

## 科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 21 日現在

機関番号：57102

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2012

課題番号：23760413

研究課題名（和文）衝撃弾性波法を用いた床版下の検査が可能な壁面検査ロボットの開発

研究課題名（英文）Development of Testing Machine of Concrete Slab and Vertical Concrete Wall Using Impact Echo Method

## 研究代表者

岩本 達也（TATSUYA IWAMOTO）

有明工業高等専門学校・機械工学科・准教授

研究者番号：20390528

## 研究成果の概要（和文）：

高度経済成長期に大量に建設されたコンクリート構造物は、経年劣化で建替の時期が迫っている。しかし、最近の経済状態では建替は困難であり、問題個所を補修し長寿化することが最善策である。検査が急がれる問題個所は膨大で、効率的・経済的な検査方法の開発が急がれている。また、地震などの災害発生時には、利用再開にあたって安全性評価が不可欠であるが、対象物に到達できない場合もあり、遠隔操作が可能なロボットの開発が必要である。本研究では、衝撃弾性波法を用いて壁面や床版下の点検を行なうロボットの開発を行なった。

## 研究成果の概要（英文）：

A lot of concrete structures are deteriorating to dangerous levels throughout Japan. These concrete structures need to be inspected regularly to be sure that they are safe enough to be used. The inspection method of these concrete structures is typically the impact acoustic method. In the impact acoustic method the worker taps the concrete on the surface with hammer. So it is necessary to set up scaffolding to access vertical structures for inspection. However, setting up of high scaffolding is not economical in time and money. Moreover setting up scaffolding is difficult on very high concrete walls. So we developed a wireless remote-controlled testing machine for Concrete Slab and vertical concrete walls using impact acoustic method and impact echo method.

## 交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	2,700,000	810,000	3,510,000

## 研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学 土木材料・施工・建設マネジメント

キーワード：維持・管理 非破壊検査 衝撃弾性波法 ロボット コスト縮減

## 1. 研究開始当初の背景

日本の高度経済成長期にビルや橋梁などのコンクリート構造物が大量に建設され、橋梁やトンネルなどの道路構造物においては、全橋梁数の約40%、全トンネル数の約25%を占めている。その多くが建設後40年以上経過しており、耐用年数に近づきつつある（図1は2002年現在（国土交通省社会資本整備審議会道路分科会 第8回基本政策部会（平成14年6月開催） 配布資料））。

このため、近年コンクリート片の落下が頻発しており、平成21年1月には長崎自動車道（上り線）久山川橋からコンクリート片が落下し、走行中の車両を損傷させる事故が発生している。この事故では幸いなことに負傷者はいなかったが、コンクリート片の落下は第三者被害を引き起こす可能性が高いため、早急に解決されなければならない問題である。このような問題の解決方法として、第一に構造物の再構築が考えられる。しかし、近年の

経済状況は構造物全体の再建設をゆるさない。また、CO<sub>2</sub>削減の観点からも、問題箇所を検出し、その部分のみを補修の方が好ましい。構造物全体の再建設は、問題箇所だけの補修に比べて大量のCO<sub>2</sub>を発生するからである。したがって、問題箇所を正確に検出する方法が求められている。

壁面の検査方法としては、作業者による打音検査と赤外線による検査が一般的である。打音検査は、信頼性は高いが作業性に劣る。赤外線検査は、逆に作業効率が高いが信頼性が低い。そこで、両方法を組み合わせて検査を行うことが一般的である。しかし、検査が急がれている箇所は膨大で、一件当たりの検査面積も広大であるため、作業性の高い検査方法が要求される。上述の打音法と赤外線法を組み合わせた方法は、作業性の面で問題がある。また、いずれの方法も高所の検査面では実施が難しい。

