

軟弱地盤におけるパイルベント構造物の動的相互作用に関する検討

鉄道総合技術研究所 正会員 ○宇佐美敦浩 室野 剛隆

1. はじめに

都市部における連続立体交差事業では仮線施工により建設されることが多い。この場合、営業線近接工事となるため、掘削土量の低減が図れ、施工性の優れた地中梁を省略したパイルベントラーメン構造が近年多数用いられている。地中梁のない構造形式の場合、杭と柱部材の間でモーメント分布が連続し、地盤変位と慣性力が構造物の応答に及ぼす影響が複雑に作用すると考えられるが、これらの動的相互作用の特性が必ずしも明らかになっていない。そこで、本検討ではパイルベントラーメン高架橋を対象に非線形時刻歴動的解析を行い、地盤変位と慣性力の各々が構造物に及ぼす応答特性について検討を行った。

2. 検討条件

対象構造物は図1に示す柱高さ 5.8m のパイルベントラーメン高架橋であり、構造物の等価固有周期は  $T_{eq}=1.03(s)$  である。地盤条件としては層構造が比較的一様な地盤(図2参照)であり、固有値解析から求まる地盤の固有周期は  $T_g=1.36(s)$  である。なお、耐震標準<sup>1)</sup>によれば本地盤は G6 地盤(軟弱地盤)に該当する。動的解析モデルには、自由地盤と構造物を一体とした質点系一体型モデルを採用し、入力地震波は耐震標準に示されている L2spcII(図3参照)を用いた。なお、検討ケースとしてはこのケースに加え、構造物(上部構造および杭)の質量をゼロとすることにより慣性力の影響を含まず、地盤変位のみが考慮されたケースの2ケースを実施し、結果を比較した。

3. 検討結果

構造物天端における変位波形について、全解析時間 40 秒のうち応答が顕著に発生した 8~28 秒における結果を図4に示す。地盤変位のみを作用させた場合には慣性力の影響が含まれていないため、慣性力を考慮した場合と比較して変位量が小さく、また、最大値をとる時刻は両ケースにおいて異なることが確認できる。ただし、最大変位分布を示した図5から明らかなように  $1/\beta$  以深( $\beta$ : 杭の特性値)においては両者の変位量がほぼ同程度であることから、この範囲においては杭の変位に対して慣性力が及ぼす影響は小さいことが分かる。一方、上述した通り、上部構造物においては慣性力を考慮することにより変位が増大している。

次に、代表的な節点(節点 A: 構造物天端、節点 B: 地表面~ $1/\beta$ 間でモーメントが最大となる点、節点 C:  $1/\beta$ ~杭先端の間で慣性力の影響が小さい点)における曲げモーメントの時刻歴波形を図6に示す。

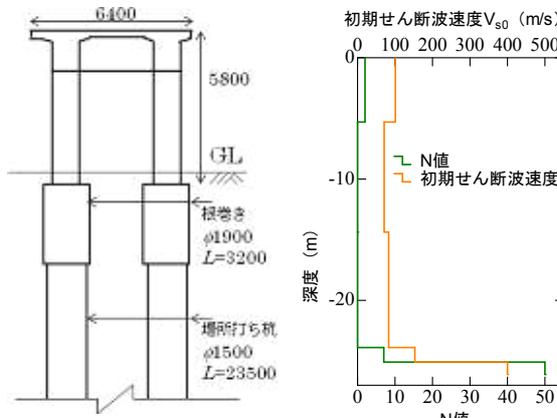


図1 対象構造物

図2 地盤条件

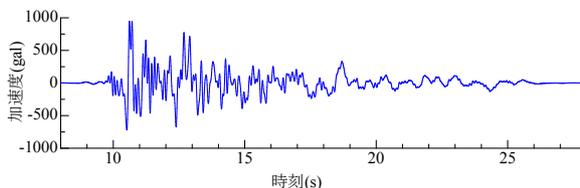


図3 入力波形 (L2spcII)

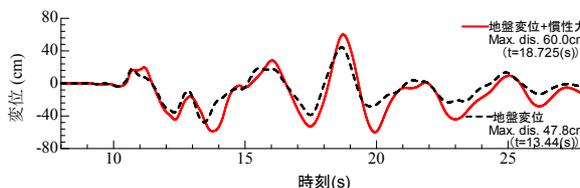


図4 構造物天端における変位波形

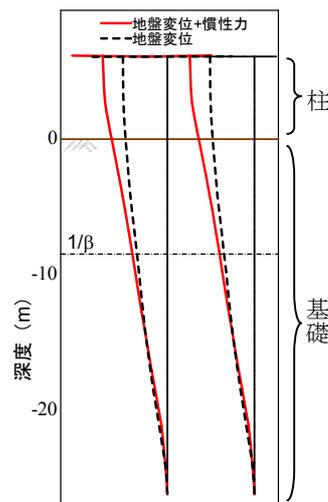


図5 変位分布図

キーワード パイルベント、軟弱地盤、耐震設計、動的解析

連絡先 〒185-8540 国分寺市光町 2-8-38 (公財)鉄道総合技術研究所 鉄道地震工学研究センター TEL042-573-7394

ここで、地盤変位と慣性力の両者を作用させた条件における曲げモーメント波形を  $M_t$  (全体系のモーメント)、地盤変位のみを作用させた条件を  $M_g$  と呼ぶ。そして、両者の差から慣性力によるモーメント波形 ( $M_a$ ) を求めた ( $M_a = M_t - M_g$ )。さらに、各モーメント波形の全時刻における最大値を全節点において求め、図7に示した。

