

地中地震記録に基づく地盤の地震応答解析

昭和51年8月

建設省土木研究所
振動研究室

地中地震記録に基づく地盤の地震応答解析

地震防災部振動研究室室長 岩崎 敏 男

研究員 若 林 進

研究員 龍 岡 文 夫

目 次

§ 1. 川崎市浮島公園での記録の解析	1
§ 2. モデル地盤での応答解析	4
§ 3. ま と め	6
謝 辞	7

§ 1. 川崎市浮島公園での記録の解析

1-1 序 論

強震時の地盤の振動特性を解析的に推測するためには、まず地中地震計での弱震記録を解析的に追跡することが必要である。この後に、土の変形特性の非線型性を考慮した解析によって強震時の地盤の振動特性の予測が可能になろう。建設省では既に各地で地中地震計を設置し記録を収集し、表層地盤の違いによって地震動特性が異ってくることを調査してきた。¹⁾ 今回は、川崎市浮島公園(図-1)で地中地震計で記録された2つの地震による地震動の水平成分を重複反射法と集中荷重法によって解析し実測との比較を行った。

1-2 解析対象の地震・地盤条件・解析モデル

八丈島東方沖地震(1972.12.4), 伊豆半島沖地震(1974.5.9)での表面波の影響の少ない記録されはじめてからの20秒間分のE-W, N-S二成分を解析対象とした(図-2)。図-3に地中地震計設置地点の地盤構成を示す。GL-5.2mが沖積層と洪積層の境界である。洪積層の下位の第3紀泥岩層はGL-15.8mに出る。地中地震計はGL 0, -2.7, -6.7, -12.7mに設置されている。重複反射法Aモデルと集中荷重法モデルの構成は同一とし、重複反射法Bモデルは、表層-9mまでのGの値のみをやや細かく分けたものである。 T_s は土質調査に基づいて決めた。 $\tau = 10^{-6}$ での G_0 の値はPS検層での実測 V_s から決めるのが最良であるが、この地点では実施されていないので、隣接の千鳥町での実測から得られた図-4に示す V_s (m/sec) = $6.8 N^{0.45}$ の関係を用いて、N値から V_s を決めた。解析は重複反射法、集中荷重法のいずれも土の非線型を等価線型法で考慮した線型解析であり、発生した最大歪の0.7倍の歪の大きさに適合したG, hの値で計算がなされるまで繰返し計算を行った。G/ $G_0 \sim \tau$, h $\sim \tau$ 曲線は図-5に示すものを用いた。Iは扇島沖積粘土での実測値,³⁾ II, III, Vは土木研究所での実測値,⁴⁾ NはSeed and Idrissによった。いずれの曲線もデータの集積と共に改善されるべき曲線である。尚、他の埋立砂、沖積砂のG/ $G_0 \sim \tau$, h $\sim \tau$ 曲線は、豊浦砂のとさほど変わらないことは確かめられている。プログラムは文献5), 6)によった。入力は、-12.7mでの実測記録及び地表での記録をそのまま用いた。ただし、時間きざみは2/100秒である。

1-3 -12.7mから入力した場合の解析結果

まず、重複反射法と集中荷重法で-12.7mから入力した場合の解析結果を示す。図-6に最大加速度 α_{max} の深さ方向への分布を示す。沖積層での最大加速度値の増幅の様子はいずれの解析法でもよく追跡されているが、全般的には重複反射法の方が実測との一致度はよい様である。この時に生じた歪レベルは図-7に示すように洪積層で $2 \times 10^{-5} \sim 5 \times 10^{-5}$, 沖積粘土質で $10^{-4} \sim 3 \times 10^{-4}$, 表層砂層で $2 \times 10^{-5} \sim 6 \times 10^{-5}$ であり、土の非線型性は殆んど発揮されていない。図-8~11に実測と解析による応答スペクトル(h=5%)を示す。実測記録のスペクトルの形は深さ毎に変化してゆくが、解析結果もこれをよく追跡していると言えよう。特に、沖積粘土層の固有周期1.9秒は

いずれの場合での地表での応答スペクトルであらわれているが、解析的にもこれと同様な結果が得られている。全般的に見ると、重複反射法の方が集中荷重法よりも実測との一致度はよい様である。特に集中荷重法では特定の周期でのSAがあまりにも過大になる傾向がある。又、地表での応答は沖積粘土層の特質によって左右されるから、地表部のGのとり方の異なる重複反射法のA、Bモデルでの解析結果に差が出なかった。図-8~1.1に示すように、地表での地震動に対する応答スペクトル値は、伊豆半島沖地震では長周期成分で実測地震動に対するスペクトル値の方が解析地震動に対するスペクトル値よりも大きく、又、八丈島東方沖地震においては、その逆で、短周期成分において、実測地表地震動に対するスペクトル値の方が解析地震動に対するスペクトル値よりも大きくなっている。即ち、地表地震動で、八丈島東方地震では短周期成分がより卓越している。そして、解析ではこのことを、必ずしも追跡し切れていない。このことは、実際の地震動は、たとえ地震動記録の初期の部分についても、セン断水平振動モデルで追跡しきれない部分があることを示している。

図-12に八丈島東方沖地震EW成分の場合での各地層間での実測と、重複反射法、集中荷重法で求めた増幅度を示す。-1.27mと-6.7m間の増幅度は解析と実測の一致度はそれほど悪くはないが、-1.27m~-2.7m間、-1.27m~0m間の短周期での一致度はよくない。重複反射法、集中荷重法での増幅度にも違いが見られ、後者での短周期での増幅度が過小であり、長周期での増幅度が過大である。これは減衰として重複反射法では(1)式に示すように履歴減衰を用いているのに対して、集中質量法では(2)式に示すように粘性減衰を用いているのが1つの原因であろう。

$$\text{・重複反射法の基礎方程式} \quad \rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = G(1+i \cdot 2h) \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \quad (i^2 = -1) \quad (1)$$

$$\text{・集中荷重法の基礎方程式} \quad \rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = G \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \beta \frac{\partial^3 u}{\partial t \partial x^2} \quad (2)$$

ここで u は水平変位量、 h は履歴減衰定数、 $\beta = 2h\sqrt{G\rho} \cdot h_i$ (h_i は要素厚)は粘性減衰係数である。 $\beta \frac{\partial^3 u}{\partial t \partial x^2}$ は歪速度に比例して大きくなるから、短周期成分に対して集中荷重法では粘性減衰が大きく効きすぎるのであろう。従って両解析法での差異は、歪が大きくなり減衰の値が大きくなる強震時の解析では更に大きくなるであろう。以上示したように、大筋では解析でもって、実測された地盤の水平動を追跡できることが分った。集中荷重法では土の変形特性の時間的変化を逐時考慮しながら計算できるという原理的な利点があり、重複反射法では計算は時間領域では行えず全て周波数領域で行うため、変形特性の時間的変化を取り入れられないという短所がある。しかし、今回の解析結果では重複反射法の方が実測とよく合致した結果を与えた。

1-4 地表から入力した場合の解析結果

図-3に示す解析モデルを用いて、重複反射法でもって、地表から入力した結果と、実測との比較を、図-13(最大加速度値)、図-14~1.7(応答スペクトル)に示す。図に示すように、八丈島東方沖地震では、解析結果は地中において、実測よりはるかに大きな最大加速度値を与えている。これは、地表記録に短周期成分がきわめて卓越しており、解析において、この地表の短周期成分を生じるための地中地震動における短周期成分が大きくなり、これが地中部における過大な最大加速度値を生じせしめているためである。図-13(c)に八丈島東方沖地震NS成分において、地

表での実測地震動記録から、10 Hz以上をカットしたものを入力した場合、2.5 Hz以上をカットしたものを入力した場合での最大加速度分布を示す。予想した通り、高周波成分をカットしたものを入力した場合の方が、地中部において実測値とよく一致するようになる。図-14~17の応答スペクトルを見ると地中部における解析による応答スペクトルは、八丈島東方沖地震では短周期成分で、深い所におけるほどきわめて過大な値となっている。これは、-127 mの実測を入力した時、地表での解析による応答スペクトルが短周期成分において実測より過小な値となっていたことと対応するものである。全般的に $T > 0.5$ 秒においては、解析と実測とでやや一致が見られる。一方、伊豆半島沖地震においては、八丈島東方沖地震よりも、解析と実測との一致度がよい。ただ、長周期成分では深い所ほど解析による応答スペクトル値が実測によるものより大きくなっている。これは、-127 mから入力した場合で地表での解析による応答スペクトルが長周期成分で、実測におけるものよりも過小であることに対応することである。

以上示したように、解析において、地中から入力した時に比べて地表から入力した方が、実測との一致度は悪い様である。

1-5 最大加速度を拡大して入力した場合

重複反射法及び集中荷重法で八丈島東方沖地震E-W成分(-127 m)を、最大加速度を100 galに拡大したものを地震入力として計算した。図-18に最大加速度分布、図-7に解析において得られた最大セン断歪の値を示す。実測波形をそのまま用いた場合は、地表最大加速度と-127 mでの最大加速度の比 α_S/α_B は重複反射法で2.4、集中荷重法で3.5、実測の α_S/α_B は3.3であるが、-127 mでの最大加速度を100 galとした場合は、 α_S/α_B は重複反射法で1.3に集中質量法で2.1に減少している。これは、図-7に示すように沖積粘土層に 5×10^{-3} 程度の大きな歪が発生しており、土の非線型の性質のため、Gが著しく減少し、沖積粘土層に変形が集中したためと減衰の値が大きくなったため応答が減少したものと思われる。又、A、Bモデルで差は認められなかった。これは、表層砂層の応答が、表層砂層自身の特性よりも、その下の沖積粘土層の特性によって支配されているためであろう。図-19に八丈島東方沖地震でのE-W成分を-127 mで最大加速度を100 galとして重複反射法Aモデルと集中荷重法で計算した応答スペクトル、図-20に同じく増幅度を示す。入力加速度が大きくなると、卓越周期は長い方に、卓越振動数は小さい方にずれ、増幅度は落ちている。これは、地盤内に大きな歪が発生すると、Gは減少し、減衰が増加するためである。この性質は、実測された弱震記録から、その地点での強震時の地盤振動特性を推測するためには、基盤での地震入力そのものの変化と同時に考慮しなければならない性質と言えよう。

又、重複反射法と集中荷重法の違いは、実測波そのままを-127 mに入力した場合に比べて、大きくなっていることが注目される。これは前にも述べた様に、減衰の考え方が両解析法で異なっていることが1つの原因として考えられる。増幅度を見ても、今回の場合、減衰そのものの値が大きくなっているため両解析法での減衰の考え方の違いの影響が大きくなっているから、両解析法での値が大きく異ってきている。特に長周期成分で集中荷重法での増幅度は、重複反射法より相当大きくなっているのは注目される。

§ 2. モデル地盤での応答解析

図-21に示してあるような深さ30mの地下水面が地表にある一様な砂地盤を想定し、 G 、 h の深さ方向の分布、及び G 、 h の歪依存性が異なる4つのモデルについて G 、 h の歪依存性の応答結果に与える影響を検討した。砂地盤は12層に分割して解析した。基盤の G は十分に大きな値をとれば、その値の変化は結果にほとんど影響しないことが分かったので、 $G=1.45 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ とした。4つのモデルは次の通りである。

Aモデル… G 、 h は拘束圧(深さ)によらず一定で、歪レベルによらない。即ち、非線型性を考慮しない。

Bモデル… G は、拘束圧により変化し、(3)式によって決める。

$$G = 900 \frac{(21.7 - e)^2}{1 + e} p'^{0.38}, \quad p' = \frac{1}{3} (\sigma'_1 + \sigma'_2 + \sigma'_3) \quad (3)$$

(kg/cm²) (kg/cm²)

h は、拘束圧によらず一定。歪レベルによらない。即ち、 G 、 h に非線型性を考慮しない。(3)式は、シルト分を含まず、粒度の比較的揃っているきれいな砂の共振法土質試験で得られた $r=10^{-6}$ での実験式である。この G の値を G_0 として用いる。

Cモデル… G 、 h は深さ方向に変化する。 G_0 は(3)式で決め、 r の増大に対する G の減少率は拘束圧によらず、図-22での1つの曲線で決める。 h は、拘束圧によらず、図-23に示す一本の曲線で決める。

Dモデル… G 、 h は拘束圧で変化するとする。 G_0 は(3)式で決め、 r の増大に対する G の減少率は図-22の様に拘束圧で異なる。図-21の様に、IからIVの4種の地層に分け、Iは $p'=0.1 \text{ kg/cm}^2$ 、IIは $p'=0.4 \text{ kg/cm}^2$ 、IIIは $p'=0.9 \text{ kg/cm}^2$ 、IVは $p'=1.5 \text{ kg/cm}^2$ の $G/G_0 \sim r$ 曲線を用いる。 $h \sim r$ 曲線も図-23の様に拘束圧によって異なる曲線を用いる。これは、 G/G_0 の値を用いて(4)式によって決めた。

$$h(r) = 2.4 (1 - G/G_0) + 1 \quad (4)$$

尚、 $G/G_0 \sim r$ 曲線は $r < 10^{-4}$ については共振法土質実験の結果から、 $r > 10^{-4}$ については他所で行われた単純セン断、中空ねじりセン断、リングセン断の実験結果を総合して定めた。今後のデータの蓄積によって当然かわりうる曲線である。

解析は重複反射理論を用い、モデルC、Dでは計算で求められた各層の最大セン断歪の65%を有効歪 r_e とし、計算に用いた G 、 h が、 r_e に適合する図-22、23から定めた G 、 h と5%の範囲内で一致するまでくりかえし計算を行った。地震波はEl Centro (1940)を用いた。

各モデルのくりかえし計算後の r_e ; $\{r_e\}_f$ を図-24に、くりかえし計算後の r_e に適合する G ; G_f を図-25、26に、同じく、くりかえし計算後の h ; h_f を図-27、28に示す。モデルCでは、下層に行くほど G_f は小さくなるという不自然と思われる分布形状になった。現在の段階ではどちらが正しいとは言えないが、モデルDの G_f の分布の方がより自然なものと思われる。

