

疲労き裂の低速進展域の特性を改善した耐疲労厚鋼板に関する研究

兵藤, 義浩

<https://hdl.handle.net/2324/7396200>

出版情報 : Kyushu University, 2025, 博士 (工学), 課程博士

バージョン :

権利関係 : Public access to the fulltext file is restricted for unavoidable reason (3)



氏 名 : 兵藤 義浩

論文名 : 疲労き裂の低速進展域の特性を改善した耐疲労厚鋼板に関する研究

区 分 : 甲

論文内容の要旨

疲労損傷は繰返し荷重により疲労き裂が発生し、進展して破壊に至る現象であり、構造物の破壊の 80%程度を占める主要な破壊形態である。疲労損傷は繰返し荷重を駆動力としているため、橋梁や船舶分野で問題となることが多く、特に橋梁では海外で重大事故が起きている。わが国の橋梁でも疲労き裂が発見された事例が報告されており、インフラ老朽化として社会問題化している。

橋梁や船舶といった溶接構造物の疲労損傷への既往の対策は、疲労き裂の発生抑制に主眼がおかれ、具体例としてグラインダ仕上げ、溶接後熱処理、ピーニング処理、低変態温度溶接材料などがある。これらはいずれも成果を挙げているものの、国土交通白書では今後架設される橋梁の寿命設計は 100 年、200 年と言われており、供用期間中の交通量や、車重量の増大も想定すると、既往の対策のみではき裂発生 of 完全な抑止は困難と考えられる。

そこで本研究では、社会インフラを支える大型溶接構造物の安全性向上・長寿命化に資するため、耐疲労性能、特に疲労き裂の低速進展域の特性に優れた鋼材を作製し、開発鋼の疲労き裂進展特性と寿命改善を多面的に評価するとともに、作製した開発鋼の溶接構造体での寿命改善の検証までを目的とした。

第 1 章においては、研究背景として我が国のインフラにおける疲労損傷の現状、ならびに疲労損傷に関する先人の研究経緯を述べ、研究目的について説明した。

第 2 章においては、既往の耐疲労鋼研究のレビューを行い、その整理結果を踏まえ、本研究における開発鋼の特性改善指針を整理した。その結果、疲労き裂の低速進展域の特性改善が疲労き裂進展寿命の改善に大きく寄与することを机上検討により明確化し、改善指標として下限界応力拡大係数範囲 (ΔK_{th}) を定めた。疲労き裂の低速進展域の特性改善を企図する材料設計指針について、硬質相の微細分散とし、TS490 級の開発鋼と比較のための従来鋼を作製した。

第 3 章においては、第 2 章で作製した開発鋼の疲労き裂進展特性を評価した結果、開発鋼の Stage II の疲労き裂進展速度は、従来鋼の 1/2 程度にまで抑制され、既往文献で報告されている耐疲労鋼と同等程度のき裂進展抑制効果を示した。開発の狙いであつたき裂進展下限界の特性、特に ΔK_{th} の値は、開発鋼では従来鋼の 2 倍以上大きい値であり、優れたき裂進展特性を確認した。

第 4 章においては、微小人工欠陥を導入した試験片による表面き裂進展試験をした結果、開発鋼の疲労寿命は従来鋼の約 3 倍に延伸した。微小欠陥から発生した表面き裂は、開発鋼において長いき裂の進展下限界以下の応力拡大係数範囲 (ΔK) で進展する微小き裂の領域であつた。既往文献で提案された微小き裂のき裂長さとき裂進展抵抗の関係 (R カーブ) を用いて微小き裂の進展抵抗を補正したところ、開発鋼の表面き裂進展の実験結果をよく説明できた。長いき裂の進展下限界特性、特に ΔK_{th} は、表面で発生した疲労き裂の初期進展過程においてもき裂進展抵抗を増加させる効果をもたらし、短いき裂の進展寿命に対しても大きく改善する効果をもたらすことを検証した。

第5章においては、開発鋼の実機構造物の変動荷重における寿命改善効果を評価するため、従来鋼と開発鋼に対し種々の応力比で過大荷重を負荷した疲労き裂進展試験を行い、過大荷重負荷直後から疲労き裂成長の成長が一時的に遅延する現象である *overload retardation* におよぼす塑性誘起き裂閉口と破面粗さ誘起き裂閉口の重畳の観点で検討した。開発鋼の一定振幅荷重における疲労き裂進展寿命は、応力比 (R) = 0.1 では従来鋼に対し約2倍まで改善するものの、 $R = 0.3, 0.5$ では約1.2倍となり、顕著な寿命改善効果はみられなかった。過大荷重を負荷したき裂進展試験では、過大荷重によるき裂進展の遅延が長くなることに由来して、 $R = 0.3$ でも従来鋼の約1.5倍まで改善した。過大荷重で形成された塑性域は、き裂先端に圧縮残留応力を発生させ、き裂進展駆動力を低下させ、同時に、高応力比でもき裂先端後方の破面を接触しやすくする。破面粗さ誘起き裂閉口を促進した鋼材は、過大荷重による塑性誘起き裂閉口と、破面粗さ誘起き裂閉口が重畳することで、過大荷重を含む変動荷重では寿命改善効果をもたらすことが可能になると考えられる。

第6章においては、作製した開発鋼の溶接構造体における疲労き裂進展寿命の改善効果の検証として、ドアンらが報告した実構造モデル試験体の結果を母材の疲労き裂進展特性と比較し考察した。ドアンらが実施した構造体モデル実験のき裂長さと繰返し数の関係から母材の $da/dN - \Delta K$ と比較した結果、定性的には両者は一致することがわかった。これを踏まえて、ドアンらが報告したき裂長寸法をもとに *Raju-Newman* による半楕円表面き裂の K 値を使用した疲労き裂進展解析を実施したところ、概ねドアンらの実験結果を説明することができ、ドアンらが報告した構造体モデル実験における従来鋼と開発鋼の4倍もの寿命の差は、開発鋼の *Stage I* の特性改善が支配的となっていることを明らかにした。

第7章においては、本論文で得られた結果についてまとめた。