

液柱式インバート変位計の開発

大成建設 技術センター 正会員 ○谷 卓也
大成建設 東京支店 正会員 金子 哲也
レーザック 野口 美咲, 正会員 藤井 宏和

1. はじめに

脆弱な地山区間を掘削する山岳トンネルでは、しばしばトンネル底部（インバート部）が隆起し、その対策に多くの労力や工程の遅延を生じることがある。盤膨れと称されるインバートの隆起現象の把握、計測に対する重要性は認識されているものの、施工中のトンネルインバート部は工事車両等の通路として土砂で埋められているため、トンネルのアーチ部（天端）や側壁の変位を計測する光波測距儀による通常の方法が適用できない。インバート部の計測方法としては、路盤下のインバート上に設けられた計測点を鉄管等で保護し、レベル測量する方法がとられるが、施工中の路盤で実施するこの方法には多くの困難が伴う。そのため、近年、傾斜計を複数個連結した計測機器をインバート上に沿わせて計測する方法¹⁾や高感度の水圧計を利用して隆起に伴う微小な水圧変化を測る方法²⁾が考案されている。しかしながら、これらの計測機器は高価であり、坑内変位の計測断面に合わせてインバート部の変位を測るといった多点の計測については、コストや機器設置作業の手間といった点から実施は容易ではない。そこで筆者らは、比重の異なる2つの液体を用いることで、設置や変位量の読み取りが簡易に行え、電気式のセンサーを使用しない安価なインバート変位計を開発した（図-1）。



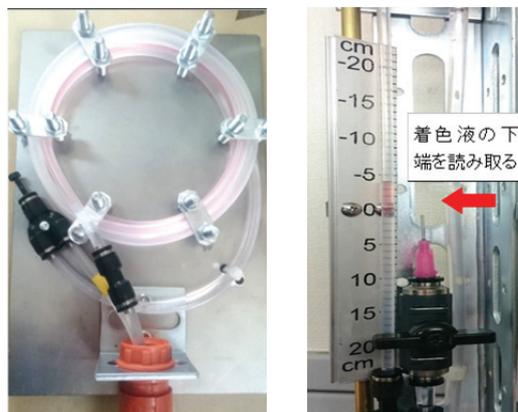
図-1 インバート変位計外観

本論文では、このインバート計測機器について、機器の構成と計測原理および室内における変位の検証結果を示し、今後の展望について述べる。

2. インバート変位計

2.1 機器の構成

開発したインバート変位計は、変位の検知部（図-2a）と生じた変位を読み取る表示部（図-2b）、その二つを連結する2本のチューブから構成され、現場においては、図-3 に示すように路盤下のインバート上に設置される。計測装置は、2つの比重の異なる液体がそれぞれに満たされた2本のパイプが変位検知部で接続されており、検知部が鉛直方向に変位した場合、読取り部の液面が上下する。読取り部には、着色された液体が入っており、液面位置から変位量が直読できる目盛りが付いており、変位の状況が一目で分かるようになっている。



(a) 変位検知部 (b) 変位表示部

図-2 変位計を構成する部品

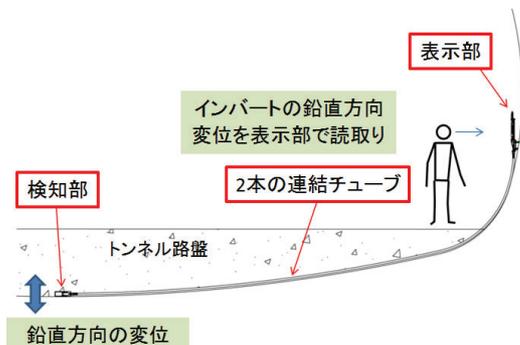


図-3 インバート変位計の設置概要

2.2 動作原理

比重が異なる2種の液体からなる液柱が、図-3のように液

キーワード 山岳トンネル, インバート, 液柱計, 変位計測, 盤膨れ

連絡先 〒245-0051 神奈川県横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設 技術センター 社会基盤技術研究部 TEL:045-814-7217

だまりで接する場合を考える。ここでは相対的に比重の大きい液体を重液，小さい方を軽液と呼ぶ。変位が生じる前(図-4 左)，比重が ρ_h の重液の水頭を H とすれば，比重が ρ_l の軽液は $(\rho_h/\rho_l) \cdot H$ の位置でつりあう。なお，液だまりの高さ H_c は H に比べて無視できるほど小さいものとする。

