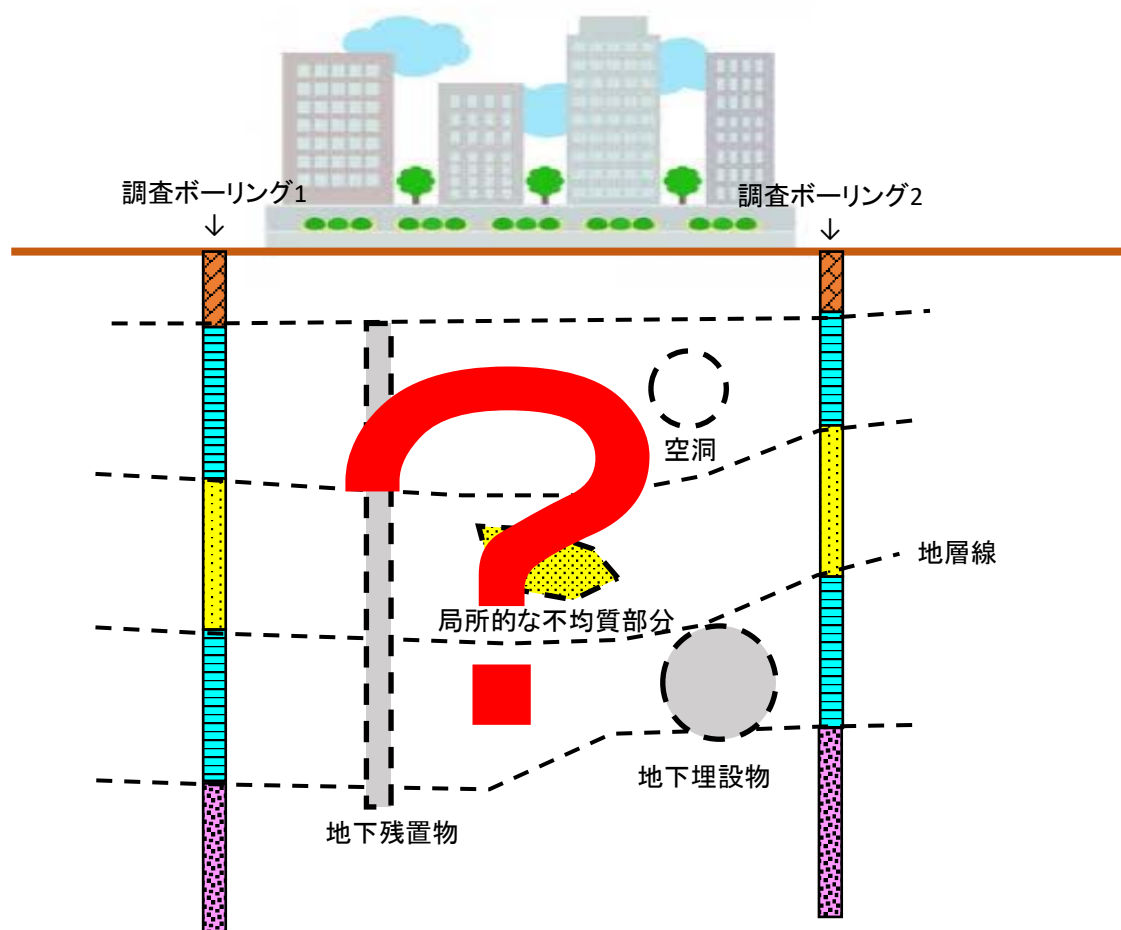


# 音響トモグラフィを用いた高精度地盤調査 — 地盤の可視化技術 —

このような問題に直面したとき  
あなたはどうしますか？

- ・地層の連続性はどうかっているの？
- ・この地層は均質なの？
- ・地中に障害物や空洞はあるの？



音響トモグラフィはJFEシビル株式会社が有する独自の技術で、GRIは、JFEシビル株式会社と技術提携を結び、地盤調査分野への積極的な活用を行っています。

株式会社 地域 地盤 環境 研究所

<http://www.geor.co.jp/>

〒540-0008 大阪府中央区大手前2-1-2 TEL : 06-6943-9705, FAX : 06-6943-9709

(担当：植田 ueta@geor.co.jp)

## 従来の方法

### 調査ボーリング

・ボーリング本数を増やせば、調査地点の情報は得ることはできるが、いくら本数を増やしても、ボーリングは点の情報であり、ボーリングをやっていない場所の情報はあくまでも推定でしかない。

