

III-557 リバウンドの影響を受けるシールドトンネル縦断方向の挙動に関する一考察

東電設計（株）正会員 小室真一
 東京電力（株）正会員 新津 強
 東京電力（株）正会員 高橋 晃
 東電設計（株）正会員 河村 隆

1. はじめに 大規模掘削工事において、土砂が掘削除去されると『リバウンド』と呼ばれる掘削地盤の隆起現象が生じるが、既往研究成果から、リバウンドは地盤材料の弾性範囲内における挙動と考えられている。今回、地下鉄駅舎工事に伴い、既設シールドトンネルが開削部長手方向に掘り出され露出することから、トンネルの安全性を確保するため計測監視を行うこととなった。計測監視するに当たっては、リバウンドの影響を受けたシールドトンネルの変形状況を把握する必要があることから、リバウンドの予測手法について解析的に検証を試みた。

2. リバウンドの予測手法について リバウンドの予測手法には、①有限要素法、②スタインブレナー式、③圧密算定式などがある。このうち有限要素法は、土止め形状の影響による地中応力分布などをより的確に考慮でき、多層地盤にも適用できるためリバウンドの解析に多用されているが、その解析費用、手間などに難点がある。計測監視においては迅速・容易に解析を行うことが必要であることから、今回は有限要素法に代わり、より簡便な方法が望まれた。圧密算定式は、粘性土以外の地層や多層地盤には適用できないことから、スタインブレナー式について検討を行うこととした。

3. 検討項目 ①洞道軸剛性の影響について：スタインブレナー式ではトンネルの剛性をモデル化できないことから、トンネルをモデル化した場合と、しない場合とについて3次元FEM弾性解析（以後、FEM解析と称す）を行い、トンネル軸剛性の影響の有無を確認する。②FEM解析結果とスタインブレナー式解析結果との比較：半無限弾性体における弾性解を多層地盤に適用した、式(1)のスタインブレナーの多層近似解法によりリバウンド分布を算定し、その結果を比較する。

$$\delta = -\frac{b P_0 (1-\nu^2)}{2 \pi E} \cdot \left[\log \left(\frac{\sqrt{1+m^2+n^2}+m}{\sqrt{1+m^2+n^2}-m} \right) + m \cdot \log \left(\frac{\sqrt{1+m^2+n^2}+1}{\sqrt{1+m^2+n^2}-1} \right) - \frac{1-2\nu}{1-\nu} n \tan^{-1} \frac{m}{n \sqrt{1+m^2+n^2}} \right] \quad (1)$$

δ ：リバウンド量 P ：分布荷重の大きさ E ：地盤の弾性係数 ν ：ポアソン比
 a, b ：載荷面の短辺、長辺 m ： b/a n ： z/a

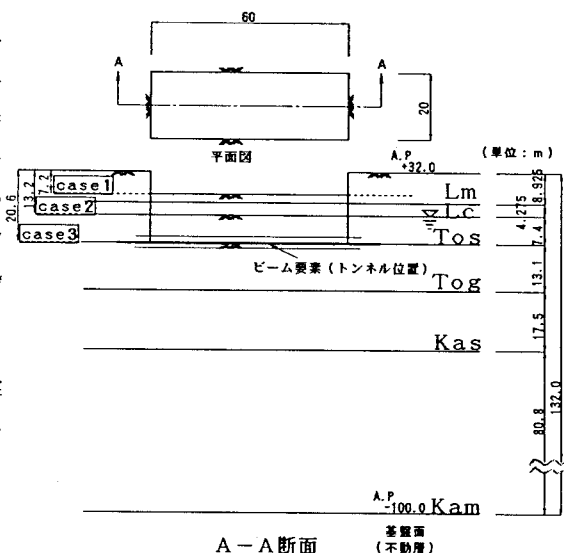
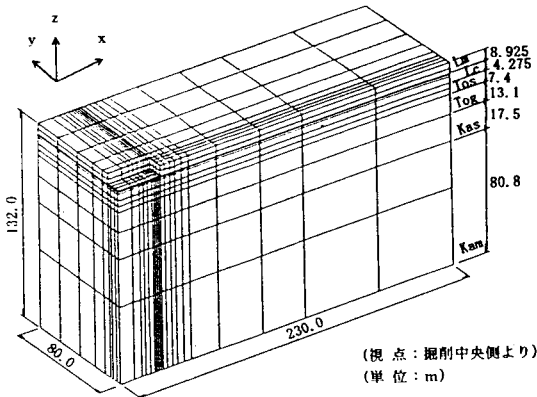


