

第12話 目標耐震性能の確認を行う

構造計算方法によって安全性が異なる訳ではありませんが、計算方法によって算定結果の評価方法がことなり安全性の表現・指標が異なります。よって、計算方法をクロスした確認が重要ですが、ここでは、それぞれの評価方法に沿って確認を行います。

12-1. 上部構造の安全性を確認する

①時刻歴解析の場合

時刻歴解析においても基本的には同じで、主に前掲 9-1 節で設定した設計層せん断力以下の最大応答層せん断力になっていることを確認します。目標耐震性能では、主要構造部材の応力が許容応力度以内とされていますが、その外力は層せん断力として作用するため、層せん断力(または係数)で確認します。また部材の応力状態の確認は、その地震時の外力を静的に作用させて各部材の応力検定で行われます。その他の目標耐震性能とそれを評価する最大応答値を比較して確認します。表 12-1.1 にそれをまとめて示す。

表 12-1.1 時刻歴解析の結果による耐震性能の確認

目標耐震性能項目	比較する最大応答成分	計算の条件
主部材の応力 (層せん断力)	最大応答層せん断力	・上限の免震性能で評価 ・短期許容応力で評価
層間変形角	最大応答層変形角	・上限の免震性能で評価
部材塑性率 (・弾性耐力以上とした場合)	最大応答層せん断を静的に加力し、 フレームモデルの断塑性解析による ヒンジ状況・塑性率	・上限の免震性能で評価 ・部材の弾塑性特性で評価
軸力比 (超高層建物など)	設計せん断力による柱軸力 最大応答転倒モーメント	・上限の免震性能で評価
その他		

②告示の場合

前掲 9-1 節、「設計層せん断力係数を決定する」で設定した設計層せん断力で許容応力設計をすることが条件になっているため、確認することは、付帯条件を確認します。表 12-1.2 には[計算モデル]の確認結果表を示します。

[告示計算モデル:変動性能を考慮したシステム計算]

表 12-1.2 告示計算による安全性確認結果

上部構造	上部構造の最下層層せん断力	Q _{ro}	2571	k N	-
	上部構造の最下層層せん断力係数	C _{ro}	0.108		≤0.117 (本設計)
	地震層せん断力による断面算定			許容応力度	許容応力度以内
	各階層間変形角の確認 (最大値)	X	1/885 (2F)		≤1/300
	注1) 部材設計用層せん断力による値を表示	Y	1/5983 (4F)		≤1/300

12-2. 免震部材の安全性を確認する

前掲 4-2 節の「免震部材の基本性能・限界性能を確認する」で示した各免震部材の限界変形性能曲線に最大応答変形(または歪み)とその時点の面圧(または支持荷重)をプロットし、設計領域内にあることを確認します。この確認方法は、基本的に時刻歴計算も告示計算も同じですが、告示計算ではこの領域を設計の条件として用いているため確認することなく満たしています。図 12-2.1 に RB60 と SC60 の限界変形曲線を示します。また、告示計算では、表 12-2.1 の設計条件の確認が必要になります。ここで、引っ張り力の評価は、上下震度±0.3を考慮します。

時刻歴計算では、レベル1、レベル2で許容性能範囲の設定が異なる場合には、その区別をした確認が必要です。例えば、レベル1：安定変形以内、レベル2：性能保証変形以内 が用いられています。

また、引っ張り力の評価は、告示と同様に上下震度±0.3とするか、上下地震動解析を行って上下方向に作用する最大応答軸力をもとめ設定します。このとき水平地震力による変動軸力は、設計層せん断力による転倒モーメントと最大応答転倒モーメントの比を短期変動軸力に掛けて求めます。

[告示計算モデル:変動性能を考慮したシステム計算]

