

令和 5 年 5 月 19 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20K04786

研究課題名(和文) 緊張力変動抑制装置と梁端ダンパーを備えたアンボンドPCaPC損傷制御構造の開発

研究課題名(英文) Development of post-tensioned energy dissipating precast concrete frame structures with prestressing force variation suppression devices

研究代表者

越川 武晃 (Koshikawa, Takeaki)

北海道大学・工学研究院・助教

研究者番号：10399983

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)：PC鋼材の定着部に緊張力変動抑制装置、圧着接合部に梁端ダンパーを備えた新たなアンボンドPCaPC損傷制御構造の実用化を目的に、緊張力変動抑制装置・梁端ダンパー・十字形柱梁接合部試験体を設計・作製した。要素実験と部分架構実験、および解析モデルを用いた数値計算を通して、緊張力変動抑制装置の効果、梁端ダンパーによるエネルギー吸収効果、圧着接合部付近の損傷程度、および圧着面における履歴特性や耐力・変形性状等について総合的な検討を行い、提案構造の有効性を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で提案するアンボンドPCaPC構造では、緊張力変動抑制装置と梁端ダンパーの性能、およびPC鋼材の緊張力を調節することによって、PC鋼材を降伏させずに、かつ損傷を最小限に抑えつつ、復元性能、エネルギー吸収性能および耐力の向上が期待できる。また本研究成果によれば、将来の解体を容易にし部材レベルでの取替えやリユースにも対応した新たな建築物像も提示でき、提案構造の実用化および耐震設計に資する情報の提示だけでなく、実社会における普及・発展を経て、解体後の活用も視野に入れた部材の供給体制の整備、主要部材の規格化にもつながり、環境負荷に配慮した循環型建築物の実現に貢献できる。

研究成果の概要(英文)：A prestressing force variation suppression device, a beam-end damper, and cruciform beam-column joint test specimens are designed and fabricated for the practical application of a new unbonded post-tensioned precast concrete damage controlled structure. The effectiveness of the proposed structure is clarified through elemental and partial frame tests and numerical calculations using an analytical model, comprehensively examining the effectiveness of the prestressing force variation suppression device, the energy absorption effect of the beam-end damper, the extent of damage near the beam-column joint, the hysteresis characteristics, the bearing capacity, and the deformation properties at the beam-column interfaces.

研究分野：建築構造

キーワード：建築構造・材料 構造工学・地震工学 制震 耐震 損傷制御

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

近年の大地震による被害事例を契機として、地震に対する安全性だけでなく、建築物における財産価値の保全や修復性、さらには地震後の継続使用の確保を重視した設計が建築物に求められている。このような社会からの要請に応えるには、地震時の損傷制御を実現する構造技術と、その設計法を確立する必要がある。

コンクリート系構造において、地震時の損傷制御をより高度に実現し得る形式の一つにアンボンド PCaPC 構造がある。工場生産された高品質のプレキャスト柱・梁部材をアンボンド PC 鋼材の緊張力によって圧着接合し一体化するこの構造は、緊張力の存在がもたらす高い復元性を大きな特徴とする。構造自体が残留変形や残留ひび割れを大幅に抑制できる性能を有しているため、地震時の損傷制御のみならず、地震後の健全性を保証する設計法への展開も期待できる構造であると言える。加えて、主な損傷領域が目開きを伴う柱・梁間の圧着接合部付近に限定されるため、制振部材の配置や損傷の防止対策を効率的に行うことができ、損傷制御の観点からも大きなメリットを有している。近年では、圧着接合部の柱と梁をつなぐように設置する、アンボンド PCaPC 構造に特化したエネルギー吸収デバイス(以下、梁端ダンパーと称する)も多数提案されてきている。

