

北海道開発技術研究発表会
特別セッション「民間企業が開発した新技術等の発表」

[8] 弾性波による トンネル切羽前方探査について

トンネル切羽前方地震探査へのOYOの取り組み

平成24年2月23日
応用地質株式会社
斎藤秀樹・曾根好徳

発表内容

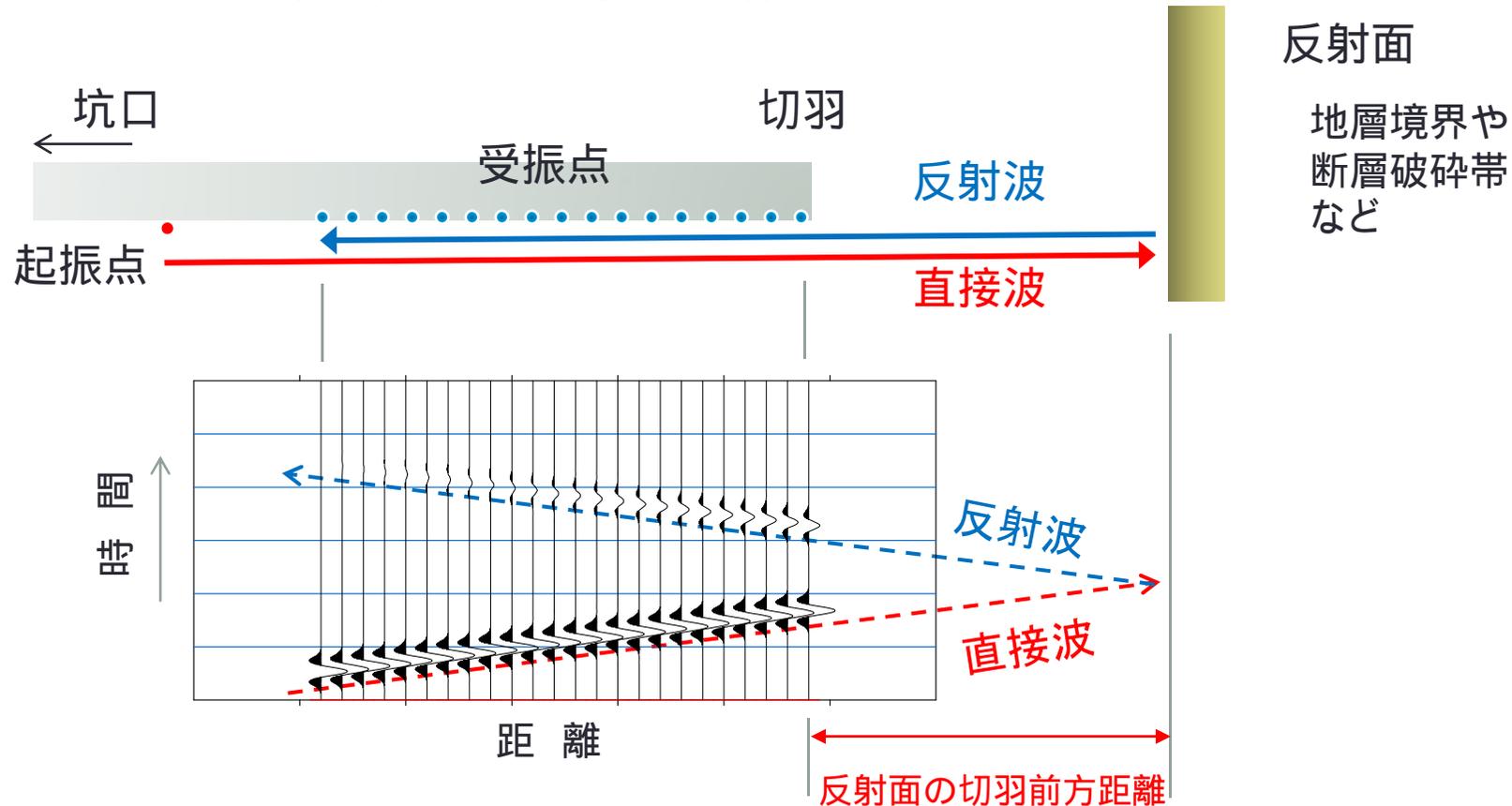
- はじめに
 - トンネル切羽前方探査とは
 - トンネル切羽前方探査はなぜ必要か
- トンネル切羽前方地震探査
 - HSP、TSPタイプの切羽前方地震探査
 - 高精度屈折法探査による切羽前方地震探査
 - 弾性波トモグラフィによる切羽前方地震探査
- まとめ

はじめに

- トンネル切羽前方探査とは
 - 掘削中のトンネル切羽付近での計測により、切羽前方の地質状況を予測する探査技術
 - 掘削済み部分の坑道を利用して弾性波の起振・受振を行う方法を**トンネル切羽前方地震探査**と呼ぶ
 - 施工中の切羽から前方を探ることで、地表からの事前調査に比べて、より確実に地山状況を把握できる可能性が高い
- 切羽前方探査が必要になった理由
 - 事前地質調査でトンネル施工基面の地質状況が正確に把握できれば、適切な施工パターンの決定が可能だが、設計よりも地山が悪いことが多い
 - 弾性波探査が利用されてきたが、土被りが大きい場合に施工基面付近の弾性波速度が正しく求められないことがあるなどの限界がある
 - 職人芸的な解析を要する弾性波探査の技術レベルが低下した(1990年代前半に顕在化) → 弾性波探査そのものの技術開発も課題となった(後述)

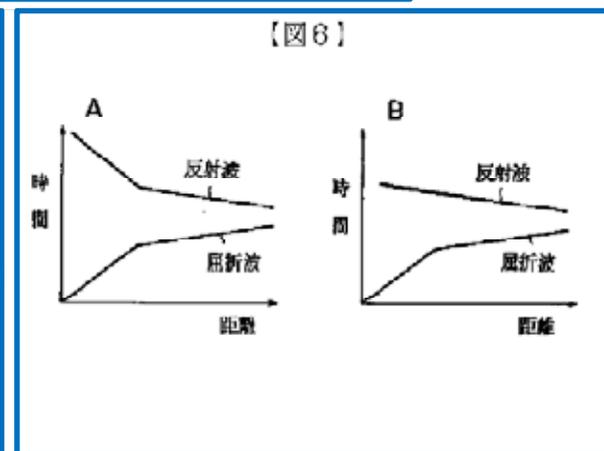
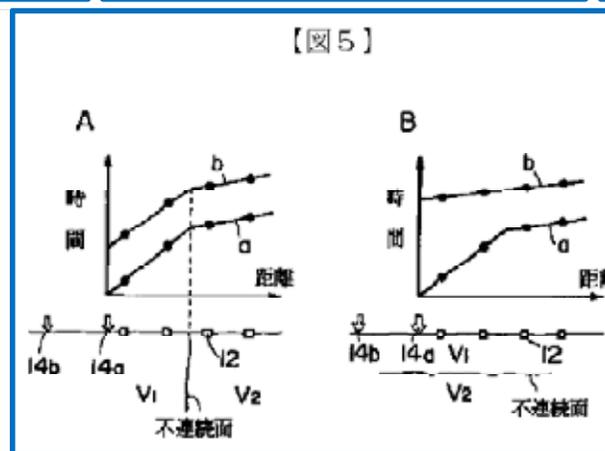
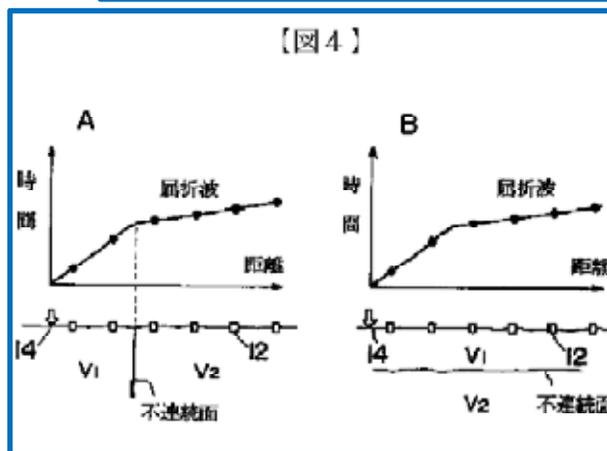
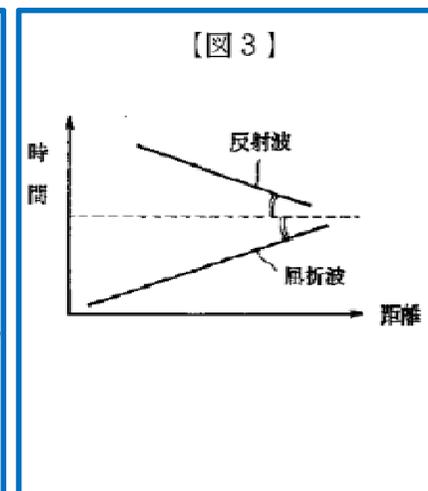
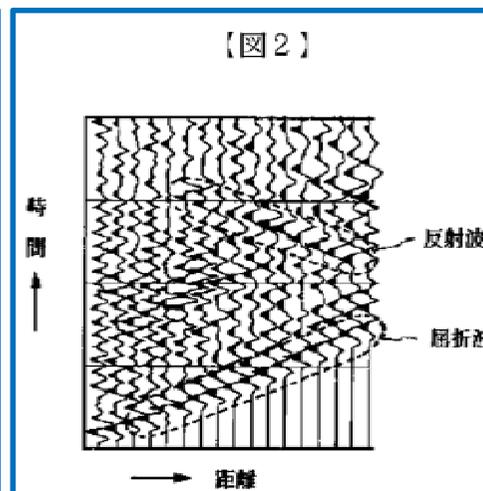
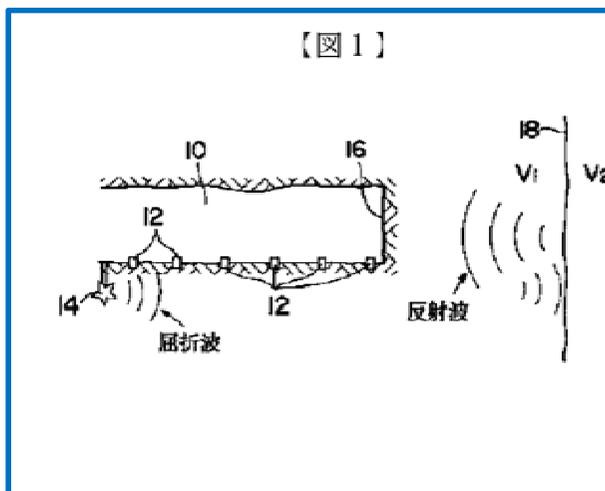
切羽前方地震探査の探査原理

