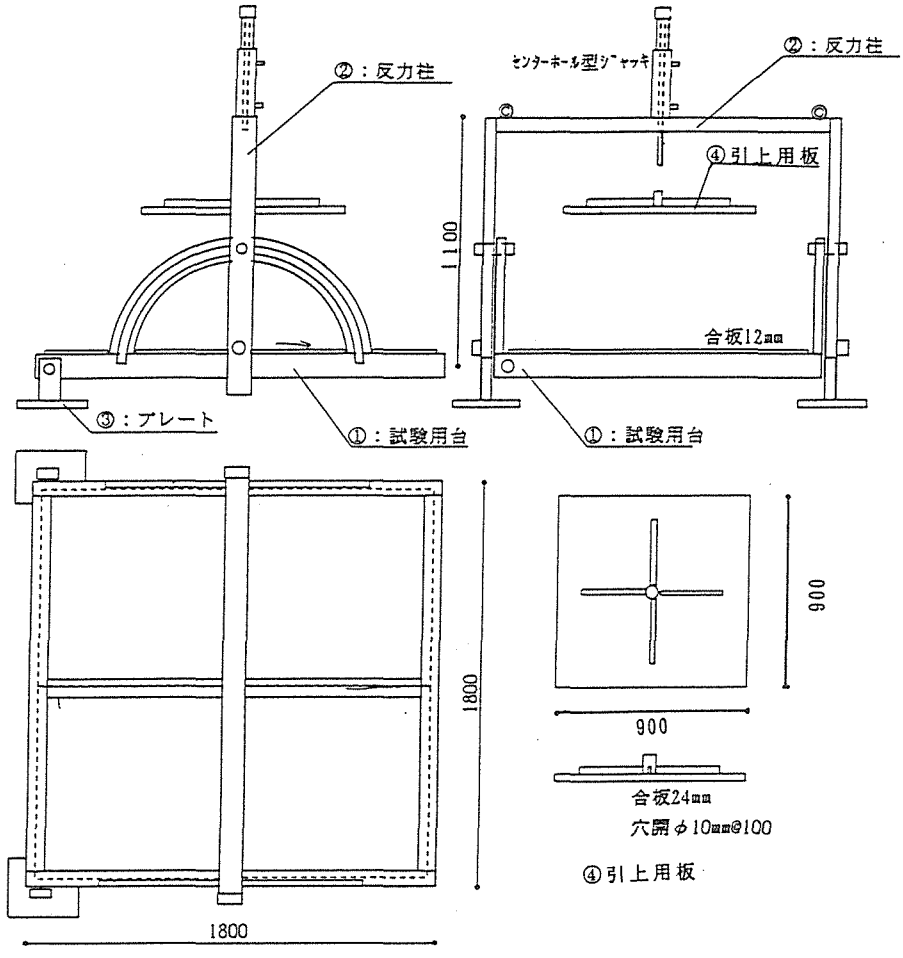
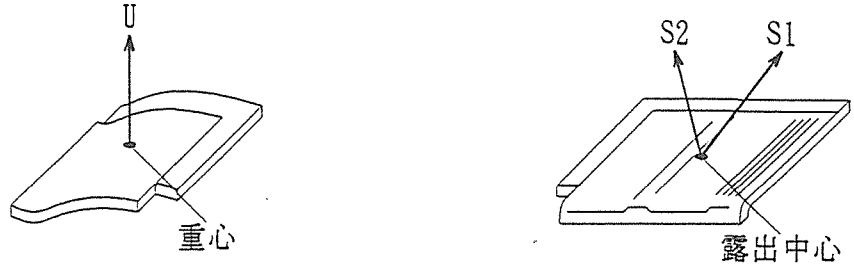


図４－１．加力装置



地面に対して鉛直上方向　　瓦面に対してX, Y, Zそれぞれ45°方向

図４－２．加力位置と加力方向

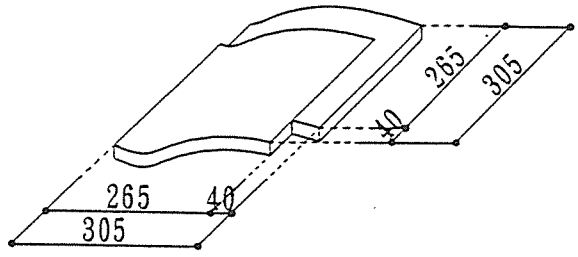


図４－３－１．和形瓦の寸法

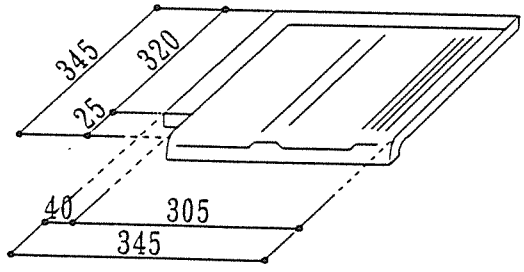
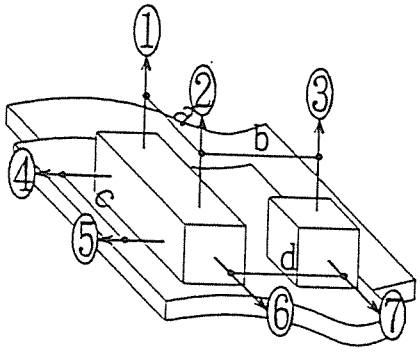


図４－３－２．平板瓦の寸法



θ_1 ＝（②-①）／a

θ_2 ＝（②-③）／b

θ_3 ＝（⑤-④）／c

θ_4 ＝（⑥-⑦）／d

矢印の方向を＋とする

図４－４．変位測定位置と方向

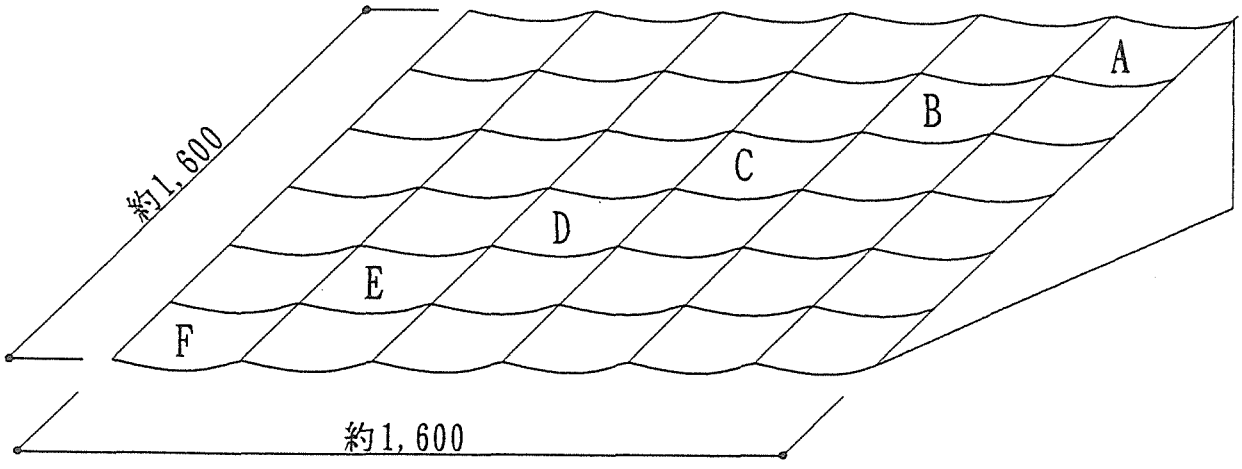


図４－５－１．加力位置（和形）

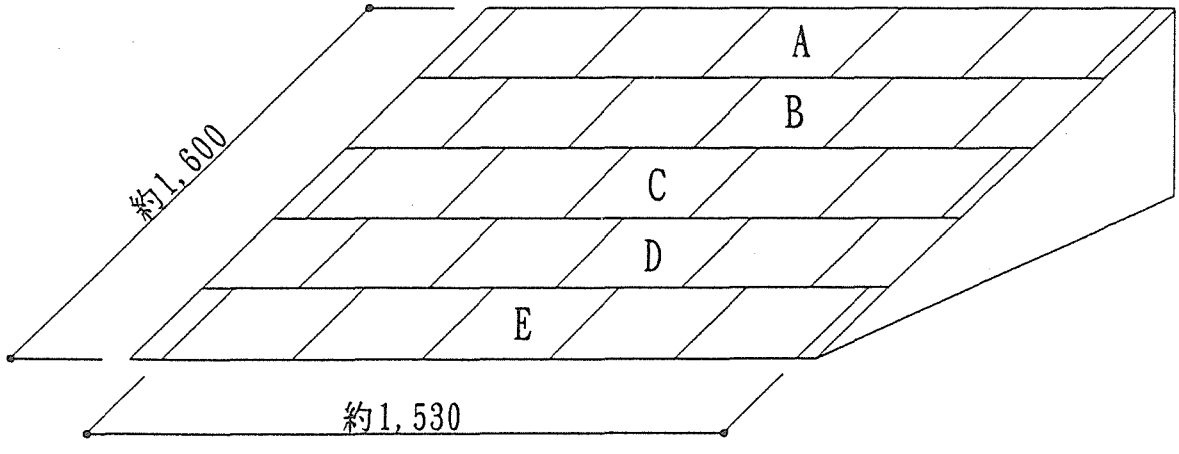
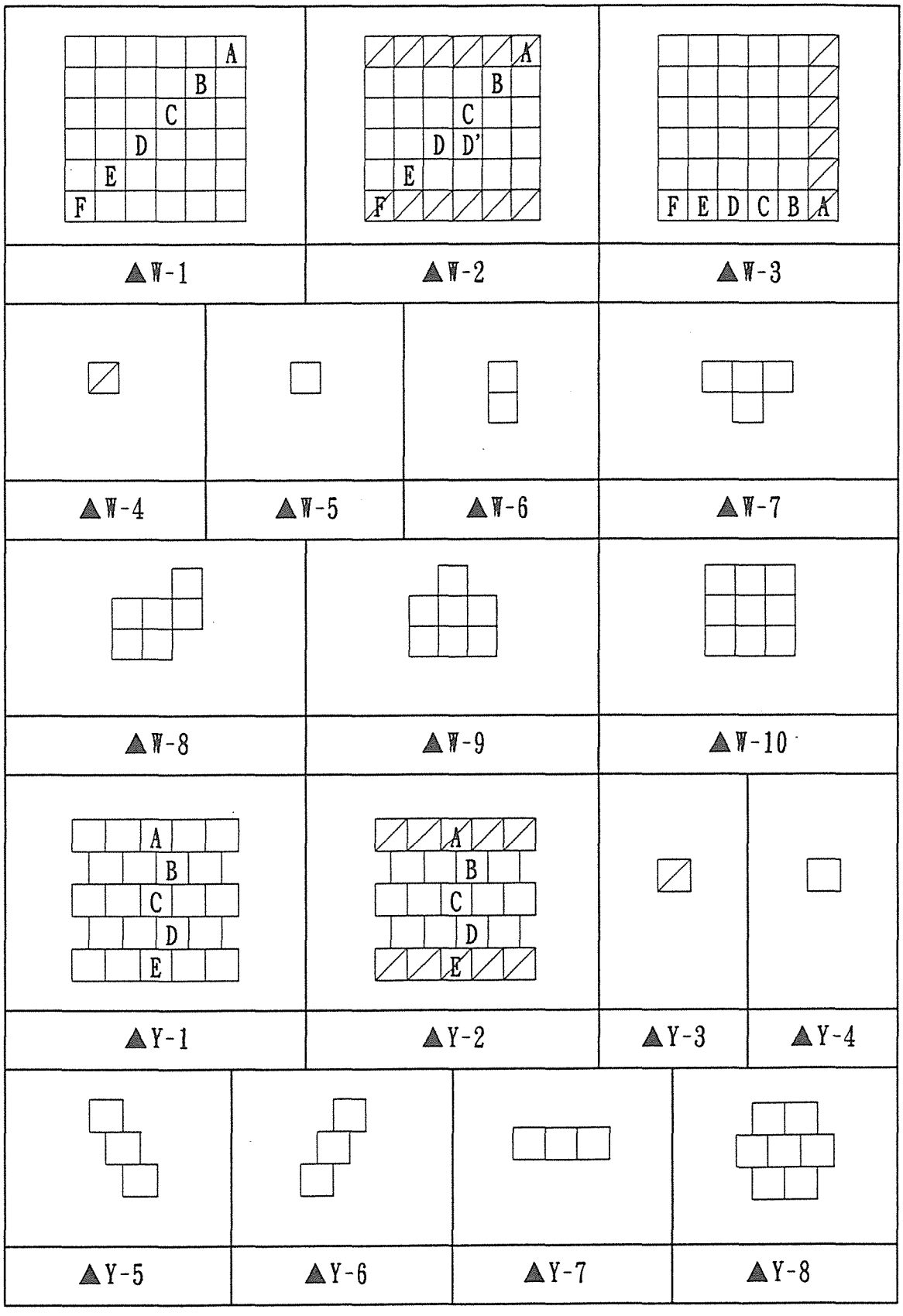
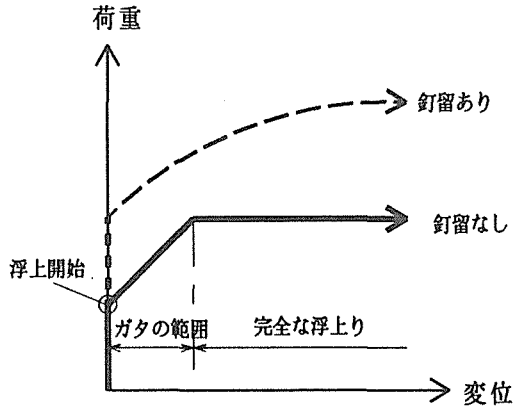


図４－５－２．加力位置（平板瓦）

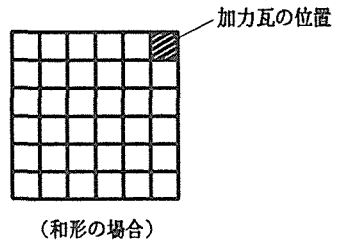


は、瓦釘留あり

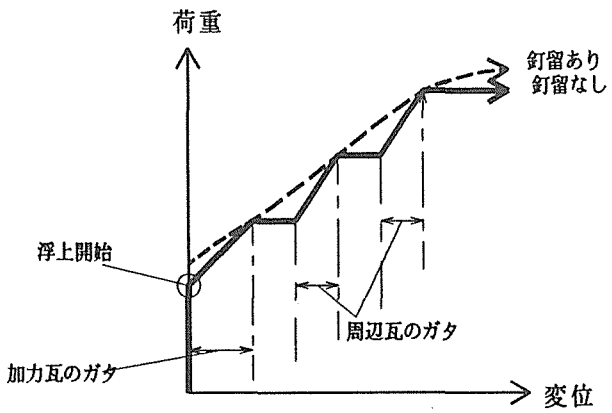
図４－６．瓦の配置



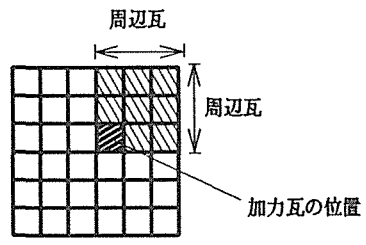
1枚の瓦の場合



（和形の場合）



周辺瓦の効果



（和形の場合）

図４－７　釘留効果の模式図

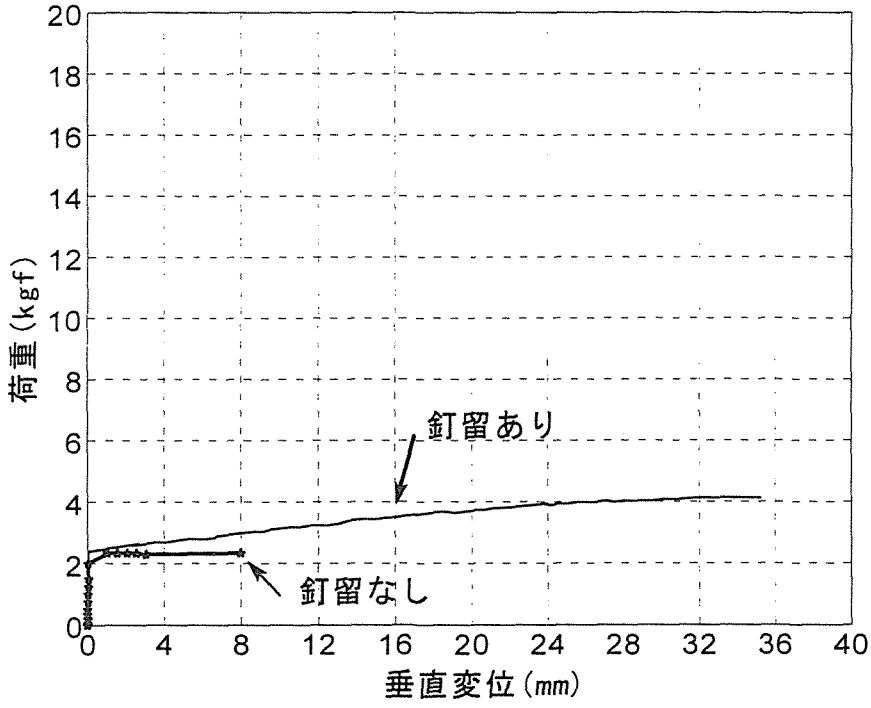


図４－８－１．　釘留の効果（和形のＡ瓦加力）

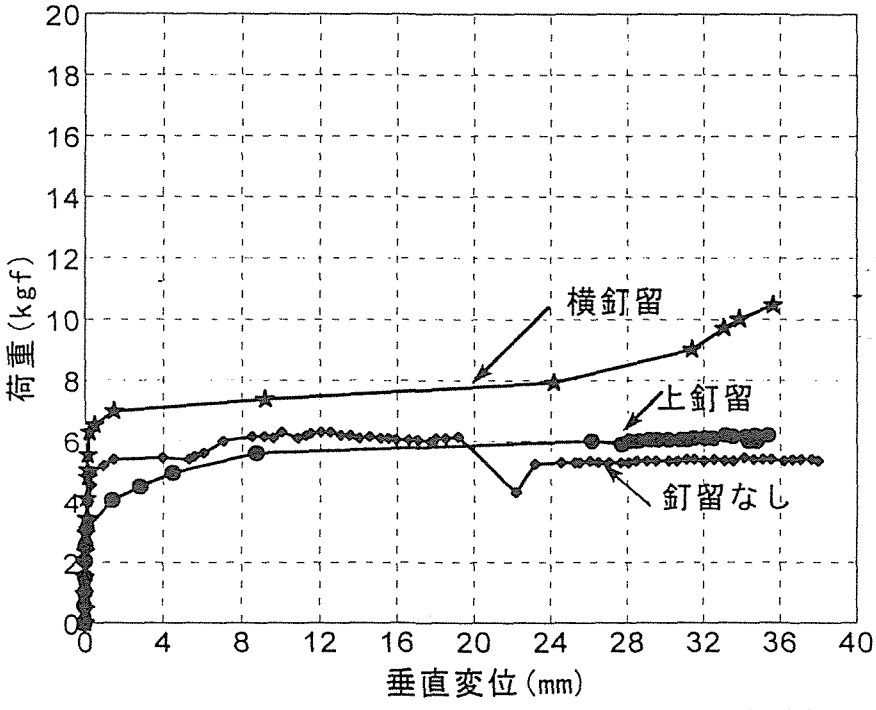


図４－８－２．　釘留の効果（和形のＢ瓦加力）

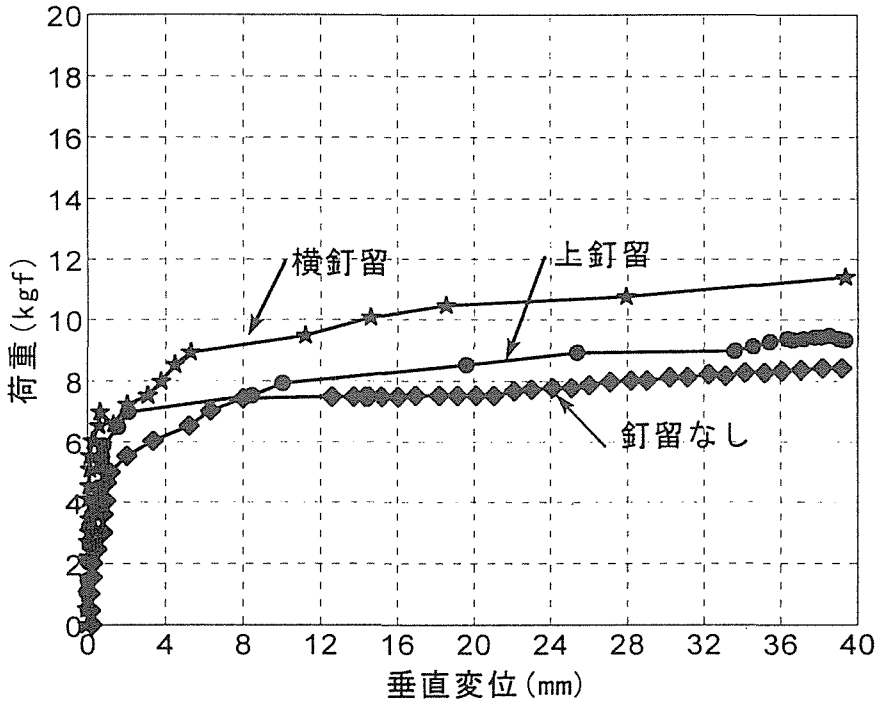


図４－８－３．　釘留の効果（和形のＣ瓦加力）

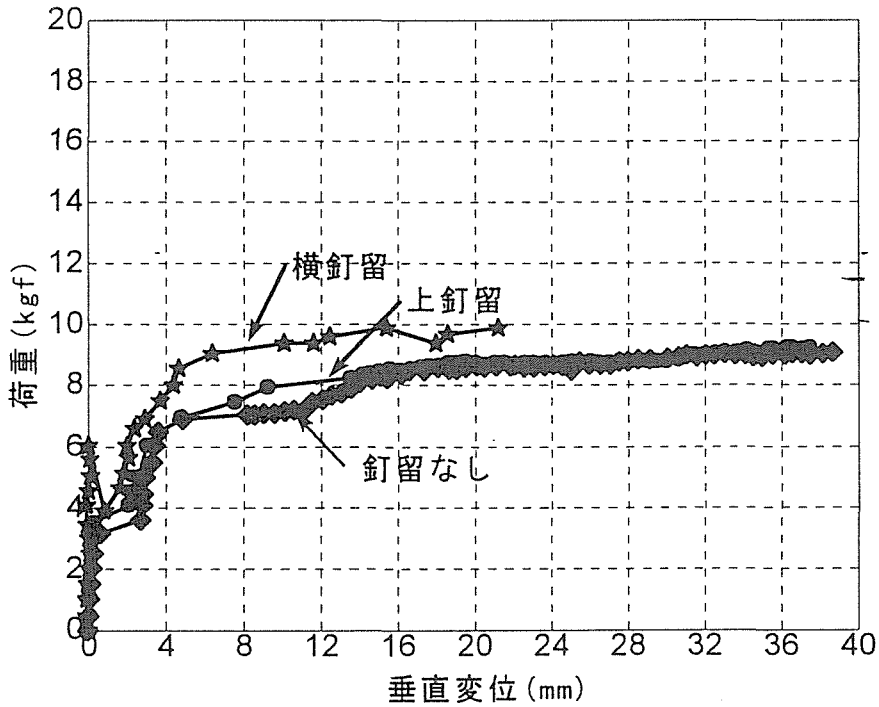


図４－８－４．　釘留の効果（和形のＤ瓦加力）

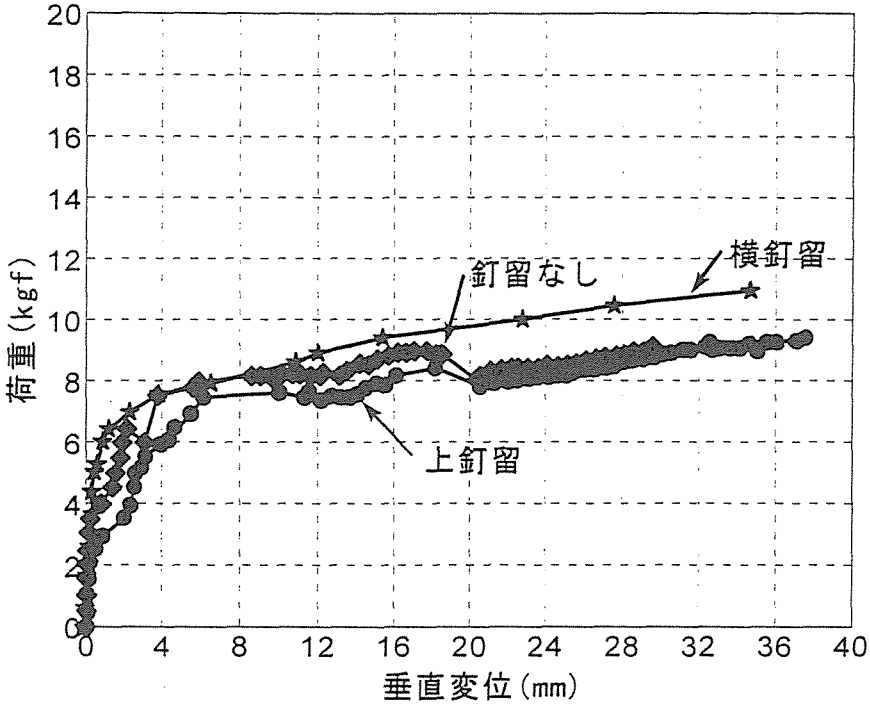


図４－８－５．　釘留の効果（和形のＥ瓦加力）

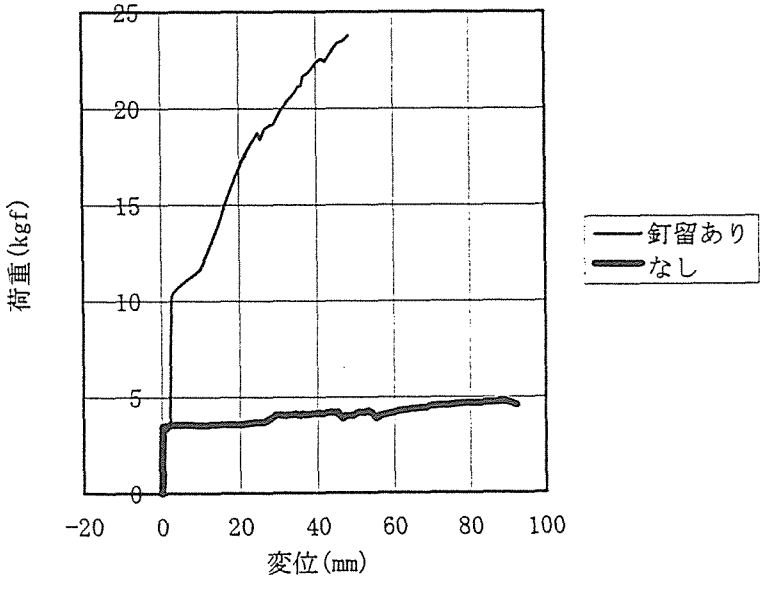


図４－８－６．横一列の釘留の効果（平板のＡ瓦加力）

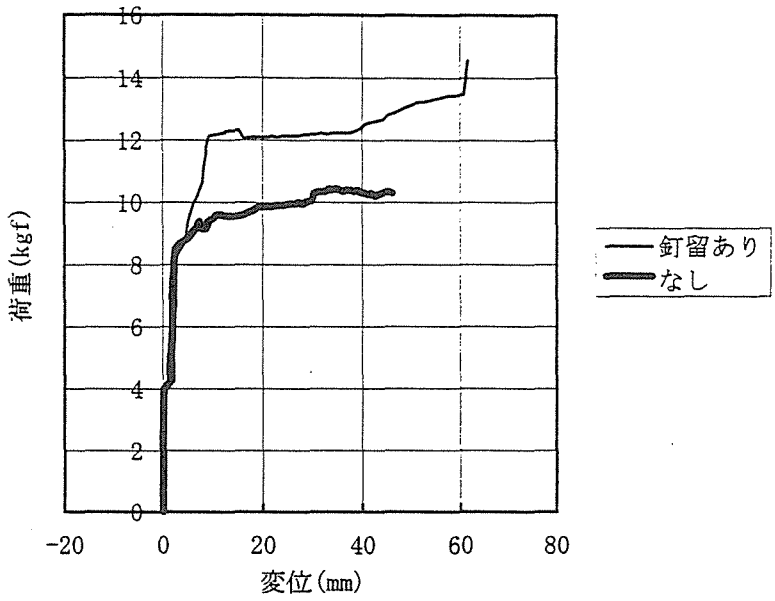


図４－８－７．横一列の釘留の効果（平板のＢ瓦加力）

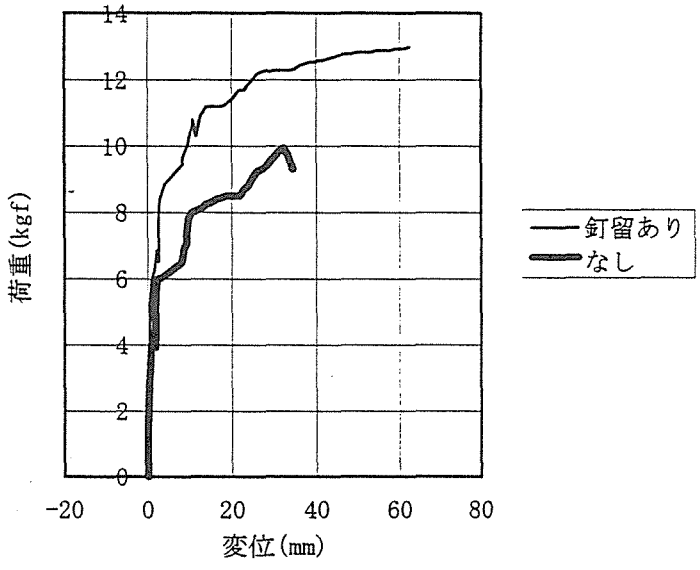


図４－８－８．横一列の釘留の効果（平板のＣ瓦加力）

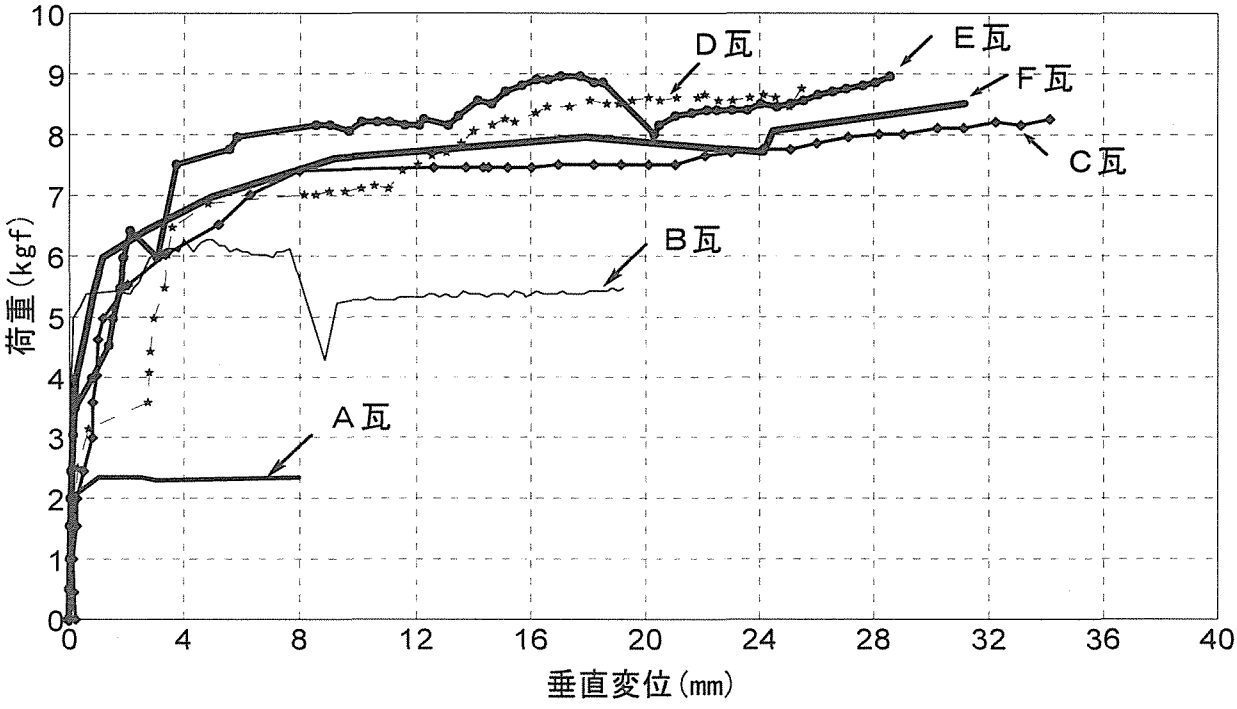


図4-9　重なりの影響範囲（緊結なし、和形）

写真４－１．加力装置

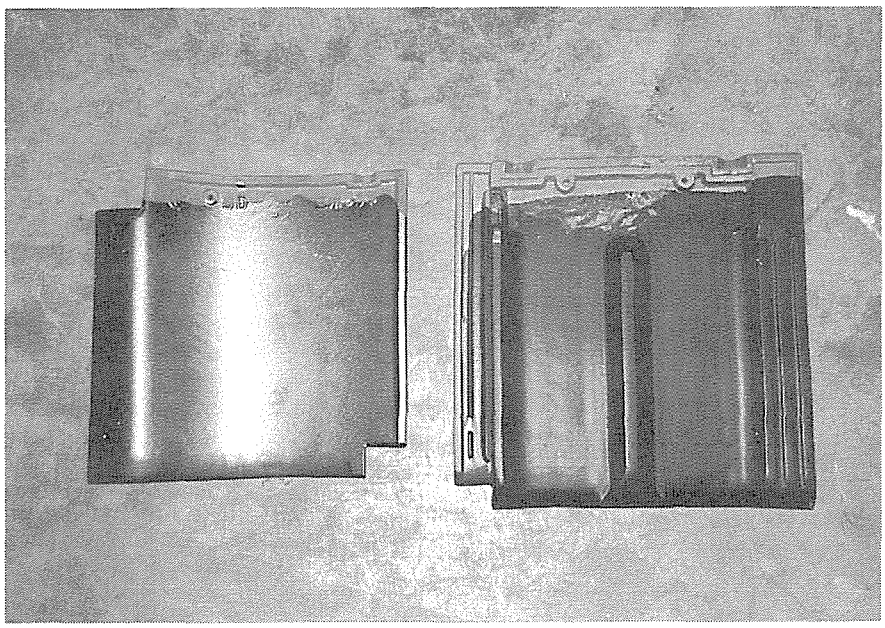


写真４－２．試験体（和形と平板瓦）

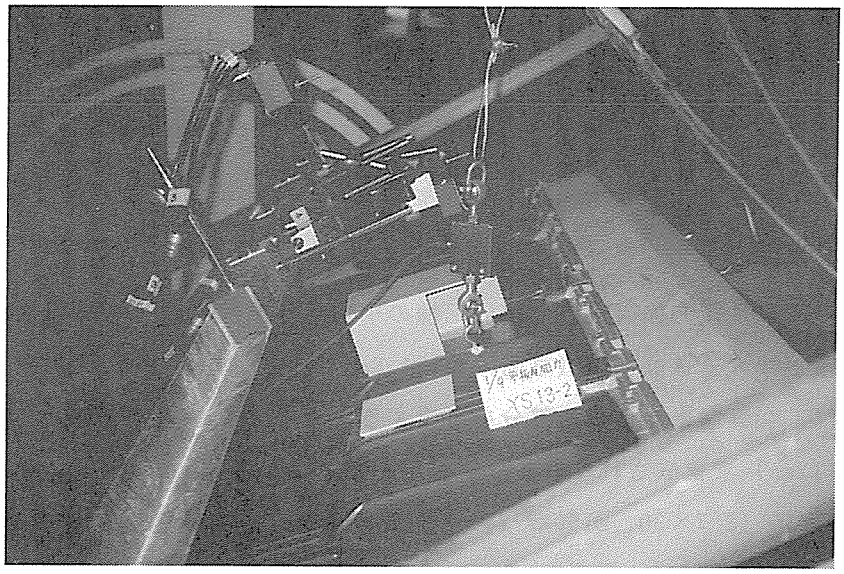


写真４－３．荷重計測方法

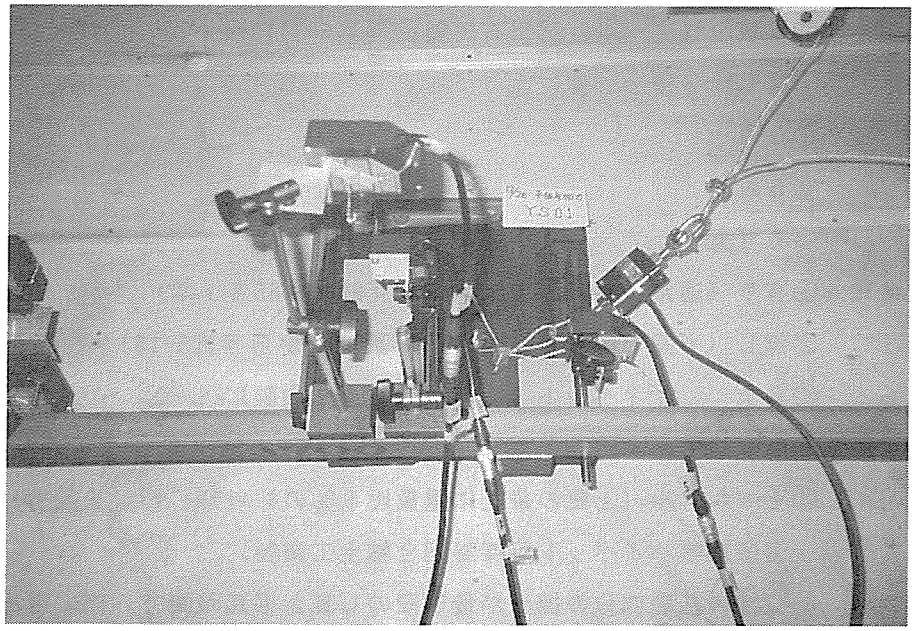


写真４－４．変位計測方法

5、棟の加力実験

5.1　実験目的

地震により棟瓦部分が棟と直交方向にずれたり・落下する被害が発生しやすい。棟部分の地震被害対策を検討し、耐震性能の高い棟の施工方法を確立するために、棟の水平加力実験を行った。屋根の形、瓦の種類によって、棟の施工法が異なる。本研究では、最も単純な屋根として切妻屋根を選び、代表的な屋根瓦として和形と平板を用いた。

5.2　試験体

5.2.1　概要

棟直交方向の耐震性能を検討するために、棟の中央部分を取り出した部分屋根を試験体とした。部分屋根の大きさは、幅（梁間方向）1.8m、長さ（桁行方向）1.8mで、棟を載せる屋根試験体は、切妻屋根の棟中央部分を再現するために、小屋組と野地板（耐水合板JAS１類１等、厚12mm）で構成されている。屋根勾配は４寸５分で、野地板には防水紙（22kg）、カットベニア（2.7×30、@150ｽﾃｰﾌﾟﾗｰ留め）、桟木（杉15×24、@455鉄釘N45留め）を取り付けた。形状を図5-1、写真5-1に示す。この部分屋根に、引掛桟用平瓦を片側８枚（上段から２列）、両側で計１６枚を葺き、瓦の釘孔位置でステンレス丸釘長さ65各１本を用いて留め付けた。棟瓦は、野地板頂部を挟む最上段の平瓦の上に、棟土を台形に築き、その上に施工した。施工の詳細を5.2.2に示す。

以下に各部の仕様ならびに施工者・施工期間の詳細を示す。なお、各項の①②・・は、実験に採用した仕様・種類である。

・瓦　　①和形（JIS 53A、鶴弥製）
　　②平板（ロアール、三州石川製）写真5-11に示す。
・のし段数　①なし
　　②３段
　　③５段
・冠瓦　　５寸丸
・最上段平瓦の留付け　①有り（通常の平瓦、ステンレス丸釘長さ65各１本）
　　②無し（半瓦で留め付けなし、写真5-13から写真5-15）*注参照
・棟土　　①葺土　ヤネペット（深谷配合粘土工業製）
　　②南蛮漆喰ハイペット（　　”　　）
　　③土モルタル（上記の葺土に重量比５％のﾎﾟﾙﾄﾗﾝﾄﾞｾﾒﾝﾄを配合）
・面土　　南蛮漆喰ハイペット（深谷配合粘土工業製）
　　（棟の基礎部分の棟土が最下段のし瓦と平瓦の間で外部に露出する部分に塗る防水用漆喰）

・棟補強法　①強力棟（A-140）写真5-16から写真5-17に示す。強力棟は棟中央に１個設置。留付はN45-10本）強力棟の施工時の寸法をに図5-2示す。

	和形０段用	平板０段用	一体型
型番	A-140	A-140	A-140
長さ（首下）	145mm	145mm	145mm
軸径	6.8mm	6.8mm	6.8mm
露出部長さ	40mm	40mm	120mm
埋込部長さ	105mm	105mm	25mm

＊埋込部の構成

強力棟ベース高	15mm（ﾍﾞｰｽ板1.2×40）
野地板厚	13mm（合板の境目）
垂木	60mm（垂木の境目）

②ボルト（棟補強用木ネジ径6.9、ネジ部長さ90、鉄製）ボルトの施工時の寸法を図5-2に示す。

小屋組の棟木または野地板頂部にこのボルトを打ち込み、横にビニル被覆鉄線#8径4.4を２段に設置し、ボルトと銅線で緊結する。各のし瓦と冠瓦は鉄線と銅線で緊結される補強法。写真5-18から写真5-22に示す。ボルトは棟中央に１本設置。

	３段用	５段用
長さ（首下）	260mm	340mm
露出部長さ	105mm	185mm
埋込部長さ	155mm	155mm

③銅線#19径1mm

・棟木緊結用ー小屋組の棟木または野地板頂部に釘打ちし、この釘と冠瓦の間を銅線で緊結する補強法。写真5-23から写真5-24に示す。棟試験体の全ての冠瓦を１カ所ずつ緊結。

・大回し用ーのし瓦最下部の棟直交方向に銅線を設置し、全てののし瓦（最下段ののし瓦を含む）と冠瓦を大回し鉢巻き状に銅線で緊結した。写真5-25から写真5-26に示す。棟試験体ののし瓦・冠瓦を１列ずつ各１本の銅線ですべて包む。

④一体棟（兵庫県陶器瓦工業組合製）

（通常は数段ののし瓦と冠瓦から作られる棟を一体化して一つの棟瓦にしたもの。一体棟は強力棟で野地板と固定されている。

強力棟は棟試験体中央に1個設置。平瓦との間に台土を施す。）
写真5-12に示す。

・施工者　　茨城県瓦工事業組合連合会

・養生期間　　１～２週間

・瓦重量（各１０個の平均値）

和形JIS53A	平瓦	2.648 kgf	
”	のし瓦	2.004	（割のし２枚分）
”	冠瓦（５寸）	1.692	
平板	平瓦	3.415	
”	棟用	3.454	

・棟土重量（棟心方向の長さm当たりの棟土だけの重量）

のし瓦３段	34.7 kgf/m	葺土５例	の平均値
” ５段	44.3 kgf/m	葺土２例＋南蛮漆喰１例の平均値	

*注　実際の平瓦の施工の場合、平瓦の枚数が屋根の流れ方向長さに対して整数枚とならないために、長さ調整用に長さを切り詰めた平瓦（半瓦）を最上段に設置する必要がある場合がある。長さを切り詰めた平瓦には、桟木に引掛る剣や釘穴がないため、瓦が屋根の上で不安定である。このような調整用平瓦の上に棟が施工されるため、調整用の平瓦が棟に与える影響を把握する必要がある。このため、棟試験体の一部に、平瓦の長さを半分に加工して施工した試験体を作成した。この場合の半瓦は、釘等による留め付けはしていない。

5.2.2　棟瓦の施工法

補強金物は棟頂部で最上段の左右の平瓦の間に設置する。**この研究では、棟の破壊部分を最上段の平瓦と最下段の「のし瓦」の間の棟土部分と仮定し**、この部分の水平抵抗力を計測するために図5-3に示す３種類の棟試験体を作成した。試験対象となる棟は、屋根試験体上の平瓦長さ４枚分の、中央２枚部分に施工した。ただし、一体棟の場合は中央に一枚分である。

以下に棟試験体の仕様を示す。

①実物

実物のし瓦と冠瓦で棟を施工。加力は、階段状のし瓦の形状に合わせた加力治具を作成し、棟が一体として変形するように水平加力した。写真5-2から写真5-4に示す。

②桶

棟部分を一体にモデル化した試験体。最下段ののし瓦を桶の下面にボルトで固定し、実物の棟と等しい重量に調整する砂袋を載せた。写真5-5から5ー6に示す。

③桶（穴付き）

棟補強を行う場合に、桶の下面に帯状の穴を開けた桶を用いた。補強を実物と同様に施工し、その周囲を棟土で固めた。のし瓦・冠瓦・棟土およびそれらと補

強金物との緊結法による補強等の施工は、実物と同じである。調整用の重りはない。写真5-7から写真5-10に示す。

5.3　加力方法

5.3.1　加力方向

棟の地震被害では、大部分が棟と直交する方向にずれたり・落下する。このため、棟直交方向に油圧ジャッキを用いて加力し、棟直交方向の棟の水平抵抗力を調べた。

5.3.2　加力装置

屋根試験体は平瓦の加力実験用の加力装置に設置し、装置下部に固定した。ジャッキは斜め方向に作動するため、ジャッキと試験体の間に滑車による支点を設け、加力方向を水平にした。棟試験体を加力するために鋼製Ｌ型アングル枠を棟試験体周囲に固定し、鋼製アングル枠をロードセルを介して水平加力した。加力は引張の単調載荷とし、荷重制御（最大荷重後は変位制御）で加力し、荷重および変位の計測を行った。加力位置（高さ）は、野地板頂部と冠瓦頂部の中間とした。加力装置を 写真5-27に示す。各試験体用の加力治具を写真5-28から写真5-32に示す。

5.4　計測方法

5.4.1　荷重

加力した荷重は、ジャッキと加力用鋼製アングル枠の間にロードセル（ひずみゲージ型、200,1000kgf用）を設置した。

5.4.2　変位

棟試験体の変位は、図5-4に示す位置で非接触型変位計（レーザー式、計測範囲±15mm,±100mm）で計測した。変位が測定範囲を越えた場合には、測定位置を移動させて（盛り換え）行った。

5.4.3　含水率

棟試験体の制作に使用した葺土は施工時から徐々に乾燥する。加力は試験体作成から１～２週間後に行ったため、葺土は未乾燥状態であった。葺土の乾燥状態を知るために、加力実験終了直後の棟試験体からのし瓦と接触していた部分の葺土を取り出した。含水率は、乾燥器に入れる前と乾燥後の絶乾状態での葺土の重量を比較して得た。乾燥時間は約10時間程度である。今回の実験では、おおむね２０％前後の含水率時に加力実験を行った。

5.5　実験種類

実験を行った試験体の種類を表5-1に示す。実験種類の構成を以下に説明する。

①実験No.1～No.5では、和形の実物試験体で棟補強なしの場合に、葺土（葺土、南蛮漆喰、土モルタル）とのし瓦段数（0、3、5）の影響を調べる。

②実験No.6～No.13では、和形の実物試験体で、棟補強法（棟木緊結、大回し、ボルト、一体棟）の効果を調べる。実験No.8と実験No.9では、最上段の平瓦（半瓦）の留め付けの