又、図-29は最大加速度分布の一例である。モデルCとDではかなり異なった分布となった。

又、図-30は、基盤最大加速度 $\alpha_{B\max}$ に対する地表最大加速度 $\alpha_{S\max}$ の関係であり、図-31は、その比 β である。非線型性を考慮しないA、Bモデルでは、 $\alpha_{S\max}$ は $\alpha_{B\max}$ に線型に比例する。非線型性を考慮したモデルCとDでは $\alpha_{B\max}$ が大きくなる程 β は小さくなるが、両者にはかなり差がある。同じく図-32は、一次固有周期 T と $\alpha_{B\max}$ の関係である。A、Bモデルの T は $\alpha_{B\max}$ によらないが、C、Dモデルでは $\alpha_{B\max}$ の増加とともに T は大きくなってゆく。しかし、同じ非線型性を考慮したモデルでも、 T の値はモデルCとDでかなり差がある。

次に、図-33に入力地震動に対する応答スペクトル比、図-34に、モデル地盤の地盤地震動に対する応答スペクトル比を示す。明らかにモデル地盤の違いによって解析によって得られた地表地震動の周波数特性はきわめて異って来るのが分かる。特に、土の非線型性を考慮する場合としない場合では大きく異ってくる。

以上示したように、 $\alpha_{B\max} = 0.15g$ で r_e は大体 $10^{-4} \sim 10^{-3}$ になるが、これ以上大きい r_e に対する G 、 h をもっと研究しないと信頼ある結果が得られない。拘束圧の影響は G_0 そのものだけではなく、 $G/G_0 \sim r$ 、 $h \sim r$ 関係にもあり、これは応答値にかなりの影響を与える。

§.3. ま と め

実際の地震動における地盤振動の水平成分は、重複反射法によって、かなりよく追跡できることが判明した。しかし、地下から入力する場合に比べて、地表から入力する場合は、解析精度が落ちる様である。又、重複反射法では追跡しきれない面があることも事実である。たとえば、八丈島東方地震での地表部分での記録にあらわれる短周期成分、及び伊豆半島沖地震での長周期成分である。今後は、他の地震、他の地点（富津、扇島、観音崎、金城阜頭、南港）での記録の解析を実施して、妥当な計算手法の確立を図りたい。

又、強震時には、弱震時よりも表層地盤の増幅度はかなり減少することが予想される。このような、強震時の地盤の振動を推測するためには、土の非線型性を正しく考慮することが必要である。振動研究室では、この方面の調査として、土の妥当な非線型性を定めるべく、鋭意実施中である。

§ 謝

辞

計算するにあたって、重複反射法のプログラムは東京大学石原研而助教授に貸していただいた。又、集中荷重法での計算にあたっては、(株)五洋建設今井五郎氏の協力を得た。末筆ながら感謝の意を示します。

参 考 文 献

- 1) 岩崎敏男・若林進・龍岡文夫(1975)“地中地震動の実測と解析”第4回地震工学シンポジウム
- 2) 岩崎敏男・若林進・堀内俊一(1976)“地中地震動の観測結果”土木研究所資料第1103号
- 3) 日本鋼管(1975)“扇島地区埋立地盤の液状化予測と対策”
- 4) 土木研究所資料1080号(1976)“広範囲な歪領域での砂の動的変形特性”
- 5) Schnabel P.B., Lysmer, J., and Seed H.B., (1972) “SHAKE, A Computer Program for Earthquake Response Analysis of Horizontally Layered Sites” EERC-72-12
- 6) Idriss I.M., Seed, H.B., (1967) “Response of Horizontal Soil Layers during Earthquakes” Soil Mechanics and Bituminous Material Research Laboratory, U.C. Berkeley.

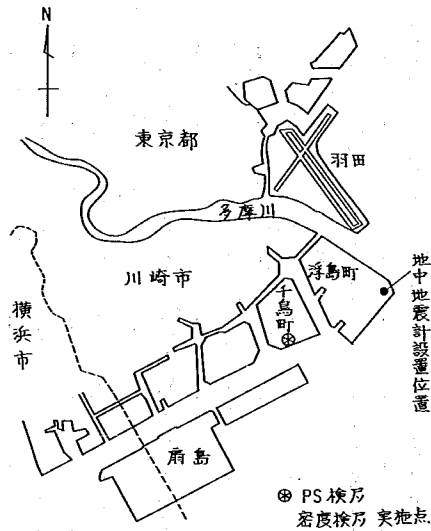


図-1 浮島公園位置図

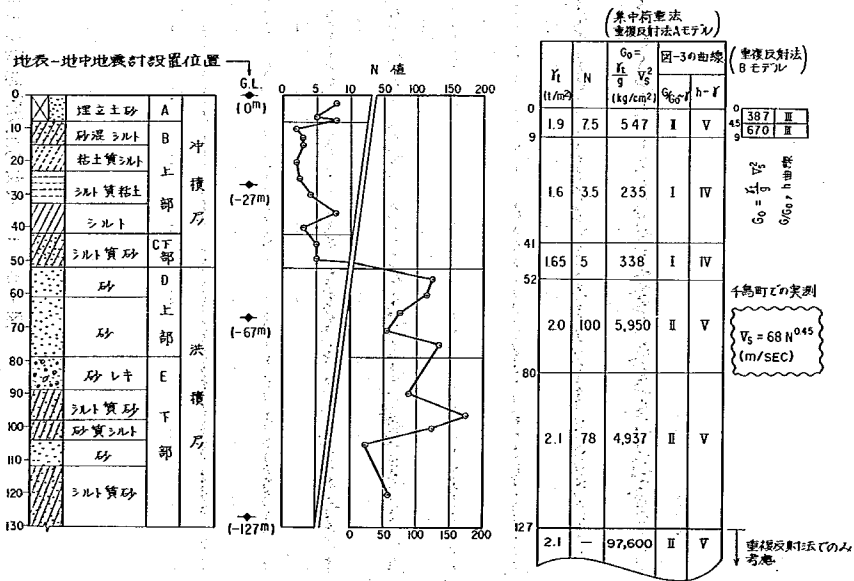


図-3 浮島公園地盤柱状図および解析モデル

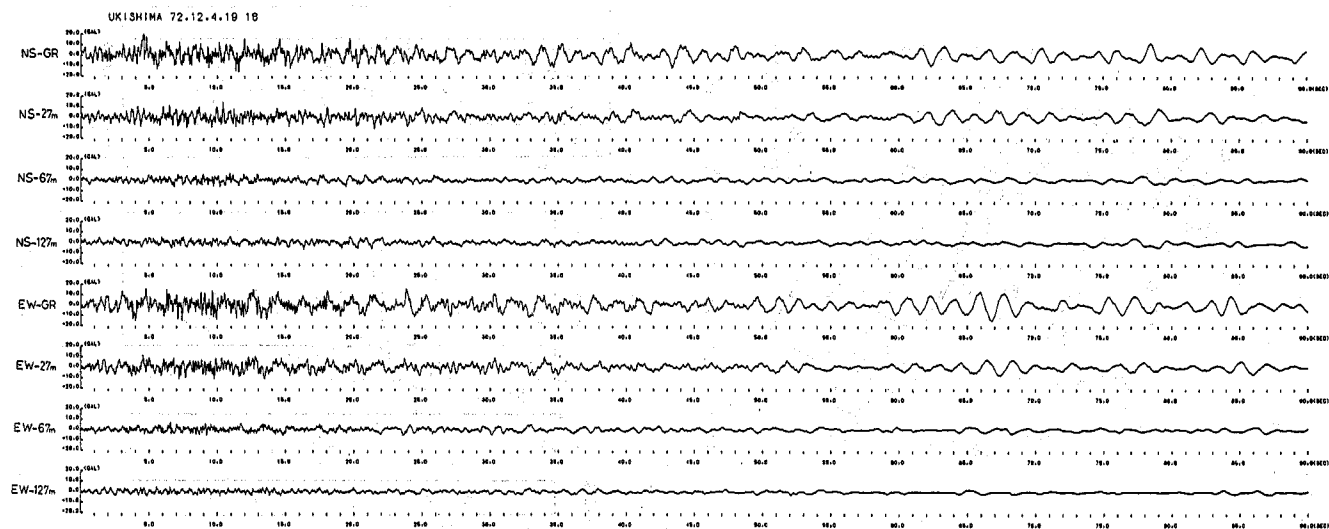


図-2-1 八丈島東方沖地震(1972年12月4日), 浮島公園記録波形

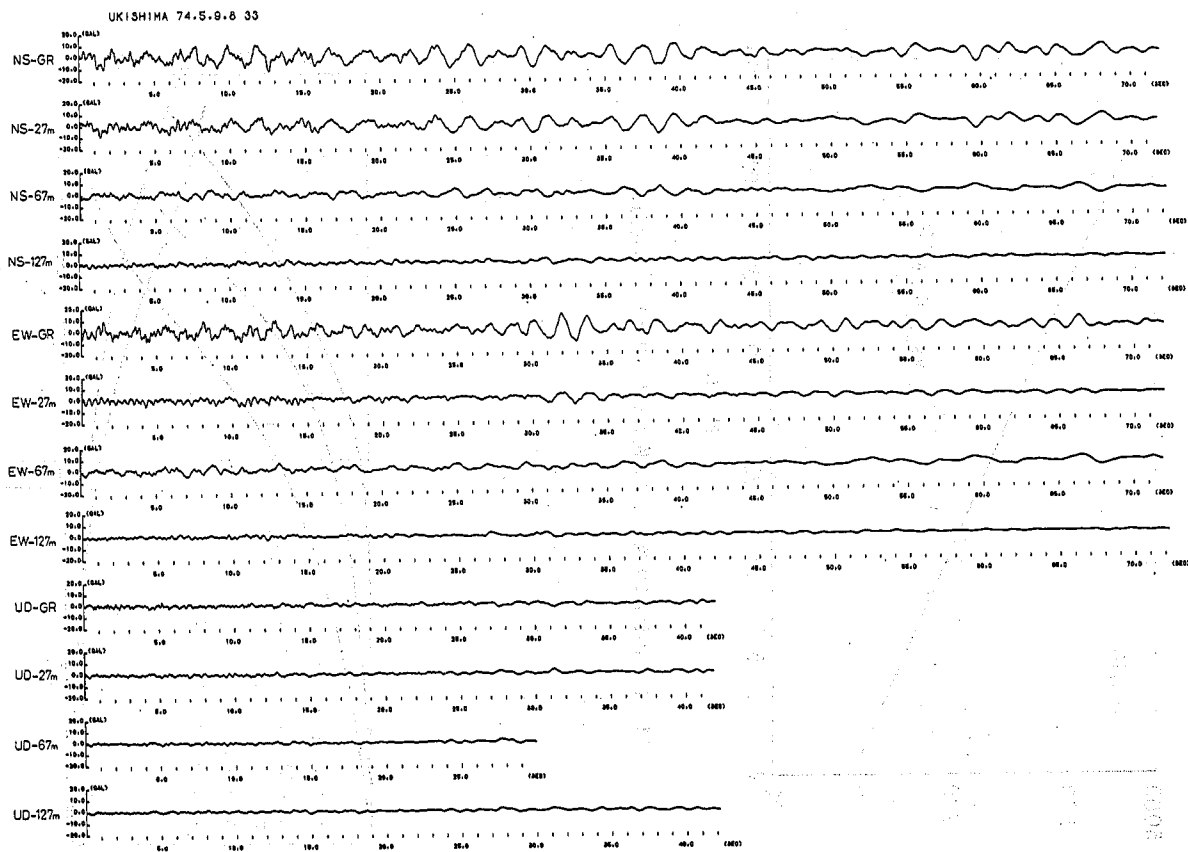


図-2-2 伊豆半島沖地震(1974年5月9日), 浮島公園記録波形

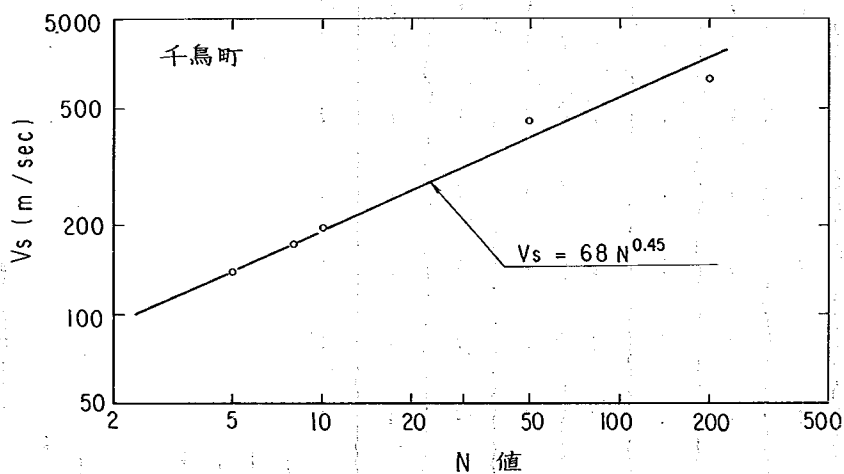


図-4 千鳥町で実施したP S検層で得られた $V_s \sim N$ 値関係

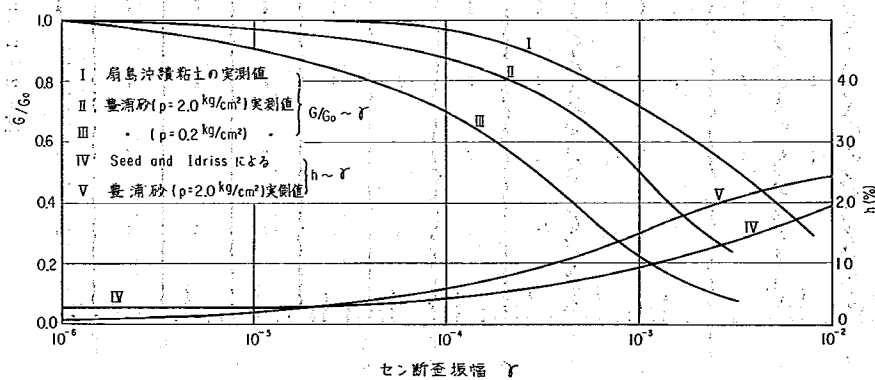
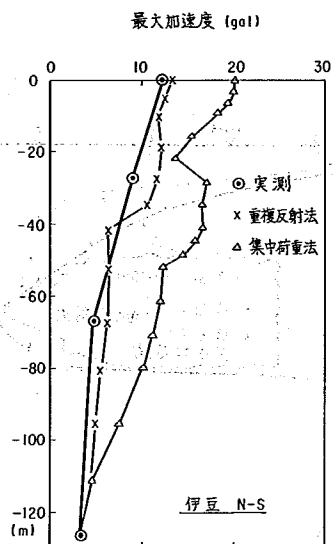
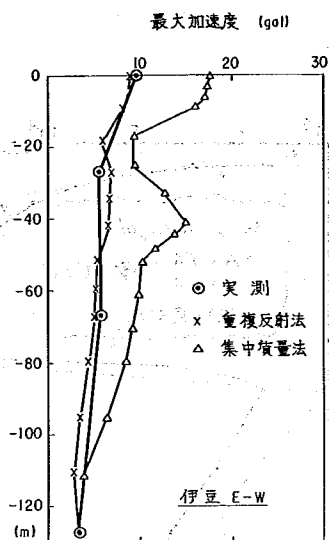


