

横浜国立大学 正員 宮田 利雄

横河技術情報 宮永 克弘

横浜国立大学 正員 斉藤 善昭

1. まえがき

本報告では、中小支間長の道路橋の自動車走行に伴う振動、いわゆる橋梁振動を軽減する目的から、機械振動の制振に利用されることの多い動吸振器(Tuned Mass Damper)を取りあげ、その適用性について論じるものである。自動車走行に伴う橋梁振動の発生によって、支持点の基礎を介した地盤振動、また橋梁周辺の空間へ騒音と共にいわゆる低周波空気振動が伝播し、周辺の環境を乱す問題と見なされることがある。これらの諸問題に対処する方法として、橋梁振動を軽減することが考えられ、動吸振器の応用も制振対策の一つとして挙げられている。

2. 橋梁振動と低周波空気振動

道路橋の自動車走行に伴う振動問題は、従来、活荷重としての自動車荷重の衝撃力作用の観点から検討されることが多いが、振動体としての自動車本体の振動特性(タイヤのバネ・減衰特性など)、あるいは床版路面の凹凸、伸縮継手部の段差などの構造特性のモデル化になお検討の余地があるとされ、橋梁振動の定量的評価について現在も盛んに研究が行われる状況にある。ところで、中小支間長の道路橋の振動特性として、鉛直たわみの最低次固有振動数は支間長 l (m) のときおおむね $100/l$ (Hz) で表される。¹⁾ また、この場合の構造減衰率(対数) δ は大きくばらつくが、例えば合成桁橋では、 $l=30\sim50$ m のとき $\delta=0.08\sim0.16$ 程度、これより長い支間長になると低い方の値は $\delta=0.05$ 程度にまで小さくなることが報告されている^{2, 3)}。このような振動特性の中小支間道路橋であるが、自動車が走行すると必然的に振動が発生し、その大きさは自動車重量が増すほど、走行速度が速くなるほど大きくなる。このような自動車走行に伴う橋梁振動によって発生する低周波空気振動については、なお未解明のところが少なくないが、これまでの研究^{4~6)}によって、橋梁直下で発生する空気振動の音圧レベルが橋桁の振動加速度レベルにほぼ比例することが判っている。また、それぞれの振動数分布特性はよく相似したものとなっていて、両者の相関性が高いことをうかがわせる。従って、この低周波空気振動を軽減するために、橋桁自体の振動を抑制することが一つの方策と考えられ、実際にも種々の検討が行われている。

3. 自動車走行に伴う橋梁振動の事例解析

本研究では、支間長 40 m の鋼合成単純桁橋を考え、これに大型車が走行する状況を設定して、振動応答を解析的に検討することとした。車輛についてはタイヤのバネ・減衰効果を考慮した 2 自由度系モデルとし、また動吸振器は支間中央点に所定のバネ・減衰要素で結合されたモデルとした。図 1 が解析モデルの概略図である。対象橋梁は 2 車線 4 主桁構造のもので、床版を含む全質量が 524 t、最低次の鉛直たわみ固有振動数が 2.8 Hz である。(対数)減衰率としては、前述した既往例の平均的なものとして $\delta_1=0.125$ (減衰比 $h_1=0.02$ に相当) を付与させることにした。

ところで、動吸振器をつけた 2 自由度振動系を考えると⁷⁾、付加質量 m_2 と主振動系の換算質量 m_1 との比 $\mu=m_2/m_1$ のとき、付加系の固有振動数 f_2 と主振動系のそれ f_1 との比 $\alpha=f_2/f_1$ の最適値が $1/(1+\mu)$ 、付加減衰の最適値が減衰比 $h_2=\sqrt{\mu/2(1+\mu)}$ で与えられる。例えば、 $\mu=0.02$ のとき、 $\alpha=0.98$ 、 $h_2=0.1$ となり、振動系全体の減衰率として $\delta=0.31$ 程度となる。

動吸振器としてどの程度の規模のものを考えるかであるが、実際問題として、本研究で対象とするような橋梁構造物に付与する動吸振器の質量としては、主振動系のそれの高々数%程度が限界と考えられる。このとき、固有振動数の同調を如何に行い得るかによって、全体系の減衰率(対数)としては図 2 に示すように、

