

東海大学 学生会員 作間 友幸 (株)日本コムシス 正会員 尾畑 守夫
東海大学 正会員 島崎 洋治 (株)日本コムシス 非会員 森尻 渉

1. はじめに

転動する回転子(転動子)とそれを受ける容器(外殻)からなる転動型制振装置 TRMD(Tuned Rotary-Mass Damper)の実用化に向けて、TRMD の調和地盤振動に対する応答解析結果について述べる。本装置は、従来のパッシブ型制振装置 TMD の挙動とは異なり、制振力に非線形性を有している。従って、実際の構造物に TRMD を適用する場合、設計時に装置の制振力の非線形特性を十分に把握できている必要がある。今回は、非線形性を考慮した転動子および構造物の応答に関する理論式を導出し、数値解析を行った結果を示す。また、この調和地盤振動に対する最適な減衰等についても考察する。

2. 解析概要

TRMD および TRMD-構造物の解析モデルをそれぞれ図-1, 2 に、それらの諸元を表-1, 2 に示す。まず、TRMD の制振力の非線形性を把握するため、図-1 のように TRMD の x 方向に変位振幅一定の調和地盤振動(振幅 $U_g: 1.0 \sim 6.0 \text{ cm}$, 外力振動数比 $\beta: 0.8 \sim 1.20$)で加振した時の、振動数応答曲線を求める。次に、TRMD の最適パラメータを求めるため、TRMD-構造物の解析モデルに変位振幅一定の調和地盤振動(振幅 $U_g: 0.01 \sim 0.08 \text{ cm}$, 外力振動数比 $\beta: 0.8 \sim 1.20$)を与えたときの応答解析を行う。

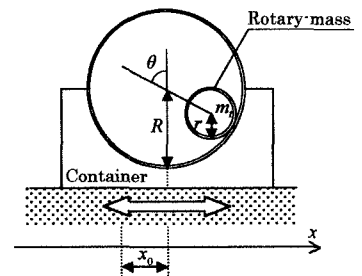


図-1 TRMD 解析モデル

3. 解析手法

数値解析は以下に示す理論式に対し、Runge-Kutta 法を適用して行う。ここで、 M_s, c_s, k_s, x_s は構造物の 1 層目の質量、減衰係数、ばね定数、変位を示し、 x_0, U_g, ω は地動変位、変位振幅、調和外力角振動数を示す。また、 m_t, ℓ, θ, C_t は転動子の質量、重心の運動半径($\ell = R - r$)、振れ角、粘性減衰係数である。

TRMD の運動方程式

$$\ddot{\theta} = -(2C_t \dot{\theta}) / (3m_t) - (2g \sin \theta) / (3\ell) - (2 \cos \theta \ddot{x}_0) / (3\ell) \quad (1)$$

TRMD-構造物の運動方程式

$$\ddot{x}_s = -(1/M'_s)(c_s \dot{x}_s + k_s x_s - F_\theta) - \ddot{x}_0 \quad (2)$$

$$\ddot{\theta} = -(2C_t \dot{\theta}) / (3m_t) - (2g \sin \theta) / (3\ell) - (2 \cos \theta)(\ddot{x}_0 + \ddot{x}_s) / (3\ell) \quad (3)$$

ただし

$$\ddot{x}_0 = -U_g \omega^2 \sin \omega t \quad (4) \quad M'_s = M_s + m_\theta \quad (5) \quad m_\theta = m_t \{1 - (2/3) \cos^2 \theta\} \quad (6)$$

$$F_\theta = (m_t \sin \theta)(\ell \dot{\theta}^2 + g \cos \theta) + (2/3)(C_t \ell \cos \theta \dot{\theta}) - (1/3)m_t g \sin \theta \cos \theta \quad (7)$$

TRMD の無次元パラメータ

$$\mu = m_t / M_s \quad (8) \quad H_t = C_t / (2m_t \omega_s) \quad (9) \quad \gamma = \omega / \omega_s \quad (10)$$

