

# 論文 打音点検における欠陥検知精度向上および平準化に資する打撃特性に基づいたトレーニングの効果の検証

林 純哉\*1・村上 祐貴\*2・倉橋 貴彦\*3・陽田 修\*4

**要旨:** 本研究では、打音点検精度の向上ならびに平準化を目的とする。打音点検実務経験者 15 名と未経験者 6 名を対象として、人工欠陥を埋設したコンクリート壁型パネルに打音点検を実施し、欠陥検知精度と打撃特性を計測した。実務経験者と未経験者の平均欠陥検知率は 59.8%, 29.9%, 変動係数は 14.2%, 18.1%であった。各種センサにより数値化された打音点検技能を指標として、運動技能獲得理論に基づいた打音点検トレーニングを未経験者に実施した。その結果、未経験者の欠陥検知率は 52.6%まで向上し、変動係数は 2.7%まで減少し、提案したトレーニングは欠陥検知率の向上と平準化に繋がるということが分かった。

**キーワード:** 打音点検, 打撃特性, 技能継承

## 1. はじめに

笹子トンネルの天井版崩落事故を契機として道路法が改正され、トンネルや道路橋などのインフラ構造物は 5 年に一度の定期点検が義務付けられた。改正された道路法には近接目視、触診や打音点検による状態把握を行うことが明記された。打音点検は点検者が検査対象面を打撃し、打撃音の相対的な違いから内部の欠陥の有無を判定する官能検査である。著者らはこれまでに、打音点検精度は点検者の技能に左右され、点検者によってばらつきのあることを明らかとしてきた<sup>1),2),3)</sup>。

打音点検の教育は先輩技術者が実務を通じて指導する、いわゆる OJT (On the Job Training) で行われている。OJT は指導方法が属人的で 2006 年に土木学会が行った建設業における OJT に関する取り組みに対してのアンケート調査では、70%以上の企業が OJT は指導者によって成長度に差が出るという回答であった<sup>4)</sup>。また、点検者の技能レベルの差異に起因する損傷の見落としや診断のばらつきが国内に限らず海外でも課題となっている<sup>5)</sup>。

既存構造物の点検の信頼性向上には、打音点検精度の向上と平準化は重要であるが、前述した通り、打音点検は官能検査であり、点検者の技能レベルが打音点検の精度に影響する。しかしながら、打音点検技能の継承法については体系化はなされておらず、打音点検精度に影響する打音点検技能についても未解明の部分が多い。

そこで本研究では打音点検精度の向上および平準化を目的とし、各種センサにより数値化された打音点検技能を指標として、運動技能獲得理論に基づいた打音点検トレーニング方法を提案し、OJT で基本となる観察、模倣を主体としたトレーニングとの効果の比較を行った。

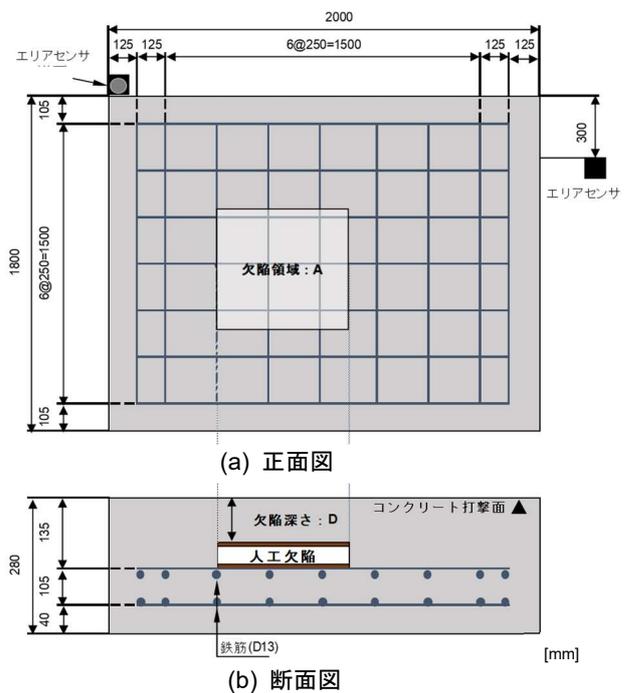


図-1 試験体概要

表-1 人工欠陥のパラメータ

欠陥深さ: D [mm]	20, 30, 40, 50, 60, 80, 90, 100, 120
欠陥領域: A [mm <sup>2</sup> ]	10000, 40000, 90000, 160000

