

道路政策の質の向上に資する技術研究開発

【研究状況報告書（1年目の研究対象）】

①研究代表者	氏名（ふりがな）		所属		役職	
	氏家 勲（うじけ いさお）		愛媛大学		教授	
②研究 テーマ	名称	市町村のニーズに応える革新的な点検支援システムに関する研究開発				
	政策 領域	[主領域] 【領域8】 道路資産の保全	公募 タイプ	タイプ I ハード分野		
		[副領域]				
③研究経費（単位：万円）	平成29年度	平成30年度	平成31年度	総合計		
	1,230	1,690		2,920		
④研究者氏名	（研究代表者以外の主な研究者の氏名、所属・役職を記入。なお、記入欄が足りない場合は適宜追加下さい。）					
氏名	所属・役職					
矢田部 龍一	愛媛大学・教授					
全 邦釘	愛媛大学・准教授					
吉井 稔雄	愛媛大学・教授					
楠本 雅博	第一コンサルタンツ・取締役，設計二部部長					
浅本 晋吾	埼玉大学・准教授					
⑤研究の目的・目標	（提案書に記載した研究の目的・目標を簡潔に記入。）					
<p>四国内の市町村が管理する約34,500橋の橋梁のうち、有効幅員4m以下の狭小幅員橋梁は19,700橋（約57%）と半数以上を占めている。これら狭小幅員橋梁において橋梁点検車を使用すると、通行止めが必要になり、現道交通や周辺住民の生活活動への影響が大きいという問題がある。加えて、点検を実施しても損傷の評価や対応の要否の評価が難しいことも市町村での橋梁維持管理の課題として顕在化している。</p> <p>本委託研究は、市町村の狭小橋梁の点検において、市町村が管理する狭小幅員橋梁において、橋梁点検時の通行止めを回避でき、容易に輸送・架設・移動が可能な安価な簡易移動式足場をまず開発する。加えて、複数の非破壊検査の計測結果や画像解析などにより人工知能の枠組みで損傷やその進行状況を把握する手法、および三次元画像モデルとして復元された橋梁に損傷をマッピングする技術を用いて点検を支援するシステムを開発し、その迅速化、高機能化の提案を行うものである。</p>						

⑥これまでの研究経過

これまでの研究目標の達成状況

本研究は、①簡易移動式足場と、②人工知能ベース損傷評価支援システム、③橋梁3次元画像マッピングシステムの3項目を複合させた、市町村の狭小橋梁に適した点検支援システムの開発を目標としている。それぞれについて以下に研究の進捗状況を述べる。

1. 簡易移動式足場

【簡易移動式足場のニーズと設計】

FS研究において、簡易移動式足場の開発を行った。香川・高知労働局との協議、および道路管理者・点検業者・工事業者からのヒアリングをもとに、以下の表1.1のように要求性能を定め、また達成することができた。最終的な構造を図1.1に示す。

表1.1 簡易移動式足場の要求性能

労働局との協議結果に基づく要求性能
① 移動時は作業員を乗せることは不可。
② 構造上は吊り足場でなく「足場」として安全衛生規則を満足すればよい。
③ 実橋実験の了承であり、当該足場に対する認可ではない。
道路管理者等ヒアリング結果に基づく要求性能
④ 狭小幅員橋梁（有効幅員4m以下）において点検時の通行止めを回避できる。
⑤ 容易に運搬、架設、移動が可能である。
⑥ 歩道橋（人道橋）での使用が可能である。

表1.1の中で市町村からのニーズが特に高かったのが、④の狭小幅員橋梁における通行止めの回避である。このため簡易移動式足場の開発により、通行止めがどの程度回避できるのかを調査した。表1.2に、高知県内の安芸市(海岸沿い)、香美市(平野部)、佐川町(山間部)の各市町が管理する全橋梁を対象とし、桁下高が不明な橋梁を除く1,033橋に対して簡易移動式足場が優位となる橋梁数を集計した結果を表1.2に示す。表より明らかなように、簡易移動式足場により点検時の通行止めが回避できる橋梁は、全橋梁の14.4%であり、点検機材が必要な橋梁に限定すると、63.7%で通行止めを回避できることが明らかとなった。簡易移動式足場により、点検時の通行止めが発生する橋梁の大部分で、通行止めを回避でき、市町村が重要視しているニーズに応えることができる。

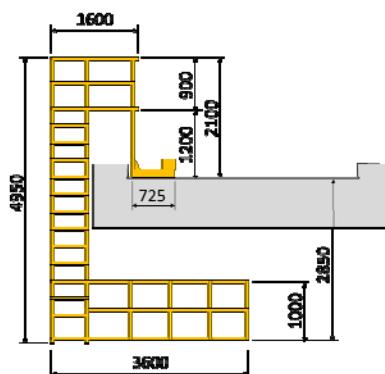


図1.1 簡易移動式足場の構造

表1.2 点検時の通行止めが回避できる橋梁の割合

桁下高	有効幅員	現在の点検方法	有効橋梁数				構成比	
			安芸市	香美市	佐川町	計	全橋梁	要機材
4.0m未満	-	地上/梯子	278	226	295	799	77.3	-
	3.0m未満	吊り足場等	34	8	9	51	4.9	21.8
	3.0m以上	橋梁点検車(通行止め)	65	57	27	149	14.4	63.7
4.0m以上	5.5m未満	橋梁点検車(通行止め)						
	5.5m以上	橋梁点検車(片側交互)	7	16	11	34	3.3	14.5
		計	384	307	342	1,033	100.0	-

【実証実験】

簡易移動式足場については、高知県安芸市に架設されているシリグロ橋（安芸市管理、橋長15.7m、有効幅員4.0m、PC中空床版橋、桁高0.6m、写真1.1）において既に実橋検証もを行っている。実橋検証では、2トン移動式クレーンで輸送・架設を行い、荷積みや架設性を検証した。また、実験には高知県および市町村（安芸市、土佐市、いの町）の維持管理担当職員も参加して頂き、実際に簡易移動式足場に搭乗して頂いた（写真1.2）。

