

# 弾性波トモグラフィ法によるコンクリートの内部探査結果に及ぼす欠陥種類の影響

コンクリート 非破壊試験 弾性波トモグラフィ法  
内部探査 波線追跡法 非線形最適化

正会員 ○ 山田 和夫\*1  
同 関 俊力\*2  
同 瀬古 繁喜\*3

## 1. はじめに

筆者らは、従来からコンクリートの内部探査を目的とした弾性波トモグラフィ法に関する一連の基礎的検討(1~3)を行い、1要素12節点波線追跡法と非線形最適化手法を併用した評価方法の有用性について報告したが、本報では、引き続き探査対象の介在物として、空隙、ABS樹脂および鉄鋼を取り上げ、コンクリートの内部探査への適用性および適用限界について実験的検討を行った。

## 2. モデル実験の概要

### 2.1 試験体

本実験では、表-1および図-1に示すように、200×200×150mmのモルタルおよびコンクリート試験体(W/C=60%、骨材寸法が5および25mmの2種類)を使用し、介在物の種類として、無し、発泡スチロール、鉄鋼およびABS樹脂の4種類(寸法:何れも25×50×150mm)を取り上げて、弾性波トモグラフィ法によるモルタルおよびコンクリートの内部探査精度について実験的に調査を行った。

### 2.2 計測方法

計測は、ファンクション・ジェネレータで発生させた弾性波(幅10μsの矩形パルス)を、高速バイポーラ電源で約200Volに増幅した後、圧電式の弾性波入力用AEセンサ(共振周波数:約1MHz)を介して試験体の所定位置から入力し、図-2に示す4面に設置した各8個の超小型圧電式加速度ピックアップ(測定上限周波数:25kHz)で検出した。なお、発振用・検出用ピックアップは、何れも両面テープで試験体表面に直接接着した。検出された弾性波は、チャージアンプで増幅した後、高速データロガー(サンプリングの間隔と個数:0.1μsおよび16,000個/1データ、分解能:12bit)に一時記憶させ、その後にデータ処理用PCに転送して各種のデータ処理を行った。

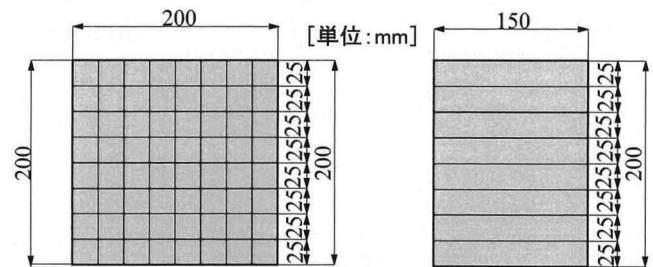
### 2.3 処理方法

本研究では、図-1に示すように200×200mmの測定対象

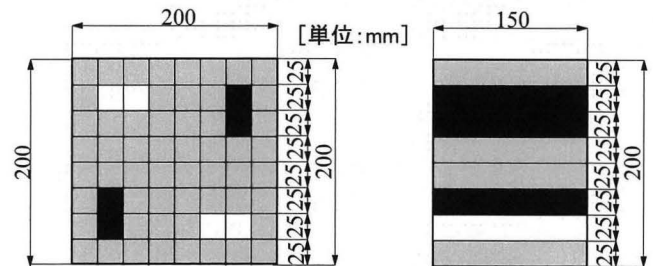
領域を1要素の寸法が25×25mmの64要素に分割した後、弾性波入力センサ(S)と検出ピックアップ(R)を移動させながら伝播時間の測定を繰返しm(=768)回行い(図-2参照)、波線Si→Rk間の測定で得られた弾性波伝播時間(tik)とその測定時に弾性波がj要素を通過する長さ(ikl)およびj要素の弾性波伝搬速度(Vj)の間に、

$$t_{ik} = \sum_{j=1}^n ikl_j / V_j \quad \text{ここに、} ik=1, 2, \dots, m \quad (1)$$

の関係があることを利用して各要素の弾性波伝搬速度を求めた後に、試験体内部の伝搬速度分布を求めた。なお、式(1)は、試験体内部の弾性波伝搬速度分布に依存した伝搬経路を有する非線形連立一次方程式となり、解くに