- Sattelらの論文(1992)
 - トンネル切羽前方地震探査の最初の論文
 - トンネル切羽前方地震探査の始まり



切羽前方地震探査(OYO)

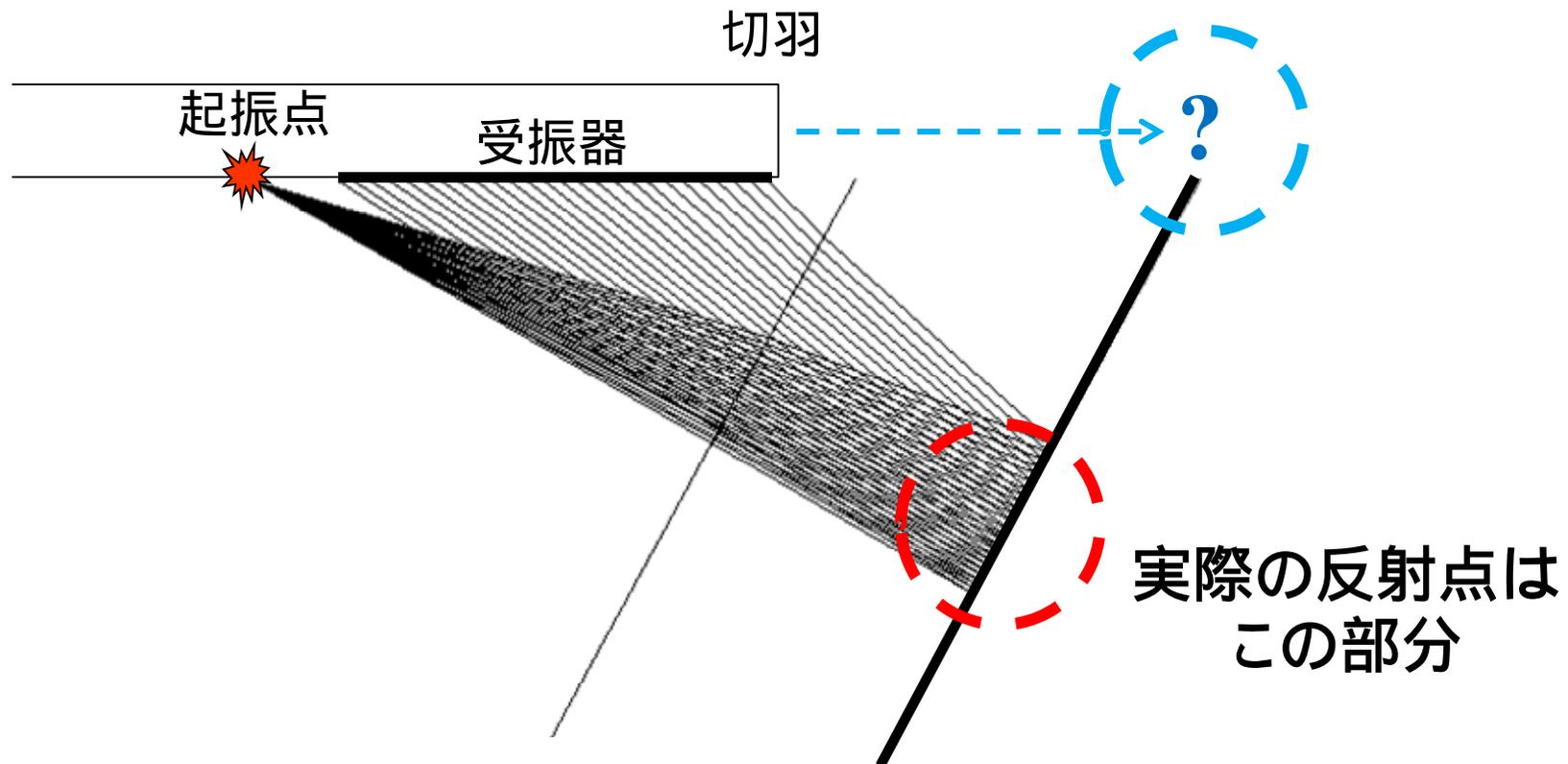
- トンネル坑壁周辺の緩み領域の影響を考慮した解析
 - 特許 第3119753号



