

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 月 日現在

機関番号：32689
 研究種目：若手研究（B）
 研究期間：2009～2011
 課題番号：21700206
 研究課題名（和文） 画像及び音響検査ロボットによるコンクリート構造物の安全性検査

研究課題名（英文） Safety diagnosis of concrete structures by image and acoustic inspection robot

研究代表者
 山口 友之（YAMAGUCHI TOMOYUKI）
 早稲田大学・理工学術院・講師
 研究者番号：50424825

研究成果の概要（和文）：

本研究では、コンクリート構造物に対して画像検査及び音響検査を行えるロボット開発を目的とし、画像から自動的にひび割れを測定するシステムと、打音によりコンクリートの剥離の有無を計測するシステムを開発した。さらに、狭隘な壁面間を移動することに着目した移動ロボットを製作し、そのロボットで画像及び音響検査を同時に行える結論を得た。

研究成果の概要（英文）：

In this research, to create the image and acoustic inspection robot for the concrete structures, we developed automated crack inspection system and impact acoustic approach for inspecting the degradation diagnosis of the concrete surfaces. We also developed wall-climbing robot for a narrow space that is not accessible for humans, such as small gaps between buildings, and we concluded that image and acoustic inspection can perform at the same time with the robot.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2010年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2011年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：知覚情報処理・知能ロボティクス

キーワード：画像情報処理，自律システム，打音検査

1. 研究開始当初の背景

近年、土木・建築分野において、構造物の安全性を検討し維持するために、構造物を損傷せずに検査可能な非破壊検査が強く求められている。構造物に最も幅広く使用される材料であるコンクリートの表面には、構造物の耐震性や材料劣化の進展を推定する上で極めて重要となる「ひび割れ」や「剥離」が生じる。従来のコンクリート表面の検査では、

人間の目視によりひび割れ分布図の作成や、ルーペ等を用いたひび割れ計測が行われ、またハンマーによる打音の違いによって剥離の有無を検査していた。これらは、検査が容易であるため、定期的な検査として有用であるが、検査者の知識・経験などにより結果が左右されてしまうという欠点や、検査範囲が広い場合には非常に労力を必要とする欠点がある。これに対し、近年の情報処理技術や

ロボット技術の進歩に伴い、ひび割れ検出・計測に関しては画像処理技術を用いた専用装置が開発され、実構造物の雑音耐性を向上させるための画像処理の研究も検討されている。また、コンクリートの剥離に関しても同様に、専用の検査装置の開発及び、打音の数値解析の研究や打音計測の効率化もなされている。これらの研究やシステムは、画像データを解析し、自動的にひび割れ検出・計測を行うことや、打音の音響データを解析し、自動的にコンクリート表面の異常の有無を判定することを目的としている。しかし、完全な自動検査を行うには、データ解析の自動化だけではなく、画像データや音響データの取得時から自動的に行う必要がある。トンネル壁面の検査に関しては、画像及び音響データを自動的に取得するロボットシステムの開発も行われているが、大型なシステム構成であり、建造物の構造も単一であるため、適用範囲は限られる。原子力発電所などの建造物の定期検診が必要とされるコンクリート構造物は、外観だけでなく内観の構造も多種多様であるため、小型でかつ多様な構造に適用可能なロボットシステムが必要とされる。

2. 研究の目的

本研究は、コンクリート壁面の画像及び音響データの取得から解析までの過程を自動的に行うことが可能な、自動検査システムを実現することである。そのために、本研究課題では、次の研究を進展させる。(1) 自動的な打撃を実現し、音響データを自動取得する音響検査ロボットを開発すること。(2) コンクリート壁面を自動的に撮像する画像検査ロボットを開発すること。(3) 画像及び音響検査ロボットによるロボットの移動制御方法を検討すること。また、これらの研究課題に加え、実現現場での評価試験を行うことも達成目標に含めた。

3. 研究の方法

(1) 自動的な打撃を実現し、音響データを自動取得する音響検査ロボットの開発

まず、移動ロボットの壁面動性能を損なうことなく、壁面を打撃可能な機構を検討する。そして、集音した打音を解析することで、コンクリートの浮き・剥離の有無を検査する。打撃方法は、スプリングバネによりハンマーで壁面を打撃する方式をとる。さらにマイクロホンを壁面移動ロボットに取り付け、打撃音の集音を行う。

音響データの解析手法には、打音の波形データにフーリエ変換をし、周波数解析を行う。ただし、ロボットにより機械的に音響データを取得するため、ロボットの機械音の影響を評価する必要がある。コンクリートの剥離の

有無を音響データより判定するために、実構造物のコンクリート壁面に適用し、評価を行う。

(2) コンクリート壁面を自動的に撮像する画像検査ロボットの開発

まず、自動検査システムに組み込むための、ひび割れ画像検査技術の確立を行う。本研究では、ひび割れの幅を計測するために、画像中にクラックスケールを写りこませる。これをテンプレートマッチングにより、自動検出し、疑似クラックであるクラックスケールとひび割れを画像内で比較することで実際のひび割れ幅を計測し、本手法の有効性を検討する。