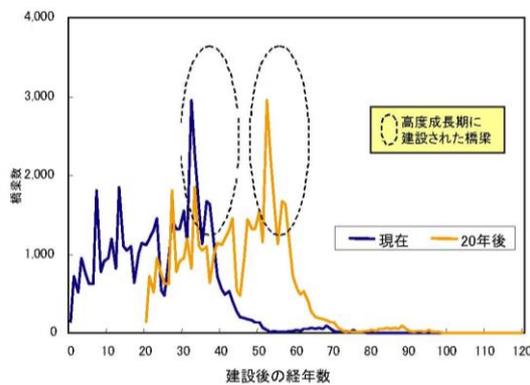


図 1 橋梁における建設後の経年数の推移 (2002年現在)

## 2. 研究の目的

本研究では、構造物の垂直面および橋梁などの床版下の診断を行うロボットを開発することを目的とする。ロボットは、無線操縦により垂直面および床版下を走行し、壁面を鋼球などで打撃しながら問題箇所を検出する。この検査方法は、数十メートルの高さの壁面でも足場は不要であり、検査の作業効率が大幅に改善され、コストダウンが実現できる。

## 3. 研究の方法

図 2 に示すような無線操縦による垂直面および天井面を探索可能なロボットを開発する。ロボットは吸盤によって壁面に固定する吸着部と移動するための機構を備えた駆動部、ロボットを操縦するための制御部、壁面を検査するための計測部で構成されている。各部の構成については以下のとおりである。

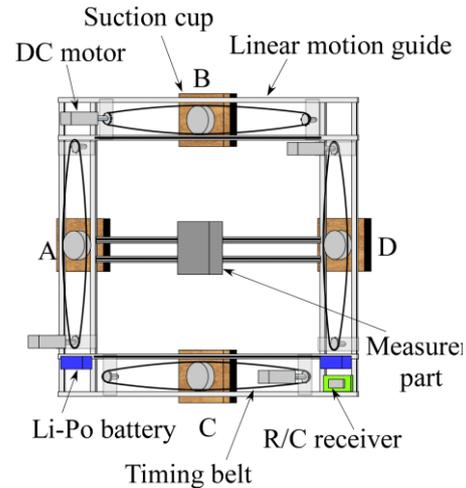


図 2 検査ロボット

### (1) 吸着部

図 3 は吸着部の構成である。一個の吸着盤は一辺 200 mm の正方形の形状で、一個の減圧ファンを有している。個々の吸着盤に減圧ファンを設けることによって、何らかの原因によって一個の吸着盤の圧力が上昇し吸着力が低下しても、他の吸着盤の吸着力に影響がないようにしている。壁面への密着性を高めるためにスポンジを装着する。使用するスポンジは、予備実験によりスポンジの密着性能の比較を行った。その結果を表 1 に示す。今回は NR 系と EPDM 系のスポンジの比較をした結果、EPDM 系スポンジの方が密着性は高いことが分かった。

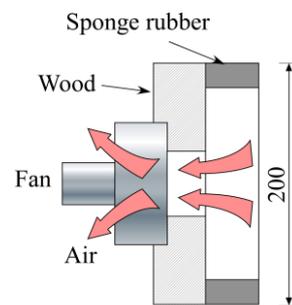


図 3 吸着部

表 1 スポンジの密着性能の比較

Wall type	NR	EPDM
Textured Paint	-3.06	-3.24
Siding	-2.96	-3.10
Tile	-3.09	-3.15

gauge pressure [kPa]

## (2) 駆動部

駆動部の構成を図4に示す。駆動部はリニアガイドとタイミングベルトで構成され、タイミングベルトは吸着部に固定されている。タイミングベルトは、タイミングプーリーが装着されている DC モーターによって駆動され、吸着盤を任意の位置に移動することが可能である。DC モーターへの電力供給はリチウムポリマー電池を使用した。

