

覆工コンクリート供試体における発生ひずみ量と音速変化に関する考察

(独)土木研究所 正会員 ○砂金 伸治, 真下 英人, 角湯 克典

1. はじめに

現在の道路トンネルの維持管理では点検の内容や頻度, 調査の項目や監視の内容等が基準類により定められている。今後, より効率的な維持管理の実施のためには, トンネルの条件や管理者に要求される水準に見合った点検や診断に関する手法の確立が急務である。特にトンネルに何らかの変状が発生している場合, その変状が致命的な損傷に至る可能性を内含しているかどうかの判断材料があれば, 監視や対策の決定が一層合理的になり, 維持管理のあり方に大きく資する可能性が高いと考えられる。

本研究では, トンネルに外力が作用し, 覆工に応力が発生しているかを簡易に判定し, 致命的な損傷に至る可能性があるか否かを判断する手法の検討を行った。具体的には, 材料内に発生する応力に比例し音速が変化する現象である音弾性の理論に着目し, 覆工コンクリートを模擬した供試体内の音波の伝搬時間を実験データから算出し, ひずみ量と音速変化の関連性について考察した結果について報告する。

2. 研究方法

図-1 に本研究で実施した実験の状況および計測装置の構成イメージを示す。実験では $300 \times 300 \times 1000\text{mm}$ のコンクリート供試体に対して長手方向に载荷を行い, 軸圧縮力のみが作用する状態を再現した。供試体は粗骨材の最大寸法が 20mm のプレーンコンクリートで, 水セメント比は 73.2% である。別途材料試験を行った結果, 試験実施日で縦弾性係数 $E=20.0\text{GPa}$, ポアソン比 $\nu=0.152$, 密度 $\rho=2.23\text{g/cm}^3$ であった。また, 圧縮強度は 22.0N/mm^2 , 割裂引張強度試験による引張強度は 2.30N/mm^2 であった。供試体にはひずみゲージを高さ 50cm に長手方向で貼付し, ひずみをモニターして荷重を制御した。

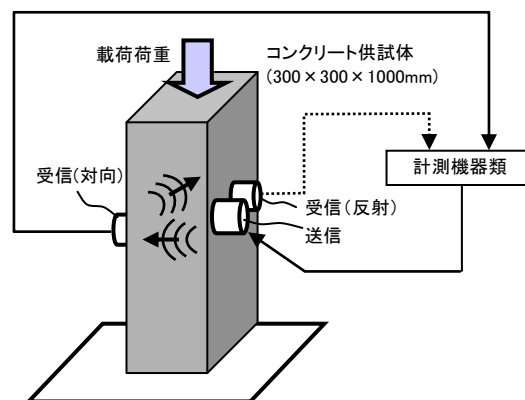


図-1 実験の状況および計測装置の構成イメージ

表-1 実験条件

ケース	トランスデューサ設置条件	音波条件
1	対向, 水平, シューあり(14度)	縦波, 100 kHz, 10 波
2	反射, 水平, シューなし	縦波, 100 kHz, 6 波
3	反射, 水平, シューあり(14度)	縦波, 100 kHz, 6 波

表-1 に実験条件を示す。実験では音波を送信または受信するためのトランスデューサを表面にセットし, 波形発生器から音波を発生させ, 供試体内に送信した。その後, 受信トランスデューサで音波を受信し波形を取り込んだ。

トランスデューサの設置は, コンクリート供試体を挟んで直接波を捉えるように対向させて設置した場合と, 同一の面で反射波を捉えるように並列させて設置した場合を考えた。また, ケース 1 と 3 では音波を供試体に対して斜めに入射させるために, 傾斜角が 14 度であるアクリル製のシューを使用した。なお, トランスデューサは水平, すなわち, 高さ方向に見て同一の高さに設置している。

音波の伝搬時間の計測は, 初めに無荷重状態, その後最大圧縮ひずみが概ね $200 \sim 800 \mu$ の 200μ 間隔程度で行った。その後, 800μ をやや超えた時点で除荷を開始し, $800 \sim 200 \mu$ の 200μ 間隔程度の状態で再び計測を行った。計測データのサンプリング精度はケース 1 が 0.1μ 秒, ケース 2 および 3 が 0.2μ 秒である。その計測した波形データを用いて, 供試体内における音波の伝搬時間を算出した。ここで無荷重状態における伝搬時間を t_1 , 載荷状態の伝搬時間を t_2 , 無荷重状態の音速を c_0 , 音速の変化量を Δc とした場合, 音速変化率 $\Delta c/c_0$ は式(1)から算定される。

$$\frac{\Delta c}{c_0} = -\frac{\Delta t}{t_1} = -\frac{t_2 - t_1}{t_1} \quad (1)$$

