

令和 6 年 6 月 12 日現在

機関番号：34315

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K04240

研究課題名（和文）車載カメラ・地中レーダの画像分析と振動モニタリングに基づく構造損傷進展性評価技術

研究課題名（英文）Structural Damage Propagation Evaluation Technology Based on Image Analysis of Vehicle-mounted Camera and Ground Penetrating Radar and Vibration Monitoring

研究代表者

野村 泰稔（Nomura, Yasutoshi）

立命館大学・理工学部・教授

研究者番号：20372667

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：本研究の目的は、モノレール・高速道路橋を対象として、パトロール車による巡視・巡回点検および振動モニタリングを通じて、総合的に構造状態を診断するシステムを開発することである。道路上の損傷の進展性を評価する際、過去から継続して撮影した画像から、すべて手作業で必要な画像を検索し、両者の比較を行っているのが現状である。このことは、点検車両に地中レーダ装置を搭載して床板内部を検査する場合も同様である。本研究では、点検車載カメラの映像および地中レーダデータに対して、深層学習・画像処理などの最新技術を適用することで、構造表面腐食・ひび割れや中空床版内部の状態とそれらの経年変化を自動的に評価することを試みた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、点検車載カメラ映像および地中レーダデータに対して、深層学習に基づく物体検出技術、画像レジストレーションや加色混合法など画像処理技術を適用することで、モノレール橋梁の構造表面腐食・ひび割れおよびコンクリート中空床版内部のポイドを自動的に検出するだけでなく、これまで人手によるところの大きかった腐食・ひび割れの進展およびコンクリート中空床版のかぶり厚を定量的に評価することに成功した。本研究の成果は、構造物の維持管理における点検の精度と効率性を大幅に向上させ、労働者人口が減少する中で、インフラの健全性を持続的に保つために重要な社会的意義を有すると考える。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study is to develop a comprehensive system for diagnosing the structural condition of monorail and highway bridges through patrol vehicle-based inspection, patrol inspection, and vibration monitoring. Currently, when evaluating the progression of damage on roads, necessary images are manually searched from continuously captured images over time, and comparisons are made manually. This also applies to cases where a ground-penetrating radar device is mounted on inspection vehicles to examine the internal state of the road slabs. In this study, we aim to automatically evaluate surface corrosion, cracks, and the internal condition of hollow slab structures and their aging changes by applying the latest technologies such as deep learning and image processing to the footage from inspection vehicle cameras and ground-penetrating radar data.

研究分野：応用情報学

キーワード：深層学習 物体検出 画像処理 ひび割れ 腐食 インフラ維持管理 地中レーダ

1. 研究開始当初の背景

橋梁点検要領が改定されて以来、現在、専門技術者による近接目視や画像により定期的な点検が行われている。この点検の基本となるのが、構造表面のひび割れ・き裂等の各種変状を検出しそれを記録していくことである。ただし、これらの点検結果を蓄積するだけでは、構造物の劣化の進行性や損傷状態を的確に診断することは難しく、その後の維持・補修等の意思決定も容易ではない。現状、構造物の診断は点検結果をスコア化することにより行なわれているが、点検結果そのものが技術者によりばらつき、さらに維持・補修の意思決定は技術者の経験・勘に委ねられ、定性的な判断であると言わざるを得ない。加えて、地中レーダ装置を搭載した点検車両から、コンクリート床板内部の空隙・ひび割れを検出することも試みられているが、それらの進展性は、過去・現在の長距離走行による検査データをまさに手作業・目測で評価していることから、維持・補修の判断を的確に下すまでに、多大な時間と手間を要することになる。

以上を踏まえ、本研究課題の核心をなす学問的問いは、「膨大な数の検査対象に対して、近接目視点検を如何に省力化し、結果をどのように定量化するか」、「コンクリート床板内部損傷の進展性を如何に自動的に評価するか」、そして「定量化された点検結果を如何に振動モニタリングデータに導入し、平常時・地震発生等の緊急時に関わらず、橋梁の状態診断、構造同定および維持・補修の意思決定を可能とするか」に集約される。本研究では、これらの問いに対して、道路パトロール車に搭載された地中レーダ装置・カメラを利用した定期的かつ日常点検を実現し、代表者が研究を進めてきた「深層学習・非接触変位場計測に基づく構造表面ひび割れ・き裂の定量化」の各々のシステムを併用して回答する。

