

I-239

高マンガン鋼の疲労亀裂進展速度

法政大学 正員 森 猛 鉄道総研 正員 市川 篤司

1.はじめに 中央新幹線に超伝導磁気浮上式リニアモーターカーの使用が予定されている。リニアモーターカー用施設に従来の鋼材を用いると、その磁性により車両の浮上や走行が妨げられるといった問題が生じるため、従来の鋼材に比べ磁性の低い高マンガン鋼の使用が検討されている。高マンガン鋼はこれまで耐摩耗鋼としてレールやキャタピラなどに用いられており、橋梁などの構造物に使用された実績がない。高マンガン鋼を構造物に使用するには、溶接継手性能や構造物を想定した各種破壊特性などを明らかにする必要がある。本研究では、高マンガン鋼を構造物に使用するあたって解明すべき問題の一つである基本的な疲労亀裂進展特性、すなわち疲労亀裂の閉口が生じない状態での疲労亀裂進展速度について実験的に検討する。

2.試験方法 供試鋼材は板厚6mmの高マンガン鋼KNM295であり、その機械的性質および化学成分を表1に示す。この鋼板を幅80mm、長さ320mmの帯板に加工し、TIG dressing (240A-17V-25cm/min) を板中央長手方向に板表裏面とも行なった。TIG dressingを行なった後、板中央に直径5mmの円孔を明け、さらに幅約1mmのソーカットを施し、疲労亀裂進展試験に供した。試験片の形状および寸法を図1に示す。図2は円孔加工を行なう前の試験片長手方向の残留応力を切断法により測定した結果を示している。

疲労亀裂進展試験は動的能力100kNの電気油圧サーボ式材料試験機を用い、下限荷重を0.1tfとした一定振幅荷重下および亀裂が0.25mm程度進展する毎に上限荷重を5%ずつ減少させる条件下で行なった。繰返し速

表1 供試鋼材の機械的性質と化学成分

降伏点 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	伸び (%)	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	N
358	926	73	0.60	0.30	14.14	0.025	0.001	2.00	2.00	0.19

