

論文 橋梁目視点検支援システムの実橋への適用と損傷体験効果の検証

澤村 修司*1・宮本 文穂*2・内村 俊二*3

要旨: 既存橋梁の目視点検は、橋梁点検者の知識や経験により点検結果にばらつきが生じる場合が多い。このような点検結果のばらつきは、その後の性能評価（診断）、対策工法選定などの維持管理業務を適正に行う上で問題となる。点検結果のばらつきを可能な限り小さくするためには、橋梁点検者の知識、経験、損傷把握技術などを一定レベル以上に高める必要がある。本論文では、橋梁点検技術者が同じ環境で橋梁損傷を繰返し体験・学習でき、ほぼ同様な損傷指摘結果を導き出せるようになることを目的に、VR 技術を活用して開発した「橋梁目視点検支援システム」の適用例と損傷体験効果について述べる。

キーワード: 橋梁点検, バーチャルリアリティ, 3次元 CG モデル, 体験効果

1. はじめに

我が国には、現在 15m 以上の橋梁は約 15 万橋ある。このうち架橋後 50 年を超える橋梁数は全数の 6% を占め、今後 10 年後 20%、20 年後には 47% になる¹⁾。既設橋梁の中には、架橋後の厳しい自然環境から損傷を受け劣化が進行した橋梁が多くある。これらの損傷を受けた橋梁は劣化が進行するにつれ、近い将来維持管理費用に重大な影響を与えることが考えられる。国や地方の財政が頻拍している現状を考えると計画的に橋梁の維持管理費を捻出し、橋梁の長寿命化を図る必要がある。

橋梁の維持管理を行う上では、橋梁のライフサイクルコストを考慮し、橋梁の維持修繕計画を策定して行う必要がある。橋梁の維持管理は、橋梁の損傷状況を把握する点検が重要となる。多くの橋梁を効率よく安価に点検する方法として目視点検による方法が行われている。

効果的な目視点検を行うためには、点検技術者の橋梁技術に関する深い知識と損傷体験の積み重ねが必要となってくる。しかしながら少子高齢化による若手技術者の人材不足や、熟練技術者の大量退職により、技術の伝承および継承機会が失われつつある。さらに公共事業費用の減少により若手技術者が現場経験をj得る機会が減少している。

上述のような老朽橋の割合が急激に増加している現状を考慮すると、橋梁点検技術者の育成は急務である。しかしながら、従来のように現場による技術の伝承や経験を積み時間をかけて若手技術者を育成する時間的余裕が限られている。そのため若手技術者を早期育成する手段として、現場経験と同様な体験が可能なバーチャルリアリティ (Virtual Reality:VR) 技術²⁾などの活用を模索する必要があると考える。

本論文は、現場に近い「空間」を創造し、現場での点

検技術環境を提供することが可能な VR 技術を活用した「橋梁点検技術体験支援システム」³⁾を実際の橋梁に適用し、その体験効果などを検証するものである。

2. システムの開発

2.1 バーチャルリアリティの概要

バーチャルリアリティ (VR) とは、視覚、聴覚、触覚など人間の感覚器官に対してコンピュータなどによって合成された情報を直感的に理解、実現できる技術である。VR 技術で構成・表現できるものとしては、

- 1) 被験者が体験できる仮想空間の構築,
 - 2) 感覚への働きかけで得られる物理的・心理的な没入感,
 - 3) 被験者の位置や動作に対する感覚へのフィードバック,
 - 4) 被験者が仮想世界に働きかける双方向対話性,
- などがある。これらの要素・機能は高性能コンピュータにより実現が可能である。橋梁点検技術者の橋梁目視点検の体験においては、現地橋梁の目視点検を疑似体験が行えるシステムへVR 技術を活用できる³⁾。

