

PDA を用いた簡便な音響による診断技術の現場点検支援情報システムへの応用

Application of Simple Diagnosis Technology by Sounds Using PDA to an On-Site Inspection Support Information System

室蘭工業大学工学部建設システム工学科
 室蘭工業大学大学院工学研究科建設システム工学専攻
 内閣府沖縄総合事務局北部ダム事務所
 電源開発株式会社エンジニアリング事業部

正会員 矢吹信喜 (Nobuyoshi Yabuki)
 ○学生員 植田国彦 (Kunihiko Ueta)
 山下武宣 (Takenori Yamashita)
 正会員 嶋田善多 (Yoshikazu Shimada)

1. はじめに

土木構造物を、長期間安全かつ経済的に供用するためには、建設および維持管理において、現場における点検を適切に実施することが重要である。また、何か異常を発見した場合、高度で専門的な知識、現場経験および蓄積された点検データに基づいて、適切な判断を下す体制を整えておくことが肝要である。しかし、点検作業に際しては、携帯できる資料と機器は限られる。また、点検員の点検結果が必ずしも連続的に引継がれず、異常時に以前の点検データとの比較などがうまくできないこともある。

そこで、我々は以前より現場点検支援を目的として、電子タグ (RFID¹⁾: Radio Frequency IDentification: 非接触型 IC タグ) を現場に設置して各種情報を現場にも保管し、通常点検時や異常時等に PDA を利用して即座にデータが現場で取得できるようなシステム開発を行っている。さらに、PDA のような携帯パソコンの機能に、音声入出力機能、携帯電話の通信機能、デジタルビデオカメラ機能、ワイヤレス通信機能、電子タグへの読み書き機能を加え、管理事務所には各種データベースやナレッジマネジメントシステムを設置し、現場点検を支援するシステムモデルを開発した²⁾ (図-1)。

ところで、日常の巡視点検では、視覚、聴覚、触覚、臭覚といった感性を働かせており、こうした感性データを蓄積し、点検に活用することが望ましい。特に、視覚、聴覚によって得られる情報量は多く、非常時や、不定期に作動するような設備の異常を感知する上で貴重である。また、過去のデータを即座に確認できれば、点検員及び操作員の不安感も払拭される。さらに、非常時においては、本部に集中管理されているデータへアクセスするこ

とが困難となる場合があり、現場に点検データを保存させておく等の対応の迅速性を高める方策が求められる。

そこで、我々は土木構造物の点検作業の効率性と合理性の向上を目指し、上記の点検支援情報システムに、音による診断機能を付加することとした。但し、大型の機器を携帯することは通常不可能であるから、PDA のような小型機器を用いることを念頭に置いた。

本論文では、PDA を用いた音による簡易的な点検・診断手法を述べ、簡単な打音実験を行って本手法の検討を実施した。

2. 既開発の現場点検支援情報システム

以前に開発したモデルでは、現場点検員は PDA やウェアラブルコンピュータのような携帯パソコンの機能に加えて、音声入出力機能、携帯電話の通信機能、デジタルビデオカメラ機能、ワイヤレス通信機能、電子タグへの読み書き機能、大型画面機能を有した現場点検支援情報システムを携帯する。

現在、これらの機能を全て備えている PDA やウェアラブルコンピュータは、未だ単体としては存在しない。そこで、本研究では、音声入出力機能を付けたワイヤレス LAN に接続可能なモバイルコンピュータ、録音再生機能及びコンパクトフラッシュカードを付け電子タグデータ読み書き装置 (リーダライタ) 機能を有する PDA、デジタルビデオカメラ、及び携帯電話を組合せて、前述のような要求性能を満たす現場点検支援情報システムのプロトタイプを開発した。

