

I-462

風による橋桁の振動を対象としたアクティブコントロールの基本的検討

榑 大 林 組 正 員 大 場 誠 道
建設省土木研究所 正員 横 山 功 一
建設省土木研究所 正員 日 下 部 毅 明

1. まえがき 橋桁の風による振動の対策はフェアリングやフラップ等を取り付けて橋桁を空力学的に安定させる方法が多く、また最近では、橋桁が箱桁の場合に渦励振の振幅を抑える目的で箱桁の内部にパッシブ制振である同調質量ダンパー（以下、TMD）を取り付ける例もある。一方、建築の分野では、既にアクティブコントロールによる制振が行われているが、まだ橋桁の渦励振や発散振動に対するアクティブコントロールの検討は少ないのが現状である。そこで、数値解析により渦励振および発散振動に対するアクティブコントロールの制振効果について基本的な検討を行うこととした。

2. 解析概要 解析対象構造物は鋼箱桁橋であり、制振装置としてはTMD、付加質量とこれを中立軸に戻すためのバネからなるアクティブ質量ダンパー（以下、AMD）、およびTMDと同じバネと減衰機構からなるアクティブ同調質量ダンパー（以下、ATMD）の3種類とした。これらを図-1のような2自由度系にモデル化し、応答値をモード解析により求めた。検討した振動現象としては、たわみ渦励振とギャロッピングである。以下に、それぞれの振動現象のモデル化について記す。たわみ渦励振については、箱桁橋に類似した断面について実施した風洞実験結果から得られた風速-振幅-減衰曲線（V-A- δ 曲線；図-2参照）より、振幅依存性のある強制振動として渦励振を評価することとした。したがって、たわみ渦励振としての空気力は図-2と次式に示す式(1)と式(2)より求められる。

$$C_a = \frac{\delta a}{\pi} \cdot m \cdot \omega \quad (1)$$

ここに、 C_a ；空気力による減衰係数、 δa ；空力減衰率、 m_1 ；質量、 ω ；構造物の円振動数である。

$$f(t) = C_a \cdot \dot{x}_1 = C_a \cdot a \cdot \omega \sin \omega t \quad (2)$$

ここに、 $\dot{x}_1$ ；構造物の速度、 a ；構造物の振幅である。

次に、ギャロッピングのモデル化は準定常理論を用いて評価した。ただし、ギャロッピングにはTMD等の減衰を付加する対策が必ずしも有効でないといわれており、本報の準定常理論による解析結果をそのまま実際の効果と考えるには疑問がある。しかし、減衰を付加することにより振動の発達が風速の上昇に対して緩慢になることは、既存の実験においても観測されていることである。したがって、実橋における効果のある程度反映するものと思われる。準定常理論による空気力は揚力係数 C_L と抗力係数 C_D を用いて次式で表される。

$$f = - \frac{1}{2} \rho \cdot V^2 \cdot l \cdot (B \cdot C_L + h \cdot C_D \cdot \tan \alpha) \cdot \sec \alpha \quad (3)$$

ここに、 ρ ；空気密度、 V ；風速、 l ；橋長、 B ；桁幅、 h ；桁高、 α ；構造物に対する風の相対迎角である。式(3)の計算には過去の実

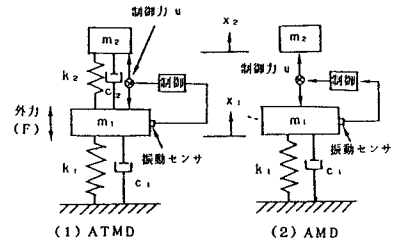


図-1 解析モデル

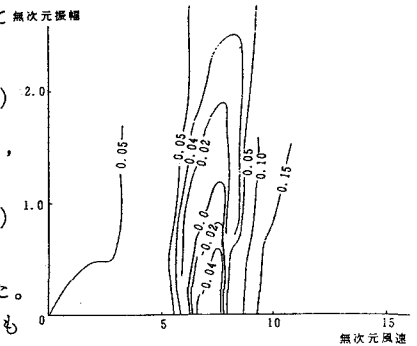


図-2 風速-振幅-減衰曲線

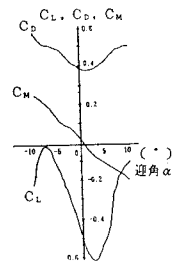


図-3 三分力曲線

測例から図-3に示す三分力試験結果を用いた。なお、解析ではたわみ渦励振およびギャロッピングの空気力を一般化外力として与えている。また、制御力は最適制御理論を用いて算出した。

