

AI技術を活用した堤防点検の作業効率化への取り組み事例

吉川 智勝¹

¹ 株式会社 建設技術研究所 大阪本社 水工部

河川管理施設におけるインフラ機能の効率的・効果的な維持管理は、持続可能な社会の構築を目指す上で重要な課題である。国土交通省では、課題への取り組みとして、平成25年にRiMaDIS（河川維持管理を支援するデータベースシステム）を導入した。この導入により、維持管理データは一元化され、変状情報等の整理・分析の効率化が進んだが、変状情報の誤登録への対応が、維持管理の作業効率化や精度確保において課題となっている。本稿では、一級河川斐伊川水系直轄管理区間の堤防点検における「現場での誤登録防止策」と「AI技術を活用した誤登録発見ツール構築」を組み合わせた誤登録防止システムの開発事例を報告する。

キーワード：河川堤防，維持管理，ビッグデータ，AI，省力化

1. はじめに

(1) 「i-Construction」とAI

国土交通省は、革新的技術の活用によって生産性向上を図る「i-Construction」を推進している。ビッグデータやAIの分野は近年急激に進化しており、その動向を踏まえて現場の技術導入を積極的に進める必要がある。

現在は、第三次AIブームにあり、ビッグデータの処理を目的に「AI自身が学習する仕組み」（機械学習）が進化した「ディープラーニング」（深層学習）が中核技術となっている。本検討でも、本技術を活用している。

(2) RiMaDIS¹⁾とは

RiMaDISとは「River Management Data Intelligent System」の略称で、河川巡視・点検・対策等の維持管理業務を支援する全国統一版データベースシステムのことである。RiMaDISアプリをインストールしたタブレットを用いて現場で登録した変状等の点検記録が、インターネット上に自動的にアップロードされるオンラインシステムとなっている。アップロードデータは、PCから閲覧・編集が可能で、クラウドサーバ上で全国の点検データを一元管理できるため、河川維持管理の効率化に繋がっている。

(3) 直轄河川における河川堤防の点検

直轄河川における河川堤防の点検や評価は、「堤防等河川管理施設及び河道の点検・評価要領、H31.4（以下、要領と呼称）」に準拠して実施される²⁾。点検は年2回の実施（出水期前と台風期）が基本となっており、日常的には、河川巡視による点検も実施されている。

点検や河川巡視の記録は、タブレット等により現場でRiMaDISに登録されており、過去の点検記録を含めると膨大なデータがサーバー上に蓄積されている。

点検記録は、「評価ランク」（a～d評価の4段階評価、d評価が最も状態が悪い）、「変状種別（＝評価No.）」（法崩れ、護岸のクラック等の変状の分類）等の比較的曖昧な情報を、初めに点検実施者が現場にて判断・登録（一次評価）する。その後、事務所の担当者が確認・修正（二次評価）し、最終的には事務所全体の会議に諮り、評価ランクを最終確定（総合的な評価）する。

正確な点検記録には、一次評価が重要となるが、現場での作業環境に伴う登録ミス、点検実施者による評価のバラツキなどに起因する誤登録が河川管理施設の適正な評価の妨げとなっている。



図-1 RiMaDISを用いた点検実施状況

一級河川斐伊川では、変状種別や評価ランクの誤登録を防止するため、「点検実施者を対象とした事前勉強会の開催」や「担当者による全点検結果の確認作業」を行っていた。特に、全点検結果の確認作業は、最低でも約

2～3日程度の作業時間を要する上に、確認作業の漏れや人的な評価のバラツキが懸念される状況となっていた。

そこで、現場と事務所の特性に合わせた誤登録防止策を検討し、それらを組み合わせた誤登録防止システムの構築を図った。

2. 誤登録の事例

既往の点検結果では、変状の誤認識や堤防構造の分類間違いに起因する誤登録が散見された。傾向としては、「護岸や被覆工の破損」に係る誤登録が多い（図-2参照）。時系列的な変状分析や効果的な対策検討には、誤登録の防止が必須の課題である。事例を以下に示す。

