

打撃法を用いたトンネル覆工型枠脱型時期の推定

佐藤工業株式会社 技術センター 正会員 ○加藤 謙吾
 正会員 歌川 紀之
 正会員 黒田 千歳
 東京都立大学 正会員 大野 健太郎

1. 目的

トンネル覆工型枠の脱型時期は、コンクリートの圧縮強度に基づき判断される。覆工コンクリートの圧縮強度を推定するに当たり、テストピースの一軸圧縮強度にもとづき判定する方法などが考えられる。一方、コンクリートの強度発現には外気温や養生環境などが影響することから、打込み後の覆工コンクリートの状態を直接測定する方法があれば、脱型時期の判断により資すると考えられる。本報では、打撃法を用いたトンネル覆工型枠脱型時期の推定方法について、その概要および計測結果を報告する。

2. 測定方法

図-1 に、トンネル覆工型枠をハンマリングした場合の疎密波および表面波の伝播経路を示す。疎密波の伝播経路は①覆工型枠中を伝播する経路、②コンクリート中を通過しコンクリート背面で反射し伝播する経路および③コンクリート中を通過し岩盤に沿って伝播した後に反射する経路に分かれる。一方、表面波が伝播する深さは周波数に依存し、低周波数の表面波ほど深い位置へ伝播する。打撃により生じる疎密波または表面波の加速度計位置に到達する時間は、媒体物の剛性により変化することから、コンクリートの硬化の程度に応じて加速度計の応答タイミングが変化すると予想される。図-1 に、ハンマリング位置および加速度計の配置を示す。測定には3軸方向および最大加速度 5.0g が計測可能な加速度計を用いた。ハンマリング位置と加速度計1の位置の距離 X は $X \geq L$ (L : 加速度計間の距離) である必要があることから、本測定では、 $X = 500, 1,000, 1,500 \text{ mm}$ ならびに $L = 500 \text{ mm}$ とした。なお、測定対象は、2022年7月に弊社の実験フィールドで実施した覆工型枠への自己充填コンクリート圧入実験である。また、実験に用いた覆工の覆工巻厚 T は、400mm である。本報では、疎密波の伝播経路②にもとづく Z 方向の測定結果を以下に示す。

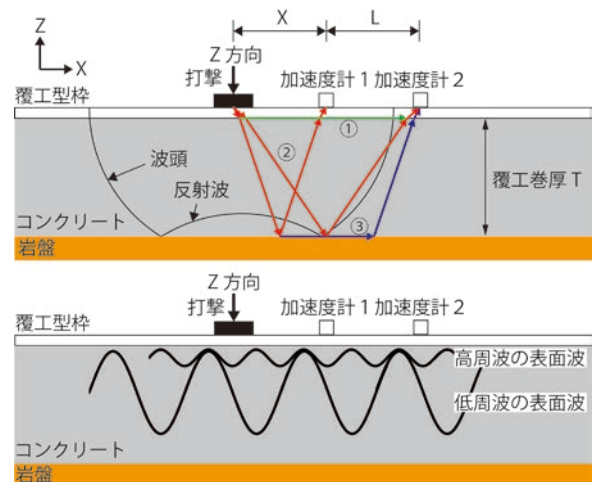


図-1 覆工型枠を打撃した場合の疎密波および表面波の伝播経路

3. 測定結果

図-2 および図-3 に、コンクリートの打込みから 4.4 時間後および 19.1 時間経過後に計測した $X = 1,000 \text{ mm}$ における Z 方向の計測波形および周波数分布を示す。インパクトハンマの最大電圧が生じたタイミングから加速度計1および加速度計2の最初のスパイクが表れるまでの時間間隔 (Δt_{r1} , Δt_{r2})、および、加速度計1と加速度計2の最初のスパイクの時間間隔 (Δt_d) は、打込みから 4.4 時間経過後においては 0.00084 秒, 0.00043 秒, 打込みから 19.1 時間経過後においては 0.0005 秒, 0.00028 秒であり、打込みからの経過時間が長くなると短くなった。また、フーリエ振幅については、前者の場合では 5,500 Hz 以下で大きな振幅が生じた一方、後者の場合では 6,000 Hz 以上で大きな振幅が生じた。覆工型枠の剛性が一定であることを考慮すると、硬化によるコンクリートの剛性変化が波の伝播時間およびフーリエ振幅に影響したものと考えられる。

