

I-481

地盤の非線形応答解析に関する統計的検討

(株) 奥村組 (正) 岩崎浩生

(財) 電力中央研究所 (正) 当麻純一

1. まえがき

本報告は、地盤の一次元振動解析として、非線形解析と等価線形解析を適用した場合の比較検討を行ったものである。入力波をランダム過程としてモンテカルロシミュレーションを行い、得られた加速度、変位、歪、および応力の最大値について統計的な整理をした。

2. 検討方法

(1) 解析概要 : 想定した地盤は、地表面から入力基盤までの層厚が20m、初期固有振動数を2.0Hzとした。この地盤に対して、初期せん断剛性 G_0 と降伏歪 γ_y 、および単位体積重量 γ_t とが深さ方向に一樣である地盤モデルAと、それらが深さ方向に漸増する地盤モデルBを考えた。

これらの地盤モデルに対して、各々重複反射理論を用いた等価線形解析と、集中質量系にモデル化した非線形解析（以下非線形解析と略す）とを行なった。表-1に解析モデルの概念と物性値を示す。なお地盤の応力-歪関係については、骨格曲線は式(1)に示したR-Oモデルを考え、履歴特性はMASING則に従うものとした。なお、等価線形解析における有効歪み換算率の値は、慣用的な0.65とした。

$$\frac{\gamma}{\gamma_y} = \frac{\tau}{\tau_y} \left(1 + \alpha \left| \frac{\tau}{\tau_y} \right|^\beta \right) \quad \dots\dots (1)$$

ここに γ : 発生歪 γ_y : 降伏歪

τ_y : 降伏応力 ($=G_0 \cdot \gamma_y$)

α, β は定数 $\alpha=2.4$ $\beta=1.3$

(2) 入力波の作成 : 入力波は式(2)で示す田治見のパワースペクトル密度関数 $S_y(\omega)$ で表される周波数特性を有し、位相特性をランダムに与えることにより作成した。

$$S_y(\omega) = \frac{1 + 4\beta^2(\omega/\omega_0)}{\{1 - (\omega/\omega_0)^2\}^2 + 4\beta^2(\omega/\omega_0)^2} \quad \dots\dots (2)$$

ここに ω : 円振動数

ω_0 : 固有円振動数 $\omega_0 = 2\pi f_0$

f_0 は地盤の初期固有振動数に等しい

2.0Hz とした。

β : 定数 $\beta=0.6$

入力地震動の継続時間は、定常部分が10秒、たち上がり、たち下りの部分がそれぞれ2.5秒ずつ計15秒である。図-1に入力地震波の一例を示す。そのパワースペクトルを図-2に示す。このような地震波を最大加速度、100gal、200gal、300galについてそれぞれ50波ずつ作成し、150波に対する応答解析を行った。

表-1 地盤物性値

地盤モデルA				地盤モデルB			
V_s	G_0	γ_y	γ_t	V_s	G_0	γ_y	γ_t
(m/s)	(t/m ²)	(%)	(t/m ³)	(m/s)	(t/m ²)	(%)	(t/m ³)
160	3917	0.05	1.50	58	1090	0.016	1.35
				113	1830	0.027	1.40
				128	2370	0.035	1.40
				138	2800	0.042	1.45
				144	3180	0.047	1.50
				151	3510	0.052	1.50
				155	3820	0.057	1.55
				158	4100	0.061	1.60
				163	4390	0.065	1.60
				163	4610	0.069	1.70

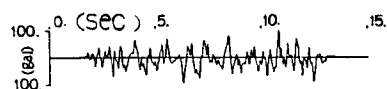


図-1 入力波時刻歴波形

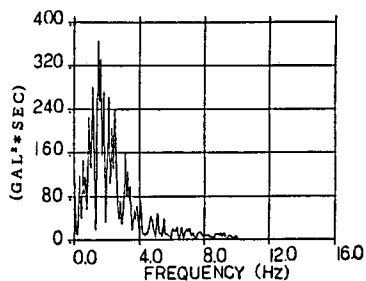


図-2 入力波パワースペクトル

3. 解析結果

(1) 頻度分布： 応答解析結果の比較の一例として、100gal入力における地表面の最大加速度および最大変位の頻度分布を図-3に示す。 μ は平均値、 σ は標準偏差である。 μ と σ を分布のパラメータとする正規分布の確率密度関数（図中、実線）で、これらの結果を近似できることがわかる。

