

令和 2 年 7 月 13 日現在

機関番号：57102

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16K06454

研究課題名(和文) 打音検査技術向上のための打音レコーダの製作と欠陥情報データベースの構築

研究課題名(英文) Development of hammering sound recorder for improvement of impact acoustic testing technology and construction of a database of defect information

研究代表者

岩本 達也 (Iwamoto, Tatsuya)

有明工業高等専門学校・創造工学科・准教授

研究者番号：20390528

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)：コンクリート構造物では主に目視と打音検査により点検されているが、欠陥の見落としが原因と思われる事故が多数発生している。現在の検査方法では、検査結果としては変状箇所のみ記載であるため、事故後に見落としがあったかどうかの確認ができない。本研究では打音検査の記録を効率的に収集することを目的とし検査記録装置を開発した。また、欠陥情報データベースとは、打音検査の検査記録と欠陥情報を関連付けたものであり、検査記録の閲覧機能のほか、打音レコーダによって記録された動画から打撃音を抽出し、周波数解析など実行するプログラムを開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

打音レコーダは、打音検査時の検査記録(位置情報や音響データ)を効率的に収集する検査記録装置であり、収集された検査記録は検査者の育成や検査結果の検証に用いて、検査技術を向上させる。記録内容は、検査箇所の映像、打撃音および打撃ハンマの加速度であり、ヘルメットなどに取り付けられたビデオカメラに動画(打撃音と加速度は音声データに記録)として記録される。また、欠陥情報データベースとは、打音検査の検査記録と欠陥情報を関連付けたものであり、国内向けに公開することで、点検システムの根幹技術となり得る自動欠陥判別アルゴリズムの開発を促進させ、海外展開に向けた競争力強化の狙いがある。

研究成果の概要(英文)：Concrete structures are mainly inspected by visual and acoustic test, but many accidents are caused by overlooking defects. According to the current inspection standard, inspection records only contain information of detectable defects, because the method relies on the physical capabilities and expertise of the professional. Consequently, there are no records of imperceptible defects. In this study, we developed a recording device that consists of an accelerometer, a microphone and a video camera. In addition, a database of defect information is a database that correlates inspection records of the impact acoustic method with defect information. We have developed a program for viewing inspection records and analyzing the frequency of impact sounds.

研究分野：材料力学

キーワード：打音検査 点検記録 欠陥 データベース

## 様式 C-19, F-19-1, Z-19 (共通)

### 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築され、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。これら道路構造物は急速に老朽化し、建設後50年以上経過する施設の割合は、道路橋について平成25年3月に約7万橋(18%)であったものが20年後には約27万橋(67%)に増加する。このため、近年コンクリート片の落下が頻発しており、国土交通省では道路の老朽化対策として、社会資本整備審議会 道路分科会がまとめた「道路の老朽化対策の本格実施に関する提言(平成26年4月)」に基づき、定期点検要領の通知や定期点検に関する省令・告示を施行し、平成26年7月より、5年に1回、近接目視による点検を開始している。また、道路構造物の点検要領として、道路橋定期点検要領(平成26年6月策定)や道路トンネル定期点検要領(平成26年6月策定)を策定し、長期的な維持管理を目的としたメンテナンスサイクルの構築が進められている。このように社会インフラ老朽化に対して国を挙げて取り組んでいるが、老朽化が原因と見られるコンクリート片の落下事故が後を絶たない。平成27年6月には、北海道小樽市銭函のJR函館線の線路脇に、線路をまたぐ国道337号の高架橋から二つのコンクリート片が落下していた。また、平成27年8月には北陸新幹線の丸子トンネルで、はがれ落ちたとみられるコンクリート片が見つかった。このトンネルでは、二年ごとに定期点検をしており、落下の約1年前に目視と打音による点検を行っており、異常は認められなかった。この事故では幸いなことに始発前のレール整備中に発見されたので、負傷者はいなかったが、車両走行時に落下すれば車両に当たっていた可能性があった。異常個所の見逃しの原因として、点検者の検査技量が未熟であったことや欠陥自体が判別し難いものであったなどが考えられる。

