

## セントル変形量予測に向けた側圧による回帰分析

戸田建設株式会社 正会員 ○永吉真也  
 戸田建設株式会社 正会員 三宅拓也  
 戸田建設株式会社 正会員 山本純一  
 戸田建設株式会社 正会員 辻川泰人

## 1. はじめに

山岳トンネルにおける覆工コンクリート打設の自動化に向けた課題の一つは、セントル各部分の変位量をリアルタイムで把握することである。本稿は、福島県博士トンネル工事で覆工コンクリート打設中の圧力値を計測し、変位量と回帰分析を実施した事例の報告である。

## 2. 圧力値

圧力値取得のために、圧力センサをセントルに55個(5断面×11個)設置し、打設開始から終了まで毎秒圧力を記録した。本稿では、変位量測定位置に近いセントラップ側断面のセンサの取得値を用いた検討を実施する。

各センサの位置を示す通し番号として、高さ別に下からH1～H6と番号を振った。また末尾には、ラップ側からセントルを見た場合の左右を基準に、左半にL、右半にR、天端の場合Cと記号を振った。取得値は1秒単位のデータであるが、後述する変位量の取得間隔を考慮して、分単位で平均値をとることで分単位のデータへと加工した。

全体的な傾向として、打設中に圧力が間欠的に上昇する様子が確認できる。特に大きな圧力上昇が見られるタイミングが存在するが、センサ位置までコンクリートが充填された時点と、打設完了時に妻板を設置した時点であると考えられる。圧力値が最大値を示すのは、上述した上昇時およびその後が多く、概ね20~40kPaの範囲に収まる(図1)。

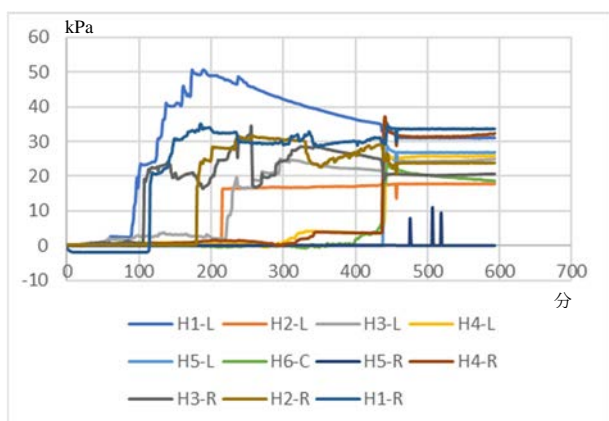


図1 圧力値計測例 86BL

## 3. 変位量

セントラップ側に設置したプリズム5箇所(P1~P5)を、打設中に複数回計測し記録した(図2)。変位量の測定間隔は概ね10~15分程度であり、解析のため線形補間により1分間隔のデータとした。変位量は、進行方向変位量(進行方向が正)・断面方向変位量(右方向が正)・鉛直方向変位量(上方向が正)の3成分に分解した。各方向の最大変位量は±15mm程度である。

観測された変位は、ほぼ全て内空方向への変形であり、時間とともに変位量が増大する傾向にある。天端の鉛直方向変位量以外では、ある時点で急激に変位が増大し、その後は比較的安定した動きを示すケースと、時系列全体としては増大する傾向が見られるものの、ノイズが卓越し、急激な増大が見られないケースに二分される。天端の鉛直方向変位量では、一度浮き上がったのちに沈下する傾向が見られる。これは、セントル下部に打設される段階では、側圧の作用によりセントルが縦長に変形し、さらに打設高さが上昇する段階では、コンクリートの荷重により沈み込みが生じるためと考えられる。

本稿では、86~89BLのSL(P4,P5)、肩部(P2,P3)の断面方向変位量、肩部、天端(P1)の鉛直方向変位量について、圧力値との検討を実施した。ただし、異常値が連続した87BLのP2については解析を実施しなかった。

