

# 鉄道車両用台車枠の疲労強度評価手法

織田 安朝(株式会社テス 技術本部 試作部長(元 鉄道総研))

## はじめに

鉄道車両用台車枠は、車軸などとともに鉄道車両の安全な走行を司る重要な部品であり、疲労損傷などにより折損すると脱線に至る可能性があるため、車軸と同じく、各部に発生する動的な応力が疲労限度以下になるよう設計されています。

しかし、今日においても、設計段階における強度検討不足、溶接施工不良、使用条件の変更などを原因とする疲労損傷が発生する例が見られます。とくに平成13年、ある特定のメーカーにより製作された台車枠に疲労損傷が多発したことを契機に、国土交通省から「鉄道車両の台車枠の検査マニュアルについて」が通達され、重要部および全般検査時における磁粉探傷などによる台車枠の検査が指示されました。

疲労損傷の発生から折損に至るまでには、多くの場合比較的長い時間を要するため、定期検査時に発見することで事故を未然に防ぐことができますが、根本的には損傷を発生させない設計、施工、運用管理などを行うことが肝要となります。

ここでは、現在の台車枠設計の基本となっているJIS E 4207「鉄道車両－台車－台車枠の設計通則」の概要と問題点、これを補完する強度評価手法などについて、私見を交えて紹介します。

## JISに基づく疲労強度評価法と問題点

現行のJISは、1984年に制定されたJISに対して、2004年に一部が改定され、「鉄道車両－台車－台車枠設計通則」となりましたが、基本的には応力限界図(図1参照)を用いて限界を超えないよう設計されます。応力限界図による強度評価に必要な平均応力および変動応力として、設計時にこの規格に基づき見積もられた各種の最大動荷重の負荷時に発生する応力から算出される合成値が使用され、実機を用いた静荷重試験により確認されます。変動応力については、現車走行試験などによって得られた実働応力の最大値が使われることもあります。

ここで、台車枠損傷の多くは溶接非仕上げの止端部から発生します。応力は歪ゲージを用いて測定されますが、溶接止端部における歪ゲージの貼り付けの際は、ゲージ長(5mm)の1/2～1/3を止端部にかけます。

図1は、昭和30年代に設計製造された、損傷事例のある鋼製溶接構造の台車枠について現車走行試験を実施し、JISに基づき溶接非仕上げの止端部で測定を行い、実働応力の最大値 $\sigma_{max}$ を応力限界図にプロットした結果の例です。概ね許容応力を超過しており、JISの応力限界図の妥当性が確認でき、先人が作成した応力限界図の秀逸さには、改めて感嘆せざるを得ません。

しかし、JISの応力限界図による評価は実働応力最大値が限界応力を超えるか否かによって判定するものであり、実台車枠の損傷発生の有無を比較的良好に評価しているものの、疲労による損傷が発生した台車枠、あるいはその可能性が想定される台車枠について、寿命の推定ができないという問題点を有していました。また、溶接部表面に貼り付けた歪ゲージでは表面部の評価しか行えず、溶接ルート部(裏側)から損傷する事例に適用できないという問題点も有していました。

