(1) 橋梁デジタル点検野帳の実装

田井政行[1]・白旗弘実[2]・河合孝純[3]・青木工[4]・原廣敬[5]・髙木千太郎[6]

[1]正会員　琉球大学准教授 工学部工学科社会基盤デザインコース（〒903-0213 沖縄県西原町千原 1 番地）
E-mail: tai@tec.u-ryukyu.ac.jp (Corresponding Author)

[2]正会員　東京都市大学教授 建築都市デザイン学部都市工学科（〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1-28-1）
E-mail: hshiraha@tcu.ac.jp

[3]正会員　東京都市大学教授 大学院総合理工学研究科 情報専攻（同上）
E-mail: tkawai@tcu.ac.jp

[4]正会員　国土交通省東京航空局空港部（〒102-0074 東京都千代田区九段南 1-1-15 九段第 2 合同庁舎）
E-mail: aoki-t97bd@mlit.go.jp

[5]正会員　国土交通省東京航空局空港部（同上）
E-mail: hara-h108s@mlit.go.jp

[6]正会員　一般財団法人 首都高速道路技術センター（〒105-0001 東京都港区虎ノ門 3-10-11）
E-mail: takasent@tecmex.or.jp

本研究では，橋梁における「損傷・劣化の見過ごし」や「点検結果の誤判定」を防ぎ，信頼性の高い点検実施のために，著者らが開発したデジタル点検野帳を実橋梁の点検作業に実装し，その評価と課題について整理を行った．デジタル点検野帳を用いることで，タブレット端末に構築した橋梁 3D モデル上に，類似橋梁の損傷事例や，損傷・変状が生じやすい個所を表示することができるため，構造詳細の理解や損傷・変状が生じやすい個所を把握しやすいという好意的な意見が得られた．しかしながら，機材の操作性の複雑さや現場でのインプット作業が多くなること，タブレット端末のカメラでは狭隘部の撮影が困難であるなど，現場適用性を向上させる必要がある結果となった．

Key Words: デジタル野帳，橋梁点検，実装検証，3D モデル，タブレット端末

1. はじめに

国土交通省が各自治体の点検結果を取りまとめているインフラメンテナンス年報[1]では，橋梁の点検結果の損傷度Ⅲ，Ⅳの割合が，自治体によって大きくばらつく結果が報告されている．地域特性等の影響も考えられるが，おおむね環境が等しいと考えられる隣接する県でもばらつきがあることから，点検者の知識・技術不足による「損傷・劣化の見過ごし」や「点検結果の誤判定」が原因と考えられる．点検前の事前学習だけでなく，現場においても類似の橋梁の損傷事例や対象橋梁の特性を把握するために過去の点検記録等を参照することで「損傷・劣化の見過ごし」や「点検結果の誤判定」を防ぐことができると考えられるが，損傷事例や過去の点検記録の多くは紙媒体で保存されており，現場で点検中にそれらを閲覧することは困難である．それゆえ，類似の損傷事例や過去の点検記録を現場で参照でき，橋梁毎の重要点検部位を把握可能なシステムの構築が求められている．

近年，インフラ分野の DX を推進しており，3 次元データ等のデジタル技術を活用した維持管理に関する取り組みが，産官学の様々な機関で積極的に行われている．そこでは，デジタルデータを活用した点検支援ツールとして，橋梁諸元や点検記録等の情報が取得可能なシステムの開発が行われている[2-4]が，損傷の見過ごしやその診断，記録に着目した支援はほとんど行われていない．そこで著者らは，点検時の損傷・劣化の見過ごしを防ぎ，信頼性の高い点検実施のために，タブレット端末内に橋梁 3D モデルを構築し，そのモデル上に過去の点検結果や新たな点検個所，点検結果を記録可能な機能や，損傷とその判定事例として橋梁定期点検要領[5]の事例及び橋梁諸元などの基礎データを現場で確認可能なデジタル野帳の開発を行っている[6]．本研究では，開発したデジタル野帳の有効性や現場適用性について実橋で実装検証を行い，得られた課題について報告する．

