

# アンボンドプレストレストコンクリート梁の耐震性能に関する解析的研究

正会員 ○伊縫旺真\*  
同 河野進\*  
同 小原拓\*  
同 David Mukai\*\*

アンボンド PRC 造梁 MS モデル  
残留変形角 等価粘性減衰定数

## 1. はじめに

近年の建物に対する社会的要求は、安全性を確保することはもちろん、できる限り地震時の損傷を低減し、地震後の早期復旧や機能維持を実現することである。これに対し、プレストレスト鉄筋コンクリート（以下、PRC）構造は、曲げ耐力をある程度確保し、かつ部材の損傷を抑制する損傷制御を実現できる。これにより履歴面積が大きく、地震後の残留変形が小さい理想的なフラッグシェイプ型の履歴復元力特性を有する構造システムを実現できる。本研究では、PRC 梁に関する既往の実験結果を比較的簡易なマルチスプリングモデル（以下、MS モデル）を用いて再現し、部材および材料レベルにおける挙動の再現性を検証した。

## 2. 解析概要

### 2.1 解析対象試験体

既往研究の3体のアンボンド PRC 造梁部材を解析対象とした。3体とも曲げ破壊型となるように設計し、スタブ・梁・スラブを一体打ちとした。荷重は、荷重点の鉛直変位をスタブ端から荷重点までの距離で除した部材変形角  $R$  により制御した。

### 2.2 アンボンド PRC 造梁のモデル化

図-1 に解析モデルの立面図を示す。変形集中領域は梁固定端側長さ  $L_p$  の領域であり、本報では渡邊らの手法を参考とし、 $L_p=0.5D$  (300mm) として、MS モデルに適用した。軸方向のバネ要素や梁要素は直行する剛梁を介して接合されている。また、マルチスプリングモデル左端と PC 鋼棒左端は固定端とし、固定端以外の節点には N1 から N5 までの節点を付した。図-2 は PRC1 における MS モデル部分の要素分割図を示す。MS モデルは図-2 に示す Y 軸方向に 25 分割し、同一高さのカバーコンクリートとコアコンクリートは別々のバネで表現した。PRC2 はスラブ筋がない断面、PRC3 に関してはスラブがない断面モデルとした。

### 2.3 材料モデル

図-3 に、解析に用いたコンクリートおよび PC 鋼棒、主筋の応力-ひずみ関係を示す。(引張正, 圧縮負とする) コンクリートの応力-ひずみ関係は、カバー部分は修正 Kent-Park モデルによりモデル化し、終局限界ひずみは 0.007 としてモデル化を行った。コア部分（せん断補強筋で囲まれた部分）は終局限界ひずみも含め修正 Kent-Park

