発破震源によるS波取得の検証実験について

（株）フジタ　技術センター　　正会員　○村山 秀幸　丹羽 廣海
（株）フジタ　大阪支店　　小室 仁弘　渡辺 正
（株）地球科学総合研究所　　野田 克也　東中 基倫

1. はじめに

筆者らは，トンネル施工時の切羽前方探査において従来からのP波に加えて，S波を有効に活用することにより地山物性等の推定が期待できることから，S波震源として油圧インパクタを用いた適用事例について報告した[1)]．一方，発破を震源としてS波を効率的に取得することは一般に困難とされているが，切羽前方探査手法であるTSPでは発破震源でP波とS波を用いた探査が可能であるとされている[2)]．一般的な弾性波探査における発破では，発破孔に爆薬を装薬し砂や粘土をタンピング材（込め材）として用い起爆エネルギを封じ込めることからP波が卓越して発生すると考えられる．TSPにおける発破孔では水をタンピング材として用い，いわゆる鉄砲発破となることから発破時に水が孔壁と接触しながら急激に押し出されせん断波の発生が期待される．同様に，段発となるトンネル掘削発破の1段目は芯抜きであり，発破によって岩塊が周辺岩盤と接触しながら自由面側に爆発的に押し出されることからせん断波の発生が期待できるとも考えられる．

本報告では，切羽前方探査にS波を活用し地山物性等の予測を可能とすることを目的として，発破震源においてS波を品質よく取得するために実施した検証実験について述べる．

2. 発破震源とS波取得方法

図-1，2に発破方法と受振器配置の概念図および発破発震と受振点の位置関係平面図を示す．

まず，掘削発破を震源とする連続SSRT[3)]の観測機器を坑内に常設し，上下動成分の受振器を側壁脚部に，トンネル直交方向水平動成分の受振器を側壁に各々12ch設置（間隔2m）し掘削発破の振動を測定した．次に，掘削した区間の両側壁にTSPと同様に探査用発破孔（長さ1.5m，間隔2.4m）を配置し，トンネルセンター底盤にトンネル直交水平動成分の受振器を4ch（間隔4m）追加し探査用発破を測定した．

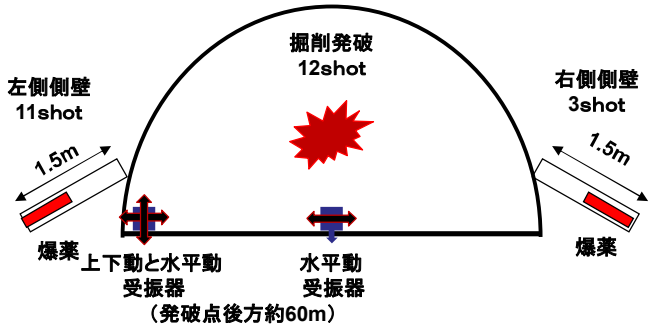


図-1　発破方法と受振器配置の概念図

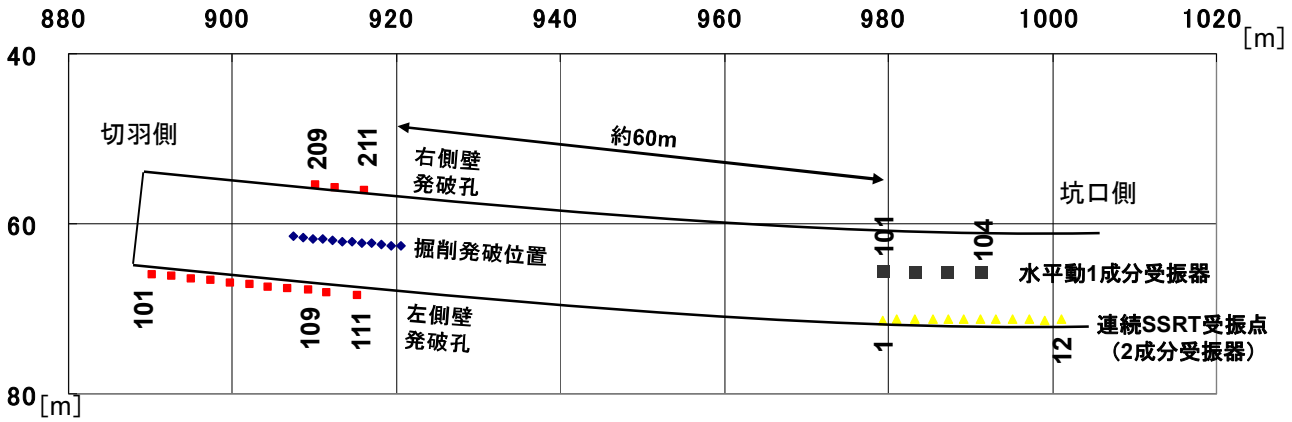
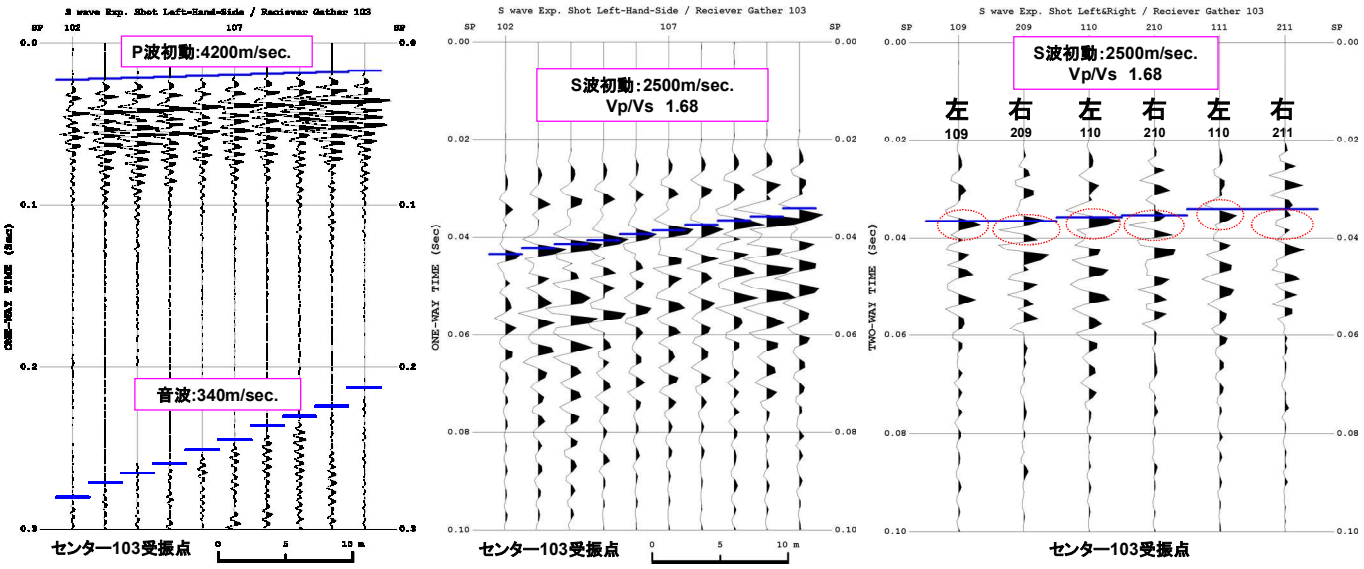


