

## 無線加速度計を用いた道路橋照明柱の疲労損傷度推定の試み

琉球大学 ○田井政行, 下里哲弘, 有住康則

TTES 梅川雄太郎, 菅沼久忠

### 1. はじめに

近年、強風環境下の沖縄の道路橋照明柱の基部において、疲労き裂の発生・進展が確認され、照明柱の倒壊や撤去事例が報告されている。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典型的な構造であるため、風により照明柱が振動することで、照明柱基部に繰返し応力が生じ、疲労き裂が発生したものと推測される。このような照明柱の損傷や倒壊を防ぐためにも、風による照明柱の振動と基部の応力特性を把握し、簡易に疲労寿命を推定する必要がある。そこで本研究では、照明柱において無線加速度計測とひずみ計測を実施し、渦励振時のひずみ挙動や疲労損傷度の把握及び加速度計測結果から疲労損傷度の推定を試みた。

### 2. 計測対象と計測概要

計測を行った照明柱は写真1に示す海上架橋上の照明中で、材質はアルミニウム製である。ひずみゲージによる計測は、写真2に示すように、照明柱基部(板厚6mm)の各リブの溶接止端から6mm離れた位置とし、サンプリングレート200Hzで24時間計測を行った。なお、計測期間中の風速については、橋梁上に設置された風速計の計測データを利用した。

加速度計測には写真3に示す無線型の3軸加速度センサを用いた。計測位置は電灯近傍、高さ2/3点、高さ1/2点の3箇所とした。上記の計測をサンプリングレート200Hzとし、約1時間連続計測を行った。

### 3. ひずみ及び加速度計測結果

#### (1) ひずみ計測結果

照明柱基部での1時間のひずみ計測結果のうち、最大応力が計測された期間前後の波形(計測時間600秒間)を図1に示す。図より、直線型では東側でのリブ位置での応力が大きく、最大30MPa程度の応力範囲が生じている。IIW Recommendationsではリブの回し溶接部の疲労等級(アルミニウム製)はFAT20と規定されているため、計測対象とした照明柱は、常時より疲労損傷度が蓄積されると考えられる。

また応力波形より、全てのリブ位置で圧縮・引張の両振り状態であり、その大きさは東側で大きく、南北方向で小さな応力が生じていることがわかる。これより照明柱の振動の挙動は、図2に示すような円を描くような挙動であったと推察される。計測日は概ね北北東の風向であったことから、渦励振時には風向に対して直角方向に大きく動くと考えられる。

24時間の連続計測結果からレインフロー法により計数した東側のリブ位置の応力範囲の頻度分布を図3に、修正マイナー則により算出した計測1時間毎の累積疲労損傷度と平均風速の関係を図4に示す。図より最大応力範囲の28MPa程度であることがわかる。また、1時間毎の累積疲労損傷度と平均風速の関係より、風速3m/s程度までは疲労損傷度の蓄積はほとんど生じず、



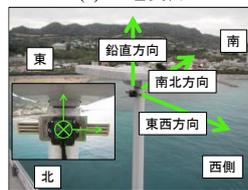
写真1 計測対象の照明柱



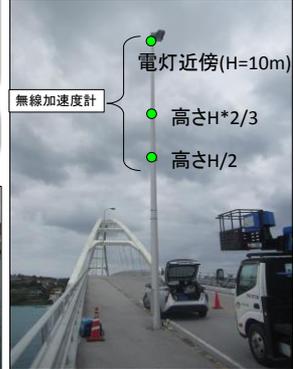
写真2 ひずみゲージ位置



(a) 加速度計



(b) 計測方向



(c) 計測位置

写真3 加速度計機器と設置方向及び計測位置

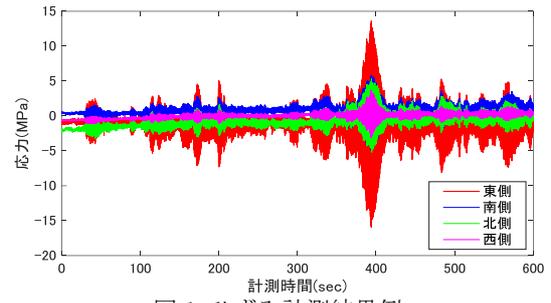


図1 ひずみ計測結果例

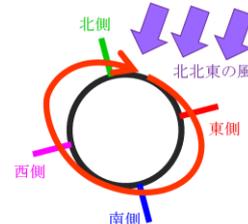


図2 渦励振時の照明柱の推定挙動

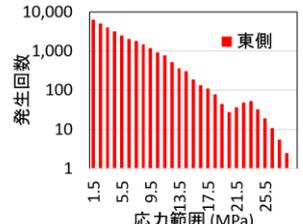


図3 応力範囲頻度分布(東側)