2. 開発したデジタル点検野帳の概要

本章では，著者らが開発したデジタル点検野帳 [6]の概略について説明する．

デジタル点検野帳の開発には，システム開発に汎用 3D ゲーム開発ソフトウェアの Unity を，橋梁 3D モデル作成には Fusion360 をそれぞれ用いた．また，使用するデバイスには Windows Surface Go3 を選定した．

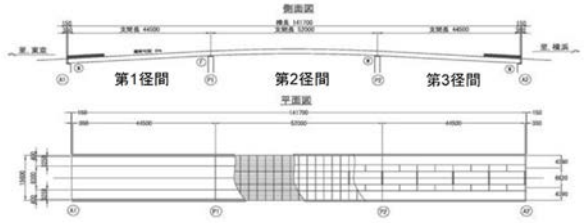
デジタル点検野帳の機能は，文献 6）で報告した(1)橋梁 3D モデルと点検目線の確認機能，(2)類似橋梁の損傷事例と誤判定防止機能，(3)点検記録の確認機能，(4)点検結果の記録機能，(5)点検調書の作成機能に加えて，(6)及び(7)を追加している．

(6) 部材番号の表示機能

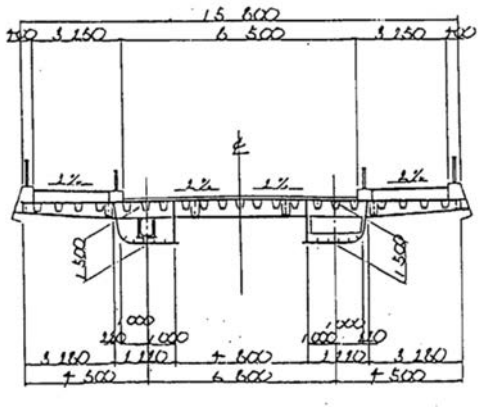
損傷や変状を発見し，点検を実施したとしても，その報告が適切に行われなければ，その後の措置に支障が生じる．特に橋梁内では同じような構造や部材が多くあるため，点検個所が誤って報告される場合があり，補修や補強を行う際に損傷個所を発見できなくなるなど，現場で新たな問題や混乱が生じることがある．そこで，点検時の誤報告を防ぐために， 3D モデル上に部材番号を表示する機能を設けている．また，点検結果の入力時には，点検場所名を自動で取得し，表示される機能も設定している．例えば，実装対象とした**図-1** に示す橋梁では，**図-2** に示すように，箱桁の桁番号(G1 or G2)や，ダイアフラムや横リブの番号(S○ or R○)をモデル上に表示するとともに，点検個所がどの桁のどの横リブ区間であるかを自動で取得するようにし，誤報告を防ぐようにしている．

(7) 損傷の発生が懸念される個所の明示機能

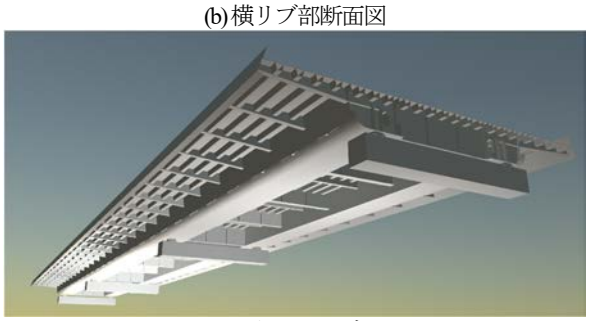
(2)の類似橋梁の損傷事例などから，損傷が懸念される個所について，橋梁 3D モデル上の色を変えて明示し，損傷の見過ごしを防ぐ機能を設けている．例えば，鋼床版では輪荷重直下にある縦リブの溶接部から疲労き裂の発生が懸念されている．また，現場継手の位置では，現場塗装となるため，他の部位と比べて塗膜の劣化や腐食の発生が生じやすい部位である．そこで，**図-3** に示すように，損傷・変状の発生が懸念される個所について，モデル上の色を変えることで，事前学習や点検時において点検重要個所を視覚的に把握できるようにしている．



