

弾性波を利用したトンネル覆工コンクリートの劣化度評価

○東北大学 学生員 西村 大
東北大学 正 員 車谷 麻緒
応用地質 正 員 鶴原 敬久
東北大学 正 員 京谷 孝史

1. はじめに

トンネルの点検¹⁾は、目視や人力による打音診断を主体とした定性的な点検から、より正確な診断が下せる定量的な点検へと移行しつつある。

本研究では、コンクリートの弾性波速度と強度の関係に着目し、トンネル覆工を伝播する弾性波の速度を適切に把握して、トンネル覆工の劣化度を定量評価する手法の確立を目的とする。本論文では、供試体実験と数値シミュレーションを通じて得られた、弾性波のトンネル覆工中での挙動についての知見を述べる。

2. 供試体実験

実際の覆工コンクリートを再現したコンクリート供試体を用い、供試体を伝播する弾性波速度の測定試験を行った。

図-1に示すように、実験で用いたコンクリート供試体は二次覆工コンクリート、防水シート、吹きつけコンクリートで構成されている。コンクリートと防水シートの材料特性を図-1に示す。このうち、防水シートの材料特性は0とした。

弾性波の発振子と受振子は図-1のように配置した。超音波はコンクリート中を伝播し、コンクリート表面に配置された8個の受振子によりコンクリート供試体の上下方向の加速度を検知する。発振子から受振子への弾性波の伝播時間差と、発振子と受振子の距離から弾性波速度を算出することができる。実際に弾性波速度を算出する際には、横軸に時間、縦軸に加速度をとった波のグラフをch-1からch-8まで描き、各chごとに波の立ち上がりを結ぶことによって弾性波速度を求める。

3. 数値シミュレーション

3.1 解析の方法

コンクリート中を伝播する弾性波の数値シミュレーションには中心差分法に基づく動的陽解法による有限要素解析を用いた。解析モデルは供試体実験の際に用いた供試体の寸法と同じである。メッシュは全て一辺5.0 mmの立方体メッシュとし、分割数は200×200×82である。解析の総ステップ数は5000ステップであり、解析時間ステップは 1.25×10^{-7} s、総解析時間は 6.25×10^{-3} sである。

3.2 解析モデル

拘束条件は供試体最下部の鉛直方向を固定とした。二次覆工コンクリート、吹き付けコンクリートの材料特性は供

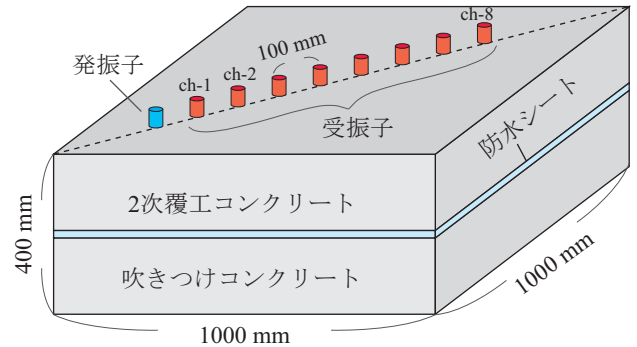


図-1 供試体実験モデル

表-1 材料特性

	コンクリート	防水シート
ヤング率	2.808×10^4 MPa	3.100 MPa
ポアソン比	0.2487	0
密度	2.155×10^3 kg/m ³	9.300×10^2 kg/m ³

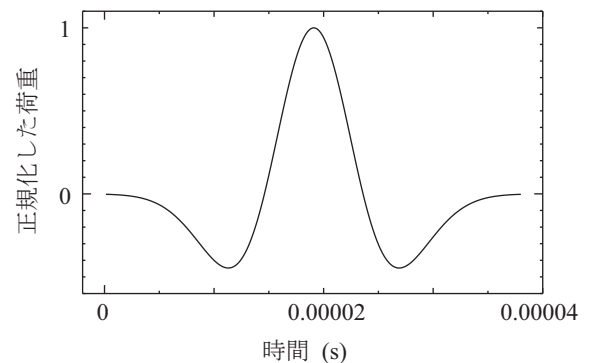


図-2 载荷したリッカー波

試体実験と同じものを用いた(図-1)。

荷重は、発振子の中心に対応する節点に対して荷重を図-2に示すような50 kHzのリッカー波で与えた。その際、発振子の形状が円形であることから、発振子を取り囲む16要素の各節点に重みを考慮して与えた。

