

# 地震応答解析における減衰の影響に関する研究

東北学院大学工学部 学生会員 田中 信道  
 東北学院大学工学部 小松 ひとみ  
 東北学院大学工学部 正会員 吉田 望

## 1 はじめに

動的荷重に対する地盤材料の力学的特性が動的変形特性として、せん断定数と減衰定数のひずみ依存性として与えられていることからわかるように、剛性と減衰は力学特性として重要であり、地震応答を支配するものと考えられてきた。

このうち、減衰は地盤の応答を押さえるものと理解され、例えば、地表の応答が小さくなる時、減衰が大きいためであると説明されることはよくある。

ところで、筆者の一人らは、強地震に対しては地表の地震動は弱層のせん断強度に支配されることを示した<sup>1)</sup>。また、ケーススタディにより、これに加え、減衰定数が大きいと除荷後の剛性が大きくなるため、高振動数成分の応答が減衰定数が小さいケースよりも大きくなることを示した<sup>2)</sup>。

このような事実を考え合わせると、減衰が大きいと応答が抑制されるという常識は正しくない可能性があることがわかる。そこで、本研究では減衰定数をパラメータとしたケーススタディを行い、減衰定数が地震応答に与える影響を検討することにした。

## 2 解析対象と解析方法

解析の対象とした地盤および入力地震動は文献 2) に示されるものと同じである。図 1 に地盤構成を、図 2 に地震動を示す。ここで、 $V_s$  はせん断波速度、 $\gamma_t$  は単位体積重量である。また、解析ではこの地震動を入射波として基盤に作用させる。

動的変形特性は、Hardin-Drnevich モデル<sup>3)</sup>を用いる。このモデルでは、せん断定数比  $G/G_{max}$  と減衰定数  $h$  は次式で表される。

$$\frac{G}{G_{max}} = \frac{1}{1 - \gamma/\gamma_r} \quad (1)$$

$$h = h_{max}(1 - G/G_{max})$$

ここで、 $\gamma_r$  は基準ひずみ、 $h_{max}$  は最大ひずみである。

解析は、SHAKE<sup>4)</sup>と同様の等価線形化解析で行なうが、解析プログラムは DYNEQ<sup>5)</sup>を使用した。

既に、文献 1)、2) などから明らかのように、増幅

深さ (m)	土質	$V_s$ (m/s)	$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )
1.0	砂	200	17.2
1.9			19.1
2.8	粘土	120	17.2
3.8			
4.8			
5.8			
7.6	砂	200	19.6
8.8		210	
9.5		220	
10.8	砂	230	19.1
11.8		240	
12.8		250	
13.8		260	
14.8		270	
16.0		基盤	

図 1 柱状図

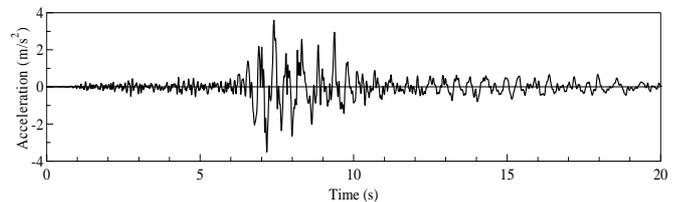


図 2 加速度時刻歴

(1987 年千葉県東方沖地震の観測波形)

表 1 解析ケース

最大減衰比 (%)	10, 20, 30, 40, 50, 60
地震波の倍率	1.0, 0.75, 0.5, 0.25, 0.125, 0.01

を論じる際には、減衰のみならず、地震動の大きさも重要である。すなわち、地震動が大きくなるほど、地表は上限加速度に近づくので増幅比は小さくなる。そこで、ここでは表 1 に示すように、減衰は最大減衰比を 10~60%まで変化させると共に、図 2 に示される地震動を基準とし、0.01~1.0 倍の間で変化させた。ここで、0.01 倍は弾性応答と考えられる大きさである。

## 3 解析結果と考察

図 3 に最大応答値、図 4 に応力 - ひずみ関係の例

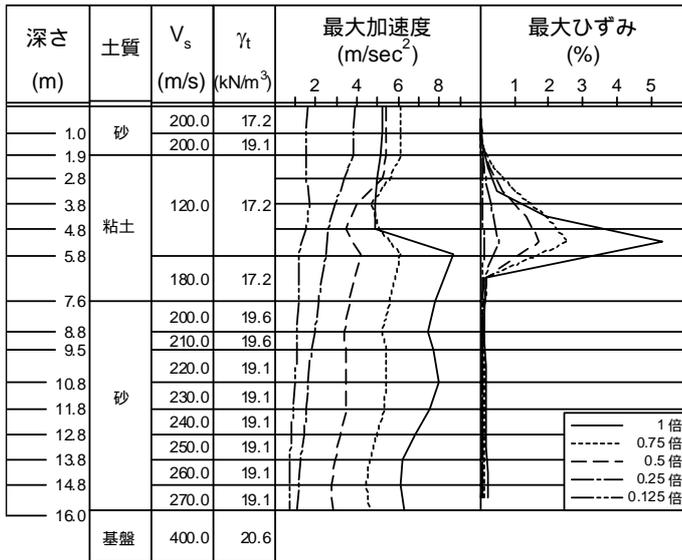
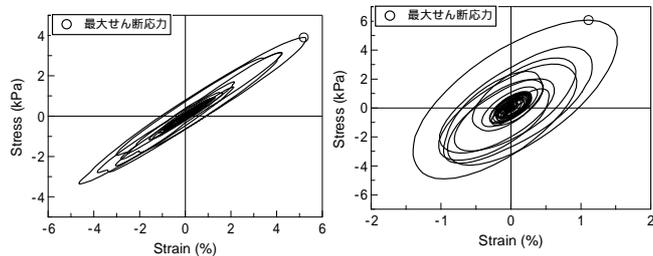


