

4章 タイル仕上げの耐震性 評価試験法の検討

4.1 タイル仕上げの耐震性評価について

本研究の実施にあたりタイル仕上げの耐震性とは、地震によりタイル仕上げに剥離が生じても剥落までに至らないこととした。

RC造やSRC造建物の一般的な外壁タイル仕上げは、図4.1に示すようなモルタルや専用の弾性接着材で、躯体コンクリートもしくはコンクリート表面が不陸調整されている場合は不陸調整モルタル表面（以降、タイルを張付け施工する部材を下地とよぶ）にタイルを張付け施工する積層構造となっている。このためタイル仕上げの剥離は、材料間の接着界面で起こる場合と接着力よりもモルタル等の張付け材や部材表層の強度が低いと材料の凝集破壊により起こる場合とがある。1章はじめにでも示したが、タイル仕上げに用いられる材料および工法は多種類あり、前出の馬場ら¹⁾の研究ではそれらの組合せで剥離・剥落の生じやすさが異なることを示していた。また、2章タイル仕上げおよびモルタル塗仕上げの地震被害調査では、既存建物のタイル仕上げの剥離・剥落は、材料間の接着界面だけではなくタイル裏足が凝集破壊して生じたケースもあり、タイル仕上げに剥離・剥落が発生する特徴から耐震性を評価するには、材料間の接着性能のほかに下地の変形に対する仕上げ材の追従性能を実験で確認することが必要である。

そこで本研究では、タイル仕上げの剥離にくさを接着性能と下地への変形追従性能で検討することとし、これを耐震性評価と呼び、その試験方法を耐震性評価試験法と呼ぶこととして、小型試験体で簡便に実施できる耐震性評価試験法の検討を行った。

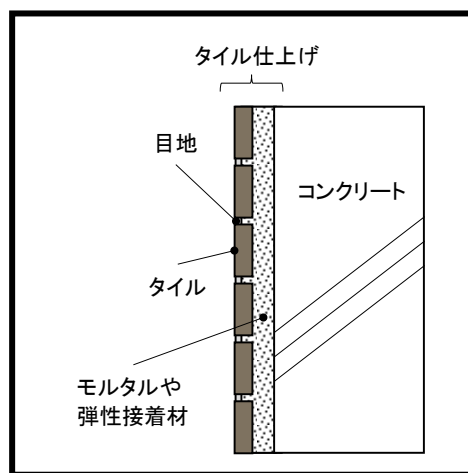


図4.1 RC造建物のタイル仕上げ断面構成

4.2 耐震性評価試験法について

図4.2に本研究で検討したタイル仕上げの耐震性評価試験法の関係を示す。タイル仕上げ外壁の耐震性評価試験法の検討にあたり、まず「I. 柱付き大型壁試験体による耐震性試験」を実施し、タイル仕上げが施されたコンクリート壁のせん断破壊や変形に関するデータ収集を行った。壁部材の耐震試験はタイル仕上げ壁の面積や柱による拘束などの影響も考慮

できる形状とし、諏訪田ら²¹⁾が実施した試験体の形状寸法などの仕様および加力手法を参考とした。

次に、小型試験体を用いた耐震性評価試験法として、「Ⅱ．変形追従性試験」および「Ⅲ．ダイアゴナル試験」による試験法を検討した。前者はコンクリート躯体の変形に対するタイル等仕上げ材の追従性を評価する試験法として実施するものであり、後者はタイル目地を含めた壁部材として剥落防止性能を評価する試験法として実施した。

「Ⅱ．変形追従性試験」については、150 mm×150 mm×400 mmのコンクリート角柱試験体にタイル仕上げを施して、コンクリート部分を圧縮載荷して仕上げ層がどの程度までコンクリートの変形に追従できるのかを評価するものである。変形追従性試験は、名知ら²²⁾や渡部ら²³⁾をはじめとしてこれまでも同様の研究が行われており、タイル仕上げと下地コンクリートとのディファレンシャルムーブメント（ひずみ差）から剥離・剥落防止を検討するための試験法として用いられ、タイルや下地モルタル、下地コンクリートのひずみの発生状況から剥離点が確認できる手法である。本研究においても、タイル下地モルタルや張付けモルタル等の材料および工法によって異なる接着性能の簡便な耐震性評価試験法の一手法として検討を行った。

「Ⅲ．ダイアゴナル試験」は、壁部材の試験体を対角線方向に載荷し、コンクリートにせん断変形を生じさせることによって、タイル仕上げ材の耐震性能を評価する試験法である。ASTM E519/E51M（組積集合における斜め引張り（せん断）の標準試験法）に規定されている壁部材等のせん断強度やせん断変形を評価する試験法であり、在永ら²⁴⁾が実施したように組積造壁のせん断試験強度試験に用いられている試験法である。また、三谷ら^{25)・26)}はその考え方を踏まえてタイル仕上げの剥離防止性能評価法の研究を実施している。小型試験体でありながらタイル仕上げの耐震性を面で評価ができるという点において、ダイアゴナル試験法は有望である。本研究では、試験体の形状・寸法、載荷にあたっての治具および載荷方法を検討すると共に、載荷による破壊状況および変位やひずみのデータより柱付き大型壁試験体による耐震性試験との類似性を比較検討した。

「Ⅳ．引張接着性試験及びせん断試験」は、各種タイル仕上げの仕様や材料による基本的なデータを収集するため実施した。引張接着性試験は現場施工におけるタイル仕上げの接着力試験として、持ち運び可能な建研式引張試験機や油圧式簡易引張試験器（日本建築仕上学会認定）²⁷⁾による試験方法が広く用いられ定着しているが、今回はせん断試験とあわせて同一の万能試験装置を用いた実験室実験で行い、仕上げ層の面外方向および面内方向の接着強さや構成材の脆弱部の確認を行った。あわせて、地震によるタイル仕上げの剥落被害は既存の建物外壁でおこるため、持ち運び可能な簡易引張試験機を活用した既存建物外壁の引張接着性試験の適用についても考慮した。

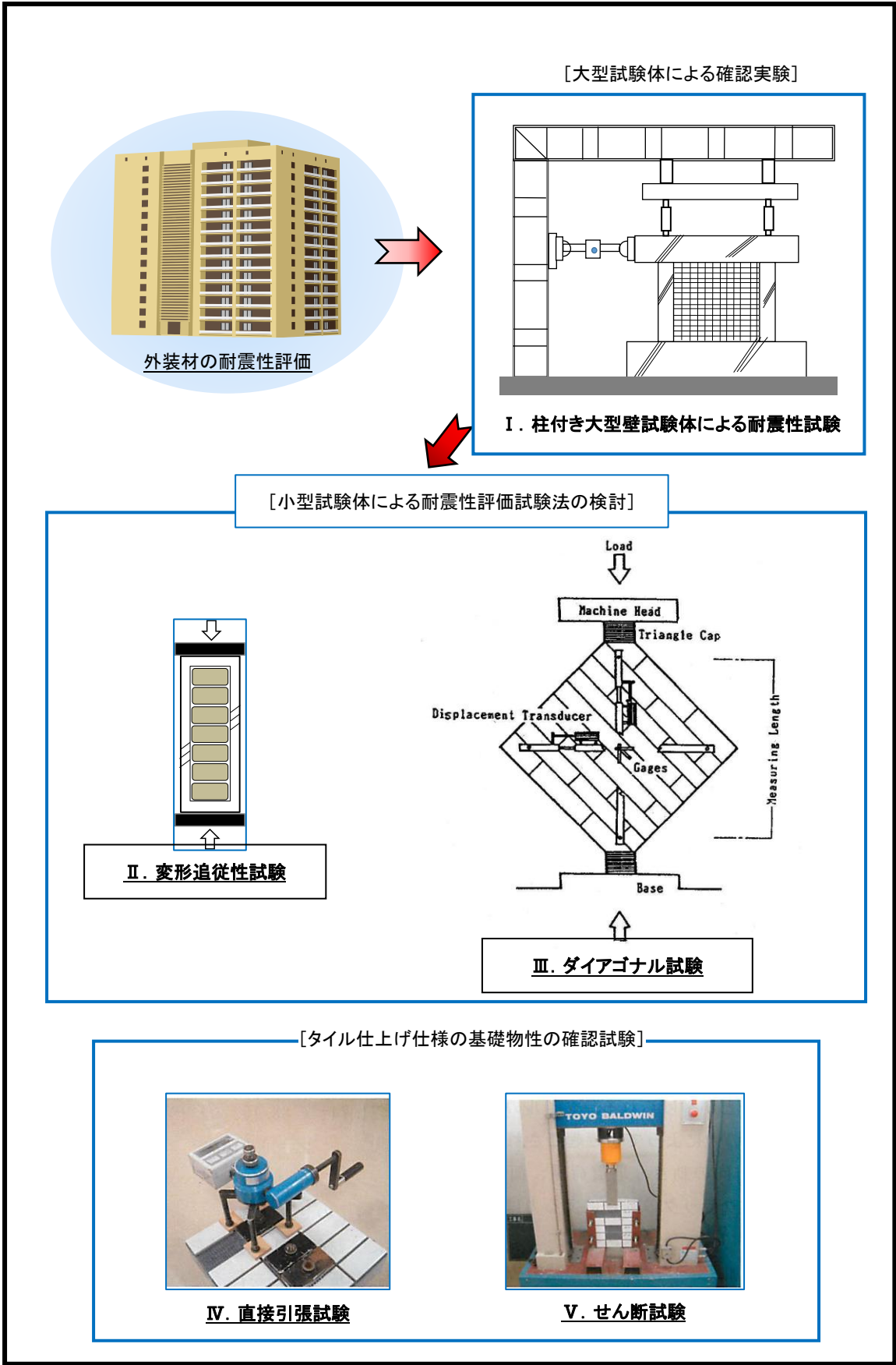


図 4.2 タイル仕上げの耐震性評価試験法の検討

4.3 耐震性評価試験法の概要

次節以降の耐震性評価試験法の検討においては、タイル仕上げを施した試験体を作製し、変形状や破壊状況等の測定を行った。これらの試験体に用いたタイル、左官モルタル、タイル張付け材およびコンクリートなどの使用材料および施工仕様は、柱付き大型壁試験による耐震実験、変形追従性試験およびダイアゴナル試験において共通とした。また、引張接着性試験及びせん断試験ではタイル仕上げの使用材料および工法を共通とした。

使用したコンクリートは呼び強度27N/mm²、タイル仕上げの種類および仕様は表4.3.1に示す8種類として、その施工はJASS 15（左官工事）ならびにJASS 19（陶磁器質タイル張り工事）に準拠して行っている。また、不陸調整および下地モルタルに用いたポリマーセメントモルタルの調合は表4.3.2に示すものとした。既製調合モルタル（以降は、既調合モルタルと記す）は一般的な普及品を用いたが、詳細な調合は不明である。各試験体に用いた材料の引張接着性能およびせん断性能については、試験方法の説明とあわせて4.5節において説明する。

表4.3.1 タイル張り仕上げ種類および仕様

	工法種別	コンクリート面処理	下地モルタル	タイル張付け材	目地詰め	タイル
1	不陸調整あり接着剤張り	目荒し+吸水調整材塗布	ポリマーセメントモルタル 塗厚5mm	外装用有機系接着材 変成シリコン樹脂 一液形 5mmくし目ごて	既調合目地モルタル	磁器質50二丁モザイクタイル、 ・施釉、 ・蟻足、 ・目地幅5mm
2	接着剤張り	目荒し(乾燥)	—	外装用有機系接着材 変成シリコン樹脂 一液形 5mmくし目ごて	既調合目地モルタル	
3					—	
4	厚塗	目荒し+吸水調整材塗布	既調合軽量モルタル 塗厚50mm	既調合張付モルタル 塗厚3~5mm	既調合目地モルタル	
5	直張り	目荒し+吸水調整材塗布	—	既調合張付モルタル 塗厚3~5mm	既調合目地モルタル	
6					—	
7	2層塗り	目荒し+吸水調整材塗布	ポリマーセメントモルタル 塗厚20mm	既調合張付モルタル 塗厚3~5mm	既調合目地モルタル	
8					—	

表 4.3.2 ポリマーセメントモルタルの調合

仕様種別	材料	セメント	砂 (6号珪砂)	セメント混和用ポリマー (EVA系)	水
		不陸調整モルタル	1	0.825	0.04
2層塗下地モルタル	下塗り	1	2.5	0.16	0.5~0.6
	上塗り	1	3	0.16	0.5

4.4 柱付き大型壁試験体の耐震性試験

4.4.1 柱付き大型壁試験の概要

4.4.1.1 柱付き大型壁試験体

図 4.4.1 に試験体の形状および寸法ならびにひずみゲージの貼付け位置を示す。試験体は、鉄筋コンクリート造の柱付き壁体（本報告書では、柱付き大型壁試験体と記す）とし、上・下のスタブを含め柱および壁のコンクリートは一体化させた。柱付き大型壁試験体は、代表的なタイル仕上げ仕様の数種類について耐震性能評価を行うため、5 体作製した。表 4.4.1 に試験体番号とタイル仕上げ種類を示す。同表の見方は、例えば試験体No.1 は一方の面がタイル仕上げ、残るもう一方の面は仕上げのないコンクリート面であることを表している。また、試験体No.2 の場合は、両面ともにタイル接着剤張り仕上げであることを表しており、かつタイル施工面の東西の区別は、タイル目地の深さをタイル表面のレベルと合わせた浅目地（以降、普通目地と記す）と深目地となるよう異なる仕様としている。壁面のタイル割付けは、前出の図 4.4.1 の割付けを相対する面でタイル位置が同じとなるようにした。表 4.4.2～表 4.4.4 には、試験体に使用したコンクリート部材の緒元を示す。

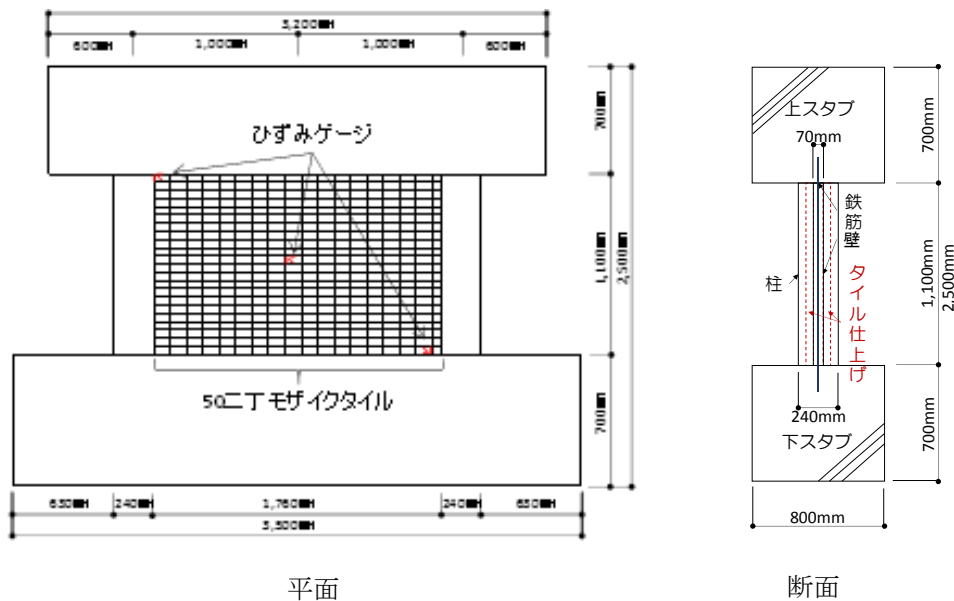


図 4.4.1 柱付き大型壁試験体の形状及び寸法ならびに及びひずみゲージ位置

表 4.4.1 試験体番号とタイル張り仕上げ種類

試験体番号	No.1		No.2		No.3		No.4		No.5	
	西面	東面	西面	東面	西面	東面	西面	東面	西面	東面
施工面	西面	東面	西面	東面	西面	東面	西面	東面	西面	東面
仕上種類	不陸調整+ タイル接着剤張り		タイル接着剤張り		モルタル厚塗 下地		タイル直張り		モルタル2層塗下地	
目地施工	普通目地	なし	普通目地	深目地	普通目地	なし	普通目地	深目地	普通目地	深目地
柱・スタブのタイル 仕上げ納まり	突き付け施工		突き付け施工				突き付け施工			

表 4.4.2 柱付き大型壁試験体の構成

断面 (mm×mm)	主筋	せん断補強筋	壁厚 (mm)	縦筋	横筋
240×240	8-D13 (SD295)	D6(SD295)@50	70	D6(SD295)@100	D6(SD295)@100

表 4.4.3 コンクリート強度

試験体No.	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5
強度(N/mm ²)	41.4	42.6	37.4	38.4	39.7

表 4.4.4 壁筋

鉄筋D6降伏応力度
603 N/mm ²

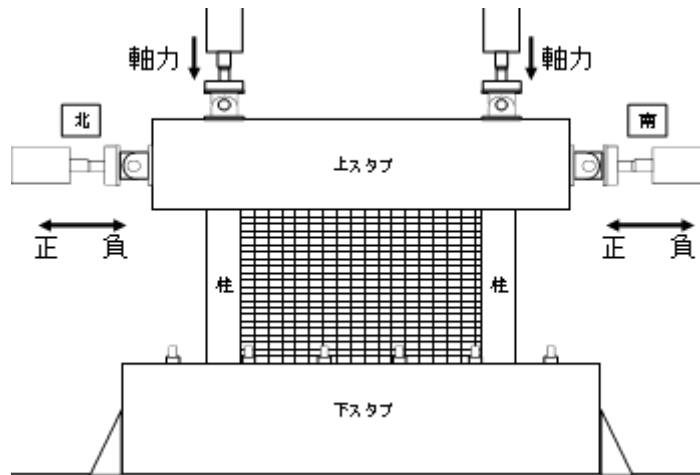


図 4.4.2 建研式加力試験機による静的水平交番荷重試験



[タイル仕上げ面]

[コンクリート面・高感度変位計による水平変位の計測]

写真 4.4.1 柱付き大型壁試験体

4.4.1.2 載荷方法

図 4.4.2 に建研式加力試験機による加力方法を示す。また、写真 4.4.1 は柱付き大型壁試験体を建研式加力試験機に設置した状態を示した。

載荷方法は、建研式加力試験機を用いて図 4.4.2 のように下スタブを固定し、上スタブの高さ方向の中央両側にアームを取付け静的水平交番載荷（以降、水平交番載荷と記す）を行う。加力は層間変形角で制御し、本試験では同図に示す「南」→「北」に加力する場合を正(+)方向、「北」→「南」に加力する場合を負(-)方向とし、0（ゼロ）からスタートし→+（プラス）→0（ゼロ）→-（マイナス）→0（ゼロ）まで（以降、「+と-又は±」と略す）を1サイクルとして、変形角が1/6400、1/3200、1/1600、1/1000までを1サイクルずつ、1/500、1/250、1/200を2サイクルずつ載荷する（表 4.4.5 参照）。この間にコンクリート躯体がせん断破壊しなければ、層間変形角±1/100の加力を行うこととした。なお、層間変形角は前出の写真 4.4.1 の右側〔コンクリート面〕にあるように、試験体の上スタブ中央の水平変位を高感度変位計で計測し、この値を用いて層間変形角は次の(1)式から求めた。

$$R = \delta / H \dots \dots \dots (1)$$

R：層間変形角（rad）

δ：高感度変形により測定した水平変位

H：壁部の高さ及び上スタブ中央までの長さ

表 4.4.5 加力と層間変形角

順番	サイクル数(回)	層間変形角(rad)	方向
1	1	1/6400	+ -
2	1	1/3200	+ -
3	1	1/1600	+ -
4	1	1/1000	+ -
5	2	1/500	+ -
6	2	1/250	+ -
7	2	1/200	+ -
8	1	1/100	+ -
9	0	破壊まで	+

4.4.1.3 測定項目

ひずみ測定は、試験体のタイル表面およびコンクリート表面に前出図 4.4.1 に示すように、上部、中央および下部の 3 箇所にひずみゲージを貼付けてタイルとコンクリートのひずみを計測する。

破壊状態の確認は、前出表 4.4.5 に示す層間変形角のタイミングで、タイルおよびコンクリートのひび割れや剥離などの破壊状況を目視および打診により確認し、それらの状態がわかるように試験体表面にマーキングした後に写真撮影をして記録する。

4.4.2 柱付き大型壁試験の結果

4.4.2.1 柱付き大型壁の各試験体の水平荷重と変位について

図 4.4.3 に試験体No.1～試験体No.5 の水平荷重と変位の関係を示す。タイル仕上げを含む壁厚さの違いにより、終局時の変形および最大荷重が異なった。

コンクリート壁部分の厚さは 70 mm である。試験体No.1(不陸調整+タイル接着剤張り)、試験体No.2 (タイル接着剤張り) および試験体No.4 (タイル直張り) の 3 体は、コンクリート面からタイル仕上げ表面までの厚さが 20 mm 程度である。これに対し、試験体No.3 (厚塗下地) および試験体No.5 (2 層塗下地) の 2 体は、仕上げ層の厚さが約 60 mm と、先ほどの厚さ約 20 mm の薄い仕上げ層の約 3 倍ある。測定結果では、仕上げ層の厚い試験体No.3 および試験体No.5 は、仕上げ層が薄いものよりも 100kN 程度水平荷重が大きくなり、変位も 5 mm 程度大きくなった。柱付き大型壁試験体では、タイル仕上げ層の厚さの大きい試験体は、断面積が大きくなることで破壊時の強度が高くなり、終局時変形は緩やかとなった。

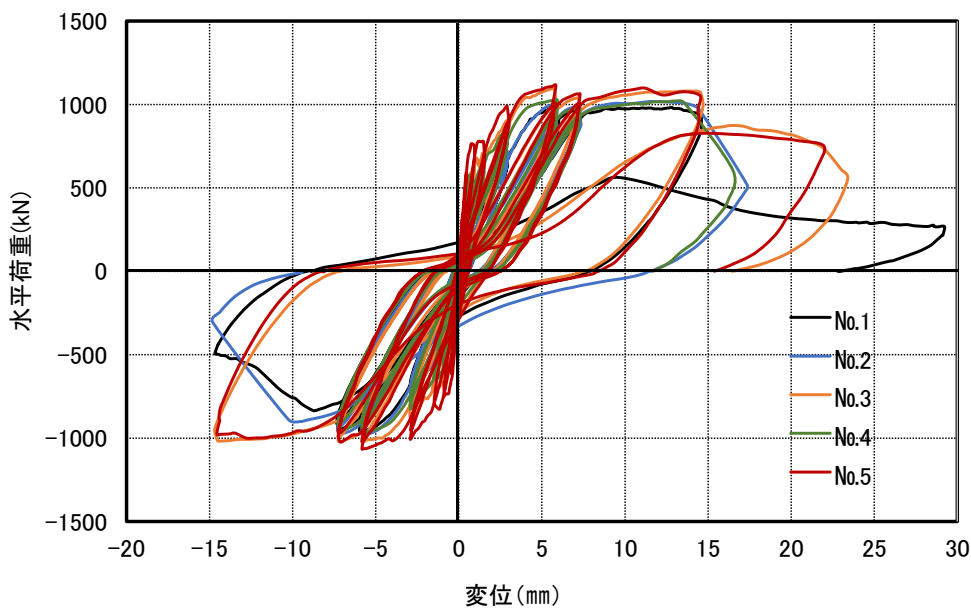


図 4.4.3 各試験体の水平荷重と変位

4.4.2.2 柱付き大型壁試験体のコンクリート壁について

(1) 水平荷重とコンクリート壁中央のひずみの関係

図 4.4.4 に試験体No.1 および試験体No.3 の水平荷重とコンクリート壁中央の斜め方向のひずみの関係を示す。なお、水平荷重およびひずみの正負（+と-）は、最初に設定した交番載荷の向き及びゲージの貼り付けた向きで便宜上決まっており、それぞれの値は交番載荷により加力及びひずみの向きが変化したことの確認に用いることとする。また、斜め方向のひずみは、ひずみゲージの貼付け向きに起因して水平荷重が負の時（以降、負方向加力と記す）にひずみゲージの伸びが大きくなり、これとは逆に正方向加力では斜め方向のひずみは小さくなる。

載荷に対するコンクリート壁中央の斜め方向ひずみについては、試験体No.1 のほうが試験体No.3 よりもやや大きく、例えば水平荷重が 1000kN のときのコンクリートの最大斜め方向ひずみは、試験体No.1 は約 -1200μ 、試験体No.3 の最大斜めひずみは約 -1000μ だった。また、試験体No.1 は荷重を 0 に戻してもコンクリートのひずみが 0 に戻りにくい（ひずみが残存する）傾向が早い段階から見られ、試験体No.3 は載荷を少し進めてからひずみが残存する様子が見られた。これはひずみ測定箇所の近傍にひび割れが生じたことによる影響と考えられ、時間の差はひび割れの発生した時点による差と考えられる。最大水平荷重は壁断面が厚い試験体No.3 のほうが大きかったが、最大荷重時のコンクリート壁中央のひずみは試験体No.1 のほうが試験体No.3 よりも大きくなった。

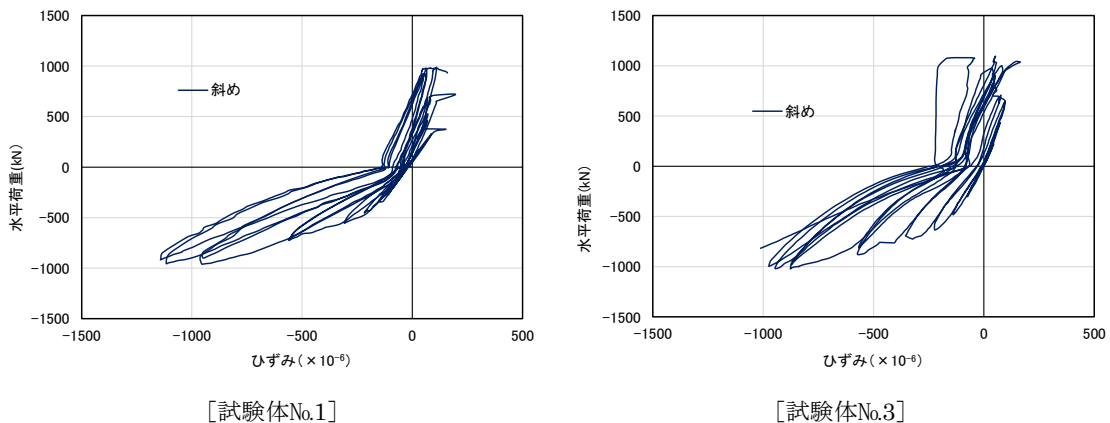


図 4.4.4 水平荷重とコンクリート壁中央のひずみ

(2) 層間変形角とコンクリート壁の斜め方向のひずみの関係

図 4.4.5 に試験体No.1 および試験体No.3 の上部、中央、下部の層間変形角とコンクリート壁の斜め方向ひずみの関係を示す。同図のプロット値は、水平交番載荷した時の層間変形角 $\pm 1/6400$ (約 ± 0.00015) から $\pm 1/100$ (± 0.01) までのそれぞれの最大荷重時におけるコンクリートひずみを抽出し示したものである。試験体No.1 および試験体No.3 ともにコンクリートのひずみは、上部、中央、下部で測定値にやや差はあるものの、層

間変形角が $0 \sim -1/200$ (-0.005) の範囲では、コンクリートのひずみと層間変形角には概ね比例関係が見られた。試験体No.1 は $-1/200$ (-0.005) のときにコンクリート壁中央のひずみが最大となり約 -1200μ 、同変形角の試験体No.3 は下部のコンクリートひずみが最も大きく約 -1400μ となった。

その後の試験体No.1 は、層間変形角 $-1/100$ (-0.01) の時に上部、中央、下部ともにコンクリートのひずみは急激に小さくなり上部および下部では約 -500μ 、中央部は約 $+200\mu$ となり、前出の図 4.4.3 でも確認されたように最終段階の負方向加力中に急な荷重変化がおきていたことから各測定位置の近傍でひび割れが生じたと推察できる。

試験体No.3 は層間変形角 $-1/100$ でもコンクリート上部と中央には約 -1200μ とひずみの増加がみられ、この加力時点でも変形が進んでいたと考えられる。なお、試験体No.1 および試験体No.3 のコンクリート中央のひずみを確認すると、層間変形角 $-1/200$ (-0.005) のときに、ともに約 -1000μ 生じていた。次の (3) においてコンクリートの破壊状況も合わせて確認する。

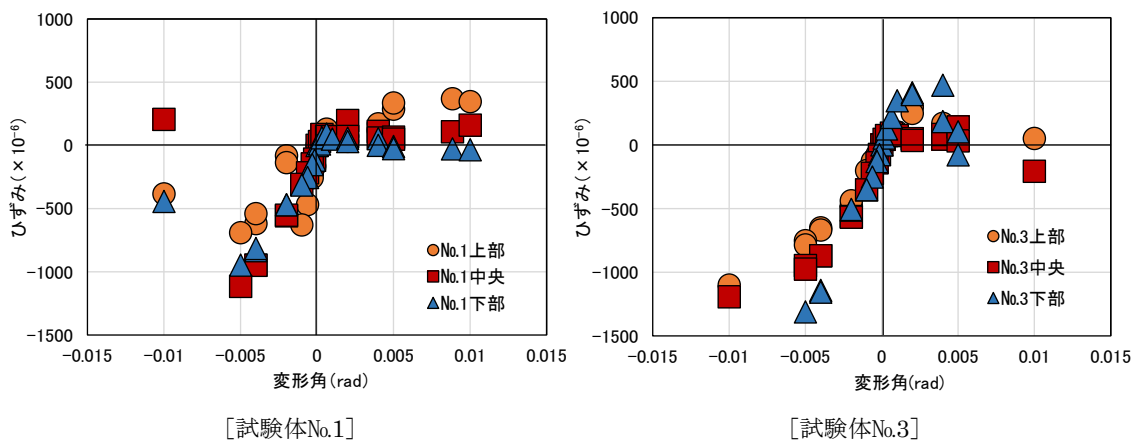


図 4.4.5 層間変形角とコンクリートの斜め方向ひずみ

(3) コンクリートのひび割れ状況

写真 4.4.2 に試験体No.1 (写真の①と③) および試験体No.3 (写真の②と④) のコンクリート壁のひび割れ状況を示す。写真の①および②には、それぞれのコンクリート壁に初期ひび割れが生じたときの状態と層間変形角を示し、同じく写真の③および④には層間変形角 $-1/200$ の加力終了後の状態を示した。

コンクリート壁のひび割れ発生状況は、試験体No.1 は層間変形角が $-1/3200$ (約 -0.0003) のときに、壁面中央に 1 本斜め方向のひび割れ (写真の①の矢印) が入った。载荷を続けると、せん断ひび割れは中央から周辺に広がり写真の③の状態となった。

また試験体No.3 は変形角 $+1/1600$ (約 $+0.0006$) のときに、柱や下スタブに接する壁面端部から複数本の短い斜めひび割れ (写真の②の丸囲み) が入り、载荷を続けると壁

面の端部から中央方向にむかってひび割れが入っていき、写真の④の状態となった。最終的には試験体No.1 および試験体No.3 とともに、ひび割れの発生状態は同程度となった。

