

DEM-Simulation von Bruchvorgängen im Beton

DEM Simulation of Concrete Fracture Phenomena

Birgit Beckmann

DEM-Simulation von Bruchvorgängen im Beton

Erkenntnissuche und ein vertieftes Verständnis des Materialverhaltens von Beton sind das zentrale Anliegen dieser Arbeit. Die sehr komplexen Vorgänge von Bruch-, Rissbildungs- und Schädigungsprozessen im Beton zu verstehen ist von grundsätzlichem Interesse. Um das Verständnis der Bruchphänomene zu vertiefen, wird im Rahmen dieser Arbeit eine zweidimensionale Simulation entwickelt und vorgestellt, mit der Bruchvorgänge im Beton auf Grundlage der Diskrete Elemente Methode (DEM) beschrieben werden. Dabei steht nicht das Erreichen einer bestimmten Maximallast oder Bruchspannung im Vordergrund, sondern das grundsätzliche Abbilden der Bruchphänomene und Versagensmechanismen von Festbeton. Ein besonderer Schwerpunkt bildet die Untersuchung der Rissentwicklung.

In der Partikelsimulation werden die den Beton repräsentierenden Partikel beschrieben. Risse sind dabei die Abwesenheit von Betonmaterial und entstehen von selbst, wenn Partikel sich voneinander wegbewegen. Ein besonderer Vorteil der Diskrete-Elemente-Modellierung ist es, dass Diskontinuitäten eine inhärente Eigenschaft der Methode sind. Daher werden Risse nicht durch spezielle Risselemente dem Modell hinzugefügt, sondern Risse sind als eine Diskontinuität a priori Teil der Modellierungsmethode. Unter der Verwendung einer großen Anzahl von an sich einfachen Partikeln entstehen komplexe, makroskopisch beobachtbare Effekte allein durch die Interaktion der Partikel. Auf diese Weise wird ein explizites Hinzufügen der makroskopischen Größen vermieden. In der vorgestellten Simulation werden aufgrund ihrer Formstabilität polygonale Partikel gewählt. In Hinblick auf den Betonkörper können konvexe und konkave Geometrien behandelt werden, wobei die Konvexität der Partikel in beiden Fällen erhalten bleibt. Um die Betonbestandteile Zuschlag und Zementmatrix zu modellieren, wird eine Substruktur eingeführt.

In der Simulation werden die Einwirkung und Übertragung äußerer Belastung analysiert und dabei die Entstehung von Mikrorissen und Gefügeänderungen sowie die Auswirkungen von Defekten in der Struktur der Materialien auf ein phänomenologisch geändertes Materialverhalten untersucht. Am Beispiel eines einaxialen Druckversuchs, bei dem ein Betonprobekörper bis zum vollständigen Versagen belastet wird, werden die Ergebnisse der Simulation mit denen eines realen Laborversuchs verglichen. Dabei wird gezeigt, dass in der Simulation wie auch im Laborexperiment die Rissmuster sich im Detail unterscheiden, jedoch dieselbe phänomenologische Gestalt aufweisen. Die während des Belastungsverlaufs entstehende Schädigungsakkumulation wird untersucht und mit Laborversuchen verglichen. Dabei wird gezeigt, dass ab einer bestimmten Belastungsintensität die Schädigung im Betonprobekörper so stark zunimmt, dass im weiteren Belastungsverlauf aufgrund der fortschreitenden Rissentwicklung nicht mehr von einem kontinuierlichen Körper ausgegangen werden kann. Darüber hinaus werden Simulationsrechnungen für verschiedene Belastungsgeschwindigkeiten vorgestellt. Im Ergebnis der Simulation werden bei höheren Belastungsgeschwindigkeiten höhere Maximallasten ermittelt sowie ein spröderes Materialverhalten des Betons festgestellt.

Mit der vorgestellten DEM-Simulation werden die Bruchphänomene im Beton in ihrem statistisch variierenden Charakter abgebildet. Dabei zeigen die Simulationsergebnisse, dass Partikelsimulationen beziehungsweise DEM-Simulationen ein geeigneter und sinnvoller Ansatz für die numerische Untersuchung von Rissentwicklung und Bruchvorgängen im Beton sind.

DEM Simulation of Concrete Fracture Phenomena

The search for insight into and a better understanding of material behaviour is the central aim of this work. The complex processes of fracturing, crack propagation and damage evolution are of general interest. For a deeper understanding of concrete fracture phenomena, a two-dimensional simulation based on discrete element method (DEM) is developed and presented in this work. The aim of this study is not the reaching of a certain value of maximum load or stress, but rather the principle modelling of concrete fracture phenomena and failure processes. Special focus is laid on the investigation of crack propagation.

In particle simulations, the particles representing the concrete material are described. Cracks are the absence of concrete material, and they occur by themselves, when particles move apart from each other. It is a special advantage of the discrete element method that discontinuities are an inherent property of the method. For this reason, cracks are not added to the model by special crack elements, but being a discontinuity, cracks are part of the model a priori. Using a large number of particles, simple in principle, let complex, macroscopically observable effects emerge just due to the interaction of the particles. This way, the explicit adding of the macroscopic quantities is avoided. Polygonal particles are chosen in the presented simulation due to their form stability. Regarding the concrete body, convex and concave geometries can be treated, whereby the convexity of the particles is preserved in both cases. A substructure is introduced to model the concrete components aggregate and hydrated cement.

In the simulation, the evolution of micro-cracks, structural changes and structural damage due to the application and transmission of external loads and their influence on different phenomenological material behaviour are studied. Using the example of a uniaxial compression test, where the concrete is loaded up to total collapse, the results of the simulation are compared to the ones of real laboratory experiments. It is shown that the crack patterns differ in detail but show the same phenomenological shape in both the simulation and the laboratory tests. The damage accumulation arising during the loading process is investigated and compared to laboratory tests. It is shown that above a certain load intensity, the level of damage increases so far that the concrete body is no longer a continuous body due to the progressing crack evolution. Furthermore, the investigation of different loading velocities is presented. As a result of the simulation, higher maximum loads and a more brittle material behaviour are shown for higher loading velocities.

Concrete fracture phenomena and their statistically varying characters are modelled in the presented DEM simulation. The simulation results show that particle simulations and DEM simulations are a suitable and reasonable approach for the numerical investigation of concrete behaviour and crack propagation.