図-4 に、超音波測定 (表面走査法) によるテストピースの疎密波速度 (V_P 超音波) および一軸圧縮強度 (F_c)、

キーワード トンネル覆工 脱型時期 疎密波速度

連絡先 〒300-2658 茨城県つくば市諏訪 C30-1 佐藤工業株式会社 技術センター

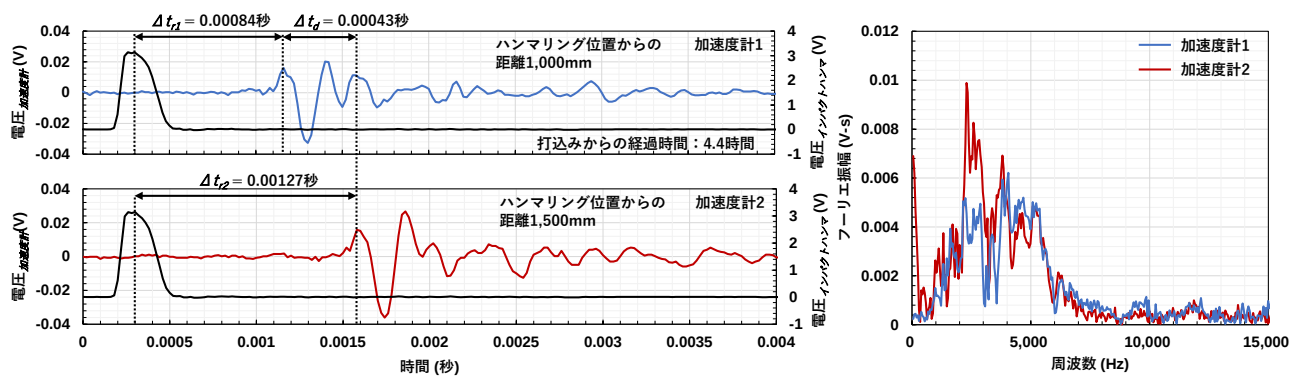


図-2 打込みから 4.4 時間経過後における Z 方向の計測波形および周波数分布

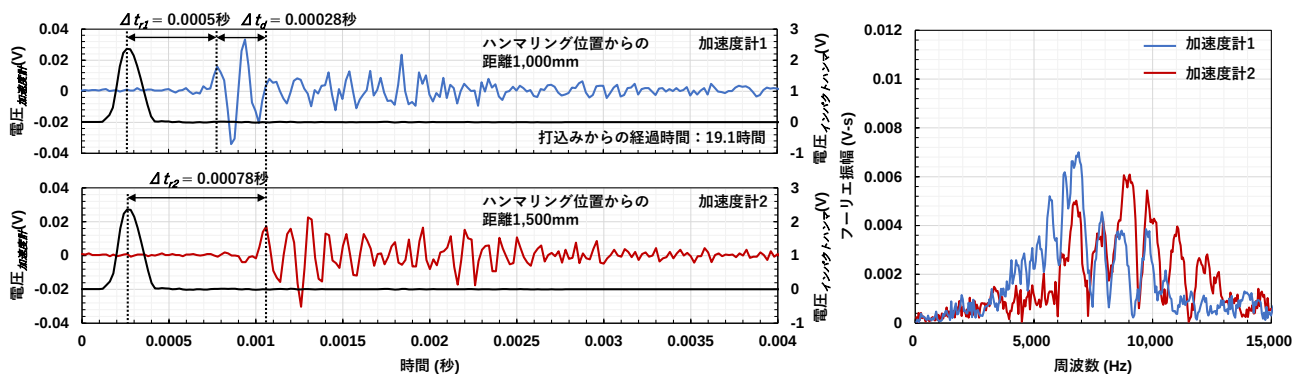


図-3 打込みから 19.1 時間経過後における Z 方向の計測波形および周波数分布

ならびに、伝播経路②を仮定した場合の $V_{打撃法}$ を比較する。伝播経路②における $V_{打撃法}$ について、次式にもとづき求めた、 $V_{打撃法} = \sqrt{4T^2 + X^2}/t_r$ 。伝播経路②を仮定した場合における加速度計 1 の記録 (Δt_{r1}) を用いたときの $V_{打撃法}$ は、打込みから 4.4 時間経過後では 1,666 m/s、19.1 時間経過後では 2,948 m/s であり、打込みから時間が経過すると $V_{打撃法}$ が上昇した。また、超音波法による測定結果と比較すると、 $V_{打撃法}$ の値は V_P 超音波の値の約 80% であった。くわえて、打込みから 8 時間後および 19.1 時間後での $V_{打撃法}$ を比較した場合の増加率は、超音波法では 23%、本打撃法では 28% であり、おおむね同程度であった。かりに、覆工型枠の脱型に必要な一軸圧縮強度を 4.0 MPa とすると、本実験の場合では、図-4 から、 V_P 超音波 が 3,000 m/s 以上、もしくは、 $V_{打撃法}$ が 2,200 m/s 以上のときに覆工型枠を脱型できると判定される。

4. まとめ

覆工型枠に設置した加速度計のハンマリング時の応答は、コンクリートの硬化の影響を受ける。本打撃法により、打込み後のトンネル覆工コンクリートの硬化を捉えることに成功した。また、超音波法（表面走査法）によるテストピースの V_P 超音波と比較した場合、 $V_{打撃法}$ の増加率が同程度であった一方、その値は約 80% であった。今後は、他の伝播経路の検討ならびに表面波探査法による剛性評価結果との比較などを行う予定である。

参考文献

1) Malhotra, V. M., and Carino, N. J. (2003). Handbook on NonDestructive Testing of Concrete: Second Edition, CRC Press, Taylor & Francis Group.

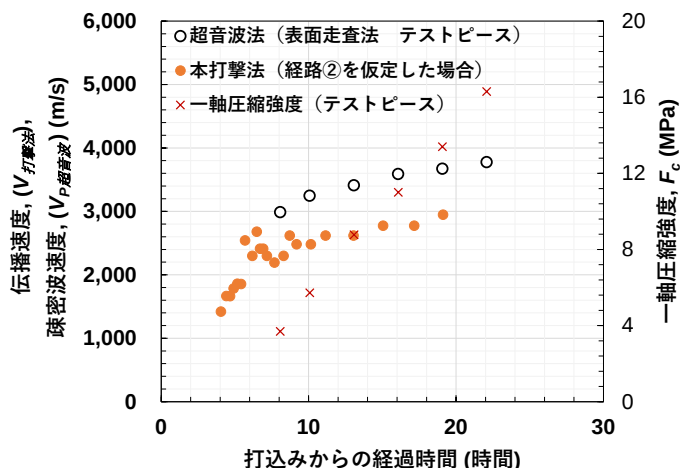


図-4 打込みからの時間経過における一軸圧縮強度および疎密波速度の変化