## 2. 実験概要

### 2.1 試験体概要

試験体概要を図-1に示す。試験体は、長さ 2000mm×高さ 1800mm×厚さ 280mm のコンクリート壁型パネルであり、パネル内部には、内部欠陥を模擬した大きさの異なる発泡スチロール製の人工欠陥を複数個埋設した。人工欠陥のパラメータを表-1に示す。人工欠陥は、大き

\*1 長岡工業高等専門学校 環境都市工学専攻 (学生会員)  
 \*2 長岡工業高等専門学校 環境都市工学科教授 博(工) (正会員)  
 \*3 長岡技術科学大学大学院 機械創造工学専攻准教授 博(工)  
 \*4 長岡工業高等専門学校 環境都市工学科准教授 (正会員)

さと厚みを変えることで欠陥領域と、コンクリート表面からの欠陥深さを変化させている。なお、今後も対象パネルでの打音試験を実施するため、人工欠陥の埋設位置に関する記述は控える。試験体の計画配合を表-2に示す。使用したセメントは早強ポルトランドセメントであり、材齢7日時点での圧縮強度は、欠陥検知率測定試験で使用する試験体は33.2N/mm<sup>2</sup>であり、打撃特性測定試験で使用する試験体は40.1N/mm<sup>2</sup>であった。

## 2.2 被験者概要

被験者は打音点検の実務経験者15名と未経験者の学生6名の計21名である。実務経験者の年齢は20代から60代であり、打音点検の実務経験年数は1~20年であった。以降、未経験者6名(被検者No.1~6)をGr.Aと称することとする。Gr.Aの被験者には本研究で提案する打音点検トレーニングを実施する。トレーニング内容については4章で詳述する。

## 2.3 欠陥検知率測定試験

2.1節に示したコンクリート壁型パネル2体を対象に、被験者は1枚あたり7分30秒の時間制限の中で打音点検を実施する。被験者は欠陥と判断した領域にチョーキングを行う。デジタルカメラで撮影したチョーキング画像を画像解析してチョーキング位置や面積を数値化し、式(1)、(2)に示す欠陥検知率および欠陥上検知率を算出する。なお、試験に使用するハンマは、被験者が実務で使用しているハンマ、あるいは著者らが用意した1/2または1/4ポンドのハンマのいずれかを被験者自身が選択する。

$$\text{欠陥検知率}[\%] = \frac{\text{検知した面積}}{\text{欠陥総面積} + \text{誤判定面積}} \times 100 \quad (1)$$

$$\text{欠陥上検知率}[\%] = \frac{\text{検知した面積}}{\text{欠陥総面積}} \times 100 \quad (2)$$

ここで、検知した面積は、人工欠陥領域上にチョーキングされた面積の総和、誤判定面積は、欠陥領域外にチョーキングされた面積の総和である。

## 2.4 打撃特性測定試験

### (1) 測定項目

測定する打撃特性は、①被験者の打撃回数、②打撃力、③打撃の時間間隔、④打撃の距離間隔、および⑤打撃面積の5項目である。打撃力は使用するハンマが同一であることから打撃時の加速度振幅の最大値とした。

### (2) 測定方法

欠陥検知率測定試験と異なるコンクリート壁型パネル2体を対象に、被験者は1枚あたり7分30秒の時間制限の中で打音点検を実施する。使用するハンマの重さ

表-2 コンクリートの計画配合

Gmax [mm]	W/C [%]	s/a [%]	空気量 [%]	スランプ [cm]	単位量[kg/m <sup>3</sup> ]				
					W	C	S	G	AE 減水剤
25	44.0	40.4	4.5	12.0	149	339	733	1123	3.61