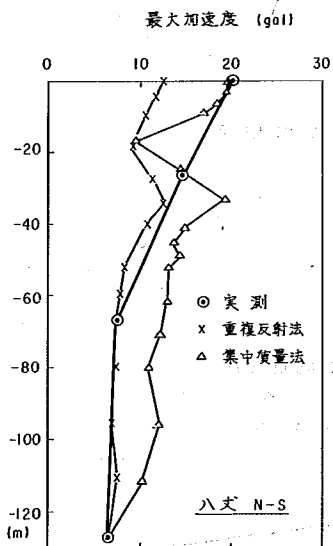
図-5 解析に用いた $G/G_0 \sim \gamma$, $h \sim \gamma$ 関係



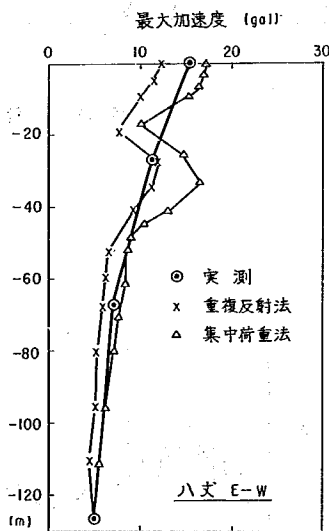
(a)



(b)



(c)



(d)

図-6 最大加速度の深さ方向の分布の実測と解析結果の比較

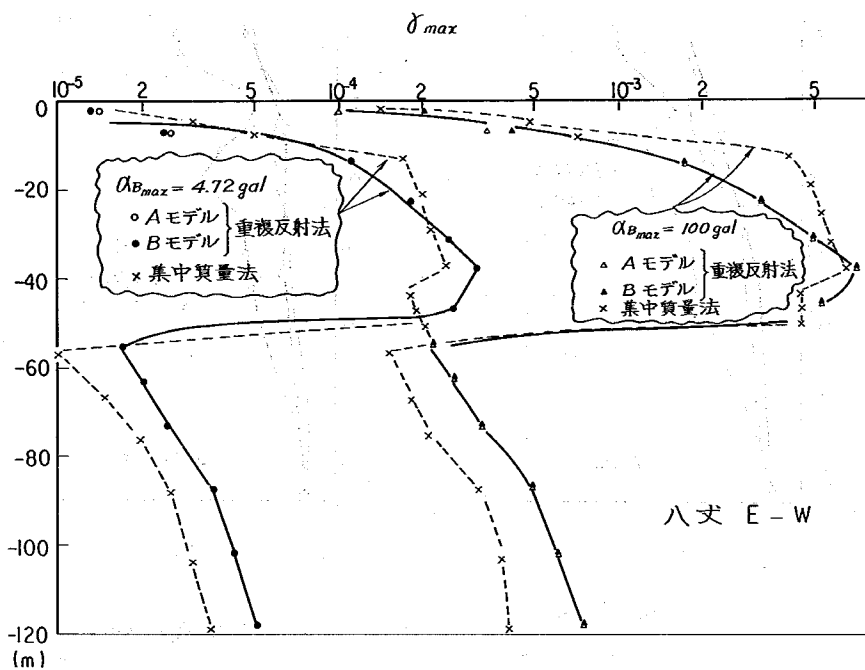


図-7 解析で生じた地中歪

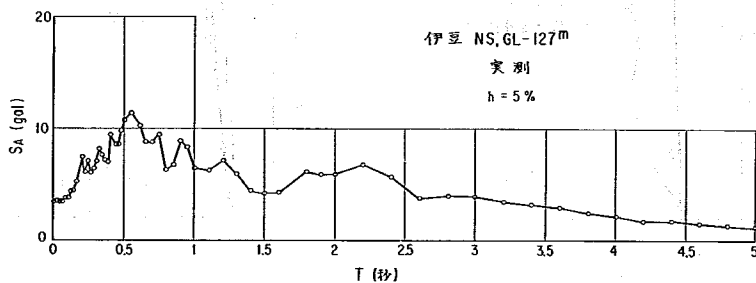


図-8(a) 応答スペクトル (伊豆半島沖地震NS成分)

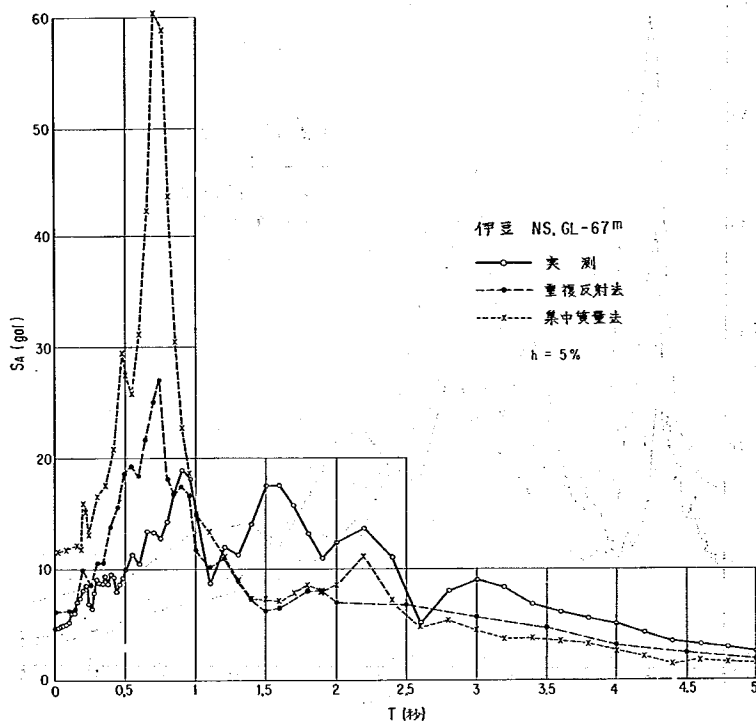


図-8(b) 応答スペクトル(伊豆半島沖地震NS成分)

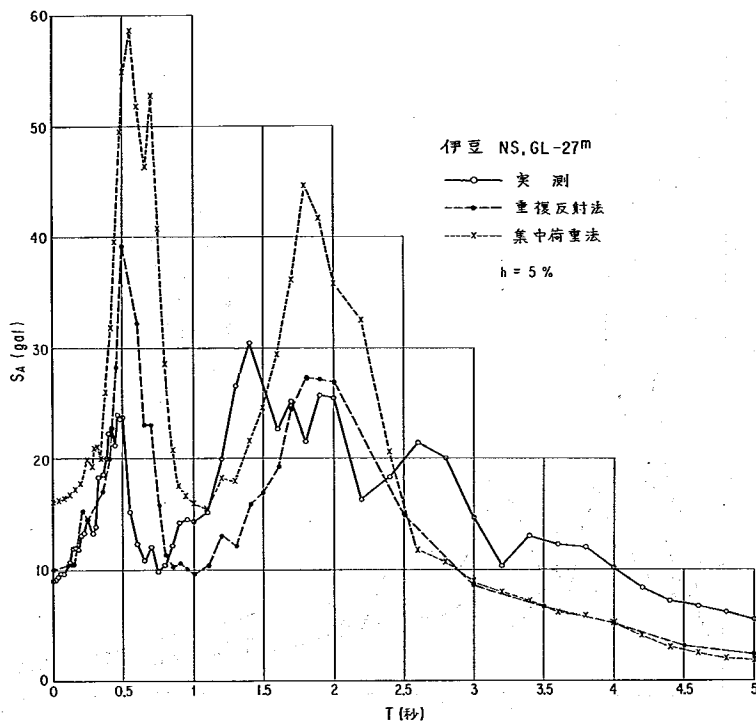


図- 8 (c) 応答スペクトル (伊豆半島沖地震 NS 成分)

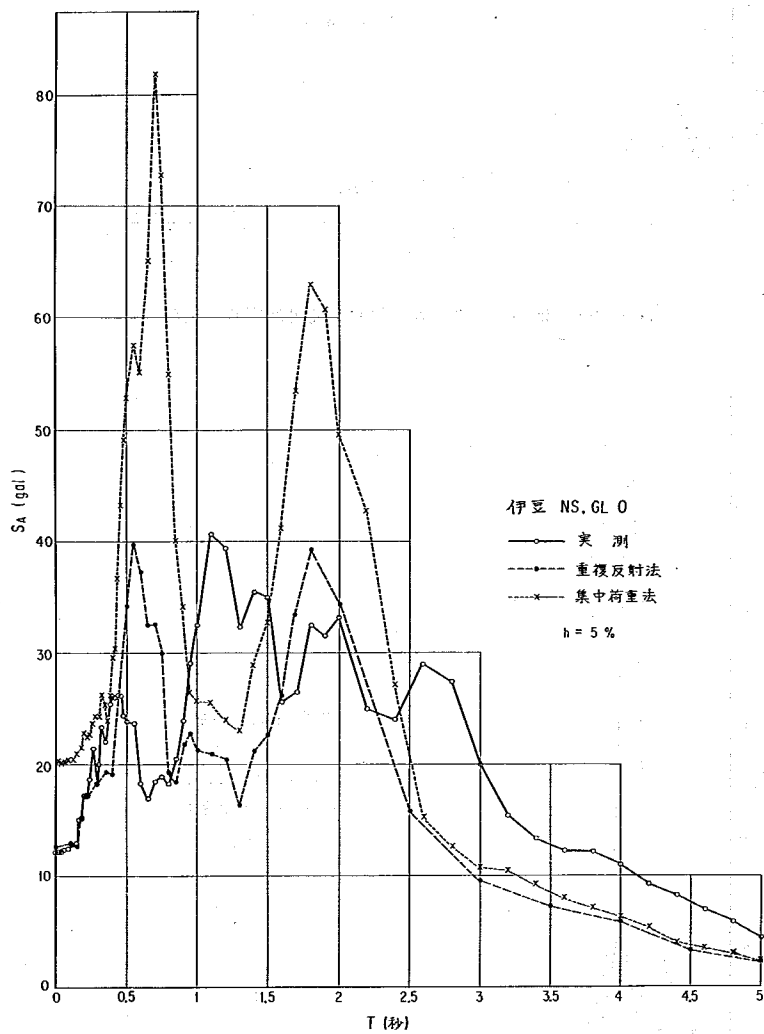


図- 8(d) 応答スペクトル (伊豆半島沖地震 N S 成分)

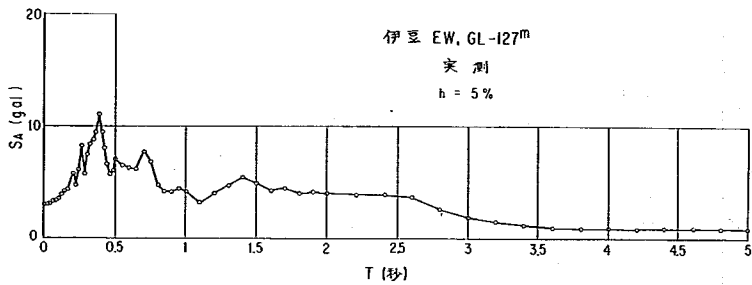


図-9(a) 応答スペクトル(伊豆半島沖地震EW成分)

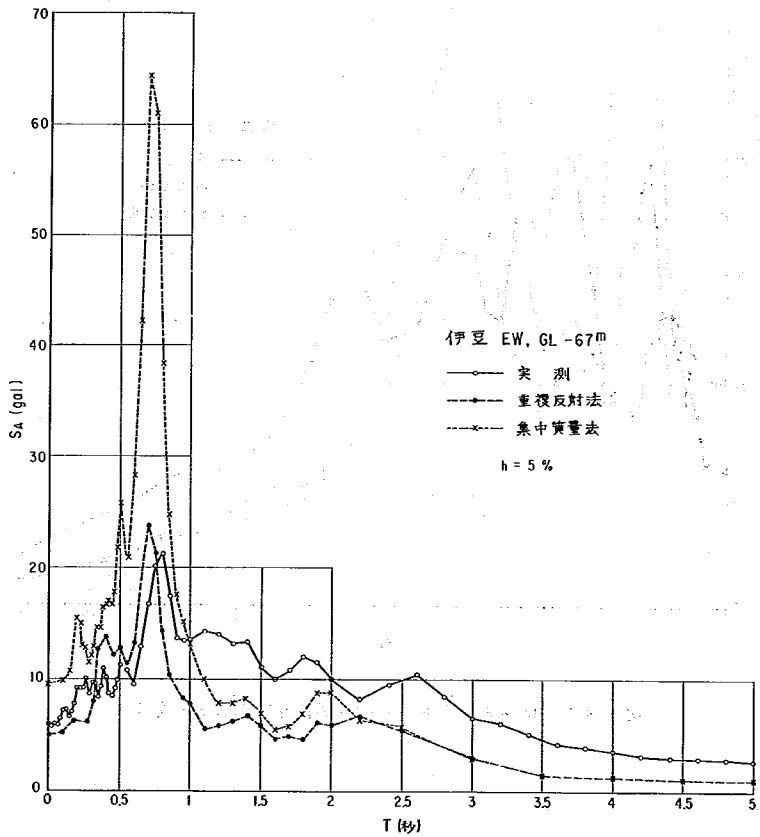


図-9(b) 応答スペクトル(伊豆半島沖地震EW成分)

