

# 限界耐力計算における地盤増幅係数Gsに関する研究 (その1) 略算式の提案

正会員 吉川正隆<sup>\*1</sup> 同 林 康裕<sup>\*2</sup>  
同 鬼丸貞友<sup>\*3</sup> 同 森井雄史<sup>\*4</sup>

限界耐力計算 地盤増幅率 精算法  
略算式 工学的基盤 せん断歪み

## 1. はじめに

2000年6月に建築基準法に導入された限界耐力計算法は、建設サイトの表層地盤の地震動増幅特性を設計に反映できる様になっている。本論では、限界耐力計算法の精算法(平12建告第1457号第7.一)で算定される地盤増幅係数 $G_s$ について考察するとともに、その適切な運用を目指した提案を行う事を目的としている。(その1)では、2層地盤を対象とした精算法による計算結果を基にその略算式を構築するとともに、工学的基盤設定位置の影響について分析する。(その2)では、大阪府下の特徴的な実地盤を対象に、工学的基盤位置設定法について検討する。

## 2. 精算法の略算式

精算法では、まず、工学的基盤以浅の表層地盤を等価線形解析して1層化し、地盤全体を2層地盤に置換する。そして1次、2次固有振動数 $T_1, T_2(=T_1/3)$ における増幅率 $G_{s1}, G_{s2}$ を用いて $G_s(T)$ を次式に従って算定する。

$$G_s(T) = G_{s2}(T/0.8T_2) \quad (T < 0.8T_2)$$

$$G_s(T) = G_{s2} + (G_{s1} - G_{s2})(T - 0.8T_2) / \{0.8(T_1 - T_2)\} \quad (0.8T_2 < T < 0.8T_1)$$

$$G_s(T) = G_{s1} \quad (0.8T_1 < T < 1.2T_1)$$

$$G_s(T) = G_{s1} - (G_{s1} - 1)(1/1.2T_1 - 1/T) / (1/1.2T_1 - 0.1) \quad (1.2T_1 < T)$$

しかし、実地盤に適用する場合には、地盤構造の複雑さや計算手順の複雑さ等によって、 $T_1, G_{s1}, G_{s2}$ がどのような値になるのか予測しにくい。そこで、 $T_1, G_{s1}, G_{s2}$ を弾性時の表層地盤の1次固有周期 $T_{10}$ とインピーダンス比 $\alpha_0 (= (\rho_0 V_{s0}) / (\rho_B V_{sB}))$ を用いて略算することを考える。そこでまず、砂質土あるいは粘性土で構成される様な表層地盤と工学的基盤( $V_{sB} = 400\text{m/s}$ )より成る2層地盤構造を考え(図1参照)、精算法によって $T_1, G_{s1}, G_{s2}$ を算定し、 $\alpha_0$ に関する直線回帰式を求めた。数値解析パラメータは、 $\alpha_0 = 0.3, 0.4, 0.6, T_{10} = 0.25, 0.5, 0.75, 1.0\text{s}$ とし、表層地盤のせん断波速度 $V_{s0}$ と工学的基盤設定位置 $H(=H_B$ :表層地盤厚)は $\alpha_0, T_{10}$ より設定した。なお、表層地盤の分割数はその影響をパラメータ解析を行って検討した上で、5

分割して計算を行っている。損傷限界および安全限界に対応する解析結果を図2,3にシンボルで、 $\alpha_0$ で直線回帰した結果も併せて同図に示している。また、得られた回帰式を表1に示す。

図4,5には $G_s(T)$ の略算例を示す。工学的基盤の変位応答スペクトルは周期 $T_{10}$ に比例し、 $T_{10}$ が表層地盤厚とも比例するために、図6に示した様に、 $\alpha_0$ が同じであればせん断歪みは大きく変わらない。このために、表層地盤の剛性低下曲線や減衰増大曲線は、地盤のせん断歪みの対数と関係づけられるから、 $T_{10}$ の差は影響しなくなるため、2層地盤の場合の略算精度は非常に高い(図4)。また、(2)式からも容易に分かる様に、 $\alpha_0$ が大きくなるにつれて、表層地盤の増幅率や固有周期の伸び率は小さくなる(図2,3)。さらに、土質種別の差は、インピーダンス $\alpha_0$ の影響に比べれば大きくない(図5)。