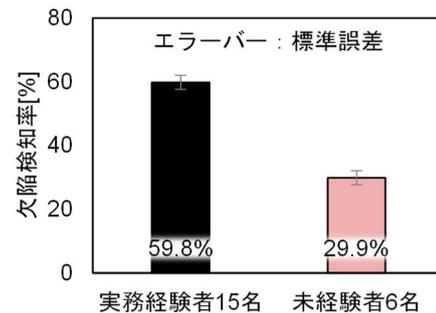


図-2 実務経験者と未経験者(Gr.A)の欠陥検知率

は1/4ポンドであり、ハンマのヘッド部に加速度センサ(感度:0.05mV/(m/s<sup>2</sup>), 分解能:0.4m/s<sup>2</sup>, 周波数範囲:0.4~10000Hz)を取り付けることで、打撃時のハンマの加速度振動を計測した。また、打撃座標を測定するため、エリアセンサ(走査時間:0.025s, 操作角度:270度, 角度分解能:0.25または0.125度, 検出距離:20m)を図-1に示す位置に設置した。エリアセンサは装置から照射されたレーザーを遮った物体までの距離と角度を計測することができるため、打撃時にハンマがレーザーを遮断することで打撃座標を測定する。なお、点検ハンマの打撃角度によっては、手やハンマの柄の部分がハンマヘッド部と装置の間に入り込んでしまい、打撃座標を測定できない場合があるため、エリアセンサを2台用いることで上記問題を解決した。また、エリアセンサは打撃面から約15mm離して設置している。

被験者の打撃時の打撃面積を計測するため、縦10cm×横27cmの高圧用フィルムを試験体に貼り付け、10回の打撃を行った。このフィルムは圧力の大きさに応じて赤色の濃度に変化する。この発色濃度と発色面積を専用スキャナで読み取り打撃面積を算出する。本測定では、瞬間圧測定範囲50~130MPaの高圧用フィルムを使用した。なお、被験者が使用するハンマは欠陥検知率試験と同一であり、上記試験中と同様の打撃を行うよう指示をした。

## 3. 実験結果

### 3.1 欠陥検知率

図-2に欠陥検知率測定試験から得られた実務経験者15名とGr.Aに属する未経験者6名の欠陥検知率の平均値と標準誤差をエラーバーで示す。

実務経験者15名の欠陥検知率の平均値は59.8%であり、欠陥検知率が最も高い被験者は74.3%、最も低い被験者は46.7%であった。一方、Gr.Aの平均値は29.9%であり、欠陥検知率が最も高い被験者は38.2%、最も低い

被験者は 25.0%であった。Gr.A の欠陥検知率の平均値は実務経験者の平均値に比べて 29.9%低かった。図-3 に実務経験者と Gr.A の各欠陥領域における欠陥埋設深さ毎の欠陥上検知率を示す。図-3 では埋設深さ区分を 3 水準、欠陥領域を 4 水準に区分し、区分ごとの欠陥上検知率を示した。Gr.A は実務経験者と比べて、どの区分においても欠陥上検知率が低く、特に深層 90000mm<sup>2</sup>、表層 10000mm<sup>2</sup> で大きな差異が認められる。

### 3.2 打撃特性

打撃特性測定試験から得られた実務経験者 6 名と Gr.A に属する 6 名および実務経験者内で欠陥検知率最上位者の打撃特性を図-4 に示す。なお、図中の実務経験者の打撃特性は、4.2 節で詳述する Gr.α の実務経験者 9 名のうち打撃特性測定試験を実施していない 3 名を除く 6 名の結果である。また、打撃回数は被験者の平均値、打撃回数以外のパラメータは被験者個人の打撃特性データの中央値を合計し、被験者数で除した値を示している。

実務経験者と Gr.A の打撃特性を見ると、打撃力と打撃面積に大きな差異が認められ、Gr.A の打撃力は 8875m/s<sup>2</sup>、実務経験者の打撃力は 22062m/s<sup>2</sup> と約 2.5 倍の差があった。打撃面積も約 2.9 倍の差が見られた。また、欠陥検知率最上位の被験者と実務経験者では打撃面積が明確に異なり、その差は約 2.3 倍であった。3.1 節で述べたように、Gr.A が深層 90000mm<sup>2</sup>、表層 10000mm<sup>2</sup> の欠陥上検知率が実務経験者に比べて大きく低下した理由としては、打撃力が小さく、欠陥上部のコンクリートを振動させる加振力が不足していたことが考えられる。

## 4. 打音点検トレーニング

### 4.1 Fitts の運動技能獲得理論

本研究で提案するトレーニングは Fitts の理論を参考にした。Fitts らは、一般的に運動技能は、①認知的・意識的な段階、②感覚と運動の連合段階、③自動化の段階という 3 つの段階を経て上達するとしている<sup>6,7)</sup>。テニス为例にすると、第一の認知的・意識的な段階では、基本的なルールを知る、ラケットの握り方を知る、構えやショットの打ち方を覚えるなど、運動技能の基本的な知識や動作が習得される。打音点検もテニスと同様、人の感覚に依存する動作の集合体であることから、Fitts の理論を打音点検に応用し階層的なトレーニング法を構築する。本研究は、まずは運動技能獲得の第一段階である認知・意識に着目したトレーニングの検討を行う。

