

YOLO を用いた耐候性鋼橋におけるボルトの自動検出の検討

山口大学大学院 学生会員 ○今石 勇希
 山口大学大学院 正 会 員 蓮池 里菜
 山口大学大学院 正 会 員 麻生 稔彦

1. 序論

橋長 2m 以上の橋梁は、5 年に 1 度の近接目視点検が義務化されている。近年、供用 50 年が経過した橋梁が増加する一方で、橋梁点検技術者数は減少しており、その効率化が望まれる。鋼橋の点検においてはボルトの腐食や抜け落ちを検出する必要があるが、検査員による目視点検には相当な労力と時間を要する。そこで本研究では、橋梁点検業務の効率化を目的に、橋梁の腐食ボルトの自動検出および自動診断に機械学習、なかでも深層学習モデル YOLO を用いた手法を検討する。

2. YOLO の概要

YOLO とは入力された画像や動画から物体の位置と種類を検出する AI モデルである。本モデルの学習手順を図-1 に示す。検出対象箇所を撮影し（図-1(a)）、写真内にある対象物の種類、程度をラベルとして付与する（図-1(b)）。その後、ラベル付けされた画像を教師データとし、ラベル付与範囲および種類を学習させる。図-1(c) に作成したモデルの学習曲線を示す。横軸にエポック数、縦軸に検証における損失数を示しており、エポック数の増加に伴い損失が収束している。本研究では、教師データの 8 割を学習データ、2 割を検証データとし、10,000 エポック実施した。図-2 に本モデルによる物体検出結果例を示す。検出対象であるボルトナット部の範囲を検出しており、ラベル種類およびその確率が 0~1 で表示される。

3. 検出手法

3.1 対象とする鋼橋

鋼橋は塗装により防食される普通鋼橋と、裸仕様で適用可能な耐候性鋼橋の 2 種類に大別される。普通鋼橋では、YOLO を用いた橋梁の損傷部分や腐食部分の自動検出の既往の研究¹⁾が進む一方、耐候性鋼橋への適用はほとんど例を見ない。これは普通鋼橋に比べ、さび性状に多くの色調や凹凸のパターンがあり、腐食度合いの判断が困難なためと考えられる。そこで本研究では、耐候性鋼橋を対象に YOLO の適用性を検討した。

3.2 検出対象

今回対象とした耐候性鋼橋では、耐候性高力ボルト、なかでもトルシア型高力ボルトが使用されている。このボルトではボルト頭部よりボルトナット部のほうが腐食しやすいと想定される。そのため、検出する対象をボルトナット部のみにしぼることとした。一方、支承部分には耐食性に優れた亜鉛メッキボルトが使用されていた。このボルトは耐候性ボルトに比べ 1 橋梁あたりの使用本数が少なかった。YOLO 含め、機械学習には一般的に多くの画像が要求されることより、両側検出することとした。

4. 検出結果

4.1 YOLO によるボルトの検出

学習には山口県内の耐候性鋼橋 A~E の 5 橋にて撮影した 190 枚の写真を用いた。また、今回学習で用いた教師データのボルト本数は耐候性ボルトが

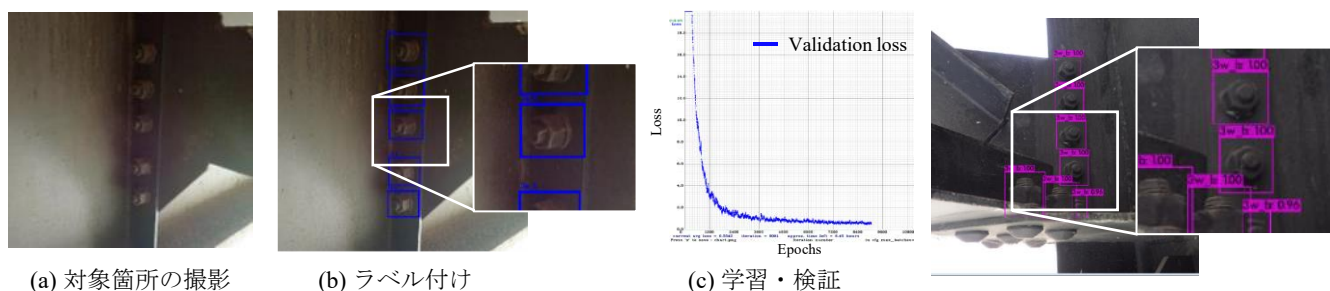


図-1 学習手順

図-2 検出結果

キーワード YOLO, 耐候性鋼橋, ボルト, 自動検出

連絡先 〒755-8651 山口県宇部市常盤台 2 丁目 16-1 山口大学工学部 TEL0836-85-9323

460本、亜鉛メッキボルトは135本である。本データにて検出を行うと、表-1の結果となった。表-1より、ボルトの検出はある程度可能であるが、亜鉛メッキボルトの検出率は低く、教師データがさらに必要であることが判明した。

