

地盤周期に着目した戸建て免震住宅の簡易応答評価法 SIMPLIFIED EVALUATION METHOD OF SEISMIC RESPONSE FOR BASE-ISOLATED HOUSES USING GROUND PERIOD

花井 勉*, 福和伸夫**, 皆川隆之***

Tsutomu HANAI, Nobuo FUKUWA and Takayuki MINAGAWA

On base-isolated structure, soil amplification is an important factor in a seismic design based on limited strength method. For base-isolated houses, soil surveying using boring is relatively expensive. This paper proposes a simplified evaluating method of soil amplification factor using only ground period based on the simulation of soil amplification by limited strength method. And seismic response charts using equivalent linear method considering the proposed factor is presented. When the site ground period is determined, immediately the chart shows the response displacement which is the most important criteria on base-isolated houses, and help the isolated judgment. The proposed method is verified by comparing to complete analysis.

Keywords : Base-isolated house, Limited strength method, Ground period, Soil amplification factor,
Simplified evaluation method, Seismic response charts

戸建て免震住宅, 限界耐力法, 地盤周期, 表層地盤増幅式, 簡易評価法, 応答早見表

1. はじめに

建築基準法が改正され、平成 12 年 10 月に免震関連告示が、平成 13 年 3,5 月に設計例とその解説¹⁾²⁾が刊行され、免震建築物普及の為の条件が整備されてきた。旧基準法第 38 条大臣認定ではコスト面で負担の大きかった戸建て住宅の免震設計も、新たな設計ルートによりますます推進されていくものと期待される。

新設された設計ルート、いわゆる“4号建物ルート”、“限界耐力法ルート”、“時刻歴計算ルート”の内、仕様規定で構造計算が免除される4号建物ルートを除いては、工学的基盤の加速度応答スペクトルとして地震動が定義され、建設地の表層地盤による増幅を考慮することになっている。

限界耐力法ルートで免震設計をする場合、表層地盤の地震動増幅は建物応答を左右する重要な要素となっているが、戸建て住宅で工学的基盤までボーリング等の地盤調査を行うのはコスト負担が大きく、かといって近隣の地盤データが入手できる確証はない。限界耐力法ルートで用意されている表層地盤増幅の簡略法では、長周期域で一律 2.025 倍（安全限界時第 2 種地盤）の増幅率である。一般に長周期域では工学的基盤以浅の増幅は大きくないことから、2 倍を越える増幅率は過大であり、また長周期域で速度一定のスペクトル

ル特性を考えているため、構造物の周期の伸びと共に応答変位が極めて大きくなり、敷地に余裕のない戸建て住宅の免震設計の実現が困難になっている。

地盤データが入手できた場合にも、限界耐力法ルートにおける増幅率 G_s 算出法では固有値解析、収束計算が必要であり、地盤増幅計算の普及していない現状では結果の妥当性を照合できるチャートなどが必要である。

さらに戸建て住宅の免震設計で最も重要なクライテリアである応答変位を限界耐力法ルートの精算法により算出する場合、設計限界変位を設定し、そのときの等価周期から増幅率 G_s 値を求めて地震動に考慮することになっているが、設計限界変位を大きくとると等価周期は長くなり、算出 G_s 値は周期が長くなるほど小さくなる為危険側の評価になる。真の応答値及び変位の安全率を求めるためには増幅率の周期変化を組み込んだ応答の収束計算が必要であり、即座に応答の予測がつきにくい。

そこで本報では戸建て免震住宅の普及を図る事を目的として、限界耐力法に準拠した形で免震化の適否の判断が容易にできる簡易な応答評価法を提案していく。提案法は、免震周期帯（2~5 秒）における地盤周期と限界耐力法の表層地盤増幅率 G_s 値の関係に着目

本論文は文献5)6)に加筆したものである。

* 名古屋大学大学院環境学研究所 大学院生
(日本システム設計)

** 名古屋大学大学院環境学研究所 教授・工博

*** 日本システム設計開発設計室

Graduate Student, Div. of Environmental Engineering and Architecture Graduate School of Environmental Studies, Nagoya Univ.
Prof., Div. of Environmental Engineering and Architecture Graduate School of Environmental Studies, Nagoya Univ., Dr. Eng.
Nihon System Sekkei

して、地盤周期のみを用いて近似した簡易な表層地盤増幅式と、これを組み込んだ地震動応答スペクトルと戸建て用免震層復元力特性とを用いて、等価線形化法により作成した免震応答早見表から構成される。

提案法の検証のため、表層地盤増幅式については重複反射解析を用いた等価線形化法、時刻歴解析を用いた逐次積分法の精算法解析結果と比較し、免震応答算定法については時刻歴応答解析結果と比較して提案法の適用範囲を設定する。

2. 表層地盤増幅式の提案

2.1 等価2層地盤置換解析シミュレーション

公表されている地盤情報⁷⁸⁾を用いて、建築基準法告示第1457号(以下告示)に従い、工学的基盤とその上の地層を等価な2層地盤に置換し、重複反射解析により安全限界時地盤増幅率を求める。図1には、地盤周期1.2秒以下の30サイト(第1種地盤3サイト、第2種地盤22サイト、第3種地盤5サイト)の表層地盤増幅率 G_s をスペクトルの形で集計した。

計算では、工学的基盤のせん断波速度 $V_b=400\text{m/s}$ とし、各層のせん断波速度 V_s は平均 N 値より算出した²⁾。ひずみの算定は文献¹⁾³⁾に倣い、有効ひずみ換算係数は0.65としている。また収束計算時に用いる周期は固有値解析から求め、収束計算終了時の減衰定数には告示に従い0.8を乗じている。地盤物性(剛性低下率 G/G_0 、等価減衰定数 h)のひずみ依存性は、告示別表の値を用いている(図2)。