### 4.2 トレーニング方法

打音点検は、欠陥の探索と発見した欠陥領域の同定の 2 つのフェーズに分類することが出来る。著者らは欠陥探索のフェーズ（探索フェーズ）、欠陥領域同定のフェーズ（同定フェーズ）で要求される打撃方法は異なること

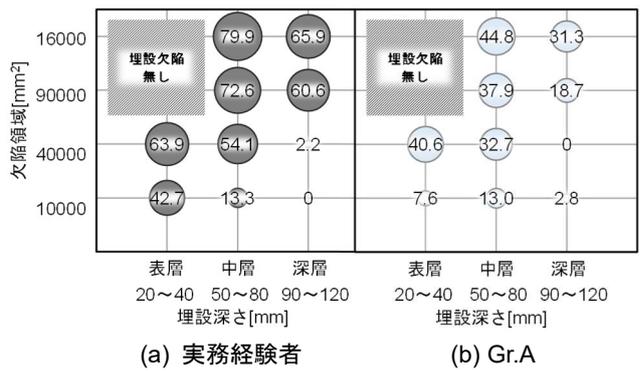


図-3 欠陥上検知率

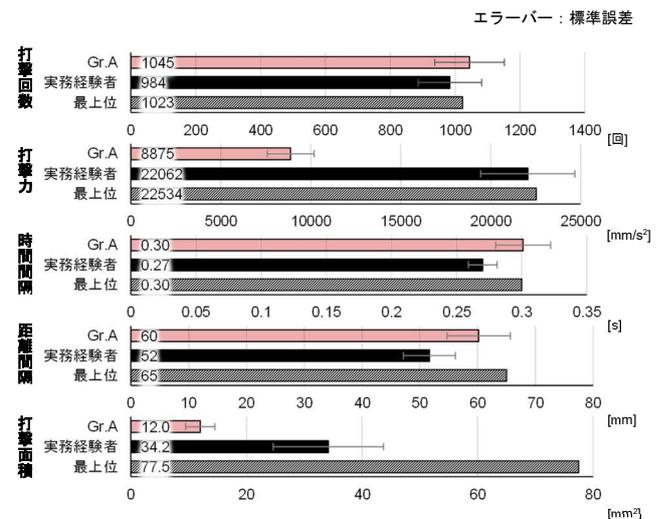


図-4 被験者の打撃全体の打撃特性

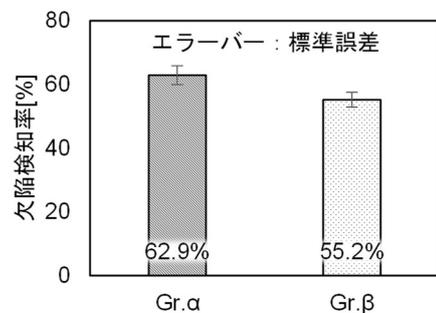


図-5 Gr.α と Gr.β の欠陥検知率

を報告した<sup>3)</sup>。本研究では、欠陥を発見しチョーキング開始直前までの打撃を探索フェーズ、チョーキング開始直後から同一の欠陥のチョーキングを終了するまでの打撃を同定フェーズとした。実務経験者 15 名のうち、探索フェーズと同定フェーズの区別がついた被験者は 9 名（以降 Gr.α と称する）、区別がつかない実務経験者は 6 名（以降 Gr.β と称する）いた。Gr.β の実務経験者は、欠陥領域を同定する際に一度にチョーキングを行ったり、欠陥の領域同定を完了する前に次の欠陥の探索を行ったりしており、各フェーズの区別がつかなかった。

図-5 に Gr.α と Gr.β の欠陥検知率の平均を示す。Gr.α の欠陥検知率は 62.9%、Gr.β は 55.2%であり、Gr.α の欠陥検知率が 7.7%高かった。また、Gr.A の被験者は全て

