

平成 30 年 2 月 8 日

耐震設計の考え方

大原技術士事務所
代表 大原 良友

耐震設計はプラント設備の地震被害による損傷が発生して、それを未然に防止することから発展してきたと言える。一方で大規模地震に耐えるように設計するとすれば、設備投資が過大となり、経済的な合理性が失われる場合も発生する。

そのため、対象とするプラント設備の重要性、地震の強さと発生確率および設備が損傷を受けたと仮定したときの影響度合いを合わせて考えて、既設フレアー設備の耐震性能を検討する必要がある。

以下に、基本的な耐震設計の考え方について記述する。

(1) 耐震設計手法

耐震解析の手法としては、震度法として「静的震度法」と「修正震度法」が、応答解析法としては「応答スペクトル法」と「時刻歴解析法」がある。

その概要は、以下のとおりである。

- ・「静的震度法」：

最も簡単なもので、震度（地震加速度と重力加速度の比）と構造物等の重量の積を地震力（横荷重のせん断力）として構造物の発生応力や変位を計算する。その地震力 F は、以下の式となる。

$$F = \alpha / g \cdot W = k \cdot W$$

ここで、 F ；地震力、 α ；地動加速度、 g ；重力加速度、 W ；構造物の重量
 k は静的震度係数で、旧建築基準法では 0.2 であった。

- ・「修正震度法」：

応答解析法は別名動的解析ともいい一般的には複雑な計算が必要となるため、コンピュータプログラムで計算を行っている。このような複雑な計算を行わないで構造物の振動特性を考慮して、計算を簡素化して静的手法によって耐震計算を行う方法である。建築基準法のみならず高圧ガス保安法でも採用されていて、実用的な精度は十分にある。

- ・「応答スペクトル法」：

設計に用いる入力地震動に対して作成された応答スペクトル（ある地震動波形に対して、固有振動数と減衰定数をパラメータとして 1 質点系の応答を計算し、その最大値を図示したもの）を用いて設計地震力を算定するものである。入力地震動や構造物等の振動特性を考慮するのに適している。

- ・「時刻歴解析法」：

構造物の地表面の位置に設計用の地震波を入力して、その地震波により構造物の時間の経過とともに変化する構造物の最大変位、最大加速度を求めて、構造物の発生応力や変位を計算する。高さが 60m を超える超高層建築物については、この手法を適用するように規定されている。

(2) 建築基準法による煙突の耐震設計

1950年建築基準法の制定にともない、長期・短期の応力を基として、一般建築物の設計用水平震度は0.2以上と規定されたが、施行令第9章工作物の第139条に次のように煙突の水平震度が定められた。

「煙突は水平震度を0.3として計算した地震力に耐える構造としなければならない。ただし、基礎については水平震度を0.2として計算した地震力に耐える構造とすることができる」。

また、1981年の建築基準法改正により、煙突等の地震力については「昭和56年建設省告示第1104号」で改定され、更に下記のとおり再改定されており「最終改正：平成19年5月18日 国土交通省告示 第620号」が発行されている。

煙突、鉄筋コンクリート造の柱等、広告塔又は高架水槽及び擁壁並びに乗用エレベーター、又はエスカレーターの構造計算の基準を定める件

制定：平成12年5月31日 建設省告示 第1449号

改正：平成19年5月18日 国土交通省告示 第620号

第1 建築基準法施行令（以下「令」という。）第138条第1項に規定する工作物のうち同項第一号及び第二号に掲げる煙突及び鉄筋コンクリート造の柱等（以下「柱等」という。）の構造計算の基準は、次のとおりとする。

一 煙突等の風圧力に関する構造計算は、次に定めるところによること。

～ 中 略 ～

二 煙突等の地震力に関する構造計算は、次に定めるところによること。ただし、煙突等の規模又は構造形式に基づき振動特性を考慮し、実情に応じた地震力を計算して構造耐力上安全であることが確かめられた場合にあつては、この限りでない。

$$\text{曲げモーメント (M)} = 0.4 h C_{si} W$$

$$\text{せん断力 (Q)} = C_{si} W$$

h : 煙突等の地盤面からの高さ (m)

