

# 建築研究資料

*Building Research Data*

No. 204

Oct. 2021

---

---

## 熊本地震で被災した 鉄筋コンクリート造建築物を対象とした 地震後継続使用確保に資する検討

Investigation for Post-Earthquake Functional Use for damaged R/C

Buildings due to the 2016 Kumamoto Earthquake

向井智久, 渡邊秀和, 坂下雅信, 鹿嶋俊英  
塩原等, 衣笠秀行, 谷昌典, 毎田悠承, 迫田丈志, 金子治, 田沼毅彦, 成田修英  
*Tomohisa MUKAI, Hidekazu WATANABE, Masanobu SAKASHITA,  
Toshihide KASHIMA, Hitoshi SHIOHARA, Hideyuki KINUGASA, Masanori TANI,  
Yusuke MAIDA, Joji SAKUTA, Osamu KANEKO, Takehiko TANUMA,  
Nobuhide NARITA*

---

---

国立研究開発法人 建築研究所

Published by

Building Research Institute

National Research and Development Agency, Japan

国立研究開発法人建築研究所、関係機関及び著者は、読者の皆様が本資料の内容を利用することで生じたいかなる損害に対しても、一切の責任を負うものではありません。

## はしがき

平成 28 年 4 月 14 日 21 時 26 分に熊本県熊本地方の深さ約 10km でマグニチュード(M) 6.5 の地震が発生し、上益城郡益城町で最大震度 7 を記録しました。さらに、約 28 時間後の 4 月 16 日 01 時 25 分に同地方の深さ約 10km で M7.3 の地震が発生し、上益城郡益城町で再度震度 7 を、また阿蘇郡西原村でも震度 7 を記録しました。これらの地震により、熊本県を中心に数多くの建築物に被害がもたらされました。これらの地震の発生を受け、建築研究所では国土交通省国土技術政策総合研究所と連携して、建築物を中心とした被害状況を把握し、今後の必要な対策等に活かすため、情報収集・現地調査・調査結果の Web 公開等のさまざまな活動を実施して参りました。現地調査は、国土交通省住宅局からの要請に基づき、木造建築物、鉄骨造建築物、鉄筋コンクリート造等建築物、地盤・基礎、免震建築物、非構造部材、建築設備、火災について 14 次に亘る調査班を派遣していますが、その検討と並行して、建築研究所指定課題「既存建築物の地震後継続使用のための耐震性評価技術の開発 (H28-30)」の自主調査として、庁舎建築物の継続使用性に関するヒアリング調査をはじめとして、鉄筋コンクリート造等建築物の被害要因の解明を目的として詳細な分析を実施しましたので、ここにその検討結果をとり纏めました。

本資料は、初動時点の短時間における現地調査の後に、より時間をかけた詳細な現地調査やそれらの調査結果に基づく解析検討により構成されています。その中では、主として 1981 年以降に設計された、または耐震補強等によって現行基準相当の耐震性能を保有したものの、被害の大きかった鉄筋コンクリート造等建築物を対象とした詳細な被害要因分析を実施しています。ここでの検討が今後より地震後の継続使用性を確保できる建築物の実現に貢献できることを期待しています。

令和3年10月

国立研究開発法人 建築研究所  
緑川 光正 (理事長)

# 熊本地震で被災した鉄筋コンクリート造建築物を対象とした 地震後継続使用確保に資する検討

## 概要

本資料は、2016年に発生した熊本地震により大きな被害を受けた鉄筋コンクリート造建築物を対象として、地震後の継続使用性に関する検討を纏めたもので、建築研究所の指定課題「既存建築物の地震後継続使用のための耐震性評価技術の開発（H28-30）」で実施した。

