

施工現場でのリスク評価と映像を活用したリスク予知教育

－アイトラッキング調査とVRの活用－

可児建設(株) 可児憲生 トライポッドワークス(株) 渋谷義博
 (株)環境風土テクノ 須田清隆 (株)堀口組 漆館直

1. はじめに

地域を支える中小建設業は、地域のインフラの整備・維持の担い手であると同時に、地域社会の安全・安心の確保を担う守り手として、なくてはならない存在である。一方、それらを取り巻く状況としては生産年齢人口の減少や高齢化による労働力の大幅減少が見込まれ、施工ノウハウや経験を保有する熟練技術者の高齢化による退職や転職による建設ノウハウの喪失は、事業継続上の緊急な課題となっている。

本報告は、技術者のリスク判断が視覚情報を基に経験的、感覚的に行われることから、アイトラッキングを使った調査を実施し、施工現場空間におけるリスク注視度の高かった箇所やリスク抽出の視線動向などから、リスク発生確率の高い空間を対象に、数台の定点カメラを設置してその実効性をまとめている。同時に、定点カメラの設置では、リスクの緊張感を共有することができる 360° カメラを配置し空間緊張感を仮想体験し、技術者や作業員教育のリスク予知力を高める VR の有効性を報告するものである。

2. 経験知の差によるリスク認識特性

技術者の経験や立場によって異なる施工現場の品質面、安全面の着眼点をアイトラッキング調査で分析し、効果的な撮影ポイントや撮影範囲の決定により、施工現場での迅速なリスク管理を試行している。

眼球運動 瞳孔・角膜反射法 / 暗瞳孔法 / 角膜反射法
 瞳孔 暗瞳孔法

c. 被験者選定

	総数	調査適正数
若年者	9名	8名
経験知が高い	10名	7名

3. 検証結果

a. 法面作業(高所作業のリスク認識)

図-1 の経験 1~2 年の技術者は、足元の不安から階段付近を中心に視線が注視するなど、視野が狭い傾向にあった。一方、図-2 の経験 20 年熟練技術者は、法面作業の危険個所に視線が注視するなど広い視野であった。法面作業の危険予知を共有するために、熟練技術者の視点で注視度の高かった中段に 360° カメラを設置している。



図-1 若年技術者の高所作業のリスク着眼点



図-2 熟練技術者の高所作業のリスク着眼点



写真-1 アイトラッキング装置

写真-2 調査における装着状態

a. 計測装置仕様(製品名:EMR-9)

b. 検知方法:

b. 車両運転におけるリスク認識

大別荊トンネル補修外一連工事に向かう道路での交通事故予防を目的に、運転経験が1～2年の技術者(図-3)と運転経験が20年の技術者(図-4)に対して、運転中の注視特性を確認している。図-3は、視線注視度が不安定で、かつハンドル(またはメータ)と目先に視線が集中し、周辺への認知が弱い傾向があるのに、図-4の熟練技術者は、視線に安定感があり、かつ視野範囲が広い傾向にあることが確認された。工事関係車両としての工事付近での事故予防から、若年技術者への運転許可を控える処置をとっている。



図-3 運転経験が少ない運転者の空間認知



図-4 熟練運転者の空間認知

c. ICT 重機

ICT重機(MG)のオペレータ教育において、熟練オペレータ(図-6)と未熟練オペレータ(図-5)の、注視傾向を確認している。明らかに熟練技術者は、ショベルのアームの位置関係を捉えているのに対し、若年オペレータはショベル刃先位置を注視する傾向が強いことが確認されている。また、作業時間(一回の掘削)においても、若年オペレータの方が、躊躇している分、手間取っていることが確認できる。

