

連結型制震フレーム耐震改修工法に関する基礎的研究

その 2 連結制震システムに基づいた設計例

A basic study on the seismic retrofitting method with the vibration control linked frame

Part 2 Design example based on the vibration control linked system

○高松慶介², 秦一平¹, 田中友基³

Keisuke Takamatsu², Ippei Hata¹, Yuki Tanaka³

By expressing the optimal tuning and the optimum damping formulas as function of natural periods, a multi-degree of freedom system can be applied with the eigenvalue analysis. The effectiveness of the proposed approach is illustrated with a practical design method and an example of its application.

2. 1. はじめに

その 1 では、連結制震システムに基づいた最適設計式の誘導と設計フローチャートの概要を示した。その 2 では、多質点系に対する具体的な設計例を示し、提案システムの有効性を示す。

2. 2. 連結制震システムを用いた多質点系の設計例

本節では、Figure1-4 の設計フローチャートに沿って、多質点系の設計例を示す。

2. 2. 1. 既存建物の 1 次広義質量、広義剛性の算出

副系を設計する為に、既存建物の 1 次広義質量、広義剛性を(2-1)式より求める。対象とする既存建物の諸元、固有値解析結果及び算出された 1 次広義質量、広義剛性をそれぞれ Table2-1~2-3 に示す。

$$\hat{m} = r_j^T M r_j, \quad \hat{k} = r_j^T K r_j \quad (2-1)$$

\hat{m} : 広義質量, M : 質量マトリクス,

\hat{k} : 広義剛性, K : 剛性マトリクス, r_j : j 次の固有モード

Table2-1 既存建物の諸元

FL	質点質量 (ton)	初期剛性 (kN/m)
4	3832.9	1915129.2
3	3659.4	1600000.0
2	4118.2	1906250.0
1	5266.2	8000000.0

Table2-2 固有値解析結果

次数	固有周期 (s)	減衰定数
1次	0.692	0.010
2次	0.249	0.010
3次	0.166	0.013
4次	0.139	0.015

Table2-3 既存建物の 1 次広義質量、広義剛性

FL	広義質量 (ton)	広義剛性 (kN/m)
1	7382.4	608652.4

2. 2. 2. 副系の層質量、初期剛性の設定

本節では、目標粘性減衰定数を設定し、それを満足する副系の層質量及び初期剛性を求める。まず、目標粘性減衰定数を 15(%)程度と設定する。次に、Figure2-1 の周期比—目標粘性減衰定数関係から、設定した目標粘性減衰定数を満足する質量比と周期比を決定する。ここで、質量比と周期比は、共に主系に対する副系の比率としている。目標粘性減衰定数 15(%)程度より、質量比 0.2, 周期比 2.0 として設計を進める。

決定した質量比、周期比を満足するように多質点系におけるパラメータ設計する。副系は、各層が同じフ

レーム形状、ダンパー基数として設定する。これは、各層を同一パラメータとすると、そのパラメータを変更しても固有モードが変化しないという特性を利用する為である。1 次固有モードを算出し、(2-2)式の関係から、設定した質量比 0.2 になるように層質量を決定する。次に、固有値解析により、設定した周期比 2.0 を満足する初期剛性を求める。決定した副系のパラメータ及び固有値解析結果を Table2-4, 2-5 に示す。

Table2-4 副系の諸元

FL	層質量 (ton)	初期剛性 (kN/m)
4	650.0	111000.0
3	650.0	111000.0
2	650.0	111000.0
1	650.0	111000.0

