

III-188 地下浅所のトンネル掘削に伴う地表沈下(その4)

—— 内圧による沈下抑制の弾性理論解析 ——

鳥取大学 学会員 ○ 森木 悟

“ 正会員 木山 英郎

“ “ 藤村 尚

1. はじめに

前報(その3)では、水平地表面に近接して掘削された円形トンネルによる地表沈下の性状について報告した。引続き本報では、一様な内圧を作用させることによる地表沈下をどの程度軽減できるか検討することにした。ただし、いずれも平面ひずみ状態での弾性理論解析によるものである。

2. 一様な内圧の解

Fig. 1に示すように、地下浅所のトンネル内壁に一様な圧力 p を作用させるときの、トンネル周囲($\alpha = \alpha_1$)および地表面($\alpha = 0$)の境界条件は次式で与えられる。

$$(1) \begin{cases} \alpha = \alpha_1 : \sigma_\alpha = -p, \quad \tau_{\alpha\beta} = 0 \\ \alpha = 0 : \sigma_\alpha = \tau_{\alpha\beta} = 0 \end{cases}$$

一方、この解析に必要な双極座標(α, β)における応力関数 χ と変位関数 Q の一般解は式(2)で与えられる。

$$(2) \chi/J = B_0 \alpha (\cosh \alpha - \cos \beta) + A_1 (\cosh 2\alpha - 1) \cos \beta + C_1 \sinh 2\alpha \cos \beta$$

$$(3) Q/J = 2 B_0 \beta (\cosh \alpha - \cos \beta) + 2 A_1 \sinh 2\alpha \sin \beta + 2 C_1 \cosh 2\alpha \sin \beta$$

ここに、 B_0, A_1, C_1 は任意定数であり、式(1)の境界条件から次のように決定される。

$$(4) B_0 = pr_0^2 h_0 / a^2, \quad A_1 = -pr_0^2 / 2a, \quad C_1 = pr_0^2 h_0 / 2a^2$$

式(2), (3), (4)を次式に用いて、双極座標の応力成分および変位成分が計算される。

$$(5) \begin{cases} a \sigma_\alpha = \left\{ (\cosh \alpha - \cos \beta) \frac{\partial^2}{\partial \alpha^2} - \sinh \alpha \frac{\partial}{\partial \alpha} - \sin \beta \frac{\partial}{\partial \beta} + \cosh \alpha \right\} \left(\frac{\chi}{J} \right) + a \Omega \\ a \sigma_\beta = \left\{ (\cosh \alpha - \cos \beta) \frac{\partial^2}{\partial \alpha^2} - \sinh \alpha \frac{\partial}{\partial \alpha} - \sin \beta \frac{\partial}{\partial \beta} + \cos \beta \right\} \left(\frac{\chi}{J} \right) + a \Omega \\ a \tau_{\alpha\beta} = -(\cosh \alpha - \cos \beta) \frac{\partial^2}{\partial \alpha \partial \beta} \left(\frac{\chi}{J} \right) \end{cases}$$

$$(6) \begin{cases} EU_\alpha = (1+\nu) \left\{ (1-2\nu) \frac{\partial}{\partial \alpha} \left(\frac{\chi}{J} \right) - (1-\nu) \frac{\partial}{\partial \beta} \left(\frac{Q}{J} \right) \right\} - (1+\nu) \frac{J}{a} \left\{ (1-2\nu) \frac{\chi}{J} \sinh \alpha - (1-\nu) \frac{Q}{J} \sin \beta \right\} \\ EU_\beta = (1+\nu) \left\{ (1-2\nu) \frac{\partial}{\partial \beta} \left(\frac{\chi}{J} \right) + (1-\nu) \frac{\partial}{\partial \alpha} \left(\frac{Q}{J} \right) \right\} - (1+\nu) \frac{J}{a} \left\{ (1-2\nu) \frac{\chi}{J} \sin \beta + (1-\nu) \frac{Q}{J} \sinh \alpha \right\} \end{cases}$$

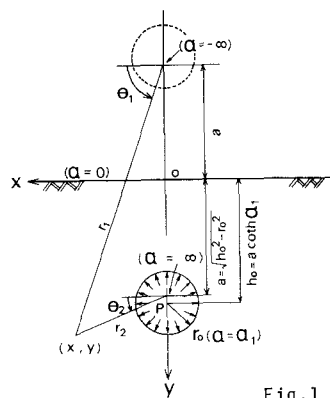


Fig. 1

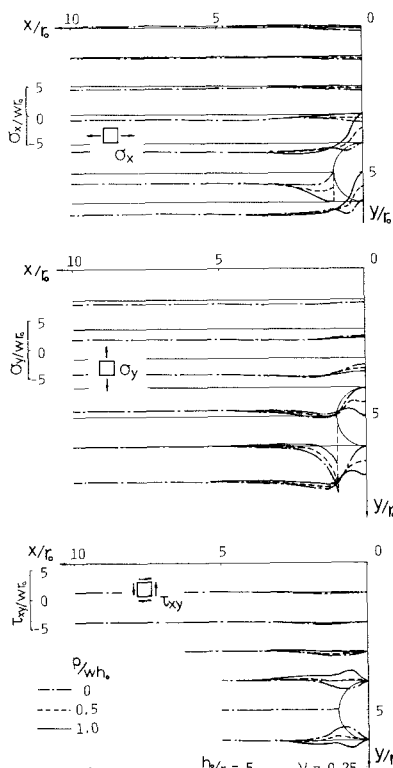


Fig. 2

3. 計算結果と考察

地盤の初期応力としては水平変位拘束状態（前報 Case II）を考える。そしてトンネルを掘削したときの地盤変位は、トンネルの深さ/半径比 h_0/r_0 と地盤のポアソン比 ν によって異なることは前報に述べた。ここでは、そのそれぞれに対して一様な圧力 p を支保圧として作用させた場合の影響を考察する。

