

打音点検における意思決定傾向と聴取能力の分析

長岡工業高等専門学校専攻科

○SIRIVAL METHAPATD

長岡工業高等専門学校

正会員

陽田 修

1. はじめに

2012 年の笹子トンネル天井板崩落事故を受け、2014 年の道路法施行規則の改正により、道路構造物に対する 5 年に 1 回の近接目視点検が義務付けられた¹⁾。打音点検は目視では確認できない内部欠陥を検出する一次検査として用いられている。しかし打音点検は点検者の感覚や技能に依存する官能検査であり、熟練者であっても判定精度に個人差がある²⁾。技術の継承は OJT に依存しており、熟練者の暗黙知としての技能を可視化し、標準化することが求められている。

本研究は、打音点検の核となる「聞き分け能力」に着目する。健全部と欠陥部の打撃音を区別する際の聴取能力と意思決定傾向を、信号検出理論により分離して評価し、点検者の能力を定量的に評価する手法の確立を目指す。

2. 実験方法

2.1 試験体と音源

長さ 2000 mm、高さ 1800 mm、厚さ 280 mm の壁型コンクリート試験体に、発泡スチロールによる 200×200 mm の模擬欠陥を被り厚 30, 50, 70 mm で埋設した。図-1 に示す欠陥上の 5 点を 3 段階の打撃力(小・中・大)で打撃し、合計欠陥音 45 個を録音した。健全部は 5 箇所を 3 段階で打撃し、合計健全音 15 個とした。

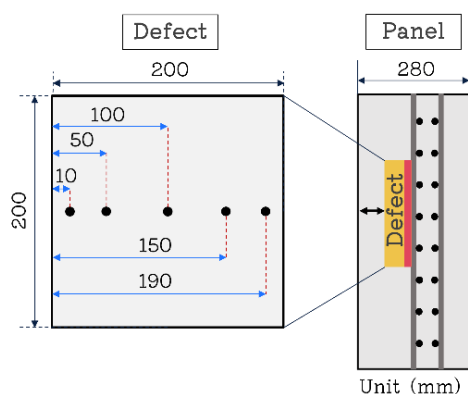


図-1 模擬欠陥上の打撃位置

2.2 実験構成

Python で作成した実験プログラムにより、被験者 8 名に次の 3 種類の聴取実験を行った。

(1) 記憶確認実験

3 段階の打撃力ごとに、ランダム再生される音を 1 回ずつ聴き、健全か欠陥かを判定する。(各 25 問：欠陥 15, 健全 10)

(2) 相対比較実験(1)

複数の打撃音が含まれるオーディオを聴き、その中から欠陥音を特定する。

(3) 相対比較実験(2)

3 組の音源セットを聴き、その中に欠陥が含まれるセットを選択する。

3. 信号検出理論による分析

被験者の回答組合せは表-1 の 4 種類に分類される。

表-1 信号検出理論における回答の分類

	「欠陥」と回答	「健全」と回答
欠陥音	的中 (Hit)	見逃し (Miss)
健全音	虚報 (FA)	正棄却 (CR)

欠陥音を「欠陥」と回答した割合を的中率 H 、健全音を「欠陥」と回答した割合を虚報率 F とし、感度 d' と判断基準 c を次式で求めた³⁾。

$$d' = z(H) - z(F) \quad (1)$$

$$c = -0.5 [z(H) + z(F)] \quad (2)$$

ここに、 z は標準正規分布の累積分布関数の逆関数である。 d' は健全と欠陥の聞き分けの程度を、 c は判断に迷う場合の回答の偏りを表し、 $c > 0$ は「健全」と回答しやすい保守的な傾向を示す。分析は被験者ごとと条件ごとに行った。

本研究では、感度 d' を聴取能力、判断基準 c を意思決定傾向の指標とする。 $d' = 0$ は健全音と欠陥音を区別できていない状態を、 $d' < 0$ は両者を逆に判断している状態を表す。

4. 結果と考察

4.1 感度と判断基準

実験条件別の結果を表-2 に示す。すべての条件での中率 H が虚報率 F を下回り、感度 d' は負となった(全 40 条件中 32 で負、平均 -0.87)。すなわち被験者は、欠陥音よりも健全音に対して「欠陥」と回答する傾向が強かった。この傾向は、1 回のみ再生する実験 1 だけでなく、複数の音を聴き比べる実験 2・3 でも認められた。一方、判断基準 c はすべての条件で正であり(平均 $+0.39$)、不確実な場合に「欠陥ではない」と回答する保守的な判断方法が採られていた。

