

# VR を活用した鋼橋の溶接施工性の確認 橋梁分野への VR 技術の適用

## Confirmation of weldability of steel bridges using Virtual Reality Application of VR Technology to the Bridge Field

○照屋 光輝\*<sup>1</sup>, 新谷 研人\*<sup>1</sup>, 横山 徹\*<sup>1</sup>, 原 直人\*<sup>1</sup>  
Koki TERUYA\*<sup>1</sup>, Kento SHINTANI\*<sup>1</sup>, Toru YOKOYAMA\*<sup>1</sup>, Naoto HARA\*<sup>1</sup>

\*1 株式会社 IHI インフラシステム LCB・DX 推進室 DX 推進部  
IHI infrastructure System Co.,Ltd. Development Group DX Dept.

キーワード：BIM/CIM；VR；トラッカー；鋼橋

**Key Words:** building/construction information modeling(management); virtual reality; tracker;  
Steel Bridges

### 1. はじめに

国土交通省では、BIM/CIMの普及にあたって基準・要領およびガイドライン<sup>1)</sup>が整備され、小規模を除く全ての公共工事におけるBIM/CIM原則適用<sup>2)</sup>に向け、3次元モデルの効率的な活用を推進している。BIM/CIMの思想において3次元モデルは、橋梁ライフサイクルの中で属性情報を記憶、管理する媒体として扱われる。記憶された属性情報は、アプリケーションを介すことによって各工程で効率的に活用される。

BIM/CIM(図1)における3次元モデルの活用方法は多岐に渡るが、効果的な活用法の1つとしてVR(Virtual Reality)技術がある。VRとは、コンピュータ技術を用いて作り出した仮想環境を疑似体験できる技術である。ディスプレイと異なり、HMD(Head Mount Display)を通して、視覚からより直観的に情報を伝えることができるVRは、技術・情報の伝達をより円滑にするツールとして活用されることが予測される。VRは、CADで作成した3次元モデルを現実と同じスケール感で体験することができるため、鋼橋建設プロセスの各フェーズにおいて、幅広い活用が想定されている。VRを運用現場の実務に浸透させるためには、導入現場の作業者に検討段階からVRの持つ臨場感を体感・実感してもらうことが重要である。

そこで、本試行ではBIM/CIMの活用方法の1つであるVR技術が、現物確認を必要とするプロセスに対し、どの程度有効か調査を行うこととした。

### 2. VRコンテンツの概要

#### (1) VRコンテンツ作成の経緯

IHIインフラシステムではこれまでもVRを活用した取組みを行ない、VRの持つ空間の再現性に着目してきた。

VRの活用例の一つとして、吊橋の主塔に配置されるエレベータ設備の搬入ルートの検討を行った。この例では、主塔の

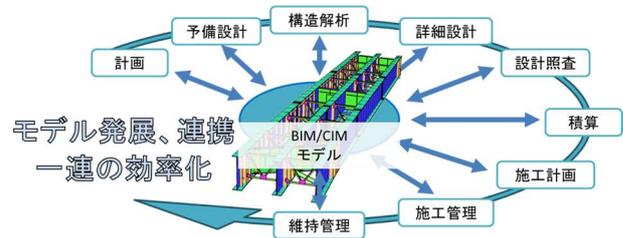


図1 BIM/CIM概念図

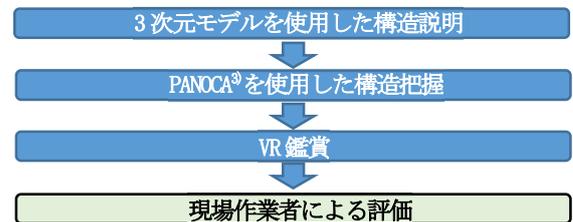


図2 構造確認ミーティングの流れ

を同時に行う必要があり、それには現場状況の把握が必要になるが、現場への移動にかかる時間とコストや現場作業との調整が課題となっていた。そこで現場乗り込み前の作業者に対して、VRフリーソフトを活用した構造確認ミーティング(図2)を実施した。

