

# III-14 二次覆工されたシールドトンネルの軸方向の覆工間相互作用について

東急建設（株） 高松伸行  
早稲田大学 小泉 淳  
村上博智

## 1. はじめに

筆者らは、二次覆工されたシールドトンネルに曲げが作用する場合の両覆工間の相互作用が、一次覆工と二次覆工の軸線間の圧縮変形を考慮したトンネル軸直角方向の覆工間ばねで評価されることを模型実験を通して検証してきた<sup>1), 2)</sup>。本報告は、シールドトンネルに軸方向の外力が作用する場合の両覆工間の相互作用について、曲げの場合と同様にばねで評価する解析方法を提案し、シールドトンネル模型を用いた実験の結果と解析結果との比較を行なって、提案した解析方法の妥当性を検証したものである。

## 2. 実験概要

一次覆工と二次覆工との軸方向相互作用を調べる目的で、地上における軸引張実験を行なった。実験には表-1に示す3種類の模型を用いた。図-1は模型の断面図を示したものである。模型Aは、一次覆工模型の内側に二次覆工模型を直打ちしたものである。模型Bは、両覆工間部材（アイソレーションシートなどを想定）としてシリコーンゴムを用いたものである。模型Cは、文献3)～5)に示す振動実験で用いたものである。図-2は実験概要図である。模型Aおよび模型Bを用いた実験では、図-2(a)に示すようにトンネル模型7リング分を対象に、模型の一端は一次覆工、二次覆工とも固定し、他端のリング継手に合力がPとなる均等な軸引張応力を作用させ、トンネル全体の変形量と一次覆工と二次覆工それぞれの3断面における軸方向ひずみを測定した。図-2(b)は模型Cを用いた実験の概要図である。トンネル模型5リング分を対象に、模型Aおよび模型Bを用いた場合と同様に実験を行なった。

## 3. 解析方法

解析には図-3に示す解析モデルを用いた。ここで、両覆工間の軸方向相互作用を評価するばねのばね定数は以下に示す方法により算定した。

二次覆工されたシールドトンネルに軸方向の外力が作用する場合には、両覆工間の力の伝達せん断力により行なわれるものと考えられる。両覆工間に覆工間部材がある場合には、両覆工間の相互作用は図-4に示すように、一次覆工、二次覆工それぞれのせん断変形を考慮したばね  $K_{x1}$ 、 $K_{x2}$  とその間に覆工間部材のせん断変形を評価するばね  $K_{x100}$  を配置し、それらが直列に連結されたものとしてモデル化する。一次覆工、二次覆工および覆工間部材のせん断変形域を各部材の厚さ  $t_1$ 、 $t_2$ 、 $t_{100}$  とす

表-1 模型の種類

| 模型の種類 | 模 型 の 材 質 |           |         |
|-------|-----------|-----------|---------|
|       | 一次覆工      | 二次覆工      | 覆工間部材   |
| A     | アクリル樹脂    | エポキシ樹脂    | なし      |
| B     | アクリル樹脂    | アクリル樹脂    | シリコーンゴム |
| C     | 天然ゴム      | 低密度ポリエチレン | シリコーンゴム |

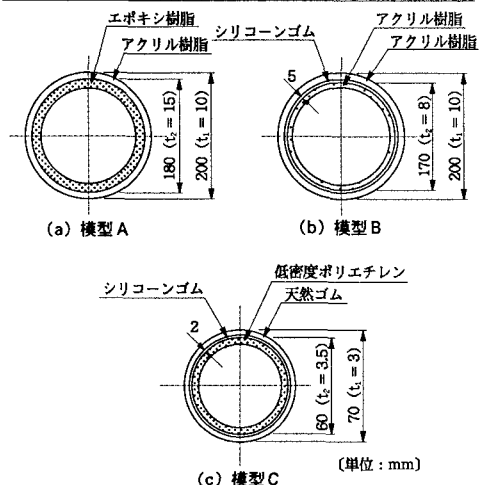


図-1 実験で用いた模型の断面図

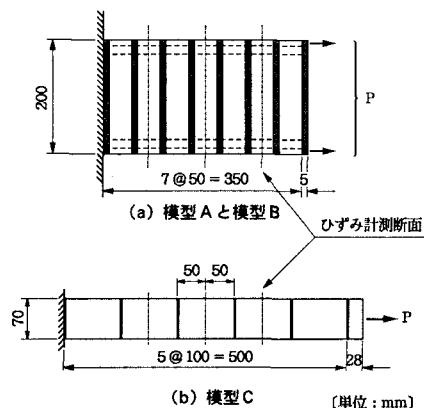


図-2 軸引張実験概要図

ると、それぞれのばねのばね定数 $K_{X1}$ 、 $K_{X2}$ 、 $K_{Xiso}$ は次式で示される。

$$K_{X1} = \frac{E_1 A_X}{2(1+\nu_1)t_1} \dots\dots\dots (1)$$

$$K_{X2} = \frac{E_2 A_X}{2(1+\nu_2)t_2} \dots\dots\dots (2)$$

$$K_{Xiso} = \frac{E_{iso} A_X}{2(1+\nu_{iso})t_{iso}} \dots\dots\dots (3)$$

ここに、 $E_1$ 、 $E_2$ および $E_{iso}$ は一次覆工、二次覆工および覆工間部材の弾性係数を、 $\nu_1$ 、 $\nu_2$ 、 $\nu_{iso}$ はそれぞれのポアソン比を、また $A_X$ は図-3に示す解析モデルにおける節点間隔の2分の1を幅とする二次覆工の周面積を表す。覆工間部材がある場合の両覆工間のトンネル軸方向相互作用を評価するばねのばね定数 $K_X$ はこれらのばね定数を用いて次式で示される。

