すべり支承を用いた木造住宅免震システムの開発
その 4．設計に用いる加速度低減率の検討

正会員　○石原 哲哉*
同　三浦 篤**
同　西尾 浩治**

すべり支承　免震　木造住宅
ローコスト　地盤増幅率　加速度低減率

１．はじめに

免震住宅の設計は、平成 12 年国交省告示 2009 号に従うのが一般的である。設計において入力地震動のスペクトルを設定するために表層地盤増幅率 Gs を算定しなければならない。増幅率 Gs の設定方法には地盤のボーリング調査データ等を用いる”精算法”と呼ばれる方法と地盤種別で設定する”略算法”と呼ばれる方法がある。前者は工学的地震基盤の深度と傾斜の確認のためにボーリング調査が必要でコスト増になる。後者は地盤種別の判定ができればボーリング調査は不要であるが、第 2 種地盤の増幅率は 2.025 と大きめな値に設定されている。このため告示に定められた方法で設計することが困難になっている。

告示の設計方法の中にある加速度低減率は、減衰が小さい場合には比較的良い精度が得られるが、すべり支承を用いた免震システムのように減衰が大きい場合には、実際の地震応答に比べて応答変位が過大に評価されることになると云われている。このため、告示ではただし書きによって他の適切な計算によることができると規定されている。

本報では、第 2 種地盤の地盤増幅率(Gs=2.025)を用いて告示の設計方法で”適切な加速度低下率の評価方法”を採用することにより時刻歴応答解析で設計するのと同等な設計が行えることを示す。

最初に、第 2 種地盤のスペクトルに一致する模擬地震動を入力地震動としてすべり支承を用いた免震システムの時刻歴応答解析の結果を報告する。次に、加速度低減率の評価方法を提案し、時刻歴応答解析の最大応答変位及び最大応答加速度が、告示計算の結果と精度良く一致することを報告する。

２．模擬地震動

第2種地盤のスペクトル(Gs=2.025)に一致する模擬地震動を作成した。模擬地震動の位相特性は、防災科学技術研究所の強震観測記録(K-net)から国内のマグニチュード6.5以上の地震で観測された主要な波形を用いた。模擬地震動の時間間隔 dt は0.02秒、継続時間は163.84秒とした。

作成した模擬地震動は36波で、最大加速度の平均値は571±60 cm/s^2、最大速度の平均値は103±13 cm/s となった。作成した模擬地震動の疑似速度スペクトルを図1に示す。また、模擬地震動スペクトルの平均値と目標となる第2種地盤の地表面応答スペクトルとを図2に示す。

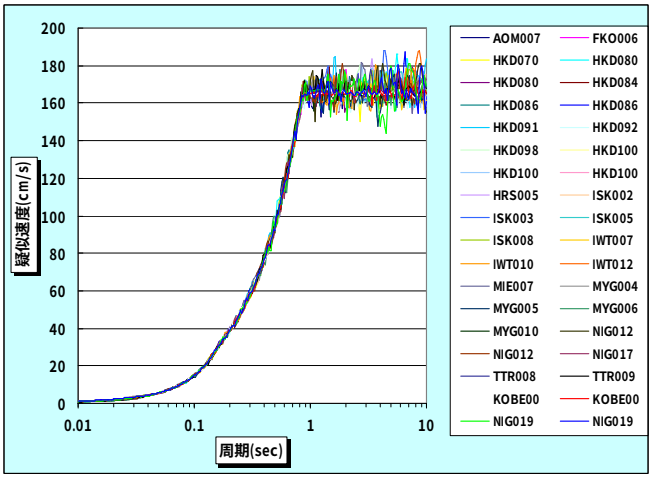

図1　模擬地震動の疑似速度スペクトル

個々の模擬地震動は目標とする地表面応答スペクトルに対して周期毎に誤差がある(図1参照)。しかし、36波の平均値は地表面応答スペクトルによく一致している(図2参照)。

