

構造形式の違いによる慣性力と地盤変位の杭への影響度

鉄道総合技術研究所 正会員 ○西村 隆義
 鉄道総合技術研究所 正会員 室野 剛隆
 鉄道総合技術研究所 正会員 野上 雄太

1. 目的 杭基礎など地震時に地盤変位の影響を受ける基礎¹⁾については、鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計編²⁾(以下、耐震標準)では、応答変位法などを適用してその影響を考慮する体系になっている。ただし比較的良好な地盤では、地盤変位の影響は小さいと考えられており、地盤変位の影響は考慮されていない。しかし良好な地盤での地盤変位の影響度、また構造形式や検討断面の方向の違いによる影響度は、十分に把握されていないのが現状である。そこで本検討では、比較的良好な地盤において、杭基礎を有する構造物を対象にして、慣性力のみを考慮した解析および慣性力と地盤変位を考慮した解析を行ない、慣性力と地盤変位が杭へ及ぼす影響を検討した。

2. 対象構造物 検討対象構造物は、鉄道における代表的な構造物として、図1に示すように、壁式橋脚とラーメン高架橋とした。前者は線路方向(L方向)と線路直角方向(C方向)の2断面、後者は線路直角方向(C方向)の1断面を解析対象とした。両構造物とも杭径1.0m、杭長19mである。また地盤条件を表1に示す。この地盤は、比較的良好なG3地盤(地盤の固有周期0.48sec)に相当する²⁾。

3. 検討手順 検討に用いる解析モデルは、構造部材を梁要素、地盤との相互作用をばね要素でモデル化した。このモデルに作用させる慣性力と地盤変位量の決定方法の概略を図2に示す。

まず慣性力は、静的非線形解析を実施し、構造物天端の荷重変位曲線から構造物全体系の降伏震度 k_{hy} および降伏周期 T を算定する。これらの数値と、対象地盤より算出した非線形応答スペクトルより、構造物全体系の応答塑性率を算出し、これに対応する応答震度 k_h を求めて慣性力を決定する。

一方地盤変位は、対象地盤の非線形時刻歴解析を行ない、地盤変位分布を算定する。地盤の非線形時刻歴解析に用いる土の構成則にはGHE-Sモデル³⁾を用い、地震動は、耐震標準のL2地震動スペクトル²⁾(G1地盤)とした。本検討では、杭頭と杭先端の相対変位が最大となる時刻の地盤変位分布を作用とした。以上のようにして求めた地盤変位分布及び上記の応答震度を作用させ、応答変位法によって応答値を算出した。

得られた相対地盤変位分布を図3に示す。その結果、フーチング下面から7.5～12m付近で地盤変位が急変する分布形状となり、地表面での変位は0.3mとなった。

なお、地盤の非線形性が顕著になる場合には、慣性力と地盤変位が同時に最大となる可能性が大きい⁴⁾ことから、本検討では慣性力と地盤変位に位相差を考慮しないこととした。

