

(62) トンネルにおける簡易岩盤計測機器の開発 Development of Simple Rock Extensometer for Tunnel

大里 祥生*・里 優**・飯星 茂**

Yoshio OSATO, Masaru SATO and Shigeru IHOSHI

We attempted to develop simple rock measure equipment for TBM and the way of new construction for tunnel. Because we want to practice observational construction. Then, first of all we were able to develop a simple rock extensometer. The feature of this extensometer is a simple-designed, easy to mount and a low cost. And we were able to get good performance of the extensometer at field.

In this paper, the design, data acquisition system and some field applications of The simple rock extensometer are described. In future, we want to use the extensometer at some field, and develop another simple rock measure equipment (for example, a pore pressure meter, a measurement of seismic wave, and e.t.c.) with same concept.

Keywords: Observational construction, Extensometer, Low cost, Field application, Simple measure equipment.

1. はじめに

近年のトンネルでは、切羽断面の大型化や掘削の高速化、支保工のマルチパターン化などに適合する施工技術が求められている。これらの施工には、岩盤や支保工の状態など多くの情報を分析する必要があり、したがって、今まで以上に計測技術が重要となる。しかし、従来の計測技術は主にNATMの発展とともに開発、整備されてきたものであり、TBMによる高速施工など、近年の施工法に合致した計測機器は少ないのが現状である。そこで、筆者らは現在の計測機器が新しい施工法に対して適応しにくい点をリストアップし、それらを解決すべく計測機器を新たに設計開発することとした。

本論文では、開発した計測機器の要件と構造を示すとともに、トンネル現場における計測結果の一例を紹介する。また、計測結果については若干の考察を加え、簡易計測機器の実用性について検討する。

2. 簡易計測機器の概要

簡易計測機器の開発目的は、以下に示す2点である。1つは、トンネル工事における日常的な施工管理に、地山の変位や水圧変化、弾性波速度などの情報を提供し、高度な情報化施工を実現していくことである。もう1つは、困難な施工が予想される地山においていわゆるB計測を実施する前に、予備的な情報を迅速に、かつ効果的に得ることである。これらの目的に沿って、計測機器の満たすべき要件を示すと表-1となり、現在

* 正会員 大成建設株式会社技術研究所岩盤研究室

* 正会員 工博 同上

一般に用いられている計測機器の特性とは隔たりがあることがわかる。そこで、筆者らは新たに簡易計測機器を開発し、トンネル施工の高度化に供することとした。

今回紹介する計測機器は一点式の地中変位計である。一般のトンネルでは、地中変位を日常の施工管理に用いることは希であり、多くはA計測を日単位で実施し、内空変位などを把握するに止まっている。しかし、このA計測ではトンネル壁面の変形度合いを知ることができるものの、地山挙動の特徴を捉えるには情報が不足している。そこで、表-1の方針に基づいて簡易地中変位計を開発した。

表-1 開発する計測機器の要件

要件	現在の計測機器	開発する計測機器
低コスト	・高価である。 ・埋め殺しが多い。	・低価格の材料を利用。 ・可能な限り再利用する。
施工の障害とならない	・計測システムが、大がかりな物が多く、設置には施工を中断する場合がある。 ・担当者が簡単に計測分析できない。 ・測定器設置に特殊機械を必要とする場合がある。	・計測システム全体を軽量、コンパクトとする。 ・構造をシンプルとし、迅速な設置を可能とする。

2.1 変位計の構造と設置方法

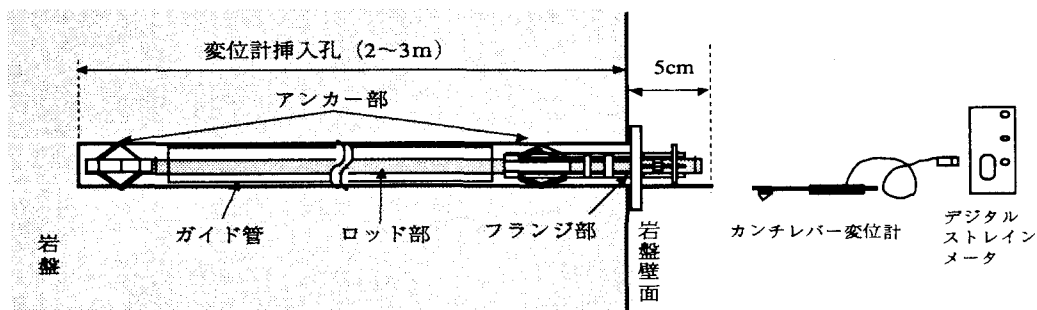


図-1 簡易地中変位計の構造と計測装置

簡易地中変位計は、図-1に示すようにシンプルな構造で、大きく分けて3つの部分から構成される。1つは岩盤中に掘削した孔に挿入するロッド部、もう1つは孔の口元に設置するフランジ部、最後に変位センサーと計測システムである。

