

III-15

土圧式シールドにおける切羽安定制御データの重回帰分析

佐藤工業（株） 正会員 ○森本 藤雄
佐藤工業（株） 正会員 志村 和伸
東洋工業（株） 金山 吉祐

1. はじめに

土圧式シールド工法における切羽安定制御の基本は、掘削土量と排出土量をバランスさせることにより、カッターチャンバーおよびスクリーコンベア内に塑性流動化した掘削土を充填し、切羽の土圧・水压を保持することである。シールド工事は大深度化・大断面化が進むと同時に、重要構造物に近接して施工する事例が増加しており、切羽の安定管理に対する要求は、より高度で厳しいものとなっている。

この様な状況のもとに、シールド工事の自動化・無人化の一環として、土圧式シールドの切羽安定管理の自動化に着手している。本文は、自動化に向けて実掘進データを解析し、切羽安定制御の実状を分析した結果について報告するものである。

2. 実掘進データ分析の概要

2-1. データ分析手法の検討

土圧式シールド工法における切羽安定制御の現状は、排出土量をリアルタイムかつ高精度に計測することが困難であったため、カッターチャンバー内の土圧制御を主体に行われてきた。具体的には、スクリーコンベアの回転速度の調整、スクリーコンベア排土口のゲート開口度の調整、シールド推進速度の調整、あるいはスクリーコンベア排土口に設置したポンプ類の突出量の調整などによって、土圧制御が行われている。このため、刻々と変化する地盤条件等に対応して、最適な切羽安定状態を維持するためには、経験豊富な技術者の判断が不可欠であった。

実掘進データの解析に当たっては、これら種々の操作が、土圧制御にどの程度寄与しているかを分析する必要があり、重回帰分析を用いることとした。

2-2. 解析対象工事の選定

解析対象工事は東京都内で施工されたシールド工事である。当工事の工事概要を表-1に示す。この工事の掘進路線は、地下鉄・JR橋脚基礎杭・首都高速道路駐車場などの重要構造物に近接しており（図-1参照）、掘進管理に細心の注意を払って施工を行ったものである。そのため、切羽安定管理の実状解析を行うには最適な対象工事と判断した。

2-3. 目的変数と説明変数の選定

重回帰分析を行う際には、目的変数と説明変数を設定することが必要である。目的変数には土圧式シールドにおける代表的な切羽安定の管理対象である切羽土圧を選定した。次に、説明変数には施工経験から切羽土圧に影響を与え得ると考えられている制御因子を抽出した。その一例として、掘進速度・スクリーコンベア回転数・ロータリーポンプ回転数・カッタートルク等を選定した。

表-1 工事概要

工 法	泥土圧式
シールド外径	3,680mm
シールド延長	1,083m
主要土質	洪積粘性土 洪積砂質土
N 値	13～50
最大隣径	70mm

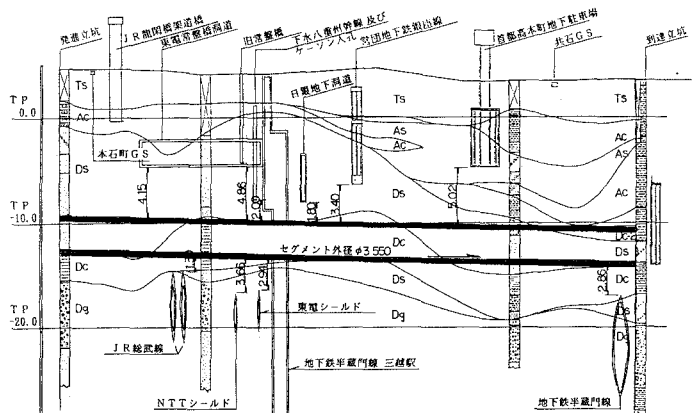


図-1 シールド掘進路線縦断面図

3. 重回帰分析の解析結果

本重回帰分析では、切羽に現れる主要土質を洪積世の砂質土・シルト・砂混りシルト・礫混り砂に分類し、各々の土質区間について重回帰分析を行った。

3-1. 砂質土層区間における解析結果

表-2は砂質土層における重回帰分析の相関行列と、目的変数・説明変数の標準偏差値と平均を示している。目的変数は切羽土圧で、説明変数は図中に示す通りである。表-3に重回帰分析表を示す。分析の結果、第3・第4・第5段階の検定で、この対象土質区間では主として切羽土圧をスクリュコンベアで制御し、付随的にロータリーポンプでも制御を行っていたことが判明した。

3-2. シルト層区間における解析結果

表-4はシルト層における重回帰分析の相関行列と、目的変数・説明変数の標準偏差値と平均を示しており、表-5はこの重回帰分析表である。第3から第5段階までのT-検定を行った結果、このシルト区間では先の砂質土区間とは異なり、主として切羽土圧をロータリーポンプで制御し、スクリュコンベアは付随的な制御手段として用いていたことが判明した。

3-3. 分析結果の考察

本節では、砂質土層・シルト層における解析結果のみを紹介したが、他の土質区間でも様々な切羽の制御方法が用いられていた。本解析の結果、逐次変化する土質条件に対して、技術者の経験に基づく判断により、切羽の安定を保持していることが判明した。特に土圧式シールドではスクリュコンベアが切羽安定制御の中心的機構と考えられてきたが、シルト層や滞水砂層におけるロータリーポンプの重要性が明確となった。なお、本解析では排出土量に関する分析を行えなかった。今後、切羽の安定制御方法を更に精度良く検証するためには切羽土圧と排出土量の両面から分析を行ってゆく必要がある。

