

平成 26 年 5 月 19 日現在

機関番号：10101

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23760514

研究課題名(和文) 定着部組込型ダンパーを用いたアンボンドPCaPC圧着接合構造の提案とその構造特性

研究課題名(英文) Proposal for unbonded post-tensioned precast concrete frame structures with energy dissipating devices in anchorage zone and its structural performance

研究代表者

越川 武晃 (KOSHIKAWA, Takeaki)

北海道大学・工学(系)研究科(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、(間接経費) 990,000円

研究成果の概要(和文)：アンボンドPCaPC圧着接合構造を対象として、PC鋼材の定着部に弾性バネと粘(弾)性系の減衰材からなるダンパーを組み込んだ上で一体化を図る新たな構造形式を提案した。その構造特性の定量評価を目的として、提案構造の全体挙動と部材レベルの挙動を対象とする数値解析、および損傷領域に限定したより詳細な3次元有限要素解析を用いた検討を行った。得られた結果を整理・分析し、提案構造の履歴挙動に及ぼす減衰効果と損傷程度、および圧着面の耐力点評価を示した。

研究成果の概要(英文)：A new type of unbonded post-tensioned precast concrete frame structure is proposed. The frame includes energy dissipating devices connected directly to post-tensioning tendons in anchorage zone. To investigate and validate the structural performance of the frame, analytical studies are conducted using several types of numerical models. The analytical results obtained from the numerical models show the effect of energy dissipation devices on the behavior of the frame, the condition of damage in the beams, and the ultimate state of the behavior at the beam-column interface of the connections.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学、建築構造・材料

キーワード：PCaPC構造 アンボンド ダンパー 損傷制御 動的応答

1. 研究開始当初の背景

近年、建築構造物の性能設計が指向される流れを受けて、損傷制御の概念を取り入れた設計法に関する取り組みが精力的に行われている。耐震性能に関する損傷制御の基本的な考え方では、構造物を構成する主構造と制振部材の役割を明確に分けて、地震時に構造物が被る損傷を意図的に制振部材に集中させることでエネルギーを吸収し、柱・梁といった常時荷重を支える主構造は軽度な損傷の内に収めることを目標性能とする。損傷制御構造は、被震後に制振部材の補修あるいは取替えを行なうことによって、再び本来の耐震性能を発揮できる優れた修復性を兼ね備えたものであり、建築物の長寿命化の実現に向けた大きな可能性を有している。

コンクリート系構造において、この損傷制御を実現し得る構造形式として有力視されているのが、アンボンド PCaPC 柱・梁圧着接合構造である。本構造は、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一体構造とするものであり、地震時に大変形を受けた後においてもプレストレスの効果により残留変形を少なく抑えることができる、復元性の高さに大きな特徴がある。さらに、目開きを伴う圧着接合部付近に損傷領域が限定されるという特性を持ち、損傷制御の観点から大きなメリットを有している。その一方で、構造としてのエネルギー吸収性能が低いという欠点がある。既往の研究においてはこのような課題を克服すべく、エネルギー吸収デバイスを付加する工法がいくつか提案されており、主として柱と梁端部間に生じる目開きを利用して、鋼材等を降伏させてエネルギーを吸収する履歴系のダンパーを用いた報告がなされている。

これらのデバイスは、降伏が生じるような比較的大きな変形時にその効果を発揮するものである。これに対して、高層建物で考慮すべき風応答時の挙動のような、微小振幅振動から大振幅振動までの広範囲を対象に効果的なエネルギー吸収性能を付加できるデバイスに粘(弾)性系のダンパーがある。もし、この種のダンパーをアンボンド PCaPC 圧着接合構造に付加することで目開きをより柔軟に抑制することが出来れば、本構造の有する特徴を最大限に生かした、明快で合理的な損傷制御構造が実現できるものと考えられる。

2. 研究の目的

本研究は、アンボンド PCaPC 圧着接合構造を対象として、PC 鋼材の定着部に弾性バネと粘(弾)性系の減衰材からなるダンパーを組み込んだ上で一体化を図る新たな構造形式を提案するものである。本研究では、本提案構造の全体挙動と部材レベルの挙動を対象とする数値解析、および損傷領域に限定したより詳細な 3 次元有限要素解析を行うことによって、ダンパーの性能と配置形態・PC 鋼

材の緊張力・部材の寸法・規模等による構造物の挙動と損傷程度の関係性を明らかにし、その構造特性の定量評価を図ることを主な目的とする。

3. 研究の方法

(1) 定着部組込型ダンパーを有するアンボンド PCaPC 圧着接合構造のための動的応答解析法の開発を行う。既提案の解析手法をベースに、これをアンボンド PCaPC 圧着接合構造全体が取り扱えるように拡張し、さらにダンパーのモデル化を行って解析に取り入れる。ベースとなる解析法は、有限要素法に基づいた梁・柱のファイバー要素を用いたもので、要素を構成するコンクリートと主筋や PC 鋼材といった補強材との間に相対的なすべりが生じる場合の力学挙動が考慮されており、アンボンド PC 鋼材を用いたコンクリート部材の解析が可能である。ダンパーモデルに関しては、アンボンド PC 鋼材のすべりと関連付けることで解析に取り入れる。

