

複合ハーフプレキャスト部材の施工時の曲げ挙動評価に対する数値解析の適用性

鹿島建設(株) 正会員 ○山野辺慎一 岩本拓也 曾我部直樹

1. はじめに

RC 躯体の頂版施工における鉄筋、型枠、支保工作の省力化を目的として、プレキャスト (PCa) 版を鋼材ユニットで補強した複合ハーフプレキャスト (HPCa) 部材の開発を進めている。その一環として、実物大規模の複合 HPCa 部材に対するコンクリート打込み実験を行い、支保工を省略した状態で施工時荷重を受けた際の曲げ挙動を検証した¹⁾。本研究では、同実験に対する非線形有限要素法とファイバーモデルによる数値解析を実施し、複合 HPCa 部材の施工時の曲げ挙動評価に対するこれらの解析手法の適用性について検証した。

2. 複合 HPCa 部材のコンクリート打込み実験の概要

試験体は大型開削トンネルの頂版を想定した実物大規模の複合 HPCa 部材であり、埋設型枠となる PCa 版と主鋼材とブレース、せん断補強筋を溶接で組み立てた鋼材ユニットおよびこれらの接合部から構成されている。PCa 版には鋼材ユニットとの接合用の鋼管 (SGP) が拔出し防止筋 D10 とともに埋設されており、鋼材ユニット下面には PCa 版と接合するための頭付きスタッド ($\phi 16\text{mm}$, $h50\text{mm}$) が設置されている。頭付きスタッドを PCa 版の鋼管内に挿入するように鋼材ユニットを架設した上で、鋼管内にグラウトを充填することで両者を一体化した。支間長 6.5m とした支点上に試験体を設置して型枠を組み立てた後に、試験体を部材高さ方向および軸方向に 3 等分割して「たわら打ち」によりコンクリートを打込み、図-1 に示す位置でたわみやひずみを計測することで部材の曲げ挙動を検証した。実験の詳細は既報¹⁾を参照されたい。

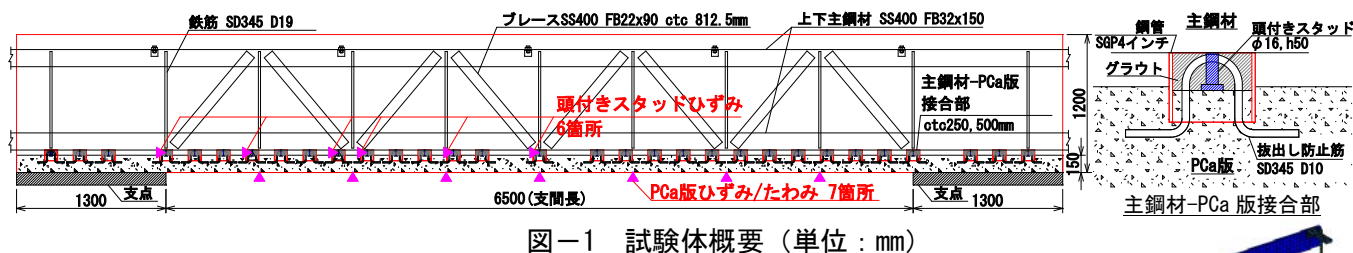


図-1 試験体概要 (単位: mm)

3. 解析概要

図-2 に非線形有限要素法 (FEM) による解析モデルの概要を示す。解析プログラムには DIANA10.5 を使用した。対称性を考慮した 1/4 モデルとし、拔出し防止筋は梁要素、その他を全てソリッド要素でモデル化した。各材料モデルや境界要素の設定には、今回適用した PCa 版-主鋼材接合構造のせん断および引抜き特性を再現可能な解析モデル²⁾を用いた。実験における支点付近もモデル化した上で、PCa 版上面にコンクリート打込み時の死荷重を面分布荷重として作用させることで、実験の状況を再現した。

図-3 にファイバーモデルによる解析の概要を示す。PCa 版と鋼材ユニットを線形のファイバー要素、主鋼材と PCa 版との接合部を法線・せん断の 2 方向の線形ばねでモデル化した 2 次元モデルである。PCa 版要素に単純支持の支点

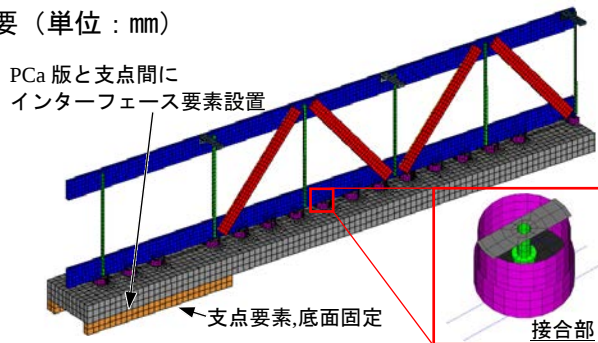


図-2 FEM モデルの概要

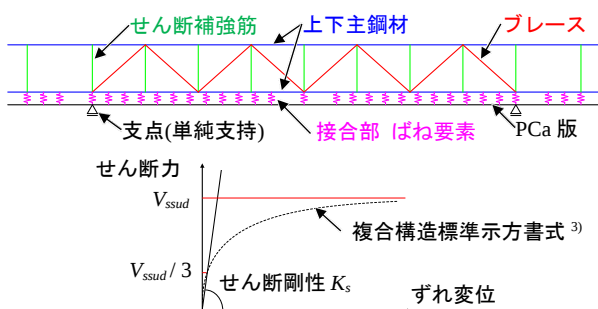


図-3 ファイバーモデルとせん断ばねの概要

キーワード ハーフプレキャスト, 複合構造, 頭付きスタッド, 非線形有限要素解析, ファイバーモデル解析
連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設(株)技術研究所 TEL 042-485-1111

