

地震時の上限地震動の予測法に関する研究

東北学院大学 学生会員 伊藤 悠樹, 高橋 葵
東北学院大学 正会員 吉田 望

1 はじめに

地盤の地震応答では、入力地震動が大きくなると、軟弱地盤のせん断強度に起因して、地表の加速度には最大値があることが指摘されている¹⁾。また、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も小さくなることも指摘されている²⁾。1998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して指摘され、実現象でも上限があることが実証された³⁾。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より小さくなる。しかし、多くの地震応答解析の中では、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について検討する。

2 解析モデルと解析法

関西電力尼崎総合技術研究所で観測された入力地震動の記録⁴⁾を用いて解析を行う。応力-ひずみ関係は双曲線モデルを用い、力学特性も同じ文献に従う。ただし、第9層（GL-5.8~7m）のせん断強度は意図的に小さくした。また、減衰項の影響を除くため、速度比例減衰は考慮しなかった。柱状図等については、文献4)を参照されたい。

3 解析結果と考察

図1に最大加速度分布を示す。図中には破線で9層がせん断強度に達した時の上限加速度 (0.583m/s^2) も示されているが、最大加速度はこれを大きく上回っている。この原因を確かめるために、図2に主要部分の時刻歴を示す。図の実線はせん断応力で7.9~8.5秒では一定で、設定したせん断強度となる。図には地表の加速度と上限加速度も併せて示されている。地表の加速度は、上限加速度の上下を振動している。

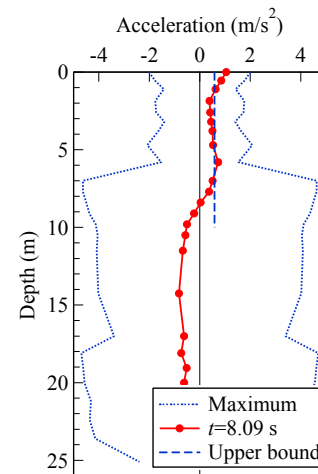


図1 加速度分布

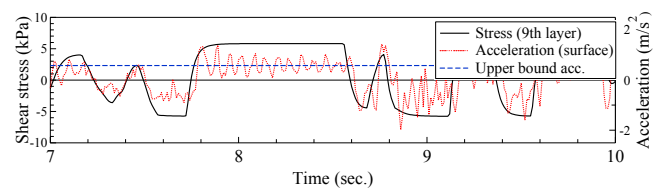


図2 せん断応力・加速度時刻歴

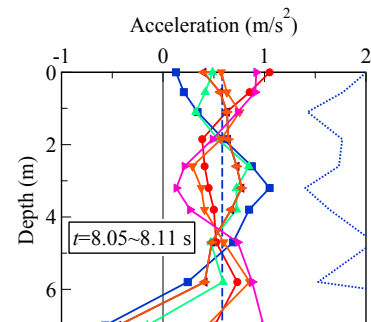


図3 8.05~8.11秒の加速度の変化

これが地表の最大加速度が上限加速度より大きくなった原因である。さらに詳細に見る為に、例として地表の最大加速度がピークとなる $t=8.09$ 秒の加速度を最大加速度と比較して示す。9層より上では、上部と下部で上限加速度より大きな加速度が得られ、中央部では上限加速度より小さくなり、全体としての慣性力はせん断強度と釣り合っているように見える。この点をより詳細に見る為に、 $t=8.09$ 秒を含む1周

キーワード：上限加速度，自由振動，減衰

連絡先：〒985-8637 多賀城市中央 1-13-1

期の加速度分布の変化を図3に示す。なお、図では9層の下部(7m)までの挙動を示しているが、検討対象としているのは9層上部(GL-5.8m)までである。図より、上部では「く」の字型の変形モードで振動していることが分かる。9層のせん断応力が変わらないとすれば、これより上の層は自由振動をしていることになる。

これより、次のことが想定される。9層より上は、9層がせん断強度に達する前は「く」の字型の変形モードで振動していたところで、9層がせん断強度に達し、この層で完全に切り離された状態となり、自由振動した。すなわち、地盤は基本的には一次モードが卓越するように振動することが多いが、そうで無い場合には、上限加速度を超える最大加速度が発生することもある。

4 パラメトリックスタディ

前項では9層の強度を著しく小さくしたり、減衰を0にしたりした。しかし、実計算では減衰を考慮することが一般的である。さらに、減衰があると、上部の自由振動も抑制されるはずである。これを検証するために、次の二つのケースを検討した。

- 1) 剛性比例減衰を考慮(係数 $\beta=0.0001, 0.0005, 0.0007$)
- 2) 9層のせん断強度を増加(内部摩擦角10度)

図4に $\beta=0$ と $\beta=0.0007$ (10Hzで約2%)の最大加速度付近の挙動を比較して示す。 $\beta=0$ では「く」の字型の変形で、全体として上限加速度を中心として振動しているのに対して、 $\beta=0.0007$ ではほぼすべての加速度が上限加速度を超えている。これは、減衰項を伝わって地震動が伝播されたためと考えられる。ここで考えたのは、人工的なモデル化であるので、実現象ではこの様な加速度の増加は起こらないのかもしれない。

これまでの計算では9層の強度を意図的に小さくしていた($\phi=5$ 度)。このため、自由振動による加速度と上限加速度が同じオーダーとなった可能性がある。そこで、9層のせん断強度を実現現象程度に大きくしたところ、7層が上限加速度となった。そこで、9層のせん断強度を増やしたのが図5である。上限値からのずれは二つのケースでほぼ同様であるが、せん断強度が大きい方が上限加速度の値が大きいので、相対的には目立たなくなる。

5 まとめ

力の釣合式から求まる上限加速度は存在するが、弱層がせん断強度にいたると、上層は自由振動をするので、せん断強度に至る直前の加速度分布も上限加速度に影響することが分かった。また、減衰項を伝わっても地震動が伝播するので、上限加速度を大きくする様に作用する。さらに、上限加速度が大きくなると、自由振動の影響は相対的に小さくなる。

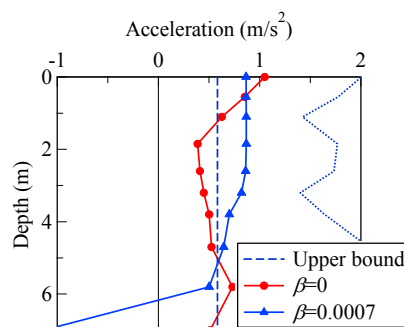


図4 減衰項の影響

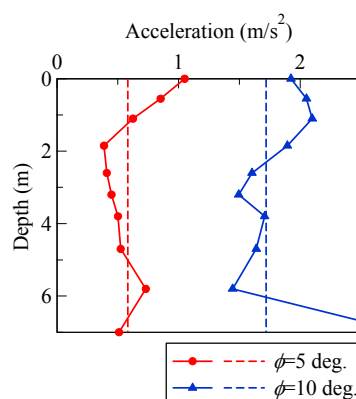


図5 強度の影響

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) Idriss, I.M.(1991):Response of Soft Soil Sites during Earthquakes, Proceedings, H. Bolton Seed Memorial Symposium, Berkeley, California, Vol. 2, pp. 273-289
- 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