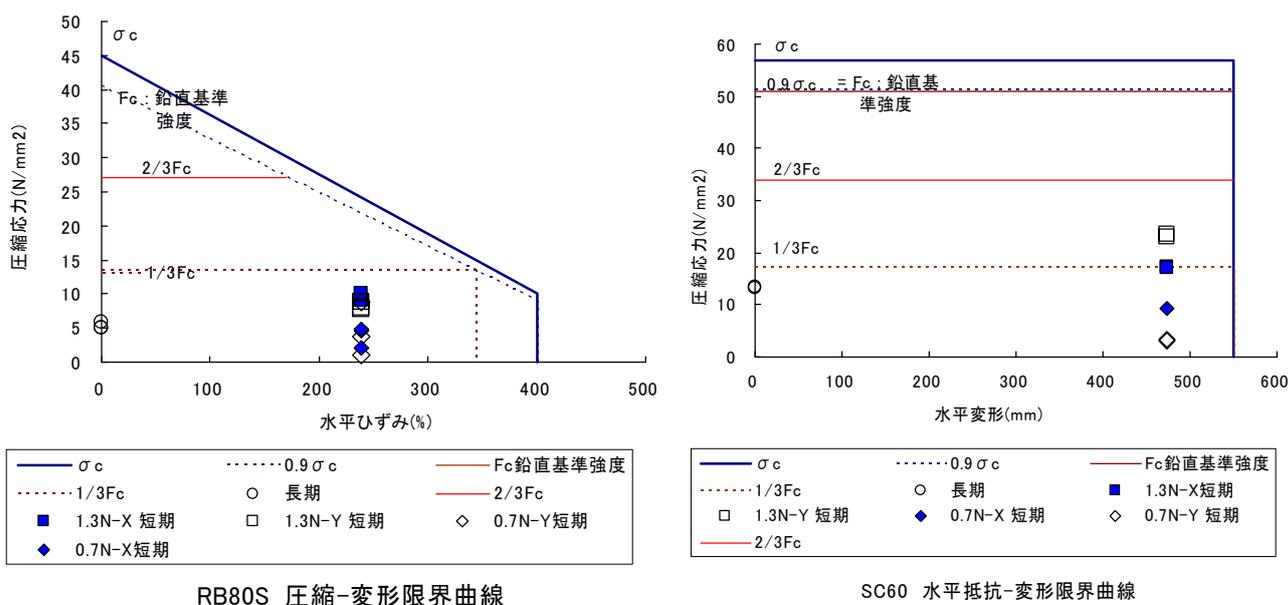


図 12-2.1 RB60 と SC60 の限界変形曲線と応答値

表 12-2.1 告示計算による免震材料の設計条件の確認

免震材料	免震材料に作用する圧縮力の確認 (長期)		0.28F _c	<許容圧縮荷重(0.33F _c)	適合
	免震材料に作用する圧縮力の確認 (短期)		0.37F _c	<許容圧縮荷重(0.66F _c)	適合
	上下震度0.3を考慮した圧縮強度の確認		0.47F _c	<材料強度(F _c)	適合
	上下震度0.3による引っ張り力(面圧)の確認	最小値	0.92 N/mm ²	引張なし	適合

12-3. 免震層の安全性を確認する

つぎに、免震層の安全性を以下の2点で確認します。この関係の確認は、目標耐震性能として明記しない場合もありますが、前提事項です。

①最大応答水平変形 < 設計水平クリアランスの関係の確認

確認方法：免震部材が下限性能時におけるレベル2の最大応答水平変形に対して、設計水平クリアランスが大きくなっていることを構造図、設備図、設備機器仕様で確認します。

- ・設備フレキシブルジョイントの許容変形、取り付け架台と躯体間隔
- ・設備配管、建築設備と躯体、免震部材の間隔

②擁壁の強度：設計外力に対して、許容応力度以内となっていること。

一般に擁壁は、2次部材の扱いで簡易な設計対応が多いようですが、水平クリアランスを保証する躯体であり、結果的には目標耐震性能を保証する重要な部材となっており、安全率は高めにとるべき部位です。また、告示計算では、表 12-3.1 の設計条件の確認が必要になります。

[告示計算モデル:変動性能を考慮したシステム計算]

表 12-3.1 告示計算による免震層の設計条件の確認

変位量	免震層の基準変位(標準状態、収束値)	δ	0.396	m		—
	免震層の代表変位(= $\alpha \delta$)[バラツキ考慮時= δ]	$\delta r'$	0.430	m		—
	免震層の応答変位(= $1.1 \delta r'$)[不測の偏心考慮]	δr	0.473	m	$\leq \delta_s$	適合
	免震層のクリアランスMax($\delta r+0.2$)		0.673	m	$\leq 0.70m$	適合
	免震層の風応答変位 (告示1160号,暴風時)	Y方向	0.024	m	$\leq m \delta d$	適合
せん断力	地震によって免震層に作用する地震力(+変動時)	Q	2977	kN		—
	減衰材の負担せん断力(標準状態)	Qh	1117	kN		—
	減衰材の負担せん断力係数(分担率)	μ	0.039		≥ 0.03	適合
	基準変位時の接線剛性 (+変動時)	Kt	5638	kN/m		—
その他	免震建物の接線周期	Tt	4.52	sec	$\geq 2.5sec$	適合
	免震層の偏心率 (変形 $\delta=0.33m$ 時)	X	0.006		≤ 0.03	適合
		Y	0.014		≤ 0.03	適合

12-4. 下部構造の安全性を確認する

設計終了した上部構造と設計地震動による応答による設計外力に対し、各主構造部材(地中梁、フーチング、杭など)の応力が目標耐震性能で規定した応力(許容応力度、弾性限界応力)以内であることを確認します。

従来の耐震構造と比べ、外力は異なる要因がありますが、基本的には同じです。ただし、免震構造は基礎が不安定でない仮定上に成り立っています。安全性を高める判断が必要です。

また、告示計算では、表 12-4.1 の設計条件の確認が必要になります。

[告示計算モデル:変動性能を考慮したシステム計算]