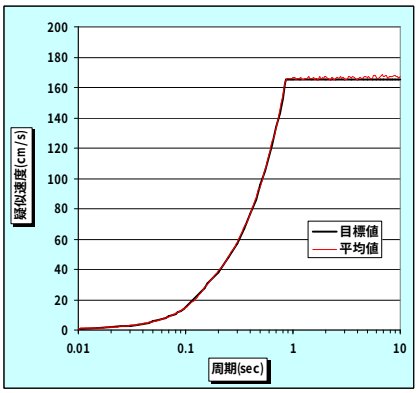

図2　36波の平均値と目標スペクトル

３．応答解析結果

すべり支承と復元ゴムを組合せた免震建物のパラメータは、すべり支承の摩擦係数μと復元ゴムの剛性による固有周期(接線周期)T_G の2つになる。入力を前述の模擬地震動とし、摩擦係数をすべり支承の標準値0.13とした場合の最大加速度と固有周期 T_G の関係を図3に示す。同様に最大変位を図4に示す。

最大加速度は周期が長くなるに従い低下する現象が見られる。その傾向は模擬地震動によらずほぼ一様である。これは、最大加速度がすべり支承の摩擦力と復元ゴムの復元力の和に相当する加速度になる為であり、長周期になると摩擦力に相当する加速度130cm/s^{2}に漸近する。

最大変位は、全体的には周期が長くなるに従い増加する傾向が見られる。図4で大きな変位を生じているのは、JMA KOBE の NS と EW の位相特性を用いた2波である。

すべり支承と復元ゴムを組合せた免震建物の変位挙動

Development of Isolation System for Wooden house using Sliding Bearing.
Part4 Verification of decrease rate of acceleration used to design.

ISHIHARA Tetsuya, MIURA Atsushi,
NISHIO Koji

は、入力地震動の波形に大きく影響を受ける。すなわち、ほぼ同一のスペクトル特性の模擬地震動を入力していても最大変位の変動は比較的大きい。この変動は、地震波形のランダム性によるもので、定性的な傾向を持ったものではないと考える。そこで、36波の模擬地震動の平均値をとる。最大変位の平均値は、周期が長くなるに従ってほぼ一様に増加する傾向が認められる(図4参照)。

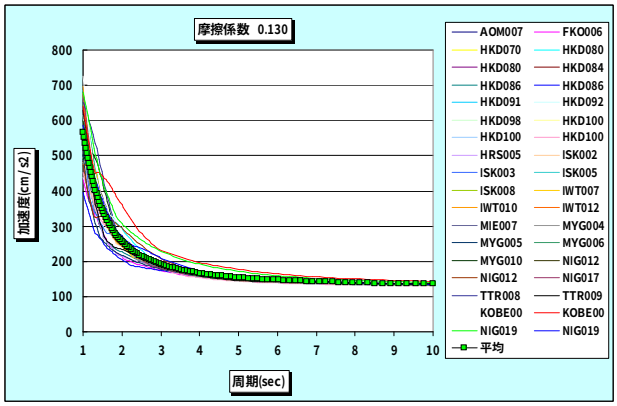

図3　模擬地震動による最大加速度－周期(摩擦係数0.13)

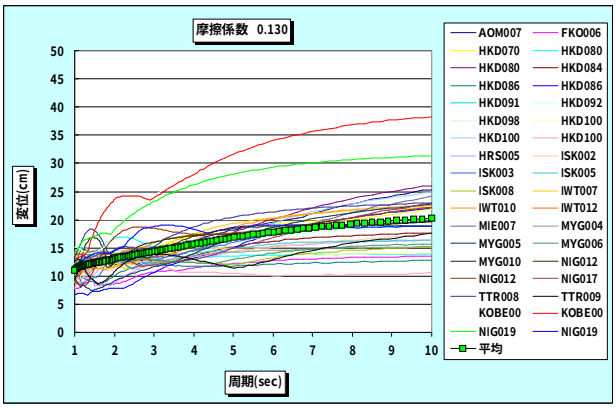

図4　模擬地震動による最大変位－周期(摩擦係数0.13)

