

# 切羽前方探査における地震波干渉法の試行

村山 秀幸<sup>1</sup>・野田 克也<sup>2</sup>・石川 浩司<sup>2</sup>・藤原 明<sup>2</sup>・清水 信之<sup>2</sup>

<sup>1</sup>正会員 工博(株)フジタ 技術センター 土木研究部 (〒243-0125 神奈川県厚木市小野 2025-1)  
E-mail:murayama@fujita.co.jp

<sup>2</sup>株式会社地球科学総合研究所 (〒112-0012 東京都文京区大塚 1 丁目 5-21 茗溪ビルディング)  
E-mail:noda@jgi.co.jp, koji-i@jgi.co.jp, akira@jgi.co.jp, shim@jgi.co.jp

筆者らは、トンネルの施工時調査手法として弾性波反射法のVSP処理に基づくトンネル浅層反射法探査 (Shallow Seismic Reflection survey for Tunnels, 以下SSRTと称す) を開発してきた。SSRTは震源に発破, 機械震源を選択できることから, 通常の坑内における探査 (坑内SSRT), 掘削前に坑外から実施する探査 (坑外SSRT), さらに段発となる掘削発破を震源とする探査 (連続SSRT) に発展させてきた。近年, 特別な震源が必要なく従来ノイズとされてきた振動記録から, 地下構造をイメージングする地震波干渉法が注目されている。本稿では, 地震波干渉法を施工中の切羽前方探査である連続SSRTに導入するための基本的な考え方を整理し, 現場観測データを用いて地震波干渉法に基づく切羽前方探査を試行した結果と課題について述べる。

**Key Words :** *geological prediction ahead of tunnel face, Shallow Seismic Reflection survey for Tunnels(SSRT), seismic interferometry, auto-correlation*

## 1. はじめに

筆者らは, 施工中に実施する切羽前方探査技術として, トンネル浅層反射法探査 (Shallow Seismic Refection survey for Tunnels, 以下 SSRT と称す) を開発し, 各種トンネルに適用を進めてきた<sup>1)~5)</sup>。SSRT は震源として, 発破や機械震源 (油圧インパクト, バイブレータ) を現場条件に合わせて選定できることから, 適用が発破掘削のトンネルに限定されず, TBM を含む機械掘削トンネルにおいても容易に適用できることが特徴である<sup>1)~4)</sup>。一方, 発破掘削のトンネルでは, 起爆力の大きな段発となる掘削発破を常時使用しており, 段発発破を探査用震源に活用できれば, 特に探査工程を設定しなくても日常的かつ連続的に切羽前方探査を実施でき, 掘削サイクルに影響を与えずに切羽前方を探査することが可能となる。本手法では, 観測装置の時計精度を  $10^6$  秒 ( $\mu$  秒) 程度に確保することが必須となり, GPS 信号光伝送装置あるいは原子時計となるルビジウム刻時装置を開発することによりこの課題を克服し, 連続 SSRT (SWE-SSRT : Seismic while Excavation using SSRT) と称することとした<sup>5)</sup>。

地震波干渉法とは, 「異なる受振点で観測された振動記録の相互干渉により, あたかも一つの受振点位置を仮

想的な震源として, 他の受振点で観測を行ったような振動波形を合成することができる信号処理手法」である。

すなわち, 地震波干渉法によれば, 受振点を仮想的な発震点あるいは発震点を仮想的な受振点として振動波形を合成でき, 特別な震源が必要なく従来ノイズとされてきた振動記録を地盤探査に有効に活用できる可能性があると言える。

本手法の理論提唱は意外に古く 1968 年に Claerbout<sup>6)</sup>によって, 一次元モデルにおける反射記録が自己相関 (auto-correlation) から導かれることが示され, 2006 年頃から物理探査分野<sup>7)~9)</sup>で急速に注目されはじめた。

施工中のトンネルでは, 発破, 掘削機械, 重ダンプ走行など地盤振動の発生を伴う作業が多く, この振動ノイズを切羽前方探査に活用できれば画期的である。

掘削発破を震源に活用する連続 SSRT に地震波干渉法を導入できれば, 発破時刻の記録が不要となることや 1 回の発破で切羽前方の反射記録が得られることなど様々なメリットが考えられ, 例えば坑内に常設する観測機器の簡素化などが期待できる。

しかしながら, 施工中のトンネル切羽前方探査に地震波干渉法を適用した事例はなく, どの程度の SN 比を有する振動記録をどのように処理すればよいかという基本

的な観測手法と波形処理方法が確立していない。

本稿では、地震波干渉法を施工中のトンネル切羽前方探査である連続SSRTに導入するための基本的な考え方を整理し、現場観測データを用いて地震波干渉法に基づく切羽前方探査を試行した結果とその課題について述べる。