内圧 p の大きさは、トンネル中心の深さ h_0 における土被り圧 wh_0 を単位として、 $p/wh_0 = 0 \sim 1$ の範囲で考える。 $p/wh_0 = 1$ は、およそトンネル掘削以前の地盤応力状態に復させる意図のものであるが、実際は自重の影響と初期応力が静水圧状態でないことの二つの理由により、完全には初期地盤に復さない。たとえば、Fig. 2 は内圧 p を作用させた場合の地盤内応力の一例（ $h_0/r_0 = 5$ 、 $\nu = 0.25$ ）を示す。 $p/wh_0 = 1$ の場合もトンネル周辺に応力の乱れを生じている。

Fig. 3 は深さの異なるトンネルに内圧を作用させた場合の地表沈下曲線を示す。内圧の作用によってトンネル通上の地表沈下が減少する一方、沈下トラフの両端に地表隆起を生ずる。

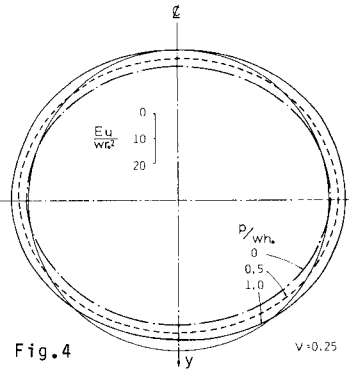


Fig. 4

Fig. 4 はそのときのトンネル周囲の変形の一部（ $h_0/r_0 = 5$ ）を示す。

一様な内圧 p によって、天盤沈下を抑えたり、下盤の膨れが残ることを示す。Fig. 5 は内圧作用下の地表沈下の最大値 $U_{y,max}$ とトンネル深さの関係を示す。トンネル深さにかかわらず、 $p/wh_0 = 1$ で地表沈下の最大値を 0 に近い小さな値にし得る。 $p/wh_0 = 0.5$ の場合は、内圧 0 の場合のおよそ 1/2 の沈下量に抑えられる。ただし、特にトンネルが浅い（ $h_0/r_0 < 3$ ）場合にはトンネル軸直上の地表にも隆起を生じさせる。

特に浅いトンネルの場合を別にして、 p/wh_0 を一定に与えれば（つまり、内圧 p と深さ h_0 に比例して増加させれば）、内圧 0 の場合と同様、トンネル深さの増加にかかわらず、地表沈下量がほぼ一定値を示す点が注目される。なお、 ν が大きいほど、地表沈下量が小さいのは、水平変位拘束の初期応力状態（ ν が大きければ水平拘束力 σ_x が大きくなる）を仮定していることによる。

Fig. 6 は内圧作用下のトンネルクラウンの沈下量 $U_{y,c}$ とトンネル深さの関係を示す。一般に、トンネル深さの増加とともに、トンネル周辺の地盤応力も増加するため、 $U_{y,c}$ は増大する。一定の p/wh_0 を与えたときも、 h_0/r_0 の増加とともに、 $U_{y,c}$ が増大する傾向が保たれている。 $p/wh_0 = 1$ においてクラウンの沈下がほぼ 0 に復し、特にトンネルの浅い（ $h_0/r_0 < 3$ ）場合には、クラウンが元地盤より隆起傾向となる。さらに、内圧を作用させた場合の $U_{y,c}$ において ν の影響が著しい点も見逃せない。

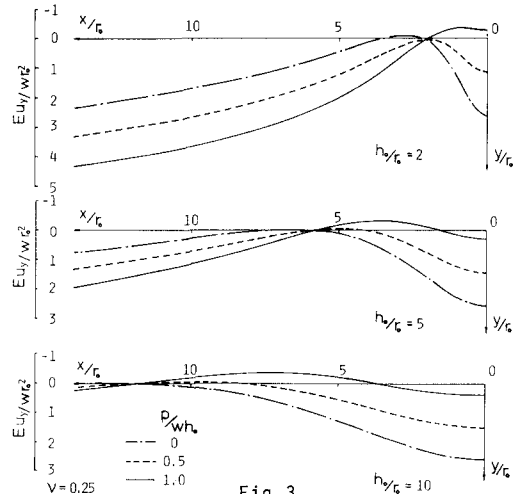


Fig. 3

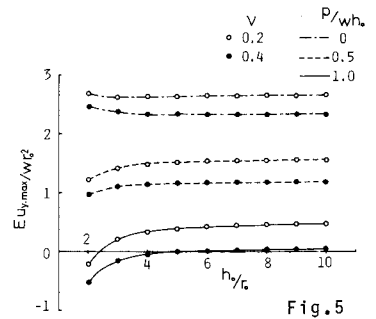


Fig. 5

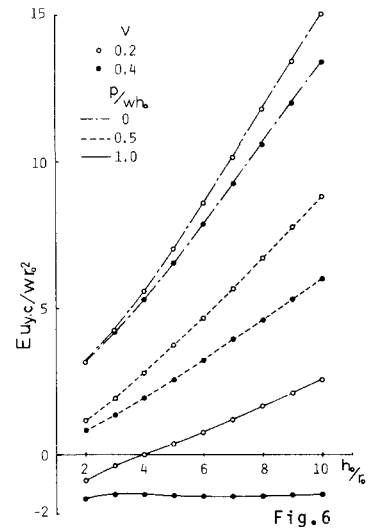


Fig. 6