

第9話 上部構造を設計しよう

ここまで準備ができると設計計算を進めることが容易になります。上部構造の設計計算手順は、仮定事項の再確認と調整作業となります。

9-1. 設計層せん断力係数を決定する

①時刻歴解析の場合

予備応答解析に用いたフレームモデルが十分に精度が得られた時点で求めた最大応答層せん断力係数に対して1割程度の余裕を見込み全層の応答値を包絡するように推奨します。ただし、地震力の作用分布を変えないように応答分布に比例するように包絡させます。

また、この時点で以下の点に注意します。

- 免震部材の性能は上限性能の状態とします。
- 建物偏心が大きくないことを確認します。大きい場合は、ねじれの影響がどの程度か推定し、割り増しをする。または、擬似立体振動解析の検討も追加する。
- X, Y方向の応答結果が著しく異なる場合は、X, Y方向別に設定する。
- 高層建物では、45度方向の設計層せん断力の設定を行う。45度方向の振動解析モデルによる応答解析を行わない場合は、X, Y方向の2乗和平方根による設定もありえます。

②告示の場合

前節の応答スペクトル計算の結果を用いて下記の計算により、免震層の層せん断力が計算されます。上部構造は、免震層を第1層としてAi分布で増幅するとして層せん断力係数が求められます。

最終値は、設計者判断により決定する訳ですが、地震応答の特性のわからない告示計算では1割程度以上の安全率を見込んで決定します。

一般に、Ai分布よりも実地震応答の増幅分布は大きくなり勝ちです。参考文献 19 では、その原因は、2次モードの影響によるもので、

係数 b_s ($=K_1/k_d$ 上部構造の第1層の水平剛性 K_1 と免震層のダンパーの水平剛性 k_d の比)と

係数 b_f ($=K_1/k_f$ 上部構造の第1層の水平剛性 K_1 と積層ゴムの水平剛性 k_f の比)とによってその影響の程度が示されている。

$$b_s > 80 \text{ かつ } b_f > 200$$

ではその影響が少なくなることが示されている。逆の場合はその影響が大きくなっていくためその影響を考慮する。

経験的には、2割程度増しに設定しています。建物の規模や構造にもよりますが、同じ建物を告示波で時刻歴解析してもほぼ許容応力度対応が可能です。

[告示計算モデル:手計算]

下記の設計用層せん断力係数以上の地震力に対し許容応力度設計とする

① $\gamma = 1.3$ 誤差計算をしないときの1階の C_{r1}

$$C_{ri} = \gamma \times Q1 \times (A_i \times Q_h + Q_e) / (Mg \times Q1) \quad , \quad Q_v = 0 \text{ の場合}$$

$$= 1.3 \times Q1 \times (1.10 \times Q_h + Q_e) / (Mg \times Q1)$$

$$= 1.3 \times (1.10 \times Q_h + Q_e) / Mg$$

$$= 1.3 \times (1.10 \times 1113 + 1604) / 28656$$

$$= \textcircled{18} \underline{1.3 \times 0.0987} = \underline{0.128} \quad (1F)$$

ここに、 $A_i = 1 + (1/\sqrt{\alpha_i} - \alpha_i) \times 2T / (1+3T)$ $\alpha_i = i$ 階以上上部重量比 (= W_i/W)

設計用1次固有周期 $T = H (0.02 + 0.01 A)$ 、 $A = RC$ の内 S の高さ比

[告示計算モデル:変動性能を考慮したシステム計算]

② $\gamma = 1.09$ 誤差計算を行った計算結果

T (sec)	Qh (kN)	Qe	γ	Qv (kN)	ϵ
0.44	1116.6	1606.3	1.09		

基礎構造重量Wb (kN)	地域係数Z
6000	1.00

参照 7: 変動性能と告示計算

■ 上部構造の地震層せん断力係数 C_{ri}

$$C_{ri} = \gamma \cdot \sqrt{((Q_h + Q_e)^2 + 2 \epsilon (Q_h + Q_e) Q_v + Q_v^2) / Mg \cdot (A_i(Q_h + Q_v) + Q_e) / (Q_h + Q_e + Q_v)}$$