## 2. 地震波干渉法の概要とトンネルへの適用

### (1) 地震波干渉法の概要と既往研究

図-1に地震波干渉法概念図<sup>8)</sup>を示す。地震干渉法では、異なる二点間で同時に観測された振動記録の相互相関処理 (cross-correlation) により、一方を震源として他方を受振点とする擬似的な振動記録を合成することができる。図-1では、振動記録 $T(x_A, x_B, t)$ と $T(x_B, x_A, t)$ の相互相関処理により、仮想振動記録 $R(x_A, x_B, t)$ を合成できる。すなわち震源から点Bに到達した波 (走時 $t_B$ ) とその波が地表面で反射し地中を伝播して点Aに達した反射波 (走時 $t_A$ ) の相互相関によって、走時 $t_A - t_B$ に点Bを震源として点Aで観測される反射波が合成される。

図-1の例では、震源を自然地震と仮定しており、相互相関処理では、個別の二つの波形がどれだけ似ているかを示すことができる<sup>10)</sup>。地震探査分野では、受動的観測記録として主に自然地震の観測記録を用いた地下のイメージングに地震波干渉法が適用されつつある<sup>9)</sup>。

一方で、前述のClaerbout<sup>9)</sup>は、地中にある震源からの波を地表で観測した透過波記録の自己相関 (auto-correlation) により、地表に震源および受振器を設置したとする反射記録が抽出できることを示した。自己相関とは、同一の波形記録において過去の波形が現在の波形とどれだけ似ているかを示しており、ある時間ごとに自己相関が大きくなるとは、元の波形はその時間で周期性・類似性 (繰り返し現象) を持つことを示している。

以上から、連続SSRTに地震波干渉法概念を導入する際には、振動ノイズ信号として起爆力が大きな掘削発破の振動記録を用いることが有利と考えられ、波形処理方法としては、相互相関処理を行う場合と自己相関処理を行う場合が想定される。

連続SSRTにおける相互相関処理とは、坑内の各受振点 (通常12ch) において仮想震源波形を合成することに相当し、その合成波形を用いて通常のSSRTで行うVSP処理を適用し、切羽前方地山の反射記録を得る手順となる。一方、坑内の各受振点における発破振動記録を自己相関処理すると、発破点である切羽位置を仮想受振点とする切羽前方地山の反射記録を含む処理波形が、受振点毎に得られることになり、自己相関処理の方が解析処理手順が単純で平易と考えられる。

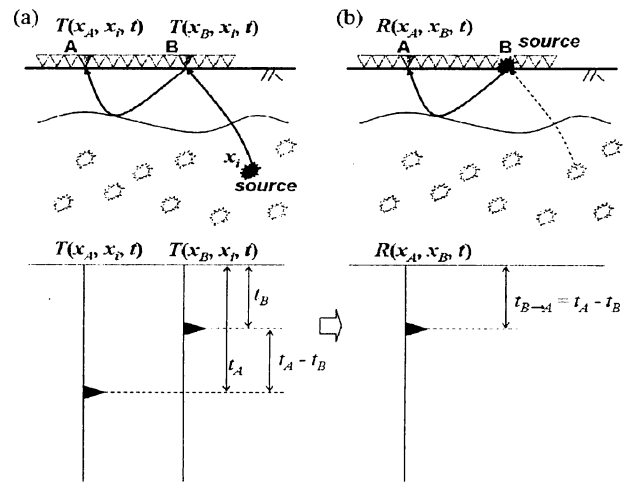


図-1 地震波干渉法概念図<sup>8)</sup>

### (2) 地震波干渉法のトンネルへの適用事例

地震波干渉法をトンネル地山の探査に適用した事例は少なく、特に施工中に切羽前方地山を探査しながら設計・施工に反映したという事例は皆無と考えられる。

トンネル施工中の探査に相当する手法は、Petronio<sup>11)</sup>の提案するTSWD (Tunnel Seismic While Drilling) であり、連続SSRTの開発コンセプトと類似する。TSWDは施工時に、通常ノイズとして扱われるTBM掘進時の振動を切羽後方に設置した受振器で取得し、地震波干渉法 (自己相関) を用いてトンネル切羽前方地山を予測する手法である。しかしながら、本適用事例は、掘削完了後に取得データを解析し、掘削 (掘進) 記録と予測結果を対比した事例と考えられ、日本と海外における工事請負形態が異なることにも起因すると考えられるが、施工時に探査結果を設計・施工に反映した事例ではない。

TSWD適用事例の概要は以下である。本手法では、トンネル坑口近傍の坑外に設置した3成分ジオフォンと坑口付近の坑内に設置した3成分加速度計を用いて観測を行い、TBMの掘進振動記録を震源 (ノイズ信号) として、地震波干渉法に基づく自己相関処理を行いトンネル周辺地山の反射面を抽出し、その反射面分布とTBMの掘進記録から得られた地質データ (RMR値) とを比較し本手法の妥当性を検証している。一方、得られた振動記録からP波とS波 (トンネル軸方向と直交方向) の周波数分析を実施し、共にSN比が高く高品質の波形記録であることを検証し、主にS波を用いた自己相関処理により地山の反射面分布を抽出している。

一方、国内のトンネルにおける地震波干渉法の適用事例としては、伊東らの報告<sup>12)</sup>がある。本報告は、トンネルの地震防災や維持管理を目的としており、供用中のトンネル周辺地山の堆積層の厚さや断層、褶曲などの地質構造を把握する目的で地震波干渉法を適用し、地下の可視化を試行している。適用したトンネルは、いずれも供

