

構造物の材料劣化を安価に把握するための基礎検討

福田 憲由[†] アサノ デービッド[‡]

[†] 信州大学院理工学系研究科 〒380-8553 長野市若里 4-17-1

[‡] 信州大学工学部電子情報システム工学科 〒380-8553 長野市若里 4-17-1

E-mail: [†] [‡] {15tm526e, david}@shinshu-u.ac.jp

あらまし 昨今,構造物の老朽化に伴うインフラ事故が目立ち始めており,補修が必要な構造物を安価に特定することができるような,保守管理システムの構築が必要となると考えられている.そのためには,構造物の材料的な劣化を安価に把握する技術が必要となる.本研究では,構造物の材料として多く利用されるコンクリートの劣化を把握するための基礎的な実験を行っている.具体的には,音をコンクリートに入力しその反応を解析している.

キーワード コンクリート構造物, 材料劣化, インパルス応答, 定比幅分析

Fundamental Study on Low Cost Detection of Structural Material Deterioration

Noriyoshi FUKUTA[†] and David ASANO[‡]

[†] Graduate School, Division of Science and Technology, Shinshu University 4-7-1 Wakasato, Nagano-City, Nagano, 380-8553 Japan

[‡] Dept. of Electrical & Computer Engineering, Shinshu University 4-7-1 Wakasato, Nagano-City, Nagano, 380-8553 Japan

E-mail: [†] [‡] {15tm526e, david}@shinshu-u.ac.jp

Abstract In the past several years, infrastructural accidents have increased. Therefore, it is necessary to construct low cost infrastructure maintenance systems which can detect structures that need repair. To achieve this aim, the development of low cost detection techniques for structural material deterioration is essential. In this study, we conduct a fundamental study to grasp the deterioration of concrete, which is widely used in construction of structures. Specifically, we input impulse sounds to concrete and analyze the signal response.

Keywords concrete structure, material deterioration, impulse response, CPB (constant percentage bandwidth) analysis

1. はじめに

現在構造物の状態を把握するため,センサネットワークを用いて構造物を定常的にモニタリングする取組が行われている[1].特に,コンクリート構造物のモニタリングに関しては,劣化指標となりうる「たわみ」や「振動」を加速度センサや振動センサを用いて検出する方法[2]や,「ひび割れ」を画像解析や光ファイバ,AE(アコースティックエミッション)センサを用いて検出する方法[3][4]などが提案されている.前者の手法の利点として,比較的安価にシステムを構築できる点が挙げられる.しかし,「たわみ」や「振動」により構造物の異常が高精度で検出できるようになる時期は,材料的な劣化が比較的進行した後であり,構造的な劣化を引き起こす原因となる材料の変状を知ることは難しいと言われている.本研究が対象としている「問題がありそうな構造物」を特定するためには,材料的な劣化の段階での異常検出技術が必要となる.一方後者の手法は,材料的な劣化まで検出できるが,導入コストが高い.

コンクリート構造物の保有性能や材料劣化の程度を直接的評価する方法としては,「打音法」と呼ばれる検査方法が最も広く実施されている.これは,打撃によりコンクリート中に発生させた弾性波がコンクリート表面から空気中に放射される際に観測できる音を測定する手法であり,欠陥部と健全部では反響音が異なることを利用して,コンクリートの異常を検知することができる.そこで本研究では「音」に注目し,材料劣化を検査するための基礎的な実験を試みている.「音」を検出するためのマイクや出すためのスピーカーは,他のセンサと比べて値段が格段に安いので,「安価に把握する」という目的に合致していると考えられる.

2. 健全部分と内部に疑似劣化が存在する部分の反射音の違い

2.1. 実験器構成

「打音法」では,打撃によりコンクリート中に弾性波を発生させていたが,インパルス音を入力した場合でも応答信号から分かることがないか調べることにした.

具体的には、コンクリートの健全な部分にインパルス音を入力した場合の反射音と、内部に劣化がある部分にインパルス音を入力した場合の反射音の間に、相関が無いかを調べた。内部に劣化があるコンクリートを特定することは難しく、また人工的にコンクリート内部に劣化を作ることでも難しかったため、コンクリートに穴を掘り穴のちょうど反対側で測定を行うことで、疑似的に内部に劣化のある環境を作り出している。穴を掘ったコンクリートの裏側に測定装置を取り付けた様子を、図1に示す。25cm四方、厚さ5cmのコンクリートに対し、穴の大きさは、縦約1cm、横約2cm、深さは最も深い部分で約3cmとなる。測定装置はアナログ出力のコンデンサマイク、10bit ADコンバータ、Raspberry piで構成しており、一般的に人間が良好に聞くことができる周波数範囲を基にして、サンプリング間隔は30usec(サンプリング周波数は33.3kHz)で動作させている。



