

### III-B 83 テクスパン工法を用いたトンネルの模型振動実験について（その3） ～2次元有限要素法によるトンネル横断方向の解析について～

早稲田大学 学生員 篠原洋輔  
早稲田大学 学生員 町田能章  
早稲田大学 学生員 高橋裕輔  
早稲田大学 正会員 小泉 淳

#### 1. はじめに

テクスパン工法は3ヒンジアーチでトンネルを構築する工法で、短スパン（通常20m以下）橋梁や現場打ちボックスカルバートに代わるものとしてフランスで開発された。この工法は開削あるいは盛土内のアーチカルバートのな性格が強く、また縦断方向の一体化が十分に計られていないなど、日本に導入するにあたり特にその耐震性については十分な検討が必要となる。本研究は模型による振動実験を行い<sup>1)</sup> 2)、その解析を通して地震時のトンネル本体および盛土の挙動の把握、トンネル部材の連結など新たな構造補強の必要性を検討し、最終的にその耐震設計法の確立を目的とするものである。本報告はこのうちトンネルの横断方向について、実験結果と2次元有限要素法による解析結果を述べたものである。

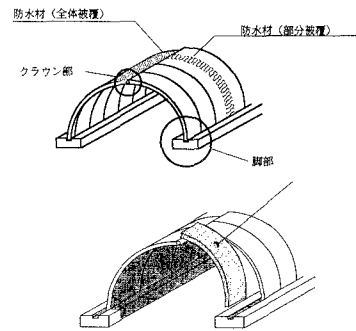


図1 テクスパン工法

#### 2. 実験概要

実験模型は短いものと長いものの二種類を用意し、実物のトンネルと盛土に相似比を用いて模型化した。材質は盛土をシリコーンゴム、トンネル部材を低密度ポリエチレンとした。図2に実験模型の概略を示す。入力波は50(gal)の正弦波とし、軸方向、軸直角方向、鉛直方向に加振した。実験では一次共振振動数を決定した後、共振時における地表面の加速度、地表面とトンネル高さの変位、トンネル部材のひずみを時刻歴で計測した。

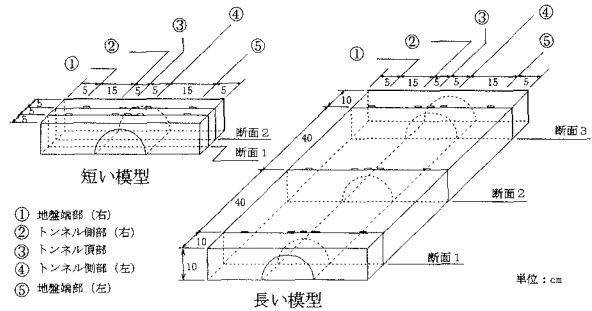


図2 実験模型

#### 3. 解析概要

トンネル横断方向の解析は軸直角方向と鉛直方向に加振した場合について2次元有限要素法を用いて行った。

軸直角方向の場合は盛土のみの場合とトンネルを埋設した場合について、鉛直方向の場合はトンネルを埋設した場合について、それぞれ解析を行い実験結果と比較した。解析は盛土を平面ひずみ要素、トンネル部材をビーム要素でモデル化しトンネルクラウン部と脚部はヒンジとみなして行っている。

解析には実験模型の力学的特性試験から得られた諸量を用いた。なおこのうち減衰定数は実験から得られた模型全体のものであり個々の材料のものではない。これらの値は共振振動数と応答倍率が実験値と等しく

表1 解析に用いた諸量

|                              | 盛土    | トンネル部材                 |
|------------------------------|-------|------------------------|
| 単位体積重量 (tf/m <sup>3</sup> )  | 0.98  | 0.922                  |
| ポアソン比                        | 0.45  | 0.40                   |
| 弾性係数 (tf/m <sup>2</sup> )    | 53.07 | 19660.57               |
| せん断弾性係数 (tf/m <sup>2</sup> ) | 18.3  | 7021.6                 |
| 減衰定数                         | 0.035 | 0.07                   |
| 断面積 (m <sup>2</sup> )        | ----- | 3.54×10 <sup>-3</sup>  |
| 断面二次モーメント (m <sup>4</sup> )  | ----- | 3.697×10 <sup>-9</sup> |

