

III-408 シールド掘進機における切羽崩壊検知装置の開発

日本鋼管株式会社 正会員 藤本幸二 北條博行 大塚利之

1. まえがき

都市トンネルシールド工法に用いられるシールド掘進機, 特に泥水加圧式シールド掘進機では, 掘進中のトンネルの切羽状態をモニターし切羽の崩壊を検知することが, 施工管理上重要であり地盤陥没などの事故を未然に防ぐためにも不可欠である。

そこで筆者らは, 4 電極を用いて切羽崩壊を連続検知する方法を開発した。ここでは本検出方法の原理を述べるとともに土槽での実験結果について報告する。

2. 切羽崩壊検知の原理

泥水加圧式シールド掘進機では, 掘進機と地山の間に一定厚の泥水層を保ちながら掘進する。切羽が崩壊すると図 1 に示すようにその部分の泥水厚が大きくなる。これより泥水層の厚みの変化を計測すれば, 切羽の崩壊が検知できる。

そこで泥水層と地山の比抵抗の違いに着目し, 図 2 に示すように 1 対の電極 C_1, C_2 から泥水中に電流を通じ, 電圧測定電極 P_1, P_2 で泥水厚の変化を電圧の変化としてとらえる 4 電極方式を用いた。

泥水と地山の比抵抗をそれぞれ ρ_1, ρ_2 ($\rho_1 < \rho_2$) とし, 通電電流を I とする。このとき各電極が電極間隔 a で直線上にあり, 泥水と地山が無限平板の二重層(泥水厚 d) とすれば, 地盤の見掛けの比抵抗 ρ は次式で表わすことができる¹⁾。

$$\rho = \rho_1 + 4\rho_1 \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1} \right)^n \left[\left\{ 1 + \left(\frac{2nd}{a} \right)^2 \right\}^{-\frac{1}{2}} - \left\{ 4 + \left(\frac{2nd}{a} \right)^2 \right\}^{-\frac{1}{2}} \right] \quad (1)$$

また P_1, P_2 間の測定電圧 V は, ρ を用いて次式で求めることができる。

$$V = \frac{\rho I}{2\pi a} \quad (2)$$

したがって, 泥水厚 d が変化すると ρ が変化し電圧 V の変化としてとらえることができる。

3. 実験および結果

3-1 実験装置

本方式による切羽崩壊検知性能を確認するため,

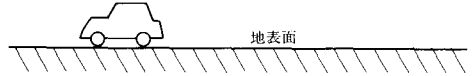


図1 切羽の崩壊

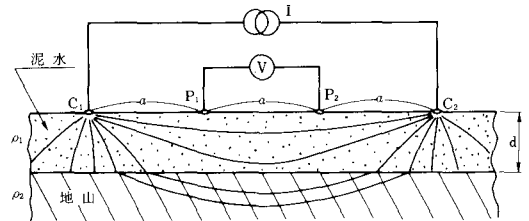


図2 切羽崩壊検知の原理

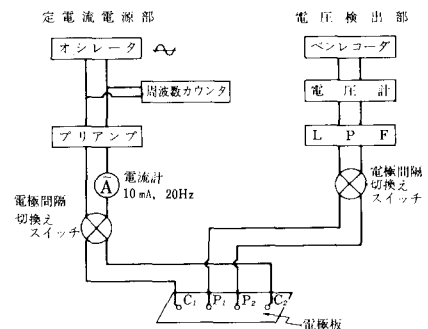


図3 実験システムの構成

図3に示す装置を用いて実験を行なった。実験に使用した土槽および電極の諸元を表1に示す。設置電極は平行移動でき、掘進機の動きをシミュレートできるようにした。

3-2 泥水厚測定

粘土層を平面状としたときの泥水厚 d と電圧 V の関係を図3に示す。実測値は理論計算値とよく一致しており本方式によって泥水厚を測定できることが分かる。また電極間隔が大きいほど電圧変化の傾きが大きく、測定スパンを広くとれることが分かる。

3-3 崩壊モデル測定

切羽崩壊の形状として図5に示すようなモデルを考えて、電圧測定を行なった。この場合崩壊幅 W によって測定電圧が変化するため W に対する補正が必要である。この補正の演算処理を行ない崩壊深さに換算した結果を図5に示す。これを見ると実際の形状とほぼ一致しており、本方式を用いれば崩壊形状を精度良く検知できることが分る。

4. 切羽崩壊検知システム

本方式による実装システムを図6に示す。本システムでは、補正演算処理をマイクロコンピュータを用いて行ない崩壊形状のリアルタイム表示をする。対象土壌比抵抗 $2000\Omega\cdot cm$ 以上にて測定崩壊深さ範囲は $20\sim 200\text{ mm}$ である。

5. まとめ

泥水加圧式シールド掘進機における切羽崩壊を、4電極法により検知する方法を考案し、土槽実験を行ない掘進時の非接触な連続計測が可能であることを確認した。今後現場適用を進め、性能向上を図っていく予定である。

表1 実験システム諸元

項目	諸元	
	泥水層	粘土層
土槽	比重	約1.20
	比抵抗	約1.80
	成分	水 1 kg当り 粉末粘土 450 g CMC 0.5 g ベントナイト 50 g
	土槽形状	1,500 mm W × 1,500 mm D × 500 mm H
電極部	電極形状	φ 10 mm × 20 mm H 銅製
	電極間隔	a = 20, 60, 100, 150, 180, 200 mm の6通り切換え可能
	測定窓	300 mm × 700 mm, 塩化ビニル製
	通電電流	交流定電流 10 mA, 20 Hz
実験条件	通電電圧	30 ~ 100 V
	電圧計	YHP 3546 A 6 1/2 桁測定可能
測定系	記録計	YEW 3056, 2 cm/h ~ 60 cm/min
		5 μV ~ 50 V

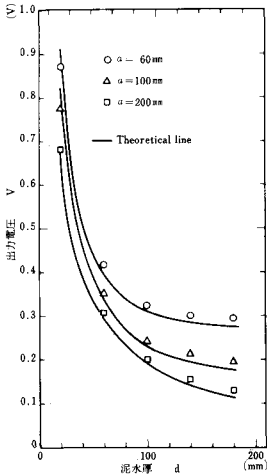


図4 泥水厚と測定電圧

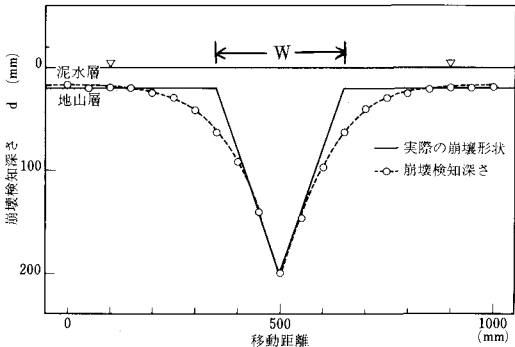


図5 形状の測定

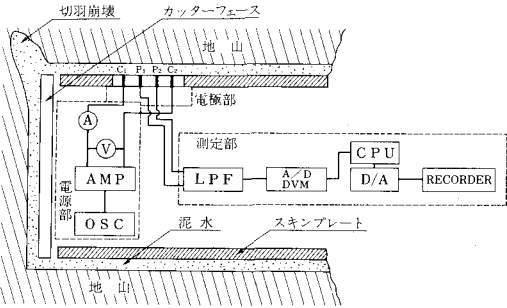


図6 切羽崩壊検知システム構成図

参考文献

1) George.V.Keller "Electrical Methods in Geophysical Prospecting" PERGAMON PRESS