

I-480

地盤の非線形地震応答波形の簡便な算定方法について

清水建設(株) 正会員 田蔵 隆 清水建設(株) 正会員 清水 勝美
中央大学大学院 学生会員 山内 桂良 中央大学 正会員 岡内 功

1. 概 説

本報は地盤の非線形地震応答波形を線形地震応答波形から簡便に算定する方法について提案したものである。まず、計14の地盤モデルを対象に地震応答解析を実施し、地表部の線形地震応答波形に対する非線形地震応答波形の平均フーリエ振幅比と平均位相差を定義した¹⁾。次に、その平均フーリエ振幅比と平均位相差ならびに線形地震応答波形から非線形地震応答波形を算定し、非線形地震応答解析から得られた非線形応答波形との対比を行った。両者の良い対応関係から、線形地震応答波形に対する非線形地震応答波形のフーリエ振幅比と位相差を適切に定めることによって、地盤の非線形地震応答波形が簡便に算定できることを示した。

2. 地盤モデルならびに解析条件

計14の地盤モデルとは、現実存在する地盤をせん断型の多質点ばね系モデルによってモデル化したものであり、地盤の1次固有周期 T_1 は $T_1=0.29\sim 1.72$ 秒である(表1参照)²⁾³⁾。なお、各地盤モデルの土質概要および解析モデルの詳細は、紙面の都合上割愛する。

地震応答解析における土の動力学モデルとしては、修正 Ramberg-Osgoodモデルを用いた。入力地震波は1940年EL-CENTRO記録のNS成分、1968年十勝沖地震八戸記録のEW成分、1952年TAF T記録のEW成分、1968年埼玉県中部地震朝日東海ビル記録のNS成分の4地震記録とし、入力最大加速度 A_{0max} は10Gal、50Gal、100Gal、150Gal、200Galとした。解析ケースの合計は280である。

表1 地盤モデルに対する解析ケース

No.	地盤名	解析基礎の深さ (m)	1次固有周期 T_1 (s)	入力地震波	入力最大加速度 A_{0max} (Gal)
1	A	21.5	0.29	EL-CENTRO N-S	10
2	B	30.0	0.34		
3	C	42.0	0.51		
4	D	26.6	0.53		
5	E	60.0	0.54	十勝沖八戸 E-W	50
6	F	40.0	0.59		
7	G	44.5	0.78		
8	H	85.0	0.88		
9	I	40.0	0.91	T A F T E-W	150
10	J	66.0	1.06		
11	K	70.0	1.30		
12	L	30.0	1.41		
13	M	114.0	1.48	朝日東海 N-S	200
14	N	55.0	1.72		

3. 線形地震応答波形に対する非線形地震応答波形の平均フーリエ振幅比と平均位相差

A_{0max} を10Galとした解析結果をここでは線形地震応答と考えた。地表部の加速度応答波形に関して、線形地震応答と A_{0max} を50Gal以上とした非線形地震応答解析結果との差異を両者のフーリエ振幅比と位相差 ϕ で定義した。なお、 A_{0max} が50Gal以上の場合の線形地震応答波形は、 A_{0max} が10Galの場合の解析結果を基本として、その比例計算から算定した。各地盤モデルに対して、フーリエ振幅比と位相差 ϕ はそれぞれ16ケース(4入力地震波と $A_{0max}=50Gal, 100Gal, 150Gal, 200Gal$)の結果が得られることになる。

図1は横軸を地盤の1次固有周期 T_1 に対する周期 T の比、つまり周期比 $\lambda=T/T_1$ として、14地盤から得られたフーリエ振幅比とおよび位相差 ϕ を入力最大加速度 A_{0max} ごとに平均(14地盤 $\times$ 4入力地震波=56ケースの平均)して求めたものである。平均フーリエ振幅比 $\zeta(\lambda)$ および平均位相差 $\phi(\lambda)$ は、線形地震応答を地盤の非線形性を考慮した地震応答に変換するための係数とみることができる。 $\zeta(\lambda)=1.0$ は、周期比 λ において線形地震応答と非線形地震応答に差がないことを表し、 $\zeta(\lambda)>1.0$ あるいは $\zeta(\lambda)<1.0$ の周期比領域は、地盤の非線形地震応答による影響が現れている領域を表している。非線形地震応答の影響を受ける周期比領域で問題になるのは $\zeta(\lambda)$ および $\phi(\lambda)$ の値であり、

