

チェーンダンパーを有する照明柱の 地震応答特性

飯田 毅¹・河野健二²・飯田久雄³・立石一真⁴

¹大阪産業大学教授 工学部土木工学科 (〒574-8530 大阪府大東市中垣内3-1-1)

E-mail:iida@ce.osaka-sandai.ac.jp

²鹿児島大学教授 工学部海洋土木工学科 (〒890-0065 鹿児島市郡元1-21-40)

E-mail:kawano@oce.kagoshima-u.ac.jp

³住友金属建材株式会社 土木建材技術部長 (〒660-0891兵庫県尼崎市扶桑町1-21)

E-mail:iida-h@sp.smik.co.jp

⁴住友金属建材株式会社 土木建材技術部 (〒660-0891兵庫県尼崎市扶桑町1-21)

E-mail:tateisi-ka@sp.smik.co.jp

本研究は柱状構造物のカルマン渦励振対策用の一つとして開発されたチェーンダンパーを照明用柱に取り付け、地震荷重を対象に応答解析を行いチェーンダンパーの制震効果について検討したものである。照明用柱、標識柱などは減衰が小さいため、風荷重などの動的外力を受けると大きな応答を示し破壊に至るケースも生じており、その対策の一つとしてチェーンダンパーが実用化されている。ここでは、動的外力として地震荷重を取り上げ、チェーンダンパーの有無、付加される減衰の影響について検討した。その結果、地震のような不規則な動的荷重に対しては固有振動数や質量比、橋梁など構造物の応答の影響を大きく受けるが、チェーンダンパーは地震荷重に対しても有効な減衰効果を与えることが判明した。

Key Words :chain damper,dynamic response of pole lamp , damping evaluation , seismic responses

1. 緒言

柱状構造物の一つである照明用柱は減衰が小さいため大きな振動を受けやすい構造特性を有している。これまで橋梁上に設置された照明用柱において、風によるカルマン渦励振を受け大きく振動し、部材の疲労破壊に至ったケースがあり、制振対策の一つとしてチェーンダンパーを用いる方法が実用化されている。チェーンダンパーは外装管内部にチェーンを懸架することにより、振動時にチェーンが外装管内壁に衝突して、振動エネルギーを逸散し制振効果を得る構造である。チェーンダンパーの適用例としては大鳴門橋の照明用柱^{1),2),3)}を始めとして、瀬戸大橋、多々羅大橋、来島海峡大橋、明石海峡大橋の照明用柱など、多数挙げられる。

チェーンダンパーの制振効果については、今迄実験的に検証されてきたが、適用性拡大を考えるに解析的検討の必要性が高まり、風によるカルマン渦励振での応答特性について解析的検討を進め実験結果との妥当な一致をみた。⁴⁾ 本研究では、更なる展開として地震荷重への適応性を検討するに当たり、

チェーンダンパーを有する照明用柱が地震動の影響を受けるときの動的応答特性について検討を加え、チェーンダンパーの有無による応答比較と付加される減衰について評価した。この減衰は取付け位置、チェーンと外装管の間隔等によって異なるため、それらの影響についても検討を加えた。

2. チェーンダンパーによる減衰評価

照明用柱にチェーンダンパーが取付けられた例を図-1に示す。¹⁾ チェーンが外装管に衝突することにより生じるエネルギーの損失は等価な質量 m_e と減衰係数 c_e を用いて表される。構造物を1自由度系で表し、それにチェーンを取付けた場合の振動モデルは図-2のように表される。構造物の質量を M_0 、剛性を K_0 、減衰係数を C_0 とすると、運動方程式は次のようになる。

$$M_0\ddot{x} + C_0\dot{x} + K_0x + m_e\ddot{x} + c_e\dot{x} = F(t) \quad (1)$$

ここで、 M_0 は外装管を含む構造物の質量、 x は構造物の変位振幅をそれぞれ表している。

チェーンを装着した構造物が振動数 ω で振動するとき、その変位応答は次式で表される。

$$x = x_0 \cos(\omega t + \phi) \quad (2)$$

ここで、 ϕ はチェーンの衝突によって生じる位相角であり、 m_e と c_e は管壁への衝突エネルギーを運動エネルギーと減衰エネルギーの和として表すことで求められる。過去の研究例^{4),5)}も参考に減衰係数 c_e を次のように与えて解析を行った。

$$\frac{c_e}{m_0 \omega} = b \frac{d}{x_0} \quad (3)$$

ここで、 b は定数、 m_0 はチェーンの質量であり、 d/x_0 は外装管とチェーンの間隔 d と構造物の応答振幅の比で、 d/x_0 と減衰係数 c_e の関係を示している。この式から分かるようにチェーンダンパーの効果を減衰係数で表すと構造物とチェーンの質量の比、チェーンと外装管の間隔等による影響を受けることが分かる。