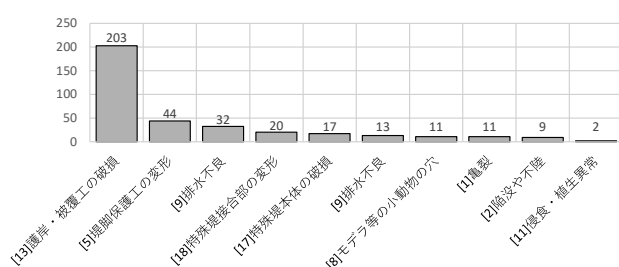


図-2 誤登録（評価No.）の傾向

(1) 誤登録事例①（特殊堤の本体の破損）

図-3に示す変状は、斐伊川水系の中海・宍道湖に多い特殊堤本体の変状事例である。正しい変状種別は「特殊堤の本体の破損」に該当するが、亀裂が胸壁を貫通しているため、接合部と誤認し「特殊堤の接合部の変形」と誤登録された事例である。他にも類似の変状を「護岸・被覆工の破損」として誤登録していた事例もあった。



図-3 誤登録事例① 特殊堤本体の破損

(2) 誤登録事例②（特殊堤の接合部の変形）

図-4に示す変状は、特殊堤の胸壁接合部の変状事例である。正しい変状種別は「特殊堤の接合部の変形」に該当するが、「特殊堤の本体の破損」と誤登録された事例である。先述の誤登録事例①と同様に、「護岸・被覆工の破損」として誤登録されていた事例もあった。



図-4 誤登録事例② 特殊堤接合部の破損

3. 誤登録防止システムの構築

(1) 誤登録防止を図る項目

点検等では、現地において表-1に示す点検記録項目を RiMaDIS に登録する。点検に用いるタブレット端末の GPS 機能を活用し、「点検記録項目 1～4」は自動的に入力される。点検実施者が、現地状況や変状の状態から判断して入力する項目は「点検記録項目 5～10」であり、これらの項目で誤登録が発生している。

点検記録項目のうち、特に重要な項目は、変状種別を入力する「評価No」（点検記録項目8）と変状の深さを表す「評価ランク」（点検記録項目9）である。

表-1 RiMaDISの点検記録項目

記録項目	記載内容
1 点検年月日	○年○月○日
2 河川名	○川
3 岸別	左岸or右岸
4 距離標	○k+○m
5 点検項目	土堤、護岸ほか
6 点検箇所	【土堤の場合】天端、法面ほか 【護岸の場合】高水護岸、低水護岸ほか
7 点検事項	【土堤の場合】亀裂、法崩れほか 【護岸の場合】目地等の開きほか
8 評価No 【検討項目】	変状種別と同じ [1]土堤の亀裂～ [25]護岸のその他変状
9 評価ランク 【検討項目】	a（異常なし）～d（措置段階）
10 状況コメント	自由記入欄 （変状の進行などの報告事項を記載）

(2) 誤登録の現状と要因

斐伊川水系では、毎回の点検で 600 箇所程度の変状が報告されている。収集可能な平成 29 年度台風期点検～令和 2 年度台風期点検までの 4 年間分では、合計 2,671 件の点検記録を確認できる。

a) 評価 No（点検記録項目 8）

評価 No では、全 2671 件中 13.6%にあたる 362 件の誤登録を確認（図-2 参照）した。誤登録の主要因は、

評価 No.の選択肢が 25 種類と多く、同じ亀裂でも土堤と護岸で評価 No.が異なるなど煩雑であること、変状箇所がどの部位に相当するかの判断が点検実施者により様々であることと想定される。

b) 評価ランク（点検記録項目9）

評価ランクでは、全体の約6%にあたる160件程度の誤登録が存在していた。この主要因は、要領における評価基準が「堤防の機能に支障が生じているか」という定性的な基準（表-2参照）となっているため、評価者により判断のバラツキが生じたことと想定される。

