

実構造物におけるひび割れ深さの推定精度の検証

東京都建設局道路管理部 正会員 栗本 太郎, 石田 祐也
八千代エンジニアリング株式会社 正会員 ○野田 一弘, 正会員 中島 道浩
同上 藤田 和宏, 山本 浩貴

1. 目的

道路法改正により、トンネル等は5年に一回の頻度で近接目視による点検を実施することとなった。道路施設の予防保全型管理を推進するためには、構造物の健全性を適切に診断することが重要であるため、道路施設の点検において、近接目視を補完する非破壊検査技術の導入検討を進めている。本文は、コンクリート構造物に多く発生する損傷の一つであるひび割れについて、実構造物を使用して非破壊検査技術による計測調査を実施し、その精度について検証したものである。

2. 調査概要

トンネル、擁壁、ボックスカルバートを対象に超音波法ならびに衝撃弾性波法により、ひび割れ深さを計測し、その推定精度について検証を行った。ひび割れ深さ推定手法を表-1に示す。計測を実施した後にひび割れ部のコア抜きを実施して、ひび割れ深さを実測し、計測値と比較することで推定精度の検証を実施した。

表-1 ひび割れ深さの測定方法と推定手法¹⁾

測定方法	推定手法	ひび割れ深さの推定原理
超音波法	Tc-To 法	ひび割れのない健全部で弾性波速度を予め求めておき、ひび割れ箇所の伝搬時間から、ひび割れ深さを求める手法。
	修正BS法	ひび割れを挟む発信、受信端子の距離2ケースで計測することにより、ひび割れ深さと弾性波速度を未知数とした連立方程式を解き、ひび割れ深さを求める手法。
	直角回析波法	ひび割れを挟む発信、受信端子の距離を変えることで、受信波の位相が反転する距離を把握し、ひび割れ深さを求める手法。
衝撃弾性波法	直角回析波法	ひび割れを挟んで入力(打撃)と受信端子の距離を変えることで、受信波の位相が反転する距離を把握し、ひび割れ深さを求める手法。
	伝搬時間差法	ひび割れを挟む入力(打撃)、受信端子の距離を複数ケース計測することにより、ひび割れ深さと弾性波速度を未知数とし最小二乗法によりひび割れ深さを求める手法。

3. 調査結果および考察

3.1 実構造物での計測結果

ひび割れ深さの推定値と実測値の関係を図-1に示す。衝撃弾性波法は推定手法によらず、何れの計測においてもコアによる実測値と同等の値が得られているという結果となった。一方、超音波法では、推定手法により推定値のバラツキが大きくなっているものの、擁壁③とカルバート①を除けば、何れかの計測手法での推定結果が実測値に近い結果が得られた。なお、推定手法による推定値のバラツキについては、その要因を見出すことができなかった。

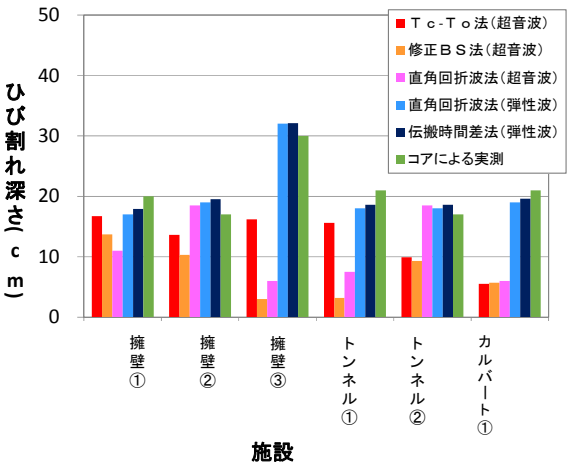


図-1 推定結果と実測値の関係

3.2 計測精度の検証

(1) 衝撃弾性波法と超音波法の精度の比較

ひびわれ計測の推定精度を検証するため、計測結果の誤差率を算出した結果を表-2に示す。なお、着色箇所は、構造物毎に最も誤差が小さい推定手法を示している。衝撃弾性波法での誤差率は、直角回析波法およびキーワード 非破壊試験, ひび割れ深さ, 超音波法, 衝撃弾性波法, 推定精度, 実構造物

連絡先 〒111-8648 東京都台東区浅草橋 5-20-8 八千代エンジニアリング株式会社 TEL03-3355-3442

伝播時間差法ともに $\pm 15\%$ 以内と全計測箇所と比較的精度良く計測できており、計測手法や構造物の違いの影響は小さいと考えられる。一方、超音波法での計測結果は誤差率が大きく且つマイナスとなる場合が多く、実測値よりも小さく推定される傾向が認められた。また超音波法の推定手法では、Tc-To法での誤差率が小さく、他の2手法に比べ比較的精度が高い傾向が認められた。全体的に衝撃弾性波法に比べると誤差率が大きく、また推定手法や構造物によって精度の違いが生じている。

