

簡易岩盤変位計の開発 Development of Simple Rock Extensometer for Measurement of Tunnel Deformation

大里 祥生*・里 優**・飯星 茂**

Yoshio OSATO, Masaru SATO and Shigeru IIHOSHI

The measurement of displacement of rock mass near the face during tunnelling will enable us to better predict the deformation of the tunnel using numerical modelling. It will improve the safety in tunnelling and the design of the support. However, such cases are very few due to the high cost and difficulty in mounting without interrupting the construction cycle. To overcome these problems a specially-designed simple rock extensometer which can be mounted quickly at the tunnel wall was developed with a low cost. In this paper, the design, data acquisition system and some field applications of the simple rock extensometer are described.

Keywords: Observational construction, Extensometer, Low cost, Tunnel deformation, Rock mass

1. はじめに

トンネル掘削に伴う岩盤の変位を、切羽近傍より連続的にかつ多点数計測することが可能ならば、数値解析との連携により岩盤の変位挙動をより正確に予測することができる。このような計測行為はトンネル掘削作業の安全性向上や適切な補強工の選定などに貢献する。しかし、現在までこのような計測が行われた例は少ない。これは計測におけるコストが大きいか、計測機器の設置が施工の妨げとなることが原因である。

これらの問題を排除し、変位計測をトンネルの施工に活用して行くため、著者らは施工サイクルを妨げずに迅速に設置することができ、かつ廉価な変位計を開発した。本報文では、開発した簡易岩盤変位計の構造と計測システム、並びに幾つかの計測例を紹介する。

2. 簡易岩盤変位計の概要

開発した変位計は、トンネル壁面から岩盤内のある点までの相対変位を測定するものである。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。このメリットは、

* 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

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、したがって変位計を設置しても掘削工程をほとんど遅せないで済むことができる。

簡易岩盤変位計は、図-1に示すように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部である。

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られており、アンカーを広げるには塩ビ管中を通る細長いアンカー用ドライバーを用いる。

フランジ部はスチールとステンレス製で、水圧ジャッキを用いることによりフランジ部アンカーを迅速に孔口元部に固定する。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計を装着可能とした。

変位センサーは、現場で作業の障害とならないようできる限り小さいものが良いと考え、カンチレバー式のものを用いた。この変位センサーの仕様を表-1に示す。トンネルの掘削現場は一般に計測環境が悪く、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。デジタルストレインメーターの仕様を表-2に示す。これを用いることにより、岩盤変位をリアルタイムでは観測できないものの、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。また、デジタルストレインメーターはJEIDA Ver.4準拠のメモリーカードを備えているため、変位計測値を回収したい場合には名刺サイズのカードを持って行くだけでよく、計測作業を迅速に行うことができる。

変位計設置手順は図-2に示すとおりであり、ロッド挿入孔が削孔されていれば5分以内で設置作業は完了する。設置作業は、フランジとロッドに摩擦を生じないことなどを確認しながら1～2人で行う。

また、本変位計は切羽面の変位観測にも応用するこ

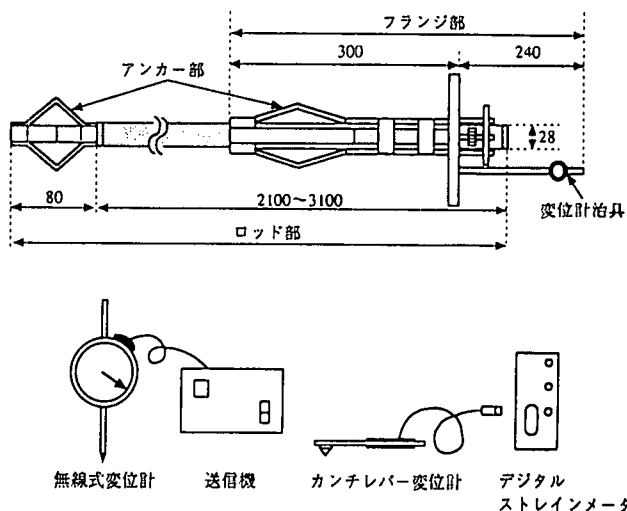


図-1 簡易岩盤変位計の外観図

表-1 カンチレバー式変位センサーの仕様

寸法(mm)	50×15×1
定格出力(10 ⁴)	-4610
校正係数(mmv/10 ⁴)	0.00108
(10 ⁴ /mm)	922
直線性	0.28%
ヒステリシス性	0.46%

