

Ⅲ — 8 一様に傾斜した地表面に近接する円孔によって生じる地盤内応力の拘束解除法による解析

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

地表面に極めて近い円孔を掘削する問題は、円孔境界と地表面境界が影響しあう二次元の二重連結領域問題と考えることができる。従来、この問題は双曲座標系での弾性解析や有限要素解析によって扱われてきた。しかし、前者では煩雑な途中計算を必要とし、後者では要素分割の方法によって精度が左右される等の短所を有する。

本稿では簡便な解析手法の確立を目的として、円孔を有する無限板の解と半無限板の解を双方の境界条件に収束するまで重ね合わせて一様に傾斜した地表面に近接する円孔によって生じる地盤内応力の計算を行う。

2. 問題の定式化

本稿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って応力が解放される二次元的な問題である。トンネル中心を通る地おわりに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。このとき半無限板内の応力 $\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}$ は次式のように表すことができる。

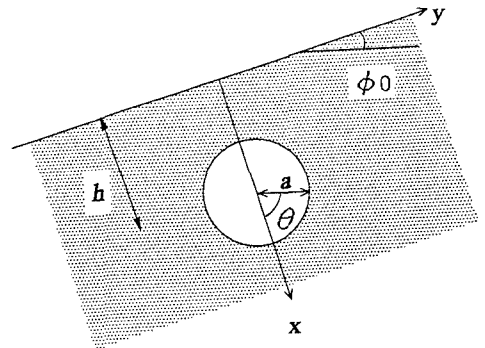


図-1 本稿で扱う問題

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

応力関数 $\phi(z), \psi(z)$ は円孔を有する無限板を表す $\phi_{c,n}(z), \psi_{c,n}(z)$ と半無限板を表す $\phi_{p,n}(z), \psi_{p,n}(z)$ の重ね合わせによって与えられる。

$$\phi(z) = \sum_{i=1}^n (\phi_{c,i}(z) + \phi_{p,i}(z)), \quad \psi(z) = \sum_{i=1}^n (\psi_{c,i}(z) + \psi_{p,i}(z)) \quad (2)$$

ここで n は双方の境界条件が十分収束する程度までの重ね合わせの回数とする。なお、等方性弾性問題では $\phi_{c,n}(z), \psi_{c,n}(z), \phi_{p,n}(z), \psi_{p,n}(z)$ は次式のように表すことができる。

$$\phi_{c,n}(z) = M_n \log z + \sum_{m=1}^{\infty} A_{n,-m} z^{-m}, \quad \psi_{c,n}(z) = N_n z \log z + K_n \log z + \sum_{m=1}^{\infty} B_{n,-m} z^{-m} \quad (3)$$

$$\left. \begin{aligned} \varphi_{p,n}(z) &= \frac{a_n(0)}{2} \log z - \int_0^\infty e^{-zt} \frac{a_n(t) - a_n(0) + ib_n(t)}{2t} dt, \\ \psi'_{p,n}(z) &= -\frac{\overline{a_n(0)}}{2} \log z + \int_0^\infty e^{-zt} \left\{ \frac{\overline{a_n(t) - a_n(0) + ib_n(t)}}{2t} + z \frac{a_n(t) + ib_n(t)}{2} \right\} dt. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

これらの式により得られた応力に円孔掘削前の土かぶり圧、土圧を加えることによって地盤中の応力が得られる。

3. 数値計算例

側圧係数を Mindlin の constraint lateral stress の仮定よ

り求められる $\hat{K}_0 = \nu/(1-\nu)$ とし、地表面の傾き φ_0 が 22.5° 、

45.0° の場合のトンネル深さ $h/a = 2.0$ のときの重力によって生じる円孔周縁の接線方向応力をポアソン比 ν をパラメータとして表したものが図-2、図-3 である。地表面の傾きが 22.5° の場合、ポアソン比が小さいときに生じていた円孔上部および下部で引張りは、ポアソン比が大きくなるにしたがって小さくなっている様子が見て取れる。地表面の傾きが 45.0° の場合は引張り応力の最大値はポアソン比の影響をあまり受けていないことがわかる。また、地表面の傾斜が大きくなるにしたがって、円孔山側側壁における圧縮応力が増大し、谷側下方の圧縮応力が減少しており、伊藤の論文¹⁾でも同様の数値計算結果が報告されている。

4. おわりに

本研究では一つの円孔を有する無限板の解と半無限板の解を互いの境界条件が収束するまで重ね合わせを行うことによって円孔を有する半無限板の解を導いた。この解を用いて、境界条件に円孔掘削による応力解放を用い、円孔を掘削する前の土かぶり圧、土圧を加えることにより、一様に地表面からごく浅い円孔を有する地盤内の応力を算定した。さらに数値計算例によりこれらの解が十分妥当であることを確認した。

参考文献

- 1) 伊藤, 傾斜面の下に掘ったトンネルの周辺応力について, 土木学会誌, 36-2, pp.77-80, 1951.
- 2) 堤, 新井, 平島, 円孔境界に任意の応力が作用する等方性弾性体の円孔を有する半無限板問題の変位場, 材料, 49-7, pp.774-778, 2000.
- 3) 堤, 新井, 平島, 拘束解除法による水平地表面に隣接したトンネル掘削に伴う地盤変位の弾性解析, 第29回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, pp.50-56, 1999.
- 4) 森口繁一, 2次元弾性論, 岩波書店.

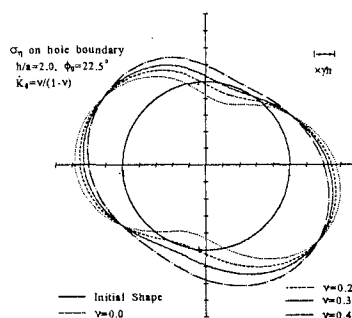


図-2 $\varphi_0 = 22.5^\circ$ のときの周縁の接線方向応力

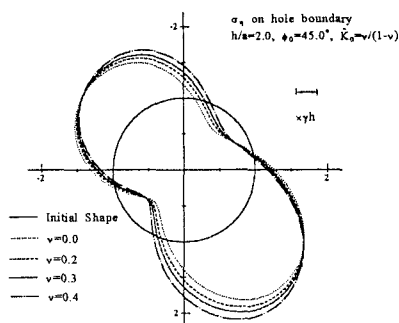


図-3 $\varphi_0 = 45.0^\circ$ のときの周縁の接線方向応力