

III-472

トータルステーションを用いた地盤変位の高精度測定に関する研究(その2)

神戸大学 正 ○ 清水則一

神戸大学 正 桜井春輔

広島工大 正 岡野兼夫

間 組 正 北村 元

1. はじめに

地滑りや地盤沈下などの安全監視、また、トンネル・地下空洞、切取り斜面工事などの施工管理において、地盤変位計測はますます重要となっている。最近では、電気式の伸縮計、傾斜計および地中変位計などの地盤計測機器がよく用いられ、精度の良い変位測定が可能となっている。しかし、それらの機器は埋設・固定型のものが多く、計測位置の移動あるいは新・再設置が難しいため、計測範囲は当初設置された場所に限定されたものになる。また、設置・操作については専門的な技術が要求される。一方、測量手法による地盤の変位計測は、精度においては地盤計測機器に劣るものの、機器の操作・管理および測点の設置・追加は容易であり、さらに広範囲にわたり変位が測定できるなどの利点を有している。したがって、測量手法によって地盤変位が高い精度で測定できれば、実務上おおきなメリットがあるように思われる。筆者らは測量手法による地盤変位計測の高精度化を図ることを目的として研究を進めており¹⁾、本報告では、測定方法の概要とその適用例について述べる。なお、測量手法による地盤変位の測定方法に関して、最近新しい研究がいくつか発表されている²⁾⁻⁵⁾。

2. 測定方法の概要

トータルステーション(Nikon DTM-1、最小読み; 距離 1mm、角度 1")を基準点に据え、変位測定点にターゲットを設置し、三次元測量の観測網を構成する(図-1)。測量結果(斜距離、高低角、水平角)に対し調整計算を行い、誤差を合理的に配分し、観測点の座標を確定する。逐次この作業を繰り返し、各段階で確定する座標の差をとれば三次元的に変位を求めることができる。なお、ターゲットには通常プリズムを用いるが、本研究では、プリズムにかわる経済的なターゲットの開発も進めており、市販の反射テープやデリニエータ(ガードレールなどに取り付けられている反射盤)などの利用の可能性を調べている。

3. 調整計算法の概要

本研究では調整計算法として、通常のガウス法、フリーネットワーク法および改良フリーネットワーク法を用いて、それぞれの結果を比較する。ここでは、フリーネットワーク法についてその概要を述べる。本研究で用いる観測方程式は次のとおりである(図-2参照)。

$$\text{距離式 } U_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2 + (z_i - z_j)^2} \quad (1)$$

$$\text{高低角式 } \beta_{ij} = \arcsin\{(z_j - z_i)/U_{ij}\} \quad (2)$$

$$\text{水平角式 } \alpha_{ijk} = \arctan \frac{y_k - y_i}{x_k - x_i} - \arctan \frac{y_j - y_i}{x_j - x_i} \quad (3)$$

これらの式は求めるべき座標に関して非線形となっているため、テラ展開によってその一次項のみをとり線形化する。いま、基準点の座標も含めすべての座標を未知数とすると、観測方程式から求まる正規方程式は非正則となる。そこで、正規方程式を解く際に、座標修正量の自乗和が最小となる条件を与え座標値を定める。この方法は測量分野において Mittermayer によって提案されたフリーネットワーク法である⁶⁾。改良フリーネットワーク法は、筆者の一人が提案したもので⁷⁾、ガウス法とフリーネットワーク法の間位置付けられる方法である。

4. 適用例

まず、反射テープを用いる場合の測定精度を調べるために野外実験を行った。実験は観測点に反射テープを貼付けた板を設置し、それに任意の移動量を与え、その値と本方法によって得られる値とを比較して測

定の精度を調べる。実験結果を表-1に示す。同表にはプリズムによる結果も併せて示している。その結果、反射テープを用いても、プリズムを用いる場合と同等の精度で測定できることが明らかになった。次に、実際のトンネルの内空変位を本方法で測定する。天端と底盤に反射テープ板およびプリズムを設置し(写真-1参照)、トンネル直上地表面掘削(図-3参照)によって生じる両点間の相対変位を、本方法およびインバール線を用いる方法によって測定した。図-4に測定結果を示す。若干のばらつきはあるが、概ねインバール線測定と同等の結果を得ることができた。

