

平成**20**年度～**21** 年度

「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」

京都大学工学研究科・西山研究室
株式会社ピーエス三菱
高周波熱錬株式会社
住友電工スチールワイヤー株式会社
共英製鋼株式会社
住倉鋼材株式会社

(教授 西山峰広)
(技術本部建築技術部長 浜田公也)
(常務取締役製品事業部長 萩野學)
(**PC**統括部**PC**システム部部長 山田真人)
(名古屋事業所ネジ技術課課長 小寺耕一郎)
(代表取締役社長 山本尚)

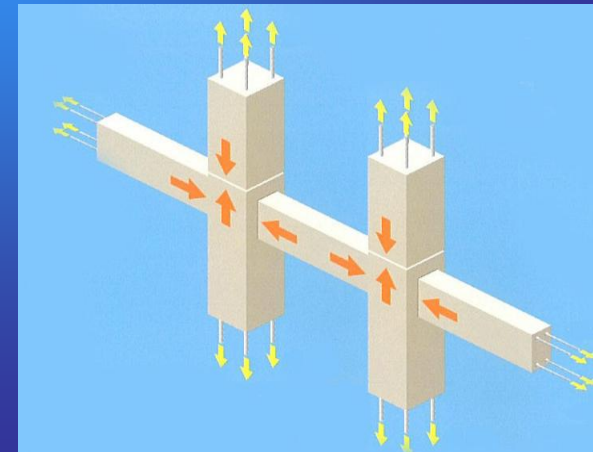
背景と目的

背景

- **PCaPC構造は、大スパン化が可能であり、超寿命化に必要なスケルトンインフィルの機能を組み入れることも容易である。また、中小地震後の早期復旧を可能にするエネルギー消費機能を有するデバイスも組み込みやすい。しかし、現状ではこれらの利点を生かしたPCaPC構造システムは実現されていない。**
 - ◆ PCaPC構造の性能は、高強度材料を使用することで向上し、より汎用性の高い次世代型の構造となる。
 - ◆ 高性能材料を用いたPCaPC構造では、普通強度を有する材料とは大きく異なる。通常は、安全率を高く設定しており、材料が本来有する性能を十分に発揮できていない。

目的

- **限定的に用いられてきた高性能材料を、損傷制御設計での中核的要素として改めて見直す。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架構にダンパーを付与した建築構造物の建設を実現するため、以下の目的を設定した。**
 - ◆ **損傷評価法の確立**
 - 高性能材料を用いたPCaPC部材の損傷の種類とその力学的損傷度合いに関して普通強度RC造との違いを明確化する。
 - 各種耐力・変形性能を含めた損傷予測法の提案と各種外乱に対する適応性確認と応答予測の精度を向上させる。
 - ◆ **損傷の経済的評価法の開発...耐震性能・耐久性・環境負荷などに関する費用評価に基づき、高性能材料を用いたPCaPC造大型集合住宅による資産価値の向上率を定量化し、社会的・経済的効果を評価する。**



技術開発の概要

概要:

高性能材料を用いた**PCaPC**構造を大型集合住宅に適用し、建築物の耐震性能・耐久性能・環境負荷などに関する品質を向上させ、**200年住宅**を実現するための技術開発を行なった。

内容:

- **高性能材料に対する評価の見直し**
 - ◆ **Fc100MPa超のコンクリートに対する再評価**
 - 既往の評価式の予想精度を向上させる。
 - 応力レベルと損傷程度が普通コンクリートと異なるので、ひび割れ幅に代表される損傷の定量化を行った。
 - 使用材料の選定・調査検討・施工性・品質管理など、高性能材料を取り扱うために必要な総合的な技術を再検討する。
 - ◆ **高性能鋼材を用いたダンパーの開発**
 - 低降伏点鋼を用いた波型鋼板ダンパーを開発した。
 - 超高張力鋼を用いたPC鋼材を開発し、混合より線ダンパーとして提案した。
- **制振型PCaPC造建物を利用した損傷制御システムの確立**
 - ◆ PCaPC造建物に適した高性能ダンパーを検討した。
 - ◆ 構造性能評価法(モデル化, 構成則, 解析手法など)の資料を整備した。
 - ◆ 設計法と施工法を確立した。

