

応答スペクトル法による免震設計の実例

川田耕市アトリエ 川田耕市*1
(株)構造計画 摺木 勉*2

はじめに

本報では、3階建てのRC造診療所を応答スペクトル法により免震設計した実例を紹介する。なお、この建物は日本建築センターの免震構造評定（評定番号：BCJ-免777）を得、建設大臣の認定、建築確認手続きを経て着工され、現在1階部分を工事中である。

当診療所を経営する医師は、大地震時においても医療機能を発揮できるようにとの考えから、免震構造を採用された。また、応答スペクトル法による設計についても、医療行為とのアナロジーから発注者の賛同が得られた。

従来、免震建物の設計は数種類の想定地震動を用いて時刻歴地震応答解析を行うのが一般的であった。しかし、地震および地震動の不確定性やばらつきを考えると、個別の地震動に対する応答をもとにするよりも、多数の地震動記録をもとに提案された設計用応答スペクトルを用いるほうが合理的とも考えられる。その際用いられる応答計算法は等価線形法であり、近似的な解法ではあるが、設計行為は建物の応答性状をピンポイント予測することが目的ではなく、応答の定性的特性を明確に意識し、概略的に把握された応答値に余裕度を考慮して設計を具体化することにある。

1. 地盤・建物概要

当敷地は横浜市緑区にあり、地表面から7~8mは粘性土でその下はN値50以上の固結粘土および泥岩となっている。地盤種別は1種にちかい2種地盤である。

建物はRC造地上3階建て、延面積約480m²、最高部高さ約10mである（図-1）。基礎は現場造成杭φ1,500、φ1,200、l=8mを用いている。

免震装置は、各柱の下に天然ゴム系アイソレータφ500(G=0.34N/mm², S₁=32, S₂=4)を6台、鉛ダンパーU180を6台用いている。

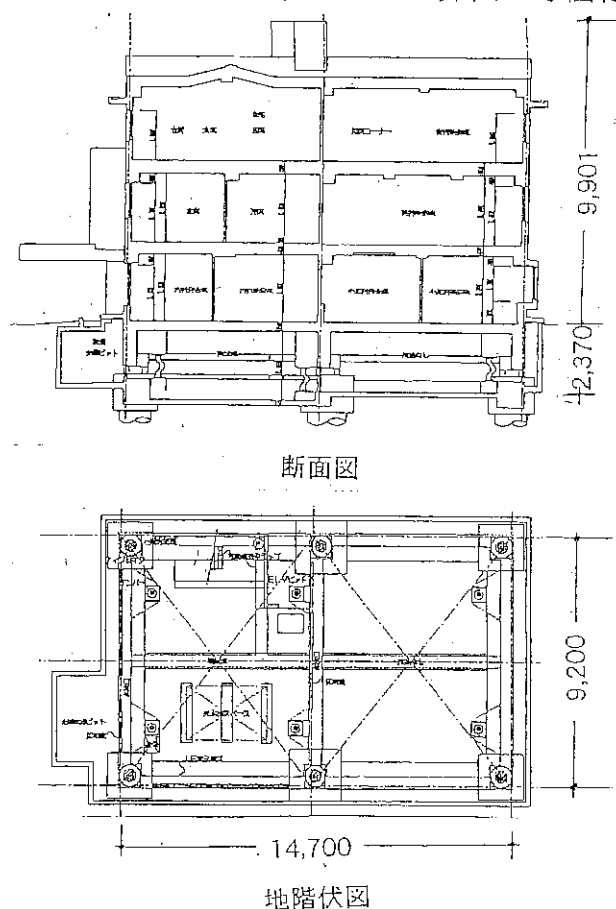


図-1 建物概要

2. 設計用応答スペクトル

設計用地震動特性は応答スペクトルとして下記の2種類を設定する。

- ・梅村魁博士の標準応答スペクトル¹⁾ (図-2,3)
- ・ピークパラメータスペクトル³⁾ (図-4)

地震動最大振幅は、当該地点に影響を与える可能性のある4種類の断層運動と神奈川県地震被害想定調査結果をもとに設定した。地表面での最大速度は、レベル1で25cm/sec相当、レベル2で50cm/sec相当とした(表-1)。

3. 地震応答計算

地震応答計算には、下記の2種類の等価線形スペクトル応答計算法を用い、両者の最大値を考慮して設計した(図-5)。

- ・梅村スペクトルを用いた等価線形応答計算(河村壯一博士の方法²⁾)
- ・ピークパラメータスペクトルを用いた等価線形応答計算(石丸辰治博士の方法⁴⁾)

