

3 スパン高架橋のプロップ式ダンパーによる制振解析

池上俊輔^{*1}・豊田泰史^{*1}・島崎洋治^{*2}

Effect of Prop-Type Damper on Vibration of Three-Span Continuous Bridge

by

Shunsuke IKEGAMI^{*1}, Yasushi TOYODA^{*1}, Yoji SHIMAZAKI^{*2}

(Received on Mar. 23, 2006 & Accepted on Jun. 3, 2006)

Abstract

We present a prop-type damper that can control the undesired vibration of a bridge girder. The damper consists of a prop and a damping material, and was placed between the pier and the girder of the bridge at a suitable angle. During the vertical vibration of the bridge girder, the damping material at the tip of the prop converts the vertical vibration into horizontal vibration. Owing to the horizontal motion of the damping material, the vibration of the bridge girder can be decreased effectively. We apply the prop-type damper to a three-span continuous bridge to attenuate the vibration caused by a live load. TDAPIII LT (3D software for framework analyses) is used to elucidate the effects of the prop-type damper.

Keywords: Damping Device, Passive Control, Time History Response

1. 緒言

振動は一般に強制的に発生されるが、自然的に発生する場合もある。前者は自動車や鉄道車両が走行中に路面から励振される振動、地震による揺れ、空気や壁の振動に伴う騒音など様々である。後者の例を代表とするものに自励振動がある。建設中の主塔構造物や超高層ビルの揺れ、この現象はそれら構造物の裏側で発生する渦の周期が構造物の最も振動しやすい周期と一致したとき発生する渦励振と呼ばれる自励振動である。

これらの振動は、構造物の信頼性、精度、品質、寿命などを損なうばかりか、安全性、居住性、人体に与える振動障害や騒音公害など、様々な問題を引き起こす。地震多発国である日本においても大地震が起こるたびに新しい耐震技術が提案され、諸基準が改定されてきた。日本における耐震構造の概念は19世紀にさかのぼる。明治以降の建築技術の改良は伝統的な木造家屋の不燃化に主眼が置かれて、その手段として欧米の煉瓦造・石造の導入が盛んに行われた。しかし濃尾地震や関東大震災では木造のみならずこれらの不燃構造も大きな被害を受け、欧米で一般的な構造形式が地震に対しては脆弱であることが明らかになった。1970年代に入ると高層ビルに対する世の中のニーズとコンピュータによる動的解析というツールが一致し、建物を柔らかく長周期に設計することによって地震入力を減らした柔構造設計法が確立された。1980年代に入ると安定した支持能力・鉛直剛性を持ち、水平方向には剛性が低く変形能力の高い積層ゴム支承がニュージーランドで実用化されたことを受けて、日本でも免震建物が建設されるようになった。ただし、免

震構造は比較的低層の建物に適した構造であり、高層建物には有効でなかったことから、高層建物やタワーなどについては主構造内に各種の制振部材・ダンパーを組み込んでエネルギー吸収を図る制振構造が開発された。ダンパーをコンピュータ制御されたアクチュエータで能動的に制御し、揺れを最小限に抑えようとするアクティブ制振も実用化されたが、巨大な質量を持つ構造物を能動的に制御するには莫大な電力エネルギーが必要である¹⁾。本研究で用いるプロップ式ダンパーはパッシブ型の粘性減衰機構に分類されるダンパーである。

橋梁の振動は風や地震による自然的要因から発生する振動、自動車やトラックなどの通過ともなう人為的要因から発生する振動などがある。これらの振動を軽減するために各種の免震や制振装置が開発されている。しかし、多くの免震や制振装置はその性能を確実に発揮するために装置の機構が複雑化し、製作や維持管理のコストが高くなるなどの問題が考えられる²⁾。

本研究では模型単純梁において有効性が確認されたプロップ式ダンパー⁴⁾を鋼3径間連続非合成2主桁橋に適用し、3次元骨組構造解析プログラムによる解析によりこの効果を確認した結果を示す。

