

地盤の上限地震動付近の挙動

東北学院大学 学生会員 村山 哲 百井洋平
東北学院大学 正会員 吉田 望

1 はじめに

地盤の地震時応答では、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²⁾。また、これと関係して、入力地震動が大きくなると、地震動の増幅が次第に小さくなり、やがては地表の応答の方が入力地震動より小さくなることも指摘されている³⁾。このメカニズムは次のように考えられる。

図1に土柱の力のつり合いを示す。(a)は微小要素の釣り合いで、これより波動方程式が得られる。ここでは(b)のある弱層より上の力のつり合いを考える。釣合式は次のようになる。

$$\tau = \int \rho \ddot{u} dz \quad (1)$$

ここで、 ρ は密度、 u は変位、ドットは時間に関する微分を表している。ここで、対象層がせん断強度 τ_f に至ったとすれば、次式が成立する。

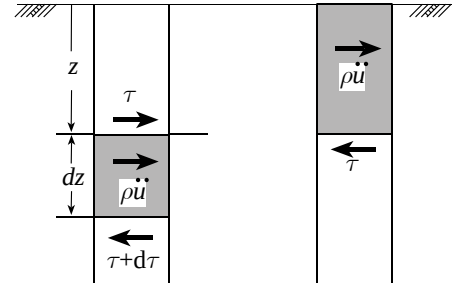
$$\tau_f = \int \rho \ddot{u} dz \approx \ddot{u}_{ult} \int \rho dz = \frac{\ddot{u}_{ult} \sigma_v}{g} \quad (2)$$

ここで、 σ_v は上載圧、 g は重力加速度である。また、 $\ddot{u}_{ult}$ は対象層より上の平均加速度であるが、式(2)の左辺から右辺の変換が成立するとすれば、 τ_f が応力の最大値であることから、 $\ddot{u}_{ult}$ にも上限があることになるわけである。この仮定が成立しているとすれば、弱層より上の最大加速度はほぼ一定値となるはずであるが、計算結果によれば、必ずしもそのようにはならないケースもある。

そこで、本論文では、弱層がせん断強度にいたる付近での最大加速度の鉛直方向分布について検討した結果を報告する。

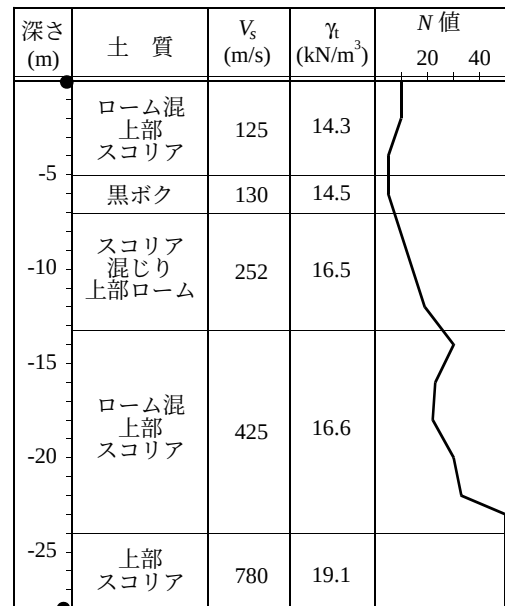
2 問題の設定

解析に用いたのは、東京電力新富士変電所で1983年神奈川県山梨県境地震の際に得られた鉛直アレー記録である⁴⁾。この地震は、マグニチュードは6.0と



(a) 微小要素 (b) 弱層の上

図1 土柱の釣り合い



V_s : せん断波速度, γ_t : 単位体積重量 ● 地震観測

図2 柱状図¹⁾

小さかったが、震央距離が12kmと近かったこともあり、大きな記録が得られた。図2に柱状図を示す。解析に際し、応力-ひずみ関係として双曲線モデルを用い、材料の力学特性等は文献4)に従って設定した。

ここで、せん断強度より求めた $\ddot{u}_{ult}$ は3層目に対して4.1m/s²である。ところで、図3は最大加速度分布を示しているが、上2層はこの値とほぼ同じ応答となっているが、3層の直上はこれより非常に大きな値となっている。もし、式(2)が成立するとすれば、この層の加速度も同じ値になるはずであるが、そのよ

