

MR デバイスを用いた既存 RC 構造物の打音点検支援システムの提案と基礎的検証

長岡工業高等専門学校	非会員	星野佑汰
長岡工業高等専門学校	正会員	込山晃市
長岡工業高等専門学校	非会員	和久井直樹
長岡工業高等専門学校	正会員	村上祐貴

1. はじめに

2013 年の道路法改正および 2014 年の道路法施行規則の改正により、道路橋やトンネル等は 5 年に 1 回の近接目視による定期点検が義務付けられた¹⁾²⁾。一方で、点検を担う専門技術者の不足や高齢化が深刻化しており、点検作業の効率化が求められている。

現在の目視・打音点検では、欠陥箇所にはチョークで印を付け、その位置を野帳や写真に手作業で記録したうえで損傷図として整理する手法が一般的である。記録・整理に手間を要し、転記ミスの要因にもなる。点検者が注視している位置を構造物表面上の座標として自動取得できれば、点検位置の記録を自動化できると考えられる。

MR (Mixed Reality) デバイスは、現実空間に情報を重量表示できるとともに周囲の 3 次元空間を認識できるため、点検位置の取得と記録の支援に有効である³⁾。

本研究では、目視・打音点検における点検位置の自動記録に向けた基礎機能として、汎用 MR デバイスの頭部姿勢と空間認識データから壁面上の目視位置を推定する機能を開発し、その精度を評価する。

2. 目視位置推定機能の概要

本機能は、アイトラッキング機能を持たない汎用 MR デバイスでも動作するよう、頭部姿勢と空間認識データのみから目視位置を推定する構成とした。なお、本研究では MR 空間の画面解像度が優れている Meta Quest 3 を用いて計測実験を行った。

機能の概念図を図 1 に示す。本研究では、点検者が対象を視野の中央に捉えて注視することを前提とし、点検者の両眼中心位置を始点として頭部正面方向に伸びる半直線（以下、視線レイ）と、空間認識により取得した壁面との交点を求め、これを目視位置とする。

開発には Unity 6000.3.19f1, Meta XR Core SDK および Meta MR Utility Kit 207.0.0 を用いた。MRUK の Effect Mesh 機能で空間認識結果から壁面のコライダーを生成することで、MR 空間上の当たり判定とした。

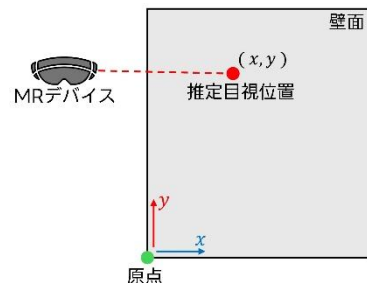


図 1: 目視位置推定機能の概念図

本研究ではボックスカルバートや橋台・橋脚・床版などの平面を対象とするため、交点の 3 次元座標から壁面法線方向の成分を除き、壁面上に設定した原点を基準とする 2 次元座標(x, y)に変換する。

3. 精度評価実験の方法

実験は屋内の平滑な垂直壁面で行い、事前に空間設定により壁面を認識させた。図 2(a)に示すように、壁面上に原点 P0 を含む 4 点の測定点をマークで設けた。P1, P2, P3 は P0 からそれぞれ水平方向に 500 mm, 鉛直方向に 500 mm, 斜め方向に 707 mm の位置である。各測定点を注視したときの推定座標から P0 を基準とした相対座標を求め、実測値との差の 2 次元ユークリッド距離を推定誤差とした。

実験は図 2(b)に示す 2 種類とした。(1)距離の影響：壁面正面 ($\theta = 0^\circ$) で壁面からの垂直距離 L を 1,000, 2,000, 4,000 mm と変化させた。(2)角度の影響：L=2,000 mm で壁面法線に対する視認角度 θ を 30° , 45° , 60° と変化させた。各条件の試行回数は 1 回とし、被験者 1 名が各測定点に視線を合わせた際に読み取った座標を計測値とした。また、視線レイが認識済みの壁面範囲外に出て座標が得られなかった場合を測定失敗とした。

