

1. まえがき レールの曲げ疲労防止を目的として、溶接レールを主として疲労損傷の実態分析を行い、さらに敷設レールの疲労強度および負荷能力などを探求した。これらのデータに基づき、溶接レールの曲げ疲労損傷について信頼度分析を試み、その発生状態に関し考察を行った。その結果を報告する。

2. 溶接レール損傷の実態統計分析 溶接レールの損傷を、品質管理、故障解析などではしばしば用いられるワイゲル分布によって、累積損傷率と車両負荷を代表する累積通トンの関係について分析した。このような分析の一例を図1に示す。この図では、両対数紙で表示されているが、これは累積損傷率下の小さい間は、ワイゲル分布は、次式の関係

$$\log \log \left(\frac{1}{1-F} \right) \div \log F$$

が、良く近似で成立するので、両対数紙によったものである。

図1では、溶接レールの曲げ疲労は溶接種別によって大きく相異している。この点から、もっとも劣化した在来タイプのデルミット溶接は偶発故障タイプに近く、その他のフラッシュバブ溶接、ガス溶接は初期故障タイプでなることがわかる。

3. 敷設レールの曲げ疲労強度 レールは、敷設時には雨水と大気環境中で腐食され、疲労強度が低下する。また、溶接部は、施工時に制御不可能な種々の原因により疲労強度が変動する。これらの疲労強度を推定するため、実際に敷設使用した溶接レール及び屋外暴露腐食した母材レールの曲げ疲労試験を行った。

この疲労試験結果を図2に示す。これによれば、母材レールは腐食した条件下でも曲げ応力振動 σ_a は200万回強度 σ_{20} 以下のもは認められず。また初期故障タイプの溶接レールの疲労強度も、この腐食母材レールとほぼ同じであった。一方、偶発故障タイプの在来型デルミット溶接レールの疲労強度は200万回強度 σ_{20} として、100MPa以下のものが生じている。この溶接レールの200万回強度の分布についてワイゲル確率紙で推定した結果を図3で示す。これによれば、この溶接レールの200万回強度は σ_{20} で200MPaを超えるものは少ない。この結果は、腐食母材レールの200万回強度と著しく異なっており、高速鉄道においてこれを排除されるべき理由でもある。

4. 敷設レールの負荷能力 レールの曲げ疲労強度に影響する負荷能力として、車両、軌道条件による曲げ応力、レール敷設後の温度応力、製造、溶接時の残留応力などがあつた。

疲労に最も影響する曲げ応力は、車両、軌道の諸因子の影響を受け、高速列車区間で影響する軌道因子としては、レール頭頂面の1m程度の短波長のレール/車輪間の凹凸の重要性が指摘されている。レール頭頂面では、この凹凸は特に溶接部において顕著に生じる。これには、製造時のレールの端曲り、溶接施工時の熱変形あるいは敷設使用による変形・偏摩耗などがあつた。

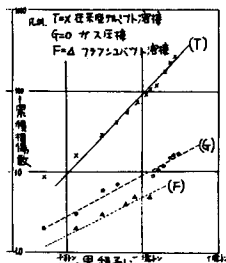


図1 溶接別累積損傷率と累積通トン

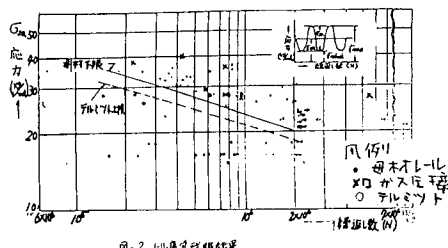


図2 レール疲労試験結果

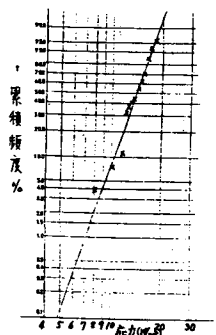


図3 在来型デルミット溶接レールの強度分布

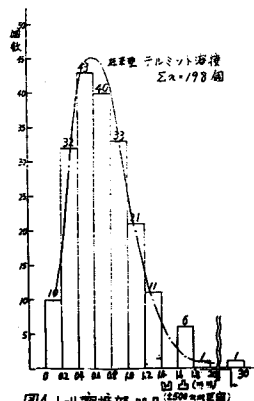


図4 レール溶接部凹凸

このようなレール溶接部の凹凸の状態を、溶接部を中央にして1m定規を規準として測定した結果²⁾により凹凸の絶対値に於て整理したのが図4である。この凹凸の大小による車両荷重の変動は、1mの波長で中央の凹凸が1mmの独立した波形の箇所を200km²で走行する車両において凹凸率のときこの倍程度に達することから理論的に求められている¹⁾。