(a) N005およびN025試験体



(b) SV05, SV25, PV05およびPV25試験体

図-1 試験体の形状・寸法の例

表-1 実験の概要

試験体記号	試験体寸法(mm)	母材コンクリート		介在物詳細	
		W/C (%)	骨材寸法 (mm)	種類	断面寸法 (mm)
NO05	□200 × 150	60	5	—	—
NO25			25	—	—
SV05			5	鉄鋼+	25×50
SV25			25	空洞	
PV05			5	ABS樹脂	25×50
PV25			25	+空洞	

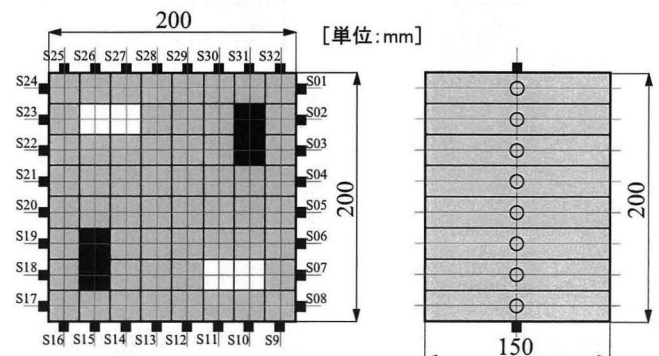
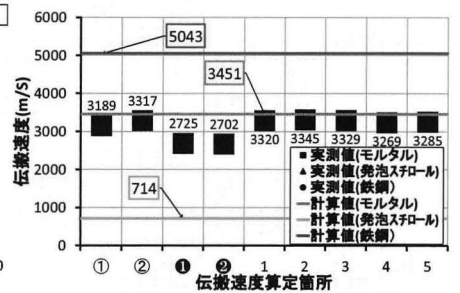
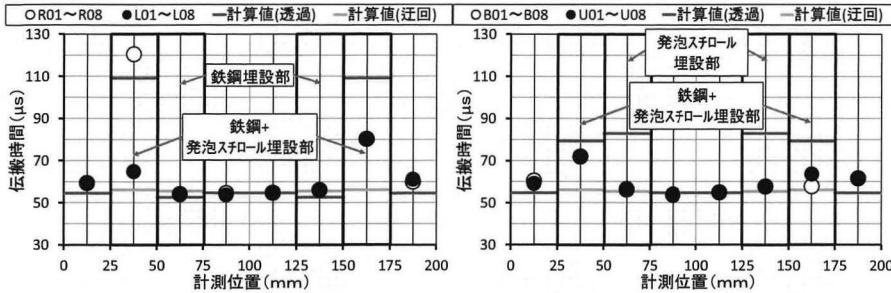
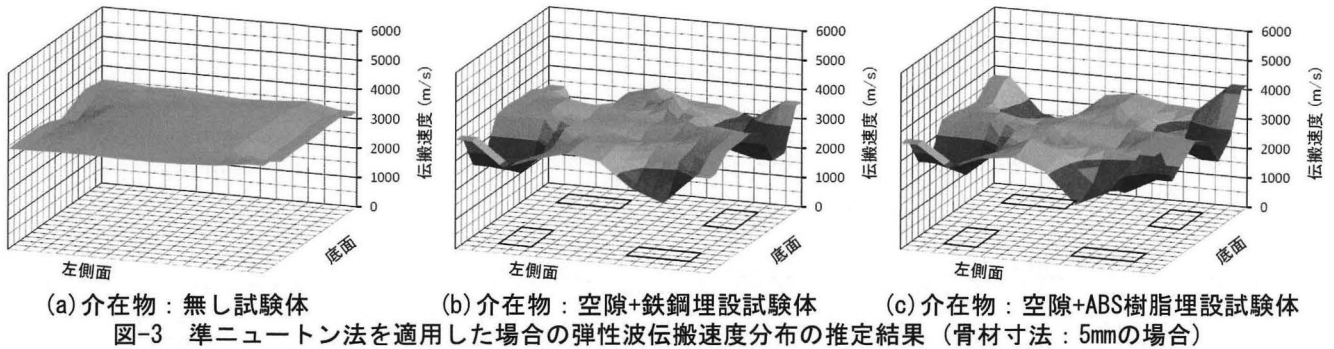