次に、コンクリート壁面を自動撮像するロボットを実現するために、小型な移動ロボットの開発をまず行う。具体的な検査領域を狭隘な壁面間とし、その間をロボットが落下せずに移動可能な狭隘壁面間移動ロボットを作成する。本研究では異なる種類のばねの組合せによる突っ張り機構を用い、壁面間隔に影響されない突っ張り力を実現する。これは、実際の壁面間の距離は場所により様々であり、壁面同士が並行でない場合や凹凸がある場合も十分にあり得る。そのため、一定の突っ張り力を保つことで、壁面間隔が変化する環境でも安定した走行を実現できる。ただし、ばねの組み合わせのみで実現することで、モータや制御機構により同動作を実現する手法と異なり、壁面の変化に対して受動的に対応することが可能となる。

製作した壁面移動ロボットの移動性能を評価し、画像検査システムとの連携を行う。

(3) 画像及び音響検査ロボットによるロボットの移動制御方法の検討

画像検査ロボットと音響検査ロボットをそれぞれ開発し、二つのロボットの移動動作・検査作業を協調して行うことで、ロボットの移動制御を行う。また、以上の移動動作の確認し、及びひび割れ検出の結果及びコンクリートの浮き部分の結果の評価を行う。

4. 研究成果

(1) 自動的な打撃を実現し、音響データを自動取得する音響検査ロボットの開発

図1に試作したロボットの外観を示す。ロボットの前後の車輪はラダーチェーンによって接続されている。左右の車輪はそれぞれ異なるモータで駆動する。打撃検査を行う際に重要となる打撃機構と集音装置は、移動ロボットの車輪の外側に取り付けた。

打撃機構は、クランク機構、カム機構、バ

ネ、ハンマで構成される。打撃動作は、移動用モータの回転運動を利用して行う。移動用モータの回転運動を直線運動に変換するためのクランク機構を設け、クランク機構、カム機構、プーリ機構を通して、圧縮バネが動作し、ハンマにより打撃を行う。これにより、打撃動作は専用のモータを用いずに実現できる。

集音装置としては、機械音の雑音が混ざるので防止するために、単一指向性コンデンサマイクを使用し、フードカバーとしてゴム材を用いてハンマ部とマイクを囲った。実験では、開発した小型打音検査ロボットに支え棒を取り付け、操作者が支え棒を持ち、リモコン操作でロボットを制御することによって行う。図2に作業イメージ図を示す。

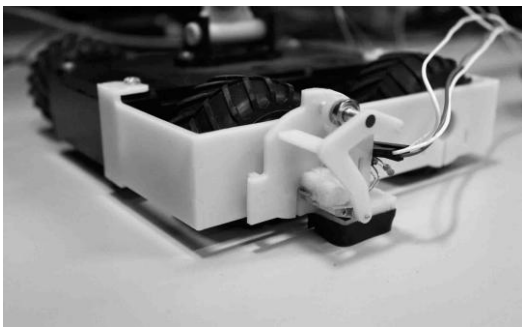


図1 打音検査ロボット

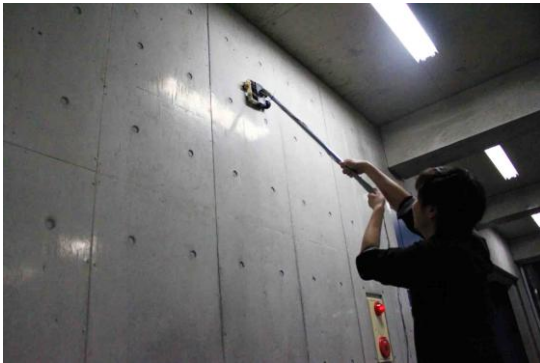


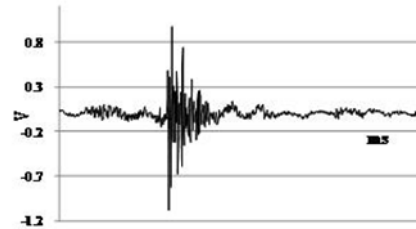
図2 検査実験の様子

実験では、試作したロボットの有効性を評価するために、コンクリート浮きの有無を打音で検査する実験を行った。正常なコンクリート壁面を打音した場合と浮きのある部分を打音した場合に集音した音響波形を図3に示す。図3より、コンクリートの表面の浮きの有無は、音響波形の縦軸の電圧値を用いることで判別できることが確認できた。

