

### 3.3 非構造部材を含む構造物の崩壊余裕度に関するデータ収集・整備

#### 3.3.2 災害拠点建物の安全度即時評価および継続使用性即時判定

##### (1) 業務の内容

###### (a) 業務の目的

- ・「(2)災害拠点建物の安全度即時評価および継続使用性即時判定」として、行政庁舎や体育館など、災害時拠点となる既設の建物内に少数のセンサを設置し、地震後速やかに建物安全性、崩壊余裕度、および継続使用の可否等を判定するシステムの構築を目指す研究開発を行う。具体的には、構造躯体のみならず設備・非構造部材をも再現した実物建物を大型振動台実験により損傷させ、センサによって検知した建物の揺れのデータをもとに、躯体から設備・非構造部材までの損傷レベルを即時に評価する技術、および崩壊余裕度の定量的評価に基づく施設の継続使用性判定手法を提案する。

###### (b) 平成30年度業務目的

- ・研究3年目のEーディフェンスによる大型振動台実験に向けて、平成29年度に実施した実験結果を踏まえて、試験体の設計と積算用資料の作成、および設備・非構造部材を含む建物損傷評価技術の開発に着手する。

###### (c) 担当者

所属機関	役職	氏名
東京大学地震研究所	教授	楠 浩一
東京大学大学院新領域創成科学研究科	准教授	清家 剛
広島大学大学院工学研究科	准教授	日比野 陽
建築研究所構造研究グループ	主任研究員	向井 智久
大阪大学大学院工学研究科	教授	真田 靖士
広島大学大学院工学研究科	教授	大久保 孝昭
広島大学大学院工学研究科	助教	寺本 篤史
大林組技術研究所	所長	勝俣 英雄
大林組技術研究所構造技術研究部	副部長	米澤 健次
防災科学技術研究所地震減災実験研究部門	主任研究員	中村 いずみ

##### (2) 平成30年度の成果

###### (a) 業務の要約

試験体の設計、非構造部材の損傷劣化検知、および非構造部材を含む損傷評価システムの開発を目的に、以下の項目について、検討を行った。

###### 震動台実験試験体の設計関係

- 1) 震動台実験試験体の試設計と積算
- 2) 新しい壁端部ディテールを採用した袖壁付柱の追加性能確認実験

3) 新しい壁端部ディテールを採用した腰壁・垂れ壁付き梁の追加性能確認実験

### 非構造部材の損傷劣化検知

4) 光ファイバーを用いた仕上げタイルの損傷検知委実験

5) 天井材の画像解析による損傷検知

## (b) 業務の成果

### 1) 試験体の設計

災害拠点を想定して、国土技術政策総合研究所「災害拠点建築物の設計ガイドライン（案）」技術資料「①壁を活用した鉄筋コンクリート造建築物の損傷制御設計法」を参考に、図 1-1 に示すような 1×2 スパン 3 層試験体の設計を行った。耐震ランクは I とし、そこで壁等を有効に利用した設計とした。具体的構造設計の内容を以下に示す。

- ・雑壁（袖壁、腰壁等）を考慮したモデルで、ベースシア係数が 0.55 に達する時点の各層の最大層間変形角  $R_{max}$  が 0.33%以内であることを確認するとともに部材塑性率が 1 以下であることを確認する。

- ・雑壁を無視した純ラーメンのモデルで、保有水平耐力時のベースシア係数が 0.3 以上であることを確認する。

静的増分解析に加えて、試験体の地震応答解析を実施し、所要の耐震性能を有していることを確認した。静的増分解析結果を図 1-2 に地震応答解析結果を図 1-3 に示す。