構造確認ミーティングでは、部材形状や位置を含めた作業状態の理解を深めるために、VR上に展開した3次元モデル(図-3)を使った説明に加え、全周囲パノラマシステム(PANOCA<sup>®</sup>)によって撮影した360°パノラマ写真(図-4)による視覚的な説明を追加し、参加者の現場状況の理解を図った。

ミーティングに参加した作業者は、着目箇所の施工性の確認だけでなく、盲点になりがちな部材吊上げのための準備など、着目箇所以外への思考にも考えが及ぶという想定外の効果があった。この効果は、工具を置く位置など作業前後の所作から現場のあるべき構造を感覚的に把握しており、VRの臨場感を伴う空間把握によって重量や重心などの情報を視覚

的に把握できたためと考えられる。このことから、VR は製造者の意見を設計段階で吸い上げることに長けた技術だと考える。

3次元モデルを使った構造評価では、干渉チェックなどを行っているが現場の作業性など施工時に大きな影響を与える可能性が高い構造の評価が難しい。VR を設計段階から活用し、3次元モデルをベースとしたデジタルモックアップを使った事前評価を行うことで後工程に影響を与えるであろう大きな問題を事前に確認できると考えたため、橋梁の溶接における施工性の事前評価に有効かを検討した。

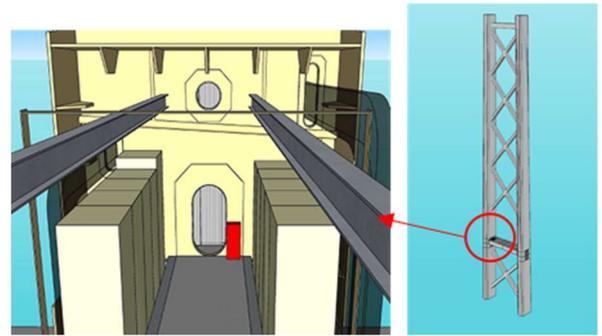


図3 3次元モデル

## (2) VR コンテンツの作成対象の選定

VR コンテンツの作成対象の構造は、溶接作業姿勢に制約を与える鋼製主塔の大重量ブロックとした。(図5)この対象構造は、従来、溶接の施工性を評価するために実物大のモックアップを作成していた。しかし、橋梁のモックアップを作成するには、広い作業場所が必要になり、作成と解体による労力、時間など大きなコストが発生する。該当工事では、設計検討に3次元モデルが使われていたため、それをもとに溶接の作業空間モデルを作り出しVR を使って確認することで施工性の事前評価が可能と考え、選定した。