VR 技術を活用した「橋梁目視点検支援システム」(以下、本システム)は、既存橋梁の画像情報をコンピュータにより立体的に表示し、橋梁点検を仮想体験できるシステムである。本システムは橋梁点検技術者の橋梁目視点検の技術体験であることから目視点検の体験を重点にシステムの開発を行なった。既設橋梁の現場空間をVR 技術により作成することにより目視点検方法や損傷判断の手法を学習・体験できることが可能なシステムである。

2.2 本システムの概要

本システムは、後述の橋梁点検技術者講習会⁴⁾において点検現場の空間を与え点検手法の説明補助として開発し、以下の5つの機能を有している。図-1に本システムの機能構成を示す。すなわち、

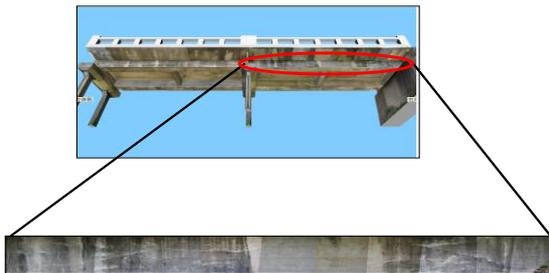
*1 山口県庁 土木建築部道路整備課 主任 (学生会員)

*2 山口大学大学院 理工学研究科 教授 工博 (正会員)

*3 第一工業大学 情報電子システム工学科 准教授 (正会員)

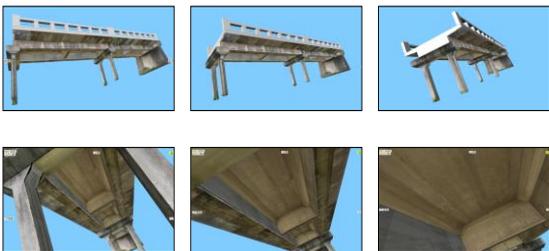
1. 画像による損傷確認

橋梁の実画像を用いて損傷した部位の劣化状態の確認



2. ウォークスルーによる橋梁目視点検疑似体験

橋梁の外観の画像を用いて3次元CGによるVRシステムを構築し、VR環境下で点検の疑似体験を行う。



3. 損傷の箇所の確認と評価レベルの確認

点検の疑似体験の結果と専門家の点検結果を比較し、有無の確認と評価レベルの確認ができる。

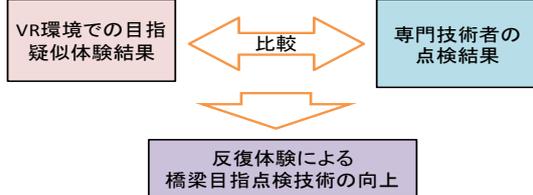


図-1 本システムの機能構成

- 1) 3次元画像（3D-CG）による劣化・損傷の確認,
- 2) ウォークスルーによる点検体験,
- 3) 劣化・損傷の確認と評価レベルの確認,
- 4) 橋梁点検技術者の点検手法の伝授,
- 5) 現地に行かなくても3次元画像による仮想体験が可能。

上記のような機能を具備するように本システムを構築した。本システムは、橋梁点検技術講習会⁴⁾において以下に示す事項の説明補助として利用した。

- ①橋梁点検結果の保存：3次元CGモデルより外観の画像と点検結果を比較することにより過去の診断との比較ができ損傷の進行を体験可能,
- ②橋梁点検の疑似体験：既存橋梁の外観の画像を3D-CGによりVR環境での疑似橋梁点検体験可能,
- ③橋梁点検結果のばらつき低減：橋梁外観の画像から橋梁点検技術者による損傷レベルの判定手法を体験可能,

これにより橋梁点検技術者の目視点検技術の修得促進を支援するものである。

2.3 VRシステムの作成方法

本システムの構成図を図-2に示す。橋梁の外観詳細写真、橋梁3D-CGモデルからのデータベースを作成し、ソフトウェアを用いてデータベースからのデータの読み出し、表示画面の構成およびディスプレイやスクリーンへの映写を行う。

