

大阪大学工学研究科 学生会員 ○数実浩佑 正会員 貝戸清之
京都大学経営管理大学院 フェロー会員 小林潔司
阪神高速道路株式会社 非会員 後昌樹
阪神高速技術株式会社 正会員 宇野津哲哉

1. はじめに

現在のアセットマネジメントは目視点検データを中心とした方法論により構築されている。その一方で、今後の社会基盤施設のマネジメントを見据えた場合、目視点検のみならずセンサー等によるモニタリングの活用も視野に入れる必要がある。モニタリングに着目したアセットマネジメントにおいては、長期間にわたり蓄積したモニタリングデータに基づく異常事象の早期検出や劣化予測、健全度の診断等に関する方法論の開発が課題となっている。本研究では、ジョイント部材のモニタリングデータを時系列モデルで表現するとともに、モニタリングデータに基づきジョイント部材の異常検知を行う方法論を提案する。

2. ARMAX-GARCH モデル

本研究では、得られた時系列データを外生変数を考慮した自己回帰移動平均モデル (AutoRegressive Moving Average model with eXogenous variables model, 以下, ARMAX モデル) で表現するとともに、その誤差項の分散の変動を確定トレンド付きの GARCH (Generalized AutoRegressive Conditional Heteroscedasticity) 過程で表現した ARMAX-GARCH モデルを用いる。このモデルの大きな特徴は、1) 外生変数を考慮することにより構造物の劣化と直接関係のない環境因子 (気温や降水量など) の影響を除去できること、2) モニタリングデータの分散が時間に依存し変化する様子を表現できることの二点にある。特に分散の時間的変動を考慮可能であることに着目すれば、期待値に基づく議論のみならず、分散の変動を指標とした劣化予測手法について検討可能となる。

ARMAX-GARCH モデルは尤度関数が非常に複雑となるため、通常の方法ではパラメータの推計が困難である。そこで、Metropolis-Hastings 法を基本としたマルコフ連鎖モンテカルロ法とベイズ推定法を援用し、モデルの未知パラメータ推計を行った。

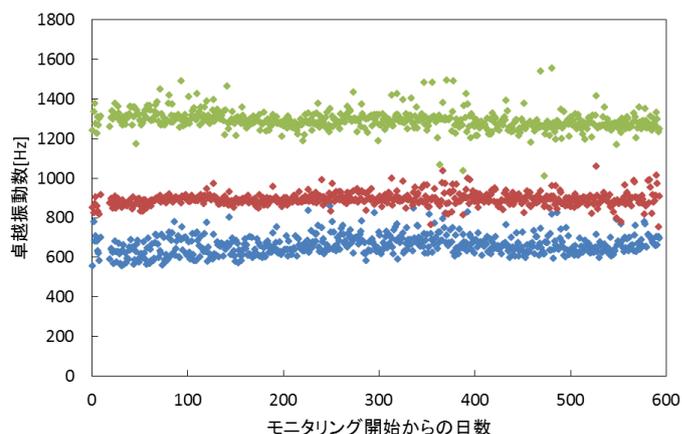


図-1 卓越振動数のモニタリングデータ

3. 実構造物モニタリングデータへの適用

(1) ジョイント部材の長期モニタリングデータ

本研究では、6箇所のゴムジョイント (以下, J1からJ6とする) に加速度計を設置し、約600日間のモニタリングを継続的に実施した。ARモデルを用いて、得られた加速度応答から3つの卓越振動数 (500Hz付近, 800Hz付近, 1300Hz付近) を抽出し、その日のモニタリングデータとして蓄積した。獲得したモニタリングデータの例として、J2の卓越振動数の時系列を図-1に示す。

(2) ARMAX-GARCHモデルの推計結果

図-2 に J2 (800Hz 付近) のモニタリングデータに ARMAX-GARCH モデルを当てはめた結果を示す。図中には実際に得られたモニタリングデータを青線で、ARMAX-GARCH モデルの期待値を赤線で、ARMAX-GARCH モデルの 95%信頼区間をピンクの点線で示している。同図より、モニタリングデータの全体的な傾向が提案モデルの 95%信頼区間の中で表現されていることが見て取れる。しかしながら、モデルの期待値部分だけではモニタリングデータを十分に表現できていないことがわかる。期待値部分はモデルの回帰部分と ARMA 部分により構成されているが、モニタリングデー