このプロトタイプシステムでは、PDA とモバイルコンピュータをそれぞれ適切な環境で使用し、適宜データを同期することにより情報共有を行う。また、モバイルコンピュータに PC カードを装着させ無線 LAN または PHS LAN によって、現場管理事務所にアクセスし、データベースとのデータのやり取りを行う。現場点検員が点検を行う際には、現場に貼り付けてある電子タグに PDA を近づけてデータの読み書きを行ったり、電子タグを自分で貼り付けたりする。デジタルビデオカメラは、現場の点検対象部材の状態を画像として記録するために使用され、画像やビデオファイルは PDA またはモバイルコンピュータに保存される。携帯電話は、中央管理事務所の VoiceServer に接続し、予め VoiceXML によって記述された熟練技術者によるアドバイスやノウハウなどの情報を聞き出したり、新しい知識の発見や気づきを登録する際に用いられる。

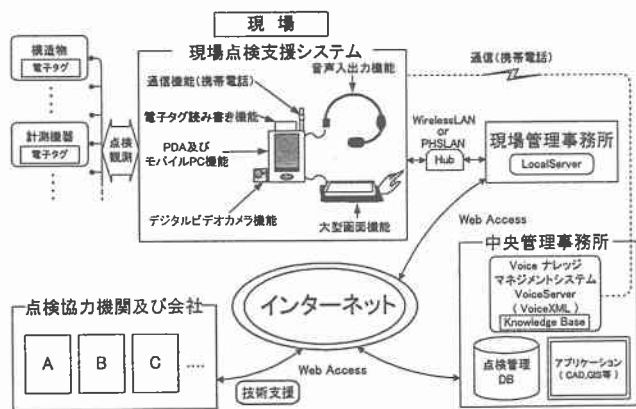


図-1 現場点検支援情報システムモデル

以下、本論文で開発した PDA を用いた音響による簡便な点検診断システムについて記す。

3. 音響による構造物や機械類の診断

音響による構造物や機械類の診断に関して、ボルトやコンクリートをハンマーで叩いた時の音を聞くことにより、ボルトの締付け具合やコンクリートの内部の空洞などを診断することは昔から行われている。また、こうした音響による診断に関する研究も成されている³⁾。しかし、一般に暗騒音や叩き方などの問題もあり定量的に評価することは難しい。また、音響解析システムは一般に大きさや重さが大いことから、点検実務への適用は極限られた範囲が対象となっている。

一方、パソコンはより小型軽量化し、PDA でも音データを取得することが可能になってきたことから、電子タグと合わせて音による点検診断システムを開発することとした。

4. PDA を用いた音による簡便な点検手法

熟練技術者は打音点検や機械の作動音を聞くことにより点検個所の異常を診断できるスキルを暗黙知として有している。このスキルを組織全体で有効に活用することを目的として、音響による異常診断システムを構築することとした。図-2 に音響による異常診断システムのシステムモデルを示す。

熟練技術者の音響診断のスキルにより、正常時の音と異常時の音を解析・比較し、解析データ及び音そのもののデータを、現場管理事務所の感性データベース及び現場の電子タグに保存する。感性データベースに蓄積された点検音より、解析結果を抽出し、現場点検支援を目的とした音響点検診断システムを構築する。点検員が音響点検を実施する際に、点検音に違和感があった時は、管理事務所の音響点検診断システムにアクセスすることでデータベースから正常な状態あるいは前回の点検時の音データを取得し、現場の音と比較することができる。さらに、音響点検診断システムから適切な診断が下される。また、現場の電子タグ内に、解析結果及び音声を保存することにより、非常時に管理事務所のコンピュータとの間の通信が不能になった場合でも現場で確実な音響診断が行える態勢を整える。点検者が携行する PDA のような点検支援用携帯機器で、現場において音を取得し、解析・比較を実施する。

