

河川構造物点検研修における デジタルツインに資するVR技術の活用

さいとうひろし しみずすみお さとうたかひろ のじまかずや かわのともき
齊藤 啓¹・清水純生²・佐藤隆洋³・野島和也⁴・川野倫輝³

¹日本工営株式会社福岡支店（〒812-0007 福岡県福岡市博多区東比恵1-2-12R&Fセンタービル5F）

²日本工営株式会社大阪支店（〒530-0047 大阪府大阪市北区西天満1-2-5）

³日本工営株式会社本社（〒102-8539 東京都千代田区麹町5-4）

⁴日本工営株式会社中央研究所（〒300-1259 茨城県つくば市稲荷原2 3 0 4）

従来の河川管理施設の点検技術に関する研修は実際の河川で実施してきたが、研修の好材料となる変状は河川管理上早急に修繕されるため、テキスト等にあっても実際に目にする機会のない変状も多い。昨今、新型コロナウイルス感染症による社会生活への影響も徐々に薄らぎつつあるが、感染症拡大防止の観点から集合研修も行い難くなっている。このような背景の中、デジタル技術の発展により様々な分野で「いつでも、どこでも、だれでも」というデジタルツインによる仮想空間が導入されつつある。本報告では河川構造物点検研修において、集合研修によらずテキストベースより研修効果が高いVR技術を活用した事例を示す。なお、仮想空間のコンテンツは、維持管理技術を学習できるものを作成した。

Key Words : VR, デジタルツイン, 維持管理

1. はじめに

河川堤防は土材料を主体としており経年的に長い期間の中で築堤履歴を有するものが多くあり、一部の材料の性質が構造物全体の安全性に支配的であるという特徴を持つ。その状態が出水や地震等の作用により常に変化することから、巡視や点検によって変状を把握し、最適な対策を講じる必要がある。

また、高度経済成長期に建設された河川管理施設は2033年3月には約62%が建設後50年以上を経過する¹⁾ことになり、老朽化により施設の機能や性能に不具合が生じないよう適切な維持管理が必要となっている。

一方、近年では平成25年の河川法の改正で河川管理施設等の維持・修繕に関する規定が創設され、その後河川管理施設の点検要領や点検評価要領の策定、点検結果の公表等河川の維持管理に対する社会情勢が変化し、変状を発見・対応するための点検・評価技術向上のニーズが高まっている。

昨今の感染症による影響も徐々に薄らぎつつあるが、感染症拡大防止の観点から集合研修は未だ行い難くなっている。

上記の背景を踏まえ経験の浅い技術者でも河川管

理施設の状態を適切に把握・評価し、対応できることを目的とし、研修用のVRコンテンツを作成した。

2. 課題

従来の河川管理施設の点検技術に関する研修は実際の河川で実施してきたが以下の課題があった。

- ① 研修の好材料となる変状は河川管理上早急に修繕されるため、テキスト等にあっても実際に目にする機会のない変状も多い。
- ② 変状を再現した実物大の研修用堤防の整備も各地で進めているが、再現が難しい変状や維持管理負担が大きい変状もある。
- ③ 感染症拡大防止の観点から集合研修も行い難くなっている。
- ④ 熟練技術者が退職し、今後相当数の施設老朽化が進む中、効率的な技術継承による即戦力となる技術者が求められている。

急速なデジタル技術の発展により様々な分野で「いつでも、どこでも、だれでも」というデジタルツインによる仮想空間が導入されつつある。テキストベースより研修効果が高いこと、実物大の研修よりコストがかからない（遠隔参加、実物模型作成コ

スト) ことを踏まえ、VR技術を活用し仮想空間の中で維持管理技術を学習できるコンテンツを作成した。

3. VRの活用事例

土木分野でのVRの活用事例としては本論文にあるような河川構造物の点検研修や建設現場の安全教育訓練、住民との合意形成に利用²⁾している。特に合意形成に関しては2021年12月16日に山国川のかわまちづくりで全国で初めてVR技術が活用されており、土木分野でもVR技術の普及が進んでいる。(図-1、図-2)