表 12-4.1 告示計算による下部構造の設計条件の確認

下部構造	下部構造に伝達される免震層地震力	Q _{iso}	2981	kN	≤ 13713 kN (本設計)	適合
	下部構造重量	W _b	6000	kN		—
	下部構造に発生する慣性力(告示1160号)	P _b	1080	kN	≤ 4218 kN (本設計)	適合
	下部構造の設計用せん断力	Q _b	4061	kN	≤ 20500 kN (本設計)	適合
	同上による断面算定				許容応力度以内	適合

12-5. 耐風性能・暴風時の挙動を確認する

前掲の 5-3 節「耐風性能・暴風時の挙動を想定する」で想定した暴風時の免震層の変形状態に関するクライテリアを確認します。

① 暴風時の免震層の変形

確認方法は、[図 12-5.1](#) に示すように、免震層の復元カスケルトンに風荷重を載せます。その点のX座標が最大変形になります。一般には、以下の目的で降伏点を超えないことを確認します。

- 1: 免震部材、特に鋼製・鉛ダンパーの疲労破壊をさける
- 2: 居住性

② 暴風時の免震層の残留変形

暴風後の残留変形は、最大変形時の点から初期剛性で復元するとして求める方法が簡易であるが、降伏して大きな残留変形となる場合は、暴風圧を定常風圧と変動風圧に分けて精査することも行われる。

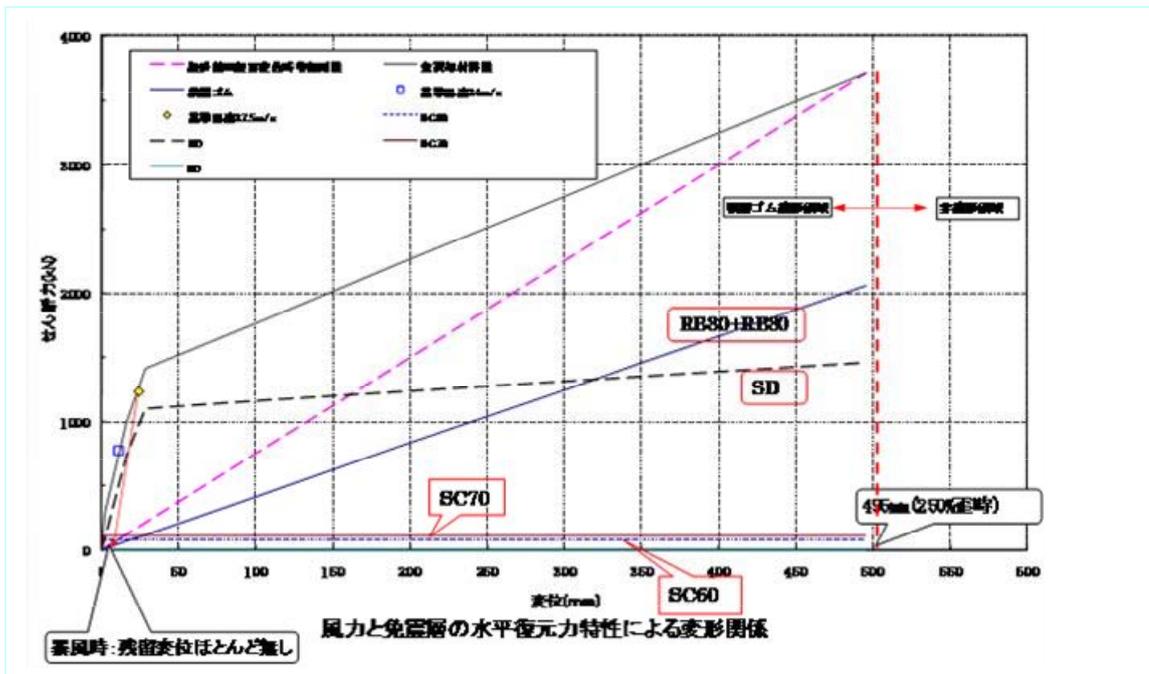


図 12-5.1 免震層の復元カスケルトンと風荷重による免震層の変形量・残留変形の確認

12-6. 免震層の残留変形を確認する

免震部材の選択において剛塑性な水平復元力特性を示す「すべり支承」を多く採用すると、原点への復元性能が低下し、残留変形が大きくなります。

① 残留変形が大きくなると次の点で好ましくなくなります。

- ・次の地震時に最大変形が確保されない。
- ・免震ピットに開口が生じ、落下の危険、免震層の環境悪化を生じる。
- ・上下梁などに長期時に付加曲げ応力が作用する。(杭の偏心と同じ)

② 確認方法: 地震応答解析を行い計算終了後の免震層の変形を確認する。

③ 修正方法: 設計に戻り、弾性系の免震部材を増やす。設計完了後は、ジャッキによる位置調整を維持管理で検討しておく。