図1では地盤が柔らかくなるほどスペクトルの山が右に移動している。また免震周期帯2~5秒では一部の例外(いずれも第3種地盤)を除いて増幅率の下り勾配域であり、表層地盤との共振域からは外れている様子が分かる。尚、図中には告示第7.2項の計算を要しない簡略法増幅率も示しているが、長周期域での増幅率は一定値であり、免震周期帯での増幅率をかなり大きく評価している。

各サイトの告示(1/4波長則)による弾性地盤周期(以下地盤周期 T_g)と、地盤各層の中で最大の有効ひずみの関係を示したのが

図3である。地盤周期が0.5秒程までは周期の伸びに従いひずみが増加し、それ以降はひずみが一定の傾向がある。地盤各層の復元力が漸増の履歴を持つため、短周期ではエネルギー一定則が、それ以降は変位一定則が働いているようである⁹⁾。

図4には収束後の地盤周期 T_{s1} を、図5には等価減衰定数 h を示す。ごく短周期を除いてそれぞれ $T_{s1}/T_g \approx 2$ 、 $h \approx 0.15$ の相関が見られる。これは最弱層の有効ひずみが0.4~0.8%に達して、図2から剛性低下 G/G_0 が1/4~1/5程度に、等価減衰定数 h が0.2($\times 0.8=0.16$)程度になり、ひずみの重みづけ平均により最弱層の寄与

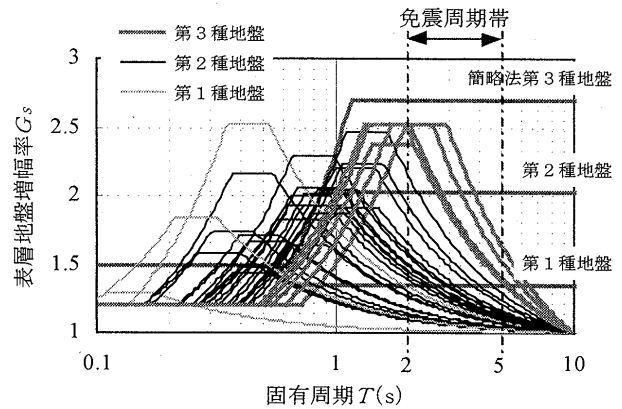


図1 告示 G_s 法による30サイトの表層地盤の増幅特性

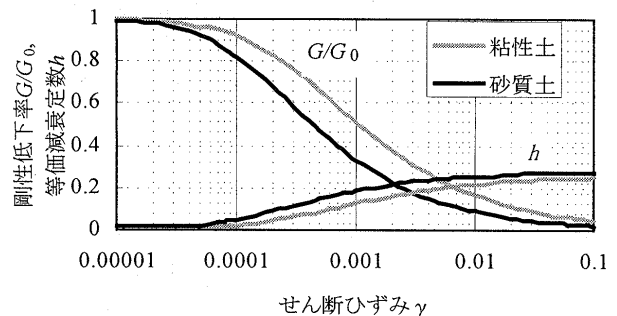


図2 地盤物性のひずみ依存性(告示別表に準拠)

