

令和 4 年 6 月 27 日現在

機関番号：32702

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2021

課題番号：20K14876

研究課題名（和文）アンボンドPC構造梁端の継続使用可能な制振要素接合方法の確立

研究課題名（英文）Establishment of a Continuously Usable Damping Element Joining Method for Unbonded PC Structural Beam

研究代表者

白井 佑樹 (shirai, yuki)

神奈川大学・建築学部・助教

研究者番号：00779720

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 1,600,000円

研究成果の概要（和文）：はじめに、アンボンドプレストレストコンクリート梁の部材端に取り付けることができる小型の制振要素である座屈拘束ブレースを開発した。このブレースは、異形鉄筋の節断面での断面積と節間断面での断面積の差を利用しており、質量10kg程度で所定の耐力付加、および減衰性能を有する。梁部材に取り付けた実験では、アンボンドプレストレストコンクリート特有の細い復元力特性と、それに起因する低いエネルギー吸収能力は向上し、部材角1/100で耐力は1.25倍、エネルギー吸収能力は2倍になることを確認した。さらに、損傷した梁の継続使用のための補修・補強方法の提案も行い、その効果も確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

プレストレストコンクリート構造は部材を工場で製造し、現地で組み立てる構法である。そのため、人員を削減できたり、環境負荷を低減できる。一方で、地震時に揺れが大きくなる可能性があるため、地震のエネルギーを吸収するダンパーを設置する方法を検討した。本研究の成果として、開口を大きくとれる小型のダンパーを開発し、部材の耐震性能が向上することを確認した。また、地震などにより損傷を受けた部材を継続して使用するための。補修・補強方法も提案した。

研究成果の概要（英文）：First, a buckling restrained brace, a compact damping element that can be attached to the end of a member of an unbonded prestressed concrete beam, has been developed. The brace utilizes the difference between the cross-sectional area of a deformed steel bar at a sectional section and the cross-sectional area of a sectional cross section, and has a prescribed load carrying capacity and damping performance with a mass of about 10 kg. Experiments on beam members showed that the thin resilience characteristic of unbonded prestressed concrete and the resulting low energy absorption capacity were improved, and that the bearing capacity increased by a factor of 1.25 and the energy absorption capacity by a factor of 2 at 1/100 member angle. Furthermore, a repair and reinforcement method for the continuous use of damaged beams was proposed and its effectiveness was also confirmed.

研究分野：構造力学

キーワード：コンクリート系 アンボンドプレストレスト 梁 エネルギー吸収能力

1. 研究開始当初の背景

建築物が地震を経験した後、被害が少なく継続して使用することができ、被害があった場合も迅速に復旧することのできる構造形式の一つに、アンボンドプレストレストコンクリート構造 (以下、UBPC) がある。UBPC はコンクリート部材内に引張応力を与えた高張力鋼を配置することでコンクリートに常時圧縮応力を作用させ、地震等の外力による損傷を低減させることができる。そして、部材は高張力鋼が部材間をまたいで縫うように接合されていて、損傷を部材間目地に集中させることができる。そのため、被害状況の確認から補修・復旧までを迅速かつ容易に行うことができる可能性がある。

図1にUBPCを対象とした架構実験でのせん断力-変形角関係と損傷状況を示す。地震力を想定した载荷での復元力特性は部材間目地のひび割れまではほぼ弾性で、その後目地で部材が離間することで剛性が急激に低下する。目地付近に圧壊等の損傷が集中しており、それ以外のひび割れはほとんどないことがわかる。また除荷時には目地が閉じ、残留変形を小さくすることで、地震経験後の高い復旧性を有する可能性があることが確認できる。

一方で、UBPC は除荷時と同じ復元力特性を描くため、エネルギー吸収能力が低いことが課題としてある。エネルギー吸収能力が低い場合、地震時に他の構造形式と比べて変形量が大きくなってしまったり、変形が収束しにくくなってしまったりする可能性がある。