2. 研究の目的

本研究の目的は、一般国道およびモノレール橋梁を対象として、パトロール車による巡視・巡回点検を通じて、総合的に構造状態を診断するシステムを開発することである。中でも、道路パトロール車の車載カメラから映像を記録し視聴する取り組みは各地で試行されているが、道路上の損傷の進展性を評価する際、過去から継続して撮影した画像から、すべて手作業で必要な画像を検索し、両者の比較を行っているのが現状である。このことは、点検車両に地中レーダ装置を搭載して床板内部を検査する場合も同様である。本研究では、車載カメラを仮想定点カメラ化するとともに、道路上の映像および地中レーダデータに対して、深層学習・画像処理などの最新技術を適用することで、「構造表面腐食・ひび割れや中空床版内部の状態」を自動的に評価することを試みた。以下に、3か年で取り組んだ具体的な研究の目的を抜粋して示す。

検討項目：深層学習による車載カメラ映像からの損傷位置検出と損傷進展性評価

車載カメラで撮影される位置情報付き映像から、道路上のわだち・ひび割れを検出することは、代表者が開発したシステムや市販ソフト等で容易に実現可能である。一方で、道路上のわだち・ひび割れの進展性を評価する場合は、道路パトロール車の走行位置が完全に一致しないことから、何らかの画角補正が必要となる。本項目では、①車載カメラからの映像にGNSS受信装置からの位置情報を付与し、車載カメラを仮想定点カメラ化すること、さらに②画角の異なるひび割れ画像に対して画像レジストレーション技術を適用し的確に進展性の有無を評価できるか調査した。本検討項目では、以下の腐食を検出対象とする(1)とひび割れを検出対象とする(2)についてそれぞれシステム構築を進めた。

(1) 深層学習による車載カメラ映像からの鋼橋の腐食検出と進展評価

(2) 深層学習による車載カメラ映像からのコンクリート橋のひび割れ検出と進展評価

検討項目：地中レーダの受信波形からの中空床版のかぶり厚不足領域の推定

人手による構造点検の作業省略化を図ることを目的として、代表者は高速道路中空床版橋を対象として、地中レーダの受信データから画像化し、深層学習に基づく物体検出技術 YOLO を用いて、コンクリートかぶり厚が不足する領域を自動抽出することを試みた。本項目では、高速道路会社が管理する最新および過年度の中空床版に対する地中レーダデータを用いて、かぶり厚が不足している箇所を物体検出技術により抽出することが可能か調査した。

3. 研究の方法

(1) 深層学習による車載カメラ映像からの鋼橋の腐食検出と進展評価

本項目にて検討するシステムを3段階に分けて説明する。1段階目は回転位相限定相関法を利用して前年画像と今年画像の画角調整を行う。2段階目は物体検出技術である YOLO を用いて、腐食検出を行う。3段階目は腐食進展率を評価する。具体的には、腐食検出にて出力された矩形腐食領域の画像と1期前点検結果の画像に対して、色の加算手法である加色混合法を適用し腐食進展領域を着色化する。その着色化された結果に対して、ヒストグラム平坦化、HSV空間変換、2値化処理を行い、腐食に相当する赤領域と画像ずれに相当する青領域を抽出する。そして最後に、赤領域および青領域を画素単位でカウントし、平均腐食進展率を評価する。

(2) 深層学習による車載カメラ映像からのコンクリート橋のひび割れ検出と進展評価

モノレール橋梁を対象として、点検車載カメラ映像からコンクリートひび割れ・遊離石灰を深層学習に基づく物体検出・認識技術を用いて検出し、過年度からの進展を評価する技術の開発に取り組んできた。ただし、我々の既報技術には損傷の検出精度と過年度評価のために必須である画角のずれの低減方法に関して課題があった。そこで本研究では、目視による損傷点検結果を活用して、いくつかの物体検出技術を比較検討するとともに、画角のずれを低減する画像レジストレーション技術として位相限定相関法を導入し、損傷の進展評価の精度について調査した。

