



Doctoral Thesis

Shear band propagation in soils and dynamics of tsunamigenic landslides

Author(s):

Saurer, Erich

Publication Date:

2009

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-005951122> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

DISS. ETH N° 18774

**SHEAR BAND PROPAGATION IN SOILS
AND DYNAMICS OF TSUNAMIGENIC LANDSLIDES**

A dissertation submitted to

ETH ZURICH

for the degree of

Doctor of Sciences

presented by

ERICH SAURER

Dipl. Bau-Ing. ETH

born August 30, 1981

citizen of Sigriswil BE

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Alexander Puzrin

Prof. Dr. David Potts

2009

Abstract

Tsunami waves may be generated as a result of submerged landslides. Conventional geotechnical methods to model and calculate the wave height tend to underestimate the real height of the tsunami wave. A mechanism based on the phenomenon of shear band propagation along the failure surface of the landslide has been proposed to overcome this limitation. This mechanism is based on the energy balance (FMEB) approach from fracture mechanics and provides an opportunity to include an initial landslide velocity which could explain larger tsunami waves. One of the main advantages of this approach is that it allows a distinction to be made between progressive and catastrophic shear band propagation. The goal of this thesis is to validate the FMEB approach with physical tests and to develop an analytical solution of the mechanism of tsunamigenic landslides which takes into account dynamic effects during the failure process.

The rate of progressive shear band propagation is evaluated using two different test setups; the well known trapdoor test and a novel test setup, the shear-blade test, which allows curved shaped shear band propagation to be studied in granular materials. Analytical solutions based on the FMEB and the limiting equilibrium approaches are presented for both models for both cohesive and frictional-dilative materials. Comparison and validation of the analytical solutions with both experimental data and numerical calculations using FLAC, reveal that the FMEB is an appropriate tool for the modelling of shear band propagation in soils.

Within the framework of tsunamigenic landslides, the velocity of the catastrophic shear band propagation is a crucial parameter. In order to measure this velocity a series of preliminary biaxial tests under low confining stresses has been performed and the shear band propagation have been filmed using a high speed camera. As expected, the velocities of the shear band propagation appeared to be lower than the shear wave velocity.

Finally, a numerical solution and a closed form approximation for the calculation of the velocity of the shear band and of the initial velocity of

submerged landslides have been derived. The solution includes inertia effects and the viscous water resistance but neglects propagation and reflection of compaction waves (i.e. P-waves) in the sliding layer. When this method is applied to recent and historic landslides, it effectively produces the initial landslide velocities. These velocities are of great importance because they significantly affect the tsunami wave height predictions.

Zusammenfassung

Tsunamis können durch grosse unter Wasser stattfindende Rutschungen ausgelöst werden. Simulationen dieses Ablöse- und Bruchvorgangs der Rutschung mithilfe von konventionellen Berechnungsmethoden neigen dazu, die Höhe der Tsunamiwelle zu unterschätzen. Aus diesem Grund wurde ein neuer Ansatz vorgeschlagen, welcher es erlaubt eine Anfangsgeschwindigkeit der Rutschung einzubeziehen. Der Ansatz beruht auf der Energiebilanzmethode aus der Bruchmechanik und setzt voraus, dass sich ein Scherband der potentiellen Bruchfläche des Bodens entlang ausbreitet. Oberhalb des Scherbands gewinnt die Rutschung an Geschwindigkeit, bevor die totale Scherflächenlänge erreicht und sich damit der gesamte Bruchkörper in Bewegung setzt. Einer der Hauptvorteile dieses Ansatzes ist die Möglichkeit der Unterscheidung zwischen progressiver (d.h. stabiler) und katastrophaler (instabiler) Scherbandausbreitung. In dieser Arbeit wird dieser Ansatz mit Laborexperimenten validiert und eine analytische Lösung des Bruchmechanismus von tsunamiauslösenden Erdrutschen, unter Berücksichtigung dynamischer Effekte während des Bruchvorgangs, entwickelt.

Die Rate der progressiven Scherbandausbreitung wird mithilfe von zwei verschiedenen Experimenten untersucht; mit einem konventionellen Falltürversuch und mit einem neuartigen Scherflügelversuch, welcher es erlaubt zylinderförmige Scherbandausbreitung in granularen Materialien zu beobachten. Für beide Versuche werden analytische Lösungen hergeleitet. Diese basieren auf der erwähnten Energiebilanz- und der Grenzgleichgewichtsmethode. Vergleiche der analytischen Lösungen mit den experimentellen Daten und mit numerischen Berechnungen zeigen, dass der Ansatz für die Modellierung der Scherbandausbreitung in diesem Material angewendet werden kann.

Im Hinblick auf tsunamiauslösende Erdrutsche ist die Geschwindigkeit der katastrophalen Scherbandausbreitung von entscheidender Bedeutung. Um diese Geschwindigkeit zu messen sind in einem Biaxialtest erste Versuche durchgeführt und die Scherbandausbreitung mithilfe einer Hochgeschwindigkeitskamera gefilmt worden.

Zum Schluss werden eine numerische Lösung und eine analytische Annäherung für die Berechnung der Geschwindigkeit der dynamischen Scherbandausbreitung und damit der Anfangsgeschwindigkeit von unter Wasser stattfindenden Erdbeben präsentiert. Effekte aufgrund der Massenträgheit des Bodens und der Viskosität des Wassers an der Oberfläche der Rutschung wurden berücksichtigt, Ausbreitung und Reflexion von Druckwellen in der gleitenden Schicht jedoch vernachlässigt. Die Anwendung der Lösung an historischen und jüngeren Erdbeben zeigt, dass die berechneten Anfangsgeschwindigkeiten die Wellenhöhe erheblich beeinflussen können.