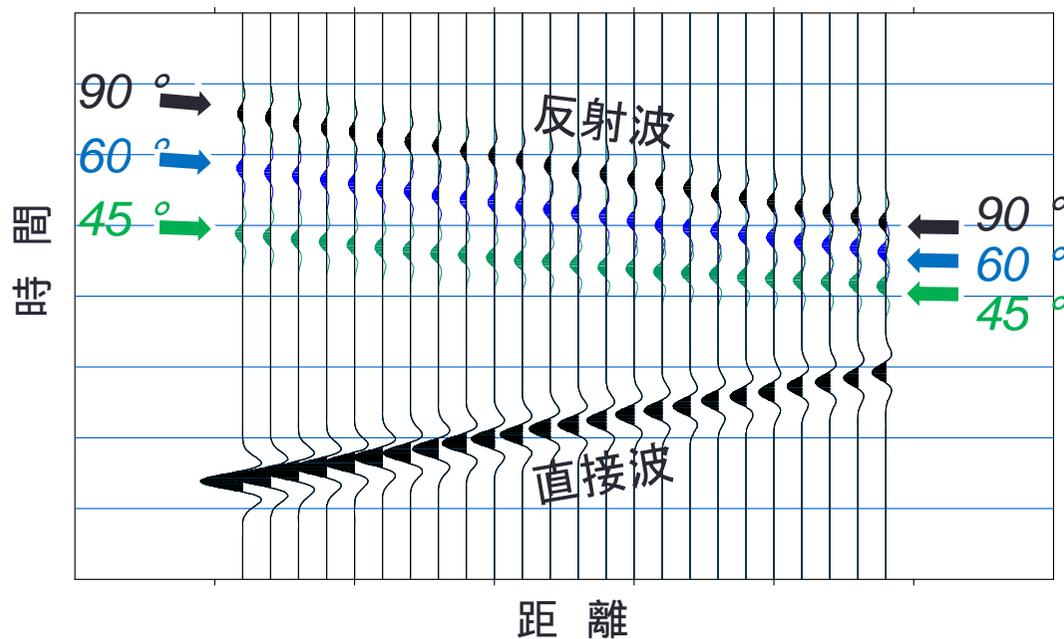
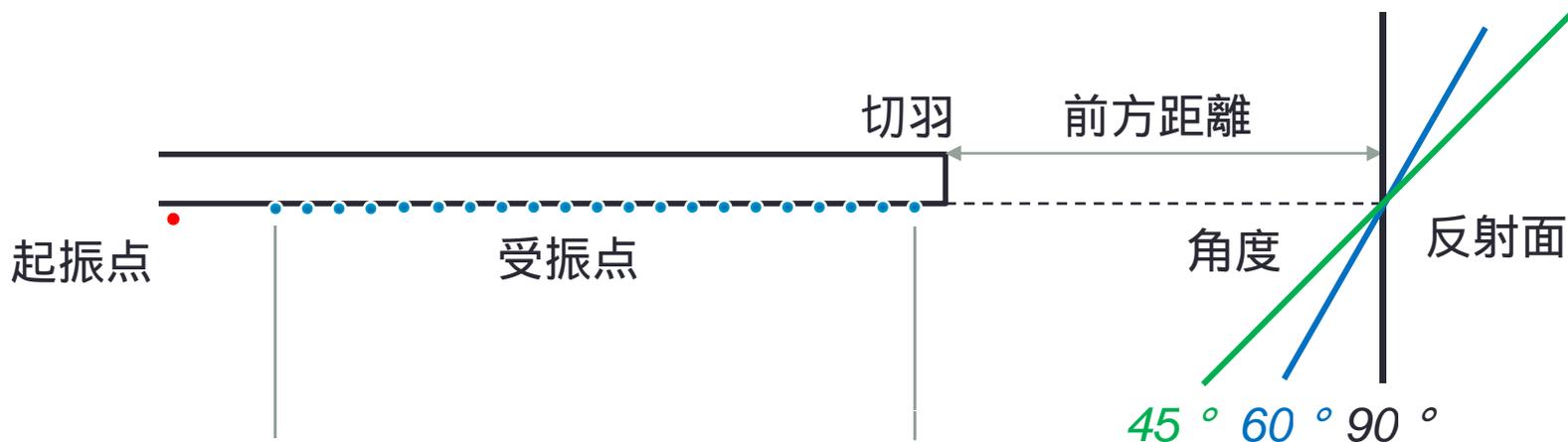
切羽前方地震探査 (OYO)

- 切羽前方の弾性波速度と反射面の傾斜角の推定

反射面とトンネル軸が直交しない場合

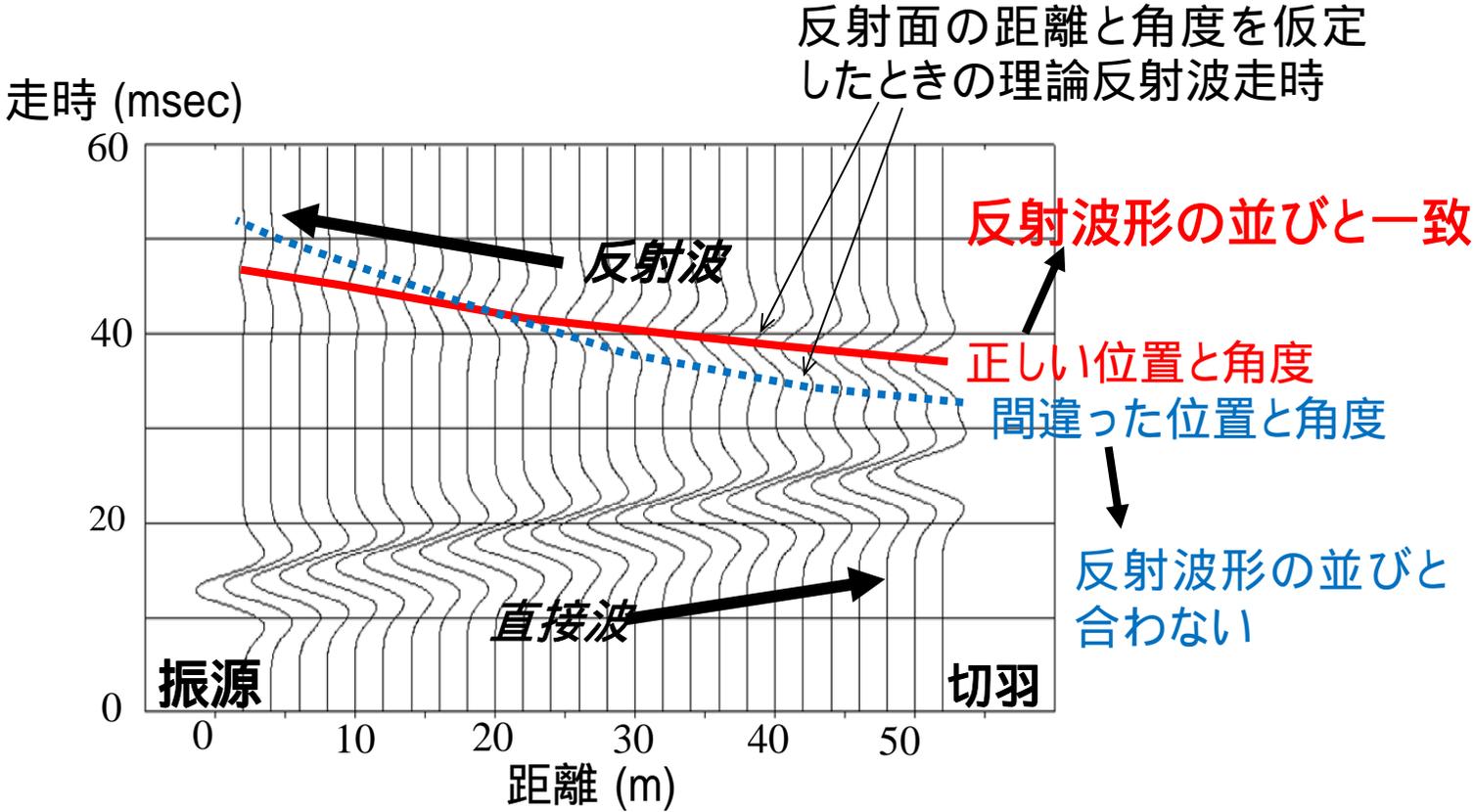


反射面が傾斜している場合の反射波



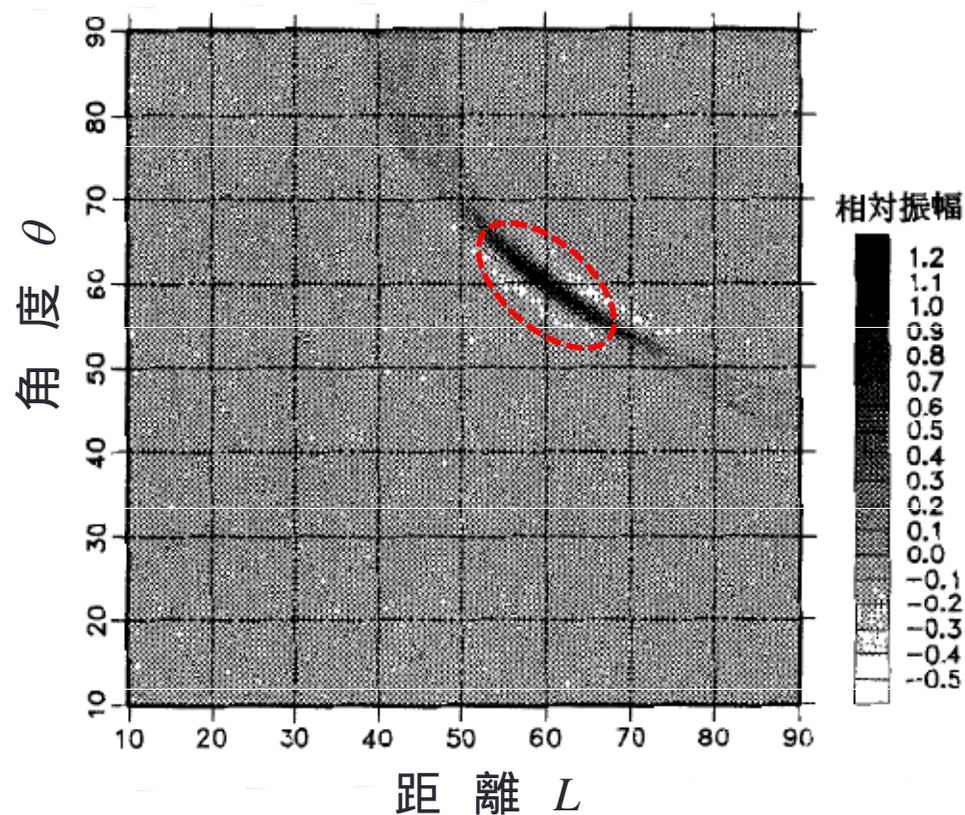
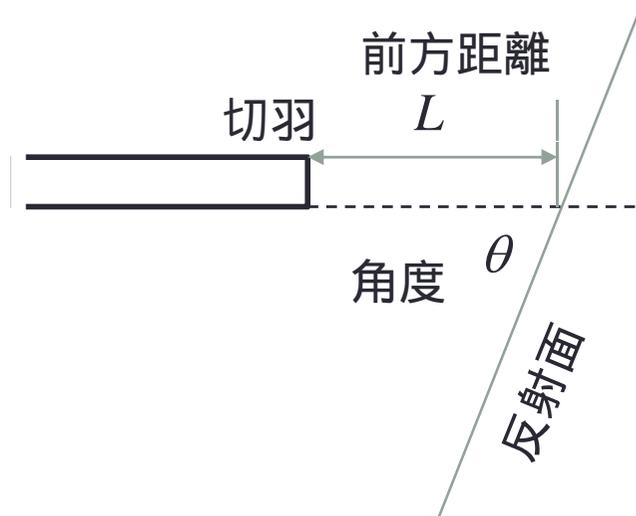
反射面の切羽前方距離が同じでも、反射面とトンネル軸のなす角度が小さくなるにしたがい、反射波の見かけ速度は大きくなり、出現時間も早くなる。

