XV. FIATAL MŰSZAKIAK TUDOMÁNYOS ÜLÉSSZAKA

Kolozsvár, 2010. március 25-26.

SZEMCSEHALMAZ NYÍRÓKÍSÉRLETÉNEK MODELLEZÉSE

HORVÁTH Roland, dr. KEPPLER István

Abstract

The mechanical models of granular assemblies can be grouped as continuum based and discrete element based ones. In this paper we would like to try to determine the discrete element parameters capable to describe a given material sample's mechanical behavior. The determination of the micromechanical parameters is based on the discrete element model of the classical shear test.

Keywords:

granular material, shear test, discrete element method

Összefoglalás

Szemcsehalmazok mechanikai tulajdonságait kétféleképpen modellezhetjük: a halmazt folytonos közegnek tekintve (kontinuum modell) vagy az egyes szemcsék mozgásegyenletét külön-külön felírva és megoldva (diszkrét elemes modell). Dolgozatomban egy szemcsehalmaz nyírókísérletének eredményeit hasonlítom össze a kísérlet diszkrét elemes modelljével, annak érdekében, hogy az anyagminta diszkrét elemes modelljének anyagi paramétereit meghatározzam.

Kulcsszavak:

szemcsehalmaz, nyírókísérlet, diszkrét elemek módszere

Bevezetés

A mérnöki gyakorlatban számos területen (mezőgazdaság, gyógyszeripar, építőiparban) találkozunk olyan problémákkal, melyben valamilyen szemcsehalmaz tárolására, kezelésére van szükség. Az ilyen esetekben elengedhetetlen a szemcsehalmazok mechanikai tulajdonságainak ismerete.

Jelen munka a szemcsés anyagok mechanikai tulajdonságainak vizsgálatáról szól. Célom az, hogy kapcsolatot teremtssek egy adott anyag szemcséinek tulajdonságai (mikro jellemzők: az egyes szemcsék közötti kapcsolatot meghatározó fizikai jellemzők) és az egész szemcsehalmaz, mint kontinuum tulajdonságai (makro jellemzők) között. Ennek értelmében egy adott szemcsehalmaz nyírókísérletét végzem el, és a nyírókísérlet diszkrét elemes modelljét is elkészítem, majd a kísérleti eredményeket és a DEM szimuláció eredményeit hasonlítom össze.

Nyírókísérlet

A nyírókísérlet során meghatározott mennyiségek (a belső súrlódás és a kohézió) a szemcsés anyagok gyakorlatban használt legfontosabb jellemzői, és feltételezzük, hogy az anyaghalmoz tulajdonságait legnagyobb mértékben ezek a tényezők határozzák meg.

A belső súrlódási szög meghatározható nyírókísérlettel, mely során a nyíródobozba ömlesztett és F_N normál irányú terheléssel összenyomott szemcsés anyag egy sík mentén elcsúszik egymáson. A kísérlet közben az elcsúszás síkjában fellépő F_T nyíróerőt mérjük az s elmozdulás függvényében.

Az anyagminta (cementpor) vizsgálatára szabványos nyírókészülékkel használtam. Az anyagminta vizsgálatát szakirodalomban előírt 30 mm átmérőjű hengeres nyírótéggellyel végeztem.

Az 1. ábrán kapott görbe csúcspontja érdekes számunkra, ez az elnyíródáshoz szükséges erő értéke. Ezt több normál irányú terheléshez elvégezve a 2. ábrát kaptuk eredményül. Az erők helyett feszültségeket ábrázoltam (σ normálfeszültséget és τ nyírófeszültséget), ez nem változtatja meg a diagram jellegét. Az egyenes egyenletéből már egyértelműen meghatározható a ϕ belső súrlódási szög.

1. ábra: Ideális nyíróerő – elmozdulás diagram

2. ábra: Ideális tau – szigma diagram

A 2. ábrán látható egyenest megvizsgálva, azt tapasztaljuk, hogy a zérus normálfeszültséghez is tartozik egy τ_0 nyírófeszültség, ez a szemcsés anyagok másik – nyírókísérlettel meghatározható – makró jellemzője és *kohézió*nak nevezzük.

