

## III-334 トモグラフィーの応用に関する基礎研究

J R 東海 宮本雅章  
筑波大学 正会員 西岡 隆

## 1. はじめに

近年、弾性波によって地盤や鉄筋コンクリートの内部構造を測定する方法にトモグラフィー技術を応用する試みが行われるようになった。この方法は、地盤やコンクリート構造物の測定領域を取り囲んでいろいろな方向から弾性波を発生し、その伝播速度から内部の伝播速度分布を2次元断面像として得ようというものであり、多くの成果が挙げられている。しかし、弾性波には伝播速度以外にも多くの情報が含まれているので、これらの情報を有効に活用することが出来れば、より信頼性の高い断面像を得ることが出来ると考えられる。

そこで、本研究では、モルタル製試験体に対して、従来行われている弾性波の伝播速度によるトモグラフィー解析、シミュレーションによるトモグラフィー解析を行うと共に、受振波をフーリエ変換することにより、受振波の波形データとモルタルの配合の関連について研究を行った。

## 2. 実験の概要

図-1のように、配合を変えた2種類のモルタルからなる試験体や中央部に空洞を持つモルタル試験体に対して、超音波伝播速度測定器で、試験体周辺部に設けた測点間のP波超音波伝播時間を測定する。また、1種類のモルタルでできた直方体の試験体を配合を変えて数体作製し、それぞれの試験体について受振波の時系列データを測定する。測定に際しては、共振周波数63.5kHzの振動子を用いた。また、時系列データの測定に際しては、サンプリング周期を2000nsec, HIGH-CUTフィルターを200kHz, LOW-CUTフィルターを30kHzとした。

## 3. トモグラフィー解析

伝播時間の測定データを用いて、トモグラフィー解析を行った。初期スローネス断面は、BPT法で設定した。このスローネス断面にしたがって、計算走時を求め、実測走時と計算走時の差を小さくするようにスローネス断面を逐次修正する。スローネス断面の修正法には、残差を修正量としてスローネス断面に振り分けるSIRT法を用いた。

図-2に最終的に得られたスローネス断面を示す。この結果は、試験体のスローネス分布をほぼ再現しているので、このスローネス分布から、要素を再構成(ブロック化)することが可能である。ブロック化した各要素について、

(a) スローネスの分散が最小になるように求めたスローネス分布

(b) 再びSIRT法によるトモグラフィー解析を行って求めたスローネス分布

をそれぞれ図-3に示す。(a)、(b)とも実際のスローネス値をほぼ再現している。特に、(b)の方法は非常に正確であることが判明した。

また、中央部に空洞を持つ試験体については、空洞のある部分にスローネス値が著しく大きくなる部分が現れることが分かる(図-4)。したがって、トモグラフィー解析において再構成像の一部に著しい高スローネス分布が現れた場合には、その部分に空洞が存在する可能性を検討する必要がある。

また、シミュレーションによるトモグラフィー解析結果からは、以下のことが判明した。

(1) 伝播時間の測定誤差が全くない場合でも、スローネスの再構成像には、1~2%程度の誤差が

現れる。

- (2) 測定波数が要素数よりも小さくなると、スローネスの再構成像に著しい誤差が生じる。
- (3) スローネスが大きい要素の方が小さい要素に比べて、再構成像の誤差が大きくなる。

4. 波形データとモルタルの配合

受振波の周波数の分布や波の伝播速度と、試験体の配合との間の相関関係について研究を行った。受振波側のパラメータとしては、受振波の最大フーリエ振幅の周波数、波の伝播速度などを用いた。その結果、水セメント比 $W/C$ =一定(65%)という条件下では、砂セメント比 $S/C$ が小さいほど伝播速度が大きいこと、また、同一のモルタル試験体では、含水量が減少するにつれて伝播速度が小さくなることなどが明らかになった(図-5)。受振波の周波数特性と試験体の配合との間には、はっきりとした相関は得られなかった。

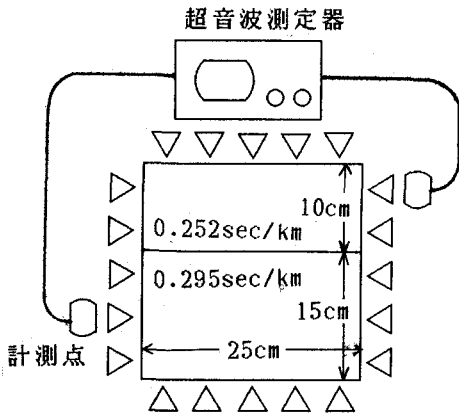


図-1 測定方法

2.69	2.66	2.84	2.84	2.68
2.89	3.00	2.88	2.85	2.62
2.80	3.07	3.16	2.87	2.86
2.80	2.93	2.99	2.86	2.83
2.74	2.92	2.93	2.89	2.83

$10^{-1}(\text{sec/km})$       25cm x 25cm

図-4 スローネス分布

(中央部に3cm角の空洞)

5. まとめ

トモグラフィー解析については、解析の結果として得られたスローネス分布が、要素を再構成(ブロック化)できる程度に再現されれば、ブロック化によりほぼ正確なスローネス値が得られること、また、スローネス再構成像にスローネスの値が著しく大きくなる部分が現れた場合には、その部分に空洞が存在する可能性を検討する必要があることなどが明らかになった。また、モルタル試験体については、伝播速度の大きさに影響を与える量の順位が、含水量、セメント量、砂の量であるという結果が得られた。今後、受振波の周波数特性とコンクリートやモルタルの配合との相関が解明されれば、トモグラフィー解析と併せて被破壊検査などに応用できると考えられる。

2.41	2.46	2.61	2.51	2.44
2.47	2.43	2.54	2.45	2.62
2.82	2.92	2.79	2.83	3.04
2.99	2.89	3.10	3.01	3.29
2.79	2.94	3.05	3.18	2.84

$10^{-1}(\text{sec/km})$

図-2 スローネス分布

(a)0.249sec/km
(b)0.250sec/km
(a)0.297sec/km
(b)0.295sec/km

図-3 スローネス (ブロック化)

$\Delta W/l$  (g/l)       $\circ W/C=65\%$      $\Delta W/C=65\%$      $\square W/C=65\%$   
 $S/C=1.5$        $S/C=2.0$        $S/C=2.5$

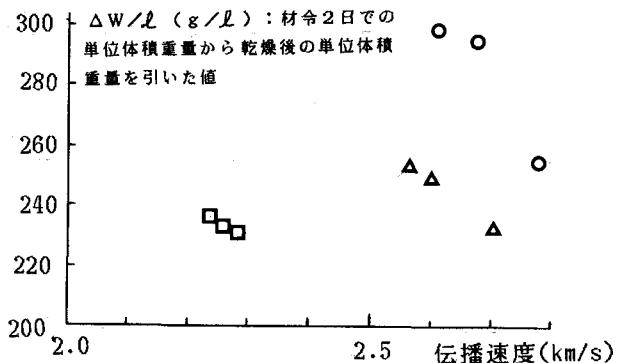


図-5 配合と伝播速度