反射面が傾斜している場合の反射波



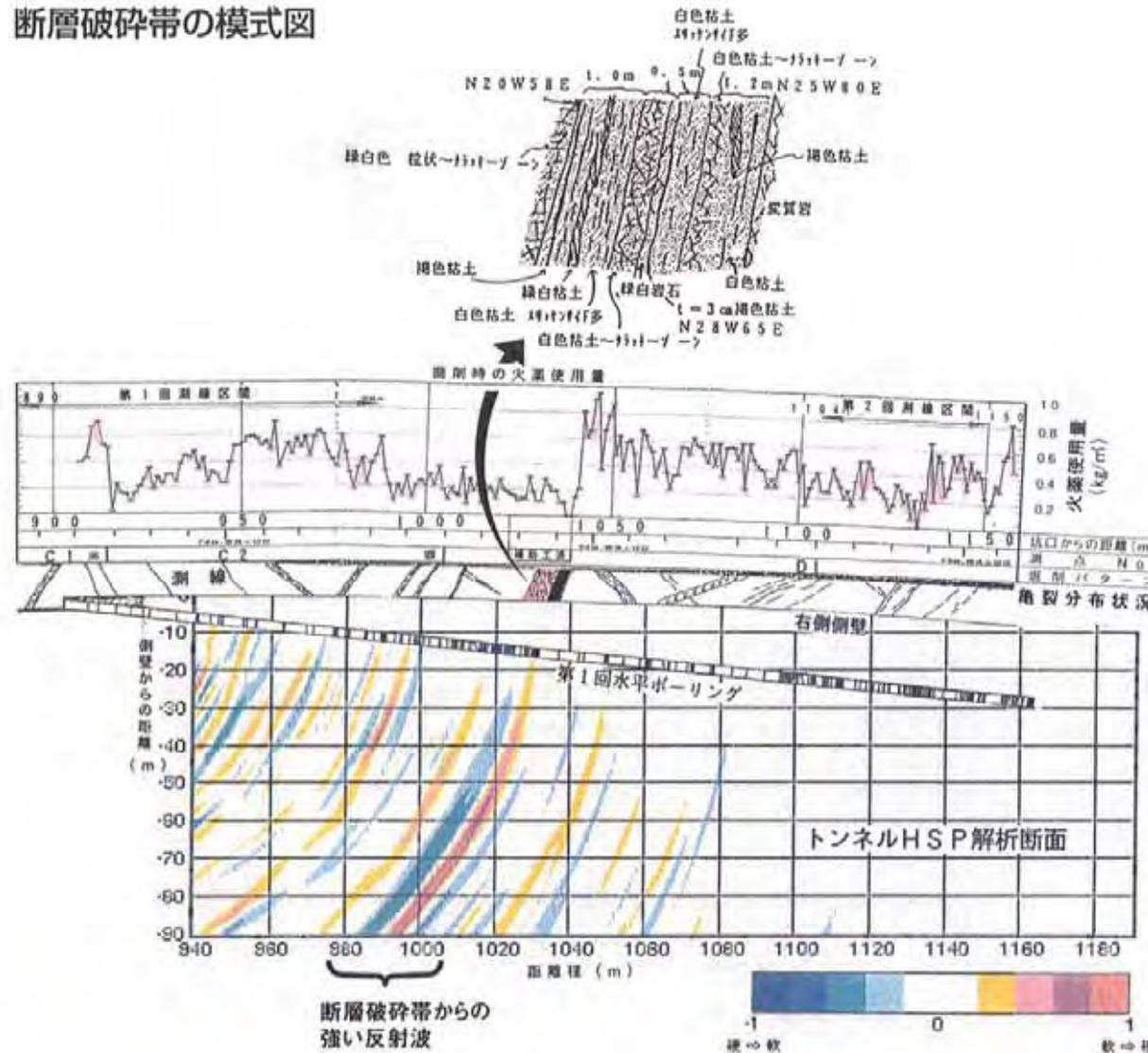
反射面の切羽前方距離と角度の推定

反射面の切羽前方距離および反射面とトンネル軸のなす角度を仮定したときの、観測反射波形と理論反射波形の一致度をグラフ化。距離と角度をさまざまに変化させて、一致度の高い距離と角度の組み合わせを検出。



HSP 土木研究所と民間企業によるHSP共同研究会の成果

断層破碎帯の模式図



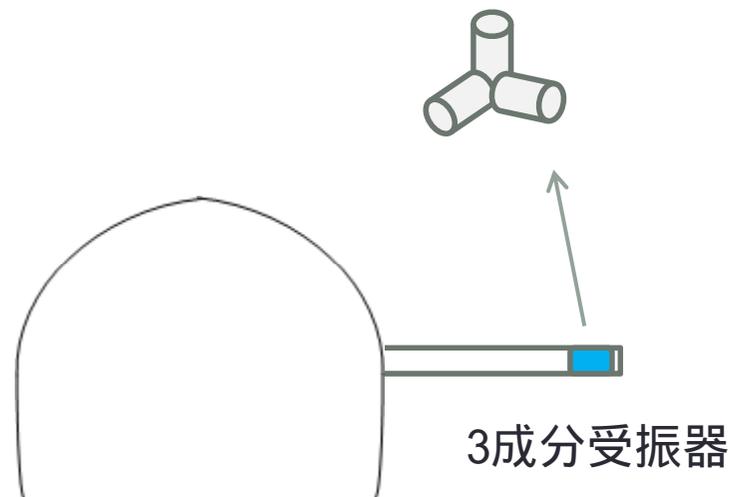
物理探査学会編
「物理探査適用の手引き」
より抜粋

HSPのバリエーション

- マルチ・コンポーネント

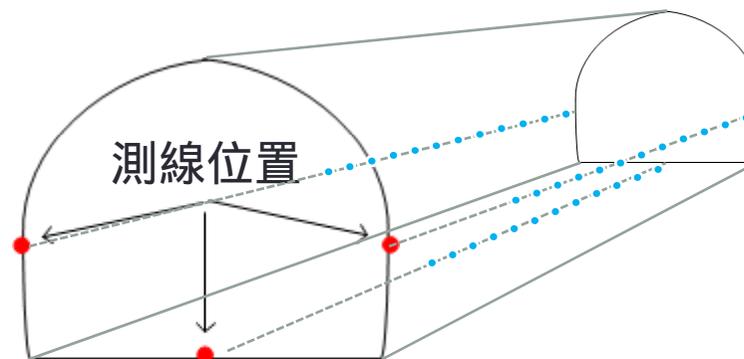
- 3成分受振器を使用し、反射波の到来方向を検知し、反射面の3次元的形状をとらえる試み

