

盛土下部に敷設した水平ドレーンの液状化低減効果に関する数値解析

肥後 陽介*

1. 研究の目的

粘土やピートなどの軟弱層上に盛土を建設する際、ドレーン材を用いて軟弱層の圧密を促進させる場合がある。ドレーン材は軟弱層内に鉛直に打設され、その頭部には表層排水材が水平に設置され軟弱層からの排水を促進する。表層排水材としては、通常砂を敷設するサンドマットが用いられるが、サンドマットは適した材料の入手が困難かつ高価で、透水性が十分でない場合があるとともに、圧密沈下により地下水位以下に没したサンドマットが地震時に液状化し盛土の大きな変形を引き起こす事例が報告されている。そこで、近年プラスチックボードドレーンなどの非液状化材料による水平ドレーン材をサンドマットの代替材料とする事例が増加している。水平ドレーン材は、地震時においても排水機能を維持するため、盛土に発生した過剰間隙水圧を消散させ液状化を軽減させる効果が期待される。

本研究では、この水平ドレーン材の液状化軽減効果に着目し、数値解析によりその効果を検証した。粘土地盤上に築造された盛土においては、築造後の粘土地盤の圧密により盛土位置が低下することによって、地下水位が相対的に上昇して盛土材に飽和した領域が生じる。この飽和領域は透水性の低い粘土地盤上に位置するため閉封飽和領域と呼ばれ、液状化の危険度が高く、これまでの地震でも堤防被害の主要因の一つとして知られている²⁾。この閉封飽和領域を有する盛土を対象とした動的有効応力解析を実施し、水平ドレーンの有無による液状化挙動を比較した。さらに、鉛直ドレーンを設置することを想定した解析、および粘土の基礎地盤表層に液状化対象層が存在する条件での解析を実施し、圧密促進を目的として設置したドレーン材の液状化軽減効果についても検討した。

2. 研究の方法

図1に示すような解析モデルに対して、液状化解析法 LIQCA¹⁾を用いて解析を行った。用いた入力パラメータは参考文献²⁾を参照されたい。入力動は図2に示す通りであり、兵庫県南部地震の観測波を用いた。

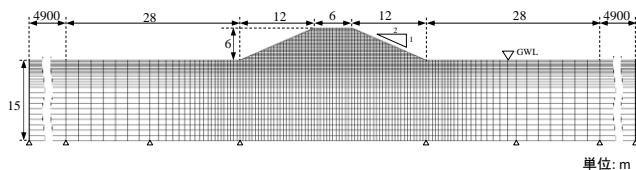


図1 盛土および基礎地盤のFEメッシュ

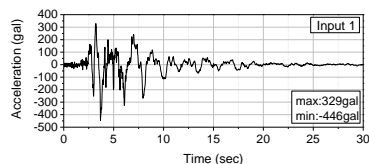


図2 入力地震動

水平ドレーンは鉛直ドレーンの頭部を連結し、格子状に配置される。本解析は2次元平面ひずみ条件での解析であるため、2次元メッシュで水平ドレーンを再現した際の等価な透水係数を算定した³⁾。実盛土においては不陸等の影響で理想的な状態にないことが想定されるため、液状化低減効果を過大評価しない値として、砂の透水係数 $k_s = 2.20 \times 10^{-5}$ (m/s) よりも1オーダー大きい、 2.20×10^{-4} m/s と水平ドレーンを有するメッシュの透水係数を設定した。

鉛直ドレーン材についても同様の考え方やマクロエレメントを用いる方法が考えられるが、ここでは条件を単純化し、鉛直ドレーン材がメッシュ境界に設置されているものとして、その境界を排水条件とすることで模擬して、定性的な影響を考慮することとした。

