

住友金属 ○牧野泰三 住友金属 山本三幸
住友金属 下川嘉之 住友金属 仲田摩智

Fatigue Property and Allowable Stress of Cast Steel for Railway Bogie Frame

Taizo MAKINO, Miyuki YAMAMOTO, Yoshiyuki SHIMOKAWA and Machi NAKATA

1 緒 言

鉄道車両用台車枠は鋼板および鋳鋼部品による溶接構造体である。鋳鋼は材料創生と形状形成を同時に行えることから合理的であり、また鋳鉄よりも延性や溶接性に優れることから台車枠に使用されている。しかしながら、鋳造特有の欠陥が内部に残ることがあり、表面検査だけではこれが残存し、疲労強度に影響を及ぼすことがある。したがって強度設計においても十分注意する必要がある。

台車枠の設計許容応力は鋼板母材と溶接部について JIS E4207¹⁾で規定されているが、鋳鋼母材については解説に記載があるものの規定されるに至っていない。沖野ら²⁾は実台車枠の鋳鋼部品より切出した試験片について疲労試験を行い、得られた疲労限度の80%を設計許容応力として提案しているが、表面肌の影響や破壊確率といった議論はなされていない。

そこで本報告では、鋳鋼の設計許容応力を検討するため、種々の表面肌を有する試験片を用いて軸力、曲げ疲労試験を行い、その結果に基づき確率疲労特性と負荷形式の影響の観点から設計許容応力を検討した。

2 試験片および実験方法

2.1 供試材 供試材は SC450 である。鋳造条件および鋳造後の熱処理は台車枠用鋳鋼部材で標準的に用いられているものと同じとし、実体台車枠と同様な鋳造欠陥や表面肌が再現されるようにした。供試材の硬さは HV150~160 であった。

2.2 試験片 Fig.1 に試験片形状を示す。試験片の中央平行部は 16.5mm×10mm の四角形であり、コーナー部は R1mm 程度にグラインダーで仕上げている。試験片には Table.1 に示すように中央平行部の表面肌の状態によって3種類に分類される。すなわち、AC は平行部の4面とも鋳肌のまま、CM は表面が鋳肌で側面が機械加工肌、AM は4面とも機械加工肌となっている。また、試験片セット時の曲げを極力回避するように、試験片のつかみ部は平行部と中心線が一致するように全面機械加工した。なお、試験片鋳肌の表面粗さは R_a で 7~10 μm 、 R_{max} で 30~60 μm であった。

2.3 実験方法 疲労試験は、基本的には軸荷重で行っており、CM のみ平面曲げでも行った。軸荷重では試験片中央平行部の全4面にひずみゲージを貼付し、軸心を調整しつつ、試験機に取り付けた。一方、平面曲げでは同じ形状の試験片を用いて3点曲げの方式で支持側の2点

のピン間距離が80mmになるように試験機に取り付けた。なお、試験機は電気油圧サーボ型疲労試験機である。

応力比は0.05と0.5の2条件(AMの軸荷重とCMの平面曲げでは0.05のみ)、打ち切り繰返し数は 1×10^7 回とし、試験周波数は5~10Hz、環境は室温大気中とした。

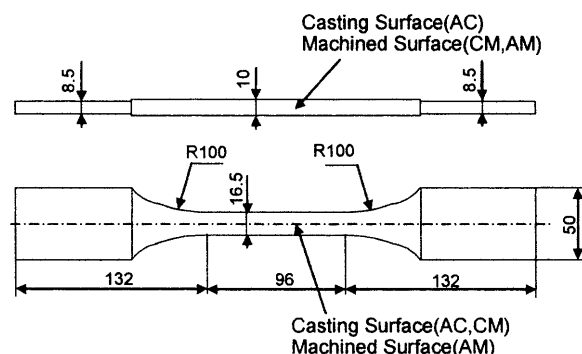


Fig.1 Configuration of specimen.

Table.1 Classification of Specimen.

Mark	Surface condition
AC	All casting surface
CM	Front: Casting surface Side: Machined surface
AM	All machined surface

3 実験結果

Fig.2 に公称応力で整理した S-N 線図を示す。これより、表面状態の影響としては中央平行部の全部／一部が機械加工肌である AM および CM と比較して、全面が鋳肌である AC の方が高強度であることがわかる。これは、軸荷重ではほとんどの試験片が欠陥を起点に破断しており、その欠陥が AC では内部、AM および CM では機械加工面に接する位置に存在していたこと、破壊力学的には表面き裂の応力拡大係数は内部き裂のそれより約 30%大きいこと³⁾から説明がつく。

負荷形式による比較では、軸荷重よりも平面曲げの方が大幅に高強度であることがわかる。また、平面曲げではほぼ全ての試験片が高応力となる鋳肌表面を起点に破壊していた。この結果は、鋳肌付近は内部よりも鋳造後の冷却が速く欠陥が生じにくいこと、そのため、内部よりも鋳肌表面の方が高応力となる、平面曲げのような負荷形式では欠陥の影響を受け難いことに起因している。

