

異方性材料を対象とした AE トモグラフィ法の開発

日本大学理工学部 正会員 ○小林 義和*

京都大学工学部 正会員 塩谷 智基

1. はじめに

著者らは、構造物の効率的な保守計画の策定に必要な非破壊検査技術に関する研究を進めてきた。その一環として、弾性波トモグラフィ法の構造物の健全性診断への適用や、AE を弾性波トモグラフィにおける弾性波として活用することによって、弾性波の受信点における到達時刻のみから弾性波速度分布を同定する AE トモグラフィ法の開発を二次元問題及び三次元問題を対象として開発してきた。一方、これらの手法は、対象となる構造物が等方性材料でつくられていることを前提としてきたが、近年においては、繊維強化プラスチック等の速度異方性を有する材料の土木構造物への採用が進みつつあり、これらの構造物の維持管理の観点から、異方性材料に対しても適用可能な非破壊検査技術の開発が必要となっている。そこで、本研究では、このような異方性材料への適用を可能にした AE トモグラフィ法を開発し、その妥当性の検証を数値解析によって実施した。

2. 異方性材料を対象とした AE トモグラフィ法

AE トモグラフィ法は、受信点における弾性波の到達時刻のみから弾性波速度分布を同定する手法である。図 1 に AE トモグラフィ法の概略のフローチャートを示す。一般的な弾性波トモグラフィでは、対象となる信号は打撃等によって生じた人工的な弾性波であり、その発信位置と発信時刻は既知である。しかし、対象を AE とした場合、受信点における弾性波の到達時刻は観測されるものの、その発信位置と発信時刻は未知である。このため、AE トモグラフィでは、AE 試験で用いられる位置標定法によって、AE の発信位置と発信時刻を推定し、それらの情報を既知とすることによって弾性波トモグラフィ法のアルゴリズムを適用していくことが特徴となっている。このため、AE トモグラフィ法の第一段階では、与えられた弾性波速度分布において AE の位置標定を実施するが、本研究における AE の位置標定では、弾性波速度分布の不均一性と弾性波速度の異方性を適切に考慮するために、これらを考慮した波線追跡に基づいて実施される¹⁾。この波線追跡法では、解析対象断面は三角形セルもしくは四角形セルによってメッシュ分割し、波線をメッシュの節点を通過する折線として近似する。この際に、各セルにおける弾性波速度を一定とすると、ある節点間の走時は、次式のように示される。

$$\Delta T_{ij} = \sum S_k(\theta_k) \ell_{ijk} \quad (1)$$

ここで、 ΔT_{ij} は節点 i と節点 j の間に設定された波線経路での走時であり、 ℓ_{ijk} はその波線のセル k 上での波線長、 $S_k(\theta_k)$ はセル k における弾性波速度の逆数であるスローネスであり、 θ_k は、セル k における波線の角度である。本研究では、このように、このスローネスを波線の角度の関数として与えることによって材料の速度異方性を考慮することを可能にしている。な