なお、モデル化および計算の方針は次の通りである。

- ・上部構造は剛体とみなし、水平1自由度系として扱う(図-6)。剛体とみなすことの妥当性については、重力式により1次固有振動特性を確認する。
- ・免震層の復元力特性はバイリニア型とし、振幅に応じた等価線形近似を行う(図-7,8)。

梅村魁博士がいくつかの強震記録を分析して提案した標準スペクトルである。

T: 固有周期(sec)
kg: 地震震度 (ag/G, ag: 地表面加速度, G: 重力加速度)
減衰定数 h=0.05

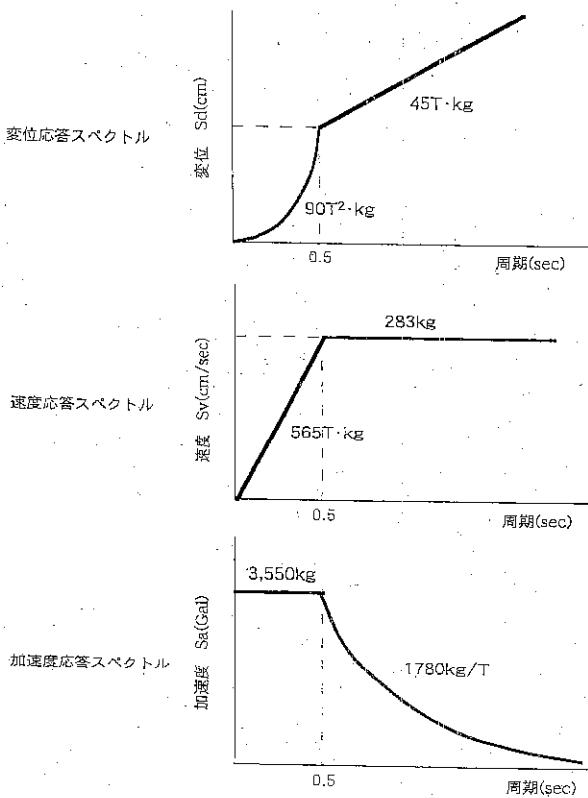


図-2 梅村スペクトル

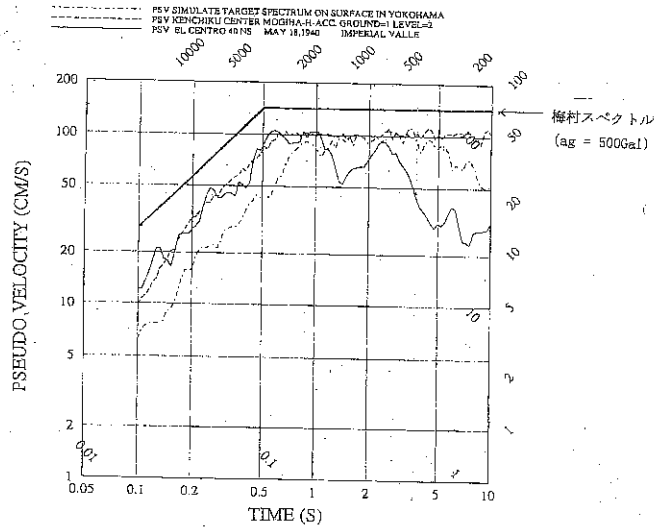


図-3 梅村スペクトルと参考地震波のスペクトル比較

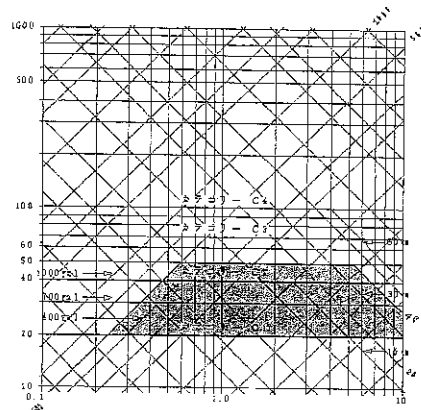


図-4 ピークパラメータスペクトル (レベル2)

