

# 粗密波を受けるトンネル覆工の耐震性に関する一考察

神戸大学工学部 正員 桜井春輔 建設省 正員 梶 太郎  
 神戸工業高等専門学校 河野祥久

## 1. まえがき

新しい道路、上下水道の建設、土地造成等によって行われる発破作業が付近の既設トンネルにどのような影響を与えるかを知る問題は、稟量制限の立場から非常に重要であると思われる。ここでは、発破地点が遠い場合と近い場合の2つをとり考え、夫々の場合のトンネル覆工の耐震性を弾性波動論を用いて検討した。尚、解析にあたって、次のような仮定を設けた。

- 1) 円形トンネルを取り巻く地山は無限に広い均質な弾性体である。
- 2) 平面ひずみ状態である。
- 3) 入射粗密波は定常波である。
- 4) トンネル覆工と地山の接触面では次の2つを考える。

- Case I: 覆工と地山との間に摩擦抵抗力が働く。
- Case II: 覆工と地山との間に摩擦抵抗力が働かない。

## 2. 発破地点が遠い場合のトンネル覆工の耐震性

### 2.1 理論の概要<sup>1)</sup>

(1)式を入射粗密波と考え、地山との相互作用をふまえた上での解析を弾性波動論を用いておこなった。(図-1)ここで、 $\omega_1$ は地山の波数。

$$\phi_1^{(i)} = \phi_0 e^{i(\omega_1 x + \omega t)}, \quad \psi_1^{(i)} = 0 \quad (1)$$

### 2.2 数値計算結果とその考察

変位、応力を入射波動の変位振幅、応力振幅  $U_0$ ,  $\sigma_0$  で除することによって得られる無次元変位、無次元応力は地山とトンネル覆工の物性定数に関する無次元量、せん断弾性定数  $G_1/G_2$  (以下剛性比と呼ぶ)、密度比  $\rho_1/\rho_2$  そして入射粗密波の波長とトンネル外半径との比で表わされる無次元周波数  $\omega_1 a$  によって求められる関数である。

図-2の(a),(b)は、夫々 Case I, Case II について地山との接触面におけるトンネル覆工の接線方向の変位について周波数応答を求めたものである。

覆工位置によって周波数応答が異なっている。Case I では周波数による変化に対して、曲線は平坦であり、共振現象は見られない。このことは Case I におけるトンネル覆工の振動が地山によって支配されていることを意味しているように思える。Case II

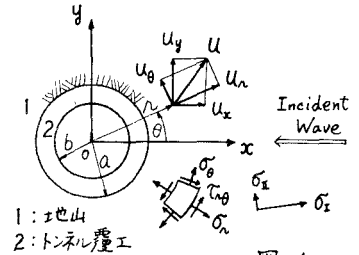


図-1

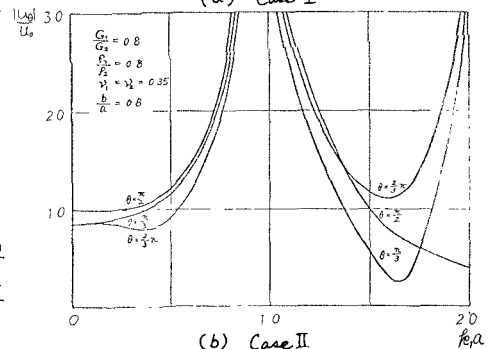
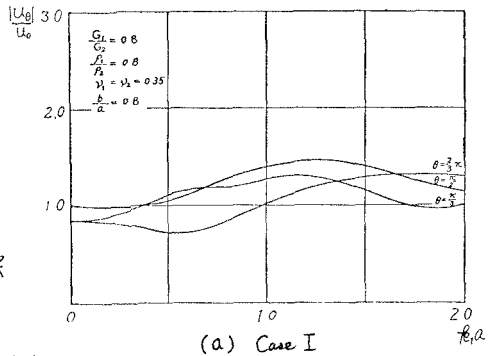


図-2

では、半径方向変位は地山から強制されるから共振現象はありわけていないが、接線方向変位は地山とトンネル覆工の接触面で摩擦抵抗力が働かないことより、直接地山より強制されることはなく共振現象がみられる。

図-3(a)は、地山との接触面におけるトンネル覆工の変位と覆工厚の関係、応力と覆工厚の関係をもつにまとめたものである。図-3(b)は、剛性比について求めたものである。(図はCase Iについて)

