

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of
National Institute for Land and Infrastructure Management

No.1005

January 2018

RC 造建物の湿式タイル仕上げ外装材の耐震性および 耐震性評価試験法に関する研究報告

根本かおり・眞方山美穂

Report of Study on the Earthquake-Resistant and the Evaluation
Test Method of Reinforced Concrete Buildings on External Tile

Kaori NEMOTO, Miho MAKATAYAMA

国土交通省 国土技術政策総合研究所

National Institute for Land and Infrastructure Management
Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Japan

RC 造建物の湿式タイル仕上げ外装材の耐震性および耐震性評価
試験法に関する研究報告

根本かおり

*

眞方山美穂

**

概要

大地震ではタイル仕上げの剥落被害が発生しており安全のために対策が必要である。本資料には、タイル仕上げの耐震性を小型試験体で簡便に評価する試験方法の検討を行った結果をまとめた。研究では、まずタイル仕上げの地震被害について、東日本大震災で被害の大きかった仙台市を中心に現地調査を行い、被害の種類と傾向を整理した。次に、応急危険度判定等の経験がある判定士に対してアンケート調査を行い、RC 造建物外装材の被害状況や調査および判定に関わる情報を収集した。これら調査収集した情報は、試験法の検討に用いるタイル仕上げ仕様に反映し、耐震性評価試験のタイル仕上げの損傷を確認する際の参考とした。耐震性評価試験では小型試験体で代替して評価するために、変形追従性試験およびダイアゴナル試験を用いてコンクリート壁のせん断破壊の状況を鑑みて、コンクリート試験体の形状や加力方法の検討を中心に行った。

キーワード :

地震、外装材被害、タイル仕上げ剥離、耐震性評価、簡易試験法、ダイアゴナル試験

* 国土交通省国土技術政策総合研究建築研究部構造基準研究室主任研究官

(現)国土交通省国土技術政策総合研究住宅研究部住宅生産研究室主任研究官

** 国土交通省国土技術政策総合研究所住宅研究部住宅ストック高度化研究室室長

(現)国土交通省国土技術政策総合研究所建築研究部評価システム室長

Report of Study on the Earthquake-Resistant and the Evaluation Test
Method of Reinforced Concrete Buildings on External Tile

Kaori NEMOTO *

Miho MAKATAYAMA **

Synopsis

Many exterior tiles fall down by a big earthquake, so it must take some measures for safety. This report gathered the results of study how to use any small specimens and simple and easy experimentation of exterior tile for earthquake-resistant. Firstly, we investigated into many RC-buildings external wall in the stricken area which were damaged by The Great East Japan Earthquake, mainly on the Sendai City. Secondly, we performed questionnaire and hearings survey for several inspectors who had been used to experience the postearthquake quick inspection of damaged buildings in some past big earthquakes. These investigations reflected to the small specimen and the consideration of earthquake-resistant evaluation test way. To estimate substitution by small specimens for an earthquake-resistant evaluation experimentation, shear fracture of concrete wall which was considered using a deformation following test and a diagonal test in the shape of concrete specimens for examinations and loading test method.

Key Words : Earthquake, External facing damage, Tiled wall delaminating,
Earthquake-Resistant Evaluation, Simple test method, Diagonal test

* Senior Researcher, Structural Standards Division, Building Department, NILIM

(Present) Senior Researcher, Housing Production Division, Housing Department, NILIM

**

Head, Housing Stock Management Division, Housing Department, NILIM

(Present)Head, Evaluation System Division, Building Department, NILIM

RC 造建物の湿式タイル仕上げ外装材の耐震性および耐震性評価試験法
に関する研究報告

目次

はしがき

研究者名簿

1 章 はじめに

1. はじめに 1-1

2 章 RC 造建物外装材の地震被害調査報告

2.1 調査の目的 2-1

2.2 調査の概要 2-1

2.3 調査およびヒアリング結果 2-3

2.4 まとめ 2-38

3 章 被災建築物応急危険度判定の外装材判定に関する実態調査報告

3.1 調査の目的 3-1

3.2 応急危険度判定について 3-1

3.3 調査概要 3-1

3.4 調査結果 3-4

3.5 まとめ 3-17

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 4-1

4.2 耐震性評価試験法について 4-1

4.3 耐震性評価試験法の概要 4-4

4.4 柱付き大型壁試験体による耐震性試験 4-5

4.4.1 柱付き大型壁試験の概要 4-5

4.4.2 柱付き大型壁試験の結果 4-8

4.4.3 柱付き大型壁試験体による耐震性試験のまとめ 4-21

4.5 耐震性評価試験法の検討 4-23

4.5.1 変形追従性試験法の検討 4-23

4.5.1.1 変形追従性試験の概要 4-23

4.5.1.2 変形追従性試験の結果 4-25

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試験結果との比較 4-33

4.5.1.4 変形追従性試験のまとめ 4-34

4.5.2 ダイアゴナル試験法の検討 4-36

4.5.2.1 ダイアゴナル試験の概要 4-36

4.5.2.2	ダイアゴナル試験の結果.....	4-39
4.5.2.3	耐震性評価試験法としてのダイアゴナル試験.....	4-57
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.....	4-58
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.....	4-58
4.5.3.2	タイル仕上げの破壊状況について.....	4-60
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.....	4-65
4.6	引張接着性試験およびせん断試験.....	4-69
4.6.1	引張接着性試験およびせん断試験の概要.....	4-69
4.6.2	引張接着性試験の結果.....	4-70
4.6.3	せん断試験の結果.....	4-72
4.6.4	引張接着性試験およびせん断試験のまとめ.....	4-74
4.7	まとめ.....	4-76
4.8	今後の課題.....	4-78
5章	全体のまとめ	
5.	全体のまとめ.....	5-1

[参考文献]

1章	参考文献.....	参-1
2章	参考文献.....	参-1
3章	参考文献.....	参-1
4章	参考文献.....	参-2

はしがき

熊本地震（2016年4月）をはじめとする東北地方太平洋沖地震（2011年3月）のような大きな地震では、人命に関わる非構造部材の脱落や剥落事故の発生率が高かったにも関わらず、現行では十分な対策が講じられているとは言えない。また、予知の可能性のある地震として東海地震、東南海・南海地震の発生率は今後30年以内で東海地震が88%程度、東南海地震が70%程度、南海地震が60%程度とされ、今震災後は新聞、テレビ等の被害報道だけでなく業界専門誌等でも内・外装材の耐震化や診断等の維持管理に関する特集がくまれており、建築物の「安全・安心」の確保の観点から、これらの技術基準の整備は喫緊の課題として社会的要望が高い。

現在の外装材は、材料や工法が多種多様で、建築基準法施行令第39条（屋根ふき材）および昭和46年建設省告示第109号（屋根ふき材、外装材及び屋外に面する帳壁の構造方法を定める件）等で想定されているような構造安全上必要な性能を満たしていないものも多いと推定される。また、外装材に使用される材料・工法は、社会の要求に合わせて工期短縮や多機能化などの開発・普及も進んでおり、多様化する材料・工法のごとに個々の剥落防止安全性を評価することは難しい。

地震時の剥落防止安全性に対する標準的・統一的な評価方法については、極めて重要な技術であり、同時に簡便な手法で評価試験を実施することができれば外装材のような材料・工法の開発を活発に行う分野においては、建物への適用の判断に有効なものとなる。本研究で取り上げたRC造建物の湿式タイル仕上げについては、過去の大地震で剥落の被害が多数報告されていたものの特に材料・工法が多様化し、多量のテストピースによる評価が必要となるため、簡便な評価法が特に切望される分野であった。

今回、評価試験法として取り上げた、ダイアゴナル試験や変形追従性試験は既往の試験方法であるが、耐震性評価に用いるため試験体の形状や加力方法を工夫することで、一般的な載荷試験装置で耐震性評価が行えるよう検討し、実施可能な方法を取りまとめた。

今後は、さらに実行しやすい評価試験法とするため、試験体作製の上の改良やタイル仕上げの耐震性の判断について一層の検討を進めてまいりたい。

本報告が湿式タイル仕上げの耐震安全性評価の一助になれば幸いである。

平成30年 1月

<執筆者・研究担当者>

<執筆者>

根本かおり

眞方山美穂

<研究担当>

	担当者	根本	眞方山	棚野	鹿毛	古賀
1章 はじめに		○	○			
2章 RC造建物外装材の地震被害調査報告		○	○	○		
3章 被災建築物応急危険度判定の外装材判定に関する実態調査報告		○	○			
4章 湿式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		○	○			
4.2 耐震性評価試験法について		○	○			
4.3 耐震性評価試験法の概要		○	○			
4.4 柱付き大型壁試験体による耐震性試験		○	○		○	○
4.5 耐震性評価試験方法の検討		○	○			
4.5.1 変形追従性試験の検討		○	○	○		
4.5.2 ダイアゴナル試験法の検討		○	○		○	○
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		○	○		○	○
4.6 引張接着性試験およびせん断試験		○	○	○		
4.7 まとめ		○	○			
4.8 今後の課題		○	○			
5章 全体のまとめ		○	○			

※ 各担当者の所属・役職は別途記載

<各担当者の所属・役職>

氏名	所属	研究従事期間
鹿毛 忠継	建築研究部 建築品質研究官 ^{※1}	H25.4～H27.3
	(現) 建築研究部 建築新技術統括研究官 ^{※2}	
棚野 博之	建築研究部 建築品質研究官 ^{※1}	H23.12 ^{※3} ～H25.3
	(現) 国立研究開発法人 建築研究所 材料研究グループ グループ長 ^{※2}	
古賀純子	建築研究部 構造基準研究室 主任研究官 ^{※1}	H26.4～H27.3
	(現) 建築研究部 材料・部材基準研究室 室長 ^{※2}	
根本かおり	建築研究部 構造基準研究室 主任研究官 ^{※1}	H23.12 ^{※3} ～H27.3
	(現) 住宅研究部 住宅生産研究室 主任研究官 ^{※2}	
眞方山美穂	住宅研究部 住宅ストック高度化研究室 室長 ^{※1}	H23.12 ^{※3} ～H27.3
	(現) 建築研究部 評価システム研究室 室長 ^{※2}	

※1 所属は研究時点のもの。異動の理由により執筆時の所属と現所属等とは異なる。

※2 (現)は現所属および役職(平成29年8月時点)を示す。

※3 当該研究は平成24年度から平成26年度までの3年間が実施期間であるが、2章のRC造建築物外装材の地震被害調査報告は平成23年度補正予算により平成23年12月から平成24年3月にかけて実施した。

1章 はじめに

1. はじめに

大地震による外装材の剥落は、東日本大震災（本震 2011 年 3 月 11 日）をはじめとした阪神・淡路大震災などの過去の震災^{1)~6)}において多数報告があり、今後も大地震の発生が予測されていることから人身被害を防ぐためにも外装材の剥落防止対策が不可欠である。ところで外装材は建物構造に合わせて材料・工法が多種・多様にあり、地震時の剥離・剥落の発生の仕方やすやすさも異なる。このため本研究では、剥落による損傷程度が大きく被害が深刻化する可能性の高い RC 造・SRC 造建物のタイル張り仕上げ（以降、タイル仕上げと記す）を対象とした検討を行った。

タイル仕上げの耐震性の研究については、馬場らが静的水平載荷で外装仕上げ材料・工法に関する耐震性評価を実大実験（縮尺 1/2）^{1), 2)}で行っており、タイル仕上げの工法別に破壊プロセスとその特性を整理している。この中で実験結果は各種仕上げ材料・工法のひび割れ・剥離の難易について一つの施工例について成立したにすぎないと述べており、また経年劣化後の性状についての検討も必要であろうと指摘している。三谷らは振動台を用いた動的耐震実験により在来工法と剥落防止を目的とした新しい構工法のタイル仕上げについて耐震性能評価³⁾を行っている。いずれの研究も地震時のタイル仕上げ剥落防止のため、材料・工法等の仕様に着目し大型試験体による耐震実験を行っているが、多様化する仕様を評価するには費用的負担を考慮すれば容易に実施できるものではない。こうした背景をふまえ、タイル仕上げの耐震安全性を評価する上で材料実験に近いレベルで複数の水準の実験が可能となるように、小型で簡便な方法で実施できる耐震性評価試験法を提案することが望ましい。このため簡便な耐震性評価試験法の開発を目標に据え検討を行った。

研究に先立ち、東日本大震災で被災した建物外壁調査を行い剥落したタイル仕上げの特徴および状況に関する情報収集を行い、耐震性評価試験法の検討の際の試験体にタイル仕上げ仕様水準の参考とした。

本資料は次のような構成としている。

- (1) 2 章には、東日本大震災で甚大な被害のあった宮城県内と特に仙台市を中心に、外装材の材料・工法や経年劣化による被害の影響を確認するために、新耐震基準(1981 年施行)以前に建設された建物も含め RC 造・SRC 造建物のタイル仕上げおよびモルタル下地の塗装塗り仕上げ（以降、モルタル塗仕上げと記す）を、目視と地面から手の届く範囲の打診検査ならびに建物管理者に対する聞き取り調査を行いその結果を示した。
- (2) 3 章には、被災建築物応急危険度判定や被災度区分判定に従事した経験のある判定士に対してアンケートおよびヒアリング調査を行い、被災後間もない RC 造・SRC 造建物のタイル仕上げの被害と発生部位の状況、判定時の確認箇所や判定時に感じた調査の改善点などに関する意見収集を行いその結果を示した。
- (3) 4 章にタイル仕上げの耐震安全性評価試験法を実験により検討した結果を示した。
 - 1) 4.4 節では、タイル仕上げ仕様を数種類施工した柱付き大型壁試験体を用いて静的水平交番載荷による試験を行いタイル仕上げの破壊プロセスに関する比較用データを

取得した。

2) 4.5 節の 1 では、耐震性評価試験法の一つまたは一部としてコンクリート変形に対するタイル仕上げの追従性能から剥落しにくさを評価する変形追従性試験法の検討を行い、柱付き大型壁試験体の耐震性能試験との共通点について考察した。

3) 4.5 節の 2 では、タイル仕上げを目地や施工法を小単位の面積で評価できる耐震評価試験法としてダイアゴナル試験を用いた検討を行った。試験は、試験体寸法・形状および加力方法を中心に検討し、柱付き大型壁試験体で行う耐震性評価の結果との相違について考察した。

4) 5.6 節では、一般的にタイル仕上げの接着力と剥離・剥落には相関関係があるため、各種仕様の基礎物性データを得るため直接引張試験およびせん断試験を行い面外方向と面内方向の接着力の確認を行った。

なお、本研究は事項立て課題「外装材の耐震安全性の評価手法・基準に関する研究」（平成 24 年度から平成 26 年度）で実施したものである。これに加え 2 章の RC 造建物外装材の地震被害調査報告については、平成 23 年度補正予算で実施（平成 23 年 12 月～平成 24 年 3 月）した。

2章 R C造建物外装材の地震被害 調査報告

2.1 調査の目的

本調査は、タイル仕上げの耐震安全性を評価する際に考慮すべき、剥落に至る原因を抽出することを目的とし、東日本大震災におけるタイル仕上げならびにモルタル塗仕上げの地震による損傷被害に関し実施したものである。

2.2 調査の概要

東北地方太平洋沖地震（2011年3月11日）は東北地方から関東地方にかかる太平洋沖を震源とした広範囲に発生した連動地震である（図2.1参照）。本件の調査地域は震度の大きかった宮城県とし（図2.2参照）、特にRC造建物の多い仙台市内を中心にその周辺の市町村のタイル仕上げおよびモルタル塗仕上げの建物を調査した。建物は国、宮城県、仙台市ならびに大学が所管する施設とした。建物の選定では、特に1981年以前の旧耐震設計基準で建設された建物を多く抽出した。これは建物ストックの増加に伴い、これまでは特に注視されていなかったが建物の経年劣化、改修工事が行われた外装材の被害発生状況やその被害が生じた主な原因などについて情報収集するためである。

調査方法は、目視検査、打診検査およびデジタルカメラによる建物外観の撮影、ならびに地震発生当時の外壁や室内の状況に関するヒアリングである。打診検査は脚立無しで手の届く範囲の1階部分を中心に実施した。これらの調査は専門の診断技術者が行った。今回、調査の実施時期は本震発生から約9ヶ月以降となり、調査対象の建物の中には補修等が済んだものもあることが想定されたため、調査した施設の管理担当者に対しては当時の外壁の被害とともに、建物内装ならびに敷地内地面の被害状況、3月11日の建物の揺れ、ならびに余震で震度の大きかった4月7日の揺れの体感についてヒアリング調査を合わせて行った。

2.2.1 調査対象件数

調査ならびにヒアリングを実施した29施設の内訳は以下のとおりである。

- 1) 国が管理する施設－9施設
- 2) 宮城県が管理する施設－8施設
- 3) 仙台市が管理する施設－9施設
- 4) 大学が管理する施設－3施設

（合計 29施設）

2.2.2 調査方法およびヒアリング項目

（1）調査方法

下記の項目について、調査を実施した。

- 1) 目視検査：建物外観の全面目視確認
- 2) 打診検査：1階部分を中心に地上面から手の届く範囲を打診検査し、立面図に損傷を記録
- 3) 建物外観の確認：デジタルカメラにより建物外観の撮影
- 4) 地盤の変状の確認；建物周辺で目立った起伏等が観察された箇所を敷地図に記録

(2) ヒアリング項目

施設の管理担当者への主なヒアリングは以下1)～5)の項目について行った。

- 1) 建物内装・外装に生じた被害（部位、部材、階数など）状況について
- 2) 外装材の剥落の有無とその飛散距離・範囲について
- 3) 建物敷地および周辺の地盤状況（変化）について
- 4) 3月11日および4月7日の揺れの体感について
- 5) 震災前の改修工事実施の有無について

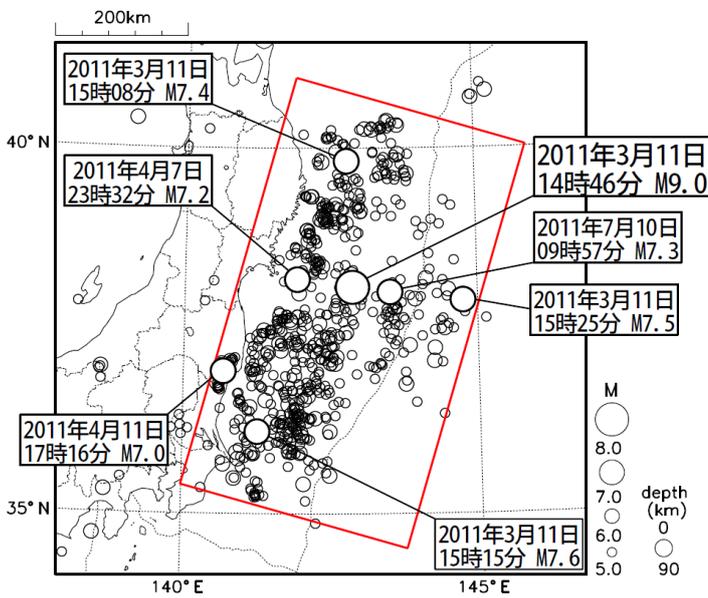


図 2.1 震央分布図（東日本大震災）※1

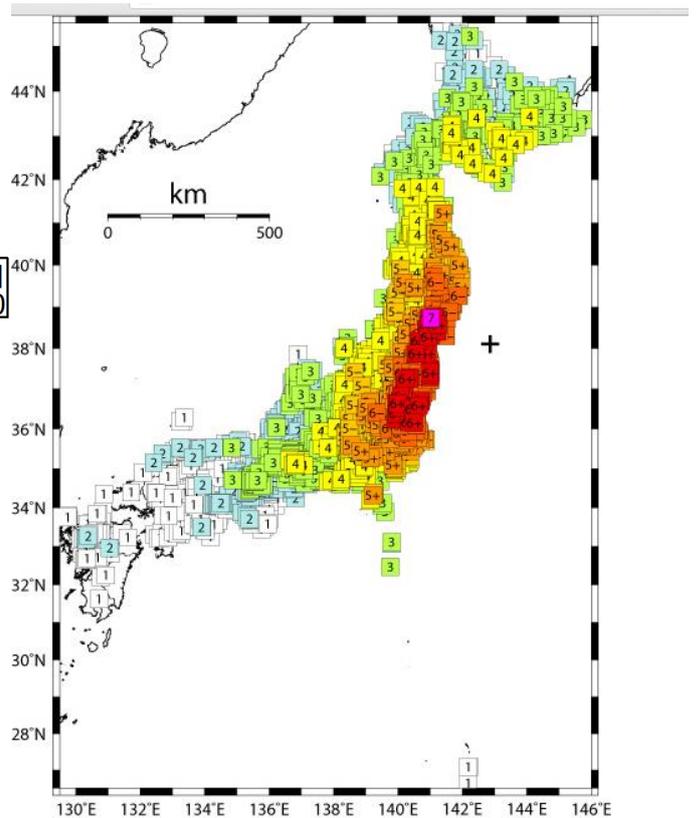


図 2.2 震央マップ（東日本大震災）※2

出典：気象庁ホームページ

※1 図 2.1

http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/2011_03_11_tohoku/yoshin_teirei.png

※2 図 2.2

http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/2011_03_11_tohoku/intensity/201103111446.jpg

2.3 調査およびヒアリング結果

2.3.1 調査建物の概要

表 2.1 に調査した建物の所在地、竣工年、構造、階数、仕上げ種類、改修工事の実施年度および内容、図 2.3 に調査した建物の立地しているエリアを示す。図 2.4 に示すとおり、建物は、1981 年（昭和 56 年）以降に建設された新耐震設計基準のものが 11 棟、旧耐震基準のものが 5 棟、ならびに、1971 年以前の建築基準法（昭和 46 年政令改正 靱性の確保とせん断補強）で建設されたものが 13 棟である。構造種別件数を図 2.5、階数別件数を図 2.6 に示すが、体育館を除くと 2 階建から 10 階建までさまざまであり、古い年代に建設された高層の建物が多数あった。表 2.1 に示すとおり仕上げ種類は、タイル仕上げと吹付タイル仕上げ等のモルタル塗り仕上げがほぼ半数ずつあり、タイル仕上げとモルタル塗り仕上げを混用している建物もあった。

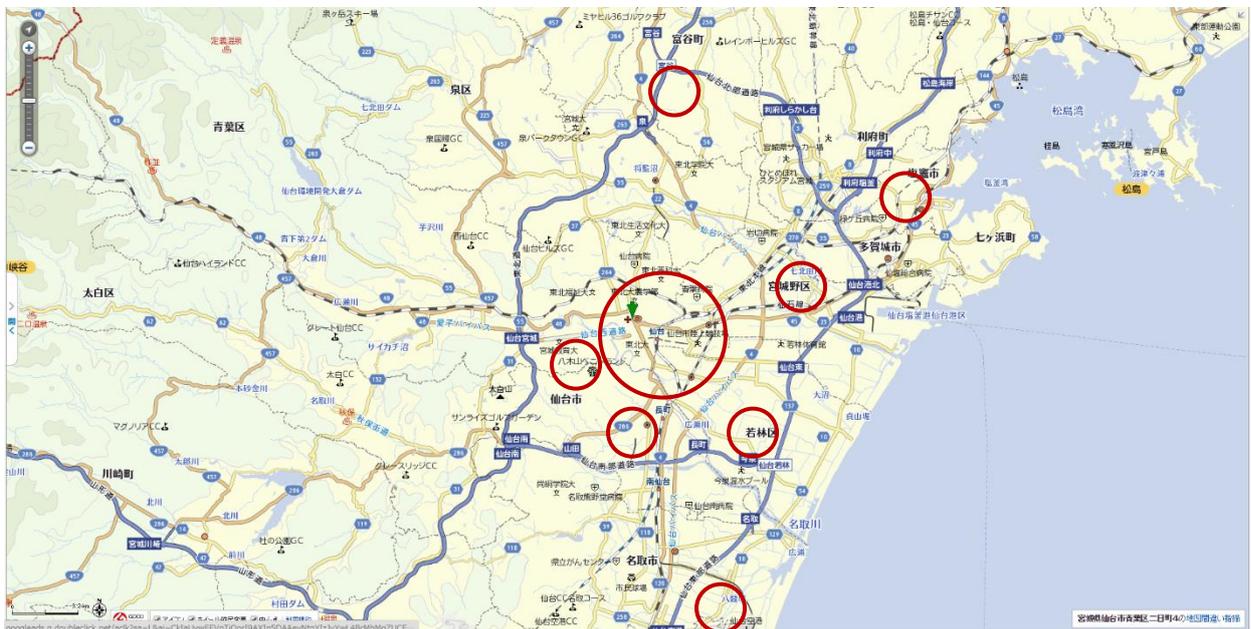


図 2.3 宮城県仙台市周辺地図※3

※ 赤丸で囲んだ地域にある建物を調査した。

※3 図 2.3

出典：Mapion 日本地図より

<https://www.mapion.co.jp/m2/38.26908478,140.87035052,16>

[建物分類]

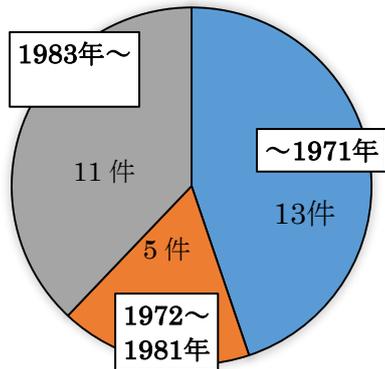


図 2.4 調査建物の竣工年数別件数

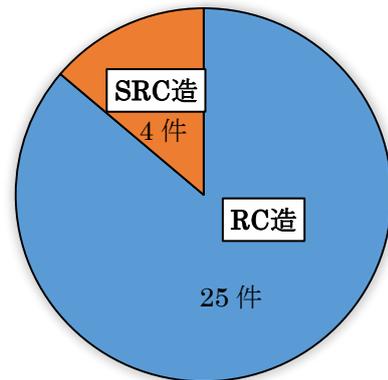


図 2.5 調査建物の構造別件数

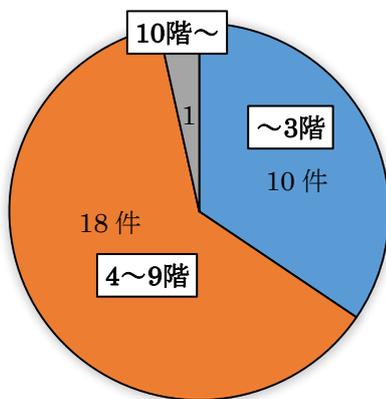


図 2.6 調査建物の階数別件数

表 2.1 から仕上げに用いられていたタイル寸法は、1990 年以降の建物にはモザイクタイル（50 mm角未満で厚みが小さいため比較的軽い）の使用が見られるが、それ以前の外壁には小口平や二丁掛けなどのタイル自体に厚みがあり 1 枚でも重さのあるタイルが用いられている。小口平や二丁掛けタイルのタイル仕上げの工法には圧着張りが用いられていた。圧着張り工法は、下地面とタイル裏面に張付けモルタルを塗って施工するモルタルに厚みのある工法である。また、当時は躯体コンクリートの型枠（せき板）に杉板を張り合わせたものが用いられており、コンクリートの面精度が悪く不陸調整の際にはモルタル下地の塗り厚さが大きくなる傾向があった。このように古い年代に建設された建物のタイル仕上げは、モルタルやタイルが厚く重量のあったことが分かる。

モルタル塗仕上げについては、躯体コンクリートの不陸調整を主な目的に行われており厚みのあるものがあつた。

改修工事の実施の有無については大規模修繕工事を対象に、施設管理担当者にヒアリングを行い実施の有無を回答していただいた。大規模修繕を行っていない施設では「改修工事なし」

との回答であった。また、修繕記録が細かく残っている場合は、大規模改修工事のほかに漏水やひび割れなどの部分補修の実施年も回答いただいた。

宮城県においては、過去にも宮城県沖地震などの地震が発生しており、耐震改修および大規模修繕工事の実施率は他県に比べると高いと感じた。

表 2.1 湿式外装材の被害調査建物一覧

No.	建物名称	用途	所在地	竣工年	構造	階数	地下	仕上げ種類	色	工法	改修履歴	改修内容	耐震基準
1	仙台A建物	官公庁舎	仙台市青葉区本町	1965	SRC	9	2	吹付タイル	グレー		1977	宮城県沖地震による外壁補修	旧
2	仙台B建物	官公庁舎	仙台市宮城野区五輪	1973	RC	4	—	吹付タイル			1978	宮城県沖地震にて20mmモザイクタイルから塗装に改修	旧
3	仙台C建物	研修所	仙台市若林区古城	1970	RC	3	—	吹付タイル			なし		旧
4	仙台D建物	庁舎	仙台市青葉区上杉	1969	RC	4	—	吹付タイル			1981と2008	外壁改修	旧
5	仙台E建物	官公庁舎	仙台市青葉区二日町	1953	RC	5	—	吹付タイル			2000	・外壁補修:細かいひび割れ:接着エポキシ樹脂注入/大きいひび割れ・接着系モルタルによる張り直し ・開口閉塞、耐震ブレースの設置、RC壁増設	旧
6	宮城A建物	学校	岩沼市下野郷字長沼	1997	RC	3	—	モザイクタイル	水色		なし		新
7	宮城B建物	庁舎	塩竈市	1968	RC	7	—	二丁掛け、50角、三丁掛け	クリーム	圧着張り	1994と2006	耐震改修(開口閉塞)	旧
8	仙台F建物	官公庁舎	仙台市宮城野区新田	1968	RC	3	—	小口平、吹付タイル	茶		1991以前	外壁補修	旧
9	仙台G建物	裁判所	仙台市青葉区片平	1977	SRC	8	—	二丁掛け	ページュ		2001.2	外壁改修:ひび割れ:Uカットシール充填/浮き:モルタル下地から改修	旧
10	仙台H建物	学校	仙台市青葉区米ヶ袋	1994	RC	4	—	二丁掛け、50角	茶、グレーピンク	圧着張り	なし		新
11	仙台I建物	体育館	仙台市宮城野区田子	1972	RC、屋根S	1	—	リシン吹付			2008	RC壁補強、鉄骨ブレース	旧
12	宮城C建物	官公庁舎	塩竈市錦町	1971	RC	2	—	二丁掛け、50角、小口平、リシン吹付	茶、黄、茶	圧着張り	なし		旧
13	仙台J建物	学校	仙台市太白区八木山緑町	1985	RC	3	—	150角、吹付タイル	黄土		2008	耐震補強工事(RC壁補強、鉄骨ブレース)	新
14	仙台K建物	学校管理棟	仙台市青葉区上杉	1965	RC	2	—	吹付タイル			1993~1994	・大規模改修工事 ・RC壁補強	旧
15	仙台L建物	寄宿舎	仙台市太白区八本松	1965	RC	2	—	吹付タイル			1985~1986	吹付タイル除去、再度吹き付け	旧
16	仙台M建物 A棟、B棟	宿舎	仙台市太白区根岸	1975	RC	5	—	吹付タイル			なし		旧
17	宮城D建物	研修所	黒川郡富谷町成田	1997	RC	5	—	二丁掛け、吹付タイル	ピンク		不明	屋上防水のみ	新
18	仙台N建物	事務所	仙台市青葉区花京院	1991	RC	7	—	二丁掛け(せつ器質・施釉)	ページュ		1995~1996	タイル剥落部の補修	新
19	仙台O建物	庁舎	仙台市青葉区国分町	1965	RC	9	—	小口平	緑		不明	制震ブレース工法(トグル)	旧
20	仙台P建物	図書館	仙台市泉区中央	1990	RC	6	—	モザイクタイル	水色		2008	浮きがあるタイルを部分的に張り替え	新
21	仙台Q建物	図書館	仙台市宮城野区東仙台	1971	RC	3	—	吹付タイル			2008.2	外壁樹脂注入工事	旧
22	仙台R建物	消防署	仙台市若葉区上飯田字天神	1977	RC	3	—	リシン吹付	クリーム		不明	・不具合や被害が生じたところを部分補修 ・大規模改修は行っていない	旧
23	仙台S建物	庁舎	仙台市青葉区上杉	1984	RC	10	—	二丁掛け	ページュ		2003	外壁タイル剥落被害に対する外壁補修(コンクリート系接着剤使用)	新
24	仙台T建物	庁舎	仙台市太白区長町	1988	RC	7	—	小口平	クリーム		2008.3	劣化補修及び剥落防止対策	新
25	仙台U建物	庁舎	仙台市若林区保春院前丁	1988	SRC	7	—	100角、240×140	クリーム、浅黄		1999	2階までの外壁タイルをアルミパネルに改修	新
26	仙台V建物	庁舎	仙台市泉区泉中央	1985	RC	5	1	吹付タイル			2007	可とう形改修塗装Eによる塗り替え(既存吹付タイル水洗い工法)	新
27	仙台W建物	研究施設	仙台市青葉区荒巻字青葉	1969	SRC・PC外壁	9	—	二丁掛け、クリア塗装	レンガ、白		1999.4 2002.4	・耐震改修(外付けブレース) ・外壁改修	旧
28	仙台X建物	事務所	仙台市青葉区荒巻字青葉	1985.8	RC	7	—	195×195	グレー		1999.4	耐震改修	新
29	仙台Y建物	研究施設	仙台市青葉区荒巻字青葉	1966	RC・PC外壁	8	—	吹付タイル			なし		旧

2.3.2 外装材の被害

現地で撮影した画像を写真 2.1～写真 2.26 に示す。調査実施時は本震から数ヶ月経過していたが、被害が極めて広範囲であったため多くの建物は修繕等の工事实施まで至らず外壁が受けた損傷については観察可能な状態であった。その一方で、外壁には震災前より経年劣化によるひび割れ等の不具合もあったとのことであるが、地震の被害箇所との区別は明確にはできなかった。

タイル仕上げおよびモルタル塗仕上げ外装材の被害としては、ひび割れが最も多く（写真 2.1～写真 2.10）、次いで浮きやタイルおよびモルタルの部分欠損があり（写真 2.11～写真 2.14）、剥落（写真 2.15～2.20）の順であった。剥落は写真には多く掲載したが、外装材の被害全体の中では少ない印象であった。なお、現地調査時には浮きの生じていたタイル仕上げは改修工事实施までの期間の安全確保のために、剥がしておく（叩き落とし）などの対策（写真 2.1、2.15、写真 2.16、写真 2.17、写真 2.18、写真 2.19、写真 2.20）がとられており、地震時に生じた剥落との区別はつけにくい状態であった。傾向として、地面（地盤）の変形（隆起や沈下等）（写真 2.22）が小さな地域の建物や低層の建物外装材には、せん断ひび割れは生じていたものの大きな被害ではなかった。大型施設の中には 2 棟ほど、比較的大きな面積で外装材の剥離・剥落（叩き落とし）が生じたものがあった。1 棟は既に改修済みであったが、もう 1 棟は改修前であったためタイル仕上げの剥離箇所（写真 2.18）を確認したところ躯体コンクリートにひび割れはなく、タイル仕上げの剥離位置は躯体コンクリートとの接着面であり、かつ、下地モルタルの残存がほとんどなかったことから地震前にタイル仕上げの付着力が低下していたことが原因の一つと考えられる。

①外装材のひび割れ

せん断ひび割れおよびひび割れが生じていた箇所については、短柱または周辺拘束された壁（写真 2.1、写真 2.3）、無窓または窓の少ない妻壁（写真 2.2）、窓と窓の間の壁（写真 2.4）、開口隅角部（写真 2.5、写真 2.17、写真 2.19）、出入隅（写真 2.6）や外階段の壁（写真 2.7）、コンクリート打ち継ぎ面および伸縮調整目地周辺（写真 2.8）などであった。これは過去の大地震の被害調査報告書^{4)~12)}と同様であった。



写真 2.1 柱間の壁のせん断ひび割れ
(タイルを叩き落とし)



写真 2.2 妻壁のタイル仕上げひび割れ
(補修後)



写真 2.3 柱および壁に拘束された腰壁のせん断ひび割れのせん断ひび割れ



写真 2.4 窓と窓の間の壁のせん断ひび割れ (モルタル塗仕上げ)