(a) 一般図



(b) 横リブ部断面図



(c) 橋梁 3D モデル

図-1 対象橋梁一般図と橋梁 3D モデル

3. デジタル点検野帳の実装試験

(1) 実装試験方法

上述したデジタル野帳の有効性を検証するために，**図-1** に示す羽田空港管内の 3 径間連続鋼床版箱桁道路橋で実証試験を実施した．実証試験の方法は，若手点検員 2 名（点検歴 3 年未満）と中堅点検員 2 名（点検歴 10 年超）の 2 組に，デジタル野帳の実装前後での損傷発見数について比較を行った．具体的には，まず，第 1 径間と第 3 径間を対象に，熟練点検員 2 名（点検歴 20 年超）による近接目視点検を実施した．その後，若手点検員の組には第 3 径間をデジタル野帳実装前，第 1 径間をデジタル野帳実装後，中堅点検員には，第 1 径間をデジタル野帳実装前，第 3 径間をデジタル野帳実装後に近接目視点検を実施してもらい，熟練点検員の損傷発見数に対する若手及び中堅点検員の発見数の比較や，実装による効果を**表-1** に示すアンケートにより評価を行った．実装検証の状況を**図-4** に示す．

(2) 実装試験結果

熟練点検員及びデジタル点検野帳実装前後の若手及び中堅点検員の点検結果の一覧を**表-2** に示す．第 1 径間での損傷の発見割合は，実装前の中堅点検員では塗膜割れについて 38%，実装後の若手点検員では 50%と，疲労き裂発生の前兆である微細な塗膜割れの検出率の向上が見られた．一方，塗膜劣化については，実装後の若手点検員による検出はなく，錆については，若手・中堅点検員





図-2　部材番号の表示と点検範囲の自動取得機能



図-4　デジタル野帳の実証検証状況

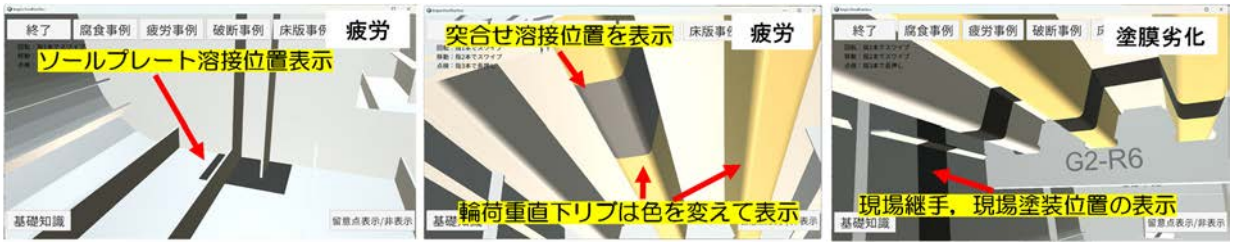


図-3　損傷の発生が懸念される個所の明示機能

のどちらも検出できなかった．第 3 径間では，熟練点検員が発見した塗膜割れや錆を中堅・若手点検員がともに発見できていなかった．塗膜劣化については，実装後の中堅点検員の検出率が 50%に対して，実装前の若手点検員では 88%と実装前のほうが優位な結果となっている．今回対象とした橋梁では，箱桁内の損傷や変状の発生数が少なかったこともあり，デジタル野帳の実装による効果が明確には確認ができなかったため，この要因について，実装後のアンケートより分析を行った．

