

外装材取付装置の変形追従性能確認実験報告書

2005 年 12 月 26 日

東京大学生産技術研究所 中埜研究室

目 次

1. 序

- 1.1 はじめに
- 1.2 既往の研究

2. 実験概要

- 2.1 実験目的
- 2.2 試験体概要

3. 実験方法

- 3.1 試験方法
- 3.2 計測方法
- 3.3 試験体設置手順（外装材取付け装置施工手順）

4. 実験結果

- 4.1 損傷および変形追従機構の変遷
- 4.2 荷重－変形角関係と履歴消費エネルギー量の変遷

5. 考察

- 5.1 予測された変形追従メカニズムに対する実際の挙動
- 5.2 施工上注意が必要と思われる点

6. 結論

1. 序

1.1 はじめに

日本は降水量の多い多湿気候のため、建築物の耐久性にとって厳しい環境にあると言える。そこで近年、厳しい気象環境にある建築物に対しては、建築物の断熱工法として外断熱工法が用いられるようになってきた。従来の内断熱工法の場合、建築物の構造体の間に断熱層を施工し、外壁を構成する構造体の内側に気密層を施工するため、室内は外界から隔離される一方、構造体は外界の影響を受けて壁体内結露を生じる場合がある。構造体に結露が生じると、カビの発生あるいは腐食など、建築物の耐久性にとって好ましくない状態をもたらさう。一方、外断熱工法の場合、建物全体を断熱層および気密層で覆い、構造体ごと外界から隔離する工法のため、室内のみならず構造体も一定環境下に置くことになり、壁体内結露の防止に役立つ。また、外断熱工法は既存の建築物の断熱改修工法として、建築物の外周に施工することが可能であり、良質な建築ストックの形成に貢献が期待される。

また日本は、非常に多く強い地震が発生する地震国でもある。現行の建築基準法は、建築物が極めて大きな地震を受けると、構造物の変形が弾性限を超え塑性域に至ることを許容する耐震設計法となっている。そのため、構造物によっては非常に大きな変形が生じることもある。このとき、建築構造物の耐震設計上許容している変形に対して、耐震設計で考慮していない非構造部材（外断熱工法による外装材を含む）が構造物で許容している変形に追従できないと、地震によって構造物の安全性が保たれていても、非構造部材の損傷によって建築物全体の安全性や機能が損なわれることになる。従って、数多くの地震を受ける日本の建築物が安全性や機能性を維持しながら良質なストックとなるためには、非構造部材の構造体に対する変形追従性能が確保されている必要がある。

本報告書は、2005年10月に東京大学生産技術研究所千葉実験所にて実施された建築外装材取付装置の変形追従性能確認実験（パラマウント硝子工業株式会社が開発した外断熱工法に用いる建築外装材取付装置 ezWgrip および ezBar CPon の構造体に対する変形追従性能確認実験）についての報告、および、変形追従メカニズムに関する考察を取りまとめたものである。

1.2 既往の研究

日本建築学会の「建築非構造部材の耐震設計施工指針・同解説および耐震設計施工要領」[1]では、構造体と非構造部材の取り合いに応じて、慣性力に対する耐震安全性の検討および強制変形角に対する耐震安全性の検討をそれぞれ独立に行うよう指示している。そのうち、強制変形角に対する耐震安全性の検討については、非構造部材の破壊事象を「被害の有無」<「補修の必要性」<「部品交換の必要性」<「脱落、重要な機能の低下（扉の開閉不能など）」の4事象にわけ、各事象の発生「ある」「なし」を順に定めることで、A（全ての破壊事象なし）～E（全ての破壊事象あり）の5段階に破壊程度を区分している。ここで、通常の建物の外壁を対象とした場合、非構造部材の許容損傷程度は、中地震時にB（被害はあるけれども補修以上の行為は必要ない状態）、大地震時にD（部品交換の必要性があるくらい損傷しているが、脱落はしていない状態）までにとどめることを目標としている。即ち、損傷が強制変形角に依存する非構造部材の変形追従機構を発揮するためには、非構造部材自体が変形による面内歪みを受けて脱落・破損しないように、非構造部材同士の取り合い部分（外壁の場合、目地に相当）に変形を計画し、目地の補修だけで済むようにする必要がある。

北海道建築技術協会の外断熱工法耐震設計指針（案）[2]では、建物高さ20m程度までの中低層建築物に適用する外断熱工法の構造安全性を確保するための内規がまとめられている。大きく分類すると、耐震安全性に関して慣性力に対する規定と変形能に対する規定があり、このほか修復性能および使用

性能に関連する規定が示されている。耐震安全性に関する変形能についての規定では「躯体に 1/120 rad の層間変形角が生じた場合でも安全であること」と記されており、修復性に関する規定では「外装材の構成要素の一体化が図られていない場合、外力が作用したときに外装材どうしの衝撃等により損傷の生じないこと」、使用性に関する規定では「外装材や支持部材の残留変形が、断熱材・通気層の外装構成要素の基本性能の低下を招かない範囲におさまること」と記されている。但しこの指針（案）では、満たすべきとされる目標の具体的な条件は不明である。例えば、構造躯体の層間変形角が 1/120 rad 到達時に「安全であること」という目標に対して、具体的にどのような状態であれば安全と判断可能かが示されていない。あるいは、使用性に対して「残留変形が（略）基本性能の低下を招かない範囲におさまること」という目標は、本来、構造躯体の残留変形に大きく依存する話であり、構造躯体の残留変形に対して外装材・支持部材の残留変形をどれくらいに抑えるのかがわからなければ、当該非構造部材の満たすべき性能目標となりえない。

【参考文献】

- [1] 日本建築学会：建築非構造部材の耐震設計施工指針・同解説及び耐震設計施工要領，日本建築学会，2003年1月
- [2] 北海道建築技術協会：外断熱工法耐震設計指針（案），社団法人 北海道建築技術協会，2005年5月

2. 実験概要

2.1 実験目的

本実験の目的は、パラマウント硝子工業株式会社が開発した外断熱工法に用いる建築外装材取付装置 ezWgrip および ezBar CPon の構造体に対する変形追従性能を評価するにあたり、木造構造壁に当該外装材取付装置および外装材パネルを実際に施工した実大試験体の正負交番漸増繰返静的載荷実験を行い、外装材パネルにおける損傷発生の有無を確認するとともに、試験体の挙動から変形追従メカニズムの検証を行なうことである。

2.2 試験体概要

(1) 外装材取付装置 (ezWgrip, ezBar CPon)

パラマウント硝子工業株式会社が開発した建築外装材取付装置 ezWgrip および ezBar CPon の概要を以下に示す。図 2-1 は、建築外装材取付装置 ezWgrip の詳細図である。ezWgrip の変形追従機構を大きく分類すると、ルーズホールによる変形追従と胴縁チャンネルのスライドによる変形追従が挙げられる。図 2-1 上部の平面図において上下方向への変形追従はルーズホールによって、同左右方向への変形追従は胴縁チャンネルのスライドによって機能するものと考えられる。建築外装材取付装置 ezWgrip の概形を写真 2-1 に示す。

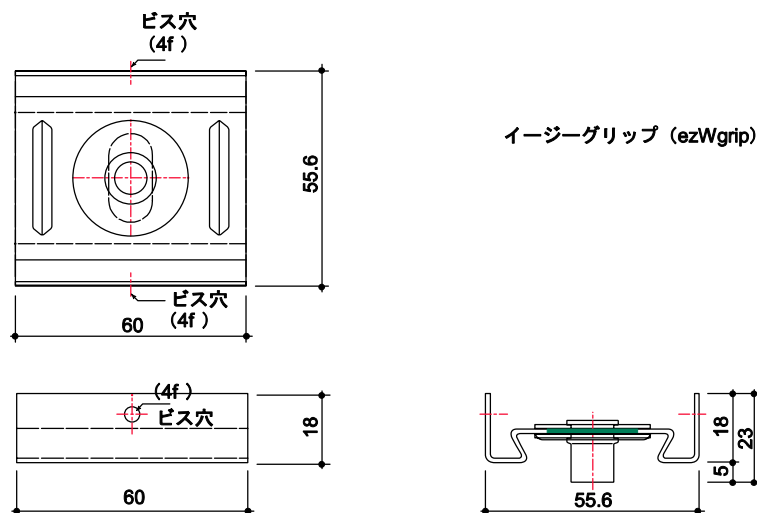


写真 2-1 建築外装材取付装置 ezWgrip の概形

図 2-2 は、建築外装材取付装置 ezBar CPon の詳細図である。ezBar CPon の変形追従機構を大きく分類すると、ルーズホールによる変形追従、イージーバーとイージーワッシャーの回転による変形追従、噛み合う胴縁チャンネルのスライドによる変形追従が挙げられる。図 2-2 上部の平面図において上下方向への変形追従はルーズホールおよびイージーバーとイージーワッシャーの回転によって、同左右方向への変形追従は胴縁チャンネルのスライドによって機能するものと考えられる。また、建築外装材取付装置 ezBar CPon の概形を写真 2-2 に示す。

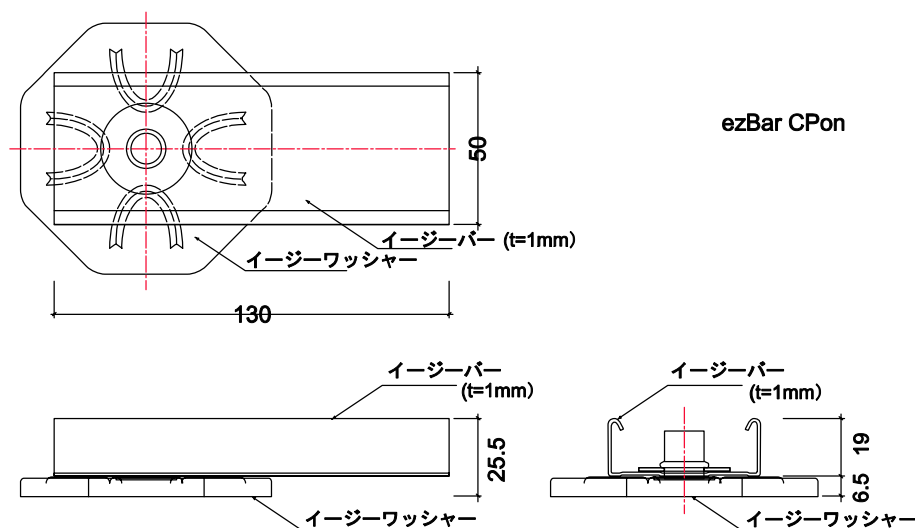


図 2-2 建築外装材取付装置 ezBar CPon の詳細図 (単位[mm])



写真 2-2 建築外装材取付装置 ezBar CPon の概形

(2) 加力試験体の概要

加力試験体は、一般建築用構造木材（甲Ⅱ種構造材および乙種構造材）により在来工法で組まれた高さ 2440mm×幅 1820mm の骨組の両面に 5mm 厚の合板を釘打ちで留めつけた木造パネルを構造体として用いた。木造パネルだけの試験体 N と、木造パネルに外装材取付け装置（ezWgrip, ezBar CPon）および外装材パネル（日東紡製マグネシウムセメント板）を取り付けたものを胴縁の走行方向（鉛直方向：Vertical, 水平方向：Horizontal）に応じたパラメータで分類した試験体 GR-V, 試験体 GR-H, 試験体 CP-V, 試験体 CP-H の計 5 体の試験体を作成した。木造パネルおよび外装材取付け装置施工箇所の詳細を図 2-3 から図 2-7 に示す。ただし、視認を容易にするため、図 2-4 から図 2-7 においては、胴縁チャンネルと外装材パネルを取り外した状態の試験体を図示している。

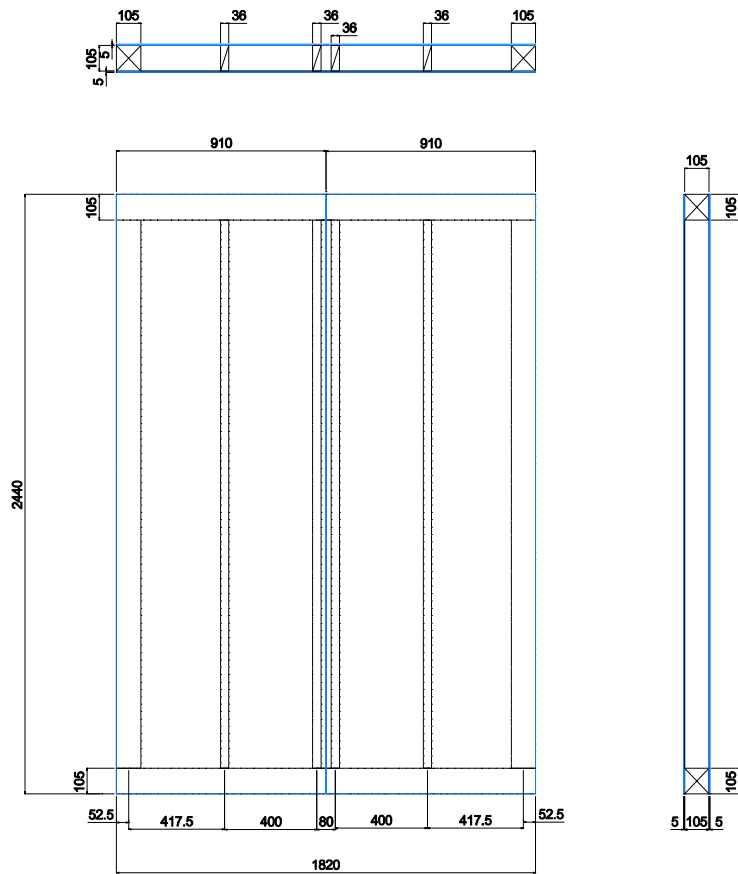


図 2-3 試験体 N の詳細図 (単位[mm])

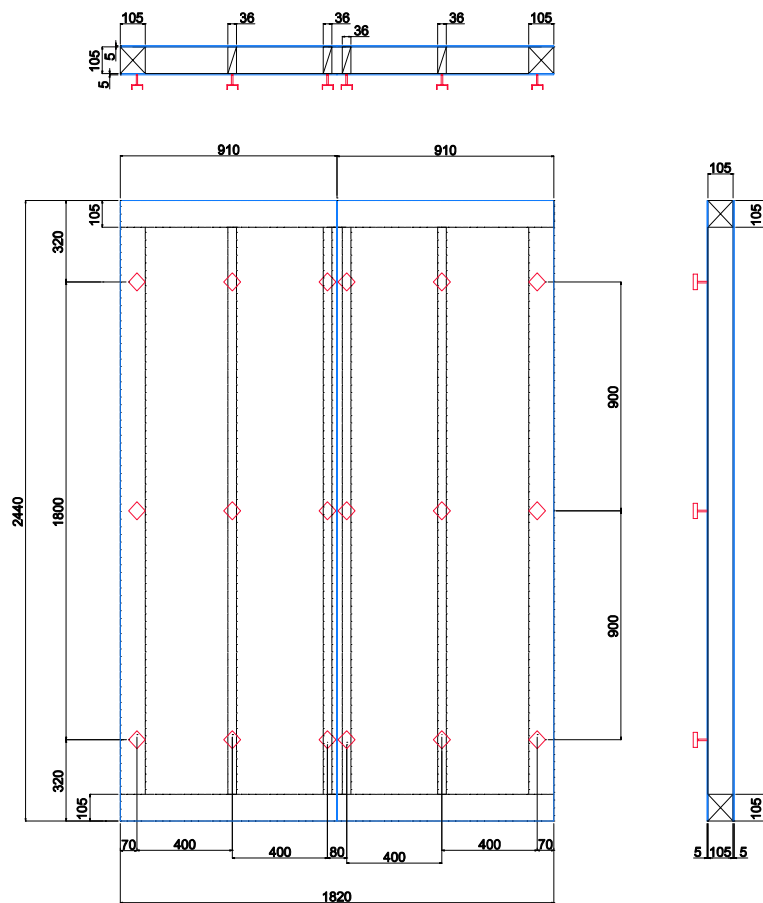


図 2-4 試験体 GR-V (胴縁チャンネルおよび外装材パネル含まず) の詳細図 (単位[mm])

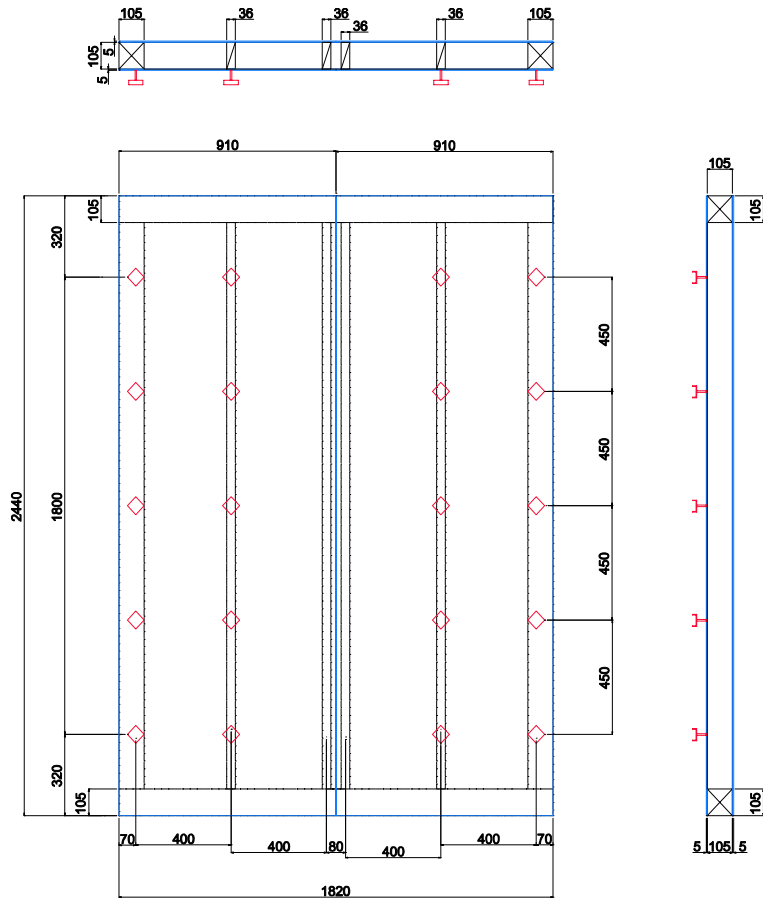


図 2-5 試験体 GR-H (胴縁チャンネルおよび外装材パネル含まず) の詳細図 (単位[mm])

