

令和 2 年 5 月 28 日現在

機関番号：17401

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2019

課題番号：17K06536

研究課題名（和文）吊り下げ型高速打音検査装置の開発

研究課題名（英文）Development of Suspension Type High Speed Hammering Test Device

研究代表者

徳臣 佐衣子（Tokuomi, Saeko）

熊本大学・大学院先端科学研究部（工）・特別研究員

研究者番号：40646121

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,700,000 円

研究成果の概要（和文）：地震直後の建物外壁の点検を目的として、高速に外壁検査がおこなえる吊下げ型打音検査装置を開発した。4個のホイールを持つ装置を建物の上部より吊下げ、上下方向に移動しながら打音検査をおこなう。装置にはモーター駆動の打音装置、壁面吸着のためのファン、マイクロフォン、ビデオカメラが搭載されている。検査結果は、検査と同時に点検者に送られる。

さらに、この装置を改造して道路のり面の打音検査装置を開発した。この装置では、打音装置をホイール駆動にすることによって、外部電源を不要にした。検査速度は壁面用装置と同様である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

日本は地震や台風などの自然災害が多い。このような災害に備えるためには、社会資本の効率的かつ経済的な検査方法が必要である。本研究では、まず、地震直後の建物外壁の点検を高速におこなうことができる装置を開発した。地震直後は、まず、その建物の安全性を早急に確認する必要性が生じるからである。

さらに、この装置を改造して、道路のり面の点検装置も開発した。豪雨が発生すると道路のり面の崩壊が発生することがあるが、その予防のための高速打音検査装置である。

研究成果の概要（英文）：For inspecting the outer walls of the buildings immediately after earthquakes, a suspension-type hammering tester at high speed has been developed. The tester with the 4 wheels is suspended from the top of the building, and a hammering test is performed while moving vertically. The tester is equipped with motor-driven impactors, fans for absorbing the wall, microphones, and a video camera. The inspection results are transmitted to the operator at the same time as the inspection.

Furthermore, by altering this tester, a hammering tester for road slopes has been developed. In this tester, the hammering device is driven by the wheels, so that an external power supply was unnecessary. The inspection speed is the same as the outer wall tester.

研究分野：非破壊検査

キーワード：非破壊検査 外壁検査 打音検査 のり面検査

様式 C-19, F-19-1, Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

震度7を観測する地震が平成28年4月14日夜および4月16日未明に発生した。この熊本地震によって、多くの構造物は損傷を受けた。崩壊の恐れが無い構造物においても、壁面からのコンクリート片やタイルの落下の可能性があった。街中には、ネットをかぶせているビルが点在している現状であった。これは、構造物の高所の点検が容易ではないからである。

研究代表者は、熊本地震の前までに、図1に示すような壁面登はん型打音検査装置の開発をおこなっていた。この装置は、吸着盤によって壁面を登はんし、打音試験によって壁面を検査することができた。登はん速度は毎分1m程度で、検査速度は毎分0.5m²程度であった。

熊本地震後の点検において、これまでに開発した吸着式検査ロボットには、大きな問題があることがわかった。問題点は以下の二点である。

- 壁面はく離はロボット本体の落下を引き起こす。
- 検査速度が遅すぎる。

吸着式登はん装置は吸着している壁面自体の落下の可能性があり、安全な登はんができないのである。また、大型の構造物に対して、検査速度が毎分0.5m²では対応しきれない。地震後の点検では、構造物の安全性確認のために、構造物の早急な点検が必要であった。そこで、壁面吸着型ではなく、かつ検査速度の速い装置の開発が必要とされた。

2. 研究の目的

図2は、熊本大学構内建物の地震後の点検の様子である。詳細な打音検査が、全面に渡っておこなわれた。この一つの建物の点検に数週間を要した。地震後は、このような詳細な点検も重要であるが、建物の利用のために、とりあえず、安全性を早急に確認する必要がある。そこで、図2のような建物を、簡易的に1日程度で点検可能な打音検査装置を開発することを目的とした。具体的な目標を「構造物の壁面を毎分15m²で打音検査できる装置の開発」とした。図2の建物の外壁面積は約3000m²であり、毎分15m²の点検が可能であるとするすると、図2の建物は、 $3000\text{m}^2 / (15\text{m}^2/\text{分}) = 200$ 分で点検が可能になる(実際には、設置等に時間を要するので、数倍の時間がかかる、1日程度になる)。

