

プレストレスを導入した高強度 RC 杭体の曲げ耐力算定法と それを用いた杭基礎の地震時安全性評価に関する研究

東北大学大学院	学生会員	○浅沼大寿, 青木 直	東北大学大学院	正会員	秋山充良
東北大学大学院	フェロー	鈴木基行	JR 東日本(株)	正会員	三浦 稔
前田製管(株)		佐藤 啓	高周波熱錬(株)		飯干福馬

1. はじめに

橋梁の耐震設計において、その基礎は地盤条件などに関わらず、弾性限界までの応答しか許容せず、修復が容易な橋脚基部に主たる塑性化を生じさせる耐震設計が望まれる¹⁾。この背景のもと、著者らは高強度構成材料を使用し、断面中心部へプレストレスを導入した高強度 RC 杭体を開発し、さらにはその杭体を炭素繊維シートで被覆するなどした改良を加えることで杭基礎の地震時保有水平耐力の向上を図っている²⁾。これにより、軟弱地盤にある場合でも杭基礎の塑性化を防ぐことが期待される。本稿では、参考文献 2)で報告した高強度 RC 杭体の単調曲げ載荷実験の結果を再現する断面解析法を提示する。また、液状化地盤にある橋脚・杭基礎系を想定し、その動的解析から、開発した杭体を用いた杭基礎の地震時安全性を評価した。

2. 曲げモーメントー曲率関係

参考文献 2)で実験的に得られた曲げモーメントー曲率関係を断面解析により再現する。断面解析の際は、平面保持を仮定し、プレストレスを断面中心に作用する外的な軸圧縮力とみなして釣り合い計算を行っている。軸方向鉄筋は、バイリニア型の応力ーひずみ関係を用いた。断面内のコンクリートはその位置や炭素繊維シート(以下、CFS)の有無により、応力ーひずみ関係を使い分けている。CFS 無しの供試体のらせん筋内側にある杭体コンクリート(以下、コアコンクリート)および中詰めコンクリートには、秋山らが提案したコンファインドコンクリートの平均化応力ーひずみ関係³⁾を適用した。また、かぶりコンクリートはプレーンコンクリートとして扱った。CFS 有りの供試体は、細谷ら⁴⁾の研究を参考に、CFS による横拘束力を考慮した。具体的には、コンクリート圧縮強度の発現前は、式(1)による横拘束力 p_e^* が作用するとし、その後は式(2)による横拘束力 p'_e^* が作用するとして、秋山らの式に代入した。かぶりコンクリートは、CFS による横拘束力のみ、コアコンクリートおよび中詰めコンクリートは、これに加えて横拘束筋による横拘束力を付加する。

$$p_e^* = \rho_{CF} \varepsilon_{CFi} E_{CF} \quad (1) \qquad p'_e^* = \rho_{CF} f_{CF} \quad (2)$$

ここに、 ρ_{CF} : CFS 比、 ε_{CFi} : 圧縮強度発現時に CFS に作用する周方向ひずみ(ここでは 1500μ)、 f_{CF} : CFS の引張強度(N/mm^2)、 E_{CF} : CFS の弾性係数である。

実験結果と解析結果の比較の一例を図-1 に示す。なお、実験結果は、純曲げ区間の曲げモーメントー曲率関係であり、各供試体の諸元や実験条件等については、参考文献 2)に記載されている。また、解析結果には、かぶりコンクリート、コアコンクリート、中詰めコンクリート、および軸方向鉄筋の各要素に分け、それらの曲げモーメントー曲率関係も示している。前記の応力ーひずみ関係を用いることで、概ね良好に実験結果を再現できた。CFS で杭体を被覆していない D4F10P22L2T1F 供試体は、杭体の降伏モーメント以降、他の 2 体に比べてかぶりコンクリートの曲げモーメントが大変に小さくなっている。一方、他の 2 体は、CFS から与えられる横拘束力により、その圧縮強度の発現後の応力低下が緩やかであり、これが杭体の曲げ耐力の向上に寄与していることが理解される。また、中詰めコンクリート自体の曲げモーメント負担分は大変に小さいが、この存在により、コアコンクリートの杭体内部への剥離・剥落が防止され、らせん筋からの横拘束力によりコアコンクリートが大きな曲げモーメントを負担できている。

3. 橋脚・杭基礎系の動的解析

RC 橋脚・杭基礎系の動的解析を行い、開発した高強度 RC 杭体を用いた杭基礎の地震時安全性を評価した。

Key Words : RC 杭, 高強度コンクリート, 高強度鉄筋, プレストレス, 動的解析

連絡先: 〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06 TEL: 022(795)7449 FAX: 022(795)7448