表-2 要領の評価（抜粋）

変状種別		評価区分			
		[1] 亀裂	[2] 陥没や不陸	[3] 法割れ	[4] 沈下 ※2
a	異常なし	●変状なし	●変状なし	●変状なし	●変状なし
b	要監視段階	●亀裂が発生しているが、 <u>部材の破断に至っていない</u> 。 ●軽微な補修を要する。	●不陸が発生しているが、 <u>部材の破断に至っていない</u> 。 ●軽微な補修を要する。	●法割れが発生しているが、 <u>部材の破断に至っていない</u> 。 ●軽微な補修を要する。	●沈下が発生しているが、 <u>部材の破断に至っていない</u> 。 ●軽微な補修を要する。

（出典：堤防等河川管理施設及び河道の点検・評価要領、H31. 4）

(3) 現場における誤登録防止策（損傷度早見表）

現場における誤登録防止策として、評価 No.と評価ランクの判断や評価基準を明確化することで、現地における評価判断の補助を目的とした「損傷度早見表」を作成した。表-3にその抜粋を示す。

a) 評価 No（点検記録項目 8）への対応

評価 No.に対しては、評価 No.と堤防構造との対応図を作成（図-5 参照）するとともに、変状種別欄にも具体的な箇所を記載することで、変状や堤防構造の分類の誤認識の防止策を講じた（表-3 参照）。

b) 評価ランク（点検記録項目 9）への対応

評価ランクに対しては、「堤防の機能に支障が生じる」という基準を定量化（斐伊川水系の特性に合わせた定量的判断の設定）するとともに、変状事例写真を追加した（表-3 参照）。定量化については、設定根拠も併記した。例えば、土堤の亀裂に関しては、「降雨浸透による堤体飽和が助長されるか否か」に着目し、裏込め材の粒径幅 2cm を亀裂幅の閾値として採用した。

c) 対応の結果

損傷度早見表は、平成 29 年度より本格的に導入され、現在も出雲河川事務所管内の堤防点検で運用（点検で用いるタブレットにインストールし、現場で常に確認できる）されている。

運用以降、現場での一次評価における誤登録は、年間10件程度まで減少した。損傷度早見表の活用により、現場における堤防点検の精度向上が確認できた。

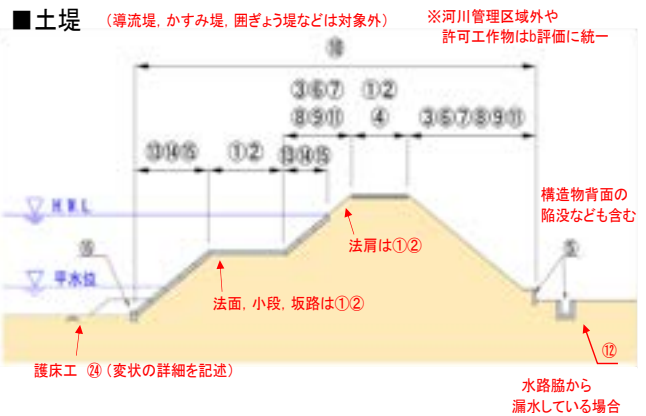


図-5 評価No.と堤防構造の分類の対応図

表-3 損傷度早見表（抜粋）

変状種別	[1] 亀裂や隙間 ※小段、坂路、法肩	変状 No. と堤防構造の対応の注釈
a 異常なし	・変状なし	
b 要監視段階	・天端、小段の舗装、堤内側法覆工に部分的に亀裂や隙間が見られる。 ・亀裂や隙間の幅が2cm(裏込材の粒径相当)以下、あるいは、2cm以上であっても損傷部から裏込材が視認できない。 	評価基準の定量化 事例写真の添付による変状の誤認識防止
c 予防保全段階	・亀裂や隙間の幅が2cm(裏込材の粒径相当)以上、かつ、亀裂や隙間が部材を貫通して損傷部から裏込材が視認できる状態である。 (降雨浸透による堤体飽和を助長する恐れがある) 	

(3) 事務所での誤登録防止策（AI技術を活用した誤登録発見ツールの構築）

先述の通り、評価No.では多くの誤登録が発生している。損傷度早見表の運用により、誤登録数が減少したとはいえ、評価No.は25種類と選択肢が多く、正確な評価にはある程度の専門的知識が必要なため、現地での誤登録は避けられない。