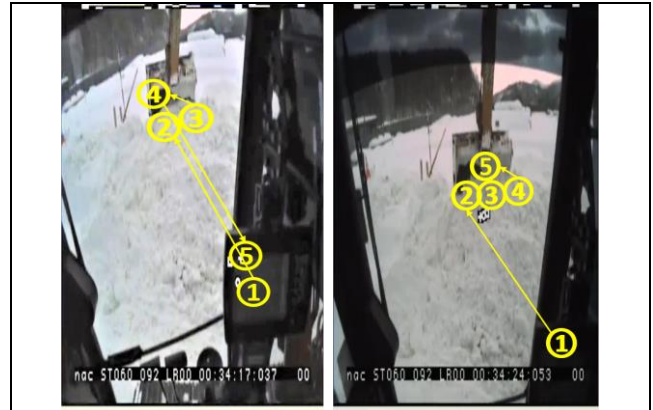


図-5 未熟オペレータの作業確認点

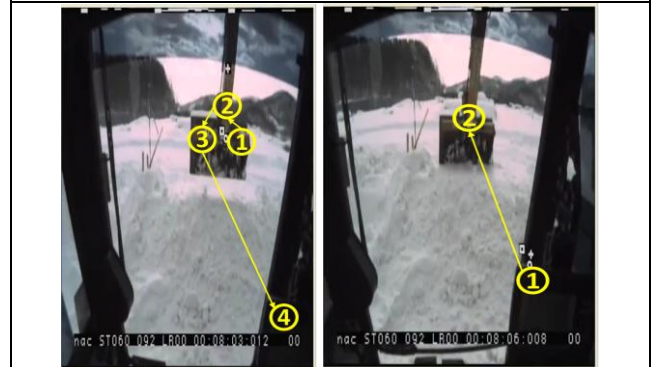


図-6 熟練オペレータの作業確認点

d. 結果のまとめ

検証結果から熟練技術者と経験が浅い技術者において、空間に存在するリスクやチェックポイントについて、説明がし難い暗黙知があることが確認できる。

4. 映像臨場によるリスク緊張感の共有

Visual-Constructionは、映像CIMの研究成果(国土交通省平成29年度政策課題解決型技術開発「中小零細建設業を対象にする映像を活用したvalueCIMの開発」)を活用し、映像や画像の活用によるスマートな建設工法を提案するものである。その中で、定点カメラによる映像は、時間経過で変化する空間的な特徴や輻湊する作業の様子など統合的な情報が得られる¹⁾。しかし、通常のカメラでは、撮影範囲が限定されることから死角が生じてしまい、複数台のカメラが必要となることや、カメラ設置方法が課題になっていた。

本試行ではこれらの課題を解消する為に、全天候型の360°カメラを開発した。さらに、撮影した映像からリスクポイントのVR映像を生成しリスク緊張感の共有を図っている。

a. 全天候型360°カメラの構成

コンシューマー向け製品として全天球カメラの利用が

広まっているが、建設現場で要求される天候が変化することに対する防水防塵性能、長期連続稼働、録画データの大容量化など現場での長期的な定点撮影が困難である。そこで全天候で長期稼働が可能なネットワーク型魚眼カメラ(図-7)を2台組み合わせ、画像処理が可能な録画装置を使用することによりこれらの課題を解決している。2台分のカメラの視野は水平方向360°、垂直方向180°と全方位確保され、従来カメラのように高い設置場所の確保や画角の調整が無くなり、死角の少ない、設置空間上の記録を長期間撮影することができる。

b. 360°カメラの構造、取り付け

360°カメラは背面の取り付け用の台座が2台対象となることを利用し、カメラの光軸がずれないようにネジ固定している。その際カメラの間に薄い取り付け金具を挟み込むことによって、カメラ三脚や工事現場の足場など構造物への取り付けが容易となっている。(図-7)



図-7 カメラ取り付け例

c. 正距円筒画像への変換、VR映像の生成

カメラから取得される映像は、2つの円形な魚眼レンズ画像で取得される(写真-3)。

まず初めに2台のカメラ間で生じるフレームの時間的ズレとカメラが製造過程で生じてしまう位置的ズレを補正する。



写真-3 2台のカメラから取得される映像

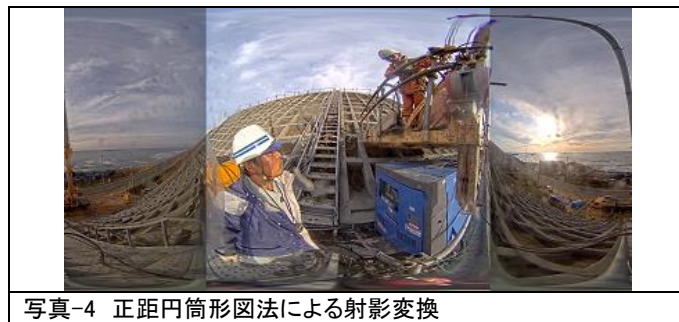


写真-4 正距円筒形図法による射影変換

次に2つの魚眼画像に対し正距円筒図法で透視射影変換する(写真-4)。正距円筒図法に変換する際の射影方式には、等距離投影法を用いており画像上の像高 y (ピクセル)が次式で表せる。

$$y = f\theta \dots\dots(1)$$

f : 焦点距離

θ : 投射線がレンズの光軸となす角

最後に、これらの変換した画像から全天球イメージに再生可能なVR映像及び、VRタイムラプス映像を生成する。生成した映像は、VRゴーグル、スマートフォン、PCアプリによるインタラクティブな操作に連動した再生が可能となり、臨場映像を体験することができる。VR映像からは、高低差のあるクレーン作業の様子も把握でき、通常の定点カメラでは撮影が難しいアングルでの映像も確認できる(図-8)。