このような事故を検証する方法としては、第一に検査記録を確認すべきであるが、現在の基準では変状が認められた箇所の記録しか残っていないので、事故後の詳細な調査は不可能である。したがって、検査結果の記録が必要となる。記録すべき内容としては、打撃音のほかにハンマの打撃力および接触時間が考えられる。これは、欠陥部を振動させるために十分な打撃力があつたのか、あるいは加振周波数の帯域は適正であったかどうかを検証するために必要である。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、トンネルや橋梁などの土木構造物の点検に用いられている打音検査の検査技術の向上のための打音記録装置(打音レコーダ)の製作と、国際競争力の強化を目的とした欠陥情報データベースの構築である。打音レコーダは、打音検査時の検査記録を効率的に収集する検査記録装置であり、収集された検査記録は検査者の育成や検査結果の検証に用いて、検査技術を向上させる。また、欠陥情報データベースとは、打音検査の検査記録と欠陥情報を関連付けたものであり、国内向けに公開することで、点検システムの根幹技術となり得る自動欠陥判別アルゴリズムの開発を促進させ、海外展開に向けた競争力強化の狙いがある。

### 3. 研究の方法

打音レコーダとは、打音検査時の検査記録を収集する検査記録装置であり、すべての検査結果を記録する。記録内容は、検査箇所の映像、打撃音および打検ハンマの加速度である。本研究では、(1)打検ハンマの加速度を用いて打撃力および接触時間の推定、(2)マイクロフォンの取り付け位置の検討、(3)市販ビデオカメラを用いた打音レコーダの製作を行った。また、(4)欠陥情報データベースの構築に必要なプログラムを開発した。

#### (1) 打検ハンマの打撃力と接触時間の推定

3軸加速度センサを用いて打検ハンマの接触時間と打撃力の推定方法について検討し、インパルスハンマを用いて検証した。

インパルスハンマに3軸加速度センサを取り付け、鉄板を打撃したときの荷重および加速度をPCに記録した。図1に、実験に用いたインパルスハンマを示す。インパルスハンマ(小野測器製 GK-3100)の先端には、荷重センサが内蔵されており、先端のチップの材質を変更することで加振時の周波数帯を変更することができる。実験ではハードチップ(～約3kHz)装着し、打撃力は打撃者の力の加減によって変化させた。3軸加速度センサ(PCB社製 356B21)は、ハンマのヘッド部中心よりLの距離に設置し、ワックスで固定した。なお、L=15mm, 50mm, 80mmとした。3軸加速度センサのxyz軸は、図1に示すように、ハンマの柄と垂直方向をx軸、ハンマの柄と平行な方向をy軸、打撃面に対して垂直方向をz軸とした。サンプリング周波数は50kHzとした。

#### (2) マイクロフォンの取り付け位置の検討

打撃音を集音するためのマイクロフォンの取り付け位置について検討するために、打検ハンマにマイクロフォン(Adafruit社製 MAX4466)を取り付け、コンクリート試験片を打撃し、打撃音を比較した。マイクロフォンの取り付け位置は、ハンマのヘッド部およびヘッド部から100mm, 200mmだけ離れた位置とした。実験に用いた打検ハンマとコンクリート試験片を図2および図3に示す。比較のために、計測用マイクロフォン(PCB社製 378B02)での計測も同時に行った。