(3) 地中レーダの受信波形からの中空床版のかぶり厚不足領域の推定

地中レーダ（以下、GPR と称す）で得られた受信波形を画像化し、物体検出アルゴリズムである You Only Look Once (YOLO)を用いて中空ボイドを学習した。そして、YOLOにより検出されたボイドの位置情報を抽出し、ボイド上のコンクリートかぶり厚が不足する領域を検出した。

4. 研究成果

(1) 深層学習による車載カメラ映像からの鋼橋の腐食検出と腐食進展評価

2020 年から 2021 年にかけて、モノレール橋を点検車載カメラから撮影した画像を用いる。YOLOv7 による腐食検出の結果を図 1 に示す。YOLOv7, YOLOv5 とともに、テストに用いた腐食が写る 150 枚の画像のうち、すべての画像で腐食を検出することに成功した。表 1 に示すように各設定条件において閾値 0.01 において YOLOv7 で見落としが 2 個と最も少ない結果となった。図 2 に加色混合法の結果の一例を示す。図 2(a),(b),(c) はそれぞれ、2020 年画像、2021 年画像、加色混合法の結果である。図 2 の結果から、赤色に着色された箇所は腐食が進展している箇所であることが確認できる。最後に、加色混合法の結果を HSV 空間に変換し、平均腐食進展率を計算した結果を図 3 に示す。両図(a),(b),(c)はそれぞれ、加色混合法の結果、HSV 空間変換後の赤領域、青領域の抽出結果であり、キャプションには赤色占有率、青色占有率を示している。図 3(b),(c)に示すように、赤色占有率は 16.4%、青色占有率は 0.45%となり、腐食進展率は両者の差分により約 16%となる。同図(a)の加色混合の結果からもシアン色はほぼ認められず、的確に進展を評価できていると考えられる。

本研究では、点検車載カメラにより対象構造物を撮影した画像から、腐食進展率を計算することで進展している領域を抽出することができた。今後の課題は、赤色・青色占有率を計算するための HSV 空間での閾値の決定方法を確立することである。現在、全画像に同じ閾値を設定しているため誤検出が生じる恐れがある。今後は画像毎に閾値を自動設定することを検討する。

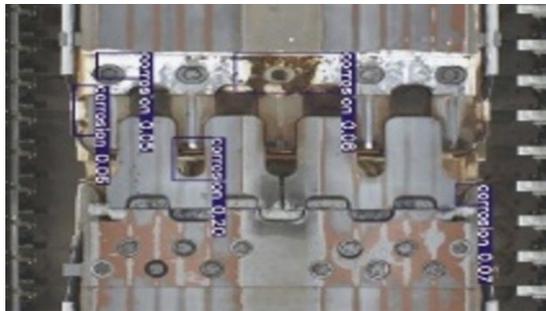


図 1 YOLOv7 による腐食検出結果

表 1 YOLOv5 と YOLOv7 の比較

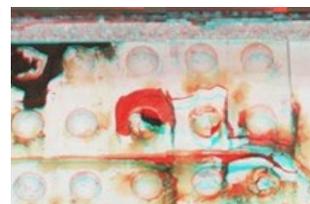
YOLOv5		
Threshold	Correct	Missing
0.01	525	3
0.05	482	46
0.10	395	133
YOLOv7		
Threshold	Correct	Missing
0.01	526	2
0.05	487	41
0.10	446	82