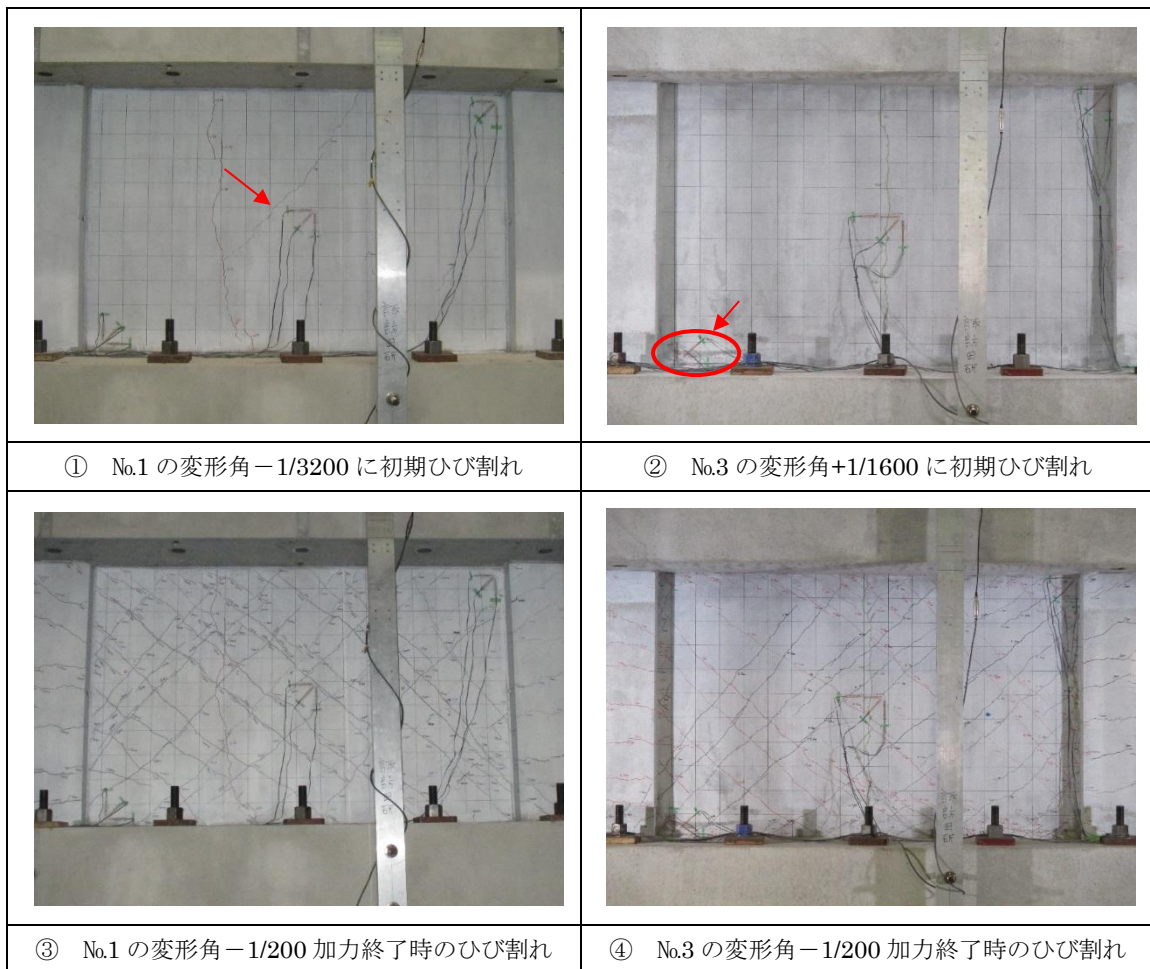


写真 4.4.2 コンクリート壁の破壊状況

[注] 柱付き大型壁試験体の乾燥収縮ひび割れについて、5 体全てのコンクリート壁面中央付近には、養生終了後からタイル仕上げを行うまでの数ヶ月の期間に、地面に対してほぼ垂直方向に乾燥収縮によるひび割れが 1 本入った。ただし、本研究では、コンクリート壁面に生じた乾燥収縮ひび割れの影響は勘案していない。]

4.4.2.3 柱付き大型壁試験体のタイル仕上げについて

(1) 試験体No.1 および試験体No.3 のタイル仕上げのひずみ

図 4.4.6 に試験体No.1 および試験体No.3 のタイル仕上げ面の上部、中央、下部の斜め方向ひずみと層間変形角との関係を示す。

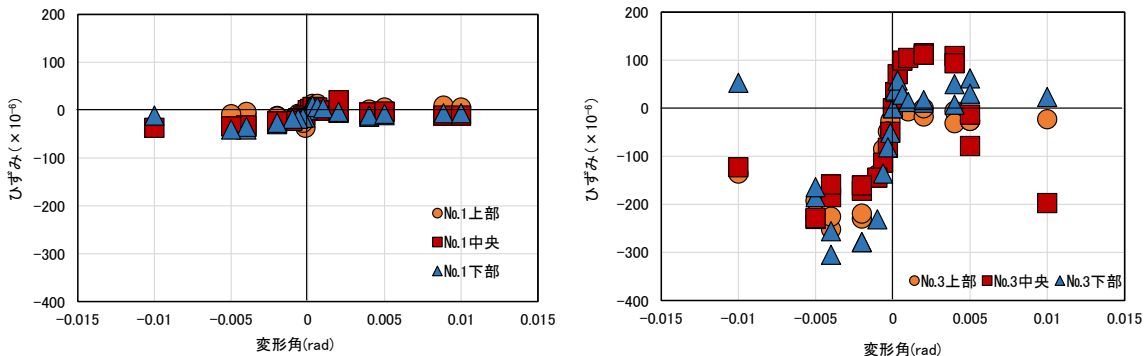
試験体No.1 は、コンクリート壁面にモルタルで薄く不陸調整した上にタイルを接着剤張りした仕様であり、試験体No.3 は厚塗り用の既調合モルタルを 50 mm 下塗りした上にモルタルでタイルを張付けた仕様である。図から、試験体No.1 のタイルひずみは試験体No.3 のタイルひずみよりもかなり小さく、例えば、層間変形角 $-1/200$ (-0.005) のと

きの試験体No.1の中央タイルひずみは約 -35μ であったのに対して、試験体No.3のひずみは約 -230μ であり、その差は約6.5倍もあった。

前出の図4.4.5のコンクリート壁のひずみからタイルひずみとの関係は、層間変形角 $-1/200$ の時の中央の斜め方向ひずみで比較すると、コンクリートひずみがタイルひずみよりも試験体No.1では約29倍、試験体No.3では約4.5倍も大きかった。これらの結果から接着剤張りタイル仕上げは、モルタル張りタイル仕上げよりもひずみがかなり小さく、コンクリートの変形を吸収する能力が高いことが確認できた。

また同図から、試験体No.1は層間変形角 $-1/200$ (-0.005)まで、試験体No.3は層間変形角 $-1/500$ (-0.002)まではタイルの斜め方向ひずみに比例関係がみられる。前出の写真4.4.2の③から、試験体No.1はひずみゲージ近傍のコンクリート壁にひび割れが確認できることから比例関係の見られなくなった変形時においてタイルひずみはこの影響を受けたと考えられる。

一方で試験体No.3は、前出の図4.4.5からコンクリートひずみは層間変形角 $0\sim-1/200$ (-0.005)まで比例関係がみられたが、タイルひずみはそれよりも早い段階で上部、中部、下部ともに比例関係が解消している。写真4.4.3に試験体No.3の層間変形角 $-1/500$ (-0.002)を添付したが特にタイルひずみの測定箇所近傍にはコンクリート壁もタイルにもひび割れの発生や打診検査による剥離は確認できず比例関係が解消した原因は分からなかった。



[No.1 不陸調整+タイル接着剤張り・普通目地]

[No.3 厚塗下地・普通目地]

図 4.4.6 層間変形角とタイルの斜め方向ひずみ

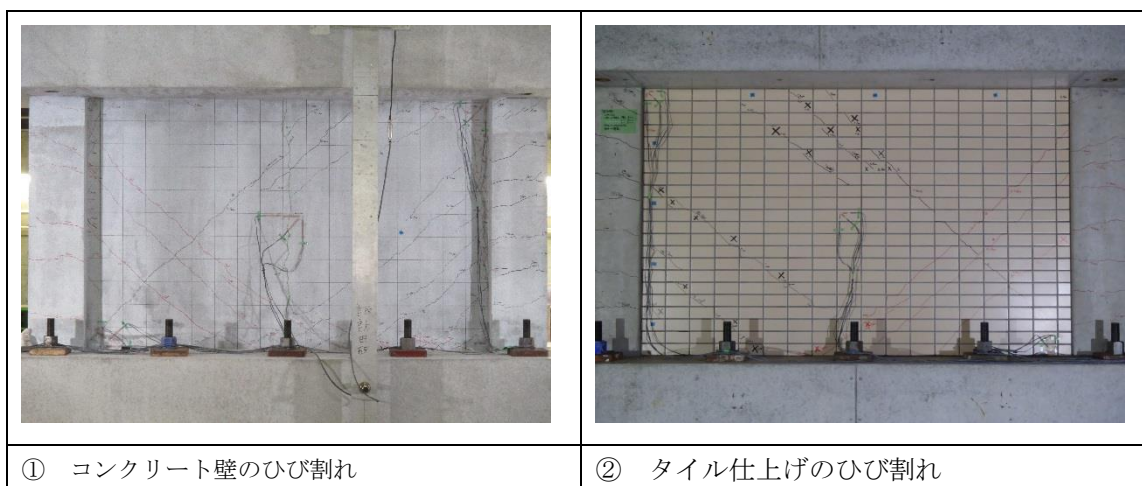


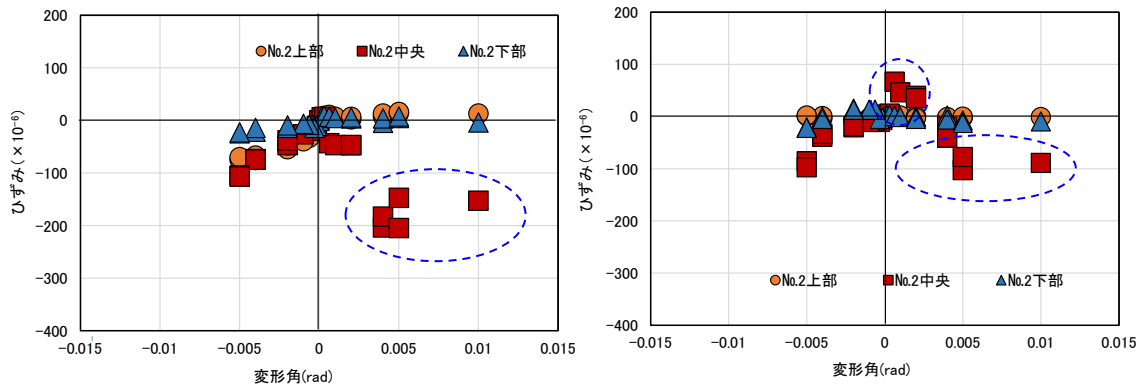
写真 4.4.3 試験体No3 の層間変形角 $-1/500$ の破壊状況

(2) タイル接着剤張り試験体の層間変形角とタイルひずみ

図 4.4.7 に両面タイル仕上げを施した試験体No.2 の層間変形角とタイルの斜め方向ひずみの関係を示す。試験体No.2 は、コンクリート壁面に接着剤でタイルを直に張付けた仕様であり、同図左はタイル目地が普通目地であり同図右は深目地としたものである。

左図で負方向加力中の普通目地のタイルには、上部・中央・下部ともに層間変形角 $0 \sim -1/250$ (-0.004) の範囲の層間変形角とひずみには比例関係がみられ、この間の最大ひずみは中央ひずみの約 -90μ であった。右図の深目地のタイルにも普通目地と同様に中央ひずみのみであるが層間変形角 $0 \sim -1/250$ (-0.004) の範囲で層間変形角とひずみに比例関係がみられ、この間のタイルの最大ひずみは中央ひずみの約 -45μ であった。タイルのひずみに比例関係がみられた層間変形角 $0 \sim -1/250$ の範囲において普通目地と深目地の場合を比較すると、深目地のタイル仕上げの最大ひずみは、普通目地タイルに発生したひずみの $1/2$ 程度であった。この差は目地材がコンクリートの変形を伝えることで生じたものと考えられる。

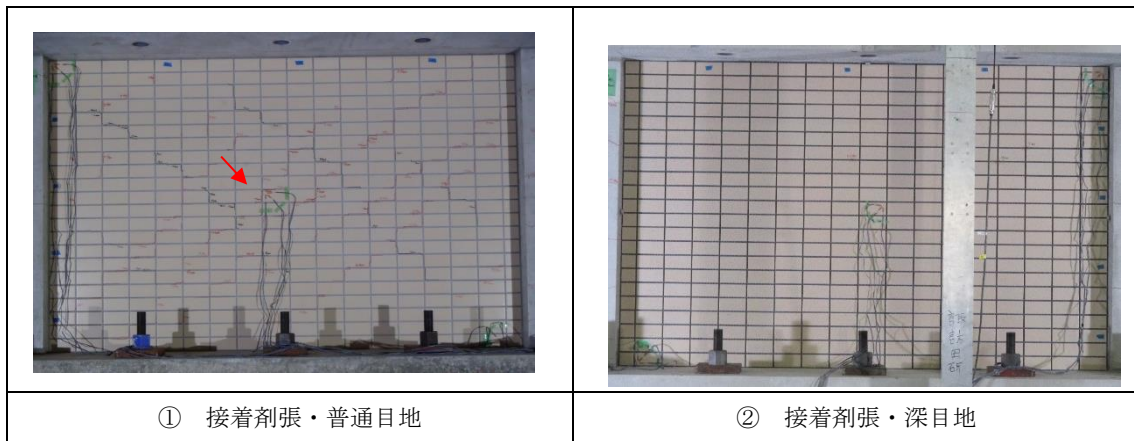
一方で、図の青い点線で囲んだ正方向加力中の中央タイルひずみの測定値については、普通目地ならびに深目地ともに比例関係はみられなかった。このため、写真 4.4.4 に中央ひずみにバラツキの見られた試験体No.2 の普通目地および深目地の層間変形角 $+1/500$ ($+0.002$) のタイル仕上げの状態を示すと、写真の②は深目地であるためひび割れ発生の有無は確認しにくいものの、写真の①からは中央のひずみゲージ近傍のタイル目地にひび割れが生じていたことが確認できた。同じタイミングでタイルひずみ挙動に影響がみられたことから、正方向加力が影響を受ける向きにコンクリート壁にひび割れが生じたことでタイルひずみに影響が生じたと推察できる。同様に、負方向加力中の普通目地と深目地の両面ともに層間変形角 $-1/250$ (-0.004) 以降は比例関係が解消されていることから、この時に中央付近のコンクリート壁に負方向加力でタイルのひずみゲージが影響をうける向きのひび割れが発生したと考えられる。



[タイル接着剤張り・普通目地]

[タイル接着剤張り・深目地]

図 4.4.7 試験体No.2 の層間変形角とタイルの斜め方向ひずみ



① 接着剤張・普通目地

② 接着剤張・深目地

写真 4.4.4 試験体No.2 の層間変形角+1/500(+0.002)のタイル仕上げの状態

(3) タイル直張り試験体の層間変形角とタイルひずみ

図 4.4.8 に試験体No.4 の層間変形角とタイルの斜め方向ひずみの関係を示す。試験体 No.4 はコンクリート壁にモルタルでタイルを直張りした仕様である。

左図より負方向加力中の普通目地のタイル仕上げには、上部・中央・下部ともに層間変形角 $0 \sim -1/500$ (-0.002) の範囲でタイルひずみと比例関係がみられ、その間の最大値は中央ひずみの約 -190μ であった。

右図の深目地のタイル仕上げにも普通目地のタイル仕上げと同様に、上部・中央・下部ともに層間変形角 $0 \sim -1/500$ (-0.002) の範囲でタイルひずみと比例関係がみられ、深目地の中央ひずみの最大値は約 -150μ であった。タイル直張り仕上げでも普通目地のタイルのほうが深目地のタイルよりもひずみが大きいことを確認した。なお、前述の試験体No.2 の接着剤張りのタイルひずみと比較するとモルタル張りのタイルひずみのほうが普通目地でも 2 倍以上大きいことを確認した。また、普通目地および深目地ともに層間変形角 $-1/500$ よりも変形角が大きくなると (ただし、絶対値) タイルひずみの変化が小さくなり、上部および下部のタイルひずみが 0 方向に転じ、中央のタイルひずみ

は変化が緩やかになったことから、コンクリート壁のひび割れやタイルの剥離発生などが考えられる

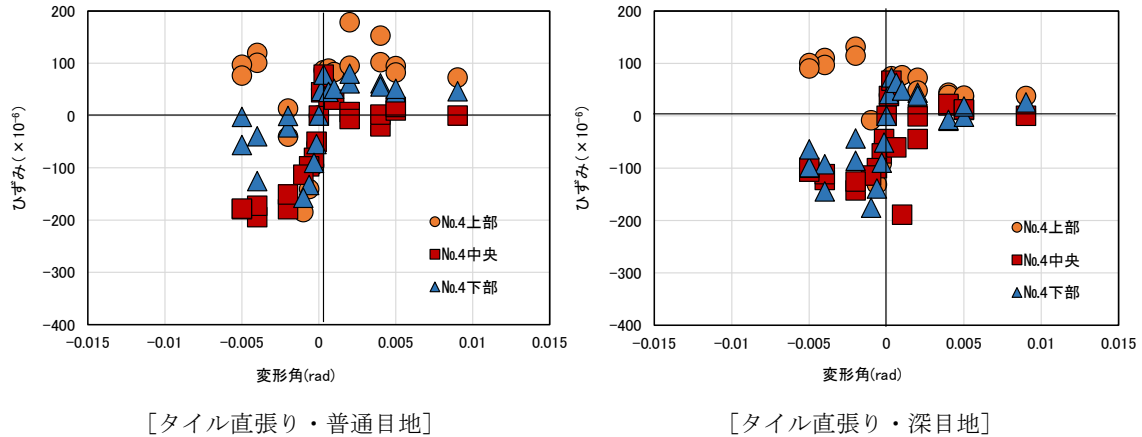


図 4.4.8 試験体No.4 の層間変形角とタイルの斜め方向ひずみ

(4) モルタル 2 層塗り試験体の層間変形角とタイルひずみ

図 4.4.9 に試験体No.5 の層間変形角とタイルの斜め方向ひずみの関係を示す。試験体 No.5 はコンクリート壁面に下地モルタルを 2 層塗した上に、モルタルでタイル張りした仕様である。コンクリートにモルタルを厚く塗る工法は、鉄筋コンクリートの型枠の精度が悪い時代に不陸調整だけでは平滑な面を確保できない場合に盛んに用いられた工法であり、既存建物には多く用いられた実績があるため仕様の一つとして実験水準とした。

さて、同図左から負方向加力中の普通目地のタイル仕上げは、上部・中央・下部ともに層間変形角 $0 \sim -1/1000 (-0.001)$ まではタイルひずみは比例関係にあったが、それ以降 $-1/200 (-0.005)$ まではタイルひずみは緩やかに変化した。この層間変形角 $0 \sim -1/200 (-0.005)$ の間における中央ひずみの最大値は約 -210μ であった。

同図右の深目地のタイル仕上げも、層間変形角 $0 \sim -1/1000 (-0.001)$ までは上部・中央・下部ともにタイルひずみと比例関係が見られ、それ以降 $-1/200 (-0.005)$ まではタイルひずみは緩やかに変化した。層間変形角 $0 \sim -1/200 (-0.005)$ の壁中央のタイルひずみの最大値は約 -180μ であった。2 層塗り下地のタイルにおいても、若干ではあるが普通目地のほうが深目地よりもタイルに生じるひずみは大きいことが確認できた。

負方向加力中の層間変形角とタイルひずみの比例関係については、ひずみゲージの近傍にまだひび割れが発生していないか、または、ひび割れとひずみ測定位置に距離がある場合に成立すると推察される。同様に、ひずみの変化が緩やかとなるのは、ひずみ測定位置とひび割れ等の発生位置までが影響を及ぼす範囲内に進出しはじめたためと考えられる。

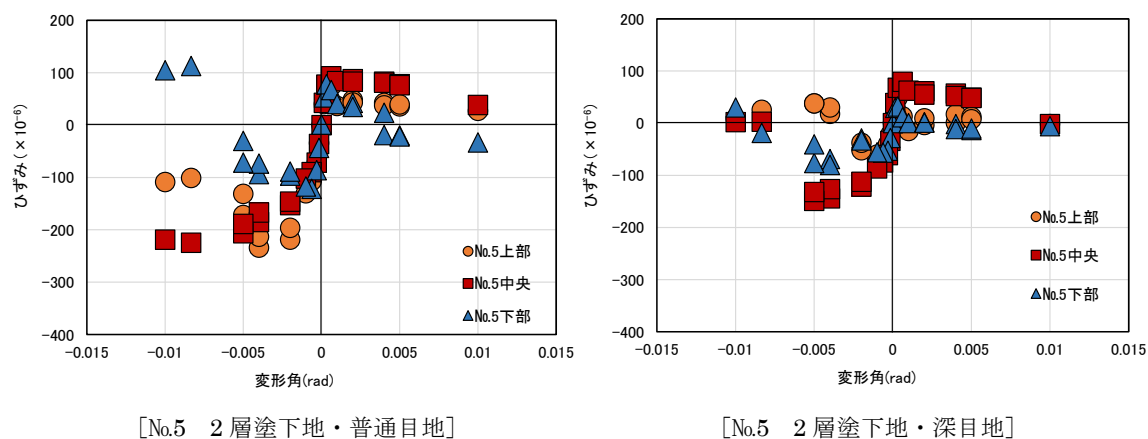


図 4.4.9 試験体No.5 の層間変形角とタイルの斜め方向ひずみ

以上の結果から次のようなことが分かった。

- 1) 接着剤張りのタイル仕上げはタイルひずみが小さく、コンクリートの変形のかなりの部分を接着剤が吸収していることが確認できた。
- 2) 柱付き大型壁試験体では、モルタルで不陸調整した接着剤張りのタイル仕上げのほうがコンクリートに直に接着剤張りしたタイル仕上げよりもタイルに発生したひずみは小さく、不陸調整材もコンクリートの変形を吸収していたと考えられる。
- 3) タイルの張付け材の種類に関わりなく普通目地のほうが深目地よりもタイルに生じるひずみが大きく、目地がコンクリートの変形をタイルに伝えていることが確認できた。
- 4) ひずみゲージの貼付け方向について、今回は実施できなかったが斜め方向のひずみゲージは正負両加力方向のひずみが測定できるように設置したほうがよりデータの分析に役立つものと思われる。

4.4.2.4 柱付き大型壁試験体のタイル仕上げの損傷状況について

(1) タイル仕上げの初期損傷状況

写真 4.4.5 に各試験体のタイル仕上げに初期ひび割れの入った層間変形角とその時のタイル仕上げの状態を示す。測定記録からは次のようなことを整理した。

- 1) 試験体No.1 の不陸調整した上に接着剤張りした普通目地タイル仕上げ (写真の①) の初期ひび割れは、層間変形角 $+1/1000$ ($+0.001$) で壁中央付近のタイル目地にそって斜めひび割れが入った。
- 2) 試験体No.2 の接着剤張り普通目地タイル仕上げ (写真の③) の初期ひび割れは、層間変形角 $-1/1600$ (約 -0.006) で壁の左半分のタイル目地にそって斜めひび割れが入った。同じく接着剤張り深目地タイル仕上げ (写真の④) の初期ひび割れは、層間変形角 $-1/1600$ (約 -0.006) で矢印の目地奥の接着剤にひび割れが入っているのを

確認した。ただし、5 mm幅の目地奥のひび割れを目視で探すのは入念に観察しなければならず難しかった。

- 3) 試験体No.3の厚塗りモルタル下地で普通目地タイル仕上げ（写真の②）の初期ひび割れは、層間変形角 $+1/1000$ （ $+0.001$ ）の時に壁面右下矢印の部分に斜めひび割れが入った。
- 4) 試験体No.4の直張り普通目地タイル仕上げ（写真の⑤）の初期ひび割れは、層間変形角 $+1/1600$ （約 $+0.006$ ）で壁面中央に斜めひび割れが入った。同じく直張り深目地タイル仕上げ（写真の⑥）の初期ひび割れも、層間変形角 $+1/1600$ の時に壁面中央に斜めひび割れが入った。ひび割れは、タイルと同一線上の目地にも確認できた。
- 5) 試験体No.5の2層塗モルタル下地で普通目地タイル仕上げ（写真の⑦）の初期ひび割れは、層間変形角 $-1/1600$ （約 -0.006 ）の時に、右下矢印の下スタブからごく短い斜めひび割れを確認した。同じく2層塗下地深目地タイル仕上げ（写真の⑧）の初期ひび割れは、層間変形角 $-1/1600$ （約 -0.006 ）の時に左下矢印のタイルにひび割れを確認した。

これらの結果から、両面にタイル仕上げした試験体No.2、試験体No.4および試験体No.5は、同じ層間変形角の時に、両面のほぼ同位置にひび割れが確認できた。

ところで、前出の写真4.4.2からコンクリート壁の初期ひび割れは、試験体No.1は層間変形角 $-1/3200$ の時に中央に、試験体No.3は層間変形角 $+1/1600$ の時に左下端に入っており、裏面のタイル仕上げとひび割れ位置は一致したものの、ひび割れ発生のタイミングにはズレが生じていたことが分かった。

(2) タイル仕上げの層間変形角 $1/200$ (0.005) 2サイクル終了時の損傷状況

写真4.4.6に層間変形角 $1/200$ (0.005) の2サイクル終了時の各タイル仕上げの損傷状態を示す。測定記録からは次のようなことが確認できた。

- 1) タイル張付けに接着剤を用いた、試験体No.1の不陸調整+接着剤張りタイル仕上げ（写真の①）および試験体No.2のタイル接着剤張り（写真の③および④）のひび割れは、目地に集中しタイルには発生しなかった。前項4.4.2.3でも示したように接着剤張りタイル仕上げのひずみの発生状況から、接着剤がコンクリートのひずみを多く吸収したことでタイルにはひび割れが生じなかったと考えられる。また試験体No.2のタイル接着剤張り・深目地（写真の④）は、目地詰めモルタルがなかったため目地奥に発生したひび割れを確認する必要がある。また、接着剤張りのタイル仕上げは層間変形角 $1/200$ の加力終了時までには剥落したタイルはなく、タイル浮きについては打診検査で判定したが、明確な浮き音は確認できなかった。

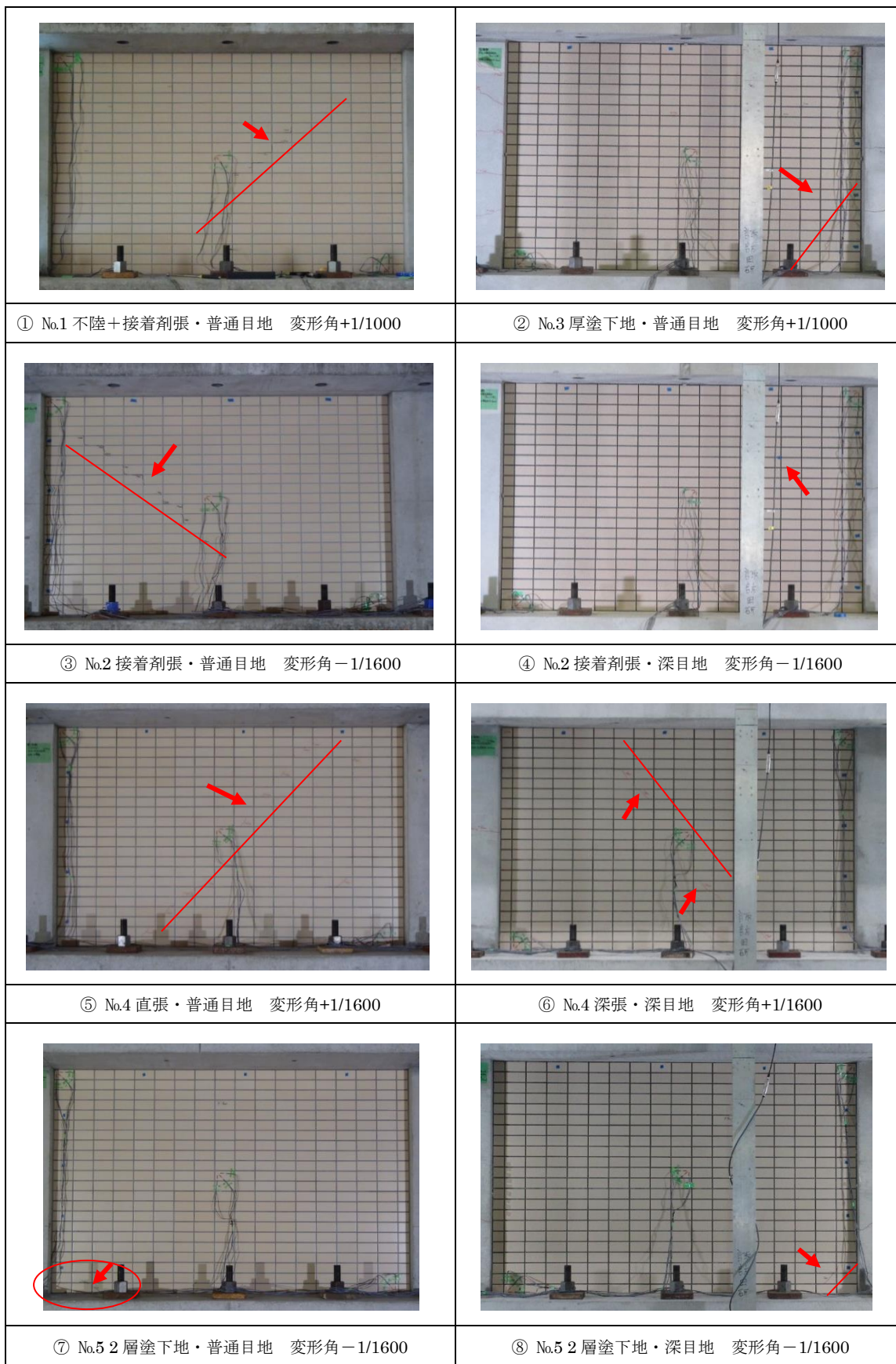


写真 4.4.5 初期ひび割れの入った層間変形角とタイル仕上げの状態

2) タイル張付けにモルタルを用いた、試験体No.3の厚塗下地(写真の②)、試験体No.4のタイル直張り(写真の⑤および⑥)および試験体No.5の2層塗下地(写真の⑦および⑧)のひび割れは、タイルと目地に直線的に発生した。接着性を接着強度で確保するモルタル張りのタイル仕上げは、コンクリートとタイルのひび割れは連動して生じていることが確認できた。また、タイルの剥離は、打診検査によりひび割れ箇所の周辺で確認された。タイルの剥落はひび割れの周辺で発生していた。なお、試験体No.3の厚塗下地(写真の②)および試験体No.4のタイル直張り(写真の⑤)の普通目地のタイル仕上げは、ひび割れにより欠損の生じたタイルの一部が剥落した。試験体No.5の2層塗下地(写真の⑦)の普通目地タイル仕上げの剥落は、他のモルタル張付けのタイルよりもやや多かったものの、試験体No.5の2層塗下地・深目地(写真の⑧)のタイル仕上げほど多くはなく、目地詰めしてあるタイル仕上げのほうが深目地よりもタイルの剥落枚数は少なかった。剥落は張付けモルタルとタイルの接着界面で生じており、いわゆるタイル陶片で剥離が生じていた。ただし、本試験体のタイル仕上げは、柱やスラブと縁を切らずに突き付け施工したため、下地モルタルがコンクリート壁とが一体化して、コンクリートとモルタル接着界面では剥離しにくくなった可能性もある。