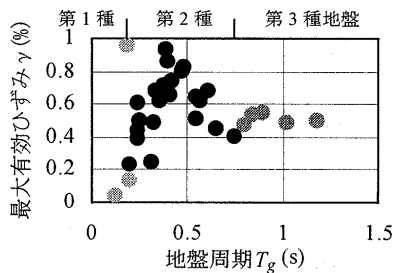


図3 地盤周期と最大有効ひずみとの関係

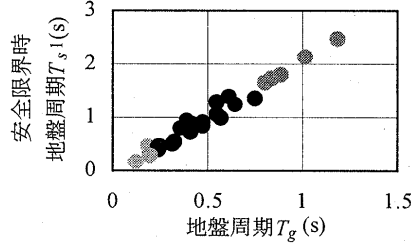


図4 地盤周期と安全限界時地盤周期との関係

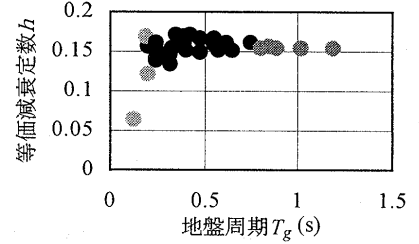


図5 地盤周期と等価減衰定数との関係

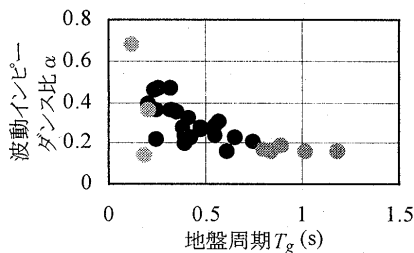


図6 地盤周期と波動インピーダンス比との関係

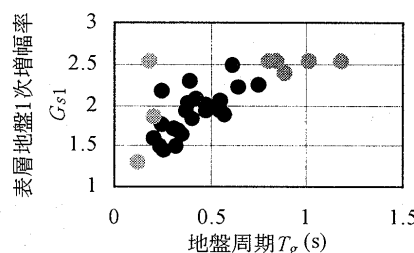


図7 地盤周期と表層地盤1次増幅率との関係

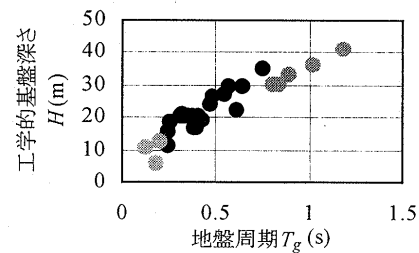


図8 地盤周期と工学的基盤深さとの関係

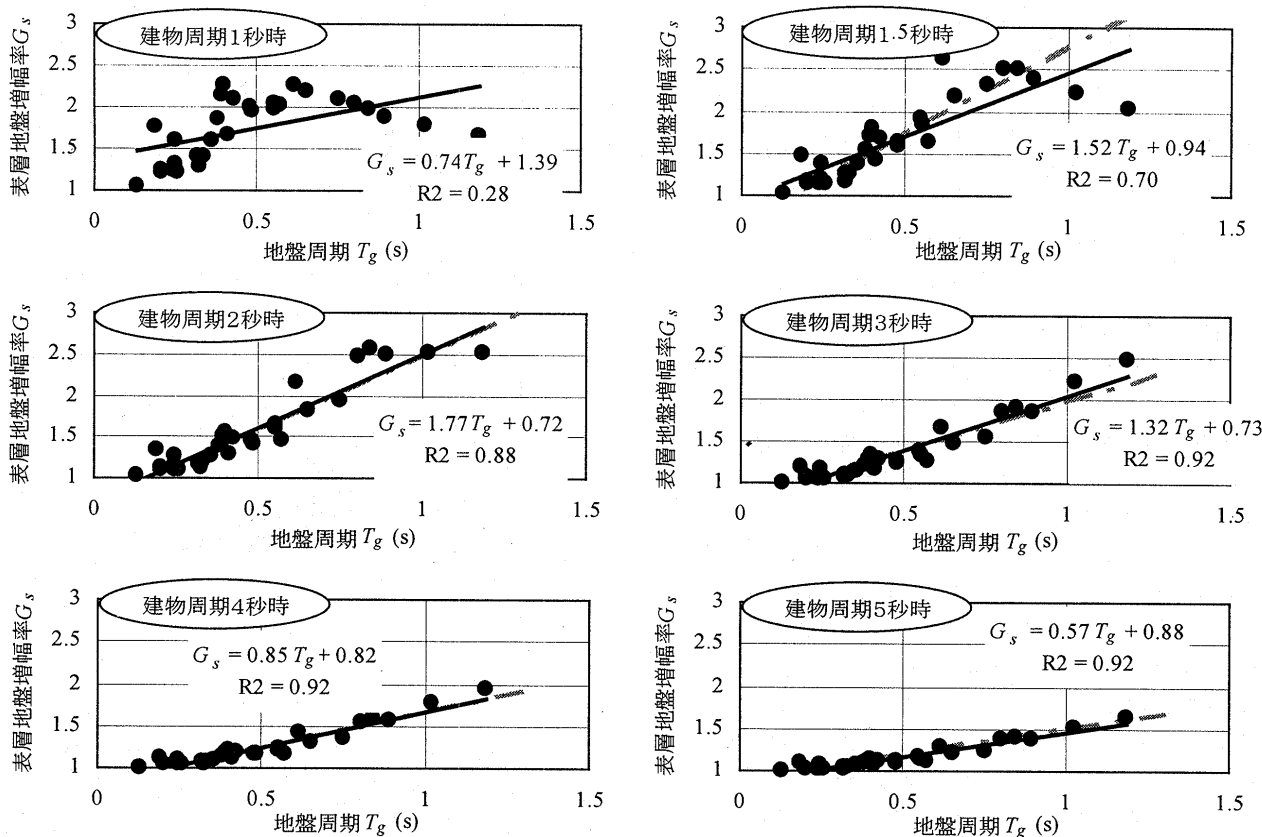


図9 地盤周期と表層地盤増幅率 G_s との関係

が表層全体へ及んでいることを示している。

また以下に示す告示の G_s 算定式では、一般に免震周期帯 ($T=2 \sim 5$ 秒) において $0.8T_{s1} < T$ となるため、次式のように表層地盤 1 次モードの増幅率 G_{s1} に支配される。

$$\begin{aligned}
 0.8T_{s1} < T \leq 1.2T_{s1} \quad & G_s = G_{s1} \\
 1.2T_{s1} < T \quad & G_s = G_{s1} - \frac{G_{s1} - 1}{\frac{1}{1.2T_{s1}} - \frac{1}{T}} \left(\frac{1}{1.2T_{s1}} - \frac{1}{T} \right) \quad (1)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 G_{s1} &= \frac{1}{1.57h + \alpha} \\
 \alpha &= \frac{\rho_e \cdot V_{se}}{\rho_b \cdot V_b} \\
 V_{se} &\approx \sqrt{\frac{G}{G_0}} \times V_{se0} = \sqrt{\frac{G}{G_0}} \times \frac{4H}{T_g} \quad (2)
 \end{aligned}$$

ここで、 T_{s1} : 安全限界時地盤周期、 G_{s1} : 表層地盤 1 次増幅率、 h : 等価減衰定数、 α : 波動インピーダンス比、 ρ_e : 表層平均密度、 V_{se} : 表層平均せん断波速度、 ρ_b : 工学的基盤密度、 V_b : 工学的基盤せん断波速度、 H : 工学的基盤深さ、 T_g : 地盤周期である。

G_{s1} は h 、 α の関数であり、ひずみ領域から h 、 G/G_0 で推定できる。上記計算例では α は $0.5 \sim 0.15$ の値であり (図 6)、(2) 式の分母にある $1.57h$ は概ね 0.25 であるので、結果として G_{s1} は図 7 のように 2.5 以下となる (図 1 の山の高さに相当)。また図 8 では H と T_g の相関も見られる。このように G_s 算定時に用いる変数のほとんどが T_g と相関を持つことから、表層地盤増幅率 G_s の地盤周期 T_g による関数化を考えてみる。