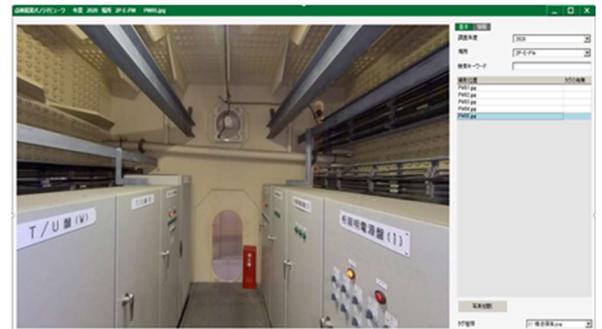


図4 360° パノラマビューア

## (3) VR コンテンツの必要要件

溶接施工性を評価するためには、VR コンテンツ内で以下の項目について確認できる必要がある。

- ・作業姿勢がとれる空間であること
- ・溶接時に障害物がないこと
- ・溶接対象が目視で確認できること

これらを満たすために「溶接作業の再現」「利用者への施工性フィードバック」をVR コンテンツの必要条件と定義した。

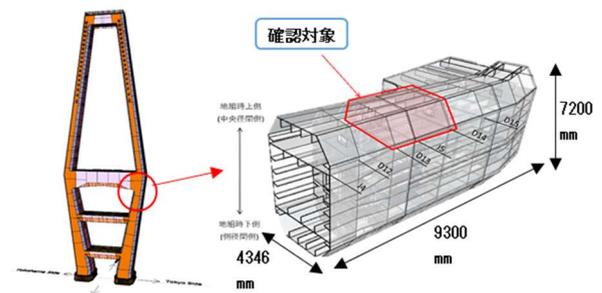


図5 VR 検討の対象構造

### a) 溶接作業の再現

溶接の施工性を評価するには、より現実に近い感覚で溶接の施工を再現する必要がある。再現にあたり、溶接機材の実物大モデルを用いた作業ができ、溶接施工箇所が分かる仕組みが必要である。

### b) 利用者へのフィードバック

VR コンテンツ実施中に溶接の施工性が明確に評価できることが必要である。施工空間および障害物の評価のためには、コンテンツ内の3Dモデルと利用者の相対的な縮尺を合わせる仕組みが必要である。また、狭隘部など施工が難しい・不可能な部位に関して周囲の部材と利用者が接触していることが直感的に、または客観的にわかる仕組みも必要である。

## (4) VR 開発プラットフォームの利用及び機器の選定

### a) VR 開発プラットフォームの利用

過去のVR活用事例からVRフリーソフトでは、VRコンテンツの実施中に自身の状況を客観的に把握できず、また、履歴情報が残らないため、コンテンツ実施後に溶接の施工性の評価ができないといった問題があった。そのため、VR開発プラットフォームを活用し、VRコンテンツを自社にて作成することとした。

VRコンテンツの作成には、統合開発環境を有するゲームエンジンであるUnity<sup>®</sup>を使用した。Unityは、UI開発、グラフィック操作、物理演算、モデルインポート・エクスポートなどアプリケーションの開発に必要な機能を保有しており、Unityを用いることでVRなどあらゆるデバイスに対応したコンテンツが開発可能である。

## b) 機器の選定

VR コンテンツ内での溶接作業の再現にあたり、溶接作業者の体の各部位の正確なトラッキングが必要である。また、VR コンテンツから作業者へのフィードバックが必要である。これらの要件から、高いトラッキング性能と、高い解像度を持ち、振動での直接的なフィードバックが利用可能な HTC VIVE Cosmos Elite を使用した。トラッキングは、位置を追跡する機能である。

## (5) VR コンテンツ仕様

VR コンテンツは、溶接の施工性の確認をターゲットとし、以下 a)-e)の機能を実装した。

### a) 動きの反映

本コンテンツでのアバターは、ユーザーの動きを VR 空間上に表現する役割を持つ。アバターの身長は、ユーザーに合わせて変更する。本試行では作業者が座る・屈むといったトラッキングしにくい状態で身体各部位と VR 上の構造物との正確な接触判定を行う必要があったため、作業姿勢のトラッキングに HTC VIVE Tracker 2018(トラッカー)<sup>5)</sup>を使用した。トラッカーを両肘、両膝、腰、両足首の計7箇所に取り付け(図6)、HMDと2つのコントローラのトラッキング機能を利用することにより、フルボディトラッキングを行う。ユーザーの動きをアバターに反映することによって作業姿勢を確認する。

### b) VR コンテンツ内移動

ユーザーの移動操作は、コントローラにより行う。右手コントローラの十字ボタンを選択することでアバターの前後左右の移動を行う。

また、コンテンツ内にある複数の確認対象へ移動するには、左手コントローラのメニューボタンからマップ(図7)をグラフィックに表示し、マップ内のボタンをクリックすることによってテレポート移動を行う。

