

## Ⅲ－B 25

## 先受工の模型実験に関する数値シミュレーション

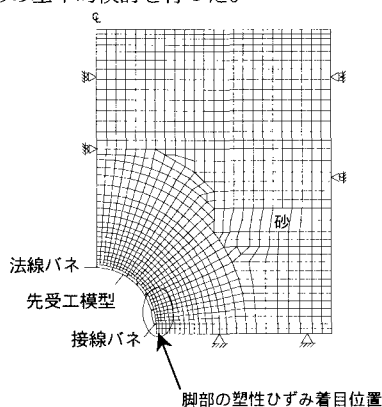
（財）鉄道総合技術研究所 正会員 ○新井 泰 小西真治  
 同 上 正会員 大石敬司 斎藤 貴  
 日本交通技術（株） 杜 世開

## 1. はじめに

筆者らは、これまでに模型実験を通じて、都市部の未固結地山に先受工を用いる場合のトンネル支保効果ならびに地山補強効果に関する検討を行ってきた。一方、これまで補助工法的な位置付けとされてきた先受工が、今後大規模なものを中心に支保と同様に設計段階で適用を検討していく傾向が一層強まると予想され、当該効果を実設計で適切に評価できる解析モデル（主として二次元モデル）の確立が急務となっている。そこで、本研究では、別途行った先受工の模型実験を模擬した数値解析を行い、実験結果と比較しながらシミュレーションとしての妥当性確認ならびに実設計解析モデル確立のための基本的検討を行った。

## 2. 解析モデルの概要

解析対象としたのは、先受け施工を模擬したトンネル掘削模型実験<sup>1) 2)</sup>で、土槽の寸法、先受けの厚さは各々実験の諸元に合わせた。また、解析パラメータは模型実験同様、先受けの施工範囲角度とし、 $180^\circ$ 、 $120^\circ$ 、 $90^\circ$ （脚部補強なし）の3ケースを設定した。解析プログラムには、汎用 FEM コード MARC を使い、地盤（乾燥浜岡砂）は降伏関数に Mohr-Coulomb 則を使用した平面ひずみ要素、先受け（アクリル板）は弾性梁要素とした（表1）。要素分割は、実験装置の対称性を考慮して1/2モデルとし、先受けを表現した梁要素と地盤要素の間には、両者の剥離と滑りを考慮できるように、法線・接線両方向にバネ要素を設置した（図1）。

図1 解析モデル図（ $180^\circ$  のケース）

## 3. 解析方法

## (a) バネ要素の剛性について

梁要素～地盤要素間の滑りと剥離を表現するバネの剛性については、MARCにサブルーチンを組込むことにより対応した。即ち、先ず梁要素～地盤要素間で滑りと剥離がないと仮定し、剛性を無限大（丸め誤差を考慮した適当な値）とした後、解析の過程において、各々のバネ力が引張強度ならびせん断強度を超える場合、当該バネを切るというフローで繰返し計算を行うものである。

## (b) 支承板の降下の表現方法について

実験では、スクリージャッキにより支承板を降下させることにより掘削を模擬したが、解析では、先ず予備解析でトンネル掘削面を構成する各節点の全自由度を拘束して反力を求めた後、当該反力を10段階で漸減させて支承板の降下に伴う応力解放を模擬した。

## (c) 境界条件について

モデルの底面は、摩擦を考慮して水平・鉛直両自由度とも拘束し、対称面では鉛直方向の自由度のみ解放した。また、梁要素の端点については回転を拘束した。

キーワード トンネル、先受工、数値解析、二次元 FEM、弾塑性解析

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 Tel 042(573)7266、FAX 042(573)7248

〒110-0005 東京都台東区上野 7-11-1 Tel 03(3842)9219、FAX 03(3842)9172

表1 各要素物性値

|                           | 浜岡砂      | アクリル板    |
|---------------------------|----------|----------|
| 弾性係数 (kN/m <sup>2</sup> ) | 2.45E+03 | 2.94E+06 |
| ポアソン比                     | 0.35     | 0.33     |
| 摩擦角 (deg)                 | 34.68    | -        |
| 粘着力 (kN/m <sup>2</sup> )  | 0        | -        |
| 密度 (kN/m <sup>3</sup> )   | 14.81    | 7.85     |

