

三次元トンネルトモグラフィ探索システムの開発

鹿島建設(株) 正会員 ○横田 泰宏 山本 拓治 栗原 啓丞

1. はじめに

筆者らは、トンネル切羽前方や周辺の新しい地質調査手法として三次元孔間弾性波トモグラフィを応用した広域なトンネルトモグラフィ探索の適用性を検証してきた¹⁾。トンネルトモグラフィとは、切羽近傍や地表付近で発生させた弾性波を地表面に設置した受振器で観測し、トモグラフィ解析より地盤の弾性波速度を算出する手法である(図1)。トンネル切羽前方探索として一般的に実施される反射法探索や事前調査として実施される屈折法探索と比べ、弾性波速度の大小により破碎帯や硬岩部の分布状況とその程度を詳細に評価できる。

2. 探索装置の開発

通常の孔間トモグラフィ探索は、発振装置と受振器が有線で接続される。そのため、同様な手法でトンネルトモグラフィ探索を現場へ適用すると、地表面に設置した受振器とトンネル切羽近傍の発振装置を有線で接続する必要があり、施工性の観点から実施が難しい。そこで、筆者らは、発振システムと受振システムを無線化することで、トンネルトモグラフィ探索を実用的な手法とした。本探索装置の概要を以下に示す。

(1) 探索装置概要

トンネルトモグラフィ探索を行うためには、無線化された発受振システムを正確に時刻同期させなければならない。新しく開発したシステムはGPS衛星から送信される信号を発振側と受振側の両システムで受信し、両システムがUTC(協定世界時)に高精度に時刻同期するシステムとした。なお、トンネル坑内ではGPS信号が受信できないため、坑口で受信した信号が光ケーブルを経由して切羽近傍で受信できるようにした。図2はシステムブロック図である。発振側の探索装置は高精度TCX0(温度補償型水晶発振器)を内蔵しており、一度GPS信号を受信したら歩調が±5ppb程度に調整され、光ケーブルを中継しない場合でも6時間程度は時刻誤差が0.1msec以内に収まる性能を有している。

(2) 探索装置仕様

探索装置仕様は両システムから得られた発振波形と受振波形を合成した際に生じる誤差が1.0msec以内に収まることを目標にした。1.0msec以内で時刻同期できれば、解析結果は工学的に影響を受けない。

受振システムは、以下の①②に示す仕様とした。

- ① トモグラフィ解析ができるように他チャンネル収録を基本とし、任意の複数受振点で振動が観測されると計測データが収録される。
- ② GPS同期型とし、計測が開始された時刻を正確に評価することができる。

しかしながら、高サンプリングかつ多チャンネル収録が可能で、GPS同期機能のある波形収録装置はない。そのため、GPS同期型高精度時刻装置と波形収録装置を接続してタイムコードを入力し、開発した専用の読み取りソフトによってタイムコードをデコードし、計測時刻を正確に求めることにした。本システムでは、0.125msecのインターバルで収録した場合、

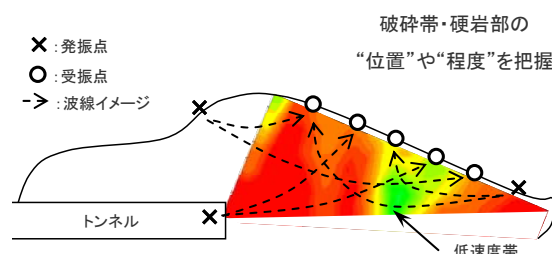


図1 トンネルトモグラフィ概要図

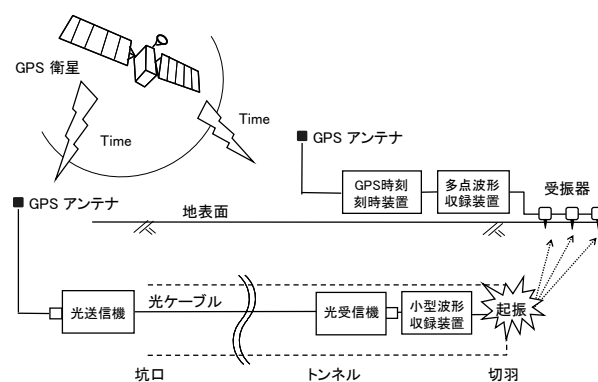


図2 探索システムブロック図

キーワード 山岳トンネル、切羽前方探索、弾性波トモグラフィ、GPS

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給2-19-1 鹿島建設(株) TEL 042-489-6594

