

杭基礎の終局限界状態時の水平抵抗の照査方法

九州大学工学部 学生員○河野 謙治

九州大学工学部 正会員 大塚 久哲

1. はじめに

地震力や波力などが作用する杭基礎における水平抵抗の厳密な評価は非常に重要であるが、地盤の不均一性・非線形性など複雑な要因が多く含まれている。そのため、実設計では杭を弾性支承上のはりとみなした線形地盤反力法(Changの方法)を用いて計算するが多いが、実際の杭の水平方向挙動を忠実に表しているとはいえない。そこで本研究では、地盤の非線形性を考慮するため地盤反力と変位の関係を非線形とし、鉛直力を考慮した杭の支配方程式と組み合わせて差分化し、ニュートン・ラブソン法と増分法を合わせた混合法により数値解析的に水平抵抗を求める方法を誘導した。これによれば、大きな地震力などが作用した終局限界状態時の水平抵抗が、支持力と変位のいずれについても照査できることになる。

2. 解析法について

(1) 仮定

① 荷重: 図-1に示すように、杭頭に静的水平荷重 Q_t ・モーメント M_t ・鉛直荷重 P_t が作用しているとする。 P_t による杭体の軸力分布は図の通りである。

② 杭体: 杭体は、曲げ剛性・断面一定の完全弾塑性の鋼管杭と仮定する。ここでは、杭頭自由・杭先端固定の単杭を対象とする。

③ 地盤: 地盤は、図-2のような非線形の $p-y$ 関係を持つ一様な軟粘土一層地盤を仮定する。水平地盤反力 p は図-1のように要素ごとに一定値が作用しているとする。

(2) 解析法の誘導

鉛直力(軸力)を考慮した杭の支配方程式は、次のような微分方程式で表される。

$$\frac{EI}{B} \frac{d^4 y}{dx^4} + \frac{d}{dx} \left(N \frac{dy}{dx} \right) + p = 0 \quad (1)$$

上式を差分化し、杭頭・杭先端の境界条件を考慮して各節点に対して差分式を得る。水平地盤反力 p と変位 y に図-2の非線形関係を用いると、上式の微分方程式は非線形連立方程式の解法となる。すなわち、非線形解析の基本計算式は次のように節点変位ベクトル D に関する非線形連立方程式で表現される。

$$\{F\} = [K(D)] \cdot \{D\}$$

ここに、 $\{F\}$: 外力荷重ベクトル

$[K]$: 剛性マトリックス

$\{D\}$: 節点変位ベクトル

上式をマトリックス表現すると式(2)のようになる。

非線形連立方程式の解法として、ニュートン・ラブソン法を用いる反復法と、増分法とを組み合わせた混合法を適用する。

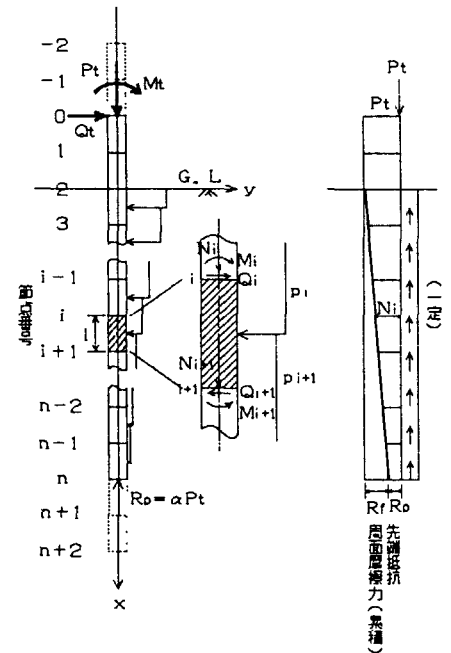
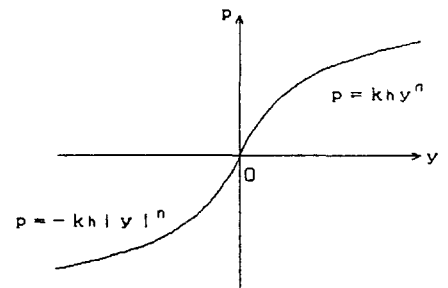


図-1 杭体モデルと軸力分布

図-2 $p-y$ 関係

$$\begin{aligned} \text{ここに、} A &= 2 - \frac{1^2}{4E_1} N_1, \quad B = 2 + \frac{1^2}{4E_1} N_1, \quad C = -2 + \frac{1^2}{4E_1} N_0, \quad D = 5 + \frac{1^2}{4E_1} (-2N_0 - N_2) \\ E &= 7 + \frac{1^2}{4E_1} (-N_0 - 2), \quad F = 1 + \frac{1^2}{4E_1} N_i, \quad G = 6 + \frac{1^2}{4E_1} (-N_i - N_{i+2}) \\ H &= 2(M_t + Q_t), \quad I = -M_t(1 + \frac{1^2}{4E_1} N_0) \end{aligned} \quad \text{--- (2)}$$