写真 2.5 開口隅角部のせん断ひび割れとタイル裏足剥落



写真 2.6 入隅のひび割れ



写真 2.7 外階段壁のせん断ひび割れおよび欠損



写真 2.8 コンクリート打継ぎ面及び伸縮調整目地周辺のひび割れ

②欠損および浮き

欠損や浮きが見られたのは、躯体コンクリートのひび割れ上およびひび割れ周辺（写真 2.1）、エキスパンションジョイント周辺（写真 2.9、写真 2.10）、窓等開口部の水切り板と壁の取り合い（写真 2.13、写真 2.14）、伸縮調整（シーリング）目地の周辺（写真 2.8）や入隅など（写真 2.6）の異種材料との取り合い箇所（写真 2.11、写真 2.12）および周辺拘束を受ける箇所などであった。



写真 2.9 エクスパンションジョイント
周辺のひび割れ



写真 2.10 エクスパンションジョイント
ト周辺のひび割れ（拡大）



写真 2.11 排気口周辺と開口上
部鼻先の欠損



写真 2.12 欠損落下したコンクリート
およびモルタルの破片



写真 2.13 水切り板周辺のタイル欠損



写真 2.14 水切り板周辺のモルタル塗仕上げ浮き

③剥落と剥離箇所

剥落を撮影した壁面は北面と東西妻壁面が多かった。無窓または窓の少ない壁面では比較的剥落面積（叩き落としを含む）が大きかった。タイル仕上げの剥離位置は、タイル裏足の破断（写真 2.5）、タイル裏足と張付モルタルの接着面（写真 2.15、写真 2.16）、下地モルタルの凝集破断面（写真 2.4、写真 2.19）、躯体コンクリートと下地モルタルの接着面（写真 2.17、写真 2.18、写真 2.20）などであった。タイル裏足が破断したものおよびタイル裏足から剥落したものはタイル目地が深目地のものだった。さらに、コンクリートひび割れ上のタイルは打診検査の際に浮き音が検知されるため、安全のため叩き落としが行われたものが多かった。躯体コンクリートと下地モルタルで剥離したタイル仕上げには、躯体コンクリートにひび割れがなく、かつ平滑でモルタルの残存も少ないなどの特徴があった。これらの結果から、タイルの剥離位置は下地モルタルの塗厚さやタイル目地深さなどの仕様によって異なる特徴があることが確認できた。



写真 2.15 窓のない壁面で剥落（叩き落としを含む）



写真 2.16 タイル裏足と張付モルタルの接着面で剥離



写真 2.17 開口隅角部で剥落（躯体コンクリートと下地モルタルの接着面で剥離）



写真 2.18 無窓の壁面で剥落（躯体コンクリートと下地モルタルの接着面で剥離）



写真 2.19 開口部周辺の剥落（開口隅角部
ひび割れの周辺）



写真 2.20 形状が複雑な壁面で剥落（躯体
コンクリートと下地モルタルの接着面）

④補修された外装材

外観目視で注入痕が確認できる改修が行われたモルタル塗り仕上げ（写真 2.21）には、ひび割れは確認できるものの地震により生じたものかどうかの判断は難しかった。また、モルタル塗り仕上げには剥落は生じていなかった。当該建物は外装材表面の汚れなど経年劣化は見られるものの適切な改修が行われていたため、外装材の剥落が防止できたと考えられる。

白く見える点が注入痕

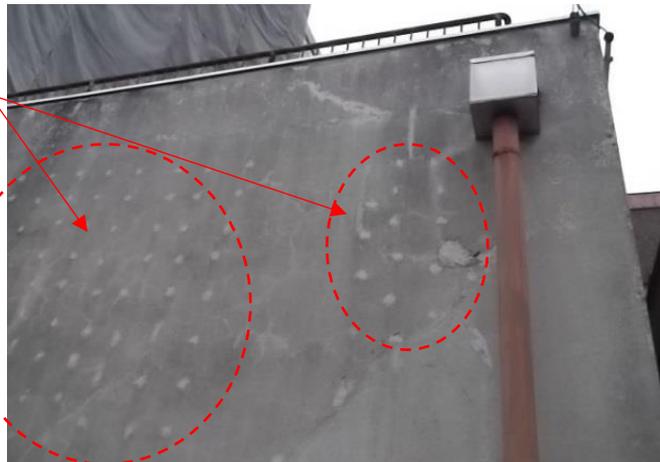


写真 2.21 モルタル塗り仕上げ浮きの注入補修痕
（剥落被害はなし）

⑤地面の変形

写真 2.22 はマンホール周辺のコンクリートが隆起したように見えるが、実際は地面が沈下した画像である。写真の建物敷地の地面には、この他にも波状に変形した形状がそのまま残っている場所もあった。

これ以外の調査建物の敷地については、地面（地盤）の状態は様々であり、敷地内道路や歩道の波打ちや沈下、土地が部分的に崩れたものもあった。また、目視では変化がわからない土地（地面）もあった。



写真 2.22 沈下した地面

⑥ラスシートモルタルの脱落

SRC 造の体育館では、鉄骨部分に用いられていた南北面の外部ラスシートモルタルが板状で複数枚脱落（写真 2.23、写真 2.24）していた。これらの板（パネル）は、躯体への取付け金物が赤茶色く腐食しており、この部分で破断していた。写真 2.24 のとおりラスシートモルタル 1 枚の面積は大きく、落下すると非常に危険である。主な原因は取付け金物の経年劣化による脱落と考えられるため、点検の実施と腐食が見つかった場合は早期の補修（交換）の必要がある外装材である。



写真 2.23 上部ラスシートモルタルの脱落
下部 RC 壁のせん断ひび割れ



写真 2.24 脱落したラスシートモルタル

⑦窓ガラス等の被害

ガラスブロックが施工されていた2棟の建物には、いずれも損傷や落下（写真2.25）の被害があった。また、はめ殺し窓や連窓のガラス窓のある建物の一部には破損の被害（写真2.26）が確認された。



写真 2.25 ガラスブロックの破損



写真 2.26 はめ殺し窓のガラス破損

2.3.2 内装の被害

表 2.2 に現地調査した建物外壁の被害の状態および内装被害等に関するヒアリング調査結果を示した。

表 2.2 から建物の管理職員にヒアリングした結果より、天井落下による被害以外にも、トイレや給湯室などの狭小室の壁に多数のひび割れが入ったケース、窓と窓に挟まれた短柱（壁）のせん断ひび割れ、階段室の壁の亀裂ならびに居室の出入口上部のせん断ひび割れなど被害に関する回答があり、これらは調査した多くの事務所や学校等の施設で起こっていたことが確認できた。

2.3.3 その他

同じく表 2.2 から設備について、屋上に設備機器を設置している建物の中には地震動により設備機器の移動や転倒、固定金具の変形の被害があったケースがあり、躯体や室内の被害が大きくなっても設備機器が使用できないことで施設が暫く使えなかったとの意見があった。屋上設備の設置状態の点検や転倒防止等の対策も重要である。

什器について、地震により居室内の什器の移動や転倒、書籍・ファイル類の散乱の被害があった。引き違い扉の書庫であっても、扉が開いてしまい書籍が落下したケースもあった。また、書棚の転倒についてボルトでしっかり固定したものは書籍の散乱程度で済んだが、簡易なつっかえ棒式の固定では転倒は防げない等の意見があった。

表 2.2 建物外壁の被害および内装被害

建物名称	外壁の主な被害	外装材の飛散	備考	内装被害(聞き取り調査から)
<p>仙台 A 建物</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・東西南北面の柱に、各階ともに細かい水平ひび割れおよび 4 階以下に垂直ひび割れ(圧縮亀裂か) ・ひび割れに汚れがあり今回の地震により生じたものか判断が難しい ・脚立なしでの調査では、ドライエリアの壁にせん断ひび割れとモルタルの剥落あり 	<ul style="list-style-type: none"> ・飛散距離は建物から近いものは直下、遠いものでも 1m 程度 ・最も高い位置から剥落したものは地上から約 5m ・破片の大きさは大きいもので 50×10×厚 4 cm、タイルはモザイクタイル 	<ul style="list-style-type: none"> ・北西の地盤面が若干沈んでいる ・S52 年の宮城県沖地震被害の補修箇所は特に被害なし ・擁壁の継ぎ目が割れた。 ・3/11 は東西方向に長く揺れ、大きさは大小の波があった。 ・4/7 は揺れは同じように感じたものの短かった。 ・エントランスに段差が生じた。 ・屋上空調煙突に水平クラックが生じたため撤去した。 	<ul style="list-style-type: none"> ・20 m程度の倉庫にひび割れ ・トレイタイルにヘアクラックが生じた。 ・階段室に多数のひび割れおよび剥落が生じ、上げ裏は 2 箇所欠損が生じた。 ・エレベータ計 6 機のうち、5 機が故障した。 ・講堂ステージ裏の壁モルタルが約 2m四方にわたり剥落した。 ・天井にひび割れが生じた。 ・エレベータ横の柱・壁の石貼りが剥がれた。 ・床のひび割れは以前からのものかもしれない。 ・講堂の入り口 1 箇所ひび割れが生じた。 ・照明器具の亚克力パネルが落下した。 ・図面保管庫はコンクリートブロックに沿って十字にひび割れが生じた。 ・階段踊り場の上部にひび割れが生じた。 ・6, 7 階の書棚やロッカーがぐちゃぐちゃに転倒した。転倒防止等の有無により被害が異なった。 ・4/7 の余震では、3/11 に転倒しなかったものも転倒した。

建物名称	外壁の主な被害	外装材の飛散	備考	内装被害(聞き取り調査から)
仙台 B 建物	<ul style="list-style-type: none"> ・宮城県沖地震後 S53 年に 20 mm 角モザイクタイルからモルタル塗装に改修した。 ・剥落はなし ・東西面の上下階をつなぐ窓開口部に X 状のせん断ひび割れおよび開口部端部を基点とする水平方向のひび割れがある ・南北面は窓開口部の端部から垂直方向に生じたひび割れがあるが、数としては少ない ・外壁のクラックはほとんどが以前から入っていたものであり、被害は少ない ・東側通用靴の壁で隔 2 箇所の欠損 ・東側通用口のノンスリップタイルの欠け。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ガラスの被害—北面 5 枚落下、西面 4 枚ひび割れ、南面 14 枚ひび割れ。ガラス飛散防止フィルムの貼っていないものが落下した。 ・剥落距離は建物に近いものは直下、遠いものは 4～5m 程度 ・最も高い位置から剥落したものは 4 階あたりから ・破片の大きさは大小さまざま 	<ul style="list-style-type: none"> ・北東面の地盤が若干沈んでいることと、東面のごく一部の地盤に盛り上がった箇所がある ・東側外構に陥没が生じた ・3/11 非常に長い横揺れ ・4/7 ドンという感じの短い揺れ ・屋上の空調機等に被害が発生した。 ・機械基礎が 15 cm ほど移動した。 ・放水水槽が基礎から外れた。 ・排風機が壊れた。 ・ディーゼル発電機は水冷式だったため、ダンスで加熱し停止した。 	<ul style="list-style-type: none"> ・1 階ホール、各階給湯室など内部は全体に被害が生じた。 ・壁材は特に石膏ボードの被害が大きい。 ・階段上げ裏にひび割れが発生した。 ・開口部は階段室の防火戸のピボットヒンジが外れて扉が傾いた。 ・水回り壁タイルが広範囲に渡って剥落した。 ・4 階男子トイレのコンクリートブロック壁の上部が崩れて天井を突き破って落下した。 ・コンクリート片やタイル編など、通路に落ちている箇所が多く危険な状態だった。 ・ホール、階段室は X 状のひび割れが発生した。 ・打ち継ぎ部の水平ひび割れも各所に見られた。 ・特に入り隅の被害が大きいと感じた。 ・2 階の移動書架は 4/7 の余震で外れた。
仙台 C 建物	<ul style="list-style-type: none"> ・補修工事のため被害の状況は正確につかめなかった ・東西北面に水平、垂直、斜めのひび割れがある。特に垂直方向のひび割れが多く、ついで水平方向、斜めは少ない ・西南北面は柱の仕上げを撤去して改修、南北面は壁面、1 階外廊下(犬走り?)仕上げを撤去して改修 ・南面の 1 回ガラスブロックにはひび割れ被害 	不明	<ul style="list-style-type: none"> ・被害の状況を十分に把握していない(担当者が不在のため) 	<ul style="list-style-type: none"> ・天井空調の吹き出し口の外れ。 ・3 階の床が P タイルのため机が激しく移動した。2 階はタイルカーペットのため机の移動は少ない。

建物名称	外壁の主な被害	外装材の飛散	備考	内装被害(聞き取り調査から)
仙台 D 建物	<p>補修時のデータを入力。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・南面の窓開口部隅角部から生じている斜めひび割れの数量が多い。1m 前後のひび割れ長さがほとんど。 ・東面のひび割れも多い。開口部なしの壁面積が多くひび割れ長さも 3m 前後と長いものが多い。 ・北面は窓開口部隅角部からの斜めひび割れが見られるが、南面と比べて長さも 1m 以下で数量も半分程度と少ない。 ・西面は開口部がなく、ひび割れ箇所が 3 階、4 階部分に数本ある程度であった。 ・剥離は北面 4 階の 1 箇所のみ。 ・モルタル、ガラスのひび割れがあった。 	不明	<ul style="list-style-type: none"> ・外壁は南面と東面の被害が多かった。 ・目地をまたぐかたちで入ったひび割れがあった。 ・剥離は北面 4 階の 1 箇所のみ。劣化したシーリング材が地震により切れて漏水の原因になった。 ・地盤沈下はなかったが、ガスの埋設管のずれは生じた。 	<ul style="list-style-type: none"> ・全体的にひび割れ被害が見られた。特に 1 階の被害が大きかった。 ・1 階廊下の下がり天井付近の被害が大きく、ひび割れが躯体を貫通していた。 ・1 階を中心に斜め、X 状、水平・垂直方向のひび割れが見られた。壁の上中下のあらゆる箇所からの剥落が見られた。 ・書棚等は東西南北の向きに関係なく転倒した。特に 4 階が多い。

建物名称	外壁の主な被害	外装材の飛散	備考	内装被害(聞き取り調査から)
仙台 E 建物	<ul style="list-style-type: none"> ・東西南北面ともに窓開口部(横連窓)の多い建物である。 ・前回のひび割れ等補修箇所の跡が観察出来る建物のため、観察結果は過去のひび割れ等も合わせて記録した。 ・東面は2階、3階の壁面に多数のひび割れがある。斜め、垂直のひび割れが多く、水平方向のひび割れは長い。 ・1階部分のみ打診検査したところ、東西南北面ともに浮きが多数生じており、特に南面の浮きは面積が大きい。 ・南面はひび割れも多数生じており、1階の腰壁や開口部間の壁に水平方向のひび割れが多く見られる。窓開口部の上下部分には垂直方向のひび割れが多く見られる。 ・せん断ひび割れは、出隅部と窓開口部隅角部の一部に見られた。 ・西面は浮きは見られるものの、ひび割れは少ない。 ・北面は、1階～5階まで窓開口部下の垂直方向のひび割れが多く、浮きは他の方角と比べると少なく面積も小さい。 ・北面には外階段があり、外階段のとりつく壁面の浮き面積は大きく、また水平・垂直方向のひび割れは長い。 ・北面の各階の打ち継ぎ目地あたりに生じている水平方向のひび割れが長い。 ・エントランスのフロアフロントのはめ殺しガラスにひび割れ。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ALC パネルが真下に落下したが飛散はしなかった。 ・沈下はなかったが、アスファルト舗装とコンクリート舗装の隙間が広がった。 ・地面のコンクリートたたきには、大きな亀裂が見られる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・3/11は、地震は揺れる前に地鳴りがした。地震の途中で揺れの方向が変わった。 ・4/7の余震は、ひび割れの被害が悪化したが、新たに発生したものはなかった。 ・耐震改修により開口閉塞した箇所には被害がなかった。 ・同敷地内の3階建てタイル張り庁舎は、タイルの張り替え跡(接着系モルタル使用)とモルタル仕上げには注入跡の補修跡が観察できる。 ・欠損はEXJの周辺にみられた。 ・比較的垂直方向のひび割れが多い。 	<ul style="list-style-type: none"> ・3階～5階にかけて至るところ、EXJ(エキスパンションジョイント)等に顕著な被害があった。内装にも、ひび割れ、浮き、剥落、ゆがみなどあらゆる被害が発生した。 ・ほとんどのひび割れが、水平または垂直方向であった。 ・開口隅角部には斜めひび割れが生じた。 ・階段室は、ひび割れが水平に発生した箇所の下の部分のモルタル仕上げが剥離した。 ・転倒防止をしていた書棚のアンカーボルトが抜けがあったが、転倒しなかった。(床ボルトの穿孔長さは20cm程度) ・書棚の引き違い戸は、開いた後に書籍が散乱した(振動の向きが変わった) ・EXPJ(エキスパンションジョイント)と屋上防水シート損傷の箇所から漏水があった。壁面からの漏水は無かった。 ・給排水管の破断等の設備機器の被害も目立った。

建物名称	外壁の主な被害	外装材の飛散	備考	内装被害(聞き取り調査から)
宮城 A 建物	<ul style="list-style-type: none"> ・東西南北面ともに斜めせん断ひび割れが数本生じただけ。 ・地震による被害は少なく、津波による被害があった。 	なし	<ul style="list-style-type: none"> ・一部に地盤沈下が見られる。 ・1 階+1400 mmまで浸水。改修工事のための調査で建物全体に 15 mm程度のねじれが生じていた。 ・軽量鉄骨下地などに浸水による腐食がみられた。 ・3/11 は 8 の字のように揺れ、4/7 は縦揺れ。 ・3/11 に駐車場のアスファルト舗装に亀裂が入り、4/7 で亀裂が広がった。 	<ul style="list-style-type: none"> ・2 階執務室、1 階は書庫、トイレ、廊下、階段に被害があった。実習室と地下ピットにも被害があった。 ・書棚の転倒なし、TV が転倒した。
宮城 B 建物	<ul style="list-style-type: none"> ・東西南北面ともに面積的に道程のひび割れが発生した。開口部隅角部は斜め、上下は垂直方向、柱は水平方向のひび割れ。 ・躯体への影響はないものの、モルタル仕上げ部分にひび割れが多い。 ・コンクリートブロックのモルタル仕上げにはモルタルの剥落が多く発生した。 	不明	<ul style="list-style-type: none"> ・3/11 は東西方向に大きく横揺れした。4/7 は縦揺れだった。 ・地震以前から敷地内ほそくに沈下やひび割れがあった。 ・正門、通用門の門柱の破損。 	<ul style="list-style-type: none"> ・5 階～7 階の執務室、書庫・倉庫、廊下、階段室に多くのひび割れが発生した。 ・モルタル部分のひび割れ。床ひび割れなど。 ・2 階、4 階、6 階の書庫のうち、東西向きの書庫が転倒した。 ・1 階ホールの壁タイルが剥落した。 ・6 階に広い部屋があり、吊り天井や東側のカーテンボックスが変形した。空調吹き出し口や非常灯の多くが落下しそうになった。

建物名称	外壁の主な被害	外装材の飛散	備考	内装被害(聞き取り調査から)
仙台 F 建物	<ul style="list-style-type: none"> ・南面の1階窓開口部下(腰壁)のタイルは全面張り替え、1階庇のモルタル塗り替え跡が見られる。 ・東西面に被害が集中し、南北面は被害がなかった。 ・2階、3階の柱にX状のせん断ひび割れが発生した。 ・窓枠に若干のゆがみあり。 ・柱のコンクリートが一部落下した。 	<ul style="list-style-type: none"> ・2階部分から剥落したものは、全て真下の底上に落下。 ・12×12×30cmの三角錐状 	<ul style="list-style-type: none"> ・東西南面に地盤の沈下が見られる。 ・もとは水田地帯だったので地盤が悪い。 ・3/12に国交省の診断にて構造上の問題なしの判定。 ・道路沿いのコンクリート塀が倒壊しそうになっていた。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ボイラー室の煙突レンガや階段上げ裏のモルタルが落下した。 ・開口部にゆがみが生じた。 ・給湯室の壁にせん断ひび割れ。 ・屋内の特に2、3階の廊下、壁、階段室、トイレ、柱、執務室壁等、仕上げ材に多数の被害が生じている ・斜めひび割れは全体に生じた。階段正面の壁にはX状のひび割れが生じ、4/7の地震で階段の打ち継ぎ部に水平ひび割れが生じた。 ・空調ダクト周囲の石膏ボードが損傷し落下した。 ・什器類の移動はあったが転倒はなかった。
仙台 G 建物	<ul style="list-style-type: none"> ・斜めせん断ひび割れが多数生じている。ひび割れ幅はそれほど大きくない。 ・方位、階数に関わらず被害が発生した。 ・ガラスの被害はフロート板ガラスのみで、網入りガラスには生じなかった。 ・タイル、ガラスブロックの剥落による飛散があった。 	<ul style="list-style-type: none"> ・剥落したタイルやガラスブロックの飛散範囲は狭い。 	<ul style="list-style-type: none"> ・縁石の破損、コンクリート塀に亀裂は生じたが地盤の沈下はなかった。 	<ul style="list-style-type: none"> ・全般的に全ても部屋及び階に被害が発生したが、特に階段室やコアな部屋及び大法廷天井面積120㎡程度の被害が大きかった。 ・被害の大小はあるが見えること全てに被害を確認した。 ・ひび割れ、浮き、剥落、ゆがみが生じた。 ・ひび割れは、斜め、X状、水平・垂直方向全て生じた。壁の上部、中部、下部からの剥落もあった。 ・大法廷、大会議室の天井仕上げ材の落下、変形などがあった。 ・東西南北の方位に関係なく転倒した。あたまつな

建物名称	外壁の主な被害	外装材の飛散	備考	内装被害(聞き取り調査から)
				<p>ぎ、金具による壁固定を設置していた書棚等も転倒した。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・可動式書棚は脚物から破損したものがあつた。 ・4/7の地震でそれ以前に生じたひび割れ幅が広がつた。3/11以降に書棚等の転倒防止対策を行つたが、4/7の地震では再度転倒した。 ・隣接するS造の建物と比較するとボード類の被害は少なかつた。
<p>仙台 H 建物</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・校舎の外壁は PC 版に塗装仕上げやタイル仕上げしたものと思われる。 ・アプローチデッキの床が陥没した。 ・窓の水切り脇のモルタル浮きが多数確認された。 ・東面の壁に X 状のせん断ひび割れが 1~2 階部分に見られるもの、各方位ともにひび割れ等の発生は少ない。 ・1~4 階の窓開口部下の腰壁部分に発生した水平方向のひび割れは長さがある。 	<ul style="list-style-type: none"> ・校舎棟の落下、飛散物はなし。体育館のガラスは落下飛散した。 	<ul style="list-style-type: none"> ・H22 年度の劣化度調査で B 判定。 ・3/11 の被害が 4/7 の地震で拡大した印象がある。 ・体育館の土台陥没、隙間発生、ガラス飛散、軒天パネルの落下など被害が大きかつた。 ・体育館裏の斜面値が一部崩れた。 	<ul style="list-style-type: none"> ・トイレ壁に X 状のひび割れ、天井材と壁タイルにひび割れと剥落。 ・EXJ が外れた。 ・耐震金具を施してないキャビネット、実習装置が転倒した。 ・ショーケースのガラスに飛散防止フィルムを貼ってゐなかつたため割れた。 ・窓際のパネルヒーターが全体的に転倒した。 ・屋上設備の基礎が壊れた。

建物名称	外壁の主な被害	外装材の飛散	備考	内装被害(聞き取り調査から)
仙台1建物	<ul style="list-style-type: none"> ・南北面の壁面上部に施工されていたラスシートモルタルが南面はほぼ全面、北面は3/5程度脱落した。厚みもあり1枚の面積も大きい。 ・南北面の柱・梁、壁には多数のせん断ひび割れが発生した。 ・西面の壁には大きな面積で浮きが生じた。 ・東面は垂直方向に長いひび割れが生じている。各方位の被害に比べると被害は少ない。 ・壁にはX状のひび割れが目立った。 ・ガラスはひび割れのみで脱落しなかった。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ラスシートモルタル壁は、直下～1mの範囲に落下した。高さは3階程度。1.5m四方の大きさで飛散はしなかった。 	<ul style="list-style-type: none"> ・3/11は床全体があらゆる方向に動いた感じがした。4/7の地震で11日の被害が拡大した印象がある。 ・外構のインターロッキングにゆがみ陥没あり。昔水田だったため地盤は良くないと思われる。 ・体育館の基礎構造はRC杭 L=8m ・給水管破裂による漏水あり。 	<ul style="list-style-type: none"> ・壁仕上げと床に被害。競技場窓まわりのモルタルが剥落した。競技場内壁に亀裂が生じた。床は波打つような不陸が生じている。 ・ステージ所湯部梁部分のコンクリートが剥落した。 ・壁とトラス屋根の接合部のコンクリート梁が剥落した。 ・窓の下枠部分の詰めモルタルが剥落した。 ・壁の上部に水平、垂直方向に亀裂が生じた。 ・床のフローリングにめくれ上がりや陥没が生じた。
宮城C建物	<ul style="list-style-type: none"> ・東面と北面は50度の白色のタイル張り、南面は窓開口部下に茶色の小口タイル、西面は茶色の2丁掛けタイルが施工してある。 ・タイル浮きは方角に関係なく全体的に発生している。 ・東面と西面には、斜めと水平方向の長いひび割れが生じている。 ・南北面の壁に階数に関係なく多く被害が発生した。 ・ひび割れはすべての面に発生しており、浮き・剥落はタイル面で見られた。 ・エントランスの庇が破損した。 ・モルタル仕上げよりもタイル仕上げのほうが被害が多い。 	<ul style="list-style-type: none"> ・タイルが飛散し真下から1m程度まで。遠くまで飛散したものは、2階から剥がれ落ちたもの。 ・タイルは塊ではなく、1枚ずつばらばらに飛散した。 	<ul style="list-style-type: none"> ・平成24年4月に改修を予定しているが、エントランスの庇の揺れがひどかったため、根元に大きなひび割れが発生したため先行して撤去した。 ・東側の建物のきわが、一部陥没した。 	<ul style="list-style-type: none"> ・入り隅の被害が多数あった。壁や開口部周辺には外部からの亀裂が貫通している。 ・土間スラブが下がった。 ・水平方向及び斜め方向に壁全体に広月大きな亀裂が発生した。 ・プリンターの落下のみで、書棚等の転倒はなかった。 ・空調吹き出し口がすべて落下した。照明器具が落下した。天井がゆがんでしまい取り付けられなくなった。

建物名称	外壁の主な被害	外装材の飛散	備考	内装被害(聞き取り調査から)
	<ul style="list-style-type: none"> ・タイルは多く飛散した。 ・ガラスの破損したものは、建物内外に飛散した。 ・南面の窓開口部周辺に生じているひび割れはほぼ垂直方向に生じている。 			<ul style="list-style-type: none"> ・天井目地部分が破損した。 ・トイレの洗面器が落下して破損した。
仙台 J 建物	<ul style="list-style-type: none"> ・西面の 2～3 階部分にタイル張り、他の面および箇所は塗膜仕上げ ・東面の開口部のない壁には斜めひび割れが発生している。他の西南北面のひび割れは柱には水平方向、開口部隅角部には斜めひび割れ、水切り板下は水平ひび割れ、窓開口部上下には垂直方向のひび割れが目立つ ・窓開口部水切り板の周辺はひび割れや浮きが生じている ・入り隅部分のひび割れが多数ある ・柱と壁の取り合い部分にシーリング施工されている箇所のひび割れは少ない。又、水平ひび割れもシーリング目地のところで止まっている ・X 状のせん断ひび割れがほとんど生じていない ・ガラスは校舎棟で 1 枚、体育館で 2 枚割れ、4/7 の地震でさらに 2 枚割れた ・渡り廊下の外壁が落下した 	<ul style="list-style-type: none"> ・剥離箇所の真下から 2m 程度の範囲に飛散 ・2 階あたりから剥がれ落ちた ・10 cm 角程度の破片 	<ul style="list-style-type: none"> ・地震前からのひび割れあり。 ・3/11 の揺れは長い横揺れであった。 ・法面が一部崩れて L 形溝が陥没した。 ・擁壁がずれた。舗装が陥没した。 ・キュービクルの基礎が傾いた。 ・境界フェンス基礎が陥没した。 	<ul style="list-style-type: none"> ・昇降口棟の被害が大きかった。 ・天井 EXJ(エキスパンションジョイント)の金物が脱落した。 ・暖房設備の漏水、消火設備の故障、体育館の照明の落下など設備の被害が発生した。 ・ひび割れの向きは斜め、水平、垂直方向各種あり。 ・50%以上のキャビネットが転倒した。転倒防止対策はしていなかった。 ・渡り廊下連結部分(EXJ)周辺の被害が大きかった。 ・窓枠の変形。

建物名称	外壁の主な被害	外装材の飛散	備考	内装被害(聞き取り調査から)
仙台 K 建物	<ul style="list-style-type: none"> ・窓まわりのひび割れ及び浮きは以前からあった ・地震による被害は少なかった ・ひび割れのある箇所は、西面及び東面の窓開口部下の腰壁に垂直方向のひび割れ、開口部の空各部には斜めひび割れ、建物出隅部に短い水平ひび割れがある ・南北面のひび割れは少ない 	<ul style="list-style-type: none"> ・ガラス飛散防止フィルムを貼っていたため、1枚にひび割れが生じたが飛散はしなかった。 	<ul style="list-style-type: none"> ・3/11 は建物内では体感的に震度 4 程度かと思った。長かったので駐車場に避難したところ揺れが大きく立ってられず座り込んだ。大小大小と揺れの強さが変化したように感じた。 ・4/11 は 1 回ドンという縦揺れ。 	<ul style="list-style-type: none"> ・特に被害は無かったが、強いて言えば校舎棟の庇先端にひび割れが生じた。 ・受水槽の漏水があった。 ・以前からあった斜めひび割れが、地震による深くなった印象がある。 ・什器の転倒は無かったが、中身が落下した。
仙台 L 建物	<ul style="list-style-type: none"> ・2 階建ての校舎が 3 棟平行に建っており、それぞれの棟とも東側の校舎で繋がっている。 ・壁面に垂直方向、柱に水平方向、窓開口部の隅角部から斜めひび割れが多数生じているが、一見して古いひび割れもあるため被害の程度がどの程度であったかは不明。 ・南面には窓開口部下や開口部間の雑壁には広い面積の浮きも確認される。北面の浮きは、開口部の上方に多く見られる。 ・全体的にまんべんなく被害を受けた感じがする。 ・EXJ に被害が集中した。 	不明	<ul style="list-style-type: none"> ・3/11 はスパイラル状の長時間の揺れを感じた。 ・4/7 の揺れは短時間に一気に揺れた感じ。 ・校舎棟のみ修繕工事予定、EXJ によって建物が救われた印象がある。 	<ul style="list-style-type: none"> ・居室に被害が発生した。 ・東西面を向いたロッカーが移動し、南北面を向いたロッカーは転倒した。 ・校舎棟の東西面を向いた図書室の本棚が転倒した。 ・車庫の被害が大きかった。 ・木造平屋のモルタル壁が剥落した。古い建物で以前からひび割れがあった。

建物名称	外壁の主な被害	外装材の飛散	備考	内装被害(聞き取り調査から)
仙台 M 建物 A 棟、B 棟	<ul style="list-style-type: none"> ・南北面にひび割れ、基礎立ち上がり部分のモルタルの浮きなどが多数発生した。ひび割れの数は階数によらず発生していた。 ・窓ガラスの割れ。飛散はしなかった。 ・同一敷地内の建物 2 棟を調査した、1 棟は地盤沈下が南面のみ、もう 1 棟は東西南北どの方位にも地盤の沈下が見られる。いずれも建物のきわ(近接して)の部分に生じていた 	なし	<ul style="list-style-type: none"> ・地震前よりモルタル、石膏ボード類にはひび割れが多く発生していた。 ・3/11 は歩行が困難な程の揺れ。 ・4/7 は寝ていると起き上がれないほどの揺れ。 ・6 角形状のひび割れがある。 ・建物のきわ(近接して)に地盤沈下が発生。 	<ul style="list-style-type: none"> ・室内に亀裂が生じた箇所がある。 ・元々あったひび割れが少し広がった。 ・天井や壁にはそれ程多くはないがひび割れが入った。 ・ひび割れは、斜め、水平、垂直の方向。 ・窓ガラスの割れた部屋があった。 ・本棚が転倒した、置いている場所によって倒れ方が異なる。 ・風呂がズレた。 ・受水槽、給水管の改修を平成 22 年に実施していたため被害がなかった ・電気設備も被害がなかった。
宮城 D 建物	<ul style="list-style-type: none"> ・東西南北面に被害が生じた。 ・開口部まわりのタイルの剥落が目立った ・伸縮調整目地周辺のモルタルに浮きが生じた ・タイルと打放しコンクリートの境界のコンクリートがひび割れ、はらみ出しが生じた ・ひび割れは、斜め、水平、垂直方向並びに X 状のものもあった ・タイルはひび割れに沿って割れた破片が落下している ・開口部周辺のひび割れは垂直方向、隅角部は斜めのひび割 	<ul style="list-style-type: none"> ・本震による落下というよりも、余震や気温差で浮いていたものが落下した ・飛散距離は真下から 1m 程度、2 階あたりからの剥落 ・破片は大きいものでも 5 cm 角程度 	<ul style="list-style-type: none"> ・3/11 は振幅の大きな横揺れが何度も続いた ・4/7 はドドツという縦揺れ ・建物きわ(近接して)の東南北面に若干の地盤陥没箇所がある ・敷地内アスファルト道路に 5 mm 程度の亀裂、歩道には波打つように隆起と陥没箇所が散見される ・地震前の劣化は特にない ・地盤は比較的に良い方だと思う 	<ul style="list-style-type: none"> ・執務室、トイレ、廊下、階段室、宿泊室、厨房などに被害。 ・分電盤室のモルタル壁が脱落、トイレのタイル壁にはひび割れ。 ・EXJ(エキスパンションジョイント)の天井部分から漏水、体育館の水平ブレースが伸びた。 ・1 階ホール柱とエレベータホール壁の柱大理石が剥落した。 ・研修室の書庫が転倒した。書庫に施工してあった転倒防止金具が壁を破損させた。

建物名称	外壁の主な被害	外装材の飛散	備考	内装被害(聞き取り調査から)
	<p>れが生じている。窓開口部下には、水切り版の下周辺に水平ひび割れが生じている</p>		<p>・外構(北東法面、北西法面)に沈下、陥没が生じた</p>	<p>・什器の移動や落下はなかった。 ・EXJ(エキスパンションジョイント)の壁、天井から漏水が生じた。 ・空調吹き出し口のズレが多く見られる。 ・照明器具、避難用看板などの抜け落ちなど内装の被害が多数ある。</p>
<p>仙台 N 建物</p>	<p>・2 丁掛けタイル全面に施行してある。南面にエントランスがあり、西面には 1 階から 4 階で連続したガラスが施工され、その周囲は金属パネルが施工されている</p> <p>・方角に関係なく被害が発生していたが、東面高層階、南面中低層階、北面中低層階に被害が集中していた</p> <p>・東面 5 階部分の壁には 2×1.5m 程度の面積でタイル浮き(調査当時は該当箇所のタイルは叩き落とされていた)があった。剥離面は、コンクリートとモルタルの界面である。下地モルタルの塗厚さは薄いように見受けられる(直張りか?)。接着面は黒っぽい色と白っぽい色の箇所があり、モルタルが十分に圧着されていなかったように見え、地震前より付着力が低かったと考えられる</p> <p>・以前は窓などの開口部がありそれを壁に改修したとみられる箇所には、その形状の周辺にひび割れが生じており、タイルが部分的に割れて剥落している</p>	<p>・タイル外装材が飛散した</p> <p>・中低層回の剥落が主であった。</p> <p>・東面は 2~3m まで、南面・西面は 0.7~1m まで、北面は 1~1.5m まで飛散した</p>	<p>・1 分くらい大きな揺れが発生し、一度落ち着いた後再度大きな揺れが発生した</p> <p>・渦を巻くような揺れだった</p> <p>・1 階北側のインターロッキング舗装に凹凸が発生した</p>	<p>・執務室、書庫・倉庫、トイレ、廊下、階段室、宿泊室、プールに被害があった。</p> <p>・被害箇所は梁以外の、天井、壁、柱(化粧材の石膏ボード)、床、開口部に生じた。</p> <p>・4 階プールのタイル張り間仕切壁は下地のコンクリートブロックごと破損、天井材の脱落。</p> <p>・階段室の石膏ボードにひび割れ、7 階トイレのダクト吊りボルト脱落が生じた。</p> <p>・ひび割れ方向は水平と垂直方向に集中していた。</p> <p>・1 階の舞台及び客席には被害は無かった。</p> <p>・転倒防止措置をしていなかったため 8 割程度の書棚等が点とうした。転倒・移動と方位は特に関係は見られない。</p> <p>・壁のひび割れは 4 階に比較的多く見受けられた。</p>