実橋検証では、写真1.3、1.4のように模擬的な打音検査作業および非破壊検査（透気試験）を行い、作業性についても検証した。さらにコンクリート舗装面での移動性も検証した。実橋検証の結果、2トン移動式クレーンでの輸送と架設、点検作業（打音検査、非破壊試験）、足場の移動に大きな問題はなく、市町村の最も大きなニーズである「点検作業時の通行止めの低減」に大きく寄与できることが実橋においても検証された。

【研究成果と今後の活用、目標】

地方自治体が管理する1車線橋梁では迂回路がないものが多い。この場合には全面通行止めではなく、時間通行止め（50分間通行止め、10分間交通開放）を行っている。時間通行止めでは、橋梁点検車の据え付け・撤去にそれぞれ5分程度の時間が必要であり、実質的な点検作業時間は1時間の内40分程度である。簡易移動式足場の場合には、最初の据え付け時、最後の撤去時以外は常時交通開放することができ、点検や試験作業を中断することがない。

また点検作業以外にも、補修・補強設計に伴う寸法計測や鉄筋探査などの各種調査、地震発生直後の健全性確認などにも使用でき、実際に既に利用したい旨の打診を自治体やコンサルより受けている。

今後は、更に簡潔、短時間で用いることの出来る構造とすることを目標としている。



写真 1.1 有効幅員 4.0m



写真 1.2 実橋での設置状況



写真 1.3 打音検査の状況



写真 1.4 透気試験の状況

2. 人工知能ベース損傷評価支援システム

本システムは市町村の狭小橋梁の点検において、前項で開発した簡易移動式足場を用いて近接できることを想定したうえで、複数の非破壊検査の計測結果や画像解析などにより、人工知能の枠組みで損傷やその進行状況を把握することを目標としている。具体的には、以下の2項目の研究を行っている。

- (1) 非破壊試験＋人工知能システムによる内部損傷評価
- (2) 画像解析＋人工知能システムによるひび割れ自動検出

それぞれについて以下で述べる。

(1) 非破壊試験＋人工知能システムによる内部損傷評価

【FS研究の概要・結果】

FS研究では、本手法の適用可能性を検討することを目標として、軸方向ひび割れや錆汁が出て来る前に、非破壊試験結果を人工知能の枠組みで解釈することで鉄筋腐食による損傷を検出できるか検討した。鉄筋腐食は鉄筋近傍のコンクリートに内部ひび割れを生じさせる。そして内部ひび割れはコンクリート表面を打撃した際の近傍点において、コンクリートテスターやシュミットハンマーから得られる反発強度、透気係数などに影響を与えると考えられる。

FS研究では、写真2.1に示すように5.5mのRC梁を作成し、その半分は電食試験により腐食を促進させる一方で(図2.1)、残りの半分は鉄筋をエポキシで皮膜して腐食しないようにした。なおRC梁は2体作成しており、以下A桁、B桁とする。



写真 2.1 電食試験・計測を行った RC 梁とその設置状況

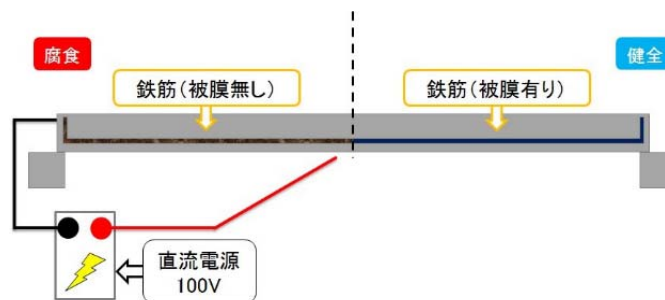


図 2.1 本研究の電食試験の模式図

ここでは、反発強度や透気係数などの計測結果から、電食試験の電流量から導出される腐食量を評価するシステムを人工知能・機械学習の一手法であるRandom Forest法を用いて構築した。概念図を次ページの図2.2に示す。Random Forest法は教師データから訓練される多数の(ここでは250個の)決定木の結果の平均値として、最終的な予測結果を求める手法である。決定木とは図2.3の左に示すような、場合分けを繰り返して値を予測する手法であり、場合分けルールはCART法というアルゴリズムに従い教師データから学習して作られる。Random Forest法は計算コストの割に非常に精度がよいことが知られている。判定結果を次ページの図2.3に示すが、概ね良好であることがわかる。

