



単調および繰返し载荷を受ける補強流動化処理土の 力学的挙動に関する実験的研究

メタデータ	言語: English 出版者: 公開日: 2023-06-07 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: レ, カク フン メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.15118/00010894

氏 名 LE KHAC HUNG(レカフン)

学位論文題目 Experimental Study on Mechanical Behavior of Reinforced Liquefied Stabilized Soil Subjected to Monotonic and Cyclic Loading

(単調および繰返し荷重を受ける補強流動化処理土の力学的挙動に関する実験的研究)

論文審査委員 主査 教授 木幡 行宏
教授 川村 志麻
准教授 菅田 紀之

論文内容の要旨

本研究では、98 ケースの圧密非排水単調・繰返し三軸試験結果に基づいて、単調および繰返し荷重による流動化処理土および補強された流動化処理土 (LSS) の力学挙動について議論されている。

単調荷重試験では、LSS の強度・変形特性に及ぼす泥水密度、養生日数の影響を検討するとともに、綿状に粉碎した新聞紙を $0, 10 \text{ kg/m}^3$ で混合した室内および原位置養生の繊維材混合流動化処理土が比較・検討された。試験結果に基づいて、LSS の強度特性に及ぼす泥水密度の影響は、養生日数の影響よりも大きいことが明らかにされた。また、ピーク前の $q \sim \epsilon_a$ 関係の挙動は、養生日数の影響とは対照的に泥水密度の影響でより非線形的になること、LSS のせん断による損傷程度は、養生日数の増大とともに小さくなるが、泥水密度にはあまり依存しないことが明らかとなった。

繰返し荷重試験では、変形特性に及ぼす繰返し荷重の影響を検討する目的で、室内で 28 日間養生した流動化処理土に対して、軸差応力振幅、初期応力、圧密圧力、ひずみ速度、制御方法 (応力-ひずみサイクル) などを変化させるとともに、泥水密度、繊維材混合量、セメント添加量などの流動化処理土材料を変化させた。その結果、流動化処理土および繊維材で補強された流動化処理土は液状化を生じないことが明らかとなった。また、破壊モードは、繰返し軸差応力振幅と初期軸差応力に依存すること、等方応力状態から一定の軸差応力振幅で荷重した場合、間隙水圧と両振幅軸ひずみは繰返し荷重回数の増加とともに増加すること、繊維材混合流動化処理土は、かなり大きなひずみ振幅により、最終的に破壊に至ること、最終段階における有効応力履歴ループは、バタフライ形状の応力経路となることなどが明らかにされた。また、荷重中立軸の軸差応力を正の値にした繰返し荷重では、それぞれの繰返し荷重に伴って軸ひずみの蓄積が生じ、動員される両振幅軸ひずみはほとんど一定に保たれる。したがって、永久ひずみの過大な蓄積により破壊規準は満たされることになる。最終段階の応力ループの形状は、バタフライ型やレンズ型にはならず、限界状態線(CSL)を

越えた後、再び戻ってくる経路となった。これは、繊維材混合流動化処理土は破壊規準線に到達する前に膨張傾向になることを意味する。応力レベルを示す繰返し応力比（CSR）の範囲は 0.275~0.344 であった。応力レベルがこの範囲より小さい場合、流動化処理土は蓄積される永久軸ひずみにより膨張傾向を示し破壊には至らない。流動化処理土の繰返しせん断抵抗は、初期平均有効応力と固化材量が減少すると減少し、繊維材混合量や泥水密度を増加すると増加することが明らかになった。

有限要素法は地震振動解析に広く用いられているが、その結果は構成式と数値解析に適用的なモデルパラメータに大きく依存する。本研究では流動化処理土の挙動を解析するための特定のモデル、Ramberg-Osgood モデルの Delphi コードへの実装が行われた。解析値と実験値の比較から、流動化処理土の繰返し載荷挙動の評価に Ramberg-Osgood モデルが適用可能であり、動的パラメータは適切に校正される必要があることが明らかとなった。

以上より、単調および繰返し載荷を受ける補強された流動化処理土の力学的挙動に関して、多くの新たな知見が示された。

ABSTRACT

In this study, the mechanical behavior of reinforced and unreinforced Liquefied Stabilized Soil (LSS) subjected to monotonic and cyclic loading is discussed based on a database with about Consolidated-Undrained monotonic and cyclic triaxial tests of 98 cases.

In the monotonic tests, the influences of slurry density and curing time on the strength and deformation of LSS are investigated. Also, LSS mixed with the pulverized newspaper in the amount of 0 and 10 kg/m³ cured laboratory and in-situ are compared and investigated. Based on the test results, the effect of slurry density on the strength of LSS was found to be greater than the effect of curing time. The pre-peak behavior of the $q\sim\varepsilon_a$ curve became more non-linear under the effect of changing slurry density, in contrast to the effect of curing time. Moreover, the damage degree of LSS with shearing becomes small with curing time, while it seems to be rather independent of slurry density. With in-situ LSS, the influence of curing time on the initial Young's modulus, E_0 , is lower than the effect of slurry density.

