

視線情報等の行動特性に基づく目視点検時の見落とし要因の分析

長岡工業高等専門学校	非会員	○布川倅
長岡工業高等専門学校	正会員	込山晃市 陽田修 村上祐貴
長岡工業高等専門学校	非会員	和久井直樹 上村健二 外山茂浩 土田泰子
長岡技術科学大学	非会員	原川良介
筑波大学	非会員	本間康弘
(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

橋梁の維持管理では、目視点検で得られる情報の質を確保することが重要である。損傷が記録されるまでには、対象面を探索し、変状に注意を向け、記録の必要性を判断する過程がある。点検技能の評価や継承に向けては、記録結果に加え、これらに関わる行動を把握する必要がある。

VR 目視点検システムでは、共通の対象を提示しながら視線や頭部位置を記録できる。既往研究では、未記録箇所に対する行動が、対象箇所を見ていない場合、見ているが注視していない場合、注視しているが記録していない場合に整理された。また、初学者に比べて実務経験を有する被験者で、目視範囲内の注視領域の割合が高い傾向が報告されている¹⁾。

これらの結果は、点検行動を探索、認識、判断の各段階と関連付けて検討する手掛かりとなる。ただし、視線到達や注視だけでは損傷の認識や記録判断の過程を特定できないため、損傷の記録位置や種類の判定と併せた分析が必要である。

本研究では、既報とは別に新たに取得した 8 名の VR 目視点検試験データを用い、視線情報と損傷記録を対応させ、壁面全体の探索範囲、探索順序および個別箇所への視線配分を比較する。さらに、未記録箇所や損傷種類の判定が異なる箇所に着目し、RC 構造物の目視点検技能の定量的な評価に向けた知見を得ることを目的とする。

2. 試験概要

2-1 VR 目視点検システムの概要

点検行動の計測には、Unity で開発した VR 目視点検システムと Meta Quest Pro を用いた。点検対象は実橋台を基に作成した三次元モデルであり、多方向からの撮影画像を用いて点群を生成し、テクスチャにより表面の質感を再現した。対象範囲は幅 12.0 m、高さ 6.5 m とし、ひび割れ、漏水、鋼部材腐食

などの変状を対象とした。被験者はコントローラで VR 空間内を移動し、損傷箇所のマーキングと判定結果の入力を行う。システムは点検中の視線および頭部位置を記録する。

2-2 被験者と試験手順

試験は、建設関連企業に所属する実務経験 1～34 年の 8 名を対象に実施した。点検時間は制限せず、被験者自身が終了を判断した時点で計測を終えた。点検開始前に、VR 機器の操作方法を説明し、視線計測のキャリブレーションを行った。

3. 試験結果

3-1 各被験者の損傷記録

8 名のうち少なくとも 1 名が損傷として記録した 21 か所を候補箇所とし、S01～S21 の番号を付した（図-1）。記録の共通性を重視し、被験者の半数を超える 5 名以上が記録した 7 か所を分析対象箇所として抽出した（図-2）。本研究の結果は、半数を超える 5 名以上が記録した 7 か所に限定した結果であり、全体の見落とし傾向を示すものではない。

分析対象 7 か所の未記録 15 事例では、すべてで対象領域への視線到達が認められ、14 事例で注視が確認された。被験者 3 の S13 のみ目視に留まった。このことから、未記録は視線到達の有無だけでは説明できず、損傷の認識や記録判断との関係を検討する必要がある。ただし、注視は損傷の認識を直接示すものではない。

対象領域内でも、特に狭い範囲に視線を留めている状態を抽出するため、視線方向間の最大角度差を 0.7 度未満とした。また、瞬間的な視線通過と区別するため、この状態が 0.1 秒以上継続した場合を注視と定義した。ただし、この条件は解析上の操作的定義であり、損傷の認識を直接示すものではない²⁾。

表-1 分析対象 7 か所の記録状況と損傷種類の判定

	S05 (ひび割れ)	S06 (漏水)	S13 (ひび割れ)	S16 (鋼部材腐食)	S18 (ひび割れ)	S19 (ひび割れ)	S21 (漏水)
被験者 1	注視	注視	記録	注視	記録	記録	記録
被験者 2	記録	記録	記録	注視	注視	注視	記録
被験者 3	記録	記録	目視	記録	注視	記録	記録
被験者 4	記録	記録	記録	記録	記録	記録	記録
被験者 5	記録	注視	記録	記録 (ひび割れ)	記録	記録	注視
被験者 6	記録	記録	注視	記録 (漏水等)	注視	記録	記録
被験者 7	記録	記録	注視	記録 (漏水等)	記録 (漏水等)	注視	記録
被験者 8	記録 (浮き等)	記録 (浮き等)	記録	記録	記録	記録	注視
記録人数	7	6	5	6	5	6	6



