

堤防点検技術の習得に向けたVR・ARコンテンツの活用について

深作 俊介¹・佐々木 睦

¹関東技術事務所 維持管理・環境技術課 (〒270-2218 千葉県松戸市五香西6-12-1)

気候変動に伴う豪雨の頻発化により、河川堤防の維持管理と確実な点検実施は喫緊の課題となっている。関東地方整備局においても今後経験豊富な技術者の多くが定年退職することにより、若手職員への暗黙知の継承が十分に行われにくくなる。このような背景の中で関東技術事務所に整備した研修用不具合堤防を実地学習として活用しているところであるが、再現できる変状の種類は限られ、野外に設置されていることから荒天時に実施できないといった課題も抱えている。本取組では、VR・AR技術により多様な変状事例を安全かつ反復的にいつでも学習できる環境を構築し、変状認識力や判断力の向上、学習成果の均質化、若手職員の早期戦力化、熟練者の知識継承に対する有効性を検証し、標準化可能な研修モデルの構築を目指す。

キーワード 堤防点検, 点検技術, VR・AR, 技術継承

1. 背景と課題

気候変動の進行に伴う豪雨の頻発化・高強度化を背景として、河川堤防の適切な維持管理は地域の防災・減災に直結する喫緊の課題である。また堤防点検は、亀裂、沈下、浸食、越水痕跡等の多様な変状を早期に把握し、危険の兆候を適切に評価する高度な実務であり、観察力・判断力・記録精度といった複合的能力が求められる。加えて、近年は経験豊富な技術者の多くが定年退職することにより、現場で培われた暗黙知を含む若手職員への技術継承が困難となっていることが組織的課題として顕在化している。このような組織構造の変化は、教育機会の設計と学習資産の標準化を一層強く要請しており、行政内部研修の内容・方法の高度化が急務となっている。また、大規模災害時に顕在化する深刻な損傷は平常時に観察機会が乏しく、実地経験の蓄積に長期間を要するため、知識・技能の獲得速度や習熟度に個人差が生じることとなるため、デジタル技術を用いた研修により成果の均質化と若手職員の早期戦力化を図ることが求められている。

関東技術事務所に設置された研修用不具合堤防は、実物教材として実際に体験できる効果を有する一方、再現されている変状の種類が限定的であることから、受講者が体験できる事例に限られる。さらに、当該施設は野外設置であるため、研修当日の降雨・強風・高温等の気象条件に学習環境が左右され、教材品質や安全性の安定確保が難しい。

本取組では、VR（仮想現実）およびAR（拡張現実）技術を教育基盤として導入し、堤防の代表的かつ多様な変状事例をデジタルに再現・提示する学習環境を構築す

ることとした。VRでは、没入型の仮想現場において異常部位の探索・観察・評価を反復しながら効果的に訓練することを可能とし、稀少かつ危険度の高い状況も安全に体験することができる。またARでは、実堤防上に変状情報、植生繁茂等を重畳表示することで、現場での認知支援と判断過程の可視化を図り、手順の定着と記録の標準化を促進することとした。

なお、VR及びARの両コンテンツを併用することにより、教室内の基礎訓練と野外の実践訓練を効果的に体験することで、経験依存性の高い技能要素を体系的・再現的に獲得することができる研修プログラムとした。

本取組では、VR・ARコンテンツを活用した研修プログラムが、①変状認識力・判断力・記録精度の向上、②学習時間の効率化・運営負荷の軽減、③学習成果の均質化と若手職員の早期戦力化、④熟練者の暗黙知の形式化・継承の観点において有効性を示すことを目指した。

2. VR・ARによる学習手法について

(1) VRによる学習手法

VRは、堤防点検に必要な基礎的な観察力と判断力を身につけるための学習手法として導入した。具体的には、「VR堤防・樋門点検シミュレーター」（図-1 参照）により、仮想空間上に再現した河川構造物を自由に移動しながら、変状を探索、確認することで、点検手順や着目点を反復的に学習できる環境を構築した。

a) “実質的な体験”の再現

VRでの観察や判断を点検・評価要領の基準と対応さ

せることで、仮想空間で身につけた技能がそのまま現地での行動に生かせる“実質的な体験”を再現した。また、高い没入感を確保するため、変状箇所だけではなく周辺環境にもリアリティを追求している。

b) 「よく発生する変状」を重点的に学べるシナリオ設計

点検・評価要領に示された基本項目（法面・天端・裏法尻・護岸など）をすべて取り入れたうえで、地方整備局の研修事例や不具合堤防の再現事例を参照し、発生頻度の高い変状を優先的に配置した。