図-2 検出用ピックアップ設置位置の例

Effect of Defect Type on Internal Evaluation of Concrete by Elastic Wave Tomography

YAMADA Kazuo,  
SEKI Toshikatsu, SEKO Shigeki



は非線形最適化手法を用いる必要がある。本研究では、伝搬経路の評価方法に精度の良い1要素12節点波線追跡モデル<sup>1)</sup>を使用し、式(1)の解法には非線形性の強い問題に有効なマルカート法と準ニュートン法を使用した。

### 3. 結果とその考察

#### 3.1 伝播速度分布の推定結果

図-3(a)～(c)は、弾性波入力・検出間の波線の屈折・回折現象を1要素12節点モデルの波線追跡法で評価し、各要素の伝搬速度の算定方法として準ニュートン法を用いた場合の伝搬速度分布の推定結果を骨材寸法が5mmのモルタル試験体について示したものである。介在物である発泡スチロール、鉄鋼およびABS樹脂の縦波伝搬速度の実測値は、それぞれ714、5,041および2,030m/sで、母材モルタル(3,451m/s)と比較して鉄鋼のみが大きい値であったが、これらの図によれば、何れの試験体も伝搬速度の推定結果は、介在物の種類に関わらず、介在物の埋設位置で小さくなる傾向を示しているのがわかる。

#### 3.2 鉄鋼埋設部の伝搬速度推定結果に関する検討

図-4(a)および(b)は、介在物として発泡スチロールと鉄鋼が埋設されているモルタル(SV05)試験体によって得られた弾性波入射角度が90°の場合の弾性波伝搬時間の測定値と計算値との関係を示したものである。本来、伝搬速度が母材モルタルと比べて速い鉄鋼埋設部では、弾性波は鉄鋼内部を直線的に伝搬して透過することが予想されるが、これらの図によれば、弾性波は鉄鋼部を透過(赤線の計算値)せず、モルタル部を迂回(緑線の計算値)して伝搬している様子が読み取れる。この原因

の一つとしては、鉄鋼とモルタルの界面に伝搬速度の遅い空隙層が存在していて、透過弾性波が著しく減衰し、モルタル部迂回の弾性波が卓越したことが考えられる。

図-5は、前掲の図-4に示したSV05試験体について、準ニュートン法を適用して算定した試験体を構成する要素の伝搬速度の推定結果と構成材料の伝搬速度を比較したものである。図によれば、鉄鋼および発泡スチロール要素(それぞれ図中の●および▲印)の伝搬速度の推定結果は、何れもモルタルの伝搬速度(3,451m/s)よりも若干小さい結果となっており、これらの要素を透過していない様子(赤線および緑線の計算値)が確認できる。

#### 4. むすび

- 1) 準ニュートン法を適用した伝搬速度分布の推定結果は、マルカート法と比べて試験体内部の局所的な変動が平滑化され、介在物との対応も良好である。
- 2) 伝搬速度が母材モルタルと比べて速い鉄鋼埋設部であっても、弾性波は鉄鋼部を透過せずに母材モルタル部迂回の初動波が検出され、見掛け上、鉄鋼部の伝搬速度が小さく推定されてしまう場合がある。

#### 【参考文献】

- 1) 山田和夫他：弾性波トモグラフィ法によるコンクリートの内部探査, 日本建築学会大会梗概集, pp.1159-1160, 2012.9
- 2) 伊藤崇晃他：波線追跡法を適用した弾性波トモグラフィ法によるコンクリートの内部探査の推定精度, 日本建築学会大会演梗概集, pp. 1229-1230, 2013.8
- 3) 関俊力他：弾性波トモグラフィ法によるコンクリートの内部探査に関する基礎的研究, 日本建築学会大会梗概集, pp. 1181-1182, 2014.9

\*1 愛知工業大学工学部 教授・工博  
 \*2 愛知工業大学大学院 研究生・修士(工学)  
 \*3 愛知工業大学工学部 教授・博士(工学)

\*1 Prof., Faculty of Eng., Aichi Institute of Technology, Dr.Eng.  
 \*2 Research Student, Aichi Institute of Technology, M.Eng.  
 \*3 Prof., Faculty of Eng., Aichi Institute of Technology, Dr.Eng.