

地中地震記録に基づく地盤の応答解析

建設省土木研究所 岩崎敏男
 建設省土木研究所 龍岡文夫
 五洋建設技術研究所 ○今井五郎

§ 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でき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結果を報告する。

§ 解析対象の地震・地盤条件・解析モデル

八丈島地震(1972.12.4),伊豆半島地震(1974.5.9)の表面波の影響の少ない記録されはじめからの20秒間分のE-W, N-S二成分を解析対象とした。図-2に地中地震計設置点の地盤構成を示す。GL-52m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-158mに出る。地中地震計はGLO, -27, -67, -127m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。 r_t は土質調査に基づいて決めた。 $r=10^{-6}$ 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 $V_s(m/sec)=68N^{0.45}$ の關係を用いて、N値から V_s から決めた。解析は重複反射法, 集中荷重法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/ $G_0 \sim r$, h $\sim r$ 曲線は図-3に示すものを用いた。Iは扇島沖積粘土での実測値²⁾ II, III, Vは土木研究所での実測値³⁾ IVはSeed and Idrissによった。いづれの曲線のデータの集積と共に改善されるべき曲線である。プログラムは文献4), 5)によった。入力は、-127mでの実測記録をそのまま用いた。

§ 解析結果(最大加速度・応答スペクトル・増幅度)

図-4に最大加速度値 a_{max} の深さ方向への分布を示す。沖積層での増幅の様子はいづれの解析法でもよく追跡されているが、全般的には重射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

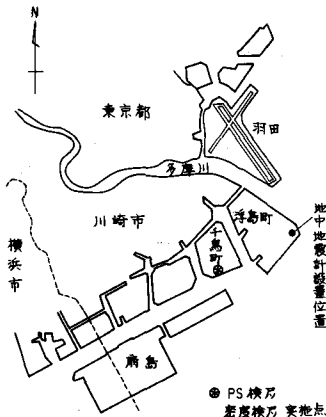


図-1 浮島公園位置図

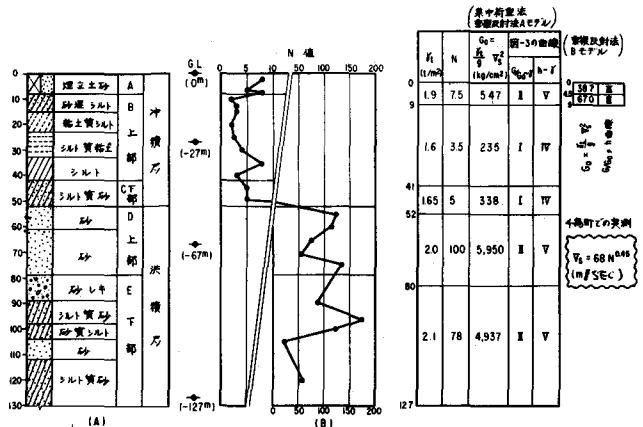


図-2 浮島公園地盤柱状図及び解析モデル

ルは洪積層で $2 \times 10^{-5} \sim 5 \times 10^{-5}$ 沖積粘土層で $10^{-4} \sim 3 \times 10^{-4}$ 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。重複反射法で八丈 EW を -127m で $\alpha_{\max} = 100\text{gal}$ として入力した場合では地表最大加速度はその 1.3 倍しかならなかった。この時沖積粘土層では最大 7×10^{-3} の歪が発生した。実測では 3.3 倍であるから、土の非線型性は強震時には大きな影響を持つことが分かる。図-5~8 に応答スペクトル $h = 5\%$ 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 秒はいつ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の S_A 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-9 に八丈 EW 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。 -127m と -67m 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、 $-127\text{m} \sim -27\text{m}$ 間、 $-127\text{m} \sim 0\text{m}$ 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つ原因であろう。

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

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

ここで u は水平変位量、 h は履歴減衰係数、 $\beta = 2h\sqrt{G\rho} \cdot h_i$ (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。