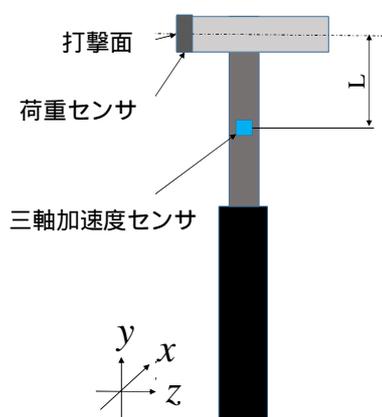


図1 インパルスハンマ

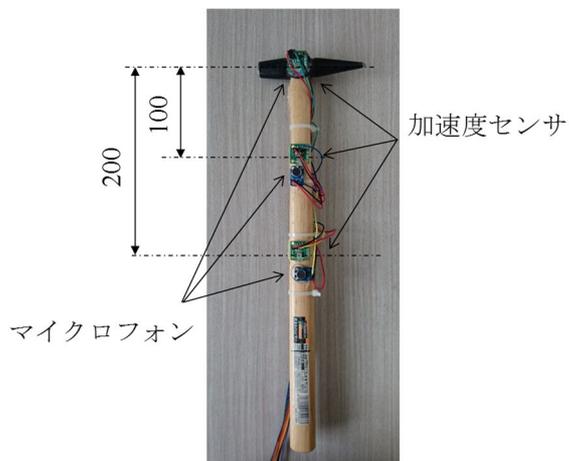


図2 加速度センサおよびマイクロフォンを取り付けた打検ハンマ

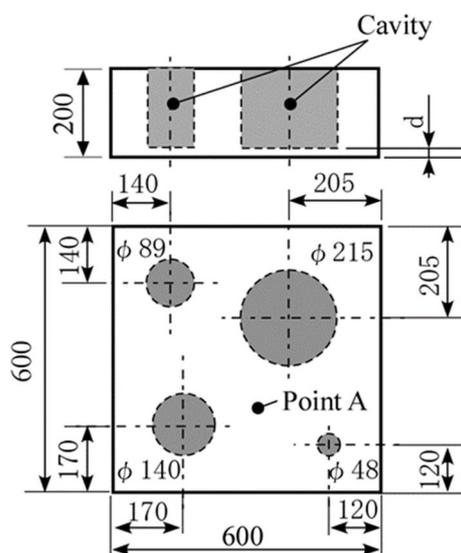


図3 空洞のあるコンクリート試験片

### (3) ビデオカメラを用いた打音レコーダの製作

打音レコーダは、普及を目的とするため、市販のビデオカメラをベースとして開発した。図4に打音レコーダが概要を示す。記録内容は、検査箇所映像、打撃音および打検ハンマの加速度である。検査箇所映像は、ヘルメットなどに取り付けられたビデオカメラにより録画される。打撃音はマイクロフォンより、加速度は打検ハンマに取り付けられた加速度センサにより計測され、ビデオカメラのマイク端子(ステレオ)に入力することで動画の音声データとして各チャンネルに保存される。この動画は一般的に利用されているファイル形式なので、様々な機器で再生が可能である。

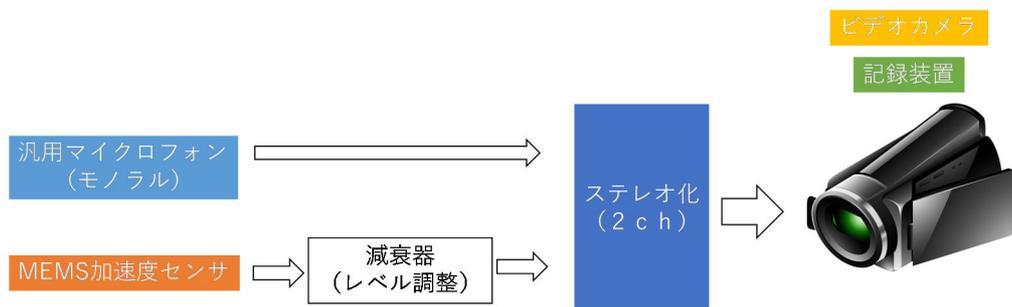


図4 打音レコーダの概要

#### (4) 欠陥情報データベースの構築

データベースの運用システムの試作を行った。運用システムは、打音レコーダによって記録された動画（検査個所の映像と打撃音とハンマの加速度を記録）をアップロードしたり、検査記録を閲覧したりする web サービスと、アップロードされた動画から打撃時の画像と打撃音および加速度の時系列データを抽出したり、打撃音の周波数解析や打撃力を推定したりする処理プログラムと、検査記録を保存するストレージで構成される。

#### 4. 研究成果

##### (1) 打検ハンマの打撃力と接触時間の推定

インパルスハンマの打撃力と加速度センサの z 方向最大加速度の関係を示す。図 5 より、どの距離 L においても、打撃力と最大加速度の関係には直線性が確認できる。各距離における相関係数を比較すると、L=15mm のとき 0.9979、L=50mm のとき 0.9463、L=80mm のとき 0.9106 となり、L=15mm のときに最も強い相関が認められた。また、距離 L が大きくなるほど、加速度は小さくなる傾向があった。