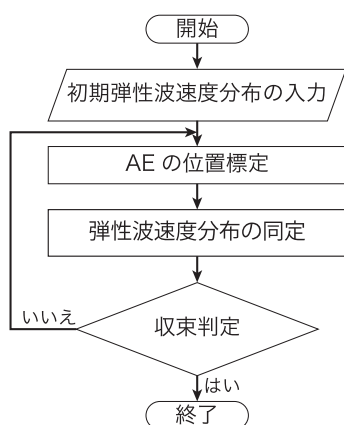


図1 AE トモグラフィ法のフローチャート

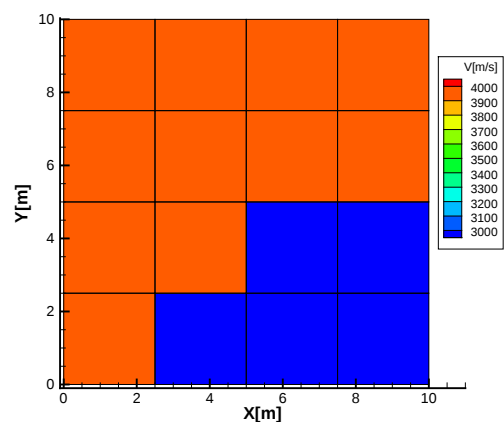


図2 解析対象モデル

AE トモグラフィ, 弾性波速度トモグラフィ, 異方性材料, 波線追跡, 逆問題

* 京都大学・学際融合教育研究推進センター・インフラシステムマネジメント拠点ユニット・特任准教授

〒101-8308, 東京都千代田区神田駿河台 1-8-14, Tel/Fax 03-3259-0575

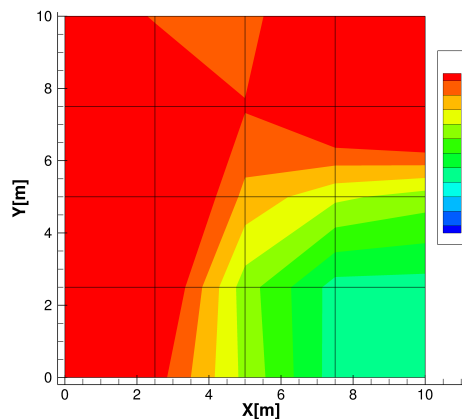


図3 異方性を考慮した場合の同定結果

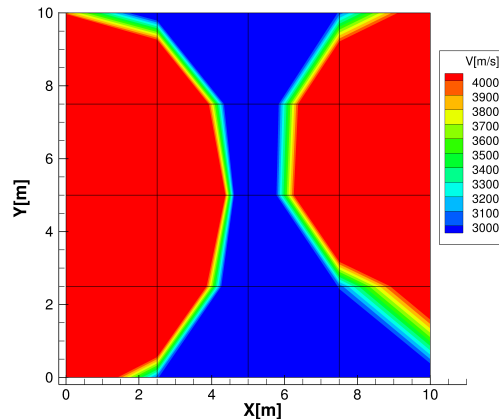


図4 異方性を考慮しない場合の同定結果

お, 実際の波線追跡では, 例えば弾性波速度トモグラフィであれば節点 i と節点 j の間での, 初動走時が必要となるため, 節点 i と節点 j の間での全ての波線を考慮し, ダイクストラ法等によって走時が最も小さくなる波線経路を選択する必要がある. これにより, AE の位置標定によって同定された AE の発生位置と発生時刻を用いることによって, 受信点における AE の到達時刻は, 次式のように示される.

$$T_{ij} = E_i + \sum S_k l_{ijk} \quad (2)$$

ここで, T_{ij} は節点 i で発生した AE の節点 j での到達時刻, E_i は節点 i で発生した AE の発生時刻である. また, 右辺第二項で採用される波線経路については, 初動走時を与える経路とする. AE トモグラフィ法では, この波線追跡によって求められた AE の受信点における到達時刻と, 観測された到達時刻の差を最小化するような弾性波速度分布を同時反復法によって同定する.

3. 数値解析による検証

ここでは, 図2のようなモデルによって提案法の妥当性を数値実験によって確認する. 図2に示されるように, 検証に使われるモデルは, 一辺が 10m の正方形であり, オレンジ色の領域と青色の領域で構成されている. オレンジ色と青色の領域においては, 鉛直方向と水平方向の弾性波速度が 10:1 になるような弾性波速度異方性が設定されており, 鉛直方向の弾性波速度を, それぞれの領域で 4000m/s と 3000m/s とした. これは, オレンジ色の領域と青色の領域が, それぞれ健全な領域と不健全な領域を表わしている. この断面内において, ランダムな位置に 200 個で AE が発生したと仮定し, それぞれの点から図2の弾性波速度分布上において波線追跡を受信点まで実施し, その初動走時を観測走時として採用した. 受信点は断面の頂点の 4 箇所に設置されているとし, 異方性を組み込んだケースと異方性を組み込まないケースにおいて, 初期条件として, 鉛直方向の弾性波速度を 4000m/s とした均一な弾性波速度分布を与えた. 図3と図4に, 弾性波速度構造を同定において, 異方性を考慮した場合としない場合での同定結果を示す. 図3によれば, 弾性波速度の異方性を考慮して同定された弾性波速度分布は, 図2で示される弾性波速度分布と同様の傾向を示しており, 同定された弾性波速度分布は, 定性的には真値と一致していることがわかる. 一方, 異方性を考慮しないで同定された弾性波速度分布は, 図4に示されるように真値とは傾向も異なっており, これらの結果から, 本研究で提案された手法は, 異方性を持つ材料に対しても, 定性的に弾性波速度分布を同定しうることが示された.

4. まとめ

本研究では, 異方性材料を対象とした AE トモグラフィ法の開発を行ない, 数値解析によってその妥当性の検証を行なった. その結果, 提案法は, 速度異方性を有する材料を対象とした場合においても, 定性的に対象の弾性波速度分布を良好に同定することが可能であることが確認された.

5. 謝辞

本研究は, 京都大学インフラ先端技術共同研究講座との共同研究成果である. ここに記して関係各位に感謝の意を表す次第である.

参考文献

- [1] Kobayashi, Y., Shiotani, T., Two-dimensional Source Location Technique on Anisotropic Medium on the Basis of Ray-tracing, The 22nd International Acoustic Emission Symposium, Sendai, 2014.11