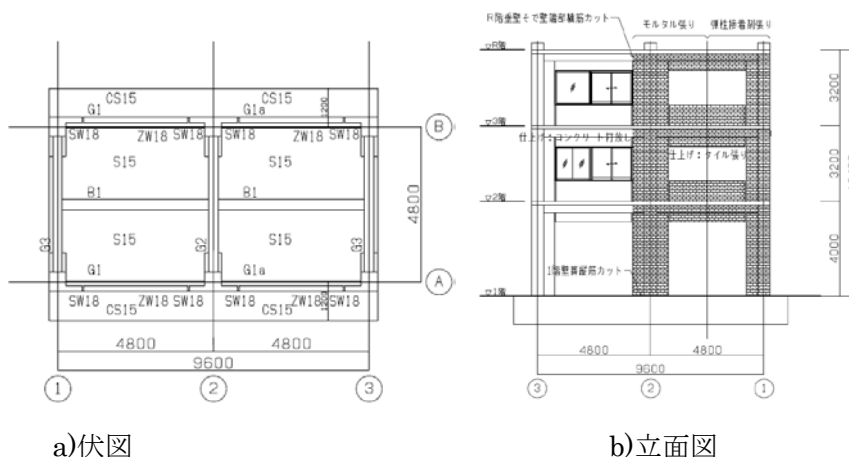


図 1-1 試験体形状

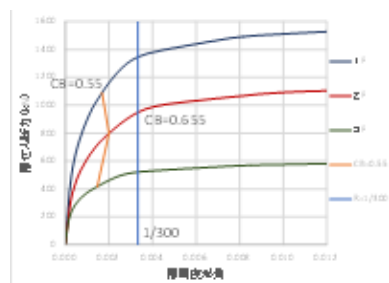


図 1-2 静的増分解析結果

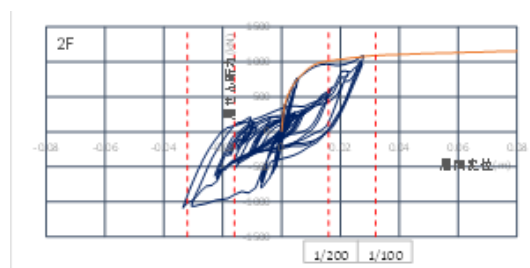


図 1-3 地震応答解析結果

### 2) 新しい壁端部ディテールを採用した袖壁付柱の追加性能確認実験

平成 29 年度は保有水平耐力規準<sup>1)</sup>に基づくみなし FA となる拘束域および ACI 規準<sup>2)</sup>に基づく耐震部材の拘束域を満足し、壁縦筋を定着させない袖壁付柱の有効性を検証した。その結果、袖

壁の増設による初期剛性および耐力の増大が確認された。また、拘束域が異なる試験体において顕著な構造性能の差異は認められなかった。そこで、平成 30 年度は袖壁の拘束域の構造詳細を大幅に緩和した袖壁付柱を対象とし、袖壁縦筋の定着の有無を実験変数とする静的載荷実験を行い、各試験体の構造性能や損傷経過について検討した。

図 2-1 に試験体配筋図を、図 2-2 に同試験体の断面図を示す。実験変数は上記の通り袖壁縦筋の定着の有無である。図 2-3 に両試験体のせん断力－変形角関係を示す。壁縦筋を定着させた試験体は定着なしの試験体より初期剛性および最大耐力が増大した。ただし、前者は壁縦筋を定着させたことで、後者と比べ壁縦筋の降伏や座屈が早期に発生し、壁脚部の圧壊も早期に発生したため、変形性能は壁縦筋を定着させない試験体の方が高いことを確認した。また平成 29 年度の試験体と比較すると、平成 30 年度は拘束域の構造詳細を大幅に緩和したことで両試験体ともに最大耐力後の耐力低下を示し、変形性能を議論するための実験結果が得られた。

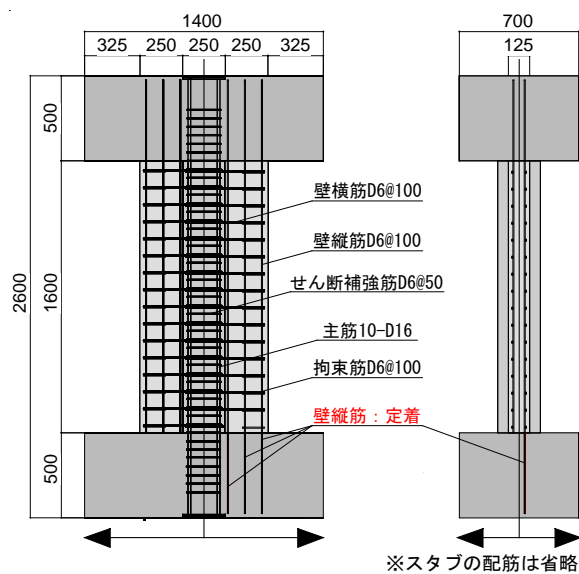


図 2-1 袖壁付き柱試験体の配筋図  
(左：壁筋定着なし，右：壁筋定着)