キーワード：トンネル, 点検, 変状, 音弾性

〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6 TEL : 029-879-6791

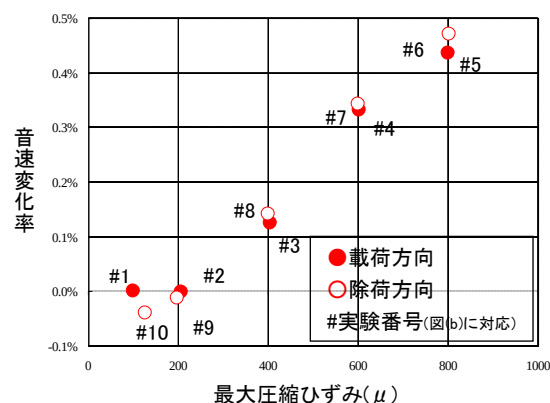
3. 研究結果

図-2(a)および(b)にケース 1 の結果を示す。図-2(a)は音速変化率と圧縮ひずみの関係であり、図-2(b)は計測波形データを一例として示したものである。なお、図-2(a)における●印が無荷重状態から圧縮状態となるように载荷条件を変化させたときのデータ、○印は圧縮状態から除荷する方向へ载荷条件を変化させたときのデータであり、後述するケース 2 およびケース 3 に関しても同様である。図-2(a)より、トランスデューサを対向させたケースでは音速変化率は 1%未満の非常に小さい変化率であり、破壊を伴わないひずみレベルにおいて非常に小さな音速変化しか生じないことが分かる。ただし、ひずみの上昇に比例して音速変化率は定性的に大きくなる傾向が見られる。理論的には縦波の音速変化は主応力に比例することから、圧縮した場合には音速が一般に速くなると考えられる。これよりデータと傾向が定性的には一致しており、伝搬時間の計測の精度によって発生しているひずみの傾向を概略的に簡易に判断できる可能性があることを確認した。

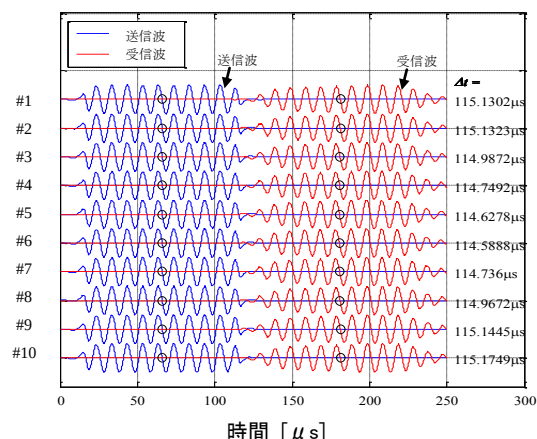
実際の現場でひずみの状態から損傷を簡易に評価する場合、ケース 1 のようにトランスデューサを覆工コンクリートを挟む形で対向させて設置することは考えにくく、同一の面に設置させることが現実的である。図-3 および図-4 にそれぞれケース 2 および 3 における音速変化率と圧縮ひずみの関係を示す。図-3 より、ひずみの増加に伴って音速変化率は減少しており、ケース 1 とは逆の傾向である。実際に波形のデータを分析したところ、表面波と思われる波形と反射と思われる波形が重畳している影響が考えられ、このことから波の送受信の計測方法や異なる波形による傾向を検討する必要性を示唆している。その一方で図-4 に関しては、ひずみレベルが高い領域で音速変化率に明瞭な差異が認められた。このケースに関しても波形を分析したところ、反射波が分離できているものと考えられ、ある一定以上の圧縮ひずみが生じている場合は音速変化に着目することで損傷状態を把握できる可能性があるが、さらなる検証が必要である。

4. おわりに

コンクリート供試体内の音波の伝搬時間に関する実験データから圧縮ひずみと音速変化率の関係を算定した結果、圧縮ひずみの増加に伴って縦波の音速が変化し、その傾向からコンクリートに比較的高いレベルの圧縮ひずみが発生している状態を予測できる可能性があることが分かった。一方で、分析の方法や入力波形の種類、波の入射方向等の影響を大きく受けることも明らかになった。今後は、データ処理の手法や、波形の分離等の観点から分析精度を向上させるとともに、様々な応力場における計測方法の適用性等に関して検討を行う予定である。



(a)音速変化率と圧縮ひずみの関係



(b)計測波形データ (○印部分の差が伝搬時間)

図-2 ケース 1 の計測結果

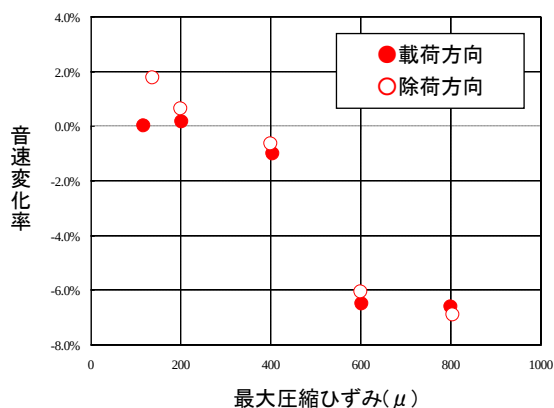


図-3 ケース 2 の計測結果

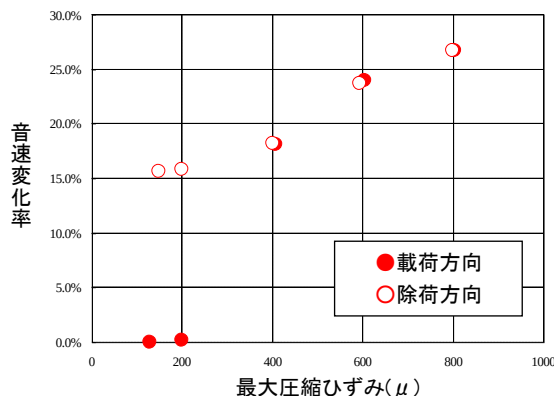


図-4 ケース 3 の計測結果