C_{si} : 煙突等の地上部分の高さ方向の力の分布を表す係数で計算しようとする当該煙突等の部分の高さに応じて次の式に適合する数値

$$C_{si} = 0.3 Z (1 - h_i/h)$$

Z : 令第88条第一項に規定するZの値

h_i : 煙突等の地上部分の各部分の地盤面からの高さ (m)

W : 煙突等の地上部分の固定荷重と積載荷重の和

～ 中 略 ～

第4 煙突等及び広告塔のうち高さが60mを超えるものの構造計算の基準は、平成12年建設省告示第1461号（第二号ハ、第三号ロ、及び第八号を除く。）に掲げる基準によることとする。この場合において、当該各号中「建築物」とあるのは「工作物」と読み替えるものとする。

附則 昭和56年 建設省 告示第1104号は、廃止する。

(3) 高圧ガス保安法による耐震設計

高圧ガス保安法による耐震設計基準は、1981年の告示515号で設計詳細が規定された。

これにより、機器の重要度や地盤の種別により、静的震度法、修正震度法、モード解析法が規定されて、これらの耐震設計による地震力に対応した計算式の詳細が示された。

それ以前は、建築基準法による静的震度法による計算を行っていた。

また、告示515号は、その後1995年に発生した阪神・淡路大震災（兵庫県南部地震）により、1997年に告示第143号として改正があり、レベル2地震動（発生頻度は低いですが、直下型あるいは海溝型の巨大地震動）に対応する計算方法が示された。

更に、平成23年3月に発生した東日本大震災とその被害を契機として、耐震告示の一部見直しがされ、液面揺動（スロッシング）に関する事項の見直し、球形貯槽の鋼管ブレース交差部の技術基準が新たに設定された。（告示第250号）

耐震解析の手法としては、震度法として「静的震度法」と「修正震度法」が、応答解析法としては「モード解析法」と「時刻歴解析法」がある。

耐震設計を行うためには、最初に地表面での設計地震動を計算する。この地震動は、設備の潜在的な危険性を考慮した影響係数である「重要度係数 β_1 」、その地域の過去の地震歴と地盤の性状によって決まる「地域係数 β_2 」および地盤の種類による応答を考慮した「表層地盤増幅係数 β_3 」を乗じて以下のように求める。

水平震度： $K_H=0.15\mu_k\beta_1\beta_2\beta_3$

垂直震度： $K_V=0.75\mu_k\beta_1\beta_2\beta_3$

ここで、 μ_k は地震動のレベルによる係数で、レベル1地震動では1.0である。レベル2地震動では2.0以上となっている。なお、垂直震度は、重要度IIとIIIでは無視できる。

地震力の算定は、設計手法により異なるため、ここではフレースタックに適用されると考える静的震度法について、以下に記載する。

静的震度法による水平地震力 F_{SH} は、以下の式で計算できる。

$$F_{SH}=K_{SH}W$$

ここで、 K_{SH} は静的水平震度で以下のように求められる。 W は構造物の重量である。

$$K_{SH}=K_{SH}\cdot\beta_4$$

β_4 は高さ方向の震度補正係数で、 $\beta_4=1.04+0.06H$ ($2.0<\beta_4\leq 3.14$)で計算する。

神奈川県京浜工業地区にある設備について、静的震度法で耐震計算する場合の設計水平震度は、高さが16m以下で重要度がIIIであれば、 $K_{SH}=0.3$ となる。

(4) フレースタックの耐震設計方法

新設する場合は「煙突構造設計指針」（日本建築学会）で設計している。

ただし、この設計指針は2007年11月に第1版が発行されたので、その後に設計対象となったフレースタックに適用されている、ということになる。

この設計指針には地震荷重や各部の強度計算方法が詳細に記載されているが、耐震設計の基になっている地震荷重は建築基準法によるものである。

既設のフレースタックでこれ以前に設計されたものについては、この設計指針の前身である「鋼製煙突構造設計基準（日本建築学会 1965 年）」あるいは「塔状鋼構造設計指針（日本建築学会 1981 年）」あるいは「煙突構造設計施工指針（日本建築センター1982 年）」の何れかによるものと思われるが詳細は不明である。