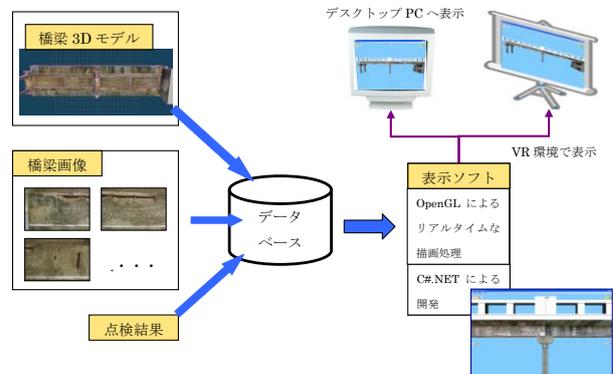


図-2 本システム構成図

(1) 撮影

本システムに映される橋梁の3D-CGは、実際の橋梁をデジタルカメラで撮影した画像により作成する。撮影する部材は、主桁側面・底面、横桁、床版下面張出部、橋台・橋脚の表面を近接撮影し、それぞれの部材表面と直角となるように撮影する。

(2) 画像加工

撮影画像は、カメラレンズによる歪み、撮影箇所・撮影時間による明暗、遠近による形状の差異が生じる。これらの画像を連結するために、画像処理ソフト(GIMP)でレンズ補正、対象箇所の切抜き、回転、拡大・縮小、遠近の補正を行う。写真の切抜きは、次に述べる連結作業がしやすいように、コンクリート打ち継ぎ目や型枠跡が水平または垂直になるように行う。

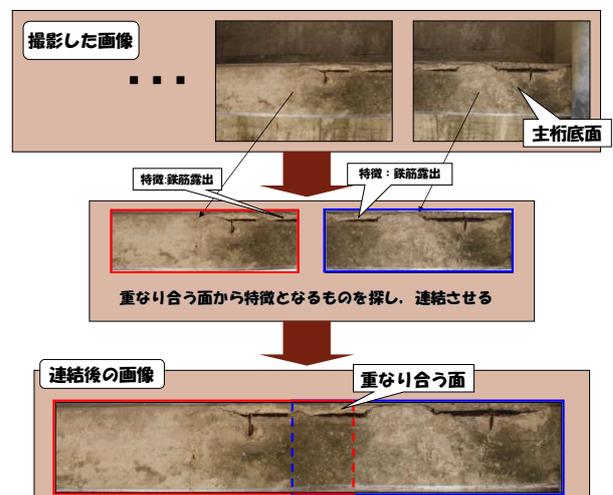


図-3 画像の連結

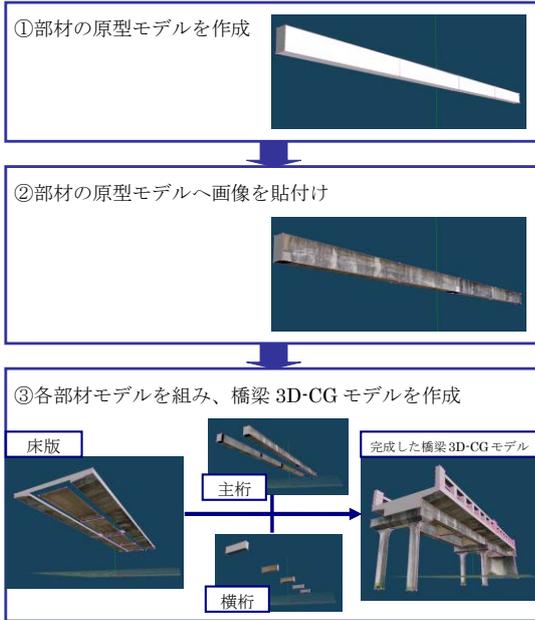


図-4 橋梁 3D-CG モデル作成

(3) 画像の連結

前記(2)で補正した画像を画像処理ソフトにより、撮影時に設定した重複範囲と合致するように連結を行う(図-3)。部材表面の連結された1枚の画像を橋梁3D-CGモデルの原型に3Dモデル作成ソフトにより貼り付け、橋梁点検体験3D-CGモデルが完成する(図-4)。