Table2-5 固有値解析結果

次数	固有周期 (s)	減衰定数
1次	1.384	0.010
2次	0.481	0.010
3次	0.314	0.013
4次	0.256	0.015

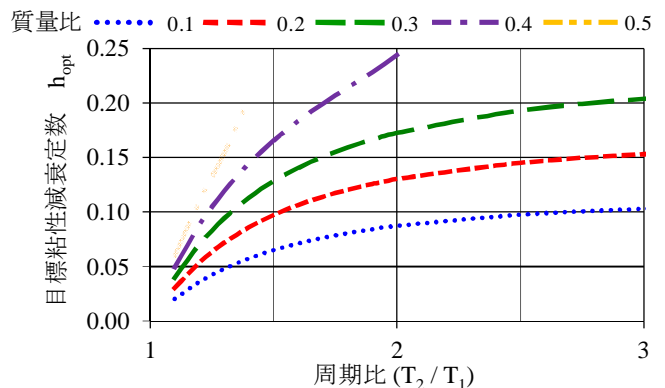


Figure2-1 周期比—目標粘性減衰定数関係

$$\text{質量比} : \frac{r_1^T M_2 r_1}{r_1^T M_1 r_1} \quad (2-2)$$

M : 質量マトリクス, r_1 : 1 次の固有モード

2. 2. 3. 副系の質点質量及び D.M. 質量の計算

前節で求めた副系の層質量を質点質量及び D.M. 質量に分配する。現実性を考慮して、アウトフレームの質点質量は、既存建物に対して質量比 0.03 とし、不足分を D.M. 質量で補う。その際、設定した周期比 2.0 を満足するように設定する。

また、D.M.質量は、「完全モード制御法^[1]」により求める。「完全モード制御法」の概要は、前報その1で示した通りである。(1-6)式を用いて求めたD.M.質量及び計算過程をTable2-6に示す。

Table2-6 モード制御用D.M.算定表

FL	質点質量 mi (ton)	初期剛性 (kN/m)	mi	((1/k1) mi)	l _{ui} = i	n+l _{ui} =1- i	Di	D.M. (ton)
4	100.0	111000.0	100.0	0.0009	1.0000	0.0000	0.000	0.0
3	100.0	111000.0	200.0	0.0027	0.9000	0.1000	0.333	50.0
2	100.0	111000.0	300.0	0.0054	0.7000	0.3000	0.500	133.3
1	100.0	111000.0	400.0	0.0090	0.4000	0.6000	0.600	250.0
0					0.0000	1.0000		

次に、D.M.質量を用いた副系のみ固有値解析を行う。ただし、Table2-6のD.M.質量では、設定した周期比2.0を満足する事が出来ない為、既存建物の層剛性比例倍でD.M.質量を付加する。決定した副系の諸元及び非連結時の固有値解析結果をTable2-7、2-8に示す。また、副系の1次広義質量、広義剛性及び目標値をTable2-9に示す。設計値の方が若干大きい結果となっているが、これは高次モードの影響によるものである。よって、Table2-7の諸元を用いて設計を続ける。

Table2-7 アウトフレームの諸元 Table2-8 固有値解析結果

FL	質点質量 (ton)	D.M. (ton)	初期剛性 (kN/m)	次数	固有周期 (s)	減衰定数
4	100.0	4384.5	111000.0	1次	1.384	0.004
3	100.0	4434.5	111000.0	2次	1.284	0.001
2	100.0	4517.8	111000.0	3次	1.268	0.001
1	100.0	4634.5	111000.0	4次	1.256	0.001

Table2-9 アウトフレームの1次広義質量・広義剛性
(左：目標値，右：設計値)

FL	質点質量 (ton)	初期剛性 (kN/m)	FL	質点質量 (ton)	初期剛性 (kN/m)
1	1476.5	30432.5	1	1615.2	32997.5

2.2.4. 連結制震モデルの最適設計

副系の減衰係数及び連結部剛性は、その1で示した(1-4)、(1-5)式を満足するように、複素固有値解析により決定する。決定した副系及び連結部の諸元、最適設計時の複素固有値解析結果をTable2-10、2-11に示す。

