

III-28

シールドトンネルの模型振動実験について

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

1. はじめに

シールドトンネルを対象とした模型振動実験にはいくつかの例が見られるが、リング継手を評価した模型を用いたものは少ない¹⁾。本報告は、セグメントリング10リング分の等価剛性を持つシールドトンネル²⁾の模型振動実験結果と、応答変位法による解析結果との比較を行い、これに検討を加えたものである。

2. トンネル模型

実験の対象としたトンネルは、図-1に示す外径7.0m、仕上り内径5.8mの鉄道単線トンネルである。実験を行うにあたり、相似則を適用してシールドトンネルを忠実に模型化すると、トンネル軸方向には、セグメント模型とリング継手模型が相当密に配置されることになる。したがって本研究では、模型製作上の手間や精度、測定器の設置スペース等を考慮し、10リング分のトンネルを剛性が一様に低下した1リングと考えると模型化した。図-2はトンネル模型の概要を示したものである。文献3)の相似則にしたがってトンネル模型の材料には天然ゴム(硬度40度)を、リング継手には合成ゴム(硬度20度)を用いた。なお、地盤材料であるシリコンゴムとトンネル材料である天然ゴムが直に接するとシリコンゴムに硬化阻害が生じるため、一次覆工模型の表面にはアクリル樹脂系の水性ペンキを塗布した。

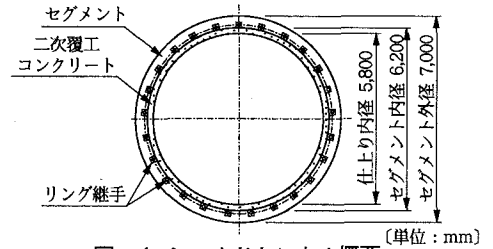


図-1. シールドトンネル概要

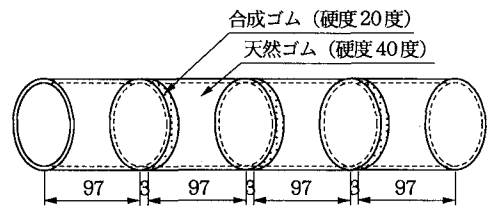


図-2. トンネル模型概要

3. 実験概要

実験方法は文献3)に示すとおりである。計測項目は、地盤の加速度、地盤とトンネルの変位およびトンネル模型に発生するひずみである。図-3はひずみ測定位置を示したもので、ひずみは地盤の層の変わり目を中心に9断面で測定した。各断面には、鉛直・水平方向4個所にひずみゲージを貼付した。

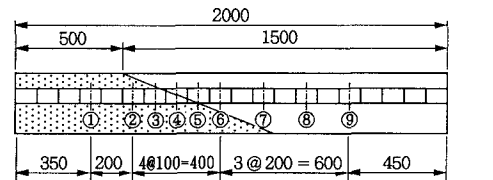


図-3. ひずみ計測断面

4. 解析方法

解析には応答変位法を用いた。図-4は解析モデルである。トンネルは梁-ばねモデルに置換し、10リング分の等価

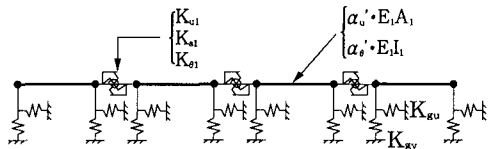


図-4. 解析モデル

剛性を持つセグメントリングを棒部材で、リング継手をばね部材で評価した。応答変位法には、地盤模型の振動実験より得られたトンネル位置での地盤変位を用いた〔文献3)の図-6参照〕。地盤ばねのばね定数 K_{su} および K_{sv} は建設省『新耐震設計法(案)』(p.219)で定められている地盤反力係数を用いて求めた。地盤のせん断弾性波速度 V_s は、沖積地盤および洪積地盤それぞれの固有振動数を用いて算出した。

5. 実験結果と考察

図-5および図-6は軸方向加振時と軸直角方向加振時それぞれの各断面におけるひずみの共振曲線である。低弾性体である一次覆工模型よりもひずみゲージ(ペーパーゲージ)の方が剛性が高いため、あらかじめ、ひずみの割増係数を求めて測定された値を補正した。また、ひずみの応答はすべて入力1galあたりに正規化した。軸方向加振時の軸ひずみは、断面の4個所で計測したひずみの値がほぼ同じで、曲げ成分は無視しうる範

