

1. まえがき 数値解析上の簡便さが大きな理由で、強震時における地盤の非線形挙動予測手段として等価線形解析手法が一般に良く用いられている。しかし、この解析結果と土の履歴特性を考慮した逐次積分法による解析結果とは通常かなりの差異が見られることから、等価線形解析手法の有効性に関しては疑問視される向きがある。筆者らも過去に両者の差異に関して報告しているが¹⁾²⁾、本報は等価線形解析手法による解析結果と逐次積分法による解析結果が、きわめて良く一致した解析事例について紹介したものである。

2. 修正 Ramberg-Osgood モデル(修正 R-O モデル)の解析定数 h_{max} の設定方法³⁾⁴⁾ 逐次積分法による非線形地震応答解析には龍岡らが提案している修正 R-O モデル⁵⁾を用いた。この修正 R-O モデルの解析定数は G_0 、 γ_r および h_{max} である。 h_{max} は γ が無限大のときの減衰定数として定義されるものであるが、 h_{max} をこのように定めると、図 1 の例に示すように、修正 R-O モデルにおいて理論上定義される $G/G_0 \sim \gamma$ 曲線および $h_{eq} \sim \gamma$ 曲線と実際の土の実験曲線とは通常部分的にかなりのずれが生じることになる。このずれが解析結果に与える影響は大きく、解析精度の観点からはこのずれを極力小さくすることが望ましいと言える。ところで、修正 R-O モデルの $G/G_0 \sim \gamma$ 曲線および $h_{eq} \sim \gamma$ 曲線の定義式は、いずれも h_{max} の関数形で書き表すことができる。つまり、 $G/G_0 = 1 / [1 + \{2(\gamma/\gamma_r)(G/G_0)\}^\beta]$ 、 $h_{eq} = h_{max} \{1 - (G/G_0)\}$ である。なお、 $\beta = 2\pi h_{max} / (2 - \pi h_{max})$ である。図 2 は上式において、 h_{max} をパラメータとして $G/G_0 \sim \gamma$ 曲線および $h_{eq} \sim \gamma$ 曲線の変化特性を見たものである。これからわかるように、 $G/G_0 \sim \gamma$ 曲線は h_{max} の値を変化させることによってその倍率が操作できる。解析上は地盤の各地層に発生する最大ひずみまでの範囲において、 $G/G_0 \sim \gamma$ の理論曲線が実験曲線に十分近似していれば良く、そのひずみレベル以上で両者が一致している必要性はない。図 3 は h_{max} の値を操作し、図 2 に示した $G/G_0 \sim \gamma$ 曲線の両者が 10^{-4} のひずみレベルまでの範囲において近似するようにしたものである。

3. 地盤の非線形地震応答解析 図 4 は図 5 に示した地盤地表部で観測された最大加速度 204.6gal の強震記録である。当該地盤では土質調査試験が行われており、各地層の土の動的試験結果が得られている。この試験結果に基づき、地表部での加速度記録から等価線形解析手法によって、G.L.-30m に存在する S 波速度 880m/sec の基盤上面での入射波を算定した。図 6 は基盤上面での加速度波形(入射波+反射波)である。なお、解析上の地層分割は図 5 に示したとおりである。また、この解析における有効ひずみ γ_{eff} は、 $\gamma_{eff} = 0.65 \gamma_{max}$ とした。逐次積分法による解析は前節の方法に基づき、各地層に発生する最大ひずみレベルまでの範囲で $G/G_0 \sim \gamma$ の理論曲線と実験曲線が近似するように修正 R-O モデルの解析定数を決定し、1次元多質点バネ系モデルにより基盤下方への波動逸散を考慮して行った。要素分割は等価線形解析の場合と同じである。図 7 は逐次積分法による解析結果と観測記録を比較したものである。勿論、図 7 は等価線形解析手法による解析結果と逐次積分法による解析結果とを比較していることと同じである。両解析結果の差異に関して、これまで多くの研究者の指摘とは異なり、記録の全継続時間を通じて両者はきわめて良く一致した結果になっている。

4. あとがき 逐次積分法によって得られた最大応答値の分布図を図 8 に示したが、図中の剛性低下率の分布からわかるように、G.L.-14m 以浅で剛性低下率は 0.5 以下になっており、この地層でかなりの非線形挙動が発生したことは明らかである。両解析結果がよく一致した理由の 1 つとして、2 節で示した h_{max} の設定方法が挙げられるが、それだけではないと考えられる。なお、本報で示した 1 つの解析事例をもって、筆者らは等価線形解析手法の有効性を主張するものではないことを最後に断っておく。

5. 参考文献 (1) 田蔵、清水、嶋田、横田：地盤の非線形地震応答解析手法に関する一考察、第 17 回土質工学研究発表会、1982 年 6 月。(2) Shimizu, K., Shimada, M. and Katayama, T.: Study on Nonlinear Response of Soft Soil Deposit, Proc. of the 7th Asian Regional Conference on SMFE, August, 1983. (3) Tazoh, T., Nakahi, S., Shimizu, K. and Yokota, H.: Vibration Characteristics of Dynamic Model of Soil and Their Applicability to the Field, Proc. of the 8th WCEE, July, 1984. (4) 田蔵、清水、嶋田、横田：土の動力学モデルの振動特性と実地盤に対する適用性について、第 6 回日本地震工学シンポジウム、1982 年 12 月。(5) 龍岡、福島：砂のランダム繰返し入力に対する応力-歪関係のモデル化について(1)、生産研究、1978 年 9 月。

