



Doctoral Thesis

The development of brittle failure planes in a shear environment a finite element study

Author(s):

Wust, Gilles H.

Publication Date:

1990

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-000578671> →

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

Diss. ETH No. 9201

**THE DEVELOPMENT OF BRITTLE FAILURE
PLANES IN A SHEAR ENVIRONMENT:
A FINITE ELEMENT STUDY.**

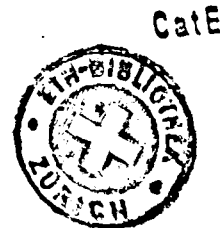
A dissertation submitted to the
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY ZURICH

for the degree of
Doctor of Natural Sciences

presented by
Gilles H. Wust
Dipl. Natw. ETH.
born 21. 6. 1960
citizen of Noiraigue, Neuchâtel (Switzerland)

accepted on the recommendation of
Prof. J. G. Ramsay, examiner
Dr. M. Casey, co-examiner
PD Dr. E. Kissling, co-examiner

June 1990



J. G. Ramsay



00100004162284

Chapter 1

INTRODUCTION:

1.1 Abstract:

This study investigates the mechanics of brittle failure in rocks and in particular how rock fails in shear to produce fault planes.

On one hand, field observations reveal that a large majority of natural fault zones are regular and planar. On the other hand, no fracture mechanics criterion predicts coplanar failure propagation in a shear environment. This apparent contradiction has been resolved by a new micromechanical model blending field observations in the Helvetic Alps together with reviews of laboratory studies and rock mechanics theories.

The failure zone is modelled as a perturbation of microcrack density (Casey, 1980; Casey and Wust, in press) that intensifies until a through-going failure plane occurs. Finite element techniques are used to compute stress fields around a weak elastic precursory zone embedded in a stiff homogeneous matrix, as a function of various parameters and boundary loads. The results show how a reduction of the elastic stiffness of a precursory zone induces a stress field in a process zone which promotes further in-plane failure. For any boundary stress the model predicts the magnitude and orientation of the maximal stress ahead of a precursory zone. It has also been found that using reasonable values for material parameters, the model predicts material response very well and can be applied to estimate pre-failure boundary conditions.

Finally, a general discussion places the model in a broader context and addresses model concepts, scale problems, natural micromechanical processes and the relationships to large scale tectonics.

1.2 Résumé:

Ce projet de recherche, a pour but l'étude des mécanismes de fracturation des roches, et plus particulièrement la façon dont elles se fracturent en compression pour produire des plans de faille.

La grande majorité des failles observées sur le terrain sont régulières et planes. Cependant, si l'environnement est cisailant, aucun critère de fracturation ne prédit une propagation de la rupture dans le plan. Cette apparente contradiction est éliminée par l'introduction d'un modèle micro-mécanique se basant sur des observations de terrain faites dans les Alpes et sur une synthèse de résultats expérimentaux existants et de la théorie de la mécanique des roches.

La zone de rupture a été modélisée comme une perturbation caractérisée par une forte concentration de micro-fissures qui se densifie jusqu'au développement d'un plan de rupture continu (Casey and Wust, in press). La perturbation initiale, élastique et faible, est entourée d'une matrice homogène plus dure. Un programme basé sur la méthode des éléments finis calcule le champ de contrainte autour de cette perturbation initiale, en fonction de divers paramètres internes et charges aux limites. Les résultats montrent comment une réduction de la rigidité élastique de la perturbation initiale induit un champ de traction dans le plan, situé à chaque extrémité de la perturbation, favorisant davantage une rupture dans le plan. Il a aussi été observé que l'introduction de paramètres élastiques raisonnables permettent non seulement de très bien prédire le comportement du matériau mais peut aussi être appliqué pour l'estimation des conditions aux limites avant la rupture.

Finalement, une discussion générale qui replace le modèle dans un contexte plus vaste, traite des problèmes d'échelle, de concept, de processus micro-mécaniques naturels ainsi que les relations avec la tectonique à grande échelle.

1.3 Zusammenfassung:

Gegenstand dieser Arbeit ist die Untersuchung der Mechanik von Bruchflächen in Gesteinen und somit ein Beitrag zur Lösung der Frage: In welcher Weise versagen einer Scherspannung ausgesetzte Gesteine unter Bildung einer Bruchfläche.

Einerseits zeigen Feldbeobachtungen, dass ein Grossteil natürlicher Bruchflächen regelmässig und eben sind. Andererseits geben Bruchmechanik-Kriterien keine Vorhersage über coplanare Bruchausbreitung unter Scherbedingungen. Dieser scheinbare Widerspruch wurde mit einem neuen mikromechanischen Model gelöst, welches Feldbeobachtungen im Helvetikum, experimentelle Studien sowie felsmechanische Theorien berücksichtigt. Die Bruchzone wird als Störung der Dichte von Mikrobrüchen modelliert (Casey, 1980; Casey und Wust, im Druck). Als Folge verstärkter Perturbation entsteht eine durchgehende Bruchfläche. Mit der Technik finiter Elemente wird das Spannungsfeld in Funktion von verschiedenen Parametern und Spannungen um eine vorgegebene weiche elastische Zone - eingebettet in eine steife homogene Matrix - berechnet.

Die Resultate zeigen wie eine Reduktion der elastischen Steifheit der vorgegebenen weichen Zone zu einem coplanaren Zugspannungsfeld in einer aktiven Zone führt, welche weitere Brüche in derselben Ebene fördert. Bei Verwendung vernünftiger Materialkennwerte sagt das Modell das Materialverhalten sehr gut voraus und eignet sich deshalb zur Abschätzung der Bedingungen vor der Bruchbildung.

Zum Schluss wird das Modell in einen allgemeinen Rahmen gestellt, welcher Modelkonzepte, Massstabprobleme, natürliche mikromechanische Prozesse und die Beziehung zu grossräumiger Tektonik beinhaltet.

1.4 Introduction:

The aim of this research project is to investigate the mechanics of brittle failure in rocks and in particular how rock fails in shear to produce fault planes.

Classical analysis methods in structural geology fall short of answering this question and no adequate physically based failure criterion exists yet. Pressure, tem-