音による異常診断システムを現場点検に導入することによって、音響点検診断システムによるオンラインでの

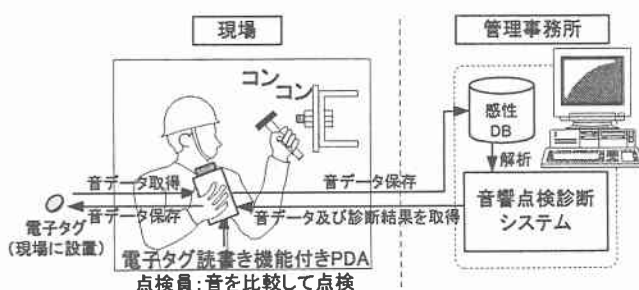


図-2 音響による異常診断システムモデル

点検支援、電子タグと PDA によるオフラインでの点検支援により、点検員は、平常時のみならず非常時においても点検支援を受けることが可能であると考えられる。また、これまで個人の感性のみに依存して、実施していた音響点検の確実性、信頼性の向上につながるものと考えられる。

5. 打音実験による本手法の検討

5. 1 点検手法のプロトタイプシステム

本研究では、前述の音の異常診断システムの構築を目指し、そのプロトタイプシステムを開発した（図-3）。

本システムでは、まず、PDA またはコンピュータの録音機能により、点検音診断の対象となる部材の音を WAVE ファイル形式で録音する。その後、パソコンなどのコンピュータの音声解析システムにて音の解析を行う。

録音した音の解析には、データ解析・制御系設計プログラミング言語 MATLAB⁴⁾を用いた。MATLAB により、波形、フーリエスペクトル、サウンドスペクトログラム、連続ウェーブレット解析の表示を一貫して行えるシステムを構築し解析を実施した。

サウンドスペクトログラムとは、周波数分析を時間的に連続して行い、色によって強さを表すことで、強さ、周波数、時間の3次元表示を行う解析方法である。サウンドスペクトログラムは、色の濃淡により波形の時間的な変化を容易に捉えることが可能である。

連続ウェーブレット解析は、測定した波形に、平均値がゼロで、有限な継続時間を持つ波形（マザーウェーブレット）を重ね合わせ、両者の関連性を求める解析方法である。連続ウェーブレット解析によって得られる結果は、横軸に時間、縦軸にスケール（マザーウェーブレットの長さ）をとり、波形に含まれる周波数成分の相対的な大きさを明度値で与えられる図である。マザーウェーブレットには Daubechies3 (db3) -Wavelet を用いた。高いスケールでは低周波領域における周波数特性、低いスケールでは高周波領域における周波数特性を示しており、局所的な波形の変化を捉えることができる解析手法であり、機械の作動音等の連続的な音の解析に適している。

サウンドスペクトログラム、連続ウェーブレット変換を解析手法として用いることにより、周波数と同時に時間もとらえる時間一周波数解析が可能となる。

5. 2 打音実験

本研究では、ナットで締結された実験供試体を用い、

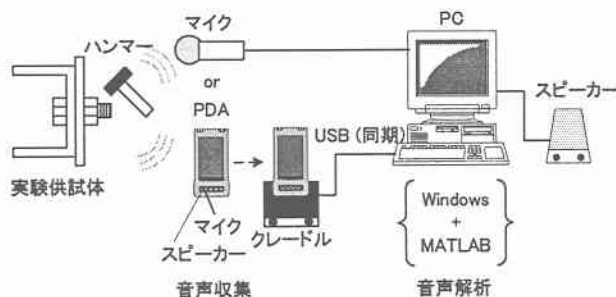


図-3 異常診断プロトタイプシステム

ナットを締めたケースと弛緩させたケースの打音実験を実施した。打音実験に用いる実験供試体として、図-4に示すような長さ約60センチの鋼製板とCチャンネルを2本のボルトにより接合した供試体を作成した。ボルトはM20×601、ナットはM20を使用した。ナットは図に示す位置を叩いた。実験方法は、床面から供試体に伝達する音を遮断するため緩衝材を敷き、手でボルトを締めたケース（以下、case1）と120Nmの締付トルクでボルトを締めたケース（以下、case2）それぞれに対して、ハンマーにて一定の力で打撃を加え、打撃音を録音し、図-3の音の異常診断システムにて解析を実施した。

