

V-60

開削工事交差部におけるトンネル挙動予測

日本鉄道建設公団盛岡支社八戸鉄道建設所  
 日本鉄道建設公団盛岡支社八戸鉄道建設所  
 清水建設(株)東北支店

安東 祐三  
 梅木 信夫  
 正会員 ○三枝 修平

1. はじめに

東北新幹線第1高岩トンネルは、一次支保状態で東北縦貫自動車道建設による開削工事が上方約10mを通過するため（図1参照）、除荷によるトンネル構造への影響が懸念された。覆工前のトンネルが除荷の影響を受けるようなケースは希であり、除荷の影響度、余掘りの必要性を把握するために、事前予測解析を実施した。本文は、予測手法と計測結果について報告するものである。

2. 影響評価対象区間の設定

完成後のトンネルに対する近接度区分（表1）を参考に、残存土被り比（切り取り後の土被り  $h$  / もとの土被り  $H$ ）が0.6以下（軟質土）となる断面を抽出し、その前後20mを加えた区間を影響評価対象区間とした（図2、3参照）。

表1 近接度の区分（軟質土）

$h/H$	近接度の区分
0.3未満	制限範囲（要対策範囲）
0.3~0.6	要注意範囲
0.6以上	無条件範囲

3. 予測手法と予測結果

地盤の変形予測には一般的に有限要素法解析（以下FEM）が用いられる。従来の報告に多くみられるように、FEMでは開削工事（除荷）がトンネルに及ぼす影響を過大に評価する傾向があり、特に周辺地盤が軟弱な場合が顕著である。これはFEMが連続体解析であるために地盤の変形にトンネルが追従すること、縦断方向の剛性が考慮されないことが原因と考えられる。

そこで、今回の影響予測には、耐震設計の分野で一般的に用いられる応答変位法の考え方を利用した。これは、1)トンネルを無支保の状態地表面を掘削したときの変位量をFEM（線形弾性解析）で算定し、2)その結果を骨組構造解析（以下FRAME）における地盤バネの強制変位

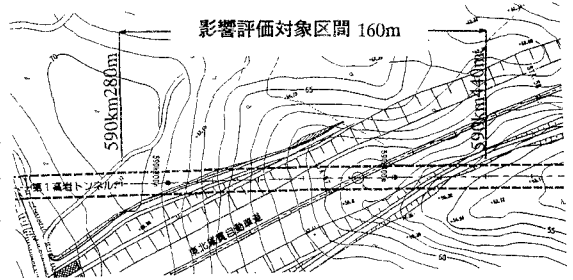


図1 トンネル交差部平面図

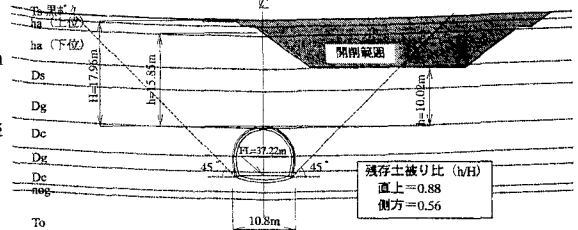


図2 断面図（距離程 590km340m）

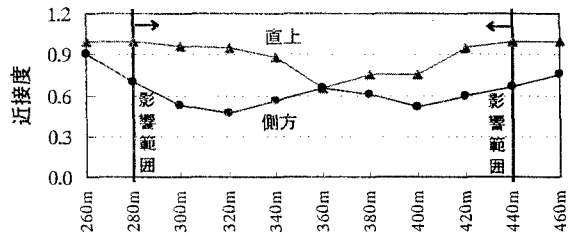


図3 近接度の縦断分布

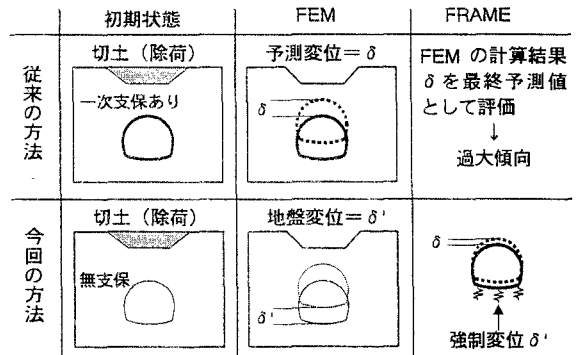


図4 予測手法の概念図

として計算した結果を、除荷によるトンネル挙動の最終予測値とするものである。ただし、強制変位は地盤バネが圧縮側の部位のみ作用させる(図4参照)。表2~4に解析に用いた各定数を示す。