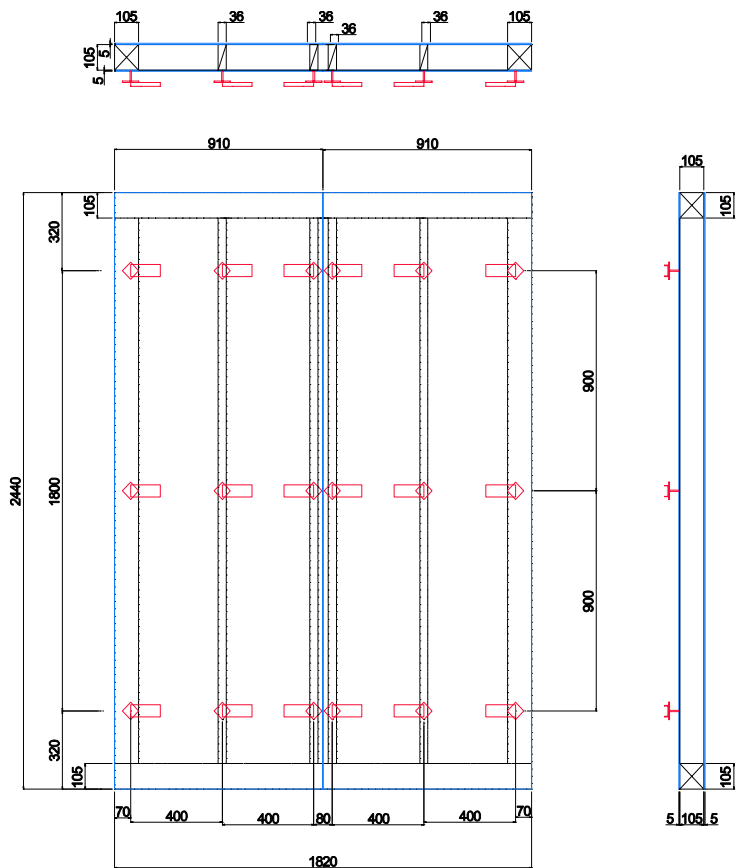


図 2-6 試験体 CP-V (胴縁チャンネルおよび外装材パネル含まず) の詳細図 (単位[mm])

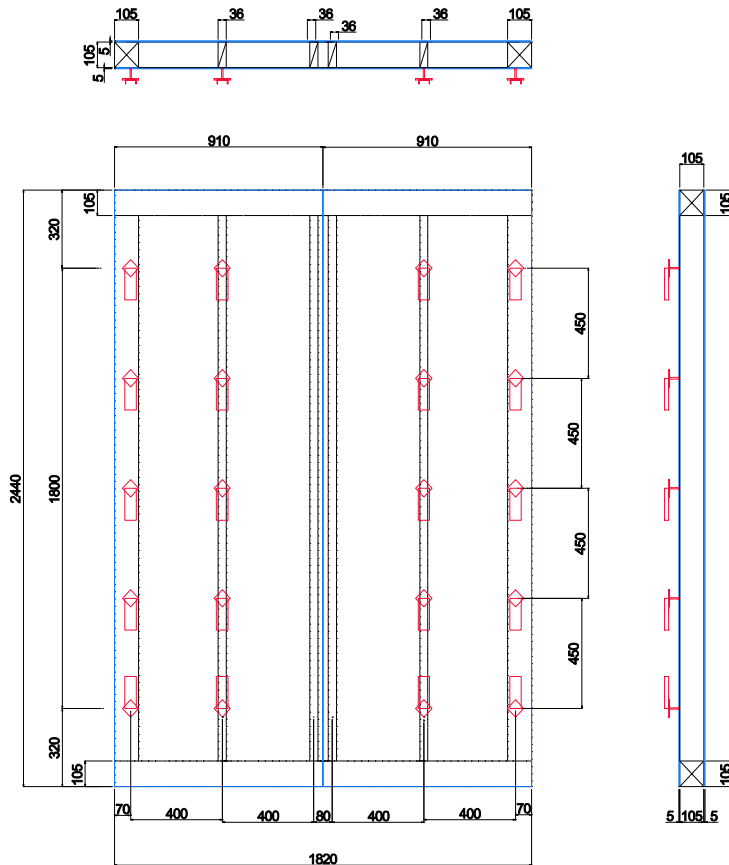


図 2-7 試験体 CP-H（胴縁チャンネルおよび外装材パネル含まず）（単位[mm]）

図 2-4 から図 2-7 は視認を容易にするため、胴縁チャンネルと外装材パネルを取り外した状態の試験体を図示したが、実際の試験体には胴縁チャンネルと外装材パネルが取り付けられている。そこで、試験体 GR-V、試験体 GR-H、試験体 CP-V および試験体 CP-H に、それぞれ胴縁チャンネルを設置し、その上に外装材パネル（日東紡製マグネシウムセメント板）を取付けた割付について、図 2-8 および図 2-9 に図示した。

図 2-8 は、試験体 GR-V および試験体 CP-V に縦胴縁が設置され、その上に外装材パネルを取り付けた割付図である。外装材パネルの取り付け部分は、縦目地・横目地ともに、半分を突合せ、半分をシーリング（油性コーキングのシーリング：皮膜を形成するが内部は非硬化となる）としている。図 2-8 のうち、試験体 GR-V については、外装材の自重によるスライド機構上の滑落を防止するために、外装材 1 枚を支える縦胴縁 3 本のうち、中央の 1 本のみを胴縁滑落防止ビスで ezWgrip に固定した。

図 2-9 は、試験体 GR-H および試験体 CP-H に横胴縁が設置され、その上に外装材パネルを取り付けた割付図である。図 2-9 においても同様に、外装材パネルの取り付け部分は、縦目地・横目地ともに、半分を突合せ、半分をシーリング（油性コーキング）としている。

縦胴縁



マグネシウムセメント板
(910mm×910mm×12mm) : 4枚

- 胴縁 : 6本
- ez 受け材 : 18個
- 胴縁滑落防止ビス (ezWgripの場合)

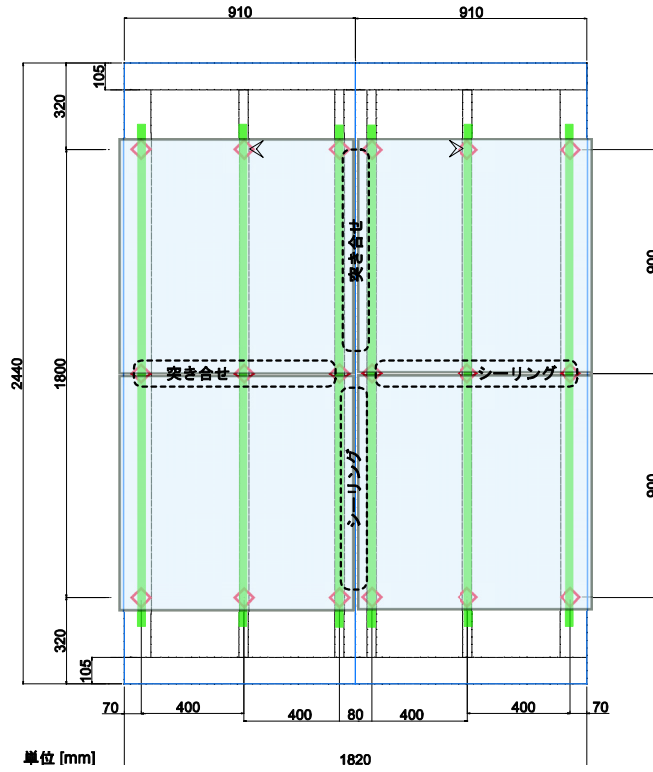
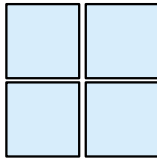


図 2-8 試験体 GR-V および試験体 CP-V の外装材パネル割付図

横胴縁



マグネシウムセメント板
(910mm×910mm×12mm) : 4枚

- 胴縁 : 5本
- ez 受け材 : 20個

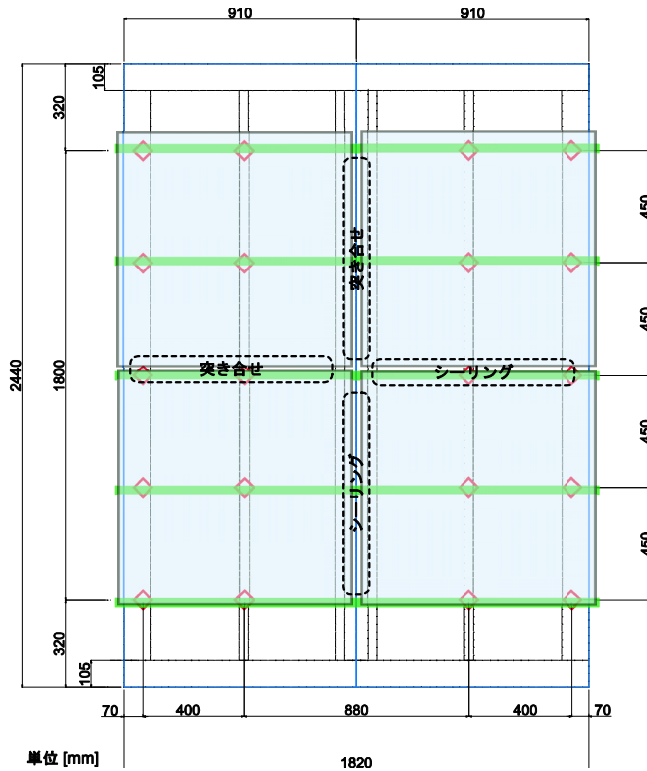


図 2-9 試験体 GR-H および試験体 CP-H の外装材パネル割付図

3. 実験方法

3.1 試験方法

JIS A 1414「建築用構成材（パネル）及びその構造部分の性能試験方法」の 6.19 組み立てられた非耐力用パネルの面内せん断曲げによる変形能試験に規定された方法に準じ、木造構造壁に外装材取付装置および外装材パネルを施工した実大試験体の正負交番漸増繰返静的載荷実験を行った。

(1) 加力装置

加力装置立面図を図 3-1 に、加力装置等角図を図 3-2 に示す。加力装置は、東京大学千葉実験所 地震応答実験棟にある 200kN 可搬式アクチュエーターを反力壁に固定し、四隅をピンで固定した試験体取付けフレーム（JIS A 1414 において指定されているフレーム）の上部を水平方向に加力することで、試験体取付けフレームに設置されたパネルに強制変形角を与えるものである。本実験ではアクチュエーターを変位制御するために、振れ止め用ビームに取り付けられた不動点に可視光型レーザー変位計 LB-1200（アンプ）に接続された LB-300（センサヘッド）を取り付け、試験体上梁に固定した照射板との距離から水平変位を測定した。また、アクチュエーターが試験体取付けフレームに接する端部側に 20tonf ロードセルを取り付け、アクチュエーターの荷重を測定した。加力装置の性能を表 3-1 にまとめた。

表 3-1 加力装置の性能

| 使用した装置 | 性能項目 | |
|--------------------|------------|------|
| 200kN 可搬式アクチュエーター | 最大荷重[kN] | ±200 |
| | ストローク[mm] | ±250 |
| 可視光型レーザー変位計 LB-300 | 基準距離[mm] | 300 |
| | 測定範囲[mm] | ±100 |
| | 電圧出力[V] | ±10 |
| | インピーダンス[Ω] | 100 |

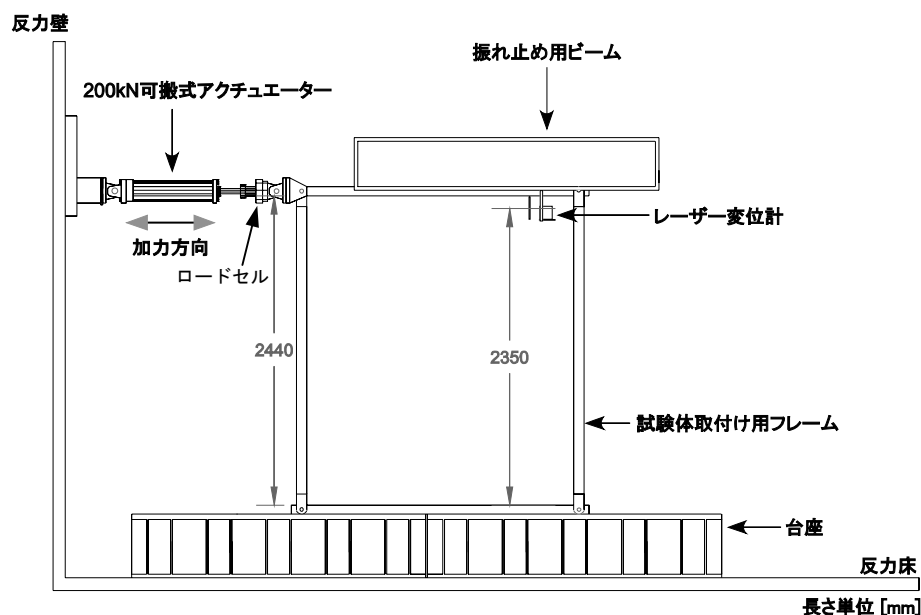


図 3-1 加力装置図

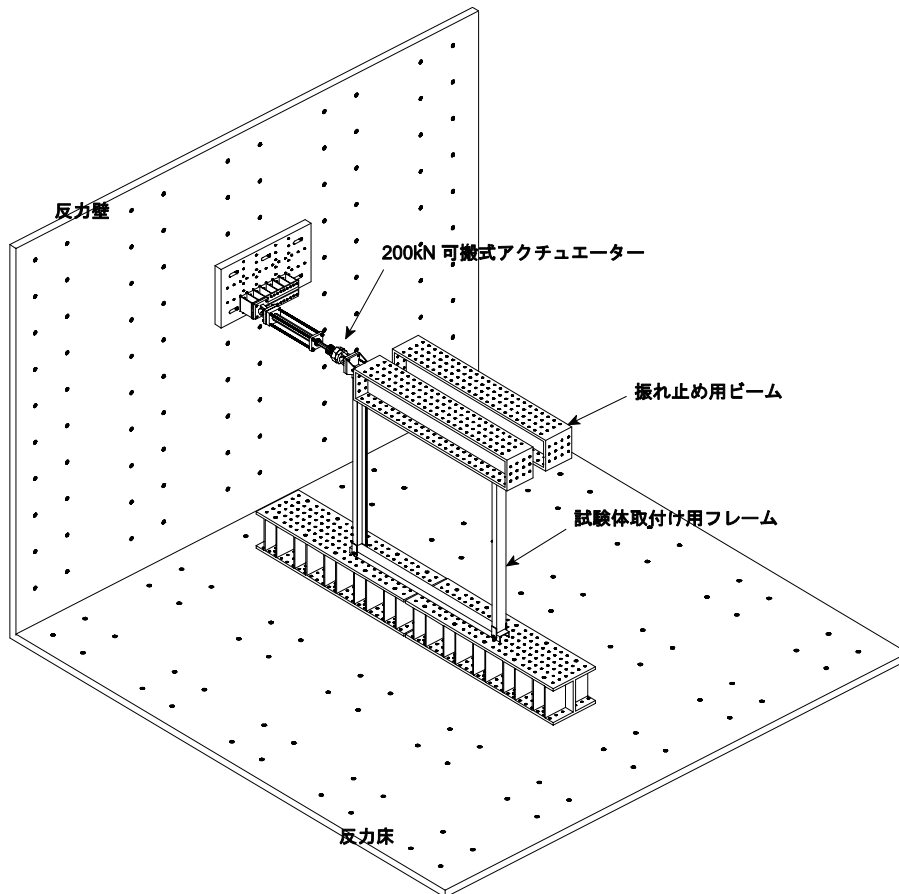


図 3-2 加力装置等角図

(2) 载荷履歴

加力は、レーザー変位計で測定された水平変位を試験体下端に対するレーザー変位計照射点高さで除した値を層間変形角として、層間変形角による変位制御で行なった。载荷履歴を図 3-3 に示す。繰返し载荷における変位振幅は、正弦波に従い、層間変形角で $\pm 1/800$ rad, $\pm 1/400$ rad, $\pm 1/200$ rad, $\pm 1/100$ rad, $\pm 1/50$ rad を各 10 サイクル繰返しながら単調に増加させた。ちなみに 1 サイクルの周期は、層間変形角 $\pm 1/800$ rad の時およそ 120 sec, 層間変形角 $\pm 1/400$ rad の時およそ 160 sec, 層間変形角 $\pm 1/200$ rad の時およそ 200 sec, 層間変形角 $\pm 1/100$ rad の時およそ 280 sec, 層間変形角 $\pm 1/50$ rad の時およそ 360 sec であった。

