

パイルベント式ラーメン高架橋における杭基礎の耐震性能に関する解析的検討

(財) 鉄道総合技術研究所 正会員 高瀬直輝 池亀真樹
同 上 正会員 棚村史郎 西村昭彦

1. はじめに

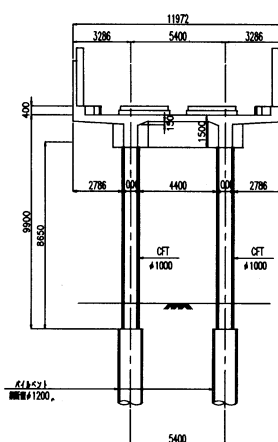
地中梁のないパイルベント式ラーメン高架橋は、地中梁を有する高架橋と比較して剛性が小さい構造形式であるため、地震時の水平変形量が大きい、不等沈下が生じると上部構造物に与える影響が大きい等の理由から鉄道構造物で施工された実績は少ない。しかし、都市部での連続立体交差化事業に伴う営業線に近接した高架化工事等の施工条件によっては、地中梁を有するラーメン高架橋より施工性、経済性、近接線への影響軽減等に優れていることも考えられる。そこで、パイルベント形式としたラーメン高架橋の杭基礎の耐震性能について、「鉄道構造物等設計標準・同解説（耐震設計）」¹⁾（以下、耐震標準）に基づき解析的検討を行ったので、その結果を報告する。

2. 検討条件

検討は、地中梁を有する一般的なラーメン高架橋の設計条件を用いて構造形式をパイルベント形式に変更して行い、検討方向は線路直角方向とした。検討に用いたパイルベント式ラーメン高架橋の一般図を図1に、地盤条件を図2に示す。杭基礎は鋼管杭（杭径 $D=1.2\text{m}$ ）を用いることとし、柱部材はコンクリート充填鋼管柱（柱径 $\phi=1.0\text{m}$ ）とした。構造解析モデルを図3に示すが、地盤抵抗と構造部材に非線形性を考慮し、構造部材の非線形性は曲げモーメント M と曲率 ϕ の関係を用いることとした。図4に鋼管杭部材の $M-\phi$ 関係および損傷レベルとの関係を示す。また、構造部材の非線形性には軸力変動の影響も考慮している。

3. 解析結果

構造物の損傷過程は、静的非線形解析(Push over analysis)により把握することとした。図5に静的非線形解析により得られた荷重変位曲線を示す。構造物の損傷過程は、最初に柱部材上端が降伏し、次に杭部材が地中部（杭頭部から -5.0m の部材）で降伏した後全塑性モーメント M_p に達して変位が急増し、杭部材が最初に損傷レベル3限界点（図4での ϕ_n 点）に至る結果となった。図6に曲げモーメント分布図を示すが、柱部材上端の降伏後は、そこでの曲げモーメントはあまり変化せず、変形量の増加に伴い杭部材の地中部での曲げモーメントが大きくなり、そ



線路方向:6 径間($L=60\text{m}$)
杭部材:鋼管杭($D=1.2\text{m}$, $t=22\text{mm}$)
 $L=22.9\text{m}$, SKK490)
柱部材:コンクリート充填鋼管
($\phi=1.0\text{m}$, $t=21\text{mm}$,
 $L=8.65\text{m}$, SM490)
梁部材:RC 部材
($B0.9\text{m}\times H1.5\text{m}$)
地盤種別:G3 地盤
($T_g=0.48\text{sec}$)
基礎の支持力係数: $\alpha=1.0$
柱と杭の接合部
:差込接合(埋込長柱径の 1.5 倍)
上層梁と柱の接合部
:鉄筋差込接合

図1 検討対象構造物

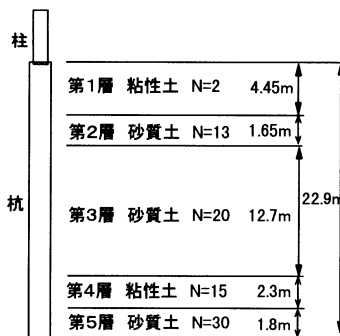


図2 地盤条件

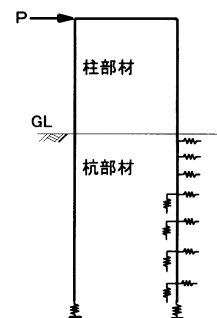


図3 構造解析モデル

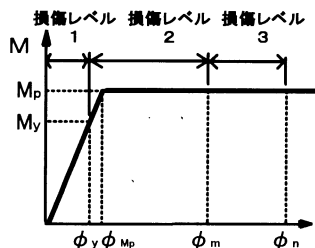


図4 鋼管杭部材のモデル化

M_y :降伏時の曲げモーメント
 M_p :全塑性モーメント
 ϕ_y :降伏時の曲率
 ϕ_{Mp} : M_p となる曲率
 ϕ_m :損傷レベル2 限界点の曲率
(最外縁が局部座屈する時)
 ϕ_n :損傷レベル3 限界点の曲率
(部材が終局となる時)

キーワード：パイルベント、杭基礎、耐震設計、高架橋

連絡先：〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 TEL(042)573-7262 FAX(042)573-7248

のため杭部材の塑性化が進んだと考えられる。耐震標準 Ⅱにより L2 地震動での構造物の応答値を算定した結果、杭部材は損傷レベル 3 (図 4 での $\phi_m \sim \phi_n$ の範囲) となった。したがって、パイルベント形式とした場合、最初に柱部材が降伏するが、その後は杭部材の地中部での損傷が進み構造物の変形量が増加する傾向となると思われ、地震後の復旧の難易性を考えると杭部材の地中部での損傷はできるだけ抑える必要があると考える。