建物名称	外壁の主な被害	外装材の飛散	備考	内装被害(聞き取り調査から)
	<ul style="list-style-type: none"> ・以前の改修で開口部を壁にしたと思われる箇所は、開口部の四角い線上に施工されたタイルが欠けて落下している。剥離位置は、コンクリートの界面と張付モルタルとタイル裏足の界面と2種類ある。 ・低層棟と高層棟接合部(東面)にも被害が集中していた ・被害が発生した部位は、窓等開口部の少ない壁面、窓・出入口等の開口部まわり(上部、下部、近接する窓と窓の間)、渡り廊下等連絡通路の周辺・連結部分など ・被害の種類は、ひび割れ、浮き、剥落・脱落、欠損(小面積の割れ、欠けなどによる脱落) ・被害の状況は、斜め方向、X 状、水平・垂直方向のあらゆるひび割れが生じた他、壁の上部に剥落が生じた ・伸縮調整目地に接するタイル浮きが見られる。縦方向の伸縮調整目地に接するほうが多い。また、タイルは、縦向きと横向きに張られた箇所があり、横方向の伸縮調整目地周辺には縦方向にタイルが張られており、これにより浮き箇所は少ないように見受けられる ・ほとんどのタイルの剥落は、1枚ずつ又は、タイルが割れて部分的に剥落している。 			

建物名称	外壁の主な被害	外装材の飛散	備考	内装被害(聞き取り調査から)
<p>仙台 O 建物</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・東面、西面の中低層階に被害が多く発生した ・高層棟東面のタイル壁には南側が高い斜めひび割れが 1, 2 階部分に多数生じた。1~5 階部分の壁に補修跡がみられる。また、中低層棟 1, 2 階部分には X 状のせん断ひび割れの補修跡が見られる。低層棟の屋上パラペット下の壁には垂直方向のひび割れが多数見られる ・高層棟西面の 1~5 階までには斜めせん断ひび割れ等の補修跡が多数見られる。中低層棟にも X 状および斜めせん断のひび割れの補修跡が多数見られる。 ・南面は、低層棟および中層棟のパラペット下に垂直方向のひび割れが見られる。高層棟の南西端部の庇(ベランダ?)コンクリート打放しの鼻先に剥落が生じていた。南面はひび割れ等が見つらい ・北面は会議棟の一部にのみ被害が発生した。庇(ベランダ?)コンクリート打放し側面に垂直方向のひび割れが多数発生した。発生位置は中央から西寄りにかけて多い。 ・窓と迂回後部の少ない壁面と、渡り廊下等連絡通路の周辺・連結部など ・外装材の被害はひび割れ、浮き、剥落があり、ひび割れは斜めと垂直方向が多く、X 状ひび割れも生じた ・本庁舎と議会棟の接続部に X 状のひび割れが発生し剥落が生じた。 ・吹き抜けに面するサッシのガラスに亀裂が多く発生した 	<ul style="list-style-type: none"> ・日除け用ガラスが落下し散乱した ・飛散範囲は壁面から 1.5m まで 	<ul style="list-style-type: none"> ・モルタルの剥離は地震前にも見られたが、その他は地震によるものと考えられる ・3/11 立ってられないほどの揺れが長く続いた。横に揺れるような揺れ方で一度弱まったあとに再度強くなった ・4/7 は縦揺れだった ・パネル材には被害がなかった ・歩道が部分的に沈下した程度だった 	<ul style="list-style-type: none"> ・地階を除き執務室、書庫・倉庫、トイレ、廊下、階段室のすべてに被害が生じた。 ・駐車場の天井仕上材が落下した。 ・RC 壁のひび割れは貫通している可能性もある。 ・ひび割れのほとんどは斜め方向であった。 ・モルタル仕上げの剥落は壁中央部で発生した。 ・床固定していた書棚等は転倒しなかった(アンカー破損はあり)。 ・転倒防止用のつかえ棒では転倒したものもあった。方角は特でない。 ・駐車場のひび割れから水がしみ出した。

建物名称	外壁の主な被害	外装材の飛散	備考	内装被害(聞き取り調査から)
<p>仙台 P 建物</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・既に補修された物件 ・全体的にタイル張り替えが行われており被害が大きかったものと推察される ・前回の修繕でタイル張り替え工事が実施された箇所さらに今回の災害箇所を張り替えて修繕しておりタイルの色が異なるため美観は損なわれている ・南面、西面は3階を中心に開口部まわりの破壊やタイルの落下が著しかった ・北面の被害は、面積としては大きいものの軽度だった ・建物隅角部のタイルが多く落下した ・窓等開口部の少ない壁面、窓。・出入口等の開口部まわりの被害が著しかった ・ひび割れ、浮き、剥落、欠損があらゆる箇所に発生した ・斜め、X 状、水平・垂直方向のひび割れがあらゆる所に生じ、壁に生じたひび割れから剥落も生じた ・特に開口部間の短壁に X 状の亀裂が入り、タイル仕上げ材とも破壊した ・低層部の開口部が落下した ・タイル、パネル、ガラス、窓枠に被害が生じた 	<ul style="list-style-type: none"> ・外装材＋コンクリート躯体とガラスが落下し飛散した ・ガラスは直下に落下 ・南面は4、5階のものと思われる5cm角のタイルが質機内植栽を越えて道路まで飛散した 	<ul style="list-style-type: none"> ・2008年にタイル浮きのあった箇所を張り替え補修している。タイルの色が異なるため張り直した箇所はわかり安い ・今回被災した箇所についても色や異なるタイルで施工させている(美観を損ねる仕上がりとなっている) ・3/11屋外で立ってられないほどの揺れを感じた ・北側の空き地で陥没した箇所や不陸となった箇所がいくつかあった 	<ul style="list-style-type: none"> ・図書館、執務室、書庫。倉庫、トイレ、廊下、階段室などあらゆる箇所に被害が生じた。 ・梁以外の、天井、壁、柱、床、開口部に被害が生じた。特に、壁は被害大きく、仕上げ材だけでなくRC躯体から破壊された。 ・外部開口部間の短壁および間仕切り壁に X 状のせん断ひび割れが入り、化粧ボード(石膏ボード)が破壊した。 ・低層建物の開口部が破損した。 ・室内のタイル・ブロックはトイレの被害、タイル、モルタル、石膏ボード、ガラスに被害があった。 ・ロッカーが方角に関係なく転倒した。 ・図書館の書棚は南北に大きく移動した。 ・3/11で書棚から落下した書籍は、ガラスやゴミを除いた上で書棚に戻したが4/7の地震で再び落下した。

建物名称	外壁の主な被害	外装材の飛散	備考	内装被害(聞き取り調査から)
仙台 Q 建物	<ul style="list-style-type: none"> ・1～3 階までが市の施設、4～11 階が UR の施設 ・調査時には低層階の復旧工事は終わっていた ・全体に被害が生じた ・開口部の少ない壁面、窓・出入口等の開口部まわりにひび割れ、浮き、剥落、欠損が生じた ・ひび割れは斜め、X 状、水平・垂直方向に入った ・モルタルには少し被害があった ・出入口付近にタイルが剥落し散乱した状態の写真の提供あり。破片は小さめ 	<ul style="list-style-type: none"> ・外装材と外装材＋下地コンクリートの飛散 ・建物真下～3m 程度まで飛散 ・3, 4 階当たりから剥落 ・破片の大きさは大きいもので 30 cm 角、厚さは 5 cm 程度 	<ul style="list-style-type: none"> ・3/11 は上下左右に揺れた。立っていらなかった ・4/7 はスパイラル状に揺れた感じがした ・外構の沈下がところどころあった ・1 階のピロティ地面に段差、西側の非常階段 1 階出入口に段差 ・廊下壁に大きな亀裂 ・7 月～11 月の外壁の復旧工事 ・屋内壁の亀裂の大きさが目をひく 	<ul style="list-style-type: none"> ・執務室、書庫・倉庫、トイレ、廊下、階段室すべてに被害。 ・梁、壁、柱、1 階柱のタイルに被害が生じたためモルタルにて補修済み。 ・3 階宿舍の被害が甚大だった。コンクリート壁に亀裂と崩壊部分あり。 ・壁上部の天井とのきわにひび割れが生じた。 ・X 状、水平・垂直方向のひび割れ、壁上部からの剥落。 ・防煙垂壁(ガラス)3 箇所にはひび割れの発生。 ・南北を向いた書棚類が転倒した。 ・給水管の破裂により水浸しとなった。 ・エアコンのカバーが開いて中のフィルターが落下した。 ・天井吊りの案内サインが落下した。 ・廊下壁に大きな亀裂、2 階会議室通路壁に亀裂があり今にも脱落しそう。

建物名称	外壁の主な被害	外装材の飛散	備考	内装被害(聞き取り調査から)
<p>仙台 R 建物</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・南面及び東面は、開口部の上下から垂直方向に伸びる多数のひび割れが目立つ ・南面の柱には垂直方法および水平方向の短いひび割れが生じている ・北面及び西面は開口部隅角部から斜めひび割れが生じている。ひび割れ数は少ない ・建物表面の経年による汚れが目立つ。ひび割れがいつ時点に発生したものかの区別は難しい ・1階の建物隅角部にコンクリートからの剥落が生じている ・サッシ周りのひび割れから雨水が漏るようになった(調査の結果では、サッシ周りのシーリングの破断が原因と考えられる) ・外装材の主な被害はひび割れで、斜めと水平・垂直のものがある。 ・モルタル及びガラス。ドアののぞき穴に亀裂が入った 	<ul style="list-style-type: none"> ・飛散したものはなし 	<ul style="list-style-type: none"> ・床タイルのひび割れは以前からあったが大きいものではなかった ・著しい壁のひび割れ、剥落は震災の影響によるものである ・3/11 揺れが長かった ・4/7 揺れが短かった ・周辺の地盤が 30~40 cm沈下した ・被害が出る都度修繕はしたが、大規模改修はしていない 	<ul style="list-style-type: none"> ・執務室、階段室、仮眠室、会議室、車庫に被害があった。 ・階段は 2 階から 3 階にかけて被害が集中している。 ・壁の被害は階段、床は執務室、仮眠室及び会議室に多く発生した。 ・扉ガラスが 1 箇所破損した。 ・ひび割れと剥落が生じた。 ・壁は水平、垂直のひび割れが目立った。 ・転倒防止をしていたため書棚は転倒しなかった。 ・観音開きの戸棚の中身は散乱したものがあつたが、引き違い戸のものは散乱しなかった。 ・机が東西方向に 50 cm移動した。 ・キッチンが西側に向かってゆがんだ。

建物名称	外壁の主な被害	外装材の飛散	備考	内装被害(聞き取り調査から)
仙台 S 建物	<ul style="list-style-type: none"> ・南北の広い面に横連窓の開口部がある。東西は壁面積が大きい。全面的に二丁掛けタイル張り仕上げで、ガラス窓下の腰壁はPC板のように見受けられる。窓下の腰壁にはひび割れが発生していない。 ・本建物は調査前の時点で、浮きの確認されたタイルは叩き落としてあった ・全方角に被害が発生した。特に中低層階の被害が目立つが高層階にも被害は生じている。 ・窓等開口部の少ない壁面および窓・出入り口等の開口部まわり ・ひび割れ、浮き、剥落及び欠損が生じた。下地ごと剥落した箇所があった。 ・南北面は斜めひび割れが多く、東面は X 状のひび割れが目立つ。西面はひび割れは少ない。 ・3 階以下の高さでタイルの欠損、剥落を伴ったひび割れが発生した。 	<ul style="list-style-type: none"> ・3 階以下からのタイルの剥落 ・2m 程度の範囲で飛散した。南面については、歩道には達していない 	<ul style="list-style-type: none"> ・モルタル、ガラスに地震前の劣化はなかったものを認識している ・機器冷却塔のアンカーボルトには地震前から劣化による錆があった ・3/11 は一方向の揺れではなかった。時間も長かった ・4/7 職場ではないが、横方向の揺れが急激にきた。時間は短かった ・周辺の歩道が沈下し、エントランスにある既存層のポールが傾いた ・2003 年の宮城県北部地震による外壁タイル剥落被害を補修している。モルタル系接着剤による補修出窓の隅角部のタイル。今回の地震では剥落しなかった。 	<ul style="list-style-type: none"> ・執務室、書庫・倉庫、トイレ、廊下、階段室など全般的にすべての箇所に被害が発生したが、地階には被害がなかった。 ・天井および壁に被害があった。また、3 階及び 5 階の防煙垂れ壁がすべて割れた。 ・ひび割れ、浮き、剥落が生じた。1 階のシステム天井は全体の 2~3 割程度、増築部分に限ってはすべて崩落した。4/7 の地震でも崩落が起こった。 ・6 階、8 階のパーティションのガラス部分にもひび割れが生じた。 ・斜め、X 状、水平・垂直方向にひび割れが生じた。特に、水平方向と垂直方向のひび割れは打ち継ぎ目地、伸縮調整目地に沿ったかたちに入ったものがあった。 ・転倒防止を床及び壁に設けていたもの(全体の 8 割)の転倒はなかった。移動見込みのある書棚には転倒防止措置はしておらず、それらは方位に関係なく転倒した。

建物名称	外壁の主な被害	外装材の飛散	備考	内装被害(聞き取り調査から)
仙台 T 建物	<ul style="list-style-type: none"> ・全面的に1階が石張り、2階以上が50ニ丁モザイクタイル張り ・東西面は斜めひび割れが多く、南面はX状のひび割れが多い。北面は斜めひび割れが主だが、他の面と比較してひび割れは少ない ・西面の3階のはめ殺し窓及び5階のガラスブロックが大きく破損し、合板でふさいである。 ・中層階を中心に被害が発生した。 ・開口部の多い南面および北面は、開口部まわりに多く被害が発生した。東西面は開口部の有無に関係なく被害が発生した。 ・被害の種類は、ひび割れ、浮き、剥落、欠損などすべてであった。ひび割れは、斜め方向、X状のひび割れは発生したが、水平・垂直方向の被害が見られなかった。 ・2008年3月に、外壁は劣化補修及び剥落防止対策、防水はタイル等目地、建具、ガラスブロック周りのシーリング打ち替えを行っている。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ガラスブロックの割れた破片が飛散した。 ・タイルのひび割れが大きいところでもあまり飛散しなかった。H9年度改修工事の効果があつたと考えられる ・建物のほぼ真下に飛散し、離れた場所には飛散しなかった。 	<ul style="list-style-type: none"> ・地震前の劣化はなかったと認識している。 3/11地震発生直後は上下に揺れ、その後東西方向に揺れた。一度落ち着いたと思ったら、再び同じような揺れが起こった。 ・4/7横揺れがひどく書類関係が高に保管していたものを含めて散乱した ・建物きわの東西面には沈下が見られる。 ・外構の花壇の枠には多数の亀裂が生じている。 ・周辺地盤が沈下し、それに伴う埋設管の断裂等の被害が発生した。 	<ul style="list-style-type: none"> ・全般的にすべての部屋及び階に被害が発生したが、中層階の方が多くの被害が発生した。 天井、梁、壁、柱、床、開口部すべての部位に被害が発生した。 ・ひび割れ、浮き、剥落、ゆがみが発生した。5階区民ホールは天井材が落下した。 ・斜め方向の被害も発生しているが、水平・垂直方向のひび割れ被害が大きい。 ・執務室の垂れ壁が落下した。 ・転倒防止を床及び壁、もしくは床のみ(背の低い棚)に設けており、転倒はなかった。 ・開き戸の棚は中身が外に散乱し、引き違い戸は中身の散乱はなかった。

建物名称	外壁の主な被害	外装材の飛散	備考	内装被害(聞き取り調査から)
仙台 U 建物	<ul style="list-style-type: none"> ・1, 2 階は改修された際にアルミパネルでカバーされている。3 階～7 階は 100 角のタイル張り仕上げ、1 階窓下の腰壁・基礎立ち上がりには 24×24 cmのタイルが張られている。 ・南北面は広い面積で横連窓となっている。腰壁は PC 板とみられ、ひび割れの発生はない。 ・方位に関係なくタイル面全般に被害が発生した。 ・窓・出入口等の開口部まわりや窓等開口部のない壁面に被害が生じた。 ・3/11 にはタイルの剥落はなかったが、4/7 には剥落が生じた(特に北西面) ・低層階はアルミパネルのため被害はなく、中央層のタイルにひび割れ、剥落が生じた。 ・打ち継ぎ部にひび割れが入った。 	<ul style="list-style-type: none"> ・中高層階のタイルが飛散した。 ・飛散範囲は、真下から 3m 程度まで、破片は大きいもので 2 cmくらい 	<ul style="list-style-type: none"> ・3/11 は南北の揺れが大きかった。なみに揺られる感じがした。 ・4/7 早く揺すられる感じがした。 ・駐車場から北側玄関にかけて 5～6 m²の地面の陥没が見られる。 ・各方角の地盤にところどころ沈下箇所がある。 ・若林区は堆積物層で地中 5m くらいから N 値が 50 出る。 	<ul style="list-style-type: none"> ・2 階会議室の出入口周辺にひび割れが発生した。開口部の隅角部に斜め方向のひび割れが入った。 ・打ち継ぎ部あたりにひび割れが入った。 ・書棚等の転倒はなかった。 ・6 階会議室の空調配管の継ぎ手が外れて漏水が生じた。

建物名称	外壁の主な被害	外装材の飛散	備考	内装被害(聞き取り調査から)
<p>仙台 V 建物</p>	<p>・H23年7月に修繕工事が終了している。</p> <p>・本庁舎は仕上げ表面は吹付タイル仕上げである。敷地内に東庁舎もあるが、本庁舎を調査した。</p> <p>・北面の耐震ブレースにひび割れがあった。</p> <p>・東面は各階にひび割れが発生しており、窓開口部隅角部から斜めひび割れが生じている、開口部のない壁面にも斜めひび割れが生じた。</p> <p>・西面のひび割れは北側が高い斜めひび割れで、ひび割れの向きがそろっている。開口部周辺のひび割れはない。</p> <p>・南面及び北面のひび割れは少ない。南面は東側の壁と西側の壁にひび割れが生じているが、東側壁は開口部下に垂直方向にひび割れが生じ、西側の壁は斜めひび割れが生じている。開口部周辺にはひび割れはない。</p> <p>・北面の1階西側の壁に水平方向のひび割れが生じている。東側の壁面には斜めひび割れが見られる。いずれも開口部周辺にはひび割れはない。</p> <p>・被害の種類は、ひび割れ、浮き、剥落、欠損すべてであった。特に欠損により、鉄筋が露出している箇所があった。</p>	<p>・「東庁舎」のタイルについて、真下から3m程度までの範囲で飛散した。</p> <p>・大きいもので、タイル1枚程度。</p>	<p>・昭和54年の宮城地震のひび割れが一部残っていた。</p> <p>・書棚などは転倒防止金具でおさえていたため転倒はなかった。</p> <p>・3/11は地面が波打つくらいの揺れ、特に横揺れが長時間にわたり続いた。</p> <p>・4/7は短時間の縦揺れであった。</p> <p>・レール式のシステム天井を採用していたが、被害が大きかったため、補修時に通常の天井に変更した。</p> <p>・東庁舎は東面と西面の被害が大きかった。タイルの割れ・剥離があった。</p>	<p>・執務室、書庫・倉庫、トイレ、廊下、階段室のいずれにも被害が発生した。特に上階の被害が大きかった。</p> <p>・床以外の、天井、梁、柱、壁、開口部に被害があった。特に壁、柱(モルタル)と天井仕上げ材の被害が、館内のほとんどの箇所が発生した。</p> <p>・被害種類は、ひび割れ、浮き、剥落、欠損すべてであった。</p> <p>・ひび割れ形状は、斜め、X状、水平・垂直方向があった。壁からの剥落もあった。特に、壁のひび割れ、モルタル浮き、天井材の落下の被害が大きかった。</p>

建物名称	外壁の主な被害	外装材の飛散	備考	内装被害(聞き取り調査から)
<p>仙台 W 建物※</p>	<p>・すべての箇所に被害が発生したが、東西方向の被害が大きい印象がある。</p> <p>・窓等開口部の少ない壁面、窓。出入り口等の開口部まわり(上部、下部、近接する窓と窓の間など)、ベランダ・出窓等外側に張り出した部分とその周辺、伸縮調整目地の周辺、柱、梁、開口部まわり</p> <p>・ひび割れ、浮き、剥落、欠損があった。被害状況は、斜め、X状、水平・垂直方向のひび割れ、壁に生じた剥落などであった。</p>	<p>・ガラスにひび割れが入ったが飛散はしなかった。</p>	<p>・地震前の劣化はなかったと認識している。</p> <p>・3/11 立ってられないほどの揺れだった。</p> <p>・4/7 深夜だったので体感は分からないが、3/11 の被害が進行した。内装材の落下が多く発生した。</p> <p>・建物周りが沈下した。特に新しい建物に多く発生した。幅 1m 程度の範囲</p> <p>・崖崩れが発生した</p> <p>・崖の周りに亀裂が多数発生した。</p>	<p>・全般的にすべての部屋及び階に被害が発生したが、特に上階の方が多く被害が発生した。下階については、箇所は少ないが全体的に被害が発生した。</p> <p>天井、梁、壁、柱、床、開口部すべての部位に被害が発生した。</p> <p>・ひび割れ、浮き、剥落、ゆがみが発生した。</p> <p>・斜め、X 状、水平・垂直方向のひび割れ、壁上部、中部、下部あらゆる所からの剥落。</p> <p>・方角を問わず転倒や移動が生じた。上階はすべての書棚等が転倒し、下階では本が落ちた程度だった。</p>

建物名称	外壁の主な被害	外装材の飛散	備考	内装被害(聞き取り調査から)
仙台 X 建物※	<ul style="list-style-type: none"> ・東面は低層階のガラス窓周辺に複数の斜めひび割れ及び上部と下部に剥落がある。1 階壁には水平方向のひび割れが生じていた。 ・高層棟には小面積ではあるが、複数のタイル剥落が見られる。 ・西面は 1 階から 6 階までひび割れが生じている。開口部間に生じたひび割れは X 状のものが複数ある。低層階の複数のひび割れはいずれも北側が高い斜めひび割れであった。2 階部分の縦横の伸縮調整目地周辺のタイルに剥落が生じていた。 ・南面の 1, 2 階部分の壁には東側が高い斜めひび割れが複数生じており、3 階以上の壁には西側が高い斜めひび割れが生じていた。上層階に落下防止ネットが張られており、タイル浮きなどが発生している様子である。柱の上下端部や中央に水平ひび割れが生じていた。 ・北面は 1 階に水平方向のひび割れが複数生じている。低層階 2 階の開口部周辺の壁には斜めひび割れと X 状ひび割れが生じていた。1 階の壁には 1×1.5 m 程度の浮きが生じているほか、2 階の開口部間の壁には 1×0.5 m 程度の剥落が生じている。 ・タイルの剥離は、タイルのハマ欠けによる欠損も多く 1 枚単位で剥がれている。また、タイル裏足が凝集破壊して剥落している箇所も多く見られた。 ・壁出隅部のタイル剥落は、下地モルタルから長さ 1m 程度剥落している箇所もあった。 			<ul style="list-style-type: none"> ・実験棟では大型実験装置が移動した。また、6 階の高圧ガスポンペはアンカー固定していた架台ごと移動した。 ・漏水や配管破断。 ・エアコン(天吊り型)の落下 ・ドアが開かなくなった。 ・宮城県沖地震の発生が予想されていたため、対策をしていたが相当な被害が発生した。

建物名称	外壁の主な被害	外装材の飛散	備考	内装被害(聞き取り調査から)
仙台 Y 建物※	<ul style="list-style-type: none"> ・東西面の 3 階以上には PC 板が施工されている。 ・東面の 1, 2 階部分のひび割れは X 状のひび割れが目立つが、中央を境に南側壁は北が高くなる斜めひび割れ、北側壁は南が高くなる斜めひび割れが生じていた。X ・東面の中央に開口部が配置されているが、その上部にガラリのような吸排気のような穴が空いている。この穴の下又は周辺にひび割れや脱落が各階に生じていた。 ・西面も東面程ではないものの 1, 2 階部分には斜めひび割れが生じていた。 ・南面は 2 階バルコニーの腰壁部分に斜めひび割れが生じている。いずれも東側が高い斜めひび割れである。 ・北面は 2 階バルコニーの腰壁部分に斜めひび割れが生じていたが、方向性は特でない。打放しコンクリートの柱には斜めひび割れと X 状のひび割れが生じており、X 状のひび割れは 3, 4 階の中央の柱に生じている。 ・東寄りの 2 階窓ガラスにはひび割れが生じていた。また、東よりの 3, 4, 5, 7, 8 階のバルコニー壁及びサッシが解体された跡が見られた。 ・入り隅部分にもひび割れが生じていた。 		<ul style="list-style-type: none"> ・建物の東側の犬走りが全面にわたり沈下しており、また南面の東よりと西よりの地盤面に沈下している箇所があった。 	

※ 仙台 W~Y 建物については、建物管理担当者が同一のため外装材の飛散および内装被害（聞き取り調査から）は共通した回答をいただいた。

2.4 まとめ

仙台市内を中心とした宮城県内のRC造およびSRC造建物のタイル仕上げおよびモルタル塗り仕上げ外装材の地震被害調査の結果については次のとおりであった。

- (1) タイル仕上げおよびモルタル塗り仕上げの被害としては、ひび割れが最も多く、次いで浮きやタイルやモルタルの部分欠損があり、剥落の順番であった。
- (2) タイル仕上げおよびモルタル塗り仕上げのせん断ひび割れ及びひび割れの発生箇所は、短柱または周辺拘束された壁、無窓または窓の少ない妻壁、窓と窓の間の壁、開口隅角部、出入隅や外階段の壁、コンクリート打ち継ぎ面および伸縮調整目地周辺などであった。
- (3) 欠損や浮きの発生箇所は、ひび割れ上およびひび割れ周辺、エキスパンションジョイント周辺や窓等開口部の水切り板と壁の取り合い、伸縮調整目地の周辺や入隅などの異種材料との取り合い箇所や周辺拘束を受ける箇所などであった。
- (4) 無窓または窓の少ない壁面でのタイル仕上げの剥落は、比較的に面積（叩き落とし含む）の大きいものがあつた。
- (5) タイル仕上げの剥離位置は、タイル裏足の破断、タイル裏足と張付モルタルの接着面、下地モルタルの凝集破断面、躯体コンクリートと下地モルタルの接着面などであった。
- (6) タイル裏足が破断したものは、タイル目地が深目地のものであつた。
- (7) 躯体コンクリートと下地モルタルで剥離したタイル仕上げの中には、経年劣化等により地震以前に仕上げ材の付着力の低下が疑われるものがあつた。
- (8) 地震で剥落したタイルの剥離位置は、タイル仕上げ仕様により特徴があつた。タイルは小口平や二丁掛け以上の大きさで下地モルタルに厚みのある仕様の場合には、躯体コンクリートとの接着面で剥離する傾向があつた。また、タイル目地が深目地の場合には、タイルと張付モルタルの接着力が大きい場合にはタイル裏足が破断して剥離し、弱い場合にはタイル裏足と張付モルタルの接着面で剥離する傾向がみられた。
- (9) 経年劣化したモルタル塗り仕上げでも改修が行われたものには剥落は生じておらず、適切な改修工事は外装材の剥落防止につながることを確認できた。
- (10) 体育館（SRC造）の外装材として用いられていた外装用ラスシートモルタル板は、取付け用の接合金物の経年劣化による腐食が要因となり地震の揺れで多数の板が脱落した。取付金物の点検と必要に応じた改修が必要である。
- (11) その他、外装材以外の被害について、屋上に設備機器を設置していた建物では、設備機器類の移動や転倒、固定用ボルトの変形等故障の被害があり、設備の故障が原因で建物がしばらく使用できない状態となったと建物管理者の意見があつた。
- (12) 建物内装の被害について、天井材の落下、トイレ・給湯室など狭小室の壁のひび割れ、短柱や壁のせん断ひび割れ、階段室の壁の亀裂、居室出入口上部のせん断ひび割れが生じたとの意見があつた。
- (13) 什器について、地震により居室内の什器の移動や転倒、書籍・ファイル類の散乱の被害があつた。書棚の転倒についてボルトでしっかり固定したものは書籍の散乱程度で済んだが、簡易なつつかえ棒式の固定では転倒は防げなかつたとの意見があつた。

3章 被災建築物応急危険度判定の 外装材判定に関する実態調査報告

3.1 調査の目的

被災建築物応急危険度判定(以降、応急危険度判定と記す)は、大地震により被災した建築物を地震直後の短期間に調査し、その後の余震等による倒壊の危険性、外装材等の落下、付属設備の転倒などに対する危険性をできる限り速やかに判定し、被災後の人命に係る二次的被害を防止することを目的としている。

本調査は、応急危険度判定において非構造部材である外装材の剥落危険性をどのように調査・判定しているのか、その実態把握を目的として実施したものである。

3.2 応急危険度判定について

建設省(現、国土交通省)の総合技術開発プロジェクト「震災構造物の復旧技術の開発(1981年～1985年)」^{13)~17)}の建築分野において、木造、鉄骨造、鉄筋コンクリート造建築物を対象として被災度判定から復旧技術までの一貫した総合的評価手法の開発が行われた。その後、同プロジェクトの成果をもとに、1991年(平成3年)に財団法人(現、一般財団法人)日本建築防災協会より「震災建築物等の被災度判定基準および復旧技術指針」(応急危険度判定及び被災度区分判定)¹⁸⁾が発刊され、翌年には静岡県及び神奈川県において応急危険度判定士制度が発足し、阪神・淡路大震災において応急危険度判定が実施されて以降、応急危険度判定体制は全国的な整備が進められた¹⁹⁾。その後、兵庫県南部地震等での実施体験を踏まえて応急危険度が迅速かつ適切に行えるよう、被災建築物応急危険度判定マニュアル²⁰⁾が作成された。なお、応急危険度判定は構造物を対象とした研究開発であったため、構造部材の調査箇所および判定基準については充実しているが、非構造部材である外装材等のそれについては簡素な記述となっており、このため判定は外装材は判定士の判断によるところが大きい。

3.3 調査概要

調査は、阪神・淡路大震災または東日本大震災においてRC造建築物の外装材の危険性の判定を行ったことのある応急危険度判定士(以降、判定士と記す)に対して、アンケートにより判定時の判定基準について調査した。また、アンケートの回答者の中から数名に対してはヒアリング調査も行った。ヒアリング調査は、応急危険度判定等の実施件数の多い判定士を中心に行った。

アンケートは、下記に示す 5 項目について実施した。

<アンケート調査項目>

質問 1. これまでに判定された RC 造建物の件数と調査した震災

①-1 判定件数

- a. 1 棟～5 棟未満
- b. 5 棟～10 棟未満
- c. その他 10 棟以上 (おおよそ 棟)

①-2 調査した震災 (複数回答可)

- a. 阪神・淡路大震災
- b. 東日本大震災
- c. その他中越沖地震など ()

質問 2. 実際に行った B ランクの判定についてお伺いします。

「鉄筋及び鉄骨鉄筋コンクリート造建築物等の応急危険度調査判定マニュアル」には、「外壁落下などで、ひさしなどにより、完全に被害が防止できないが、危険性がかなり減少する場合は B ランクと判断する」と記されていますが、B ランクとはどのような状態だとして判定しましたか。具体的にご記入ください。

質問 3. 外壁の応急危険度判定の C ランクは B ランクとどのように区別し判定しましたか。具体的にご記入ください。

質問 4. 外装材の被害を判断するときを確認する箇所 (複数回答可)

- a. 開口部の角部
- b. 開口部と開口部の間
- c. パラペットや手摺り下
- d. 各部材の隅部
- e. ベランダや庇の下 (鼻先)
- f. スリット部分とその周辺
- g. その他 ()

質問 5. その他

被災建物調査についてお気づきの点、ご意見等ありましたらご自由にご記入ください。

また、ヒアリング調査については、事前に準備した下記の7項目を中心に対面式で実施した。

<ヒアリング調査項目>

質問 1. 応急危険度判定の依頼元はどういったところが多いですか。地震が発生してからどのくらい経ってから（時期）依頼されましたか。また、依頼元や依頼時期に違いがあればそれもお教えてください。

質問 2. 規模にもよると思いますが、おおよそ1棟あたりの調査・判定の所要時間はどの程度要しましたか。

- 1) 外壁調査に実際に要した時間
- 2) 正確に判断を行うために必要と考える時間

また、外壁だけではなく建屋内に入っの内壁等の調査・判定は実施されましたか。それは調査した建物数に対してどの程度の割合でありましたか。

- 1) 外壁調査に実際に要した時間
- 2) 正確に判断を行うために必要と考える時間

質問 3. 外壁落下の危険性について、AランクとBランクの区別、BランクとCランクの区別が困難（迷った）な場合は、どちらの判断としますか。また、その判断理由はなにか、個人の感覚で構いませんのでお教えてください。

質問 4. 外壁調査の調査及び判定で、重点的にみる場所があればお教えてください。また、外壁の判定をする際に、建物の経年劣化状況などの条件をふまえて判定されていますか。または、個人的にチェックする部位等がありますか。

質問 5. 外壁の調査や判定で困難であると感じている点がありますか。

質問 6. これまでの外壁の調査や判定で不便さや有効性など感じたことで記録として残したいことはありますか。

質問 7. 阪神・淡路大震災と東日本大震災の判定に行かれた方、又は、他の地震被害の判定に行かれた方に伺います。阪神・淡路大震災の外壁被害と東日本大震災の外壁被害で、特徴的な違いがありましたか。また、各地震でどのような外壁被害が多かったかご記憶があればお教えいただけますか。

3.4 調査結果

3.4.1 アンケート調査結果

(1) 回答者の属性

表 3.1 にアンケート調査の回答者の属性を示す。回答者の総数は 22 名であり、応急危険度判定を実施した過去の震災については、東日本大震災及び阪神・淡路大震災の判定を行った経験のある回答者は 1 名、東日本大震災のみの経験者は 16 名、阪神・淡路大震災のみの経験者は 5 名であった。ヒアリング調査の実施者については、同表に示すとおりである。

表 3.1 調査表回答者リスト

所属会社		事例数			ヒアリング の実施
		東日本	阪神淡路	その他	
1	N社(建設会社)	○	○	鳥取、中越沖	○
2	S1社(コンサルタント)		○		○
3	N社(建設会社)		○		
4	S1社(コンサルタント)	○			
5	S1社(コンサルタント)	○			○
6	S1社(コンサルタント)	○			○
7	S2社(建設会社)	○			○
8	T1社(建設会社)	○			
9	T1社(建設会社)	○			
10	T1社(建設会社)	○			
11	T1社(建設会社)	○			
12	T1社(建設会社)	○			○
13	T1社(建設会社)	○			
14	S2社(建設会社)		○		
15	S2社(建設会社)		○		
16	G社(建設会社)		○		
17	G社(建設会社)	○			
18	S2社(建設会社)	○			
19	S2社(建設会社)	○			
20	S2社(建設会社)	○			
21	S2社(建設会社)	○			
22	H社(建設会社)	○			○