影響を調べる。

③実験No.14～No.19では、和形の桶試験体で、葺土（葺土、南蛮漆喰、土モルタル）とのし瓦段数（0、3、5）の効果を調べる。

④実験No.20～No.29では、和形の桶（穴付き）試験体で、棟補強法（棟木緊結、ボルト、強力棟）の効果と葺土（葺土、南蛮漆喰、土モルタル）の影響を調べる。

⑤実験No.30～No.33では、平板の実物試験体で、棟補強法（なし、棟木緊結、強力棟）の効果を調べる。

5.6 実験結果

5.6.1 荷重変形関係

実験結果を資料編図5-1-1から図5-1-33に示す。

各図で棟重量とは、棟土・のし瓦・冠瓦・補強金物・加力治具の重量の合計である。各図aは試験体の寸法測定位置を示す。図bは、試験体寸法。図cは、加力した荷重と棟の水平変位の荷重変形関係を示す。この図の変位は、図5-3における②で、試験体中央部の棟加力高さにおける水平変位量である。図dは、荷重と棟試験体の回転量の関係を示す。黒印は図5-3における①と②から得られた回転角で、鉛直構面における試験体の回転量を示す。白印は図5-3の③と④から得られた回転角で、試験体の水平構面に回転量である。図cと図dでデータが連続していない部分は、欠測部分である。表eでは、実験により得られた最大耐力を最大破壊荷重Pmax(kgf)として表す。最大破壊荷重Pmaxを棟重量で除した値を最大破壊荷重係数Pmax/Wとして表す。試験体の棟土がせん断破壊した場合の荷重をせん断破壊荷重Pc(kgf)として表す。図5-5に曲げ破壊とせん断破壊の様子を示す。

図Cにおける荷重変形関係と破壊に至る経過を以下の４つのタイプ分類した。図5-6に、棟試験体の荷重変形関係・荷重変形角関係を４つに分類した結果を示す。

1),タイプ１：曲げ破壊後に耐力低下する型

載荷初期の状態では、荷重の上昇と共に変形が直線的に増加する。最大荷重点では、主として棟脚部の棟土と最上段平瓦の付着面が引張破断し、曲げ破壊を起こす。その後は、変形の増大と共に荷重は減少するため、最大荷重付近に明確なピークが現れる。やがて、棟脚部の圧縮側である未破断部分の棟土内部でせん断破壊が生じ、荷重がほぼ一定の状態で水平変位が大きく増加し、試験体の変形角は大きく減少して、棟試験体はせん断変形する。この傾向は、実験No.1（葺土），2（葺土），3（葺土），4（南蛮漆喰），5（土ﾓﾙﾀﾙ），8（大回し），10(大回し)，11(大回し)，14（葺土），15（葺土），16（南蛮漆喰），17（南蛮漆喰），18（土ﾓﾙﾀﾙ），19（土ﾓﾙﾀﾙ），21（棟木緊結），23（棟木緊結），24（棟木緊結），25（ﾎﾞﾙﾄ），28（ﾎﾞﾙﾄ），30（葺土）などである。補強金物がない場合、最大耐力はのし瓦と葺土間の付着切れによる曲げ耐力である。補強金物付きの場合は、補強金物の効果がないか、補強金物が曲げ耐力を増加させた場合と考えられる。

2),タイプ２：曲げ破壊後に耐力低下しない型

載荷初期の状態では、荷重の上昇と共に変形が直線的に増加する。最大荷重点を越えた後も耐力は大きく低下しないため、最大耐力付近で明確なピークを持たない。この傾向は、実験No.，9（半瓦），22（半瓦）など平瓦の最上段に留付のない半瓦が設置されている場合に明瞭である。

3),タイプ３：曲げ破壊後に再び耐力上昇する型

載荷初期の状態では、荷重の上昇と共に変形が直線的に増加する。変位を増加しながら、曲げ破壊を起こした後荷重が低下して一つのピークを形成する。その後、変位の増加と共に再び荷重が増加して２番目のピークを形成する。この傾向は、実験No.6（棟木緊結），12（ﾎﾞﾙﾄ），20（棟木緊結），26（ﾎﾞﾙﾄ），27（ﾎﾞﾙﾄ），29（強力棟），32（強力棟），33（強力棟）の場合に見られる。のし瓦の付着切れによる曲げ耐力と、補強金物による曲げ耐力が異なる変形時に生じている場合と考えられる。

4),タイプ４：一体棟型

載荷初期の状態では、荷重の上昇と共に変形が直線的に増加する。最大荷重点で曲げ破壊を起こし、その後荷重がほぼ一定の間にせん断破壊が生じた後、荷重が低下しながら水平変位が大きく増加し、試験体の変形角は減少する。この傾向は、実験No.13（一体棟）の場合に見られる。

5.6.2　破壊状況

各試験体のセット状況と破壊状況を 写真5-33-1から写真5-33-66に示す。

5.6.3　まとめ

表5-2に各実験から得られた最大荷重Pmax、最大荷重係数Pmax/W、せん断破壊荷重Pc、せん断破壊荷重係数Pc/W、Pc/Pmax、曲げ抵抗モーメント（kgf　cm）を示す。なお、曲げ抵抗モーメントは最大荷重Pmaxから図5-7に示す釣り合い式から求めた。

5.7　考察

5.7.1　耐震性能の評価項目

①最大荷重係数

棟に作用する地震力は、棟の重量に比例する。重量の異なる各棟試験体が保有する抵抗力は、個々の試験体が保有する最大荷重を個々の棟重量で除した、最大荷重係数で評価する。最大荷重係数は、棟補強法や棟土の効果など棟の耐震対策を総合的に評価する項目である。この値は、棟が耐えられる静的最大加速度(G)に対応するため、以後単位としてGを用いる。

②最大荷重時の曲げ抵抗モーメント

5.6.1で示したように、補強のない棟試験体は最大荷重時に曲げ破壊している。この場合の破壊位置はのし瓦もしくは平瓦と棟土の接合部がほとんどである。破壊形式は引張破壊で、図5-7で示すように、この曲げ耐力は、のし瓦もしくは平瓦と棟土間に生じる付着応力と付着面積によって決まっている。曲げ耐力は、補強金物の追加によって増加する。よっ

て、曲げ抵抗モーメントを用いて棟土（葺土・南蛮漆喰・土モルタル）の付着性能を評価する。

③せん断破壊荷重係数

曲げ破壊とせん断破壊が分離して生じるタイプ１の実験中で、せん断破壊荷重が計測されている場合には、最大荷重係数と同様に、試験体のせん断破壊荷重も棟重量で除した、せん断破壊荷重係数を計算した。曲げ破壊荷重は、破壊後に急激な耐力低下を生じ、脆性的である。一方で、せん断破壊荷重は破壊後も急激な耐力低下が生じないなど、変形性能が高い。このため、せん断破壊荷重を耐震設計用耐力として評価する必要がある。

せん断破壊はせん断破壊は棟土の内部で発生する。棟に補強がない場合、せん断破壊荷重係数は棟土のせん断性能を表している。この値は、棟が耐えられる静的最大加速度(G)に対応するため、以後単位としてGを用いる。

④せん断荷重比

せん断破壊荷重Pcを最大荷重Pmaxで除した値。最大荷重とせん断破壊荷重の比を示す。

5.7.2　試験体の影響

実験No.2, 3, 6, 12と実験No.14, 15, 21, 25の結果を以下にまとめて、実物試験体と桶試験体による実験結果の違いを表5-3に示す。実物試験体のほうが桶試験体よりも、最大荷重係数で１～４割高めの値となっている。曲げ抵抗モーメントでも、のし３段の棟木緊結の場合を除いて、実物試験体の場合のほうが高い値を示す。このため、以下の各要素の効果・影響を比較する場合には、実物もしくは桶試験体同士を比較することにした。

5.7.3　のし段数の影響

のし段数の影響は、補強なしの葺土の場合、実物試験体の実験No.1,2,3の比較から検討できる。最大荷重係数はのし段数が0,3,5と増加するに従って、7.2G, 2.93G, 2.0Gへと減少し、のし段数が多いほど耐震性能は低下する。

5.7.4　棟土の影響

棟土に使われる葺土、南蛮漆喰、土モルタルの影響を曲げ抵抗モーメントとせん断破壊荷重係数から考察する。

実験No.14,16,18（のし３段）や実験No.15,17,19（のし５段）の結果を比較する。いずれも、桶試験体による結果である。その結果を表5-4に示す。

のし瓦が５段の場合について検討する。最大荷重係数について、南蛮漆喰・土モルタルは約２となり、葺土の1.62Gはこれらの約８割の値である。曲げ抵抗モーメントについて、南蛮漆喰と土モルタルは830kgfcm前後の値を示し、葺土は497kgfcmで約６割程度の値となる。せん断破壊荷重係数によると、南蛮漆喰と土モルタルは約１でほぼ等しく、せん断荷重比では、共に約0.5Gでほぼ等しい。葺土のせん断破壊荷重は未計測であった。のし段数が３の場合には、土ﾓﾙﾀﾙの荷重係数0.5Gに対して、南蛮漆喰はどの５割、葺土は７割程度である。

今回の実験では、棟施工から１～２週間後に実験を行ったために、棟土が未乾燥の状態

で実験を行った。このため、棟土の乾燥状態については、加力実験終了直後に棟土を採取し、含水率の調査を行っている。棟土の乾燥の影響や風化等の耐久性の問題については、今後も検討が必要と思われる。

5.7.5　棟補強法の効果

棟木緊結・大回し・ボルト・強力棟・一体棟などの棟補強法に効果について、実物試験体の場合は、実験No.2,6,8,12,13の結果を比較する。桶（穴付き）試験体の場合は、実験No.14,21,25,29の場合を比較する。No.29を除いて、いずれの実験結果ものし瓦３段・葺土の場合である。結果を表5-5に示す。No.29はのし瓦０段・葺土の場合で、表5-4中では括弧付き数値を示す。

表5-5中で、せん断破壊荷重係数が---で表示されている実験では、せん断破壊が明確に生じていない場合である。

棟木緊結は補強なしと比べて、最大荷重係数・せん断破壊荷重係数の数値は同程度で、曲げ抵抗モーメント値が多少大きくなっている。棟木緊結による耐震性能の向上は明確でない。棟木緊結は冠瓦が落下するのを防止するのに役立つと考えられる。

大回しは補強なしと比べて、最大荷重係数・曲げ抵抗モーメントの両者に関して、のし３段・５段では共に数値が減少している。大回しは棟瓦を一体化する効果を期待できるが、今回の実験のように破壊面を特定した実験に影響するものではないはずで、この差は単なるバラツキと考えてよい。

ボルトは補強なしと比べて、最大荷重係数が１～２割増加している。曲げ抵抗モーメントは2.7倍で、増加傾向が明確である。

強力棟は補強なしと比べて、最大荷重係数が2.5倍程度に増加している。曲げ抵抗モーメントで評価すると、増加は4.2倍である。

一体棟は補強なしと比べて、最大荷重係数が３倍程度に増加している。曲げ抵抗モーメントで評価しても、３倍近い数値となる。

今回の検討した補強法の中では、一体棟＞強力棟＞ボルトの順で耐震性能が高い。棟木緊結の効果は明確でない。大回しは、全体としての耐震性に何も関係しない。

以上の結果から、棟の水平耐力は、棟土だけの場合の水平耐力に、補強金物等の水平耐力を加えた耐力として評価することが可能と思われる。

5.7.6　最上段の平瓦（半瓦）の影響

平瓦の最上段には、瓦葺き長さを調整するために、長さを切りつめた平瓦（半瓦）を設置する場合が多い。長さを切りつめた平瓦には、引掛け用の剣や釘穴が除去されているため、野地板と緊結する方法がない。このような留付なしの半瓦の上に、棟が築かれた場合の影響を調べる。比較は、最上段に通常の平瓦を設置し、瓦頂部の釘穴にステンレス釘（長さ65）を各１本打った場合と、平瓦の長さを半分に切断した下半分の半瓦を野地板の最上段に設置し、かつ留付のない場合を比較した。実物試験体の場合、のし瓦３段・葺土・大回しの実験がNo.8,9である。桶試験体の場合、のし瓦３段・葺土・棟木緊結の実験が

No.21,22である。結果を表5-6に示す。

最上段に留付のない半瓦を設置すると、最大荷重係数は６～７割に低下する。曲げ抵抗モーメントは３～５割に低下する。最上段に留付のなし半瓦を設置した場合、棟の耐震性能の低下は著しい。

5.7.7　平板の耐震性能

平板は、通常のし瓦なしで施工される。このため、実験でものし瓦なしとし、実物による実験を行った。棟土としては葺土を用い、補強法の比較を実験No.30,31,32,33で行う。結果を表5-7に示す。

のし瓦を使わない平板は、棟の高さが低く元々耐震性能が高い。これに補強法を組み合わせると、さらに耐震性能が向上している。和形ののし瓦付きの場合は、棟木緊結は耐震効果が明確でなかったが、平板の場合に棟木緊結が効果を発揮している。棟にのし瓦が付く場合には、のし瓦が相互にずれるなどして棟の形が崩れるため、緊結した銅線が引張抵抗力を発揮しにくいと考えられる。これに対して、のし瓦が付かない場合は、棟の形が崩れにくく、緊結した銅線が引張抵抗力を発揮しやすいいためと考えられる。

5.7.8　まとめ

①実物試験体と桶試験体の結果は、実物試験体のほうが高い値を示す。

②のし瓦の段数が多いほど、耐震性能は低下する。

③棟土の種類の影響は、今回の実験からは明確に判定できない。

④棟補強法は、一体棟＞強力棟＞ボルトの順に耐震効果が高い。棟木緊結は棟部の損害という観点では、耐震性の向上に対する効果が明確ではない。大回しは耐震性に関与しない。

⑤最上段の平瓦（半瓦）を留付ないと、棟の耐震性能は大きく低下する。

⑥平板はのし瓦がないために、耐震性能が高い。

⑦棟土の効果については、養生期間の影響・耐久性の問題を含めて今後の検討課題である。

表5-1 実験種類

実験NO.	験体NO	項目	瓦種類	加力	緊結・補強	葺土	のし段数	最上段平瓦の留付	制作日付	加力日	含水率	棟重量(kgf)
1	22	のし段数	和型	実物	なし	葺土	0	有	10月24日	11月2日	0.171	15.20
2	31	追加	和型	実物	なし	葺土	3	有	10月24日	11月6日	0.206	41.43
3	32	追加	和型	実物	なし	葺土	5	有	10月24日	11月6日	0.207	57.97
4	23	のし段数	和型	実物	なし	南蛮漆喰	0	有	10月24日	11月3日	0.190	15.52
5	24	のし段数	和型	実物	なし	土モルタル	0	有	10月24日	11月3日	0.179	15.71
6	1	緊結方法	和型	実物	棟木緊結	葺土	3	有	11月13日	12月1日	0.190	43.79
7	20	のし段数	和型	実物	大回し	葺土	0	有	11月13日	12月2日	0.183	18.66
8	7	緊結方法	和型	実物	大回し	葺土	3	有	11月2日	11月8日	0.223	44.67
9	9	緊結方法	和型	実物	大回し	葺土	3	無	11月2日	11月8日	0.233	42.71
10	14	のし段数	和型	実物	大回し	葺土	5	有	11月2日	11月8日	0.222	54.49
11	29	追加	和型	実物	大回し	南蛮漆喰	5	有	11月13日	11月20日	0.249	58.81
12	2	緊結方法	和型	実物	ボルト	葺土	3	有	11月13日	12月1日	0.213	43.17
13	33	追加	和型	実物	一体形	葺土		有	11月13日	12月2日	0.185	29.98
14	3	緊結方法	和型	桶	なし	葺土	3	有	11月13日	11月30日	0.212	38.71
15	16	のし段数	和型	桶	なし	葺土	5	有	10月24日	10月31日	0.225	55.69
16	4	緊結方法	和型	桶	なし	南蛮漆喰	3	有	10月24日	10月30日	0.233	39.08
17	17	のし段数	和型	桶	なし	南蛮漆喰	5	有	10月24日	10月31日	0.243	53.24
18	5	緊結方法	和型	桶	なし	土モルタル	3	有	10月24日	10月31日	0.239	38.43
19	18	のし段数	和型	桶	なし	土モルタル	5	有	10月24日	11月1日	0.253	53.35
20	19	のし段数	和型	桶（穴）	棟木緊結	葺土	0	有	11月13日	11月30日	0.198	18.91
21	6	緊結方法	和型	桶（穴）	棟木緊結	葺土	3	有	11月2日	11月9日	0.251	43.91
22	8	緊結方法	和型	桶（穴）	棟木緊結	葺土	3	無	11月13日	12月1日	0.236	48.22
23	13	のし段数	和型	桶（穴）	棟木緊結	葺土	5	有	11月2日	11月9日	0.241	59.81
24	30	追加	和型	桶（穴）	棟木緊結	南蛮漆喰	5	有	11月13日	11月20日	0.251	56.87
25	10	緊結方法	和型	桶（穴）	ボルト	葺土	3	有	11月2日	11月10日	0.207	43.72
26	15	のし段数	和型	桶（穴）	ボルト	葺土	5	有	11月13日	11月21日	0.231	60.82
27	11	緊結方法	和型	桶（穴）	ボルト	南蛮漆喰	3	有	11月2日	11月10日	0.236	43.71
28	12	緊結方法	和型	桶（穴）	ボルト	土モルタル	3	有	11月2日	11月10日	0.257	42.93
29	21	のし段数	和型	桶（穴）	強力棟	葺土	0	有	11月13日	11月30日	0.158	17.04
30	28	追加	平板瓦	実物	なし	葺土	0	有	11月13日	11月20日	0.241	27.22
31	25	瓦の種類	平板瓦	実物	棟木緊結	葺土	0	有	11月2日	11月11日	0.228	25.71
32	26	追加	平板瓦	実物	強力棟	葺土	0	有	11月2日	11月14日	0.195	22.67
33	27	追加	平板瓦	実物	強力棟	空積み	0	有	11月2日	11月14日	-	16.16

表5-2 棟加力実験結果のまとめ

実験NO.	試験体NO	瓦種類	加力	緊結・補強	葺土	のし段数	最上段留付	Pmax	Pmax/W	Pc	Pc/W	Pc/Pmax	曲げ抵抗ﾓｰﾒﾝﾄ	制作日付	加力	含水率	棟重量(kgf)
1	22	和型	実物	なし	葺土	0	有	109.45	7.20	65.0	4.28	0.594	-498.9	10月24日	11月2日	0.171	15.20
2	31	和型	実物	なし	葺土	3	有	121.49	2.93	90.0	2.17	0.741	-799.2	10月24日	11月6日	0.206	41.43
3	32	和型	実物	なし	葺土	5	有	115.97	2.00	-	-	-	-870.0	10月24日	11月6日	0.207	57.97
4	23	和型	実物	なし	南蛮漆喰	0	有	57.16	3.68	31.0	2.00	0.542	-226.6	10月24日	11月3日	0.190	15.52
5	24	和型	実物	なし	土ﾓﾙﾀﾙ	0	有	76.42	4.86	33.0	2.10	0.432	-344.5	10月24日	11月3日	0.179	15.71
6	1	和型	実物	棟木緊結	葺土	3	有	124.13	2.83	-	-	-	-858.9	11月13日	12月1日	0.190	43.79
7	20	和型	実物	大回し	葺土	0	有	151.84	8.14	-	-	-	-771.0	11月13日	12月2日	0.183	18.66
8	7	和型	実物	大回し	葺土	3	有	96.86	2.17	-	-	-	-648.6	11月2日	11月8日	0.223	44.67
9	9	和型	実物	大回し	葺土	3	無	68.36	1.60	-	-	-	-329.1	11月2日	11月8日	0.233	42.71
10	14	和型	実物	大回し	葺土	5	有	92.29	1.69	-	-	-	-619.3	11月2日	11月8日	0.222	54.49
11	29	和型	実物	大回し	南蛮漆喰	5	有	106.07	1.80	-	-	-	-787.5	11月13日	11月20日	0.249	58.81
12	2	和型	実物	ボルト	葺土	3	有	149.05	3.45	-	-	-	-1159.0	11月13日	12月1日	0.213	43.17
13	33	和型	実物	一体形	葺土	—	有	258.69	8.63	-	-	-	-2205.4	11月13日	12月2日	0.185	29.98
14	3	和型	桶	なし	葺土	3	有	87.56	2.26	60.0	1.55	0.685	-786.3	11月13日	11月30日	0.212	38.71
15	16	和型	桶	なし	葺土	5	有	90.45	1.62	-	-	-	-497.1	10月24日	10月31日	0.225	55.69
16	4	和型	桶	なし	南蛮漆喰	3	有	66.62	1.70	40.0	1.02	0.600	-585.0	10月24日	10月30日	0.233	39.08
17	17	和型	桶	なし	南蛮漆喰	5	有	104.97	1.97	50.0	0.94	0.476	-831.5	10月24日	10月31日	0.243	53.24
18	5	和型	桶	なし	土ﾓﾙﾀﾙ	3	有	123.83	3.22	41.0	1.07	0.331	-1130.5	10月24日	10月31日	0.239	38.43
19	18	和型	桶	なし	土ﾓﾙﾀﾙ	5	有	104.77	1.96	49.0	0.92	0.468	-827.5	10月24日	11月1日	0.253	53.35
20	19	和型	桶（穴）	棟木緊結	葺土	0	有	169.80	8.98	-	-	-	-1033.7	11月13日	11月30日	0.198	18.91
21	6	和型	桶（穴）	棟木緊結	葺土	3	有	107.76	2.45	60.0	1.37	0.557	-897.9	11月2日	11月9日	0.251	43.91
22	8	和型	桶（穴）	棟木緊結	葺土	3	無	72.88	1.51	-	-	-	-331.8	11月13日	12月1日	0.236	48.22
23	13	和型	桶（穴）	棟木緊結	葺土	5	有	69.50	1.16	51.0	0.85	0.734	-464.2	11月2日	11月9日	0.241	59.81
24	30	和型	桶（穴）	棟木緊結	南蛮漆喰	5	有	89.55	1.57	40.0	0.70	0.447	-708.7	11月13日	11月20日	0.251	56.87
25	10	和型	桶（穴）	ボルト	葺土	3	有	109.05	2.49	-	-	-	-926.0	11月2日	11月10日	0.207	43.72
26	15	和型	桶（穴）	ボルト	葺土	5	有	89.70	1.47	-	-	-	-661.3	11月13日	11月21日	0.231	60.82
27	11	和型	桶（穴）	ボルト	南蛮漆喰	3	有	113.83	2.60	-	-	-	-996.7	11月2日	11月10日	0.236	43.71
28	12	和型	桶（穴）	ボルト	土ﾓﾙﾀﾙ	3	有	145.27	3.38	-	-	-	-1451.0	11月2日	11月10日	0.257	42.93
29	21	和型	桶（穴）	強力棟	葺土	0	有	316.21	18.56	-	-	-	-2098.5	11月13日	11月30日	0.158	17.04
30	28	平板瓦	実物	なし	葺土	0	有	102.78	3.78	60.0	2.20	0.584	-457.0	11月13日	11月20日	0.241	27.22
31	25	平板瓦	実物	棟木緊結	葺土	0	有	231.88	9.02	-	-	-	-1277.0	11月2日	11月11日	0.228	25.71
32	26	平板瓦	実物	強力棟	葺土	0	有	273.13	12.05	-	-	-	-1616.6	11月2日	11月14日	0.195	22.67
33	27	平板瓦	実物	強力棟	空積み	0	有	117.76	7.29	-	-	-	-	11月2日	11月14日	-	16.16

表5-3　　実物試験体と桶試験体の結果

のし段数	仕様	最大荷重係数 G		せん断荷重係数 G		曲げ抵抗 ﾓｰﾒﾝﾄkgfcm	
		実物	桶	実物	桶	実物	桶
3	葺土	2.93	2.26	2.17	1.55	799	786
	棟木	2.83	2.45	--	1.37	858	897
	ボルト	3.45	2.49	--	---	1159	926
5	葺土	2.00	---	--	---	870	

表5-4、葺土の影響

	最大荷重係数 G		曲げ抵抗ﾓｰﾒﾝﾄ kgfcm		せん断破壊荷重係数 G		せん断荷重比	
のし瓦段数	3	5	3	5	3	5	3	5
葺土	2.26	1.62	786	497	1.55	----	0.69	---
南蛮漆喰	1.70	1.97	585	831	1.02	0.94	0.60	0.48
土モルタル	3.22	1.96	1130	827	1.07	0.92	0.33	0.47

全て桶試験体の場合。

表5-5、棟補強法の耐震性能

のし瓦段数		最大荷重係数 G		曲げ抵抗ﾓｰﾒﾝﾄ kgfcm		せん断破壊荷重係数 G		せん断荷重比	
		実物	桶	実物	桶	実物	桶	実物	桶
5	なし	2.00	1.62	870	497	----	----	----	----
	棟木緊結	----	1.16	----	464	----	0.85	----	0.73
	大回し	1.69	----	619	---	----	----	----	----
	ボルト	----	1.47	----	661	----	----	----	----
3	なし	2.93	2.26	799	786	2.17	1.55	0.74	0.69
	棟木緊結	2.83	2.45	858	897	----	1.37	---	0.56
	大回し	2.17		648		----		---	
	ボルト	3.45	2.49	1159	926	----	----	---	---
	一体棟	8.63		2205		----		---	
0	なし	7.2		498					
	強力棟		18.56		2098		----		---

葺土の場合。

表5-6、最上段の平瓦（半瓦）の留付の影響

平瓦	留付	最大荷重係数 G		曲げ抵抗ﾓｰﾒﾝﾄ kgfcm		せん断破壊荷重係数 G		せん断荷重比	
		実物 大回し	桶 棟木	実物 大回し	桶 棟木	実物	桶	実物	桶
通常	有り	2.17	2.45	648	897	----	1.37	---	0.56
半瓦	なし	1.60	1.51	329	331	----	----	---	----

実物試験体は大回し、葺土、のし３段の場合

桶試験体は棟木緊結、葺土、のし３段の場合

表5-7　平板瓦の耐震性能

棟補強法	最大荷重係数 G	曲げ抵抗ﾓｰﾒﾝﾄ kgfcm	せん断破壊荷重係数 G	せん断荷重比
なし	3.78	457	2.20	0.58
棟木緊結	9.02	1277		
強力棟	7.26	---		
強力棟＋台土	12.05	1616		

全てのし０段の場合

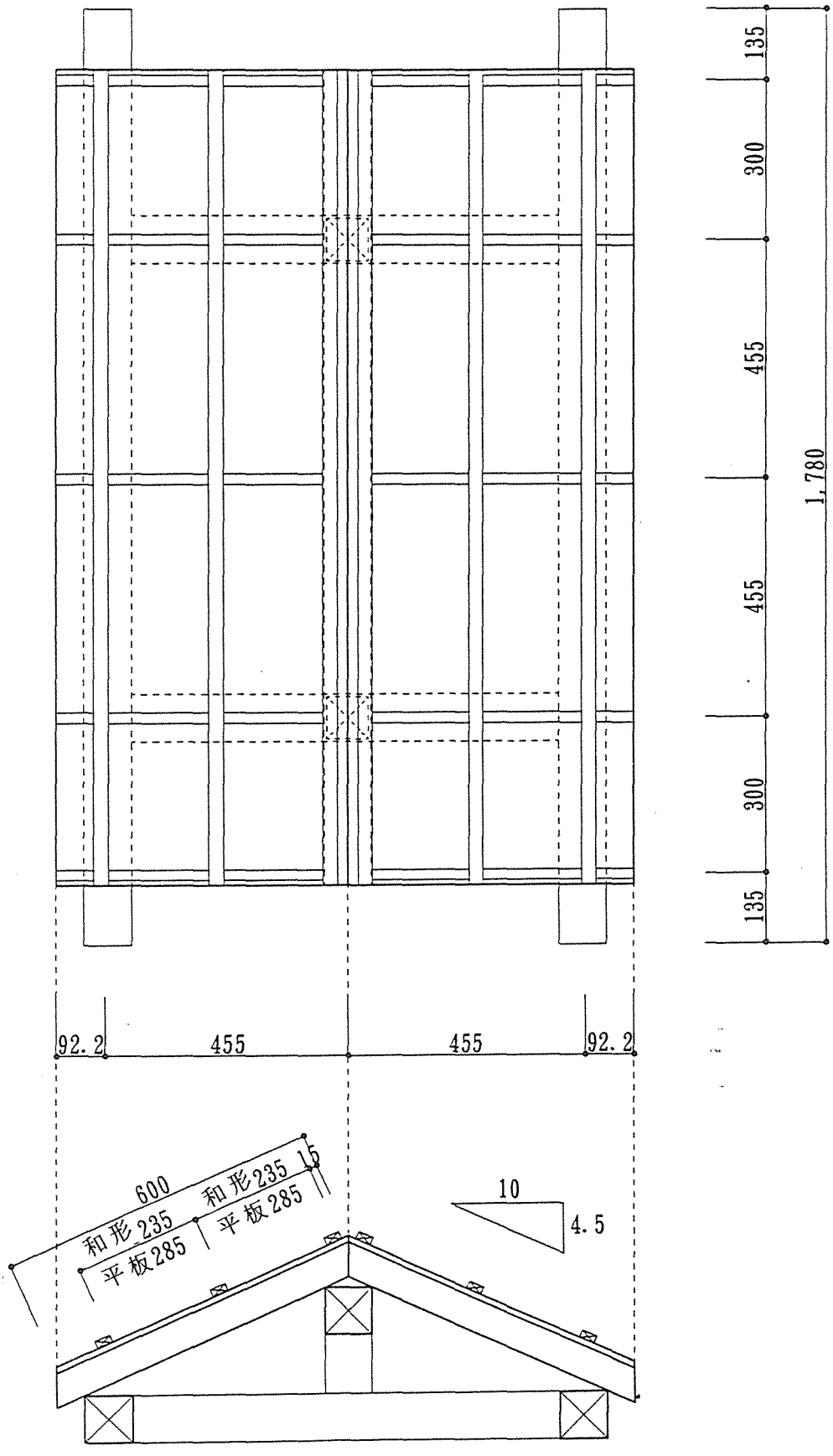

135
300
455
455
300
135
1,780
92.2
455
455
92.2
600
和形235
15
和形235
平板285
平板285
10
4.5

図５－１．屋根試験体

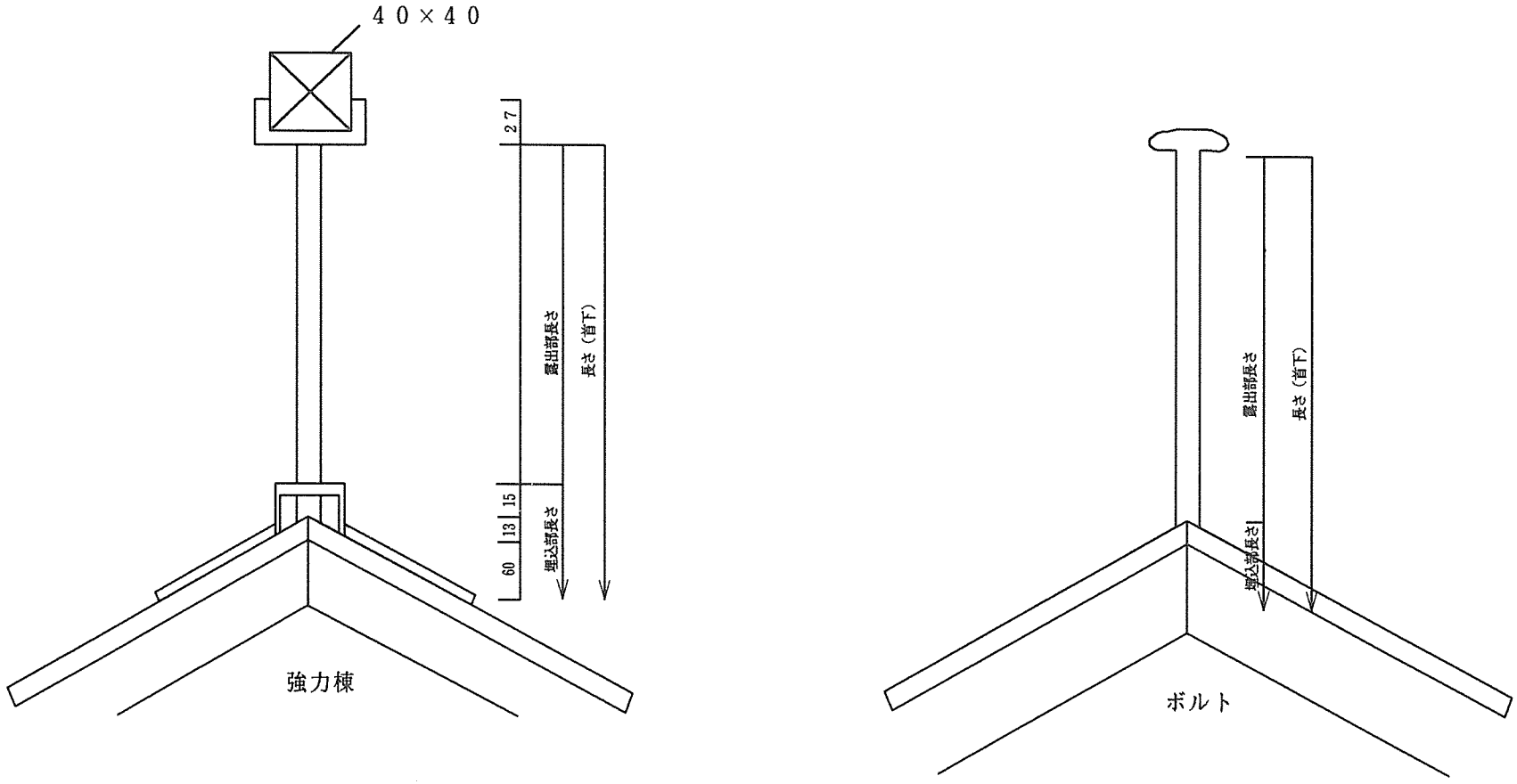
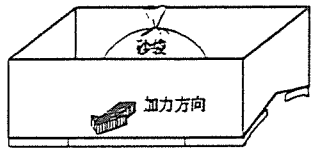
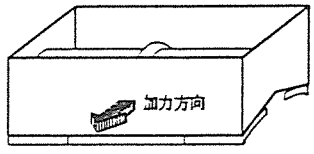


