

比較的軽量な大型門型柱に対する制振対策方法の検討

○中央大学 学生員 曾根龍太 中央大学 正会員 平野廣和
中井商工(株) 正会員 藤田和也 中央大学 正会員 佐藤尚次

1. はじめに

道路上にある標識柱や照明柱等の独立柱状構造物は、交通荷重や風荷重等の様々な動的な外乱によって繰り返し荷重を受け、振動を起こす環境下に設置されることがある。これにより標識柱の基部補強リブ上端に疲労亀裂が発生したという報告もある¹⁾²⁾。このような背景から、道路付属構造物の振動の把握および制振対策が、近年の重要な懸案事項となっている。道路付属構造物の中でも、比較的長いスパンを有しているのが門型柱である。門型柱は、信号用や標識用などとして一般道から高速道路上にまで幅広い範囲に設置されている。既往の研究²⁾では、写真-1に示す比較的軽量な信号用大型門型柱を対象に、振動の計測が行われた。これにより、本構造物は非常に減衰が小さいため、一度発生した振動は減衰しにくいことがわかっている。

既往の研究¹⁾²⁾では、制振装置を用いた制振対策を提案している。一方、本研究では、新たに補強部材を追加した場合の制振効果を汎用構造解析ソフトを用いて検証する。まず、門型柱に対して静的解析に基づく固有値解析を行い、各固有モードの変形形状、固有振動数を確認する。次に門型柱を自由振動させたときの動的応答解析を行い、応答変位、減衰定数および振動数を算出し制振効果を予測する。さらに固有値解析の結果と比較することで、動的解析の信頼性を検証する。最後に、固有値解析の結果をもとに渦励振振動発現予測風速を算出し、構造物の耐風性について検討する。

2. 固有値解析

(1) 目的

比較的軽量な門型柱に対して、①補強なし、②図-1に示すブレース付加の各々の場合に対して汎用構造解析ソフト LUSAS を用いて固有値解析を行い、各固有モードの変形形状、振動数を算出する。

(2) 解析概要

ブレース付加による各固有モードの振動数への影響を把握するため、固有値解析を行う。図-1のブレース付加に関しては、ブレースに L 字型の等辺山形鋼(JIS G 3192)を使用し、断面寸法は L100×100×10 である。これを左右 2 つ配置し、取り付け金具を介して T 字型に取り付ける。取り付け金具の厚さは等辺山形鋼 2 つ分の厚さと同じ 20mm とする。材料は本体円筒部分が STK400、L 型の補強部材は SS400 である。有限要素は四角形 2 次要素を使用し、本体は円筒部分の円周を 36 分割、また長さ方向に 100mm に分割する。ブレースは板の縦横ともに 4 分割し、基部は完全拘束とする。表-1 に解析緒元を示す。ここで座標の定義は、面内左右方向を X、上下方向を Y、面外方向を Z とする。



写真-1 比較的軽量な大型門型柱の例

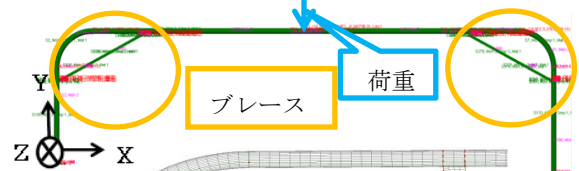


図-1 ブレース付加の解析モデル

表-1 解析緒元

ヤング率[MPa]	ポアソン比	密度[t/mm ³]	要素形状
2.00E+05	0.3	7.90E-09	四角形2次要素
		節点数	要素数
補強なし		34199	11160
ブレース付加		34266	11337

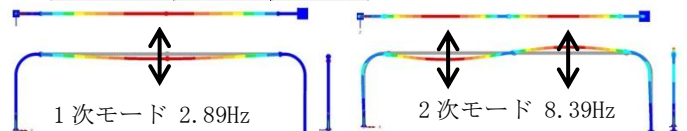


図-2 補強なしの固有モード

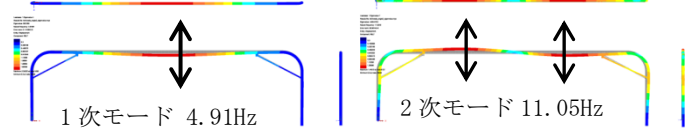


図-3 ブレース付加の固有モード

(3) 解析結果

図-2に補強なしの場合、図-3にブレース付加の場合での各固有モードの形状と固有振動数を示す。上下方向に振動するモードは、ブレースの付加により、1次は 2.89Hz から 4.91Hz へ、2次は 8.39Hz から 11.05Hz へと高振動数側にシフトしていることがわかる。固有振動数が高くなることに比例して渦励振振動発現風速が高くなるので、構造物の耐風性が向上していることがわかる。これについての詳細は後述する。

2. 動的解析

(1) 目的

門型柱に対して動的応答解析を行い、ブレース付加による制振効果を予測する。さらに、各固有モードの変形形状、固有振動数を固有値解析の結果と比較し、動的解析の信頼性を検証する。

(2) 解析概要

解析モデル・解析緒元は固有値解析と同一とする。応答解析時間は、解析の時間的効率から 6 秒間とする。

加振方法は、梁部中央の Y 方向に初期変位として無次元量 1.0 を生じる集中荷重を载荷し、6 秒間自由振動させる。解析後、X, Y 各変位の時刻歴応答波形を算出し、これより減衰定数、振動数を算出する。また減衰効果も把握する必要があるため、変位がどれだけ小さくなるかについても比較する。

