

台車枠溶接部強度評価のための実働応力ひん度分布推定法

車両構造技術研究部 車両強度

主任研究員 織田 安朝

1. はじめに

鋼製溶接構造台車枠の溶接部の強度評価は、JIS E 4207「鉄道車両—台車—台車枠設計通則」(以下、現用JISと記す)にある応力限界図を用い、変動応力としては、設計時にこの規格に基づき見積もられた各種動荷重の最大値により発生する応力(静荷重試験により求める場合が多い)を計算により合成したもの(以下、設計応力値と記す)、または、現車走行試験等によって得られた実働応力の最大値によって行われてきた。

しかし、現用JISの応力限界図は実働応力の最大値が疲労に対する限度を超過するか否かの判定に留まるため、実働応力の発生回数(応力ひん度分布)を考慮した評価、すなわち寿命評価は行えない。設計段階で疲労限度を超えなくとも、設計荷重の見積りが低かった場合、改造した場合、使用条件を変更した場合において、限度を超過する可能性がある。そのような場合、寿命評価が必要となってくる。

寿命評価は一般にマイナーの線形被害側により行われるが、その際は、当該溶接部のS-N線図とともに実働応力ひん度分布が必要である。

実働応力ひん度分布は、現車走行試験を行うことによって得られるが、設計段階および使用条件を変更する際、これを予測する必要がある。そこで、過去の走行試験によって得られた多数の実働応力ひん度分布について、その特性を明らかにすることにより、設計段階等における実働応力ひん度分布の予測を、また、走行条件(速度、区間、積載質量等)による影響について検討を行うことにより、実際に走行試験を行わずとも、おおよそその実働応力ひん度分布の推定を行い寿命予測ができるようにすることを目的として研究を行った。

