

AI技術を用いたCo吹付法面及び橋梁の健全度診断に関する技術手法について

長谷部 佑太¹・松田 衛¹・田中 義太郎¹
藤生 慎²・峰松 優祈²・中林 弘貴²・野津 秀太²

¹能登復興事務所 計画課 (〒926-0046 石川県七尾市神明町口12番地2)

²金沢大学 融合研究域融合科学系 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)

令和6年能登半島地震及び令和6年奥能登豪雨は、能登地域の社会インフラに甚大な被害をもたらし、被災を受けた箇所は数多であった。能登半島の地域経済や産業は資材や観光客の輸送といった面で道路インフラと密接に関係していることから、早期復旧・復興が強く求められている。一方で、半島地域特有の道路特性に加えて、数多の被災箇所の状況全てを従来の点検技術により把握することは、時間や人手、再度災害リスクの観点から困難であることが課題として挙げられる。そこで、能登復興事務所では、AI技術とUAVを組み合わせた新たなインフラ点検技術を採用し、その実用性を検証するため現地調査を行った結果、AI診断の高い精度と大幅な時間短縮が可能であり、点検技術としての有効性を確認できた。

キーワード 国土交通省、令和6年能登半島地震、AI、UAV、インフラメンテナンス

1. はじめに

2024年1月に発生した令和6年能登半島地震及び同年の9月の記録的な豪雨は、石川県における能登半島地域の社会インフラに甚大な被害をもたらした。

金沢や富山から能登半島へ直結する「のと里山海道」や「能越自動車道」、能登半島を周回する幹線道路の「国道249号」などは、物流及び人流の基盤を担っており、地域経済や産業を支える上で極めて重要である。特に産業面では、漁業、農業、観光業などの第一次産業や第二次産業が地域経済の中核を担っており、能登半島は輪島塗や珠洲焼などの伝統工芸を数多く有する地域である。これらの産業は、資源や観光客の輸送といった面で道路インフラが不可欠な要素となっていることから、迅速な復旧・復興が強く求められている。一方で、能登半島は三方を海に囲まれ、陸路によるアクセスが限られている。加えて、地震や豪雨による斜面崩落や地すべりの影響により多数の道路被災が発生したこと、被災箇所に対する復旧作業は、物理的・時間的制約のもと実施されなければならない。このような背景から、従来の近接目視点検では早期の被災状況の把握が難しく、より効率的かつ高精度な点検技術の導入が必要とされている。

近年、AI (Artificial Intelligence : 人工知能) 技術やUAV (Unmanned Aerial Vehicle : 無人航空機) をはじめとするICTの進展により、構造物点検の高度化が進んでいる。特に画像処理や特徴抽出に特化したAI技術は、従来の人

手に依存した構造物点検を補完・代替する役割がある。

そこで能登復興事務所では、AI技術とUAVを組み合わせた新たな点検手法を活用し、能登半島地震で被災したインフラに対しての迅速かつ安全な診断を試みた。

本稿では、AI技術とUAVを活用したインフラの健全度診断について紹介するとともに、被災地における被災状況調査の適用結果および今後の展望について報告する。

2. 地震・豪雨の被害概要

令和6年能登半島地震では、石川県輪島市や志賀町において震度7を観測し、大津波警報も発令された。地震により建物の倒壊、火災、市街地の複合災害が発生し、多数の被害が報告された。特に道路インフラの被害は深刻であり、能越自動車道では全178箇所で被災が発生し、国道249号では全231箇所の被災が確認された。さらに、同年9月には、能登地方を中心に記録的な豪雨が発生した。これにより、復旧中の道路が二次災害により再び被災するなど、地震と豪雨が重なることで被害が拡大した。



写真-1 被災状況 (左:能越自動車道, 右:国道249号)

3. 地震・豪雨被害による課題

能登半島地域における復旧・復興を進める上では、三つの課題が挙げられる。

第一に、地理的制約に起因する交通アクセスの制限である。発災前には高規格道路を経由することで拠点間の移動速度はおおむね60km/hを維持しており、能越自動車道などでは80km/hで走行可能であった。ただし、地震による道路の寸断により、移動速度は能登半島で40km/h以下となった(図-1)。また、能越自動車道、のと里山海道及び国道249号の通行止めにより、避難車両や緊急車両が代替路線の県道1号七尾輪島線や市道などに集中することで大幅な時間を要することとなった。結果、一日に復旧活動できる時間が制限される(写真-2)。

