

平成 30 年 5 月 1 日現在

機関番号：22604  
 研究種目：基盤研究(C) (一般)  
 研究期間：2015～2017  
 課題番号：15K06302  
 研究課題名(和文) アンボンドPC鋼材で圧着接合したプレストレストコンクリート骨組の復元力特性評価法  
  
 研究課題名(英文) Evaluation Method of Restoring Force Characteristics for Precast Prestressed Concrete Frame Assembled by Post-Tensioning Unbonded Tendons  
  
 研究代表者  
 北山 和宏 (KITAYAMA, Kazuhiro)  
  
 首都大学東京・都市環境科学研究科・教授  
  
 研究者番号：70204922  
 交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：プレキャストの鉄筋コンクリート柱・梁部材をアンボンドPC鋼材で圧着接合したプレストレスト・コンクリート(PCaPC)骨組の曲げ破壊する梁の復元力特性において、PC鋼材が最大耐力に到達する時の変形および耐力を簡便かつ陽なかたちで求める評価式を提案した。そのためにマクロ・モデルを新規に考案し、十字形柱梁部分骨組試験体に水平力を正負交番載荷した実験の結果と比較・検証することで、提案した評価式の妥当性を示した。  
 アンボンドPCaPC圧着工法による外柱梁部分骨組(ト形)の柱梁接合部は、鉄筋コンクリート骨組と同様に降伏破壊することを本研究の実験によって示した。

研究成果の概要(英文)：The evaluation formula for predicting the ultimate flexural strength and deflection of a beam in a precast prestressed concrete frame, which is assembled by post-tensioning unbonded tendons within ungrouted sheaths, called an unbonded PCaPC frame, was proposed in a simplified and explicit way based on a macro-model which was newly created. The adequacy of the formula was verified through results of the tests using beam-column subassemblages under lateral load reversals.  
 It was confirmed by the tests that an exterior beam-column joint in unbonded PCaPC frames also fails in a joint hinging mechanism as well as in reinforced concrete frames.

研究分野：建築構造

キーワード：プレストレスト・コンクリート骨組 プレキャスト アンボンド 圧着接合 復元力特性 変形 梁曲げ破壊 接合部降伏破壊

### 1. 研究開始当初の背景

プレキャストの鉄筋コンクリート (RC) 柱・梁部材内に貫通させた PC 鋼材を緊張してコンクリートに圧縮力を導入することにより、柱部材および梁部材を圧着接合させて骨組を構成する工法がある (以降 PCaPC)。プレストレスト・コンクリート構造の一形態である PCaPC 骨組は、ひび割れ幅制御による高復元性を実現できること、圧着接合した梁端部付近に損傷を集中させる損傷制御が可能であること等の力学的な利点を有しており、今後は主流になると想定される性能評価型設計法を容易に適用できるという特徴を有する。

2007 年には国土交通省告示が改正されて、シース管内にグラウト材を注入しない状態の PC 鋼材 (以降、アンボンド PC 鋼材) を大梁や柱などの主要耐震要素に使用することが認められた。アンボンド PC 鋼材を PCaPC 骨組に用いれば、現場での施工作業のいっそうの省力化や上述の利点のほかに、梁部材等の交換が比較的容易になり長寿命建築の実現に寄与できる。アンボンド PC 鋼材を用いた PCaPC 骨組 (以降、アンボンド PCaPC 骨組) はこれらの特徴によって、地球環境の保全や持続可能な社会の構築の観点からも、今後有望な耐震構造となり得る。

このような優位性を有するアンボンド PCaPC 骨組であるが、幾つかの限界状態ごとに要求性能を満足させるという性能評価型耐震設計法の確立を視野に入れたとき、それらの地震時挙動の把握や復元力特性の評価が必要となる。そのためには実験による検証が不可欠である。アンボンド PCaPC 骨組では数スパンを通して配筋されるアンボンド PC 鋼材のひずみが全長に渡って一定であるため、骨組全体の变形に適合するように PC 鋼材のひずみが決定され、それに応じてコンクリートの損傷が生じる。そのため、梁や柱部材単体の実験ではアンボンド PCaPC 骨組の力学挙動を精確には再現できない。