4.2 腐食度合いに分けたボルトの検出

学習には山口県内の耐候性鋼橋 A~F の 6 橋にて撮影した 318 枚の写真を用いた。さびの外観評点²⁾を参考に、点検が必要か否かの判断を目的に、表-2の各3段階で判断し、ラベル付けを行うこととした。また、今回学習で用いた教師データのボルト本数を表-3に示す。

表-4に検出結果を示す。耐候性鋼ボルトについて、3w_bは402/422本で検出率は95.2%、2w_bは2/2本で検出率は100%であった。w_b全体の検出率は404/424本で95.3%となった。亜鉛メッキボルトについて、3s_bは178/187本で検出率は95.2%、2s_bは8/11本で検出率は72.3%、1s_bは3/3本で検出率は100%であった。s_b全体の検出率は188/200で94.0%となった。以上より、検出率はおおむね高く、腐食の度合いによって分類し、検出が可能であった。一方、図-3に示すように、ボルト頭部もボルトナット部と認識し誤検出されていた。よって、ボルトナット部、頭部それぞれを分けて学習させる必要がある。

4.3 検出可能な写真におけるボルトの割合

図-4にボルトが検出されなかった画像の例を示す。この画像をトリミングし、拡大した画像で物体検出を行うと、図-5のように検出された。図-4のピクセル数は4608×2592、その内ボルト一本のピクセル数は約181×230であり、図-4におけるボルト一本の割合は0.34%である。図-5のようにトリミング範囲を変更し、検出可能となる画像内のボルト一本の占める割合の最小値を検証した。その結果、本モデルでは0.64%から検出可能であった。

5. 結論

耐候性鋼橋の腐食ボルトの自動検出へのYOLOの適用を検討した結果、検出率は72.3~100%と高い結果となった。また、今回作成したモデルでは、画像内のボルト一本の占める割合が0.64%以上で検出可能であった。一方、ボルト頭部をナット部と誤検出したことから、各々を分けた学習が必要である。

参考文献

- 1) 党紀, 水元大雅, 全邦釘, 劉佳明, 藤嶋斗南: YOLOを用いた多種類橋梁損傷の同時検出 AI・データサイエンス論文集, 2巻, J2号, pp.447-456, 2021.
- 2) 日本鋼構造協会: テクニカルレポート No.86, 2009.

表-1 ボルトの検出結果

ボルト	耐候性ボルト	亜鉛メッキボルト
検出率 (%) (検出数/ボルト本数)	96.0 (213/222)	80.0 (33/44)

表-2 ラベルと備考

ラベル	さびの状態	備考
1w_b	1)局部的に激しい色むらがある 2)大きな凹凸があり、層状はくりがある またはさび粒子は粗くうるこ状	点検・調査が必須
2w_b	1)色調は暗褐色から褐色で色むらはない 2)やや凹凸はあり、さび粒子は粗く不均一	点検・調査の推奨
3w_b	1)色調は全体的に明るく、気褐色でまだら状である 2)ほとんど凹凸はなく、さび粒子は細かく均一	点検・調査の必要なし
1s_b	1)局部的に激しい色むらがある 2)大きな凹凸があり、はくりがあるまたはメッキ被膜が激しく溶解している	点検・調査が必須
2s_b	1)やや色むらがある 2)やや凹凸はあり、赤さびがみられる	点検・調査の推奨
3s_b	1)色調は全体的に明るく灰色である 2)ほとんど凹凸はなく、はくりも赤さびもない	点検・調査の必要なし

w_b: 耐候性ボルト s_b: 亜鉛メッキボルト

表-3 教師データのボルト本数

	3w_b	2w_b	1w_b	3s_b	2s_b	1s_b
計	877	2	0	366	21	5

表-4 腐食度合いに分けたボルトの検出結果

ボルト区分	3w_b	2w_b	1w_b	w_b
検出率 (%) (検出数/ボルト本数)	95.2 (402/422)	100 (2/2)	0	95.3 (404/424)
ボルト区分	3s_b	2s_b	1s_b	s_b
検出率 (%) (検出数/ボルト本数)	95.2 (178/187)	72.7 (8/11)	100 (2/2)	94 (188/200)

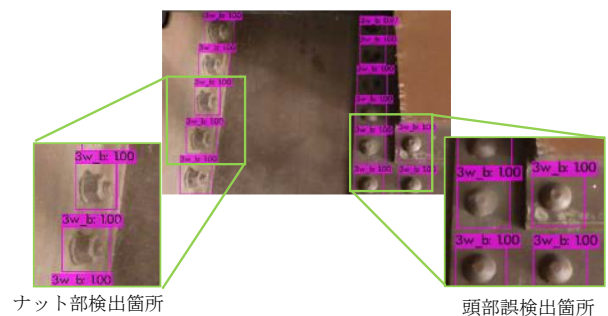


図-3 誤検出



図-4 拡大前



図-5 拡大後