第二に、多数の被災箇所を対象とした点検及び調査の負担が極めて大きいことが挙げられる。能越自動車道では178箇所、国道249号では231箇所の被災が報告されており、これらすべてを従来の近接目視や専用車両を用いた点検により行うことは、膨大な時間と多くの人手を要する。また、橋梁点検には片側交互通行が伴うことが多く、点検作業が交通に与える影響も無視できない。

第三に、再度災害が発生するリスクの下で作業となる点である。地震発生後も震度1以上の有感地震が2025年1月末までに2,130回以上観測（気象庁:令和7年1月31日時点）¹⁾されている。さらに、2024年9月には輪島市や珠洲市を中心に局地的な豪雨が発生し、河川氾濫や浸水被害が発生した。高所作業が伴う法面や橋梁点検において余震や豪雨による再度災害の危険性が残る中での点検では、状況によっては逃げ遅れるなどの重大な危険が伴う。

以上のように、被災地のインフラ点検・復旧において

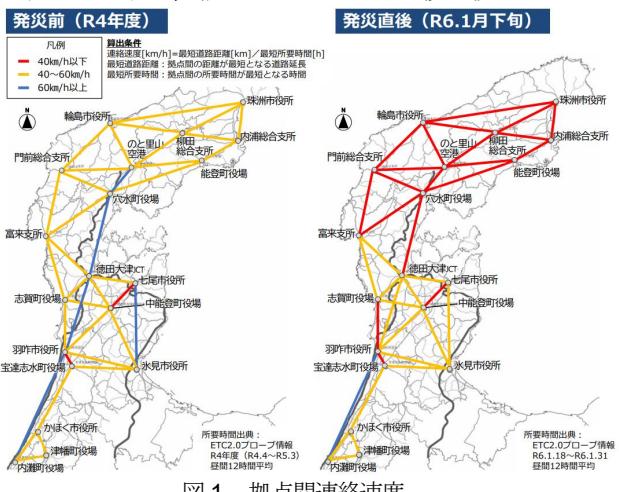


図-1 拠点間連絡速度



写真-2 被災直後の交通状況

は、地理的に起因する制約、交通アクセスの制限や作業量の膨大さに加えて、再度災害の危険性という複数の課題が存在しております、これらを解決するためには従来とは異なる画期的な技術的アプローチが求められる。

4. 技術提案：AI技術とUAVを活用した点検手法

前述した多数の課題を解決するために、能登復興事務所は、金沢大学が開発を進めるAI技術とUAVを活用した自動診断システムによる点検手法を導入した。本手法は、従来の人手に依存した点検作業に比べて、飛躍的に効率性と安全性を向上させるものである。

本技術は、構造物の損傷を画像解析によって自動的に検出・可視化する技術であり、ドローンによって撮影された高解像度画像や赤外線画像をクラウド上に送信し、現場でリアルタイムに解析を行うことで、技術者が遠隔地からでも的確な診断を行える仕組みとなっている。

本技術には、橋梁に対する複数損傷の自動検出システムと法面に対する赤外線画像を用いた浮き部の自動検出システムが存在し、本章では2つのシステムを詳述する。

(1)橋梁の複数損傷自動検出システム

(a)システムの概要

本システムでは、ドローンまたは定点撮影によって取得した橋梁画像をクラウド上にアップロードし、AIがリアルタイムで損傷部位を検出し、遠隔地での損傷診断が可能である(図-2)²⁾。対象損傷はひび割れ、剥離、鉄筋露出、遊離石灰である。

(b)橋梁の撮影と画像の合成

対象構造物の撮影には、約1.5億画素、約2000万画素、度の画像取得を行う。撮影には、現地の作業員による定点撮影のほか、ドローンによる空撮にも対応しており、撮影機材の選定は対象構造物の規模や環境に応じて柔軟に行われる。