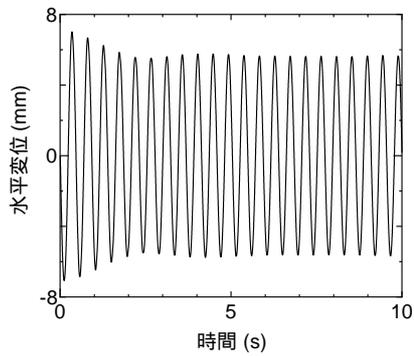
(2) 開発した解析法を用いたパラメトリック解析を行うことにより、定着部組込型ダンパーによる減衰特性と PCaPC 圧着接合構造の動的応答性状に関する検討を行う。パラメータは、ダンパーの性能(ダンパーを構成する弾性バネや減衰材の性能)やダンパーの配置形態等とし、構造物の挙動に影響を及ぼすと思われるいくつかの項目について、それぞれの影響に関する定量的な評価を試みる。また、アンボンド PCaPC 圧着接合構造における部材レベルでの検討も合わせて実施する。

(3) 3次元有限要素解析システムを用いて、アンボンド PCaPC 柱・梁圧着接合構造の損傷評価に関する検討を行う。解析には、コンクリート構造物の解析において数多くの実績がある汎用非線形有限要素解析システムを用いることとし、既往のアンボンド PCaPC 圧着接合法による試験体等を対象として、まず最適な解析パラメータの同定を行う。次いで、解析対象の諸条件(部材の寸法、PC 鋼材の配置位置、緊張力等)を変化させた解析を行い、部材の損傷程度の変化について、解析結果の可視化と数値の詳細な検討を通して把握する。また、損傷程度と非線形応答を極力低減できる構造性能を模索するとともに、必要であれば圧着接合部の損傷低減を目的とした補強法に関する検討も実施する。

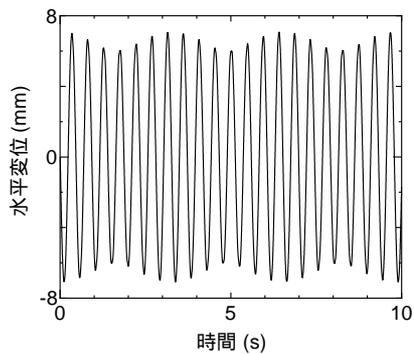
4. 研究成果

(1) 定着部組込型ダンパーを有するアンボンド PCaPC 圧着接合構造のための動的応答解析法の開発を行った。提案構造の骨組解析モデルに対して、アンボンド PC 鋼材とダンパーの剛性、およびダンパーの減衰係数を主なパラメータとしたパラメトリック解析結果から、提案構造の履歴挙動に及ぼすこれらのパラメータの関係性と減衰効果について把

握ることができた（図1参照）。

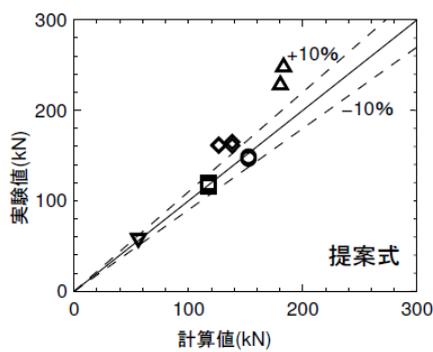


(a) ダンパーあり

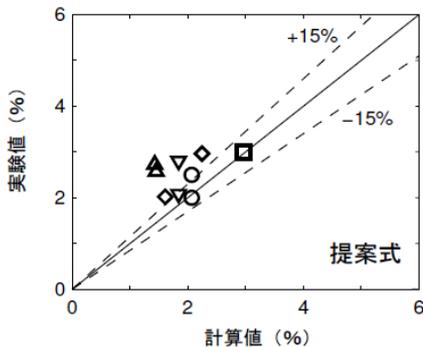


(b) ダンパーなし

図1 ダンパーのみによる減衰効果



(a) 曲げ耐力

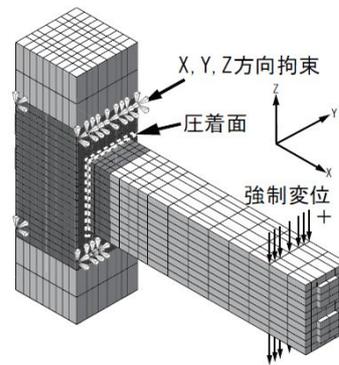


(b) 終局回転角

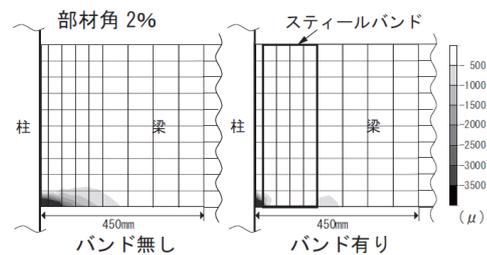
図2 評価式の適合性

(2) アンボンド PCaPC 圧着接合構造における部材レベルでの検討として、圧着面の目開き挙動時を対象とする耐力点評価を行った。ここでは、理論展開に基づく評価式を誘導し、評価式における変数の妥当性と係数の評価を行った上で、評価式が既往の実験結果に対して十分な精度の適合性を有することを確認した（図2参照）。