### c) VR 内の溶接作業

本コンテンツ内では、右手コントローラが溶接トーチとして表示される。右手コントローラのトリガーを引き、溶接トーチ先端から構造物に赤い丸のオブジェクトを表示させることによって溶接を表現する(図8)。赤い丸のオブジェクトは、溶接トーチの先端と構造物の距離が50mm以内の場合に作成可能となる。

### d) 接触確認及び接触アラート

ユーザーが構造物と接触した場合は、アラートが発現する仕組みとした。接触した体の部位は画面右上のキャラクターアイコンに表示される。接触した構造物には、接触した位置

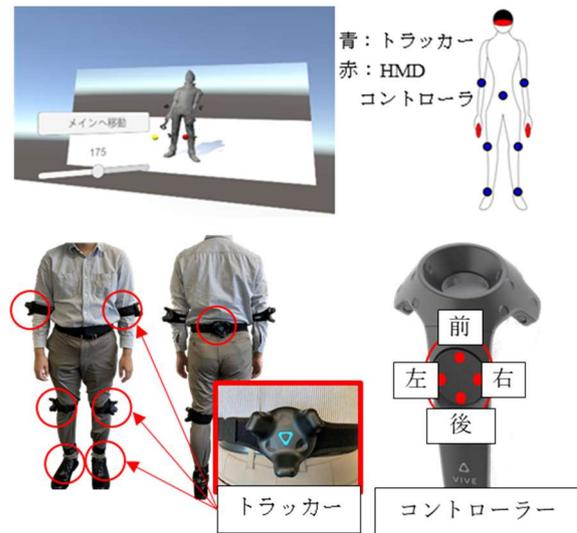


図6 アバターの身長の変更とトラッカーの取り付け位置

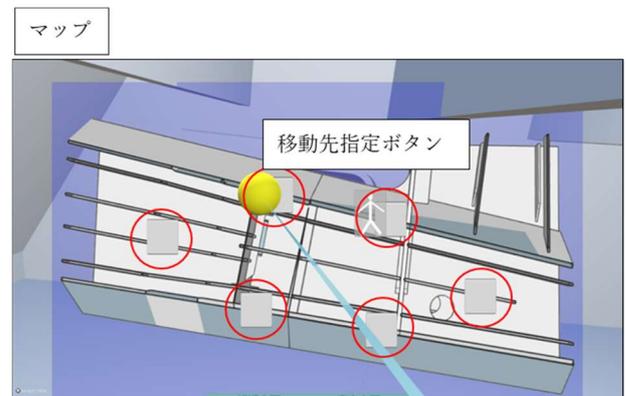


図7 作業マップ

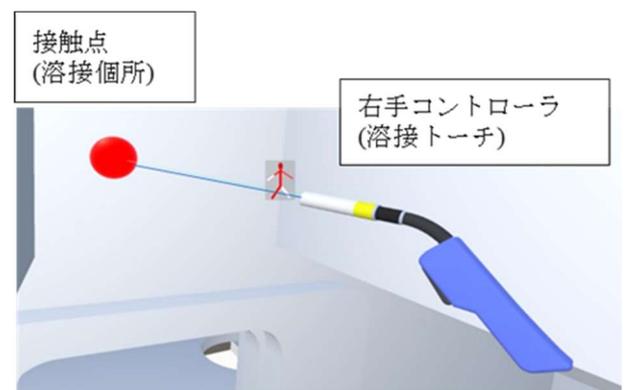


図8 VR内の溶接作業

のマークとして、黄丸のオブジェクトが作成される(図8)。

### e) 俯瞰機能による溶接姿勢の確認

溶接時の作業状況を客観的に評価するために俯瞰機能を実装した。この俯瞰機能ではトラッキングされたアバターを俯瞰で見ることができるカメラビューを新たに設置した(図9)。本コンテンツでは、カメラとアバターの間に構造物があると構

造物内にあるアバターの施工姿勢が確認できないため、カメラとアバターの間に構造物がある場合、構造部の一部が非表示になる仕組みとした。俯瞰用のカメラの方向は、右手コントローラにより操作する。

