

Ⅲ-38 一様に傾斜した地表面に近接して掘削された素堀りの円形トンネルによる地盤変位の弾性解析*

福島工業高等専門学校 正員○堤 隆†
山梨大学工学部 正員 平島健一‡
福島工業高等専門学校 新井 広§

1 はじめに

著者らは先に地山を等質の二次元等方性弾性体と考え、水平な地表面に近接して掘削された素堀りの円形トンネルによる地盤の変位の解析を、円孔を有する無限板と半無限板の解をそれぞれの境界条件に収束するまで重ね合わせる拘束解除法 [1] により行った [2]。これを踏まえて本研究では一様に傾斜した地表面に近接して掘削された円形トンネルによる地盤変位の解析方法を提示する。

2 解析方法

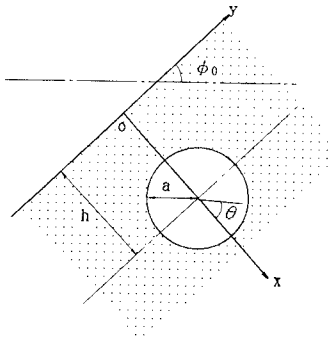


図-1 円孔を有する一様な斜面

本研究で対象とする問題は、図-1 に示すような水平面に対し一定の傾斜角 ϕ_0 をなす地表面を有する地盤に地表面から中心までの距離 h 、半径 a の円形トンネルを掘削することにより応力が解放される2次元的な問題を対象とする。トンネル中心を通る地表面に対して垂直な軸を x 軸、地表面を y 軸にとり、それぞれ下向き、右向きを正の方向として、複素平面 $z = x + iy$ を設定する。このとき半無限板領域内の任意点での応力 σ_x 、 σ_y 、 τ_{xy} 、変

位 u_x 、 u_y は次式のように表すことができる [3]。

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x &= 2\operatorname{Re}[\varphi'(z)] - \operatorname{Re}[\bar{z}\varphi''(z) + \psi''(z)], \\ \sigma_y &= 2\operatorname{Re}[\varphi'(z)] + \operatorname{Re}[\bar{z}\varphi''(z) + \psi''(z)], \\ \tau_{xy} &= \operatorname{Im}[\bar{z}\varphi''(z) + \psi''(z)]. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

$$u_x - iu_y = \frac{1}{2G} \left[\frac{3-\nu}{1+\nu} \varphi(z) - \{\bar{z}\varphi'(z) + \psi'(z)\} \right]. \quad (2)$$

ここに ν はポアソン比、 G はせん断弾性係数、上付きのバーは複素共役を表す。応力関数 $\varphi(z)$ 、 $\psi(z)$ は円孔を有する無限板の応力関数 $\varphi_c(z)$ 、 $\psi_c(z)$ と半無限板の応力関数 $\varphi_p(z)$ 、 $\psi_p(z)$ との重ね合わせにより与えられる。

$$\left. \begin{aligned} \varphi(z) &= \varphi_c(z) + \varphi_p(z), \\ \psi(z) &= \psi_c(z) + \psi_p(z). \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

ここに応力関数は次式のものを用いる。

$$\left. \begin{aligned} \varphi_c(z) &= M \log z + \sum_{n=1}^{\infty} A_{-n} z^{-n}, \\ \psi_c(z) &= N z \log z + K \log z + \sum_{n=1}^{\infty} B_{-n} z^{-n}. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

$$\left. \begin{aligned} \varphi_p(z) &= \frac{a(0)}{2} \log z \\ &\quad - \int_0^{\infty} e^{-zt} \frac{a(t) - a(0) + ib(t)}{2t} dt, \\ \psi'_p(z) &= -\frac{a(0)}{2} \log z \\ &\quad + \int_0^{\infty} e^{-zt} \left\{ \frac{a(t) - a(0) + ib(t)}{2t} \right. \\ &\quad \left. + z \frac{a(t) + ib(t)}{2} \right\} dt. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

