

Ⅲ-350

異方性岩盤内の楕円形空洞における
孔内載荷試験についての解析的考察山梨大学大学院 学生員 川久保昌平
山梨大学工学部 正員 平島 健一

1. 緒言

岩盤の変形係数を算定する手段としてボーリング孔におけるジャッキ試験や、TBM によるグリッパ反力試験等に対して著者らは円形孔の内部から反力を与えた場合の岩盤の異方性を考慮した理論解析を既に行ってきた¹⁾。本論文では、大断面の空洞を経済的に掘削する必要性から楕円形の断面を想定することが近年多くなってきていることを踏まえ、異方性岩盤中の空洞を楕円形に拡張して解析を行う。

2. 外荷重と表面力

楕円形境界上に作用する x, y 方向の外荷重成分を X_n, Y_n , 境界の法線、接線方向にはたらく表面力をそれぞれ σ_n, τ_n とすると、 X_n, Y_n を境界に沿って積分したものは

$$\left. \begin{aligned} \int_0^s X_n ds &= (\sigma_n b \cos \theta - \tau_n a \sin \theta) d\theta, \\ \int_0^s Y_n ds &= (\sigma_n a \sin \theta + \tau_n b \cos \theta) d\theta. \end{aligned} \right\} \dots (1)$$

となる。 ds は境界に沿った微小要素である。

σ_n, τ_n は次のように Fourier 級数展開する。

$$\sigma_n(\theta) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} c_m e^{im\theta}, \quad \tau_n(\theta) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} d_m e^{im\theta}. \quad (2)$$

3. 境界条件式

境界条件式は次式で与えられる²⁾。

$$\left. \begin{aligned} 2Re[\sum_j \mu_j \Phi_j(z_j)] &= -\int_0^s X_n ds, \\ 2Re[\sum_j \Phi_j(z_j)] &= \int_0^s Y_n ds. \end{aligned} \right\} \dots (3)$$

$\Phi_j(z_j)$ ($j = 1, 2$) は複素ポテンシャルであり、写像関数によって ζ_j の関数に変換されたものは次式で与えられる²⁾。ここに、 $k = j + (-1)^{j+1}$

$$\Phi_j(\zeta_j) = \frac{(-1)^j}{\mu_1 - \mu_2} \sum_{m=1}^{\infty} (\mu_k \bar{\alpha}_m + \bar{\beta}_m) \zeta_j^{-m}. \dots (4)$$

式(1),(2),(3),(4) より $\bar{\alpha}_m, \bar{\beta}_m$ は次のように得られる。

$$\left. \begin{aligned} \bar{\alpha}_m &= \frac{-1}{2m} \{ (\bar{c}_{m-1} - \bar{c}_{m+1})a - i(\bar{d}_{m-1} + \bar{d}_{m+1})b \}, \\ \bar{\beta}_m &= \frac{1}{2m} \{ (\bar{d}_{m-1} - \bar{d}_{m+1})a + i(\bar{c}_{m-1} + \bar{c}_{m+1})b \}. \end{aligned} \right\} (5)$$

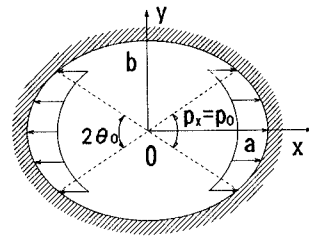


図1 等圧載荷される楕円孔

4. 載荷荷重

(1) 等圧載荷

載荷板が孔壁に対してどのような分布の荷重を与えているかによって $p_x(\theta)$ が決定されるが、本論文では載荷する荷重は等圧であるとする(図1)。これは Goodman ジャッキで一般的に用いられる仮定である。このとき次のような力の釣合式が成り立つ。

$$\left. \begin{aligned} \sigma_n(\theta) &= p_x(\theta) \cos^2(n, x), \\ \tau_n(\theta) &= -p_x(\theta) \cos(n, y) \cos(n, y), \end{aligned} \right\} \dots (6)$$

Fourier 係数 c_m, d_m は次式：

$$\left. \begin{aligned} c_m &= \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \sigma_n(\theta) e^{-im\theta} d\theta, \\ d_m &= \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \tau_n(\theta) e^{-im\theta} d\theta. \end{aligned} \right\} \dots (7)$$

で得られるが、実際の数値計算では和分で近似する。

(2) 静水圧

特別な場合として静水圧が作用する場合、 σ_n, τ_n および c_m, d_m は次のようになる。

$$\left. \begin{aligned} \sigma_n &= c_0 = -p_0, \quad \tau_n = 0, \\ d_0 &= c_m = d_m = 0 \quad (m = 1, 2, \dots, \infty). \end{aligned} \right\} \dots (8)$$

