

## I-350

## 衝撃ダンパーによる照明柱の制振効果

九州大学工学部 学生員 ○稲田雅裕  
 九州大学工学部 正 員 烏野 清  
 九州大学工学部 正 員 堤 一  
 川崎製鉄（株） 正 員 城 郁夫

## 1. まえがき

カルマン渦による道路用照明柱の自励振動の制振対策としては、広範囲な風速に対処可能なことや美観上の問題、設置場所の制約条件を考えた時に、制振子を用いた衝撃ダンパーが簡便かつ有効な手段であると思われる。しかし、照明柱はスレンダーな構造であるため、遊間距離 $C$ （制振子が運動すべき間隙）や、構造物に対する制振子の質量比等の設計パラメータはその選定に際して多くの制約を受ける。そこで、模型実験および数値計算により、この制約条件下における衝撃ダンパーの制振効果について検討を行ったので、ここに報告する。

表-1 固有振動数

| 固有振動数<br>(Hz) | 八角柱   |       | 円柱    |       |
|---------------|-------|-------|-------|-------|
|               | 実験値   | 理論値   | 実験値   | 理論値   |
| 面内1次          | —     | 2.94  | —     | 1.89  |
| 面内2次          | —     | 11.34 | —     | 5.61  |
| 面内3次          | —     | 19.85 | —     | 13.87 |
| 面外1次          | 2.82  | 2.94  | 1.83  | 1.87  |
| 面外2次          | 7.13  | 8.74  | 5.58  | 5.27  |
| 面外3次          | 19.16 | 20.28 | 13.55 | 13.74 |

## 2. 振動実験

まず照明柱の振動特性を把握するために八角形断面および円断面を有する2種類の実大照明柱の振動台加振試験を行った。表-1に固有振動数を示す。表中の理論値はFEM解析の結果である。

次に、衝撃ダンパーの基本動特性を解明する目的で、ダンパー模型を振動台に設置し、安定した同期振動を始める限界の入力加速度と衝撃力を種々の遊間距離・加振周波数の下で測定した。実際の照明柱では制振子衝突面にウレタン膜を施して衝突音の低減を図ることから、模型においてもウレタン膜を施さないものと施したものの2種類について行った。図-1、図-2に入力加速度 $\phi$ と無次元パラメータ $C/\phi$ の関係を示す。これらの間には遊間距離および入力周波数と無関係に、ほぼ直線的な関係が見られる。また、ウレタン膜を施すことによって反発係数が減じられるため、同期領域が狭くなっている。

表-2に実大八角形照明柱の風洞実験から得られた結果を示す。ダンパーの設置により対数減衰率が増大し、有効な制振効果が得られている。

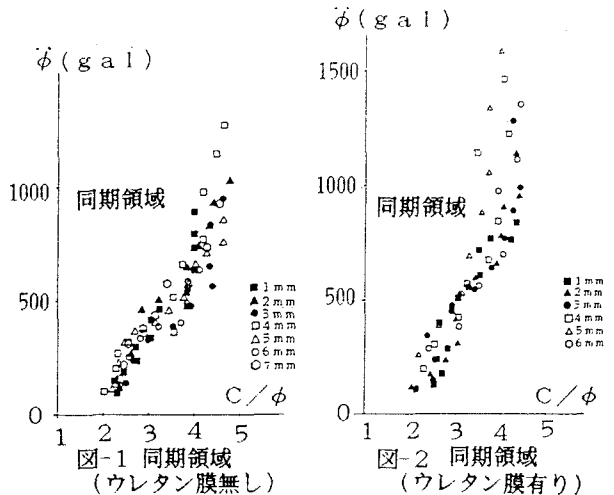


表-2 風洞実験結果（八角柱）

|                    | 無対策時  |      | ダンパー設置時 |      |
|--------------------|-------|------|---------|------|
|                    | 面外1次  | 面外2次 | 面外1次    | 面外2次 |
| 固有振動数 $f$ (Hz)     | 2.82  | 7.13 | 2.82    | 7.13 |
| 共振時風速 $V$ (m/s)    | 3.8   | 9.0  | 3.8     | 9.0  |
| ストローハル数 $S$        | 0.16  | 0.17 | 0.16    | 0.17 |
| 対数減衰率 $\lambda$    | 0.004 | 0.01 | 0.06    | 0.04 |
| ボール頂部変位 (cm)       | 2.27  | 0.57 | 0.16    | 0.11 |
| ボール頂部加速度 (gal)     | 697   | 1013 | 49      | 210  |
| 最大応答発生時刻 $T$ (sec) | 277   | 22.4 | —       | —    |

