

簡易な応力解放法による (63) ライニングコンクリートの応力測定結果について

応用地質株式会社 ○ 横山 幸也
 " 莊司 泰敏
 " 田中 達吉

Measurement of Stress in a Concrete Lining by a Simplified Stress-Relief Technique

Tatsuya Yokoyama, OYO Corporation
Yasunori Shoji, "
Tatsukichi Tanaka, "

Abstract

One Technique of evaluating the soundness of a previously constructed tunnel is the measurement of stress in the concrete lining. The authors used two techniques for measuring strain when stress in the plane of the concrete surface or in the wall of a borehole drilled in the concrete lining is relieved.

The fact that the results from both measurement technique agreed well indicates that the simplified stress-relief technique used make it possible to determine the state of stress in the concrete lining. In addition, the stability of the measured values was confirmed when the results of stress measurements by the AE method agreed with the other measurement.

1. はじめに

筆者らは既設トンネルの健全度評価の一手法として、比較的手軽に行うことのできるライニングコンクリートの応力測定を実施した。測定方法は、ライニングコンクリートの表面を応力解放したときのひずみを測定する方法（以下『壁面ひずみ法』と称す）と、ライニングコンクリートにボアホールを削孔した後、このボアホールの孔壁を応力解放したときのひずみを測定する方法（以下『孔壁ひずみ法』と称す）を用いた。

ここでは、それぞれの測定が比較的精度よく行えたこと、また両者の測定結果がよく一致したことから、これらの両測定方法がライニングコンクリートの応力状態を把握するために有効であることが明らかになった。また、これらの測定値と別途行ったAE法による応力の測定値ともよく一致したことも併せて紹介する。

2. 測定位置

調査対象は、総延長が約1.5km最大土被りが約300mの水路トンネルである。周辺地山の地質は新第三紀の安山岩が主体を成す。トンネル形状は、在来工法による直径2mの馬蹄形断面でありインバートを有す。覆工厚は40cmである（図-1）。測定位置を図-1に示す。壁面ひずみ法はNo.1、No.2の2断面、孔壁ひずみ法はNo.1の1断面である。各断面位置直上の土被りはNo.1で44m、No.2で137mである。周辺地山の岩盤状況については、別途実施されたボーリング調査により、No.1断面では脆弱な砂質凝灰岩、No.2断面では硬質な安山岩が確認されている。測定断面付近でのコンクリートの変状は殆ど認められず、閉じたクラックが、No.1

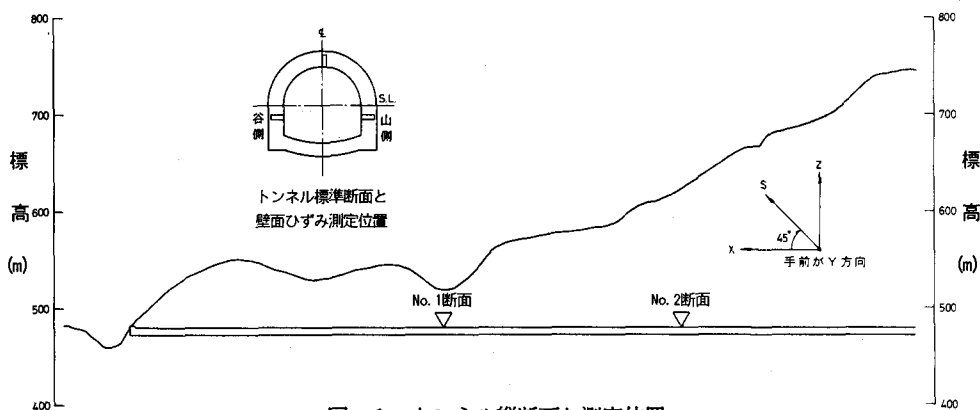


図-1 トンネル縦断面と測定位置

断面付近に数条みられる程度である。なお、応力解析に使用する基準座標系は図-2に示すように、トンネル軸をX軸（坑口側が正）、トンネル横断方向をY軸（坑奥に向って右側が正）鉛直方向をZ軸（上向きが正）とした。