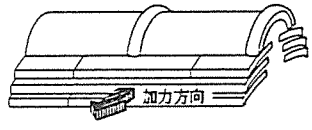
図５－２．強力棟とボルトの寸法



②桶

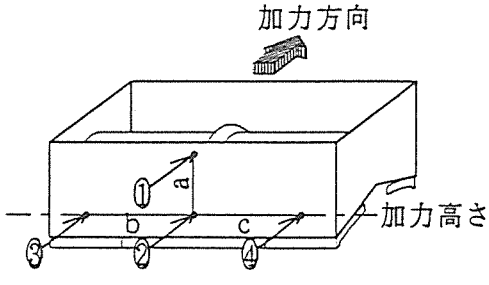


③桶（穴）



①実物

図５－３．加力方法



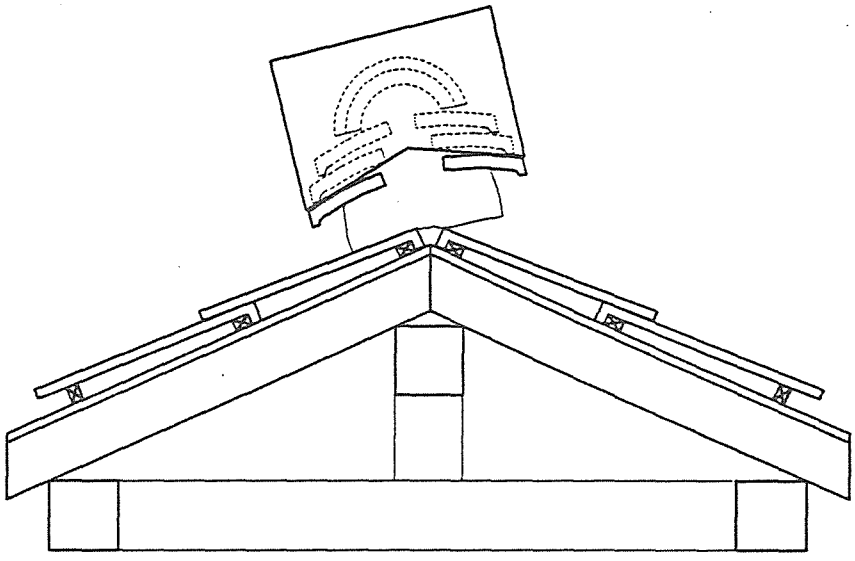
δ ＝②

θ_1 ＝（①-②）／a

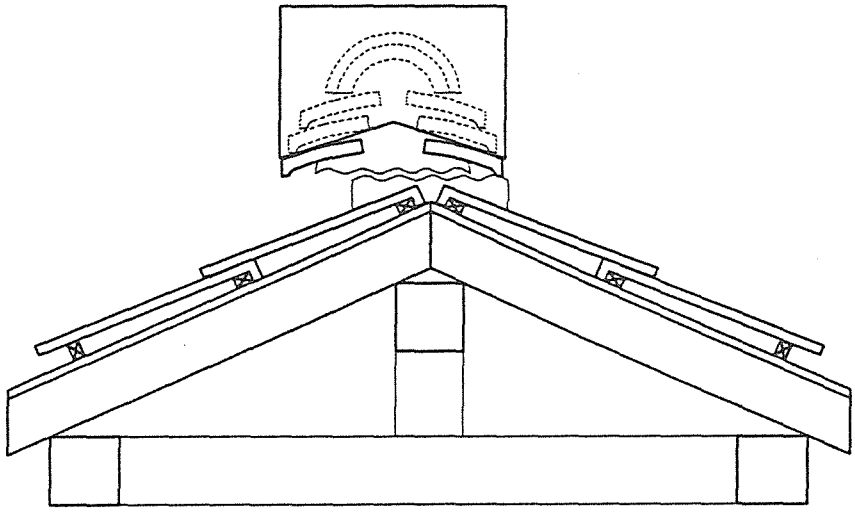
θ_2 ＝（③-④）／（b＋c）

矢印の方向を＋とする

図５－４．変位測定位置

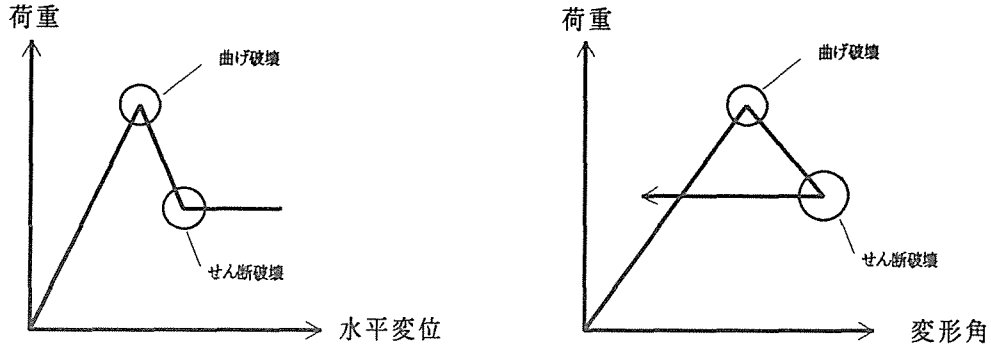


曲げ破壊

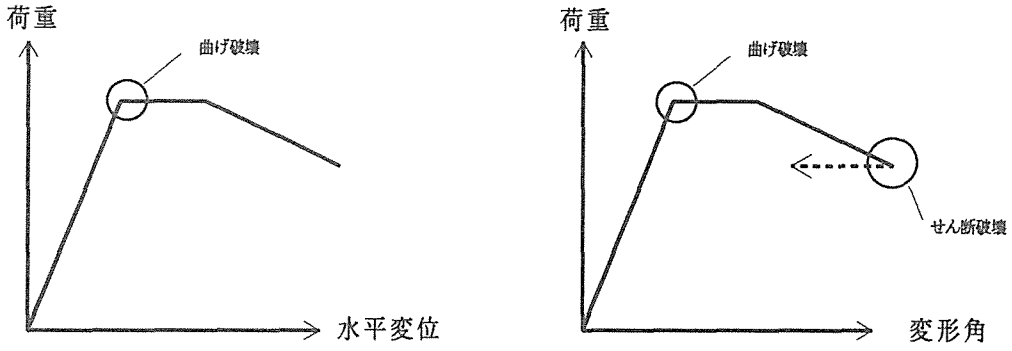


せん断破壊

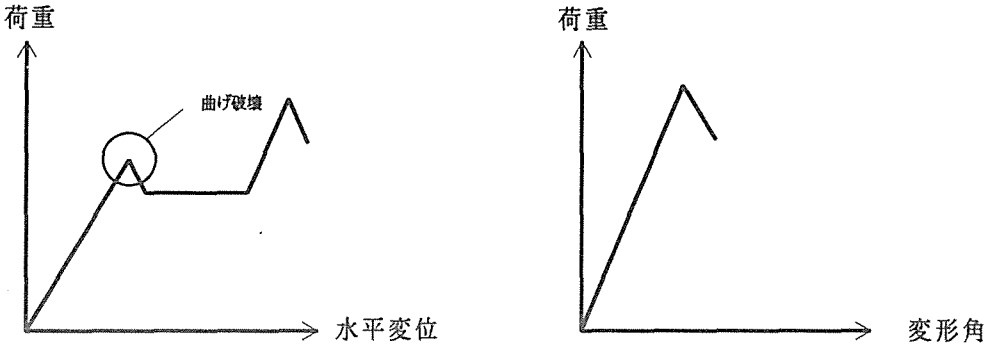
図５－５．棟試験体の破壊モード



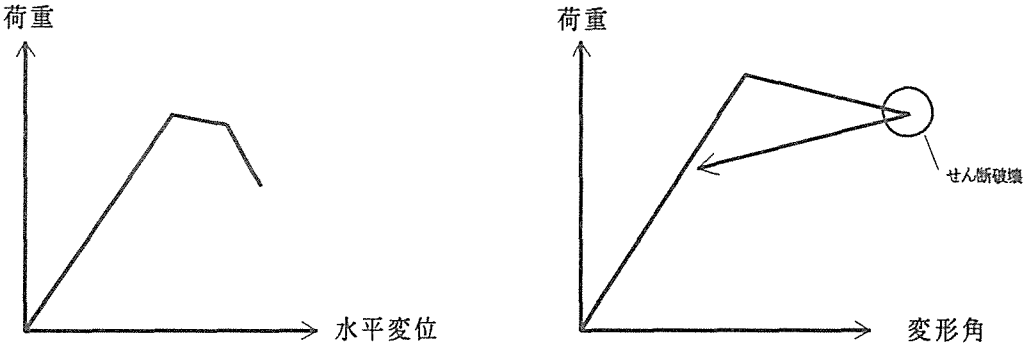
タイプ１：曲げ破壊後に耐力低下する型



タイプ２：曲げ破壊後に耐力低下しない型



タイプ３：曲げ破壊後に再び耐力上昇する型



タイプ４：一体棟型

図５－６．荷重変形関係の分類

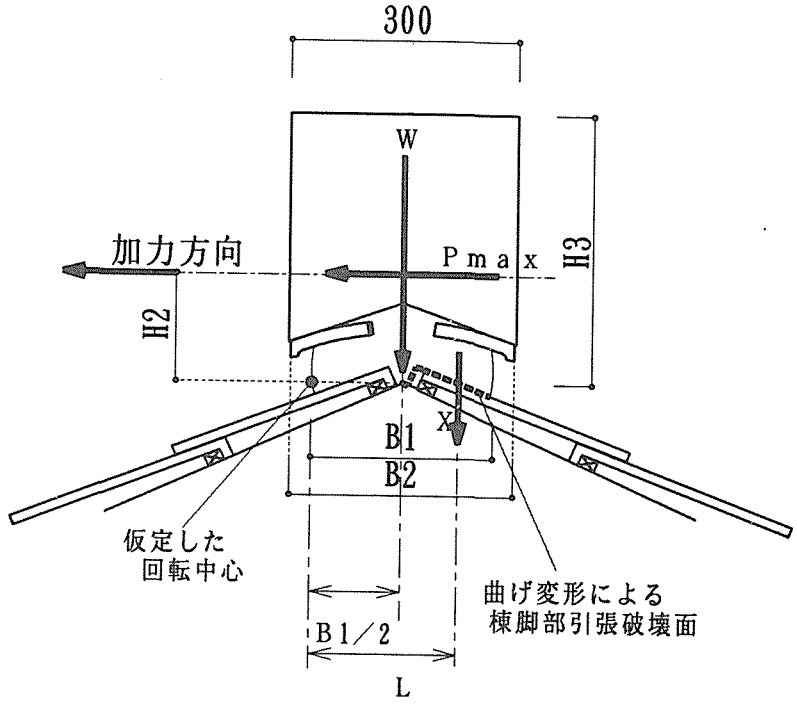


図5-7　　曲げ抵抗モーメント

Pmax：最大荷重
W：自重
M：曲げ抵抗モーメント
X：棟脚部引張破壊面における最大引張耐力

回転中心における回転モーメントの釣合式

$-P_{max} \cdot H2 + W \cdot B1/2 + X \cdot L = 0$

$M = X \cdot L = P_{max} \cdot H2 - W \cdot B1/2$

写真５－１、　　屋根試験体

写真５－２、　　棟試験体の製作（棟土の施工）

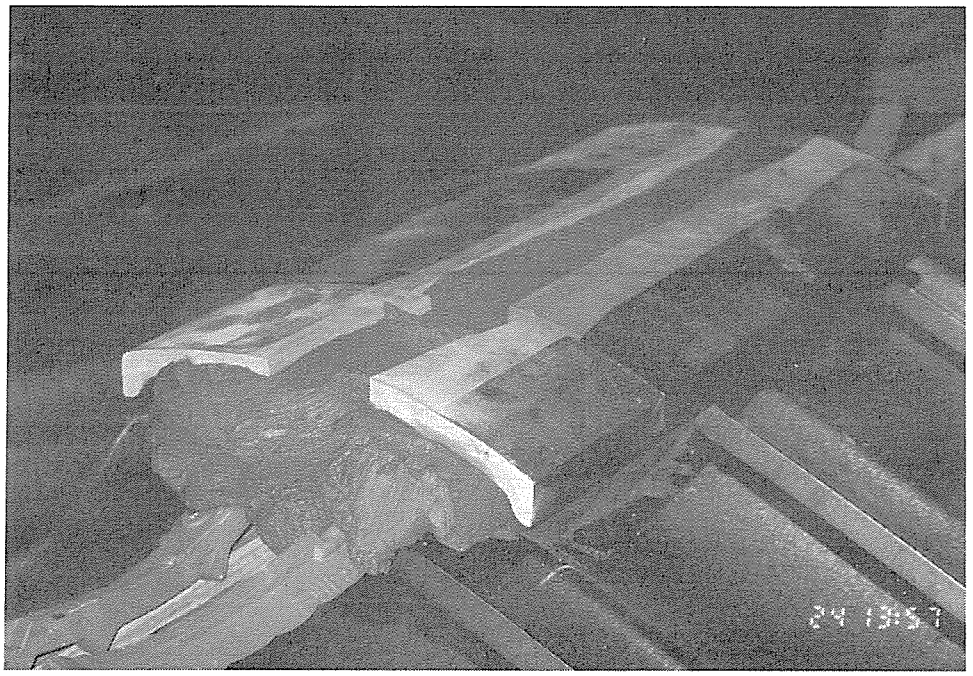


写真５－３、　　棟試験体の製作（最下段ののし瓦）

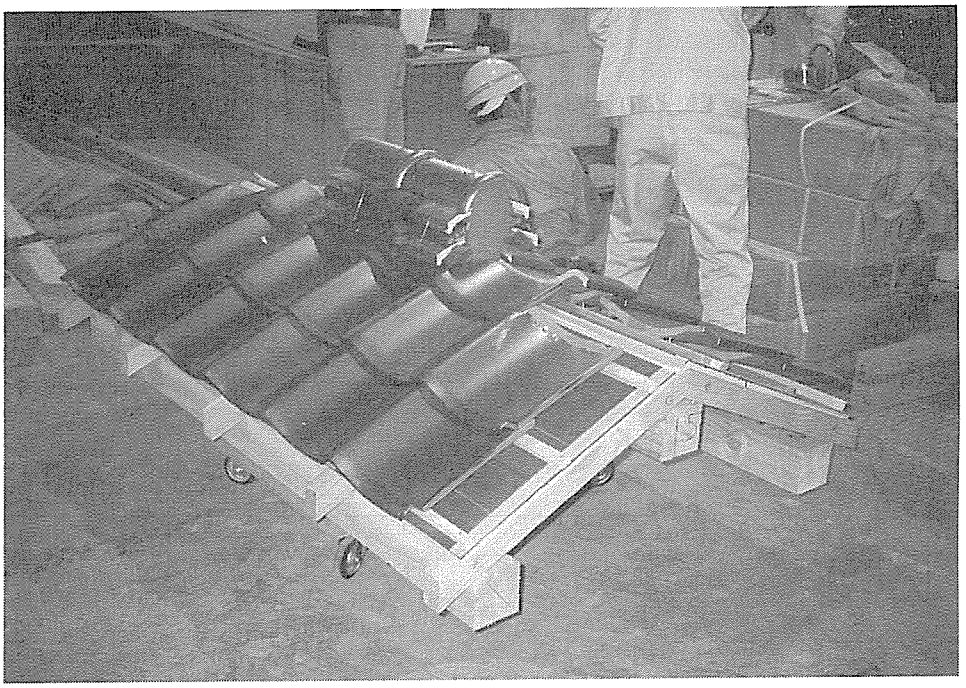


写真５－４、　　棟試験体（実物）

写真５－５、　　棟試験体（桶の製作）

写真５－６、　　棟試験体（桶の設置）

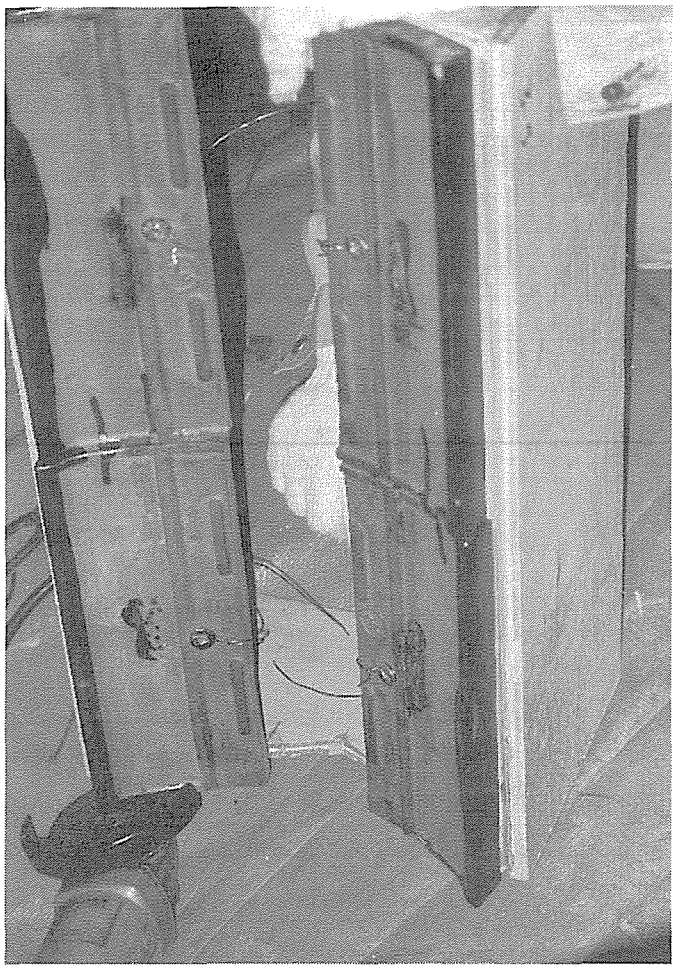


写真５－７、　　棟試験体

桶（穴付）の製作

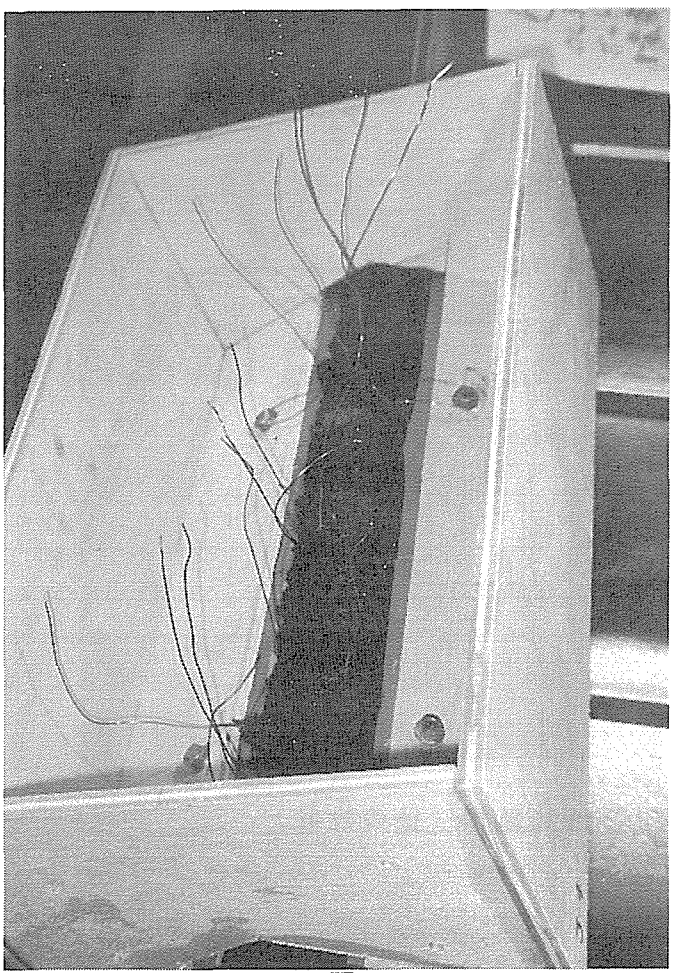


写真５－８、　　棟試験体

桶（穴付）の設置

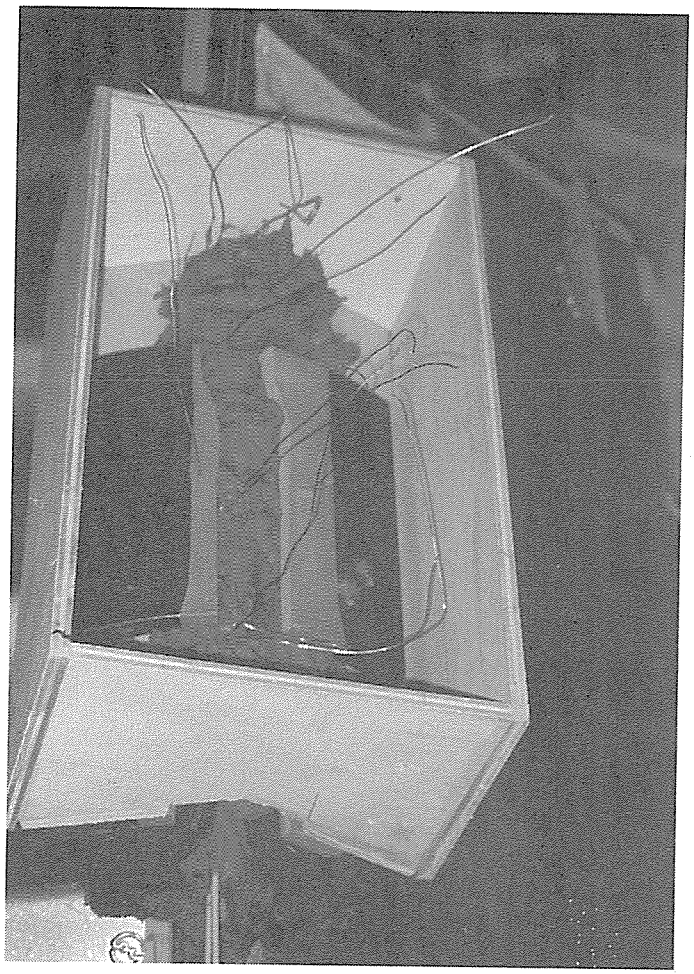


写真５－９、　　棟試験体

（穴付き桶内にのし瓦を設置）

写真５－１０、　　棟試験体

（桶（穴付）の完成）

写真５－１１、　平板瓦

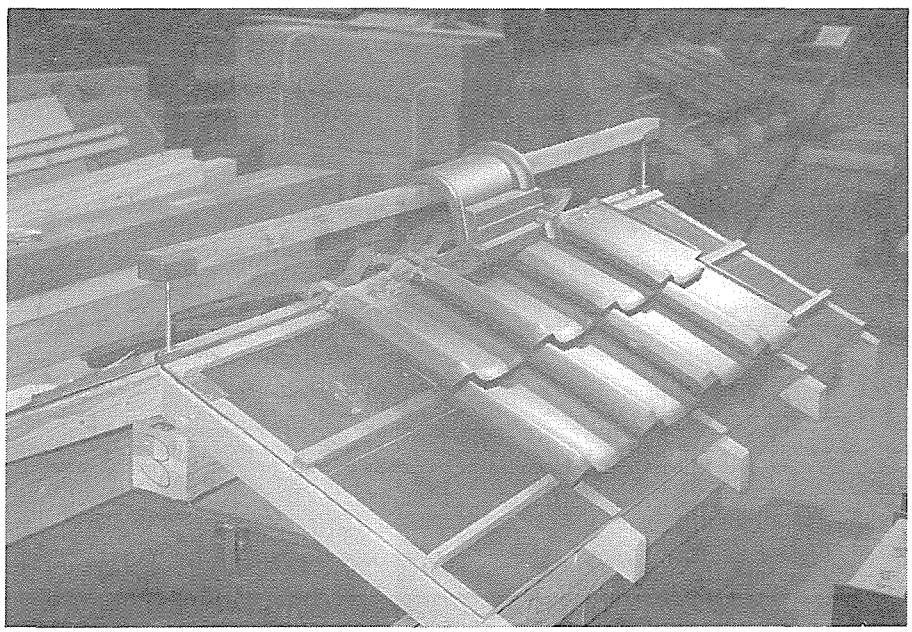


写真５－１２、　一体棟

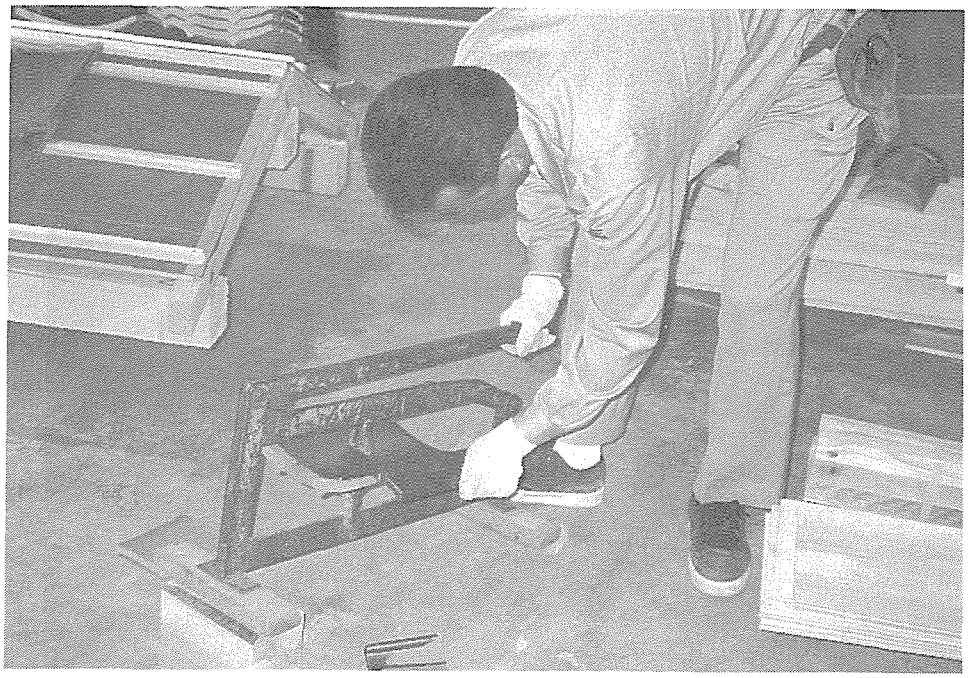


写真５－１３、　半瓦の製作

写真５－１４、　長さ調整用の最上段の平瓦（半瓦）の設置

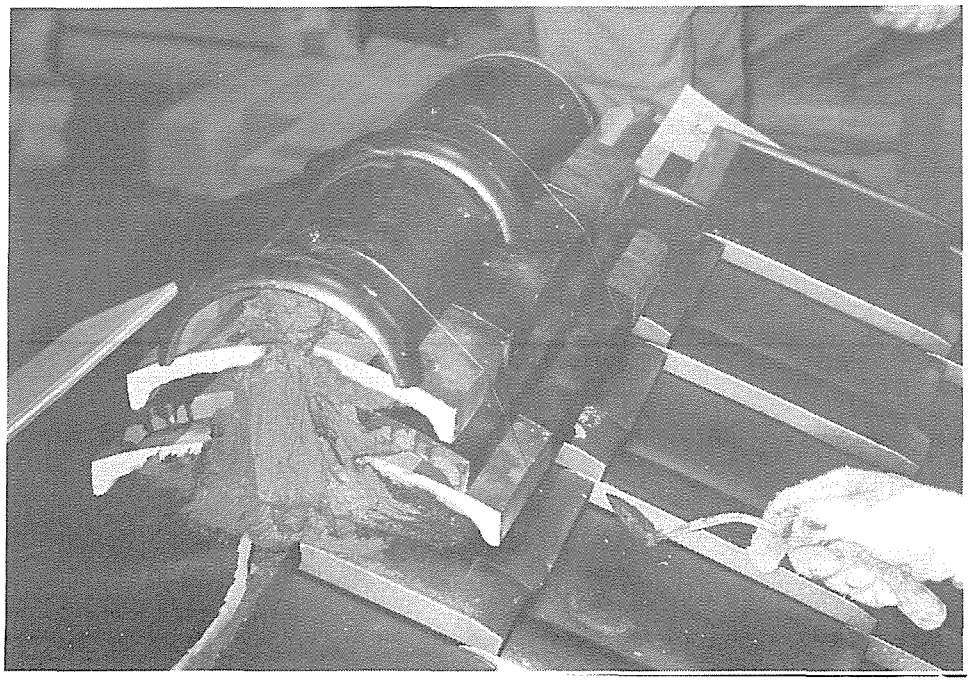


写真５－１５、　　最上段の平瓦（半瓦）を設置した棟試験体

写真５－１６、　　強力棟とその設置法

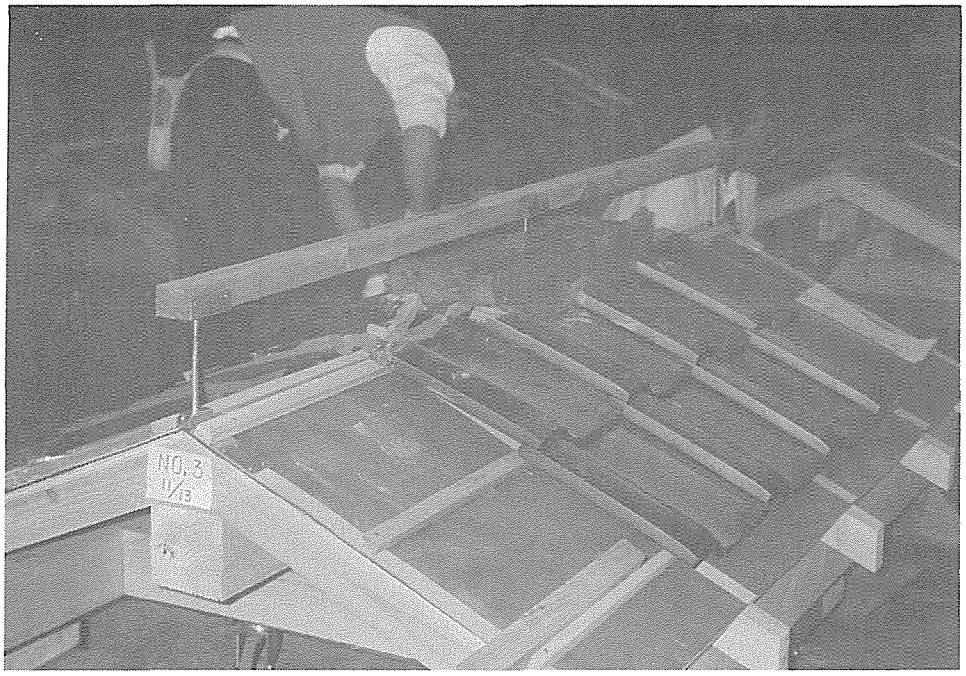


写真５－１７、　　強力棟を使った棟試験体の施工

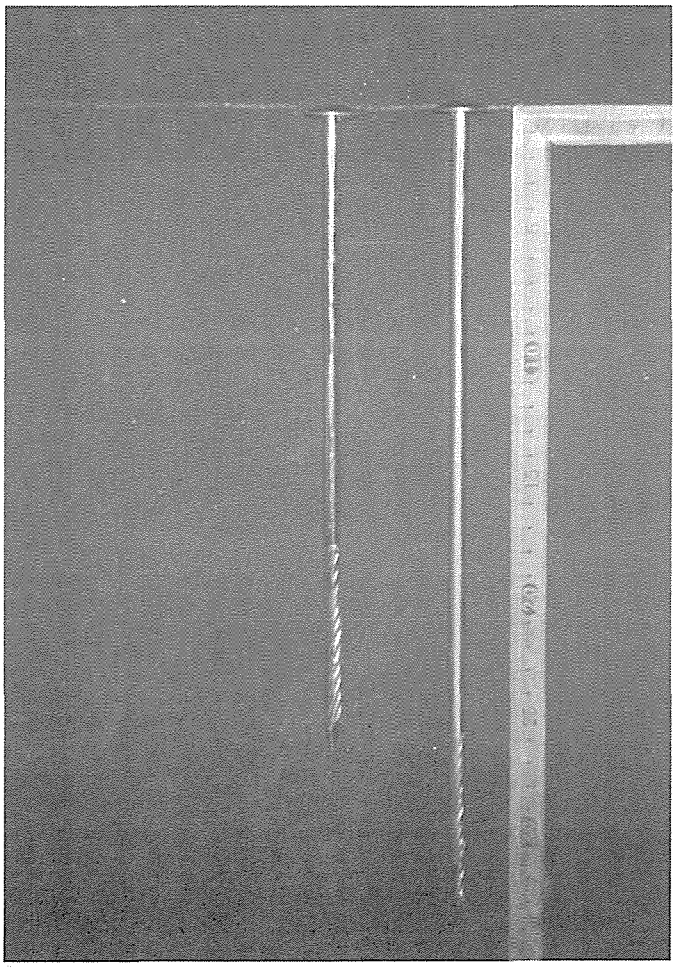


写真５－１８、　　ボルト

写真５－１９、　　ボルトの設置

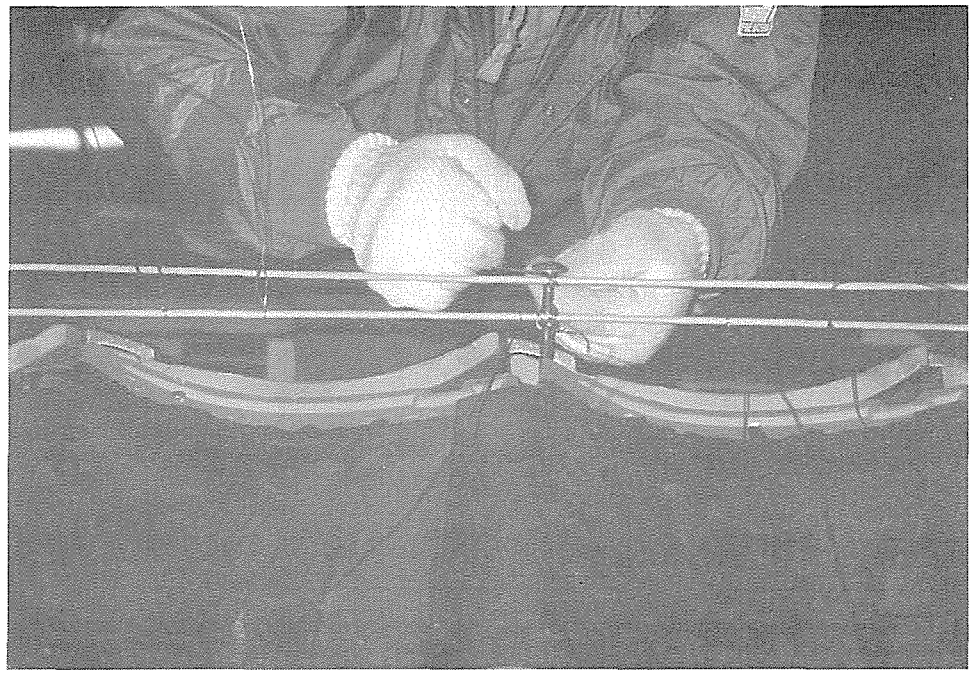


写真５－２０、　　ボルトを使った棟試験体の施工

（ボルトへの横筋の留付）

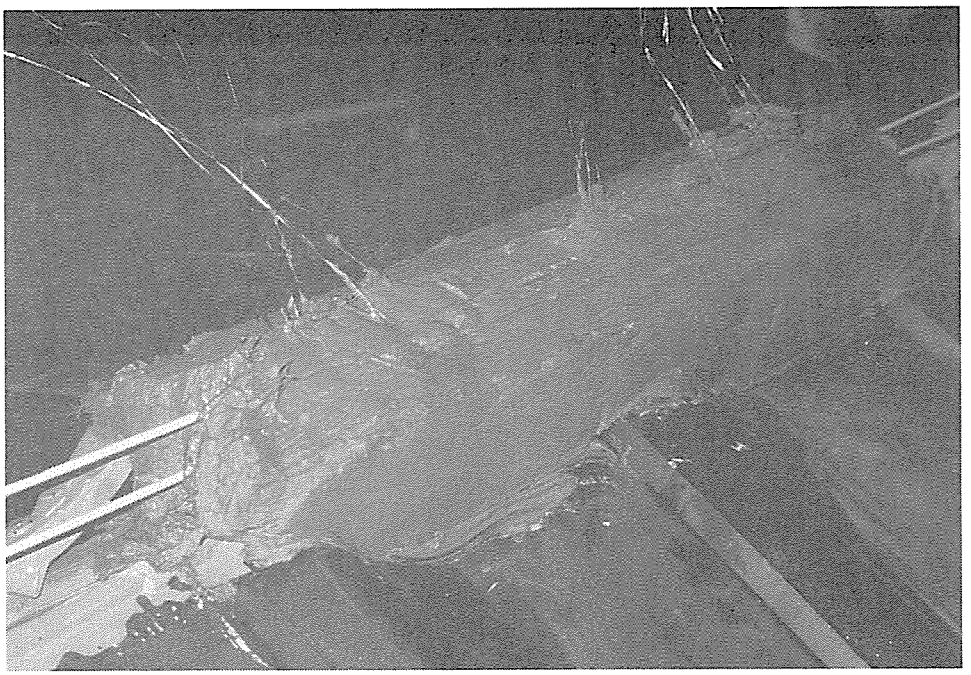


写真５－２１、　　ボルトを使った棟試験体

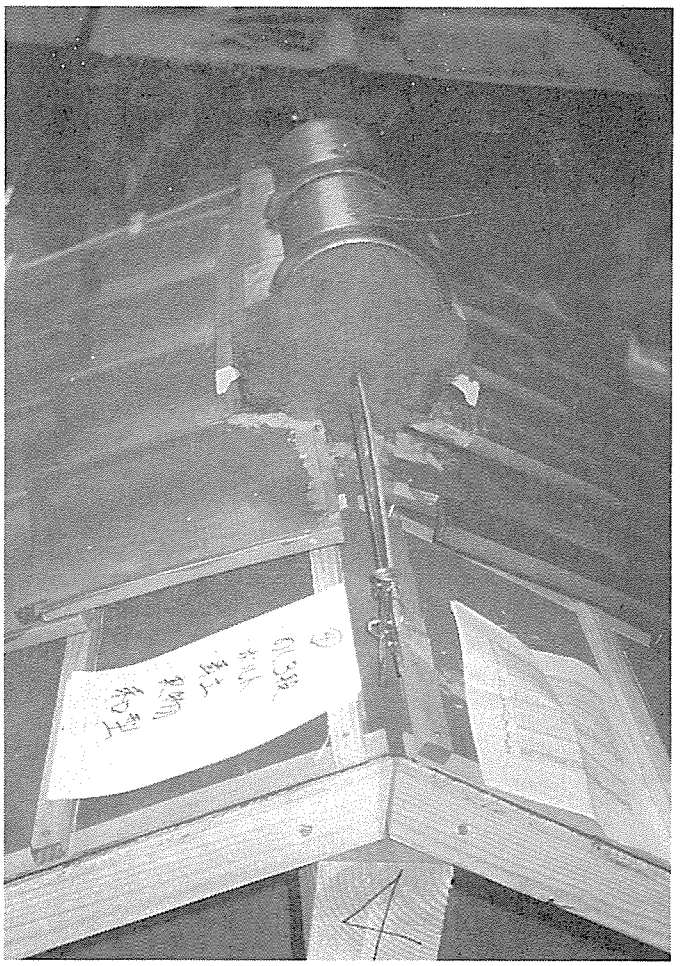


写真５－２２、　　ボルトを使った棟試験体

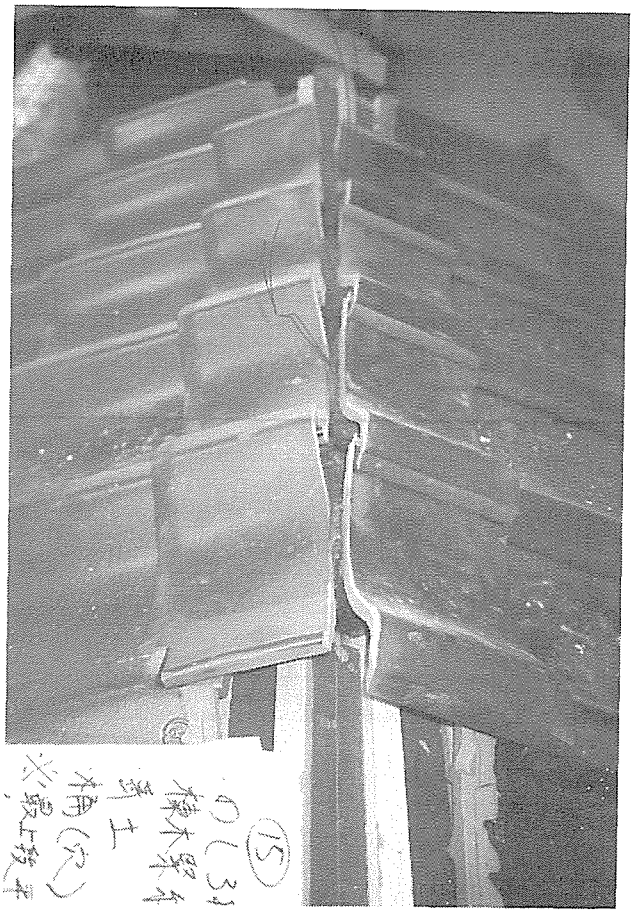


写真５－２３、　　棟木緊結

（銅線の野地板への留付）

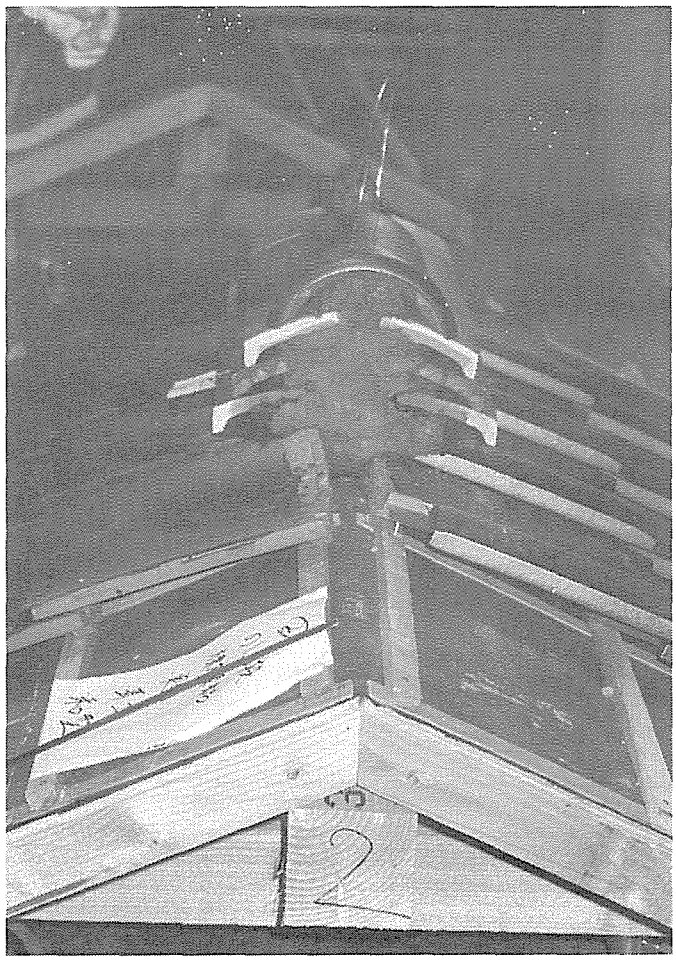


写真５－２４、　棟木緊結

（銅線の冠瓦への留付）

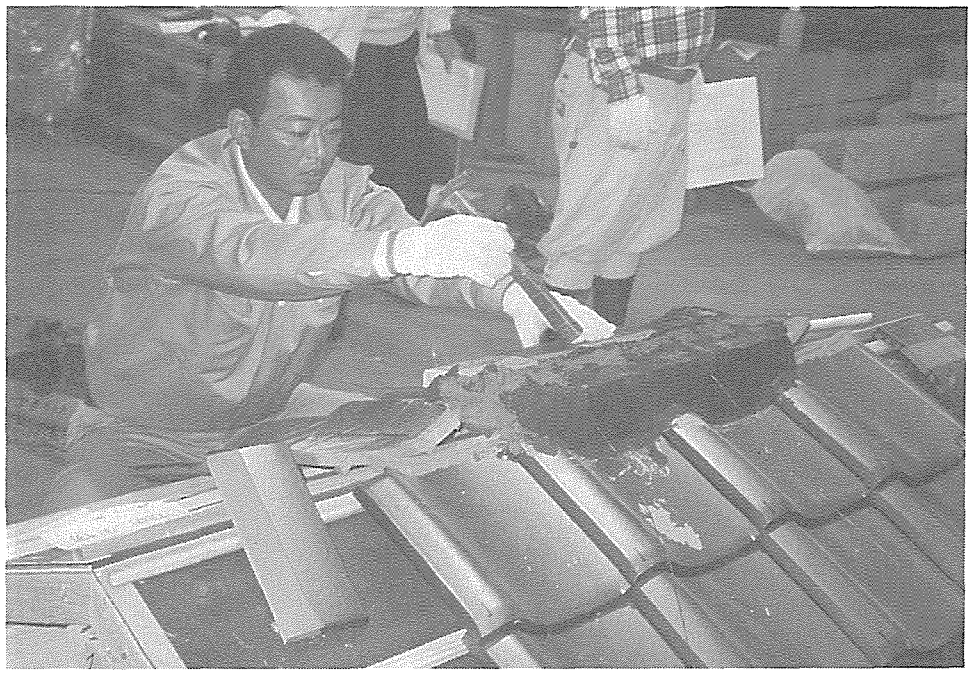


写真５－２５、　大回しの棟試験体の施工

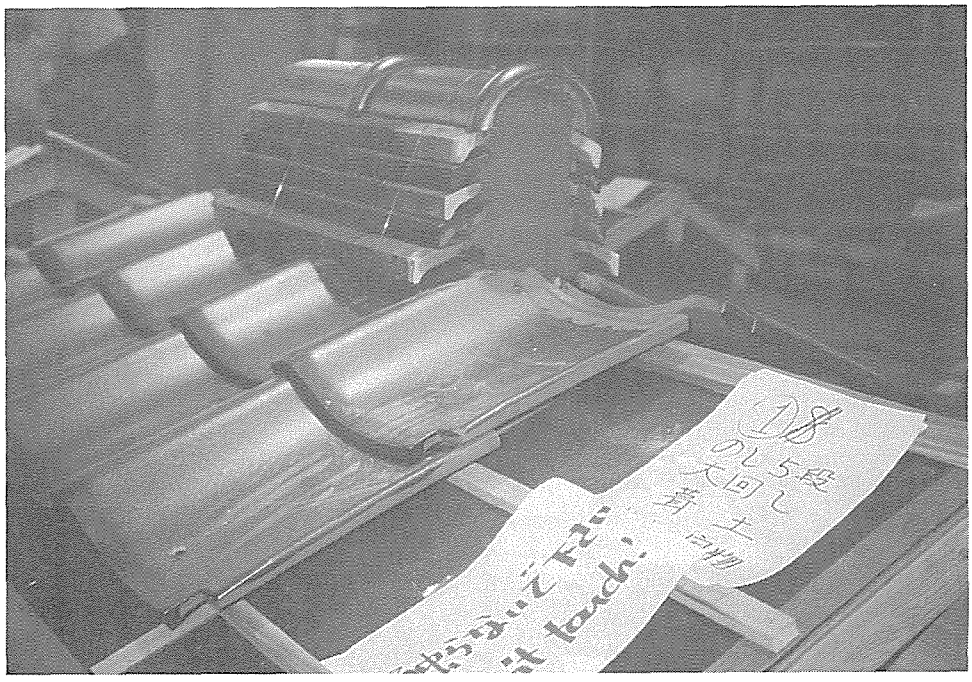


写真５－２６、　大回しの棟試験体

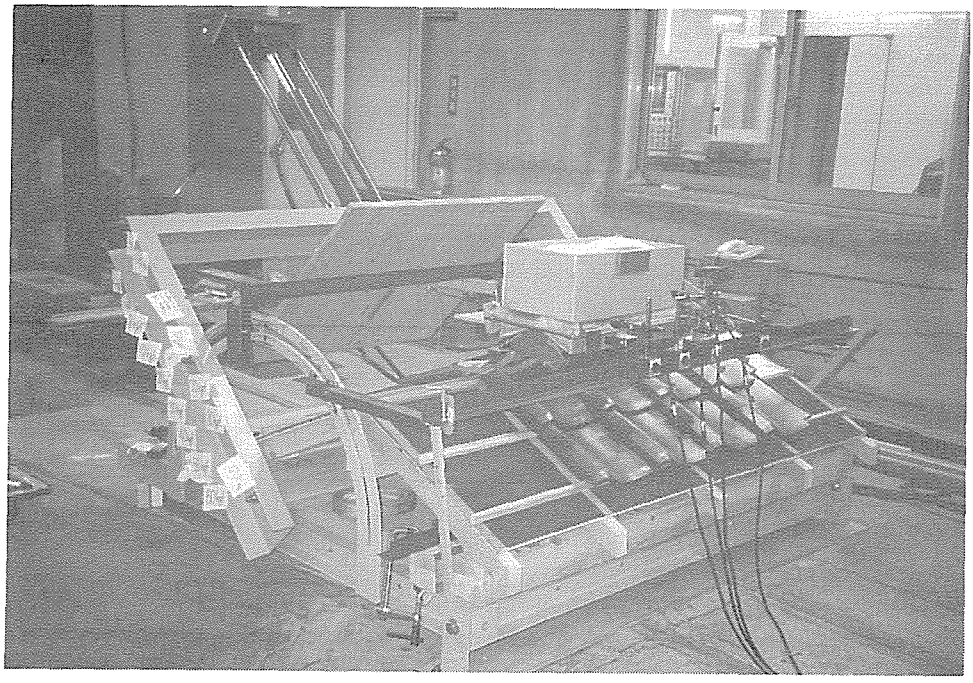


写真５－２７、　加力装置と計測位置

写真５－２８、　加力方法（桶用）

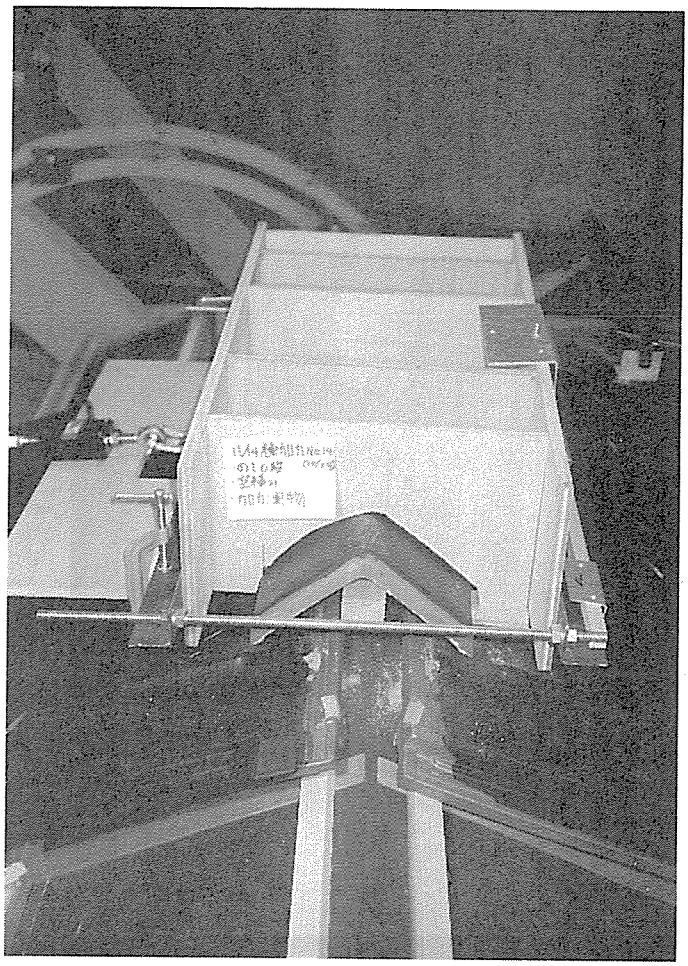


写真５－２９、　加力方法

（実物、平板瓦用）

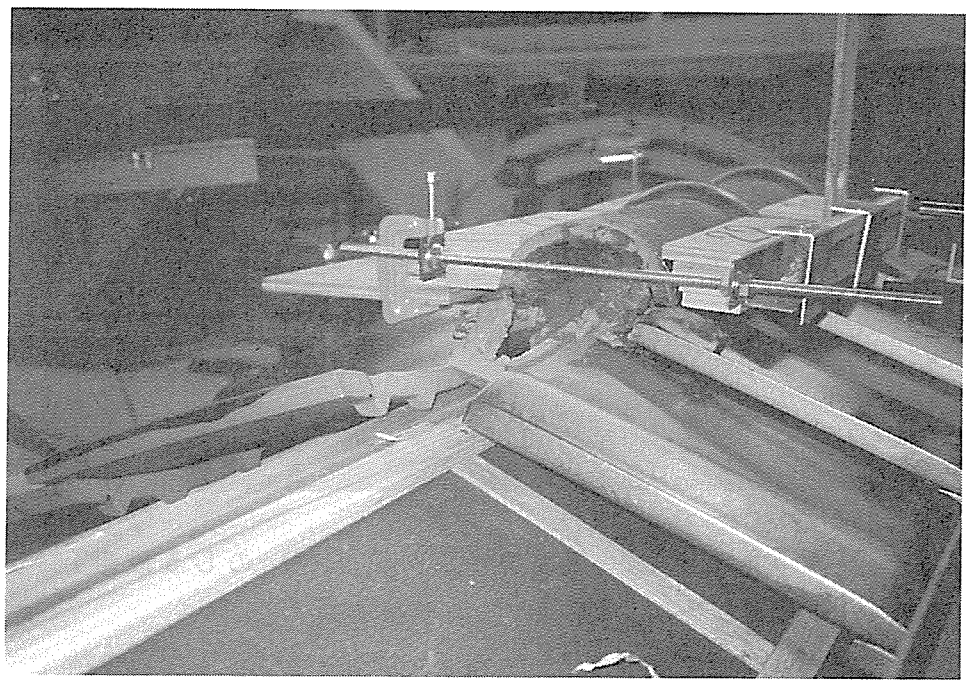


写真５－３０、　加力方法　　（実物、のし０段用）

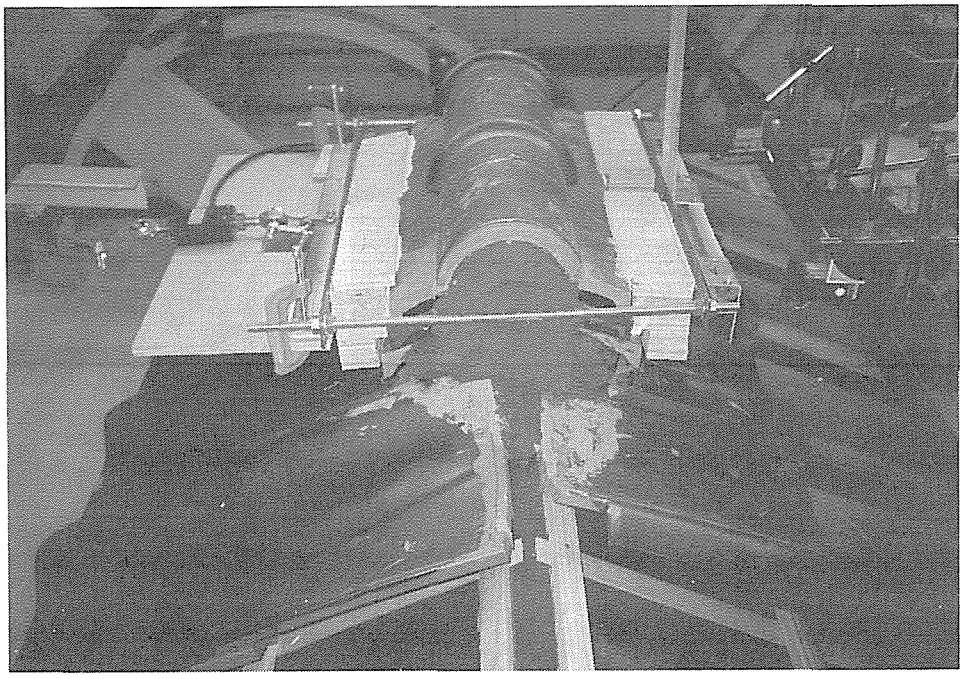


写真５－３１、　加力方法　　（実物、のし３段用）

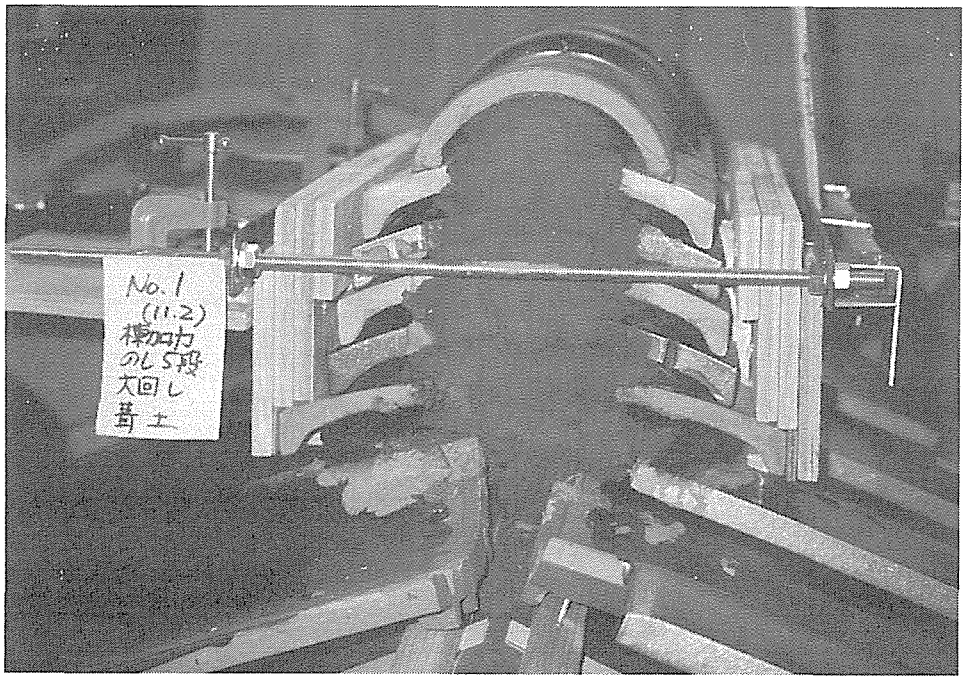


写真５－３２、　加力方法　　（実物、のし５段用）

6、屋根瓦の振動台実験１（間組）

6.1 実験目的

屋根瓦の地震時の挙動を瓦の落下を含めて把握し、現在ある種々の屋根瓦施工法(留付法・緊結法）の耐震性能を調べるために、屋根瓦の振動実験を行った。この実験では、種々の屋根瓦施工法を調べるために、２階梁桁より上の小屋組と屋根を振動台に直接設置し、振動台実験を行った。同時に、屋根各部の応答加速度を計測し、設計用入力加速度の資料とする。

6.2 加振方法

6.2.1　目標波

（１）地震入力波形

（財）原子力発電技術機構多度津工学試験場（香川県多度津郡多度津町）で行われた実大２階建木造住宅の振動実験で、２階梁桁の位置で観測された応答波を地震入力波形として用いることにした。この実験では、'95.11.28のﾌｪｰｽﾞ１・試験No.2の加振で、阪神・淡路大震災において神戸海洋気象台で観測された記録のＮＳ・ＵＤの２成分を試験体（Ｂ）の桁・上下方向に入力した。この加振により得られた２階梁桁位置での応答加速度を、屋根瓦の振動台実験における地震入力波形に用いることにした。試験体（Ｂ）の概要を 図6-1と表6-1に示す。応答加速度の計測位置を 図6-2に示す。計測された波の概要を 表6-2に示す。

屋根瓦の振動台実験で使用する間組技術研究所の３次元振動台に対しては、Ｘ・Ｙ・Ｚの３成分の入力波形が必要である。多度津で計測された桁行き・梁間・上下の記録は、 図6-2で示す用に、それぞれ異なる２構面で記録された計６成分の記録である。振動台用の３成分記録を作成するために、異なる２構面での計測記録の平均値を計算し、屋根瓦の振動台実験用地震入力波形Ａ・Ｂ・Ｃの３成分を作成した。その結果を 表6-2中の地震入力波形欄に示す。表6-2中で、Ｂ方向の地震入力用波形が計測波よりも大きく減少したのは、計測波には建物のねじれ振動成分が含まれていたためと考えられる。作成した地震入力波形Ａ・Ｂ・Ｃを図6-3に示す。フーリエスペクトルによると、地震入力波形Ａの卓越振動数は3Hz付近にある。この卓越振動数は、神戸海洋気象台で観測された地震動を入力した場合の試験体（Ｂ）の卓越振動数と考えられる。

（２）　スイープ入力波形

通常、地震動はある地震の時に、ある特定の場所で観測された波形である。本実験で使用する地震入力波形は、さらにある特定の実験用建物の応答値である。より一般化された地震応答に対する耐震性能を検討するために、振動成分が連続的に変化するスイープ振動波形（振動数挿引波形）を作成して用いた。なお、挿引速度（一定時間に対する振動数の変化する割合）は一定である。スイープ振動波形は、振動数に対応した現象が時間と共に

生じるため、現象を理解しやすい利点がある。

スイープ加振は、振幅が一定のサイン（正弦）波の連続である。実際の地震波では、最大加速度値およびこの値に近い大振幅値を数個しか保有していない。これに対して、スイープ波形は極めて多数の最大値を有している。最大加速度値が等しい地震波形とスイープ波形を比較した場合、スイープ波形は繰り返し数が極めて多いために、試験体に対する入力エネルギーが地震波形よりもかなり大きくなる。この点を考慮して比較すると、試験体にとって、スイープ入力波形は地震波形よりも相当厳しい入力波形であるといえる。

