

地震応答解析における減衰の与える影響

東北学院大学 門馬裕太郎, 佐藤寛和

東北学院大学 正会員 吉田 望

1 はじめに

地盤材料の繰返しせん断特性がせん断剛性と減衰定数のひずみ依存性として表されることからわかるように、剛性と減衰は地震応答解析における重要なパラメータとしてとらえられている。このうち、減衰はその名の通り、地震応答を押さえる役割を持つとして理解されており、減衰が大きいと増幅が小さくなる。

これに対して、筆者の一人は、大地震に対しては地表の地震動に上限がある¹⁾ことから、減衰は応答にそれほど影響しないことを示した²⁾。このことはパラメトリックスタディでもある程度確認されている³⁾。しかし、この際には等価線形化法を用いたため、収束計算の都合で増幅が不連続になるなどの不都合が生じた。そこで、ここでは、逐次積分による非線形解析によりその影響を調べることにした。

2 解析対象と解析方法

基本的な地盤定数、解析上検討は前報³⁾と同じとした。すなわち、入力地震動は 1987 年千葉県東方沖地震において東金で観測され記録 (図 1) を用いる。また、柱状図は図 2中に示している。ここで、(V_s はせん断波速度、 γ は単位体積重量である。深さ 1.9~5.8mの間で $V_s=120\text{m/s}$ と小さく、また、上下に V_s の大きな層があることから、この層で非線形挙動が起これと考えられる。

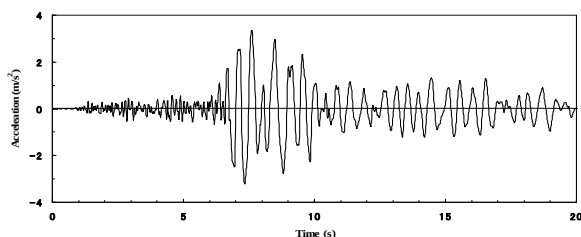


図 1 加速度時刻歴

繰返しせん断特性は、Hardin-Drnevich⁴⁾モデル

を用いる。このモデルのせん断定数比 G/G_{max} と減衰定数 h は次式で表される。

$$\frac{G}{G_{max}} = \frac{1}{1 + \gamma/\gamma_r}, \quad h = h_{max} \left(1 - \frac{G}{G_{max}} \right) \quad (1)$$

ここで、 γ_r は基準ひずみ、 h_{max} は最大減衰比である。

解析プログラムはDYNES3D⁵⁾を用いた。

文献2)を参考にすると、減衰の影響には、材料の非線形性も影響している。そこで、ここでは最大減衰比と入力地震動の二つをパラメータとして解析を行うことにした。表 1にパラメータの値を示す。

表 1 解析ケース

最大減衰比 (%)	10, 20, 30, 40, 50, 60
地震波の倍率 α	0.25, 0.5, 0.75, 1, 1.25, 1.5, 1.75, 2

3 解析結果と考察

図 2に $h_{max}=20\%$ のケースの最大応答値を示す。入力が大きくなると最大加速度は深さ 1.9~5.8mの層で低下する。これは、最大ひずみ分布から分かるように、深さ 1.9~5.8mの層でひずみが大きくなり、せん断応力はせん断強度 (25.6kN/m^2) に近づくため加速度が上限値に近づいてくるからである。ここで上限加速度 a_{max} は、力のつり合いから求めたもので 2.66m/s^2 である。

図 3, 図 4に基準地震動作用時の深さ 4.8~5.8mの層の応力-ひずみ関係を示す。 $h_{max}=10\%$ と 60% では履歴曲線は相当に異なるが、いずれのケースもせん断応力はほぼせん断強度になっている。

図 5に最大加速度と最大ひずみ分布を示す。 $\alpha=0.25$ 倍では増幅比は約 1.5 倍で h_{max} に関わらず一定であるが、入力小さいため、減衰の差がほとんどなかったことが原因である。 $\alpha=0.5$, $\alpha=0.75$ と減衰が増えるにしたがって増幅比は小さくなるが、非線形性が現れること、これに伴って減衰

も大きくなることが原因である。また、減衰が大きい方が増幅比は小さいが、この差はわずかである。さらに、実材料では h_{max} は15~25%程度であることを考えると、減衰は増幅に影響を与えていないといえよう。

図6には減衰ごとに入力地震動と地表の最大加速度の関係を見たものである。入力が大きくなると最大加速度は定常化していく。その値は上限値 $a_{max}=2.66\text{m/s}^2$ より大きいが、これは、弱層が強度に達した後の上部の自由振動によるものと考えられる。その程度は減衰が小さいほど大きい。

