

液状化現象を含む地盤の非線形性を考慮した表層地盤増幅率の評価  
 Evaluation of Amplification Factor Considering Soil Non-Linearity  
 Including Liquefaction Phenomena

○田中宣多・Gautham ADAPA・澤田凱人・上田恭平

○Yoshikazu TANAKA・Gautham ADAPA・Kaito SAWADA・Kyohei UEDA

This study has been conducted to calculate the peak ground acceleration (PGA) affected by different earthquake motions including soil non-linearity and liquefaction. The results show a relationship between the amplification factor and the ratio of the natural period of ground to the dominant period of input motions ( $T_g/T_b$ ). Ground acceleration is computed using multi spring model by giving different predominant time periods. We used some index for liquefaction to divide by liquefaction damages. In each case, liquefaction potential ( $P_L$ ) and liquefaction resistance index ( $LRI$ ) were computed in an effort to segregate the variation of amplification factors. Liquefaction potential value wouldn't approve to use it for segregating the amplification factor. Liquefaction resistance index would approve to use it for segregating the amplification factor. And, it is necessary to assume that the amplification factor varies from 0 to 2.5.

## 1. はじめに

地震に伴う建物被害は、表層地盤の影響を受ける。建物の被害予測に際し、地震時のゆれの大きさを表す表層地盤増幅率を適切に評価することは重要である。既往研究における地盤増幅率の評価法は、観測記録に基づく方法と数値解析に基づく方法に大きく分けられ、いずれも表層地盤の非線形性の影響を考慮した検討がなされている。しかし、考慮されているひずみレベルは、せん断ひずみで数%程度であり、地盤内の過剰間隙水圧の上昇を伴うような強非線形性の領域まで含めた地盤増幅率の検討は十分ではない。本研究では、地盤の強非線形性を考慮できる構成モデルを用いた逐次非線形解析を実施することで、巨大地震に対しても適用可能な地盤増幅率の評価法を提案することを目指す。本報告では、高知県高知市及び南国市の地盤を対象に、地盤増幅率に与える振幅レベルの影響と過剰間隙水圧の上昇を考慮した逐次非線形解析における地盤増幅率の分類に液状化判定指標を用いた検討結果を示す。

## 2. 材料と方法

### 2. 1. 対象地盤

解析に用いた地盤情報は、こうち地盤情報公開サイトおよび K-net から取得した。対象は、高知

市 2 地盤（高知、大津）、南国市 6 地盤（国分、前浜、浜改田、物部、岡豊町中島、大そね）の計 8 地盤とした。非液状化解析は 8 地盤、このうち液状化解析は 6 地盤（高知、国分、前浜、浜改田、岡豊町中島、大そね）を対象に解析を行った。

### 2. 2. 解析手法

大きなひずみレベルにおける地盤の非線形性が表層地盤増幅率に及ぼす影響を把握するため、2次元の有効応力解析プログラム FLIP を用いて時間領域での逐次非線形解析を実施した。解析では水平成層地盤を仮定して 1次元の土柱モデルで地盤をモデル化し、地盤の構成モデルには液状化といった強非線形現象を厳密に考慮できるひずみ空間多重せん断モデルを用いた (Iai *et al.*,1992)。地盤のモデルパラメータは、N 値、有効上載圧、および細粒分含有率に基づき簡易的に設定した (三上ら, 2011)。なお、簡易設定法によりダイレイタンスーに関するパラメータも設定されるが、間隙水圧の上昇を考慮しない逐次非線形解析 (非液状化解析) ではこれらのパラメータは無視され、間隙水圧の上昇を考慮する逐次非線形解析 (液状化解析) においてのみ使用される。土柱モデルの底面に与えた入力地震動は、1993 年釧路沖地震、1995 年兵庫県南部地震、2016 年熊本地震など全 13 種類である。それぞれの地震動の最大加速度振

幅 (PBA) を 100、200、400、800 gal と変化させることで、地盤増幅率に与える振幅レベルの影響を調べることにした。液状化解析を行った地盤では、4 段階に変化させた入力地震動の最大加速度振幅 (PBA) のデータをもとに、液状化判定指標によって、地盤増幅率に与える影響を調べることにした。液状化判定指標には、液状化指数 ( $P_L$ ) および液状化危険度指数 ( $LRI$ ) を用いた。

図中の縦軸は地表面の応答加速度の最大振幅 (PGA) を入力地震動の最大加速度振幅 (PBA) で除した増幅率であり、横軸は地盤条件として地盤の固有周期 ( $T_g$ ) を入力地震動の卓越周期 ( $T_b$ ) で除した周期比 ( $T_g/T_b$ ) を表している。ここで、 $T_g$  は地盤の層厚とせん断弾性波から 1/4 波長則を用いて簡便に求めている。 $T_b$  はフーリエ変換により得られた周波数特性から読み取った。