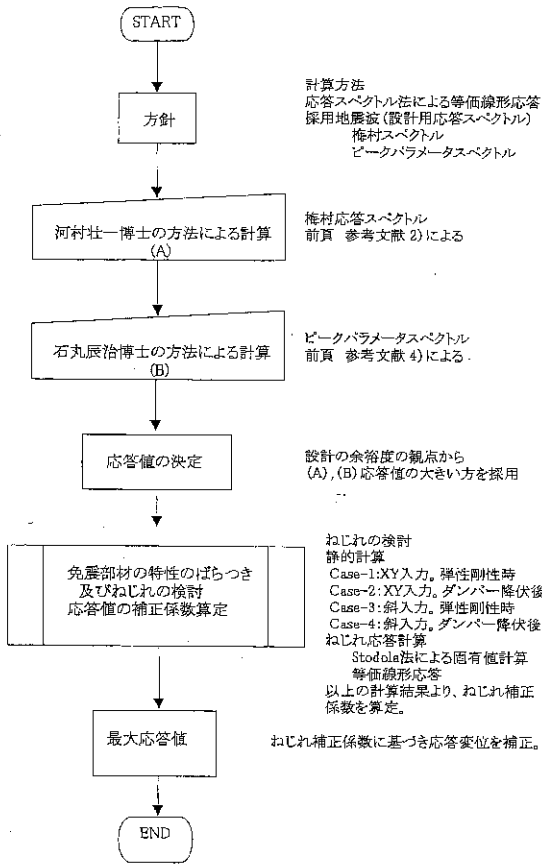
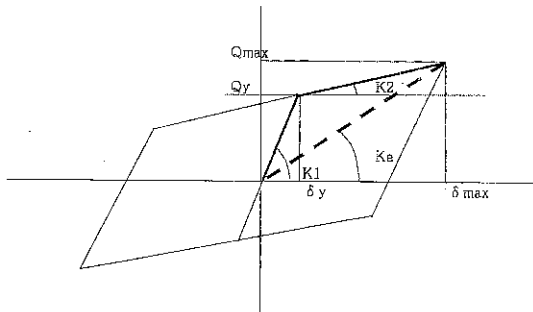


図-5 地震応答計算のフロー



- 1) 等価剛性: K_e

$$K_e \cdot \delta_{max} = K_1 \cdot \delta_y + K_2 (\delta_{max} - \delta_y)$$

$$\therefore K_e = K_1 (\delta_y / \delta_{max}) + K_2 (1 - \delta_y / \delta_{max})$$
- 2) 等価周期: T_e

$$T_e = T_1 / \sqrt{K_1 / K_e} \text{ or } T_2 / \sqrt{K_2 / K_e}$$
- 3) 等価減衰定数: h_e

$$h_e = 1/4 \pi \cdot \Delta w / w$$

$$w = K_e \cdot \delta_{max}^2 / 2$$

$$\Delta w = 4 Q_y \cdot \delta_{max} (1 - K_e / K_1)$$

$$\therefore h_e = 2 / \pi \cdot (\delta_y / \delta_{max}) (K_1 / K_e - 1)$$

w: 弾性歪エネルギー
 Δw : 履歴吸収エネルギー
3. 減衰による応答補正係数: η

$$\eta = 1.5 / (1 + 10h)$$

図-7 等価線形パラメータ (河村による)

表-1 入力地震動最大振幅

入力地震動レベル カテゴリー	レベル1			レベル2		
	C1			C2		
加速度(A)・速度(V)・変位(D)	Amax	Vmax	Dmax	Amax	Vmax	Dmax
梅村スペクトル	250	≈ 25	≈ 8(T=2) ≈ 20(T=5)	500	≈ 50	≈ 16(T=2) ≈ 40(T=5)
ピークパラメータ スペクトル	250	25	20	500	50	40
参考	El Centro1940NS (50cm/sec基準化)			510	50	16
	YKH 横浜標準波			312	52	34
	BCJ-L2 (50cm/sec基準化)			309	50	40

(=は減衰定数 $h=0.4$ の応答概算値からの概算値であることを示す。)

※梅村スペクトルでは, 地動最大加速度を規定する。
これに対応する最大加速度, 最大変位は特定されていないが, 前ページに示すように
応答スペクトル値からこれらを概算した。

