

## ダイナミック・マスを付加した構造物の部材応力に関する研究

## その 1 静的解析と動的解析におけるスラブに生じるせん断力の比較

## Study on the stress in the structural member of response controlled structure with D.M.

## Part1 Shear force generated in the slab by the dynamic analysis and static analysis

○張柏<sup>2</sup>, 古橋剛<sup>1</sup>, 土田堯章<sup>3</sup>, 杭雅琨<sup>4</sup>Haku Cho<sup>2</sup>, Takeshi Furuhashi<sup>1</sup>, Takaaki Tsuchida<sup>3</sup>, Gakon Ko<sup>4</sup>

In this study, make the three-dimensional model that will be examined, and establish the static external force and the dynamic external force that we will add to this model. Then analyse the external force, and examine the shear force generated in the slab.

## 1.1 はじめに

構造物を設計する際、時刻歴応答解析を繰り返し行い設計用地震力を求める。しかし、各階にかかる静的外力は設計用地震力の差分であり、動的にかかる外力は静的外力よりも大きなものとなることが考えられる。また、偏心建築物においては建物内に生じる変位差によりスラブにせん断力が生じる可能性が考えられるが、解析を行う際、スラブは剛床と仮定することが多い為、十分な検討が行われているか不明確である。

さらに、制震装置であるダイナミック・マスを構造体に付加した場合、スラブに大きなせん断力が生じる可能性が考えられる。これは、ダイナミック・マスは反力が剛性要素と逆位相となる特性を有している為であるが、この反力が構造物の部材応力に与える影響についての検討は皆無である。また、ダイナミック・マスを付加したフレーム系の転倒モーメントは、反力である逆向きのせん断力により周囲のフレームと異なる可能性があるが、検討はされていない。

これらの状況を踏まえて、本研究ではダイナミック・マスを付加した立体フレームモデルを作成し、構造物の部材応力に関する検討を行うことを目的とする。

本報その 1 では偏心率、スパン数をパラメータとしたモデルを作成し、静的解析時及び、動的解析時にスラブに生じるせん断力について比較、検討を行う。次報その 2 では、ダイナミック・マスをモデルに付加し、スラブのせん断力及び柱にかかる軸力の変動について考察を行う。

## 1.2 検討モデル概要

検討モデルは Figure 1-1 に示すような 1 スパン 5000mm、層高 5000mm の 8 層立体フレームモデルである。モデルの層質量と層剛性は Table 1-1a と Table 1-1b に示す。X 方向の固有値解析結果を Table 1-2a に示し、Y 方向の固有値解析結果を Table 1-2b に示す。

Table 1-1a. Model specifications - Layer weight -(ton)

層	Model-3	Model-4	Model-5	Model-6	Model-7	Model-8	Model-9
8層	120.0	150.0	180.0	210.0	240.0	270.0	300.0
7層	120.0	150.0	180.0	210.0	240.0	270.0	300.0
6層	120.0	150.0	180.0	210.0	240.0	270.0	300.0
5層	120.0	150.0	180.0	210.0	240.0	270.0	300.0
4層	120.0	150.0	180.0	210.0	240.0	270.0	300.0
3層	120.0	150.0	180.0	210.0	240.0	270.0	300.0
2層	120.0	150.0	180.0	210.0	240.0	270.0	300.0
1層	120.0	150.0	180.0	210.0	240.0	270.0	300.0

Table 1-1b. Model specifications - Story stiffness -(kN/m)

層	Model-3	Model-4	Model-5	Model-6	Model-7	Model-8	Model-9
8層	135772	169714	203657	237600	271543	305486	339429
7層	188519	235648	282778	329908	377037	424167	471297
6層	253400	316750	380100	443449	506799	570149	633499
5層	331695	414618	497542	580466	663389	746313	829236
4層	424663	530829	636994	743160	849326	955492	1061657
3層	533564	666955	800346	933737	1067128	1200519	1333910
2層	659642	824553	989463	1154374	1319284	1484195	1649105
1層	804172	1005215	1206258	1407301	1608344	1809387	2010430

Table 1-2a. Analysis results (X)