3. 解析結果および考察 表-1に解析構造物の諸元を示す。構造物と制振装置の付加質量との質量比は1/100、1/500、および1/1000とした。まず、たわみ渦励振の解析結果を図-4に示す。TMDを取り付けた場合は、構造物の応答値をそれぞれの質量比において無制振時の8%、18%、22%に抑えており、AMDは制振装置の振幅がTMDの5%から22%程度大きい、構造物の応答値を無制振時の5%に抑えている。さらに、ATMDは制振装置の振幅がAMDとほとんど変わらずに構造物の応答値をAMDの1/4に抑えている。ここで、TMDやATMDを実際に使用する場合、制振装置のバネ定数および減衰係数が最適な状態と異なる可能性がある。そこで、TMDとATMDのバネ定数および減衰係数を最適値からずらして解析を試みた。質量比が1/100の場合の結果を図-5に示す。

TMDの場合、バネ定数を最適値よりそれぞれ±10%の範囲で変化させると、構造物の応答値はTMDに最適値を与えた場合の-10~+60%程度変化する。これに対して、ATMDのバネ定数をTMDの場合と同様に±10%の範囲で変化させると、構造物の応答値はATMDに最適値を与えた場合の-6~+6%程度しか変化しない。また、減衰係数を±10%の範囲で変化させた場合、TMDでは制振効果が15%程度異なるが、ATMDではほとんど制振効果に影響を与えていない。次に、ギャロッピングの場合の解析結果を風速-振幅曲線として図-6に示す。TMDを取り付けた場合の発現風速は無制振時の8 m/sに対してそれぞれの質量比において9倍、4.4倍、3.3倍となる。AMDの場合は無制振時の16.5倍まで高め、ATMDは風速150 m/sまで発現が認められない結果となった。ただし、本解析では制振装置の振幅に制限を設けておらず、制振装置の振幅に制限を設けた場合には本解析結果よりも発現風速が低くなることは明かである。

4. 結論 アクティブコントロールによる振動制御はTMDと比較して渦励振の振幅を抑え、ギャロッピングの発現風速を高めることが確認された。しかし、ギャロッピングを解析する場合のATMDの制振効果は、ATMDの制御機構を考えると、TMDと同様に準定常理論を用いた評価に疑問が残る。今後、風洞実験を含めた検討を実施していくのがよい。

表-1 解析構造物の諸元

質量 m_1	794,300 kg
減衰係数 c_1	14,329.1 Ns/m
バネ定数 k_1	6,378,114 N/m

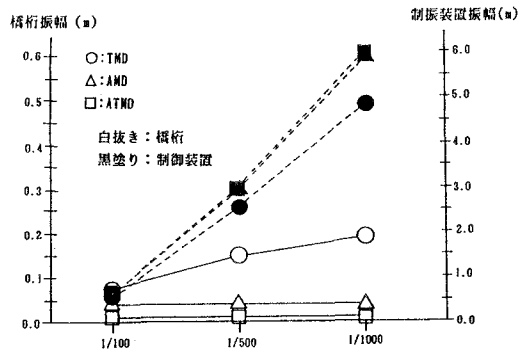


図-4 たわみ渦励振解析結果

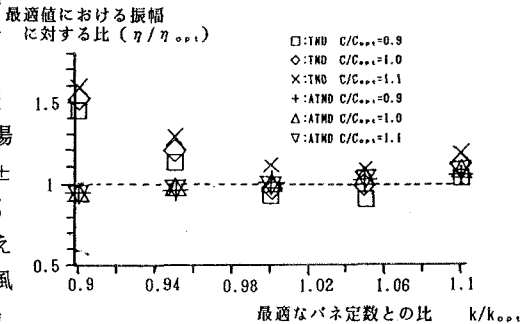


図-5 バネ定数および減衰定数の変化に対する構造物の応答に与える影響

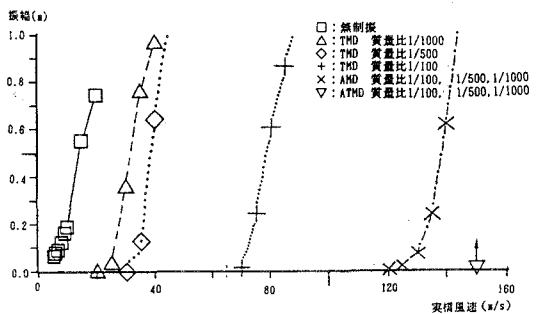


図-6 ギャロッピング解析結果