

# 建築研究資料

*Building Research Data*

No. 208

July 2023

## 既存 RC 造ピロティ建築物の 迅速な補強工法に関する研究

Study on Quick-Retrofit Method for  
Existing Reinforced Concrete Soft-First Story Building

向井智久, 渡邊秀和, 谷昌典,  
堀伸輔, 前川利雄, 服部翼, 松浦恒久, 松本大亮, 西村英一郎  
*Tomohisa MUKAI, Hidekazu WATANABE, Masahiro TANI,*  
*Shinsuke HORI, Toshio MAEGAWA, Tsubasa HATTORI,*  
*Tsunehisa MATSUURA, Daisuke MATSUMOTO, Eiichiro NISHIMURA*

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

鉄筋コンクリート造共同住宅では1階に空間を要する場合が多い関係から、1階部分の耐力壁が少なくなるピロティ形式の建築物となることが多く見られます。1995年に発生した兵庫県南部地震によりこの構造形式の層崩壊が多く見られたことで、剛性率に関する告示改正が実施されるとともに、構造関係技術規準解説書において1階の層崩壊形の防止が謳われたことから、1階部分に壁を設けたり、1階柱の断面を大きくする等、1階の層崩壊を防止する設計が実施されるようになりました。

そのような中、2016年に発生した熊本地震において、上記の告示改正以前に設計され、1階には耐力壁や袖壁を有したことで層崩壊を免れたものの、大破となった事例が確認されました。この建築物では、1階における様々な構造部材の被害が確認され、大地震後の継続使用ができなくなったことが報告されています。これらの部材の破壊モードのいくつかは当該地震が発生した当時の設計基準においても想定されていない破壊モードが含まれており、これらの被害軽減のためには、損傷軽減できる補強工法やそのための補強設計法等が必要な状況でした。

そのような問題意識の下、建築研究所では2019年より3カ年実施した指定課題「新耐震基準で設計された鉄筋コンクリート造建築物の地震後継続使用のための耐震性評価手法の開発」および官民研究開発投資拡大プログラム（PRISM:Public/Private R&D Investment Strategic Expansion Program）の革新的防災減災技術分野の「被災RC造共同住宅の迅速な補修補強工法選定支援データベースの構築に関する研究」において、上記で確認された既存ピロティ形式の建築物を対象に研究を実施しました。この研究では、大地震により被害を受けたとしてもその後速やかに建築物を補強することで継続使用性を高めることを目標としていることから、迅速に補強できる工法の条件を整理した上で工法としての必要要件を纏め、その補強設計方法に関する一連の研究を取り纏めました。これらの研究成果を参考として、大地震後に速やかに継続使用できるピロティ形式建築物の実現の後押しつながらることを期待しています。

令和5年7月

国立研究開発法人 建築研究所  
澤地 孝男（理事長）

# 既存 RC 造ピロティ建築物の迅速な補強工法に関する研究

## 概要

鉄筋コンクリート造の共同住宅において多く用いられているピロティ形式の建築物は 1995 年の兵庫県南部地震において層崩壊が確認され、その構造的脆弱性が明らかになり、その後の告示改正や建築物の構造関係技術基準解説書においてその設計方法の改善が強く推奨されてきた。そのような中、2016 年に発生した熊本地震において、上記の告示改正以前に設計され、1 階には耐力壁や袖壁を有したことで層崩壊を免れたものの、大破となった事例が確認された。この建築物では、ピロティ柱のせん断破壊、ピロティ階直上の耐力壁に取付く 2 階枠梁端部の破壊、ピロティ柱の柱梁接合部の被害などが確認され、大地震後の継続使用が喪失した。これらの部材の破壊モードの内、2 階枠梁端部やピロティ柱の柱梁接合部の破壊については、当該地震が発生した当時の設計基準においても想定されていない破壊モードであり、これらの被害軽減のための検討はほとんど行われておらず、その被害防止を目的とした損傷軽減できる補強工法やそのための補強設計法等に関する検討を行うことは喫緊の課題である。また、今後の建築物においては大地震後の継続使用性を確保することが求められることを想定すれば、地被災建築物の早期復旧を実現できる補強工法やその設計法が必要であり、それらの検討を行うこともまた重要である。