(a) 2020 年度

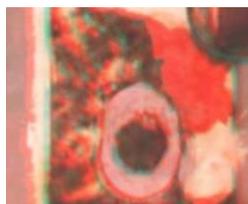


(b) 2021 年度



(c) 加色混合法の結果

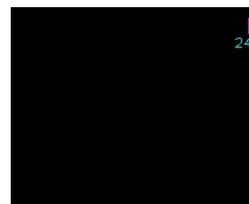
図 2 腐食進展評価結果



(a) 加色混合法の結果



(b) 16.4%



(c) 0.5%

図 3 腐食進展の定量化

(2) 深層学習による車載カメラ映像からのコンクリート橋のひび割れ検出と進展評価の結果

損傷発生箇所を物体検出アルゴリズム YOLO により矩形単位で検出した。YOLO はオブジェクトに似た領域の切り出しと各クラスに属する確率の推測を同時に行うことから速度面で優れている。本研究では、YOLOv5, YOLOv7, YOLOv8 の 3 つのバージョンの精度検証を行った。初めに、YOLO 実装の前段階として、最適なバッチサイズの検証を行った。結果を表 2 に示す。表 2 より、適合率と再現率の調和平均である F 値を比較基準とし、バッチサイズ 32 が最適であることが分かった。次に、YOLO のバージョンごとの精度比較結果を表 3 に示す。本研究で使用したデータに対して、YOLOv7 が適合率、再現率ともに一番高い値となり、本システムに適していると判断した。そして、モルフォロジー処理を用いて、損傷発生箇所の画素単位で検出した結果を図 4 に示す。なおモルフォロジー処理では、色調補正、線情報と粒情報を抽出するメディアンフィルタ処理、線特徴の特性を活用した線強調処理、二値化処理を施した。図 4 に示されるように、概ねひび割れを正しくトレースしていることが分かる。

次に、点検 1 期前の画像を用意し、損傷が進展している可能性の高い領域を可視化することを試みた。具体的には、最新の点検結果（画像 A と称す）と 1 期前の点検結果（画像 B と称す）を用意し、2 枚の画像間で 1 画素毎に損傷結果を調査する。画像 A における損傷 X の座標情報 (x, y) を抽出し、画像 B における座標情報 (x, y) に該当する損傷 X' の存在を確認する。1px もズレがなく損傷発生領域 X と X' が一致している場合では、進展なしと判断し白色で着色する。ただし、2 枚の画像には、通常、画角のズレがあることから、画像 B にて座標情報 $(x+\alpha, y+\alpha)$ の範囲内に損傷が存在するかを確認することとし、本研究では、表 4 に示すような着色化のルールを設定した。周囲 20px を超えても、画像 B にて損傷 X' が見つからない場合、新たな損傷である可能性が高いと判断し、赤色で着色する。図 5 に過年度比較による結果の一例を示す。白色で可視化される過年度間で重複するひび割れがある一方で、カラー着色された箇所が多く認められる。これは画角のズレの可能性もあるものの、過年度から存在する軽微なひび割れや遊離石灰が進展している可能性が高いと判断することができる。

表 2 バッチサイズによる精度比較

	Batch Size		
	64	32	16
Precision(%)	84.7	96.1	96.5
Recall(%)	78.3	83.1	82.8
F-score	81.4	89.2	89.1

表 3 Version による精度比較

	Version		
	v5	v7	v8
Precision(%)	96.1	97.2	91.1
Recall(%)	83.1	90.3	84.6
F-score	89.2	93.6	87.7

表 4 ひび割れの進展評価の着色ルール

Displacement: α	Color
0 px	White
1 ~ 5 px	Blue
6 ~ 10 px	Green
11 ~ 20 px	Yellow
21 px ~	Red

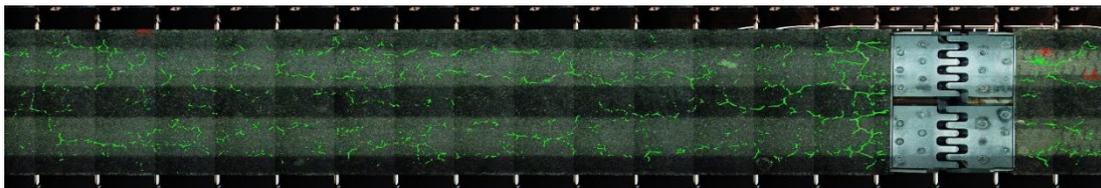
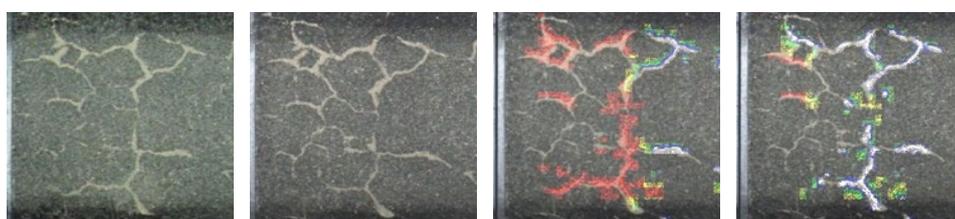