2. 実働応力ひん度分布特性と10km当たり等価応力値

2.1 実働応力ひん度分布特性

台車枠溶接部の実働応力のひん度分布をレインフロー法により計数した例を図1に示す。縦軸は最大

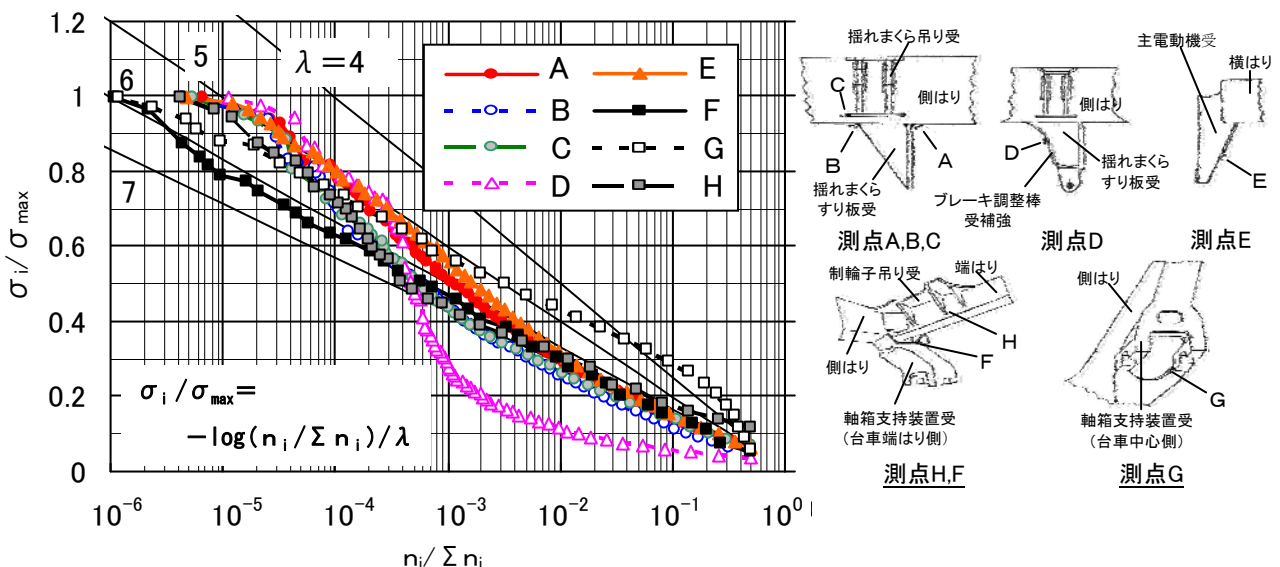


図1 台車枠溶接部の実働応力ひん度分布例

値に対する応力比 σ_i / σ_{max} 、横軸は総繰返し数に対する繰返し数の比 $n_i / \Sigma n_i$ である。
 実働応力の発生ひん度は、一般的な部位について概ね $\sigma_i / \sigma_{max} = -\log(n_i / \Sigma n_i) / \lambda$ の $\lambda = 5 \sim 7$ の線上に分布しており、設計段階において最大応力値 σ_{max} を推定することにより、おおよそのひん度分布が推定できる¹⁾。

2.2 10km当たり等価応力値

後述する走行区間、速度、積空の比較において、ひん度分布を相対的に数値で比較する場合、その指標として10km当たり等価応力値 σ_{eq} を用いるのが便利である。これは、10km当たりの応力ひん度分布をマイナーの線形被害則に基づいて、1回の作用で等価な疲労被害を与える応力振幅に置き換えるもので、計算式は以下による。

$$\sigma_{eq} = [\Sigma (n_i \times \sigma_i^m)]^{1/m}$$

σ_i : 各スライスレベルの応力値

n_i : σ_i の発生ひん度

m : S-N線図における勾配の逆数の絶対値

ここでは、等価応力値 σ_{eq} は、10km当りに換算して求めた。10km当たりとしたのは、次の理由による^{1)~4)}。

寿命までの累積走行距離を $1 \sim 2 \times 10^7$ km とすると等価応力値の繰返し回数が $1 \sim 2 \times 10^6$ 回となる。また、JISの応力限界図による評価に用いられる応力最大値 σ_{max} と本報告で用いる m を 5.5 として計算した10km当たり等価応力値 σ_{eq} を比較した結果、両者間に比較的良好一致が見られる(図2)ことから、10km当たり等価応力値 σ_{eq} を応力最大値 σ_{max} に置き換えることにより、JISの応力限界図の最大値 σ_{max} による評価と関連づけることができ便利である。例えば、実機の疲労試験を行うような場合、注目部位の応力を10km当たり等価応力値 σ_{eq} または最大値 σ_{max} となるよう負荷荷重を設定し、繰返し回数を $1 \sim 2 \times 10^6$ 回まで疲労試験を実施する等、疲労寿命を検討する上で都合がよい。

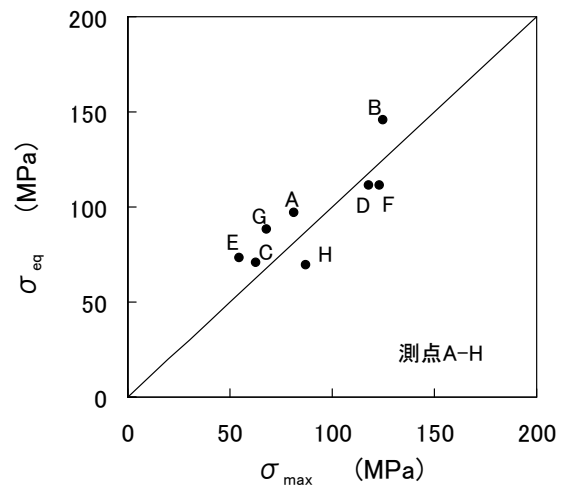


図2 10km当たり等価応力値と
 応力最大値の関係

3. 走行区間、速度、積載荷重の等価応力値への影響

3.1 走行区間の影響

垂直、左右、前後の他に主電動機、駆動装置等の全ての荷重の影響を平均的に受ける測定位置について、異なる線路等級の軌道を走行した時の応力ひん度分布の例を図3に示す。縦軸は設計応力 σ_{design} に対する比 $\sigma_i / \sigma_{design}$ とし、横軸は10km当たりのひん度 $n_i / 10km$ として表した。

