

RC 高架橋の鋼管杭頭形式に関する解析的検討

(株)奥村組 正会員 森田修二
同 正会員 檜木正成
同 向 広吉

1. まえがき

兵庫県南部地震以降、L2 地震動対応設計の普及により、鉄道高架橋では RC 高架橋の柱、杭頭部と地中梁の接合部において必要鉄筋量が増加し、円形状に配置された杭頭鉄筋と矩形上に配置された柱主筋の接合箇所に地中梁鉄筋が交差する形で配筋され、鉄筋が非常に輻輳し施工管理、品質管理が困難となっている。

本研究では杭、柱、地中梁接合部の配筋量の削減を目的として杭頭鉄筋の代替に鋼管を用いる構造(図-1)を考案した。本構造では、①杭頭鉄筋がなく杭、柱、地中梁の接合部の配筋作業が大幅に削減、②杭頭鉄筋が地中梁まで定着されず杭頭処理の作業性が大きく向上、等の利点が考えられる。本報文では数値解析による 3 次元の非線形弾塑性解析を用いて本構造の回転バネ定数や耐力等を検討する。

2. 解析の概要

図-2 に鋼管杭頭形式の解析モデルの概要を示した。解析対象は杭と柱のみとした。柱の天端の柱中心部に変位制御で载荷することによって変位と外力の関係を求めるが、図中の矢印で示した一定方向に载荷するプッシュオーバー解析と正負交番载荷の 2 つの载荷方法に関する解析を行った。正負交番载荷はプッシュオーバー解析から得られた降伏変位を 1δ として 1δ から 10δ までの解析を行った。境界条件は、杭の全周および底部を完全固定とした。柱および杭のコンクリートはソリッド要素、鉄筋は鉄筋位置を考慮して剛性を付加する埋込み鉄筋要素を用いた。鋼管には面内変形のみを考慮した板要素を用いてコンクリートと節点を共有させた。

コンクリート、鋼管、鉄筋の物性値を表-1、表-2 に示した。なお、柱天端の 200mm のブロックは弾性体とし载荷による局所的な変形を抑えた。鋼管と鉄筋には VonMises の弾塑性構成則を用い、柱や杭のコンクリートは破壊エネルギーを考慮したひずみ軟化モデルを適用した。鋼管の厚みは 25mm である。引張破壊エネルギーは粗骨材最大寸法を 20mm として土木学会コンクリート標準示方書(耐震性能照査編)により算定し、圧縮破壊エネルギーは引張破壊の 100 倍と設定した。図-3 に応力とひずみの関係を示したが、ひび割れ幅 h_{cr} は数値解析に用いる要素体積の 3 乗根とした。

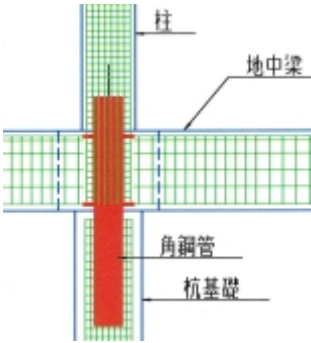


図-1 鋼管杭頭形式の概要

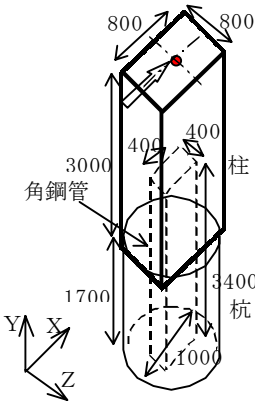


図-2 解析モデルの概要

表-1 コンクリートと鋼管の物性値

	変形係数 (10^4N/mm)	ポアソン比	引張強度 (N/mm^2)	圧縮強度 (N/mm^2)	引張破壊 エネルギー (N/mm)	圧縮破壊 エネルギー (N/mm)
柱	2.65	0.2	2.07	27	0.0815	8.15
杭	2.24	0.2	1.75	2	0.0749	7.49
鋼管	20	0.2	345	345	—	—

表-2 鉄筋の物性値

		変形係数 (10^5N/mm)	径 (mm)	降伏強度 (N/mm^2)
柱	主鉄筋	20	32	390
	フープ筋		19	345
杭	主鉄筋		22	
	フープ筋		25	

キーワード：鋼管杭頭形式、杭頭曲げモーメント、3次元非線形解析 連絡先：〒108-8381 東京都港区芝 5-6-1
(株)奥村組 TEL:03-5427-8576 FAX:03-5427-8104 E-mail:oku06986@gm.okumuragumi.co.jp