以上の結果を整理すると、次のとおりとなる。

- ・接着剤張りはコンクリートが損傷していてもタイル表面にはその状態が現れにくく、特に深目地の接着剤張りの損傷を見つけるのは難しい。
- ・接着剤張りタイル仕上げはコンクリート壁がかなり変形しても剥落が起こりにくい。
- ・タイルの剥落は同材料による仕上げ施工であれば普通目地よりも深目地で多く発生する。
- ・深目地は目地材がないことで、タイルの裏足で剥離が生じた場合は接着性を補完するものがなく、少しの変形でも落下してしまうと考えられる。

これらの結果から、タイルの剥落の危険性は、タイル仕上げのどの位置で剥離が発生しやすいのかを、目地の深さを合わせて材料および仕様ごとに、ひずみや接着強さと合わせて確認する必要があることがわかった。また、接着剤張りのタイル仕上げとモルタル張りタイル仕上げでは層間変形角に対する損傷と剥離および剥落の発生に違いがあり、耐震性を評価する上で、接着剤張りとは別の考え方が必要であることが明らかとなった。

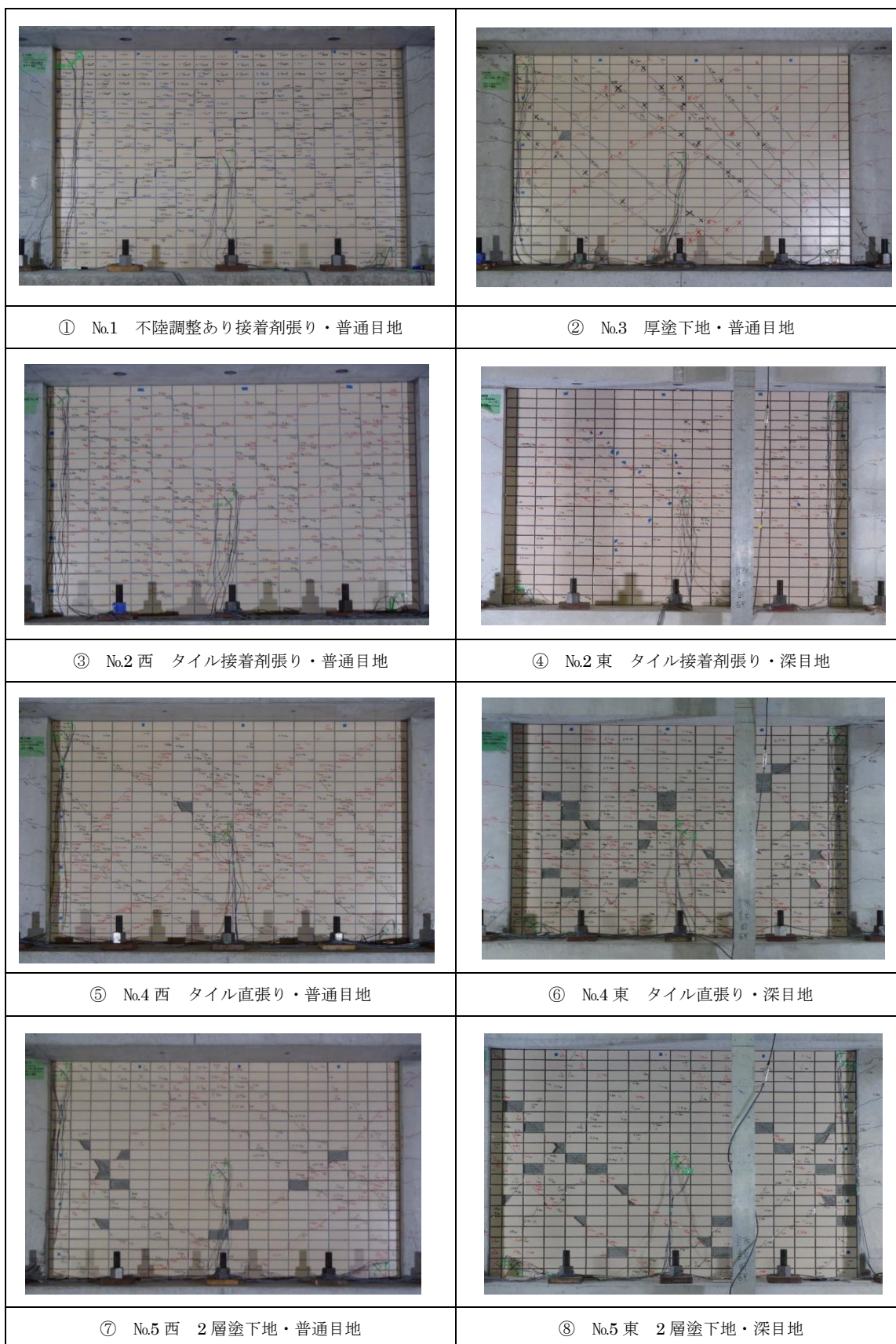


写真 4.4.6 層間変形角 1/200 (2 サイクル) 終了時のタイル仕上げの損傷状態

4.4.3 柱付き大型壁試験体の耐震性試験のまとめ

下記に柱付き大型壁試験体の耐震試験で得られた結果を示す。

- (1) 試験体のコンクリート壁面中央の斜め方向ひずみは、片面に施工したタイル仕上げの厚さにかかわらず、層間変形角 $-1/200$ (-0.005) の時に約 -1000μ 程度生じた。
- (2) モルタル厚塗下地およびモルタル 2 層塗下地のタイル仕上げは、接着剤やモルタルで直張りしたタイル仕上げ厚さの小さいものよりも最大水平荷重が 100kN 程度大きくなり、終局時の変形も緩やかとなった。柱付き大型壁試験体では断面積の大きさによって荷重の大きさへの影響と終局時の破壊状況に違いがみられた。
- (3) コンクリートとタイル仕上げを含めた断面積の違いにより、比較的断面積が小さい場合の初期ひび割れは中央付近から生じる傾向があり、断面積が比較的大きい場合の初期ひび割れはスタブや柱近傍など周辺拘束を受ける端部から入る傾向が見られた。この点については、タイル仕上げを柱及び上・下スタブに突き付け施工したことが要因とも考えられる。
- (4) 接着剤張りのタイルひずみは、モルタル張りしたタイルひずみよりもかなり小さく、コンクリートの変形の多くを接着剤が吸収していると考えられる。
- (5) 接着剤張りタイル仕上げはコンクリート壁の変形に対して損傷が少なく、ひび割れは目地に集中して生じた。また、深目地の場合はタイル表面に損傷が表れにくいことからコンクリート壁の損傷を見つけることも難しい。
- (6) モルタル張りタイル仕上げのひび割れは、コンクリートのひび割れ発生とよく連動していた。ただし、タイル仕上げにひび割れが生じるタイミングは、コンクリートにひび割れが発生した層間変形角よりもやや変形が進んでから生じた。
- (7) タイルの張付け材の種類に関わりなく、普通目地は深目地よりもタイルに生じるひずみが大きかった。
- (8) タイル仕上げの剥落は、タイルをモルタル張りした深目地の仕様で多く発生した。この時の剥離位置はタイル裏足と張付けモルタルの接着面、いわゆるタイル陶片で生じていた。
- (9) 今回の試験では、普通目地のタイル仕上げの剥落および部分欠損剥落もタイル裏足と張付け材の接着面で生じていた。
- (10) 目地材はタイルに変形を伝える役割をしており、また剥落を抑制する働きもあった。
- (11) タイルの剥落危険性は、タイルを施工する材料および仕様とあわせて、ひずみ量や接着強さのほかに目地深さについても確認する必要があるとあり、タイル仕上げの耐震性は面で評価する必要があることが確認できた。

(12) タイル接着剤張りの接着剤はその柔軟性でコンクリートの変形を吸収しタイル仕上げの損傷や剥落を抑制していた。モルタル張りのタイル仕上げはコンクリートに強固に接着することで、ひび割れは生じても剥落まで生じることを抑制していた。材料の性能の違いあるため、接着剤張りはモルタル張りとは別に接着強度ではなく躯体の（張り付ける対象）材料への追従性能で耐震性能を評価する必要があると考える。

(13) タイル仕上げの剥離測定の方法について、打診検査では接着剤張りのタイル仕上げは明確な浮き音は確認できなかった。一方、モルタル張りのタイル仕上げはひび割れ箇所の周辺で浮き音が確認できた。

次節以降において、小型試験体による簡易な耐震試験手法、およびそれらの試験法によって得られる結果が大型試験体による耐震性能試験結果をどのように再現できているかという点について検討する。

4.5 耐震性評価試験法の検討

4.2節の図4.2における説明のとおり、本研究では「Ⅱ. 変形追従性試験」および「Ⅲ. ダイアゴナル試験」を、大型試験体を用いた耐震試験の代替とするための評価試験法の検討を行うこととした。本節では各試験方法の概要を示すとともに、大型試験体を用いた耐震試験で得られた性能が「Ⅱ. 変形追従性試験」および「Ⅲ. ダイアゴナル試験」において評価できるかという点についても検証を行った結果を示す。

4.5.1 変形追従性試験法の検討

タイル仕上げの変形追従性試験は、コンクリート製の四角柱（以降、コンクリート基盤と記す）の広面にタイル仕上げを施したものを試験体とし、コンクリート基盤に載荷して変形させ、そのときにタイル仕上げがどの程度までコンクリートに追従するのかを評価する試験法である。タイル仕上げの追従性は、タイルの張付け材や下地材の塗厚さなど工法ごとに異なるため、この試験法では仕様による接着強さや変形性能の差を確認することができる。

ところで、既往の研究^{例えば27),28)}では変形追従性試験に用いるコンクリート基盤は、150mm×150mm×400mmや100mm×100mm×400mm程度の寸法および形状のものを用いることが多く、タイル仕上げは直接加力されないように基盤の端部から少し離れた位置に施工している。

実験では、タイル仕上げの材料と仕様ならびに、タイル目地深さの違いによるコンクリートの変形に対する追従性、破壊や剥落の発生状況を確認した。本試験結果を用いて、先の柱付き大型壁試験の耐震試験の結果と比較し、耐震性評価試験法としての有効性を検討した。

4.5.1.1 変形追従性試験の概要

(1) 試験体

図4.5.1に変形追従性用試験体の形状および寸法を示す。また、表4.5.1には試験体番号および仕上げ種類の名称を示す。試験体は、寸法を150mm×150mm×400mmとしたコンクリート基盤（呼び強度27N/mm²）の150mm×400mmの相対する二面に、図のように45二丁掛けモザイクタイルを同じ仕上げ仕様で施工して作製した。タイル目地の深さは、4.3節の柱付き大型壁試験体と同様にモルタル目地は目地詰めした普通目地と深目地の2種類とした。

表4.5.1 試験体番号および仕上げ種類の名称

試験体番号	仕上げ種類名称
T-1	不陸調整+タイル接着剤張・普通目地
T-2	タイル接着剤張・普通目地
T-3	タイル接着剤張・深目地
T-4	モルタル厚塗下地・普通目地
T-5	タイル直張・普通目地
T-6	タイル直張・深目地
T-7	モルタル2層塗下地・普通目地
T-8	モルタル2層塗下地・深目地

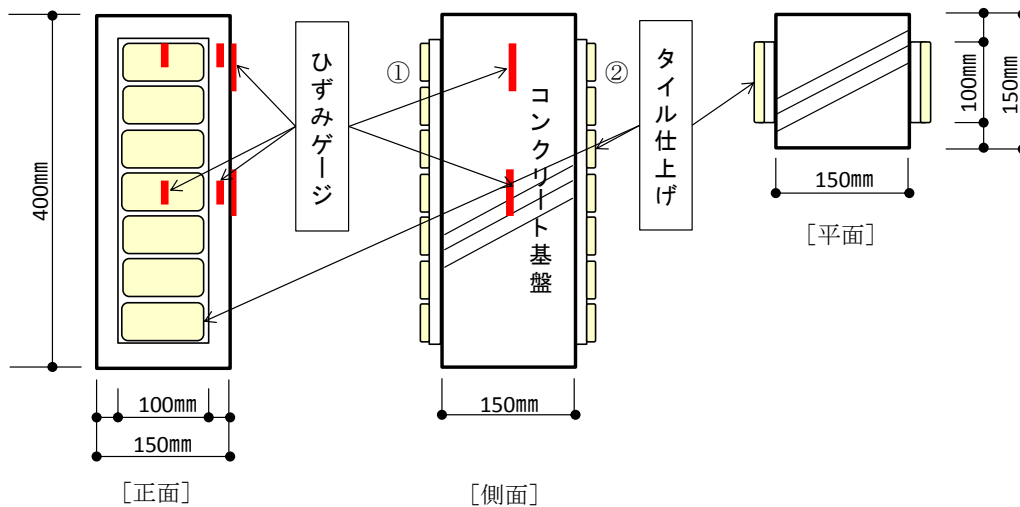


図4.5.1 変形追従性用試験体

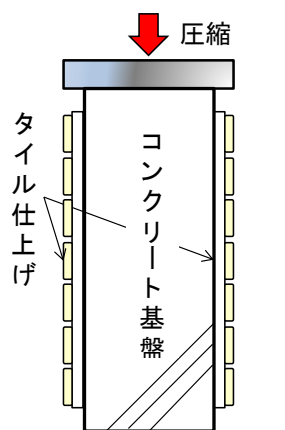


図4.5.2 変形追従性試験の荷荷方法

(2) 試験方法

図4.5.2に変形追従性試験の荷荷方法を示す。変形追従性試験は、荷荷試験装置を用いて図のようにコンクリート基盤のみを長手方向に一軸圧縮荷荷した。この荷荷方法によりタイル仕上げには、コンクリートとの接着面からの変形が作用する。また、加力は最大荷重値を示した後に荷重が下がりはじめた時点で自動除荷するように設定して、コンクリートの圧壊前のタイル仕上げの破壊状態を観察できるようにした。荷荷速度は5kN/minとした。

(3) 測定内容

変形追従性試験では、図4.5.1のように試験体の上部および中央部にひずみゲージを貼付けて、タイル、モルタルおよびコンクリートの各表面に生じたひずみを測定した。さらに、タイル仕上げの破壊状況は、加力試験終了後に目視で観察した。

4.5.1.2 変形追従性試験の結果

(1) コンクリート基盤の圧縮荷重とひずみ

図4.5.3にコンクリート基盤の圧縮荷重とコンクリート中央部のひずみの関係を示す。各試験体のコンクリートの最大圧縮荷重は、650kN～900kNの範囲にあり、この時のコンクリートのひずみは900 μ ～2500 μ と相互の関係は試験体ごとにバラツキが見られた。なお、試験体T-4（モルタル厚塗下地・普通目地）の圧縮応力が約540kN（この時のコンクリートひずみは約900 μ ）で途切れているが、これは厚塗りモルタル下地タイル仕上げのひずみが急激に低下したため载荷を中止したことによる。また、試験体T-1（不陸調整+タイル接着剤張・普通目地）のコンクリートひずみは他の試験体よりも小さい約900 μ で最大荷重に達しているが、参考までに図4.5.4にコンクリート基盤の圧縮応力と装置のクロスヘッドの変位の関係を示すと、圧縮応力は27N/mm²以上を保有しており試験体のコンクリートの強度自体には問題はなかったと考えられる。

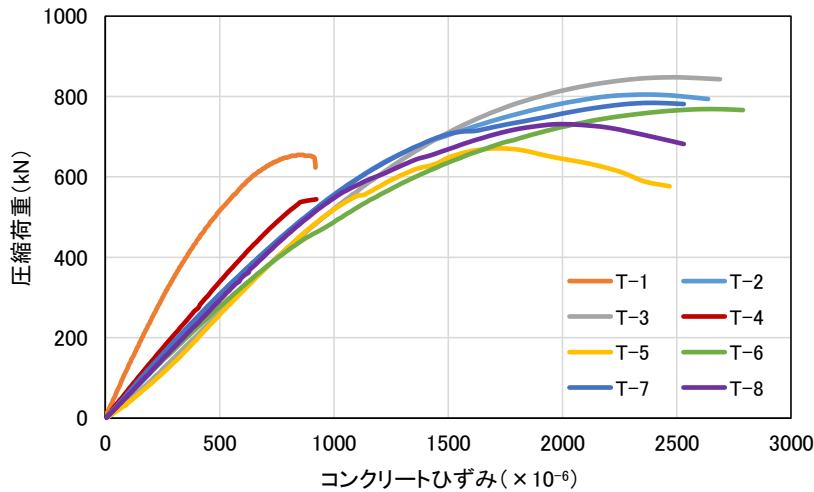


図4.5.3 コンクリート基盤の圧縮荷重と中央ひずみの関係

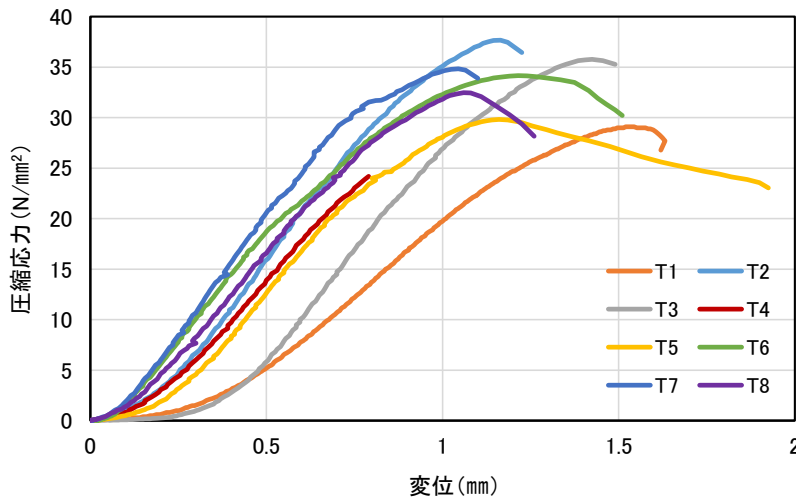


図4.5.4 コンクリート基盤の圧縮応力と変位

(2) コンクリートひずみとタイル仕上げひずみ

図4.5.5に参考として試験体T-7（モルタル2層塗下地・普通目地）のコンクリートひずみ（縦軸）とタイルとモルタルのひずみ（横軸）の関係を示す。なお、図中の①および②は、前出図4.5.1 [側面] に示したようにタイル仕上げ面の番号を示しており、また点線は試験体の上部におけるタイルおよびモルタルのひずみを示し、実線は中央部におけるそれらのひずみの測定値を示した。

図4.5.5から確認できるように①および②のタイル上部と示した端部に位置するタイルのひずみは、荷重直後からコンクリートおよびモルタルのひずみとは反対方向（図では負方向）にひずみが生じていた。このような端部タイルのひずみ挙動は、試験体T-7（モルタル2層塗下地・普通目地）以外のモルタル張りタイル仕上げ試験体T-4（モルタル厚塗下地・普通目地）、試験体T-5（タイル直張・普通目地）、試験体T-6（タイル直張・深目地）および試験体T-8（モルタル2層塗下地・深目地）の4種類全てで確認されており、端部のタイルには荷重時点で部分的に剥離が生じていたと考えられる。なお、このときの剥離箇所は、端部タイルひずみと端部モルタルひずみが反対方向に生じていたことから、タイルとモルタルの接着面周辺であると推察される。

一方、試験体の中央部におけるタイルのひずみ及びモルタルのひずみについては全ての試験体でコンクリートと同方向のひずみが生じており、中央部のタイルおよびモルタルはコンクリートの変形に追従していたとみることができる。

このように試験体上部に関するタイルひずみの結果については不確実な点があることから、以降の解説では試験体中央部で得られた測定結果を中心に示すこととする。

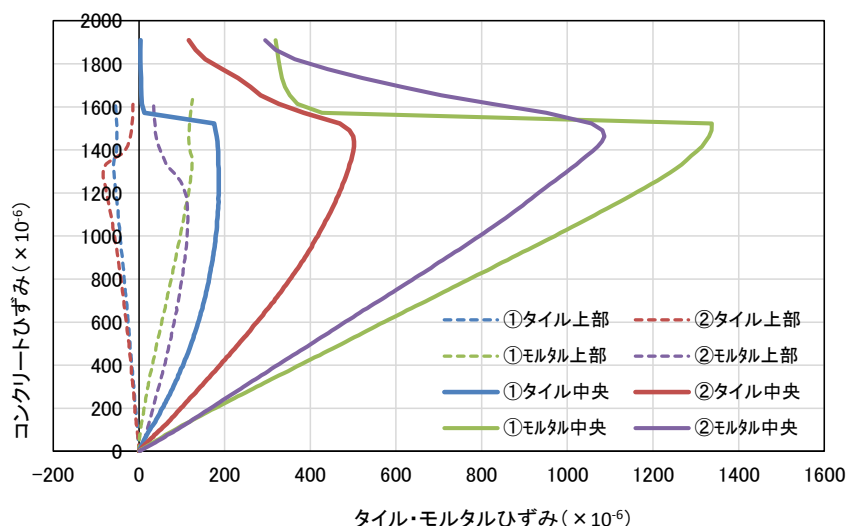


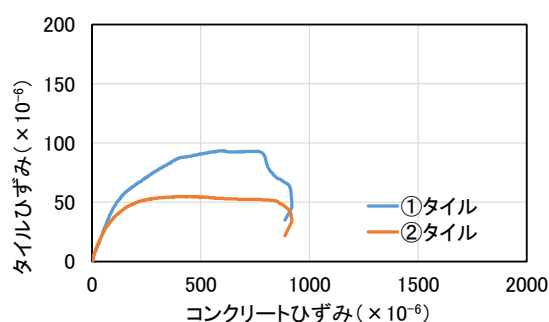
図4.5.5 試験体T-7のコンクリートひずみとタイル及びモルタルひずみの関係

(3) コンクリートひずみと接着剤張りタイルひずみについて

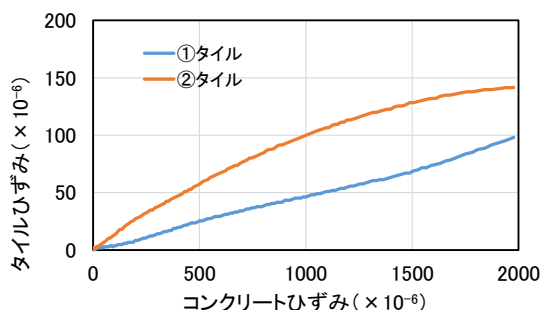
図4.5.6に試験体中央部のコンクリートひずみと接着剤張りのタイルひずみの関係を示す。

コンクリート表面にモルタルで薄く不陸調整した上にタイルを接着剤張りした試験体T-1 (図の(a)) は、最大タイルひずみが①は100 μ 、②は50 μ 程度生じていた。次にコンクリートに直に接着剤張りした普通目地の試験体T-2 (図の(b)) のタイルひずみは、コンクリートひずみが2000 μ の時に①が100 μ 、②は150 μ 程度生じていたが、同じくタイルは接着剤張りだが深目地の試験体T-3 (図の(c)) には、コンクリートひずみが2000 μ の時にタイルひずみは①及び②ともに20 μ 程度と僅かなひずみしか生じていなかった。

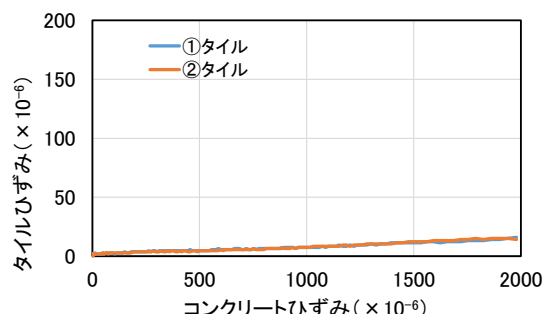
これらの結果から、接着剤張りのタイルに生じるひずみは小さく、接着剤がコンクリートのひずみを多く吸収していることが確認できた。また、変形追従性試験では接着剤張りタイル仕上げは、深目地のタイルひずみが最も小さい値を示した。



(a) 試験体T-1 [不陸調整+接着剤張・普通目地]



(b) 試験体T-2 [接着剤張・普通目地]



(c) 試験体T-3 [接着剤張・深目地]

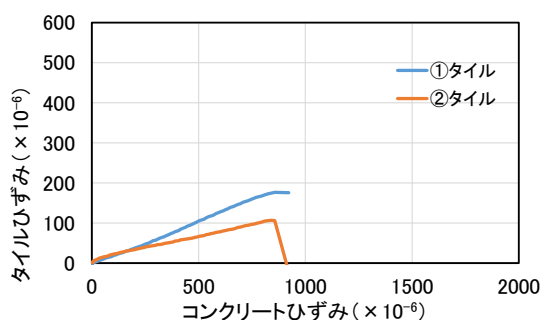
図4.5.6 試験体中央のコンクリートひずみと接着剤張りタイルのひずみの関係

(4) コンクリートひずみとモルタル張りタイルひずみについて

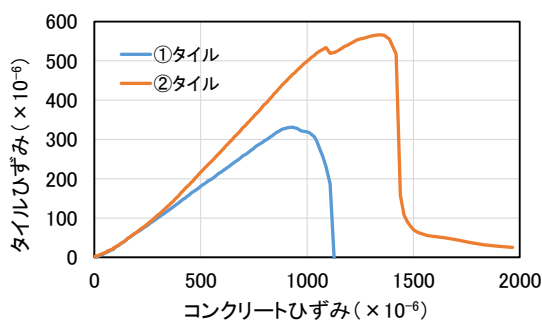
図4.5.7に、試験体中央のコンクリートひずみとモルタル張りタイルひずみの関係を示す。タイルひずみで比較すると、タイル直張り・普通目地の試験体T-5 (図の(b)) および2層塗下地・普通目地の試験体T-7 (図の(d)) のタイルひずみが大きく、厚塗下地・普通目地の試験体T-4 (図の(a))、直張り・深目地の試験体T-6 (図の(c)) および2層塗下地・深目地の試験体T-8 (図の(e)) のタイルひずみは小さい傾向が見られた。

最もタイルひずみが大きかったのは、コンクリートにモルタルでタイルを直張りした

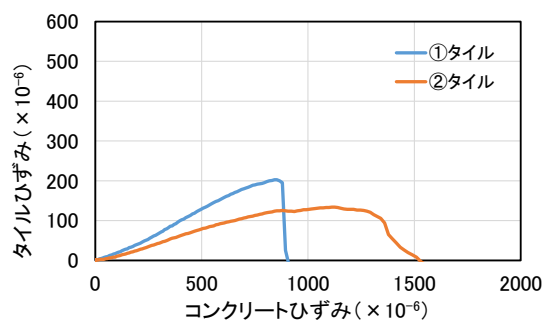
試験体T-5 (図の(b)) であった。この時のタイルの最大ひずみは、ひずみゲージ①はコンクリートひずみが1000 μ の時にタイルひずみが約320 μ 、ひずみゲージ②はコンクリートひずみが約1300 μ の時にタイルひずみが560 μ と、剛性の高いタイルであっても強固にコンクリートに接着している場合には大きなひずみが生じることを確認した。次いでタイルひずみが大きかった2層塗下地・普通目地の試験体T-7 (図の(d)) は、コンクリートひずみが1500 μ の時に①のタイルひずみは200 μ 、②のタイルひずみは500 μ を生じており、この仕様のタイルにも大なひずみが生じていたことが確認できた。これら2種類の試験体は普通目地である点が共通している。



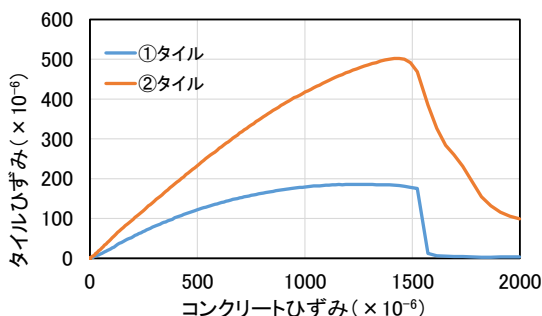
(a) 試験体T-4 [厚塗下地・普通目地]



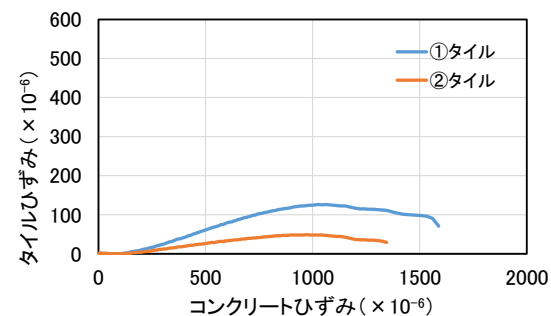
(b) 試験体T-5 [直張り・普通目地]



(c) 試験体T-6 [直張り・深目地]



(d) 試験体T-7 [2層塗下地・普通目地]



(e) 試験体T-8 [2層塗下地・深目地]

図4.5.7 試験体中央のコンクリートひずみとモルタル張りタイルひずみの関係

一方、タイル直張り・深目地の試験体T-6（図の(c)）は、タイル直張り・普通目地の試験体T-5（図の(b)）のタイルひずみの1/2に満たないものもあり、例えば試験体T-6の①はコンクリートひずみが約850 μ の時にタイルひずみは約200 μ 、同試験体の②はコンクリートひずみが1300 μ の時にタイルひずみは約130 μ であり、このとき試験体T-5では①はコンクリートひずみが850 μ の時にタイルひずみは約320 μ 、②はコンクリートひずみが1300 μ の時にタイルひずみは約550 μ とタイルの目地深さによりタイルひずみは大きな差が生じた結果となった。また、直張り・深目地の試験体T-6のほうが、直張り・普通目地の試験体T-5よりもコンクリートひずみに対してタイルひずみが低下するのがわずかに早かった。

2層塗下地・深目地の試験体T-8（図の(e)）の最大タイルひずみは、コンクリートひずみが1000 μ の時に①のタイルひずみが約120 μ 、②のタイルひずみは50 μ 程度と、2層塗下地・普通目地の試験体T-7（図の(d)）のコンクリートひずみが1000 μ の時にタイルひずみが①は約400 μ 、②は約190 μ であったのに対して半分にも満たないものがあった。また、2層塗下地においても、コンクリートひずみが約1000 μ でタイルひずみが低下しはじめる深目地の試験体T-8に対して、普通目地の試験体T-7にはコンクリートひずみが1500 μ 位までタイルひずみの低下はみられなかった。

以上の結果から、目地深さの違いによりタイルに生じる最大ひずみ量には差が生じ、深目地の場合はタイルひずみが普通目地の1/2以下になるものがあること、ならびに、コンクリートひずみに対するタイルひずみの低下がやや早い、

すなわちコンクリート変形に対するタイルの追従性がやや低い傾向が確認できた。

厚塗モルタル下地・普通目地の試験体T-4（図の(a)）は、コンクリートひずみが約850 μ でタイルひずみの低下がみられ、直張りや2層塗下地の普通目地タイル仕上げよりもコンクリート変形に対する追従性低下が早いことが確認できた。また、この時にタイルに生じた最大ひずみは、①が約180 μ で②が100 μ と上記で示した深目地のタイルひずみと同程度であった。

