

# アンボンドプレキャストプレストレストコンクリート柱と 制振部材を組合せた架構に関する実験的研究 その2 解析的検討

朱 盈 大庭 正俊  
佐々木 仁\*<sup>1</sup>

## 概 要

アンボンドプレキャストプレストレストコンクリート(以下アンボンドPCaPC)圧着工法は、シース管内にグラウト注入をしない工法で、プレストレスト力によるひび割れ制御や残留変形がほとんどない高い原点指向性といった構造性能とプレキャスト部材を建設現場で圧着接合してフレームを構築するため工期短縮、生産性が向上するといった特徴を持っている。超高層建物のコア部分にアンボンドPCaPC柱と壁柱を配置し、その間に制振部材を配置したセンターコア形式の構造を開発・試設計をしている。その構造の弾塑性挙動を解析的に予測するために、試設計建物架構の一部を取り出した十字形部分架構の構造実験に対して、モデル化を検討した。そして、そのモデルに対して解析を行い、解析結果と実験結果を比較し、その整合性について検討した。結果として、ダンパーと柱との接合部のモデル化は、ダンパーの復元力に影響を与え、滑りを考慮したモデル化により、実験値と解析値は精度よく適合した。

## Experimental study on frames with a combination of damper and unbonded precast prestressed concrete columns Part 2 Analytical study

### Abstract

Unbonded precast prestressed concrete has the following features: it does not inject grout into the sheath tube; it has structural performance such as high criterion crack control by prestressed force and high origin directivity with little residual deformation; it is assembled in the factory and at the construction site. Construction time will be shortened and productivity will be improved. We have been developing a center-core-type structure in which damping members placed between unbonded PCaPC columns and wall columns were deployed in the core part of a super high-rise building, and we prepared a trial design of the building. To analytically predict the elasto-plastic behavior of the structure, we modeled the experiment on the cross-shaped frame which was taken from a part of the building. We examined the consistency of the analytical results and the experimental results. As a result, modeling of the joint between the damper and the column affected the restoring force of the damper. By modeling with consideration for slippage, the experimental and analytical values matched accurately.

キーワード: アンボンドプレストレスト、圧着柱  
高強度コンクリート、制振部材

\*1 大和ハウス工業株式会社

## §1. はじめに

アンボンド・プレキャストプレストレストコンクリート(以下、アンボンド PCaPC)柱とアンボンド PCaPC 壁柱の間に制振部材を組み込んだ構造を考案し超高層建物の試設計を行った。これまでにアンボンド PCaPC 柱の曲げ性能、せん断性能について実験的考察を行った<sup>1)2)</sup>。前報<sup>3)</sup>では、アンボンド PCaPC 柱および壁柱を用いた試設計建物の地震応答解析結果を示すとともに架構の一部を取り出し、十字形部分架構の構造実験によってセンターコア架構の弾塑性挙動を把握したが、ダンパーおよび全体架構の履歴性状について、解析的な検討は行わなかった。ここでは、十字形部分架構の構造実験に対して、モデル化を検討し、解析を行う。また、解析結果と実験結果を比較し、その整合性について検討する。

## §2. 実験概要と解析概要

### 2.1 実験概要

試験体は1/3縮尺平面十字形部分架構とした。実験パラメータは制振部材(ダンパー)のウェブせい $d_s$ と板厚 $t_w$ とした。制振部材の詳細を表1に示す。

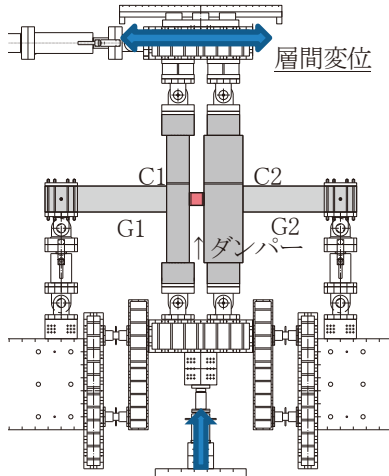


図1 試験体(加力試験装置)

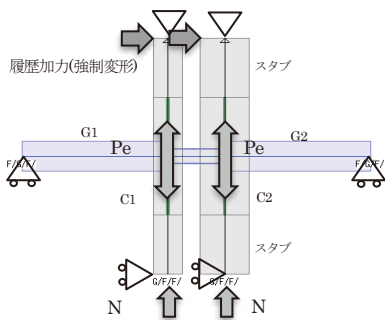


図2 架構のモデル化

アンボンド PCaPC 柱の形状は正方形断面 C1(350mm×350mm)と長方形断面 C2(200mm×600mm)とし、柱間に225mmの隙間を設け制振部材を組み込んだ。柱と制振ダンパーの接合については、左右25mm厚の鉄板を取り付け、ボルトで固定した。鉄板と柱の隙間にエポキシを注入した。