代表的な例として、法面の亀裂・陥没・小動物穴の集中、裏法尻の漏水や噴砂などがある。これにより、よく起こるのに見落としやすい変状を確実に学習できる構成とした。

(2) ARによる学習手法

ARは、研修用不具合堤防の現地学習を拡張する手法として導入した。具体的には、実堤防上にデジタル情報を重畳表示することで、現地では再現が難しい状態や時間的な変化を可視化した。

a) 植生繁茂状態の重畳表示による学習

実堤防上に植生繁茂状態を重ねて表示することにより、植生が繁茂した場合の視界の制限や、変状の見えにくさを現地で体感的に理解できる構成とした。（図-2 参照）

b) 洪水時の護岸浸食崩壊メカニズムの可視化

堤防点検では、現在確認される小さな変状が、将来の大きな被災につながる可能性を理解することが重要である。しかし、洪水時の護岸浸食や崩壊の進み方は、安全上の理由から実地で確認することができない。

そこでARを用い、洪水時に護岸がどのように浸食され、崩壊に至るのかを段階的に重ねて表示した。これにより、平常時の見た目だけでは判断しにくい危険性を、現地で具体的に示すことができた。（図-3 参照）

この可視化を通じて、受講者は変状の大きさだけでなく、その背後にある原因と被災へのつながりを理解できるようになった。

3. 「VR堤防・樋門点検シミュレーター」開発において工夫した点

(1) 経済性の確保

本開発では、予算制約下での教材の整備を行う必要があるため、経済性を確保しながら効率的・効果的なコンテンツを作成することを重視した。具体的には、九州技術事務所が構築した既往の点検シミュレーターを基礎コンテンツとして導入することで、新規開発に係る費用を最小化する方針とした。その結果、開発コストの大幅な抑制と作業効率の向上を実現した。



図-1 VR 堤防・樋門点検シミュレーター操作画面

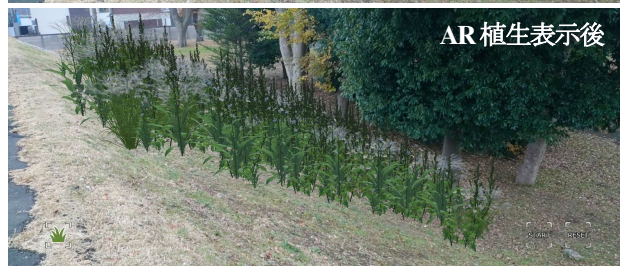
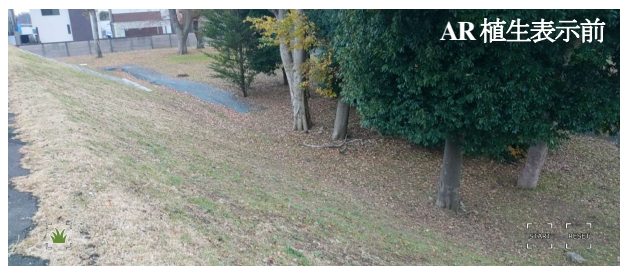


図-2 研修用不具合堤防へ投影したAR（植生繁茂コンテンツ）



図-3 研修用不具合堤防へ投影したAR（護岸浸食崩壊メカニズム）

(2) 研修全体を見据えた総合的な研修設計

総合的な研修設計にあたっては、VR・ARコンテンツの開発に留まらず、その導入後の研修シナリオの構築にまで及んだ。つまり効率的・効果的な学習を実現するた

めには、VR・AR体験と講義・演習との連携が不可欠であるため、学習プロセスの順番、受講者の理解段階の把握、研修運営との整合を踏まえた体系的な研修設計を行った。

(3) RiMaDISを活用した実務実態の反映

RiMaDIS (River Management Data Intelligent System) は、国土交通省が全国の河川維持管理に関わる情報を一元的に収集・蓄積し、効率的かつ効果的な河川管理を実現するために構築した統合データベースシステムである。研修内容が実際の業務に合ったものとするため、関東地方整備局管内の点検結果をRiMaDISから抽出・整理し、現場で頻出する変状やその評価傾向を分析した。この作業により、VRに実装する変状の設定が実際の河川管理業務に即した内容となり、教材としての有効性が向上した。

(4) 変状発見力を高めるための学習支援機能の設計

変状発見能力向上のため、複数の学習支援機能を実装した。

具体的には、不具合箇所を選択回数に上限を設けることで、無作為な選択に依存せず、変状特徴を意識した観察を促すことを可能とした。

この機能により、実際の堤防点検に近い判断プロセスを体験しながら学べるようになり、より実践的な技能向上が可能となった。

また、変状の配置箇所及び発見済みか未発見かを把握できるマップ平面図を任意で表示できるヒント機能を設けることで、経験の少ない若手職員の手詰まりを防止し、自身の点検能力を確認しながら効率的に学習を進められるようにした(図-5 参照)。



図4 研修風景 (令和7年度 河川管理実務者)

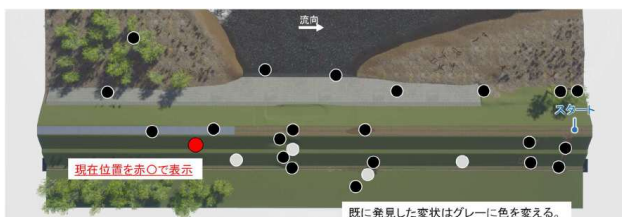


図5 ヒント機能のマップ平面図

(5) RiMaDISデータを活用した解説資料の体系化

シミュレーター内で提示する解説資料には、RiMaDISに蓄積された実データを用い、変状ごとの実例や評価事例をコメント付きで分かりやすく整理した(図-6 参照)。これにより、VR空間での変状再現と、実際の点検記録との対応関係が明確化されたことで、受講者は仮想空間と現場実務を結びつけて理解できる効率的・効果的な教材とすることができた。

