

Geotechnische Eigenschaften von Moränen

Doktorarbeit an der
Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich

Für den Titel :
Doktor der Technischen Wissenschaften

eingereicht von:

Philipp Teysseire

Bauingenieur ETH

29.05.1962

genehmigt auf Empfehlung von :

Prof. Sarah Springman, Referentin

Prof. Cristina Jommi, Ko-Referentin

Dr. Armin Petrascheck, Ko-Referent

Zusammenfassung

Moränen im unmittelbaren Gletschervorfeld können, beispielsweise durch niederschlagsbedingte Hanginstabilitäten, ein mögliches Gefahrenpotential darstellen. Um diese Prozesse besser beurteilen zu können, wurden daher im Rahmen der vorliegenden Arbeit die wesentlichen geotechnischen Kenngrössen näher untersucht.

Ein Schwergewicht bildeten Beregnungsversuche an zwei Testfeldern auf der Moränenbastion in Gruben auf 2900 m. ü. M.. Wesentliche Erkenntnisse über das Sättigungsverhalten bei Starkniederschlägen und Infiltrationsprozessen konnten gewonnen werden. Dabei zeigte sich, dass Ereignisse mit einer Niederschlagsdauer von 5 Tagen und Niederschlagsintensitäten im Mittel von rund 15 mm/h eine maximale Tiefenwirkung von ca. 0.5 m erreichen. In den obersten Schichten bis 20 cm konnten maximale Sättigungen von 90 - 95 % gemessen werden. Diese bleiben aber sehr sensitiv auf jegliche nachfolgenden Niederschläge. Tiefere Bereiche ab einem halben Meter hingegen bleiben relativ unbeeinflusst. Zum Erreichen einer ebenen oberflächennahen Instabilität in einem 42° Hang bedurfte es einer totalen Niederschlagsmenge von rund 650 mm in 45 Stunden. Diese Niederschlagsmengen sind jedoch bedeutend höher als die bekannten Grenzwerte für die Entstehung von Murgängen in inneralpinen Gebieten.

Massgebend für die Stabilität und schlussendlich für die Beurteilung der Gefahrensituation ist der zeitliche Verlauf der Scherfestigkeitsparameter. In oberflächennahen Bereichen muss mit einem vollständigen Verlust einer durch Saugspannung verursachten scheinbaren Kohäsion gerechnet werden. In einer Tiefe von 0.22 m sind nach 24 Stunden immer noch 70 % des ursprünglichen Wertes vorhanden. Die Reduktion erreicht nach einer Beregnung von 120 Stunden und mittleren Niederschlagsintensitäten immerhin noch einen Wert von rund 40 % der Ausgangsgrösse.

Die Wasser-Retentionskurven (SWCC) als eine der wichtigsten charakteristischen Kenngrössen für die Typisierung eines ungesättigten Bodens und dementsprechend wichtig für Beurteilung der oberflächennahen Prozesse in einer Moräne, wurden sowohl an künstlich aufbereitetem, als auch an ungestörtem Probenmaterial bestimmt. Aus diesen Resultaten wurde jeweils durch Näherungsverfahren der gesamte Bereich der SWCC ermittelt. Dabei ergab sich eine Ähnlichkeit zwischen der Desorptionskurve („drying curve“) im Labor und derjenigen, welche aus der Benetzung („wetting curve“) im Feld ermittelt wurde.

Zur Bestimmung der Scherfestigkeit wurde nebst den Laborversuchen in der vorliegenden Arbeit ein Feldschergerät entwickelt, welches die Scherfestigkeit in situ im ungesättigten Zustand oder nach einem längeren Regen und Benetzung messen kann. Dabei konnte die starke Abhängigkeit der Scherfestigkeit in den oberflächennahen Bereichen sowohl zur Sättigung wie auch zur Dilatanz aufgezeigt werden.