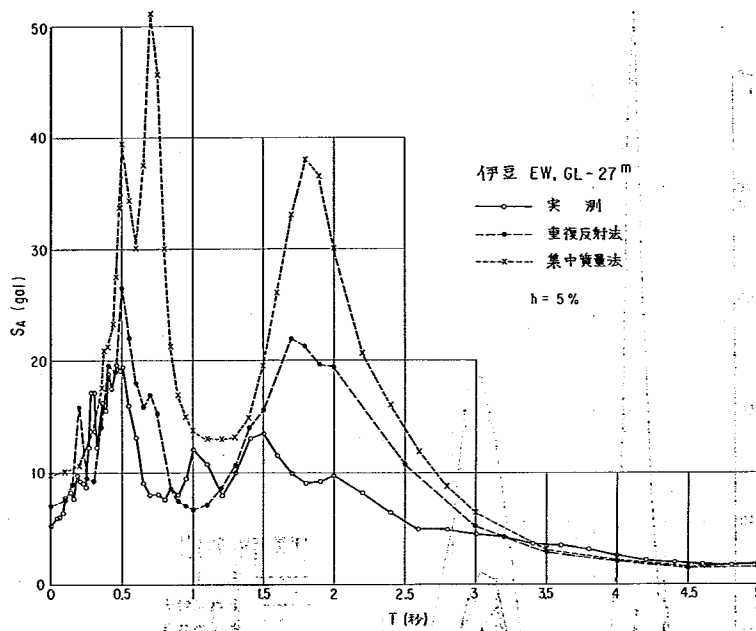


図-9(c) 応答スペクトル(伊豆半島沖地震EW成分)

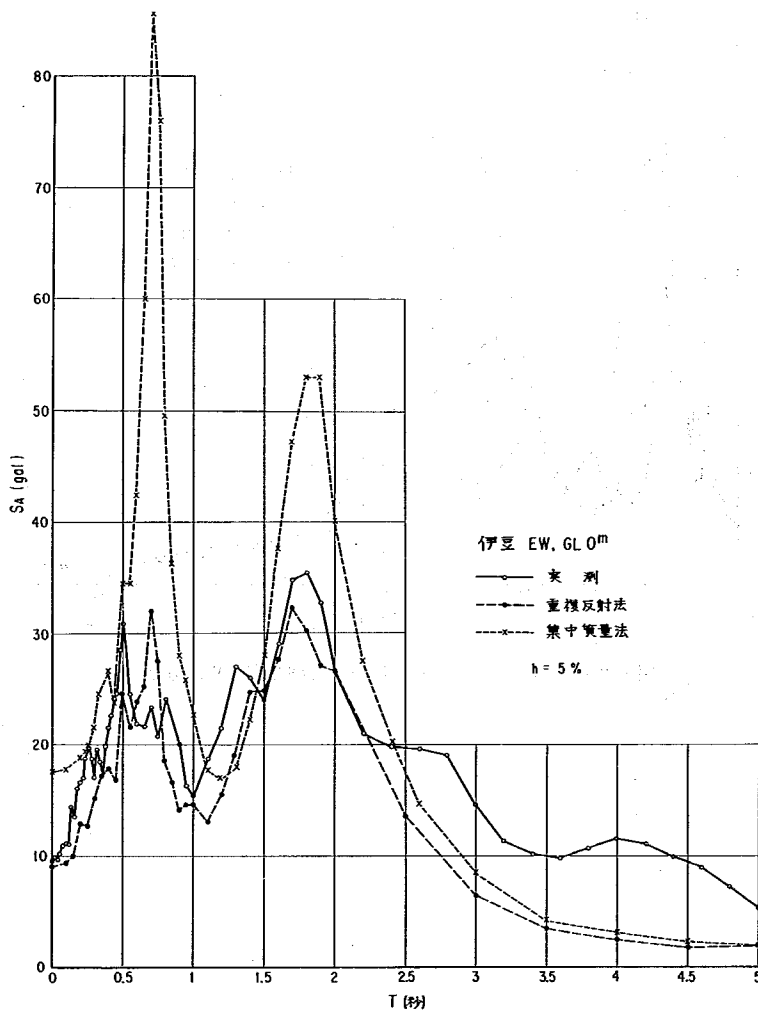


図-9(d) 応答スペクトル(伊豆半島沖地震EW成分)

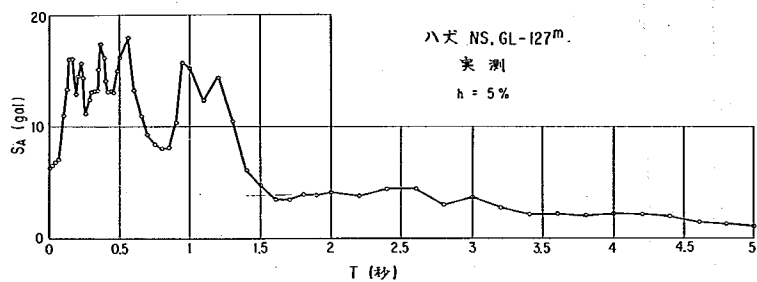


図-10(a) 応答スペクトル(八丈島東方沖地震NS成分)

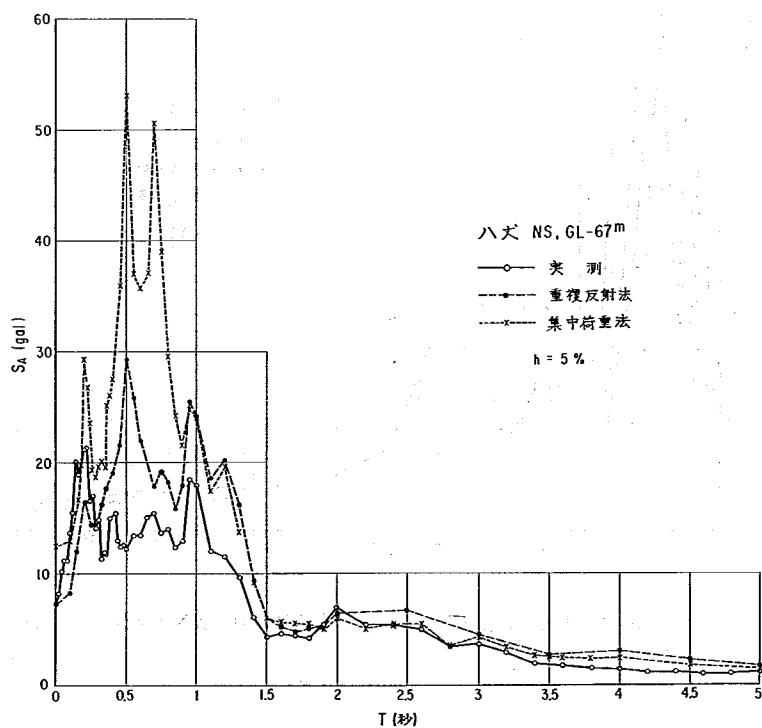


図-10(b) 応答スペクトル(八丈島東方沖地震NS成分)

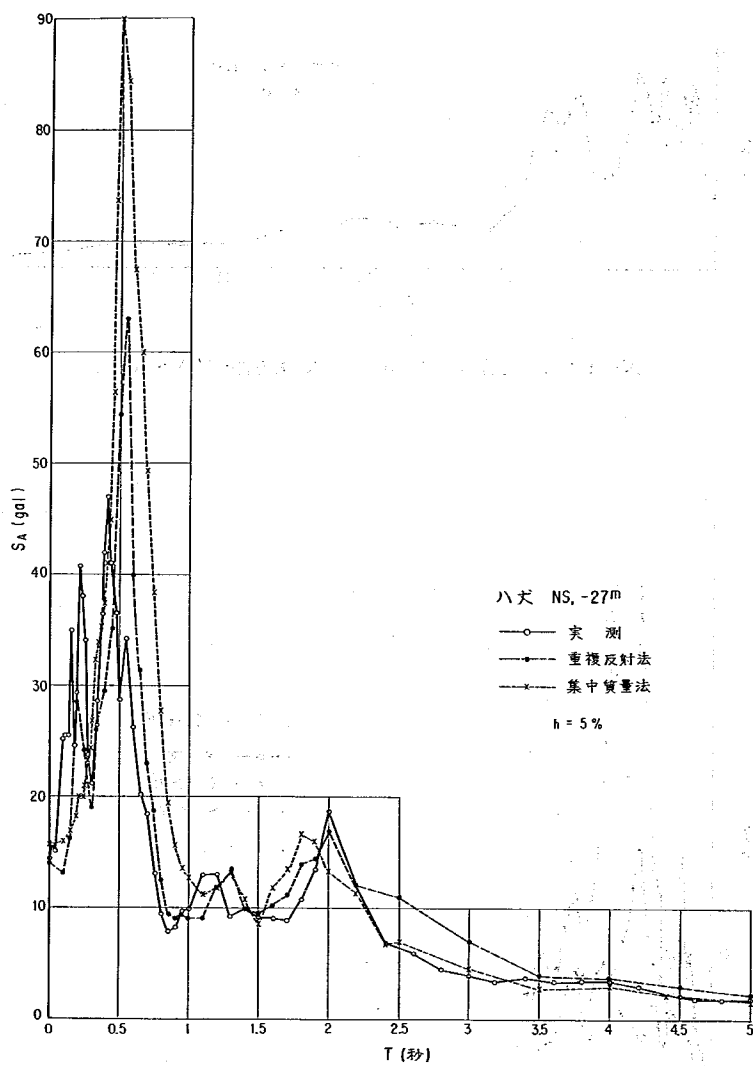


図-10(c) 応答スペクトル(八丈島東方沖地震NS成分)

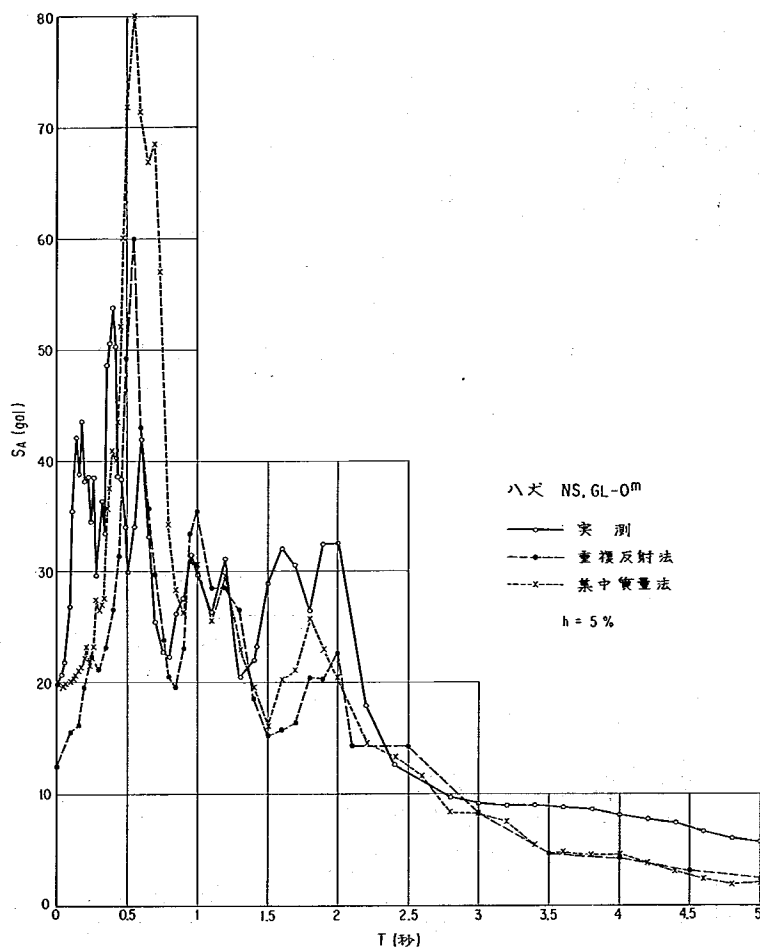


図-10(d) 応答スペクトル(八丈島東方沖地震NS成分)

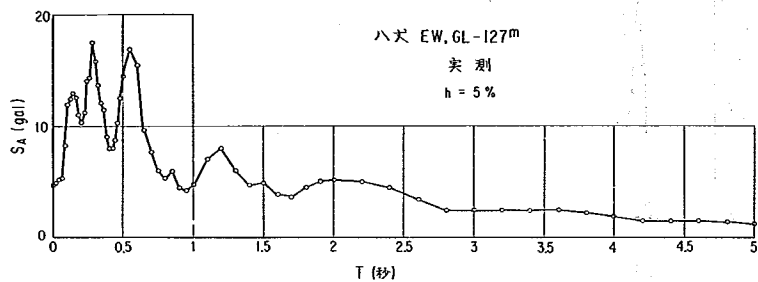


図-11(a) 応答スペクトル(八丈島東方沖地震EW成分)

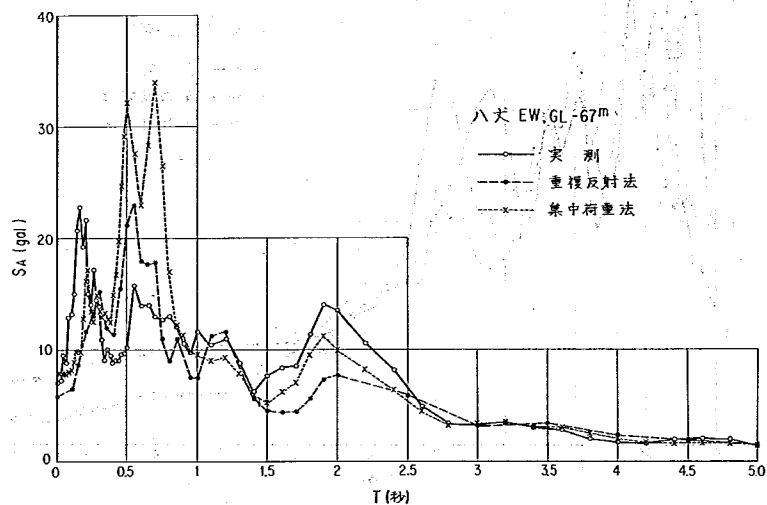


図-11(b) 応答スペクトル(八丈島東方沖地震EW成分)

