

III-45 トンネルに作用する土圧に関する研究（2）

— 解析結果 —

（財）鉄道総合技術研究所 正会員 小山幸則・清水 満・○佐藤 豊

1. はじめに シールドトンネルに作用する断面力を求める際に仮定される作用土圧の分布を求めるため、大型土槽を用いた実験を行った。本報告は実験を2次元の連続体支持モデルによるFEM解析と全周ばねモデル解析を行って、実験で生じたトンネルに作用する断面力を解析的に表現することを試みた。実験の詳細についてはトンネルに作用する土圧に関する研究（1）に示し、ここでは解析値と実験値の比較について、述べることにする。なお、本研究は運輸省からの委託研究「鉄道技術基準に関する研究」の一環として行ったものである。

2. 解析条件と解析ケース 以下に、2次元の連続体支持モデルによるFEM解析と全周ばねモデル解析に分けて解析条件と解析ケースについて述べる。

① 連続体支持モデル 模型実験が2次元の平面ひずみ状態が保たれたものと仮定して、2次元平面ひずみ問題として、実験土槽とトンネル模型を線形弾性の梁要素でモデル化し、実験地盤は4角形及び3角形の平面ひずみ要素で表現した。地盤材料の非線形性を考慮するため、模型地盤の応力～ひずみ関係は非線形弾性とし、双曲線関数で3軸圧縮試験の結果を近似して用いた。また、載荷は実験における載荷方式をモデル化するために、鉛直方向への等分布荷重とした。なお、図1に解析モデル図を示す。

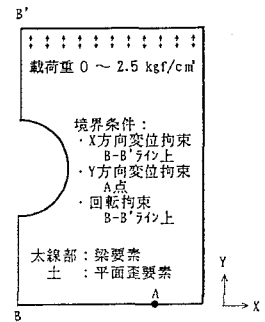


図1 連続体支持モデル

② 全周ばねモデル トンネル模型と地盤をそれぞれ梁要素とばねとし、荷重を上方から載荷した。地盤ばねのばね定数は3軸圧縮試験の結果より得られた変形係数より算定し、側方土圧係数は0.5とした。図2に解析モデルを、表1に解析ケースを示す。

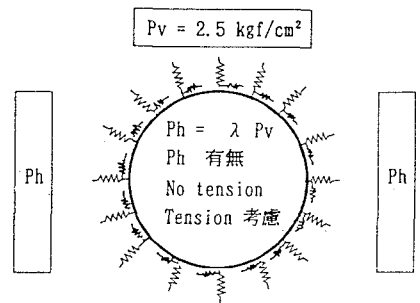


図2 全周ばねモデル

3. FEM解析結果 実験結果と解析結果のトンネルに作用する曲げモーメント分布の比較を図3に示すが、解析結果から以下に示すようなことが読み取れる。

1) トンネル模型の沈下量について、解析結果は実験結果より若干増加勾配が大きいものの、比較的良好一致を見せた。

2) 実験で示された不連続的な分布とは異なり、解析で得られたトンネル模型に作用する半径方向土圧は連続的な分布となった。

3) トンネル模型に作用する接線方向土圧については、最大値を除いて非常に良く一致していた。

4) トンネル模型に発生する周方向の曲げモーメントについては、図3に示すように、解析結果のスプリングライン付近における凹部を除いて良好一致が見ら

表1 全周ばねモデル解析ケース

解析 Case	荷 重		ノテンション*1	
	上部	水平	Yes	No
1	○		○	
2	○	○	○	
3	○			○
4	○	○		○
5*2	○		○	

*1 ノテンション解析：引張力が働く場合はばね作用させない

*2 セン断ばねを除いた解析

れた。

5) トンネル模型に発生する周方向軸力は、起伏が乏しく、最小値がそれぞれうまくとらえられなかった。

4. 全周ばねモデル解析結果

1) 曲げモーメントについて 図4に示すように曲げモーメントの最大値は、実験結果、解析結果ともクラウン部の正曲げであるが、正曲げの最大値の大きさは、ノーテンション解析を行わない解析ケースが最も実験値に近い結果となった。負曲げの最大値は、実験結果、解析結果ともスプリングライン付近であるが、解析結果のCase-2とCase-4(側圧のある場合)ではインバート付近でも負曲げが発生しているのが大きな特徴である。

2) 軸力分布について 解析のCase-1とCase-2の結果は実験結果の最大値を良く捕らえているが、解析結果の分布形状は、実験結果に見られるインバート付近での値の減少がCase-1を除いて見られない。

3) 地盤のせん断ばねを除いた解析 図5に示す通り地盤のせん断ばねを取り除き、垂直ばねのみで地盤を表現したモデル(Case-5)では、鉛直荷重に対して、リングのせん断抵抗を考慮していないため、せん断ばねがあるモデル(Case-1)の解析結果より、大きな正・負曲げのモーメントを示した。この解析モデルは、さらに大きな実験値との違いを見せる結果となった。

5. 結論 連続体支持モデルによるFEM解析は全周ばねモデルより実験の結果をうまく表現した。これは、連続体解析が、実験土槽のように境界条件や載荷重の大きさが明確な場合には、実験条件を解析に取り込み易い解析手法だったためであろう。全周ばねモデルでは上方荷重によって生じる地盤ばねの引張力を残したほうが、解析値が実験値に近くなった。これについては、①土槽地盤中にグラウンドアーチが形成されてトンネルクラウン部に荷重が余り作用しなかったため、②クラウンの変形によって起こる土圧の変位依存性によるため、等の理由が考えられる。また、全周ばねモデルで、今回の実験を表現するためには、既知の荷重以外にも側方や下方からの荷重を設定して解析する必要があることが分かった。

謝辞 本研究は株式会社熊谷組技術研究所の方々に御協力を頂きました。心より感謝いたします。

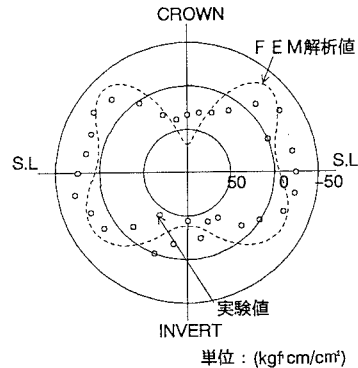


図3 曲げモーメントの比較

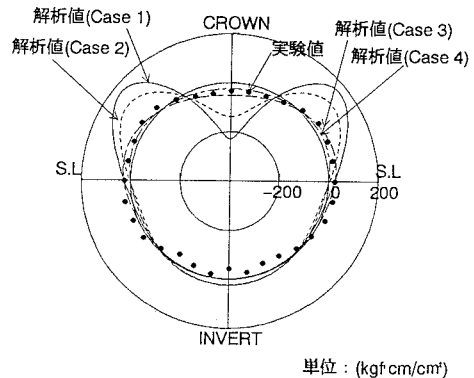


図4 全周ばねモデル曲げモーメントの比較

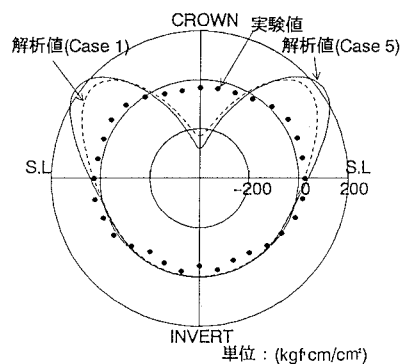


図5 曲げモーメントの比較