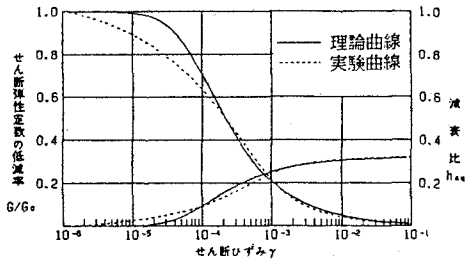


図1 修正 Ramberg-Osgoodモデルで定義される理論曲線と実験曲線の比較

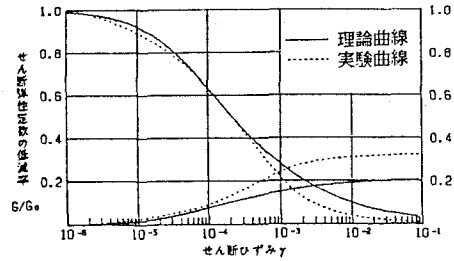


図3 実験曲線と一致するように h_{max} の値を操作した場合の理論曲線

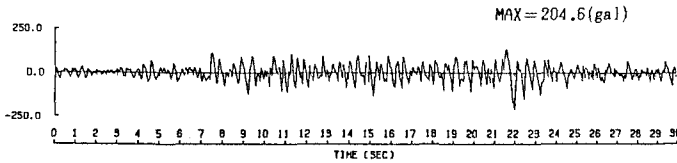


図4 地盤地表部において観測された加速度記録

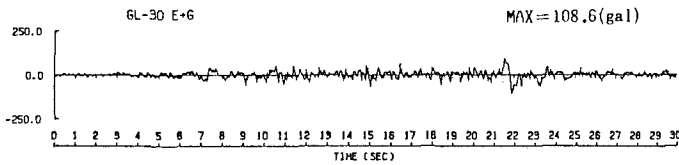


図6 等価線形解析により算定した基盤上面での加速度波形

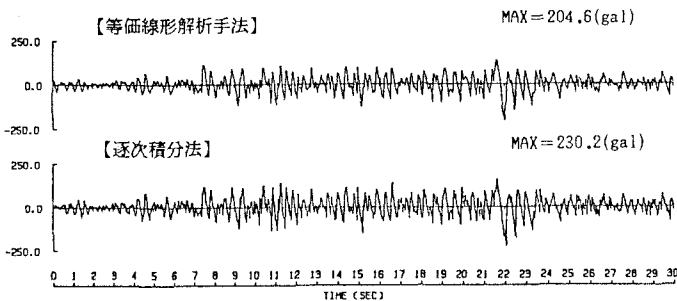


図7 等価線形解析手法および逐次積分法による地表部の応答加速度波形

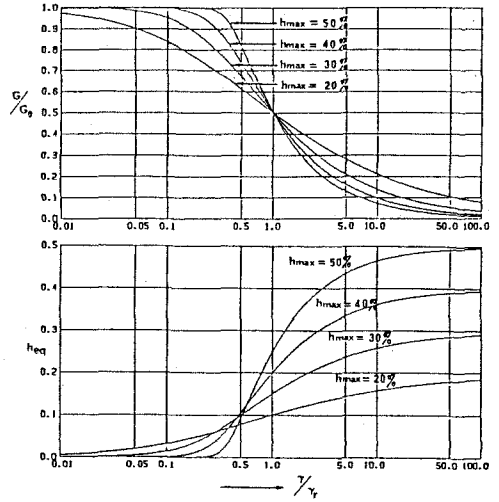


図2 h_{max} の変化に対する修正 Ramberg-Osgoodモデルの $h_{eq} \sim \gamma/\gamma_r$ 曲線、 $G/G_0 \sim \gamma/\gamma_r$ 曲線の変化特性

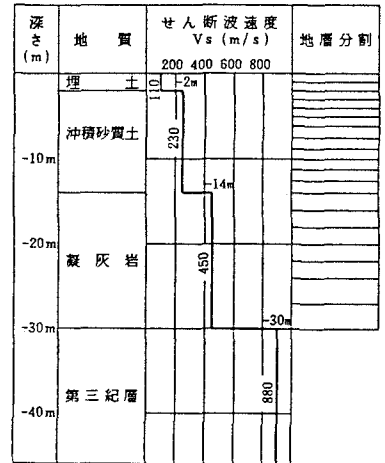


図5 地盤概要および解析モデル

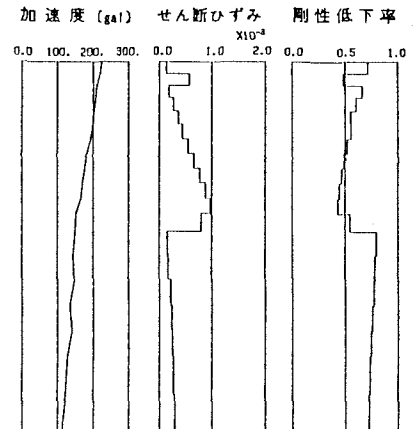


図8 最大応答値分布 (逐次積分法)