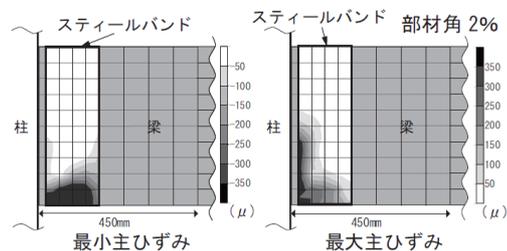
(3) 3次元有限要素解析システムを用いて、アンボンド PCaPC 圧着接合構造の損傷評価に関する検討を行った。既往のアンボンド PCaPC 圧着接合法による試験体の解析を実施し、おおむね最適な解析パラメータの同定を行うことができた。次いで、解析対象の諸条件を変化させた試験体規模のパラメトリック解析を行い、部材の損傷程度に影響を及ぼすパラメータとその影響度合いを把握した。また、圧着接合部の損傷抑制を目的とした補強法に関する検討を行った。解析対象は PCa 梁部材の圧着接合部付近を鋼板製のバンドで巻き付け補強した試験体とし、実験結果と解析結果の整合性を確認した後に解析結



(a) 解析モデル



(b) コンクリートの最小主ひずみ



(c) バンドの主ひずみ

図3 バンドによる損傷抑制効果

果の詳細な検討を行い、バンドによる損傷抑制効果の程度について把握した(図3参照)。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計5件)

松茂良 諒、越川 武晃、菊地 優、断面解析モデルを用いたアンボンド PCaPC 梁部材の曲げ終局耐力点評価、日本建築学会構造系論文集、査読有、79 巻、2014 門脇 花子、越川 武晃、梁端ダンパーを付加したアンボンド PCaPC 梁の非対称曲げ挙動解析、コンクリート工学年次論文集、査読有、35 巻、2013、463 - 468

松茂良 諒、越川 武晃、菊地 優、アンボンド PCaPC 梁部材を対象とした断面解析モデルの適用性に関する一検討、構造工学論文集、査読有、59B 巻、2013、73 - 80

松茂良 諒、門脇 花子、越川 武晃、梁端ダンパーを有するアンボンド PCaPC 梁のエネルギー吸収性能評価、プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集、査読有、21 巻、2012、151 - 156

松茂良 諒、越川 武晃、山下 仁、断面解析モデルを用いたアンボンド PCaPC 部材の耐力評価に関する研究、プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集、査読有、20 巻、2011、103 - 106

〔学会発表〕(計7件)

KOSHIKAWA T.、KADOWAKI H.、MATSUMORA M.、Analytical Evaluation of Asymmetric Hysteretic Behavior of Unbonded Post-Tensioned Precast Concrete Beams with Energy Dissipating Connections、4th ICSECM、2013 年 12 月 13 日～2013 年 12 月 15 日、Earl ' s Regency Hotel (Sri Lanka)

門脇 花子、越川 武晃、篠原 保二、アンボンド PCaPC 梁の履歴挙動に及ぼす梁端ダンパー配置の影響(その2)非対称曲げ挙動パラメトリックスタディ、日本建築学会大会、2013 年 8 月 30 日～2013 年 9 月 1 日、北海道大学(札幌市)

越川 武晃、門脇 花子、篠原 保二、アンボンド PCaPC 梁の履歴挙動に及ぼす梁端ダンパー配置の影響(その1)非対称曲げ挙動解析法の提案、日本建築学会大会、2013 年 8 月 30 日～2013 年 9 月 1 日、北海道大学(札幌市)

松茂良 諒、越川 武晃、アンボンド PCaPC 梁部材を対象とした断面解析モデルのト型および十字型試験体への適用性の検討、日本建築学会大会、2013 年 8 月 30 日～2013 年 9 月 1 日、北海道大学(札幌市)

KOSHIKAWA T.、KADOWAKI H.、MATSUMORA M.、

Energy Dissipation Efficiency of Unbonded Post-Tensioned Precast Concrete Beam-Column Connections with Beam-End Dampers、15th WCEE、2012 年 9 月 24 日～2012 年 9 月 28 日、Lisbon Congress Center (Portugal)

門脇 花子、越川 武晃、松茂良 諒、梁端ダンパーを付加したアンボンド PCaPC 梁のエネルギー吸収性能、日本建築学会大会、2012 年 9 月 12 日～2012 年 9 月 14 日、名古屋大学(名古屋)

松茂良 諒、越川 武晃、アンボンド PCaPC 梁の曲げ終局耐力に及ぼす導入力レベルの影響、日本建築学会大会、2012 年 9 月 12 日～2012 年 9 月 14 日、名古屋大学(名古屋)

6. 研究組織

(1)研究代表者

越川 武晃 (KOSHIKAWA, Takeaki)

北海道大学・大学院工学研究院・助教

研究者番号：10399983