そこで本研究では、熊本地震で被害が確認された鉄筋コンクリート造ピロティ形式建築物を対象として、大地震により被害を受けたとしてもその後速やかに建築物を補強することで継続使用性を高めることを目標としていることから、迅速に補強できる工法の条件を整理した上で工法としての必要要件を纏め、その補強工法の一例として補強材として超高強度繊維補強コンクリートを用いた補強設計法に関する一連の部材・架構実験および解析研究を実施した。また地震発生前に実施する補強だけでなく、地震発生後に迅速に補強するための設計法および施工方法についての検討も実施した。以上の検討により、建築物の地震後継続使用性の確保を目的として、既存鉄筋コンクリート造ピロティ形式建築物を対象とした迅速な補強工法の設計法に資する技術資料をとりまとめた。

## Study on quick-retrofit method for existing reinforced concrete soft-first story building

### Summary

In the 1995 Hyogo-ken Nanbu Earthquake, story collapse was confirmed in piloti-style buildings, which are often used in reinforced concrete apartment buildings, and their structural vulnerability became apparent. Improvements in the design method have been strongly recommended by revision of the notification in Building Standard of Japan and the relevant technical standards manuals. Under such circumstances, in the 2016 Kumamoto earthquake, there was a case in which the first floor was designed before the above revision and had seismic shear walls and wing walls on the first floor, which prevented it from collapsing, but was severely damaged. In this building, shear failure of the column at the first floor, failure of the ends of the beam on the second floor attached to the seismic shear walls, and damage to the beam-column joint at the column at the first floor were confirmed. Among the failure modes of these members, the failure modes at the ends of the second-floor beam and the beam column joint were not assumed even in the design standards of the time when the earthquake occurred. Few studies have been conducted to reduce such damage, and it is an urgent issue to study seismic retrofit techniques that can reduce damage and seismic retrofit design methods. In addition, assuming that future buildings will be required to ensure post-earthquake functional use after a major earthquake, it will be necessary to develop the seismic retrofit technique and design method that enable the quick restoration of damaged buildings.

Therefore, this study focused on reinforced concrete piloti-style buildings that were confirmed to have been damaged in the 2016 Kumamoto earthquake. As an example of the reinforcement method, a series of member and frame experiments and analytical research were conducted on the seismic retrofit design method using ultra-high-strength fiber reinforced concrete (UFC) as a reinforcement member. In addition to pre-earthquake seismic retrofit, design methods, and construction methods for quick seismic retrofit after an earthquake are investigated. Based on the above studies, we have compiled technical materials that will contribute to the design method of quick seismic retrofit technique for existing reinforced concrete piloti-type buildings, with the aim of ensuring the post-earthquake functional use of buildings after an earthquake.

## 目次

|            |   |       |
|------------|---|-------|
| <b>1 章</b> | <b>序論</b>                                     |       |
| 1. 1.      | はじめに  | 1-1   |
| 1. 2.      | 研究目的  | 1-19  |
| 1. 3.      | 各章の概要   | 1-20  |
|            | 参考文献  | 1-28  |
| <b>2 章</b> | <b>損傷後補強として UFC パネル挟込工法を施した RC 造ピロティ柱の実験</b>  |       |
| 2. 1.      | はじめに  | 2-1   |
| 2. 2.      | 実験概要  | 2-4   |
| 2. 3.      | 実験結果  | 2-20  |
| 2. 4.      | 補強効果の評価                                       | 2-92  |
| 2. 5.      | 有限要素解析  | 2-99  |
| 2. 6.      | まとめ   | 2-134 |
| <b>3 章</b> | <b>迅速な補強工法を施した RC 造ピロティ柱の実験</b>               |       |
| 3. 1.      | 研究背景と文献調査                                     | 3-1   |
| 3. 2.      | 実験概要  | 3-25  |
| 3. 3.      | 実験結果  | 3-45  |
| 3. 4.      | 結論  | 3-140 |
|            | 参考文献  | 3-141 |
| <b>4 章</b> | <b>構造詳細を改善した UFC パネル貼付工法を施した RC 造ピロティ柱の実験</b> |       |
| 4. 1.      | はじめに  | 4-1   |
| 4. 2.      | 実験概要  | 4-2   |
| 4. 3.      | 実験結果  | 4-42  |
| 4. 4.      | 有限要素解析  | 4-224 |
| 4. 5.      | 耐力計算に関する考察                                    | 4-234 |
| 4. 6.      | まとめ   | 4-241 |
| <b>5 章</b> | <b>柱および梁に UFC パネル貼付工法を施した RC 造ピロティ架構の実験</b>   |       |
| 5. 1.      | 背景  | 5-1   |
| 5. 2.      | 実験概要  | 5-2   |
| 5. 3.      | 実験結果  | 5-45  |
| 5. 4.      | 骨組み解析   | 5-238 |
| 5. 5.      | 有限要素解析  | 5-268 |
| 5. 6.      | 結論  | 5-283 |
|            | 参考文献  | 5-285 |

