

弾性波トモグラフィ法における走査線密度に応じた要素分割に関する検討

飛島建設技術研究所	正 会 員	○桃木 昌平
首都大学東京大学院	学生会員	菊池 亮
首都大学東京大学院	正 会 員	大野 健太郎
みずほ情報総研	非 会 員	水谷 麻紀子

1. はじめに

インフラ構造物の健全性評価手法の確立は喫緊の課題である。著者らはこれまでに、構造物の健全性を包括的に評価可能な弾性波トモグラフィの実用化研究を進めてきた¹⁾。評価値として伝播速度を用いる弾性波速度トモグラフィ法では、多数の走査線間の伝播時間を集約し、解析モデルの各要素に走査線間の伝播時間と整合する伝播速度を宛がい、伝播速度の分布図として示し領域全体を評価する。走査線上に位置する要素分割をより細密にすることで損傷など異常部の検出精度が向上すると考えられる。本研究では、弾性波の発信位置および受信センサの位置を基に、走査線の密度に応じて要素を分割する手法を用いて、弾性波トモグラフィ法における要素分割の細密化とそれに伴う計測領域の損傷の検出精度に関する検討を行った。

2. 走査線の密度に応じた要素分割手法

要素分割手法の処理フローを図-1に示す。本研究における走査線の密度は、一つの要素上を通過する走査線の本数と定義し、走査線の本数および要素の面積にはそれぞれしきい値 (N_{max} , S_{max}) を与える。初めに発信座標および受信座標に基づき Delaunay 三角形分割を行う。作成された各要素 i の面積 (S_i) および各要素を通過する走査線の本数 (N_i) を求め、それぞれしきい値に対し判定を行う。ともにしきい値を超えている場合は、さらに細かな分割が可能と判断し、該当する要素の重心に新たに座標を追加し、追加座標を含めて再度 Delaunay 三角形分割を行う。この操作を繰り返すことにより、全要素における走査線の密度のばらつきを低減しつつ、要素分割を細密にすることができる。

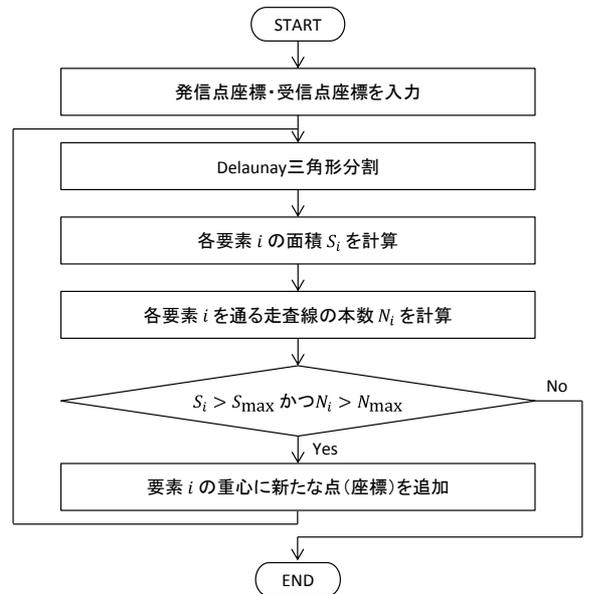


図-1 要素分割の処理フロー

3. 異なる要素分割による結果の比較

3-1. 弾性波計測

写真-1に計測対象としたRC梁部材を示す。当該部材は連続炭素繊維補強筋と吹付けモルタルで側面に補強を行い、破壊試験を行ったRC梁である。写真に示す計測領域 (0.900×0.450 m) にはひび割れやモルタルの剥離が目視および打音検査により確認されている。この領域に計15個のAEセンサを配置した(図-2, P1~15)。各センサの近傍においてペンシル芯を圧折することにより弾性波を励起させ、全てのAEセンサで波形を収録した。発信点近傍の波形(発信波形)とその他の波形(受信波形)から到達時刻を読み取り、その差分を走査線間の伝播時間として解析を行った。なお、波形における到達時刻はAIC(赤池情報量規準)を用いて自動で読み取った²⁾。

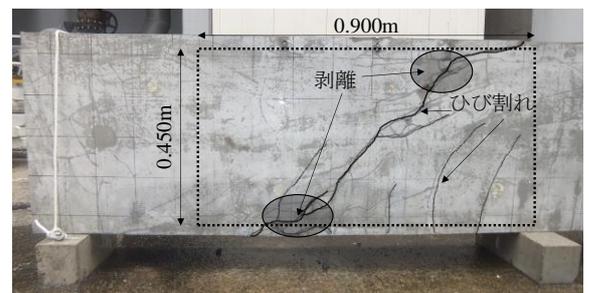


写真-1 計測対象部材 (RC 梁部材)

