
土木学会技術開発賞受賞の紹介

Receiving the JSCE Innovative Technique Award

1. はじめに

青函トンネルは津軽海峡を横断する延長 53 km 850 m の長大海底トンネルである。海底部分の延長は約 23 km で、本坑の最深部は海面下約 250 m に位置し、トンネル周辺には 250 tf/m^2 に及ぶ水圧が常時存在している。掘削に際しては地山のゆるみ範囲を想定し、その外側の範囲まで注入を行って、強大な水圧に対しては、地盤改良されたゾーンで抵抗させ、覆工には直接水圧を作用させないこととした。このような特殊条件下にあるため、万一異常が発生した場合でも早期に対処できるよう、トンネルの健全度を常に把握しておくことが重要な課題となっており、湧水の量と質、覆工のひずみ、内空変位等を観測するものとした。このうち内空変位測定では、図-1 に示す四測線を設置し、mm 未満の精度で相対間隔を測定することにした。この場合、インバール尺等による直接測定が一般的であるが、青函トンネルでは、①走行列車本数が多く列車間隔が少ないため、線路横断作業は触車事故のおそれがあり、高所の測定には梯子等が必要。②内空断面幅が大きく弛度補正が必要。③電車線には交流 2 万ボルトが通電されており、感電事故防止策が必要。④レールに流れる信号電流を短絡させない方策が必要。等の理由から直接測定は好ましくない。したがって、線間にある保守用の中央通路から、光学的方法で計測する手法を検討し、最終的には 2 台のデジタルトランシットとパソコンを使用した三次元計測システムによる土木計測法を開発した。

2. 測定方法

本システムは図-2 に示すように、中央通路上の任意の位置に測点を挟んで、2 台のデジタルトランシットを 7~8 m の離れで水平に設置し、パソコンと接続のうえ、次の手順で測定を行う。まず、望遠鏡内の十字線を相互に視準し合い、角度を読み込む。続いて、インバール製の基準尺（長さ 3 m、1/1 000 mm まで検定したもの）を 2 台のトランシットから、なるべく同程度の距離となるような任意の位置に置き、基準尺の両端を視準する。このことにより、任意に設置した 2 台のトランシットの位置座標が決定され、測定の準備が完了する。

測点は半永久的とする必要性から、チタン製のボルト

三次元計測システムによる土木計測法の開発

下 河 内 稔
吉 川 大 三
登 坂 敏 雄
三 島 研 二
小 林 俊 雄

技術開発賞受賞の紹介

頭部に視準マーク（ $\phi 0.2 \text{ mm}$ ）を描いたものを使用しているが、視準できるものであれば、どのようなものでもよい。おのおのの測点を 2 台のトランシットで視準し終わるとパソコンによる座標計算で、各測線の距離が 0.1~0.2 mm の精度（2 対回測定の場合）で自動的に算出される。

3. 基本原理

本システムは 2 点から求点に向かって視準し、その交点を求めるということでは、三角測量における交会法と似ている。しかし、基本的に異なるのは、交

会法が視準線を水平面上へ投影して平面上の交点として求めるのに対し、図-3 に示すとおり、水平角と鉛直角とを測定した 2 本の視準軸の交点を直接三次元座標として求めることにある。