(5) 試験体中央のコンクリートひずみと下地モルタルひずみの関係について

図4.5.8に下地モルタルを施工した、厚塗下地・普通目地の試験体T-4と2層塗下地・普通目地の試験体T-7および2層塗下地・深目地の試験体T-8について、試験体中央のコンクリートひずみと下地モルタルひずみの関係を示す。

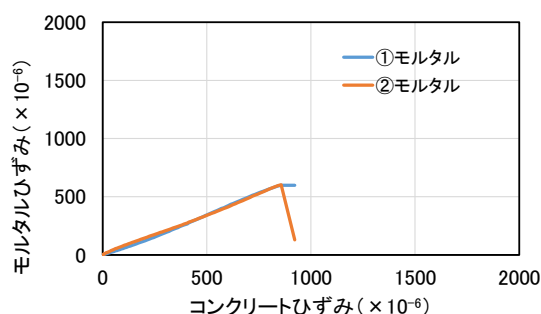
厚塗下地・普通目地試験体T-4（図の(a)）のモルタルは、既調合の厚塗り用モルタルであるが、コンクリートひずみが約850 μ までモルタルひずみと比例関係がみられ、この間の下地モルタルはコンクリートに追従していたと考えられる。また、この時のモルタルひずみとコンクリートひずみの比例係数は0.65であり、モルタルひずみはコンクリートひずみよりも小さいことから、このひずみの差はモルタルが吸収したと考えられる。

2層塗下地・普通目地試験体T-7（図の(b)）および同・深目地試験体T-8（図の(c)）の

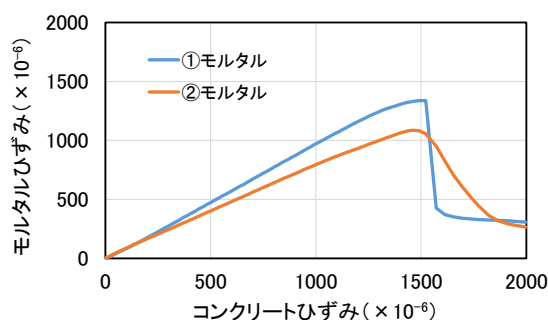
モルタルは、現場調合したポリマーセメントモルタルを2層塗りした仕様である。2層塗下地・普通目地の試験体T-7はコンクリートひずみ1500 μ までモルタルひずみと比例関係がみられ、同・深目地の試験体T-8はコンクリートひずみが1000 μ までモルタルひずみと比例関係がみられた。この範囲で下地モルタルはコンクリートに追従していたと考えられる。ちなみに2層塗下地・普通目地の試験体T-7のコンクリートとモルタルの比例係数は①が0.96で②が0.77、深目地の試験体T-8のコンクリートとモルタルの比例係数は①が1.07で②が0.86であった。また、普通目地試験体T-7の①および深目地試験体T-8の①のモルタルは、コンクリートひずみが500 μ までは比例係数が1.0であり、この範囲において下地モルタルとコンクリートが一体化して挙動していたと考えられる。

以上の結果から、厚塗下地・普通目地試験体T-4の既調合の厚塗りモルタルは、現場調合の2層塗下地モルタルよりもコンクリートひずみに対するモルタルひずみの発生量が小さく、コンクリートのひずみに対する追従性の低下も早かった。また、試験体T-4のタイルひずみが小さかったのは、厚塗りモルタルのひずみに起因していたことが確認できた。

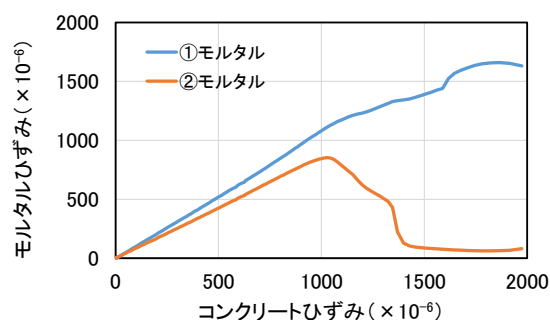
2層塗下地・普通目地の試験体T-7及び同・深目地の試験体T-8は、コンクリートひずみと下地モルタルのひずみは大きく変わらないことが確認できた。先の(4)で示した試験体T-7と試験体T-8のタイルひずみの大きさの違いは目地の仕様、すなわち普通目地と深目地の違いであることが確認できた。



(a) 試験体T-4 [厚塗下地・普通目地]



(b) 試験体T-7 [二層塗下地・普通目地]



(c) 試験体T-8 [二層塗下地・深目地]

図4.5.8 試験体中央のコンクリートひずみと下地モルタルひずみの関係

(6) 各種試験体の変形追従性試験の載荷終了後の状態について

写真4.5.1に各種試験体の変形追従性試験の載荷終了後の状態を示す。いずれの試験体も加力中のタイル仕上げの剥落（落下）はなかった。ただし、浮きの生じていたタイル仕上げについては、試験体を加力装置から撤去する際の少しの衝撃で剥落が生じた。目視観察から、タイルにひび割れが入った試験体はなかったものの、不陸調整+接着剤張り・普通目地試験体T-1（写真の①）および接着剤張り・普通目地試験体T-2（写真の③）の目地には、ひび割れが入った箇所があった。一方、下地モルタルが厚い仕様の厚塗下地・普通目地試験体T-4（写真の②）、2層塗下地・普通目地試験体T-7（写真の⑦）および2層塗下地・深目地試験体T-8（写真の⑧）の目地には、ひび割れは生じていなかった。

タイル直張り・普通目地試験体T-5（写真の⑤）および同・深目地試験体T-6（写真の⑥）、ならびに2層塗下地・深目地試験体T-8（写真の⑧）の仕上げには、上・下端部（写真赤囲み箇所）から剥離が生じ、それが進行して浮きとなっていた。これらは加力試験中はタイル剥落しなかったものの、試験終了後に試験体を試験装置から移動させる際の衝撃で剥落が生じた。

以上より次のことが分かった。

- ・変形追従性試験では、接着剤張り・普通目地のタイル仕上げにはタイルにはひび割れが入らず目地にひび割れが生じた。
- ・モルタル張りタイル仕上げは端部から剥離が生じ、その剥離箇所はコンクリートと仕上げ材の接着界面であることが、コンクリート、モルタルおよびタイルのひずみ計測値ならびに目視観察においても確認できる。
- ・変形追従性試験は通常表面から目視で観察できない、剥落は生じていないが剥離が生じているタイル仕上げを試験体側面から確認・観察することができる点で優れている。
- ・変形追従性試験体に適用したコンクリート基盤の寸法150mm×150mm×400mmについては、45二丁掛けモザイクタイルを横張りすることができ、かつ目地詰め施工およびひずみゲージも簡便に取りつけることができた。これらのことからタイル仕上げの剥離・剥落を評価するには適した寸法であったと考えられる。
- ・載荷速度の5kN/minについては、コンクリート基盤の破壊状況と試験後のタイル仕上げの状態を勘案して、適したスピードであったと考えられる。



写真4.5.1 変形追従性試験の載荷終了後の状態

4.5.1.3 変形追従性試験結果と柱付き大型壁試験体の耐震実験結果との比較

図4.5.9および図4.5.10に柱付き大型壁試験と変形追従性試験のコンクリートひずみとタイルひずみの関係を示す。各図の左側には、4.3節に示した柱付き大型壁試験の測定結果の中から、試験体No.1（不陸調整+タイル接着剤張り・普通目地）（図4.5.9）および試験体No.3（厚塗下地・普通目地）（図4.5.10）に関するタイルひずみ（縦軸）とコンクリートひずみ（横軸）の関係について示した。このタイルひずみとコンクリートひずみは壁中央の斜め方向のものであり、かつ、静的水平交番载荷で斜めひずみが大きな値を示した負方向加力時のものを層間変形角1/6400、1/3200、1/1600、1/1000、1/500、1/250および1/200で測定したそれぞれのひずみを抽出し、絶対値でプロットしたものである。また、各図の右側には、同仕様の仕上げとした変形追従性試験体の図4.5.6の(a)試験体T-1（不陸調整+タイル接着剤張り・普通目地）（図4.5.9）と図4.5.7の(a)試験体T-4（厚塗下地・普通目地）（図4.5.10）を再掲したものである。

図4.5.9から、例えばコンクリートひずみが550 μ の時のタイルひずみで比較すると、柱付き大型壁試験体は約35 μ 、変形追従性試験体は①が95 μ 、②が50 μ となり、変形追従性試験体の方がコンクリートひずみに対して生じるタイルひずみは大きかった。

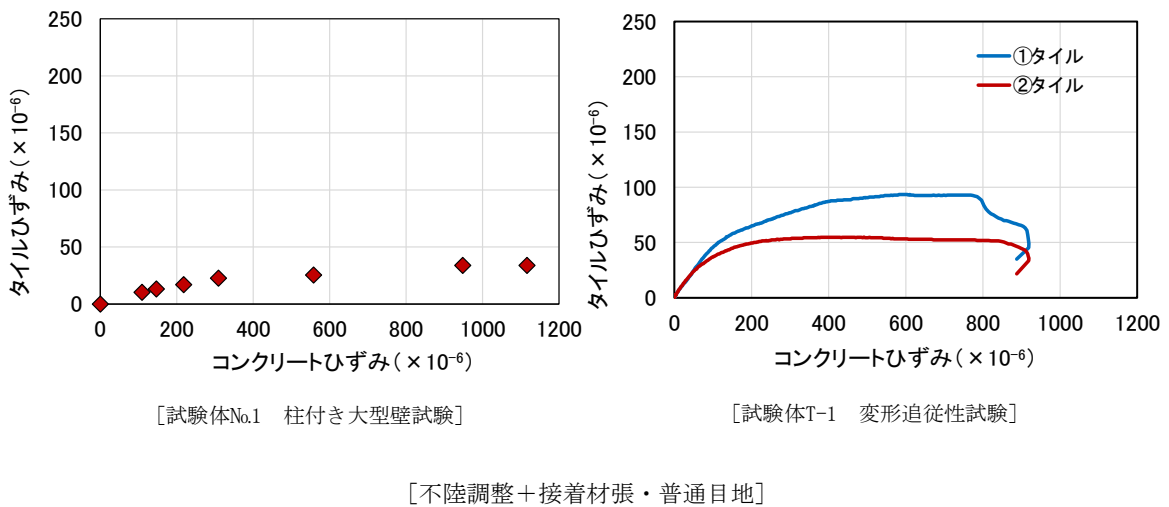


図4.5.9 柱付き大型壁試験と変形追従性試験のコンクリートとタイルひずみ

図4.5.10から、左図の柱付き大型壁試験体No.3はコンクリートひずみ600 μ まではタイルに生じたひずみが、変形追従性試験の試験体T-4のタイルひずみよりも大きかった。ところで、コンクリートひずみが850 μ のときのタイルひずみで比較すると、柱付き大型壁試験体は約180 μ 、変形追従性試験体は①が175 μ 、②が100 μ となり、変形追従性の試験体T-4の①に関しては柱付き大型壁試験体No.3とタイルひずみは同程度であった。

これらの結果から、柱付き大型壁試験体と変形追従性試験ではコンクリートひずみに対するタイルひずみの量は若干大小の差はあるものの、タイル仕上げの仕様の違い「不陸調整+接着剤張」と「厚塗りモルタル下地」とは、柱付き大型壁試験体も変形追従性試験体

も傾向が同じであるため、剥離しやすさの傾向を評価する検討に用いることができると考えられる。

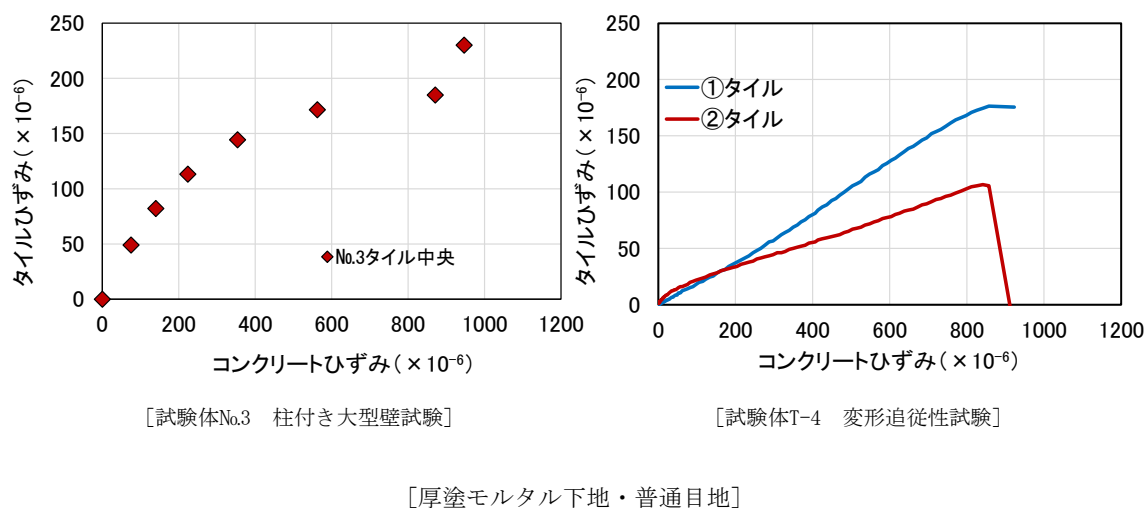


図4.5.10 柱付き大型壁試験と変形追従性試験のコンクリートとタイルひずみ

さらに、変形追従性試験ではコンクリートひずみやタイルひずみの測定の外にモルタルひずみの測定も可能であり、加力中のひずみゲージの故障もすくないことから、ひずみ測定が簡便に行えるため利点があると考えられる。

4.5.1.4 変形追従性試験のまとめ

変形追従性試験の結果から次のようなことが分かった。

- (1) 変形追従性試験でも柱付き大型壁試験と同様に、タイル接着剤張りの仕上げには目地にひび割れが入り、タイルには入らないことが確認できた。
- (2) 変形追従性試験でもタイルひずみは、普通目地よりも深目地のほうが小さいことが確認できた。
- (3) 変形追従性試験の剥離発生箇所は、コンクリートと仕上げ材の接着面が主であり、柱付き大型壁試験の剥離発生箇所は張付モルタルとタイル裏足の接着面が主であった点で違いがあった。
- (4) 柱付き大型壁試験体のコンクリートはせん断破壊であり、変形追従性試験体のコンクリートは圧縮破壊であるため、タイル仕上げに生じるひずみを単純に比較して評価することは難しいが、各材料に剥離等が発生するひずみ量には大きな差はなかった。このため、ひずみゲージの損傷の少ない変形追従性試験体で各材料のひずみを測定し、その結果を用いて剥離・剥落の発生状況を検討することは問題ないと考えられる。
- (5) ひずみゲージによるひずみの測定に関して変形追従性試験では、モルタル下地に

ある程度の厚さがあるタイル仕上げ仕様については、コンクリートとモルタルならびにタイルの各ひずみを加力方向に対して同じ高さの位置で測定すると、剥離の発生した荷重や各材料間のどこで剥離が生じたか等がひずみの発生量の変化により確認できるため有効である。同様に直張りや接着剤張りのように材料の塗厚さが小さい仕様については、コンクリートおよびタイルのひずみを加力方向に対して同じ高さの位置で測定することで確認ができる。

- (6) 今回実施した変形追従性試験では、モルタル張りしたタイルの端部ひずみはモルタルやコンクリートの挙動に追従しておらず、載荷当初より剥離していた可能性がある。
- (7) 本試験では各材料について上部および中央の2箇所をひずみゲージで計測したが、計測位置や方法については実験および評価の目的に応じて検討する必要がある。特に、仕上げ材端部の剥離に関するひずみデータを収集する場合は、ひずみゲージの貼付け位置（測定位置）は、事前にこういったデータが必要であるかを別途検討した上で決定するとよい。
- (8) 変形追従性試験はコンクリートとタイルだけではなく、下地モルタルのひずみもひずみゲージで測定することができ、またその試験体形状からタイル仕上げ壁の場合に表面から確認の難しい剥離発生について側面から仕上げ材を目視観察できるため剥離箇所の観察もできるため有効である。
- (9) 変形追従性試験では、実際の地震被害で多いタイル仕上げのひび割れ破壊は生じにくいためタイル仕上げの耐震性評価としては十分ではないものの、タイルを張付ける材料の剥落防止性能を評価する試験法としては有効である。
- (10) 今回用いた変形追従性試験体のコンクリート基盤寸法150mm×150mm×400mmについては、建物に多く用いられる45二丁掛けモザイクタイルを横張り施工することができ、かつ、タイル目地深さについても評価可能であったことから、タイル仕上げの剥離・剥落発生を評価するのに適していると思われる。ただし、耐震性評価方法としては、上記に示したように、タイル仕上げのひび割れ発生状況や、剥離箇所がコンクリート基盤と下地モルタル等との接着面となり、柱付き大型壁試験の結果と異なる点もあることから、変形追従性試験一種類での評価結果で判断は難しいため、タイル仕上げのひび割れ破壊が評価できる試験法と組合せて実施する必要があると考える。

4.5.2 ダイアゴナル試験法の検討

4.5.2.1 ダイアゴナル試験の概要

ダイアゴナル試験では、試験体の形状および加力用補助治具ならびに加力方法の検討を行った。

(1) 評価のポイント

ダイアゴナル試験の評価のポイントとして、ダイアゴナル試験体の破壊状況と柱付き大型壁試験体の耐震実験の破壊状況を再現できるかを評価の基準とした。

(2) 試験体

本研究で検討したダイアゴナル試験に用いる試験体のコンクリート基盤は、寸法が500×500×厚70mm、鉄筋D6を縦横ともに100mm間隔でシングル配筋し(写真4.5.2および図4.5.11)、鉄筋端部は型枠に取付けたナット(M12、長さ40mm)に溶接接合したものとした。形状は対角線方向に圧縮力を加えるため端部破壊防止のため角部を面取りした。コンクリートは呼び強度27N/mm²とし、タイル仕上げはコンクリート基盤の端部から50mm内側に緒言で示した表4.2.1の8種類の仕様で施工し、仕上げ層がコンクリート基盤の変形から受ける影響は接着面からのみとなるようにした。表4.5.2に試験体番号および試験体種類を示す。試験体は各種類2体ずつとした。

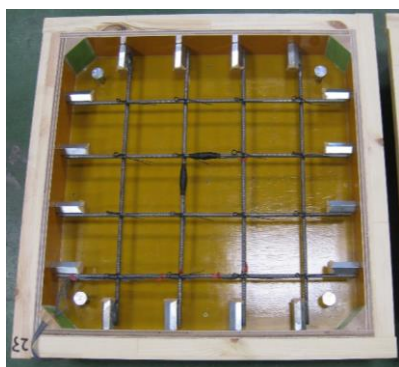


写真4.5.2 コンクリート基盤の製作

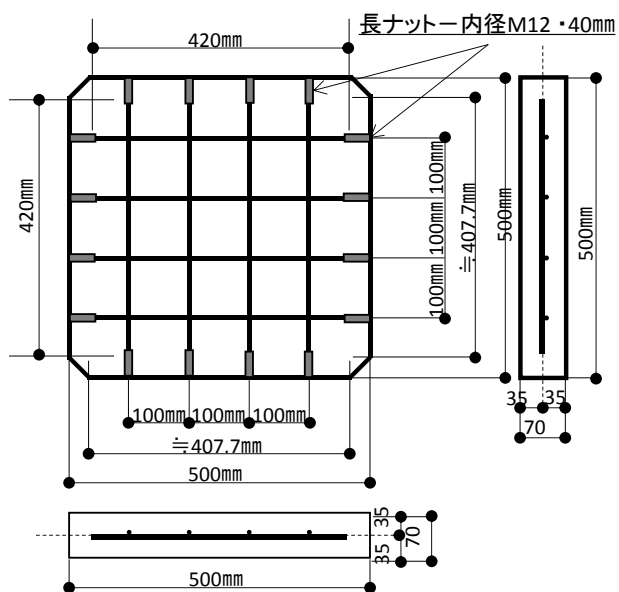


図4.5.11 試験体のコンクリート基盤

(3) 加力試験の方法

加力試験には、載荷を途中で停止しその状態を保持したまま測定を行うため万能試験機(今回は2000kN)を用いた。なお、本試験の試験体寸法および強度を考慮すれば容量が500kN~1000kNの試験機でも実施は可能である。加力速度はコンクリート基盤の

破壊状況を予備実験により確認し0.005mm/secとした。

また、せん断応力は圧縮荷重をコンクリート基盤中央の断面積で除して求めた。

表4.5.2 試験体番号および試験体種類

記号番号		仕上げ種類
解放型治具	拘束型治具	
K-1	C-1	不陸調整+タイル接着材張り・普通目地
K-2	C-2	タイル接着材張・普通目地
K-3	C-3	タイル接着材張・深目地
K-4	C-4	モルタル厚塗下地・普通目地
K-5	C-5	タイル直張・普通目地
K-6	C-6	タイル直張・深目地
K-7	C-7	モルタル2層塗下地・普通目地
K-8	C-8	モルタル2層塗下地・深目地

(4) 治具

ダイアゴナル試験の加力時の補助治具として、図4.4.12に示すコンクリート基盤を対角線方向に一軸載荷する際に用いる治具（以降、解放型治具と記す）および、図4.5.13に示すパンタグラフ形状の治具（以降、拘束型治具と記す）の2種類を作製した。なお、拘束型治具はコンクリート基盤に埋込んだナットに治具をボルトで留付けることで鉄筋にも加力が伝わる機構とした。

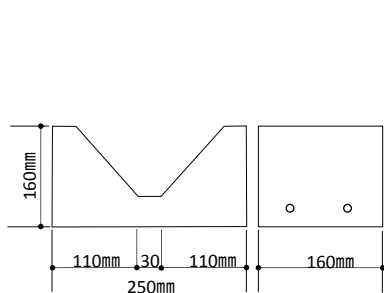


図4.5.12 解放型治具

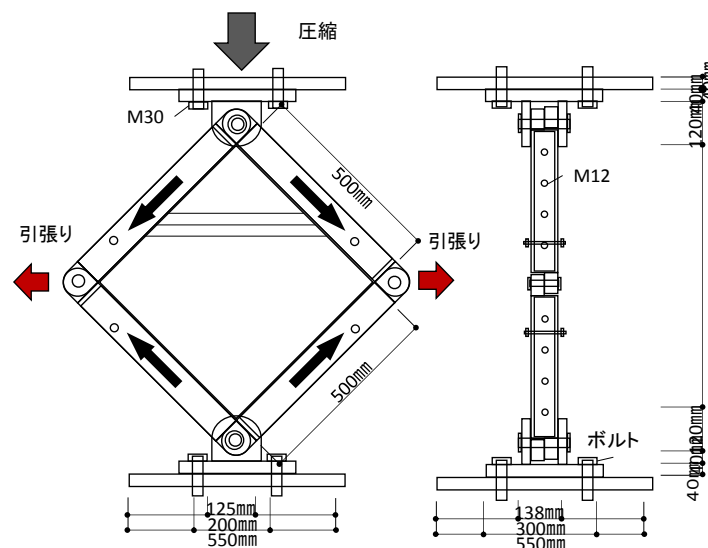


図4.5.13 拘束型治具

(5) 測定内容

1) せん断変形角

図4.5.14にせん断変形模式図を示す。試験体のせん断変形角は、写真4.5.3に示すようにコンクリート面に高感度変位計を直行する対角方向に取り付け、測定した値からせん断変形角 γ を(2)式を用いて求めた。

$$\gamma = ((\delta_1 + \delta_2) / 2 \times (1 / \cos \theta)) / L_2 \dots \dots (2)$$

※ 本試験体では $L_1=L_2=400\text{mm}$ 、 $\theta = \pi/4$ 、 δ_1 及び δ_2 は計測値

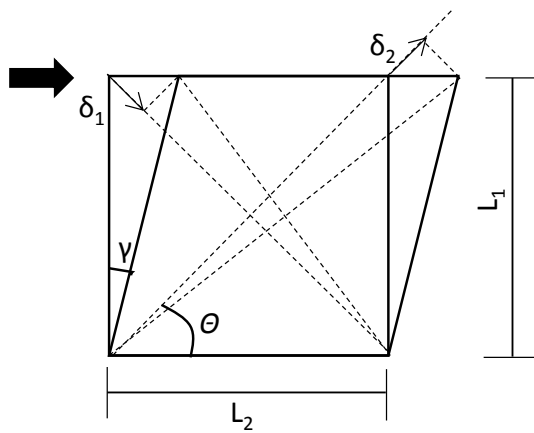
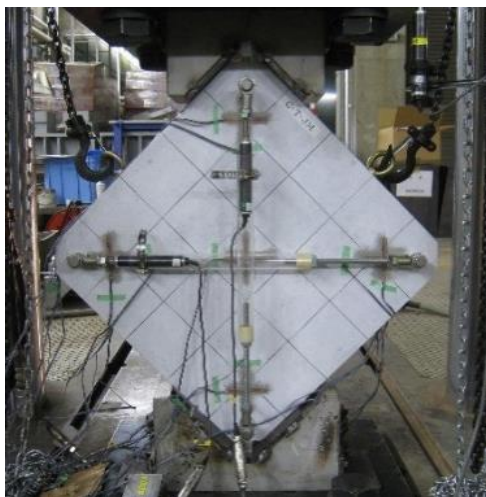
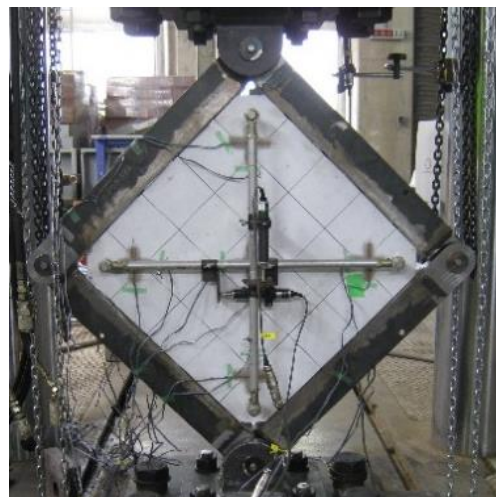


図4.5.14 せん断変形模式図



[解放型治具]



[拘束型治具]

写真4.5.3 せん断変形角の測定

2) ひずみの測定

図4.5.15にダイアゴナル試験体の加力方向とタイル面に貼り付けたひずみゲージの位置を示す。なお、コンクリート面ではコンクリートひずみもタイル面と同じ位置で計測している。同図の5点全てで加力方向に対して平行方向および垂直方向のひずみを計測しており、データはロガーを用いて5秒ごとに自動計測した。

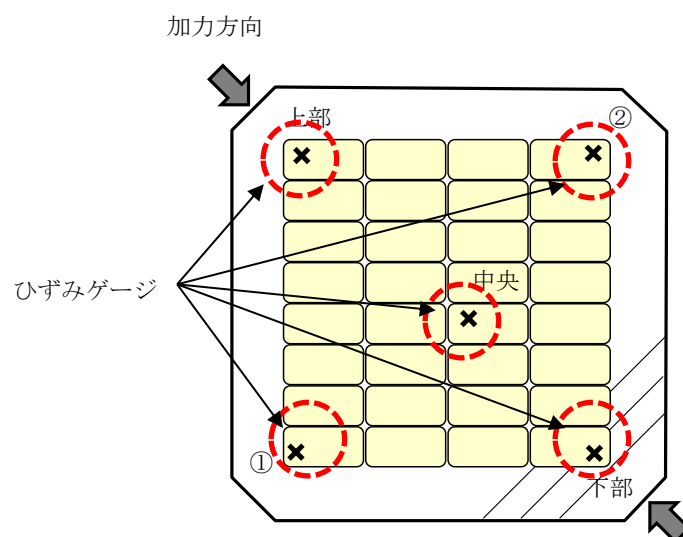


図4.5.15 ひずみゲージ位置

3) 破壊状況の測定

コンクリート基盤およびタイル仕上げの破壊状況の確認については、解放型治具を用いた場合は、せん断変形角が1/1600、1/1000、1/500、1/250、1/200、1/150および1/100の時に、拘束型治具を用いた場合は、せん断変形角が1/1600、1/1000、1/500、1/250、1/200、1/150、1/100に加え1/80の時にも確認を行った。その際、コンクリート面に生じたひび割れ等の破壊状況を記録し、タイル仕上げはひび割れおよび剥落を目視観察し、剥離は打診検査を行いそれらの結果を記録した。

4.5.2.2 ダイアゴナル試験の結果

4.5.2.2.1 解放型治具によるダイアゴナル試験結果

(1) せん断変形角とせん断応力の関係

図4.5.16に解放型治具を用いて载荷した8試験体全てのコンクリート基盤のせん断変形角とせん断応力を示す。コンクリート基盤はせん断変形角が0.001(1/1000)以上になると応力が降下するポイントが何回かあるが、これは測定のために载荷を停止させたことによる影響である。コンクリート基盤はせん断変形角がおよそ0.004~0.005(1/250~1/200)の範囲で最大せん断応力に達し、それらの応力は8N/mm²~10N/mm²の範囲にあった。また、タイル仕上げの下地モルタル厚さによる試験体断面積増加

(試験体K-4、試験体K-7およびK-8)のせん断応力への影響は、試験体K-4 および試験体K-7がやや応力が大きいものの、試験体K-8には違いがみられなかったため直接的な影響は不明である。

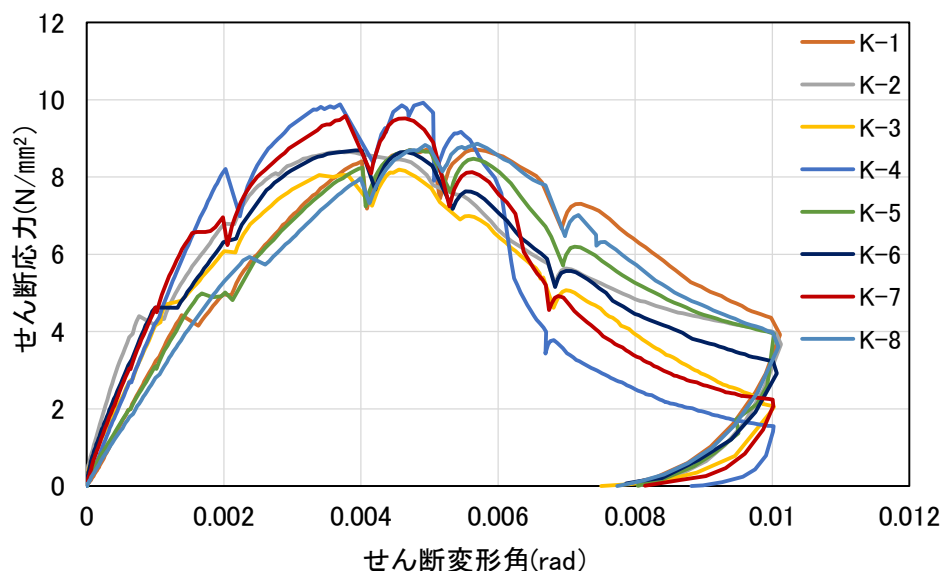


図4.5.16 解放型治具によるコンクリート基盤のせん断変形角とせん断応力

(2) せん断変形角とひずみの関係

図4.5.17-1には試験体K-5のコンクリートひずみとせん断変形角の関係を示し、図4.5.17-2にひずみゲージで測定した試験体K-5（タイル直張り・普通目地）のタイルひずみとせん断変形角の関係を示す。図では縦軸をひずみとし横軸にせん断変形角を示した。図4.5.17-1からダイアゴナル試験体のコンクリート中央（横）および測定箇所②（横）の2箇所（加力に対して垂直方向）には伸びひずみが生じ、これら以外の（横）方向および（縦）方向（加力方向に対して平行方向）には圧縮ひずみが生じていた。コンクリート（縦）方向の上部・中央・下部には大きな圧縮ひずみが生じていたが、コンクリート中央（縦）はせん断変形角0.004（1/250）の時に約 -1100μ でひずみが伸び側に転じており、中央付近にひび割れ等損傷が生じたことによる影響があったと考えられる。