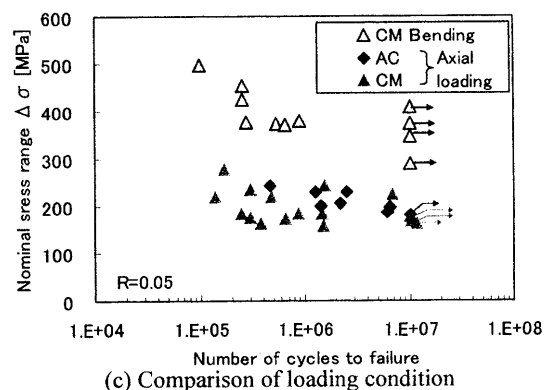
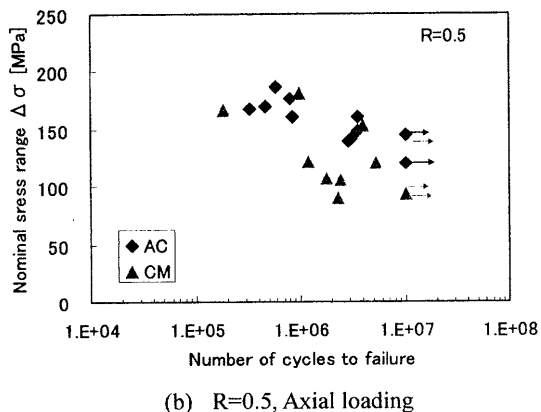
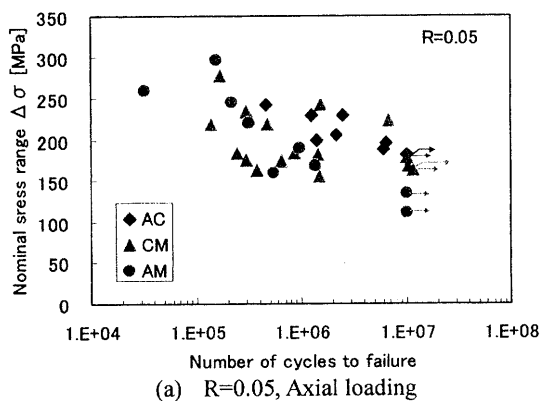


Fig.2 S-N diagram.

4 設計許容応力の検討

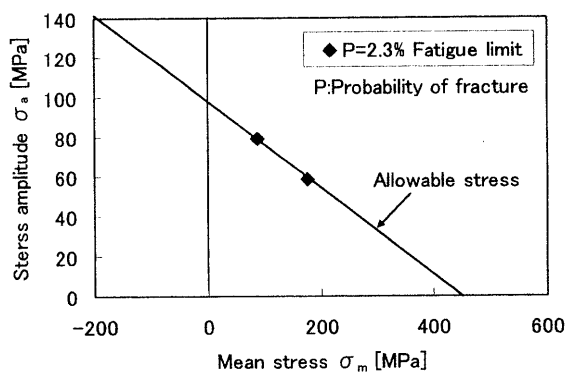
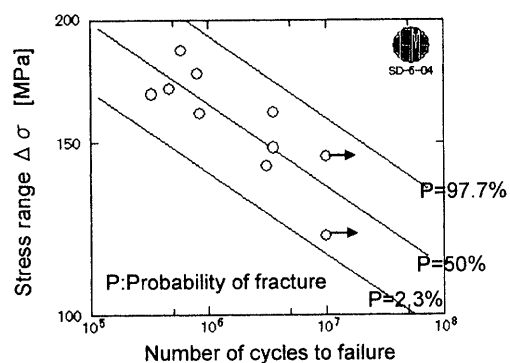
ここでは、上記した疲労試験結果を統計的に処理し、設計許容応力を求めた。この時、以下を前提とした。

- 1) 実体台車枠では外表面は基本的に鋳肌であることから、AC の内部欠陥を起点とした試験データを用いる。本データは軸荷重によるものであり、負荷形式の観点からは安全側の評価となる。
- 2) 疲労強度は対数正規分布に従うものとする。
- 3) S-N 曲線の折曲がりとは考慮せず、 1×10^7 回強度を耐久限度とする。
- 4) 破壊確率 2.3% を基準として許容応力を設定する。
- 5) 材料と応力比毎に求めた P-S-N 特性の内、最も大きい変動係数を全条件に適用する。

Fig.3 に変動係数が最も大きくなった AC の R=0.5 について、日本材料学会標準⁴⁾によって作成した P-S-N 線図

を示す。本図で変動係数は応力の対数で 1.44% であった。この変動係数を全条件に適用して 2.3% 破壊確率の疲労限度を得た。Fig.4 に 50% と 2.3% 破壊確率の疲労限度をプロットした耐久限度線図を示す。本図の 2.3% 破壊確率の疲労限度と引張強さの規格下限値を通過するように直線近似すると、図中の平均応力 0、すなわち両振りの疲労限度を 98MPa とする耐久限度線が得られる。本報告ではこれを鉄道台車枠用鋳鋼の設計許容応力とする。

なお、鋳肌が起点となる平面曲げのデータを用いて同様の方法で耐久限度線を求めると、両振り疲労限度は 254MPa となる。これは、欠陥が起点となる場合より大幅に高い値であることを付記しておく。



5 結言

鉄道台車枠用鋳鋼について表面肌の状態、負荷形式の異なる数種の組合せにて疲労試験を行い、それぞれの影響を明らかにした。さらに、その一部のデータを統計処理し、確率疲労特性の観点より耐久限度線図上で、平均応力 0 の疲労限度 98MPa と引張強さの規格下限値を結ぶ線を設計許容応力として設定した。

参考文献

- 1) JIS E4207 「鉄道車両一台車一台車枠設計通則」(2004).
- 2) 沖野友洋, 八木毅, 織田安朝, 日本材料学会 第 54 期学術講演会講演論文集, 11(2005).
- 3), 4) 省略