同図より  $M_{g_{max}}$  は地中においてあまり変化が見られないが、これは今回対象とした地盤が一様であることから、地盤中において局所的な変位増大が発生しないためであると考えられる。多層で地盤剛性が急変するような軟弱層が含まれる地盤においては、モーメントが大きくなることが予想されるため、今後検討する必要がある。一方、 $M_{a_{max}}$  は柱上端や、地中部のうち地表面 $\sim 1/\beta$ 間において大きくなるが  $1/\beta$ 以深においては急激に減少し、 $M_{t_{max}} \doteq M_{g_{max}}$  となっていることが分かる。よって、この範囲において杭に与える要因としては地盤変位による影響が支配的であると言える。

つづいて、各モーメントの位相差について考察する。構造物天端(節点A)では、 $M_{t_{max}} \doteq M_{a_{max}}$  となっており、全体系のモーメントの最大値に対して地盤変位は寄与していない。パイルベント構造の特徴の1つとして、地盤変位の影響による曲げモーメントが上部構造物まで影響することが挙げられるが、図6より  $M_g$  と  $M_a$  の間では位相のずれがあることから、 $M_t$  の算定には地盤変位の影響が含まれないことが明らかとなった。一方、地中部の節点Bにおいては  $M_g$  と  $M_a$  が逆位相でお互い打ち消しあうように作用していることから、全体系のモーメントは慣性力によるモーメントより小さい ( $M_t < M_a$ )。したがって、全体系の最大モーメント  $M_{t_{max}}$  を単純に  $M_{g_{max}}$  と  $M_{a_{max}}$  の和とした場合には過大評価と言える。

杭基礎橋脚を対象とした既往の研究<sup>2) 3)</sup>によれば、杭に作用する地盤変位と慣性力の位相差は、地盤の固有周期 ( $T_g$ ) と構造物の固有周期 ( $T_s$ ) の比が関係しており、本検討のように  $T_g' > T_s$  の場合では同位相となる(ここで、 $T_g'$ は地盤の非線形化 ( $V_s = 0.5 * V_{s0}$ ) を考慮した値であり、 $T_g' = 2.72(s)$ 、また  $T_s = 1.03(s)$ である)。ただし、これはフーチングを有し、杭頭が固定の条件下を対象としている。1柱1杭型式で杭頭の回転拘束度が小さい場合においては、 $T_g > T_s$  であっても発生モーメントの波形が逆位相となることも明らかとなっており<sup>3)</sup>、本検討でも同様の結果が得られた。また、モーメントが最大となる位置が杭頭でなく、地中部に発生する点も杭頭の回転拘束度が小さい構造の特徴である。

4. まとめ

比較的一様な軟弱地盤におけるパイルベントラーメン高架橋を対象に地盤変位および慣性力の影響による動的相互作用について検討を行った。その結果、パイルベント構造の特有の傾向として、地盤変位と慣性力は位相差を伴って作用するため、 $M_{t_{max}}$  は  $M_{g_{max}}$  と  $M_{a_{max}}$  の単純和より小さいこと、また、モーメントが最大となる位置は杭頭ではなく地表面下となることが明らかとなった。

参考文献

1) (公財) 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、2012。 2)室野剛隆、西村昭彦、永妻真治：軟弱地盤中の杭基礎構造物の地震応答特性と耐震設計への応用、構造工学論文集 Vol.44A, pp631~640、1998.3 3)室野剛隆、西村昭彦：地盤と構造物の動的相互作用を考慮した応答変位法、鉄道総研報告、Vol.13, No.2, 1999.2。

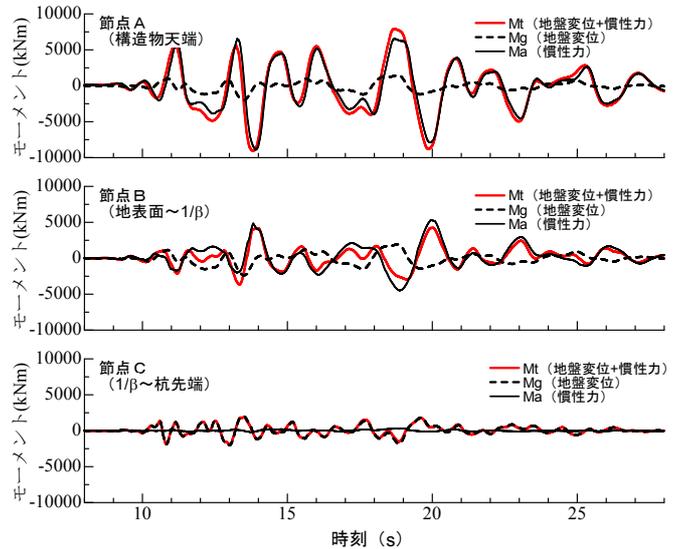


図6 代表節点における時刻歴モーメント波形

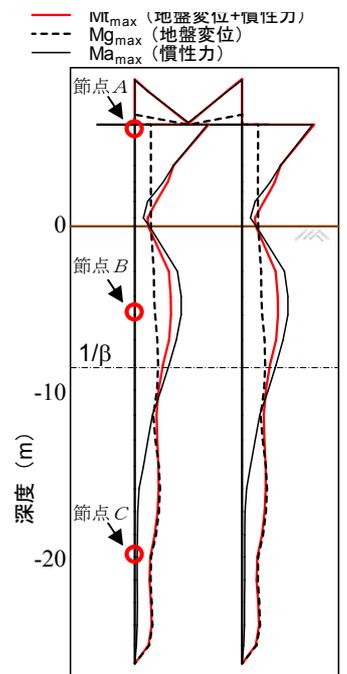


図7 モーメント分布