

# 技術開発成果報告書

事業名 住宅等の安全性の向上に資する技術開発	課題名 高性能材料を利用した PCaPC 造大型集合住宅の 資産価値向上に関する技術開発
<p><b>1. 技術開発のあらまし</b></p> <p>(1) 概要</p> <p>超高層集合住宅下層階柱や連層耐震壁下層部など特定の部位にしか用いられてこなかった高性能材料を、積極的に損傷制御設計での中核的要素として改めて見直し、コンクリート強度で 100MPa 以上、鉄筋降伏強度で 500MPa 以上の超高強度材料を用いた PCaPC 架構に高性能材料を用いたダンパーを付与した損傷制御型建築構造物の建設を目標とした。具体的には、高強度材料を用いた PCaPC 造部材の曲げおよびせん断性状を把握して、剛性や耐力の算定式を提案し、PCaPC 部材を用いた損傷制御型架構の実現性について架構実験とモデル解析から検討することを目的とした。</p> <p>開発研究としては、まず高性能材料に対する評価を見直した。Fc100MPa 超のコンクリートに対する再評価を行い、①既往の部材性能評価式（剛性、耐力等）の予想精度を向上させ、②応力レベルと損傷程度がどの程度普通コンクリートと異なるのかを明らかにして損傷の定量化を行い、③提案する構造システムで、使用材料の選定・調合検討・施工性・品質管理など総合的な技術を再検討した。また、高性能鋼材を用いた安価な履歴型ダンパーの開発として、①低降伏点鋼を用いたダンパー開発と、②超高張力鋼を用いた混合より線型 PC 鋼材の開発と性状把握を行った。</p> <p>次に、制振型 PCaPC 造建物を利用した損傷制御システムを提案した。ここでは、①PCaPC 造建物に適した高性能ダンパーを選択し、物理実験および数値計算を用いてその性能を確認し、②構造性能評価法（モデル化、構成則、解析手法など）の資料を整備し、③設計法と施工法について検討した。</p> <p>(2) 実施期間 平成 20 年度～平成 21 年度</p> <p>(3) 技術開発に係った経費 技術開発に係った経費 40,001 千円                      補助金の額 19,048 千円</p> <p>(4) 技術開発の構成員</p> <p>京都大学大学院工学研究科・西山研究室（教授 西山峰広） 株式会社ピーエス三菱（技術本部建築技術部長 浜田公也） 高周波熱錬株式会社（常務取締役製品事業部長 萩野學） 住友電工スチールワイヤー株式会社（PC統括部PCシステム部部长 山田真人） 共英製鋼株式会社（名古屋事業所ネジ技術課課長 小寺耕一郎） 住倉鋼材株式会社（代表取締役社長 山本尚）</p> <p>(5) 取得した特許及び発表した論文等</p> <p>取得したまたは申請中の特許 特になし。</p>	

## 発表した論文

- [1] Ichioka Y., Kono S., Nishiyama M., Watanabe F.: Hybrid System Using Precast Prestressed Frame with Corrugated Steel Panel Damper, *Journal of Advanced Concrete Technology, JCI*, Vol. 7, No.3, pp. 297-306, 2009.
- [2] 市岡有香子, 河野進, 渡邊史夫: PC 鋼より線の付着履歴特性を考慮した圧着型 PCaPC 曲げ部材の FEM 解析, *コンクリート工学年次論文報告集, JCI*, Vol. 31, No.2, pp. 541-546, 2009.
- [3] 李在満, 谷昌典, 河野進, 坂下雅信, 西山峰広: 高強度せん断補強筋を用いたプレキャストプレストレストコンクリート梁の曲げせん断性状に関する研究, *日本建築学会構造系論文集*, 第 653 号, pp.1335-1342, 2010.7
- [4] 李在満, 谷昌典, 坂下雅信, 河野進: 高強度せん断補強筋を有するプレキャストプレストレストコンクリート梁のせん断斜張力破壊に関する研究, *コンクリート工学年次論文集*, Vol.32, No.2, pp.493-498, 2010.7
- [5] 内山元希, 長谷川弘明, 坂下雅信, 河野進: 785MPa 級のせん断補強筋を用いた PCaPC 柱のせん断性状に関する実験的研究, *コンクリート工学年次論文集*, Vol.32, No.2, pp.487-492, 2010.7
- [6] 田中佑樹, 佐藤尚隆, 坂下雅信, 河野進: 混合より線を用いた外付け鉄骨フレームによる耐震補強工法, *コンクリート工学年次論文報告集, JCI*, Vol. 32, No.2, pp. 979-984, 2010.
- [7] 李在満, 谷昌典, 坂下雅信, 河野進: 高強度せん断補強筋を有するプレキャストプレストレストコンクリート梁のせん断斜張力破壊に関する研究, *コンクリート工学年次論文集*, Vol.32, No.2, pp.493-498, 2010.7
- [8] 内山元希, 長谷川弘明, 坂下雅信, 河野進: 785MPa 級のせん断補強筋を用いた PCaPC 柱のせん断性状に関する実験的研究, *コンクリート工学年次論文集*, Vol.32, No.2, pp.487-492, 2010.7
- [9] Lee, J., Nishiyama, M., and Tani, M., "Evaluation of Shear Design Procedures for Prestressed Concrete Members," *Proceedings of the 3rd fib congress*, ID 455, pp. 1-14, 2010.5
- [10] Tani, M., Nishiyama, M.: Theoretical Modeling of Prestressed Concrete Members Subjected to Shear Considering Bond Strength of PT Tendons, 3rd International fib Congress, Washington DC, USA, Paper ID #435, 2010.