## 3. 工学的基盤の設定位置の影響

2層地盤を対象に工学基盤設定位置 $H(=H_B)$ の影響について調べる。 $V_{s0} = 120\text{m/s}, H_B = 15\text{m}$ の2層地盤を想定し、 $H = 15 \sim 30\text{m}$ の範囲で設定した。精算法により得られた $G_s(T)$ と工学的基盤以浅の最大せん断歪み分布をそれぞれ図7(a), (b)に示す。まず、工学的基盤を深く設定する程、 $G_s(T)$ は大きく低下している。これは、図7(b)に示した様に、工学的基盤を深くする程 $V_{sB} = 400\text{m/s}$ の層の影響を表層地盤に含めるために $\alpha_0$ を大きくしていくためであると定性的に理解できる。ただし、最大せん断歪みの分布を見ると、工学的基盤設定位置の影響は大きくない。精算法により $G_s(T)$ を算定する際には、多層地盤を最終的に2層地盤で近似して算定している。そこで、当初設定した工学的基盤位置とは関係なく、収束計算を行って得られたせん断歪みが大きな15m以浅を表層地盤とする2層地盤として $G_s(T)$ を算定した結果を図8に示す。同図より、工学的基盤を適切に再設定する事により、 $G_s(T)$ 算定結果の任意性を大幅に取り除ける事が分かる。

## 4. まとめ

2層地盤を対象として、限界耐力計算における地盤増幅係数の精算法の略算式を提示するとともに、精算法によって算定される $G_s(T)$ の任意性を低減するための工学的基盤設定法について考察を行った。

(参考文献)

- 国土交通省住宅局建築指導課他編集：2001年版限界耐力計算法の計算例とその解説、2001.3.
- 国土交通省建築研究所編著：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、2001.3.

表1 精算法の略算式

	粘性土	砂質土
損傷限界	$G_{s1}(\alpha_0) = 3.4 - 3.0\alpha_0$ $G_{s2}(\alpha_0) = 1.5 - 0.5\alpha_0$ $T_1(\alpha_0) = (1.4 - 0.5\alpha_0)T_{10}$	$G_{s1}(\alpha_0) = 3.0 - 2.4\alpha_0$ $G_{s2}(\alpha_0) = 1.2 - 0.2\alpha_0$ $T_1(\alpha_0) = (1.6 - 0.7\alpha_0)T_{10}$
安全限界	$G_{s1}(\alpha_0) = 3.0 - 2.4\alpha_0$ $G_{s2}(\alpha_0) = 1.2 - 0.3\alpha_0$ $T_1(\alpha_0) = (2.0 - 1.0\alpha_0)T_{10}$	$G_{s1}(\alpha_0) = 2.8 - 2.1\alpha_0$ $G_{s2}(\alpha_0) = 1.0 - 0.3\alpha_0$ $T_1(\alpha_0) = (2.4 - 1.3\alpha_0)T_{10}$

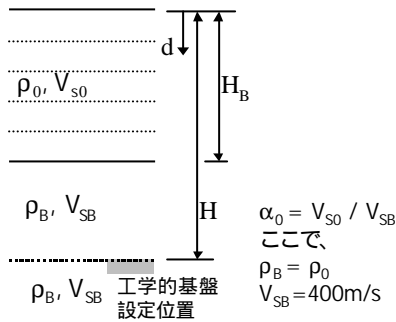


図1 検討対象地盤モデル(2層地盤)