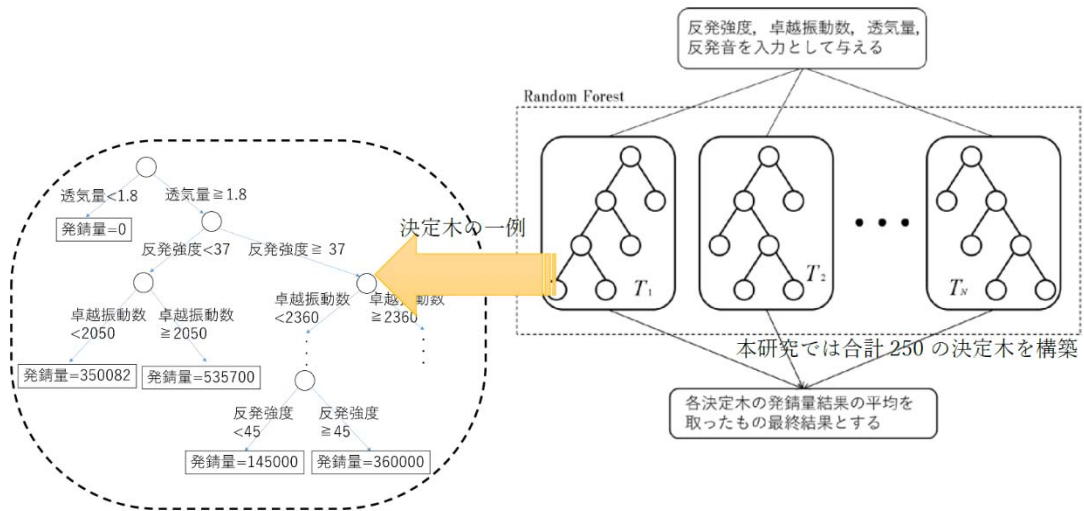


図 2. 2 Random Forest法の概念図

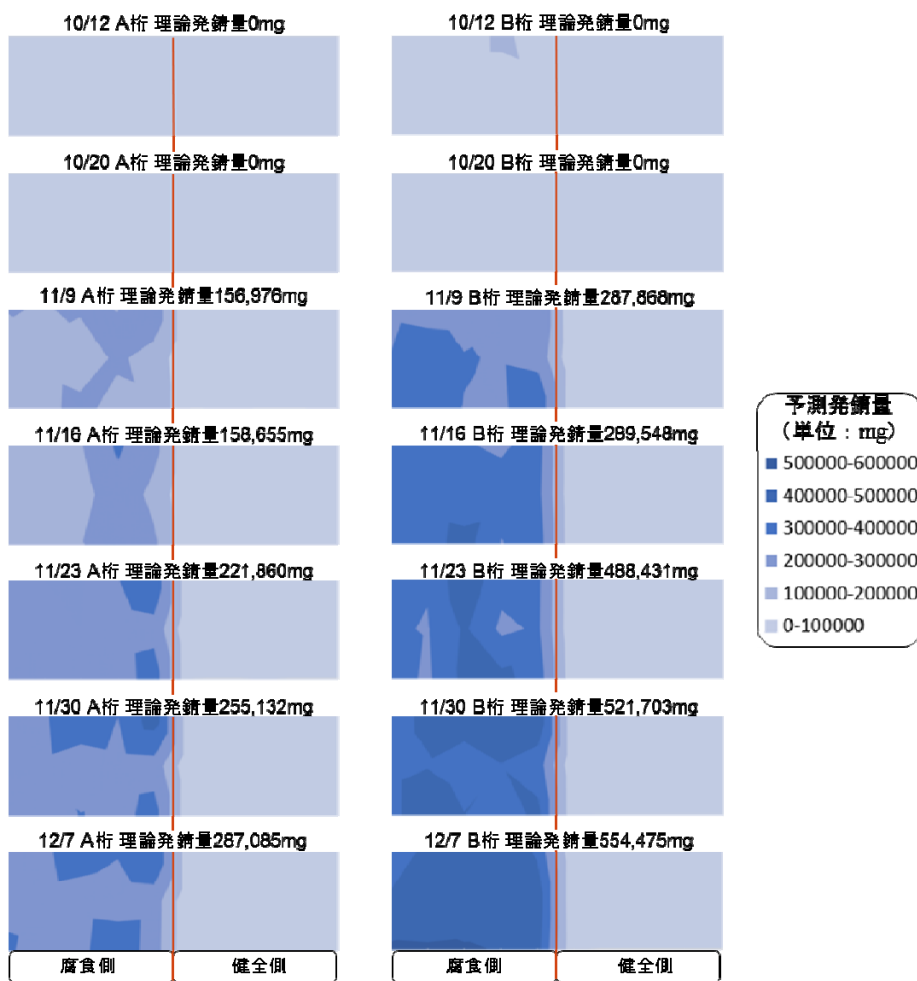


図 2. 3 人工知能ベースシステムによる損傷評価結果

【本年度の実験】

上述のFS研究により、内部損傷を精度よく評価できる見通しが立った。そこで本年度（1年目）の研究では、塩害に加えて、ASR、凍害による損傷が生じた際に、どのような非破壊検査結果が得られるか、供試体ベースの試験により、水セメント比、かぶり厚をパラメータとして整理することを目標とした。行った非破壊試験は、レーザー変位計による表面形状測定、トレント法による透気試験、表面電気抵抗測定、超音波測定、コンクリートテスターによる反発強度測定である。この結果を用いて人工知能ベースシステムを学習すれば、実構造物においても、これらの損傷が外部に表出する前に評価することが可能となると期待できる。

本研究では、W/Cを40%、50%、60%、70%、かぶり厚を20mm、40mm、60mmとして、合計96体の供試体(540mm×120mm×120mm)を作成した。それぞれの内訳は以下の表2.1の通りである。ただしASRについては、損傷を促進させるためにガラスカレットを骨材に使用している。

表 2.1 供試体の内訳

	かぶり (mm)	W/C(%)				計(本)
		40	50	60	70	
鉄筋腐食	20	4	4	4	4	16
	40	4	4	4	4	16
	60	4	4	4	4	16
凍害	40	4	4	4	4	16
ASR	20	4	4	4	4	16
	40	4	4	4	4	16
計(本)		24	24	24	24	96

それぞれの損傷促進試験は、以下の手順で行った。

・電食試験 (図2.4)

- ① 安定化直流電源により 48 時間 0.2A 通電する。
- ② 96 時間、室温 20°C で乾燥する。乾燥中に反発強度、超音波測定、表面形状測定を行う。
- ③ 96 時間乾燥後、透気試験、電気抵抗測定試験を行う。
- ④ ①～③を繰り返す。

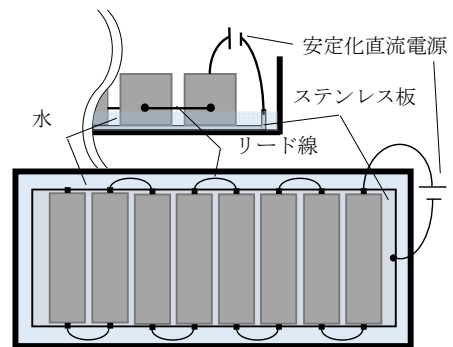


図 2.4 電食試験の模式図

・ASR (図2.5)

- ① NaOH 中で 48 時間、ASR を促進する。
- ② 96 時間、室温 20°C で乾燥する。乾燥中に反発強度、超音波測定、表面形状測定を行う。
- ③ 96 時間乾燥後、透気試験、電気抵抗測定試験を行う。
- ④ ①～③を繰り返す。



図 2.5 ASR 促進試験の模式図

・凍害（図2.6）

- ① 24時間水に浸し、供試体内部を水で飽和させる。
- ② 液体窒素を供試体に直接2分間吹き付けた後、2分間密閉する。
- ③ 5分間、水（40℃）に浸し解凍する。
- ④ ②、③を1サイクルとし、3サイクル行い48時間室温20℃で乾燥する。乾燥中に反発強度、超音波測定、表面形状測定を行う。
- ⑤ 48時間乾燥後、透気試験、電気抵抗測定試験を行う。
- ⑥ ①～⑤を繰り返す。