そこで、事務所での誤登録防止策では、評価No.の誤登録の抽出に着目し、AI技術の一種である「深層学習（Deep Neural Network（以下、DNN）モデル）」を実装した堤防点検の誤登録防止ツールの開発を試みた。

a) DNN について

本検討では、AI技術における機械学習の一手法であるニューラルネットワークの概念を改良したDNNモデルを開発した。

DNNの特徴として、人間が特徴を定義していた従来の機械学習と異なり、人工知能が学習データから特

徴を抽出できることが挙げられる。

b) 入力値と出力値について

今回は入力値（RiMaDIS登録内容）から出力値（評価Noの正誤判定結果および正解値）の関係を教師事例に基づいて学習する「教師あり学習」によるDNNモデルの学習を実施した。出力値一覧を表-4に示す。

「正誤判定」は、現地でRiMaDISに登録した評価No.が、正しい登録か誤登録かを判定する機能である。

一方で、「変状正解値」はDNNによる評価の予測値である。なお、入力値は表-1の点検記録項目と同じであり、出力値が“1”に近いほど、該当する可能性が高いことを示している。

表-4 出力値の一覧表

機能	項目	出力値
正誤判定	正しい登録	(0 ~ 1)
	誤登録	(0 ~ 1)
変状正解値	[1]土堤の亀裂	(0 ~ 1)
	[2]土堤の陥没や不陸	(0 ~ 1)
	...	
	[25]護岸のその他変状	(0 ~ 1)

c) 教師データの作成とモデル概要

斐伊川における過去の点検記録2,671件を活用し、教師データを表-5の構造で作成した。教師データには、表-5の構造で点検記録項目（表-1の10項目）に登録されている文字データが入力値として全て格納（全2671件の変状記録）されている。

【教師データの内容】

① 入力値（RiMaDIS登録内容）

→現地でRiMaDISに登録された、点検記録の生データ。人間による確認作業を経ていないため、誤登録も含まれる。

② 正誤判定

→①を人間が確認し、各記録が正しい登録となっているか、誤登録かを判断した判定結果。
“0”が誤登録で、“1”が正しい登録。

③ 変状正解値

→①を人間が確認し、各記録の正しい評価Noを再入力した判定結果。

表-5 教師データの構造

点検記録	①入力値 (「人による評価・記録」)			出力値	
				②正誤判定	③変状正解値
	点検年月日	...	評価No	(0:誤,1:正)	評価No
変状1	●●	...	24	0	13
変状2	××	...	1	1	1
変状3	△△	...	13	1	13
変状4	○○	...	13	0	17
...	...	...	...	...	...

教師データをAIに学習させ、「評価No」の登録が正しいか否か（表-5の「②正誤判定」）、あるいは正解の評価Noがどれか（表-5の「③変状正解値」）というクラス分類を実施するDNNモデルを構築した。

登録が正しいか否かのクラス分類は、誤登録となる入力値のパターンをAIが学習する「パターン分析」と言い換えることができる。例えば、土堤区間であるにも関わらず、「特殊堤」に関する評価No.が登録されている場合は、変状位置と評価No.が不整合となるパターンであるとの学習結果に基づいて、誤登録であることを検出することとなる。

今回検討では、図-6に示すように、中間層は3層とし、各層のノード数が600個のモデルを構築した。

解析の手順を、以下に示す。DNNの特徴である入力層の特徴を自動的に抽出して予測モデルを構築する手順②と、予測精度向上のために、出力される予測結果と正解値を比較し、その誤差を解消するようにパラメータ更新する手順④が本モデルの特徴である。