図6-4にスイープ入力波形（スイープ４００）を示す。スイープ８００はスイープ４００の加速度値を２倍にしたものである。大きな加速度レベルでの加振に用いて、瓦を積極的に落下させ、瓦の落下時の挙動を調べるために用いた。 表6-3にスイープ入力波形の仕様を示す。

（３）　ランダム入力波

標準的な入力波形としてランダム入力波を作成した。ランダム入力波形は、波形の位相がランダムであり、スイープ波形よりも地震動に近い性質を持っていると言える。小さな加速度レベルでの加振に用いて、小屋組や棟瓦の小振幅時の挙動を調べた。 図6-5にランダム入力波形を示す。表6-4にランダム入力波形の仕様を示す。

6.2.3　振動台

（株）間組技術研究所の３次元振動台を使用した。仕様を 図6-6に示す。振動台の寸法は４m×６mで、長辺方向をＸ方向、短辺方向をＹ方向、上下方向をＺ方向とした。振動台と小屋組試験体の間には、両者を連結するための鋼製治具を用いた。鋼製治具の周辺には、瓦等の落下物を振動台外周部へ導く、鋼製パイプ骨組み合板張りのテーブルを設置した。振動台の状況を写真6-1に示す。

6.3 試験体

6.3.1　小屋組

小屋組の構造を図6-7に示す。この試験体を、屋根瓦仕様数（10体）作成した。実験用に作製した小屋組を写真6-2から写真6-3に示す。

6.3.2　屋根瓦仕様

各小屋組の屋根瓦の留付仕様を表6-5に示す。屋根瓦の施工は'95.12.7、加振は'95.12.18から'95.12.25で、屋根瓦の施工から11日から18日後に加振を行った。試験体である各小屋組の屋根瓦仕様の特徴を以下に示す。 資料編図6-1-1から資料編図6-1-10に、各小屋組の屋根瓦の留付仕様を示す。瓦の施工において、釘留付のある瓦には銀色瓦を使い、釘留付のない瓦にはオレンジ色の瓦を使用した。

（１）小屋組Ａ

平板瓦を葺いた唯一の試験体。平瓦部は現在の金融公庫仕様である４枚目ごとに釘１本で留付されている。棟はのし段数０で、冠瓦は強力棟で固定されている。棟土には葺土を

使用。

（２）小屋組Ｂ

瓦は和形（JIS53A）。平瓦部は全瓦連推奨の留付法である３枚目ごとに釘１本で留付されている。軒・袖の留付は釘３本で、他よりも多い。棟はのし段数３で、ボルトで補強されていることが特徴。棟土には葺土を使用した。

（３）小屋組Ｃ

瓦は和形（JIS53A）。平瓦部は現在の金融公庫仕様の留付法である４枚目ごとに釘１本で留付されている。棟はのし段数３相当の一体棟瓦で、強力棟で固定されている。棟土には葺土を使用。

（４）小屋組Ｄ

瓦は和形（JIS53A）。平瓦部は現在の金融公庫仕様の留付法。平瓦留付用釘がｽﾃﾝｽｸﾘｭｰ45であることが特徴。棟はのし段数３で、棟木緊結と南蛮漆喰の組み合わせである。

（５）小屋組Ｅ

瓦は和形（JIS53A）。野地板に米松（9mm厚）を使用しているのが特徴。平瓦部は現在の金融公庫仕様の留付法。棟はのし段数３で、棟木緊結と葺土の組み合わせ。

（６）小屋組Ｆ

瓦は和形（JIS53A）。平瓦部は現在の金融公庫仕様の留付法。最上段に調整用の半瓦を使用していることが特徴。釘での留付はない。棟はのし段数３で、棟木緊結と葺土の組み合わせ。

（７）小屋組Ｇ

瓦は和形（JIS53A）。平瓦部は旧金融公庫仕様の留付法である５枚目毎に留付てある。棟はのし段数３で、施工時には銅線で大回しによる補強を付けたが、加振前に除去している。従って、棟は補強がないことが特徴。

（８）試験体Ｈ

瓦は和形（JIS53A）。平瓦部は旧金融公庫仕様の留付法である５枚目毎に留付てある。棟はのし段数５で、ボルトで補強してあることが特徴。

（９）試験体Ｉ

瓦は和形（JIS53A）。平瓦部は留付てないことが特徴。ただし、軒・袖は通常の留付あり。棟はのし段数５で、棟木緊結。

（10）試験体Ｊ

瓦は和形（JIS53A）。平瓦部は留付てないことが特徴。ただし、軒・袖は釘１本留めで通常より少ない。棟はのし段数５で、銅線で大回し鉢巻き状に緊結してあることが特徴。

6.4 計測方法

ひずみゲージ型の加速度計（５Ｇ用）を小屋組と瓦に設置した。振動台および小屋組への取り付け位置を資料編図6-2-1から資料編図6-2-7に示す。瓦への取り付け位置を資料編

図6-3-1から資料編図6-3-9に示す。平瓦への加速度計を取付は、野地板の一部に穴を開け、小屋組内部から平瓦の裏面に加速度計を取り付けた。小屋組への取付を 写真6-4に、平瓦への取付を写真6-5に、棟瓦への取付を写真6-6に示す。

加速度計が加振の途中で落下した場合は、欠測とした。瓦が落下する可能性のある場合には、事前に落下する可能性のある瓦から加速度計を取り外した。小屋組C、D、Gの場合には、これらの瓦から取り外した加速度計を、小屋組の別の測定点に取り付けた。追加した計測点位置を資料編図6-3-3,4,7に示す。小屋組Gの場合は、母屋継手のかすがい両面打ち（小屋組北側）と母屋継手の片面打ち（小屋組南側）部分の応答性状の違いを調べるために、継手の両側（東側・西側）の母屋上に加速度計を設置して計測した。

収録仕様を以下に示す。

- ﾛｰﾊﾟｽﾌｨﾙﾀｰ　：　50 Hz
- ｻﾝﾌﾟﾙ周波数　：　100 Hz
- 収録時間　：　40～45 秒

6.5 実験内容

表6-6に各試験体に加振を加えたスケジュールを示す。加振番号１～３のランダム加振は、試験体の小振幅時の振動性状を調べるために実施した。加振番号４～５の地震波による加振は、阪神大震災級の地震動に対して、健全な建物上の屋根瓦の耐震性能を調べるために行った。加振番号６～10のスイープ加振は、大振幅時の振動性状を調べるために実施した。特に、加振No.9では、屋根瓦の破損を積極的に起こして、屋根瓦の破壊モードを観察するために実施した。同時に屋根各部の相当加速度を計測した。

6.6 実験結果

6.6.1. 加速度波形

計測された加速度波形の例を 図6-8-1に示す。

6.6.2　最大加速度値

加速度計で計測された各計測点における最大加速度値を 表6-7に示す。ただし、これらの最大加速度値のうち、ランダム加振以外の値は、瓦が上下に振動して野地板と衝突した影響によるパルス状のノイズに影響されている可能性があることに注意を要する。

6.6.3　屋根瓦の破損状況

試験体の破損状況を表6-8に示す。

(1)試験体A

加振前の状況を資料編 写真6-1-1に、加振No.5, 8, 9後の状況を資料編図6-4-A-1～3、資料編写真6-1-2,3,4に示す。屋根瓦に生じたの被害詳細を 写真6-7-1から写真6-7-2に示す。

(2)試験体B

加振前の状況を資料編 写真6-2-1に、加振No.5, 8, 9後の状況を資料編図6-4-B-1～2、資

料編写真6-2-2,3,4に示す。屋根瓦に生じたの被害詳細を 写真6-8-1から写真6-8-4に示す。

(3)試験体C

加振前の状況を資料編 写真6-3-1に、加振No.5, 8, 9後の状況を資料編図6-4-C-1～3、資料編写真6-3-2,3,4に示す。屋根瓦に生じたの被害詳細を 写真6-9-1から写真6-9-4に示す。

(4)試験体D

加振前の状況を資料編 写真6-4-1に、加振No.5, 8, 9後の状況を資料編図6-4-D-1～3、資料編写真6-4-2,3,4に示す。屋根瓦に生じたの被害詳細を 写真6-10-1から写真6-10-4に示す。

(5)試験体E

加振前の状況を資料編 写真6-5-1に、加振No.5, 8, 9後の状況を資料編図6-4-E-1～4、資料編写真6-5-2,3,4に示す。屋根瓦に生じたの被害詳細を 写真6-11-1から写真6-11-4に示す。

(6)試験体F

加振前の状況を資料編 写真6-6-1に、加振No.5, 8, 9後の状況を資料編図6-4-F-1～4資料編、写真6-6-2,3,4に示す。屋根瓦に生じたの被害詳細を 写真6-12-1から写真6-12-4に示す。

(7)試験体G

加振前の状況を資料編 写真6-7-1に、加振No.5, 8, 9後の状況を資料編図6-4-G-1～6、資料編写真6-7-2,3,4に示す。屋根瓦に生じたの被害詳細を 写真6-13-1から写真6-13-8に示す。

(8)試験体H

加振前の状況を資料編 写真6-8-1に、加振No.5, 8, 9後の状況を資料編図6-4-H-1～4、資料編写真6-8-2,3,4に示す。屋根瓦に生じたの被害詳細を 写真6-14-1から写真6-14-2に示す。

(9)試験体I

加振前の状況を資料編 写真6-9-1に、加振No.5, 8, 9後の状況を資料編図6-4-I-1～4、資料編写真6-9-2,3,4に示す。屋根瓦に生じたの被害詳細を 写真6-15-1から写真6-15-4に示す。

(10)試験体J

加振前の状況を資料編 写真6-10-1に、加振No.5, 8, 9後の状況を資料編図6-4-J-1～5、資料編写真6-10-2,3,4に示す。屋根瓦に生じたの被害詳細を 写真6-16-1から写真6-16-7に示す。

6.7 考察

6.7.1 平瓦の被害

(1)和形

全瓦連推奨仕様・現金融公庫仕様・旧金融公庫仕様間隔で留付た場合のいずれの仕様、いずれの加振においても、平部の瓦が大きく落下する事はなかった。ただし、加振No.5（地震波、Y方向）の後で公庫仕様間隔留付の試験体CとEで、多少の瓦の回転ズレが見られ、試験体Jで横方向のずれが見られた。加振No.8（スイープ400、上下入力）の後で、試験体B・D・E・F・G・Jで多少の平瓦の回転やハズレが生じた。加振No.9（スイープ800、X方向）の後で、試験体F・Hで多少の平瓦の落下・ハズレが生じた。いずれも大

きな被害とは言えない程度であった。

(2)平板瓦

試験体Ａの実験結果によると、加振No.6（スイープ４００、Ｘ方向）により平瓦のズレが生じただけで、平瓦の落下等の問題はいずれの加振の場合も生じいなかった。

6.7.3　棟瓦の被害

(1)和形

・のし３段の場合

試験体Ｂ・Ｃ・Ｄ・Ｅ・Ｆ・Ｇの実験結果から、加振No.4とNo.5の地震波形入力により試験体Ｆ（棟木緊結、葺土、半瓦付き）では、半瓦とのし瓦の台土に隙間・ひび割れが生じた。試験体Ｇ（緊結なし、葺土）では、棟の蛇行・冠瓦のずれが生じた。

加振No.9（スイープ800、Ｘ方向）の実験結果から、棟瓦の被害を大きい順に並べて以下に示す。なお、試験体の冠瓦数は17枚、のし瓦数は51×2枚である。

①試験体Ｇ（緊結なし、葺土）	冠瓦９枚落下 のし瓦の最上段と中間の段を中心に46枚が落下する
②試験体Ｅ（棟木緊結、葺土）	のし瓦の最上段を中心に17枚程度が落下する
③試験体Ｆ（　　”　　、半瓦付き）	半瓦が６枚、のし瓦５枚が落下する
④試験体Ｄ（棟木緊結、南蛮漆喰）	棟瓦が蛇行、のし瓦がずれる、棟瓦の落下なし
⑤試験体Ｂ（ボルト）	のし瓦２枚ずれる
⑥試験体Ｃ（一体棟）	台土にひび割れが入る

以上の結果から、棟瓦の施工が葺土のみ・緊結なしの場合は、地震入力でも被害が生じ始めている。留付なしの半瓦を使用している場合も同様である。地震入力よりも大きな入力となるスイープ800の加振に対しては、①から⑥の順に耐震性能が高いと言える。棟木緊結に冠瓦の落下防止効果が認められた。のし瓦に対しても、冠瓦がのし瓦を押さえつけてのし瓦の落下を抑制していると考えられる。試験体Ｄ、Ｅ、Ｆで用いた棟木緊結は、緩みのない理想的な施工によるもので、実際の緩みのある施工では、耐震性能は緊結なし（試験体Ｇ）に近ずく可能性がある。このため、棟木緊結とはのし瓦同士の緊結の併用が必要と思われる。

・のし５段の場合

試験体Ｈ・Ｉ・Ｊの実験結果から、加振No.4とNo.5の地震波形入力により試験体Ｊ（大回し、葺土）では、冠瓦のずれ・葺土との付着切れが生じた。

加振No.9（スイープ800、Ｘ方向）の実験結果から、棟瓦の被害を大きい順に並べて以下に示す。なお、試験体の冠瓦数は17枚、のし瓦数は85×2枚である。

①試験体Ｉ（棟木緊結、葺土）のし瓦の126枚が落下する

冠瓦はほとんどがハズレルが、全て落下を免れる

②試験体Ｊ（大回し、葺土）　冠瓦の半数がハズレルが、落下は免れる

最下段を含むのし瓦５枚が抜け出て落下する

③試験体Ｈ（ボルト、葺土）　最下段ののし瓦５枚が落下する

のし３段の場合と比較して、のし５段の場合は急激に落下する瓦の量が増加した。棟木緊結は冠瓦の落下防止には効果が認められた。大回しは冠瓦の落下を防ぐ効果とのし瓦の抜け出しを防ぐ効果が認められる。

・破損位置

緊結なしの試験体Ｇの場合、棟瓦の上部にある瓦ほど落下が多い。従って、冠瓦の落下が多く、のし瓦は上段ほど落下数が多い。最下段ののし瓦は落下しなかった。

棟木緊結の場合、冠瓦はハズレない場合と、ハズレて転倒するが落下しない場合の２種類である。試験体Ｅでは、棟木緊結のために冠瓦はハズレず最上段ののし瓦が片側一列落下した。上段ののし瓦ほど落下しやすく、下段の瓦は落下しなかった。半瓦付きの場合、半瓦が６枚落下したが、のし瓦は上段から落下している。試験体Ｊ（大回し）の場合では、最下段を含むのし瓦が、緊結銅線の間を抜け出て落下した。下段ののし瓦の抜け出す傾向がある。試験体Ｈ（ボルト）は、最下段ののし瓦が落下しやすい傾向がある。ただし、最下段ののし瓦や半瓦が落下しても、棟瓦全体が転倒することはなかった。

(2)平板瓦

試験体Ａの実験結果によると、棟瓦の釘に浮き上がりが生じただけで、瓦の落下等の問題は地震波・スイープ加振のいずれの場合も生じていない。

6.7.3　最大加速度値の応答倍率

加振方向の最大加速度値を、加振方向の振動台上での最大加速度値で除した値を、最大加速度値の応答倍率として、表6-9-1から表6-9-10に示す。これらの値のうち、ランダム加振以外の値は、パルス状のノイズの影響を受けている可能性があるので、注意が必要である。

ランダム加振による最大加速度値の応答倍率によると、建物の２階梁桁位置での応答に対して、棟木位置の直交方向に対して約２から３倍程度の倍率になる。棟瓦に関しては、わずかながら上段の瓦ほど大きく、冠瓦頂部で約2.5から3.5倍程度である。野地板の上下動はおおむね約２倍から４倍程度で、平瓦の応答は野地板よりも多少大きい。

6.8 まとめ

6.8.1　耐震性能

一体棟＜ボルト＜大回し＜棟木緊結＜補強なしの順に被害が増加する。南蛮漆喰は葺土よりも被害が少ない。半瓦の影響は明瞭ではなかった。

6.8.2　破損位置

補強等がない場合、上段の瓦ほど被害が大きい。棟木緊結の耐震効果は、冠瓦の落下防

止である。大回しの耐震効果とは、上段の瓦の落下防止と思われる。大回しやボルトの場合、最下段ののし瓦が落下しやすい傾向がある。半瓦付きの場合は、半瓦が落下しやすい。ただし、この場合でも棟瓦の転倒は生じていない。

6.8.3　入力

ランダム加振による最大加速度値の応答倍率によると、建物の２階梁桁位置での応答に対して、棟木位置（直交方向）では約２から３倍程度の倍率になる。棟瓦に関しては、わずかながら上段の瓦ほど大きく、冠瓦頂部で約2.5から3.5倍程度である。野地板の上下動はおおむね約２倍から４倍程度で、平瓦の応答は野地板よりも少し大きい。

表6-1、木造住宅実大振動実験、試験体（B）の仕様

項　目	仕　　様
野地板	合板　厚12mm
外装材	ラス下地モルタル
床	合板12mm
金物	金融公庫仕様程度（Z金物）
筋かい	2ツ割（45×105）
主要構造材	管柱：杉（105×105）、通柱：檜（120×120） 梁・桁等の横架材：米松（105×105～330） 根太・垂木・間柱：杉
内装仕上げ	LD室のみ：石膏ボード　（壁）　12mm （天井）9.5mm
床面積	約133m^2
壁量	基準法の1倍
偏心	0.15程度

表6-2、地震入力波形（神戸海洋気象台）

計測波				地震入力用波形	
位置	方向	計測点名	最大加速度値(gal)	名称	最大加速度値(gal)
桁（奥） 桁（手前）	桁行き（加振方向） 〃	AB3X1(009X) AB3X4(011X)	1083 1513	A	1265
梁（右） 梁（左）	梁　（加振直交） 〃	AB3Y2(010Y) AB3Y5(012Y)	308 264	B	96
梁（右） 梁（左）	上下　（加振方向） 〃	AB3Z3(010Z) AB3Z6(012Z)	452 452	C	407

表6-3、スイープ入力波形

名称	加速度値 (gal)	振動数成分 (Hz)	時間 (sec)	挿引速度 Hz/sec
スイープ４００	400	1から15へ	40	0.35
スイープ８００	800	1から15へ	40	0.35

表6-4、ランダム入力波形

名称	最大加速度値 (gal)	振動数成分 (Hz)	時間 (sec)	位相
ランダム	20	0 - 50*	40～45	ランダム

*:30Hz付近にややピークを持ち、40Hz以上で減少。

表6-5, 屋根瓦試験体の仕様

小屋組		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
野地板	材質	合板	同左	同左	同左	米松	合板	同左	同左	同左	同左
	厚み	12mm	同左	同左	同左	9mm	12mm	同左	同左	同左	同左
防水紙	材質	ﾌｧﾙﾄﾙｰﾌｨﾝ	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左
	厚み	22kgf	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左
ｽﾍﾟｰｻｰ	材質	ｶｯﾄﾍﾞﾆｱ	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左
	厚み	2.7mm	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左
桟木	材質	杉	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左
	寸法	15×30	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左
	鼻桟	30×21									
	間隔	455mm	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左
桟木留付	接合具	鉄丸釘	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左
	接合間隔	455mm	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左
	本数	1	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左
	長さと径	65	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左
瓦の種類	種類	平板	和形53A	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左
	品名	ﾛｱｰﾙ		同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左
軒	留付間隔	1列全数	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左
	留付法	ｽﾃﾝ丸65	上65釘、山(100釘、19#銅線)	ｽﾃﾝ丸65	同左	同左	同左	同左	同左	同左	ｽﾃﾝ丸65
	緊結具位置	瓦上部	瓦上部2、山1	瓦上部2	同左	同左	同左	同左	同左	同左	瓦左上部1
	緊結数	2	3	2	同左	同左	同左	同左	同左	同左	1
袖	留付間隔	1列全数	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左
	留付法（片面）	ｽﾃﾝ丸65	上65釘、山(19#銅線)	同左	上65釘、山(19#銅線)	同左	同左	同左	同左	同左	ｽﾃﾝ丸65
	留付法（片面）	ｽﾃﾝ丸65	上65釘、山(100細目釘)	同左	上65釘、山(100太め釘)	同左	同左	同左	同左	同左	ｽﾃﾝ丸65
	緊結具位置	横	瓦上部2、袖側1	瓦上部1、袖側1	同左	同左	同左	同左	同左	同左	瓦上部1
	緊結数	2	3	2	同左	同左	同左	同左	同左	同左	1
平	仕様名称	現公庫	全瓦連	現公庫	同左	同左	同左	旧公庫	同左	なし	なし
	留付間隔	4枚目ごと	3枚目ごと	4枚目ごと	同左	同左	同左	5枚目ごと	同左	なし	なし
	留付法	釘	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左	なし	なし
	緊結具仕様	ｽﾃﾝ丸65	ｽﾃﾝ丸65	同左	ｽﾃﾝｽｸﾘｭｰ45	ｽﾃﾝ丸65	同左	ｽﾃﾝ丸65	ｽﾃﾝｽｸﾘｭｰ45	なし	なし
	緊結数	1	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左	なし	なし
	最上段の半瓦	無	同左	同左	同左	同左	有	無	同左	同左	同左
棟	のし段数	なし	3	同左	同左	同左	同左	同左	5	同左	同左
	緊結間隔	1	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左
	緊結法	釘(ｽﾃﾝ丸	鉄筋	一体型	棟木緊結	同左	同左	なし	鉄筋	棟木緊結	鉢巻き状
	緊結具	木材(45×30)	銅線（全のし、丸）	木材(45×30)	銅線（全丸）	同左	同左	なし	銅線（全のし、丸）	銅線（全丸）	銅線（のし一段目上）
	補強金物	強力棟5本@910	ボルト5本@910	強力棟5本@910	なし	同左	同左	同左	ボルト5本@910	なし	同左
	棟土	葺土	同左	同左	南蛮しっくい	葺土	同左	同左	同左	同左	同左
施工日		95.12.7	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左
実験日		95.12.18	同左	95.12.19	同左	95.12.2	同左	95.12.25	95.12.21	95.12.22	同左

表6-6、加振スケジュール（S：スイープ入力波形　　R：ランダム入力波形）

加振 No.	名称	加振方向	主加振方向	入力方向と入力波形 [最大加速度値(gal)] X	Y	Z
1	ランダムX	X（棟直交）		R [20]		
2	〃 Y	Y（棟平行）			R [20]	
3	〃 Z	Z（上下）				R [20]
4	地震波X	X・Y・Z	X	A [1265]	B [96]	C [407]
5	〃 Y	X・Y・Z	Y	B [96]	A [1265]	C [407]
6	スイープ400X	X		S [400]		
7	〃 Y	Y			S [400]	
8	〃 Z	Z				S [400]
9	スイープ800X	X		S [800]		

表6-7-1　　最大値一覧(gal)　小屋組A

Ch-	位置	方向	ﾗﾝﾀﾞﾑ			地震波		ｽｲｰﾌﾟ			
			20			等倍		400			800
			X	Y	Z	X・Z	Y・Z	X	Y	Z	X
1	振動台	X	19	6	7	1910	111	716	23	30	862
2		Z	6	5	38	333	532	40	31	381	101
3		Y	3	21	5	127	1200	67	374	26	99
4	棟木	X	54	13	27	1220	246	2300	125	197	2270
5		Z	15	13	86	320	374	331	219	839	1200
6		Y	15	42	21	179	1250	69	1810	196	179
7	野地板1	X'	31	11	30	1130	232	1550	167	412	2090
8		Z'	95	27	67	694	649	2980	188	2660	3380
9		Y	10	42	15	164	1620	111	1680	96	203
10	野地板2	X'	34	13	27	1110	237	1050	141	350	1970
11		Z'	143	28	74	729	467	3720	158	1800	2980
12		Y	11	42	13	143	1150	95	1070	110	193
15	棟瓦	X	75	12	21	1300	186				
16		Z	15	21	90	394	428				
17		Y	10	80	16	196	1520				
18	平瓦1	X'	37	22	36	1250	203				
19		Z'	162	65	93	683	750				
20		Y	17	82	16	165	2150				
21	平瓦2	X'	60	15	46	1220	398	4530			
22		Z'	136	36	169	636	415	4890			
23		Y	8	41	24	157	1380	1520			

注　X'は屋根面に平行
　　Z'は屋根面に垂直

表6-7-2　　最大値一覧(gal)　小屋組B

Ch-	位置	方向	ﾗﾝﾀﾞﾑ			地震波		ｽｲｰﾌﾟ			
			20			等倍		400			800
			X	Y	Z	X・Z	Y・Z	X	Y	Z	X
1	振動台	X	18	6	5	1320	166	428	39	36	857
2		Z	6	6	23	417	432	51	28	425	92
3		Y	3	27	4	148	1220	49	419	25	98
4	棟木	X	43	12	23	1440	155	1010	114	449	2260
5		Z	9	9	65	556	515	711	186	1904	716
6		Y	11	51	18	206	1810	112	1210	136	157
7	野地板1	X'	37	11	28	1390	482	970	110	621	2040
8		Z'	70	35	78	829	614	1040	239	1892	1610
9		Y	11	61	16	217	1550	94	1300	124	151
10	野地板2	X'	37	12	26	1330	293	947	150	563	1990
11		Z'	76	36	70	813	569	1090	210	1898	1610
12		Y	9	51	15	183	1400	100	1140	111	155
15	棟瓦	X	49	19	27	3610	283				
16		Z	10	10	69	673	568				
17		Y	10	67	17	339	2940				
18	平瓦1	X'	43	19	37	1540	343				
19		Z'	84	61	105	810	590				
20		Y	17	57	25	223	1700				
21	平瓦2	X'	51	19	40	1570	215				
22		Z'	92	50	93	714	591				
23		Y	10	53	16	190	1870				

注　X'は屋根面に平行
　　Z'は屋根面に垂直

表6-7-3　　最大値一覧(gal)　小屋組C

Ch-	位置	方向	ﾗﾝﾀﾞﾑ			地震波		ｽｲｰﾌﾟ			
			20			等倍		400			800
			X	Y	Z	X・Z	Y・Z	X	Y	Z	X
1	振動台	X	18	5	7	1300	131	437	26	35	867
2		Z	8	9	21	417	411	43	32	431	127
3		Y	5	26	5	153	1200	55	412	22	101
4	棟木	X	44	10	20	1610	205	1310	128	261	1850
5		Z	6	8	61	453	428	289	153	973	872
6		Y	10	55	16	227	1470	118	1140	142	257
7	棟木１	X	32	17	22	1580	154	1010	131	163	1910
8	棟木２	X	27	11	16	1470	130	970	104	104	1810
9	棟木３	X	43	13	21	1530	187	1220	127	204	1870
10	棟木４	X	31	13	17	1510	192	1030	184	196	1650
11	棟木５	X	26	13	16	1510	171	942	58	125	1580
12	垂木１	Y	6	27	8	117	1240	97	419	149	217
13	母屋	Y	13	42	15	159	1360	105	897	107	194
14	垂木２	Y	10	32	17	178	1190	344	496	292	498
15	棟瓦	X	43	18	25	3520	402	2220	400		
16		Z	9	11	78	857	527	1340	649		
17		Y	8	57	18	273	1930	848	1740		
18	平瓦１	X'	50	16	40	1770	445	2360	338		
19		Z'	51	26	97	756	615	1840	540		
20		Y	10	54	16	254	2040	471	1280		
21	平瓦２	X'	51	17	37	1670	589	2210	275		
22		Z'	71	37	111	699	532	2600	377		
23		Y	7	52	14	242	1570	539	1100		
18	野地板１	X'								475	1900
19		Z'								1450	1400
20		Y								586	672
21	野地板２	X'								469	1840
22		Z'								2100	2130
23		Y								124	149

注　X'は屋根面に平行
　　Z'は屋根面に垂直

表6-7-4　　最大値一覧(gal)　　小屋組D

Ch-	位置	方向	ﾗﾝﾀﾞﾑ			地震波		ｽｲｰﾌﾟ			
			20			等倍		400			800
			X	Y	Z	X・Z	Y・Z	X	Y	Z	X
1	振動台	X	16	14	5	1310	125	439	35	33	858
2		Z	5	16	19	412	383	55	31	425	86
3		Y	4	33	4	159	1220	41	421	39	90
4	棟木	X	53	22	17	1440	164	1120	148	245	1820
5		Z	17	23	70	609	538	1000	166	1910	1500
6	けらば	Z	19	99	39	511	456	175	811	795	647
7	棟	Z	14	54	55	598	495	739	178	1190	964
8	野地板１	Z'	32	36	53	700	436	804	185	925	1090
9	”　2	Z'	49	43	73	779	509	870	141	2310	1340
10	母屋１	Z	42	34	64	456	445	652	218	1110	973
11	”　2	Z	54	31	73	526	512	675	150	1940	1310
12	垂木１	Z	75	97	78	552	510	1050	636	758	1910
13	”　2	Z	63	76	88	521	480	859	309	1890	2200
14	”　3	Z	57	68	76	526	553	995	367	2900	2000
15	棟瓦	X	54	20	24	2580	255				
16		Z	16	30	75	689	558				
17		Y	18	78	22	223	2190				
18	平瓦１	X'	61	42	29	1660	355				
19		Z'	48	50	81	751	597				
20		Y	14	71	22	268	1680				
21	平瓦２	X'	64	38	35	1570	382				
22		Z'	80	76	105	722	714				
23		Y	15	97	22	256	1550				
18	野地板１	X'						1230	130	504	1970
19		Z'						875	169	2160	1480
20		Y						120	1260	200	270
21	野地板２	X'						1250	128	534	2000
22		Z'						861	152	2340	1330
23		Y						119	1240	145	246

注　X'は屋根面に平行
　　Z'は屋根面に垂直

表6-7-5　　最大値一覧(gal)　小屋組E

Ch-	位置	方向	ﾗﾝﾀﾞﾑ			地震波		ｽｲｰﾌﾟ			
			20			等倍		400			800
			X	Y	Z	X・Z	Y・Z	X	Y	Z	X
1	振動台	X	18	6	6	1260	127	431	135	31	835
2		Z	6	7	24	453	408	48	98	413	87
3		Y	3	27	3	199	1200	43	425	30	94
4	棟木	X	40	15	20	1460	271	1240	179	233	1990
5		Z	8	10	47	400	464	533	160	1430	928
6		Y	10	57	19	574	1620	117	1800	134	167
7	野地板１	X'	34	13	22	1650	284	1170	370	577	1700
8		Z'	35	14	55	712	520	867	210	1700	1300
9		Y	11	56	19	216	1540	117	1270	121	154
10	野地板２	X'	31	10	24	1300	224	1110	131	663	1600
11		Z'	56	39	65	808	497	1300	248	1960	1910
12		Y	6	48	15	209	1520	163	1200	112	180
15	棟瓦	X	53	22	37	5060	411	2550			
16		Z	11	24	64	796	552				
17		Y	8	62	19	811	4800				
18	平瓦１	X'	39	24	36	1570	758	2830	535	938	
19		Z'	59	172	107	1020	659	1520	513	3550	
20		Y	11	77	29	320	1620	577	1460	673	
21	平瓦２	X'	42	20	31	1580	464	1520	298	800	
22		Z'	69	55	112	887	858	1580	450	3030	
23		Y	9	51	28	497	1630	307	1480	463	

注　X'は屋根面に平行
　　Z'は屋根面に垂直

表6-7-6　　最大値一覧(gal)　小屋組F

Ch-	位置	方向	ﾗﾝﾀﾞﾑ			地震波		ｽｲｰﾌﾟ			
			20			等倍		400			800
			X	Y	Z	X・Z	Y・Z	X	Y	Z	X
1	振動台	X	18	5	14	1290	145	430	37	40	832
2		Z	7	6	20	408	399	46	30	433	72
3		Y	4	31	9	188	1200	53	415	32	92
4	棟木	X	54	11	21	1430	186	1200	239	264	2270
5		Z	7	13	68	510	519	556	132	1990	653
6		Y	10	49	18	193	1390	122	1220	134	177
7	野地板１	X'	46	8	28	1360	268	1200	115	561	1950
8		Z'	63	24	99	794	576	826	173	2260	1680
9		Y	10	52	18	187	1370	204	1130	123	174
10	野地板２	X'	44	8	27	1300	244	1140	95	519	1850
11		Z'	61	28	103	748	552	810	196	2090	1750
12		Y	6	46	16	168	1310	246	1040	116	214
15	棟瓦	X	52	16	24	4120	1030	1410			
16		Z	8	14	71						
17		Y	5	57	18						
18	平瓦１	X'	54	21	39	1400	784	1640			
19		Z'	75	46	136	769	675	985			
20		Y	16	48	32	189	1730	239			
21	平瓦２	X'	53	18	36	1370	371	1720			
22		Z'	59	35	108	723	613	952			
23		Y	8	51	20	198	1610	283			

注　X'は屋根面に平行
　　Z'は屋根面に垂直

表6-7-7　　最大値一覧(gal)　小屋組G

Ch-	位置	方向	ﾗﾝﾀﾞﾑ			地震波		ｽｲｰﾌﾟ			
			20			等倍		400			800
			X	Y	Z	X・Z	Y・Z	X	Y	Z	X
1	振動台	X	22	9	8	1270	157	445	218	36	840
2		Z	6	6	21	421	407	48	35	432	103
3		Y	4	27	4	163	1210	49	414	30	104
4	棟木	X	52	11	20	1500	215	1230	441	270	1980
5		Z	18	9	50	428	459	543	167	1370	1160
6		Y	9	50	19	236	1450	144	1280	132	245
7	野地板１	X'	40	10	30	1420	247	1220	406	417	2590
8		Z'	87	26	106	708	518	893	274	2190	1890
9		Y	8	49	18	216	1390	128	1260	96	194
10	野地板２	X'	43	7	26	1390	247	1170	367	431	2510
11		Z'	84	29	107	723	506	1030	315	1790	1900
12		Y	6	47	15	184	1380	158	1230	93	296
15	棟瓦	X	62	16	34						
16		Z	22	12	64						
17		Y	9	57	19						
18	のし１右	X	59	18	31	1710	258	2520	1180	634	
19	”　　左	X	63	13	32						
20	のし２右	X	58	12	28	1670	220	2330	2380	2870	
21	”　　左	X	57	13	26						
22	のし３右	X	57	10	27	1640	187	2110	418	405	3760
23	”　　左	X	59	10	28						
15	母屋北西	Z									1220
16	母屋北東	Z									1140
17		X									2240
18	母屋南西	Z									957
19	母屋南東	Z									921
20		X									2250

注　X'は屋根面に平行
　　Z'は屋根面に垂直

表6-7-8　　最大値一覧(gal)　小屋組H

Ch-	位置	方向	ﾗﾝﾀﾞﾑ			地震波		ｽｲｰﾌﾟ			
			20			等倍		400			800
			X	Y	Z	X・Z	Y・Z	X	Y	Z	X
1	振動台	X	17	6	6	1320	147	419	35	36	836
2		Z	21	5	23	407	393	45	25	425	76
3		Y	4	28	5	158	1200	47	417	41	92
4	棟木	X	51	12	19	1480	185	1130	143	287	2180
5		Z	8	10	57	412	400	439	122	1430	1180
6		Y	11	50	19	210	1600	159	1190	235	255
7	野地板１	X'	47	7	24	1420	232	1070	105	673	2120
8		Z'	50	27	92	722	503	1210	126	1650	1540
9		Y	15	51	18	167	1510	179	1090	157	273
10	野地板２	X'	44	7	24	1360	223	1030	94	673	2070
11		Z'	57	33	86	730	517	1390	179	1480	2030
12		Y	8	49	14	168	1500	155	1030	133	307
15	棟瓦	X	58	31	41	4540	202	2090			
16		Z	10	13	80	1030	525				
17		Y	9	63	20	530	2970				
18	平瓦１	X'	55	15	29	1700	475	1460	247	1430	
19		Z'	65	49	113	721	532	2100	270	4690	
20		Y	8	52	16	190	1730	202	1030	557	
21	平瓦２	X'	54	17	38	1490	686	1410	218		
22		Z'	71	54	118	671	525	1830	309		
23		Y	9	46	18	211	1770	209	891		

注　X'は屋根面に平行
　　Z'は屋根面に垂直

表6-7-9　最大値一覧(gal)　小屋組Ｉ

Ch-	位置	方向	ﾗﾝﾀﾞﾑ			地震波		ｽｲｰﾌﾟ			
			２０			等倍		400			800
			X	Y	Z	X・Z	Y・Z	X	Y	Z	X
1	振動台	X	17	6	7	1290	147	431	40	33	860
2		Z	6	6	23	428	434	50	31	442	82
3		Y	4	29	3	159	1190	42	413	19	84
4	棟木	X	44	9	17	1440	163	1010	75	206	2070
5		Z	11	12	51	476	403	835	201	1690	1070
6	けらば	Z	18	55	42	446	466	408	856	751	847
7	棟	Z	15	28	50	508	498	777	281	1210	986
8	野地板	Z'	27	29	48	732	437	825	136	944	1330
9	”	Z'	46	32	88	820	455	917	194	1870	1620
10	母屋１	Z	38	23	64	403	463	612	172	981	1630
11	”　２	Z	39	19	74	446	460	696	149	1290	1520
12	垂木１	Z	109	97	69	601	488	944	666	1150	1620
13	”　２	Z	71	85	134	658	513	1110	593	1220	4350
14	”　３	Z	67	54	132	632	435	1320	441	1340	4210
15	棟瓦	X	44	18	42	4060	406	2020	233		
16		Z	14	12	73	871	495				
17		Y	7	60	18	446	1760				
18	平瓦１	X'	45	13	30	1430	614	1320	208	954	5190
19		Z'	51	47	118	693	559	1200	194	1330	2790
20		Y	9	50	16	155	1770	136	825	188	575
21	平瓦２	X'	47	11	29	1500	504	1270	211	951	6450
22		Z'	44	39	129	692	624	1130	190	1150	3010
23		Y	9	47	14	188	1700	146	877	199	739

注　X'は屋根面に平行
　　Z'は屋根面に垂直

表6-7-10　最大値一覧(gal)　小屋組Ｊ

Ch-	位置	方向	ﾗﾝﾀﾞﾑ			地震波		ｽｲｰﾌﾟ			
			２０			等倍		400			800
			X	Y	Z	X・Z	Y・Z	X	Y	Z	X
1	振動台	X	17	6	5	1300	144	432	44	31	844
2		Z	5	6	21	408	416	47	26	435	81
3		Y	3	26	4	159	1200	46	416	27	85
4	棟木	X	36	20	13	1510	157	1140	149	222	2060
5		Z	16	10	65	466	491	1290	172	2250	1020
6		Y	18	47	20	197	1380	187	1040	187	287
7	棟木１	X	24	17	13	1450	168	1070	144	117	1900
8	棟木２	X	24	14	9	1430	134	977	129	100	1810
9	棟木３	X	31	19	15	1490	162	1110	141	201	1990
10	棟木４	X	22	13	8	1400	107	1000	167	119	2060
11	棟木５	X	28	18	13	1430	133	1030	222	174	2200
12	垂木１	Y	7	26	8	115	1280	112	489	282	300
13	母屋	Y	11	37	18	114	1460	156	973	168	173
14	垂木２	Y	6	28	9	208	1150	171	462	172	459
15	棟瓦	X	46	31	36	5750	508	2780			
16		Z	12	15	73						
17		Y	16	58	23						
18	平瓦１	X'	47	21	24	1510	302	1650	276	1590	5350
19		Z'	48	53	131	727	499	1630	268	3460	2470
20		Y	12	40	19	216	1570	333	848	493	595
21	平瓦２	X'	46	19	23	1490	364	1690			
22		Z'	37	41	98	693	498	1560			
23		Y	12	39	17	170	1740	239			

注　X'は屋根面に平行
　　Z'は屋根面に垂直

表6-8、屋根瓦の破損状況

試験体	X	Y	X	Y	Z	X	棟解体後の様子
	4	5	6	7	8	9	
A			冠瓦を留付ている釘が最大ミリ引き抜ける　（北西）西端平瓦が横方向にずれる			面戸漆喰が１箇所落ちる 主に南面中央部平瓦の表面が２５箇所ほど欠ける	
B					（北面）３、４段目中央平瓦３枚が下方へずれる。その影響で隣の平瓦が１枚ずれる	南面ののし２枚が下方へずれる 面戸漆喰が１０箇所ほど落ちる	
C		釘留付瓦が左回りに回転。南面よりも北面の方が回転が大きい	一体形瓦留付ている釘が１～２ミリ引き抜け、棟と平行にずれる 一体形瓦と葺土の付着がはがれる			一体形瓦の端部が １０箇所ほど欠ける 面戸漆喰が５箇所ほど落ちる。 葺土が５箇所ほど割れる。	
D			棟の東端が北側へ蛇行		棟の中央が北側へ蛇行 中央部の平瓦２枚が左回りに回転。隣の平瓦１枚が少々浮き上がる	のし３段目４枚、１段目１枚が最大４０ミリ下方へずれる	
E		（北面）中央部平瓦４枚回転　釘留付瓦が左回りに回転	（北面）のし１段目１枚落下		棟中央部北側へ蛇行（北面）中央部平瓦４枚回転し、はずれる　（南面）４段１２列目の平瓦が下方へずれる	（北面）のし１段目大部分が落下。（南面）のし瓦４枚落下	
F	半瓦とのしの間の土に隙間とひび割れができる		半瓦の浮き上がりが大きくなる		（北面）中央部平瓦３枚はずれる　（南面）中央部平瓦２枚はずれる。隣の瓦が１枚浮き上がる	（北面）半瓦２枚落下、３枚ずれる　（南面）半瓦４枚落下、１枚ずれる。平瓦２枚落下　（南側）中央部平瓦釘の打ち忘れ１枚。この瓦がずれる。	

試験体	X	Y	X	Y	Z	X	棟解体後の様子
	4	5	6	7	8	9	
G	棟が北側へ蛇行 冠瓦と葺土の付着がきれる	冠瓦南側へ最大１２ミリ蛇行。冠瓦外側へずれる（西側１１５ミリ）釘留付瓦が左回りに回転	冠瓦が外側へ最大１２ミリずれる	冠瓦が南へ最大１２ミリずれる	冠瓦南へ最大１２ミリ蛇行（北面）中央平瓦９枚抜ける	冠瓦９枚落下　（北側）のし瓦２４枚落下 （南側）のし瓦２２枚落下	
H						のし５段目５箇所落下　葺土が大部分落ちる （南面）中央部平瓦１枚下方へずれる	
I						冠瓦はすべて屋根の上に残る（緊結の効果）　のし瓦の残り枚数４４枚	
J		冠瓦両端が外側にずれる（西端３５ミリ） 冠瓦と葺土の付着がきれる　（南面）東端平瓦が横方向にずれる	冠瓦両端が外側にずれる（西端93ミリ）　（北面）軒先瓦が左回りに回転		冠瓦が棟と平行にずれる（主に東側へ８ミリ）　（南面）中央部平瓦９枚下方へずれる	１枚北側テーブルへの落下 （北側）のし瓦５枚落下	

表6-9-1　最大値の応答倍率　　小屋組A

Ch-	方向	位置	ﾗﾝﾀﾞﾑ 20	ｽｲｰﾌﾟ 400	ｽｲｰﾌﾟ 800	地震波等倍 X・Z	地震波等倍 Y・Z
1	X	振動台	1.00	1.00	1.00	1.00	
4	X	棟木	2.82	3.21	2.63	0.64	
15	X	棟瓦	3.89			0.68	
1	X	振動台	1.00	1.00	1.00	1.00	
7	X'	野地板1	1.59	2.16	2.42	0.59	
18	X'	平瓦1	1.93			0.65	
1	X	振動台	1.00	1.00	1.00	1.00	
10	X'	野地板2	1.79	1.47	2.29	0.58	
21	X'	平瓦2	3.11			0.64	
3	Y	振動台	1.00	1.00			1.00
6		棟木	1.95	4.84			1.04
17		棟瓦	3.74				1.27
3		振動台	1.00	1.00			1.00
9		野地板1	1.98	4.49			1.35
20		平瓦1	3.82				1.79
3		振動台	1.00	1.00			1.00
12		野地板2	1.96	2.86			0.96
23		平瓦2	1.93				1.15
2	Z	振動台	1.00	1.00		1.00	1.00
5	Z	棟木	2.23	2.20		0.96	0.70
16	Z	棟瓦	2.35			1.18	0.80
2	Z	振動台	1.00	1.00		1.00	1.00
8	Z'	野地板1	1.74	6.98		2.08	1.22
19	Z'	平瓦1	2.42			2.05	1.41
2	Z	振動台	1.00	1.00		1.00	1.00
11	Z'	野地板2	1.93	4.72		2.19	0.88
22	Z'	平瓦2	4.40			1.91	0.78

注　X'は屋根面に平行
　　Z'は屋根面に垂直

表6-9-2　最大値の応答倍率　　小屋組B

Ch-	方向	位置	ﾗﾝﾀﾞﾑ 20	ｽｲｰﾌﾟ 400	ｽｲｰﾌﾟ 800	地震波等倍 X・Z	地震波等倍 Y・Z
1	X	振動台	1.00	1.00	1.00	1.00	
4	X	棟木	2.46	2.36	2.64	1.09	
15	X	棟瓦	2.79			2.73	
1	X	振動台	1.00	1.00	1.00	1.00	
7	X'	野地板1	2.10	2.27	2.38	1.05	
18	X'	平瓦1	2.47			1.17	
1	X	振動台	1.00	1.00	1.00	1.00	
10	X'	野地板2	2.14	2.21	2.32	1.01	
21	X'	平瓦2	2.92			1.19	
3	Y	振動台	1.00	1.00			1.00
6		棟木	1.86	2.89			1.48
17		棟瓦	2.45				2.41
3		振動台	1.00	1.00			1.00
9		野地板1	2.22	3.10			1.27
20		平瓦1	2.08				1.39
3		振動台	1.00	1.00			1.00
12		野地板2	1.85	2.72			1.15
23		平瓦2	1.94				1.53
2	Z	振動台	1.00	1.00		1.00	1.00
5	Z	棟木	2.86	4.48		1.33	1.19
16	Z	棟瓦	3.03			1.61	1.31
2	Z	振動台	1.00	1.00		1.00	1.00
8	Z'	野地板1	3.45	4.45		1.99	1.42
19	Z'	平瓦1	4.65			1.94	1.37
2	Z	振動台	1.00	1.00		1.00	1.00
11	Z'	野地板2	3.10	4.46		1.95	1.32
22	Z'	平瓦2	4.11			1.71	1.37

注：　X'は屋根面に平行
　　Z'は屋根面に垂直

表6-9-3　　最大値の応答倍率　小屋組C

Ch-	方向	位置	ﾗﾝﾀﾞﾑ 20	ｽｲｰﾌﾟ 400	ｽｲｰﾌﾟ 800	地震波等倍 X・Z	地震波等倍 Y・Z
1	X	振動台	1.00	1.00	1.00	1.00	
7	X	棟木1	1.71	2.31	2.20	1.22	
8	X	棟木2	1.48	2.22	2.09	1.13	
9	X	棟木3	2.34	2.79	2.16	1.18	
4	X	棟木	2.39	3.00	2.13	1.24	
10	X	棟木4	1.67	2.36	1.90	1.16	
11	X	棟木5	1.43	2.16	1.82	1.16	
15	X	棟瓦	2.34	5.08		2.71	
18	X'	野地板1			2.19		
18	X'	平瓦1	2.69	5.40		1.36	
21	X'	野地板2			2.12		
21	X'	平瓦2	2.77	5.06		1.28	
3	Y	振動台	1.00	1.00			1.00
12		垂木1	1.04	1.02			1.03
13		母屋	1.61	2.18			1.13
6		棟木	2.10	2.77			1.23
14		垂木2	1.21	1.20			0.99
17		棟瓦	2.16	4.22			1.61
20		野地板1					
20		平瓦1	2.07	3.11			1.70
23		野地板2					
23		平瓦2	1.99	2.67			1.31
2	Z	振動台	1.00	1.00		1.00	1.00
5	Z	棟木	2.95	2.26		1.09	1.04
16	Z	棟瓦	3.75			2.06	1.28
19	Z'	野地板1		3.36			
19	Z'	平瓦1	4.66			1.81	1.50
22	Z'	野地板2		4.87			
22	Z'	平瓦2	5.34			1.68	1.29