図1に加力装置を示した。表2に試験体諸元を示す。試験体の梁の両端はローラー支持、上下柱はピン支持とし、下加力点には鉛直方向のジャッキを取り付けた。材料強度および載荷方法は前報<sup>3)</sup>を参照する。

### 2.2 解析概要

実験概要を踏まえて、図2のように解析ソフトで架構をモデル化した。解析ソフトは弾塑性解析プログラムSNAP. ver7を使用した。

表1 制振部材一覧

試験体名	SP-1	SP-2	SP-3
フランジ厚さ $t_f$	9mm	9mm	9mm
ウェブ厚さ $t_w$	6mm	4mm	6mm
ウェブ幅 $d_s$	182mm	182mm	185mm
全幅 $d$	182mm	182mm	376mm
幅厚比 $d_s/t_w$	30.3	45.5	30.8
降伏耐力 $Q_y$	154.9kN	118.8kN	303.7kN
図			

表2(a) 試験体諸元(梁部分)

	梁G1	梁G2
内法スパン	1623 mm	1502 mm
幅×せい	200×400 mm	
コンクリート強度	60 N/mm <sup>2</sup>	
主筋(材種)	2-D29(SD345)	
引張鉄比 $\rho_t$	1.61 %	
あばら筋(材種)	2-D6(SD295A)	

表2(b) 試験体諸元(柱部分)

	柱C1	柱C2
反曲点までの高さ上階, 下階	1600 mm, 1600 mm	
幅×せい	350×350 mm	200×600 mm
コンクリート強度	80 N/mm <sup>2</sup>	
組立筋(材種)	12-D10(SD295A)	12-D10(SD295A)
帯筋(材種)	2-D6@50(SD295A)	2-D6@50(SD295A)
PC鋼材(材種)	1-φ36(C種1号)	
軸力 $N$ , $P_e$	$N=784, P_e=784$ kN	$N=784, P_e=784$ kN
軸応力比 $\eta_N, \eta_{P_e}$	0.08, 0.08	0.08, 0.08

(1)PCaPC柱及び壁柱のモデル化

解析に用いた柱の軸・曲げばねモデルは図3のようなMSモデルとして、塑性ヒンジ長さ $L_p$ は柱の内法長さの1/3と設定する。コンクリートモデルはトリニア剛性低減型とし、材端ファイバーモデルのSS曲線は図4のように、使用するコンクリート強度 $\sigma_m$ が70N/mm<sup>2</sup>を超える場合、かぶり部のコンクリート強度を低減させる。なお、長方形試験体および正方形試験体の低減係数は以下の式による<sup>4)</sup>。

$$\text{正方形試験体} : \lambda = -1.5\eta + 1.25 D/b - 0.0015\sigma_m \quad (1)$$

$$\text{長方形試験体} : \lambda = -1.5\eta + 0.35 D/b - 0.0015\sigma_m \quad (2)$$

$\eta$  : 圧縮軸力比,  $D$ : 柱のせい,  $b$ : 柱の幅

実験では柱の強度はFc80を使用しているため、かぶり部の低減が必要である。軸圧縮比  $\eta = 0.16$  を式に代入すると正方形断面のかぶり部強度は71.2 N/mm<sup>2</sup> になり、長方形断面のかぶり部強度は55.2 N/mm<sup>2</sup> になる。

また、柱のせん断ばねモデルは単軸ばねの原点指向型とし、せん断終局耐力およびせん断ひび割れ耐力は筆者らが2019年に発表した文献<sup>2)</sup>により計算する。なお、PC鋼はトラス材としてモデル化し、軸ばねモデルは単軸ばねの剛性低減型とする。