４．加速度低減率

前述の最大加速度の平均値 Ac を用いて、加速度低減率 Fh を以下の様に求める。

$$F_h = A_c / S_a$$

ここに、Sa は第2種地盤の加速度スペクトルで地盤増幅率 Gs、等価周期(割線周期)Ts、地域係数 z を用いて、

$$S_a = (5.12 \cdot z \cdot G_s) / T_s$$

で表される。

地盤増幅率 Gs を2.025、地域係数 z を1.0とし、摩擦係数が0.130の場合について加速度低減率 Fh を計算した結果を図5に示す。また、等価周期 Ts による近似式を同時に示した。近似式は Ts の3次式にしたが、これは設計計算で繰り返し収束計算を行う際に解が発散しないように考慮した為である。近似精度からは2次式で十分と考える。

製造誤差等を±20%考慮して、摩擦係数が0.104、0.156の場合も同様に加速度低減率を求め近似式を算定した。

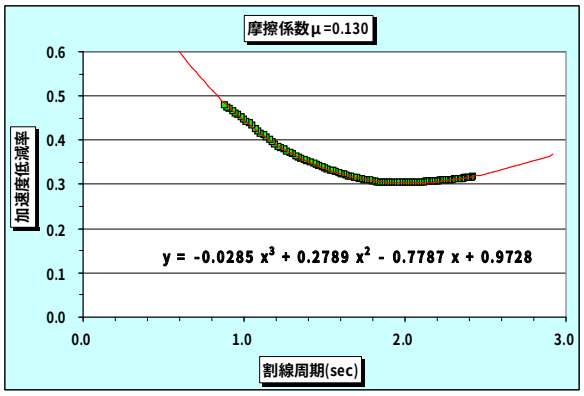

図6　加速度低減率(摩擦係数0.130)

標準の摩擦係数0.13の加速度低減率

$$F_h = 1.017\left(-0.0285T_s^3 + 0.279T_s^2 - 0.779T_s + 0.973\right)$$

誤差プラスの摩擦係数0.156の加速度低減率

$$F_h = 1.010\left(-0.0928T_s^3 + 0.626T_s^2 - 1.264T_s + 1.073\right)$$

誤差マイナスの摩擦係数0.104の加速度低減率

$$F_h = 1.019\left(-0.0416T_s^3 + 0.329T_s^2 - 0.896T_s + 1.181\right)$$

５．告示の計算方法による検証

加速度低減率の評価に前出の近似式を用いて、告示に示された方法で計算を行った(図7参照)。図には時刻歴応答解析結果の加速度の平均値も同時に示した。両者は良く一致しており計算方法の妥当性が検証できたと考える。

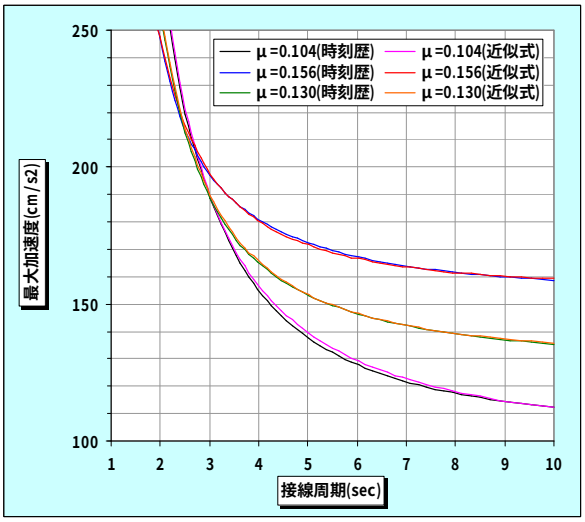

図7　加速度低減率で計算した結果と時刻歴結果の比較

５．まとめ

加速度低減率 Fh を等価周期 Ts で近似し、告示に示された方法で計算を行った結果は、時刻歴応答解析結果の最大加速度と良い精度で一致した。このことは加速度低減率の評価が妥当であれば、告示の設計方法でも時刻歴応答解析と同等の応答値が得られることを示しており、第2種地盤のスペクトルのような極めて大きな入力地震動でも合理的な設計が行える可能性を示している。

*1 免震ハウス
*2 日本国土開発 技術センター

*1 Menshin House Corporation
*2 Technology Center, JDC Corporation