なるように繰り返し計算を行い決定したものである。  
このときの入力波は鉛直に伝播する正弦波（振幅50gal）とした。表1に解析に用いた諸量を、図3にトンネルが埋設されている場合の解析モデルを示す。

解析では、共振振動数を計算した後、共振時における変位の最大値分布とトンネル部材の曲げモーメントの最大値とを算出した。

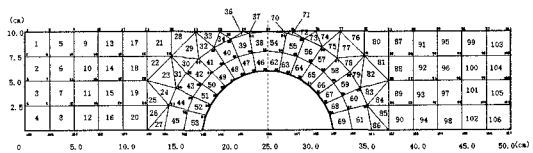


図3 有限要素解析モデル

#### 4. 実験結果と解析結果の比較

図4に軸直角方向加振で盛土のみの場合、図5に軸直角方向加振でトンネルを埋設した場合、図6に鉛直方向加振の場合の加速度共振曲線を示す。図中、点線は実験値を、実線は解析値を表している。実験値は奥行き方向の自由端の影響を最も受けないと考えられる長い模型の中央の断面（断面2）のものである。軸直角方向に加振した場合には盛土のみの場合も、トンネルを埋設した場合も実験結果と解析結果とがよく一致している。一方、鉛直方向に加振した場合のそれはあまりよく一致していない。

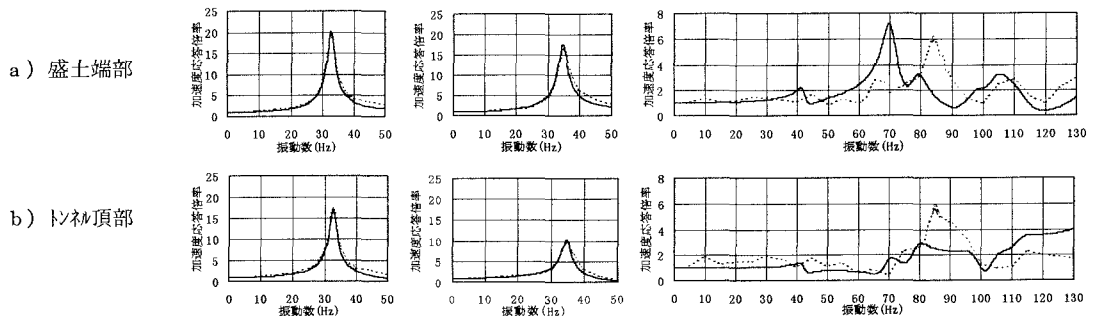


図4 軸直角・盛土のみ

図5 軸直角・トンネル埋設

図6 鉛直・トンネル埋設

図7に軸直角加振の場合のトンネル部材の曲げモーメント分布を示す。図中、黒丸は実験値、実線は解析値を示す。曲げモーメントの実験値は測定したトンネル部材のひずみより算出したものであるが、解析値と比較するためにトンネル部材幅1(m)に換算した値を用いた。

図7を見ると実験値と解析値がよく一致していることがわかる。

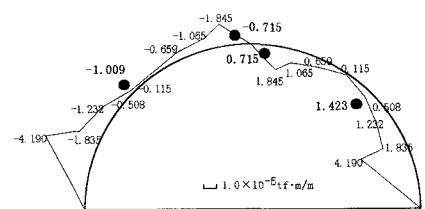


図7 曲げモーメント分布図

#### 5. まとめ

テクスパン工法を用いたトンネルの横断方向の解析のうち軸直角方向加振の場合に関しては今回示したような解析手法および解析モデルでトンネル、周辺盛土の動的挙動が説明できることがわかった。ただし、トンネルが短い場合やトンネル坑口付近など自由端の影響を受ける場合は応答倍率、応力などが解析値よりも大きくなるので適用には注意が必要である。一方、鉛直方向の加振の場合に関してはさらに検討の余地があると思われる。

今後は、トンネル部材を連結した場合の解析、はりばねモデルを用いた応答変位法による解析を行う予定である。なお、この研究は「テクスパン工法技術検討委員会」が実施している研究の一部であることを付記する。

～参考文献～

- 1) 高橋、熊田、小泉ら：テクスパン工法を用いたトンネルの模型振動実験について（その1）：第50回年次学術講演会、1995.9月
- 2) 高橋、熊田、小泉ら：テクスパン工法を用いたトンネルの模型振動実験について（その2）：第50回年次学術講演会、1995.9月