#### 4. 計測値と予測値の比較

除荷による影響評価はトンネルの変形に着目して考察した。表5および図5に示す天端変位の予測結果と計測結果から以下のことがいえる。

①計測値は最大5mmであった。FEM(無支保状態)+FRAME(一次支保状態)の解析結果は最大8.8mm(無支保状態のFEMの解析結果は最大41.5mm)、であったのに対し、FEM(一次支保状態)のみでは25.4mmであったことから、変位予測精度はFEM(無支保状態)+FRAME(一次支保状態)の方が良いといえる。

②設定した影響区間の外側では計測値がほぼ0であり、影響区間の設定は妥当であった。また、トンネルと同等の剛性を持つ円環断面の梁として縦断方向のFRAME計算を実施した結果、影響区間内では天端変位が最大9mm(590km360m)、区間境界では2mm(590km270m、450m)となり、設定した影響区間外ではトンネルへの除荷の影響が小さいことも確認した。

以上から、周辺地盤が軟弱な場合には、FEMのみによる予測はトンネルの挙動が周辺地盤の挙動に支配され、過大な結果になり得ると推測したことは妥当であり、FEM+FRAMEによる予測はトンネル構造物の剛性を積極的に考慮しているため、FEMのみの場合よりも実際の挙動に即した精度よい結果を得られたと考えられる。また、今回の工事では、完成後のトンネルに対する近接度区分から影響範囲を設定したが、計測値の縦断分布から、この考え方がほぼ妥当であったと判断できる。

#### 5. おわりに

一次支保状態のトンネル上方約10mの切土がトンネルに与える影響を評価するにあたり、応答変位法の考え方にに基づき、FEM+FRAMEによる予測手法を適用した。その結果、事前予測の精度が向上し、合理的な設計を実施し得る手法であることが確認できた。なお、事前の予測結果から、開削工事交差部においては特別に余掘りを大きくするといった対策は講じなかった。今後は、ノンテンション解析手法が確立されるまで、完成後のトンネルも対象にして同様な条件のデータを蓄積するとともに、今回の手法の有効性を検証し、今後の工事に役立てていきたい。

参考文献：1) 既設トンネル近接施工対策マニュアル、(財)鉄道総合技術研究所

表2 土質定数

土層区分	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	E (kN/m <sup>2</sup> )	$\nu$
ha (上位)	16.0	10,000	0.40
ha (下位)	16.0	10,000	0.40
Ds	19.0	50,000	0.35
Dg	19.0	50,000	0.35
Dc	16.1	34,300	0.40
nog	20.0	1,026,000	0.30
To	17.5	107,000	0.30

表3 地盤反力係数

土層区分	鉛直 (kN/m <sup>3</sup> )	水平 (kN/m <sup>3</sup> )
Dc	3,620	10,680

表4 構造部材物性値

名称	仕様	E (kN/m <sup>2</sup> )	I (m <sup>4</sup> )	A (m <sup>2</sup> )
吹付けコンクリート	t=25cm	$2.40 \times 10^7$	$1.30 \times 10^{-3}$	0.25
鋼製支保工	H-200	$2.10 \times 10^8$	$4.72 \times 10^{-5}$	$6.35 \times 10^{-3}$
イハートコンクリート	t=45cm	$2.55 \times 10^7$	$7.59 \times 10^{-3}$	0.45

表5 予測結果と計測結果

予測結果/計測結果	最大天端変位
FEM+FRAME(横断方向)	8.8mm
FEM	25.4mm
計測結果	5mm

天端変位：上向き“+”，除荷による増分値

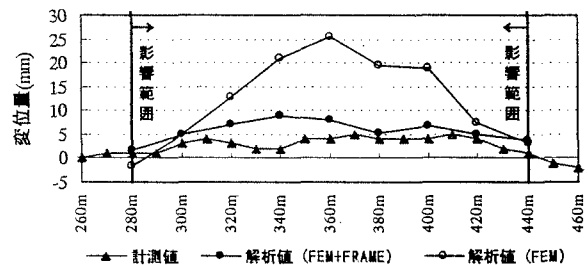


図5 天端変位の予測結果と計測結果