表-3 被験者への指導内容の概要

打撃特性	対象フェーズ	指導内容
打撃回数	探索 同定	点検漏れが無いように点検対象面全体を打撃することを意識する。さらに見直しを行うことで点検漏れを防ぐ。
距離間隔	探索 同定	内部欠陥を見逃さないことに加え、点検効率が良い打撃として一般的に推奨されている20~25cm間隔の打撃間隔を意識する。
打撃面積	探索 同定	前打撃との打音の差異をより大きくするため検査対象面とハンマの接触面積を大きく強く打撃することを意識する。
打撃力	探索	検査対象面を強く一定の強さで打撃することを意識する。
時間間隔	同定	前打撃との打音の差異を判断しやすくするため、欠陥領域同定の際に打音のテンポを揃えることを意識する。
その他		探索・同定フェーズの区別をつける打撃をする。

探索と同定を区別できない打音点検であった。これらのことから、本研究では探索フェーズと同定フェーズを意識して打音試験を実施することで打音点検精度向上につながると考え、トレーニングの指導項目はフェーズ別に提案することとした。

Gr.Aの6名を対象に、独自に作成した動画資料を1週間視聴させることで認知的・意識的な段階のトレーニングを実施した。各打撃特性の指導内容の概要を表-3に示す。動画資料は探索フェーズと同定フェーズ別に作成した。また、動画資料では、インフラ構造物の現状と打音点検の概要についても伝えた。なお、視聴回数は平均で4.7回であった。

### 5. 打音点検トレーニングの効果

#### 5.1 トレーニング後の欠陥検知率

図-6にトレーニング前後のGr.AとGr.αの欠陥検知率の平均値を示す。Gr.Aのトレーニング前の欠陥検知率の平均値は29.9%であったが、トレーニング後は52.6%となり、22.7%向上した。また、トレーニング前の欠陥検知率の変動係数は18.1%であったが、トレーニング後は2.7%となり、トレーニングを実施することで被験者間の欠陥検知率のばらつきは非常に小さくなった。図-7にトレーニング前後のGr.AとGr.αの検知した面積と誤判定面積の平均を示す。Gr.Aの検知した面積は、トレーニング前後で402106mm<sup>2</sup>から689695mm<sup>2</sup>となり、約1.7倍に向上した。誤判定面積は、トレーニング前後で136270mm<sup>2</sup>から91769mm<sup>2</sup>となり、約33%減少した。これはGr.αよりも小さい。図-8にトレーニング前後の欠陥領域および欠陥の埋設深さ別の欠陥上検知率の変化量を示す。図中の数値はトレーニング前に対する欠陥上検知率の変化量である。90000mm<sup>2</sup>以上の欠陥領域と表層の10000mm<sup>2</sup>の欠陥領域の欠陥上検知率が大きく向上した。

#### 5.2 トレーニング後の打撃特性

図-9にGr.Aのトレーニング前後の打撃全体の打撃特性のレーダーチャートを示す。図-9はGr.αの各打撃特性の平均に対する割合を示した。なお、打撃数を除く打撃特性の平均値は、各被験者の中央値を平均化して算出した。トレーニング後の打撃全体の打撃特性は、トレーニング前と比較し、打撃力、打撃面積がGr.αの打撃特性に近づいた。図-10にトレーニング前後の打撃力と打

