

トンネル点検における 打音検査の定量化に関する取組み

佐藤 元紀¹・大塚 弘貴²・岡屋 治³

¹正会員 応用地質株式会社 メンテナンス事業部 (〒331-8688 埼玉県さいたま市北区土呂町2-61-5)
E-mail: sato-motoki@oyonet.oyo.co.jp

²正会員 応用地質株式会社 高知支店 (〒780-0901 高知県高知市上町 2-5-1)
E-mail: ootuka-hiroki@oyonet.oyo.co.jp

³応用地質株式会社 メンテナンス事業部 (〒331-8688 埼玉県さいたま市北区土呂町2-61-5)
E-mail: okaya-osamu@oyonet.oyo.co.jp

トンネル点検で実施される打音検査は、変状の有無や範囲、落下の可能性について点検ハンマー等を用いて覆工面を打診し、その結果（打診音）を点検員が聞き、変状状況を診断する。この手法は点検員の経験や作業時の騒音等の作業環境の影響を受けやすいことから、その診断結果の客観性を確保することが課題である。そこで、コンクリートテスターを用いて打診結果を定量化し、従来手法の結果との相関性を調べた。その結果、打音異常の有無に応じてコンクリートテスターで得た波形（打撃力の相対値）に差を確認できたことから、今後データを収集分析し、コンクリートテスターによる打音検査の波形診断手法を確立すべく、試行を継続する。

Key Words : tunnel inspection , hammering tests, quantification, mechanical impedance method

1. はじめに

トンネルの覆工コンクリートは施工方法や施工材料の特徴に起因する不均質性や、竣工後の環境や経年の影響を受け、利用者被害につながる可能性のあるコンクリートのうき、はく離や打音異常等と呼ばれる変状が生じる。

トンネル点検で実施される打音検査は、これらの変状の有無や範囲、落下の可能性を診断しなければならないが、点検ハンマーを用いて覆工面を打診し、その結果（打診音）を点検員が聞き、変状状況を診断する方法が取られているのが一般的である。この方法は点検員の経験や作業時の騒音等の作業環境の影響を受けやすいことから、その診断結果の客観性を確保することが課題となっている。その解決を図ることを目的とし、コンクリートテスターを使った定量化を試みたので報告する。

2. 測定機器

打音検査の定量化に当たっては、市販品のコンクリートテスターを用いた（図-1）。コンクリートテスターは加速度計が内蔵されたハンマーと測定装置本体で構成さ

れ、このテスターを使って打音検査することで、コンクリートを打撃した時の力の最大値とハンマーの速度の最大値から機械インピーダンス Z を算出してコンクリートの圧縮強度を推定できる。

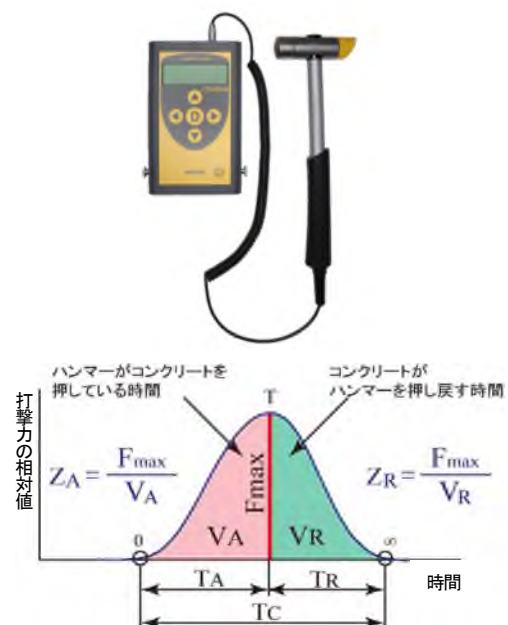


図-1 コンクリートテスター¹⁾

3. 対象トンネルと変状

コンクリートテスター試験は表-1に示すとおり、矢板工法の合計8本の道路トンネルで実施した、これらのトンネルはいずれも主にうき、はく離の変状が多く生じており、これを試験の対象とした。対策区分の判定は表-2の目安に基づき、打音異常の有無と変状状況により判定を決定するが、打音異常の有無は点検員により誤差を生じる項目であることが、打音検査の課題である。

