

電車線コネクタの疲労特性の定量的評価手法について

山下 主税* (鉄道総合技術研究所)

近藤 真吾 延原 隆良 (西日本旅客鉄道)

Quantitative evaluation method of fatigue property of connector
 Chikara Yamashita* , (Railway Technical Research Institute)
 Shingo Kondo, Takayoshi Nobuhara, (West Japan Railway Company)

The connector oscillation examination of the past does not seem to evaluate fatigue property of connector properly, because the examination disregards the vibration property that depends on shape and lead wire of connector. To evaluate fatigue durability of connector quantitatively, we suggest the evaluation method of fatigue property of connector based on the transfer function.

キーワード : コネクタ, 疲労, 伝達関数, インパルス応答関数
 (Connector, fatigue property, transfer function, impulse response function)

1. はじめに

電車線のコネクタ損傷の原因は、コネクタリード線の金属疲労による素線切れが多い。JIS におけるコネクタ振動試験は、一定の振幅 20mm、周波数 3~5Hz で加振を行うものである。しかし、コネクタは形状や線種に依存する振動特性を有するため、特定の振幅・周波数での試験結果で振動耐久性を的確に評価できるとは限らない。そこで、ランダム加振試験により得られる伝達関数に基づく疲労特性評価手法を提案する。

2. コネクタリード線のひずみ推定手法

〈2・1〉 伝達関数 コネクタの疲労特性に振動特性を加味するためには、多様な振動周波数に対する応答性（伝達関数）を求める必要がある。コネクタの伝達関数は、ランダム加振試験より容易に算出できる。例として、図 1 上のような疑似ランダム波で加振した場合の加振変位を示す。疑似ランダム波の周波数範囲はコネクタの固有振動数と S/N 比を考慮して決定する。測定項目は加振変位、イヤ付け根のリード線ひずみである。図 1 下に MT コネクタを加振した場合のひずみ実測例を示す。得られた変位とひずみのデータを周波数解析することにより、図 2(a)(b)のような伝達関数が得られる。

〈2・2〉 インパルス応答関数 前項で得られた伝達関数のゲインを $|H(\omega)|$ 、位相を $\angle H(\omega)$ とすれば、インパルス応答関数 $h(m)$ は次式で求まる

$$h(m) = \frac{1}{2\pi} \sum_{k=f_{min}}^{f_{max}} |H(k)| \cos(\angle H(k) + 2\pi km\Delta t) \Delta f \quad \dots\dots\dots(1)$$

f_{max} : 最大適用周波数、 f_{min} : 最小適用周波数、
 Δt : サンプリング周期、 Δf : 周波数きざみ、 m : 次数

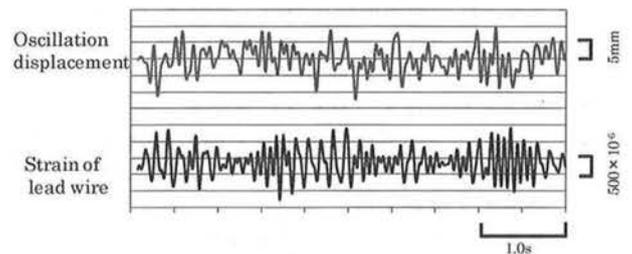
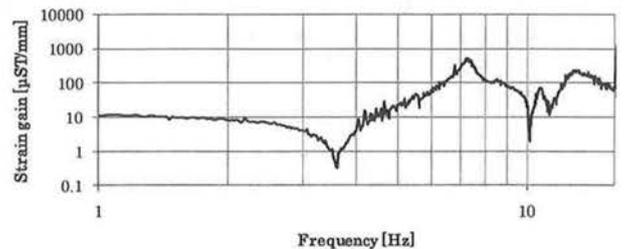
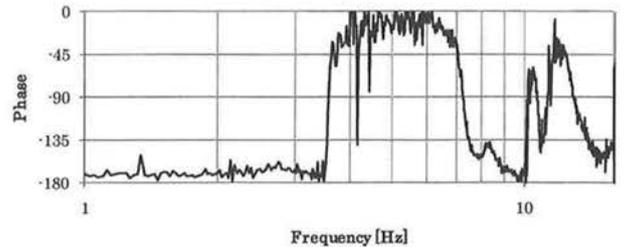


図 1 疑似ランダム波と測定ひずみ例
 Fig.1 Example of oscillation displacement and measured strain of lead wire



(a) Gain



(b) Phase

図 2 伝達関数
 Fig.2 Transfer function

(1)式で得られたインパルス応答関数を、次式のようにトロリ線の加振変位 $x(t)$ に畳込み積分することで、出力であるひずみ $y(t)$ を推定できる。

$$y(t) = \sum_{k=-m}^m x(t-k)h(k)\Delta t \quad \dots\dots\dots(2)$$

ただし、インパルス応答関数が適用できるのは、入力と出力の関係が線形である場合に限られる。

3. 定量的な疲労特性評価手法の提案

図 3 に営業線において観測したトロリ線実振動波形と、(2)式によって推定したひずみ波形の例を示す。この図より、推定ひずみ波形はパンタグラフ通過時のトロリ線ひずみ波形に見られるようなピーク波形ではなく、同等のひずみ振幅が複数回発生するものとなった。このことから、ひずみの発生回数はパンタグラフ通過回数と必ずしも一致せず、ひずみがコネクタリード線の疲労限度相当値を超える場合は、最大・最小値を以て疲労損傷を評価することは危険側となる。したがって、定量的な疲労寿命推定には図 4 に示すレインフロー法⁽¹⁾などの波形計数処理手法を用いる必要がある。