トンネル周辺の緩みの影響を受けるため、緩み領域の外に受振器を設置する必要がある



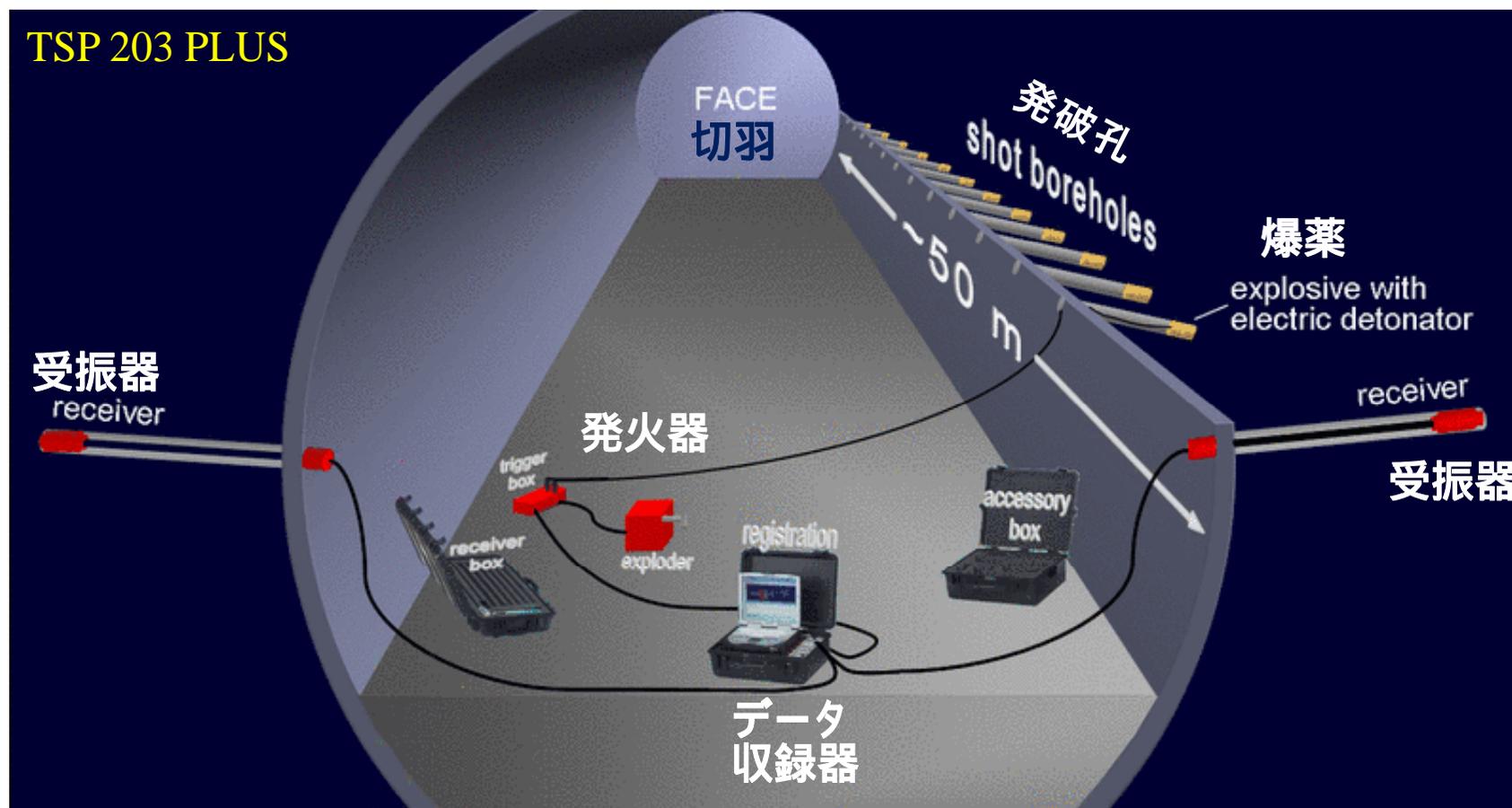
- マルチ・ライン

- トンネルの左右側壁、踏前などに、HSP測線を複数配置することによって、反射波の到来方向を検知し、反射面の3次元的形状をとらえる試み



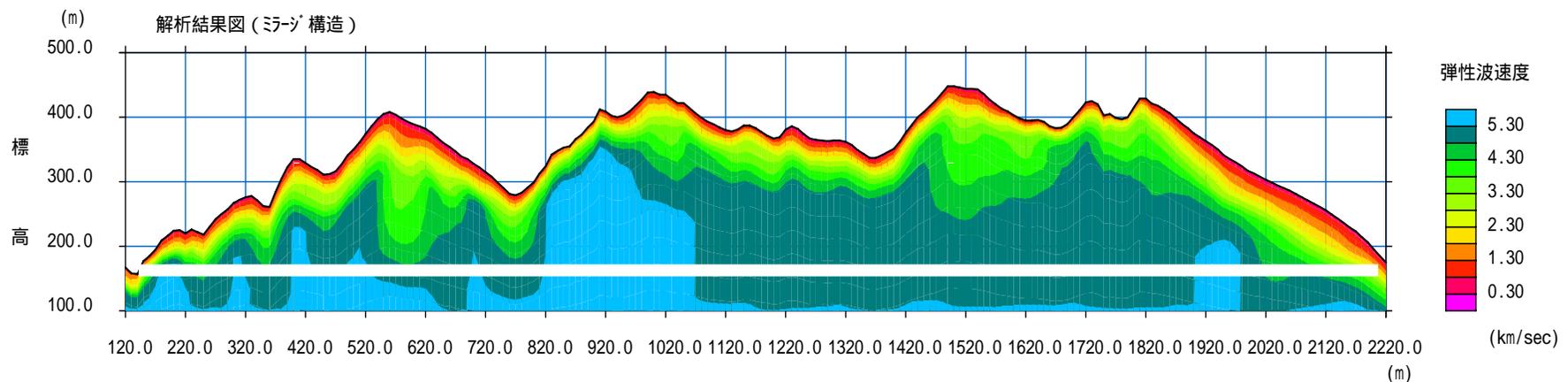
TSP

- スイス、アンベルク社の製品



高精度屈折法地震探査

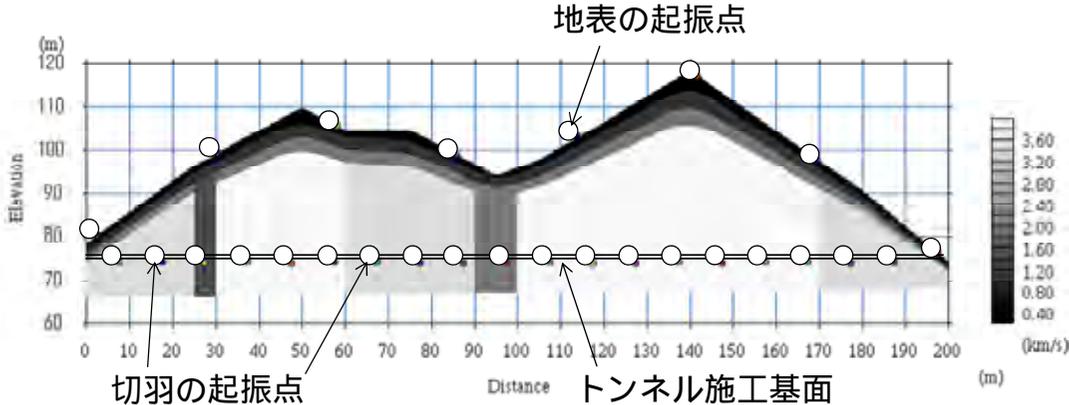
- 弾性波探査の精度向上のため1995年ごろ開発(OYO)
 - 従来の層構造解析(萩原の方法など)に比べ、職人芸的な要素を低減
 - コンピュータによる自動解析により、「間違っただけ」解析の排除
 - 従来の層構造解析では表現しきれない複雑な速度分布も解析可能
 - 地表の起振点・受振点だけでなく、坑道内やボーリング孔中の起振点・受振点のデータも同時に解析できる
- 解析ソフトウェア *SeisImager* は市販し普及を図る



