

トンネル覆工の健全性調査におけるハンマー打撃音分析技術の開発

(株)ダイヤコンサルタント*正員 ○小泉和広, 杉田信隆, 正員 川上義輝
ハザマ**正員 笠 博義, 清水 学, 正員 谷口裕史, 関 俊一郎
(株)ウォールナット***正員 稲垣正晴, 新 弘治

1. はじめに

筆者らはより容易に、定量的な判断が可能なハンマー打撃音分析装置(サウンドアナライザー)を約10年前に開発し、数々のトンネルやコンクリート構造物等に適応¹⁾してきた。しかし、この打撃音分析装置を用いても現場での調査方法自体は、通常の打音点検と変わらず苦渋の作業であり、多大なマンパワーや調査時間を要するなどの問題が残っていた。こうした背景から、より容易に、かつ迅速に打音調査が可能な技術の開発に取り組んできた。本報告は、新たに開発した自動打撃装置²⁾の分析ユニットとして既往の打撃音分析装置をリニューアルし、その適用性を室内実験および現場実験³⁾で確認した結果についてまとめたものである。

2. 打撃音分析装置の概要と装置のリニューアル

打撃音分析装置は、260g～2kgの球形ハンマーで叩いた打撃音を狭指向性マイクロフォンで収録し、特定周波数帯域の音響エネルギーを0～200までのエネルギー指数(全音響エネルギーに対する特定領域の音響エネルギーの比)に変換する装置である(図-1 打音分析装置の概要参照)。トンネル覆工に剥離等の欠陥がある場合には、音響エネルギー指数が0に近い値を示し、健全な場合には200の値を示す。欠陥の判定は打撃1点の音響エネルギー指数そのものでコンクリートの物性を判定するのではないが、これまでの実績から指数が100以上であれば健全であると考えるとよいことが確認されている。

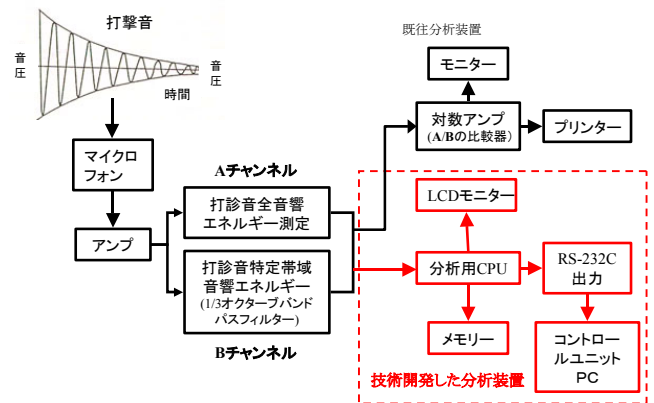


図-1 打撃音分析装置の概要

今回、自動打撃装置の開発に伴い既往打音装置のリニューアル(技術開発)を行った。技術開発の内容は、既往打音装置の欠点である1)打音を収録してからの分析速度が遅い(分析時間約2秒/1打音)ことと、2)分析結果が感熱紙にて出力される。この2項目を主にリニューアルする事を目的として、自動打撃装置の分析ユニットとして技術開発した。開発は、音響エネルギー分析の基本部分(AチャンネルおよびBチャンネル)には手を加えず、分析装置の回路全体の見直し(アナログ回路からデジタル回路へ変更)と指数分析および結果出力部のデバイスのみを改良することにより、既往分析装置との互換性(DSA値またはエネルギー指数値)を保ち、1)分析速度の向上(約0.2秒/1打音)と2)COMポート(RS-232C)による値の出力を可能とした。(図-1 技術開発後の打音分析装置の赤色点線部参照)。

3. 実験内容と実験結果

人力の打撃に変わる自動打撃装置の特性および安定性と適応性を確認するため、室内実験と現場実験を実施した。室内実験では自動打撃装置にマウントして使用する際のマイクロフォンの位置や打撃面と球形ハンマー(500g)との離間距離等、各パーツの最適な設置位置を検討することを目的とし、現場実験では実際のトンネルにおける適用性を検討することを目的とした。以下に検討結果を示す。

3.1 室内実験における人力打撃と自動打撃装置との比較

自動打撃装置の特性および安定性(ばらつき)を検討するために、人による打撃はベテラン点検員(実務経験10年以上)による6回の打撃で得られた音響エネルギー指数と自動打撃による8～15回の打撃で得られた音響エネルギー指数との変動係数に着目して比較することにした。図-2に室内実験の概要図を示す。

キーワード:トンネル, 打音調査, 覆工健全性, 現場実験

連絡先*〒330-8660 埼玉県さいたま市北区吉野町 2-272-3 TEL048-654-3011, FAX048-654-3833

**〒107-8658 東京都港区北青山 2-5-8 TEL03-3423-1801, FAX03-3405-1854

***〒190-0002 東京都立川市幸町 1-19-13 TEL042-537-3838, FAX042-537-3820

1) 打撃面からマイクロフォンの離間距離

人が打音装置を利用する場合の最適なマイクロフォンの離間距離は打撃面から20～30cm程度とマニュアルに記載されている。図-3に示した打撃面からマイクロフォンの離間距離と変動係数との関係によると、人による打撃の変動係数は6%を示し、自動打撃装置は、20～30cmの離間距離では変動係数が2.5～4.2%、40cmの離間距離で最大5.6%の変動係数を示している。また、離間距離によらず自動打撃装置の結果はベテランによる人力打撃結果よりも変動係数が小さく、再現性が高いことがわかった。よって、自動打撃装置における最適なマイクロフォンの離間距離は、最小20～30cmあれば機能上問題がないと判断された。