なお、既設フレースタックの耐震評価を実施する場合には、最新の「煙突構造設計指針」に従って実施すれば良いと考える。

ただし、この指針に記載された地震荷重は建築基準法によるものとなっているため、南海トラフ地震あるいは直下型に対する耐震性能を評価する場合には、地震動を検討する必要がある。

参考として、一般的には、フレースタックは風荷重の方が地震荷重より大きくなる場合が多い。このことは、「煙突構造設計指針」に以下のように記載されていることから実際の設計経験からの結果である。

【「煙突構造設計指針」からの引用】

鋼製煙突はこれまでの地震において鉄筋コンクリート煙突ほどの被害は発生していない。この理由もいくつかあるであろうが、その最大の要因は鋼製煙突の場合は軽量で、風荷重が地震荷重に比較し同等かそれ以上であったため、地震時の発生応力が煙突の耐力以下であったからであろう。（引用終了）

また、自立塔の場合にアンケート結果では「JPI-7R-35（スカートを有する塔そう類の強度計算）」を適用しているものがあつた。

この規格による耐震設計は、高圧ガス保安法の静的震度法によるもので、地震荷重は重要度 III としている。また、風荷重は建築基準法によるものとしている。

(5) 計算例

参考として、以下の条件を仮定した場合の地震力計算例を添付資料に示す。

- ・フレースタックの高さは、50m とする
- ・計算方法は高さ 50m を 5m 毎に 10 段に分けて計算する。
- ・計算例の質量分布は高さ 5m ごとに 25kN で均一に分布するものと仮定する。
- ・計算例の固有周期は 1.20 秒と仮定した。

なお、計算例として、以下の地震力の計算を行って比較した。

- ① 旧建築基準法での地震力 ($k=0.3$ (一律))
- ② 煙突等に関する告示（平成19年5月18日 国土交通省告示 第620号）の地震力
- ③ 高圧ガス保安法における静的震度法（重要度Ⅲ）の地震力
- ④ 高圧ガス保安法における修正震度法（重要度Ⅲ）の地震力

(6) 配管の耐震設計方法

従来のプラント設備の配管系の耐震設計は、建築基準法の規定を準用した静的震度法が採用されてきた。

高圧ガス設備にかかる配管およびその支持構造物を含む配管系の耐震設計の基準は、高圧ガス設備等耐震設計基準が告示第 143 号（1997 年）で規定された。

高圧ガス設備等耐震設計基準が適用される配管は、高圧ガス保安法の適用を受ける高圧ガス配管とその支持構造物で、地上に設置される外径 45mm 以上の塔槽類から地震防災遮断弁の間の配管、または地震防災遮断弁で区切られた間の内容積が 3 m³ 以上の配管に対して適用される。

設計手法は、重要度 II と III では許容スパン法のような簡易手法で実施されている。

許容スパン法は、地震時に配管の揺れ量が過大にならないようにサポート間隔を配管のサイズごとに定められたピッチ寸法以内に設置するように規定するものである。

なお、既設のフレアースタック回りの配管については、高圧ガス設備に該当しないことから耐震設計を実施していないものとする。

(7)まとめ

フレアースタック本体と基礎については、「煙突構造設計指針」に基づいた耐震設計評価を実施するのが良い。

理想的には、某社のアンケート結果にあるように、強靱化事業の想定地震である南海トラフ地震を想定した東京湾北部地震の地震動に対し、高圧ガス設備等耐震設計指針の評価を実施することが望ましい。

なお、「煙突構造設計指針」に基づいた手法で東京湾北部地震の地震動に対し強度不足となる場合には、FEM (Finite Element Method) 解析（塔芯、架構の一体解析）して評価する。FEM 評価でも適合しない場合は補強検討となる。