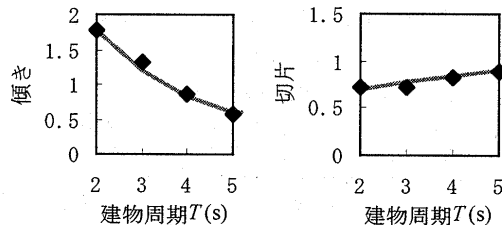


図10 近似関数の傾き, 切片集計

2.2 免震周期帯における表層地盤増幅率算定式

地盤周期 T_g を横軸として建物周期 T ごとに表層地盤増幅率 G_s をプロットしたのが図 9 である。建物周期が長くなるにつれ両者に強い相関が現れている。各建物周期時に対して増幅率を 1 次式で回帰し図中に示す。次に図 10 のように免震周期帯 $2 \sim 5$ 秒において 1 次式の傾きと切片を傾きは 2 次式、切片は 1 次式で近似し、 G_s 算定式として次式を得た。

$$\begin{aligned}
 G_s &= (0.082T^2 - 0.96T + 3.35)T_g + 0.068T + 0.57 \quad \text{and} \quad \geq 1 \\
 \text{建物周期: } &2s \leq T \leq 5s \quad \text{地盤周期: } T_g \leq 1.2s \quad (3)
 \end{aligned}$$

上式で求めた値を図 9 中に 1 点鎖線で示してある。図より免震周期帯である $2 \sim 5$ 秒では十分な精度であることが確認できる。

尚、以上の評価では収束計算中の地盤周期を固有値解析により算定しているが、1/4 波長則により算定した場合は、図 11 のように増幅率が少し小さめに評価される。両者の違いは等価 2 層地盤置換時の平均 V_s 算定法に原因がある。層の厚みを重みとして平均する 1/4 波長則の方が若干周期が短くなる傾向があり (図 12)、図 1 の山が左下に動く事で免震周期帯では増幅率を下げているようである。

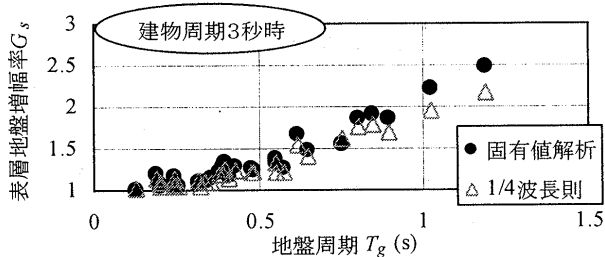


図11 周期算法による表層地盤増幅率の比較

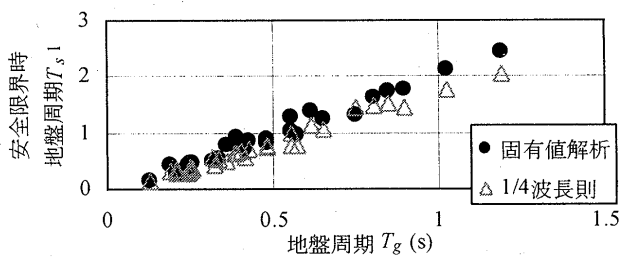


図12 周期算法による安全限界時地盤周期の比較

3. 簡易応答評価法の提案

戸建て免震住宅では、低層のため上部架構の剛性が免震層に比べて十分に高く、1次モードの刺激関数が1に近いことから振動モデルは1質点に置換できる。本節では表層地盤増幅式を組み込んだ地震動応答スペクトルと代表的な戸建て用の免震層復元力モデルを用いて簡易に応答を評価する手法を提案する。

(3)式を用いて、建築基準法施行令第82条の6で示される解放工学的基盤の加速度応答スペクトル（以下、工学的基盤スペクトル）を表層地盤増幅した地表面加速度応答スペクトルを作成する。図13に $T_g = 0.2 \sim 1.2$ 秒までの代表的な地盤周期における結果を示し、目安として簡略法増幅式による結果と合わせて比較する。建物固有周期2秒付近においては、各地盤周期の値がその属する地盤種別の簡略法の結果とよく対応しているが、建物周期が長くなるにつれて差が拡大し、4秒付近では増幅割合が簡略法の1/2程度であり、地震力としてもかなり差がついてくること分かる。

戸建て住宅の免震化は、その軽さ故に長周期化が難しく、柔らかい積層ゴムを用いると鉛直支持性能や座屈等への対応が難しいため、低い摩擦係数のすべり支承や転がり支承と復元力装置・減衰装置を組み合わせた構成を用いる場合が多い（表1）¹⁰⁾。

表1. 一般的な住宅用免震装置の分類

形状	鉛直支持	復元力	減衰	履歴メーヅ
すべり系	すべり支承	積層ゴム	すべり支承	[履歴メーヅ]
		すべり支承	すべり支承	
転がり系	転がり支承	積層ゴム	積層ゴム (粘性ダンパー)	[履歴メーヅ]
		転がり支承	粘性ダンパー	

各装置の特性が、支持重量や速度等の依存性を持たない単純な性能で評価できるものとする、等価線形化法により(4)式で定義する復元力 P と地震荷重 Q を等置する事で応答が求まる。

$$\begin{aligned}
 P &= Mg \cdot \mu + k_t \cdot \delta & T_t &= 2\pi \sqrt{\frac{M}{k_t}} \\
 Q &= \frac{5.12M \cdot F_h \cdot Z \cdot G_s}{T_s} \\
 G_s &= (0.082T_s^2 - 0.96T_s + 3.35)T_g + 0.068T_s + 0.57 \geq 1 \\
 F_h &= \frac{1.5}{1+10(h_d+h_v)} \geq 0.4 \\
 h_d &= \frac{\Delta W}{4\pi \cdot W} = \frac{4\delta \cdot Mg \cdot \mu}{4\pi \cdot \delta \cdot \frac{P}{2}} = \frac{2Mg \cdot \mu}{\pi \cdot P} \\
 T_s &= 2\pi \sqrt{\frac{M}{k_s}} & k_s &= \frac{P}{\delta} \\
 (2s \leq T_s \leq 5s & T_g \leq 1.2s)
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