図 4 損傷検出による可視化の一例



図 5 2014 年から 2015 年度の進展性評価



(a) Surface in 2012 (b) Surface in 2015 (c) No Processing (d) 位相限定相関法

図 6 画角調整結果

最後に、位相限定相関法による画角調整の結果を図6に示す。ここでは、図6(b)を図6(a)に合わせて画角調整を行った。画像の着色箇所は、損傷位置のずれの大きさに応じて、上述の着色化規則に則って抽出されている。画角調整を行った図6(d)は、処理を行わない図6(c)と比較して、ずれの大きな赤い領域が減少し、ずれの小さい白い領域が増加している。そのため位相限定相関法は画角のずれ低減に寄与していると考えられる。

本研究では、点検車載カメラから撮影されたコンクリート桁の画像を対象として、深層学習に基づく物体検出・認識技術とモルフォロジー処理を用いて、過年度からのひび割れの進展性評価が可能なシステムを開発することを試みた。結果として、過年度から重複して存在する損傷や進展している可能性の高い箇所を可視化することで把握することが可能となった。そして、画像レジストレーション手法の検証では、位相限定相関法において、画像間の画角のずれが減少し、損傷の進展評価の精度が向上することが分かった。

(3) 地中レーダの受信波形からの中空床版のかぶり厚不足領域の推定

あるコンクリート中空床版の橋軸方向85.78m、橋軸直角方向1.8mを検査対象として、計測されたGPRデータからかぶり厚が不足する領域とのかぶり厚を推定した。図7に床版の模式図を示す。この対象構造物からは、GPRデータを読み込み、橋軸直角方向(Z方向)において25画像(縦断図, 0.075mピッチ)と橋軸方向(X方向)において1,451画像(横断図, 0.0591mピッチ)が得られた。これらの画像に対して、熟練診断者が目視でかぶり厚の不足領域として確認した結果、橋軸方向X:6.8mから7.7mで、橋軸直角方向Z:-0.9mの位置を抽出した(図8)。

YOLOを用いて、ボイドを検出し、その位置座標から異常性を検出した結果を図9に示す。ここで、検査対象には図面情報があることから、本来のボイドの設置位置以外に出力されるYOLOの検出結果は除去することとし、YOLOが出力するボイドの位置情報から、ボイドの浮き上がりを検出した。本研究では、2つのボイド間に段差がある、および2つのボイド上のコンクリート被り厚が120mm未満という条件を満たす画像を選別した結果、画像区間として114枚目から131枚目(橋軸方向:6.68mから7.68m)で、左側ボイド上のかぶり厚が十分でない可能性があることが判定された。図から明らかのように、左側のボイドが右側に比べて高い位置で検出されていることが分かる。さらに、橋軸方向で、6.68mから7.68mという位置は、技術者がGPRデータを目視で検出したかぶり厚不足領域と概ね一致している。

以上のことから、物体検出技術YOLOに正しくボイドからの反射を学習させ、さらに検査対象の図面情報を利用することで、ボイド上面のコンクリートかぶり厚やボイドの配置状況を評価することが可能と言える。

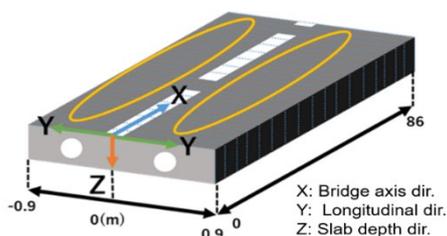


図7 検査対象の模式図

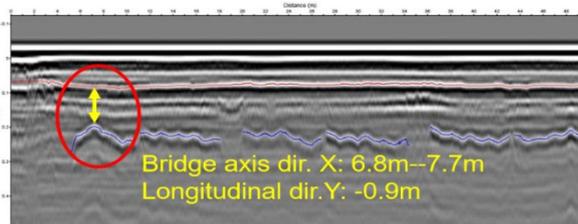
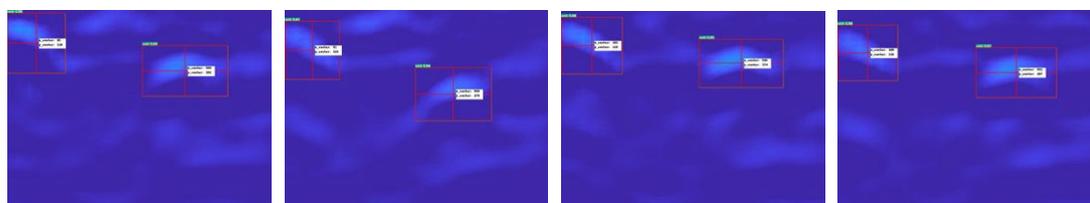


