

神戸大学 正員 ○ 桜井 春輔

日本道路公団 正員 山本 佳顕

1. はしがき

著者の一人は、先に、粘弾性地山内のトンネル覆工に作用する最大圧力の計算法について、一つの提案を行なった。その方法によると、覆工に作用する最大圧力は、時間依存性の解析を行なう必要はなく、弾性論的手法によって直接求めることができる。ここでは、その計算法に有限要素法を適用し、種々の断面形状を有するトンネル覆工に作用する最大圧力を計算し、その結果について考察を加えることにする。

2. 計算手順

地山のせん断応力とせん断ひずみの関係を表わすフリース関数 $\psi(t)$ を次式のように仮定する。

$$\psi(t) = 1/G + \{1 - \exp(-t/T)\}/G^* \quad (1)$$

ここで、 G 、 G^* は、それぞれせん断弾性係数および遅延せん断弾性係数を表わす。 T は遅延時間である。なお、ポアソン比は時間と無関係に一定と仮定する。つぎに、計算手順を図-1(a) に示すトンネルについて述べよう。

まず、図-1(b) に示すモデルにおいて、トンネル内壁の変位 $\{u_g^0\}$ と荷重 $\{P\}$ (地山の初期応力) との関係は次式のように与えられる。

$$\{u_g^0\} = [K_g^0]^{-1} \{P\} \quad (2)$$

ここで $[K_g^0]$ は地山の剛性マトリックスであり、その計算においては、地山のせん断弾性係数として、みかけの値 $G^* \exp(t/T)$ を用いる。なお、 t はトンネル掘削後覆工を構築するまでの時間である。

つぎに、図-1(c) において、トンネル内壁に作用する圧力 $\{R\}$ と内壁の変位 $\{u_g^0\}$ の関係は、

$$\{u_g^0\} = [K_g^0]^{-1} \{R\} \quad (3)$$

となる。ここで、 $[K_g^0]$ の計算においては、地山のみかけのせん断弾性係数を $GG^*/(G+G^*)$ とする。一方、覆工に作用する圧力 $\{R\}$ と変位 $\{u_e\}$ との関係はつぎのように表わされる。

$$\{u_e\} = [K_e]^{-1} \{R\} \quad (4)$$

ここで、 $[K_e]$ は覆工の剛性マトリックスである。

いま、式(2)、(3)、(4)を、地山と覆工の接触面における境界条件、

$$\{u_e\} = \{u_g^0\} + \{u_g^0\} - \{u_{g0}\} \quad (5)$$

に代入すれば、結局、覆工に作用する最大圧力 $\{R\}$ はつぎの連立方程式の解として求めることができる。

$$[[K_e]^{-1} - [K_g^0]^{-1}] \{R\} = \{u_g^0\} - \{u_{g0}\} \quad (6)$$

ここで、 $\{u_{g0}\}$ はトンネル掘削前の地山の初期変位である。

3. 計算モデル

表-1 に示す Case について計算を行なった。なお、その他のデータはつぎに示すとおりである。

地山の初期応力(鉛直成分) $P = 1 \text{ t/m}^2$ 、地山のポアソン比 $\nu_g = 0.27$ 、覆工のポアソン比 $\nu_e = 0.17$ 、遅延せん断弾性係数とせん断弾性係数の比 $G^*/G = 1.0$ 、覆工の施工時期 $t_s = 0$

なお、ここで、断面形状の差異による影響を容易に考察できるように、円形、半円形、および馬蹄形覆工のアーチ部の曲率、および巻厚とすべて等しくした。

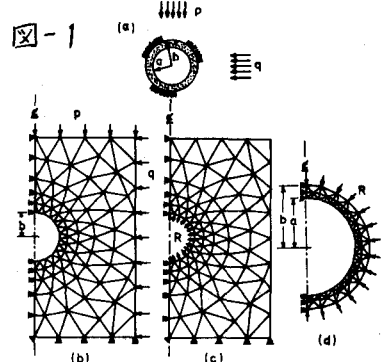


表 - 1

覆工の形状	G/G_e	R/P
円形 ○	0.02	0.4 1.0
楕円形 ○	0.01 0.001	0.4
半円形 ⊔	0.02	0.4 1.0
馬蹄形 ⊖	0.02	0.4 1.0

