

東京大学 学生員 藤田 宗久
 東京大学 正会員 松本 嘉司
 長岡技術科学大学 正会員 小長井 一男

1. 目的

鉄道路線の高架部を列車が走行する際、橋脚が曲げ剛性の小さい橋軸方向に振動するために、橋軸と直角方向に地盤を伝播していく横波が卓越していると考えられる。この振動を減少させることが、交通公害対策上重要な問題となる。その第一段階として、地盤振動応答を予測する一手法には、波動理論による方法がある。しかし、この方法は難解であるので、本研究では、Lamb(1904)およびCerruti(1882)の論文に従い、近似式を導き、より容易に地盤振動応答を予測する手法を提案する。そして、この近似式の妥当性を検証するために、単杭の水平加振実験を行なった。

2. 理論

半無限弾性体内の一点を水平加振した場合の任意点の変位応答 U_θ は、波動理論により求められる。Lambの論文に従えば、動的な変位 $U_{\theta D}$ は、静的な変位 $U_{\theta S}$ を用いて、次のような式で近似できる。

$$U_{\theta D} = U_{\theta S} \cdot (f_1 + i f_2) \quad \cdots \cdots (1)$$

f_1 と f_2 は、水平加振に対する水平変位関数の実部と虚部である。

$U_{\theta S}$ は、Cerruti の問題の解として知られる式により、次のように書ける。

$$U_{\theta S} = \frac{P e^{i\omega t}}{4\pi\mu} \left[\frac{1}{\rho} + (1-2\nu) \frac{1}{\rho+z} \right] \sin\theta \quad \cdots \cdots (2)$$

r : 水平距離、 z : 鉛直距離、 $\rho = \sqrt{r^2 + z^2}$ 、

ν : ポアソン比、 μ : 剛性率

本研究で対象とする方向は、[図-1]に示す通り、 $\theta = 90^\circ$ の方向である。従って、(1)、(2)式より、 $U_{\theta D}$ は、次のように表わすことができる。

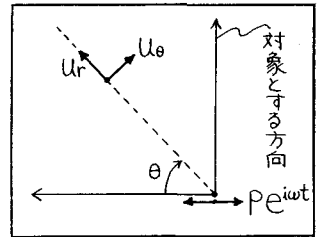
$$U_{\theta D} = \frac{P e^{i\omega t}}{4\pi\mu} \left[\frac{1}{\rho} + (1-2\nu) \frac{1}{\rho+z} \right] (f_1 + i f_2) \quad \cdots \cdots (3)$$

この f_1 と $-f_2$ を図示すると、[図-2]のようになる。図の横軸は、 $\omega \times \rho / V_s$ という無次元距離である。この図を見てわかるように、 $U_{\theta D}$ は、 V_s という速さで伝播する波を表わすと考えられる。そこで、 f_1 および $-f_2$ を次のように近似する。

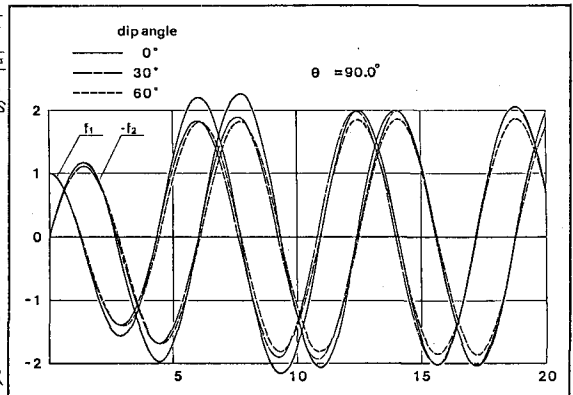
$$f_1 = A \left(\frac{\omega \rho}{V_s} \right) \cdot \cos \left\{ k \left(\frac{\omega \rho}{V_s} \right) \cdot \frac{\omega \rho}{V_s} \right\} \quad \cdots \cdots (4)$$

$$-f_2 = B \left(\frac{\omega \rho}{V_s} \right) \cdot \sin \left\{ k \left(\frac{\omega \rho}{V_s} \right) \cdot \frac{\omega \rho}{V_s} \right\} \quad \cdots \cdots (5)$$

