

Ⅲ-B112 シールドトンネル横断方向の模型振動実験とその応答解析 —— セグメント継手による影響を考慮した場合; 正弦波入力 ——

早稲田大学 学生員 水野光一朗

早稲田大学 学生員 何 川

早稲田大学 学生員 釜范真人

早稲田大学 正会員 小泉 淳

1. はじめに

近年、シールドトンネルの耐震設計法に関しては大断面化や断面形状の多様化により縦断方向のみならず、横断方向の検討も重要な課題となってきた。しかし、横断方向の耐震性に関する検討は解析によるものが主であり実験を行ったものは少ない。これまでに筆者らは継手を無視したトンネル模型を用いて模型振動実験を行い、実験模型の合理性、トンネルと地盤との動的相互作用等を明らかにしてきた¹⁾。本研究はそれに続くものでセグメント継手を考慮した模型による振動実験を行い、その結果に対して各種の解析を行ってトンネル横断方向の耐震設計法を検討したものである。本報告はそのうち、いも継ぎのモデルに正弦波を入力して水平方向に加振した場合の結果を述べたものである。

2. 模型振動実験の概要

実際のシールドトンネルに相似則を適用し、実験模型の諸元を決定した¹⁾。地盤材料にはシリコンゴムを、トンネル材料には高密度ポリエチレンを用いた。また、セグメント継手によるリング剛性の低下を断面に切欠きを設けて評価した。トンネル模型は切欠きを設けた長さ10cmのポリエチレン管7個をゴムリングで接続したものである(図1, 図2)。実験には地盤のみの模型とトンネルを埋設した模型とを用い、それぞれ水平方向に加振して、地盤の加速度、変位およびトンネルに発生するひずみを計測した。振動台の入力波は加速度振幅80galの正弦波である。

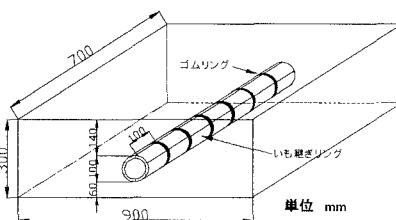


図1 実験模型図

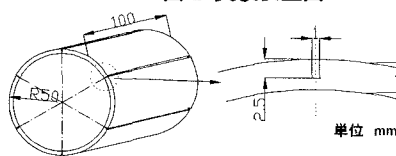


図2 いも継ぎ模型

3. 各種解析法の概要

これまでの研究で得られた成果¹⁾をもとに実験結果を対象として二次元動的FEM解析、二次元静的FEM解析およびはり-ばねモデルを用いた応答変位法による解析を行った。

動的FEMによる解析では地盤を平面ひずみ要素、トンネルをはり要素にモデル化し、底面境界を剛体基盤、側方境界を自由境界とした。

解析に用いた諸元のうち、地盤のせん断弾性係数と減衰定数は加振時における加速度の一次共振振動数と応答倍率とが実験値のそれらと一致するように繰り返し計算して決定し、それ以外は力学的特性試験から得られたものを用いた。

静的FEMによる解析では側方境界に水平ローラーを設置し、境界位置に地盤変位を与える方法を用いた(図

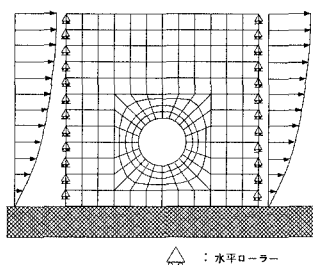


図3 静的FEMのメッシュ図

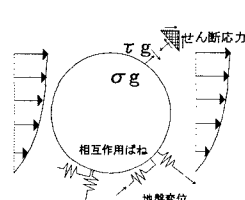


図4 はり-ばねモデルによる応答変位法

キーワード：シールドトンネル 振動実験 耐震設計 有限要素法 はり-ばねモデル

連絡先：〒169-0072 東京都新宿区大久保3-4-1 早稲田大学理工学部土木工学科小泉研究室 Tel 03-3204-1894

3). 解析に用いた諸元は動的 FEM 解析と同じである。なお、動的および静的 FEM による解析モデルにおいて、セグメント継手はその部分に剛性の低い部材を挿入することで評価した。