実験の一例として、表面形状測定の様子を図2.7に示す。また、表面形状測定結果からかぶり厚20mmの供試体の中央における変形量と電食期間の関係を求めた結果を図2.8に示す。電食期間が10日を超えたあたりから、W/Cが60%のものを除いて変形量が大きくなっている様子がわかる。

ただし、このような関係がいまだ見られない供試体も多い。理由としては、研究開始が遅れたため、それに伴い劣化の促進も遅れており、まだ変化が計測可能な程度に表出していないためであると考えている。ただし、これは来年度にリカバーできる見通しである。具体的には、もともと来年度の6月に完了予定だったものを9月あたりまで行えば実験は無事完了させることができ、人工知能ベース損傷評価支援システムのアルゴリズム構築も十分間に合うと見込んでいる。

予定に無理に追いつくように急激に劣化をさせてしまうと、実構造物で生じている劣化と異なる劣化パターンとなる可能性が危惧される。その場合、本来の目的である、実構造物での劣化顕在化前の評価が出来なくなってしまうことを考えれば、上述のスケジュールがベストであると考えている。

【今後の計画】

実験が遅れているものの、もともと早めに終わる計画だったものを少し後ろにずらすことで、研究期間内に終わることが出来ると見込んでいる。また、海岸からの距離などの地理的要因が劣化に与える影響についても人工知能システムへの入力として与える予定であり、既に四国地方整備局よりデータの提供を受け、整理を進めている。例えば海岸からの距離が500m以下の橋梁が塩害による被害を受けている割合は、500m以上の橋梁と比較して1.5倍となっている、などといった知見が得られている。

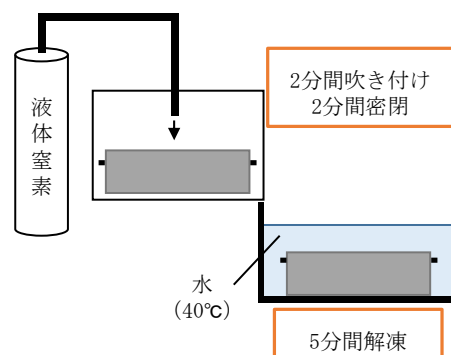


図 2.6 凍害促進試験の模式図



図 2.7 表面形状測定試験の様子

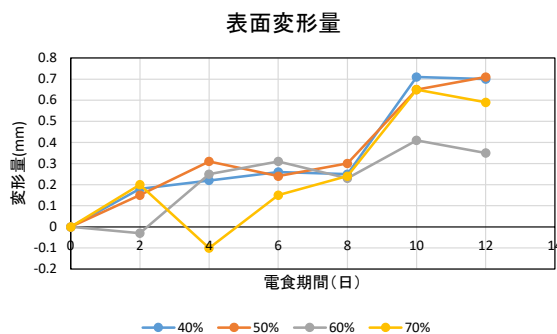


図 2.8 表面変形量と電食期間、W/Cの関係

(2) 画像解析+人工知能システムによるひび割れ自動検出

ひび割れは道路橋定期点検要領でも定められている重要な損傷指標であり、近接目視点検により位置、長さ、幅が記録・スケッチされている。しかし作業量が膨大であるという問題があるため、これらが画像解析により自動検出できれば、作業量が大幅に低下し、市町村の点検支援となる。ひび割れを的確に検出するためには、近接して撮影された高画質の画像があることが望ましいが、1. で開発した簡易移動式足場はその要求を満たすことが可能である。

本研究で開発した手法のフローチャートを図2.9に示す。フローチャート内の項目のそれぞれについて、以下に順に述べる。

【Medianフィルタを用いた補正】

撮影画像には光や影、汚れなどによる濃淡差があり、これらは精度を低下させる要因となるので、まずこれらの補正を前処理として行う。Medianフィルタを適用すると、影や汚れのような大局的な色の変化の情報は残る一方で、ひび割れや汚れのような局所的な色の変化の情報は多く失われる。つまり、元画像をMedianフィルタ適用後の画像で割ると、図2.10のようにひび割れの情報が強く残り、扱いやすくなる。以降では、この前処理を行った画像について解析を行っていくこととする。

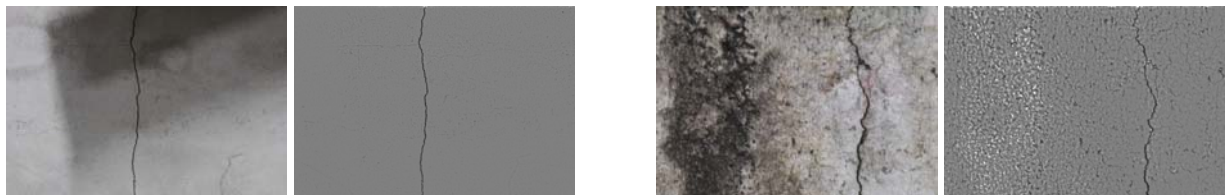


図 2.10 Median フィルタによる補正例

【ディープラーニングによるスクリーニング】

ひび割れ検出においては、汚れや型枠跡などのひび割れと誤認する要素が多く存在することが精度を下げる原因となっている。そこでまず、この数年注目されているディープラーニングの一種であるCNN (Convolutional Neural Network)を用いることで、そのような誤認識の要因となるような対象が写っている領域と、ひび割れが写っている領域を分類する手法を開発した。

一般的な、ディープラーニング以外の機械学習手法では、まず研究者や技術者がどのような画像特徴量に着目すべきかを定めた上で、それら画像特徴量が出力結果に与える影響について事前に与えたデータにより学習していた。この画像特徴量が適切に設計されていれば精度が上がるが、人間が設定すると例外に対応しきれないなどの課題があった。一方でディープラーニングでは、効果的な画像特徴量を自動的に定義・獲得し、計算できるため、人間が画像特徴量を定める必要がなく、例外への対応能力も高いという特長がある。その中でもCNNは人間の視覚野にある受容野をモデル化しており、画像認識の分野で高い性能を持つことが知られている。