2章では、大きな震度が確認された庁舎建築物の建物管理者に対して、ヒアリングを実施し、地震後継続使用性の判断内容の把握を目的とした調査結果を纏めている。

3章では1981年以降に建設された5階建て鉄筋コンクリート造庁舎で、柱梁接合部の破壊により大破と判定した建築物に対して、建物管理者から提供を受けた設計図書や地震被害直後の写真情報を元に骨組解析モデルを用いて柱梁接合部の損傷性状評価に関する詳細分析を行っている。

4章では1981年以降に建設された10階建て鉄筋コンクリート造共同住宅で、下階壁抜けとなっている構面が多い、いわゆるピロティ形式であり、1層の柱のせん断破壊や2階梁端部の局所的な破壊等により大破と判定した建築物に対して、建物所有者との密接な連携により、解体時に現地調査を実施し、建物の詳細な調査に加え、現地において材料の抜き取り調査を行い、その結果を用いて有限要素解析による2階梁等が架構全体に与える影響に関する詳細分析を行っている。

5章では1981年以降に建設された4階建て鉄筋コンクリート造共同住宅で、各住戸間がスラブで接続されている特異なピロティ形式で、1層の柱端部が大きく破壊したために大破と判定した建築物に対して、建物管理者から提供を受けた設計図書情報を元に骨組解析による被害要因に関する詳細分析を行っている。なお、本建築物は大破と判定されたものの、その後補修補強工事によって2019年3月に再利用が可能な状態である。

6章では1981年以前に建設された2棟の10階建て鉄骨鉄筋コンクリート造共同住宅で、いずれも低層階の玄関周りの非耐力壁が大きく破壊した建築物に対して、建物管理者から提供を受けた設計図書や現地にて実施した微動計測、修復工事に関する情報に基づき、損傷状態並びに修復に要した期間を推定できる骨組解析モデルを用いた分析を行っている。

7章では1981年以前に建設され、その後耐震補強された3階建て鉄筋コンクリート造庁舎で、今回の地震で震度7を二度経験しており、杭部材の損傷により上部構造物が傾斜した建築物に対して、建物管理者から提供を受けた設計図書や現地にて実施した各種調査（特に杭基礎掘削調査、3次元レーザースキャナーや高解像度写真等の調査）による情報に基づき、その被害状況把握と被害要因に関する詳細分析（地盤を考慮した動的解析による検証など）を行っている。

8章では1981年以前に建設され、その後耐震補強された3階建て鉄筋コンクリート造庁舎で、短スパン梁や耐震壁並びに大きな居室の天井材や最上階の設備機器が損傷した建築物に対して、建物管理者から提供を受けた設計図書や現地にて実施したドローンによる高解像度写真撮影を行った調査による情報を元に耐震補強部材を考慮した被災度判定や部材の損傷度評価に関する分析を行っている。

9章では1981年以前に建設された5階建て鉄筋コンクリート造庁舎で、柱梁接合部の破壊による局部崩壊した建築物に対して、建物管理者との密接な連携により、解体時に現地調査を実施し、建物の詳細調査に加え、現地において材料の抜き取り調査を行い、その結果に基づく骨組解析モデルを用いて柱梁接合部の損傷性状評価に関する詳細分析を行っている。

# Investigation on Post-Earthquake Functional Use for damaged R/C Buildings due to the 2016 Kumamoto Earthquake

## Summary

This report summarizes a study on post-earthquake functional use of R/C Buildings that were damaged due to the 2016 Kumamoto earthquake. This study was conducted in research and development subject “Development on seismic performance evaluation techniques for existing buildings with post-earthquake functional use (2016-2018)”

In chapter 2, interviews with building managers of government buildings, where large seismic intensity were observed, are summarized. The interviews focused on the judgment of post-earthquake functional use of the buildings.

In chapter 3, investigations for a five-story reinforced concrete building constructed after 1981 are reported. Damage classification of the building was judged as severe damage due to the failure of beam-column joints. An analytical study is conducted using the design specifications provided by the building managers and photographic information after the earthquake. In this analysis, the building is modeled as a frame model to evaluate damage condition of beam-column joints.

