

III-27 シールドトンネルの模型振動実験に用いた地盤の挙動について

東洋大学 深井直光
東急建設 高松伸行
NTT 栗山雄三
早稲田大学 小泉 淳
村上博智

1. はじめに

本文は、二次覆工されたシールドトンネルの地震時の挙動を調べる目的で行った振動実験のうち、地盤のみの実験と一次覆工を埋設した実験¹⁾の地盤模型の挙動について報告したものである。本研究では、トンネル本体のモデル化について検討することを目的としたため、地盤は弾性体と仮定し、地盤模型にはシリコンゴムを用いた。対象とした地盤は、洪積層から沖積層へ変化する互層地盤を想定している。

2. 相似則

本実験では、慣性力と弾性力が支配的な物理則であると考えられる。したがって、これら2つの力の比から、実物と模型との相似関係は次式で示される。

$$\frac{\rho_m \cdot \ell_m^2}{\varepsilon_m \cdot E_m \cdot t_m^2} = \frac{\rho_p \cdot \ell_p^2}{\varepsilon_p \cdot E_p \cdot t_p^2} \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 ρ は密度、 ℓ は長さ、 t は時間、 ε はひずみ、 E は弾性係数を表す。また、添字のpは実物を、mは模型を表す。いま、密度、長さおよび弾性係数の相似比を基礎相似比とし、

$$P = \frac{\rho_m}{\rho_p}, L = \frac{\ell_m}{\ell_p}, e = \frac{E_m}{E_p} \dots\dots\dots (2)$$

とくと、式(1)より時間および加速度の相似比は次式で示される。

$$\frac{t_m}{t_p} = L \cdot \sqrt{\frac{P}{e}}, \quad \frac{\alpha_m}{\alpha_p} = \frac{e}{P \cdot L} \dots\dots\dots (3)$$

ここで、ひずみは無次元量であるので、 $\varepsilon_m = \varepsilon_p$ とおいた。

表-1はこの結果と相似比をまとめて示したもので、基礎相似比である密度、長さおよび弾性係数の実物に対する模型の比はそれぞれ0.556、0.01および0.01とした。

3. 実験概要

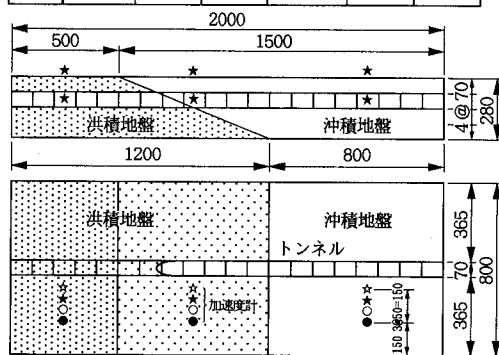
図-1は実験概要図である。地盤模型は長さ200cm、幅80cm、高さ28cmで、長さ方向中間部で洪積層から沖積層へ変化する地盤を想定した。地盤材料にはシリコンゴムを、一次覆工本体には天然ゴム(硬度40度)を、リング継手には合成ゴム(硬度20度)を用いている。表-2は、想定した地盤およびトンネルの弾性係数と、相似比から求めた弾性係数および使用した材料の弾性係数を示したものである。加振には、動電型の振動台(最大加速度3.3G、最大加振力3000kgf)を用いた。入力波は、正弦波(最大80gal)で、振動数は各地盤の一次共振点付近では0.1Hzずつ、その他では1Hzずつ2Hzから20Hzまで変化させた。計測項目は、地盤表面およびトンネル埋設高さにおける加速度と地盤変位である。地盤変位は、地表から15cmの深さの地中に埋設した外径2mmのシリコンチューブ製の格子と、格子の交点直上の地表面に貼付した標点のぶれ写真を撮影して求めた。

4. 実験結果と考察

図-2および図-3は軸方向加振時の、図-4および図-5は軸直角方向加振時の地盤のみの実験と一次覆

表-1. 相似則

物理量	密度 P	長さ L	弾性係数 e	時間	加速度	ひずみ
相似則	ρ_m / ρ_p	ℓ_m / ℓ_p	E_m / E_p	$L \cdot \sqrt{\frac{P}{e}}$	$\frac{e}{P \cdot L}$	$\varepsilon_m / \varepsilon_p$
相似比	$1.0 / 1.8 = 0.556$	0.01	0.01	7.5×10^{-2}	1.8	1.0



●: 軸方向(表面) ○: 軸方向(地中) ★: 軸直角(表面) ☆: 軸直角(地中)

図-1. 実験概要図

(単位: mm)

表-2. 弾性係数 (単位: kgf/cm²)

	沖積層	洪積層	一次覆工	リング継手
想定したE	100	750	2976	810.2
相似比から求めたE	1.0	7.5	29.76	8.102
実験に用いた材料のE	1.2	9.0	28.0	9.8