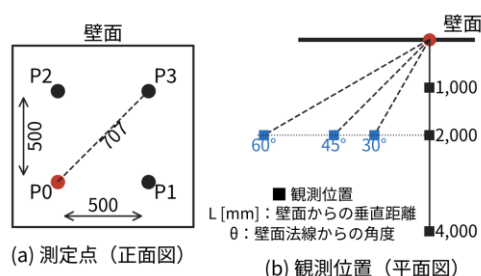


図 2: 測定点の配置と観測位置

4. 実験結果および考察

4.1. 正面から距離を変えた場合

壁面正面 ($\theta = 0^\circ$) からの計測結果を表 1 に示す。
 $L=1,000, 2,000, 4,000$ mm における平均誤差はそれぞれ 16.1, 20.8, 19.4 mm であり, 4,000 mm 以内では距離による明確な差はみられなかった。また, 水平方向 (P1), 鉛直方向 (P2), 斜め方向 (P3) のいずれの測定点でも誤差は 30 mm 以下であり, 方向による差はほとんどみられなかった。

表 1: θ 固定 L 変化時における推定誤差 (単位: mm)

条件	P1 水平	P2 鉛直	P3 斜め	平均	成功率
$L=1,000$ $\theta = 0^\circ$	28.3	10.0	10.0	16.1	100%
$L=2,000$ $\theta = 0^\circ$	20.0	22.4	20.0	20.8	100%
$L=4,000$ $\theta = 0^\circ$	14.1	14.1	30.0	19.4	100%

4.2. 視認角度を変えた場合

$L=2,000$ mm で θ を変化させた結果を表 2 に示す。
 $\theta = 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ における測定成功率はそれぞれ 33.3%, 66.7%, 100%, 有効計測の平均誤差は 28.3, 45.0, 36.1 mm であり, いずれも正面の 20.8 mm より大きかった。

表 2: L 固定 θ 変化時における推定誤差 (単位: mm)

条件	P1 水平	P2 鉛直	P3 斜め	平均	成功率
$L=2,000$ $\theta = 30^\circ$	-	28.3	-	28.3	33.3%
$L=2,000$ $\theta = 45^\circ$	-	36.1	53.9	45.0	66.7%
$L=2,000$ $\theta = 60^\circ$	22.4	44.7	41.2	36.1	100%

4.3. 考察

正面からの計測では, $L=4,000$ mm においても平均誤差は 19.4 mm であった。これは頭部方向の角度誤差約 0.3°

に相当し, 頭部姿勢のみでも数 cm 程度の精度が得られた。ただし, 角度誤差による位置ずれは距離に比例する (1° で $L=2,000$ mm では約 35 mm, 4,000 mm では約 70 mm) ため, 4,000 mm を超える距離は追加の検証が必要である。

斜め方向からの視認では, 測定失敗が生じた。その原因として, 頭部方向のわずかな誤差によって視線レイが壁面の認識範囲外に外れる可能性が考えられる。ただし, 本実験では視認角度が大きい条件ほど測定成功率が高く, 試行回数も限られるため, 失敗の発生要因については追加の検証が必要である。

5. まとめ

本研究で得られた知見を以下に示す。

(1) 壁面正面からの視認では, 距離 4,000 mm 以内で平均誤差約 16~21 mm であり, 測定方向による差は小さかった。

(2) 斜めからの視認では誤差が増加し測定失敗も生じたため, 運用時には視認角度も考慮する必要がある。今後は, キャリブレーションによる精度改善と, 条件を拡充した評価を行い, 打音点検における点検位置の自動記録への応用を進める。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 (24K00964, 25K22119) の助成を受けたものである。

参考文献

- 国土交通省：道路の老朽化対策（予防保全）, <https://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/yobohozen.html> (参照日: 2026 年 10 月 14 日)。
- 道路法施行規則（昭和 27 年建設省令第 25 号）第 4 条の 5 の 6 第 1 号, e-Gov 法令検索, <https://laws.e-gov.go.jp/law/327M50004000025> (参照日: 2026 年 10 月 14 日)。
- Zakaria, M., Karaaslan, E. and Catbas, F. N.: Real-time AI-based bridge inspection using mixed reality platform, *Structures Congress* 2023, ASCE, 2023. <https://doi.org/10.1061/9780784484777.012>