Table2-10 副系及び連結部の諸元

FL	制震フレーム		連結部	
	減衰係数 (kN・s/m)	初期剛性 (kN/m)		
4	30800.0	120000.0		
3	30800.0	0.0		
2	30800.0	0.0		
1	30800.0	0.0		

Table2-11 複素固有値解析結果

次数	固有周期 (s)	減衰定数
4次	0.722	0.163
5次	0.561	0.147
6次	0.246	0.010
7次	0.166	0.013

2.3. 提案システムの有効性の確認

2.3.1. 応答倍率曲線による最適設計の確認

ここでは、応答倍率曲線より、最適設計となっているかを確認する。2.2節で設計したモデルの応答倍率曲線をFigure2-2に示す。Figure2-2より、主系(既存建物)と副系(アウトフレーム)が同調関係となっている事が分かる。また、定点で最大応答倍率となっている為、最適設計されている事が確認できる。

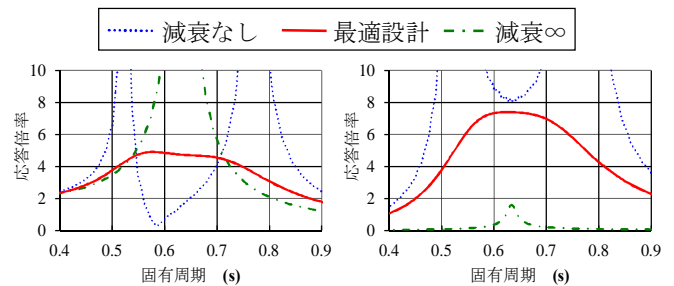


Figure2-2 応答倍率曲線

(左：既存建物 右：アウトフレーム)

2.3.2. 時刻歴応答解析による性能確認

提案モデルの制震性能を確認する為、地震波入力による時刻歴応答解析を行う。入力地震波は、BCJ-L1を25.0(kine)に基準化したものを用いる。せん断力及び層間変形角の結果をFigure2-3に示す。

非制震時の結果と比較すると、せん断力が低減している事が分かる。層間変形角に関しては、非制震時が最大で約1/50に対して、1/200以内まで低減している事が分かる。また、アウトフレームの層間変形角がほぼ一樣になっている事が分かる。これは、連結層を最上層のみとしており、且つアウトフレームに「完全モード制御法」を適応している為である。

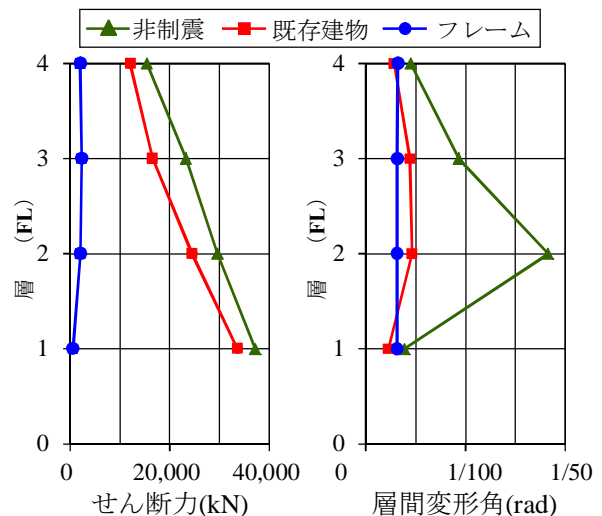


Figure2-3 せん断力と層間変形角

2.4. まとめ

本報では、連結制震理論に基づいた最適設計法が多質点系にも適応可能である事を示した。また、時刻歴応答解析により、応答を大幅に低減できる事を示した。以上より、本研究で提案する連結制震システムの有効性を示す事が出来たといえる。

2.5. 参考文献

[1]古橋剛, 石丸辰治:「慣性接続要素による多質点振動系の応答制御 慣性接続要素による応答制御に関する研究 その2」, 日本建築学会構造系論文集 (601), pp.83-90, 2006.3