### 物理探査

・地表から実施する物理探査（表面波探査、高密度電気探査、弾性波探査、地震探査）では、深度に関係なく1mの精度は確保できない。

### トモグラフィ探査

・物理量として弾性波や電流を用いたトモグラフィ探査で、1mの精度を確保しようとするれば、探査距離は10m以下としなければならない。

これを解決するには

## 音響トモグラフィ探査

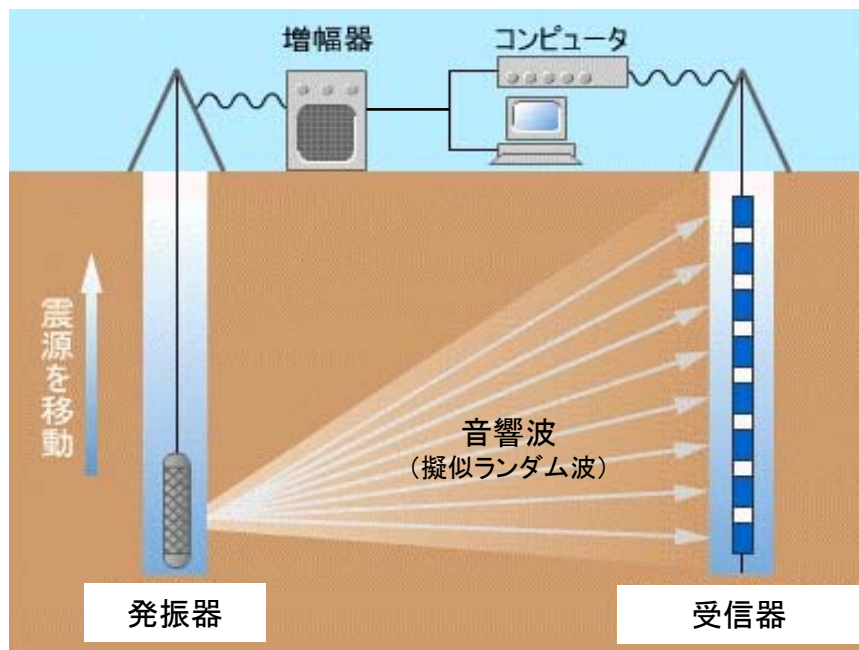
・音響トモグラフィ探査は、設計に必要な精度（約1m）と現場に必要な計測距離（最大100m）を同時に満たすことができる。

・調査結果として得られる「速度分布」と「減衰率分布」の2つの情報から、地盤の固さや地層構造、ならびに地層内の不均質性や地中障害物・空洞等の有無、を判別することができる。

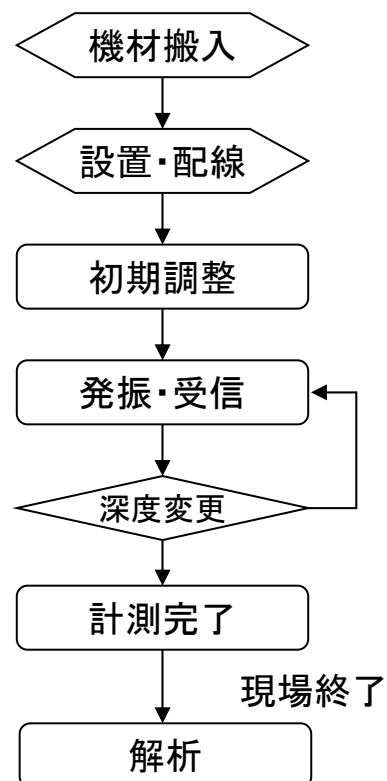
# 現地計測

## 計測方法

音響波が断面全体を横切るように発振器を移動する



## 計測フロー



## 測定機器と計測状況



発振器  
( $\phi 44\text{mm}$ ,  $L=200\text{mm}$ )

孔内発振器

- ・ piezo震源 (圧電セラミック震源)
- ・ 高周波数音響波 (250Hz~20kHz) を発振



発振器の挿入



受信器 ( $\phi 30\text{mm}$ ,  $L=100\text{mm}$ ,  
受信器間隔=1.0m)



受信器の挿入



計測システム一式  
(波形増幅器, オシロスコープ, コンピュータ等)



計測システム

# 音響トモグラフィ探査の基本原理

音響トモグラフィの特徴は、  
物理量として音響波(擬似ランダム波)を用いること

擬似ランダム波を用いることで、

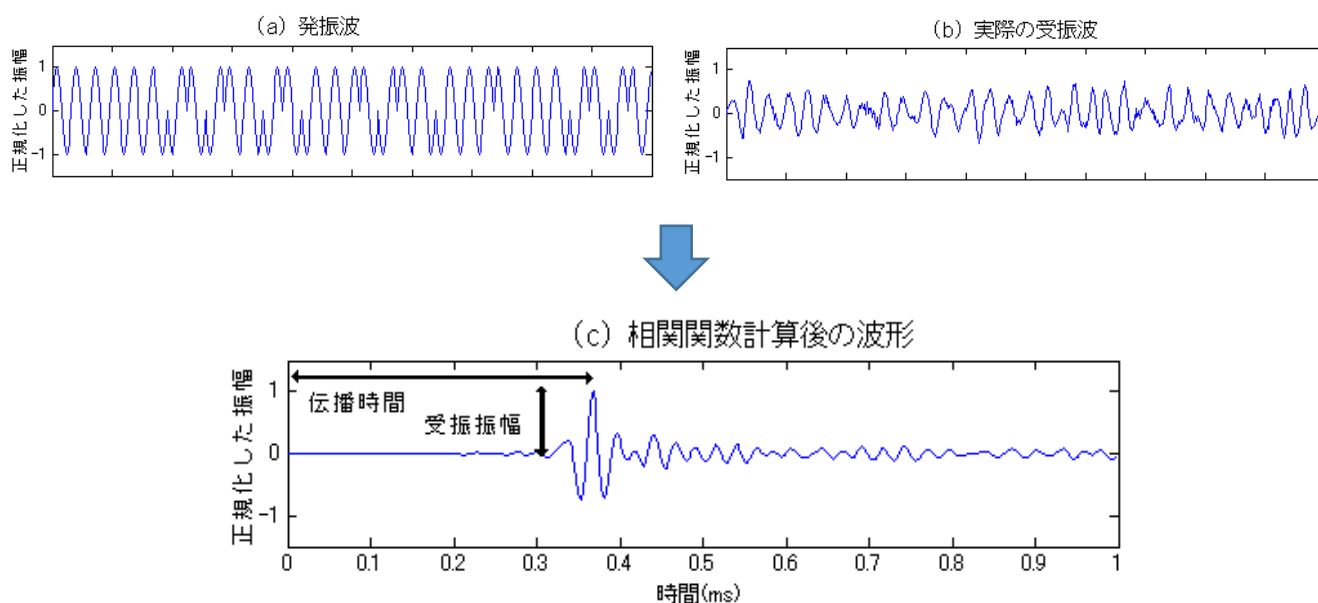
- ①従来手法より精度が高く、かつ広範囲の
- ②弾性波速度だけでなく振幅減衰を計測できる
- ③周囲のノイズの影響を受けにくい

