

日本電信電話公社 茨城電気通信研究所 正会員 田中幹男

同 上

○森光武則

## 1. まえがき

地震に関する研究が近年ますます盛んに行なわれ、我国においては東海大地震の話が社会的に一大関心事になっている。また、建造物・構造物に関する工学分野では、その耐震設計の研究が活発に進められている。電気通信施設についても、通信網の信頼性を確保するうえで地震対策は今後ますます重要な研究課題になるものと思われる。本報告は通信用小断面シールドトンネル内に引込まれた管路の軸方向挙動および、その応力を応答変位法に基づいて求める一計算法について述べている。

## 2. 基礎方程式の導出

図1に示すような表層に埋設されたトンネルと引込管路について考察する。計算を進めるに当たって、以下の基本的な仮定を設けた。

- (1) トンネル・管路間の摩擦抵抗が大きく、応答変位法が適用できるものとする。
- (2) トンネルおよび管路の慣性力は小さいとする。

図1のトンネルの微小長さ部分の軸力の釣合式は

$$(F_T + \frac{\partial F_T}{\partial x} \Delta x) - F_T + f_T \Delta x = 0$$

$$F_T = E_T A_T \frac{\partial U_T}{\partial x}$$

$$f_T = K_T (U_{T0} - U_T)$$

となる。今、周辺地盤の変位を  $|U_{T0}|m \sin 2\pi(\frac{t}{T_s} \pm \frac{x}{L_s})$  とすれば、トンネルの変位  $U_T$  は

$$U_T = \frac{|U_{T0}|m}{1 + (\frac{2\pi}{\lambda_T L_s})^2} \cdot \sin 2\pi(\frac{t}{T_s} \pm \frac{x}{L_s})$$

で表わされる。

$$\lambda_T \ll L, \lambda_T = \sqrt{\frac{K_T}{E_T A_T}}$$

また、上記と全く同様にして、管路の変位  $U_P$  は

$$U_P = \frac{|U_T|m}{1 + (\frac{2\pi}{\lambda_P L_s})^2} \cdot \sin 2\pi(\frac{t}{T_s} \pm \frac{x}{L_s})$$

$$= \frac{|U_{T0}|m}{\left\{1 + (\frac{2\pi}{\lambda_T L_s})^2\right\} \left\{1 + (\frac{2\pi}{\lambda_P L_s})^2\right\}} \cdot \sin 2\pi(\frac{t}{T_s} \pm \frac{x}{L_s}) \quad (5)$$

で表わすことができる。

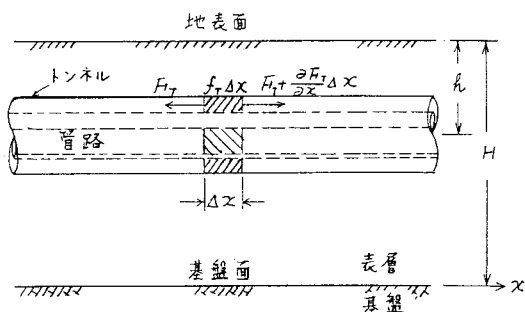
$$\lambda_P \ll L, \lambda_P = \sqrt{\frac{K_T}{E_P A_P}}$$

## 3. 管路の最大応力

次に、管路に生じる最大応力を表層および基盤の  $N$  値によって推定する。管路に生じる軸方向応力  $\sigma_P$  は、

$$\sigma_P = E_P \frac{\partial U_T}{\partial x} = \frac{2\pi \gamma_P E_P}{L_s} |U_{T0}|m \cos 2\pi(\frac{t}{T_s} \pm \frac{x}{L_s}) \quad (6) \quad \text{なお、} \gamma_P = \frac{1}{\left\{1 + (\frac{2\pi}{\lambda_T L_s})^2\right\} \left\{1 + (\frac{2\pi}{\lambda_P L_s})^2\right\}} \quad (7)$$

で与えられる。また、 $\gamma_P$  は地震の周辺地盤から管路への伝達率を表わしている。



(1) 図1 トンネルおよび管路に働く軸力  
記号の説明

(2)  $H$ : 表層厚さ

(3)  $r_n$ : トンネルの土被り

$F_T$ : トンネルの軸力

$f_T$ : トンネル・地盤間の単位長さ当りの摩擦抵抗

$E_T$ : トンネルのヤング係数

$A_T$ : トンネルの断面積

$U_T$ : トンネルの変位

$|U_{T0}|m$ : トンネルの変位振幅

$U_{T0}$ : トンネル周辺地盤の変位

$|U_{T0}|m$ : トンネル周辺地盤の変位振幅

$K_T$ : トンネル・周辺地盤による定数

$T_s$ : 表層の地震動周期

$L_s$ : 表層の地震動波長

$U_P, \lambda_P, \dots$  等は管路に対する上記物理量を表わす

一方、振幅 $|u_{so}|_m$ の地震波動が基礎を上昇する時、トンネル周辺地盤の地震波動変位振幅 $|u_{to}|_m$ は

$$|u_{to}|_m = \frac{2 \cos\left(\frac{2\pi h}{L_s}\right)}{\sqrt{\cos^2 \frac{2\pi H}{L_s} + \left(\frac{C_s \delta_{so}}{C_{so} \delta_s}\right)^2 \sin^2 \frac{2\pi H}{L_s}}} \cdot |u_{so}|_m \quad (8)$$