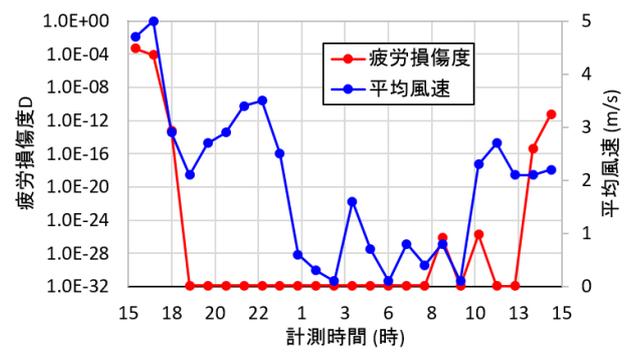


図4 平均風速と疲労損傷度の関係

キーワード 疲労損傷度, 照明柱, 加速度計測, 渦励振

連絡先 琉球大学工学部工学科社会基盤デザインコース (〒903-0213 沖縄県中頭郡西原町千原1番地)

4.7m/s 以上となると損傷度の蓄積が生じていると推察され、概ね 5m/s 程度の風速で渦励振が発生したものと考えられる。

(2) 加速度計測結果

南北方向及び東西方向の加速度記録例を図 5 に示す。図より応力波形と同様に、南北方向に比べて東西方向の振動が顕著であった。その大きさは高さ 2/3 点及び 1/2 点が大きくなる傾向を示し、±1G 以上の振動が生じていた。振幅が大きい東西方向について、FFT によりスペクトル解析を行ったところ(図 6)、いずれの位置においても 1.4Hz や 6.8 Hz に卓越周波数が確認され、2 つのモードの振動が生じていると考えられる。

照明柱の変形挙動と基部の応力状態の相関を調べるために、加速度計測結果の 2 階積分を行い、変位の算出を行った。なお、変位算出時には、低周波数のノイズ成分による誤差の増大を避けるために、スペクトル解析結果を基に 1 次モード(1.5Hz)以下の低周波域(1.0Hz 以下)についてハイパスフィルターにより除去を行った。図 7 に計測時間 350~351 秒の各位置の東西方向の変位波形と最も大きい応力振幅が生じた東側のリブの応力波形を示す。変位波形と応力波形は位相にずれはないといえるが、変位波形は 1 次モード(1.4Hz)と 2 次モード(6.8Hz)の重ね合わせで変位が生じているといえる。一方、応力波形は変位挙動と異なり、ほぼ一定の応力範囲で推移しているといえる。これより、変位挙動から簡易的に基部の応力状態を簡易的に推定することは困難であるといえる。

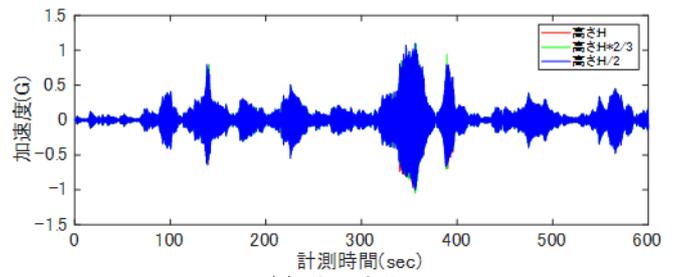
次に加速度挙動と基部の応力状態の比較を行った(図 8)。図より、変位波形と同様に電灯近傍と高さ 2/3 点及び 1/2 点は逆位相で動いていることがわかる。また、東側のリブの応力波形と比較すると、高さ 2/3 点及び 1/2 点とは逆位相であるが、全ての計測位置の挙動との相関があると考えられるため、加速度値よりひずみが推定可能であると考えられる。

そこで、図 8 の結果より、東側リブの応力の値は電灯近傍での加速度値(G)の 13 倍程度、高さ 2/3 点及び 1/2 点で 11 倍程度であったため、加速度波形にこれを乗じた値について疲労損傷度を算出した。加速度計測を行った 1 時間の疲労損傷度を図 9 に示す。図より、各計測位置について、ひずみ記録と加速度記録から算出した疲労損傷度の差異は 5%程度と、ほぼ等しい結果が得られたといえる。これより照明柱では、加速度計測から疲労損傷度を推定できる可能性が示された。