探査が可能となった。

## 擬似ランダム波の特徴

- ・パルス圧縮と呼ばれる信号増幅方法で、特定の長さを持つ連続波であること
- ・単一周波数の正弦波をベースとして位相変換されていること
- ・発振波と受信波の相関関数が周波数に依存した波長のパルス波になること

## 擬似ランダム波

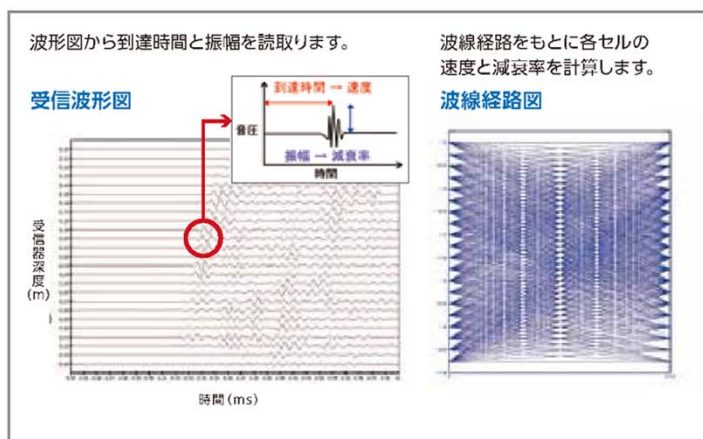


発振波と受信波の相関関数を計算することで得られる受信波形から、伝播時間と振幅を読み取る

# 音響トモグラフィ探査の基本原理

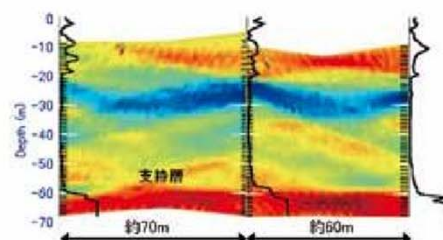
## データ解析

現場で取得したデータを逆計算と呼ばれる手法を用いて解析  
解析結果として「速度」と「減衰率」の2つの情報を得ることができる

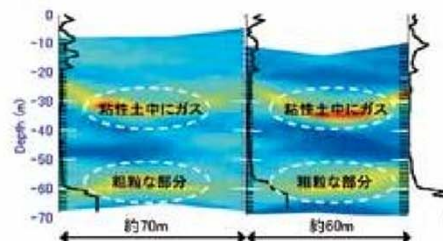


速度分布図と減衰率分布図を作成します。

速度分布図



減衰率分布図



## 2つの情報から分かること

従来の物理探査手法は1種類の情報しか取得できない。  
音響トモグラフィ探査は、「速度」と「減衰率」という2つの情報を取得できるため、それぞれの側面から地盤を評価できる。

