

コンクリート構造物の打音解析に基づくトンネル調査

首都高技術株式会社

正会員 ○窪田 裕一

首都高技術株式会社

正会員 由井 稔也

国立研究開発法人産業技術総合研究所

非会員 叶 嘉星

国立研究開発法人産業技術総合研究所

非会員 村川 正宏

1. はじめに

コンクリート構造物の点検や調査等は、目視点検や叩き点検(以下、打音検査)に加えて測定機器を用いた非破壊試験による調査が多く行われている。既に現場において打音検査は広く行われているが、その判断等は点検員の経験や感覚による部分が多く、さらには深い位置の内部欠陥は打音検査による発見が困難なことが多い。また、従来の手法では、主に打音エコー信号のピーク周波数のみに焦点を当て空洞等の欠陥を判断している。これは、周波数帯にわたる多くの特徴を持った分布パターン情報を欠落させることになる。

そこで本研究では、これらの問題を解決するため、従来のピーク周波数だけではなく、各周波数の振幅成分抽出に加え、時間-周波数面での動的遷移情報等の特徴を用いた。これらの特徴量は、高次元データになるので、共通的なパターンを効率よく学習し、高精度な識別力のある情報を得られる「部分空間法-グラスマン多様体学習」を用いた。その有効性を示すため、首都高速道路管内にあるトンネルの避難通路(コンクリート中壁)で打音試験による調査を行った。

2. 試験の概要

2. 1 音響解析手法

従来の解析手法は、一般的に信号の周波数のピーク位置のみに着目していたのに対し、今回集積した音の分析方法は周波数分布に着目した(図-1)。さらに、それらの特徴の時間-周波数面での動的遷移情報を用いる。これらの特徴量は次元数が膨大であることから、部分空間法を用いることで、それらの特徴量から効率良く意味のある情報を抽出(圧縮)できる。さらに、部分空間法にて得られた特徴抽出に基づき、健全なコンクリート領域と欠陥領域で集められたクラス(部分空間)内での類似性とクラス(部分空間)間の類似性を判断するため、グラスマン多様体上でパターン解析を行う。グラスマン多様体は距離/類似性の測定のような部分空間の間の関係を調査するための手法であり、グラスマン多様体上での各クラスでの部分空間の間の距離を算出する(図-2)。これらの手法を用いることで、構造物の損傷状態に関連する、高精度な識別力のある情報を得られ、ノイズの影響を低減して打音エコーの微妙な差異の判別が可能となる。

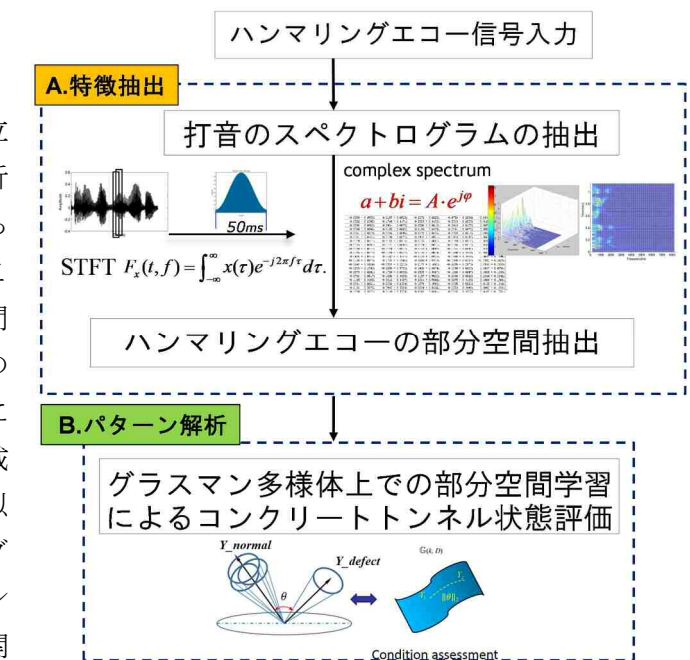


図-1 音響解析手法フロー

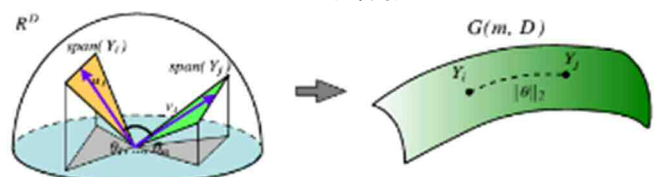


図-2 グラスマン上での状態解析の概念イメージ

連絡先 〒105-0001 東京都港区虎ノ門 3-10-11 首都高技術株式会社 技術部 TEL 03-3578-5765
 キーワード 打音検査, 空洞, 振幅, 時間-周波数変動, グラスマン多様体

