

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・宮川 鉄平³

¹正会員 応用地質株式会社 維持管理事業部 (〒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 徳島支店 (〒770-0021 徳島県徳島市佐古一番町10-2)
E-mail: miyagawa-teppey@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、変状の程度に応じてコンクリートテスターで得た打撃力の相対値に差を確認したことから、今後データを収集分析し、打撃力の相対値のしきい値設定を行い、コンクリートテスターによる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。

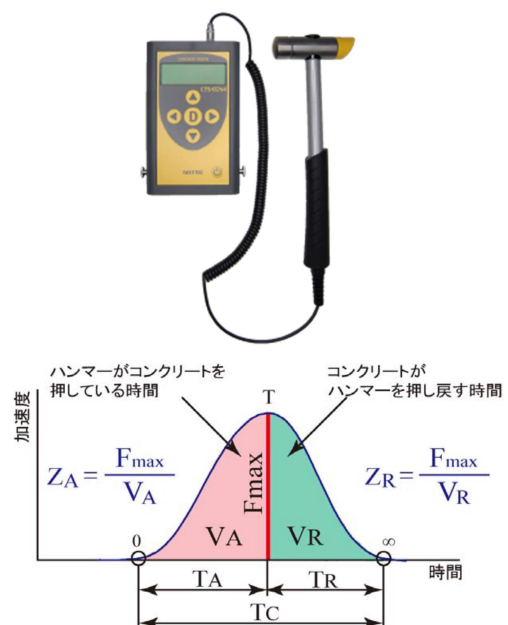


図-1 コンクリートテスター¹⁾

3. 対象トンネルと変状

今回試験を実施したトンネルは表-1に示すとおり、矢板工法およびNATMの合計9箇所の道路トンネルであり、おもにうき、はく離の変状が多く生じており、これをコンクリートテスターによる試験の対象とした。変状はトンネルや箇所ごとに特徴を有し、見た目が同等の状態でも異なる結果が得られた。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-2、表-3に準じて実施した。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-2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。

表-1 対象トンネルの概要

トンネル工法	矢板工法	NATM
トンネル数	5本	4本
建設年次	1970～1971年	1994～2009年
使用目的	道路（一般国道）	
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	
測定データ数	80	

表-2 うき、はく離に対する判定区分²⁾

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
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、監視を必要とする状態
	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-3 うき、はく離等に対する判定の目安例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

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。次に、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（打撃力の相対値、無次元）を得る。
- ② 変状箇所に近接する健全なコンクリート部でコンクリートテスターによる打診を実施し、結果（打撃力の相対値）を得る。
- ③ ①②の結果をグラフ化し、打診結果（打撃力の相対値）の差を検証する。
- 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。

(2) 検証データ

検証に用いた全79データを図-2に、その内訳を表-4に示す。同図よりデータごとに、打撃力の相対値のピークに特徴がみられることがわかる。このデータに関して、前述の検証を行った。

(3) 検証結果

うき、はく離の変状について、対策区分の判定ごとに、変状箇所とその近傍の健全箇所で測定した打撃力の相対

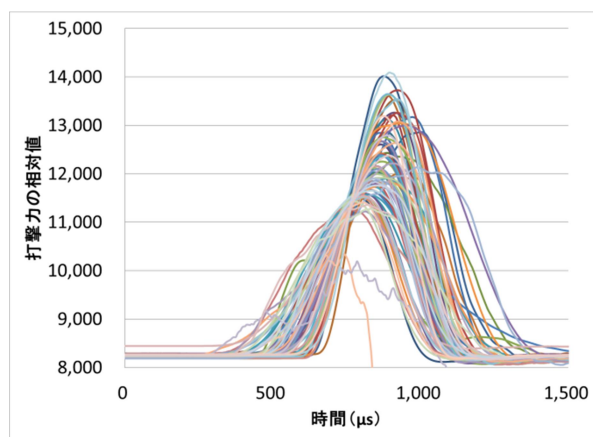


図-2 変状箇所の打撃力データ

表-4 対象変状の内訳

判定区分※	うき、はく離	材質劣化	豆板	合計
I	7	4	5	79
IIb	13	4	4	
IIa	23	10	4	
III	4	1	0	

※IV判定の変状は今回は確認されなかった。

値を図-3～図-6に示す。

図-3 は変状箇所と健全箇所の打撃力の相対値のピークの差があまりなく、同図よりも悪い変状状況である図-4～図-6では明瞭な差がみられた。またピークが現れる時間は、変状箇所と健全箇所異なることがわかる。