3. 損傷体験の方法と内容

3.1 体験方法

橋梁点検をあまり行なっていない若手技術者を対象に実施している橋梁点検技術講習会⁴⁾(以下、講習会)のなかで、本システムを用いて損傷体験効果を検証した。若手技術者は勤続年数10年以下で橋梁点検従事期間が5年以内の県庁技術職員が参加した(図-5)。

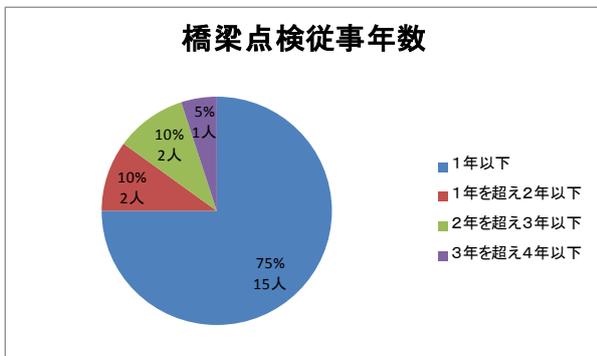


図-5 橋梁点検従事年数

講習会は、点検技術者から若手技術者へ橋梁の基礎から橋梁点検の手法、橋梁の補修・補強方法を講習するものである。このなかで、本システムを用いて橋梁目視点

検の体験を行った。講習会における本システムの体験方法を以下に示す(図-6)。

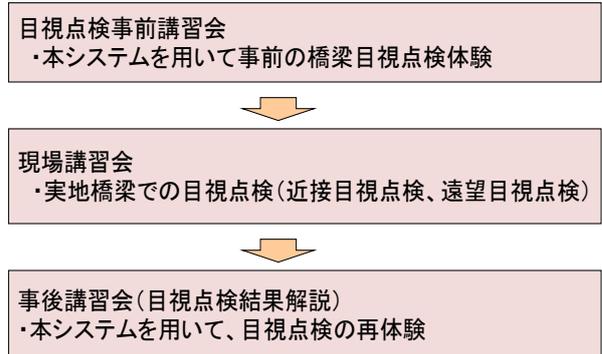


図-6 本システム体験方法

3.2 目視点検事前講習会

橋梁点検技術者が本システムを用いて橋梁目視点検を行うにあたり、重要となるポイントや損傷状況の判定基準の説明を行なった(図-7)。さらに、損傷図を書くための記入方法や損傷記号(図-8)の説明を行った後に、本システムを用いた橋梁点検事前体験を行なった。



図-7 本システム体験状況

損傷の種類	形式	損傷の種類	形式	損傷の種類	形式
ひび割れ		遊離石灰		腐食	
剥離		漏水・滞水		浮き	
鉄筋露出		変形・欠損		その他	

図-8 損傷記号

3.3 現場講習会

若手技術者が本システムによる事前講習で習得した橋梁点検技術にもとづき、現場橋梁スパン1は近接目視による点検、スパン2は遠望目視による点検(図-9)を行なった。近接目視では、近接で橋梁の損傷を確認し、検査ハンマーにて浮きを打音で確認した。遠望目視では、目視のみで損傷を確認した。目視点検の成果として損傷図を作成した。



図-9 現場橋梁点検

3.4 事後講習会

現場講習会后に日を改めて、橋梁点検技術者が本システムを用いて現場で行なった橋梁目視点検を再現し、橋梁に発生した損傷箇所の確認や損傷判定の解説を行なった。若手技術者はそれぞれが作成した損傷図と点検技術者が作成した損傷図(図-10)と本システムを用いた解説により損傷箇所の確認や損傷判定の理解を行なった。その後、本システムを体験した若手技術者に対して本システムが現地橋梁を再現ができていのかアンケートを行なった。

