

鋼製照明柱の渦励振による疲労の検討

1090480 林 淳

高知工科大学工学部社会システム工学科

高知工科大学のグラウンドに設置されている照明柱の渦励振による疲労に対する安全性を検討した。照明柱の振動特性は常時微動測定、および固有値解析から求めた。ストローハル数、変動揚力係数は文献を参考にして推定した。変動揚力を静的荷重として載荷して応力を求め、これに動的増幅率を乗じて変動応力振幅を推定した結果、照明柱に疲労が発生する虞はないことが分かった。

Key Words : 渦励振, 疲労破壊, 固有振動数, 応力振幅

1. はじめに

高速道路や橋脚に設置されている照明柱が風による振動で疲労損傷を受ける事例が多く報告されている。高知工科大学グラウンドに設置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と言える。本研究では、風洞実験などを行わず、比較的簡易な方法で、この照明柱の渦励振による疲労損傷に対する安全性の検討を試みた。

2. 検討の方法

まず、手動加振による常時微動から、当該照明柱の固有振動数、および減衰率を計測した。併せて構造解析ソフトを用いた固有値解析も実施し、測定値の妥当性を確認した。次に文献調査からテーバーを有する円形断面柱のストローハル数を推定し、共振風速を求めた。また、同じく文献から変動揚力係数を推定し、変動揚力を静的分布荷重として載荷して最大応力を求めた。これに、周波数応答関数のピーク値を乗じて変動応力振幅の推定値とした。最後に高知における風速頻度分布のデータから、振動発生回数を推定し、疲労に対する安全性に検討を加えた。

3. 照明柱の振動特性

図1に照明柱の概略を示す。この照明柱の3m弱の高さにサーボ型加速度計を設置し、常時微動を計測した。サンプリング周波数は50個/秒、サンプリングデータ数は4096/chとした。収録したデータのフリエスペクトルのピークから固有振動数を求めた。照明柱の構造図から質量、断面剛性などを求め、骨組みモデルを作成して、固有値解析を行い、実験結果と比較した。

なお、この照明柱の上部は逆L形となっていて、水平に張り出した部材の先に照明器具を設けられて

いる。このため、水平2方向の振動特性が若干異なることになるが、器具支持部材に横振動が発生する方向の振動ではスペクトルが乱れる傾向があったため、ここでは支持部材に平行な方向の振動だけを考えることとした。

結果をまとめて表1に示す。解析値の方が若干高い値となっているが、両者は概ね整合するような結果となっており、計測では、1～3次振動が捉えられたと考えられる。解析から求めた振動モードを図2にしめす。

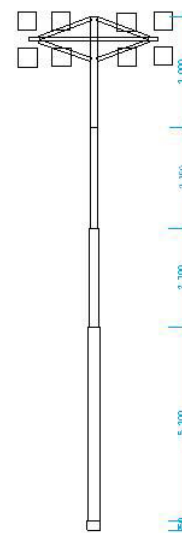


図1 照明柱概形

表1. 固有振動数 Hz

次数	解析値	計測値
1次振動	1.1492	0.9155
2次振動	5.1829	4.883
3次振動	9.7769	8.569

減衰については、当初、RD法による同定を試みたがデータ数不足で期待されるような結果が得られなかったため、スペクトルのピーク付近の形状を近似する周波数応答関数を求め、関数に含まれるパラメータhをもって減衰とした。かなり異常な値を示したものもあるが、ピークの形を比較的良好に近似できたケースではh=0.0015程度の値となった。以上から、対数減衰率は $\delta=2\pi h=0.01$ とするのが適当と判断した。

4. 共振風速と変動揚力係数

文献1)からストローハル数は $St=0.2$ と推定した。これと固有振動数、および高さ8.25m以上の直径が一定となっている部分の径から共振風速を求めた。結果は次の通りである。

1次：0.990m/s 2次：5.281m/s 3次：9.268m/s

同じ文献より変動揚力係数は $CL=0.45$ とした。この値は一般に報告されているもの比べてかなり大きいように思われるが、ここでは安全側の推定とするため、この値を使用することとした。

