

日本電信電話公社 正員 ○ 田中憲二
 “ “ 森本忠二
 “ “ 小谷和弘

I. まえがき

近年、電電公社の地下施設は年ごとに増加し、その規模も大型化し、過密化した都市および近郊でのトンネルの築造は大半がシールド工法によっている。このシールド工法のなかでも、圧気工法、あるいは地下水位低下工法等の補助工法が採用不可能な地盤での工法として泥水加圧式シールド工法が適用され、公社も含め多くの実績がある。この工法は軟弱地盤、崩壊性地盤に適用されるため前面がブラインドされ、掘削土はパイプ輸送されるため実際に掘削した土量、あるいは切羽地盤の状況確認が困難である。本資料は実際の工事における切羽地盤の安定管理として、掘削土量管理を行なった一例についてその分析結果について報告するものである。

II. 掘削土量計測システム

現在行なわれている殆んどが、γ線密度計および電磁流量計により送、排泥密度と流量を計測し、予め設定した地山土砂の真比重により実掘削乾砂量を求めるシステムであり
 計測のフローは「図-1」のとおりである。

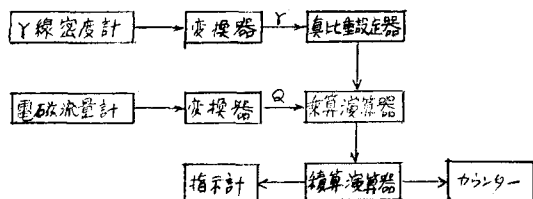


図-1

値	平均 30 程度
自然含水比	$W_n = 24 \sim 25\%$
比重	$G_s = 2.66 \sim 2.70$
単位体積重量	$\gamma_t = 1.8 \sim 1.9 \text{ g/cm}^3$
間隙比	$e = 0.6 \sim 0.7$
内部摩擦角	$\phi_{it} = 36^\circ \sim 36^\circ 30'$
透水係数	$k = 3.7 \times 10^{-2} \text{ cm/sec}$
均等係数	$U_c = 2 \sim 8$
最大粒径	$d_{80} \sim 20$
砂 分	$D_s = 80 \sim 90\% \text{ 以上}$
シルト 分	$D_{sl} = 10\% \text{ 前後}$
粘土 分	$D_c = 10\% \text{ 以下}$

III. 掘削乾砂量調査例

(1) 掘削地盤の土質性状

本工事土質状況は、「表-1」に示すような全般に一樣な性状を示す洪積層で透水性は極めて良好であり、シールド外径は6m近くあり、かつ周辺に用水路、および多数の井戸が存在しているため、圧気工法が採用できずさらに地盤改良その他の補助工法も問題があり本工法を採用した。

なおシールド区間のうち本調査区間約300mを「図-2」のように自然含水比、真比重で分け各土質区間とした。

(2) 各土質区間における掘削乾砂量

前項の各土質区間ごとの乾砂量の平均と、理論乾砂量の比較を「表-2」に示す。これからわかるように実掘削量は理論乾砂量に比べ、82~94%である。実際に排出された土砂量を計量することは困難であるが、地表面の変動状況等から管理上問題はなかった。測定系の精度は不明であるが、これを数%としても5~10%の差がでる。ここで理論値は自然含水比と真比重から算出している。このうちその試験形態から自然含水比に誤差があるものと思われる。計量値を真値と仮定し含水比を逆算すると31~38%となる。

土坑	40m	50	100	75	25	土坑
A						B
仮掘削区間	①	②	③	④		
含水比	22.5%	26.7%	26.6%	23.9%		
真比重	2.697	2.658	2.661	2.680		

図-2

表-2

土質区間	I	II	III	IV
含水比 %	22.5	26.7	26.6	23.9
真比重	2.697	2.658	2.661	2.680
含水率 %	37.77	41.51	41.45	38.96
含水率 %	62.23	58.49	58.55	61.04
理論乾砂量	12.54	11.79	11.80	12.31 (a)
各10-7乾砂量	11.16	11.37	10.82	10.27 (b)
75cm乾砂量	10.70	11.07	10.51	10.06 (c)
比率 $\frac{\text{計量値}}{\text{理論値}} \times 100$	89	96	92	83
" $\frac{\text{計量値}}{\text{理論値}} \times 100$	85	94	89	82