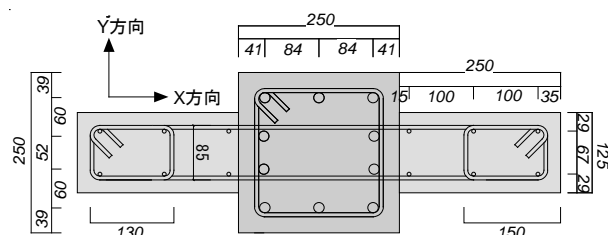


図 2-2 袖壁付き柱試験体の断面図

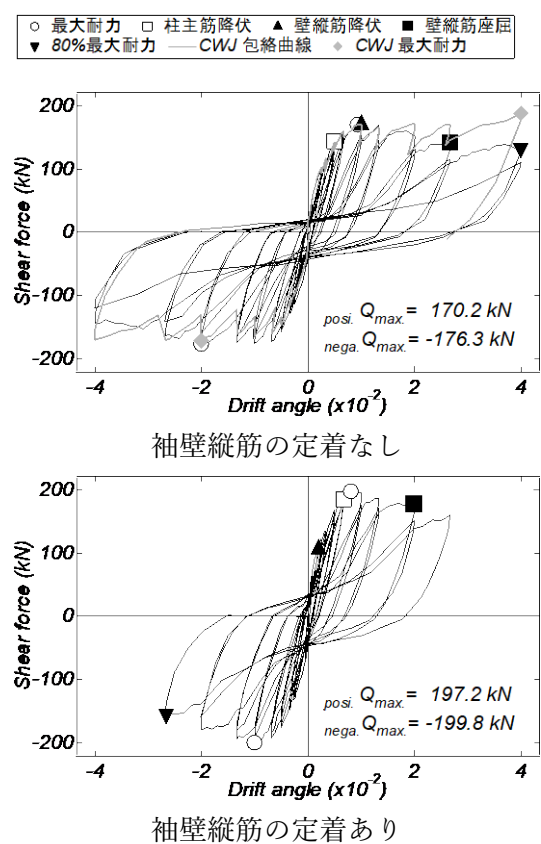


図 2-3 せん断力－変形角関係

### 3) 新しい壁端部ディテールを採用した腰壁・垂れ壁付き梁の追加性能確認実験

本研究では壁付き部材の壁端部を模擬した試験体の構造実験により、新しい壁端部ディテールにおける拘束筋と壁筋の定着が壁部材の損傷に及ぼす影響について考察を行った。図 3-1 に試験体形状を示す。試験体は壁付き部材の壁端部を模擬しており、片持梁形式で繰り返し載荷を行った。試験体は 6 体であり、壁筋比および壁筋の定着の有無、拘束筋の有無、壁厚をパラメータと

している。コンクリート強度は  $36\text{N/mm}^2$  である。図 3-2 に試験体 12NA, 12HN の変形角 1/50 後のひび割れ性状を示す。いずれの試験体においても壁端部においてコンクリートの圧壊が生じたが、壁筋定着をせず拘束筋を配した試験体 12HN よりも壁筋定着している試験体 12NA の損傷が大きかった。図 3-3 に試験体 12NA, 12HN, 4NN (壁筋定着なし, 壁筋量小) の荷重-変形関係を示す。正側は壁端が圧縮となる加力である。最大耐力は試験体 12NA, 12NH とも概ね等しかったが、最大耐力以後において壁筋を定着した試験体 12NA の耐力低下が顕著であった。以上から壁筋の定着を除去し拘束筋を配することで、壁筋定着時と同等の耐力と大きな靱性能を期待できることがわかった。

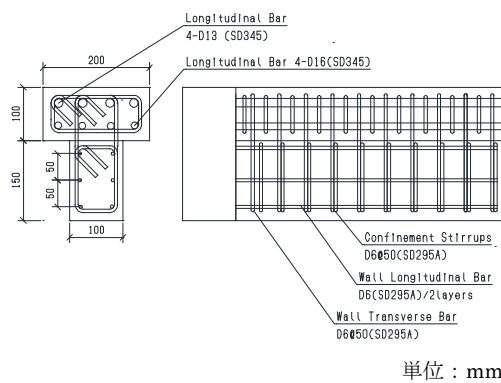


図 3-1 試験体形状(12HN)