技術開発の先導性・効率性・ 実用化の見通し

● 技術開発の先導性および効率性

- ◆ 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。
- ◆ ただし、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。免震構造など、同等の構造性能を有するシステムとの優位性をアピールし、市場展開をする必要がある。

● 実用化・市場化の見通し

- ◆ 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。
- ◆ 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せず、免震構造と同じ振動制御機能を発揮するなど、市場価値が高い。

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

◆ Fc100MPa超のコンクリートに対する再評価

- 既往の評価式の予想精度を向上させる。(95% — 終局時の曲げやせん断耐力)
- 応力レベルと損傷程度が普通コンクリートと異なるので、損傷の定量化が必要となる。(90% — かぶりの剥離やひび割れ評価)
- 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する。(90% — 高強度コンクリートや高強度グラウトの施工, 高強度鉄筋の取扱い)

◆ 高性能鋼材を用いたダンパーの開発

- 低降伏点鋼を用いたダンパー開発 (エネルギー消費効率の向上) (95% — 波型鋼板ダンパーの開発)
- 超高張力鋼を用いたPC鋼材の開発と性状把握 (使用材料の低減) (80% — ダンパーケーブルの開発)

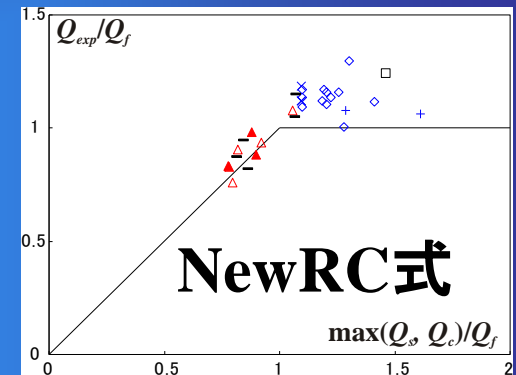
● 制振型PCaPC造建物を利用した損傷制御システムの確立

- ◆ PCaPC造建物に適した高性能ダンパー最適化問題の解決 (70% — 数値実験は成功したが、実験では未解決)
- ◆ 構造性能評価法 (モデル化, 構成則, 解析手法など) 資料整備 (85% — 高強度コンクリートの構成則と曲げ解析モデルの開発, せん断抵抗機構の解明)
- ◆ 設計法と施工法の確立 (80% — 損傷制御型建物の実現に向けた基礎情報確立)

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。

- ◆ 高強度PCaPC部材の利点・欠点を明らかにした。
- ◆ 主な終局時破壊性状を把握し、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た。

- ◆ 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し、擬似動的実験を行って架構の性能を把握した。
- ◆ 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。ダンパーが紡錘形の履歴ループを描いたCase14(Elcentro NS波Level 1)では、補強前のRC骨組と比較し、補強後のRC骨組の最大応答は6割程度に軽減された。また、ダンパーによるエネルギー消費量は、平均的等価減衰Hsにより定量的に評価できた。



技術開発に関する結果(残された課題)と 今後の見通し

- 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際には成立していない。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の応力が釣合わない。
 - ◆ 仮定した抵抗機構を見直す必要がある。実際に計測されたPC緊張材に沿った付着応力分布とせん断補強筋の応力を改めて検証する。現在、付着の有無を変数にした実験を実施中である。
- 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・施工したが、以下の問題が生じた。
 - ◆ ダンパー以外の部材変形により、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。
 - ◆ ダンパー以外の要素に変形が逃げないように、ダンパー周辺の剛性を確保する。
- 今回の成果の一部は、E-defenseにおける4層実大PCaPC造建物の振動実験に繋がったと考えられる。動的实验では、本開発研究で見られなかった新たな検討項目も見つかっており、本提案システムが今後益々発展していくと思われる。