4. 計算結果とその考察

構内形覆工外周に作用する垂直応力及び接線応力分布を図-2に示す。この図には覆工が剛体の場合の解析解をもプロットしてある。この図から、この場合は $G/G_e < 0.001$ では覆工は剛体と考えられ解析解とよい一致をみる。つぎに、円形、半円形、および馬蹄形断面のアーチ部の外周に作用する圧力分布の一例を図-3に示す。なお、この図には、インバート部のない馬蹄形覆工に対する結果も示してある。この図から、インバート部のない場合を除き、それぞれは非常により一致を示している。すなわち、覆工のアーチ部に作用する圧力は、アーチ部の形状によって、最も大きく影響を受け、側壁から下部の形状の影響は非常に小さいことがわかる。しかし、覆工内部の応力分布は覆工の断面形状によってかなり影響を受ける。クラウン部の接線方向応力を図-4に示す。つぎに、馬蹄形覆工に作用する圧力分布を図-5に示す。この図には、インバートのない場合、およびクラウン部に空隙のある場合の結果をも示してある。この図から、クラウン部の空隙の影響は非常に局部的であることがわかる。すなわち、クラウン部に空隙が存在しても、覆工全体に作用する圧力はほぼ一定であることがわかる。

参考文献：堀井、吉村，土木学会論文報告集 No. 218, 1973, pp.75~85.

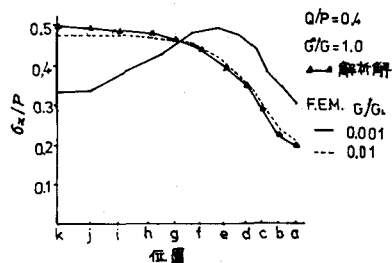


図-2

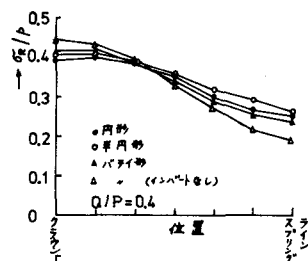
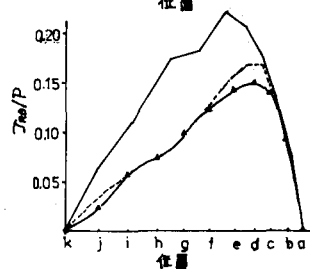
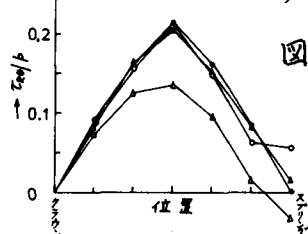


図-3



クラウン 接線方向応力 図-4

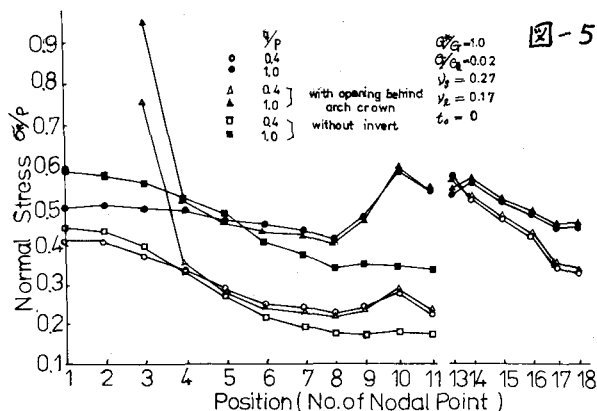
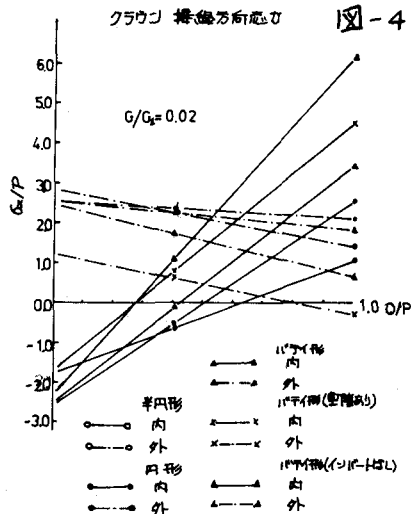


図-5(a)

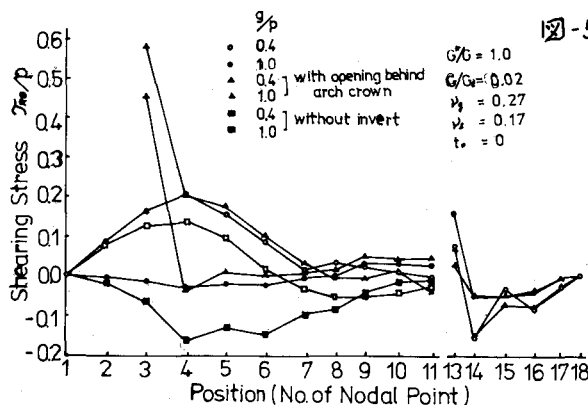


図-5(b)