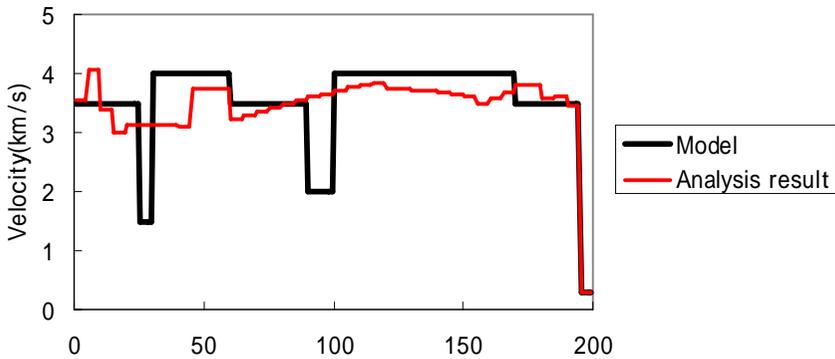
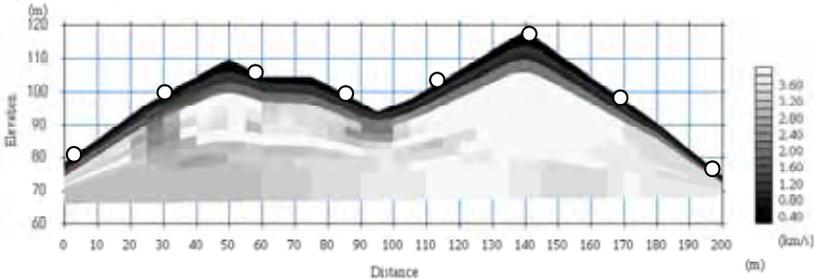
解析結果(速度断面)は速度コンター表示で表現される

坑内起振を併用した高精度屈折法地震探査

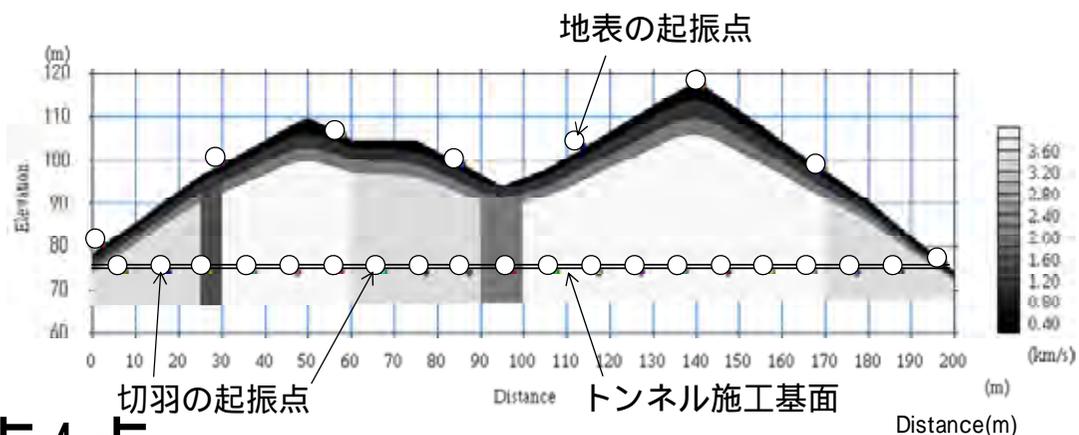
数値実験例



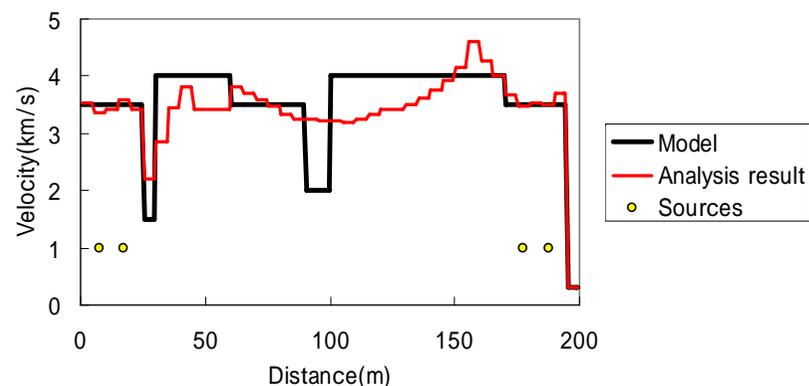
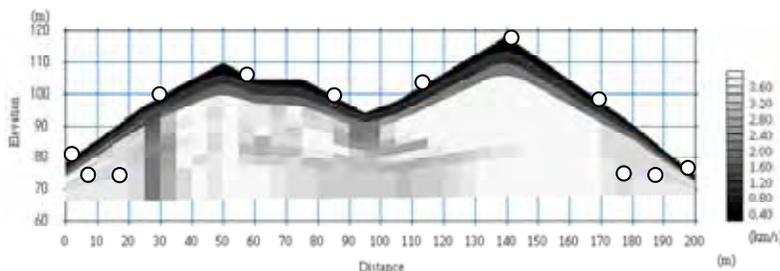
切羽起振点なし



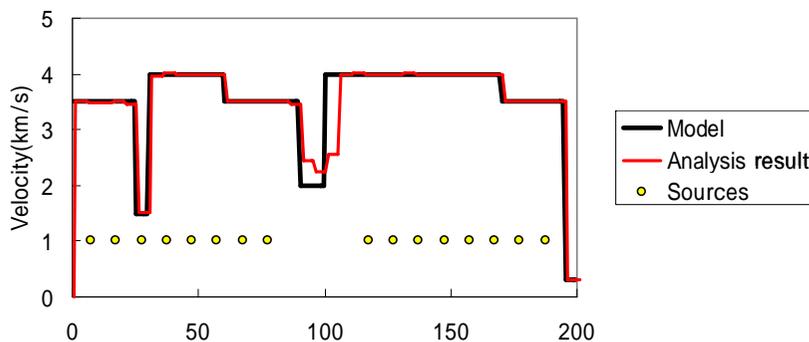
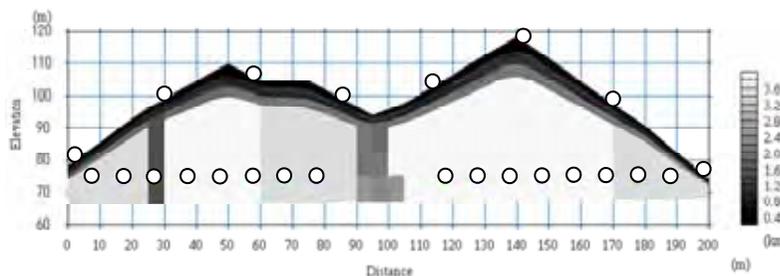
坑内起振を併用した高精度屈折法地震探査