ロッド部は直径28mmの耐衝撃性硬質塩化ビニール管（以下、塩ビ管と呼ぶ）で、長さは測定したい距離に合わせることができる。ロッドの先端にはスチール製のアンカーが設けてあり、アンカーを広げるには塩ビ管の中を通る細長いアンカー用ドライバーを用いる。フランジ部はステンレス製で、ドライバーを用いることによりフランジ部アンカーを迅速に孔口部に固定できる。フランジには変位センサーを固定する治具を備え、必要に応じ種々の変位センサーを装着可能とした。

変位センサーは、現場における作業の障害とならないようできる限り小さくする必要がある、カンチレバー式のものをを用いた。トンネル現場では、一般に計測システムを設置するスペースの確保が困難である。このため、データの記録にはデジタルストレインメーター（RMH-1E、共和電業製）を用いた。この記録計は、パソコンや長いケーブルを使用しないため、吹付コンクリートの粉塵や高湿度下においても安定した長期変位計測が可能である。

本変位計の設置には、ロックボルトの削孔機によりトンネル壁面から岩盤中に掘削した孔を利用する。この利点は、ロックボルト孔を削孔する施工サイクルに変位計挿入孔の掘削を組み込むことが可能な点であり、したがって、変位計の設置が施工を妨げることはない。変位計の設置は、ロッド挿入孔が削孔されていれば1～2人によって5分以内で完了する。

3. トンネルでの計測例

3.1 トンネルの概要

I トンネルは、第三紀の凝灰岩を主とする地山に掘削されており、上半先進工法が採用されている。この凝灰岩は膨張性の粘土鉱物を含んでおり、内空変位が数百mmに達することがあったと報告されている。そこで、本変位計を用いて計測を行い、掘削進行に伴う地中変位や経時変化などを調べるとともに、変位計の実用性を検証することとした。トンネル直径は約10m、切羽の断面積は約80m²である。

3.2 計測例1

第一の計測例は、上半切羽の進行に伴う地中変位を捉えることを目的として行ったものである。上半切羽から3mの距離において、ロックボルト用の削孔機で天端と側壁部に2mの削孔を行い、これに変位計を埋設して壁面と2m奥の地中との相対変位を計測した。

図-2に計測結果を示す。この図では掘進長1mで行われた2回分の掘削に対して得られた地中変位を示した。掘削を開始すると天端、側壁ともに変位が計測され、掘削を終了すると若干の時間遅れはあるものの変位は停止する。側壁部は掘削を開始すると押し出し変位を続けるが、天端部は最初突き上げ変位を生じ、その後押し出しへと変化する。この結果、天端の変位は掘削前後であまり変化しない。これらの計測結果からは、側方からの変位が大きいために一次支保が偏った変形をし、天端を突き上げている様子が読みとれる。本トンネルでは、天端部の吹付コンクリートでクラックの発生が見られる箇所があったが、計測結果からは側方からの偏った変位が原因の一つであると推測できる。

3.3 計測例2

I トンネルでは、地山の膨張性により一次支保工完了後もトンネルが変形する懸念が生じた。第二の計測例は、このためトンネル壁面の変位を4ヶ月に渡り計測した結果である。変位計の設置は下半掘削、インバート打設後に行い、設置位置は左側のスプリングライン上とした。ロッドの長さは3mである。

図-3に計測結果を示す。インバート打設後10日間ほどは変位がなかったが、その後押し出し変形が計測され、0.1mm/月程度の変位速度を保っている。小さな変位速度であるが、変位は収束する傾向はなく地山の膨張性との関連を示唆している。なお、この変位は気温変化の影響によるものとも考えられ、今後も計測を続け検討する予定である。