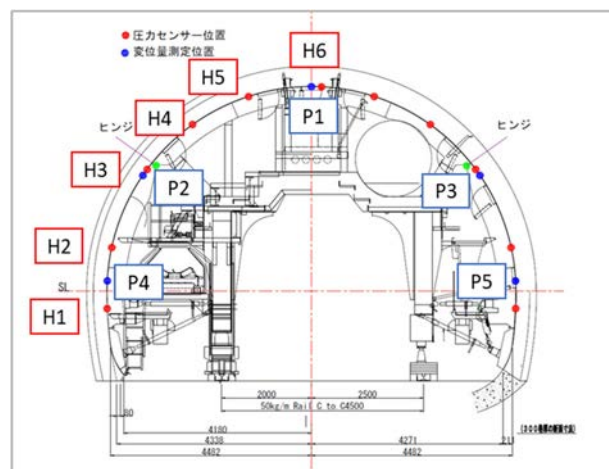


図2 圧力値・変位量測定位置

キーワード 覆工コンクリート, セントル, 型枠圧力, 変形量, 回帰分析

連絡先 戸田建設(株)東北支店 〒980-0811 宮城県仙台市青葉区一番町 2-3-22 TEL 022-222-1368

4. 解析モデル

任意の測定位置の変位量は、ある箇所の圧力が増加すると、比例して速やかに増大すると仮定して、回帰分析を行う。例として、任意の測定位置の変位量を、任意の圧力センサ2個の圧力値で説明する場合、回帰モデルは式(1)になる。モデルの評価は、自由度調整済み決定係数  $R^2$  によった。

$$y_t = \beta_0 + \beta_1 x_{1t} + \beta_2 x_{2t} + \varepsilon_t \quad (1)$$

$y_t$ :時刻 t における任意の測定位置の変位量(mm)

$x_{1t}$ :時刻 t におけるセンサ 1 の圧力値(kPa)

$x_{2t}$ :時刻 t におけるセンサ 2 の圧力値(kPa)

$\beta_0$ :切片項  $\beta_m$ :回帰係数(m=1,2)  $\varepsilon_t$ :誤差項

5. 解析結果

変位量は位置的に近い箇所の圧力値によって説明されるという、直感的な仮定に基づき、変位量測定箇所に近い圧力センサの圧力値と変位量で回帰分析を実施した。すなわち、天端では H6、肩部では H3 のセンサを使用した。SL に関しては、変位量測定位置とセンサの位置が上下ともに 0.7m 程度離れていたため、2ヶ所(H1, H2)の圧力値を説明変数として用いた。

回帰係数、決定係数の一覧を表 1、表 2 に示す。説明変数項の数が異なる SL については、他の結果と同列に評価できないことに注意が必要であるが、決定係数が 0.7 前後を上回るグループと、0.3 前後を下回るグループに大別される傾向にあった。前者のグループは、変位量が急激な増大を示したグループである傾向があった。

表 1 回帰係数一覧(断面方向)

		H1		H2		切片		$R^2$
		回帰係数	標準誤差	回帰係数	標準誤差	回帰係数	標準誤差	
P4	86BL	0.397	0.013	0.101	0.020	-10.225	0.483	0.7531
	87BL	0.113	0.016	1459.000	525.600	9.533	0.433	0.1202
	88BL	0.069	0.002	-71.779	49.189	-0.207	0.070	0.6434
	89BL	0.098	0.007	56.260	81.700	1.603	0.187	0.3367
P5	86BL	-0.076	0.017	-0.030	0.016	0.885	0.347	0.1389
	87BL	-0.427	0.019	-0.018	0.022	5.337	0.263	0.7172
	88BL	-0.103	0.006	-0.159	0.007	5.689	0.108	0.8553
	89BL	-0.003	0.010	-0.207	0.011	-1.566	0.164	0.6242

		H3		切片		$R^2$
		回帰係数	標準誤差	回帰係数	標準誤差	
P2	86BL	0.303	0.028	0.578	0.438	0.2578
	87BL	-	-	-	-	-
	88BL	0.071	0.005	0.193	0.072	0.3118
	89BL	0.037	0.007	1.789	0.086	0.0575
P3	86BL	-0.033	0.011	-0.069	0.258	0.0190
	87BL	-0.135	0.012	0.467	0.196	0.2317
	88BL	-0.128	0.005	-0.856	0.079	0.6113
	89BL	-0.124	0.005	-0.038	0.070	0.5677