図 3.1 にアンケート調査の回答者が応急危険度判定士として登録している都道府県を示す。今回のアンケート調査の回答者については、登録先を東京都としている人が最も多く 13 名 (59%) であった。回答者の多くが東京に本社等を置く施工会社に勤務しており、震災の際には各地へ派遣されて被災建物の診断を行っているためと考えられる。

図 3.1 登録している都道府県



図 3.2 にアンケート調査の回答者がこれまでに判定した RC 造建物の件数の結果を示す。回答者の多く (14 名、64%) が 5 棟以上の建物診断の経験の有している。10 棟以上を調査した経験を持つ回答者も 5 名 (23%) おり、最も多い経験数は 30 件程度ということであった。

図 3.2 回答者がこれまでに判定したRC 造建物の件数

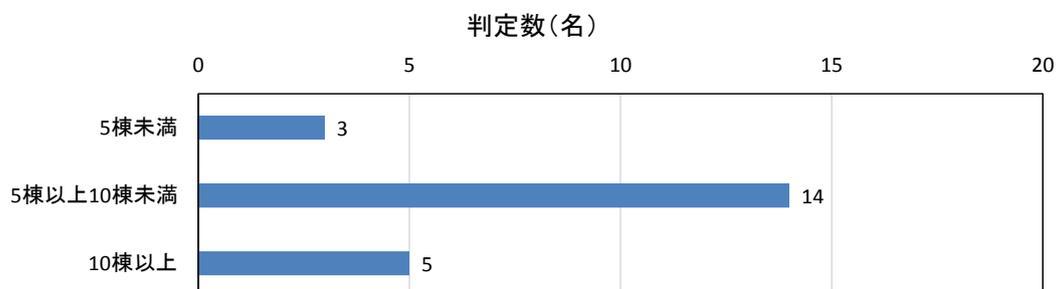
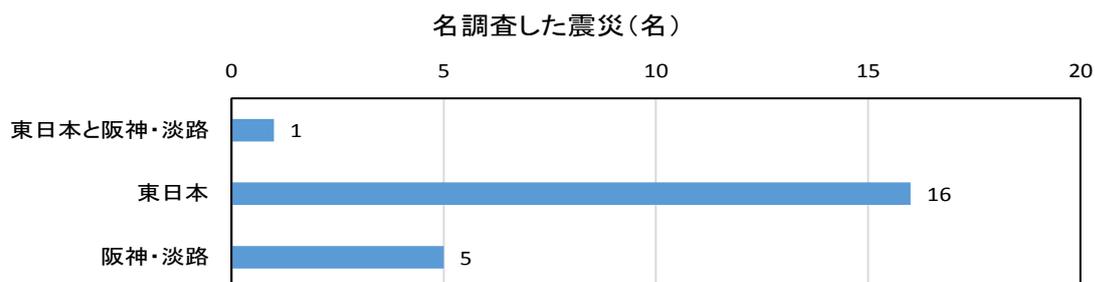


図 3.3 にこれまで応急危険度判定を震災の結果を示す。今回の調査では、東日本大震災での調査を行った回答者が最も多く 16 名 (73%) であった。

図 3.3 これまでに調査した震災について



(2) B ランクの判定の考え方について

RC 造建物または SRC 造建物の外壁に関して、応急危険度判定を実施する際、B ランク判定とする場合の考え方、根拠を調査したところ、下記のような回答を得た（アンケート回答の原文のまま記載）。

<p>・外装材について B ランクの判定は以下のようにしました。</p> <p>① 判定調査表にもとづき 外壁のモルタル・タイルの損傷が部分的なひび割れ・部分はく離があった場合です。</p> <p>② 壁にせん断クラックがあり、モルタル・外壁が躯体からハクリしている状態。</p> <p>③ 壁の仕上げが躯体の変形に追従できず、部分的に浮きが生じている状態。</p>
<p>・外壁のせん断亀裂が顕著ではなく、また圧壊の恐れがなく、タイル及びモルタルの剥離・落下の可能性が少ない場合</p>
<p>・外壁の落下の可能性が少ない場合</p>
<p>・外壁に亀裂が入っているが、部分的に打診した結果、タイル自体はしっかり固定されているようであり、タイルのみが剥落することはないと判断した。</p>
<p>・外壁（タイル）にひび割れが発生しているが、その地上部分は植栽となっているため歩行者等が外壁下部に近づく恐れが無く、タイルが落下したとしても人に危害が及ぶ可能性が低い場合。</p>
<p>・剥落しているタイルは見当たらないが、部分的にクラックが見られる状況の時は B とする。</p>
<p>・応急危険度判定によるランク判定は行なっておりません。震災建築物の被災度区分判定基準および旧技術指針を参照し、建築物の損傷度合いを調査して（目視・打診・超音波）震災建物被災状況報告書を作成しております。</p>
<p>・調査票で示されている「1. ほとんど無被害」、2. 部分的なひび割れ、隙間」、「3. 顕著 なひび割れ、剥離」にしたがって調査した。落下の危険度については、特に意識していなかった。</p>
<p>・タイル面に多少損傷があるが、剥落するとは考えにくい場合には B ランクとしました。</p>
<p>・ひび割れが発生している部分を打診し、浮いている状態、ひび割れにドライバー等を差し込み、ひねるとタイルが外れる状態</p>
<p>・タイル面がひび割れていたり部分的な剥落があったりした場合でも、高所でないなど建物の出入りに支障が無いと考えられる状況では B としました。</p>
<p>・調査した建物は乾式の外装が多く、タイル張り、モルタル塗りの件数はあまりありません。B ランクの判定は、タイルの一部が浮いていたりモルタルの一部がはがれていたりする状況のときに行いました</p>
<p>・建物の出入口周りを目視し、上部に剥落してきそうなタイルが無いことを確認して B ランクとしました。</p>

<ul style="list-style-type: none"> ・部分的に躯体コンクリートが欠損しており、その部分のタイルは剥落している。しかしながらコンクリートの欠損以外の部分については、特に浮きの状況は見られず判定を B ランクとした。
<ul style="list-style-type: none"> ・震災直後の判定だけではなく、地震で発生した不具合の補修を含めて改修提案の前提としても判定を行いました。震災直後の判定では、タイルが落下して通行人等へあたる恐れが無いかどうかということを確認し、無い場合は B ランク、ある場合は C ランクとしました。改修提案のための判定では、ある程度打診を行い、浮きを確認できた場合は B ランク、タイルが剥落している部分があったり比較的大きなひび割れが確認できたりした場合は C ランクとしました。
<ul style="list-style-type: none"> ・ひび割れの一部や出入隅、開口部隅などにタイルの剥落が目視できたが部分的であり、大規模に剥落することはない状況でした。
<ul style="list-style-type: none"> ・ひび割れはあるもののタイルの脱落は発生していなかった。比較的しっかりした施工がされており、問題はないと判断しました。
<ul style="list-style-type: none"> ・開口部周りなどにヒビ割れが発生していたが、タイルが剥落する可能性は低いと判断した。
<ul style="list-style-type: none"> ・ひび割れの発生している部分はあったが、タイルの剥落は確認できなかった。
<ul style="list-style-type: none"> ・事例：柱の一部のコンクリートが剥落して鉄筋が露出している部分があり、その部分はタイルも剥落していた。それ以外の部分については、ひび割れ程度以外に大規模な剥落は確認できず B ランクとした。
<ul style="list-style-type: none"> ・開口部周りに発生した躯体のヒビ割れ部分のタイルが剥落していた。剥落してしまったタイル以外には浮きも見られず、さらなる剥落の危険は少ないと判断した。

自由記述の回答結果より、判定調査票に従って判断するとの意見のほか、落下の危険性は特に意識していない等の回答があることがわかった。B 判定は、ひび割れの大きさ、植栽などがあり外壁下部に歩行者が近づくおそれがないこと、高所ではないなど建物の出はりに支障がないなど発生箇所を勘案していると判断しているとの回答があった。この他に、ひび割れが発生している周辺を打診し、浮きの見付かった場合はそのひび割れにドライバーを差し込み、さらにひねって外れた場合は B ランクとするなど具体的な事例紹介もあった。

(3) C ランクの判定の考え方について

(2)と同様に、Cランク判定とする場合の考え方、根拠を調査したところ、下記のような回答を得た（アンケート回答の原文のまま記載）。

<ul style="list-style-type: none">・外装材について C ランクの判定は以下のようにしました。<ul style="list-style-type: none">①判定調査表にもとづき外壁のモルタル・タイルの顕著なひび割れ・顕著な剥離があった場合です。②壁にせん断クラックがあり、モルタル・外壁が躯体から完全にハクリしている状態③壁の仕上げが躯体の変形に追従できず、全体的に浮きが生じている状態・外壁のせん断亀裂が顕著でまた圧壊の恐れがあり、タイル及びモルタルの剥離・落下が見られる場合もしくはそれに近い場合
<ul style="list-style-type: none">・耐震壁と思われる耐震要素の壁が破壊している場合を C ランクと判定、それ以外は B ランクとした。
<ul style="list-style-type: none">・C ランクとして判定したことはないが、タイルの剥落の危険性がある場合は C と判定する。
<ul style="list-style-type: none">・タイルが落下した場合、その場所へ歩行者等が容易に近づくことが想定される場合、C ランクとする。
<ul style="list-style-type: none">・剥落しているタイルがあつたり、全面的にクラックが見られたりする状況の時は C とする。
<ul style="list-style-type: none">・応急危険度判定によるランク判定は行なっておりません。震災建築物の被災度区分判定基準および復旧技術指針を参照し、建築物の損傷度合いを調査して（目視・打診・超音波）震災建物被災状況報告書を作成しております。
<ul style="list-style-type: none">・タイル面が損傷しており、タイルが脱落する可能性のある場合は C ランクとしました。
<ul style="list-style-type: none">・建物の一部からでもタイルが剥離して落下していることが確認できた状態
<ul style="list-style-type: none">・建物の出入り口等の上部のタイルが大きくひび割れている、あるいは剥落する可能性が高いと考えられる状況では、C としました。B ランクより危険と考えられる状態を C としました。
<ul style="list-style-type: none">・C ランクの判定は、タイルの浮きが広範囲に広がっている状況のときに行いました。
<ul style="list-style-type: none">・C ランクと判定した建物はありますが、剥落する危険性のあるタイルが確認された場合は C ランクになると思います。
<ul style="list-style-type: none">・外壁コンクリートのひび割れに伴い、モルタルが全面的に浮き上がり、落下の危険が認められたため C ランクとした。
<ul style="list-style-type: none">・C ランクは B ランクに比較して、将来的にタイルが剥落する危険度が高い場合と考えます。

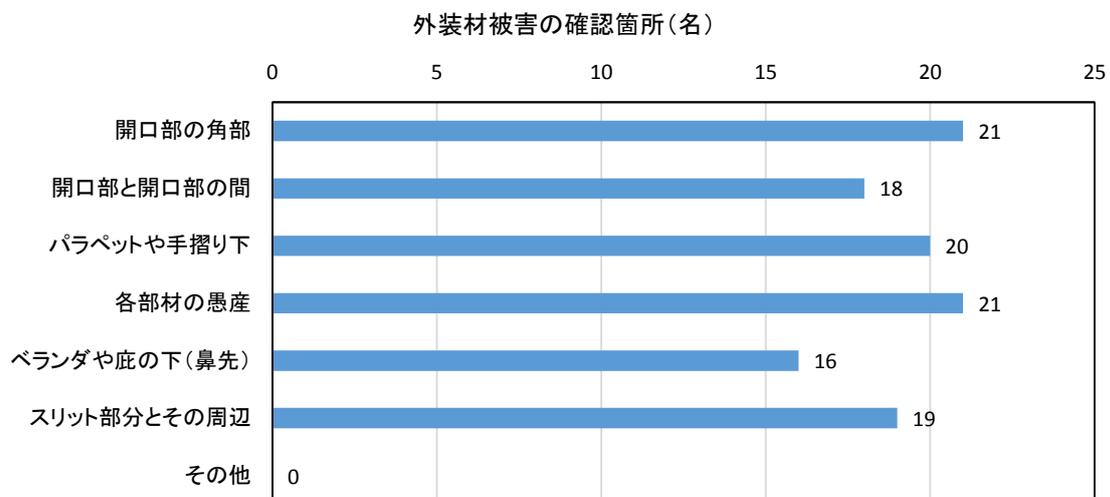
<ul style="list-style-type: none"> ・外壁モルタルの剥落がいたるところに見られました。残っている部分も余震によりさらに剥落することが想定されました。B ランクと C ランクの区別は、余震が発生した際、外壁仕上げ材がさらに落下する可能性があるかどうかと考えます。
<ul style="list-style-type: none"> ・バルコニー庇の一部のコンクリートが破損しており、破損したコンクリート共にタイルが落下する可能性があり、C ランクと判断した。
<ul style="list-style-type: none"> ・C ランクと判定した物件はないが、余震の影響を受けて落下する恐れのあるタイルがある場合、C ランクとする。
<ul style="list-style-type: none"> ・事例：外壁の一部の面に大規模な剥落が確認できたため C ランクとした。
<ul style="list-style-type: none"> ・上階（3 階程度）のタイルの浮きや剥がれが地上から目視でき、落下の危険があると判断した。

C 判定は、外壁のせん断亀裂が顕著で圧壊のおそれがある場合、耐震壁と思われる要素の壁が破壊している場合、全面的にクラックが見られる又は、一部の面に大規模な剥落が確認された場合および、B 判定と比較すると被害が大きいと感じたとき等、とする回答があった。また、余震を勘案して判断するとの意見も複数あった。上階（3 階程度）のタイルの浮きや剥がれが地上から目視確認できた場合など、具体的な事例を紹介した回答があった。

（４）外装材の被害を判断するときに確認する場所

図 3.4 に外装材の被害を判断するときに確認する部位等の場所の回答結果を示す。多少のバラつきはあるものの、ほとんどの回答者が外装材の剥離剥落の危険性が高いと言われている場所を漏れなく確認していることがわかった。

図 3.4 外装材の被害を判断するときに確認する場所



(5) 被災建物調査に関するその他の意見

アンケート調査では、被災建物調査に関して意見も収集した。あまり多くの回答を得られなかったが、回答を得られた調査票の記載内容を下記に示す（アンケート回答の原文のまま記載）。

<p>・弊社は、震災の度に、純粹に自治体から依頼を受けて応急危険度判定を行っているのではなく、自社が施工した案件又は客先から依頼を受けた案件について、応急危険度判定の様式に基づいて判定を行っています。今回のアンケートの目的がよくわかりませんでした。判定の様式も阪神・淡路大震災と現状では改訂されて少し変わっております。その資料を添付するなどの配慮が必要ではありませんか？</p>
<p>・応急危険度を判定する場合、その建物が居住可能であるか構造安全性の観点から判定する傾向にあるが、外装材の落下もかなり危険を伴うため、より専門的な判定のガイドライン（タイル、モルタル、ALC、PCa、ガラス、金属パネル、看板工作物などについて）を設定すべきである。</p>
<p>・応急危険度判定は、余震等に対する安全性の調査であるため、その建物を人が利用して「安全」、「要注意」、「危険」という観点で判断することが適切と思います。</p>
<p>・震災直後に行う応急危険度判定では、構造躯体の安全性は比較的しっかりと確認することになるが、その他の項目については、ある程度ざっと判断することが多い。</p>
<p>・被災建物調査とは、応急危険度判定のことでしょうか。応急危険度判定の対象となっていない建物でも被災しているものはあります。このような建物の安全性は、建物所有者の判断で調査をすることになるとは思います。調査費用の点で必ずしもすべての建物所有者が調査するわけではないと思います。特殊建築物でなければ定期報告の義務もないため、建物の安全性を担保する仕組みが必要と思います。</p>

応急危険度判定は余震などによる倒壊の危険性や外壁・窓ガラス等の部材の落下危険性を判定し、余震があっても建物を使用可能であるか情報を提供するものであるが、構造躯体の安全性を確認するということが主になりその他の部位はざっと見て判断するとの意見があった。また、外装材の落下に関しては危機感は認識されており、安全性の担保のために別立てで対策が必要との意見があった。さらに、専門的な判定ができるようにタイル、ALC、ガラス、PCa等の外装材についてもガイドラインの設置が必要との意見もあった。

3.4.2 ヒアリング調査結果

アンケート調査の回答者の中から 7 者に対しヒアリングを行い、応急危険度判定の手法についてより詳細な情報を収集した。ヒアリングを行った回答者が経験している震災は、下記のとおりである。

- ・東日本・阪神・淡路大震災・その他……1 者
- ・東日本大震災……… 5 者
- ・阪神・淡路大震災………1 者

前項で示した質問に対するヒアリング結果およびその考察を以下に示す。

(1) 応急危険度判定の依頼元および依頼の時期について

<ヒアリング結果概要>

- ・日本構造技術者協会からの依頼（ボランティア）及び当時在籍していた施工会社が施工した物件を会社の指示で調査しました。調査は、地震発生後 1～2 日程度でした。
- ・建物所有者からの依頼で調査した経験があります。地震発生後、4 か月ほど経ってから調査しました。地震被害に対する補修工事費について予算を請求する必要があるということで、簡易に診断して欲しいとのことでした。
- ・民間企業から工場、倉庫、事務所ビルの被災状況を確認するように依頼された経験があります。行政庁から依頼されたことはありません。
- ・行政庁からの依頼を受けて行った物件もいくつかありますが、ほとんどは当社が施工した建物の調査です。調査は余震が落ち着いてきた 1 週間後ぐらいから開始しました。
- ・当社の施工物件を会社の指示で調査しました。調査時期は、地震後 2 か月から半年ぐらいの期間です。
- ・応急危険度判定は、行政庁がボランティアの判定士を要請して行うものですが、私が行った判定は、当社の施工物件について会社の自主的な判断や客先からの依頼に応じて行ったものです。様式等は同様のものを使用していますが、正確には応急危険度判定とは異なるかもしれません。調査は、地震発生後 1 週間ぐらい経った後に行いました。被災直後は交通機関が麻痺しており、現地へ行けませんでした。当社の現地支店からは被災直後に調査を開始した技術者もいると思います。

応急危険度判定は行政庁からの要請でボランティアとして判定を行うが、応急危険度判定士の有資格者には所属会社の施工物件の判定も行っている場合も多く、余震が落ち着いた 1 週間後ぐらいから応急危険度判定よりも詳しい、被災度区分判定など災証明につながる調査を行ったとのことであった。なお、応急危険度判定の役割と被災度区分判定の役割はそれぞれ異なるが、一般の建物所有者にとってこの区別はなかなかつけにくいと思われる。また、応急危険度判定は発震後 1～2 日から行われたようである。

(2) 1棟あたりの調査・判定の所要時間について

<ヒアリング結果概要>

- 1棟半日、3時間程度です。このうち1時間程度を外部周りにあてました。必要時間数は、概ねこの程度で十分と思います。内部調査はほぼ全数、90%程度行っています。
- 2チームで1棟あたり1時間、計2時間程度で調査しました。1チームは外部、もう1チームは内部と分担したので、外壁だけではありませんが外部調査に1時間というぐらいの調査時間です。時間的にはこの程度で十分と考えます。建物内部の調査は、すべての棟で行っています。
- 建物の規模によりますが、概ね午前中1件、午後1件という程度です。時間にすれば2～3時間ぐらいになると思います。外壁については、30分から1時間までぐらいの時間を使ったように思います。すべての対象建物について、内部も調査しました。調査時間は、前述のとおりです。
- 現地調査自体は1棟半日ほどで行います。外壁を調査する時間としては、建物の規模や被災状況にもよりますが30分から1時間程度と思います。調査票にも書きましたが、応急危険度判定によるランク判定というよりも「震災建築物の被災度区分判定基準」を参照した調査を行ったため、時間がかかっているかもしれません。全壊・半壊している建物でなければ内部も調査しました。内部というのは、マンションや事務所ビルの共用部ということです。写真を撮影したりすると時間がかかることがありますが調査時間としては1棟当たり半日、多くても1日あれば十分と思います。これは現地調査の時間で、報告書の作成時間は含みません。報告書の作成は、物件によっては1日かかることもありました。
- 具体的な事例では、8棟を8人体制で1日かけて調査したことがあります。チームを分けて調査を行ったため、1棟当たりの所要時間は2時間程度でした。外壁については、その他の外部のチェックも含めて1時間ぐらいは使ったと思います。理想的には半日(3時間)ぐらいは必要に思います。内部の調査も合わせてすべて行いました。1棟当たり2時間の調査で、内部の調査も行いました。理想的には、内部・外部の調査を合わせて1日ぐらいかけるべきではないかと思います。
- 1棟あたり2時間程度だったと思います。対象建物が隣接していれば効率良く調査できますが、離れている建物の場合、移動に時間がかかるため、現地調査・報告書作成まで含めて1日で2棟というところでした。外壁を調査する時間は20分から30分程度です。この程度の時間があれば、被災直後の調査としては十分だと考えます。建物が倒壊していない限り、基本的に内部に入って調査します。上記の調査時間は、内部調査も含めてです。

1棟あたりの調査・判定に要した時間は、2時間が3名、3時間(半日)が3名であった。

いずれの回答者も建物が全・半壊していないかぎり、外部だけではなく内部の調査も実施している。外壁調査にかける時間は 30 分から 1 時間程度、また 20 分～30 分が妥当との意見があった。また、被災度区分判定を行う場合は少なくとも 3 時間は必要との意見もあった。

表 3.2 1 棟あたりの調査・判定時間の内訳

	外部調査(h)	内部調査(h)	件数(名)
1	0.5	1.5	1
2	1	1	2
3	1	2	1
4	0.5	2.5	2

(3) 外壁落下の危険性ランク (A ランクと B ランクの区別、B ランクと C ランクの区別) の判断について

<ヒアリング結果概要>

- ・判断に迷った時は危険な方に判断します。
- ・A ランクとB ランクで迷った場合はB ランクにします。できるだけ危険側に判断して詳細調査を促した方が安心できるからです。但しB ランクとC ランクで迷った場合は、必ずしもC ランクにするとは限りません。C ランクにしてしまうと「危険」という判断になり、建物の使用が制限されたりして影響が大きくなる恐れがあります。BC で迷った際には即断せず、自分が納得できるまで現場を観察した上で判断するようにしています。
- ・基本的に危険側に判定するので、A とB ならB、B とC ならC ということになります。
- ・ABC の判定は、迷った場合は危険側に判定すると思います。タイルが剥落して通行人や建物を出入りする人に当たる恐れが多少なりともある場合は、注意を喚起する意味でも危険側の判定が適切と思います。
- ・A ランクとB ランクではB ランク、B ランクとC ランクではC ランクと判定します。安全性を考慮して、危険側で判定すべきと考えます。

A と B の判断で迷った場合は、回答者全員が危険側の B 判定をするとのことであった。また、B と C の判断で迷った場合は危険側の C 判定を示すとの意見であったが、1 名は C 判定を示すと建物の使用制限となるため即断せずに納得できるまで観察して判定を出すとの意見もあった。

(4) 外壁調査の調査及び判定で重点的にみる場所について

<ヒアリング結果概要>

- ・まず通りに面した部位を確認します。大きな面で問題が無いかどうか、開口部周辺やキャンテ部などの状況を確認します。確認する際には、経年劣化やメンテナンスの状況についても考慮に入れます。
- ・人の通るところを中心に確認します。軒天などは落ちてくると危険なため特に注意します。その他は、判定のマニュアルに沿って調査しています。調査の際経年劣化についても考慮します。タイルやモルタルの浮きが多少あっても、これが経年劣化によるものであれば緊急性はないと思えますが、地震による影響であれば詳細な調査が必要になると考えるからです。
- ・現象としてはクラックやタイルの剥がれを確認するようにしています。傾斜も測定した方が良いのかもしれませんが、実際の現地調査では時間がかかったり測定しやすい適当な外壁がなかったりで、なかなかできません。外壁の一部として基礎のあたりを確認することも重要と思います。基礎が沈んでいたりすることがあるからです。経年劣化の状況というよりも、古い建物を見ると新耐震以前の設計だということで先入観みたいなものが出来てしまい、判断に影響が出ることもあると思います。古い 2～3 階建ての建物で外壁に大きなクラックが入っていたりすると「危ない」と判断してしまいます。
- ・建物の躯体が損傷してその部分のタイルが落下する可能性がある場所をまず確認します。例えば柱や外壁のクラックでコンクリートが割れ落ち、その周囲のタイルが落ちてくるかどうかです。その次に、タイル表面が膨らんでいたり浮いていたりしていないかを確認します。経年劣化による不具合もあるとは思いますが、被災状況の判定では、そういった不具合も含めて判定しています。どの部分が経年劣化か、どの部分が地震による被害化を区別するのは難しいと思います。
- ・エキスパンションジョイント付近などは特に留意すべきところと考えています。また、外壁の形状がいびつな部分についても留意します。外壁に不具合が確認された場合には、経年劣化によるものと震災によるものとに分けて判断するようにしていますが、報告書での整理は一緒になってしまいます。
- ・応急危険度判定では、構造体のチェックが中心になるため、外壁は大規模な浮きや剥がれが無いかを全体的に確認する程度になります。建物の築年数は、判定する際に考慮します。経年劣化ということもありますが、タイルの貼り方などといった工法も判定の材料としています。

応急危険度判定は構造体のチェックが中心になるため、外壁は大規模な浮きや剥がれが無いかを全体的に確認する程度という意見の他に、落下すると危険な人通りのある面や軒天を

確認するとの意見があった。判定には築年数や劣化や修繕状況なども考慮するほか、構造体の大きなクラック周辺やエキスパンションジョイント付近は特に留意すべきところとの意見があった。また、外壁調査では外壁の一部として基礎あたりを確認することも重要との意見があった。

(5) 外壁の調査や判定で困難であると感じている点について

<ヒアリング結果概要>

- ・応急危険度判定では、構造体の安全性を中心に考えてしまうため、外壁には重点をあまり置けません。また目視で見えるところは限られており、外装材が落ちるか落ちないかの判断程度しかできません。どれぐらいの余震があれば落ちてくるのかという判断はできません。
- ・上記質問と関連しますが、確認できた不具合が経年劣化によるものなのか被災によるものなのかを判断するのは容易ではありません。築年数を考えたり、不具合のない部分と比較したりしながら、その場の状況で臨機に判断するしかない状況です。
- ・叩いてみて空洞があったりクラックが入っていたりすると漏水の原因になるし、タイルが剥落する危険性もあると考えますが、少ないからBランクだとか、多いからCランクだとかの判断が難しい場合があります。タイルが剥落した場合の危険性を勘察するということがあります。剥離したタイルは風でも吹いていたらどこへ落ちるかわかりません。
- ・手の届く範囲の打診や目視だけで、建物全体の外壁の危険度を判断するのは難しいと思います。近づけない部位は双眼鏡で目視したりもしますが、不具合を確認できる範囲には限りがあります。時間や費用の制約はありますが、超音波や赤外線などを使ってしっかりと調査する方良いと思います。
- ・近づける部分については、至近距離から目視確認したり、触診や打診をしたりしますが、近づけない部分や手の届かない部分については遠くからの目視確認による判断となってしまいます。タイルが剥落していれば見落とすことはありませんが、浮きの場合は必ずしも認識できるとは限りません。

応急危険度判定ではあまり外壁に重点をおけないこと、手の届く範囲の打診や目視のため見える範囲に限りがあり建物全体の外壁の危険度を判断するのは難しいこと、どのぐらいの余震で落ちるのか判断できないなどの意見があった。不具合は経年劣化と地震との区別はつきにくいとの意見があった。その他、時間の制約はあるが赤外線など測定機器の利用も考えても良いのではなどの意見があった。

(6) 外壁の調査や判定で不便さや有効性など感じたことについて

<ヒアリング結果概要>

- ・目視による確認は十分ではないので、例えば赤外線写真で撮って判断するなど、もう少し確かな方法があれば良いと思います。
- ・外壁には限りませんが、質問3で回答したとおりCランクの判断は難しいと思います。建物自体や外壁の危険な状況が明らかな場合はあまり問題ないかもしれませんが、BかCか迷うような場合は、Cランクと判定したことで建物の使用が制限されてしまう可能性があることを考えると、判定に非常に時間がかかります。こういった判断を目視程度の調査で行っていいものかどうか、もっと合理的な方法があるのではないかという気もします。
- ・外壁の傾きを調査する際、下げ振りを使うことがありますが、若干の傾きの時は施工誤差によるものか、震災の結果なのか判断が難しい場合があります。

BもしくはCの微妙なラインの判定は目視程度での確認では十分ではなく、その後の建物使用の制限にもなるため合理的な調査方法が必要、との意見があった。外壁の傾きを調査する際の若干の傾きは施工時の誤差か震災の結果か判断が難しいことがある。

(7) その他； 阪神・淡路大震災と東日本大震災の判定、又は、他の地震被害の判定に行った際に感じた外壁被害に関する特徴的な違いについて

<ヒアリング結果概要>

- ・東日本大震災では調査していないので比較はできないが、外壁の被害という点では阪神・淡路大震災の方が大きかったのではないかと思います。阪神・淡路大震災の被害は大都会が中心であったが、東日本大震災の被害は地方であったし津波で流されてしまったものが多いように思います。

阪神・淡路大震災のほうが外壁の被害は多いように感じるが、東日本大震災は津波もあり地方でもあったため単純な比較は難しいとの意見であった。

3.5 まとめ

今回の調査では、応急危険度判定を行った判定士と被災度区分判定をメインに行った判定士が混在していた。このため被災度区分判定[※]の外壁調査に対する回答や意見も得られた。

- (1) 応急危険度判定は構造躯体の調査・判定をメインにおこなっており、外壁にはあまり時間をかけられず建物全体を確認し、部材等が落下しそうかどうかの判断をしているとのことであった。
- (2) 応急危険度判定を行った建物は、全壊ではない限り外部だけではなく内部調査も実施しており、内部調査のほうが時間をかけて詳しく調査していることが分かった。
- (3) 応急危険度判定で示す A「調査済み」、B「要注意」、C「危険」の判定では、判定士は建物居住者や利用者の安全性を重視し、安全側（例えば、A と B で迷った場合は B 判定とする）に判断をしていることが明らかとなった。
- (4) C 判定は建物の使用制限となるのでより慎重に行う必要性があり、その場合は目視程度の調査では判断が難しく、より合理的な方法を望むとの意見があった。
- (5) 判定士は、マニュアルや調査表に則って調査を実施しているほか、調査経験の豊富な者はこれまでの知見により、エキスパンションジョイント周辺や軒天など落ちやすい箇所や剥落すると甚大な被害となる部位をおさえて調査を効率的に実施していることも確認できた。
- (6) あい次ぐ余震による外装材落下の危険性は判定士にも認識されているが、どういった状態の外装材が剥落するのかは判断できないとの意見があった。
- (7) 外装材については専門的な判定ができるように、ALC、ガラス、PCa 等の外装材についてもガイドラインの設置が必要ではないかとの意見もあった。
- (8) 外装材調査では外壁の一部として基礎あたりも含めて確認することも重要との意見があった。

以上の調査結果をふまえ、応急危険度判定は人命保護の観点から実施されるものであるため調査スピードも重要である。判定士の知見も判断の正確さやスピードに関係してしまうため、外装材については調査方法のガイドラインをもう少し充実させることも必要であろうと考える。

※ 被災度区分判定とは、地震により被災した建築物を対象に、建築構造技術者がその建築物の内部に立ち入り、当該建築物の沈下、傾斜および構造躯体などの損傷状況を調査することにより、その被災の程度を軽微、小破、中破、大破などと区分するとともに、地震動の強さなどを考慮し、復旧の要否とその程度を判定して「震災復旧」につなげることをいう。

※ 参考：一般財団法人日本建築防災協会ホームページ

<http://www.kenchiku-bosai.or.jp/jimukyoku/kubunn/index.html>

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。

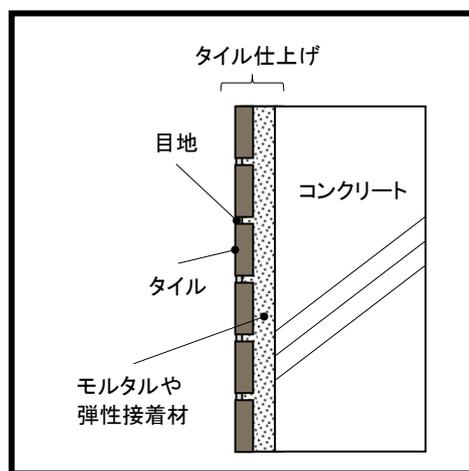


図4.1 RC造建物のタイル仕上げ断面構成

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载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载荷し、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、载荷にあたっての治具および载荷方法を検討すると共に、载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。

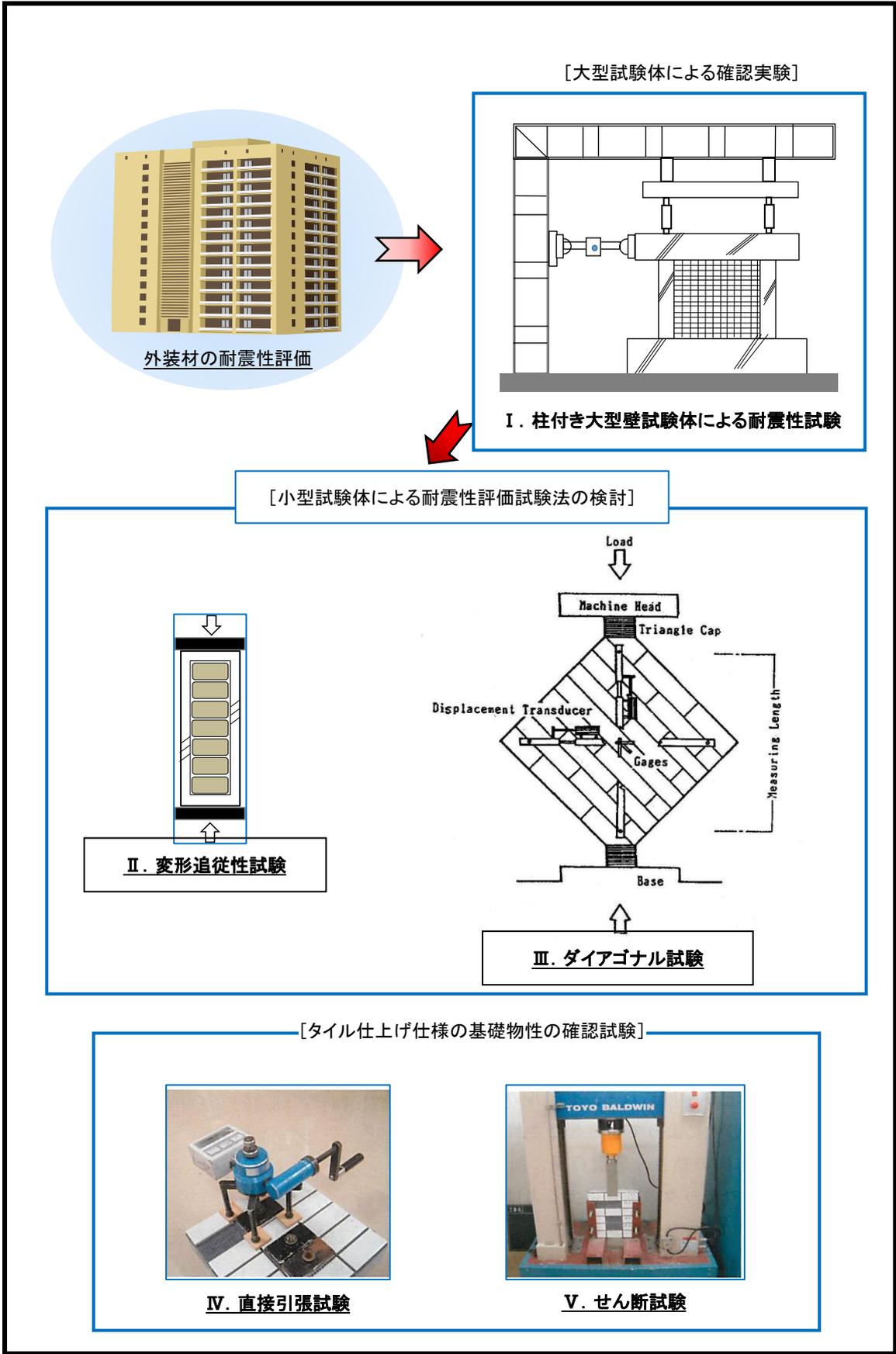


図 4.2 タイル仕上げの耐震性評価試験法の検討

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

材料 仕様種別		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
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。