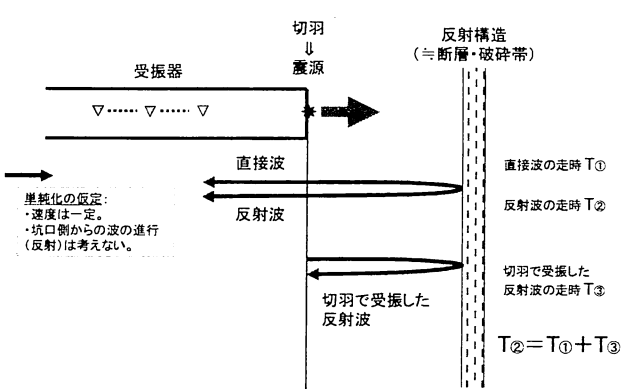
用中であり、山岳地の道路と鉄道および都市部のトンネルである。地震波干渉法としては、明確な記述がないが疑似ショット記録を求めていることから相互相関処理を適用したと考えられる。道路トンネルへの事例では、通行止め期間に坑内に受振器を配置し、車両を坑内で往復運転させてその走行ノイズを震源に活用している。鉄道トンネルは新幹線であり、トンネル直上の地表面でルートがほぼ一致する道路上（延長約700m区間）に受振器を配置し、新幹線の走行ノイズを震源としている。これら山岳トンネルにおける適用事例から、深さ数100mにおよぶ鉛直方向の反射記録が得られているが、切羽前方に相当するトンネル水平方向に対する反射記録ではない。よって、得られた結果は、山岳トンネルの事前調査に汎用的に用いられている弾性波屈折法を反射法に変えたイメージとなる。都市部のトンネルは地下鉄であり、鉄道トンネルと同様にトンネルルート上の道路を利用して測線（延長約150m）を配置し、地下鉄の走行振動ノイズを震源としてS波を用いた深度50m程度までの反射記録が示されている。以上の伊東らの事例は、探查結果と例えばボーリングデータ等による地質性状との対比がなされておらず結果の検証が不十分と言える。

以上から、連続SSRTにおいて地震波干渉法概念を導入するためには、Petronioらの提案するTSWDが最も参考となる。

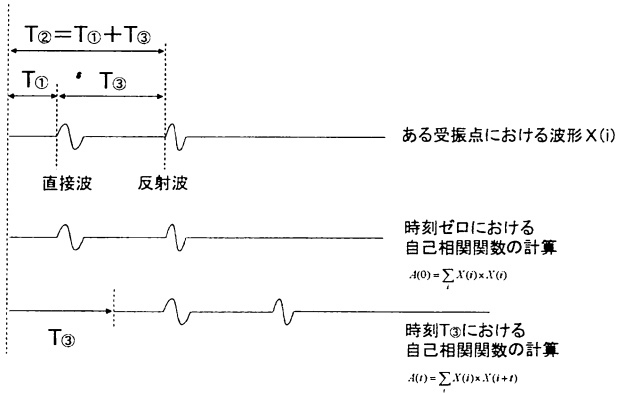
### 3. 地震波干渉法の連続SSRTへの導入

連続SSRTは、段発となる掘削発破の段間時間（DS雷管の段間時間約250ms）を震源として、切羽から100m程度後方の側壁脚部に受振器としてジオフォンを12箇所程度設置し、坑外にも受振器を常設させることにより、日常的かつ連続的に切羽前方地山を探查する手法である。本手法では、発破時刻を正確（ $10^{-6}$ 秒程度）に取得することと、坑内と坑外の振動記録装置の内部時計を同じ基準時計で校正し時計精度を確保する技術が必須となる。本手法では基準時計をGPS衛星からの刻時信号で校正された時計としている。GPS信号が受信できない坑内においては、誤差の極めて小さいルビジウム時計（原子時計）を坑外でGPS信号で校正した後、掘削作業中の坑内に常設することで時計精度を確保している。

連続SSRTでは、切羽進行に伴う掘削発破の振動データを20データほど蓄積してからVSP処理による切羽前方の反射記録を得る。通常坑内で実施するSSRT（坑内SSRT）では探查用に特別な震源（探查用の小薬量発破、油圧インパクト、パイブレータなど）を準備し、坑内を占有して探查するが、連続SSRTでは探查時に特別な震源が必要無いことおよび、坑内を占有しないので掘削サ



