

同調 D.M. システムを有する構造物設計法に関する研究
 その 3 塑性率制御法を用いた超高層構造物の制震設計例

A study on design method for structure with tuned dynamic mass systems

Part3: Seismic response control design example of super high-rise structure by ductility factor control method

押山育未⁴, 石丸辰治¹, 古橋剛², 郭鈞桓³, 稀代康平⁴, 土田亮章⁴

*Ikumi Oshiyama⁴, Shinji Ishimaru¹, Takeshi Furuhashi², Kuo Chunhuan³, Kouhei Kitai⁴, Takaaki Tsuchida⁴

In the part2, it proposed a design method that is in combination with “two design methods” of “Tuned Dynamic Mass Systems”, and using this design method, showed seismic response control design example of high-rise structure for characteristic ground motions. In the Part3, it proposes a design method considering the plasticity of structural member against ModelGJ2 that was designed in the part2. It is seismic response control design method for ground motions larger than expected.

3.1 はじめに

前報までに、特徴的な地震動に対する超高層構造物の制震設計として、2つの同調 D.M. システムの設計法を複合した設計例を示し、その有効性を示した。本報ではさらに、想定を上回る地震動に対する制震設計として、前報で設計した ModelGJ2 に対して、さらに構造部材の塑性化を考慮した設計を行う。

3.2 塑性率制御法を用いた制震設計

本報では、塑性化を考慮した設計として、石丸により提案されている「塑性率制御法」^{[1],[2]}を用いる。

これは、架構の目標性能(バイリニア係数, 塑性率)を設定し、それを満足する部材性能やダンパー等のパラメータを理論的に求め、モーダルアナリシスによる応答推定を用いて、非線形時刻歴応答解析により精度を確認する手法である。

そこで本報では、前報で設計した ModelGJ2 をもとに、Figure3-1 に示したフレームの梁端(ただし、基礎梁と最上層を除く)の指定バイリニア係数を 0.1, 指定塑性率を 3 と設定している。

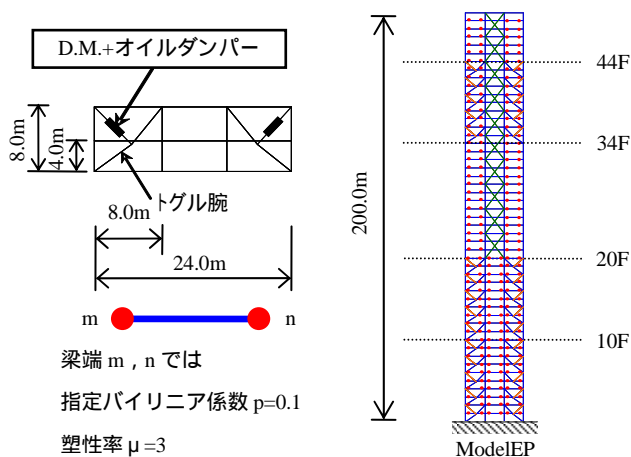


Figure3-1 Assembly drawing of ModelEP

Table3-1 Complex eigenvalue analysis of ModelEP

モード	h_{cs}	$\bar{\mu}$	\bar{p}	$T'(s)$	h_{eq}	$\bar{\eta}$	
1	0.272	2.82	0.14	7.80	0.279	0.479	1次モード 同調
2	0.132	2.50	0.43	4.80	0.214	1.431	
3	0.097	3.88	0.51	4.14	0.239	-0.851	
4	0.168	3.44	0.34	2.10	0.322	0.630	2次モード 同調
5	0.062	2.65	0.67	0.92	0.254	0.426	
6	0.071	2.95	0.63	0.63	0.078	0.940	擬似モード 制御
7	0.014	4.14	0.89	0.54	0.117	0.142	
8	0.002	3.11	0.98	0.50	0.131	0.049	
9	0.001	3.14	0.99	0.45	0.065	0.992	
10	0.009	3.99	0.93	0.44	0.103	0.141	

