

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 27 日現在

機関番号：53401

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2015

課題番号：26560179

研究課題名(和文) RC構造物の長寿命化に資するUAVを用いた簡易診断法の構築

研究課題名(英文) Development of simple diagnosis method for contribute to longer life of RC structures by using unmanned aerial vehicle

研究代表者

阿部 孝弘 (ABE, Takahiro)

福井工業高等専門学校・環境都市工学科・教授

研究者番号：10132599

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：コンクリートは、市場性や経済性に優れた材料であるため、橋梁等の構造物に多く用いられている。本研究では、老朽化した橋梁数が今後増加していくことを念頭において、橋梁の定期点検を支援するため、UAVを用いて写真撮影を行い、画像から3Dモデルを構築した。また、画像処理によりき裂の抽出を行うことで、目視点検結果とUAVで撮影した画像との比較を行った。さらに、点検結果を格納するためのGISを構築した。

研究成果の概要(英文)：The concrete is an excellent material in the merchantability and the economy. Therefore, it is used for the structure such as bridges. The number of bridges which become superannuated will increase in the future. In this research, the aerial photograph was taken by using Unmanned Aerial Vehicle (UAV). And, 3-dimensional model was constructed with obtained images. Moreover, to detect of the crack by the image processing, it compared with the visual inspection results and image processing results. In addition, Geographical Information System (GIS) was constructed to store the check results.

研究分野：破壊力学

キーワード：橋梁点検 UAV 画像計測 き裂幅 き裂深さ 地理情報システム

1. 研究開始当初の背景

コンクリートは、市場性や経済性に優れた材料であるため、橋梁や道路、トンネル等の構造物に多く用いられている。昭和 30 年から 40 年代の高度経済成長期、国内では構造物の建設が相次いだ。約半世紀を迎えた現在、老朽化した橋梁数が今後、増加していくことが予想される。国土交通省の調査によると、全国にある 15m 以上の橋梁（約 14 万橋）のうち、建設後 50 年を迎えるものは、現状では約 1 割であるが、2026 年には約 5 割になると言われている。

そのような中、今後は 15m 未満の橋梁も含めて維持管理を適切に行っていくことが重要な課題となっている。維持管理の基本は点検であり、目視点検、詳細点検等によって維持管理計画が策定されている。点検では、コンクリート表面に現れるき裂の観察が目視により行われるのが一般的であるが、この場合、劣化がある程度進行するまでは初期欠陥が見逃されたり、点検結果が点検者の技量や経験に左右されたりするため、定量的に評価することが難しい。破壊力学において、き裂は貫通しているとして扱うが、実構造物に生じているき裂の多くは貫通しておらず、その深さを把握してコンクリート内部の状態や欠陥を診断することが重要となる。

2. 研究の目的

本研究では、上記の背景に示す問題点を克服する一つの手段として、UAV (Unmanned Aerial Vehicle: 無人航空機 (マルチコプター)) の活用を考えた。近接目視の代替として、デジタルカメラや熱赤外カメラを用いて RC 構造物の定期点検を補完することが可能となれば、人が立ち入ることが困難な場所の点検が可能となるだけでなく、5 年に 1 度の定期点検の情報を補完することが可能となる。そこで、本研究の目的として以下に示す 3 つの内容を検討することとした。

コンクリート表面にあるき裂幅からき裂深さを推定し、画像解析手法を用いてコンクリート内部の欠陥を診断すること。UAV を用いて実在する老朽化した鉄筋コンクリート (RC) 構造物を調査し、得られた画像からアルカリ骨材反応、塩害、凍害の分類と損傷レベルの判定を行うこと。

以上の成果に基づいて、調査結果を GIS (地理情報システム) に格納し、RC 構造物の長寿命化に寄与する簡易診断システムを構築すること。

3. 研究の方法

(1) デジタルカメラを用いたき裂の把握

曲げ疲労試験によって生じた RC 梁の曲げき裂について写真撮影し、き裂幅と撮影距離、画素数の関係を調べた。これは、UAV による写真撮影でどの程度のき裂が抽出可能かを把握するために実施した。ここで、使用したカ