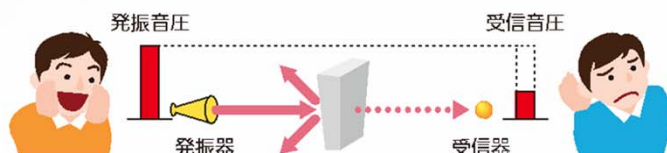
到達時間から速度を計算し、地盤の固さ、構造を把握できます。



速度からわかること

- 地盤の固さ
- 地層構造
- 地層分類

発振音圧と受信音圧の差から音の減衰を計算し、地盤の密度の差、障害物、空洞を把握できます。



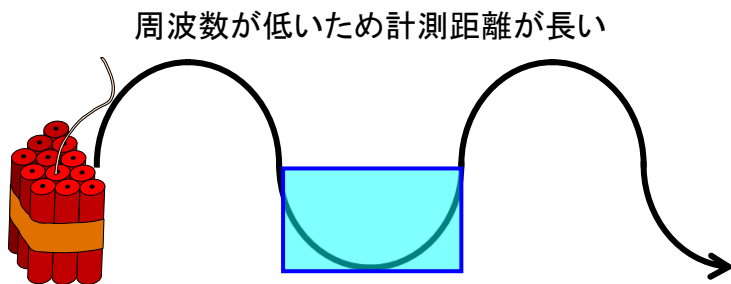
減衰率からわかること

- 地盤改良範囲
- 空洞や障害物
- 岩盤中の亀裂
- 礫層や転石
- 地中ガス

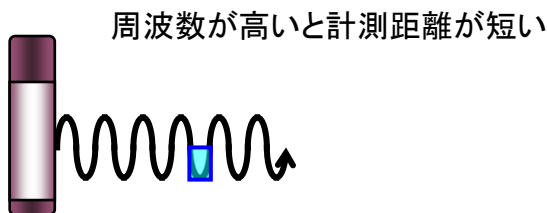
# 特徴・従来の手法との違い

## 周波数と測定範囲

従来の手法

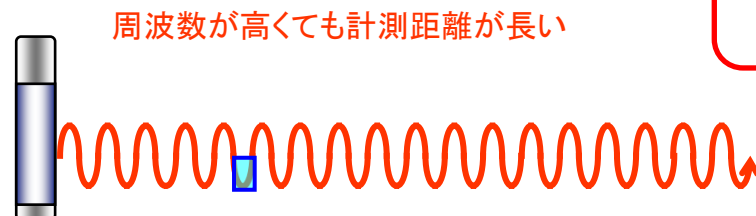


計測距離 100m  