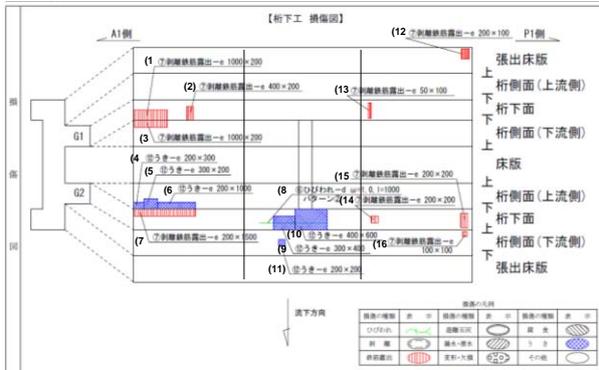


図-10 橋梁点検結果の例(スパン1)

4. 損傷体験効果の検証

若手技術者が現地橋梁目視点検で作成した損傷図と点検技術者が作成した損傷図(図-10)の比較を行うことで、点検が正しく行えたかを確認する。また、本システムを体験したスパン1と体験していないスパン2の点検結果を比較することにより本システムによる損傷体験効果を検証する。

橋梁点検は損傷の種類と損傷位置が重要となることから、損傷図に損傷種類と位置が正確に記載されているかという観点から採点を行う。採点結果から損傷ごとの評価および本システムの体験効果を評価する。以下に点検体験効果の検証について述べる。

4.1 橋梁目視点検結果

(1) 採点準備

橋梁点検技術者が作成した点検結果の損傷図(以下模範解答とする)(図-10, 11)のそれぞれの損傷箇所に番号をつける。橋梁の損傷として橋梁端部に発生する損傷と支間中央に発生する損傷を把握しているか判断するために損傷図を3等分し、損傷の位置関係を定める。



図-11 橋梁点検結果の例(スパン2)

(2) 採点

若手点検技術者が作成した損傷図を模範解答に重ね合わせ、損傷箇所と損傷種類が正しく記載されているかを確認する。損傷の種類の確認では、損傷の種類が正確に記載されていれば2点、間違っていれば1点、未記入であれば0点とする。位置の確認では、位置が合っていれば2点、位置がずれていれば1点、未記載または、大きく外れていれば0点とした。これを組合せにより点検評価加点点数(表-1)を定めた。点検であることから、損傷が把握されていることに重点を置き按分配点とした。

表-1 点検評価加点点数表

位置(点)	総合点			
	損傷の種類(点)			
	合っている...2	間違っている...1	記入なし...0	
合っている...2	4	2	0	
ずれている...1	3	1	0	
記入なし...0	0	0	0	

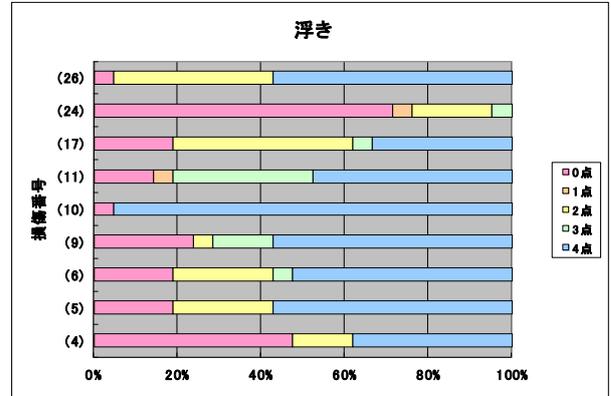


図-12 浮きの判定取得点割合

(3) 採点結果

図-12, 13, 14は、それぞれの損傷箇所における点検評価加点点数の割合を示したものである。図-15

は、それぞれ損傷個所の評価加点点数を合計し、その合計点を100点満点で割戻らわしたものである。以下それぞれを考察する。

浮きに関して：図-12より、損傷の浮きに関しては、概ね8割が発生位置及び損傷種類を把握し損傷図に記載していると言える。近接目視にて打音による確認をした結果正確に損傷確認が行えたと言える。