さらに各ひん度分布が

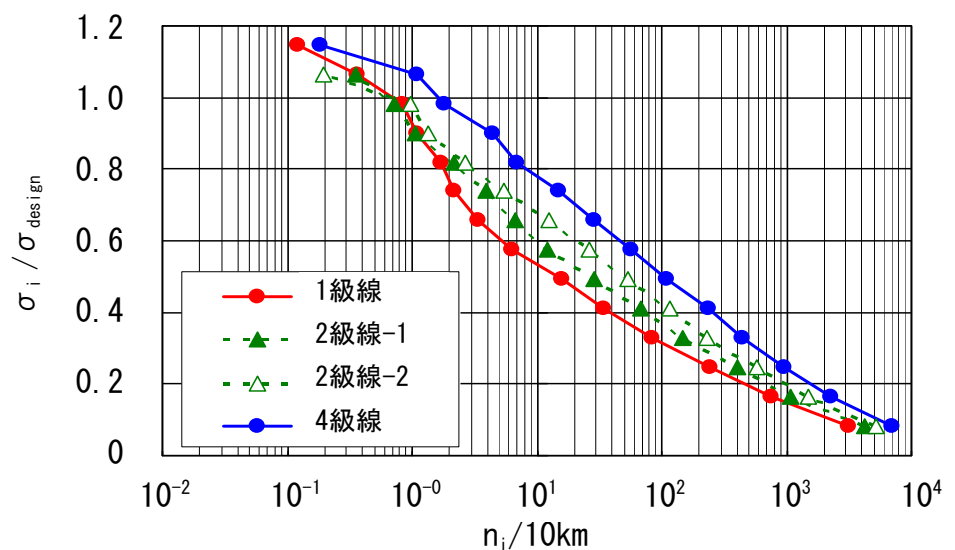


図3 異なる線路等級走行時の応力ひん度分布例

ら10km当たり等価応力値を求め、その1級線(class I track)走行時の値 $\sigma_{eq\ class\ I\ track}$ との比で表すことにより、異なる線路等級の軌道を走行した時の比較を図4に示す。図4の例の場合、10km当たり等価応力値は、2級線(class II track)走行で1級線走行の1.1~1.2倍、4級線(class IV track)走行では1.3~1.4倍程度である^{2),4)}。