#### 4. 解析結果

##### （a）天端沈下量について（参考文献：1）参照）

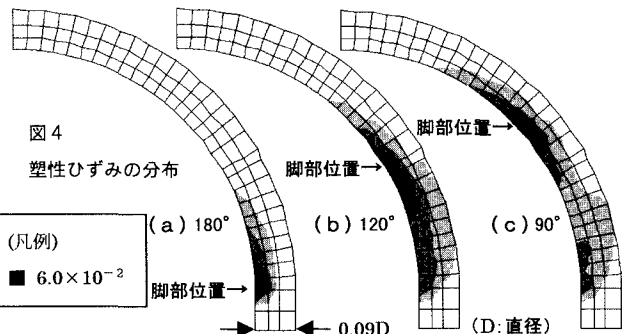
図2によると  $180^\circ$  のケースにおいて天端沈下量が最も小さくなっている。これは先受けに支保効果を期待する場合、先受けの施工範囲角度を大きくする必要があることを示唆している。なお、実験結果との比較において、 $180^\circ$  のケースでは、実験結果の  $1.4\text{mm}$  を概ね適切に評価していると考えられたが、 $120^\circ$ 、 $90^\circ$  のケースでは、実験結果（ $4.0\text{mm}$ ）の約半分程度となった。

##### （b）先受け脚部の増分土圧について（参考文献：2）参照）

図3は、各ステップにおける脚部の初期土圧に対する増分土圧の比率を示している。これによると  $180^\circ$  のケースにおいて最も大きくなっているが、これは、先受けの施工範囲角度を大きくすると、先受けおよび先受け脚部における荷重の支保効果が大きくなることを示唆している。なお、実験結果との比較において、傾向的には3ケースとも概ね合致していたほか、 $180^\circ$  のケースでは実験結果による比率  $2.25$  を適切に評価できたが、 $120^\circ$ 、 $90^\circ$  のケースでは、増分土圧の差異が実験ほど明確に読み取れなかった（実験結果では両ケースとも  $0.7$  程度）。

##### （c）先受け脚部の塑性ひずみについて

先受けの支保効果を十分発揮させるためには、アーチ作用による増分土圧を脚部の地盤が支持し、塑性領域の拡大を最小限に抑えることが望ましく、実設計においては、沈下抑制効果の検討のみならず、先受けの施工範囲角度と当該負荷レベルの関係から、脚部補強の要否を判断することも重要である。そこで本研究では、実験における脚部の地盤状況を塑性



ひずみの大きさに着目して把握することを試みた（図4(a)~(c)）。これによると、塑性領域の範囲は施工範囲角度が小さくなるにつれて拡大しているほか、全てのケースにおいて塑性ひずみ値が脚部の近傍で卓越している。この傾向は、実施工においても脚部の地盤条件が厳しいところでは、あらかじめ脚部補強等を行った後に先受けが施工されている現実や、地盤条件が良好なところであれば経済性も考慮して施工範囲角度を  $120^\circ$  としても先受け工の効果を期待できることを示していると考えられる。

#### 5. まとめ

実験を模擬した解析を行うことにより、先受けの施工範囲角度の相違による支保効果および地山補強効果を二次元 FEM でも実験同様に評価できる可能性を示した。一方、 $120^\circ$  や  $90^\circ$  のケースにおいては、 $180^\circ$  のケースに比して実験結果と若干の乖離が生じたが、これらの点については、実験における先受け脚部と支承板付近の境界条件の改良により改善することも可能であると考えられ、今後は、実験結果等の十分な吟味を経て合理的な先受けの実設計モデルの確立に努めていきたいと考えている。

##### 【参考文献】

- 1) 小西、大石、新井、吉川、田口：先受けの施工範囲角度に関する模型実験（その1）、第54回土木学会年次学術講演会、1999.9
- 2) 吉川、田口、小西、新井、斎藤：先受けの施工範囲角度に関する模型実験（その2）、第54回土木学会年次学術講演会、1999.9