

Model for the prediction of shear strength with respect to soil suction

S.K. Vanapalli, D.G. Fredlund, D.E. Pufahl, and A.W. Clifton

Abstract: Experimental studies on unsaturated soils are generally costly, time-consuming, and difficult to conduct. Shear strength data from the research literature suggests that there is a nonlinear increase in strength as the soil desaturates as a result of an increase in matric suction. Since the shear strength of an unsaturated soil is strongly related to the amount of water in the voids of the soil, and therefore to matric suction, it is postulated that the shear strength of an unsaturated soil should also bear a relationship to the soil-water characteristic curve. This paper describes the relationship between the soil-water characteristic curve and the shear strength of an unsaturated soil with respect to matric suction. An empirical, analytical model is developed to predict the shear strength in terms of soil suction. The formulation makes use of the soil-water characteristic curve and the saturated shear strength parameters. The results of the model developed for predicting the shear strength are compared with experimental results for a glacial till. The shear strength of statically compacted glacial till specimens was measured using a modified direct shear apparatus. Specimens were prepared at three different water contents and densities (i.e., corresponding to dry of optimum, at optimum, and wet of optimum conditions). Various net normal stresses and matric suctions were applied to the specimens. There is a good correlation between the predicted and measured values of shear strength for the unsaturated soil.

Key words: soil-water characteristic curve, shear strength, unsaturated soil, soil suction, matric suction.

Résumé : Les études expérimentales sur les sols partiellement saturés sont généralement dispendieuses, prennent du temps et sont difficiles à réaliser. Les données de résistance au cisaillement dans la littérature suggèrent que, par suite de l'accroissement de la succion matricielle, il y a un accroissement non linéaire de la résistance lorsque le sol se désature. Puisque la résistance au cisaillement d'un sol non saturé est fortement reliée à la quantité d'eau dans les vides du sol, et par conséquent à la succion matricielle, l'on postule que la résistance au cisaillement d'un sol non saturé devrait aussi être en relation avec la courbe caractéristique sol-eau. Cet article décrit la relation entre la courbe caractéristique sol-eau et la résistance au cisaillement d'un sol non saturé en fonction de la succion matricielle. Un modèle empirique analytique est développé pour prédire la résistance au cisaillement par rapport à la succion dans le sol. La formulation utilise la courbe caractéristique sol-eau et les paramètres de la résistance au cisaillement du sol saturé. Les résultats du modèle développé pour prédire la résistance au cisaillement sont comparés avec les résultats expérimentaux pour un till glaciaire. La résistance au cisaillement de spécimens de till glaciaire compactés sous charge statique a été mesurée au moyen d'un appareil de cisaillement direct modifié. Des spécimens ont été préparés à trois différents teneurs en eau et densités (c'est-à-dire correspondant à des conditions sèches par rapport à l'optimum, à l'optimum, ou au côté mouillé de l'optimum). Différentes contraintes normales net et suctions matricielles ont été appliquées aux spécimens. Il y a une bonne corrélation entre les valeurs prédites et mesurées de la résistance au cisaillement pour le sol non saturé.

Mots clés : courbe caractéristique sol-eau, résistance au cisaillement, sol non saturé, succion dans le sol, succion matricielle.

[Traduit par la rédaction]

Introduction

A value for the shear strength of a soil is required in the prediction of the stability of slopes and embankments, the bearing capacity of foundations, and pressures against earth retaining structures. The Mohr-Coulomb theory, using the effective stress state, is commonly used for predicting the

shear strength of saturated soils. Even though soils encountered in engineering practice are often unsaturated, slope stability analyses are usually based on the saturated shear strength parameters. Similar design approaches have been adopted for retaining structures, pavements, and other earth structures. These approaches are conservative to varying degrees in that the influence of soil suction is ignored. However, even low suctions can be responsible for maintaining the stability of slopes (Walle and Hachich 1989).

The concept of stress state variables to describe the behavior of unsaturated soils was introduced by Fredlund and Morgenstern (1977). The shear strength of an unsaturated soil, in terms of these stress state variables, was proposed by Fredlund et al. (1978). Elastic-plastic, critical state soil

Received November 27, 1995. Accepted January 5, 1996.

S.K. Vanapalli, D.G. Fredlund, and D.E. Pufahl.

Department of Civil Engineering, University of Saskatchewan, Saskatoon, SK S7N 5A9, Canada.

A.W. Clifton. Clifton Associates, Regina, SK S4N 5Y5, Canada.