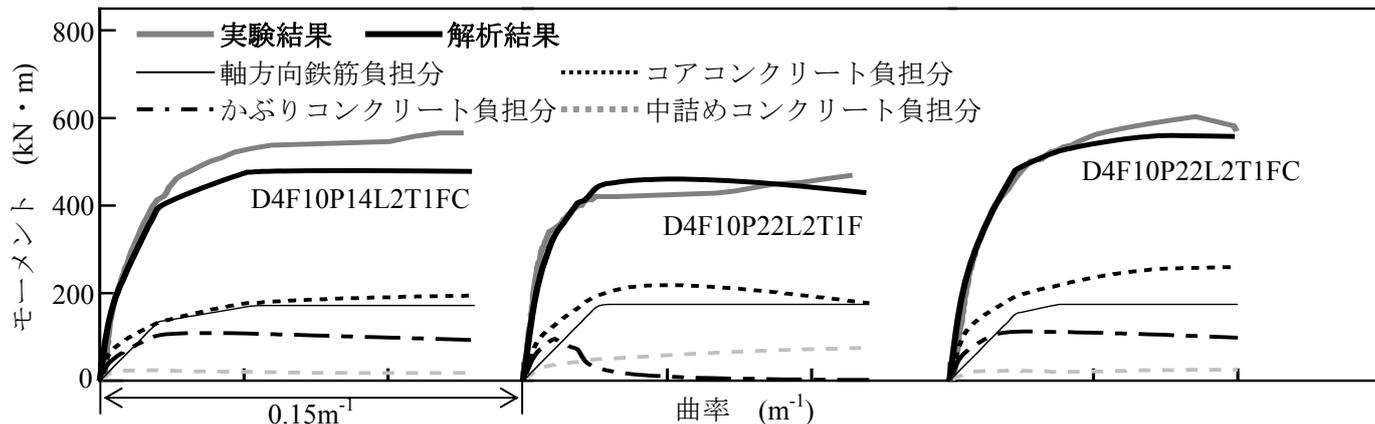


図-1 モーメントー曲率関係の比較

比較のため、コンクリート製既製杭を用いた解析も行った。道路橋示方書では、杭基礎の降伏条件を i)全ての杭体が曲げ降伏する、または ii)杭頭反力が押し込み支持力の上限值に達する、としているが、ここでは、i)の条件のみで降伏を判定した。橋脚および地盤のモデル化は、参考文献 1)と 5)に基づいている。杭体は、杭種に関わらず全ての場合で杭径 1000mm・杭長 30m とし、3 列×3 列の正方配列とした。地盤は 4 層で構成され、全層厚を 30m とした。最上部の層厚 6m で液状化の発生を想定した。液状化の影響は、参考文献 1)に基づいて土質定数を低減することで考慮した。橋脚高さは 10m とし、レベル 2 地震動に対する現行耐震規準を満足させた。

表-1 杭基礎のプッシュオーバー解析の結果

条件	降伏震度		
	RC 杭	PRC 杭	高強度 RC 杭
非液状化	0.93	1.18	1.74
液状化	0.50	0.70	1.38

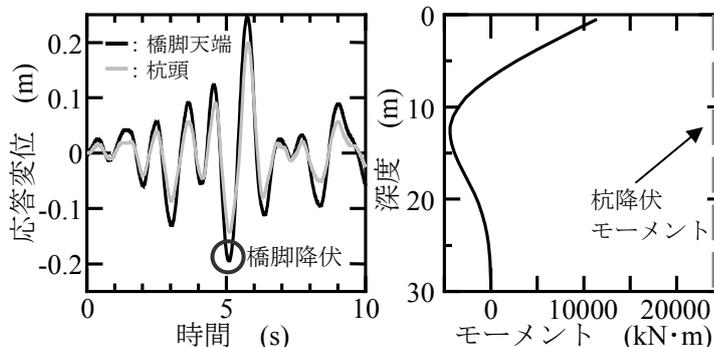


図-2 橋脚・杭基礎系の動的解析の結果

プッシュオーバー解析により、杭基礎が降伏に達するときの震度(降伏震度)を求めた結果を表-1 に示す。杭種により降伏震度は大きく異なり、高強度 RC 杭体は液状化が発生しても大きな降伏震度を持つ。

同じ解析モデルに新潟県中越地震で観測された地震波を入力した。杭体の復元力特性は Takeda 型モデルを用いた。高強度 RC 杭体を用いた橋脚・杭基礎系の応答変位および杭体に生じた最大曲げモーメント分布を図-2 に示す。液状化の発生の有無に関わらず、高強度 RC 杭体を用いた杭基礎は橋脚基部に損傷を誘導でき、杭基礎の降伏を防ぐことが確認できた。

4. まとめ

コンファインドコンクリートの応力-ひずみ関係を工夫した断面解析により、実験で得られた曲げモーメントー曲率関係を十分な精度で再現できることを確認した。また、RC 橋脚・杭基礎系の動的解析を実施し、開発した高強度 RC 杭体を用いることで、杭基礎の地震時の降伏を防ぐことができ、液状化が発生するような軟弱地盤でも確実に橋脚基部に損傷を誘導できることを確認した。

参考文献

1)日本道路協会：道路橋示方書・同解説，V 耐震設計編，2002。 2)青木直，浅沼大寿，秋山充良，鈴木基行，三浦稔，佐藤啓，飯干福馬：高強度構成材料を用いた RC 杭体へのプレストレスの導入による構造性能の改善，土木学会第 63 回年次学術講演会，2008 (投稿中)。 3)秋山充良，渡邊正俊，阿部諭史ほか：一軸圧縮を受ける高強度 RC 柱の破壊性状におよび力学的特性に関する研究，土木学会論文集 E, V-62, No.3, pp.477-496, 2006。 4)細谷学，川島一彦，星隈順一：炭素繊維シートで横拘束したコンクリート柱の応力度-ひずみ関係の定式化，土木学会論文集，No.592/V-39, pp.37-52, 1998.5 5)矢部正明，川島一彦：橋脚と杭の降伏耐力比が杭基礎の塑性損傷に及ぼす影響，土木学会論文集，No.626, I-48, pp.51-68, 1999。