図-1 山国川かわまちづくりの住民説明会で使用したコンテンツの画面キャプチャ

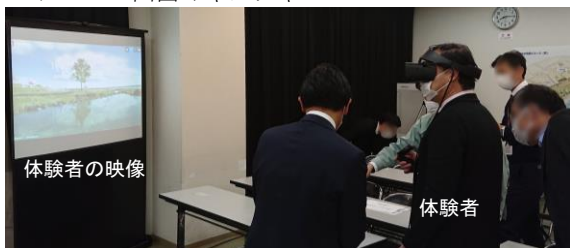


図-2 山国川かわまちづくりの住民説明会での体験の様子

4. 仮想空間での点検研修および破堤体験

仮想空間での点検研修および破堤体験について、研修の概要を表-1に、研修で使用したコンテンツを表-2に示す。

表-1 研修概要

研修の対象	新規採用後2年目以降の担当者や維持修繕に係る実務担当職員(事務所専門官・係長・出張所技術係長)等
人数	20名程度
場所	九州技術事務所研修所

表-2 研修で使用したコンテンツ一覧

名称	概要
点検シミュレータコンテンツ	仮想空間内に再現した変状を制限時間内に探すコンテンツ。①土堤・護岸②特殊堤・鋼矢板③剛支持樋門④柔構造樋門の4種類作成。
破堤体験コンテンツ	変状から破堤に至る過程を体験するコンテンツ。①越流②浸透③洗堀の3種類作成。
樋門における変状発生機構学習コンテンツ	樋門に発生する変状の過程を学習するコンテンツ。①剛支持②柔構造の2種類作成。

(2) 点検シミュレータコンテンツ

点検シミュレータコンテンツとは、仮想空間内に河川構造物に発生する変状を再現し、制限時間内に変状を探すコンテンツである。堤防実モデルでは再現が困難な変状や維持管理負担が大きい変状も仮想空間内に再現しており、実際に目にする機会のない変状も点検することが可能である。

図-3に示す作成したコンテンツは①土堤・護岸②特殊堤・鋼矢板③剛支持樋門④柔構造樋門の4種類である。

図-4に点検モードを体験している様子を示す。手元のコントローラを使用し、変状を発見した際にボタンを押してレーザーを照射する。変状に当たると画面上にピクトグラムがポップアップし得点する仕様となっている。終了時には図-5の通り、結果が一覧表示される。

点検モード体験後、体験者・講師の振り返りのため、変状の再現位置を示した変状位置図(図-6)や



①土堤・護岸Ver. ②特殊堤・鋼矢板Ver. ③剛支持樋門Ver. ④柔構造樋門Ver.

図-3 点検シミュレータコンテンツ一覧



図-4 VR体験時の様子

樋門点検シミュレータ		VRモード	
函体等の破損	× 2 / 4	繩手の変形	× 3 / 4
門柱の破損	× 0 / 1	堤防のクラック	× 2 / 2
函体の過大な沈下	× 1 / 2	土砂堆積	× 1 / 1
翼壁の破損	× 2 / 2		
合計:		11 / 16箇所	