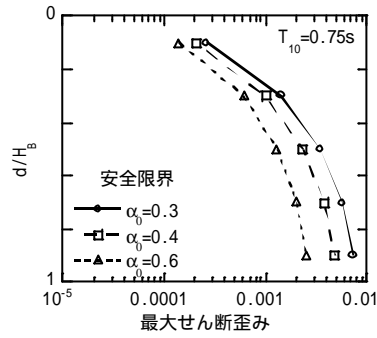
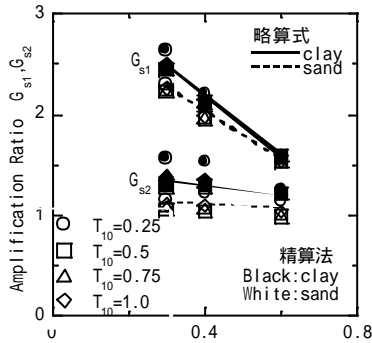
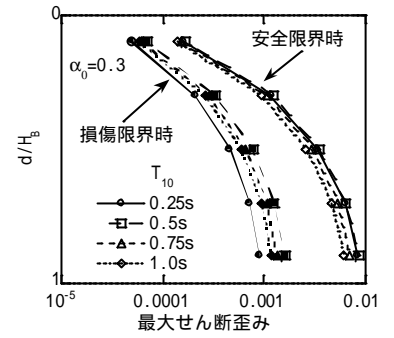
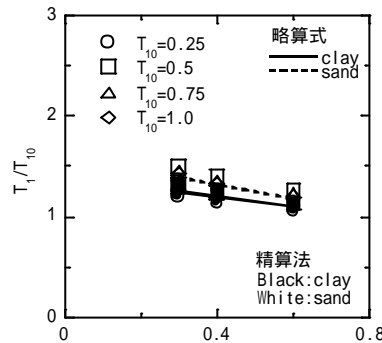


図6 表層地盤の最大せん断歪み ( $H=H_B$ )



(a) 地盤増幅率  $G_{s1}, G_{s2}$



(b) 周期の伸び率  $T_1/T_{10}$

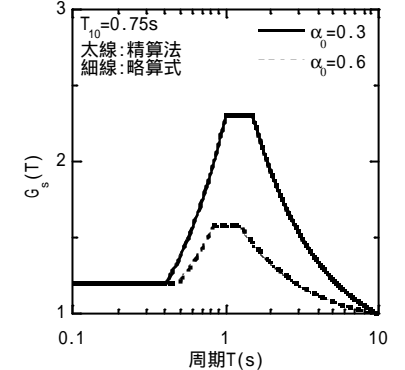
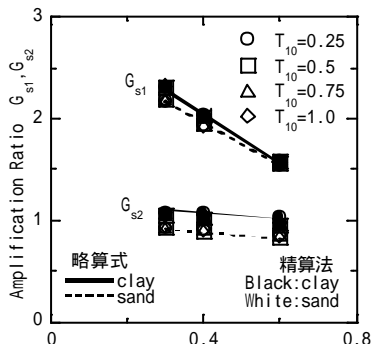
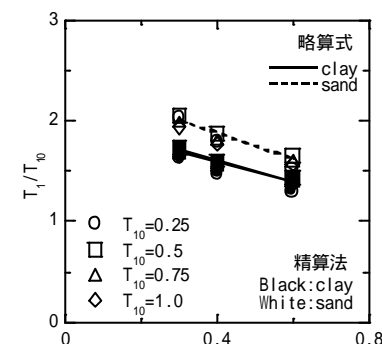


図4 精算法とその略算法による  $G_s$  評価の比較 (安全限界時 ( $H=H_B$ ))