これらの結果は、変状の程度がコンクリートテスターの測定値に現れていると言える。コンクリートは不均質な部材であるため、このようなデータを数多く収集し分析することで、様々な変状状況や対策区分の判定に応じた、コンクリートテスターによる打診のしきい値を設定できると考えられる。

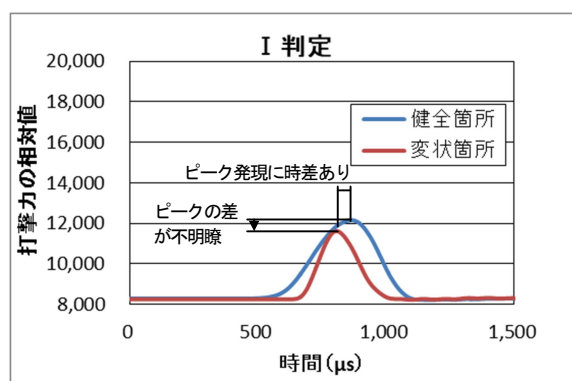


図-3 うきⅠ判定の打撃力の相対値

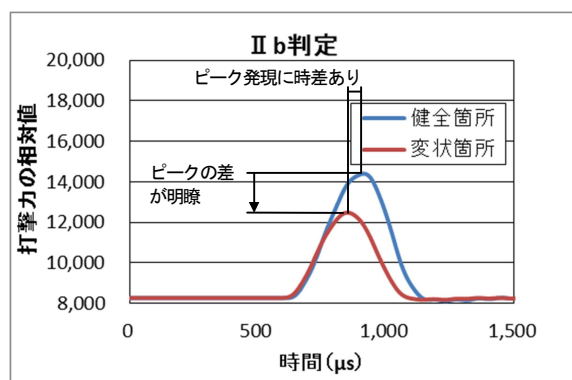


図-4 うきⅡb判定の打撃力の相対値

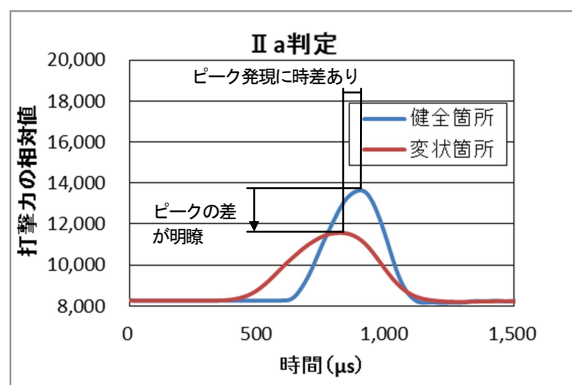


図-5 うきⅡa判定の打撃力の相対値

5. しきい値の設定

図-2のデータについて、今回の測定で得られた変状種類のうき、はく離、材質劣化、豆板に関して、変状種類ごとに打撃力の相対値を整理し、対策区分の判定ごとのピークを抽出した。その分布を図-7～図-9に示す。ここで、「うき」はひび割れや目地沿いのコンクリートがうき、はく離している状態、「材質劣化」はコンクリート表面が劣化している状態、「豆板」は骨材が密集し露出している状態を表し、点検者が目視により区別した。仮に、変状状況が悪化するにつれて、打撃力の相対値が低下するなどの相関性があるとすれば、図-7～図-9に示した対策区分の判定ごとにピークの相関性がみられるはずであり、それにより打撃力の相対値の対策区分の判定に対するしきい値を設定できる。同図に、対策区分の