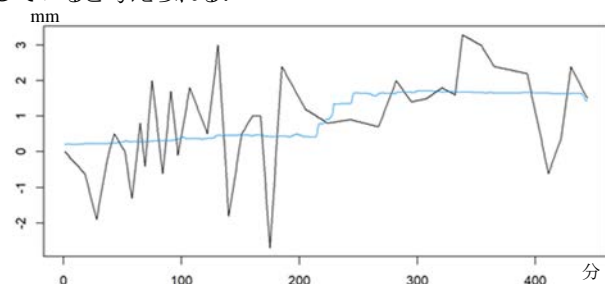
表 2 回帰係数一覧(鉛直方向)

		H3		切片		$R^2$
		回帰係数	標準誤差	回帰係数	標準誤差	
P2	86BL	-0.118	0.006	-0.289	0.100	0.5054
	87BL	-	-	-	-	-
	88BL	-0.080	0.005	1.418	0.072	0.3685
	89BL	-0.146	0.005	-0.278	0.059	0.6770
P3	86BL	-0.006	0.008	1.010	0.178	-0.0010
	87BL	-0.145	0.003	-0.502	0.050	0.8415
	88BL	-0.237	0.005	0.870	0.075	0.8543
	89BL	-0.205	0.004	0.722	0.057	0.8427

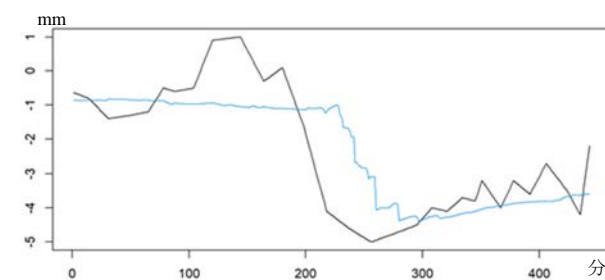
		H6		切片		$R^2$
		回帰係数	標準誤差	回帰係数	標準誤差	
P1	86BL	0.016	0.040	2.707	0.148	-0.0021
	87BL	-0.715	0.106	-2.558	0.093	0.0998
	88BL	-1.165	0.053	1.568	0.060	0.5272
	89BL	-0.175	0.012	1.931	0.035	0.3244

回帰分析により得られた回帰係数を、センサの圧力値に乘じることで変位量予測値が得られる。

88BL の P2, P3 の断面方向変位量予測値について、変位量実測値とあわせてそれぞれ青色、黒色でプロットすると図 3 になる。P2 は決定係数が比較的に低いケース、P3 は比較的に高いケースである。単回帰分析であり、最寄りの圧力値が予測値に 1 対 1 で反映されていることを考慮すると、P3 では圧力の上昇と近いタイミングで大きな変位が発生していると考えられる。



	回帰係数	標準誤差	t値	p値
(切片)	0.193	0.072	2.69	0.00746
H3-L	0.071	0.005	14.20	<2e-16
			$R^2=$	0.3118



	回帰係数	標準誤差	t値	p値
(切片)	-0.856	0.079	-10.87	<2e-16
H3-R	-0.128	0.005	-26.39	<2e-16
			$R^2=$	0.6113

図 3 88BLP2,P3 解析結果

6. 考察

セントルの覆工コンクリート打設の自動化に向けた変位量把握の取り組みとして、圧力値と変位量の相関関係について分析を行った。

変位量に急激な増大が見られるケースにおいて、圧力値との間に高い相関性がみられた。このため、圧力値は変位量の推定への活用が期待できる。一方で、圧力値に急激な増大が見られないケースには相関関係が見受けられなかった。以上の理由としては、測定箇所により圧力以外の要因が大きい可能性、あるいは変位量の計測誤差が本来の変位と比較して大きい可能性があるが、現在の手法・データから絞り込むことは難しいため、今後の課題とする。