ディープラーニングによる学習と解析の全体像を図2.11に示す。

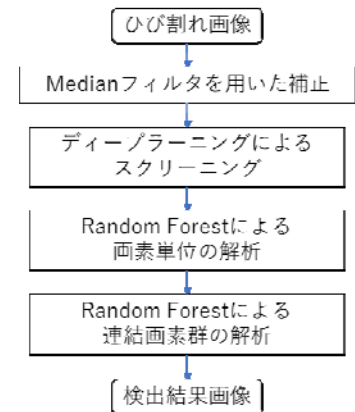


図 2.9 ひび割れ自動検出のフローチャート

図2.11の左側のように、あらかじめ入力と目標出力の組み合わせを学習データとして与え、目標出力と実際のCNNの出力が一致するように重みを更新していく。精度を高めるためには学習データを大量に用意する必要があるが、本研究ではData augmentation手法の活用により200万枚を超えるデータを用いた学習を行った。そうすることで、図2.11の右側のように学習に用いていない解析画像を入力として与えても、精度のよい出力が得られるようになる。

解析結果の例を図2.12に示す。図2.12(a)は原画像、図2.12(b)はディープラーニングによる解析結果であり、ひび割れの存在する可能性が高いと評価された領域ほど濃く白色で抽出してある。図を見ると、既存手法では誤認識されていた型枠跡やPコン跡の部分はひび割れではない領域という解析結果となっており、つまり以降の解析においてこれらをひび割れと誤認識する可能性を大きく低下させている。

【Random Forestによる画素単位の解析】

非破壊検査結果による損傷評価の際にもRandom Forestを用いたが(図2.2)、本項でも用いる。ただし、図2.2で用いたRandom Forestは決定木の平均値を出力としたが、ここでは着目画素がひび割れかどうかという分類結果を出力としたいため、図2.13に示すように決定木の分類結果の多数決の結果を最終的な分類結果とする。

Random Forestの入力は、着目画素の画像特徴量の集合である画像特徴量ベクトルとする。ひび割れは周辺画素と比較して相対的に暗く、すなわち輝度値が低いことが多い。そこで本研究でも着目画素の輝度値を画像特徴量として用いるが、コンクリートの撮影画像は影や汚れなどひび割れ以外にも輝度値が低い要素が様々な存在しており、それだけの情報ではノイズや誤検出が多くなる。そこで本研究では、ひび割れ画素の隣接画素はやはりひび割れ画素であることも多いため、ひび割れ画素を中心とした領域内には暗い画素が多いということに着目し、着目画素の周辺画素の輝度値も特徴と考える。周辺画素の情報はGaussianフィルタの活用により得られるが、ひび割れは縦方向、横方向、斜め方向、といったように方向性を持つことが多いということも考慮し、一般的な正方形型フィルタだけではなく非正方形型のフィルタについても用いた。また、それに加え、図2.12(b)で求めたひび割れ可能性についても入力の画像特徴量ベクトルに含め、解析を行った。

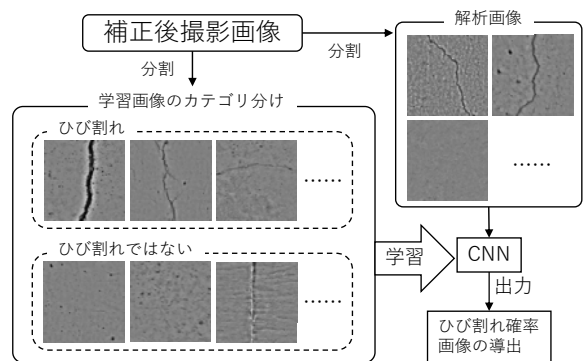


図2.11 ディープラーニングによる学習と解析

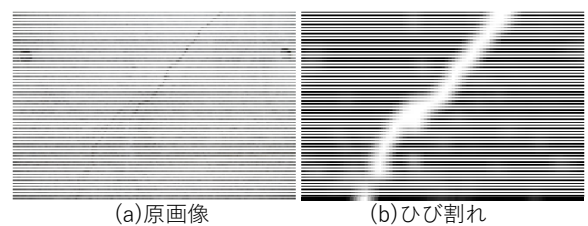


図2.12 CNNによるひび割れ確率画像出力例

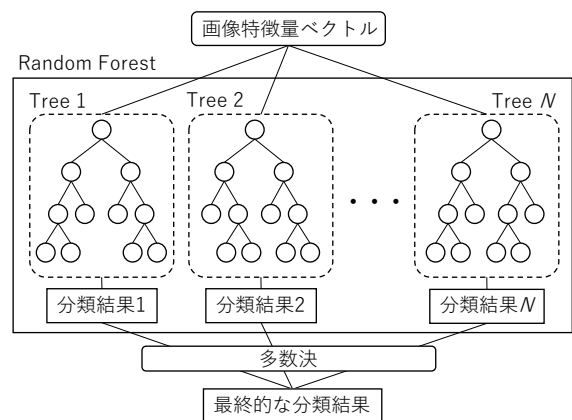


図2.13 分類のための Random Forest

学習の手法であるが、あらかじめ画像内のひび割れの画素を手作業で抽出しておく。そして画像内の画素に着目し、その着目画素がもつ上記の画像特徴量ベクトルと、着目画素がひび割れかひび割れてないかという分類との関係性を Random Forest に学習させる。そうすることで、学習に用いていない新たな画像についても、構築した Random Forest により精度良くひび割れ判定ができる。



図 2.14 に、図 2.12 (a) で用いた画像の解析結果を例として示す。赤色で示されている画素

図 2.14 Random Forest による画素単位解析後の結果

は、ひび割れと検出した画素であることを意味している。概ね良好にひび割れを検出できており、また型枠跡をひび割れと誤認識することもほぼ防げている。しかしその一方で、まだノイズなどの誤判定結果も若干残っている。次項ではこういった画素の除去を行う。