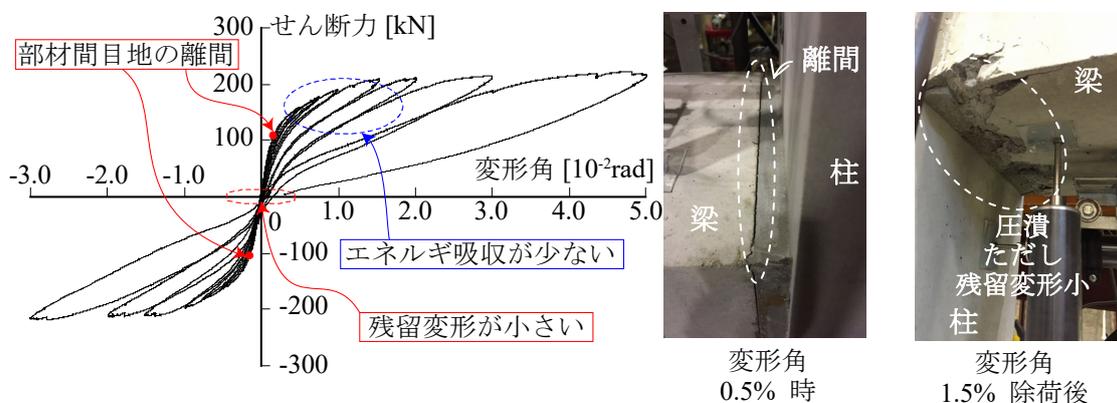


図1 UBPC 架構のせん断力-変形角の関係と損傷状況

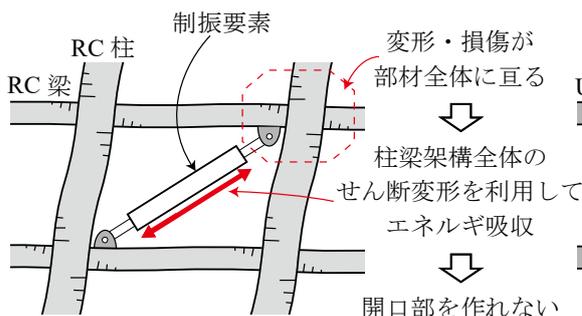
2. 研究の目的

本研究は継続使用性の課題に対し、ソフト面から対応する立場で、優れた構造特性を有するUBPC の課題であるエネルギー吸収能力の向上を目指し、制振要素の開発、多数回繰返し载荷による影響、そして補修・補強方法の提案を目的とする。UBPC 架構に制振要素を付加させる研究は国内外で行われている一方で、制振要素によって開口が確保できない、接合方法が複雑である、制振要素の交換ができず、また補修・補強方法が確立しておらず、継続使用が困難である、などの課題がある。

一般的な制振要素の多くは柱梁架構全体でせん断変形することを利用するので、架構内を塞ぐように取付ける方法のため開口部を確保することが難しい。一方、本研究で検討するのは図2に示すような制振要素を部材端に取付ける方法で、UBPC 架構特有の目地周辺に部材間の離間やひび割れによる曲げ変形が集中することを利用して効率的にエネルギー吸収を図るもので、制振要素を小型化することで交換が容易で、開口等を確保することができると思う。

一般的な制振要素

(鉄筋コンクリート造 (RC) に付加)



目地離間を利用した制振要素

(柱 RC・梁 UBPC に付加)

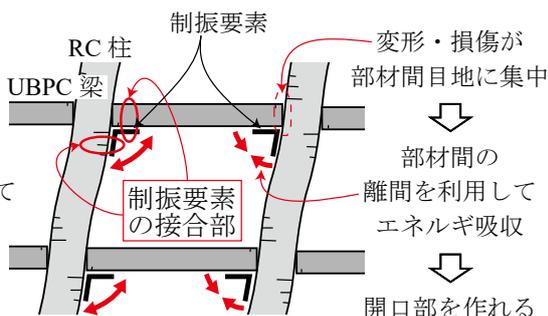


図2 一般的な制振要素と目地離間を利用した制振要素

一方で部材端目地周辺は損傷が集中するため、接合部付近が破壊してしまうと制振要素の期待した性能が得られない可能性がある。さらに、建築物を地震後も継続して使用するには損傷した制振要素を交換する必要がある。地震時に制振要素の性能が発揮されたとしても、接合部周辺の損傷状況によっては交換できない可能性がある。平成28年熊本地震では、制振要素の取付け部が継続使用可能な損傷の限界を超えたと思われる被害が報告されている。そこで、多数回繰り返し载荷を受けるダンパー付き UBPC 梁の損傷や耐力、エネルギー吸収能力などの性能を確認する。

3. 研究の方法

本研究では、構造実験を通して検討した。図3に各実験のセットアップを示す。制振要素の開発は、異形鉄筋をモルタルと鋼管で拘束した座屈拘束ブレースを想定した。試験体はスタブ、梁部材、そして制振要素から成る。スタブと梁部材はプレキャストで、PC鋼棒により圧着接合されている。PC鋼棒を通すシース管にグラウト等は充填せず、アンボンドとなっている。梁部材の設計は曲げ破壊を想定した。多数回を想定した実験では、部材変形角 $R=\pm 1/400$ を3回、 $R=\pm 1/200$ を5回、 $R=\pm 1/100$ を5回行った後 $R=\pm 1/200$ を5回、 $R=\pm 1/400$ を3回加力する。これを1セットとして、もう1セット繰り返し、2セット加力を行う。補修・改修を検討する試験体は、静的せん断载荷を行った試験体に対して、部材端部コンクリートひび割れや圧壊に対する補修、および本研究で開発した異形鉄筋を用いた座屈拘束ブレースを付加することで補強を行い、再度静的せん断载荷を行った。補修・補強の効果を、载荷と再载荷での構造性能の変化を比較することで確認する。