4. おわりに

本解析から得られた結果は、切羽自動安定制御回路に導入し、切羽自動安定管理システムとして実掘進段階に入っている。このシステムを様々な施工条件のもとで適用し、そこから得られる切羽安定制御データをさらに分析してゆくことでシステムの完成度を高めて行く所存である。

表-2 相関行列と標準偏差値・平均値（砂質土層）

説明変数: 1.掘進速度 2.カッタートルク 3.スクリュコンベア回転数 目的変数: 切羽土圧							
相関行列	r_{11}	r_{12}	r_{13}	r_{14}	r_{15}	r_{16}	r_{17}
r_{11}	1						
r_{12}		8.734E-1					
r_{13}			7.070E-1				
r_{14}				1.222E-1			
r_{15}					7.781E-1		
r_{16}						5.958E-1	
r_{17}							3.907E-1
標準偏差値	S_{11}	S_{12}	S_{13}	S_{14}	S_{15}	S_{16}	S_{17}
S_{11}	4.298E+0						
S_{12}	1.754E+1						
S_{13}	1.582E+0						
S_{14}	7.970E+0						
S_{15}	3.639E+0						
S_{16}	4.435E-2						
平均	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7
X_1	3.459E+1						
X_2	7.375E+1						
X_3	4.932E+0						
X_4	3.995E+1						
X_5	1.841E+1						
X_6	1.014E+0						

表-3 重回帰分析表（砂質土層）

No	Y	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6
	土 圧	掘進速度	カッタートルク	スクリュコンベア回転数	掘進速度	掘進速度	掘進速度
1	回帰係数 Y = +0.9661	-0.0023	+0.0052	+0.0159	+0.0004	-0.0003	
	T-検定 $t = 140$						
	分散比 $f_5 = 5$	$f_6 = 1.40$	$F = 11.75^{**}$	$R = 0.5435$	$R^2 = 0.2954$		
2	回帰係数 Y = +0.9771	-0.0014		+0.0176			
	T-検定 $t = 143$						
	分散比 $f_5 = 2$	$f_6 = 1.43$	$F = 28.26^{**}$	$R = 0.5323$	$R^2 = 0.2833$		
3	回帰係数 Y = +0.9560			+0.0172		-0.0014	
	T-検定 $t = 149$						
	分散比 $f_5 = 2$	$f_6 = 1.43$	$F = 27.92^{**}$	$R = 0.5232$	$R^2 = 0.2737$		
4	回帰係数 Y = +0.9408			+0.0149			
	T-検定 $t = 143$						
	分散比 $f_5 = 1$	$f_6 = 1.44$	$F = 54.28^{**}$				
5	回帰係数 Y = +0.9454					+0.0037	
	T-検定 $t = 143$						
	分散比 $f_5 = 1$	$f_6 = 1.44$	$F = 14.61^{**}$	$R = 0.5935$	$R^2 = 0.0921$		

表-4 相関行列と標準偏差値・平均値（シルト層）

説明変数: 1.掘進速度 2.カッタートルク 3.スクリュコンベア回転数 目的変数: 切羽土圧							
相関行列	r_{11}	r_{12}	r_{13}	r_{14}	r_{15}	r_{16}	r_{17}
r_{11}	1						
r_{12}		8.320E-1					
r_{13}			6.781E-1				
r_{14}				3.666E-1			
r_{15}					6.781E-1		
r_{16}						5.550E-1	
r_{17}							3.135E-1
標準偏差値	S_{11}	S_{12}	S_{13}	S_{14}	S_{15}	S_{16}	S_{17}
S_{11}	6.018E+0						
S_{12}	1.594E+1						
S_{13}	2.128E+1						
S_{14}	1.395E+1						
S_{15}	5.163E+0						
S_{16}	1.099E-1						
平均	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7
X_1	2.611E+1						
X_2	5.719E+1						
X_3	2.175E+1						
X_4	2.764E+1						
X_5	1.143E+1						
X_6	1.065E+0						

表-5 重回帰分析表（シルト層）

No	Y	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6
	土 圧	掘進速度	カッタートルク	スクリュコンベア回転数	掘進速度	掘進速度	掘進速度
1	回帰係数 Y = +1.3210	-0.0122	+0.0014	+0.0122	-0.0001	-0.0038	
	T-検定 $t = 347$						
	分散比 $f_5 = 5$	$f_6 = 3.47$	$F = 21.78^{**}$	$R = 0.4888$	$R^2 = 0.2389$		
2	回帰係数 Y = +1.3230	-0.0092		+0.0129		-0.0039	
	T-検定 $t = 349$						
	分散比 $f_5 = 3$	$f_6 = 3.49$	$F = 34.35^{**}$	$R = 0.4775$	$R^2 = 0.2280$		
3	回帰係数 Y = +1.1509			+0.0027		-0.0078	
	T-検定 $t = 350$						
	分散比 $f_5 = 2$	$f_6 = 3.50$	$F = 20.11^{**}$	$R = 0.3210$	$R^2 = 0.1031$		
4	回帰係数 Y = +1.0320			-0.0121			
	T-検定 $t = 143$						
	分散比 $f_5 = 1$	$f_6 = 3.51$	$F = 20.44^{**}$	$R = 0.2346$	$R^2 = 0.0550$		
5	回帰係数 Y = +1.0610					+0.0064	
	T-検定 $t = 143$						
	分散比 $f_5 = 1$	$f_6 = 3.51$	$F = 7.61^{**}$	$R = 0.1457$	$R^2 = 0.0212$		