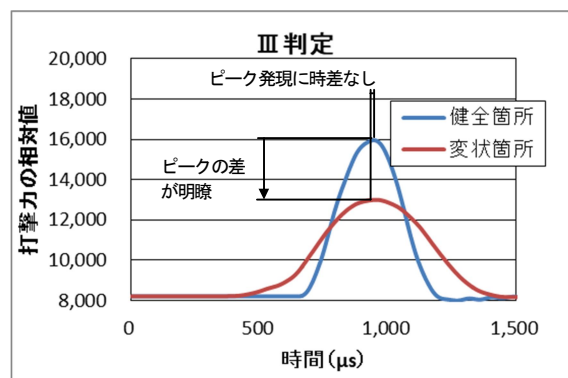


図-6 うきⅢ判定の打撃力の相対値

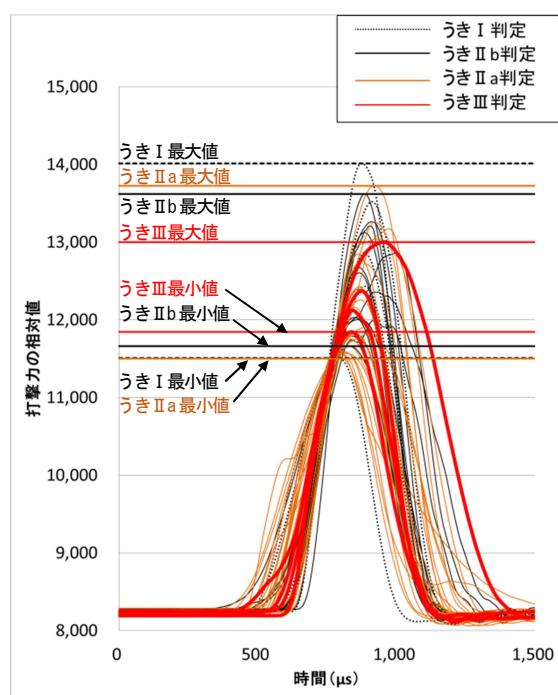


図-7 うきの打撃力の相対値

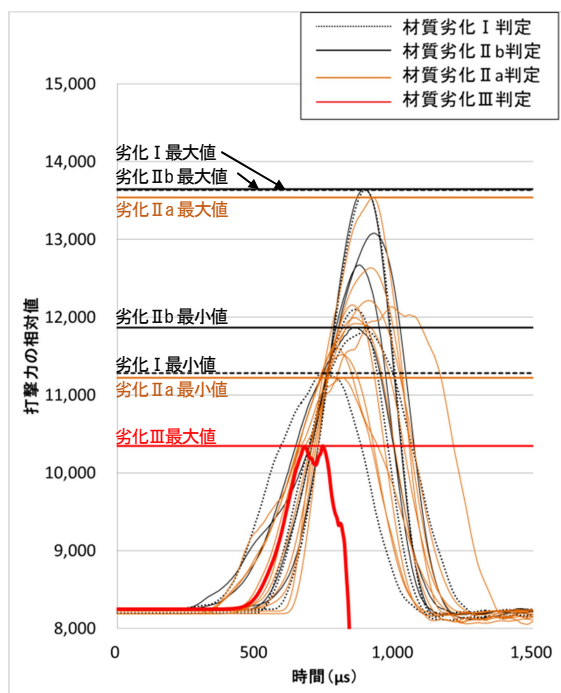


図-8 材質劣化の打撃力の相対値

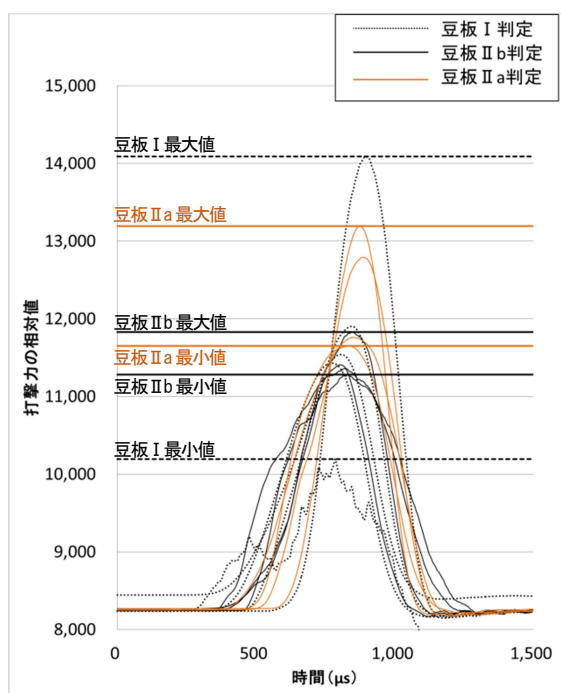


図-9 豆板の打撃力の相対値

判定ごとの最大値および最小値を示した。

次に、図-7～図-9に示した最大値および最小値を、対策区分の判定ごとに抽出し、図-10～図-12に整理した。

同図より、対策区分の判定と「うき」の最大値と「劣化」および「豆板」の最小値については、相関性がみられた。

一方、打撃力の相対値のピーク値が逆転する現象が生じており、相関性は低いものもある。

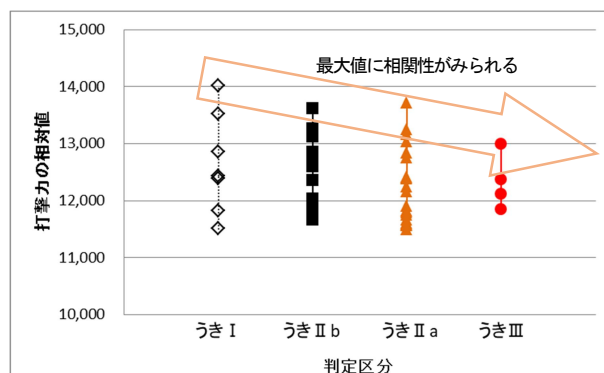


図-10 「うき」の打撃力ピーク値の分布幅と対策区分の判定の関係

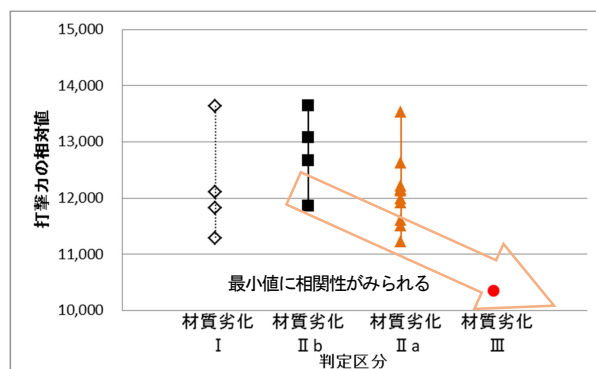


図-11 「材質劣化」の打撃力ピーク値の分布幅と対策区分の判定の関係

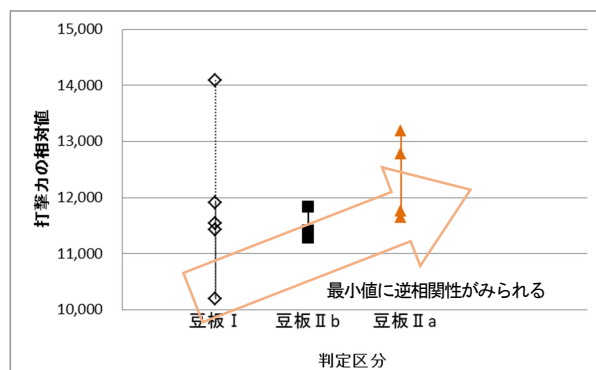


図-12 「豆板」の打撃力ピーク値の分布幅と対策区分の判定の関係

6. おわりに

今回の試験では、79箇所の変状について、コンクリートテスターによる測定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である対策区分の判定と比較し、それらの相関性について検証を行った。また、対策区分の判定ごとに打撃力の相対値のしきい値の設定を試みた。測定作業や判定における人為的誤差や、コンクリートの品質の差などが影響したと考えられ、デ

一タにバラツキが大きく、打撃力の相対値の対策区分の判定に対するしきい値の十分な設定を行うまでには至らなかったものの、一部の変状においては相関性がみられたことから、より多くのデータを用いた分析を行うことで、しきい値の設定の可能性があると考えている。今後、データ収集を継続し、変状種類に加えて、対象構造物の諸元（施工年次、周辺環境等）や測定箇所の詳細状況も踏まえて分析し、しきい値の設定を行う予定であり、将来はコンクリートテスターによる打診によって、対策区分の判定を行うことを目指す。

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

(2017.8.11 受付)

CASE ON QUANTIFICATION OF HAMMERING TESTS IN TUNNEL INSPECTION

Motoki SATO,Hiroki OOTUKA,Teppey MIYAGAWA

In the hit sound inspection carried out by the tunnel inspection, a check hammer etc. is used to inquire about the presence or absence and range of a deformity, possibility of falling, using a check hammer etc., the inspection person listens to the result (striking sound) Is diagnosed. Since this method is susceptible to the influence of the work environment such as the experiences of the inspector and noise during work, ensuring the objectivity of the diagnostic result is a problem. 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, we confirmed the difference in the relative value of striking force obtained by the concrete tester according to the extent of the deformation, so from now on we will collect and analyze the data, set the threshold of the relative value of striking force, establish the diagnostic method by the concrete tester, Continue the trial.