

I-A 388 ステンレスクラッド鋼の疲労亀裂進展速度

法政大学 学生員 公門 和樹
 (株) 熊谷組 牧原 雅和
 法政大学 正 員 森 猛

1. はじめに

鋼構造はコンクリート構造に比べ高強度で軽量化が図れるなど種々の利点を有するが、耐疲労性や耐腐食性に劣るとされている。鋼構造の耐腐食性を向上させる方法の一つとして、ステンレスクラッド鋼の使用が考えられる。ステンレスクラッド鋼は、鋼とステンレス鋼という引張強度やヤング率などの機械的性質が異なる金属をはり合わせた複合材料である。したがって、従来より知られている鋼単体あるいはステンレス鋼単体での強度特性をステンレスクラッド鋼にそのまま適用することには問題がある。

本研究では、ステンレスクラッド鋼を橋梁に使用するにあたって解明すべき強度特性の内、疲労亀裂進展速度に注目し、鋼、ステンレス鋼、ステンレスクラッド鋼の疲労亀裂進展試験を行った。ここでは、それらの進展速度を比較するとともに、ステンレスクラッド鋼の疲労照査に用いるべき疲労亀裂進展速度表示式について検討する。

2. 試験方法

供試鋼材は板厚9mmの一般構造用鋼材 JIS SS400、板厚9mmのステンレス鋼 JIS SUS316L、および板厚10.5mmのステンレスクラッド鋼 (SUS316L:2mm+SS400:8.5mm) の3種類である。各鋼材の化学成分を表-1に、機械的性質を表-2に示す。なお、ステンレスクラッド鋼のヤング率は延び計により測定した平均的なものである。試験片の形状と寸法を図-1に示す。なお、試験片の板厚は納入のままである。試験片の表裏面には、引張残留応力を導入する目的で、試験片中央長手方向にTIG-dressingを行っている。疲労亀裂進展試験は荷重範囲一定および荷重範囲漸減条件下で行い、広範囲な領域での進展速度を求めた。なお、亀裂の進展は50倍の読み取り顕微鏡で観察した。

表-1 各鋼材の化学成分

鋼種	化学成分 (%)							
	C	Si	Mn	P	Cu	Ni	Cr	Mo
SS400	0.12	0.20	0.65	0.01	0.01	0.02	0.04	0.00
SUS316L	0.02	0.57	1.01	0.03	-	12.2	17.5	2.09
ステンレス SS400	0.14	0.57	0.76	0.01	-	-	-	-
クラッド鋼 SUS316L	0.02	0.18	1.01	0.03	-	12.2	17.5	2.09

表-2 各鋼材の機械的性質

鋼種	降伏応力 (MPa)	引張強度 (MPa)	ポアソン比	伸び (%)	ヤング率 (Gpa)	線膨張率 (*10 ⁻⁵ /°C)
SS400	292	417	0.271	16.5	206	1.1
SUS316L	253	551	0.293	29.4	186	1.6
ステンレスクラッド鋼	297	515	0.248	21.7	202	-

