

## 衝撃弾性波法によるシールドトンネル覆工コンクリートの内部空洞推定

伊藤建設（株） 正会員 岩野 聡史  
 伊藤建設（株） 日比 紀夫  
 東海大学 正会員 極壇 邦夫

### 1. はじめに

コンクリート表面を鋼球で打撃すると打撃面と音響境界面で多重反射する縦弾性波が発生する。測定振動の振動数スペクトルから縦弾性波の多重反射による振動数を決定し、厚さ不明のコンクリートでの厚さ推定、厚さ既知の場合での縦弾性波速度測定による圧縮強度の推定、について報告してきた<sup>1) 2)</sup>。コンクリート内部に欠陥が存在すると振動数スペクトルは健全部と相違するので、検査線上一定間隔の測定結果を比較すれば、欠陥の位置を把握できる。今回は、建設後約30年経過したシールドトンネルの覆工コンクリートで円周方向に100mm間隔で測定し、この検査線上一定間隔での測定結果と設計寸法とを比較して空洞の存在を推定した。

### 2. 測定方法

#### 2. 1 測定原理



写真1 測定方法

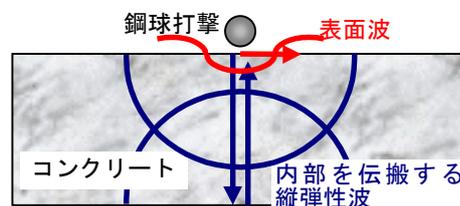


図1 鋼球打撃で発生する弾性波の模式図

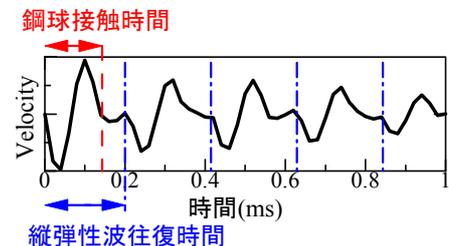


図2 測定振動の模式図

本法での測定方法を写真1に示す。測定点に加速度計（PCB352C66）を手で押付け、その近傍を鋼球で打撃する。健全なコンクリートでは、鋼球質量が小さく、打撃ひずみが微小範囲であれば、鋼球質量とコンクリート表面の擬似的なバネ定数により決定される鋼球接触時間  $T_c$  を周期とする振動が入力される。加速度計が感知する最初の弾性波は表面を伝搬する表面波で、周期は  $T_c$  となる。打撃によって発生した縦弾性波は打点から内部に球面状に伝搬して、音響インピーダンスの異なる境界面間で多重反射する。加速度計は縦弾性波が境界面の間を繰り返し往復する様子を観測することになる（図1、図2）。したがって、観測した弾性波の初期波形とその後の弾性波との相互相関関数を求めると、縦弾性波の往復による周期性を抽出できる。つまり、測定振動を直接FFT解析する場合よりも、鋼球の大きさに比例する初期波動の影響を軽減でき、厚さ測定等に必要な縦弾性波の振動数  $f_0$ （周期の逆数）を振動数スペクトルから得ることができる。

内部に空洞が存在すると、縦弾性波の反射位置が健全部と変化するので振動数  $f_0$  が変化する。また、深さが100mm以内に空洞が存在する場合では、振動数  $f_0$  は約20kHz以上と高くなり使用した加速度計では観測できないが、コンクリートの厚さが薄いとたわみによる曲げ振動が発生する。曲げ振動の発生した場合での弾性波の時間軸上の波形は、多重反射する場合での波形と異なりと共に、曲げ振動による振動数が観測されるので健全部とは異なる結果となる。

#### 2. 2 測定位置

測定したシールドトンネルと測定位置を図3に示す。シールドトンネル内側を測定面とし、左側真横～真上～右側真横と円周方向に100mm間隔で180°移動させ、25点について測定した。測定面から覆工コンクリート背面までの設計寸法は246mm、鋼製セグメント背面までは375mmである。打撃に使用した鋼球は直径20mm（質量33g）、データ個数は1024個、サンプリングクロックは2μ秒である。