一方、配管系については、高圧ガス設備等耐震設計基準に準拠した評価するのが良い。想定する地震動についても本体と同様に東京湾北部地震の地震動とすることが望ましい。

以上

フレースタック地震力の計算例

1. 計算方法は、以下の条件を仮定して計算する。

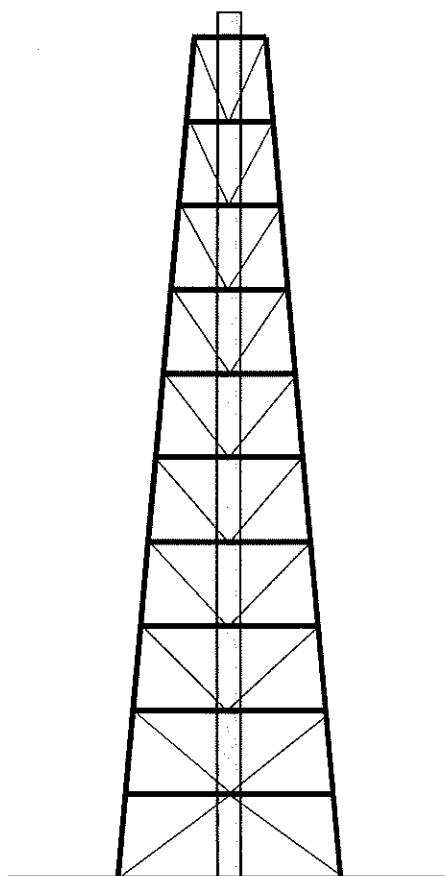
- ①フレースタックの高さは、50mとする
- ②高さ50mを5m毎に10段に分けて計算する。
- ③質量分布は高さ5mごとに25kNで均一に分布するものと仮定する。
- ④固有周期は1.20秒と仮定した。

2. 計算する地震力は以下のケースとする。

- ①旧建築基準法での地震力($k=0.3$ (一律))
- ②煙突等に関する告示(平成19年5月18日 国土交通省告示 第620号)の地震力
- ③高圧ガス保安法における静的震度法(重要度Ⅲ)の地震力
- ④高圧ガス保安法における修正震度法(重要度Ⅲ)の地震力

3. 概略のスケッチは以下のとおりとする。

	GL+ 50,000
10 F	
	GL+ 45,000
9 F	
	GL+ 40,000
8 F	
	GL+ 35,000
7 F	
	GL+ 30,000
6 F	
	GL+ 25,000
5 F	
	GL+ 20,000
4 F	
	GL+ 15,000
3 F	
	GL+ 10,000
2 F	
	GL+ 5,000
1 F	
	GL+ 0



A 旧・建築基準法(1950制定)の煙突の設計震度 $K = 0.30$ (一律) の地震力

: 入力データ

煙突の設計震度 $K = 0.30$ (一律) の地震

	H m	ΣH m	Wi kN	ΣWi kN		K -	Pi_K3 kN	Qi_K3 kN	Mi_K3 kN·m	ΣMi_K3 kN·m
10 階	5.0	50.0	25	25		0.300	7.5	7.5	38	38
9 階	5.0	45.0	25	50		0.300	7.5	15.0	75	113
8 階	5.0	40.0	25	75		0.300	7.5	22.5	113	225
7 階	5.0	35.0	25	100		0.300	7.5	30.0	150	375
6 階	5.0	30.0	25	125		0.300	7.5	37.5	188	563
5 階	5.0	25.0	25	150		0.300	7.5	45.0	225	788
4 階	5.0	20.0	25	175		0.300	7.5	52.5	263	1,050
3 階	5.0	15.0	25	200		0.300	7.5	60.0	300	1,350
2 階	5.0	10.0	25	225		0.300	7.5	67.5	338	1,688
1 階	5.0	5.0	25	250		0.300	7.5	75.0	375	2,063
合計	50.0		250				75.0		2,063	

Ave. K = 0.300

B 国土交通省告示 第620号 (平成19年5月18日) による計算例

国土交通省告示 第620号 (平成19年5月18日) による地震力

	H m	hi m	Wi kN	ΣWi kN		Csi -	Pi_BL kN	Qi_BL kN	Mi_BL kN·m	ΣMi_BL kN·m	換算震度 k'
10 階	5.0	50.0	25	25		0.000	0.0	0.0	0	0	0.000
9 階	5.0	45.0	25	50		0.030	7.5	7.5	150	150	0.300
8 階	5.0	40.0	25	75		0.060	7.5	15.0	150	300	0.300
7 階	5.0	35.0	25	100		0.090	7.5	22.5	150	450	0.300
6 階	5.0	30.0	25	125		0.120	7.5	30.0	150	600	0.300
5 階	5.0	25.0	25	150		0.150	7.5	37.5	150	750	0.300
4 階	5.0	20.0	25	175		0.180	7.5	45.0	150	900	0.300
3 階	5.0	15.0	25	200		0.210	7.5	52.5	150	1,050	0.300
2 階	5.0	10.0	25	225		0.240	7.5	60.0	150	1,200	0.300
1 階	5.0	5.0	25	250		0.270	7.5	67.5	150	1,350	0.300
合計	50.0	0.0	250			0.300	75.0	75.0	150	1,500	

