擁壁杭基礎の杭頭付近の塑性領域を考慮したたわみ挙動解析

豊橋技術科学大学大学院 学生会員 〇岩越恭平,澤木達也, 正会員 三浦均也,松田達也 (㈱コクヨー 非会員 渡辺強,㈱サインファースト 非会員 栗田和博

1. はじめに

杭のたわみ挙動問題を扱う場合は,地盤の非線形 性を考慮する必要がある。このことは杭の変位が最 も大きい杭頭付近において顕著で,作用する水平力 が増大すると,やがて地盤は杭頭付近から塑性化し, 下方へ拡張していく。塑性化した領域では地盤が持 つ本来の抵抗力が減少し,杭の変位が大きくなる要 因の一つとなる。地盤は微小な変位から非線形的性 質を有しており,解析や設計において大いに影響す るため無視することができない。

本論文では応答関数を用いた杭のたわみ挙動解析 法⁽¹⁾を用いて,杭頭付近の塑性領域を考慮して解析 を行い,自立式擁壁における杭の挙動に対する影響 を確認した。

2. 応答関数を用いた杭のたわみ解析法

2.1. たわみの支配方程式

地中にある杭は一般的に弾性床上の梁理論が適用 でき,たわみの支配方程式は以下のように表される。

$$-EI\frac{d^4\delta}{dz^4} = P = pD = kD\delta \tag{1}$$

ここで, EI を杭の曲げ剛性(N/m^2), δ を杭の変位(m), zを地表面からの深さ(m), p を深さzにおける水平 地盤反力(N/m^2), k を水平地盤反力係数(N/m^3), D を 杭径(m), P を単位長さあたりの地盤反力(N/m)とす る。

2.2. 応答関数を用いた支配方程式の解法⁽¹⁾

式(1)を解くと4つの未定定数をもつたわみ挙動 の式が得られ、以下のようにまとめる。

$$\{Q\}_{(z)} = [S]_{(z)} \{A\}$$
(2)

ここで、 $\{Q\}_{(z)}$ をたわみベクトル、 $[S]_{(z)}$ をたわみマ トリックス、 $\{A\}$ をたわみ係数ベクトル(未定定数) とする。図1のように杭をいくつかの要素に分割し、 要素内の両端におけるたわみ挙動の式から、要素内 のたわみベクトルの変化を直接的に表すことができる。

以上の方法を各要素間で行い,境界条件と杭頭の 初期条件を用いて杭先端までのたわみ挙動式を誘導 した。

3. 複合地盤反力法⁽²⁾

弾性床上の梁理論を用いた解析法は杭をたわみ性 の梁,地盤を連続したバネとみなし,ともに弾性体 であると仮定するため弾性変形のみを扱う。よって 地盤内のどこの深さをとっても地盤反力係数は一定 となる。しかし,これは地表面における地盤反力が 実際よりきわめて大きく期待されることになる。そ こで,地盤の変形に伴い,大変形の領域は地盤が塑 性化したと考え,杭の変位に依存しない極限地盤反 力を作用させ荷重に抵抗する(塑性領域)。塑性領域 以深は弾性領域とし変位に比例する地盤反力を考え る(図 2)。

杭に水平力が作用し杭前面の地盤が塑性化したとき,図3のように杭前面のあるところにすべり面を 仮定する。そのとき杭に作用する極限地盤反力は以下の式で表す⁽³⁾。



図1 杭要素内における応答関数によるたわみ応答の表示



図2 複合地盤反力法



$$R_q = \frac{W \cdot (\cos \alpha + \sin \alpha \cdot \tan \phi) + c \cdot A}{\sin \alpha - \cos \alpha \cdot \tan \phi} \quad (3)$$

ここで、 R_q は極限地盤反力(kN)、Wは塑性化した (すべり面より上の)部分の重量(kN)、Aはすべり 面の底面積(m²)、 c,ϕ は地盤の粘着力(kN/m²)、およ び内部摩擦角、 α はすべり角、 β はすべり面の広が り角とする。

4. 解析結果

4.1. 解析条件

【擁壁条件】本論文では自立式パネル擁壁⁽⁴⁾を想定 しており,壁面に摩擦は生じないものとする。擁壁 背面にかかる土圧はランキンの式より算定した。背 面土には高さ 0.5mの盛り土を載荷している。擁壁 の中の支柱はSTK400のH鋼であり,寸法は400×400 ×18×18と設定した。

【杭条件】杭は BCR295 の角形鋼管杭を使用する。杭の配置間隔は 2m とし,均等に土圧を支持するものとする。

【地盤条件】地下水位は十分低いものとして考慮せ ず,砂質土の均質地盤を想定している。

4.2. 解析結果と考察

図4は地盤を弾性領域と仮定する弾性地盤反力法 と、塑性領域を考慮した複合地盤反力法で解析を行 い、杭に作用する地盤反力を比較した。塑性領域を 考慮して解析を行うことで、地表面で地盤反力が最 大になるという力学的に不合理な問題を解消した。 図4のケースでは塑性領域の深さが約1.7mまで広が ることが分かった。このとき、杭頭変位は約 6.7cm であった。

図5は同じ解析条件で杭長を変化させたときの杭 頭変位の変化を比較している。杭長が6mのとき, 塑 性領域を考慮すると杭頭での変位が約2.5倍 増大した。しかし、杭長が8m以上になると変 位の増加量は比較的変わらないため、杭長を 最大8m程度で設計することが可能である。

設計においては,本来このような非線形性 を考慮すべきであるが,設計に取り入れる場 合の問題点などを今後検討する予定である。

5. 参考文献

(1)吉野貴仁,高木翔太,三浦均也,松田達也,「横荷重を受ける杭の応答関数を用いた非線形解析手法」,平成27年度土木学会中部支部

(2)右城猛,「鋼矢板を用いた自立式土留め工の設計」,四国地方整備局平成 18 年度道路技術(構造物設計)研修資料

(3)中島英治,田原賢二,前田良刀,「斜面上基礎の 設計」,土木学会論文集第 355 号

(4) フーチングレス・パネル工法,株式会社コクヨー



図4 塑性領域を考慮したたわみ



図5 杭長によるたわみの変化