取得した画像は、現場からクラウド上の自動判定シス

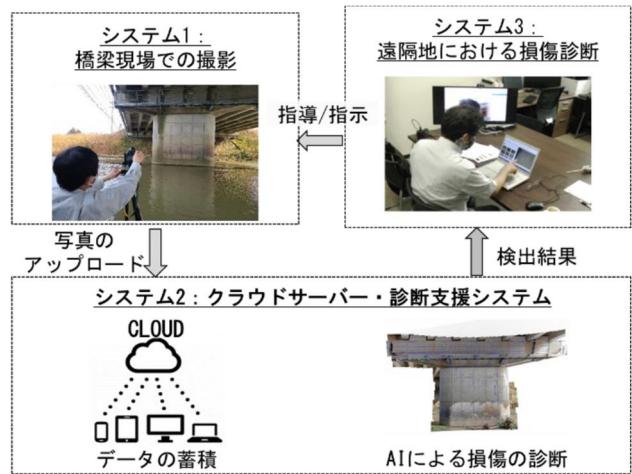


図-2 遠隔点検システムの概要²⁾

テムに送信することで、AIによる解析が開始される。画像は、256ピクセル四方のメッシュに分割され、各領域ごとに損傷の有無をAIが自動判定する。判定結果は再構成・合成され、橋脚一面につき1枚の診断画像として出力される。これにより、橋脚上のどこに損傷が発生しているかを一目で把握できる視覚的診断が可能となる。さらに、対象構造物の規模にもよるが、撮影からAIによる自動判定、診断画像の出力までの一連処理は約4分で完了するため、現場で迅速な損傷確認が実現する(図3)²⁾。

(c)複数損傷の自動検出手法

構造物に生じる損傷をAIで自動検出するためには、大量かつ多様な学習データが必要となる。本システムでは、深層学習の一環であるCNN (Convolutional Neural Network: 畳み込みニューラルネットワーク) を採用しており、画像に対する高度な特徴抽出と分類を可能としている。CNNは畳み込み層とプーリング層を含む多層構造を持ち、損傷領域の抽出において高い精度を発揮する。橋梁

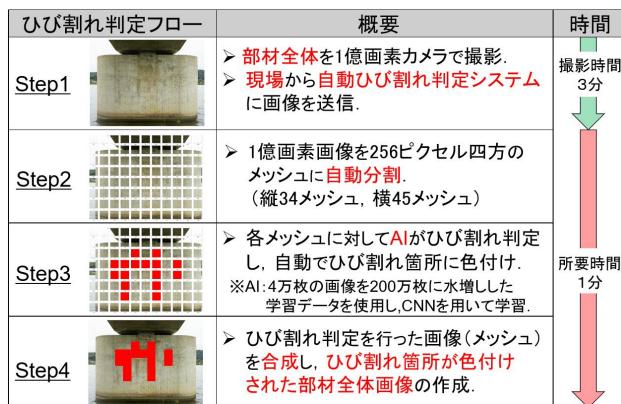


図3 AIによる画像診断フロー²⁾

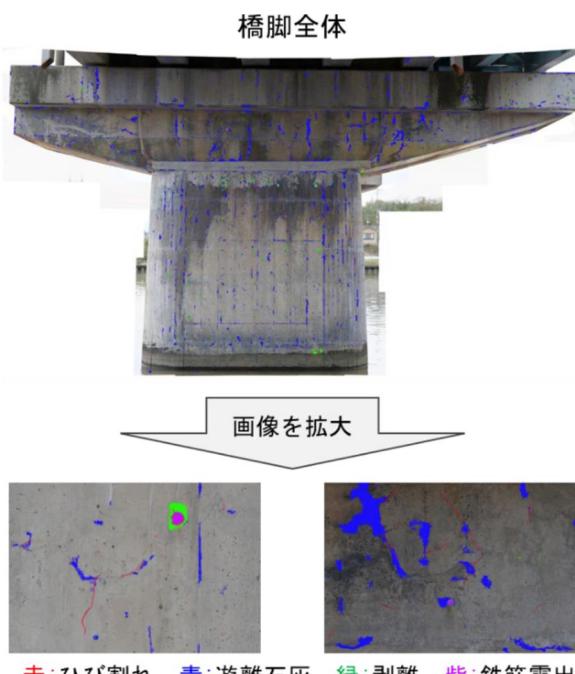


図4 橋梁の損傷箇所表示²⁾

損傷検出モデルの構築に際しては、実際の点検記録から収集した約4万枚の損傷画像をもとに、疑似ひび割れ画像を生成し、さらに水増し処理（水平・垂直反転、移動、拡大・縮小、回転等）を実施して、最終的に約200万枚の学習データを作成した²⁾⁴⁾。

