

VR を利用した打音点検技能獲得プロセスの DX 化

長岡工業高等専門学校 学生会員 ○瀧澤裕文 櫻井真希

長岡工業高等専門学校 正会員 込山晃市 陽田修 井林康 村上祐貴

(株)ネクスコ・エンジニアリング新潟 非会員 清水遼介

1. はじめに

打音点検とは、コンクリート部材などの表面をハンマーで打撃し、打撃音の違いから浮きや剥離といった欠陥箇所を特定する非破壊検査法である。打音点検は実施が容易かつ安価であることから一次検査で広く用いられている。一方、打音点検は官能検査であり、その点検精度は点検者によって異なることが舟波らによって報告された¹⁾。現在、打音点検技能の教育法は、現場で先輩点検者から業務を通じて指導を受ける OJT 方式が基本となっている。しかしながら、打音点検技能の多くは形式知化がなされておらず、「見て覚える」を主体とした指導となっているため、打音点検技能の獲得は指導者に大きく依存する。

本研究では、VR を利用して、実施場所や天候の制限を受けず、自身の打音点検技能を測定可能なトレーニングシステムを開発することを目的とし、本稿では VR 空間上での打音点検の再現性について検討した。

2. 実験概要

2.1 実試験体概要

本研究で使用した試験体は寸法が 2000mm×1800mm×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空洞を模した発泡スチロール製の人工欠陥が複数個埋設されている。本実験ではこのコンクリート壁型パネルを 3 枚使用した。なお埋設されている欠陥の大きさは 40000mm²、90000mm²、160000mm² があり、埋設深さは 20~120mm の範囲に 10mm 間隔で存在する。各パネルに埋設されている欠陥の種類や埋設位置はパネルによって異なっている。

2.2 VR 試験体概要

2.1 節で述べた実試験体の写真から、3D モデル生成ソフトである Metashape を用いて 3D モデルを作成した。作成した 3D モデルはゲーム開発プラットフォームである Unity を用いて VR 空間上に投影した。その後、実試験体内に埋設されている各人工欠陥中心および健全部一個所の打撃音をマイクロフォンで録音した。録音した打撃音を VR 空間上の試験体に挿入した。なお、



図-1 VR 試験体 打音点検精度測定試験の様子

本実験では、同一欠陥上での打撃音の変化はない。また、健全部の音の変化もない。録音は同日に打撃面とマイクロフォンの間隔を約 50cm とし、マイクロフォンの入力レベルがマイナス 6dBFS 程度になるように打撃した。録音した打撃音は、音声編集ソフトで出力レベルがマイナス 0.1dBFS になるように正規化した後に、VR 空間上の試験体に挿入した。

被験者がコントローラーで VR 上の壁面に接触すると振動し、打撃音が再生される。欠陥部では音に変化し、被験者は音の変化で欠陥部を判定する。

2.3 被験者概要

被験者は打音点検の実務経験を有する 5 名であり、被験者 1, 2, 3, 4, 5 と称する。各被験者の実務経験年数はそれぞれ、0.5 年、1 年、2 年、4 年、5 年である。

2.4 実試験体打音点検精度測定試験

2.1 節で述べた実試験体 3 枚に対して打音点検精度測定試験を実施した。被験者は試験体 1 枚当たり 7 分 30 秒を制限時間として打音点検を実施し、欠陥と判断した領域をチョーキングした。試験終了後に、デジタルカメラで撮影したチョーキング状況の画像を解析し、式(1)、(2)より各被験者の点検精度の評価を行った。

$$\text{欠陥発見割合}[\%] = \frac{\text{発見した欠陥個数}}{\text{総欠陥個数}} \times 100 \quad (1)$$

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

キーワード 打音点検, 技能継承, 打撃特性, VR
連絡先 〒940-8532 新潟県長岡市西片貝町 888 番地 長岡工業高等専門学校 TEL 0258-34-9276

2.5 VR 試験体 打音点検精度測定試験

2.2 節で述べた VR 試験体 3 枚に対して、打音点検精度測定試験を実施した。被験者はヘッドマウントディスプレイ(HTC 社, VIVE Pro Eye)を装着し、VR 空間上で 2.4 節と同様の方法で打音点検を行った。図-1 に VR 空間での打音点検精度測定試験の様子を示す。本試験では、大越ら²⁾が報告した打音点検において重要な打撃特性である、打撃回数、打撃座標、打撃時のハンマーの加速度、打撃時間間隔、打撃距離間隔をコントローラーに内蔵されるセンサー等から取得した。