鉄筋露出に関して：図-13より、鉄筋露出に関しては、比較的2点以上をとっており鉄筋露出を理解し点検が行えたと言える。鉄筋露出の損傷が小さい場合は、他の損傷と判断したのではないかと考えられる。

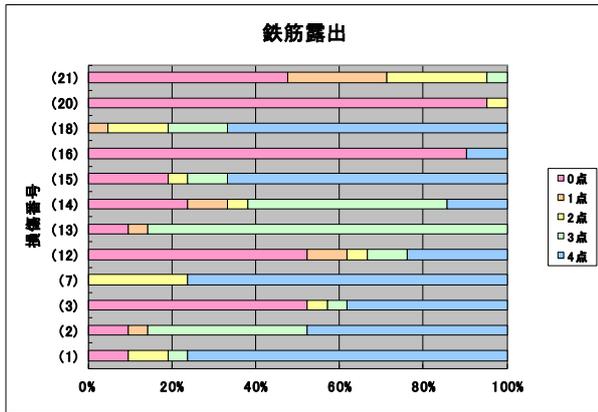


図-13 鉄筋露出の判定取得点割合

ひび割れに関して：図-14より、ひび割れに関しては8割の技術者が正確に把握しておらずひび割れの判定が難しかったことが分かる。ひび割れの判定が困難であった理由として他の劣化因子が橋梁表面にあらわれておりひび割れの発見が困難であったと推測される。

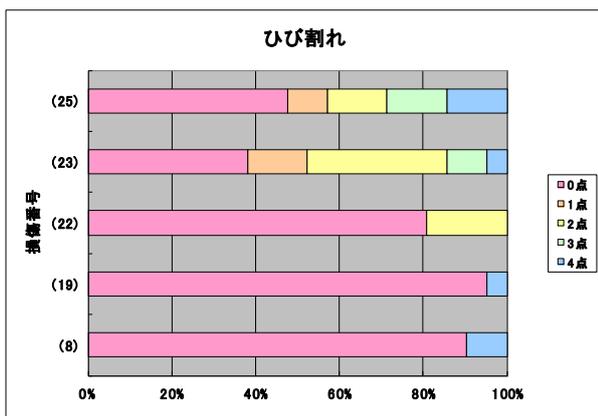


図-14 ひび割れの判定取得点割合

総合点に関して：図-15より、橋梁点検の全体取得点数としては、100点満点中本システムを体験したスパン1（図-15上段）は平均点55点であり、分散は151であった。一方、本システムを体験していないスパン2（図-15下段）は平均31点であり、分散は214であった。スパン1とスパン2の平均点差24について、t検