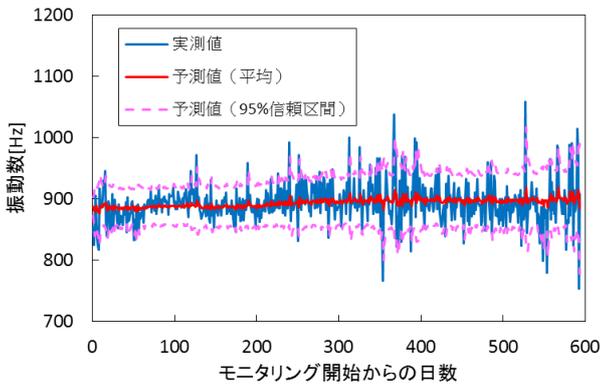


図-2 ARMAX-GARCH モデルの当てはめ

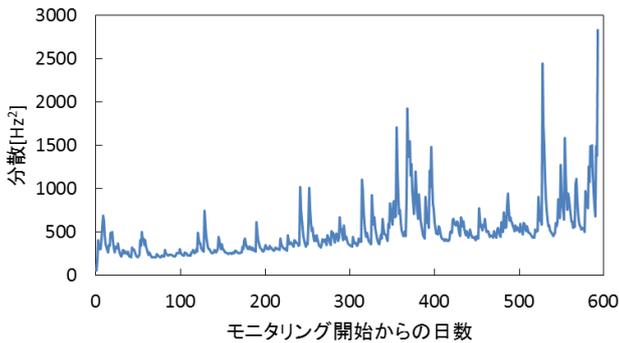


図-3 モニタリングデータの分散

卓越振動数の変動は複雑であり、モデルの期待値部分のみでモニタリングデータを表現することは難しい。そのためモデルに GARCH 過程を導入し、モニタリングデータの分散を詳細に見ていく必要がある。

ARMAX-GARCH モデルを当てはめることによって得られた J2 (800Hz 付近) のモニタリングデータの分散の結果を図-3 示す。モニタリングデータの時間変動が大きい場合、それに応じて分散の値は大きくなる。GARCH 過程を導入することによって、図-3 のようにモニタリングデータの分散が一日ごとに求まる。この結果を利用することによって、モニタリングデータの値そのものの分析のみならず、モニタリングデータの分散の時間的変動に着目した分析が可能となる。

(3) 分散に着目したモニタリングデータの分析

卓越振動数の変化により構造物の健全度診断を試みる研究は多いが、卓越振動数の期待値は損傷や劣化に対する変動が敏感でないことが指摘されており、軽微なジョイント損傷を卓越振動数の変化により判断することは難しい。そこで本研究では、より感度の高い、高次モーメントである分散を指標として採用する。

表-1 に 6 つジョイントの健全度とモニタリングデータの分散の性質 (平均と変動係数) を示す。表中の平均はモニタリングデータの分散の時間平均を、変動係数はモ

表-1 各ジョイントの健全度と分散の性質

	J1	J2	J3	J4	J5	J6
健全度	A	A	A	A	健全	健全
平均[Hz ²]	312	446	246	110	343	55.5
変動係数 [Hz ²]	3.18	2.06	7.28	1.14	1.04	0.506

(健全度は健全, C, B, A, S の順に悪くなる)

ニタリングデータの分散が時間経過に伴いどの程度大きく変動するかを示している。健全度が悪い J1 から J4 と健全度が良い J5 と J6 を比較すると、平均は健全度の違いによる統一的な傾向が見られないのに対して、変動係数は健全度が悪いジョイントにおいて高い値をとり、健全度が良いジョイントでは低くなることが確認できる。すなわち、モニタリングデータの分散の変動係数を算出し、その値を健全度が悪いジョイントにおける変動係数と比較することによってジョイントの健全度診断を行うことが期待できる。

従来は卓越振動数の期待値の変化に着目することが多く、分散に着目しようとしてもモデルの制限から簡易な分析しか行うことができなかった。しかしながら、代表的な時系列モデルである ARMA モデルを GARCH 過程の導入により拡張し、モニタリングデータの分散の変化を追求することによって、具体的には分散の変動係数を算出することによって土木構造物のモニタリングデータ分析に新しい方法論を提示することが可能となる。

4. おわりに

本研究では、提案モデルの ARMAX-GARCH モデルの特徴を利用し、分散に基づくジョイント部材の異常検知の方法論を提案した。今後の課題として、長期記憶性を考慮したモデルとその推計手法の開発や早期異常検知、あるいは詳細点検実施時期の決定のための統計的意思決定アルゴリズムの開発があげられる。

【参考文献】

- 1) 小林潔司：分権的ライフサイクル費用評価と集計的効率性, 土木学会論文集, No.793/IV-68, pp.59-71, 2005.
- 2) Nakatsuma, T.: Bayesian analysis of ARMA-GARCH models: A Markov chain sampling approach, Journal of Econometrics, Vol.95, pp.57-69, 2000.