

## 1) - 2 平成 28 年熊本地震における鉄筋コンクリート建造物の被害要因の分析【安全・安心】

### Study on damage analysis of reinforced concrete buildings on Kumamoto earthquake

(研究開発期間 平成 28 年度)

構造研究グループ  
Dept. of Structural Engineering

中村聡宏  
NAKAMURA Akihiro

向井智久  
MUKAI Tomohisa

田沼毅彦  
TANUMA Takehiko

坂下雅信  
SAKASHITA Masanobu

On Kumamoto earthquake, some damaged reinforced concrete buildings were reported. In this study, the specific damage of reinforced concrete building on Kumamoto earthquake were classified. Some reinforced concrete buildings with a soft-first story designed due to the current code were seriously damaged. The damage analysis for a damaged reinforced concrete building was conducted based on the on-site damage investigation and design document.

#### 【研究開発の目的及び経過】

平成 28 年 4 月 14 日と 4 月 16 日に連続して発生し、最大震度 7 を記録した平成 28 年熊本地震では、熊本県内の鉄筋コンクリート造建築物の被害が多数確認された。特徴的な被害としては、①ピロティ構造などの弱点層を有する構造物の大破・倒壊、②非耐力壁の大破、③鉄筋コンクリート造建築物の継続使用性阻害などが挙げられる。特に、①のピロティ構造などの弱点層を有する構造物の被害は、人的被害や二次災害につながる危険な被害であり、極力避けるべき被害である。

ピロティ構造物の設計に関しては、兵庫県南部地震においてピロティ構造物に甚大な被害が生じたことを受け、1995 年にピロティ構造に関する告示が改正され、剛性率に基づく割増係数  $F_s$  の上限が廃止された。また、1997 年版建築物の構造規定<sup>2)</sup>では、「ピロティ階での層崩壊形式を許容しない設計方針」が提示された。ここでは、ピロティ階に上階から連続する耐力壁を設け、ピロティ階の変形集中や軸支持能力低下を避けることが推奨されている設計方針である。さらに、2007 年版建築物の構造関係技術基準解説書<sup>2)</sup>では、「ピロティ階の層崩壊形式および全体崩壊形式を許容する設計法」が追記され、ピロティ階柱の軸引張降伏で決まる全体曲げ崩壊形、もしくは、ピロティ階柱上下が曲げ降伏することで決まる層崩壊形を保証するための設計手法が示された。

熊本地震において、大破以上の被害が確認されたピロティ構造物が複数確認された。その中には、1981 年以前に設計された建築物だけでなく、1981 年以降の現行基準に基づき設計された建築物も含まれ、中には 1995 年の告示改正以降に設計された建築物も存在する。

本研究では、熊本地震における鉄筋コンクリート造建築物の被害を収集・整理し、現行基準に関わる問題点の有無を明らかにするとともに、特にピロティ構造などの弱点層を有する構造物における建築物被害の被害要因を分析することを目的とする。

#### 【研究開発の内容】

熊本地震で被災した鉄筋コンクリート造建築物の情報を収集・整理し、大破以上の被害を受けた建築物を中心に現地での詳細調査を実施した。被害状況を設計年代ごとに整理し、典型的な被害について整理した。

1981 年以降に設計された建築物で、大破以上の被害を受けたピロティ構造物については、現地被害調査に加えて、対象建築物の設計図書や構造計算書などの設計情報を取得し、設計情報と現地被害の状況を照らし合わせ、対象建築物の被害要因を明らかにした。

#### 【研究開発の結果】

1981 年以降に設計された新耐震建築物においては、倒壊・崩壊等の被害は確認されなかったが、1) 下階壁抜け構造（ピロティ構造）部の柱の曲げ・せん断・軸応力による損傷、2) 純ラーメン架構の部分崩壊と過大な残留変形、3) 杭基礎部の被害に起因する建築物の傾斜が確認された。また、構造部材や非構造壁、エキスパンションジョイントやその周辺部の損傷により継続使用性が阻害される例も確認された。

1981 年以前に設計された旧耐震建築物においては、4) 柱や柱梁接合部の大きな損傷による倒壊または部分崩壊が確認された。また、耐震改修された建築物においては、倒壊・崩壊等の被害は確認されなかったが、基礎構造の被害や構造部材の損傷が大きい例が確認された。