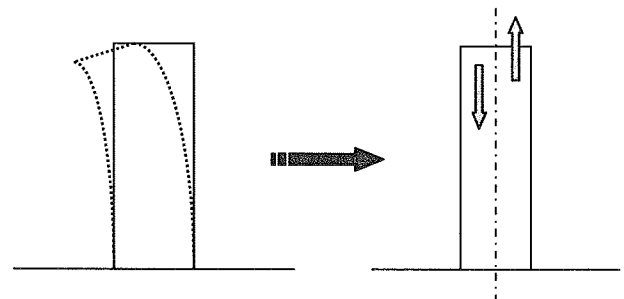


Fig.1 Bending deformation

*1 大学院工学研究科土木工学専攻博士課程前期

*2 工学部土木工学科教授

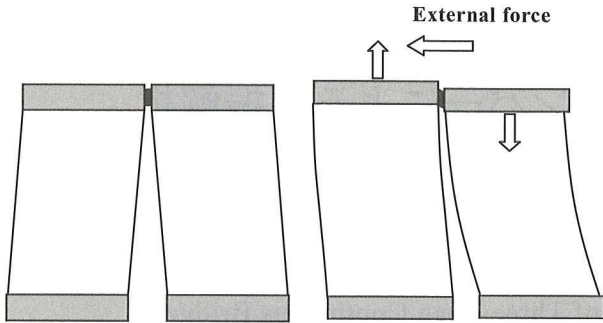


Fig. 2 Shearing deformation

2. プロップ式ダンパーの減衰機構

構造物の振動に対する変形モデルは片持ち梁のような曲げ変形するものとラーメン構造のようにせん断変形すると仮定できるものがある。Fig.1 に示すような曲げ変形の場合、構造物の断面の中立軸でせん断力が最大となる。この場合、この中立軸で2つの構造物に分け、これら2つの構造物の間に減衰装置を取り付けることによって制振効果を得る構造とすることができる。

Fig.2 に示すように柱に傾斜角を与えて2つの構造物を組み合わせると、水平方向の振動に対して、鉛直方向にも連動するようになる。この二つの構造物の連結部分に粘性材料を挟むことにより粘性材料がせん断変形し、大きな減衰の効果を得ることができる⁹⁾。

この考えを応用して、橋梁の端部に Fig.3 に示すようなプロップ（つかえ棒）を取り付け、その先端にダンパーを取り付けると、橋梁の鉛直方向の振動に対して水平方向にも連動するようなダンパー構造とすることができる。ダンパーと梁の間に適当な粘性材料を挟むことで必要な減衰効果を得る構造とすることができる。

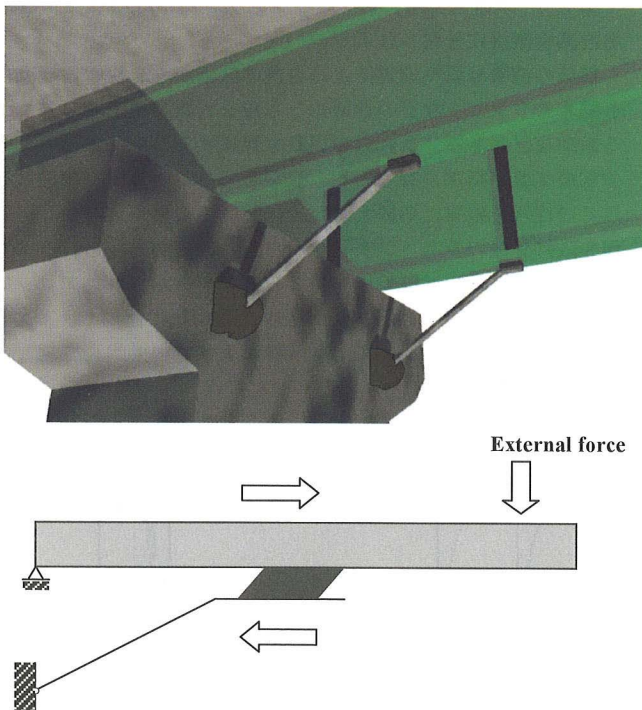


Fig.3 Schematic diagram of Prop-type damper

3. 橋梁モデル

解析の対象となる高架橋は、支間長合計 150m で、径間比 1 : 1 : 1 の鋼 3 径間連続非合成 2 主桁橋である。幅員は 10.41m、ウェブ高は 2.95m である。Fig.4 は橋桁断面の概略図である。橋梁の解析モデルは標準部、端部近傍、中間支点部近傍、横桁の四部分に分けた。橋桁の断面積は 1m²、ヤング係数は 200GN/m²、減衰比は 0.01、ポアソン比は 0.3 とした。4 つに分けた各部分の断面二次モーメントおよび単位重量を Table. 1 に示す。