3. 研究の方法

吸着式を用いないで打音検査装置を建物の壁面に沿って移動させる方法としては、ドローンのようなプロペラで浮上する方法か、屋上から吊るす方法が考えられた。プロペラで浮上する方法は、風の影響を受けやすいことや計測時間の制限から、緊急を要する地震直後の点検には不向きであると判断した。そこで、本研究では図3に示すような吊下げ式の打音検査装置の開発をおこなった。

図4に、吊下げ型の打音検査装置の構造を示す。装置の大きさと質量は、幅70cm、長さ80cm、質量14.2kgである。矩形のアルミフレームに、4個のホイール、4個のファン、4個のインパクト、ビデオカメラ、2個のマイクロフォンを装備している。4個のファンによって、検査装置は壁面に押し当てられる。

4個のインパクトは、150mmの間隔で一直線上に配置されている。インパクトの断面図を図5に示す。偏心カムでハンマを押し出す構造となっている。回転速度は毎秒5回で、一個のインパクトは5Hzで打撃する。



図1 壁面登はん型打音検査装置



図2 熊本大学構内の地震後の点検
(6階建て、外壁面積約3000m²)



図3 吊下げ型壁面打音検査装置

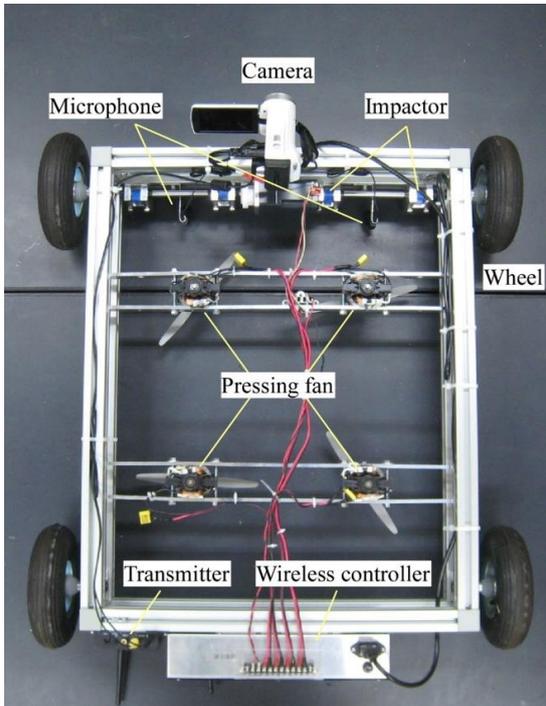


図4 吊下げ型打音検査装置の構造

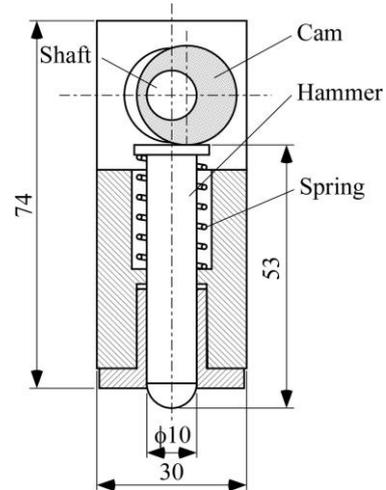


図5 インパクトタ

上下の移動は、建物上部に設置したウインチでおこなった。上下移動を毎秒 0.5m とした。本装置は一回の縦方向の移動で、0.5m の幅の点検がおこなうことができるため、検査速度は毎秒 $0.5\text{m} \times 0.5\text{m} / \text{分} = 0.25\text{m}^2$ となった。この検査速度は目標点検速度の $15\text{m}^2 / \text{分}$ に一致した。

4. 研究成果

(1) 建物壁面点検用吊下げ型打音検査装置

図4の装置の打音検査性能を、図6に示すような試験で評価した。固有振動数が約 0.2kHz の疑似壁面に試験装置を配置し、打撃試験をおこなった。図7(a)は、打撃によって発生した音響を装置搭載のマイクロフォンで収集し、周波数スペクトルを求めたものである。プロペラの枚数は2枚であった。この場合、疑似壁面の打撃音である 0.2kHz の音響以外にも 0.6kHz, 1.2kHz, 1.8kHz, 2.4kHz および 2.8kHz にピークが発生した。0.2kHz 以外のピークは、吸着ファンのノイズであった。欠陥の周波数が、これらの周波数に一致すると、欠陥の検出が困難になると考えられる。

ファンノイズは、ファンの回転数とファンの羽数に比例する。そこで、8枚プロペラを用いて、さらに、音響シールを用いた結果を図7(b)に示す。この場合、ファンノイズは 2kHz 以下では現れず、2kHz 以下の固有振動数の欠陥は検出可能となった。この結果、当初の目標を達成した。

