

# 亜熱帯島しょ環境下における道路橋照明柱の疲労特性に関する研究

構造工学研究室 浅田智巳

## 1. 序論

沖縄地方に襲来した台風9号により、沖縄地方の高架橋上に設置された道路橋照明柱（以下照明柱）3基が倒壊し、複数の照明柱に亀裂が発見された。詳細な原因は現在調査中であるが、照明柱は1本のパイプで支持されており、渦励振が発生し易い構造といえ、これが図-1に示すような照明柱基部(以下基部)での疲労破壊を引き起こしたと推測される。近年の地球温暖化の影響により、超大型強力台風の襲来が予想される中、照明柱の疲労損傷はますます増加し、顕在化していくことが予測されるため、照明柱の倒壊を防ぐためにも、照明柱の疲労特性を明らかにすることが重要である。

本研究では風荷重による基部の疲労特性を検討することを目的とし、既往研究時計測データから台風時、強風時、常時の風速の差異による基部の疲労特性を検討するとともに、上部構造の異なる基部の応力計測から上部構造の差異による基部の疲労特性の検討を行った。なお、疲労特性の検討には応力計測結果から疲労寿命の推定を行う独自に開発した疲労寿命推定システムを用いた。

## 2. 疲労寿命推定システム

### 2.1 応力範囲発生回数の計数

図-2(a)に示すモニタリングより得た波形から図-2(b)に示す極値を抽出した波形にレインフロー法を用い応力範囲の発生回数を計数する。なお、疲労寿命推定システムに用いたレインフロー法アルゴリズムはASTM E1049-85(2011)<sup>1)</sup>に準拠する。

### 2.2 疲労損傷度の算定

溶接形状によって決定される溶接継ぎ手の疲労設計曲線に線形累積損傷則のマイナー則とレインフロー法によって算定した応力範囲とその発生回数を用い、疲労損傷度Dを算定した。図-2(c)に示すよう応力範囲 $\sigma_i$ の場合の破断までの繰り返し回数を $N_i$ 、レインフロー法によって計数した応力範囲 $\sigma_i$ の場合の繰り返し回数を $n_i$ としたときの疲労損傷度Dの算出式を下式に示す

$$D = \frac{n_1}{N_1} + \frac{n_2}{N_2} + \dots + \frac{n_i}{N_i} = \sum \frac{n_i}{N_i}$$

$D \geq 1$  となった場合に疲労寿命に達したと評価される。

### 2.3 疲労寿命の推定

ある期間tで疲労損傷度dを蓄積した場合、疲労損傷度算定荷重条件が構造物破壊まで永遠に繰り返すとしたとき  $D=1$  となるに要する期間Tは  $t/d$  より求まる。本研究では  $D=1$  となるに要する期間Tを疲労寿命とした。

開発した疲労寿命推定システムの動作例を図-3に示す。

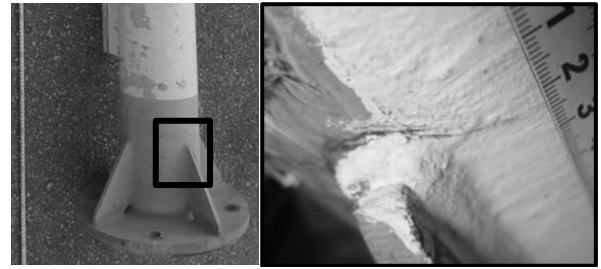
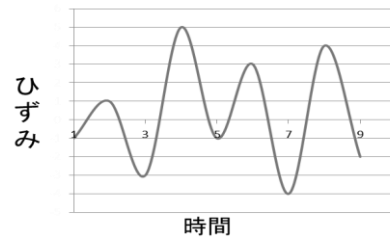
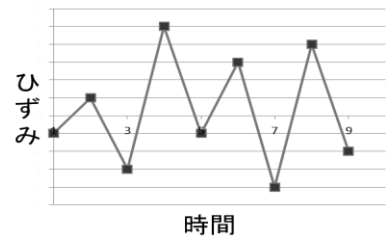


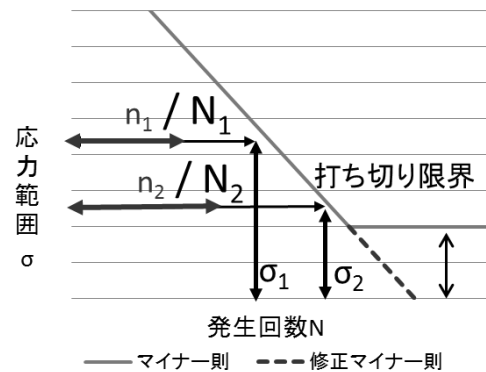
図-1 照明柱基部き裂



(a)モニタリング波形



(b)極値抽出波形



(c)疲労強度曲線例



(d)疲労寿命推定システム動作例

図-2 疲労寿命推定システム

### 3. 風速の差異による疲労特性

風速が大きく異なる台風時、強風時の基部の疲労特性の検討を行った。計測を行った照明柱上部構造は図-4(a)に示すモヤシ形で材質は鋼であるため、ヤング率は  $2.0 \times 10^5 \text{MPa}$  とした。基部の溶接構造は面外ガセット継手に分類されるため疲労等級は G 等級<sup>2)</sup>である。応力計測位置は図-4(c)に示した基部のリップ上溶接ビード止端から 10mm の位置である。