注　X'は屋根面に平行
　　Z'は屋根面に垂直

表6-9-4　　最大値の応答倍率　小屋組D

Ch-	方向	位置	ﾗﾝﾀﾞﾑ 20	ｽｲｰﾌﾟ 400	ｽｲｰﾌﾟ 800	地震等倍 X・Z	地震波等倍 Y・Z
1	X	振動台	1.00	1.00	1.00	1.00	
4	X	棟木	3.26	2.55	2.12	1.10	
15	X	棟瓦	3.36			1.97	
18	X'	野地板3		2.80	2.30		
21	X'	” 4		2.85	2.33		
18	X'	平瓦1	3.79			1.27	
21	X'	” 2	3.98			1.20	
3	Y	振動台	1.00	1.00			1.00
17		棟瓦	2.36				1.80
20		野地板3		2.99			
23		” 4		2.95			
20		平瓦1	2.17				1.38
23		” 2	2.95				1.27
2	Z	振動台	1.00	1.00		1.00	1.00
5	Z	棟木	3.60	4.49		1.48	1.40
6	Z	けらば	2.03	1.87		1.24	1.19
7	Z	棟	2.86	2.80		1.45	1.29
16	Z	棟瓦	3.87			1.67	1.46
10	Z	母屋1	3.30	2.61		1.11	1.16
11	Z	” 2	3.77	4.56		1.28	1.34
12	Z	垂木1	4.03	1.78		1.34	1.33
13	Z	” 2	4.53	4.45		1.26	1.25
14	Z	” 3	3.93	6.82		1.28	1.44
8	Z'	野地板1	2.75	2.18		1.70	1.14
9	Z'	” 2	3.77	5.44		1.89	1.33
19	Z'	” 3		5.08			
22	Z'	” 4		5.51			
19	Z'	平瓦1	4.15			1.82	1.56
22	Z'	” 2	5.41			1.75	1.86

注　X'は屋根面に平行
　　Z'は屋根面に垂直

表6-9-5　最大値の応答倍率 小屋組E

Ch-	方	位置	ﾗﾝﾀﾞﾑ 20	ｽｲｰﾌﾟ 400	ｽｲｰﾌﾟ 800	地震波 等倍 X・Z	地震波 等倍 Y・Z
1	X	振動台	1.00	1.00	1.00	1.00	
4		棟木	2.22	2.88	2.38	1.16	
15		棟瓦	2.93	5.92		4.02	
1		振動台	1.00	1.00	1.00	1.00	
7		野地板1	1.91	2.71	2.04	1.31	
18		平瓦1	2.17	6.57		1.25	
1		振動台	1.00	1.00	1.00	1.00	
10		野地板2	1.75	2.58	1.92	1.03	
21		平瓦2	2.32	3.53		1.25	
3	Y	振動台	1.00	1.00			1.00
6		棟木	2.10	4.24			1.35
17		棟瓦	2.30				4.00
3		振動台	1.00	1.00			1.00
9		野地板1	2.06	2.99			1.28
20		平瓦1	2.87	3.44			1.35
3		振動台	1.00	1.00			1.00
12		野地板2	1.79	2.82			1.27
23		平瓦2	1.90	3.48			1.36
2	Z	振動台	1.00	1.00		1.00	1.00
5		棟木	1.97	3.46		0.88	1.14
16		棟瓦	2.70			1.76	1.35
2		振動台	1.00	1.00		1.00	1.00
8		野地板1	2.33	4.12		1.57	1.27
19		平瓦1	4.53	8.60		2.25	1.62
2		振動台	1.00	1.00		1.00	1.00
11		野地板2	2.75	4.75		1.78	1.22
22		平瓦2	4.75	7.34		1.96	2.10

表6-9-6 最大値の応答倍率　小屋組F

Ch-	方向	位置	ﾗﾝﾀﾞﾑ 20	ｽｲｰﾌﾟ 400	ｽｲｰﾌ 800	地震波 等倍 X・Z	地震波 等倍 Y・Z
1	X	振動台	1.00	1.00	1.00	1.00	
4		棟木	3.07	2.79	2.73	1.11	
15		棟瓦	2.94	3.28		3.19	
1		振動台	1.00	1.00	1.00	1.00	
7		野地板1	2.61	2.79	2.34	1.05	
18		平瓦1	3.08	3.81		1.09	
1		振動台	1.00	1.00	1.00	1.00	
10		野地板2	2.51	2.65	2.22	1.01	
21		平瓦2	3.00	4.00		1.06	
3	Y	振動台	1.00	1.00			1.00
6		棟木	1.60	2.94			1.16
17		棟瓦	1.84				
3		振動台	1.00	1.00			1.00
9		野地板1	1.69	2.72			1.14
20		平瓦1	1.55				1.44
3		振動台	1.00	1.00			1.00
12		野地板2	1.49	2.51			1.09
23		平瓦2	1.66				1.34
2	Z	振動台	1.00	1.00		1.00	1.00
5		棟木	3.38	4.60		1.25	1.30
16		棟瓦	3.55				
2		振動台	1.00	1.00		1.00	1.00
8		野地板1	4.94	5.22		1.95	1.44
19		平瓦1	6.80			1.88	1.69
2		振動台	1.00	1.00		1.00	1.00
11		野地板2	5.15	4.83		1.83	1.38
22		平瓦2	5.40			1.77	1.54

表6-9-7 最大値の応答倍率　　小屋組G

Ch-	方向	位置	ﾗﾝﾀﾞﾑ 20	ｽｲｰﾌﾟ 400	ｽｲｰﾌﾟ 800	地震波等倍 X・Z	地震波等倍 Y・Z
1	X	振動台	1.00	1.00	1.00	1.00	
4		棟木	2.42	2.76	2.36	1.18	
22		のし3右	2.65	4.74	4.48	1.29	
23		のし3左	2.75				
20		のし2右	2.70	5.24		1.31	
21		のし2左	2.64				
18		のし1右	2.75	5.66		1.35	
19		のし1左	2.92				
15		棟瓦	2.87				
17		束1			2.67		
7		野地板1	1.87	2.74	3.08	1.12	
10		” 2	1.97	2.63	2.99	1.09	
20		束2			2.68		
3	Y	振動台	1.00	1.00			1.00
6		棟木	1.83	3.09			1.20
17		棟瓦	2.08				
9		野地板1	1.78	3.04			1.15
12		” 2	1.74	2.97			1.14
2	Z	振動台	1.00	1.00		1.00	1.00
5		棟木	2.45	3.17		1.02	1.13
16		棟瓦	3.14				
8		野地板1	5.17	5.07		1.68	1.27
11		” 2	5.22	4.14		1.72	1.24

表6-9-8 最大値の応答倍率　　小屋組H

Ch-	方向	位置	ﾗﾝﾀﾞﾑ 2-0	ｽｲｰﾌﾟ 400	ｽｲｰﾌﾟ 800	地震等倍 X・Z	地震波等倍 Y・Z
1	X	振動台	1.00	1.00	1.00	1.00	
4	X	棟木	3.06	2.70	2.61	1.12	
15	X	棟瓦	3.48	4.99		3.44	
1	X	振動台	1.00	1.00	1.00	1.00	
7	X’	野地板1	2.84	2.55	2.54	1.08	
18	X’	平瓦1	3.26	3.48		1.29	
1	X	振動台	1.00	1.00	1.00	1.00	
10	X’	野地板2	2.65	2.46	2.48	1.03	
21	X’	平瓦2	3.26	3.37		1.13	
3	Y	振動台	1.00	1.00			1.00
6		棟木	1.75	2.85			1.33
17		棟瓦	2.22				2.48
3		振動台	1.00	1.00			1.00
9		野地板1	1.79	2.61			1.26
20		平瓦1	1.85	2.47			1.44
3		振動台	1.00	1.00			1.00
12		野地板2	1.73	2.47			1.25
23		平瓦2	1.61	2.14			1.48
2	Z	振動台	1.00	1.00		1.00	1.00
5	Z	棟木	2.50	3.36		1.01	1.02
16	Z	棟瓦	3.49			2.53	1.34
2	Z	振動台	1.00	1.00		1.00	1.00
8	Z’	野地板1	4.02	3.88		1.77	1.28
19	Z’	平瓦1	4.93	11.04		1.77	1.35
2	Z	振動台	1.00	1.00		1.00	1.00
11	Z’	野地板2	3.76	3.48		1.79	1.32
22	Z’	平瓦2	5.15			1.65	1.34

注　X’は屋根面に平行
　　Z’は屋根面に垂直

表6-9-9 最大値の応答倍率　　小屋組Ｉ

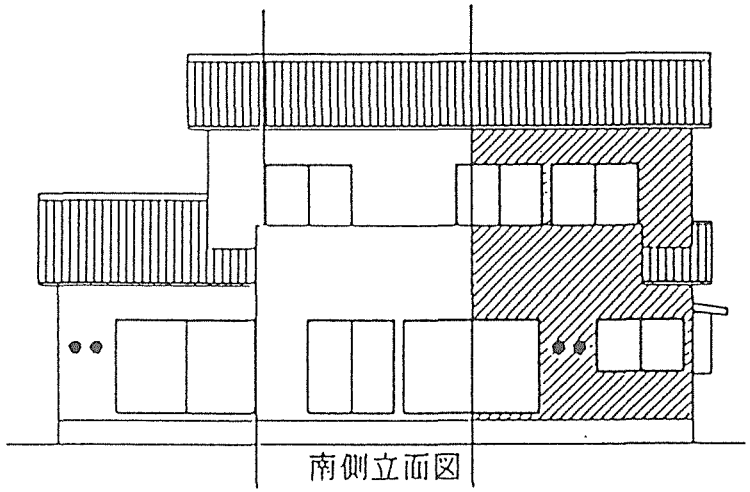
Ch-	方向	位置	ﾗﾝﾀﾞﾑ 20	ｽｲｰﾌﾟ 400	ｽｲｰﾌﾟ 800	地震波等倍 X・Z	地震波等倍 Y・Z
1	X	振動台	1.00	1.00	1.00	1.00	
4	X	棟木	2.62	2.34	2.41	1.12	
15	X	棟瓦	2.61	4.69		3.15	
18	X'	平瓦1	2.68	3.06		1.11	
21	X'	” 2	2.77	2.95		1.16	
3	Y	振動台	1.00	1.00			1.00
17		棟瓦	2.05	0.00			1.48
20		平瓦1	1.71	2.00			1.49
23		” 2	1.60	2.12			1.43
2	Z	振動台	1.00	1.00		1.00	1.00
5	Z	棟木	2.27	3.82		1.11	0.93
16	Z	棟瓦	3.23			2.04	1.14
6	Z	けらば	1.88	1.70		1.04	1.07
7	Z	棟	2.20	2.74		1.19	1.15
10	Z	母屋1	2.83	2.22		0.94	1.07
11	Z	” 2	3.30	2.92		1.04	1.06
12	Z	垂木1	3.04	2.60		1.40	1.12
13	Z	” 2	5.96	2.76		1.54	1.18
14	Z	” 3	5.87	3.03		1.48	1.00
8	Z'	野地板1	2.13	2.14		1.71	1.01
9	Z'	” 2	3.90	4.23		1.92	1.05
19	Z'	平瓦1	5.24	3.01		1.62	1.29
22	Z'	” 2	5.73	2.60		1.62	1.44

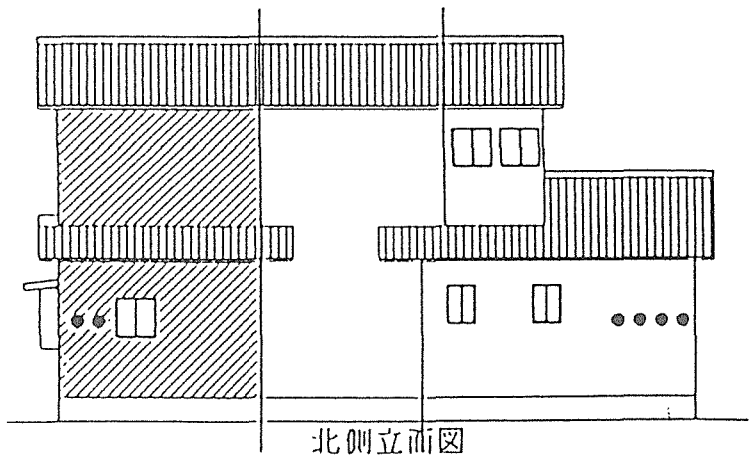
注　X'は屋根面に平行
　　Z'は屋根面に垂直

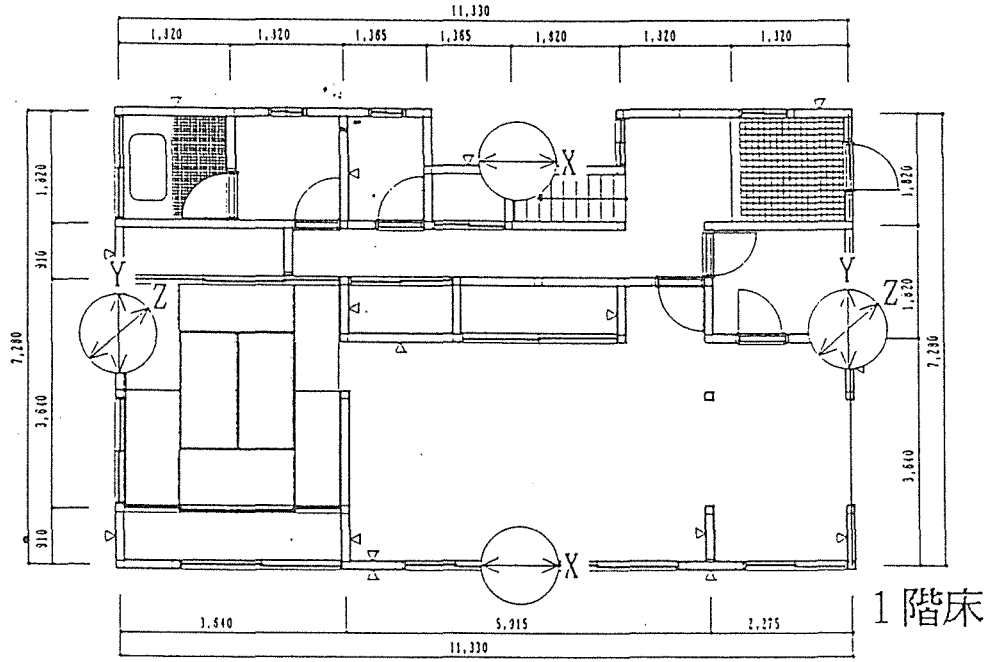
表6-9-10 最大値の応答倍率　　小屋組Ｊ

Ch-	方向	位置	ﾗﾝﾀﾞﾑ 20	ｽｲｰﾌﾟ 400	ｽｲｰﾌﾟ 800	地震等倍 X・Z	地震波等倍 Y・Z
1	X	振動台	1.00	1.00	1.00	1.00	
7	X	棟木1	1.41	2.48	2.25	1.12	
8	X	” 2	1.41	2.26	2.14	1.10	
9	X	” 3	1.84	2.57	2.36	1.15	
4	X	棟木	2.17	2.64	2.44	1.16	
10	X	棟木4	1.29	2.31	2.44	1.08	
11	X	” 5	1.65	2.38	2.61	1.10	
15	X	棟瓦	2.78	6.44		4.42	
18	X'	平瓦1	2.81	3.82	6.34	1.16	
21	X'	” 2	2.74	3.91		1.15	
3	Y	振動台	1.00	1.00			1.00
12		垂木1	1.00	1.18			1.07
13		母屋	1.46	2.34			1.22
6		棟木	1.85	2.50			1.15
14		垂木2	1.09	1.11			0.96
17		棟瓦	2.27				
20		平瓦1	1.54	2.04			1.31
23		” 2	1.54				1.45
2	Z	振動台	1.00	1.00		1.00	1.00
5	Z	棟木	3.11	5.17		1.14	1.18
16	Z	棟瓦	3.49				
19	Z'	平瓦1	6.30	7.95		1.78	1.20
22	Z'	” 2	4.69			1.70	1.20

注　X'は屋根面に平行
　　Z'は屋根面に垂直







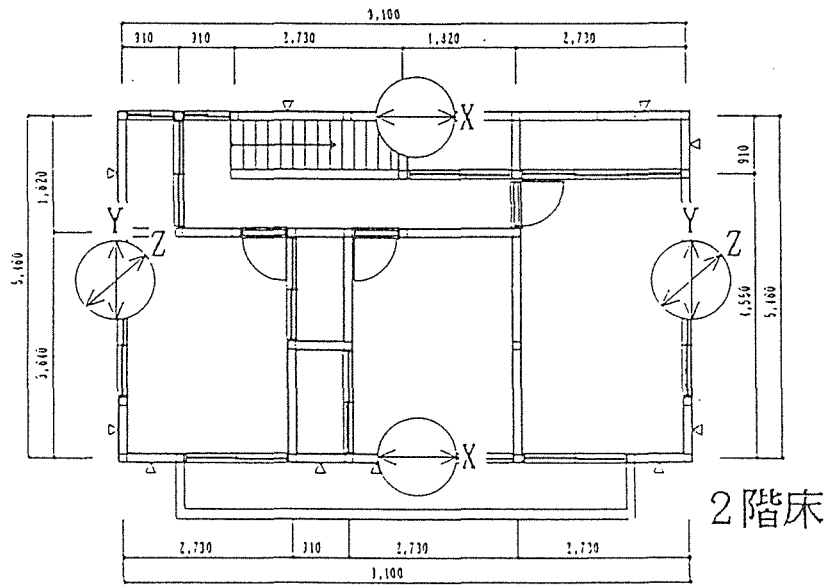


図６－１．木造住宅実大振動実験の試験体（Ｂ）

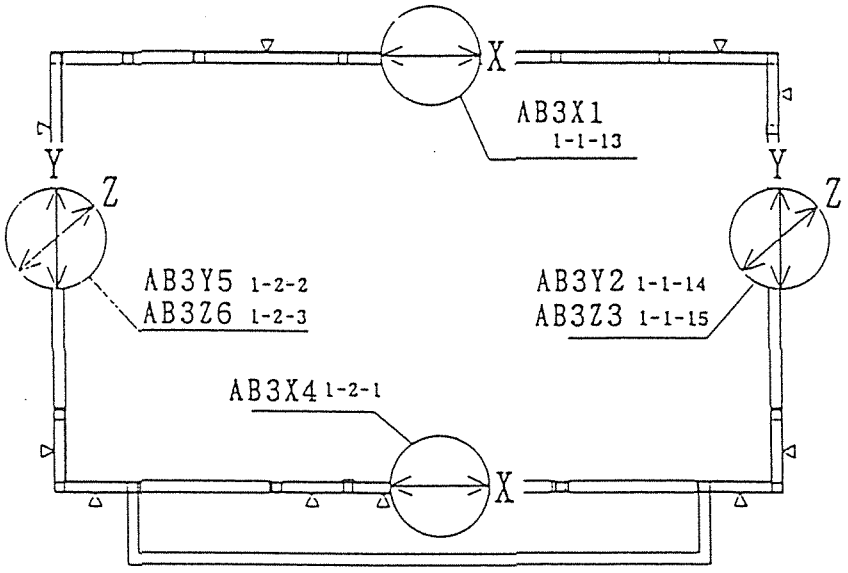
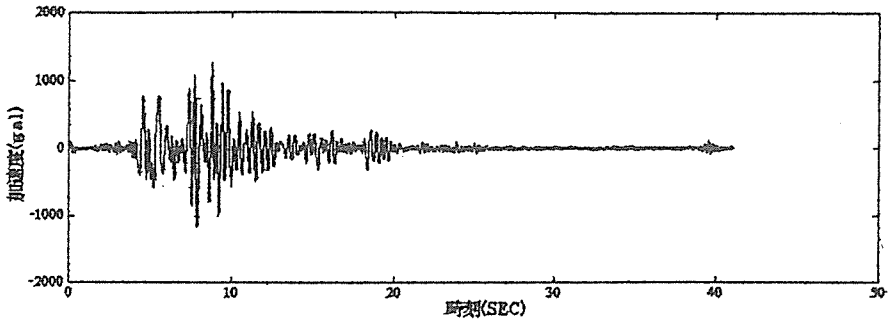
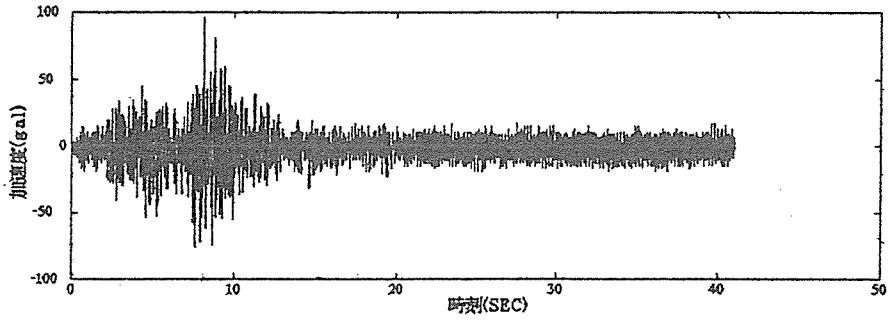


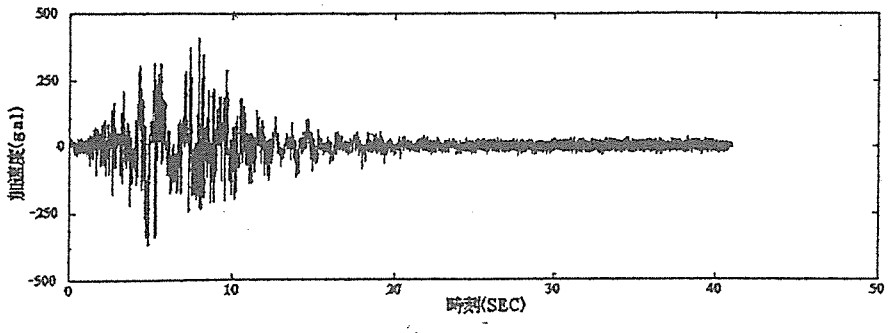
図６－２．応答加速度の測定位置（２階梁桁高さ）



地震入力波形A



地震入力波形B



地震入力波形C

図６－３．地震入力波形

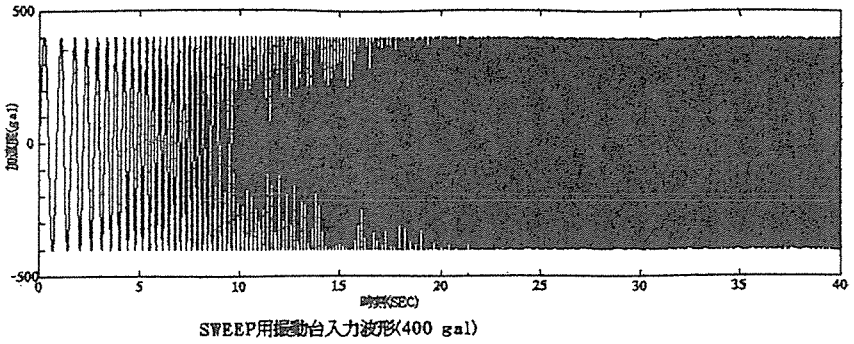
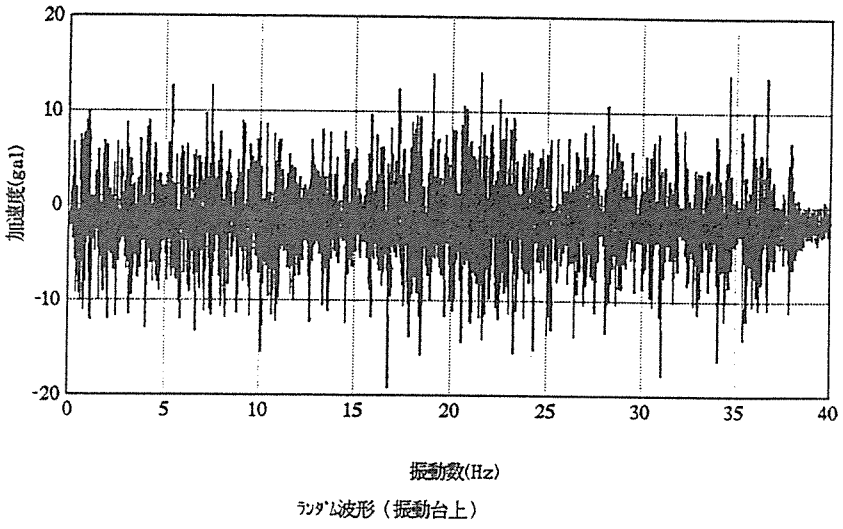


図６－４．スイープ入力波形（Ｓ）



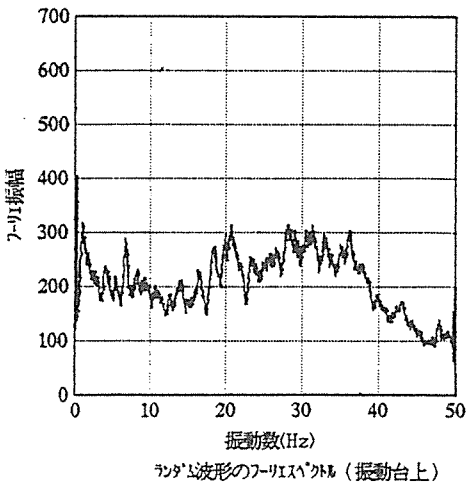
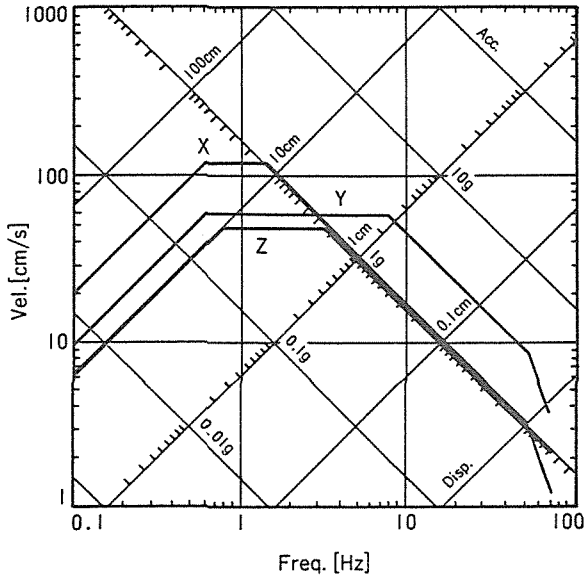


図６－５．ランダム入力波形（Ｒ）

大型三軸振動台

① 4m×6mのテーブル上には、最大80tonf、高さ18mまでの大型試験体が搭載できる。
②水平方向8台、鉛直方向4台の電気・油圧サーボ加振機により、3次元の振動が再現できる。
③加振制御は、アナログ制御にコンピュータを用いたディジタル制御を加えたハイブリッド加振制御方式。
④加速度は最大3g（1g＝980cm／s²）まで、変位は最大±30cmまで加振できる。（定格35tonf搭載時）。
⑤加振振動数範囲はDC～70Hz。
⑥計測システムは、多チャンネルの計測状態を集中的に制御できる。加振制御システムと連動した自動計測が可能。