In chapter 4, investigations for a ten-story reinforced concrete condominium building are reported. The building had soft first story and constructed after 1981. Damage classification of the building was judged as severe damage due to the shear failure of first story column and local failure of second floor beam. Detailed investigations for material sampling and damage investigation were conducted at the time of demolition works. Analytical study is conducted using the information. In this analysis, the building is modeled as finite element model for the effect of second floor beams on the overall building behavior.

In chapter 5, investigations for a four-story reinforced concrete condominium building are reported. The building had soft first story and constructed after 1981. Damage classification of the building was judged as severe damage due to the failure of first story column. Frame model analysis is conducted using the design specifications provided by the building managers to evaluate building damage. Although the building was judged as severe damage, the building is available for reuse from March 2019 because the building had been repaired and retrofitted properly.

In chapter 6, investigations for two ten-story steel reinforced concrete condominium buildings constructed before 1981 are reported. Both buildings were severely damaged due to failures of the non-structural walls around the entrances of the lower floors. Analytical study is conducted using the design specifications provided by the building managers, information of repair work and information from microtremor measurements were conducted at the site. In this analysis, the building is modeled as frame model to evaluate damage condition and required time for the repair work.

In chapter 7, investigations for a three-story reinforced concrete government building constructed before 1981 are reported. The building had seismic retrofit works before the 2016 Kumamoto earthquake occurred. The superstructure was tilted due to the damage of some piles. Analytical study is conducted to evaluate damage condition using the design specifications provided by the building managers and results

of several damage investigations (in particular, pile foundation excavating work, measurement using a 3D laser scanner or high-resolution photographs).

In chapter 8, investigations for a three-story reinforced concrete government building are reported. The building was constructed before 1981 and had seismic retrofit works before the 2016 Kumamoto earthquake occurred. In this building short-span beams, shear walls, ceiling materials of spatial rooms, and equipment on the roof floor were damaged. Analytical study is conducted using the design specifications provided by the building managers and high-resolution photographs taken by UAV (Unmanned Aerial Vehicle) on site. In this study, damage classification and damage evaluation considering seismic retrofit components are conducted.

In chapter 9, investigations for a five-story reinforced concrete government building constructed before 1981 are reported. The building was collapsed locally due to the failure of a beam-column joint. Detailed investigations for material sampling and damage investigation were conducted at the time of demolition works. Analytical study is conducted using the information. In this analysis, the building is modeled as frame model to evaluate damage condition of the beam-column joints.

Finally, the conclusions are summarized in chapter 10.

## 目次

### 第1章 はじめに

1.1.	背景と目的	1-1
1.2.	検討概要	1-1
1.2.1.	継続使用性に関するヒアリング調査	1-1
1.2.2.	建築物 A	1-2
1.2.3.	建築物 B	1-3
1.2.4.	建築物 C	1-4
1.2.5.	建築物 D	1-5
1.2.6.	建築物 E	1-6
1.2.7.	建築物 F	1-7
1.2.8.	建築物 G	1-8

### 第2章 継続使用性に関するヒアリング調査

2.1.	ヒアリング調査の概要	2-1
2.2.	ヒアリング調査及びその分析方法	2-2
2.3.	継続使用性判断の実態に関する調査・分析結果	2-3
2.3.1.	各庁舎の調査結果	2-3
2.3.2.	分析結果	2-22
2.3.3.	今後の課題	2-23
2.4.	追加調査	2-24
2.5.	まとめ	2-25
	参考文献	2-25

### 第3章 建築物 A に関する調査分析

3.1.	検討目的と方法	3-1
3.1.1.	検討目的	3-1
3.1.2.	検討方法	3-1
3.2.	建物概要	3-2
3.2.1.	所在地と構造形式	3-2
3.2.2.	構造計画の特徴	3-2
3.2.3.	構造体と使用材料	3-2
3.3.	被害概要	3-11
3.3.1.	被害状況	3-11
3.3.2.	被災度区分判定結果	3-11
3.4.	分析概要と結果	3-15
3.4.1.	柱梁接合部の構造性能指標と算出手法	3-15
3.4.2.	柱梁接合部の構造性能指標による被害要因の分析	3-18

