

令和 5 年 6 月 12 日現在

機関番号：82115

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2022

課題番号：20K14870

研究課題名（和文）高性能鉄筋コンクリート造壁の開発と損傷予測モデルの構築

研究課題名（英文）Damage Evaluation and Limit States of Rocking Concrete Walls

研究代表者

小原 拓 (Obara, Taku)

国土技術政策総合研究所・建築研究部・研究官

研究者番号：50845451

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、損傷を制御できるRC造壁の損傷制御性能の解明および損傷を予測できる数値解析モデルの構築を目的とし検討したものである。アンボンドPCaPC構造形式を壁部材に用いて、曲げせん断載荷実験を行った。近年損傷低減が求められている方立壁への適用可能性も検討しながら、耐震要素としても使用できるハイブリッド壁の構造性能を確認した。さらに、損傷を把握できる性能評価型設計構築の基礎資料として損傷評価およびそれに基づく部材の限界状態を定量化した。数値解析では、提案した壁の基本的な挙動を再現することに加え、損傷および限界状態を予測できる解析モデルについて検討し、多層建物モデルへの適用可能性を検討した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

損傷制御型RC壁は、従来のRC壁より地震後も継続使用可能なことから、住機能の機能維持実現が期待できる。さらに、損傷制御型RC壁はプレキャスト工法による製作を想定していることから、工場で大量生産することで国内で社会問題となっていた職人の減少問題や工期・環境問題といった課題を十分に解決できる。

開発した数値解析ツールは、建物の機能維持・早期復旧性能を評価できる。具体的には、庁舎や学校、病院といった防災拠点施設では、地震後に継続使用可能か否かの判断が非常に重要であることから、ひび割れやコンクリートの圧壊等の損傷を予測できる解析ツールを用いれば、重要施設の高い継続使用性能の付与を達成出来る。

研究成果の概要（英文）：Presently, current requirements of buildings are not only to secure human lives but also to maintain continuous functionality of buildings during and after hazards. One resilient structural system may be unbonded post-tensioned precast concrete structural system. In this study, the hysteresis loops of load-drift relation of tested unbonded post-tensioned precast concrete wall with energy dissipators (the hybrid wall) was numerically simulated with an inelastic multi-spring model. Numerical analysis was also conducted to quantify the damage level and four limit states (Serviceability limit state, Reparability limit state I, Reparability limit state II and Safety limit state) of the tested hybrid wall. The numerical model was able to evaluate the timing and determining factors of each limit state. As a result, the detailed damage levels of analyzed walls were successfully classified to have a good agreement with experimental results.

研究分野：建築耐震工学

キーワード：RC造壁 機能維持 損傷低減 損傷予測数値解析モデル アンボンドPCaPC造

## 1. 研究開始当初の背景

国内外では地震に代表される自然災害に対してレジリエントな社会都市の実現が求められている。しかしながら、東北地方太平洋沖地震(2011)やチリ・マウレ地震(2010)等では連層壁や単層壁に生じたコンクリートのひび割れや圧壊により取り壊しになった建物が確認されている。本研究では、取り上げた問題点を解決するため、NZ や US で既に損傷制御型構造システムとして実用化されている圧着型アンボンド PCaPC 構造システムを壁部材に応用する。国内では、大空間の実現や工期短縮を目的に PCaPC 構造システムを梁部材に用いる事例があるが、壁部材への実用例は無く、実験や解析的検討は非常に限定的である。

海外では、連層耐震壁を想定し、圧縮軸力比 0~0.15 程度の低軸力下での実験的検討が行われているが、大地震時での軸力変動を考慮した事例や単層配置を想定した検討事例は無く、大地震後の継続使用を必ずしも保証した構造システムではない。

数値解析では、Fiber モデルや FEM を用いた解析手法がアンボンド PCaPC 壁に対して提案されているが、主に部材の復元力特性や PC 鋼材の挙動を追跡するためのものであり、継続使用の可否が判断できるツールにはなっていない。