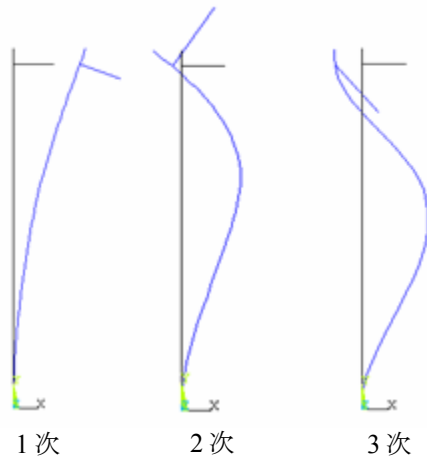


図2. 振動モード

5. 応力振幅の推定

変動揚力から共振時の応力振幅を求める方法としては動的解析によるのが厳密ではあるが、用いた揚力の精度なども勘案して、ここでは変動揚力を静的荷重として載荷して応力を求め、これに周波数応答関数のピーク値、すなわち動的増幅率を乗じて振動時の応力振幅とすることとした。

揚力の載荷位置は、頂部から高さの1/2までとした。ただし、図2に示したように、2次振動、3次振動では、柱の上部でモード縦距の符号が変わっているため、このモードの符号に従って荷重の載荷方向を逆転させた。

静的載荷から得られた応力を調べた結果、振動次数によらず最大応力は柱の下部、正確には基盤から約700mm程度上がった位置で発生していた。この応力に周波数応答関数のピーク値、すなわち $1/2h$ を乗じて共振時の応力振幅の推定値とした。

結果を表2に示す。揚力係数など、かなり大きめの評価をしたにも拘らず、変動応力振幅は高次振動でも $50N/mm^2$ 以下となっている。

「鋼構造物の疲労設計指針」（日本鋼構造協会）によれば、強度等級Dクラスでも 2×10^6 回基本許容応力範囲は $100N/mm^2$ 以上である。したがって、極めて低品質の継手などが用いられていない限り、本照明柱に渦励振による疲労損傷が発生する虞はないも

のと考えられる。

表2 最大応力の算定結果 N/mm^2

次数	静的応力	動的応力
1次振動	7.059×10^{-3}	2.217
2次振動	0.1403	44.07
3次振動	0.1590	49.93

6. 発生頻度の推定

応力レベルから疲労発生のはないことが分かったが、構造諸元などが異なる構造の検討などの際の参考のために、振動発生頻度の推定を行なう。渦励振は共振風速を含むある幅の風速範囲で発生することが知られている。実構造物の観測例などを参考にここでは $0.9V_{cr} \sim 1.1V_{cr}$ の範囲で発生すると考えた。ただし、 V_{cr} は共振風速である。ある風速 V_0 以下の風速の風が発生する確率はワイブル分布で表される。

$$P(V < V_0) = 1 - \exp\left\{-\left(\frac{V_0}{c}\right)^k\right\}$$

ここに c 、 k はワイブルパラメータで高知気象台の観測データについては、 $c=2.08m/s$ 、 $k=1.43$ との報告がある。これを用いれば共振風速範囲の風が発生する確率が求められる。これを年間の発生時間に換算し振動数を乗じれば、1年に発生する振動の回数が求められる。

結果は次の通りである。

1次振動： 2.014×10^6 回/年

2次振動： 3.981×10^6 回/年

3次振動： 1.855×10^5 回/年

1、2次振動では1年で疲労限と言われる200万回を超えている。従って、応力レベルがもう少し高ければ、慎重な疲労検討が必要な頻度であると言える。

6. 結論

渦励振による変動応力振幅を推定した結果、結果が大きめとなる推定を行ったにも拘らず、応力振幅は十分小さく、本照明柱に疲労損傷が発生する虞はないことが分かった。ただし、推定した振動発生回数は極めて多く、応力レベルが高い構造であれば、慎重な疲労検討が必要になるものと言える。

参考文献

- 1)角本直人：下関火力鉄塔支持型煙突の振動について 構造物の耐風性に関する第1回シンポジウム論文集, 1970年
- 2)白石成人, 松本勝, 白土博通, 安田清純：日本の風向別風速発生頻度分布特性-weibullパラメータの同定 日本風工学会誌第22号, 1984年12月