

九州大学 正員 小坪 清真
同 学生員 〇荒牧 軍治

1. まえがき

著者等は前論⁽¹⁾において、斜組杭の定常論的解析により、地震時の地盤変形の影響を考慮しなければならぬことが明らかにした。しかし実際の地震波はランダムであるので地盤変形を考慮した場合のランダム地震波に対する応答計算法を確立しなければならぬ。ここに Modal Analysis を用いた地盤変形を考慮した場合の応答計算法を提案し、従来までの方法と比較しようとするものである。実際の地震記録は地表面で得られたものがほとんどなので厳密には意味で基盤層からの入力波であるとはいえないが、比較的硬い地盤で得られた地震記録 (Elcentro 地震, NS 成分, 1940) を基盤層からの入力波として応答計算を行った。

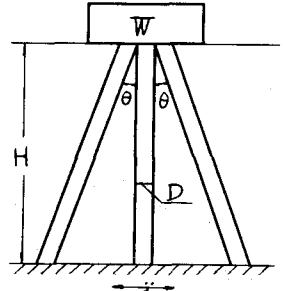


図-1

2. 応答計算法

2.1 基本的考え方

まず地盤の p 次のせん断振動型 U_p を求める。振動型を重ね合わせることにより、任意点の変位 u は次のように表わされる。

$$u = \sum_{p=1}^N b_p U_p \quad (1) \quad b_p \text{ は一般座標, } N \text{ は最高次数である。}$$

地盤が U_p のように静変位した時の杭の変位を $\bar{Y}_p$ とすると地盤が u だけ静変位した時の杭の変位は次式で示される。

$$\bar{Y} = \sum_{p=1}^N b_p \bar{Y}_p \quad (2)$$

次に r 次の杭の振動型を Y_r とすると地盤がせん断変形しない場合の任意点の杭の変位は次式のように書くことができる。

$$y = \sum_{r=1}^R a_r Y_r \quad (3) \quad a_r \text{ は一般座標, } R \text{ は最高次数である。}$$

地盤が変形する場合の杭の変位 y は次式で表わされる。

$$y = y' + \bar{Y} = \sum_{r=1}^R a_r Y_r + \sum_{p=1}^N b_p \bar{Y}_p \quad (4)$$

杭が $\bar{Y}_p$ のように変形した時に生じる内力を $\bar{M}_p$, Y_r のように変形した時に杭に生じる内力を M_r とすると、地盤の変形を考慮した場合の杭の任意点に生じる内力 M は次式で示される。

$$M = \sum_{r=1}^R a_r M_r + \sum_{p=1}^N b_p \bar{M}_p \quad (5)$$

一般座標 a_r, b_p を求めれば④式と⑤式より杭の変位および杭に生じる内力を知ることができる。

2.2 地盤の応答

地盤の p 次の振動型 U_p は地盤のせん断振動の式より求めると地盤の変位は①式で与えられるので、Lagrange の方程式を用いて一般座標 b_p に関する次のような運動方程式が得られる。

$$\ddot{b}_p + 2\zeta_p n_p \dot{b}_p + n_p^2 b_p = -\beta_p \ddot{\phi} \quad (6) \quad \text{但し} \quad \beta_p = \int_0^H U_p dz / \int_0^H U_p^2 dz \quad (7)$$

ここに ζ_p, n_p は p 次の減衰定数及び固有円振動数である。

2.3 杭の応答

杭の変位は③式で表示されるので、運動エネルギーは標準振動型の直交性を考慮して、

$$K = W_A g \int_0^H \left(\sum_{r=1}^R \dot{a}_r^2 Y_r^2 \right) dz + W_A g \int_0^H \left(\sum_{r=1}^{NACB} \dot{a}_r^2 Y_r^2 \right) dz + W_A g \int_0^H \left(\sum_{r=1}^R \dot{a}_r^2 X_r^2 \right) dz + W_A g \left(\sum_{p=1}^N \dot{a}_r^2 Y_r \right) \quad (8)$$

②式において第1項は直杭の横方向、第2項は斜杭の横方向、第3項は斜杭の軸方向、第4項は上載荷重の運動エネルギーである。 Y_{2r}, Y_{1r}, X_r, Y_r はそれぞれk部材の振動型である。

同様に全エネルギーは、

$$T = \frac{W}{2g} \left(\sum_{r=1}^n \dot{Y}_{2r}^2 + \sum_{r=1}^n \dot{Y}_{1r}^2 + \sum_{r=1}^n \dot{X}_r^2 + \sum_{r=1}^n \dot{Y}_r^2 \right) \quad (9)$$

