

I-265

底面傷を有するトラス弦材かど継手部の疲労強度

日本鋼管株式会社 津製作所 正員 鈴木 敏夫
 本州四国連絡橋公団 設計部 福井 崇博
 建設機械化研究所 試験部 正員 伊藤 文夫
 日本鋼管株式会社 重工研究所 鶴田 良夫

1. はじめに

本州四国連絡橋の部材製作は厳重な品質管理の下に行われているが、超音波探傷検査の結果、箱型トラス弦材のかど継手部に上フランジ落し込み時の傷と考えられる底面傷が検出される事例があった。この底面傷に関しては適当な補修方法がなく、又、この底面傷がかど継手部の疲労強度にどのような影響を及ぼすのかということも明確でなかった。本報告は、トラス弦材のかど継手部をモデル化した底面傷を有する大型供試体について疲労試験を実施すると共に、底面傷による応力集中の解析および破壊力学的手法を用いた疲労き裂の進展計算を行い、実験・計算の両面から底面傷を有するトラス弦材かど継手部の疲労強度を調べたものである。

2. 疲労試験

トラス弦材かど継手部をモデル化して図1に示すような供試体を製作した。供試鋼材には板厚40mmのSN58Q材を用いた。レ型溶接部のルートフェイス面にV型のシェーパー・バイトにより機械的に底面傷を付けた。底面傷は供試体中央部の300mm間に100mm間隔で4箇所、1箇所当り3本、開先加工を施した部材と対面する部材のルートフェイス面に供試体長手方向とは直角方向に、長さ35mmのものを付けた。この傷の深さdを0(無傷)、0.3、0.6および1.0mmの4種類とした。

疲労試験は下限荷重5ton、上限荷重100ton~201tonの応力比 $=\sigma_{\min}/(\sigma_{\max}-\sigma_{\min}) \div 0$ の完全片振り引張りの条件にて実施した。疲労試験中においては繰返し数ごとにピーチマーク操作(上限荷重は一定のまま下限荷重を上昇させ荷重範囲を2分の1にする)を行い、あとで疲れき裂破面に生じているピーチマークを観察し、疲れき裂の発生と進展性状について調べた。疲労試験結果を繰返し応力範囲と破断寿命の関係で整理したものを、後で述べる計算結果と併せて、図3に示す。底面傷がある場合には無傷の場合に比べて疲労強度の低下をきたし、さらに傷の深さdが大きくなりd=1.0mmの場合には本四設計基準B等級線図すれすれという結果となっている。

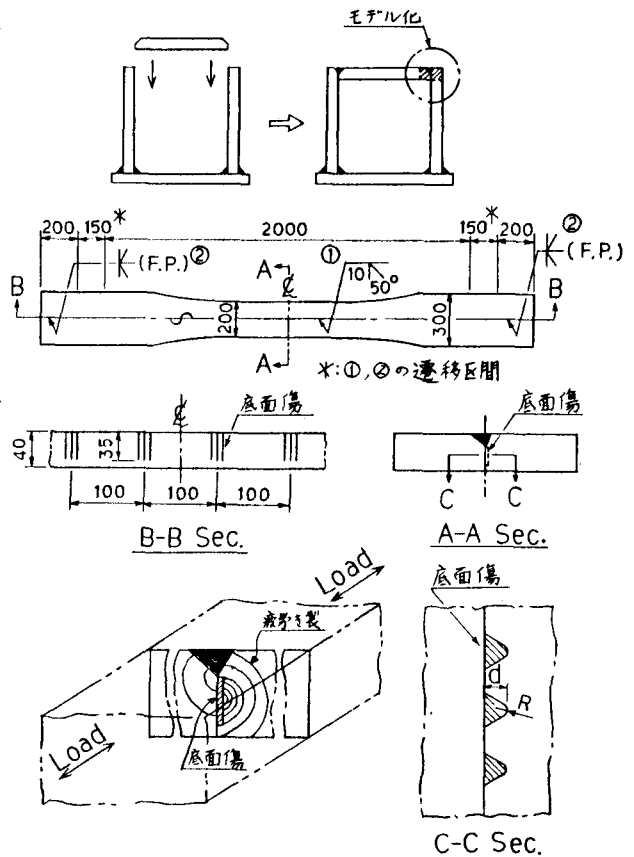


図1 疲労試験供試体

しかし、これだけの数少ない試験データから底面傷が疲労強度にどのような影響を及ぼすのかを評価するのはむずかしいので、疲労試験体に付けた傷の形状調査をシリコンゴムによる型取り法を用いて行い、さらに、その形状データをもとにして、次に述べる底面傷による応力集中の解析および破壊力学的手法を用いた疲労き裂の進展計算を行った。

