T2R2 東京工業大学リサーチリポジトリ Tokyo Tech Research Repository

論文 / 著書情報 Article / Book Information

論題(和文)	 1質点系モデルを対象としたアクティブ制御の等価モデルの構築 (そ の2:地震と風外乱を用いた等価モデルの精度検証)
Title(English)	
 著者(和文)	 陳引力, 佐藤大樹, 宮本皓, 佘錦華
Authors(English)	Yinli Chen, Daiki Sato, Kou Miyamoto, Jinhua SHE
出典 / Citation	日本建築学会関東支部研究報告集, , , pp. 385-388
Citation(English)	, , , pp. 385-388
 発行日 / Pub. date	2018, 3

佐藤大樹

佘錦華

1質点系モデルを対象としたアクティブ制御の等価モデルの構築

(その2:地震と風外乱を用いた等価モデルの精度検証)

正会員 〇陳引力

IJ

宮本皓

構造-振動

アクティブ制御 LQR リカッチ方程式

1質点系 等価モデル

1. はじめに

本報その1 ではアクティブモデルの等価モデルを構築 し、等価モデルの各要素と重み関数の関係を評価した。そ の2 では異なる制御対象モデルで時刻歴応答解析を行い、 等価モデルの精度検証を行う。

2. 数值解析

2.1 外乱入力の概要

本報では、外乱として2種類の地震波と、平均成分を持つ風方向風力を用いて、構築したモデルの精度検証を行う。 地震波はJMA Kobeと Taftを選択し、風外乱を再現期間 500 年の風方向風力にする。なお、風方向風力は風洞実験結果 ¹³⁾を用いる。Figs. 1 と2 にそれぞれ JMA Kobe と Taft の加 速度波形と変位、速度、絶対加速度の応答スペクトル (S_D , S_V , S_A)を示す。Fig.3 に再現期間 500 年の1 次モーダル風 方向風力波形とそのパワースペクトル密度を示す。なお、 本報では、スウェイモードを仮定し、1 質点系のモーダル 風力を作成した。ただし、地震の場合、外乱入力は式(1a) による。風の場合、外乱入力は式(1b)による。

$$d(t) = -mx_g(t), \quad d(t) = F(t)$$
 (1a,b)

2.2 制御対象モデルの概要

本報その2における制御対象モデルの固有周期を1s,2 s,4s,8sとし,減衰率ζをそれぞれ0.01,0.02とする。 モデル高さ,幅,奥行きは式(2)による。質量*m*,剛性係数 *k*,減衰係数*c*はそれぞれ本報その1式(1)~(3)による。Table 1に各モデルの名称および諸元を示す。

H = T / 0.02, B = D = H / 5

2.3 制御系の構築

本報その2では、コントローラゲイン K_P の設計は本報 その1と同様の物を用いる。本報その1より、アクティブ モデルの等価モデルの等価減衰率 ξ_{eq} は重み関数Qの対角 線要素 $q_1 \ge q_2$ に関係があることがわかる。本報その2で は、より簡便な表現として、 $q_1 \ge q_2$ の値は α を用いて式(3) によって与えられる。

$$q_1 = 10^{\alpha} \cdot k$$
, $q_2 = 10^{\alpha} \cdot c$ (3a, b)

Fig. 4 に各制御対象モデルにおける T_{eq} , $\zeta_{eq} \ge \alpha$ の関係を 示す。Fig. 4 より, α を大きくすると, T_{eq} の値が小さくな り, ζ_{eq} の値が大きくなることがわかる。本報では Fig. 4(b) と(c)のように ζ_{eq} = 0.1 となる時の α を用いる (Table 1)。