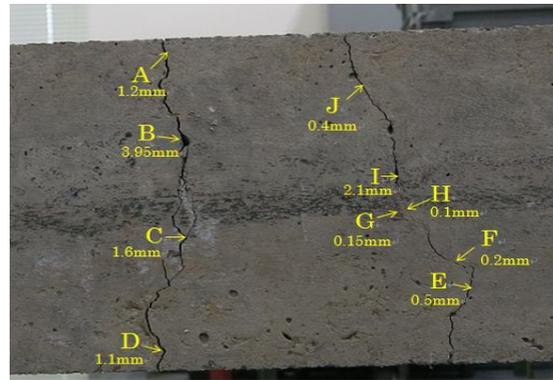


図 1 RC 梁の曲げき裂と測定点 (撮影距離: 0.5m の場合)

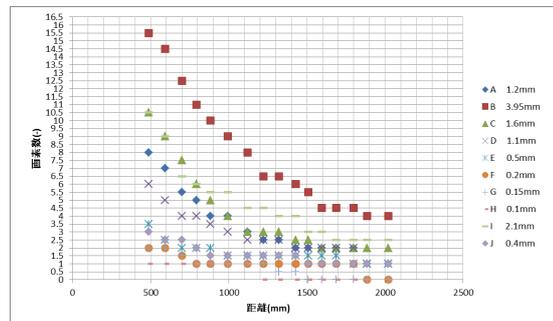


図 2 撮影距離とき裂幅の画素数との関係

表 1 鯖江市にある A 橋の諸元

橋名				完成年度	昭和 47 年
架橋位置				路線名	一般県道 青野鯖江線
道路規格	3種4級	橋梁下の状況	白野川		
橋長	179.50m	有効幅員	9.00m	設計荷重	TL-20
支間割	35.18*5m				
上部工型式	単純合成鋼鉄橋 5連				
橋台形式	A1	逆T式橋台 [直接基礎]	A2	逆T式橋台 [直接基礎]	
橋脚形式	柱式小判型橋脚*4基 [ケーソン基礎*4基]				

メラは Canon 社製 PowerShot S110 であり、これは本研究で UAV に搭載して使用する機種 (画素数: 1200 万画素 (4000 x 3000 画素)) である。撮影した画像の一例とクラックスケールによるき裂幅の測定結果を図 1 に示す。また、撮影距離と画素数の関係を図 2 に示す。G, H 点では距離が 1m のあたりから徐々に画素数が 1 を下回っていき、距離 2m では F 点も含めて、画素数が 0 となった。この予備実験の結果、0.1mm のき裂を画像から確認するためには、撮影距離は 1m 以下にする必要があることが判った。

(2) UAV による実在する橋梁の点検

本研究では、UAV を用いて実際の橋梁について鯖江市にある A 橋を対象として空撮を行った。この橋梁の諸元は表 1 に示す。なお、点検する橋梁の選定については、公益財団法人福井県建設技術公社に依頼し、幾つかの候補の中から福井高専からの距離や UAV を安全に離着陸させることが可能な河川敷があること等の条件を考慮して決定した。なお、一般的に UAV は地表を撮影するために下向き撮影用のカメラジンバルが用いられる。本研究

では床版や桁の撮影を実施するために、図 3 に示すような上向き撮影用のカメラジンバルを準備した。また、UAV の性能や気象条件、操縦者の熟練度等を踏まえて可能な限り UAV を橋梁に接近させて撮影を行うこととした。なお、橋梁の下面や側面からの撮影の様子を図 4 及び図 5 に示す。

(3) AE 法によるき裂深さの把握

供試体は鉄筋挿入位置を変えた供試体のほかに、水セメント比、細骨材率も水分の乾燥に影響すると考え、鉄筋挿入位置(かぶり)が一定で配合のみを変えた供試体も用意した。

き裂のある供試体を作成するために、曲げ試験用型枠に鉄筋を挿入し、コンクリートを打設し、養生 14 日後に、鉄筋挿入位置までき裂が入るように曲げ試験を実施した。き裂深さの測定には超音波測定器であるエルソニックを使用した。

(4) 橋梁の維持管理を目的とした GIS の構築

本研究では ESRI 社の ArcGIS を用いて、橋梁の諸元に関する情報を格納した。対象は、福井県が管理する 15m 以上の橋梁 668 橋である。福井県内の橋梁の位置を確認するために、財団法人福井建設技術公社が発行した文献を参照し、ポイントデータを作成した。また、前述の文献には CD-ROM が付属しており、福井県の各土木事務所が管理する橋梁の基礎情報(橋梁の諸元、幅員構成、建設年度、上部・下部構造形式、添加物、舗装仕様等)が Excel ファイルとして保存されている。本研究では、この基礎情報を作成したポイントデータに格納するために、ArcGIS のテーブル結合機能を用いた。さらに、このポイントデータの属性情報として橋梁の点検結果を格納することとした。