(a) 切羽(発破点)で抽出される切羽前方の反射波形の概念



(b) 受振点波形と切羽(発破点)で自己相関処理によって抽出される切羽前方の反射波形の概念

図-2 連続SSRTでの地震波干渉法（自己相関処理）の適用原理

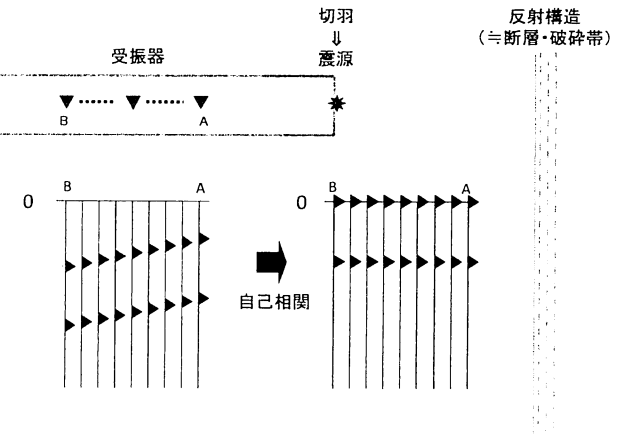


図-3 複数受振点での自己相関波形の重ね合わせの概念図

イクルに影響を与えないことがメリットであるが、掘削発破データが蓄積しないと結果が得られず即時性との観点からはデメリットもある。

一方、坑内に常設する探查機器は、電源ノイズや電磁波の影響を受けやすく、高湿度の坑内は、精密機器を常設させる環境としては良好ではなく、坑内観測機器の簡素化が望まれている。

図-2に、連続SSRTの坑内観測機器配置における地震波干渉法の適用原理を示す。連続SSRTでは自己相関による処理を実施する。単純化の仮定としては、地山弾性

波速度は一樣として、測線後方となる坑口側からの反射は考慮しない。図-2に示すように各受振点では、切羽＝発破点からの直接波が記録され、その後切羽前方に想定される反射構造（断層や破碎帯等）からの反射波が記録されていると考えられる。受振された波形の類似性を抽出する自己相関処理（ある時刻同士の積和）では、時刻0（切羽＝発破点）における値が最大（切羽での発震と受振）となり、切羽を原点（仮想受振点）として、それ以降の時刻に得られる波形に切羽前方地山からの反射構造が抽出されることが期待できる。

図-3には、1回の発破において複数の受振点で得られる自己相関波形を重ね合わせる概念図を示す。従来のSSRTでは各受振点の反射記録が弾性波速度に相当する遅れ（傾き）を持つことから各受振点での反射記録を積算してカラーバーで表示してきた。一方、自己相関では1つの受振点から処理波形を抽出することが可能となるが、図-3のように各受振点での処理波形を重ね合わせるにより強調することが可能となる。

なお、従来からのSSRTにおけるVSPでは処理過程で地山弾性波速度を仮定する必要があるが、自己相関の処理過程で弾性波速度は必要ない。ただし、VSP処理と同様に得られた時間断面の波形記録から、切羽前方の距離を算出する際には弾性波速度を仮定する必要がある。

以上から、地震波干渉法（自己相関）を連続SSRTに導入するメリットとして以下が期待できる。

- ①発破時刻の記録が不要になること
- ②1回の発破でも切羽前方の反射記録が得られること
- ③受振点は複数点が望ましいが1箇所でも可能なこと

この地震波干渉法のメリットは、連続SSRTにおけるデメリットを解消し、探査結果の即時性と坑内機器の簡素化が期待できる画期的な波形処理技術であると言える。

## 4. 現場観測データを用いた地震波干渉法の試行

### (1) 坑内SSRTと連続SSRTにおける切羽前方予測

連続SSRTを実施したトンネル現場の掘削発破を震源として地震波干渉法を試行した。適用したトンネルの地質は、花崗閃緑岩からなり地山新鮮部の弾性波速度は、4 000～4 500m/sと想定され、主に空中写真判読によるリニアメント観察から数箇所断層が発達する可能性が指摘されていた。

本現場では、トンネル平面線形を考慮して曲線区間では坑内で測線方向を平面線形に合わせて調整できる坑内SSRTを小薬量の探査用発破を震源として実施し、直線区間で連続SSRTを実施した。図-4に、坑内SSRTと連続SSRTの坑内測線配置をトンネル平面で示す。図には得られた切羽前方の反射記録をカラーバーで併記した。坑

内SSRTの測線は、曲線区間であることから探査測線をトンネル線形に合わせて探査深度300mでトンネルセンターとなるように配置した。連続SSRTの測線は、トンネル進行方向に対して左側の側壁脚部に配置した。よって、両測線は、多少位置関係が異なっているがトンネル断面内の切羽前方地山の反射記録となっている。図のハッチング区間が連続SSRT実施時の掘削発破区間であり、25発破の振動データを蓄積し解析を実施した。

図-5に、坑内SSRTと連続SSRTで得られた切羽前方の反射記録と切羽評価点を対比して示す。地山弾性波速度は共に $V_p=4\ 000\text{m/s}$ を採用した。図に示すように、連続SSRTでは掘削発破区間の反射波が抽出できないが、両者の反射記録は概ね整合性があると考えられる。反射面記録と切羽評価点の推移から、図に示すようにゾーンⅠ～Ⅲに区分できる。ゾーンⅠは、「弱い反射面が分布し切羽評価点40～60点で差がある区間」、ゾーンⅡは、「比較的反射面が多く、地山変化があるゾーンで評価点35～45点となる区間」、ゾーンⅢは、「反射面が少なく安定したゾーンで評価点60点前後の区間」に相当する。

施工的には、測点No.184より切羽地質が安定すると想定しCⅡからCⅠに支保パターンを変更した。なお、一般的に地山が硬質なほど反射面が少ない傾向にあるが、図のNo.188～185付近では比較的軟質であるが地山変化が小さいため反射面が少ない区間となっている。