次に図4.5.17-2から、タイル中央（横）には伸びひずみが生じておりコンクリート中央（横）ひずみとの一致がみられたものの、せん断変形角1/1000(0.001)となる前にタイルひずみは測定不能となった。また、タイル中央（縦）には圧縮ひずみが生じておりコンクリート中央（縦）ひずみへの追従性がみられた。特にせん断変形角が約0.0006（1/1600）まではよく追従しており、その後は若干ひずみ差が生じはじめたがタイルひずみが測定できなくなる変形角0.001（1/1000）まで追従性がみられた。

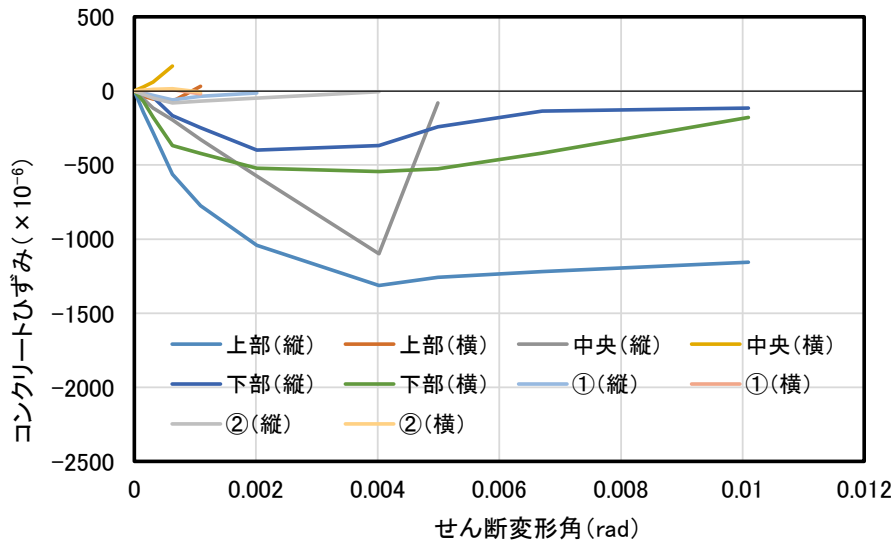


図4.5.17-1 解放型治具－試験体K－5のコンクリートひずみとせん断変形角の関係

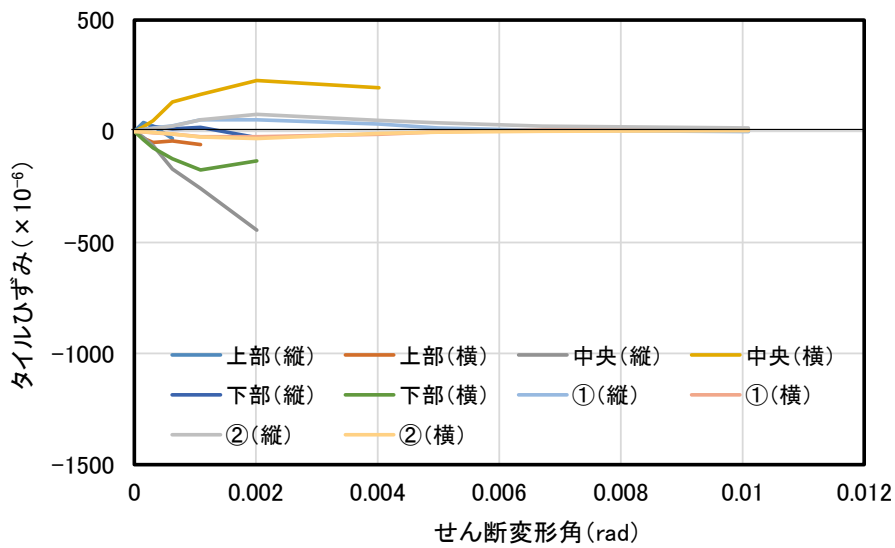


図4.5.17-2 解放型治具－試験体K－5（タイル直張り・普通目地）の
タイルひずみとせん断変形角の関係

これ以外のタイルひずみも端部の①や②を除き（縦）方向および（横）方向ともにせん断変形角0.001(1/1000)～1/500(0.002)で計測不能となっており、タイルの損傷による影響が考えられる。タイルとコンクリートのひずみ挙動は他の試験体にも同様に確認され、上部・中央・下部のコンクリート（横）ひずみと上部・中央・下部のタイル（横）ひずみ及びタイル（縦）ひずみは、せん断変形角が約0.0006(1/1600)～0.002(1/500)までの間に計測不能となる傾向が多くみられた。これはコンクリートおよびタイルに生じたひび割れ等の損傷の影響が考えられる。また上・下部のコンクリ

ート(縦)ひずみは、せん断変形角0.001(1/1000)までの間で計測できなくなる傾向があり、これはコンクリートと加力治具が接する部分に圧壊などの損傷が生じることでゲージがその影響を受けたためと考えられる。一方で、コンクリート中央(縦)ひずみは比較的ゲージの損傷が少なく試験終了時まで測定できた。端部の①および②のコンクリートひずみ及びタイルひずみは伸びひずみと圧縮ひずみの生じ方から規則性を読みとることが難しく、例えばコンクリートに圧縮ひずみが生じている時にタイルには伸びひずみが生じたり、コンクリート(縦)ひずみが圧縮ひずみでコンクリート(横)ひずみも圧縮ひずみなどの場合もあった。

(3) せん断変形における破壊状況

写真4.5.4-1及び写真4.5.4-2に試験体K-5(タイル直張り・普通目地)を例とした各せん断変形角における破壊状況を示す。

写真4.5.4-1のコンクリート面の破壊状況から分かるように、コンクリートにはせん断変形角1/1000(0.001)の測定時に中央に縦ひび割れが1列確認でき、载荷を続けるとひび割れは周辺にも入っていった。前出の図4.5.17-1においてコンクリート中央(横)ひずみがせん断変形角が小さい段階で測定できなくなったのは、この縦ひび割れの影響であると考えられる。表面を観察するとコンクリートに生じたひび割れは短く細かいものが連なっており、ちょうど解放型治具にかかる範囲にX状を形成した。この破壊形状はせん断すべり破壊を生じるコンクリートの圧縮試験と類似しており、解放型治具で加力したコンクリート破壊の特徴としてみられるものだった。さらに、せん断変形角が1/200(0.005)以上になるとコンクリート表層が薄膜状に剥離し、はらみ出す又は剥落するなどの現象が見られた。

写真4.5.4-2のタイル面もコンクリートと同様に、せん断変形角1/1000(0.001)の測定時に中央付近のタイルおよび目地には縦ひび割れが入っているのを確認した。タイル仕上げはせん断変形角1/200(0.005)までは剥落しなかったが、せん断変形角1/150(0.007)～1/100(0.01)までの加力中に欠損したタイル1枚と、タイル裏足およびコンクリートと張付けモルタルとの接着界面で剥離したタイル2枚の剥落が確認された。

図4.5.18に解放型治具のせん断変形角1/200の試験体K-5(直張りタイル・普通目地)の破壊状況を示す。この図は、打診および目視観察の結果を図示しており、グレーに色付けしたタイルが浮き音を検知したものである。浮き音はひび割れ発生箇所の上に生じていたことが分かる。

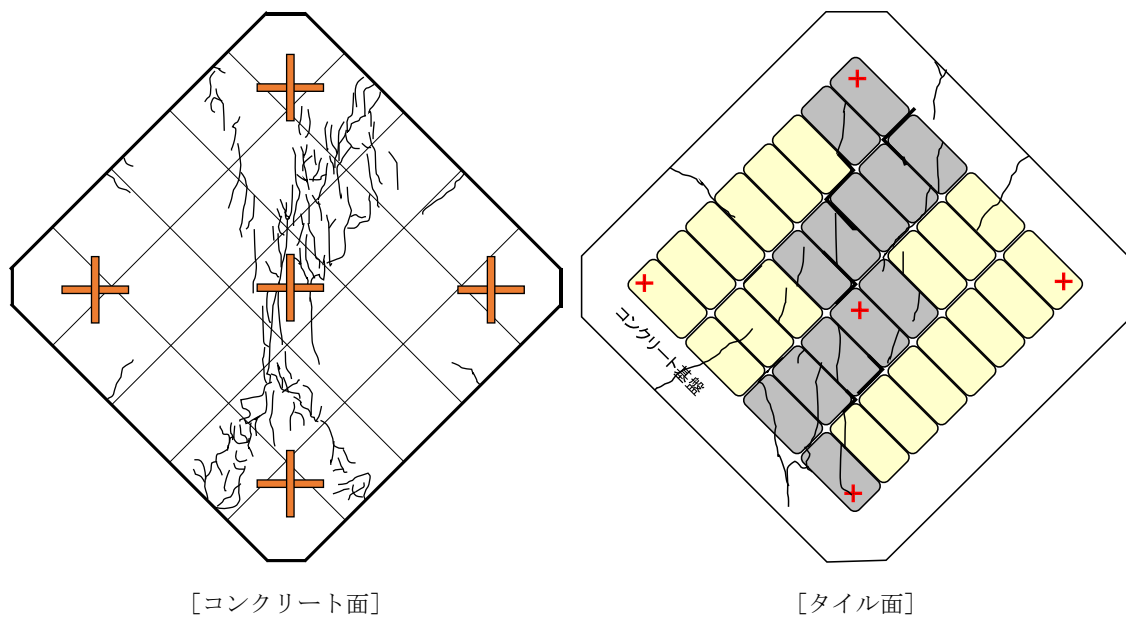


図4.5.18 解放型治具 せん断変形角 $1/200$ の試験体K-5 (タイル直張り・普通目地) の破壊状況

写真4.5.5-1に試験体K-1から試験体K-8までのコンクリート基盤のせん断変形角 $1/200$ (0.005) 終了時の破壊状況を示し、写真4.5.5-2にはコンクリートと同時点におけるタイル仕上げの破壊状況を示す。

写真4.5.5-1のとおりコンクリートのひび割れは各試験体とも同様の入り方であり、加力治具のかかるコンクリートの範囲にひび割れが集中していることが確認できた。

写真4.5.5-2からタイル仕上げには、不陸調整+接着剤張・普通目地の試験体K-1、接着剤張・普通目地の試験体K-2および接着剤張・深目地の試験体K-3には、目地にひび割れが集中しタイルにはひび割れが入っていないことを確認した。

タイル直張・普通目地の試験体K-5およびタイル直張・深目地の試験体K-6にはタイルにひび割れが多数入っており、コンクリート基盤のひび割れ状況と比較すると一致がみられ、コンクリートの変形がタイルによく伝わったことが確認できた。モルタル下地塗りのある厚塗下地・普通目地の試験体K-4、2層塗下地・普通目地の試験体K-7および2層塗下地・深目地の試験体K-8には、試験体中央付近に縦方向に伸びる幅の広いひび割れが生じていた。

また、仕上げ層が厚いものと薄いものではひび割れの生じ方に特徴がみられ、タイル仕上げ層が厚い場合は幅の広いひび割れが試験体中央付近に1本~2本入り、仕上げ層が薄い場合はコンクリートのひび割れにそった位置にタイルひび割れが入る傾向があることが確認できた。これは柱付き大型壁試験体のひび割れの傾向と類似していた。

解放型治具によるダイアゴナル試験において、いずれのタイル仕上げ仕様でもせん断変形角1/200 (0.005) までは剥落は生じなかったが、せん断変形角1/100で剥落が生じた仕上げ試験体K-5 (タイル直張り仕上げ・普通目地) があった。

(4) 解放型治具によるダイアゴナル試験について

今回示した試験体K-5は、解放型治具で試験した場合のコンクリート基盤とタイル仕上げの一般的な壊れ方の事例である。コンクリート基盤の破壊状況は、治具の接する領域ではコンクリートに圧縮破壊がみられた。

また、解放型治具を用いたダイアゴナル試験は加力が非常に難しく、コンクリート基盤と治具が接する面の精度が悪い場合には、その部分に圧壊が生じてしまい荷重がコンクリート基盤に十分に伝わらないことがあった。このため試験体を精度よく作製することが必須条件である。試験体精度が十分ではない場合の対処法としては、がたつきを調整するために鋼板を用いて隙間を調整する方法が有効であった。なお、硬質ゴムなどのコンクリートよりも柔らかい材料でのがたつき調整は、調整材自体が変形しコンクリートに適切な荷重がかからないため不向きであった。

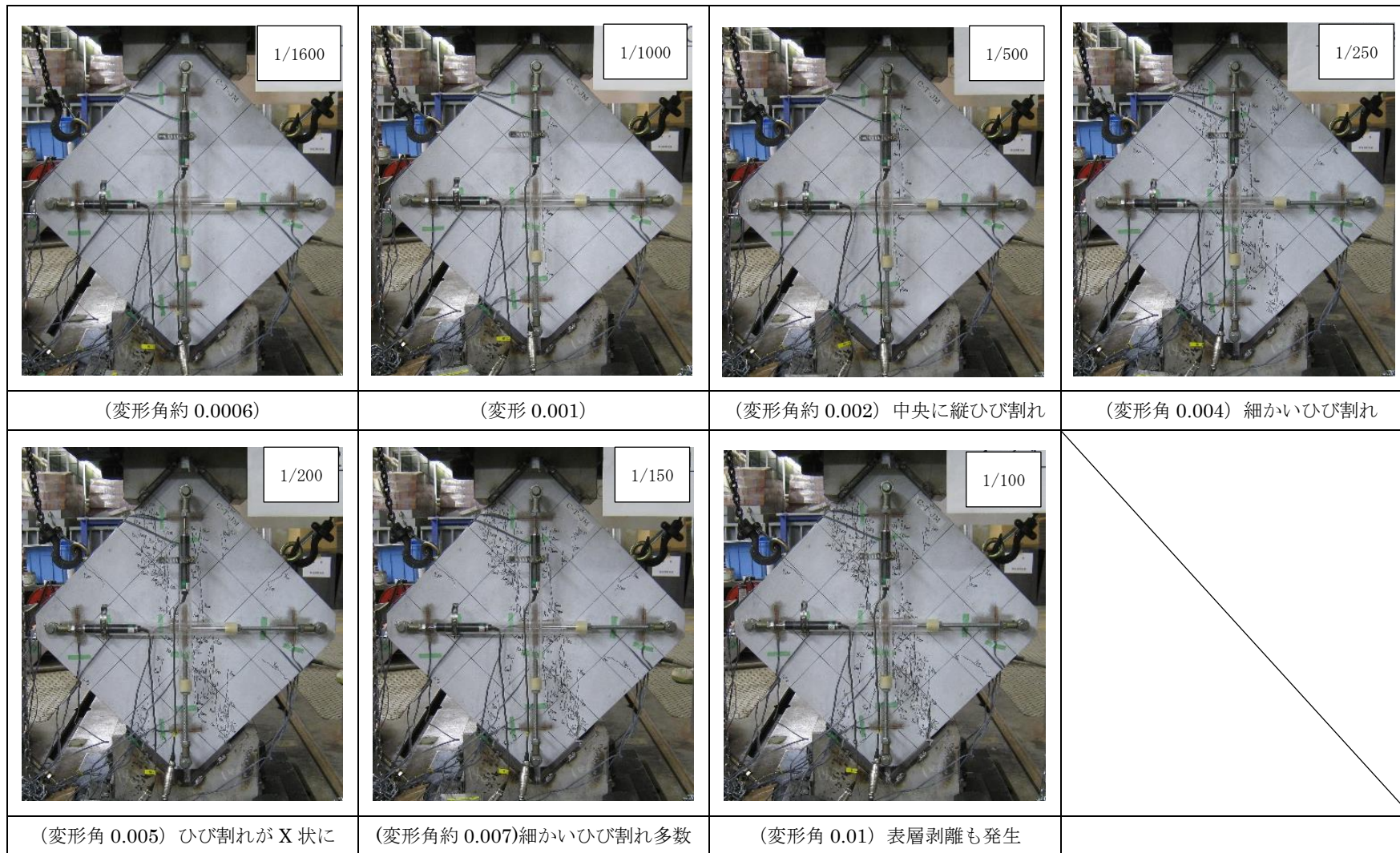


写真4.5.4-1 解放型治具による試験体K-5 (コンクリート基盤) の各せん断変形角の測定画像

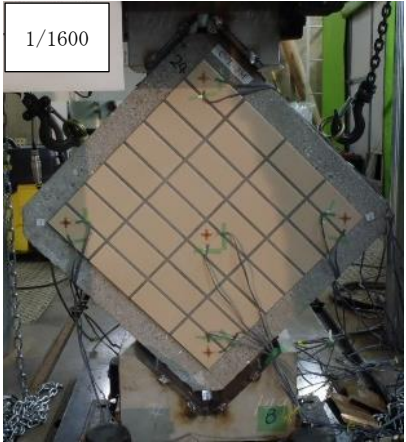
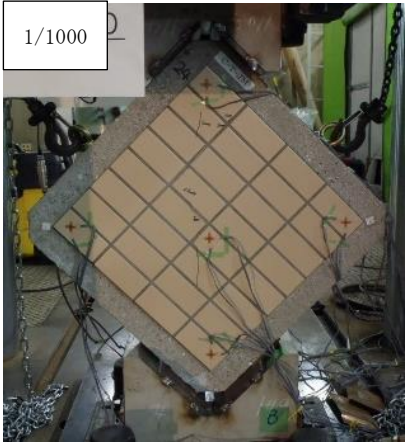
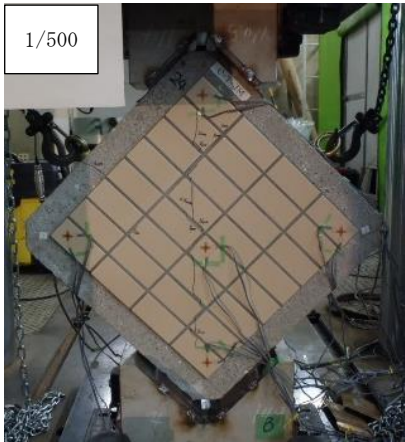
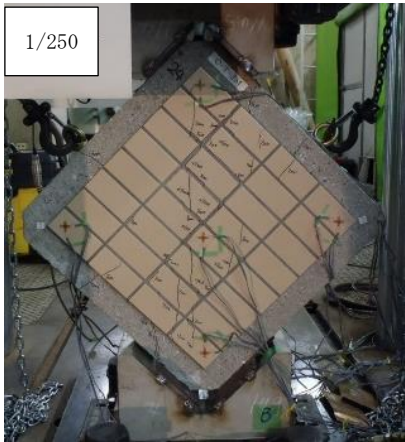
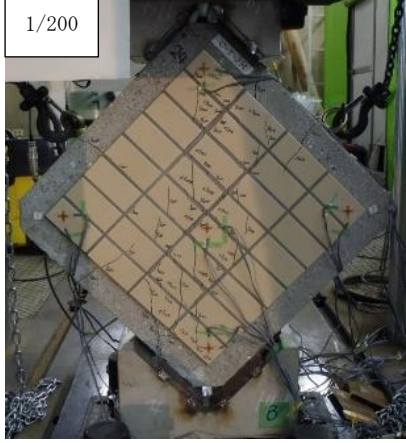
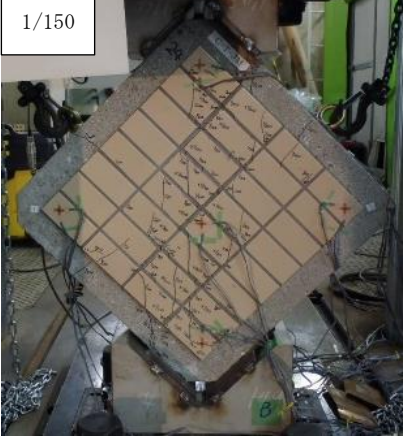
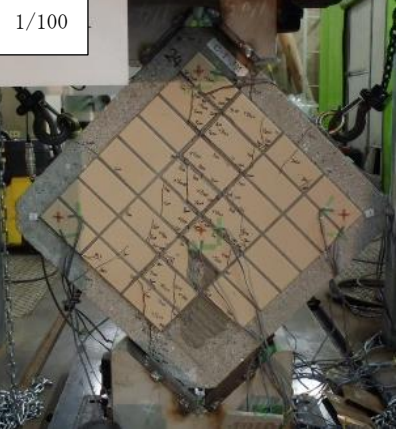
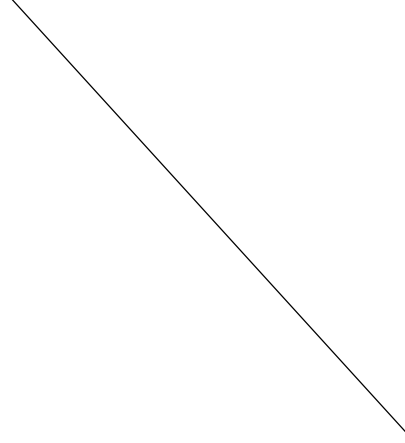
 <p>1/1600</p>	 <p>1/1000</p>	 <p>1/500</p>	 <p>1/250</p>
<p>(変形角約 0.0006)</p>	<p>(変形角 0.001)</p>	<p>(変形角 0.002)目地とタイルにひび</p>	<p>(変形角 0.004) 中央に縦ひび割れ</p>
 <p>1/200</p>	 <p>1/150</p>	 <p>1/100</p>	
<p>(変形角 0.005) 剥落なし</p>	<p>(変形角約 0.007)</p>	<p>(変形角 0.01) タイルの部分欠損</p>	

写真 4.5.4-2 解放型治具による試験体K-5 (タイル直張り仕上げ・普通目地) の各せん断変形角の測定画像

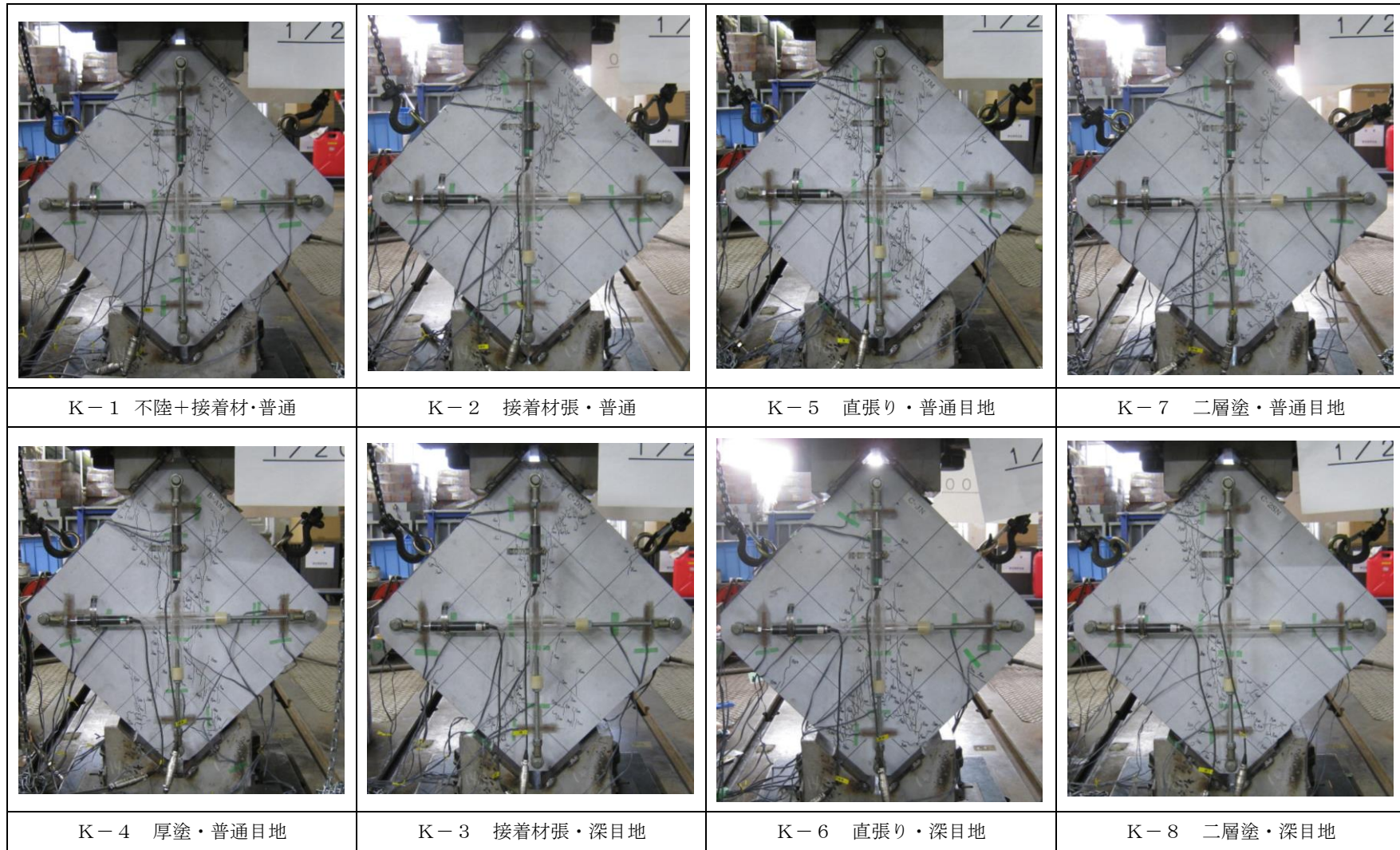


写真 4.5.5-1 セン断変形角 1/200 時の解放型治具によるダイアゴナル試験のコンクリート基盤の破壊状況

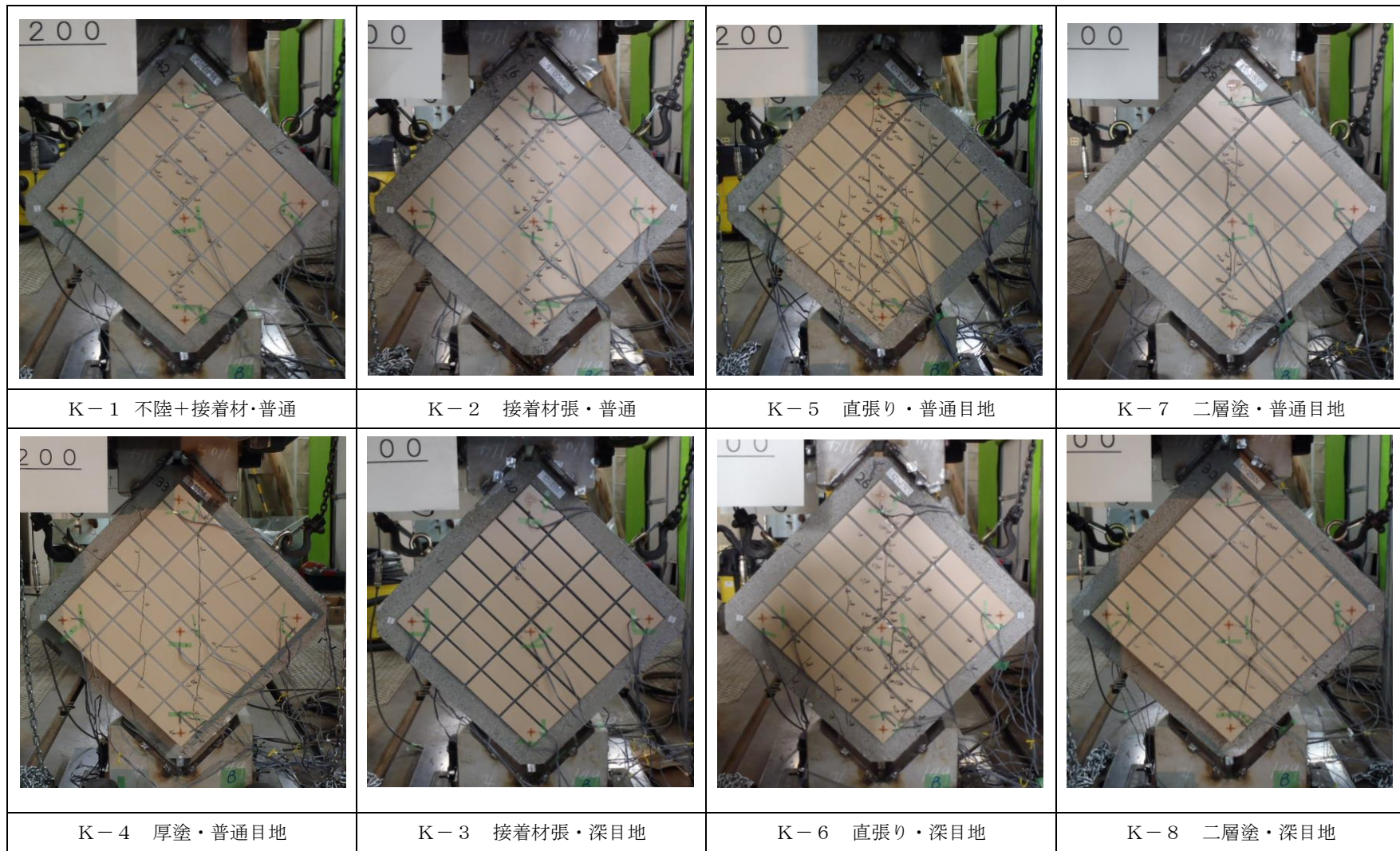


写真4.5.5-2 セン断変形角1/200時の解放型治具によるダイアゴナル試験のタイル仕上げの破壊状況

4.5.2.2.2 拘束型治具によるダイアゴナル試験結果

(1) せん断変形角とせん断応力の関係

図4.5.19に拘束型治具を用いて載荷した8試験体全てのコンクリート基盤のせん断変形角とせん断応力の関係を示す。

コンクリート基盤は変形角が1/3200(約0.0003)～1/1600(約0.0006)の範囲でいったんせん断応力が急落するものの載荷を続けるとふたたび応力は上昇し、載荷終了時の変形角0.0125 (1/80) で最大値を示した。このせん断応力が急落した時に、コンクリート基盤の中央付近に縦ひび割れが入ることを確認した。最大応力は大きいもので約5.3N/mm²、小さいものは約3.5N/mm²であった。拘束型治具の場合は仕上げ厚さの断面積増加(試験体C-4、試験体C-7および試験体C-8)によるせん断応力が大きくなる傾向はみられなかった。