この(4)、(5)式を用いて得られた U_θ の値を、近似解とする。また、波動理論により得られた U_θ の値を厳密解とする。



[図-1] 対象方向



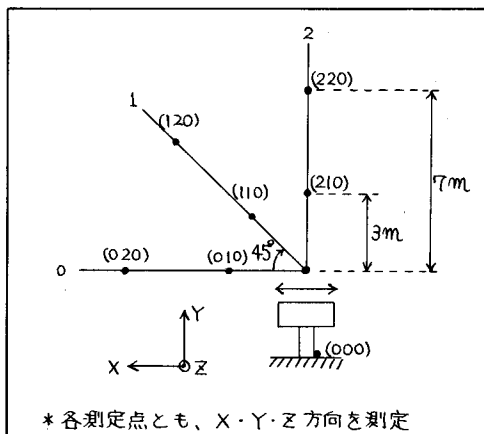
[図-2] 水平加振に対する水平変位関数
 $(U_{\theta D}/U_{\theta S})$ の実部と虚部

3. 測定および分析

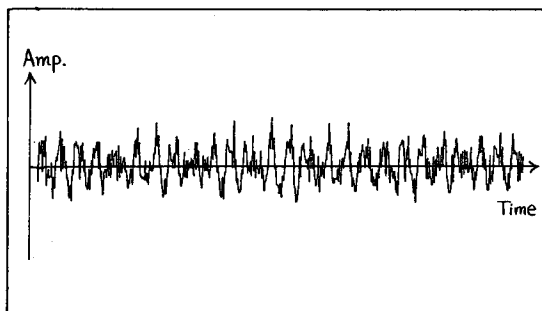
埼玉大学構内に、杭頭に付加重量を持つ単杭が打ち込まれている。この単杭を用いて、水平加振実験を行ない、近似式の妥当性を検証することを試みた。

測定点は、〔図-3〕に示すように定める。起振機を杭頭に取り付け、1.0 Hz ～ 10.0 Hz の範囲で水平加振を行ない、地表加速度を各測定点に設置したサーボ型地震計により測定した。記録されたアナログデータは、ハイブリッド計算機により、サンプル時間 10 msec、サンプル数 2^{10} 個で A-D 変換し、FFT 分析を行なった。

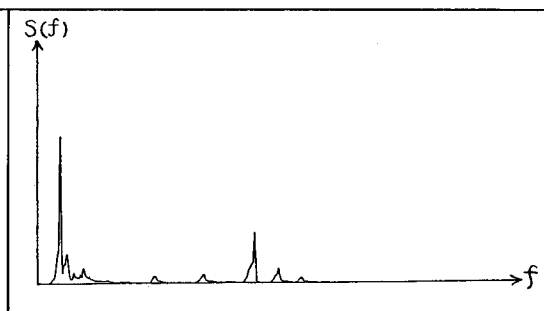
〔図-4〕に、測定された生波形の一例を示し、それを FFT 分析した結果を〔図-5〕に示す。この二つの図は、(220) 点の X 方向、加振周波数 2.5 Hz のものである。



〔図-3〕測定点の位置



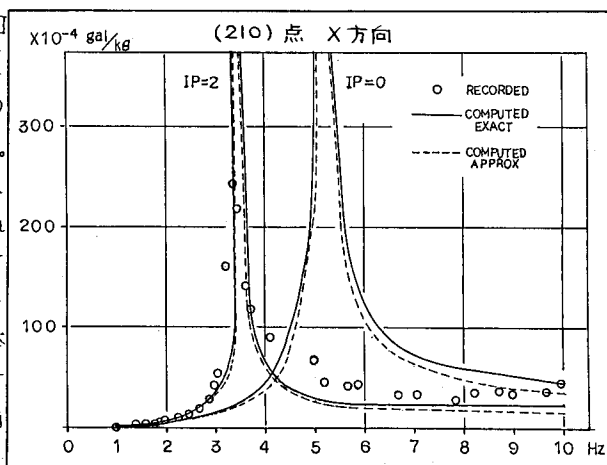
〔図-4〕測定データの波形



〔図-5〕フーリエスペクトル

4. 結果

〔図-6〕は、近似式を用いて計算した地表加速度(破線)を、厳密解(実線)および測定値(○印)と比較したグラフである。この図を見てわかるように、近似解は厳密解とよく一致している。また、計算値の方が測定値よりも共振点が高い(IP=0 のグラフ)のであるが、杭の上部 80cm 程度を地表部の土が拘束していない条件を考慮すると(IP=2 のグラフ)、その共振点はほぼ一致する。なお、計算においては、土を完全弾性体と考え内部減衰を考慮していないため、共振点付近では、計算値のほうが測定値よりも過大に評価されている。



〔図-6〕計算値と測定値の比較

5. 結論

本研究で提案した近似式は、上述の結果から、地盤振動を予測する上で、妥当なものであると考えられる。そこで、この近似式を用いて、杭の諸元を変えて計算すると、従来言われている通り、杭の付加重量を増し、杭の長さを伸ばすと、地盤振動が低減することが確かめられた。また、上述の結果は、杭の根元部分の土を掘り下げることが有効な地盤振動低減対策となることを示唆している。