以上から本トンネルの地山では、概ね反射面が抽出された箇所地山の硬軟が変化していることが分かり、坑内SSRT、連続SSRTの切羽前方反射記録が地山性状を反映していることが分かる。

### (2) 連続SSRTと自己相関処理の比較

次に、前述した連続SSRTの掘削発破記録を震源として地震波干渉法を試行し、SSRTの反射記録と対比する。

図-6(a)に、各12chの受振点で得られた発破管理番号1、12、25（SP1,SP12,SP25）の元波形記録を走時を揃えて、ほぼ全発破時間に相当する2.5秒分を示す。SP1とSP12、SP12とSP25は共に切羽位置が約18m離隔しており、SP12がSP1とSP25の中間点に位置する。発破は共にDS雷管を用いた10段の段発であり、SP1、SP12、SP25の総薬量はそれぞれ106.6kg、72.4kg、128.5kg、加背割りは補助ベンチ付き全断面工法である。DS雷管の公称段間時間は1～9段目までが250ms、10段目以降が300msである。

図-6(a)より、元波形記録は発破の直接波が顕著に記録されている。よって、自己相関処理において発破の直接波を類似の波形として検出される可能性が考えられることから、図-6(b)に示す波形の平滑化に相当するAGC処理を実施した。図より、発破の直接波の影響がかなり小さくなり、反射波の分布が想定される時間領域の波形が相対的に持ち上がっていることが分かる。

