

# 地盤の地震時上限加速度付近の挙動

東北学院大学 学生会員 廣瀬 雄亮, 平藤 啓晃  
東北学院大学 正会員 吉田 望

## 1 はじめに

地震時には、軟弱地盤の方が地震動の増幅が大きく、被害も大きくなることはよく知られている。しかし、入力地震動が大きくなると、軟弱地盤の最大加速度が入力より小さくなるのが、Idrissにより指摘された<sup>1)</sup>。その後、筆者の一人らにより、軟弱地盤では軟弱層の強度に起因して地表の加速度には上限があることが指摘<sup>2)</sup>され、また、1995年兵庫県南部地震では震災の帯の南側は沖積粘土層の存在により地震動が小さく、被害が小さかった要因となっていることが指摘され<sup>3)</sup>、実現象でも上限があることが実証された。すなわち、地震動がそれほど大きくないときには軟弱地盤では地震動が増幅するが、入力が非常に大きくなると、軟弱地盤の方が地震動は小さくなる。ところで、多くの地震応答解析をしていると、この原則に当てはまらず、上限加速度より大きい加速度が得られることもある。本論では、そのメカニズムを検討する。

## 2 解析結果と考察

1983年、山梨・神奈川県境付近で発生した地震の際、東京電力新富士変電所で得られた地震記録を用いて、このサイトを解析する<sup>4)</sup>。詳細な解析結果は文献1)を参照されたい。ここでは、そのうち、応力-ひずみ関係に双曲線モデルを用いたケースについて検討する。

図-1に加速度分布を示す。ここで、点線は最大加速度分布、一点鎖線は第2および第3層（層番号は地表から数える）のせん断強度から決まる上限加速度である。

ここで、減衰項を無視するとすれば、深さ  $Z$  のせん断強度はそれより上の層の慣性力と釣り合うので、これを深さ  $Z$  の層でせん断強度  $\tau_f$  に達したと仮定し、それより上の層の剛体挙動を仮定すれば、重力加速度  $G$  と上載圧  $\sigma_v$  より、式(1)により上限加速度を求めることができる。

$$\ddot{u}_{ave} = \tau_f G / \sigma_v \quad (1)$$

図で赤の一点鎖線は2層がせん断強度になったときの上限加速度 ( $3.78\text{m/s}^2$ ) で、地表から第2層の上面までがこの加速度になる。同様に青い一点鎖線は第3層がせん断強度になったときの上限加速度 ( $3.44\text{m/s}^2$ ) である。明らかに最大加速度はこれらの上限加速度を超えている。

ところで、図はもう一つ、時刻  $t=3.63$ 秒における加速度分布も示している。第3層上面 (GL-5m) で最大加速度が上限加速度を超えている。

この原因を検討するため、図-2に第1～第3層の応力-ひずみ関係を示す。これらの図には、 $t=3.63$ 秒における状態がタグと矢印により示されている。

第2層の応力-ひずみ関係を見ると、 $t=3.63$ 秒では状態点は最大せん断応力となっており、ほぼせん断強度であ

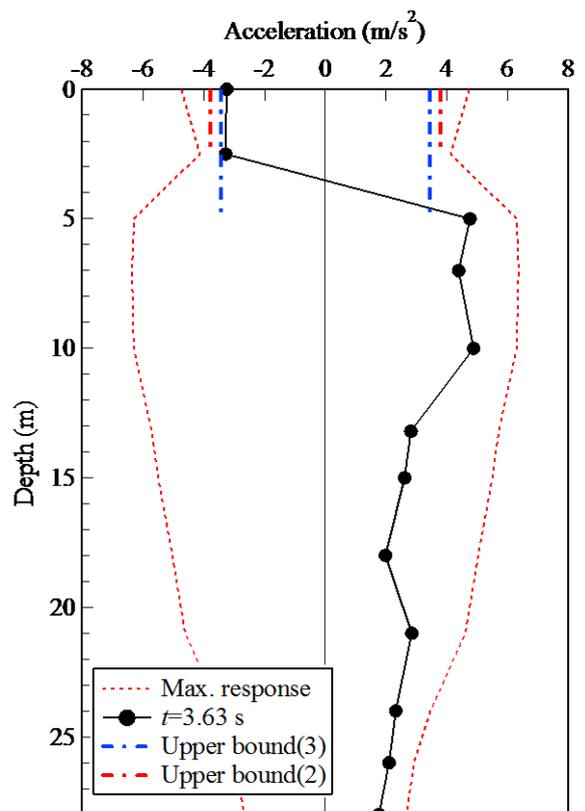


図-1 加速度分布

キーワード 地震応答解析, 非線型, 上限加速度

連絡先 〒985-8537 宮城県多賀城市中央1-13-1東北学院大学工学部環境建設工学科 TEL 022-368-7193

る。従って、これより上、地表と第2層の上の節点の加速度は赤の一点鎖線で示された上限とほぼ同じであり、上限加速度が計算されたメカニズムが成立していることがわかる。

第3層の応力-ひずみ関係では  $t=3.63$ 秒に対する状態点は、上限というわけではない。ところで、式(1)の釣合式では、減衰項の影響を無視した。これは、加速度が最大となる時刻では速度は0であり、減衰項は寄与していないと考えられるからである。しかし、このような状況では減衰項が影響していることも考えられる。

