

## 杭基礎に被害を受けた学校建物の耐震性能に関する研究 (その1) 上部構造モデルによる検討

鉄筋コンクリート造 上部構造モデル 荷重増分解析  
2011年東北地方太平洋沖地震

|     |                     |   |                    |
|-----|---------------------|---|--------------------|
| 正会員 | ○東田実樹* <sup>1</sup> | 同 | 秋田知芳* <sup>2</sup> |
| 同   | 稲井栄一* <sup>3</sup>  | 同 | 向井智久* <sup>4</sup> |
| 同   | 柏尚稔* <sup>5</sup>   | 同 | 平出務* <sup>4</sup>  |
| 同   | 金子治* <sup>6</sup>   |   |                    |

### 1. はじめに

2011年東北地方太平洋沖地震において、杭基礎に被害を受けた建物が多く見られた<sup>1),2)</sup>。本研究では、2011年東北地方太平洋沖地震によって、杭基礎に被害を受けた学校建物の解析を実施し、その耐震性能を明らかにすると共に、被害要因の解明を試みる。本報その1では、上部構造モデルの荷重増分解析を行って、上部構造の耐震性能および杭に作用するせん断力や軸力について検討する。

### 2. 解析対象建物概要

解析対象は、2011年東北地方太平洋沖地震の被害に遭った学校建物で、杭基礎を有する3階建てのRC造建物である。図1に基礎伏図を示す。地下階はなく、桁行方向(以下X方向と呼ぶ)が11スパンのラーメン構造(一部耐震壁)、梁間方向(以下Y方向と呼ぶ)が5スパンの耐震壁を含むラーメン構造である。本建物に配置されている壁の大半には開口が設けられている。基礎は杭打ち独立基礎で、杭にはPHC杭(B種)400φが用いられている。杭長は1~4通りが13m、5~9通りが14m、10~12通りが16mである。地盤は第2種地盤である。既往の報告<sup>3)</sup>によると上部構造は9、10通りの柱と壁に、幅1~2mmのひび割れが見られたが、コンクリートの剥落はわずかで、鉄筋は露出していない。下部構造は10~12通りの杭頭が圧壊しており、PC鋼材が露出し変形もしていた。さらに、9通りを境に東側に建物が沈下していた。なお、液状化は見られなかった。

### 3. 解析概要

解析モデルは、上部構造(基礎梁含む)をモデル化した立体骨組とする。柱部材や梁部材を線材に置換したフレームモデルとしている。梁部材は材端ばねモデルとし、曲げに対するスケルトンカーブは曲げひび割れ、曲げ降伏を考慮したトリリニア型とする。柱部材はマルチスプリングモデルとし、壁部材はエレメント置換して材端ばねモデルとする。荷重増分解析に用いる水平力分布はAi分布に基づいて設定し、最大層間変形角が0.02radに達した時点で解析を終了した。解析にあたり、対象建物をそのままモデル化したOモデルと、対象建物から全ての壁を取り除いてモデル化したFモデルの2つのモデルを作成した。それぞれのモデルに対して、X方向、Y方向の正負に載荷し、合わせて8ケースの解析を行った。図1の左から右、下から上へ載荷する方向を正方向と

する。正負の結果を比較した際にほとんど差がなかったため、本論では正方向のケースのみを示す。

## 4. 解析結果

### 4.1 荷重-変形関係

層せん断力(Q) - 層間変形角(R) 関係について、OモデルとFモデルを比較したものを図2に示す。X方向の1階の層せん断力は、変形角が0.02radの時点で、OモデルがFモデルの約2.2倍である。これは、X方向に開口付の壁が非常に多く配置されているため、フレームのみのFモデルに比べて耐力が非常に大きくなっていると考えられる。また、Y方向の1階の層せん断力は、変形角が0.02radの時点で、OモデルがFモデルの約3.5倍である。

### 4.2 ベースシア係数-代表変形角関係

ベースシア係数(C<sub>B</sub>)と代表変形角(R<sub>r</sub>)の関係について、OモデルとFモデルを比較したものを図3に示す。代表変形角は3階床の変形量を建物の3階床の高さで割ったものとする。ベースシア係数は、X方向のR<sub>r</sub>が0.01radの時点で、OモデルがFモデルの約2.2倍、Y方向のR<sub>r</sub>が0.01radの時点で、OモデルがFモデルの約3.8倍である。