はりばねモデルによる応答変位法には、トンネルをはりで、周辺地盤をばねで評価した構造モデルを用いた（図4）。地盤変位は地盤ばねを介してトンネルに静的に作用させ、周面せん断力は方向成分に分解し、直接トンネルに作用させた。セグメント継手は回転ばねで表現し、切欠き部分を忠実に表現した FEM 解析によりそのばね定数を求めた。また地盤ばね定数は平板載荷試験を行い求めた。

4. 各種解析法の耐震設計法への適用性

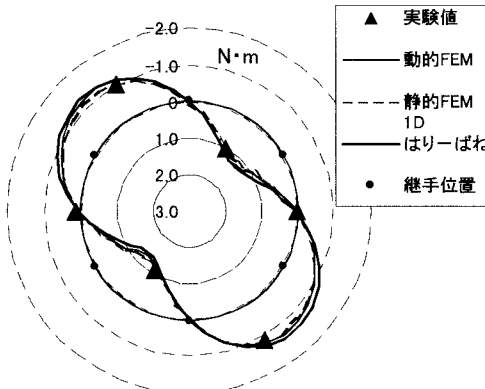


図5 曲げモーメント図

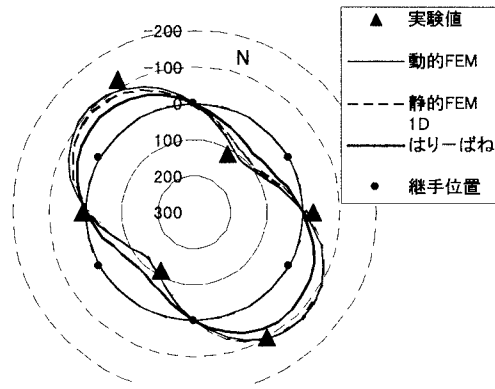


図6 軸力図

図5および図6は実験結果と解析結果とを曲げモーメントと軸力について示したものである。動的 FEM による方法では、トンネルが地盤の動的挙動に与える影響は小さくトンネルは周辺地盤の挙動に追従して運動しているなどの知見を得た。また実験結果と比較すると非常に高い精度で一致していることがわかった。

静的 FEM による方法では、側方境界の位置がトンネルに発生する断面力に与える影響が大きく、境界位置とトンネルの剛性を変化させて実験値に合うようにその範囲を決定する必要がある。側方境界の位置をトンネルの側方から 0.75D～1D とした場合には、トンネルの剛性によらずに実験値に対して 5 % 以内の誤差で発生断面力の最大値を表現でき、分布形状も実験値とよく一致するとの知見を得た。

はりばねモデルを用いた応答変位法では、地盤変位と周面せん断力の与え方の検討も行った。その結果、地盤変位と周面せん断力を外力として同時に作用させた場合には、発生する断面力と実験結果のそれとは高い精度で一致することがわかった。また、地盤変位と周面せん断力とが発生断面力に与える影響は曲げモーメントに関してはほぼ同程度の比率（5：5）であり、軸力に関してはその比率は 4：6 程度となった。

5. まとめ

継手を考慮した模型による振動実験と解析結果から以下のような結論が得られた。

- ① 動的 FEM による方法は実験結果をよく説明できる。
- ② 静的 FEM による方法は側方境界の位置をどのように決めるかが問題である。本研究の範囲ではトンネルの側方にそれぞれ 0.75D～1D 程度の領域を考えればほぼ実験結果を説明できる。
- ③ はりばねモデルを用いた応答変位法では、外力として地盤変位と周面せん断力とを考慮すれば、実験結果をよく説明できる。

本報告はセグメントリングをいも継ぎに組み立てた場合を対象としたものであるが、今後は千鳥組されたリングや二次覆工されたリングについても同様な検討を加えてゆく予定である。

～参考文献～

- 1) 釜苞, 何, 小泉ら: シールドトンネル横断方向の耐震性について 第 53 回年次学術講演会, III-B180 1998 年 10 月