【Random Forestによる連結画素群の解析】

前項の検出結果で残っているノイズや誤判定結果を除去するため、幾何学的形状に着目する。ノイズ除去では、ひび割れとして検出されている画素の中で連結している領域が、人為的に定めたしきい値以下の面積であれば取り除く、という手法が一般的である。しかし本研究ではひび割れが長細いという特徴を持つことにも着目し、面積だけではなく周辺長、連結要素の領域と同じ2次中心モーメントを持つ楕円の長軸長さ、短軸長さの合計4つの幾何学的形状特徴を考慮する。



図 2.15 Random Forest による連結画素群の解析結果

また、これらの判定基準について、それぞれに独立した人為的なしきい値を定めることは必ずしも適切ではない。例えば面積が小さくても、周辺長が長ければ長細いということの意味しており、ひび割れである可能性は高い。そこで、これらの判定基準を複合的に考えることが出来るように、ここでも Random Forest を用いる。ただし、注記しておくが、ここで構築する Random Forest は前項で構築した Random Forest とは別物である。前項で対象としているものは画素である一方、本項での Random Forest は画素の連結領域を対象としている。また、入力・出力も異なっており、ここで入力として与える特徴ベクトルは上記の合計4つの幾何学的形状特徴量、出力は画素の連結領域がひび割れかどうかの分類である。結果の例を図 2.15 に示す。図 2.14 で散見されたノイズを適切に省けている様子がわかる。このように、2段階に分けて Random Forest を行うことで、ひび割れらしき連結領域のみを精度よく検出することができる。

【解析結果】

本項では、影、汚れ、型枠跡など、ひび割れ検出において悪条件が揃っている画像について、本手法を用いてひび割れ検出した結果を示す。図2.16に示すように、様々な構造物や角度から撮影した画像の解析を行ったが、99%を超える正解率で検出できており、精度が非常に高いシステムとなっている。