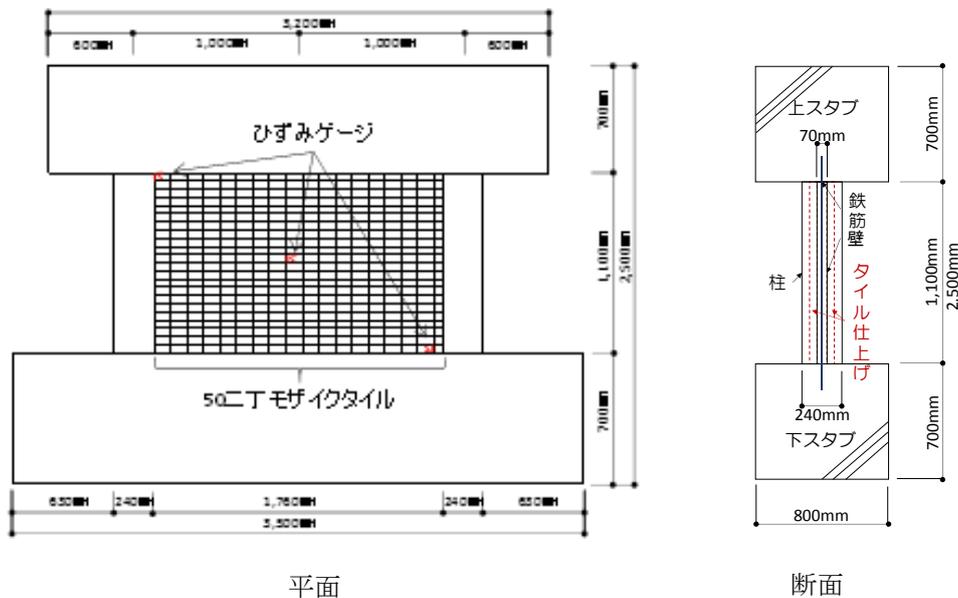


図 4.4.1 柱付き大型壁試験体の形状及び寸法ならびに及びひずみゲージ位置

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

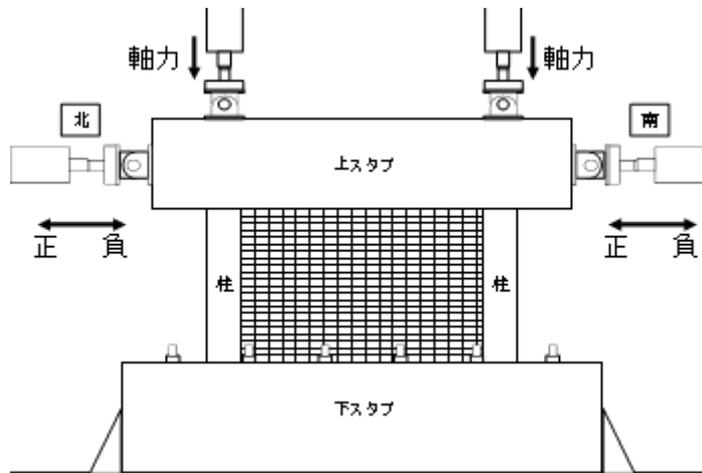


図 4.4.2 建研式加力試験機による静的水平交番荷重試験



[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。

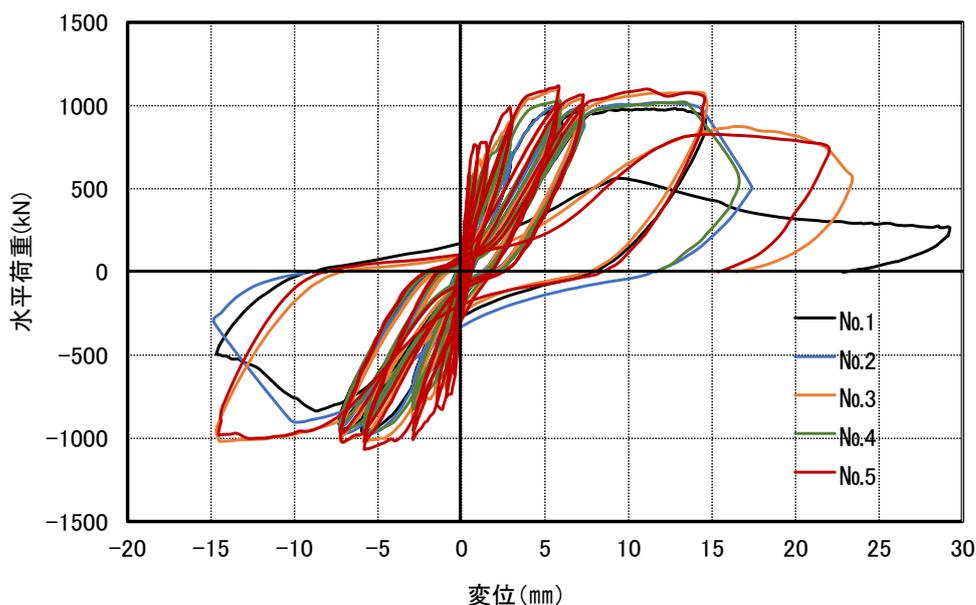


図 4.4.3 各試験体の水平荷重と変位

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载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载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。

载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 は载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。

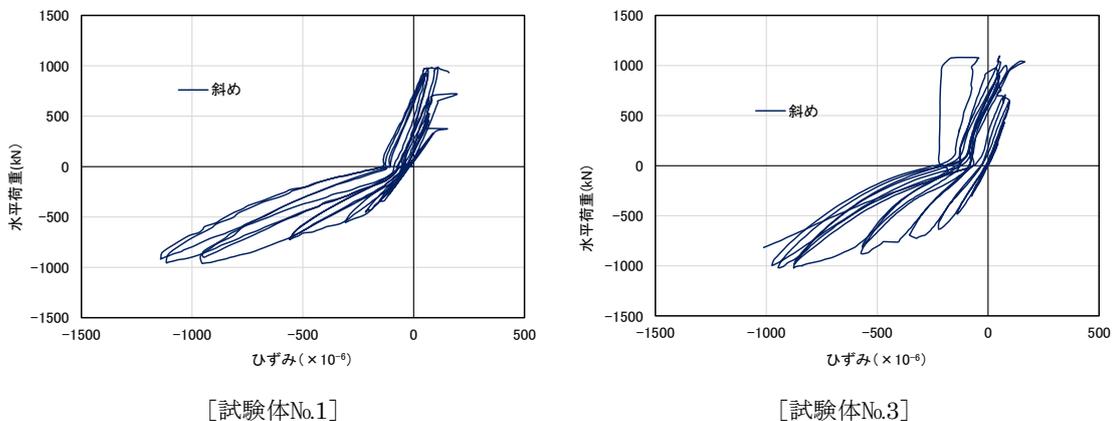


図 4.4.4 水平荷重とコンクリート壁中央のひずみ

(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、水平交番载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。

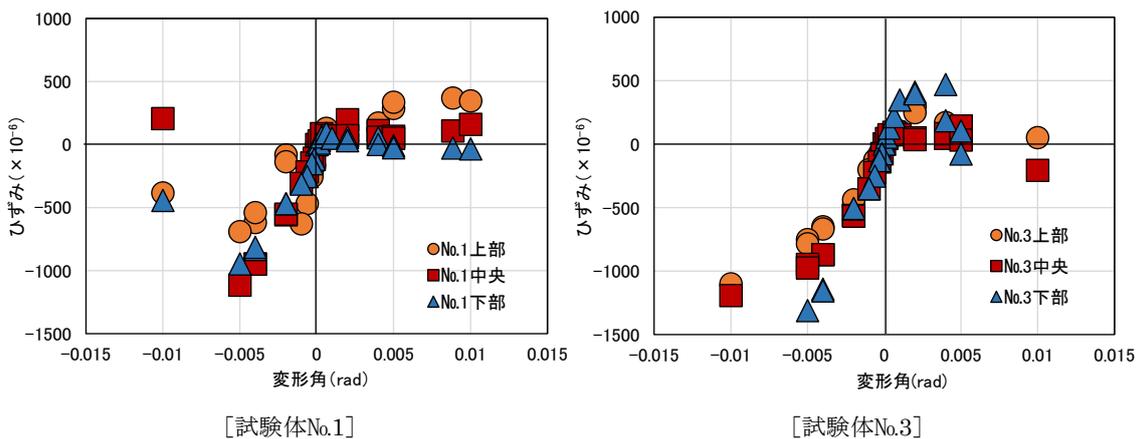


図 4.4.5 層間変形角とコンクリートの斜め方向ひずみ

(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。

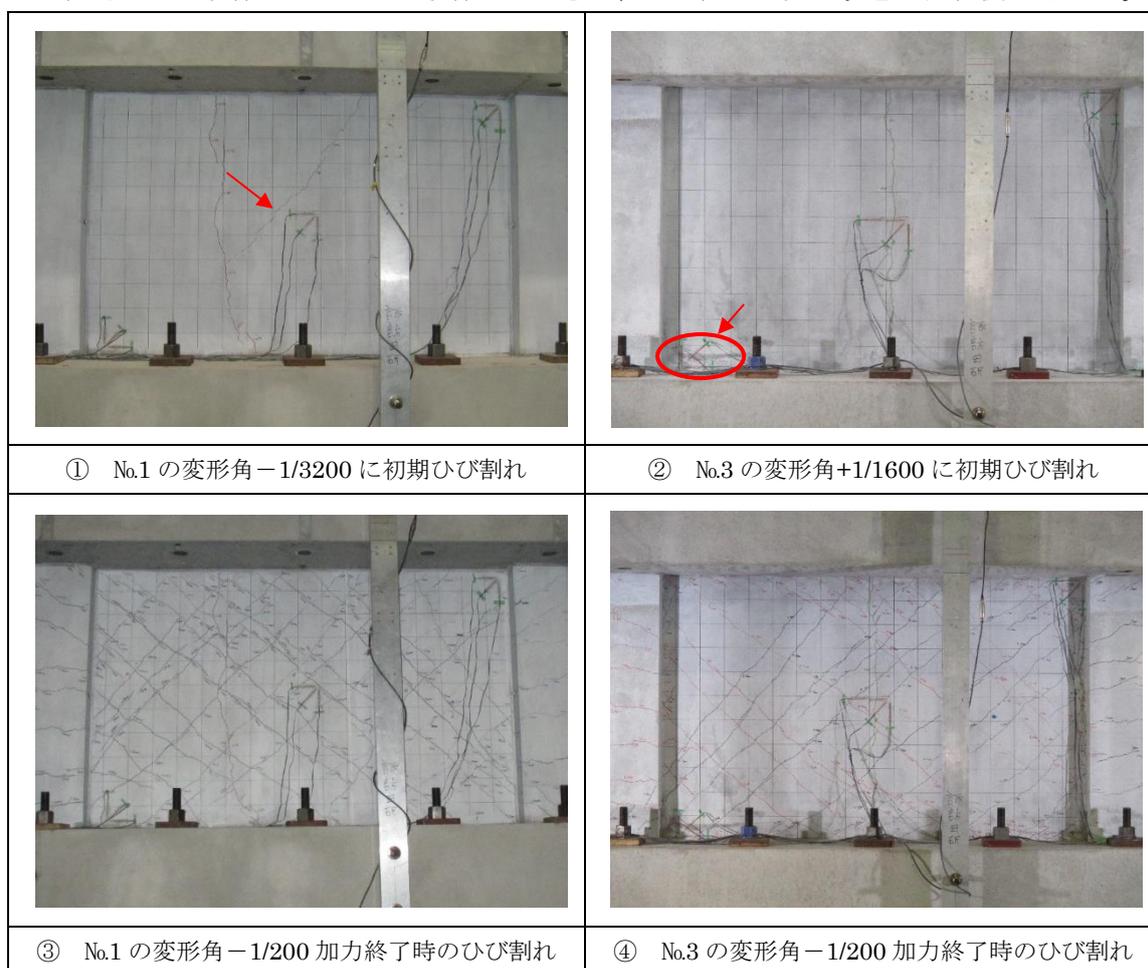


写真 4.4.2 コンクリート壁の破壊状況

[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。

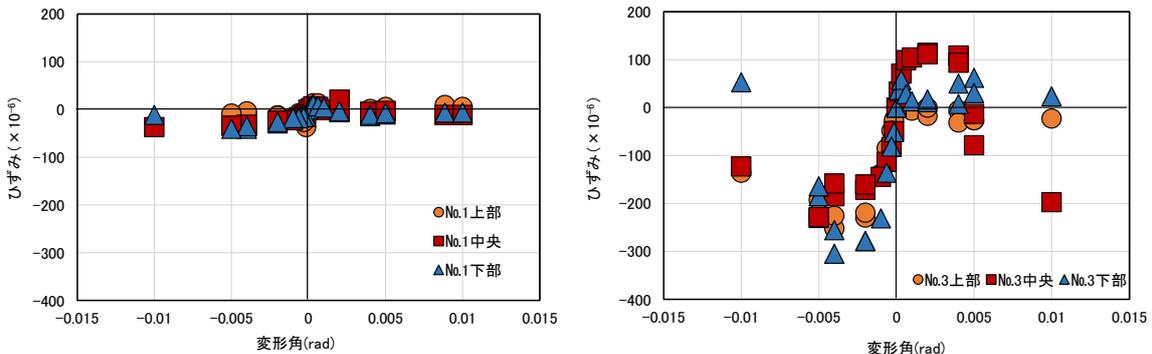
試験体No.1 は、コンクリート壁面にモルタルで薄く不陸調整した上にタイルを接着剤張りした仕様であり、試験体No.3 は厚塗り用の既調合モルタルを 50 mm 下塗りした上にモルタルでタイルを張付けた仕様である。図から、試験体No.1 のタイルひずみは試験体No.3 のタイルひずみよりもかなり小さく、例えば、層間変形角 $-1/200$ (-0.005) のと

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

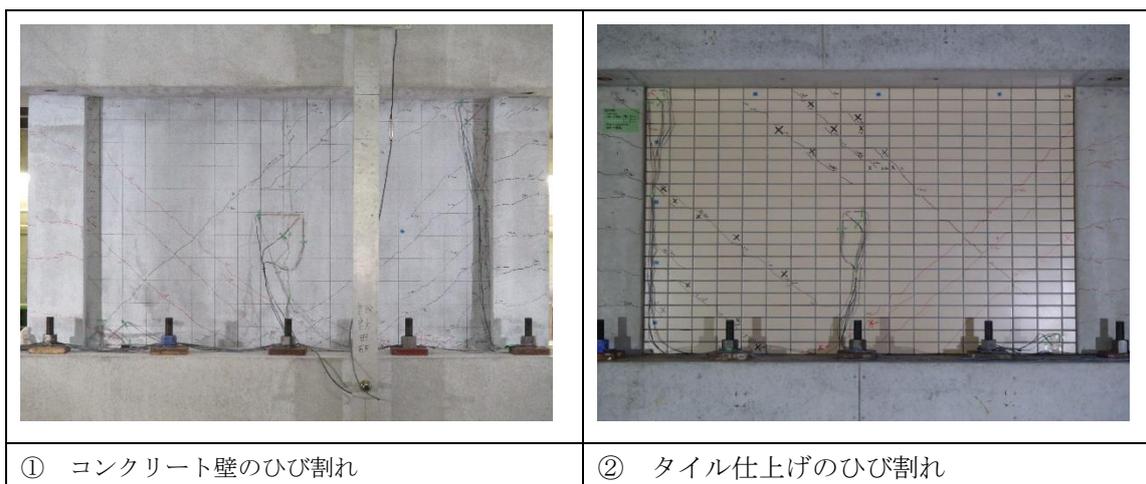


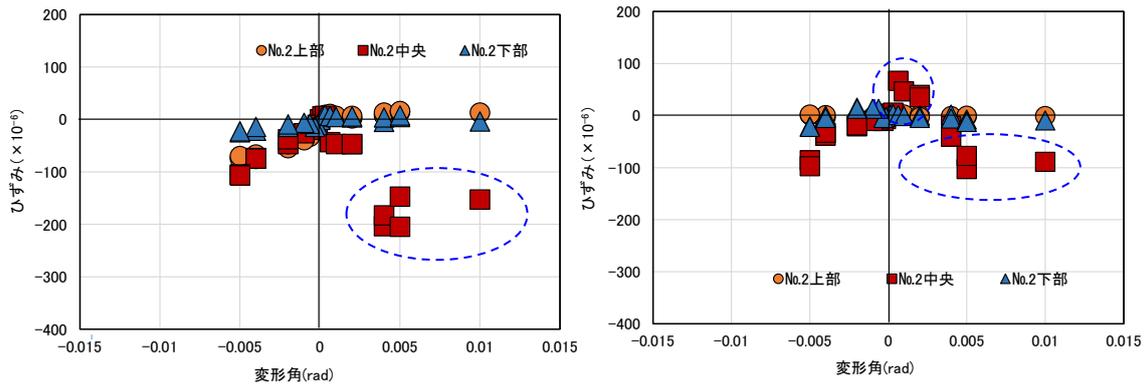
写真 4.4.3 試験体No3 の層間変形角 $-1/500$ の破壊状況

(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。

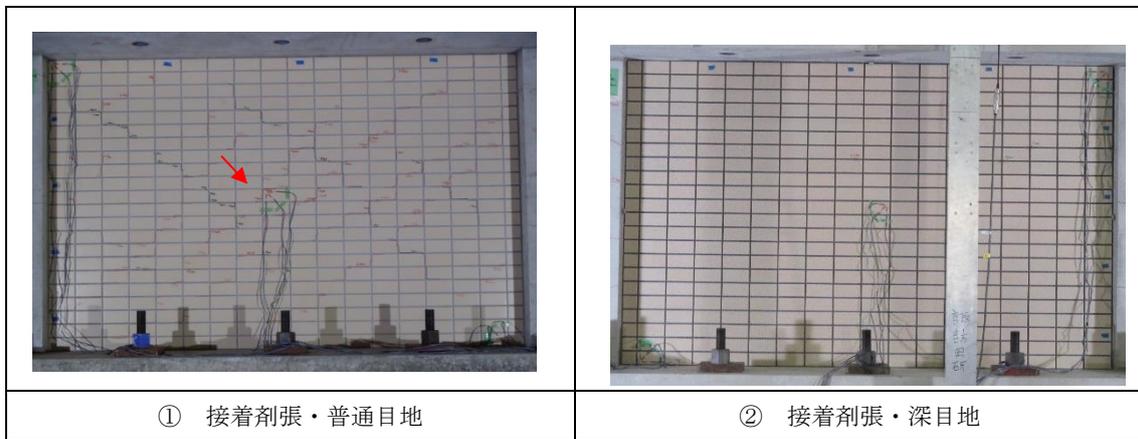
一方で、図の青い点線で囲んだ正方向加力中の中央タイルひずみの測定値については、普通目地ならびに深目地ともに比例関係はみられなかった。このため、写真 4.4.4 に中央ひずみにバラツキの見られた試験体No.2 の普通目地および深目地の層間変形角 $+1/500$ ($+0.002$) のタイル仕上げの状態を示すと、写真の②は深目地であるためひび割れ発生の有無は確認しにくいものの、写真の①からは中央のひずみゲージ近傍のタイル目地にひび割れが生じていたことが確認できた。同じタイミングでタイルひずみ挙動に影響がみられたことから、正方向加力が影響を受ける向きにコンクリート壁にひび割れが生じたことでタイル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

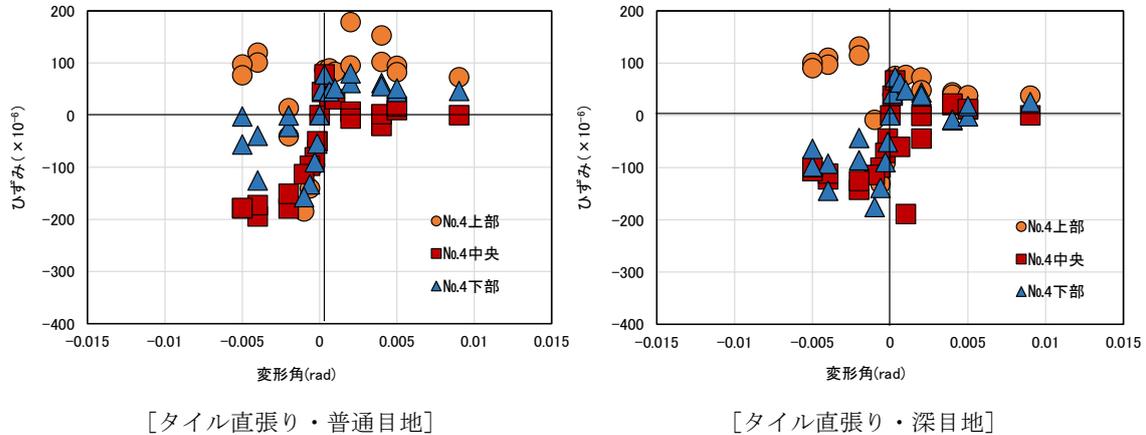


図 4.4.8 試験体No.4 の層間変形角とタイルの斜め方向ひずみ

(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。

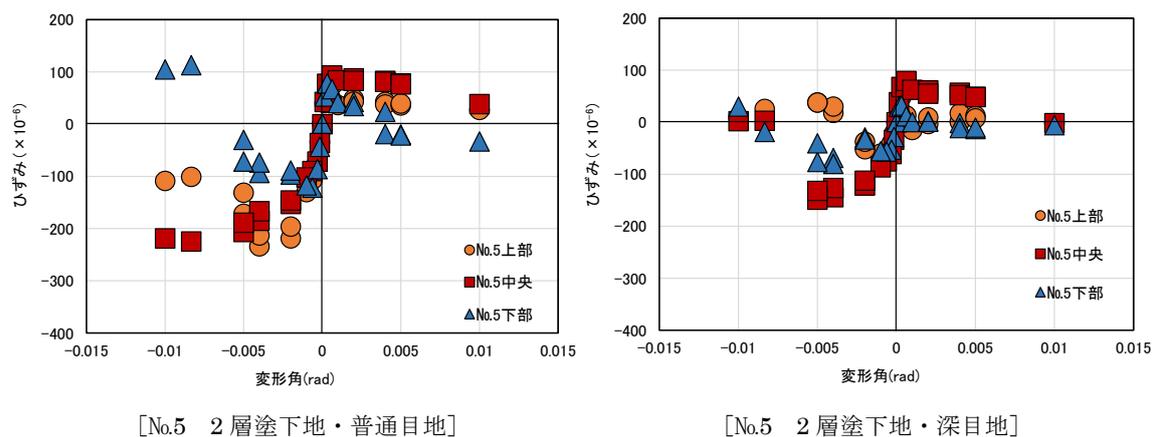


図 4.4.9 試験体No.5 の層間変形角とタイルの斜め方向ひずみ

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。

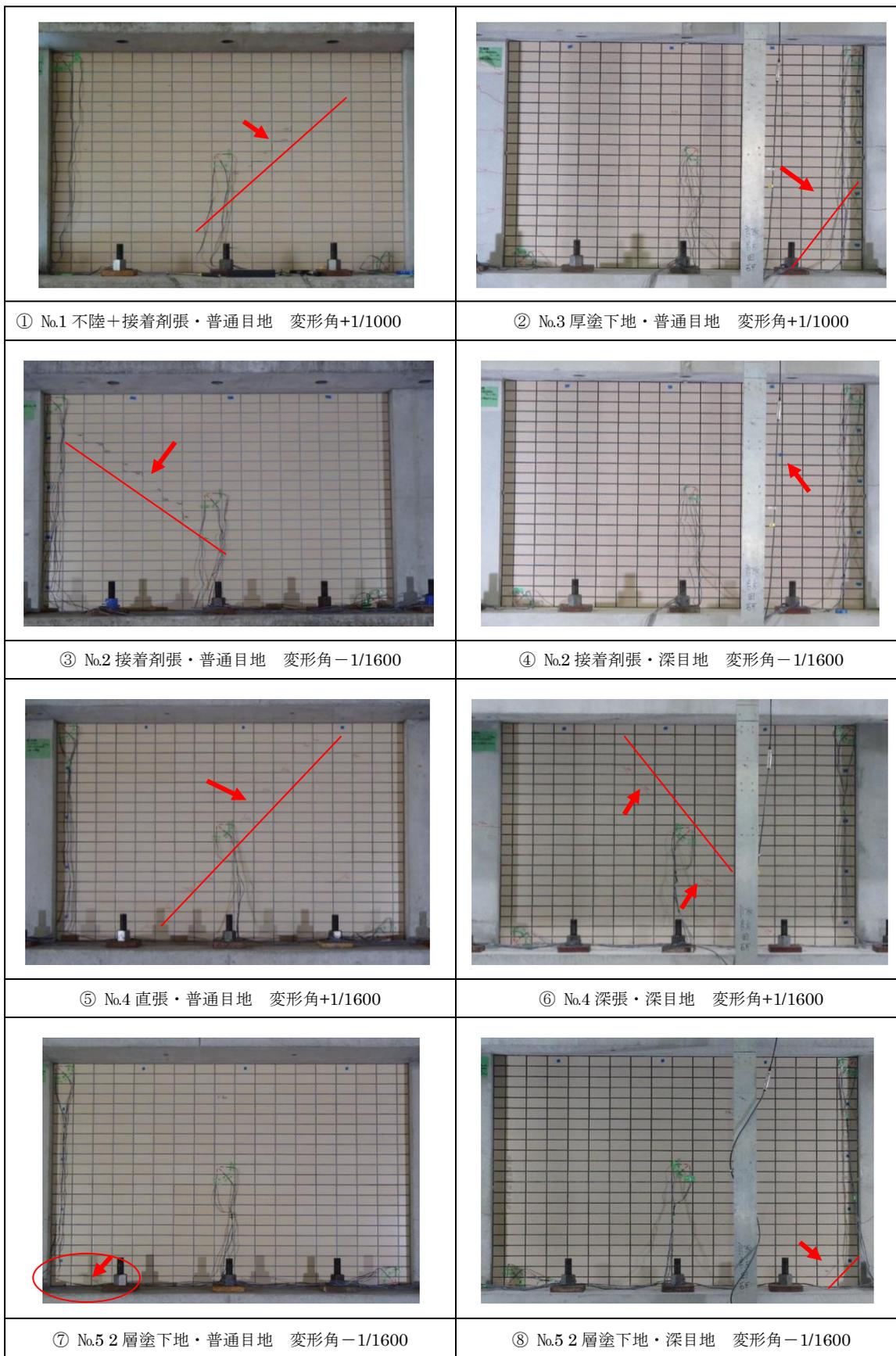


写真 4.4.5 初期ひび割れの入った層間変形角とタイル仕上げの状態

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。

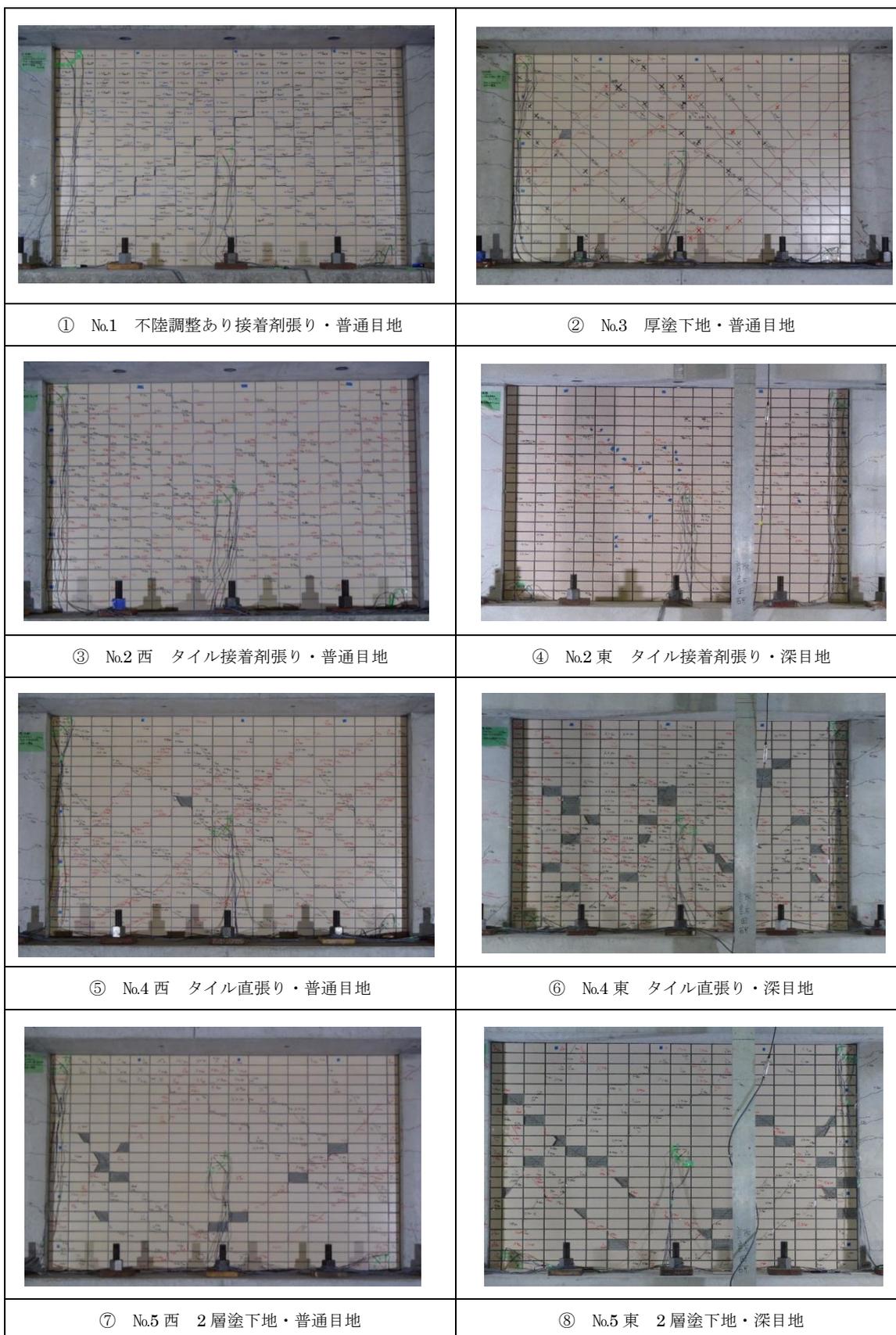


写真 4.4.6 層間変形角 1/200 (2 サイクル) 終了時のタイル仕上げの損傷状態

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。材料の性能の違いがあるため、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

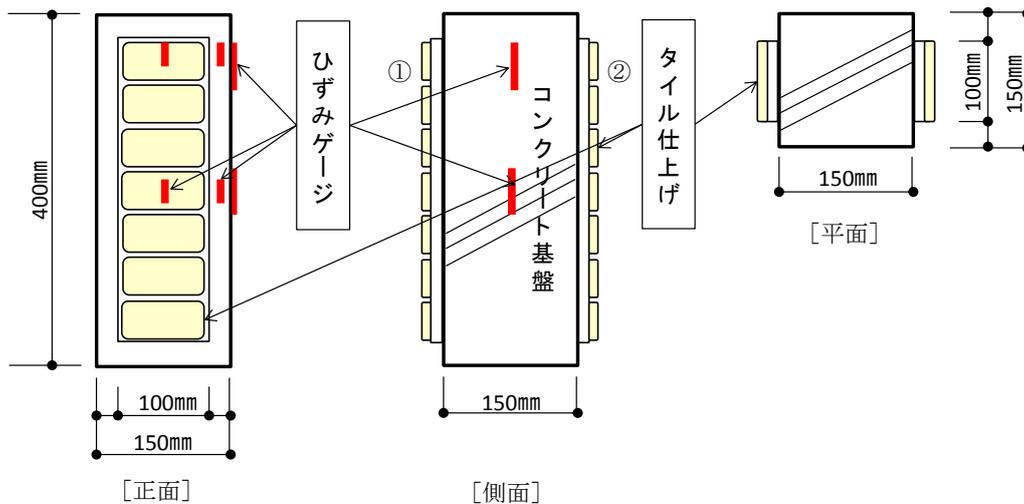


図4.5.1 変形追従性用試験体

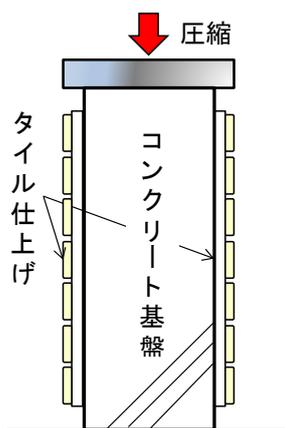


図4.5.2 変形追従性試験の荷荷方法

(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。

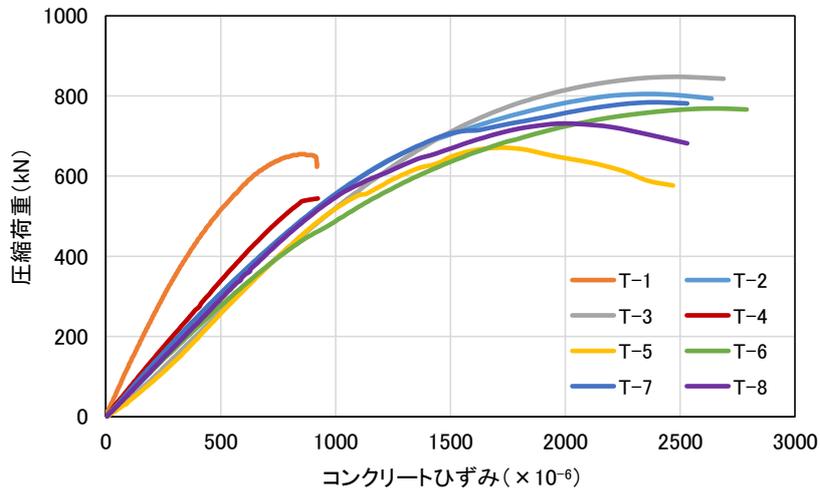


図4.5.3 コンクリート基盤の圧縮荷重と中央ひずみの関係

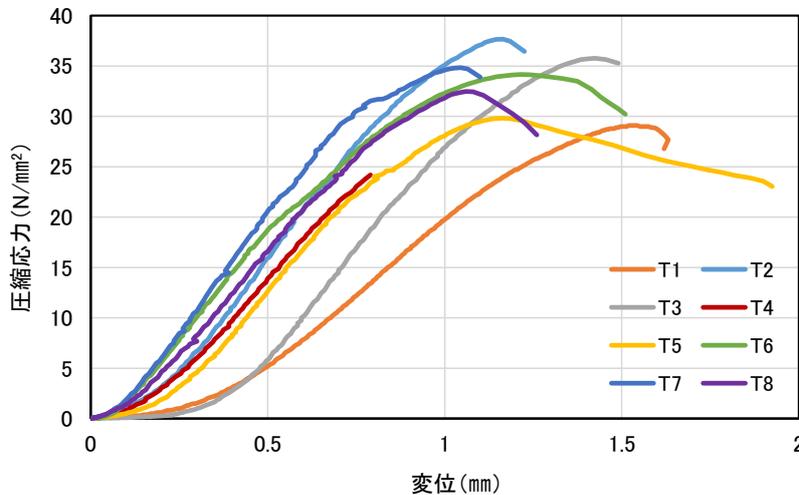


図4.5.4 コンクリート基盤の圧縮応力と変位

(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。

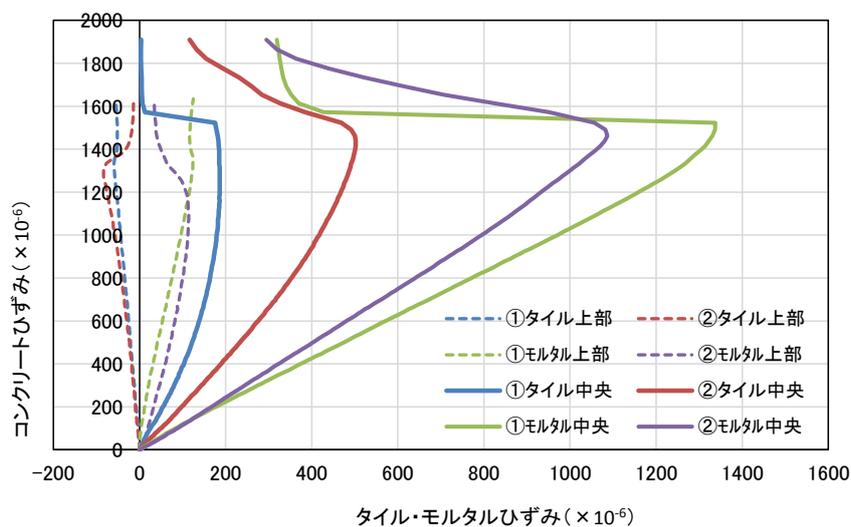


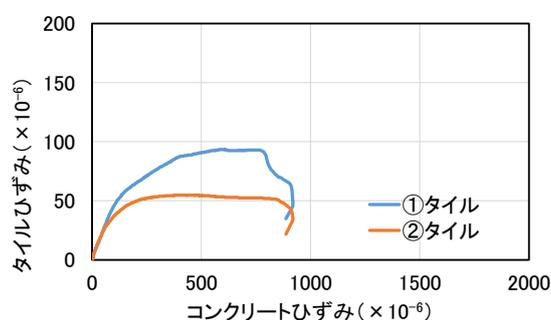
図4.5.5 試験体T-7のコンクリートひずみとタイル及びモルタルひずみの関係

(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

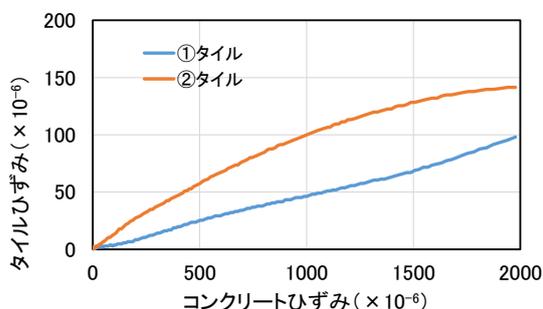
図4.5.6に試験体中央部のコンクリートひずみと接着剤張りのタイルひずみの関係を示す。