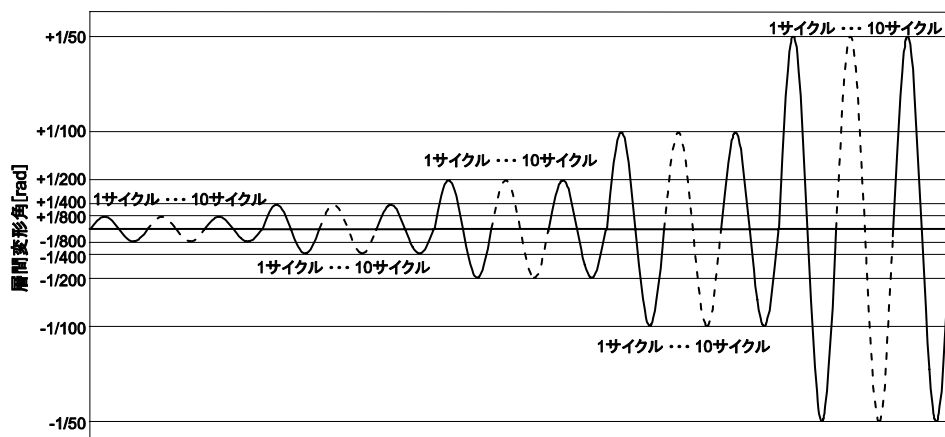


図 3-3 载荷履歴

3.2 計測方法

JIS A 1414「建築用構成材（パネル）及びその構造部分の性能試験方法」の 6.19 組み立てられた非耐力用パネルの面内せん断曲げによる変形能試験の規定によれば、破壊現象の観察項目として、A.組立・取付部の残留歪み及び変形、B.破損音、C.仕上材のはく離、D.パネル及び取付部を貫通するきれつ又はすき間、の 4 点について記録する旨が指示されている。そこで、B、C、D については観測中に確認できる範囲で記録することとし、A については、外装材パネル突合せ目地部分に 100 mm 間隔でグリッドを引き、加力 1 サイクル目と 10 サイクル目の正負ピーク時および最終除荷時の目地ズレを最小目盛 0.5 mm のスケールを用いて測定した。

このほか、振れ止め用ビームに取り付けられた不動点と試験体上梁に固定した照射板との水平変位を測定し、加力試験体に入力されるせん断力をアクチュエーター端部に取り付けた 20 tonf ロードセルにより測定した。また、加力試験体が強制変形を受ける際、木造軸組みに貼り付けた 2 枚の合板は水平方向のせん断変形よりもロッキングによる変形が卓越するため、2 枚の合板の取り合い部分にも 100 mm 間隔でグリッドを引き、加力 1 サイクル目と 10 サイクル目の正負ピーク時および最終除荷時のロッキングによる合板取り合い部分のズレ量を最小目盛 0.5 mm のスケールを用いて測定した。

3.3 試験体設置手順（外装材取付け装置施工手順）

加力試験体を加力装置に設置する手順を以下に記す。まず、木造パネルのみを試験体取付け用フレームに設置し、そこに外装材取付装置、胴縁、外装材パネルを順に取り付ける。写真 3-1 から写真 3-15 に、設置済の木造パネルに外装材取付装置、胴縁、外装材パネルを取り付ける手順を示した。

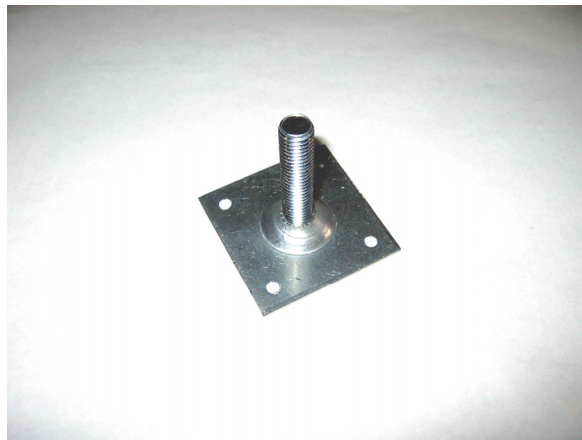


写真 3-1 建築外装材取付装置受け金物



写真 3-2(A) 受け金物の取り付け（全景）



写真 3-2(B) 受け金物の取り付け（詳細）

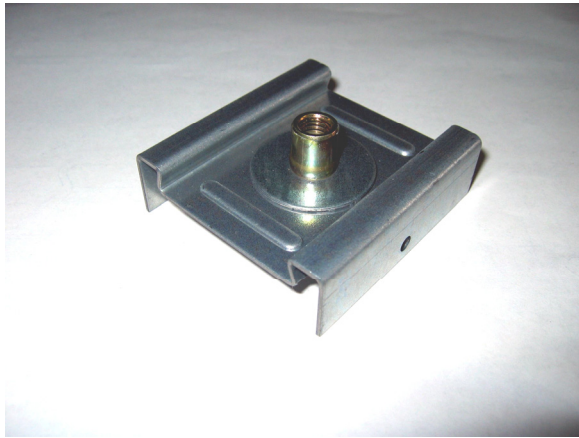


写真 3-3 建築外装材取付装置 ezWgrip

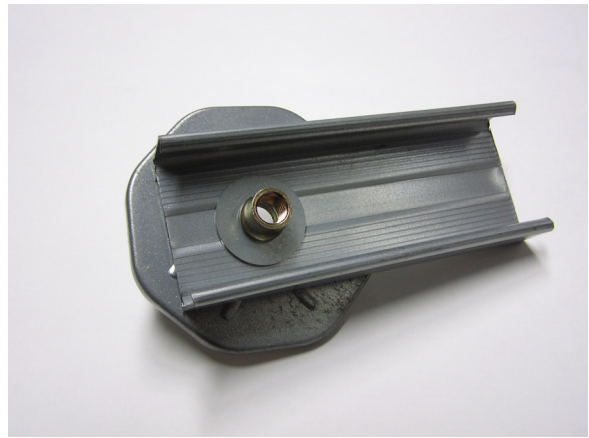


写真 3-4 建築外装材取付装置 ezBar CPon



写真 3-5 ezWgrip の取り付け



写真 3-6 ezBar CPon の取り付け



写真 3-7 胴縁の取付け (ezWgrip の場合)



写真 3-8 胴縁の取付け (ezBar CPon の場合)



写真 3-9 落下防止用ビス止め (外装パネル割付に1箇所)



写真 3-10 落下防止措置不要の例 (ezBar CPon)



写真 3-11 胴縁取付け例 (ezWgrip+縦胴縁)



写真 3-12 胴縁取付け例 (ezBar CPon+縦胴縁)



写真 3-13 外装材パネルの取付け



写真 3-14 外装材パネル目地のシーリング

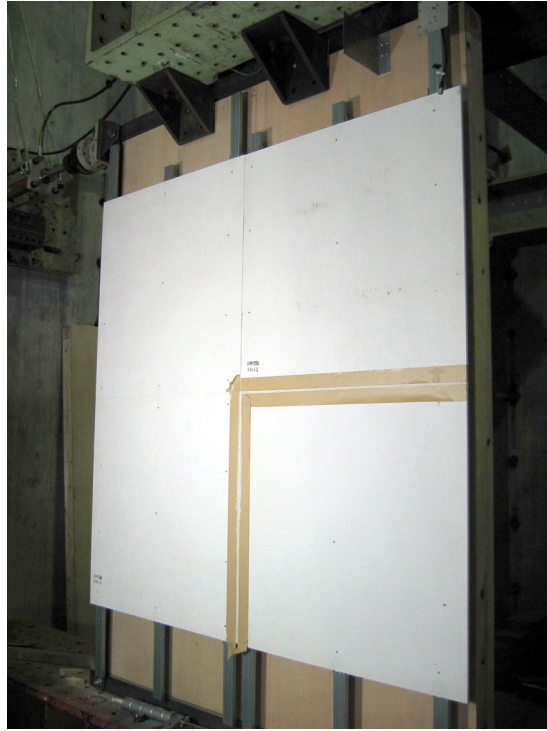


写真 3-15 加力試験体施工完成例

実際の施工においては、施工精度あるいは施工方法に関する技術的な問題によって、設計段階で計画した変形追従機構を十分に発揮するための条件が保持されない場合が予想される。本実験中に判明した施工上の留意点については、5.2 節に後述する。

4. 実験結果

4.1 損傷および変形追従機構の変遷

本節では、外装材取付け装置の付いていない試験体 N を除く各試験体について、損傷発生の有無および変形追従機構の作用過程を示す。

(1) 試験体 GR-V

2005 年 10 月 17 日に実験を行った試験体 GR-V は、外装材取付け装置に ezWgrip を用いた縦胴縁タイプの試験体である。载荷履歴として設定した各層間変形角の 1 サイクル目と 10 サイクル目のピーク時における、外装材パネル、外装材パネル留付けビス、シーリング目地の損傷状態の観察結果、および、外装材目地ずれ量と、構造壁の一部である木パネルの取り合い部分のずれ量の測定結果を、表 4-1 にまとめた。また、载荷履歴として設定した各層間変形角 10 サイクル目のピーク時の全景写真を写真 4-1 に示した。

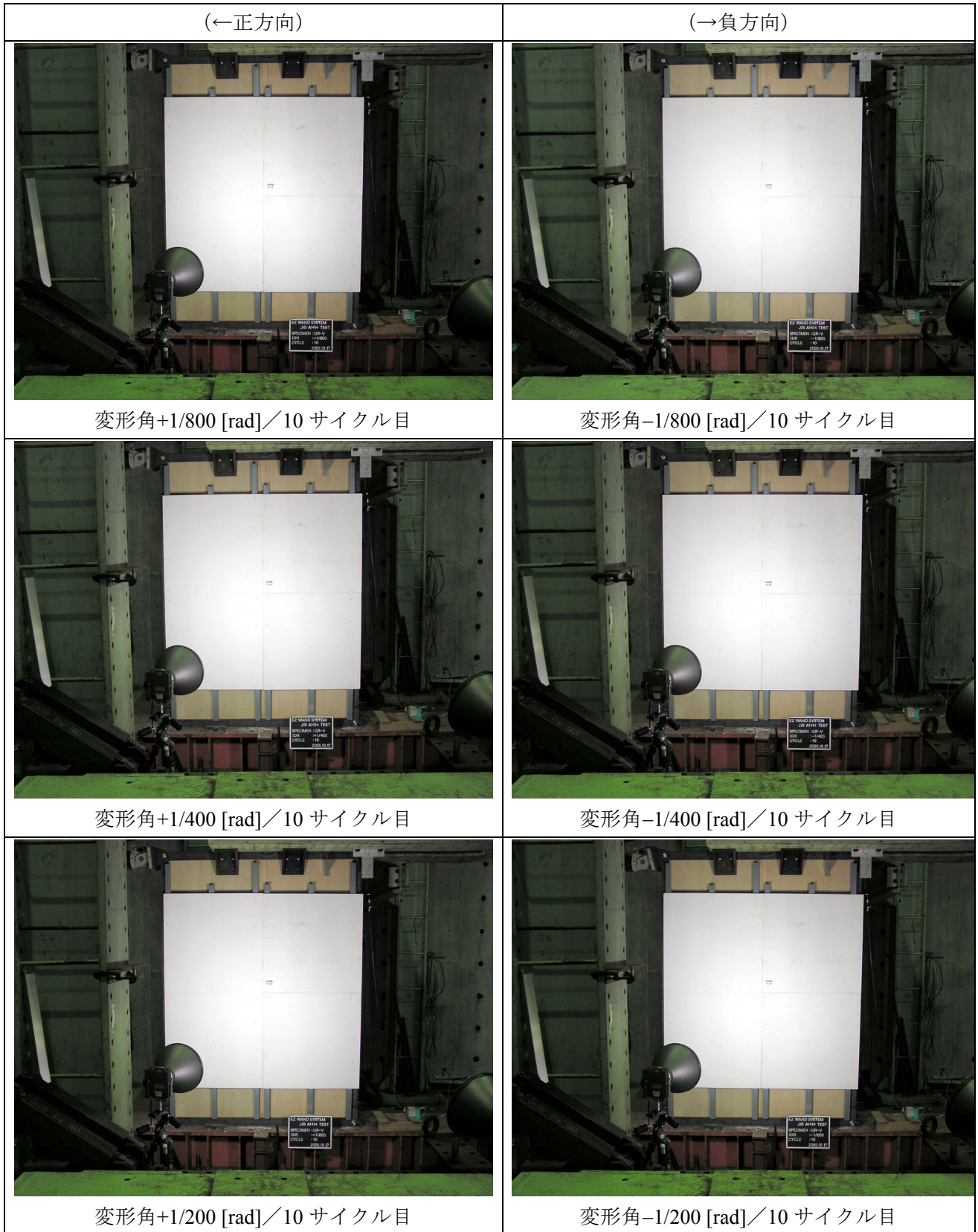
全载荷履歴を通して、外装材パネル、外装材パネル留付けビスには、割れ・欠けなどの損傷は見られなかった。一方、シーリング目地は、変形追従機構に従って目地部分が変形を逃がす役割を果たすため、層間変形角+1/400 rad の 10 サイクル目から縦目地のシーリングにしわが観察された。次いで、層間変形角+1/200 rad から外装材パネルの突合せ部分に面外方向への僅かな段差が生じ始めた。また、層間変形角±1/100 rad までは、外装材取付け装置と胴縁とのスライド機構が機能している様子は見られなかったが、層間変形角+1/50 に至ると、外装材取付け装置と胴縁とのスライド機構が機能している様子が観察された（図 4-1）。このことより、層間変形角+1/50 rad までのサイクルで観測された縦目地のずれ量は、変形追従機構によるものではなく、構造壁の一部である木パネルの取り合い部分のずれに従って左右の縦胴縁に取り付く外装材が別々の系として別々の挙動を示しただけであったと考えられる。最終除荷後の残留変形については、胴縁の滑落防止ビスで部分的にでも固定されていることが影響し、目地部分では残留変形が生じなかった。一方、構造壁の一部である木パネルの取り合い部分のずれ量は 2 mm の残留変形を観測した。加力中の破壊音については、本試験体のみ施工の関係で試験体取付け用フレームと左右両端の建築外装材取付け装置受け金物の全ねじ部分が僅かに接触してしまったため、加力中それらが互いに摩擦しあう音が確認された。この現象は、次節に示すように本試験体の荷重－変形関係に少なからず影響を与えているが、外装材取付け装置の変形追従機構自体は受け金物が受ける装置上で機能するため影響を受けなかったと考えられる。

表 4-1 試験体 GR-V の損傷測定結果一覧

| 層間変形角 (サイクル数) | 外装材損傷 | ビス損傷 | シーリング損傷 | | 目地ずれ量* [mm] | | 木パネル取合い 部分ずれ量* [mm] |
|------------------|-------|------|---------|-----|----------------|-----|---------------------------|
| | | | 縦目地 | 横目地 | 縦目地 | 横目地 | |
| +1/800 (1) | 無し | 無し | 無し | 無し | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| -1/800 (1) | 無し | 無し | 無し | 無し | 1.0 | 0.0 | 0.0 |
| +1/800 (10) | 無し | 無し | 無し | 無し | 0.5 | 0.0 | 0.0 |
| -1/800 (10) | 無し | 無し | 無し | 無し | 1.0 | 0.0 | 0.0 |
| +1/400 (1) | 無し | 無し | 無し | 無し | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| -1/400 (1) | 無し | 無し | 無し | 無し | 1.5 | 0.0 | 0.0 |
| +1/400 (10) | 無し | 無し | しわ | 無し | 0.5 | 0.0 | 0.0 |
| -1/400 (10) | 無し | 無し | しわ | 無し | 1.5 | 0.0 | 0.0 |
| +1/200 (1) | 無し | 無し | しわ | 無し | 2.0 | 0.0 | 2.0 |
| -1/200 (1) | 無し | 無し | しわ | 無し | 2.5 | 0.0 | 2.0 |
| +1/200 (10) | 無し | 無し | しわ | 無し | 1.5 | 0.0 | 2.5 |
| -1/200 (10) | 無し | 無し | しわ | 無し | 2.5 | 0.0 | 2.0 |
| +1/100 (1) | 無し | 無し | しわ | 無し | 4.5 | 0.0 | 4.5 |
| -1/100 (1) | 無し | 無し | しわ | 無し | 5.5 | 0.0 | 4.5 |
| +1/100 (10) | 無し | 無し | しわ | 無し | 4.5 | 0.0 | 4.5 |
| -1/100 (10) | 無し | 無し | しわ | 無し | 6.0 | 0.0 | 4.5 |
| +1/50 (1) | 無し | 無し | しわ | 無し | 11.5 | 0.0 | 11.5 |
| -1/50 (1) | 無し | 無し | しわ | 無し | 15.0 | 0.0 | 12.0 |
| +1/50 (10) | 無し | 無し | しわ | 無し | 12.5 | 0.0 | 12.5 |
| -1/50 (10) | 無し | 無し | しわ | 無し | 18.0 | 0.0 | 15.0 |
| 最終除荷 | 無し | 無し | しわ | 無し | 0.0 | 0.0 | 2.0 (正方向) |

