

伝達関数合成法による既存構造物TMDの最適設計

○日本大学大学院 学生会員 永井 義一
 日本大学理工学部 正会員 花田 和史
 日本大学大学院 学生会員 横川 英彰

1 まえがき

TMDを定点理論で設計する場合、 MCK を逆解析して最適値を求める。主振動系に減衰が含まれる場合には定点が存在しないので、定点理論は使えない。減衰を含む主振動系には、コンピュータによる数値計算によって、定点理論より得られた最適値に補正項を付加した実用式が使われている。著者らは、伝達関数合成法による既存構造物を対象とするTMDの設計法を検討した。ここでは、この設計法の有効性を検討するために、橋梁モデルの動的実験を行い、理論値と実験値を比較した。

2 手法

2-1 設計方法

伝達関数合成法を用いた設計法のフローチャートを図1に示す。対象構造物のインパルス実験から得られた伝達関数に理論TMDの伝達関数を計算し合成する。これを最適値が得られるまでTMDのパラメータを変化させ計算し、設計値を求める。しかし、データにはノイズが多く含まれるため、これを用いて得られるパラメータを設計値とすることはできない。そのため、著者らは伝達関数を合成する前にカーブフィットを行った。以下に合成法とカーブフィットの方法を示す。

(1)伝達関数合成法

図2に示す振動モデルの主振動系の点 f に外力 F_f が作用するときの結合部 C の変位 X_c^A (主振動系側)と X_c^B (TMD側)は、内力を R とすると次のように表わされる。

$$X_c^A = G_{cc}^A R + G_{cf}^A F_f$$

$$X_c^B = -G_{cc}^B R$$

ここに、 G_{cf} は対象構造物の結合部—加振点間の伝達関数、 G_{cc}^A は対象構造物の結合部の伝達関数、 G_{cc}^B はTMDの結合部の伝達関数を表す。 $X_c^A = X_c^B$ より、外力 F_f が作用する時の結合部の伝達関数を求めると次のようになる。

$$S = \frac{-G_{cf}}{G_{cc}^A + G_{cc}^B}$$

$$\frac{X_c}{F_f} = G_{cc}^A S + G_{cf}^A$$

(2)カーブフィット

$$J = \frac{1}{2} (x - \hat{x})^T M^{-1} (x - \hat{x}) + \frac{1}{2} (z - H(x))^T R^{-1} (z - H(x))$$

上式は、事前情報の平均値からの変動分と観測値と推定値の差に対して、それぞれ重みマトリクスを介した二次形式の評価関数である。 J の最小値を与える x を求めるために、ガウスニュートン法による次の式に基づき、 i について更新を行うことにより最小点を求める。

$$x_{i+1} = x_i + P_{xi} \left\{ H_{xi}^T R^{-1} (z - H(x_i)) + M^{-1} (\hat{x} - x_i) \right\}$$

$$P_{xi} = (M^{-1} + H_{xi}^T R^{-1} H_{xi})^{-1}$$

$$H_{(xi)} = \frac{\partial H}{\partial x^T}$$

x : 状態量 z : 観測量 $\hat{x}$: x の平均

M : 状態量の共分散マトリクス $H(x)$: 条件式

R : 観測量の共分散マトリクス

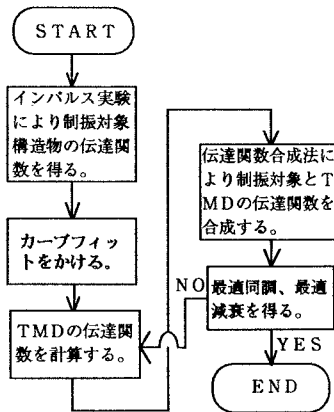


図1 設計法のフローチャート

2-2 実験方法

対象構造物には長さ100cm、幅5cm、厚さ0.25cmのアルミ製の桁橋モデルを用いた。TMDは質量比1/10以下の銅板、シリコンゴム、加速度計で構成されている。桁橋モデル及び測点、TMD設置位置を図2に示す。実験ではインパルス実験を行い応答波形を加速度計を用いて計測した。増幅器後段では30HzのLow-Pass Filterを置き、100Hzサンプリングによりデジタル収録を行っている。

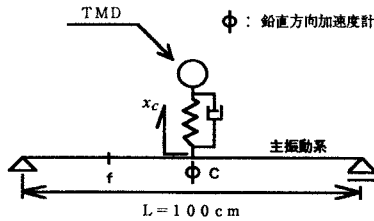


図2 TMD, 加速度計設置位置

	m (kg)	c (Ns/m)	k (N/m)
橋梁モデル	0.309	1.356	1758
TMD	0.027	0.510	135.0

表 解析モデル主要諸元

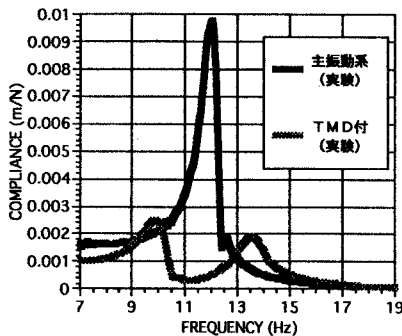


図3 実験伝達関数

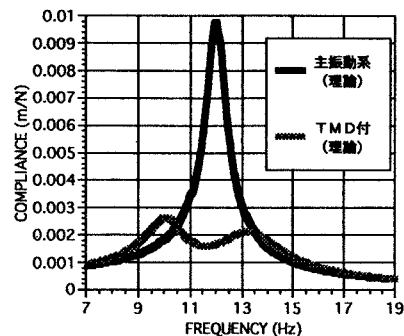


図4 理論伝達関数

3 結果

伝達関数合成法を用いたTMD設計法では、次のような段階で誤差を伴う。(1) 実験によって対象構造物の伝達関数を得るとき。(2) (1)で得た伝達関数にカーブフィットをかけるとき。(3) TMDを設計に従って制作するとき。今回は、この設計法の有効性を検討するために、(3)の誤差を極力抑えることを考え、制作後のTMDを逆解析し、対象構造物の伝達関数と合成した。図3は実験によって得られた伝達関数で、図4は理論値を合成した伝達関数である。主振動系の実験値と理論値を比べると、ピークは一致しているが誤差が含まれていることが分かる。制振後の10Hz、13.5Hz付近の二つのピークは周波数、大きさ共に理論値と実験値は良く一致している。今回は交通振動や風等の影響の少ない室内実験であったが、実在構造物ではさらに多様なノイズは避けられない。この設計法を使用するには、これらのノイズ処理が重要である。実在橋の構造物へ本手法を適用し、有効なノイズ処理法を検討する予定である。

4 まとめ

- (1) 橋梁モデルの動的実験により、伝達関数合成は既存橋梁のTMD設計に有効なことが分かった。
- (2) 対象構造物の伝達関数を直接伝達合成に用いることはできず、カーブフィット等の処理が必要である。

<参考文献>

長松昭男：モード解析、培風館、1985