そこで柱梁部分骨組や骨組全体を用いた実験を実施する必要があるが、アンボンド PCaPC 骨組の復元力特性の評価や限界状態の策定等の観点から実施された実験研究は多くはない [例えば菅田・岡本ら (2002)、金・塩原ら (2008)、ティン・楠ら (2009)、丸田・浜田 (2010) など]。これらの実験研究では梁曲げ破壊を対象として個別のディテール下における力学挙動や履歴特性を明らかにした点で有益だが、アンボンド PCaPC 部材を対象とした復元力特性の総合的な評価には至っていない。塩原 (2008) は近年、RC 柱梁接合部の曲げ降伏破壊を提唱したが、アンボンド PCaPC 骨組を対象として類似の破壊現象を実験的に検証した研究は申請者の知る限り存在しない。また現実には存在するスラブや直交梁を取り付けた柱梁部分骨組実験もわずかしが行われていない。

プレストレスト・コンクリート梁部材の変

形性能を定量的に評価した解析研究には、中塚・阿波野 (2002)、前田・岸本ら (2004) 等がある。付着すべりによる柱梁接合部からの鋼材の抜け出しを考慮した解析研究には是永ら (2000) の研究しかない。いずれの研究もアンボンド PC 鋼材を対象としたものではなく、部材全体を対象とした複雑な数値計算を要するため実用的ではない。

### 2. 研究の目的

そこで本研究では、アンボンド PC 鋼材を梁部材全長に渡って配筋した PCaPC 骨組を対象として、以下の二つを主要な目的として設定した。

(1) 曲げ破壊する梁部材の基礎的な力学特性および地震時挙動を静的載荷実験によって把握し、アンボンド PC 鋼材が最大耐力に到達する時の変形および耐力を簡便かつ陽なかたちで求める評価式を提案する。

(2) 柱梁接合部の曲げ降伏破壊の有無を静的載荷実験によって検証し、曲げ降伏破壊する場合にはその力学性状を詳細に調査する。

### 3. 研究の方法

(1) アンボンド PCaPC 十字形柱梁部分骨組の実験

一定圧縮軸力 (軸力比 0.12) を受ける十字形柱梁部分骨組試験体に水平力を正負交番載荷する静的実験を実施した。具体的には、平面十字形およびスラブ・直交梁付きの十字形の試験体を 1 体ずつ合計 2 体を作製して実験した。試験体の PC 鋼材係数は 0.17 とした。柱梁曲げ耐力比 (梁曲げ終局耐力に対する柱曲げ終局耐力の比) は平面試験体で 2.3、スラブ付きの立体試験体で 1.9 と設定し、それぞれ約 2 以上となるように柱の鉄筋量を適宜調整した。これは柱梁接合部の曲げ降伏破壊を防ぐことを意図したものである。コンクリートの圧縮強度は 49 から 53 N/mm<sup>2</sup> であった。実験状況を写真 1 に示す。

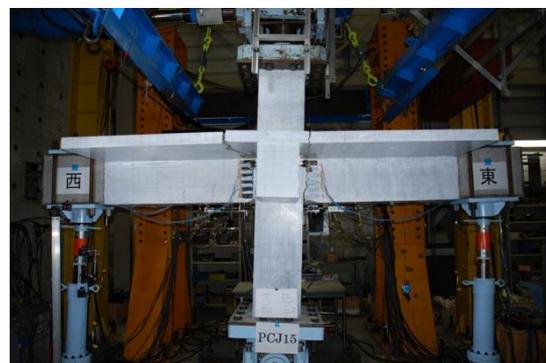


写真 1 スラブおよび直交梁を付けた十字形柱梁部分骨組の実験

(2) アンボンド PCaPC 十字形柱梁部分骨組を対象とした力学モデルの考案

梁断面の PC 鋼材が上下等量・対称配置さ

れたアンボンド PCaPC 十字形柱梁部分骨組を対象に、その曲げ挙動の特性を忠実に反映したマクロ・モデルを考案し、力学的根拠に立脚して梁曲げ終局時の変形および耐力の定量評価手法を提示した。

### (3) アンボンド PCaPC ト形柱梁部分骨組の実験

外柱梁部分骨組（ト形）試験体に水平力を正負交番繰り返し载荷する実験を行って、柱梁接合部の損傷状況を詳細に調査した。鉄筋コンクリート（RC）柱梁接合部が曲げ降伏破壊するときの終局耐力を簡易に求める手法を塩原（2014）が提案したので、その手法をアンボンド PCaPC 骨組に拡張して柱梁接合部の曲げ降伏破壊が生じるように試験体を設計した。試験体は平面ト形 1 体およびそれにスラブのみを取り付けた 1 体の合計 2 体で、各々の柱梁曲げ耐力比を 1.16 および 1.07（T 形梁の上端引張り時）とした。柱には一定の圧縮軸力 450kN（軸力比 0.05）を与えた。柱梁接合部のせん断余裕度は 1.81 および 1.63（T 形梁の上端引張り時）とした。

