

III-53

シールドトンネルの模型振動実験について（その4）

—地盤とトンネルの変形について—

早稲田大学 大井 純・東急建設 高松伸行
日本シールドエンジニアリング 深井直光
早稲田大学 小泉 淳・村上博智

1. はじめに

本報告は、文献1)に続く内容のもので、本研究で行った実験において入力した正弦波の範囲では地盤とトンネルは線形挙動を示していることと地盤とトンネルの変形について考察を行った結果とに関して述べたものである。トンネルの変形については応答変位法による解析を行い、実験結果との比較を行っている。

2. 地盤およびトンネル挙動の線形性について

地盤とトンネルとが入力波に対して線形な挙動を示しているかどうかを確認するために、実験C2¹⁾を対象に、正弦波の最大値を20, 30, 40, 50, 70, 80galとした場合の沖積地盤の共振時における地盤とトンネルの応答を測定し、入力1gal当りの応答を比較した。図-1(a)~(d)は沖積地盤の共振時（軸方向加振）における沖積層地表面の加速度、トンネル変位、一次覆工のひずみおよび二次覆工のひずみ（断面④²⁾）の結果を示したものである。20~40galの間で応答にばらつきが生じているものもあるが、入力波の最大値が変化しても、入力1gal当りの応答はほとんど同じである。したがって、地盤およびトンネルは本実験の入力波の範囲では線形な挙動を示していることが確認できた。また、図-1(c)、(d)を見ると、一次覆工と二次覆工との間には滑りが発生していないことが推測される。なお、地盤模型材料であるシリコンゴムは透明（沖積層）あるいは半透明（洪積層）であるため、目視の結果、振動を与えてもトンネル模型との接触面で滑りが生じていないことはあらかじめ確認されている。以上のことから、地盤とトンネルの変形に関する実験結果および文献2)に示すトンネルの断面力に関する実験結果は、すべて正弦波の最大値50galに対して整理している。

3. 地盤とトンネルの変形について

沖積層の共振時におけるトンネル変形の解析は、図-2に示す解析モデルを用いて応答変位法により求めた。応答変位法に用いる入力変位は実験C（地盤のみの実験）から次のようにして求めた。まず、図-3は、実験Cで軸直角方向に加振した場合の沖積地盤の一次共振時（ $f=5.2\text{Hz}$ ）における地盤深さ方向の変位分布（洪積層端から1.45mの箇所）の一例を示したものである。図中、黒丸印は標点と格子の変位計測結果の片振幅を表わし、実線は地盤の変位が、地表面（標点）の最大変位を最大振幅とする正弦波状の分布と仮定した場合のものである。この図より、格子の変位計測結果はほぼ正弦波上にあるため、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た。次に、図-4(a)、(b)は地盤のみ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。図中、黒丸印は実験結果を、破線は実験結果をもとに最小2乗法を用いて平滑化した地盤変位分布である。図-2に示す解析モデルを用いて解析結果を算出するに当たっては、これら平滑化した変位分布を用いた。また、解析モデルに示す地盤ばねのばね定数は、直径70mmの載荷板を用いた地盤模型の平板