3. 実験結果

3.1 打音点検精度測定試験結果

図-2 に被験者別の欠陥発見割合を示す。実試験体と VR 試験体の結果を比較すると、VR 試験体の方が欠陥発見割合の平均値が 15.2%高い結果となった。これは、VR 試験体の、健全部に挿入した打撃音は 1 種類、各欠陥領域に挿入した打撃音はそれぞれの欠陥の中心の打撃音であり、音の変化が分かりやすかったことが原因として考えられる。

図-3 に被験者別の欠陥上検知率を示す。実試験体と VR 試験体の結果を比較すると、VR 試験体の方が欠陥発見割合の平均値が 7.4%高い結果となった。

以上のように、本実験においては、VR 試験体の方が実試験体に比べて欠陥発見割合や欠陥上検知率は高くなる傾向にあるが、それらの差異は、前者は 15.2%、後者は 7.4%であることから VR 空間上において打音点検がある程度再現出来ていると考えられる。

3.2 打撃特性測定結果

図-4 に打撃特性の一例として、VR 試験体における各被験者の、欠陥を発見する過程（探索フェーズ）での打撃回数の合計値と、発見後に行う欠陥領域を同定する過程（同定フェーズ）での打撃距離間隔の中央値を示す。打撃数と欠陥発見率には明確な相関がみられず、打撃数を多くしても欠陥発見割合が向上するとは限らないことが分かった。欠陥を見落とさないためには、対象面を均一に打撃することが重要であると考えられ、打撃の均一性に着目して、今後詳細に検討を行う。

図-4(b)に示すように、実試験体および VR 試験体の欠陥上検知率(図-3)が 80%を下回る被験者 2,3,5 は、同定フェーズでの打撃距離間隔の中央値は、欠陥上検知率が 80%を上回る被験者 1,4 と比べて大きく、欠陥の境界を正確に判断することが出来なかった可能性がある。

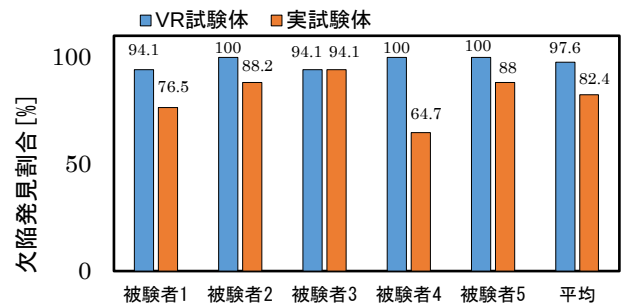


図-2 欠陥発見割合

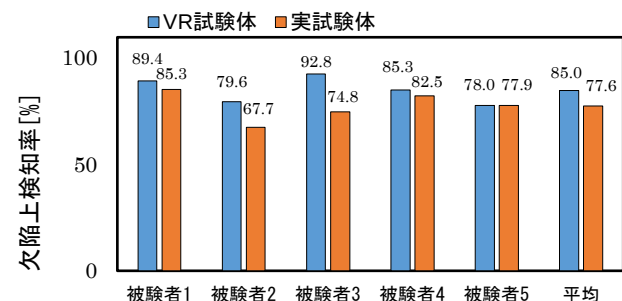
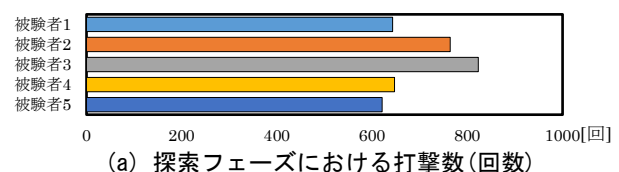
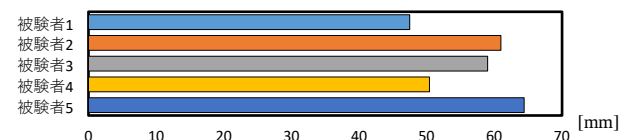


図-3 欠陥上検知率



(a) 探索フェーズにおける打撃数(回数)



(b) 同定フェーズにおける打撃距離間隔(中央値)

図-4 VR 試験体の打撃特性測定結果

4. まとめ

本研究で得られた知見を以下に示す。

- (1) VRの方が実試験体よりも平均で、欠陥発見割合が 15.2%、欠陥上検知率が 7.4%高くなった。これは VR の試験体の、健全部に挿入した打撃音は 1 種類、各欠陥領域に埋設した打撃音は各欠陥の中心の打撃音のみであったためであると考えられる。
- (2) VR 試験体での打音点検において、打撃特性が欠陥発見割合および欠陥上検知率に及ぼす影響が確認された。

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) 大越悠生, 村上祐貴, 井山徹郎, 陽田修: 自己組織化マップを用いた打音点検の欠陥検知精度に影響を及ぼす打撃特性の抽出, コンクリート工学年次論文集, vol.43, No.1, pp.1253-1258, 2021