図 6 に、荷重センサおよび加速度センサの出力波形から推定された接触時間を示す。図中の横軸がインパルスハンマ内臓荷重センサによる接触時間であり、縦軸が加速度センサより推定された接触時間である。図 6 より、L=15mm および 50mm において、強い相関が認められる。一方、L=80mm ではほとんど相関が見られなかった。

以上より、加速度センサの取り付け位置は、ハンマのヘッド部に近いほうが打撃力および接触時間の推定には適していることが分かった。

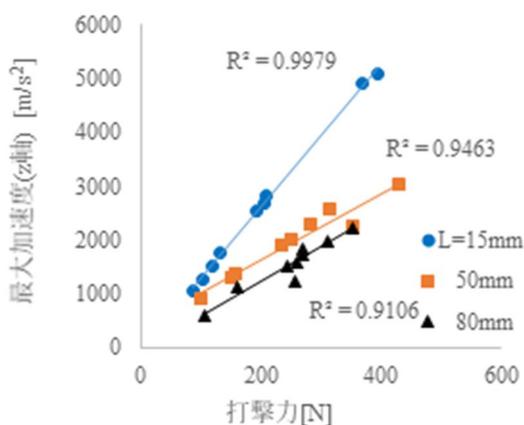


図 5 最大加速度と打撃力の関係

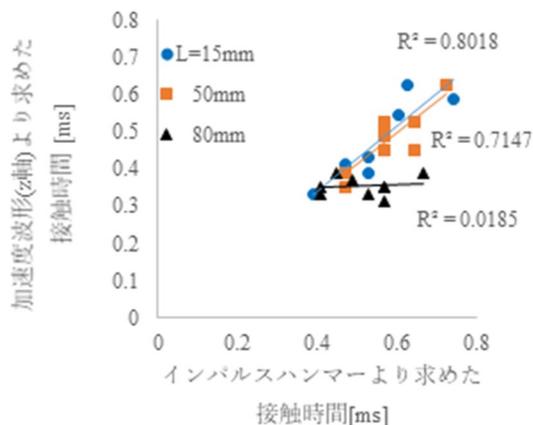


図 6 接触時間の比較

##### (2) マイクロフォンの取り付け位置の検討

打検ハンマ搭載マイクロフォンと計測用マイクロフォンによる打撃音の周波数分布を示す。打撃位置は、直径 215mm の空洞の中央である。また、打検ハンマのマイクロフォンの位置はヘッド部より 200mm とした。予備実験として、加速度センサを用いて欠陥部の固有振動数を計測した結果、約 1800Hz であった。図 7 と図 8 を比較すると、計測用マイクロフォンでは欠陥部の固有振動数付近にピークが確認できたが、打検ハンマ搭載マイクロフォンでは確認できない。他の位置のマイクロフォンでも同様の比較を行なったが、計測用マイクロフォンの周波数分布と一致しなかった。そこで、打検ハンマから離して、同じマイクロフォンで計測した結果、計測用マイクロフォンの周波数分布と一致したため、マイクロフォンは打検ハンマから離して設置することとした。

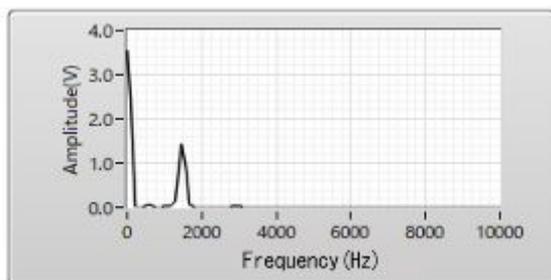


図 7 打撃音の周波数分布  
(打検ハンマ搭載マイクロフォン)

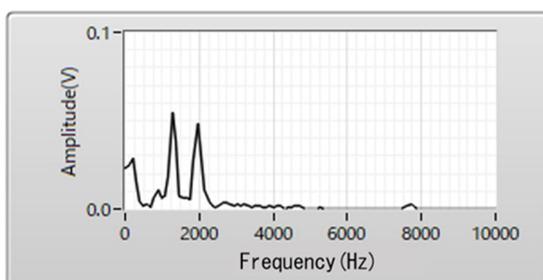


図 8 打撃音の周波数分布  
(計測用マイクロフォン)

