



Kurzfassung und Thesen der Dissertation

Ermittlung bleibender Bodenverformungen infolge dynamischer Belastung mittels numerischer Verfahren

Numerical investigation of permanent soil displacements due to dynamic loading

von Dipl.-Ing. Dirk Wegener

1. Gutachter: Prof. Dr.-Ing. habil. Ivo Herle

2. Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Thomas Neidhart

eingereicht am 07.06.2012

Tag der mündlichen Prüfung: 25.10.2012

Kurzfassung

In der Arbeit wird gezeigt, wie man die Bodensteifigkeit bei sehr kleinen Dehnungen sowie die Abnahme der Steifigkeit mit zunehmender Scherdehnung in Labor- und Feldversuchen ermitteln kann. Dazu werden typische Eigenschaften mineralischer und organischer Böden einschließlich Korrelationen zusammengestellt und wesentliche Unterschiede zum Bodenverhalten bei großen Dehnungen, insbesondere hinsichtlich der Steifigkeit und der Spannungsabhängigkeit aufgezeigt.

Weiterhin wird dargelegt, wie man mit dem hypoplastischen Stoffgesetz mit intergranularen Dehnungen das Bodenverhalten bei kleinen Dehnungen wirklichkeitsnah erfassen kann und wie die Stoffparameter zu bestimmen sind. Für die realistische Erfassung des Bodenverhaltens infolge zyklischer Belastung einschließlich der Ausbildung von Hystereseschleifen wird eine Modifizierung des hypoplastischen Stoffgesetzes unter Einführung eines zusätzlichen Stoffparameters vorgenommen. Es wird gezeigt, wie dieser Parameter in zyklischen Laborversuchen bestimmt werden kann und wie damit die Akkumulation von Dehnungen bei drainierten Bedingungen bzw. von Porenwasserdrücken bei undrainierten Bedingungen zuverlässig prognostiziert werden kann.

Anhand der dynamischen Beanspruchung eines Eisenbahndammes auf weichem, organischen Untergrund wird das modifizierte hypoplastische Stoffgesetz mit intergranularen Dehnungen für ein bodendynamisches Randwertproblem angewendet und gezeigt, dass damit das Bodenverhalten realistisch abgebildet werden kann. Die Berechnungsergebnisse zeigen eine gute Übereinstimmung mit Ergebnissen von Schwingungsmessungen und Langzeitverformungsmessungen.

Es werden bodendynamische Berechnungen zur Wellenausbreitung sowohl eindimensional als auch im Halbraum mit unterschiedlichen Stoffgesetzen geführt und Vergleiche mit analytischen Lösungen vorgenommen. Dazu wird gezeigt, welche Anforderungen an numerische Berechnungen zur Wellenausbreitung, insbesondere hinsichtlich Wahl der Zeitschritte, Elementgröße bzw. Knotenabstände, Größe des FE-Netzes und Modellierung der FE-Ränder erforderlich sind.

Weiterhin werden Unterschiede in der Wellenausbreitung in flüssigkeitsgesättigten, porösen Medien gegenüber einem Ein-Phasen-Medium aufgezeigt und auf Grundlage der Biot-Theorie dargestellt. Es werden Bedingungen angegeben, bei deren Einhaltung die Wellenausbreitung in einem porösen Medium vereinfachend als Ein-Phasen-Medium betrachtet werden kann.

Abstract

In this thesis it is shown how to determine the soil stiffness at very small strains, as well as the decrease in stiffness with increasing shear strain amplitude in laboratory and field tests. Typical properties and empirical correlations of coarse-, fine-grained and organic soils collected and significant differences in soil stiffness and stress-dependence at small strains compared to large strains are shown.

Furthermore, it is shown how one can realistically reproduced the soil behaviour at small strains with the hypoplastic constitutive model with intergranular strains and how the material parameters are determined. For a realistic reproducing of soil behaviour due to cyclic loading like hysteresis loops in the stress-strain relationship, a modification of the hypoplastic constitutive model is made by using an additional material parameter. It is shown how this additional parameter can be determined in cyclic laboratory tests and how the accumulation of strains in drained conditions and excess pore pressures built up in undrained conditions can be reproduced realistic.

