

杭基礎を有する擁壁の耐震性能に関する研究

Seismic Performance of Retaining Wall with Pile foundation

○野口 学¹, 佐藤秀人², 鹿糠嘉津博³

*Manabu Noguchi¹, Hideto Sato², Katuhiro Kanuka³

When seismic performance of pile foundations is examined, nonlinearity of soil should be considered. Analytic solution of pile foundation is obtained by nonlinear subgrade reaction method (p-y curve method) and the Glesar's numerical analysis method. In this paper, simplified analysis method of the pile is described, and example of analysis is carried out.

1. はじめに

地盤は非線形性が大きいので、構造物の耐震性能はこれを考慮して検討することが望ましい。本論文では、地震外力を受ける杭基礎式擁壁について、杭部に非線形地盤反力法 (p-y 曲線法) を適用した砂地盤に対する解析法に関して述べる。

2. 地震外力を受ける杭基礎式擁壁の解析法

2-1 解析モデル

解析は、擁壁部を剛体、杭部を弾性体とし、擁壁部に静的な地震外力 (地震時主働土圧) が作用するものとして行なう。杭は図 1 に示すように分割し (n 分割: 杭頭および杭先端に 2 点ずつの仮想点を設定), 各分割要素に Winkler の非線形離散ばねを仮定する。

2-2 p-y 曲線の設定方法

i 点の杭前面に非線形の地盤反力 (p-y 曲線) を設定する。p-y 曲線は図 2 のように、OA, AB, BC の 3 つの折れ線で構成する。ただし、A, B 点は以下のように設定する。

① 地盤反力の最大値 p_{max} は、砂地盤に対する Broms の方法に倣い、土の単位体積重量を γ , 杭頭部からの距離を h , ランキンの受働土圧係数を K_p とし、次式で与えられるものと仮定する。

$$p_{max} = 3\gamma h K_p \quad (1)$$

② 地盤反力 p と杭変位 y を、それぞれの最大値 p_{max} , y_{max} で基準化した $\bar{p}=p/p_{max}$, $\bar{y}=y/y_{max}$ を考える (図 3)。 $\bar{p}-\bar{y}$ 曲線の第一折れ点 A' (\bar{y}_A, \bar{p}_A) は、点 G' を中心とする半径 1 の円弧に近似するように、 $\bar{p}_A=0.5$, $\bar{y}_A=0.125$ とする。

③ 水平地盤反力係数 k_h が第一折れ線 OA の勾配と等しくなるように A 点 (y_A, p_A) を定め、 $y_{max}=8 y_A$ ($\because y_A=1/8 y_{max}$) の関係より y_{max} を定める。

