

AEトモグラフィ法における 同定対象パラメータの拘束条件の影響

日本大学 正会員 ○中村 勝哉
日本大学 正会員 小田 憲一

日本大学 正会員 小林 義和
日本大学 学生会員 池端 宏太

1. 背景・目的

地盤内部の進行性破壊を評価する際、破壊の進行過程を把握する方法としてX線の応用¹⁾等によって可視化する試みがあるが、明確な手法として確立はなされていない。一方で、Acoustic Emission（以下、「AE」と称する.）を用いた試みが報告されている。AEは対象の微小な変形または破壊により発生する弾性波であり、この弾性波の到着時刻や、波形より求められる諸量から、対象の状態を把握することが期待できる。また、計測に用いるセンサが比較的軽量かつ可搬であるため、多様な形状、広範囲な領域に対して適応の可能性がある。これまでに、地盤内部の破壊に起因するAEを検出することで、破壊の位置を標定した例が報告されているが、これらの例では対象の弾性波速度分布を均一と仮定していることが多く、実地盤を対象とする際には、その弾性波速度の不均一性等が影響し、弾性波の屈折及び回折によって破壊の把握が困難な場合があった。そこで、本研究では、破壊位置の標定において弾性波の屈折及び回折を考慮することできる波線追跡法を組み込んだAEトモグラフィ法³⁾による地盤の進行性破壊評価手法の開発の前段階として、AEトモグラフィ法によって地盤材料の様に物性が不確かで不均一な対象において弾性波速度分を同定する場合の同定対象に与えられる拘束条件が同定結果に与える影響について数値実験より検討した。

2. AEトモグラフィ法

2.1 手法概要

AEトモグラフィ法における破線の概要を図-1に示す。また、発信時刻 P 、センサ受信時刻 A 、理論走時 T 、センサ番号 i 、候補点番号 j とし発信時刻を求める式を式(1)に示す。

$$P_{ij} = A_i - T_{ij} \quad (1)$$

発信位置は、弾性波速度分布に従い各候補点で求まる発信時刻の分散が最小となる点とし、その点で

の P_{ij} 平均値を発信時刻とする。弾性波速度分布及び波線長が真値と一致している場合、 P_{ij} は発信位置において一つの値に収束するが、弾性波速度分布や標定された波線長は解析メッシュに依存し、真値と一致しないことから、一般にそのような点が存在しないため、分散が最小となる点を標定された発信位置としている。

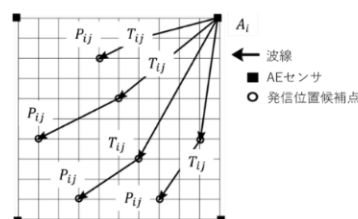


図-1 AE トモグラフィ法における破線の概要

2.2 条件付き逆解析

本研究では拘束条件として弾性波速度の逆数であるスローネスの下限值を設定した同時反復法によって弾性波速度分布を更新する。条件付き同時反復法の手順を図-2に示す。スローネスの下限值が真値に即した値である場合は多様な数値解から適切な解を絞り込めるため、弾性波速度分布の同定が良好になる傾向にあるが、地盤材料のように物性が均一ではない材料に対して適切な下限値を設定することは容易ではない。そのため、既往な知見から得られる複数の下限値で解析を実施し、結果の妥当性を評価する必要がある。

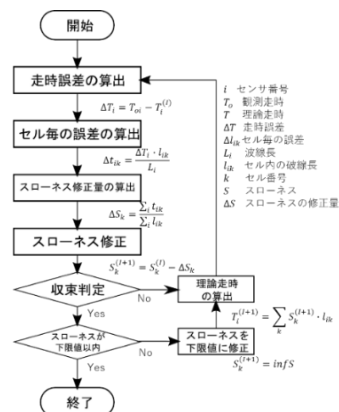


図-2 条件付き同時反復法フロー図

キーワード 非破壊検査, Acoustic Emission, AE トモグラフィ法, 進行性破壊, 逆解析, 同時反復法

連絡先 〒101-8308 日本大学理工学部 東京都千代田区神田駿河台 1-8-14 TEL:03-3259-0522 E-mail: nakamura.katsuya@nihon-u.ac.jp