2. 2 試験対象箇所

本実験は、首都高速道路のトンネル内避難通路（コンクリート中壁）で検証実験を行った（図-3）。打音調査箇所は、既に定期点検で報告されている鉄筋露出・剥離（防錆処理済）の周辺は、被りコンクリートが鉄筋腐食による空洞・浮き（変状領域）を確認されたため、連続的に音を採取した（図-4）。



図-4 打音調査箇所（鉄筋露出・剥離周辺）

3. 試験結果

2節で示された手法に基づき、健全なコンクリート領域と変状領域で、集められた打音エコー信号の部分空間を得る。それらの特徴をプロットしたコンター図を作成した（図-5、図-6）。ここでX軸は打音エコーサンプルのインデックスを表し、Y軸は特徴の次元を表す。これらの2つのコンター図で、暖色、すなわち黄や赤はより高い特徴量を表し、緑や青のような寒色は、より低い値を表す。これらにより、クラスに依存した特徴分布の概要が観測できる。2つのパターン、すなわちここで正常と変状の打音エコーの識別は、クラス内での類似性とクラス間での違いを観察することである。さらにクラス内での類似性はとても高い、すなわち、それぞれの図の中では特徴の分布がかなり近いが、その一方、図-5と図-6の比較で明らかに観測できるクラス間の特徴の違いは明確である。すなわち、高度な識別ができたと考えられる。

さらに抽出した部分空間特徴の次元をさらに削減するために、主成分分析（以下、PCA）を行った。これらは、より統計的に簡潔な見地ですべてのテストした打音エコー信号を可視化することができる。PCAは、高次元データを分散が最大化された低次元領域でマップ化することが有効であり、損傷の判別作業を容易にする。図-7は、立体散布図の軸は、2.1で説明した手法により得られた音響信号の特徴量の第1～第3主成分得点を示す。

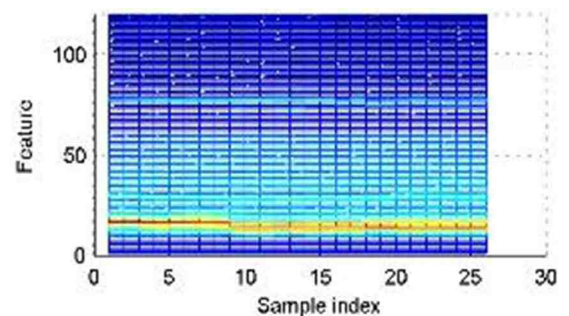


図-5 健全なコンクリート・打音エコー部分空間

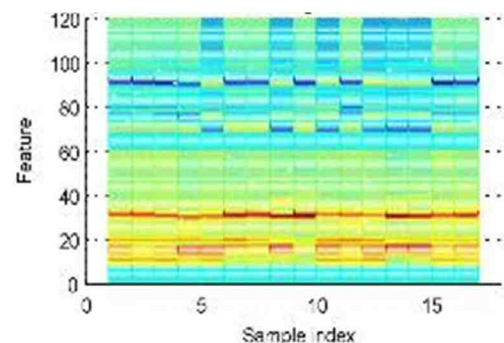


図-6 変状コンクリート・打音エコー部分空間

3. おわりに

本実験では、音響信号の周波数の振幅成分に加え位相、時間-周波数変動を基に、部分空間法により特徴量の抽出を行った。さらにこの特徴量をグラスマン多様体で解析し、主成分分析することにより打音の微妙な違いを判別できた。これらのデータは、統計的に定める部分が重要であり、多くの打音データを集めることにより、さらに精度を向上することが可能である。本研究は、SIP（内閣府戦略的イノベーション創造プログラム）の採択を受け、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合研究機構（NEDO）の委託業務の結果得られたものである。

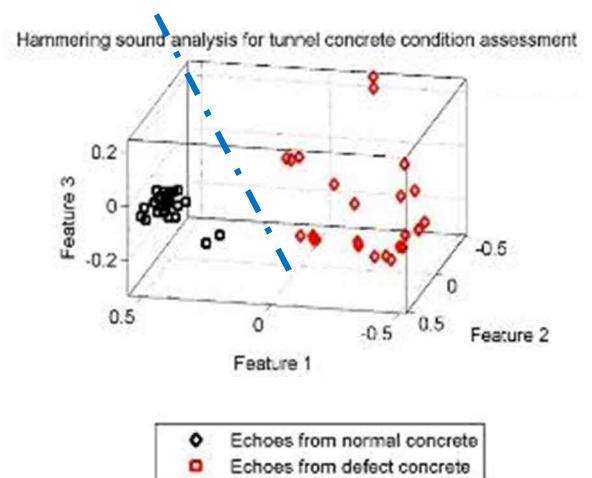


図-7 コンクリート変状の判別 視覚