

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に関する研究

愛知工業大学 工学部

○山田和夫

瀬古繁喜

愛知工業大学 大学院工学研究科

関俊力

1. はじめに

筆者らは、従来から長寿命化建築技術の研究開発の一環として、コンクリート造建築物の検査・診断を目的とした弾性波トモグラフィ法の適用性について、基礎的検討を行っているが、本報では、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、ABS樹脂の4種類（寸法は、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な調査を行った。

2.2 計測方法

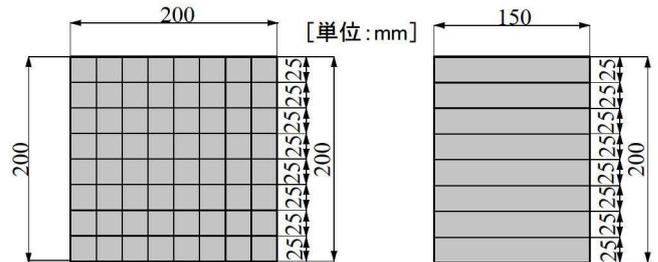
計測は、ファンクション・ジェネレータで発生させた弾性波（幅10μsの矩形パルス）を、高速バイポーラ電源によって約200V_{ol}に増幅した後、圧電式の弾性波入力用AEセンサ（共振周波数：約1MHz）を介して試験体の所定位置から入力し、図2に示す4面に設置した各8個の超小型圧電式加速度ピックアップ（測定上限周波数：25kHz）で検出した。なお、発振用・検出用ピックアップは、何れも両面テープで試験体表面に直接接着した。検出された弾性波は、チャージアンプで増幅した後、高速データロガー（サンプリングの間隔と個数：0.1μsおよび16,000個/1データ、分解能：12bit）に一時記憶させ、その後

データ処理用PCに転送して各種のデータ処理を行った。

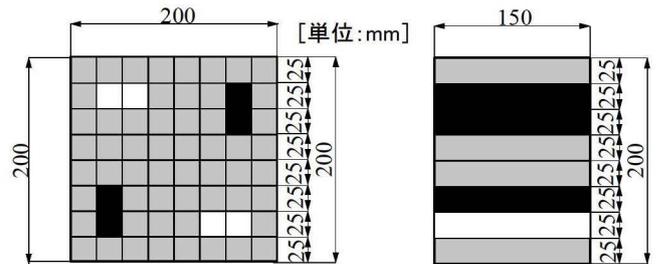
2.3 処理方法

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S_i→R_k間の測定で得られた弾性波伝播時間（t_{ik}）とその測定時に弾性波がj要素を通過する長さ（i_kl_j）およびj要素の弾性波伝搬速度（V_j）との間に、

$$t_{ik} = \sum_{j=1}^n i_{kl_j} / V_j \quad \text{ここに、} ik=1, 2, \dots, m \quad [1]$$



(a) NO05, NO25試験体



(b) SV05, SV25, PV05, 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 | 鋼+ | 25×50 |
| SV25 | | | 25 | 空洞 | |
| PV05 | | | 5 | ABS樹脂 | 25×50 |
| PV25 | | | 25 | +空洞 | |