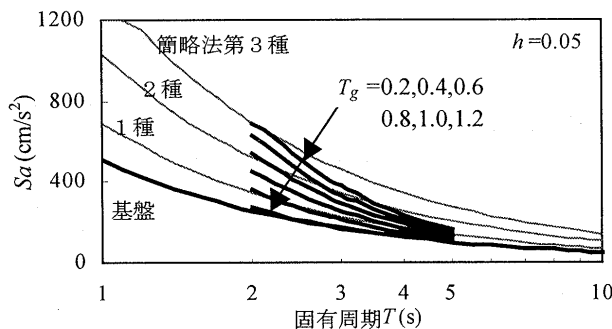


図13 提案式による加速度応答スペクトル

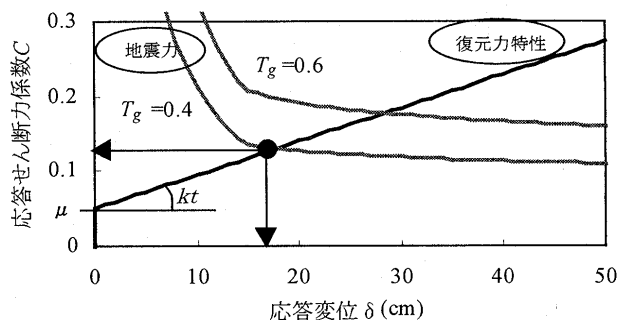


図14 等価線形化法による応答算定

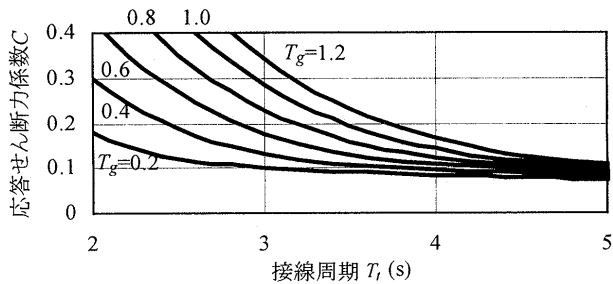
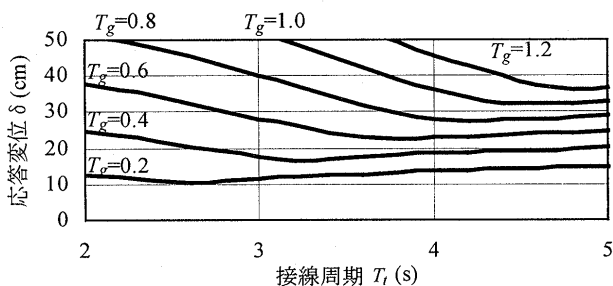


図15 応答変位、応答せん断力係数早見表 ($\mu = 0.05, h_v = 0\%$)

ここで、 M : 質量、 g : 重力加速度、 μ : 免震装置摩擦係数、 k_t : 免震装置復元材剛性、 δ : 応答変位、 T_t : 免震装置復元材周期、

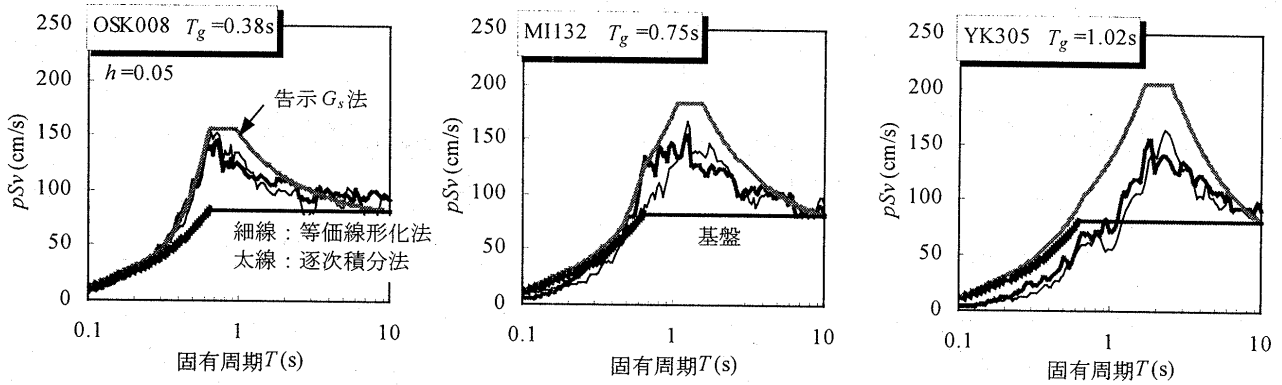


図 16 表層地盤増幅法による地表面スペクトル比較

F_h : 加速度低減率, G_s : 表層地盤増幅率 (3) 式, T_s : 免震層等価周期, T_g : 地盤周期, h_d : 免震層履歴系減衰定数, h_v : 免震層流体系減衰定数, k_s : 免震層等価剛性

図 14 には免震層を $\mu=0.05$, $T_i=3(s)$, $h_v=0\%$ で構成した場合の、減衰と表層地盤増幅を考慮した地震力の S_a-S_d 曲線及び免震層復元力特性を示す。この交点から応答値が求まる。復元材の剛性 k_t により定まる周期 T_t をパラメータとすれば、図 15 のように応答変位と応答せん断力係数の早見表が作成できる。

4. 表層地盤増幅精算法による応答比較

4.1 表層地盤増幅精算法

提案法の有効性を検証する為に、1次元多層重複反射解析を用いた等価線形化法¹¹⁾、1次元多質点時刻歴解析を用いた逐次積分法¹²⁾より表層地盤の応答解析を行う。両者による評価を以後精算法と呼ぶ。入力地震動は文献¹¹⁾に従って作成した工学的基盤スペクトルに適合する模擬地震波とし、継続時間 60 秒、ランダム位相にて主要動を 2.5~17.5 秒とした Jennings 型¹³⁾ の強度関数に適合する 20 波と、実地震位相として El centro 1940_NS, Taft 1952_EW, Hachinohe 1968_EW, Kobe(JMA)1995_NS の位相を採用した 4 波の計 24 波である。地盤物性のひずみ依存性は図 2 の値を R-O モデルで考慮して、等価線形化法での有効ひずみ換算係数も 0.65 とした。尚、解析は液状化を考慮しない全応力解析である。