【解析手順】（図-7参照）

手順① 入力層で点検記録項目（表-1参照）を入力

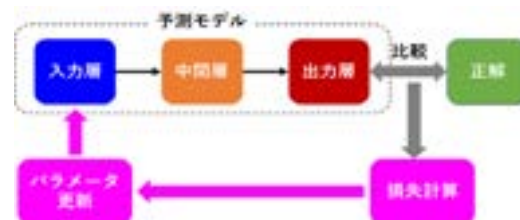
手順② 中間層で各入力値の特徴量を抽出

手順③ 出力層で「正誤判定」、「変状正解値」の予測確率を算出

手順④ 出力層の結果と実際の結果（表-5の教師データ）を比較し、正解を正しく予測できるように中間層のパラメータを更新

手順⑤ 指定した学習回数分①～④の処置を繰り返す

■DNNによるモデルと解析手順の概念図



■DNNによるモデルの詳細図

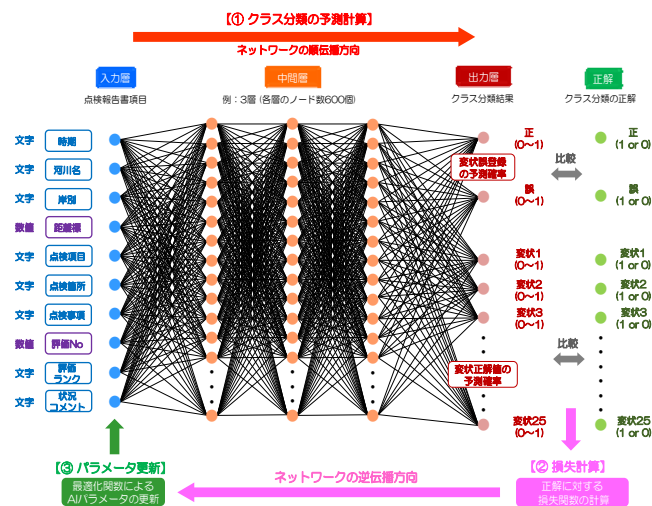


図-6 変状No.と堤防構造の分類の対応図



図-7 解析の手順の概念図

d) 学習用データの作成

先述のように学習用に用いたデータ2,671件のうち、入力値の評価Noが正解のデータ数は2,309件、誤りのデータ数は362件であった。これらのデータをDNNモデル学習用の訓練データ、精度検証用のテストデータとして、正解、不正解それぞれ9：1の比率となるようにランダムにデータセットを作成した（図-8参照）。



図-8 DNNによるモデルの学習用データ作成イメージ

e) モデル精度検証結果

学習の結果、正誤判定で約95%、正解の評価No予測で約90～94%と高い正解率が得られた（表-6参照）。

したがって、本モデルは、9割を超える確率で誤登録箇所を検知できるモデルと言える。

表-6 DNNによるモデルの検証結果

判定項目	出力値	全件数	正解率 (訓練データ)	正解率 (テストデータ)
正誤判定	正登録	2,309	99.6%	95.1%
	誤登録	362	99.5%	94.8%
変状正誤判定 ※件数上位 7種	[13]護岸・被覆工の破損	960	97.1%	91.2%
	[18]特殊堤接合部の変形	348	99.8%	94.8%
	[17]特殊堤本体の破損	171	98.4%	93.5%
	[1]亀裂	165	100.0%	94.9%
	[9]排水不良	159	96.1%	90.4%
	[2]陥没や不陸	151	99.3%	94.8%
	[11]侵食・植生異常	137	98.4%	93.9%

f) 結果の解釈と得られた知見

RiMaDISの登録データから自動的に正誤判定と正解出

力が実行される、高精度の「誤登録防止ツール」が構築できた。本ツールは、令和元年度より実運用されている。本ツールの実運用のイメージを図-9に示す。

正誤判定に最も影響を与えた入力値は、河川名や距離標といった位置情報であった。堤防は連続構造物のため、類似した構造が連続する区間内において、局所的に異なる評価Noが登録されている場合は、誤登録の可能性が高いことから、高精度で誤登録を検知できた。

さらに、誤登録が生じやすい変状パターンも本検討で明確になった。例えば、「護岸・被覆工の破損」は、コンクリート製などの護岸ブロックに発生している亀裂や欠損といった変状で、最も多く報告されている変状種別であるが、この変状が「土堤の亀裂」や「特殊堤の本体の破損」といった異なる堤防構造の変状No.と混同され、誤登録が多くなっていることが確認できた。

