

【主題】 ドローンと ICT を活用したインフラメンテナンスに関する学習

【副題】 ～STEM 教育による工業高校土木教育の魅力啓発～

【学校・団体名】 金沢市立工業高等学校

【役職名・氏名】 教諭 黒崎 弘司

1. はじめに

本校は石川県に位置する工業高等学校であり、県内で土木科を単科で維持している高等学校は、本校のみである。土木科の1学年の定員は40名であり、2023年度土木科卒業生38名の内、61%が就職し、土木技術職の公務員を含め、全員が建設関係への就職であった。この進路結果から、本校土木科は、将来の土木技術者の育成に一定の成果を上げている、と思われる。しかし、本県の中学3年生徒数は2023～2030年度の7年間に970人、10%が減少する見込みであり¹⁾、本校土木科入学生徒数への影響は必至である。

土木科生徒の就職先である建設業界の就業者数は、我国全体で1997～2022年の25年間に206万人、30%が減少している²⁾。また、我国の一人当たりの名目GDPは、2000～2022年の22年間に5,168ドル、13%が減少し³⁾、経済の低迷が続き、自治体は税収の落ち込み等による財源不足の状態である。

一方、現在、我国のインフラは急速な老朽化が進行している(図1)⁴⁾。インフラは、人々の安全で安心な社会生活を維持する基盤であるが、その老朽化点検、維持、及び修繕等のインフラメンテナンスは、建設業就業者の不足、及び自治体の財源不足により順調に進まず、社会問題となっている。

上記社会問題の改善には、まず、将来、土木技術者としてインフラメンテナンスを担う生徒の確保と育成が肝要である。そのためには、STEM教育の理念による土木の魅力を開発する学習が有効である。STEM教育

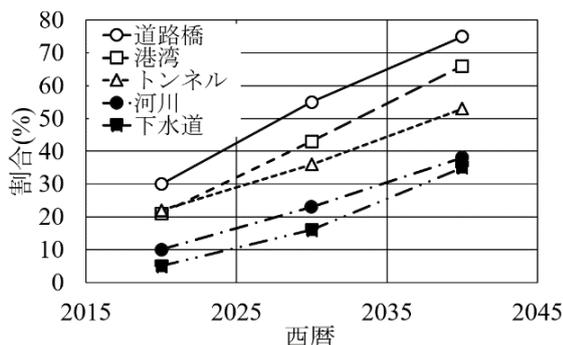


図1 建設後50年を経過するインフラの割合

とは、現在アメリカで推進されている教育モデルであり、科学(S=Science)、技術(T=Technology)、工学(E=Engineering)、数学(M=Mathematics)の4領域を統合的に学び、従来は問題に対して個別の領域での解決を目指していたものを、4領域の総合力での問題解決力を養うことを目的とするものである。STEM教育の4領域におけるEを土木工学とした学習体系により、土木工学のポテンシャルは一層高まり、学ぶ楽しさや仕事としてのやりがい等、土木の魅力が拡張する。

そこで、土木の魅力を開発し、土木技術者を志す生徒の確保と育成を図ることを目的として、2023年度に教科「課題研究⁵⁾」(3年生)において、「ドローンとICTを活用したコンクリート壁面のひび割れ点検法」の学習を実施した。このひび割れ点検法は、STEMの4領域のSとしてデジタル画像と輝度値、TとしてドローンとICT、Eとして測量、Mとして射影変換と微分法が対応し、点検作業の簡易化と低コスト化により、建設業就業者の不足、及び自治体の財源不足を補うインフラ老朽化点検法である。

2. インフラを取り巻く現状についての学習

生徒たちは、まず、インターネットを活用し、上述の建設業就業者数の推移、財源不足、及びインフラの急速な老朽化の進行について調査、確認した。

さらに、インフラの老朽化点検の不足により発生した笹子トンネル天井板落下事故について調査した。この事故に関する調査結果の概要を以下に示す。

(1)2012年に中央自動車道の笹子トンネルで発生し、コンクリート製天井板が落下し、走行車両が巻き込まれて、9名の方々が亡くなられた。

(2)笹子トンネルは、天井板とそれを支えるトンネル本体上部の天井(覆工コンクリート)との距離が大きく、従来のトンネル壁面の目視検査・打音検査(図2)は容易ではなく、このことが事故を防げなかった原因の一つである⁶⁾。