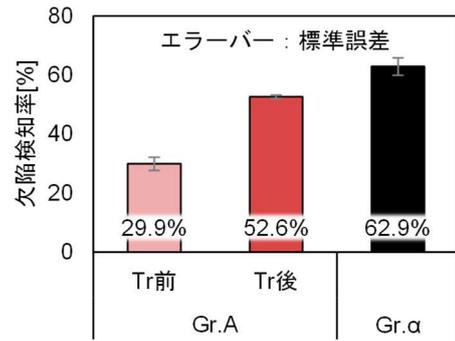


図-6 トレーニング前後の欠陥検知率の変化

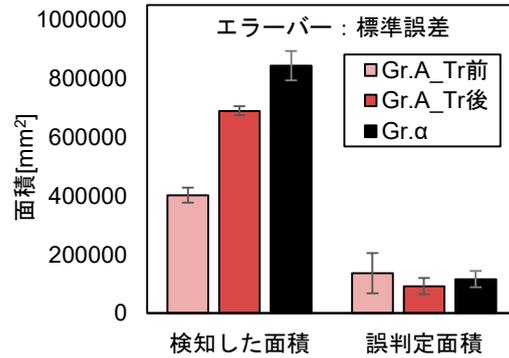


図-7 トレーニング前後の検知領域と誤判定領域の変化

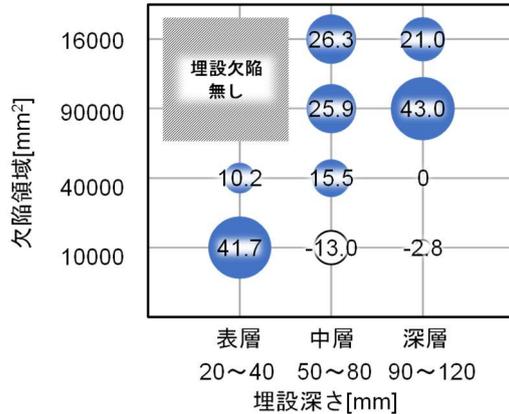
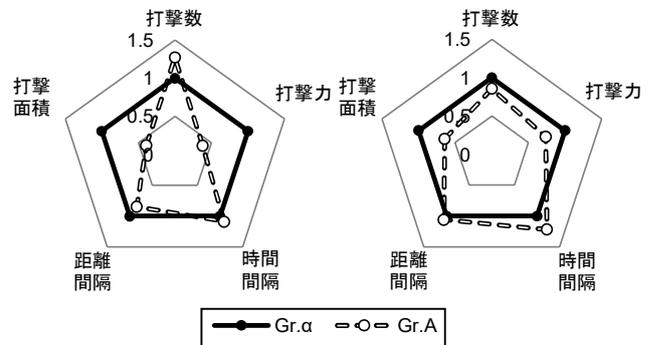


図-8 トレーニング前後の欠陥上検知率の変化



(a) トレーニング前 (b) トレーニング後

図-9 トレーニング前後の打撃特性の変化

撃面積を示す。Gr.Aのトレーニング後の打撃力はトレーニング前と比較して約1.9倍、打撃面積は約1.7倍に増

加した。また、トレーニング後の Gr.A の打撃特性測定試験では、打音点検のフェーズの区分が出来るようになっていた。図-11 に Gr.A のトレーニング後の探索フェーズおよび同定フェーズの各打撃特性の平均値を示す。ここで、打撃回数を除く打撃特性の平均値は、各被験者の打撃特性の中央値を平均化した値である。

まず、Gr.A の探索フェーズの打撃回数は Gr.α よりも約 57%大きい。一方で同定フェーズの打撃回数は Gr.α と比較して約 56%小さかった。次に打撃力については、いずれのフェーズにおいても Gr.A の方が小さかった。時間間隔はいずれのフェーズも Gr.A の方が大きく、Gr.α に比べて打撃のテンポが遅い。距離間隔については、両 Gr.ともに探索フェーズの距離間隔が同定フェーズよりも大きくなった。また、探索フェーズの距離間隔は、ほぼ同様で、同定フェーズの距離間隔は Gr.A の方が約 23%大きい値を示した。本研究で提案したトレーニングは、運動技能獲得プロセスの認知的・意識的な段階における知識学習である。この段階では、基本的な知識やルール、打撃特性を理解する知識学習であるため、被験者 (Gr.A) には被験者自身の技能の数値をフィードバックしていない。基本動作を習得する反復練習による技能の変化を被験者にフィードバックすることで、技能はさらに向上すると思われる。これは今後の課題である。

## 6. 本トレーニングと既往のトレーニングの技能獲得の比較

現在の打音点検の技能継承方法は、先輩社員 (伝承者) が後輩社員 (継承者) を実務の中で教育する、いわゆる OJT が一般的であり、継承者は伝承者の技能を模倣・比較を繰り返すことで技能を獲得していく (以下従来法と称する)。本章では、本研究で提案したトレーニング法と従来法の技能獲得の比較を行う。

### 6.1 試験概要

本研究で提案したトレーニングを実施した被験者 (Gr.A) と異なる打音点検を未経験の本校学生 6 名 (被験者 No.7~12) を被験者として、従来法を想定した打音点検トレーニングを実施する。なお、被験者 No.1~12 に対し身長や体重、音楽の経験の有無等を調査し、グループ分けを行った。

従来法による打音点検トレーニングでは、OJT の技能継承を想定し、被験者に実務経験者の打音点検時の様子を撮影した動画を視聴させた。本来の OJT では、継承者の指導も含まれるが、本研究では動画視聴のみとし、「見て覚える」トレーニングとした。被験者を 2 グループに分け、異なる実務経験者の映像を視聴させた。被験者、No.7, 8, 9 (Gr.B と称する) は、欠陥検知率測定試験において、欠陥検知率が最も高い実務経験者の試験動画を