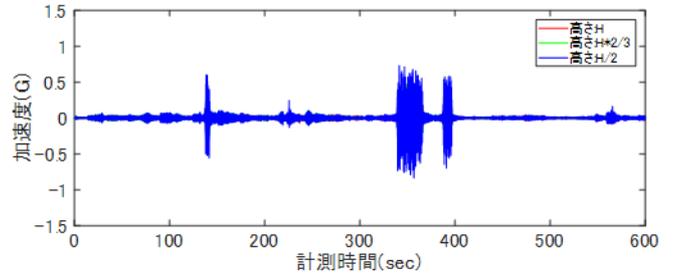
5. 結論

- 1) 照明柱基部でのひずみ計測結果より、照明柱では渦励振により疲労損傷が生じる可能性がある。その際、平均風速が 3m/s 程度で疲労損傷の蓄積が生じると予想され、5m/s 程度となると累積疲労損傷度は大幅に増加する。
- 2) 計測対象とした照明柱は、渦励振時に 1 次モードと 2 次モードが連成した複雑な振動挙動を示している可能性がある。
- 3) 加速度計測結果より、照明柱基部の疲労損傷度を推定できる可能性を示した。

本研究ではひずみ値と加速度値との相関について、実際に計測したデータよりキャリブレーションを行っ



(a) 東西方向



(b) 南北方向

図 5 加速度記録

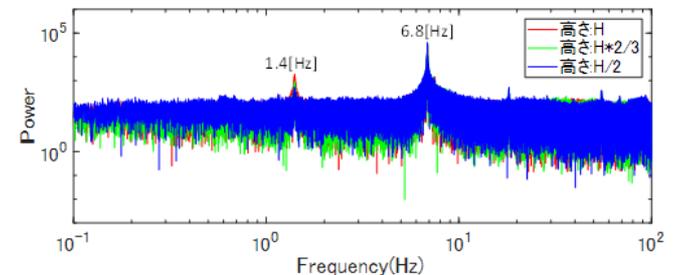


図 6 スペクトル解析結果

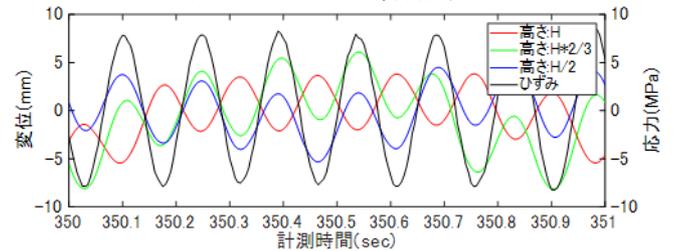


図 7 加速度記録の積分より算出した変位波形とひずみ挙動(350~351 秒)

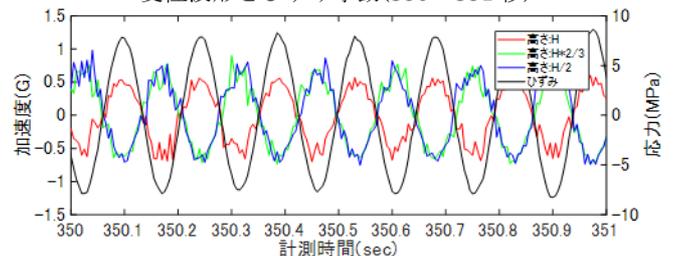


図 8 加速度記録とひずみ挙動(350~351 秒)

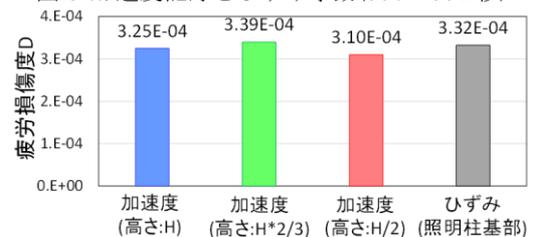


図 9 加速度記録から算出した疲労損傷度

たが、今後は加速度計測から算出される変形挙動などから基部に生ずる応力を推定することで、より簡易に疲労損傷度の推定や渦励振の発生の有無などのモニタリングが可能になると考えられる。