3. 測定方法

3.1 壁面ひずみ法

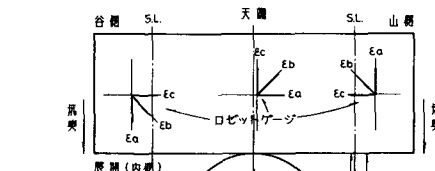
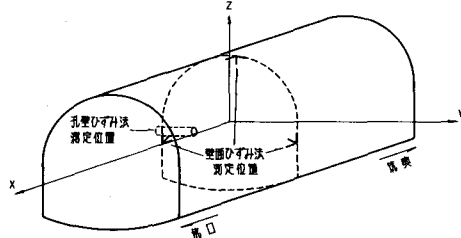
ひずみゲージの貼付け位置を図-2 (a), (b) に示す。ゲージの接着法は次のとおりである。研磨した壁面を強制乾燥した後エポキシ樹脂を薄く塗布し、硬化後にシアノアクリレート系接着剤でゲージを接着した。またゲージの防水処理のためシリコンゴムを塗布した。養生後静ひずみ計により初期値を読み取り、ひずみ値の安定していることを確認した。次に、内径100mmのコアドリルを用いて深さ20cmまで掘進し、ゲージの値を読みとり、応力解放によるひずみ変化量（以下『解放ひずみ』と称す）を求めた。その後さらに掘進して約40cmのコアを回収し、そのときのひずみ値を読みとり、解放ひずみの安定していることを確認した。

今回は、各ゲージの感度を求めるため、現地で回収されたコア（ゲージが貼られた状態のコア）を用いて感度試験を行った。壁面での応力解析は感度係数を考慮し弾性論により求めた。このときのポアソン比は0.25とした。

3.2 孔壁ひずみ法

測定箇所はNo.1断面の側壁部で、壁面ひずみ法との位置関係を図-2 (a) に示す。まず外径65mmのパイロット孔を約40cm削孔した。次にボアホールの孔口から10cmの深度で、図-2 (c) 示すようにで互いに120°間隔に3枚のロゼットゲージを孔壁に接着した。ゲージの接着方法は、壁面ひずみ法と同様に行った。養生後各ゲージの初

(a) 水路トンネルと基準座標系



(b) 壁面ひずみ法

(c) 孔壁ひずみ法

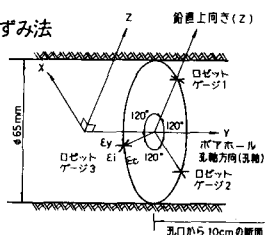


図-2 壁面ひずみ法及び孔壁ひずみ法における基準座標系とゲージの貼付け位置

期値を読み取り、パイロット孔と同心円状に内径100mm のオーバーコアリングを行った。コアリングの深度30cmで解放ひずみと、コア回収後の値を読み取り、解放ひずみの安定していることを確認した。

応力解析の方法は岡ら¹⁾による方法を用いた。図-2(c)に示したような基準座標系において、ボアホールの孔壁での解放ひずみの成分を $\{\varepsilon_i\}$ とすると、観測方程式は以下になる。

$$\{\varepsilon_i\} = [B] \{\sigma^*\} \dots \dots \dots (1)$$

但し、 $[B]$ は係数マトリックス、 $\{\sigma^*\}$ は $[\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{zx}]^T$ で6応力成分を表わす。今回は、先に述べた壁面ひずみ法と同様に室内での感度試験を行い、観測方程式は9個であるため最小自乗法を用いて6応力成分を求めた。

4. 解析結果

壁面ひずみ法で得られた解放ひずみを表-1に、解析結果を図-3に示す。No.1断面でのライニングコンクリートの応力状態は、トンネル軸方向に50kgf/cm²程度の最大圧縮応力で、トンネル周方向は20kgf/cm²程度の圧縮応力状態である。No.2断面では、谷側、天端、山側、それぞれの応力状態に違いがみられるが、トンネル軸方向の値(σ_x)は35kgf/cm²程度のほぼ同等の値となっている。孔壁ひずみ法で得られた解放ひずみを表-2に、解析結果を図-4に示す。同図では応力状態を3次元的に表現し、さらに3つの平面(X-Y平面、Y-Z平面、Z-X平面)での2次元応力分布図も示した。最大圧縮方向はトンネルの軸方向で、その値は約56.3kgf/cm²である。

表-1 壁面ひずみ法測定結果

測定位置	解放ひずみ(×10 ⁻⁶)								
	谷側			天側			山側		
	ε_a	ε_b	ε_c	ε_a	ε_b	ε_c	ε_a	ε_b	ε_c
No.1断面	111	65	57	40	116	138	129	150	47
No.2断面	100	88	68	137	114	65	94	80	11