3. 底面傷の応力集中の解析

汎用構造解析プログラムNASTRANを用いて2次元平面応力モデルによりFEM(有限要素法)応力解析を行った。底面傷の深さ d を0.3、0.6および1.0mmの3通りに変え、そのそれぞれについて傷底の曲率半径 R を、0.05~0.5mmの範囲で3通りに変化させて計9通りの解析を行った。底面傷付近の要素分割と応力分布の一例を図2に示す。その結果、傷が3つ近接して並んでいる場合には端の傷底に大きな応力集中が生じること、又、その応力集中係数は文献中の近似式とほとんど等しいことがわかった。

4. 破壊力学的手法による疲労き裂の進展計算

疲労破面に生じているビーチマークの観察結果から疲労き裂の発生は試験のごく初期の段階であり、寿命の大半は疲労き裂の進展寿命から成ることがわかった。又、底面傷表面の粗度計測結果から最大粗さが0.05mm程度あることがわかったので、傷底部に半径0.05mmの半円形初期欠陥を仮定し、次式に示す修正パリズ則を数値積分する手法により疲労き裂の進展計算を行った。

$$da/dN = C(\Delta K^m - \Delta K_{th}^m) \quad (1)$$

ここで、 a はき裂長さ又はき裂深さ、 N は荷重繰返し数、 C および m は材料定数、 ΔK は応力拡大係数の変動範囲^{2),3),4)}、 ΔK_{th} はこれ以下であれば疲労き裂が進展しない上限の応力拡大係数の変動範囲である。 $C=1.63 \times 10^{-10}$ 、 $m=3.0$ 、 $\Delta K_{th}=8.0 \text{ Kg}/\text{mm}^{3/2}$ ⁵⁾とした。計算結果は、図3中に実線で示す通り、実験結果と良く一致している。又、 $d=1.0 \text{ mm}$ の場合でも、すれすれではあるが、本四設計基準B等級を満足するという結果となった。

5. まとめ

トラス弦材かど継手部をモデル化した底面傷を有する供試体についての疲労試験および破壊力学的手法による疲労き裂の進展計算を行った結果、底面傷があると疲労強度は低下するけれども、今回の供試体に付けた程度の底面傷(最大傷深さ $d_{\max}=1.0 \text{ mm}$ のV型の底面傷)であれば本四設計基準B等級を満足することがわかった。

6. 謝辞

疲労き裂の進展計算のモデル化に際し懇切な御指導をいただいた東京工業大学工学部三木助教授に深く感謝致します。また、本調査・試験の結果は本四製作検討委員会において審議されました。ここに記して感謝致します。

7. 文献

- 1) 西田 正孝：応力集中 2) J. C. Newman, Jr. and I. S. Raju：Analyses of Surface Cracks in Finite Plates Under Tension or Bending Loads；NASA Technical Paper 1578, 1979 3) 中井 善一他：切欠底に発生したき裂の応力拡大係数の簡便評価式；日本機械学会論文集(A編) Vol.50, No.460, 1984 4) 石田 誠：き裂の弾性解析と応力拡大係数 5) 土木学会・本州四国連絡橋鋼上部構造研究小委員会：本州四国連絡橋鋼上部構造に関する調査研究報告書，別冊1 疲れに関する検討；昭和56年3月

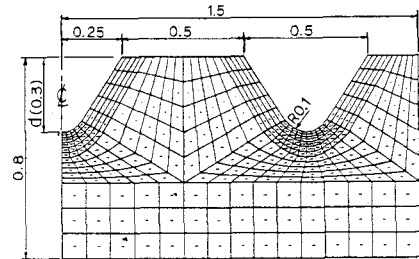


図2 底面傷付近の応力分布

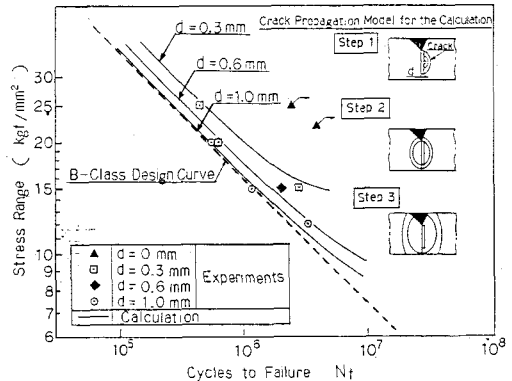


図3 底面傷を有する供試体の疲労強度