まず、PDAとパソコンのそれぞれで録音した音を解析・比較し、両者の妥当性を検討した。PDAとパソコンで録音したcase1とcase2の打音のフーリエスペクトル解析結果画面を、それぞれ図-5に示す。なお、比較にはcase1、case2の音をそれぞれ5回ずつ録音し、それぞれの平均的な波形を用いた。サンプリング周波数は、44.1kHzである。

PDAとパソコンの解析結果画面を比較すると、フーリエスペクトルの図では、PDAの方に全周波数領域でノイズとみられる成分があるが、打音の周波数特性には大きな差がないことが確認できた。また、サウンドスペクトログラムと連続ウェーブレット解析の解析結果にも大きな差が生じなく、PDAとコンピュータで5回ずつ録音した波形は、それぞれ規則性を持った挙動を示していた。以上より、PDA及びパソコンで録音した打音は解析を行うのに妥当であると考えられる。

また、本モデルでは、点検員は現場の電子タグまたは音響点検診断システムから取得した音をPDAにて再生

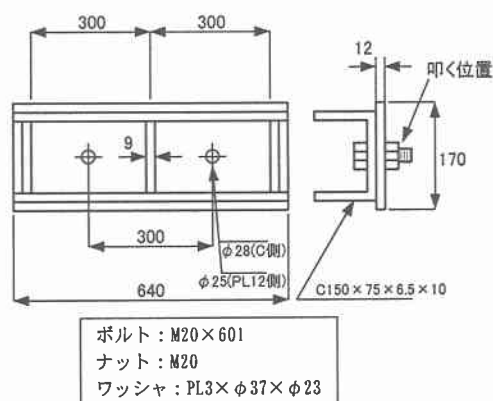


図-4 実験供試体

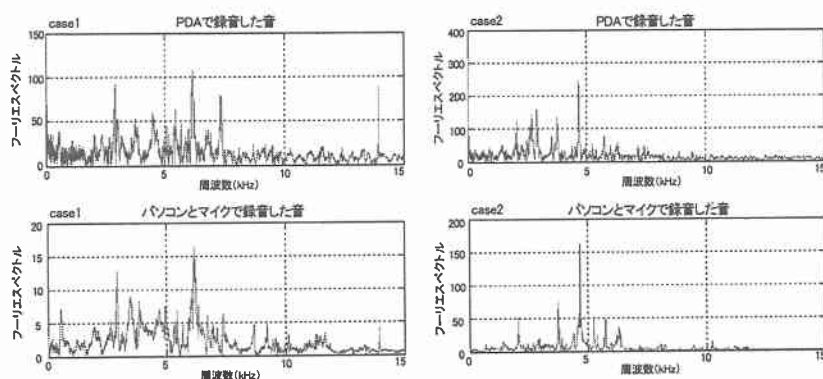


図-5 PDAとパソコンの打音

して、現場の音と比較して、打音点検の正否の判断を行う。そのため、PDAは録音した音データになるべく変化させることなく、再生する機能を有していることが望ましい。そこで、120Nmの締付トルクでナットを締めた時のcase2の打音において、現場の音（PDAで録音した音データ）と、その音データをPDAで再生してパソコンとマイクで取得した音データの比較を行った。それぞれのフーリエスペクトルを図-6に示す。

フーリエスペクトルより、PDAから発せられる再生音は、2kHz以下と7kHz以上の音成分が小さくなる傾向があるがスペクトルの形はほぼ等しいことが確認できた。それゆえ、PDAで再生した音を点検の比較に用いることは、ほぼ妥当であると考えられる。

