

DISS. ETH Nr. 13520

Rissbildung und Ablösung zementgebundener Beschichtungen auf Beton

ABHANDLUNG
Zur Erlangung des Titels

DOKTOR DER TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN

der
EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE

vorgelegt von:

Giovanni Martinola
dipl. Werkstoff-Ingenieur ETH
geboren am: 7. Juli 1968
Malvaglia, Ticino

Angenommen auf Antrag von:

Prof. Dr. F.H. Wittmann
Prof. Dr. H.S. Müller
Dr. H. Sadouki

2000

Zusammenfassung

Beschichtungen werden heutzutage bei der Instandsetzung von Stahlbetonbauwerken oft eingesetzt. Damit soll der Schutz der Bewehrung gegen das Eindringen aggressiver Stoffe wieder gewährleistet werden. Beschichtungen können aber auch bei neuen Bauwerken appliziert werden, um die Dauerhaftigkeit dieser Konstruktionen bedeutend zu erhöhen. Die Schutzwirkung dieser Beschichtungen kann nur gewährleistet werden, wenn sie während der geplanten Lebensdauer rissfrei bleiben und somit der Schadstofftransport im Stahlbetonbauteil unterbunden wird. Leider sind solche Beschichtungen unterschiedlichen Phänomenen (z.B. thermisches, hygrisches und autogenes Schwinden) unterworfen, die zu komplexen Spannungszuständen (Zwangsspannungen und Eigenspannungen) im System Beschichtung - Untergrund führen. Diese können schon nach wenigen Jahren zu Rissbildung und/oder Ablösung der Beschichtung führen. Die Bemessung solcher Beschichtungen kann heikler sein als die Planung von neuen Bauwerken.

In dieser Arbeit wird ein Ansatz zur korrekten Bemessung von Beschichtungssystemen vorgeschlagen. Bei diesem Ansatz werden die Spannungszustände und die Rissbildung aus unterschiedlichen Beanspruchungen und Randbedingungen mit Hilfe eines numerischen Modells berechnet.

Dieses Modell erlaubt die Untersuchung der Rissentstehung und deren Ausbreitung in beschichteten Betonkonstruktionen, die hygrischen und thermischen Gradienten sowie mechanischen Belastungen, oder Kombinationen beider, unterliegen. Es werden zeit- und feuchtigkeitsabhängige (temperaturabhängige) Werkstoffgesetze der nichtlinearen Diffusionstheorie angewendet.

Bei der Spannungs- und Verformungsanalyse wird das endogene Schwinden, das Trocknungsschwinden und das Kriechen berücksichtigt. Die Rissbildung und Rissausbreitung wird dabei mit kohäsiven Rissmodelle (diskrete und verschmierte Rissmodelle) der nichtlinearen Bruchmechanik berechnet.

Die für den numerischen Modell benötigten Werkstoffeigenschaften werden experimentell oder indirekt durch inverse Analyse für unterschiedliche Beschichtungswerkstoffe und den Betonuntergrund bestimmt. Neue Versuchsanordnungen werden entwickelt, um wenig untersuchte Phänomene und Werkstoffkenngrößen zu quantifizieren. Bei experimentellen Arbeiten wird der Einfluss von Fasern unterschiedlichen Typs sowie von Kunststoffzusatzmitteln und Schwindreduziermitteln auf die Beschichtungseigenschaften untersucht.

Das vorgeschlagene Modell wurde mit zwei unterschiedlichen Experimenten unter isothermen Randbedingungen validiert: dem instrumentierten Ringversuch und austrocknenden Instandsetzungssystemen. Der Vergleich zwischen den experimentellen Beobachtungen und den Ergebnissen der numerischen Analyse zeigt, dass der numerische Ansatz in der Lage ist, die Rissbildung und Rissausbreitung der Beschichtung realistisch, und unter beliebigen Anfangs- und Randbedingungen, vorherzusagen. Die relevanten Werkstoffparameter, die die schwindinduzierte Rissbildung beeinflussen, wurden mit einer Parameterstudie identifiziert.

Auf dieser Basis können die Anforderungen an Beschichtungssysteme in Abhängigkeit der probabilistischen Eigenschaften jedes beschädigten Bauwerkes ad hoc formuliert und somit das Versagensrisiko minimiert werden.

Die Leistungsfähigkeit dieses Ansatzes wurde schliesslich auf die Dimensionierung des Beschichtungssystems bei der Instandsetzung eines Stahlbetonbrückenpfeilers angewendet.

Im letzten Kapitel wird ein Konzept zur Erhöhung der Dauerhaftigkeit von bestehenden und neuen Stahlbetonbauwerken mit Hilfe von dimensionierten Schutzschichten präsentiert.

Abstract

Cement-based layers are frequently used nowadays for repair of reinforced concrete structures. They restore the protection of the reinforcement against penetrating aggressive substances. Protective coatings can also be applied to new structures in order to improve their durability. To offer protection and prevent the transport of harmful substances inside the reinforced concrete structure these layers have to be free from cracks during the planned useful life time. Unfortunately such layers are submitted to different phenomena like thermal, hygral and autogenous deformations, which alone or combined create a complex state of eigenstresses inside the system layer- subbase. The induced tensile stresses can exceed the relatively low tensile strength of the material even at early age, leading in that way to crack formation in the overlay and delamination of the layer. The design of such layers can turn out to be more difficult than planning of new structures.

This work suggests an approach for reliable design of protective layer systems. A numerical model is used in order to determine the time dependent stress distribution and the crack formation due to different loads and boundary conditions.

This model allows us to predict the formation and growth of cracks within coated concrete structures exposed to hygral and thermal gradients, mechanical loads or a combination of these loads.

In order to simulate the time-dependent humidity (or temperature) distributions in a realistic way, the non-linear diffusion theory has been used. In this theory, the hygral (or thermal) diffusivity are described as function of the principal state variables, i.e. temperature, moisture content and the age of the material. In case of cement-based materials with relatively low water/cement ratio, self-desiccation is taken into account.

The simulated hygral or thermal fields allow us to calculate the induced deformations and eigenstresses as function of time. Creep strains are described by means of a rheological model (Kelvin chains). Crack formation and crack growth have been simulated using cohesive crack models, in its discrete formulation for the interface, and the smeared concept for the continuum, i.e. overlay and substrate.

The hygral, thermal and mechanical properties of the involved materials which are needed for the numerical model are determined from appropriate experiments directly or indirectly via inverse analysis. New experimental set-ups have been developed for the quantification of hardly investigated phenomena and material parameters. The influence of different types of fibres on the properties of the overlays as well as variations due to the addition of polymers or shrinkage reducing agents are being investigated experimentally.

The proposed model has been validated using the following two experiments under isothermal conditions: the instrumented steel-ring-test and drying repair systems. The comparison of experimental observations and the results from the numerical analysis demonstrate that the numerical approach is suitable for predicting the formation and growth of cracks within a overlay under arbitrarily set boundary conditions realistically.

The relevant material parameters influencing shrinkage cracking are identified by means of a sensitivity analysis. Based on the results of this analysis, requirements for a durable repair system are formulated. With this model different boundary conditions and the probabilistic properties of each damaged building are taken into account in order to minimize the risk of failure of the repaired structure.

Finally, this approach has been applied to analyze in a rational way the case of a pier repair of an old reinforced concrete bridge.

The last chapter discusses a concept to improve the durability of existing and new reinforced concrete structures using well designed protective layers.