* : スケールを用いた目視による測定のため、測定精度は 0.5mm である。

写真 4-1 試験体 GR-V の各層間変形角最終サイクルピーク時の全景



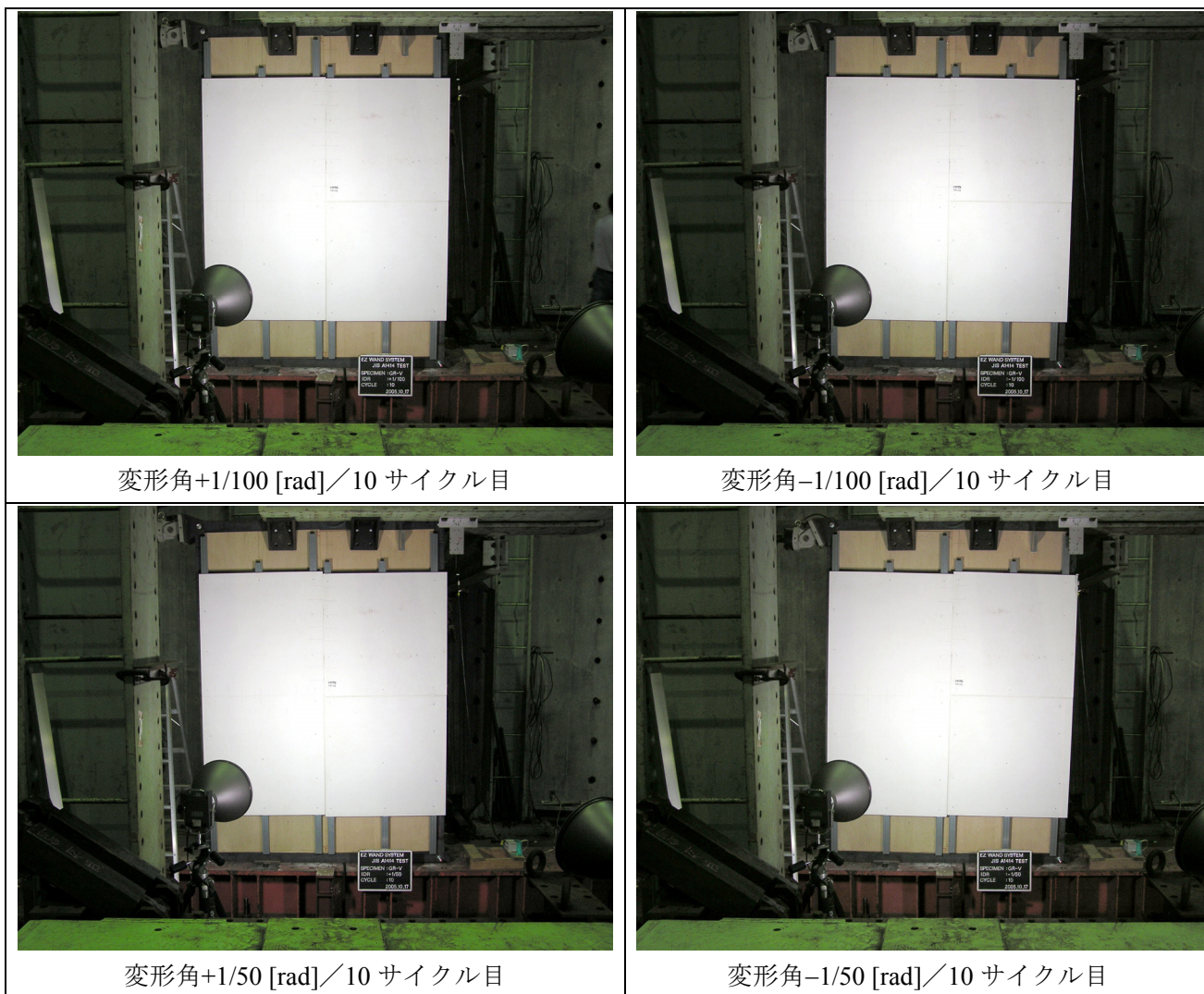


図 4-1 層間変形角+1/50 rad で作用が確認されたスライド機構

(2) 試験体 GR-H

2005年10月18日に実験を行った試験体 GR-H は、外装材取付装置に ezWgrip を用いた横胴縁タイプの試験体である。载荷履歴として設定した各層間変形角の1サイクル目と10サイクル目のピーク時における、外装材パネル、外装材パネル留付けビス、シーリング目地の損傷状態の観察結果、および、外装材目地ずれ量と、構造壁の一部である木パネルの取り合い部分のずれ量の測定結果を、表 4-2 にまとめた。また、载荷履歴として設定した各層間変形角 10 サイクル目のピーク時の全景写真を写真 4-2 に示した。

全载荷履歴を通して、外装材パネル、外装材パネル留付けビスには、割れ・欠けなどの損傷は見られなかった。一方、シーリング目地は、変形追従機構に従って目地部分が変形を逃がす役割を果たすため、層間変形角 $+1/200$ rad の1サイクル目から横目地のシーリング、縦目地のシーリングともにしわが観察された。次いで、層間変形角 $+1/200$ rad の10サイクル目で、外装材パネルの突合せ部分に面外方向への僅かな段差が生じ始めた。また、層間変形角 $+1/100$ rad の1サイクル目で外装材取付装置のルーズホール部分の摩擦音を確認され、層間変形角 $-1/100$ rad の2サイクル目で外装材取付装置と胴縁とのスライド機構が機能していると思われる摩擦音（クリック音）を確認され、実際に外装材取付装置と胴縁とのスライド機構が機能している様子を確認できた（図 4-2）。層間変形角 $+1/50$ rad の10サイクル目には横目地のシーリングに亀裂が生じ、最終除荷時には横目地に 0.8 mm、縦目地に 1.0 mm、構造壁の一部である木パネルの取り合い部分のずれ量で 0.5 mm の残留変形を観測した。

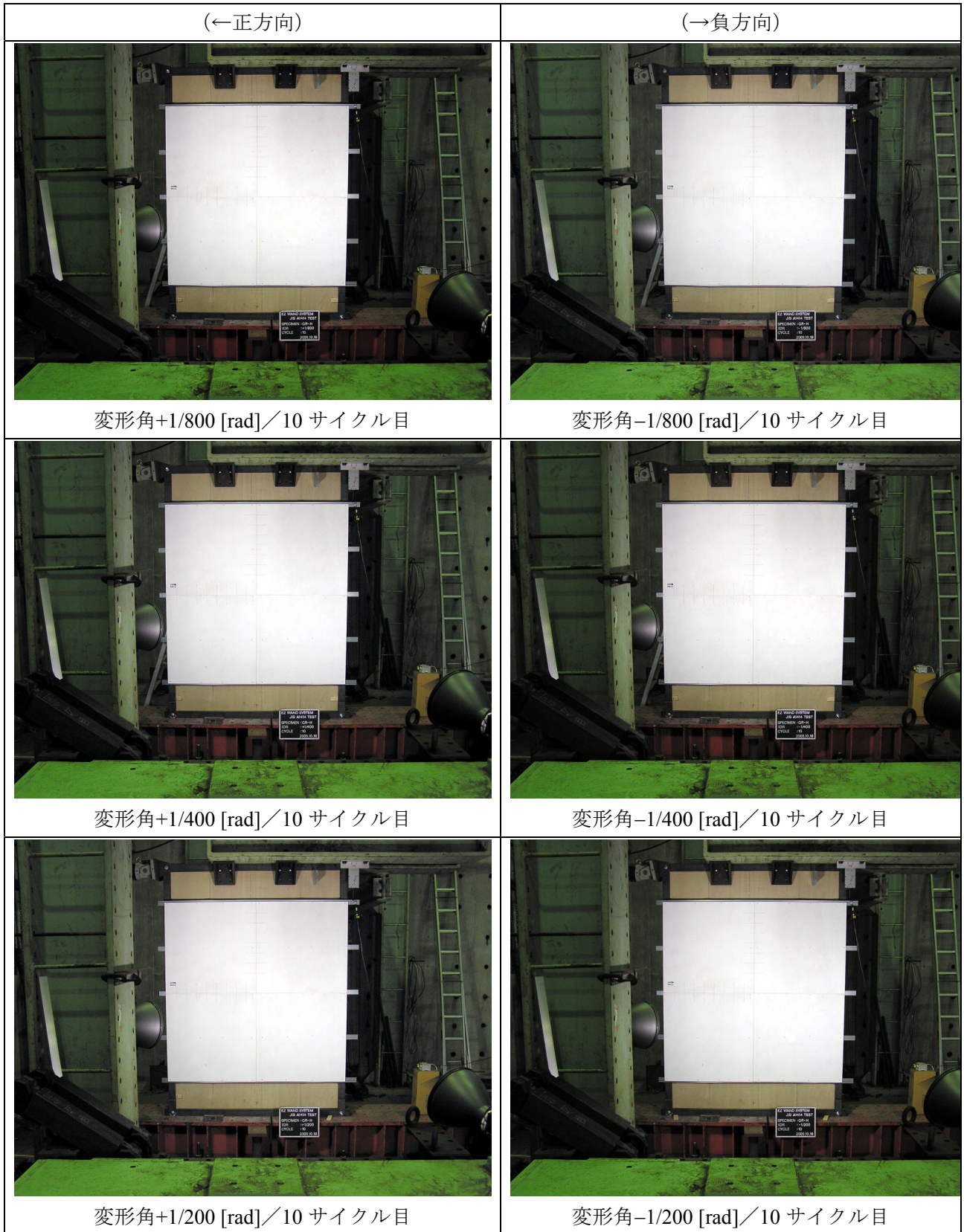
後述する試験体を含めても、試験体 GR-H のみが縦目地と横目地の両方に変形が発生する結果となった。

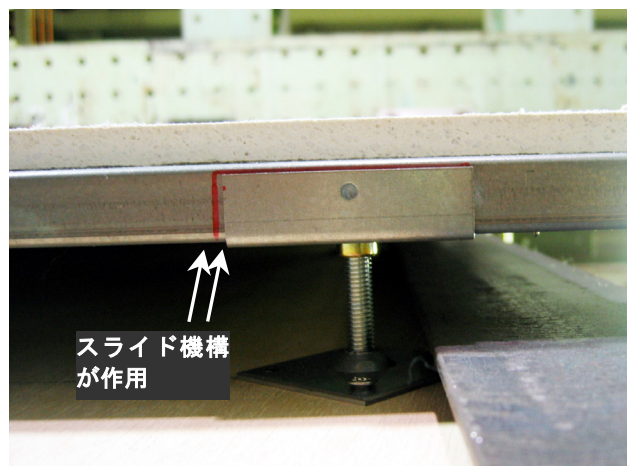
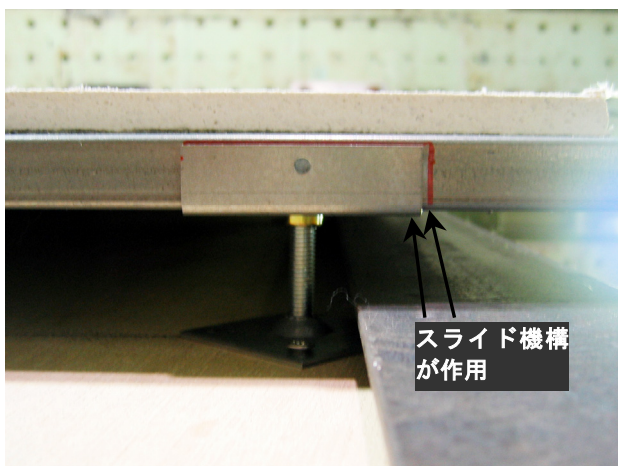
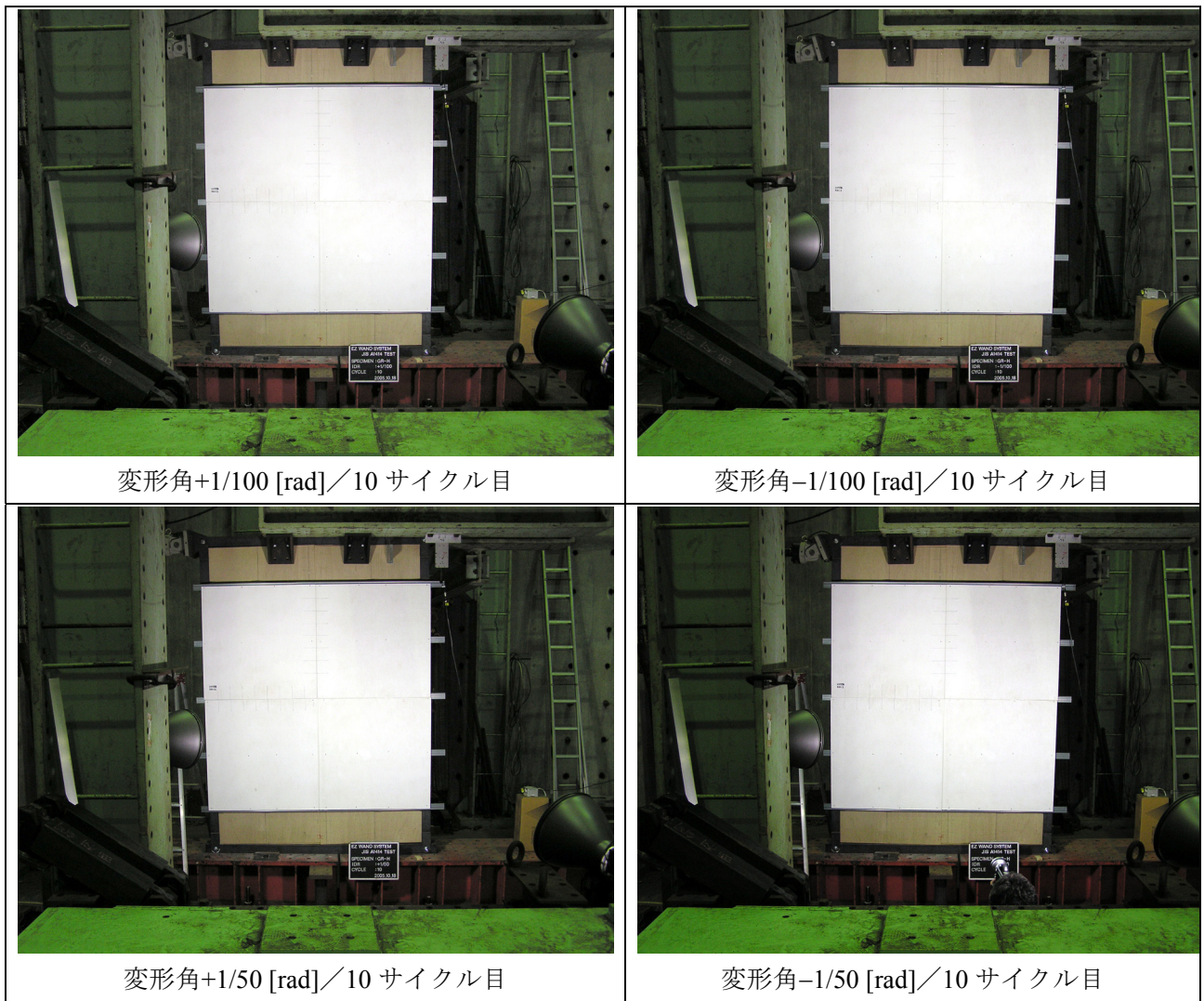
表 4-2 試験体 GR-H の損傷測定結果一覧

| 層間変形角 (サイクル数) | 外装材損傷 | ビス損傷 | シーリング損傷 | | 目地ずれ量* [mm] | | 木パネル取合い 部分ずれ量* [mm] |
|------------------|-------|------|---------|-------|----------------|-----|---------------------------|
| | | | 縦目地 | 横目地 | 縦目地 | 横目地 | |
| +1/800 (1) | 無し | 無し | 無し | 無し | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| -1/800 (1) | 無し | 無し | 無し | 無し | 0.0 | 0.5 | 0.0 |
| +1/800 (10) | 無し | 無し | 無し | 無し | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| -1/800 (10) | 無し | 無し | 無し | 無し | 0.0 | 0.5 | 0.2 |
| +1/400 (1) | 無し | 無し | 無し | 無し | 0.0 | 0.0 | 0.2 |
| -1/400 (1) | 無し | 無し | 無し | 無し | 0.0 | 0.5 | 0.2 |
| +1/400 (10) | 無し | 無し | 無し | 無し | 0.0 | 0.5 | 0.2 |
| -1/400 (10) | 無し | 無し | 無し | 無し | 0.0 | 0.5 | 0.2 |
| +1/200 (1) | 無し | 無し | しわ | しわ | 0.0 | 0.8 | 1.0 |
| -1/200 (1) | 無し | 無し | しわ | しわ | 0.2 | 1.0 | 1.0 |
| +1/200 (10) | 無し | 無し | しわ | 浮き | 0.5 | 0.8 | 1.0 |
| -1/200 (10) | 無し | 無し | しわ | 浮き | 0.2 | 1.0 | 0.8 |
| +1/100 (1) | 無し | 無し | しわ | 浮き+しわ | 0.8 | 1.5 | 3.0 |
| -1/100 (1) | 無し | 無し | しわ | 浮き+しわ | 0.5 | 1.5 | 3.0 |
| +1/100 (10) | 無し | 無し | しわ | 浮き+しわ | 1.0 | 2.0 | 3.5 |
| -1/100 (10) | 無し | 無し | しわ | 浮き+しわ | 0.8 | 2.0 | 3.5 |
| +1/50 (1) | 無し | 無し | しわ | 浮き+しわ | 1.0 | 5.5 | 9.5 |
| -1/50 (1) | 無し | 無し | しわ | 浮き+しわ | 1.0 | 4.5 | 11.5 |
| +1/50 (10) | 無し | 無し | しわ | 亀裂 | 1.5 | 6.0 | 11.5 |
| -1/50 (10) | 無し | 無し | しわ | 亀裂 | 1.2 | 4.5 | 13.0 |
| 最終除荷 | 無し | 無し | しわ | 亀裂 | 1.0 | 0.8 | 0.5 (負方向) |