切羽起振点4点

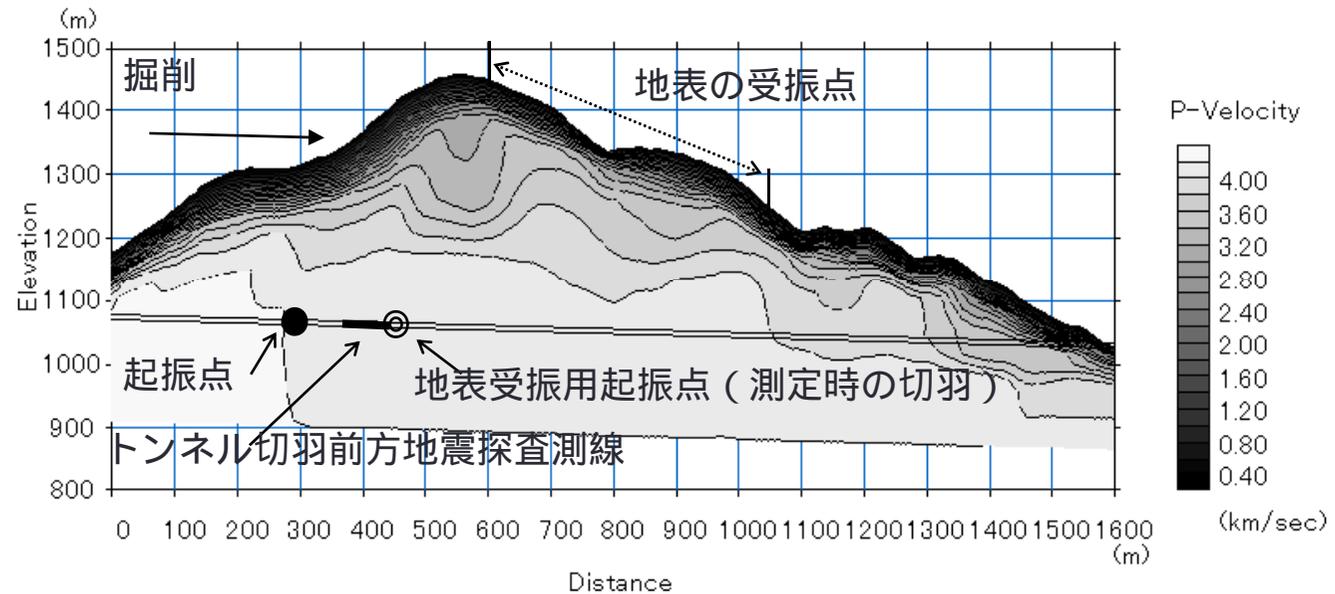


切羽起振点16点

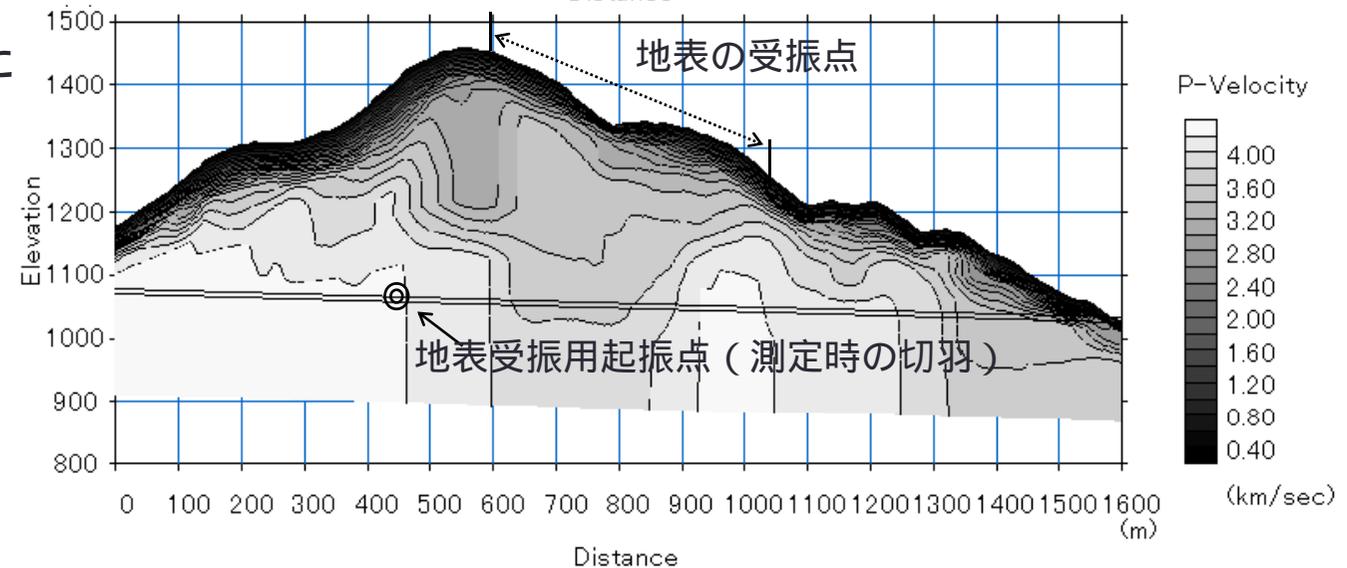


切羽起振を併用した高精度屈折法地震探査事例

地表起振点のみ用いた解析結果

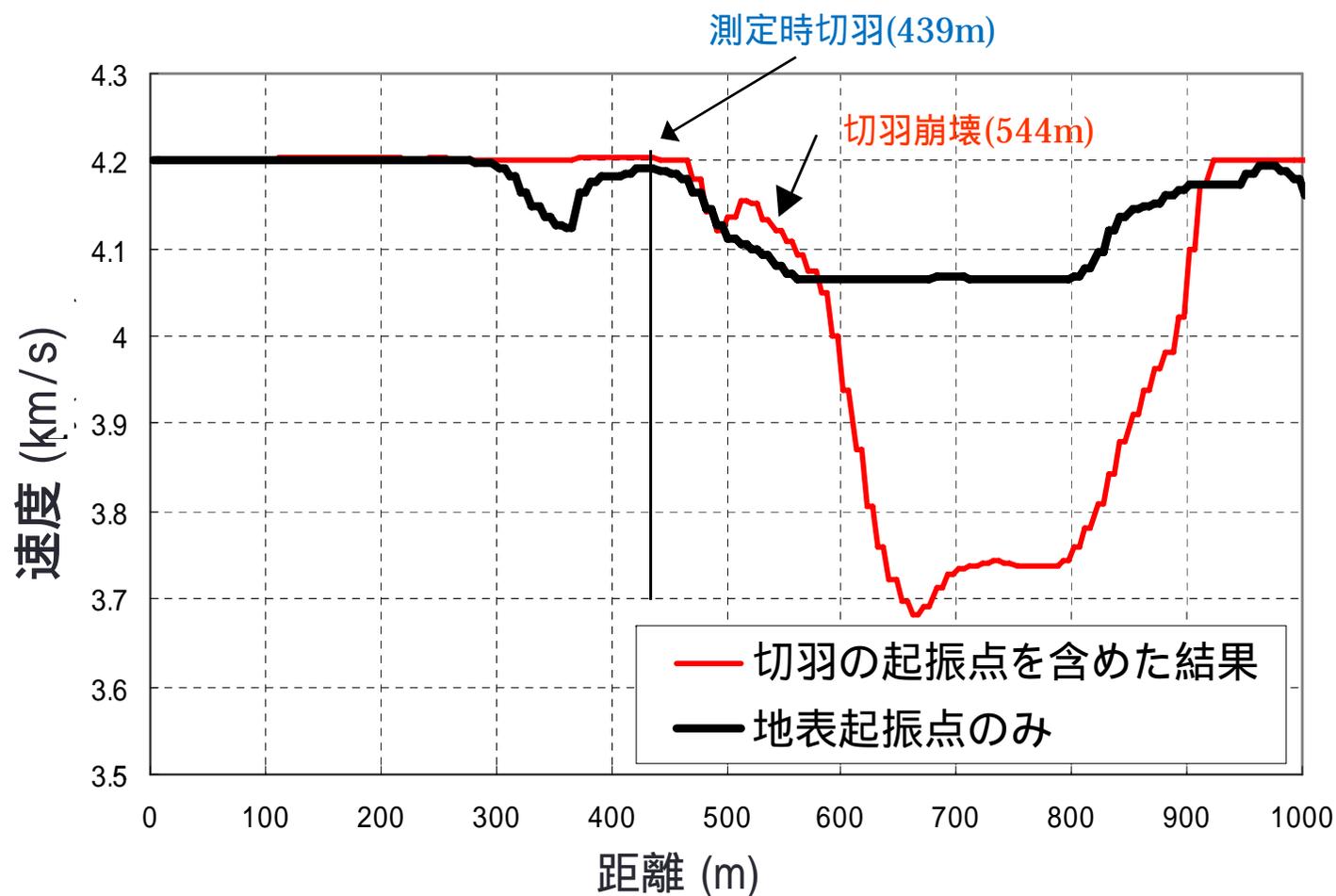


切羽起振点も用いた解析結果

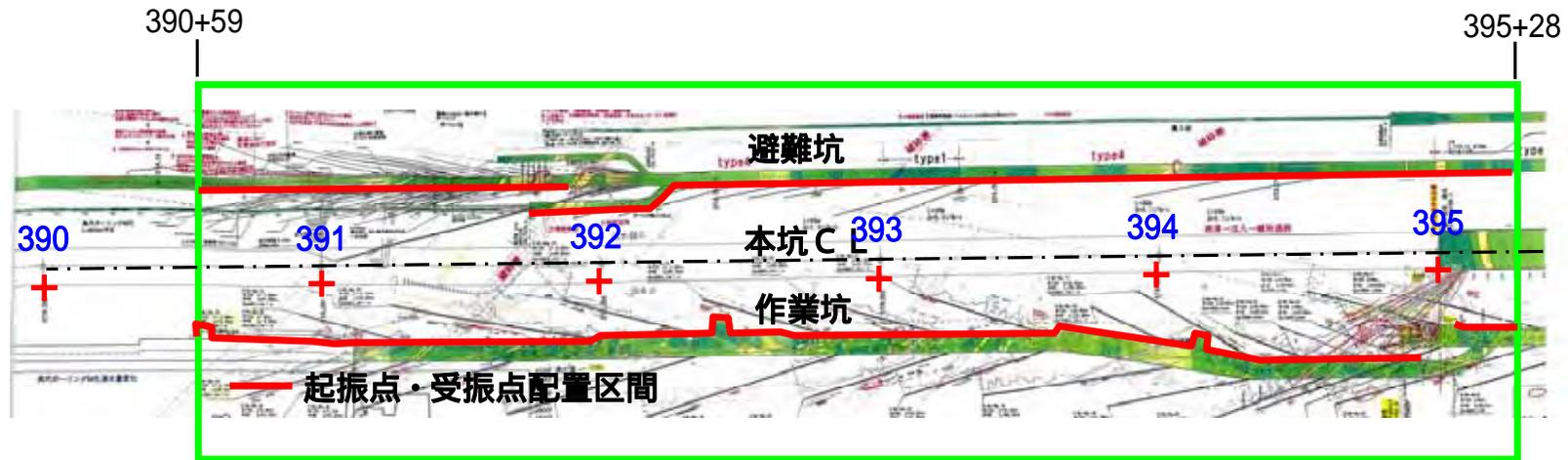


切羽起振を併用した高精度屈折法地震探査事例

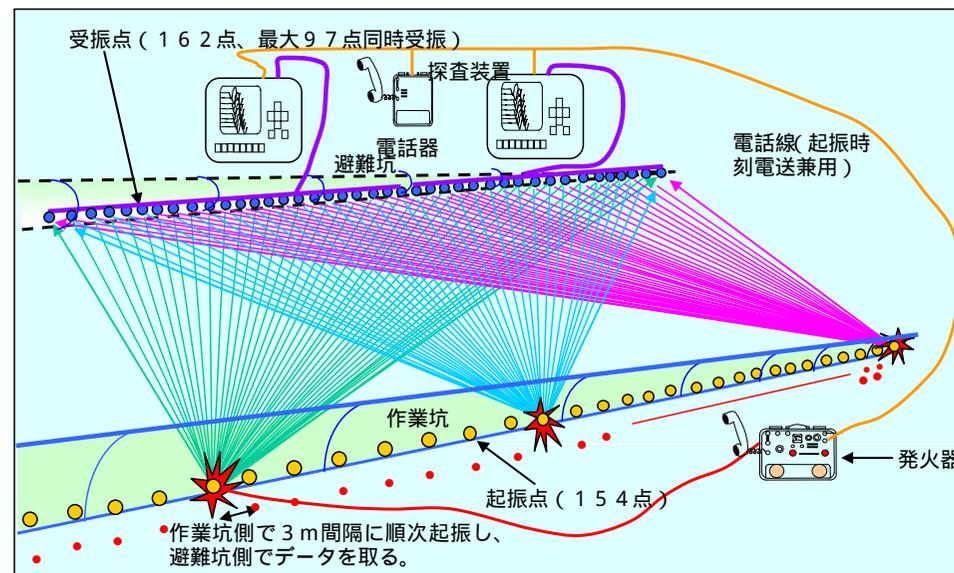
トンネル施工基面の弾性波速度



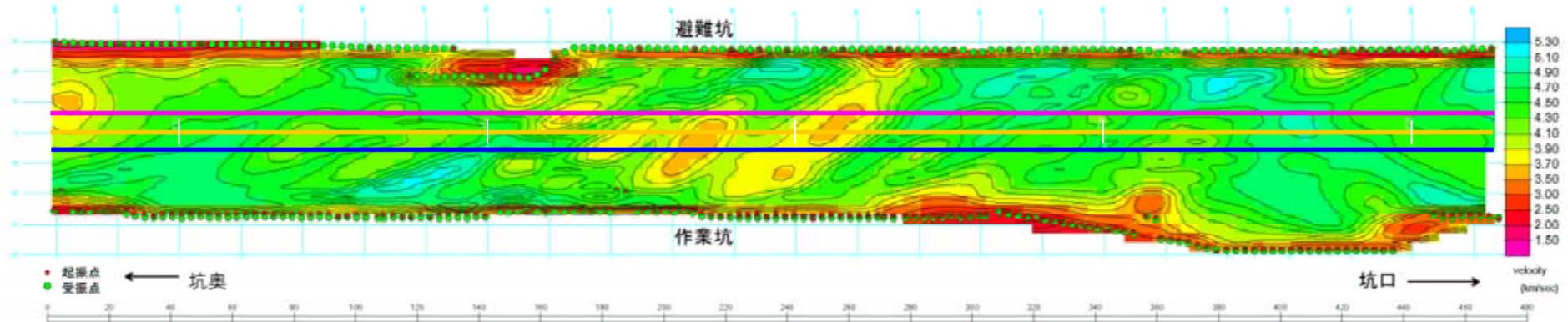
弾性波トモグラフィによる前方探査事例



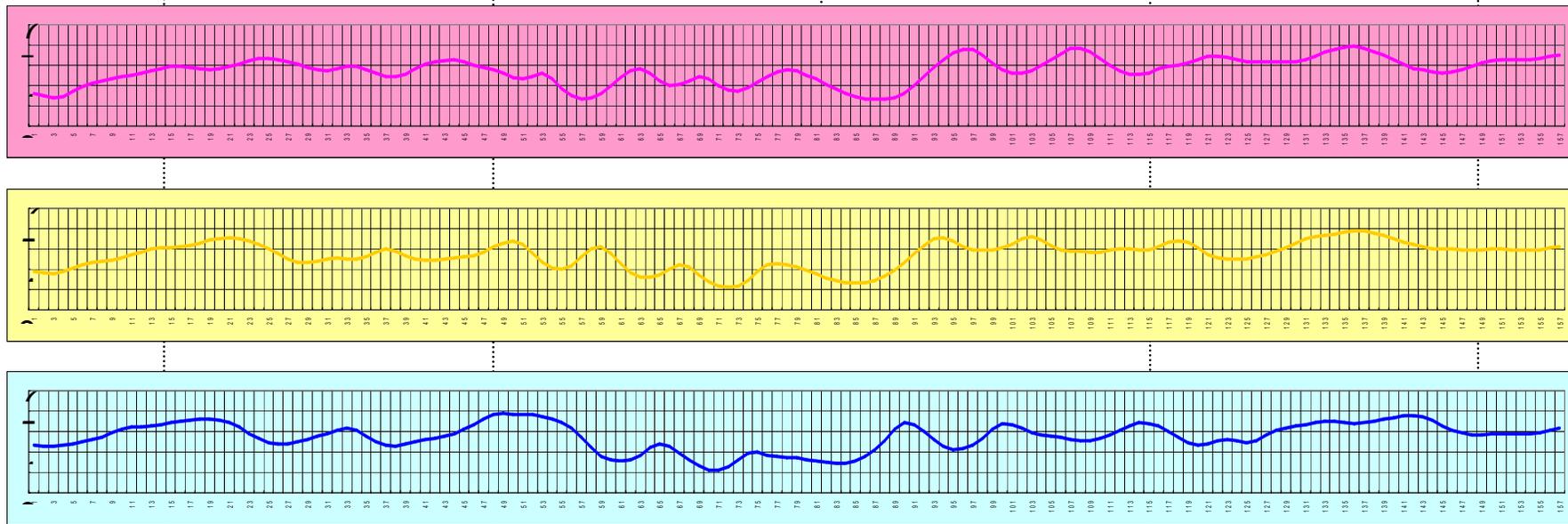
弾性波トモグラフィー探査領域



弾性波トモグラフィによる前方探査事例



弾性波トモグラフィ解析結果



まとめ

- 事前調査の精度向上
 - 高精度屈折法地震探査の適用
 - 土被りが大きい場合は、精度が低下する
- HSP、TSP、およびそのバリエーション
 - 短時間での探査のため、施工サイクルに組み込みやすい
 - 切羽前方の弾性波速度の推定は困難
 - 反射面とトンネル軸が直交しない場合、トンネル前方(実際にトンネルが通過する部分の地山)の情報は得られない
- 高精度屈折法を併用した前方探査
 - 事前弾性波探査の精度向上(特に切羽前方の弾性波速度)
 - 地表に測線を設けなければならないのが欠点
- 弾性波トモグラフィによる前方探査
 - 詳細な弾性波速度分布が求められる、もっとも精度の高い方法
 - 切羽前方に2本の坑道またはボーリング孔が必要(コストが高い)



ご清聴ありがとうございました