

Einflüsse auf den Suffosionsverlauf in binären granularen Packungen

Factors on suffosion in granular binary packings

An der Fakultät Bauingenieurwesen der Technischen Universität Dresden
zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)
eingereichte

Dissertation

Vorgelegt von:

Dipl.-Ing. Johannes Welsch

Geb. am 8. April 1989 in Werdau

Gutachter:

Prof. Dr.-Ing. habil. Ivo Herle (TU Dresden)

Prof. Dr.-Ing. Jürgen Grabe (Technische Universität Hamburg)

Prof. Dr.-Ing. Josef Witt (Bauhaus Universität Weimar - emeritiert)

Tag der Verteidigung: 06.05.2022

Einflüsse auf den Suffosionsverlauf in binären granularen Packungen

Kurzfassung

Suffosion ist ein hydromechanischer Prozess, welcher die Umlagerung und den Transport von feinen Partikeln eines Bodens infolge einer Wasserströmung beschreibt. Als Folge des Materialverlustes vergrößert sich die Porenzahl und die Dichte verringert sich, wodurch sich auch die hydraulischen und bodenmechanischen Eigenschaften des Bodens verändern.

Um die Auswirkungen einer Suffosion besser bewerten zu können, wurden die Einflüsse von geometrischen Faktoren (Anfangsfeinanteil und Probendichte), hydraulischen Faktoren (Filtergeschwindigkeit) sowie der effektiven Spannung untersucht. Anhand von 3D-DEM Simulationen mit binären Mischungen wurde die Struktur (Kontakt- und Kontaktkraftverteilung) eines suffosionsanfälligen Bodens und ihre Änderung infolge der genannten Einflüsse untersucht. Hierbei kann klar erkannt werden, dass die feinen Anteile einer Mischung weniger kontaktiert werden als die groben und auch weniger Kontaktkräfte übertragen. Mit steigender Dichte und steigendem Feinanteil steigen allerdings auch die Kontakte und übertragenen Kontaktkräfte der feinen Partikel deutlich an.

Anhand von Laborversuchen mit isotroper Belastung und konstanter Durchströmung, wurden die Auswirkungen der verschiedenen Faktoren auf die ausgetragene Materialmenge, die hydraulischen Eigenschaften des Bodens und die infolgedessen auftretenden Verformungen untersucht. Es zeigt sich ein Anstieg der ausgetragenen Materialmenge für einen steigenden Feinanteil, eine steigende hydraulische Einwirkung, sowie eine geringere Probendichte und eine geringere isotrope Belastung. Mit steigender Materialdichte und abnehmender hydraulischer Einwirkung konnte eine Abnahme des Durchlässigkeitsbeiwertes gezeigt werden, welche auf eine Ablagerung von transportierten Partikeln hindeutet. Eine Dimensionsanalyse der Ergebnisse kann einen direkten Zusammenhang zwischen ausgetragenen Feinmaterial und volumetrischer Dehnung des Probekörpers infolge Suffosion zeigen, welcher durch einen Vergleich mit Ergebnissen aus der Literatur bestätigt werden kann.

An erodierten Proben wurden drainierte Triaxialversuche durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen, dass das qualitative Verhalten der erodierten, sowie der intakten Proben hauptsächlich von der relativen Lagerungsdichte des Grobmaterials bestimmt wird. Weiterhin konnte anhand eines Vergleiches mit Literaturergebnissen gezeigt werden, dass hauptsächlich der Bodenzustand vor der Scherung, beschrieben durch Porenzahl und Porenzahl des Grobmaterials, das Scherverhalten bestimmen. Die Art wie dieser Zustand erreicht wurde, ob durch Suffosion oder künstlich hergestellt, scheint keinen wesentlichen Einfluss auf den maximalen Spannungszu-

stand $\eta = q/p'$ während der Scherung zu haben.

Weiterhin wurde der Erosionsdurchbruch in feinkörnigen Böden infolge einer Kontakterosion an der Grenzfläche eines feinkörnigen Dichtmaterials zu einem grobkörnigen Filtermaterial untersucht. Hierfür wurden künstlich hergestellte, geschichtete Proben durchströmt, um den kritischen hydraulischen Gradienten für einen Erosionsdurchbruch zu ermitteln. Es wurde hierbei festgestellt, dass der Gradient infolge einer steigenden effektiven Spannung und einem steigenden Überkonsolidierungsgrad des Dichtmaterials sowie einem kleineren Porendurchmesser des Filtermaterials steigt. Anhand einer Dimensionsanalyse konnte gezeigt werden, dass der kritische Gradient auch von der Bodenart abhängen muss.

Factors on suffosion in granular binary packings

Abstract

Suffusion is a hydromechanical process related to the rearrangement and transport of fine particles of a soil due to water flow. During the process the geometric configuration of the grains is modified, as the void ratio increases and density decreases. As a resulting effect, the hydraulic and geomechanical properties of the soil change.

For a better evaluation of the resulting effects of Suffusion, the influences of geometrical factors (initial fines content and density of the soil), hydraulic factors (flow rate) and effective stress were examined. 3D-DEM simulations on binary mixtures were used to study the structure (connectivity and contact force distribution) of soils being susceptible to Suffusion, while changing density and initial fines content. It can be clearly seen that the fine parts of a mixture are less contacted than the coarse ones and that less contact forces are transmitted. With increasing density and increasing fines content the number of contacts of the fine particles and the forces transmitted by the fines also increases.

Suffusion tests have been conducted in a permeability cell with a constant isotropic loading and a constant flow rate. The results were used to investigate the main influences on the amount of eroded material, the change of the hydraulic properties, the volumetric deformation and the change of void ratio. There is an increase in the relative eroded mass with a higher initial fines content, an increasing flow rate, as well as with a lower density and lower effective stress on the specimen. With increasing density and decreasing hydraulic action, a decrease of the permeability could be shown, which indicates a deposition of some of the transported particles within the sample. With the help of a dimensional analysis a direct relation between the relative eroded mass and the volumetric deformation of the sample was found, which could be confirmed with data from the literature.

Drained triaxial tests were carried out on eroded samples. The results suggest that the qualitative behaviour of the eroded as well as of the non eroded samples is mainly determined by the relative density of the coarse material. Furthermore, a comparison with results from the literature shows that the shear behaviour of the soil is mainly governed by the soil state, described by void ratio and intergranular void ratio. The way in which this state was reached, whether by suffusion or artificially, does not appear to have a significant influence on the maximum shear stress during drained shearing.

Furthermore, contact erosion at the interface of a fine grained soil and a filter material was investigated. A series of seepage experiments on layered soil samples (coarse-fine-coarse) with

upwards flow have been conducted in a permeability cell. Using a stepwise increasing hydraulic gradient, the critical hydraulic gradient for a breakthrough in the fine layer was determined. It was found that the resistance of the fine grained soil increases with effective stress and over-consolidation ratio. Also a smaller diameter of the voids of the filter material could increase the resistance against breakthrough. A dimensional analysis has been performed, to identify the main factors influencing contact erosion.