* : スケールを用いた目視による測定のため、測定精度は 0.5mm である。

写真 4-2 試験体 GR-H の各層間変形角最終サイクルピーク時の全景





(a)正方向加力

(b)負方向加力

図 4-2 層間変形角 $\pm 1/100$ rad で作用が確認されたスライド機構

(3) 試験体 CP-V

2005年10月24日に実験を行った試験体 CP-V は、外装材取付装置に ezBar CPon を用いた縦胴縁タイプの試験体である。载荷履歴として設定した各層間変形角の1サイクル目と10サイクル目のピーク時における、外装材パネル、外装材パネル留付けビス、シーリング目地の損傷状態の観察結果、および、外装材目地ずれ量と、構造壁の一部である木パネルの取り合い部分のずれ量の測定結果を、表 4-3 にまとめた。また、载荷履歴として設定した各層間変形角 10 サイクル目のピーク時の全景写真を写真 4-3 に示した。

全载荷履歴を通して、外装材パネル、外装材パネル留付けビスには、割れ・欠けなどの損傷は見られなかった。一方、シーリング目地は、変形追従機構に従って目地部分が変形を逃がす役割を果たすため、層間変形角 $-1/400$ rad の1サイクル目から縦目地のシーリングにしわが観察され、層間変形角 $-1/400$ rad の10サイクル目から横目地のシーリングにもしわが観察された。横目地のシーリングに生じたしわは、層間変形角 $\pm 1/400$ rad あたりから外装材パネルの突合せ部分に面外方向への僅かな段差が生じ始めたことに起因するものと考えられる。また、層間変形角 $+1/100$ rad の10サイクル目では縦目地のシーリングに亀裂が生じた。加力中の破壊音については、層間変形角 $-1/50$ rad の1サイクル目で、ルーズホールの摩擦音を確認された。実際に外装材取付装置のルーズホール部分が機能している様子も確認できた(図 4-3)。ルーズホール部分の摩擦音は、正負加力時にはクリック音として聞こえる一方、除荷時には聞こえなかった。最終除荷後には、縦目地に 0.5 mm、構造壁の一部である木パネルの取り合い部分のずれ量として 2 mm の残留変形を観測した。また、ピーク時にルーズホールに生じたずれは戻らなかった。

表 4-3 試験体 CP-V の損傷測定結果一覧

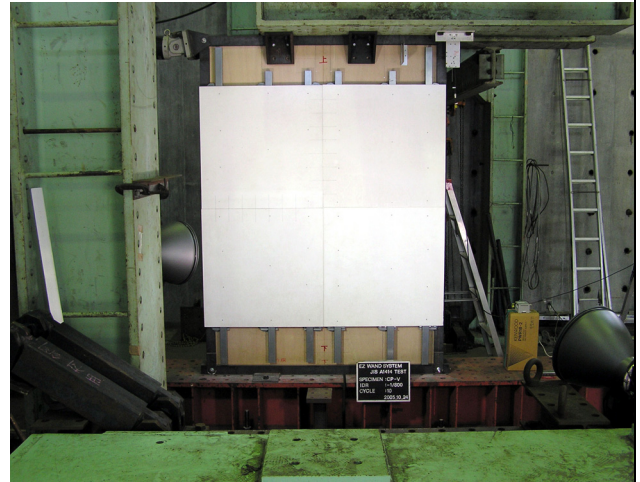
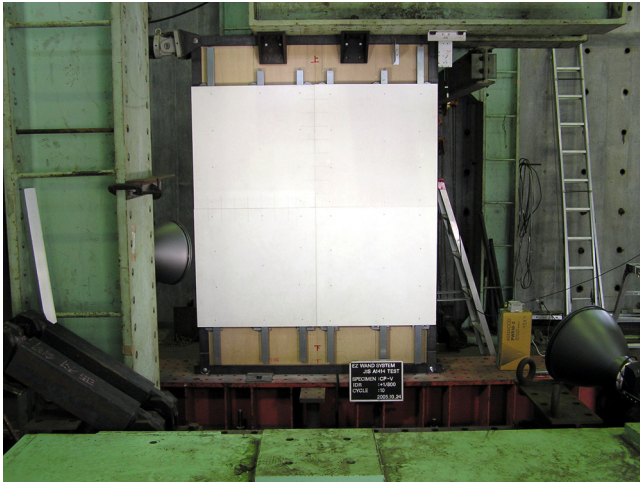
| 層間変形角 (サイクル数) | 外装材損傷 | ビス損傷 | シーリング損傷 | | 目地ずれ量* [mm] | | 木パネル取合い 部分ずれ量* [mm] |
|------------------|-------|------|---------|-----|----------------|-----|---------------------------|
| | | | 縦目地 | 横目地 | 縦目地 | 横目地 | |
| +1/800 (1) | 無し | 無し | 無し | 無し | 0.5 | 0.0 | 0.2 |
| -1/800 (1) | 無し | 無し | 無し | 無し | 0.5 | 0.0 | 0.0 |
| +1/800 (10) | 無し | 無し | 無し | 無し | 0.5 | 0.0 | 0.2 |
| -1/800 (10) | 無し | 無し | 無し | 無し | 0.5 | 0.0 | 0.2 |
| +1/400 (1) | 無し | 無し | 無し | 無し | 0.5 | 0.0 | 0.5 |
| -1/400 (1) | 無し | 無し | しわ | 無し | 1.0 | 0.0 | 0.5 |
| +1/400 (10) | 無し | 無し | しわ | 無し | 0.0 | 0.0 | 0.5 |
| -1/400 (10) | 無し | 無し | しわ | しわ | 1.0 | 0.0 | 0.5 |
| +1/200 (1) | 無し | 無し | しわ | 無し | 1.0 | 0.0 | 1.5 |
| -1/200 (1) | 無し | 無し | しわ | しわ | 1.5 | 0.0 | 1.0 |
| +1/200 (10) | 無し | 無し | しわ | 無し | 1.5 | 0.0 | 1.7 |
| -1/200 (10) | 無し | 無し | しわ | しわ | 2.0 | 0.0 | 1.5 |
| +1/100 (1) | 無し | 無し | しわ | しわ | 3.5 | 0.0 | 3.5 |
| -1/100 (1) | 無し | 無し | しわ | しわ | 5.5 | 0.0 | 4.5 |
| +1/100 (10) | 無し | 無し | 亀裂 | しわ | 4.5 | 0.0 | 4.5 |
| -1/100 (10) | 無し | 無し | 亀裂 | しわ | 5.5 | 0.0 | 4.0 |
| +1/50 (1) | 無し | 無し | 亀裂 | しわ | 11.5 | 0.0 | 11.0 |
| -1/50 (1) | 無し | 無し | 亀裂 | しわ | 14.0 | 0.0 | 11.0 |
| +1/50 (10) | 無し | 無し | 亀裂 | しわ | 14.0 | 0.0 | 14.5 |
| -1/50 (10) | 無し | 無し | 亀裂 | しわ | 15.5 | 0.0 | 13.5 |
| 最終除荷 | 無し | 無し | 亀裂 | しわ | 0.5 | 0.0 | 2.0 (正方向) |

* : スケールを用いた目視による測定のため、測定精度は 0.5mm である。

写真 4-3 試験体 CP-V の各層間変形角最終サイクルピーク時の全景

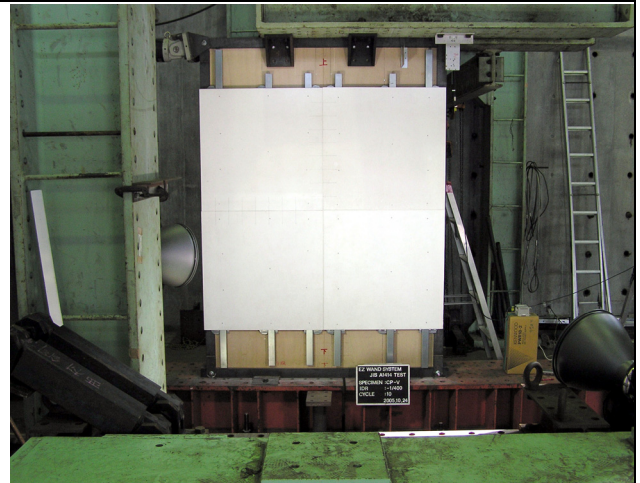
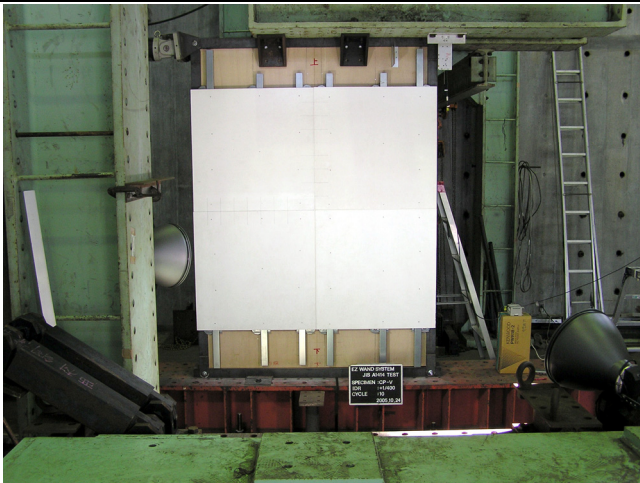
(←正方向)

(→負方向)



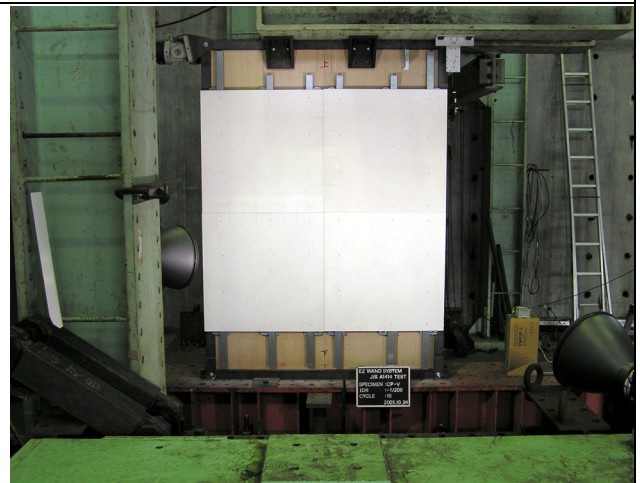
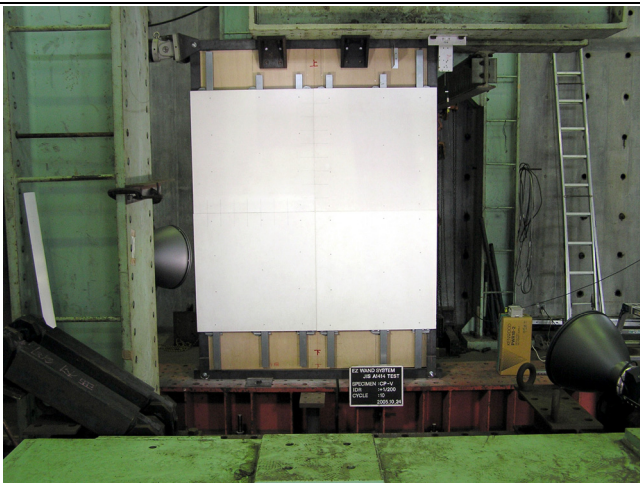
変形角+1/800 [rad]/10 サイクル目

変形角-1/800 [rad]/10 サイクル目



変形角+1/400 [rad]/10 サイクル目

変形角-1/400 [rad]/10 サイクル目



変形角+1/200 [rad]/10 サイクル目

変形角-1/200 [rad]/10 サイクル目

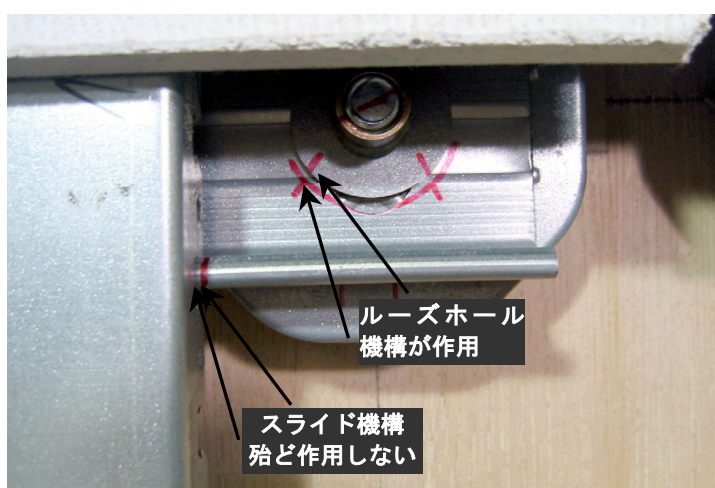
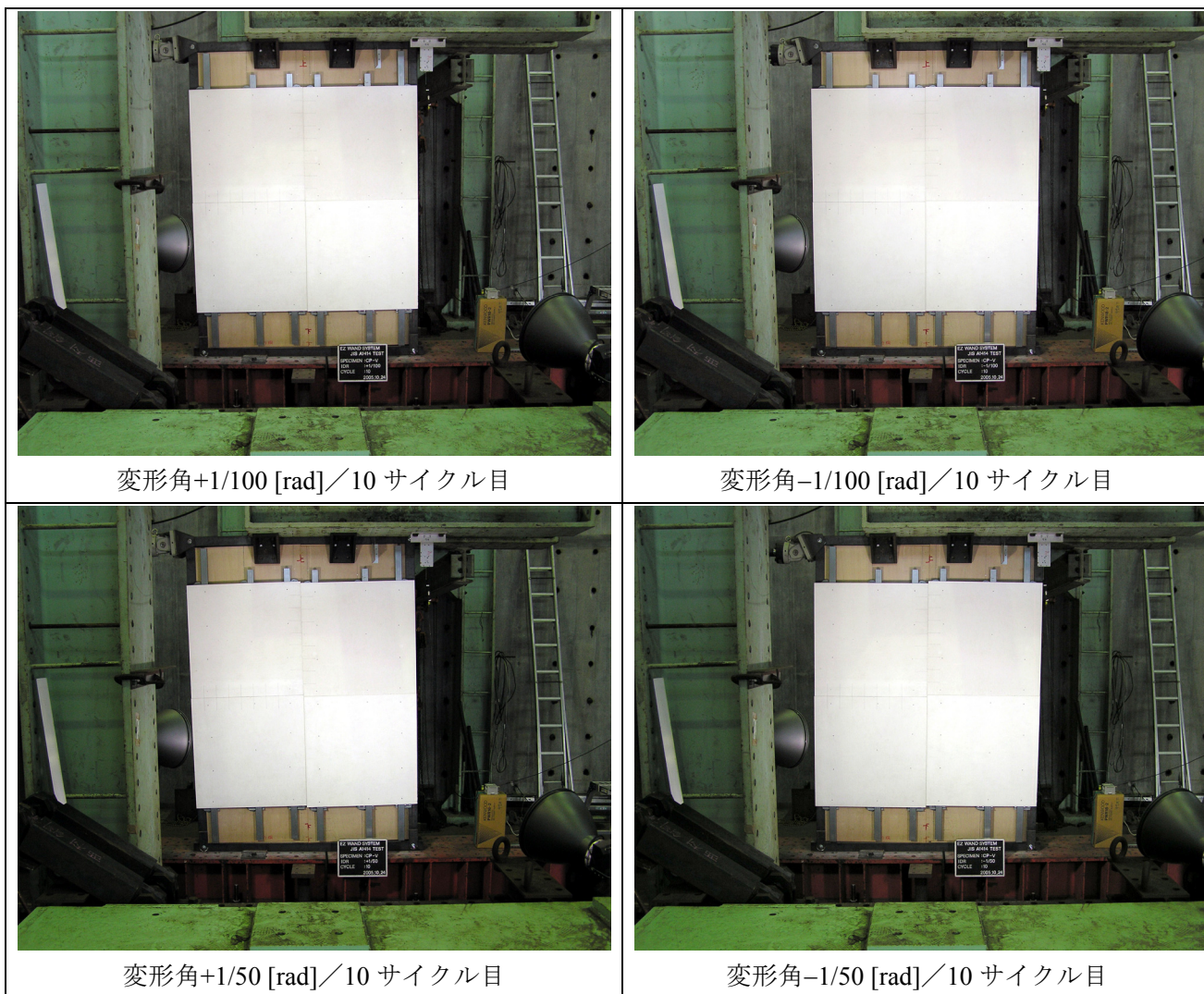


図 4-3 層間変形角-1/50 rad で確認されたルーズホールの移動

(4) 試験体 CP-H

2005年10月26日に実験を行った試験体 CP-H は、外装材取付装置に ezBar CPon を用いた横胴縁タイプの試験体である。載荷履歴として設定した各層間変形角の1サイクル目と10サイクル目のピーク時における、外装材パネル、外装材パネル留付けビス、シーリング目地の損傷状態の観察結果、および、外装材目地ずれ量と、構造壁の一部である木パネルの取り合い部分のずれ量の測定結果を、表 4-4 にまとめた。また、載荷履歴として設定した各層間変形角 10 サイクル目のピーク時の全景写真を写真 4-4 に示した。