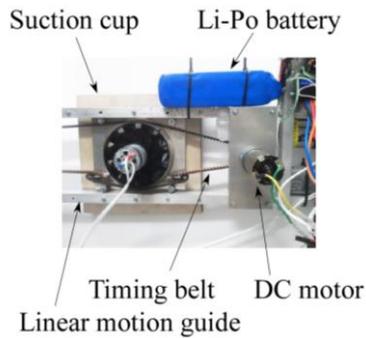


図4 駆動部の外観

## (3) 制御部

図5に制御部の構成を示す。制御部はラジオコントロールシステムとモータードライバによって構成されている。

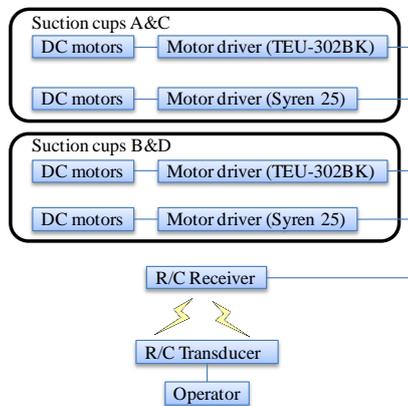


図5 制御部

## (4) 計測部

図6に計測部を示す。計測部は、目視検査用の CCD カメラ、打音検査を行うハンマとマイクで構成される。マイクは加速度センサと取り換えることが可能である。

図7に計測システムを示す。計測データは無線 LAN を介して記録用 PC に保存される。

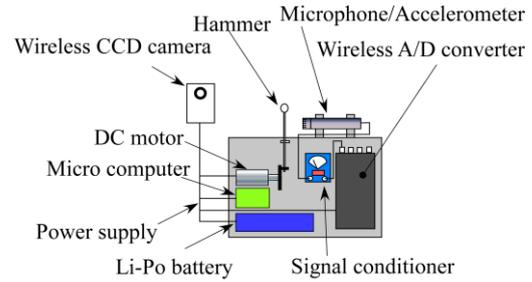


図6 計測部

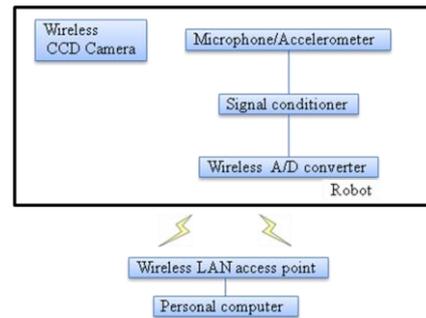


図7 計測部の構成

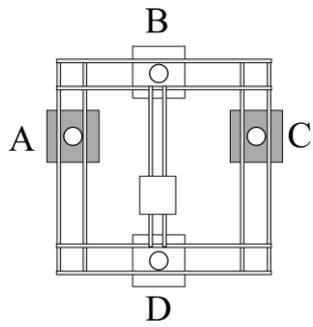
## 4. 研究成果

### (1) 検査ロボットの製作および動作検証

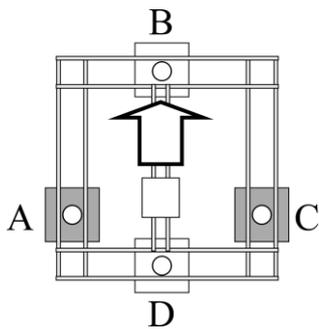
図8に、製作した検査ロボットの外観を示す。検査ロボットの大きさは、縦が140cm、横が140cm、高さが11cmである。重量は、計測部および電源を含めて約13kgとなった。学内施設の壁面を使用して、鉛直壁に対する吸着性能および移動性能の確認を実施した。検証には、タイル壁、吹付塗装および平滑な外壁パネルを用いた。検証を行った結果、いずれの壁面においても吸着および移動が可能であった。移動速度は、毎分あたり1m程度であった。鉛直壁面では、吸着の吸着力に壁面との摩擦係数(1以下)を乗じたものが実際に保持可能な荷重となる。鉛直壁面にて吸着性能が確認されたことから、天井面への吸着は容易である。