4.2 地表面応答スペクトル比較

図 16 には地盤周期の異なる代表的な 3 サイトを選び出し、地表面地震動を擬似速度応答スペクトルの形で比較している。精算法 2 つはほぼ同形状で、免震周期帯では工学的基盤スペクトルに告示の G_s 値 (図 1) を乗じたもの (以下告示 G_s 法) が概ね精算法を上回

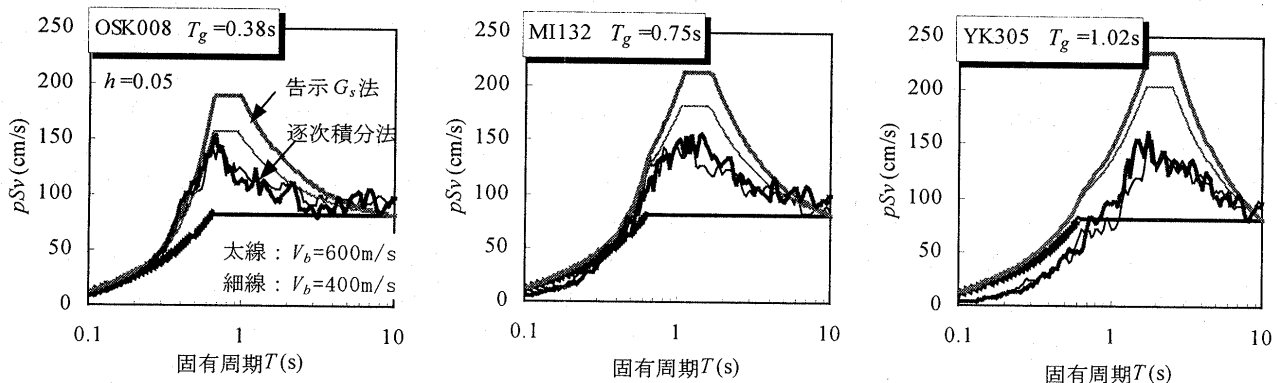


図 18 工学的基盤の剛性による地表面スペクトル比

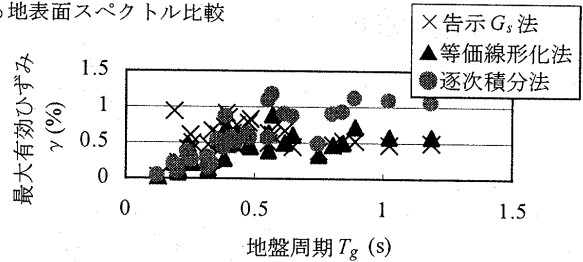


図 17 表層地盤増幅法による最大有効ひずみ比

っている。これは告示式の減衰の評価において、地震動の非定常性を考慮して 2 割低減している為であり、特にひずみが大きくなる軟弱地盤で応答を過大に評価している。

30 地点で行った各解析法での最大有効ひずみの結果を図 17 に示す。精算法は 24 波の応答の平均値である。逐次積分法は求めた最大ひずみの平均に 0.65 を乗じた値であるが、 $T_g > 0.5$ 秒の地盤において大きなひずみを生じている。このため軟弱地盤では剛性の低下と減衰の増加が共に大きくなるが、(2)式よりこのひずみ領域では減衰の効果の方が大きいことから、軟弱地盤においては等価線形化法に比べ山のピークが若干下がる傾向が現れている。

次に、工学的基盤の剛性が増幅率に与える影響を検討する。(2)式から工学的基盤の剛性が高い場合、例えばせん断波速度を $V_b=400m/s$ から $600m/s$ にした場合、波動インピーダンス比 α は 1/1.5 倍になり、 $h=0.15$ とすると増幅のピーク G_{s1} は 2 割ほど UP する。代表的な 3 サイトにおいて、同一条件下で逐次積分法を用いて解析した場合と合わせて図 18 に示す。告示 G_s 法は 2 割の増幅差が山の高さに現れているが、逐次積分法では波線に示すようにあまり増幅していない。これは工学的基盤からの増幅というよりも中間層間の増幅の影響が大きいことを示している。特に免震周期帯では基盤剛性の影響は小さいといえる。