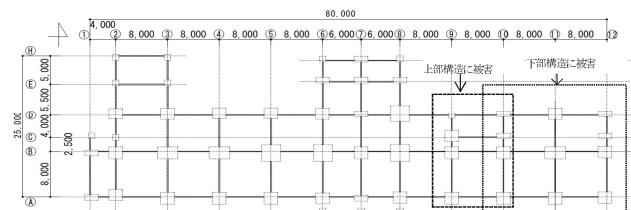


図1 基礎伏図

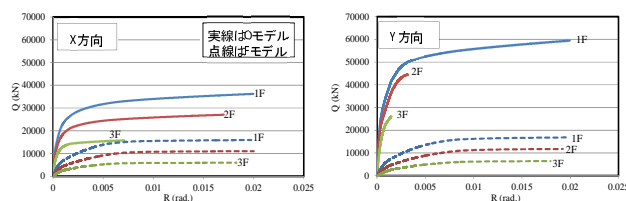


図2 層せん断力-層間変形角関係

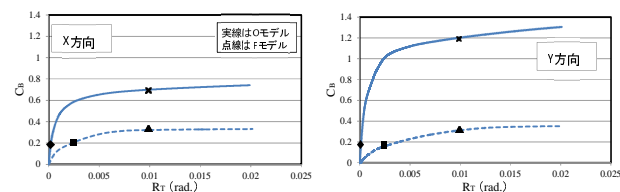
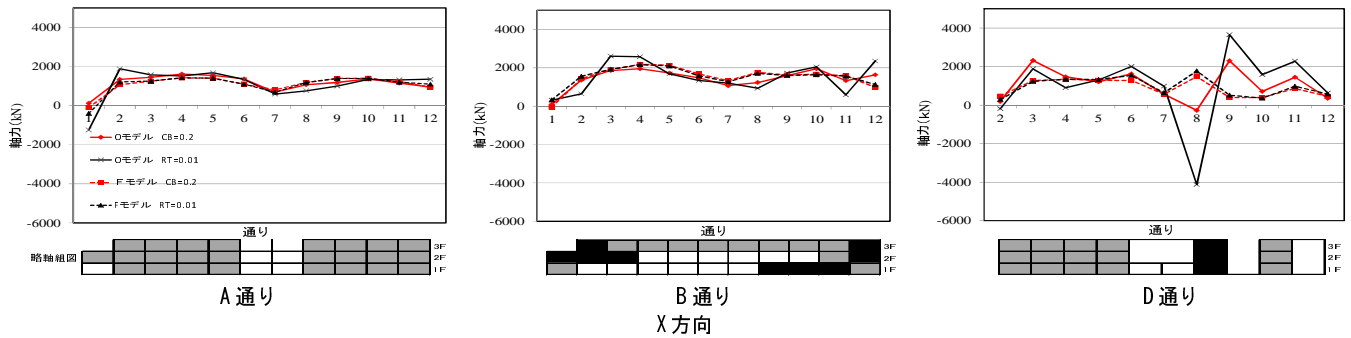
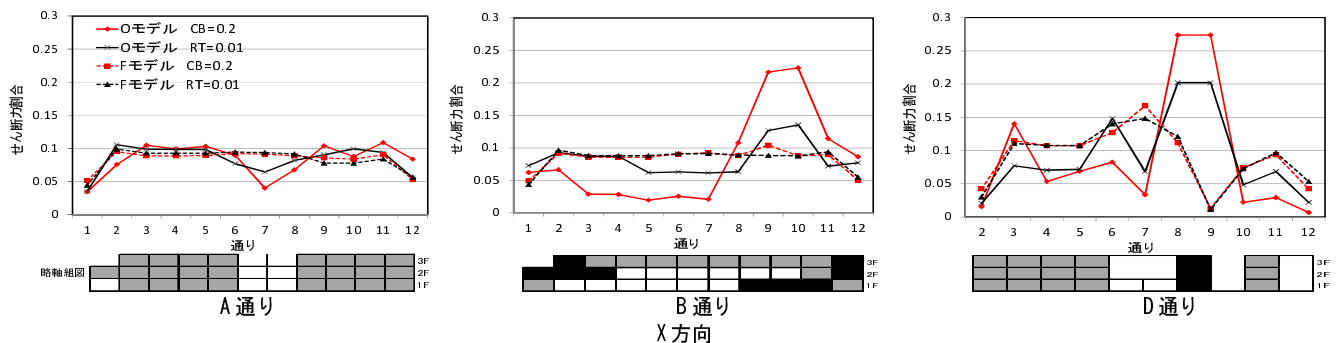