表-2 孔壁ひずみ法測定結果

測定位置	解放ひずみ(×10 ⁻⁶)								
	$\theta=0^\circ$ (上)			$\theta=120^\circ$ (右下)			$\theta=240^\circ$ (左下)		
	ε_t	ε_y	ε_z	ε_t	ε_y	ε_z	ε_t	ε_y	ε_z
No.1断面	363	11	311	99	20	-61	160	18	30

今回得られた測定結果は、ライニングコンクリートを含むトンネル近傍が一様な応力状態であると仮定できるならば、以下の理由により両測定法とも妥当であったものと考えられる。弾性論によると円孔まわりがある一様な応力状態であるとき、孔壁の軸方向応力は円孔の周方向の位置の変化によらず一定であることが知られている。今回、壁面ひずみ法で得られたトンネル軸方向の解放ひずみは、No.1、No.2それぞれの断面上ではほぼ等しい値となっている。また、孔壁ひずみ法で得られた孔軸方向の解放ひずみも同様にほぼ等しい値を示し、応力解析で得られた6応力成分の標準偏差も σ_x 、 σ_y 、 σ_z に関しては10%以下となっている。

次に、No.1断面での壁面ひずみ法と孔壁ひずみ法との解析結果を比較するために、壁面ひずみ法で得られた解放ひずみのデータを用いて3次元での応力解析を試みた。この方法はトンネルの形状を円形断面と見なし、トンネル壁面を孔壁に置き換えて解析するものである。解析結果を図-5に示す。図-4と図-5を比較すると、応力の大きさにやや差があるものの3次元的な応力状態は良く一致している。

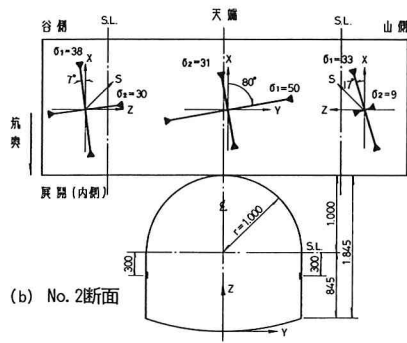
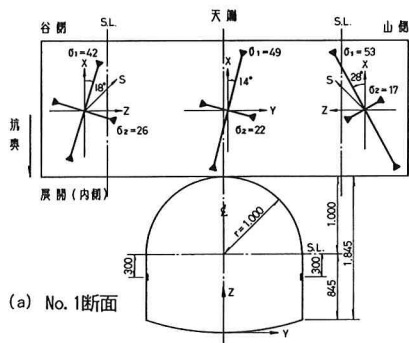


図-3 壁面ひずみ法解析結果

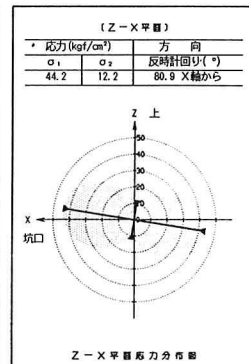
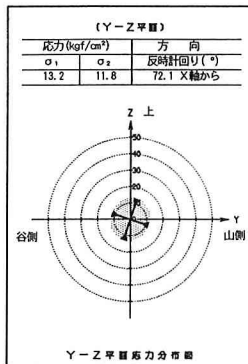
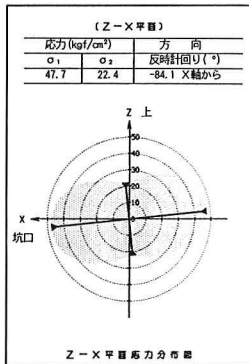
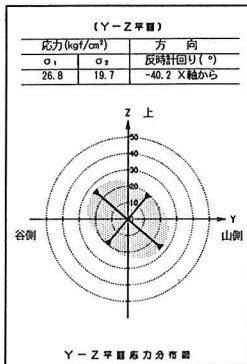
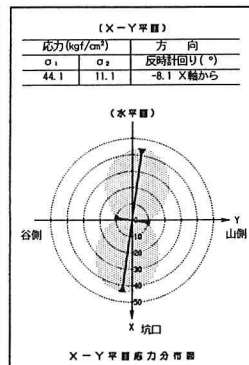
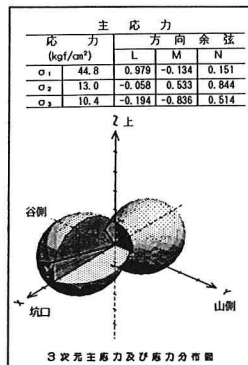
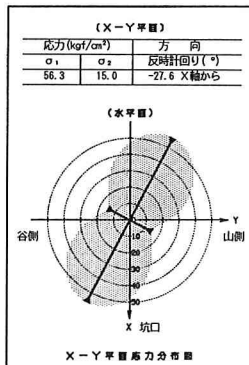
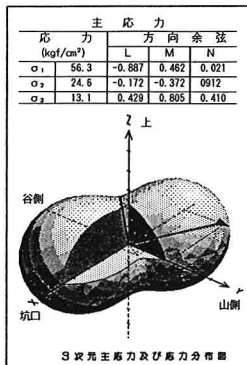