|             |  |       |
|-------------|--|-------|
| <b>6 章</b>  | <b>端部増厚した分割 UFC パネル挟込工法を施した RC 造ピロティ柱の実験</b> |       |
| 6. 1.       | 背景   | 6-1   |
| 6. 2.       | 実験概要   | 6-2   |
| 6. 3.       | 実験結果   | 6-19  |
| 6. 4.       | 考察   | 6-104 |
| 6. 5.       | 結論   | 6-107 |
|             | 参考文献   | 6-108 |
| <b>7 章</b>  | <b>迅速に施工できる補強工法を施した RC 造ピロティ柱部材の復元力特性評価</b>  |       |
| 7. 1.       | はじめに   | 7-1   |
| 7. 2.       | UFC パネル補強ピロティ柱の構造特性評価方法                      | 7-1   |
| 7. 3.       | 計算結果と実験結果の比較                                 | 7-22  |
| 7. 4.       | 結論   | 7-26  |
|             | 参考文献   | 7-26  |
| <b>8 章</b>  | <b>UFC パネル貼付工法を施した RC 造ピロティ架構の設計法</b>        |       |
| 8. 1.       | 地震後継続使用性を考慮した設計方針                            | 8-1   |
| 8. 2.       | 試設計検討  | 8-2   |
| 8. 3.       | 補修補強時における施工上の注意点                             | 8-22  |
| 8. 4.       | 結論   | 8-25  |
| <b>9 章</b>  | <b>結論</b>                                    |       |
| 9. 1.       | まとめ  | 9-1   |
|             | 謝辞   | 9-10  |
| <b>付録 1</b> | <b>補修モルタルの一軸圧縮実験</b>                         |       |
| A1. 1.      | 背景   | A1-1  |
| A1. 2.      | 実験概要   | A1-1  |
| A1. 3.      | 実験結果   | A1-6  |
| A1. 4.      | 結論   | A1-22 |
| <b>付録 2</b> | <b>迅速な補強工法に関するデータベース</b>                     |       |
| <b>付録 3</b> | <b>弱材齢で損傷を受けたコンクリートの材料特性</b>                 |       |
| A3. 1.      | はじめに   | A3-1  |
| A3. 2.      | 試験計画   | A3-1  |
| A3. 3.      | 試験結果   | A3-4  |
| A3. 4.      | まとめ  | A3-35 |

**付録 4 UFC パネル孔開け施工試験**

|        |      |       |
|--------|------|-------|
| A4. 1. | はじめに | A4-1  |
| A1. 2. | 試験概要 | A4-2  |
| A1. 3. | 試験結果 | A4-4  |
| A1. 4. | 結論   | A4-12 |



## 執筆者一覧

第1章：渡邊秀和（建築研究所），向井智久（建築研究所／国土技術政策総合研究所），谷昌典（京都大学）

第2章：谷昌典（前掲）

第3章：向井智久（前掲）

第4章：谷昌典（前掲）

第5章：渡邊秀和（前掲），向井智久（前掲），谷昌典（前掲）

第6章：服部翼（熊谷組），前川利雄（熊谷組）

第7章：向井智久（前掲），谷昌典（前掲）

第8章：谷昌典（前掲），松浦恒久（安藤ハザマ），松本大亮（安藤ハザマ）

第9章：渡邊秀和（前掲），向井智久（前掲），谷昌典（前掲）

付録1：向井智久（前掲）

付録2：西村英一郎（戸田建設），堀伸輔（前田建設工業）

付録3：渡邊秀和（前掲）

付録4：服部翼（前掲），前川利雄（前掲）