表-2 デジタルストレインの仕様

入力点数	1点
ブリッジ抵抗	350Ω
測定範囲	ひずみ入力±1000×10 ⁴ ひずみ
最小分解能	ひずみ入力1×10 ⁴ ひずみ
測定精度	ひずみ入力±0.1%FS以内
データメモリ	ひずみ30720データ以内
インターバル測定	1分～99時間59分
電源	DC6～15V
寸法	50(W)70(H)200(D)mm
重量	600g

表-3 無線式変位センサーの仕様

測定範囲	12mm
最小表示量	0.01mm
精度	0.02mm
応答速度	1600mm/s
電源	5～10V

とができる。切羽での岩盤変位は離れた場所で計測できることが望ましく、また安全面より、切羽面での計測機設置作業はできるだけ短時間でやる必要がある。そのため、切羽の変位計測にはダイヤルゲージ式の無線変位センサー（IDS、ミットヨ製）を用いることとした。データ送信機（ミューウェーブトランスミッタ、ミットヨ製）は、大きさ100×100×50mm程度であり、切羽面に容易に取り付けることができる。また、受信機（ミューウェーブレシーバ、ミットヨ製）は切羽面から30m離れた位置でも受信可能で、この計測システムを用いることにより、吹付コンクリート作業中や重機作業中でもデータ送受信が可能となる。無線変位センサーの仕様を表-3に示す。

3. 1トンネルでの計測例

3.1 1トンネルの概要

1トンネルは、第三紀の凝灰岩層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、掘削進行に伴う岩盤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。

3.2 計測例1

第一の計測例は、上半切羽の進行に伴う岩盤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奥の岩盤との相対変位を計測した。

図-3に計測例を示す。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岩盤変位を示した。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。したがって、岩盤と支保工からなる系は弾性的に挙動していると推測できる。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。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。

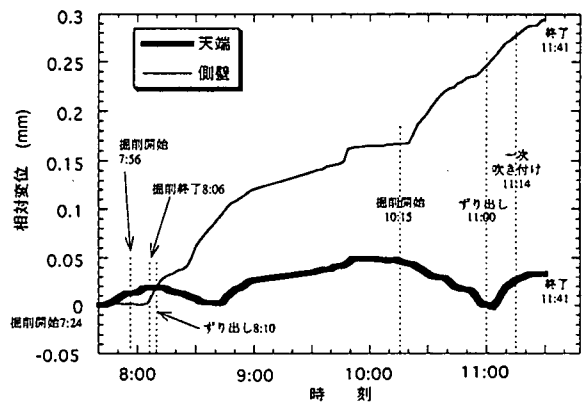
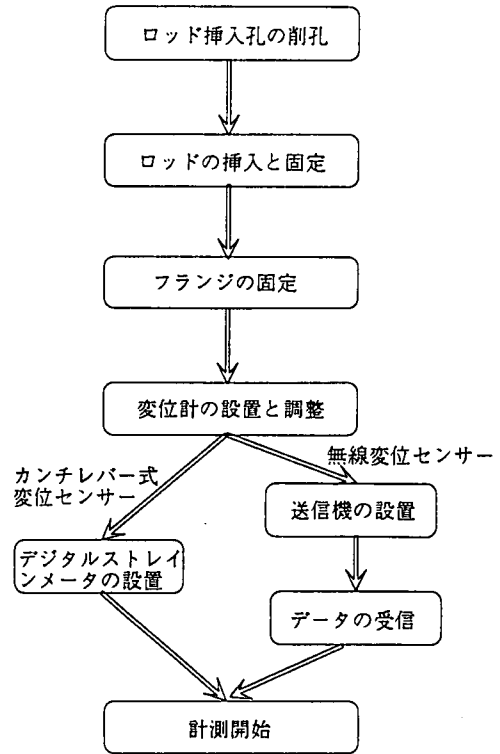