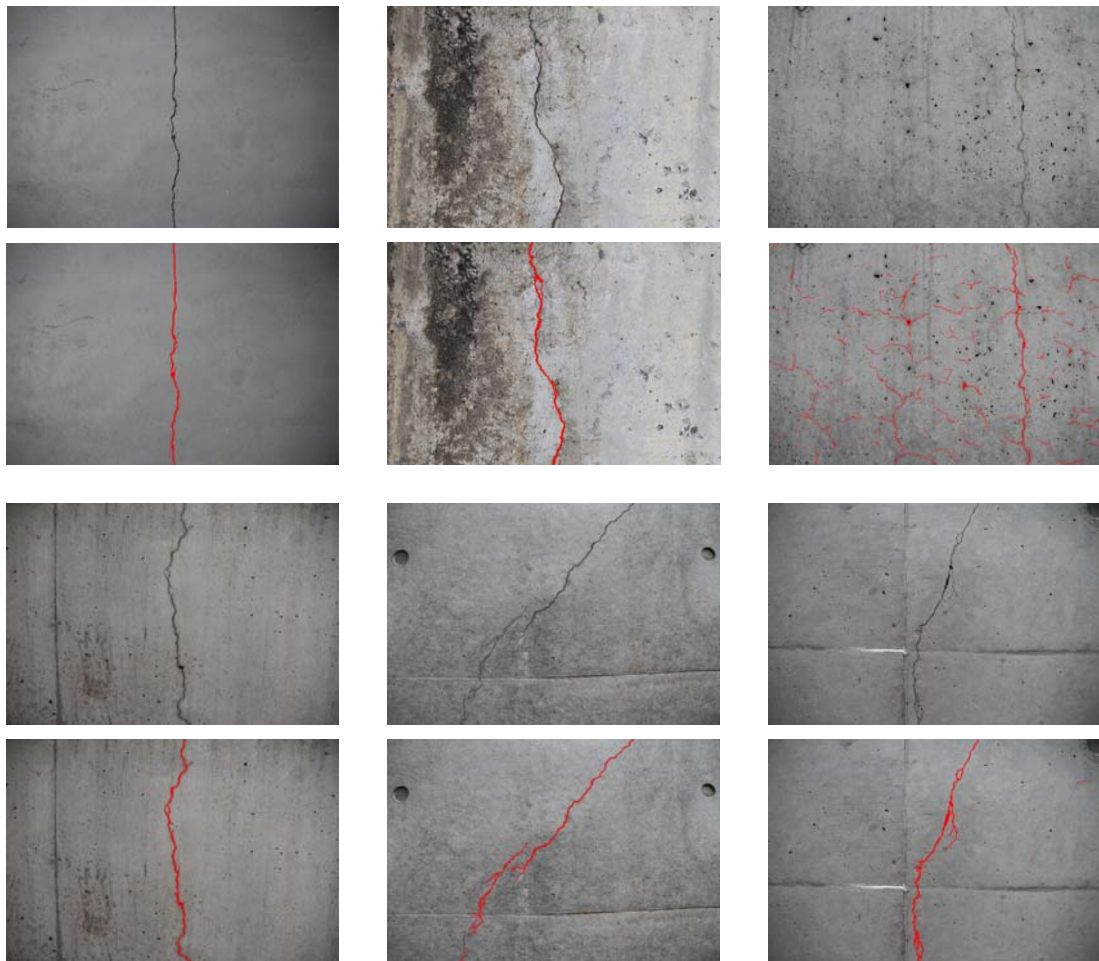


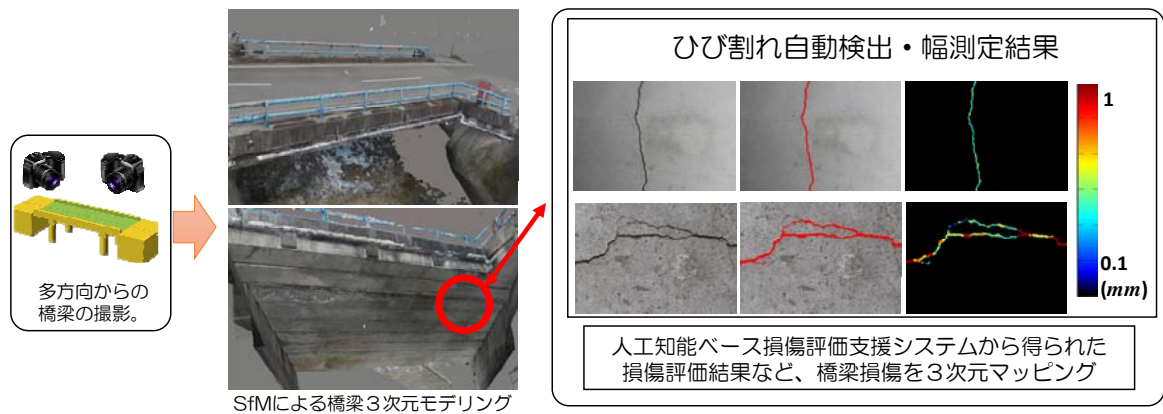
図2.16 本研究による解析結果

【利用方法・今後の目標】

本研究で開発したひび割れ検出手法は非常に精度が高く、この手法で定期的に構造物を記録・解析すれば、ひび割れの進展を評価することも可能である。また、ひび割れ幅を評価する方法についても研究が進んでおり、来年度には実現が出来る見通しである。ここでの検出結果は、次項の3次元画像マッピングに反映することができる。

3. 橋梁3次元画像マッピングシステム

本研究では、画像解析技術の活用により橋梁3次元モデルを復元し、そこに2. の損傷評価結果をマッピングするシステムの開発を行う。全体像を以下の図3.1に示す。



SfMによる橋梁3次元モデリング

図 3.1 橋梁 3 次元画像マッピングシステムの全体像

【手法】

橋梁の3次元モデリングには、あるシーンをカメラの視点を変えながら撮影した複数枚の画像から、そのシーンの3次元形状とカメラの位置を同時に復元する手法であるStructure from Motion (SfM) という技術を用いて、現在開発を進めている。

SfMでは、複数画像内での対応点を見つける必要がある。しかし、土木構造物では、似たような質感（アスファルト舗装・コンクリート）の表面が多いため、対応点の探索が難しく、3次元復元でエラーが生じやすいという課題があった。そこで、違いの少ないコンクリートから違いを見出すため、必要に応じてシャープ化し、FASTアルゴリズムにより対応点の明確化を行った（図3.2）。それに加えて、適切な間隔で文字を記載した養生テープを添付し、対応点を作り出す作業についても行っている（図3.3）。養生テープの添付のためには近接する必要があるが、1. で開発した簡易移動式足場はその要求を満たすことが可能である。



図 3.2 画像のシャープ化によるマッチングのための特徴明確化

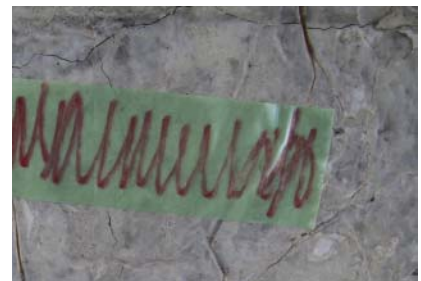


図 3.3 模様を記載した養生テープによる人為的な特徴点・対応点生成

【結果】

2. で開発しているひび割れ検出手法で撮影画像からひび割れを検出して赤く塗った上で、それらの画像をSfMの入力として与え得られた3次元出力画像の例を図3.4に示す。図より明らかなように、自動的にひび割れが橋梁内にマッピングされている。また、ひび割れ以外にも、2(1)の非破壊検査結果などについてもマッピングすることが可能であり、スケッチの手間が省け、またミスを防止することができる。

加えて、本手法によれば、例えば室内でも現場にいるかのような臨場感を実現できるため、後日に室内で橋梁の目視点検を検証可能となったり、また次回点検時にも同様の復元を行うことで損傷の進行の有無を検出することもできる。さらに、周辺状況の記録が可能となり、損傷要因の推定にも寄与できる。加えて、損傷判定に困った場合には専門家の助言を仰ぐことも容易となる。

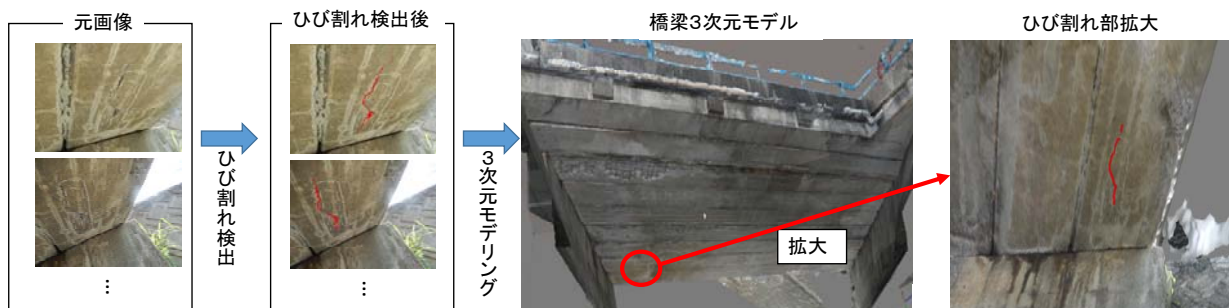


図 3.4 橋梁 3 次元画像マッピングシステムへのひび割れ検出結果反映例

【自治体職員による実証】

本手法が自治体職員によって容易に利用可能か検証するため、新居浜市建設部の職員に依頼し、撮影の段階から実際に作成していただいた。その結果、使い方を 15 分程度説明するだけで、特に問題なく橋梁 3 次元モデルを作成することができ、また、モデル上にひび割れをプロットすることもできた。このように、市町村の職員でも実用が容易であることが明らかになった。

【今後の目標】

橋梁 3 次元マッピングシステムの実用性を向上するために、技術・ノウハウを蓄積する計画である。例えば、座標やひび割れマッピングの要求性能と撮影枚数の関係などを明らかにしていく。また、橋梁 3 次元モデルは座標情報についても保持しているため、様々な活用が可能である。例えば 2 次元スケッチを再描写することや、有限要素モデルの作成補助などが考えられ、ニーズを調査した上で来年度の実現を目指して研究を進めていくこととする。

