

軽量な大型門型柱に対する構造的制振対策方法の検討

○中井商工(株) 正会員 藤田和也 中央大学 学正員 曾根龍太
中井商工(株) 正会員 連 重俊 中央大学 正会員 平野廣和

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⁾。また、2011年3月11日に発生した東日本大震災(M9.0)でも鉄道橋上に設置された門型柱、架線柱、高架道路上の標識柱などに多くの被害が発生している。このような背景から、道路附属構造物の振動の把握および制振対策が、近年ますます重要な懸案事項となっている。これらの附属構造物の中で、長いスパンを有している門型柱は、信号、標識、カメラ用などとして一般道から高速道路にまで幅広く設置されている。高速道路の基準によると400m毎に設置されていることから都市高速だけでも数千本を数えることになる。

既往の研究²⁾によれば、写真-1に示す軽量の信号用大型門型柱を対象に、振動計測が行われている。このような門型構造は、減衰定数の小さい構造のため、一度発生した振動は長時間持続することがわかっている。これら、既往の研究^{1),2)}では、制振装置を用いての制振対策を提案しているが、上下(Y方向)に関しては課題を残している。一般的には、上下(Y方向)の制振に関してはメカニカルダンパーやフリクションダンパーを採用するなど、この種の構造物に比しては規模の大きな装置を設置することになる。ここに、本研究では、新たに簡易な補強部材を追加する手法の制振効果に対して汎用構造解析ソフトを用いて予測している。

まず、門型構造に対して静的解析における固有値解析を行い、各モードの変形形状、固有振動数を確認する。次に門型構造に自由振動を与えたときの動的応答解析を行い、応答変位、減衰定数および固有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も検証する。これらより渦励振発現予測風速を算出し、構造物の耐風性について評価する。

2. 固有値解析

(1) 目的

比較的軽量の門型柱に対して、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、取付け金具を介してT字型に取り



写真-1 比較的軽量な大型門型柱の例

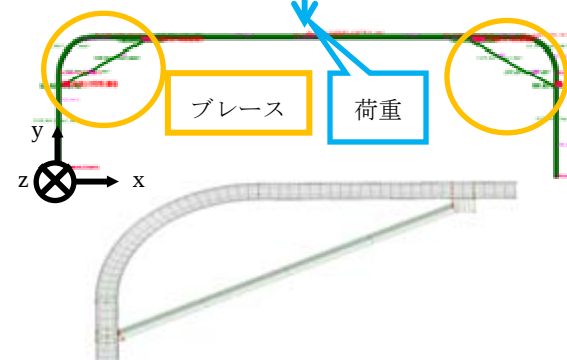


図-1 ブレース付加の解析モデル

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
2.0×10 ⁵	0.3	7.90×10 ⁻⁹	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

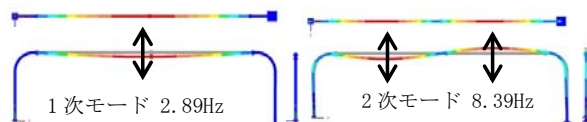


図-2 補強なしの固有モード

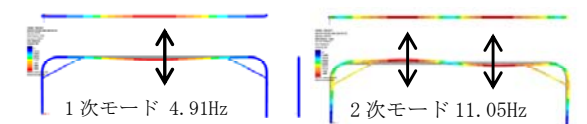


図-3 ブレース付加の固有モード

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。

(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

キーワード：制振方法、渦励振、動的解析、門型構造物、補強

連絡先：〒537-0023 大阪市東成区玉津 2-1-5 TEL:06-6976-4481 FAX : 06-6981-0165

数が高くなることに比例して渦励振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。

3. 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変位量1.0を生じる集中荷重を載荷し、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、ブレース付加に載荷した荷重は、補強なしに載荷した荷重の約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によく一致している。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。渦励振発現風速は式(1)で求められる。

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

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 は門型柱の直径(m)、 S_i は円柱周りにおけるストローハル数である。計算には $S_i=0.2$,

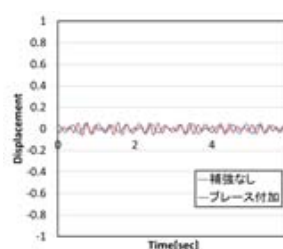


図-4 減衰波形(X方向)

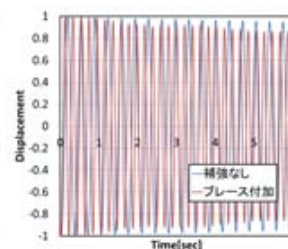


図-5 減衰波形(Y方向)

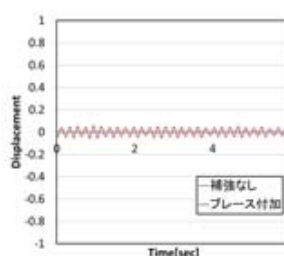


図-6 減衰波形(Z方向)

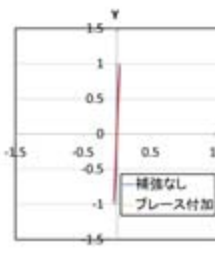


図-7 リサージュ曲線

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]	渦励振発現予測風速[m/s]
補強なし	8.39	9.07
ブレース付加	11.05	11.96

$D=216.3\text{mm}$ 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。

5. おわりに

本構造物に対して、まず固有値解析を行い、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。

次に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。

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。

参考文献

- 金子, 佐藤, 平野, 井田: 多方向転動型同調質量ダンパーの実用化に向けた検討, 第38回関東支部技術研究発表会, 1-27, 2011.3.
- 曾根, 藤田, 平野, 佐藤: 比較的軽量な大型門型柱に対する制振対策方法の検討, 第39回関東支部技術研究発表会, 1-49, 2012.3.