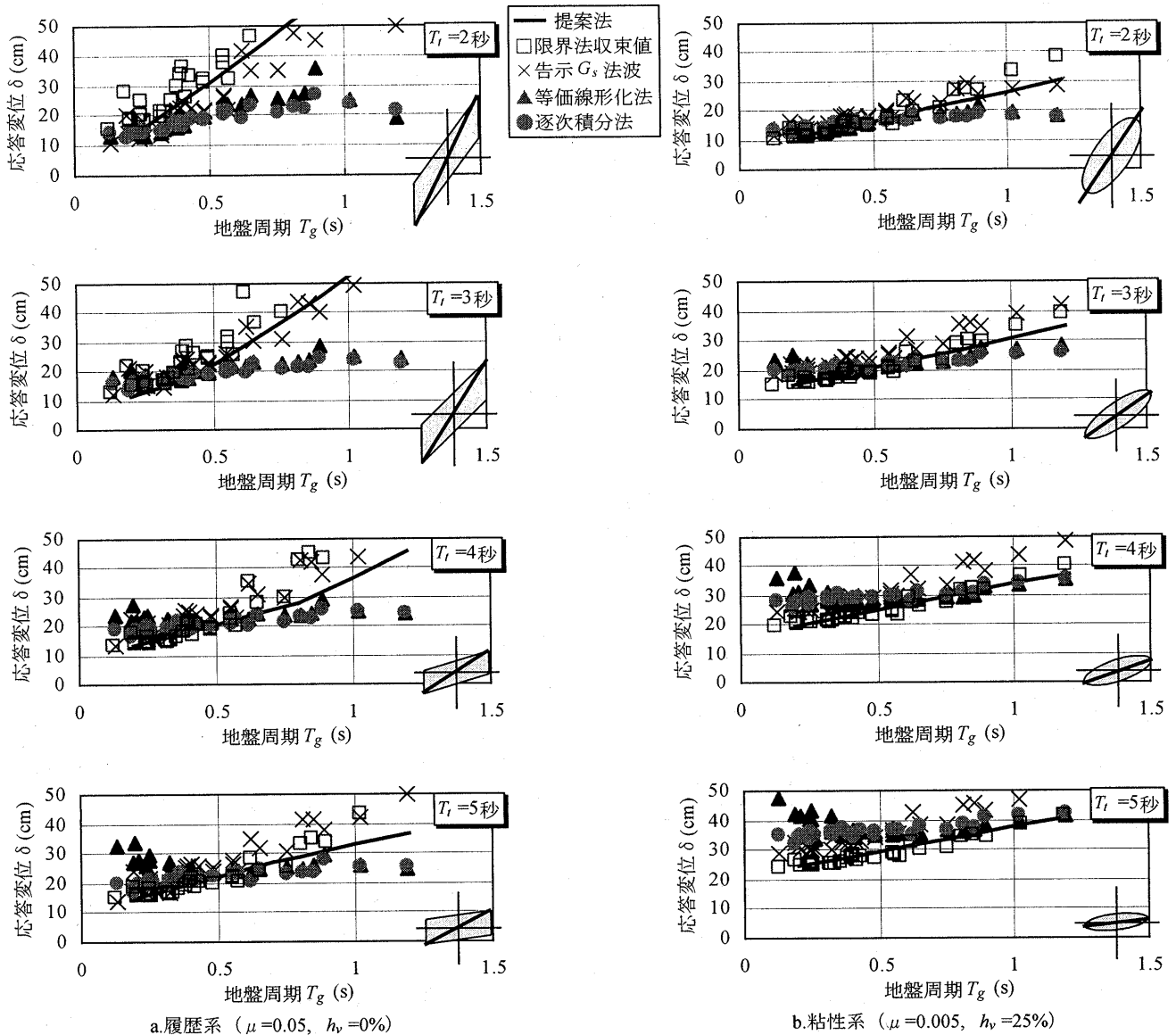


図19 表層地盤増幅法による応答変位比較

4.3 免震層の応答変位比較

戸建て免震設計での代表的な装置の組み合わせを免震層のモデルとして、提案法による免震応答値と、告示Gs値を用いて限界耐力法により収束計算で求めた免震応答値（限界法収束値）、及び精算法で求めた地表面地震波を入力波として1質点時刻歴応答解析より求めた免震応答値と比較する。図19aにはすべり履歴系の復元力（ $\mu=0.05$, $h_v=0\%$ ）、図19bには転がり粘性系の復元力（ $\mu=0.005$, $h_v=25\%$ ）の場合の応答変位を比較して示す。又、応答算定法による違いを見るため、告示Gs法で求めた地表面スペクトルに適合する模擬波を入力した場合の時刻歴応答値も×印で示している（告示Gs法波）。尚、時刻歴応答は24波の平均値である。

結果より、次の傾向が分かる。

- 1) 地盤周期が長くなると応答変位は大きくなるが、精算法時刻歴解析では第3種地盤でもそれほど顕著ではない
- 2) 等価線形化法と逐次積分法の差はほとんどない
- 3) 告示Gs法波は精算法を概ね上回る

- 4) ごく固い地盤を除いては、提案法は概ね限界法と精算法の中間に位置する。
- 5) 履歴系では接線周期 T_l が短くなるほど、提案法、限界法収束値及び告示Gs法波は応答が大きくなる。逆に粘性系では接線周期 T_l が長くなると提案式、限界法収束値は精算法を下回る場合がある。

1~4) では 4.2 で述べた地表面応答スペクトルの免震周期帯での傾向がそのまま現れていて、精算法によると免震応答は表層地盤増幅に対しそれほど敏感でない事が分かる。また 4) で提案法に比べ限界法収束値が大きいのは、履歴減衰の評価で地震動の非正常性を考慮して2割の低減をしている為であり、精算値と比べると少し過大評価となっている。5) では履歴系において接線周期が短くなると等価周期がさらに短くなることで、表層地盤増幅率 G_s 値が急激に増加するという告示増幅法の影響が現れている。また粘性系では線形+粘性減衰という事で等価線形化手法を用いた提案法は時刻歴解析結果と良く合っているが、周期5秒のように粘性減衰のせん断力負

担が大きい場合は、粘性減衰分を含んだ見かけの剛性が大きく、見かけの周期も短くなるはずであり、これが考慮されている時刻歴解析結果と差が出ているようである。

以上により、等価線形化法、逐次積分法を精算応答値と見れば、提案法は以下の適用条件を持って安全側の評価を与える。

- ・地盤周期 T_g が 0.5 秒以下では $T_g = 0.5$ と読み替える
- ・接線周期 T_l は 4 秒以下とする
- ・粘性減衰のせん断力負担が大きい場合はその影響を等価剛性に見こむ⁴⁾

5. まとめ

免震周期帯 (2~5 秒) における地盤周期と表層地盤増幅率との関係に着目して、地盤周期をパラメータとした簡易表層地盤増幅式を示し、これを組み込んだ応答スペクトルと免震層復元力特性とを用いて、戸建て免震住宅の応答早見表作成方法を提案した。又、比較検証として精算法での表層地盤増幅並びに時刻歴での免震応答解析を行い、その適用範囲を設定した。

提案した応答早見表を用いることで微動計測や例えば図 8 のように工学的基盤深さ等の関係から地盤周期が分かれば、図 20 のフローに沿って即座に免震のクライテリアである応答変位の推測がつき、免震化の判断、プラン配置、免震装置の選択などに役立てることができる。また提案した表層地盤増幅式は、免震の限界耐力法ルートで確認申請をする設計者及び審査官には増幅率収束計算結果の照合にも役立つものと思われる。