*京都大学・教授

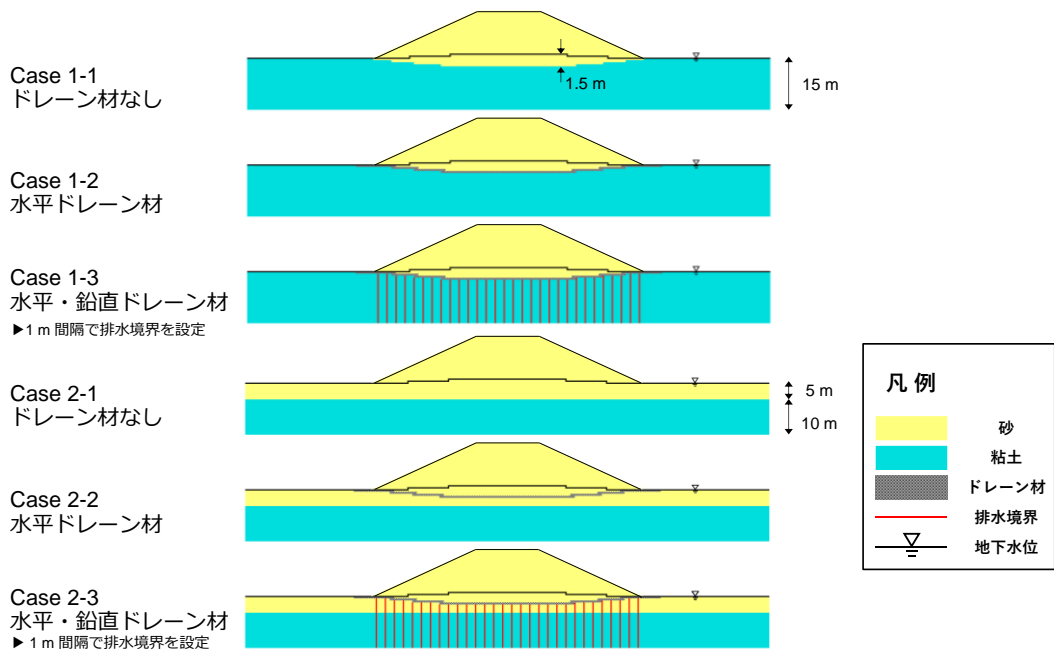


図3 解析ケース

3. 得られた成果

図3に示す6ケースについて解析を実施した。Case 1-1～1-3では15 mの粘土層の基礎地盤の上に直接盛土が築造された場合、Case 2-1～2-3では、10 mの粘土層と5 mの砂層で構成される基礎地盤上に盛土が築造された場合を想定している。なお、砂層と盛土材は、便宜的に同じ材料であるとした。それぞれの基礎地盤に対して、無対策、水平ドレーン材設置、水平及び鉛直ドレーン材設置の3つの条件について解析した。

盛土基礎地盤が軟弱層である場合に設置されるドレーン材が、盛土の建設後においてもその高透水性のために盛土の液状化抑制効果を持つとの仮説のもとに、動的有効応力解析で検証その検証を実施した。水平ドレーン材は、液状化を低減する効果効果は限定的であるものの、閉封飽和領域のような液状化領域が小さい場合は沈下を抑制する効果を有している。一方、盛土直下に液状化対象となる砂層が分布している場合は、水平ドレーン材による液状化低減効果および沈下抑制効果は限定的であった。鉛直ドレーン材は、液状化の程度が大きく、大変形が発生する場合において、液状化低減効果が大きい。ただし、本研究の鉛直ドレーン材は境界条件として間隙水圧がゼロとなるように設定しているが、実際は間隙水が鉛直ドレーン材上方に流れ水平ドレーン材によって側方に排水されるため、本解析結果は液状化低減効果を過大評価している可能性がある。今後、マクロエレメント等を用いた定量的な低減効果の評価が必要である。

圧密促進を目的としたドレーン材の地震時における液状化低減効果は認められるが、いずれのケースにおいても変形抑止の効果は限定的であると考えられる。変形抑止を目的とする場合、深層混合処理などの法尻部の地盤改良との併用を検討する必要がある。

参考文献

- 1) (一財) LIQCA 液状化地盤研究所, LIQCA2D・3D, 2020.
- 2) F. Oka, P. Tsai, S. Kimoto, R. Kato: Damage patterns of river embankments due to the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku earthquake and a numerical modeling of the deformation of river embankments with a clayey subsoil layer, *Soils and foundations*, 54(5), pp.890-909, 2012.
- 3) 角裕介, 白神新一郎, 吉川雅史, 肥後陽介, 盛土下部に敷設した水平・鉛直ドレーンの液状化低減効果に関する数値解析的研究, 第15回地盤改良シンポジウム論文集, pp.653-656, 2022.