3708 高速走行時のトロリ線ひずみ評価

○[機]網干 光雄 , [機]常本 瑞樹 (鉄道総合技術研究所)

Estimation of Contact Wire Strain in High-speed Operation Mitsuo ABOSHI Mizuki TSUNEMOTO (Railway Technical Research Institute)

The contact wire strain is one of the most important indices to evaluate the safety of current collection system in high-speed operation. The authors inspected the wave form of contact wire strain at several points calculated by the dynamic simulation of catenary-pantograph system. As a result, it is shown that the estimated S·N characteristics derived by the rain flow method are divided two groups, one is at hard spot and another is at non-hard sport. It is expected to heighten the permissible value of contact wire strain at non-hard spot in comparison with the conventional value.

キーワード:電気鉄道,集電,トロリ線,ひずみ,レインフロー法,硬点 Keywords:electric railway, current collection, contact wire, strain, rain flow method, hard spot

1. はじめに

トロリ線のひずみ(応力)は、特に新幹線高速走行時に おける評価項目として近年重要な位置付けとなっている。 通常は、トロリ線にひずみゲージを貼り付けて測定するが、 測定箇所で必ずしも最大値が発生するとは限らず、また一 方、多数の箇所において測定することは実用的ではない。 そこで、架線の静高さ等を連続的に精密測定し、パンタグ ラフ通過時のトロリ線ひずみを当該範囲で推定する電車線 動特性評価法がすでに開発されている¹⁰。さらに広範囲で 効率的な手法として、パンタグラフの接触力からトロリ線 ひずみを連続区間にわたって推定する研究も進められてい る²⁰。

一方,近年の新幹線高速化に伴い比較的大きなひずみが 観測されるようになり,従来からの最大値のみによる管理 手法から,時刻暦波形に基づくレインフロー法による管理 手法が採用されつつある³³。しかしながら広範囲にわたっ て時刻暦波形に基づく評価を行うのは実用的でなく,例え ばパンタグラフ点におけるトロリ線ひずみを基に評価でき れば,前述の接触力による管理も現実的となる。

本論文では、高速走行時のトロリ線ひずみの評価法に関 して、運動シミュレーションにより径間内各位置における トロリ線ひずみの時刻暦波形を算出して、振動疲労特性に 基づく最大値およびレインフロー法による評価法の特性に ついて検討を行う。

2. 運動シミュレーションによるひずみ計算

今回の対象とする架線構造は、CSシンプル架線とヘビ ーコンパウンド架線の2形式とした。いずれも架線は6径 間とし、評価区間を第4径間とした。支持点に曲線引金具 (等価質量1kg)、第1ハンガの終点方2mの位置にコネクタ (トロリ線側の等価質量1kg)を設定した。質点間隔を0.1m, 各線条の損失係数を0.001として減衰補正¹¹を行った。パン タグラフは、PS205型(3元系)1台とした。

定点観測点は、支持点(曲線引金具取付箇所)、コネクタ 取付箇所の他、ハンガ点、ハンガ間中央の計10点とし、さ らに著大ひずみが観測された3点を選んでその箇所の時刻 暦波形も求めた。走行速度は、通常の運転速度を超える速



[No.09-65] 日本機械学会第16回鉄道技術連合シンポジウム講演論文集〔2009-12.2~4. 東京〕



Fig.2 Wave form example of contact wire strain (CS-simple catenary; 360km/h)

度も含めて、CSシンプル架線では260~400km/h、ヘビ ーコンパウンド架線では240~320km/hの20km/hきざみと した。例として、図1にCSシンプル架線の架線構造と 観測点を、また図2にトロリ線各部のひずみの時刻暦波 形例を示す。

3. レインフロー法による評価

振幅 σ_i のひずみを反復して与えたときに破断に至るま での繰り返し回数 N_i とすると、このひずみが n_i 回与えられ た場合の疲労被害は n_i/N_i となる。よって1列車あたりの疲 労被害は $C=\Sigma n_i/N_i$ と計算でき、この値が累積されて1を超 えたときトロリ線は破断することになる。レインフロー法

(Rain Flow Method) は、任意の振幅σ_iのひずみがトロリ 線に発生する回数n_iをカウントする一つの方法である。図 3に、レインフロー法の適用方を示す³⁰。レインフロー法 では、名前のごとく、時間軸を縦にしたひずみ波形を想定 し、上から雨を降らせて、複数の屋根(ひずみ波形)上の 雨滴の動きを追ってカウントする方法である。

今回の対象とした架線に使用されているトロリ線の S-N曲線については、参考文献(4)を引用する。レインフ ロー法を適用するにあたって、これらのS-N曲線を2本の 直線で近似する。図4に、例としてCS110(新品)、張力 19.6kNの場合のS-N曲線を示す。