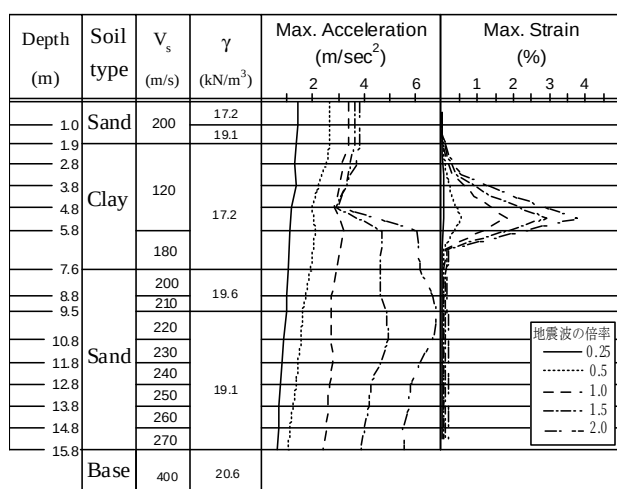


図2 最大応答値 ($h_{max}=20\%$)

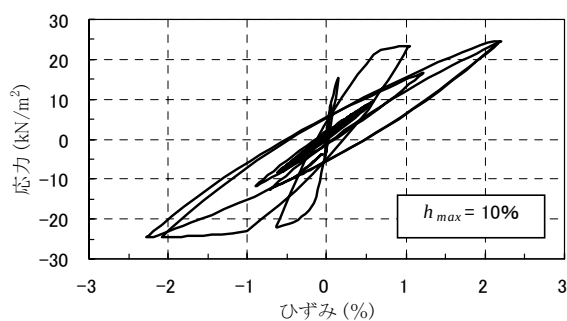


図3 応力-ひずみ関係 ($h_{max}=10\%$)

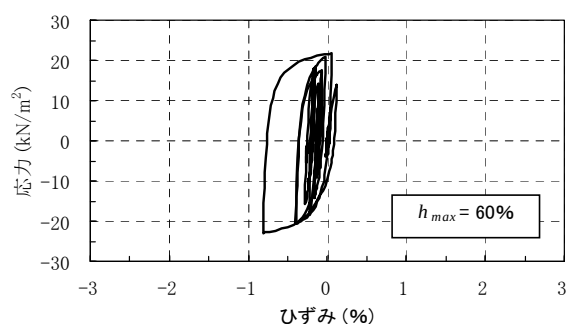


図4 応力-ひずみ関係 ($h_{max}=60\%$)

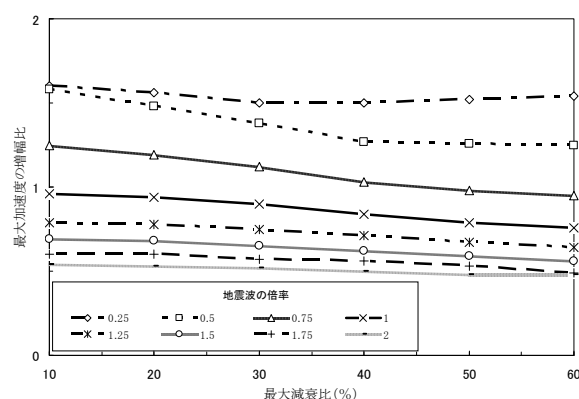


図5 増幅比

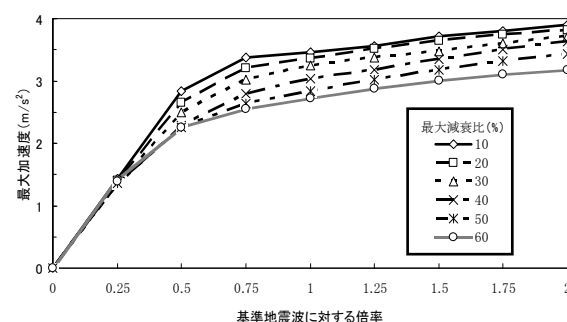


図6 地表の最大加速度

4 まとめ

地震動が大きくなると地表の加速度は上限加速度に近づくが、軟弱層より上の自由振動などにより最大値は上限加速度より大きくなり、その程度は減衰が小さいほど大きい。

参考文献

- 1) 末富岩雄, 沢田純男, 吉田望, 土岐憲三 (2000) : 地震動の上限値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, 沢田純男, 竹島康人, 三上武子, 澤田俊一 (2003) : 履歴減衰特性が地盤の地震応答に与える影響, 土木学会地震工学論文集, 第27巻, paper No.158
- 3) 田中信道, 小松ひとみ, 吉田望 (2009) : 地震応答解析における減衰の影響に関する研究, 平成20年度土木学会東北支部技術研究発表会講演概要集, pp. 313-314
- 4) Hardin, B. O. and Drnevich, V. P. (1972): Shear Modulus and Damping in Soils: Design Equations and Curves, J. SMFD, Proc., ASCE, Vol.98, No.SM7, pp.667-692
- 5) 吉田望 : DYNES3D, A computer program for dynamic response analysis of level ground by effective stress-nonlinear method Version 2.71 December 2006 (Original version May, 1995)