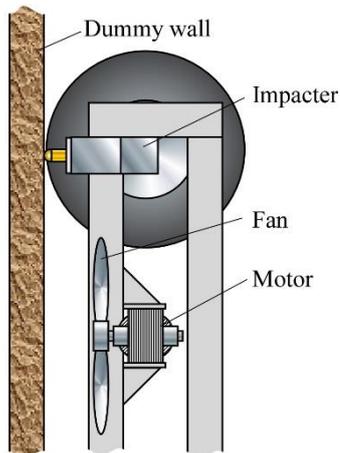
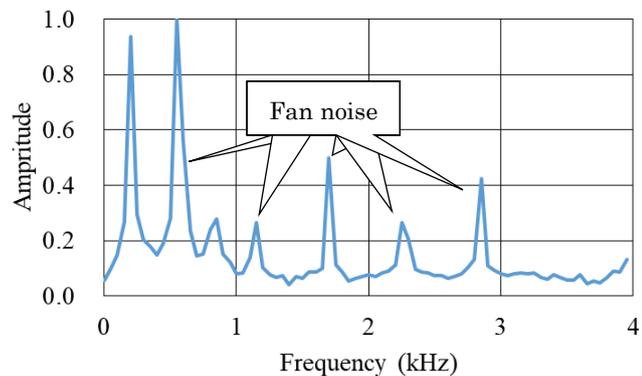
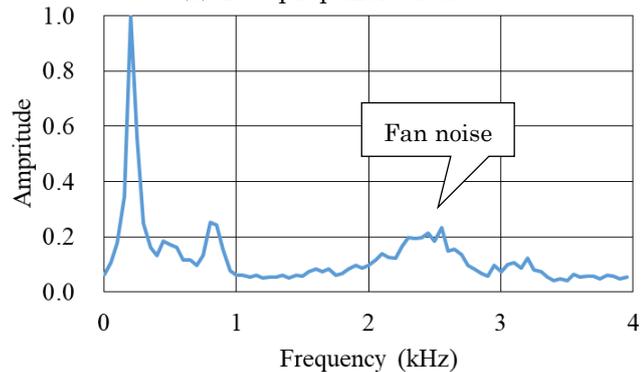


図6 打音性能評価



(a) Two-propeller blades



(b) Eight-propeller blades

図7 打音と吸着ファンノイズの周波数スペクトル

(2) 道路のり面点検用吊下げ型打音検査装置

本研究期間の中間年（平成 30 年）の 7 月，西日本豪雨が発生した．高速道路で土石流や道路のり面の崩壊が発生し，2,299 km が通行止めとなった．豪雨によるのり面の崩壊は，のり面内部に水がたまることの一つの原因である．のり面の背部に空洞があると水がたまり，そこから崩落が始まる．したがって，吹付コンクリートのり面の崩壊予防には，背面空洞の日常的な点検が重要である．

本研究では，当初の目標に沿って，建物の外壁検査用の吊下げ型の打音検査装置を開発していた．この外壁検査用の打音検査装置は，改良を加えることによって道路のり面の点検に使える．そこで，図 8 に示す吊下げ型道路のり面打音検査装置を開発した．

図 9 に，道路のり面打音検査装置の構造を示す．この装置は，3 個のエアゴムホイールを持つアルミフレームに，インパクト，マイク，ビデオカメラ，送信機を搭載しており，のり面上部よりワイヤで吊下げ，ワイヤの巻き上げ・巻き戻しで法面を上下する．マイクで収集した打撃音はビデオカメラで録音しつつ，ビデオカメラで撮影した映像と共に作業者に送信される．装置の諸元を表 1 に示す．

建物の外壁検査用の打音検査装置では壁面に吸着するためにファンを用いたが，のり面は傾斜しているため自重によって吸着し，ファンの必要性はなくなった．

図 10 はインパクトの駆動の仕組みを表した模式図である．インパクトは，樹脂製のラックに取り付けられたハンマをスプリングで押し出して打撃する方式である．部分的に歯を取り除いたピニオンを回転させると，ラックは押し上げられてスプリングを圧縮し，ピニオンの歯が外れたときにハンマは打ち出される．ピニオンはホイールの回転によって駆動され，上下両方向の移動に対して，一定方向の回転となる．インパクトは，上下 0.25m の移動で一回の打撃が発生する．

ハンマは焼入れしたステンレス製で，質量は約 0.050kg である．スプリングのばね定数は 320N/m で，最大圧縮量は 50mm である．ハンマ打出しの初速度 4.0m/s で，インパクトの打撃の力積は， $0.050\text{kg} \times 4.0\text{m/s} = 0.2\text{N}\cdot\text{s}$ となり，作業者の手でおこなう打音検査の打撃力に匹敵する（作業者による打撃の力積は $0.1 \sim 0.2\text{N}\cdot\text{s}$ ）．