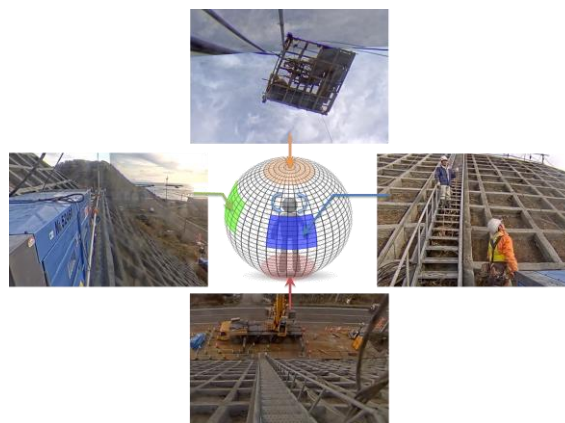


図-8 視点変更による全天球イメージの確認

5. 建設現場での試行

本工事は、(株)堀口組による留萌開発建設部発注「一般国道232号 苫前町力昼法面補修外一連工事」の法面補修工事であり、作業員の墜落事故防止策など安全対応が必要である(写真-5)。これらの安全対応に必要な作業(KY活動、安全教育)にVRによる緊張感を体験させ、社内の安全意識の共有を図った。

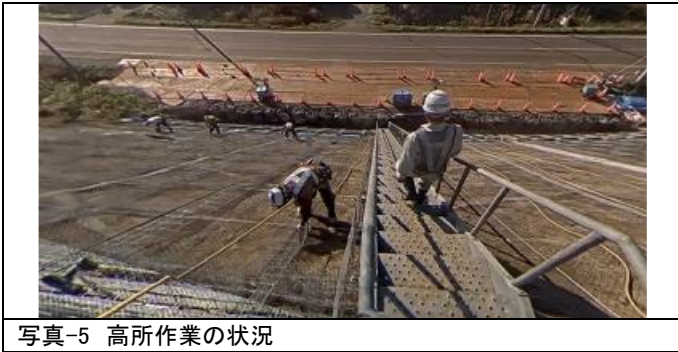


写真-5 高所作業の状況

具体的には、技術者や作業員への作業環境(状況)に対するリスクの捉え方を、事前にアイトラッキング調査にて確認し、双方の陥りやすいリスクポイントの危険回避行動を取らせた(写真-6)。

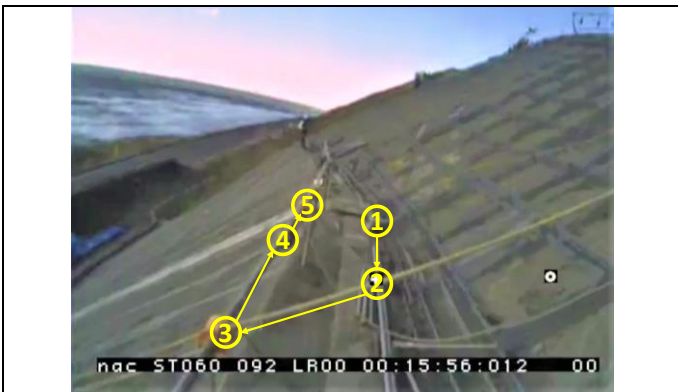


写真-6 アイトラッキングによるリスク着眼点



写真-7 リスク着眼点での作業内容(機材吊り込み作業)

6. 結果のまとめ

アイトラッキングの結果を踏まえた 360° カメラを活用した映像臨場によるリスク認識の試行の効果と課題を以下にまとめる。

① 建設事故が多い高所作業や玉掛作業などのリスク認識については、アイトラッキング結果を活用した 360° カメラの映像をVRで表すことで、一段とリアルなリスク緊張感を技術者、作業者に体験させることで、言葉では伝えにくい暗黙知の理解を以て工事の危険予知力を高めることが出来た。

② 本 360° カメラによる映像の振り返りにより、全方位かつ工事期間の始終を撮影できたことで、事故や生産性阻害要因の外的要因を踏まえた分析を可能にした。

③ 高解像度における撮影においては、データ転送によるネットワークの通信負荷の増大が要因で、映像転送に遅延が発生している。第5世代移動通信システム(5G)の活用が可能になれば、より臨場感のある仮想臨場に繋がると考える。

④ 映る対象物が増える為、映像確認の効率化が必要となる。AI による重要シーンの識別等、映像情報の圧縮技術が必要になる。

⑤ 本試行が実験的な要素もあり、2 台のカメラ映像の補正を手動で行っているが、今後は画像認識を利用した自動補正機能を使用し、映像処理の効率化を図る事が必要になる。

謝辞

本研究は、国土交通省「建設現場の生産性を飛躍的に向上するための革新的技術の導入・活用に関するプロジェクト」の助成を受けたものです。本論文に関しご協力頂きました関係者各位に感謝申し上げます。

参考文献

1) 渋谷義博: タイムラプス映像から読み取れる施工属性情報に関する検討, 土木学会第 70 回年次学術講演会講演概要集, VI-233, 2015