3.4.3.	骨組解析モデルによる被害分析	3-20
3.4.4.	各モデルの解析結果	3-27
3.5.	まとめと今後の課題	3-32
	謝辞	3-33
	参考文献	3-33

#### 第4章 建築物Bに関する調査分析

4.1.	はじめに	4-1
4.2.	建物概要	4-1
4.3.	被害概要	4-3
4.3.1.	各部材の損傷状況	4-3
4.3.2.	被災度区分判定	4-4
4.3.3.	材料試験	4-5
4.4.	有限要素解析を用いた被害分析	4-8
4.4.1.	解析方法	4-8
4.4.2.	解析結果	4-9
4.4.3.	まとめ	4-18
4.5.	結論	4-20
4.5.1.	まとめ	4-20
4.5.2.	今後の課題	4-20
	謝辞	4-21
	参考文献	4-21

#### 第5章 建築物Cに関する調査分析

5.1.	検討目的と方法	5-1
5.1.1.	検討目的	5-1
5.1.2.	検討方法	5-1
5.2.	建物概要	5-2
5.2.1.	所在地と構造形式	5-2
5.2.2.	構造計画の特徴	5-2
5.2.3.	構造体と使用材料	5-2
5.3.	被害概要	5-27
5.3.1.	被害状況	5-27
5.3.2.	被災度区分判定結果	5-28
5.4.	分析概要と結果	5-30
5.4.1.	骨組解析モデルによる被害分析	5-30
5.4.2.	各モデルの解析結果	5-58
5.4.3.	現在推奨されているピロティの設計方法に基づく検討	5-67
5.5.	まとめと今後の課題	5-75



謝辞	5-77
参考文献	5-77

## 第6章 建築物Dに関する調査分析

6.1.	検討目的と方法	6-1
6.1.1.	検討目的	6-1
6.1.2.	検討方法	6-1
6.2.	建物概要	6-2
6.2.1.	構造形式	6-2
6.2.2.	構造計画の特徴	6-3
6.2.3.	構造体と使用材料	6-4
6.3.	被害概要	6-18
6.3.1.	簡易調査	6-18
6.3.2.	詳細調査	6-20
6.3.3.	Exp. J. 変位	6-23
6.3.4.	常時微動測定記録	6-24
6.4.	分析概要と結果	6-25
6.4.1.	非耐力壁に関する被害分析	6-25
6.4.2.	杭に関する分析	6-92
6.4.3.	アンケート調査	6-102
6.5.	まとめと今後の課題	6-118
6.5.1.	非耐力壁に関する分析	6-118
6.5.2.	杭に関する分析	6-118
6.5.3.	アンケート調査	6-118
	謝辞	6-119
	参考文献	6-119

## 第7章 建築物Eに関する調査分析

7.1.	序論	7-1
7.1.1.	はじめに	7-1
7.1.2.	建築基礎構造について	7-2
	参考文献	7-14
7.2.	地震概要	7-16
	参考文献	7-20
7.3.	対象建築物について	7-21
7.3.1.	敷地および地盤概要	7-21
7.3.2.	建築物概要および耐震改修概要	7-27
7.3.3.	耐震診断結果と耐震改修後の診断結果	7-29
7.3.4.	建築物の図面	7-30