精度 5~10m



計測距離 10m  
精度 ~1m

音響トモグラフィ

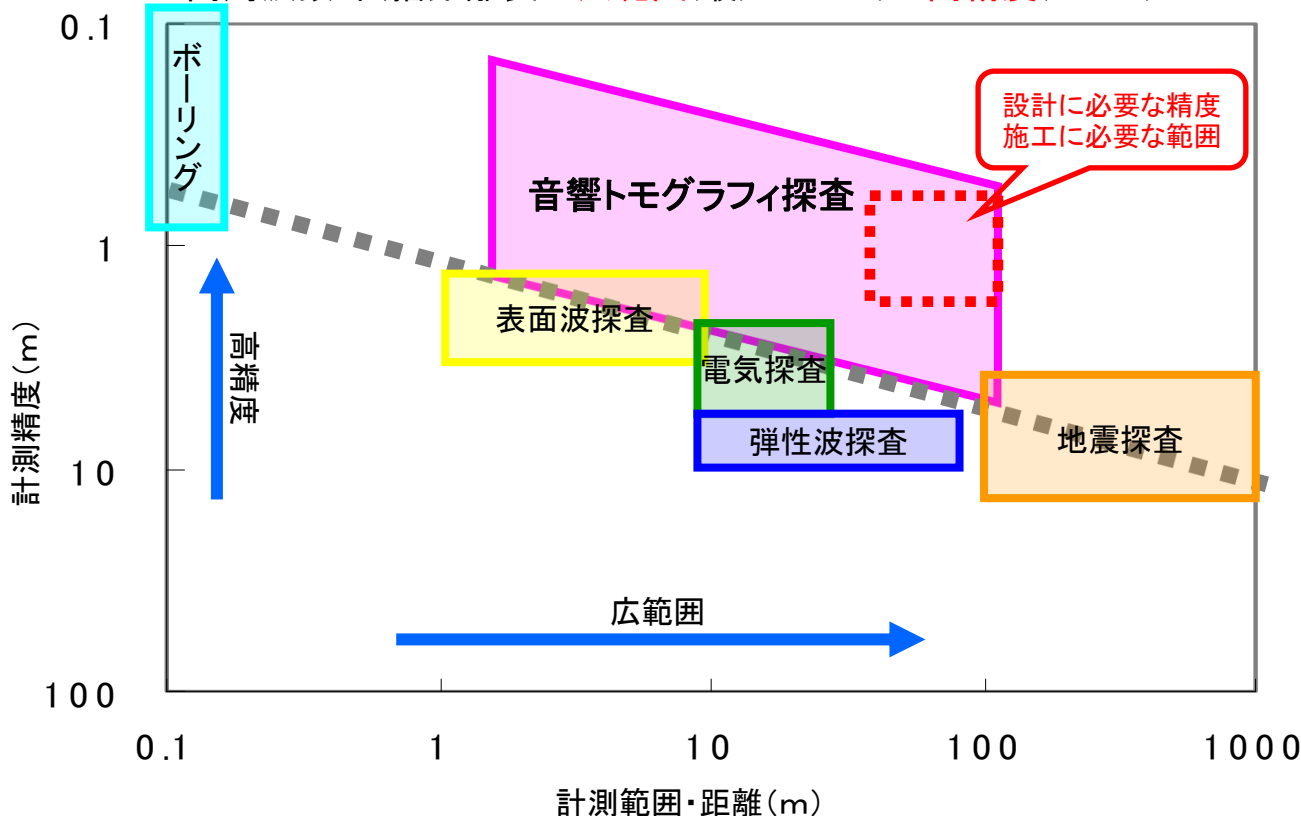


計測距離 100m  
精度 ~1m

従来の手法で精度を上げようとする  
と計測距離が短くなる

## 各手法の精度と測定範囲の違い

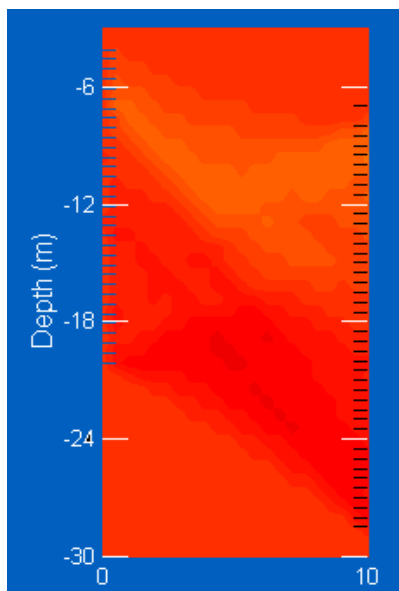
高周波数・伝播距離長 → 広範囲(最大100 m) + 高精度(~1m)



## 特徴・従来の手法との違い

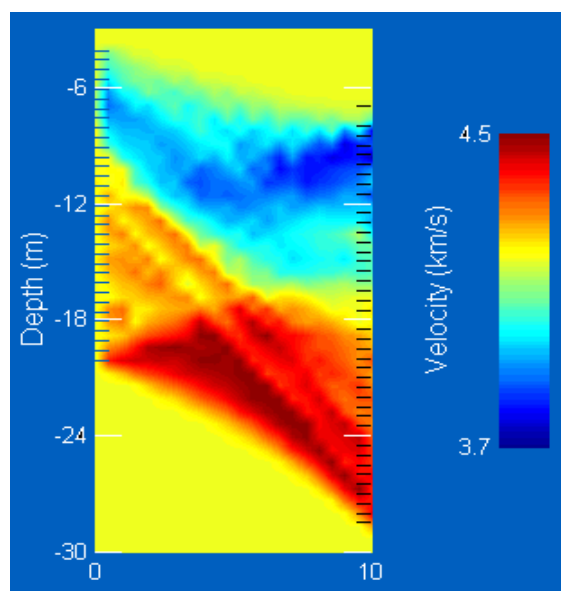
計測分解能が高い=ものさしの目盛りが細かい

従来の手法



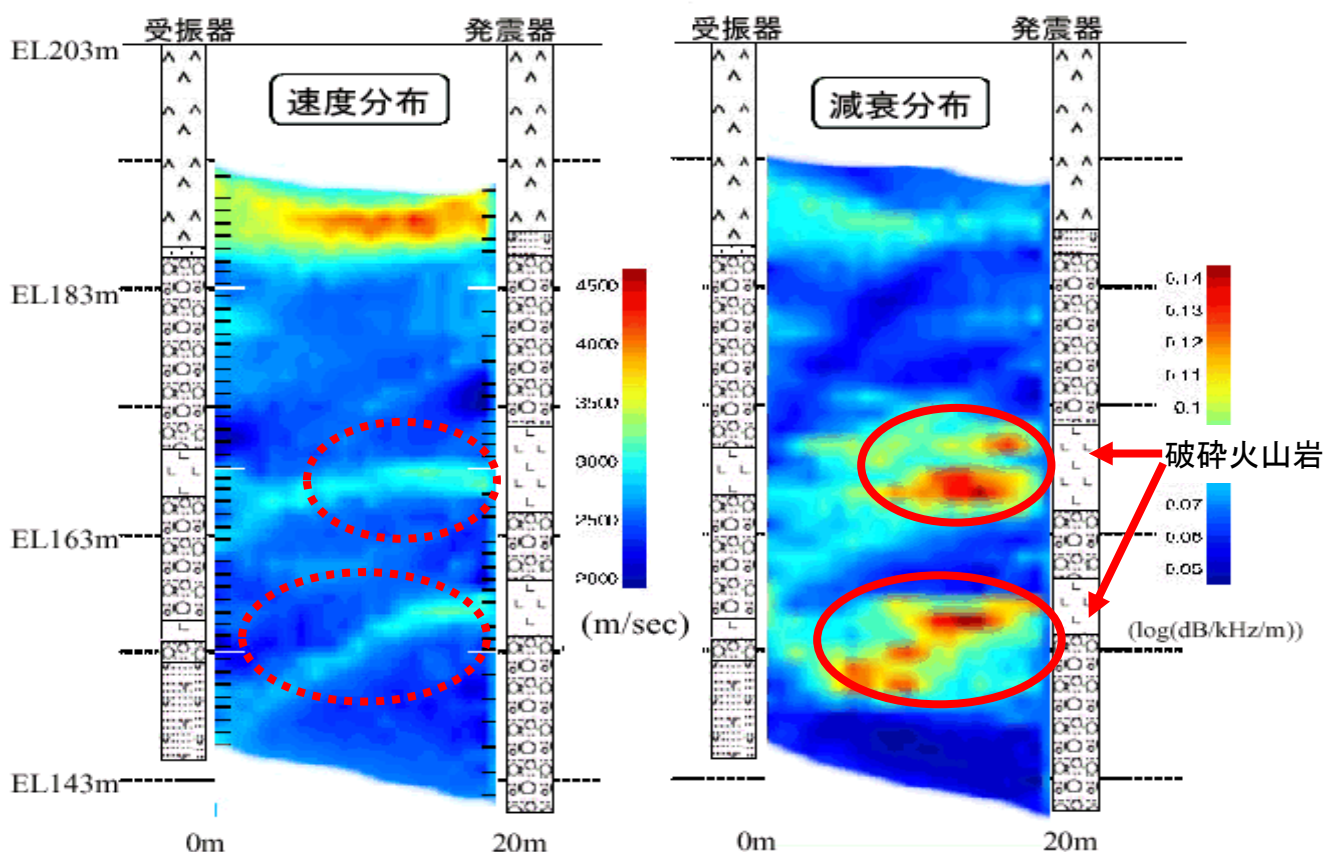
全体の速度変化の10%以上  
(0.5km/s)

