

Ⅲ - B 180

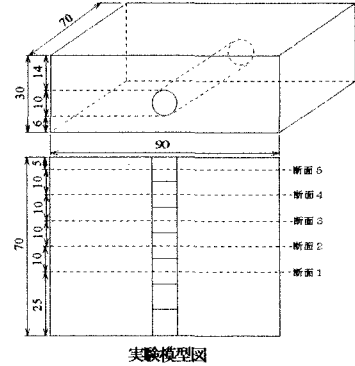
シールドトンネル横断方向の耐震性について

～模型振動実験とその解析～

早稲田大学 学生員 金范真人  
 早稲田大学 学生員 何 川 町田能章  
 早稲田大学 正会員 小泉 淳

1. はじめに

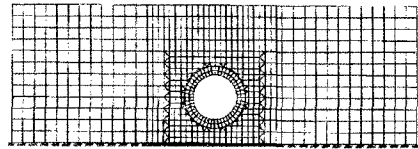
従来、シールドトンネルの耐震性の検討は、トンネルおよびトンネル周辺地盤の安定性の検討とその縦断方向についての検討が中心であったが、最近は大断面化や断面形状の多様化などによりその横断方向の耐震性の検討も重要な課題になってきている。トンネル横断方向の耐震設計法に関しては応答変位法などいくつかの方法が提案されているが、必ずしも確立されたものではなく、また地盤とトンネルの動的な相互作用は非常に複雑で不明な点も多いため、これらの適用には十分な検討が必要である。本研究はシールドトンネル横断方向を対象に模型振動実験を行い、実験を対象として二次元的動的FEM、二次元静的FEMならびにはりばねモデルで解析を行い、耐震設計を行う場合の解析モデルや作用荷重についての検討を行ったものである。



実験模型図

2. 模型振動実験の概要

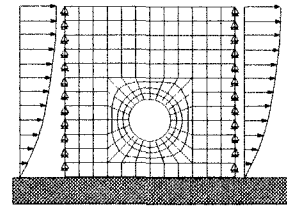
実際のシールドトンネルと地盤に対して相似則を適用し模型の諸元を決定した。相似則は地盤に生じる慣性力と弾性力が支配的な物理量であると考えた。地盤材料にはシリコンゴムを、トンネル材料には高密度ポリエチレンを用いた。なお、本研究はシールドトンネルの基礎的な動的特性の把握を目的としているため継手の存在や二次覆工は考慮していない。地盤のみの模型とトンネルを埋設した模型をそれぞれ水平方向と鉛直方向に加振し、地盤の加速度、変位およびトンネルに生じるひずみを時刻歴で計測した。入力波は振幅 80gal の正弦波と、最大値を 300gal、時間間隔を相似則により 1/10 に調整した実地震波である。



二次元的動的FEMのメッシュ図

3. 二次元有限要素法による動的解析の概要

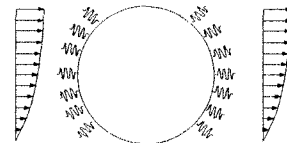
実験模型を対象として二次元的動的FEMによる解析を行った。地盤を平面ひずみ要素、トンネルをはり要素でモデル化し、底面境界を剛体基盤、側方境界は自由境界とした。解析に用いた諸量のうち、地盤のせん断弾性係数と減数定数は水平加振時における加速度の一次共振動数と応答倍率が実験値と一致するように繰り返し計算して決定した。その他の諸量は材料の力学的特性試験から得られたものを用いた。



二次元静的FEMのメッシュ図

4. 二次元有限要素法による静的解析の概要

本研究では側方境界に水平ローラーを設置し、境界の節点に地盤変位を強制変位として静的に作用させた。地盤変位は地盤のみのモデルで動的FEM解析を行って得られたものを用いた。