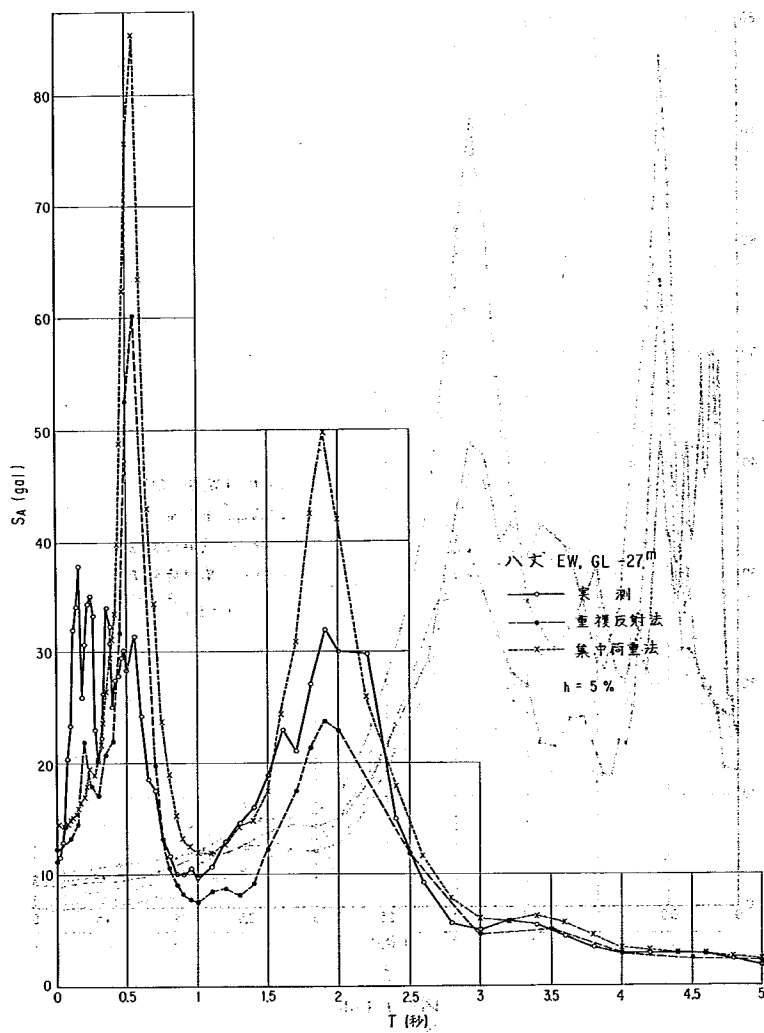


図-11(c) 応答スペクトル(八丈島東方沖地震EW成分)

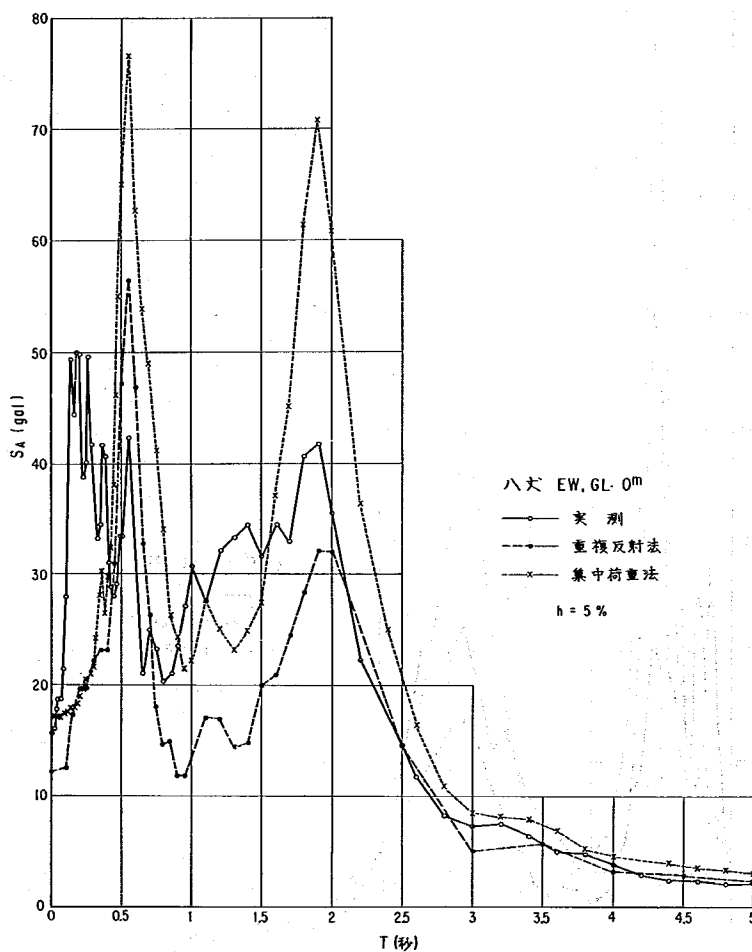


図-11(d)

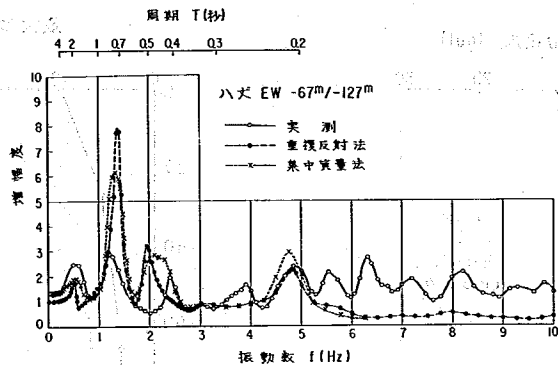


図- 1 2 (a) 増幅度 (八丈島東方沖地震EW成分)

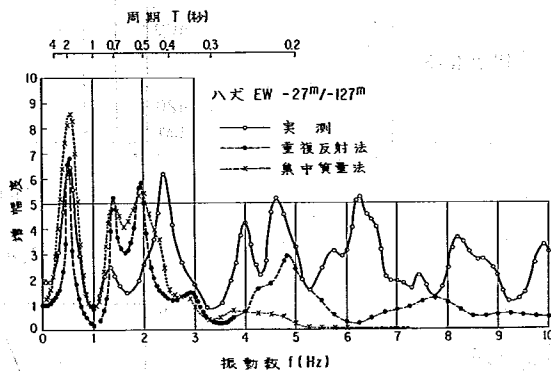


図- 1 2 (b) 増幅度 (八丈島東方沖地震EW成分)

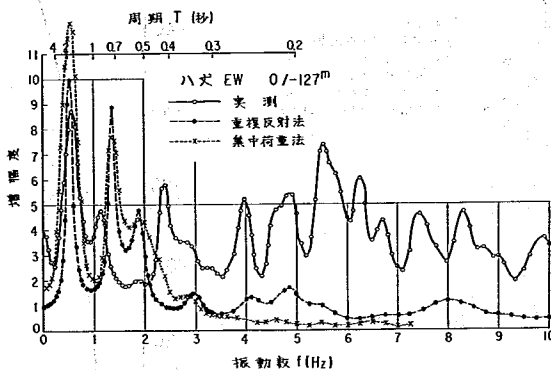
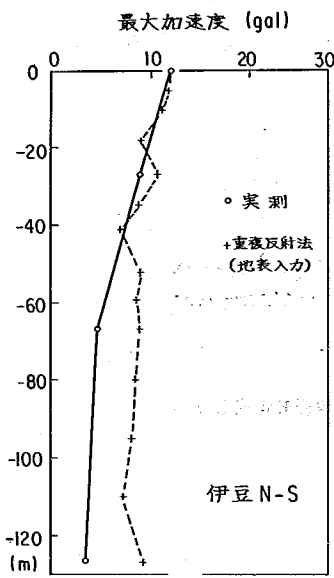
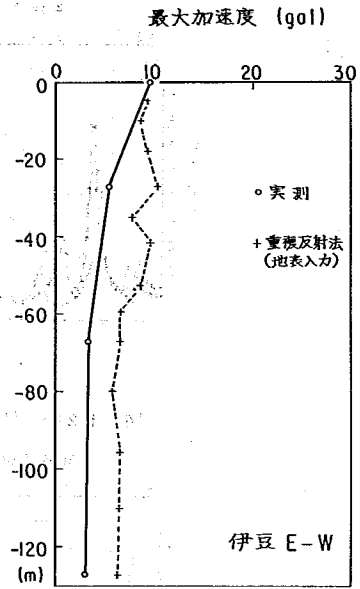


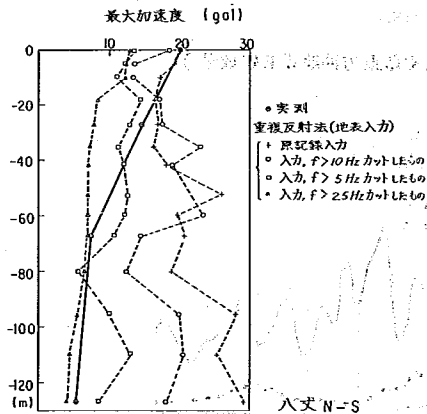
図- 1 2 (c) 増幅度 (八丈島東方沖地震EW成分)



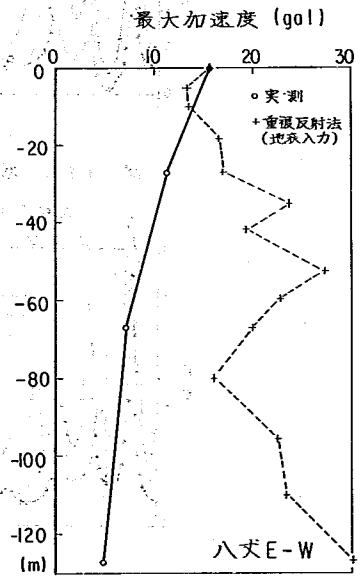
(a)



(b)



(c)



(d)

図-13 最大加速度の深さ方向の分析の実測と解析結果の比較

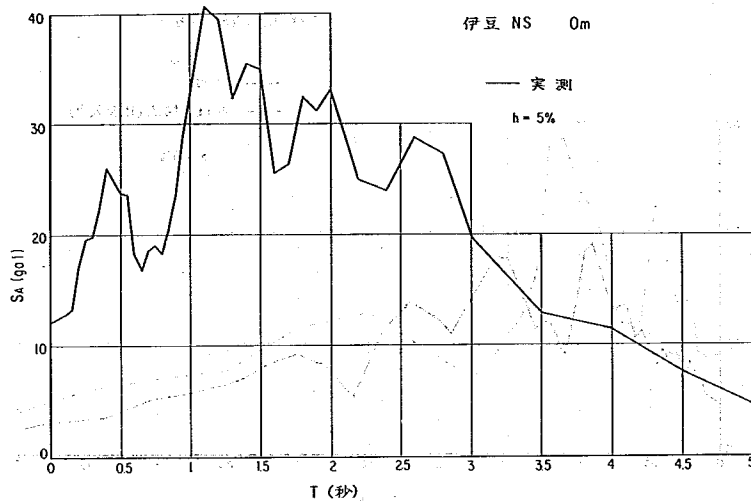


図-1 4 (a) 応答スペクトル (伊豆半島沖地震 NS 成分)

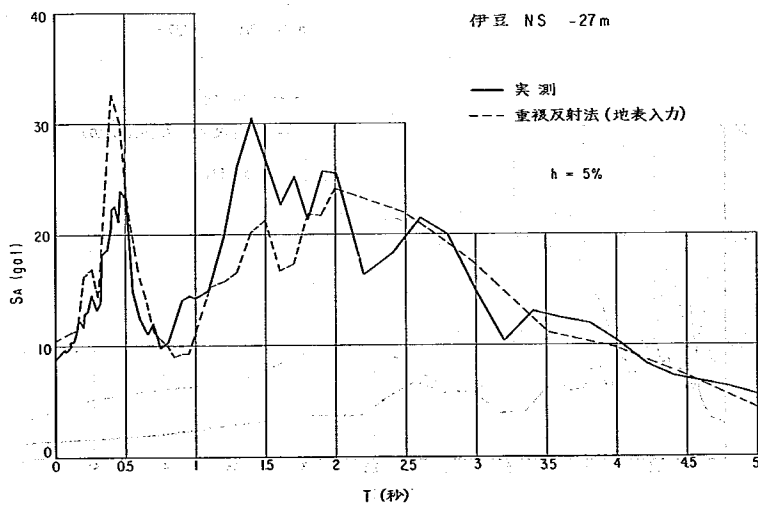


図-1 4 (b) 応答スペクトル (伊豆半島沖地震 NS 成分)

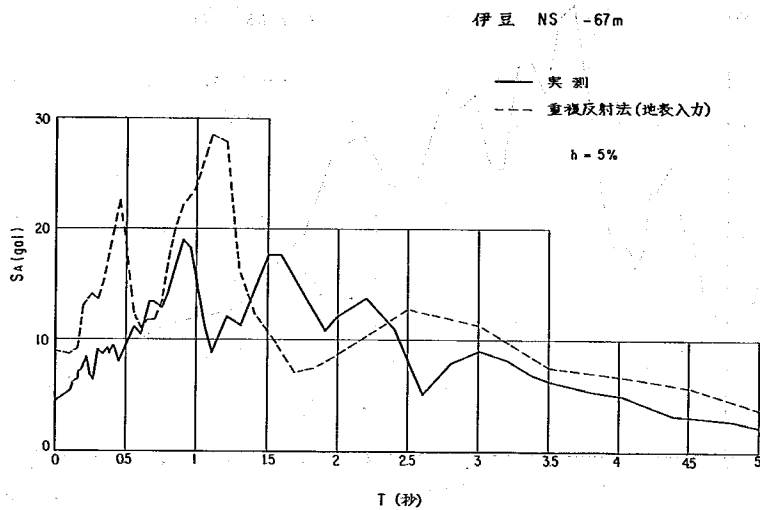


図-1 4 (c) 応答スペクトル (伊豆半島沖地震 NS 成分)