■最大性能線図
（35tonf剛体試験体載荷単軸加振時）



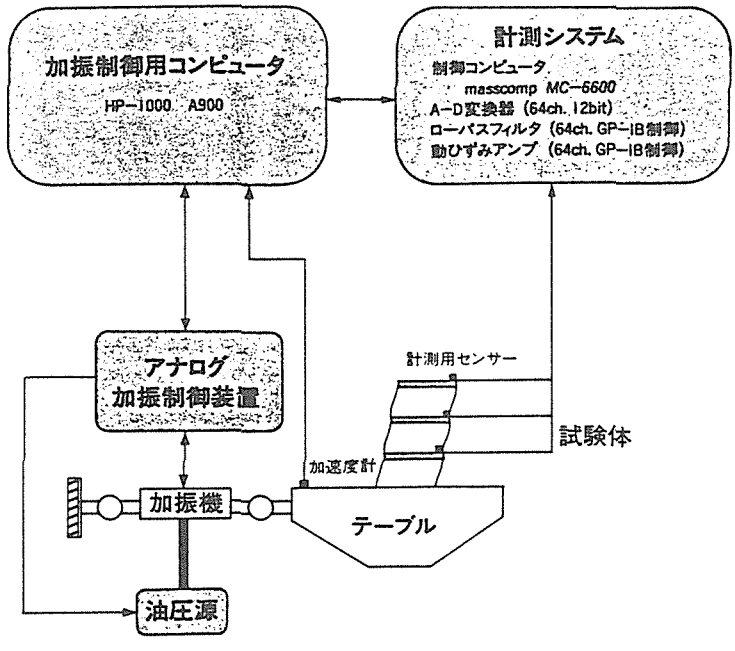


図６－６．３軸振動台の仕様

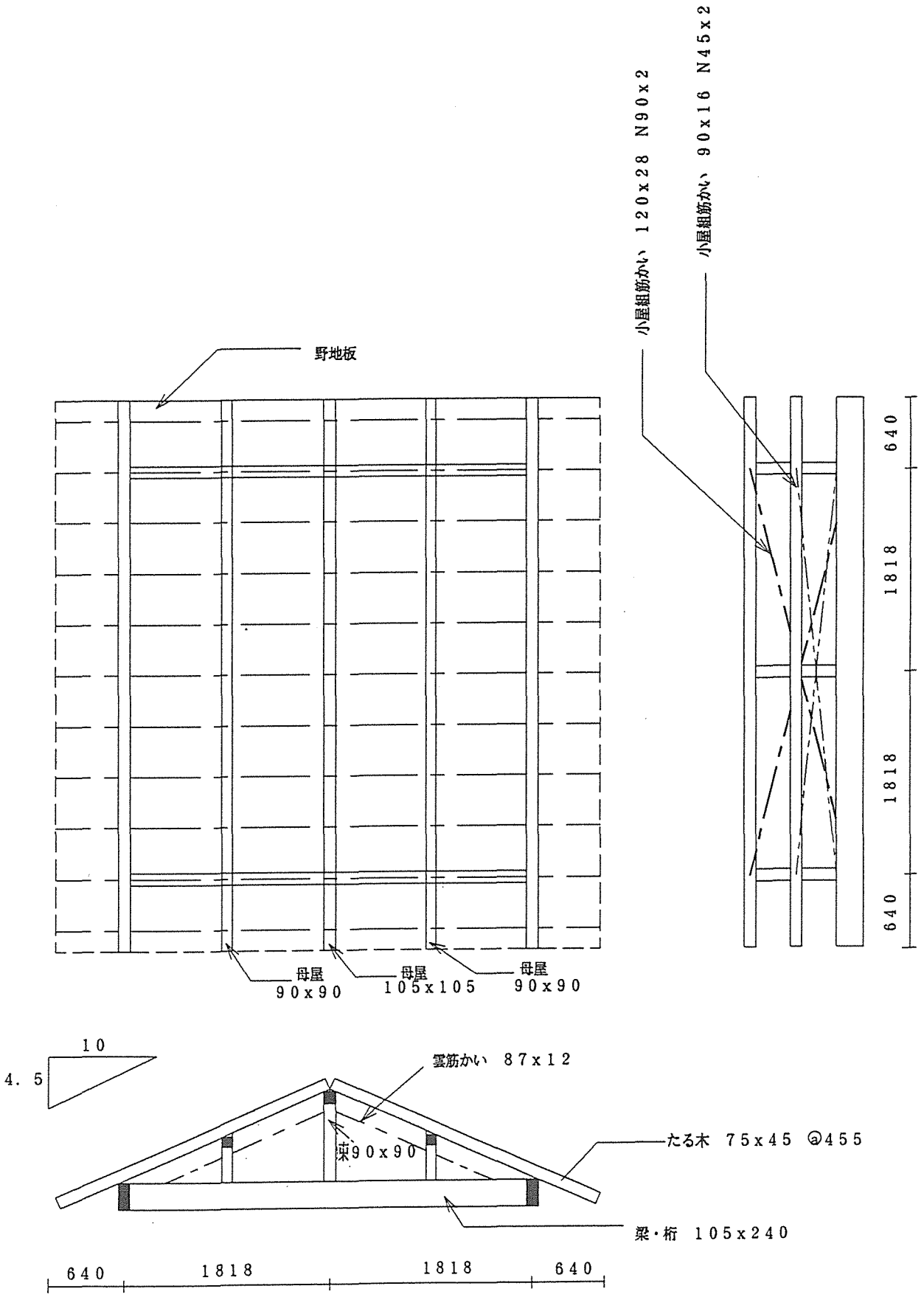


図６－７．小屋組試験体の構造

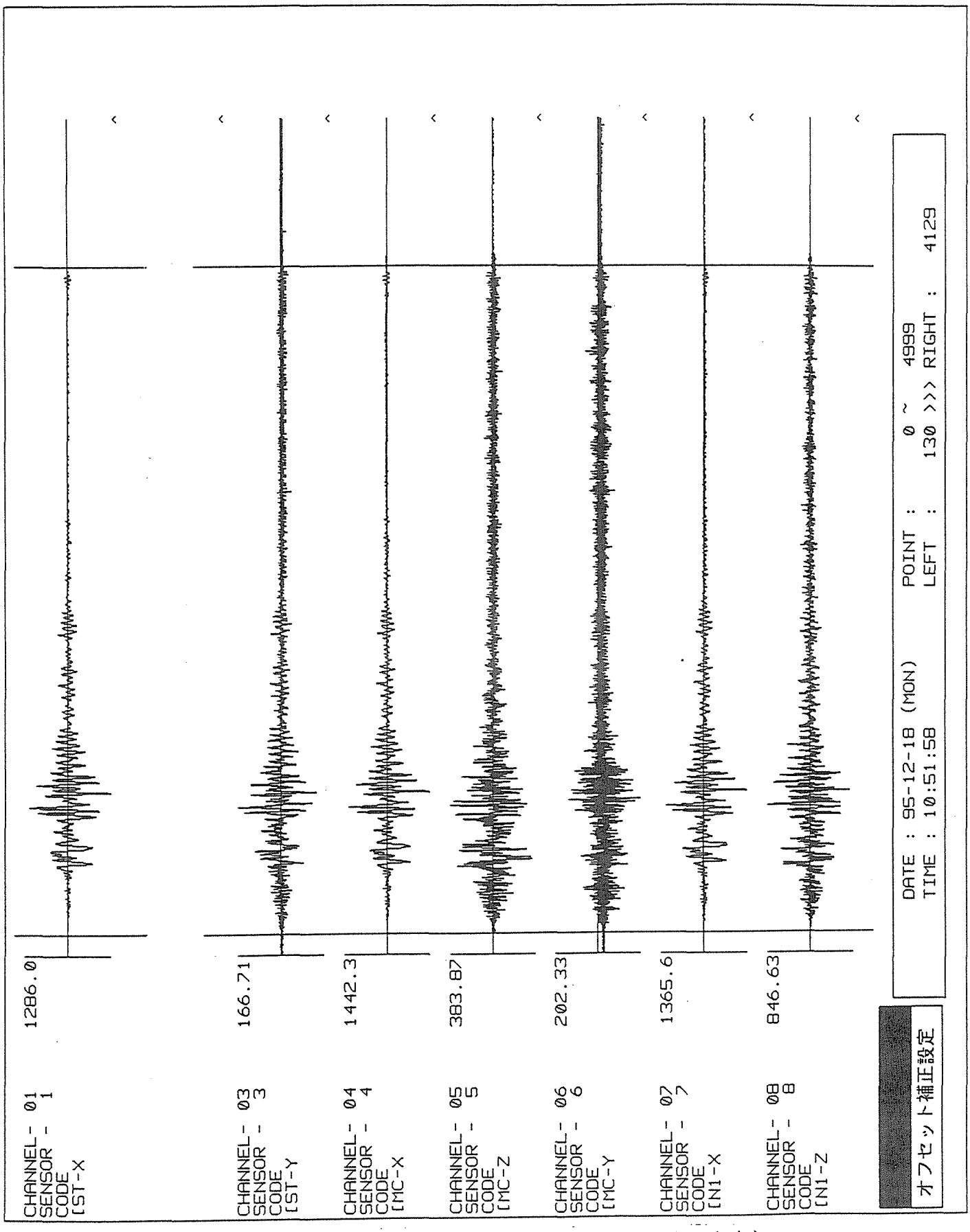


図６－８－１ａ．計測波形（試験体Ａ．神戸直交）

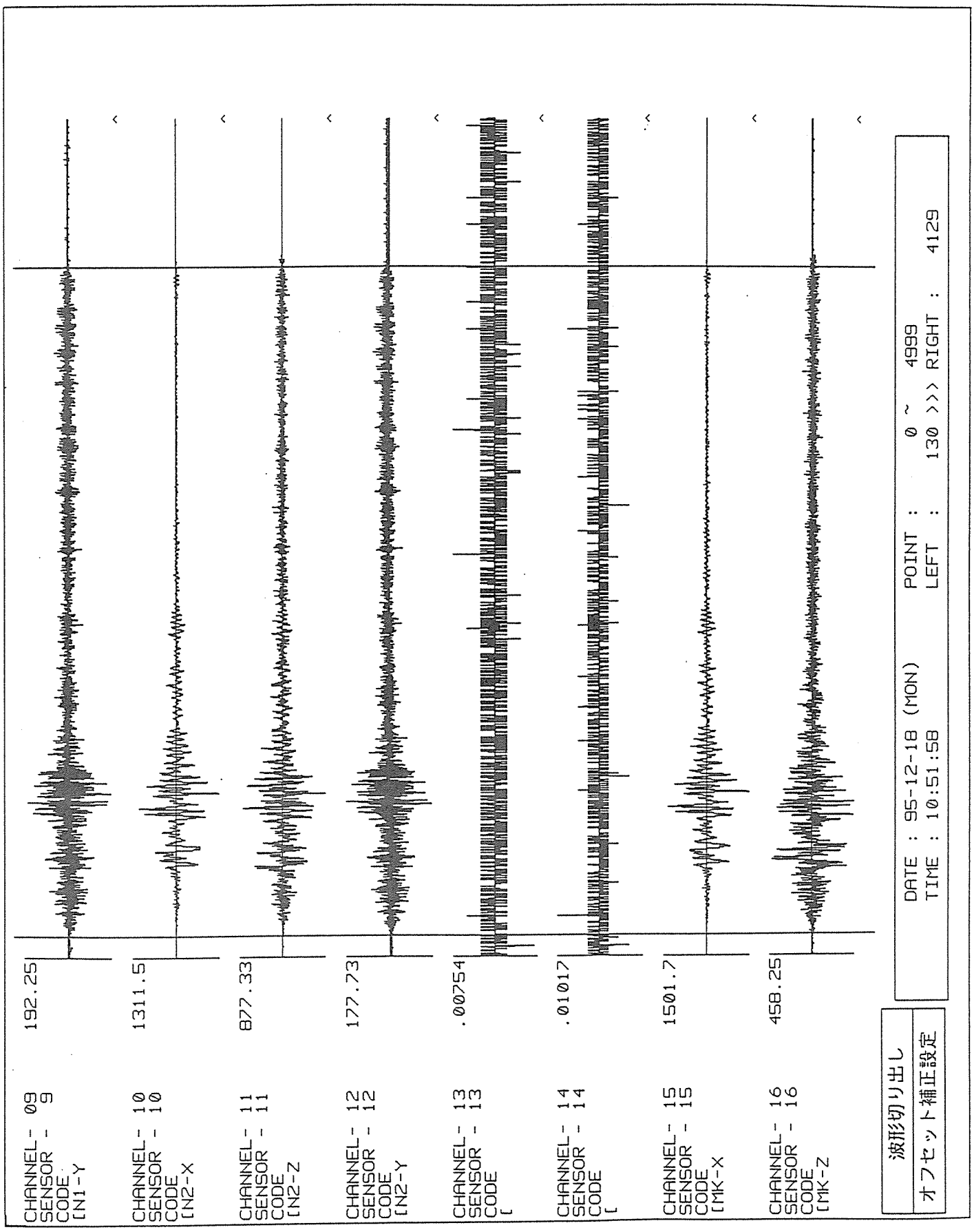


図６－８－１ｂ．計測波形（試験体Ａ．神戸直交）

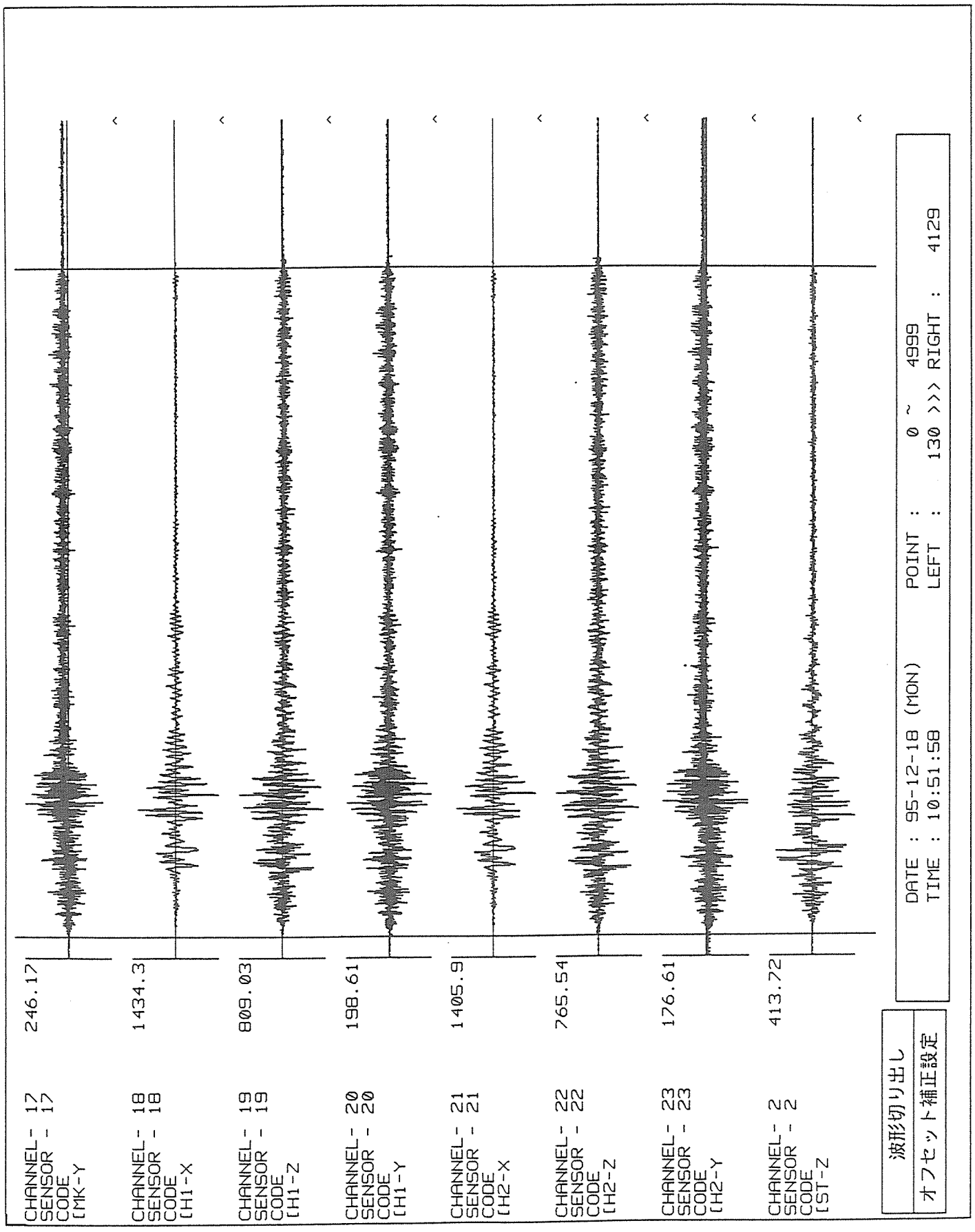


図６－８－１ｃ．計測波形（試験体Ａ．神戸直交）

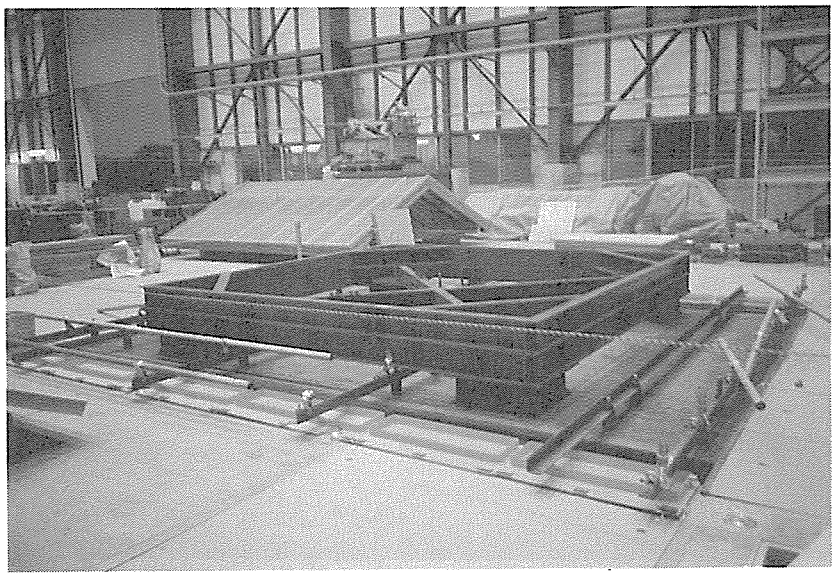


写真６－１，振動台と鋼製治具

写真６－２，小屋組の作製

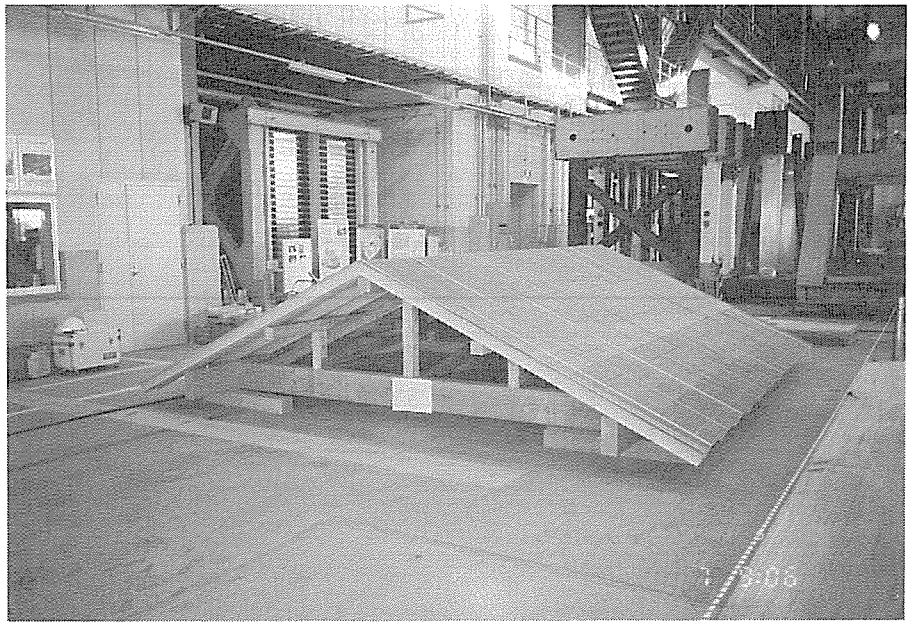


写真６－３，小屋組

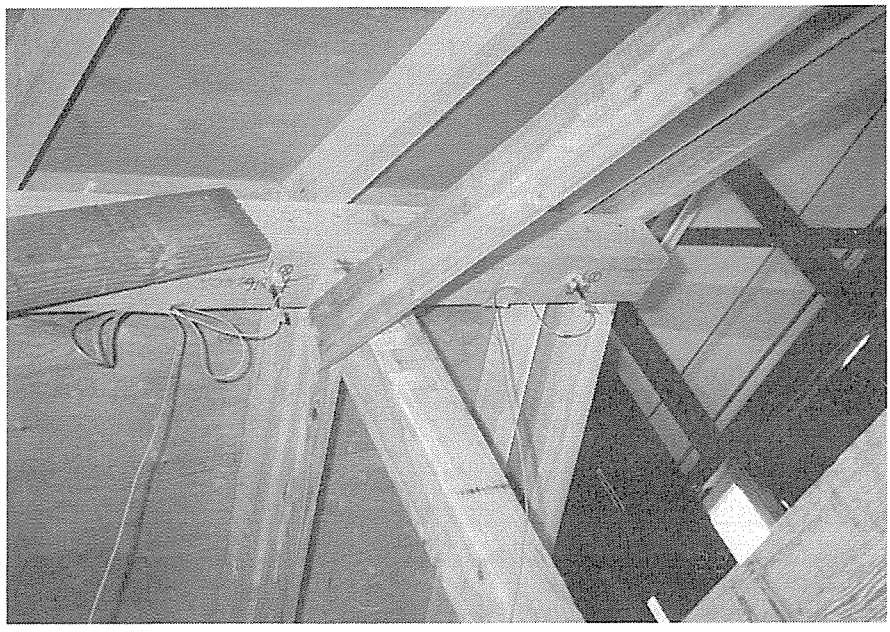


写真６－４，加速度計の取付（小屋組）

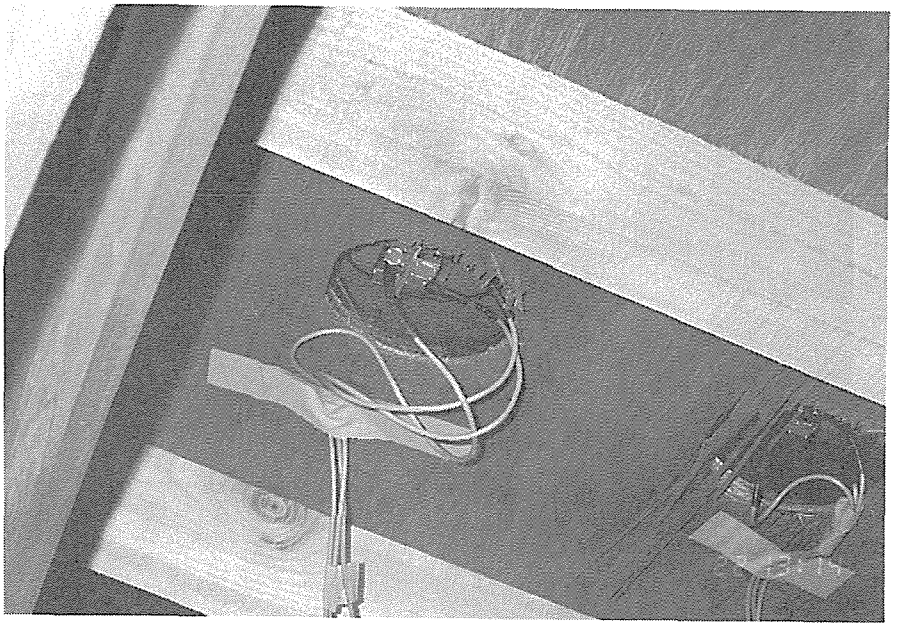


写真６－５，加速度計の取付（平瓦）

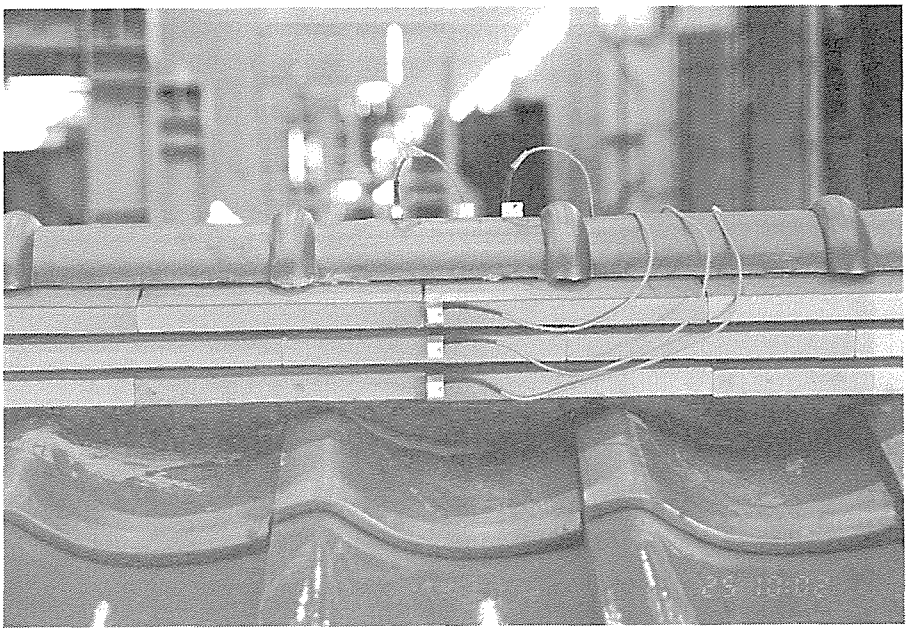


写真６－６，加速度計の取付（棟瓦）

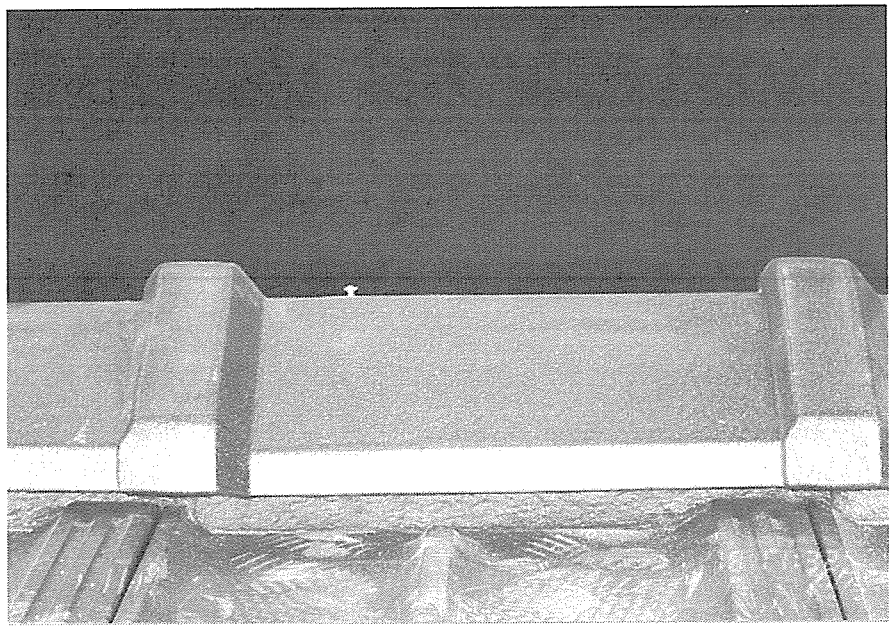


写真６－７－１．　試験体Ａ．加振Ｎｏ．６（スイープ４００．Ｘ方向）の後

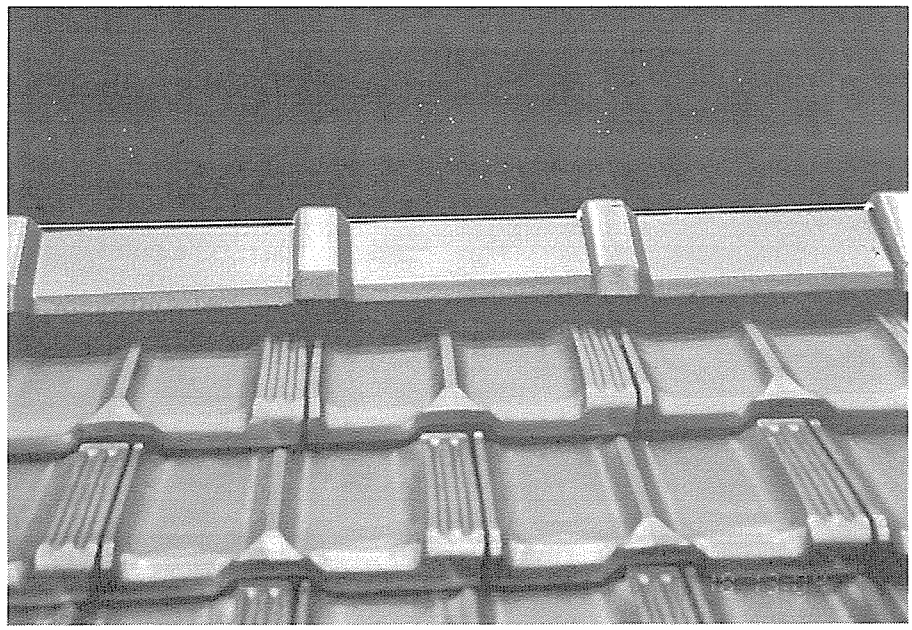


写真６－７－２．　試験体Ａ．加振ＮＯ．９（スイープ８００．Ｘ方向）の後

面戸漆喰の亀裂

写真６－８－１．　試験体Ｂ．加振Ｎｏ．８（スイープ４００．上下）の後

平瓦のずれ

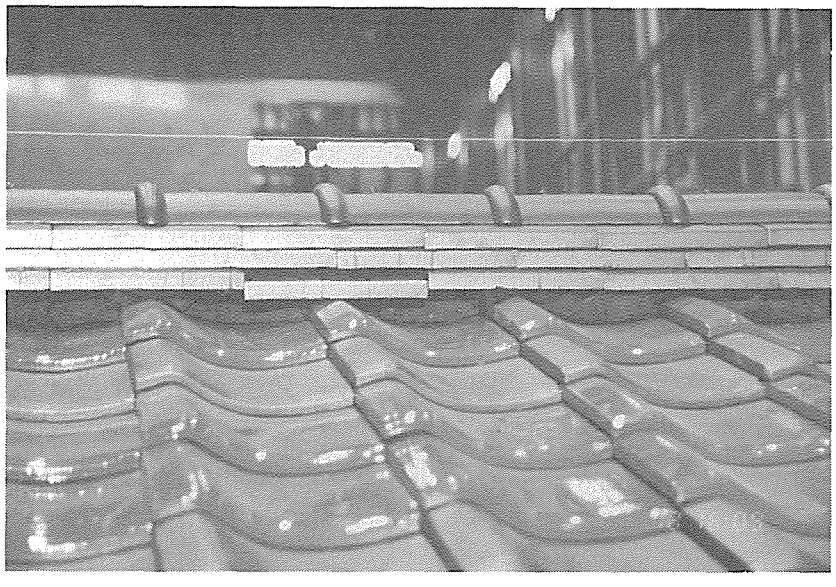


写真６－８－２．　試験体Ｂ．加振ＮＯ．９（スイープ８００．Ｘ方向）の後

面戸漆喰の落下

最下段のし瓦の抜け出し

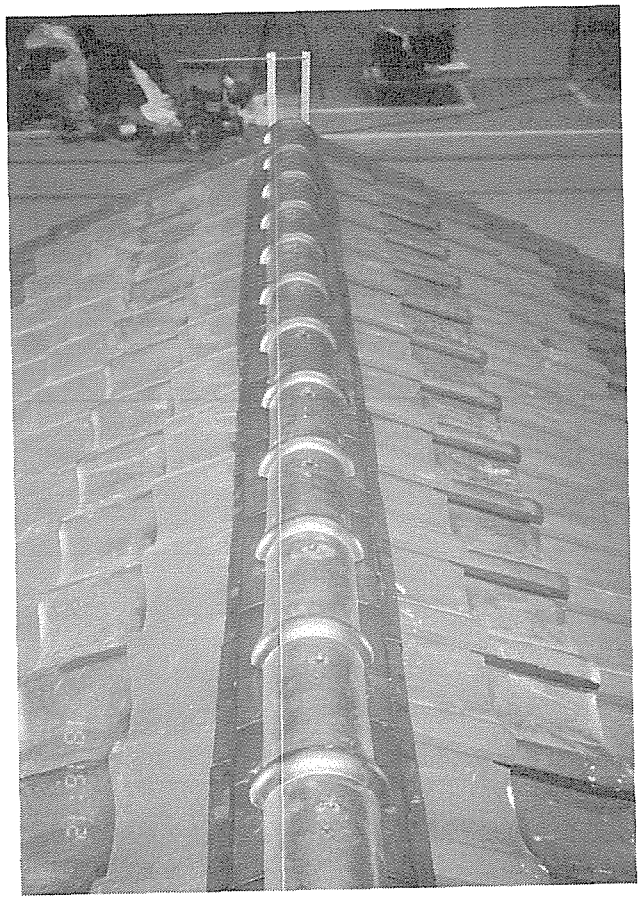


写真６－８－３．　試験体Ｂ．同上

冠瓦の蛇行

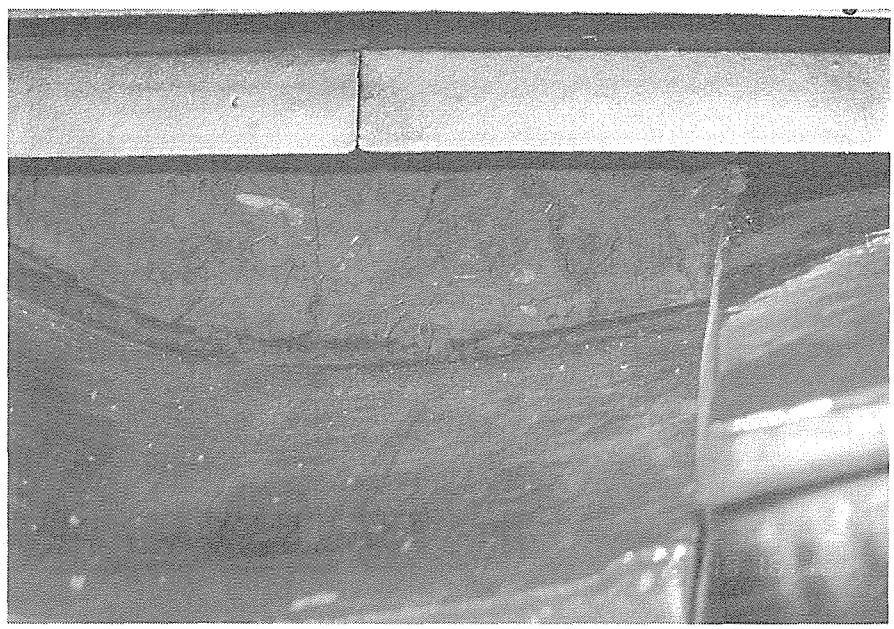


写真６－８－４．　試験体Ｂ．同上

台土と最上段平瓦の付着はく離

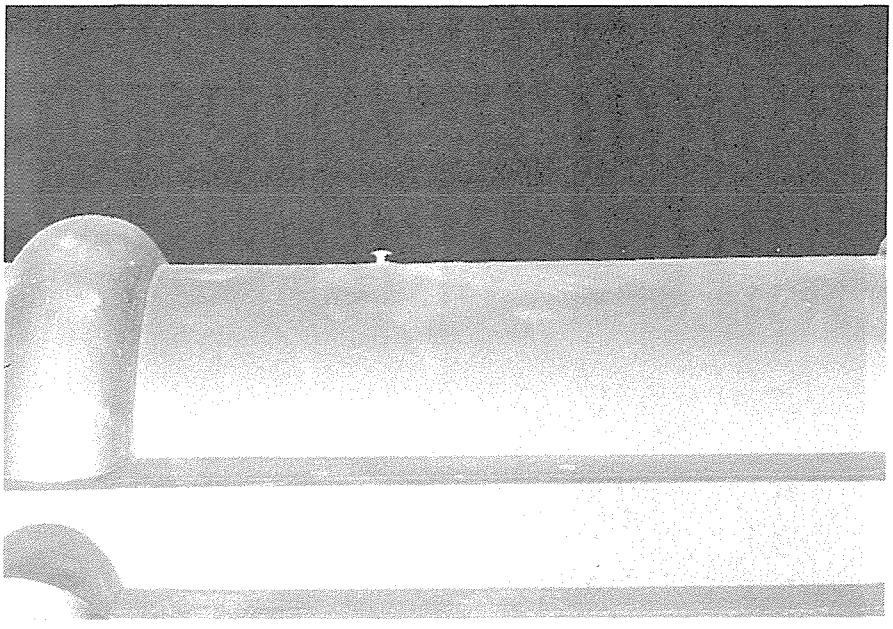


写真６－９－１．　試験体Ｃ．加振Ｎｏ．６（スイープ４００．Ｘ方向）の後

一体棟瓦留付釘の抜け出し

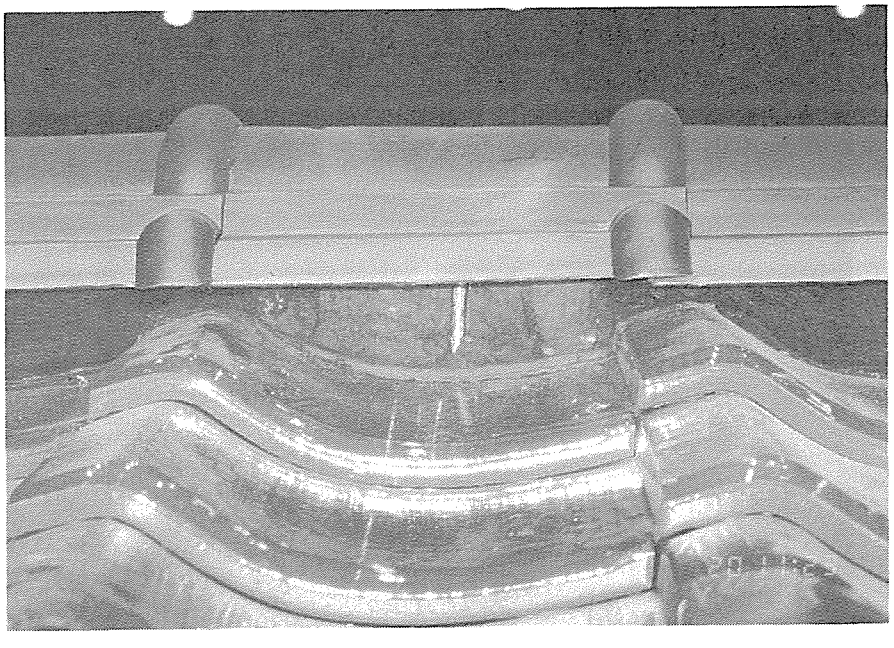


写真６－９－２．　試験体Ｃ．加振ＮＯ．９（スイープ８００．Ｘ方向）の後

台土の落下により、強力棟ボルト軸の露出

写真６－９－３．　試験体Ｃ．同上

一体棟瓦のズレ

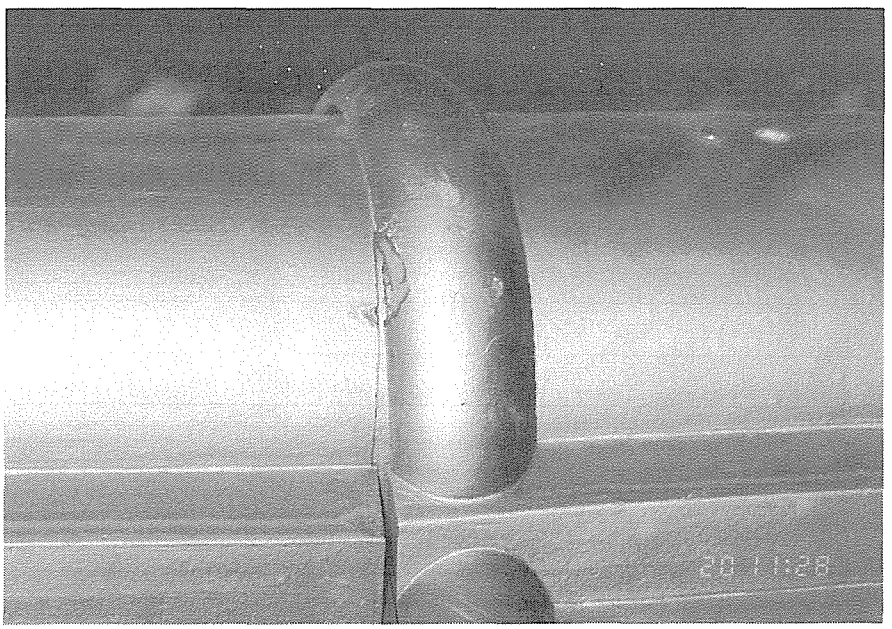


写真６－９－４．　試験体Ｃ．同上

一体棟瓦端部のカケ

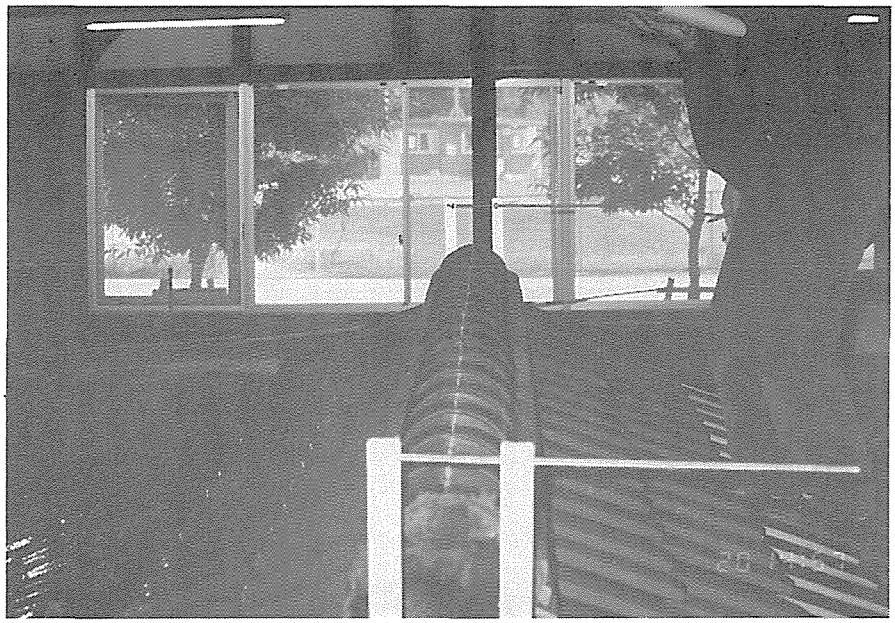


写真６－１０－１．　試験体Ｄ．加振Ｎｏ．８（スイープ４００．上下）の後棟瓦のズレ

写真６－１０－２．　試験体Ｄ．加振ＮＯ．９（スイープ８００．Ｘ方向）の後棟瓦のズレ．のし瓦の抜け出し

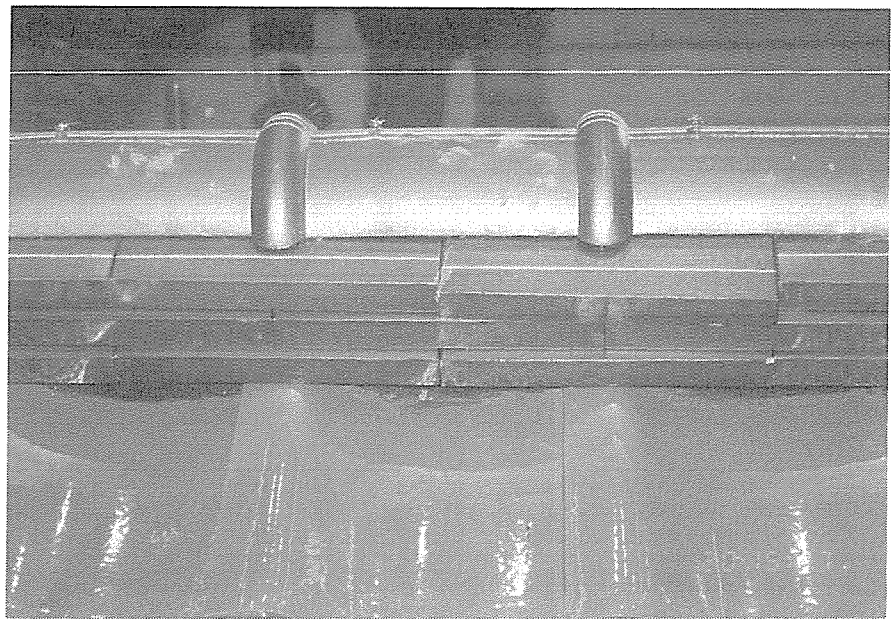


写真６－１０－３．　試験体Ｄ．同上

最上段（１段目）のし瓦の抜け出し

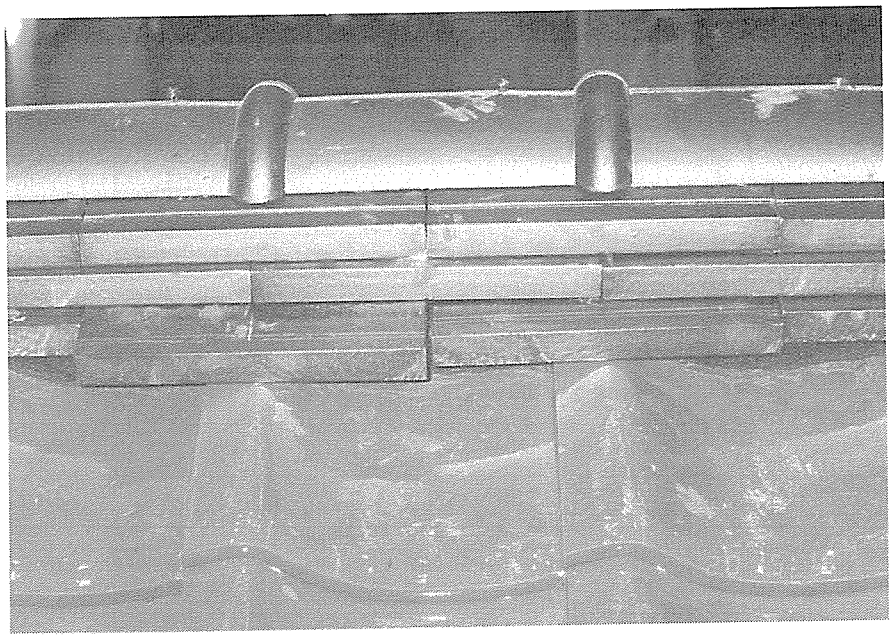


写真６－１０－４．　試験体Ｄ．同上

最下段（３段目）のし瓦の抜け出し

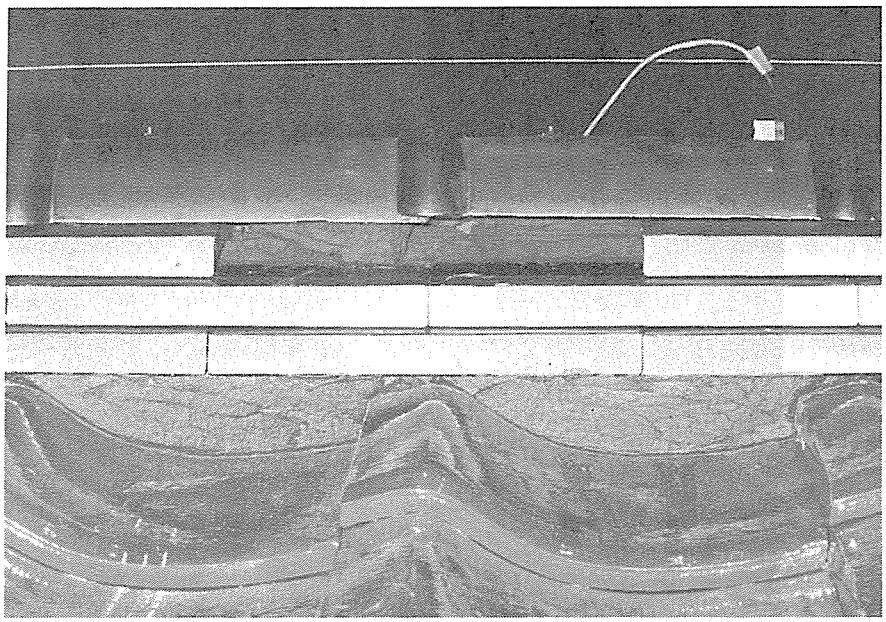


写真６－１１－１．　試験体Ｅ．加振Ｎｏ．６（スイープ４００．Ｘ方向）の後
最上段（１段目）のし瓦の抜け出し・落下

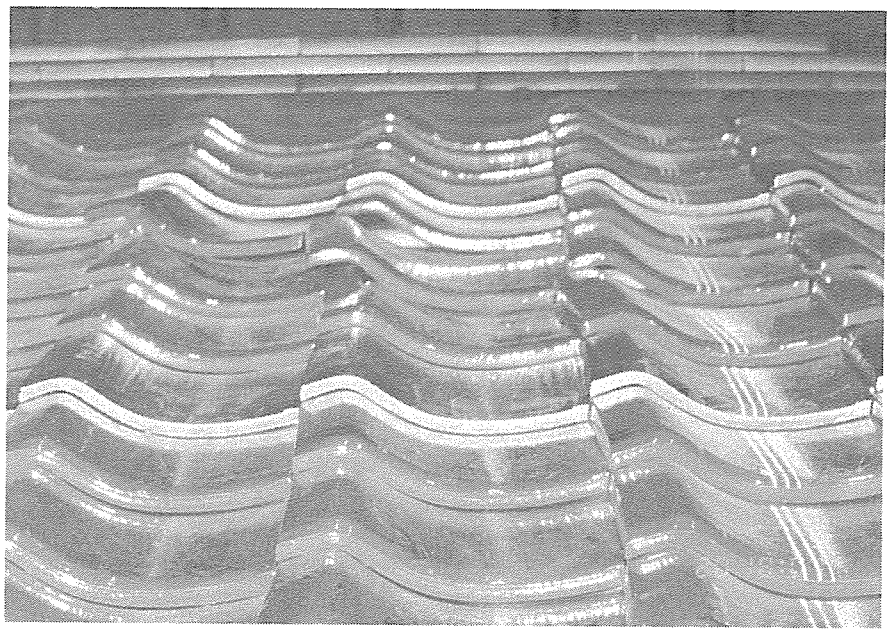


写真６－１１－２．　試験体Ｅ．加振Ｎｏ．８（スイープ４００．上下）の後
北面平瓦のはずれ

写真６－１１－３．　試験体Ｅ．加振ＮＯ．９（スイープ８００．Ｘ方向）の後

冠瓦の大きなズレ

写真６－１１－４．　試験体Ｅ．同上

冠瓦がズレた方向にある最上段（１段目）ののし瓦が全て落下する．

このため、のし３段の棟がのし２段のように見える．

写真６－１２－１．　試験体Ｆ．加振Ｎｏ．８（スイープ４００．上下）の後

北面の平瓦のズレ

写真６－１２－２．　試験体Ｆ．加振ＮＯ．９（スイープ８００．Ｘ方向）の後

南面の平瓦の落下．冠瓦の脱落．のし瓦・半瓦の落下

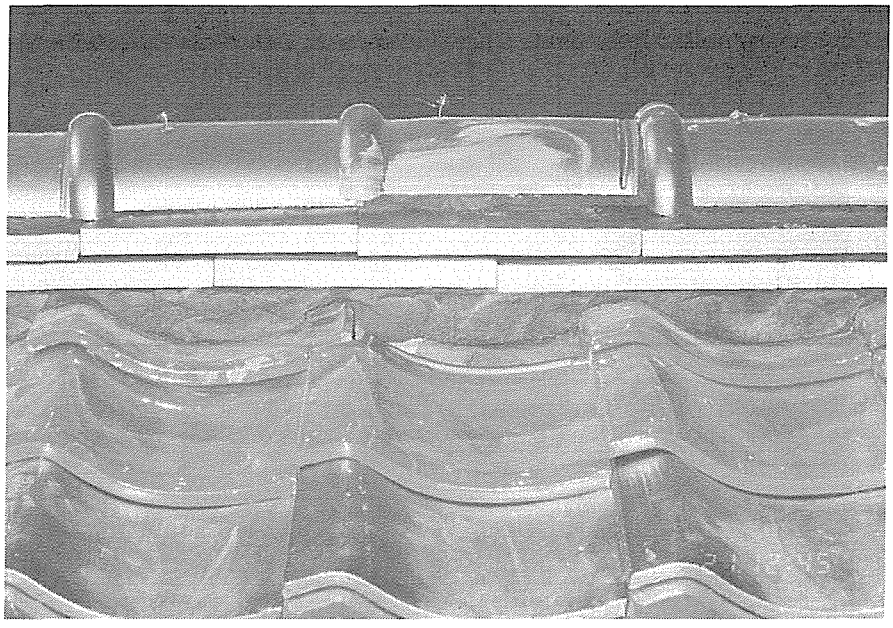


写真６－１２－３．　試験体Ｆ．同上

北面の平瓦の抜け出し、落下

最上段（１段目）のし瓦の落下

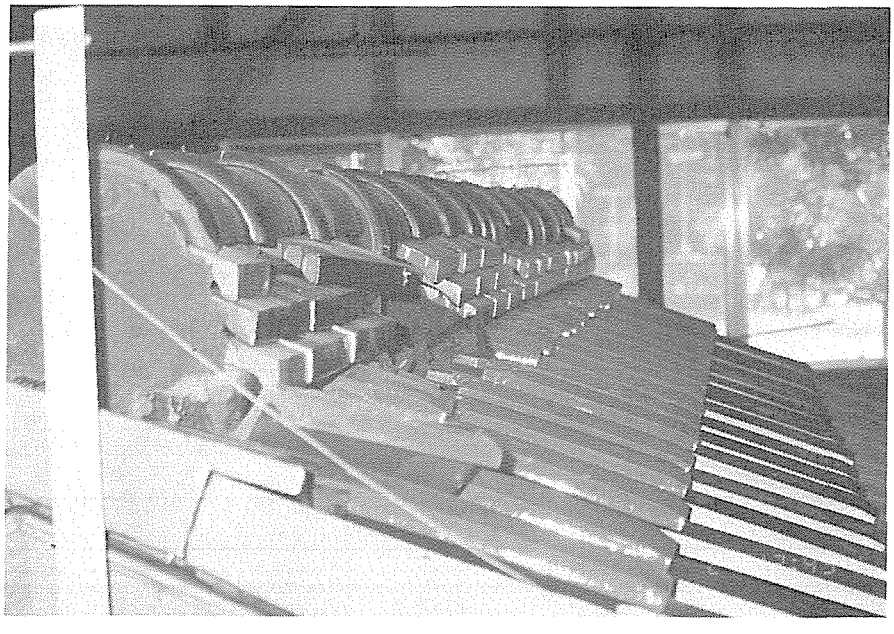


写真６－１２－４．　試験体Ｆ．同上

南面の棟瓦の被害

半瓦・のし瓦の落下

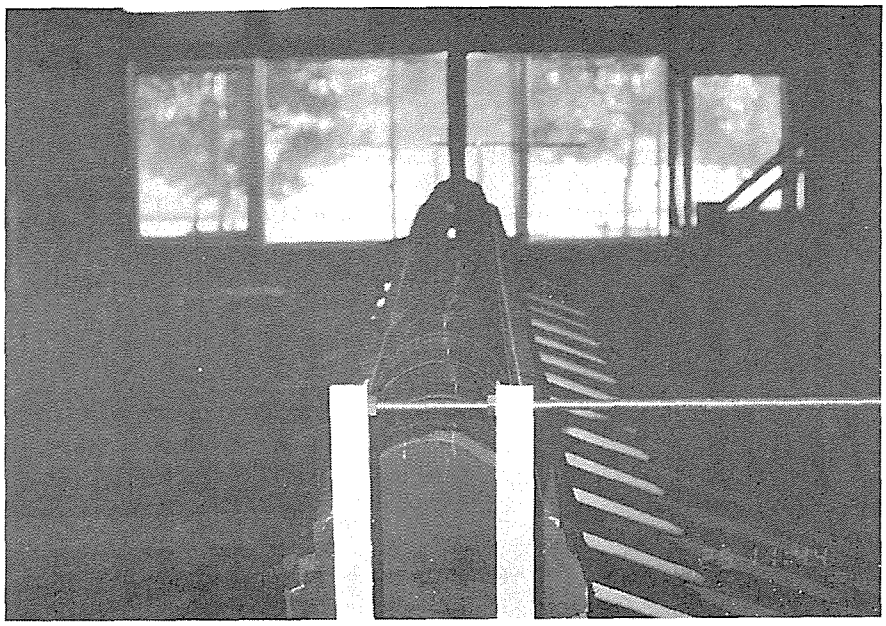


写真６－１３－１．　試験体Ｇ．加振Ｎｏ．４（地震波．Ｘ方向）の後

冠瓦のズレ

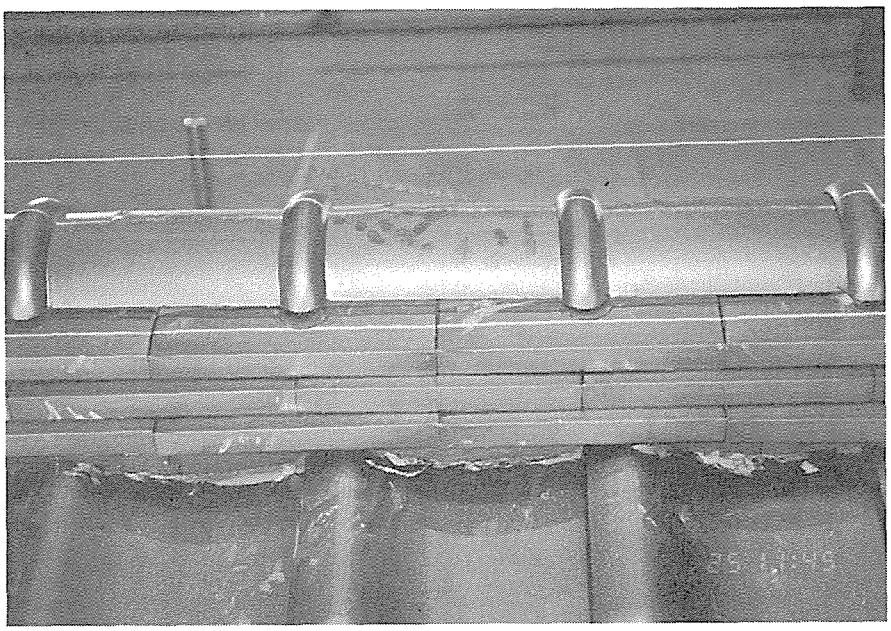


写真６－１３－２．　試験体Ｇ．同上

冠瓦のズレ

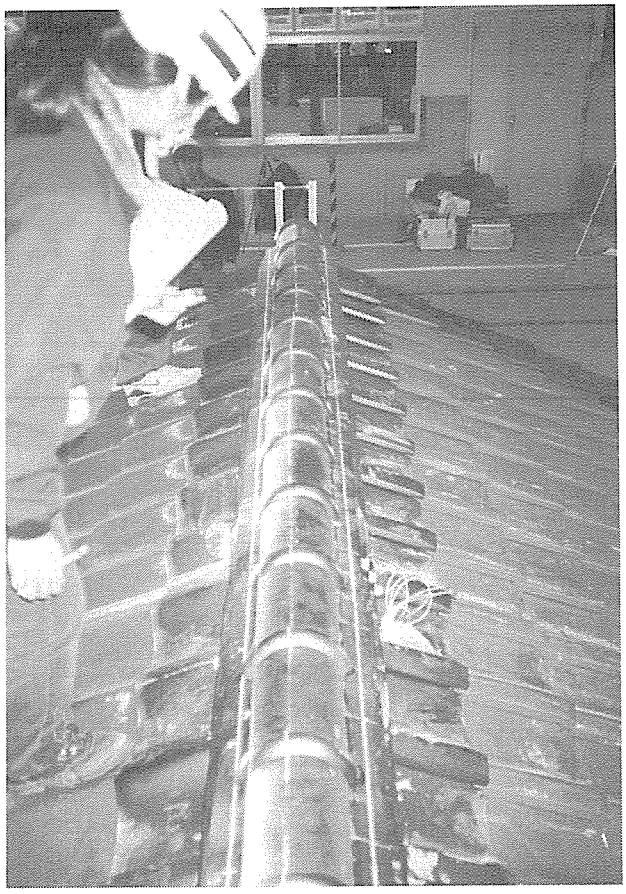


写真６－１３－３．　試験体Ｇ．加振Ｎｏ．５（地震波．Ｙ方向）の後

冠瓦のズレ

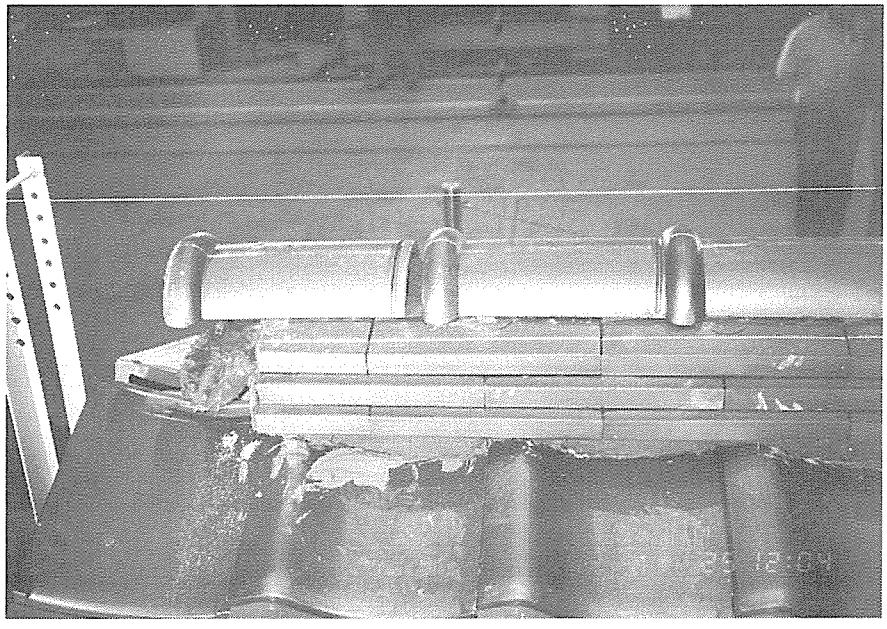


写真６－１３－４．　試験体Ｇ．同上

冠瓦（西側）のズレ

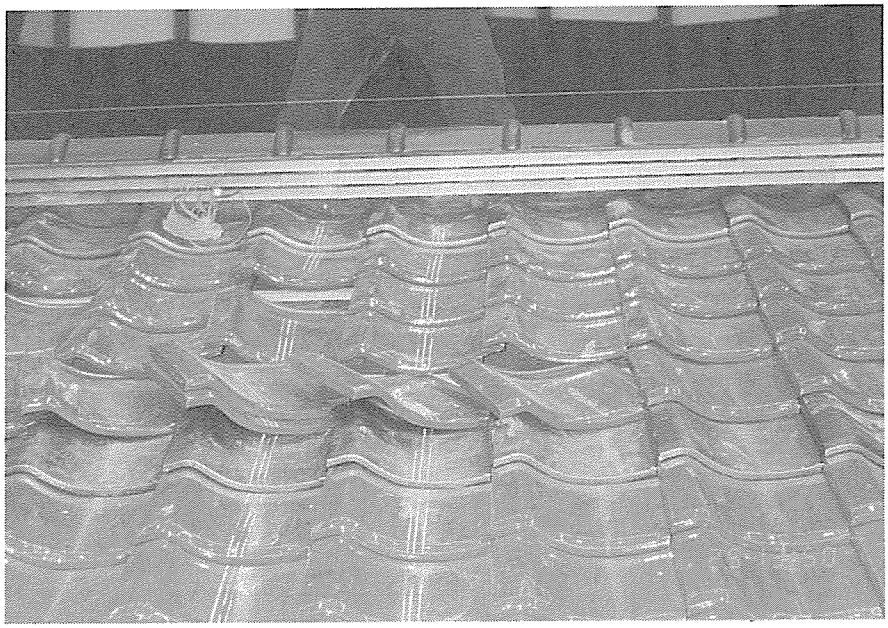


写真６－１３－５．　試験体Ｇ．加振Ｎｏ．８（スイープ４００．上下）の後

平瓦のズレ

写真６－１３－６．　試験体Ｇ．加振ＮＯ．９（スイープ８００．Ｘ方向）の後

冠瓦の落下

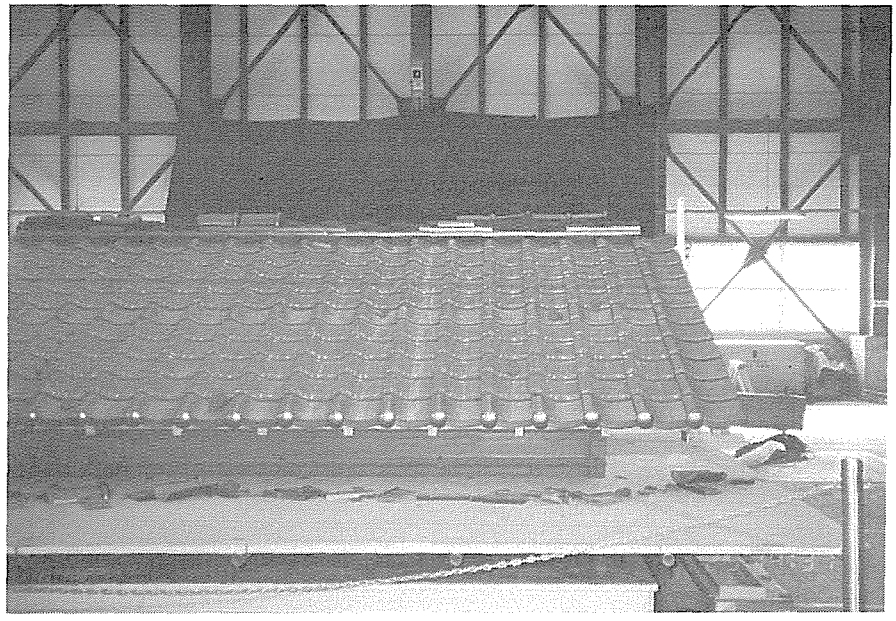


写真６－１３－７．　試験体Ｇ．同上

北面のし瓦、最上段（１段目）の大部分、２段目の半分が落下

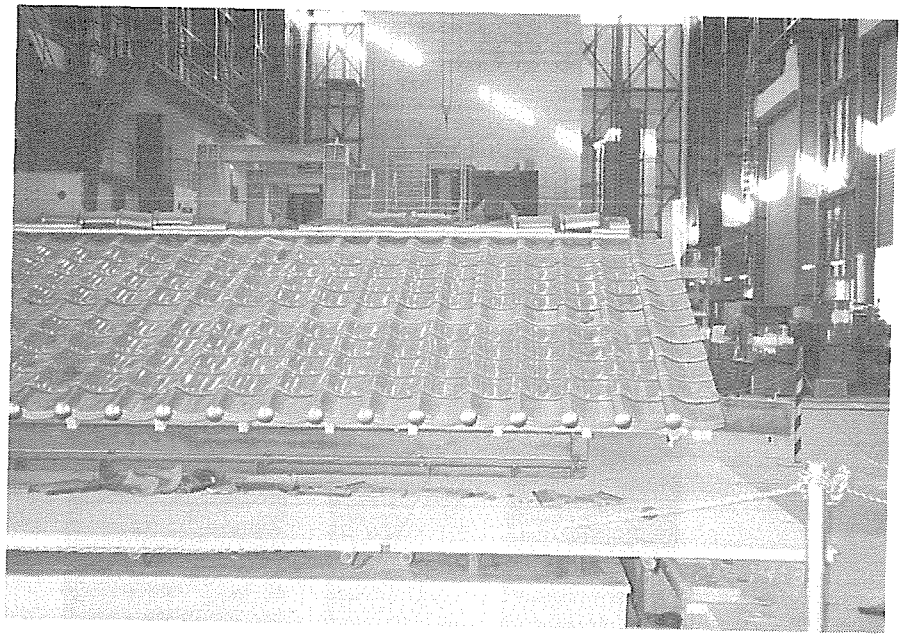


写真６－１３－８．　試験体Ｇ．同上

北面のし瓦、最上段（１段目）の大部分、２段目の一部が落下

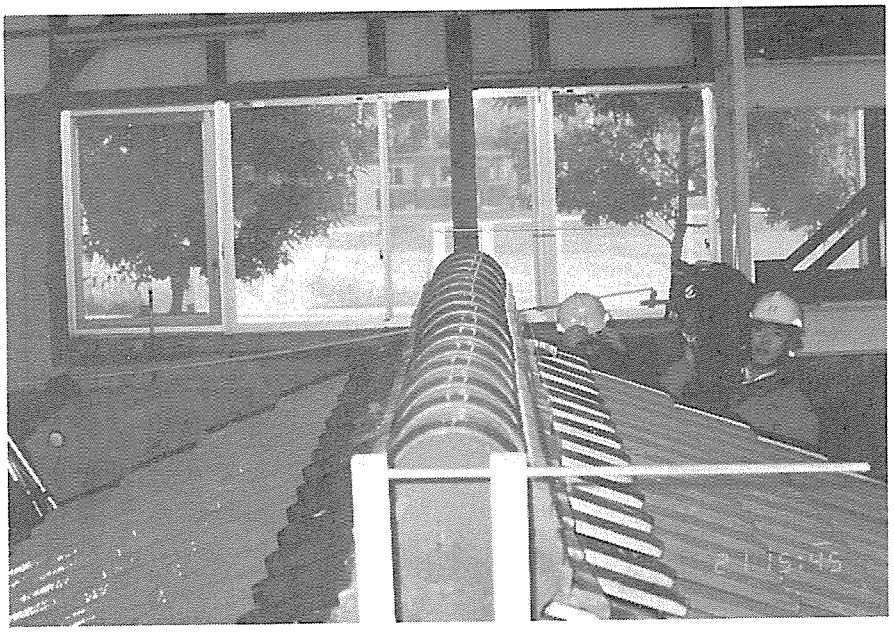


写真６－１４－１．　試験体Ｈ．加振ＮＯ．９（スイープ８００．Ｘ方向）の後

冠瓦の蛇行

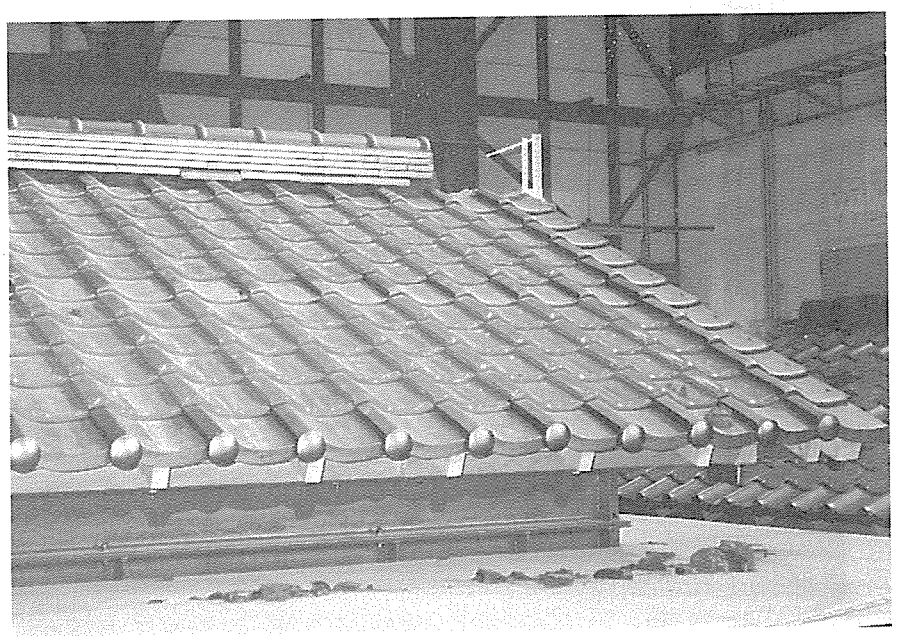


写真６－１４－２．　試験体Ｈ．同上

最下段（５段目）のし瓦の抜け出し、落下

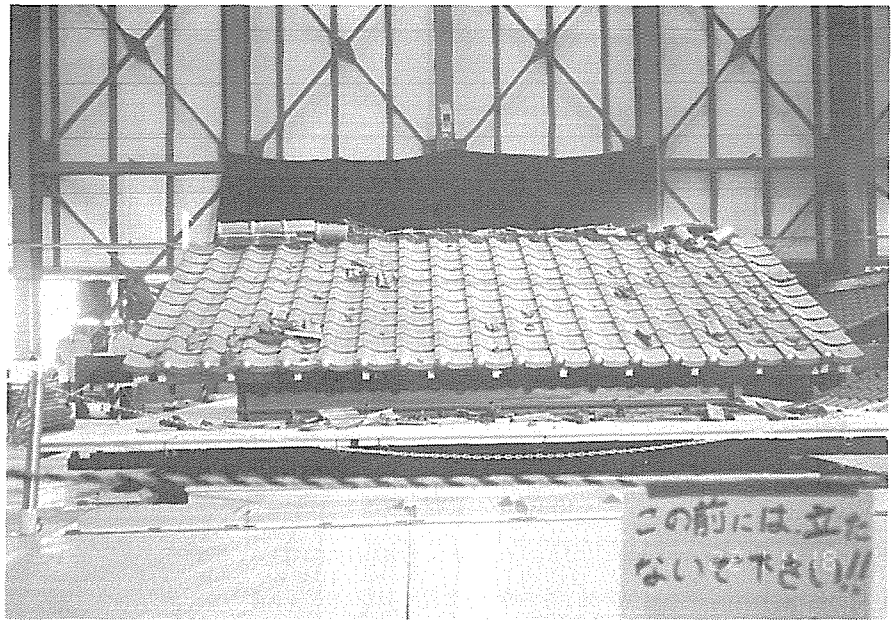


写真６－１５－１．　試験体Ｉ．加振ＮＯ．９（スイープ８００．Ｘ方向）の後

冠瓦の脱落、のし瓦の大量落下（北面）

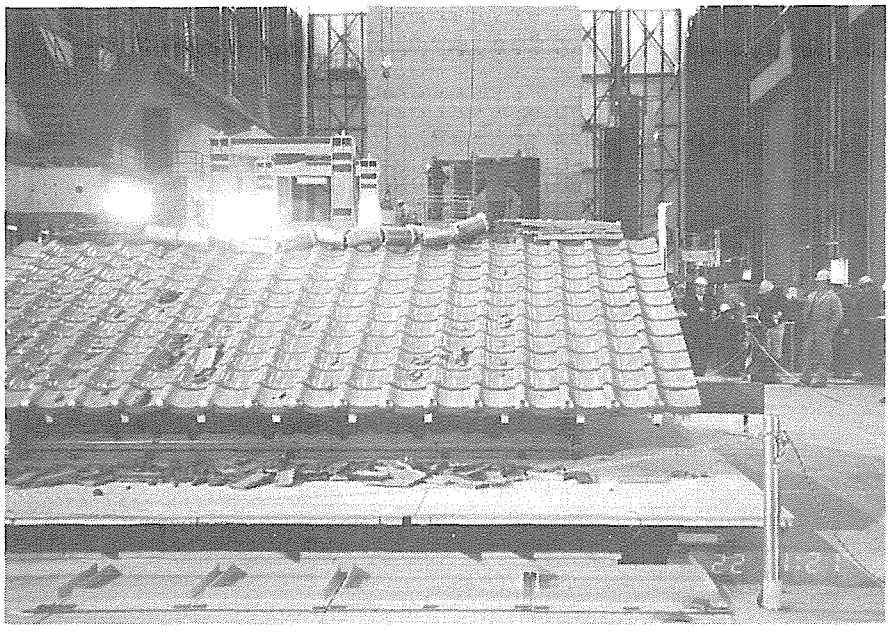


写真６－１５－２．　試験体Ｉ．同上

冠瓦の脱落、のし瓦の大量落下（南面）

写真６－１５－３．　試験体Ｉ．同上

棟中央ののし瓦は最上段（１段目）から最下段（５段目）まで落下している．

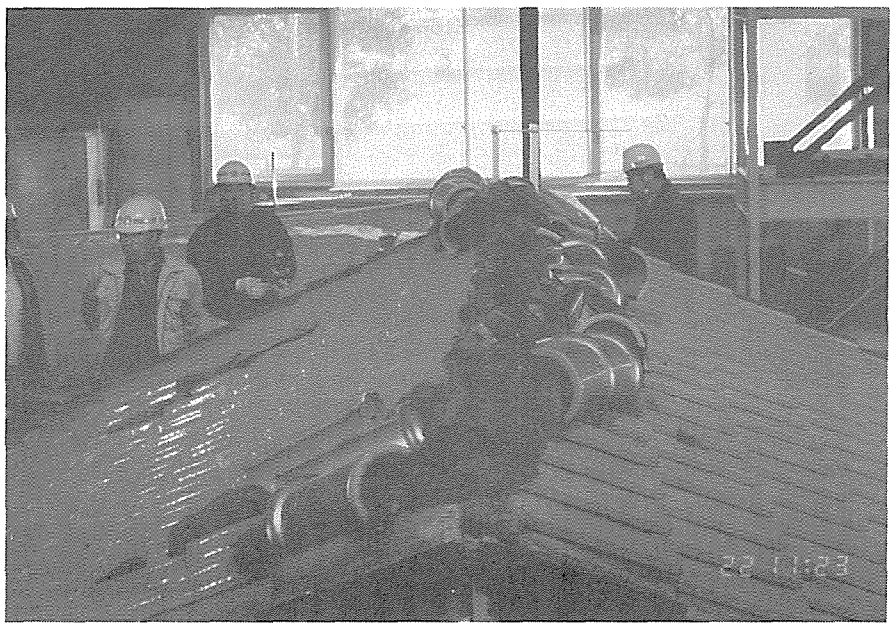


写真６－１５－４．　試験体Ｉ．同上

冠瓦は脱落しているが、棟木堅結により落下をまぬがれている．

のし瓦の大部分は落下した．

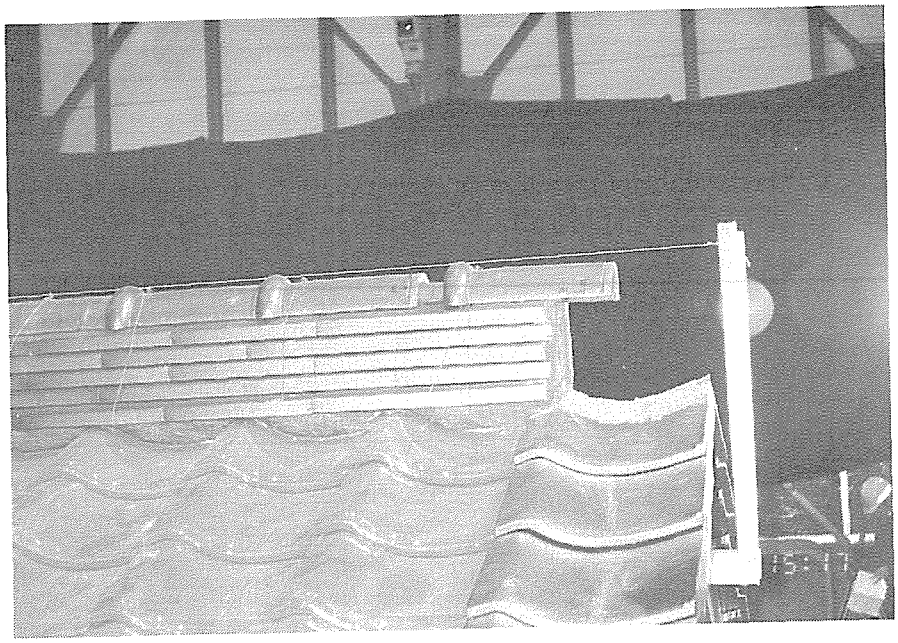


写真６－１６－１．　試験体Ｊ．加振ＮＯ．５（地震波．Ｙ方向）の後

冠瓦端部のズレ

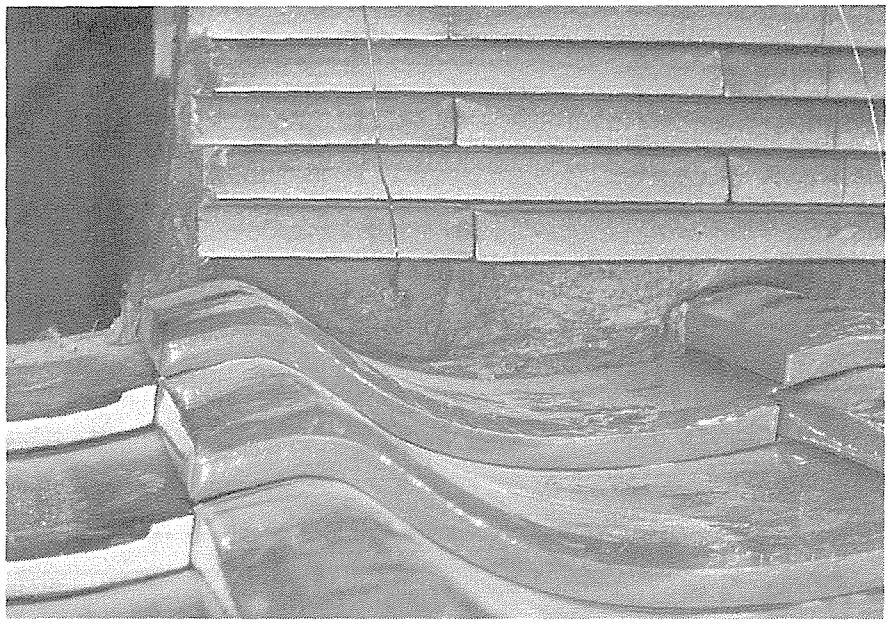


写真６－１６－２．　試験体Ｊ．加振ＮＯ．７（スイープ４００．Ｙ方向）の後

大回し銅線取付部穴の拡大

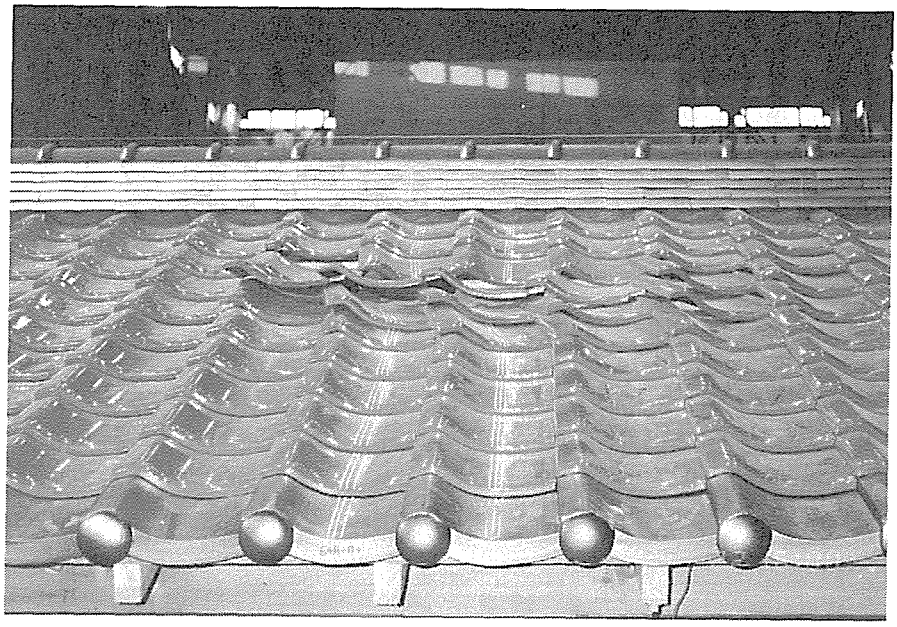
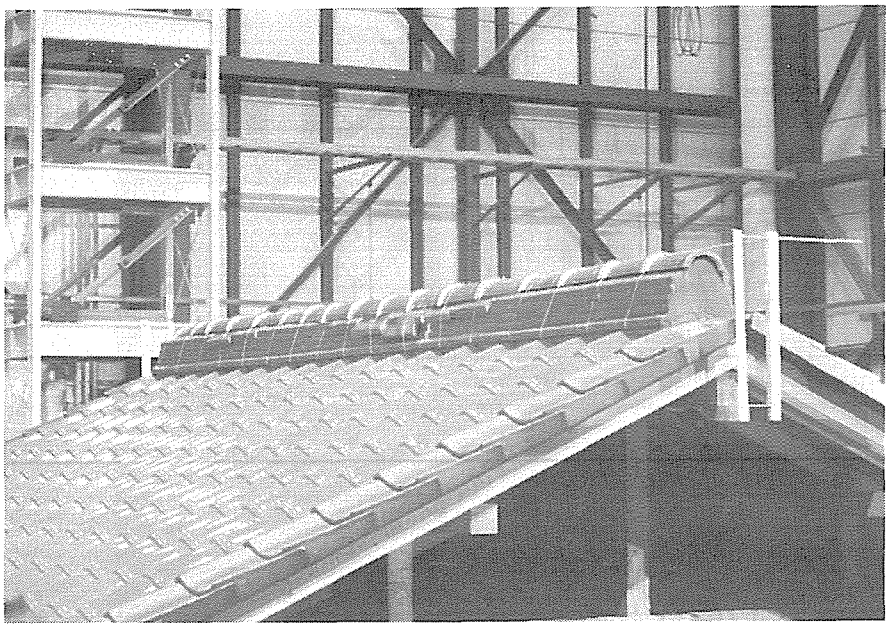
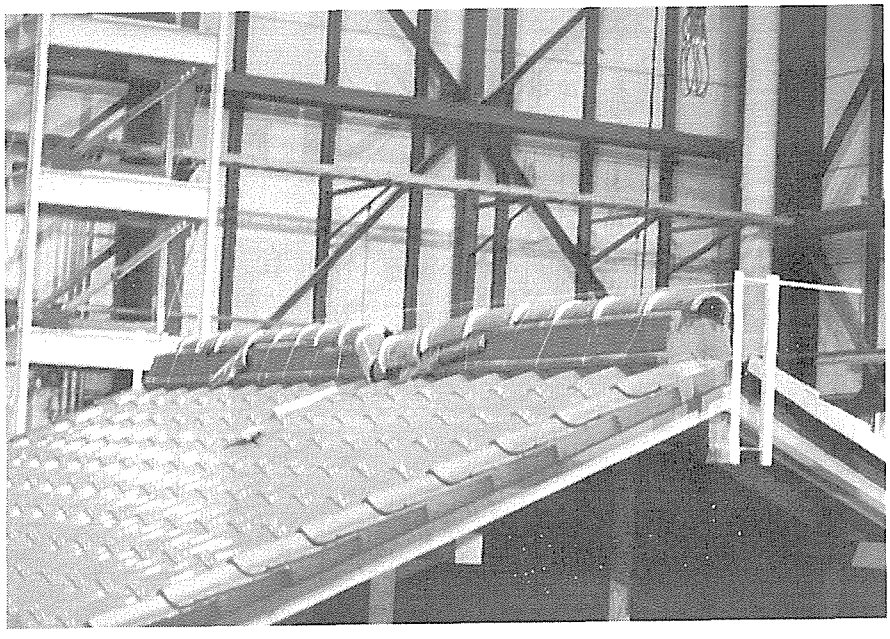


写真６－１６－３．　試験体Ｊ．加振ＮＯ．８（スイープ４００．上下）の後
平瓦のズレ

写真６－１６－４．　試験体Ｊ．加振ＮＯ．９（スイープ８００．Ｘ方向）の後
冠瓦の脱落、最下段（５段目）のし段の抜け出し、
最上段（１段目）のし瓦の落下





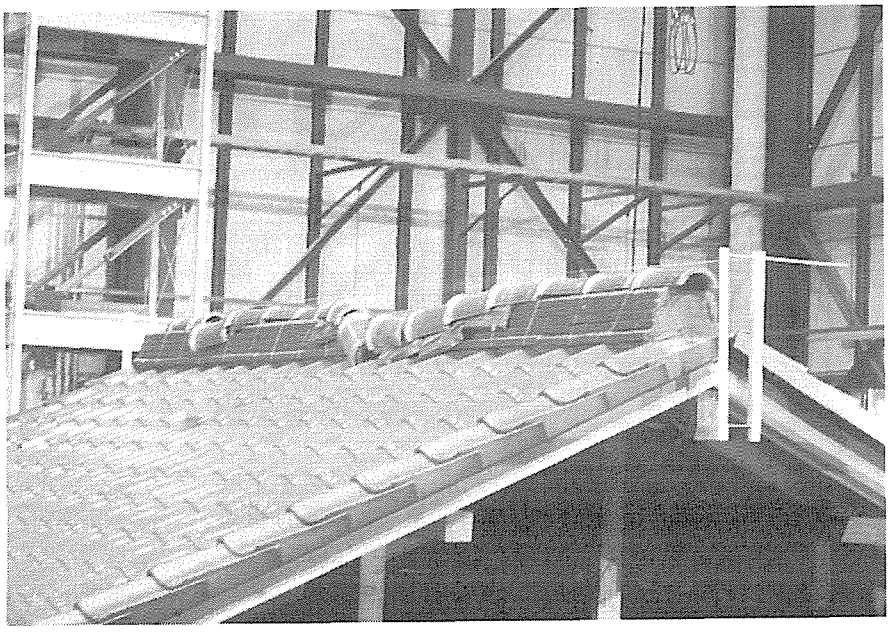


写真６－１６－５.

［連続写真］

試験体Ｊ．同上

最初に最上段ののし瓦が落下し

その後に冠瓦が落下する.

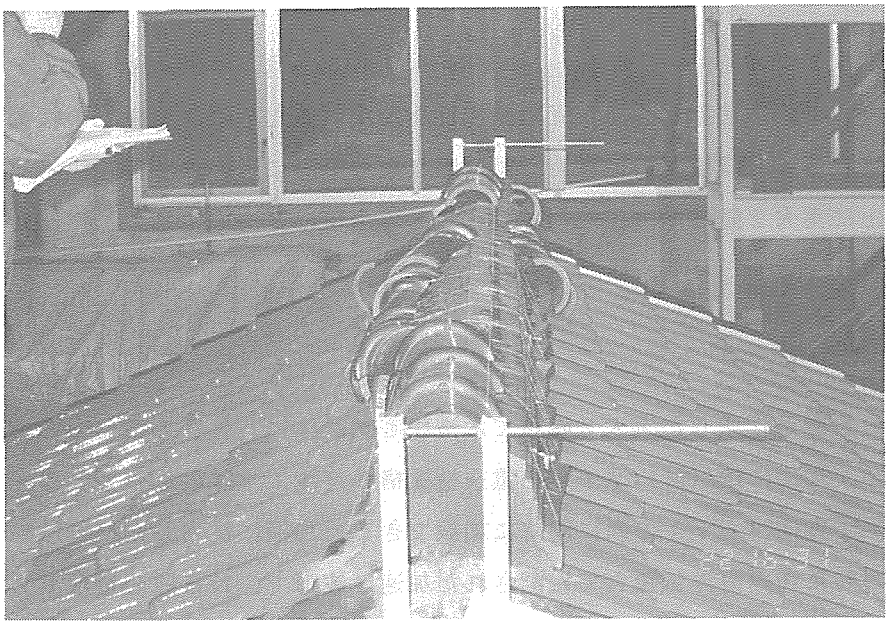


写真６－１６－６．試験体Ｊ．同上

冠瓦の脱落

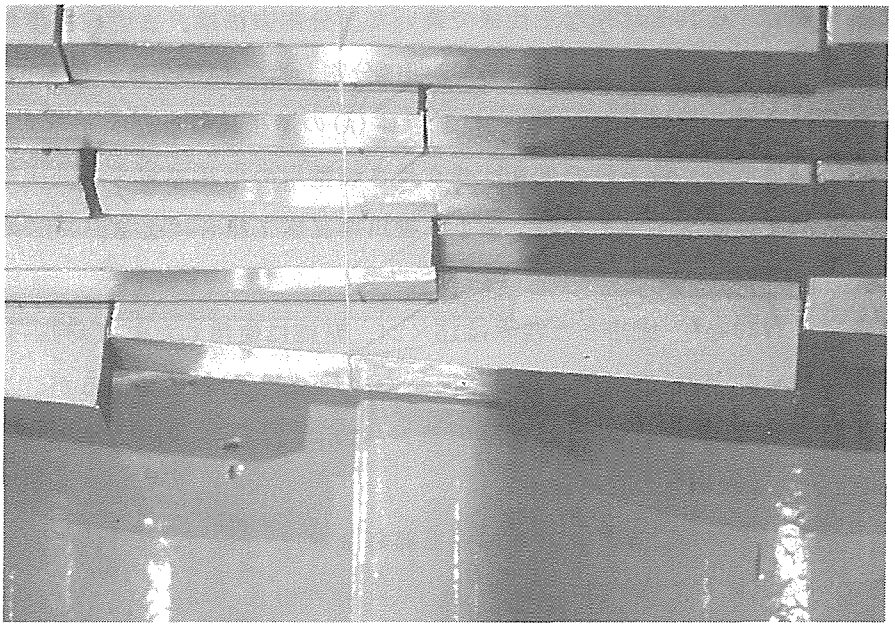


写真６－１６－７．試験体Ｊ．同上

大回し銅線による最下段のし段の抜け出し防止効果

7、屋根瓦の振動台実験２（多度津）

7.1 実験目的

屋根瓦の地震時の挙動を把握し、屋根瓦の耐震性能を調べるために、屋根瓦の振動実験を行った。この実験では、屋根瓦の地震時挙動を限りなく実際に近い形で再現する事を意図して、振動台上に実大２階建木造住宅を建設し、その屋根に瓦を施工して、振動台実験を行った。

7.2 加振方法

駆体振動実験分科会が作成した実大２階建て木造住宅試験体に、各種の留付方法で屋根瓦を葺き加振した。加振には（財）原子力発電技術機構多度津工学試験場の振動台を用いた。振動台は水平１方向、上下１方向に同時に加振できる。加振に使用した振動波形は、阪神淡路大震災の時に神戸海洋気象台で観測された加速度波形で、ＮＳ成分を水平方向に、ＵＤ成分を上下方向に入力した。加振した加速度は観測値と同じである。

図7-1に振動台の仕様を示す。図7-2に加振の目標波である神戸海洋気象台ＮＳ成分とＵＤ成分を示す。

7.3 試験体

実大２階建て木造住宅試験体(A),(B)を用いた。その仕様を 表7-1に、その平面と立面図を図7-3に示す。

7.3.1　試験体（Ａ）

総２階建ての住宅で、屋根は２階部分だけにある。屋根瓦を葺くにあたっては、平瓦部分を以下のように４分割し、それぞれ異なる仕様で葺いた。分割方法は、まず棟を境にして、1と2に２分割し、さらにそれぞれを棟の中央でA,Bに分割した。棟部分は、棟軸の中央で２分割して、それぞれ異なる仕様とし。図7-4に試験体(A)の屋根瓦留付仕様を示す。以下に、その詳細を示す。ただし、最上段の平瓦は登り長さ調整用の半瓦であるが、桟木に釘で緊結してある。瓦は高松セラミックス製、施工は香川県瓦施工組合による。

①平瓦

平部の瓦の総重量は、3773kgf。使用した桟木は15×24、緊結に使用した釘はｽｸﾘｭｰｽﾌﾟﾘﾝｸﾞ釘長さ65である。ｽｸﾘｭｰｽﾌﾟﾘﾝｸﾞ釘（径2.1mm)は同長のｽｸﾘｭｰ釘と同軸径であるが、２種類の異なる溝が刻まれている。ｽｸﾘｭｰｽﾌﾟﾘﾝｸﾞ釘を 写真7-1に示す。

・A-1　金融公庫仕様（４列目毎の瓦に釘１本）

軒（上部釘２本）、けらば（上部釘２本）

・A-2　全面釘留め（各瓦に釘１本）

軒（上部釘２本、山部１本）、けらば（上部釘２本、山部釘１本）

・B-1　平部中央の瓦の緊結なし

軒（上部釘２本）、けらば（上部釘２本）