定⁵⁾を行なったところ有意水準0.1%以下で優位であることが判定できた。

このことから、本システムを体験したスパン1は本システムを体験しなかったスパン2と比べ有意に大きいことから、本システムによる体験効果があったといえる。

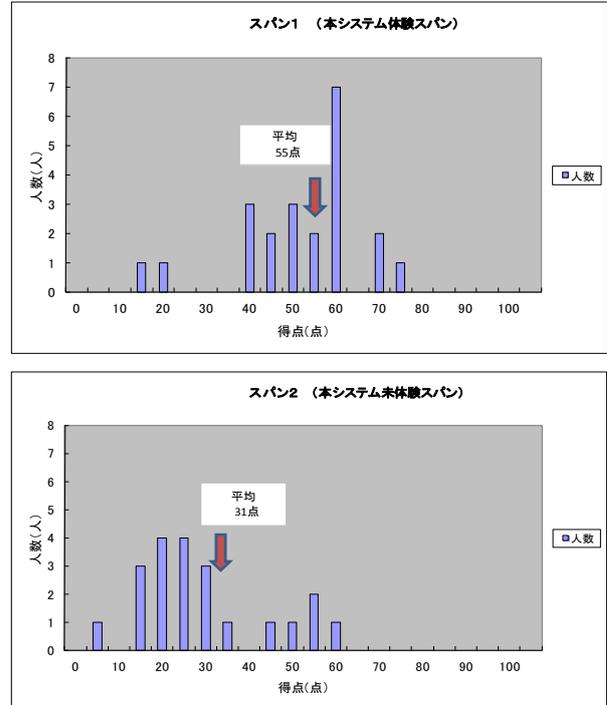


図-15 総合評価得点分布

4.2 VR 損傷体験の確認

事後講習会にて橋梁点検技術者が、再度本システムを用いて損傷位置、損傷の種類、および損傷ランクの判定方法についての解説を行った。現場橋梁点検を体験した若手技術者に対して本システムによる体験は、現場点検と比べ現場の再現が出来ているかの調査を行なった。

図-16は、VR画像への理解の調査結果、図-17, 18, 19は、本システムによる体験と実橋梁での点検体験を比較し、再現性、損傷の体験、損傷の判断に効果についてのアンケート調査結果を示したものである。

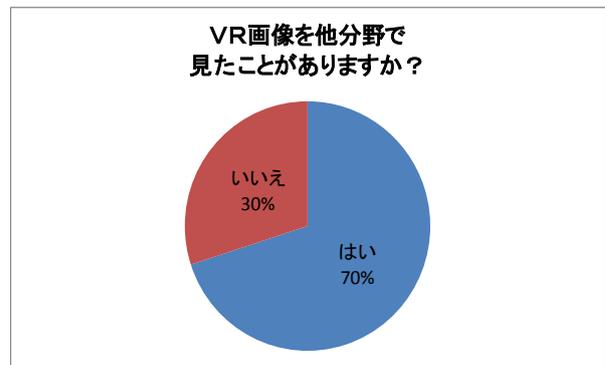


図-16 VR画像に関する調査結果

VR画像に関して：図-16より、VR画像の体験は

70%があるとの回答があった。若手技術者はこれまで何らかのVRやCGの体験があり、本システムが示す画像の理解はされていることがわかる。

現場再現性に関して：図-17より、本システムにおいて80%が橋梁全体の再現ができているとの回答が得られた。このことから本システムを体験することにより現地橋梁を想像し、現地橋梁の損傷体験の再現が行えたことがわかる。

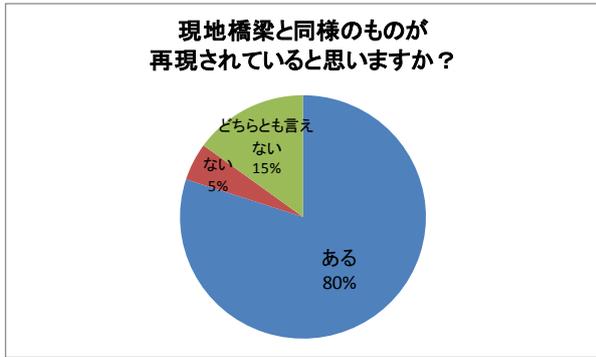


図-17 現場再現性に関する調査結果

損傷・劣化の確認に関して：図-18より本システムにより剥離・剥落や鉄筋腐食の損傷現象の確認は約70%以上、ひび割れの損傷現象の確認は約60%以上が体験可能と回答している。本システムは現地橋梁の損傷状況を再現しており損傷体験ができていることがわかる。