更に一般力 Q_r を求めLagrangeの方程式に代入して杭の運動方程式を求めると次のようになる。

$$M_r \ddot{a}_r + 2\dot{a}_r \dot{a}_r + \dot{a}_r^2 = - \left\{ M_r \ddot{\phi} + \sum_{p=1}^n \ddot{b}_p \ddot{M}_{pr} \right\} \quad (10)$$

右辺の第1項は地震力による一般力、第2項は地盤が変形することによって生じる一般力である。

$$\text{但し } M_r = \frac{1}{g} \left\{ W A \int Y_{2r}^2 dz + 2WA \int Y_{1r}^2 dz + 2WA \int X_r^2 dz + W \int Y_r^2 dz \right\} \quad (11)$$

$$M_r = \frac{1}{g} \left\{ W A \int Y_{2r} dz + 2WA \cos \theta \int Y_{1r} dz + 2WA \sin \theta \int X_r dz + W \int Y_r dz \right\} \quad (12)$$

$$\ddot{M}_{pr} = \frac{1}{g} \left\{ W A \int Y_{2p} Y_{2r} dz + 2WA \int Y_{1p} Y_{1r} dz + 2WA \int X_p X_r dz + W \int Y_p Y_r dz \right\} \quad (13)$$

下層地盤からの加速度 $\ddot{\phi}$ が与えられれば杭及び地盤の応答が求められる。

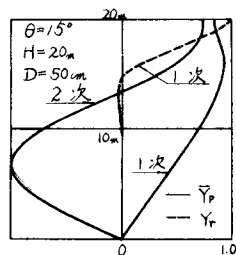


図-2 振動型(直杭変形)

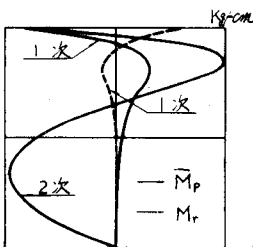


図-3 振動型(直杭モーメント)

3. 数値計算例

数値計算には図-1のように頭部が空中に出ていない系を用い、地盤のせん断弾性定数 G_m および地盤反力 K は深さ方向に一定であるとした。図-2は $K=2 \times 10^6 \text{ cm}^2$, $W=100 \text{ t}$ とした時の振動型を求めたものである。実線は地盤が1.0rなる変形をした時の直杭の変形曲線であり、破線は直杭の1次振動型である。杭の1次の固有円振動数は31.96という非常に大きいものであり、2次以上のそれは非常に大きく問題とならない。図-3は直杭のモーメントの型である。図-4は地盤の変位及び杭頭の変位をLunge-Kutta-Gill法を用いて計算したものである。杭の変位はほぼ地盤の変位によって決り、特に地盤の1次変形が卓越する。この地 G_m, K, W を種々変えて計算を行、たがほぼ同様の傾向を示した。図-5は最大変位を示した時刻の深さ方向の変形の分布図である。

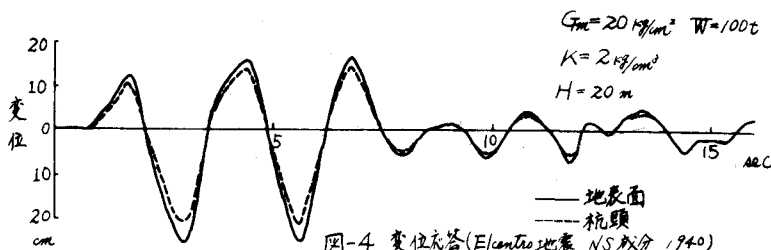


図-4 変位応答(El Centro地震 NS成分 1940)

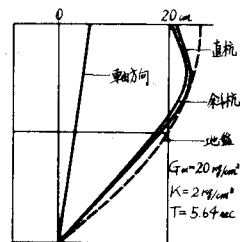


図-5 深さ方向の変形分布

4. 結論

以上の計算結果はこの計算法が地盤変形を考慮した計算法として妥当であることを示している。また斜組杭は地震時その変形がほぼ地盤の動きによって決定されることを分ったが、さらに空中部分が存在して固有周期が長くは、この場合には少し異った結果が予想される。これについては目下研究中である。

参考文献

(1) 小坪 荒牧「斜組杭の地震時における挙動」第22回年次学術講演会講演概要集Ⅲ 542.5