そのため、通常、点検員が点検ハンマーで打診した診断結果であるうき、はく離に関する対策区分の判定と、コンクリートテスターの試験で得られる結果との相関を調べることにした。なお、対策区分の判定は、表-3に示すものである。ここで、IV判定はうき、はく離等が顕著で緊急に対策を講じる必要がある状態、III判定はIV判定よりも緊急性は低いもののうき、はく離等がみられ早期に対策を講じる必要がある状態、IIa判定はうき、はく離等がみられ将来的に落下する可能性があり計画的に対策を必要とする状態、IIb判定はうき、はく離等がみられ将来的に落下する可能性があり監視を必要とする状態である。I判定は表-3では「うき、はく離の兆候がないもの」とされているが、今回の試験で「表面は健全であるが点検ハンマーによる打診で軽微な打音異常が確認さ

れる、落下の可能性が小さい状態」がみられたため、これをI判定と定義した。

4. データ検証

(1) 検証方法

対策区分の判定とコンクリートテスターによる打診結果との相関の検証は、以下のように実施した。

- ① 変状箇所において、最初に点検ハンマーによる通常の打音検査を行い変状状況の確認、打診音を診断し対策区分の判定を行う。
- ② 同箇所にてコンクリートテスターを用いて打診し、打診結果（波形、打撃力の相対値(加速度計のデジタル変換値)、無次元）を得る。
- ③ ②の結果をグラフ化し、打診結果（打撃力の相対値と計測時間の関係）を検証する。
- ④ ①～③をトンネルごと、変状ごとに集計し、一定の関係性を見出せるかを検証する。

検証に用いた全57データの内訳を表-4に示す。

(2) 検証結果

図-2に試験結果（全57データ）を示す。同図よりデータごとに、打撃力の相対値と計測時間の関係（波形）に特徴がみられることがわかる。このデータに関して、検証を行った。図-2のデータについて、打音異常の有無に着目し、図-3のように区別して表示した。打音異常が無いケース（青色の波形）では、滑らかな凸状の波形が得られているのに対し、打音異常があるケース（赤色の波形）では、細かに揺らぎのある波形が得られており、打音異常の有無が計測結果の波形に表れていると言える。

次に、試験結果を判定区分別および変状種類別に分類し、図-4～図-7に示した。

図-4から図-6はうき、はく離が生じ、打音異常が有る箇所（赤色の波形）の結果である。図-3の打音異常の無い箇所（青色の波形）に比べて、波形が乱れていることがわかる。また、目地付近で打音異常が有る変状（緑色の波形）においては、波形のピークが二つ現れる特徴が

表-1 試験対象トンネル

①トンネル用途	道路（一般国道）
②トンネル工法	矢板工法
③トンネル数	8本
④建設年次	1970～1986年
⑤変状状況	材質劣化に起因するひび割れ、うき、はく離、材質劣化、豆板、漏水
⑥測定データ数	57

表-2 うき、はく離等に対する対策区分の判定の目安例³⁾

対象箇所	部位区分	ひび割れ等の状況	打音異常	
			有	無
覆工	断面内	ひび割れ等はあるものの、進行しても閉合の恐れがない	IIb	
		ひび割れ等は閉合してはいないものの、ひび割れの進行により閉合が懸念される	III	IIb
		ひび割れ等が閉合しブロック化している	IV	IIb、IIa、III
		漏水防止モルタルや補修材が材質劣化している	III、IV	IIb、IIa、III
		覆工コンクリートや骨材が細片化している、あるいは豆板等があり材質劣化している	IV	IIb、IIa、III