そこで、目視検査・打音検査に代わる壁面点検とし

て、ドローンを活用した壁面点検が挙げられる。これは、ドローンによる壁面撮影画像を用いた点検であり、足場や高所作業車は不要である。また、壁面撮影時の車線規制も短時間で終了できるため、交通渋滞の回避が可能である。総じて、減員と低コスト化が可能となり、非常に有効であることを生徒たちは学んだ。

3. ひび割れ点検法の学習

(1) ドローンと操縦練習の概要

図3は、壁面撮影に使用したドローンであり、重量86.9g、対角ロータ軸間距離11.9cmである。このドローンをスマートフォン(図4)で操縦する。飛行中の撮影画像は、スマートフォンでリアルタイムに確認が可能であり、さらに、静止画、及び動画の保存ができる。本校は人口集中地区に位置するが、上記ドローンの重量は100g以下であるため、国土交通省への「飛行許可・



(a) 目視検査 (b) 打音検査

図2 目視検査と打音検査(NEXCO 中日本)



図3 ドローン



図4 スマートホン



(a) 練習風景1



(b) 練習風景2

図5 ドローン操縦練習風景



(a) シミュレータ



(b) 練習風景3

図6 シミュレータによる操縦練習

承認手続」は不要である。

ドローンの操縦練習は、まず、校舎屋内に飛行コースを設けて行い(図5)、安定した操縦が可能になった後、屋外で行った。また、操縦難易度を選択できるシミュレータを用いた操縦練習も行った(図6)。

(2) ひび割れ点検の概要とひび割れ検出例

ひび割れ点検は、ドローンによる壁面撮影画像の輝度値Lとその変化率を用いてひび割れを検出する。輝度値とは明るさの指標であり、デジタル画像の画素に保存されるRGB値を用いて式(1)により算出される。R値、G値、B値はそれぞれ、赤、緑、青を示し、0から255までの数値である。

$$L = 0.299R + 0.587G + 0.114B \quad (1)$$

図7、及び図8は、それぞれ輝度値、輝度値変化率の算出例である。輝度値は、画素が白の場合は255、黒の場合は0となる。輝度値によるひび割れ点検では、ひび割れと同程度の輝度値を持つ画素を検出する。また、輝度値変化率は、輝度値の異なる部分の境界線で0以外の値を持ち(図8)、輝度値変化率によるひび割れ点検では、この境界線をひび割れとして検出する。

図9、及び図10は、ひび割れ検出例である。(a)はドローンによる撮影画像、(b)、及び(c)はコンピュータによる処理画像である。(b)は輝度値によるひび割

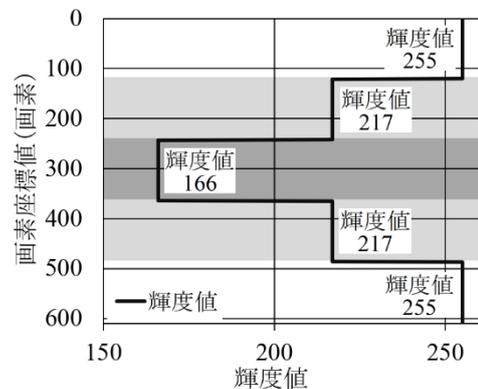


図7 輝度値の算出例

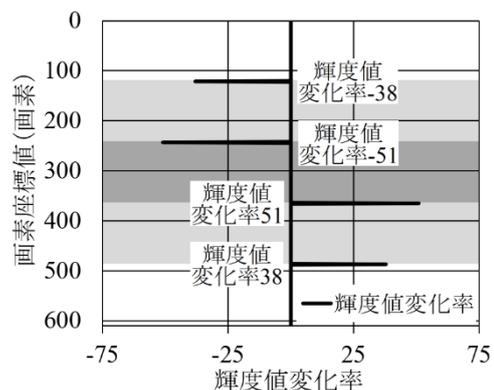


図8 輝度値変化率の算出例

れ検出結果(赤色に着色), (c)は輝度値変化率によるひび割れ検出結果(青色に着色)であり, ひび割れ不検出部分は薄いグレーに着色されている.

図9(a)は, 日向と日陰が混在している画像である. 図9(b)では, 壁面の目地, 家屋, 道路, 及び空の一部まで, ひび割れとして検出されている. 図9(c)では, 壁面の目地や道路の日向と日陰の境界線等が, ひび割れとして検出されている. また, 図9(a)では日陰で判別しにくい家屋の屋根と横壁の境界線や自動車の輪郭等が, 図9(c)ではひび割れとして検出されている.