### 2. 3. 液状化判定指標

液状化指数 ( $P_L$ ) は、液状化の程度を表す指標として用いられている。液状化指数 ( $P_L$ ) で表される液状化の程度は、5 以下で軽微、5 以上 20 以下で中位、20 以上で甚大となる。

液状化危険度指数 ( $LRI$ ) は、有効応力の減少する率を表す有効応力減少比 ( $ESDR$ ) から求める。完全に液状化した場合は、10.0 となる。

### 3. 解析結果と考察

非液状化解析により得られた表層地盤増幅率と周期比の関係を図 1 に示す。入力波の最大振幅を大きくすると、表層地盤増幅率の変動幅は小さくなり、入力波 800 gal の時、地盤に関わらず増幅率は概ね 0.5 となる。液状化解析により得られた表層地盤増幅率と周期比の関係をみると、地盤の液状化により、非液状化解析時に比べ、増幅率は小さい値となった。液状化判定指標を用いて、液状化を考慮した地盤増幅率の評価を試みた。液状化指数 ( $P_L$ ) を用いた場合 (図 2)、液状化の被害程度によって、各  $P_L$  値での傾向が表れたが、明確に増幅率を分類できなかった。道路橋示方書における液状化抵抗率の算出には、液状化に伴う過剰間隙水圧の上昇を考慮していないことが影響していると考えられる。液状化危険度指数 ( $LRI$ ) の場合 (図 3)、液状化指数を用いた場合に比べて、増幅率を分類することができた。地盤増幅率は、入力地震動に関わらず 0 から 2.5 の幅で考慮する必要がある。入力地震動の最大加速度振幅が大きくな

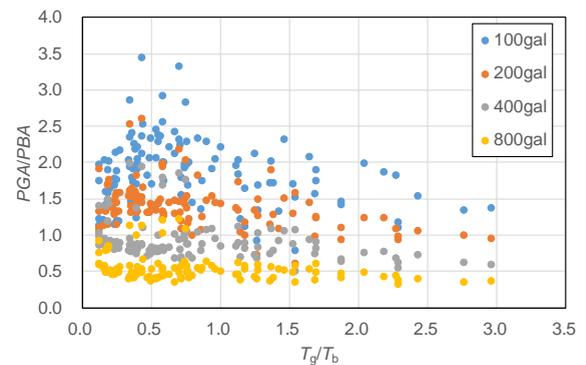


図 1 周期比と地盤増幅率の関係 (非液状化解析)

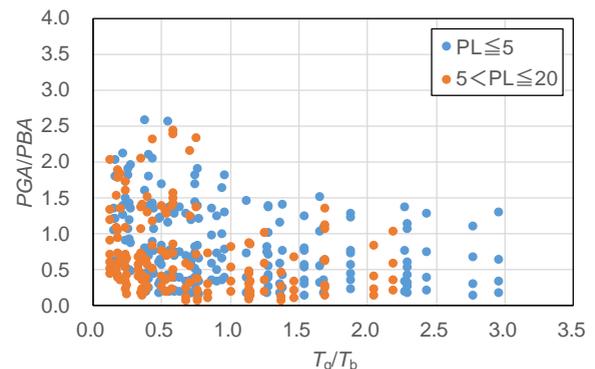


図 2  $P_L$  で分類した周期比と地盤増幅率の関係

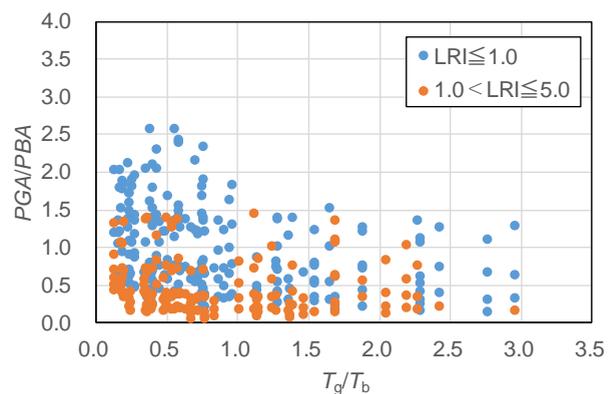


図 3  $LRI$  で分類した周期比と地盤増幅率の関係  
るほど、地盤増幅率の幅は小さくなる。

今後は、速度増幅から地盤増幅率の検討を行う。

謝辞：本研究は、拠点間連携研究の一環として行った。また本研究を遂行するにあたり、K-net、KiK-net、こうち地盤情報公開サイトを使用した。ここに記して謝意を表す。

引用：

三上武子, 小堤治, 中原知洋, 井合進, 一井康二：液状化解析プログラム FLIP のパラメータの簡易設定法 (再訂版) の構築, 第 46 回地盤工学研究発表会, 2011.

Iai, S., Matsunaga, Y. and Kameoka, T.: Strain space plasticity model for cyclic mobility, Soils and Foundations, 32(2):1-15, 1992.