図-1 1 名以上が記録した 21 か所



図-2 5 名以上が記録した 7 か所

表-1 に、被験者別の記録状況と損傷種類の判定を示す。「記録」は対象箇所に対応するチョーク線が確認された事例であり、判定結果が入力されていない事例も含む。種類未入力の場合については、写真とチョーク線の位置・形状を照合し、損傷種類を補完した。「注視」は記録がなく対象領域内で注視が確認された事例、「目視」は視線の到達のみが確認された事例である。記録人数は、損傷種類の判定が一致した人数ではない。表内の緑系のセルは記録事例であり、濃緑は列見出しと異なる損傷種類が入力された事例を示す。「漏水等」「浮き等」は、それぞれ「漏水・遊離石灰」「浮き・剥離・鉄筋露出」の略称であり、すべての変状の確認を意味しない。S16・S18 では入力された損傷種類が分かれ、S05・S06 では被験者 8 が列見出しとは異なる「浮き等」を入力した。同じ箇所を記録しても損傷種類の判定が一致するとは限らず、着目した変状やその解釈の違いを検討する必要がある。

3-2 視線行動の比較

被験者ごとの視線行動を比較するため、目視範囲、注視範囲、点検時間、注視時間割合、注視エリア割合および平均視線速度を算出した（表-2）。対象範

囲を 48 列×26 行の 1248 セルに分割し、視線が到達したセル数と注視が確認されたセル数を、それぞれ全セル数で除した百分率を目視範囲、注視範囲とした。注視時間割合は、累積注視時間を、欠測等を除いた注視判定が可能な有効視線記録時間で除した百分率とした。注視エリア割合は注視範囲を目視範囲で除した百分率であり、目視した領域のうち注視条件を満たした範囲の割合を示す。平均視線速度は、壁面上の $x \cdot y$ 座標から求めた移動距離を有効な経過時間で除した値とした。

被験者 2・4 は目視範囲・注視範囲がともに広く、注視エリア割合も約 50%と高かった一方、点検時間が長かった。被験者 3 は目視範囲が広いものの、注視範囲・注視時間割合が最も低く、平均視線速度が最も高かった。被験者 1 は注視時間割合が高いが注視範囲は限定的であり、時間配分と領域の広さは必ずしも対応しなかった。被験者 5 は点検時間が長いにもかかわらず目視範囲が最も狭く、平均視線速度も最も低かった。これらの結果は、点検時間の長さや目視範囲の広さだけでは、注視の時間配分や範囲を説明できないことを示している。

表-2 各被験者の視線行動の比較

	目視範囲 (%)	注視範囲 (%)	点検時間 (s)	注視時間 割合(%)	注視エリア 割合(%)	平均視線 速度(m/s)
被験者 1	67.3	30.2	407.6	74.4	44.9	2.36
被験者 2	85.4	45.2	883.4	65.0	52.9	2.62
被験者 3	80.9	14.7	463.1	14.9	18.2	2.97
被験者 4	81.2	42.1	888.6	69.4	51.8	2.05
被験者 5	50.8	18.8	720.3	33.9	37.0	1.35
被験者 6	72.8	26.0	589.3	42.0	35.7	1.72
被験者 7	60.2	26.0	298.4	65.1	43.2	2.89
被験者 8	56.5	21.2	596.1	50.1	37.5	1.52
平均値	69.4	28.0	605.9	51.9	40.2	2.19

記録状況との比較では、被験者 2・4 のように類似した視線指標でも記録箇所数が異なる例が見られた。被験者 3 は注視時間割合が最も低かったが、分析対象 7 か所のうち 5 か所を記録していた。被験者 5・6・7 も記録箇所数は 5 か所と同じであったが、視線行動は異なった。壁面全体の指標に加え、各損傷領域への視線配分を記録状況と対応させて検討する必要がある。