図3 ベースシア係数-代表変形角関係



略軸組図中の黒色、灰色はモデル化上それぞれ耐震壁、二次壁を示す。

図4 杭頭に作用する軸力



略軸組図中の黒色、灰色はモデル化上それぞれ耐震壁、二次壁を示す。

図5 杭頭に作用するせん断力

### 4.3 杭頭に作用する軸力

杭頭に作用する軸力を図4に示す。ここでの杭頭に作用する軸力とは、上部構造の鉛直支点反力とする。図中の略軸組図の黒塗りは、モデル化上耐震壁としてみなしている部分を表す。ここでは、一次設計時に相当する  $CB=0.2$  の時点と、概ね保有水平耐力に達していると判断できる  $RT=0.01$  の時点の値を示している。図3にOモデルの  $CB=0.2$  (◆印)、 $RT=0.01$  (×印)、Fモデルの  $CB=0.2$  (■印)、 $RT=1/100$  (▲印) の位置をそれぞれ示す。Oモデルの  $CB=0.2$  時点は建物にひび割れがわずかに発生している状態と考えられ、この時の値が本建物の地震時の状態に対応すると仮定して検討を行う。Oモデルの  $CB=0.2$  の時を見ると、杭頭が圧壊していた10~12通りは、杭頭が圧壊していない1~9通りと比較して、特に大きな軸力は作用しておらず、必ずしも被害が生じた位置で変動軸力が大きいというわけではない。また、変形が大きくなると耐震壁がある場所で軸力変動も大きくなる事が分かる。

### 4.4 杭頭に作用するせん断力

杭頭に作用する各通りのせん断力の割合を図5に示す。せん断力の割合は、各節点に作用するせん断力を通りに作用するせん断力の合計で割って求めている。なお、ここでの杭頭に作用するせん断力とは、上部構造の水平支点反力とし、基

礎部分に作用する慣性力は含まれてないX方向についてOモデルの  $CB=0.2$  の時を見ると、耐震壁が存在する場所でせん断力の負担が大きくなる傾向がある事が分かる。せん断力の負担が大きい場所は東側(8~11通り)にあり、東側(9~12通り)で被害が生じた一因になっていると推測できる。

### 5. まとめ

上部構造モデルによる検討で得られた知見を以下に示す。

(1) 解析対象とした学校建物は、耐震壁および雑壁が比較的多く配置されているため耐力が大きくなる傾向があり、X方向では耐震壁および雑壁を取り除いたFモデル ( $CB=0.32$ 、 $RT=0.01$  時)と比較すると、耐力は約2.2倍 ( $CB=0.7$ 、 $RT=0.01$  時)となった。

(2) 杭頭に作用するせん断力を検討した結果、杭頭の被害が集中した建物の東側で、耐震壁の影響によりせん断力の負担が大きくなる傾向があった。耐震壁による応力の集中が、杭被害の一因となっていた可能性がある。

#### 参考文献

- 1) 日本建築学会:2011年東北地方太平洋沖地震被災調査速報 577pp、2011.7
- 2) 日本建築学会文教施設委員会耐震性能等小委員会:文教施設の耐震性能等に関する調査研究報告書、507pp、2012.3
- 3) 金子治、中井正一:東日本大震災において被害を受けた杭基礎の耐震性の評価、日本建築学会構造系論文集、第695号、pp.83-91、2014.1

\*1 山口大学大学院理工学研究科 大学院学生

\*2 山口大学大学院創成科学研究科講師 博士(工学)

\*3 山口大学大学院創成科学研究科教授 博士(工学)

\*4 国立研究開発法人 建築研究所 博士(工学)

\*5 国土技術政策総合研究所 博士(工学)

\*6 戸田建設株式会社技術開発センター 博士(工学)

Graduate Student, Graduate School of Science and Engineering, Yamaguchi Univ.

Lecturer, Graduate School of Science and Technology for Innovation, Yamaguchi Univ., Dr. Eng.

Professor, Graduate School of Science and Technology for Innovation, Yamaguchi Univ., Dr. Eng.

Building Research Institute, Dr. Eng.

National Institute for Land and Infrastructure Management, Dr. Eng.

Toda Corporation, Dr. Eng.