(a) 地盤増幅率  $G_{s1}, G_{s2}$



(b) 周期の伸び率  $T_1/T_{10}$

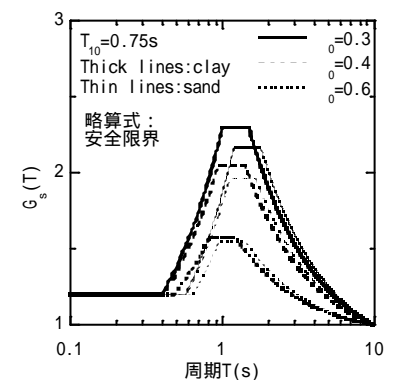
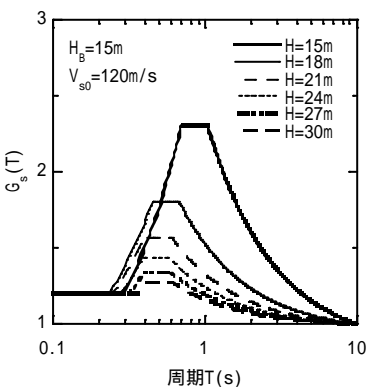
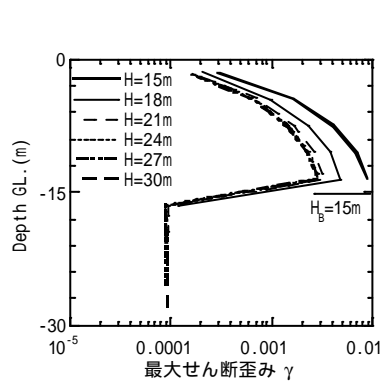


図5 砂質土と粘性土の比較 (安全限界時 ( $H=H_B$ ))



(a) 地盤増幅係数



(b) 最大せん断歪み

図7 工学的基盤設定位置の影響 (安全限界、精算法、粘性土 ( $H>H_B$ ))

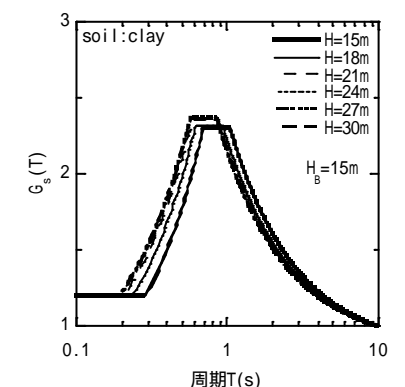


図8 最終収束結果を基に2層化を  $H_B=15\text{m}$  で行った場合 ( $H>H_B$ )

\*1 東京大学大学院工学系研究科 (京大工学部卒)  
 \*2 京大防災研究所 助教授・工博  
 \*3 竹中工務店技術研究所 工博  
 \*4 京大大学院工学系研究科

\*1 Graduate School of Engineering, Univ. of Tokyo  
 \*2 Associate Prof., Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University  
 \*3 Research & Development Institute, Takenaka Corporation  
 \*4 Graduate School of Engineering, Kyoto University

# 限界耐力計算における地盤増幅係数Gsに関する研究 (その2) 実地盤への適用例

正会員 鬼丸貞友<sup>\*1</sup> 同 林 康裕<sup>\*2</sup>  
同 吉川正隆<sup>\*3</sup> 同 森井雄史<sup>\*4</sup>

限界耐力計算 地盤増幅率 精算法  
最大せん断歪み 1次元波動論 工学的基盤

## 1. はじめに

本論では、(その1)に引き続き、特徴的なS波速度構造を有する大阪府下の4地点を対象に、工学的基盤の設定が地盤増幅係数 $G_s$ に及ぼす影響について分析する。検討対象のS波速度構造を図1に示すが、地点Aは東大阪市周辺、地点Bは住之江区南港の埋立地、地点Cは淀川区の淀川沿い、地点Dは中央区の上町台地付近に位置している。

## 2. A地点の地盤増幅係数 $G_s$

(その1)で提案した $G_s$ 精算法の略算式からも明らかな様に、インピーダンス比 $\alpha_0$ が小さい程 $G_s$ が大きくなる。そこで、A地点の地盤について、工学的基盤設定位置Hを変化させた時の $\alpha_0$ 、地盤の1次固有周期 $T_1$ や増幅率 $G_{s1}$ の変化を図2(a),(b)に示す。 $\alpha_0$ が極小値となっているH=16m, 40m, 68.5mを工学的基盤として精算法で算定した $G_s$ を図3(a)に示す。せん断波速度が概ね400m/sに等しい地層が連続して出現するH=40m, 68.5mを工学的基盤とした場合の $G_s$ は、H=16mとした場合に比べて大幅に低減されている。しかし、3ケースの最大せん断歪みの分布を図2(c)に示すが、工学的基盤の設定位置を変えてもそれ以浅の最大せん断歪みの分布には大きな変化が見られない。従って、 $G_s$ の差は、収束計算終了後、最終的に2層化地盤に置換して評価する際に生じたと考えられる。