3-3 視線軌跡と視線分布の比較

探索順序を比較するため、壁面を左・中央・右の 3 領域に均等に分け、視線が到達した領域の時間推移を図-3 に示す。探索順序の異なる例として、被験者 3・4・6・8 を示した。横軸は視線記録開始からの経過時間であり、赤色は右領域、灰色は中央領域、青色は左領域を示す。

被験者 3・6 では、左右の領域を往復する視線移動が確認された。両者の目視範囲はそれぞれ 80.9%、72.8%であり、点検時間は 463.1 秒、589.3 秒と、全被験者の平均 605.9 秒を下回った。両者は平均より短い点検時間で比較的広い領域を目視していた。

被験者 3・4 のヒートマップを図-4 に示す。網本らの手法³⁾を参考に、全視野角 7.5 度、不透明度 5 段階、距離減衰なしで作成した。色は視線サンプルに適用した二次元正規分布の累積値を表し、青から赤ほど集中度が高い。被験者ごとに正規化しているため、同じ色の累積量は被験者間で等しくない。目視範囲はともに約 81%であったが、被験者 4 では特定領域に集中し、被験者 3 では広範囲に分散していた。目視範囲が同程度でも、領域内の視線配分は異なることが示された。

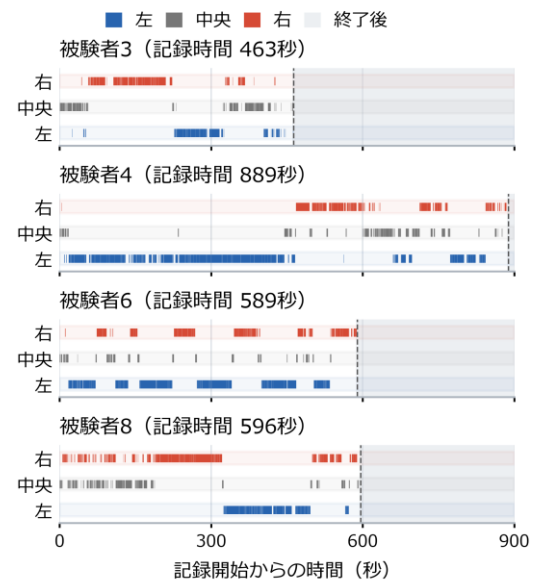
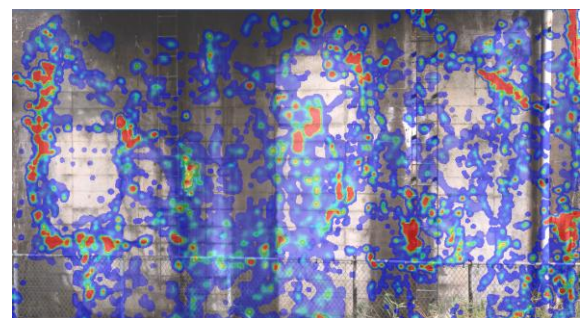
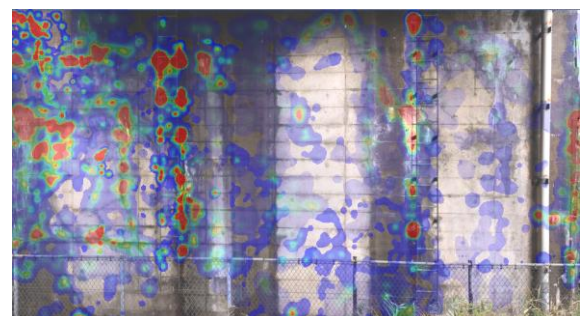


図-3 3 領域への視線到達の時間推移



(a) 被験者 3



(b) 被験者 4

図-4 被験者 3・4 のヒートマップ

表-3 累積目視時間／累積注視時間（秒）

目視時間／ 注視時間（秒）	S05	S06	S13	S16	S18	S19	S21
被験者 1	1.45／0.69	1.53／0.61	1.16／0.97	7.54／6.21	1.70／0.66	0.07／0.00	13.42／11.50
被験者 2	8.08／4.46	20.52／14.48	0.98／0.58	2.90／1.13	9.31／5.69	11.63／6.19	63.75／41.67
被験者 3	9.30／1.68	3.59／0.39	0.04／0.00	5.89／0.71	4.44／0.38	9.28／1.27	5.04／0.72
被験者 4	15.81／10.81	4.67／3.09	0.79／0.30	9.91／7.73	6.83／4.86	3.75／1.82	2.55／0.74
被験者 5	19.65／8.61	10.67／2.96	0.56／0.22	11.93／1.95	7.84／2.48	10.70／3.03	3.80／0.11
被験者 6	21.88／10.07	13.02／6.41	1.72／1.04	5.64／1.77	11.42／2.75	8.78／3.94	19.31／5.90
被験者 7	4.08／2.53	3.35／1.56	1.32／0.90	0.00／0.00	2.58／1.98	2.44／1.92	13.60／8.86
被験者 8	30.40／15.03	9.59／4.52	11.70／8.13	9.22／3.93	10.55／4.36	8.52／3.57	9.46／3.94