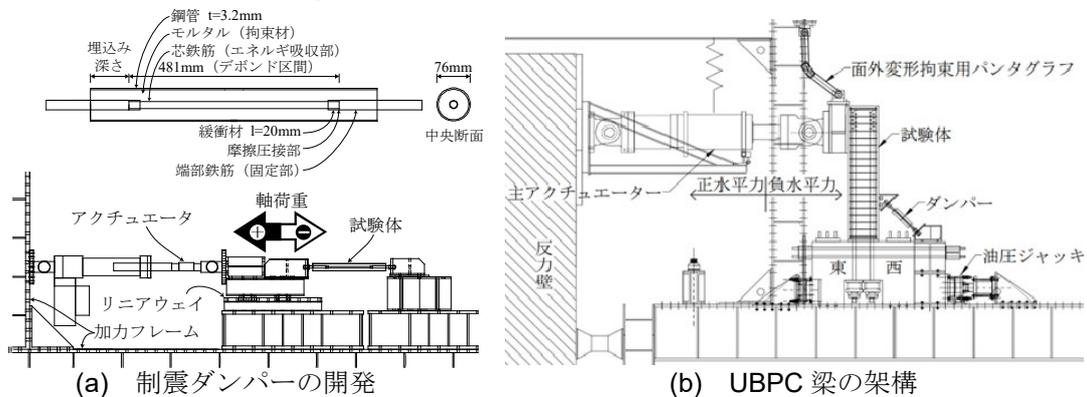


図3 実験セットアップ

4. 研究成果

制振要素として、既往研究の異形鉄筋の節断面での断面積と節間断面での断面積の差を利用した座屈拘束ブレースを小型化することを考え、質量10kg程度で目標の性能を有する制振要素を開発することができた。実際には、建物の耐力・剛性に応じて本数や軸降伏部長さを調整することができる。制振要素接合部には、コンクリート梁と鋼接合部材をPC鋼棒によって圧着した。実験の結果、制振要素を付加することでアンボンドプレストレスト構造特有の細い復元力特性と、それに起因する低いエネルギー吸収能力は向上し、部材角1/100で耐力は1.25倍、エネルギー吸収能力は2倍になることを確認した。一方で、繰り返しによりエネルギー吸収能力の低下著しく、その要因を検討中である。なおここではエネルギー吸収能力は等価減衰から求めた。また、制振要素を付加した試験体も曲げ破壊をしたが、制振要素接合部付近でのひび割れも目立った。一方で梁部材鉄筋に貼付した歪ゲージからは大きな損傷を把握できなかった。

つぎに、ダンパーを付加した試験体の繰り返し载荷では、多数回繰り返し载荷によって、ダンパーが圧縮側になる方向で耐力の減少量は小さくなる傾向にあり、エネルギー吸収能力が減少するものの、一定の性能保持が認められることを確認した。

最後に、補修方法として、経験した部材角の損傷状況に応じた方法を提案した。部材変形角1/66まで経験した試験体の損傷は部材端部での軽微な圧壊と曲げひび割れであった。そこで、ひび割れ注入工法における軟質形低粘度の樹脂系ひび割れ補修剤注入法を選定した。部材変形角1/25まで経験した試験体の損傷は部材端部の圧壊と剥落がみられ、せん断補強筋の降伏及び補強筋内に囲まれたコアコンクリートの損傷も確認できた。さらに、主筋に対応する軸方向筋の座屈も見られた。そこで、断面修復工法を選定した。コンクリートを約30cmはつり、座屈している鉄筋には元あった鉄筋と同径、同強度の添え筋をした。またせん断補強筋も設計時の大きさと同径、同強度の補強筋と入れ替えた。はつった部分には新規試験体と同じ設計強度、同じスランプ値、粗骨材の最大寸法が同等のコンクリートを軸方向に打設した。ダンパー付加による補強は部材変形角1/100まで経験した試験体に対し行った。損傷は、部材端部の軽微な損傷であったため、ひび割れ注入工法を選定した。ダンパーはあと施工アンカーボルトによる接合を行った。

補修の効果として、ひび割れ注入工法は損傷の進行防止に効果的であることを確認した。断面修復工法は構造性能の回復に効果が期待できる。あと施工アンカーによるダンパー補強は効果的であることを確認した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Shirai Yuki, Shimazaki Kazushi	4. 巻 7
2. 論文標題 PERFORMANCE OF PRESTRESSED CONCRETE BEAM INCORPORATING AN AXIAL YIELD DAMPER USING UNBONDED REBAR	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of International Structural Engineering and Construction	6. 最初と最後の頁 1、6
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.14455/ISEC.2020.7(2).STR-30	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 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 鈴木俊裕、白井佑樹、島崎和司
2. 発表標題 部材端に軸降伏型履歴ダンパーを適用したアンボンドプレストレストコンクリート梁の性能検証 その3 多数回繰り返し荷重による性能への影響
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演梗概集
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鈴木俊裕、白井佑樹、島崎和司
2. 発表標題 部材端に軸降伏型履歴ダンパーを適用したアンボンドプレストレストコンクリート梁の性能検証 その4 補修、補強後の性能への影響
3. 学会等名 日本建築学会大会学術講演梗概集
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
---------------------------	-----------------------	----

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