

五洋建設株式会社

正員 三藤 正明

協和コンサルタント

正員 竹内 則雄

東京大学生産技術研究所

正員 川井 忠彦

1. まえがき・・・川井によって提案された新離散化モデルを用いた粘弾性地盤上の梁について行った解析結果は、すでに発表した。本論文では、引き続き粘塑性地盤上の梁の解析について述べる。地盤の粘塑性モデルとしてはBingham型の簡単なモデルを用いた。また、梁要素については、完全弾塑性体として解析を行った。解析例としては、まず簡単なモデルとして単杭をあげ、弾塑性解と比較することにより本モデルの有効性を検討し、さらに門型ラメンに荷重を急速に載荷させた場合と緩やかに載荷させた場合の2通りを考え、荷重の変化による構造物に与える影響を調べた。

2. 粘塑性モデル・・・図-1にBingham型の粘塑性モデルを示す。さて、全変位増分量 y は、弾性変位増分量 y^e と粘塑性変位増分量 y^p の和で表わされる。ここで、上付きの $\dot{\cdot}$ は時間に対する変化率を示す。

$$y = y^e + y^p \quad (1)$$

ここで、 K をバネ定数とすれば弾性変位増分量 y^e は、

$$y^e = \dot{P}/K \quad (2)$$

である。粘塑性変位増分量 y^p は、 η を粘性係数として、

$$y^p = \langle P - P_0 \rangle / \eta \quad (3)$$

$$\langle P - P_0 \rangle = \begin{cases} 0 & |P_0| > |P| \\ P - P_0 & |P_0| \leq |P| \end{cases}$$

となる。ここで、 P_0 は降伏応力を表す。(1)、(2)式を(3)式に代入し、4tを増分時間とし差分表示すれば、

$$\Delta P = K \Delta y - \langle P - P_0 \rangle K \Delta t / \eta \quad (4)$$

となり、増分荷重 ΔP と増分変位 Δy の関係が求まる。

3. 粘塑性地盤上の梁の定式化・・・図-2に示す粘塑性地盤上の梁の平衡方程式を求める。さて、要素1と要素2の重心点における剛体変位をそれぞれ (u_1, v_1, θ_1) 、 (u_2, v_2, θ_2) とすれば、要素接合点での相対変位、相対回転角 δ 、 ϕ は、

$$\delta = B \cdot U \quad (5)$$

$$B = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & -l/2 & 0 & 1 & -l/2 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$U = [u_1 \ v_1 \ \theta_1 \ u_2 \ v_2 \ \theta_2]^T$$

$$\phi = [\delta \ \phi]^T$$

となる。また、接合部での軸力、せん断力、曲げモーメントに抵抗する3種類のスプリングを以下のように設定する。

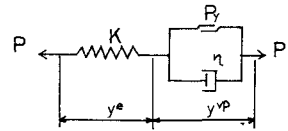


図-1 粘塑性モデル

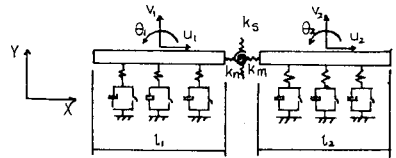


図-2 粘塑性地盤上の新しい梁要素

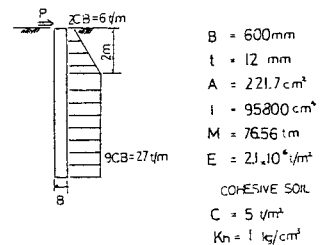


図-3 数値計算モデルと材料定数

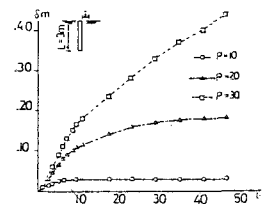


図-4 杭頭変位の経時図(短杭)

$$D = \begin{bmatrix} K_n & 0 & 0 \\ 0 & K_s & 0 \\ 0 & 0 & K_H \end{bmatrix} \quad \begin{aligned} K_n &= 2EA/l & K_s &= 2\alpha GA/l \\ K_H &= 2EI/l & l &= l_1 + l_2 \end{aligned} \quad (6)$$

ここで、 EI は曲げ剛性、 GA はせん断剛性、 EA は軸剛性であり、 α は有効せん断係数である。いま、要素1と要素2の任意点における節点変位を y_1 と y_2 、とすれば、

$$y_1 = N_1 U \quad N_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$y_2 = N_2 U \quad N_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (8)$$