3-4 記録に至らなかった箇所の視線行動

分析対象領域内の累積目視時間と累積注視時間を表-3 に示す。記録事例は視線記録開始から対応する最初のチョーク線の記録開始まで、未記録事例は点検終了までを集計した。S16 の被験者 7 は、記録前に集計対象となる視線が確認されず、両時間を 0.00 秒としたが、点検全体で対象領域を見ていなかったことを意味しない。集計期間が異なるため、記録の有無による累積時間の単純比較には留意が必要である。累積注視時間は注視時間の合計であり、連続注視の長さではない。表内の緑は記録、濃黄は注視、薄黄は目視に留まった事例を示す。対象領域には周辺の壁面や部材も含まれ、領域内の注視が損傷への注視とは限らない。領域の大きさも累積時間に影響するため、時間の長さだけでは確認の十分さを判断できない。

未記録事例にも長い累積注視時間が認められた。S16 の被験者 1 は目視 7.54 秒、注視 6.21 秒で未記録であった一方、記録した被験者 3・5・6 の累積注視時間は 0.71～1.95 秒であった。集計期間は異なるが、注視が認められても記録に至るとは限らない。

S18・S19 でも、被験者 2 はそれぞれ 5.69 秒、6.19 秒注視していたが未記録であった。未記録事例の視線行動にも差があり、S21 では被験者 5 が目視 3.80 秒・注視 0.11 秒、被験者 8 が目視 9.46 秒・注視 3.94 秒であった。S13 の被験者 3 は目視 0.04 秒のみで注視は認められなかった。短時間の視線到達に留まる事例と、累積的に注視した事例を区別する必要がある。

記録事例でも累積注視時間は異なり、S21 では被験者 2 が 41.67 秒、被験者 3・4 は約 0.7 秒であった。探索や再確認の進め方が関わる可能性があるが、累

積時間は連続注視や判断に要した時間を直接示すものではない。

4. まとめ

- 1) 8 名の点検記録から、5 名以上が記録した 7 か所を分析対象とした。同じ箇所でも損傷種類の判定に違いがあり、着目した部材や変状の違いを検討する必要がある。
- 2) 目視範囲、注視範囲および注視時間割合には個人差が認められた。探索範囲の広さや注視時間割合の高さは、分析対象 7 か所の記録箇所数に直接対応するとは限らなかった。
- 3) 左右を往復した被験者 3・6 は、平均より短い点検時間で、それぞれ 80.9%、72.8% の目視範囲が得られた。
- 4) 5 名以上が記録した 7 か所では、未記録 15 事例のうち 14 事例で注視が確認された。この結果は当該 7 か所に限定されるが、視線到達後の損傷認識や記録判断との関係を検討する必要性を示す。

謝辞

本研究は、JSPS 科研費 JP24K00964 および一般財団法人建設物価調査会の研究助成を受けて実施した。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 布川倅, 込山晃市, 清水遼介, 和久井直樹, 陽田修, 外山茂浩, 土田泰子, 上村健二, 原川良介, 本間康弘, 村上祐貴: 視線情報に基づく RC 構造物の目視点検における見落とし要因の分類, 北陸橋梁保全会議, 報文番号 B-8, 2026
- 2) Blignaut, P., Fixation identification: The optimum threshold for a dispersion algorithm, Attention, Perception, & Psychophysics, Vol.71, No.4, pp.881-895, 2009
- 3) 綱本匠真, 込山晃市, 清水遼介, 和久井直樹, 陽田修, 外山茂浩, 土田泰子, 上村健二, 原川良介, 本間康弘, 村上祐貴: VR を用いたコンクリート構造物目視点検トレーニングシステムにおける距離適応型視線ヒートマップ描画手法の提案と点検技能評価への適用, 北陸橋梁保全会議, 報文番号 B-2, 2026