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。

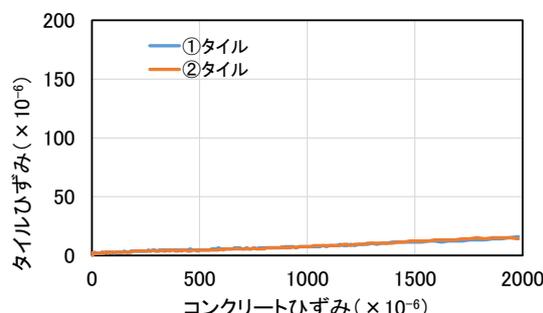
これらの結果から、接着剤張りのタイルに生じるひずみは小さく、接着剤がコンクリートのひずみを多く吸収していることが確認できた。また、変形追従性試験では接着剤張りタイル仕上げは、深目地のタイルひずみが最も小さい値を示した。



(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]

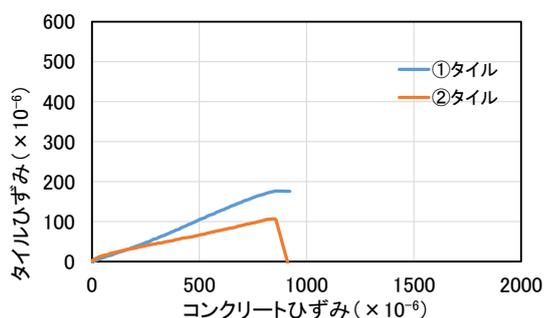
図4.5.6 試験体中央のコンクリートひずみと接着剤張りタイルのひずみの関係

(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

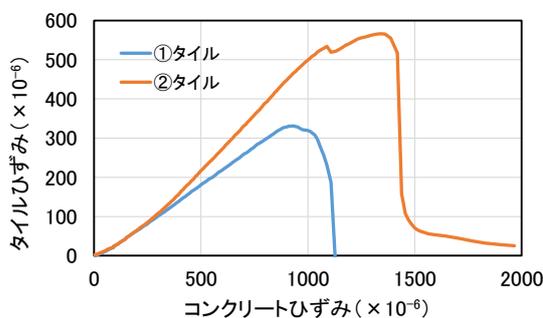
図4.5.7に、試験体中央のコンクリートひずみとモルタル張りタイルひずみの関係を示す。タイルひずみで比較すると、タイル直張り・普通目地の試験体T-5 (図の(b)) および2層塗下地・普通目地の試験体T-7 (図の(d)) のタイルひずみが大きく、厚塗下地・普通目地の試験体T-4 (図の(a))、直張り・深目地の試験体T-6 (図の(c)) および2層塗下地・深目地の試験体T-8 (図の(e)) のタイルひずみは小さい傾向が見られた。

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

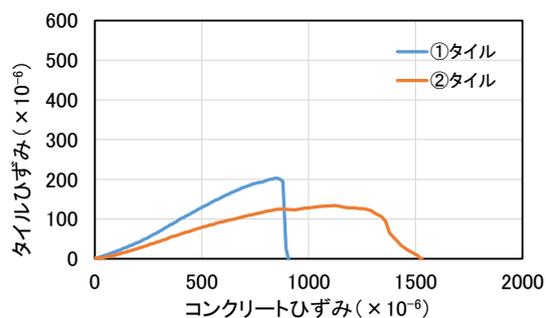
試験体T-5 (図の(b)) であった。この時のタイルの最大ひずみは、ひずみゲージ①はコンクリートひずみが1000 μ の時にタイルひずみが約320 μ 、ひずみゲージ②はコンクリートひずみが約1300 μ の時にタイルひずみが560 μ と、剛性の高いタイルであっても強固にコンクリートに接着している場合には大きなひずみが生じることを確認した。次いでタイルひずみが大きかった2層塗下地・普通目地の試験体T-7 (図の(d)) は、コンクリートひずみが1500 μ の時に①のタイルひずみは200 μ 、②のタイルひずみは500 μ を生じており、この仕様のタイルにも大なひずみが生じていたことが確認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



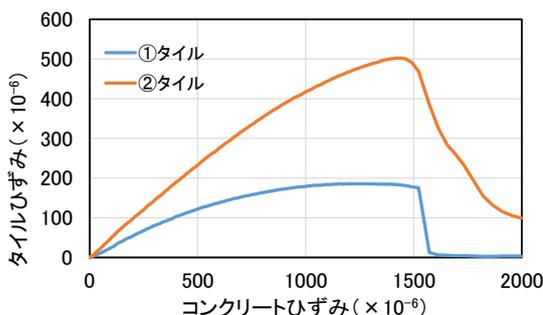
(a) 試験体T-4 [厚塗下地・普通目地]



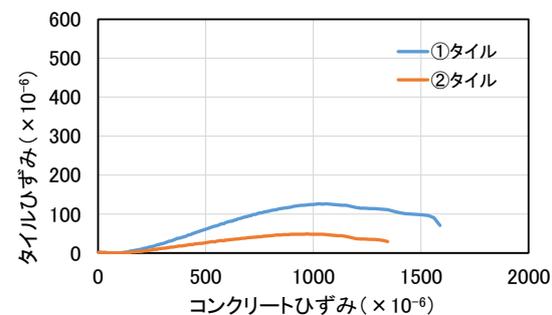
(b) 試験体T-5 [直張り・普通目地]



(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。

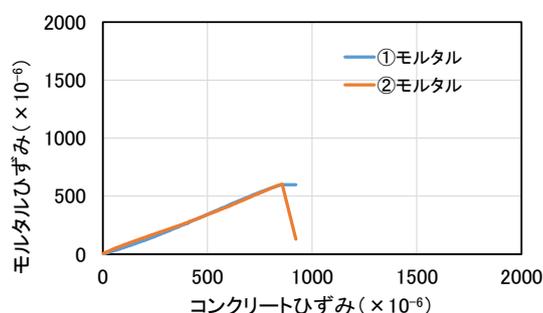
厚塗下地・普通目地試験体T-4（図の(a)）のモルタルは、既調合の厚塗り用モルタルであるが、コンクリートひずみが約850 μ までモルタルひずみと比例関係がみられ、この間の下地モルタルはコンクリートに追従していたと考えられる。また、この時のモルタルひずみとコンクリートひずみの比例係数は0.65であり、モルタルひずみはコンクリートひずみよりも小さいことから、このひずみの差はモルタルが吸収したと考えられる。

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

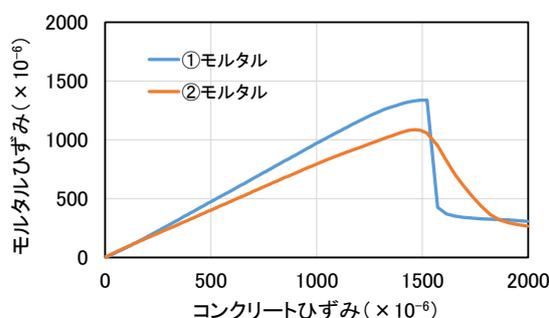
モルタルは、現場調合したポリマーセメントモルタルを2層塗りした仕様である。2層塗下地・普通目地の試験体T-7はコンクリートひずみ1500 μ までモルタルひずみと比例関係がみられ、同・深目地の試験体T-8はコンクリートひずみが1000 μ までモルタルひずみと比例関係がみられた。この範囲で下地モルタルはコンクリートに追従していたと考えられる。ちなみに2層塗下地・普通目地の試験体T-7のコンクリートとモルタルの比例係数は①が0.96で②が0.77、深目地の試験体T-8のコンクリートとモルタルの比例係数は①が1.07で②が0.86であった。また、普通目地試験体T-7の①および深目地試験体T-8の①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

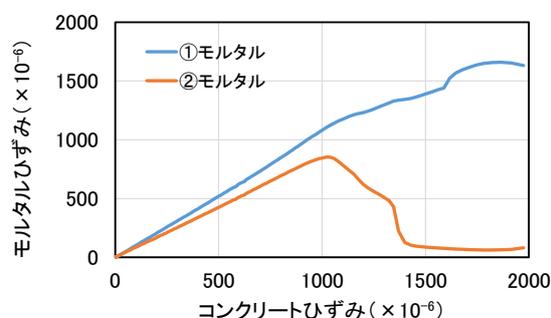
2層塗下地・普通目地の試験体T-7及び同・深目地の試験体T-8は、コンクリートひずみと下地モルタルのひずみは大きく変わらないことが確認できた。先の(4)で示した試験体T-7と試験体T-8のタイルひずみの大きさの違いは目地の仕様、すなわち普通目地と深目地の違いであることが確認できた。



(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。

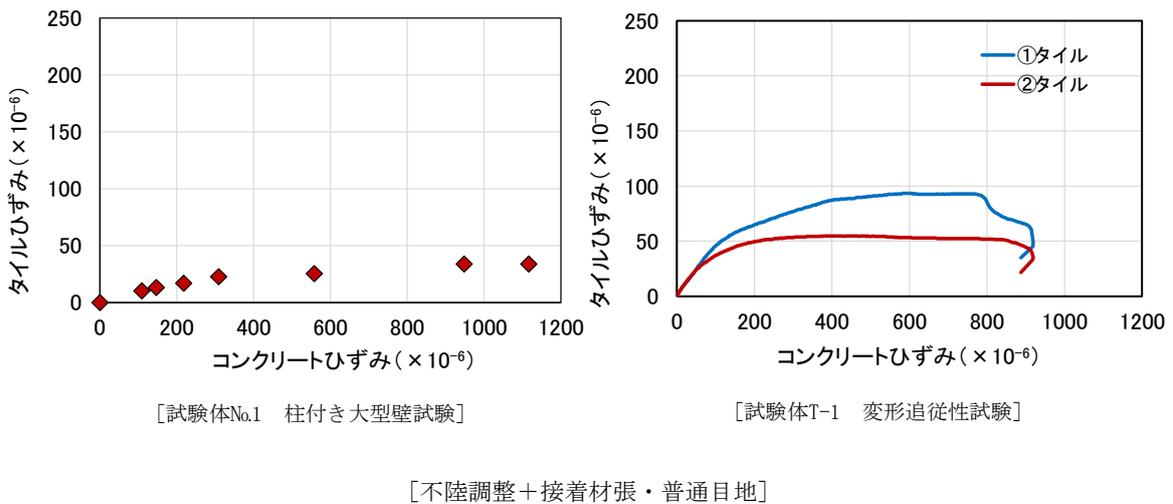


図4.5.9 柱付き大型壁試験と変形追従性試験のコンクリートとタイルひずみ

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+接着剤張り」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。

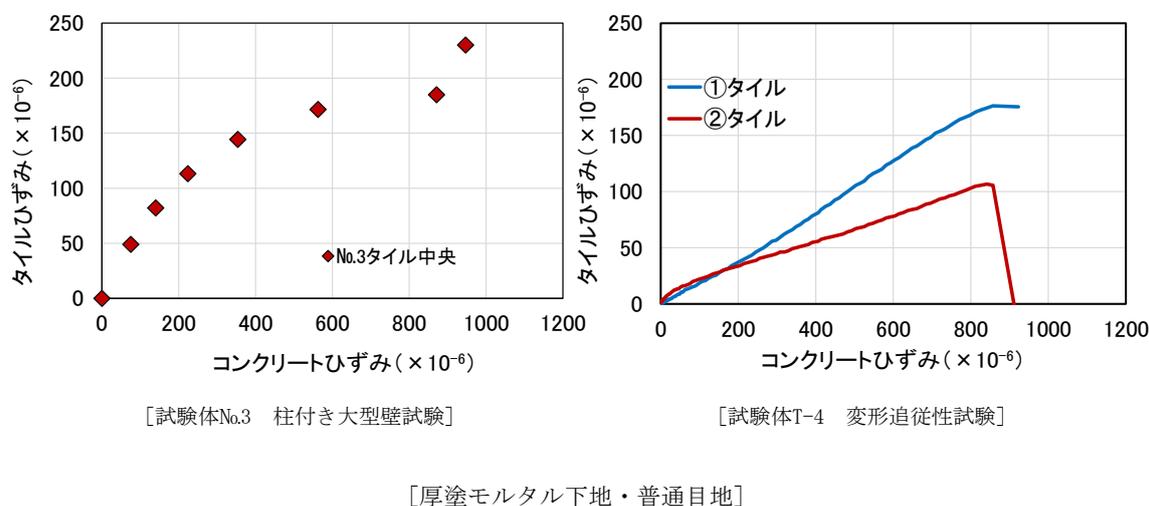


図4.5.10 柱付き大型壁試験と変形追従性試験のコンクリートとタイルひずみ

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。

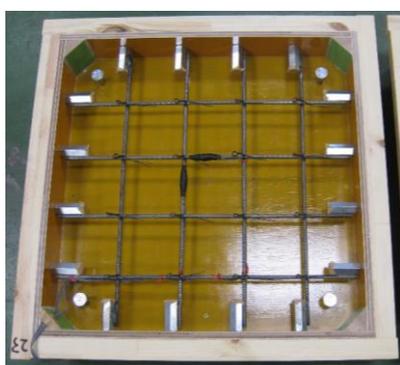


写真4.5.2 コンクリート基盤の製作

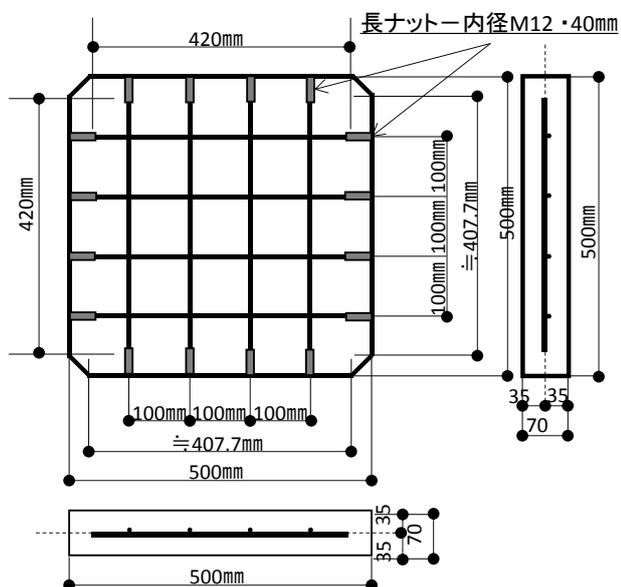


図4.5.11 試験体のコンクリート基盤

(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。

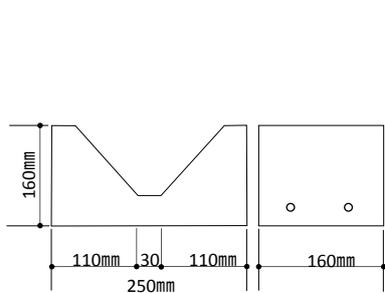


図4.5.12 解放型治具

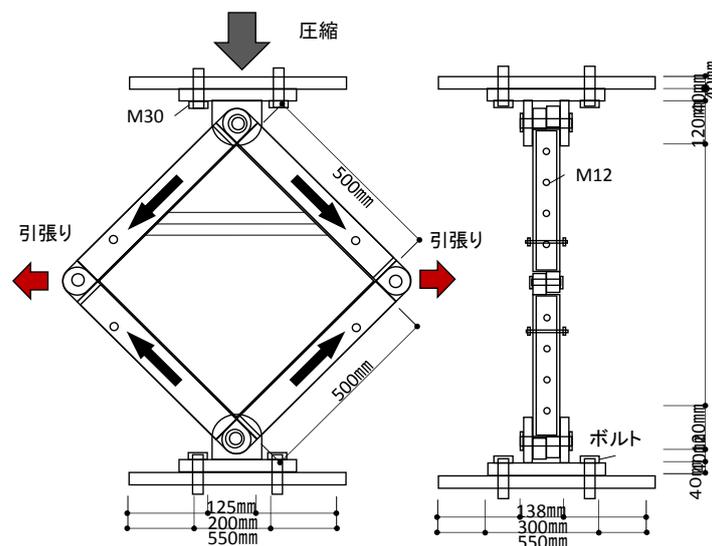


図4.5.13 拘束型治具

(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

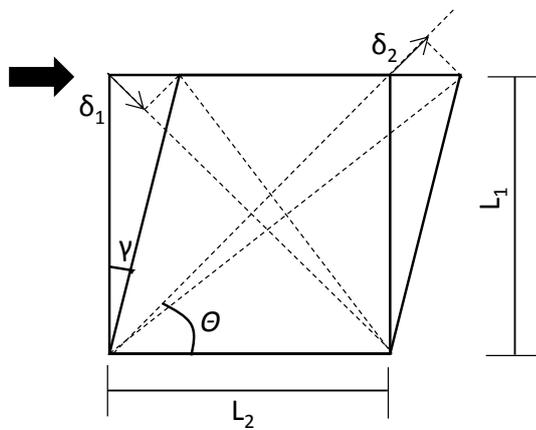
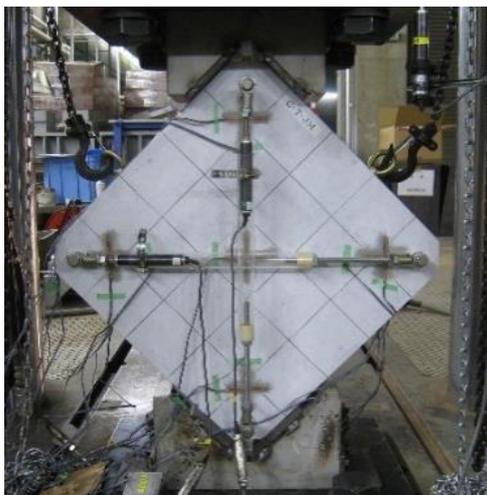
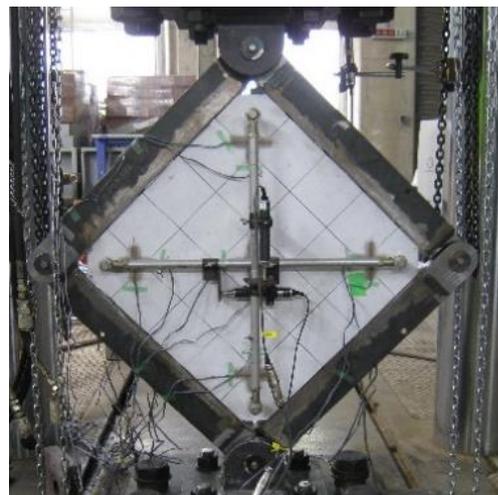


図4.5.14 せん断変形模式図



[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。

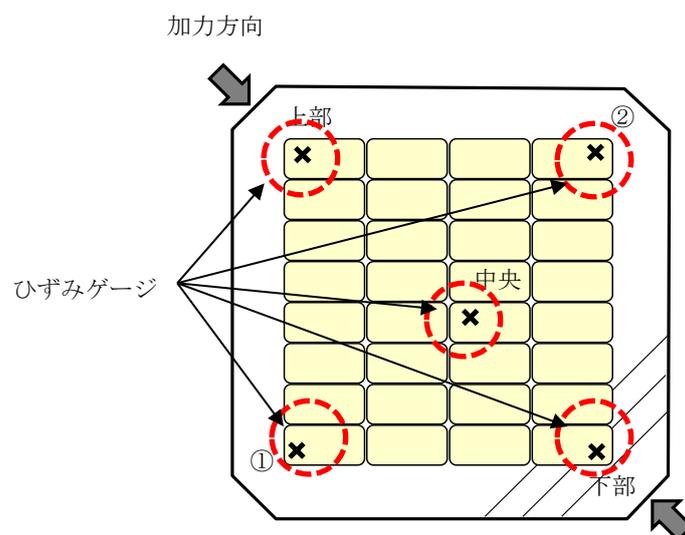


図4.5.15 ひずみゲージ位置

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載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。

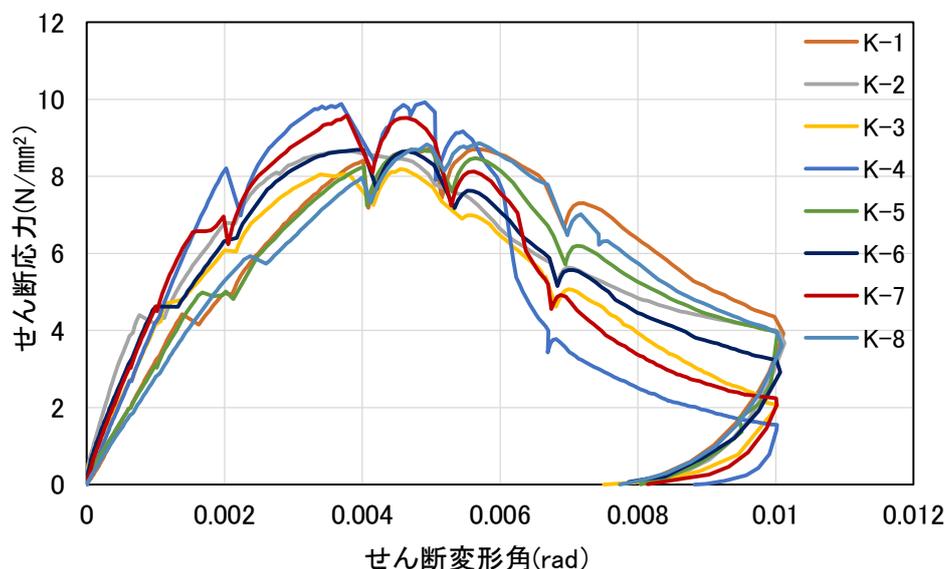


図4.5.16 解放型治具によるコンクリート基盤のせん断変形角とせん断応力

(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。

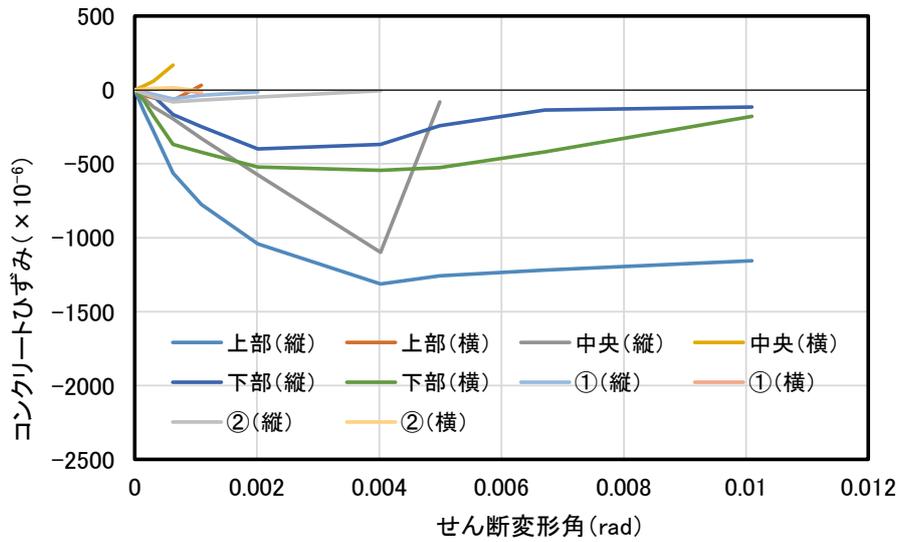


図4.5.17-1 解放型治具－試験体K－5のコンクリートひずみとせん断変形角の関係

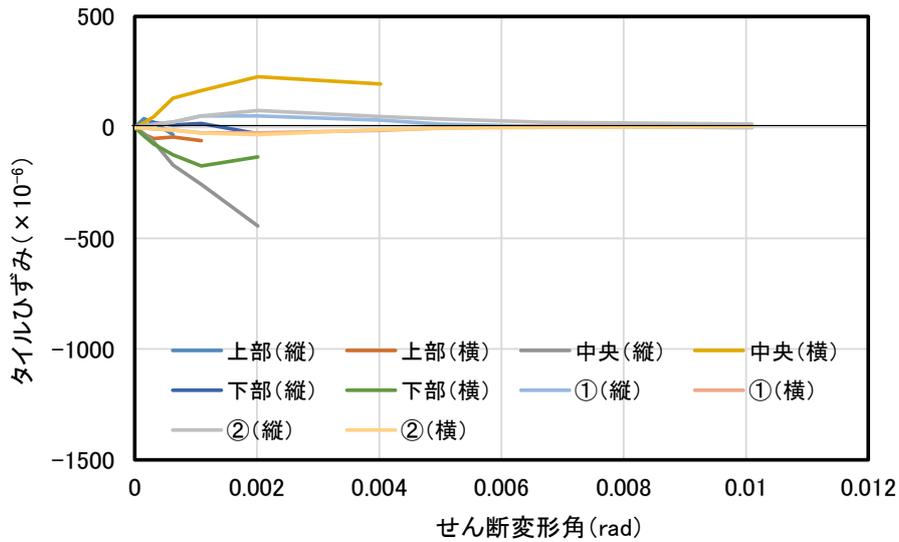


図4.5.17-2 解放型治具－試験体K－5（タイル直張り・普通目地）の
タイルひずみとせん断変形角の関係

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、載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。

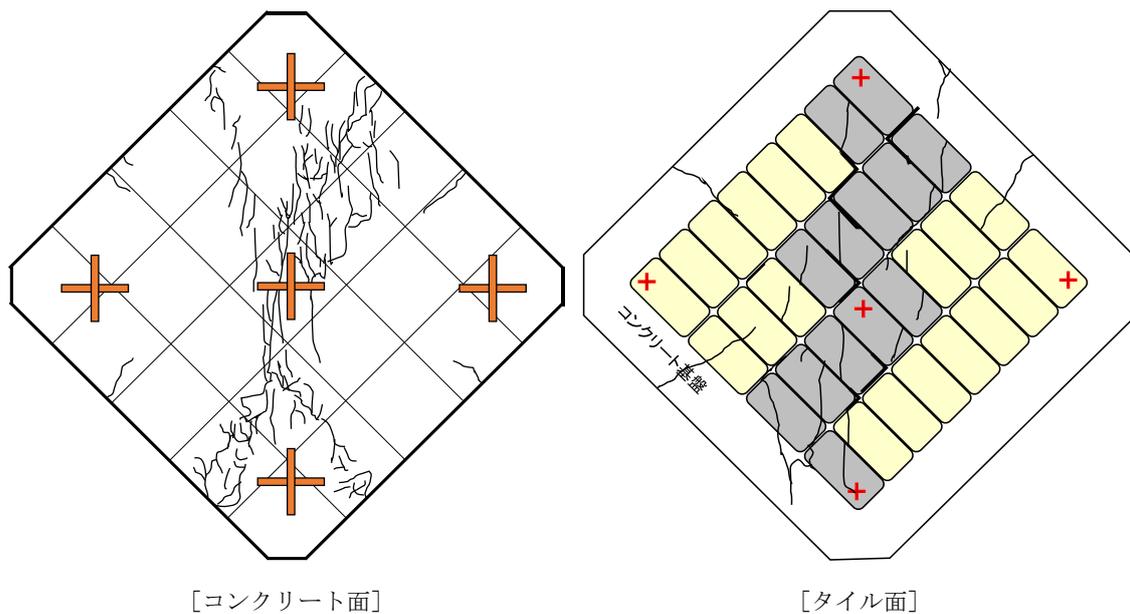


図4.5.18 解放型治具 せん断変形角 $1/200$ の試験体K-5 (タイル直張り・普通目地) の破壊状況

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。

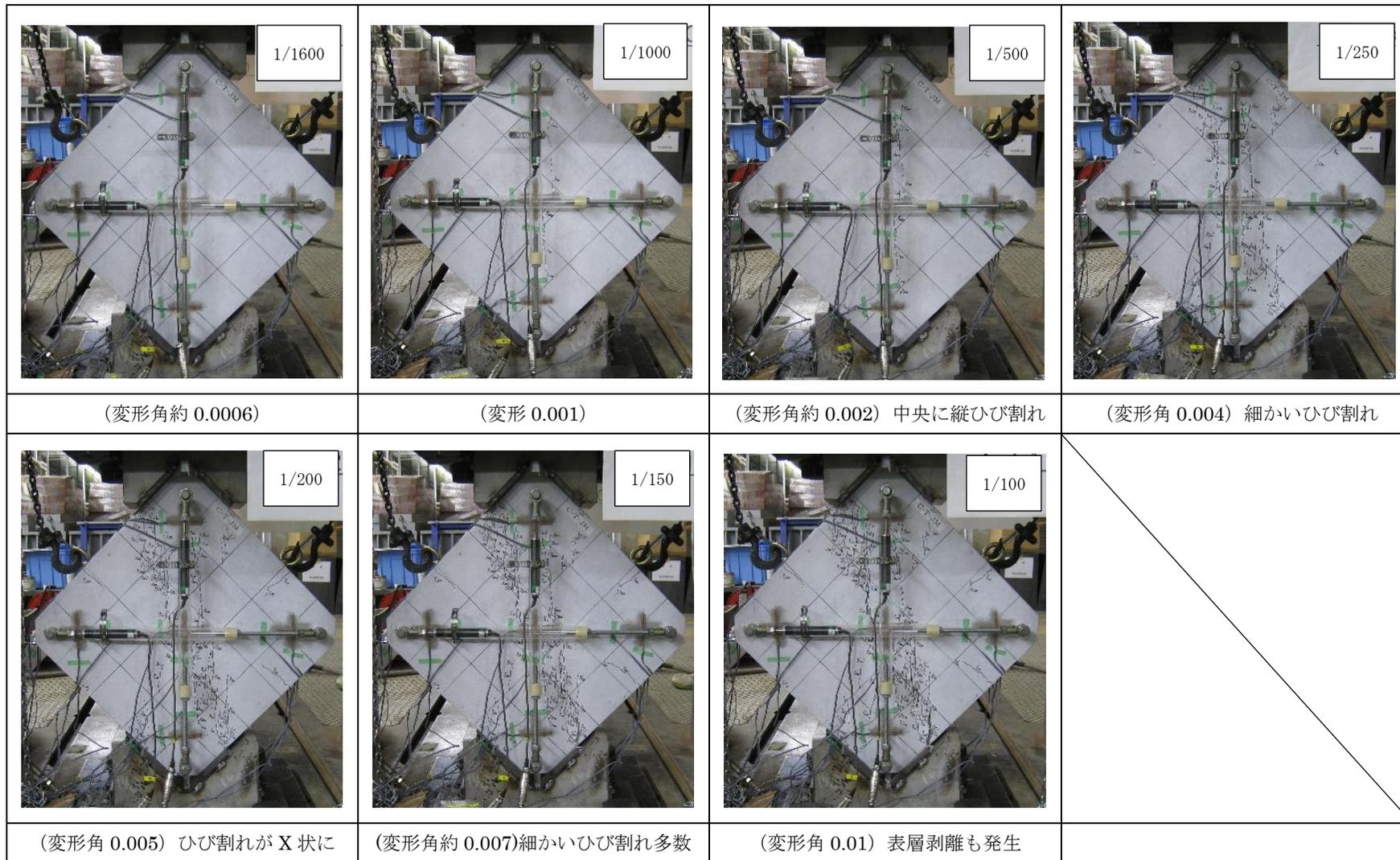


写真4.5.4-1 解放型治具による試験体K-5 (コンクリート基盤) の各せん断変形角の測定画像

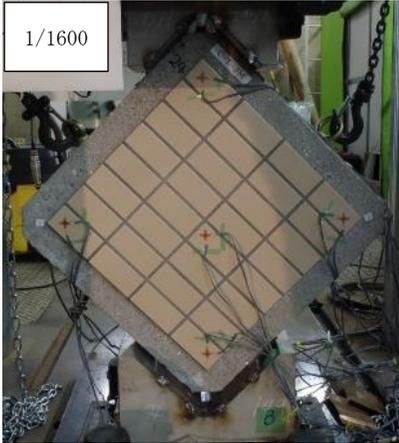
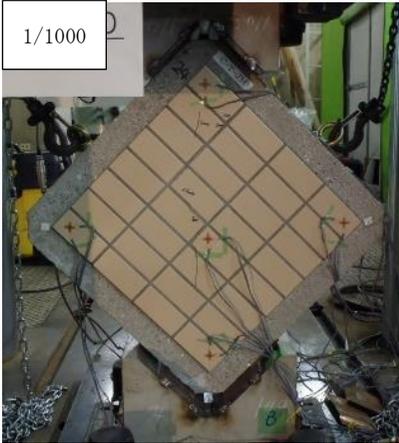
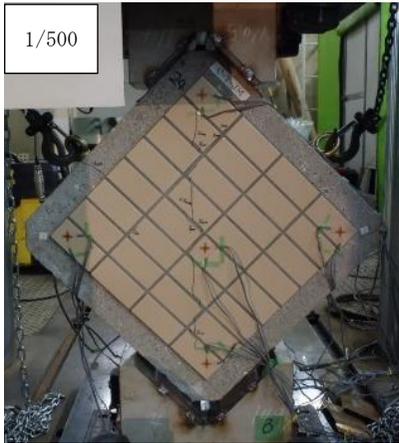
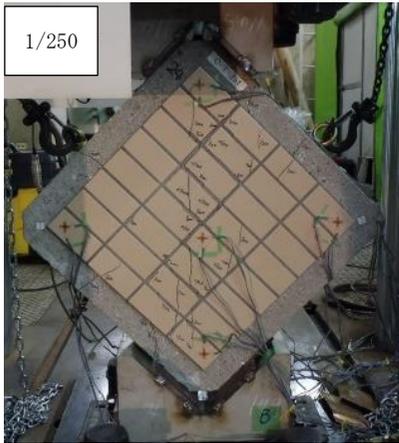
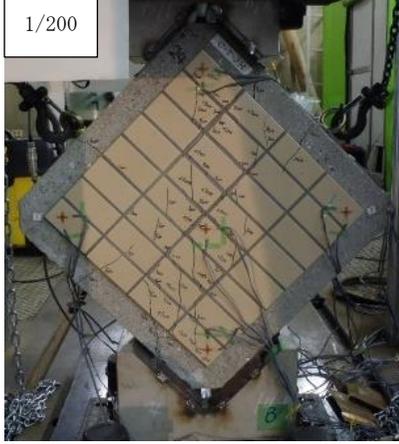
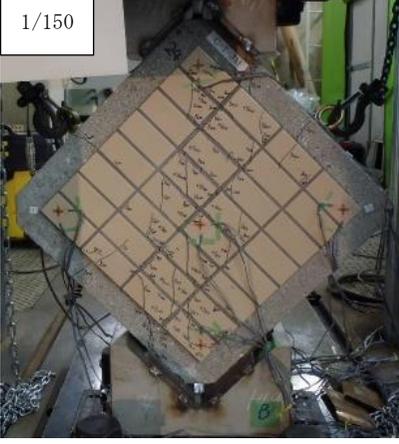
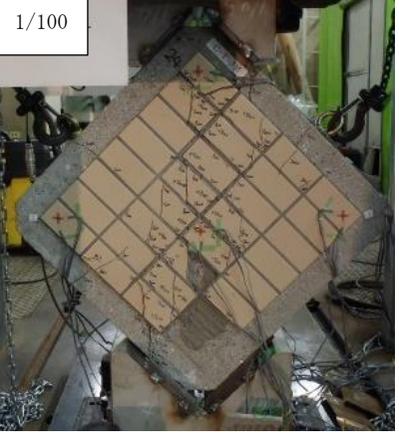
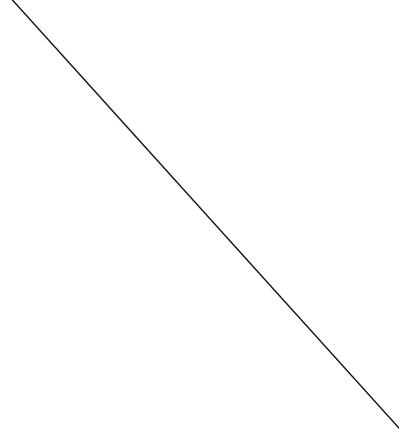
 <p>1/1600</p>	 <p>1/1000</p>	 <p>1/500</p>	 <p>1/250</p>
<p>(変形角約 0.0006)</p>	<p>(変形角 0.001)</p>	<p>(変形角 0.002)目地とタイルにひび</p>	<p>(変形角 0.004) 中央に縦ひび割れ</p>
 <p>1/200</p>	 <p>1/150</p>	 <p>1/100</p>	
<p>(変形角 0.005) 剥落なし</p>	<p>(変形角約 0.007)</p>	<p>(変形角 0.01) タイルの部分欠損</p>	