となる。また、重心点に作用する荷重を

$$F = \begin{bmatrix} L & X_1 & Y_1 & H_1 & X_2 & Y_2 & H_2 \end{bmatrix}^T \quad (9)$$

とすれば、環分形の仮想仕事式より

$$\delta \Delta U + \delta W = \delta \Delta U + \delta W = \int \delta y_1 \cdot dP_1 dx + \int \delta y_2 \cdot dP_2 dx \quad (10)$$

が得られる。上式を展開すると

$$\Delta W = \{ [K_1] + [K_2] + [K_3] \} \Delta U + \Delta W \quad (11)$$

となる。ここで、

$$[K_1] = B^T \cdot D \cdot B \quad (12)$$

$$[K_2] = \int N_1^T \cdot K \cdot N_1 dx \quad (13)$$

$$[K_3] = \int N_2^T \cdot K \cdot N_2 dx \quad (14)$$

$$\Delta W = -K \Delta U \cdot \int N_1 < P_1 - P_2 > A dx - K \Delta U \cdot \int N_2 < P_2 - P_3 > dx \quad (15)$$

である。

4. 数値計算・・・図-4は短い杭について、杭頭の変位を時刻ごとプロットしたものであり、崩壊荷重は20~25の間にある。同じモデルを弾塑性解で求めると崩壊荷重は27であった。図-5は長い杭について7°プロットした図である。弾塑性解で崩壊荷重は51であり、ほぼ等しい解得と思われる。次に図-6に示す門型ラーメンのモデル図を示す。図-7に弾塑性解を示す。図中の番号は破壊の順番を示し、崩壊荷重は51であった。粘塑性解析では荷重を急速に載荷させた場合と緩やかに載荷させた場合の2ケースを行った。図-8、図-9より、いずれも51の崩壊モードを示していることがわかり、弾塑性解での崩壊荷重51と比較して、ほぼ等しい解得であることがわかる。

5. まとめ・・・川井によって提案された新離散化モデルの梁要素を用いて粘塑性地盤上へ梁要素解析を行った。解析モデルとしては地中杭と門型ラーメンを考え、その間に弾塑性解と比較する。ヒトより、等しい解が得られることがわかった。本モデルは要素内変位を剛体と仮定することにより分布している地盤反力を支点反力的に取り扱うことができた。計算プログラムや簡単にできるだけでなく、地盤の破壊も容易に取り扱うことができる。

6. 参考文献・T. Kawai: New element models in discrete structural analysis, 日本建築学会, 第14号(1977)

竹内, 三郎, 川井: 新離散化モデルによる粘塑性地盤上の梁要素解析, 生産研究, Vol. 34, No. 11

竹内, 神尾, 川井: 新しい梁モデルによる地盤反力による梁要素の極限解析, 第2回地盤工学シンポジウム論文集(1980)

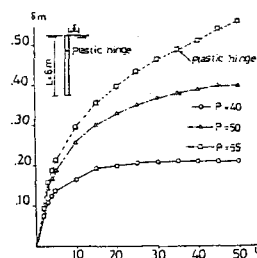


図-5 杭頭変位の経時図(長い杭)

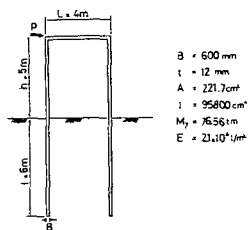


図-6 門型ラーメンモデル

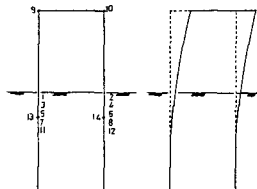


図-7 弾塑性解における破壊状況と最終変位図

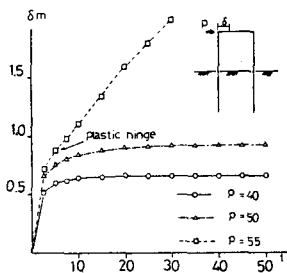


図-8 杭頭変位の経時変化図(急激な載荷)

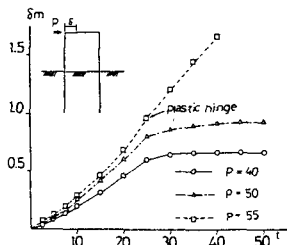


図-9 杭頭変位の経時変化図(緩やかな載荷)