ここで、 h_{cs} : 弾塑性挙動による j 次モードの等価粘性減衰定数
 $\bar{\mu}_j$: j 次モードの塑性率
 \bar{p}_j : j 次モードのバイリニア係数
 T'_j : j 次モードの実効周期
 $h_{eq,j}$: j 次モードの粘性減衰定数
 $\bar{\eta}_j$: j 次モードの入力低減率

Table3-1 に ModelEP の弾塑性時の複素固有値結果を示す。ModelGJ2(弾性)より固有周期が伸び、 $\bar{\eta}$ の値は 1 次モードが減少し、2 次モードが増加していることが分かる。 $\bar{\eta}$ の増減は基準座標の応答に対する影響があるため、ModelEP では 1 次モードより 2 次モードの方が全体の応答に対し影響が大きくなったと言える。また、弾塑性による等価な履歴減衰及び粘性減衰もモードごとの値が大きくなったことが確認できる。

解析手順として、本研究では目標地震動として BCJL2(入力 2 倍)を設定し、モーダルアナリシスにより各梁の推定降伏モーメントを求める。この推定降伏モーメントを部材パラメータとして設定し、非線形時刻歴応答解析を行うことで、モーダルアナリシスによる応答推定値との整合性を確認する。また、応答値については層間変形角 1/80 程度に収まるかどうかを確認する。

また、各特徴的な地震動の入力倍率の設定は次のとおりである。ModelEP の複素固有値結果から、1 次モードの影響が小さくなり、2 次モードが支配的なモードとなったことから、ModelEP において応答を支配す

るモードの固有周期は約 5 秒である．Figure3-2 に示した減衰 40% の BCJL2(入力 2 倍)の擬似速度応答スペクトルを読むと，約 0.7 (m/s)であることが分かる．この 0.7 (m/s)に合わせて，各特徴的な地震動の入力倍率を決定した．Table3-2 に各倍率を調整した入力地震動の減衰 40% の擬似速度応答スペクトルを示す．

Table3-2 Input magnification of ground motion

長周期模擬地震動	倍率	指向性パルス地震動	倍率
BCJL2	2.0	1995JMA神戸NS	3.0
咲洲位相波	1.8	2007柏崎NS	1.1
乱数位相波	2.0		

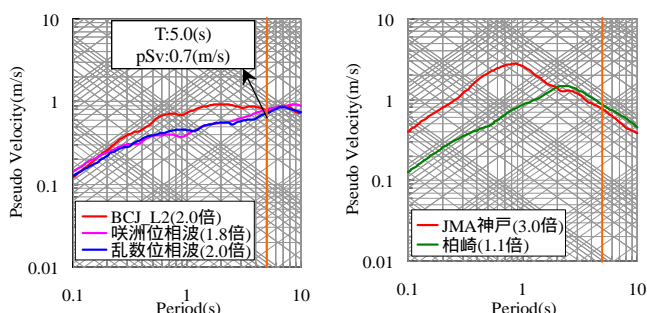


Figure3-2 Response spectrum of ground motion adjusted magnification (h=0.40)

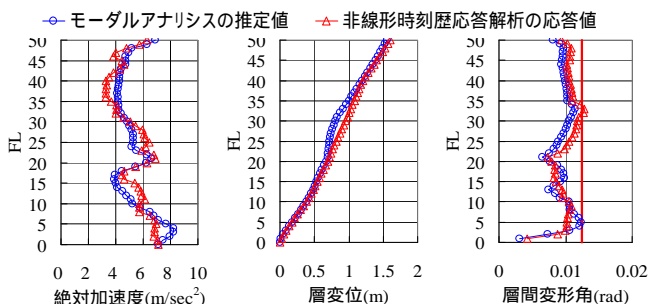


Figure3-3 Response estimation and response result of ModelEP for BCJ L2 (2 times)

