

合成樹脂による腐食鋼板の疲労強度の改善について

神戸大学 正員 西村 昭 広島工業大学 正員 皆田 理
片山鉄工所 正員 大田 隆三 広島工業大学 正員 〇村中 昭典

(1) まえがき 近年、製鋼技術の進歩によってCr、Cuなどの元素を添加して、錆でその進行を防止する無塗装耐候性鋼が構造用鋼材として生産されるようになった。この無塗装耐候性鋼材を橋梁などに使用する場合の問題点の一つは、鋼材の腐食による断面減少、及び切欠きが疲労強度に及ぼす影響である。ことに、トラス橋格点部などの設計上からも応力集中が避けられない部材断面急変部での腐食の発生は、同位置の応力集中率をさらに増大させ、設計時における疲労強度を大幅に減少させる要因となることが予想される。そこで、本研究は、フィレット部を有する鋼板の疲労強度に及ぼす腐食の影響、並びに合成樹脂による腐食鋼板の疲労強度改善効果などを、一連の疲労試験結果に基づいて検討を加えたものである。

(2) 供試体、及び試験要領 供試体の形状・寸法は、図-1に示す通りである。

同図中斜線部は、合成樹脂を被覆した範囲を示す。使用鋼板は降伏点382MPa、引張強さ539MPa、伸び26%のSMA50Aである。供試体は、鋼板表面をサンドブラスト処理、側面を機械加工したフィレット半径(R)10mm(R/W=0.2、W:供試体幅)、及び20mm(R/W=0.4)のものの2種類の

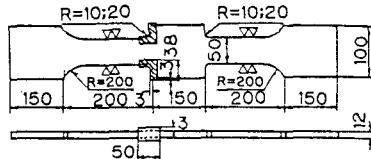


図-1 供試体の形状・寸法

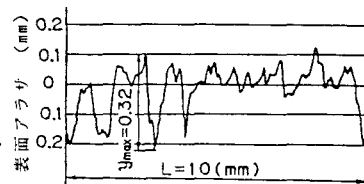


図-2 腐食材の表面形状

() 内のBR10、BR20などの供試体記号で、最初のB、及びRなどは、無腐食材、及び腐食材を、次のR10、R20はフィレット半径を、また最後のEは樹脂被覆したことを示す。

R10、及びR20供試体のフィレット部の最大応

表-1 合成樹脂の物理的性質

比重	引張強度 (MPa)	曲げ強度 (MPa)	圧縮弾性係数 (MPa)	引張せん断強度 (MPa)	硬度 (Hrd)
1.67	21	45	504	12	88

力集中率 α は、FEMによる解析結果それぞれ約1.80、及び1.53であった。腐

食供試体は、促進腐食槽に搬入後、3% NaCl溶液を30分間微噴霧と90分間休止とを1100時間継続し作成した。これらの供試体フィレット部の腐食量は平均0.55mm(片面)、また平均粗さは、R10、及びR20供試体でそれぞれ0.16mm、及び0.18mm、最大0.32mmであった。図-2は表面アラサ測定器によって得た腐食材フィレット部板厚方向の表面形状を示したものである。なお、無腐食材フィレット部の表面アラサは、最大約0.01mm程度であった。被覆に用いた合成樹脂は、2液混合型Epoxy樹脂で、表-1にその物理的性質を示す。疲労試験は下限荷重9.8kN(10.2MPa)、周波数10Hzとする部分片振荷重で行った。

(3) 試験結果、及び考察 図-3は無腐食材、並びに腐食材のS-Nf関係を示したものである。図中には後述する破壊力学的手法によって求めたS-N関係も併記してある。同図より、無腐食材のS-Nf関係はフィレット部応力集中率の大きさによって顕著な差が見られる。すなわち、BR10、及びBR20供試体の 2×10^6 回疲労強度(以下疲労強度と略称)はそれぞれ約166MPa、及び253MPaとなり、 α の小さいBR20の疲労強度は α の大きいBR10のそれに比して約52%程度向上する。一方、腐食材のS-Nf関係は α の大小にかかわらず無腐食材のそれら比して下方に位置し、疲労強度は、