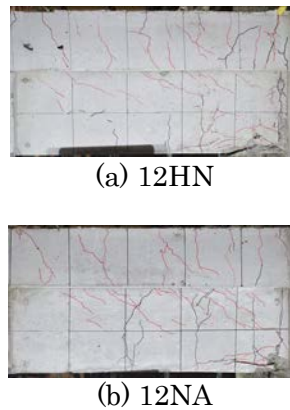


図 3-2 ひび割れ性状

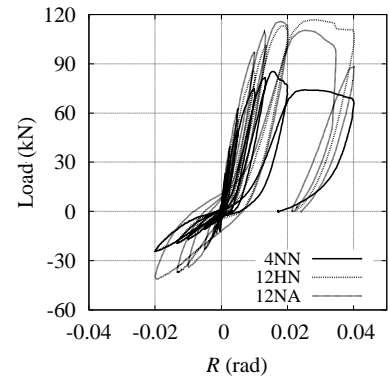


図 3-3 荷重-変形関係

#### 4) 光ファイバセンサによる外装タイルの剥離検知

地震作用時に外装タイルと躯体との接着一体性は低下し、剥離・剥落を引起す場合がある。外装タイルの剥離・剥落を検知する手法としては打音検査が一般的であるが、検査に時間を要するため、巨大地震下における被害推定、機能継続可否・機能損失度を即時に判定する手法としては適していない。

従来、外装タイルの剥離はタイルと下地コンクリートの間のひずみ差(ディファレンシャルムーブメント)によって評価できると考えられ、ひずみ追従性が検討されてきた。ひずみを測定するセンサとしては一般的にひずみゲージが用いられてきたが、ひずみゲージそのものが剥離の起点になる可能性を否定できない。本実験では、極細径の光ファイバセンサを用いることで、タイルの接着性能に影響を与えない環境で剥離検知モニタリングを実施した。その結果、打音検査でタイルに剥離音の発生が生じる直前の载荷サイクルで光ファイバセンサのひずみが不連続な挙動を示し、光ファイバセンサによるタイルの剥離検知が可能であることが示された。



図 4-1 試験の様子

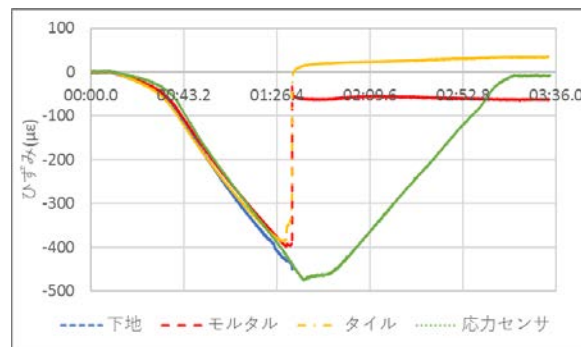


図 4-2 光ファイバセンサにより得られた各層のひずみ履歴

## 5) 天井材の画像解析による損傷検知

本研究では天井材の損傷を検知する方法として、画像解析を用いる方法について検討を行った。天井材の画像を被災前後で撮影し、その変化を比較することにより損傷の検知する技術の検証を行った。図 5-1 は天井材のひび割れおよび落下を再現した画像から差分を求めたものである。画像下の数値が画像の変化率であり、天井材の被害面積により大きくなることがわかる。以上の検証から、被災前後の画像の比較により損傷を検知することが可能であり、画像の差分量を数値化することで損傷の程度を定量化することが可能であり、損傷度を求めることができることがわかった。

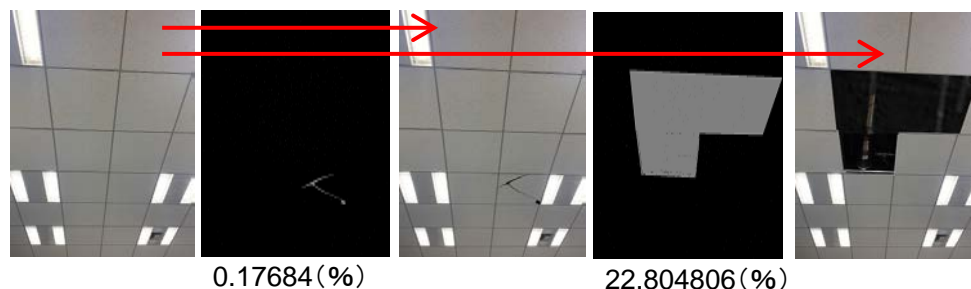


図 5-1 天井材の被害の検知

### (c) 結論ならびに今後の課題

本年度は、来年度に実施予定の震動台実験用の試験体の設計と積算を終えることが出来た。新しいディテールを有する柱と梁の構造性能の追加実験を実施することができた。光ファイバーを用いたタイル仕上げの損傷劣化検知に関する基本情報を得ることが出来た。特に建築構造分野以外の技術利用部分も多いので、今後もプロジェクトの進捗と方向性について、密に情報共有を行う。

### (d) 引用文献

- 1) 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造保有水平耐力計算規準（案）・同解説，2016
- 2) American Concrete Institute: Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-14) and Commentary (ACI318R-14), 2014