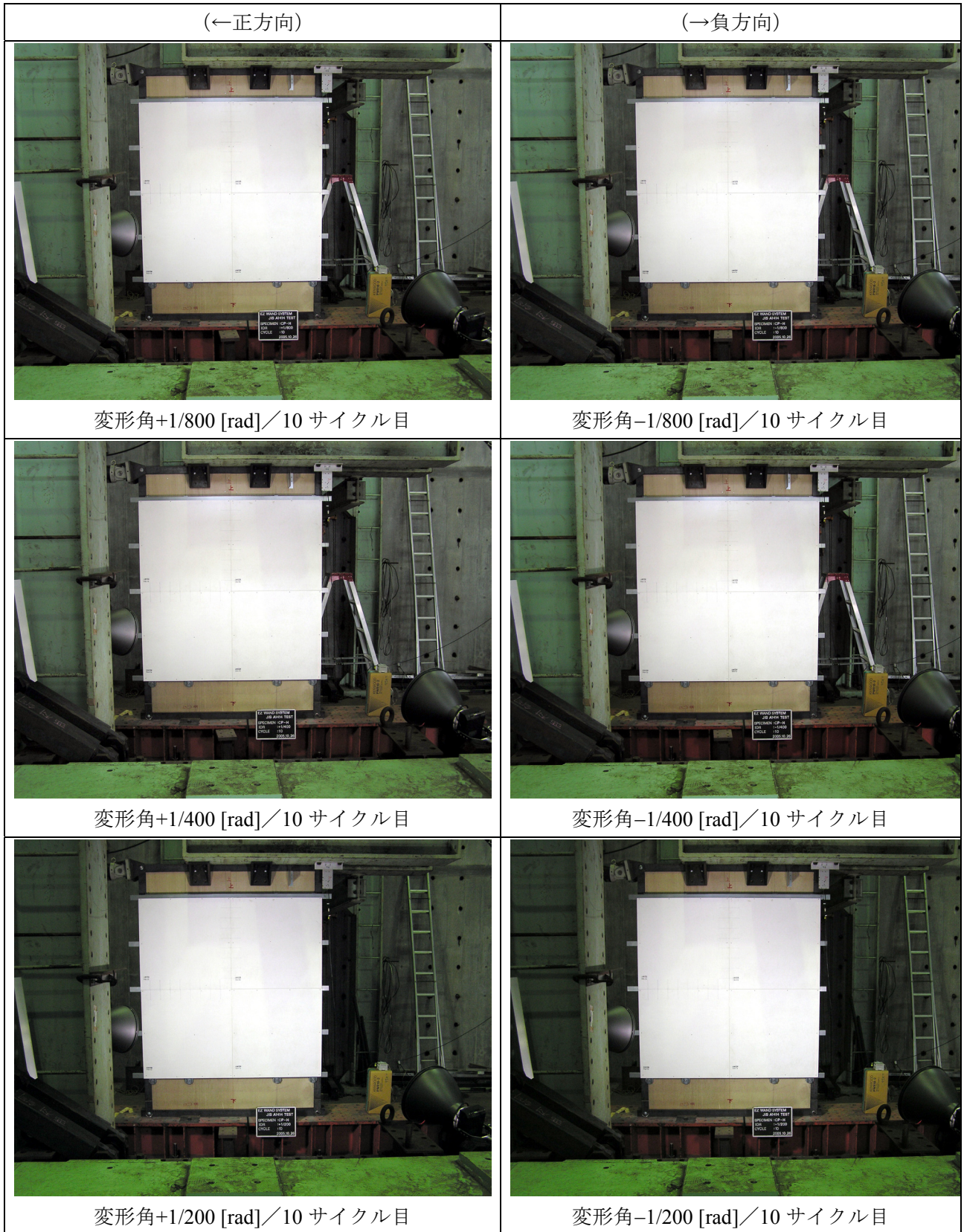
全載荷履歴を通して、外装材パネル、外装材パネル留付けビスには、割れ・欠けなどの損傷は見られなかった。一方、シーリング目地は、変形追従機構に従って目地部分が変形を逃がす役割を果たすため、層間変形角 $+1/400$ rad の 10 サイクル目で横目地のシーリング、縦目地のシーリングともにしわが観察されはじめた。ただし、縦目地のシーリングに生じたしわは、外装材パネルの突合せ部分に面外方向への僅かな段差が生じた場合に見られ、面外方向への段差が小さくなると視認できなくなったことから、面外方向への段差に起因するしわであったと推察される。ちなみに、外装材パネルの突合せ部分面外方向への段差は必ずしも層間変形角の増加に従って伸展するわけではなく、変形追従機構の効き具合によって小さくなる場合もある。横目地のシーリングについては、層間変形角 $+1/100$ rad の 10 サイクル目で亀裂を生じ、層間変形角 $-1/50$ では完全に目地が開いていた。加力中の破壊音については、層間変形角 $-1/100$ rad の 1 サイクル目でルーズホールの摩擦音が確認された。層間変形角 $-1/100$ rad の 10 サイクル目には外装材取付装置と胴縁とのスライド機構が機能していると思われる摩擦音が確認された。実際に、外装材取付装置のルーズホール部分が機能している様子、および、外装材取付装置のワッシャー部分の回転機構が機能している様子を確認できた(図 4-4)。外装材取付装置と胴縁とのスライド機構の様子は、外装材パネルの内側であったため目視による明瞭な確認はできなかった。層間変形角 $+1/50$ rad の 10 サイクル目には、胴縁のスライド機構に続いて胴縁が持ち上がる現象が生じ、持ち上がった時点の目地ずれ変形が残留してしまうことで、除荷時に外装材パネルの開きが閉じなくなった。最終除荷後には、横目地に 1 mm、構造壁の一部である木パネルの取り合い部分のずれ量として 2 mm の残留変形を観測した。

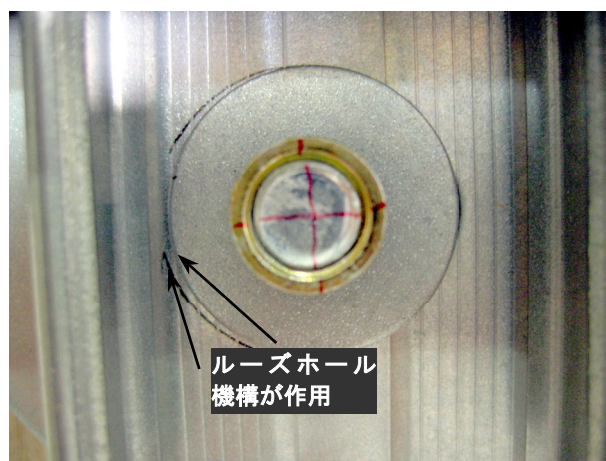
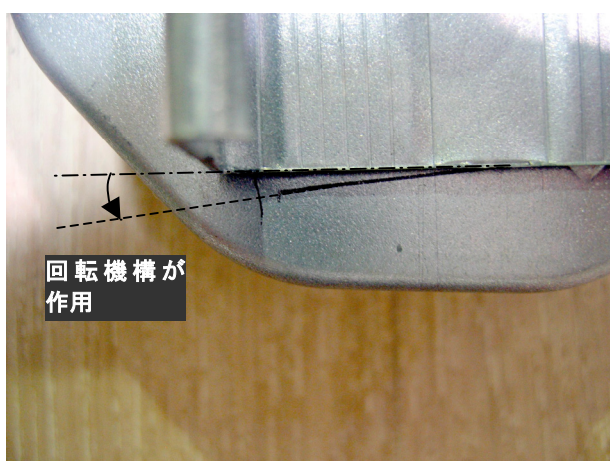
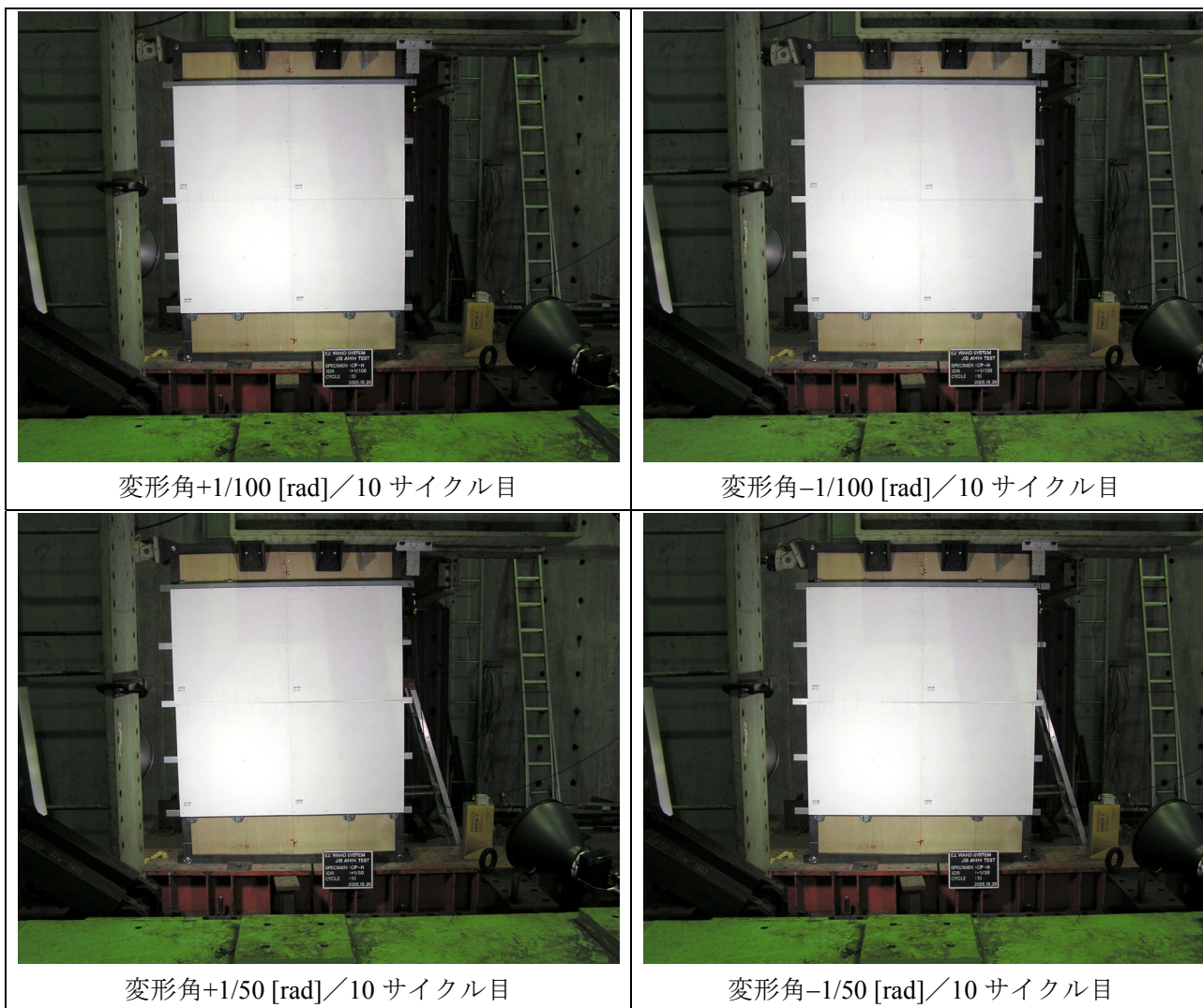
表 4-4 試験体 CP-H の損傷測定結果一覧

| 層間変形角 (サイクル数) | 外装材損傷 | ビス損傷 | シーリング損傷 | | 目地ずれ量* [mm] | | 木パネル取合い 部分ずれ量* [mm] |
|------------------|-------|------|---------|------|----------------|------|---------------------------|
| | | | 縦目地 | 横目地 | 縦目地 | 横目地 | |
| +1/800 (1) | 無し | 無し | 無し | 無し | 0.0 | 0.0 | 0.5 |
| -1/800 (1) | 無し | 無し | 無し | 無し | 0.0 | 0.0 | 0.2 |
| +1/800 (10) | 無し | 無し | 無し | 無し | 0.0 | 0.2 | 0.5 |
| -1/800 (10) | 無し | 無し | 無し | 無し | 0.0 | 0.2 | 0.2 |
| +1/400 (1) | 無し | 無し | 無し | 無し | 0.0 | 0.8 | 1.5 |
| -1/400 (1) | 無し | 無し | 無し | 無し | 0.0 | 0.5 | 1.0 |
| +1/400 (10) | 無し | 無し | しわ | しわ | 0.0 | 1.0 | 1.5 |
| -1/400 (10) | 無し | 無し | しわ | しわ | 0.0 | 0.5 | 1.0 |
| +1/200 (1) | 無し | 無し | しわ | しわ | 0.0 | 2.5 | 2.7 |
| -1/200 (1) | 無し | 無し | 無し | 無し | 0.0 | 0.5 | 1.0 |
| +1/200 (10) | 無し | 無し | 無し | しわ | 0.0 | 3.0 | 3.5 |
| -1/200 (10) | 無し | 無し | 無し | しわ | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| +1/100 (1) | 無し | 無し | 無し | しわ | 0.0 | 5.5 | 6.0 |
| -1/100 (1) | 無し | 無し | 無し | しわ | 0.0 | 2.5 | 3.0 |
| +1/100 (10) | 無し | 無し | 無し | 亀裂 | 0.0 | 5.0 | 6.5 |
| -1/100 (10) | 無し | 無し | 無し | 亀裂 | 0.0 | 3.0 | 3.5 |
| +1/50 (1) | 無し | 無し | 無し | 亀裂 | 0.0 | 10.5 | 15.0 |
| -1/50 (1) | 無し | 無し | 無し | 目地開く | 0.0 | 7.5 | 11.0 |
| +1/50 (10) | 無し | 無し | 無し | 目地開く | 0.0 | 9.5 | 17.5 |
| -1/50 (10) | 無し | 無し | 無し | 目地開く | 0.0 | 11.0 | 13.5 |
| 最終除荷 | 無し | 無し | 無し | 目地開く | 0.0 | 1.0 | 2.0 (正方向) |

* : スケールを用いた目視による測定のため、測定精度は 0.5mm である。

写真 4-4 試験体 CP-H の各層間変形角最終サイクルピーク時の全景





(a) 回転機構の作用

(b) ルーズホール機構の作用

図 4-4 層間変形角-1/100 rad で確認された変形追従機構の作用

4.2 荷重－変形角関係と履歴消費エネルギー量の変遷

本実験で対象とした試験体の荷重－変形角関係を図 4-5 から図 4-9 に示す。

図 4-5 は、試験体 N の荷重－変形角関係で、正方向加力時の最大荷重は 2.19 kN、負方向加力時の最大荷重は-2.63 kN であった。外装材等のついていない木造構造壁のみを加力した試験体 N は、平滑な逆 S 字型の履歴形状を示した。

図 4-6 は、試験体 GR-V の荷重－変形角関係で、正方向加力時の最大荷重は 2.44 kN、負方向加力時の最大荷重は-2.83 kN であった。前節に記したように、施工の関係で試験体取付け用フレームと左右両端の建築外装材取付装置受け金物の全ねじ部分が接触してしまい、加力中それらが互いに摩擦しあうことで荷重が若干高くなる傾向がみられたが、外装材を取り付けていることに起因する最大耐力への有意な差は特に認められなかった。一方、履歴形状は、外装材取付装置と胴縁とのスライド機構が機能しはじめた層間変形角 $\pm 1/50$ rad のサイクルで履歴に細かな荷重の変動が生じているが、概ね試験体 N 同様の平滑な逆 S 字型の履歴形状を示した。

図 4-7 は、試験体 GR-H の荷重－変形角関係で、正方向加力時の最大荷重は 2.34 kN、負方向加力時の最大荷重は-2.05 kN であった。試験体 GR-H においては、試験体 N の最大耐力と比較して、外装材を取り付けていることに起因する最大耐力への有意な差は認められなかった。履歴形状については、除荷時に特定の応力になるとスリップが生じ階段状の履歴が表れた。これは、木軸組の柱と梁の接合部分（ダボ部分）でのめり込みによって生じた空隙のため、除荷時に摩擦力に応じて進行するスリップが発生したものと考えられる。また、外装材取付装置のルーズホール機構および外装材取付装置と胴縁とのスライド機構の機能が確認された層間変形角 $\pm 1/100$ rad 以降のサイクルにおける履歴形状を観察すると、載荷時の履歴に、明らかな荷重の変動が生じていた。

図 4-8 は、試験体 CP-V の荷重－変形角関係で、正方向加力時の最大荷重は 2.46 kN、負方向加力時の最大荷重は-2.11 kN であった。試験体 CP-V においても、試験体 N の最大耐力と比較して、外装材を取り付けていることに起因する最大耐力への有意な差は認められなかった。履歴形状については、木軸組仕口めり込み後の空隙部分でスリップが生じることにより除荷時に階段状履歴が見られた。また、層間変形角 $\pm 1/100$ rad 以降のサイクルにおいて、載荷時の履歴に細かな荷重の変動が生じていた。

図 4-9 は、試験体 CP-H の荷重－変形角関係で、正方向加力時の最大荷重は 2.36 kN、負方向加力時の最大荷重は-2.42 kN であった。試験体 CP-H においても、試験体 N の最大耐力と比較して、外装材を取り付けていることに起因する最大耐力への有意な差は認められなかった。履歴形状については、木軸組仕口めり込み後の空隙部分でスリップが生じることにより除荷時に階段状履歴が見られた。また、層間変形角 $\pm 1/100$ rad 以降のサイクルにおいて、載荷時の履歴に明らかな荷重の変動が生じていた。