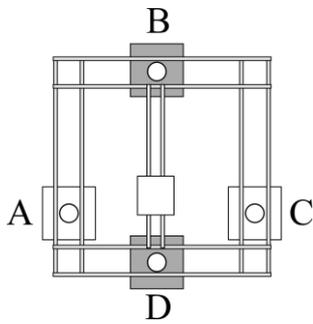
図8 検査ロボットの外観 (吹付塗装)



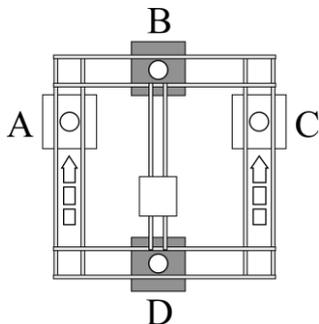
(a) 吸着盤AとCの電源ON



(b) ロボット本体を上方へ移動



(c) 吸着盤BとDの電源ON



(d) 吸着盤AとCを上方へ移動

図9 壁面上下方向移動の機構

### (3) 移動のメカニズム

図9に、上下方向の移動方法を示す。まず、(a)左右吸着盤(AとC)をONにして壁面に吸着した後、(b)ロボット本体を上へ移動する。その後、(c)上下吸着盤(BとD)をONにし、(d)左右吸着盤を上へ移動する。この繰り返しによって、上方向の移動ができる。下方向の移動は、この逆の動作で可能である。また、上下吸着盤をONにして吸着させ、本体を左右へ移動することで左右方向への移動も可能となる。

### (4) 振動計測性能の検証

振動計測の性能を確認するために、図10に示す試験片を用いて検証を行った。試験片は、600mm × 330mm × 48mmのコンクリート板にタイルを貼っている。中央に、直径180mm、厚さ1mmのポリプロピレン製の円板を埋めており擬似欠陥としている。計測は、中央のC点(欠陥部)と円板の外側のA点(健全部)で行った。振動計測には加速度センサを用い、サンプリング周波数は50kHzとした。

実験結果を図11に示す。赤い実線がC点、黒い実線がA点の実験結果である。実験結果より、約3kHzに円板の曲げ振動と思われるピークが確認でき、欠陥部の検出が可能であることが分かった。

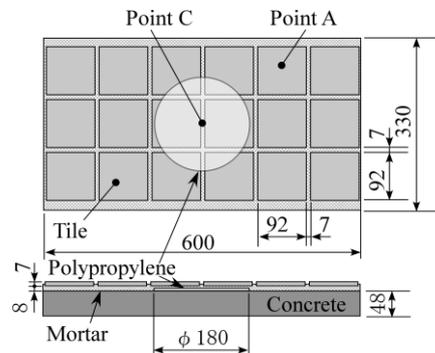


図10 試験片

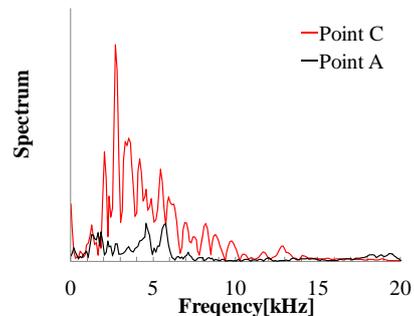


図11 壁面振動計測結果

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計1件)

①Tatsuya Iwamoto, Shunpei Furui, Isamu Inoue and Kazuya Mori, Development of Wireless Remote-Controlled Testing Machine for Vertical Concrete Wall, Proceedings of the 8th International Conference on Fracture Mechanics of Concrete and Concrete Structures(2013) , pp. 1773-1777

[学会発表] (計1件)

①岩本 達也, 足場を使用しないコンクリート壁面検査ロボットの開発, イノベーションジャパン 2012-大学見本市-, 2012年9月, 東京

6. 研究組織

(1)研究代表者

岩本 達也 (TATSUYA IWAMOTO)

有明工業高等専門学校・機械工学科・准教授  
研究者番号：20390528