図-1 検討断面

表-1 地盤物性値

土層名	概 高 (AP+m)	単位体積重量 (tf/m ³)	変形係数 (tf/m ²)	ポアソン比
Lm	+32.000~+23.075	1.38	2.400	0.45
Lc	+23.075~+18.800	1.57	900	0.45
Tos	+18.800~+11.400	1.86	1.400	0.35
Tog	+11.400~-1.700	1.96	14.000	0.35
Kas	-1.700~-19.200	1.91	8.500	0.35
Kam	-19.200~-100.00	1.75	14.000	0.40

4. 検討条件 ①検討断面と検討ケース：図－1に検討断面、表－1に地盤物性値、表－2にトンネル縦断方向の断面性能を示す。検討ケースは実際の掘削ステップを考慮して図－1に示す3ケースとした。ケース3は、トンネル中心位置まで掘削された状態を示している。②FEM解析モデル：解析モデルは図－2に示す3次元モデルとし、トンネルは検討条件に示した断面性能を有するビーム要素でモデル化している。境界条件は底面固定、両端部鉛直面はスライドとし、掘削部分の境界条件は山留め壁があるものとして鉛直面はスライドとした。



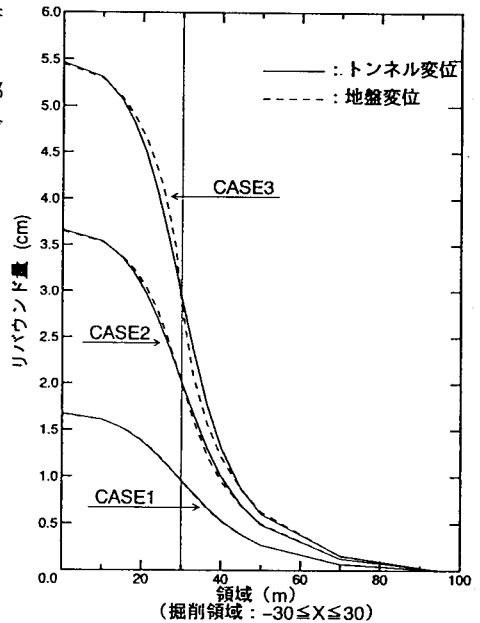
図－2 FEM解析モデル

5. 検討結果 ①トンネル軸剛性の影響について：FEM解析結果を図－3に示すが、トンネル変位と地盤変位とはほぼ一致しており、トンネル軸剛性の影響はほとんどないことが分かる。よって、地盤変位をトンネル変位とみなしてよいと考えられる。②リバウンド分布：FEM解析とスタインブレナー式とで求めた、トンネル位置でのリバウンド分布結果を図－4に示す。分布形状はほぼ一致しており、リバウンド量もケース3の最大変位で比較しても、FEM解析の 5.64 cm に対し、スタインブレナー式は 5.46 cm で、その差は 0.18 cm (3%) と僅かであった。

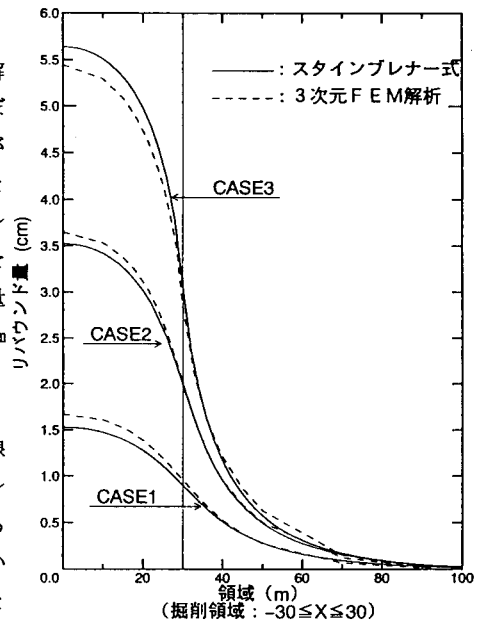
6. まとめ 開削工事領域内に位置するトンネルのような線状構造物のリバウンドの影響を検討する場合、スタインブレナー式により、FEM解析とほぼ同等の解析結果が得られることが分った。得られた変位分布からトンネルに発生している断面力を推定するには、弾性床上の梁モデルを用いることを考えている。現在、トンネル内に計測機器を設置して挙動を計測中である。今後、計測データが得られたら、それらを用いて検証して再度報告したいと考えている。

表－2 断面性能

E (t/m ²)	3.2×10 ⁹
曲げ剛性有効率 η	0.3
I (m ⁴ /m)	5.441×0.3 = 1.632
A (m ² /m)	2.910



図－3 FEM解析結果



図－4 FEM解析と
スタインブレナー式との比較