図5~6に、レインフロー法によるトロリ線ひずみ評価結果をS-N曲線上に示す。縦軸はその箇所でパンタグラフ通過時に観測された最大ひずみとし、横軸は破断回数を表す。点線上の各点は、最大ひずみ値を片振幅とする











Fig.5 Estimated strain of contact wire (CS-simple catenary; CS110/19.6kN)



Fig.6 Estimated strain of contact wire (Heavy-compound catenary; GT170/14.7kN)

正弦波で加振したと仮定した場合のS-N曲線であり,図4と 同じである。一方その他の点は、当該箇所の時刻暦波形に 基づいてレインフロー法で評価した結果であり、これらは 大きく分けて2つのグループに集約できる。一つは実線で 表したもので、支持点箇所(曲線引金具)、コネクタ箇所、 ハンガ点である。もう一つは破線で表したもので、ハンガ 間中央、その他著大値(ハンガ間)である。前者は波動が 反射する硬点性の箇所であり、後者は波動反射のない非硬 点性の箇所である。

4. 考察

図5~6から,ひずみ評価に関して考察する。 (1)最大ひずみが小さい領域(おおむね500µ程度以下)に おいては、レインフロー法による破断回数が正弦波加振に よるそれに比べて低下している。しかし破断回数は10⁷~ 10⁶回程度であり,特に問題視する必要はないと考えられる。 (2)最大ひずみが大きい領域(おおむね500µ程度以上)に おいては、レインフロー法による破断回数が正弦波加振に よるそれに比べて増加している。これは正側の最大ひずみ



Fig.7 Elastically supported beam model



Fig.8 Contact wire strain calculated by elastically supported beam model



sine wave non-hard spot hard spot hard spot (heavy)



(CS-simple catenary)

(引張)に対して負側の最大ひずみ(圧縮)が小さいこと によるものである。

(3) ひずみの時刻暦波形は, 硬点性の箇所では正側の最大ひ ずみ(引張)が発生する前後に比較的大きい負のひずみ(圧 縮)が観測されるのに対して, 非硬点性の箇所では負側の ひずみが小さいことが特徴である。図7に, 弾性支床梁モ デル⁵⁰を,また図8に,これを用いて解析した場合のトロ リ線ひずみ計算例を示す。弾性支床のばね定数をks=0(非 硬点性)とした場合には負側のひずみ(圧縮)が発生しな いが,ksを大きくして硬点性を強めると,パンタグラフ前 後で負側のひずみが発生するようになる。これらの条件と ひずみ波形との関係と、レインフロー法におけるひずみカ ウントを,図9に模式図で表す。

(4)ハンガ点は硬点性箇所にも係わらず,最大ひずみは比較 的小さい。これはパンタグラフ通過時においてハンガ軸力 が減少することにより,パンタグラフ接触力による上向き の力と相殺することによるものと考えられる⁶。

(5) 非硬点性箇所において比較的著大なひずみが発生する 場合は、おおむねその70%程度の最大ひずみを用いて正弦 波加振のS-N曲線で評価する場合とほぼ同等である(図9の 模式図では50%となる)。また図10に示すように、著大値が 発生する箇所も走行速度によって分散する傾向があり、疲 労被害の観点からは緩和される方向である。

(6) 硬点性箇所において比較的著大なひずみが発生する場合は,破断回数は非硬点性箇所と正弦波加振のS-N曲線の中間に位置する。しかし現実にはさまざまな硬点性の状況が考えられ,正側の最大ひずみだけに着目していると危険を見過ごす可能性があるので注意が必要である。

5. おわりに

本論文は、トロリ線ひずみの時刻暦波形が得られない状 況において、パンタグラフ点の接触力または最大ひずみか らトロリ線の疲労被害をどのように評価するかという観点 から考察を行ったものである。

非硬点性の箇所については、従来の正弦波加振を前提と した目安値を緩和できる可能性を示した。一方、硬点性の 箇所については、硬点解析を深度化するとともに、電車線 動特性評価法を併用しながら検証する必要があると思われ る。

参考文献

(1)網干光雄:「動特性計算による架空電車線凹凸の評価法」,電気学会論文誌D, Vol. 126, No. 7, 2006年7月
(2)網干光雄:「パンタグラフ接触力によるトロリ線ひずみ推定法」, 第14回鉄道技術連合シンポジウム(J-RAIL2007), 2007年12月
(3)貴志俊英、藤井保和:「トロリ線疲労評価に対するレインフロー法適用の検討」,電気学会交通・電気鉄道研究会資料TER-04-29, 2004年6月

(4)網干光雄,長沢広樹:「CSトロリ線の振動疲労特性測定結果」,
 平成9年電気学会産業応用部門大会全国大会,1997年8月
 (5)鉄道総研:「電車線とパンタグラフの特性」,研友社,1993
 (6)久須美俊一,網干光雄,倉岡拓也:「パンタグラフ接触力によるトロリ線ひずみ推定の検証記録」,平成21年電気学会産業応用部門大会全国大会,2009年8月