

地盤の拘束圧を考慮した RC 部材の変形性能の簡易な評価手法

鉄道総合技術研究所 正会員 今村 年成
同 上 正会員 室野 剛隆

1. はじめに

現行の鉄道構造物の耐震設計基準¹⁾では、RC 部材（杭部材）の曲げ変形特性は、気中での正負交番載荷試験に基づき決定されている。しかしながら、現実の杭部材は、地盤による拘束圧を受けるため、気中よりも大きな靱性能が期待できるものと予想される。本研究では、合理的な杭基礎の耐震性能評価手法の確立を目的として、地盤による拘束効果を帯鉄筋による拘束効果に換算して RC 部材の曲げ変形特性を評価する手法を提案した。また、筆者らがこれまでに実施している地盤をコイルバネで模擬した模型杭の正負交番載荷試験²⁾を数値シミュレーションすることで、提案手法の妥当性を確認した。

2. RC 杭部材の非線形モデルの提案

RC 部材の靱性能を向上させるためには、軸方向鉄筋の座屈を抑制すること、および コアコンクリートに拘束圧を与えて圧縮強度や終局ひずみを向上させることの 2 点が重要である。気中部材では、帯鉄筋がこれらの役割を果たすが、地中部材においては、帯鉄筋に加えて周面地盤からの土圧もこのような役割を果たすものと考えられる。そこで、コアコンクリートに作用する拘束圧を指標として、周辺地盤から受ける土圧をそれと等価な拘束圧を与える帯鉄筋に換算することにより、地中部材の変形性能を評価する方法を考えた。

帯鉄筋で囲まれるコアコンクリートが緩み領域なく全断面が拘束されているものと仮定すると、部材断面でのコアコンクリートと帯鉄筋の力の釣合いは図-1 のようになる。同図より、矩形断面の場合、帯鉄筋によるコアコンクリートの拘束圧 f_l は、 $f_l = (2f_{yh} \cdot A_w) / (s \cdot b)$ にて算出されることが分かる。ここで、 f_{yh} は帯鉄筋の引張降伏強度、 A_w は帯鉄筋 1 本当当たりの断面積、 s は帯鉄筋のピッチ、 b は帯鉄筋の中心線で形成される矩形断面の辺長である。

ところで、帯鉄筋は所定の間隔で配置されているため、帯鉄筋と帯鉄筋の間においては、コアコンクリート内においても拘束

圧が作用しない領域が生じる（図-2 参照）。また、断面形状が矩形の場合は帯鉄筋の辺の中央部においても応力低減が生じる。この影響を考慮するために、Mander ら³⁾の提案する拘束有効係数 k_e という概念を導入した。ここで、拘束有効係数 k_e とは、実際に拘束されるコアコンクリートの面積 A_e （図-2 に示す拘束領域の面積）と帯鉄筋によって囲まれるコアコンクリートの面積（厳密には、軸方向鉄筋の断面積を差し引いたもの） A_{cc} との比であり、 $k_e = A_e / A_{cc}$ で算出される。そして、先に算出した拘束圧 f_l に拘束有効係数 k_e を乗じることで、帯鉄筋の配置間隔と形状に起因する緩みを考慮したコアコンクリートの拘束圧 f'_l が算出される。こうして算出された拘束圧 f'_l は、部材靱性能という観点からは、地盤による拘束圧 p に等しいと考えられる。矩形断面の帯鉄筋比 p'_w は、部材断面の 1 辺の長さを B とすると、 $p'_w = (2 \cdot A_w) / (B \cdot s)$ と定義されるので、地盤による拘束圧と等価な拘束圧を与える帯鉄筋比 p'_w は、 $p'_w = (p \cdot b) / (k_e \cdot f_{yh} \cdot B)$ と算出される。以後、これを等価帯鉄筋比と呼ぶことにする。

さて、拘束圧を受ける部材の $M-\phi$ 関係の算出方法としては、現行の鉄道の耐震設計基準¹⁾で規定されているテ

キーワード 耐震設計, RC 杭, 非線形, 拘束圧

連絡先

〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 (財) 鉄道総合技術研究所 (基礎・土構造) TEL 042-573-7261

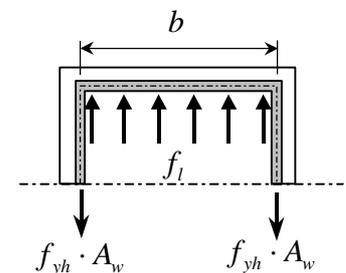


図-1 帯鉄筋に作用する力

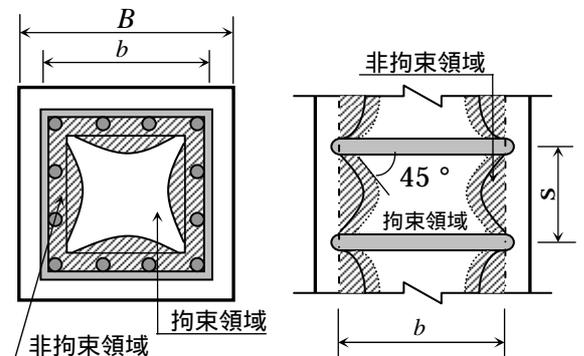


図-2 帯鉄筋によるコアコンクリートの拘束

トラリニアモデルを基本とし、塑性ヒンジ部の回転角の算定に際して、実際に配置される帯鉄筋比に、等価帯鉄筋比 p'_w を足し合わせたものを用いることで表現することとした。