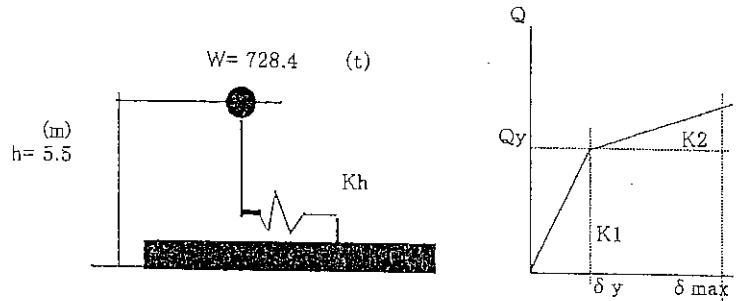


図-6 振動モデル

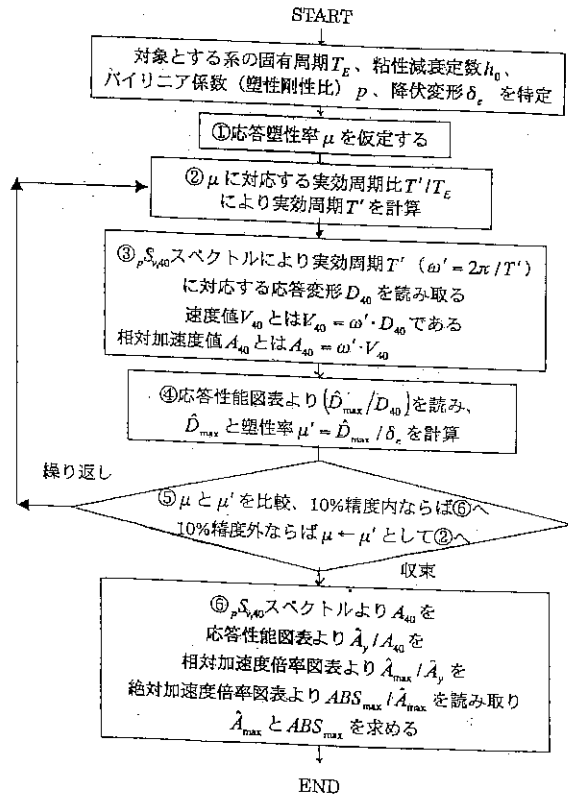


図-8 図式計算のフロー (石丸による)

- ・免震装置の力学特性値は標準値のほかにはばらつきも考慮する。
- ・免震層のねじれの影響を固有振動解析（Stodola法による）結果により考慮する。
- ・アイソレータには引き抜きが生じないことを確認する。その際、上下地震動は震度換算で $k_v=0.4$ を考慮する。
- ・免震層のP- δ 効果は、アイソレータ、基礎梁、杭等への影響を検討する。

4. 応答計算結果

以上の計算の結果、応答最大値は表-2のようになった。

変位はピークパラメータスペクトルで、加速度およびベースシア係数は梅村スペクトルで決まった。

表-2 最大応答値

レベル		1	2
応答変位	δ_{max} (cm)	8.7	29.3
応答加速度	A_{max} (Gal)	120.0	237.0
ベースシア係数	C_b	0.122	0.242

5. 耐震性能クラス

上部構造、免震部材および基礎構造の保有性能を静的に検討した結果との比較から、当建物の耐震性能は表-3の通りである。

表-3 耐震性能クラス

	レベル1	レベル2
上部構造	C1-A	C2-B
免震部材	C1-A	C2-B
基礎構造	C1-A	C2-B

6. まとめ

当建物の上部構造は壁付きラーメン構造で、長辺・短辺ともに十分剛強である。上部構造を剛体と見なした水平1自由度モデルし、免震層の復元力特性をバイリニアールモデルとした等価線形系の地震応答をスペクトル応答法により計算した。その結果、当建物はレベル1およびレベル2の地震動に対して、十分な安全性を保有していることが確認できた。

なお、参考までに非線形時刻歴地震応答計算を行い、等価線形スペクトル応答による計算結果の妥当性を確認してある。

参考文献

- 1) 梅村魁、大澤胖監修、河村壯一著「耐震設計の基礎」P199、オーム社、1984
- 2) 河村壯一「免震装置の簡易設計法」東京都立大学大学院講義ノート、1999
- 3) 「免震構造建築物の評定用資料の作成方法とその解説について」
日本建築センター免震構造評定委員会、平成8年
- 4) 石丸辰治「エネルギースペクトルによる性能設計」
A New Direction in Seismic Design、1995

*1 〒225-0015 横浜市青葉区荏田北1-6-8-101
TEL:045-915-8898 e-mail: CQF01303@nifty.ne.jp

*2 〒243-0121 神奈川県厚木市七沢1640-3
TEL:046-250-7160, FAX:046-250-7151, e-mail: kozo-inf@tanzawa.or.jp