運動方程式は、慣性力、減衰力、復元力の三つの要素の和が0であることを記述したものである。そこで、第3層上端の質点に作用する力を、これら三つの成分に分け、それぞれの寄与分を時刻歴に表すと、図-3の様になる。これより、慣性力、復元力に比べ、減衰力は非常に小さい。すなわち、減衰力は、上限加速度にはほとんど影響を与えないと考えられる。

次に考えられるのは、第2層目がほぼせん断強度に達しているということである。せん断強度に達しているとすれば、その層では地震動は伝播しないので、第2層上面より上と第2層下面より下は独立して動くことが可能である。また、地表では入射波と反射波の和により入力地震動が2倍になるが、第2層で応力が変化しないとすればこれと同じようなことが起こり、加速度が大きくなることも考えられる。さらに、地表～第2層上端と第3層上端は加速度の向きが反対なので、第3層上端の加速度はそれより上の質点より大きくてもよい。これが  $t=3.63$ 秒において加速度が上限加速度を超えた原因と考えられる。

参考文献

- 1) Idriss, I. M. (1990): Response of Soft Soil Sites during Earthquakes, Proceedings, H. Bolton Seed Memorial Symposium, Berkeley, California, Vol. 2, pp. 273-289

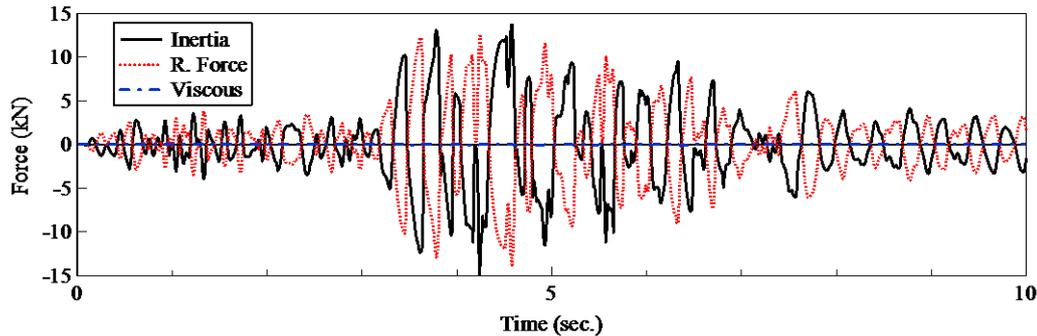


図-3 3層上面の質点に作用する力

- 2) 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
- 3) Suetomi, I. and Yoshida, N. (1998): Nonlinear behavior of surface deposit during the 1995 Hyogoken-nambu earthquake, Soils and Foundations, Special Issue on Geotechnical Aspects of the January 17 1995 Hyogoken-Nambu earthquake, No. 2, pp. 11-22
- 4) 吉田望, 田蔵隆, 鈴木英世 (1995) : 地盤の非線形地震応答解析手法の比較, 第23回地震工学研究発表会, 土木学会, pp. 49-52

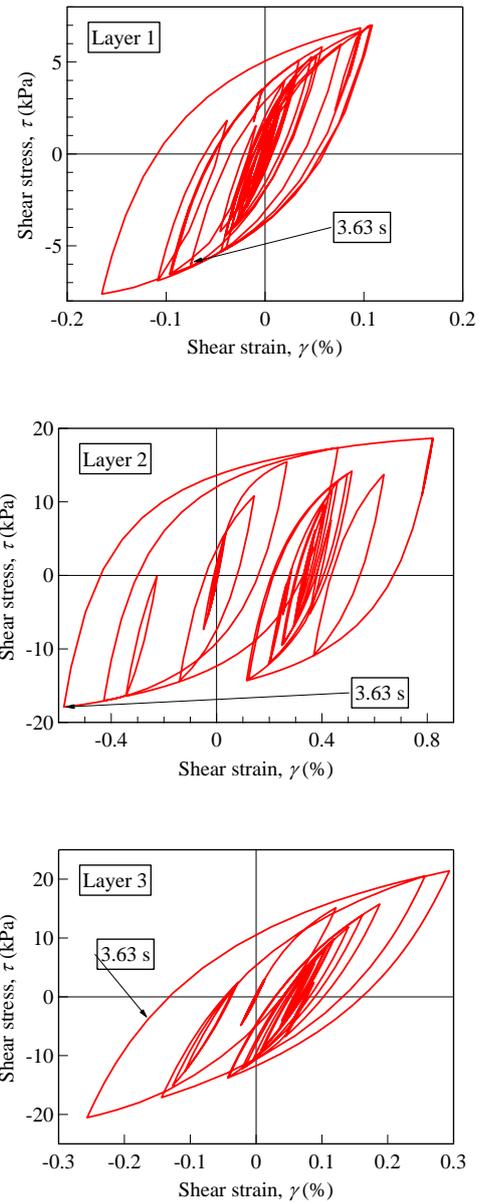


図-2 応力-ひずみ関係