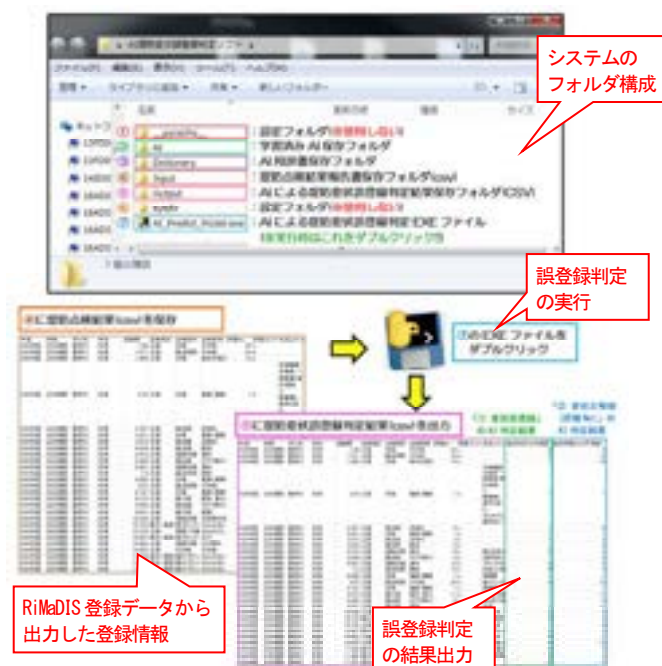


図-9 実務における運用イメージ

4. 点検精度向上への貢献

以上の知見を活かし、図-10に示すように点検実施者を対象に点検の事前説明会を開催した。事前説明会では、損傷度早見表の周知に加え、誤登録の事例と正しい登録を整理（図-11参照）し、堤防構造等や点検時の留意事項を説明することで、得られた知見の水平展開を図った。



図-10 事前勉強会の実施状況



図-11 誤登録の多い箇所の誤登録防止上の留意点の説明資料

5. 本検討の成果と今後の展望

(1) 本検討の成果

損傷度早見表の活用により、現場における誤登録数は、減少傾向にある。さらに、「誤登録防止ツール」の運用により、担当者が1回分の点検結果で約2～3日程度の作業時間を要して行っていた誤登録の抽出・修正の作業は、数分程度に作業時間が軽減された。

本検討で構築した誤登録防止システムの導入により、誤登録の修正作業の大幅な省力化とRiMaDIS登録データの精度向上を同時に実現することができた(表-7参照)。

表-7 本システム運用以降の誤登録件数の履歴

年度	点検記録の総数	AIによる 誤登録判定数	実際の 誤登録件数
R1	825	20	18
R2	601	15	13
R3	660	12	11

システム
導入前の
誤登録は、
90件/年程度

(2) 今後の展望

土木施設の維持管理分野において、類似の研究事例は確認できず、新規性の高い取り組みであるとともに、他河川・他分野への展開が期待できる技術と考える。

当該システムは、斐伊川の特長(変状特性、コメント書きのルール)が反映された予測結果となっている。

他河川でも同様に、「損傷度早見表」の導入や、蓄積されたRiMaDISの点検記録をAIに学習させることで、誤登録判定が可能な独自の「深層学習(DNN)モデル」によるシステム構築と運用が可能であり、斐伊川と同様の効果が期待できる普及性が高い技術と考える。

現在、維持管理分野では、コンクリートのひび割れの検出、路面下の空洞化検出、トンネル覆工の検査、鉄塔の錆の判定などで維持管理AIの開発が進んでいる。

当該システムは、橋梁点検など他の構造物点検分野においても点検記録の確認作業の精度向上や労働生産性の向上に寄与できる可能性は高いと考えている。

謝辞：本検討を行うにあたり、中国地方整備局 出雲河川事務所 管理第一課の職員の方々には、実務に基づく運用の観点などから、種々の有益なご助言をいただきました。改めて、感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 森永ら：RiMaDISの構築と運用及び今後の展開、河川技術論文集第26巻、2020年6月
- 2) 国土交通省 水管理・国土保全局河川環境課：堤防等河川管理施設及び河道の点検・評価要領、平成31年4月