筆者は、2004年に一部が改定されたJISの委員会には委

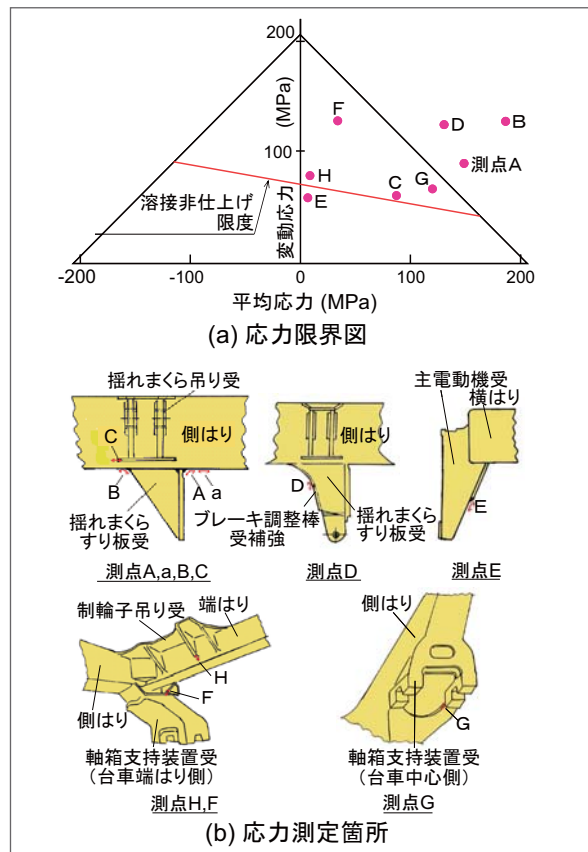


図1 JISの応力限界図による強度評価例

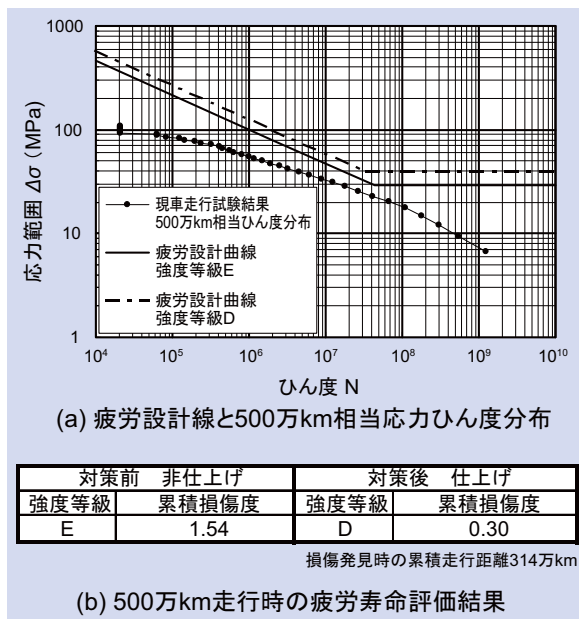


図2 疲労寿命評価結果例

員として参加し、以上の2点について改善案を提案した結果、付属書の形で採用され、これらの問題点が補完されています。

### 寿命推定

JISの応力限界図より溶接止端部を評価する方法は、止端部に貼り付けた歪ゲージで測定された応力により評価するもので、S-N曲線に基づく疲労設計線は与えられておらず、疲労に対する許容応力は溶接継手種別にかかわらず一定となります。

一方、内外の鋼構造物の疲労設計に関する基準の多くは、日本鋼構造協会の疲労設計曲線をはじめ、溶接継手構造毎に作成されたS-N曲線に基づく疲労設計線により、溶接止端部ではなく公称の応力値を用いて、変動応力の発生回数を考慮した寿命評価を行うのが一般的です。

図1で示した昭和30年代に設計製造された損傷事例のある鋼製溶接構造の一部の台車枠について、対象とする溶接止端から20mm離れた平滑な母材部に貼付した歪ゲージにより測定した応力を公称応力とみなし、現車走行試験で得られた応力頻度分布と日本鋼構造協会の疲労設計曲線を用いて、マイナー則により計算した累積損傷度が1を超えるか否かで寿命評価を行い、安全側に適切な評価が行えることを確認しました。

図2は、側ばり揺れまくらすり板受溶接部（公称応力測点は図1(b)のa)について、廃車寿命を500万kmとして評価した例で、非仕上げでは累積損傷度が1を超え損傷しますが、対策として仕上げた場合は1を下回り損傷しない

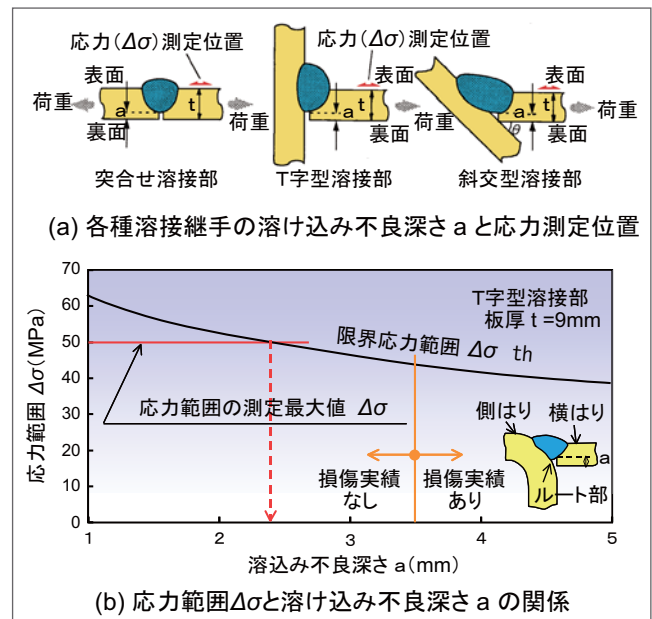


図3 溶接ルート部の評価例

結果となり、対策後において使用期間中に損傷しなかったことを裏付ける結果となっています。

### 溶接ルート部の評価

台車枠では、片面開先溶接が多く使われ、完全溶け込みを目指してもルート部には、小さな溶け込み不良が存在すると思えなくてはなりません。この溶け込み不良をき裂とみなして破壊力学的手法を用いてルート部を評価する方法が用いられるようになりました(図3参照)。

破壊力学のパラメータである応力拡大係数範囲  $\Delta K$  は  $\Delta K = F\Delta\sigma(\pi a)^{1/2}$  (Fは補正係数、 $\Delta\sigma$ は公称応力範囲、aは溶け込み不良深さ) で表され、 $\Delta K$ が亀裂進展の応力拡大係数の下限界値  $\Delta K_{th}$  を超えなければ、ルート部からき裂は発生しないとみなします。

上式により応力範囲  $\Delta\sigma$  と許容できる溶け込み不良深さ a の関係を求め、過去に損傷事例のある台車枠の検証をし、適切な評価が行えることを確認しました。図3は側ばりと横ばり接合部の溶接ルート部からの損傷を評価した例で、現車走行試験で得た変動応力範囲の最大値50MPaでは許容できる溶け込み不良深さは2mmとなり、実際の損傷実績は3.5mmを超えることから、安全側に評価されています。

### おわりに

筆者が台車枠の疲労強度に関して従事した業務のうち、とくに台車枠設計において、広く一般に用いられるJISに関連した成果について紹介しました。ご参考になれば幸いです。