

Kompressions- und Hydraulikeigenschaften von gemischtkörnigen Böden

(Compression and hydraulic properties of mixed grained soils)

Klara Vetterlein

Einleitung

Die Kompressions- und Hydraulikeigenschaften bilden für alle Setzungsprognosen und ihren zeitlichen Verlauf die wesentliche Grundlage.

In dieser Arbeit wird ein gemischtkörniger Boden mit verschiedenen Probenvorbereitungsmethoden in unterschiedlichen Laborgeräten zur Bestimmung der Kompressionsparameter und der Durchlässigkeit untersucht.

Kompressionsparameter

Es wird die Kompression in Abhängigkeit der Auflast betrachtet und Kompressions- (C_c) und Schwellbeiwert (C_s), sowie die Bodensteifigkeit, die über den Ödometermodul (E_{oed}) ausgedrückt wird, bestimmt. Zusätzlich wird das Zeit-Setzungs-Verhalten, beschrieben durch den Konsolidations- (c_v) und den Kriechbeiwert C_{cr} , ausgewertet.

Hydraulikparameter

Bei der Belastung eines gesättigten Bodens kommt es zur Übertragung der äußeren Spannungen auf das Porenwasser. Dadurch entstehen Porenwasserüberdrücke im belasteten Baugrund und das Porenwasser fließt zum niedrigeren Druckniveau. Die Spannungen gehen auf die Kornmatrix über und die Wasserüberdrücke werden abgebaut. Dieser zur Lastaufbringung zeitverzögerte, hydraulische Prozess hängt direkt von der Durchlässigkeit des Bodens ab. Diese wird über den Durchlässigkeitsbeiwert (k_p) ausgedrückt.

Laborversuche

Für einen gemischtkörnigen Boden wurden diese Parameter in verschiedenen Versuchen ermittelt. Aus Ödometerversuchen konnten alle Parameter abgeleitet werden. Die Kompressionseigenschaften wurden zusätzlich in isotropen Kompressionsversuchen ermittelt. Die Durchlässigkeit wird mit Hilfe eines Durchlässigkeitsversuchs mit konstanter Druckhöhe untersucht. Um die Kompressionsversuche (isotrop und ödometrisch) vergleichen zu können wurde der Erdruhedruckbeiwert (K_0) ermittelt. Dies geschah einerseits über empirische Gleichungen unter Verwendung des Reibungswinkels (φ) aus dem Rahmenscherversuch und andererseits aus anisotropen Kompressionsversuchen in der Triaxialzelle.



Abb. 1: Erdfeuchtes ($w = 14,9\%$) und aufbereitetes Bodenmaterial ($w = 25,3\%$) mit einem Größtkorn von 4 mm.

Bodenmaterial „A1“

Das Bodenmaterial wurde zur Versuchsdurchführung auf 4 mm Größtkorn abgesiebt. Es handelt sich um ein gemischtkörnigen Boden und stammt von der Friedrichstraße aus Dresden. Laut Korngrößenverteilung ist es ein schwach toniger, schwach schluffiger Sand (cl'si'Sa). Im Plastizitätsdiagramm siedelt er sich direkt an der Grenze zwischen Sand-Schluff Gemischen und den leicht plastischen Schluffen an.

Das Material wurde für alle Versuche entweder im erdfeuchten Zustand dicht oder locker bzw. im aufbereiteten Zustand in die Geräte eingebaut, vgl. Abb. 1.

Für die Ödometerversuche konnte das Material direkt in den Ödometertopf eingebaut werden. Für den Einbau in die Triaxialzellen waren standfeste Proben nötig.

Dazu wurde das erdfeuchte Material mit dem Proctergerät verdichtet und mit Ausstechzylindern ausgestochen. Das aufbereitete Material wurde vorkonsolidiert.

Last-Kompressions-Verhalten

Das Kompressionsverhalten des Materials unter Last wurde einerseits einaxial im Ödometer, andererseits isotrop in der Triaxialzelle untersucht. Ausgewertet wurde das spezifische Volumen ($1+e$) über die mittlere Spannung (p').

Für beide Versuchsarten ergaben sich, wie in Abb. 2 zu sehen ist, ähnliche Kurven, welche annähernd gleiche Kompressions- und Schwellbeiwerte aufweisen. Der über alle Versuche gemittelte Kompressionsbeiwert ergibt sich für die Einbauarten zu je 0,5. Die Kompressionsbeiwerte des erdfeuchten, lockeren Materials liegen etwas höher.

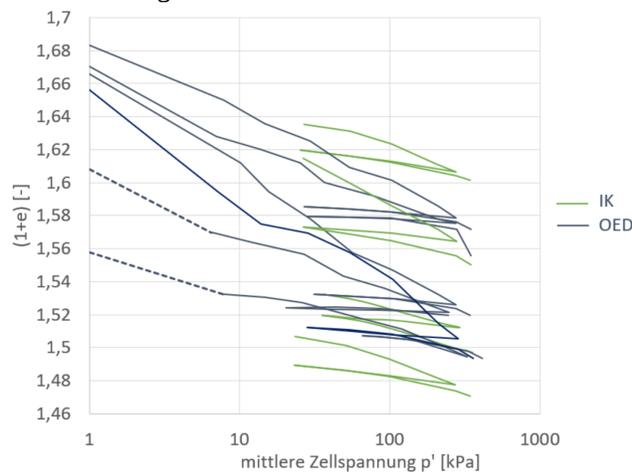


Abb. 2: Volumenänderungs-Spannungs-Kurven aus dem Ödometerversuch (OED) und der isotropen Kompression (IK)

Zeit-Kompressions-Verhalten

Der Konsolidationsbeiwert (c_v) weist extreme Schwankungen auf (c_v von $6 \cdot 10^{-4}$ bis $2 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$). Dies beruht auf der starken Streuung der Konsolidationszeit t_{90} bzw. t_{100} diese treten sowohl im Ödometerversuch (u.a. zu geringe zeitliche Auflösung der Setzung) als auch in der Triaxialzelle auf. Weitere Ursachen sind dem Abschnitt Durchlässigkeit zu entnehmen.