## 4. 研究成果

上記の(1)から(3)の研究によって得られた結論をそれぞれ以下に示す。

### (1) アンボンド PCaPC 十字形柱梁部分骨組の実験

柱主筋は降伏せず、梁付け根のかぶりコンクリートの圧壊が生じた後に PC 鋼材が弾性限界に至って最大耐力に達した。最終的に梁の曲げ破壊を生じて原点指向型の復元力特性を示した。スラブの有効幅は梁部材角 0.15% 時に梁スパンの 0.1 倍を超え、最大層せん断力発揮以前に全スラブ筋が降伏した。

鋼材係数を 0.17 とした平面試験体では、梁の鋼材係数を 0.09 とした他の実験による結果よりも、梁のコンクリート損傷が激しかった。鋼材係数が異なることによる等価粘性減衰定数への影響は見られなかった。

スラブおよび直交梁の付く立体試験体における上端引張り時には、スラブ筋の降伏と梁下端コンクリートの損傷により最大残留変形率、最大残留目開き幅および等価粘性減衰定数は下端引張り時より 2 倍以上大きかった。

鋼材係数の大小およびスラブの有無に関係なく、全ての梁の使用限界は圧縮縁コンクリートの応力度がコンクリート圧縮強度の 0.9 倍に到達したことで決まった。そのときの梁部材角は 0.12%~0.37% と小さかったが、梁の復元力特性上の剛性低下点とおおむね対応した。

スラブおよび直交梁の付く立体試験体の T 形梁の上端引張り時には、スラブ筋の破断および梁下端付け根コンクリートの損傷の

発生・進展によって安全限界に到達した。

### (2) アンボンド PCaPC 十字形柱梁部分骨組を対象とした力学モデルの考案

以下の から に考案したマクロ・モデルの概要を説明した。また および にこのマクロ・モデルに基づく梁曲げ終局時の変形および耐力の定量評価手法の妥当性を記した。

本マクロ・モデル（図 1）では、梁圧着面で離間が生じると梁部材が剛体回転し、梁材軸方向の全長に渡り発生するコンクリート圧縮縁の縮み量が梁圧着面に集中すると仮定した。また、梁の圧縮側 PC 鋼材位置ではコンクリートの縮みが、梁の引張側 PC 鋼材位置では主に梁圧着面での離間が生じるものとした。

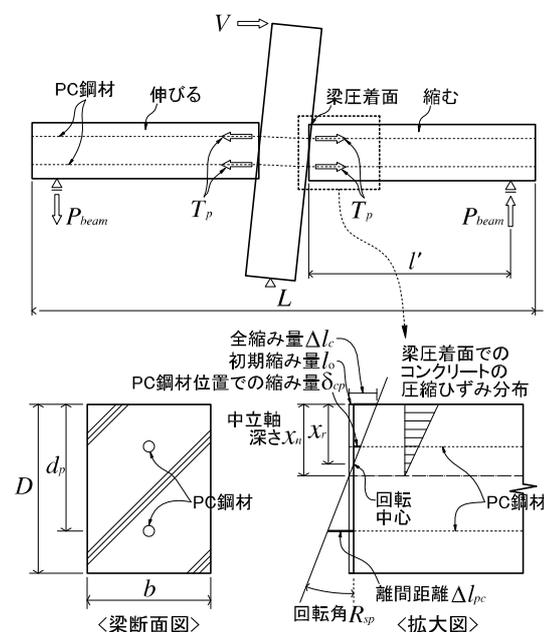


図 1 考案したマクロ・モデル

左右の梁の同一 PC 鋼材位置での軸変形量、すなわち梁圧着面での離間距離およびコンクリートの縮み量の和が PC 鋼材全体の伸び量と等しいという変形の適合条件、梁断面での PC 鋼材の引張り合力とコンクリートの圧縮合力との力の釣り合い条件、および梁圧着面での平面保持の仮定に基づき、梁曲げ終局時の変形および耐力の評価式を提案した。

以上の方法により、梁曲げ終局時の変形および耐力を計算するには、まず梁曲げ終局時における梁圧着面での中立軸深さが必要となる。本研究ではこの求解法として繰返し計算による収束計算法と、更により実用的に使用可能な略算式を提案した。