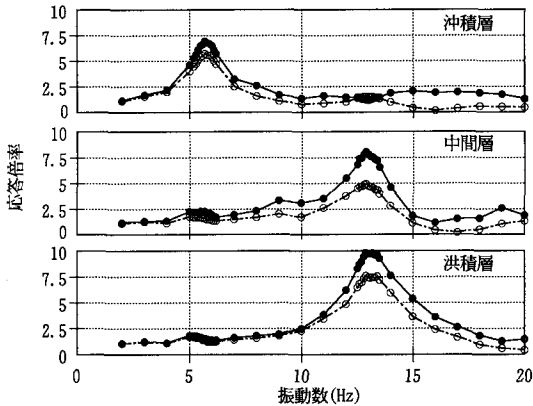


図-2. 地盤の加速度共振曲線（地盤一軸方向）

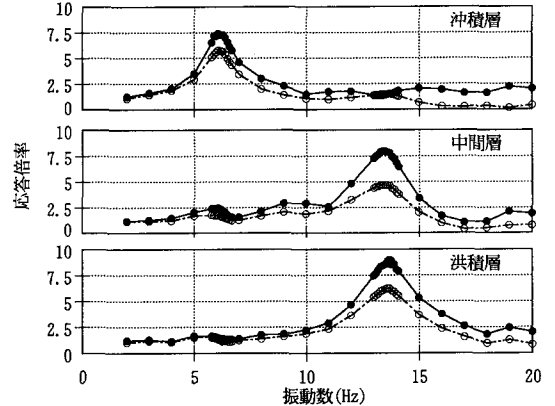


図-3. 地盤の加速度共振曲線（一次一軸方向）

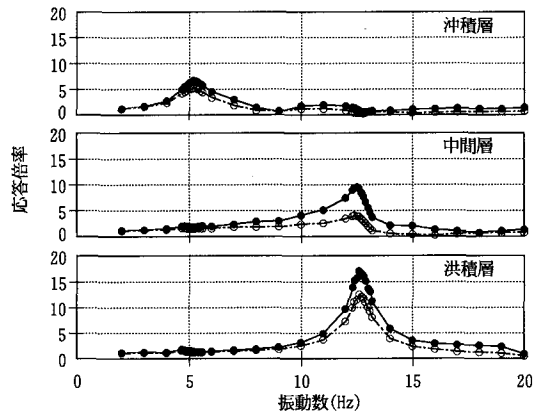


図-4. 地盤の加速度共振曲線（地盤一軸直角）

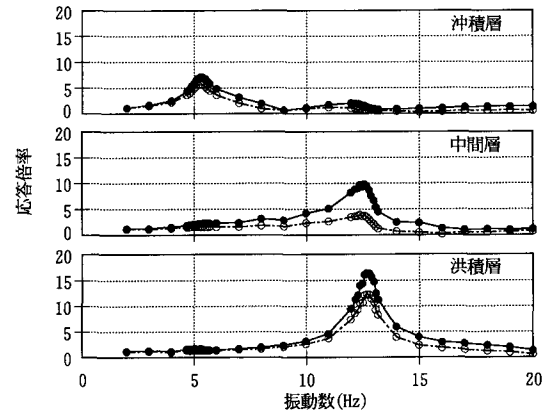


図-5. 地盤の加速度共振曲線（一次一軸直角）

表-3. 地盤の共振振動数（単位:Hz）

	軸方向		軸直角	
	地盤のみ	一次覆工	地盤のみ	一次覆工
沖積層	5.7	6.1	5.2	5.3
中間層	12.9	13.5	12.5	12.6
洪積層	12.9	13.7	12.6	12.7

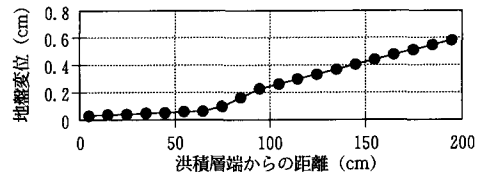


図-6. 地盤変位分布（トンネル埋設位置）

工を埋設した実験の地盤の加速度共振曲線である。図中

黒丸印は地表面の応答倍率を、白丸印は地中のそれを示す。また、表-3はこれらの図から求めた共振振動数をまとめたものである。これらの図と表-3から、一次覆工を埋設すると各地盤の共振振動数はやや大きくなるものの、地盤の質量と剛性がトンネルのそれらよりかなり大きいためトンネルは地盤とともに挙動していることが推測できる。図-6は地盤のみ軸方向加振した場合の沖積層地盤の共振時におけるトンネル埋設中心位置での地盤変位分布である。標点と格子の変位計測結果から、地盤模型は地表面の変位振幅を最大とする正弦波形を有するせん断振動をしていることが確認できた。このことから、トンネル位置における地盤変位は、地表面の変位計測結果をもとにして求めている。

5. おわりに

以上より、本研究で用いた地盤模型の基本的性状を把握することができた。

参考文献

- 1) 栗山・高松・深井ら：シールドトンネルの模型振動実験について、第47回年次学術講演会講演概要集、1992年9月。