ここで、 μ は質量比、 H_t は減衰比、 γ は同調比、 m_θ は $m_t + I/r^2$ 、 I は慣性モーメントである。

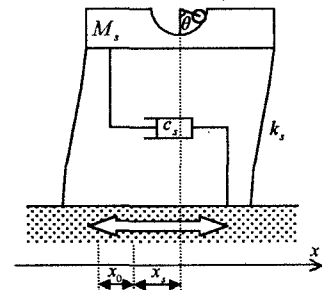


図-2 TRMD-構造物解析モデル

表-1 TRMD 解析モデルの諸元

質量	m_t [kg]	1.0~2.0
振動数	f_t [Hz]	1.0

表-2 TRMD-構造物解析モデルの諸元

質量	M_s [kg]	100.0
振動数	f_s [Hz]	1.0
減衰係数	c_s [kg g/cm]	0.0

Key Words : 転動型制振装置, TRMD, 制振, 同調質量ダンパ, 非線形, 強制振動,

連絡先 : 〒252-1292 神奈川県平塚市北金目 1117 東海大学土木工学科 TEL 0463(58)1211 FAX 0463(50)2045

4. 数値解析結果

4.1 TRMD 解析モデル

図-3 は、TRMD の減衰比 $H_t = 0.05$ のときの転動子振れ角応答の解析結果である。変位振幅が小さい時 ($U_g = 1.0, 2.0 \text{ cm}$) は、外力振動数比 $\beta = (\omega/\omega_1)$ が $0.95 \sim 1.00$ の付近に共振点があり、変位振幅が大きい時 ($U_g = 4.0, 6.0 \text{ cm}$) は、 $\beta = 0.9$ 付近に共振点がある。さらに、変位振幅が大きい時 ($U_g = 4.0, 6.0 \text{ cm}$) には、 $\beta = 0.9$ 付近で急に転動子振れ角 θ が増加するジャンプ現象が起きている。このことから TRMD は、変位振幅が大きい程転動子の非線形性の影響を強く受けることがわかる。

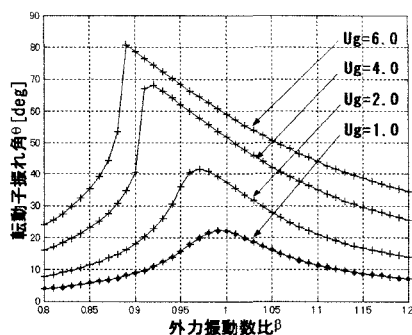


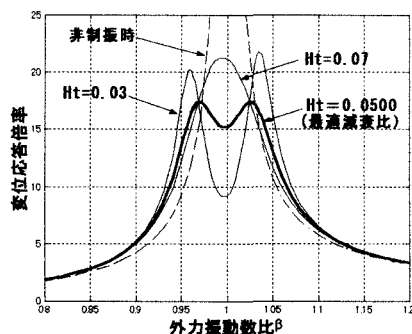
図-3 TRMD の振動数応答曲線

4.2 TRMD-構造物解析モデル

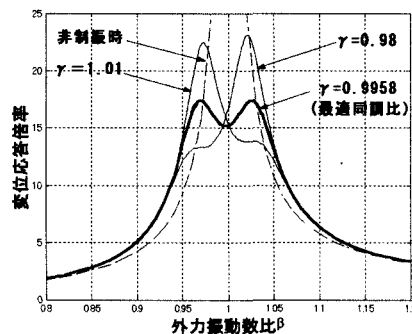
同調比 γ と減衰比 H_t の最適化の条件として、定点理論 4(固定点における共振曲線の高さが等しく極大値をとる) による最適設計法を利用する。図-4(a) は、TRMD の質量比および同調比 ($\mu = 0.01, \gamma = 0.9958$) を一定値に選び、TRMD の減衰比 H_t をパラメータに振動数応答曲線の変化を示したものである。減衰比 H_t によらず、応答曲線が通る固定点が存在し、減衰 H_t を適切に選ぶことで応答を小さくすることができる。図-4(b) は、TRMD の質量比および減衰比 ($\mu = 0.01, H_t = 0.0500$) を一定値に選び、同調比 γ をパラメータに振動数応答曲線の変化を示したものである。応答曲線のピーク値が同調比 γ によって変化し、同調比 γ を適切に選ぶことで応答を小さくすることができる。

5. まとめ

TRMD および TRMD-構造物それぞれに調和地盤振動が作用した時の応答解析を行った。TRMD のみの応答解析からこの装置の非線形性は、加振振幅が大きい時の応答振れ角にジャンプ現象があらわれることを示すことができた。また、TRMD-構造物の調和地盤振動に対する応答解析より、外力振動数比に対して最適減衰比と最適同調比を特定することができた。TRMD の最適パラメータ設定のための考え方を示し、装置設計のための基本的な考察の一つを行った。



(a) 減衰比の影響 ($\mu = 0.01, \gamma = 0.9958$)



(b) 同調比の影響 ($\mu = 0.01, H_t = 0.0500$)

図-4 TRMD-構造物の振動数応答曲線

【参考文献】

- 1) 尾畑守夫他, 複数個設置した転動型制振装置の制振効果, 土木学会第 27 回関東支部技術研究発表会講演概要集, pp.26-27, 2000.
- 2) 尾畑守夫他, 転動型制振装置の非線形性を考慮した理論およびシミュレーション, 土木学会第 26 回関東支部技術研究発表会講演概要集, pp.102-103, 1999.
- 3) 作間友幸他, TRD を設置した 1 自由度系ラーメン構造模型の自由振動, 土木学会第 27 回関東支部技術研究発表会講演概要集, pp.24-25, 2000.
- 4) 山口宏樹, 構造物振動・制御, 共立出版株式会社, pp.133-149, 1996.