4. 研究成果

(1) き裂幅によるき裂深さの推定

コンクリート表面にあるき裂幅により、き裂深さを推定する実験(供試体を水に浸し、その乾燥速度を求める実験)を行った。実験開始時と終了時の供試体の比較の一例を図 6 に示す。RC 供試体は、鉄筋位置(かぶり)を変えた供試体のほかに水セメント比や細骨材率も水分の乾燥に影響すると考え、かぶりが一定で配合を変えた供試体も準備した。なお、かぶりを変える際に用いた配合は、水セメント比 50%、細骨材率 50%とした。き裂を発生させた各供試体を水に浸し、表面の様子を一定時間ごとにデジタルカメラで撮影した。水分がコンクリートに浸透しているため、静置した状態を実験開始とし、表面が乾いて白くなったと判断した時点を実験終了とした。撮影した画像からピクセル数をカウントすることでき裂幅の測定を行った。対象面の総ピクセル数と湿潤ピクセル数から対象面の湿潤割合を測定し、時間の経過に対する乾



図 3 本研究で使用した UAV の外観 (上向き撮影用カメラジンバルの装着)



図 4 橋梁下面(桁や床版)の撮影の様子



図 5 地覆や鋼桁の撮影の様子

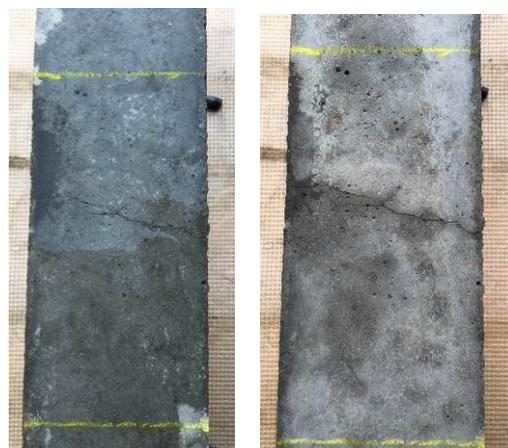


図 6 実験開始時(左)と終了時(右)の供試体

乾燥度を調べた。その結果、一定時間が経過した後は、き裂深さと乾燥速度は傾きが負の線形近似で表現できることが判った。

(2) UAV を用いた橋梁点検

福井県鯖江市に実在する老朽化した橋梁について上向き撮影用のカメラジンバルを準備し、写真撮影を通して橋梁点検を行った。

空撮画像を Agisoft 社製 Photoscan にインポートして橋梁の 3D を構築した結果を図 7 に示す。空撮画像のステレオマッチング処理を行い、着目点の位置を求めてポイントクラウドを構築して 3D モデルを生成した。この結果を用いて地覆や橋長、幅員等を求め 3D CAD を用いてモデルを構築した。

撮影した画像(図 8-A)を用いてエッジ抽出により床版のき裂を抽出した結果を図 8-B に示す。横桁や主桁、コンクリートの打設の継ぎ目なども抽出されているが、床版に生じているき裂を抽出できていることが判る。このような結果を 3D モデルのテクスチャとして用いることで、視覚的にも判り易いデータベースを構築できた。

また、近接目視による点検と UAV により撮影した写真を用いた点検との比較を行った。その結果を表 2 に示す。44 の点検項目に関する目視点検結果と比較して、点検項目の約 1/3 が同じ判定、約 1/3 が異なる判定、約 1/3 が判定困難であった。橋梁の全ての箇所を撮影できていないこと、2 年前の目視点検結果と比較していることが原因であると考えられるが、明らかに錆汁が出ている箇所、エフロが出ている箇所が確認できるため、約 2/3 の点検項目については UAV を用いても判断できると考えられる。

なお、桁下空間において UAV を飛行させている際に、UAV が左右にぶれる現象が確認できたため、GPS 信号に頼らない操縦を行う必要がある。また、橋梁下面は暗いため、投光器などを用いて明るさを上げて撮影を支援する必要があった。

(3) 点検結果のデータベース化

若狭町が管理する橋梁は、橋長 15m 以上で、65 橋あり、現在、建設後 50 年を経過する高齢化橋梁は 5%にとどまっているが、10 年後には 16%、20 年後には 35%、30 年後には 63% になるため福井県の橋梁と同様に高齢化が急速に進むことになる。