音響トモグラフィ



全体の速度変化の1%以下  
(0.05km/s)

減衰情報の利用=地盤内物性変化を把握



## 特徴・従来の手法との違い

音響トモグラフィは騒音より高い周波数を使用

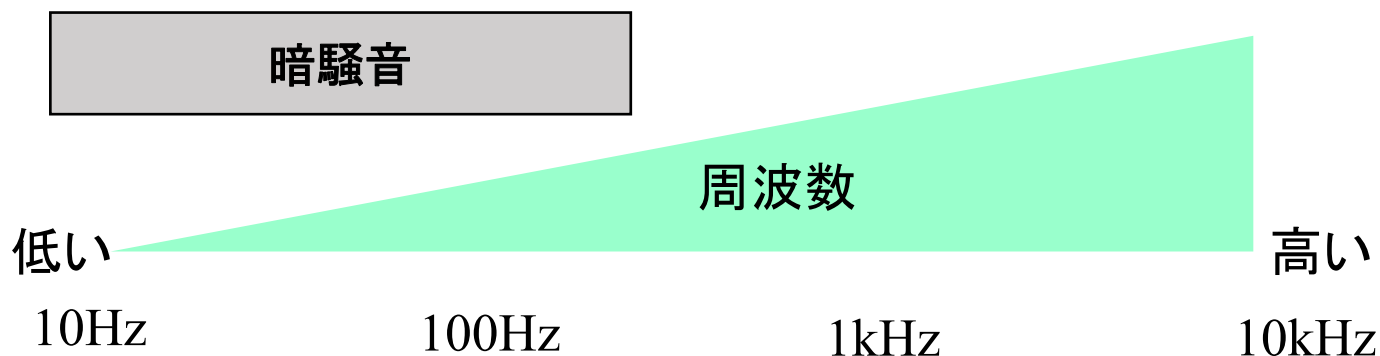
他の弾性波探査



音響トモグラフィ



暗騒音



地表ノイズの影響を受けないので、道路沿いでも昼間計測が可能

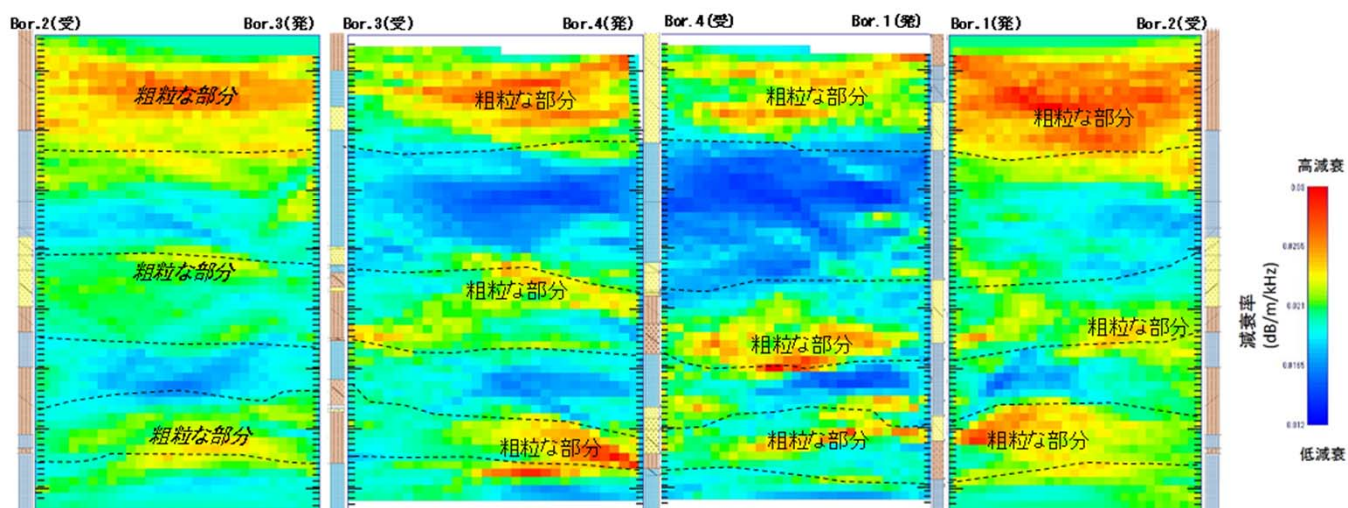
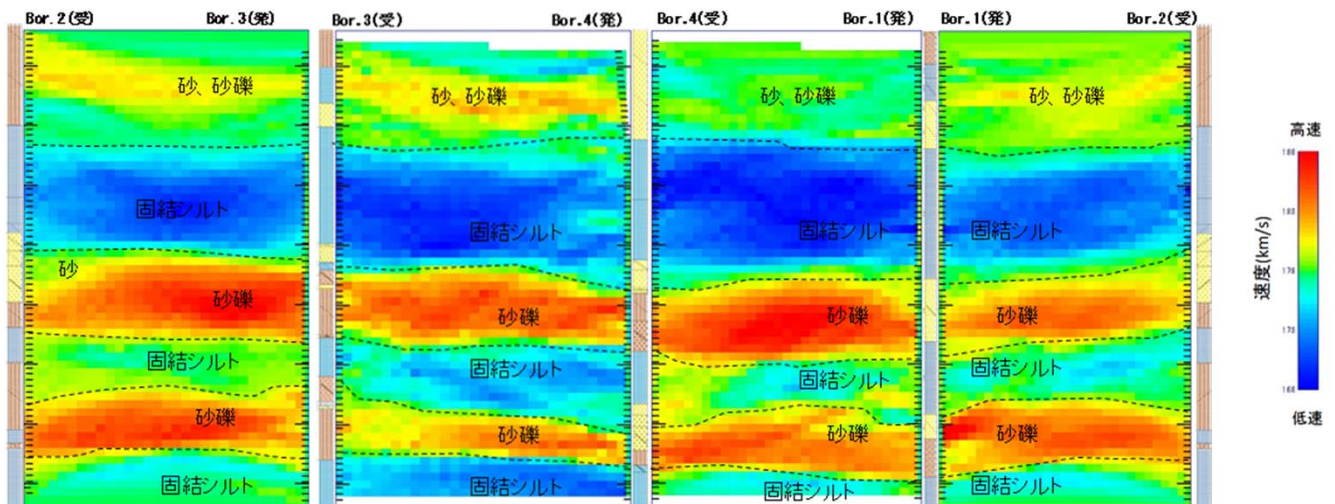


幹線道路横断方向の探査



# 適用事例

調査目的: 地層線の連続性および地層の非均質性を評価



## 結果の評価

- ・速度分布からは地層構成, 減衰率分布からは同じ地層内でも粒径の分布状況の違いを判別することができた。
- ・砂・砂礫層, 固結シルト層, 砂礫層に該当する速度値によって, それぞれの地層を明確に区別できた。
- ・速度分布図から推定される地層線は, 直線分布ではなく**不陸がある**ことが判明した。
- ・減衰率分布図からは, 同じ地層であっても**非均質な状態にある**ことが判明した。

## 適用に当たっての注意事項

### 【現場条件】

1. 対象とする地盤は地下水位以深(飽和した地盤)
2. 探査断面の縦横比は1:2以下
3. 測線長は100m以下
4. 発振器および受信器を結ぶ信号線は有線ケーブルを使用しているため、占有地外で道路や線路、私有地を横断する際には迂回もしくは養生が必要
5. 探査孔はφ50mm以上の塩ビ管(有孔管, 無孔管)で孔壁を保護
6. 塩ビ管内は清水もしくは泥水で充填
7. 地下鉄や地下工事付近での探査は、騒音の発生しない時間帯で実施
8. 探査測線周辺に鋼製の構造物等がある場合は、2m程度の離隔が必要

### 【結果の解釈】

9. 地層と音波の伝播特性との関係は場所によって異なることがあるため、解析結果はボーリング柱状図等によるキャリブレーションが必要
10. 探査断面の上下面を横断する杭のような垂直な構造物や高角度の断層は判別が困難

# GRIの業務実績

年度	場所	探査目的	探査断面規模