④ 地盤反力 p は以下のように与えられる (図 4)。

$$p = B \cdot (s y + t) \quad (2)$$

ただし、 B は杭の直径、 s は変位 y に対応する直線部の勾配、 t は y に対応する直線部の p 軸切片を表す。

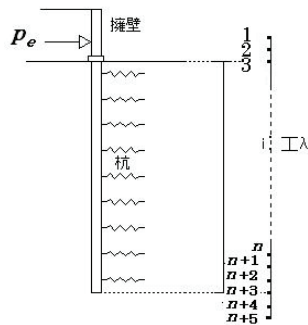


図 1 解析モデル

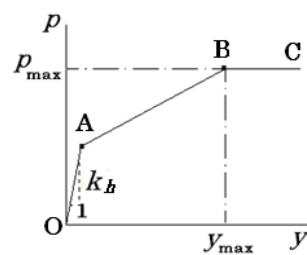


図 2 p-y 曲線

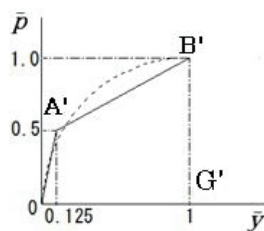


図 3 $\bar{p}-\bar{y}$ 曲線

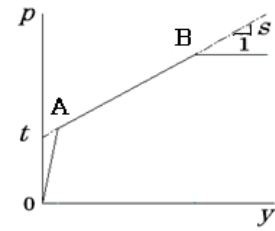


図 4 s および t

2-3 基本方程式

杭体の基礎方程式は、EI を曲げ剛性、 $p(x,y)$ を水平地盤反力として以下のように表わされる。ただし、軸力の影響は無視している。

$$EI \frac{d^4 y}{dx^4} + Bp(x,y) = 0 \quad (3)$$

これを差分表示すると i 点の基礎方程式および杭先端の境界条件式は次式となる。

$$EI \frac{y_{i+2} + 4y_{i+1} - 6s_i y_i + 4y_{i-1} + y_{i-2}}{\lambda^2} + Bp(s_i, y_i) = 0 \quad (4)$$

杭頭(top), 杭先端(tip) の境界条件式は以下となる。

$$M_{top} = -EI \frac{d^2 y}{dx^2} = -EI \frac{y_4 - 2y_3 + 2y_2 - y_1}{\lambda^2} = M_0$$

$$Q_{top} = -EI \frac{d^3 y}{dx^3} = -EI \frac{y_5 - 2y_4 + 2y_2 + y_1}{2\lambda^3} = Q_0$$

$$M_{tip} = -EI \frac{d^2 y}{dx^2} = -EI \frac{y_{n+4} - 2y_{n+3} + 2y_{n-2} - y_{n+2}}{\lambda^2} = 0$$

$$Q_{tip} = -EI \frac{d^3 y}{dx^3} = -EI \frac{y_{n+5} - 2y_{n+4} + 2y_{n-2} + y_{n+2}}{3\lambda^3} = 0$$

(5)~(8)

1. 日大理工・院・海築 2. 日大理工・教員・海建 3. 有限会社カヌカデザイン・代表取締役

ただし、 Q_0, M_0 は擁壁に作用する物部・岡部の地震時主働土圧によって杭頭に伝達されるせん断力および曲げモーメントである。

2.4 杭変位 y の算出

4~8 式は $(N+5)$ 次元の連立方程式となるため、 $s_i=k_i, t_i=0$ の初期値を与えて $y_1 \sim y_{n+5}$ を解く。次に各変位値に応じた s_i, t_i を再設定し、再度 $y_1 \sim y_{n+5}$ を求めることを y_i が十分収束するまで繰り返す (図 5)。なお、連立方程式の解法には、改良 Gleser 法¹⁾を用いる。

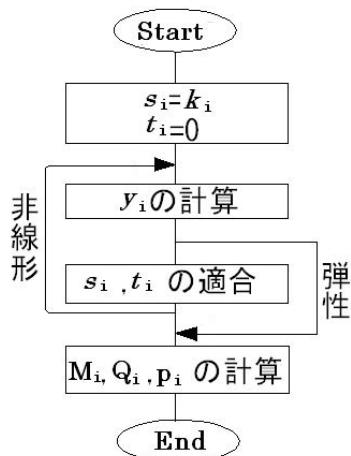


図 5 計算のフローチャート

3. 解析例

高さ 4m の剛な鉛直擁壁の基礎に、3m 間隔で直径 $B=60\text{cm}$ 、深さ $H=12\text{m}$ の場所打ちコンクリート杭を使用するケースを想定し、水平震度 0.2 の静的地震外力が作用する場合を解析する。解析条件を表 1 に示す。