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

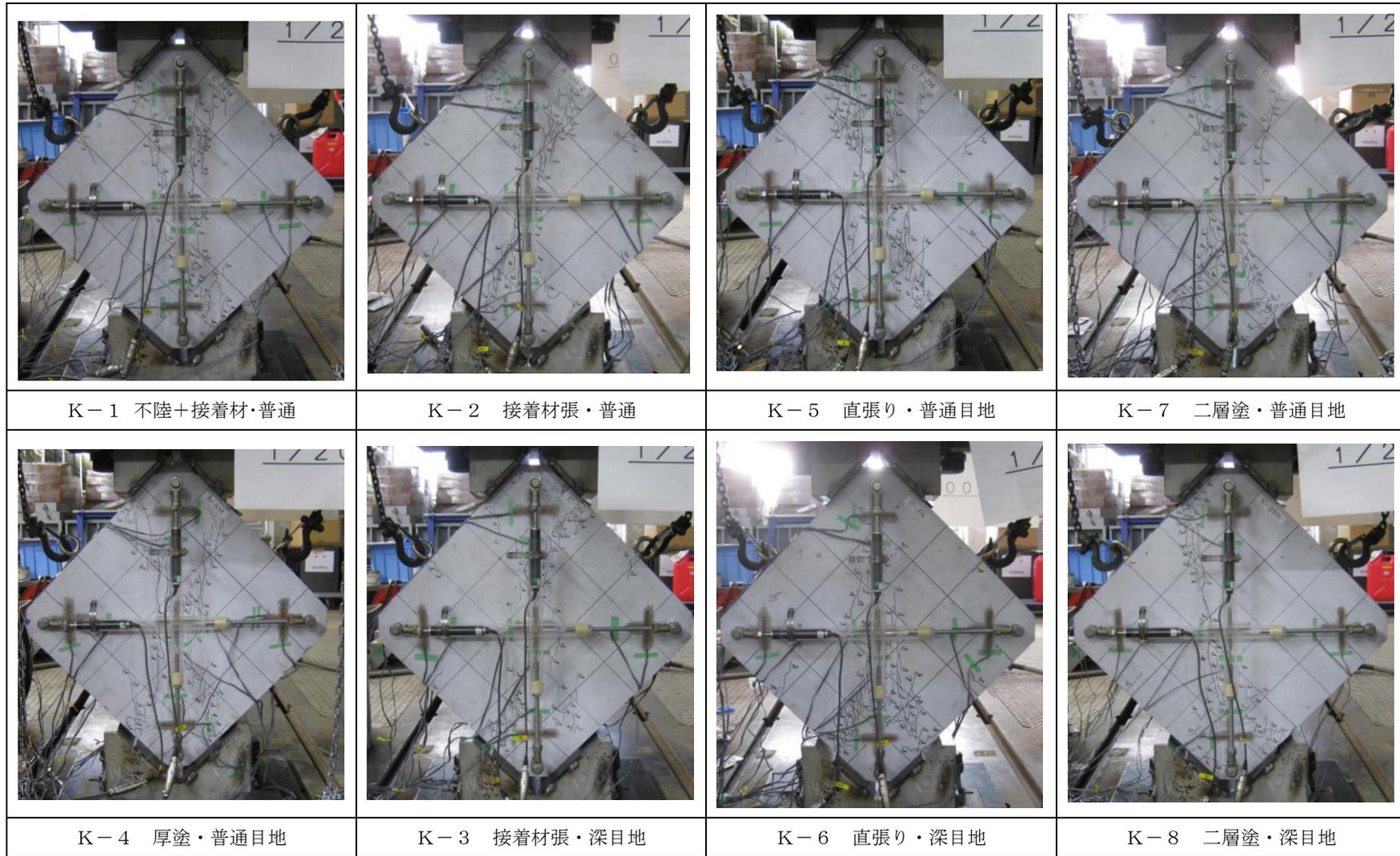


写真 4.5.5-1 セン断変形角 1/200 時の解放型治具によるダイアゴナル試験のコンクリート基盤の破壊状況

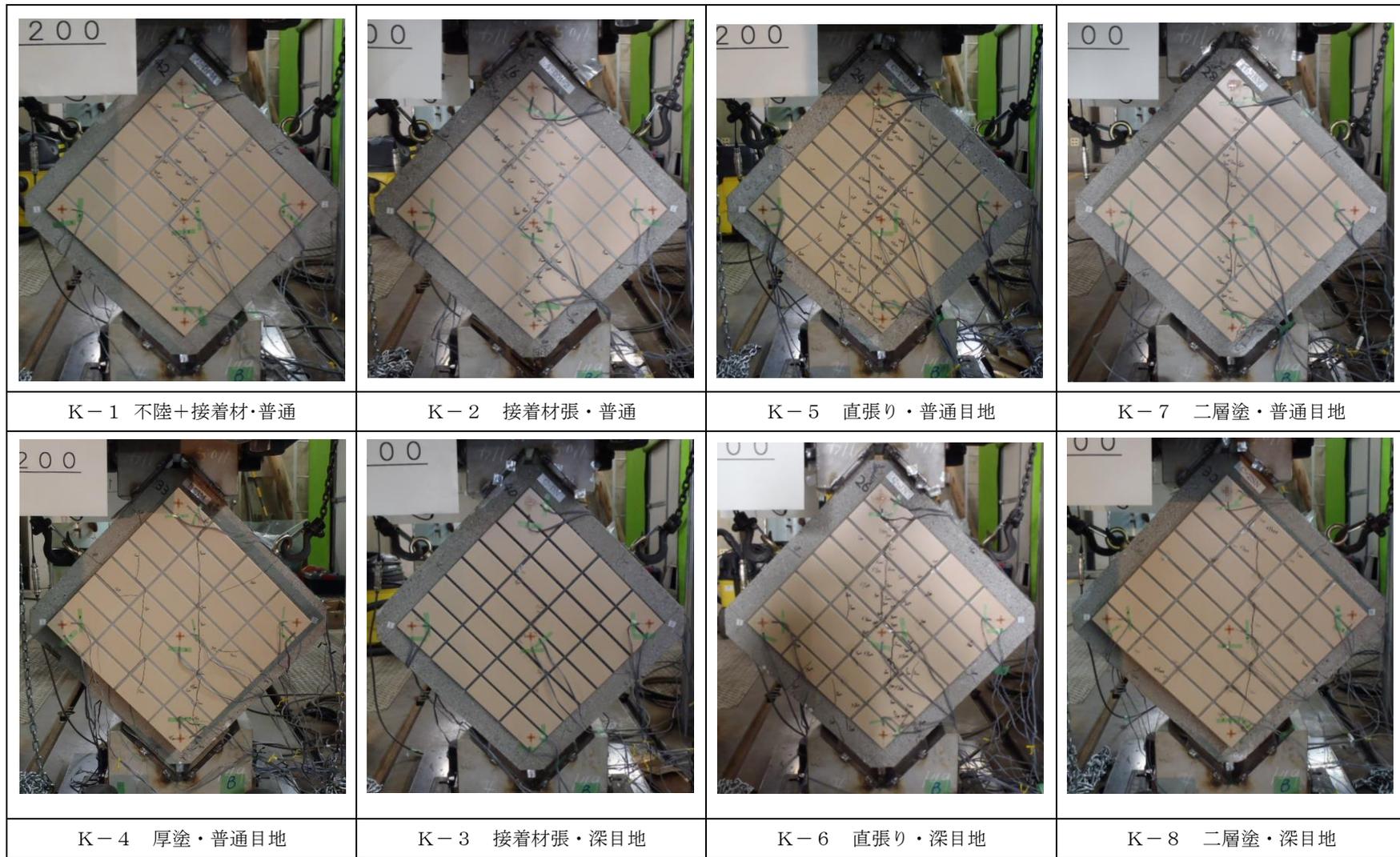


写真4.5.5-2 せん断変形角1/200時の解放型治具によるダイアゴナル試験のタイル仕上げの破壊状況

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。

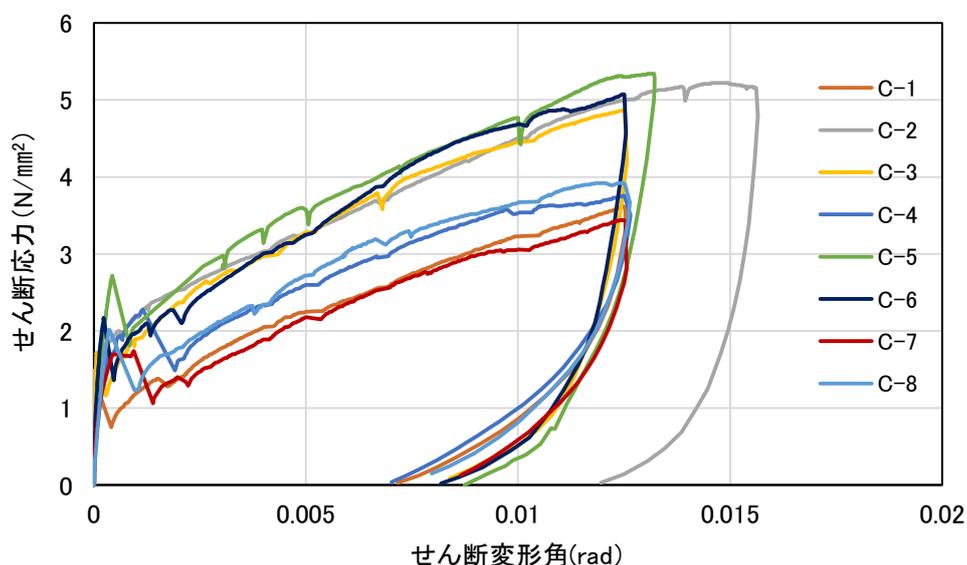


図4.5.19 拘束型治具によるコンクリート基盤のせん断変形角とせん断応力

(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。

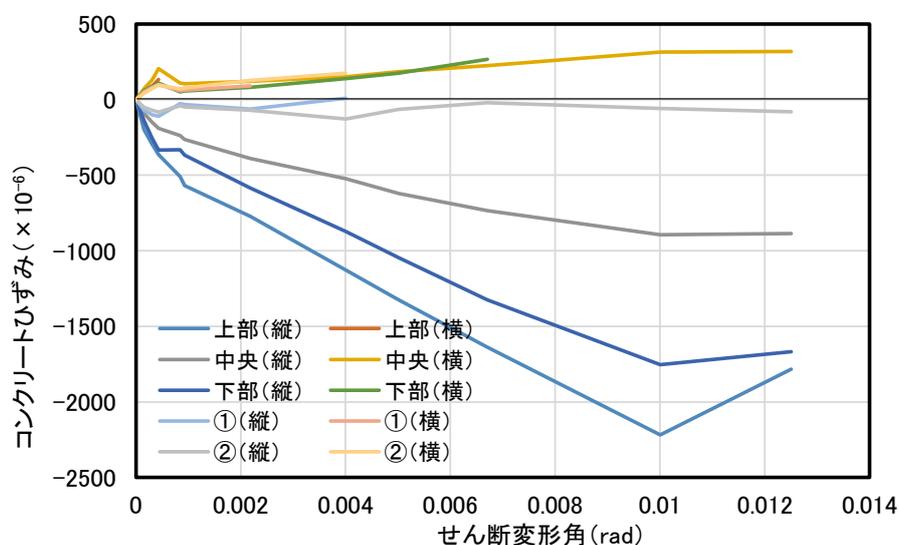


図4.5.20-1 拘束型治具—試験体C-5のコンクリートひずみとせん断変形角の関係

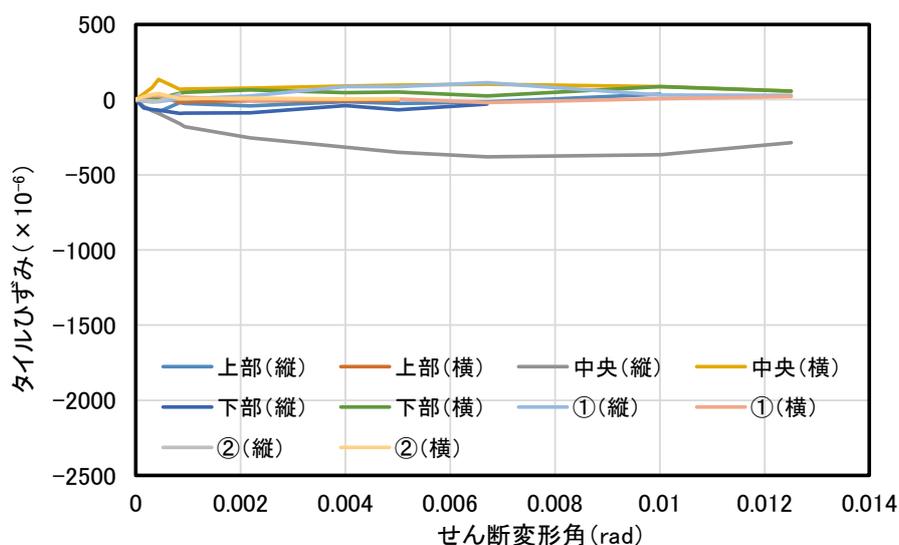


図4.5.20-2 拘束型治具—試験体C-5のタイルひずみとせん断変形角の関係

(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。

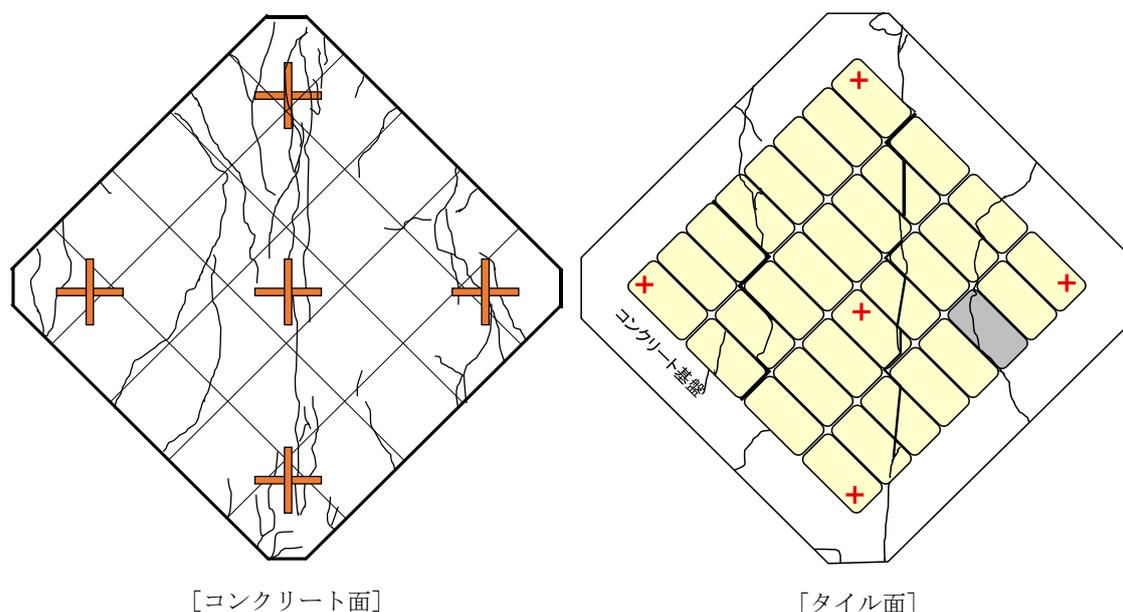


図4.5.21 拘束型治具 せん断変形角1/200の試験体C-5（タイル直張り・普通目地）の破壊状況

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。

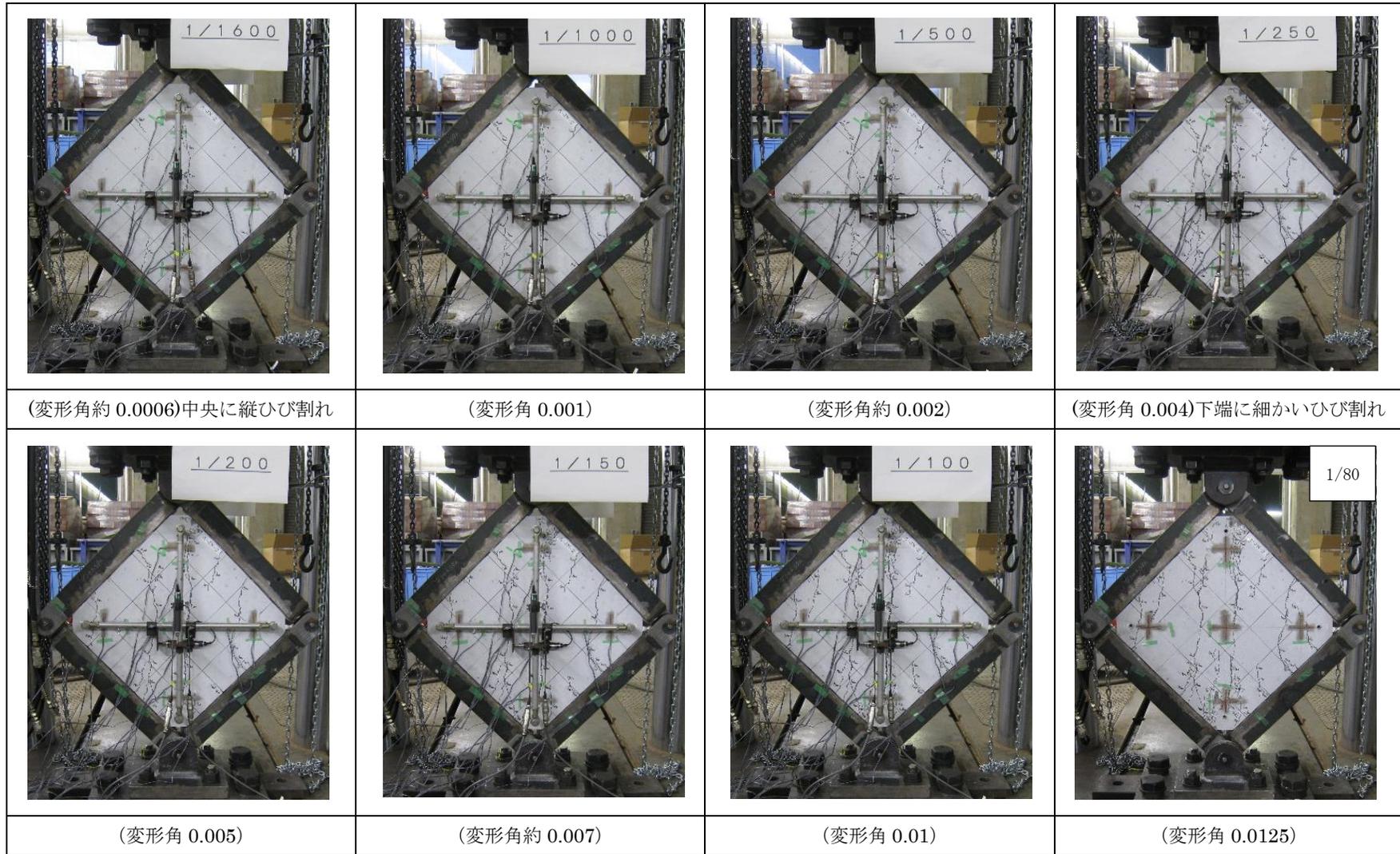


写真 4.5.6-1 拘束型治具による試験体C-6 (コンクリート基盤) の各せん断変形角の測定画像

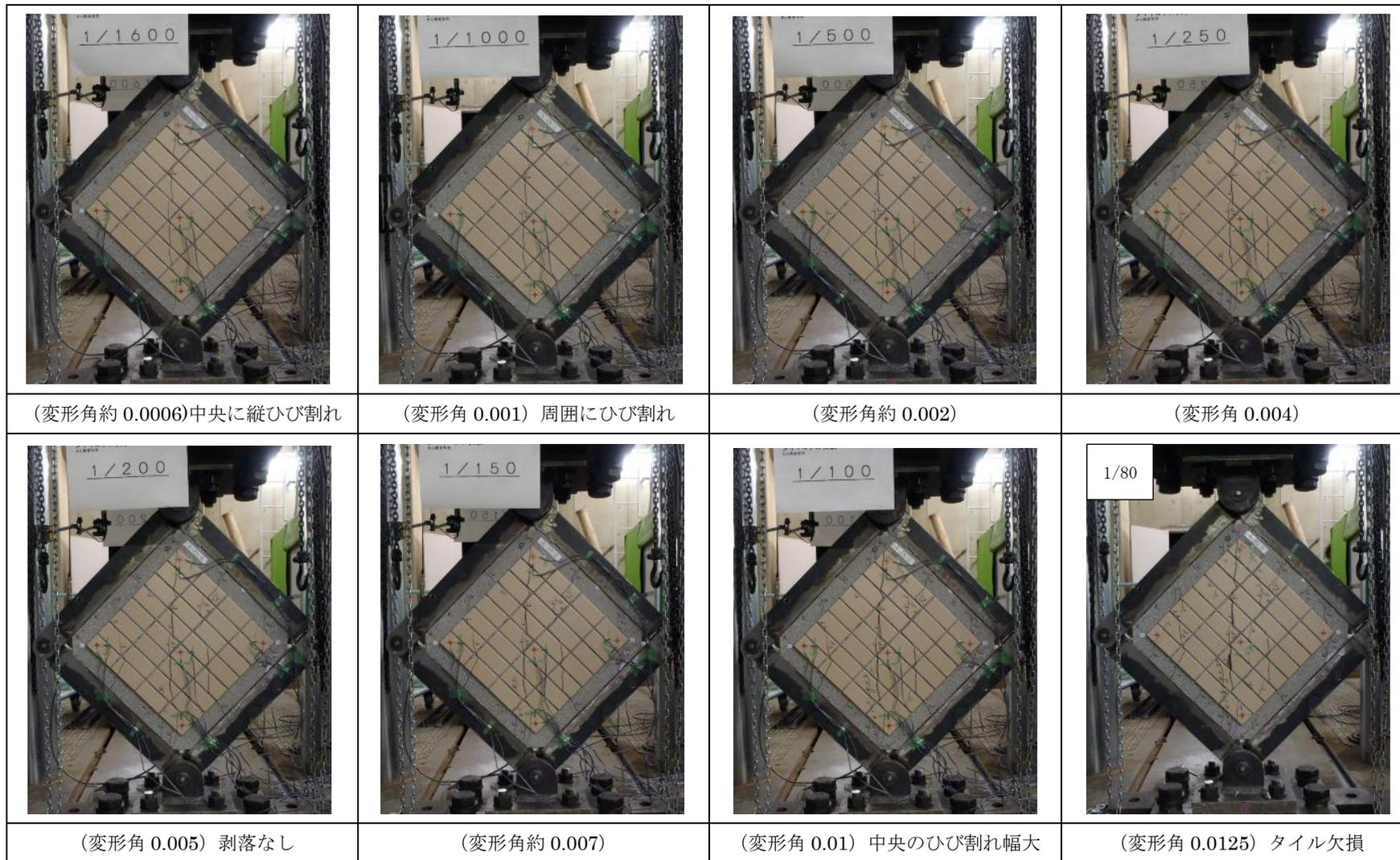


写真 4.5.6-2 拘束型治具による試験体C-6 (タイル直張り・深目地) の各せん断変形角の測定画像

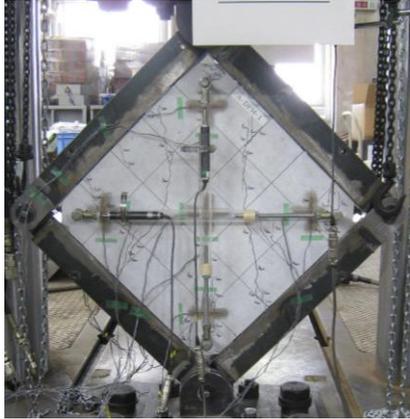
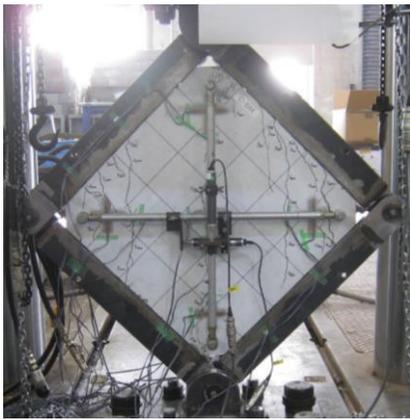
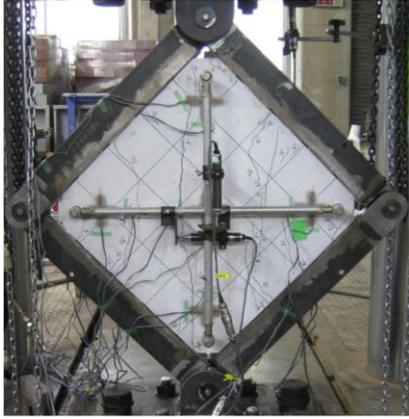
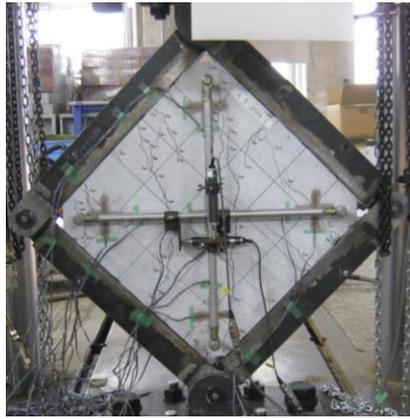
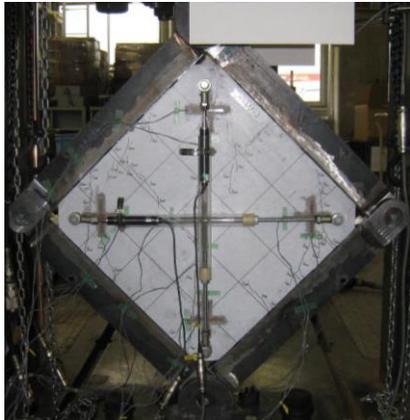
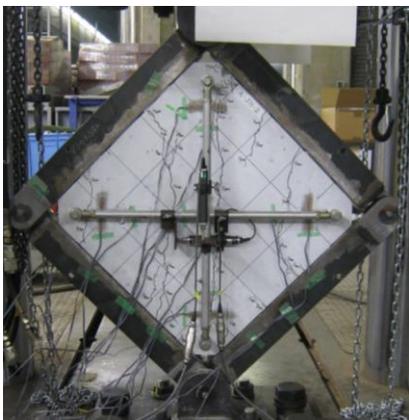
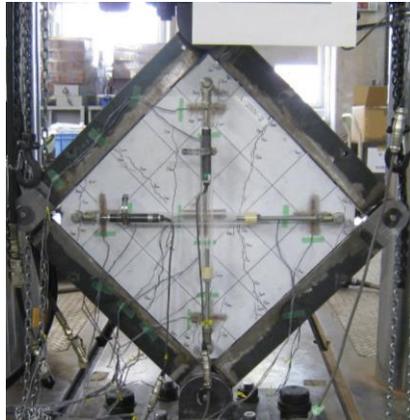
			
C-1 不陸+接着材・普通	C-2 接着材張・普通	C-5 直張り・普通目地	C-7 二層塗・普通目地
			
C-4 厚塗・普通目地	C-3 接着材張・深目地	C-6 直張り・深目地	C-8 二層塗・深目地

写真 4.5.7-1 せん断変形角 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

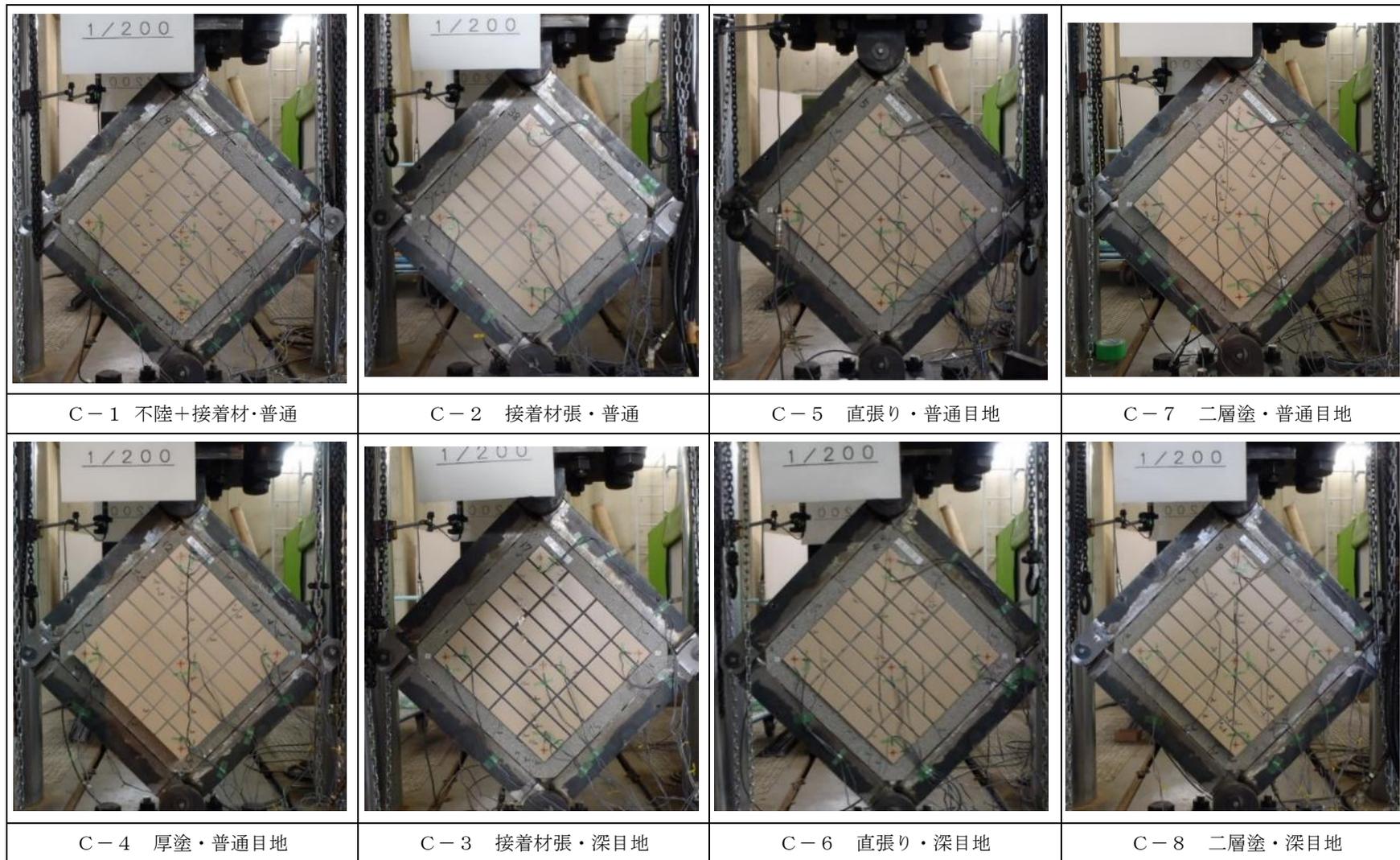


写真4.5.7-2 せん断変形角1/200時の拘束型治具によるダイアゴナル試験のタイル仕上げの破壊状況

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能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って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。