表-3 うき、はく離に対する対策の判定区分^{2),3)}

判定区分		変状の状態
I		ひび割れ等によるうき、はく離の兆候がないもの、またはたき落としにより除去できたため、落下する可能性がなく、措置を必要としない状態
		ひび割れ等により覆工コンクリート等のうき、はく離の兆候があり、将来的に落下する可能性があるため、監視を必要とする状態
II	IIb	ひび割れ等により覆工コンクリート等のうき、はく離の兆候があり、将来的に落下する可能性があるため、重点的な監視を行い、予防保全の観点から計画的に対策を必要とする状態
	IIa	ひび割れ等により覆工コンクリート等のうき、はく離の兆候があり、将来的に落下する可能性があるため、重点的な監視を行い、予防保全の観点から計画的に対策を必要とする状態
III		ひび割れ等により覆工コンクリート等のうき、はく離等がみられ、落下する可能性があるため、早期に対策を講じる必要がある状態
IV		ひび割れ等により覆工コンクリート等のうき、はく離等が顕著にみられ、早期に落下する可能性があるため、緊急に対策を講じる必要がある状態

表-4 対象変状の内訳（箇所数）

判定区分※	健全	うき、はく離	材質劣化	合計
—	15			57
I		13	9	
IIb		9		
IIa		11		

※III、IV判定の変状は今回は確認されなかった。健全なデータは変状でないため判定区分は与えない。

見られた。これは、うき、はく離を生じさせているひび割れと目地の2つの分離面から反射してくる波形を捉えている結果であると想定される。また図-4から図-6は、同じうき、はく離の変状で、判定区分が異なるが波形やそのピーク値に有意な差は見られなかった。特に図-4のうき・はく離Ⅰ判定という変状は、点検員による目視検査や打音検査では、状態の良否の判断がつきにくい変状で、点検員の判断に誤差を生じやすい変状であるが、コンクリートテスター試験では、Ⅰ判定についても打音異常の有無を明確に把握できていることがわかる。図-7は材質劣化が生じ、打音異常が有る箇所の結果である。図-3の打音異常の無い箇所（青色の波形）に比べて、波形が乱れているものの、うき、はく離の結果（図-4から図-6）と比較すると、やや滑らかな波形である。

以上のことから、波形の特徴から、打音異常の有無を客観的に把握できる可能性があると言える。

5. 計測時の波形確認

コンクリートテスターによる計測を行った結果、変状状況（打音異常の有無、変状種類、発生部位）により、計測結果である波形に特徴があることが判明した。

一方、コンクリートテスターは、計測データをロガーに収録する仕組みであるため、波形を現地で確認することができない。

そのため、計測結果をリアルタイムに確認し、現地で打音異常の有無を判定できる仕組みを開発した。図-8はその開発したタブレット型ツールである。これは、コン

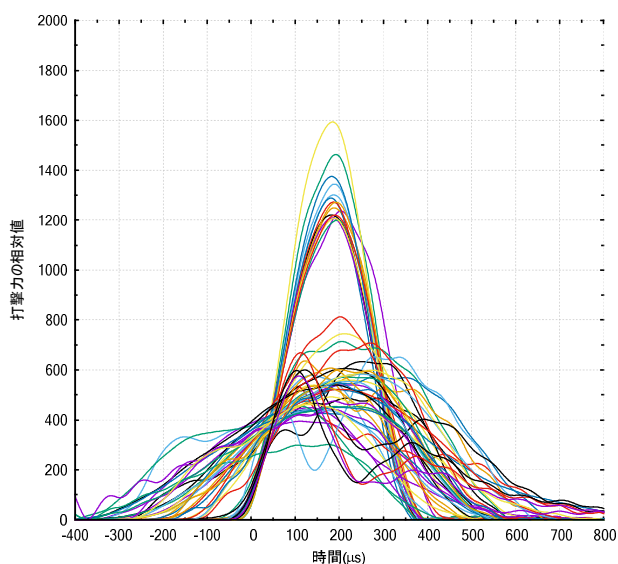


図-2 変状箇所の打撃力データ(57データ)