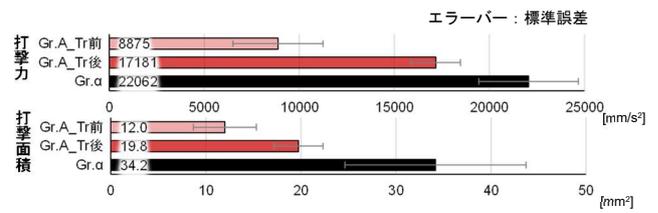
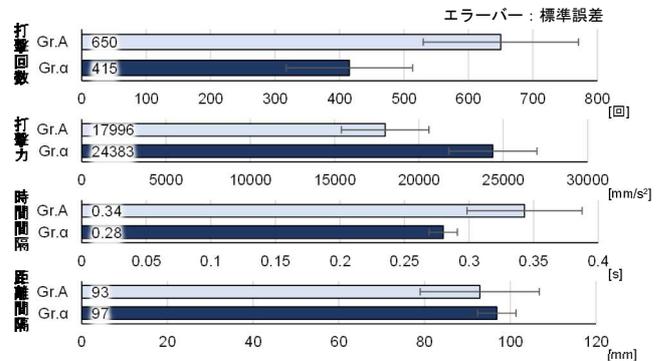
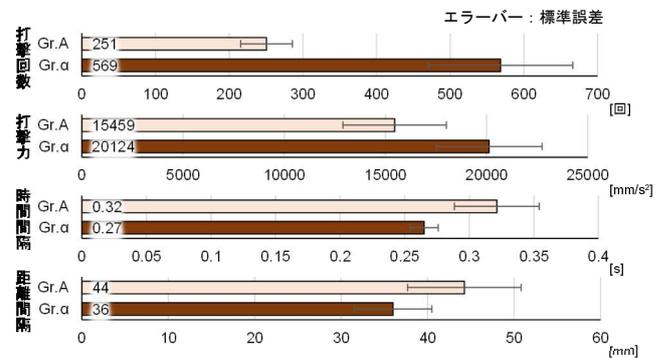


図-10 トレーニング前後の打撃力と打撃面



(a) 探索フェーズ



(b) 同定フェーズ

図-11 トレーニング後の打音フェーズ毎の打撃特性

視聴させた。No.10, 11, 12 (Gr.C と称する) は、欠陥検知率が最も低い実務経験者の試験動画を視聴させた。Gr.B, Gr.C の被験者 6 名のトレーニング期間は 1 週間とした。被験者の平均視聴回数は 4.8 回であった。トレーニング実施後、欠陥検知率測定試験を行った。

### 6.2 各トレーニングにおける欠陥検知精度

表-4 に被験者毎のトレーニング前後の欠陥検知率と欠陥検知個数を示す。表中の増減量とはトレーニング前後の変化量を示している。また、図-12 には、トレーニング前後の Gr.毎の欠陥検知率の平均値を示す。まず、トレーニング後の欠陥検知個数は Gr.A および Gr.B で増加傾向がみられ、Gr.C ではトレーニング前後で欠陥検知個数の変化はなかった。次に、トレーニング前の Gr.A の欠陥検知率の平均値は 29.9%で Gr.B の 54.0%よりも小さく、Gr.C は Gr.A と同程度であった。また、被験者 No.8 や 9 の欠陥検知率は、トレーニング前の未経験者であるにもかかわらず実務経験者と同程度であった。図-12 より、トレーニング後の欠陥検知率は、いずれのトレーニング方法でも向上し、その増加量は、本トレーニングを

表-4 被験者毎のトレーニング前後の欠陥検知精度

Gr.	No.	欠陥検知率[%]		増減量 [%]	欠陥検知個数[個]		増減量 [個]
		Tr前	Tr後		Tr前	Tr後	
A	1	25.0	54.7	29.7	9	12	3
	2	25.4	51.4	26.0	12	13	1
	3	27.4	53.2	25.8	18	12	-6
	4	28.5	51.6	23.1	9	13	4
	5	34.9	53.5	18.6	11	14	3
	6	38.2	51.2	13.0	12	14	2
B	7	46.0	59.2	13.2	12	13	1
	8	54.7	57.3	2.6	11	13	2
	9	61.3	48.5	-12.8	14	13	-1
C	10	35.2	50.5	15.2	13	12	-1
	11	25.5	30.0	4.5	11	11	0
	12	38.3	36.7	-1.6	12	11	-1

