

表面設置型トンネル内空変位計測システムの開発

前田建設工業(株)	正会員	福山	雅典
前田建設工業(株)	正会員	笹倉	伸晃
前田建設工業(株)	正会員	舟橋	政司
東京電力(株)		田尻	功
東電設計(株)	正会員	松本	正浩

1. はじめに

トンネルの維持管理にあたっては、内空変位計測が不可欠であるが、供用後には、岩盤変位計や光波測距による計測が困難な場合が多い。そこで、後施工可能な表面設置型の内空変位計測システムを考案するとともに、その基本原理の妥当性を模型実験により確認した。

2. トンネル変状計測システムの概要

2.1 計測システムの原理

本計測システムは、鋼製のアンカー部材とアルミアングル部材を用いてトラスをアーチ形状に組み合わせた構造となっており（図-1）、地山の変状はアルミ部材のひずみとして検出することが出来る。また、トンネルの変形形状は、検出された部材のひずみ計測値と余弦定理を用いて（図-2）、各トラスの節点座標を算出することによって計測出来る。余弦定理を用いる場合、トラスを形成する三角形の3辺の長さが既知とならなければならないが、鉄とアルミの剛性比が大きいこと、構造上アンカー部材に発生する軸力が小さいことにより、地山と接している鋼製アンカー部材の変形はないものと仮定している（図-3）。ひずみの計測には、光ファイバー（BOTDR）を用いることによって、耐久性の向上と計測の効率化を図っており、外周部分A、内周部分B、斜部分Cの3系統を直列に接続して1系統として計測している。

3. 計測システム検証結果および考察

3.1 骨組み解析による計測システムの検証

本計測システムの計測原理を検証するために、骨組み解析プログラムを用いてトンネルモデルの計測シミュレーションを実施した。解析に用いたトンネルモデルは、

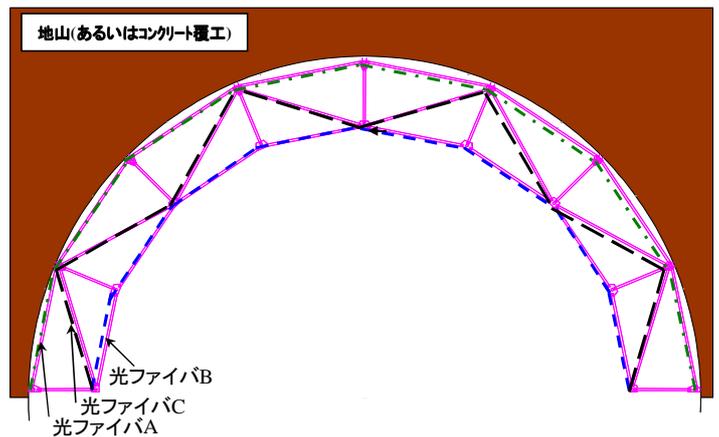


図-1 計測システム概要

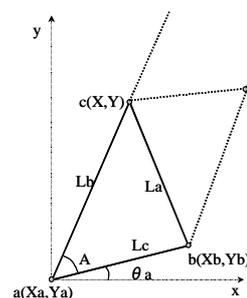


図-2 座標計算方法

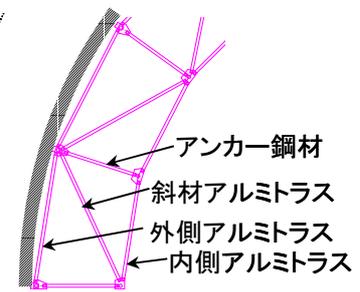


図-3 トラス詳細

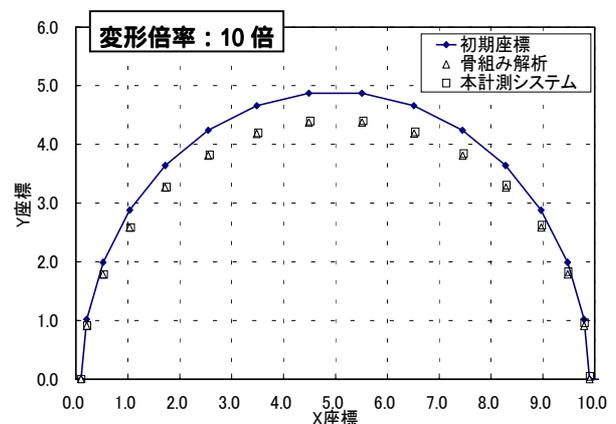


図-4 骨組み解析による計測システム検証結果

キーワード トンネル, 内空変位, 計測, 光ファイバ

連絡先 〒179-8914 東京都練馬区旭町 1-39-16 前田建設工業株式会社技術研究所 TEL03-3977-2384

直径が 10.0m，内空高さが 5.0m であり，内部に，トラス高さ 0.9m，分割数 15 分割の計測システムを配置した．解析では，トンネル天端に 5.0cm の鉛直下向きの強制変位を与えて，各トラス部材に発生するひずみを算出した．シミュレーションの結果，骨組み解析で得られた座標と本計測システム原理で算出した座標を比較すると，両者は良く一致しており本計測システムの妥当性が確認できたと考えられる（図 - 4）．