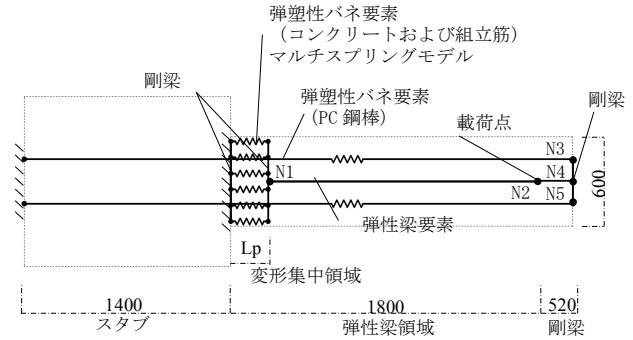


図-1 解析モデルの立面図

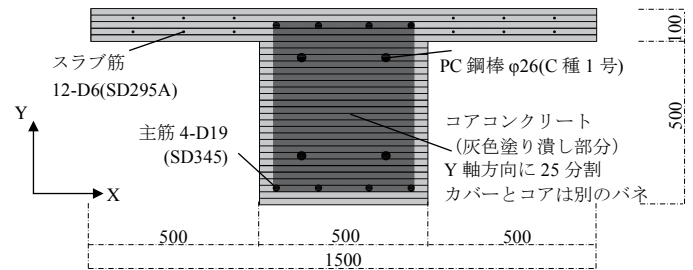


図-2 マルチスプリング部における要素分割図

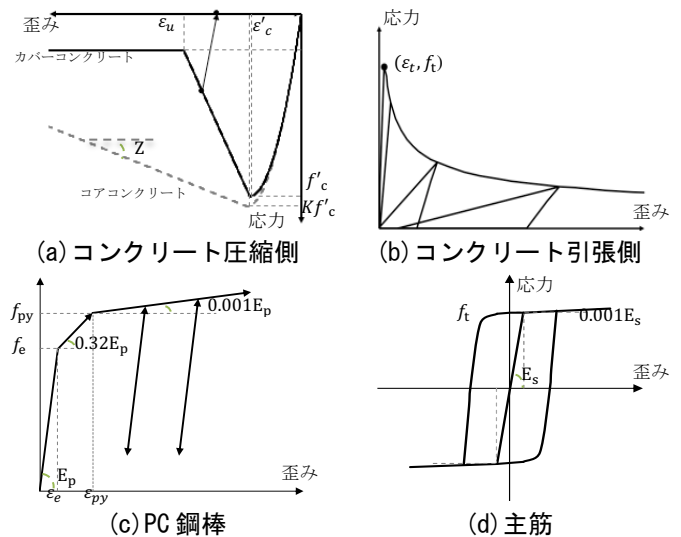


図-3 材料の応力-歪み関係

モデルを適用し、拘束効果を評価した。PC 鋼棒の応力-ひずみ関係は、包絡線にトリリニアモデルを使用し降伏後の剛性低下率は 0.001 とした。主筋、スラブ筋には、包絡線にバイリニアモデルを用い、繰り返し荷重に修正 Ramberg-Osgood モデルを用いた。各モデルの材料定数は、材料試験結果の値を用いた。

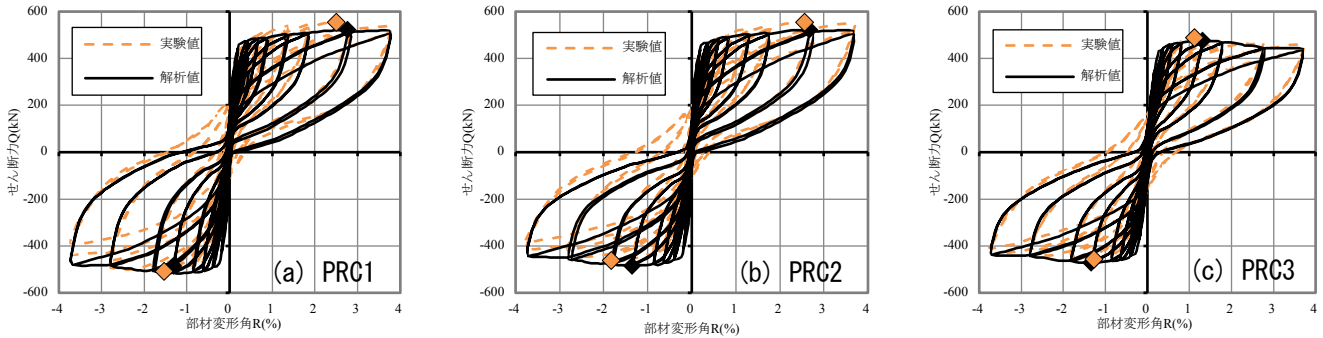


図-4 せん断力(Q)一部材変形角(R)関係

### 3. 解析結果および実験結果との比較

#### 3.1 せん断力(Q)-部材変形角(R)関係

図-4 に解析および実験によって得られたせん断力(Q)一部材変形角(R)関係を示す。グラフの実線が解析値、破線が実験値を示す。◇は最大耐力点を示し、黒塗りが解析値、橙塗りが実験値である。正載荷側においては包絡線および除荷剛性を  $R=4.0\%$  まで高い精度で再現できている。一方、負載荷側において部材変形角  $1.0\%$  を超える除荷時の履歴ループが実験結果をあまり精緻に追跡できなかった。

