

液柱式インバート変位計測装置の室内検証試験

レーザック 正会員 ○藤井 宏和
大成建設 技術センター 正会員 水野 史隆
大成建設 技術センター 正会員 谷 卓也

1. はじめに

筆者らは、山岳トンネルのインバートで生じる盤膨れを容易かつ低コストな方法で検知する手段として、液柱式インバート変位計測装置の開発を進めている¹⁾。本論文では2018年の前報からの開発の進捗と、新たに生じてきた課題、その対策、そして今後の展望について述べる。

2. 液柱式インバート変位計測装置

液柱式インバート変位計測装置は、比重の異なる2種の液体からなる液柱を連結させたものである。2種の液体の接触部（接液部と呼ぶ）をトンネルインバートに設置すれば、この部分が検知部となり、チューブでつながれた地上の表示部の液面位を読み取ることで、路盤下のインバートの上下変動を観測できる。インバートに隆起挙動が生じた場合、当装置の指示部ではその挙動が液面レベルの低下として現れる。インバートが沈下した場合は、液面レベルは上昇する。よって、機器の感度としては概ね1:-1である¹⁾。当装置は、電子部品等の複雑な部品を一切使用しておらず、低コストで製作できることや、現場への設置に際しては電源の供給を考慮する必要がないことが大きな特徴である。

以上のように、動作原理や基本構造は単純なものであるが、検知部となる重液と軽液の接液部の構造には工夫を要した。重液と軽液は両者とも水ベースの液体であるため、接液させると混ざってしまう。そこで、接液部をチューブコイル状とし、そのコイル内で両液をオイルを介して接触させている。また、装置の温度変動に対する安定性にも配慮した。チューブ材質と内部液体の温度膨張率が大きく異なると、装置指示値の温度変動が極めて大きくなる。そこで、チューブの材質は水(20°Cにて200 $\mu\text{e}/^\circ\text{C}$ 程度)よりも大きい膨張係数を示すフッ素樹脂製(300 $\mu\text{e}/^\circ\text{C}$ 程度)を採用し、さらに、内容液にエチレングリコール(640 $\mu\text{e}/^\circ\text{C}$ 程度)のような膨張量調整用の液体を混ぜ、チューブと内用液との膨張量を近づけている。これにより、温度が変化しても指示液面の変動は小さく抑えられている。

3. 長期安定性の課題と改善方法

このようにして製作された当装置は、性能的には、図1の感度特性に示されるようにインバートの変状をとらえるに十分な性能を有する。しかし、数か月以上の長期の変動を計測できる安定性を有

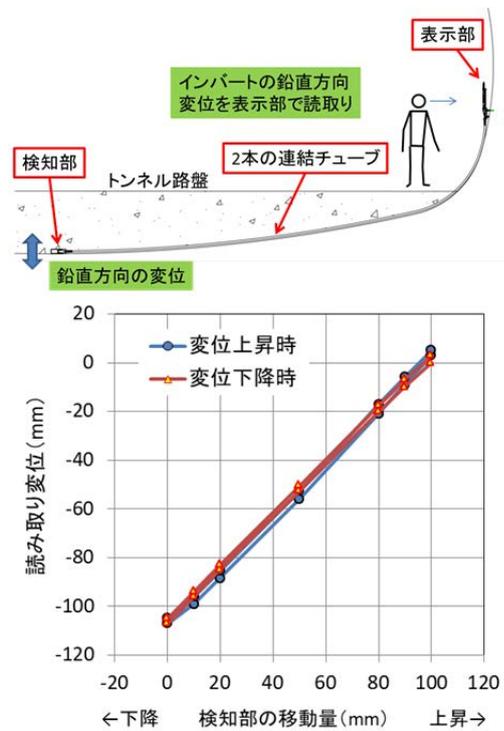


図1 液柱式インバート変位計測装置の概略と感度特性¹⁾



図2 長期安定性対策を施した液柱式インバート変位計測装置

キーワード 山岳トンネル, トンネルインバート, 液柱計, 変位計測, 盤膨れ

連絡先 〒124-0002 東京都葛飾区西亀有 1-5-3 (株)レーザック TEL:03-6662-7270

するかどうかは未検証であった。そこで、約1か月にわたる室内における静置安定試験を実施したところ、図3に示すように指示液面が低下していく様子（変位指示値としては「隆起」傾向）が観察された。この原因について様々な検証を行ったところ、当装置に用いられている樹脂チューブから内用液が蒸散していることが判明した。図4はその検証の中の1つであるが、計測装置に使用されていると同様の液を、接合部のない1本物の樹脂チューブに充填し、液面変動を長期観察した。乾燥空气中にチューブが置かれた場合は、液面が大きく低下する様子が観察される。これに対して水中に定置した場合、蒸散が生じないために液面は変動しない。樹脂は分子レベルでみると多数の孔があり、水蒸気を微量ながら透過させることが知られている（例えば2）。