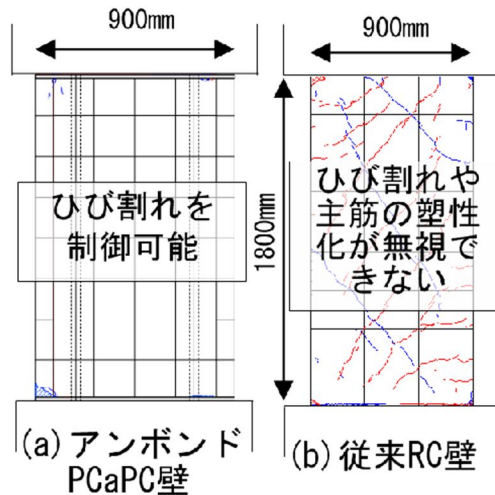


図 1 申請者等による壁厚 200mm・端部拘束筋比約 1.0%の部材実験で確認した損傷比較(軸力比 0.1 程度)

## 2. 研究の目的

アンボンド PCaPC 構造システムによる高性能 RC 造壁を用いて損傷制御を図り、建物全体の高い継続使用性能を実現することを目的とした。具体的には、提案する壁の荷重 - 変形角関係、エネルギー消費量、損傷状況、変形成分等を解明する。損傷制御性能に関しては、コンクリートの応力 - ひずみ状態、PC 鋼材および主筋の塑性化程度、残留ひび割れ幅、残留変形角に基づいて使用限界、修復限界 I、修復限界 II、安全限界状態到達時の変形角を定量化し、一体打ち RC 造壁と比較を行う。数値解析では、損傷予測を可能とするモデルの構築のため、Multi-Spring モデルを用いた解析手法により実験結果で得られた壁の荷重 - 変形角関係、エネルギー消費量を追跡し、各種限界状態到達時変形角および各影響要因を再現する。また、多層骨組モデル内において架構内に配置される壁部材に高性能 RC 造壁を内蔵し、従来の一体打ち RC 壁との比較を損傷制御性能の観点から行う。

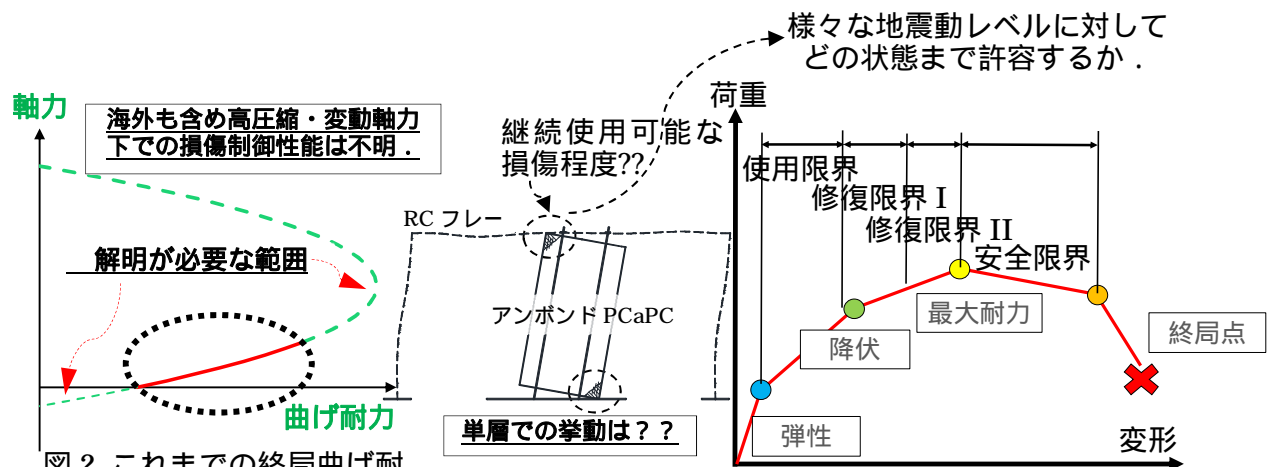


図 2 これまでの終局曲げ耐力と軸力の検討範囲

図 3 荷重変形と各種限界状態の関係

### 3. 研究の方法

研究方法は、壁の静的繰返し曲げせん断載荷実験を実施する。初年度は、高圧縮軸力下で壁厚と補強筋比  $p_w$  を変数とした試験体を 3 体実験する。次年度では、せん断スパン比  $a/d$  を変数とした試験体を 2 体、最終年度では、建物事前解析で確認した壁の軸力変動をもとに設定した変動軸力下で実験を行う。設計用簡易数値解析モデルには、Multi-Spring モデルを用いる。実験や FEM で得られた結果から、壁の損傷度と材料ひずみの関係や MS モデルのバネの最適長さを決定することで、壁の各種限界状態を予測できる解析ツールを提案する。