3.2 実大トンネル模型を用いた検証実験

実大トンネル模型は，H 形鋼（100×100×6×8mm）を用いて内空 8.0m とした．計測装置は，L50×50×6mm のアルミアングルを用いて，トラス高さ 0.6m，トラス分割数 8 分割とした．荷重方法は，トンネル頂部の 1 点荷重とし，トラス節点の変位量を変位計で直接計測した結果を光ファイバとひずみゲージから算出した結果と比較した．

図-5～図-7 は，荷重 5，10，20kN（荷重点鉛直変位 2.2，5.0，11.6mm）における各節点座標を示したものである．荷重が増加するにつれて変位計の計測結果と本計測システムから求めた結果との差が大きくなる傾向が見られる．一方，光ファイバとひずみゲージの算出座標を比較すると両者は概ね一致しており，当システムにおける光ファイバの適用性は確認できたと考えられる．

測定誤差の要因として，荷重が増加するにつれてアルミ部材接合部における断面欠損部（写真-1）やボルト周辺部に応力が集中し，部材中のひずみ分布が均一でなくなったことが大きな要因と考えられる．また，最大荷重時には，部材が面外変形を起こしている現象も目視観察できたため，当実験に用いた計測システムには構造的な問題点が潜在していることが明らかとなった．

4．まとめ

- ・ 骨組み解析プログラムによるシミュレーションの結果，本計測システムの妥当性が確認できた．
- ・ 実大モデルによる検証実験の結果，光ファイバとひずみゲージの計測結果はほぼ一致しており，光ファイバの適用性が確認できた．
- ・ 検証実験に用いた計測システムには，構造的な問題が潜在しており，荷重（変位）が増加するにつれて計測誤差が大きくなることが明らかとなった．
- ・ 本計測システムの測定精度を実用化するためには，トラス部材として弾性係数が小さく，且つ材料強度が大きい部材を選定するか，あるいはトラス部材に軸力を発生させない構造（スライド形式等）を適用することなどが必要であると考えられる．

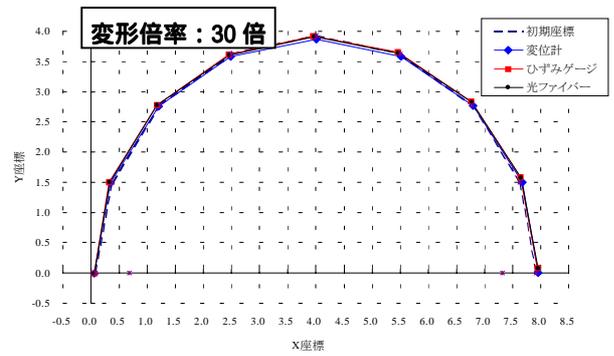


図-5 節点座標の比較（荷重：5kN）

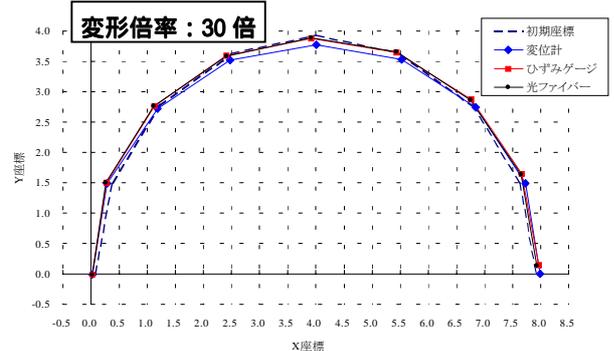


図-6 節点座標の比較（荷重：10kN）

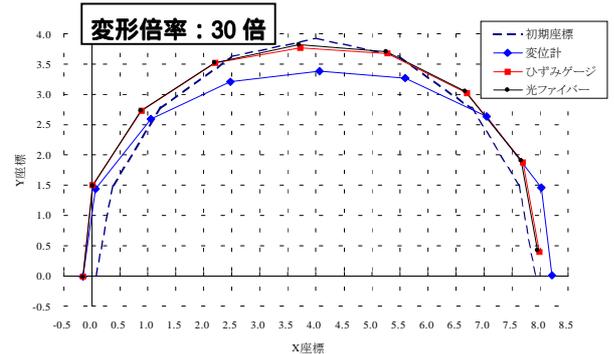


図-7 節点座標の比較（荷重：20kN）



写真-1 部材接合部