図10(a)は, 全体的に薄暗い画像であり, 図10(b)では, 柱のほぼ一面がひび割れとして検出されている. 図10(c)では, ひび割れが良好に検出されている.

以上のように, 輝度値によるひび割れ検出では, 壁面の明暗, 及び乾湿等の状態によりひび割れを検出できない場合がある. 輝度値変化率による検出では, 上記の壁面状態による影響が少なく, ひび割れ点検法として優れている, との学習結果を得た.

(3) オルソ画像(射影変換)の概要と作成手順

図11はドローンによる撮影画像であり, $AB > CD$ となっている. これは, ドローン搭載カメラの壁面に対する傾きが原因であり, 実測長では, $AB = CD$ である. 撮影画像での壁面老朽化状態の診断には, 画像内の任意の測点を正しい位置関係にあり, 検出されたひび割



(a) 撮影画像 1



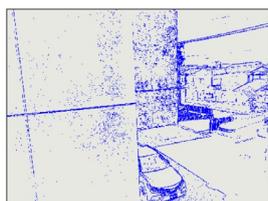
(a) 撮影画像 2



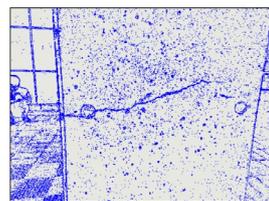
(b) 輝度値による検出 1



(b) 輝度値による検出 2



(c) 変化率による検出 1



(c) 変化率による検出 2

図9 ひび割れ検出例 1

図10 ひび割れ検出例 2

れ幅を正確に数値化できるオルソ画像が必要である.

オルソ画像は, 撮影画像の平行・拡大・縮小・回転の座標変換(射影変換)により作成される. その手順は, まず, 図11中の測点A, B, C, Dの現実の壁面上での座標(X_n, Y_n)を測量により求め, さらに, 画像(図11)上での上記4測点の座標(x_n, y_n)を読み取る. 次に, (X_n, Y_n)と(x_n, y_n)の連立一次方程式を立て, コンピュータにより解き, 射影変換係数を求める. これを用いて撮影画像を射影変換し, オルソ画像となる. 図12は, 図11のオルソ画像であり, $AB = CD$ となっている.

(4) 微分法(変曲点)によるひび割れ幅の数値化

図13はドローンによる撮影画像であり, そのオルソ画像が図14である. 図14を用いた輝度値, 及び輝度値変化率によるひび割れ検出結果がそれぞれ図15, 図16であり, 図中の黒色矢印に挟まれた部分にひび割れが確認できる. 図17は, 図14の白色矢印(図15, 図16の黒色矢印と同じ位置)で挟まれた部分(上下方向座標値 = 2300~2450画素)の拡大図である. この部分の輝度値変化率が図18であり, 図中の黒色実線丸印と黒色点線丸印は, 輝度値変曲点である. この輝度値変曲点では, 輝度値変化率がそれぞれ極小値, 極大値となり, 輝度値変化率変化図(図19)中の黒色実線丸印と黒色点線丸印が対応し, 上下方向座標値は2371画素, 2379画素である. この輝度値変曲点間がひび割れであるとする, ひび割れ幅は9画素(4.5mm)と算

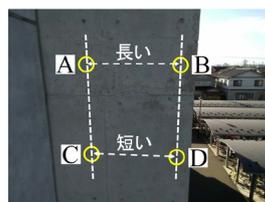


図11 撮影画像 1

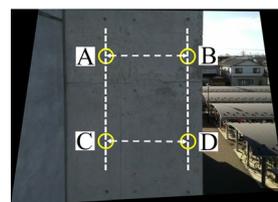


図12 オルソ画像 1



図13 撮影画像 2

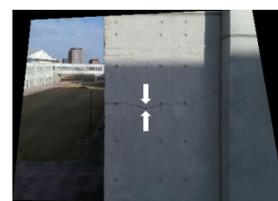


図14 オルソ画像 2



図15 輝度値による検出 3

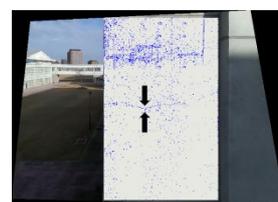


図16 変化率による検出 3

出される。目視によるひび割れ幅は 8 画素(4.0mm)であり、その差は1画素(0.5mm)である。目視者の判断基準や視認誤差を考慮すると、輝度値変曲点によるひび割れ幅の算出は妥当であると考えられる。輝度値変曲点はコンピュータによる検出が可能であり、ひび割れ幅の算出に技術者の目視による読み取りを必要とせず、減員、点検作業の簡易化、及び低コスト化につながる。