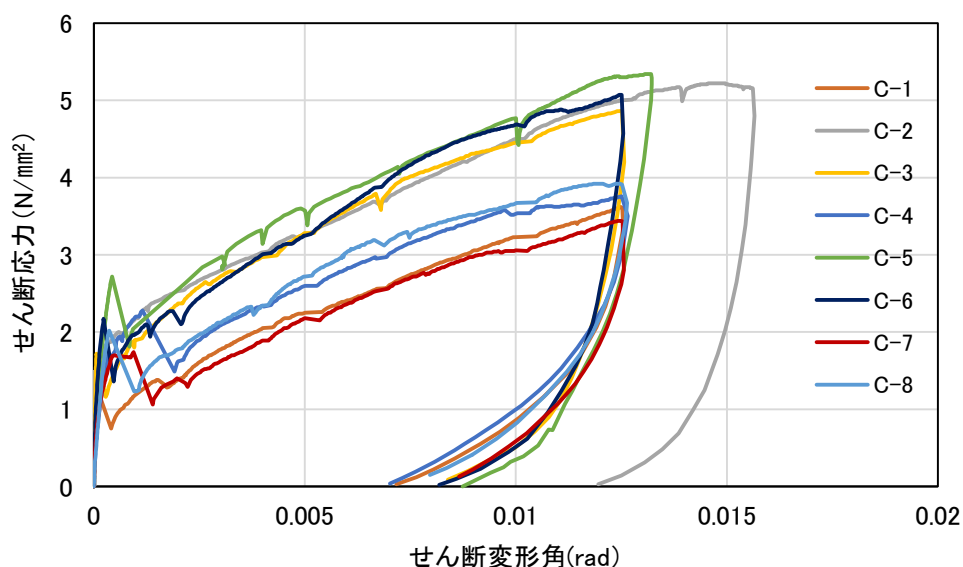


図4.5.19 拘束型治具によるコンクリート基盤のせん断変形角とせん断応力

(2) せん断変形角とひずみの関係

図4.5.20-1には試験体C-5のコンクリートひずみとせん断変形角の関係を示し、図4.5.20-2には試験体C-5(タイル直張り・普通目地)のタイルひずみとせん断変形角の関係を示す。拘束型治具ではせん断変形角1/80まで計測したため、縦軸が解放型治具の最大スケールよりも大きい値とした。

両図から、タイルおよびコンクリートの縦方向すなわち加力方向のひずみは端部①および②も含めマイナスすなわち圧縮側に、横方向(加力方向に対して垂直方向)のひずみはプラスすなわち伸び側に生じていることが確認できた。これは拘束型治具で加力した試験体共通の特徴として確認した。

図4.5.20-1のコンクリート基盤(縦)上・下部のひずみはそれぞれ約-2200 μ と

約-1700 μ 生じており、中央のコンクリートひずみ約-900 μ と比べると2倍程度大きく、この差はひび割れの発生位置や発生数の影響が一因として考えられる。

図4.5.20-2から、タイルひずみは中央（縦）が大きいことが分かる。コンクリート基盤と比較するとタイルひずみはせん断変形角約0.0006（1/1600）の時に約-150 μ あり、コンクリートひずみと近似した値であった。せん断変形角が小さい段階では追従性がみられるが、変形角が大きくなるとコンクリートとタイルのひずみの差が大きくなることが確認できた。その他の試験体も中央のタイル仕上げには載荷開始直後にはコンクリートへの追従性があったことが確認できた。

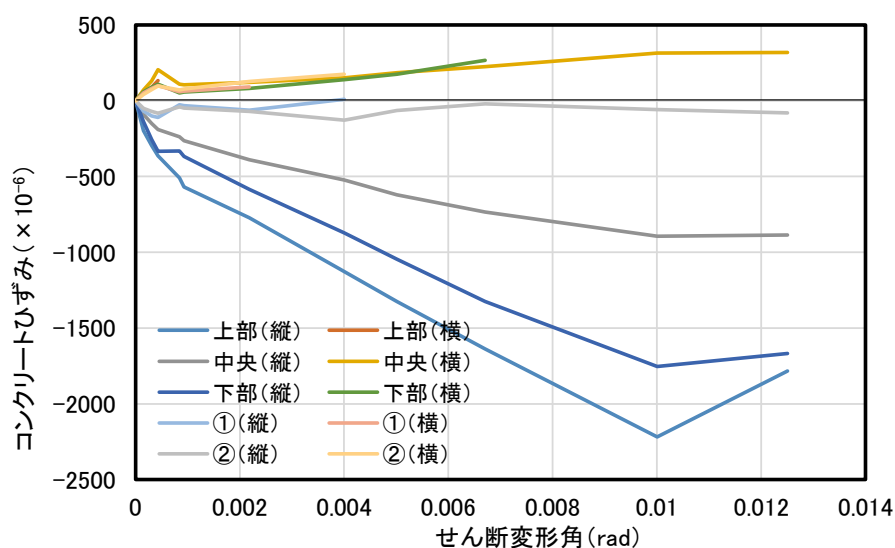


図4.5.20-1 拘束型治具—試験体C-5のコンクリートひずみとせん断変形角の関係

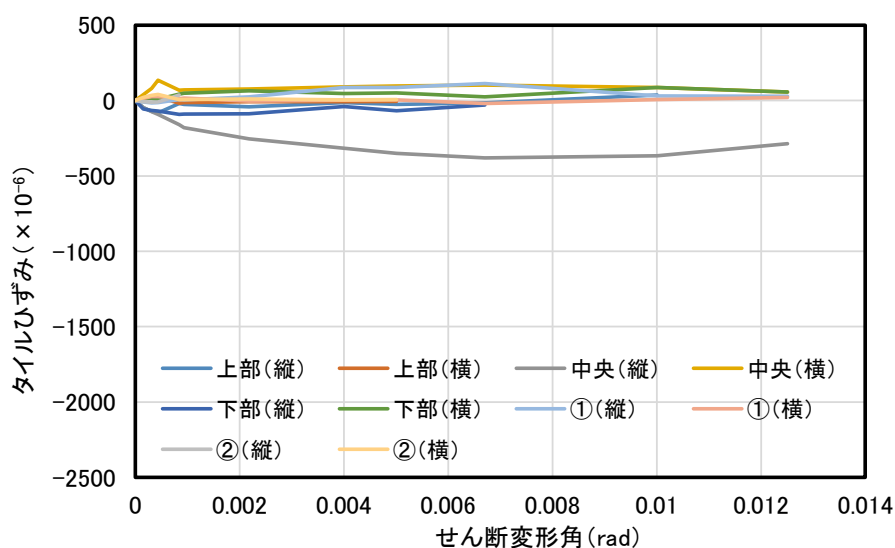


図4.5.20-2 拘束型治具—試験体C-5のタイルひずみとせん断変形角の関係

(3) せん断変形におけるひび割れ状況

写真4.5.6-1及び写真4.5.6-2に試験体C-6（タイル直張り・深目地）を例とした各せん断変形角における破壊状況を示す。写真4.5.6-1のコンクリート面の破壊状況から分かるように、コンクリート基盤はせん断変形角が1/1600（約0.0006）の測定時に縦ひび割れ（加力と平行方向）が確認され、载荷を続けるとほぼ等間隔に平行なひび割れが生じた。この時、コンクリートに埋め込んだナット周辺にもひび割れが生じていた。この破壊形態は拘束型治具で加力したコンクリート破壊の特徴として見られた。

写真4.5.6-2のタイル面からもコンクリート基盤と同様にせん断変形角1/1600（約0.0006）で中央に縦ひび割れが入り、载荷を続けるとほぼ等間隔に平行なひび割れが生じることが確認できた。なお、せん断変形角1/200（0.005）まではタイルの剥落は生じず、载荷終了の変形角1/80（0.125）の測定の際に、ごく小面積のタイルの欠損が確認された。

図4.5.21に拘束型治具のせん断変形角1/200の試験体C-5の破壊状況を示す。打診による検査では、ひび割れの生じたタイルの中の1枚に浮き音が確認された。

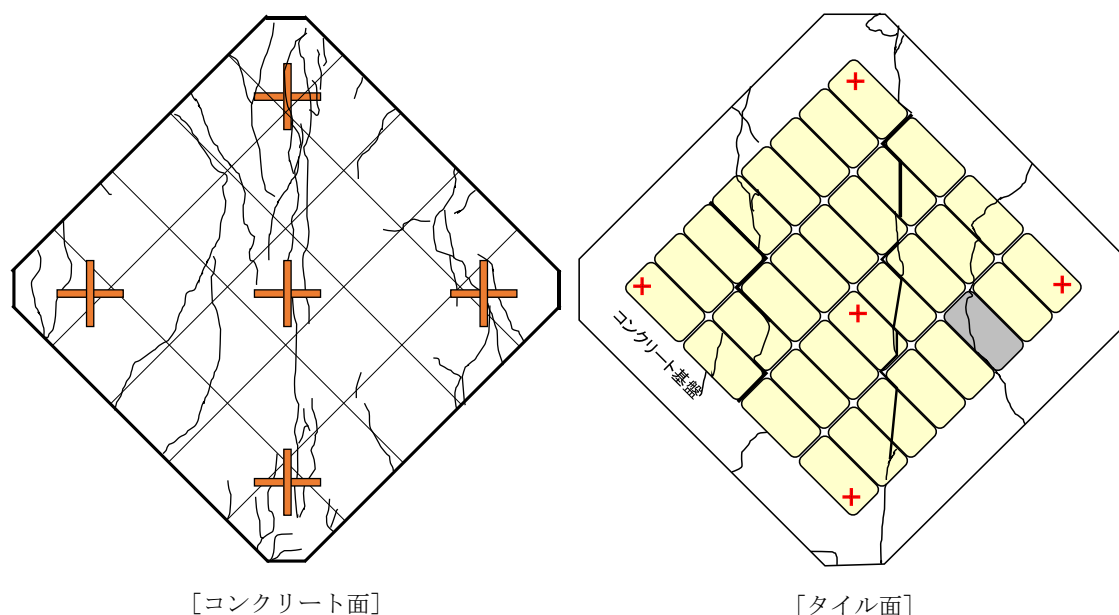


図4.5.21 拘束型治具 せん断変形角1/200の試験体C-5（タイル直張り・普通目地）の破壊状況

写真4.5.7-1に試験体C-1から試験体C-8までのコンクリートのせん断変形角1/200（0.005）の時のひび割れ状況を示し、写真4.5.7-2にはコンクリートと同時点のタイル仕上げのひび割れ状況を示す。

写真4.5.7-1からコンクリートのひび割れの起点は、治具とコンクリート基盤を留付けるための埋め込みナットからが多いが、概ね平行に入っていたことが確認できた。

写真4.5.7-2からタイル仕上げのひび割れ状況は、いずれのタイル仕上げ仕様においても中央付近の縦方向に幅のあるひび割れが入っているのが確認できた。ただし、不陸調整+タイル接着剤張・普通目地の試験体C-1、接着剤張・普通目地の試験体C-2および接着剤張・深目地の試験体C-3については、目地にひび割れが集中しタイルにひび割れは入っていなかった。厚塗下地・普通目地の試験体C-4は、中央付近の1本の縦ひび割れに損傷が集約されていたのが特徴的であった。この他のタイル仕上げ仕様では、メインの幅のあるひび割れ以外にも複数本の縦ひび割れが平行に入っているのを確認した。せん断変形角1/200(0.005)では打診により浮き音を検知したものはあったが、剥落したタイル仕上げはなかった。

(4) 拘束型治具によるダイアゴナル試験について

拘束型治具による荷重は、コンクリート基盤全体に力が掛かり、せん断破壊を生じさせていることが確認できた。初期ひび割れはせん断変形角約0.0006 (1/1600) くらいで入り、柱付き大型壁試験体の初期ひび割れの生じるタイミングと類似していた。

また、拘束型治具による試験は荷重試験装置への試験体設置が難しく、試験体を拘束型治具にボルト留めする作業や荷重試験装置に設置する取付け作業ではコンクリート基盤に予期せぬ荷重が掛かるなどして試験体を破損するおそれがあったため、作業に慣れるまでは時間がかかった。拘束型治具も解放型治具と同様に、荷重荷重を試験体に伝えるためには治具とコンクリートに隙間があってはならず、試験体を精度よく作製することが必須条件である。隙間を埋める材料もやはり硬質の材料が適しており、薄い鋼板が有効であった。

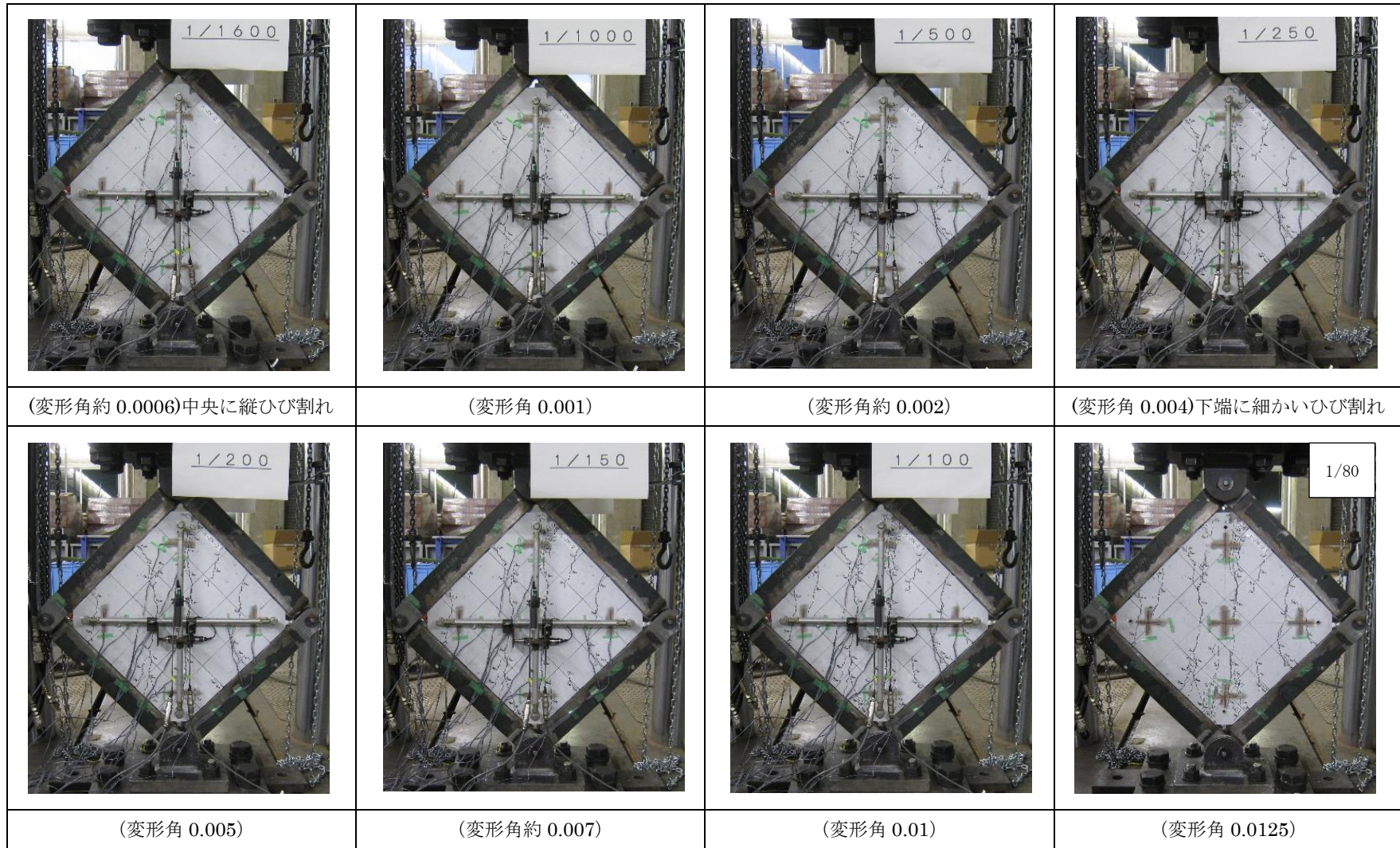


写真 4.5.6-1 拘束型治具による試験体C-6 (コンクリート基盤) の各せん断変形角の測定画像

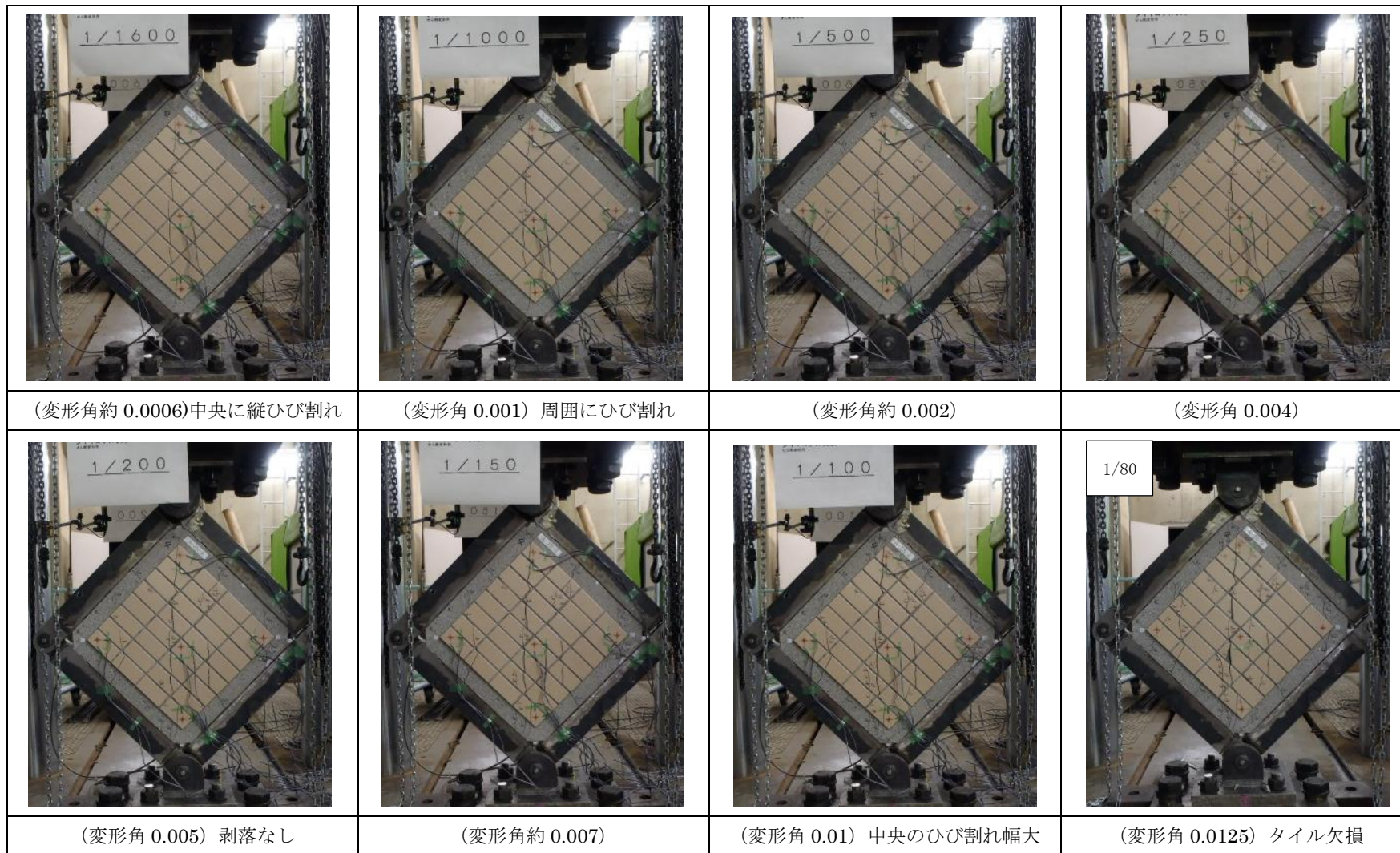


写真 4.5.6-2 拘束型治具による試験体C-6 (タイル直張り・深目地) の各せん断変形角の測定画像

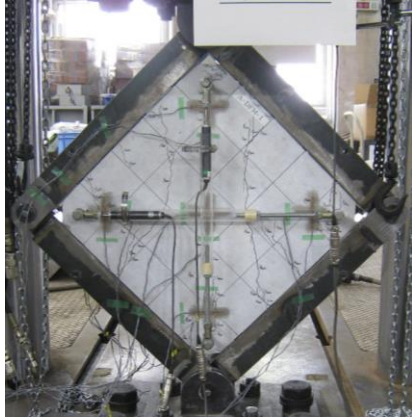
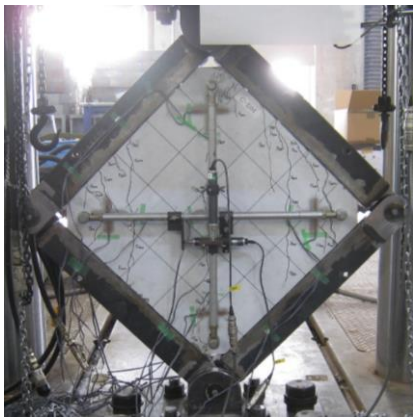
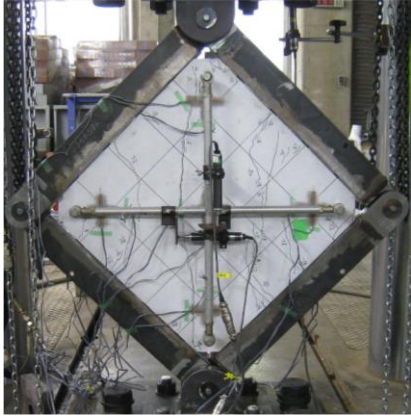
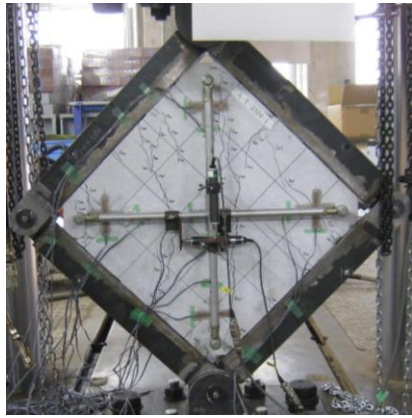
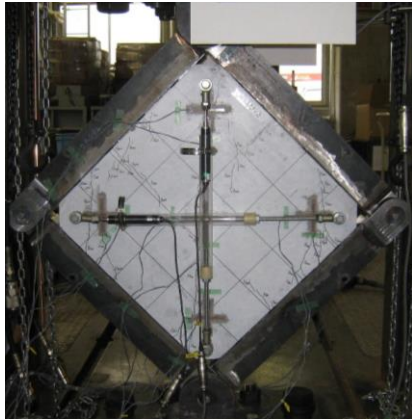

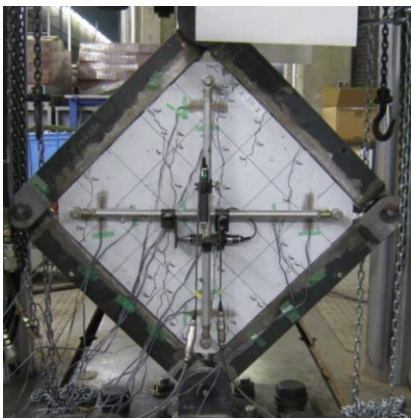
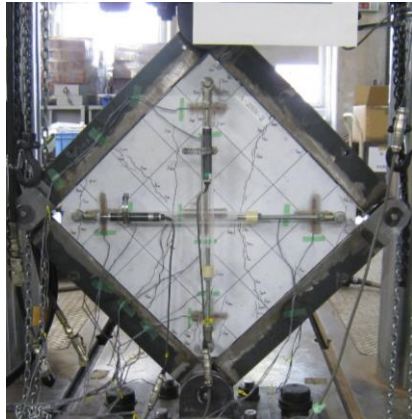
			
C-1 不陸+接着材・普通	C-2 接着材張・普通	C-5 直張り・普通目地	C-7 二層塗・普通目地
			
C-4 厚塗・普通目地	C-3 接着材張・深目地	C-6 直張り・深目地	C-8 二層塗・深目地

写真 4.5.7-1 セン断変形角 1/200 時の拘束型治具によるダイアゴナル試験のコンクリート基盤の破壊状況

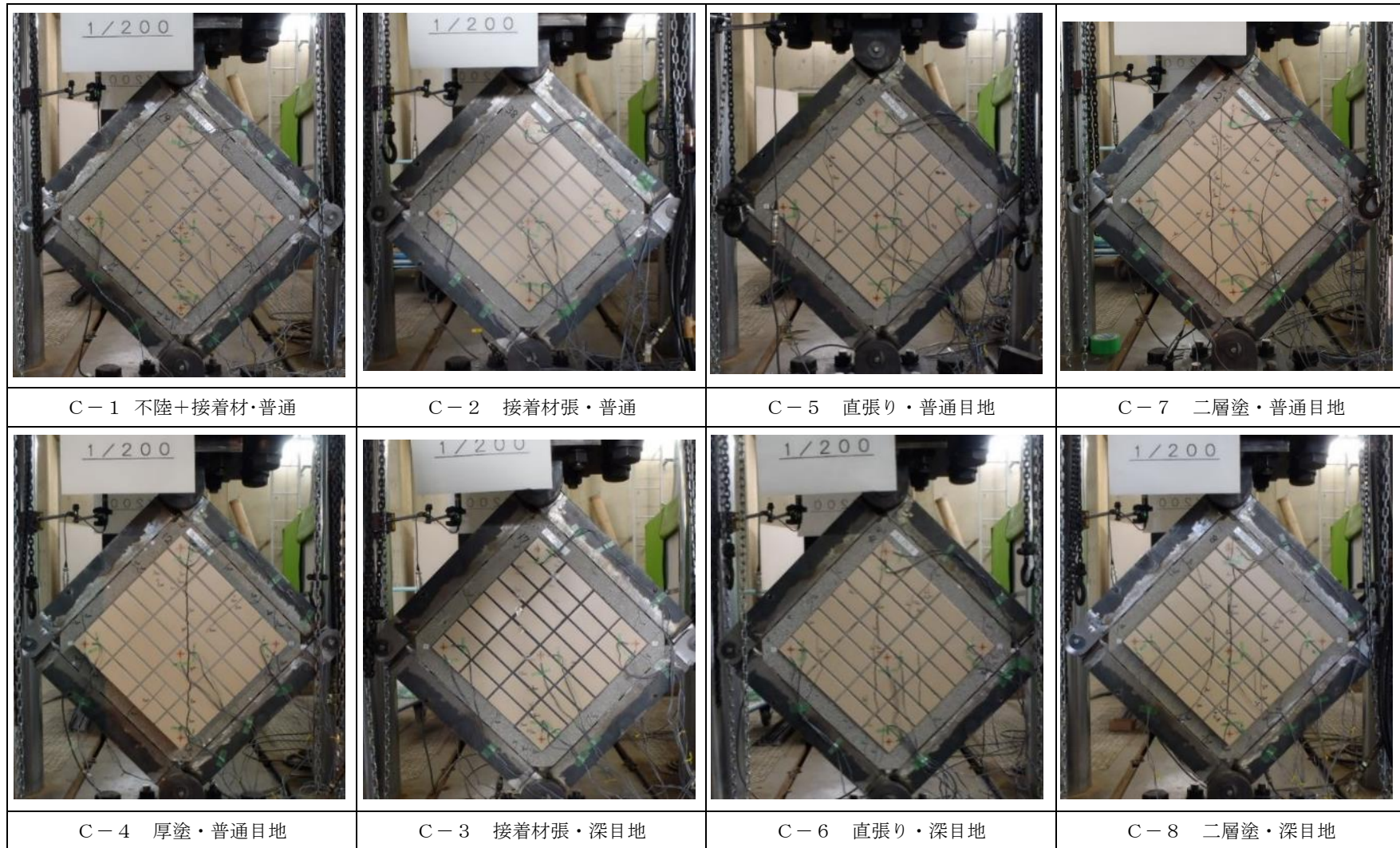


写真4.5.7-2 セン断変形角1/200時の拘束型治具によるダイアゴナル試験のタイル仕上げの破壊状況

4.5.2.3 耐震性評価試験法としてのダイアゴナル試験

解放型治具および拘束型治具を用いてダイアゴナル試験によるタイル仕上げの耐震性能評価試験法の検討を行い、次のことが確認できた。

- (1) ダイアゴナル試験に用いたコンクリート基盤寸法：500mm×500mm×厚さ70mmに鉄筋D6をシングル配筋した試験体仕様については、比較的小型であるがタイル仕上げのひび割れや剥離の発生を面で評価できる点において適当であったと思われる。コンクリート基盤の500mm×500mmの面には、45二丁掛けモザイクタイルを4列×8行張付けつけることができ、タイル目地深さの条件も含めてせん断変形に対する損傷発生状況を確認することができていた。ただし、試験体作製においては載荷用の治具と試験体の接地面におけるコンクリート圧壊を防止するため、面精度確保が重要条件となり注意が必要となる。
- (2) 解放型治具について、解放型治具による載荷試験では治具が接する領域のコンクリートがせん断滑り破壊を生じるコンクリートの圧縮破壊と類似していた。耐震性評価試験に用いるには、治具と試験体の接地面を考慮し治具の寸法や試験体の形状を再度検討する必要があると考える。
- (3) 拘束型治具について、拘束型治具による載荷試験ではコンクリート基盤はせん断破壊し、基盤に均等に力が伝わることを確認できたことから、面での評価が必要なタイル仕上げの耐震性評価に適していると考えられる。また、コンクリート基盤の初期ひび割れは、せん断変形角は1/1600（約0.0006）くらいから入るため、柱梁付き大型壁試験体の初期ひび割れ発生と状況が類似していた。
- (4) コンクリート基盤の載荷速度について、解放型治具および拘束型治具ともに0.005mm/secとしたが、コンクリート基盤のひび割れの入り方や壊れ方に問題はなく適当であったと考えられる。
- (5) 今回の検討においては貼り付けタイプのひずみゲージを使用したため、ひび割れ発生時に断線など（特に加力に対して水平方向を計測するために貼り付けたゲージ）の不具合が生じやすく、タイル仕上げのひずみデータが十分計測できなかった試験体があった。剥離などの破壊に至るタイルひずみの測定方法については、パイゲージを用いるなどの別の測定方法で実施するような検討も必要であると思われる。

続いて、拘束型治具を用いたダイアゴナル試験の結果で柱付き大型壁試験の耐震性評価試験結果と比較検討する。

4.5.3 ダイアゴナル試験体と柱付き大型壁試験体の破壊状況の比較

4.4節および4.5節の4.5.2の結果を受けて、拘束型治具によるダイアゴナル試験法の試験体の破壊状況と柱付き大型壁試験体の破壊状況について比較検討する。

4.5.3.1 コンクリート壁とコンクリート基盤の破壊状況について

図4.5.22に柱付き大型壁試験体とダイアゴナル試験体の変形角と試験体中央のコンクリートひずみの関係を示す。図の赤丸で示した試験体No1および試験体No3は、柱付き大型壁試験体のコンクリート壁中央で計測した斜め方向のひずみを表しており、静的水平交番载荷で負方向に载荷したときの値を抽出し絶対値でプロットしたものである。なお、試験体種別ごとの傾向を把握するため、プロットした点はつなげて表示している。同様に青色菱形で示した試験体C-1～試験体C-8は、ダイアゴナル試験体のコンクリート基盤中央で計測した縦方向ひずみを表している。図にはダイアゴナル試験に合わせて横軸の変形角は0～1/100 (0～0.01) までの測定結果を示した。

