

VI-125 導水路トンネルに作用する外力の推定に関する一考察

北海道電力 正員 志水義彦 北海道電力 正員 西村哲治
 室蘭工業大学 正員 岸 徳光 北海道電力 正員 坂本 容

1. はじめに

電力施設構造物において、送電鉄塔、水圧鉄管、ゲート等外観を点検できる施設の場合は、変形や劣化の状況がある程度目視により把握することが可能であり、その維持管理も比較的容易であるものと考えられる。一方、トンネルやダム構造物のような場合には、施工管理の難しさや、施工後の地山の状態、基礎地盤の点検の困難さ等からその管理も一層難しいものとなっている。導水路トンネルの場合には、アーチ作用が期待できることから無筋コンクリート構造が多く、コンクリートのひび割れは構造的に好ましいものでなく、材料の劣化あるいは損傷の程度と共に、その原因となる作用荷重を評価し、適切な補修、補強をすることが必要である。

ここでは、これら導水路トンネルの効率的な劣化診断手法を確立するための基礎資料を得ることを目的として、覆工コンクリートの表面応力を用いて作用外力を推定する方法を数値シミュレーション的に検討した。

2. 解析方法

導水路トンネルは、総延長が数十kmにもおよぶ細長い構造物であるため、その軸方向の挙動も無視できないものと考えられるが、ここでは平面歪状態と仮定し、2次元有限要素法を用いて解析している。また、有限個の覆工コンクリート表面応力を用いて、覆工コンクリートの各要素に作用する地山圧力をそれぞれ推定することは精度的に不可能と考えられる。ここでは、地山圧力の概略的な分布状態を把握することを第一の目的と考え、覆工コンクリートを大まかに8分割し、各ブロックに作用する平均圧力を求める形で評価することとした。

さらに、覆工コンクリート表面の応力値に関しては、手法の妥当性を検討するために実測データを用いず、設定地圧分布に対する有限要素解析結果を用いることとした。数値シミュレーションにおいては、その解析値を設定有効桁に丸めて用い、設定有効桁数と推定値の精度を比較し、適用性の検討を行っている。なお、本検討では、アイソパラメトリック四辺形要素を採用した。

(1) 最小自乗法による地山圧力の推定

実測データに相当する応力ベクトルを $\{\sigma_o\}$ 、推定された実測点位置における応力ベクトルを $\{\sigma\}$ とすると、両者の残差ベクトル $\{\delta\}$ は

$$\{\delta\} = \{\sigma_o\} - \{\sigma\} \quad (1)$$

各ブロックに単位地山圧力を載荷した場合の実測点位置の応力ベクトルから構成されるマトリックスを $[V]$ 、各ブロックの想定荷重ベクトルを $\{q\}$ とおくと、 $\{\sigma\}$ は次式のように示される。

$$\{\sigma\} = [V] \{q\} \quad (2)$$

式(2)を式(1)に代入し、残差ベクトル $\{\delta\}$ に最小自乗法を適用すると最終的に $\{q\}$ は、

$$\{q\} = [[V]^T [V]]^{-1} [V]^T \{\sigma_o\} \quad (3)$$

として求まる。

なお、本解析で用いた覆工コンクリートの表面応力は、実測により比較的容易に求めることのできる周方向応力（最大あるいは最小主応力）である。

(2) 数値解析

数値シミュレーションは既設トンネルの一断面(3r馬蹄形、 $r=1.0\text{m}$)を採用した。図-1に解析用断面の概略図を示す。寸法は、内空の高さ・幅が 2.0m であり、コンクリート厚さは側壁部・アーチ部が 40cm 、数部が 30cm である。解析は、地山をコンクリート厚さの約3倍まで考慮し、地山底部を固定としている。有限要

素解析における分割の程度は、総節点数が1320、総要素数が1200（周方向要素数120、半径方向要素数10）である。

実測データに対応する応力値の有効桁数と測点数を変化させた場合の荷重推定値の変動について、様々な設定地山圧力を想定し、検討を行った。以下にシミュレーション結果の1例を示す。

