

粒子フィルタと弾性波探査シミュレーションによる欠陥の位置推定 Identification of Defects under the Ground by Particle Filter and Elastic Wave Simulation

○ 種子 永栄輝*, 村上 章*, 中畑 和之**, 藤澤 和謙*

○ Eiki Tanenaga*, Akira Murakami*, Kazuyuki Nakahata**, Kazunori Fujisawa*

1 はじめに

地中に劣化領域や欠陥があればそれを避けるか取り除いて建設しなければならない。しかし、劣化領域や欠陥があるかどうかを確認することは多くの費用と特別な技術を必要とする。そこで本論文では、観測データを数値シミュレーションに組み込むデータ同化手法¹⁾²⁾の一つである粒子フィルタと弾性波探査シミュレーション³⁾を組み合わせて、劣化領域や欠陥の位置を推定することを目的とした。

2 推定方法・解析条件

弾性波探査シミュレーションでは、有限積分法を用いて離散化を行い弾性波の伝播を解析する³⁾。ここでは仮想地盤内に伝播させた弾性波が、物性の異なる境界で散乱した際の弾性波速度を地表面の受信機で記録した。

劣化領域や欠陥の種類として、空洞の場合、岩などの固体物質の場合、水たまりなどの液体物質の場合の3通りが考えられる。本研究では、仮想地盤に弾性波を入力して弾性波探査シミュレーションにより得られたデータを粒子フィルタを用いて逆解析することで、図2と図3で示されるように、仮想地盤内に2つまたは3つ存在する、地盤の材質とは異なる円形物質（空洞、液体、固体の3種類、「劣化領域や欠陥性領域」と仮想した）の位置を推定することを試みた。入力波としては入力時間が1.0秒である図1に示す波を用いた。以下に解析手順を示す。

1. 一様乱数に従い、求めるパラメータごと（ここでは劣化領域の水平位置 x 、鉛直位置 y 、劣化領域の半径 r ）に設定した範囲の中で、粒子を10,000個作成した。その際、劣化領域や欠陥性領域が空洞であると仮定したうえで粒子を作成した。
2. 弾性波解析により、真値の粒子を含めて粒子ごとに各受信機で得られる波の水平方向の速度を求めた。
3. 粒子フィルタを用いて真値でのシミュレーション結果に対して各粒子のシミュレーション結果がどれだけの尤度を持つかを計算し、重み分布を求めた。

各ケースに関して、まず初めに劣化領域や欠陥性領域が全て空洞であると仮定し、ケース内の3, 5, 7番の送信機から波を伝播させた。そこで空洞の位置を推定できているかどうかを、重み分布図を作成することにより確認した。その際、最も精度よく空洞の位置を推定できていた送信機のみを、解析条件中の劣化領域や欠陥性領域が全て空洞である以外の条件（例えばケース1であれば、領域1が空洞で領域2が液体成分、ケース2であれば、領域1が空洞、領域2と領域3が液体成分、など）に使用して解析を行い、重み分布図を作成した。パラメータの真値に重み分布のピークがきていれば正確にパラメータの推定ができているとみなす。

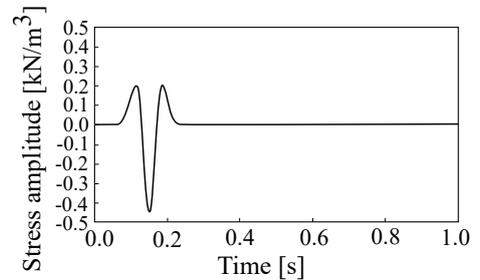


図1 入力波
Fig.1 Input wave

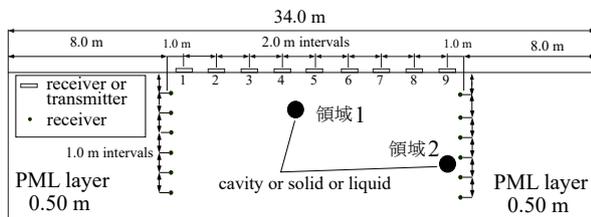


図2 解析条件 ケース1
Fig.2 Case 1

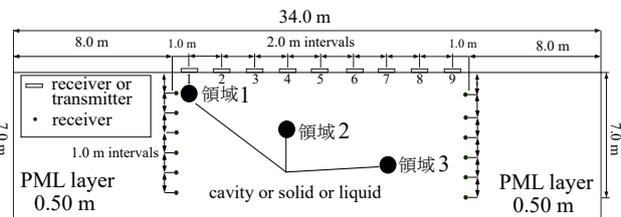


図3 解析条件 ケース2
Fig.3 Case 2

*京都大学大学院農学研究科, **愛媛大学大学院理工学研究科

キーワード: 土構造物の解析, 逆解析

*Graduate School of Agriculture, Kyoto University **Graduate School of Science and Engineering, Ehime University

3 推定結果

図4と図5に、解析の結果である重み分布図を示す。図中の破線部がパラメータの真値を示す。

初めにケース1について述べる。劣化領域がすべて空洞である場合の推定の結果、3番の送信機から波を伝播させた際に両方の空洞の位置を推定することができた。また、その中でも水平位置 x が最も正確に推定することができていた。その結果を図4(a)に示す。送信機と着目するパラメータを固定し、劣化領域の物性を変更して解析を行った結果を図4(b)から図4(c)に示す。図4(b)では領域2を液体成分に変更して解析を行ったが、劣化領域の検出を行うことができた。一方、図4(c)では領域2を固体成分として解析を行ったが、固体成分の劣化領域を検出できなかったことがわかる。さらに、図4(d)では劣化領域がともに固体成分であった場合の解析結果を示しているが、ここで正確な位置で劣化領域を検出できていないことが明らかである。