表-2 実験条件別の平均値(被験者 8 名)

条件	H	F	d'	c	$d' < 0$
実験1 小	0.20	0.36	-0.48	$+0.59$	6/8
実験1 中	0.14	0.60	-1.38	$+0.43$	8/8
実験1 大	0.24	0.55	-1.00	$+0.32$	7/8
実験2	0.22	0.47	-0.74	$+0.49$	6/8
実験3	0.35	0.59	-0.73	$+0.12$	5/8
全体	—	—	-0.87	$+0.39$	32/40

4.2 刺激別の回答率

実験 1 における刺激別の回答率を図-2 に示す。健全音に対する虚報率 50 %に対し、欠陥音への的中率はいずれの被り厚でも 25 %以下であった。保守的な傾向のみであれば H と F はともに低下するはずであり、本結果は回答の偏りでは説明できない。被験者は音響的な差を捉えたうえで、健全と欠陥の対応を体系的に逆に判断していたと考えられる。

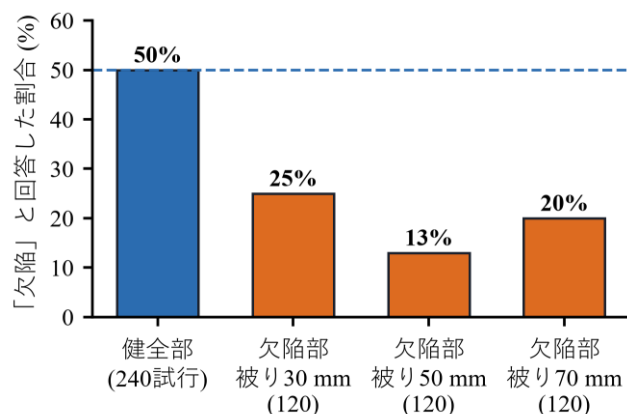


図-2 実験 1 における刺激別の「欠陥」回答率

4.3 判断が反転した要因

反転の要因として、(a)被験者の記憶において健全と欠陥の対応が入れ替わった、(b)試験体の打撃音そのものが、現場で学習される判断手がかりと逆の特徴をもつ、の二つが考えられる。

(b)を確認するため、電磁波レーダーで欠陥位置を確認した実橋梁 1 橋の打撃音と、本実験の試験体の打撃音について、スペクトルのパワーで重み付けした平均周波数(スペクトル重心)を比較した。その結果、実橋梁では欠陥音の重心が健全音より低く、音が鈍くなるのに対し、試験体では欠陥音の重心がむしろ高く、音が明るくなる傾向が得られた。「鈍い音=欠陥」という現場で妥当な手がかりが、本試験体では逆に作用した可能性がある。ただし、両者の録音条件は異なり、実構造物も 1 橋のみであるため、現段階では予備的な結果である。

5. まとめと今後の課題

信号検出理論により、被験者の聴取能力(感度 d')と意思決定傾向(判断基準 c)を分離して評価した。得られた知見を以下に示す。

- (1) 判断基準 c はすべての条件で正であり、被験者は保守的な判断傾向を示した。
- (2) 的中率がすべての条件で虚報率を下回り、被験者は健全と欠陥を体系的に逆に判断していた。
- (3) その一因として、試験体の欠陥音が実構造物と逆の音響的特徴をもつ可能性が示された。

今後は、同一条件で録音した試験体と実構造物の打撃音を同一の被験者に提示する聴取実験により反転の原因を検証するとともに、点検者の聞き分け能力の定量的な評価手法を構築する。

参考文献

- 1) 道路法施行規則，道路の維持又は修繕に関する技術的基準等，平成 26 年 3 月 31 日公布。
- 2) 林純哉，村上祐貴，外山茂浩，井山徹郎：打音点検者の打撃特性が内部欠陥検知精度に及ぼす影響，コンクリート工学年次論文集，Vol.42，No.1，pp.1666-1671，2020。
- 3) Stanislaw, H. and Todorov, N.: Calculation of signal detection theory measures, Behavior Research Methods, Instruments, & Computers, Vol.31, No.1, pp.137-149, 1999.
- 4) Hautus, M. J.: Corrections for extreme proportions and their biasing effects on estimated values of d' , Behavior Research Methods, Vol.27, No.1, pp.46-51, 1995.