図-5 終了時の結果表示

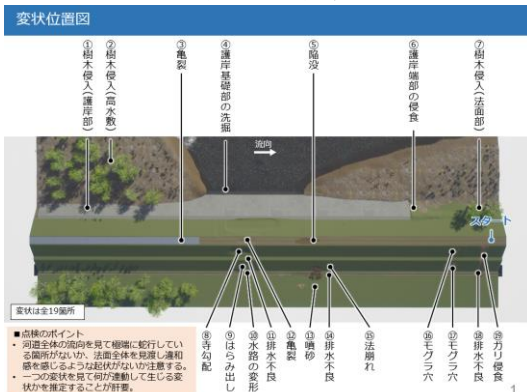


図-6 変状位置図

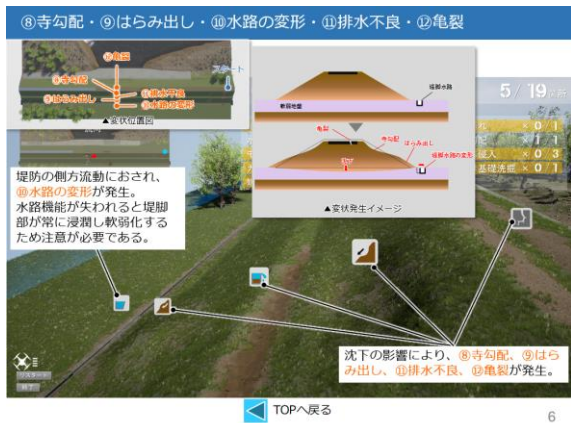


図-7 変状要因説明図

図-7のように変状に至った要因を整理した解説モードも作成した。なお、変状の要因は点検要領や実際に九州地方整備局管内で生じた変状の要因分析から得られた一般的な知見を参考に再現している。

実際の点検では変状を見つけるだけでなく、変状の発生要因を推定しそこから効果的な対策まで検討する能力が求められる。再現している変状はそれぞれ発生要因を設定しており、例えば堤防の沈下による法面のはらみ出しや天端の亀裂のように変状の関連性を学習できるよう留意している。そうした、変状の発生要因や点検の際の着目点を解説しており、受講生自身で見つけられた変状、見落としした変状それぞれを確認し、実際の点検へ生かすことを目的としている。

実際の点検は除草した直後に行うことになっているが、天候や除草スケジュール等によって除草後間が空いて草丈が高くなる場合がある。そうした草丈による視認性の違いについてコンテンツ内で体験できる点もVRの強みである。(図-8, 図-9)



図-8 草丈が短い状態



図-9 草丈が長い状態

(3) 破堤体験コンテンツ

破堤体験コンテンツは変状から破堤に至る過程を仮想空間内に再現し、疑似体験するコンテンツである。作成したコンテンツは堤防破堤の3大要因である①越流破堤②浸透破堤③洗掘破堤の3種類である。

実際に破堤する現場は危険なため近寄ることができないが、VRであれば様々な位置や角度から現象を体験することができる。破堤体験を通じて、変状からどのような破堤に結び付くか学ぶことで変状の重要度(軽重)判断と点検・評価後の対策を想定する技能を習得する。

a) 越流破堤体験コンテンツ

越流破堤体験コンテンツは文献³⁾に記載の破堤機構を参考にゲームエンジンを用いて越流破堤を再現したコンテンツである。越流破堤体験コンテンツでは堤防天端を越流した水が法面を下り、流速が速くなる法尻部から天端に向かって洗掘する様子を再現したコンテンツである(図-10上)。実際には危険なため、越流している現場を間近で見ることができないがVRであれば様々な視点から現象を観察することができる。

また、堤防天端に舗装を再現しており越流水による洗掘に対し舗装が粘り、破堤までのリードタイムを稼ぐ様子も再現している(図-10下)。

越流破堤のメカニズムを学習するとともに、越流に対する効果的な対策である危機管理型ハード対策(例えば、天端舗装、法肩ブロック、法尻ブロック等)⁴⁾についても学習することができる。

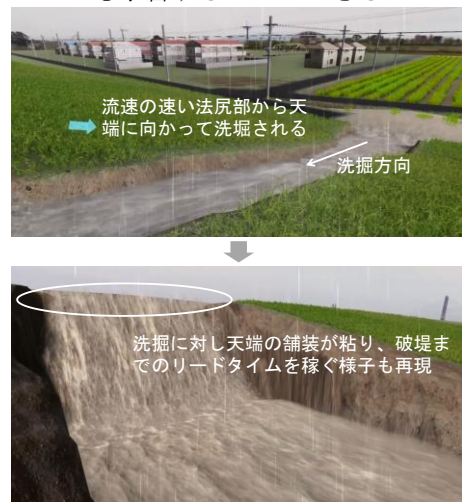


図-10 越流破堤体験コンテンツの進行状況

b) 浸透破堤体験

浸透破堤体験コンテンツは平成24年の矢部川破堤事例⁵⁾を参考として、基盤が透水層であり、外水位が上昇することで基盤を通じ堤内地に噴砂が生じ、パイピングによる破堤を再現したコンテンツである。