学習は、画像を一定の領域に分割し、各領域に「損傷あり/なし」のラベルを付与して行われる。AIは、これらのラベル情報に基づき領域の特徴を学習し、判定時にはピクセル単位で損傷の有無を推定する。損傷領域の分類は「損傷あり」と「健全部」に二分され、モデルの判定結果は橋脚画像上に色分けレイヤーで表示される。具体的には、ひび割れを赤、遊離石灰を青、剥離を緑、鉄筋露出を紫とし、複数の損傷が重複している場合にも視認性を確保できる表示形式としている（図4）²⁾。

このレイヤ表示では、損傷単独の可視化はもちろん、複数の損傷を重ねて表示することも可能であり、診断画像の階層表示を切り替えることで、損傷の重なりや優先度の視覚的確認も容易である。高解像度であることから、画像を拡大することで細部の損傷状態も把握でき、技術者による遠隔評価の質と効率を大幅に高めている。

(d) AIによる診断の正確性

AIによる橋梁の損傷診断結果と、技術者による近接目視点検の結果を比較したところ、約98%の損傷箇所が検出⁴⁾できており、高い精度で損傷を自動検出できることが確認された。

(2)赤外線画像による法面の損傷自動点検システム

(a)システムの概要

法面吹付における浮き部の自動診断を目的として、赤外線画像とAIを活用した点検システムを構築した。本技術は、浮き部と健全部の間で異なる熱容量を有するという物理的特性を活用し、対象面の温度分布を赤外線画像として取得・解析するものである。

赤外線画像は、構造物表面における温度の微細な差異を視覚的に表現することが可能であり、浮きや空洞など

UAV	赤外線カメラ
センサー	非冷却VOxマイクロボロメータ
FPA/デジタルビデオ表示フォーマット	640×512 or 336×256
画素ピッチ	17μm
フルフレーム率	30Hz
温度分解能	<50mK at f/1.0

図5 赤外線カメラの性能⁵⁾⁶⁾

異常箇所を非接触・非破壊で検出できる特徴を持つ。加えてUAVによる空撮と組み合わせることで、足場の設置が困難な急傾斜地や広範囲の法面に対しても迅速かつ効率的な点検が可能となる。

(b) 法面の撮影

撮影に使用するUAVはDJIのMATRICE200V2⁵⁾、赤外線カメラはDJIとFLIR共同開発のZenmuseXT⁶⁾を使用した。赤外線カメラの主な使用として、センサーは非冷却Voxマイクロボロメータ、FPAは640pixel×512pixelもしくは、336pixel×256pixelである。また、画素ピッチは17μm、フレーム率は30Hz、温度分解能は<50mKatf/1.0と、高い精度で温度差を捉える性能を有している(図-5)³⁾。

(b) 浮き部の自動検出

浮き部の自動検出には、橋梁点検と同様にCNNを応用した深層学習モデルを採用している。学習には、正解データとして、コンクリート打診士による打音検査の結果を基に、浮き部の境界にアルミニウム板を設置し、赤外線画像上でその位置が明確に認識できるようにした(図-6)³⁾。

開発されたAIモデルはmodel-1、model-2の2種類である。model-1は赤外線画像を128pixel×128pixelの領域に分割し、それぞれに「浮きあり」、「浮きなし」のラベルを付けて学習を行う。学習には、浮き部の画像を65枚、健全部の画像を73枚を使用し、明確な領域分類が可能なモデルとして構築した³⁾。

一方、model-2はさらに広範な特徴抽出を可能とするため、評価対象領域(64pixel×64pixel)に隣接する8つの領域(192pixel×192pixel)を含めて分析を行う。学習には浮き部画像を689枚、健全部画像を805枚を使用し、より高精度な領域識別を実現した。これにより、法面全体に微細な異常も高い精度で検出可能となっている(図-7)³⁾。

(c) AIによる診断の正確性

AIによって浮き部と判定された30箇所について、現地においてコアサンプリングを実施した結果、全ての箇所で空洞化やモルタル吹付の脆弱化、二層化など、何らかの損傷が確認された。これにより、本技術の損傷検出精度の高さが実証されたといえる。