そこで、本研究では、点検員の現場での作業性を考え、PDAで録音したcase1とcase2の打音実験について比較・検討した。

6. 実験結果

PDAで録音したcase1（手締め）とcase2（120Nmの締付トルク）の打音実験の波形、フーリエスペクトル、サウンドスペクトログラム、連続ウェーブレット解析の解析結果画面を図-7に示す。

図-7（a）の波形より、case1よりcase2の方が打撃音の減衰が小さく、音が長く継続していることがわかる。図-7（b）のフーリエスペクトルから、case1では、若干卓越した周波数が3kHz、6kHz、7kHz、14kHz付近にあるが、打音が全周波数領域に広く分散していることが確認できる。case2では、3kHz、4.5kHz付近の周波数が非常に卓越しており、他の周波数のアンプリチュードは少ないことが確認できた。図-7（c）のスペクトログラムから、case1では、全周波数領域に広く分散し、減衰が大きい、14kHz付近は長く継続していること、case2では、3kHz、4.5kHz付近の成分が強く長く継続していることが確認できた。図-7（d）のウェーブレットでは、縦軸のスケールが周期に相等し、白い部分はウェーブレット係数（波形の変化の大きさに相等）が大きく、黒い部分は小さいことを表す。case2では、音の最初の部分においてスケール10付近が強く、case1は広いスケールに分散していることがわかる。

さらに、定性的にはcase1は「にぶい音の中に高いキーンとした音が混じった音」、case2は「はっきりとした、にぎっていない、きれいに響く音」と表現される。

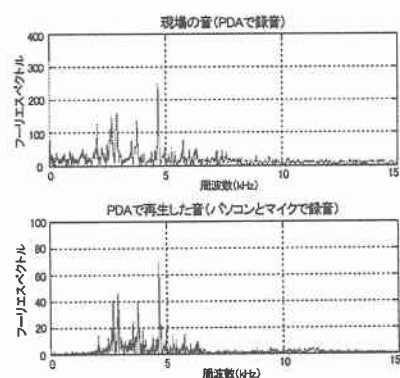
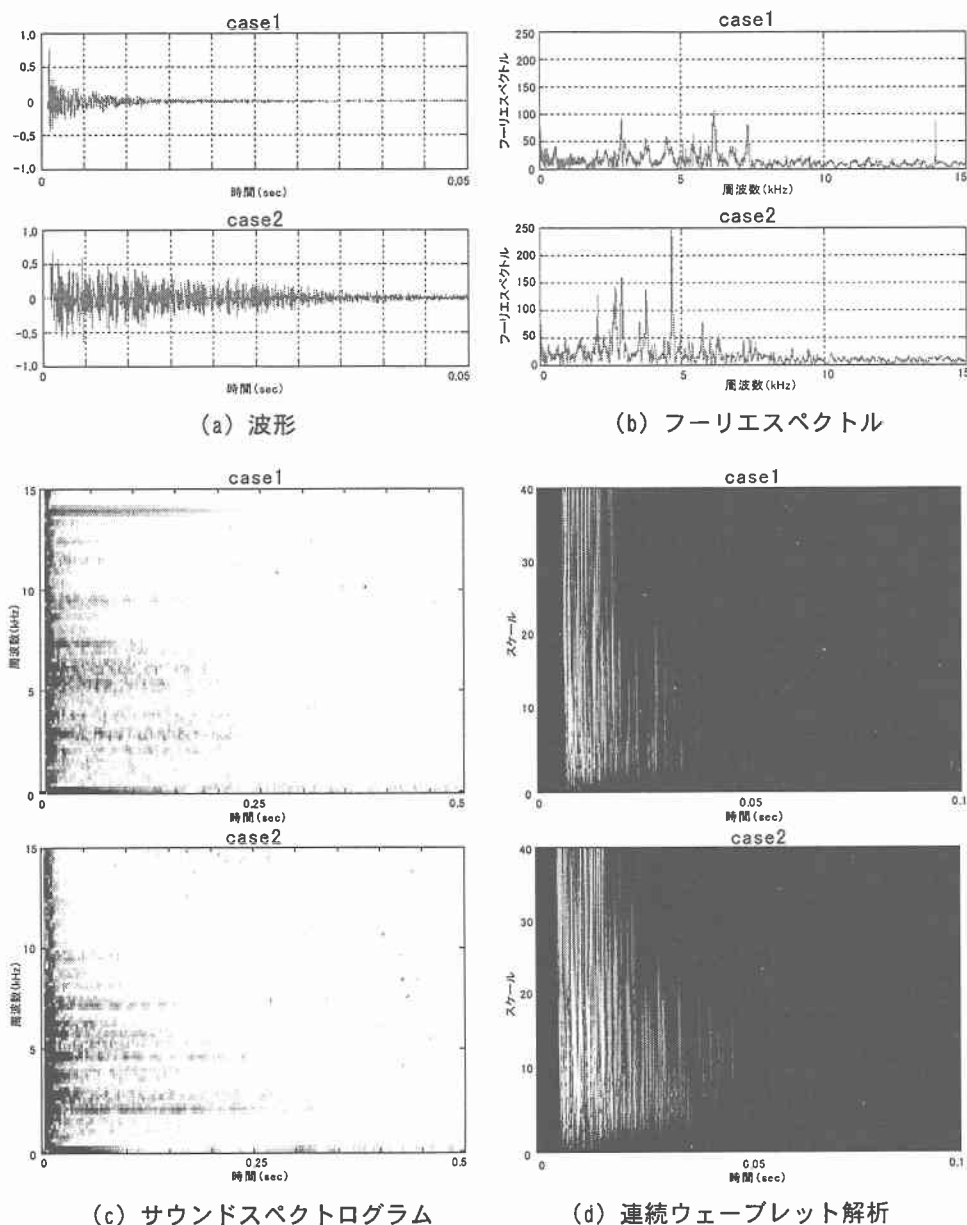