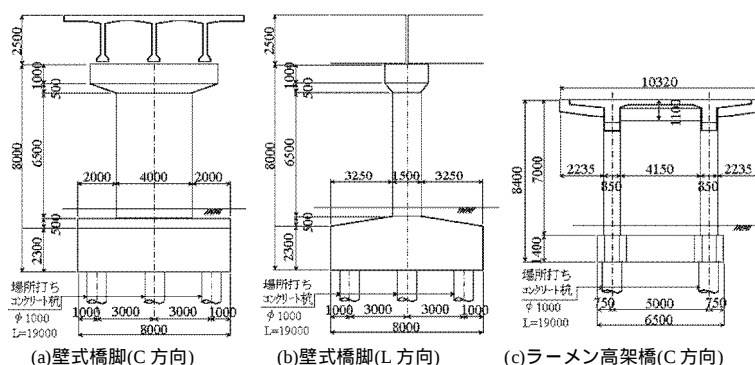


図1 検討対象構造物

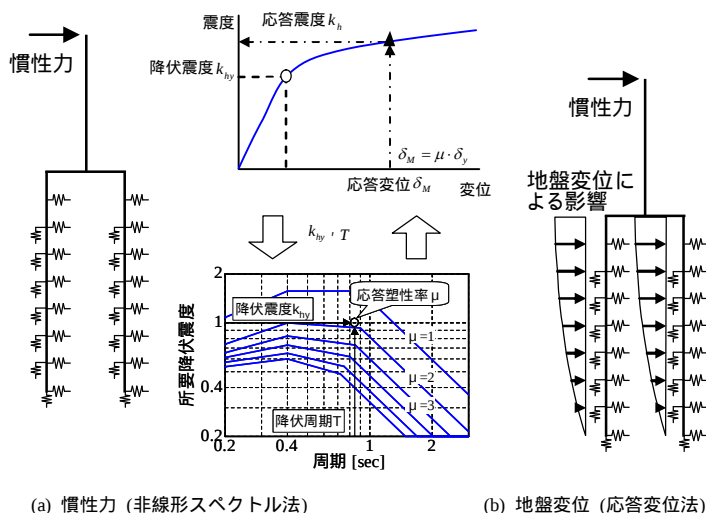


図2 慣性力と地盤変位量の決定方法

表1 地盤条件

層厚 [m]	土質 区分	V_s [m/s]	γ [kN/m ³]	N値
2.6	砂質土	147	18	10
5.0	砂質土	168	18	15
4.0	粘性土	135	15	4
6.4	粘性土	183	16	10
2.0	砂質土	250	20	50

キーワード 慣性力相互作用, 地盤変位相互作用, 構造形式

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 耐震構造 TEL042-573-7394

4. 考察 静的非線形解析から得られた構造物の基本性能, および非線形スペクトル法により得られた応答値等の諸特性を表2に示す。壁式橋脚の上部工重量は, ラーメン高架橋の4~5倍程度である。降伏震度は, 橋脚(C方向)が最も大きく, 橋脚(L方向)が最も小さい。応答値の算出結果として, 押込み側の杭の曲げモーメントの深さ方向分布図を図4に示す。図には比較のために, 慣性力のみを考慮したケースをCase1, 慣性力および地盤変位を考慮したケースをCase2として両者を併記した。この結果より, フーチング下面から10m程度を境に, 慣性力の影響範囲の有無が大別できる。そこで, フーチング下面から10m以浅および以深に分けて, 影響を考察する。

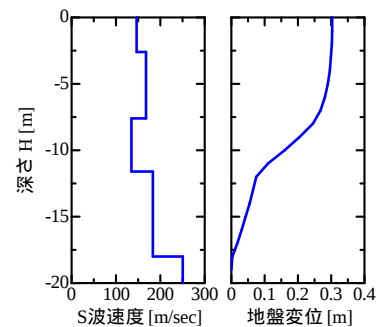


図3 地盤変位

表2 基本諸元と非線形スペクトル法による応答値

	単位	壁式橋脚 (C方向)	壁式橋脚 (L方向)	ラーメン高架橋 (C方向)
上部工重量	[kN]	8030	8750	1885
降伏震度	-	0.68	0.41	0.60
降伏変位	[mm]	105.0	154.0	70.0
等価固有周期	[sec]	0.95	1.02	0.68
地盤の固有周期	[sec]	0.48		
応答震度	-	0.78	0.46	0.75
応答変位	[mm]	332	491	187

a) フーチング下面から10m以浅 橋脚(C方向)の結果を見ると, 杭頭や比較的浅い位置での杭の応答は, Case1の曲げモーメントはCase2と同等かそれ以上であり, 慣性力の影響が支配的であることがわかる。これは, 橋脚(C方向)は上部工重量が大きく, かつ応答震度が大きいので, 上部工からの慣性力の影響が地盤変位の影響に比べて相対的に卓越するためである。次に,