1981 年以降に設計された新耐震建築物で、大破相当

の被害を受けた例は 5 件確認された。その中で、1997 年に設計された 4 階建ての鉄筋コンクリート造建築物（写真 1）の被害要因の分析を行った。2 階梁伏図を図 1 に、張間方向立面図を図 2 に示す。桁行方向は純ラーメン構造であり、張間方向は 2 階以上に耐力壁のある純ピロティ構造となっている。桁行方向 10 スパン、張間方向 1 スパンであり、桁行方向に対称な平面プランである。1×1 スパン(例えば X1-X2×Y1-Y7)または 1×2 スパン(X5-X6×Y2-Y6)でグルーピングされており、グループ間は床スラブのみで接続された構造となっている。なお耐力壁周辺には部分スリットが設けられている。

被害は、1 階ピロティ柱の柱頭部での曲げ・軸方向破壊である(写真 2)。被災度区分判定基準<sup>3)</sup>に従い、部材損傷度を判定した結果を図 1 中に示す。本対象建築物においては、耐震性能残存率 R=21(%)となり、「大破」の判定となった。なお、同団地内には同時期に建設された 3 階建てないし 4 階建ての壁式 RC 造共同住宅が 15 棟存在するが、外観調査では構造部材に対する被害は確認されなかった。

設計情報（設計図、構造計算書）を取得し、被害要因の分析を行った。設計はルート 3(保有水平耐力計算)で行われており、地域係数 Z は 0.8、外力分布は A<sub>i</sub> 分布である。部材種別は FA または WA となることから、D<sub>s</sub> は 0.3 (桁行全階、張間 1 階) および 0.4 (張間 2~4 階) で設計されている。架構モデルでは、床スラブのみで接続されている部分は両端ピンの梁でモデル化されている。剛性率の最小値はいずれの方向も 1 階となっており、桁行方向 (X 方向) が 0.812、張間方向 (Y 方向) が 0.474 であり、剛性率・偏心率に基づく必要保有水平耐力の割増係数 F<sub>es</sub> は 1.21 である。桁行方向は全体崩壊形(Q<sub>u</sub>/Q<sub>un</sub>=1.24)、張間方向は 1 階の層崩壊 (Q<sub>u</sub>/Q<sub>un</sub>=1.08)で設計されている。

対象建築物の被害要因としては、1) ピロティ階の強度不足、2) 部分スリットを有する耐力壁のモデル化が挙げられる。ピロティ階の強度については、崩壊メカニズムを層崩壊として設計している張間方向に関して、構造技術基準解説書<sup>2)</sup>におけるピロティ階の層崩壊を許容する設計法に従った場合、必要強度割増し係数 α<sub>p</sub> は 1.5 であり、本設計で採用された F<sub>es</sub> を上回る。また、部分スリットについては、当該建築物では完全スリットとしてモデル化されているが、部分スリットが応力を負担するために、転倒モーメントによるピロティ階柱の変動軸力が設計での想定よりも大きくなり、ピロティ階柱頭部での破壊を誘発した可能性がある。兵庫県南部地震においても、部分スリットのモデル化に起因する被害が



写真 1 建築物外観

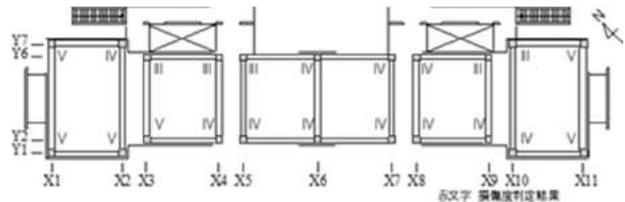


図 1 2階梁伏図および部材損傷度判定結果

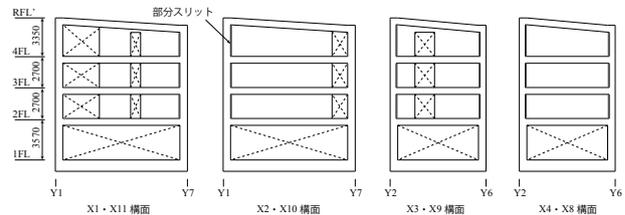


図 2 立面図



写真 2 X1-Y1柱の損傷状況  
(主筋座屈軸支持能力低下、損傷度 V)

報告されており、対象建築物における被害も同様の要因であると考えられる。

#### 【参考文献】

- 1) 国土技術政策総合研究所、建築研究所：平成 28 年（2016 年）熊本地震建築物被害調査報告（速報）、国総研資料 No.929、建研資料 No. 173、2016.9
- 2) 建築物の構造関係技術基準解説書編集委員会：2015 年版建築物の構造関係技術基準解説書、2015
- 3) 日本建築防災協会：震災建築物の被災度区分判定基準および復旧技術指針、2016.3