

III-384 掘削工事中に生じる近設トンネルの断面力推定のための 計測配置に関する一方法

東京電力(株) 正会員 前川正幸
東電設計(株) 正会員 伊藤利昭
東電設計(株) 正会員○井出周治

1. はじめに

本報告は、掘削工事に伴う地中応力の減少による山留壁の変形や、掘削面下の地盤の隆起等起因して発生する近隣の既設シールドトンネルの変形に対して安全性を確保することを目的とし、工事中に計測されるトンネルの変形量から、トンネル縦断面の増分断面力を推定する方法、および本方法を適用して計測機器の配置計画を取り扱ったものである。なお、計測精度が断面力に及ぼす影響についても合わせ若干の考察を行った。

2. 解析手法

解析モデルを図-1に示す。応力解放に伴って縦断方向に変形するトンネルを、剛性一定の弾性床土のはりでモデル化し、そのはりに作用する荷重を等分布荷重として、またトンネル周辺地盤のばね定数は一定と仮定する。このモデルを用い、荷重強度 P 、荷重載荷幅 B および地盤ばね定数 k を未知数としたとき、トンネル内数カ所で計測された変形量と弾性床土のはりのたわみの理論解とが精度良く一致する未知数を、最小二乗法の概念に基づき決定させることにより、増分断面力を推定することを考えた。数値計算手法には、Gauss-Newton法^{11, 2)}を用いた。

3. 適用例

山留壁の変形にともない、その背面に近接するシールドトンネルの水平方向の変形によって生ずる増分断面力を求める。トンネル縦断方向の変位分布は、ここでは地盤の変形量と同等と仮定し、以下の手順で算定した。

1) 横断方向のFEM解析により、最終掘削時における山留壁の変形とトンネルの水平変位量 δ_s を求める(図-2a)。

2) トンネル中心位置を通る水平断面をFEMでモデル化し、開削部に掘削相当外力を載荷することにより、トンネル位置の各接点での変位量 δ_i とその最大値 δ_{imax} を求める(図-2b)。

3) δ_{imax} が δ_s と等しくなるように各節点の変位量 δ_i を式(1)で補正し、各節点の補正変位量 δ_i' をトンネルの水平変位量とする。

$$\delta_i' = \delta_i \times \delta_s / \delta_{imax} \quad (1)$$

まず、トンネル縦断方向をハーフモデルとし、境界条件を適用して理論解を求めた。節点位置 x を計測位置と見立て、 x と δ_i' を入力値として、本手法を適用した結果を図-3に示す。トンネル縦断方向の曲げ剛性は、リング間継

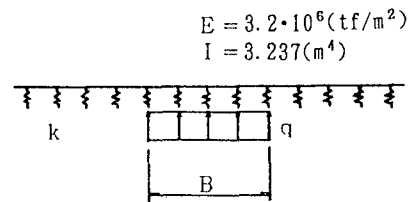
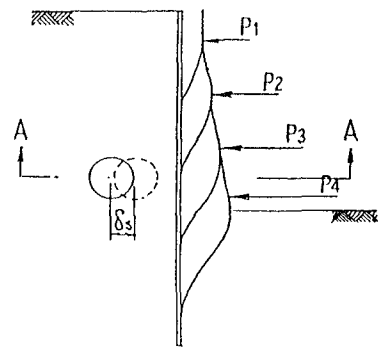
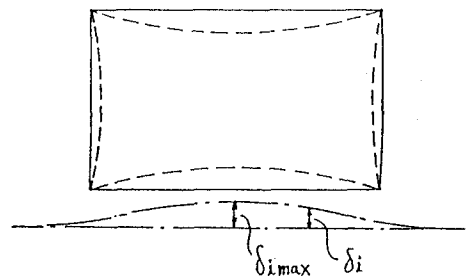


図-1 解析モデル



(a) 横断面



(b) 縦断面

図-2 トンネルの変形量

手の剛性の低下を考慮し、断面二次モーメントの有効率を30%とした。入力変位量の最小読取り値は、0.1mmとしている。同図より、適当な初期値を与えることにより、理論解とトンネルの変位分布を精度良く一致させることができるといえる。

