

覆工巻厚調査方法に関する一提案

(株) セントラル技研 正会員 Jiaye Wu、正会員 池尻 健

1. はじめに

地下構造物特に山岳トンネルの二次点検において、覆工巻厚調査が実施されている¹⁾。それは主に、維持管理における、構造物の構造的安定性を評価する際に必要となる設計覆工巻厚、覆工背面の空洞等を把握する目的で実施されている。本報文では、迅速かつ精度よく覆工巻厚を推定する調査方法として、非破壊調査方法に着目し、現状でよく適用されている調査方法の課題を明確にした上で、衝撃弾性波による方法を提案する。そして、その妥当性について、コンクリートブロック供試体を用いた実験で検証する。

2. 現状の調査方法

覆工巻厚調査として、現状では、ボーリングによる局所破壊調査方法および非破壊調査方法が適用されている¹⁾。今回着目した非破壊調査方法の中で、現状において最も適用されている方法は、電磁波法である²⁾。電磁波法は、広範囲を迅速に調査可能という利点を有している。ただし、覆工巻厚が大きく(30cm以上)になると電磁波の減衰が激しく調査精度が低下すること、鉄筋および水(漏水等)の存在が調査精度に影響を与えること等の課題も指摘されている²⁾。

3. 調査原理

現状において最も適用されている電磁波法の課題を踏まえ、ここでは、調査対象である覆工コンクリート(以下、覆工と記す)表面を、力学的外力(ハンマー)により打撃した際に発生する衝撃弾性波(Impact-Echo Method)に着目した方法を提案する。衝撃弾性波法は、入力エネルギーを考慮することで、電磁波法よりも深い調査深度に対しても、適用可能である。また、鉄筋や水の影響を電磁波よりも受けにくい。さらに、電磁波法で得ることが困難である覆工内部、覆工と地山の境界面等の力学特性も評価可能である。従って、衝撃弾性波法を適用することで、電磁波法に比べ調査精度が向上することが期待できる。

衝撃弾性波法の調査原理は、以下のとおりである。覆工のように、調査対象が一般的なコンクリート構造物に比べ薄い(板状)場合、覆工表面と垂直にハンマー打撃することで発生した衝撃弾性波を入射すると、覆工表面と境界面(覆工と地山の境界面)でそれらが多重に反射する。そして、境界面までの距離(壁厚:覆工巻厚)を h 、弾性波の縦伝播速度を V_p とすると、 $f = V_p / (2 \times h)$ にて周波数応答にピークが検出される(図-1)。従って、受信波の周波数分析を実施し、入射波以外の波の影響(例えば、発振の自由振動、調査対象の自由振動等)を除去することで、卓越周波数 f (卓越周期 $T = 1/f$) を特定することが可能である。さらに、上記の f を上式に代入すれば、覆工巻厚を算出することが可能である。なお、本方法では、覆工と地

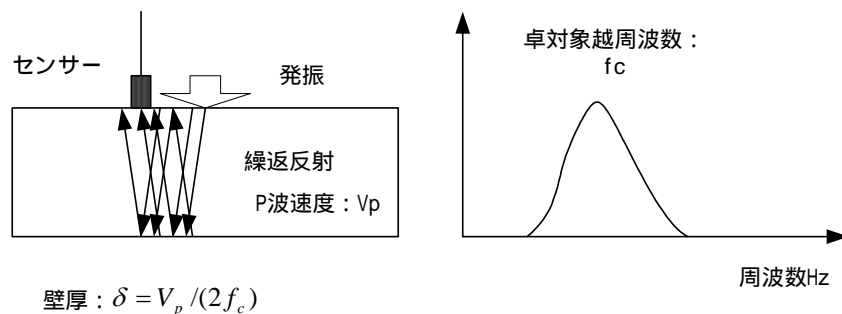


図-1 衝撃弾性波法の調査原理

キーワード：地下構造物、維持管理、覆工巻厚、非破壊調査

連絡先 東京都八王子市元横山町 1-2-13 (株) セントラル技研 TEL: 0426-45-8276 FAX: 0426-45-8307

山（覆工背面の空洞部分も含む）の境界部における反射波に着目している。従って、今後は、衝撃弾性波法の特徴である力学特性の評価、特に覆工と地山（覆工背面空洞）との境界部の力学特性の評価を試みる予定である。

4. システム構成

調査システムを図-2に示す。それらは、ハード部分（計測ドライバー）とソフト部分（解析および処理ソフト）から構成されている。上記の計測ドライバー、解析および処理ソフトは、すべてC++またはVisualC++を用いて独自に開発したものであり、調査条件に応じ、簡易にソフトの改良およびメンテナンスが可能である。なお、本方法は、前述図-1に示すように、調査対象に加速度センサー1個をホットボンドにより固定し、その近傍をハンマーで打撃することにより生じた衝撃弾性波を測定する。調査状況を写真-1示す。

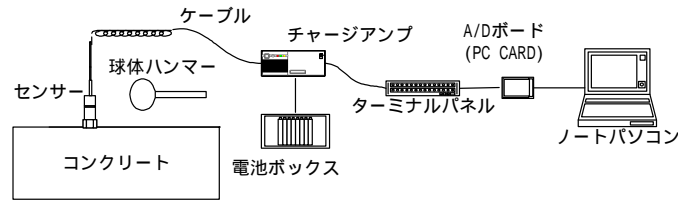


図-2 調査システム

5. 調査結果の妥当性の検証実験

縦100cm×横100cm×高さ25cmのコンクリートブロック供試体上面の5箇所（～）に加速度センサーをホットボンドで固定し、本方法を用いてコンクリートブロック供試体の高さ（25cm）を推定した。なお、受信波の周波数分析方法に関しては、従来の衝撃弾性波法の多くは、FFT（Fast Fourier Transform）を採用しているのに対し²⁾、本方法では、分析精度の向上を目指し、MEM（Maximum Entropy Method）を採用した³⁾。MEMは、FFTに比べ、短いデータからもスペクトルの推定が可能であり今回対象とする反射波の解析に適していること、スペクトルの分解能が高いこと等の特徴を有している³⁾。

実験結果を表-1に示す。同表に示す推定高さ h は、 $h = V_p \times (T/2)$ （ V_p ：P波速度、 T ：卓越周期）から算出している。なお、 V_p は別途測定した結果により、 $V_p = 3.888$ km/sを採用している。同表より、本方法により、各測定箇所～における供試体高さは平均値で23.484 cm（標準偏差：0.5567 cm）と推定され、供試体高さの実測値（25 cm）と整合している。

6. おわりに

本報文では、覆工巻厚を迅速かつ精度良く推定する調査方法として、受信波の周波数分析方法にMEMを採用した衝撃弾性波による方法を提案した。なお、本方法は、覆工巻厚の推定のみならず、地下構造物の維持管理における（例えば、セグメント継ぎ手の変状把握等）、様々な工学的問題に適用可能と考えられる。

今後、実現場における、本方法の適用事例を紹介する予定である。

7. 参考文献

- 1) 土木学会：トンネルの維持管理，pp.27-90，2005．
- 2) JTA 保守管理委員会：トンネルの新しい検査手法，トンネルと地下，Vol27，No.11，pp.49-56，1996．
- 3) 日野幹雄：スペクトル解析，朝倉書店，pp.83-94，1997．



写真-1 調査状況

表-1 実験結果（高さの推定）

No.	卓越周期 ms	推定高さ cm
	0.117	22.745
	0.121	23.522
	0.120	23.328
	0.125	24.300
	0.121	23.522
平均	0.121	23.484
標準偏差	0.0029	0.5567