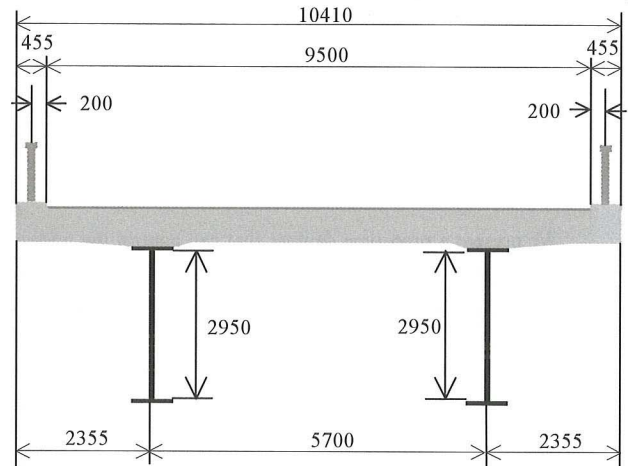


Fig.4 Cross-section surface of bridge girder

Table.1 Moment of inertia and unit weight of bridge

	Standard portion	Vicinity of supports	Midle portion	Cross girder
Moment of inertia (m ⁴)	0.440681	0.277987	0.435257	0.000100
Unit weight (kN/m ³)	6.5116	6.1782	6.4234	1.8093

4. 解析方法

市販の解析ソフト TDAP III LT を用いて、橋桁の時刻歴応答解析と静解析によるプロップ材の応力照査を行う。解析に用いたプロップ部材は 400×400mm の H 鋼である。橋台とプロップ部材の結合部はピン支承とした。ヤング率は 200GN/m²、減衰比は 0.01、ポアソン比は 0.3、単位重量は 7.8551kN/m³ である。粘性材料は高さ 0.1m、プロップ部材の高さは 1.0m とした。粘性材料は Fig.5 のように、ばねとダッシュポットを並列に結合したモデルとし、ばね定数は 10MN/m とした。ばねはせん断方向のみに自由度を持つと仮定している。Fig.6 のようにピン支承の橋端から 25m の地点にインパクト (10MN を 0.01 秒間) を与えてから 14.5 秒間、橋端から 75m 地点における時刻歴応答解析を行った。この応答解析ではプロップ式ダンパーを取り付ける位置を Fig.7 のように 2.5m から 5.0m まで 0.5m 刻みで行い、粘性材料の粘性定数を数値実験により決定し、桁の減衰の現象があらわれる 5(MN・s/m) から 100(MN・s/m) まで 5 刻みで変化させた場合の解析を行った。



Fig.5 Analysis model

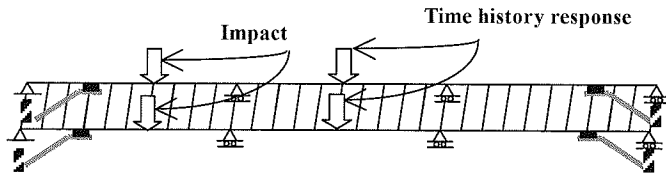


Fig.6 Position to direct impact and position of analysis

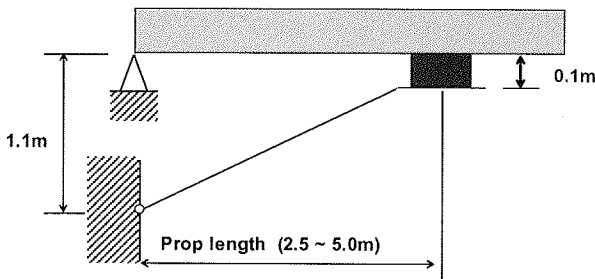


Fig.7 Prop-type damper installing position

5. 時刻歴応答解析結果

プロップ式ダンパーを取り付けた制振時とこのダンパーを取り付けない非制振時についての時刻歴応答解析を行い、制振時についてはプロップ式ダンパーの長さおよび粘性材料の粘性係数を変えて制振効果の違いを確認した。

