

建設省土木研究所 正員 木全 俊雄

近藤 益典

日本技術開発(株) 〇 高松 聖則

1. まえがき

地盤または地盤を含めた構造物の耐震性を検討するために地震応答解析が行われるケースが多いが、現在、一般によく行われている地震応答解析手法の中から、次々求められる結果やその精度に応じて、最も適した解析手法を選択することが必要となる。本文は、同一地盤において、等価線形解析と非線形地震応答解析（過剰間隙水圧の発生、消散を考慮する場合、ない場合の2ケース）をそれぞれ行い、その結果を比較、とりまとめたものである。

2. 地盤モデルおよび入力地震動

解析の対象としたのは、昭和入崎周辺地盤であり、その概要は図-1に示すようにG.L.-10m程度までゆるい砂地盤で、1964年新潟地震の際に液状化が生じた箇所である。解析上の基礎面の位置は、より深くとるべきであるが、今回の解析は手法の比較が目的であり、単純にG.L.-20mを選んだ。

基礎に入力する地震動は、観音崎地表面下-80mの記録（EW成分、1974年伊豆半島沖地震）であり、最大値を130galとして入力した。入力波形は、解析結果と併せて図-3に示す。

3. 解析手法

等価線形化手法については、重複反折理論による解析プログラムSHAKE¹⁾を、非線形地震応答解析には、一次元せん断質点系モデルを用いた DESRA²⁾を用いた。DESRAについては、過剰間隙水圧（ Δu ）の発生、消散を考慮する場合としない場合の2ケースについて計算を行った。DESRAは、土の非線形性をHardin-Drnevichモデルにより考慮し、その骨格曲線は(1)式で表わされる。地盤が液状化する場合に時々刻々と τ_{max} が変化するので Δu ごとに τ_{max} を計算している。計算ステップは0.01秒とし、直接積分にはNewmarkの β 法を用いて行った。

$$\tau = \frac{r}{\frac{1}{G_{max}} + \frac{r}{\tau_{max}}} \quad \text{----- (1)}$$

4. 解析結果

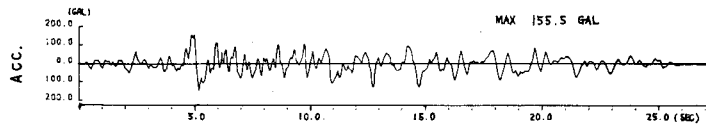
図-2に示すようにSHAKE、DESRA（ Δu を考慮せず）、DESRA（ Δu を考慮）により計算された地表地盤の加速度応答を、さらに基礎入力地震動を併せて示す。また、図-5にはそれぞれの応答スペクトルを示す。

まず、図-2の波形をみると、 Δu を考慮した場合の加速度応答は、他のものと比較して最大加速度が生じた後（液状化後）には、非常に長周期の波になり、かつ振幅も小さくなっていることがわかる。この波形は、図-3に示すように、新潟地震の際に新潟市河岸町で観測された波形³⁾（E-W成分）とその傾向が極めてよく類似しており、液状化地盤の表層応答波形をよく表現していることがわかる。図-5をみると、等価線形解析によるスペクトルでは1秒以上のものが他に比べて小さく、また、非線形解析では、 Δu を考慮する場合、0.5～1.0秒程度および0.3秒以下のものが小さく、逆にわずか2秒以上の波が大きくなる。また、非線形解析では、 Δu を考慮する場合、0.5～1.0秒程度および0.3秒以下のものが小さく、逆にわずか2秒以上の波が大きくなる。

また、液状化を考慮しない非線形解析と等価線形解析の結果を比較すると、最大加速度だけに着目すれば、等価線形解析の方が大きな値を示していることが図-4の最大加速度の深度分布からわかる。最大いずみの分布はここには図示していないが、等価線形では $5 \times 10^{-3} \sim 10^{-3}$ 程度であるのに対して、非線形では $10^{-3} \sim 2 \times 10^{-3}$ 程度である。ただし、今回の解析においては、等価線形に適用した $G \sim \gamma$ 、 $\nu \sim \gamma$ 関係が実験値によるものであるのに対して、非線形解析ではH-Dモデルによるものであり、本当の意味での比較にはなっていないので今後、等価線形解析にH-Dモデルにより得られる $G \sim \gamma$ 、 $\nu \sim \gamma$ を用いて、結果の比較をし直す予定である。

(参考文献) 1) Schnabel, P.B. et. "SHAKE-A Computer Program for Earthquake Response Analysis of Horizontally Layered Sites," Report No. EERC 77-12, 1972

- 2) Lee, M.K.W. and Finn, W.D.L. "DESRA-1 Program for the Dynamic Effective Stress Response Analysis of Soil Deposits Including Liquefaction Evaluation," Department of Civil Engineering, Soil Mechanics Series No. 36, The University of British Columbia, Vancouver, Canada, June, 1978
- 3) 岩崎, 若林, 川島, 高木 "土壌振動物における加速度履歴記録(No.1)" 土木研究所報 第32号, 昭和53年3月



