

フィリピンと日本の技術基準とその適用に関する比較研究

(その8) 米国の構造規準によるRC構造の設計例 応力解析—2

構造規準	米国	ACI	正会員	○関 松太郎 1*	正会員	岡本隆之輔 2*
FEMA	IBC	ASCE	正会員	石山 祐二 3*	正会員	楢府 龍雄 4*

1. はじめに

(その7)に続き、米国の構造規準によるRC造の設計例を紹介する。長辺方向が純ラーメン構造、短辺方向が壁付きラーメン構造の12階で、地震の多い地域に建つ。

2. 設計用地震力の決定

(1) モデル化

解析ソフトはETABSを用い、三次元解析を行っている。RCの部材剛性はひび割れを考慮し、次のように断面2次モーメントIを低減する。

梁は0.3I、柱は0.5I、壁は0.5I

その他のモデル化に当たって重要なことを次に示す。

- ・柱・梁・壁付き柱は2次元の骨組み要素とするが、壁パネルは有限要素に分割する。
- ・各階のスラブは面内に剛、面外に柔と仮定する。
- ・梁はACIに準じてスラブの協力幅を考慮する。
- ・柱・梁接合部の剛域は、柱が100%、梁が0%とする。
- ・建物重量として、部材の自重のほか、屋根荷重、間仕切り壁、天井と設備、外壁の壁の重量をそれぞれ10psf(0.48kN/m²)を加えた。

(2) 解析手法

解析手法は次の三つがあり、適用は耐震設計区分により、制限されている。

- ①等価水平力法
- ②モード応答スペクトル法
- ③地震応答時刻歴法

本建物では、偶発的振りが生じるので、モード応答スペクトル法を用いる。この方法は、設計用地震力が少なく、経済的なので、地震が多い地域で使用される場合が多い。比較のため、等価水平力法によるベースシヤも求める。

(3) 固有周期

固有周期はモード応答スペクトル法を用いた精算周期によるが、終局状態(部材の剛性を大きく低下)であり、周期が長いので、略算周期Taに上限係数Cu(表2参照)を乗じた値よりも短くする。略算周期Taは次式から求める。

$$T_a = C_t h_n^{\alpha}$$

h_nは建物の高さ(49.07m)で、C_tとαは表1による。短辺方向(壁付きラーメン)は表1のその他の構造システムによる。設計用応答加速度S_{D1}は(その7)より0.589である。固有周期の計算結果を表2の下に示す。

表1. 略算固有周期の係数Ctとα

構造形式	Ct	α
S造のラーメン骨組	0.0724	0.8
RC造のラーメン骨組	0.0466	0.9
S造の偏心ブレース骨組	0.0731	0.75
その他の構造システム	0.0488	0.75

表2. 略算固有周期の上限値に関する係数Cu

周期1秒の設計用応答加速度S _{D1}	Cu
≥0.4	1.4
0.3	1.4
0.2	1.5
0.15	1.6
≤0.1	1.7

長辺: Ta=1.55、CuTa=2.17、精算周期2.02、採用2.02秒

短辺: Ta=0.9、CuTa=1.27、精算周期1.42、採用1.27秒

日本の略算周期はT=0.02×49.07=0.98秒(両方向とも)

(4) ベースシヤ

ベースシヤは等価水平力法とモード応答スペクトル法により求め、両者を比較して定める。

1) 等価水平力法によるベースシヤ

等価水平力法によるベースシヤVを次式より求める。

$$V = C_s W$$

Wは有効建物全重量で195,440kN

C_sはベースシヤ係数で、図1からS_a(縦軸)を求め、次いでC_s=S_a/(R/I)より求める。

Rは応答補正係数で、長辺方向が8、短辺方向が7である。また重要度係数Iは1.0である。

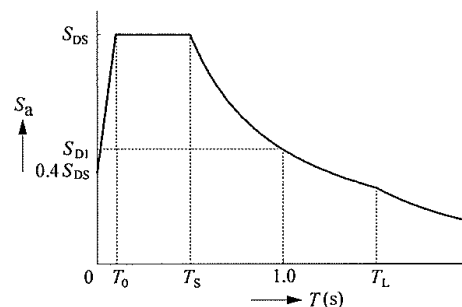


図1. 設計用応答スペクトル

(その7)より、S_{Ds}=1.10、S_{D1}=0.589、であり、図1において、水平部分から右下がりになる部分の周期はTs=S_{D1}/S_{Ds}=0.589/1.1=0.535秒となる。