3. チェーンダンパーを有する照明用柱の動的応答特性

(1) 地震応答解析法

照明用柱を多自由度系の振動モデルとして表し、任意の位置にチェーンダンパーを取り付ける場合を考えると、振動モデルは図-3のように示される。この図ではチェーンダンパーは2箇所に取り付ける場合を示しているが、その箇所を増やす場合も同様に扱うことができる。

一般にチェーンダンパーは応答を支配する振動モードを参考にして最も大きな応答を示す箇所に配置することが必要になる。照明用柱が動的外力を受ける場合の運動方程式は次式で表される。

$$[M_s] \{\ddot{x}_s\} + [C_s] \{\dot{x}_s\} + [K_s] \{x_s\} = \{F_s\} \ddot{z}_b \quad (4)$$

ここで \ddot{z}_b が地震荷重を表している。 \ddot{z}_b の評価法として、本解析では橋梁等の構造物上に照明用柱が設置される場合を想定しており、地震入力は構造物の振動の影響を受けたものとなる。そのため入力される地震力は次のような1自由度振動系の応答を求め、それを照明用柱への入力とした。

$$\ddot{Z}_b + 2\beta \omega_0 \dot{Z}_b + \omega_0^2 Z_b = -\ddot{Z}_g \quad (5)$$

ここで β, ω_0 はそれぞれ橋梁構造物の主要な振動

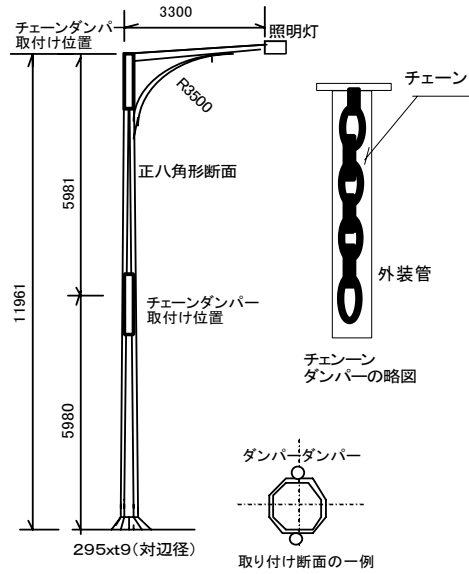


図-1 チェーンダンパーを取付けた照明用柱の例

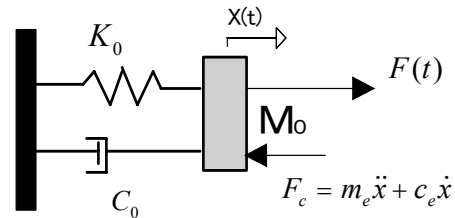


図-2 チェーンダンパーを取付けた1自由度系の振動モデル

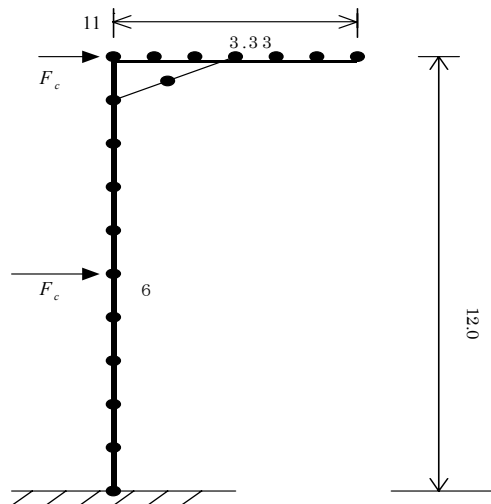


図-3 照明用柱の解析モデル (単位 m)

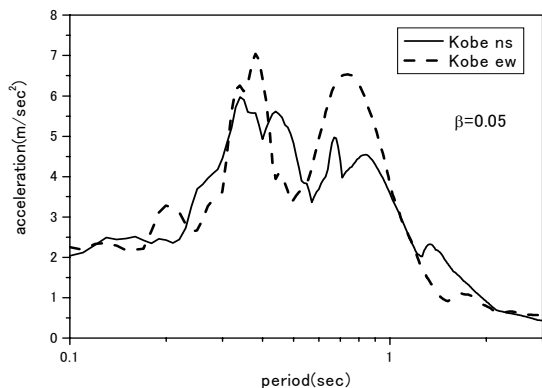


図-4 加速度応答スペクトル (神戸)