R01	愛知県	地盤改良工に関わる遮水層の連続性確認	4断面：縦34m×横14.4m, 24.0m, 34.6m, 99.8m
H31	シンガポール	既設トンネルとの交差部における岩盤線の連続性確認	6断面：縦40m×横49.4m, 50.7m, 45.4m, 42.8m, 72.3m, 59.7m
H31	愛知県	施工中の立坑における底盤以深の地層(粘性土層と砂質土層の互層)の連続性確認	6断面：縦36m×横23.9m, 32.7m, 32.7m, 24.7m, 21.2m, 22.7m
H30	愛知県	既設管周辺の埋土の緩み領域や状態の特定	1断面：縦15m×横6.5m
H27	愛知県	想定地質縦断面図において急変が予想されるPc4層の連続性確認	1断面：縦45m×横50m
H26	大阪府	薬液注入効果の評価	1断面：縦20m×横30m
H26	東京都	シールド掘削断面における埋戻層(岩ズリ)の分布状況を確認	6断面：縦18m～23m×横18.57m～24.13m
H25	大分県	15年前に実施された杭基礎補強のための地盤改良効果の残存効果確認	2断面：縦11.5m×横7, 9m
H25	大阪府	薬液注入効果の評価	1断面：縦20m×横30m
H25	京都府	鋼管矢板工法の根入れ深さの確定	4断面：縦24～30m×横20～24m
H24	兵庫県	土留め壁の根入れ深さを確定するため、地盤の不透水層の評価	3断面：縦25m×横60m, 60m, 70m
H24	神奈川県	拡幅工事における地盤改良効果の確認	2断面：縦7, 12m×横12m
H24	大阪府	遮水層根入れ先端付近の地盤構成の面的把握	8断面：縦48m×横21～72m
H23	大阪府	遮水層形成のための薬液注入による効果確認	1断面：縦50m×横57m
H22	千葉県	シールド施工(URAP工法)に先立つ支障物調査	3断面：縦7m×横5～10m
H21	東京都	薬液注入効果の確認	1断面：縦20m×横10m 4断面：縦6～11m×横19～28m
H20	長野県	場所打ち杭の施工に伴う周辺地盤の緩み領域および強度低下の度合いを確認	2断面：縦15m×横7, 8.5m
H20	滋賀県	薬液注入工による地盤改良効果の確認	2断面：縦8m×横9m
H19	兵庫県	トンネル施工における設計・計画を効率的に行うための詳細な地盤構造の把握	1断面：縦38m×横80m