図3 最大応答値 ( $h_{max}=20\%$ )



(a)  $h_{max}=10\%$  (b)  $h_{max}=60\%$

図4 応力 - ひずみ関係 (GL-4.8 ~ -5.8m)

を示す。図3から、入力が大きくなると最大応答値はGL-4.8~-5.8の層で低下し、せん断強度に達して加速度が一定値に近づいていることがわかる。また、 $h_{max}=10\%$ と60%では減衰が大きく異なっていることがわかる。

図5に最大加速度の増幅比を示す。増幅比は入力地震動の大きさに大きく依存しているが、減衰定数にはそれほど影響を受けていない。実際、地震動が基準地震動の0.125倍ではほとんど一定であり、その他の場合でもほぼ一定である。例外は0.25倍のケースで、 $h_{max}=20\%$ で最も増幅が大きく、3.5倍となっている。また、増幅比は入力が小さい(弾性に近い)ほど小さいが、倍率0.25倍のケースは例外的に大きいことは興味深い。図3から、このケースと0.125倍のケースで地盤全体で増幅の程度が異なることが見て取れ、これがこのような違いとなっている。

図6には、各減衰ごとの入力地震動の大きさとの関係を見たものである。若干のばらつきがあるものの、全体として最大加速度は一定値に収束していく。また、図5と同様、減衰が大きければ最大加速度が

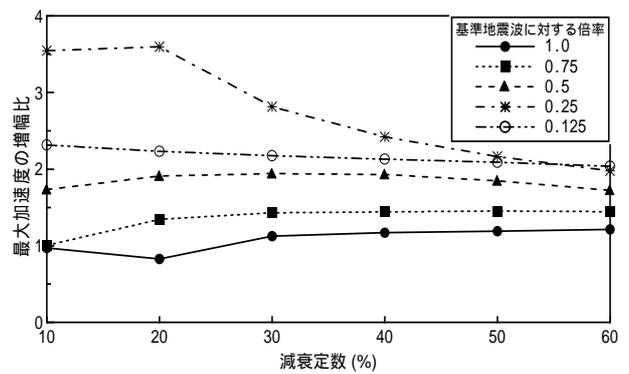


図5 増幅比

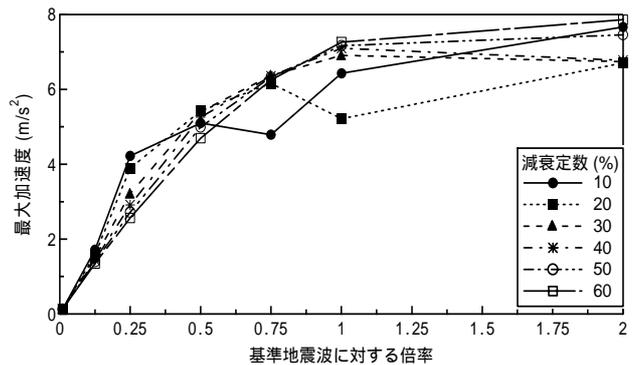


図6 地表の最大加速度

小さいという明瞭な傾向は見ることができない。

減衰定数が増幅を押さえることは、例えば正弦波振下の1質点系の増幅を見れば明らかである。正弦波加振であれば、各サイクルで設定した減衰定数に見合うエネルギーが吸収されるが、地震動における最大値はその時点の耐力で決まることが減衰が応答に影響を与えない原因と考えられる。

#### 4 まとめ

ケーススタディの結果、地震動の作用下では、減衰は最大応答値や増幅にあまり影響を与えないし、減衰が大きいため増幅が落ちるといってもいいことがわかった。

#### 参考文献

- 1) 末富岩雄, 沢田純男, 吉田望, 土岐憲三 (2000): 地震動の上限值と地盤のせん断強度の関係, 土木学会論文集, No. 654/I-52, pp. 195-206
- 2) 吉田望, 澤田純男, 竹島康人, 三上武子, 澤田俊: 履歴減衰特性が地盤の地震応答に与える影響, 2003
- 3) Hardin, B. O. and Drnevich, V. P. (1972): Shear modulus and damping in soils: design equations and curves, Proc. of the American Society of civil engineers, Vol. 98, No. SM7, pp. 667-692
- 4) Schnabel, P. B., Lysmer, J. and Seed, H. B. (1972): SHAKE A Computer program for earthquake response analysis of horizontally layered sites, Report No. EERC72-12, University of California, Berkeley
- 5) 吉田望: DYNEQ, A computer program for dynamic response analysis of level ground equivalent linear method, Version 3.30, <http://boh0709.ld.infoseek.co.jp/>