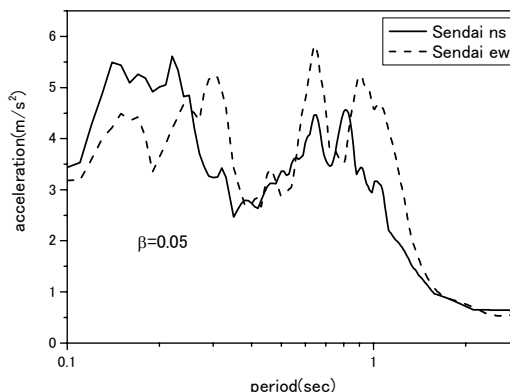


図-5 加速度応答スペクトル (川内 (1997))

モードの減衰定数と卓越振動数である。チェーンダンパーを取り付けた1自由度振動系の応答特性についてはチェーンダンパーによる減衰係数が式(3)で与えられるとして解析した。ここで、パラメータ b については幾つかのケースについて解析を行った。

(2) 入力に用いた地震荷重の応答スペクトル

応答解析に用いた地震波は兵庫県南部地震の神戸海洋気象台における地震波と鹿児島県北西部地震(1997年)川内の地震波の2つであり、それぞれの応答スペクトルを図-4、5に示す。減衰定数はいずれも5%であり、最大加速度は200galに調整している。これらの地震波の周波数特性を見ると、神戸では固有周期が約0.4秒と0.8秒の成分が卓越し、また川内では約0.2秒と0.7秒、1.0秒での応答が大きくなっている。

(3) 時刻歴応答

図-3の解析モデルの固有周期は約0.7秒であり、橋梁の固有周期によって照明用柱への入力特性は大きく異なる。初めに橋梁の固有周期が1秒の場合の時刻歴応答を求め、チェーンダンパーの影響を示す。解析では照明用柱固有の減衰定数は0.3%とした。図-6、図-7はいずれも地震波を入力した場合の照明用柱の時刻歴変位応答を示している。図における実線はチェーンダンパーを用いた場合であり、破線はそれが無い場合の応答を示している。

図-6の時刻歴は神戸の地震波に対する変位応答であり、チェーンダンパーがない場合の応答は減衰が小さいため、入力波の主要動が終わった後も大きな振動を示している。一方、チェーンダンパーを用いる場合は、振動の初期では制振効果が小さいが、時間が経過し振動が定常になるに従って制振効果が增加することが分かる。

なお、振動の初期では応答の増加が見られるが、

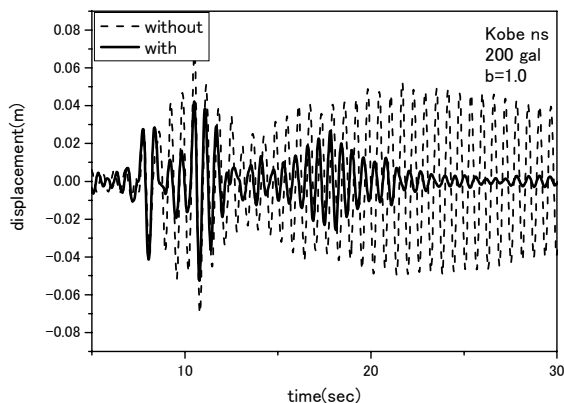


図-6 時刻歴応答 (神戸 NS (減衰式 (3)))

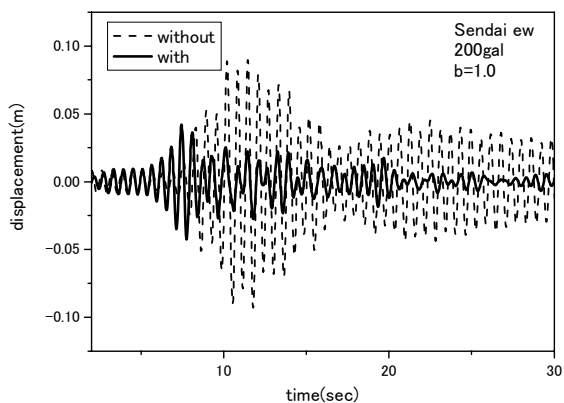


図-7 時刻歴応答 (川内 EW (減衰式 (3)))

これはチェーンによる質量増加の影響もあると考えられる。全体としては振動が増幅するにつれて、チェーンダンパーによる制振効果が現れることが分かる。

図-7は川内での地震波に対する変位応答を表している。川内の地震波は中周期成分が主要なものであり、この場合も振動が増幅するにつれて応答が制振されていることが分かる。