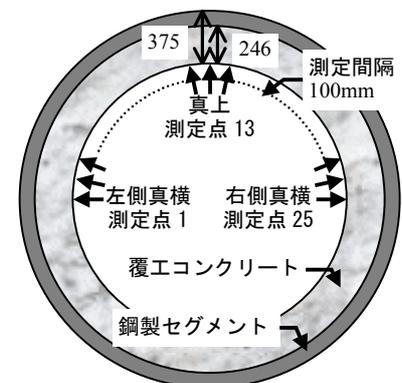


図3 測定物と測定位置（単位 mm）

## 3. 測定結果

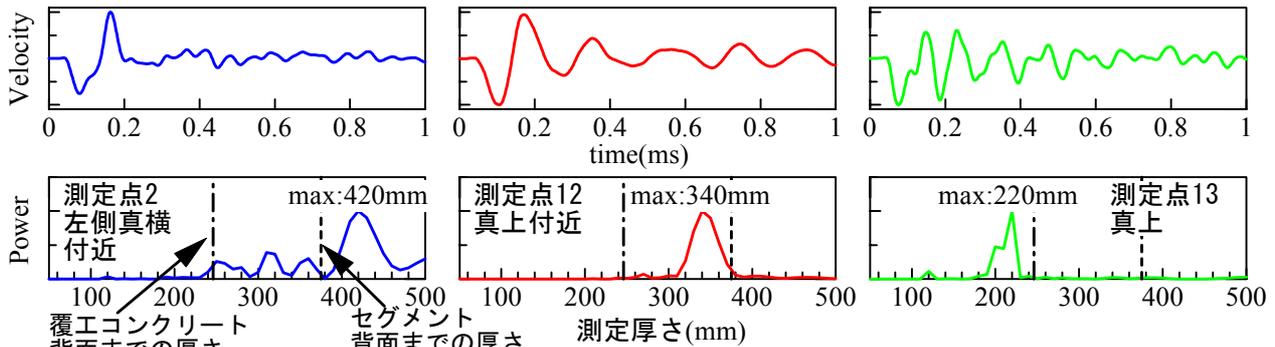


図4 各測定点での測定振動（上図）と解析結果（下図）

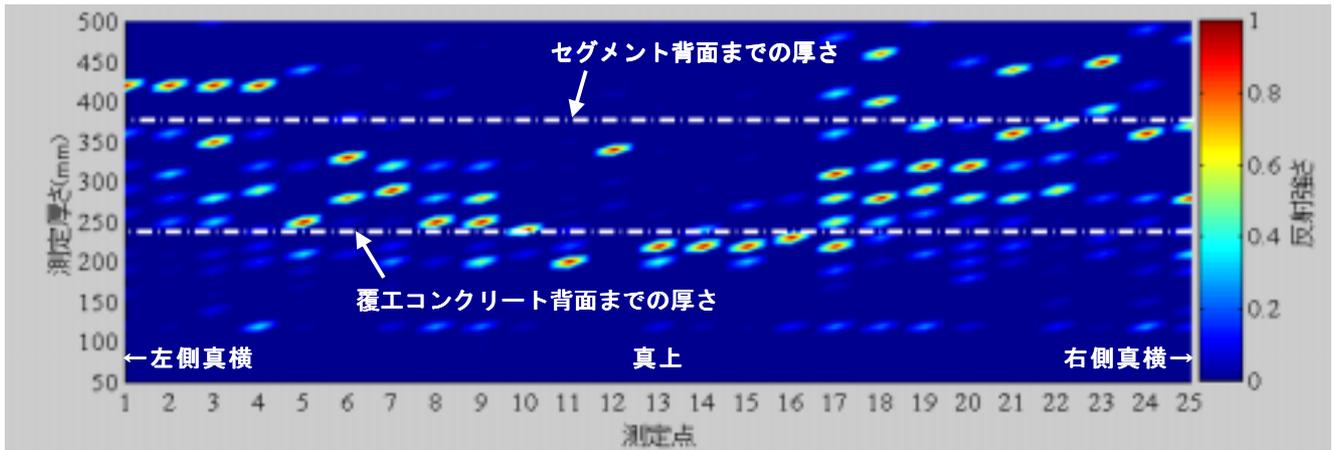


図5 全測定結果

測定点 2、12、13 での測定振動および解析結果を図 4 に、全測定点での解析結果をコンター表示したものを図 5 に示す。解析結果は、振動数スペクトルの振動数成分が速度 3800m/s の縦弾性波によるものと仮定した測定厚さ  $D$  を、 $D = 3800 / 2f$  ( $f$ : 振動数) として、振動数を厚さに変換したものである。

測定結果より、左側真横の測定点 1～測定点 4 ではセグメント背面までの厚さ(375mm)より厚い、測定厚さ 420mm での強さが最大となり、また、測定点 17～右側真横の測定点 25 では、測定厚さ 300mm 付近で強さが最大となるが、セグメント背面までの厚さ付近でも、ある程度の強さが測定されている。

一方、真上付近の測定点 5～11,13～16 では、覆工コンクリート背面までの厚さ(246mm)付近での強さが最大となり、さらに、セグメント背面までの厚さ付近が測定されていない。これから、このシールドトンネルでは測定点 5～11,13～16 において、覆工コンクリートと鋼製セグメントとの境界面付近に空洞が存在していると推測できる。また、これらの測定点の間である測定点 12 は、覆工コンクリートと鋼製セグメントとの境界面より厚い、測定厚さ 340mm で最大となる。しかし、図 4 の各測定振動を比較すると、測定点 12 では第 1 波の周期が約 0.2ms 以上と他の測定点より長く、また、内部で反射した縦弾性波が測定面に到達し、測定振動へ干渉して測定振動が変化する現象も見られず、ほぼ単一の振動数成分しか存在していない。これから、測定点 12 では縦弾性波ではなく曲げ振動が発生し、深さ 100mm 以内に空洞が存在していると考えられる。

## 4. まとめ

衝撃弾性波法により、シールドトンネルで円周方向に 100mm 間隔で測定し、検査線上一定間隔での測定結果と設計寸法とを比較した。その結果、真上付近の測定点では縦弾性波の往復による固有振動数が変化し、測定厚さが真横付近での測定結果および設計寸法より薄くなり、また、縦弾性波でなく曲げ振動が発生している傾向が見られた。これから、真上付近を中心としたシールドトンネルの内部に空洞が存在していると推定した。今後は、本法による測定結果と実構造物との状況を比較し、より正確な欠陥判定基準を確立する必要がある。

参考文献 1) 岩野,極檀他：衝撃弾性波法によるコンクリート構造物の厚さ測定, コンクリート工学,Vol.23,No.1,pp.547-552,2001.6

2) 岩野,極檀他：衝撃弾性波法によるコンクリート品質の推定について, 土木学会第 56 回年次学術講演集第 V 部,pp.810-811,2001.10