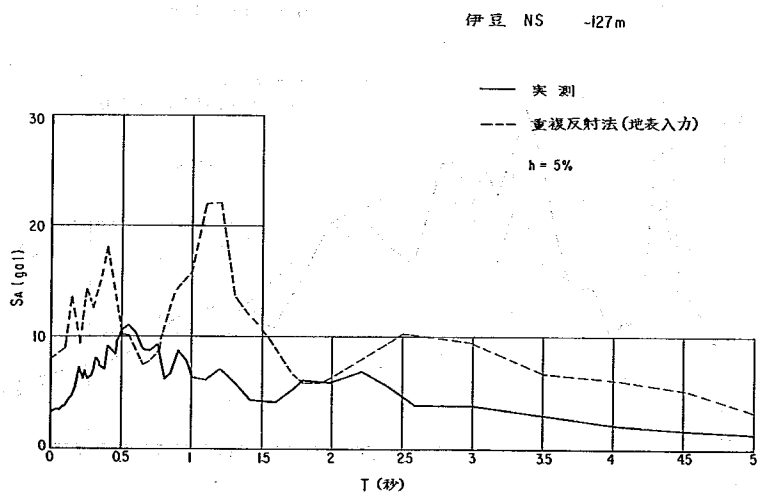


図-1 4 (d) 応答スペクトル (伊豆半島沖地震 NS 成分)

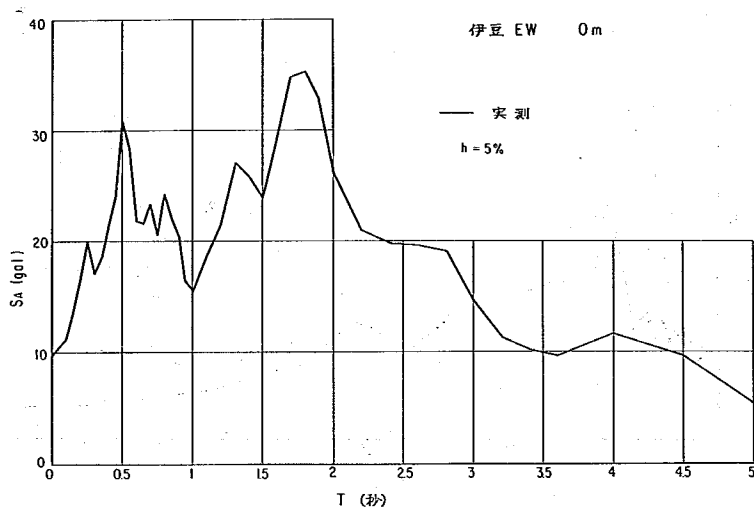


図-1.5(a) 応答スペクトル (伊豆半島沖地震EW成分)

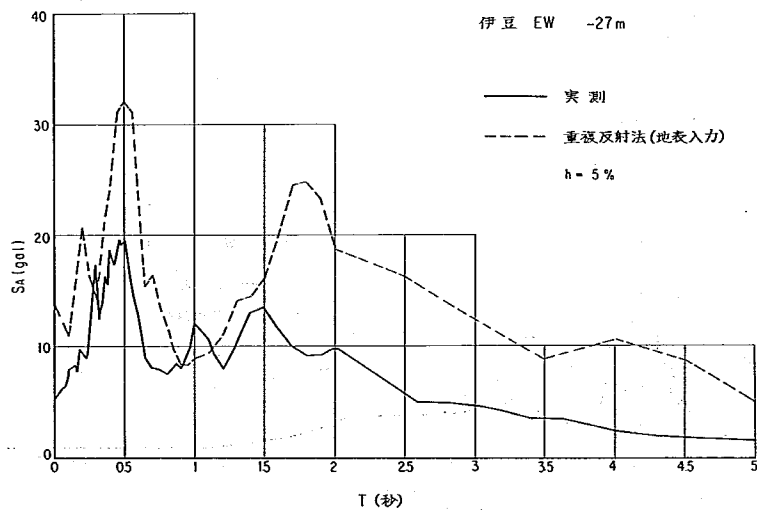


図-1.5(b) 応答スペクトル (伊豆半島沖地震EW成分)

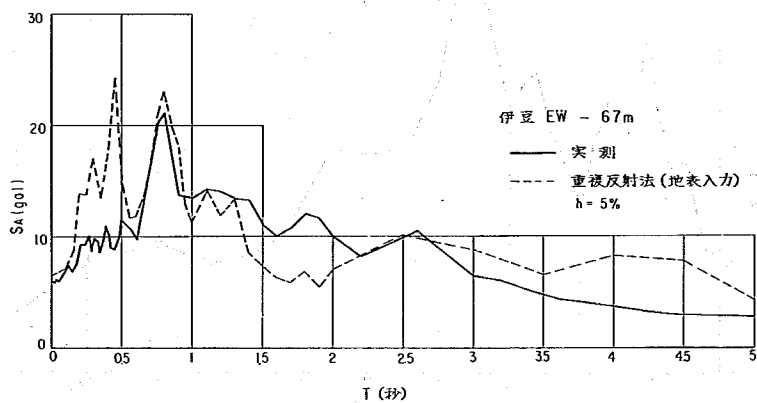


図-15(c) 応答スペクトル(伊豆半島沖地震EW成分)

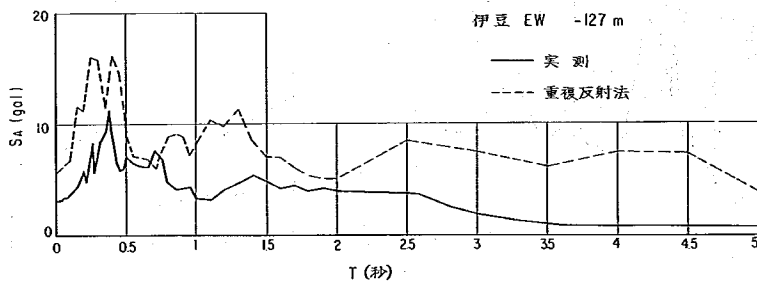


図-15(d) 応答スペクトル(伊豆半島沖地震EW成分)

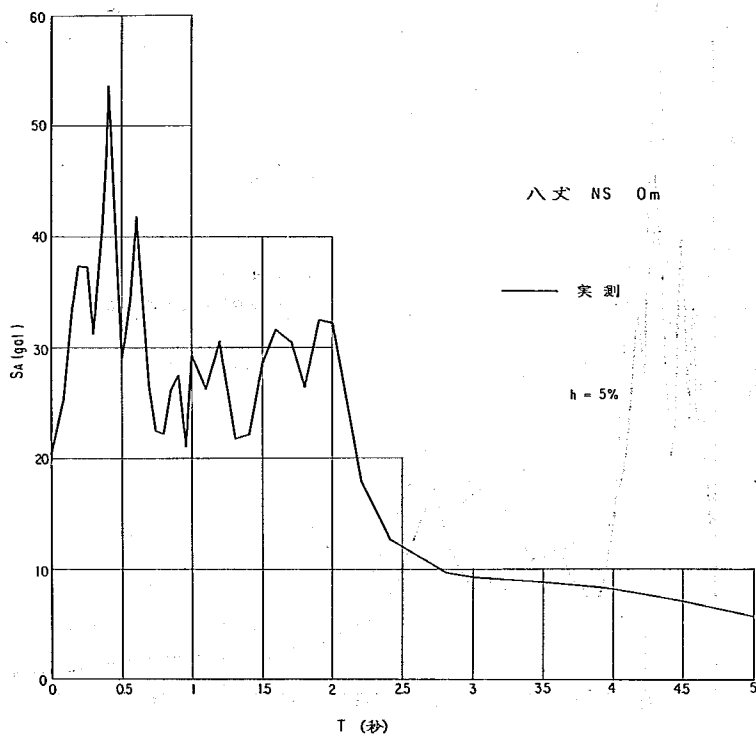


図-16(a) 応答スペクトル ((八丈島東方沖地震EW成分)

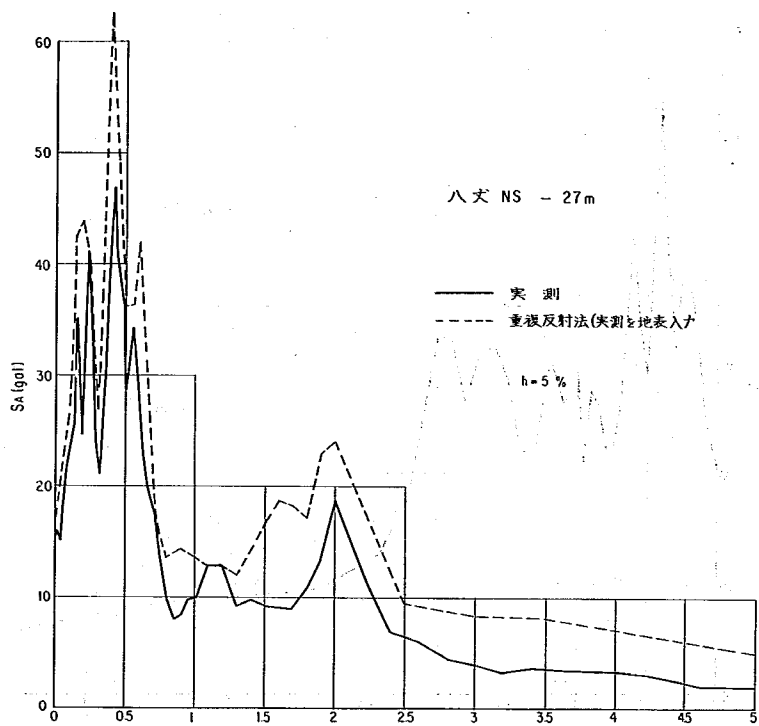


図-16(b) 応答スペクトル (八丈島東方沖地震EW成分)

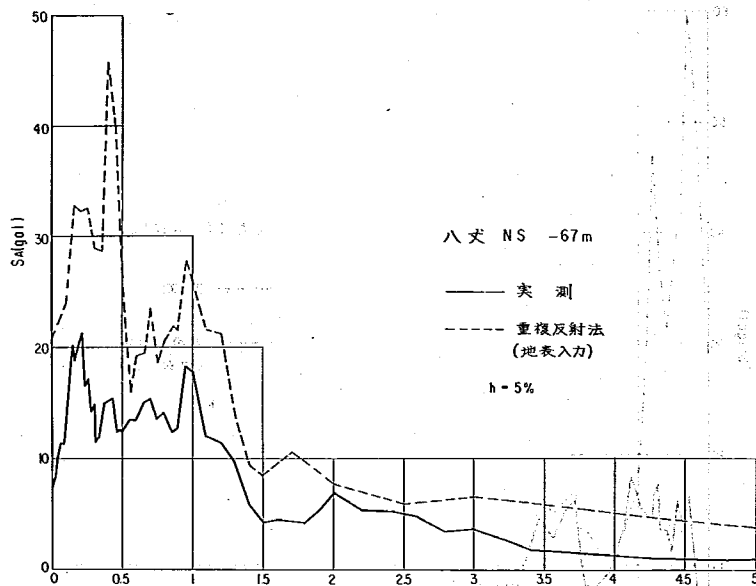


図-16(c) 応答スペクトル((八丈島東方沖地震EW成分))

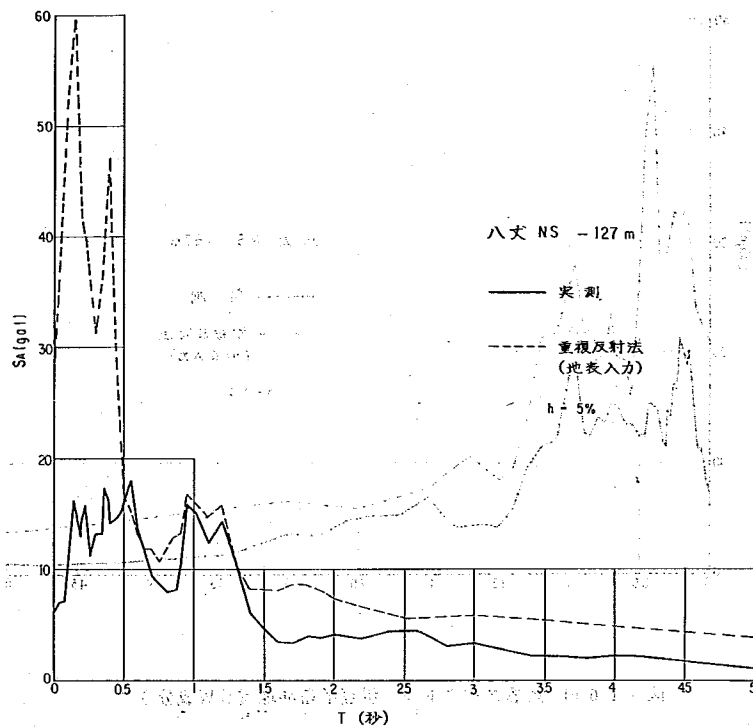


図-16(d) 応答スペクトル(八丈島東方沖地震EW成分)

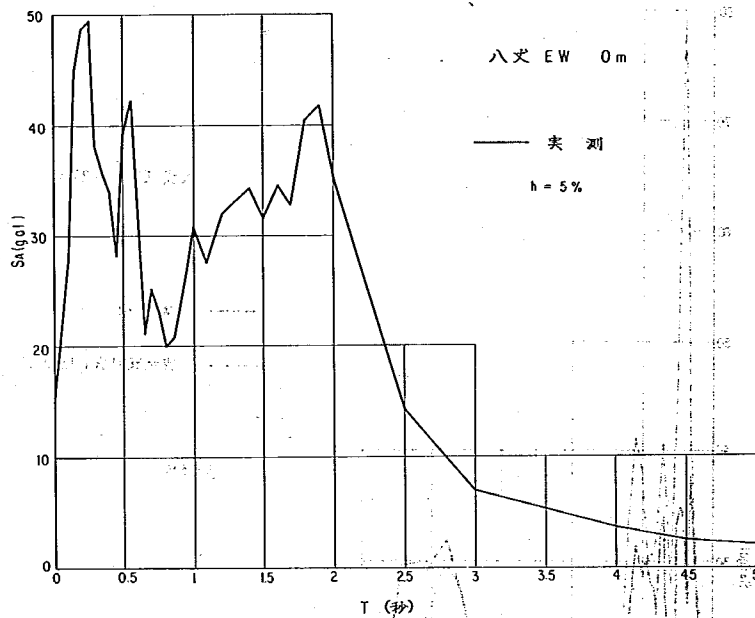


図-17(a) 応答スペクトル(八丈島東方沖地震EW成分)