0.0625msec の読み取り精度で計測開始時刻を算出することができる。

一方、発振システムは、光送受信機を経由して GPS 時刻に同期する小型収録装置でハンマー打撃や発破時のショットマークを収録する仕様とした。受振システムと同様に、GPS 同期型で発振波形を高サンプリングで収録できる装置は一般的ではない。そこで、本装置では開発した専用の読み取りソフトを用い、以下の①から④の手順で 0.0625msec の読み取り精度で発振時刻を求めるようにした。その結果、別システムのシステムで取得された発受振波形は、理論上、最大 0.125msec の誤差範囲内で合成することができるようになった。

- ① 事前に小型収録装置で記録されるショットマークの理論波形(初期値)を算出しておく。
- ② ショットマークの実測データを読み込み、理論波形(初期値)との相互相関係数の最も高いサンプルポイントを検出し、サンプル単位での発振時刻 $\bar{T}$ (サンプル単位)を推定する。
- ③ Δt を 0.125msec 刻みで変動する未知数として理論波形群を算出する。
- ④ 実測データと③で求めた理論波形群の逐次比較から Δt を求め、 $\bar{T}$ と Δt から次式により発振時刻 T を 0.0625msec の読み取り精度で導出する。

$$T = \bar{T} + \Delta t$$

3. 精度確認試験

開発した探査システムから得られる合成データと従来の有線システムから得られる波形データを比較し、実際に生じた時刻誤差を検証した。試験状況及び発受振点配置は図 3 の通りである。図 4 左は受振収録システムであり、図 4 右は光ケーブルを含む発振収録システムである。

図 5 は代表的な取得波形の比較図である。これより両波形データに違いはほぼ見られず正確に時刻同期や波形合成ができたことが分かる。その他のデータも含め、両者の差分平均値と標準偏差を算出すると、差分平均値は 0.20msec、標準偏差は 0.18msec であった。

前章で説明したように、理論上は最大 0.125msec の誤差と想定していたが、今回の試験結果はばらつきを考慮すると幾分大きな値となった。この理由は、従来手法での打撃点と新システムでの打撃点が僅かに異なったことも一因と考えられる。

4. まとめ

筆者らは、トンネル切羽前方および切羽周辺の新しい地質調査手法としてトンネルトモグラフィ探査を開発し、その実用性を向上させるため GPS 同期型の新しい探査システムを開発した。精度確認試験より、時刻誤差を検証し、十分に現場適用可能な探査システムであることが確認された。

参考文献

- 1) 横田泰宏, 山本拓治, 小泉悠: トンネル切羽前方広域三次元弾性波トモグラフィに関する基礎検討, 土木学会第 66 回年次学術講演会, III-092, pp. 183-184, 2011.

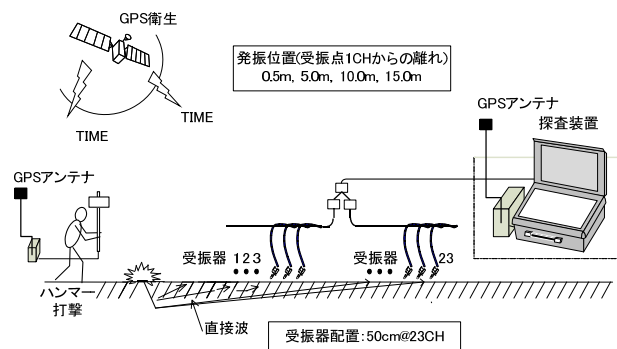


図 3 発受振点配置 (新手法)



図 4 収録システム (左: 受振、右: 発振)

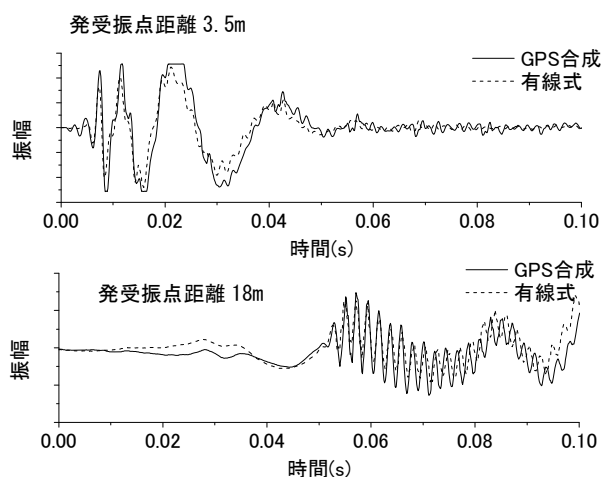


図 5 取得波形の比較