

## ICT 技術を活用した道路付帯施設異常検知手法の研究 (SI-F 法による確率的異常検知)

|            |     |     |    |
|------------|-----|-----|----|
| 中日本高速道路(株) | 正会員 | ○山本 | 浩司 |
|            | 非会員 | 及川  | 敏  |
| 能美防災(株)    | 正会員 | 山岸  | 貴俊 |
|            | 非会員 | 中野  | 主久 |
|            | 非会員 | 中村  | 洋幸 |
| 群馬大学       | 正会員 | 岩崎  | 篤  |

### 1. 目的

高速道路には道路情報板設備、照明設備等、様々な道路付帯施設が設置されている。仮にこれらの施設が経年劣化し、道路上に落下した場合、重大な事故の発生につながる可能性がある。そのようなリスクを未然に防止するため、道路管理者により検査が実施されているが、既往の検査手法は目視による定期検査が主流であり、早期に経年劣化を発見できる手法は確立されていない。このため、中日本高速道路株式会社 東京支社（以下「C-NEXCO」という。）では、高速道路における安全性向上に向けた取り組みとして、経年劣化に起因するリスクの想定、およびこの結果、想定されたリスク源の評価に必要な計測データの収集・解析が進めている。懸念される経年劣化の一つとしては、疲労破壊が挙げられる。疲労破壊と作用外力との関係は S-N 曲線等の評価法が確立しているため、C-NEXCO では、道路情報板設備を対象に加速度計を実装、作用外力を計測し、そのデータを収集・解析することにより、疲労破壊による寿命を予測する取り組みを実施している。<sup>[1][2][3]</sup>

本研究では、ここで収集された計測データを、SI-F 法を用いて分析することにより、変形、ボルトの緩み等の異常を検知する手法の研究を実施したので報告する。

### 2. 疲労破壊による寿命予測

C-NEXCO では、疲労監視システムを導入し、経年劣化が懸念されている道路情報板設備 207 面（2022 年度末現在）を対象に、耐候性が高く長寿命な加速度計を実装、計測データを収集している。さらに、加速度・ひずみ相関係数の推定が完了した道路情報板設備を対象に、①計測データから応力を予測、②レインフロー法によって応力の振幅と頻度を求め、③S-N 曲線と修正マイナー則から累積損傷度を求め、④疲労寿命を予測している。（図-1、2）

### 3. 変形、ボルトの緩み等の異常検知（SI-F 法）

前述のとおり、C-NEXCO では、道路情報板設備を対象に加速度計を実装、疲労破壊による寿命を予測する取り組みを実施しているが、変形、ボルトの緩み等の異常検知は、現時点では出来ていない。しかし、ここで収集された計測データと道路管理者により行われた検査結果を分析したところ、計測データと異常の発生には一定の関係が認められたため、本研究では、ここで収集された計測データに対し統計的評価手法である SI-F 法（Statistical Structure Integrity Investigation method using the F-test）<sup>[4]</sup>を用いた異常検知手法の適用可能性について検証を実施した。

SI-F 法は、正常状態および稼働状態の診断対象から得られた各データ群より応答曲面法を用いて、計測データ間の相関を同定し、両応答曲面の同等性検定から損傷等の状態の変動を検知する手法である。



図-1 疲労監視システムの運用

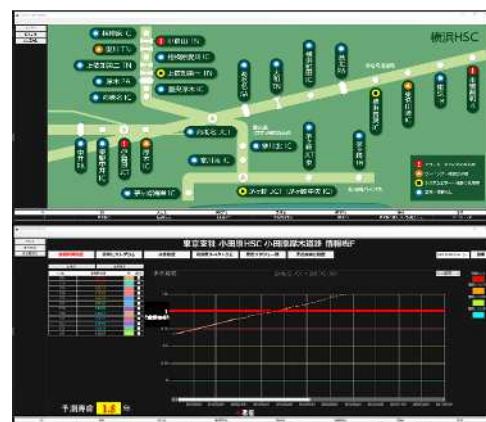


図-2 疲労監視システム管理画面

キーワード 機械学習、劣化診断、SI-F 法、振動解析、ICT 技術

連絡先 〒216-0024 神奈川県川崎市宮前区南平台 1-1 道路管制センター TEL044-865-8951

SI-F 法のアルゴリズムは、特定の構造物以外にも適用可能であり、設備ごとに学習と診断を行うため個体差が存在する設備に対しても適応可能である。SI-F 法では、正常時（Intact）および診断時（Test）の計測データを AR モデル（自己回帰モデル）により自己相関評価を行い、両回帰式の係数同等性を F 検定を用いることによる異常検知を行う。本研究では算出される F 値の評価から提案手法の有効性を検証した（図-3）。

なお、検証では、F 検定による F 値の算出を複数回行い、F 分布と F 値中央値を算出した。この結果から、状態判別指標の1つである逸脱率について複数の有意水準を用いて算出し、状態判別に適当な有意水準の検討と有効性の確認を行った。さらに、F 値中央値を用いた変動比の算出を行い、状態判別指標としての有効性検証と状態変動の程度に対応した指標であることを確認した。

（図-4）これらの検証の結果を図-5、6 に示す。

この結果から、異常状態では、固有振動数の大きな低下に連動する形で、F 値中央値、逸脱率は 0.8 以上、変動比は 5 以上増加し、SI-F 法の適用性が確認できた。

