

ガセットを有した高張力鋼トラス弦材の疲労試験

トピー工業(株) 正会員 山田 聡○酒井 吉永 青木 尚夫 福島 伸尚
名古屋大学 正会員 山田健太郎

1. まえがき

長大吊橋では、自重を軽減するため高張力鋼が使用される。高張力鋼は静的強度は優れているが、切欠き感度が高いので疲労強度が問題となる。特に、図-1に示すハンガー定着部などは、弦材の作用力だけでなくケーブルによる力が作用し、2軸応力状態となる。これが疲労強度に及ぼす影響について研究された例は少ない。そこで、本研究では、図のような吊橋の補剛トラス上弦材のハンガー定着部を対象として、ガセットを有する上弦材試験体を製作し、疲労試験を行い、溶接欠陥および2軸応力と疲労強度の関係を求める。また、FEM解析により、溶接部に生じる応力を求め、さらに、破壊力学の手法を用いて、疲労き裂進展寿命を計算し、疲労強度を求める。これらの結果から、ハンガー定着部の疲労強度を評価する。

2. 疲労試験

(1) 試験体：試験体は、ハンガー定着部を有した補剛トラス上弦材をモデル化し、 $444 \times 400\text{mm}$ の箱断面で、板厚 t は 22mm である。鋼材は予熱低減型HT780鋼を使用し、ハンガー定着部を想定して幅 300mm の切り抜きガセットを取り付けた。このガセットの R は $150, 100\text{mm}$ とした。なお、かど溶接部は超音波探傷を行い欠陥を調査した。

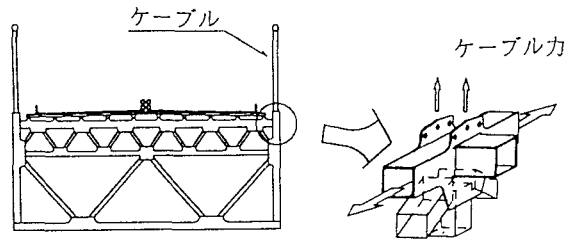


図-1 ハンガー定着部

(2) 疲労試験方法：疲労試験状況を図-2に示す。載荷方法は、構造物疲労試験機(容量:2MN)を使用し、載荷梁を用いて4点曲げとした。試験体の等曲げ区間に公称応力範囲 $\sigma_r=100\text{MPa}$ が生じるように最大値 $P_{max}=675\text{kN}$ 、応力比 $R=0.1$ 、繰り返し速度 1Hz で繰り返し載荷した。また、ハンガー定着部を想定した上下フランジの16個のガセットのうち、下フランジの4個のガセットには図-3のような載荷フレームにより、引張公称応力 100MPa を軸直角方向に発生させた。

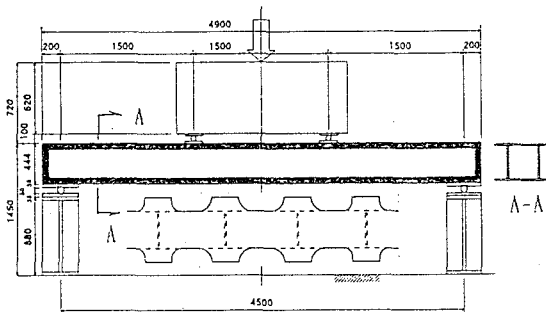


図-2 疲労試験状況

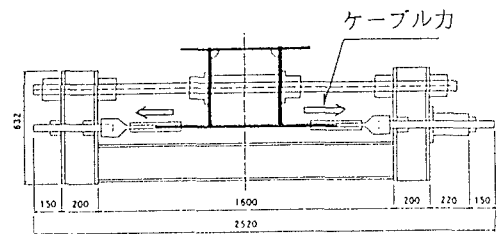


図-3 載荷フレーム(A-A断面)

3. FEM応力解析

(1) 解析モデル：FEM解析モデルは、対称性を考慮して実試験体の $1/2$ とした。このモデルを図-4に示す。モデルには4節点のシェル要素を用い、最小要素はガセットの R 端部で約 $10 \times 5\text{mm}$ である。

荷重は、最大荷重範囲に相当する $P=610\text{kN}$ を載荷点に作用させた。また、ガセットに導入した引張応力を生じるような荷重を、片側2カ所のガセット端部に作用させた。また、拘束条件として、支点位置を片側ピン、片側ローラーの単純支持とし、切断面は対称変位拘束した。