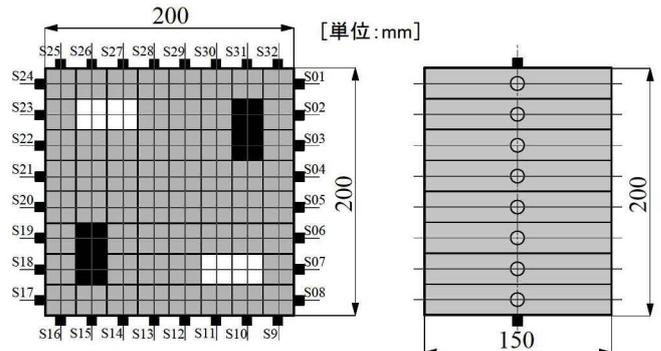
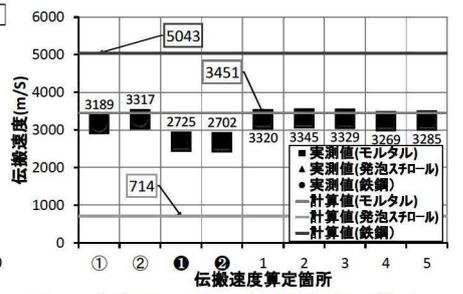
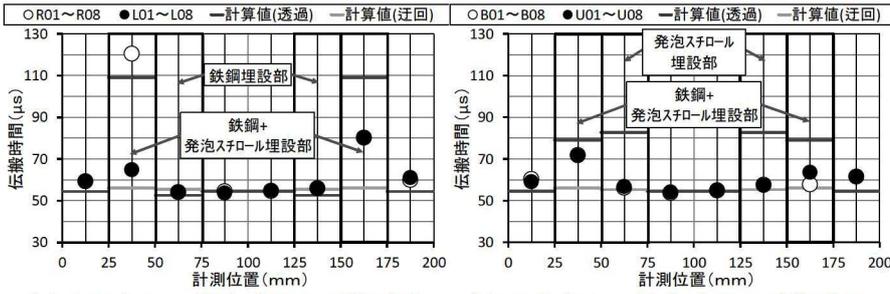
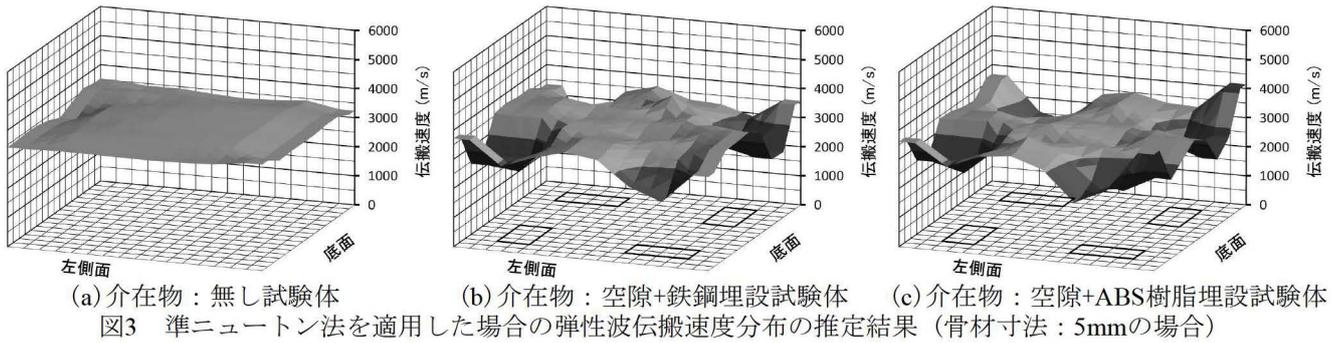


図2 検出用ピックアップ設置位置の例



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¹⁾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、かつ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て評価し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741、5,040および2,030m/sで、母材モルタル（3,450m/s）と比較して鉄鋼のみが大きい値であったが、図によれば、何れの試験体も伝搬速度の推定結果は、介在物の伝搬速度に関わらず、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一考察

図4は、SV05試験体について弾性波の入射角度が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。伝搬速度が母材と比べて速い鉄鋼埋設部では、弾性波は直線的に伝搬して透過すると考えられるが、図によれば、弾性波は鉄鋼部を透過せずに、モル

タル部を迂回して伝搬していることが考えられる。この原因の一つとして、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、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(3,450m/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が確認できる。

4. まとめ

本研究の結果、式[1]の解法にマルカート法を適用した場合の伝搬速度分布の推定結果は、1要素12節点モデルで波線追跡すると、概略の伝搬速度分布が再現できること、準ニュートン法を適用した場合の伝搬速度分布の推定結果は、マルカート法に比べて試験体内部の局所的な伝搬速度の変動が平滑化され、介在物との対応も良好であること、伝搬速度が母材と比べて速い鉄鋼埋設部においても、弾性波は鉄鋼部を透過せずに母材部を迂回した初動波が検出され、見掛け上、鉄鋼部の伝搬速度が小さく推定されてしまうこと、などが明らかとなった。

【参考文献】

- 1) 関俊力、小野晃、山田和夫：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、コンクリート工学年次論文集、Vol.34、No.1、pp.1774-1779(2012)