なお、赤外線画像はオルソ画像として処理されており、現地写真とAIによる検出結果を重ね合わせて表示することが可能である。これにより損傷の発生位置や周辺環境との位置関係を視覚的に把握でき、橋梁診断と同様に視認性・判断性に優れた表示が可能となる(図-8)。

5. 被災箇所での適用事例と実用性の検証

(1) 調査箇所

令和6年能登半島地震により顕著な被災が見られた能

越道のモルタル法面及び国道249号の鳥川大橋を対象とした。全体的に健全なモルタル吹付法枠だが、法肩の立入防止柵付近で浮きや変状が目視され、背面の空洞化を確認したため調査対象とした。また、鳥川大橋は桁や橋脚では大きな損傷が確認されなかつたが、両橋台は桁側へ移動、橋台背面アプローチ部の崩落が確認され、その他の損傷確認のために調査対象とした。(写真-3、4)

(2) 調査結果

(a) モルタル吹付法面での導入効果と評価

モルタル吹付法枠の赤外線画像による調査結果を写真-9に示す。健全部では熱が地熱に逃げ低温となり、浮き部では熱が地熱に逃げず高温となる。当日降雨の影響に

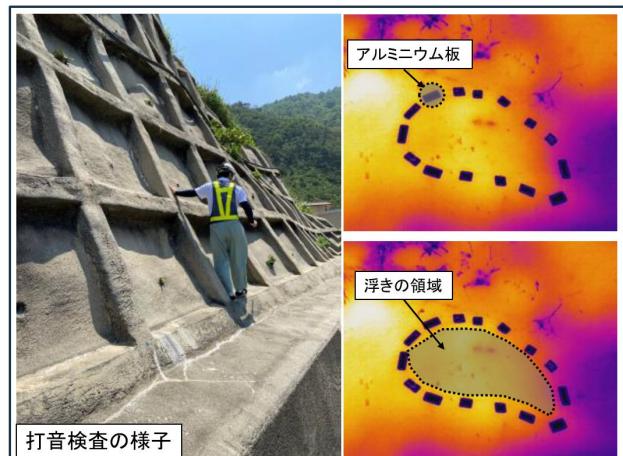


図-6 打音調査及び浮き領域の把握の様子³⁾

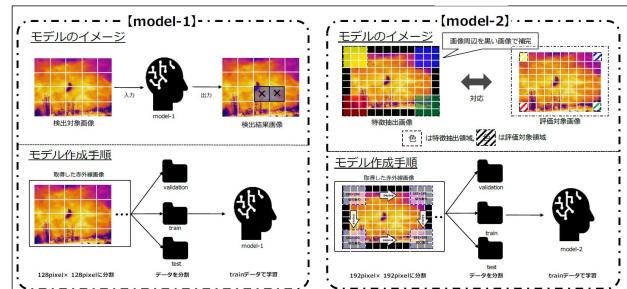


図-7 AIモデルイメージ³⁾

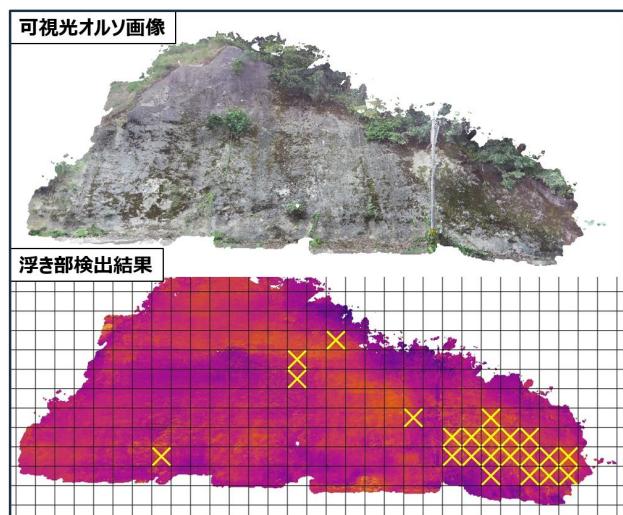


図-8 オルソ画像による比較³⁾

より一部の温度分布に乱れが生じ、浮き部検出の精度には若干の低下が見られたものの、法枠が雨により表面温度が下がり低温判定されることなく一定の表面温度が確認できる。これは、完全な乾燥状態でない条件下でも、一定の診断制度が保たれていると推測できる。調査範囲は限定的だったものの、現地到着から撮影時間は約30分で法枠の1/4程度を撮影した。雨によりUAVは飛ばせなかつたが、本来はUAVにより撮影可能なことから、今回対象とした法枠のような面積が大きい箇所や高所での危険作業が伴う調査箇所で有効である。従来の打音調査では、今回調査した法面において多くの時間がかかることが想定されるため、本技術を用いることは、著しく短時間での診断が可能であることが確認された。また、打音調査は、浮き部などの判定は技術者の主観に依存する部分も多く、特に薄層や微細な空洞などは見逃す可能性がある。AIによる赤外線画像診断では、天候条件に制約がある一方で、薄層や微細な空洞などの異常部の温度差を視覚的に抽出できる点や作業効率の向上という点で大きな利点が示された。

(b)鳥川大橋での導入効果と評価