一方、略算式を実地盤に適用した場合、2層地盤に適用した(その1)図4に比べて、精算法の近似精度が低下している(図3(b))。これは、2層地盤と実地盤とで最大せん断歪み分布形状が異なっているためと考えられる。また、略算式を適用する場合に、表層地盤の土質種別を砂質土と粘性土のどちらと考えるかにより $G_s$ 算定結果に差が生ずる。土質種別の差は、増幅率 $G_{s1}$ よりも地盤1次固有周期 $T_1$ で大きくなってはいるが、工学的基盤設定位置Hの影響に比べれば大きくないと言える(図2(a),(b)、図3(b))。

## 3. 時刻歴応答解析との比較

ここでは、解放工学的基盤で定義する入力地震動の加速度応答スペクトル $S_{a0}(T)$ (減衰定数 $h=0.05$ )に適合するように模擬地震波を作成し、時刻歴応答解析によって増幅率を算定した。地震波は包絡関数をJennings型(継続時間120秒)とし、位相をランダムに変化させて10波作成し、増幅率を平均値によって評価した。ただし、時刻歴応答解析で設定した工学的基盤位置は、検討対象地盤(図1)の最深部、あるいは $\alpha_0$ が最小値となる位置である。

まず、A地点の地盤について、解放工学的基盤面に対す

る地表の加速度応答スペクトル比 $S_a(T)/S_{a0}(T)$ と伝達関数 $G(T)$ を算定し、10波の平均を太線で、平均+標準偏差を細線で図4に示す。両者の1次ピーク周期や振幅はほぼ一致しており、伝達関数のばらつきも非常に小さい。そこで、以下では平均伝達関数を用いて検討を行う。

A~D地点の地盤について、精算法による $G_s(T)$ と平均伝達関数 $G(T)$ を比較して図5に示す。なお、簡略法による $G_s(T)$ も参考のために同図中に示している。まず、A地点(図5(a))で工学的基盤位置をH=16mとした場合について見ると、精算法による $G_s(T)$ は伝達関数 $G(T)$ を包絡している。しかし、H=100mとした $G(T)$ はH=16mの場合の $G(T)$ よりもピーク周期が長周期側に移行し、振幅も増大している。さらに、図3との比較からは、精算法・略算法を問わず工学的基盤位置をH=16mとした方が、より深く設定した場合に比べて時刻歴応答解析による結果に近い。この結果は、せん断波速度が300m/s程度の地層であっても、インピーダンス比 $\alpha_0$ が十分小さければ、その上面を工学的基盤と設定した方が良い場合がある事を意味している。また、図5(b),(c)のB,C地点の地盤についても、 $\alpha_0$ が最小となる深さを工学的基盤と設定した事で、概ね1次元波動論による結果を包絡した結果が精算法により得られている。一方、図5(d)のD地点の場合にも、工学的基盤の設定位置が同じであれば、伝達関数 $G(T)$ と精算法による $G_s(T)$ は概ね対応している。しかし、工学的基盤の設定位置により、時刻歴応答解析による伝達関数 $G(T)$ 自体が大きく変化している。工学的基盤の意味を考える上で非常に興味深い。

## 4. $G_s$ 算定のための工学的基盤の設定法

以上の検討結果から、工学的基盤の設定方法として、せん断波速度400m/sの上面とする以外に、以下の2通りの方法を提案する。a)[精算法あるいは略算式]インピーダンス比 $\alpha_0$ が極小値となる位置とする。b)[精算法]工学的基盤を深めに設定した場合には、最大せん断歪み $\gamma$ の収束計算を行った後、 $\gamma$ の分布を基に工学的基盤位置を再設定して2層化する。これらの設定方法は、実地盤状況に応じて併用して検討される事が望ましい。

## 5. まとめ

本研究では、限界耐力計算における地盤増幅係数 $G_s$ を算定する上で、工学的基盤の設定が重要である事を指摘し、2種類の設定方法の提案を行った。実務においても、これらの方法が併用・検討されることで、より適切な地震荷重の設定が行われていく事を期待したい。