(2) 解析結果： 疲労き裂は、引張応力の作用する下フランジで、形状が不連続になるガセットのR端付近に発生すると考えられる。したがって、応力解析結果として、図-5に下フランジとウェブの溶接線沿いの応力 (σ_x , σ_z) を示す。図中の○印は、試験体に貼付されたひずみゲージの値より得られた応力値 (σ_x) を示しており、実測値と解析値はよく合致している。

この図より、X方向の傾向として、ガセットのR端で応力は大きくなり、公称応力（はり理論による計算値）で除したその応力集中値は、ガセットR端付近で1.13～1.26である。

さらに、ガセットに引張応力を作用させたものと、させないものの差を検討する。引張力を作用させたガセットでは、作用させないものに比べて、当然Z方向の応力が大きくなる。これがX方向の応力に与える影響は小さく、その理由として、今回の試験体形状では、ガセットのRが十分大きく、応力を滑らかに伝達するためと考えられる。

4. き裂進展解析による疲労寿命の予測と実験結果

線形破壊力学の手法を用いた疲労き裂進展寿命 N_f を計算する。本解析では、ガセットによる応力集中の影響を考慮した。そこで、溶接部の内部に存在する欠陥から発生するき裂を対象として、破壊力学を用いたパラメトリックな疲労寿命解析を行う。解析にあたっては、初期き裂長 $a_0=0.5\sim 1.5\text{mm}$ 、き裂形状 $a/b=1/1$ 、最終き裂長 $a_f=11\text{mm}$ とした¹⁾。

疲労寿命解析結果を図-6に示す。試験体の超音波探傷試験結果を基にしたブローホルの等価円盤換算き裂 a_e の平均値は0.8mmである²⁾。この大きさの初期き裂が内部にあると仮定した場合、200万回疲労強度の解析値は約100MPaである。これは、JSSCの継手強度等級分類ではD等級に相当する³⁾。

一方、疲労試験では、200万回載荷後に引張力を導入しないほうのガセット端部に一つ目のき裂が発生しており（図中ツギボル）、これは解析結果とよく合致している。

現在、疲労試験を継続中であり、検討予定である。

参考文献

- 1) 山田健太郎, Hirt, M. A.: 破壊力学を応用したパラメトリックな疲労寿命解析, 土木学会論文報告集, 第319号, pp.55-64, 1982. 3.
- 2) 樋野和俊: 長大吊橋補剛トラス弦材の溶接部の疲労き裂進展解析, 名古屋大学修士論文, 1991. 3.
- 3) 日本鋼構造協会: 鋼構造物の疲労設計指針・同解説, 技報堂出版, 1993.

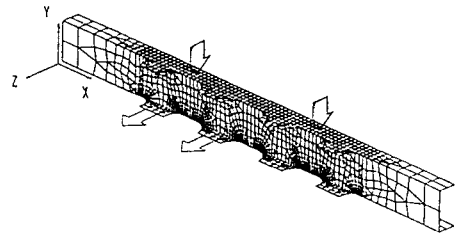


図-4 FEM解析モデル

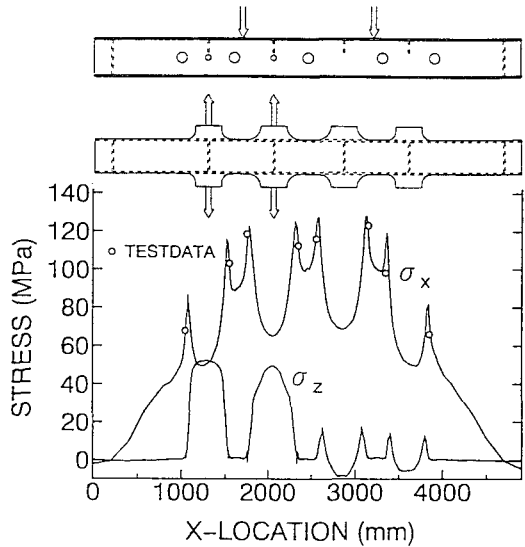


図-5 解析結果

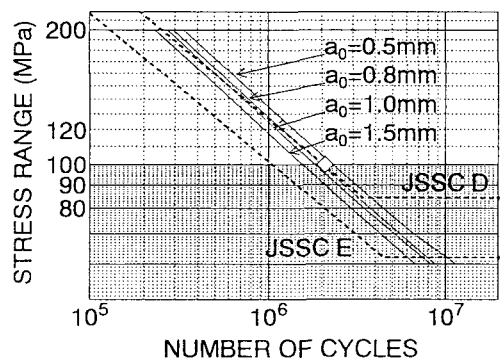


図-6 疲労寿命解析結果