図8 GPRデータの目視点検結果



(a) 114 枚目画像 (橋軸方向: 6.68m) (b) 120 枚目画像 (橋軸方向: 7.03m) (c) 126 枚目画像 (橋軸方向: 7.39m) (d) 131 枚目画像 (橋軸方向: 7.68m)

図9 かぶり厚が十分でない領域の検出結果例

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 大島草太, 日下貴之, 野村泰稔	4. 巻 50
2. 論文標題 DIC法を用いた亀裂検出システムの開発とCFRP積層板における疲労亀裂進展評価	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 日本複合材料学会誌	6. 最初と最後の頁 55-61
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yasutoshi Nomura, Masaya Inoue, Hitoshi Furuta	4. 巻 8
2. 論文標題 Evaluation of crack propagation in concrete bridges from vehicle-mounted camera images using deep learning and image processing	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Frontiers in Built Environment	6. 最初と最後の頁 1-14
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fbuilt.2022.972796	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 野村泰稔, 井上諒也, 黒木宏忠	4. 巻 71巻3号
2. 論文標題 深層学習に基づく物体検出・認識技術を適用したソーラーパネルの接合クラムの異常判定	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 材料	6. 最初と最後の頁 289-295
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2472/jsms.71.289	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 野村 泰稔, 矢子 嗣人, 服部 洋, 中山 正純	4. 巻 71巻3号
2. 論文標題 変分自己符号化器を用いた回転機械の教師なし型異常検知	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 材料	6. 最初と最後の頁 296-302
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2472/jsms.71.296	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 山岡奨, 日下貴之	4. 巻 70巻11号
2. 論文標題 衝撃荷重下におけるCFRP積層材のモードIき裂進展抵抗曲線の実験的評価	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 材料	6. 最初と最後の頁 802-809
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2472/jsms.70.802	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 豊田英夫, 四井早紀, 野村泰稔, 伊津野和行	4. 巻 68A巻
2. 論文標題 超過外力に対する免震支承のハードニング防止を目的とした振動制御に関する一考察	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 構造工学論文集A	6. 最初と最後の頁 202-212
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11532/structcivil.68A.202	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計22件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 8件)