3. 解析結果と考察

(1) プッシュオーバー解析

図-4 には載荷点における荷重と水平変位の関係を示した。圧縮破壊エネルギー(G_c)については、引張破壊エネルギーの 100 倍 (CASE1)、50 倍 (CASE2)、次式¹⁾により算定 (CASE3) の 3 ケースの結果を示した。 σ_c は圧縮強度 (N/mm²) である。

$$G_c = -0.0083\sigma_c^2 + 1.28\sigma_c \quad (\text{N/mm}) \quad (1)$$

CASE2 の G_c は CASE1 の 1/2、CASE3 は約 3.5 倍であるが、最大耐力では 20% 程度の範囲に収まった。本構造の挙動特性は、いずれの場合も共通しており、柱基部コンクリートの引張縁では極めて初期段階で引張破壊に至り、圧縮側の圧縮破壊によって構造体として降伏状態となる。その後、柱基部における鋼管の引張側での引張降伏、圧縮側の圧縮降伏によって構造体の最大耐力に至る。

(2) 載荷方向の影響

CASE1 において載荷方向の影響を検討した。本構造では、図-2 の X 軸との角度 $\alpha = 0 \sim \pi/4$ について検討すれば十分である。図-5 に $\alpha = 0, \pi/8, \pi/4$ の結果を示した。角度が大きくなると最大耐力が低下する傾向があるが 6% 程度の低下であった。

(3) 正負交番解析

正負交番載荷の変位は 1δ を 15mm として 10δ までの解析を行った。図-5 に載荷点における荷重と水平変位の履歴ループを示した。履歴ループは一般によく見られる数値解析と共通した結果となっている。いわゆる紡錘型になっておりエネルギー吸収の評価に課題がある。図にはプッシュオーバー解析の結果 (太線) と合わせて示した。正負交番解析における繰返し載荷のピーク値と比較するとほとんど差がなく、コンクリートのひずみ軟化の影響で繰返し載荷によって生じる耐力低下がほとんど見られない。一般の構造体に比べてコンクリートよりも鋼管による荷重分担が大きいことを示している。

(3) 杭頭曲げモーメント

表-3 には解析結果の降伏荷重から算定した杭頭曲げモーメントと従来構造の杭頭曲げモーメントの設計値²⁾の比較を示した。いずれのケースでも従来構造の値をクリアしており、従来構造と比較して剛性的には遜色ないことがわかる。

4. 結論

本報では、RC 高架橋における鋼管杭頭形式の構造について解析的に検討した。検討に際しては、載荷方法や圧縮破壊エネルギーに関してパラメトリックな解析を行った。解析結果から、従来構造の杭頭における曲げ耐力が確保できていることがわかった。ただし、初期の載荷段階では荷重分担がコンクリートに偏りひび割れが生じやすい傾向にあり、今後の検討課題である。

【参考文献】

- 1) 土木学会・コンクリート技術シリーズ「コンクリート構造物の非線形解析技術研究小委員会成果報告書」、pp. 423-424、2003
- 2) 鉄道構造物等設計標準・同解説-コンクリート構造物、鉄道総合技術研究所、平成 12 年

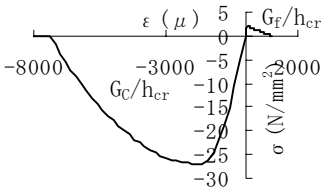


図-3 応力とひずみの関係

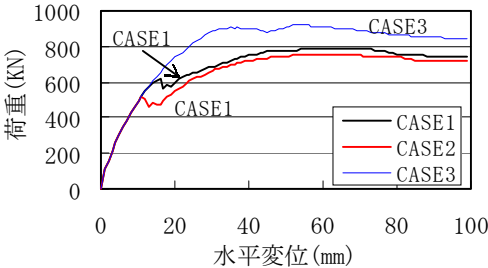


図-4 載荷点の荷重・変位の関係
(圧縮破壊エネルギーの比較)

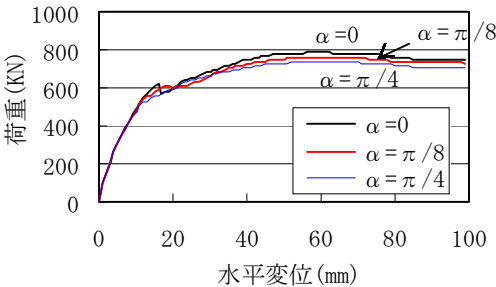


図-5 載荷点の荷重と変位の関係

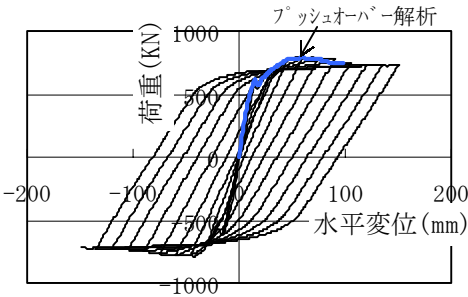


図-6 荷重と変位の履歴ループ

表-3 杭頭曲げモーメント

	設計値	CASE1	CASE2	CASE3
杭頭曲げモーメント (KN・m)	997	1860	1530	2700