長辺方向の固有周期は2.02秒、短辺方向は1.27秒で、

図1で右下りの曲線部となり、 S_a は次式で示される。

$$S_a = S_{D1} / T$$

長辺方向の場合 $S_a = S_{D1} / T = 0.589 / 2.02 = 0.292$

$$C_s = S_a / (R/I) = 0.292 / 8 = 0.0365$$

但し、ASCEでは以下の最低値を定めている。

$$C_{s,min} = 0.044 S_{Ds} \times I = 0.0484$$

従って、 $C_s = 0.0484$ となり、ベースシヤ V は

$$V = C_s W = 0.0484 \times 195,440 \text{ kN} = 9460 \text{ kN}$$

短辺方向の場合も同様に、 $T = 1.27$ 秒、 $R = 7$ から

$$C_s = 0.067 \text{ となり、} V = 13,003 \text{ kN となる。}$$

2) モード応答スペクトル法によるベースシヤ

モード応答スペクトル法によるベースシヤは等価水平力法による値よりも小さいので、応力解析は後者の値に0.85を乗じた値以上とする。計算結果は次の通りである。

長辺方向：等価水力法 9462, 0.85を乗じ 8041 (採用)、

モード応答スペクトル法 6506 kN

短辺方向：等価水力法 13,003, 0.85を乗じ 11,049 (採用)、

モード応答スペクトル法 10,212 kN

応力解析以外にも、後述する他の要因、例えば、偶発的振りと層間変形は等価水平力法、P- Δ 効果はモード応答スペクトル法によるベースシヤを用いる。

3. 地震力の鉛直方向の分布

モード応答スペクトル法の場合は、各階の地震力は直接計算により求めることができるので、ここでは省略する。参考のために、等価水平力法の場合は次式により求める。

$$F_x = C_{vx} V \quad \text{ただし } C_{vx} = w_x h_x^k / (\sum w_i h_i^k) \\ k=1.0 \quad T < 0.5 \text{ 秒} \quad k=2.0 \quad T \geq 2.5 \text{ 秒} \\ k=0.75 + 0.5T \quad 1.0 < T < 2.5 \text{ 秒}$$

4. 振りの検討

本建物は平面的に重心と剛心が一致し、固有の振りは生じないが、偶発的振りを検討する。建物幅の5%だけ重心が移動して、振りが生じると仮定した場合、最大変位と平均変位の割合が1.2を超えると、偶発的振りを考慮する。本建物では、短辺方向に加力の場合、9階以下が1.2を超える。この場合、偶発的振りモーメントに、次式で示す振り増幅係数 A_x を各階に乘じる。

$$A_x = (\delta_{max} / 1.2 \delta_{avg})^2$$

5. 地震力の作用方向

耐震設計区分がDであるので、地震力を両方向に作用させる(ある方向に100%、直交する方向に30%)。

6. P- Δ 効果

P- Δ 効果は次の安定係数 θ が0.1以下の場合考慮しない。

$$\theta = P_x \Delta / V_x h_{sx} C_d$$

ここで、 P_x はある階(X)以上の設計用鉛直荷重

Δ は設計用層間変形

V_x は層せん断力(モード応答法による)

h_{sx} はある階(X)直下の階高

C_d は変形増大率で本建物の場合5.5

Δ の計算に C_d を乗じているので、再度 C_d で除している。計算結果は、本建物の場合、P- Δ 効果は無視してよい。

7. 層間変形の制限

ある階 x の変形は次式で求められる。

$$\delta_x = C_d \Delta_{xe} / I$$

ここで、 C_d は変形増大率(本建物の場合5.5)

Δ_{xe} は弾性解析によるその階の弾性変位

I は重要度係数(本建物の場合1.0)

層間変形 Δ (上下階の変形 δ の差) は次式を満足しなければならない。 $\Delta \leq \Delta_a$

Δ_a は許容層間変形で、本建物の場合 $\Delta_a = 0.02 h_{sx}$ となり、計算結果は充分満足している。ここで h_{sx} は階高である。

8. ラーメンと耐力壁の負担割合

耐力壁を含むラーメン構造の場合、耐力壁を除いた骨組は最低でも25%以上の地震力を負担しなければならない。短辺方向の1階において、ラーメンの負担率が25%以下になっているので、割り増す必要がある。

9. まとめ

①米国の構造基準はフィリピンに大きな影響を与えている。

②米国の設計用せん断力は、かなり小さく、柱の断面も小さい。その理由は、設計用応答加速度を大きな応答補正係数 R で除していること、終局時を想定し固有周期が長いこと等が原因と考えられる。

③一方、きめ細かい全国の地図上応答加速度、余剰係数 ρ 、余力係数 Ω_0 、荷重効果の考え、上下方向地震力、平面的不整形、立面的不整形、両方向地震力、P- Δ 効果、ラーメンと耐力壁の負担割合(日本でも採用している)の検討等日本でも見習うことが多い。

④今後、設計例のうち、断面設計部分も紹介したい。

[文献]

1) 岡本隆之輔他：フィリピンと日本の構造基準の比較に関する基礎的研究 その9米・比・日の耐震基準の比較、建築学会学大会術講演梗概集、2015年8月

2) 2009 NEHARP Recommended Seismic Provisions Design Examples FEMA P-751/September 2012 7 REINFORCED CONCRETE

3) 石山祐二：耐震規定と構造動力学 三和書籍

*1 国立研究開発法人建築研究所

*2 株式会社山下設計

*3 北海道大学名誉教授

*4 独立行政法人国際協力機構 (JICA)

*1 Building Research Institute(BRI)

*2 Yamashita Sekkei Incorporation

*3 Professor Emeritus, Hokkaido University

*4 Japan International Cooperation Agency (JICA)