

(93) 弾性波トモグラフィーによる地質構造調査 —断層のある堆積岩盤への適用例—

動力炉・核燃料開発事業団	正会員	○杉原 弘造
	正会員	吉岡 尚也
大成建設株式会社	正会員	森田隆三郎
	正会員	川上 純

Geologic Survey Using Seismic Tomography - Application to Sedimentary Rocks with a Fault -

Kozo SUGIHARA, Power Reactor And Nuclear Fuel Development Corporation
Naoya YOSHIOKA, Power Reactor And Nuclear Fuel Development Corporation
Ryuzaburo MORITA, Taisei Corporation
Jun KAWAKAMI, Taisei Corporation

Abstract

Application of seismic tomography to sedimentary rocks of the Neogene period was studied. Since the presence of a fault had been known in the surveyed area, a possibility to detect a fault was also investigated. The seismic tomography was performed using 4 boreholes, and its results were analyzed in different cross sections.

The seismic profiles obtained by tomography survey were consistent with the geologic structure obtained from core observations. In addition, the location of the fault was well detected in several sections. It was however, difficult to detect the location of the fault, if neither of the two boreholes of a section cross the fault. In this case, the results of tomography survey may cause incorrect interpretation of the geologic structure.

1. はじめに

弾性波トモグラフィーは、岩盤内部の構造や物性の分布を可視化できる調査技術として注目されている。解析手法については、各方面で盛んに研究が進められ、精度の高い解析が可能となっている。一方、現場への適用性については、多くの実測事例をもとに検討する必要があるが、その数はまだ少なく十分な検討はなされていない。

筆者等は、弾性波トモグラフィーの原位置適用に関する一連の研究を行っている¹⁾²⁾。今回は、砂岩・泥岩の互層および礫層から成る堆積岩盤において、4本のボーリングを用いて弾性波トモグラフィーを実施し、地質構造調査への適用性について検討した。また、調査領域内にある断層の検出の可能性についても検討を

行った。

2. 現地調査の概要

調査は、岐阜県土岐市に位置する東濃鉾山内に掘削した立坑および横坑を利用して行った。調査位置の地質は新第三紀の堆積岩で、ほぼ水平に堆積した砂岩・泥岩の互層および礫層から構成されている。また、図-1に示すように、断層（走向 $N80^{\circ}E$ 、傾斜 $60^{\circ}S$ 、落差 $30m$ ）が存在している。

弾性波トモグラフィーは、図-1に示すように、上部横坑から掘られた4本の長さ80mの傾斜ボーリング（GT1～GT4）を使用して行った。この4本のボーリングは上面が2m、下面が約40mの正方形となる正四角錐状の形を形成する配置となっている。弾性波トモグラフィー調査はこの4本のボーリングで作られる断面のうち、GT1～GT3、GT2～GT3、GT3～GT4の3断面について、上部横坑以深を掘削する前に第1回目を、掘削後に第2回目を行った。

図-2に各調査断面における測点の配置および断層の推定位置を示す。第2回目の調査断面GT3・4は下部横坑の切羽付近を通過し、GT2・3断面は下部横坑の中央部を斜めに横断している。起振点は各ボーリング孔内に4m間隔、受振点は2m間隔に設置した。また下部横坑掘削後の調査では、坑道内の壁面にも測点を設けた。断層は、調査断面GT3・4では水平から約20度、GT2・3およびGT1・3では $55\sim 60$ 度で交差していると推測される。