次数	T (s)	h
1次	0.5525	0.0100
2次	0.2241	0.0247
3次	0.1414	0.0391
4次	0.1061	0.0521
5次	0.0860	0.0643
6次	0.0710	0.0778
7次	0.0585	0.0945
8次	0.0472	0.1171

Table 1-2b. Analysis results (Y)

次数	T (s)	h
1次	0.5525	0.0100
2次	0.2241	0.0247
3次	0.1414	0.0391
4次	0.1061	0.0521
5次	0.0860	0.0643
6次	0.0710	0.0778
7次	0.0585	0.0945
8次	0.0472	0.1171

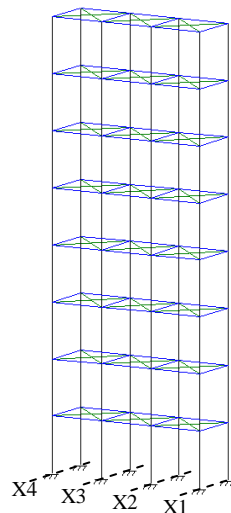


Figure 1-1. Model Figure (Model-3)

柱部材は角型鋼管、梁部材は H 型鋼を想定しており、柱部材及び梁部材は軸方向変形を抑制する為、軸剛性を無限大としている。また、梁部材の断面 2 次モーメントにおいて、スラブの面外変形を抑制する為に強軸回りを無限大とし、面内変形に影響を与えないよう弱

軸回りを 0 と設定した。スラブは厚さ 200mm, 設計基準強度  $F_c=24$  と設定している。尚, 本研究ではスラブを線材に置換して解析を行う。用いる手法はブレース置換法である。次式に置換するブレースの断面積の算出式を示す。尚, ブレースは X 形に配置するものとする。

$$A_b = \frac{1}{2} \cdot \frac{G_s \cdot t_s \cdot L_v^2}{E_b \cdot L_H \cdot (L_v / L_B)^3}$$

$A_b$ : ブレースの断面積  
 $L_B$ : ブレースの長さ  
 $E_b$ : 鋼材のヤング係数  
 $G_s$ : コンクリートのせん断弾性係数  
 $t_s$ : 置換するスラブの厚さ

構造体のスパン数が部材応力に与える影響を考察する為, スパン数  $N$  を 3 スパンから 9 スパン, 計 7 モデルを作成する。また, 偏心したモデルは X1 通りの質量を増加, 逆端の質量を減少させ偏心させる。偏心率  $R$  は 0.00, 0.05, 0.10, 0.15 の 4 種類とする。

### 1.3 解析方法

本研究で用いる地震動の応答スペクトルを Figure 1-2 に示す。尚, 入力地震動はすべて最大速度を 50cm/s に基準化したものを用いる。

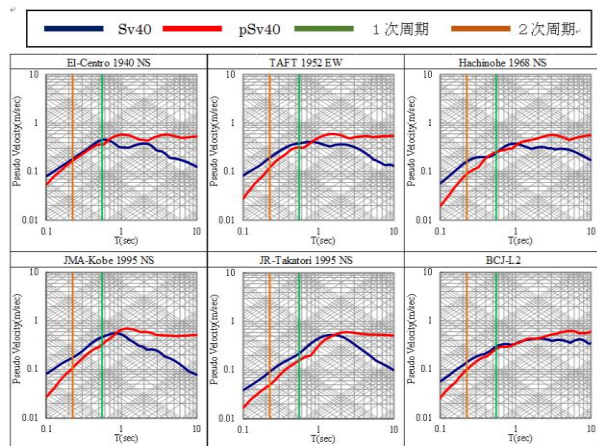


Figure 1-2. Response spectrum

まず, これらの地震動を用いて静的解析に用いる外力を求める。算出方法は各モデルを質点系に置換し, 上記の地震動 6 波を用いて予備解析を行う。これより得られた最大層せん断力を包絡する層せん断力を設計用地震外力として設定する。Table 1-3 に求めた各モデルごとの設計用地震力を示す。

Table 1-3. Design for earthquake external force (kN)