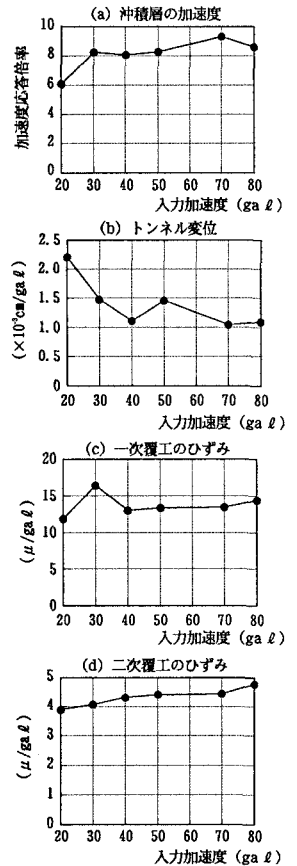


図-1 入力加速度と応答

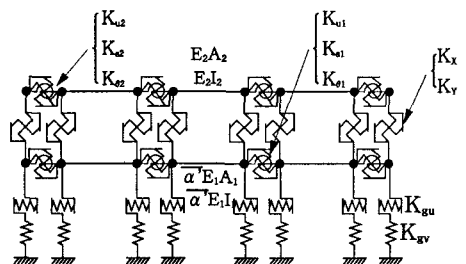


図-2 解析モデル

載荷試験により得られた地盤反力係数 k （洪積層： 1.93kgf/cm^3 、沖積層： 0.28kgf/cm^3 ）を用いて求めている。

図-5(a)、(b)は実験C1の沖積層共振時におけるトンネル変位の実験結果と解析結果とを示したもので、図-6(a)、(b)は実験C2についての同様の図である。図中、黒丸印は実験結果を、実線は解析結果を示している。これらの図より、一次覆工のみのトンネルを対象とした実験（実験C1）では、解析結果は実験結果をよく説明しているが、二次覆工されたトンネルを対象とした実験（実験C2）では、軸直角方向加振時には実験結果と解析結果とは概ね一致しているのに対して、軸方向加振時には解析結果の方が実験結果よりも大きな値を示している。また、軸直角方向加振時には、トンネルの剛性の如何にかかわらず、トンネルの変形は地盤だけの変形とほとんど同じであり、トンネルは地盤変位によく追従している

ことがわかる。しかし、軸方向加振時には、地盤変位に及ぼすトンネルの剛性の影響が大きいため、トンネルの剛性が大きくなるにつれて地盤の変形よりもトンネルの変形が小さくなって行くようである。

4. おわりに

トンネル軸直角方向の地震を受ける場合やトンネル軸方向の地震でもトンネルの剛性が小さい場合には、トンネルは地盤変位によく追従するが、トンネルの剛性が二次覆工などによってかなり高められる場合には、トンネル軸方向から地震が作用するとトンネルが地盤変形を拘束する状況が考えられるため、トンネルと地盤との相互作用の評価方法を慎重に定める必要があると思われる。

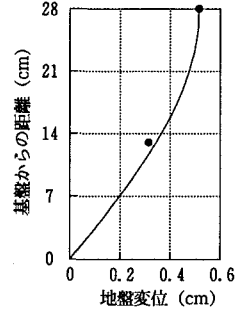


図-3 地盤のせん断振動 ($f = 5.2\text{Hz}$)

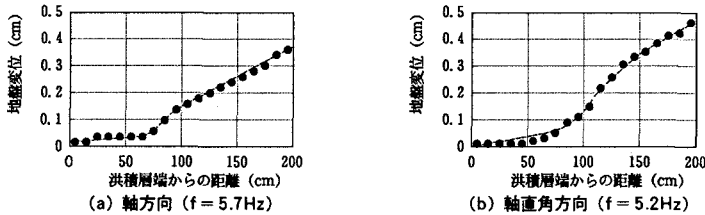


図-4 地盤変位分布（実験C）

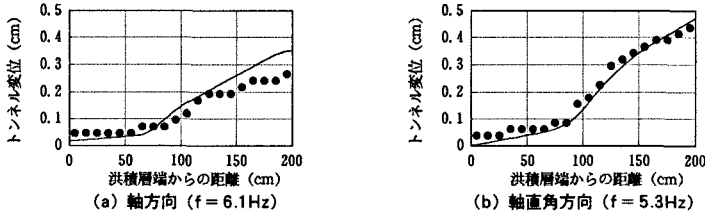


図-5 トンネル変位分布（実験C1）

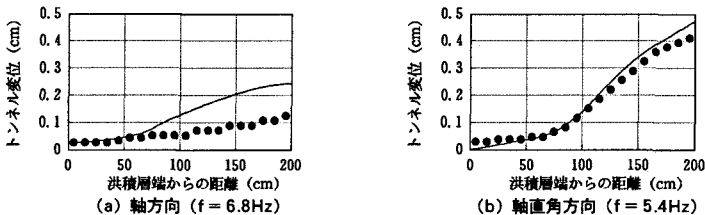


図-6 トンネル変位分布（実験C2）

参考文献

- 1) 小泉 淳・高松伸行・深井直光・大井 純・村上博智：シールドトンネルの模型振動実験について（その3）、土木学会第48回年次学術講演会講演概要集、1993年9月。
- 2) 深井直光・高松伸行・小泉 淳・大井 純・村上博智：シールドトンネルの模型振動実験について（その5）、土木学会第48回年次学術講演会講演概要集、1993年9月。