以上のように調査断面を配置し、

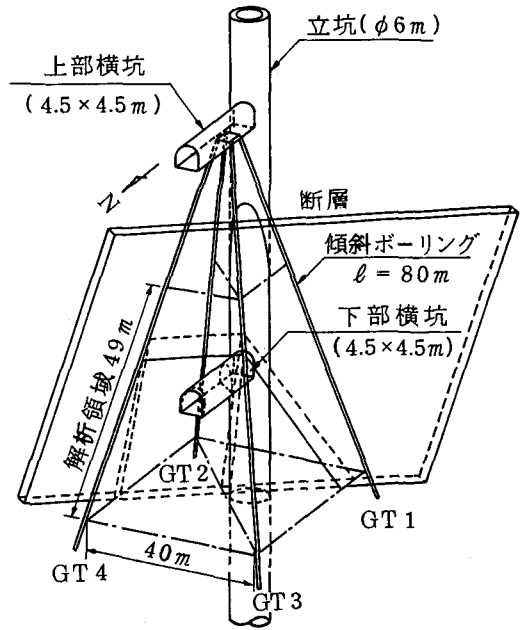
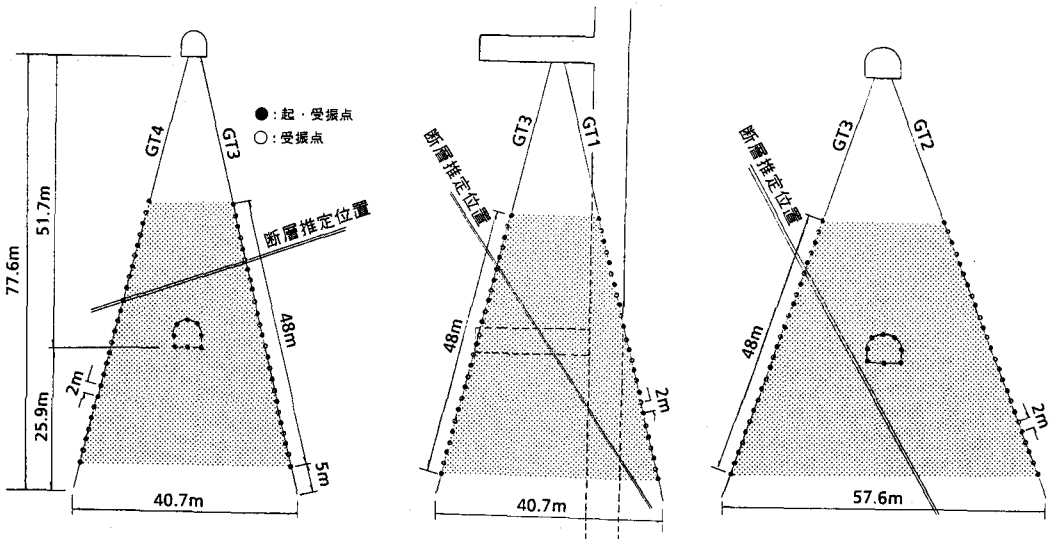


図-1 トモグラフィー調査断面の配置



(a) GT3・4断面

(b) GT1・3断面

(c) GT2・3断面

図-2 各調査断面における測点配置と断層推定位置

- 1) 測点配置と断層位置の関係による断層の検出程度
- 2) 掘削による空洞周辺の岩盤状況の変化
- 3) 調査領域内に新たに測点を配置した場合の結果の違い

等について検討できるようにした。

3. 調査結果および検討

トモグラフィー解析にはCG法（共約勾配法）を用い、ホイヘンスの原理に基づく波面形成法を使用した。解析メッシュは、3m×3mとしたが、空洞周辺部ではより詳細な岩盤状況を調べるために、最小1.4m×1.1mの細かいメッシュを使用している。

図-3,4にトモグラフィー解析結果を示す。図中には、ボーリングコアの観察結果から得られた岩相を示してある。また、解析領域内にある断層の推定位置を破線で示してある。ボーリング孔GT1とGT3については、