研究計画、実施方法、体制の妥当性

【研究計画・実施方法の妥当性】

以下に、本研究のスケジュールを示す。

	H28(FS研究)	H29(1年目)	H30(2年目)
(1)簡易移動式足場	要求性能の整理 設計・製作 実橋検証	(2), (3)への活用・ニーズを踏まえた改良	
(2)人工知能ベース 損傷評価支援システム	供試体作成・計測 非破壊試験結果→損傷評価のアルゴリズム開発 ひび割れ検出プロトタイプ開発 三次元復元プロトタイプ開発	点検データ整理 ひび割れ検出アルゴリズム開発	実橋でのデータ取得・実橋での検証
(3)橋梁三次元 マッピングシステム		復元した三次元モデルへのマッピング	実橋での検証と改良 とりまとめ

研究の目的・目標の主たる部分に、市町村での橋梁維持管理の課題の解決がある。申請者らは長年四国地域の社会基盤維持管理に関わってきているが、その中で市町村が管理する狭小橋梁の点検のコストや難度、記録の手間が大きな問題であると認識してきており、また市町村からもその解決を強く求められてきた。また、地域の社会基盤の状況を的確・俯瞰的に把握している四国地方整備局も同様の問題意識を抱えている。

市町村の橋梁点検では、点検時に近接するためのコストの高さおよび通行止めの必要性が負担となってきた。本研究開発の簡易移動式足場は安価に提供することが可能であり、点検機材費の削減が図れる。加えて、橋梁点検車を使用すると通行止めが発生するような狭小橋梁（1車線橋梁）において、点検作業時の通行止めを回避しつつ、近接目視による点検を行うことができる。

また、開発する人工知能ベース損傷評価支援システムは、近接目視点検における適切なサポート役となることが期待でき、損傷の進行性の把握を含めて、点検精度の向上に繋がると期待できる。さらに、橋梁三次元マッピングにより、その適切な取り扱いが可能となり、記録の高度化、低コスト化に寄与できる。

このように、点検における複数の困難を、相互に関連させながら解決していく本研究計画、および実施方法は、研究の目的・目標に鑑みた場合に妥当である。

なお上述のように、供試体の非破壊試験について、研究開始が遅れたことに伴い進捗が遅れているが、もともと早めに終わる計画だったものを少し後ろにずらすことで、研究期間内に終わることが出来ると見込んでいる（上のスケジュール表には反映済み）。

【体制の妥当性】

本研究は、愛媛大学(学)と第一コンサルタンツ(産)により共同で実施する。

簡易移動式足場の開発・設計は、橋梁点検・診断の実績を有する第一コンサルタンツが主体となって実施する。人工知能ベース損傷評価支援システムおよび橋梁3次元マッピングシステムは、同種の研究実績を有する愛媛大学が主体となって実施する。また、実橋における検証のためのフィールドは四国地方整備局(官)に選定していただけることを確認している。

このように、官民学共同の体制となっているため、自治体の実態把握、それを踏まえたニーズの拾い上げ、技術の適用性や開発可能性などについて、緻密な意見交換が可能であることも、研究の目的・目標の達成に大きく寄与できる点である。

⑦ 特記事項

FS評価結果の中で、人工知能ベース損傷評価支援システム及び橋梁3次元マッピングシステムについて、システムの原理・精度を整理すること、市町村職員が理解して実際に使えるようにまとめること、市町村職員による実証を行うこと、といった指摘を新道路会議よりいただいていた。

現状では、非破壊検査結果からの損傷評価支援システムについてはデータを収集中のため、精度の整理については来年度に行うが、ひび割れ自動検出に関しては99%を超える精度を得ることができている。また、原理については明確になっており、報告書に記載する。

市町村職員が理解して使えるようにすること、および市町村職員による実証については、「3. 橋梁3次元画像マッピングシステム」の【自治体職員による実証】にも記したように、新居浜市建設部の職員に使い方を15分程度説明するだけで、特に問題なく橋梁3次元モデルを作成することができた。「写真撮影枚数と精度の関係がわかればうれしい」というような建設的な提案も頂いている。その他、どの程度コスト縮減が見込まれるか検証する必要がある、などの指摘についても新道路会議より受けていたが、それらは来年度に検証を行う計画である。

簡易移動式足場については、昨年12月に高知県内で実施した実橋検証には、本研究がターゲットとしている高知県や、安芸市、土佐市、いの町などの地方自治体の維持管理担当職員も参加して頂き、「是非使ってみたい」との意見を頂いた。また実際に、日建リース工業株式より製品化の打診を受けている。さらに、新たなアプリケーションとして、補修補強時に、複数台の足場を使うことで全面吊り足場を早急に構築できるのではないかと提案をいただき、実際にそのような改良を行う計画にしている。また、インフラメンテナンス国民会議四国フォーラムにおいて、技術紹介の要望を受けており、来年度に行う予定である。

画像解析によるひび割れ評価技術については既に学会発表を行っており、論文についても来年度に出版される予定である。精度の高さについて学外の評価も高く、道路トンネルや鉄道トンネル、ダムへの応用について、興味を持った複数の管理者と共同研究も開始している。

橋梁3次元マッピングシステムについては、四国地整や愛媛県および高知県、市町村職員、建設コンサルタントの技術者などから、そのプロトタイプについて既に高評価を得ており、実用化に至るスケジュールの問い合わせを受けるなど期待が高い。特に現在の点検調書では原則として損傷が発生している箇所画像しか記録されないため、点検調書に記録のない箇所は、損傷がなかったのか、損傷を見落としているのか、点検者が記録の必要のない損傷と判断したのか識別できない。また、損傷箇所のみ画像では損傷発生原因を推定することが困難な場合がある。現状の点検要領に付加して、橋梁全体の三次元画像で記録することにより、橋梁維持管理の質を飛躍的に向上できる。

現状の進捗は、ほとんどの研究項目では計画通り進んでおり（あるいは計画より早い）、順調であると評価できる。ただし、非破壊検査結果からの損傷評価支援システムについては、実験開始が遅れたため損傷の促進が当初スケジュールよりは遅れているが、来年度の中頃までにはシステム構築まで含めて完了できる予定である。