うにはなっていない。この原因を明らかにしたいというのが本論文の目的である。

3 検討結果

図4、図5に第2層、第3層の応力-ひずみ関係を示す。いずれの層でも非線形性の強い応答をしてお

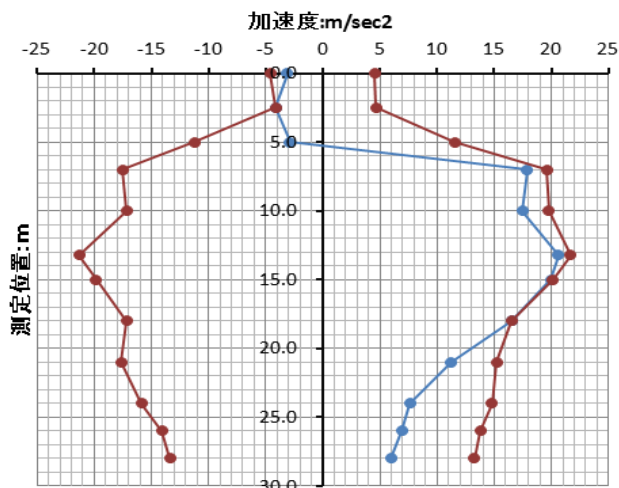


図3 4.36秒の加速度分布と最大加速度

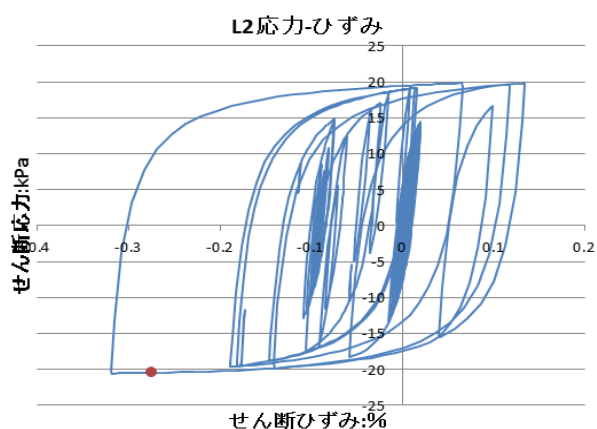


図4 2層目の応力-ひずみ関係

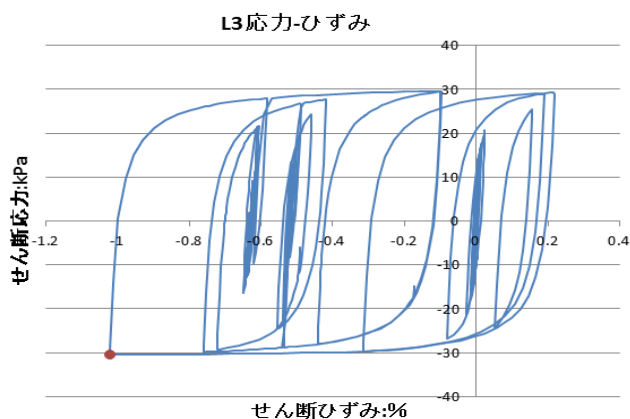


図5 3層目の応力-ひずみ関係

り、せん断強度付近の最大せん断応力が実現している。

ところで、図3に示したのは、地震開始後4.36秒の時点における加速度分布である。また、この時点の2層、3層の状態は図4、図5に●で示している。いずれの層でも、式(2)の仮定の元となった、応力-ひずみ関係がほぼせん断強度に達している状況は満たされている。

これまでは、一番影響のある3層より上限加速度を求めたが、この場合には2層目も検討の対象とするのが妥当と考えられる。そこで、2層目に対して式(2)を適用すると、 $\ddot{u}_{ult}=5.7\text{m/s}^2$ となり、3層目に適用したときに比べてやや大きい値が、同じオーダーの値である。

次に、もし、ある層が完全塑性状態になると、その層ではこれを超えるせん断応力が伝搬しないので、あたかも地表における反射と同じ状況、すなわち、入射波と反射波が同じになる状況と考えられる。これが第3層の上の最大加速度が大きい原因と考えられる。

4 まとめ

弱層がせん断強度に至ったときの、この層付近の最大加速度分布を検討した。その結果、弱層の存在による上限加速度という考えは変わらないが、弱層の下では、弱層があたかも自由面のように挙動するので、反射波が大きくなり、その結果、最大加速度が大きくなる可能性があることが分かった。

参考文献

- 1) 吉田望 (2010): 地盤の地震応答解析, 鹿島出版会, 256pp.
- 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) Idriss, I. M. (1990): Response of Soft Soil Sites during Earthquakes, Proceedings, H. Bolton Seed Memorial Symposium, Berkeley, California, Vol. 2, pp. 273-289
- 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