はりばねモデルによる静的解析

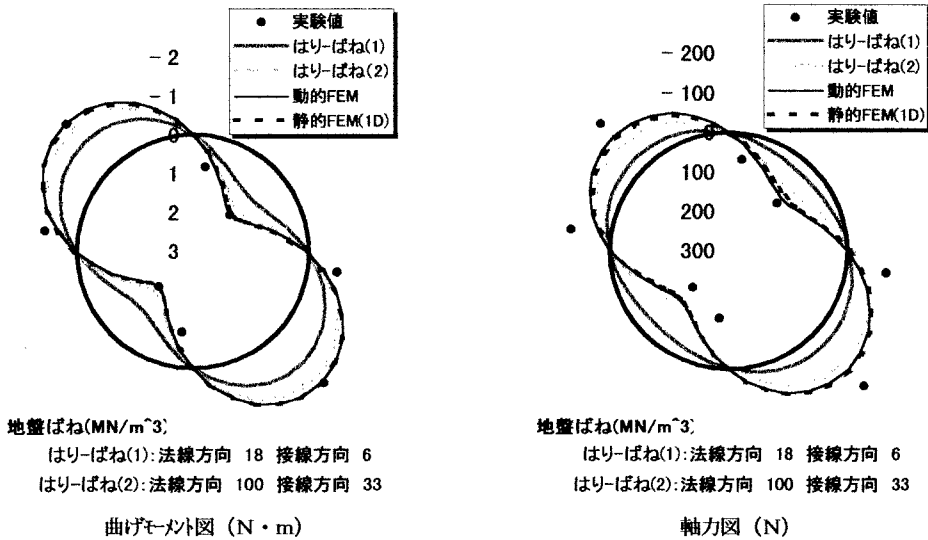
5. はりばねモデルによる静的解析の概要

トンネルをはりに、周辺の地盤をばねで評価した構造モデルに、静的FEMに入力したものと同一地盤のみの変位を地盤ばねのばね先に静的に作用させた。地盤ばね定数は過去の同様な実験で得られたものから推定したものをを用いた。

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

6. 各種解析手法の耐震設計法への適用について



a) 二次元動的 FEM による解析

実験結果との比較から、解析法の有用性は確認されたが、入出力のデータが膨大で解析時間も長いため、設計に用いるには何らかの工夫が必要である。そこで地震波の高周波成分がトンネルの応答にほとんど影響を与えないという知見から、解析する振動数の上限を下げ、解析時間の短縮を図った。解析する振動数の上限を 20 (Hz) にまで下げて解析を行ったが、トンネルに生じるひずみ波形は解析する振動数の上限を 100 (Hz) までとした場合と比較してもほとんど変わらず、トンネルに生じる応力や変形の検討を目的とする場合には有効な方法であることが確認された。なお、解析時間は約 1/4 に短縮された。

b) 二次元静的 FEM による解析

側方境界の位置やトンネルの剛性を変えて検討した結果、境界がトンネルの側方 0.5D~1D (D はトンネル直径) の位置であれば動的 FEM の結果と比較して 5%程度の誤差で断面力の最大値が推定でき、また断面力の分布形状も実験結果や動的解析の結果と非常によく似ていることがわかった。さらにこの解析法は地盤ばねを算出する必要がないこと、周辺地盤の地震時の安定性も FEM 要素の応力から照査できることなどを考えると、非常に有用な手法であると思われる。

c) はりばねモデルによる静的解析

過去の実験からばね定数を推測した場合を「はりばね (1)」とする。動的 FEM による結果と比べると断面力の分布形状は似ているがその値は曲げモーメントで 70%、軸力で 60%程度となった。地盤ばね定数を大きくした「はりばね (2)」では、動的 FEM の結果に近づけることはできるが、地盤の特性を考えると合理性に欠けるものと思われる。

7. まとめ

模型による振動実験と動的 FEM 解析の結果から得られた知見をもとに、シールドトンネルの耐震設計法についての考察を行った。その結果、静的 FEM による解析でも境界の位置や入力変位を適切に評価すれば実験結果や動的 FEM と比較して十分な解析精度を有しており、耐震設計法としても有用であることがわかった。はりばねモデルによる解析は構造モデルが簡便であるものの、地盤ばねや入力変位の設定によっては算出される断面力が実験結果や他の解析手法に比べて小さくなるため、耐震設計に用いる場合にはその適用に注意が必要である。今後は継手および二次覆工を考慮した模型による実験を行っていく予定である。

～参考文献～

胡, 町田, 小泉ら : シールドトンネル横断方向の耐震性について (1) 第 25 回関東支部技術研究発表会, 1998.3 月  
釜薙, 町田, 小泉ら : シールドトンネル横断方向の耐震性について (2) 第 25 回関東支部技術研究発表会, 1998.3 月