

耐震診断・耐震補強に関する考察

- 和歌山県の場合を中心として -
(その2: 地盤との共振性)

和歌山県 耐震診断 耐震補強
地盤 共振

正会員 有本 紳一*
上田 健一**
鈴木 康司***
正会員 鈴木 計夫****

1. はじめに

地震の被害を見ると、地盤との関係で明暗を分けている例は枚挙にいとまがない。同一地盤でも建物の地震時挙動はそれぞれの建物毎に異なる。逆に同一建物でも建てられる地盤によって応答性状は異なり、更に弾性域にある場合及び塑性域への侵入の度合いによって振動特性が変わる。しかもそれを支える地盤も初期から塑性的性質を加味した振動性状を持つ上に建物との相互作用が加わることになる。このように建物と地盤は強く関係して建物の耐震性を大きく左右しているにも拘わらず耐震性の判定項目としては不十分なままであるように思われる。上記のような複雑な力学特性の組合せで決まる挙動であることがその理由と考えられるが、以下和歌山県の審査での対応を報告する。

2. 対応の概要

1) 建物の位置

今回の審査物件のデータから杭基礎の件数が 60%近くあることからわかるように河川流域の沖積層に建つ建物が多い。

地震時に大きな比重を占める液状化の検討に関しては、「建築基礎構造設計指針」「道路橋示方書」等の検討式がある。

2) 建物の固有周期の推測

国土交通省告示によれば、建築物の設計用 1 次固有周期を求める簡便法は $T=h(0.02+0.01)$ となっているが「地震動との共振性」を検討する場合は、建築物の 1 次設計計算結果の地震力・層間変位等の数値を用いて 1 次固有周期を求める。算定式は梁配筋が不明の場合でも計算ができる、重力式¹⁾、レイリーの方法²⁾、固有値解析³⁾等の方法がある。また、建築基準法に規定する「限界耐力計算」における損傷限界耐力時の T_d を求めることも有効な方法である。

3) 地盤の卓越周期の推測

今回の地質データは、市街地の沖積層である。各検討式の計算からほぼ同じ結果になる事を類推した。

検討式には、層別と同一層に見做した場合とを検討した。地層のせん断波速度 (V_s) を今井、道路橋示方書、岩崎等の提案式で推定し、地盤周期 T_g を算定した。

4) その他

上記のほかに振動解析等もある。

3. 建物の固有周期の算定

鉄筋コンクリート造 3 階建て 某校舎の 1 次固有周期を 1 次設計計算結果である表 1、表 2 の値を用いて求め、前記の 3 方法による値を比較した。

表 1 地震力

階	Wi (kN)	Ówi (kN)	Ai	Ci	Qi (kN)
3	3844.2	3844.2	1.391	0.278	1068.7
2	4085.5	7929.7	1.151	0.230	1823.8
1	3928.2	11857.9	1.000	0.200	2371.6

表 2 剛性率

方向	階	s (cm)	1/äs	Rs	Fs	Q/äs (kN/cm)
X	3	0.088035	1/4260	1.112	1.000	12155.4
	2	0.115021	1/3260	0.851	1.000	15878.8
	1	0.111276	1/3977	1.038	1.000	21312.3
Y	3	0.029463	1/12728	1.097	1.000	36320.2
	2	0.036278	1/10337	0.891	1.000	50341.6
	1	0.037657	1/11751	1.013	1.000	62977.5

1) 重力式^{*1}

$$T = \frac{\sqrt{d}}{C} \text{ (sec)}$$

(cm)は当該建築物にそれ自体の重量を水平に作用させた場合、建築物が弾性域にあるとして求まる頂部の変形である。C は定数で通常平屋建ての建築物にあっては 5.0、2 階建ての場合には 5.4、3 階建て以上の場合には 5.7 程度としている。

桁行方向 (X 方向)

$$d = \frac{0.088}{0.278} + \frac{0.115}{0.230} + \frac{0.111}{0.200} = 1.373 \text{ cm}$$

$$T = \frac{\sqrt{d}}{C} = \frac{\sqrt{1.373}}{5.7} = 0.206 \text{ (sec)} \quad (1)$$

梁間方向 (Y 方向)

$$d = \frac{0.029}{0.278} + \frac{0.036}{0.230} + \frac{0.038}{0.200} = 0.452 \text{ cm}$$

$$T = \frac{\sqrt{d}}{C} = \frac{\sqrt{0.452}}{5.7} = 0.118 \text{ (sec)} \quad (2)$$