(3). 乾砂量勾配

1リング推進中の管理方法として各ストローク毎の乾砂量をグラフに書き監視した。その傾向を「図-3」に示す。この図のように推進速度による勾配の変化はなかったが、推進初期に推進速度の相違によるバラツキが見られた。

(4). 乾砂量に影響を及ぼす要因の検定

次に乾砂量が何の要因によって、どれほどの影響を受けているかを検定する。なお泥水特性(比重, 粘性)は一定に保つように管理したため要因から外して考える。解析については、DEMOS, DIALSで行なった。

A. 切羽水圧について

一元配置および直交表による分散分析表を「表-3, 表-4」に示す。これにより切羽水圧と推進速度の交互作用に1%の危険率で有意差が認められた。即ち切羽水圧により乾砂量は変化すると見える。両者には負の相関性があり次式で示される一次式の関係がある。

$$G = 14.21 - 3.63p \quad \begin{array}{l} G: \text{乾砂量 (m}^3/\text{Ring)} \\ P: \text{切羽水圧 (kg/cm}^2\text{)} \end{array}$$

(Pの範囲は0.80~1.12でOK)

B. 推進速度について

果加的にカウントされる乾砂量に対しては、推進速度は有意でない。しかし切羽水圧との交互作用で乾砂量に影響を与える。

(5). 地表面の変動状況

シールド工法には沈下が避けられないといわれているが、本工事の場合、10mm前後の前方隆起、および20~25mmの後方沈下が観測された。沈下の速度は速くテール通過後、3~5日でほぼ最終沈下量に近い値を示した。なお、路面陥没、崩壊はなく掘削土量管理、裏込め即時注入が効を奏したといえる。沈下状況を「図-4, 図-5」に示す。

IV. まとめ

以上のように、泥水加圧式シールド工法の切羽地盤の状態の確認方法として掘削乾砂量についてその取込み状況と量を監視し異常の有無や傾向を把握し工事を円滑に進める一方法を紹介した訳であるが結論的に次のようなことが言える。

- (1). 本工事の場合、測定値は理論値より5~10%下まわ、て観測されたが、これは主として土質調査データの自然含水比の相違と思われる。
- (2). 泥水比重, 粘性を一定に保った場合、掘削乾砂量を左右する要因としては、切羽水圧があげられる。したがって崩壊性地盤においては切羽水圧の設定には十分注意する必要がある。

V. あとがき

実際の工事という制約のなかでのデータを分析してみたが、これが今後の工事の参考になれば幸いである。なお現行の計測システムは次の問題があり今後の開発が望まれる。(1)放射線同位元素を用いるため、手続、取扱保守が煩雑で、高価である。(2)現場での実際の土量を用いての較正が困難である。

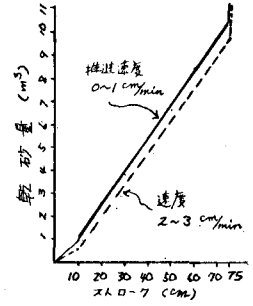


図-3

表-3

要因	S	φ	V	F
切羽水圧	2.73783	4	0.68496	11.1602
誤差	0.920625	15	0.06138	—
合計	3.660455	19	—	—

表-4

要因	S.S	D.F	M.S	F-RATIO	C.R
A 切羽水圧	1.96	1	1.96	XX 24.415	0.4301
B 推力	0.36	1	0.36	4.499	0.0640
A × B	0.16	1	0.16	1.993	0.0182
C 推進速度	0.003	1	0.003	0.031	0.0198
A × C	1.103	1	1.103	XX 13.734	0.2339
	0.063	1	0.063	0.779	0.0041
誤差	0.723	9	0.0803	—	0.2756
合計	4.37	15	—	—	—

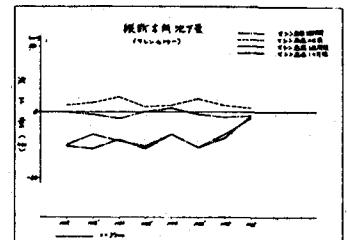


図-4

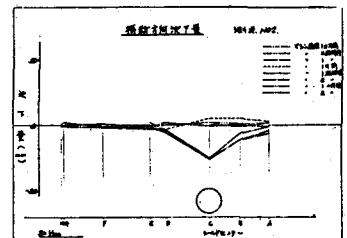


図-5