図-4 孔壁ひずみ法解析結果

図-5 壁面ひずみのデータを用いた
孔壁ひずみ法解析結果

5. AE法との比較

回収したコアを利用して、AE法²⁾による応力測定も実施した。AEの測定結果例を図-6に、測定結果を表-3に示す。今回は、AE法が適用可能かどうかのチェックとして行ったため、1方向につき1ないし2供試体の測定であった。得られたデータは、AEの発生率の急増点が比較的明瞭であった。また、壁面ひずみ法の結果と比較すると、両者の測定結果は良く対応していると思われる。

このように、測定原理の異なる応力解放法とAE法両者の結果に良い一致がみられたことで、今回行った簡易な応力解放法の有効性及びAE法の適用の可能性が示唆されたものと考えている。

表-3 壁面ひずみ法とAE法による応力値の比較

測定位置		壁面ひずみ法(kgf/cm ²)			A E 法(kgf/cm ²)		
		σ_x	σ_z	σ_s	σ_x	σ_z	σ_s
No. 1	谷側	40	27	38	35	27	
	天端	47	24				
	山側	45	25	50	57	28	
No. 2	谷側	37	30	33	42	23	
	天端	32	49		33		
	山側	31	11	28	29	31	32

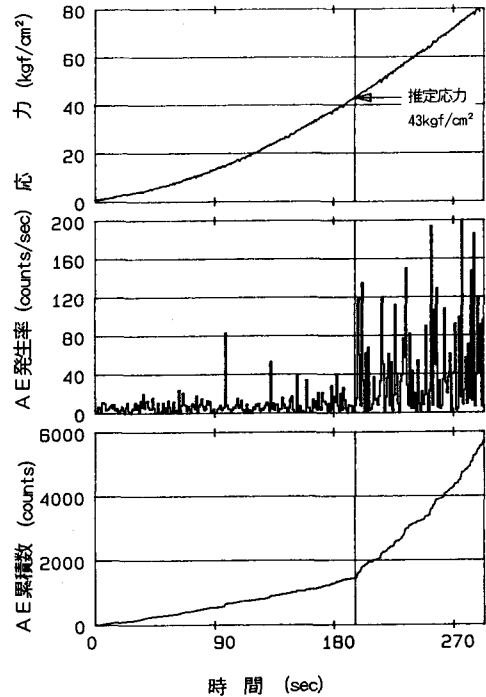


図-6 AE測定結果例

6. おわりに

既設トンネルの健全度評価の一手法として、簡易的な応力解放法によるライニングコンクリートの応力測定を実施した。今回の測定は、ライニングコンクリート自体の劣化も少く緻密で良質な材料であったという良好な条件下で行なわれたこともあり、比較的信頼性の高いものと考えている。また、原位置での作業工程あるいは測定に要する費用の面で有利な方法と思われる。

しかし、現在その健全度を評価する必要のあるトンネルは、ライニングコンクリートの材料特性も様々で、今回対象としたライニングコンクリートよりも応力測定のための条件が悪いものも多くあるものと考えられる。したがって、今回紹介したような簡易的な応力解放法を様々なトンネルに適用していくためには、多様な条件下での現場実験が必要である。また測定法の改良点としては、①コンクリートの不均質性を考慮した30mm長程度の防水ゲージの試作(今回は5mm長のゲージを使用した。)、②原位置で実施可能な感度試験の方法の確立、等が挙げられる。

[参考文献]

- 岡 行俊, 平松良雄「ひずみまたは変形測定値からの岩盤内応力の決定」日本鉱業会誌, 84巻, 957号 昭和43年 1月
- 金川忠, 北原義浩, 林正夫「岩石のAEカイザー効果を利用した地圧測定法」電力中央研究所報告 研究報告: 381004, 昭和56年 7月