・B-2　金融公庫仕様（４列目毎の瓦に釘１本）

軒（上部釘２本）、けらば（上部釘２本）

ただし、A-2の３本目の釘は、軸径3.2mm長さ125mmのﾊﾟｯｷﾝｸﾞ付き傘釘（写真7-2参照）である。

②棟

棟瓦の留付仕様を表7-2に示す。

7.3.2　試験体(B)

一部２階建ての住宅。２階屋根平部分の屋根瓦の仕様は計４つで、棟を境にそれぞれ1,2、棟軸の中央でC,Dに分割してある。一階屋根部分の屋根瓦仕様は２種類で、建物裏側をE-1部、表側をE-2部とした。２階屋根の棟仕様は、２階のＡ試験棟と一階大屋根のＢ試験棟の２つの仕様とした。図7-5に試験体(B)の屋根瓦留付仕様を示す。以下に、その詳細を示す。瓦は西田興産製、施工は奈良県瓦工事業協同組合による。

①平瓦

平部の瓦総重量は、6037kgf。使用した桟木は15×24、緊結に使用した釘は試験体(A)の場合と同じｽｸﾘｭｰｽﾌﾟﾘﾝｸﾞ釘長さ65である。また、最上段の平瓦は登り長さ調整用の半瓦であるが、桟木に釘で留付てある。

・C-1　平部中央の瓦の緊結なし、試験No.2の後で全数留めにする。

軒（釘２本）、けらば（釘２本）

・C-2　全瓦連仕様　（３列目毎に釘１本）、試験No.3の後で全数留めにする。

軒（釘２本）、けらば（釘２本）

・D-1　金融公庫仕様（４列目毎に釘１本）、試験No.2の後で全数留めにする。

軒（釘２本）、けらば（釘２本）

・D-2　全面釘留め（各瓦に釘１本）

軒（釘２本）、けらば（釘２本）

・E-1　金融公庫仕様（４列目毎に釘１本）、試験No.2の後で全数留めにする。

軒（釘２本）、けらば（釘２本）

・E-2　金融公庫仕様（４列目毎に釘１本）

軒（釘２本）、けらば（釘２本）

②棟瓦

棟瓦の留付仕様を表7-3に示す。

7.4 計測方法

計測は、ビデオカメラを用いた。

7.5 実験内容

阪神淡路大震災において神戸海洋気象台で観測された地震波のＮＳ・ＵＤ成分を同時に振動台に入力した。試験体（Ａ）の水平加振方向は、棟直交方向である。試験体（Ｂ）の水平加振方向は棟方向である。実験の内容を 表7-4に示す。最大加速度値は試験体の２階小屋梁位置で加振方向に計測された値。振動台上に設置された試験体(A)を 写真7-3に、試験体(B)を写真7-4に示す。

7.6 実験結果

7.6.1　木造住宅試験体の応答

図7-6に上記波形を振動台に入力した際に、試験体(B)の２階梁桁で観測された振動波形を示す。ただし、Ｘ方向の波形は、桁行き（長辺）方向の２つの外壁面でそれぞれ観測された波形の平均値で、屋根面中心での桁行き方向の振動に対応する。Ｙ方向の波形は、梁間（短辺）方向の２つの外壁面で観測された波形の平均値で、屋根面中心の梁間方向の振動に対応する。

屋根瓦の振動台実験による、屋根瓦損傷部分のまとめを 表7-5に示す。

7.6.2　試験体(A)

試験体(A)の実験結果を、写真7-5から写真7-6に示す。

・棟部分　表7-5で示すように、銅線で大回し鉢巻き状に緊結したＢ試験棟部分で、冠瓦とのし瓦が落下した。落下方向側は最下段の「のし瓦」下の台土が、平瓦の表面ではく離して落下した。その上にある全ての「のし瓦」及び冠瓦が落下した。破損位置は、台土の下面（平瓦の上面）である。落下と反対の側では、最下段の「のし瓦」が残り、２段目以上の「のし瓦」が落下した。

Ａ試験棟部分の棟木緊結・傘釘併用による補強部分では、冠瓦・のし瓦は試験No.2ではいずれも落下しなかったが、試験No.3で大きく蛇行してずれた。ずれは、最下段の「のし瓦」の上面で大きく生じた。

・平部分　いずれの留付仕様部分でも、ズレ・落下はなかった。

7.6.3　試験体(B)

試験体(B)の実験結果を、写真7-5から写真7-6に示す。

・棟部分　表7-5で示すようにＡ試験棟・Ｂ試験棟のいずれの緊結仕様でも、棟瓦の大きなズレ・落下等しなかった。

・平部分　試験No.2,3,4の加振でいずれの留付仕様部分でも、瓦は落下しなかった。ただし、試験No.3の加振で全瓦連仕様部分の釘留めの無い瓦に、水平方向の移動が見られた。釘留め有りの瓦では、多少回転する様子が見られた。

7.7 考察

7.7.1　棟部分

試験体(A)の銅線で大回し鉢巻き状に緊結したＢ試験棟部分で、試験No.２（神戸海洋気象台）の棟直交方向加振によって、冠瓦とのし瓦が落下した。冠瓦が落下した側では最下段の「のし瓦」下の台土が平瓦上面ではく離して落下した。従って、落下側の破壊位置は台土の下面（平瓦の上面）である。反対側では、最下段の「のし瓦」は残っており、破壊位置は最下段の「のし瓦」の上面である。この緊結法は、阪神淡路大震災級の地震動に対しては不十分な緊結法であることが明らかになった。

試験体(A)の銅線による棟木緊結と傘釘を併用して補強したＡ試験棟は、試験No.3の棟直交方向に加振によって大きく蛇行した。瓦のずれは、最下段の「のし瓦」の上面で大きく、この位置が破壊位置である。この緊結法は、２回目の加振で大きなずれを生じさせたため、阪神淡路大震災級の地震動に対する充分な補強法とは言えない。

試験体(B)のＢ試験棟で使用された一体棟は、１階屋根部分で棟方向の加振であったが、阪神淡路大震災級の地震動に対して、有効な棟瓦および施工法であることが明らかになった。

7.7.2　平部分

建物や小屋組の強度等が実験と同じ条件であれば、引掛桟瓦の平瓦を用いたいずれの留付方法も、阪神淡路大震災級の地震動に対して、大きな被害が生じ難いことが明らかになった。

7.7.3　まとめ

実験で用いた棟の大回し鉢巻き状の緊結、棟の棟木緊結・傘釘併用の補強法は、阪神淡路大震災級の地震動に対して、不十分な緊結方法であった。一方で、実験で用いた一体棟は、１階屋根部分で棟方向の加振であったが、阪神淡路大震災級の地震動に対して、有効な棟瓦および施工法であることが明らかになった。

建物や小屋組の強度等が実験と同じ条件であれば、引掛桟瓦の平瓦を用いたいずれの留付方法も、阪神淡路大震災級の地震動に対して大きな被害が生じ難いことが明らかになった。

なお、この実験で使用した建物および屋根瓦の材料や施工は、一般に施工されている建物や屋根に比べて、入念に材料選定・設計・施工されていると考えるべきである。また、建物や瓦の留付に、経年変化による強度低下が生じることも考慮しておく必要がある。以上の点を考慮した上で、この実験結果を判断し利用する必要がある。

表７－１，木造住宅試験体の主な仕様

部位	A試験体（単純プラン）	B試験体（現実的プラン）
小屋	野地板：合板１２mm	
外装	サイディング	ラス下地モルタル
床	合板　１２mm、	合板１２mm、
金物	概ね金融公庫程度（Ｚ金物）	
筋かい	2つ割（４５×１０５）	
主要構造材	管柱：スギ（105×105）、通し柱：ヒノキ（120×120）、梁・桁等の横架材：米松（105×105～330）、根太・垂木・間柱等：スギ。	
内装仕上げ	東南隅の部屋のみ	ＬＤ室のみ
	石膏ボード：A，Bとも　12.5mm（壁） 9.5mm（天井） 床：カーペット敷き	
床面積	約１０６㎡	約１３３㎡
壁量	基準法の１．５倍	基準法の１．０倍
偏心	ほとんど0	0.15程度（0.15以下ならバランスがよい）

表7-2 、試験体(A)の棟仕様

	A試験棟	B試験棟
のし瓦段数	3	同左
冠瓦径	5寸	同左
棟土 緊結（冠瓦）	葺土（荒い粒子）に3%のﾓﾙﾀﾙ混入 棟木緊結（最上段の桟木に釘打ちし、冠瓦との間を銅線で緊結）	同左 銅線で大回し鉢巻き状に緊結し、のし瓦と一 体化。
緊結（のし）	3段ともものし瓦同士で銅線#18で緊結。	2段目の「のし瓦」より上を銅線で大回し鉢巻き状に緊結。1段目の「のし瓦」は銅線で緊結されていない。
併用補強法	棟中心にｽﾃﾝﾚｽ傘釘5.8×210打ち 間隔は瓦2枚目毎	なし
棟瓦重量	340kgf（棟巴、鬼瓦を含む、土重量を除く）	

注：棟頂部の野地板・垂木は接合されずに開いていた。このため、補強に使用された傘釘は、野地板・垂木・棟木には届かず、台土中に埋め込まれた仕様となっていた。

表7-3 、試験体(B)の棟仕様

	A試験棟（2階）	B試験棟（1階）
のし瓦段数	3	3段相当
冠瓦	5寸丸	一体棟
棟土	葺土（荒い粒子）に3%のﾓﾙﾀﾙ混入	同左
緊結（冠瓦）	棟木緊結（最上段桟木に銅線を釘打ちし、冠瓦との間を緊結）	強力棟A-160,@500、釘75留 受木43×43, ｽﾃﾝﾋﾞｽ75で受木に留付
緊結（のし）	3段ともものし瓦同士で銅線#18で緊結。	のし瓦なし
併用補強法	棟中心にｽﾃﾝﾚｽ傘釘5.8×210打ち 間隔は瓦2枚目毎	なし
棟瓦重量	607kgf（土重量を除く）	

注：棟頂部の野地板・垂木は接合されずに開いていた。このため、補強に使用された傘釘は、野地板・垂木・棟木には届かず、台土中に埋め込まれた仕様となっていた。

表7-4　実験内容

	試験体(A)		試験体(B)		
加振日	'96.12.6		'96.11.28		
	試験No.2	試験No.3	試験No.2	試験No.3	試験No.4
地震波	神戸海洋気象台	同左	同左	同左	ｴﾙｾﾝﾄﾛの1.5倍
	ＮＳ成分	〃	同左	同左	同左
	（棟直交方向）	〃	（棟方向）	〃	〃
	ＵＤ成分	〃	同左	〃	〃
試験体仕様	筋かい付き	〃	同左	〃	〃
	壁量1.5	〃	壁量1.1	〃	〃
	偏心なし	〃	偏心EW:0.157	〃	〃
			NS:0.129	〃	〃
	外壁有り	〃	同左	〃	〃
	内装有り	〃	同左	〃	〃
ﾎｰﾙﾄﾞﾀﾞｳﾝ金物	緩める	締める	締める	緩める	〃
最大加速度値（２階小屋梁）	1648 gal		1513gal		

表7-5、屋根瓦の損傷

損傷	試験体(A)		試験体(B)		
	試験No.2	試験No.3	試験No.2	試験No.3	試験No.4
位置	Ｂ試験棟	Ａ試験棟	C-1	C-2	C-2とD-2
仕様	大回し鉢巻き状	棟木緊結	留付無し	全瓦連仕様	全数留付け
内容	落下側：最下段を含めて、全ての「のし瓦」が落下。 反対側：最下段の「のし瓦」が残るが、２段目以上は落下。 加振後除去。	最下段の「のし瓦」上面で加振方向にズレが生じ、棟瓦が大きく蛇行したが、落下はしなかった。	軒から2-3列目の平瓦で釘留無瓦がわずかにズレる。	釘留有の平瓦（少し回転） 釘留無の平瓦（少し水平移動）	平瓦が上下にバタツクが、移動なし

①最大積載重量　：１，０００トン

②加振方向　　：水平と垂直の２軸同時加振

③振動台寸法　　：１５ｍ×１５ｍ

④最大ストローク：水平２００ｍｍ

　　：垂直１００ｍｍ

⑤最大加速度　　：水平２，６６６ガル

（５００ﾄﾝ時）　　垂直１，３３３ガル

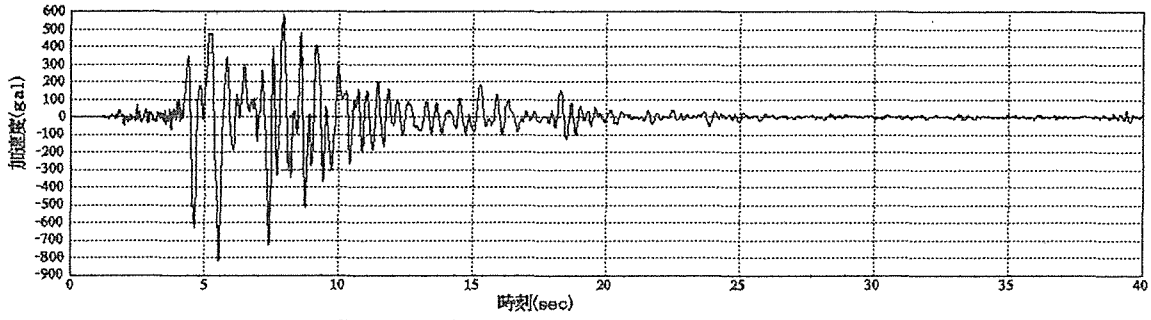
⑥最大加振力　　：水平３，０００トン

　　垂直３，３００トン

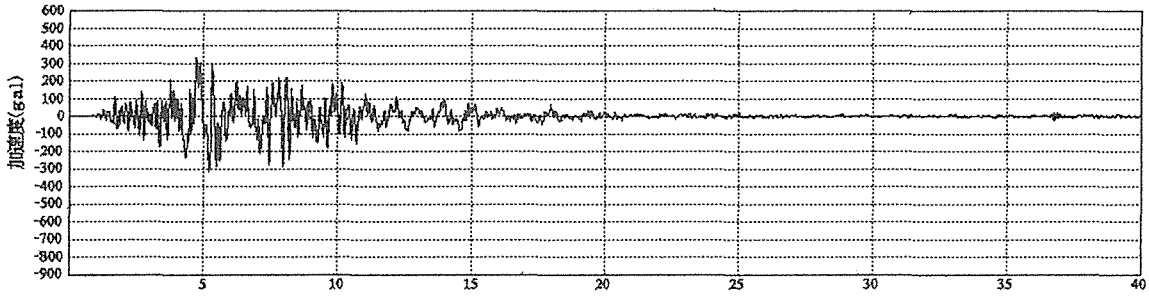
⑦最大速度　　：水平７５．０ｃｍ／ｓ

　　垂直３７．５ｃｍ／ｓ

図７－１，振動台（多度津）の仕様

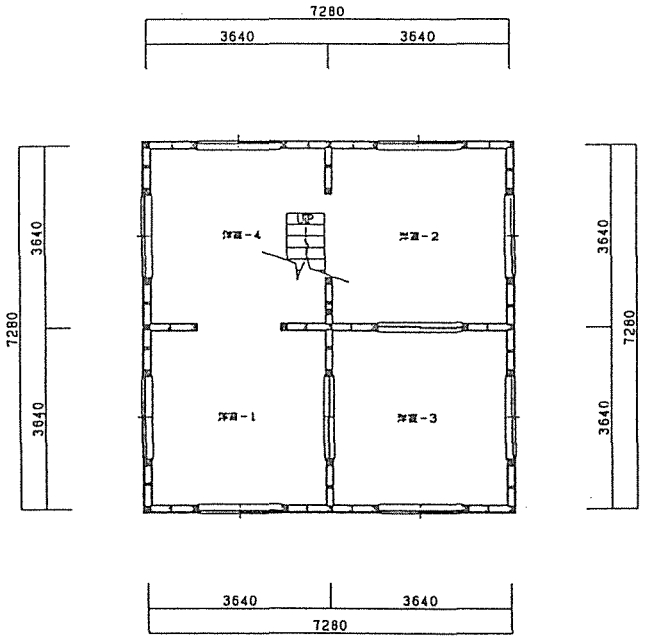


阪神・淡路大震災/ 神戸海洋気象台(NS成分)

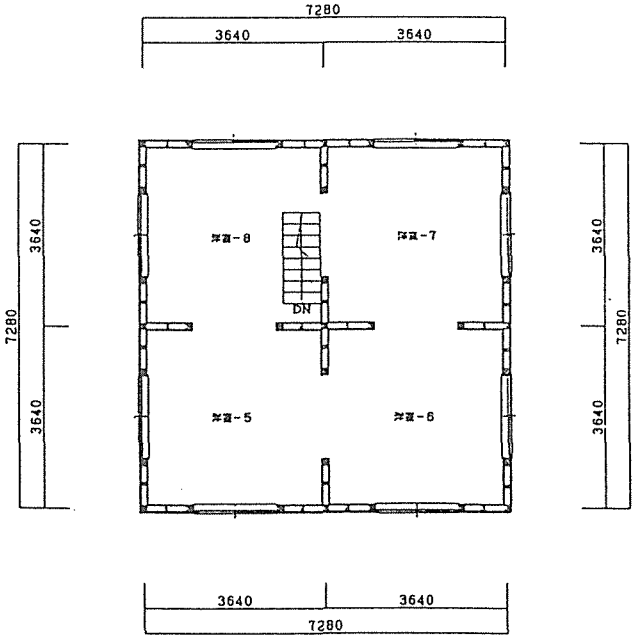


阪神・淡路大震災/ 神戸海洋気象台(UD成分)

図７－２，振動台入力波形の目標波



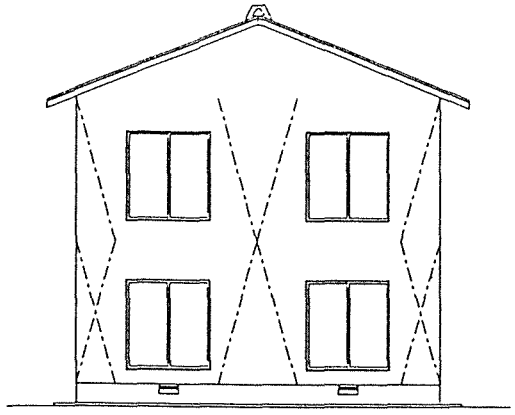
1 階 平 面 詳 細 図 1／100



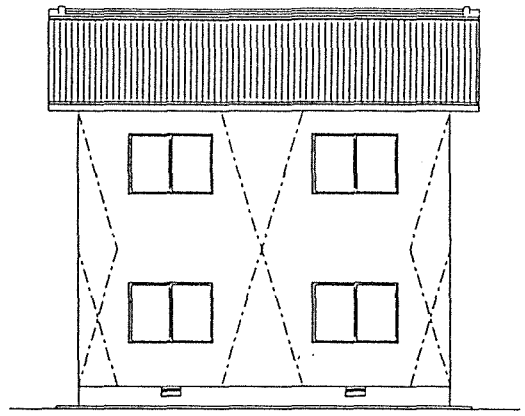
2 階 平 面 詳 細 図 1／100

図７－３－１．　試験体（Ａ）平面図

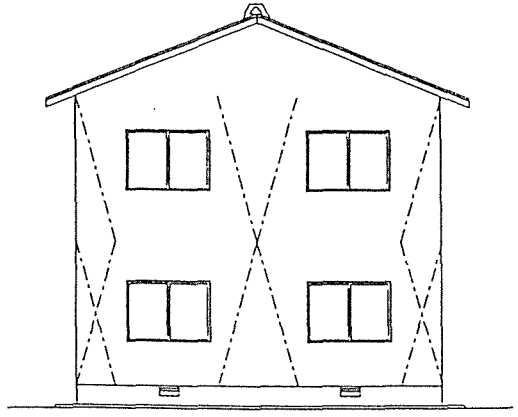
摘要			工事名称 震大実験 タイプA	SCALE
			図面名称 ・・・	DATE 年 月 日