尚、今回の提案はあくまでも告示の限界耐力設計法に立脚したものであり、地盤特性、入力地震動などの設定が変化する場合はその影響を加味する必要がある。例えば、地盤の減衰特性が文献¹⁴⁾¹⁵⁾のように告示 (図 2) を下回る土質の場合、また工学的基盤で定められている入力地震動よりもその地域の想定地震動が大きい場合や、工学的基盤より深い地盤構造が 2 秒を越える周期を持つ場合などには^{例えば 16)}、精算法によりその影響を考慮し応答の割増をすることが必要であろう。

参考文献

- 1) 国土交通省住宅局建築指導課, 国土交通省建築研究所, 日本建築センター, 建築研究振興協会: 2001 年度版 限界耐力計算法の計算例とその解説, pp.163~164, 270~275, 2001.3
- 2) 国土交通省建築研究所: 改正建築基準法の構造関係規定の技術的背景, ぎょうせい, p.62, 2001.3
- 3) 国土交通省住宅局建築指導課, 建築研究所, 日本建築行政会議, 日本免震構造協会, 日本建築センター: 免震建築物の技術基準解説及び計算例とその解説, 2001.5
- 4) 建築研究所, 日本免震構造協会, 建築研究振興協会: 改正建築基準法の免震関係規定の技術的背景, ぎょうせい, pp.32~34, p.40, 2001.8
- 5) 花井 勉, 高橋武宏, 吉井邦章, 皆川隆之, 深堀美英, 三宅辰哉: 戸建て免震住宅の簡易応答評価法について その 1. 地盤周期を用いた表層地盤増幅式, 日本建築学会大会学術講演梗概集, B-2, pp.727~728, 2001.9
- 6) 吉井邦章, 花井 勉, 高橋武宏, 皆川隆之, 深堀美英, 三宅辰哉: 戸建て免震住宅の簡易応答評価法について その 2. 応答早見表とその適用範囲, 日本建築学会大会学術講演梗概集, B-2, pp.729~730, 2001.9
- 7) 防災科学技術研究所: K-NET
- 8) 佐竹次男, 北中将博: 地質と場所打ち杭の設計, 建築技術, 1990
- 9) 柴田明德: 最新耐震構造解析, 森北出版, pp.129~135, 1981.6

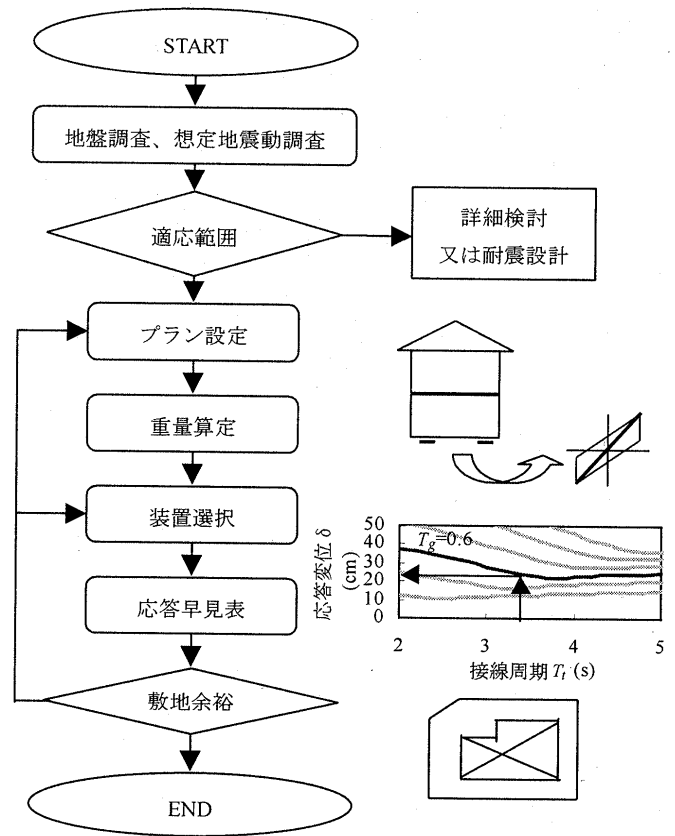


図 20 簡易評価法を用いた免震化判定フロー

- 10) 花井 勉, 岡村光裕, 竹内貞光, 皆川隆之, 深堀美英, 三宅辰哉: 戸建て免震住宅の実用化設計手法について その 3. 住宅用免震装置の地震、風応答比較, 日本建築学会大会学術講演梗概集, B-2, pp.707~708, 2000.9
- 11) 吉田望, 末富岩雄: DYNEQ: 等価線形法に基づく水平成層地盤の地震応答解析プログラム, 佐藤工業(株)技術研究所報, pp.61-70, 1996
- 12) 吉田望: YUSAYUSA-2: 1 次元有効応力地震応答解析プログラム, 佐藤工業(株)中央技術研究所, 1995.10
- 13) 建設省建築研究所, 日本建築センター: 設計用入力地震動作成手法技術指針 (案) 本文解説編, pp.59~62, 1992.4
- 14) 内田明彦, 畑中宗憲, 時松孝次, 地盤材料の繰返し変形特性の定式化, 日本建築学会構造系論文集, No.544, pp.69-76, 2001.6
- 15) 福武毅芳, 時松孝次, 地盤の応答の評価—地盤の多次元非線型応答と残留変形, 第 5 回構造物と地盤の動的相互作用シンポジウム, 日本建築学会, pp.51~85, 1998.5
- 16) 福和伸夫, 飛田 潤, 中野 優, 高橋広人, 飯田正憲, 石田理永: 名古屋市域の地盤・強震動・微動データのコンパイルと地盤震動性状区分, 日本建築学会技術報告集第 10 号, pp.41~46, 2000.6

(2001年9月28日原稿受理, 2002年1月16日採用決定)