§ あとがき

大筋では解析でもって、実測での地盤の水

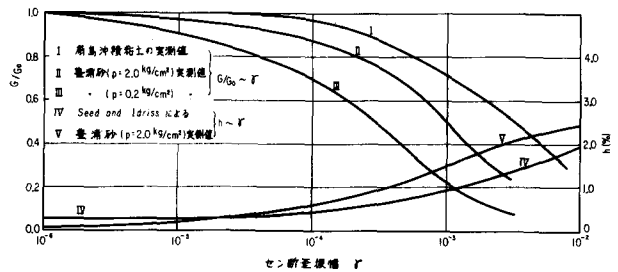


図-3 $G/G_0 \sim r$ 、 $h \sim r$ 関係

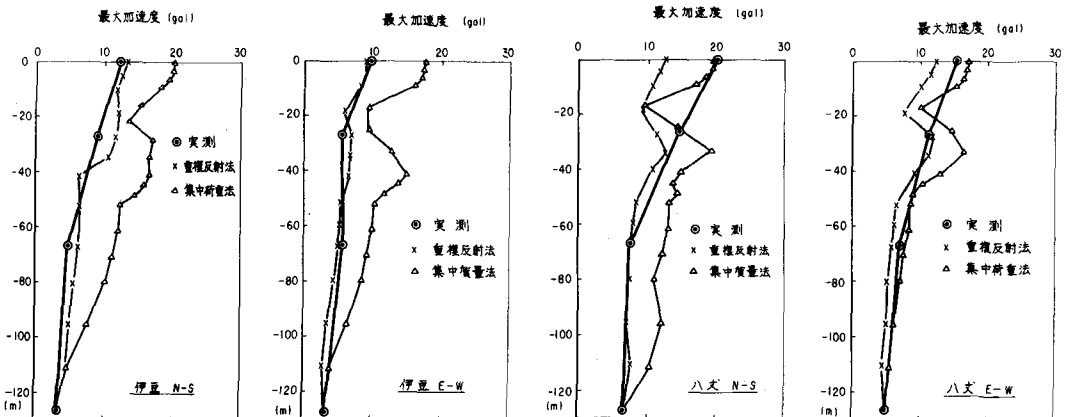


図-4 最大加速度の深さ方向の分布の実測と解析結果の比較

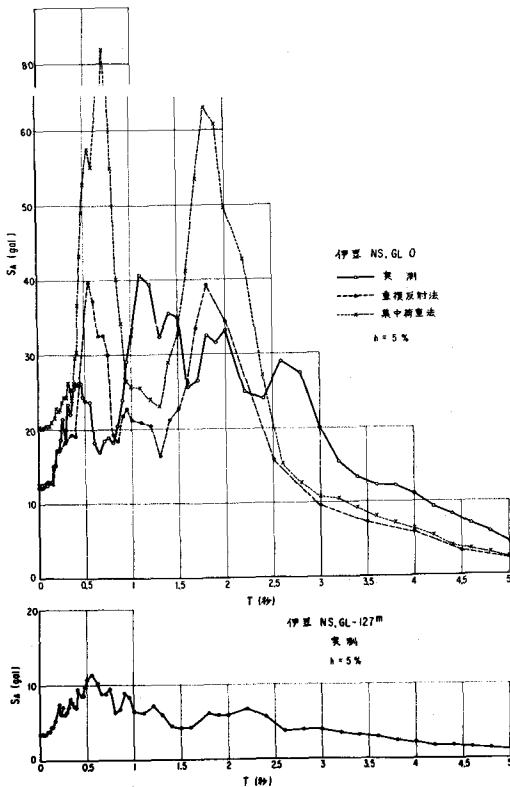


図-5 応答スペクトル(伊豆NS)

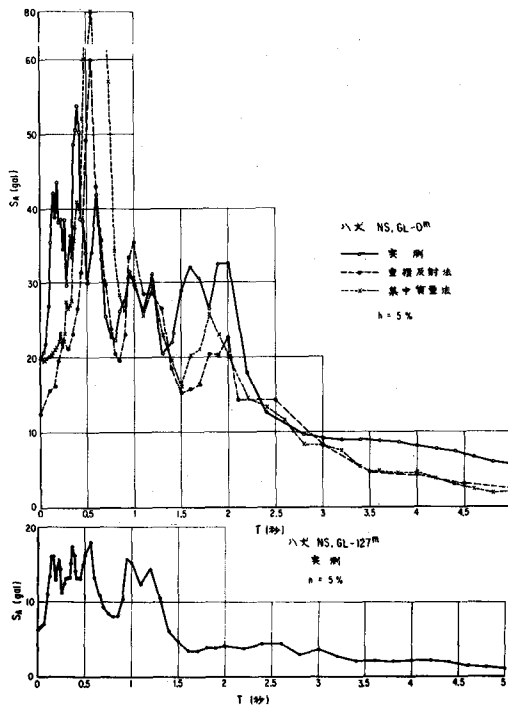


図-7 応答スペクトル(八丈NS)

