

第V部門 水平力を受けるアンボンド PCaPC 柱の除荷時の残留変位に関する解析的検討

神戸大学 学生会員 ○入江 泰生

神戸大学 正会員 三木 朋広

1. はじめに

地震時のひび割れの発生やひび割れ幅の低減が期待でき、供用状態への修復が早いプレストレストコンクリート (PC) 構造と、工場作業によって高い品質を均一に発揮でき、現場での工期や労力を短縮できるプレキャスト (PCa) 施工を併用した PCaPC 構造は、コンクリート構造物の効率的な設計・施工・維持管理に有効である。土木分野において PCaPC 構造は橋脚などの下部構造に適用した事例は少なく、より実践的な設計手法の確立が必要とされている。本研究では、中空断面アンボンド PCaPC 柱の曲げ挙動を 3次元非線形解析にて再現し、接合条件と PC 鋼材の付着条件が異なるモデルの解析結果と比較して、アンボンド PCaPC 構造の特性を確認した。

2. 解析手法

2.1 解析モデル

解析には DIANA ver.10.10 を用いた。解析対象は既往研究¹⁾の動的載荷試験で用いられた試験供試体をモデルとした。図-1 に作成したモデルを示す。PCa 施工される柱部分は 3つのセグメントに分けられていて、計 4箇所接合部を持つ。柱の中空断面を図-2 に示す。柱には計 12本のアンボンド PC 鋼材(図-3 赤線)を配置し、柱部分と載荷部に鉄筋(図-3 青線)をそれぞれ配置した。

2.2 構成モデル

コンクリートの圧縮構成則は、横方向鉄筋による拘束効果を考慮した Mander's Model を採用した。このとき、圧縮強度を $37.5(\text{N/mm}^2)$ 、引張構成則はひび割れ発生後の引張軟化挙動を表現するため Hordijk モデルを採用し、引

張強度を $3.7(\text{N/mm}^2)$ とした。また、PC 鋼材の引張強度は $1860(\text{MPa})$ とした。アンボンド PC 鋼材の付着がない特性を再現するため、PC 鋼材とコンクリート間のインターフェイス要素は、せん断方向の剛性が $0.01(\text{N/mm}^3)$ 、法線方向の剛性が $10000(\text{N/mm}^3)$ とした。このとき、グラウトはないと仮定しているため、インターフェイス要素のコンクリートの圧縮強度は十分に小さい $0.001(\text{N/mm}^2)$ とした。一方、PC 鋼材の付着条件の比較対象として用いる付着ありのボンド供試体では、せん断方向の剛性が $100(\text{N/mm}^3)$ 、法線方向の剛性が $10000(\text{N/mm}^3)$ 、コンクリートの圧縮強度が $37.5(\text{N/mm}^2)$ となるように設定した。

2.3 接合部モデル

接合部には 4+4 節点界面インターフェイス要素を用いて、法線方向とせん断方向の剛性をそれぞれ設定した。載荷に伴い載荷面側の接合部が開く挙動を再現するため、法線方向の剛性は引張剛性と圧縮剛性を分離して定義した。引張剛性は接着剤の引張強度は無視できるものと仮定し、限りなく 0 に近づけるため、法線方向の相対変位が 0.005mm に達すると法線方向剛性が $1.0 \times 10^{-3}(\text{N/mm}^3)$ となるように設定した。圧縮剛性はコンクリートの弾性係数をインターフェイス要素の仮想高さで除算することで算出し、 $380(\text{N/mm}^3)$ と設定した。一方、せん断方向の剛性は、剛結であると仮定して $38000(\text{N/mm}^3)$ とした。

2.4 荷重条件

荷重条件は、はじめにプレストレスをコンクリート圧縮応力度換算で 6.9MPa となるように導入し、その後死荷重と上部工反力 445kN を加え、変位制御で載荷点の水平変位が 0mm から 100mm まで水平載荷を行った。載荷位置は、図-1 の載荷部の側面に示す 9つの点とした。

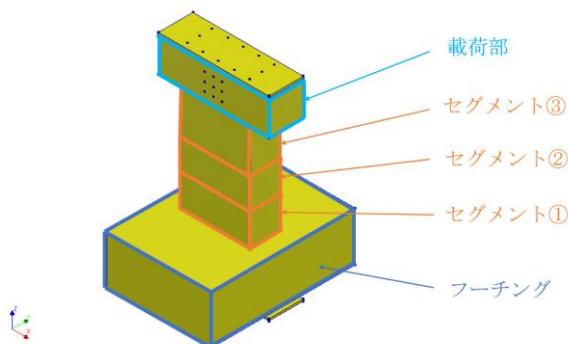


図-1 解析モデル

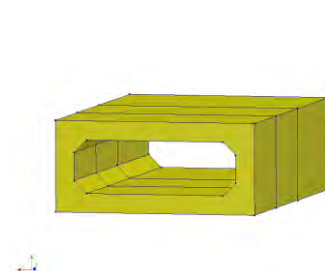


図-2 柱部分中空断面

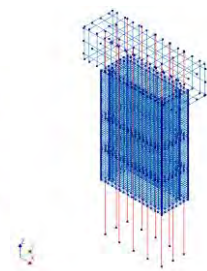


図-3 配筋図

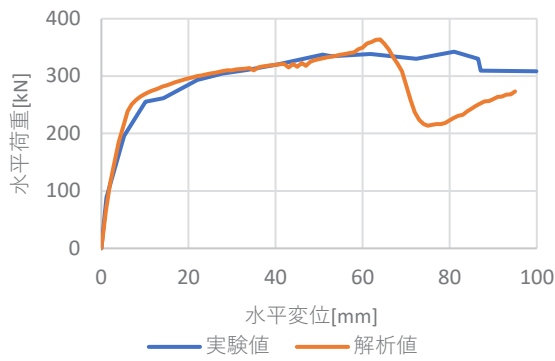


図-4 荷重 - 変位関係 (JU)