5. 応力、変位の算定式

応力および変位は次式で得られる。

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x &= 2Re[\sum_j \mu_j^2 \Phi_j'(z_j)], \quad \sigma_y = 2Re[\sum_j \Phi_j'(z_j)], \\ \tau_{xy} &= -2Re[\sum_j \mu_j \Phi_j'(z_j)]. \end{aligned} \right\} \dots (9)$$

$$\left. \begin{aligned} u_x &= 2Re[\sum_j p_j \Phi_j(z_j)], \\ u_y &= 2Re[\sum_j q_j \Phi_j(z_j)]. \end{aligned} \right\} \dots (10)$$

6. 数値計算例

本数値計算ではポアソン比 $\nu_{12} = 0.25, \nu_{13} = 0.3$ とし、等圧载荷の場合の級数の項数 m は100とした。

等方性媒体内の楕円孔に静水圧が作用する場合の孔境界上の応力の分布を図2に示す。円孔の場合は等方性も異方性も同じ値となるが、 a/b が1.0から離れるほど異方性比 $e(=E_1/E_2)$ や弾性主軸の傾き ψ が応力分布に影響を与えている。

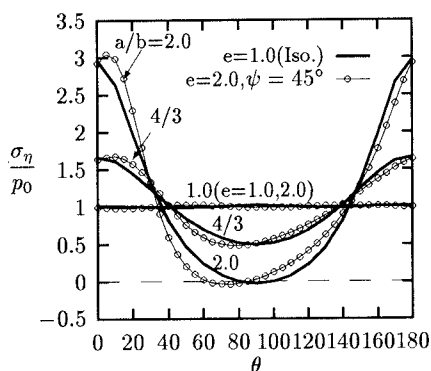


図2 静水圧を受けた場合の孔壁上の σ_{η}

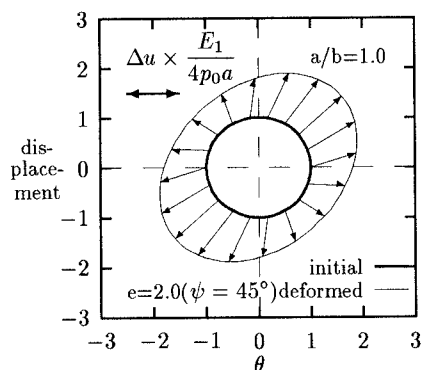


図3 静水圧を受けた場合の孔壁の変位

図3は異方性の場合の孔壁の変形を示したものである。変形後の形状は等方性では円形となるが、異方性では一般に傾斜した楕円形を描く。この傾斜角は ψ であり扁平率は異方性比に関係することから、変形後の形状より e, ψ が推定できることになる。

図4,5は $\theta = 20^\circ$ の場合の孔壁の変形を示している。この場合も ψ の影響により、異方性の場合の形状は等方性のものと比べて少し傾いたものとなっている

が、静水圧を作用させたときとは違い傾斜角は ψ よりも小さくなっている。

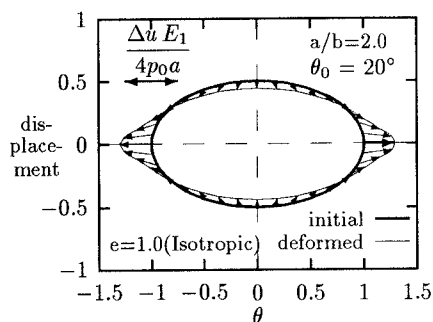


図4 部分荷重を受けた場合の孔壁の変位(等方性)

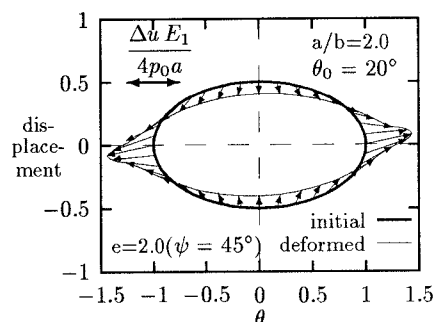


図5 部分荷重を受けた場合の孔壁の変位(異方性)

7. 結言

円孔および楕円孔の内部から静水圧および部分荷重を作用させた場合の複素関数を用いた理論的解析が可能であることが確認された。載荷板による試験において、この解析で得られた変位を現場で計測されたものと対応させるには変位量を載荷幅にわたって平均化しなければならない。

実際の載荷試験では等変位載荷であるのに対し、本解析には合応力を境界条件に用いている。このことの補正を行うとすれば、載荷する荷重を載荷幅にわたって等変位になるような下に凸の二次曲線分布を仮定することなどが必要であると考えられる。

参考文献

- 1) 岡, 川久保, 平島, 木村: トンネル壁面への各種载荷による岩盤物性評価に関する研究, 第4回トンネル工学研究発表会, pp.179-186, 1994.
- 2) S.G.Lekhnitskii, "Anisotropic Plates", 1968.
- 3) 森口繁一, 「二次元弾性論」, 岩波書店