Based on the dynamic load on a railway embankment on soft, marshy ground, the modified hypoplastic constitutive model with intergranular strains is applied for a boundary value problem in soil dynamics and that the soil behaviour can be reproduced realistically. Numerical results show a good agreement with results of vibration measurements and permanent deformation measurements.

There is numerical analysis in soil dynamics for both one-dimensional and in a half space and with different constitutive models and comparisons with analytical theoretical solutions. This will show what satisfy requirements in numerical analysis of wave propagation, in particular with regard to time steps, element size, node spacing, size of the FE mesh and boundary conditions.

Furthermore, based on the Biot-theory differences in wave propagation in fluid-saturated porous medium over a non-porous medium can be identified and presented. Conditions are specified, compliance with which may be the wave propagation in a porous medium considered as a simplified non-porous medium.

Thesen zur Dissertation

- 1) Das Bodenverhalten wird wesentlich durch die spannungs- und dehnungsabhängige Steifigkeit und durch die Belastungsgeschichte beeinflusst.
- 2) Die Bodensteifigkeit bei kleinen Dehnungen ist deutlich größer, aber auch weniger von der Spannung abhängig als bei großen Dehnungen.
- 3) Das charakteristische Bodenverhalten bei kleinen Dehnungen lässt sich durch das hypoplastische Stoffgesetz mit intergranularen Dehnungen bei geeigneter Wahl der Stoffparameter reproduzieren.
- 4) Die Akkumulation bleibender Dehnungen bzw. Porenwasserdrücke kann mit einer Modifizierung des Stoffgesetzes unter Verwendung eines zusätzlichen Stoffparameters realistisch wiedergegeben werden.
- 5) Dieser zusätzliche Parameter kann in zyklischen Laborversuchen bestimmt werden.
- 6) Mit dem hypoplastischen Stoffgesetz lassen sich bodendynamische Randwertprobleme numerisch beschreiben und bleibende Verformungen bzw. die Akkumulation von Porenwasserdrücken prognostizieren.
- 7) Die Wellenausbreitung kann numerisch durch FE-Berechnungen wiedergegeben werden, wenn gewisse Anforderungen an die Wahl der Zeitschritte, die Elementgröße, Knotenabstände, Größe des FE-Netzes und FE-Ränder beachtet werden.
- 8) Die Ausbreitung von Wellen im porösen Medium kann unter bestimmten Bedingungen vereinfacht wie in einem Ein-Phasen-Medium betrachtet werden.
- 9) Bodendynamische Berechnungen sollten generell durch Parametervariation oder Modellvereinfachungen auf Plausibilität überprüft werden.
- 10) Nicht jeder farbige Ergebnisplot bodendynamischer Berechnungen ist das Papier wert, auf dem es gedruckt wird.

theses for the thesis

- 1) Soil behaviour is significantly influenced by the stress- and strain-dependent stiffness and the loading history.
- 2) Soil stiffness at small strains is significantly higher but also less stress-dependent than at large strains.
- 3) Characteristic soil behaviour at small strains can be reproduced with the hypoplastic constitutive model with intergranular strains with a suitable set of material parameters.
- 4) Accumulation of permanent strains and excess pore pressures built up can be reproduced realistic with a modification of the constitutive model by using an additional material parameter.
- 5) This additional parameter can be determined in cyclic laboratory tests.
- 6) It is possible to calculate boundary value problems in soil dynamics and to predict permanent displacements and excess pore pressures built up with the hypoplastic constitutive model.
- 7) Wave propagation can be reproduced numerically by finite element analysis, when certain requirements (time steps, element size, node distance, size of the FE mesh and boundary conditions) to be considered.
- 8) The propagation of waves in a porous medium can be simplified under certain conditions are considered as a non-porous medium.
- 9) Soil Dynamic analysis should be done generally by varying the parameters or model simplifications to check for reasonable analysis results.
- 10) Not every coloured plot of results from soil dynamic analysis is worth the paper on which it is printed.