図-2は設定した地山圧力分布を示しており、ブロック1～7に変動圧力が作用するものとした。また、図-3はブロックの基本地山圧力分布である。表-1はこのシミュレーション結果を総括したものである。推定値（＝設定地山圧力／基本地山圧力）の検討は、応力値の有効桁数を1, 2, 3桁、測点数を6, 10, 30, 60, 120点と変化させて行った。検証のため、推定値の理論解と有効桁全桁、測点数120点による解析結果も併せてまとめている。なお、測点は機械的に等要素間隔で選んでいる。これより有効桁数2桁、測点数10点程度ではほぼ設定圧力を推定できるものと思われる。

その他の設定地山圧力に対する検討結果からも上記と同様の結果が得られていることから、有効桁数2桁、測点数10点程度ではほぼ設定圧力を推定できることが分かった。

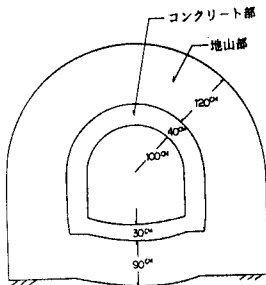


図-1 断面概略図

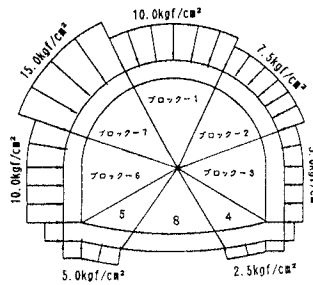


図-2 設定地山圧力分布図

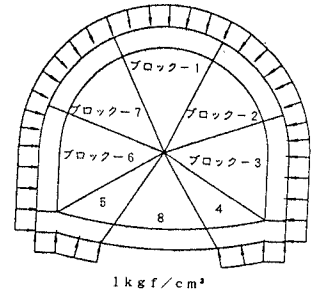


図-3 基本地山圧力分布図

表-1 シミュレーション結果例

項 目		γ _γ -1	γ _γ -2	γ _γ -3	γ _γ -4	γ _γ -5	γ _γ -6	γ _γ -7	
条件	設定地山圧力 (kgf/cm ²)	10.0	7.5	5.0	2.5	5.0	10.0	15.0	
	基本地山圧力 (kgf/cm ²)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
推 定 値	推定値の理論解		10.0	7.5	5.0	2.5	5.0	10.0	15.0
	有効桁全桁	測点 120	9.975	7.490	5.004	2.539	5.053	10.004	14.986
	有効桁1桁	測点 6	9.919	17.236	-5.560	128.18	-51.264	5.629	13.552
		〃 10	9.830	7.687	4.791	0.872	7.988	9.127	15.570
		〃 30	9.657	7.599	4.549	9.693	1.911	9.288	14.719
		〃 60	9.405	7.191	4.590	9.485	0.903	8.720	14.391
		〃 120	9.870	7.349	4.890	7.524	-2.201	9.911	14.503
	有効桁2桁	測点 6	8.693	15.356	-4.302	138.40	-70.285	13.009	8.185
		〃 10	9.822	7.567	4.888	4.028	4.110	9.705	14.971
		〃 30	9.879	7.557	4.907	4.400	3.083	9.818	14.985
		〃 60	9.904	7.529	4.912	4.237	3.563	9.787	14.967
		〃 120	9.952	7.481	4.974	3.669	4.006	9.828	14.076
	有効桁3桁	測点 6	8.750	15.522	-4.411	135.45	-65.524	11.244	9.449
		〃 10	10.016	7.508	5.016	2.273	5.125	10.064	15.005
		〃 30	9.997	7.487	5.004	2.242	5.403	10.023	14.982
		〃 60	9.991	7.487	4.996	2.426	5.218	10.013	14.972
		〃 120	10.000	7.488	5.006	2.475	5.087	10.019	14.983

3. まとめ

$$\text{推定値} = \frac{\text{設定地山圧力}}{\text{ブロックの基本地山圧力}}$$

導水路トンネルの劣化診断手法を確立するための基礎資料を得ることを目的として、覆工コンクリート表面の最大あるいは最小主応力を用いて地山圧力の作用分布を推定する方法について数値解析的に検討した。

本検討の結果、測点10点以上、有効桁数2桁程度の精度で応力の測定が可能であれば、概略的な地山分布を推定することが可能であるものと考えられる。今後は、覆工コンクリート表面応力の測定法や実測された地山の応力状態との整合性などの検討を加え、本手法の精度向上を図っていく予定である。