正会員

IJ

Fig. 1 Acceleration wave and response spectrum of JMA Kobe









-385-

_										
Model Parameter		M1-1	M1-5	M2-1	M2-5	M4-1	M4-5	M8-1	M8-5	
Passive	T	[s]	1		2		4		8	
	ζ	[-]	0.01	0.05	0.01	0.05	0.01	0.05	0.01	0.05
	Н	[m]	50		100		200		400	
	В	[m]	10		20		40		80	
	D	[m]	10		20		40		80	
	т	[kg]	900000		7200000		57600000		460800000	
	k	[N/m]	3.55×10 ⁷		7.11×10 ⁷		1.42×10^{8}		2.84×10 ⁸	
	С	[Ns/m]	1.13×10 ⁵	2.26×10 ⁵	4.52×10 ⁵	9.05×10 ⁵	1.81×10 ⁶	3.62×10 ⁶	7.24×10 ⁶	1.45×10 ⁷
.1)	α	[-]	5.11	4.82	5.44	5.22	5.75	5.58	6.06	5.91
tive ($\zeta_{eq} = 0$,	k _{eq}	[N/m]	3.62×10 ⁷	3.59×10 ⁷	7.24×10 ⁷	7.19×10 ⁷	1.45×10 ⁸	1.44×10 ⁸	2.90×10 ⁸	2.88×10 ⁸
	c _{eq}	[Ns/m]	1.14×10 ⁶	1.14×10 ⁶	4.57×10 ⁶	4.55×10 ⁶	1.83×10 ⁷	1.82×10 ⁷	7.31×10 ⁷	7.29×10 ⁷
	T_{eq}	[rad/s]	0.99	1.00	1.98	1.99	3.96	3.97	7.92	7.94
\swarrow ζ_{eq} [-] 0.10						•				

Table 1 Parameters of every analysis model





3. 数值解析

3.1 地震での解析結果

Fig. 5 と 6 に例としての M4-1 モデルと M4-5 モデルにお ける JMA Kobe でのアクティブモデルと等価モデルの解析 結果との比較を示す。Fig. 5 と 6 の(a)にコントローラの制 御入力を示す。Fig. 5 と 6 の(b)~(d)なお,等価モデルの制 御入力は等価モデルの応答変位 x(t)および応答速度 $\dot{x}(t)$ を 用いて,式(4)により与えられる。

$$u_{\rm eq}(t) = (k - k_{\rm eq})x(t) + (c - c_{\rm eq})\dot{x}(t)$$
(4)

Fig. 5 と 6 より, JMA Kobe での等価モデルの応答変位, 応答速度,応答絶対加速度,制御入力の時刻歴波形はアク ティブモデルと一致することがわかる。Fig. 5 と 6 (a)の比 較より, M4-1 モデルの制御入力は M4-5 モデルより大きい ことがわかる。これは, M4-1 モデルの ζ が M4-5 モデルに 比べて小さいためである。しかし, M4-1 モデルと M4-5 モデルの T_{eq} および ζ_{eq} が等しいため, M4-1 モデルと M4-5 モデルでの応答変位,応答速度,絶対加速度が一致するこ とが Fig. 5 と 6 (b)~(d)よりわかる。

Fig. 7 と 8 に例として M1-1, M2-1, M4-1, M8-1 における JMA Kobe と Taft での解析結果と応答スペクトルの比較をそれぞれ示す。Fig. 7 と 8 より, アクティブモデルの解

析結果が応答スペクトルの値と一致することがわかる。こ の結果のより、アクティブモデルの等価モデルの固有周期 と等価減衰率と応答スペクトルを用い、従来の建築物と同 様に、時刻歴応答解析を行わずにアクティブモデルの最大 応答を予測することができる。

3.2 風方向風力での解析結果

Fig. 9 と 10 に M4-1 モデルと M4-5 モデルにおける風方 向風力での等価モデルの解析結果とアクティブモデルの 比較を示す。Fig. 9 と 10 の(a)にコントローラの制御入力 を示す。Fig. 9 と 10 の(b) ~ (d)。にそれぞれ応答変位と応 答速度と応答絶対加速度を示す。

Fig. 9 と 10 より,風外乱の場合,平均成分を有する風方 向風力での等価モデルの応答変位,応答速度,応答絶対加 速度,制御入力の時刻歴波形もアクティブモデルと一致す ることがわかる。Fig. 9 と 10 (a)の比較より, M4-1 モデル の制御入力は M4-5 モデルより大きいことがわかる。これ は, M4-1 モデルの ζ が M4-5 モデルに比べて小さいためで ある。しかし, M4-1 モデルと M4-5 モデルの T_{eq} および ζ_{eq} が等しいため, M4-1 モデルと M4-5 モデルでの応答変位, 応答速度,絶対加速度が一致することがが Fig. 9 と 10 (b) ~ (d)よりわかる。





-387-

response spectrum (under Taft)



Fig. 9 Analysis results under Along-wind force (M4-1)