図1 実験器構成

2.2. 周波数分析

実験によって得られた波形の周波数分析を行った。周波数分析は大きく分けて定幅分析のフーリエ分析(FFT法)と、定比幅分析のオクターブバンド分析とがある。人間の感覚量は、刺激の強さの対数に比例することが知られており(ウェーバー・フェヒナーの法則)、周波数に対する感覚も周波数の対数に比例しているため、オクターブバンド分析は人間の感覚にあわせた周波数分析と言える。構造物の劣化度合いを調べる打音法は、人間の聴覚を頼りに解析を行っているため、取得したデータをオクターブバンドに分解し分析を行うことで、劣化度合いを判断できるのではないかと考えた。そこで、サンプリング周波数より1/3オクターブごとに区切ったバンドを定義し、解析を行った。ここで1/3オクターブとは、基準周波数をfa[Hz]とすると、 $\log_2(fa / fb) = 1/3$ (Oct)を満たすfb[Hz]のことである。各バンドのゲインは、測定した波形を4096点FFTし、定義したバンド内に含まれる要素の平方根平均二乗(RMS)値を求めることにより算出している。また今回周波数が約4kHzの正弦波を基に作成したインパルス音を入力しているため、当該周波数付近の周波数である8250~

1637.008Hz(B3:8250Hz~,B4:6548.029Hz~,B5:5197.174Hz~,B6:4125Hz~, B7:3274.015Hz~,B8:2598.587Hz~,B9:2062.5 Hz~[1637.008Hz])を抜き出し、比較を行った。マイクの位置など条件を変えて、複数回データを取得した結果を図2に示す。実線が健全部分での試行結果、破線が疑似劣化部分での試行結果となる。今回の実験では、健全部分ではすべての試行においてピーク位置がB5に出ているのに対し、疑似劣化部分ではB5にピークがあるものも存在するが、それ以外のバンドにピークにある結果の方が支配的であった。これはつまり、同じ場所で1/3オクターブバンドごとのゲインを測定し続ければ、構造物に内部劣化が発生した際ピーク周波数がシフトすることで劣化の発生を検知できる可能性があることを意味している。

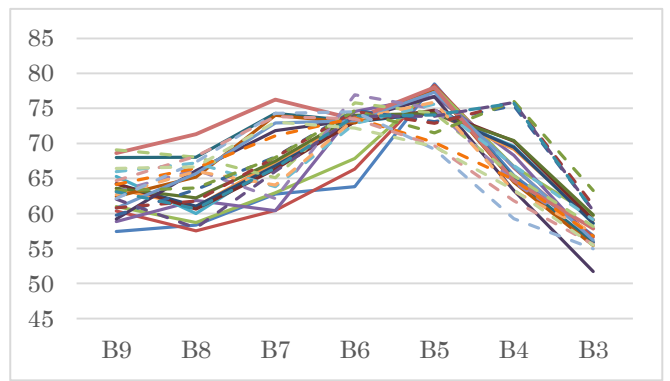


図2 各バンドのゲイン (縦軸: [dB])

3. まとめと今後の課題

本稿では、コンクリートに入力した音のインパルス応答を定比幅分析することで、材料劣化の発生を検知できる可能性を示した。劣化状況とピークシフトの相関性に関しては、今後更に調査してゆく必要がある。また実際にセンサネットワークに組み込むためには、雑音を考慮した解析方法の確立や機器の低消費電力化などの改良が必要になると考えている。

文 献

- [1] 国土交通省, “社会インフラにおけるモニタリング技術の活用に向けた取組事例,” 社会インフラのモニタリング技術活用推進検討委員会 (第1回), 参考資料3, Oct.2013.
- [2] 遠藤義英, 他, “輪荷重走行試験によるRC床版の疲労劣化に関するモニタリング技術の検討 (その2) 低周波3軸加速度センサによるRC床版の疲労損傷解析,” 土木学会第71回年次学術講演会概要集, CS7-037, pp.73-74, Sep.2016.
- [3] 今井道男, 他, “輪荷重走行試験によるRC床版の疲労劣化に関するモニタリング技術の検討 (その4) 光ファイバセンサによるひび割れ検知,” 土木学会第71回年次学術講演会概要集, CS7-037, pp.77-78, Sep.2016.
- [4] 新井崇裕, 他, “輪荷重走行試験によるRC床版の疲労劣化に関するモニタリング技術の検討 (その5) アコースティックエミッション法による疲労損傷の評価,” 土木学会第71回年次学術講演会概要集, CS7-037, pp.79-80, Sep.2016.