1. 発表者名 S.Ozaki, Y.Nomura, et al.
2. 発表標題 Corrosion progress detection in steel bridge from vehicle-mounted camera images based on deep learning
3. 学会等名 The 8th International Symposium on Life-cycle Civil Engineering (国際会議) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 G.Sung, Y.Nomura
2. 発表標題 Road Surface Temperature Prediction Based on Neural Network Utilizing Disaster Prevention Weather Information and IoT Sensors
3. 学会等名 The 24th International Symposium on Intelligent Systems (国際会議) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 C.Murata, Y.Nomura
2. 発表標題 Neural network-based study on short-term prediction of local rainfall
3. 学会等名 The 24th International Symposium on Intelligent Systems (国際会議) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 森川康平, 川崎佑磨, 野村泰稔, 伊津野和行
2. 発表標題 機械学習を活用したゴム支承の内部損傷検知に関する研究
3. 学会等名 第16回日本地震工学シンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 成基昌, 野村泰稔, 他4名
2. 発表標題 防災気象情報とIoT センサを活用したニューラルネットワークに基づく道路面温度予測
3. 学会等名 安全工学シンポジウム2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 村田千紗, 野村泰稔 (第4著者), 他2名
2. 発表標題 ニューラルネットワークに基づく局地降雨量の短期予測に関する研究
3. 学会等名 安全工学シンポジウム2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 野間尊成, 深山慶志郎, 古谷颯一郎, 大島草太, 日下貴之
2. 発表標題 寸法効果則を用いたCFRP積層材のトランスバースクラック進展挙動の実験的評価
3. 学会等名 第14回日本複合材料会議
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Yasutoshi NOMURA, Shota HIRANO, YAMAZAKI and Yukihiisa YAMATO
2. 発表標題 Crack Progress evaluation in Concrete Bridges Using Deep Learning and Image Processing
3. 学会等名 6th International Conference on Materials and Reliability (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Fumiya KUSUMOTO, Daiki HAYASHI, Yasutoshi NOMURA
2. 発表標題 Examination of Crack Progress Using Image Registration and Correlation Methodologies
3. 学会等名 6th International Conference on Materials and Reliability (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Shoto Ozaki, Yasutoshi Nomura, Hiroshi Yamazaki, Yukihiisa Yamato
2. 発表標題 Detection of Corrosion Progress using deep learning and image processing
3. 学会等名 Joint 12th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 23rd International Symposium on Advanced Intelligent (SCIS & ISIS2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 星野耀杜, 小田剛士, 日下貴之, 高崇, 岩田彬, 谷角勇介
2. 発表標題 DEN試験法を用いたCFRP積層材の面内結合力特性の実験的評価
3. 学会等名 第8回材料WEEK(日本材料学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yasutoshi NOMURA
2. 発表標題 Structural Identification Based on Merging Particle Filter for Earthquake Response
3. 学会等名 The International Symposium on Reliability Engineering and Risk Management (ISRERM22) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 野村泰稔
2. 発表標題 深層学習による点検車載カメラ映像からの橋梁桁の損傷検出・進展性把握
3. 学会等名 安全工学シンポジウム2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 野村泰稔, 高田直斗, 高田守康, 花坂弘之, 永井利幸, 織野雅彦, 戸部浩, 吉田美由紀
2. 発表標題 防災気象情報とIoTセンサを活用した道路面温度予測
3. 学会等名 安全工学シンポジウム2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Gao, C., Iwamoto, T., Tanaka, Y., Kusaka, T., Hojo, M.
2. 発表標題 Suppression of Extra Oscillations on Impact Force Wave in Instrumented Taylor Impact Test by Pulse-shaping Technique
3. 学会等名 3rd International Conference on Impact Loading of Structures and Materials (ICILSM 2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 田嶋倫太郎, 山岡奨, 日下貴之
2. 発表標題 衝撃荷重下におけるCFRP積層材のR曲線評価に及ぼす運動エネルギーの影響
3. 学会等名 第71期学術講演会(日本材料学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 野村泰稔
2. 発表標題 深層学習を活用した社会インフラ系の構造異常診断
3. 学会等名 材料学会第70期通常総会・学術講演会ならびに各種併設行事
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 土橋悠人, 日下貴之
2. 発表標題 J積分にもとづくCFRP接着接合部材のモードI結合力特性の逐次同定
3. 学会等名 材料学会第70期通常総会・学術講演会ならびに各種併設行事
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 相良光輝, 土橋悠人, 矢部拓哉, 日下貴之, 北條正樹
2. 発表標題 J積分に基づくCFRP接着 接合部材のモードII結合力特性の逐次同定
3. 学会等名 日本接着学会第59回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小田剛士, 田中亮汰, 日下貴之, 岩田彬, 谷角勇介
2. 発表標題 DEN試験法を用いたCFRP積 層材の面内破壊じん性評価に及ぼす荷重不整の影響
3. 学会等名 材料学会第7回材料WEEK
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小嶋太陽, 土橋悠人, 日下貴之
2. 発表標題 結合力特性に着目したCFRP接着接合継手のモードI破壊挙動の実験的評価
3. 学会等名 材料学会第7回材料WEEK
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 関田陸, 田中亮汰, 日下貴之, 岩田彬, 谷角勇介
2. 発表標題 CFRP積層材のモードI面内破壊じん性に及ぼす板厚の影響
3. 学会等名 材料学会第7回材料WEEK
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 古田均, 北原武嗣, 野村泰稔, 宮本崇, 一言正之, 伊藤真一, 広兼道幸, 高橋亨輔	4. 発行年 2022年
2. 出版社 電気書院	5. 総ページ数 209
3. 書名 AI x 防災 データが紡ぐ未来の安心・安全	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	日下 貴之 (Kusaka Takayuki) (10309099)	立命館大学・理工学部・教授 (34315)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------