3. 提案モデルの妥当性検証

地盤中の杭部材の曲げ変形特性を明らかにするため、筆者らは、これまでに地盤をコイルバネで模擬した载荷試験装置を開発し、模型杭の正負交番载荷実験を実施している²⁾。提案モデルの妥当性を検証するために、この模型杭の実験結果を正解に位置付けて、数値シミュレーションを実施した。また、比較のために、鉄道の耐震設計基準¹⁾に準拠したモデル（従来モデル）での計算も合わせて実施した。

载荷点での荷重変位関係を図-3に示す。実験での载荷方法は、模型杭の最外縁の軸方向鉄筋が降伏したときの载荷点変位 ($1\delta_y = 29\text{mm}$) を基準変位として、以後 $0.5\delta_y$ ずつ振幅を増やしていき、正、負それぞれ3サイクルずつの繰返しとした。最大耐力点での変位は、実験では $4.5\delta_y$ であったが、従来モデルを用いた解析では $3.7\delta_y$ であり、実験結果を過小評価している。それに対して、提案モデルでは $4.2\delta_y$ であり、実験結果を概ね説明できていることが分かる。

次に、塑性ヒンジでの $M-\phi$ 関係を図-4に示す。提案モデルを用いた解析の最大耐力点（以下、M点）は、実験で得られる最大耐力点（ $4.5\delta_y$ 時）と概ね一致している。また、提案モデルでの解析でM点に到達するのは、载荷点変位が $4.2\delta_y$ の時であり、変形の進行という観点からも実験結果を概ね表現できている。

最後に、曲率分布を図-5に示す。同図には提案モデルに基づき算定した損傷レベル2限界の曲率 ϕ_m も合わせて表示している。同図より、従来モデルでは1箇所大きな曲率が集中的に発生しているのに対し、提案モデルでは、実験結果を概ね表現できていることが確認できる。また、提案モデルによる損傷レベル2限界の曲率 ϕ_m は、実験結果での最大耐力を維持する曲率をほぼ表現できていることも確認できる。

4. おわりに

本研究では、地盤による拘束圧をそれと等価な拘束圧を与える帯鉄筋に換算して地盤中のRC部材の曲げ変形特性を評価する手法を提案した。今後は、地盤中での杭の载荷試験を実施し、提案手法を実構造物へ適用するに当たっては、部材靱性率を評価する際に周面地盤からの拘束圧をどの程度見込むのが合理的であるかについて検討する予定である。

謝辞 本研究は、国土交通省からの補助金を受けて得られた研究成果の一部である。

参考文献

- 1) (財)鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計，丸善，1999。
- 2) 永尾拓洋，棚村史郎，室野剛隆，神田政幸：模擬地盤（コイルバネ）を用いた地中におけるRC杭の非線形モデルに関する検討，第11回日本地震工学シンポジウム，pp.1119-1124, 2002。
- 3) Mander, J. B., Priestley, M. J. N. and Park, R. : Theoretical stress-strain model for confined concrete, *Journal of the Structural Engineering*, ASCE, Vol.114, No.8, pp.1804-1826, August, 1988。

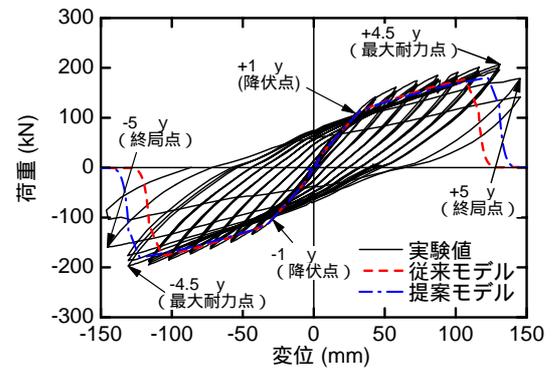


図-3 载荷点での荷重変位関係

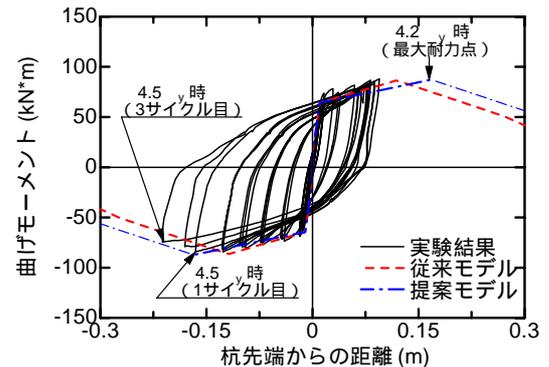


図-4 塑性ヒンジ部(a部)でのM- ϕ 関係

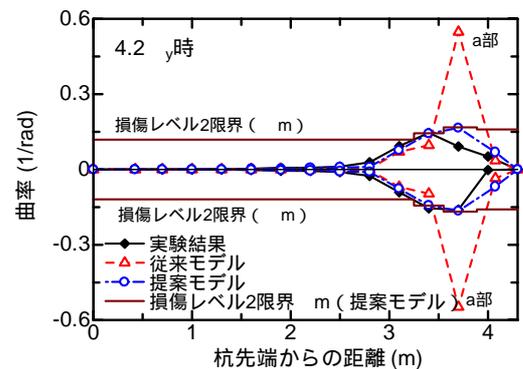


図-5 曲率分布図