次にケース2について述べる。劣化領域がすべて空洞である場合の推定の結果、7番の送信機から波を伝播させた際の水平位置 x が最も正確に3つの劣化領域に対して推定することができていた。その結果を図5(a)に示す。送信機と着目するパラメータを固定し、領域2と3を液体成分にしたところ、図5(b)に示すように液体成分に対しても検出することができた。一方で領域2と3を固体成分にした場合は図5(c)にあるように一部検出できている箇所もあったが、正確に検出することができなかった。さらに劣化領域をすべて固体成分にした場合は、図5(d)にあるように3つピークのようなものがみられるがいずれも真値をとらえることはできなかった。

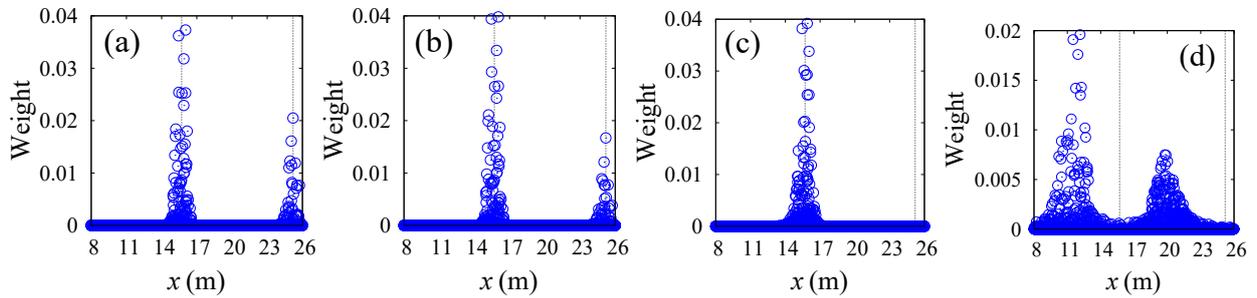


図4 ケース1における水平位置 x の重み分布 ((a) 領域1:空洞, 領域2:空洞, (b) 領域1:空洞, 領域2:液体, (c) 領域1:空洞, 領域2:固体, (d) 領域1:固体, 領域2:固体)

Fig.4 Weight distribution of horizontal coordinate x in Case 1 ((a)1:Cavity, 2:Cavity, (b)1:Cavity, 2:Liquid, (c)1:Cavity, 2:Solid, (d)1:Solid, 2:Solid)

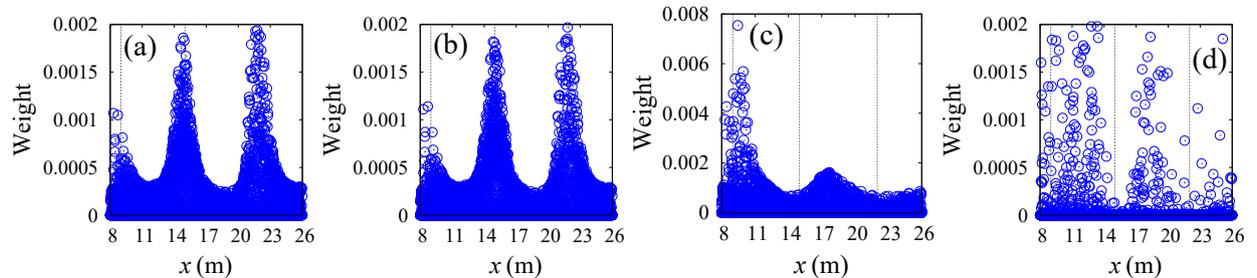


図5 ケース2における水平位置 x の重み分布 ((a) 領域1, 領域2, 領域3:空洞, (b) 領域1:空洞, 領域2, 領域3:液体, (c) 領域1:空洞, 領域2, 領域3:固体, (d) 領域1, 領域2, 領域3:固体)

Fig.5 Weight distribution of horizontal coordinate x in Case 2 ((a)1, 2, 3:Cavity, (b)1:Cavity, 2, 3:Liquid, (c)1:Cavity, 2, 3:Solid, (d)1, 2, 3:Solid)

4 まとめと考察

劣化領域や欠陥性領域が空洞や液体成分であれば、その個数が増加した場合においても、地盤内の劣化領域や欠陥性領域の位置を精度よく推定できると考えられる。一方で、劣化領域や欠陥性領域が固体の場合、多くの場合検出することができず、仮に検出できた場合にも精度よく推定することができなかった。このことから固体の位置の推定には、入力波の変更やシミュレーション時における仮定などを改善する必要があると考えられる。

参考文献

- 1) 珠玖隆行, 村上 章, 西村伸一, 藤澤和謙, 中村和幸 (2010): 粒子フィルタによる神戸空港島沈下挙動のデータ同化, 応用力学論文集, 13, 67-77.
- 2) 片山 徹 (2011): 非線形カルマンフィルタ, 朝倉書店, 141-160.
- 3) 河西亮輔, 加藤準治, 中畑和之, 京谷孝史, 小川 淳 (2014): EFIT による数値実験に基づく均質体表面のひび割れ深さ評価法の提案, 土木学会論文集 (応用力学), 70(1), 11-13.