

DISS. ETH Nr. 14837

Steigerung der Dauerhaftigkeit selbstverdichtender
Betone durch den Einsatz von
Polymerfaserkurzschnitt

ABHANDLUNG
zur Erlangung des Titels
DOKTOR DER TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN
der
EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZÜRICH

vorgelegt von:

Martin Franz Bäuml
dipl. Bau-Ingenieur ETH
geboren am: 1. März 1975
von: Deutschland

Angenommen auf Antrag von:

Prof. Dr. F.H. Wittmann, Referent
Prof. Dr. H. Böhni, Korreferent
Dr. R. Wolfseher, Korreferent

2002

Zusammenfassung

Das Ziel der Technologie des selbstverdichtenden Betons (SCC) besteht in einer Steigerung der häufig ungenügenden Dauerhaftigkeit von Betonbauwerken. Durch die Eliminierung des Arbeitsschrittes der Verdichtung soll eine Ursache für die die Dauerhaftigkeit wesentlich beeinflussende Gefügeinhomogenität unterbunden werden. Die hierfür nötige Selbstverdichtbarkeit wird durch einen hohen Feinanteil, die Reduktion des Zuschlaggehaltes und den Einsatz moderner Hochleistungsverflüssiger erreicht. Hierdurch steigt unter anderem das Risiko der durch Trocknungsschwinden verursachten Oberflächenrissbildung.

In dieser Arbeit werden an gezielt modifizierten selbstverdichtenden Betonen, die den Prozess der hygrisch induzierten Oberflächenrissbildung beeinflussenden Werkstoffeigenschaften bestimmt und daraus Massnahmen abgeleitet, wie dieses Risiko reduziert werden kann. Hierbei wird ein sowohl die entsprechenden Einwirkungen als auch die Rissentstehung und Rissfortpflanzung realistisch beschreibendes Werkstoffmodell zu Grunde gelegt. Es wird festgestellt, dass durch diese Massnahmen das Rissbildungsrisiko selbstverdichtender Betone nicht auf das Mass konventioneller Betone reduziert werden kann, da die Anforderungen an die rheologischen Frischbetoneigenschaften die Beeinflussungsmöglichkeiten stark einschränken.

Der Einsatz von Polymerfasern, deren E-Modul höher als der von Beton ist, erlauben hingegen eine wirkungsvolle Erhöhung der die Rissbildung infolge verformungsgesteuerter Prozesse primär beeinflussenden Bruchenergie des Betons. Es wird ein empirischer Zusammenhang zwischen den Eigenschaften der Fasermodifikation und den Fliesseigenschaften des faserverstärkten Betons in frischem Zustand hergeleitet, der, im Gegensatz zu den in der Literatur zu findenden Zusammenhängen, die Viskosität der Bindemittelmatrix mit berücksichtigt. Ausserdem wird basierend auf bestehenden Arbeiten zum Thema faserverstärkter Werkstoffe, ein Modell vorgeschlagen, das es erlaubt in Abhängigkeit der Werkstoffeigenschaften der Fasern, des Betons und deren Grenzfläche das Dehnungsentfestigungsverhalten und die Bruchenergie zu bestimmen. Dieses Modell erfährt im Rahmen eines eigenen Kapitels ausserdem die Verallgemeinerung für den Fall, dass die infolge der Faserbewehrung erreichbare

Rissüberbrückungsspannung die Erstrissfestigkeit des Werkstoffes um ein Mass übersteigt, das das Phänomen der Mehrfachrissbildung ermöglicht.

Die Kombination der erarbeiteten Beziehungen bezüglich bruchmechanischen und rheologischen Eigenschaften erlaubt es schliesslich, ausgehend von bestehenden Bemessungsverfahren, die Leistungsfähigkeit der untersuchten Polyvinylalkoholfasern in Bezug auf die Reduktion des Rissbildungsrisikos zu beurteilen. Es wird festgestellt, dass diese in Kombination mit anderen Massnahmen, die Steigerung der Dauerhaftigkeit bezüglich des Einflusses der Rissbildung ermöglichen.

Das vorgeschlagene Vorgehen wird anhand zweier an realen Bauwerken durchgeführter Sanierungsmassnahmen, in deren Rahmen selbstverdichtende Betone als Beschichtungswerkstoffe zum Ersatz chlorigkontaminierter Überdeckungsbetone zum Einsatz kamen, in die Praxis umgesetzt. In einem Fall kamen hierbei die untersuchten Kurzfasern zum Einsatz, während die zweite Massnahme lediglich mit konventionellen Methoden in Bezug auf ihre Dauerhaftigkeit optimiert wurde. Ausserdem wird die Rissbildung infolge Trocknungsschwinden mit Hilfe der Methode der finiten Elemente simuliert und die Ergebnisse mit dem realen Rissbild verglichen.

Abstract

The original objective of using Self-Compacting Concrete is to improve durability of concrete structures, which is unsatisfactory in many cases. This is caused by a highly inhomogeneous microstructure of concrete, that has undergone insufficient or exaggerated vibrating compaction. Hence improving durability should be possible by means of avoiding this kind of consolidation. Self-compactability is realized by reducing content of coarse aggregates, increasing amount of fines and using modern superplasticizers, which, in turn, increase the risk of surface cracking due to hygral shrinkage.

Specifically modified SCCs are characterised by measuring their material parameters, which influence the process of hygrally induced surface cracking. As a result measures can be derived, which enable one to reduce this deteriorating process. The derivation is based on realistic material laws, which precisely describe the effect of external physical loads such as drying as well as crack formation. It can be shown that the performance of the suggested measures is limited as it is not possible to reduce risk of surface cracking to an extent which can be compared to normal concrete. This is due to strict boundary conditions given by rheological requirements that can not be circumvented.

The addition of high-modulus polymer fibers, whose stiffness exceeds that of plain concrete provides the possibility to multiply the fracture energy of concrete by several times. As fracture energy mainly influences the crack formation due to deformation controlled processes proper fiber reinforcement enables one to seriously reduce the probability of surface cracking. An empirical correlation is derived which describes the connection between properties of fiber reinforcement and the flowability of fiber reinforced concrete. Compared to existing correlations, which neglect the influence of the viscosity of the plain matrix on their rheological behaviour in case of the addition of fibers, the correlation derived shows that this influence has to be taken into account in case of highly concentrated suspensions such as cement paste. Based on existing works in the field of fiber reinforced composites a model is proposed, which allows to determine strain softening behaviour and magnitude of fracture energy of fiber reinforced concretes as a function of the properties of fibers, matrix and fiber-matrix inter-

face. A separate chapter deals with the generalization of this model, which allows the numerical simulation of the phenomenon known as multiple cracking, which occurs under the condition that the magnitude of fiber bridging stress exceeds the first crack strength of the matrix. This becomes possible by implementing the probabilistic nature of concrete properties.

The procedure proposed is applied to two real cases, where self compacting concrete is used to replace parts of the old covercrete of a tunnel, which is deteriorated and contaminated by chlorides. In one case high-modulus polymer fibers are used to enhance crack resistance of the new protective layer, while the other job is done only by using conventional optimization techniques to guarantee sufficient durability. In addition to this the evolution of cracks is monitored and compared to the results of a finite-element simulation determining the crack formation due to drying shrinkage.