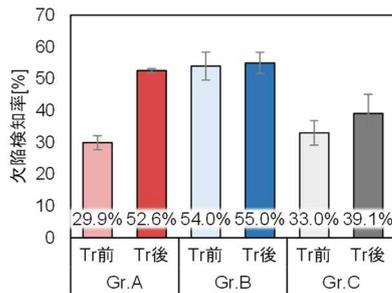


図-12 トレーニング前後の Gr.毎の欠陥検知率

実施した Gr.A で顕著に増加した。ここで、トレーニング前の欠陥検知率が同程度の Gr.A と Gr.C を比較すると、Gr.A の方がトレーニング前後の欠陥検知率の増加傾向が顕著である。また、トレーニング後の欠陥検知率が同程度の Gr.A と Gr.B の欠陥検知率の標準誤差を比較すると、Gr.A の方が欠陥検知率の標準誤差が小さい。これらのことから、本研究で提案するトレーニングは打音点検精度の向上およびばらつき抑制に有効であることが示唆された。このように、見て覚える技能継承法では、欠陥検知率および欠陥検知個数の向上および平準化を期待できない可能性が示唆された。

見て覚えるを主体としたトレーニングでは、技能獲得に不要な情報も継承者に伝達される。そのため、継承者は伝達される情報を取捨選択することになるが、表-4 に示した欠陥検知率と欠陥検知個数の増減量から分かるように、継承者によっては、重要な技能を抽出できず、欠陥検知率や欠陥検知個数がむしろ低下するケースも確認された。また、伝承者の技能レベルが低い場合には、継承者の技能向上も低くなることが示唆された。

一方、本トレーニングのように打音点検精度の向上に影響する打撃特性を明示して、トレーニングを実施した場合は、継承者は重要な技能を容易に理解できることから、知識学習のみでも被験者全員の点検精度が大幅に向上したとともに、各被験者の欠陥検知精度のばらつきが抑制されている。今後、打音点検に重要な打撃特性を出力する各打撃動作を獲得するための部分練習法や各打撃特性を融合して一連の動きとする全体練習を行うことで高度な打音点検技能を獲得できると考えられ、これは今後の課題である。

## 7. まとめ

本研究で得られた知見は以下に示すとおりである。

- (1) 本研究の範囲内では、トレーニング前の未経験者 6 名と実務経験者 15 名の欠陥検知率の差は 22.9% であり、特に深層の欠陥領域 90000mm<sup>2</sup> 以上と表層の 10000mm<sup>2</sup> の欠陥上検知率の差異が大きい。
- (2) 本研究で提案したトレーニングを実施した未経験者の欠陥検知率は 22.7% 向上した。また、検知した欠陥面積は約 1.7 倍に増加し、誤判定面積は約 33% 減少した。
- (3) 本研究で提案したトレーニングを実施した未経験者の欠陥検知率の変動係数は 18.1% から 2.7% まで減少した。
- (4) 本研究で提案したトレーニングを実施した未経験者の打撃力はトレーニング前と比較して約 1.9 倍、打撃面積は約 1.7 倍に増加した。
- (5) 「見て覚える」を主体とした技能継承は継承者が重要な技能を抽出できず、本研究の範囲内では欠陥検知率、欠陥検知個数が低下する場合もあった。

## 謝辞

本研究成果は、科学技術振興機構研究成果展開事業研究成果最適展開支援プログラム A-STEP トライアウト JPMJTM20DK の支援を受けた。

## 参考文献

- 1) 舟波尚哉, 山岸開, 村上祐貴, 外山茂浩: 打音点検の打撃特性がコンクリート構造物の内部欠陥検知率に及ぼす影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.40, No.1, pp.1773-1778, 2018.7
- 2) 舟波尚哉, 村上祐貴, 外山茂浩, 小海元暉: 熟達点検者の打音点検動作の形式化化に関する基礎的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.41, No.1, pp.1871-1876, 2019.7
- 3) 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
- 4) 土木学会建設技術研究委員会: 建設業における OJT, OFFJT に関する取り組みについてのアンケート調査結果, 2006
- 5) 高速道路調査会: 海外における点検技術動向調査業務, 2017
- 6) Fitts, P.M., Posner, M.I.: Human performance, 1967
- 7) 公益財団法人日本スポーツ協会, 公認スポーツ指導者養成テキスト, 共通科目 III, スキルの獲得とその獲得過