実装後に実施した選択式のアンケート結果を**表-1** に，自由記述欄の主な回答を**表-3** にそれぞれ示す．事前学習については，橋梁の 3D モデルの方が図面よりも構造詳細や構造的な特徴や，損傷や変状が発生しやすい個所を把握しやすいといった好意的な意見が多く得られた．点検時については，今回用いた機器の大きさであれば，点検時に携行することは負担とならない傾向にあることや，デジタル野帳を活用により損傷や変状の見過ごしの減少につながるといった意見がある一方で，デジタル野帳を使用した場合は，機材の画面上での操作性の複雑さや現場でのインプット作業が多くなること，タブレット端末のカメラでは狭隘部の撮影が困難であるなどの意見があった．また，デジタル野帳適用により感じられる効果については，操作性などに課題はあるものの，過去の点検記録の閲覧機能などにより見過ごしが減ることや損傷位置などを共有しやすいといった意見が得られた．

以上の結果より，デジタル野帳を適用することで，従来と比較して 3D モデル上で構造詳細の理解や，損傷や変状が生じやすい個所を把握しやすくなると考えられる．しかしながら，野帳としての操作性が複雑であったり，現場でのインプット作業が多くなったりすることで，点検作業効率の低下や点検作業への集中力の低下につながり，実装による点検精度の向上が明確に得られなかった

表-1　アンケート項目と結果

事前教育について			
Q1	事前教育訓練に要する時間について	平均1.3時間	
Q2	構造的特徴の理解度	理解できた	3
		理解できなかった	0
Q3	構造的特徴の説明	わかりやすい	3
		難しい	0
Q4	疲労亀裂が懸念される箇所の理解度	理解できた	3
		理解できなかった	0
Q5	疲労亀裂が懸念される箇所の説明	わかりやすい	3
		難しい	0
Q6	腐食が懸念される箇所の理解度	理解できた	3
		理解できなかった	0
Q7	腐食が懸念される箇所の説明	わかりやすい	3
		難しい	0
Q8	事前教育の有用性		
	基本情報（橋梁諸元）	有用	4
		必要ない	0
	構造的特徴	有用	4
		必要ない	0
	疲労亀裂が懸念される箇所	有用	4
		必要ない	0
	腐食が懸念される箇所	有用	4
		必要ない	0
	補強部材の構造	有用	4
		必要ない	0
Q9	操作性	操作しやすい	1
		操作しにくい	3
点検時について			
Q1	損傷箇所の記入方法	操作しやすい	0
		操作しにくい	4
Q2	点検時に構造的特徴，疲労亀裂，腐食が懸念される箇所を読み返したか	読み返した	1
		読み返さない	3
Q3	点検時にタブレットは邪魔になるか	気にならない	3
		邪魔である	1
Q4	タブレット画面のサイズ	丁度よい	4
		小さい	0
		大きい	0
Q5	3D野帳を用いた点検効率	効率が良い	0
		変わらない	1
		効率が悪い	3
Q6	変状の見落とし・見逃し防止について	減ると思う	3
		変わらない	1
		増えると思う	0
Q7	操作性について	操作しやすい	0
		操作しにくい	4
Q8	追加・修正してほしい個所	自由記述	

と考えられる．それゆえ，今後は，点検作業効率を向上させるために，操作性の改良やインプット作業の省力化，機材の組み合わせの検討により，現場で使用しやすいシステムの改良を行う必要があるといえる．

4. まとめ

デジタル点検野帳を用いることで，類似橋梁の損傷事例に基づく損傷や変状が生じやすい個所を橋梁 3D モデル上で確認できるため，現場での点検漏れを防ぐことが期待できる．しかしながら，機材の操作性の複雑さや現場でのインプット作業が多くなること，タブレット端末のカメラでは狭隘部の撮影が困難であるなど，現場適用性を向上させる必要がある結果となった．

今後は，操作性の改良やデジタルカメラとの自動連係機能を追加し，点検作業に集中できる作業環境を確保する．そして，損傷や変状の点検漏れを防ぐとともに，点検結果を 3D モデル上に直接入力することで内業の省力化や誤記入・転記ミスをなくすことによる信頼性の高い点検実施の支援ツールの構築を目指していく予定である．