梁曲げ終局時の変形および耐力の計算結果を既往の実験結果と比較した。曲げ終局耐力は実験結果の±10%程度の範囲以内に納ま

り、曲げ終局変形は実験結果の±15%程度の範囲以内となり、両者が良好に対応することを確認した。

略算式および収束計算による中立軸深さ、梁曲げ終局時の変形および耐力の計算結果を比較したところ、中立軸深さの略算値が収束計算値より大きいため、終局部材角および曲げ終局耐力の略算値は収束計算値より若干小さくなる傾向が見られた。両計算法による評価結果の差は PC 鋼材の初期導入張力比が小さくなるほど大きくなった。

ただし、実施工時に適用される初期導入張力比が 0.6 以上であることを勘案すると、この範囲では両計算法による中立軸深さの差は 10%程度、終局部材角および曲げ終局耐力の差は 5%程度の範囲に留まった。これより本研究で提案した略算法は十分な精度で梁曲げ終局時の変形および耐力を評価できることを確認した。

### (3) アンボンド PCaPC ト形柱梁部分骨組の実験

平面ト形およびスラブ付きト形の両試験体共に柱梁接合部に斜めひび割れが発生し、柱主筋および接合部横補強筋が降伏して層間変形角 2%程度のときに最大耐力に到達した。その後、水平耐力は徐々に低下した。梁の PC 鋼材は弾性限界をわずかに超えた程度のひずみにとどまり、降伏に至らなかった。

両試験体共に柱梁接合部のかぶりコンクリートの剥落およびコンクリートの圧壊が顕著であり、最大耐力後の層間変形角 4%の繰り返し載荷によって柱梁接合部内の柱主筋が座屈した。柱梁接合部のせん断破壊は生じなかった。

平面ト形試験体の最大層せん断力は梁曲げ終局耐力の計算値を上回った。しかし最大耐力直前に層間変形に対する柱梁接合部の変形成分の割合が 36%を占め、柱梁接合部内の柱主筋および横補強筋が降伏したため、梁曲げ破壊と同時に柱梁接合部の曲げ降伏破壊も発生したと判断した。

スラブのみを付加したト形試験体では梁曲げ終局耐力の計算値に到達しなかった。層間変形に占める柱梁接合部の変形成分の割合が最も大きく、柱梁接合部内の柱主筋および横補強筋が降伏したことから、柱梁接合部が曲げ降伏破壊したと判断した(写真2)。

アンボンド PCaPC 骨組の柱梁接合部は、鉄筋コンクリート(RC)骨組と同様に曲げ降伏破壊することを確認した。

スラブのみを取り付けた外柱梁接合部が曲げ降伏破壊するときの最大耐力はスラブのないそれとほぼ同等であった。これよりスラブは、接合部曲げ降伏破壊時の耐力増大に

は寄与しないと考える。



写真 2 スラブを付けたト形柱梁接合部の曲げ降伏破壊

### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 18 件)

鄒珊珊, 北山和宏: アンボンド PCaPC 外柱梁部分架構の柱梁接合部破壊に関する研究, 日本地震工学会第 13 回年次大会梗概集, 2017 年 11 月, No.P1-24, CD-Rom, pp.1-8. 査読なし

北山和宏, 苗 思雨, 晋 沂雄: 鋼材係数を変数としたアンボンド PCaPC 圧着接合骨組の耐震性能評価(その 3 梁部材のコンクリート圧縮ひずみ), 日本建築学会大会学術講演梗概集 構造 IV 2017 年 8 月 pp.745-746. 査読なし

苗 思雨, 北山和宏, 晋 沂雄: 鋼材係数を変数としたアンボンド PCaPC 圧着接合骨組の耐震性能評価(その 4 各種限界状態の評価), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 IV, 2017 年 8 月, pp.747-748. 査読なし

苗 思雨, 北山和宏, 晋 沂雄: アンボンド PCaPC 圧着接合骨組における梁部材の耐震性能と各種限界状態に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.39, No.2, 2017 年 7 月, pp.361-366. 査読有り

Kiwoong JIN, Kazuhiro KITAYAMA, Sunghoon SONG and Kiyo-omi KANEMOTO: Shear Capacity of Precast Prestressed Concrete Beam-Column Joint Assembled by Unbonded Tendon, American Concrete Institute, Structural Journal, Vol.114, No.1, January-February 2017, pp.51-62. 査読有り