In the cyclic tests, in order to investigate the effect of cyclic load on the deformation property, the deviator stress amplitude, the initial stress, consolidation pressure, strain rate, and the control method (stress vs. strain cycles) were changed and LSS material which includes slurry density, fiber material, and cement base agent on LSS cured 28 days at the laboratory have been also varied. Based on the test results, it is found that the true liquefaction ($q = p = 0$) did not reach reinforced and unreinforced LSS. The failure mode is highly dependent on the cyclic deviator stress amplitude (σ_d) and initial deviator stress (σ_s). For symmetrical loading ($\sigma_s = 0$), the pore water pressure and double amplitude axial strain grew with an increasing number of cycles. LSS

mixed with fiber material finally collapsed due to too large strain amplitudes. In the final stage, the loops of effective stress indicate a “Butterfly” stress path shape. For nonsymmetrical loading ($\sigma_s > 0$), an accumulation of compressional axial strain with each subsequent cycle occurred, while the mobilized double amplitude axial strain remained almost constant. Therefore, the failure criterion was fulfilled due to an excessive accumulation of permanent strains. The shape of the stress loop at the final stage did not pass the “butterfly” shape or lens shape to migrate to pass over the Critical State Line (CSL), then return to the touch again of the failure envelope. It means the LSS mixed fiber material tends to dilate before reaching the failure criterion. The range of critical cyclic stress ratio (CSR), which indicates the limitation of stress level, was between 0.275 to 0.344. If the stress level is lower than that value, the LSS sample is more dilative by accumulating permanent axial strain and does not reach failure. The cyclic shear resistance of LSS decreases when reducing the initial mean effective principal stress and cement content. In contrast, the cyclic shear resistance increases when adding fiber and increasing slurry density.

The Finite Element Method (FEM) is used widely in the analysis of seismic vibration. However, the results depend critically on the constitutive models used and the model parameters adopted in the numerical analyses. The implementation of a specific model to analyze the behavior of LSS mixed fiber material under cyclic loading, the Ramberg-Osgood model, in the Delphi code is performed. Based on the result of the comparison of model simulations with experimental data, the overall is able to apply the Ramberg-Osgood model to evaluate the cyclic loading behavior of LSS, and dynamic parameters should be calibrated properly.

In summary, a number of new findings were presented regarding the mechanical behavior of reinforced, liquefied stabilized soils subjected to monotonic and cyclic loading.

論文審査結果の要旨

本研究では、単調および繰返し载荷を受ける繊維材で補強された流動化処理土 (LSS) の力学的挙動を明らかにすることを目的とし、一連の単調载荷圧密非排水三軸圧縮・伸張試験および繰返し非排水三軸試験を実施し、繊維材混合流動化処理土の強度・変形特性を検討した。本研究の内容は、以下のように要約される。(1) LSSの強度・変形特性に及ぼす泥水密度、養生日数の影響を検討するとともに、綿状に粉碎した新聞紙を0, 10 kg/m³で混合した室内および原位置養生の繊維材混合流動化処理土が比較・検討された。試験結果に基づいて、LSSの強度特性に及ぼす泥水密度の影響は、養生日数の影響よりも大きいことが明らかにされた。また、ピーク前の $q \sim \varepsilon_a$ 関係の挙動は、養生日数の影響とは対照的に泥水密度の影響でより非線形的になること、LSSのせん断による損傷程度は、養生日数の増大とともに小さくなるが、泥水密度にはあまり依存しないことが明らかとなった。

(2) 変形特性に及ぼす繰返し载荷の影響を検討する目的で、室内で28日間養生した流動化処理土に対して、繊維材混合の有無、軸差応力振幅、初期応力、圧密圧力、ひずみ速度などを変化させて一連の繰返し非排水三軸試験を実施した。その結果、流動化処理土および繊維材混合流動化処理土は液状化を生じないこと、等方応力状態から一定の軸差応力振幅で载荷した場合、間隙水圧と両振幅軸ひずみは繰返し载荷回数が増加とともに増加すること、繊維材混合流動化処理土は、かなり大きなひずみ振幅で最終的に破壊に至ること、最終段階における有効応力履歴ループは、バタフライ形状の応力経路となることなどが明らかにされた。

(3) 流動化処理土の挙動を解析するため、Ramberg-OsgoodモデルのDelphiコードへの実装が行われた。解析値と実験値の比較から、流動化処理土の繰返し载荷挙動の評価にRamberg-Osgoodモデルが適用可能であり、動的パラメータを適切に校正する必要があることが明らかとなった。

以上より、単調および繰返し载荷を受ける補強された流動化処理土の力学的挙動に関して、多くの新たな知見が示された。

これらの成果から、本論文は、単調および繰返し载荷を受ける補強流動化処理土の力学的挙動に関する実験的研究に大いに貢献するものである。よって、博士(工学)の学位を授与される資格あるものと認める。