4. 結果および考察

供試体実験で各chに伝播した弾性波を図-3に示す。各chごとに波の立ち上がりを結ぶことによって算出された弾性波速度は2140 m/sであった。

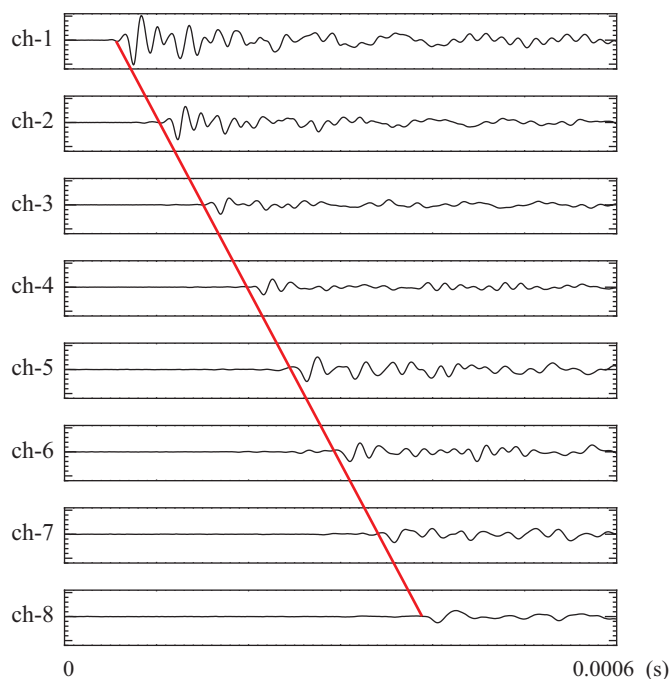


図-3 実験結果（加速度の時刻暦）

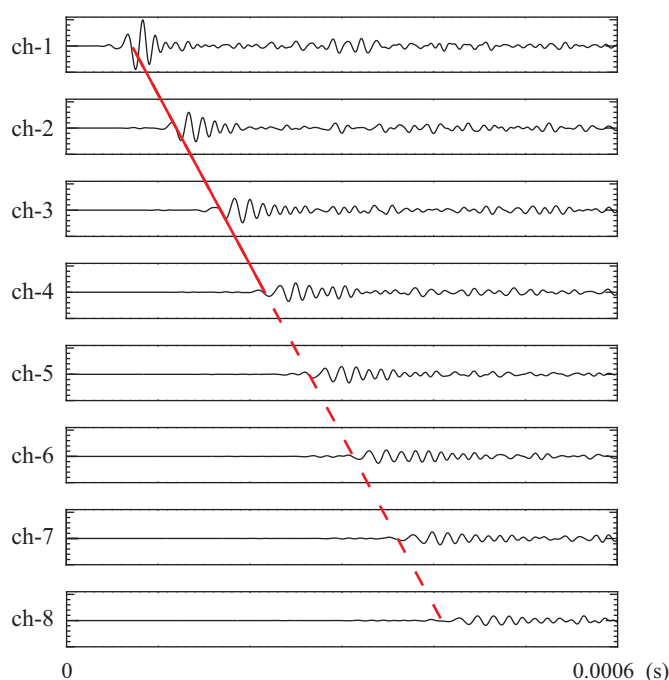
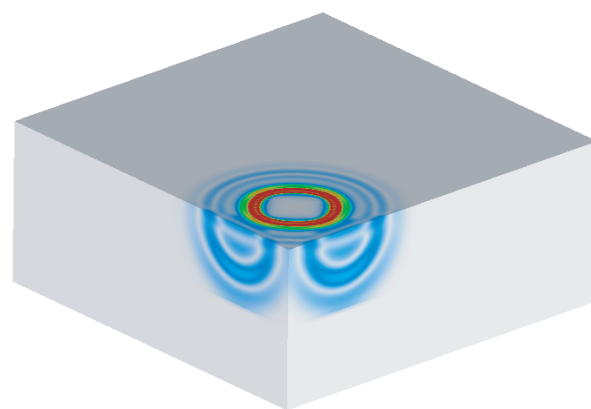
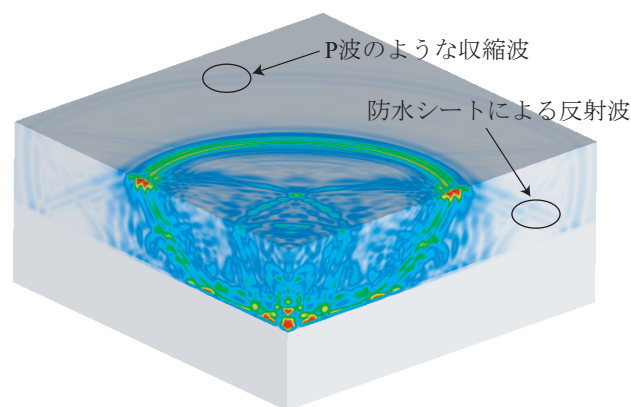


図-4 解析結果（加速度の時刻暦）

数値解析で各 ch に伝播した弾性波を図-4 に示す。数値解析では読み取り誤差を少なくするため、表面波の立ち上がりではなく、二番目の到達波の正負が逆転する点に注目することとした。また、図-4 を見るように、ch-5 以降では表面波の立ち上がりが不明瞭であったため、ch-1～4 までの 3 区間の弾性波速度を算出し、その平均をとることで弾性波速度とした。こうして得た解析による弾性波速度は 2150.15 m/s となり、実験結果の弾性波速度、2140 m/s と良い一致を見た。



載荷開始から 1.25×10^{-4} (s) 後



載荷開始から 3.75×10^{-4} (s) 後

図-5 弾性波が伝播する様子

ch-5 以降くらいから実験、解析ともに表面波による波の立ち上がりが不明瞭になっているが、これは表面波が到達する以前に防水シートによる反射波が到達してしまうことが原因であることが解析により明らかとなった(図-5)。

また、コンクリートのポアソン比の影響により、P 波のような収縮波が進行方向へ速く伝わることが明らかになった(図-5)。

5. おわりに

数値解析で求めた弾性波速度は、実験で得られた弾性波速度とよく一致した。また数値解析では、実験でわからなかった反射波の影響やポアソン比の影響を視覚的に捉えることができた。供試体実験と数値解析から、防水シートからの反射波の影響を考慮してトンネル覆工の弾性波速度を測定するのが良いと考えられる。

今後、様々な周波数の波を発振して解析を行うことにより、弾性波のトンネル覆工中での挙動を明らかにしたい。

参考文献

- 1) 中村隆幸，堤知明，江川顕一郎，呉佳嘩：表面波による覆工の非破壊探査と劣化診断，トンネルと地下，Vol.35, pp45-53, 2004.