このような背景により、「福井県橋梁長寿命化修繕計画」に基づき、従来の事後保全的管理から予防保全的管理への転換を行い、道路ネットワークの安全性・信頼性を確保するとともに、維持管理コストの縮減、および必要予算の平準化を図る目的で橋梁長寿命化修繕計画を策定している。若狭町の点検結果の一覧を表 3 に示す。また、これらの情報を ArcGIS に作成したポイントデータにテーブル結合することで注目したい橋梁の点検結果を確認することができる。その結果の一例

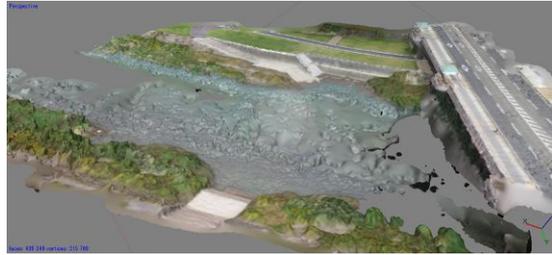


図 7 空撮画像から構築した 3D モデルの一例

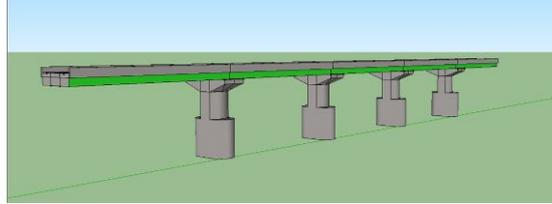


図 7 橋梁の 3D モデルの一例



図-8A UAV による床版の撮影結果

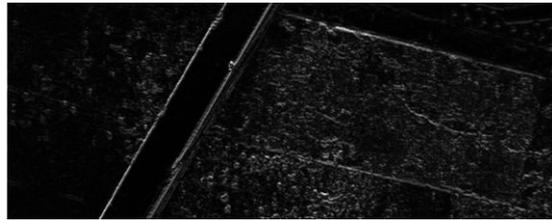


図 8-B 床版の撮影結果によるき裂の抽出

表 2 目視点検と UAV による点検の比較

点検箇所	点検内容	判定結果	UAVによる判定結果
高欄	事故等によって変形していますか	有	無
	腐食、ポルトのゆるみ、抜け落ちがありますか	無	無
付属物	事故等によって変形していますか	無	不明
	腐食、ポルトのゆるみ、抜け落ちがありますか	有	不明
地覆	ひび割れがありますか	無	有
	表面剥落箇所、鉄筋露出箇所がありますか	無	有
アスファルト舗装	タイヤ走行位置に凹みがありますか	無	不明
	穴や異常なへこみがありますか	無	不明
	ひび割れがありますか 部分補修をしますか	有	不明
コンクリート舗装	穴や異常なへこみがありますか		
	ひび割れがありますか		
伸縮装置	伸縮装置本体に損傷と思われるような所がありますか	無	不明
	前後の舗装に段差がありますか	有	不明
	地覆のあき割りに損傷がありますか	無	不明
排水装置	排水ますに土砂が詰まっていますか	無	不明
	配水管が破損して水漏れしていますか	無	不明
	排水ますに変形・損傷はありますか	無	不明
床版	ひび割れがありますか	有	有
	エフロレンスが有りますか	有	有
	錆や錆汁がありますか	無	有
	表面剥落箇所、鉄筋露出箇所がありますか 補修・補強をしますか	有	有
桁	変形・欠損等の損傷がありますか	無	無
	錆びている所がありますか 補修・補強をしますか	有	無
	ひび割れがありますか	有	有
	エフロレンスが有りますか	有	有
コンクリート	錆汁がありますか		
	表面剥落箇所、鉄筋露出箇所がありますか		
	補修・補強をしますか		
支承	錆びている所がありますか	有	不明
	本体まわりが濡れていますか	有	不明
橋台・橋脚(下部構造)	ひび割れがありますか	有	有
	エフロレンスが有りますか	有	有
	表面剥落箇所、鉄筋露出箇所がありますか	無	有
	桁の遊間に異常がありますか	無	無
その他全体	洗剤されていますか	無	無
	補修・補強をしますか	無	無
	落橋防止装置がありますか	無	不明
その他全体	橋端幅コンクリートがありますか	無	不明
	異常音、異常振動がありますか	無	不明
	橋梁添架物およびその支持金具に損傷・劣化がありますか	有	不明