本装置で用いたハンマによる加振周波数の範囲は，0.050kg の鋼球（直径 23mm）の打撃と同等とすれば， $0 \sim 12.7\text{kHz}$ となる．吹付コンクリートのり面での検出対象となる欠陥は，大きさが 1m 以上であり，固有振動数が 2kHz を越えることはない．したがって，問題なく欠陥の検出が可能である．

本検査装置は，縦方向に移動しながら打音検査をおこなうが，水平の間隔を 0.5m とし，上下の移動速度を 1m/s とすると，検査速度は毎秒 0.5m^2 ，一時間で 1800m^2 となる（実際には装置の水平移動時間等に時間を要し，数分の 1 になる）．

表 1 道路のり面打音検査装置の諸元表

Length	55 cm
Width	32 cm
Height	32 cm
Height of gravitational center	9 cm
Mass	8.7 kg
Front wheel load ratio	75 %
Wheel diameter/base	17 cm/35 cm



図 8 吊下げ型道路のり面打音検査装置

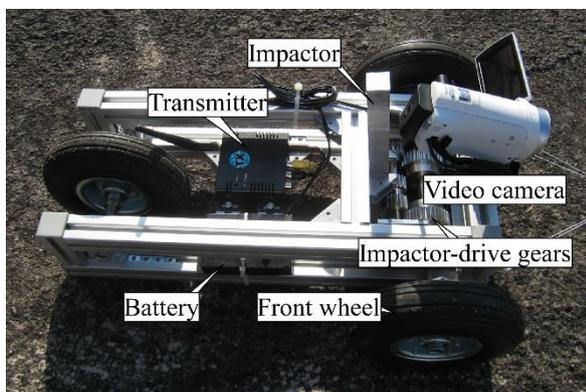


図 9 道路のり面打音検査装置の構造

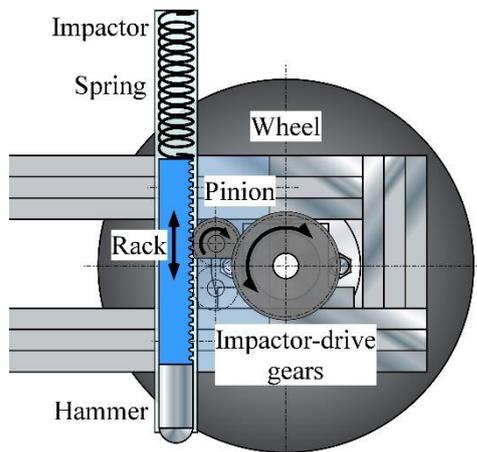


図 10 インパクトの駆動の仕組み

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Saeko Tokuomi, Kazuya Mori, Ippei Torigoe	4. 巻 1
2. 論文標題 Hanging Type Hammering Tester for Concrete Walls: HAT2	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of The Sixth Japan-US NDT Symposium	6. 最初と最後の頁 82-87
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 森 和也, 徳臣 佐衣子	4. 巻 13
2. 論文標題 実用型壁面打音検査ロボットの開発	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 J-BECレポート	6. 最初と最後の頁 1-7
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 徳臣 佐衣子, 森 和也, 大嶋 康敬	4. 巻 1
2. 論文標題 道路点検のためのワイヤ駆動遠隔打音検査装置	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 第25回ロボティクスシンポジウム講演論文集	6. 最初と最後の頁 262-265
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 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 平山達也
2. 発表標題 吊下げ型壁面打音装置の打音周波数に及ぼすプロペラ騒音の影響
3. 学会等名 日本材料学会第31回信頼性シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tatsuya Hirayama
2. 発表標題 Suspension Impact Acoustic Machine for Buildings
3. 学会等名 2018 ENGINEERING WORKSHOP in Kumamoto (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 徳臣 佐衣子, 森 和也
2. 発表標題 コンクリート壁面のうき・はく離検出のための吊下げ型検査装置の開発
3. 学会等名 日本機械学会2017年度年次大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 徳臣 佐衣子
2. 発表標題 吊下げ型走行打音検査装置の開発
3. 学会等名 日本機械学会材料力学部門講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 徳臣佐衣子
2. 発表標題 道路のり吹付コンクリートの点検のための吊下げ型打検査装置の開発
3. 学会等名 日本機械学会2019年度年次大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔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	森 和也 (Mori Kazuya) (50190989)	熊本大学・大学院先端科学研究部(工)・教授 (17401)	