(2)RC梁のモデル化

解析に用いたRC梁の曲げばねモデルは剛性低減型とし、せん断ばねモデルは原点指向型とする。

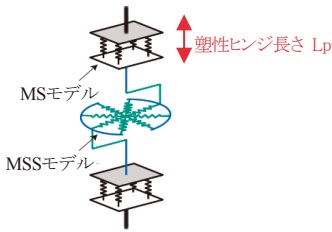


図3 柱のモデル

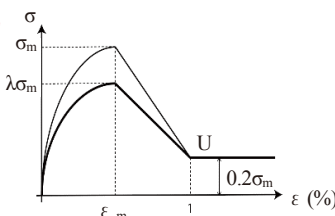


図4 材料モデルのSS曲線

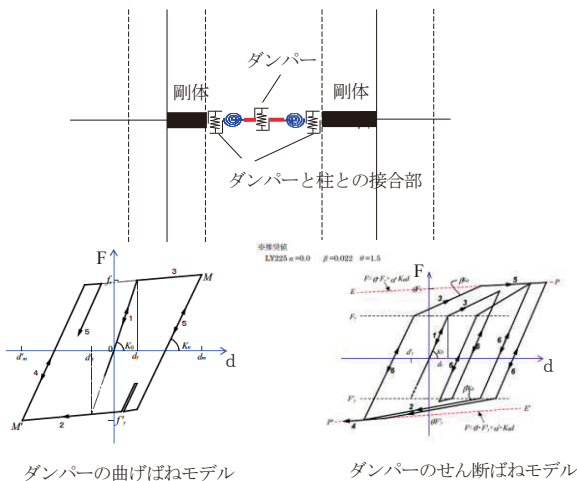


図5 鋼材ダンパーのモデル化

表3 部材のばねモデル

部材	軸・曲げばね	せん断ばね
PCaPC柱	MSファイバー	単軸ばね (原点指向型)
PC鋼棒 (トラス要素)	単軸ばね (剛性低減型)	—
RC梁	単軸ばね (剛性低減型)	単軸ばね (原点指向型)
鋼材ダンパー	単軸ばね (剛性低減型)	単軸ばね (極低降伏点鋼制振ダンパー)

(3)鋼材ダンパーのモデル化

鋼材ダンパーのモデルは図5に示す。ダンパーの履歴モデルについて、曲げばねモデルは単軸ばねの剛性低減型とし、せん断ばねモデルは正負非対称の弾性、歪硬化段階、終局段階の3つの領域を表すトリニアスケルトンカーブを持つ単軸ばねモデル—極低降伏点鋼制振ダンパーとする。

§3. 鋼材ダンパーの履歴性状の適合性

3.1 ダンパーと柱(壁柱)との接合部のモデル化

実験結果から、SP1～SP3とも層間変形角1/100までのダンパーの履歴面積が小さく、弾性に近い性状が現れた。

実験の際、変位が小さい段階ではダンパーの変形はほとんどなかった。それは最初の小変形時はボルトの滑りでせん断力がダンパーに伝達できず、変位が大きくなるとボルト孔の隙間がなくなり、鋼板にあたったため、せん断力がダンパーに伝わり、その時点からダンパーが履歴を描き始めたと考えられる。

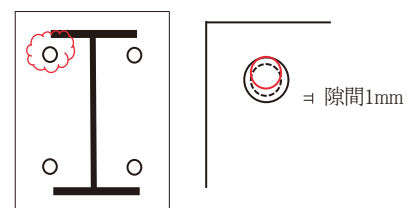


図6 接合部の詳細

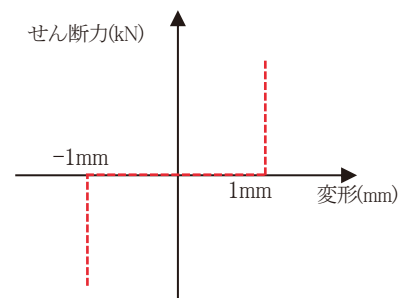


図7 接合部の復元力特性

以上の考察で、接合部をスプリング要素としてモデル化し、せん断方向のみ接合部のせん断剛性値を入力し、その他の方向は剛体設定とした。せん断方向の履歴モデルを1mmまで剛性を持たず、その後大きい剛性を表すマルチリニア型弾性モデルにした。なお、復元力特性は図7に示す。

#### §4. 解析結果

本節ではモデルの解析結果と実験結果の比較を行う。図8はSP1～SP3のダンパーの履歴を示す。図9はSP1～SP3の架構全体の履歴結果を示す。実験結果を踏まえた架構のモデル化により、実験値と解析値は精度よく適合した。

#### §5. まとめ

本報告ではアンボンドPCaPC柱と壁柱の間に制振部材を組み込んだ十字型架構実験に対してモデル化および解析を行った結果について下記の知見を得た。

- (1) 実験結果を踏まえ、各部材のモデル化を設定した
- (2) ダンパーと柱との接合部のモデル化は、ダンパーの復元力に影響を与え、滑りを考慮したモデル化により、実験値と解析値は精度よく適合した。