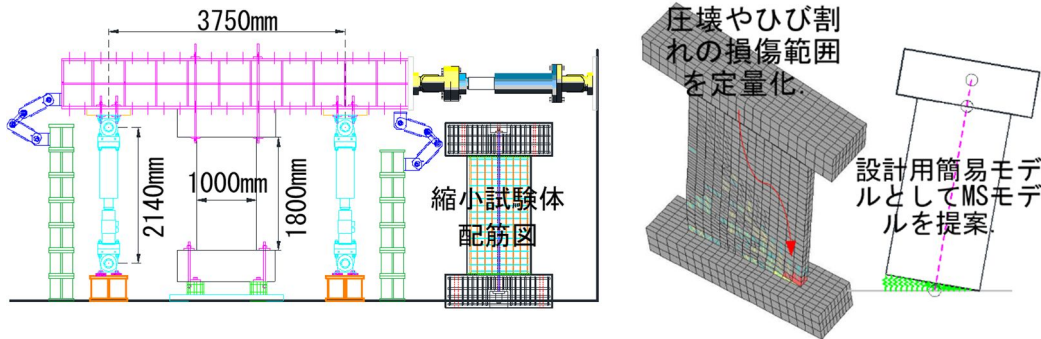


図 4 逆対称曲げおよび片持ち載荷を実現できる荷重装置システム及び壁部材の解析モデル

### 4. 研究成果

本研究は、損傷を制御できる高性能 RC 造壁の損傷制御性能の解明および損傷を予測できる数値解析モデルの構築を目的とし検討したものである。部材の検討では、アンボンド PCaPC 構造形式を壁部材に用いて、曲げせん断載荷実験を行った。近年損傷低減が求められている方立壁への適用可能性も検討しながら、耐震要素としても使用できるハイブリッド壁の構造性能を確認した。さらに、損傷を把握できる性能評価型設計構築の基礎資料として損傷評価およびそれに基づく部材の限界状態を定量化した。数値解析では、提案した壁の基本的な挙動を再現することに加え、損傷および限界状態を予測できる解析モデルについて検討し、多層建物モデルへの適用可能性を検討した。

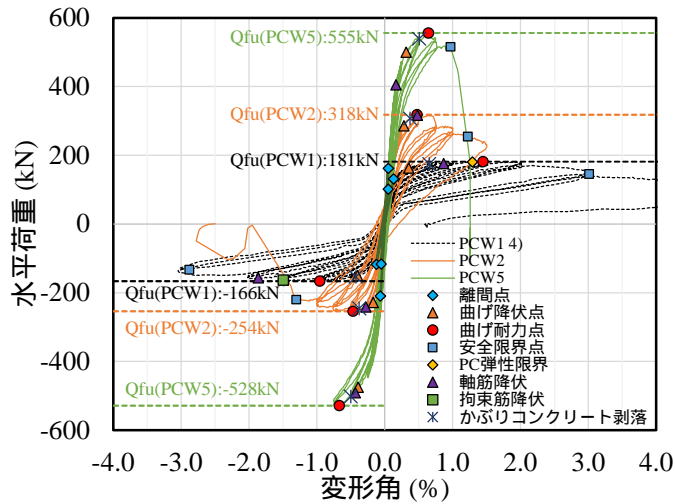


図 5 実験結果 (軸力比大・高強度材料試験体 (水平荷重 部材変形角関係))