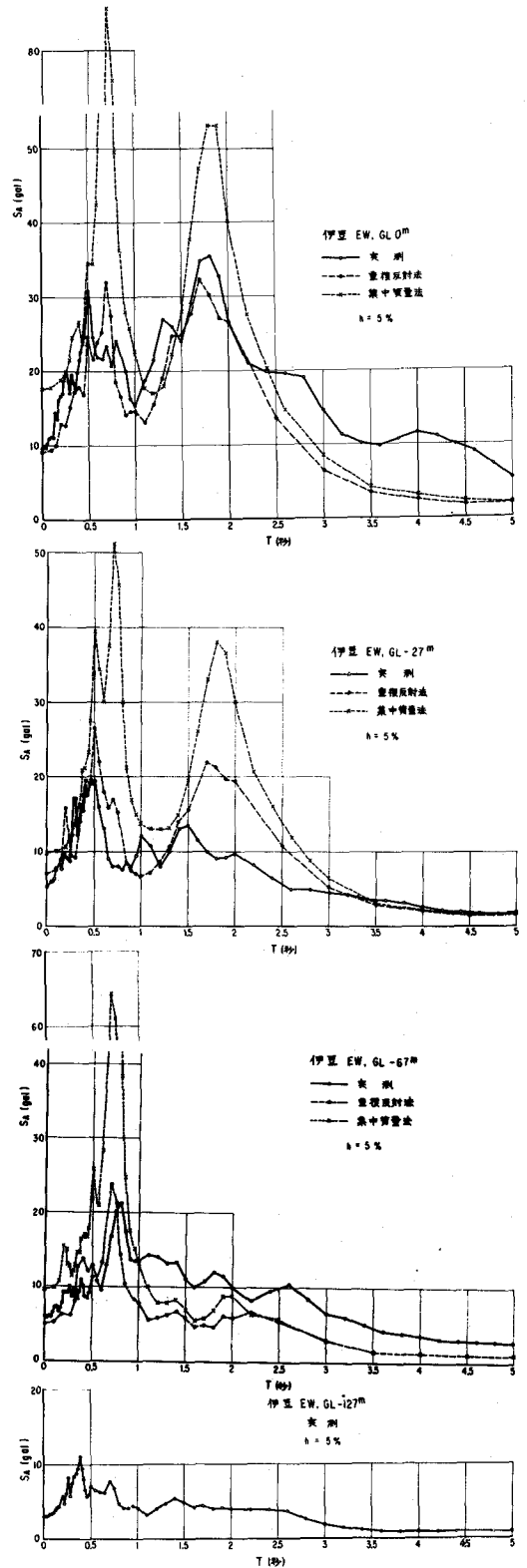


図-6 応答スペクトル(伊豆EW)

