

GARCH 過程の導入によるジョイント部材のモニタリングデータ分析

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

モニタリング技術の向上に伴い、インフラに対する時系列データは今後ますます蓄積されていくと予想される。しかしながら、長期にわたって得られた定量的データを維持管理における意思決定問題に適用するための方法論は十分に整備されていない。すなわち、モニタリングを通してビッグデータを収集することができたとしても、それをうまく活かす手段がないという現状がある。

本研究では、前述の実務的要請に応えるため、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し、ジョイント部材のモニタリングデータの分析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¹⁾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の様子を表現できることの二点にある。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。

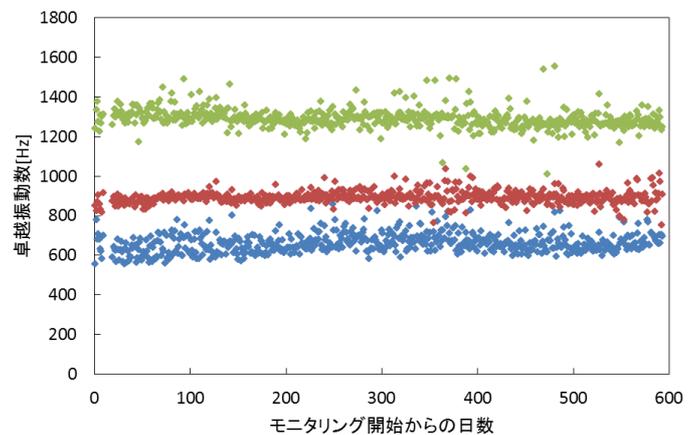


図-1 卓越振動数のモニタリングデータ

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

キーワード 長期モニタリング, 時系列解析, GARCH 過程, ジョイント部材

連絡先 〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1 S1 棟 612 号室 TEL 06-6879-7622

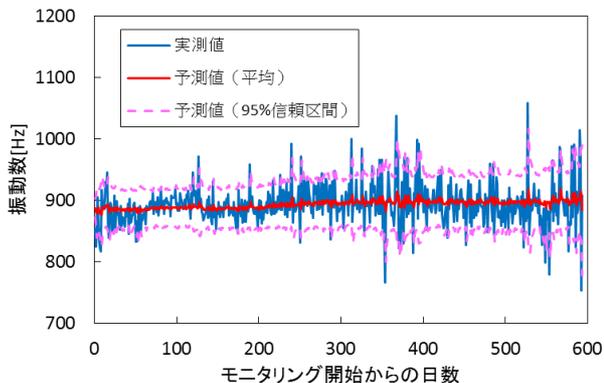


図-2 ARMAX-GARCH モデルの当てはめ

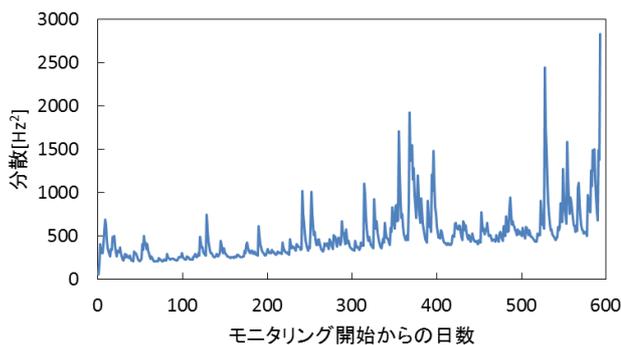


図-3 モニタリングデータの分散

タ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。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異常検知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。

分散に基づく具体的な指標としては、図-3 のような分散の時系列データに対する時間平均、時間経過によるばらつき (変動係数)、そしてボラティリティに対するショックの持続性²⁾の三つが考えられる。ここで、ショックの持続性とは、分散の高い日が連続してどれくらい続く

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
ショック の持続性	0.469	0.459	0.474	0.646	0.321	0.187

(健全度は健全, C, B, A, S の順に悪くなる)

かを表す指標であり、GARCH 過程のパラメータを用いて計算される。

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, 標準偏差, ショックの持続性) を示す。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、変動係数とショックの持続性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あるいはショックの持続性を算出し、健全度が悪いジョイントにおける値と比較することによってジョイントの異常検知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が、GARCH 過程の導入により、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、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、ジョイント部材のモニタリングデータを分析する方法論を提案した。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詳細点検実施時期の決定のための方法論の開発があげられる。

参考文献

- 1) Nakatsuma, T.: Bayesian analysis of ARMA-GARCH models: A Markov chain sampling approach, *Journal of Econometrics*, Vol.95, pp.57-69, 2000.
- 2) 渡部敏明, 木島正明: ボラティリティ変動モデル, 朝倉書店, 2000.