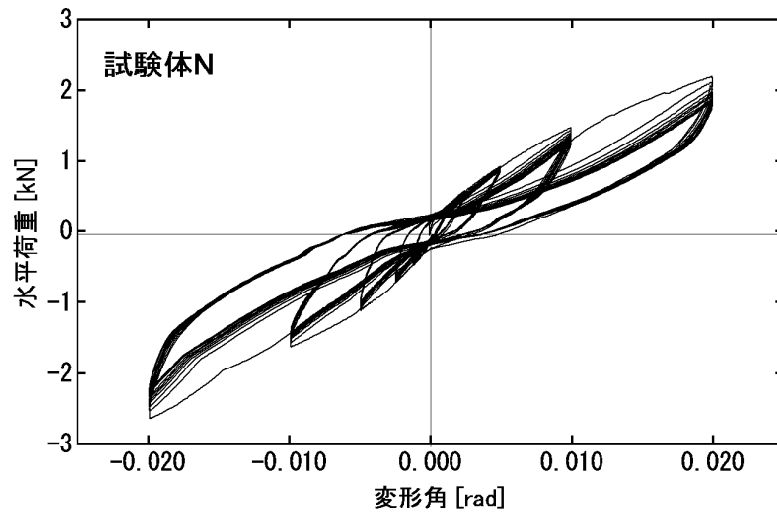


図 4-5 試験体 N の荷重-変形角関係

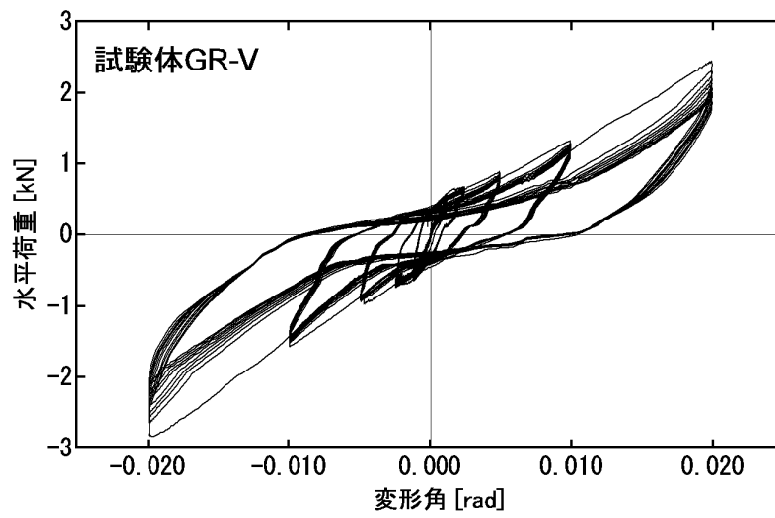


図 4-6 試験体 GR-V の荷重-変形角関係

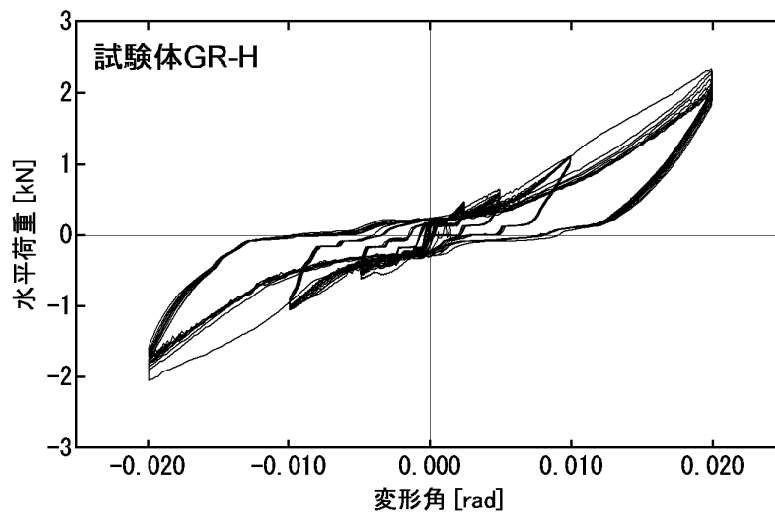


図 4-7 試験体 GR-H の荷重-変形角関係

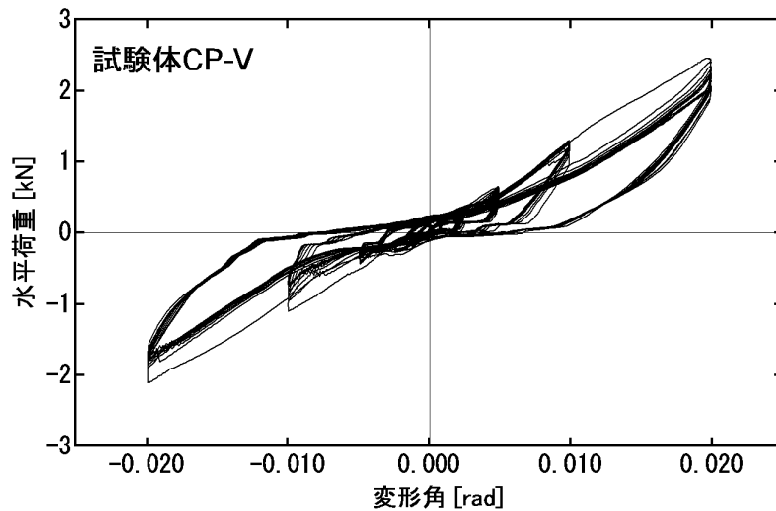


図 4-8 試験体 CP-V の荷重－変形角関係

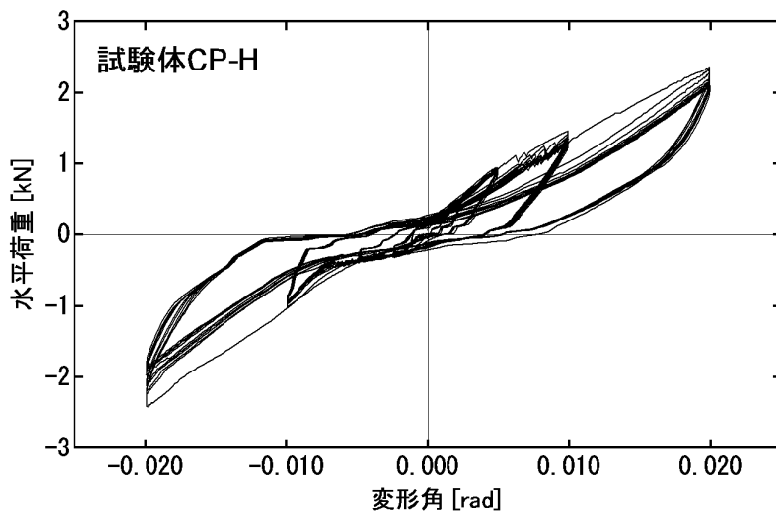


図 4-9 試験体 CP-H の荷重－変形角関係

次に、図 4-5 から図 4-9 に表された履歴を用いて、各試験体の履歴消費エネルギー（10 サイクル分）を求め、その進展状況を図 4-10 に示した。さらに、前述した「外装材を取り付けていることに起因する最大耐力への有意な差」がないことを確認するため、正方向加力時の最大耐力（正の値）から負方向加力時の最大耐力（負の値）を引いた差分値を図 4-11 に示した。

図 4-10 より、試験体 GR-V のみ試験体取付け用フレームと左右両端の建築外装材取付装置受け金物の全ねじ部分の接触に伴う摩擦の影響で試験体 N よりも常に高い履歴消費エネルギーとなったが、試験体 GR-H、試験体 CP-V、試験体 CP-H においては、層間変形角 $1/100 \text{ rad}$ までは試験体 N よりも低い履歴消費エネルギーだったのものが、層間変形角 $1/50 \text{ rad}$ のサイクルになると試験体 N よりも高い履歴消費エネルギーを示した。ここで図 4-11 に着目すると、試験体 N の最大荷重は全体を通じて他の試験体よりも高い傾向を示していることがわかる。これらの結果から、試験体 N 以外の試験体では、最大耐力には寄与しない応力レベルの低い段階で付加的な力を負担するデバイスにより履歴消費エネルギーが高められていると考えられる。つまり、本実験で対象とした外装材取付装置による外装材の設置により、最大耐力には寄与しない応力レベルの低い段階で、変形追従機構の機能による摩擦力が付加的な力となり履歴消費エネルギーを高めているものと考えられる。

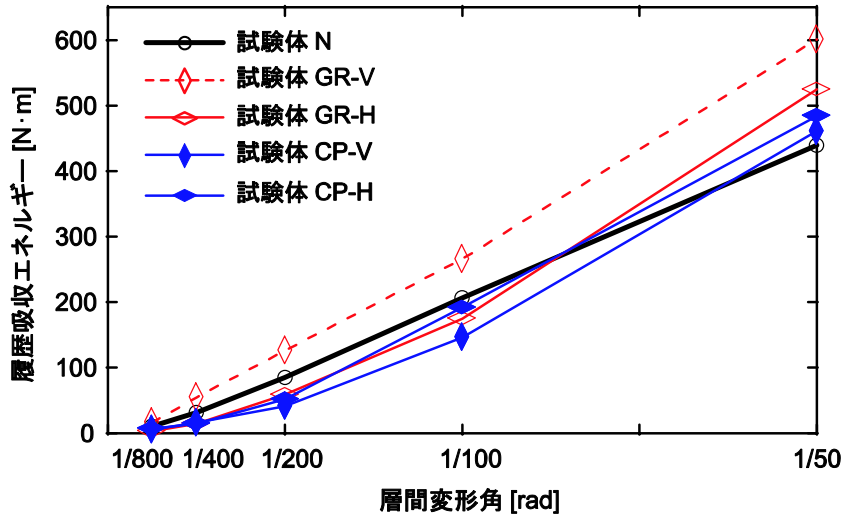


図 4-10 各試験体の履歴消費エネルギー (10 サイクル分)

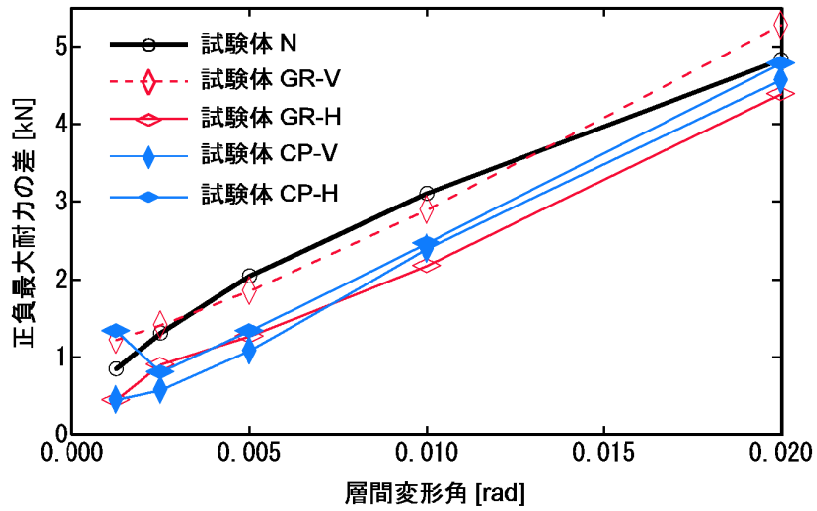


図 4-11 各試験体の正負最大耐力差

5. 考察

5.1 予測された変形追従メカニズムに対する実際の挙動

外装材取付装置 ezWgrip および ezBar CPon について、予測される変形追従メカニズムの概念図を、それぞれ図 5-1 および図 5-2 に示す。

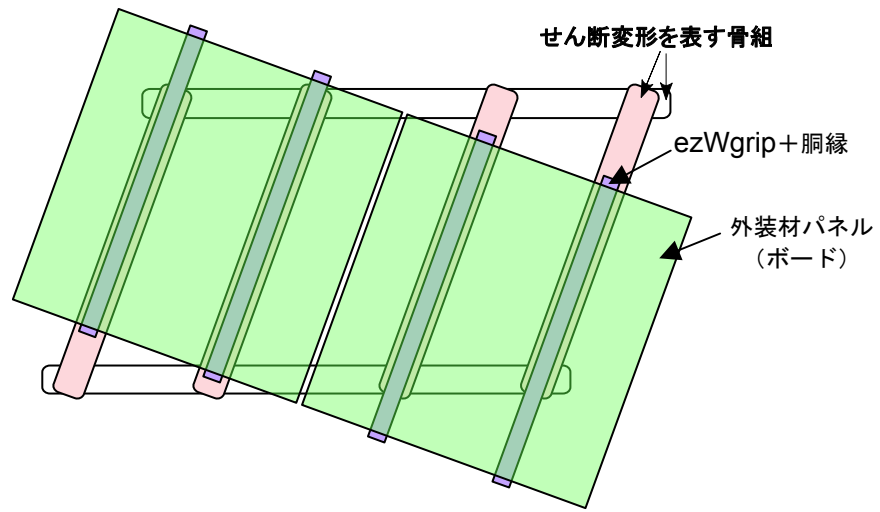
外装材取付装置 ezWgrip の変形追従メカニズムは、外装材パネルの耐力よりも ezWgrip の摩擦力が小さい場合に機能するものと予測される。図 5-1 の上段の概念図は、ezWgrip の摩擦力が外装材パネルの耐力よりも小さく、さらに目地部分の摩擦力よりも小さい場合の変形追従機構を示している。この場合、外装材パネルが一体となってロッキングするが、水平方向に長い外装材が一体となってロッキングすると外装材パネル両端部で上下方向に大きな変形許容区間が必要となるため、注意が必要である。図 5-1 の中段の概念図は、ezWgrip の摩擦力が外装材パネルの耐力よりも小さいが、目地部分の摩擦力よりも大きい場合の変形追従機構を示している。この場合、目地部分にずれが生じるため、シーリングが施工されている場合にはシーリング部分に損傷を誘導することになる。しかし、外装材パネルが 1 枚ごとにロッキングするため、ボード端部にあまり大きな変形許容区間を必要としない。図 5-1 の下段の概念図は、ezWgrip の摩擦力が外装材パネルの耐力よりも大きく、変形追従メカニズムが機能しない場合を示している。本実験では図 5-1 中段の変形追従メカニズムを予想・計画していた。

外装材取付装置 ezBar CPon の変形追従メカニズムについても、外装材パネルの耐力よりも ezBar CPon の摩擦力が小さい場合に機能するものと予測される。図 5-2 の上段の概念図は、ezBar CPon の摩擦力が外装材パネルの耐力よりも小さく、特に ezBar CPon のルーズホール機構の摩擦力が小さいために変形追従機構が機能した場合を示している。図 5-2 の中段の概念図は、ezBar CPon の摩擦力が外装材パネルの耐力よりも小さく、特に ezBar CPon と胴縁のスライドにかかる摩擦力およびワッシャーの回転摩擦力が小さいための変形追従機構が機能した場合を示している。図 5-2 上段および中段どちらの場合も、目地部分にずれが生じるため、シーリングが施工されている場合にはシーリング部分に損傷を誘導することになるが、外装材パネルのロッキングによるパネル端部の変形許容区間をあまり必要としない。また、図 5-2 上段の場合はルーズホールのあそびが無くなると、図 5-2 中段の場合は胴縁のスライド距離が ezBar CPon バー材の長さ（130 mm のうち胴縁がスライド可能な距離）を超えると、変形追従機構は限界を迎える。図 5-2 の下段の概念図は、ezBar CPon の摩擦力が外装材パネルの耐力よりも大きく、変形追従メカニズムが機能しない場合を示している。本実験では、図 5-2 上段および中段の変形追従メカニズムを予想・計画していた。

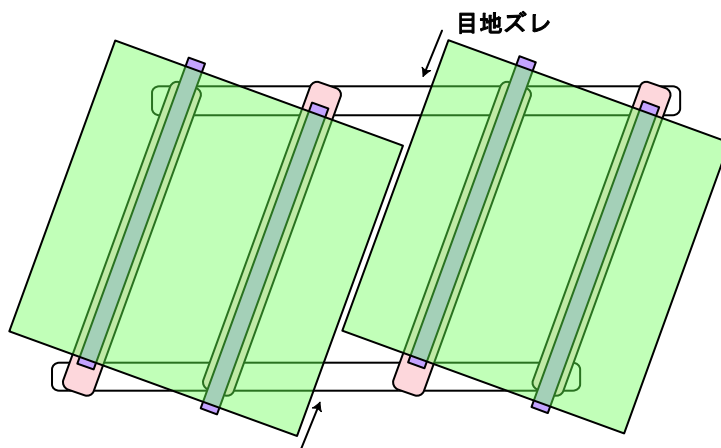
図 5-1 および図 5-2 は、層としてせん断変形を受ける軸組部材に取付く外装材取付装置の変形追従メカニズムを示しているが、本実験のように構造体としての壁がロッキング挙動を示し、外装材取付装置も（木軸組上に固定しているとはいえ）そのロッキング挙動に少なからず影響を受ける場合は、メカニズムの効き方が多少異なる点に注意しなければならない。図 5-3 は、壁がロッキング挙動を示す場合の外装材取付装置の変形追従メカニズムのうち、本実験で観測された機構を示した図である。縦胴縁を有する GR-V 試験体および CP-V 試験体では、層間変形角 $1/50 \text{ rad}$ で僅かにメカニズムが機能するものの、概ね外装材取付装置の変形追従メカニズムが機能することはなく、構造体のロッキング機構に追従するだけであった。一方、横胴縁を有する GR-H 試験体および CP-H 試験体では、外装材取付装置の変形追従メカニズムの機能が確認できるものの、その殆どがルーズホール機構の機能による変形追従で、胴縁のスライド機構による変形追従は層間変形角 $1/50 \text{ rad}$ になってようやく機能しはじめ程度の状態であった。また、層間変形角 $1/50 \text{ rad}$ になって、ezWgrip のスライド機構あるいは

ezBar Cpon のスライド+回転機構のような変形追従機構が機能しはじめると、GR-V 試験体を除き、除荷時の目地に残留変形（ずれ）が生じてしまった。これは、GR-V 試験体では外装材滑落防止ビスによって縦胴縁の一部を ezWgrip に固定していたため除荷時に外装材を初めの位置に戻す拘束力が働いたが、その他の試験体では ezWgrip のスライド機構あるいは ezBar Cpon のスライド+回転機構が効きはじめた後は完全に摩擦力だけに依存するフリーな状態であり、除荷時に元の位置に戻るような拘束力が働かなかったことが原因として考えられる。