SHAKE による地表面の加速度応答

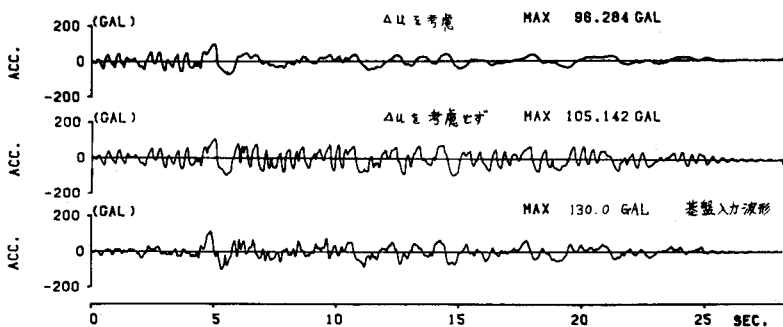


図-2 SHAKE および DESRA の計算結果の比較

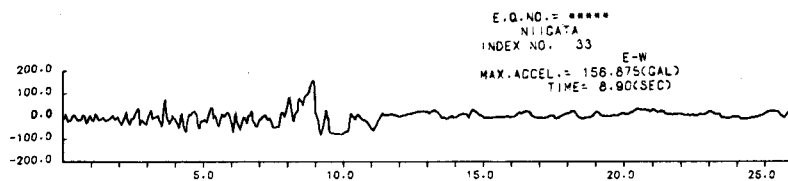


図-3 新潟市 河岸町 における観測記録

深度 (m)	柱状図	N 値	層番号	V_s (%)	V_e (%)	ρ (%)
1		10	1	150	1.8	10^{-4}
2		20	2	"	"	"
3		30	3	"	"	"
4		40	4	180	1.95	10^{-3}
5			5	"	"	10^{-4}
6			6	"	"	"
7			7	"	"	"
8			8	"	"	"
9			9	"	"	"
10			10	"	"	"
11			11	"	"	"
12			12	"	"	"
13			13	240	2.0	10^{-5}
14			14	"	"	"

図-1 昭和大桥地盤の概要

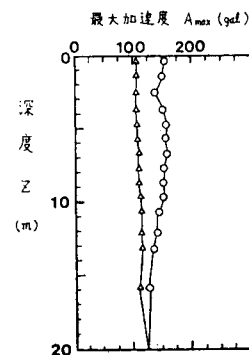
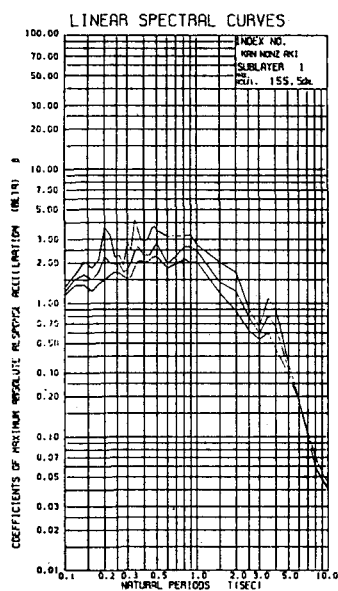
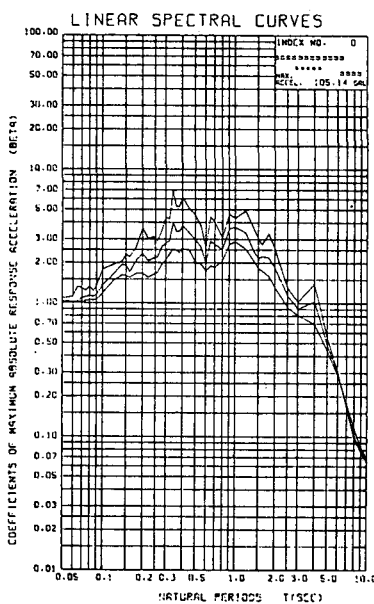


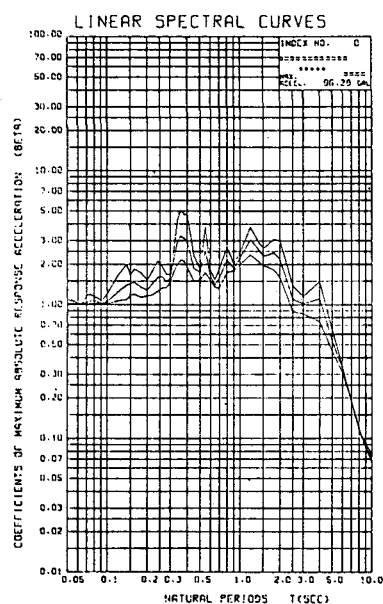
図-4 最大加速度の深度分布



(a) SHAKE



(b) DESRA (Δu を考慮せず)



(c) DESRA (Δu を考慮)

図-5 応答スペクトル