

Simulation von spröden und porösen Werkstoffen

Neue geomechanische Materialmodelle

Geomechanische Aufgabenstellungen, zum Beispiel die Simulation von Tunnelbauwerken, die Untersuchung der Bohrlochstabilität oder die Interaktion von Bauwerken mit dem Untergrund, erfordern spezielle Materialmodelle. Deshalb wurden in ANSYS 17 neue Materialmodelle integriert, die zur Simulation spröder und poröser Werkstoffe in der Geomechanik und im Bauwesen dienen.

Viele Baustoffe wie Boden, Fels oder Beton sind zwar sehr druckfest, besitzen jedoch eine relativ geringe Zug- oder Schubfestigkeit. Zur Simulation dieser Materialien müssen Materialphänomene – unter anderem nichtlineares Spannungs-Dehnungsverhalten, anisotropes Festigkeitsverhalten, Dilatanz, Rissbildungen und spröde Materialentfestigung – beschrieben werden.

Zur Berücksichtigung dieser Phänomene wurden in der neuen ANSYS Version 17 folgende Materialmodelle neu aufgenommen:

- Mohr-Coulomb,
- Jointed Rock,
- Cam-Clay und
- Drucker-Prager Concrete

Die Materialmodelle sind sowohl in Volumenelementen als auch in Schalen- oder Plattenelementen verfügbar.

Das Mohr-Coulomb Modell ist ein Grundmodell der Geomechanik. Viele körnige, spröde Materialien wie Boden, Sand oder isotropes Gestein versagen, sobald die Schubspannungen zu groß werden. Typischerweise kann das Schubtragvermögen gesteigert werden, wenn die Materialien zusätzlich unter Druckspannungen stehen. Dieses Verhalten lässt sich mit dem Mohr-Coulomb Modell beschreiben. Für die Beschreibung der Materialfestigkeit müssen als Parameter der innere Reibungswinkel und die Kohäsion definiert werden. Zusätzlich kann das Mohr-Coulomb Modell mit einem Zugspannungskriterium

durch Eingabe einer Zugfestigkeit kombiniert werden.

Simulation von geklüftetem Fels

Das Jointed Rock Modell eignet sich insbesondere zur Simulation von geklüftetem Fels und ist damit unter anderem für Anwendungen in der Öl- und Gas-Industrie oder geotechnische Aufgabenstellungen wie die Berechnung von Tunnelbauwerken, Talsperren und Untergrundlaboratorien beziehungsweise Endlager geeignet (Bild 1). Geklüfteter Fels besteht in der Regel aus einer isotropen Gesteinsmatrix, die von einer oder mehreren Trennflächenscharen durchzogen ist.

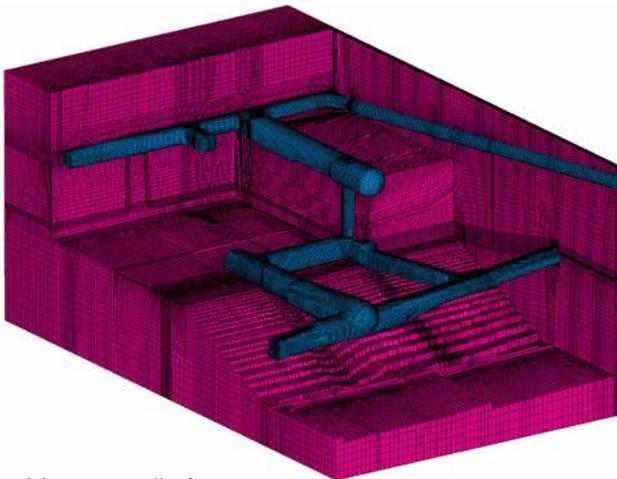


Bild 1: Beispielhafte Berechnung eines Stollensystems.

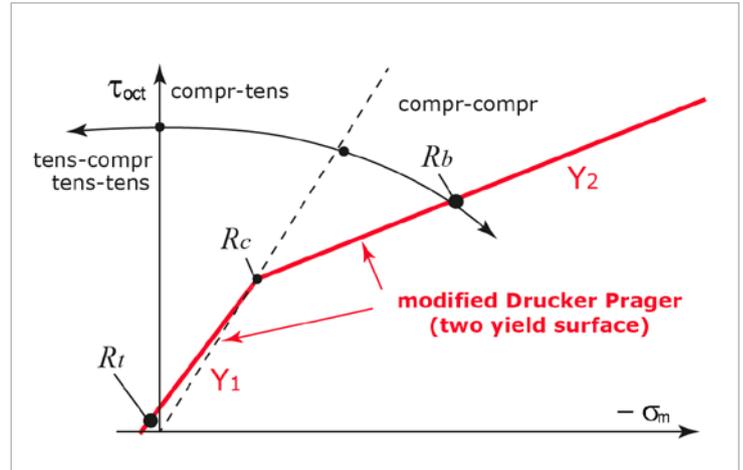


Bild 3: Das Drucker-Prager Concrete Modell mit den zu bestimmenden Parametern.