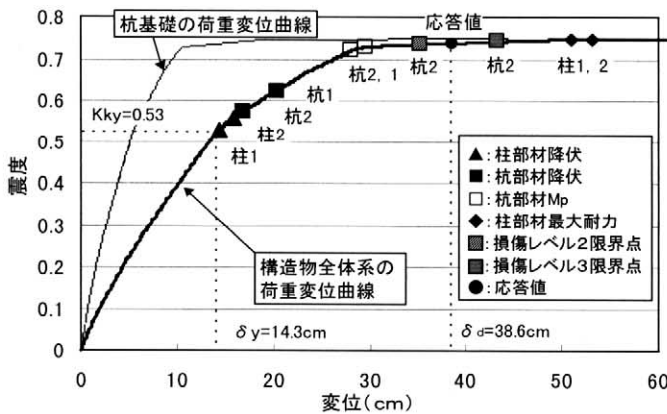


図 5 荷重変位曲線 (線路直角方向)

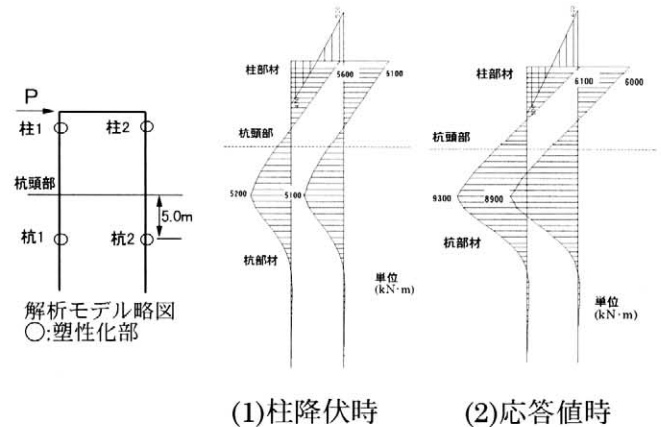


図 6 モーメント分布図

そこで、高架橋本体の施工後でも設置が可能と考えられる簡易な地中梁を設けた場合の耐震性能について検討を行った。簡易地中梁は図 8 に示す H 型鋼を用いることとし、杭頭部から -1.25m の位置に地中梁を設置したとして解析を行った。図 7 に簡易地中梁を設置した場合の荷重変位曲線を示す。損傷過程は、地中梁、柱部材上端の順で降伏し、柱部材降伏後は杭部材の地中部での塑性化が進む結果となり、地中梁を設けない場合と傾向に大差はない。しかし、ある程度の剛性をもつ地中梁を設けたことでモーメント分布が地中梁を有する高架橋と同様な形状を示し、杭部材の塑性化部が地中部だけでなく杭と地中梁接合部の上側にも発生している。そして、パイルベント形式より構造物の剛性が増加し降伏耐力も大きくなったため、L2 地震動での応答値が小さくなり、杭部材は損傷レベル 2 (図 4 での $\phi_y \sim \phi_m$ の範囲) となり杭基礎の耐震性能が向上する結果となった。なお、簡易地中梁部材は損傷レベル 3 とはなるが損傷レベル 3 の限界点は越えていない。

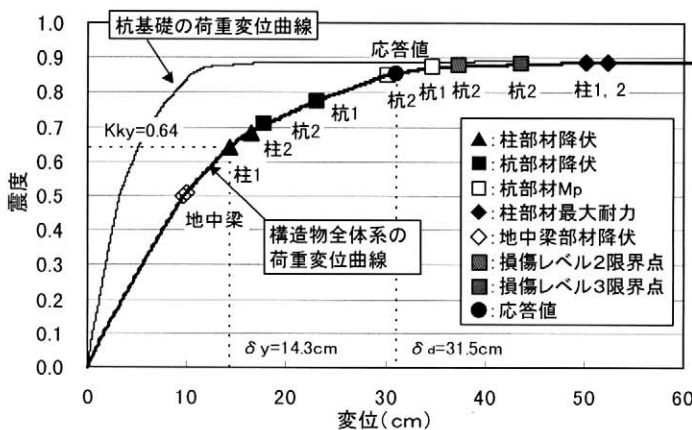


図 7 荷重変位曲線 (簡易地中梁施工)

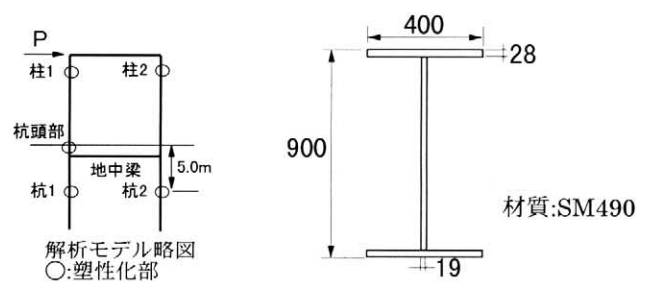


図 8 簡易地中梁概要図

4. おわりに

パイルベント式ラーメン高架橋では、最初に柱部材上端で降伏するが、その後は杭部材の地中部での塑性化が進む可能性があり、杭部材の地中部での損傷を抑えるには簡易な地中梁を設けることも有効な方法であることが確認できた。最後に、本検討を行う機会を与えて頂いた (株) テノックスの関係者の皆様に感謝の意を表する。

(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，1999.10