梁端ダンパーを用いたエネルギー吸収効果は、主として柱と梁端部間の圧着面に目開き(離間変位)が生じることによって発揮されるものであるが、この目開きは、一方でアンボンド PC 鋼材に伸びを生じさせ、その緊張力を増加させることにもつながる。これは、圧着接合部のコンクリートが負担する圧縮力の増加とこれによる著しい損傷を招き、ひいては PC 鋼材の降伏とそれに伴う緊張力の喪失や残留変形を生じさせる危険性があるなど、この種の構造の安定性と耐震性能にも大きく影響する。圧着接合部における力学挙動は、コンクリートが負担する圧縮力と PC 鋼材が負担する引張力(緊張力)のバランスで成り立つものであり、したがって、目開きに伴うアンボンド PC 鋼材の緊張力の増加を適度に抑制できれば、これは圧着接合部での損傷の低減にもつながる。すなわち、梁端ダンパーによって効果的なエネルギー吸収性能を付与した構造の特徴を最大限に生かしつつ、より高度な損傷制御構造を実現できる。本研究は、このような考えのもとに研究代表者が提案した、緊張力変動抑制装置とこれを備えたアンボンド PCaPC 損傷制御構造の開発を行い、構造実験による実証、構造性能に及ぼす要因の影響評価、さらには設計法の構築を推し進めるものである。

### 2. 研究の目的

本研究は、PC 鋼材の定着部に緊張力変動抑制装置、圧着接合部に梁端ダンパーを備えた新たなアンボンド PCaPC 損傷制御構造の実用化を目的に、緊張力変動抑制装置・梁端ダンパー・それらを備えた部分架構試験体を設計・作製し、構造実験を通してその有効性を実証するものである。さらには、緊張力変動抑制装置と梁端ダンパーの性能・アンボンド PC 鋼材の緊張力・部材や構造の規模等が構造性能に及ぼす影響を理論モデル・解析モデルを用いた詳細な検討を併用して定量的に評価するとともに、損傷制御性能とエネルギー吸収性能を併せ持つ本構造の合理的な設計法を提示するものである。研究代表者は、科研費研究課題(基盤研究(C)、2015~2017年度)において本構造を提案し、これまで力学的考察に基づく理論整備および数値解析手法の構築、そしてそれらを用いた検討による知見の蓄積を行ってきた。本研究は、近年の一連の研究を通して研究代表者が明らかにした成果をベースに、提案構造の開発および実証への進展を推し進めるものである。

### 3. 研究の方法

(1) 緊張力変動抑制装置を設計・作製し、その試験体を用いた載荷実験(要素実験)を行う。緊張力変動抑制装置の弾性ばねには、プレストレス力による高軸力を負担でき、軸剛性と変形量を調節可能な皿ばねを用いることとし、皿ばねの型式や枚数、重ね合せ方等を考慮して所要の性能を有すると思われる組み合わせからいくつかの基準試験体を設定する。試験体の躯体側から油圧センターホールシリンダで PC 鋼材を引っ張る載荷実験によって、PC 鋼材の引張力と伸び、および緊張力変動抑制装置の縮み等の関係を明らかにするとともに、緊張力変動抑制装置の適用範囲を把握するために弾性ばねの限界性能も検証する。また、梁端ダンパーには鋼材ダンパーを用いることを基本とする。

(2) 要素実験の結果を踏まえて、提案構造のための理論モデルおよび解析モデルの高度化を図る。これらのモデルは科研費(基盤(C))の支援の下、研究代表者が開発したものであり、ここではまず、要素実験のそれぞれの基準試験体から得られた緊張力変動抑制装置の実挙動をモデルに反映させる。ついで、これらのモデルを用いて部分架構実験の試験体を想定した数値計算を行い、その構造性能と提案機構の必要性能に関する事前検討を行う。この過程で、要素実験で用いた緊張力変動抑制装置の性能向上が必要と認められた場合には、モデルのパラメータを変化させた数値計算からより適切な緊張力変動抑制装置の性能を探索し、さらなる試験体の設計・製作と要素実験へのフィードバック、およびモデルへの反映を実施する。

(3) 提案機構を備えた部分架構試験体を設計・作製し、載荷実験(部分架構実験)を行う。緊張力変動抑制装置や梁端ダンパーを有する場合の効果と、両者を備えた場合の相乗効果を、各部の荷重・変位等の計測によって明らかにする。内柱に梁を圧着接合した十字形部分架構を対象に、柱や柱梁接合部の挙動を含めた検討を行う。必要に応じて、柱や柱梁接合部の損傷防止を目的とする補強法に関する検討も実施する。