鳥川大橋の橋脚に対して、本技術を用いて調査した結果、微細なひび割れと遊離石灰が確認できた。写真のみの診断では明確に損傷を捉えることが難しい損傷である



写真-3 法面調査箇所



写真-4 橋梁調査箇所

が、AIの画像診断により、損傷箇所が自動検出され、色分け表示によって視認性を高めた診断が可能となった。ひび割れや遊離石灰の損傷規模も算出可能である。なお、本来の橋脚や桁の調査においては点検車両を使用した高所作業が必要となり、場合によっては片側交互通行規制が必要となるが、本技術ではUAVによる空撮で代替が可能となり、作業の簡略化と安全性の向上が図られた。さらに現地での撮影時間は橋脚1本あたり約10分と極めて短く、従来の点検作業と比較して大幅な時間短縮が実現された。これにより、外観上の異常が少ない構造物においても、効率的かつ高精度な損傷判定が可能であるとともに、安全に調査が可能であることが示された。

(2)損傷表示に対する技術者の評価

本技術の有効性を検証するために、金沢大学において点検技術者による検出表示の評価や意見収集を実施した。判定結果の信頼性、現場適用性について意見を聴取したコメントを以下にまとめる²⁾。

- ・技術者は各部材の損傷が発生しやすい箇所を把握しているため、まず全体画像を確認後に、損傷箇所の詳細をPCで拡大して見られるのは良い。
- ・従来の点検では点検技術者が損傷として検出・判断した箇所の写真のみのため、現場の撮影で見落としが発生する可能性がある。全体画像は後で確認できるため、見落としを防止できる。
- ・損傷の検出精度は、過検出が見られるが、過検出よりも見落としの方が重大な問題につながる。ただし型枠やPコン跡の誤検出を削除できると良い。
- ・橋脚のコンクリート汚れは、それ自体が損傷（変色、劣化、漏水、滯水）の可能性があるため、汚れ箇所を除いて損傷検出することは望ましくない。技術者は汚

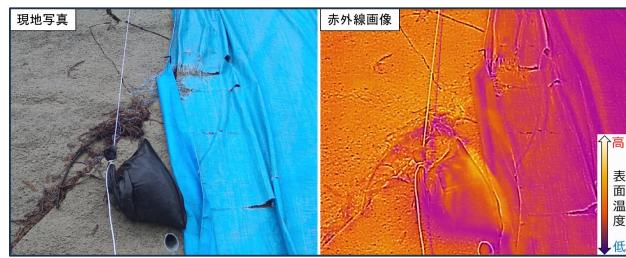


図-9 現地写真とAIによる画像抽出結果⁷⁾



図-10 現地写真とAIによる画像抽出結果⁷⁾

- れがあっても、画像から損傷の有無を確認できる。
- ・画像による損傷検出機能は、部材の画像を隅々まで見る必要がなく、技術者の判定作業は省力化できる。

6. 今後の展望

(1)復旧・復興のさらなる迅速化

被災直後のインフラ調査において、本技術を標準化や常備化することにより、現場での人手不足や危険回避といった課題に対する解決策となり、行政のみならず、民間企業において迅速な復旧作業に資することができる。特に初動対応の迅速化は、交通網の寸断や再度災害リスクが高い状況下において極めて重要であり、点検から復旧計画立案まで時間短縮に直結する。

