

特性曲線法による地表面沈下予測法の提案

東京都立大学大学院 学生会員 ○鈴木 健之
東京都立大学大学院 正会員 土門 剛
東京都立大学大学院 非会員 徐 景源
東京都立大学大学院 正会員 西村 和夫

1. はじめに

従来、都市トンネルは開削工法もしくはシールド工法により施工されてきたが、近年では洪積層からなる地山などにおいて、経済的に施工できるなどの理由から山岳工法である NATM を用いて施工されるケースが多くなっている。しかし、山岳部と比較して都市部では土被りが浅く、切羽の自立が困難な固結度の低い地山での施工が通常であり、さらに工事による地表面沈下や地下水の低下等、周辺構造物への影響を極力低減するため、掘削による地山挙動と支保の適合性を計測観察することによって簡便に、かつ、正しく予測することが必要となっている。そこで、本研究では地表面沈下抑制効果のある先受け工を用いたケースについて地山特性曲線法を用いることにより掘削する切羽の沈下曲線ならびに沈下量を予測することを目的としている。

2. 解析手法

本研究では、地表面沈下を予測する手法として地山特性曲線法を用いる。地山特性曲線法は図 1 に示すように、地表面沈下曲線と応力解放曲線、地山特性曲線、切羽進行曲線の 4 曲線を用いる。ここで、切羽進行曲線と地表面沈下曲線は現場の計測から求められるが、地山特性曲線と応力解放曲線は仮定する必要がある。

ここで、応力解放曲線として沈下曲線が非対称型の成長曲線に近い曲線形状であることなどから式(1)のように非対称型の成長曲線の 1 つである

Gompertz 曲線を用いる。

$$\lambda = k a^{bt} \quad (1)$$

なお、 λ ：応力解放率、 k ：飽和解放率、 a ：切羽到達時の応力解放率、 b ：切羽到達時の接線勾配に関する係数、 t ：切羽からの距離(m) とする。

本解析では切羽通過後から十分に時間が経過した時点で、トンネル内空の見かけの内圧が完全に解放されるとみなし、飽和解放率 k を 1 で固定する。また a, b を解析のパラメータとする。

また、FEM 解析よりも簡易に地表面沈下量を算定する方法として弾性理論解の Jeffery の理論式を用いて沈下量を求める。

$$U = (1 + \nu^2) \frac{p}{E} \frac{4r_0(h + r_0)}{(h + r_0)^2 - r_0^2} \quad (2)$$

ここで、 U ：地表面沈下量(m)、 p ：トンネル内空に見かけ上作用する内圧、 E ：見かけの弾性係数(MPa)、 ν ：ポアソン比、 r_0 ：トンネル半径(m)、 h ：土被り厚(m) とする。

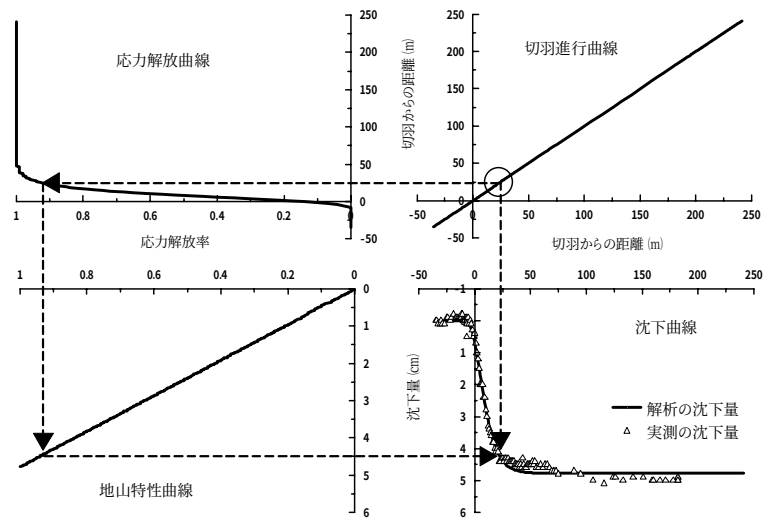


図 1 解析手順

キーワード：応力解放曲線、地山特性曲線、弾性解析、地表面沈下

〒192-0364 東京都八王子市南大沢 1-1 東京都立大学工学部 TEL 0426-77-2785 Fax 0426-77-2772

本解析では式(2)の見かけの弾性係数 E をパラメータとして解析を行う。ここでは見かけの弾性係数を支保工や加背割り、先受け工の効果も含んだ弾性係数と定義する。

以上より応力解放曲線と地山特性曲線により理論解を求め、式(1)の a, b と式(2)の E をパラメータとして非線形最小二乗法により最適な沈下曲線を求め、そのときのパラメータ値の妥当性と連続する各測点間のパラメータ値の変化の比較、検討を行う。