Durchlässigkeit

Die Durchlässigkeit des Materials variiert in beiden Versuchsarten sehr stark. Die Ursachen dafür liegen in der Heterogenität des Materials.

In Abb. 3 ist zu sehen, dass k_f für das erdfeuchte, dichte Material aus dem Durchlässigkeitsgerät größer ist, als für das aus dem Ödometerversuch, während für das aufbereitete Material das Gegenteil gilt.

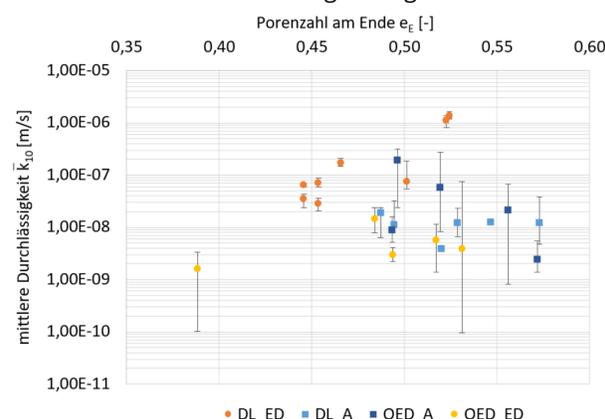


Abb. 3: Gemittelte Durchlässigkeitsbeiwerte aus Ödometer (OED) und Durchlässigkeitsgerät (DL) über die Porenzahl der Probe am Versuchsende. Verwendet wurde aufbereitetes (A) und erdfeucht, dichtes (ED) Material.

Die Art der Probenherstellung spielt also eine entscheidende Rolle bezüglich ihrer Durchlässigkeit. Im Ödometerversuch wurde das Material direkt eingebaut, ohne vorher verarbeitet zu werden.

Während der Vorkonsolidierung hingegen kommt es zu einer Sedimentation, sodass sich undurchlässigere Schichten ergeben. Die aufbereiteten Proben im Durchlässigkeitsversuch weisen deshalb geringere Durchlässigkeitsbeiwerte auf. Das erdfeuchte Material lässt sich wegen des geringeren Wassergehaltes schlechter homogenisieren, der Ton liegt in Klumpen im Material vor, die vom Wasser umflossen werden.

Erdruhedruckbeiwert

Im Rahmen der Arbeit wurde für ein Triaxialgerät eine Routine implementiert, die den Erdruhedruckbeiwert ermitteln kann. Es wird dabei die Radialdehnung ϵ_r über die Kontrolle des Seitendrucks auf 0,05 % beschränkt, während die Axialkraft auf die Probe kontinuierlich erhöht wird.

Der Versuch wurde sowohl mit aufbereiteten, als auch mit erdfeuchten, dichten Proben durchgeführt. Die Ergebnisse schwanken um einen Erdruhedruckbeiwert von 0,56 für aufbereitetes normalkonsolidiertes Material. Für das erdfeuchte Material liegt der Wert bei etwa 0,5. Aus den empirischen Gleichungen nach Jáky ergibt sich mit $\varphi_c \approx 31^\circ$ und unter der Annahme dass es keine Kohäsion gibt ein K_0 von 0,49 für das aufbereitete und von 0,48 für das erdfeuchte Material.

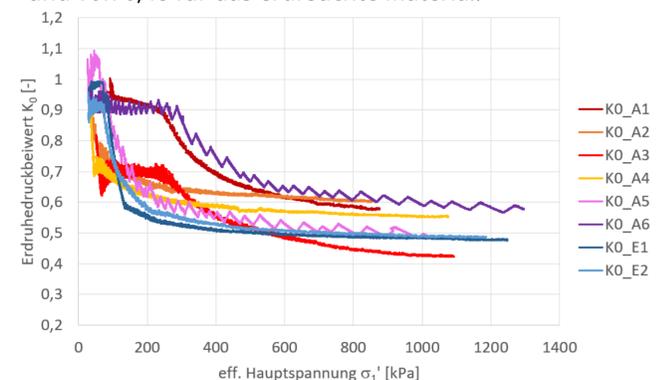


Abb. 4: Erdruhedruck über die effektive erste Hauptspannung σ'_1 , in Abhängigkeit der Einbauart aufbereitet (A) oder erdfeucht, dicht (E).

Zusammenfassung

Im Ergebnis der Arbeit kann festgestellt werden, dass die Steifigkeitseigenschaften des gemischtkörnigen Bodens durch den Sandanteil dominiert werden, während die Durchlässigkeit und somit auch das hydraulische Verhalten, stark vom Feinanteil abhängt.

Das Kompressionsverhalten (C_c und C_s) lässt sich geräteunabhängig (Ödometer oder iso. Kompression) mit enger Streubreite bestimmen. Beim Vergleich der Durchlässigkeit aus dem Ödometer und dem Durchlässigkeitsgerät wurden Unterschiede festgestellt. Diese sind jedoch nicht zwingend auf die Geräte, sondern eher auf die Probenvorbereitung zurück zu führen. So können sich beispielsweise bei aufbereiteten Proben, feinkörnige Sedimentationslagen bilden, welche die hydraulischen Eigenschaften maßgeblich verändern.

Projekt

Diplomarbeit

Hochschullehrer

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Ivo Herle, TU Dresden

Wissenschaftliche Betreuung

Dr.-Ing. Markus Uhlig, TU Dresden

Abgabe

November 2022