

複素固有値解析を介した D.M.同調システムの簡易設計法
その 4. 1 次・2 次モード同時制御

A Simple Design Method for Tuned Dynamic Mass System by Complex Eigenvalue Analysis
Part4 Simultaneous Control of 1st and 2nd Mode

○渡辺一成³, 石丸辰治¹, 秦一平², 古橋剛², 三上淳治¹

*Kazunari Watanabe³, Shinji Ishimaru¹, Ippei Hata², Takeshi Furuhashi², Junji Mikami¹

In this paper, it is examined how to control the first mode and the second mode at the same time to a multi-degree of freedom system. It is reported that the technique of the simultaneous control is approved by the design example.

4.1 はじめに

その 1 からその 3 では, 相乗平均則の関係が, 多質点系においても十分成立することを示してきた. 本報では, 多質点系に対して, 1 次モードのみではなく, 2 次モードの制御も同時に行う手法を例題によって示す.

4.2 1 次 2 次同時制御

Table4-1 にはその 3 で相対変位応答倍率に対して 1 次モードの最適同調を行ったモデルのパラメータを示す. また, Table4-2 には最適同調時の固有値を示す. その 3 で示したように, 1 次と 2 次が同調しており, 3 次以上の粘性減衰定数は極めて小さい値になっている. そこでここでは, 3 次モード (原構造物の 2 次モード) の制御を行う.

Table4-1 Parameter of ten-degree of freedom model for tuning of the first mode

FL	主系		D.M.同調システム		
	質量 [ton]	初期剛性 [kN/m]	D.M. [ton]	減衰係数 [kNs/m]	剛性 [kN/m]
10	100.0	80000.0	-	-	-
9	100.0	80000.0	-	-	-
8	100.0	80000.0	-	-	-
7	100.0	85000.0	-	-	-
6	100.0	85000.0	-	-	-
5	100.0	85000.0	-	-	-
4	100.0	90000.0	-	-	-
3	100.0	90000.0	-	-	-
2	100.0	90000.0	-	-	-
1	100.0	90000.0	3100.0	8500.0	450000.0

Table4-2 Eigenvalue for tuning the first mode

モード	固有周期T	粘性減衰定数h
1次	1.526	0.144
2次	1.124	0.146
3次	0.443	0.037
4次	0.273	0.056
5次	0.199	0.077

まず, 1 次モードの最適同調を行ったモデルを原形とする. よって $T_0 = T_3 = 0.443[\text{sec}]$ となる.

次に, 3 次モードを制御するための D.M.同調システムを配置し, 減衰係数を無限大として ∞T_3 を求める. ここでは 2 層目に D.M.同調システムを配置し, 接続ばねの剛性は本報では 1 層目と同じ 450000[kN/m] と設定した. この時の 3 次の周期は $\infty T_3 = 0.407[\text{sec}]$ となった. よって

κ_k は次のように計算される.

$$\kappa_k = \left(\frac{T_3}{\infty T_3} \right)^2 - 1 = 0.1847 \quad (4-1)$$

κ_k から予想される制震性能を計算すると次のようになる.

$$h_3 = h_4 \approx (0.5 \sim 0.6) \sqrt{\frac{\kappa_k}{2 + \kappa_k}} = 0.145 \quad (4-2)$$

3 次モードの制御を行うための D.M.を相乗平均則によって求めていく. Table4-3 に収束計算の過程を示す.

Table4-3 Process of convergent calculation

D.M.[ton]	$T_{0,3}$	$T_{0,4}$	$\sqrt{T_{0,3}T_{0,4}}$
200	0.471	0.319	0.388
250	0.482	0.333	0.400
280	0.489	0.340	0.408
300	0.494	0.344	0.412
350	0.507	0.353	0.423

Table4-3 より, 3 次モードを制御する場合の D.M.は 280[ton]となる. これは, 1 次モードの制御に対する D.M.の 1/10 程度となっている. また, 粘性減衰係数は複素固有値解析を介して次のように求まる.

$$c = 3600[\text{kNs/m}] \rightarrow h_3 = 0.145, h_4 = 0.140 \quad (4-3)$$

粘性減衰係数についても, 1 次モードを制御する場合の半分以下で良いことが分かる.

Table4-4 には, 1 次, 3 次モード同調時の固有値を示す.

Table4-4 Eigenvalue for tuning the first mode and third mode

モード	固有周期T	粘性減衰定数h
1次	1.539	0.140
2次	1.117	0.149
3次	0.458	0.145
4次	0.358	0.140
5次	0.242	0.024
6次	0.182	0.008

Table4-2 の 1 次モードのみを制御した場合と比較して, 3 次, 4 次モードの粘性減衰定数が上昇していることが分かる. 5 次, 6 次モードの粘性減衰定数は小さく, また, 固有周期は 1 次モードのみを制御した場合の 4 次, 5 次

モードと対応していることが分かる。

Figure4-1 には、同調時の刺激関数を示す。比較のために 1 次モードのみを制御した場合も載せてある。(a)が 1 次モードのみ、(b)が 1 次、2 次モードを制御した場合である。(a)では 3 次、4 次の虚数部は現れていないのに対し、(b)では現れているのが分かる。また、1 次、2 次に関してはほぼ同等の値となっている。