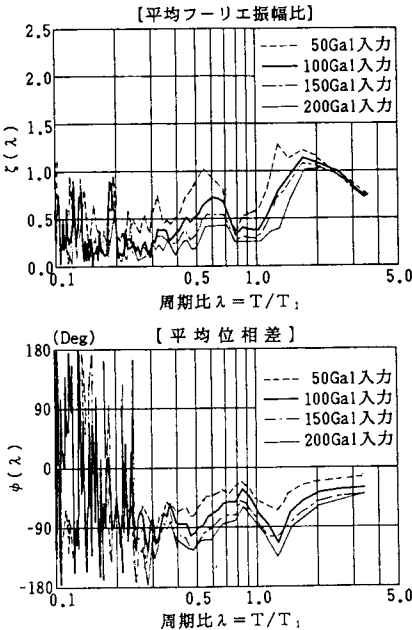


図1 平均フーリエ振幅比 $\zeta(\lambda)$ および平均位相差 $\phi(\lambda)$

EL-CENTRO記録

十勝沖地震八戸記録

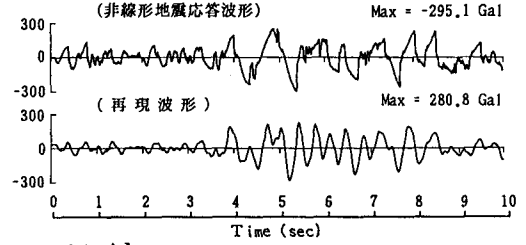
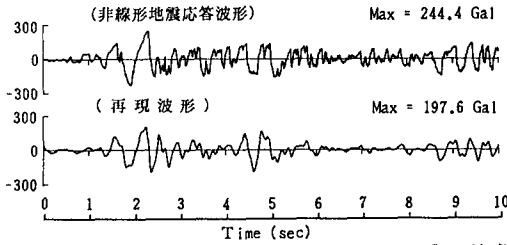
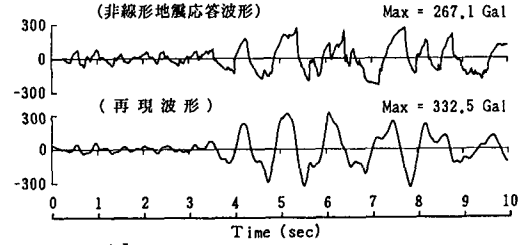
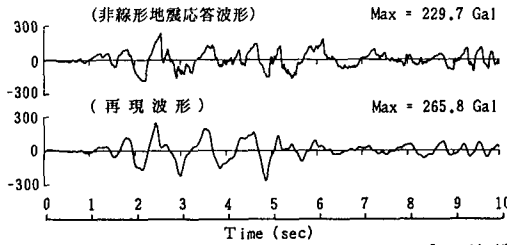
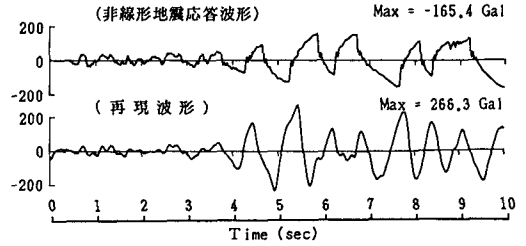
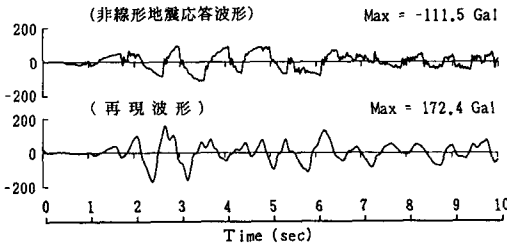
〔B地盤 ($T_1 = 0.34 \text{ s}$)〕

〔I地盤 ($T_1 = 0.91 \text{ s}$)〕

〔M地盤 ($T_1 = 1.48 \text{ s}$)〕


図2 B地盤、I地盤およびM地盤に対する非線形地震応答波形の再現

図1において周期比領域 $0.5 \leq \lambda \leq 3.0$ に注目すると、 $\lambda = 1.0$ で $\zeta(\lambda)$ は $0.3 \sim 0.6$ になり、 $\lambda > 1.2$ の周期比で $\zeta(\lambda) > 1.0$ となる領域が発生している。

4. 非線形地震応答波形の再現性について

各地盤の地表部の線形地震応答波形のフーリエスペクトルに図1に示した平均フーリエ振幅比 $\zeta(\lambda)$ および平均位相差 $\phi(\lambda)$ を乗ずることによって、地表部の非線形地震応答波形が算定できる。図2は地盤の1次固有周期 T_1 が大きく異なるB地盤($T_1 = 0.34 \text{ s}$)、I地盤($T_1 = 0.91 \text{ s}$)およびM地盤($T_1 = 1.48 \text{ s}$)に対して、入力最大加速度 $A_{0 \max}$ を 150 Gal とした場合のEL-CENTRO記録および十勝沖地震八戸記録入力による地表部の非線形地震応答波形の再現性について検討したものである。図2の比較から、本提案により求めた波形は非線形地震応答波形をほぼ再現しているとみることができるが、1次固有周期 T_1 が長い地盤(M地盤)の場合、再現波形の振幅は大きく位相が進む傾向にあることが分かる。

5. あとがき

軟弱地盤を対象とした構造物の耐震安全性の検討において、地盤の非線形地震応答特性を設計的にどのように反映させるかが重要な問題になる。本報の提案は、線形地震応答波形に対する非線形地震応答波形のフーリエ振幅比と位相差を適切に定めることによって、線形地震応答波形から対象地盤の非線形地震応答波形が簡便に算定できることを示したものであり、本提案の耐震設計面への応用範囲は広いと考えられる。

<参考文献>

- (1) 田蔵、佐藤、清水、横田、竹脇：軟弱地盤の強震時の動的応答特性、第19回地震工学研究発表会、1987年。
- (2) 田蔵、清水、山内、岡内：均質地盤と成層地盤の非線形地震応答特性の差異について、第23回土質工学研究発表会、1988年。
- (3) 田蔵、清水、広瀬、山内、岡内：均質地盤と成層地盤の地表部の最大応答値に関する一考察、土木学会第43回年次学術講演会、第I部門、1988年。