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Priyana RAJBHANDARI, Taku OBARA, Susumu KONO	4. 巻 -
2. 論文標題 EXPERIMENTAL FRAGILITY ANALYSIS OF NON-STRUCTURAL RC WALLS	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 コンクリート工学年次論文報告集	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Yopi Prabowo Oktiovan, Taiga Otaki, Taku Obara, Susumu Kono, Yoichi Asai, Katsumi Kobayashi, Hidekazu Watanabe, David Mukai	4. 巻 -
2. 論文標題 Shear performance evaluation of PHC piles under different levels of axial load ratio	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Earthquake Engineering and Structural Dynamics	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 T. Obara, S. Kono and D. Mukai	4. 巻 -
2. 論文標題 Damage Prediction Tool for Rocking Concrete Walls	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 12NCEE	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 O. Inui, T. Obara, S. Kono and D. Mukai	4. 巻 -
2. 論文標題 Numerical analysis on flexural behavior of unbonded post-tensioned reinforced concrete beams considering the buckling and rupture of longitudinal reinforcement	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 12NCEE	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Obara Taku, Kono Susumu, Mukai David	4. 巻 26
2. 論文標題 Damage Evaluation and Limit States of Rocking Concrete Walls with Energy Dissipaters	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Earthquake Engineering	6. 最初と最後の頁 1~27
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/13632469.2020.1835748	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 木戸裕貴, 小原拓, 河野進, 向井智久	4. 巻 42
2. 論文標題 実大五層鉄筋コンクリート造建物の構造性能評価に着目した解析的研究	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 コンクリート工学年次論文報告集	6. 最初と最後の頁 79~84
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 伊織旺真, 小原拓, 河野進	4. 巻 42
2. 論文標題 マルチスプリングモデルを用いたアンボンドプレストレスト鉄筋コンクリート造梁の解析的研究	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 コンクリート工学年次論文報告集	6. 最初と最後の頁 439~444
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計10件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件)

1. 発表者名 Cho M., Uemura K., Rajbhandari P., Obara, T., Kono, S. and David, M. and Tani M.
2. 発表標題 Evaluation of Structural Performance of Unbonded Post-tensioned Precast Concrete Walls
3. 学会等名 The Japan-Korea-Taiwan Joint Seminar on Earthquake Engineering for Building Structures (国際学会)
4. 発表年 2021年~2022年

1. 発表者名 Netrattana C., Obara T., Kono S. and David M.
2. 発表標題 Evaluation of Flexural Crack Width in Slender Rectangular RC Walls, Summaries of technical papers of annual meeting
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演梗概集構造系
4. 発表年 2021年～2022年

1. 発表者名 伊縫旺真, 小原拓, 河野進, David M.
2. 発表標題 主筋の破断を考慮したアンボンドプレストレスト鉄筋コンクリート造梁の曲げ性能に関する解析的研究
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演梗概集構造系
4. 発表年 2021年～2022年

1. 発表者名 Rajbhandari P., 張明嘉, 植村一貴, 小原拓, 河野進, David M., 谷昌典
2. 発表標題 Evaluation of Structural Performance of Unbonded Post tensioned Precast Concrete Walls Part 1: Experimental Program and Results
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演梗概集構造系
4. 発表年 2021年～2022年

1. 発表者名 張明嘉, 植村一貴, 小原拓, Rajbhandari P., 河野進, David M., 谷昌典
2. 発表標題 アンボンドPCaPC造壁の構造性能評価 その2: 損傷状態とひび割れに関して
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演梗概集構造系
4. 発表年 2021年～2022年

1. 発表者名 Inui O., Obara T., Kono S., Mukai D.
2. 発表標題 Numerical analysis of unbonded post-tensioned reinforced concrete beams for resiliency evaluation
3. 学会等名 The 17th World Conference on Earthquake Engineering (国際学会)
4. 発表年 2020年～2021年

1. 発表者名 Netrattana C., Takahashi T., Obara T., Kono S., Mukai D.
2. 発表標題 Experimental study on slender rectangular rc walls (PART 1)
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演梗概集構造系
4. 発表年 2020年～2021年

1. 発表者名 Takahashi T., Netrattana C., Obara T., Kono S., Mukai D.
2. 発表標題 Experimental study on slender rectangular rc walls (PART 2)
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演梗概集構造系
4. 発表年 2020年～2021年

1. 発表者名 伊藤旺真・小原拓，河野進，Mukai D.
2. 発表標題 アンボンドプレストレストコンクリート梁の耐震性能に関する解析的研究
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演梗概集構造系
4. 発表年 2020年～2021年

1. 発表者名 植村一貴, 小原拓, 河野進, 柴山淳
2. 発表標題 PC鋼材の緊張力に着目したアンボンドPCaPC造壁の曲げ耐力に関する実験的研究
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演梗概集構造系
4. 発表年 2020年～2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関