## 2. 評価結果の概要

### (1) 技術開発成果の先導性

PCaPC 造（自己修復性）とダンパー（エネルギー吸収）を組み合わせ、地震時および地震後の機能保持、および早期復旧を担保可能な構造形式を構築することが特徴である。免震の対称とならない建物に対しても、安価で耐震性能に優れる構造システムを提供可能となる。

### (2) 技術開発の効率性

提案する構造システムを有する建築物を建設するためには、公的機関の認定を受けなければならない。また、免震構造など同等の耐震性能を有するシステムと比較した場合の優位性をアピールしながら、市場展開をする必要がある。

### (3) 実用化・市場化の状況

実用化しようとしているダンパー型 PCaPC 造制振システムは、高性能材料をダンパーと PCaPC 部材の両方に用いることで、エネルギー消費性能と損傷制御性能を飛躍的に向上させたものである。この結果、架構を構成する構造部材が最適化され、使用材料も減少し、その結果美観に優れ空間の有効度が向上する。また、ダンパーは履歴型であるため大掛かりな仕組みを必要としないが、免震構造と同じ振動制御機能を発揮でき市場価値が高い。

#### (4) 技術開発の完成度、目標達成度

高性能材料に対する評価の見直しとして、Fc100MPa 超のコンクリートに対する再評価および高性能鋼材を用いた安価な履歴型ダンパーの開発に関しては、ほぼ予定通りの目標を達成した。また、制振型 PCaPC 造建物を利用した損傷制御システムの提案では、物理実験においてダンパーの性能をうまく発揮させることができず、周辺架構の剛性とダンパーの固定方法に問題を残したが、数値実験を用いて提案システムが機能することを確認した。現状では、こうした建物を建設するには公的機関の認定を受ける必要があり、設計法整備が必要である。

#### (5) 技術開発に関する結果

##### ・成功点

これまで実験結果が少なく、性状が良く分からなかった高強度 PCaPC 部材の曲げせん断実験を行い、曲げせん断性状を明らかにした。特に、高強度 PCaPC 部材の利点・欠点を明らかにし、終局時破壊性状として曲げ耐力およびせん断耐力と破壊モード (F, ST, SC, DT,) を精度良く予測できるようになった。

既存 RC 造柱梁架構を模擬した実大試験体を製作し、間柱型ダンパーとして平鋼板、波形鋼板を用いた制震要素を組み込んだ擬似動的載荷実験を実施し、設計及び施工上の問題点を把握した。さらに、実験結果を用いて精度を検証した数値解析モデルを用いて、補強前後の RC 骨組の動的解析を行い、間柱ダンパーによる耐震補強効果を検証した。

##### ・残された課題

高性能材料を用いた PCaPC 部材のせん断耐力評価式の精度は向上したが、式で想定したせん断抵抗機構が実験では成立していないことも確認している。特に、トラス機構における PC 緊張材の付着応力、せん断補強筋の応力、コンクリートの圧縮ストラット応力が釣合っていないことに課題を残している。そこで、仮定した抵抗機構を見直し、実際に計測された PC 緊張材付着応力分布とせん断補強筋の応力を精査し、改めて抵抗機構を再検証する。

層間変形角 0.10%以下の小変形時において鋼板ダンパーがせん断降伏し、エネルギー消費能力を発揮する間柱型ダンパーを設計・施工した。しかし、ダンパー定着部の梁が変形し、間柱ダンパー架構システムの水平剛性が低下した。そこで、層間変形角 0.50%付近に達するまで鋼板ダンパーがせん断降伏せず、設計時に想定したエネルギー消費効果を得ることはできなかった。

### 3. 対応方針

#### (1) 今後の見通し

現在、PC 鋼材の付着の有無を変数にした、柱の曲げせん断実験を計画中であり、かぶりコンクリートの圧縮束など付着以外で鋼材に沿った水平成分が得られる機構を模索している。

梁や柱の剛性を高めて、ダンパーに変形が集中するように設計方法を見直す。また、比較的容易に提案建物を設計する設計フローや設計例を整備する予定である。