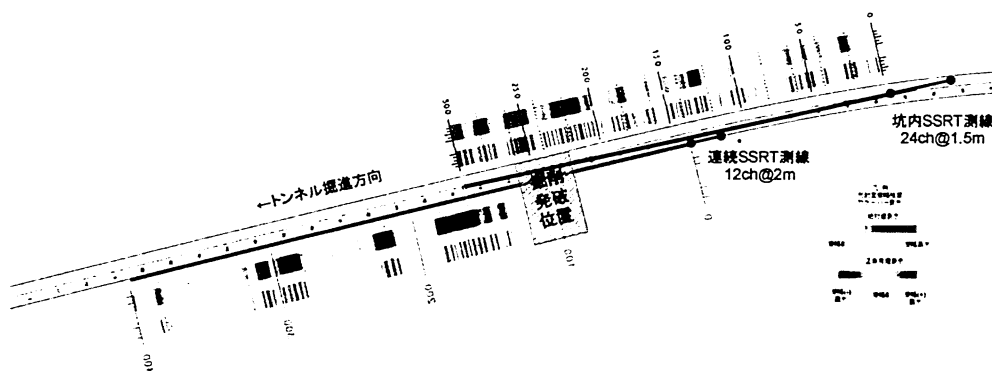


図-4 坑内SSRTと連続SSRTの坑内測線位置と前方反射記録（トンネル平面）

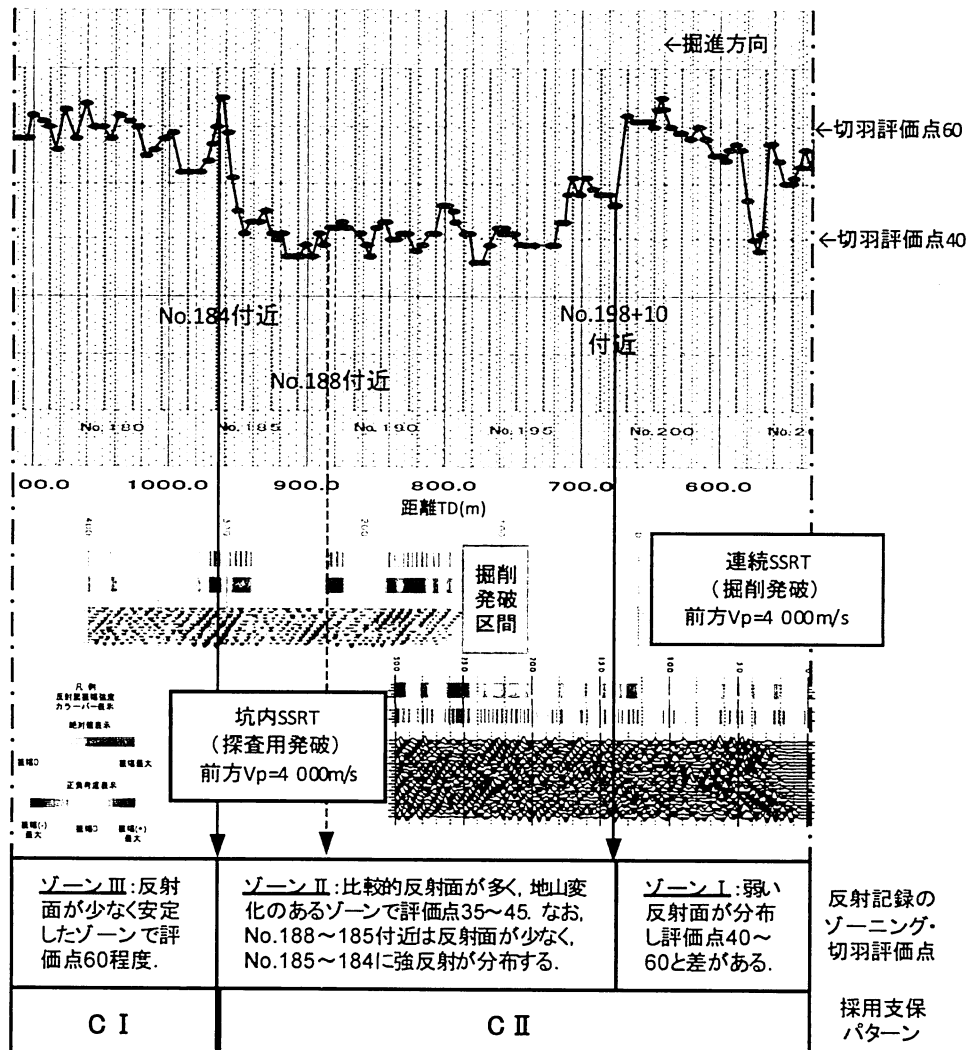


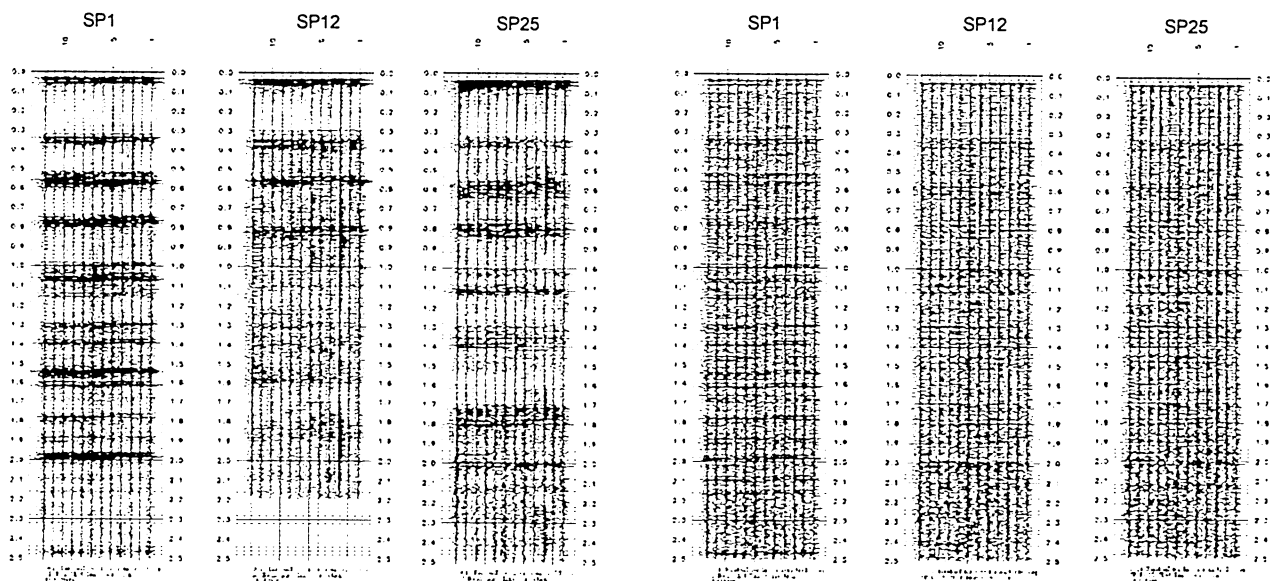
図-5 切羽前方反射面記録と切羽評価点の対比

自己相関処理を実施する時間長さをゲート長と称するが、このゲート長の設定の方法に明確な物理的根拠はない。一般に、地震波干渉法ではノイズデータを通常より長く取ることが有利とされている。すなわち、ゲート長を長くすると自己相関において類似波形が抽出され易くなると考えられる。よって、今回は図-6に示した全発破時間に相当する2.5秒をゲート長とした。

図-7に、AGC処理後のSP1、SP12、SP25の掘削発破記

録を自己相関処理し距離断面（ $V_p=4\,000\text{m/s}$ 採用）に変換した波形を、連続SSRTと坑内SSRTの反射波形と対比して示す。自己相関波形において抽出された記録は、図-3で示したように、各12chの受振記録を重ね合わせカラーバーを用いて強調表示している。図-7には、強い反射が抽出された箇所を矢印でマーキングしている。

連続SSRTでは、解析に用いる掘削発破区間の反射記録が得られないが、自己相関処理波形SP1、SP12、SP25



(a) 元波形記録 (等走時表示)

(b) 平滑化处理 (AGC) 波形 (等走時表示)