この現象の対策のために、樹脂からの内容液蒸散防止のために、チューブ材質を気体透過性のない金属に変更することも考えた。しかし、これでは上述のように装置の温度依存性が大きくなる。そこで、これまでの材料・材質、構造はそのまま生かし、装置全体を蒸散防止のための液体中に収めることとした。すなわち、装置全体を金属製アウターケースおよび外管に収め、その内部には装置に使われている軽液と同じ液体を満した。このように改良を加えたものが図2に示す二重管型の装置である。

4. 長期安定性の検証試験

改良を施したのち、再び長期安定性試験を実施した（図5）。2回目の検証試験では、実際のインバートの変化を模擬して、初期4日間は、1日おきに2mm上昇の割合で微小な変位を与え、5日間静置したのち、さらに2mmの上昇を与え、9日以降は静置する方法を取った。その結果、試験初期の微小な変位を、若干の時間遅れがあるものの検知し、その後の静置期間である45日目までは指示値は一定の値にとどまった。このように、掘削直後のインバートの変状を検知するには十分な性能と安定性を有することが確認できた。しかし、45日目以降、わずかながら指示値に変動がみられる。また、試験初期に与えた変位に対する反応については、装置が示す変位量は、原理的に計算される感度の約1.6倍を示している。これまでの開発・試作においてもこのような事例はなく、想定外の事象である。

5. まとめと展望

これまで約4年にわたって液柱式インバート変位計測装置の開発を続けてきた。この間、現場へ設置するための装置の工夫・改良、指示値ドリフト現象の対策など多くの課題に直面してきた。当装置のようなものはほぼ前例がないため参考とできる情報が少なく、いずれの対策にも多くの時間を要してきた。現状、安定性に関しては、少なくとも約1か月間の中期的安定性が確認できた。今後、さらなる長期的安定性の獲得や、「感度が予想より大きい」という現象の原因解明を進め、トンネルでの原位置検証試験へ展開していきたい。

参考文献

- 1) 谷卓也, 金子哲也, 野口美咲, 藤井宏和: 液柱式インバート変位計の開発, 土木学会第75回年次講演集, pp. 97-98, 2018.
- 2) バリア研究会: バリア技術 -基礎理論から合成・成形加工・分析評価まで-, 共立出版, 2014.

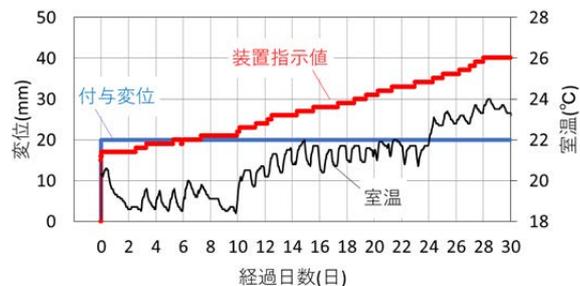


図3 液柱式インバート変位計測装置の指示値ドリフト現象

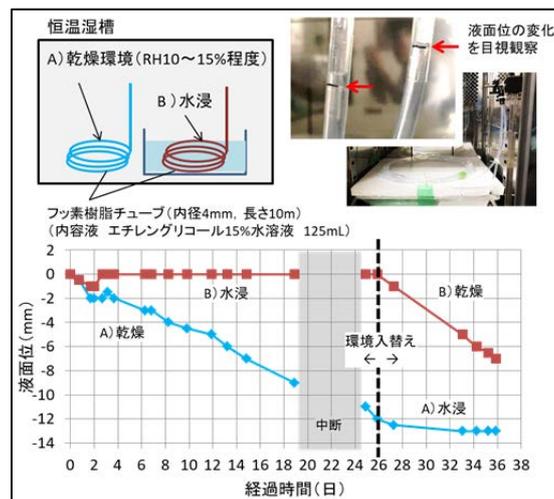


図4 蒸散による容量減少の再現実験

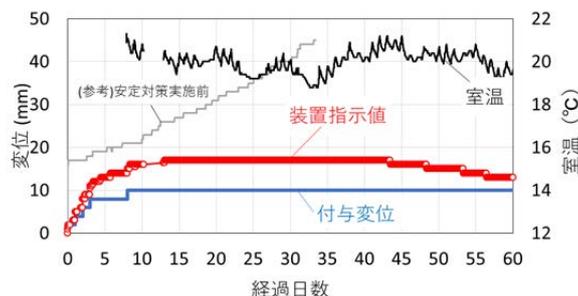


図5 対策を施した液柱式インバート変位計測装置の長期安定性検証結果