(3) 解析結果

算出した梁部材中央の X, Y, Z 各変位の時刻歴波形を図-4, 5 および 6 に示す。また、図-7 にリサージュ図を示す。Y 方向に初期変位を同じにする場合、ブレース付加に载荷した荷重は、補強なしに载荷した荷重の約 3 倍の大きさを要する。図-5 から、ブレースを付加すると減衰が大きくなることがわかる。X 方向の変位の最大値はほぼ変わらない。一方、Z 方向の変位は、補強なしの場合ではほぼ 0 であるが、ブレース付加の場合では最大で約 0.04 となる。しかし図-7 から、梁部材中央は主に鉛直方向に振動しており、Z 方向の振幅は微小であることがわかる。算出した Y 方向の減衰定数、周期及び振動数を表-2 に示す。ブレースを付加した場合、減衰定数は約 2 倍になる。よって、ブレースを付加することにより、剛性が上がり、減衰定数も大きくなるが、Z 方向に微小な振幅が生じるという結果が得られた。

また、この挙動において固有値解析(図-2, 3)と動的解析(表-2)の形状と振動数を比較する。動的解析で行った梁部材の中央が上下方向に振動する上下方向 1 次モードの挙動は、全体の 2 次モード、4 次モードに対応することがわかる。この挙動の固有振動数は、補強なしの場合とブレース付加の場合ともよく一致している。既往の研究¹⁾では固有値解析と実測データの振動数はほぼ一致し、本研究では固有値解析を行った場合と動的解析を行った場合に、算出される上下方向 1 次モードの振動数がほぼ一致することが確認できる。このことから今回行った動的解析の結果も実測値とほぼ同じであると予測でき、算出した固有振動数についての信頼性は高いといえる。

4. 渦励振発現風速

固有値解析で算出した振動数から、補強なしの場合、ブレース付加の場合それぞれの渦励振発現予測風速を算出する。渦励振発現風速は次式で求められる。

$$U = \frac{f_i * D}{S_t} \quad (1)$$

ここで、 U は渦励振発現風速(m/s)、 f_i は i 次モードにおける固有振動数(Hz)、 D は円型柱の直径(m)、 S_t は円柱周りにおけるストローハル数である。計算には $S_t=0.2$ 、 $D=216.3\text{mm}$ を用いる。算出した各モードの渦励振発現予測風速を表-3 に示す。一般に渦励振振動は上下方向 2 次モード以上で発現する確率が高い。よって渦励振発現予測風速を 2 次モードの振動数で算出すると補強なしの場合では 9.07m/s、ブレース付加の場合では 11.96m/s となる。このことから、ブレースを付加することにより渦励振発現風速が約 1.3 倍になることがわかる。

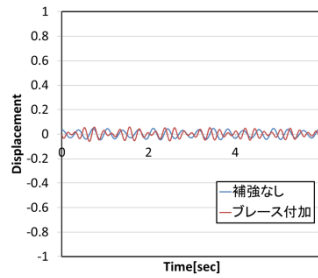


図-4 減衰波形(X方向)

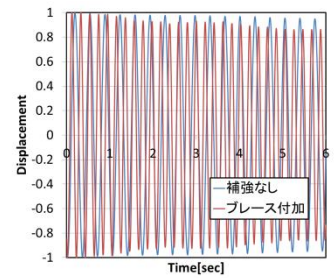


図-5 減衰波形(Y方向)

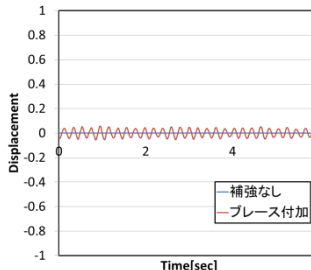


図-6 減衰波形(Z方向)

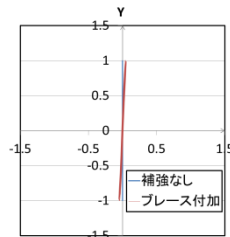


図-7 リサージュ曲線

表-2 解析結果

	減衰定数[%]	振動数[Hz]
補強なし	0.044	2.88
ブレース付加	0.085	4.86

表-3 渦励振発現風速の解析結果

解析モデル	固有振動数[Hz]	渦励振発現予想風速[m/s]
補強なし	8.39	9.07
ブレース付加	11.05	11.96

5. おわりに

(1) 固有値解析について

本構造物に対して、固有値解析を行い、各固有モードの変形形状、固有振動数を算出した。上下方向に振動するモードは、ブレースの付加により、高振動数側にシフトしていることがわかった。

(2) 動的解析について

本構造物に対して、自由振動させたときの動的応答解析を行い、応答変位、減衰定数および振動数を算出し、制振効果を分析した。ブレースを付加した場合に剛性が上がり、減衰定数が約 2 倍になった。また固有値解析の結果と比較をすると、動的解析で解析した上下方向 1 次モードは、全体の 2 次モード、4 次モードに対応することがわかった。それぞれの振動数はほぼ一致出することから動的解析の結果は信頼性の高い値といえる。

(3) 渦励振発現風速について

固有値解析の結果をもとに渦励振振動数発現予測風速を算出した。振動数は上下方向 2 次モードの固有振動数を用いて算出した。その結果ブレースを付加した場合、渦励振発現風速が約 3m/s 程度大きくなり、耐風性が向上するという結果が得られた。

今後の検討として、ブレースを付加する場合では、取り付け位置を変更したモデルを解析し、制振効果を比較する。さらに、今回の結果より、上下方向に制振効果があるブレースと、水平方向の制振効果があるダンパーを同時に用いることで、円型柱に対する制振効果は向上すると考えられる。そこでブレースと制振装置を同時に用いた構造物に対しても制振効果を解析と実機の計測から把握する。

(参考文献)

- 金子勇佑：独立柱状構造物における制振対策に関する研究, 中央大学卒業論文, 2010
- 佐藤佳紀：MTRMD による CCTV 施設に係る費用の大幅な低減の提案, 中央大学卒業論文, 2008