#### 3.2 残留変形角

図-5 に PRC1 と PRC2 の残留変形角一部材変形角(R)関係を示す。グラフの実線が解析値、破線が実験値を示す。残留変形角は梁部材に作用する水平荷重が  $0\text{kN}$  時の各サイクル 2 周目の正負除荷時部材変形角を用いた。

PRC1 は  $R=4.0\%$  まで精度良く実験結果を追跡できた。一方 PRC2 は負載荷側において実験値は解析値よりも大きくなる傾向にあった。これは図-4 において  $R=-3.0\%$  まで解析結果は残留変形が小さくなるためである。

#### 3.3 等価粘性減衰定数

図-6 に PRC1 と PRC2 の等価粘性減衰定数( $h_{eq}$ )一部材変形角(R)関係を示す。グラフの実線が解析値、破線が実験値を示す。等価粘性減衰定数は文献<sup>3)</sup>に基づいて算出した。解析、実験とも各サイクル 2 周目の履歴ループを用いて算出した。

両試験体とも部材変形角  $R=4.0\%$  まで精度良く実験値を再現することができた。また実験結果と同様にスラブ筋の定着がある PRC1 のほうが、 $h_{eq}$  が大きくなる傾向を解析で捉えることができた。

### 4. まとめ

本報では MS モデルを用いた解析手法を提案し、3 体のアンボンド PRC 造梁を対象として実験結果の再現を試みた。梁端部の変形集中領域長さ  $L_p$  を  $0.5D$  と仮定することで、せん断力一部材変形角関係・残留変形角・等価粘性減衰定数に関する実験結果を精度良く再現できた。

ただし除荷時の履歴ループは実験結果を再現すること

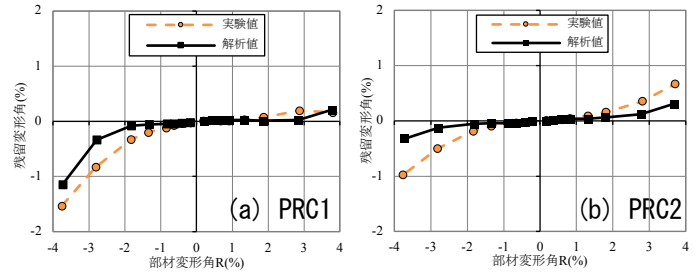


図-5 残留変形角一部材変形角(R)関係

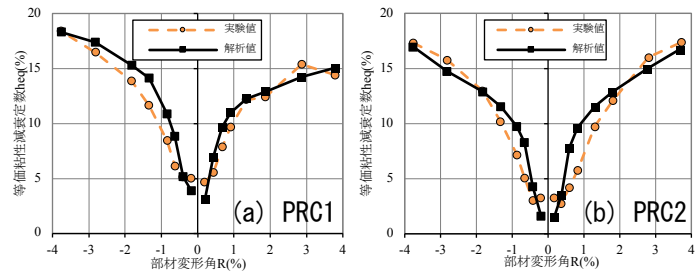


図-6 等価粘性減衰定数  $h_{eq}$  一部材変形角(R)関係

ができなかった。これは鉄筋や PC 鋼棒とコンクリートの影響を受けるため、それらの材料に関する高精度な構成則モデルが求められる。

### 謝辞

本研究は、一般社団法人長寿命建築システム普及推進協会による長寿命建築システム普及推進事業の一環として行われた実験で得た実験データを利用しました本研究の一部は、科学研究費基盤 A(河野進)、フロンティア材料研究所全国共同利用及び WRHI の補助を受けて実施したものです。

### 参考文献

- 1) 森口佑紀ほか：スラブ付きアンボンドプレストレストコンクリート梁の曲げ性状に関する実験的研究, 日本建築学会大会学術講演梗概, pp.749-752, 2014.9
- 2) 渡邊秀和ほか：ファイバーモデル解析を用いたアンボンド PCaPC 造梁の損傷評価, 日本建築学会構造系論文集, No.729, pp.1921-1931, 2016.11
- 3) 柴田明徳：最新耐震構造解析 (第 3 版), 森北出版, 2014.12

\* 東京工業大学

\*\*ワイオミング大学

\* Tokyo Institute of Technology

\*\* University of Wyoming