剛性比の減少、覆工厚の増大にともない、変位が減少し、応力が増大する傾向がある。この傾向は剛性比の減少、覆工厚の増大にともない、トンネル覆工が周辺の地山に比べ、剛性が大きくなりそれだけ地山の強制変位に抵抗する力も強化され、トンネル覆工の変位も小さくなるが、その反撥力として地山よりトンネル覆工に多大な応力がかかるものと解される。

図-4(a)は、トンネル覆工内周の接線方向直応力と覆工厚の関係を示したものである。図-4(b)はトンネル覆工内周の接線方向直応力と剛性比の関係を示したものである。

Case II に著しい共振現象があらわれている。ア-チの振動理論より共振現象は(2)式を満足するとき起こるものと考えられる。

$$k_1 a = 2n \sqrt{\frac{\rho_1}{\rho_2} \cdot \frac{G_2}{G_1} \cdot \frac{1-2\nu_1}{1-\nu_1} \cdot (1+\nu_2)} \cdot \frac{1}{\left(1 + \frac{b}{a}\right)^2} \quad (2)$$

3. 発破地点が近い場合のトンネル覆工の耐震性  
 $\bar{o}$  を発破地点とする粗密波は(3)式のように表わされるものとする。(図-5)

$$\bar{\phi}^{(i)} = \phi_0 i \pi H_0(k_0 \bar{r}) e^{i\omega t} \quad (3)$$

(3)式を  $(\bar{r}, \bar{\theta})$  座標系から  $(r, \theta)$  座標系に直すとき

$$\phi^{(i)} = \phi_0 i \pi \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \epsilon_n \cos n\theta J_n(k_0 r) H_n(k_0 r_0) e^{i\omega t}$$

$$\text{ここで、} \epsilon_n = 1 \quad (n=0), 2 \quad (n \geq 1) \quad (4)$$

となり、この波動を入射波動と考え、弾性波動論を用いてトンネル覆工の耐震性を検討する。結果はおいて表す。

参考文献; 1) 櫻井, 梶: "トンネル周辺の動的応力分布について", 土木学会関西支部講演要録 1972, 6 II-27-2

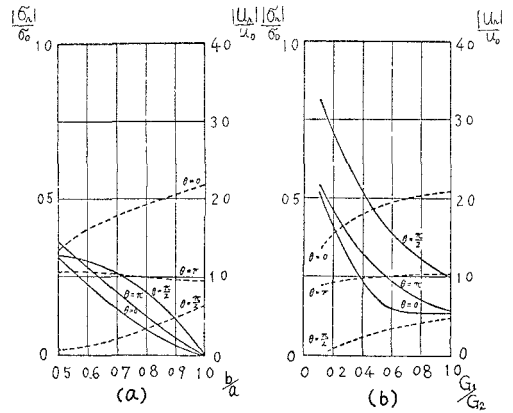
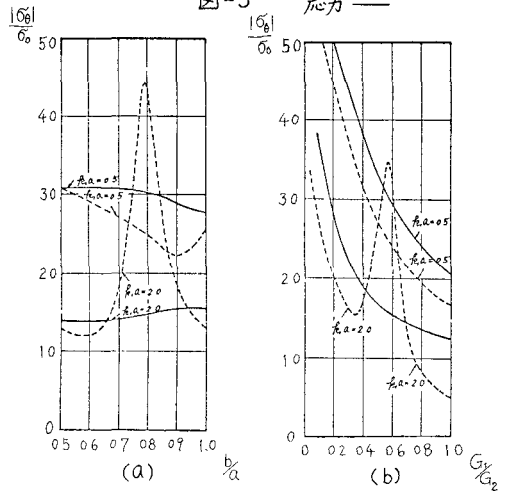


図-3 変位 --- 応力 —



Case I — Case II --- 図-4 ( $\theta = \frac{\pi}{2}$ )

予-4: 図-3(b), 図-4(b)  
 $k_1 a = 0.5, \frac{\rho_1}{\rho_2} = 0.8, \frac{G_1}{G_2} = 0.8, \nu_1 = 0.35, \nu_2 = 0.15$   
 図-3(a), 図-4(a)  
 $\frac{\rho_1}{\rho_2} = 0.8, \frac{b}{a} = 0.8, \nu_1 = 0.35, \nu_2 = 0.35$

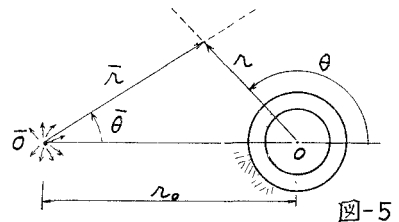


図-5