### (e) 学会等発表実績

#### 1) 学会等における口頭・ポスター発表

発表成果（発表題目、口頭・ポスター発表の別）	発表者氏名	発表場所（学会等名）	発表時期	国際・国内の別
耐力向上と損傷抑制を目的とした壁縦筋を定着しない袖壁付柱部材の開発研究（その 3）壁縦筋の定着の有無を変数とした袖壁付柱の静的載荷実験（実験計画と構造性能）、口頭	張政, 真田靖士, 楠浩一, 日比野陽, 向井智久ほか	日本建築学会 学術講演梗概集	2019年9月 (投稿中)	国内
耐力向上と損傷抑制を目的とした壁縦筋を定着しない袖壁付柱部材の開発研究（その 4）壁縦筋の定着の有無を変数とした袖壁付柱の静的載荷実験（損傷状況の比較）、口頭	百家祐生, 真田靖士, 楠浩一, 日比野陽, 向井智久ほか	日本建築学会 学術講演梗概集	2019年9月 (投稿中)	国内

耐力向上と損傷抑制を目的とした壁縦筋を定着しない袖壁付柱部材の開発研究（その1）実験計画、口頭	椿美咲子，真田靖士，楠浩一，日比野陽，向井智久ほか	日本建築学会 学術講演梗概集	2018年9月	国内
耐力向上と損傷抑制を目的とした壁縦筋を定着しない袖壁付柱部材の開発研究（その2）実験結果、口頭	張政，真田靖士，楠浩一，日比野陽，向井智久ほか	日本建築学会 学術講演梗概集	2018年9月	国内
壁筋の定着を除去した二次壁を有する鉄筋コンクリート梁部材の耐震性能評価、口頭発表	森悠吾，日比野陽，楠浩一，真田靖士，向井智久森悠吾ほか	日本建築学会 大会学術講演会	2018年9月	国内
災害拠点建物の安全度即時評価および継続使用性即時判定（その1 試験体設計）、口頭	深井悟，楠浩一，ヤオトレポー	日本建築学会 学術講演梗概集	2019年9月 (投稿中)	国内
災害拠点建物の安全度即時評価および継続使用性即時判定（その2 非線形解析）、口頭	ヤオトレポー，楠浩一，深井悟	日本建築学会 学術講演梗概集	2019年9月 (投稿中)	国内
外装タイルの剥離検知モニタリング技術の確立に関する研究、口頭	松原大祐，大久保孝昭，寺本篤史，楠浩一，日比野陽ほか	日本建築学会 中国支部研究 発表会梗概集	2019年3月	国内
外装タイルの剥離検知モニタリング技術の確立に関する研究～その1 タイル外壁の剥離検知モニタリングにおける基礎的検討～、口頭	松原大祐，大久保孝昭，寺本篤史，楠浩一，日比野陽ほか	日本建築学会 学術講演梗概集	2019年9月 (投稿中)	国内
外装タイルの剥離検知モニタリング技術の確立に関する研究～その2 光ファイバセンサを用いた実験的検討～、口頭	関根麻里子，大久保孝昭，寺本篤史，楠浩一，日比野陽ほか	日本建築学会 大会学術講演会	2019年9月 (投稿中)	国内

## 2) 学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載論文（論文題目）	発表者氏名	発表場所 (雑誌等名)	発表時期	国際・国内の別
壁縦筋を定着させない袖壁付き柱の構造性能の実験的評価なし	椿美咲子，真田靖士，張政，楠浩一，日比野陽，向井智久	日本建築学会 構造系論文集， Vol.84， No.762	2019年8月 (採択)	国内

## 3) マスコミ等における報道・掲載

- なし

**(f) 特許出願, ソフトウェア開発, 仕様・標準等の策定**

**1) 特許出願**

- ・ なし

**2) ソフトウェア開発**

- ・ なし

**3) 仕様・標準等の策定**

- ・ なし

**(3) 平成31年度業務計画案**

- ・ 昨年度設計した、天井・窓サッシ・外壁タイル、屋上配管を有する実大3層試験体を作成し、1方向入力により、加振実験を行う。それにより、入力レベル、建物の応答レベルと構造・非構造部材の被害程度の関係を検討し、建物の災害拠点としての継続利用性を判断する。更に、建物に設置した加速度計により、建物の損傷度を自動検知し、通知するシステムの有効性を確認するとともに、カメラや光ファイバーケーブルを用いた非構造部材の被害把握技術の基礎資料を収集する。