ところで、実際の測定においては、2 本の視準線が 1 点で交わることはほとんど不可能であり、図-4 に示すように求点のまわりになじれの関係で存在する。空間上

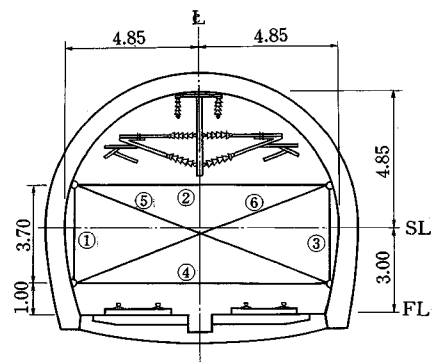


図-1 トンネルの内空断面測線

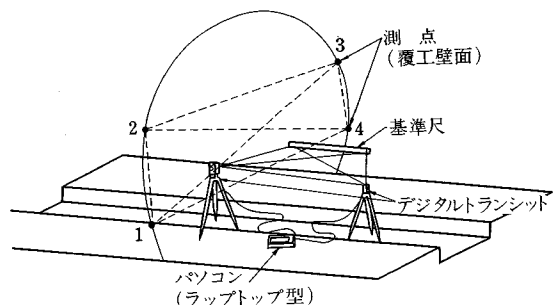


図-2 三次元計測システムによる内空断面測定概要

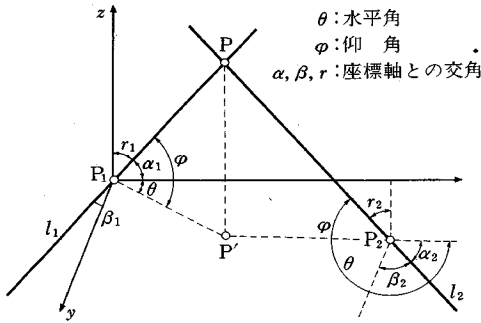


図-3 空間上の2直線の交点

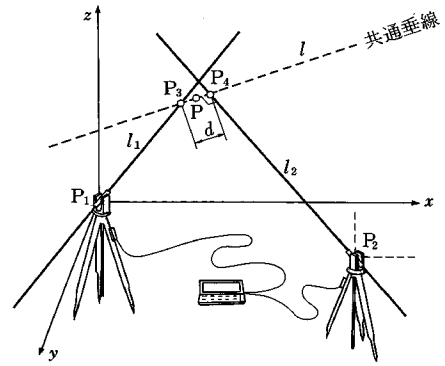


図-4 空間上の2本の視準線と共通垂線

のねじれの関係にある2直線に対しては、両者に垂直に交わる線分がただ一本だけ存在し、この共通垂線 l を計算で求め、これと2直線との交点 P_3 、 P_4 の中点 P を求点の決定座標とした。なお、 P_3P_4 間の距離 d は視準誤差を示す1つの目安となるもので、観測値の制限に利用している。

4. システムの特徴と応用

本システムの大きな特徴は、①トランシットを相互に視準して座標を決定するため、固定点を必要とせず、致心誤差を持ち込まない。②原理は簡単でも、計算は面倒なものであり、計測作業を簡略化するため、トランシットとパソコンをオンライン化した。このことにより、角度の読み取りが不要となり、直接入力されるため、間違いがなく操作が簡便になった。③その場で結果と精度が得られ、記録もフロッピーディスクに格納しておくので、多数のデータ管理も容易であり、アプリケーションソフトと連動させれば、想定作用荷重図等の出力も可能である。④三次元座標を求めているため、水平交会法より精度が良く、求点の計算方法と誤差推定方法とから、正反対回の視準で相当の精度が得られる。⑤測定点間に障害物がある場合や、高所、危険箇所など直接測定が

困難であった場所でも、2点が同一位置から視準できれば計測することができる。等である。

以上のような特徴を生かし、種々の土木計測に応用が可能であり、たとえば、①工事中のトンネル内空変位、天端沈下およびリングカット工法における周辺掘削時の初期変位。②地下発電所等の大断面空洞の変位。③開削工法等における親杭や土留壁の変位。④土被りの浅いトンネルの施工時等におけるトンネル上部の構造物の変位。等が考えられる。その他、パソコンのアプリケーションソフトを開発して連動させれば、さまざまな計測管理システムの形成も可能なものとなる。

5. おわりに

従来、測定が困難ないしは多大な労力を要した土木計測において、本システムを導入することにより、安全、迅速かつ正確な測定が可能となるものである。また、市販のデジタルトランシット、パソコンを組み合わせたもので、基準尺等も特別仕様というのではなく、汎用性のあるものばかりという利点があり、今後種々の計測管理に応用されることを期待する。

筆者：Minoru SHIMOKAWACHI, 正会員 日本鉄道建設公団高崎建設局次長（〒370 高崎市八島町5）