#### 4. おわりに

本稿では、道路情報板設備の状態変化に対する SI-F 法による状態異常検知法の検討を行った。結果、高精度な正常・異常判別が可能であることが確認できた。

今後は、本研究成果の現場での活用・適用に向けて

の検討を実施し、もって高速道路利用における更なる安全性向上に務めることとしたい。

#### 参考文献

[1] 緒方健治ほか：ICT 技術を活用した道路付帯施設構造検査手法に関する研究（その1：シミュレーション解析及び加振実験概要）、土木学会第 69 回年次学術講演会概要集、I-092、2014.08

[2] 山本浩司ほか：ICT 技術を活用した道路付帯施設構造検査手法に関する研究（その2：加振時挙動および応力振幅）、土木学会第 69 回年次学術講演会概要集、I-091、2014.08

[3] 山本浩司ほか：ICT 技術を活用した道路付帯施設構造検査手法の研究、土木学会第 73 回年次学術講演会概要集、VI-447、2018.08

[4] 岩崎篤ほか：統計的無学習損傷診断法を破損確率導出法および検査計画策定法の検討、日本機械学会論文集(A 編)、77 巻 783 号 2011

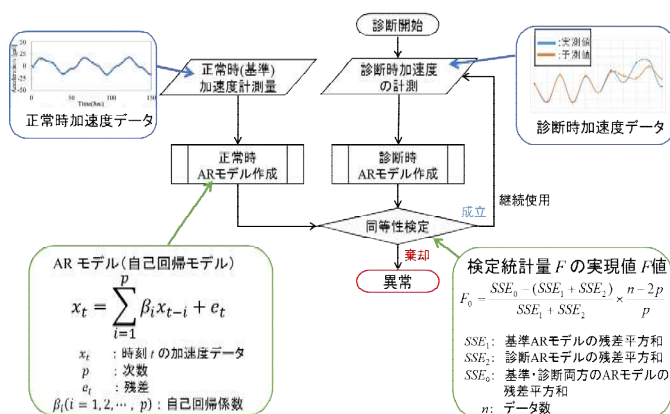
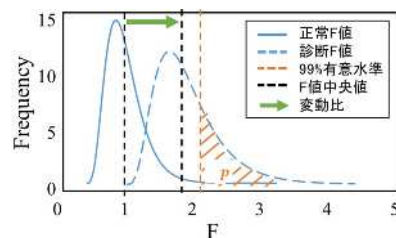


図-3 SI-F 法の概要(異常検知手順)



$$F_{Me} = \frac{F_{0r} + F_{0r+1}}{2}$$

$$F_r = \frac{F_{diagnosis}}{F_{intact}}$$

$$p = \frac{X}{r}$$

$F_{Me}$  : F値中央値  
 $F_0$  : 実測F値  
 $r$  : 試行回数  
 $F_r$  : 変動比  
 $F_{diagnosis}$  : 診断分布F値中央値  
 $F_{intact}$  : 基準分布F値中央値  
 $p$  : 逸脱率  
 $X$  : 有意水準を超えたF値の数  
 $r$  : 試行回数

図-4 状態判別指標

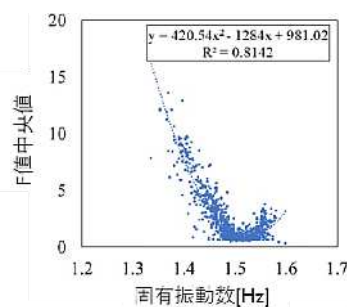


図-5 検証結果  
 (固有振動数, F 値中央値)  
 E1 東名(下り線) 焼津 IC

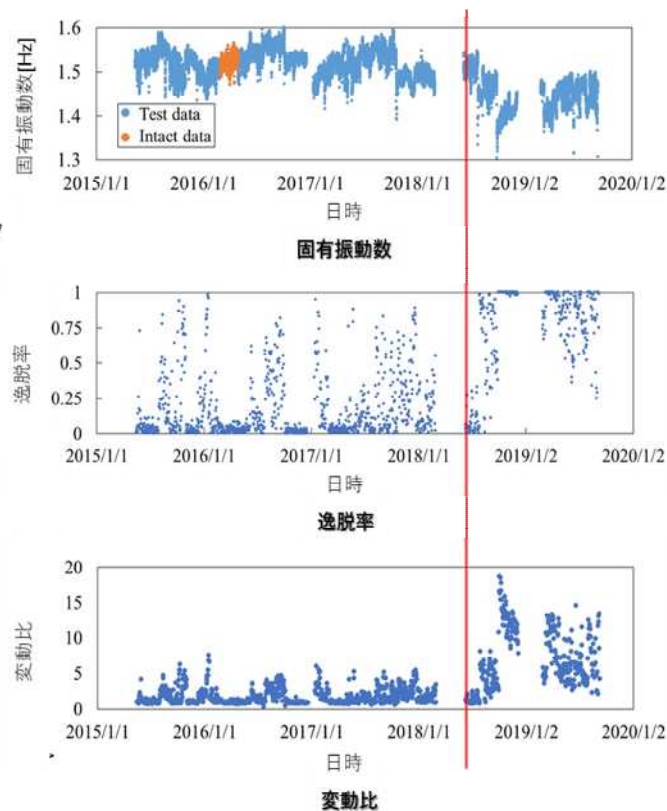


図-6 検証結果(固有振動数, 逸脱率, 変動比)  
 E1 東名(下り線) 焼津 IC