図から、柱付き大型壁試験体のコンクリート壁（面積：1,760mm×1,100mm）とダイアゴナル試験体のコンクリート基盤（面積：500mm×500mm）のコンクリートひずみと変形角の関係は、ダイアゴナル試験体のコンクリートひずみには多少の幅があるものの柱付き大型壁試験体とは類似性があると思われる。例えば、変形角1/200(0.005)の時のひずみで比較すると、試験体No1と試験体No3のコンクリートひずみは約-1000 μ であったのに対し、試験体C-1～試験体C-8のコンクリートひずみは-600 μ ～-1300 μ であり、柱付き大型壁試験体のコンクリートひずみはダイアゴナル試験体のコンクリートひずみの平均的な値であった。また、ダイアゴナル試験体のコンクリートのひずみにバラツキがあるのは、先の4.5.2節でも示したとおり治具とコンクリート基盤の隙間等のために加力の掛かり方の影響があると考えられる。

写真4.5.8に変形角1/200 (0.005) の時の柱付き大型壁試験体（写真の左）とダイアゴナル試験体（写真の右）のコンクリートの破壊状況を示す。写真左の柱付き大型壁試験体のコンクリート壁は、中心部を含む50cm四方の画像を抜き出したものである。画像で比較すると、柱付き大型壁試験体には平行で直線的なひび割れが入っていることが分かる。写真右のダイアゴナル試験体のひび割れは、起点が埋込んだナットとなってしまうため端部が曲線的に見えるものの、ひび割れ自体は平行に入っていることが分かる。なお、この時点におけるダイアゴナル試験体のコンクリートひび割れは、载荷試験の途中であったため不規則に生じているように見えるが、载荷試験終了時には変形が進行しひび割れが繋がり直線的に見えるようになった。

以上のことから、拘束型治具によるダイアゴナル試験体の50cm角のコンクリート基盤と柱付き大型壁試験体のコンクリート壁に発生したひずみはほぼ同程度であり、またコンクリートへのひび割れの入り方が類似していることが確認できた。

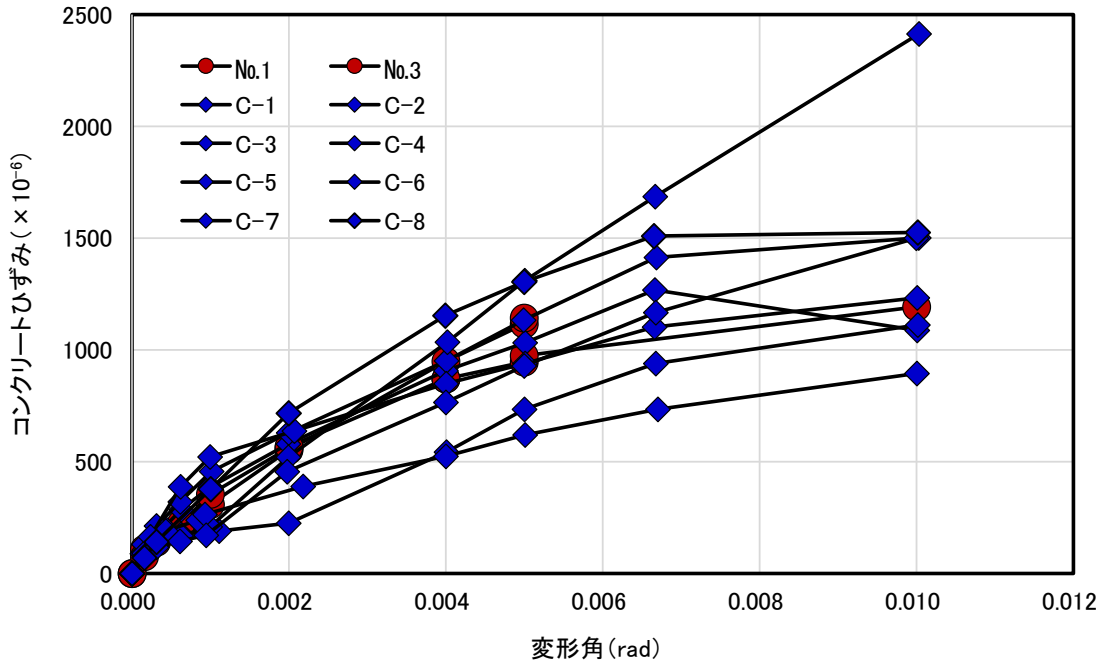


図4.5.22 柱付き大型壁試験体とダイアゴナル試験体の変形角と中央コンクリートひずみ

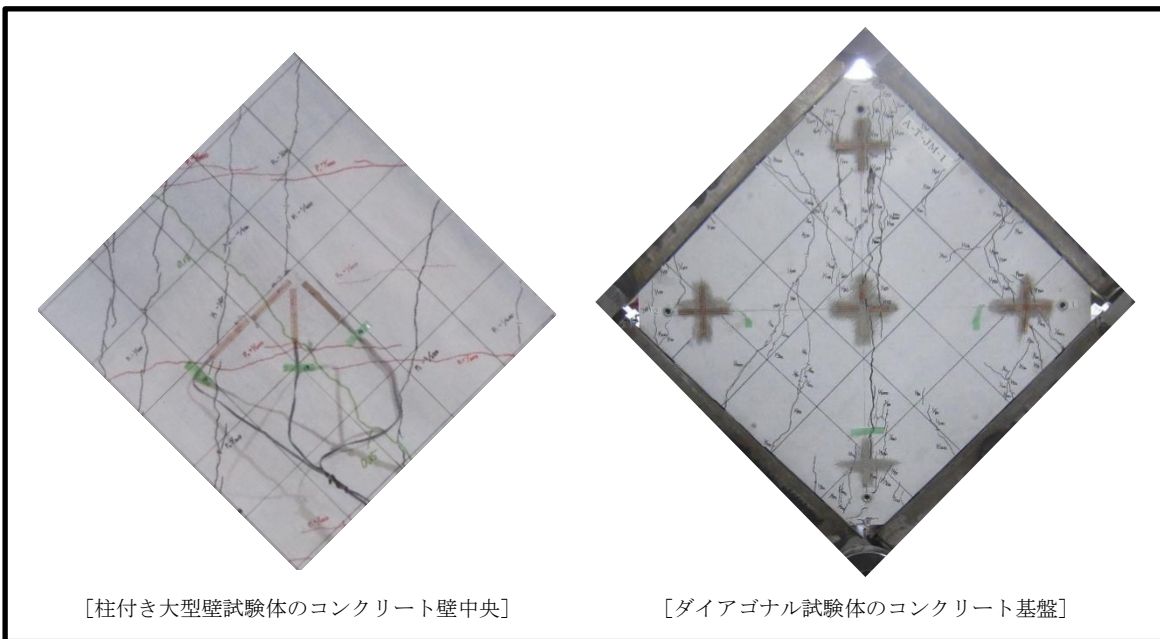


写真4.5.8 変形角1/200の時のコンクリートの破壊状況

4.5.3.2 タイル仕上げのひび割れ状況について

(1) タイル仕上げのひび割れ画像による比較

写真4.5.9に変形角1/200(0.005)におけるタイル直張り・普通目地仕上げのタイル面のひび割れ状況を示す。写真左の柱付き大型壁試験体の画像は、ダイアゴナル試験体と同面積となるよう、壁の中心部を含む50cm四方を画像から抜き出したものである。

写真左から柱付き大型壁試験体には、張付けモルタルとタイル裏足の界面で発生したタイルの欠損剥落が確認できる。次に、ひび割れ等損傷記録は黒色と赤色で色分けしてあるが、これは交番载荷による正負方向で生じたものの違いを表している。黒色線のひび割れで確認すると、ひび割れの多くが目地部分で確認できるもののタイルに生じたひび割れとも繋がっていることが分かる。また、同画像の「×印」は、打診検査により浮き音を確認したタイルを表しているが、ひび割れよりも「×印」のタイル浮きのほうが多く、かつタイル浮きはひび割れ周辺に生じていることが分かる。

同写真右のダイアゴナル試験体には、中央縦方向に伸びた幅の広いひび割れ（赤い矢印で示した）が確認でき、その隣には平行して生じている幅のやや狭いひび割れが確認できる。これらのひび割れはタイルと目地の別なく直線的に生じていた。また、せん断変形角1/200(0.005)の時点ではタイル浮きおよび剥落は確認できなかった。

このように柱付き大型壁試験体とダイアゴナル試験体とではタイル仕上げ面のひび割れ等損傷の生じ方には違いがみられた。この損傷の違いは、柱付き大型壁試験体の载荷方法が水平交番载荷であったため、一軸圧縮载荷のダイアゴナル試験よりも過酷な負荷となり、浮きが生じやすい状況であったと考えられる。

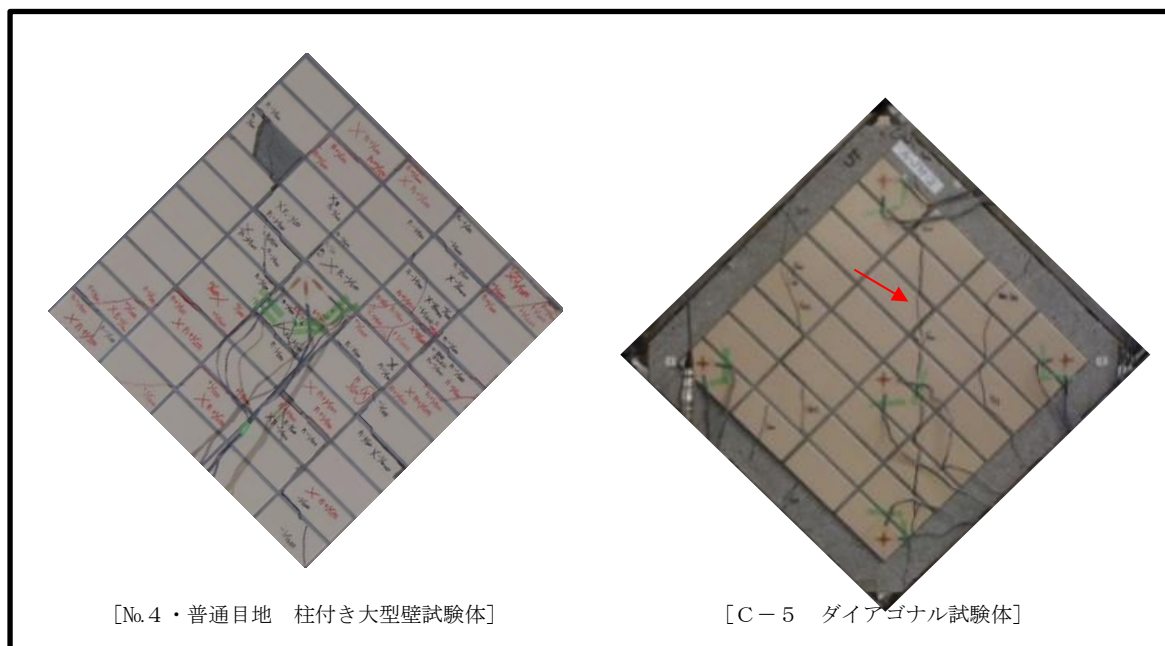


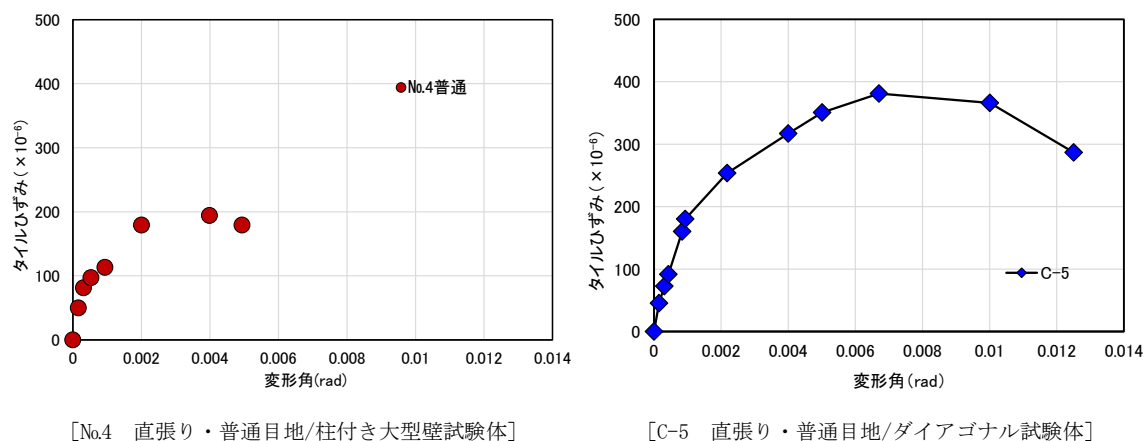
写真4.5.9 変形角1/200のタイル直張り・普通目地仕上げの破壊状況

※ 「×印」は打診によりタイルの浮き音を確認した箇所を示す。

(2) タイルひずみと変形角の関係

ダイアゴナル試験のタイルひずみは、加力中にひずみゲージの破断等による故障が発生し、加力終了時まで計測できた試験体は少なかった。このような状況でタイルひずみを加力終了時まで測定しデータを得られたのは試験体C-5 および試験体C-7 であったため、これらの結果を示す。

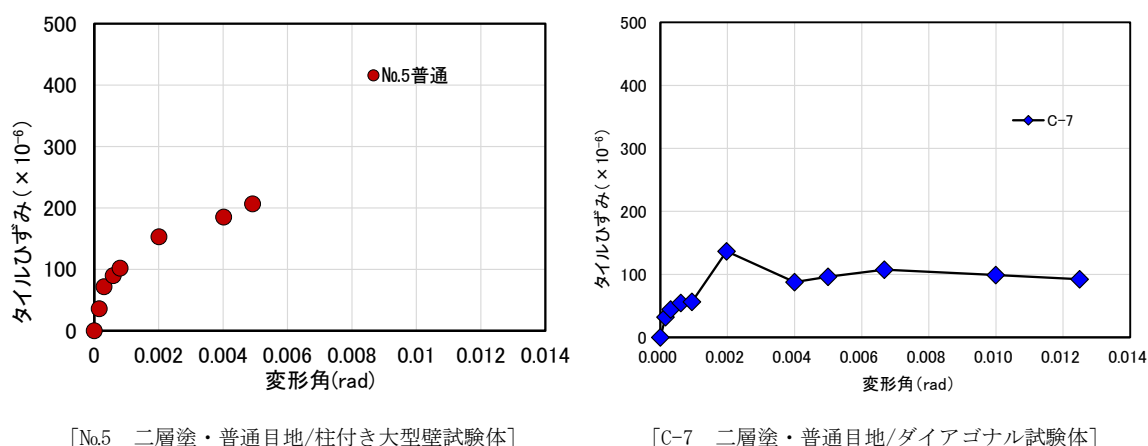
図4.5.23に柱付き大型壁試験体No4（タイル直張り・普通目地）の中央斜め方向のタイルひずみと層間変形角の関係(図の左側)と、同タイル仕上げ仕様のダイアゴナル試験体C-5の中央(縦)のタイルひずみとせん断変形角の関係(図の右側)を示す。また、図4.5.24には、柱付き大型壁試験体No5（2層塗下地・普通目地）の中央斜め方向のタイルひずみと層間変形角の関係(図の左側)と、同タイル仕上げ仕様のダイアゴナル試験体C-7のタイルひずみとせん断変形角の関係(図の右側)を示す。なお、柱付き大型壁試験体のタイルひずみは、層間変形角0～1/200(0.005)までの測定結果の中で、静的水平交番



[No.4 直張り・普通目地/柱付き大型壁試験体]

[C-5 直張り・普通目地/ダイアゴナル試験体]

図4.5.23 柱付き大型壁試験体とダイアゴナル試験体の変形角と中央タイルひずみの関係



[No.5 二層塗・普通目地/柱付き大型壁試験体]

[C-7 二層塗・普通目地/ダイアゴナル試験体]

図4.5.24 柱付き大型壁試験体とダイアゴナル試験体の変形角と中央タイルひずみの関係

載荷の負方向に載荷時のひずみを抽出して絶対値でプロットしたものである。また、各図右側のダイアゴナル試験体のタイルひずみは、せん断変形角0～1/80 (0.0125)までの11測定点をプロットしたものである。

図4.5.23から層間変形角に対するタイルひずみは、層間変形角1/1600(約0.0006)までは柱付き大型壁試験体No.4(図の左側)とダイアゴナル試験体C-5(図の右側)は同程度であったが、それ以降の変形角から差が生じはじめ、柱付き大型壁試験体の最大タイルひずみは層間変形角1/250(0.004)の時に約200 μ となり、同変形角におけるダイアゴナル試験体のタイルひずみは320 μ であった。これは前出の写真4.5.9で確認したように、柱付き大型壁試験体No.4は静的交番載荷試験によりタイル仕上げには浮きが多く生じており、タイル浮きが生じたことでコンクリートとの縁が切れてタイルの変形が小さくったと考えられる。一方、図右側のダイアゴナル試験体C-5はタイル仕上げがコンクリート基盤に強固に接着していたため中央タイルには大きなひずみが生じたと考えられる。

次に図4.5.24から、柱付き大型壁試験体No.5(図の左側)のタイルひずみはダイアゴナル試験体C-7(図の右側)のタイルひずみよりも大きく、この差は層間変形角1/3200(約0.0003)あたりから始まったことが分かる。図左側の柱付き大型壁試験体のタイルひずみは変形角が大きくなるにつれて増加し層間変形角1/200(0.005)で最大タイルひずみ200 μ となった。図右側のダイアゴナル試験体は変形角1/1000(0.001)～1/500(0.002)の間でタイルひずみが50 μ から150 μ に増加した後は100 μ 前後で加力終了時まで推移しており、タイル仕上げは変形角の小さい段階で試験体損傷の影響をうけ、それ以降は試験体に変形してもタイルにはひずみが生じにくくなったと考えられる。

上記の結果から、変形角が1/1600までの試験体に損傷が無い段階では、ダイアゴナル試験体のタイルひずみは柱付き大型壁試験体のタイルひずみと同程度あることが確認できた。

なお、柱付き大型壁試験体のタイルひずみ測定値はゲージの破断がなく加力終了時までの値を確認することができたが、ダイアゴナル試験体のタイルひずみの測定値は試験体の損傷の影響を強く受ける傾向がみられた。しかしながら、試験体に損傷の生じはじめる変形角を確認することや、タイルに生じたひずみを確認することは剥離や剥落のしやすさを分析する際に必要であり、ひずみ測定は有効であった。今回用いた材料に直接貼付けて計測するタイプのひずみゲージは、試験体の損傷による影響で以降の測定が不可能になることも多く、データの安定性や信頼性には不安な面もあるため、タイル仕上げのひずみ測定の方法については試験体の損傷による影響の少ない方法にするなど工夫が必要であると考えられる。

(3) ダイアゴナル試験体の加力終了後の接着強度について

表4.5.3にダイアゴナル試験終了後の引張接着強度を示す。引張接着試験はせん

断変形角1/80(0.0125)まで加力した後に、試験体を拘束型治具から取り外し、床面に寝かせた状態で行った。テストピースはひび割れや浮き等の生じなかった中央付近から各試験体につき1箇所ずつ選び、引張接着試験は油圧式簡易引張試験器を用いて行った。同表から、タイル仕上げは全ての試験体で加力後も1.0N/mm²以上の高い接着力を保持していた。目地深さが試験後のタイル仕上げの付着性に及ぼす影響について、タイル接着剤張りの試験体C-2（普通目地）と試験体C-3（深目地）、タイル直張りの試験体C-5（普通目地）と試験体C-6（深目地）、および、2層塗下地の試験体C-7（普通目地）と試験体C-8（深目地）のそれぞれを比較したところ、タイル接着剤張りの普通目地は深目地よりも接着力が高かったものの、タイル直張りとは2層塗下地では深目地のほうが普通目地よりも接着力が高く、接着力への影響は確認できなかった。また、破断位置についても特に普通目地や深目地で決まった位置で破断するなどのことは無かった。

表4.5.3 ダイアゴナル試験終了後の接着強度

試験体番号	タイル仕上げ仕様	引張接着応力 (N/mm ²)	破断位置
C-1	不陸調整+接着剤張り・普通目地	1.31	不陸調整モルタル凝集: 接着材凝集=9:1
C-2	接着剤張り・普通目地	1.96	タイルと接着材界面=10
C-3	接着剤張り・深目地	1.79	コンクリート凝集: 接着材とコンクリート界面=9:1
C-4	厚塗下地・普通目地	1.76	張付モルタル凝集: 張付モルタルとタイル界面=3:7
C-5	直張り・普通目地	1.66	治具取付エポキシ樹脂凝集=10
C-6	直張り・深目地	1.88	コンクリート凝集: タイルと張付モルタル凝集=2:8
C-7	2層塗下地・普通目地	1.03	下地モルタル凝集=10
C-8	2層塗下地・深目地	1.15	下地モルタル凝集=10

(4) 柱付き大型壁試験体とダイアゴナル試験体の破壊状況について

写真4.5.10-1および写真4.5.10-2に柱付き大型壁試験体のせん断変形角1/200(0.005)の試験終了後の破壊状況を示し(4.3節 写真4.3.5の再掲)、写真4.5.11に拘束型治具のダイアゴナル試験でせん断変形角1/80(0.0125)の試験終了後のタイル仕上げの破壊状況を示す。

写真4.5.10-1および写真4.5.10-2から柱付き大型壁試験体でタイル仕上げに剥落が生じたのは、試験体No3(厚塗り・普通目地)と試験体No4(直張り・普通目地)がタイル1枚に部分欠損剥落が生じており、試験体No4(直張り・深目地)と試験体No5(二層塗下地・普通目地)および試験体No5(二層塗下地・深目地)にはタイル陶片の剥落と欠損剥落が複数枚に生じた。特に、試験体No4(タイル直張り・深目地) > 試験体No5(二層塗下地・深目地) > 試験体No5(二層塗下地・普通目地)の順に剥落が

多かった。

次に写真4.5.11からダイアゴナル試験体では、タイル仕上げ剥落は試験体C-5（直張り・普通目地）に数枚のタイルで欠損剥落があり、剥離箇所はコンクリートと張付モルタルの接着界面であった。このタイル剥落は、コンクリート基盤のひび割れ部分からはらみ出して仕上げ材が押し出されたように見える。この他にはモルタル張りの試験体C-6（直張り・深目地）、試験体C-7（二層塗・普通目地）および試験体C-8（二層塗・深目地）にタイルに極小面積の欠損を確認した。柱付き大型壁試験体のタイル接着剤張りの試験体No1（不陸調整+接着剤張り、普通目地）、試験体No2（接着剤張り・普通目地）および試験体No2（接着剤張り・深目地）には目地にひび割れが集中しタイルにひび割れは生じなかったが、ダイアゴナル試験体では接着剤張りした試験体C-1（不陸調整+接着剤張り・普通目地）は目地にひび割れが集中したものの、コンクリートに直にタイルを接着させた試験体C-2（接着剤張り・普通目地）および試験体C-3（接着剤張り・深目地）には、数枚のタイルにひび割れを生じた。

以上の結果から、モルタルを用いたタイル仕上げの仕様の場合、水平交番載荷する柱付き大型壁試験はひび割れや浮きだけではなく剥落も多数発生するなどタイル仕上げの損傷状況は大きかった。これに対して、ダイアゴナル試験では層間変形角を1/80まで載荷しても同程度の損傷までには至らなかった。また、接着剤張りタイル仕上げについては、ダイアゴナル試験体のほうがタイルにひび割れが生じたものがあり、柱付き大型壁試験体とやや異なる損傷があった。

ダイアゴナル試験は一軸圧縮載荷試験のため、水平交番載荷試験ほどタイル仕上げの剥落を伴う損傷がおこりにくい。従って、同試験によって耐震性評価を行うためには、破壊状態に関する判断基準を設けることも一つの有効な手段と考えられる。例えば先の(3)で示したダイアゴナル試験後に行った引張接着試験では今回はいずれのタイル仕上げも高い接着強度を保持していたため引用できなかったが、こうした方法を用いるなど、規定の設け方について別途さらに検討する必要があると考える。

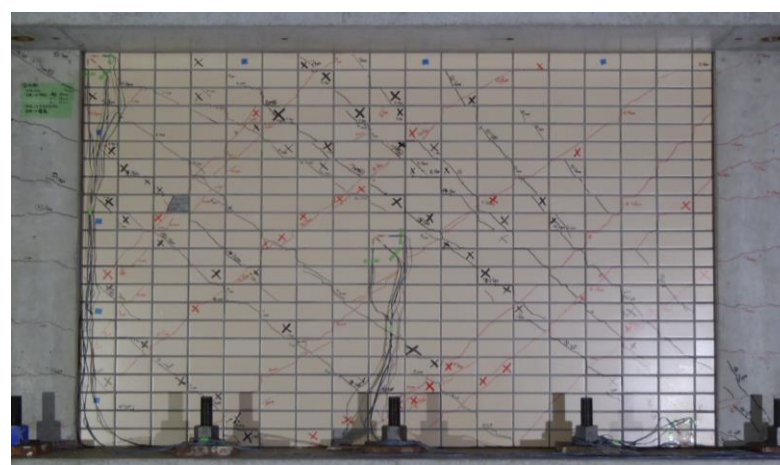
4.5.3.3 ダイアゴナル試験体と柱付き大型壁試験体の破壊状況のまとめ

本節では次のことが確認できた。

- (1) 拘束型治具によるダイアゴナル試験のコンクリート基盤と柱付き大型壁試験体のコンクリート壁に発生したひずみと変形角の関係は類似していた。また、コンクリートに生じたせん断ひび割れの入り方も類似していた。
- (2) 柱付き大型壁試験体とダイアゴナル試験体ともに変形角 $\pm 1/1600$ (\pm 約0.0006)前後でコンクリートにひび割れが入った。
- (3) 柱付き大型壁試験体とダイアゴナル試験体の損傷状態の違いは、柱付き大型壁試験体が水平交番載荷試験であったため、一軸圧縮載荷試験のダイアゴナル試験よりも負荷が大きくなり、浮きや剥落が生じやすいことであった。
- (4) タイルに生じたひずみを確認することは剥離や剥落のしやすさを分析する際に有効であるが、部材に直接貼付けるタイプのひずみゲージは試験体の損傷に伴う故障が多く測定不能となることが多かった。データの安定性や信頼性には不安な面もあるため、タイル仕上げのひずみ測定の方法については試験体損傷の影響を受けにくい方法の検討が必要である。
- (5) 拘束型治具を用いたダイアゴナル試験法は、柱付き大型壁試験体を用いた耐震性試験の結果と共通点が多く代替試験法として適用可能であると考ええる。
- (6) 一軸圧縮載荷によるダイアゴナル試験で柱付き大型壁試験と同等の耐震性評価を行うには、ダイアゴナル試験専用の破壊状態に関する判断基準を設けることが手段の一つであると考えられる。基準については今後別途検討する必要がある。



No. 1 不陸+接着材・普通目地



No. 3 厚塗・普通目地



No. 2 接着材張・普通目地



No. 2 接着材張・深目地

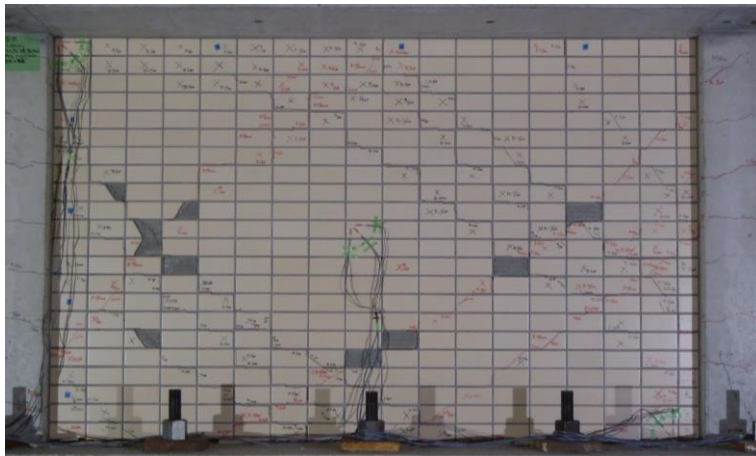
写真4.5.10-1 層間変形角1/200終了時の柱付き大型壁試験のタイル仕上げ破壊状況（その1）



No. 4 直張り・普通目地



No. 4 直張り・深目地

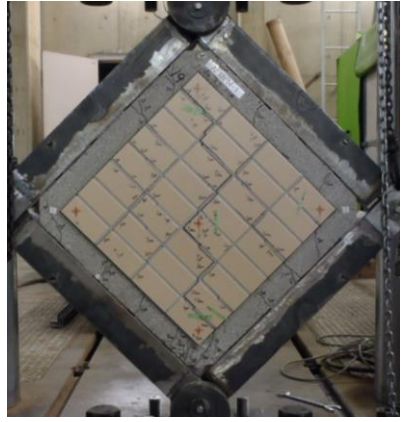
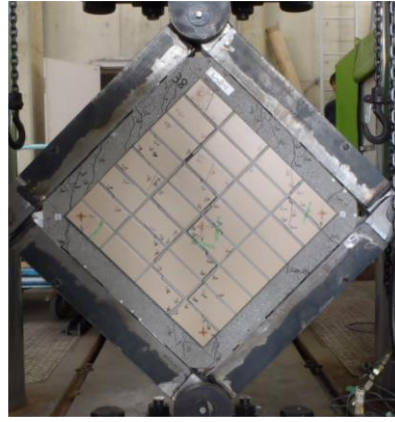
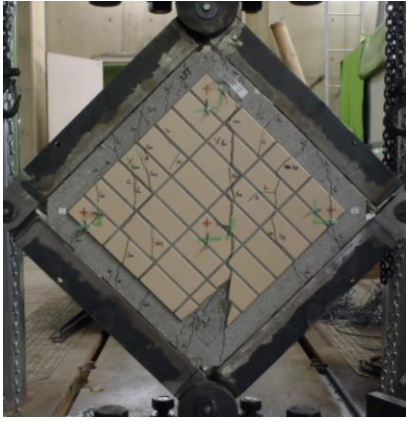
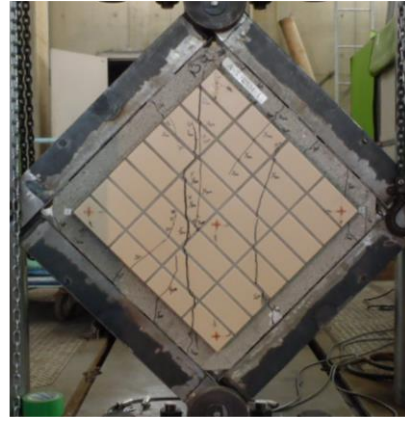
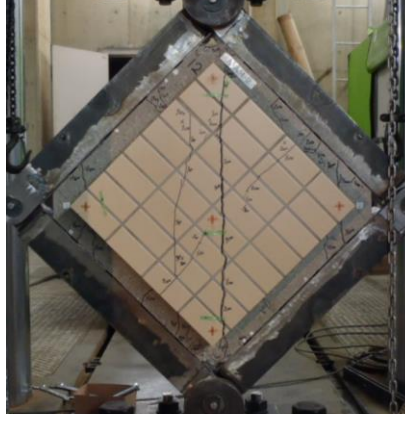
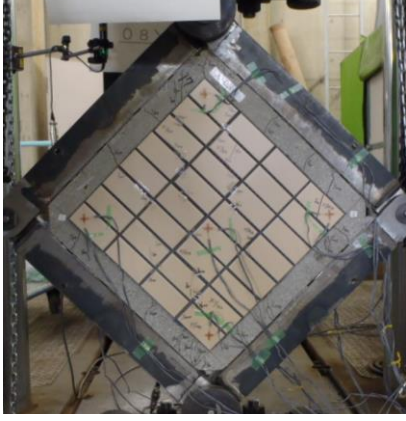
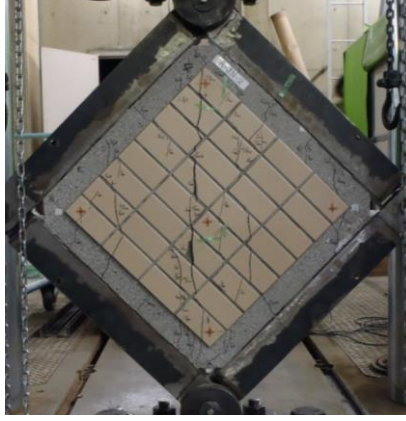
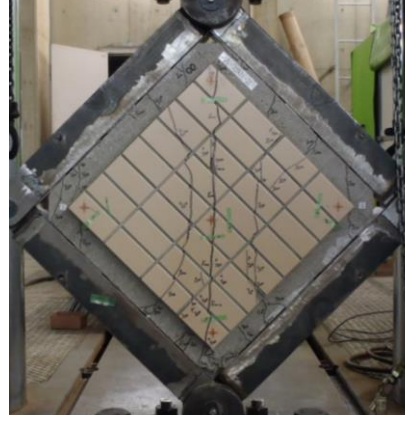