ボードせん断力 > 目地摩擦力 > ezWgrip摩擦力



ボードせん断力 > ezWgrip摩擦力 > 目地摩擦力



ezWgrip摩擦力 > ボードせん断力 > 目地摩擦力

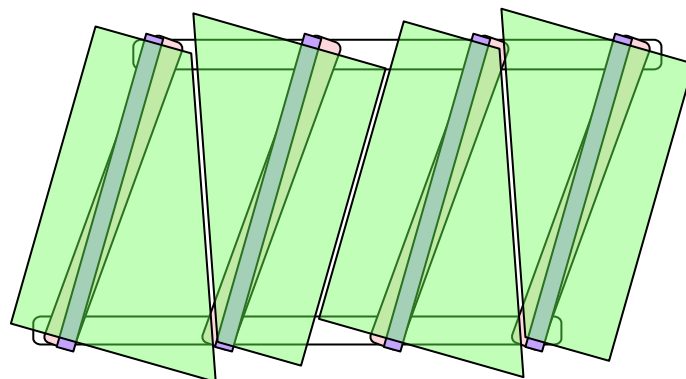
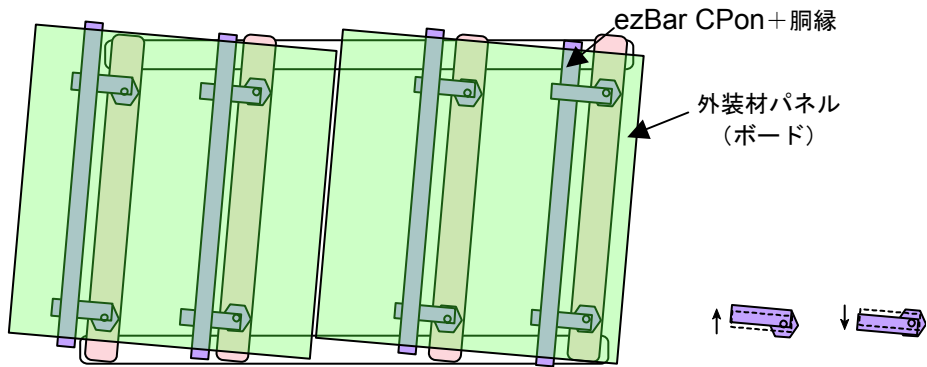


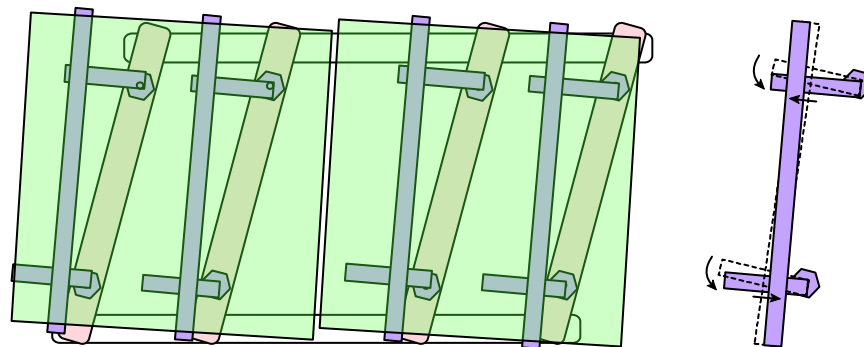
図 5-1 予測された装材取付装置 ezWgrip の変形追従メカニズム概念図

ボードせん断力 > ezBar CPon摩擦（ルーズホール摩擦）力



ルーズホールが機能する場合

ボードせん断力 > ezBar CPon摩擦（バー材スライド摩擦）力



CPon回転機構 + バー材スライドが機能する場合

ezBar CPon摩擦力 > ボードせん断力

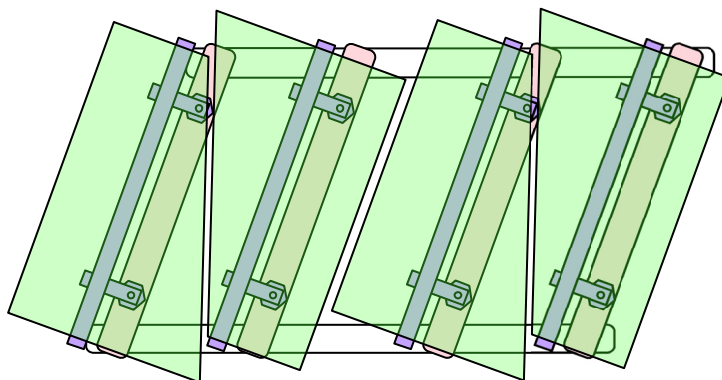
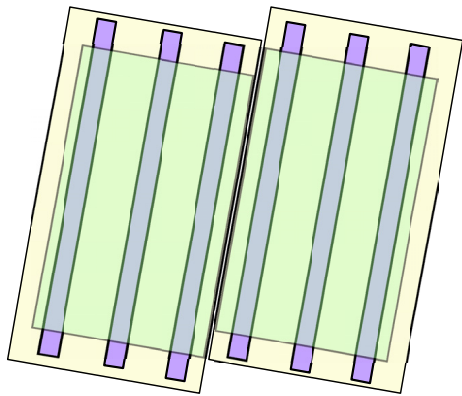


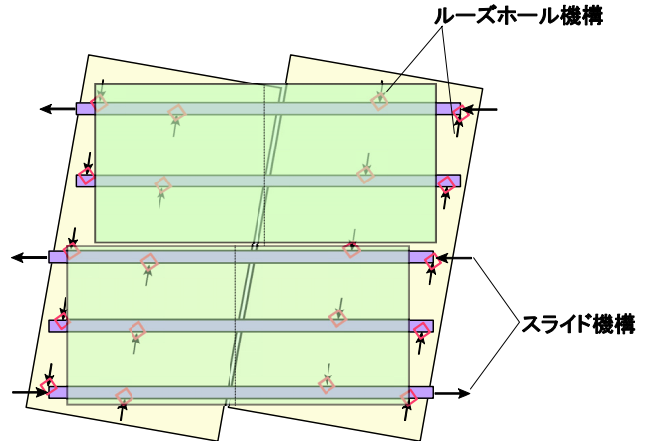
図 5-2 予測された外装材取付装置 ezBar CPon の変形追従メカニズム概念図

GR-V 試験体



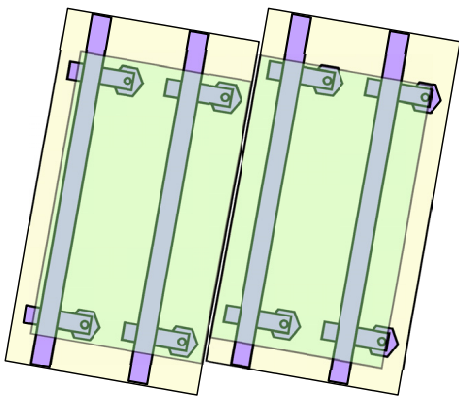
構造体のロッキング機構に追従

GR-H 試験体



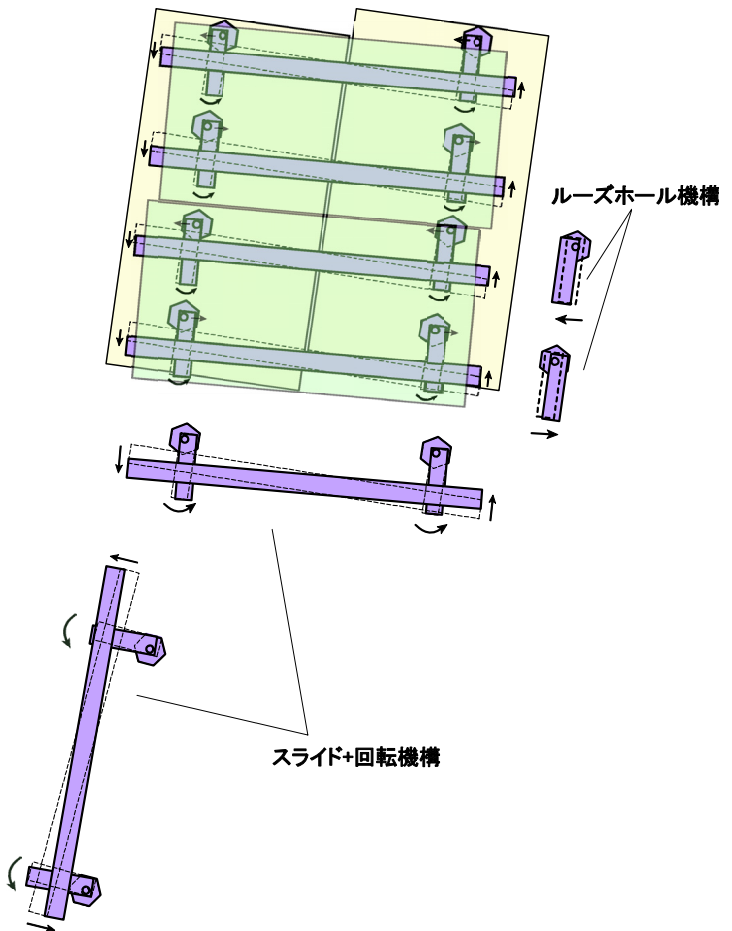
※左右のルーズホール機構の効き具合が異なると縦目地にずれを生じるが、ずれ量は横胴縁の面内方向の変形による。

CP-V 試験体



構造体のロッキング機構に追従

CP-H 試験体



※本機構の発現は大変形時でも極僅か

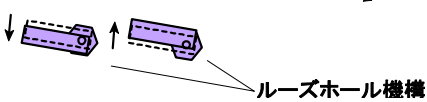


図 5-3 本実験で観測された外装材取付装置変形追従機構

5.2 施工上注意が必要と思われる点

本節では、実験時に気が付いた施工上の注意点について簡単にまとめる。今回実験対象としている建築外装材取付装置 ezWgrip および ezBar CPon は、構造体に対する変形追従性能を発揮することが期待されている。そのため、施工前に 5.1 節に示したような変形追従メカニズムを考慮して、計画した機構が機能するために本来変形するはずの箇所が不用意に固定されていないかどうか確認する必要がある。

例えば、試験体 GR-V の施工中、外装材パネルを胴縁にリーマービスで留め付ける際、外装材パネル側から胴縁の位置はおおよそ検討が付くものの、ezWgrip の位置を特定できずに ezWgrip ごとリーマービスで留め付けてしまうことがあった。実験直前の確認で問題が発見されたものの、工期が定められている実際の施工において、ezWgrip と胴縁とのスライド機構により変形追従性能を発揮する予定のところ、不用意にリーマービスで留め付けられてしまう危険性がないわけではない（図 5-4 を参照）。また、試験体 GR-V の施工中、ezWgrip の横穴から小さなボルトをさしこむことで、外装材パネルの自重による胴縁の鉛直方向への落下防止措置をとっているが、各パネルごとのロック挙動を考慮すれば、外装材パネルの割付 1 枚につき外装材パネル中央付近の胴縁 1 箇所を留めるだけとし、ezWgrip と胴縁とのスライド機構を阻害することのないよう注意が必要である。

このほか、試験体 CP-V および試験体 CP-H の施工中、ルーズホールのあそびを利用して胴縁設置位置の調整を行ったが、このときルーズホールのあそびを限界まで使って位置調整すると、あそびの残されていない方向に外装材取付装置が変形しなければならない強制変形を構造体から受けたときに、ezBar CPon の変形追従機構の一つであるルーズホール機構が機能しなくなってしまう。試験体 CP-V および試験体 CP-H の実験結果から、ezBar CPon の変形追従機構のうち最も機能していたのがルーズホール機構であることを踏まえると、やみくもにルーズホールのあそびを利用して胴縁を設置するのではなく、ルーズホールのできるだけ中央に位置する状態で胴縁を設置するよう配慮する必要がある。

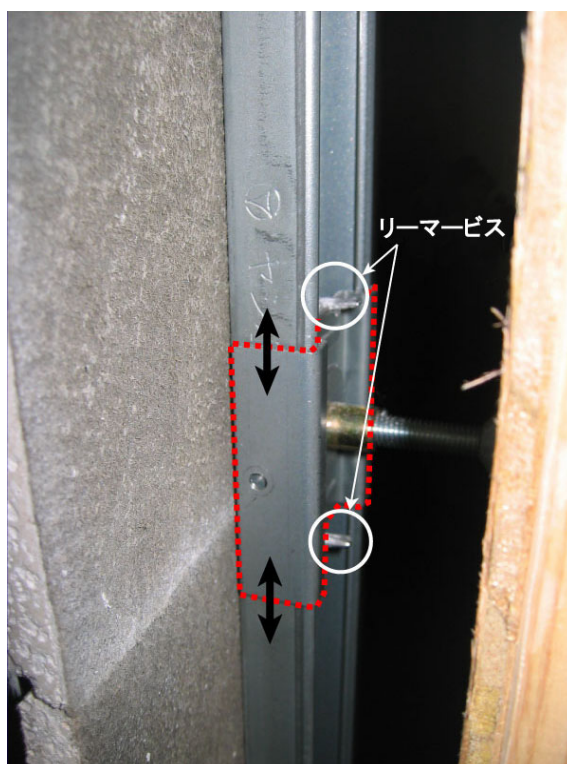


図 5-4 施工上注意が必要な部分の一例

6. 結論

2005年10月に東京大学生産技術研究所千葉実験所にて実施された建築外装材取付装置の変形追従性能確認実験（パラマウント硝子工業株式会社が開発した建築外装材取付装置 ezWgrip および ezBar CPon の構造体に対する変形追従性能確認実験）により得られた知見を以下にまとめる。

- (1) 外装材取付装置の変形追従機構のうち、ezWgrip のスライド機構および ezBar CPon のスライド + 回転機構は層間変形角 $1/100$ rad まで殆ど機能しなかった。層間変形角 $1/50$ rad になって見られた動きも僅かであり、構造体に補修の必要な損傷が生じない範囲（構造種別によって異なるが層間変形角 $1/200$ rad あるいは $1/120$ rad が目安）での非構造部材の変形追従機構としては、期待した機構が機能できないほど摩擦力が大きすぎると考えられる。
- (2) ただし最終加力まで、外装材パネル、留め付けビス、および ezWgrip / ezBar CPon に損傷はなく、外装材取付装置がもたらす不具合も特に認められなかった。これは、容易な施工を目的に計画されていたルーズホール機構が変形追従に貢献していたからであり、このことより、変形追従機構を発揮するためには、ルーズホールの遊びが均等に分布するよう注意深い施工が必要であると考えられる。
- (3) ピーク時の目地ずれについては、各試験体とも概ね事前に予想された変形追従メカニズムに従って発生した。一方、残留変形（ずれ）については、GR-V 試験体では外装材滑落防止ビスによって縦胴縁の一部を ezWgrip に固定していたため、除荷時に外装材を初めの位置に戻す拘束力が働いて残留変形（ずれ）が生じなかったが、その他の試験体では ezWgrip のスライド機構あるいは ezBar CPon のスライド + 回転機構が効きはじめた後、完全に摩擦力だけに依存するフリーな状態となるため、除荷時に元の位置に戻るような拘束力が働かず残留変形（ずれ）が生じた。
- (4) 外装材を取り付けることによる最大耐力への影響は認められなかった。しかし、外装材取付装置の変形追従機構が作用を始めると、摩擦による付加的な力のため、履歴消費エネルギーが増加した。変形追従機構の作用は、履歴消費エネルギーのほか、層間変形角が $1/100$ rad を超えたあたりで外装材取付装置が発する微かな摩擦音によっても確認された。ただし、通常はこの時点で既に構造体に補修が必要な損傷が生じていると予想される。

また、今後の検討課題および注意点を以下にまとめる。

- (1) 変形追従性能というのは、構造体の変形状態を非構造部材に都合の良い変形状態に置き換えられる能力と考えられる。従って、最終的にどの箇所に非構造部材の変形をおさめる（計画する）かが本質的に重要であり、外装材パネルの出隅部や上下端の「仕舞い方」が確認されなければ、変形追従性能を確認したことにはならないと考えられる。
- (2) 本実験では縦胴縁の試験体で構造体の変形状態と非構造部材に都合の良い変形状態が同一だったため変形追従性能の確認が難しかったが、今後同じ様な実験を行う際には、構造体の変形状態が非構造部材に都合の悪い変形状態となるよう計画し（ロッキング挙動をする構造壁の目地をまたぐように外装材パネルを割付けるなど）、それが非構造部材に都合の良い変形状態に置き換えられるかどうかを確認する必要がある。また、可能であれば外装材にアクリル板などの透明パネルを用いると装置の挙動がより観察しやすい点を付記しておく。

本実験はパラマウント硝子工業株式会社の寄付金により行われました。パラマウント硝子工業株式会社の古田直行氏、サイトウ商工株式会社の齋藤守貞氏には、実験に際し多大なご協力を賜りました。ここに記して深く感謝申し上げます。