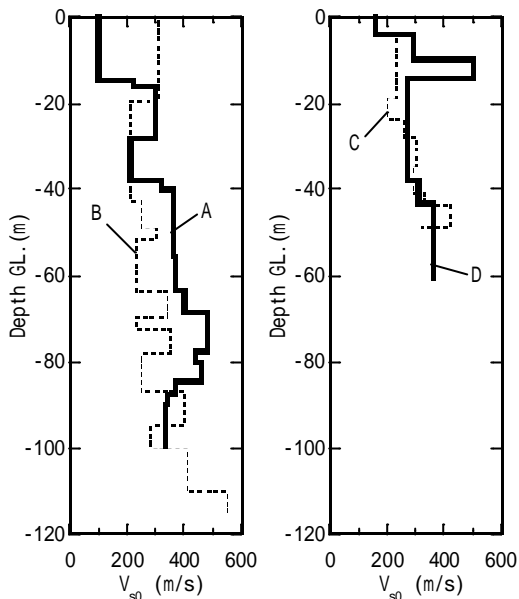


図1 検討対象地点の初期せん断波速度分布

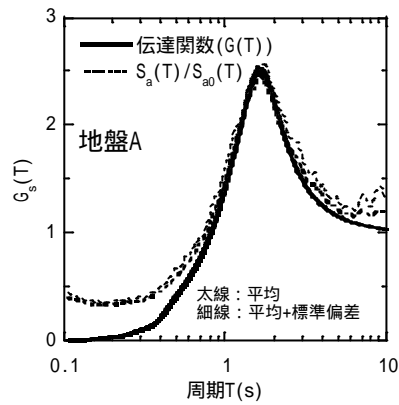
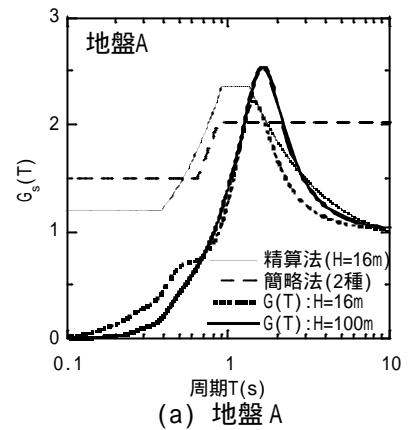
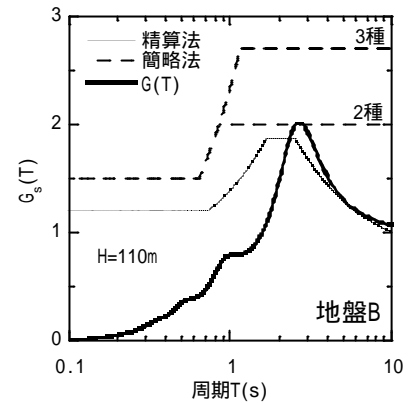


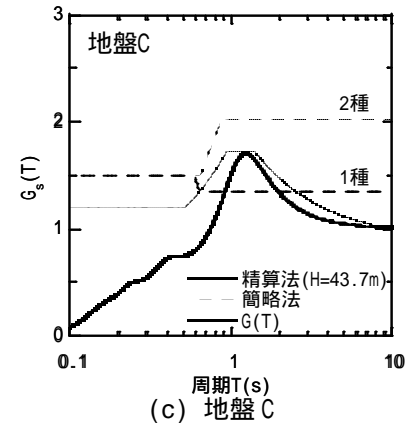
図4 一次元波動論による伝達関数と加速度応答スペクトル比の比較 (地盤A, 10波平均, H=100m)