図-2　発破発震点と受振点の位置関係平面図

キーワード　トンネル，切羽前方探査，発破震源，S 波
連絡先　〒243-0125　神奈川県厚木市小野 2025-1　（株）フジタ 技術センター　TEL:046-250-7095



(a)P波初動（左側壁102～111発破） (b)S波初動（左側壁102～111発破） (c)S波位相の確認（左右側壁3組の発破）

図-3 探査用発破を震源とするトンネルセンター103受振点における振動記録

3. 測定結果

図-3に，探査用発破（左側壁102～111，右側壁209～211）におけるトンネルセンター底盤の103受振点の振動記録を示す．図-3(a)のP波初動の読み取りからP波速度4,200m/sと推定でき，図-3(b)ではS波に相当すると考えられる速度2,500m/sの波群確認できるが，この図のみからではS波であると断定できない．そこで，図-3(c)に示す左右側壁における3組の探査用発破（左109-右209，左110-右210，左111-右211，トンネルセンター受振点から左右にほぼ同距離）において，S波に相当する位相を確認すると微妙な時間差があるが左右で位相の反転が確認でき，この波群はS波（SH波）であると認定にてよい．よって，S波速度は2,500m/s，P波速度とS波速度の比（Vp/Vs）は1.68となり一般的な値であると言える．図-4に，掘削発破における連続SSRT測線（ch2欠測）における上下動と水平動の振動記録を示す．図-4より，図-3同様に速度4,200m/sに相当するP波初動と速度2,500m/sに相当するS波初動が確認でき，当然ながら水平動成分でS波が品質よく取得されていることが分かる．なお，今回の観測配置においてP波，S波共に音波の影響は受けてない．

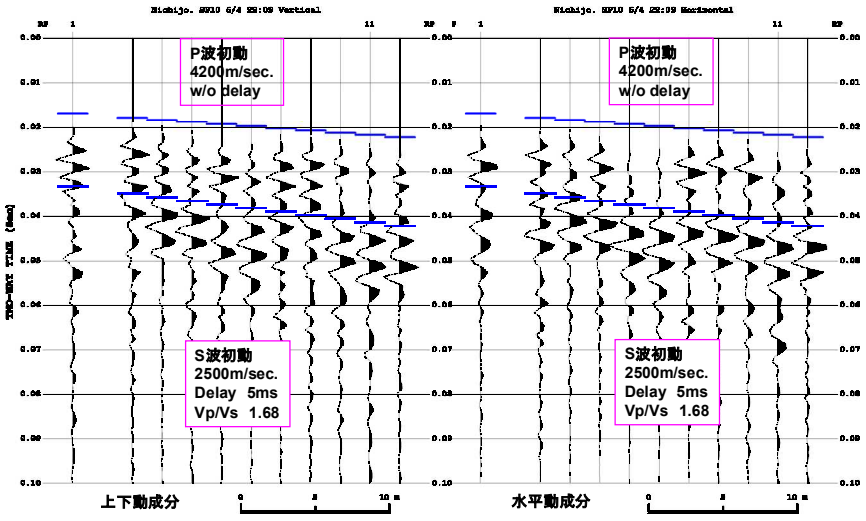


図-4 掘削発破の連続 SSRT 測線における上下動と水平動の記録

4. おわりに

本報告は直接波に対する測定結果であるが，発破震源においてS波の認定が可能であることを示した．今後，P波とS波の反射波によって切羽前方地山を予測するためには，より高品質にS波成分を分離・抽出することが課題となり，将来的にはP波とS波の組合せによって切羽前方の地盤物性等の予測を進めたいと考えている．

参考文献

1) 村山秀幸，鈴木信行，丹羽廣海，石川浩司，藤原明：P 波と S 波による切羽前方探査と先進ボーリング結果の比較検討，岩の力学連合会第 13 回岩の力学国内シンポジウム講演論文集，pp. 701-706, 2013. 1
2) ジェオフロンテ研究会：現場技術者のための切羽前方探査読本，p. 134-140，2012. 3.
3) 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.