図-3 掘削に伴う岩盤変位

3.3 計測例2

第二の計測例も同様に上半切羽の進行に伴う岩盤変位を計測したものであるが、左右の側壁に変位計を配した点とロッドの長さが3mである点で先の例と異なる。

この計測においても側壁部の岩盤が押し出し変形をするのに対し、天端部がほとんど変形しない(図-4)。ただし、右壁が左壁に比べて大きな変形を示しているのが特徴的である。掘削終了後も、特に右壁で変位が継続しており、岩盤が時間依存性の変形をしている可能性を示している。

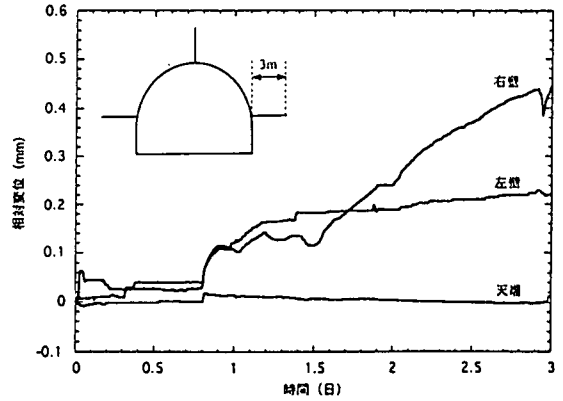


図-4 岩盤変位の経時変化

3.4 計測例3

第三の計測例は、切羽のクリープ変形を計測したものである。なお、この計測では離れた位置でデータ取得が可能となるよう無線式の変位センサーを用い、ロッドには3mのものをを用いた。変位計の設置は掘削終了後、一次吹付けを行った直後から行い、その後1分おきにデータを転送した。

図-5に計測結果を示す。計測開始後16分間は、相対変位が約0.17mm/minのほぼ一定速度の押し出し変位を示し、その後5mm/minという速い変位速度を示した。この計測では、計測開始後28分で変位計の計測範囲を超えてしまい、計測を中止した。0.17mm/minの相対変位速度は3m間の平均ひずみ速度に換算すると、約0.3%/hourとなり、岩盤の限界ひずみが1%程度であると考えれば、かなり大きな値である。

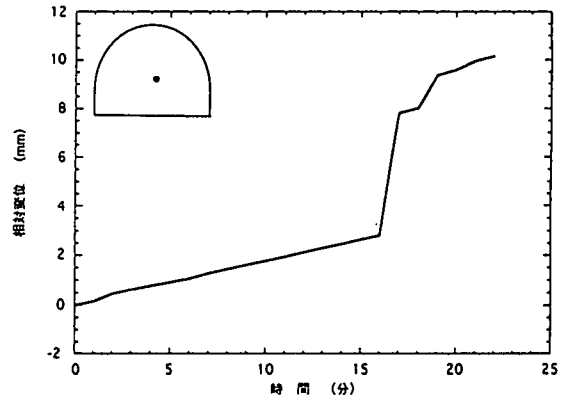


図-5 切羽面の岩盤変位

4. まとめ

著者らは変位計測をトンネルの施工に活用して行くため、設置性に優れ、かつ廉価な岩盤変位計の開発を試みた。本報文では、開発した簡易岩盤変位計の構造と計測システム、並びに幾つかの計測例を紹介した。本変位計を用いることにより、施工のサイクルを妨げることなく、トンネルの切羽進行による岩盤変形や時間依存性の変形、切羽面の変形などを計測し、施工へと反映させることができる。

今後も計測データを蓄積していくとともに、本変位計の改良や変位計以外の計測を施工に組み入れていく方法の検討を進めていく予定である。

謝辞

簡易岩盤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。