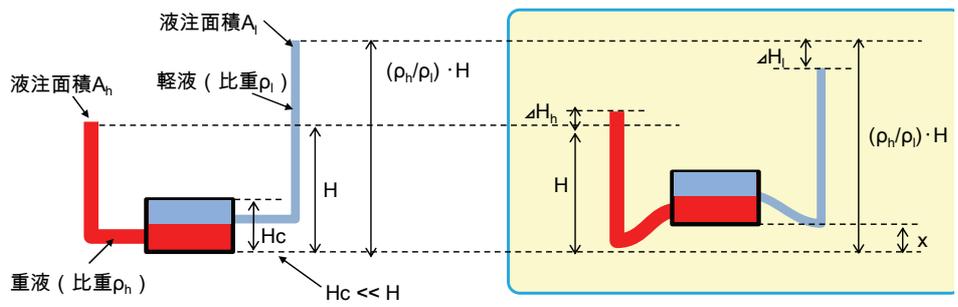


図-4 2つの液柱の水頭バランス (左：変位発生前，右：変位発生後)

ここで，液だまりに鉛直変位 x が生じた場合 (図-4 右)，各々の水頭がバランスするには，液体上面がそれぞれ ΔH_h ， ΔH_l だけ変化する。このとき，両水頭のバランスは，式(1)のようになる。

$$(H-x + \Delta H_h) : \{(\rho_h/\rho_l) \cdot H - x + \Delta H_l\} = \rho_l : \rho_h \quad (1)$$

また，両液柱間を移動する液体の体積は等しいので，

$$A_h \cdot \Delta H_h = -1 \cdot A_l \cdot \Delta H_l \quad (2)$$

式(1)と式(2)より，軽液面の変化量 ΔH_l と変位 x は，

$$\Delta H_l = (\rho_l - \rho_h) / \{ \rho_l + \rho_h \cdot (A_l / A_h) \} \cdot x \quad (3)$$

となる。つまり， ΔH_l (あるいは ΔH_h) を読み取れば，液だまりの変位 x を知ることができる。この方法では，2液の比重差が大きく，軽液柱が重液柱と比較して細いほど感度が良くなる。

3. 性能確認試験

これまでに軽液と重液の種類およびチューブの材質の異なる数種類の変位計を作成・検討しているが，これらの内，高感度型の変位計について，室内で計測精度を検証した結果について述べる。高感度型に用いた液体の種類と比重，チューブの材質を表-1に示す。精度の検証は，検知部を上下方向に移動できるステージに乗せ，ステージの変位と表示部で読み取った値を比較する方法で行った。

下降と上昇を2回繰り返した結果を図-4に示す。図からは沈下と上昇で最大5mm程度の読取り変位の差は見られるものの概ね良好な線形関係を得ており，盤膨れ現象など継続して隆起する大きな変位の把握には問題ないと思われる。

4. まとめと展望

簡易にインバートの隆起量(または沈下量)を計測する手法および計測機器を開発し，その性能を確認した。この機器は電気式のセンサーを使用しないことから，電源を要せずかつ従来機器と比較しても非常に安価であり，機器の設置や計測も簡便に行える特長を有している。また，同一断面に複数の機器を設置することも可能なことから，インバート上の変位分布も把握することができる。開発したインバート変位計の採用により，安価で簡便なインバート計測の実施が期待できることから，今後は長期耐久性の確認および計測精度の向上の課題について，継続して改良・改善に取り組んでいきたい。

参考文献

1) 北澤剛：性状変化が激しい泥岩を前方探査にて事前に評価し掘削，第76回(山岳)施工体験発表会論文集，pp66-73，2015。
 2) 宮沢一雄，木梨秀雄，秋山剛史，伊藤哲：インバート変位計による施工中の路盤隆起観測と対策工，第27回トンネル工学研究発表会，I-23，2017。

表-1 高感度型の材料

材料種	溶液名・材料名
重液	エチレングリコール15%水溶液
軽液	ポリタンゲステン酸 ナトリウム (SPT) 水溶液
チューブ	フッ素樹脂 (FEP)

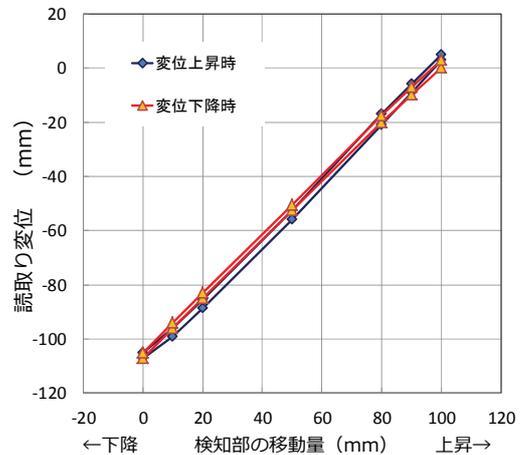


図-5 高感度型の性能検証