溶接部における敷設レールの曲げ応力の実測した結果を図5に示す。この図には、応力を測定した各測定点における最大値、平均値および最小値を固示している。この最大値のなかで、もっとも大きな値は約200MPaにあつた場合がある。

つぎに、敷設温度応力のうち、ロングレール不動区間における応力は設定時からの温度差によって決定され、37.5°Cの差で約80MPaとなる。

最後に、残留応力は、製造、溶接過程などの複雑な温度履歴等の影響により相当はらつくものであるが、製造後の母材レールに於ては、底部裏面のレール長手方向応力としては引張り応力を示すことが、幾つかの報告³⁾で明らかにされ、その応力の値は100MPaから200MPa程度におよんでゐる。溶接レールの測定結果の一例を図6に示す。これによれば、レール底部裏面のレール長手方向残留応力は圧縮となつてゐる。このことは、この残留応力は溶接レールの曲げ疲労強度に悪影響を及ぼす可能性を示すものである。

5. 疲労強度と負荷応力を考慮した溶接レールの曲げ疲労損傷 疲労損傷は、材料・カサ・環境など多くの要因に左右される複雑な現象であることはよく知られてゐることであるが、以上述べたことを基礎に、さらにレールの底部の曲げ疲労損傷に於てモデル的整理を試みた。

モデル化の基礎は、信頼度分析における強度および負荷の発生確率を同一応力次元で比較対照する方法である。

負荷応力に於ては、図4に示した凹凸分布に於て、凹凸が零のときを標準状態の応力とし、1mmの凹凸を標準状態の3倍の値をとる応力と仮定し、凹凸の大きさに比例する発生応力分布を採用する。一方、曲げ疲労強度に於ては、図3から、偶発タイプの溶接レールの200万回強度と腐食母材レールの200万回強度の2通りを考慮する。

これらの負荷応力分布と曲げ疲労分布から相互に重なる部位を求めると、溶接レールの偶発故障タイプの場合における損傷発生の可能性が母材レールよりかなり高い可能性が見られる(図7)。一方、高圧列車区間における母材レールの曲げ疲労に起因する底部損傷は腐食環境等の原因で発生した非常に少数のものに限定されている。ここで述べた分析結果は、このことを説明するものと考えられる。さらに、初期故障タイプの溶接レールの疲労強度は、平均的に母材腐食レールの疲労強度にほぼ一致することとを考慮すると、この溶接レールで損傷したものは溶接施工時の欠陥によると推定され、かつその数は少ないと考えられる。

6. おとげき 溶接レールの曲げ疲労損傷防止に必要な強度の推定を試み、その安全性評価の資料を得た。これを基に、さらにこの問題の精度向上を期した。

文 献 1) 佐藤吉彦「東海道新幹線に於て951形式電車に発生した着ス輪重の原因とその対策」鉄道技術研究報告、No.824、72年9月 2) 青山信一、川島果、比留間正夫「レール溶接部の加工精度およびその後の変化」東海道新幹線に関する研究第6冊 鉄道技術研究所 70年4月 3) 八十島義之助、田井昌昌「レールの残留応力に於て」鉄道線路 第13巻9号

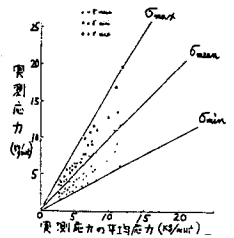


図5 レール底部曲げ応力

—— レール長手方向の残留応力
- - - - レール面方向の残留応力

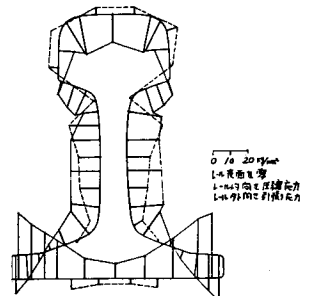


図6 溶接レールの残留応力(777:267:溶接)

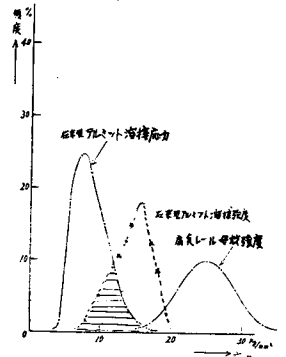


図7 レール底部曲げ疲労強度分布の比較