JIN, K., S. SONG, K. KITAYAMA and K. KANEMOTO: Seismic Performance of Precast Prestressed Concrete Frame Assembled by Unbonded Tendon with Cast-in-Place R/C Slab, Proceedings, 16th World Conference on Earthquake Engineering, 2017, January,

USB-Rom, Paper No.643. 査読有り

今村俊介, 苗 思雨, 晋 沂雄, 北山和宏: 鋼材係数を変数としたアンボンド PCaPC 圧着接合骨組の耐震性能評価 (その 1 実験概要および実験結果), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 IV, 2016 年 8 月, pp.763-764. 査読なし

苗 思雨, 今村俊介, 晋 沂雄, 北山和宏: 鋼材係数を変数としたアンボンド PCaPC 圧着接合骨組の耐震性能評価 (その 2 実験結果の考察), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 IV, 2016 年 8 月, pp.765-766. 査読なし

北山和宏, 晋 沂雄: 鋼材付着とプレストレス率が異なるスラブ付き PRC 架構の耐震性能評価 (その 1 実験概要および実験結果), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 IV, 2016 年 8 月, pp.819-820. 査読なし

晋 沂雄, 北山和宏: 鋼材付着とプレストレス率が異なるスラブ付き PRC 架構の耐震性能評価 (その 2 実験結果の考察), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 IV, 2016 年 8 月, pp.821-822. 査読なし

宋 性勳, 晋 沂雄, 北山和宏: アンボンド PCaPC 十字形架構の梁部材の任意断面における中立軸位置の評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 IV, 2016 年 8 月, pp.767-768. 査読なし

宋 性勳, 晋 沂雄, 北山和宏: アンボンド PCaPC 十字形架構の梁部材における曲げ終局時の耐力および変形評価用マクロモデル, 日本建築学会構造系論文集, 2016 年 7 月, 第 81 巻, 第 725 号, pp.1121-1131. 査読有り

鈴木大貴, 宋 性勳, 晋 沂雄, 北山和宏: アンボンド PC 鋼材で圧着接合したプレストレストコンクリート十字形部分架構の力学特性, コンクリート工学年次論文集, Vol.38, No.2, 2016 年 7 月, pp.511-516. 査読有り

晋 沂雄, 北山和宏: プレストレス率及び鋼材付着を変数としたスラブ付きプレストレスト鉄筋コンクリート架構の耐震性能, コンクリート工学年次論文集, Vol.38, No.2, 2016 年 7 月, pp.475-480. 査読有り

金本清臣, 北山和宏, 晋 沂雄, 宋 性勳: アンボンド PC 鋼棒で圧着接合した PCaPC 造柱梁部分架構の構造性能, 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, 2015 年 10 月, pp.113-118. 査読なし

晋 沂雄, 宋 性勳, 北山和宏, 金本清臣,

田島祐之: アンボンド PC 鋼材で圧着接合されたスラブ付きプレストレストコンクリート造骨組の梁曲げ破壊時の耐震性能評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 IV, 2015 年 9 月, pp.737-738. 査読なし

鈴木大貴, 宋 性勳, 晋 沂雄, 北山和宏, 金本清臣: 柱梁曲げ強度比を実験変数としたアンボンド PCaPC 圧着接合骨組の耐震性能に関する研究 (その 1 実験概要および実験結果), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 IV, 2015 年 9 月, pp.711-712. 査読なし

宋 性勳, 鈴木大貴, 晋 沂雄, 北山和宏, 金本清臣: 柱梁曲げ強度比を実験変数としたアンボンド PCaPC 圧着接合骨組の耐震性能に関する研究 (その 2 実験結果の考察), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 IV, 2015 年 9 月, pp.713-714. 査読なし

[学会発表](計 16 件)

鄒珊珊, 北山和宏: アンボンド PCaPC 外柱梁部分架構の柱梁接合部破壊に関する研究, 日本地震工学会第 13 回年次大会, 2017 年 11 月 13 日から 14 日まで, 東京大学生産技術研究所 (東京都目黒区)

北山和宏, 苗 思雨, 晋 沂雄: 鋼材係数を変数としたアンボンド PCaPC 圧着接合骨組の耐震性能評価 (その 3 梁部材のコンクリート圧縮ひずみ), 日本建築学会大会, 2017 年 8 月 31 日から 9 月 3 日まで, 広島工業大学 (広島県広島市)

苗 思雨, 北山和宏, 晋 沂雄: 鋼材係数を変数としたアンボンド PCaPC 圧着接合骨組の耐震性能評価 (その 4 各種限界状態の評価), 日本建築学会大会, 2017 年 8 月 31 日から 9 月 3 日まで, 広島工業大学 (広島県広島市)