No. 5 二層塗・普通目地



No. 5 二層塗・深目地

写真4.5.10-2 層間変形角1/200終了時の柱付き大型壁試験のタイル仕上げ破壊状況 (その2)

			
C-1 不陸+接着材・普通目地	C-2 接着材張・普通目地	C-5 直張り・普通目地	C-7 二層塗・普通目地
			
C-4 厚塗・普通目地	C-3 接着材張・深目地	C-6 直張り・深目地	C-8 二層塗・深目地

真4.5.11 せん断変形角1/80終了時の拘束型治具によるダイアゴナル試験のタイル仕上げ破壊状況

4.6 引張接着性試験およびせん断試験

タイル仕上げに使用する材料等によって、経年劣化による剥離のしやすさ、また地震動による変形追従性に違いなどが出てくることは議論の余地はない。本節では、タイル仕上げ材の基礎物性を把握する目的で実施した引張接着性試験およびせん断試験の結果について報告する。また、引張接着性試験については、持ち運び可能な簡易引張接着性試験機を活用した実建物外壁の接着強度測定による耐震性評価への適用について検討した。

4.6.1 引張接着性試験およびせん断試験の概要

図 4.6.1 に引張接着性試験体及びせん断試験体の概要を示す。試験体は、300 mm×300 mm×厚 60 mmのコンクリート平板に、タイル仕上げを施工した。タイル仕上げの仕様は、4.3 節で示した表 4.3.1 および表 4.3.2 のものと同様とした。なお、本試験体はタイル目地は設けない。試験体数は一つの仕上げ種類につき 3 個とし、図 4.6.1 のようにコンクリート平板 1 枚で 3 個測定できる。

写真 4.6.1 に引張接着性試験の様子を示し、写真 4.6.2 にはせん断試験の様子を示す。試験は、引張接着性試験およびせん断試験ともに同じ万能試験機を用いて実施した。

引張接着性試験は写真 4.6.1 のように、タイル表面に専用の鋼製治具をエポキシ樹脂接着剤で取りつけ、面外方向に引張ってタイル仕上げの接着強度を測定するものであり、その破壊（剥離）は最も脆弱な箇所で生じる。

せん断試験は写真 4.6.2 のように、万能試験機のクロスヘッドにせん断試験専用の加力治具をとりつけて、タイル仕上げ層（下地モルタルからタイルまで）を側面から直接押して接着面のせん断強度を測定するものであり、破壊（剥離）箇所は主にコンクリートと下地モルタル又は下地モルタルの施工が無い場合にはタイル張付材との接着界面となるが、仕上げ層の側面（加力する面）の精度が悪い場合や接着強度が大きい場合には仕上げ材やコンクリートで凝集破壊が生じることがある。

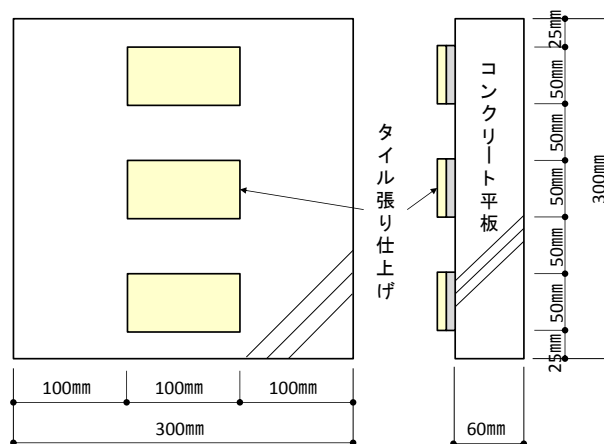


図 4.6.1 引張接着性試験体及びせん断試験体の概要



写真 4.6.1 引張接着性試験

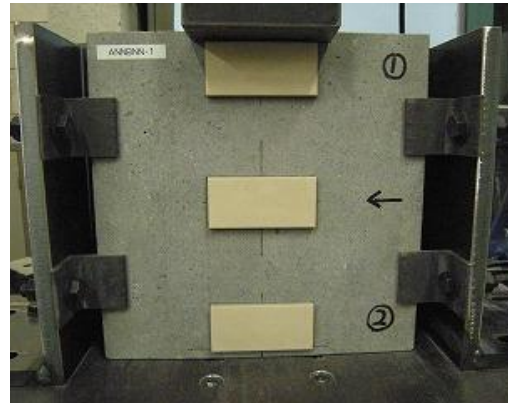


写真 4.6.2 せん断試験

4.6.2 引張接着性試験の結果

図 4.6.2 に引張接着性試験の結果を示す。各試験体の引張応力は 3 個の平均値で示した。図から「モルタル 2 層塗下地」タイル仕上げの接着強度が最も高く 1.21N/mm^2 あり、「接着材張り」が最も低い値で 0.45N/mm^2 とその差は 0.76N/mm^2 もあった。「不陸調整+接着材」の引張応力は 0.69N/mm^2 と「モルタル厚塗下地」の 0.53N/mm^2 よりも高く、「接着材張り」とは若干強度に差があった。「タイル直張り」は 1.02N/mm^2 と高い引張応力であった。

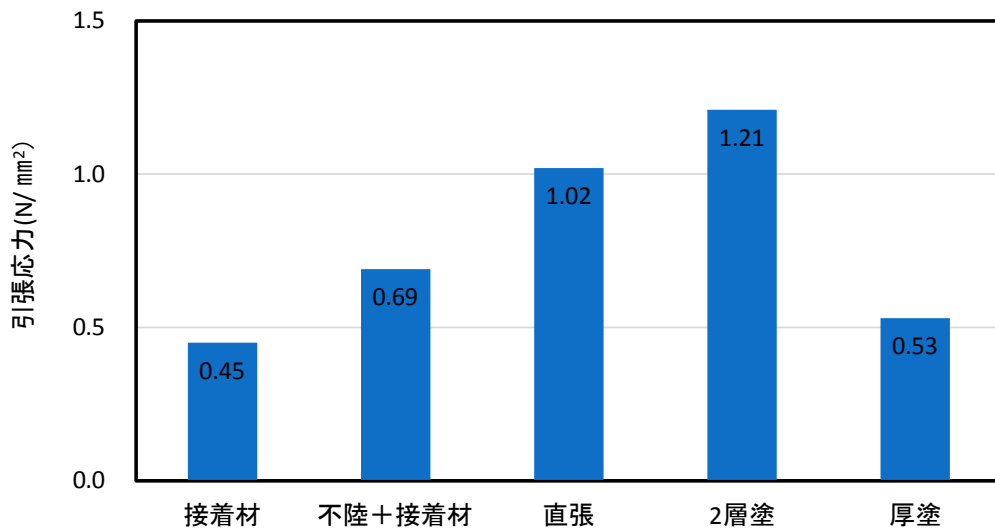


図 4.6.2 引張り接着性試験の結果

次に写真 4.6.3 に引張接着性試験後の剥離（破断）箇所を示す。タイル仕上げの剥離箇所は、「モルタル厚塗下地」のタイル仕上げで一箇所、下地モルタルとコンクリート界面で剥離（同写真の④）したものがあつた。これ以外のタイル仕上げの剥離箇所は、

「接着材張り」(同写真の①)はタイル裏足の接着面(剥離面積割合が6~7割)と接着材の凝集破壊(3~4割)であった。「タイル直張り」(同写真の②)はタイル裏足と張付けモルタル凝集破壊がおよそ5:5の割合で剥離し、「モルタル2層塗下地」(同写真の③)および「モルタル厚塗下地」(同写真の④)は、ほぼタイル裏足と張付けモルタルの接着面で剥離していた。「不陸調整+接着材張り」の画像はないものの不陸調整材(モルタル)の凝集破壊で剥離したことを確認した。

仕上げ材の剥離箇所から勘案すると、今回用いたタイル仕上げ仕様は、コンクリートと下地モルタルまたは(下地モルタルが無い場合は)張付材との接着性は良好であったと推察される。

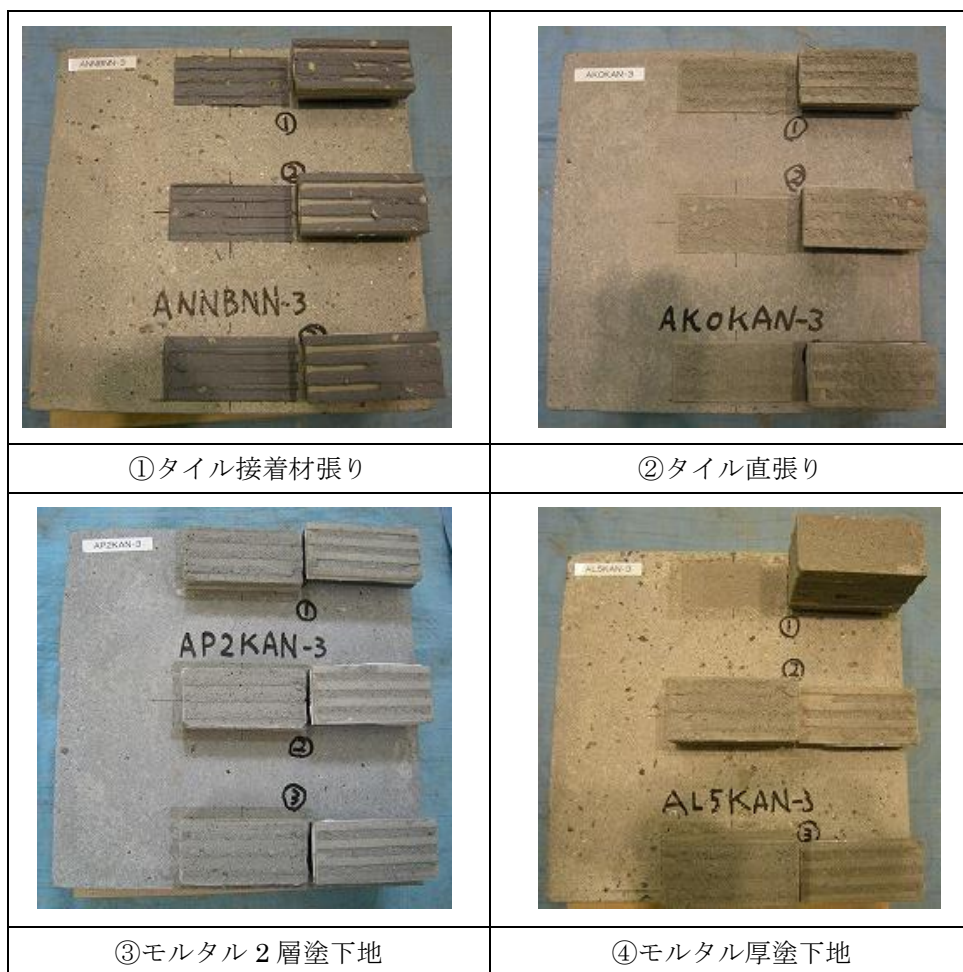


写真 4.6.3 引張接着性試験後の剥離箇所

引張接着強度と剥離位置の結果から、「接着材張り」は接着材の強度がモルタルよりも小さかった。「モルタル厚塗下地」はコンクリート接着面と下地モルタルで剥離したものがあ、他のタイル仕上げ仕様よりもコンクリートとの接着強度は低かったと推察できる。「モルタル2層塗下地」は「タイル直張り」よりも引張応力が大きかったこ

とから、張付けモルタルよりも下地モルタルとコンクリートのほうが接着強度が大きかったと推察できる。

ここで、4.3 節の柱付き大型壁試験体の耐震実験、4.4.1 節の変形追従性試験ならびに 4.4.2 節のダイアゴナル試験のタイル仕上げの破壊状況を勘案すると、剥落が生じたのは「直張り」や「セメント 2 層塗下地」であり接着強度と剥落の発生は一概には一致していないことが分かった。また、タイル剥落の生じなかった「接着材張り」は、接着強度で評価することは適切ではないことが確認できた。

耐震試験で剥落の生じたタイル仕上げの剥離箇所については、主にタイル裏足と張付材との接着面があり引張接着性試験結果と一致していた。

4.6.3 セン断試験の結果

図 4.6.3 にせん断試験結果を示す。図より、せん断試験の結果においても「モルタル 2 層塗下地」タイル仕上げのせん断応力が最も高く 7.80N/mm^2 あり、「接着材張り」が最も低く 3.05N/mm^2 とその差は 4.75N/mm^2 もあった。せん断応力も「モルタル厚塗下地」が「接着材張り」に次いで小さくせん断応力は 5.25N/mm^2 であり、「直張り」はそれよりも大きく 6.75N/mm^2 であった。せん断試験では「接着材張り」のせん断応力は、モルタル張りのタイル仕上げ仕様と比べるとやや低めであった。

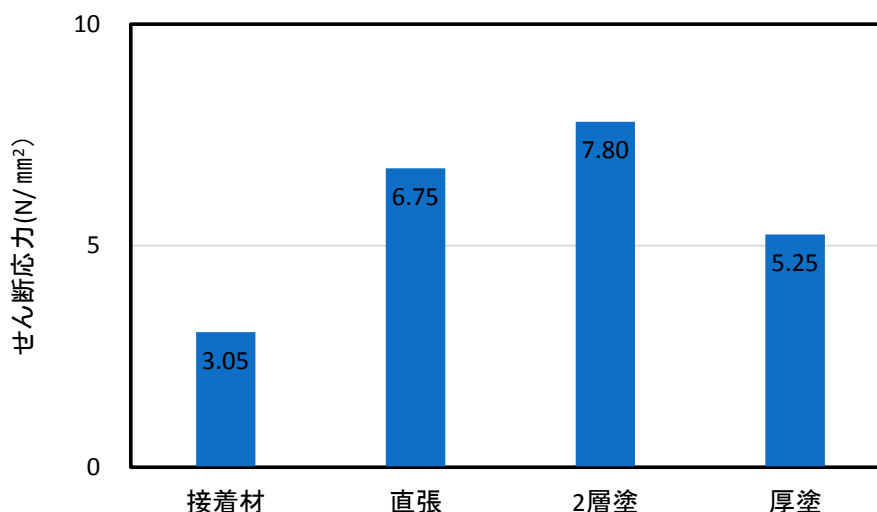


図 4.6.3 セン断試験の結果

写真 4.6.4 にせん断試験後の剥離箇所を示す。タイル仕上げの剥離箇所は、「接着材張り」(写真の①) はタイル裏足 (剥離面積割合が 5~7 割) と張付け接着材の凝集破壊 (3~5 割程度) であり、「直張り」(写真の②) はタイル裏足 (8 割) と張付けモルタルの凝集破壊 (2 割程度) であった。「モルタル 2 層塗下地」(写真の③) はコンクリート

と下地モルタルの接着面ではほぼ剥離していたが、剥離面積の 1 割程度をコンクリート凝集破壊しているものもあった。「モルタル厚塗下地」(写真の④)は一個がコンクリート接着界面(6割)と下地モルタルの凝集破壊(4割)であり、他の二個はコンクリート凝集破壊(2割)とコンクリートと下地モルタルの接着界面(8割)で剥離していた。

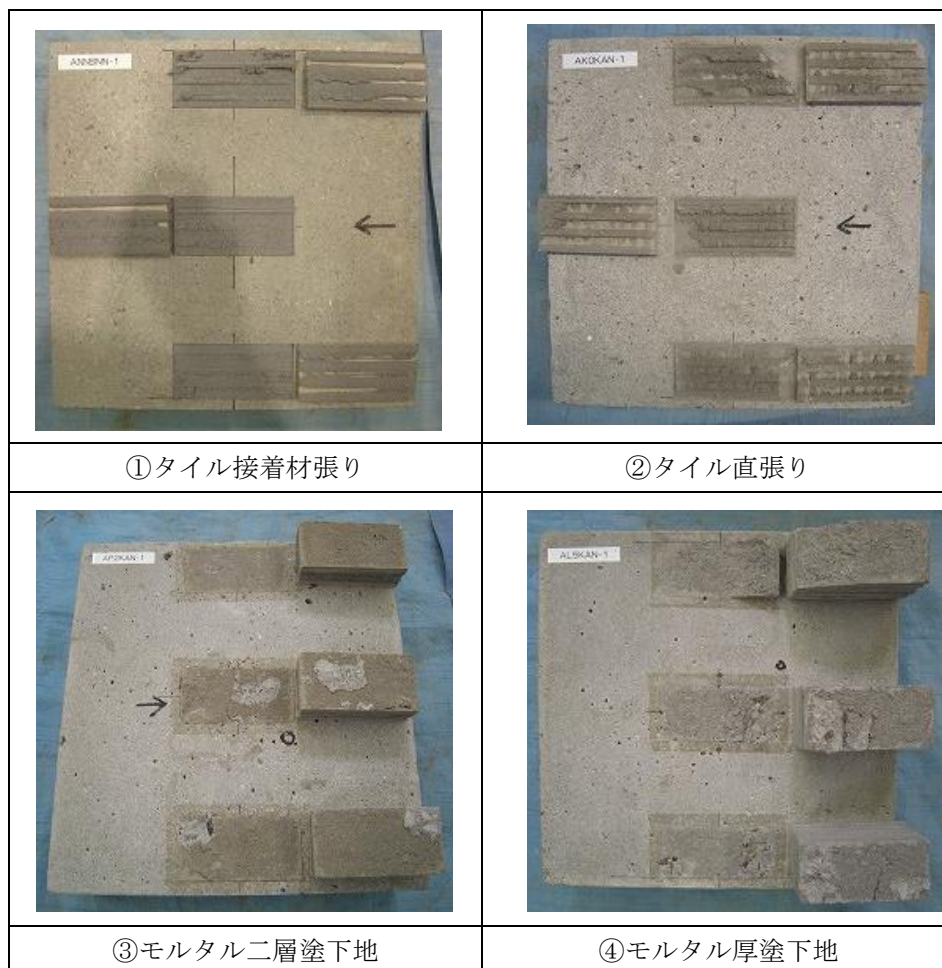


写真 4.6.4 せん断試験後の剥離箇所

せん断強度と剥離位置の結果から、「接着材張り」は接着材の強度がモルタルより小さかった。「モルタル厚塗下地」はコンクリートと良好に接着していたが、仕上げ材の自重等の要因もありせん断応力は他のモルタル仕様よりも低くなったと推察される。「タイル直張り」と「モルタル 2 層塗下地」とも高いせん断応力を保有していたが、下地モルタルとコンクリートの接着強度のほうがタイルと張付けモルタルの強度よりも大きかったと推察できる。

せん断試験においても、引張応力と同様にタイル仕上げの剥落発生状況は、せん断応力の大きさと一致するとは言えない結果だった。

4.6.4 引張接着性試験およびせん断試験のまとめ

4.6.4.1 タイル仕上げ仕様の物性について

- (1) 引張接着強度が小さいものはせん断強度も小さかった。強度の順番は引張接着性試験もせん断試験もともに、「接着材張り」が最も小さく、次いで「セメント厚塗下地」、「不陸調整+接着材張り」、「直張り」、「モルタル2層塗下地」であった。各種タイル仕上げ仕様の基礎的な物性は以下のとおりであった。
- ・「不陸調整+接着材張り」の引張応力は「接着材張り」よりも大きく、破断箇所は不陸調整モルタルの凝集破壊であった。
 - ・「接着材張り」の引張応力およびせん断応力は今回試験した仕様の中で最も小さく、破断箇所は引張接着性試験およびせん断試験ともにタイル裏足の接着面と張付け接着材の凝集破壊であった。
 - ・「直張り」の引張応力およびせん断応力は、「モルタル2層塗下地」に次いで大きな値であった。破断箇所は引張接着性試験およびせん断試験ともにタイル裏足の接着面と張付けモルタルの凝集破壊であった。
 - ・「モルタル2層塗下地」の引張応力およびせん断応力は、今回試験した仕様の中で最も大きな値であった。破断箇所は、引張接着性試験はタイル裏足と張付けモルタルの接着面であり、せん断試験は下地モルタルとコンクリートの接着面であった。
 - ・「モルタル厚塗下地」の引張応力およびせん断応力は、「接着材」に次いで小さな値であった。破断箇所は、引張接着性試験はタイル裏足と張付けモルタルの接着面および下地モルタルとコンクリートの接着面の2種類あり、せん断試験は下地モルタルとコンクリートの接着面であった。
- (2) 今回試験に用いたタイル仕上げ仕様はコンクリートとタイル仕上げの接着力が大きく、タイル仕上げの中ではタイル裏足と張付けモルタル間が最も脆弱な箇所であった。
- (3) 柱付き大型壁試験体の耐震実験や変形追従性試験ならびにダイアゴナル試験の結果を勘案すると、剥落を生じたのは「直張り」や「セメント2層塗下地」であり接着強度の高さと剥落の発生は必ずしも一致しなかった。
- (4) 耐震試験でタイル仕上げの剥落がなかった「接着材張り」は、接着強度で評価することは適切ではないことが確認できた。このため、「接着材張り」については、接着強度以外でタイル仕上げの剥落しにくさから耐震性評価ができる、変形追従性試験で確認することが望ましい。

4.6.4.2 引張接着性試験と耐震性評価について

持ち運び可能な簡易引張試験機を活用した建物外壁の耐震性評価について、可能なことと継続した検討が必要な項目を示す。

- (1) 引張接着強度とせん断強度の関係については、今回実施した引張接着性試験とせん断試験の試験体では、破壊（剥離）箇所が異なってしまうため定量的な関係を示すことはできない。別途、破壊箇所が同じ位置となるよう計画した試験体を作製し、改めて検討する必要がある。
- (2) 既存建物外壁のタイル仕上げの耐震性を確認する方法としては、持ち運び可能な簡易引張試験機で確認する方法としては、引張接着性試験により測定結果が 0.4N/mm^2 以上であるかと破壊（剥離）位置を確認し、接着強度の程度とどの部分が脆弱化しているかなどの判断に用いることができる。
- (3) 「接着材張り」タイル仕上げは、接着強度で耐震性評価することはあまり適切ではない。「接着材張り」タイル仕上げの既存建物外壁の耐震性を確認するには、接着材がきちんとタイルに付いているかを確認することがより有効である。

4.7 まとめ

本研究の全体を通して次のような結果が得られた。

4.7.1 変形追従性試験について

- (1) 変形追従性試験は、仕上げ材料のコンクリート躯体の変形に対する追従性などを評価することができる試験方法であり、タイルやモルタルなどの接着面の施工やそれらの厚さ、仕上げに用いる材料ごとの性能を確認する場合には有効な試験法であることが確認できた。
- (2) 「接着材張り」のように弾性の高い材料のタイル仕上げである場合は、耐震性を評価するには変形追従性試験は特に有効である。
- (3) 変形追従性試験の実施にあたり適用した試験体のコンクリート基盤寸法 150 mm×150 mm×400 mmは、45 二丁掛けモザイクタイルを基盤の長手方向に対して横張りで一列分施工することができ各種タイル仕上げ仕様を目地も含めて検討することができ、適当な寸法であった。また、載荷速度 5kN/min はコンクリートの破壊状況や観察に適当であった。
- (4) 変形追従性試験は、タイルおよび下地モルタル、コンクリートに貼付けたひずみゲージは加力終了時まで損傷することが少なく、ひずみデータの取得に有効であった。このため、加力中の仕上げ層の剥離（付着力低下）発生を、材料ごとに確認することができる利点がある。
- (5) タイル仕上げ端部のタイルひずみの測定については、仕上げの施工の関係で貼付け材の接着が十分ではないことが多く正確な測定データがとれにくいため、ゲージ貼付け位置については事前の検討が必要である。
- (6) 耐震性評価には変形追従性試験のみではタイル仕上げの面的な評価およびひび割れの発生などの評価が十分にはできないため、ダイアゴナル試験体等と共に実施することが推奨される。

4.7.2 ダイアゴナル試験について

ダイアゴナル試験では、試験体の形状および寸法、載荷方法ならびに載荷試験専用治具（開放型治具と拘束型治具）の開発検討を行い、コンクリート基盤の破壊状況から大型試験体によるタイル仕上げの耐震試験の代替方法となるか検討を行った。

- (1) ダイアゴナル試験に用いたコンクリート基盤寸法：500 mm×500 mm×厚さ 70 mmに鉄筋 D6 をシングル配筋した試験体仕様については、比較的小型であるがタイル仕上げのひび割れや剥離の発生を面で評価できる点において適当であった。コンクリート基盤の 500 mm×500 mmの面には、45 二丁掛けモザイクタイルを 4 列×8 行張付けつけることができ、タイル目地深さの条件も含めてせん断変形に対する損傷発生状況を確認することができた。ただし、試験体作製においては載荷用の治具と試験体の接地面におけるコンクリート圧壊を防止するため、面精度確保が重要な条件となる。
- (2) 解放型治具について、解放型治具による載荷試験では治具が接する領域のコンクリ

ートがせん断滑り破壊を生じるコンクリートの圧縮破壊と類似していた。耐震性評価試験に用いるには、治具と試験体の接地面を考慮し治具の寸法や試験体の形状を再度検討する必要がある。開放型治具は載荷の際に治具と接する面の試験体精度が悪いと圧壊が生じるため注意が必要である。

(3) 拘束型治具について、拘束型治具による載荷試験ではコンクリート基盤はせん断破壊し、基盤に均等に力が伝わることを確認できたことから、面での評価が必要なタイル仕上げの耐震性評価に適していた。また、コンクリート基盤の初期ひび割れは、せん断変形角は 1/1600 (約 0.0006) くらいから入るため、柱梁付き大型壁試験体の初期ひび割れ発生と状況が類似していた。拘束型治具は、治具にコンクリート基盤をボルト留めするため試験体の載荷試験装置への設置が難しい。また、拘束型治具とコンクリート基盤の隙間調整には鋼板などの固い板を用いるとよい。

(4) コンクリート基盤の載荷速度について、解放型治具および拘束型治具ともに 0.005 mm/sec としたが、コンクリート基盤のひび割れの入り方や壊れ方に問題はなく適当であった。

(5) 今回の検討においては貼り付けタイプのひずみゲージを使用したため、ひび割れ発生時に断線など（特に加力に対して水平方向を計測するために貼り付けたゲージ）の不具合が生じやすく、タイル仕上げのひずみデータが十分計測できなかった試験体があった。剥離などの破壊に至るタイルひずみの測定方法については、パイゲージを用いるなどの別の測定方法で実施するような検討も必要であると思われる。

(6) 拘束型治具を用いたダイアゴナル試験法は、柱付き大型壁試験体を用いた耐震性試験の結果と共通点が多く代替試験法として適用可能であると考えられる。

(7) タイルに生じたひずみを確認することは剥離や剥落のしやすさを分析する際に有効であるが、部材に直接貼付けるタイプのひずみゲージは試験体の損傷に伴う故障が多く測定不能となることが多かった。データの安定性や信頼性には不安な面もあるため、タイル仕上げのひずみ測定の方法については試験体損傷の影響を受けにくい方法の検討が必要である。

(8) 一軸圧縮載荷によるダイアゴナル試験で柱付き大型壁試験と同等の耐震性評価を行うには、ダイアゴナル試験専用の破壊状態に関する判断基準を設けることが手段の一つであると考えられる。基準については今後別途検討する必要がある。

4.7.3 引張接着試験およびせん断試験について

(1) 引張接着強度が小さいものはせん断強度も小さかった。強度の順番は引張接着性試験もせん断試験もともに、「接着材張り」が最も小さく、次いで「セメント厚塗下地」、「不陸調整+接着材張り」、「直張り」、「モルタル 2 層塗下地」であった。

(2) 今回試験に用いたタイル仕上げ仕様はコンクリートとタイル仕上げの接着力が大きく、タイル仕上げの中ではタイル裏足と張付モルタル間が最も脆弱な箇所であった。

(3) 柱付き大型壁試験体の耐震実験や変形追従性試験ならびにダイアゴナル試験の結果

を勘案すると、剥落を生じたのは「直張り」や「セメント2層塗下地」であり接着強度の高さと剥落の発生は必ずしも一致しなかった。

(4) 耐震試験でタイル仕上げの剥落がなかった「接着材張り」は、接着強度で評価することは適切ではないことが確認できた。このため、「接着材張り」については、接着強度以外でタイル仕上げの剥落しにくさから耐震性評価ができる、変形追従性試験で確認することが望ましい。

(5) 既存建物外壁のタイル仕上げの耐震性を確認する方法として持ち運び可能な簡易引張試験機で確認する方法としては、引張接着性試験により測定結果が 0.4N/mm^2 以上であるかと破壊（剥離）位置を確認し、接着強度の程度とどの部分が脆弱化しているかなどの判断に用いることができる。

(6) 「接着材張り」タイル仕上げは、接着強度で耐震性評価することはあまり適切ではない。「接着材張り」タイル仕上げの既存建物外壁の耐震性を確認するには、接着材がタイル裏面にきちんと施工されているか確認することが有効であると考えられる。

4.8 今後の課題

拘束型治具を用いたダイアゴナル試験によるタイル仕上げの破壊状態は、柱付き大型壁試験体の破壊状態よりも少なかった。これは、柱付き大型壁試験体の耐震実験が水平交番載荷試験を採用したことに対して、ダイアゴナル試験で適用したのが一軸圧縮載荷であったためであるが、ダイアゴナル試験ではタイル仕上げへの負荷が少なく、変形角 $1/200$ ではひび割れが主な損傷であり剥落に至らなかった。このためダイアゴナル試験でも交番載荷による加力の実現が望まれるところであるが、今回の検討ではコンクリート基盤作製時の精度などが問題となった。つまり拘束型治具と試験体の間には隙間ができるため、この隙間を埋めるために鉄板を用いたが加力の向きを変える際に固定していない鉄板がずれるため加力が均等に掛からないなどの問題が生じた。

今後の検討では交番載荷の再現のための試験体形状等の改良か、もしくは、一軸圧縮載荷試験でダイアゴナル試験を実施する場合は、柱付き大型壁試験の交番載荷の層間変形角の剥落防止の目安とした変形角 $1/200$ にあたるものを新たに設定する等の検討が必要となり、今後も継続した検討が必要である。