なお、 M 、 N 、 K 、 A_{-n} 、 B_{-n} 、 $a(t)$ 、 $b(t)$ は図-2 の重ね合わせより決定される複素定数である。

* キーワード：浅いトンネル、一様に傾斜した地表面、変位

† 〒 970-8034 いわき市平上荒川字長尾 30 Tel 0246(46)0834 E-mail tsutsumi@fukushima-nct.ac.jp

‡ 〒 400-8511 甲府市武田 4-3-11 Tel 055(220)8531 E-mail hirasima@ccn.yamanashi.ac.jp

§ 〒 970-8034 いわき市平上荒川字長尾 30 Tel 0246(46)0769 E-mail arai@fukushima-nct.ac.jp

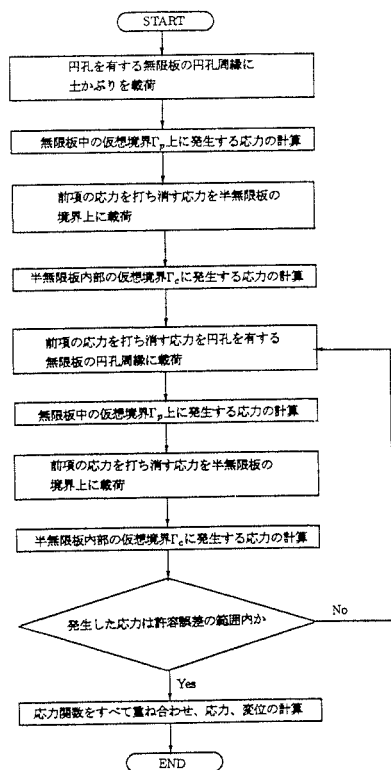


図-2 拘束解除法の手順

3 数値計算例

図-3 に地表面が水平のときの $h/a = 2.0, 5.0$ について $\nu = 0.25$ としたときの側圧係数 $\hat{K}_0 = \nu/(1-\nu)$ の場合の沈下曲線を示す。トンネル掘削による土塊の重量減を全て考慮した場合トンネル掘削によって地表面が隆起する結果が生じるため、土塊の重量減を掘削量の8割、6割、4割とすると、地表面の隆起は小さくなっていく様子が見て取れる。図-4 は土塊の重量減を55%考慮し、地表面の傾斜角 $\varphi_0 = 0, \pi/8, \pi/4$ とした場合の地表面の重力方向への沈下曲線を表したものである。地表面の傾斜が大きくなるにしたがって最大沈下量は減少し、最大沈下量が発生する場所もトンネル中心真上からやや谷側に移動している様子がわかる。

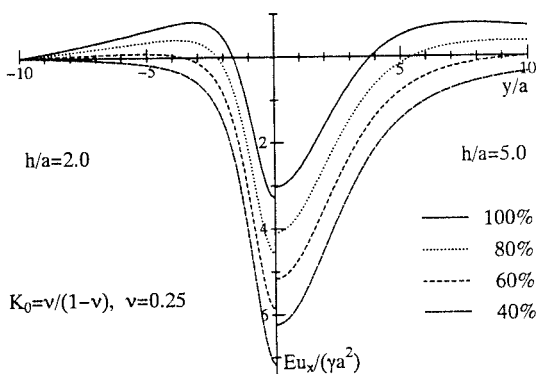


図-3 土塊の自重の評価と地表面の沈下曲線

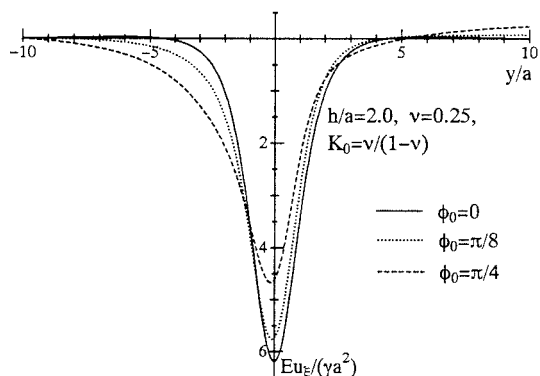


図-4 傾斜した地表面の沈下曲線

4 おわりに

本研究では円孔を有する無限板と半無限板の解をそれぞれの境界条件に十分収束するまで重ね合わせる拘束解除法を用いて傾斜した地表面に近接した円形トンネル掘削に伴う等方性地盤変位の弾性解析の手法を提示した。このことにより任意の傾斜を有する地盤の浅所に円形トンネルを掘削した場合の地盤変位をより正確に把握する手法の一つが確立されたものと考えられる。

参考文献

- [1] 堤, 平島: 日本機械学会論文集, **63**-615, A(1997), 2411-2416.
- [2] 堤, 新井, 平島: 第29回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集(審査付論文), 1999, 50-56.
- [3] 森口, 2次元弾性論, 1957, 岩波書店.