5. 結論

本報告では、トータルステーションを用いた高精度地盤変位測定方法の概要を述べ、トンネルの内空変位測定への適用例を報告した。本研究の結果以下の結論を得た。

(1) 反射テープを用いることによって、プリズムと同等の精度で変位を測定できる。精度は標準偏差で1mm以下である。

(2) 実際のトンネルの内空変位を測定したところ、インバール線測定と同程度の測定結果を得た。

謝辞：現場計測の機会を与えて頂いた神戸市開発局、また、現場で便宜を図ってくださった関係者各位に感謝します。

参考文献：1) 桜井ほか、土木関西年講、1990:2) 下河内ほか、トンネルと地下、vol.19、No.11、p.39、1988:3) 宮永、福原、電力土木、No.219、p.63、1989:4) 大野ほか、建設の機械化、No.7、p.41、1989:5) 今村ほか、24回土質研究発表、1989:6) E.Mittarmyer、Bull.Geodesique、No.104、p.139、1972:7) 岡野、広工大紀要、p.231、1987。

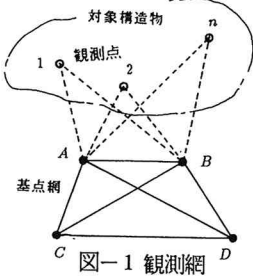


図-1 観測網

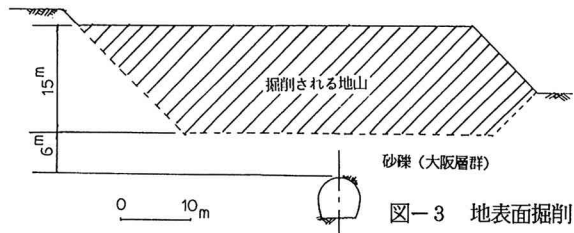


図-3 地表面掘削

表-1 絶対変位1mmにする測定変位の平均値と標準偏差
：反射テープの場合(単位：mm)

	一点観測法	ガウス法	フリーネット	改フリーネット
平均値	1.30 (1.34)	1.13 (1.24)	1.00 (1.06)	1.18 (1.14)
標準偏差	0.34 (0.65)	0.25 (0.44)	0.22 (0.10)	0.16 (0.20)

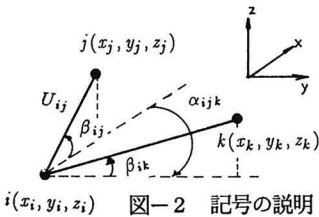


図-2 記号の説明

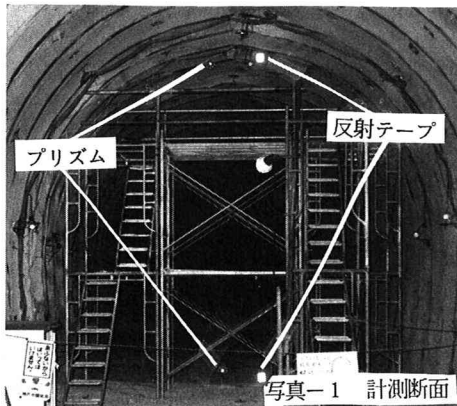


写真-1 計測断面

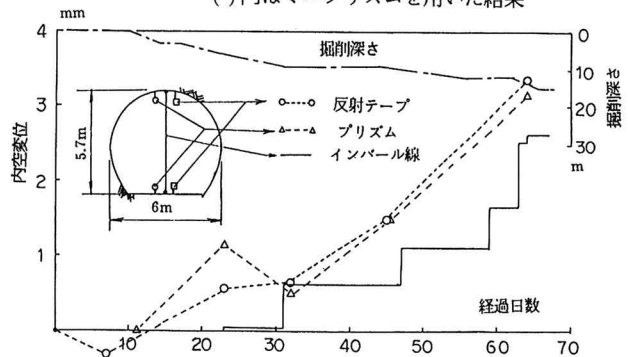


図-4 内空変位測定結果