

超音波伝播速度によるトンネル覆工応力の推定に関する基礎的検討

国立研究開発法人土木研究所 正会員 ○石村利明, 日下 敦, 東京都立大学 砂金伸治

1. はじめに

国内の供用中の道路トンネルは、年々増加傾向にあり、2017 年 4 月現在で箇所数 10,600、総延長も約 4,490km に達しており、約半数以上のトンネルが供用後約 30 年以上経過している。これらのトンネルの中には覆工コンクリートにひび割れ等のさまざまな変状が発生しているものがあり、その発生要因を確実に特定するには高度な技術的判断が求められる。筆者らは既報¹⁾により実物大規模の覆工載荷実験と角柱供試体の基礎実験により伝播速度の変化を把握することで簡易的に覆工の応力状態を把握できる可能性を示した。本報文は、角柱供試体の基礎実験¹⁾において測定した 2 つの異なる方法による伝播速度の結果とコンクリート表面のひずみとの関係をもとに、コンクリートに過大な応力が発生しているか、致命的な損傷に至る可能性があるか否かを簡易に判断する手法の適用可能性について検討した結果を報告する。

2. 実験

コンクリートの応力状態と伝搬速度との関係を把握するため、呼び強度が異なる 3 条件の呼び強度（15、18、42 の角柱供試体（寸法：150mm×150mm×300mm）を用いて図-1 に示すような一軸圧縮試験を各 3 供試体について実施した。表-1 に管理供試体（材齢 28 日）による圧縮強度試験時の諸数値を示す。3 条件の呼び強度を考えたが、結果的に呼び強度 15 と 18 はほぼ同程度の圧縮強度、弾性係数の値であった。

試験時の計測は、供試体表面の縦ひずみ・横ひずみと超音波伝播速度とした。伝搬速度の測定は 2 つの方法によった。一つの方法は、供試体内部を透過する伝播速度（以下、「伝搬速度（内部）」）として、図-1 および写真-1 に示すように角柱供試体の約 1/2 の高さの位置に水平方向に供試体を挟み込むように両側面に送信側・受信側のセンサーを配置して測定を行った。もう一つの方法は、供試体側面に送信・受信センサー間の距離 150mm が固定された簡易型の超音波速度測定器を押し当てて供試体の高さ方向の伝播速度（以下、「伝搬速度（表面）」）を測定した。なお、ひずみは供試体表面の中央部に鉛直に対して縦および横方向にひずみゲージを貼付することにより測定した。

3. 実験結果

図-2 に角柱の模型供試体（材齢 40 日）を用いた一軸圧縮試験によって得られた載荷重と表面の縦ひずみとの関係を示す。これより、呼び強度 15 と 18 で管理供試体の結果と同様に、ほぼ同程度の最大荷重であることが分かる。図-2 より供試体の状態として、呼び強度 15 と 18 は縦ひず

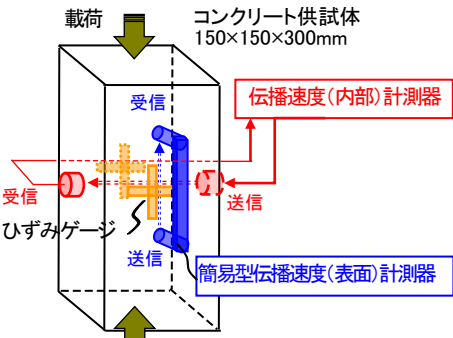


図-1 角柱供試体による一軸圧縮試験



写真-1 超音波伝播速度の測定状況

表-1 管理供試体による圧縮試験の諸数値¹⁾

呼び強度	圧縮強度 (N/mm ²)	弾性係数 (kN/mm ²)	ポアソン比
15	17.17	18.27	0.168
18	18.95	17.64	0.180
42	40.00	23.58	0.182