高々 $\delta = 0.3$ 程度を実現できるととどまり、上述の2自由度系の場合と変わらない。ここでは、質量比 $\mu = 0.02$ （橋桁の換算質量として全体質量の半分を充てると $m_2 = 5.24 \text{ t}$ となる）、付加減衰比 $h_2 = 0.1$ を設定し、3種類の車輛を走行させた（ 80 km/h ）後の減衰自由振動から減衰率を読み取っている。この図から、さらに、走行車輛の質量、固有振動数に応じて期待される全体系の減衰率が異なることが判り、従って、1つの橋梁に1つの動吸振器をセットするとき、車輛特性が異なれば動吸振器の効果が異なることが知られる。

上述のような予備的検討に基づいて付加すべき動吸振器の特性値を定め、車輛を走行させたときの橋桁の振動応答を数値積分法により計算した。その1例を図3に加速度応答の形で、動吸振器の有、無しの場合を比較して示す。この応答は $v = 80 \text{ km/h}$ 、大型20tトラックⅡ、 $\alpha = 0.98$ 、 $h_2 = 0.1$ の場合のものである。図を見て特徴的なところは、車輛進入時と撤退時の強制外力としての作用の大きな変化に伴う応答（加速度）が大きく発現することであり、この部分は動吸振器を付与しても特に小さくなっていない。一方、これらに続く応答では、車輛が橋上に有る場合も、撤退後の自由振動となる場合も動吸振器の効果が認められる。前述したように、低周波空気振動の音圧レベルは橋桁の加速度レベルに比例することが判っているが、このような応答解析結果から、車輛進入時と撤退時に発現する橋桁の大きな加速度応答、すなわちあたかも橋桁全体が扇であられるような状態で発生する加速度応答が音圧発生に大きく関係しているものと考えられる。こうした応答特性には、車輛の重量、速度、固有振動数、及び動吸振器の重量、減衰率、固有振動数の組み合わせに応じて、しかも橋桁自体の動特性によって若干の差異が見られるが、本質的には似かよったものとなる。

4. あとがき

自動車走行に伴う橋梁振動を軽減する制振対策の一つとして動吸振器の適用性を検討してみたが、1) 橋桁本体の構造減衰率が元来 $\delta_1 = 0.1$ 程度あり、動吸振器によって $\delta = 0.4$ 程度付与し得たとしてもその効果は大きくない、2) その理由は加速度応答のピークが走行車輛の進入時、撤退時に発生している、すなわち過渡現象の典型であるために効きが悪い、と結論される。従って、この種の問題に対する制振対策としてのダンパー類の採用については、限界減衰比に近い、大きい減衰力を付与し、しかも過渡現象への効果を十分に確認することが必要と考えられる。

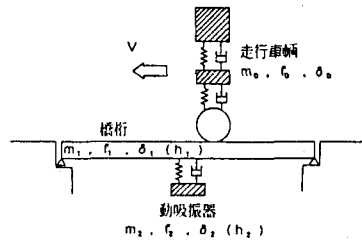


図1 解析モデル

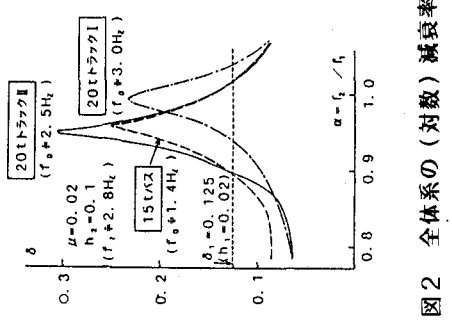


図2 全体系の（対数）減衰率

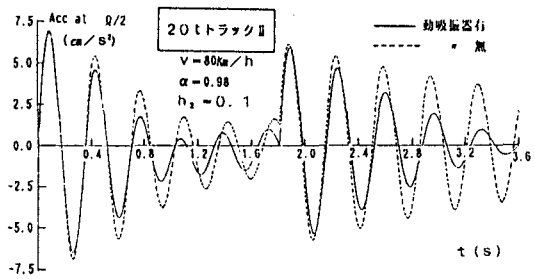


図3 単行車輛による加速度応答

参考文献

- 1) 渡辺, 橋梁工学 (朝倉書店)
- 2) 加藤, 佐藤, 島田, 年講 (35), I-181
- 3) 松下, 中井, 松本, 年講 (40), I-260
- 4) 足立, 岡村, 島田, 土論330
- 5) 五郎丸, 白石, 原, 年講 (40), I-282
- 6) 中村, 藤原, 野中, 年講 (39), I-440
- 7) 田島, 振動の工学 (産業図書)