4. まとめ

本報その2では地震外乱と風外乱を用い,制御対象の固 有周期と減衰率を変化し,等価モデルの解析結果をアクテ ィブモデルの解析結果と比較した。解析から得られた知見 を以下に示す。

- (1) 等価モデルの解析結果とアクティブモデルの解析結 果が一致することを確認した。等価モデルを用いて、 制御系の性能を評価することができる。
- (2) 質量mと固有周期Tの同じモデルにおいて,減衰率 ζ が異なれば、同じ T_{eq} と ζ_{eq} の等価モデルを構するため の必要となる制御入力uが異なる。なお、等価モデル の応答変位と応答速度を用いて、uの違いも表現でき る。 ζ の異なる場合でも、 T_{eq} と ζ_{eq} を等しくことで、 アクティブモデルの応答は等しくなる。
- (3) 地震の応答スペクトルを用いて、等価モデルの応答も 通常のアクティブ制御がない建物と同様に応答予測 が可能であり、時刻歴応答解析せずに制御性能を評価 することができる。
- (4) 等価モデルは平均成分を含む風方向風力においても 適用できることを確認した。

参考文献

- 吉岡宏和,スペンサー Jr., B.F.: M R ダンパーを用いたスマート免震構造の振動台実験,理論応用力学講演会公演論文集,pp. 65-66,2002.5
- Kim Hyun-Su, Roschke N. Paul: GA-fuzzy control of smart base isolated benchmark building using supervisory control technique. Advance in Engineering Software, Vol.38, pp. 453-465, 2007. 7
- 池田芳樹:日本における建築構造物のアクティブ・セミアクティブ振動制御,第12回地震工学シンポジウム, pp.77-81,2006
- 4) 中村佳也,岩田直衛,渡壁守正,西村秀和,井上波彦,仲宗根



Fig. 10 Analysis results under Along-wind force (M4-5)

淳, 龍神弘明: MR ダンパを用いたセミアクティブ免震建物に 関する研究(その10)地震・風応答解析結果,日本建築学会大 会学術講演梗概集, pp. 351-352, 2004.8

- 5) 笹島圭輔,田中智,渡壁守正,小林利之:可変ゲイン制御によ る制振装置を設置した超高層建物(その2)制振装置概要およ び制振効果の予測解析,日本建築学会大会学術講演梗概集,pp. 599-600,2008.9
- 6) 森泰親:わかりやすい現代制御理論, 2016.2
- 7) 宮本皓,佐藤大樹,林岑蔚,余錦華:超高層建物を対象とした アクティブ制御を用いた免震建物の応答制御,日本地震工学会 第12回年次大会梗概集,p3-25,2016.9
- 8) 宮本皓,佐藤大樹,林岑蔚,佘錦華:アクティブ制御とパッシ ブ免震の併用による超高層免震の実現に向けた基礎的研究(そ の2:アクティブ制御設置時の免震周期設定に関する検討), 日本建築学会関東支部研究報告集,pp.437-440,2017.3
- 9) 陳引力,宮本皓,佐藤大樹,佘錦華:アクティブ制御とパッシ ブ免震の併用による超高層免震のためのコントローラ設計方 法(その1:免震周期による必要制御入力エネルギー・パワー の分析),日本建築学会大会学術講演梗概集,pp.695-696,2017. 8
- 10) 日本免震構造協会:パッシブ制振構造設計・施工マニュアル 第3版, 2013.11
- 11) 藤井嵩広,藤谷秀雄,向井洋一:MRダンパーの最適制御によるセミアクティブ制御効果の評価-システム特性評価とパラメータ設定法-,日本建築学会構造系論文集,第78巻,第689号, p. 1237-1245, 2013.7
- Hisham Abou-Kandil, Gerhard Freiling, Vlad Ionescu, Gerhard Jank: Matrix Riccati Equations in Control and Systems Theory, 2003. 7
- 13) 丸川比佐夫,大熊武司,北村春幸,吉江慶祐,鶴見俊雄,佐藤 大樹:風洞実験に基づく高層建築物の多層層風力によるエネル ギー入力性状(その2 矩形高層建築物に作用する層風力特性), 日本建築学会学術講演梗概集, B-1, pp.193-194, 2010.7

*1	東京工業大学	大学院生修士課程
*2	東京工業大学	准教授・博士(工学)

- *3 東京工業大学 大学院生 博士課程
- *4 東京工科大学 教授・博士(工学)