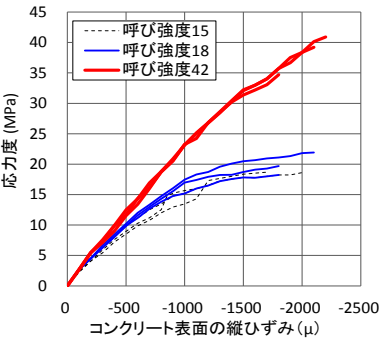


図-2 応力度とコンクリート表面の縦ひずみの関係

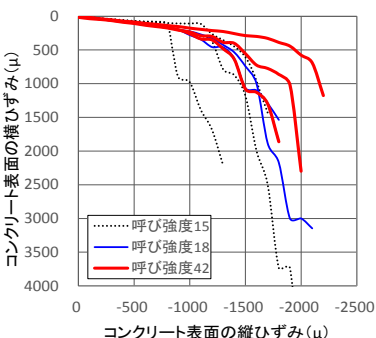


図-3 縦ひずみと横ひずみの関係¹⁾

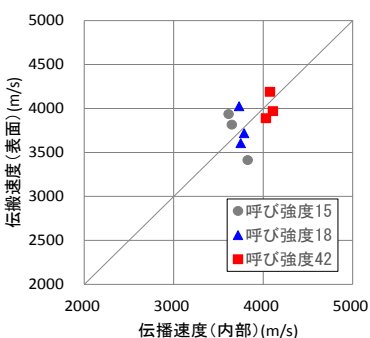


図-4 載荷前における 2 つの方法で測定した伝播速度

キーワード 道路トンネル、覆工コンクリート、覆工応力、超音波伝播速度

連絡先 〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6 国立研究開発法人土木研究所 TEL 029-879-6791