3. 解析結果

解析対象トンネルは上半先進ベンチカット工法が採用され、トンネル部の地質は新第三紀の軟岩ならびに盛土区間である。また、土被りはほぼ一定で約 10m となっている。以上のように解析領域は地質、工法、土被りがほぼ一定の条件とみなされる。

解析に用いる諸物性値を表 1 に示す。トンネル半径は掘削断面積を等価な円形断面に換算したときの円形トンネルの半径を用い、全断面掘削と仮定する。解析には STA4500～6500 の間の長尺先受け工法が採用されている 18 の計測地点のデータを用いた。

図 2 は STA6300 のトンネル中心線上における実測と解析の地表面沈下量と切羽距離の関係を示している。解析対象トンネルの地表面沈下曲線の特徴としてすべての測点で切羽通過前 3D 付近からほぼ一定の 1.0cm 先行沈下が生じている。本図のように先行変位が早くから生じているトンネルに対しても実測と解析の沈下曲線がよく一致していることから先受け工のあるトンネルに対しても応力解放曲線としてゴンペルツ曲線を用いることで応力解放を適切に評価できると考えられる。

次に、各測点でのパラメータ値の変化を図 3 に示す。パラメータ a は緩やかに変化し、またパラメータ b はほぼ一定の値をとっている。したがって掘削される切羽の応力解放曲線は予測できるものと考えられる。またパラメータ E/E_{max} は収束沈下量が増加すると小さくなり、減少すると大きくなるというような傾向が見られる。すなわち、地質、土被り、工法がほぼ一定であることから、パラメータの変化の自由度はあっても、見かけの弾性係数のみ変位に応じて変化し、応力解放曲線はほぼ一定となる。これらの結果から本解析手法は先受け工のあるトンネルに対しても適用可能であることが確認された。

4. 結論

本研究において以下の知見が得られた

- ① 先受け工のあるトンネルに対して、応力解放曲線は Gompertz 曲線によって評価することができる
- ② 本解析手法によって次に掘削する切羽の沈下曲線を予測することが十分に可能であることが確認された

表 1 地山の諸物性値

単位体積重量	16.5 (kN/m ³)	換算トンネル半径	5.6 (m)
ポアソン比	0.45	土被り厚	10(m)
パラメータ a (初期値)	0.3	パラメータ b (初期値)	0.8
パラメータ E (初期値)	3.0(MPa)		

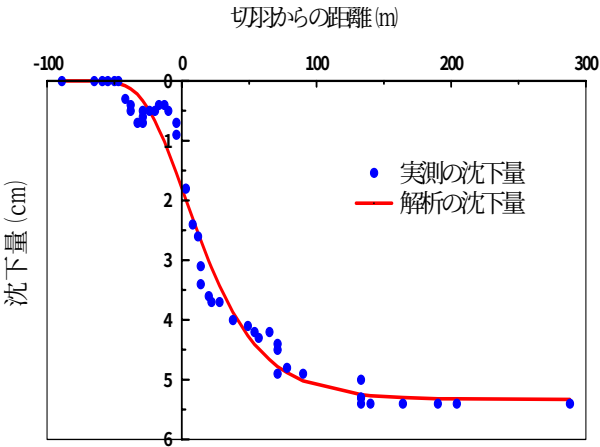


図 2 実測と解析の地表面沈下曲線

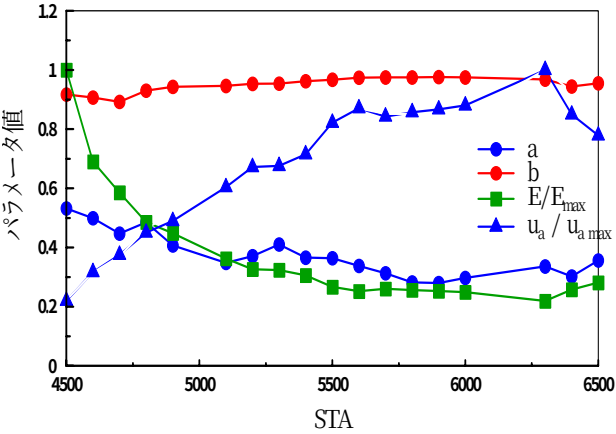


図 3 各測点におけるパラメータ値