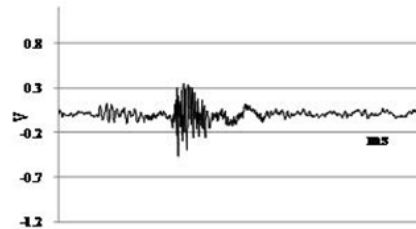
(2) コンクリート壁面を自動的に撮像する画像検査ロボットの開発

まず、画像検査に関して、クラックスケー

ルを画像から認識するために、SIFT 記述子を用い、ロバスト統計量の推定として知られるRANSAC により、テンプレートと壁面上のクラックスケールを自動認識する手法を確立した。本手法により、クラックスケール検出を行った結果を図4に示す。



(a) 浮きのある場合



(b) 正常な場合

図3 音響波形の違い



図4 クラックスケール検出

次に、撮像用の壁面移動ロボットの開発においては、突っ張り機構とモバイルベースを有するロボットを製作し、動作実験を行った(図5)。突っ張り機構を構成するため、パンタグラフ機構と、引張ばね、ねじりばねを組み合わせることにより、実現した。これにより、壁面間の距離の変化に対しても、突っ張り力はほぼ一定となることが確認でき、壁面への突っ張り力に関する制御の必要がなく、制御の簡易化を実現した。さらに、遠隔

操作でロボットを壁面間に侵入させるため、平地移動機構を搭載し、平地での安定した動作を実現した。



図5 開発した壁面間移動ロボット

(3) 画像及び音響検査ロボットによるロボットの移動制御方法の検討

本研究では、画像検査ロボットと音響検査ロボットをそれぞれ開発するのではなく、一つのロボットに画像検査と音響検査機能を付随させることとした。狭隘壁面間の検査に着目すると、二つのロボットを移動させるよりも、効率的になる。また、開発した狭隘壁面間移動ロボットの駆動部に音響検査ロボットの打撃機構を適用し、モバイルベースに撮像装置を取り付けることで、音響及び画像検査が可能とある。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計3件)

- [1] Anna Ariga, Tomoyuki Yamaguchi, Shuji Hashimoto, “Passively Adaptable Wall Climbing Robot in Narrow Space,” *Journal of Robotics and Mechatronics*, Vol.23, No.6, pp.1055 - 1065, 2011. 査読有
- [2] T. Yamaguchi, S. Hashimoto, “Fast crack detection method for large-size concrete surface images using percolation-based image processing,” *Machine Vision and Applications*, vol.21, no.5, pp.797-809, Aug. 2010. 査読有
- [3] Tomoyuki Yamaguchi, Yoshiaki Sorioka, Sunhong Park, Shuji Hashimoto, “SIEN : Telescopic-Arm Climbing-SupPort Robot,” *Journal of Robotics and Mechatronics* Vol.21, pp.621-627, 2009. 査読有

[学会発表] (計9件)

- [1] Tomoyuki Yamaguchi, Anna Ariga, Shuji

Hashimoto, “Hammering Robot for Concrete Surface Inspection,” *Proc. of Robotics (Robo2011)*, pp.752-064, 2011.

- [2] 山口友之, 菅原芳晴, 有賀杏奈, 橋本周司, “小型打音検査ロボットの開発”, *ロボティクス・メカトロニクス講演会*, CD-Proc., 2011.
- [3] A. Ariga, T. Kobayashi, T. Yamaguchi, S. Hashimoto, “Wall Climbing Robot in Narrow Space with Pantograph-type Structure,” *Proc. of IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO2010)*, pp.1507-1512, China, Dec. 2010.
- [4] 有賀杏奈, 小林司, 塚田峻介, 藤巻裕介, 山口友之, 橋本周司, “突っ張り力を用いた狭隘壁面間移動ロボットの開発,” *ロボティクス・メカトロニクス講演会 2010*, pp. 2A1-F09, 2010.
- [5] T. Yamaguchi, S. Hashimoto, “Accurate Crack Inspection on Concrete Structure Surface Images,” *Proc. of the 10th International Conference on Structural Safety and Reliability*, pp.710-716, 2009.
- [6] 山口友之, 橋本周司: “コンクリート構造物のための自動ひび割れ画像計測” *日本非破壊検査協会春季講演大会*, CD-proc, 2009.
- [7] 塚田峻介, 山口友之, 小瀬俊介, 橋本周司, “口腔内動作を用いたロボットアーム制御インタフェースの開発”, *ロボティクス・メカトロニクス講演会 2009*, CD-proc, 2009.
- [8] 名取俊, 山口友之, 朴善洪, 中村真吾, 小瀬俊介, 橋本周司, “いなし行動を有する経路移動ロボットの開発”, *ロボティクス・メカトロニクス講演会 2009*, CD-proc, 2009.
- [9] 三輪貴信, 山口友之, 福本周司, “自己位置推定のための環境画像データベースの構築”, *情報処理学会第72回全国大会*, CD-proc, 2009.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山口 友之 (YAMAGUCHI, Tomoyuki)

早稲田大学・理工学術院・講師

研究者番号: 50424825