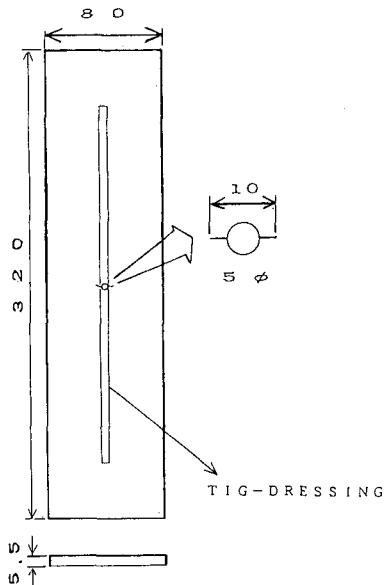


図1 試験片の形状および寸法

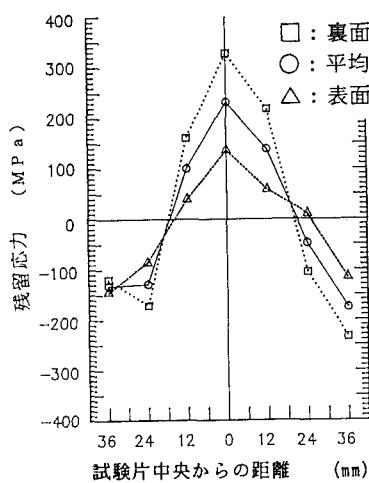


図2 試験片の残留応力分布

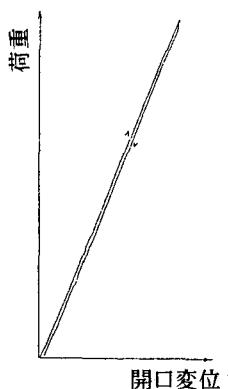


図3 疲労亀裂開閉口挙動の測定結果

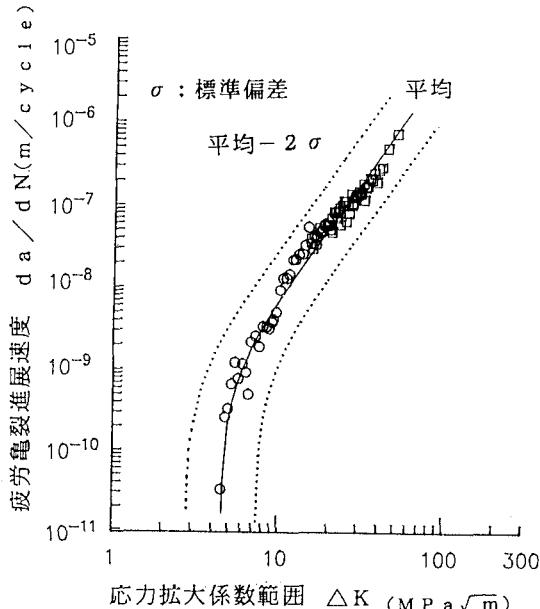


図4 高マンガン鋼のda/dN-ΔK関係

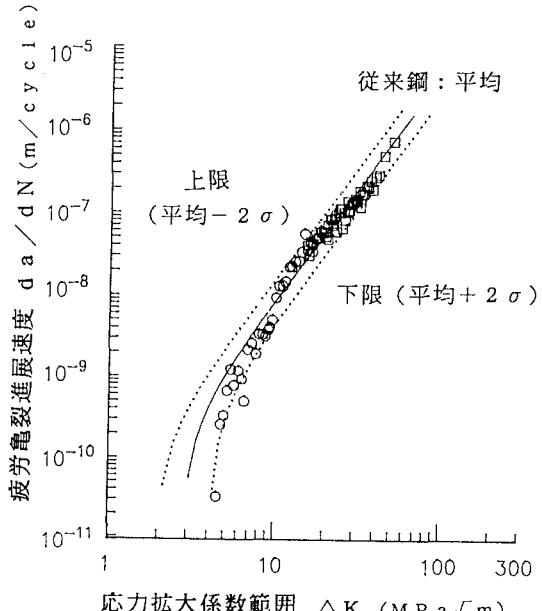


図5 従来鋼のda/dN-ΔK関係との比較

度は4~15Hzである。亀裂長さの測定は50倍の読み取り顕微鏡(精度0.01mm)を用いて行なった。疲労亀裂の開閉口挙動は、試験中央の円孔を挟んで設置した標点間の変位と荷重の関係を調べることにより測定した。

3. 試験結果 図3に荷重と標点間変位との関係の例を示す。両者の関係は線形であり、疲労亀裂の閉口は生じていない。他の試験および亀裂長さにおいても同様であった。これは、試験片中央に施したTIG dressingにより高い引張残留応力が生じ(図2参照)、また残留応力の再配分により疲労亀裂先端近傍が常に引張残留応力場となるためである。実構造物では溶接による引張残留応力や拘束応力により疲労亀裂の閉口が生じないことも多いため、疲労亀裂進展速度は、それが最も高くなる疲労亀裂閉口が生じない状態で調べることが有効である。

図4に疲労亀裂進展速度da/dNと応力拡大係数範囲ΔKとの関係を示す。図中の実線はda/dNを独立変数とした最小2乗法から求めた平均のda/dN-ΔK関係、点線は平均から2×(標準偏差σ)だけ離れたda/dN-ΔK関係であり、次式で表わすことができる。

$$\text{平均: } da/dN = 1.10 \times 10^{-11} (\Delta K^{2.84} - 4.59^{2.84})$$

$$\text{平均}-2\sigma: da/dN = 4.24 \times 10^{-11} (\Delta K^{2.84} - 2.85^{2.84}) \quad da/dN: \text{mm/cycle}, \Delta K: \text{MPa}\sqrt{\text{m}}$$

図5はここで得られた高マンガン鋼のda/dN-ΔK関係を構造用鋼材での平均的な関係と比較したものである。図中の実線が従来の構造用鋼材での平均的なda/dN-ΔK関係である。これは、数多くの試験データ(約3500)を統計解析することにより得られたものであり、JSSC疲労設計指針においてもこのda/dN-ΔK関係が推奨されている。また、この関係は鋼材の静的強度レベルに依存しないことも確かめられている。図中の2本の点線はそれぞれ平均のda/dN-ΔK関係より2×(標準偏差σ)だけ離れたda/dN-ΔK関係を示している。ここで測定した高マンガン鋼のda/dN-ΔK関係は、図中の点線の範囲内にあり、実線とはほぼ一致している。

4. まとめ 高マンガン鋼のda/dN-ΔK関係は従来の構造用鋼材のda/dN-ΔK関係とほぼ同じである。