2) 打撃面と球形ハンマー(500g)の離間距離

人が打音点検を行う際の打撃面とハンマーとの離間距離と打撃力は毎回変動し、打撃により発生する音圧も一定ではないものと考えられる。本自動打撃装置は一定の打撃力を保持することが可能なことから、打撃面とハンマーとの最適な離間距離を検討する必要がある。図-4に示す打撃面からハンマーの離間距離と変動係数との関係によると、人による打撃の変動係数は6%を示し、自動打撃装置は、5cm～10cmの離間距離で2.8～3.2%の変動係数を示し、離間距離が10cm以上になると急激に変動係数が大きくなることが確認された。よって、離間距離を5cm～10cm以内に設定すれば自動打撃装置の結果はベテランによる人力打撃結果よりも変動係数が小さく、再現性が高いことがわかった。

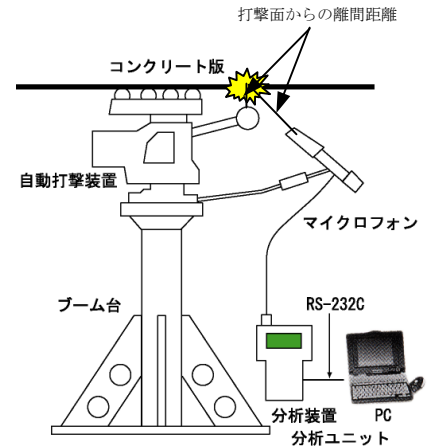


図-2 室内実験の概要図

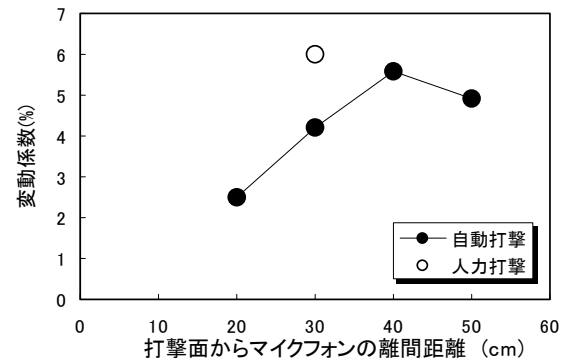


図-3 マイクロフォンの離間距離と変動係数との関係

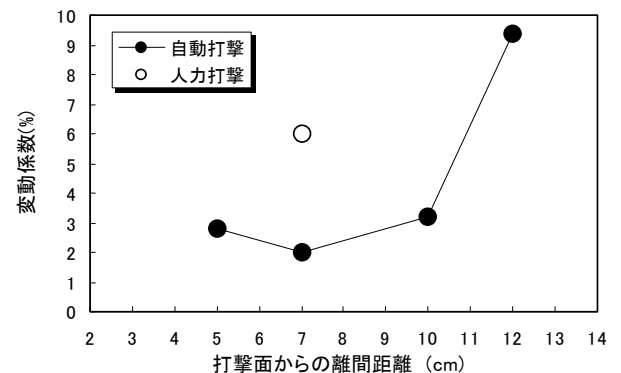


図-4 ハンマーの離間距離と変動係数との関係

3.2 現場実験における人力打撃と自動打撃との比較

室内実験の結果を踏まえて自動打撃装置の現地適用性を検討した。現場実験では連続的に測定した場合のデータの安定性と、人による打撃との対比を確認する目的で行った。約8mの測線を設けて連続測定を実施した。図-5に示した測定結果から、自動打撃は人による打撃と同様に安定したデータが取得されており、音響エネルギー指数の平均値は人による打撃(160)に対して、149(計測1)および152(計測2)の値が得られており十分に再現性のあることが確認された。

特に182m付近の音響エネルギーが急激に変化する点も同様の傾向を示している。

4. まとめ

本実験から、自動打撃装置は人による打撃と同様の結果が得られることと、人による打撃と比較して十分な再現性を待っていることが確認された。今後は、新設トンネルの竣工時検査や既設トンネルの健全性評価への適用を目指して、現場でのデータを取得し信頼性を高めると同時に、より実用性の高いシステムとするための改良を行っていく予定である。

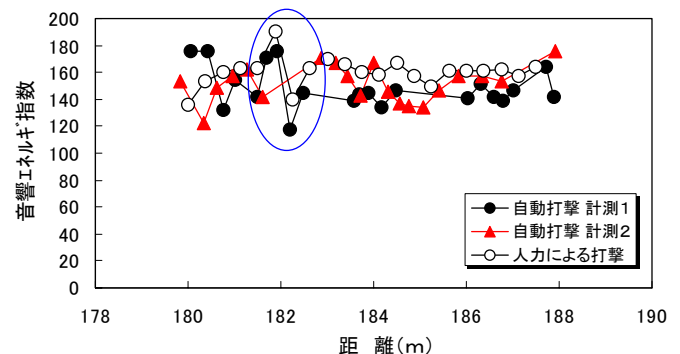


図-5 音響エネルギー指数の比較

【参考文献】

- 1) 加藤他:トンネル要点検箇所打診音解析結果について, 土木学会57回年次学術講演会, V-211, pp.421-422
- 2) 笠他:自動打音調査システムを用いたトンネル覆工健全性調査の現場実験, 土木学会第58回年次学術講演会, 2003
- 3) 稲垣他:トンネル覆工健全性評価を目的とした自動打音調査システムの開発, 土木学会第58回年次学術講演会, 2003