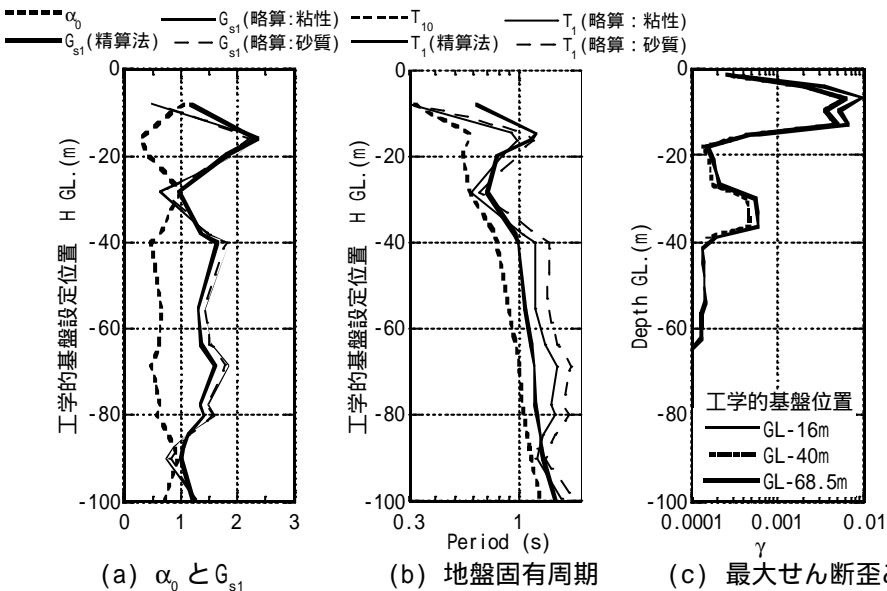
(a) 地盤A



(b) 地盤B

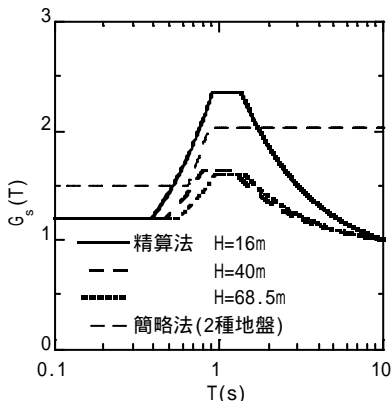


(c) 地盤C

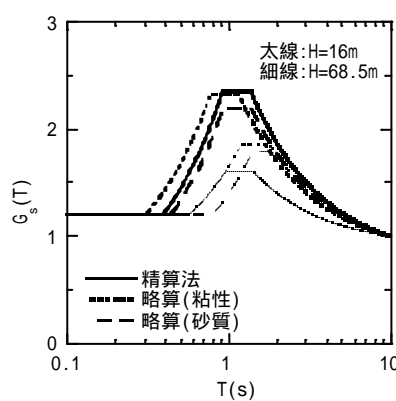


(a)  $\alpha_0$  と  $G_{s1}$  (b) 地盤固有周期 (c) 最大せん断歪み  $\gamma$

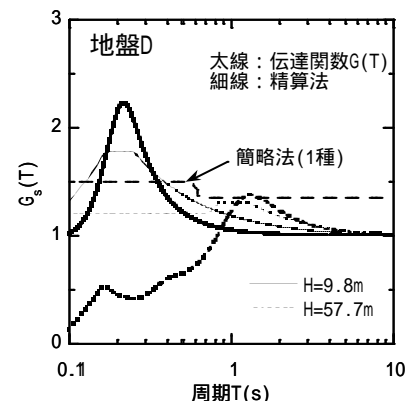
図2 工学的基盤の設定位置の影響(地盤A)



(a) 精算法による評価



(b) 精算法と略算式の比較



(d) 地盤D

図3 増幅特性  $G_s$  評価に及ぼす工学的基盤設定位置の影響(地盤A)

図5 1次元波動論との比較

<sup>1</sup> 竹中工務店技術研究所 工博

<sup>2</sup> 京都大学防災研究所 助教授・工博

<sup>3</sup> 東京大学大学院工学系研究科(京都工学部卒)

<sup>4</sup> 京都大学大学院工学研究科

<sup>1</sup> Research & Development Institute, Takenaka Corporation

<sup>2</sup> Associate Prof., Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

<sup>3</sup> Graduate School of Engineering, Univ. of Tokyo

<sup>4</sup> Graduate School of Engineering, Kyoto University