#### 4. 研究成果

(1) 緊張力変動抑制装置を設計・作製した。装置は内径ガイド部・ヘッド部・弾性ばねで構成し、弾性ばねにはプレストレス力による高軸力を負担でき、軸剛性と変形性能を調節可能な皿ばねを用いた。装置の設計にあたり、十字形柱梁接合部試験体に設置した場合を想定した装置の必要性能について解析を用いた検討を行い、装置設置の効果には装置の性能とこれを接続するPC鋼材の性能の関係が影響を及ぼすこと、また、PC鋼材の降伏荷重および軸剛性を目安に装置の耐荷重および変形性能を設定することで十分な効果が発揮されること等の知見が得られた。所要の性能を満たす皿ばねのサイズや枚数の選定を行い、内径ガイド部・ヘッド部・皿ばねおよびその他の必要なパーツを取り揃えて装置を作製した。(図1参照)

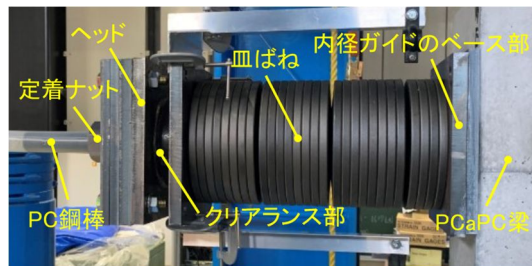


図1 緊張力変動抑制装置

(2) 緊張力変動抑制装置試験体の載荷実験(要素実験)を行った。装置試験体を固定し、PC鋼棒に引張荷重履歴を与えて、PC鋼棒の荷重と変形および装置試験体の変形を測定した。荷重履歴は、十字形柱梁接合部試験体における初期張力までの履歴と、PC鋼棒に生じる想定最大張力までの履歴の2パターンとした。要素実験の結果、皿ばねを用いた装置試験体に特有の荷重-変形関係を把握できた。皿ばねの挙動に関する既往の理論モデルとの対応も踏まえて、実験結果を解析モデルに反映した。(図2参照)

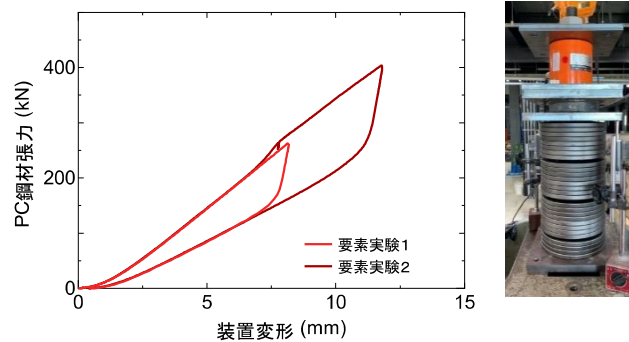


図2 要素実験

(3) 梁端ダンパーを設計・作製した。梁端ダンパーはダンパー本体と定着治具で構成し、ダンパー本体には寸切りボルトを用いた。十字形柱梁接合部試験体への設置を想定した解析を用いて検討を行い、梁端ダンパーの必要性能や配置を定めた。(図3参照)