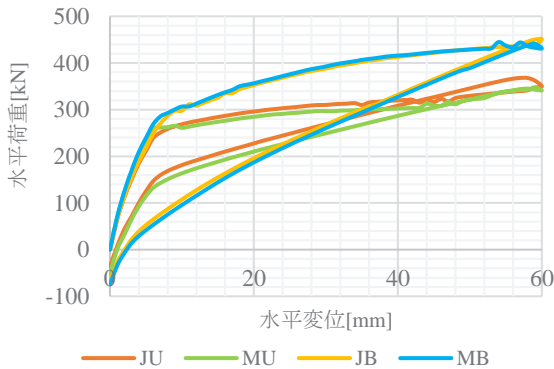


図-5 荷重 - 変位関係の比較

3. 解析結果

3.1 荷重-変位関係

解析結果の荷重-変位関係と既往研究の実験による荷重 - 変位関係を図-4 に示す。変位 60mm までは実験結果と概ね一致したが、それ以降は圧縮側のコンクリートの圧壊が進んだことで荷重が低下したことがわかる。これは、ひずみが増加したときのコンクリートモデルの適切な設定が必要だと考えられる。

3.2 異なる接合条件・PC 鋼材の付着条件における PC 柱の残留変位

水平変位 60mm までは実験結果を再現できることを示した。そこで、水平変位が 0mm→60mm→0mm となるように正載荷と除荷を行った。このサイクルを、ここまで解析を行ってきた接合部ありアンボンド供試体(JU)に加えて、一体打ちアンボンド供試体(MU)、接合部ありボンド供試体(JB)、一体打ちボンド供試体(MB)を用いて同様に比較した。荷重-変位関係の比較を図-5 に示す。ボンド供試体のほうがアンボンド供試体よりも荷重が大きく、アンボンド供試体はより強い原点指向性を示した。PC 鋼材のアンボンド化により、コンクリート柱の残留変形が小さくなることがわかる。

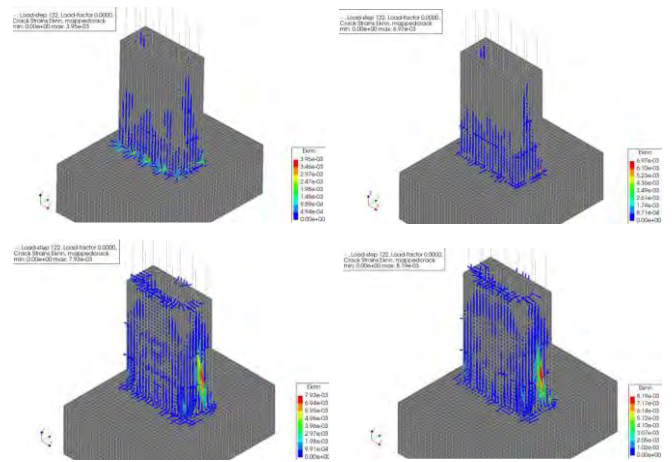


図-6 除荷後のひび割れひずみ分布の比較

表-1 除荷後のひび割れひずみ最大値の比較

JU	3.95×10^{-3}	MU	6.97×10^{-3}
JB	7.93×10^{-3}	MB	8.19×10^{-3}

図-6 は除荷後（水平変位 0mm）のひび割れひずみ分布を比較したものである（左上-JU, 右上-MU, 左下-JB, 右下-MB）。上二つの図のアンボンド供試体はひび割れひずみが柱基部に集中しているのに対し、下二つの図のボンド供試体はひび割れひずみが柱全体に分布している。また、表-1 はひび割れひずみの最大値を示したもので、接合部の有無で比較すると、接合部を持つモデルの方が小さいことがわかる。以上より、柱の損傷範囲が柱基部に集中し、ひび割れひずみがより小さい JU 供試体、すなわちアンボンド PCaPC 柱は、地震後の補修が容易になる可能性が示された。

4. まとめ

本研究では、中空断面アンボンド PCaPC 柱の曲げ挙動の実験結果を 3 次元非線形解析で再現し、接合条件と PC 鋼材の付着条件を変えた供試体の解析結果と比較した。解析の結果、アンボンド PCaPC 柱は、荷重を受けたときに塑性化されにくくなり、より小さなひび割れひずみが柱基部に集中することから、地震後の復旧性が高いことが示された。今後はプレストレス力や鋼材断面積を変えて解析を行い、より効果的なプレストレス力と PC 鋼材の配置を追求することを今後の研究の目標とする。

参考文献

1) Yamashita, R. and Sanders D. H.: Seismic Performance of Precast Unbonded Prestressed Concrete Columns, *ACI Structural Journal*, Vol.106, Issue106, pp.821-830, November-December 2009