$$K_X = \frac{K_{X1} \cdot K_{Xiso} \cdot K_{X2}}{K_{X1} \cdot K_{Xiso} + K_{Xiso} \cdot K_{X2} + K_{X2} \cdot K_{X1}}$$

$$= \frac{K_{X1} \cdot K_{X2}}{K_{X1} + K_{X2} + \frac{K_{X2} \cdot K_{X1}}{K_{Xiso}}} \dots\dots\dots (4)$$

なお、二次覆工が直打ちされた場合には、式(4)で、 $K_{Xiso}$ の値を無限大とすることで評価される。

#### 4. 実験結果とその考察

図-5～図-7は実験結果と解析結果を示したもので、図中、(a)図は一次覆工全体の変形、(b)図は一次覆工のひずみ、(c)図は二次覆工のひずみの結果を表わしている。黒丸印は実験結果を、実線は解析結果を示している。実験結果と解析結果とはよく符合している。

#### 5. おわりに

以上より、二次覆工されたシールドトンネルに軸方向の外力が作用する場合には、両覆工間の相互作用はばねで評価することができ、提案した解析モデルを用いてその挙動を説明できることが確認された。

#### 参考文献

- 1) 栗山雄三・村上博智・小泉 淳・蔵品 稔・高松伸行：二次覆工されたシールドトンネル模型の曲げ実験について、土木学会第46回年次学術講演会講演概要集、Ⅲ-15、pp. 52～53、1991年9月。
- 2) 高松伸行・村上博智・小泉 淳：覆工間にアイソレーション材を用いたシールドトンネルの軸方向挙動に関する研究、構造工学論文集、Vol. 38A、pp. 1397～1407、1992年3月。
- 3)～5) 深井・高松・小泉ほか：シールドトンネルの模型振動実験について（その3）～（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。

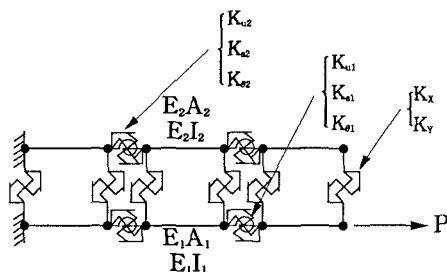


図-3 解析モデル

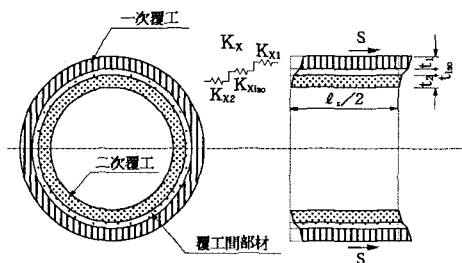


図-4 覆工間ばね $K_X$

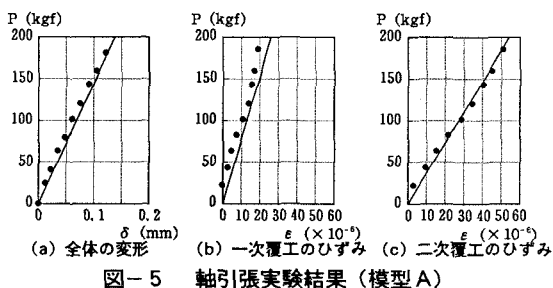


図-5 軸引張実験結果（模型A）

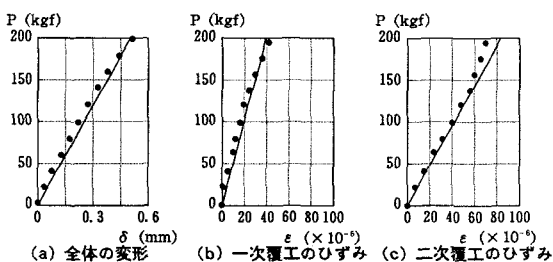


図-6 軸引張実験結果（模型B）

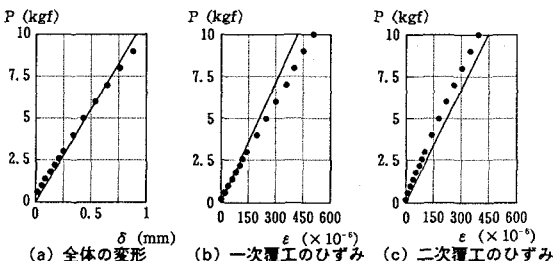


図-7 軸引張実験結果（模型C）