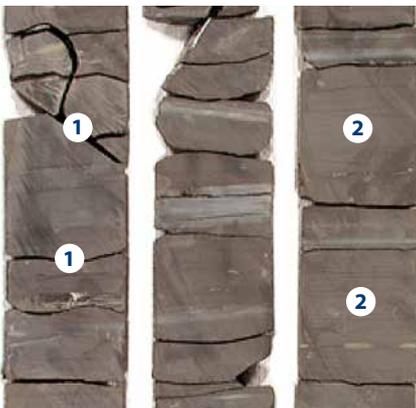


Bild 2: Proben aus geklüftetem Felsgestein (1 = Trennflächenscharen, 2 = isotrope Gesteinsmatrix).

Die Trennflächenscharen wirken oft als Ebenen verminderter Festigkeit, die ein ausgeprägt anisotropes Materialverhalten verursachen (Bild 2). Mit dem Jointed Rock Modell werden die Trennflächenscharen nicht diskret modelliert, sondern mit einem homogenen Kontinuum-Ansatz in ihrer Auswirkung auf das anisotrope Spannungs-Dehnungsverhalten an den Integrationspunkten der Finiten Elemente berücksichtigt.

Das Jointed Rock Modell baut auf dem Mohr-Coulomb Modell auf. Neben der isotropen Gesteinsmatrix können zusätzlich bis zu vier Trennflächenscharen definiert werden. Zur Definition der Festigkeiten lassen sich pro Trennflächenschar der Reibungswinkel, die Kohäsion (Haftscherfestigkeit) und die Zugfestigkeit bestimmen. Die räumliche Ausrichtung einer Trennflächenschar kann einfach mit Hilfe von zwei Winkeln, dem Streichwinkel (alpha) und dem Fallwinkel (beta) festgelegt werden.

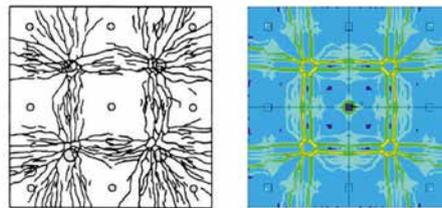


Bild 4: Rissbilder einer Betonplatte anhand eines Versuchs (links) sowie durch die Berechnung mit dem Drucker-Prager Concrete Modell (rechts).

Mit dem Cam Clay Modell lässt sich das spannungsabhängige Verformungsverhalten poröser Böden simulieren. Dabei können Effekte wie Porenkompaktion, Ver- und Entfestigung, Konsolidierung sowie unterschiedliche Be- und Entlastungssteifigkeiten berücksichtigt werden. Typische Anwendungsgebiete für das Cam Clay Modell sind die Berechnung von Sand und Tonformationen beispielsweise in der Öl- und Gasindustrie.

Das Drucker-Prager Concrete Modell ist ein modifiziertes Drucker-Prager Modell, mit dem das für spröde Werkstoffe wie Beton, Zement oder Mörtel typische Materialverhalten (große Druckfestigkeit, geringe Zugfestigkeit) beschreibbar ist. Dabei können Phänomene wie Ver- und Entfestigung, Schädigung, Rissbildung, Dilatanz und Temperaturabhängigkeit berücksichtigt werden. Zur Definition der Festigkeit sind bei diesem Modell nur drei, dem Ingenieur sehr gut bekannte, Parameter zu definieren, und zwar (Bild 3):

- R_c – die einaxiale Druckfestigkeit,
- R_b – die biaxiale Druckfestigkeit und
- R_t – die einaxiale Zugfestigkeit.

Typische Anwendungsgebiete des elasto-plastischen Materialmodells sind nicht-lineare mechanische Analysen zur Tragfähigkeit oder zur Untersuchung der Rissursachen von Betonstrukturen (Bild 4). Rissbildungen werden dabei mit einem verschmierten Rissmodell als plastische Dehnungen simuliert. Durch die Kombination des Materialmodells mit Bewehrungselementen (wie REINF-Elemente) können auch Stahl- und Spannbetonstrukturen berechnet werden. Darüber hinaus bietet das Modell zusätzliche Optionen des Spannungs-Dehnungsverhaltens und von Rissmodellen, sodass sich beispielsweise auch faserbewehrter Beton sehr realitätsnah berechnen lässt.

Die Entwicklung der hier vorgestellten Materialmodelle basierte auf einer Vielzahl praktischer Projektanwendungen des CADFEM Partners Dynardo, der über eine langjährige Expertise im Gebiet Materialmodelle für das Bauwesen und die Geomechanik verfügt. Als Unterstützung beim Einstieg in die Anwendung der neuen geomechanischen Toolbox in ANSYS bieten Ihnen CADFEM und Dynardo Seminare und die gemeinsame Durchführung von Pilotprojekten an.

InfoAutor

Dr.-Ing. Roger Schlegel
Tel. +49 (0) 36 43-90 08-38
roger.schlegel@dynardo.de

InfoAnsprechpartner | CADFEM

Dr.-Ing. Slav Dimitrov
Tel. +49 (0) 80 92-70 05-40
sdimitrov@cadfem.de

InfoSeminar

Simulationen im Bauwesen und in der Geomechanik
www.dynardo.de/info_bau_geo