

近接した固有振動数を有するはりのはりタイプ動吸振システムによる振動制御について

山口大学大学院 学生員○西憲一郎
日本鉄塔工業(株) 正 員 川添啓示
山口大学工学部 正 員 會田忠義
山口大学工学部 正 員 麻生稔彦

1. まえがき はりの受動的振動制御の代表的な手法にTMDが挙げられる。一般にTMDなどの動吸振器の調整に当たって対象はりの制振対象モードを取り出し、このモードに対して調整する。制振対象モードとその次のモードの固有振動数が近接している場合、制振対象モード以外のモードの影響を受け、その応答が増大するといわれている。本研究では、図1に示すような外力を受けるはり（対象はり）に、動吸振装置としてはり部材（動吸振はり）と、それらを連結するための分布した連結バネと連結ダンパーによって構成されるはりタイプ動吸振システムを装着した場合について振動数接近の影響を調べる。図1の対象はり（単純はり）は2次モードのモード形の節にあたる位置にバネを付加してある。2次モードには影響を与えないのでバネ係数を変動させることで1次モードの固有振動数を上げ2次モードの固有振動数に接近させることができる。

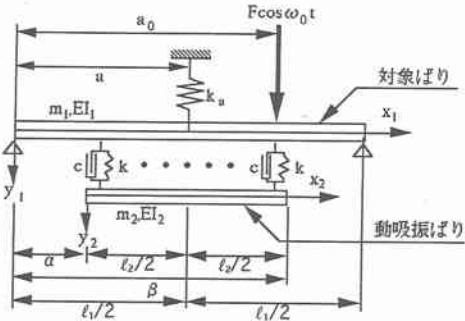


図1 はりタイプ動吸振システム

2. 運動方程式 図1の座標系を用いるとき、対象はりおよび動吸振はりの運動方程式は次式で表される。
（対象はり）

$$m_1 w_1(x_1, t) + EI_1 w_1'''(x_1, t) + \delta(x_1 - a)k_a w_1(x_1, t) + \{H(x_1 - \alpha) - H(x_1 - \beta)\}c\{w_1(x_1, t) - w_2(x_1 - \alpha, t)\} + \{H(x_1 - \alpha) - H(x_1 - \beta)\}k\{w_1(x_1, t) - w_2(x_1 - \alpha, t)\} = F\delta(x_1 - a_0)\cos\omega_0 t \quad (1)$$

（動吸振はり）

$$m_2 w_2(x_2, t) + EI_2 w_2'''(x_2, t) + c\{w_2(x_2, t) - w_1(x_2 + \alpha, t)\} + k\{w_2(x_2, t) - w_1(x_2 + \alpha, t)\} = 0 \quad (2)$$

ここで、 w_1 、 w_2 ：対象はりおよび動吸振はりの振動変位、

m_1 、 m_2 ：両はりの単位長さ質量、 EI_1 、 EI_2 ：両はりの曲げ剛性、

c ：連結ダンパーの減衰係数、 k ：連結バネのバネ係数、 k_a ：付加バネのバネ係数、

F ：外力の振動振幅、 ω_0 ：励振振動数、 δ ：Diracの δ 関数、 H ：Heavie sideのstep関数

解析に当たり、両はりの振動変位 w_1 、 w_2 をそれぞれ単独のはりとしての固有関数 Φ_{1i} 、 Φ_{2j} と時間に関する未知関数 ρ_{1i} 、 ρ_{2j} の積の級数和として次式で表す。

$$w_1(x_1, t) = \sum_{i=1}^M \Phi_{1i}(x_1)\rho_{1i}(t) \quad (3)$$

$$w_2(x_2, t) = \sum_{j=1}^N \Phi_{2j}(x_2)\rho_{2j}(t) \quad (4)$$

3. 解析結果 表1の諸元を持つ、付加バネを有した両端単純支持のはりを対象はりとする。ここで、 k_a に2つのケースを想定した。部材長比0.75として1次モード共振時のはり中央点の最大振幅を静的変位の5倍に抑制するように調整された動吸振システムを装着した。はりタイプ動吸振システムの各調整値¹⁾を表2に示す。対象はりの4分の1点に調和外力を作用させた場合の加振点の共振曲線を図2に示す。図より

表1 対象はりの諸元

部材長	$\ell_1=30.5$ (m)
単位長さ当たり質量	$m_1=2070$ (Ns ² /m ²)
曲げ剛性	$EI_1=3.44 \times 10^8$ (Nm ²)
付加バネのバネ定数	$k_a=5.82 \times 10^6$ (N/m) case.A $=8.73 \times 10^6$ (N/m) case.B

表2 はりタイプ動吸振システム調整値 ($\ell_2/\ell_1=0.75$)

case	A	B
1次と2次の固有振動数比 ω_{12}/ω_{11}	1.14	1.06
単位長さ当たり質量 m_2 (Ns ² /m ²)	1.24×10^2	1.03×10^2
単位長さ当たりバネ定数 k (N/m ²)	1.96×10^4	2.26×10^4
単位長さ当たり減衰係数 c (Ns/m ²)	4.44×10^2	3.98×10^2
曲げ剛性 EI_2 (Nm ²)	3.44×10^7	3.44×10^7
総質量比 μ_{total} (%)	4.48	3.75