図-6 現場の音とPDAの再生音



図ー7 PDAで録音した音の各種解析結果

図ー7の解析結果は、こうした感性的な情報を裏付けるものであると考えられる。

7. おわりに

本研究では、以前より土木構造物の現場における点検業務の効率性、信頼性、継続性等の向上を図るために開発している現場点検支援情報システムに、PDAを用いた簡便な音響による診断技術を加えるべく、基本的なプロトタイプシステムを開発し、簡単な実験を実施した。実験結果より、本研究で提案した手法は、実際の点検業務にもある程度、使用可能であることがわかった。しかし、点検実務に音響診断を適用させるためには、ハンマーの叩き方や暗騒音の問題などを解決していく必要があると考えられる。

今後は、電子タグ内に解析結果及び音データを保存することにより、管理事務所のコンピュータやネットワークトラブルといった非常時においても現場で確実な音響診断が行えるよう、システム開発を実施していく予定である。また、数多くの種類の音を収集し、適切な解析手

法を確立すると共に、熟練点検員が保有している音に関する知識を引き出し、音響診断技術を構築していきたいと考えている。

謝辞：本研究は、(財)日本建設情報総合センターの研究助成を受けて実施したものです。

参考文献

- 1) AIM : <http://www.aimglobal.org/technologies/rfid/>
- 2) 矢吹信喜, 植田国彦, 山下武宣, 嶋田善多 : 電子タグ, PDA 及び音声技術を用いた現場点検支援情報システム, 土木情報システム論文集, Vol.11, pp.77-84, 2002.
- 3) 植田康平, 小幡卓司, 林川俊郎, 佐藤浩一, 宮森保紀 : 鋼橋の損傷同定におけるフラクタル次元解析の適用性について, 土木学会北海道支部論文報告集, Vol.58, pp.32-35, 2002.
- 4) MATLAB : <http://www.mathworks.com/index.shtml>