(2) 解析結果の比較： 図-4 (a)~(d)はこのようにして定めた、応答の平均値と標準偏差を、入力レベルに対してとりまとめたものである。図の縦軸は非線形解析による値、横軸は等価線形解析による値を示しており、図中十字線の交点が平均値を表し、線分の長さは、バラツキ $\pm 1\sigma$ を表す。図より加速度については、地盤モデルAの場合、等価線形解析と非線形解析の差はほとんどないことがわかる。地盤モデルBの場合、等価線形解析の結果の方が非線形解析結果に比べ大きく、入力が大きいくほどその差も大きい。

地盤モデルBでは、地表付近が低拘束圧であることによる非線形特性の違いが特に現れたためと考えられる。また変位についてみると地盤モデルA、Bとも等価線形解析値は、非線形解析値に対し、平均値で約80%の大きさとなっている。同様に最大歪については、等価線形解析値は非線形解析値に対し、平均値で70~80%の大きさとなっている。一方、最大応力は、等価線形解析値が、非線形解析値に対し、平均値で約110%程度の大きさである。これらの比率は入力レベルに関わらずほぼ一定とみなせる。

4. まとめ

等価線形解析と非線形解析を比較した結果、変位、応力、歪については、入力レベルに関わらず各々一定の割合で等価線形解析と非線形解析が対応するようである。ただし、加速度については地盤のモデル化や、入力レベルによって、地盤の非線形な特性の解析結果に与える影響が異なる。

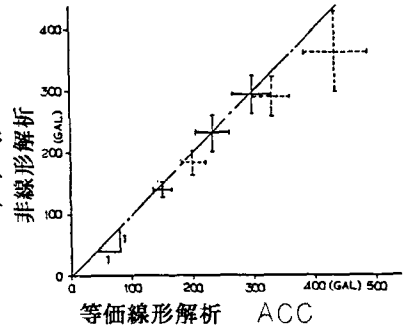
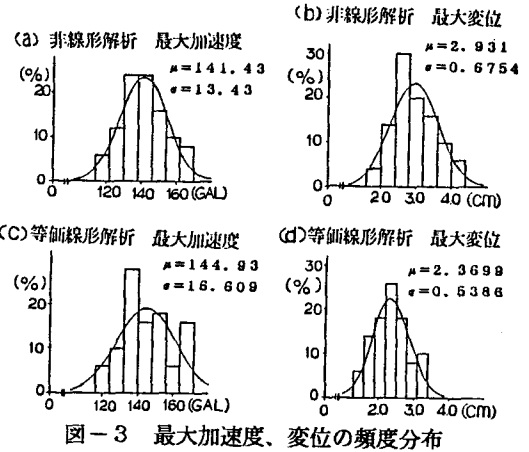


図-4 (a) 最大加速度比較図

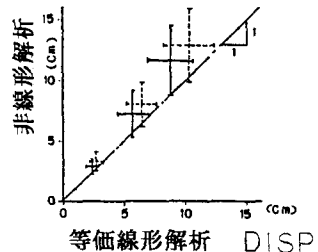


図-4 (b) 最大変位比較図

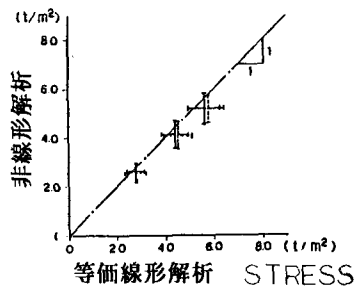
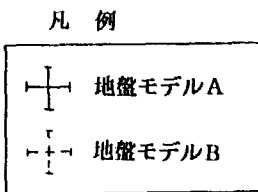


図-4 (d) 最大応力比較図

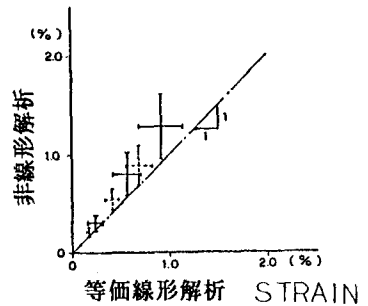


図-4 (c) 最大歪比較図