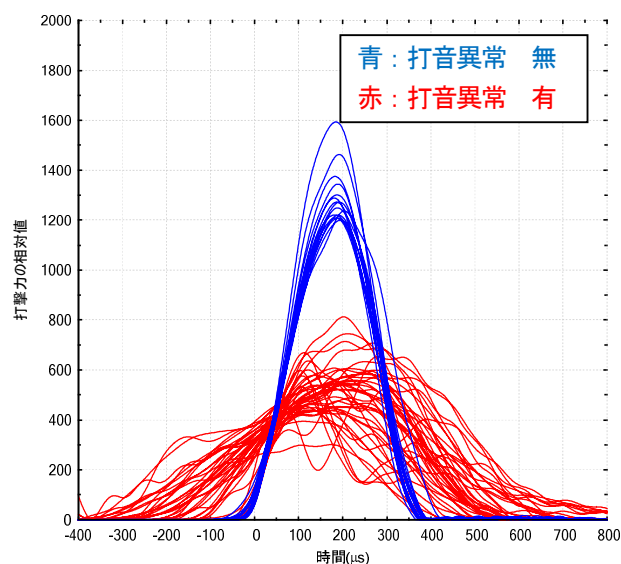


図-3 変状箇所の打撃力データ（打音異常の有無）

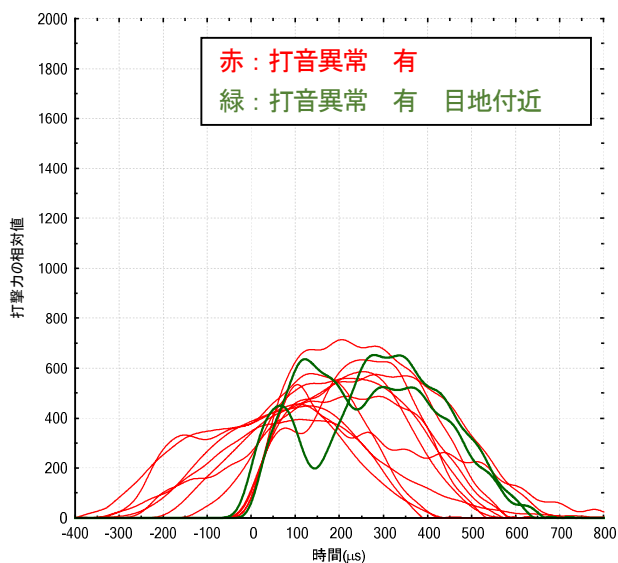


図-4 うき・はく離Ⅰ判定の打撃力の相対値

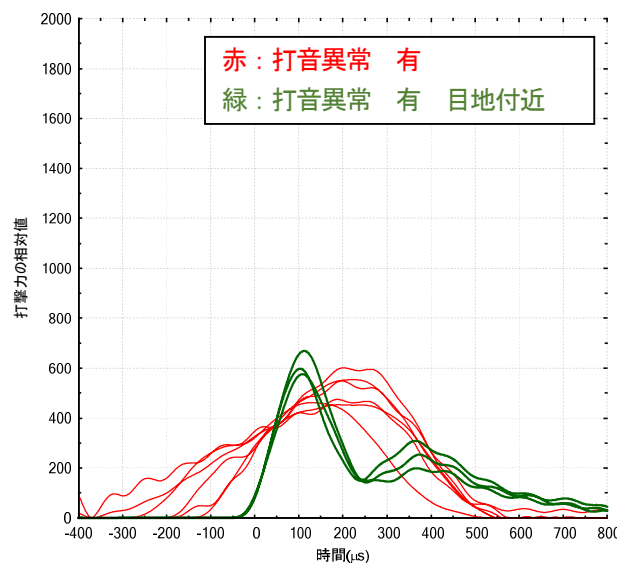


図-5 うき・はく離Ⅱ判定の打撃力の相対値

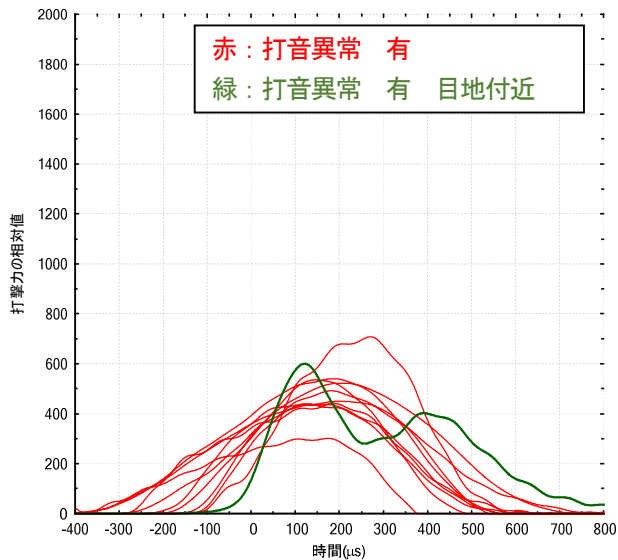


図-6 うき・はく離Ⅱa判定の打撃力の相対値

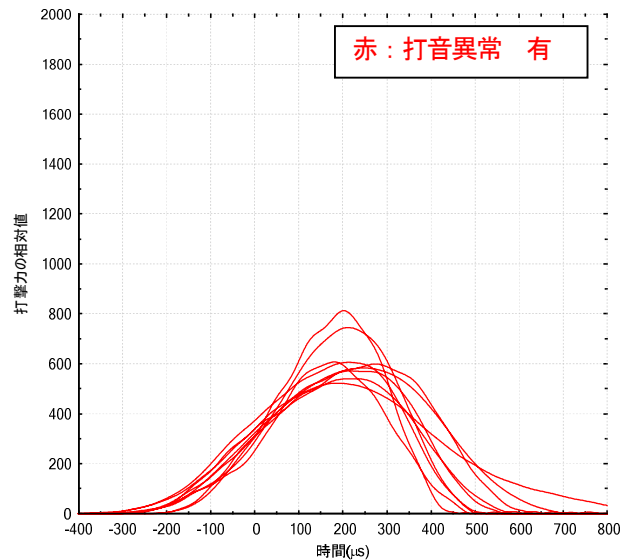


図-7 材質劣化Ⅰ判定の打撃力の相対値



図-8 リアルタイム波形表示システム

クリートテスターで計測したデータをタブレットに転送し、リアルタイムに波形表示することができるものである。点検員はこのツールを用いることで、打音検査時に打音異常の有無を波形の形状から客観的に把握し、記録に残すことが可能となる。

今後さらにデータ収集を継続し波形分析を行うことで、よりの確に打音異常の有無を判定できるシステムにすることが可能であると考ええる。

6. おわりに

今回の試験では、57箇所の変状について、コンクリートテスターによる計測を実施し打撃力の相対値を得て、同時に行った点検者による診断結果と比較し、コンクリートテスターの計測結果から打音異常の有無の抽出が可能であることが判明した。また、現地で波形をリアルタイムに確認し判定を可能とするタブレット型ツールを開発した。

今後、データ収集を継続し、波形分析を行うことで、よりの確に打音異常の有無を判定できると考える。また現在は従来の打音検査とコンクリートテスター試験を組み合わせて実施しているが、コンクリートテスターのみで打音検査を完了できるシステムを構築することで、より実用性の高いシステムとして完成させることを目指す。

参考文献

- 1) 日東建設株式会社：コンクリートテスター CTS-02V4 取扱説明書
- 2) 国土交通省：道路トンネル定期点検要領，pp.30-53，2014
- 3) 日本道路協会：道路トンネル維持管理便覧【本体工編】，pp.195-234，2015

(2018.8.10 受付)

CASE ON QUANTIFICATION OF HAMMERING TESTS IN TUNNEL INSPECTION

Motoki SATO,Hiroki OOTUKA and Osamu OKAYA

Striking noise test carried out in the tunnel inspection, to consult the lining surface by using inspection hammer about the possibility of varying the form of the presence and extent and fall. Then, the inspector listens to the result and diagnoses the state of the transformation. This method is susceptible to the influence of the work environment such as the experiences of the inspector and the noise during work . Therefore, it is a task to ensure the objectivity of the diagnosis result. Therefore, the results of the consultation were quantified using a concrete tester and the correlation with the results of the conventional method was investigated. As a result, since we were able to confirm the difference in the waveform obtained by the concrete tester according to the presence or absence of hammering noise, we will collect and analyze the data from now and establish a trial to establish a waveform diagnosis method for hammering test by concrete tester continue.