### 3. 数値計算

設計パラメータと制振効果の関係について検討するために、数値計算によるシミュレーションを行った。その解析にあたり、まず渦励振による照明柱振動を風の強制外力によるものとして解析を行った。多質点系にモデル化した照明柱に表-2に示す諸元を用いて、各次数ごとの風による応答を求める。この場合、揚力係数は風洞実験より得られた最大応答変位が解析値と一致するように決定した。その結果、揚力係数は八角柱において面外1次0.20、面外2次0.21および円柱では面外2次0.03、面外3次0.19となった。以上で求められた照明柱の応答を衝撃ダンパー入力とした。ダンパー内の制振子の滑りを無視した上で、制振子の衝撃力による照明柱の応答を求めるが、その衝撃力は実験より得られた衝撃力作用時間（2msec程度）の間一定と仮定した。表-3は衝撃ダンパー設置時の照明柱の最大応答値について実験値と計算値を比較したものである。両者はよく一致しており、本解析方法で衝撃ダンパーの制振効果を十分に表現できる。

### 4. 制振効果に及ぼす各パラメータの影響

制振子と衝突面の反発係数の違いが照明柱の応答変位に及ぼす影響を比較したものが表-4である。反発係数が大きい程、制振効果も大きいことがわかるが、その影響は小さい。また、制振子の初期位置による影響は全くないと言える。なお、表中に示す制振効率率は次式で定義したものである。

制振効率率 =  $1 - (\text{ダンパー設置時の応答変位} / \text{無対策時の応答変位})$

表-5は遊間距離Cの違いが制振効果に及ぼす影響を示したものである。遊間距離が大きい程衝撃力は大きい、逆に遊間距離が小さい方が、照明柱の応答が小さな早い時刻から制振子が同期し始めるため、実際の制振対策としては有利となっている。

制振子の個数、すなわち構造物に対する制振子の質量比の違いが制振効果に及ぼす影響を比べたものが図-3である。制振子の個数が多くなる程、制振効果も大きくなるが、変化の割合は小さいことから、通常2～4個程度の制振子で十分であると考えられる。

### 5. まとめ

風洞実験および数値計算から、衝撃ダンパーは有効な渦励振対策となり得ることがわかった。実際のダンパーの設計にあたっては、照明柱の各次数において応答加速度を求める。そして図-1、図-2のようなグラフを用いてC/φを求め、最適遊間距離を選定し、数個の制振子を使用するのが合理的であろう。

表-3 最大応答値の比較（ポール頂部）

|           | 八角柱            |      |                |      | 円柱             |      |
|-----------|----------------|------|----------------|------|----------------|------|
|           | 面外1次<br>2.82Hz |      | 面外2次<br>7.13Hz |      | 面外2次<br>5.58Hz |      |
|           | 実験値            | 計算値  | 実験値            | 計算値  | 実験値            | 計算値  |
| 変位 (cm)   | 0.16           | 0.21 | 0.11           | 0.10 | 0.02           | 0.02 |
| 加速度 (gal) | 49             | 67   | 210            | 199  | 20             | 21   |

表-4 反発係数の影響  
(C = 2.3 mm、制振子12個)

| 反発係数<br>e | 最大応答変位 (cm) |        | 制振効率率 |
|-----------|-------------|--------|-------|
|           | ICON 1      | ICON 2 |       |
| 0.1       | 0.20        | 0.20   | 0.72  |
| 0.2       | 0.16        | 0.16   | 0.77  |
| 0.3       | 0.13        | 0.13   | 0.82  |
| 0.4       | 0.10        | 0.10   | 0.86  |
| 0.5       | 0.08        | 0.08   | 0.89  |

ICON 1: 制振子初期位置ダンパー中央

ICON 2: 制振子初期位置ダンパー端部

表-5 遊間距離Cの影響  
(e = 0.3、制振子12個)

| 遊間C    | 変位 (cm) | 加速度 (gal) | 制振効率率 | 時刻 (sec) |
|--------|---------|-----------|-------|----------|
| 1 mm   | 0.07    | 150       | 0.90  | 2.7      |
| 2 mm   | 0.12    | 240       | 0.83  | 6.0      |
| 2.3 mm | 0.13    | 270       | 0.82  | 7.1      |
| 3 mm   | 0.16    | 325       | 0.78  | 10.2     |
| 4 mm   | 0.20    | 440       | 0.72  | 16.4     |