Ave. K = 0.030

曲げモーメント (M) = 0.4 h Csi W
せん断力 (Q) = Csi W

h : 煙突等の地盤面からの高さ (m)

Csi : 煙突等の地上部分の高さ方向の力の分布を表す係数で計算しようとする

$$Csi = 0.3 Z (1 - hi/h)$$

Z = 1.0 (神奈川県) [平成19年 国土交通省告示 第597号]

hi : 煙突等の地上部分の各部分の地盤面からの高さ (m)

W : 煙突等の地上部分の固定荷重と積載荷重の和

C 高圧ガス耐震設計基準 静的震度法の地震力の計算 [$\beta_1=0.5, \beta_2=1.0, \beta_3=2.0, \beta_4=2.0\sim 3.14$]

静的震度法による計算例 ($K_{sh}=0.3\sim 0.471$)

	H m	ΣH m	W _i kN	ΣW_i kN	KH -	β_4 -	K _{sh} -	P _{i_Ks} kN	Q _{i_Ks} kN	M _{i_Ks} kN·m	ΣM_{i_Ks} kN·m
10 階	5.0	50.0	25	25	0.15	3.14	0.471	11.8	11.8	59	59
9 階	5.0	45.0	25	50	0.15	3.14	0.471	11.8	23.6	118	177
8 階	5.0	40.0	25	75	0.15	3.14	0.471	11.8	35.3	177	353
7 階	5.0	35.0	25	100	0.15	3.14	0.471	11.8	47.1	236	589
6 階	5.0	30.0	25	125	0.15	2.84	0.426	10.7	57.8	289	878
5 階	5.0	25.0	25	150	0.15	2.54	0.381	9.5	67.3	336	1,214
4 階	5.0	20.0	25	175	0.15	2.24	0.336	8.4	75.7	378	1,592
3 階	5.0	15.0	25	200	0.15	2.00	0.300	7.5	83.2	416	2,008
2 階	5.0	10.0	25	225	0.15	2.00	0.300	7.5	90.7	453	2,462
1 階	5.0	5.0	25	250	0.15	2.00	0.300	7.5	98.2	491	2,952
合計	50.0		250					98.2		2,952	

Ave. K = 0.393

D 高圧ガス耐震設計基準 修正震度法の地震力の計算 [$\beta_1=0.5, \beta_2=1.0, \beta_3=2.0, \beta_5=2.4 \times 1.32 = 3.168$]

* 鋼製の煙突は減衰定数は通常 1% ~ 2% とされるので、本例では 2.0% として補正係数 1.32 を採用する

* μ は高さ方向の補正係数 $\mu = 1.0 \sim 1.5$

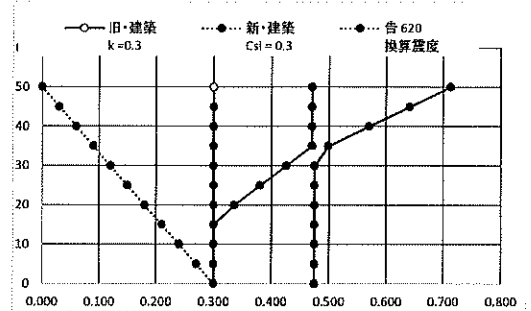
修正震度法による計算例 ($\mu \cdot K_{MH}=0.36\sim 0.54$)