2) レイリーの方法^{*2}

$$T = \frac{2P}{w} \text{ (sec)}$$

系がせん断形であるとし、1次モードで調和振動しているとする。

運動エネルギーと位置エネルギーの最大値 T_{max} , U_{max} が等しいとして1次固有周期を求める。

桁行方向 (X方向)

$$= 29.77 \text{ rad/sec}$$

$$T=2 / =0.211 \text{ (sec)} \quad (3)$$

梁間方向 (Y方向)

$$= 51.93 \text{ rad/sec}$$

$$T=2 / =0.121 \text{ (sec)} \quad (4)$$

3) 固有値解析^{*3}

$$T = \frac{2P}{w} \text{ (sec)}$$

系がせん断形であるとし、質量マトリックス[M]と剛性マトリックス[K]より固有値²の最小値を計算し、1次固有周期を求める。

桁行方向 (X方向)

$$= 29.53 \text{ rad/sec}$$

$$T=2 / =0.213 \text{ (sec)} \quad (5)$$

梁間方向 (Y方向)

$$= 51.52 \text{ rad/sec}$$

$$T=2 / =0.122 \text{ (sec)} \quad (6)$$

以上、(1)~(6)式の再掲と固有値解析結果を基準とした比率を表3に示す。

表3 建物の一次固有周期

計算方法	X方向		Y方向	
	T(sec)	比率(%)	T(sec)	比率(%)
重力式	0.206	97	0.118	97
レイリーの方法	0.211	99	0.121	99
固有値解析	0.213	100	0.122	100

4. 地盤の振動特性(卓越周期)

原則的には、 V_s 値は、弾性波速度測定調査を実施する事が望ましいが、同調査が行えない場合は、精度的にはやや劣ることを留意した上で実施した。このとき、 V_s 値と N 値等との関係式には種々の提案があり、それぞれの特徴がある。このため、数種の関係式から算定される値について比較した結果を表4に示す。いずれの式にも実測の V_s と N 値の相関関係を平均的に求めているので、使用したデータの差異、総数等により、実際には上記に示す程度のばらつきがあるものと解釈した。

表4 各提案式による地盤周期結果の比較

		深度 = 35.4m	
		T_g (地盤周期)	
	A. 今井らの提案式	0.58	
	B. 道路橋示方書の式	0.59	
	C. 岩崎らの式	0.64	
式	A. 今井らの提案式	0.55	
	B. 道路橋示方書の式	0.55	
	C. 岩崎らの式	0.59	
同一層と見た場合			
式	砂質の場合		
	A. 今井らの提案式	0.58	
	B. 道路橋示方書の式	0.58	
	C. 岩崎らの式	0.67	

上記の結果により、 $T_g=0.55 \sim 0.64$ となり、同一層に見た場合は、 $T_g=0.58 \sim 0.67$ で、ほぼ同等の結果が得られた。いずれにしても、通達 S56.第 96 号の $0.20 < T_g < 0.75$ とする第2種地盤の範疇で納まった。

地盤周期の算定式

$$T_g = \sqrt{32 \sum_{i=1}^n \left\{ h_i \cdot \left(\frac{H_{i-1} + H_i}{2} \right) / V_{si}^2 \right\}} \quad \text{式}^{*1}$$

$$T_g = \left\{ 4 \left(\sum_{i=1}^n H_i \right)^2 \right\} / \left(\sum_{i=1}^n V_{Si} \cdot H_i \right) \quad \text{式}^{*1}$$

$$T_g = 4H/V_s \quad \text{式}^{*1}$$

5. まとめ

以上を総合して、表5のようなケース分けと判断を行い判定書の一節として項目を設けている。

表5 共振について

建物の一次固有周期	地盤種別	共振の可能性
小	第1種地盤	共振の可能性あるかも？しかし、例えば山地なので入力是小
小	第2,3種地盤	共振の可能性は少ない
中	第2種地盤	共振の可能性の入力は少し大きめ
中	第3種地盤	共振の可能性は液状化すれば、層厚にもよるが安全

参考文献

- *1) 「01 建築物の構造関係技術基準解説書」財団法人日本建築センター
- *2) 「耐震改修促進法のための既存鉄骨造建築物の耐震診断及び耐震改修指針・同解説(1996)」日本建築防災協会
- *3) 「建築構造学体系 24 振動理論」建築構造学体系編集委員会

*和歌山県建築構造設計協会
 **和歌山県建築士事務所協会
 ***和歌山県建築構造設計協会
 ****福井工業大学

*Wakayama Construction Designers Association
 **Wakayama Architect Office Association
 ***Wakayama Construction Designers Association
 ****Fukui University of Technology