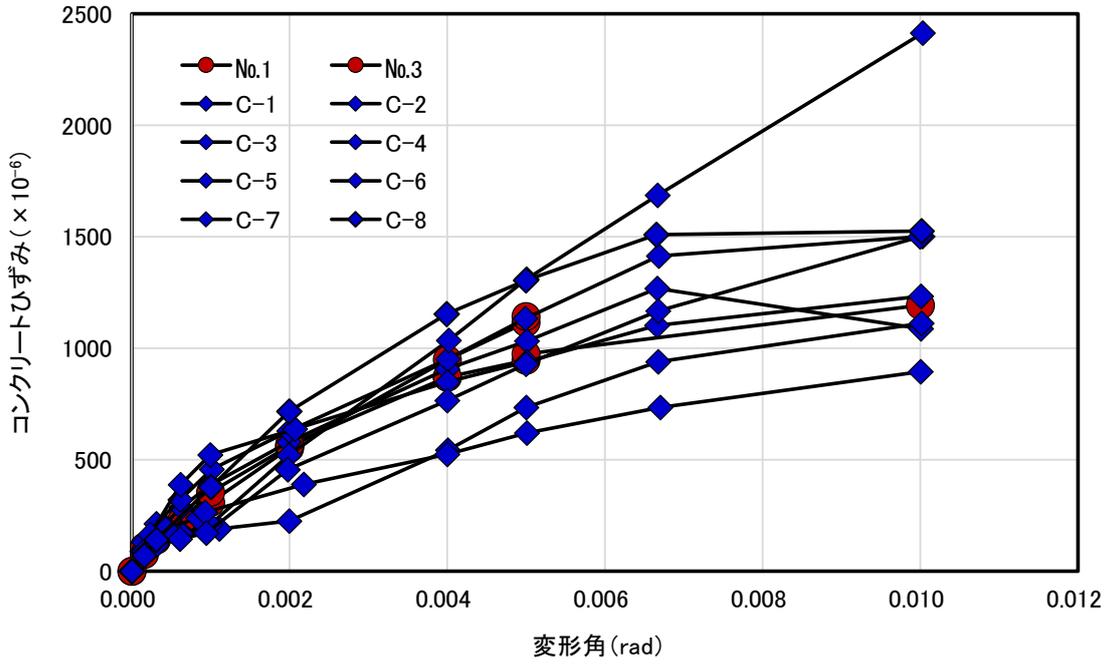


図4.5.22 柱付き大型壁試験体とダイアゴナル試験体の変形角と中央コンクリートひずみ

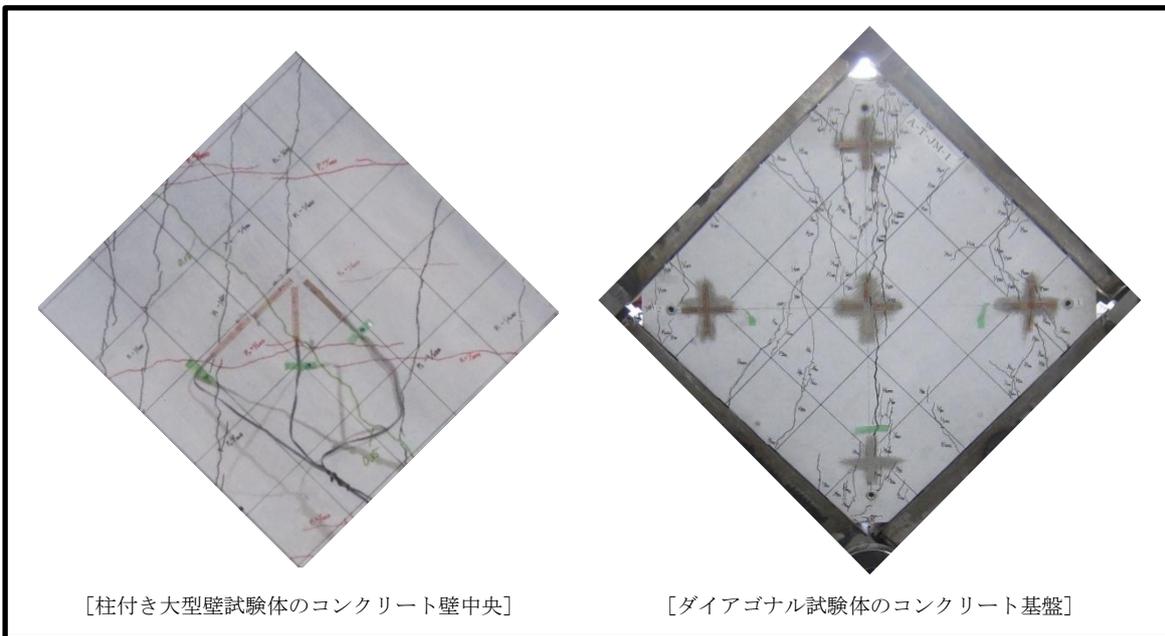


写真4.5.8 変形角1/200の時のコンクリートの破壊状況

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。

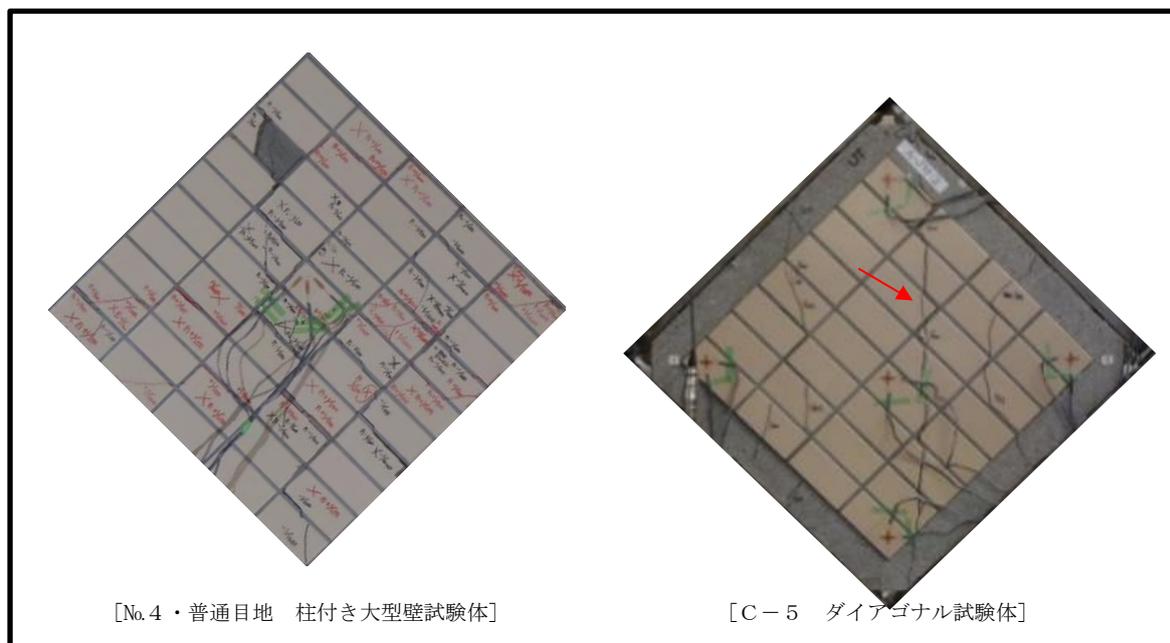


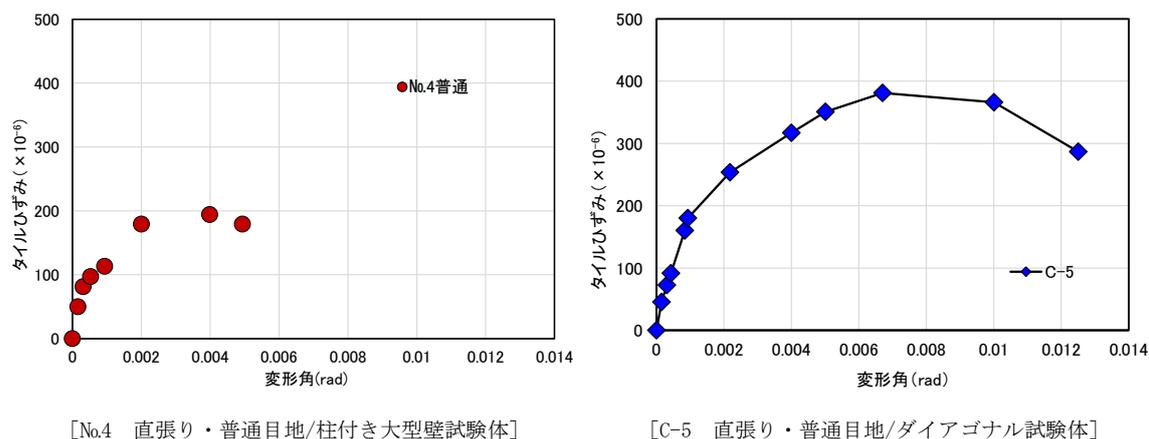
写真4.5.9 変形角1/200のタイル直張り・普通目地仕上げの破壊状況

※ 「×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。

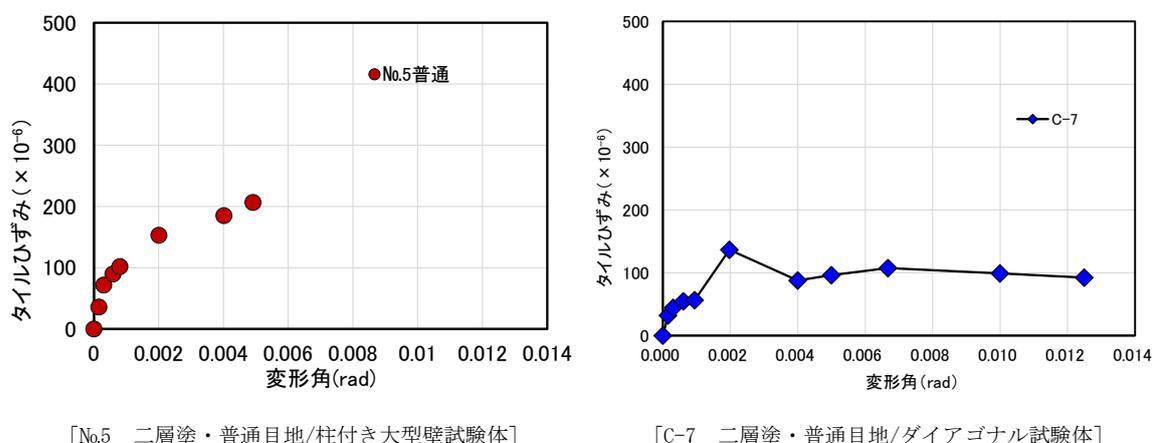
図4.5.23に柱付き大型壁試験体No4（タイル直張り・普通目地）の中央斜め方向のタイルひずみと層間変形角の関係(図の左側)と、同タイル仕上げ仕様のダイアゴナル試験体C-5の中央(縦)のタイルひずみとせん断変形角の関係(図の右側)を示す。また、図4.5.24には、柱付き大型壁試験体No5（2層塗下地・普通目地）の中央斜め方向のタイルひずみと層間変形角の関係(図の左側)と、同タイル仕上げ仕様のダイアゴナル試験体C-7のタイルひずみとせん断変形角の関係(図の右側)を示す。なお、柱付き大型壁試験体のタイルひずみは、層間変形角0～1/200(0.005)までの測定結果の中で、静的水平交番



[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。

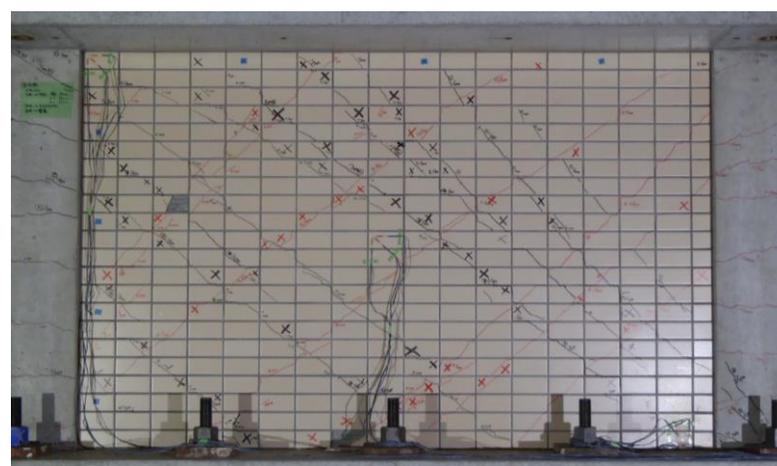
4.5.3.3 ダイアゴナル試験体と柱付き大型壁試験体の破壊状況のまとめ

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。



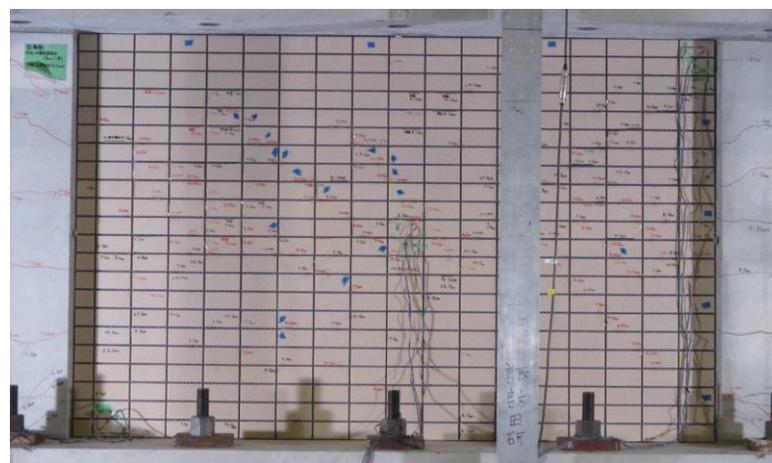
No. 1 不陸+接着材・普通目地



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

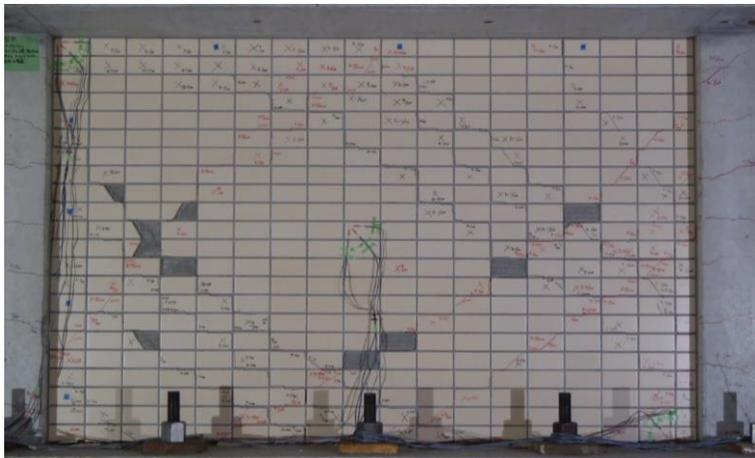
写真4.5.10-1 層間変形角1/200終了時の柱付き大型壁試験のタイル仕上げ破壊状況（その1）



No. 4 直張り・普通目地



No. 4 直張り・深目地

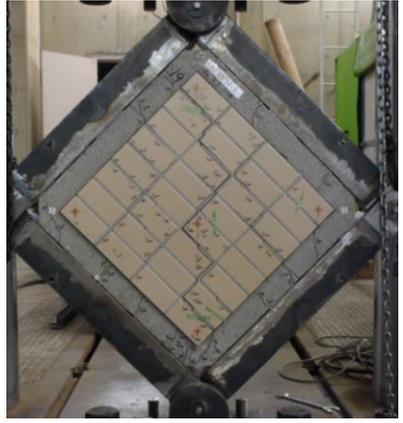
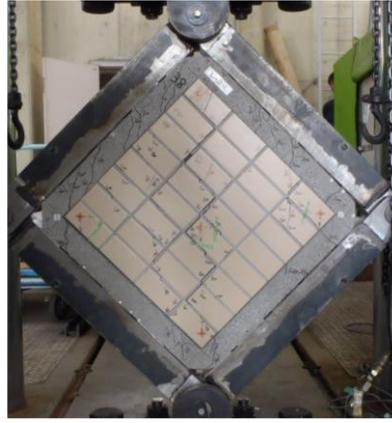
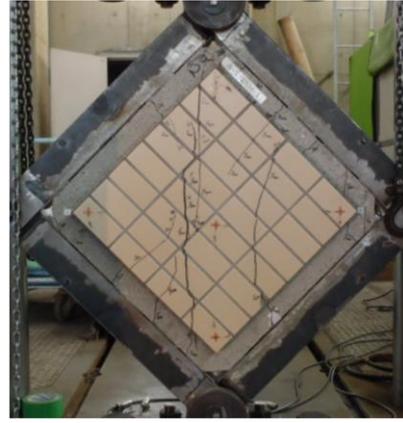
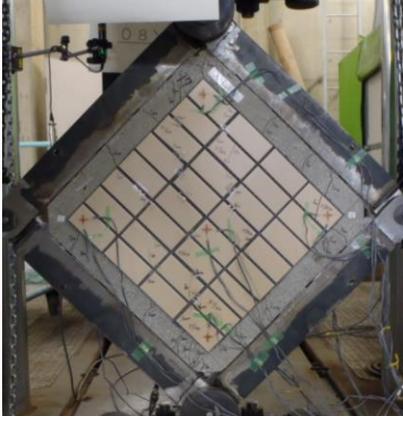


No. 5 二層塗・普通目地



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。

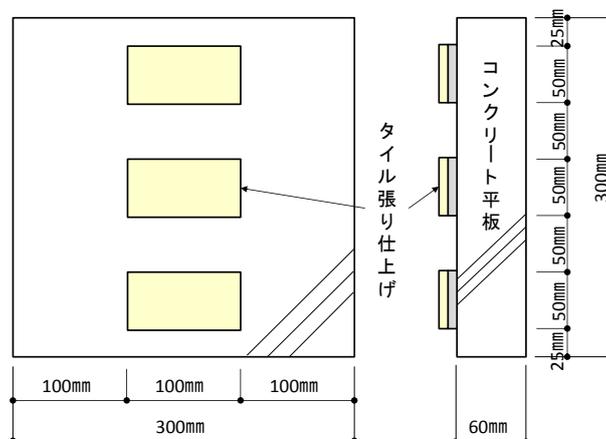


図 4.6.1 引張接着性試験体及びせん断試験体の概要



写真 4.6.1 引張接着性試験

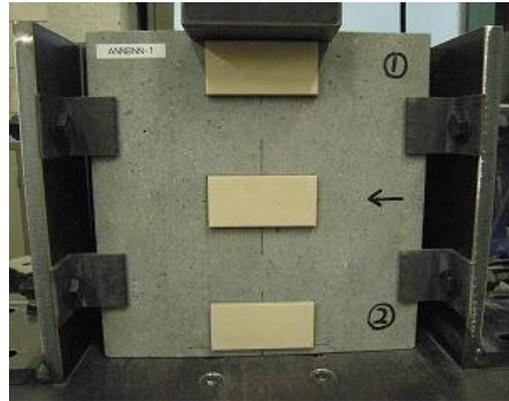


写真 4.6.2 せん断試験

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。

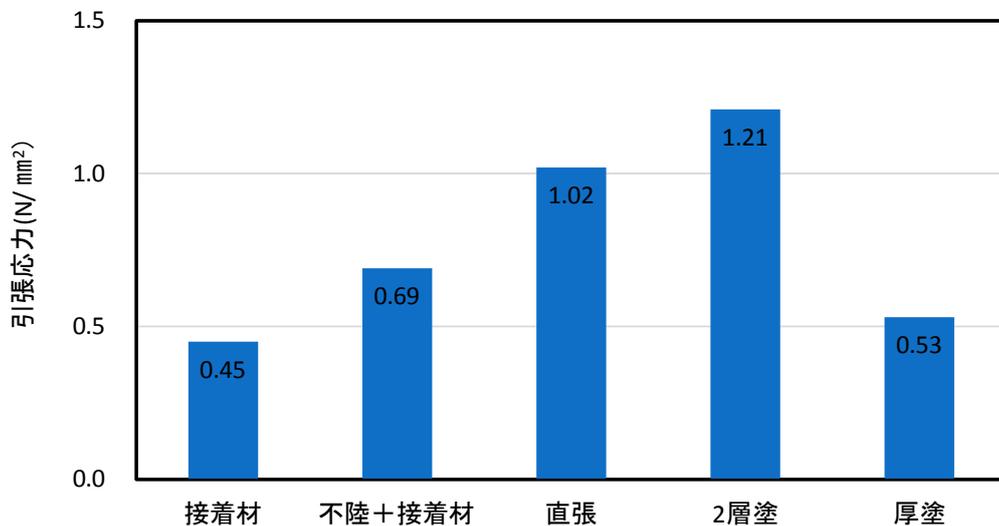


図 4.6.2 引張り接着性試験の結果

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。

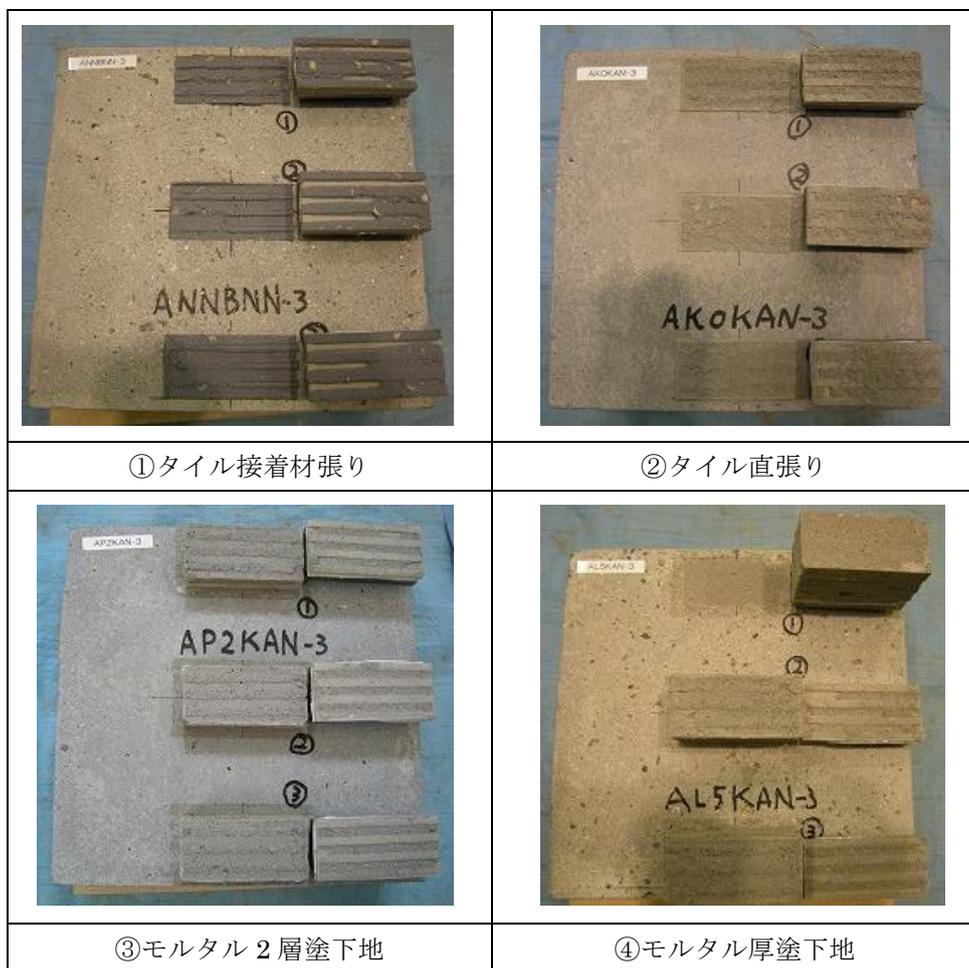


写真 4.6.3 引張接着性試験後の剥離箇所

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 せん断試験の結果

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。

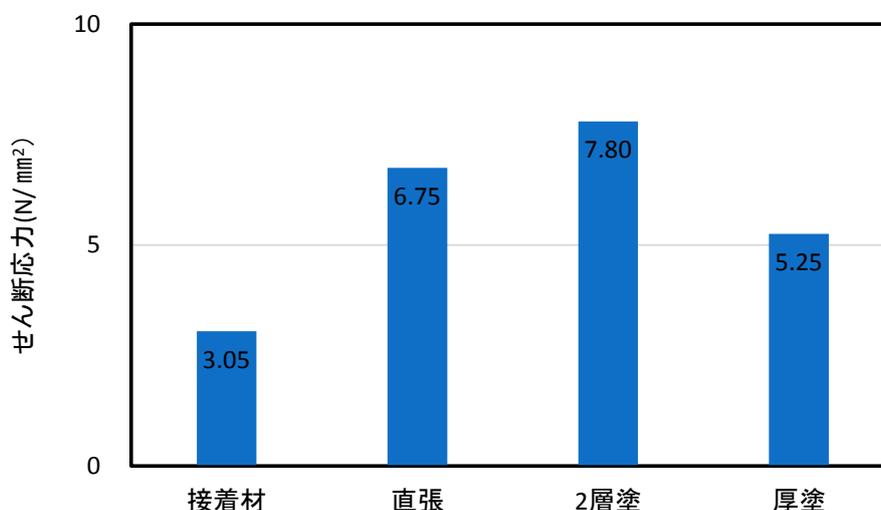


図 4.6.3 せん断試験の結果

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。

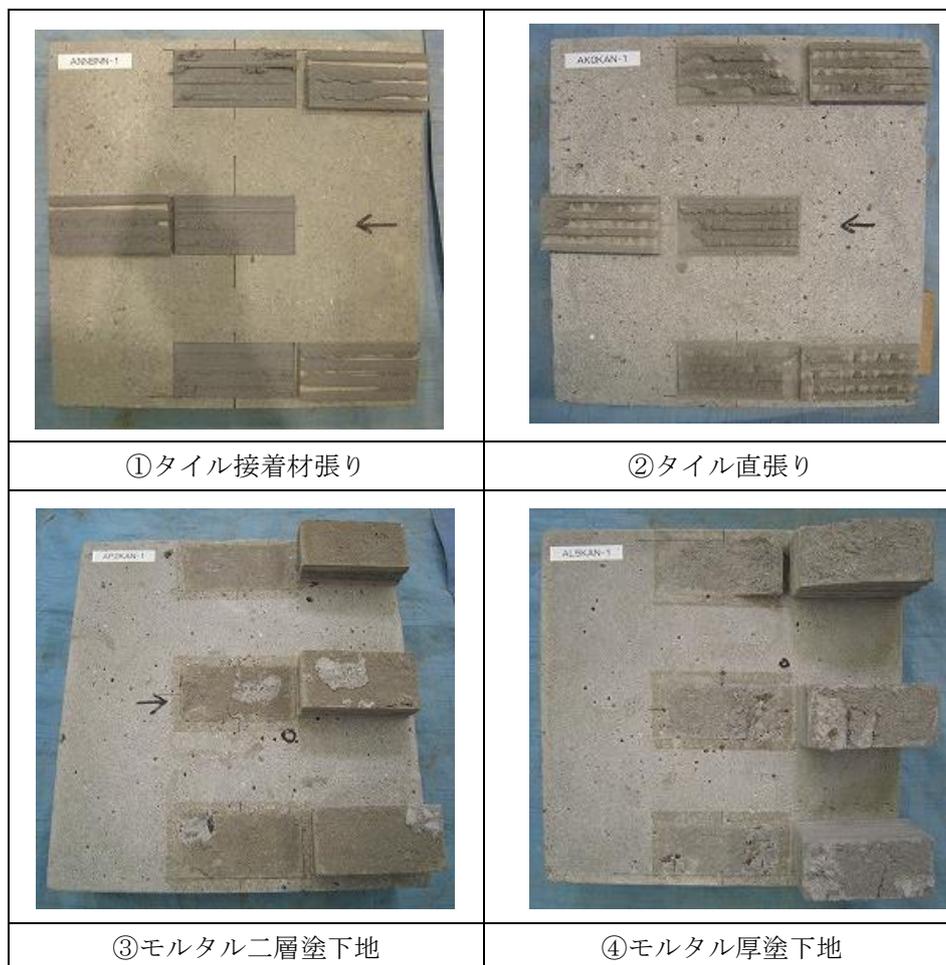


写真 4.6.4 せん断試験後の剥離箇所

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 $0.4\text{N}/\text{mm}^2$ 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。

5章 全体のまとめ

5. 全体のまとめ

本研究では、RC造建物外装材の地震被害調査と被災建築物応急危険度判定の外装材判定に関する実態調査として、震災後の建物被害調査を経験した判定士等に対してアンケート調査およびヒアリング調査を実施し、大地震による外装材の被害に関する情報を収集した。また、湿式タイル仕上げの耐震性評価試験法の検討として、変形追従性試験法およびダイアゴナル試験法を用いた簡便に実施できる試験法の検討を行った。

過去の震災調査でも外装材の被害について報告されているが、本研究の現地調査とは次のような点で違いがある。調査対象をモルタル塗仕上げ及びタイル仕上げの湿式仕上げに特化して実施したこと、調査建物を被害の大きかったものではなく旧耐震基準と新耐震基準前後に建設竣工した建物を中心に選定したこと、ならびに、建物管理者に対して発震時の状況等を含めてヒアリング調査もあわせて実施したことにある。このため旧耐震基準で設計・建設されたコンクリート構造体や立地の影響、経年していても外壁改修を行っていたことで損傷の少なかった建物があったこと等の記録も含まれ、今後の外装材の地震被害に関する研究に役立つ実態データが収集できたと考える。

応急危険度判定の実態調査では、応急危険度判定等の経験者の判定士に対してRC造建物外装材の被害について個人が判定した事例を回答していただいた。余震が続く中で建物全体を観察し使用の可否の判断を2～3時間程度で行うため、外装材の剥落危険性の判定は目視観察と手の届く範囲の打診検査のため判断材料が少なく、判定士は安全側に判定せざるを得ないと考えていた。その一方で、判定士は「危険」と判定した後に詳細調査が行われるまでの間はその建物の使用が禁止されるため、安易な判定もできないとのジレンマも抱えていることが分かった。また、外壁診断の経験豊富な判定士は剥離が起りそうな箇所や、剥離が起ると大きな事故につながる建物部位を熟知しており、有効な判定を行っていることが確認できた。ただし、経験豊富な判定士であっても余震がその後の外装材の剥離に及ぼす影響については判定が難しいとの意見があった。このように外装材の応急危険度判定にはより安全に効率的に判定を行うためにはブラッシュアップの必要な課題も残されており、本調査結果には貴重な意見が含まれているため、判定士の意見はほぼ原文のまま示した。

簡便な耐震性評価試験法として、変形追従性試験とダイアゴナル試験を用いた試験法の検討を行った。変形追従性試験法はコンクリート基盤へのタイル仕上げの追従性評価であり、損傷はひび割れではなく剥離・剥落のしやすさの評価の中心となる。これまで剥離・剥落は接着強度を中心に評価してきたが、材料の特性である変形性能を評価することができるため耐震性評価試験法として有効であることが確認できた。

ダイアゴナル試験法は主として載荷試験用の治具と試験体形状・寸法を検討した。タイル仕上げの破壊は実建物の被災に類似しており、ひび割れや欠損の発生状況を評価するのに有効であることが確認できた。また、ダイアゴナル試験の結果は、柱付き大型壁試験体で行った耐震試験の破壊状況とも類似性があった。ただし、柱付き大型壁試験体の耐震試験では

より地震動に近い交番載荷試験を適用するため、一軸圧縮載荷試験のダイアゴナル試験よりもタイル仕上げの破壊状況がひび割れのみならず剥落に至る損傷まで評価することができる点で違いがある。ダイアゴナル試験が一軸圧縮載荷試験法を採用したのは、治具と接する試験体のコンクリート基盤の面精度の確保に現状では限界があり、隙間ができてしまうため交番載荷試験の適当が難しかったためである。耐震性評価試験は簡便さを考慮して、ダイアゴナル試験法は一軸圧縮載荷試験での耐震性評価を推進することを念頭におくと、安全側に適切に耐震性を評価するためのダイアゴナル試験独自の判断基準を設ける必要があり、今後の課題として示唆した。

【参考文献】

<1 章関連>

- 1) 馬場明生, 伊藤弘, 上村, 坂本, 春日, 武井, 窪田, 福田: 地震時における外装仕上材料・工法の安全性に関する実大実験 (その 1, 2), 日本建築学会関東支部研究報告集 構造系, vol.48, pp.273-280, 1977.7
- 2) 馬場明生, 伊藤弘: 地震時における外装しあげ材料・工法の安全性に関する実大実験 (その 3, 4), 日本建築学会関東支部研究報告集 構造系, vol.51, pp.329-336, 1980.7
- 3) 三谷一房, 小川晴果: 水平一方向振動加振実験による外壁タイル張りの耐震性能に関する検討, 日本建築学会構造系論文集, vol.75, pp.1773-1780, 2010.10

<2 章関連>

- 4) 建設省建築研究所耐風研究室: 1978 年宮城県沖地震における窓ガラスの破損: その 1, 1978.9
- 5) 日本建築学会: 平成 16 年新潟県中越地震における非構造部材の被害概要に関する報告 (地震被害、材料施工), 2005.9
- 6) 建設省建築研究所: 平成 7 年兵庫県南部地震被害調査報告書 概要版, 1996.3
- 7) 国土交通省国土技術政策総合研究所、独立行政法人建築研究所: 平成 23 年東北地方太平洋沖地震による建築物被害 第 1 次調査 (速報) 二本松市、郡山市、福島市における RC 造、鉄骨造及び非構造部材を中心とした被害、2011.3
- 8) 国土交通省国土技術政策総合研究所、独立行政法人建築研究所: 平成 23 年東北地方太平洋沖地震による建築物被害 第 1 次調査 (速報) 白河市、須賀川市、仙台市における RC 造、S 造及び非構造部材を中心とした被害、2011.4
- 9) 日本建築学会: 2011 年東北地方太平洋沖地震 災害調査速報, 2011.7
- 10) 東京大学、プレコンシステム協会: 平成 7 年兵庫県南部地震 PC カーテンウォール被害調査報告第 2 報、1995.3
- 11) 小野正、森田武: 兵庫県南部地震における非構造材の被害実態とその検討、清水建設研究報告第 62 号、1995.10
- 12) 本橋健司: 東日本大震災における外装仕上げ材の被害について 建材試験情報 1 2012、一般財団法人建材試験センター、pp.17-20、2012.1

<3 章関連>

- 13) 建設省建築研究所: 昭和 58 年度総合技術開発プロジェクト 震災構造物の復旧技術の開発報告書 (直轄) 被災度判定手法の開発 被災度判定のための測定技術の開発 建築物等「被災測定機器の精度の検証」昭和 59 年 3 月
- 14) 建設省建築研究所: 昭和 58 年度総合技術開発プロジェクト 震災構造物の復旧技術の開発報告書 (直轄) 被災度判定手法の開発 被災度判定のための測定技術の開発 建築物等「鉄筋コンクリート造 3 層耐震壁の被災度判定および補修・補強効果に関する研究」昭和 59 年 3 月

- 15) 建設省建築研究所：昭和 58 年度総合技術開発プロジェクト 震災構造物の復旧技術の開発報告書（直轄）被災度判定手法の開発 被災度判定のための測定技術の開発 建築物等「鉄筋コンクリート造部材の被災度判定のための資料集」昭和 59 年 3 月
- 16) 建設省建築研究所：昭和 58 年度総合技術開発プロジェクト 震災構造物の復旧技術の開発報告書（直轄）被災度判定手法の開発 被災度判定のための測定技術の開発 建築物等「鉄骨造建築物の被災度判定基準のフレームワーク」昭和 59 年 3 月
- 17) 建設省：総合技術開発プロジェクト「震災構造物の復旧技術の開発 概要報告書」昭和 61 年 10 月
- 18) 財団法人日本建築防災協会全国被災建築物応急危険度判定協議会：震災建築物等の被災度判定基準および復旧技術指針（鉄筋コンクリート造編），1991 年 2 月
- 19) 一般財団法人日本建築防災協会ホームページ：全国被災建築物応急危険度判定協議会
<http://www.kenchiku-bosai.or.jp/oq/index.html>
- 20) 財団法人日本建築防災協会全国被災建築物応急危険度判定協議会：被災建築物応急危険度判定マニュアル 1997 年 11 月

< 4 章関連 >

- 21) 諏訪田、福山、渡辺、土肥、向井、野村：高靱性セメント複合材料を用いた壁部材の構造性能に関する実験研究、日本建築学会大会学術講演梗概集（関東）、pp.145-146、2006 年 9 月
- 22) 名知、小野：タイル直張り仕上げのひずみ追従性に及ぼすタイル要因の影響、日本建築学会構造系論文集、第 563 号、pp.15-22、2003 年 1 月
- 23) 渡部、馬場、森田、川手、守：セラミックタイル仕上げの下地・コンクリート界面における変形追従性能に関する実験的研究、日本建築学会技術報告集、第 17 号、pp.7-10、2003 年 6 月
- 24) 在永、馬場、千歩、松島：組積造に関する日米共同大型耐震実験研究（88）組積壁体のせん断強度（その 6 せん断強度に及ぼす鉄筋の影響）、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.863-864、1989 年 10 月
- 25) 三谷、小川、長沼、福田：外壁タイル張り仕上げの剥離防止性能評価に関する研究（その 1～その 2）、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.283-286、2005 年 9 月
- 26) 三谷、小川、堀、久住、福田：外壁タイル張り仕上げの剥離防止性能評価に関する研究（その 3～その 4）日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.283-286、2007 年 8 月
- 27) 一般社団法人 公共建築協会：建築工事監理指針 平成 25 年版（下巻） 11 章 タイル工事 11.1.5 施工後の確認及び試験 (c) 接着力試験 国土交通省大臣官房官庁営繕部監修

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of N I L I M

N o . 1 0 0 5

January 2018

編集・発行 ©国土技術政策総合研究所

本資料の転載・複写の問い合わせは

〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地

企画部研究評価・推進課 TEL 029-864-2675