

DISS. ETH NO. 17924

ON THE DESIGN OF ROCKFALL PROTECTION GALLERIES

A dissertation submitted to

ETH ZURICH

for the degree of

Doctor of Sciences

presented by

KRISTIAN SCHELLENBERG

Dipl. Bauingenieur ETH

born 18.07.1978

citizen of Winkel ZH

accepted on the recommendation of

Prof. Thomas Vogel, examiner

Prof. Dr. Norimitsu Kishi, co-examiner

2008

Summary

Galleries are common measures to protect roads and railways from rockfall. Rockfall is one of the most relevant natural hazards in the mountainous regions of Switzerland. The recent Swiss design concept is based on the application of a static equivalent force. This approach is simple in use for the engineers in practice, however, the dynamic behavior of the structure is not satisfyingly taken into consideration.

The aim of this research is to provide a better understanding of the dynamic response of rockfall protection galleries. This will improve the prediction accuracy of their impact load capacity. An analytical model based on a system of multiple degrees of freedom and different simplifications is shown. The model enables predicting shear failure as well as bending failure due to impact.

In order to verify and calibrate the model, various tests from small to large-scale were performed. The small-scale tests were used to evaluate the adequate test setup for laboratory research. Although the falling weight test setup is the most complex one, it proved to be the most appropriate. In mid-scale tests different cushion layers were evaluated and in particular the performance of the measurement equipment. Large-scale tests in a scale 1:2 provided the required data to calibrate the analytical model as well as future numerical models. Three series of slabs with different thicknesses with and without shear reinforcement were subjected to increasing impact loads until failure. In the last series punching tests were performed with different boundary conditions and a smaller loading area.

Zusammenfassung

Galerien sind eine verbreitete Massnahme, um Strassen und Bahnlinien vor Steinschlag zu schützen. Steinschlag ist eine relevante Gefährdung in den Bergregionen der Schweiz. Das Bemessungskonzept gemäss der aktuellen Richtlinie in der Schweiz berücksichtigt die Belastung aus einem Steinschlagereignis mittels einer statisch äquivalenten Ersatzkraft, die eine einfache Anwendung in der Praxis erlaubt. Es stellt sich die Frage, in wie fern das dynamische Verhalten der Struktur in Rechnung getragen ist.

Das Ziel dieser Arbeit ist, zu einem besseren Verständnis über das Tragverhalten von Steinschlaggalerien beizutragen und eine präzisere Vorhersage der Tragfähigkeit der Galerie bei Stossbelastung zu ermöglichen. Ein Modell bestehend aus einem Mehrmassenschwinger wird vorgeschlagen. Das Modell ermöglicht, sowohl ein Durchstanzen wie auch ein Biegeversagen vorherzusagen.

Um das Modell zu kalibrieren bzw. zu verifizieren, wurden Versuche in verschiedenen Massstäben durchgeführt. In klein-massstäblichen Versuchen wurde zunächst nach dem geeigneten Versuchsaufbau gesucht, um Steinschlaggalerien im Labor untersuchen zu können. Der Fallversuch stellte sich als der best geeignete Versuchsaufbau heraus, obwohl dieser der Komplizierteste ist. Bei Versuchen im mittleren Massstab wurden verschiedene Eindeckungsmaterialien getestet und insbesondere die Messinfrastruktur erprobt. Grossversuche im Massstab 1:2 lieferten schliesslich die Messwerte, um das Modell und künftige FE-Simulationen zu kalibrieren. Platten von unterschiedlicher Stärken sowie mit und ohne Schubbewehrung wurden jeweils mit steigender Fallhöhe bis zum Bruch belastet. In einer vierten Versuchsreihe wurden Fallversuche durchgeführt, bei welchen die Platten infolge unterschiedlicher Auflagerbedingungen und einer reduzierten Lastfläche auf Durchstanzen versagten.

Resumen

En las regiones montañosas de Suiza la caída de rocas es uno de los riesgos naturales siempre presentes. Galerías de protección son medidas frecuentes y efectivas para proteger carreteras y vías de ferrocarril. El elemento de mayor interés es la losa de hormigón armado cubierta por una capa amortiguante de suelo suelto.

El concepto de diseño estructural contemplado en las directivas suizas consiste en una carga estática equivalente para tener en cuenta el impacto. Esta manera de diseño es fácil de aplicar, pero el comportamiento dinámico de la estructura no se tiene en cuenta.

Esta tesis tiene el objetivo de mejorar la comprensión de la respuesta dinámica de dichas estructuras de protección y mejorar la predicción de la capacidad de resistencia a un impacto de rocas.

Por lo tanto, un modelo analítico ha sido desarrollado, el cual se basa en un sistema de múltiples grados de libertad con diferentes hipótesis de simplificación. El modelo es capaz de evaluar una posible ruptura local por punzonamiento o una global debido a fuerzas de flexión durante el impacto.

Ensayos en pequeña escala han sido efectuados para evaluar diferentes configuraciones para analizar el impacto de rocas sobre la estructura bajo condiciones de laboratorio. Se mostró que el más adecuado es la precipitación de un peso libre sobre la prueba, por más que a la misma vez es la configuración más compleja. Con ensayos de escala mediada se evaluó la capacidad del equipo de medición y diferentes materiales como capa amortiguante.

Ensayos en escala grande (1:2) proveen los datos necesarios para validar el modelo analítico como también para calibrar futuros modelos numéricos. Losas de diferentes espesores, así como armadura de corte fueron expuestas a impactos cada vez mayores en intensidad, hasta que las losas alcanzaron su resistencia límite. En una cuarta serie de ensayos losas han sido sometidas a impactos con superficies del contacto limitadas provocando fallos a punzonamiento.