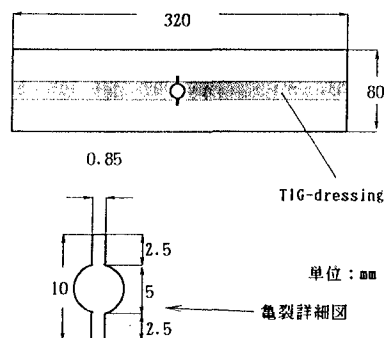


図-1 各鋼材の形状および寸法

3. 試験結果

図-2は、日本鋼構造協会の「鋼構造物の疲労設計指針・同解説」（ここではJSSC指針と呼ぶ）に示されている da/dN - ΔK 関係の平均設計曲線と3種類の鋼材の da/dN - ΔK 関係を比較したものである。この平均設計曲線は鋼材を対象とした数多くの疲労亀裂試験結果を収集し整理することにより定められたものである。SS400だけではなくステンレスクラッド鋼の da/dN - ΔK 関係も、平均設計曲線にほぼ一致している。ステンレスクラッド鋼ではSS400面とSUS316L面で亀裂進展を測定したが、両者はほぼ一致しており、SS400とSUS316Lの境界で亀裂が不連続になることもなかった。ステンレス鋼では、低 ΔK 領域では平均設計曲線にほぼ一致するものの、 ΔK が $10\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$ 以上の領域での進展速度は若干速くなっている。このように、応力拡大係数範囲 ΔK で整理した場合、ステンレス鋼で進展速度が速くなる原因は、 ΔK が同じであればヤング率 E の小さいもののほど亀裂先端でのひずみ範囲が大きくなるためとも考えられる。疲労亀裂進展速度は亀裂先端での応力場ではなく、ひずみ場に依存するという考え方もあり、 ΔK のかわりに $\Delta K/E$ を用いて da/dN が整理されることもある。 $\Delta K/E$ はひずみ拡大係数範囲と呼ばれている。このひずみ拡大係数範囲を用いれば、さまざまな金属材料の進展速度を同一の式で表現できるとも考えられている。

ひずみ拡大係数範囲 $\Delta K/E$ で鋼、ステンレス鋼、ステンレスクラッド鋼の進展速度を整理した結果を図-3に示す。ステンレスクラッド鋼の平均的なヤング率 E は次式より求めた。

$$E = (t_C \cdot E_C + t_B \cdot E_B) / (t_C + t_B) \quad t_C, E_C: \text{ステンレス鋼(Cladding Metal)の板厚とヤング率} \\ t_B, E_B: \text{鋼(Base Metal)の板厚とヤング率}$$

なお、この式から求めたステンレスクラッド鋼のヤング率と実測により求めたヤング率は一致した。 $\Delta K/E$ で整理することにより、鋼、ステンレスクラッド鋼だけでなく、ステンレス鋼の進展速度も疲労設計指針の平均設計曲線とよく一致している。

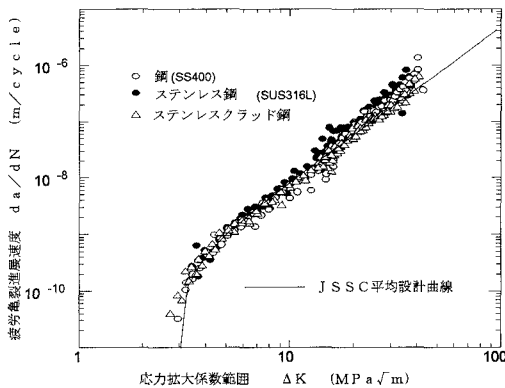


図-2 各鋼材の da/dN - ΔK 関係

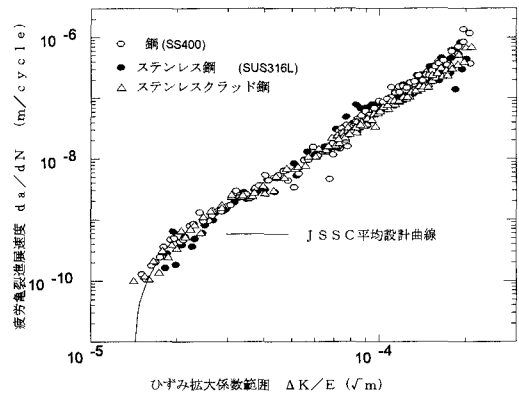


図-3 各鋼材の da/dN - $\Delta K/E$ 関係

4. まとめ

- 1) ステンレスクラッド鋼の da/dN - ΔK 関係は鋼材とほぼ一致する。これはここで使用したステンレスクラッド鋼の大半が鋼で占められているため、鋼での特性が卓越したためと考えられる。
- 2) ステンレスクラッド鋼の疲労亀裂進展速度をより厳密に表現するためには、ひずみ拡大係数範囲で整理した方がよい。ここではJSSC疲労設計指針の平均設計曲線に基づき次式で da/dN - $\Delta K/E$ 関係を表すことを提案する。

JSSC平均設計曲線の da/dN - $\Delta K/E$ 関係

$$da/dN = 6.15 \times 10^{-3} [(\Delta K/E)^{2.75} - (\Delta K/E) t_h^{2.75}] \\ (\Delta K/E) t_h = 1.41 \times 10^{-5}$$

本研究は土木学会鋼構造新技術小委員会耐久性WGの活動の一つとして行ったものである。