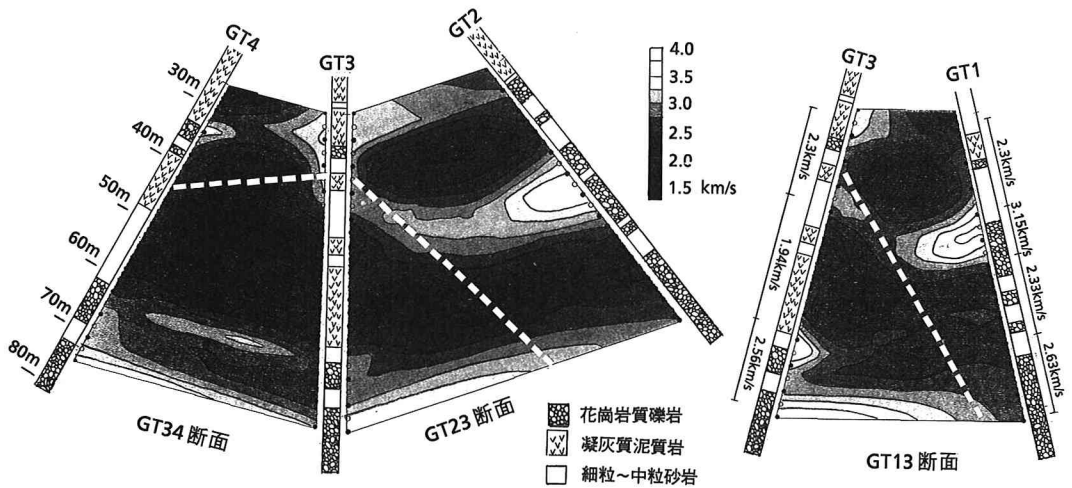


図-3 第1回目の弾性波トモグラフィー解析結果

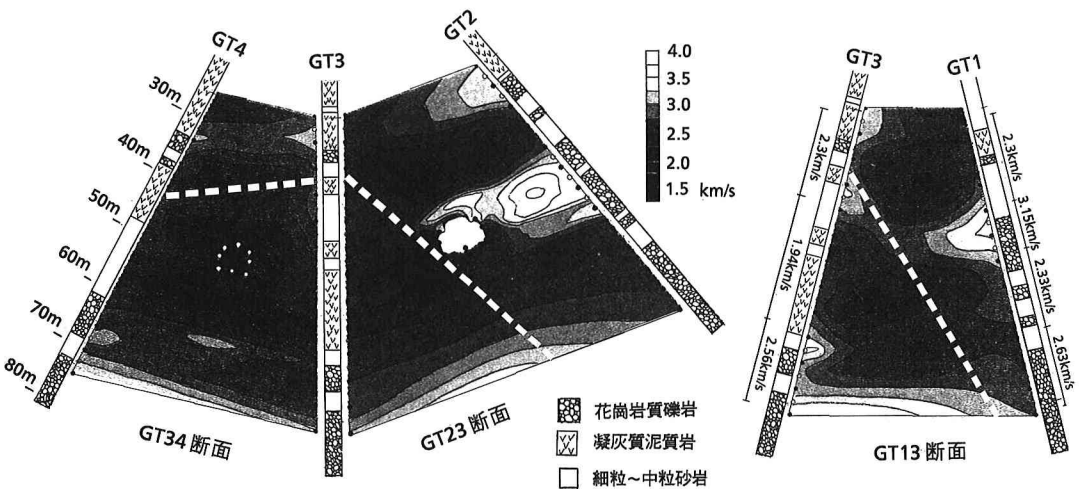


図-4 第2回目の弾性波トモグラフィー解析結果

孔底で起振し同一孔内で受振して測定したボーリング孔沿いの弾性波速度も示した。

3.1 ボーリング孔沿いの地質との対比

図-3に示したボーリング孔沿いの弾性波速度は、測定結果によると花崗岩の礫層部分では2.5~3.2km/sであり、他の部分では2.3km/s前後であると考えられる。また、ボーリング孔GT3の中央付近では2km/s以下となっており、凝灰質の優勢な部分は比較的低速度であると考えられる。

トモグラフィ解析結果においても、凝灰質の優勢な部分は低速度に、花崗岩の礫層部分は高速度と解析されており、地質状況およびボーリング孔沿いの測定結果と良く一致している。ただし、第1回目のGT1・3およびGT2・3断面のボーリング孔GT3の深度35m~40m付近では、凝灰質の優勢な部分が3.0km/s前後の高速度部と解析されており、地質との対応が悪い部分が一部認められる。各解析断面で共通なボーリング孔GT3沿いの速度分布は、全体的に良い整合性がみられる。

3.2 断層の検出について

GT3・4断面では断層推定位置に低速度帯が検出されている。一方、GT1・3およびGT2・3断面では、断層推定位置にその方向に対応する速度変化帯があるが、逆に高速度帯となっている。

一つのボーリング孔としか交差していない高角度の傾斜層は、検出されにくいと言われており³⁾、GT1・3およびGT2・3断面がその場合に相当していると考えられる。実際に図-5のようにGT2・3断面と同じパターンで低速度帯を含んだモデルを解析すると、図-6のように低速度帯が検出されず、断層以外の領域にもゴーストが現れた。

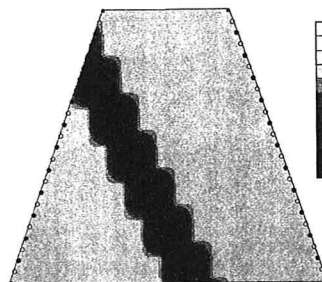


図-5 断層モデル

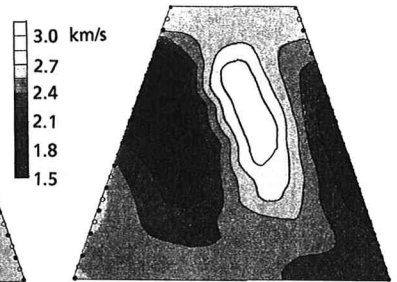


図-6 断層モデルの解析結果

GT2・3断面の第2回目の解析結果では、解析領域内部に測点を新たに

設けたため、断層付近にある高速度帯が消えて実際の地質構造に近く解析されている。しかし、断層で区切られた領域のみを通過する波線が存在しないため、断層はGT3・4断面のようには検出されていない。

以上のように、測点の配置によっては断層が検出されないばかりでなく、他の領域にも悪影響を及ぼす可能性があることが分かる。前述したボーリング孔GT3の深度35m~40m付近における地質と解析結果との不一致は、断層によるゴーストが影響しているものと考えられる。