# GRIの発表論文

14	題目	音響トモグラフィ探査による薬液注入改良効果の検証
	発行年	2015
	著者名	白川 和靖, 坂本 寛章, 古藤 賢, 近藤 政弘, 仲山 貴司, 澤田 亮, 小山 幸則
	掲載誌	第50回地盤工学研究発表会
13	題目	音響トモグラフィ探査を用いた鋼管矢板根入れ長の基面評価方法について
	発行年	2014
	著者名	谷地 宣之, 有働 敬天, 蒲谷 大輔, 植田 康宏
	掲載誌	第69回土木学会年次学術講演会
12	題目	音響トモグラフィを用いた地盤構成の面的評価事例
	発行年	2013
	著者名	栢分 国治, 奥田 英幸, 山内 淑人, 書川 康一, 榊原 淳一
	掲載誌	第48回地盤工学研究発表会
11	題目	シールド路線内の支障物探査方法
	発行年	2011
	著者名	志農 和啓, 江原 豊, 日野 義嗣, 中村 哲, 山内 淑人
	掲載誌	第66回土木学会年次学術講演会
10	題目	P波速度を用いた地盤改良効果の評価
	発行年	2011
	著者名	澤田 亮, 山内 淑人, 粥川 幸司, 菅 茜穂, 榊原 淳一
	掲載誌	第66回土木学会年次学術講演会
9	題目	P波速度と地盤物性にかかわる模擬砂地盤での基礎実験
	発行年	2011
	著者名	小山 幸則, 明石 健, 山内 淑人, 粥川 幸司, 菅 茜穂, 榊原 淳一
	掲載誌	第66回土木学会年次学術講演会
8	題目	音響トモグラフィを用いた不飽和地盤における薬液注入による地盤改良効果の確認
	発行年	2010
	著者名	澤田 亮, 植田 康宏, 粥川 幸司, 菅 茜穂, 山内 淑人, 榊原 淳一
	掲載誌	第65回土木学会年次学術講演会
7	題目	音響トモグラフィによる噴砂にともなうトンネル周辺地山の緩み領域の可視化
	発行年	2010
	著者名	小山 幸則, 粥川 幸司, 山内 淑人, 菅 茜穂, 榊原 淳一
	掲載誌	第65回土木学会年次学術講演会
6	題目	音響トモグラフィを利用した場所打ち杭の施工に伴う地盤挙動の評価
	発行年	2010
	著者名	澤田 亮, 粥川 幸司, 早川 清, 山内 淑人, 榊原 淳一
	掲載誌	第45回地盤工学研究発表会
5	題目	音響トモグラフィを用いた薬液注入による地盤改良の効果確認
	発行年	2009
	著者名	澤田 亮, 後藤 幸司, 粥川 幸司, 山内 淑人, 早川 清, 榊原 淳一
	掲載誌	第64回土木学会年次学術講演会
4	題目	HIGH-RESOLUTION GEOLOGICAL SURVEY BY HIGH FREQUENCY SEISMIC WAVE
	発行年	2009
	著者名	J.SAKAKIBARA, Y.YAMAUCHI, K.KAYUKAWA
	掲載誌	Proc. of International Joint Symposium on Geodisaster Prevention and Geoenvironment in Asia
3	題目	音響トモグラフィを用いたトンネル施工地盤詳細評価
	発行年	2008
	著者名	吉塚 守, 陸門 英男, 山内 淑人, 豊田 孝宏, 榊原 淳一
	掲載誌	第63回土木学会年次学術講演会
2	題目	音響トモグラフィによる高精度地盤探査
	発行年	2006
	著者名	榊原 淳一, 山内 淑人
	掲載誌	地盤の環境・計測技術に関するシンポジウム2006
1	題目	音響波を用いた地下水探査
	発行年	2006
	著者名	榊原 淳一, 山内 淑人
	掲載誌	地下水地盤環境に関するシンポジウム2006

※氏名の太文字は弊社社員