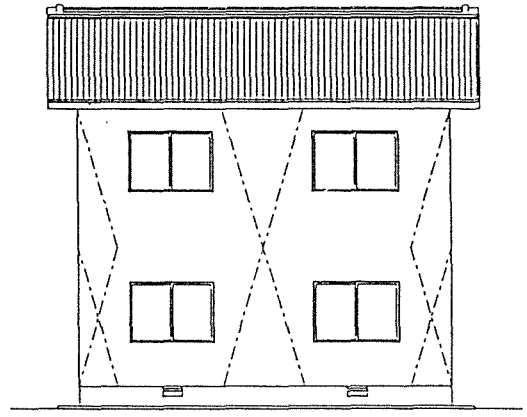
南側立面図 1/100



東側立面図 1/100



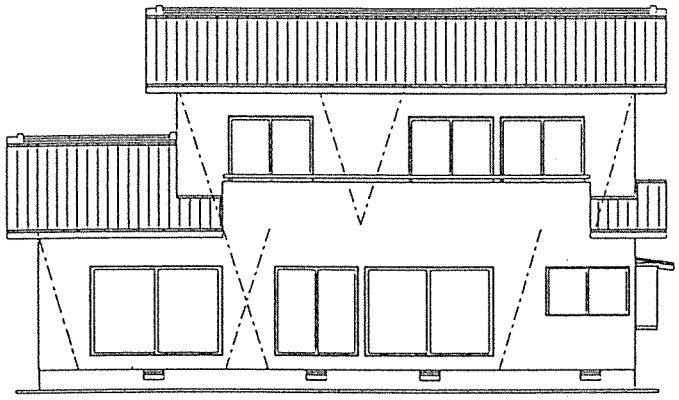
北側立面図 1/100



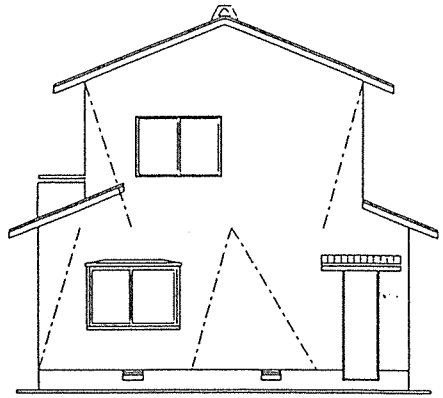
西側立面図 1/100

図7－3－2.　試験体（A）立面図

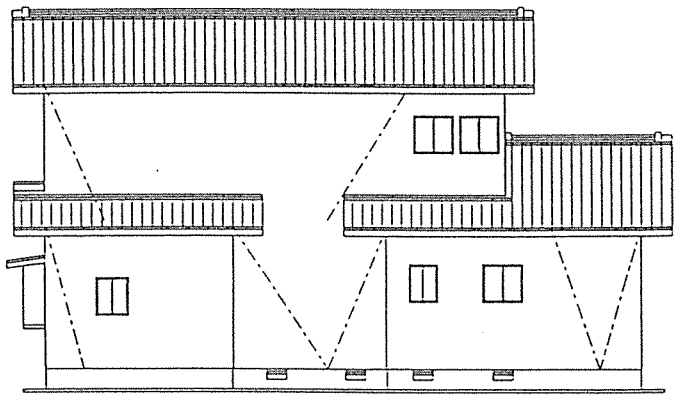
摘要			工事名称 震大実験　タイプA	SCALE
			図面名称 ・・・	DATE 年 月 日



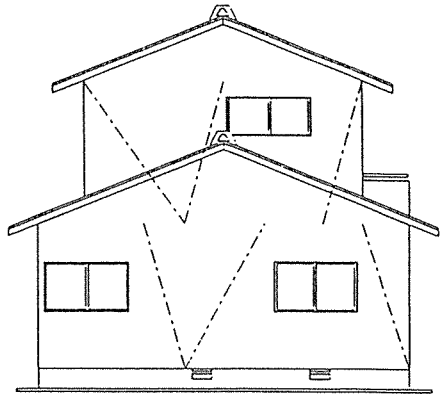
南側立面図 1/100



東側立面図 1/100



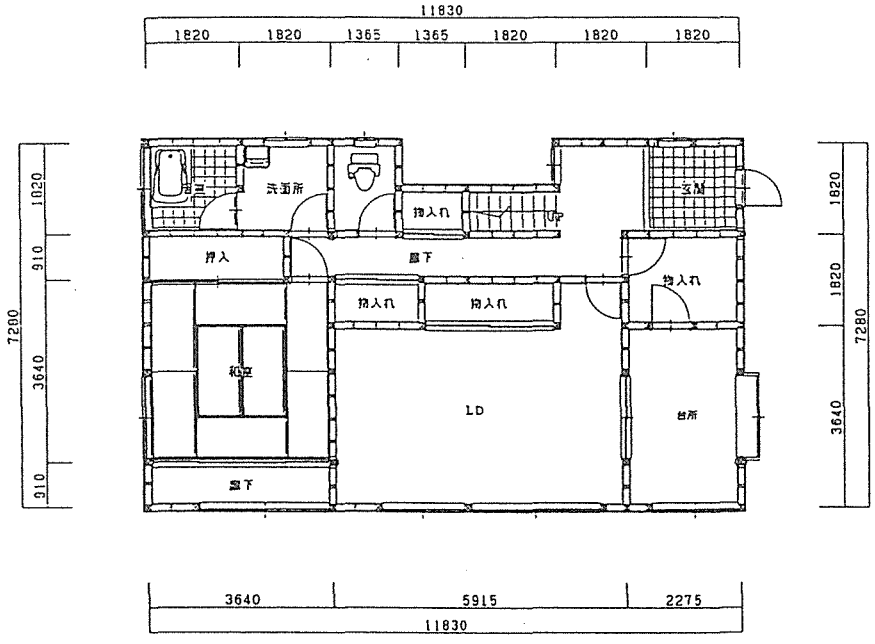
北側立面図 1/100



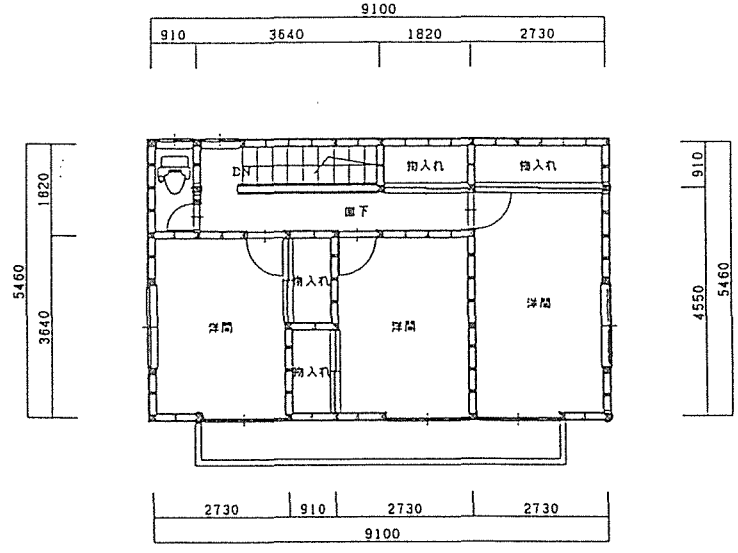
西側立面図 1/100

図7－3－4.　試験体（B）立面図

縮尺		工事名称 震大実験　タイプB	SCALE
図名		図面名称	DATE 年 月 日



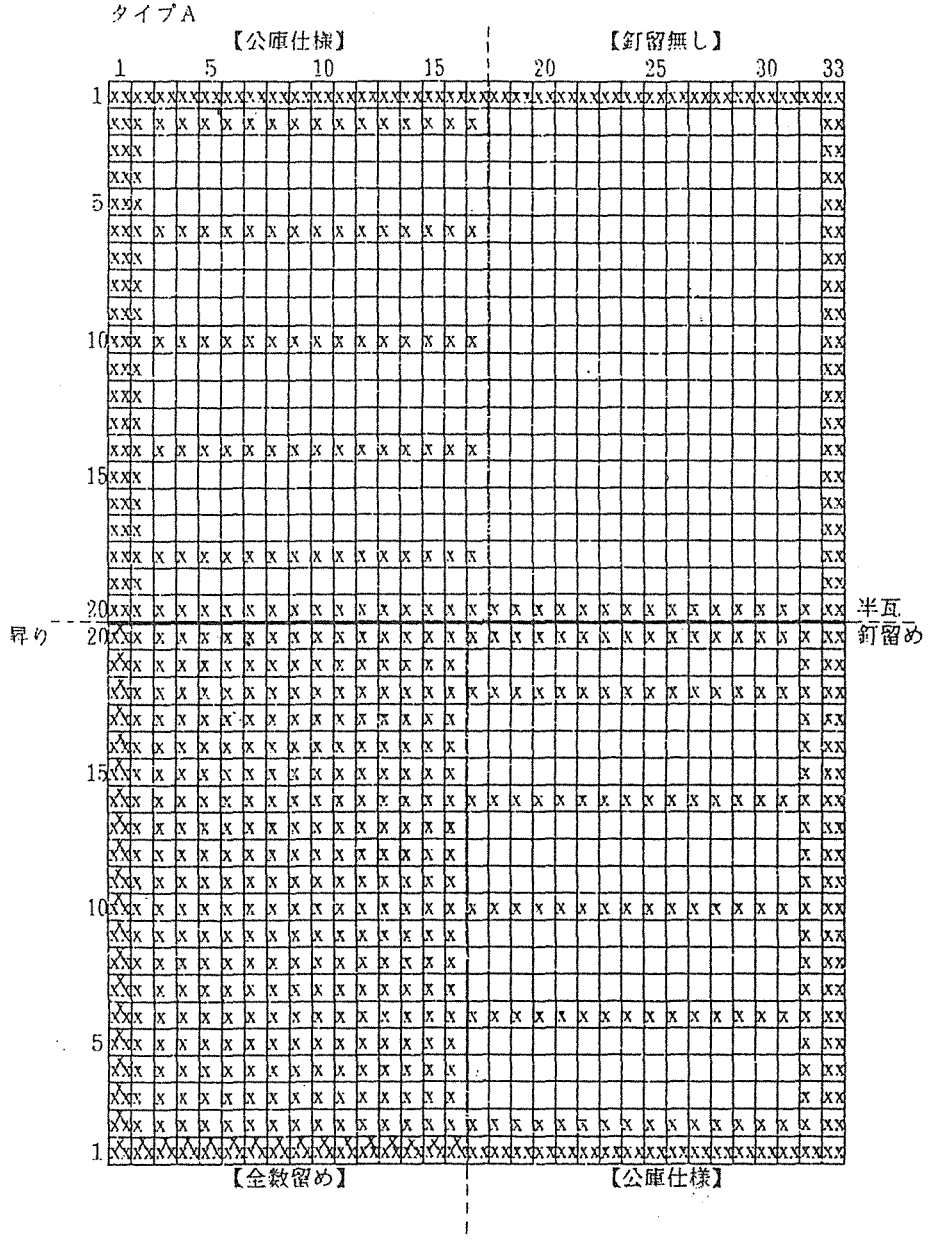
1階平面図　1/100



2階平面図　1/100

図７－３－３．　試験体（Ｂ）平面図

変更			工事名称 震大実験　タイプB 平面	SCALE
変更			図面名称 ・・・	DATE　年　月　日



（加振方向↕＋上下）

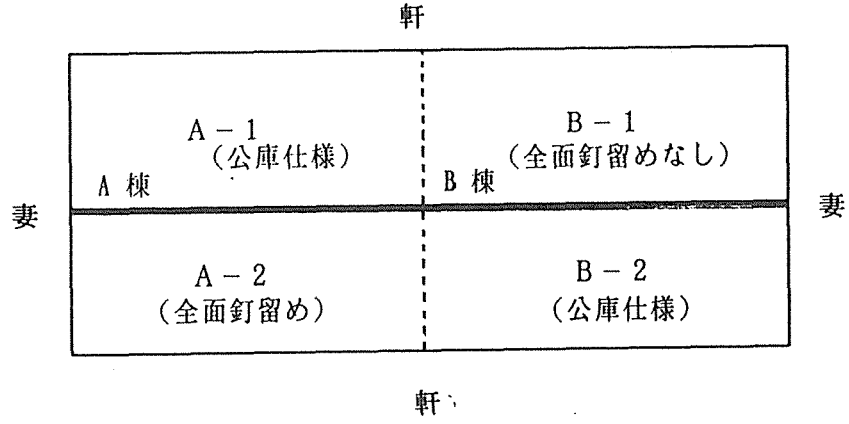
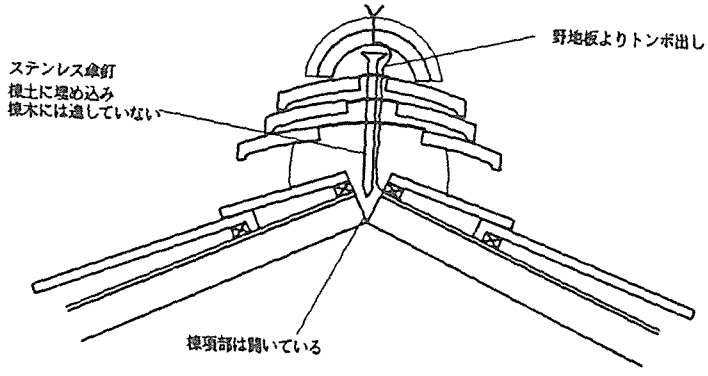
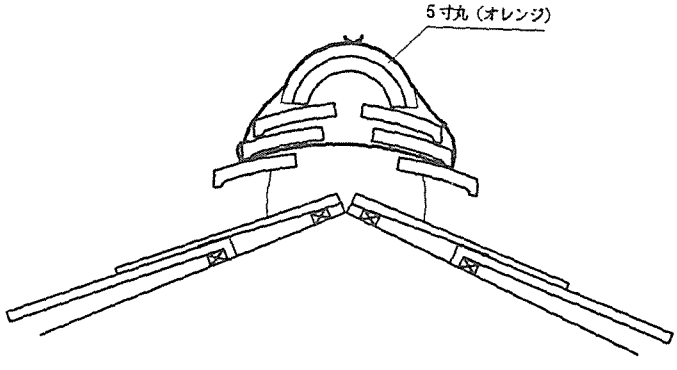


図７－４－１．　試験体（Ａ）の屋根瓦留付仕様



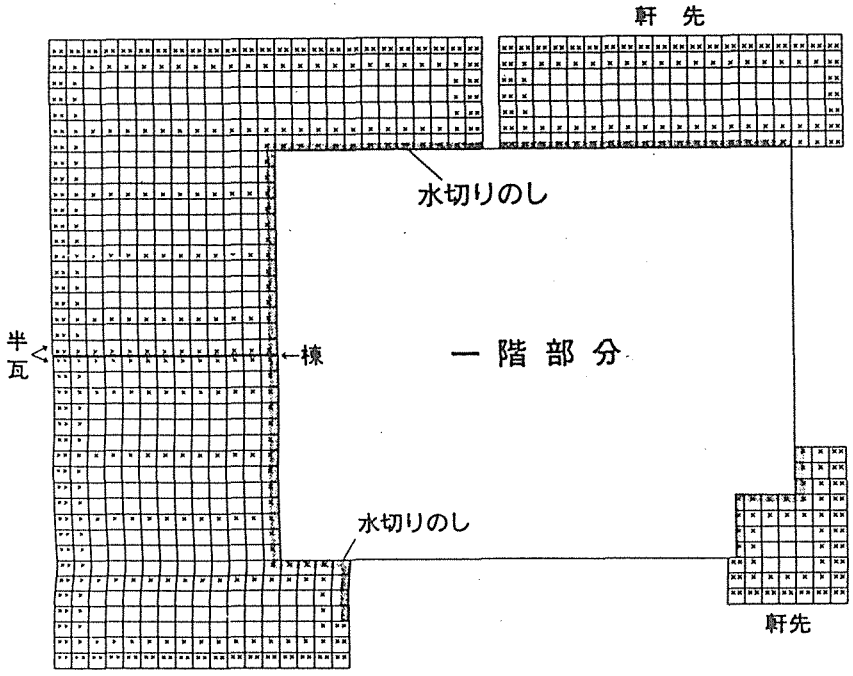
A 試験棟

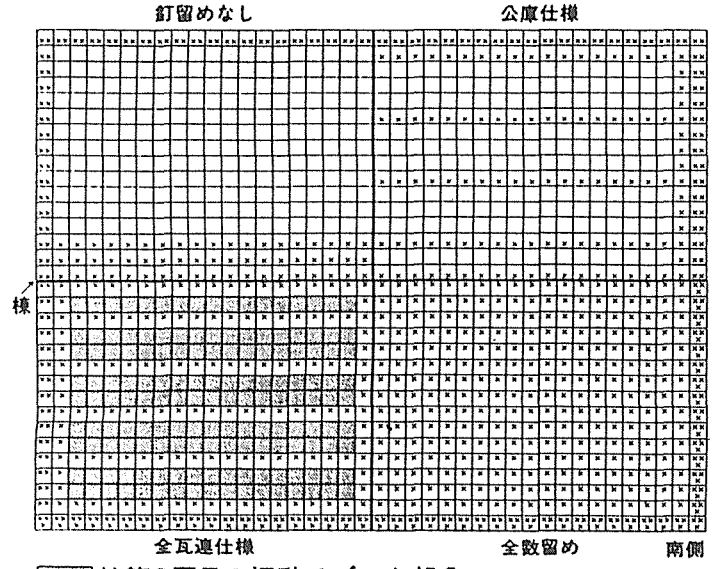


B 試験棟

図７－４－２．　試験体（Ａ）の棟瓦留付仕様

加　振　方　向(←→＋上下)





は第3回目の振動でズレた部分

2階平部(×は釘を打った位置)

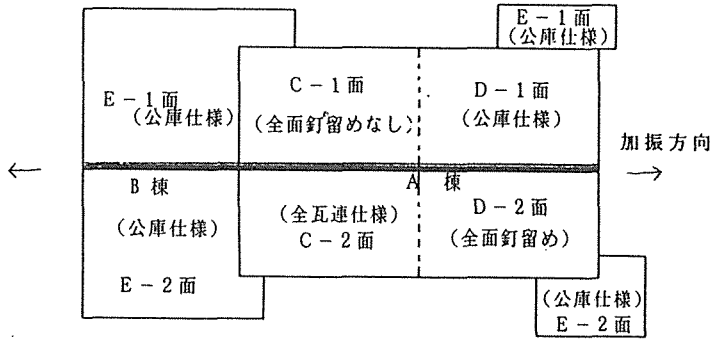
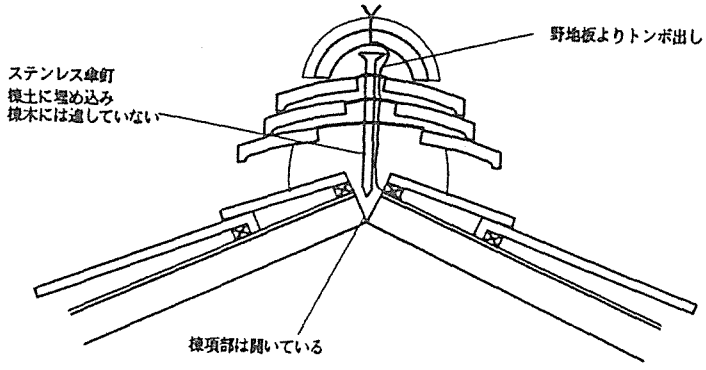
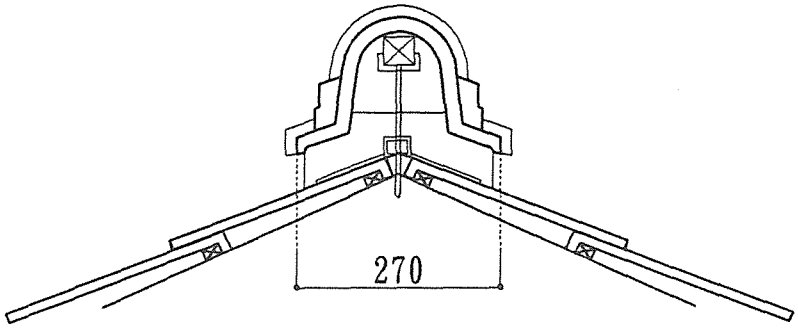


図７－５－１．　試験体（Ｂ）の屋根瓦留付仕様

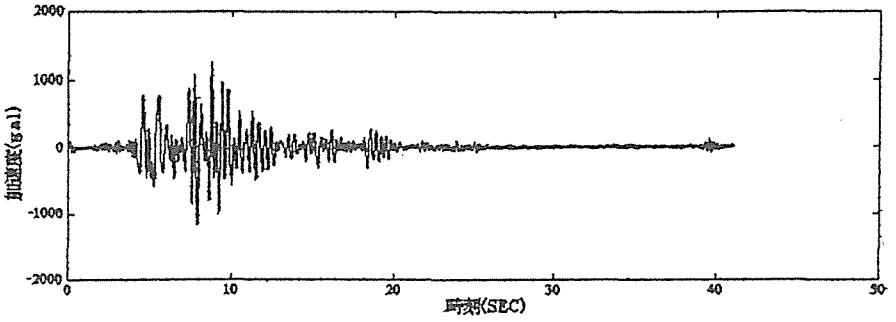


A試験棟（2階部分）

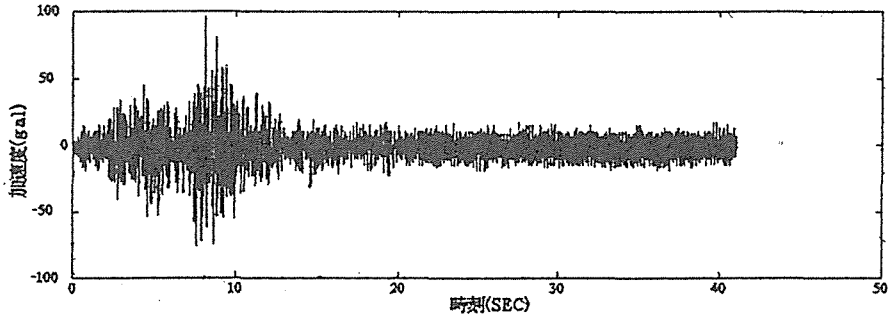


B試験棟（1階部分）

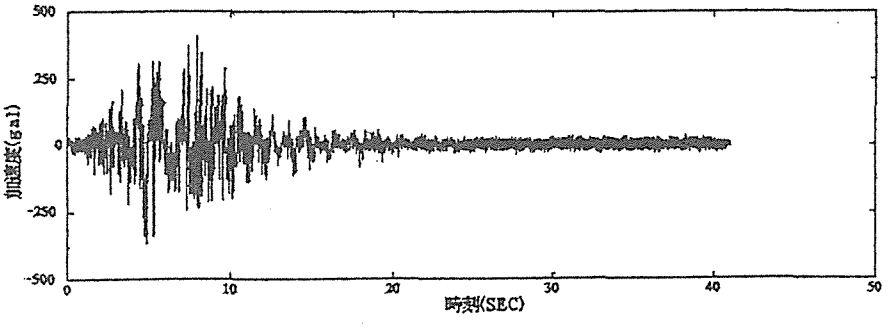
図7－5－2.　試験体（B）の棟瓦留付仕様



棟方向，２階梁桁位置-



棟直交方向，２階梁桁位置



上下方向，２階梁桁位置

図７－６，試験体（Ｂ）の応答加速度

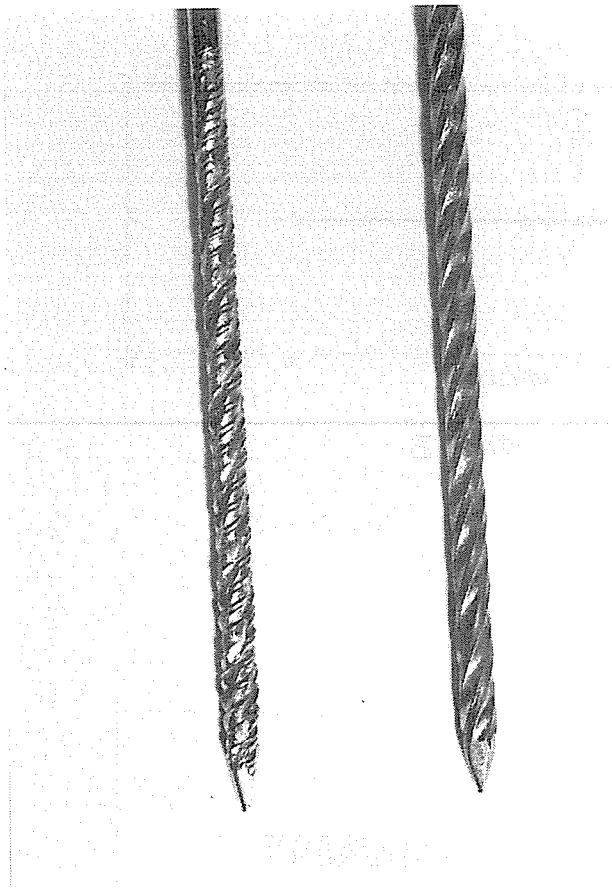


写真７－１．

スクリュースプクング釘（左）

スクリュー釘（右）

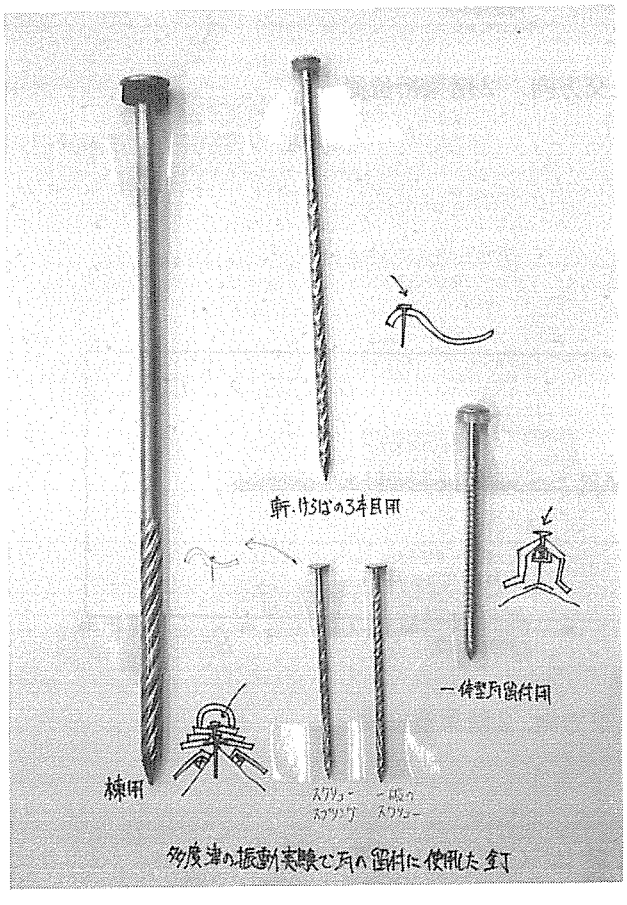


写真７－２．

屋根瓦の留付に使用した釘

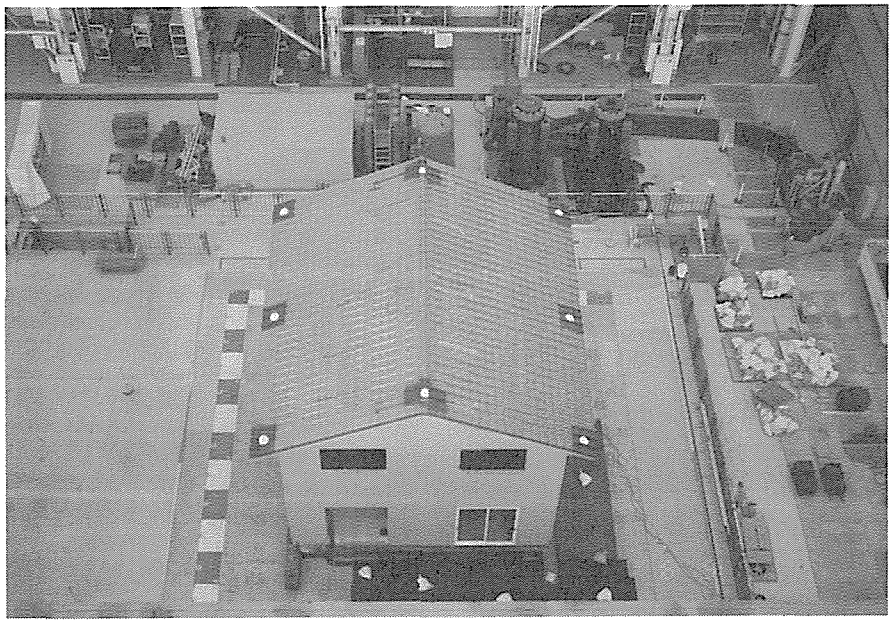


写真７－３，試験体（Ａ）

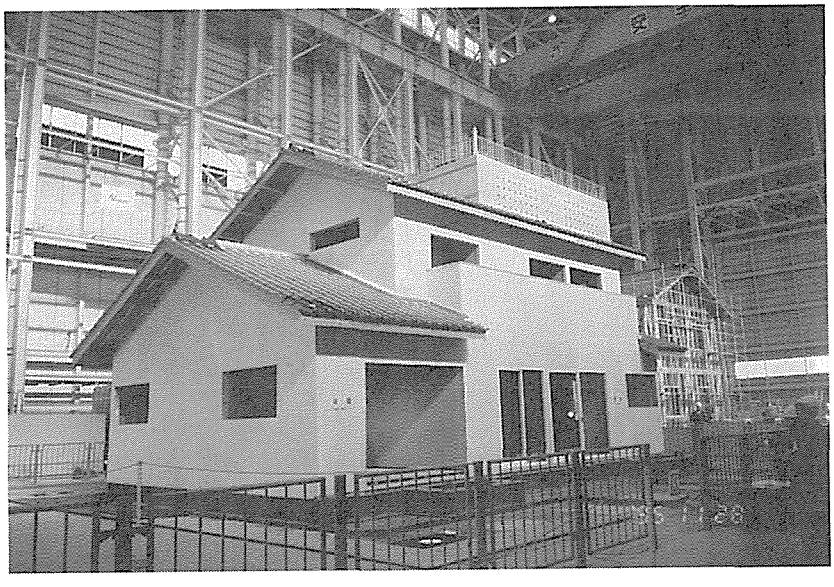


写真７－４，試験体（Ｂ）

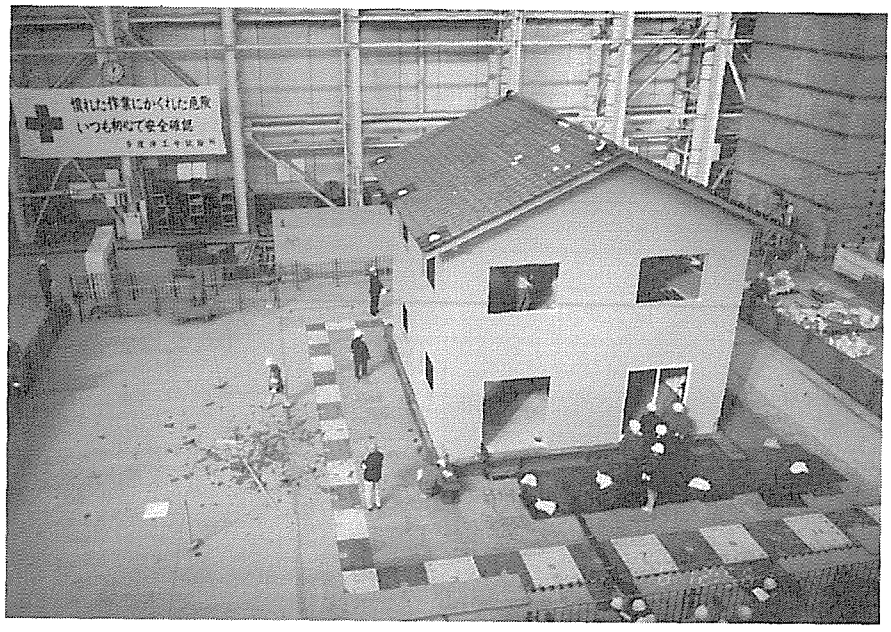


写真７－５－１，試験体（Ａ）の実験結果

（試験Ｎｏ．２の後、大回し部分の落下）

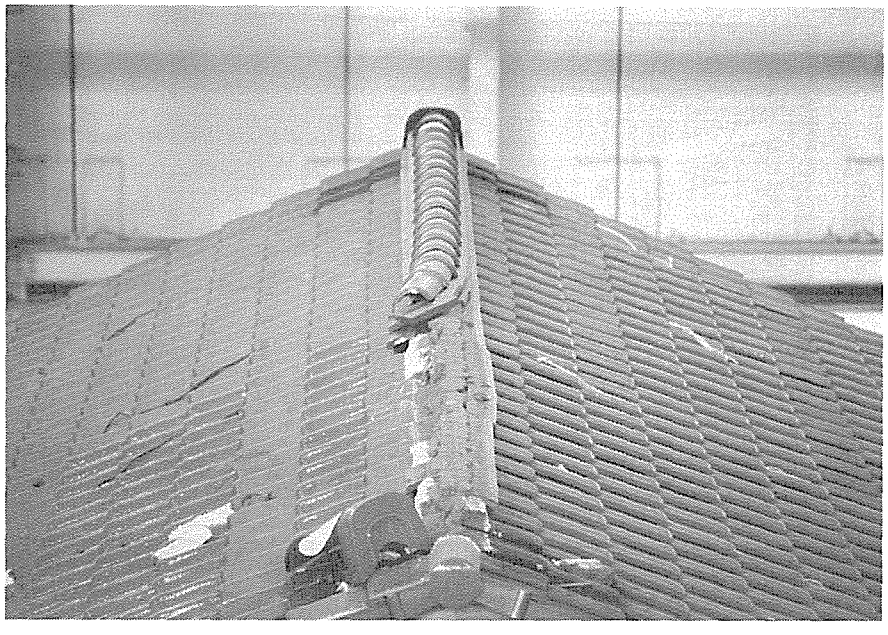


写真７－５－２，試験体（Ａ）の実験結果

（同上）

写真７－５－３，試験体（Ａ）の実験結果

（同上）

写真７－５－４，試験体（Ａ）の実験結果

（同上）

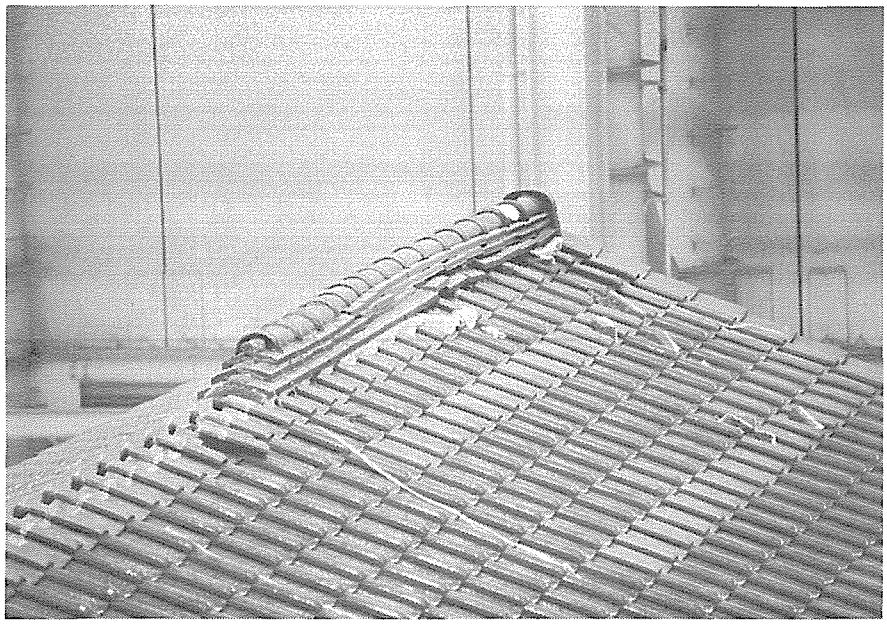


写真７－６－１，試験体（Ａ）の実験結果

（試験Ｎｏ．３の後、棟木堅結部分の落下）

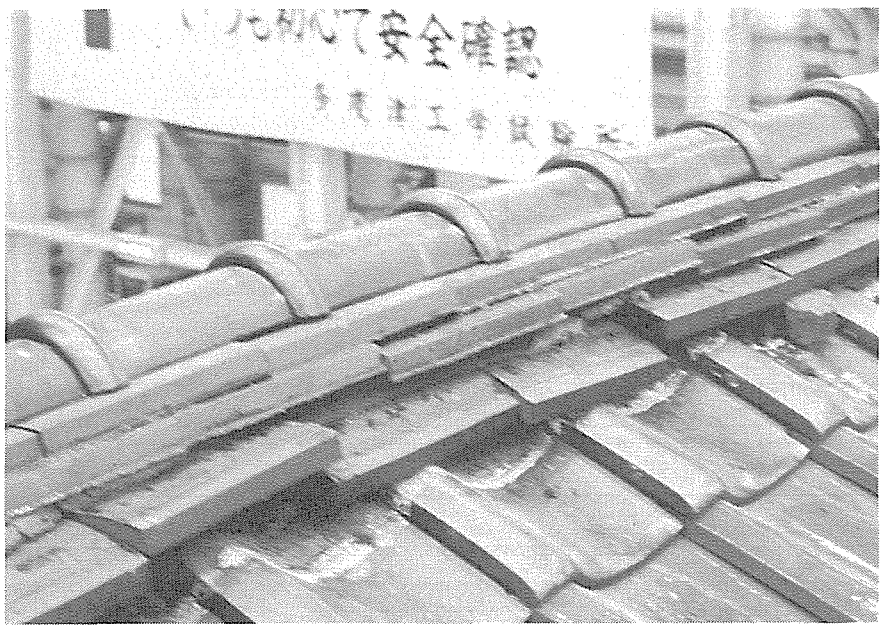


写真７－６－２，試験体（Ａ）の実験結果

（同上）

写真７－７－１，試験体（Ａ）、解体時（補強用傘釘）

写真７－７－２，試験体（Ａ）、解体時

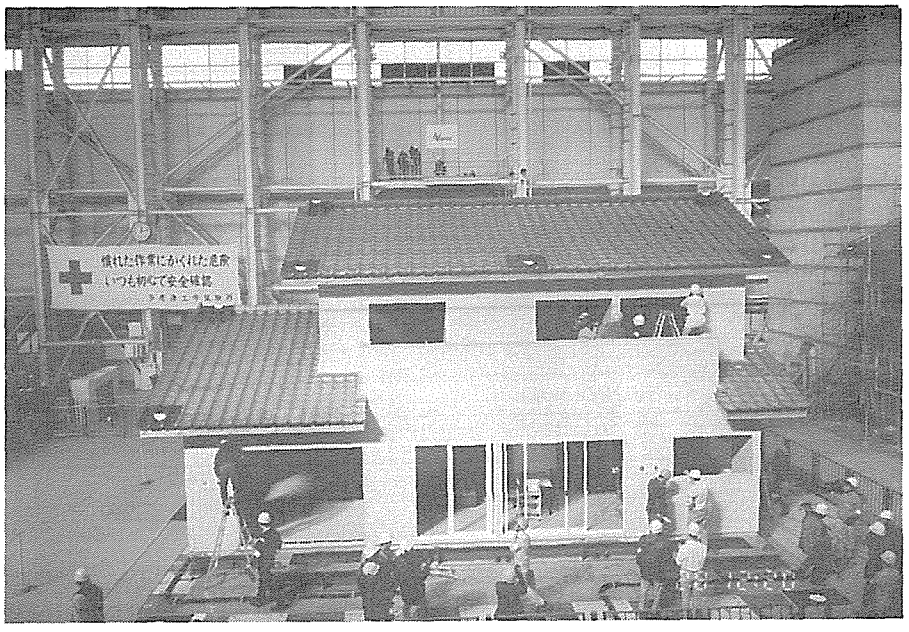


写真７－８－１，試験体（Ｂ）の実験結果

（試験Ｎｏ．２の後）

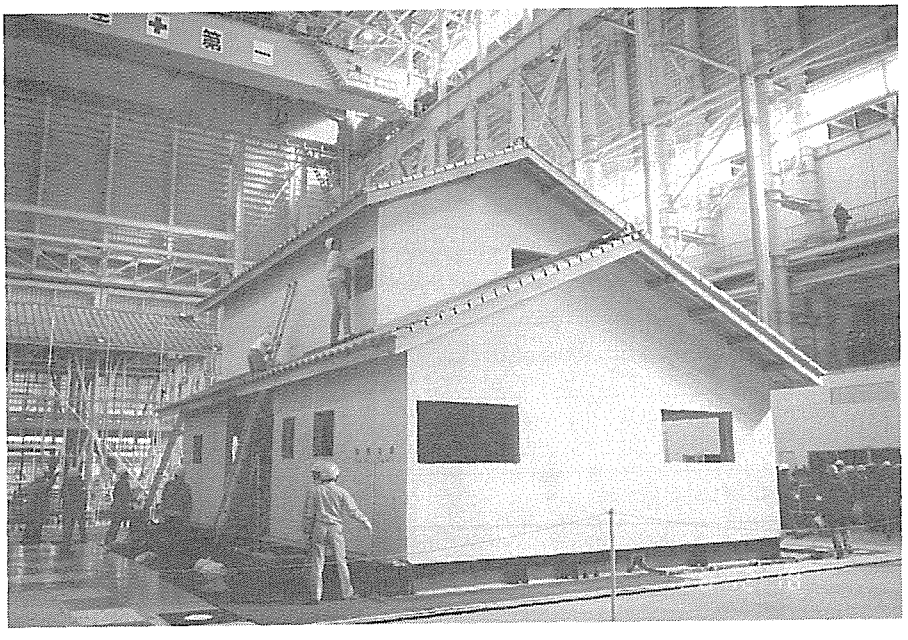


写真７－８－２，試験体（Ｂ）の実験結果

（試験Ｎｏ．２の後）

8、全体のまとめ

8.1　釘の長さ

地震の上下動や風による吹き上げにより平瓦に上向きの荷重を受けた場合、平瓦の留付釘に引抜荷重が作用する。平瓦を留付る釘は、ほとんどが桟木の留付間隔（通常は@455程度）の間に打たれている。留付釘が野地板に達していない場合、留付釘の引抜荷重に対して、桟木は野地板への留付間隔をスパンとするたわみ変形を生じる。このため、瓦留付釘が瓦の動きを拘束する効果は少ない。また、桟木の厚さは小さい（15mm程度）ため、留付釘の打込長さは短く、留付釘の引抜耐力は低い。

平瓦の留付釘が野地板を貫通している場合は、釘の引抜荷重が桟木を経由しないで直接に野地板に伝達される。このため、打ち込み部分が桟木だけの場合と比べて、釘の引抜耐力は数倍高い。平瓦の釘打ち長さは、野地板に充分に届く長さが有効である。

8.2　釘留した平瓦の周辺拘束効果

平瓦の加力実験により、上端の釘孔位置で釘留めした平瓦は、周辺瓦の浮き上がりを拘束する効果が少なく、その影響範囲も狭いことが明らかになった。実験で釘留めした釘孔は引掛位置を中心とする瓦の回転中心に極めて近いために、平瓦の浮き上がり抑制効果が少ない。周辺瓦の拘束を意図した場合には、瓦の先端部など釘留め位置について再検討する余地がある。このため、現行の釘孔位置は、平瓦のはずれ止めとしての効果以外は期待し難い。

8.3　和形の平瓦

振動台実験２（多度津）では、緊結なしを含めて平瓦（ただし引掛桟瓦）のいずれの留付法でも、ズレ・落下等は生じなかった。振動台実験１（間組）の地震波加振でも、ズレ・落下等はなく、同様な結果が得られた。振動台実験１（間組）のスイープ加振時に、一部にはずれる場合も見られが、大きく落下することはなかった。このため、阪神大震災級の地震動に対して、引掛桟瓦に大きな被害が生じ難いことが確かめられた。ただし、平瓦の耐震性については、小屋組の強度・剛性等の影響を大きく受けることに注意を払う必要がある。

8.4　和形の棟瓦

・棟の加力実験の結果

棟瓦の加力実験では、破壊位置を台土部分と仮定し、棟直交方向の水平加力実験を行った。その結果、棟内部の基礎的な荷重抵抗機構が明らかになった。棟の各種補強法の相対比較により、一体棟＞強力棟＞ボルトの順に耐震補強効果が高いことが明らかになり、棟木緊結は補強効果が明瞭でなかった。大回し（鉢巻き状）に関しては、台土部分を破壊位

置と仮定した場合には、効果はない。葺土の性能比較は不充分であり、今後の検討課題である。

・振動台実験の結果

振動台実験２（多度津）において、１階屋根に設置された一体棟の耐震性能が確かめられた。ただし、棟木緊結と大回し（鉢巻き状）については、大幅な蛇行や落下が生じ耐震性が不十分であることが明らかになった。振動台実験１（間組）では、棟木緊結と大回し（鉢巻き状）に関しては地震波形では落下せず、振動台実験２と異なる結果となった。実験結果に違いが生じた原因については、小屋組のスケール効果が考えられる。振動台実験２（多度津）の小屋組は実物の住宅の小屋組であり、大きさも一般的な規模である。これに対して、振動台実験１（間組）は小屋組のベースを強固な鉄骨梁に固定した部分試験体で、また、実大の小屋組ではあるが住宅規模以下（3.6m×3.6m、８畳間相当)の小屋組であった。その他、実験で用いた緊結法の違いが考えられる。大回しの補強法については、振動台実験２（多度津）では、のし瓦の最下段を除いて、下から２段目以上の「のし瓦」が緊結されていた。振動台実験１（間組）および棟瓦の加力実験では最下段の「のし瓦」を含めて緊結していた。

振動台実験１（間組）では、阪神大震災以上に厳しいと考えられるスイープ加振を加えることにより、棟瓦の耐震性を落下性状を含めて調べた。その結果、のし３段の場合、一体棟＞ボルト＞棟木緊結＞緊結なしの順に、のし５段の場合はボルト＞大回し＞棟木緊結の順に、耐震性が高いことが明らかになった。緊結なしや棟木緊結の場合、冠瓦や上段の「のし瓦」から脱落や落下する部分と、最下段の「のし瓦」から落下する部分の２つの異なる落下性状が見られた。最下段の「のし瓦」を含めた大回し緊結の場合、最下段の「のし瓦」の抜け出しを銅線が抑制する効果が見られた。

棟瓦の耐震性は引掛桟瓦を使用した平瓦よりも低く、何らかの耐震補強対策が必要である。この場合、一体棟の耐震性が最も高く、強力棟も効果的な補強法であることが明らかになった。ボルトの耐震効果も認められた。実験に使用した棟木緊結と大回しは、阪神大震災級の地震動に対して、振動台実験２（多度津）の結果から判断して十分な性能を有しているとは言えない。

8.5　平板瓦

振動台実験１（間組）では、平板瓦の耐震性能が高いことが確認された。これは、平板瓦自体の耐震性能が高いのではなく、平板瓦で一般的に用いられる棟瓦の施工仕様が耐震的であるためである。のし瓦を使わない、棟高さが低い、強力棟を用いて冠瓦を留付る。これらの耐震効果と考えられる。平部の瓦については、振動台実験１（間組）で行ったいずれの加振に対しても、落下・はずれ・移動等の現象は生じなかった。このため、平部の平板瓦についても、和形と同等以上の耐震性能があると考えられる。

8.6　入力加速度

振動台実験１（間組）において、小屋組と瓦の各部での応答加速度を計測した。これらの加速度値は、瓦に対する入力加速度値であり、屋根瓦の留付の目標となる加速度値である。実験で計測された値は、実験用試験体の小屋組の応答値である。棟木位置での最大加速度値は、２階の梁桁位置での値に対して、おおむね１～３倍程度であった。実際の建物は、個々に異なる骨組み・小屋組を用いているため、瓦に対する入力は個々の建物毎に異なることに注意を要する。