図-11⁶⁾の通り噴砂は地表面に現れる現象であるが、パイピングは地盤内で進行する不可視の現象であり、経験の浅い技術者にとって理解が進みづらい現象の一つである。図-12のようにVR技術を活用し、地表



図-11 噴砂の発生状況



図-12 噴砂発生付近の地表面を透過している様子を透過する処理などを行うことにより表面で発生する現象と地盤内部の現象を関連して観察することができ、理解度向上に寄与した。

c) 洗堀破堤体験

洗堀破堤体験コンテンツは既往の洗堀事例を参考にゲームエンジンを用いて洗堀破堤を再現したコンテンツである。図-13に示す通り河道が大きく湾曲した外岸側の水衝部において、護岸基礎部が洗堀され護岸の崩壊及び土堤の洗堀により破堤する様子を再現している。

実際には観察できない洪水の中で進行する洗堀の様子をVRにて仮想体験することができ、テキストベースの学習に比べ研修効果が高い。



図-13 河道が湾曲している様子



図-14 洪水の中で見た洗堀進行の様子

(4) 樋門における変状発生機構学習コンテンツ

変状発生機構学習コンテンツは剛支持（図-15）及び柔構造樋門（図-16）において、堤防のかさ上げ、拡幅等による圧密沈下でそれぞれ健全な状態から変状がどのように発生し、進行していくかを学習するためのコンテンツである。

剛支持樋門では堤防天端の抜け上がり樋門底版下の空洞化の関係のように、表面で見られる現象と関連して内部で発生する現象を合わせてみることができる。また、柔構造樋門では堤防の沈下に追隨し

て樋門が弓なりに沈下し、それによって継ぎ手の開き及び欠損部分からの土砂流出を再現しており、こちらも表面で見られる現象と関連して内部で発生する現象を合わせてみることができる。

変状に至る過程やその過程の中で関連して発生する変状を学習することで、変状要因を学習する。



図-15 剛支持樋門Ver. のキャプチャ画像



図-16 柔構造樋門Ver. のキャプチャ画像

5. まとめ

平成29年度からVRコンテンツを実際の研修において活用し、その際に実施したアンケート結果を元に変状の再現性や操作性等の改善を重ねてきた。またこうしたVRの活用はポストコロナ社会で有効と考える。現状は地域を想定したコンテンツとしているが、全国的に活用を広めるためには変状発生の地域性を考慮したコンテンツ作成が必要となる。

こうした維持管理に関するVRの活用は河川分野だけでなく、今後土木分野全体でも本技術が広く展開されることを期待している。

謝辞：本論文は「河川構造物点検実習施設検討業務（国土交通省九州地方整備局九州技術事務所）」の検討内容を取りまとめたものです。九州技術事務所の方々には、本検討に関してご指導いただきました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 国土交通省:インフラメンテナンス情報, (2022年7月7日取得, https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/maintenance/02research/02_01.html)
- 2) 国土交通省九州地方整備局:DXを用いた川づくりの推進全国初!ゲームエンジン・VRを用いた新たな合意形成(2022年7月7日取得, http://www.qsr.mlit.go.jp/press_release/r3/21121502.html)
- 3) 中島秀雄:図説 河川堤防, 技報堂出版, p. 78, 2003.
- 4) 国土交通省:ハード対策のポイント, (2022年7月7日取得, <https://www.mlit.go.jp/river/mizubousai/vision/hard.html>)
- 5) 矢部川堤防調査委員会:矢部川堤防調査委員会報告書, 2013.
- 6) 独立行政法人土木研究所地質・地盤研究グループ土質・振動チーム:河川堤防の浸透に対する照査・設計のポイント, 2014.