図-6 発破番号SP1, SP12, SP25の各12ch受振点の元記録波形と平滑化处理波形

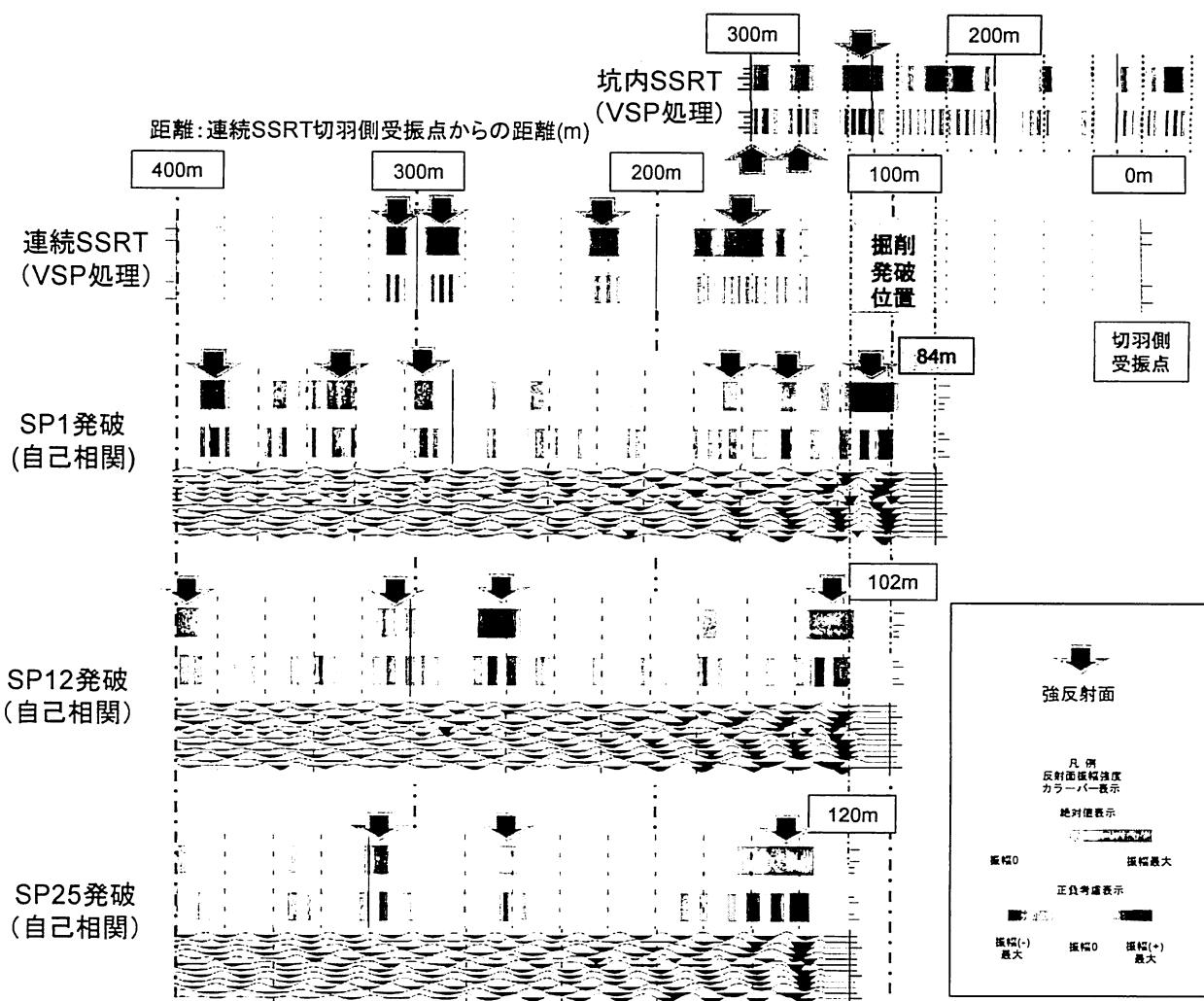


図-7 連続SSRTと坑内SSRTにおける反射記録と各発破 (SP1, SP12, SP25) における自己相関処理波形

では発破切羽位置を原点とする記録が得られている。よって、各発破における自己相関波形の原点位置はそれぞれ18mの離隔がある。

SP1, SP12, SP25の自己相関波形は、原理的には同一のとなるはずであるが、再現性が非常によい処理波形とは言えない。しかしながら、連続SSRTと坑内SSRT反射記録と比較すると全般的には、切羽前方地山の反射面構造をほぼ反映した処理波形であると考えられる。

連続SSRTにおける距離表示で前方200mまでの坑内SSRTと連続SSRTにおける反射面記録と自己相関波形SP1, SP12, SP25を比較すると、反射面強度に差が多少あるが、比較的反射面が多い記録であり、図-5で示したゾーンⅡの反射記録に相当すると考えられる。

しかしながら、連続SSRTの距離表示で前方220m位置の強反射面がどの自己相関処理波形にも抽出されていない。さらに、前方距離300m以降から切羽が安定し支保パターンをCⅡからCⅠに変更したが、この境界面に相当する反射構造がSP1の自己相関波形では抽出されているものの300m以降の波形が連続SSRTの反射パターンと整合しない。同様に、SP12とSP25では前方距離300m付近にやや強い波形が抽出されているが、その手前の260m付近にもやや強い波形が抽出されている。さらに、300m以降は、抽出波形が少なく連続SSRT記録に近いが連続SSRTほど反射面が少ないとは言えない。

以上から、連続SSRTにおける掘削発破記録を用いて地震波干渉法により自己相関処理を試行した結果、切羽前方の反射記録に近い処理結果が得られたと考えられる。しかしながら、自己相関処理波形の再現性を考慮すると、処理結果に干渉ノイズに相当する発破の初動や測線後方からの反射波などが抽出された可能が考えられ、ゲート長の取り方や事前の波形処理方法を含めてまだまだ検討の余地が多いと考えられる。