超音波法においては擁壁③とカルバート①で誤差率が大きくなっているが、これらの構造物は計測箇所の表面が塗装されており、擁壁③では再塗装時にひび割れ内部に塗装剤が浸透した可能性、カルバート①では塗装を落とす際に塗装粉が進入した可能性が、計測に何らかの影響を与えたものと考えられる。また、擁壁に比べトンネルでの誤差率が大きくなる傾向が認められた。これは、トンネルの計測は、測定面が曲面であったことや高所作業車を使用して実施したため、足場条件が悪かったことなどが影響していると考えられる。

表-2 誤差率

		擁壁①	擁壁②	擁壁③	トンネル①	トンネル②	カルバート①	平均値
		1	2	3	4	5	6	
超音波法	Tc-To法	-17%	-20%	-46%	-26%	-42%	-74%	-37%
	修正BS法	-32%	-39%	-90%	-85%	-45%	-73%	-61%
	直角回折波法	-45%	9%	-80%	-64%	9%	-71%	-41%
衝撃弾性波法	直角回折波法	-15%	12%	7%	-14%	6%	-10%	-2%
	伝搬時間差法	-11%	15%	7%	-11%	9%	-7%	0%

(2) 条件を絞り込んだ検証

先の検証で、構造物の違いや計測条件の違いなどが超音波法の計測誤差に影響すると考えられた。そこで、対象構造物を絞ると共に、測定面や足場などの条件を揃え、計測数を増やして、超音波法の精度についての検証を実施した。なお、全調査に対してコア抜きによる実測値の確認を行うことは、構造物への影響を考えると非現実的であるため、比較的精度が高かった衝撃弾性波法を同時に実施し、その計測結果を正值と仮定して検証することとした。

計測箇所毎に誤差が最小となった数が多かったのはTc-To法で、12箇所の計測に対し9箇所となっていた。構造物毎にみると、擁壁ではTc-To法、トンネルでは直角回折波法の誤差率が比較的小さくなっている。また、擁壁では全箇所で過小推定される傾向となっているが、トンネルでは過大に推定される場合も多くなっており、その傾向はTc-To法で顕著であった。

今回計測を行ったトンネルは、随所に漏水が発生していたことから、コンクリートの含水率が擁壁よりも高かった可能性が考えられる。Tc-To法は、コンクリート表面とひび割れを介したコンクリート内部の伝搬時間の違いで評価するが、修正BS法と直角回折波法はコンクリート内部の伝搬時間だけで評価する方法である。そのため、Tc-To法では、コンクリートの表面と内部とでの状態(含水状態)の違いが影響した可能性が考えられる。今後は、コンクリートの含水状態が精度に及ぼす影響についても検証する必要があると考えられる。

4. まとめ

衝撃弾性波法は誤差が $\pm 15\%$ 以内の精度であり、また、超音波法では、計測誤差が大きかったものの条件を絞り込むことで、ひび割れ深さを検知できる可能性が認められた。今後は、影響因子を明らかにし、精度向上を図ることで、道路施設の点検におけるひび割れ深さ測定方法として活用できると考えられる。

参考文献

- 1) 例えば、(社)日本コンクリート工学会：コンクリート診断技術'15(基礎編)、pp.110

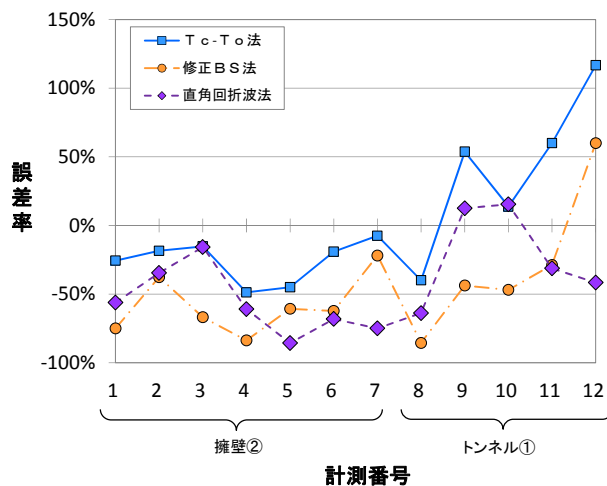


図-2 超音波法の誤差率