謝辞：本研究は「東京国際空港橋梁マネジメントに関する技術検討委員会(委員長　三木千壽)」及び JSPS 科研費 21K04565，東京都市大学重点推進研究［未来都市研究］の成果の一部である．また，開発にあたり，仲野孝洋氏，中澤治郎氏，芳賀尭氏には多くの助言をいただいた．ここに記して感謝の意を表する．

表-2　点検結果

第1径間				第3径間			
熟練事前調査	塗膜割れ	16		熟練事前調査	塗膜割れ	2	
	塗膜劣化	3			塗膜劣化	16	
	錆	3			錆	2	
	計	22			計	20	
中堅実装前	塗膜割れ	6	38%	中堅実装後	塗膜割れ	0	0%
	塗膜劣化	2	67%		塗膜劣化	8	50%
	錆	0	0%		錆	0	0%
	計	8	36%		計	8	40%
若手実装後	塗膜割れ	8	50%	若手実装前	塗膜割れ	0	0%
	塗膜劣化	0	0%		塗膜劣化	14	88%
	錆	0	0%		錆	0	0%
	計	8	36%		計	14	70%

第1径間：中堅実装前，若手実装後　　実装前　　実装後
第3径間：若手実装前，中堅実装後　　中堅点検員　　若手点検員

表-3　自由記述欄のアンケート結果

・操作に関すること
左右などの移動の時に，感覚的に逆に動く
点検時に行う3本指での操作がしにくい
現在の位置が分かるようにキープランを常に表示させて欲しい
キープラン上で，表示したいパネルにタッチ操作で移動できると使いやすい
・入力機能に関すること
部材や損傷の種類がプルダウンで選択できると操作しやすい
変状の名前を毎回入力するのが手間
・写真撮影に関すること
狭隘部ではタブレット端末での撮影は困難になります
オートフォーカスのみの場合，撮影時のピントが合わせにくい
・使用効果に関すること
点検した方が良い箇所が出るのは効率が良くなると思った
タブレットだからこそ表示画面のわかりやすさがある反面，特に狭隘な箇所や角度の調整が難しい箇所での写真撮影には不向きであると感じました
慣れの問題もあるが，画面での操作に手一杯となるため，肝心の損傷目視に対する注意力が落ちるようにも思う
使いなれれば操作性は良くなると思いますが，現状は従来方法と比べ能率が悪いです
過去点検結果も閲覧できるのであれば見落としは減ると思う
見た目が分かりやすく，作成後に他者が見ても損傷位置が直観的に理解できる
図面を見るよりも3Dモデルの方が構造の理解はしやすい
3D野帳から展開図，マーク図に展開できれば内業の効率化に繋がる

参考文献

1) 国土交通省 HP：道路メンテナンス年報(令和 4 年 8 月 版) <https://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/pdf/r03/r03_09maint.pdf>，（2023 年 5 月 6 日閲覧）．
2) 窪田諭, 石井慶之介, 丸山明, 安室喜弘：RFID と QR コードを用いた小規模橋梁の情報提示システムの開発と実験, 土木学会論文集 F3(土木情報学), 77 巻, 2 号, pp.II_9-II_15，2021.
3) 江本久雄, 小野智生, 中村秀明, 河村圭：橋梁カードによる AR を用いた点検情報へのアクセスの効率化, 土木学会論文集 F3(土木情報学), 75 巻, 2 号, pp.II_25-II_33, 2019.
4) 井林康, 丸山明：地方自治体向けのタブレット端末利用の橋梁概略点検システムの開発と実証実験, インフラメンテナンス実践研究論文集, 1 巻, 1 号, pp.8-17, 2022.
5) 国土交通省 HP：道路橋定期点検要領，<https://www.mlit.go.jp/common/001044574.pdf>，（2023 年 5 月 6 日閲覧）．
6) 田井政行, 白旗弘実, 河合孝純：橋梁定期点検用デジタルツイン点検野帳の開発, インフラメンテナンス実践研究論文集, 2 巻, 1 号, pp.136-142, 2023.