(八丈島東方沖地震震害調査報告書) 国土交通省 建設省 建設省 建設省

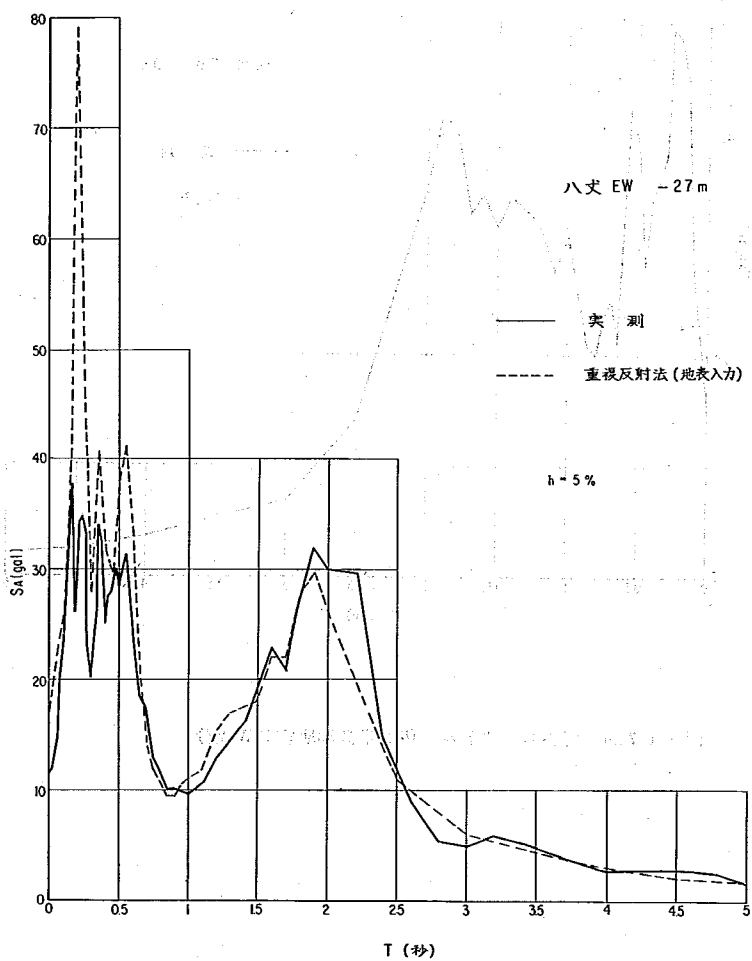


図-17(b) 応答スペクトル (八丈島東方沖地震EW成分)

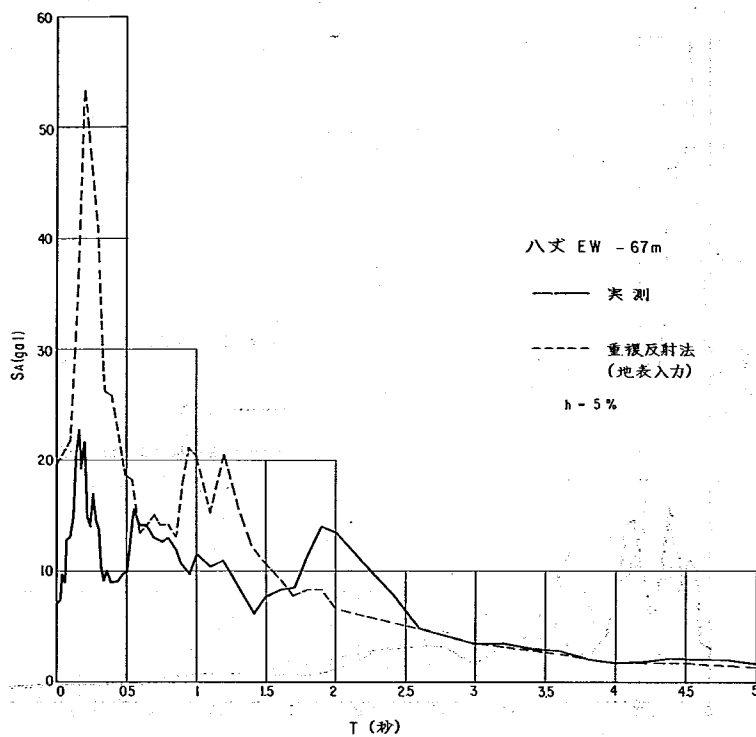


図-17(c) 応答スペクトル (八丈島東方沖地震EW成分)

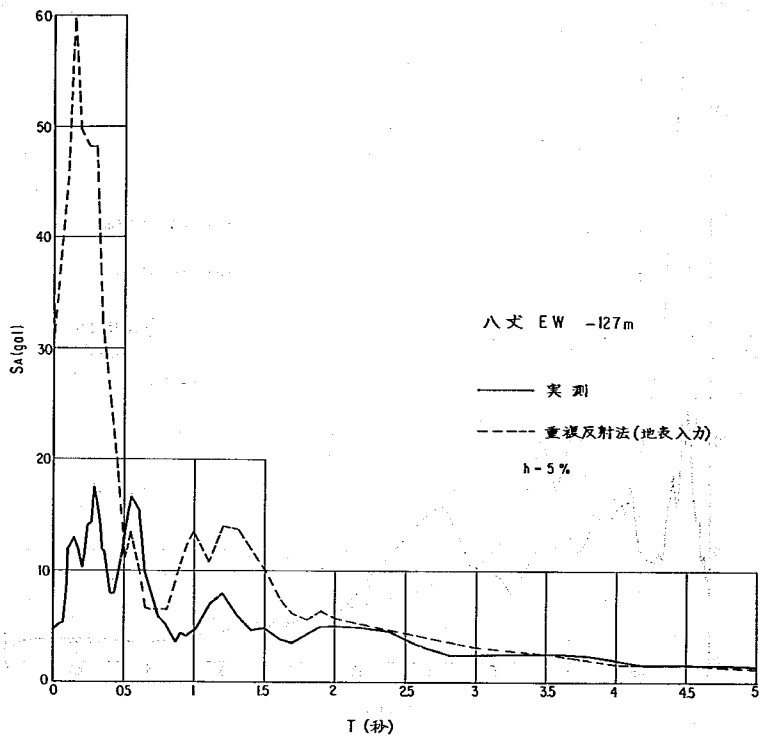


図-17(d) 応答スペクトル (八丈島東方沖地震EW成分)

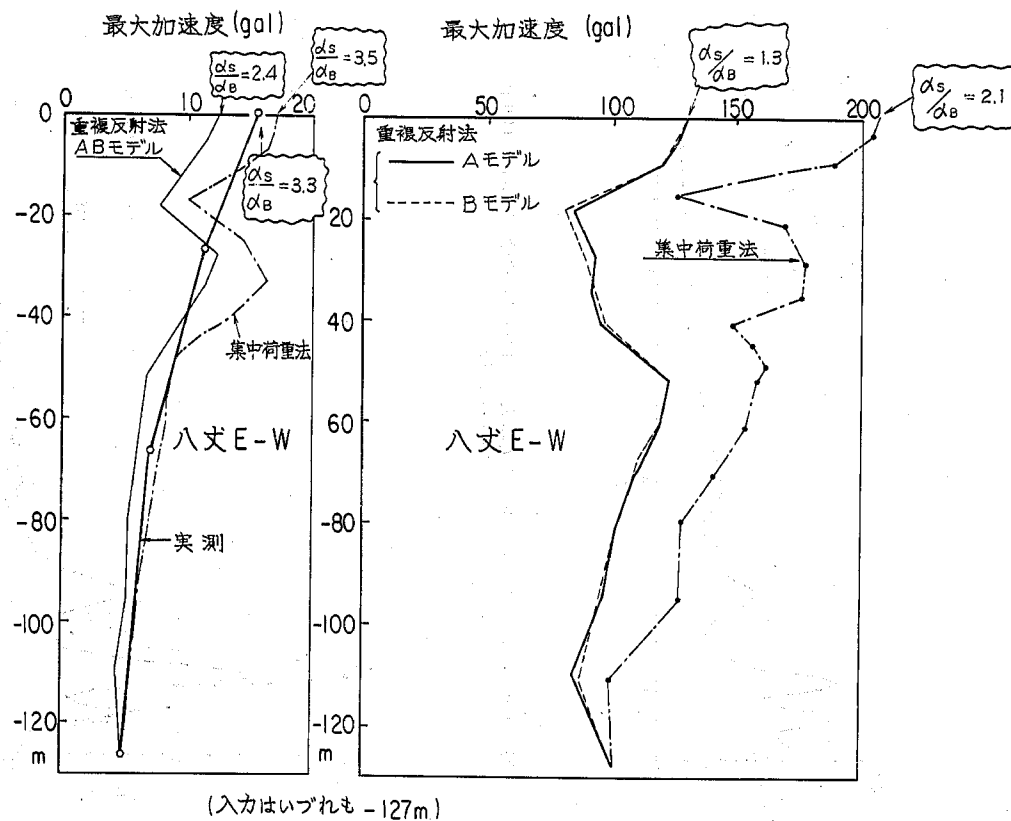


図-18 最大加速度分布

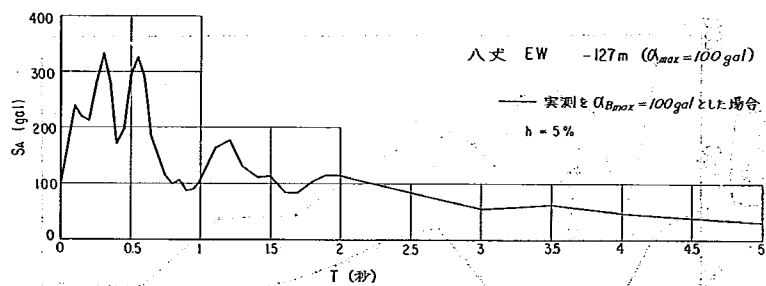


図-19(a) 応答スペクトル (八丈島東方沖地震EW成分, $\alpha_{Bmax} = 100 \text{ gal}$ -127m入力)

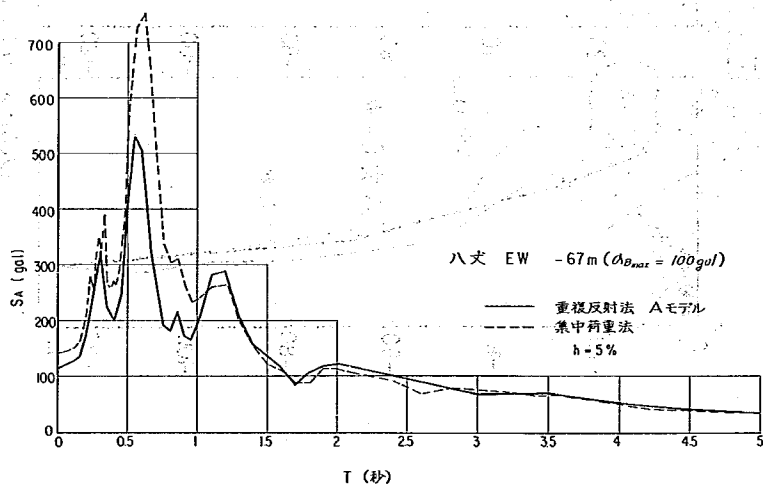


図-19(b) 応答スペクトル (八丈島東方沖地震EW成分, $\alpha_{Bmax} = 100 \text{ gal}$ -127m入力)

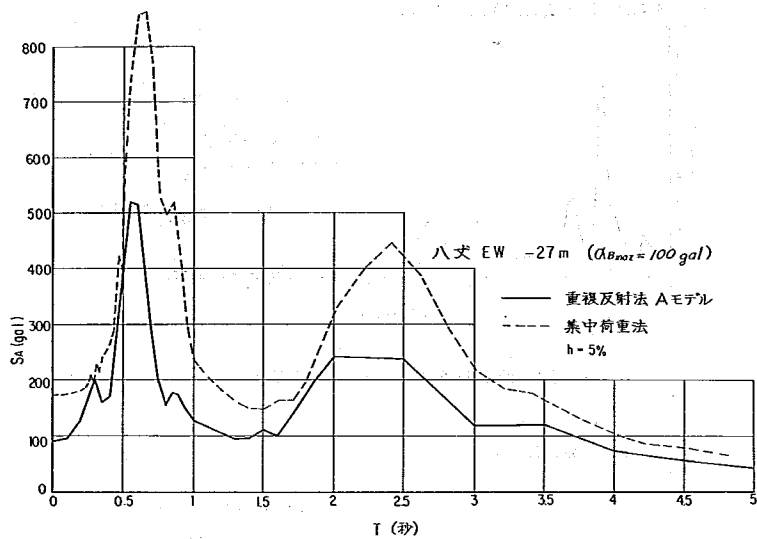


図-19(c) 応答スペクトル (八丈島東方沖地震EW成分, $\alpha_{Bmax} = 100 \text{ gal}$ -127m入力)