層	Model-3	Model-4	Model-5	Model-6	Model-7	Model-8	Model-9
8層	3901.39	4876.74	5852.09	6827.44	7802.79	8778.14	9753.49
7層	3143.92	3929.91	4715.89	5501.87	6287.85	7073.83	7859.81
6層	2243.30	2804.12	3364.95	3925.77	4486.60	5047.42	5608.25
5層	2441.76	3052.20	3662.64	4273.08	4883.52	5493.96	6104.40
4層	2194.74	2743.43	3292.11	3840.80	4389.48	4938.17	5486.86
3層	1722.18	2152.73	2583.27	3013.82	3444.36	3874.91	4305.45
2層	1174.23	1467.79	1761.35	2054.90	2348.46	2642.02	2935.58
1層	655.54	819.42	983.31	1147.19	1311.07	1474.96	1638.84

この設計用地震外力を層質量に対する節点質量の比で分配したものを静的外力として用いる。得られた静的外力を用いて応力解析を行い, スラブを置換したブレースにかかる軸力がスラブに生じるせん断力となる。

動的解析は上記の地震動を用いた時刻歴応答解析を行い, 静的解析と同様の方法でスラブに生じるせん断力を求める。

### 1.4 解析結果-静動比較-

Q(スラブに生じるせん断力)/R(スラブの短期許容せん断力)  
 1倍 ~      2倍 ~     

Table 1-4a. Shear force of the slab (kN) Static analysis (R=0.05)

層	Model-3	Model-4	Model-5	Model-6	Model-7	Model-8	Model-9
8層	19.98	24.62	33.47	43.11	53.92	65.97	81.01
7層	14.89	19.53	23.41	34.00	39.97	50.23	54.43
6層	9.11	14.33	23.02	21.85	32.31	31.75	39.95
5層	13.25	17.54	24.25	24.13	35.67	42.88	52.33
4層	13.31	17.38	21.98	26.49	30.52	40.93	45.76
3層	8.33	9.52	13.14	20.01	22.46	31.35	38.28
2層	5.54	6.73	11.31	13.32	15.63	21.72	24.86
1層	2.86	4.43	5.76	7.48	9.69	11.57	13.96

Table 1-4b. Shear force of the slab (kN) Dynamic analysis (R=0.05)

層	Model-3	Model-4	Model-5	Model-6	Model-7	Model-8	Model-9
8層	36.87	49.72	66.91	84.61	101.46	118.96	143.53
7層	30.58	40.74	54.74	69.45	83.30	98.25	119.05
6層	24.66	33.22	44.49	56.71	68.55	80.86	97.78
5層	20.05	27.51	36.73	46.26	55.54	65.45	78.84
4層	15.88	21.81	29.33	36.94	44.07	51.53	61.77
3層	11.64	15.92	21.50	27.01	32.34	38.16	46.02
2層	8.24	11.05	14.86	18.87	22.73	26.80	32.39
1層	4.74	6.21	8.34	10.55	12.76	15.08	18.20

スラブせんに生じる断力の静的解析結果と動的解析結果は Table 1-4a と Table 1-4b に示している。比較すると, スラブに生じているせん断力は動的解析時の方が大きな値となっていることが分かる。特に上層部にその傾向が多く見られ, モデルによっては静的解析時に比べ 2 倍以上のせん断力がスラブに生じている。偏心が生じている構造体やスパン数が多い構造体に対しては, 静的解析の場合のみでなく, 動的解析においてもスラブが伝達するせん断力を考慮した設計を行う必要がある。

### 1.5 まとめ

本報その 1 では, 検討モデルを作成した。解析結果より, 動的解析時の値が静的解析時の 2 倍以上となる可能性があることを示した。また, 偏心率及びスパン数が増加すると, スラブに生じるせん断力も増加する傾向にあることを示した。

次報その 2 では, 検討モデルにダイナミック・マスを付加し, スラブに生じるせん断力及び柱の軸力について検討を行う。

### 【参考文献】

- 古橋剛, 石丸辰治: 慣性接続要素によるモード分離, 日本建築学会構造系論文集 第 576 号, pp. 55-62, 2004. 2
- 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, 日本建築学会構造系論文集 第 601 号, pp. 83-90, 2006. 3
- 石丸辰治, 秦一平, 古橋剛: 擬似モード制御による 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 661 号, pp. 509-517, 2011.