RR10、及びRR20でそれぞれ約130MPa、及び140MPa程度となる。RR20の疲労強度はRR10のそれに比して約8%程度の上昇率にとどまり、無腐食材の強度上昇率に比して極めて小さい。また、これらの疲労強度を無腐食材のそれらに比較した場合、R10、及びR20に対してそれぞれ約21%、及び45%程度低下し、 α が小さい供試体で疲労強度の低下率が大きくなることがわかる。これらの結果から、断面急変部を有する鋼部材が腐食した場合、同部材の疲労強度は、部材形状個有の応力集中率よりも、錆の発生によって生ずる腐食ピット底部の局部的応力集中率によって大きく支配されるものと予想される。耐候性鋼材の大気暴露試験結果^③によると、暴露期間11年での表面粗さは、平均100 μ m、最大約300 μ m程度となっている。いま、腐食材が上記最大表面粗さに達したときの疲労強度を破壊力学的手法によって推定すると次のようになる。すなわち、疲労亀裂伝播速度はParis則に従って次式で表される：

$$\frac{da}{dn} = C(\Delta K^m - \Delta K_{th}^m) \quad \left\{ \begin{array}{l} F_s = 1.12, \quad F_t = \sqrt{\sec \pi a / 2W} \\ \Delta K = F_s \cdot F_g \cdot F_t \cdot S_r \cdot \sqrt{\pi a} \quad \left\{ \begin{array}{l} F_g = 1.80 / (1 + 1.012(a/W)) \cdots R = 10\text{mm} \\ 1.53 / (1 + 0.674(a/W)) \cdots R = 20\text{mm} \end{array} \right. \end{array} \right.$$

ここで、 F_s 、 F_g 、及び F_t はそれぞれ表面亀裂、応力勾配、及び有限板に対する補正係数である。また、 c 、 m は材料定数でそれぞれ 1.68×10^{-12} 、及び3.03^③。また ΔK_{th} は $6\text{MPa}\sqrt{\text{mm}}$ とした。上式で求めた疲労寿命解析結果が図-3中に記入してある。図-3より、表面アラサが0.3mm程度に達すると現行鋼鉄道橋設計規準A等級(150MPa)をかなり下回ることが推定される。次に、図-4はフィレット部の腐食によって疲労強度が低下した部材の強度改善法として、フィレット部に合成樹脂を被覆したRR10E、及びRR20E供試体のS-Nf関係を示したものである。両供試体に対する疲労強度はそれぞれ175MPa、及び186MPaとなる。フィレット部の樹脂被覆によって、腐食材の疲労強度は平均33%、また応力全振幅180MPaにおける疲労寿命は約262%向上する。樹脂被覆によって疲労性状が改善される要因は、①合成樹脂が多小とも弾性を有していることによる応力の伝達、分布、吸収効果、②合成樹脂による大気遮断効果などが考えられる。

(4) むすび 本研究では、フィレット部を有する耐候性鋼材の疲労強度に及ぼす腐食の影響、並びに合成樹脂による腐食材の疲労強度改善効果などを一連の疲労試験結果に基づいて基礎的検討を加えた。その結果、応力集中部における腐食の進行は、疲労強度をいちじるしく低下させること、また、腐食材に対する合成樹脂被覆は疲労強度の改善に対して有効であることなどが明かとなった。しかしながら、合成樹脂による疲労強度の改善については、面外変形に対する耐久性や樹脂自身の耐候性などについて不明の点が残されており、今後、さらに多くの資料集積のもとに検討を加える必要がある。

(5) 参考文献 ① 耐候性鋼を用いた橋梁調査、川崎製鉄(株)、1979:2。② 金属材料疲労き裂進展抵抗データ集、Vol.1、材料学会、1983。③ Proc. JSCE, No.368/1-5、pp.383-392、1986。

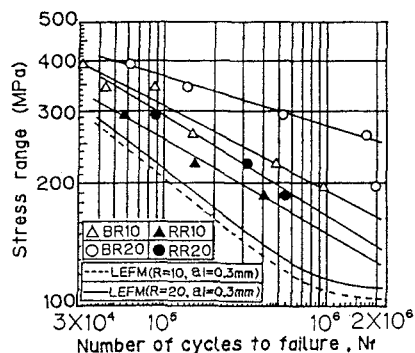


図-3 無腐食、及び腐食鋼板のS-Nf関係

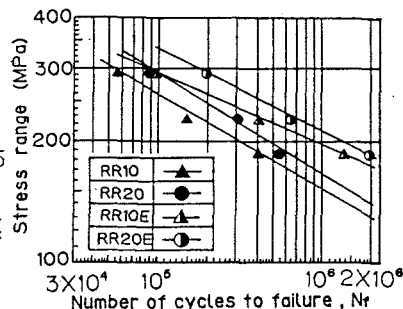


図-4 樹脂被覆鋼板のS-Nf関係