さらに、AI技術およびUAVに加え、点群データ解析、現場作業機械、VRなどと技術統合を進めることで、被災構造物の状態把握から復旧設計までの一連の作業を一体的に支援するシステムの構築が期待される。これにより、将来的には全国どの地域においても、発災直後から迅速なインフラ復旧体制を立ち上げることが可能となり、災害に対する社会全体の強靭化が大幅に向かう。

(2)平常時のインフラ点検への応用

本技術は災害時の緊急対応だけでなく、平常時におけるインフラメンテナンスにも有効である。従来、橋梁や法面の定期点検は目視や打音による調査に依存しており、作業員の安全確保や点検品質のばらつきが課題となっていた。また、高齢化や人手不足により熟練技術者の確保が難しくなる中、点検の効率化と継続的な品質維持が求められている。対して、AI技術およびUAVを活用した本技術は、遠隔や非接触での高精度診断を可能とし、対象構造物の損傷を数値化し評価できる点で、平常時の予防保全型の点検体制への転換を促進するものである。さらに、データの蓄積と継続的な学習により、損傷の傾向を分析することが可能となり、長期的な維持管理にも寄与する。

(3)日本全体・海外展開の可能性

本技術は能登半島のような地理的制約のある被災地において有効性を発揮したことから、今後は国内の他地域における災害対応やインフラ維持管理にも広く適用可能である。特に、山間部や離島など、人力での点検が困難な地域においては、AI技術とUAVを組み合わせた点検手法の有効性が高い。

また、地震・豪雨・土砂災害といった自然災害の頻度が高いアジア諸国をはじめとする海外地域においても、本技術の展開は有望である。機材と診断技術が遠隔で連携可能であることから、災害発生時の国際支援や技術的協力に適しており、インフラメンテナンスや災害支援の課題解決に貢献することが期待できる。

7. まとめ

本稿では、令和6年能登半島地震及びその後の豪雨災害により甚大な被害を受けた能登地域において、AI技術とUAVを活用した新たな構造物点検手法の有効性を検証した。調査対象とした法面では赤外線画像による温度変化からの特徴抽出、橋梁ではひび割れや遊離石灰などの損傷を、短時間かつ高精度で抽出・可視化することが可能であると確認できた。特に高所部や足場確保が困難な箇所において、本技術は効果を発揮するとともに、現場における人的負担を大きく軽減できる。さらに、雨天や視界不良といった制約下においてもAIによる診断は一定の精度を維持できることが確認され、今後のインフラメンテナンスの高度化に資する有力な技術手法となる。

以上より、本稿で紹介したAI技術とUAVを組み合わせた点検手法は、災害直後の初動対応における迅速な点検のみならず、平常時の定期点検への適用、日本全体や海外への展開も視野に入れたインフラメンテナンス技術として期待できる。

8. おわりに

能登半島では地震と豪雨により甚大な被害を受け、これまでにない困難が続く中、技術の力が地域経済や災害対応の支えとなるよう本技術を能登半島で採用した。今後も現場と技術の融合により、災害に強い社会インフラの構築に貢献していきたい。

参考文献

- 1)気象庁：「令和6年能登半島地震」の最大震度別地震回数表
- 2)吉倉麻衣、福岡知隆、諏訪太紀、藤生慎、高山純一：
橋梁の橋脚全体画像に対する複数損傷の自動検出表示と技術者の評価、AI・データサイエンス論文集、3巻、J2号、p.398-405、2022。
- 3)諏訪太紀、藤生慎、森崎裕磨、福岡知隆、石塚久幸、田中尚人、多田完人：赤外線画像を用いたモルタル吹付のり面に存在する浮きの自動検出に関する基礎的分析—浮き部周辺の特徴量を考慮した検討—AI・データサイエンス論文集、2巻、J2号、p.251-260、2021。
- 4)金沢大学 藤生慎教授 講義資料：AIを用いたインフラメンテナンス技術に関する研究～橋梁・モルタル吹付法面・下水道管を対象として～
- 5) dji HP : <https://www.dji.com/jp/matrice-200-series-v2> (最終閲覧日：2025年7月25日)
- 6) F L I R HP(Zemuse XT2) : <https://www.dji.com/jp/zenmuse-xt2> (（最終閲覧日：2025年7月25日)
- 7)金沢大学の現地調査による解析結果