橋脚(L方向)を見ると, Case1の曲げモーメントはCase2と比べて全体的に小さい。対象地盤は同一であるので, 杭1本あたりの地盤変位による影響は, どの構造物も同程度であることから, 橋脚(L方向)は橋脚(C方向)よりも慣性力の影響が相対的に小さいことを意味している。これは, 上部工重量はL,C方向とも同程度であるが, 降伏震度がL方向の方が小さいためである。ラーメン(C方向)は, 橋脚(L方向)の結果と同様な傾向にあるが, これはラーメン(C方向)の上部工重量自体が小さく, 慣性力が小さいためである。このように同一地盤条件の構造物でも, 構造形式や検討方向が異なれば, 慣性力と地盤変位の相対的な影響度合いが異なる場合があり, 両者の影響を適切に考慮しなければ応答値を過小評価する可能性が考えられる。

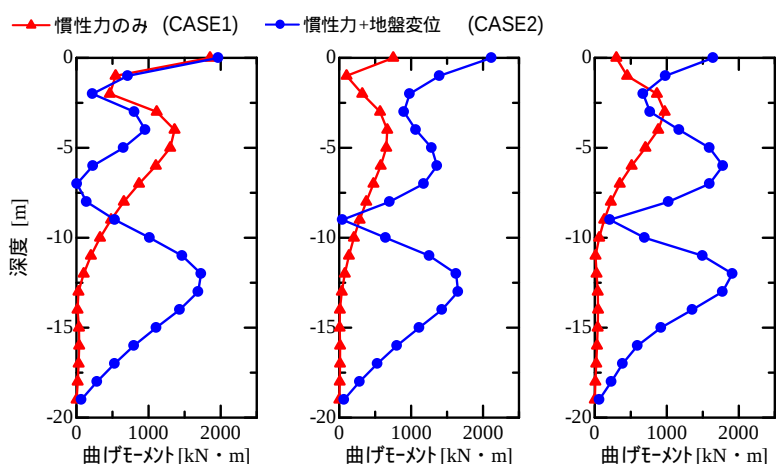


図4 各構造物の応答モーメント分布(左:橋脚C方向,中央:橋脚L方向,右:ラーメンC方向)

b) フーチング下面から10m以深 いずれの構造物においても, 深い位置では慣性力の影響は限定的であるが, 地盤変位を考慮することによって大きな断面力が発生しており, 地盤変位が急変する付近(フーチング下面から12m付近)で曲げモーメントが最大値を示していることが分かる。したがって地盤変位分布によっては, 比較的良好な地盤においても, 地盤変位の影響を大きく受ける場合があり, 地盤変位の影響を考慮すべきことを示唆している。

5. まとめ 比較的良好な同一地盤条件かつ構造形式の異なる3種類の杭基礎構造物に対して, 慣性力のみを考慮した解析と慣性力と地盤変位の影響を考慮した解析を行った。その結果, 同一の地盤条件であっても, 構造形式や検討断面方向によって, 杭の応答に対する慣性力と地盤変位の相対的な影響度合いが異なること, また比較的良好な地盤であっても, 地盤変位の影響を考慮しないと応答値を過小評価する場合があることが分かった。よって, 地盤の硬軟(固有周期)によらず, 地盤変位の影響を適切に考慮すべきであることが明らかになった。

参考文献 1) 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, A, Vol.44-2, pp.631-640, 1998. 2) (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. 3) 室野剛隆, 野上雄太: S字型の履歴曲線の形状を考慮した土の応力~ひずみ関係, 第12回日本地震工シンポジウム講演論文集, pp.494-497, 2006 4) 室野剛隆, 西村昭彦: 杭基礎構造物の地震時応力に与える地盤・構造物の非線形性の影響とその評価手法, 日本地震工シンポジウム講演論文集, Vol.10, No.2, pp.1717-1722, 1998