Aus einer Reihe von Versuchen, bei denen die Scherwellengeschwindigkeit bestimmt wurde, konnte gezeigt werden, dass eine Korrelation zwischen Raumgewichte und relative Dichten mit den seismischen Wellenausbreitungen aus den geophysikalischen Messungen im Feld möglich ist.

Es kann gezeigt werden, dass mittels eines Ansatzes für einen unendlich langen Hang, eine erste Abschätzung der Hangstabilität durchgeführt werden kann. Im Rahmen der numerischen Modellierung wurden wesentliche Parameter mittels Finiten Elementen

modelliert. Dabei wurden auch gekoppelte Stoffgesetze verwendet. Mit den Resultaten aus den Laborversuchen und den Messungen aus den Feldversuchen wurden die Versuche und Feldresultate nachgerechnet.

Mit den vorliegenden Erkenntnissen kann davon ausgegangen werden, dass niederschlagsinduzierte Instabilitäten an Moränen nur einen indirekten Beitrag zur Gefährdungssituation liefern. Mit der Veränderung der Permafrostgrenze wird das Potential an möglich mobilisierbarem Material erhöht. Da diese Prozesse jedoch sehr träge sind, wird grundsätzlich für die nächsten Jahre mit einer gleich bleibenden Gefährdung gerechnet.

Abstract

During intense rainfall events, moraines in alpine and periglacial regions may cause a major natural hazard. Soil properties of these moraines as well as the triggering factors leading to movements during or following rainfall events are quite unknown. This research project focuses on these processes in order to obtain a greatly improved hazard assessment.

A key element of the project consisted in performing artificially induced rainfall events at precipitation rates greater than 1:500 year storms on two test sites in moraine slopes at altitudes close to 2'900 masl, in order to obtain realtime information about changes in the degree of saturation and suction in the soil. Intense rainfall during 5 days at a mean intensity of 15 mm/h causes changes in saturation up to depths of 0.5 m. A degree of saturation of about 90 to 95 % results in the surficial layer up to a depth of 20 cm, and remains very sensitive to further rainfall. Deeper areas are not affected. A shallow planar slip could be observed in a 42° slope at a cumulative rainfall of 650 mm after 45 hours. This is significantly higher than any current threshold values for debris flows in alpine regions.

A total decrease in suctions is observed in the very top layer and leads to almost total loss of a suction-induced apparent cohesion. On the other hand, 70 % of the original shear strength remains at depths of 22 cm after 24 hours, which decreases to 40 % after 120 hours.

Sets of characteristic water retention curves (SWCC) were determined in the laboratory and deduced in the field. Data obtained in the laboratory showed good correspondence with the SWCC measured under field conditions. Curve fittings were done with the obtained data in order to predict the whole range of these curves. The drying curves obtained in the laboratory were quite similar to the wetting curves deduced from the field tests.

Large direct shear box tests have been carried out in situ at natural, partially saturated, water contents and under flooded conditions, as well as drained stress path large triaxial tests, to investigate the dependence of peak shear strength as function of degree of saturations and indirectly of suction. The data showed the strong influence of the degree of saturation on the mobilised peak shear strength in the surficial layers. The influence of dilatancy is discussed. It is shown that dilatancy contributes a significant amount to the shear strength of this morainic material in its in situ state.

Geophysical field tests are considered to be a standard preliminary investigation measure for moraines. A correlation to a density parameter could be observed by measuring the shear wave propagations under laboratory conditions.

Infinite slope analyses were performed. It is shown that a first assessment of slope stability can be carried out based on this simplified approach. Finite element calculations using hydro-mechanical coupled constitutive models (VS2DT & Code Bright) were performed to back analyse the field test and to carry out further parameter studies.

According to these findings, rainfall induced instabilities in moraines may only contribute marginally to a direct hazard situation. Changes in permafrost states are more likely to lead to an increase in material available for mass movements. Yet these processes are very slow, so there is not thought to be any significant increase in direct hazard due to these phenomena in the near future.