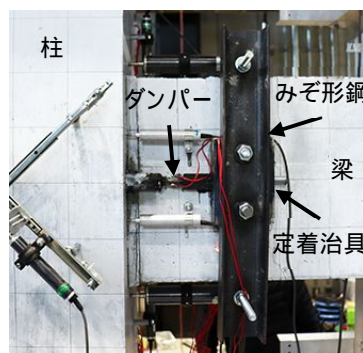
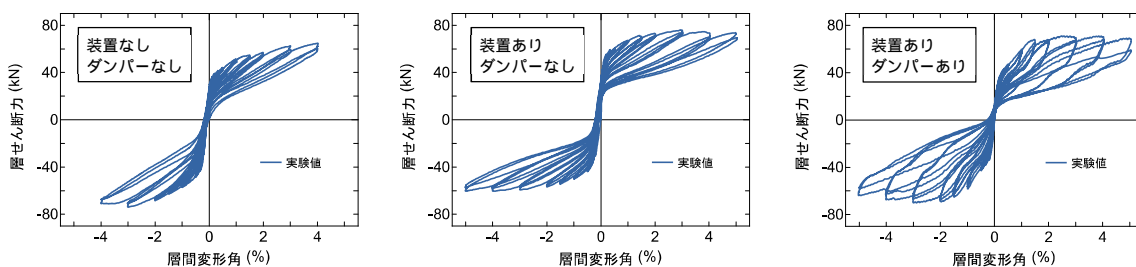
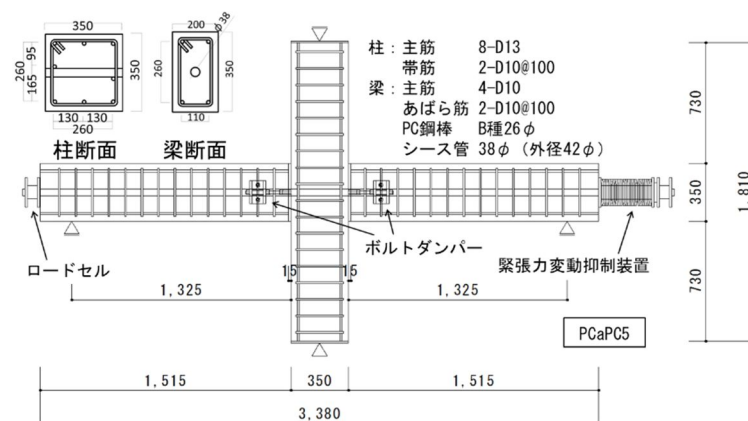


図3 梁端ダンパー

(4) 十字形柱梁接合部試験体を作製し、載荷実験(部分架構実験)を行った。試験体は建物中間層内柱梁接合部を模擬した約1/2スケールとし、緊張力変動抑制装置と梁端ダンパーの効果を見るために装置と梁端ダンパーの有無を実験変数とした。正負交番繰り返し載荷を行い、層せん断力・梁せん断力・PC鋼棒張力・層間変形角・圧着接合部の目開き・装置の変形・梁端ダンパーのひずみ等を測定した。その結果、装置の有無は主としてPC鋼棒張力と層せん断力に影響することを把握できた。解析による事後評価も合わせて実施し、装置によるPC鋼棒の降伏防止と緊張力の効果最大化を両立できる性能要件等を提示した。また、緊張力変動抑制装置だけでなく梁端ダンパーの設置にもわずかながらPC鋼棒の緊張力増加を抑制する効果があることがわかった。(図4、5参照)



5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 石森瑛、北野敦則、池上千優、越川武晃
2. 発表標題 ボルトダンパーと緊張力変動抑制装置を用いたアンボンド PCaPC 圧着骨組の耐震性能 （その1）実験概要
3. 学会等名 日本建築学会大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 池上千優、越川武晃、石森瑛、北野敦則
2. 発表標題 ボルトダンパーと緊張力変動抑制装置を用いたアンボンド PCaPC 圧着骨組の耐震性能 （その2）実験結果と考察
3. 学会等名 日本建築学会大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 北野敦則、石森瑛、金澤良知、越川武晃
2. 発表標題 緊張力変動抑制装置を有するアンボンドPCaPC圧着骨組の耐震性能評価 （その1）実験概要
3. 学会等名 日本建築学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 石森瑛、北野敦則、金澤良知、越川武晃
2. 発表標題 緊張力変動抑制装置を有するアンボンドPCaPC圧着骨組の耐震性能評価 （その2）実験結果
3. 学会等名 日本建築学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 金澤良知、越川武晃、石森瑛、北野敦則
2. 発表標題 緊張力変動抑制装置を有するアンボンドPCaPC圧着骨組の耐震性能評価（その3）解析による検討
3. 学会等名 日本建築学会大会
4. 発表年 2022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
研究分担者	北野 敦則  (Kitano Atsunori)  (80250471)	前橋工科大学・工学部・教授    (22303)	

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
---------	---------