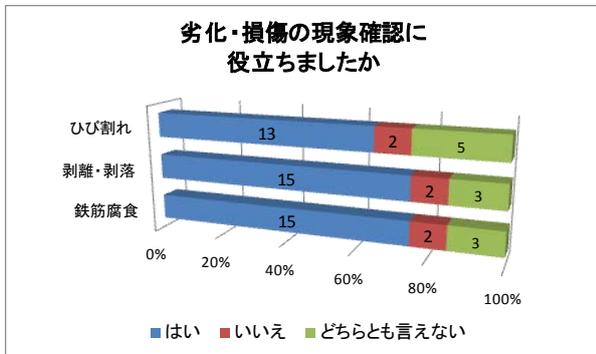


図-18 損傷・劣化の確認に関する調査結果

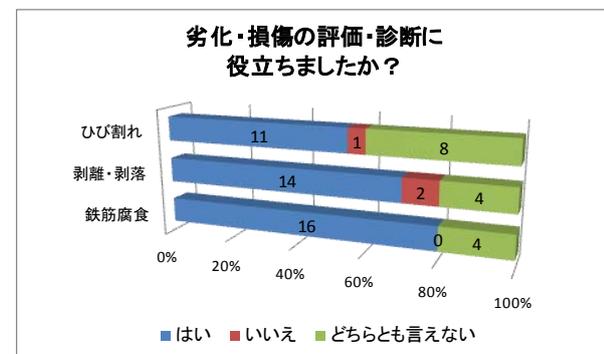


図-19 劣化・損傷の評価に関する調査結果

劣化・損傷評価に関して：図-19より、本システム

により剥離・剥落や鉄筋腐食の評価・診断の確認は約80%が役立ったとの回答を得た。剥離・剥落、鉄筋腐食の劣化損傷は、本システムにおいて、有効に表示されて体験できているとわかる。

一方、ひび割れの損傷評価の確認には約50%が役立つとの回答となっている。これは、本システムにおいて再現が他の項目に比べて十分でなかったと言える。この原因として細部の立体映像提示が行えなかったこと、スクリーン画面の表示解像度によりひび割れの細部が映し出せなかったと考えられる。

5. まとめ

本研究では、VR技術を活用した橋梁点検体験システムの損傷体験効果について検証を行い以下の結果を得た。

- (1) 本システムは現地橋梁の再現が行われており、橋梁点検を行う上で技術者の目視点検技術習得のため有効であることがわかった。
- (2) 現地橋梁目視点検では、ひび割れ、浮き、鉄筋露出の点検結果にばらつきが生じていることがわかった。
- (3) 本システムによる再現は、ひび割れ、浮き、鉄筋露出の損傷体験に有効であることが得られた。

以上のことから、今後本システムによる損傷体験を行う上で、各損傷に対して詳細な表示を行う必要があること、点検技術者の解説を繰返し体験可能なシステムへの改良が必要であることが考えられる。本システムの改善点は以下に示す。

- 1) 橋梁表面の凹凸の表示
- 2) 図面情報の追加
- 3) 浮きや剥離を判断する機能(打音)の追加
- 4) 橋梁点検結果の保存機能

これらのことを改善することにより効果的な橋梁目視点検体験システムの構築が行えると考える。

参考文献

- 1) 道路橋の予防保全に向けた有識者会議：道路橋の予防保全に向けた提言（入手：2011.12.24）
<http://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/maintenance/1pdf/2.pdf>
- 2) Sherman W.R & Craig A.B.: Understanding Virtual Reality: Interface, Application and Design, Morgan Kaufmann, 2003.
- 3) Miyamoto A., Konno M. & Rissanen T.: VR-based Education System for Inspection of Concrete Bridges, Computers and Concrete, Vol.3, No1, pp.29-42, 2006.
- 4) 山口県土木建築部道路整備課：山口県橋梁メンテナンスエキスパート講習会資料，2010。
- 5) 奥野忠一，芳野敏朗：実験計画法，培風館，1969。