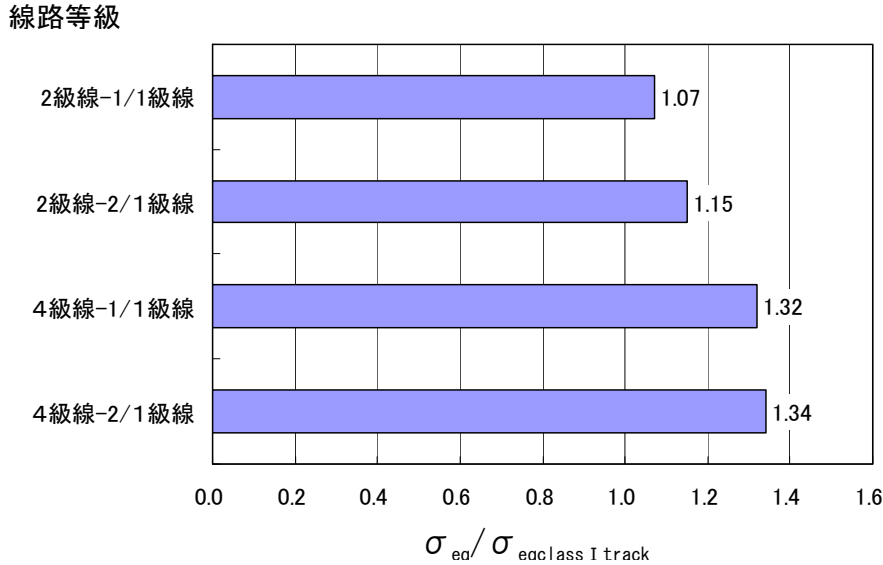


図4 異なる線路等級走行時の比較例

3.2 走行速度の影響

高速走行試験区間における、速度毎の台車枠各部の応力ひん度分布から10km当たり等価応力値を計算し、その速度効果を調査した。基準とする速度 $V_0=120, 130\text{km/h}$ および 240km/h の各速度での10km当たり等価応力値を σ_{eqv0} として、速度の比 v/v_0 と等価応力値の比 $\sigma_{eq} / \sigma_{eqv0}$ の関係として図5および図6に示す。

図中にプロットした各記号●、▲、■、×等は応力測定位置の違いを示しており、測定位置による違いはあるが、10km当たり等価応力値の比は速度の比に概ね比例する傾向が見られる。ただし、 240km/h 以上では2乗で増加する場合も見られる^{2),4)}。

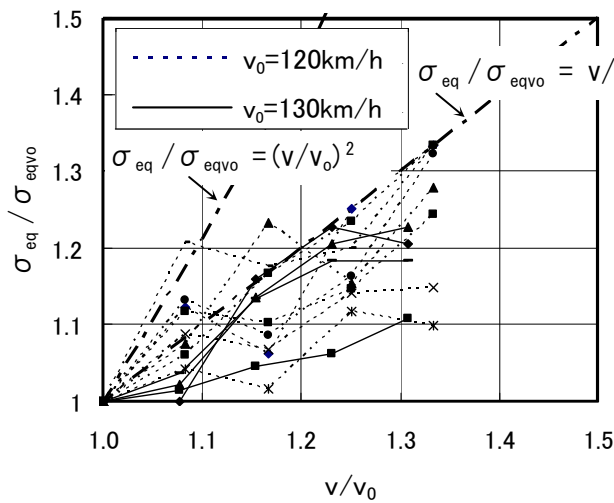


図5 速度効果 ($V_0=120, 130\text{km/h}$)

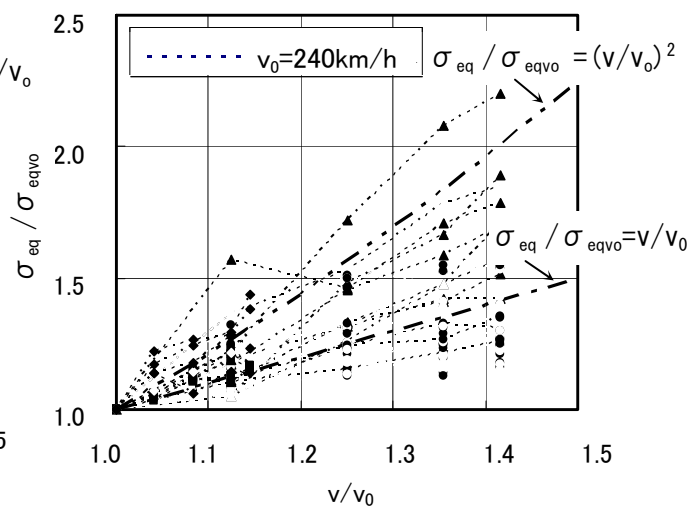
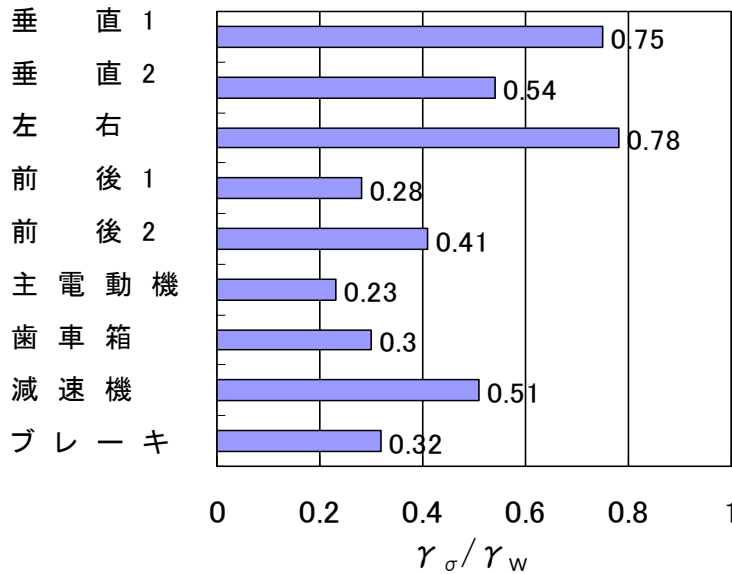