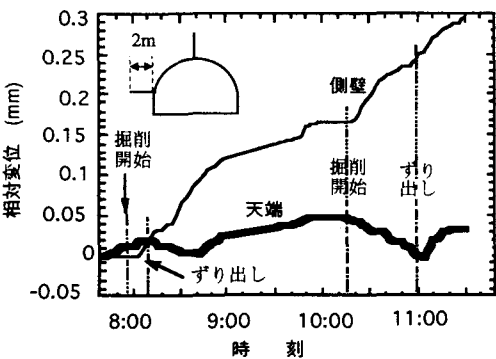


図-2 上半切羽進行に伴う地中変位

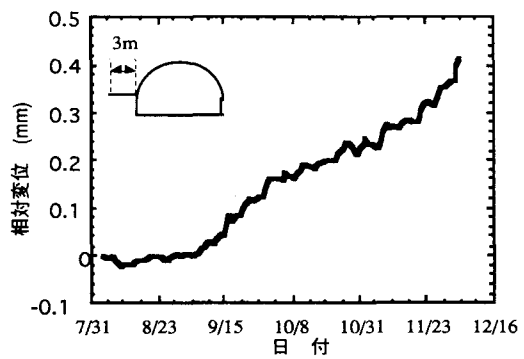


図-3 一次覆工面からの地中変位

3.4 計測例3

第三の計測例は、B計測断面から1m切羽に遠い断面に変位計を設置した際のものである。これにより、B計測で行っている地中変位計のデータと比較するなどして、本変位計の性能確認が可能となった。この計測断面付近では天端の崩落、切羽の崩壊などが続き、地山の状態が非常に不安定なため、B計測実施となったものである。この断面の支保工には、吹付コンクリート25cm厚、200mmのH鋼、ロックボルト26本を用いている。

図-4は、上半切羽から3mの距離において天端と左側壁に設置した、3mの変位計により得られた測定値を時間に対して示したものである。同図には切羽距離の変化も併せて示した。左側壁の変位計で10/18以降に見られる押し出し変位は下半の接近によるものである。ただし、今回用いた変位計は測定範囲が最大5mmであり、下半掘削による変形をすべて捉えきれていない可能性がある。

他方、天端変位は設置後数日で0.5mm程の押し出し変位が計測された後、下半切羽が近づくにつれ変位は逆に戻り、その後は0.5mm程の変位のまま収束している。計測例1でも述べたとおり、側壁からの変位が大きいため一次支保が偏った変形をし、天端を突き上げているものと考えられる。

B計測の地中変位計測は6点式の地中変位計（0～1、2、3、4、5、6m）を用いている。図-5は、掘削面から3mの地点までの地中変位を時間に対して示したものである。同図には左右両側壁と天端での測定値と切羽の距離を示した。この図でも図-4と同様に、定性的には両図に示された変位の傾向はほぼ一致している。図-4と比較して大きく異なるのは側壁の変位量である。天端部におけるB計測で計測された変位と簡易変位計のそれとは、値、傾向ともに一致している。しかし、側壁部の測定値には両者に開きがある。この原因は、B計測の地中変位計の設置断面が簡易変位計を設置した断面よりも1m切羽に近い位置であったことや、カンチレバー式変位センサーが測定レンジを越えてしまったことが考えられる。しかしながら、両者が示している変位の傾向は合致しており、開発した地中変位計の設置性や精度が十分なものであることがわかる。