(4) 橋梁の固有周期をパラメータとした場合の最大応答

地震入力が橋梁を介して照明用柱に入力される場合、橋梁構造物の振動の影響を反映したものとなる。このため橋梁の応答をその固有振動数による振動が卓越した1自由度系と見なし、照明用柱の入力とする。その地震応答を照明用柱の入力として動的応答解析を行うことにより、チェーンダンパーの影響を表すことができる。これより構造物のそれぞれの固有振動数 ω_0 をパラメータとして地震入力に対する照明用柱の最大応答を求めることができる。最大応答に注目すると、それは各振動数 ω_0 の関数となるため、その結果は応答スペクトルに類似した方法で示すことができる。

図-8は神戸のNS成分に対する節点11での最大変位応答をチェーンダンパーの有無で比較したものである。いずれの固有周期（橋梁がフィルターになっている）に関しても制振効果があることが分かる。この場合の照明用柱の固有周期は約0.7秒であり、この付近で応答が最も大きく、制振効果も大きい。

4. 結言

チェーンダンパーを有する照明用柱の地震に対する動的応答解析を行い、ダンパーの制振効果について検討した。結果を要約すると次の通りである。

(1) 1自由度系構造物にチェーンダンパーを取付けた場合、減衰効果はチェーンと構造物の質量比、チェーンとそれを取付ける外装管との間隔、構造物の固有振動数などのパラメータなどによって表される。減衰定数の評価のためにはこれらの関係を把握しておくことが必要になる。

(2) 地震動を受ける橋梁の振動にともなって生じる照明用柱の振動に対してもチェーンダンパーは有効な減衰効果を与えることが分かった。

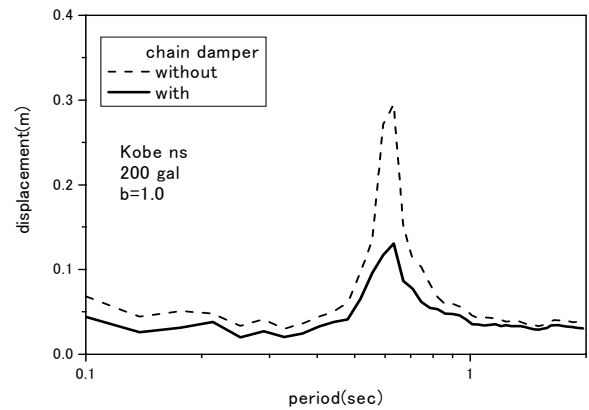


図-8 最大応答変位の比較（神戸NS）

(3) 特に、大きな振動が生じる固有振動数の近傍では、その応答が大きくなるため、それによってチェーンダンパーの減衰が増幅される傾向にある。地震波の振動特性や構造物の固有振動数によって、その減衰効果も異なるため、それぞれについて検討を加えておくが必要になる。

参考文献

- 1) 山田勝彦, 秋本茂男: 大鳴門橋照明用柱の耐風検討, 本四技報, No.36, 1985, pp.26-29
- 2) 山田, 飯田, 和泉, 多田; 照明柱の風による振動とチェーンダンパの制振効果(その1, 現地計測計測と小型模型振動実験); 土木学会第43回年次学術講演会, 1988年10月
- 3) 和泉, 山田, 渡辺; 照明柱の風による振動とチェーンダンパの制振効果(その2, 実大振動実験); 土木学会第43回年次学術講演会, 1988年10月
- 4) 河野健二, 飯田毅, 立石一真; チェーンダンパーによる照明用柱の減衰特性に関する研究, 鋼構造年次論文報告集, 8, pp.91-96, 2000.11
- 5) W.H.Reed.; Hanging-chain impact dampers: A simple method for damping tall flexible structures, NASA Langley Research Center. U.S.A., Paper 36, pp.283-321

(2003年9月5日受付)

DYNAMIC RESPONSE CHARACTERISTICS ON POLE LAMP STRUCTURE WITH CHAIN DAMPER

T.IIDA, K.KAWANO, H.IIDA, K.TATEISHI

The damping effect due to chain damper for the pole lamp, which is yielded by the impact energy between the chain and the pole, is examined. The seismic response analyses of the pole lamp with the chain damper are carried out using the results on the evaluation of the critical damping ratio due to the chain damper and the dynamic response characteristics. The chain damper can be provided the effective damping for its very small damping structure such as the pole lamp. It is suggested that the very effective reduction on the seismic responses, which can be caused to severe vibration for the pole lamp, can be implemented to the structure with the chain damper.