計測の解析結果を図-6に示す。図-6(a)のひずみ波形を一見して分かる通り、台風時と強風時では応力の発生範囲が大きく異なる。台風時（瞬間最大風速 38.3m/s, 平均風速 16m/s, 1回通過期間 3日）の最大応力範囲は 150MPa であり、応力範囲の発生回数より疲労損傷度は  $7.9 \times 10^{-3}$  と非常に大きな損傷を蓄積しており、疲労寿命は最短で 1年であると推定された。強風時（3日間）の最大応力範囲は 50MPa であり、応力範囲の発生回数より疲労損傷度は  $2.9 \times 10^{-4}$  であり、疲労寿命は 28年であると推定された。

以上より台風時は強風時に比べ約 7 倍の応力範囲が発生しており、約 200 倍の疲労損傷度を蓄積することが推定された。また、台風時であっても最短の疲労寿命が 1年であることから、本照明柱の強風に対する疲労強度は非常に強いと推定された。

### 4. 上部構造の差異による疲労特性

照明柱上部構造が図-4(a)に示すモヤシ形と図-4(b)に示す直線形と異なる場合の基部の疲労特性の検討を行った。照明柱の材質はアルミニウムであるため、ヤング率は  $7.0 \times 10^4 \text{MPa}$  とした。基部の溶接構造の疲労強度曲線は IIW の定義する FAT20<sup>3)</sup>である。なお、応力計測位置は図-4(c)に示したリップ上溶接ビード止端から 10mm の位置である。また、応力計測と同時に目視による振動の観察、風速計による風速の計測を行った。

計測の解析結果を図-7に示す。モヤシ形（瞬間最大風速 7m/s, 5分間）の最大応力範囲は 4MPa, 直線形（瞬間最大風速 10m/s, 2時間）の最大応力範囲は 22MPa であり、直線形のみ風速 5~6m/s の風が連続する場合に大きく振動した。応力範囲の発生回数よりモヤシ形は最大応力範囲が打ち切り限界以下のため疲労損傷度は 0 であると推定された。また、直線形に 2時間で生じた疲労損傷度は  $3.36 \times 10^{-3}$  であり、疲労寿命は 46日であると推定された。

以上よりモヤシ形では常時には疲労損傷度を蓄積しないと推定され、直線形では常時から非常に大きな疲労損傷度を蓄積していると推定された。

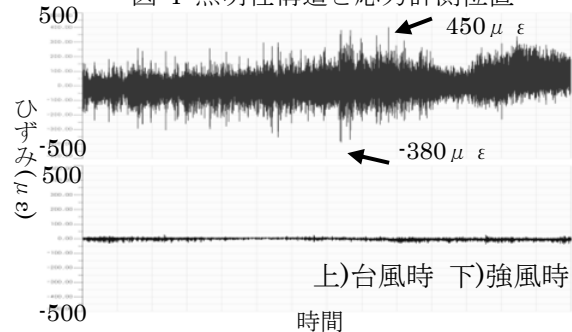
### 5. 結論

風速が増すに従い、最大応力範囲は大きくなることが判明し、台風時には強風時の約 200 倍の疲労損傷度を蓄積することが推定された。

モヤシ形では常時には疲労損傷度を蓄積しないことが推定され、直線形では常時から大きな疲労損傷度を蓄積していると推定された。

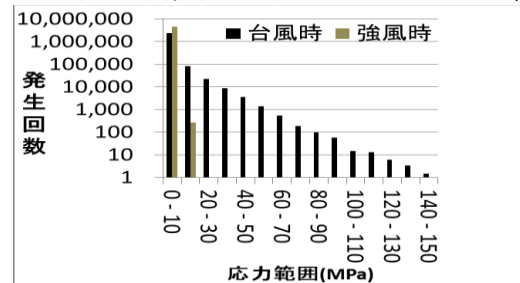


(a)モヤシ形(b)直線形(c)基部  
図-4 照明柱構造と応力計測位置



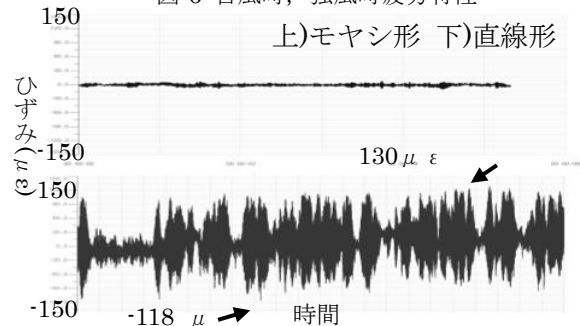
(a)ひずみ波形

(横軸時間 14 時間, 縦軸ひずみレンジ 500 ~ -500 με)

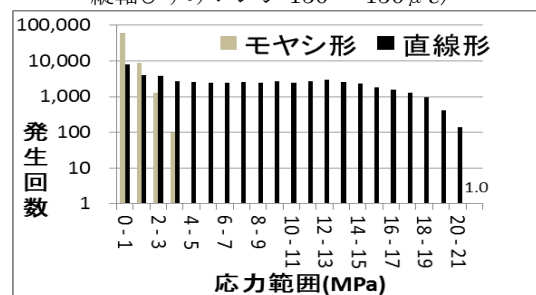


(b) 応力範囲発生回数

図-6 台風時, 強風時疲労特性



(a) ひずみ波形 (横軸時間モヤシ形 5分, 直線形 2時間, 縦軸ひずみレンジ 150 ~ -150 με)



(b) 応力範囲発生回数

図-7 モヤシ形, 直線形リップ上疲労特性

1)ASTME1049-85(2011)e1

2)三木千寿(2000). 鋼構造 共立出版株式会社

3)A. Hobbacher (2007). IIW document XIII-2151-07 / XV-1254-0