	H m	ΣH m	W _i kN	ΣW_i kN	KMH -	μ -	$\mu \cdot K_{MH}$ -	P _{i_BLD} kN	Q _{i_BLD} kN	M _i kN·m	ΣM_i kN·m
10 階	5.0	50.0	25	25	0.48	1.50	0.713	17.8	17.8	89	89
9 階	5.0	45.0	25	50	0.48	1.35	0.642	16.0	33.9	169	258
8 階	5.0	40.0	25	75	0.48	1.20	0.570	14.3	48.1	241	499
7 階	5.0	35.0	25	100	0.48	1.05	0.499	12.5	60.6	303	802
6 階	5.0	30.0	25	125	0.48	1.00	0.475	11.9	72.5	362	1,164
5 階	5.0	25.0	25	150	0.48	1.00	0.475	11.9	84.3	422	1,586
4 階	5.0	20.0	25	175	0.48	1.00	0.475	11.9	96.2	481	2,067
3 階	5.0	15.0	25	200	0.48	1.00	0.475	11.9	108.1	541	2,608
2 階	5.0	10.0	25	225	0.48	1.00	0.475	11.9	120.0	600	3,208
1 階	5.0	5.0	25	250	0.48	1.00	0.475	11.9	131.9	659	3,867
合計	50.0		250					131.9		3,867	

Ave. K = 0.527

層せん断力係数、換算震度、地震震度の一覧

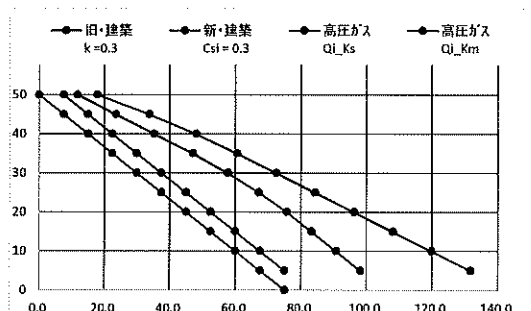
H (m)	旧・建築 k=0.3	新・建築 Csi=0.3	告620 換算震度	倍率	高圧ガス Ksh	倍率	高圧ガス μ-KMH	倍率
50	0.300	0.000		-	0.471	1.57	0.713	2.38
45	0.300	0.030	0.300	1.00	0.471	1.57	0.642	2.14
40	0.300	0.060	0.300	1.00	0.471	1.57	0.570	1.90
35	0.300	0.090	0.300	1.00	0.471	1.57	0.499	1.66
30	0.300	0.120	0.300	1.00	0.426	1.42	0.475	1.58
25	0.300	0.150	0.300	1.00	0.381	1.27	0.475	1.58
20	0.300	0.180	0.300	1.00	0.336	1.12	0.475	1.58
15	0.300	0.210	0.300	1.00	0.300	1.00	0.475	1.58
10	0.300	0.240	0.300	1.00	0.300	1.00	0.475	1.58
5	0.300	0.270	0.300	1.00	0.300	1.00	0.475	1.58
0	0.300	0.300	0.300	1.00	0.300	1.00	0.475	1.58



層せん断力係数、換算震度、地震震度の一覧
[縦軸：高さ(m)，横軸：震度及び層せん断力係数]

せん断力(Q)の比較

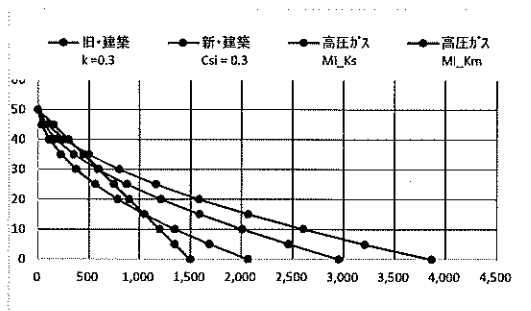
H (m)	旧・建築 k=0.3	新・建築 Csi=0.3	倍率	高圧ガス Qi_Ks	倍率	高圧ガス Qi_Km	倍率
50	7.5	0.0	0.00	11.8	1.57	17.8	2.38
45	15.0	7.5	0.50	23.6	1.57	33.9	2.26
40	22.5	15.0	0.67	35.3	1.57	48.1	2.14
35	30.0	22.5	0.75	47.1	1.57	60.6	2.02
30	37.5	30.0	0.80	57.8	1.54	72.5	1.93
25	45.0	37.5	0.83	67.3	1.50	84.3	1.87
20	52.5	45.0	0.86	75.7	1.44	96.2	1.83
15	60.0	52.5	0.88	83.2	1.39	108.1	1.80
10	67.5	60.0	0.89	90.7	1.34	120.0	1.78
5	75.0	67.5	0.90	98.2	1.31	131.9	1.76
0	75.0	75.0	-	-	-	-	-