#### 参考文献

- 1) 大庭正俊ほか:アンボンドプレキャストプレストレストコンクリート柱の構造性能に関する実験的研究(その1～3), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造IV, pp.769-774, 2018.9
- 2) 大庭正俊ほか:アンボンドプレキャストプレストレストコンクリート柱のせん断耐力に関する実験的研究(その1～3), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造IV, pp.809-814, 2019.9
- 3) 大庭正俊ほか:アンボンドプレキャストプレストレストコンクリート柱と制振部材を組合せた架構に関する実験的研究, フジタ技術研究報告第56号, 2020
- 4) 加藤諒也:アンボンドプレストレスト圧着接合によるプレキャスト柱部材の曲げ性状に関する解析的予測, 東京理科大学大学院修士論文, 2019

#### ひとこと

アンボンドPC柱・壁柱と制振部材を超高層建物のコア部分に設けることで、大地震時にも構造部材の損傷が少ない安全安心な建物を供給することを図る。これまでの実験結果と設計法をまとめ、実用化に向けて開発を進めたい。



朱 盈

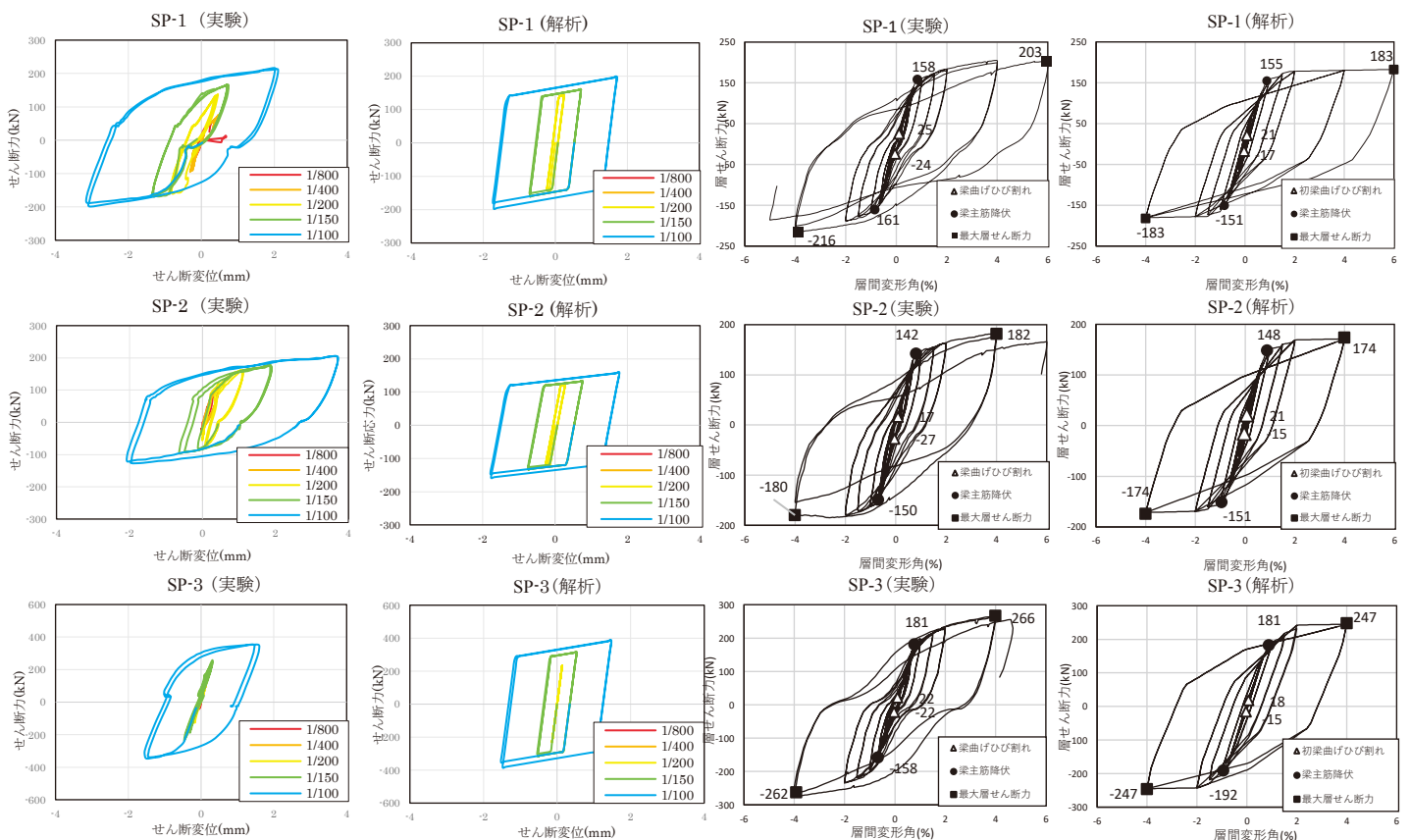


図8 実験値と解析値の比較(ダンパーの履歴)

図9 実験値と解析値の比較(架構全体)