4. 学習に対する評価 (アンケート結果)

以上の学習を終えた生徒からは、

- (1) 新技術を知ることができて良かった、
- (2) 輝度値変化率で画像を見ることに驚いた、
- (3) 将来の仕事で必要となる技術を学べて良かった、
- (4) ドローンと ICT を用いれば、土木の難しい作業や危険な作業も簡易化して、建設業の就業者人口も改善できるのではないかと感じた、等の感想があった。

この学習成果は、土木科課題研究発表会において発表され(図 20, 2024 年 1 月 31 日)、参席した 1, 2 年生より以下の感想があった。

- (a) ドローンを使えるなんてびっくりした。
- (b) ドローンを使えばインフラ調査が簡易化することが分かり、これからの土木業界にドローンが必要だと思った。
- (c) これからはドローンが主流の時代がくるかもしれないので、ドローンの勉強をしっかりしたいと思った。
- (d) これからの仕事では、ドローンや ICT を使うことになることがよく分かった。
- (e) 実際にあった事故例をあげ、今後事故が起こらな

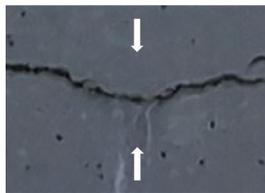


図 17 (図 14)のひび割れ付近の拡大画像

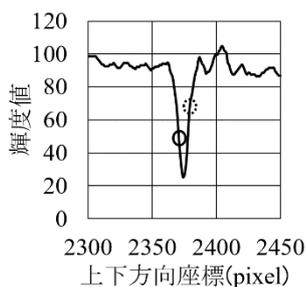


図 18 輝度値変化

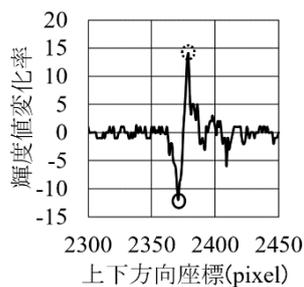


図 19 輝度値変化率変化

いようにするために、ドローンをどのように活用していくのか、というところなどがよく分かった。

(f)過去の事故例の原因などから、ICT やドローンを作業に用いると、どんなメリットがあり、どんな効果があるのかがとても分かりやすかった。

(g)輝度値変化率でひび割れを検出していたことがすごいと思い、印象に残った。

(h)輝度値を輝度値変化率に変えるだけで影も判別できることがすごいと思った。

また、1, 2 年生の 41%が、3 年生になったら本学習のテーマをやってみたいと思う、と回答した。

以上の生徒による評価から、本学習は土木の魅力を開発し、土木技術者を志す生徒の確保と育成に一定の成果があった、と著者は考える。

5. 最後に

石川県では、「令和 6 年能登半島地震」により、道路、港湾、上下水道等のインフラに甚大な被害が発生した。インフラの被災は、被災者された方々の救助・救援、日常生活、及び経済活動を困難にする。平時よりインフラメンテナンスを欠かさず、さらなる機能強化を図る努力の積み重ねが、災害発生時に人々を守る。この実践研究論文が、土木に関心を持ち、そして、学び、将来、インフラの整備やメンテナンスを担おうと志す青少年の増加の一助となることを願う。



図 20 土木科課題研究発表会での発表の様子

参考資料・参考文献

- 1) 令和 4 年度石川県学校基本統計
- 2) 国土交通省：建設業を巡る現状と課題
- 3) 世界経済のネタ帳：G7 の一人当たりの名目 GDP (US ドル) ランキング
- 4) 国土交通省：社会資本の老朽化の現状と将来
- 5) 文部科学省：高等学校学習指導要領(平成 30 年告示), pp. 241, 2018.
- 6) 樋口晴彦：中日本高速道路笹子トンネル事故の事例研究, 千葉商大論叢, 第 52 巻, 第 1 号, pp. 273-293, 2014.