3.3 領域内部の地質の把握

図-7には、下部横坑掘削時に得られた下部横坑と解析断面GT2・3との交差部の地質分布を示す。GT2・3断面の第2回目の解析結果をみると、ボーリング孔GT2の中央部の礫層は、ほぼ水平に分布しているが、横坑周辺では横坑の上方のみに分布し、断層の手前で途切れていると解釈できる。これは、図-7の横坑周辺の地質状況と良く一致している。また、横坑の下部および断層側には、掘削の影響によるとみられる低速度帯が現れており、トモグラフィ解析は領域内部の地質状況を良く示していると考えられる。

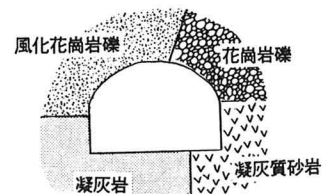


図-7 下部横坑の地質状況

一方、第1回目の解析結果は、解析断面の右側は第2回目とほぼ同じ速度分布となっているが、断層によ

るゴーストのため、礫層は途中で折れ曲がり上方に連続しているという誤った解釈をする可能性があり、注意が必要であることが分かる。

3.4 空洞の把握

岩盤内の空洞の検出の可能性について検討する。図-8は、第2回目のGT2・3断面において、空洞内部からの波線を使用せず、第1回目と同様にボーリング孔からの波線のみを使用して解析した結果である。図-3の第1回目の解析結果と比較すると、中央付近の速度がやや低下しているが、空洞は検出されていない。

また、図-8と図-3の速度値の比をとり、空洞掘削による弾性波速度の変化率を求めると、図-9のようになる。解析断面の中央部に、水平方向の速度が低下した部分が認められるが、空洞の形は検出されていない。

弾性波トモグラフィーにより岩盤内の空洞が解析されたという報告もあるが⁴⁾、今回の調査領域は岩盤の速度コントラストが強いいため、比較的小規模な空洞が検出できなかったと考えられる。

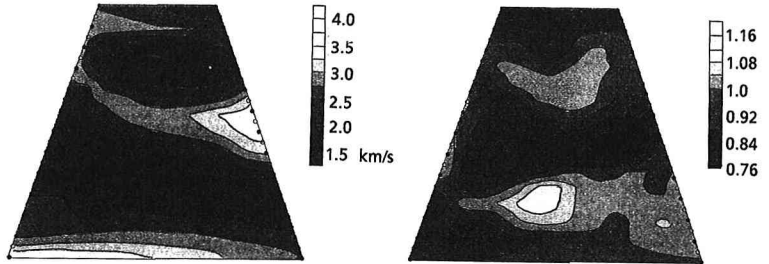


図-8 第2回目のGT2・3断面の解析結果 (空洞からの波線使用せず) 図-9 GT2・3断面の速度変化率 (空洞からの波線使用せず)

4. まとめ

砂岩・泥岩の互層および礫岩から成る堆積岩盤において、4本のボーリングを用いて弾性波トモグラフィーを実施した。トモグラフィー解析結果は、ボーリング孔沿いの地質状況とはほぼ一致しており、地質状況を良く示していた。ただし、断層付近では、地質との不一致がみられた。

解析領域内に断層がある場合は、断層が2本のボーリング孔と交差する場合は検出可能であるが、1本のボーリング孔としか交差していない場合は、断層が検出されないばかりかゴーストが現れ、誤った解釈をしてしまう可能性があることが分かった。また、今回のように速度コントラストが強い場合は、空洞の検出は困難であることが分かった。

以上の結果から、不均質岩盤でトモグラフィー調査を行う場合は、コア観察やボーリング孔沿いの弾性波速度調査などにより地質状況をよく検討して、総合的に評価することが必要である。また、解析結果を評価する場合には、地質状況との小さな不一致にも留意することが必要である。

<参考文献>

- 1) 二宮、杉原、伊藤、亀村、青木：ジオトモグラフィーによる地下空洞周囲緩み領域の評価について、第22回岩盤力学に関するシンポジウム、1990
- 2) K.Kamemura, T.Aoki, K.Ito, K.Sugihara, Y.Ninomiya: Field measurement and its numerical interpretation of disturbed zone around drift, International Association for Computer methods and Advances in Geomechanics, 7th Conference, 1991
- 3) 小澤、山田、佐々：傾斜層検出への孔間弾性波トモグラフィの適用に関するシミュレーション、物理探査学会第80回学術講演会論文集、1989
- 4) 高橋：弾性波トモグラフィー—岩盤調査への適用例—、平成元年度第1回岩盤力学委員会研究報告会「岩盤調査におけるジオトモグラフィー技術の現状」、1989