せん断力の比較
[縦軸：高さ(m)，横軸：せん断力(kN)]

転倒モーメント(M)の比較

H (m)	旧・建築 k=0.3	新・建築 Csi=0.3	倍率	高圧ガス Mi_Ks	倍率	高圧ガス Mi_Km	倍率
50	0	0	-	0	-	0	-
45	38	150	4.00	59	1.57	89	2.38
40	113	300	2.67	177	1.57	258	2.30
35	225	450	2.00	353	1.57	499	2.22
30	375	600	1.60	589	1.57	802	2.14
25	563	750	1.33	878	1.56	1,164	2.07
20	788	900	1.14	1,214	1.54	1,586	2.01
15	1,050	1,050	1.00	1,592	1.52	2,067	1.97
10	1,350	1,200	0.89	2,008	1.49	2,608	1.93
5	1,688	1,350	0.80	2,462	1.46	3,208	1.90
0	2,063	1,500	0.73	2,952	1.43	3,867	1.87



転倒モーメントの比較
[縦軸：高さ(m)，横軸：転倒モーメント(kN·m)]

* 建築基準法の新基準(告示620号)では見かけ上、最も小さくなるが、せん断分布と曲げモーメント分布が等価となるようモーメントを補正して使用するため、実際の設計においては、旧基準と同等のモーメントを使用することとなる。

[DATA]

旧・建築基準法(1950年) 煙突の設計震度
K = 0.30(一律) の地震力

H (m)	K	Pi (kN)	Qi (kN)	ΣMi (kN・m)
50	0.300	7.5	7.5	0
45	0.300	7.5	15.0	38
40	0.300	7.5	22.5	113
35	0.300	7.5	30.0	225
30	0.300	7.5	37.5	375
25	0.300	7.5	45.0	563
20	0.300	7.5	52.5	788
15	0.300	7.5	60.0	1,050
10	0.300	7.5	67.5	1,350
5	0.300	7.5	75.0	1,688
0	0.300	0.0		2,063

国土交通省告示 第620号
(平成19年5月18日) による計算例

H (m)	Csi	Pi (kN)	Qi (kN)	M (kN・m)	換算震度 K si
50	0.000	0.0	0.0	0	0.000
45	0.030	7.5	7.5	150	0.300
40	0.060	7.5	15.0	300	0.300
35	0.090	7.5	22.5	450	0.300
30	0.120	7.5	30.0	600	0.300
25	0.150	7.5	37.5	750	0.300
20	0.180	7.5	45.0	900	0.300
15	0.210	7.5	52.5	1,050	0.300
10	0.240	7.5	60.0	1,200	0.300
5	0.270	7.5	67.5	1,350	0.300
0	0.300	7.5	75.0	1,500	0.300

高圧ガス・静的震度法による地震力
(Ksh = 0.30 ~ 0.471)

H (m)	Ksh	Pi_Ks (kN)	Qi_Ks (kN)	ΣMi_Ks (kN・m)
50	0.471	11.8	11.8	0
45	0.471	11.8	23.6	59
40	0.471	11.8	35.3	177
35	0.471	11.8	47.1	353
30	0.426	10.7	57.8	589
25	0.381	9.5	67.3	878
20	0.336	8.4	75.7	1,214
15	0.300	7.5	83.2	1,592
10	0.300	7.5	90.7	2,008
5	0.300	7.5	98.2	2,462
0	0.300	0.0		2,952

高圧ガス・修正震度法による地震力
(μ・KMH = 0.475 ~ 0.713)

H (m)	μ・KMH	Pi_Km (kN)	Qi_Km (kN)	ΣMi_Km (kN・m)
50	0.713	17.8	17.8	0
45	0.642	16.0	33.9	89
40	0.570	14.3	48.1	258
35	0.499	12.5	60.6	499
30	0.475	11.9	72.5	802
25	0.475	11.9	84.3	1,164
20	0.475	11.9	96.2	1,586
15	0.475	11.9	108.1	2,067
10	0.475	11.9	120.0	2,608
5	0.475	11.9	131.9	3,208
0	0.475	0.0		3,867