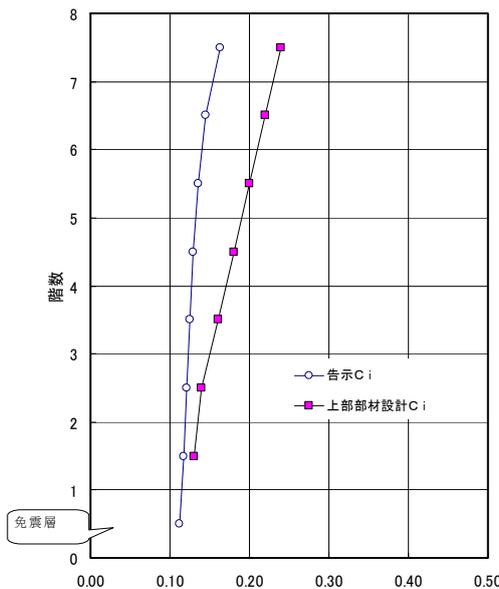
$$Mg = \sum W_i$$

地震時層せん断力

	階高 H_i (m)	重量		α_i	A_i	告示算定値 C_{ri}	Q_i (kN)	転倒モーメント O・T・M (kN・m)	1次設計データ(SS1)				
		W_i (kN)	$\sum W_i$ (kN)						上部部材設計用 C_{ix}	設計余裕率 C_{ix}/C_{ri}	Q_i (kN)	転倒モーメント O・T・M (kN・m)	
RF			0	0.000				0					
7	3.20	2854	2854	0.101	2.155	0.153	438	1400	0.240	1.565	685	2192	
6	3.00	3328	6182	0.219	1.728	0.135	835	3906	0.220	1.629	1360	6272	
5	3.00	3293	9475	0.335	1.528	0.127	1199	7503	0.200	1.580	1895	11957	
4	3.00	3331	12806	0.453	1.392	0.121	1546	12141	0.180	1.491	2305	18872	
3	3.00	3379	16185	0.573	1.284	0.116	1880	17780	0.160	1.378	2590	26641	
2	3.00	3390	19575	0.693	1.193	0.112	2198	24373	0.140	1.247	2741	34863	
1	3.80	4220	23795	0.842	1.094	0.108	2571	34142	0.130	1.203	3093	46617	
免震層	1.50	4461	28256	0.986	1.008	0.104	2949	38566	0.120	1.150	3391	—	
\sum	22.00	28656											

長期荷重 30746 地震時荷重と長期荷重の比 0.9320
 フーチング付加重量= 400 (kN) (50kN/基)

転倒モーメント1次設計と告示の比
 1.00 -> [部材応力と限界性能]



層せん断力係数 C_i
 設計層せん断力係数比較

9-2. 1次設計のポイント

従来の耐震構造の設計と同様に、設定された設計層せん断力係数を用いて、建物解析モデルによる1次設計を行います。主要部材の検定率を見ながら長期・短期許容応力度以下にします。

弾性限耐力まで許容する場合は、設計層せん断力係数を用いて弾塑性解析(荷重増分解析)を行いヒンジの発生の有無を確認します。以下、1次設計でのポイントです。

- ①壁の扱い：設計層せん断力でせん断破壊しないものは、剛性を高め免震効果に有効です。
 - ・耐力壁は、対象性や上下階の配置バランスに問題がなければできるだけ残します。
 - ・雑壁も、配置バランスがよいものはできるだけ有効せん断負担部材として残します。
- ②免震部材の上部になる大梁は、地震時の付加モーメントが作用するため、この時点で付加モーメントを付加外力で考慮するか、または大梁の短期検定に余裕(0.7程度)を持たせる。
- ③告示設計では、上部構造の応答条件：層間変形角の規制値 $< 1/300$ を満たす必要があります。

9-3. 浮き上りの程度を確認する

設計層せん断力に対して、支持点に浮き上がりが生じてないことを確認する。免震部材が負担できる限界引き抜き力は、設計計算によって異なりますが、上下震度を付加する必要があるため、以下の余裕を確認します。

$$[\text{長期軸力}] - [\text{変動軸力}] > 0.7 \times [\text{長期軸力}]$$

[告示計算モデル：変動性能を考慮したシステム計算]