### 3. モニターテストの実施

#### (1) モニターテストの概要

モニターテストは、対象工事を担当する溶接作業者に対して実施した(図 10)。溶接作業者は、VR コンテンツ内で担当工程の検討を実施し、モニターテスト後に意見聴取を行った。

#### (2) モニターテストの結果

モニターテストにより以下 a)～b)の課題が得られた。

##### a) 接触箇所の判定

テストユーザーからアバターと構造物との接触位置の判断が難しいという指摘があった。接触位置は、コンテンツに表示するアバターの接触判定部位を接触の可能性が高い「頭・右肘・左肘」などに限定することで明確になるのではないかと考えられる。また、「溶接時の姿勢」や「移動・作業時の接触部位」などの確認項目ごとにオペレーション要件を切り分けることも必要だと考えられる。

##### b) トラッカーの装着方法

アバターは、装着後のトラッカーの向きから手足の方向を決定している。本コンテンツは、天井から床の距離が短いため膝を曲げた状態で作業する。関節を曲げることでトラッカーの向きにずれが発生し、アバターの体勢がおかしくなる事象が発生した。トラッカーの取り付け方法を改善する必要がある。

### 4. おわりに

本試行を通して、VR コンテンツが溶接施工性の事前評価に有効であり、準備にかかる労力・時間・コストの面でも実物大モックアップによる評価と比べて優れていることが示された。

また本試行から、3次元モデルを活用した関連部署とのコミュニケーションにおいてVR技術が有効である可能性が示された。本試行ではBIM/CIMの知識がない作業者であっても、VRの効果と直感的なUIから3次元モデルを実業務(溶接施工性の検討)に活用することが可能であることが分かった。VRを用いて3次元モデルを評価することによって、3次元モデル操作の習熟度に囚われない作業フローの構築が可能と考えられる。今後、VRとBIMの組み合わせから橋梁ライフサイクルの様々な工程での生産性向上に幅広く活用できると考えられる。今後はVRの活用範囲を製造工程だけでなく、工場内仮組や架設計

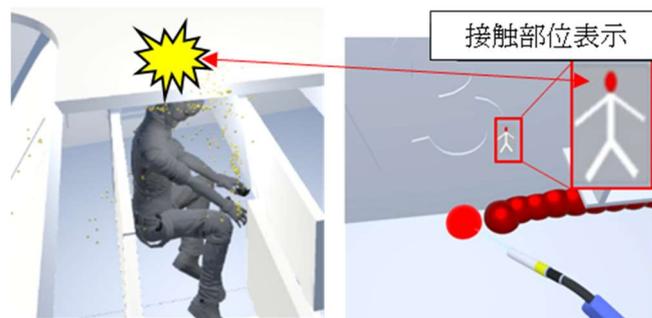


図9 接触確認及びアラート



図10 俯瞰から見たモニターテストでの溶接姿勢の確認

面などにも拡大し、コストの削減およびフロントローディングに寄与していきたい。

### 5. 参考文献

- 1) 国土交通省：CIM導入ガイドライン 第5編 道路編,  
<<https://www.mlit.go.jp/tec/content/001472854.pdf>>,  
(入手 2022.06.14)
- 2) 国土交通省：資料3-1 令和5年度のBIM/CIM原則適用に向けた進め方,  
<<https://www.mlit.go.jp/tec/content/001389577.pdf>>  
(入手 2021.7.8)
- 3) 国土交通省港湾局：港湾の施設の新しい点検技術 カタログ,  
<<https://www.mlit.go.jp/common/001396457.pdf>>  
(入手 2020.4.8)
- 4) Unity Technologies：Unity <<https://unity.com/ja>>,  
(入手 2021.06.14).
- 5) HTC Corporation：VIVEトラッカー(3.0)  
<<https://www.vive.com/jp/accessory/tracker3/>>,  
(入手 2021.06.14).