### (3) ビデオカメラを用いた打音レコーダの製作

市販のビデオカメラをベースにして、打音レコーダを製作した。図9に製作した打音レコーダを示す。ビデオカメラ(SONY HDR-AS300)およびマイクロフォンはヘルメットに設置した。加速度センサ(ANALOG DEVICES 社製 ADXL001-500)は打検ハンマのヘッド部に取り付けられ、打撃方向の加速度を計測する。加速度センサの電源はヘルメットに設置したバッテリーより供給した。加速度センサの出力およびマイクロフォンの出力は、ステレオ入力としてまとめられ、ビデオカメラのマイク端子より入力され、動画の音声データとして記録される。

図10に、音声データの一例を示す。記録されて動画から抽出した音声データの1ch(上側)に打撃音、2ch(下側)に加速度センサのデータが記録されていることが確認できる。動画ファイルはmp4などの一般的な形式であるため、再生するための特別なプログラムは不要である。



図9 製作した打音レコーダ

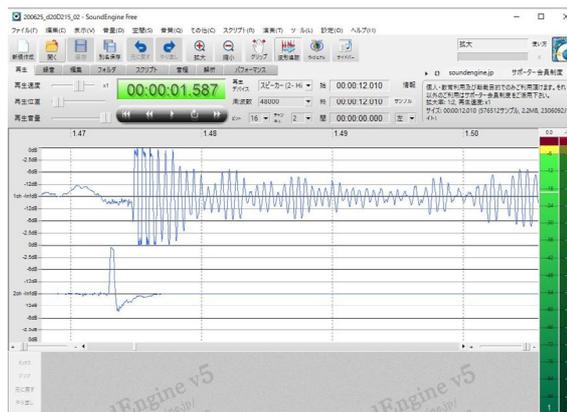


図10 記録された音声データ  
(SoundEngine Freeの画面)

### (4) 欠陥情報データベースの構築

欠陥情報データベースの運用システムを試作した。運用システムは、打音レコーダで記録された動画をアップロードするwebフォーム、動画の処理プログラムおよび、検査記録を検索・閲覧するwebページ、検査記録を保存するストレージで構成される。図11に試作した検索ページを示す。また、図12に音声データ処理プログラムを示す。動作確認においては、学内のネットワークを用いて、動画をアップロードし、動画の処理および検査結果の保存を確認した。

欠陥情報データベース		検索
内部空洞	2019/07/09 19:50:22 福岡県	内
内部空洞	2019/08/10 16:56:09 熊本県	内
ひびわれ	2020/01/10 20:24:41 大分県	ひ
鉄筋腐食	2020/05/18 22:42:30 山口県	鉄
内部欠陥	2020/07/10 23:46:44 鹿児島県	内

図11 欠陥情報データベースの検索ページ

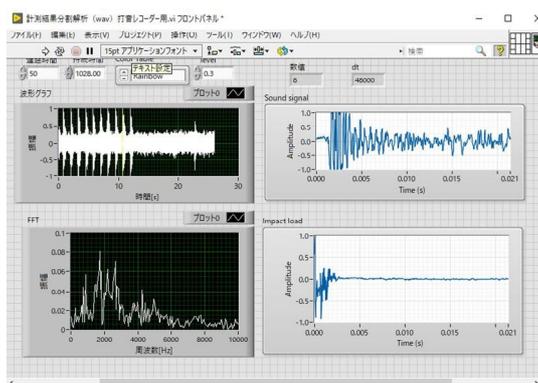


図12 音声データ処理プログラム

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 0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 岩本達也、人見 泰右	4. 巻 178
2. 論文標題 検査記録の効率的な収集を目的とした打検ハンマの 打撃力と接触時間の推定	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 日本機械学会講演論文集（九州支部 久留米講演会）	6. 最初と最後の頁 103-104
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 無
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2件（うち招待講演 0件／うち国際学会 1件）

1. 発表者名 澤田光平、岩本達也
2. 発表標題 打音検査における欠陥の見落としを軽減させるための記録装置の開発
3. 学会等名 日本材料学会 材料シンポジウム 若手学生研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 IWAMOTO, Tatsuya, SAWADA, Kohei
2. 発表標題 Development of the recording device to reduce an overlook of a defect for the impact acoustic method
3. 学会等名 20th World Conference on Non-Destructive Testing (国際学会)
4. 発表年 2021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
---------------------------	-----------------------	----