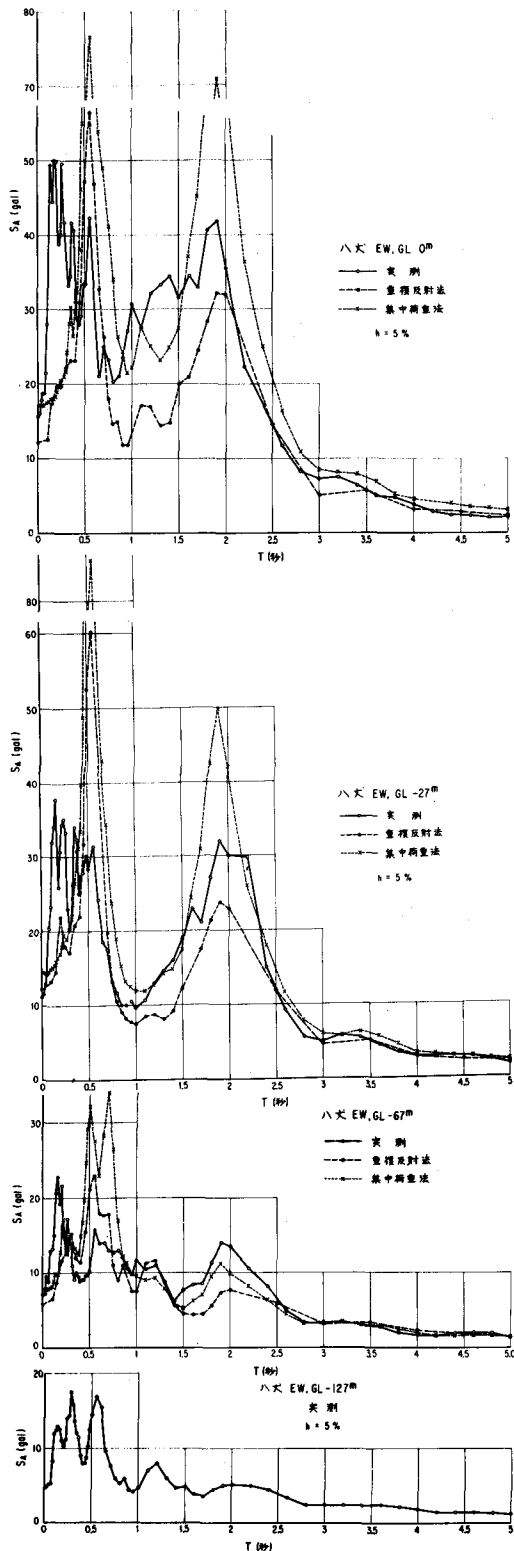


図-8 応答スペクトル(八丈EW)

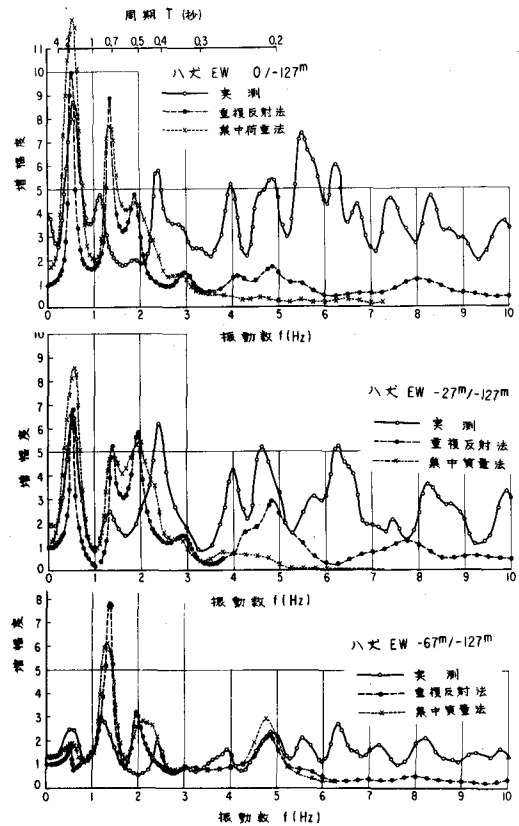


図-9 増幅度(八丈EW)

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。尚、本調査は建設省が推進中の総合技術開発プロジェクト「新耐震設計法の開発」に関連して実施されたものであり、ここに示した成果は土木研究所が(財)国土開発技術センターに委託して設立された耐震技術開発研究委員会(岡本舜三委員長)の地震力・地盤部会(久保慶三郎部会長、伯野元彦、石原研而部会長代行)において審議・検討されたものである。関係諸賢に感謝の意を述べるものである。

5 参考文献

- 1) 岩崎・若林・飯岡(1975) "地中地震動の実測と解析" 第4回日本地震工学シンポジウム
- 2) 日本鋼管(1975) "岡山地区埋立地盤の液化予測と対策"
- 3) 土木研究所資料1080号(1976) "広範囲な卓越域での砂の動的変形特性"
- 4) Schnabel, Lyman, Seed (1972) "SHAKE: A Computer Program for Earthquake Response Analysis of Horizontally Layered Sites" EERC-72-12
- 5) Idriss, Seed (1967) "Response of Horizontal Dams to Earthquakes." Soil Mechanics and Bituminous Material Research Laboratory, U. C., Berkeley.