図6 速度効果 ($V_0=240\text{km/h}$)

3.3 積載質量の影響

主に影響を受ける
荷重の項目



$$\gamma_\sigma = (\sigma_{\text{eqloaded}} - \sigma_{\text{eqempty}}) / \sigma_{\text{eqempty}}$$

$$\gamma_w = (W_{\text{loaded}} - W_{\text{empty}}) / W_{\text{empty}}$$

図7 積載質量の影響

比の増分 γ_w の54~75%で、積載質量による影響が大きいものに対し、前後、主電動機、駆動装置およびブレーキの各荷重の影響を受ける測定位置では23~51%程度で、特に主電動機荷重は、積載質量による影響をそれほど受けない傾向が見られる^{2),4)}。

以上の結果を用い、走行条件を変更した後の実働応力ひん度分布の推定を行うには、総繰返し数がほとんど変わらないとして、基準となる現状の走行条件における応力ひん度分布の応力値に、これまでに述べた走行条件毎に比較した10 km当たり等価応力の比を乗じることにより、実際に走行試験を行わずとも、概ねの実働応力ひん度分布を推定することができる。これに基づき、おおよその寿命予測が可能になると考えられる。

文 献

- 1) 織田安朝，八木毅，沖野友洋，石塚弘道：鉄道車両用台車枠溶接部の実働応力ひん度分布に基づく寿命評価法の検討，日本機械学会論文集(A編)，Vol. 73，No. 734，(2007)，pp1171-1176.
- 2) 織田安朝，八木毅，沖野友洋：台車枠溶接部の実働応力ひん度分布特性と走行条件の影響，日本機械学会 第14回交通物流部門大会講演論文集 (No. 05-52)，(2005)，pp351-354.
- 3) 織田安朝，八木毅，山口慎一郎：台車枠溶接部の損傷事例と実働応力に基づく寿命評価法の検討，土木学会 平成14年鉄道技術連合シンポジウム (J-Rail2002) 講演論文集，(2002)，pp375-378.
- 4) 織田安朝，八木毅，沖野友洋，石塚弘道：走行試験条件が実働応力ひん度分布に及ぼす影響 (鉄道車両用台車枠溶接部の実働応力ひん度分布に基づく寿命評価法の検討)，日本機械学会論文集(A編)，Vol. 74，No. 742，(2008)，pp873-878.

発生応力に影響を及ぼす荷重別の測定位置について、各ひん度分布から10km当たり等価応力値を求め、その積車時 σ_{eqloaded} と空車時 σ_{eqempty} との差を空車時 σ_{eqempty} で除した値 γ_σ と軸ばね荷重 W について、その積車時 W_{loaded} と空車時 W_{empty} との差を空車時 W_{empty} で除した値 γ_w との比 γ_σ / γ_w を用い、積車時と空車時の比較を主に影響を受ける荷重項目毎に行った結果を図7に示す。

ここで、 γ_σ / γ_w が1であれば、積載質量の影響を100%受け、逆に0であれば、全くその影響を受けないことになる。

垂直、左右荷重の影響を主に受ける測定位置では、等価応力値の積車時と空車時の比の増分 γ_σ は、軸ばね荷重の積車時と空車時の