国土交通省告示第620号(平成19年5月18日) による計算例

	H m	hi m	Wi kN	ΣWi kN			Csi -	Pi_BL kN	Qi_BL kN	Mi_BL kN・m	ΣMi_BL kN・m	換算震度 k'
10 階	5.0	50.0	25	25			0.000	0.0	0.0	0	0	0.000
9 階	5.0	45.0	25	50			0.030	7.5	7.5	150	150	0.300
8 階	5.0	40.0	25	75			0.060	7.5	15.0	150	300	0.300
7 階	5.0	35.0	25	100			0.090	7.5	22.5	150	450	0.300
6 階	5.0	30.0	25	125			0.120	7.5	30.0	150	600	0.300
5 階	5.0	25.0	25	150			0.150	7.5	37.5	150	750	0.300
4 階	5.0	20.0	25	175			0.180	7.5	45.0	150	900	0.300
3 階	5.0	15.0	25	200			0.210	7.5	52.5	150	1,050	0.300
2 階	5.0	10.0	25	225			0.240	7.5	60.0	150	1,200	0.300
1 階	5.0	5.0	25	250			0.270	7.5	67.5	150	1,350	0.300
合計	50.0	0.0	250				0.300	75.0	75.0	150	1,500	

75.0 1,500

Ave. K = 0.030

曲げモーメント (M) = 0.4 h Csi W

せん断力 (Q) = Csi W

h : 煙突等の地盤面からの高さ (m)

Csi : 煙突等の地上部分の高さ方向の力の分布を表す係数で計算しようとする
当該煙突等の部分の高さに応じて次の式に適合する数値

$$Csi = 0.3 Z (1 - hi/h)$$

Z = 1.0 (神奈川県) [平成19年 国土交通省告示 第597号]

hi : 煙突等の地上部分の各部分の地盤面からの高さ (m)

W : 煙突等の地上部分の固定荷重と積載荷重の和

煙突、鉄筋コンクリート造の柱等、広告塔又は高架水槽及び擁壁並びに
乗用エレベーター又はエスカレーターの構造計算の基準を定める件

制定：平成12年5月31日 建設省告示 第1449号

改正：平成19年5月18日 国土交通省告示 第620号

第1 建築基準法施行令（以下「令」という。）第138条第1項に規定する工作物のうち同項
第一号及び第二号に掲げる煙突及び鉄筋コンクリート造の柱等（以下「柱等」という。）
の構造計算の基準は、次のとおりとする。

- 一 煙突等の風圧力に関する構造計算は、次に定めるところによること。
 - イ 令題87条第2項の規定により計算した速度圧に、同条第4項に規定する風力係数を乗じて得た風圧力に対して構造耐力上安全であることを確かめること。この場合において、令第87条第2項中「建築物の屋根の高さ」とあるのは、「煙突等の地盤面からの高さ」に読み替えるものとする。
 - ロ 必要に応じ、風向と直角方向に作用する風圧力に対して構造耐力上安全であることを確かめること。
- 二 煙突等の地震力に関する構造計算は、次に定めるところによること。ただし、煙突等の規模又は構造形式に基づき振動特性を考慮し、実情に応じた地震力を計算して構造耐力上安全であることが確かめられた場合にあつては、この限りでない。

曲げモーメント (M) = 0.4 h Csi W

せん断力 (Q) = Csi W

h : 煙突等の地盤面からの高さ (m)

Csi : 煙突等の地上部分の高さ方向の力の分布を表す係数で計算しようとする
当該煙突等の部分の高さに応じて次の式に適合する数値

$Csi = 0.3 Z (1 - hi/h)$

Z : 令第88条第一項に規定するZの値

hi : 煙突等の地上部分の各部分の地盤面からの高さ (m)

W : 煙突等の地上部分の固定荷重と積載荷重の和

～ 中 略 ～

第4 煙突等及び広告塔のうち高さが60mを超えるものの構造計算の基準は、平成12年建設省告示第1461号（第二号八、第三号ロ、及び第八号を除く。）に掲げる基準によることとする。この場合において、当該各号中「建築物」とあるのは「工作物」と読み替えるものとする。

附則 昭和56年 建設省 告示第1104号は、廃止する。