3-2. 要素分割仕様および解析結果

表-1 に要素分割の仕様（要素数）を示す．要素面積のしきい値 S_{max} は，センサ間隔の 1/2 長を 1 辺とする直角二等辺三角形の面積を基準値とする割合とともに示している．また，走査線本数のしきい値 N_{max} は，1 つの発信点における走査線本数が全部（往復）で 28 本であり，これを基準値とした．当手法によれば，基準面積であれば走査線本数に係わらず要素数は一定であり，走査線本数のしきい値を 28 本とした場合，要素面積は基準面積の 1/4 相当が最小分割サイズとなる．全 7 仕様の解析結果の内，最も粗い要素分割となる仕様①および最も細密な要素分割となる仕様⑦の解析モデルおよび弾性波トモグラフィ解析結果を図-3，4 に示す．解析結果にはひび割れスケッチも合わせて示す．

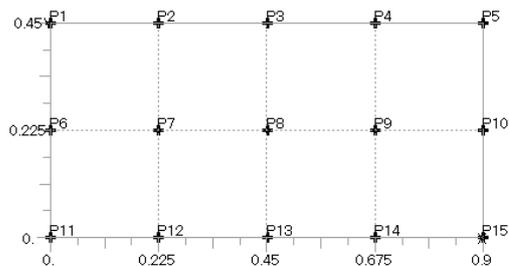
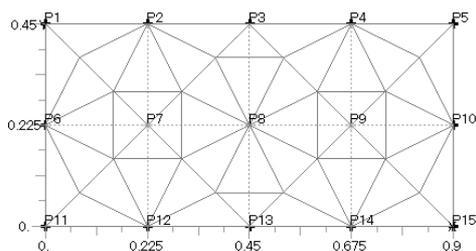


図-2 センサ配置 (P1~P15) [単位 : m]

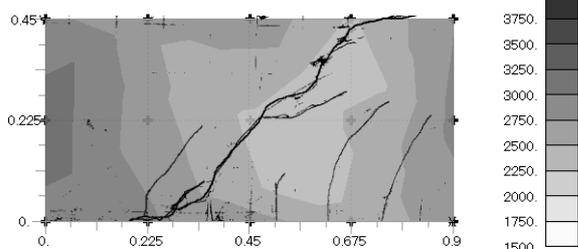
表-1 要素分割仕様 (要素数)

		要素面積 S_{max} [m ²] (割合)			
		0.0253 (1)	0.0063 (1/4)	0.0028 (1/9)	0.0016 (1/16)
走査線本数 N_{max} [本]	28	① 48	② 56	-	-
	21	48	③ 88	④ 96	-
	14	48	⑤ 108	⑥ 152	⑦ 168

仕様①，⑦ともに，左下から右上にかけて確認される大きなせん断ひび割れに沿って速度低下領域が確認できるものの，要素数が少ない仕様①では，解析結果である伝播速度の分布図のみで斜めに伸びる損傷と推定することは難しい．それに対し，要素数が仕様①の約 4 倍である仕様⑦では，伝播速度がより細分化された分布図となり，速度低下領域が斜め損傷に近くなり，損傷検出精度の高い解析結果が得られた．

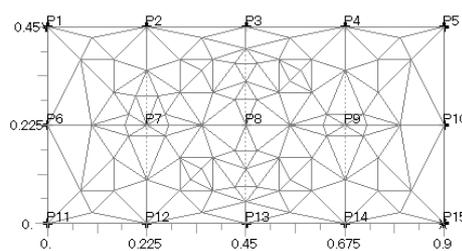


(a) 解析モデル

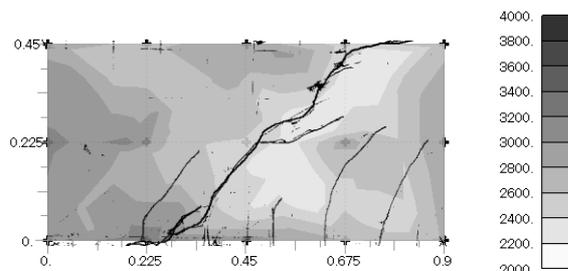


(b) 解析結果 [単位 : m/sec]

図-3 要素分割仕様①



(a) 解析モデル



(b) 解析結果 [単位 : m/sec]

図-4 要素分割仕様⑦

4. まとめ

本研究では，走査線の密度に応じて要素を分割する手法を用いて，弾性波トモグラフィ法における要素分割の細密化とそれに伴う計測領域の損傷の検出精度の検討を行った．本研究の手法を用いて走査線上の要素分割をより細密にすることで，損傷領域をよりの確に表す結果が得られた．弾性波トモグラフィ法による損傷の検出精度，ひいては信頼性に影響することからも，評価の際は要素分割の仕様をよく考慮することが重要である．

参考文献

- 1) 桃木昌平，蔡華堅，塩谷智基，小林義和，宮永孝志：三次元弾性波トモグラフィによるコンクリート構造物の健全性評価，土木学会構造工学論文集，Vol. 57A，pp. 959-966，2011.
- 2) 大野健太郎，下菌晋一郎，沢田陽佑，大津政康：AE 波初動部の自動読み取りの開発による SiGMA 解析の改良，非破壊検査，Vol. 57，No. 11，pp. 531-536，2008.