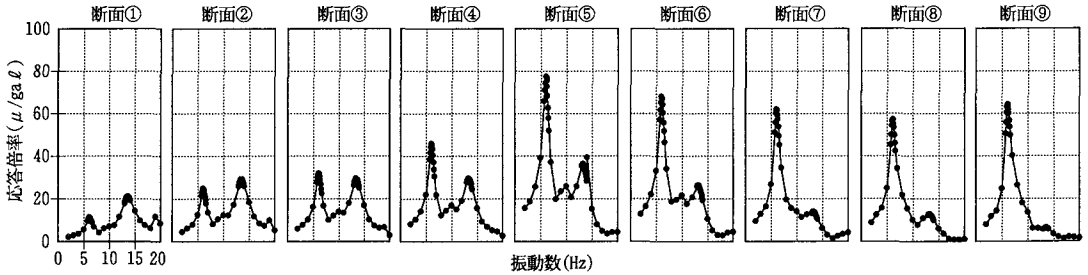


図-5. ひずみ共振曲線（軸方向）

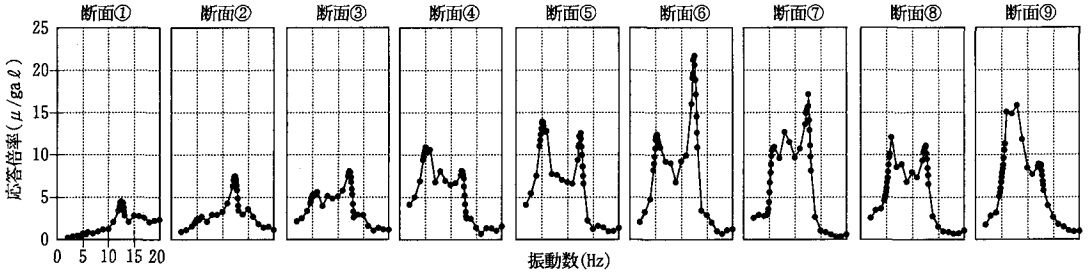


図-6. ひずみ共振曲線（軸直角）

囲であったので4つの値を平均して求めた。軸直角方向加振時の曲げひずみは、水平方向2つのひずみを曲げひずみと軸ひずみに分離して求めた。このようにして求めた軸ひずみは曲げひずみに比べて小さく無視しうるものであった。図-5および図-6と、文献3)の図-2および図-4より、

- ①軸方向加振時には、各断面がある層の共振点でひずみは最大応答を示しているのに対して、軸直角方向加振時には、必ずしもその断面がある層の共振点で最大応答を示すとは限らない。
- ②地盤の変位振幅が最大となる沖積層の共振時に軸方向加振時のひずみの最大応答（断面⑤）が発生しているのに対して、軸直角方向加振時には洪積層の共振時にひずみの最大応答（断面⑥）が発生している。
- ③軸方向加振時のひずみの最大応答は、軸直角方向加振時の約4倍である。ことがわかった。

図-7は、軸方向加振時の沖積層の共振時における軸力の実験結果と解析結果を比較したものである。図中、丸印は実験値を、実線は解析値を示す。実験値と解析値とは良く符合している。

6. おわりに

以上に述べたように、シールドトンネル模型のひずみの応答は、軸直角方向加振時よりも軸方向加振時の方が卓越しており、トンネルを設計する際には軸力に対する検討が支配的になると考えられる。また、地盤変位を適切に評価することにより図-4に示した解析モデルを用いてシールドトンネルの挙動を説明できると考えられる。今後は、トンネル模型に二次覆工を施した場合について検討を進める予定である。

参考文献

- 1) 例えば、鈴木：シールドトンネルの免震構造に関する模型振動実験、第20回地震工学研究発表会講演概要、pp. 565～568、1989年7月。
- 2) 高松・荻野ら：二次覆工されたシールドトンネルの地震時における挙動について、第21回地震工学研究発表会講演概要、pp. 409～412、1991年7月。
- 3) 深井・高松・栗山ら：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、土木学会第47回年次学術講演会講演概要集、1992年9月。

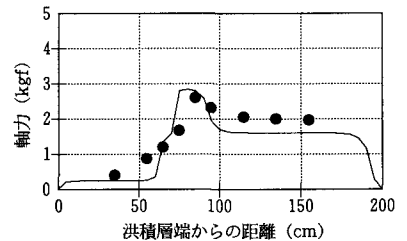


図-7. 軸力図