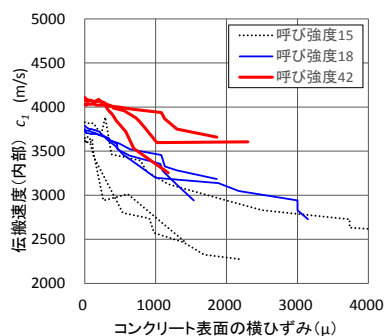


図-5 伝播速度（内部）とコンクリート表面の横ひずみの関係

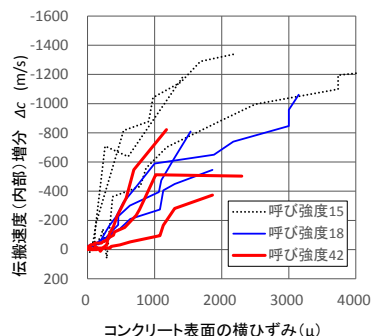


図-6 伝播速度（内部）増分とコンクリート表面の横ひずみの関係

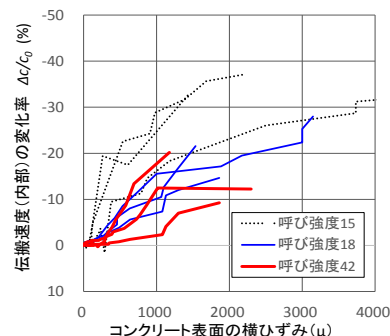


図-7 伝播速度（内部）の変化率とコンクリート表面の横ひずみの関係

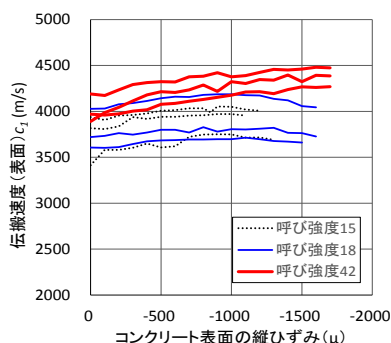


図-8 伝播速度（表面）とコンクリート表面の縦ひずみの関係

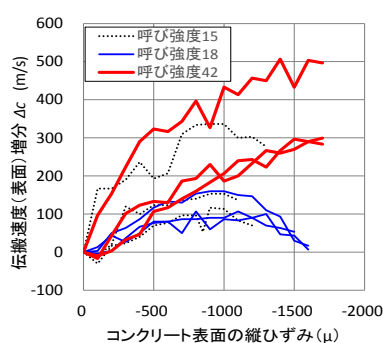


図-9 伝播速度（表面）増分とコンクリート表面の縦ひずみの関係

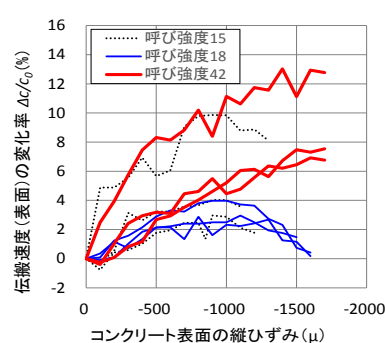


図-10 伝播速度（表面）の変化率とコンクリート表面の縦ひずみの関係

みが概ね 1000μ 程度、呼び強度 42 では概ね 1500μ 程度で傾きが変わっていることから、それぞれこの付近までが弾性域であったと考えられる。図-3 に縦ひずみと横ひずみの関係を示す。図-3 より横ひずみは各呼び強度ともに、縦ひずみの傾きが変わる弾性域付近を超える付近で急激に変化することが分かる。また、载荷前の状態における 2 つの方法により測定した伝播速度の結果を図-4 に示す。図より両値ともに約 $3500\sim 4200\text{m/s}$ 程度であり概ね同程度の値を示しており、呼び強度が大きくなると伝播速度も高くなる傾向がある。これより载荷前の状態では測定方法による顕著な差はないものと考えられる。

2 つの方法により測定した伝播速度について各伝播速度を測定した区間と同方向の供試体表面のひずみとの関係を整理した。伝播速度（内部）と横ひずみ、伝播速度（表面）と縦ひずみとの関係について、それぞれ载荷時の伝播速度 c_i との関係を図-5・図-8 に、载荷前における伝播速度 c_0 から各载荷段階における伝播速度 c_i までの増分 ($\Delta c = c_i - c_0$) との関係を図-6・図-9 に、伝播速度の変化率 $\Delta c/c_0$ との関係について図-7・図-10 に示す。

図-5・図-8 より伝播速度（内部）と伝播速度（表面）は、いずれもばらつきは大きいものの、ひずみの減少または増加に伴って変化している。载荷方向と同一の縦ひずみは圧縮側に変化し伝播速度が増加し、载荷方向と直行する方向の横ひずみは引張側の変化し伝播速度が減少している。これは、それぞれ圧縮されて密度が高まることによる伝播速度の増加と、引張側のひずみにより供試体内部に微細なひび割れ等が生じたことによる伝播速度の減少が考えられる。図-6・図-9 より伝播速度（内部）の変化は、呼び強度が低い供試体のほうがひずみの増加に伴って減少し始めるのが早く変化量も大きい傾向にあり、数百 μ ～千超 μ 程度の変化量である。伝播速度（表面）の変化は、ばらつきがあるが呼び強度が大きい供試体のほうがひずみの減少に伴う変化量も大きい傾向にあり、百 μ ～五百 μ 程度の変化量である。図-7・図-10 より伝播速度（内部）の変化率は最大約 10～30%程度、伝播速度（表面）の変化率は最大約 2～12%程度であった。

以上の結果より、一軸圧縮応力場において、伝播速度を測定する方向のひずみの増減に応じて伝播速度が変化することが分かった。これは、トンネルの覆工の状態を診断する方法の一つとして覆工表面の伝播速度の変化を確認することで致命的な損傷に至る前にその状態を把握できる可能性があることを示唆する。実際に伝播速度を用いたトンネルの維持管理を行う場合、覆工内面のコンクリート表面で測定できるという面から伝播速度（表面）による方法を用いることが現実的であるが、この方法の場合は、比較的小さい伝播速度の変化量を的確に把握する必要がある。今後、覆工内部に発生する応力と伝播速度との関係の把握について実験や供用トンネル等での検証が必要と考えられる。

【参考文献】 1) 石村利明, 砂金伸治, 日下敦, 笹田俊之: 変状トンネルにおける覆工状況の診断手法に関する実験的検討, 土木学会トンネル工学報告集, 第 25 巻, I-24, 2015. 11