

いわゆる「トランポリン効果」の計算地盤力学による再現の試み An attempt to replicate the so called "trampoline effect" in computational geomechanics

浅岡 顕^{1*}, 野田 利弘², 山田 正太郎², 高稲 敏浩³
Akira Asaoka^{1*}, Toshihiro Noda², Shotaro Yamada², Takaine Toshihiro³

¹ (財)地震予知総合研究振興会, ²名古屋大学, ³(株)浅沼組

¹Association for the Development of Earth, ²Nagoya University, ³Asanuma co., Ltd.

緩く堆積した砂は、小さな振動を与えることによって徐々に締固まってゆく。このようにしてよく締固まった土に、大きなせん断力を繰返し作用させると、今度は逆に緩んで徐々に膨張してゆく。本研究では第一に、土のこのような挙動を、著者ら¹⁾の提案する土骨格の弾塑性構成式 SYS Cam-clay model によって再現した。この弾塑性構成式は Cam-clay model に骨格構造概念 (構造・過圧密・異方性) の発展を取り入れたモデルであり、砂から粘土、中間土を含めあらゆる土骨格の力学挙動を再現する。

本研究ではさらに、上記のような土骨格の挙動を念頭に、超過圧密状態にある地盤に強震動が加えられると、地盤が徐々に緩んで膨張/隆起し得ることを、構成式に SYS Cam-clay model を搭載する水~土連成有限変形解析コード GEOASIA²⁾ によって示した。この解析コードは、あらゆる土を対象に、変形から破壊まで、あるいは液状化とその後の砂の圧密のように、不安定状態から安定状態まで、力学状態を限定することなく、そして静的と動的を問わず地盤に作用するあらゆる種類の外乱に対応して、地盤と土構造物に生じる現象の時刻歴解析を行うことを可能にする。今回の解析では、入力地震動に対し地盤が共振するような場合には、土エレメントには大きなせん断力が繰返し作用し、その結果、土骨格が緩んで、地震中に地盤が膨張/隆起し得ることを示した。また、基盤 (解析領域下端) への入力加速度が水平成分のみ有しているような場合でも、地表面応答は上下動を示すことを解析的に示した。しかもこのとき、水平方向の加速度波形が対称であるのに対し、鉛直方向には著しい非対称性を有した加速度波形が現れることを示した。2008年岩手・宮城内陸地震では、KiK-net, IWTH25 (一関西観測点) の地表面において、やはり鉛直方向成分にのみ強い非対称性を有する強震動が観測されている (Aoi, et al., 2008³⁾)。この加速度波形は、下向き成分に比べて上向き成分が大きく、かつ下向きの加速度が約 1g 程度で頭打ちになるという特徴や、上向きに比べて下向きの波形は幅が広くなるといった特徴を有することが指摘されている (図1)。解析に必要な地盤の物性値、入力地震波など、一関西のデータを基にして与えられたものではないが、一関西で観測された特徴的な地盤の地震時非線形応答が、土を弾塑性体として連続体近似する解析結果の中にも認められることを、本研究では示した (図2)。

1) Asaoka, A., Noda, T., Yamada, E., Kaneda, K. and Nakano, M. (2002): An elasto-plastic description of two distinct volume change mechanisms of soils, *Soils and Foundations*, Vol. 42, No. 5, pp. 47-57.

2) Noda, T., Asaoka, A. and Nakano, M. (2008): Soil-water coupled finite deformation analysis based on a rate-type equation of motion incorporating the SYS Cam-clay model, *Soils and Foundations*, Vol. 48, No. 6, pp. 771-790.

3) Aoi, S., Kunugi, T. and Fujiwara, H. (2008): Trampoline effect in extreme ground motion, *Science*, Vol. 322, pp.727-730.

4) 青井 真 (2009): 地震動の非対称性の発見とトランポリン効果, *科学*, Vol.79, No.4, pp. 366-370.

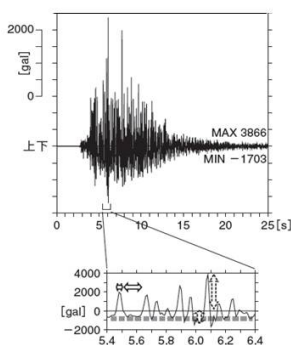


図1 地表面加速度応答時刻歴 (観測結果)⁴⁾

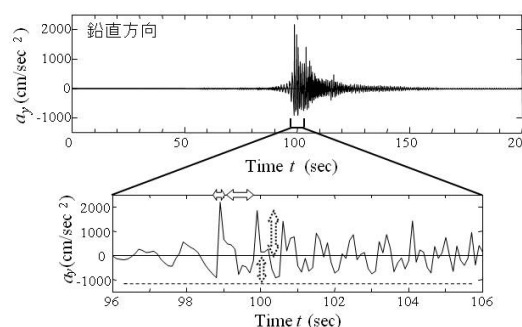


図2 地表面加速度応答時刻歴 (解析結果)

キーワード: 強震動, 膨張/隆起現象, 非対称波形, 弾塑性構成式, 緩み, 共振

Keywords: strong motion earthquake, swelling/rising phenomenon, asymmetric waveform, elastoplastic constitutive equation, loosening, resonance