Figure3-3 に示した 2 倍の BCJ-L2 に対するモーダルアナリシスの推定値と非線形時刻歴応答解析の応答値が良い対応をしていることが分かる．このことは，推定した降伏モーメントが，目標性能（指定塑性率，バイリニア係数）を満足していることを意味しており，したがって後は，推定した降伏モーメントを満足するように梁断面の設計を行えばよい．なお，この梁断面の設計は，断面 2 次モーメントの値を維持しながら塑性断面係数を調節することで行うことになるが，ここでは詳細は割愛する．

また，層間変形角が 1/80 以内に収まっている事も確認できることから，同調 D.M.システムを有する構造物においても，塑性率制御法が有効であることが分かる．

最後に，BCJL2(入力 2 倍)に対して，モーダルアナリシスで求めた推定降伏モーメントを用い，Table3-2 に示した各特徴的な地震動(入力倍率変更)に対しても非線形時刻歴応答解析を行い，応答結果を確認する．

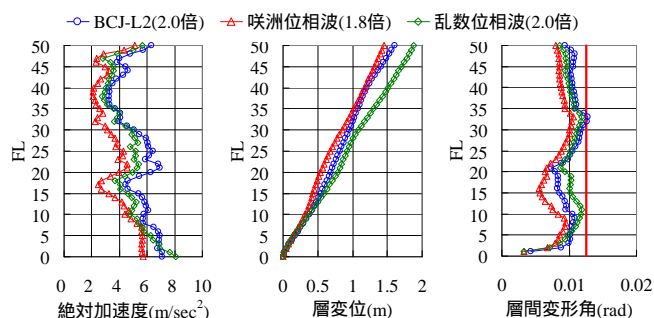


Table3-4 Result of nonlinear time history analysis for long period ground motions

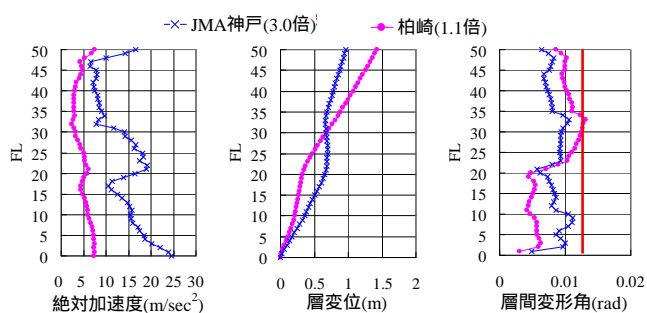


Table3-5 Result of nonlinear time history analysis for directivity pulse ground motions

Table3-4, 3-5 に示した非線形時刻歴応答解析結果から，各特徴的な地震動に対して ModelEP が良い制震効果を発揮したことが確認できる．その中，長周期地震動に対して全層の層変位と層間変形角が著しく低減していることが分かる．これは，継続時間が長い長周期地震動の場合には，ダンパーは変形しながら徐々にエネルギーを吸収し，更に梁の塑性化によるエネルギー吸収で応答の成長を抑止できたことが考えられる．

指向性パルス地震動に対しては，主に上層部の応答が低減している．これは，梁の塑性化によってダンパー設置層の変形が大きくなり，粘性減衰によるエネルギー吸収効果が更に大きくなったことが考えられる．

3.3 まとめ

その 2 で設計した ModelGJ2 に対して，さらに塑性率制御法によりフレームの梁端の塑性を考慮した設計例を示し，長周期地震動や指向性パルス地震動などの特徴的な地震動だけでなく，これらの想定を上回る地震動に対しても超高層構造物に優れた対震性能を付与する事が出来る事を示した．

【参考文献】

- [1] 石丸辰治：塑性率制御法 梁降伏型について(その 1) ,日本建築学会構造系論文集 ,第 232 号 ,pp.17-28 , 1975.6
- [2] 石丸辰治：同調 D.M.システムを有する鉄骨フレームの塑性率制御法 ,日本建築学会構造系論文集 ,第 672 号 ,pp.187-196 , 2012.2