4. 計測配置および計測精度が応力に及ぼす影響

合理的な計測を行うことを念頭に、計測配置の違いがトンネルの断面力に及ぼす影響を調べるため、表-1に示す計測配置パターンを想定した。Case1~3は140m区間を等間隔の条件のもとに間隔距離を変えたもの、Case4はCase2と計測点数を等しくして計測配置を変えた場合を比較したものである。各Caseに本手法を適用し、最大曲げモーメント M_{max} で比較した結果を表-2に示す。同表には、図-3で求めた最大曲げモーメントとの誤差も示した。Case1~3の結果を比較すると、等間隔で計測した場合には、断面力を精度良く推定するには数多くの計測を必要としていることが判る。また、Case4の結果と比較すると、計測点数に限りがある場合でも、その配置を変えればある程度精度良く断面力を推定できることが判る。これらの結果は、要求された精度を満足する最適な計測配置があることを示唆している。

次に、計測精度が断面力に及ぼす影響を調べるため、表-3に示すようにCase4と同じ計測配置で、最小読取り値を変えたケースを想定した。入力変位量は、図-3の計算結果で得られたトンネルの変位量を順次四捨五入して設定した。本手法を適用した結果を表-4に示すが、ある程度以上計測精度を向上させても、推定断面力の精度の向上は期待できない。最小読取り値を0.1mmとすれば十分な精度で断面力を推定できるといえる。

5. おわりに

本報告では、解析上ではあるが、計測変位を用いてトンネルの断面力を簡単に逆解析できることを示した。ここで述べた方法は、実際のトンネルでの計測結果との照合という課題は残しているが、トンネルの変形量は比較的精度良く計測でき、簡単な計算で断面力を推定できることから、計測管理の面で有用であると考えている。

(参考文献)

- 1) 中川 徹・小柳義夫：最小二乗法による実験データ解析プログラムSALS, U P 応用数学選書7, 東京大学出版会, 1982年。
- 2) 松井邦人・井上武美・三瓶辰之：舗装各層の弾性係数を表面たわみから推定する一手法, 土木学会論文集, 第420号, pp. 107~114, 1990年8月。

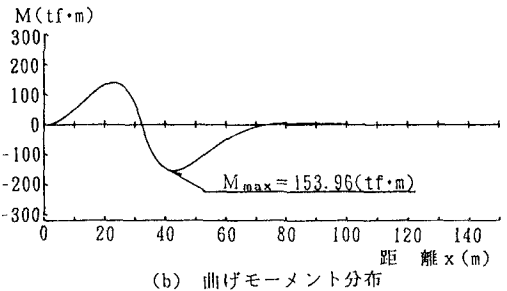
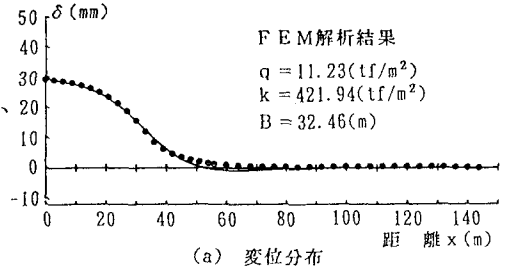


図-3 断面力算定結果

表-1 計測配置の違いによる検討ケース

	計測配置パターン
Case1	約 5 m 間隔、計測点数 $m = 20$
Case2	約 10 m 間隔、計測点数 $m = 10$
Case3	約 20 m 間隔、計測点数 $m = 5$
Case4	計測位置 x (m) = 0, 5.10, 20.30, 35.44, 51.71, 91

表-2 解析結果(1)

	M_{max} (tf·m)	発生位置 x (m)	誤差 e (%)
Case1	157.39	43	2.2
Case2	166.34	42	8.0
Case3	138.79	45	9.9
Case4	156.74	43	1.8

表-3 計測精度の違いによる検討ケース

	計測精度
Case5	最小読取り値 0.001(mm)
Case6	最小読取り値 0.01(mm)
Case7	最小読取り値 0.1(mm)
Case8	最小読取り値 1(mm)

表-4 解析結果(2)

	M_{max} (tf·m)	発生位置 x (m)	誤差 e (%)
Case5	153.96	43	0.00
Case6	153.90	43	0.03
Case7	153.94	43	0.01
Case8	149.58	44	2.84