Fig.8 は非制振時の時刻歴応答解析結果である。Fig.9 は 2.5m (71.5MN・s/m), Fig.10 は 5.0m(51.2MN・s/m), ()内は最適粘性定数値,のプロップ部材を取り付けた制振時の時刻歴応答解析結果である。図の縦軸は変位, 横軸は時間を表している。制振時, 非制振時ともに5秒程まではインパクトによる外力の影響で安定しない振動状態となっているものの, 時刻歴応答解析開始の約6秒後あたりから自由振動状態となっていることが分かる。制振時, 非制振時ともに初期変位が2cm程あったものが制振時の方が大きく減衰していることがこれらの図から分かる。

Table.2 は解析結果から得られた制振時および非制振時の一次固有振動数および減衰定数を比較したものである。制振時の一次固有振動数が非制振時に比べ大きくなっているが, これはプロップ式ダンパーを取り付けたことにより剛性が大きくなったからである。この表より, 制振時には非制振時の減衰定数に比べて2.6倍から3.1倍程度になっていることが分かる。

Fig.11 に橋台から粘性材料までの長さが2.5mと5.0mの場合の時刻歴応答解析より得られた減衰定数と粘性係数の関係を示す。これらの関係から3次の最小二乗法より減衰係数が各プロップ長で最も大きくなる最適粘性係数を導き出した。プロップ長の変化による最適粘性係数の変化を示したものがFig.12であ

る。プロップ部材が長くなるほど最適粘性係数は低くなる結果が得られた。

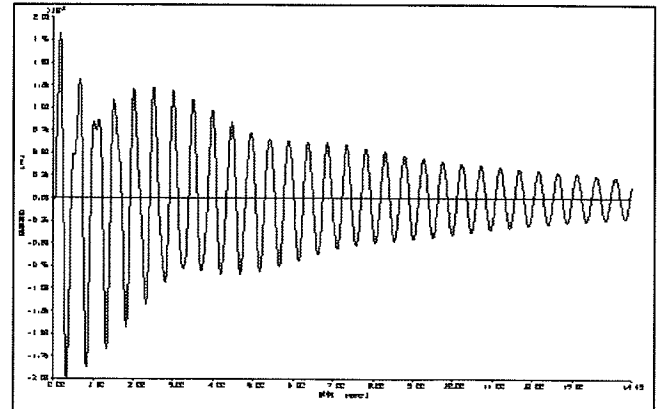


Fig.8 Time history response (non-vibration control)

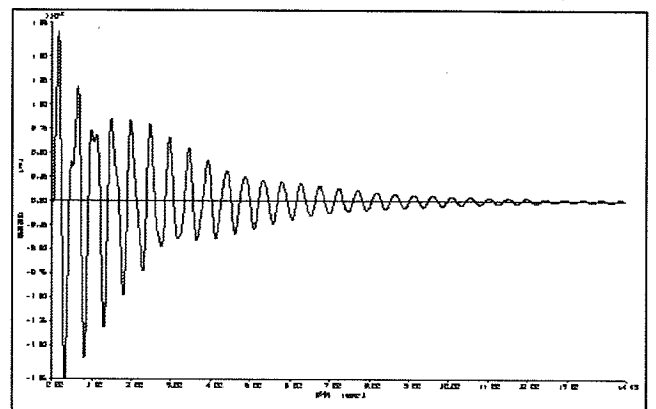


Fig.9 Time history response (vibration control; 2.5m, 72MN・s/m)

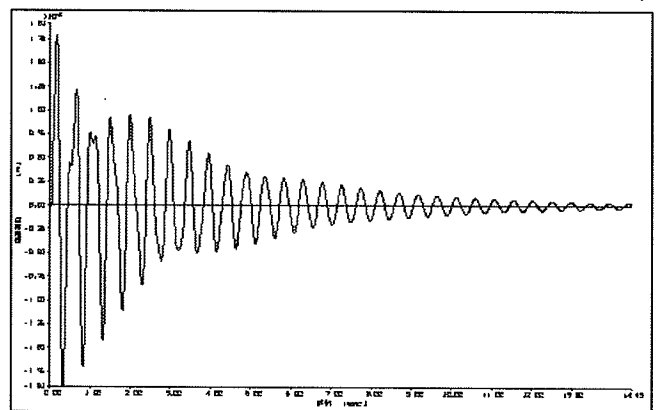


Fig.10 Time history response (vibration control; 5.0m, 51MN・s/m)