苗 思雨, 北山和宏, 晋 沂雄: アンボンド PCaPC 圧着接合骨組における梁部材の耐震性能と各種限界状態に関する研究, コンクリート工学会年次大会, 2017 年 7 月 12 日から 14 日まで, 仙台国際センター (宮城県仙台市)

JIN, K., S. SONG, K. KITAYAMA and K. KANEMOTO: Seismic Performance of Precast Prestressed Concrete Frame Assembled by Unbonded Tendon with Cast-in-Place R/C Slab, 16th World Conference on Earthquake Engineering, 2017, January 9 - 13, Santiago International Center (Santiago, Chile)

今村俊介, 苗 思雨, 晋 沂雄, 北山和宏: 鋼材係数を変数としたアンボンド PCaPC 圧着接合骨組の耐震性能評価 (その 1 実験概要および実験結果), 日本建築学会大会,

2016年8月24日から26日まで、福岡大学(福岡県福岡市)

苗 思雨,今村俊介,晋 沂雄,北山和宏:鋼材係数を変数としたアンボンド PCaPC 圧着接合骨組の耐震性能評価(その2 実験結果の考察),日本建築学会大会,2016年8月24日から26日まで,福岡大学(福岡県福岡市)

北山和宏,晋 沂雄:鋼材付着とプレストレス率が異なるスラブ付き PRC 架構の耐震性能評価(その1 実験概要および実験結果)、日本建築学会大会,2016年8月24日から26日まで,福岡大学(福岡県福岡市)

晋 沂雄,北山和宏:鋼材付着とプレストレス率が異なるスラブ付き PRC 架構の耐震性能評価(その2 実験結果の考察)、日本建築学会大会,2016年8月24日から26日まで,福岡大学(福岡県福岡市)

宋 性勳,晋 沂雄,北山和宏:アンボンド PCaPC 十字形架構の梁部材の任意断面における中立軸位置の評価,日本建築学会大会,2016年8月24日から26日まで,福岡大学(福岡県福岡市)

鈴木大貴,宋 性勳,晋 沂雄,北山和宏:アンボンド PC 鋼材で圧着接合したプレストレストコンクリート十字形部分架構の力学特性,コンクリート工学会年次大会,2016年7月6日から8日まで,福岡国際会議場(福岡県福岡市)

晋 沂雄,北山和宏:プレストレス率及び鋼材付着を変数としたスラブ付きプレストレスト鉄筋コンクリート架構の耐震性能,コンクリート工学会年次大会,2016年7月6日から8日まで,福岡国際会議場(福岡県福岡市)

金本清臣,北山和宏,晋 沂雄,宋 性勳:アンボンド PC 鋼棒で圧着接合した PCaPC 造柱梁部分架構の構造性能,プレストレストコンクリート工学会,第24回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,2015年10月22日から23日まで,富山県民会館(富山県富山市)

晋 沂雄,宋 性勳,北山和宏,金本清臣,田島祐之:アンボンド PC 鋼材で圧着接合されたスラブ付きプレストレストコンクリート造骨組の梁曲げ破壊時の耐震性能評価,日本建築学会大会,2015年9月4日から6日まで,東海大学湘南キャンパス(神奈川県平塚市)

鈴木大貴,宋 性勳,晋 沂雄,北山和宏,金本清臣:柱梁曲げ強度比を実験変数とした

アンボンド PCaPC 圧着接合骨組の耐震性能に関する研究(その1 実験概要および実験結果),日本建築学会大会,2015年9月4日から6日まで,東海大学湘南キャンパス(神奈川県平塚市)

宋 性勳,鈴木大貴,晋 沂雄,北山和宏,金本清臣:柱梁曲げ強度比を実験変数としたアンボンド PCaPC 圧着接合骨組の耐震性能に関する研究(その2 実験結果の考察),日本建築学会大会,2015年9月4日から6日まで,東海大学湘南キャンパス(神奈川県平塚市)

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕

ホームページ等

北山研究室の研究成果

<http://www.comp.tmu.ac.jp/kitayama-lab/study/result.html>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

北山 和宏 (KITAYAMA Kazuhiro)

首都大学東京・都市環境科学研究科・教授  
研究者番号: 70204922

### (2) 研究分担者

なし ( )

### (3) 連携研究者

なし ( )

### (4) 研究協力者

なし ( )