1次モードと2次モードのそれぞれ独立していた挙動は固有振動数が近接すると連成が強くなることが明らかである。固有振動数の接近による連成の強さを図3に示したTMDと比較する。これらのモデルは、いずれも既述のはりタイプ動吸振システムと同じようにスパン中央で静的たわみの5倍に最大応答を抑制するように調整²⁾

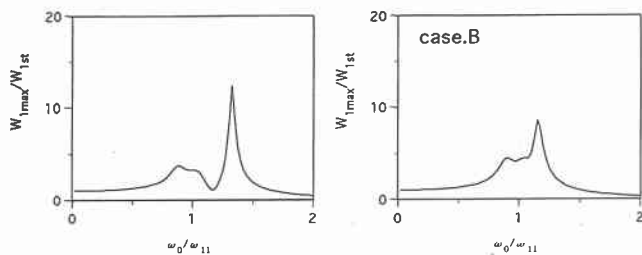


図2 共振曲線

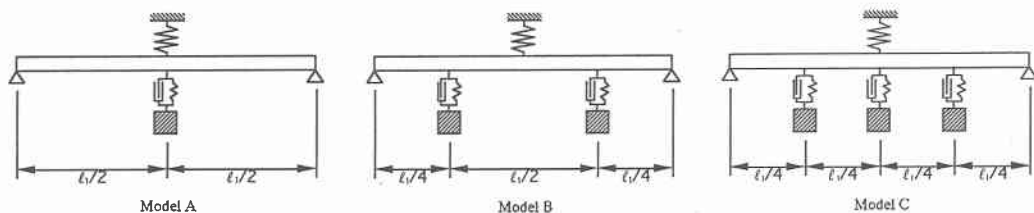


図3 解析モデル (TMD)

されている。付加バネのバネ定数を変動させ、1次モードと2次モードの固有振動数が近接した場合の1次モードの最大応答の挙動を、単一のモードだけを考慮した場合と10次モードまでを合成した場合について求め、図4に示した。1次モードがその他のモードの影響を受け、固有振動数の近接によりその影響は大きくなるのがわかる。動吸振システムとTMDを比較すると、制振対象外のモードの影響により固有振動数比が1付近で大きく変化することは同様であるが、影響が出現し始める固有振動数比に注目すると、動吸振ばりの長さが大きいほど近接した状態でも影響を受けないことがわかる。

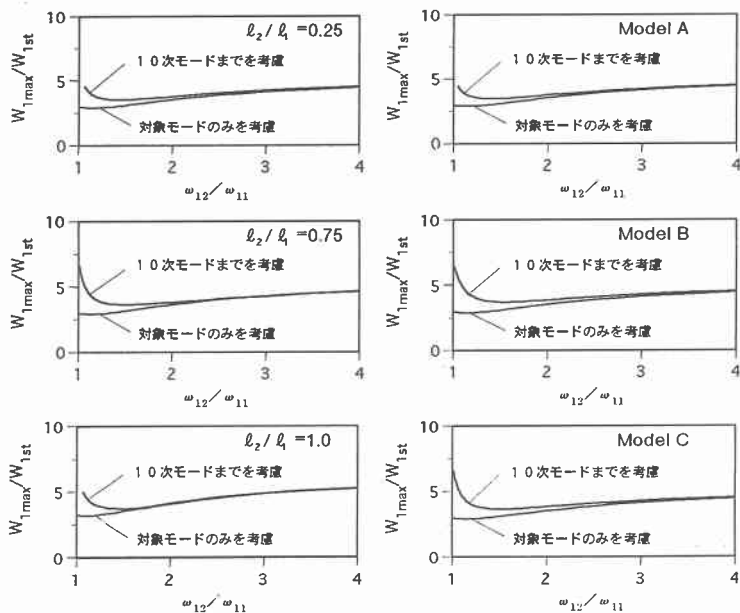


図4 構造物の1次と2次の固有振動数比と1次モードの最大応答値の変化

4. まとめ 固有振動数が近接したはり構造物に対するはりタイプ動吸振システムの制振効果について、数値計算により調査した。得られた結果を次に列挙する。1) 制振対象モードはその他のモードの影響を受け、固有振動数がより近接した場合にその影響は大きくなる。2) 動吸振ばりの長さが大きいほど近接した状態でも影響を受けない。

<参考文献>

- 1) 胡田一史、川添啓示、會田忠義、麻生稔彦: "はりタイプ動吸振システムの動特性" 土木学会中国支部研究発表会、概要集、pp73~74 (平成8年5月)
- 2) 川添啓示、河野巖、會田忠義、麻生稔彦: "構造部材の複数TMDおよびはり・平板タイプ動吸振システムによる振動制御 (第1報、単一TMDとしての近似調整法)" 山口大学工学部研究報告、第46巻2号、pp27~36 (1996)