図-6、7は簡易変位計とB計測の地中変位計の測定値を、上半切羽および下半切羽に対してプロットしたものである。図-6からは、上半切羽の掘削進行とともに、

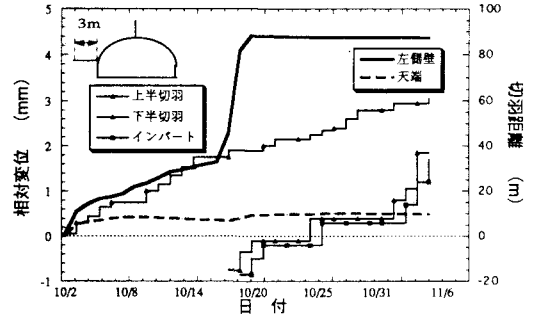


図-4 簡易地中変位計による天端と左側壁部変位の経時変化

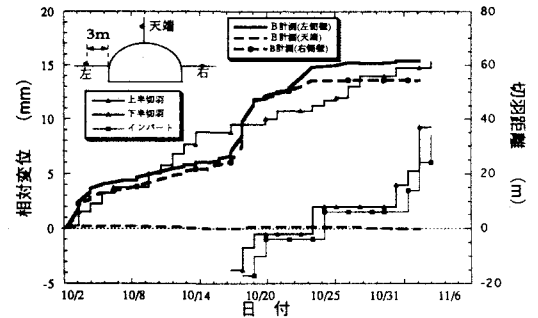


図-5 地中変位計（B計測）による天端と左右側壁部の経時変化

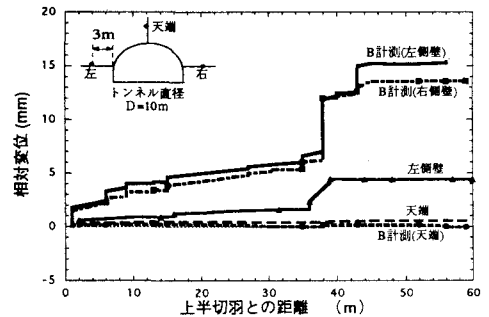


図-6 簡易地中変位計と地中変位計による変位と上半切羽距離との関係

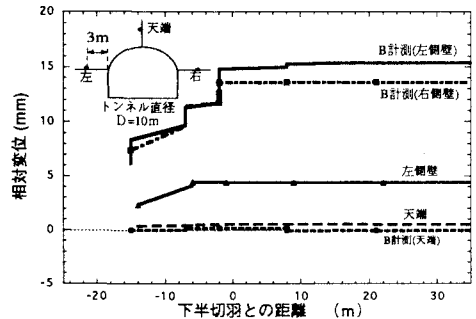


図-7 簡易地中変位計と地中変位計による変位と下半切羽距離との関係

いずれの変位計も変位増加を示していることがわかる。また、切羽と計測断面との距離が3Dに達しても変位が継続しており、地山が時間依存性の挙動をしていることが読みとれる。図-7からは、下半掘削の影響が計測断面の手前、約2Dの距離から生じていることや、インバートの施工により変位が急速に収束していることなどがわかる。

図-8は、トンネルの左右側壁と天端に埋設した吹付コンクリート応力計の計測結果を示したものである。側壁のコンクリート応力では、上半切羽の進行とともに圧縮応力が大きく増加していくが、下半掘削とともに、急激に圧縮応力が減少していく。その後、インバート施工により応力は再度圧縮の方向に向かっている。一方、天端の応力は掘削の進行とともに圧縮応力が増加していく。これらのことは、吹付コンクリートが下半掘削時の掘削解放力を負担していることや、側方からの変形が大きく、天端部の吹付コンクリートには大きな圧縮応力が作用することなどを示している。

以上より、開発した変位計が上半ならびに下半掘削時に生ずる特徴的な地山挙動を十分捉えていることがわかった。今回開発した変位計は、測定レンジが5mmであるために膨張性地山の大きな変形を捉えきれなかったという課題は残るものの、大がかりなB計測に匹敵する有益な情報を提供すると言える。

4. まとめ

筆者らは、TBMによる高速施工など、今後予想される新しい施工法に適合し、かつ低コストの簡易計測機器を考案することを試み、まず、簡易地中変位計の開発を行った。その結果、軽量コンパクト、低コストであり、施工を妨げない簡易地中変位計を製作することができた。また、実際にこの簡易地中変位計の性能をトンネル現場で検討した。B計測の地中変位計測結果などとの比較からは、今回開発した変位計の実用性を確認することができた。本変位計を用いた計測を施工サイクルに組み入れることで、トンネルの切羽進行による地山変形や時間依存性の変形などを適時把握し、これと有限要素法を用いた応力解析などの連係から、より高度な情報化施工を行うことができる。

今後は、この変位計を各トンネルに適用していくとともに、同様なコンセプトのもとで、間隙水圧計、弾性波・AE計測器などの簡易岩盤計測機器を開発していく予定である。

謝辞

簡易地中変位計の開発にあたり、多大な尽力を頂いた(株)東横エルメスの小宮山清二氏、小林敏之氏、前田敏郎氏に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 大里祥生・里優・飯星茂：簡易岩盤変位計の開発，トンネル工学研究論文報告集，Vol.5，pp.139～142，1995

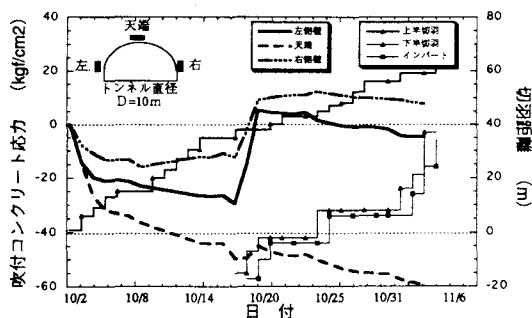


図-8 吹付コンクリート応力の経時変化