告示計算モデルによる免震部材の軸力と応力の検定結果を表 9-3.1～9-3.3 に示す。

免震部材の負担軸力：軸力は、上限性能、変形は安全側に標準時を考慮している。

長期：長期支持力 NL (kN) 面圧 $< F_c/3$

短期：NL + 設計層せん断力による変動軸力 ± Ne 面圧 $< 2 \times F_c/3$

上下震動の考慮

短期：NL × 1.3 + 設計層せん断力による変動軸力 + Ne 面圧 $< F_c$

短期：NL × 0.7 + 設計層せん断力による変動軸力 - Ne 面圧 > 0

表 9-3.1 免震部材の軸力と応力の検定結果

・免震層の最大応答変位 = **0.47** (m) (標準性能時を含む) $< 2/3 \times (\text{水平基準変形})$

配置位置	部材	軸力 N												地震時の歪み、変形 (%)、(mm)
		長期 (kN)	地震時変動軸力		告示地震時		長期+地震時		長期×1.3+地震時		長期×0.7-地震時			
			X方向 (kN)	Y方向 (kN)										
支承材	1 RB80S	2539	1295	735	1295	735	3834	3274	4596	4036	482	1042	239	
	2 SC60	3767	15	1736	15	1736	3782	5503	4912	6633	2622	901	473	
	3 SC60	3728	13	1679	13	1679	3741	5407	4859	6525	2597	931	473	
	4 RB80S	2504	1293	592	1293	592	3797	3096	4548	3847	460	1161	239	
	5 RB80	4363	1135	736	1135	736	5498	5099	6807	6408	1919	2318	263	
	6 SC70	5161	225	1735	225	1735	5386	6896	6934	8444	3388	1878	473	
	7 SC70	4659	226	1679	226	1679	4885	6338	6283	7736	3035	1582	473	
	8 RB80S	2975	1137	593	1137	593	4112	3568	5005	4461	946	1490	239	
	9 SD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	473	
	10 SD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	473	
	11 SD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	473	
	12 SD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	473	
最大値			1295	1736	1295	1736	5498	6896	6934	8444	3388	2318		
最小値			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		

表 9-3.2 免震部材の軸力と応力の検定結果

部 材	許容圧縮応力度			支承面積 A (mm ²)	長期			長期面圧/ 基準面圧 比 (0.51)	長期+地震時(X方向)			長期+地震時(Y方向)		
	Fc	1/3・Fc	2/3・Fc		面圧N/A	判定	面圧N/A		判定	面圧N/A	判定	面圧N/A	判定	
	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)		(N/mm ²)	≤ 1/3・Fc	(N/mm ²)		≤ 2/3・Fc	(N/mm ²)	≤ 2/3・Fc	(N/mm ²)	≤ 2/3・Fc	
RB80S	41	14	27	501398	5.1	OK	(0.38)	(0.51)	7.6	OK	(0.28)	6.5	OK	(0.24)
SC60	51	17	34	282743	13.3	OK	(0.78)	(0.78)	13.4	OK	(0.39)	19.5	OK	(0.57)
SC60	51	17	34	282743	13.2	OK	(0.78)	(1.32)	13.2	OK	(0.39)	19.1	OK	(0.56)
RB80S	41	14	27	501398	5.0	OK	(0.37)	(0.29)	7.6	OK	(0.28)	6.2	OK	(0.23)
RB80	44	15	29	501398	8.7	OK	(0.59)	(0.87)	11.0	OK	(0.37)	10.2	OK	(0.35)
SC70	51	17	34	384845	13.4	OK	(0.79)	(1.34)	14.0	OK	(0.41)	17.9	OK	(0.53)
SC70	51	17	34	384845	12.1	OK	(0.71)	(0.71)	12.7	OK	(0.37)	16.5	OK	(0.48)
RB80S	41	14	27	501398	5.9	OK	(0.44)	(0.59)	8.2	OK	(0.30)	7.1	OK	(0.26)
SD														
SD														
SD														
SD														
	最大値				13.4		(0.79)	(1.34)	14.0		(0.41)	19.5		(0.57)
	最小値				5.0		(0.37)		7.6		(0.28)	6.2		(0.23)

表 9-3.3 免震部材の軸力と応力の検定結果

部 材	長期×1.3+地震時(X方向)			長期×1.3+地震時(Y方向)			長期×0.7-地震時(X方向)			長期×0.7-地震時(Y方向)		
	面圧N/A	判定		面圧N/A	判定		面圧N/A	判定		面圧N/A	判定	
	(N/mm ²)	≤ Fc		(N/mm ²)	≤ Fc		(N/mm ²)	≥ 0		(N/mm ²)	≥ 0	
RB80S	9.2	OK	(0.23)	8.0	OK	(0.20)	1.0	OK		2.1	OK	
SC60	17.4	OK	(0.34)	23.5	OK	(0.46)	9.3	OK		3.2	OK	
SC60	17.2	OK	(0.34)	23.1	OK	(0.45)	9.2	OK		3.3	OK	
RB80S	9.1	OK	(0.22)	7.7	OK	(0.19)	0.9	OK		2.3	OK	
RB80	13.6	OK	(0.31)	12.8	OK	(0.29)	3.8	OK		4.6	OK	
SC70	18.0	OK	(0.35)	21.9	OK	(0.43)	8.8	OK		4.9	OK	
SC70	16.3	OK	(0.32)	20.1	OK	(0.39)	7.9	OK		4.1	OK	
RB80S	10.0	OK	(0.25)	8.9	OK	(0.22)	1.9	OK		3.0	OK	
	最大値		(0.35)	23.5		(0.46)	9.3			4.9		
	最小値		(0.22)	7.7		(0.19)	0.9			2.1		

9-4. 保有耐力を確認する

目標耐震性能で主要部材の応力を許容応力以下にした場合、1次設計でその確認ができますが、余裕を確認するためには、保有耐力を確認しておく必要があります。

これまでに説明しましたように、免震構造は高耐震性能の特殊な構造建築物です。従来の耐震構造物の設計仮定にさらに多くの仮定条件が追加されています。また、維持管理が無くては、その性能を試用期間保証することはできません。

そのような意味で、余裕度を必ず確認して安全率をより多く担保しておきたいと考えています。