となる。(1) として、この $|u_{to}|_m$ は $L_s = 4H$ なる卓越波長の時、最大となりその値は

$$|u_{to}|_{m, \max} = \frac{2 C_{so} \delta_{so}}{C_s \delta_s} \cos\left(\frac{\pi h}{2H}\right) \cdot |u_{so}|_m \quad (9)$$

となる。ここで、以下の実験式を適用する。(2),(3)

$$|u_{so}|_m = 5.3 \times 10^{-3} T_s^{2.56} \quad (10) \quad C_s = 2 \times 10^3 \sqrt{N_s} \quad (13)$$

$$T_s = \frac{L_s}{C_s} \Big|_{L_s=4H} = \frac{4H}{C_s} \quad (11) \quad C_{so} = 4 \times 10^3 \sqrt{N_{so}} \quad (14)$$

$$\frac{\delta_{so}}{\delta_s} = 1.2 \quad (12)$$

単位はいずれも $(\text{cm}, \text{sec})$ である。(6),(7),(9)~(12)式より

$$|\sigma_p|_{\max} = 4.92 \times 10^{-9} E_p \gamma_p H^{1.56} N_s^{-1.78} N_{so}^{0.5} \cos\left(\frac{\pi h}{2H}\right) \quad (15)$$

を得る。

今、 $E_p = 2.7 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$  (硬質ビニール管)を用い、最悪条件として、トンネルが地表面近くに埋設されているとして( $h=0$ )管路の最大応力 $|\sigma_p|_{\max}/\gamma_p$  (伝達率 $\gamma_p$ で除いている)を求めると図2(a),(b)を得る。図2(a)は $H=10\text{m}$ 、(b)は $H=30\text{m}$ の場合である。

#### 4 考察

卓越波長を持つ地震波動により、トンネル内引込管路が軸方向応力を受ける時の最大値は(15)式のように表わすことができ、これから以下のことが分る。

- (1) 管路の最大応力は、表層および基礎の $N$ 値、表層厚さ、トンネルの土被り、管路・トンネル間の摩擦抵抗により、ほぼ表わすことができる。
- (2) 管路の応力は、管路強度に対して小さく、実用上ほとんど問題にはならないと思われるが、 $N_{so}/N_s$ の値が大なる軟弱地盤では、非常に大きな応力となるので注意する必要がある。
- (3) 管路応力のトンネル土被り深さによる保護作用は、 $\cos(\frac{\pi h}{2H})$ で効いてくる。

#### 4. あとがき

トンネル内引込管路に生じる応力も、トンネル応力と同じように求めることができる。ここでは、地震観測による地震波動変位と同期、 $N$ 値とせん断波速度との間の実験式を適用することにより、管路の最大応力を地盤の $N$ 値で表わした。今後、管路・トンネル間およびトンネル・周辺地盤間の摩擦抵抗を求め、伝達率 $\gamma_p$ を具体的に算出して、計算をより正確なものにする必要がある。

文献 (1) 岡本 繁三: 耐震工学, オーム社

(2) 土木学会編: 土木工学ハンドブック 下巻

(2) 金井 清: 地震工学, 共立出版

$C_s$ : 表層のせん断波速度

$C_{so}$ : 基礎のせん断波速度

$\delta_s$ : 表層の単位体積重量

$\delta_{so}$ : 基礎の単位体積重量

$|u_{so}|_m$ : 基礎の地震動振幅

$N_s$ : 表層の $N$ 値

$N_{so}$ : 基礎の $N$ 値

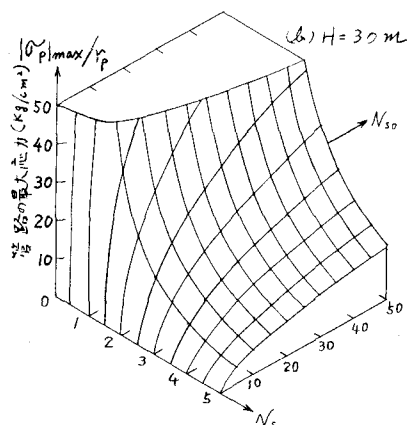
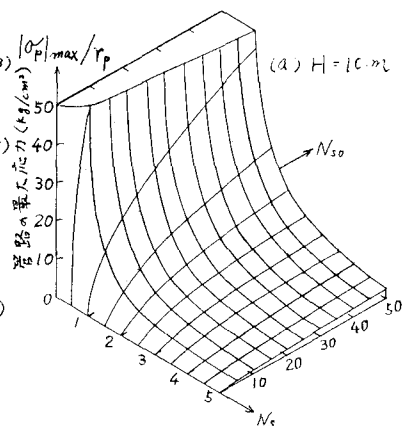


図2 管路の応力の計算例