杭の根入れ部地盤は $\gamma=18\text{ kN/m}^3$ 、 $N=10$ の均一地盤とし、水平地盤反力係数 k_h は、建築基礎設計指針に準じて、以下で与えた。

$$k_h = \alpha \xi E_0 B_0^{-3/4} \quad (9)$$

$$\alpha = 80, \quad \xi = 1.0$$

$$E_0 = 700\text{ N}, \quad N = 7000, \quad B_0 = 60$$

ただし、 E_0 は変形係数、 B_0 は杭径 B を cm で表わした無次元化杭径である。

水平震度が 0.2 のときの地震時土圧は、 $Pe=75.2\text{ kN/m}$ であり、 $1/3H$ の場所に作用する。このとき、杭頭に伝達される水平力 Q_0 および M_0 は以下となる。

$$Q_0 = Pe \cdot L = 225.6\text{ kN}$$

$$M_0 = 1/3 H \cdot Q_0 = 300.8\text{ kN} \cdot \text{m}$$

図 6 に擁壁変位を示す。壁頂部変位は、弾性解で 9.5mm 、非線形解で 46.3mm と非線形解の方が約 5.5 倍の大きさとなった。また、壁の傾斜角も非線形解の方が大きく、ほぼ 4 倍の大きさとなった。

杭変位 y 、曲げモーメント M 、せん断力 Q 、地盤反力 p の分布図を図 7~10 に示す。ただし、太線は非線形解、細線は弾性解を示す。杭頭での変位は非線形解は弾性解のほぼ 12 倍となった。最大曲げモーメントは、弾性解のほぼ 2 倍の値を示し、最大曲げモーメントの発生深度深くなることが理解された。

4. おわりに

本手法によって、杭部の地盤非線形を考慮した擁壁変形が解析できるようになった。今後は、擁壁部に関しても非線形土圧を適用した解析を検討していきたい。

[参考文献]

- 1) 国府田, 佐藤 他: 地盤の非線形と履歴荷重を考慮した杭の動的および静的解析法に関する研究 その 1~その 5, 地盤工学研究発表会(神戸), pp. 1827-1842, 1993

表 1 解析条件

擁壁部		杭部	
擁壁高さ H_L	4.0 m	杭長 H	12.0 m
内部摩擦角 ϕ	30°	杭径 B	60 cm
粘着力 C	0	杭間隔 L	3.0 m
単位体積重量 γ	18 kN/m^3	ヤング係数 E	$2.35 \times 10^4\text{ N/mm}^2$
水平震度	0.2	N 値(均一地盤)	10

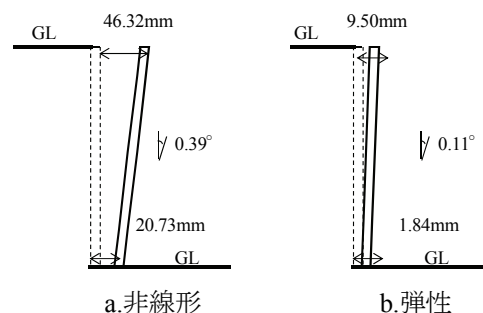


図 6 擁壁の変位

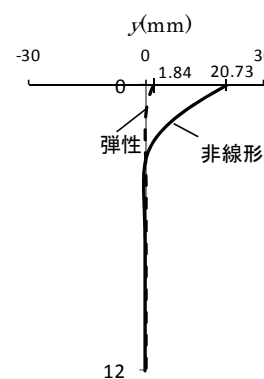


図 7 変位 y

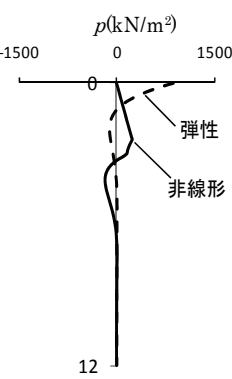


図 8 地盤反力 p

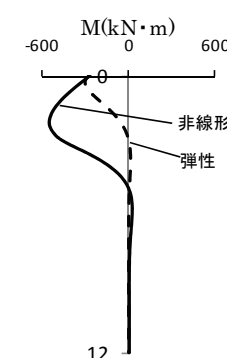


図 9 曲げモーメント M

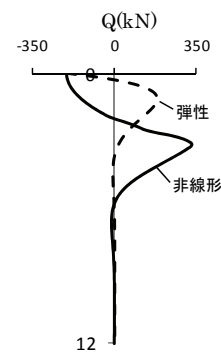


図 10 せん断力 Q