コネクタの疲労損傷度評価フローを図 5 に示す。

- (1) 疑似ランダム波加振試験によりコネクタの伝達関数(ゲイン、位相)を求める。
- (2) 伝達関数からインパルス応答関数を求める。
- (3) インパルス応答関数をトロリ線の振動波形に畳込み積分することで、コネクタリード線に発生するひずみ波形を推定する。
- (4) レインフロー法により波形計数処理を行い、各ひずみ振幅の発生回数を計数する。
- (5) 別途リード線の疲労寿命特性(いわゆる S-N 曲線)を求め、前項の計数結果と修正マイナー則により 1 編成通過時の疲労損傷度を求める。
- (6) 想定使用年数より通過列車の総本数を予測し、累積疲労損傷度を予測する。累積疲労損傷度が 1.0 に達すると疲労破断に至るが、安全率を加味した 0.3 を超えるかどうかを判定する。

この手法の利点は、リード線の疲労寿命特性をあらかじめ把握しておくことで、コネクタの振動耐久試験を行わずとも、疲労損傷度というパラメータを使うことで、定量的評価が可能となることである。

4. まとめと今後の課題

疑似ランダム波加振による伝達関数測定、インパルス応答関数作成を行い、別途測定したトロリ線実振動波形により、リード線に発生するひずみの推定を試みた。これにより、レインフロー法を用いることで疲労損傷度という定量的評価が可能となると考える。

伝達関数はコネクタの形状やリード線種によって異なるため、それらを考慮することで多種コネクタ間の疲労特性を比較評価できる。また、ばね定数や減衰比、動的質量をパラメータとして抽出することができれば、振動理論に基づくコネクタ設計も可能と考える。

今後はひずみ推定手法の妥当性検証、トロリ線振動波形の一般化およびリード線の疲労寿命特性把握を行う予定である。

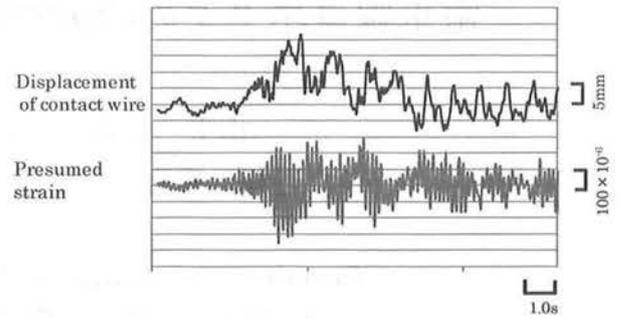


図 3 トロリ線振動波形と推定ひずみ
Fig.3 Displacement of contact wire and presumed strain

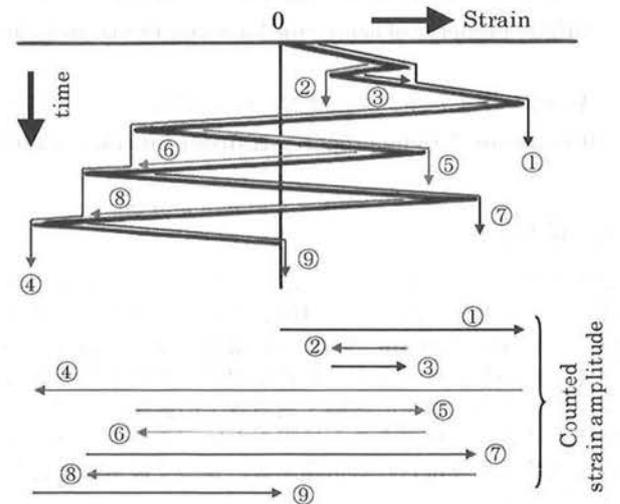


図 4 レインフロー法による計数処理
Fig.4 Rain-flow method

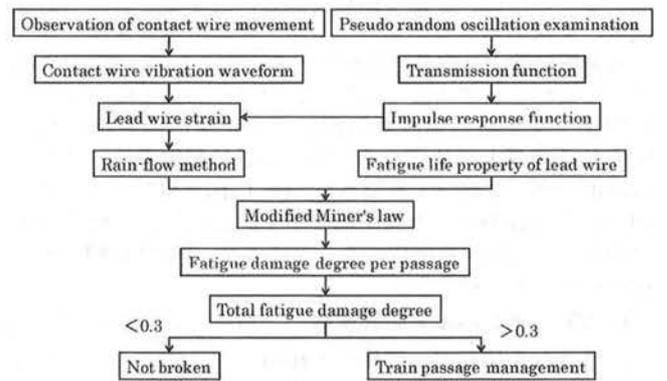


図 5 コネクタ疲労損傷度評価フロー
Fig.5 Evaluation flow of fatigue damage of connector

文 献

- (1) 遠藤達雄, 井上肇:「レインフロー法の考え方とその応用」, 日本造船学会誌, No. 706, pp. 204, (1988)