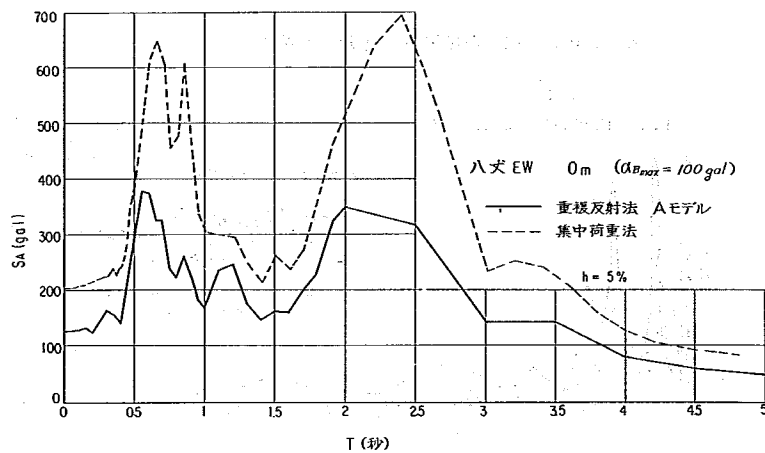


図-19(d) 応答スペクトル (八丈島東方沖地震EW成分, $\alpha_{Bmax} = 100 \text{ gal}$ -127m入力)

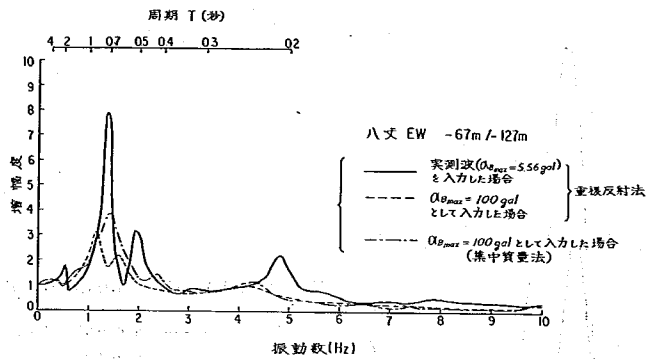


図-20(a) 地盤の増幅度 (八丈・EW)

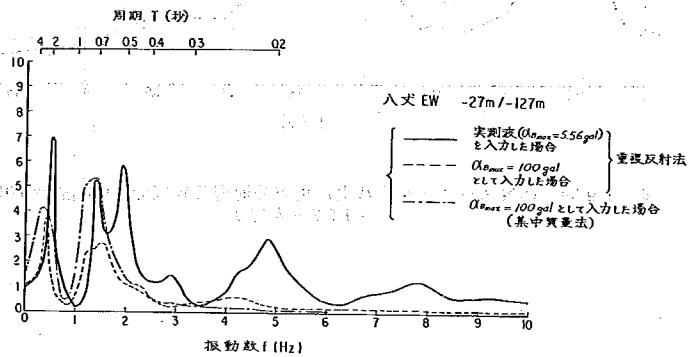


図-20(b) 地盤の増幅度 (八丈・EW)

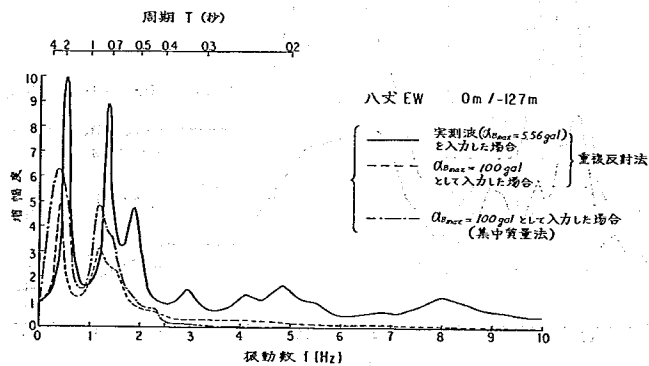


図-20(c) 地盤の増幅度 (八丈・EW)

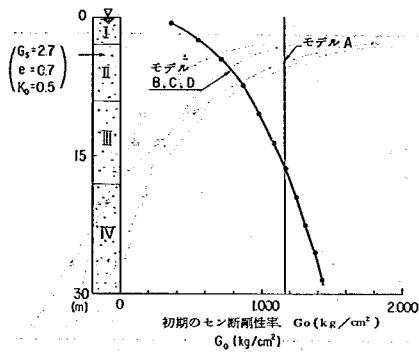


図-21 想定した解析モデルの G_o の分布

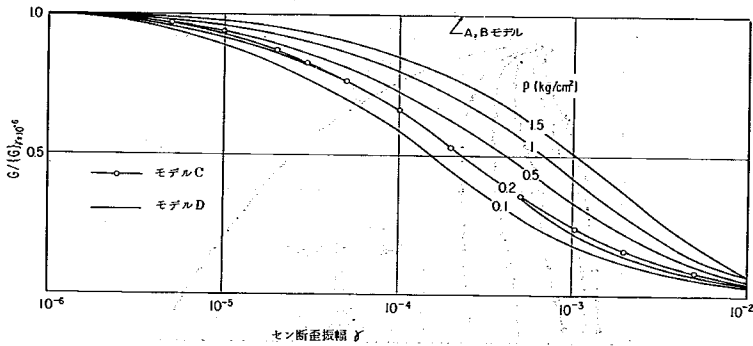


図-22 $G/G_o \sim r$ 曲線

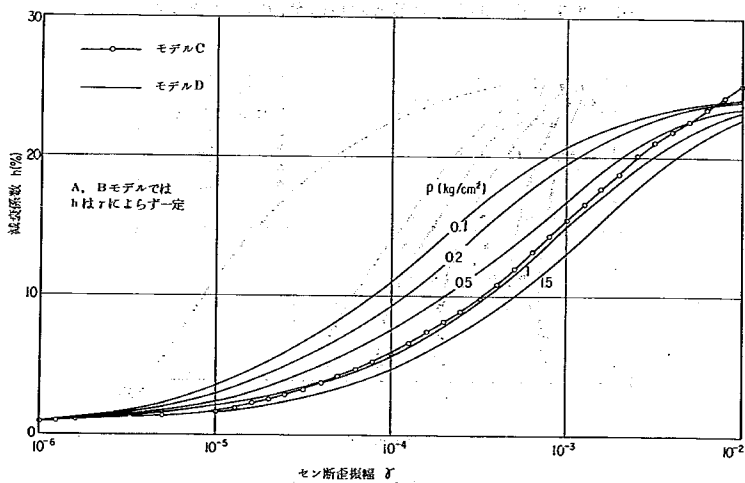


図-23 $h \sim r$ 曲線

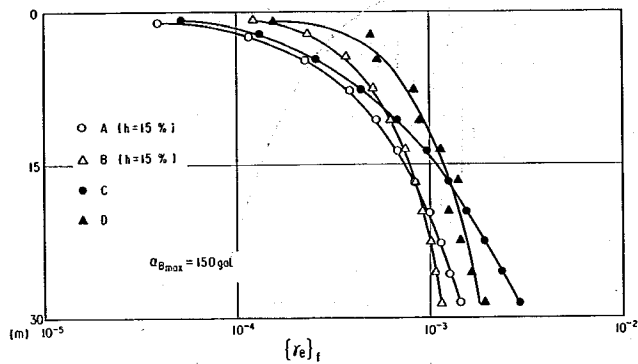


図-24 くりかえし計算後の $re = [re]_f$

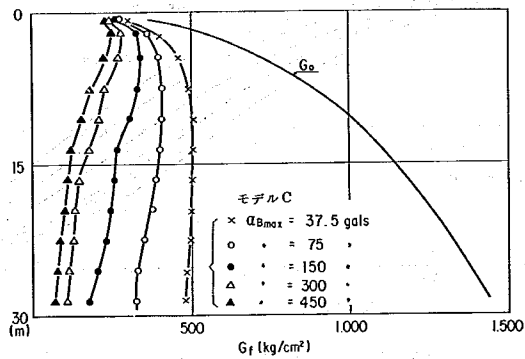


図-25 くりかえし計算後のGの値, G_f (モデルC)

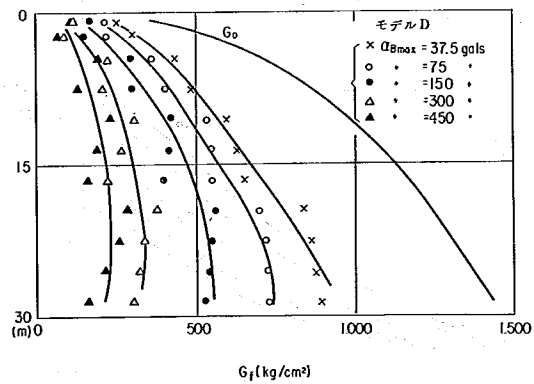


図-26 くりかえし計算後のGの値, G_f (モデルD)

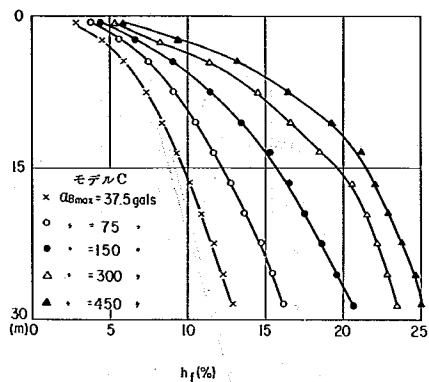


図-27 くりかえし計算後の h の値, h_f (モデルC)

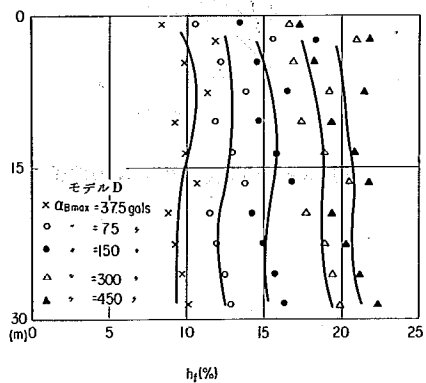


図-28 くりかえし計算後の h の値, h_f (モデルD)

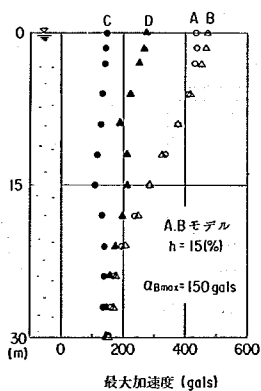


図-29 最大加速度分布

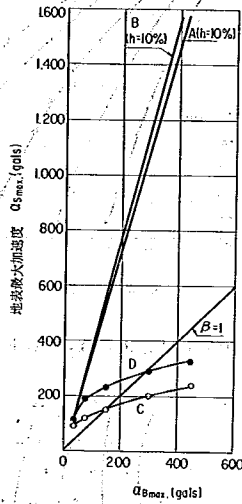


図-30 α_{Bmax} と α_{Smax} の関係

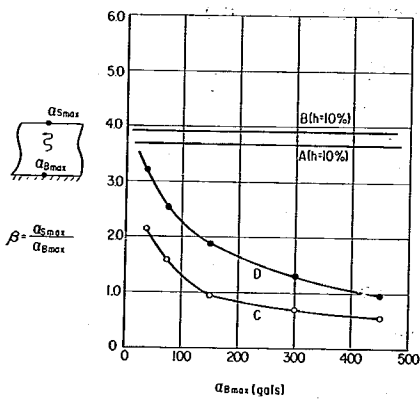


図-31 $\beta = \frac{\alpha_{Smax}}{\alpha_{Bmax}}$ と α_{Bmax} の関係

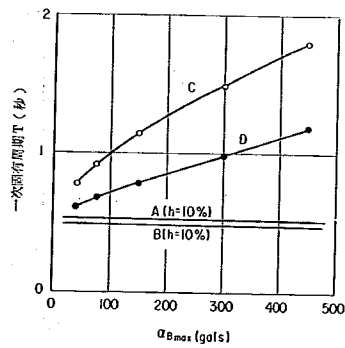


図-32 二次固有周期と α_{Bmax} の関係

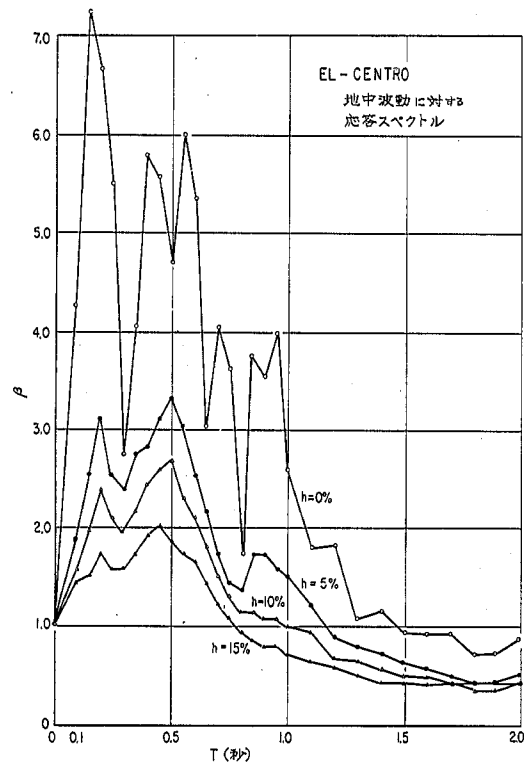


図-3-3 エルセントロ地震波に対する応答スペクトル

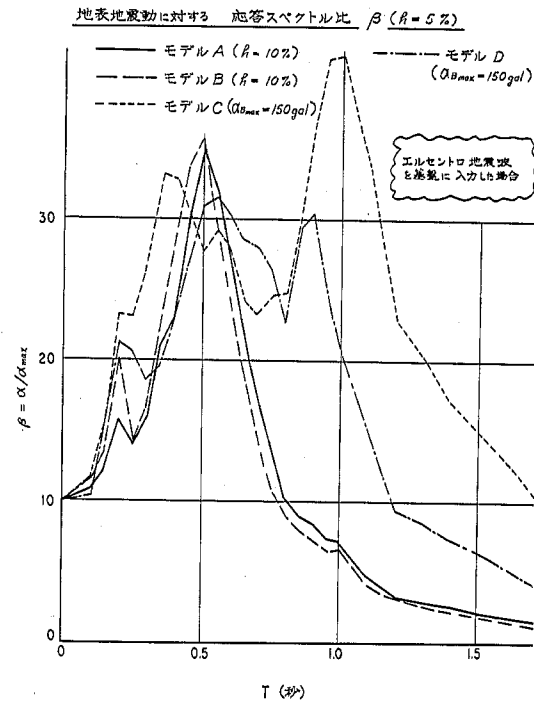


図-3-4 モデル地盤の地表地震動に対するスペクトル比