3. 解析モデル及び解析条件

対象とする解析モデルを図-3、解析条件を表-1に示す。解析モデルは対象を正方形セルで分割し、弾性波速度を 1000m/s と 400.0m/s の領域に分けることで、地盤の不均一状態を表現した。なお、設定した弾性加速度は乾燥砂を用いた予備試験で得られた値を参考にしており、対象領域内に乾燥領域及び湿潤領域が存在することを想定している。AE センサは解析領域の四隅に計 4 つ設置している。表-1 に示したイベント総数は解析領域内でランダムに設置した AE 発信位置の総数を示しており、この発生位置から受信時刻を定めた。初期弾性波速度分布は 6000m/s と真値に対して十分に早い速度に設定しており、全解析領域に対して波線標定が実施できるようにしている。また、スローネスの下限値 2400^{-1} s/m から 100.0^{-1} s/m に対して 100.0^{-1} s/m の間隔で解析を実施した。

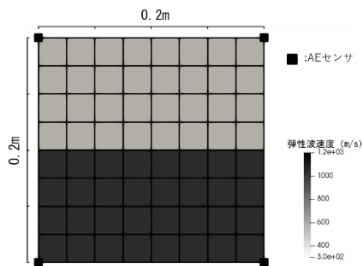


図-3 解析モデル
表-1 解析条件

正方形セルの一边(m)	セル 総数	イベント 総数	スローネスの下 限値(s/m)
0.025	64	40	2400^{-1} - 100.0^{-1}
初期弾性波速度分布 (m/s)	センサ 総数		
6000	4		

4. 解析結果

解析で得られた発信時刻の分散値が概ね 0 (10.00^{-18} 以下) となっていないイベント数 (以下、「イベント数」と称する。) とスローネスの下限値の関係を図-4 に示す。この関係から、 1100^{-1} s/m からイベント数が急激に変動していることがわかる。発信時刻の分散値は、弾性波速度分布が真値と一致している場合、波線長が真値と一致しない限り分散値は 0 ならない。また、波線がセルの接点を通ると仮定した場合、波線長はセル分割数に依存することになるため、真値と一致させることが容易ではないと考えら

れる。しかし、逆解析によって求められる解は複数あるため、下限値の設定が真値に即していない場合、セル分割に合わせた弾性波速度分布が同定され、概ねのイベントにおいて同定された弾性波速度分布より求められた発信時刻の分散値はほぼ 0 となる。そのため、下限値が適切な値近傍であるならばイベント数は増加する傾向にあり、この傾向を利用することで対象が均一材料でなくても適切な下限値を設定することが期待できる。しかし、下限値を増加させると拘束条件が厳しくなり逆解析の解が定まり辛くなり、イベント数が増加する傾向があるため、イベント数がもっとも多くなる下限値を設定するのではなく他の下限値から得られた結果を踏まえた総合的な判断が求められる。

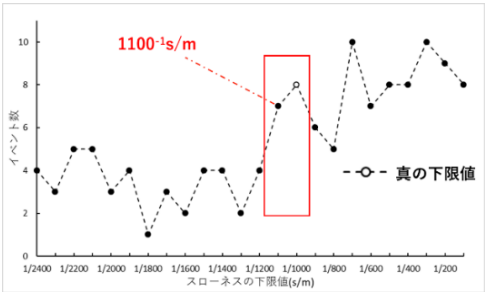


図-4 イベント数及び下限値の関係

5. まとめ

本稿では、AE トモグラフィ法で物性が不確かでない不均一な地盤の弾性波速度分布同定に用いる逆解析の拘束条件を検討するため、弾性波分布が一様でない解析モデルに対して弾性波速度分布の下限値が異なるケースで数値実験を実施し、解析精度の精緻化に有効なスローネスの下限値の設定手法について検討を行った。その結果、分散値が 0 ではないイベント数とスローネスの下限値との関係を確認することで対象が均一材料でなくても真値に即した下限値を設定することが期待できることが明らかになった。

参考文献

1) S. A. Hall, M. Bornert, J. Desruse, Y. Pannier, N. Lenoir, G. Viggiani, P. Be Suelle, Discrete and continuum analysis of localised deformation in sand using X-ray μ CT and volumetric digital image correlation, Geotechnique 60, 2010, No. 5, pp.315–322

2) W. Lin, Use of Acoustic Emission to Evaluate Microscopic Mechanical Behavior of Sand in Triaxial Compression Test, 2018, The University of Tokyo, Ph.D. thesis

3) Kobayashi, Y, Shiotani, T, Computerized AE Tomography, Innovative AE and NDT Techniques for On-Site Measurement of Concrete and Masonry Structures: State-of-the-Art Report of the RILEM Technical Committee 239-MCM, Springer, pp.47-68, May.2016