

Kurzfassung

Treten im Beton mehraxiale Spannungszustände auf, führen diese gegenüber einer einaxialen Beanspruchung zu einer signifikanten Änderung des Materialverhaltens. Neben einer festigkeitssteigernden bzw. -abmindernden Wirkung ergeben sich ebenfalls große Unterschiede im Spannungs-Dehnungs-Verhalten. Zur effizienten Konzipierung von Betonstrukturen unter komplexen Beanspruchungszuständen ist daher die Kenntnis des veränderten Materialverhaltens notwendig.

Zur experimentellen Bestimmung des Spannungs-Dehnungs-Verhaltens eines Ultrahochleistungsbetons mit einer einaxialen Druckfestigkeit von über 170 N/mm^2 wurden mehraxiale Belastungsversuche an würfelförmigen Probekörpern durchgeführt. Die Untersuchung umfasste insgesamt 35 zwei- und dreiachsiges Spannungsverhältnisse unter proportionaler Laststeigerung mit vorrangiger Betrachtung von Zug-Druck-Druck-Beanspruchungen. Für die Einleitung der Zugbeanspruchungen in die Prüfkörper wurde eine neue Methode entwickelt, bei der mittels einbetonierter Schrauben die Belastung auf den Beton übertragen wird. Die Bestimmung des Verformungsverhaltens erfolgte im Inneren der Probekörper mit sechs tetraederförmig angeordneten Faser-Bragg-Gittern. Die somit direkt gemessenen Dehnungen ermöglichen die nachträgliche Berechnung der Komponenten des Dehnungstensors des Bezugskordinatensystems.

Für den untersuchten Ultrahochleistungsbeton fallen die auf die einaxiale Druckfestigkeit bezogenen mehraxialen Festigkeitswerte mit zunehmendem hydrostatischen Druckspannungsanteil der Beanspruchung geringer aus als bei Normalbetonen. Weiterhin weist das Verformungsverhalten eine größere Sprödigkeit gegenüber Normalbetonen auf, so dass auch unter dreiachsiges Druckspannungszuständen die Probekörper schlagartig versagen.

Aus den gemessenen Spannungs-Dehnungs-Linien werden neben den maximalen Festigkeiten die Festigkeitswerte an der Elastizitätsgrenze, der Affinitätsgrenze sowie beim Volumenminimum der Probekörper bestimmt. Zur Approximation dieser charakteristischen Werte wurde eine Grenzflächenbeschreibung entwickelt und an den Versuchsergebnissen kalibriert.

Des Weiteren erfolgte die Zusammenstellung einer Datenbank mit in der Literatur verfügbaren mehraxialen maximalen Festigkeitswerten von Betonen mit einaxialen Druckfestigkeiten von 10 N/mm^2 bis 180 N/mm^2 und die Kalibrierung des entwickelten Modells zur Grenzflächenbeschreibung in Abhängigkeit der einaxialen Druckfestigkeit. Die bei der Kalibrierung der Grenzfläche für einzelne Betonfestigkeitsklassen bestimmten Freiwerte hängen dabei stark von den vorliegenden Versuchsdaten und speziell vom Wertebereich der hydrostatischen Spannungsanteile der maximalen Beanspruchungen ab.

Die Approximation des Spannungs-Dehnungs-Verhaltens der mehraxial beanspruchten Probekörper erfolgt mittels eines schädigungs-basierten Materialgesetzes. Hierbei wird für den anfänglich isotropen Beton zum einen eine lastinduzierte isotrope Schädigung und zum anderen eine lastinduzierte orthotrope Schädigung angenommen, die von den auftretenden Hauptdehnungen abhängig ist. Mit dem entwickelten Materialgesetz werden sehr gute Übereinstimmungen mit den gemessenen Spannungs-Dehnungs-Linien erreicht, so dass sich ebenfalls eine gute Vorhersage der maximalen Festigkeitswerte ergibt.

Abstract

Concrete under multiaxial stress states shows significant changes of the material behaviour compared to uniaxial loading. Besides strength increasing and decreasing effects, also great differences in the stress-strain behaviour occur. In order to design concrete structures efficiently concerning complex stress states, the knowledge about the modified material behaviour is necessary.

To determine experimentally the stress-strain behaviour of an ultra high performance concrete with a uniaxial compressive strength of about 170 N/mm^2 , multiaxial loading tests on cubic-shaped specimens were carried out. Altogether, the investigation contained 35 biaxial and triaxial stress ratios under proportionally increasing load with primarily tension-compression-compression loadings. Applying the tensile load on the specimen, a new method was developed, which uses screws embedded in the concrete to transfer the loading. The deformations were measured by using six tetrahedron-shaped arranged Fibre Bragg Gratings inside the concrete specimen. Subsequently, with the directly measured strains the components of the strain tensor of the reference coordinate system could be determined.

For the investigated ultra high performance concrete the increase of the multiaxial strength, referring to the uniaxial compressive strength, decreases compared to normal strength concrete with the increasing hydrostatic stress component of the load. Moreover, the deformation behaviour shows an increased brittleness compared to normal strength concrete, so that even under triaxial compressive stress states the specimens fail abruptly.

Besides the ultimate strength, from the measured stress-strain curves the strength at the proportional limit, at the limit of affinity as well as at the minimum volume of the specimen is determined. To approximate these characteristic values, a description of a hypersurface is developed and calibrated with the test results.

Furthermore, a database with multiaxial ultimate strength values of concretes with uniaxial compressive strengths between 10 N/mm^2 to 180 N/mm^2 available from literature was compiled and a calibration of the developed hypersurface model depending on the uniaxial compressive strength was carried out. Thereby, the obtained values of arbitrary parameters of individual concrete strength classes depend severely on the available test results, especially on the range of values of the hydrostatic stress component of the ultimate strength.

The approximation of the stress-strain behaviour of the multiaxial loaded specimens is carried out by means of a damage-based material law. For this purpose, concerning the initially isotropic concrete, a load-induced isotropic and orthotropic damage depending on the principle strains is assumed. With the developed material law, very good accordance with the measured stress-strain curves could be achieved, so that also results in a good approximation of the ultimate concrete strength.