Table2. The 1st natural frequency and damping

Prop length (m)	Natural frequency (Hz)	Damping constant
No Prop	2.0806	0.0085
2.5	2.0814	0.0265
3	2.0813	0.0255
3.5	2.0813	0.0245
4	2.0813	0.0236
4.5	2.0813	0.0228
5	2.0812	0.0220

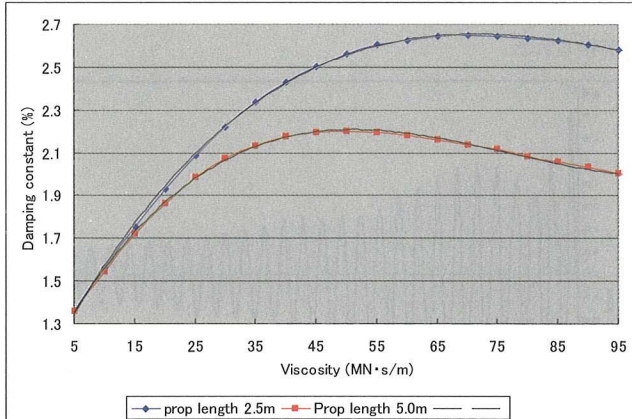


Fig.11 Damping constant and viscosity coefficient

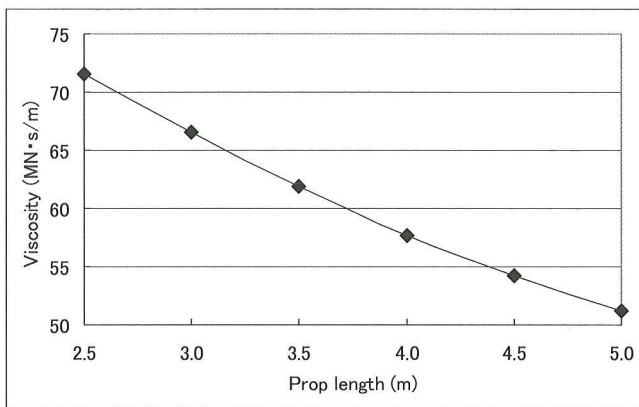


Fig. 12 Relationship between optimum viscosity and the length of Prop

6. 結言

本研究では、模型単純梁で有効性が確認されたプロップ式ダンパーを鋼3径間連続非合成2主桁橋に適用し、骨組み構造解析ソフトであるTDAPIII LTを用いて三次元の時刻歴応答解析を行った。

時刻歴応答解析では、インパクト荷重を与えた後の高架橋の中央点の変位応答を図示し、自由振動状態での減衰定数も比較した。変位応答図から、非制振時に比べ制振時には明らかに応答が小さくなるのが分かり、減衰定数の大きさは非制振時に比べ制振時には3倍程度の値が得られることを示した。

今後、このプロップ式ダンパーの設置の方法、減衰を得るための粘性材料の選定やダンパー機構の工夫などの課題は残すものの、本解析により提案するダンパーが、他の桁端ダンパーに比べて単純な機構で、有効な減衰効果をもたらすことを確認することができた。

【参考文献】

- 1) 山口宏樹：構造振動・制御,共立出版,1996,pp.1-213
- 2) 比江島慎二 他：桁端ダンパーによる橋梁の交通振動の軽減,土木学会論文集, 1993,No.465/I-23,pp.107-116

- 3) 安田克典 他：橋梁用制振装置（キールダンパー），橋梁と基礎,2004-4,pp.25-31
- 4) 坂本憲靖 他：プロップ式ダンパーによる片持ち梁の減衰について,第30回土木学会関東支部技術研究発表会概要集,Disc,FileNo.00303
- 5) 松山俊樹 他：せん断型制振構造体の自由振動実験と解析,東海大学紀要工学部, 2001,Vol.41,No.2, pp.83-86
- 6) 谷田健雄 他：2層せん断型制振構造体の地震動に対する応答解析,東海大学紀要工学部, 2004,Vol.44,No.1, pp.47-50