を設け、同要素にコンクリート打込み時の死荷重を分布荷重として作用させた。法線方向のばね剛性は、頭付きスタッドの断面積と弾性係数の積を頭付きスタッドの長さで除した値とした。せん断方向のばね剛性は、複合構造標準示方書³⁾に記載されている頭付きスタッドのせん断力-ずれ変位関係における初期割線勾配（最大せん断力 V_{ssud} の 1/3 の点）とした。

4. 実験結果と解析結果の比較

図-4 にコンクリート打込み完了時の複合 HPCa 部材のたわみ分布の実験および解析結果を示す。いずれの解析も実験を精度良く再現できていることから、FEM とファイバーモデルによる数値解析によってコンクリート打込み時のたわみを評価できることが分かった。

図-5 に PCa 版下面で計測したひずみ分布の実験および解析結果を示す。FEM では、支間中央から西側のスパンでは実験結果とよく一致し、東側のスパンではひずみの大きさは実験結果の方が大きいものの分布形状は再現できていることから、FEM により PCa 版のひずみを概ね評価できることが分かった。ファイバーモデルでは、支間中央から ±1625mm までの領域では FEM と同様な結果が得られたものの、支点側のひずみ量は実験結果を過小評価した。これは、FEM では実験の境界条件を詳細にモデル化したのに対し、ファイバーモデルでは支点を単純支持でモデル化したことから、支点部周辺における実験の挙動を再現できなかったためである。しかしながら、ひずみが最も大きくなる位置とそのひずみ量については FEM と同等な精度で実験を再現できていることから、設計上必要となる PCa 版に発生する最大ひずみの評価に対してはファイバーモデルも適用できる可能性が示唆された。

図-6 に頭付きスタッドの軸ひずみ分布の実験および解析結果を示す。FEM と実験の結果は概ね一致していることから、接合部の解析モデルが妥当であり、接合部への作用を FEM により評価できることが分かった。ファイバーモデルでは、前述のとおり支点部周辺では実験の再現性は低いものの、実験で大きなひずみが生じたブレース交差位置や支間中央では FEM と同等の精度で実験を評価できていることから、接合部をモデル化したばね剛性の設定が妥当であったと考えられる。

5. まとめ

複合 HPCa 部材のコンクリート打込み時の曲げ挙動評価に対する FEM とファイバーモデルによる数値解析の適用性を検証した。その結果、FEM は複合 HPCa 部材の曲げ挙動を評価可能であり、ファイバーモデルは境界条件の設定に課題があるものの、たわみや PCa 版に生じるひずみの最大値は評価できることが分かった。また、FEM、ファイバーモデルともに、PCa 版と鋼材ユニットとの接合部のモデル化が妥当であることが示された。

参考文献

- 1) 河野ら：頂版の施工合理化に資する複合ハーフプレキャスト部材のコンクリート打込み実験，土木学会第 78 回年次学術講演会（投稿中），2023。
- 2) 細尾ら：複合ハーフプレキャスト部材における鋼材と PCa 版の接合部に関する解析的検討，土木学会第 77 回年次学術講演会，CS6-16，2022。
- 3) 土木学会：2014 年制定 複合構造標準示方書[原則編・設計編]，2014。

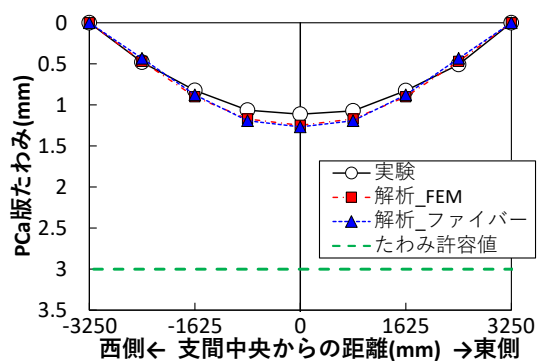


図-4 PCa 版たわみ分布 (打込み完了時)

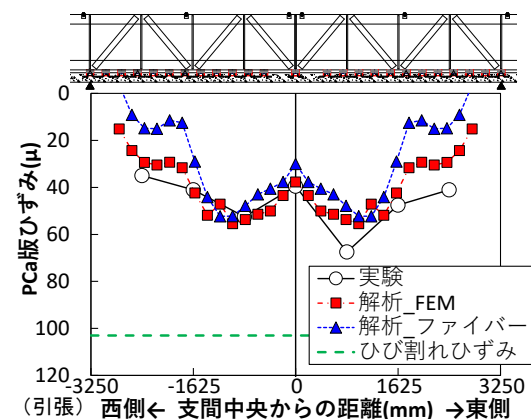


図-5 PCa 版下面ひずみ分布 (打込み完了時)

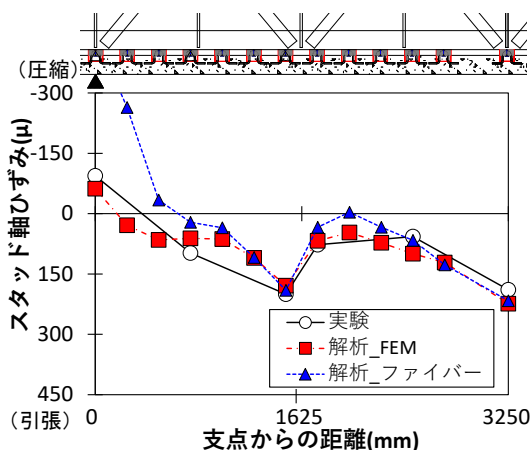


図-6 頭付きスタッド軸ひずみ分布 (打込み完了時)