## 5. おわりに

本稿では、施工中の切羽前方探査手法である連続SSRTに地震波干渉法概念を導入するために、既往研究を取りまとめ導入するための基本的な考え方を整理した。その結果、連続SSRTにおける掘削発破記録を自己相関処理することが有効であると考えられ、現場の観測データを用いて検証を試行した。現場検証の結果、段発発破の自己相関処理波形に、切羽前方地山の反射構造に相当する記録が確認できるものの発破毎の処理波形の再現性が低く、反射波以外の干渉ノイズとして発破の初動や測線後方からの反射波などが含まれている可能性が示唆され、今後さらなる検討が必要であることを示した。

一般に、地震波干渉法で採用すべきノイズデータは、

①一見すると無相関で個々のシグナルを識別不能なランダムな波動場を観測したデータ

②振動源は少なくとも非定常な振動が生じている波動場の観測データ

と考えられており、相関処理には長時間の振動ノイズデータが必要と言われている。

トンネル掘削の段発発破記録は、段発発破の初動がほぼ明確に判別できる波形記録であり、本来地震波干渉法には適さない振動記録である可能性もある。一方、掘削発破以外にも坑内には多くの振動源が施工中に稼働しており、これらの振動記録を地震波干渉法に応用することも今後検討を進めて行きたい。

謝辞：本研究を進めるにあたり、株式会社地球科学総合研究所の白石和也氏には、地震波干渉法の基本原理に関して多大なるご教授を賜りました。ここに深謝致します。

## 参考文献

- 1) 加藤卓朗, 柳内俊雄, 村山益一, 清水信之: 油圧インパクトを起振源とする切羽前方弾性波反射法探査の開発と適用, 土木学会第31回岩盤力学に関するシンポジウム, pp.22-28, 2001.
- 2) 加藤卓朗, 村山秀幸, 浦木重伸, 浅川一久, 柳内俊雄: 弾性波反射法とトモグラフィ解析を用いた坑口周辺部の地山評価, 土木学会トンネル工学研究論文・報告集, 第12巻, pp.263-268, 2002.11.
- 3) 村山秀幸, 末松幸人, 萩原正道, 間宮圭, 清水信之: 異なる起振源を用いたトンネル切羽前方探査の比較実験について, 土木学会トンネル工学研究報告集, 第15巻, pp.227-234, 2005.12.
- 4) 村山秀幸, 丹羽廣海, 中島耕平, 川中卓, 黒田徹: トンネル坑口部における坑外からの切羽前方探査の適用, 土木学会トンネル工学研究報告集, 第17巻, pp.67-73, 2007.11.
- 5) 村山秀幸, 丹羽廣海, 大野義範, 押村嘉人, 渡辺義孝: ルビジウム刻時装置を用いた連続的な切羽前方探査の開発と適用, 土木学会トンネル工学報告集, 第20巻, pp.51-58, 2010.11.
- 6) Claerbout, J.F.: Synthesis of a layered medium from its acoustic transmission response, *Geophysics*, Vol.33, pp.264-269, 1968.
- 7) Wapenaar, K. and Fokkema, J.: Green's function of an representations for seismic interferometry, *Geophysics*, Vol.71, pp.S133-S146, 2006.
- 8) 白石和也, 松岡俊文, 川中卓: 地震波干渉法概説, 地学雑誌, 第117巻, 第5号, pp.863-869, 2008.
- 9) 例えば, 物理探査学会: 物理探査(小特集: 地震波干渉法), 第61巻, 第2号, pp.85-144, 2008.4.
- 10) 例えば, 物理探査学会: 図解物理探査, pp.182-183, 1989.4.
- 11) Petronio, L., Peletto, F. and Schleifer, A.: Interface Prediction ahead of the excavation front by the tunnel-seismic-while-drilling (TSWD) method, *Geophysics*, Vol.72, No.4, pp.G39-G44, 2007.8.9.
- 12) 伊東俊一郎, 相澤隆生, 松岡俊文: 地震波干渉法によるトンネル地山の可視化, 土木学会トンネル工学報告集, 第20巻, pp.59-62, 2010.11.

(2012.9.3 受付)

## CASE STUDY ON THE SEISMIC INTERFEROMETRY FOR GEOLOGICAL SURVEY AHEAD OF TUNNEL FACE

Hideyuki MURAYAMA, Katsuya NODA, Koji ISHIKAWA,  
Kazuya SHIRAISHI and Nobuyuki SHIMIZU

In general, the seismic survey of a tunnel excavation requires careful arrangement of seismic sources and sensors, which causes interruption of tunnel excavation work. However by using the excavation blasting itself as the seismic source, it becomes possible to continuously evaluate the geological features. We called this method Seismic While Excavating using SSRT (SWE-SSRT). Recently, the seismic interferometry method that does not need a special seismic source and only needs conventional noise records is focused on. This paper describes the case study on the seismic interferometry for geological survey ahead of tunnel face using SWE-SSRT.