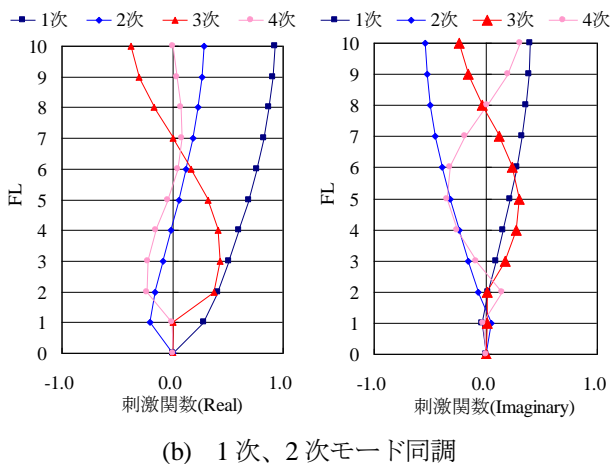
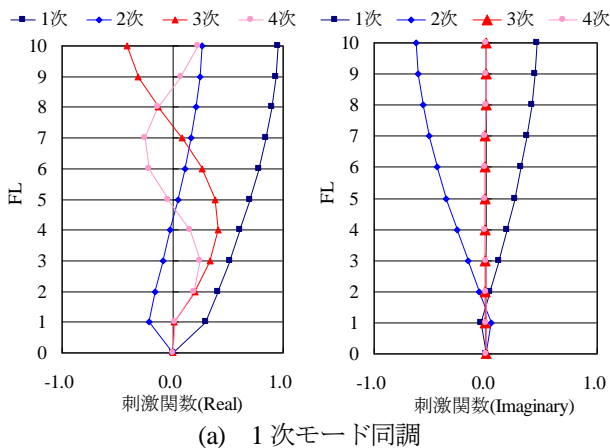


Figure4-1 Participation function for tuning

Figure4-2 には同調時の相対変位応答倍率を示す。なお、主系の内部減衰は、剛性比例型で 1% を考慮している。(a)が 1 次モード同調、(b)が 1 次、2 次モード同調の場合である。減衰係数は図中の表に示すとおりである。(a)の 1 次モード同調の場合には、2 次モードの応答倍率は全く抑えられていない。これに対し、(b)の 1 次、2 次モード同調の場合、1 次、2 次モード共に応答倍率が抑えられていることが分かる。

Figure4-3 には、応答解析を行った結果を示す。入力波は BCJ-L2 波の 1.0 倍と設定している。(a)が絶対加速度、(b)が層間変形である。2 次モードを制御することによって、特に絶対加速度が抑えられていることが分かる。

	減衰係数[kNs/m]				減衰係数[kNs/m]		
	減衰1	減衰2	減衰3		減衰1	減衰2	減衰3
1層	0.0	8500.0	1000000.0	2層	0.0	3600.0	1000000.0
				1層	0.0	8500.0	1000000.0

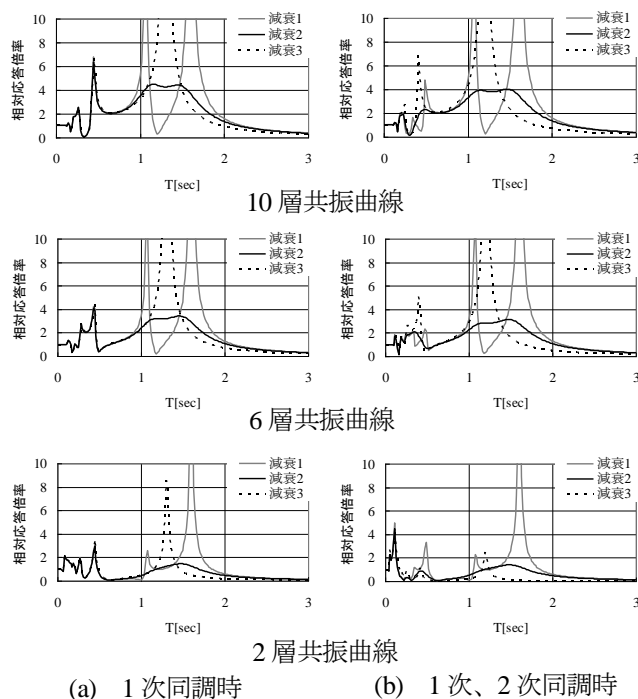


Figure4-2 Resonance curve of the relative response displacement for tuning

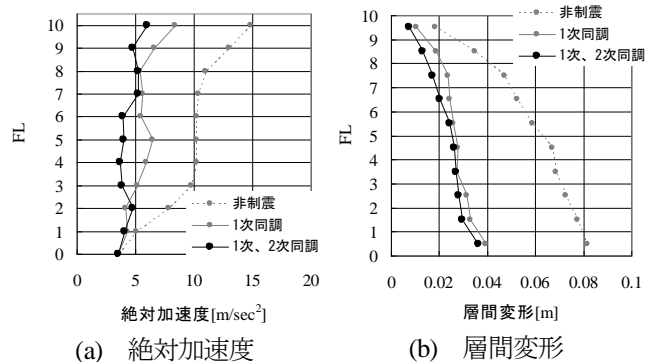


Figure4-3 Result of response analysis (BCJ-L2)

4.3 まとめ

多質点系に対して、1 次モードのみではなく、2 次モードも同時に制御する手法を例題によって示した。

その 5 では、多質平面フレーム系に対しても相乗平均則の関係が成り立つことを確認する。

【参考文献】

- 1) 石丸辰治, 三上淳治, 秦一平, 古橋剛 : D.M.同調システムの簡易設計法, 日本建築学会構造系論文集, 第 75 巻 第 652 号, 2010.6