4. 活用効果

R7年度の河川管理者研修では、VR点検シミュレーターとARによる現地重畳提示を組み合わせたカリキュラムを実施した。受講後アンケートには延べ13名が回答し、評価は「かなり参考になった」または「おおむね参考になった」に集中し、否定的回答はなかった。自由記述では、VR・ARが学習意欲を高めたことや、習得した点検知識をVR内で活かしたことが確認され、仮想体験の有効性が示唆された。これらの結果から、VR・AR併用研修は受講者に高く受け入れられ、体験理解の促進に寄与したといえる。

現地確認時のポイント 亀裂	
<p>亀裂 (縦断)</p> <p>計測標準 (図解)</p> <p>L: 亀裂の長さ (堤防縦断方向) B: 亀裂の幅 (開口) H: 亀裂の深さ</p>	<p>【現地確認時のポイント】</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 舗装厚より下に亀裂が達していないか。 ● 法肩側への極端な傾斜、あるいは段差を生じていないか。 ● 新設または改修 (拡幅、腹付け工事等) 直後に発生する亀裂は、進行性があると考えてよい。 ● 土砂等で目詰まりしている亀裂は、原則として点検対象としない (進行性なし)。 <p>【点検の目安】</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 亀裂の深さH > 舗装厚 ※舗装厚の参考値 = 5cm
<p>亀裂 (横断)</p> <p>計測標準 (図解)</p> <p>L: 亀裂の長さ (堤防横断方向) B: 亀裂の幅 (開口) H: 亀裂の深さ</p>	<p>【現地確認時のポイント】</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 舗装厚より下に亀裂が達していないか。 ● 縦断方向で段差を生じていないか。 ● 横断工作物が埋設されていないか。 ● 進行の度合は、縦断方向の亀裂と比較して小さいと考えてよい。 ● 土砂等で目詰まりしている亀裂は、原則として点検対象としない (進行性なし)。 <p>【点検の目安】</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 亀裂の深さH > 舗装厚 ※舗装厚の参考値 = 5cm

評価事例 b 評価 亀裂	
<p>土堤-亀裂 (横断)</p> <p>荒川下流河川事務所 小名木川出張所</p> <p>○変状の状況 アスファルトに亀裂が見られるため、経過観察とする。 ○評価 今後もモニタリングを継続する。</p>	<p>土堤-亀裂 (縦断)</p> <p>霧ヶ浦河川事務所 波崎出張所</p> <p>○変状の状況 堤防天端に縦断的なクラックを確認した。 ○評価 今後もモニタリングを継続する。</p>
<p>土堤-亀裂 (縦断)</p> <p>荒川上流河川事務所 熊谷出張所</p> <p>○変状の状況 縦断方向の亀裂の補修状況を確認。 ○評価 一部区間にて亀裂状況を確認したため、引き続き経過観察とし、モニタリングを継続する。</p>	<p>天端亀裂連続</p> <p>下館河川事務所 藤代出張所</p> <p>○変状の状況 天端連続部に横断亀裂有り。 ○評価 今後もモニタリングを継続する。</p>

図6 VR堤防点検シミュレーター上で表示される解説資料

(1) 定量評価の現状

本年度までに、どの程度変状を見つけられたか、初めて画面に提示された変状に気づくまでの時間といった、学習効果を定量的に評価する指標は未整備であり、統計的な有意差検証は実施していない。現時点で示せるのは受講後アンケートに基づく受講者の満足度のみである。

(2) 結果の整理

アンケート結果は、VR・AR 併用研修に対する高い受容性と、設計時に重視した「実質的な体験」「発生頻度の高い変状の優先配置」が受講者に明確に評価されたことを示唆する。一方で、サンプルサイズの小ささ、対照群比較の未実施等から、学習効果の実証には至っていない。

5. 今後の課題

(1) VR機器・ハイスペックPCの普及

VR機器や高性能PCの不足は、同時に研修できる人数や描画品質に制約を与え、学習の安定性を損なう要因となっている。現在は関東技術事務所が機器を各事務所へ貸し出すことで対応しているが、将来的には各事務所が必要機器を確保し、安定的に研修を実施できる体制づくりが求められる。

(2) VR技術の遠隔臨場等への技術転用

VR技術は、遠隔臨場や災害時の状況共有など、河川管理分野への応用範囲が広い。研修用としてだけでなく、実務の情報共有や判断支援にも活用すれば、機器の稼働率を高めつつ業務効率化にも貢献できる。今後は研修以外の用途を積極的に検討し、技術転用による運用効果の向上を図る必要があると考える。