	参考文献	7-48
7.4.	地震被害状況	7-49
7.4.1.	上部構造の被害状況	7-49
7.4.2.	基礎構造の被害状況	7-105
7.4.3.	材料試験	7-144
7.4.4.	被災度区分判定	7-150
7.4.5.	地震後継続使用性に関するヒアリング結果	7-167
	参考文献	7-169
7.5.	解析モデルを用いた被害分析	7-170
7.5.1.	解析方法	7-170
7.5.2.	上部構造のモデル化と静的増分解析結果	7-171
7.5.3.	入力地震動の分析	7-221
7.5.4.	基礎構造物のモデル化および地盤モデル	7-224
7.5.5.	上部構造の動的解析結果と被害分析	7-234
7.5.6.	基礎構造の動的解析結果と被害分析	7-279
	参考文献	7-298
7.6.	結論	7-299
7.6.1.	まとめ	7-299
7.6.2.	今後の課題	7-301
	謝辞	7-302

## 第8章 建築物Fに関する調査分析

8.1.	検討目的と方法	8-1
8.1.1.	調査の目的	8-1
8.1.2.	調査者	8-1
8.1.3.	調査日程	8-1
8.2.	建物概要	8-2
8.3.	被害概要	8-2
8.3.1.	損傷度	8-2
8.3.2.	被害状況写真	8-4
8.3.3.	損傷度上部構造の耐震性能残存率Rによる判定（層崩壊）	8-5
8.3.4.	被害概要のまとめ	8-6
8.4.	分析概要と結果	8-7
8.4.1.	調査項目とその概要	8-7
8.4.2.	調査に用いた使用機材（カメラ，ドローン，ゴーグル）の仕様	8-11
8.4.3.	調査の結果と考察	8-15
8.5.	まとめと今後の課題	8-42
	謝辞	8-42
	参考文献	8-42

## 第9章 建築物Gに関する調査分析

9.1.	検討目的と方法	9-1
9.1.1.	検討目的	9-1
9.1.2.	検討方法	9-1
9.2.	建物概要	9-2
9.2.1.	所在地と構造形式	9-2
9.2.2.	構造計画の特徴	9-2
9.2.3.	構造体と使用材料	9-3
9.2.4.	材料試験	9-12
9.3.	被害概要	9-21
9.4.	分析概要と結果	9-26
9.4.1.	柱梁接合部の構造性能指標と算出手法	9-26
9.4.2.	柱梁接合部の構造性能指標による被害要因の分析	9-28
9.4.3.	柱梁接合部破壊後の鉛直力の代替指示機構の検討	9-31
9.4.4.	骨組解析モデル	9-34
9.4.5.	考察	9-53
9.5.	まとめと今後の課題	9-59
	謝辞	9-59
	参考文献	9-59

## 第10章 結論

10.1.	まとめと今後の課題	10-1
10.1.1.	継続使用性に関するヒアリング調査	10-1
10.1.2.	建築物A	10-1
10.1.3.	建築物B	10-1
10.1.4.	建築物C	10-2
10.1.5.	建築物D	10-3
10.1.6.	建築物E	10-4
10.1.7.	建築物F	10-5
10.1.8.	建築物G	10-6

## 執筆者一覧

- 第1章 向井智久（建築研究所）・渡邊秀和（建築研究所）
- 第2章 向井智久（前述）・坂下雅信（国総研）・渡邊秀和（前述）
- 第3章 塩原等（東京大学工学系研究科）・向井智久（前述）
- 第4章 谷昌典（前述）・坂下雅信（前述）・向井智久（前述）
- 第5章 向井智久（前述）・衣笠秀行（東京理科大学）
- 第6章 向井智久（前述）・衣笠秀行（前述）・鹿嶋俊英（建築研究所）・田沼毅彦（UR 都市機構）
- 第7章 渡邊秀和（前述）・向井智久（前述）・迫田丈志（堀江建築工学研究所）・金子 治（広島工業大学/戸田建設）・成田修英（戸田建設）
- 第8章 毎田悠承（東京工業大学/国総研/建研）・向井智久（前述）・渡邊秀和（前述）
- 第9章 塩原等（前述）・向井智久（前述）
- 第10章 向井智久（前述）・渡邊秀和（前述）