Diszkrét elemes modell

A diszkrét elemes modellek minden esetben véges számú elemből (szemcséből) és a közöttük kialakuló kapcsolatokból állnak.

A diszkrét elemes modell vizsgálata során az egyes szemcséknek mechanikai tulajdonságait és mozgásjellemzőit külön-külön figyelemmel kell kísérni. Tömeggel rendelkeznek, és egymással kölcsönhatásba lépve erők és nyomatékok ébrednek közöttük. A szemcsék száma a vizsgálat során több száz- vagy ezer nagyságrendű, és minden egyes időpillanatban a halmaz minden egyes elemére fel kell írni a len-

dület és a perdülettel, és numerikus módszerrel megoldani ezeket. Ehhez az EDEM nevű diszkrét elemes módszert alkalmazó programban elkészítettem a nyírókísérlet számítógépes modelljét, és a vizsgálatokat szimulációk formájában végeztem el. A szimuláció helyes lefutásához a modell számos paraméterének értékét meg kell adom, ezek képezik a szemcsehalmaz diszkrét elemes modelljének „mikro” jellemzőit.

Eredmények

A mintán elvégzett nyírókísérletek után a kapott mérési pontok helyességét statisztikai módszerrel ellenőriztem, majd a kísérleti módszernek megfelelően diagramban ábrázoltam őket. A pontokra egy egyenest illesztettem, (3. ábra) és számszerűleg meghatároztam a belső súrlódási szög és a kohézió értékét.

A vizsgálati módszernek megfelelően a kísérleti anyagmintát először adott terheléssel elő kell terhelni. Az EDEM-ben terhelés felvételére nincs lehetőség, csak elmozdulásra, ezért a szimulációkat két fázisra kell bontani: összenyomásra és nyírásra. Ennek megfelelően a vizsgálat végén a programmal két diagramot kell kirajzoltatni, az egyikről az összenyomódáshoz tartozó erő állandósult értéke, a másiktól pedig az elnyíráshoz szükséges erő lesz leolvasható.

3. ábra: A nyíróvizsgálat eredménye

A DEM szimulációval meghatározott mérési pontokat ábrázoltuk a nyíróvizsgálat eredményeit tartalmazó diagramban. Addig változtattuk a DEM modellben szereplő 9 paraméter értékét, amíg az 1. táblázatban meghatározott értékeket használva a szimulációból kapott mérési pontok jól illeszkednek a nyírókísérlettel meghatározott egyenesre. Így mondhatjuk, hogy a vizsgált szemcsehalmaz mikromechanikai paraméterei az 1. táblázatban felsorolt számértékek.

1. táblázat *A cementpor mikromechanikai jellemzői*

Energia sűrűség	$15000 \text{ J} / \text{m}^3$
Poisson tényező	0,25
Nyírási modulus	10^8 Pa
Sűrűség	$3000 \text{ kg} / \text{m}^3$
Ütközési tényező	0,5
Nyugalmi súrlódási tényező	0,5
Gördülő súrlódási tényező	0,01
Szemcse rádiusz	0,003 m
Nyírási sebesség	$0,0005 \text{ m} / \text{s}$

Összefoglalás

Szemcsés anyagalmazok diszkrét elemes modelljének gyakorlati alkalmazásához meg kell adnunk a modellhez tartozó mikro-paraméterek értékeit. Ezen mikro-paraméterek meghatározására fejlesztettünk ki egy módszert, amely a szemcsealmazok nyírókísérletének és annak diszkrét elemes modelljének összehasonlításával teszi lehetővé a mikro-paraméterek meghatározását.

További vizsgálatot igényel a paraméterérzékenység elemzése valamint a kapott eredmények egyértelműségének vizsgálata más kísérletekkel (pl.: triaxiális vizsgálat) modellezésével.

Irodalom

- [1] Sitkei György: *A mezőgazdasági anyagok mechanikája*. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1981.
- [2] Bagi Katalin: *A diszkrét elemek módszere*. BME Tartószerkezetek Mechanikája Tanszék, 2007.
- [3] Dr. M. Csizmadia Béla: *Sajátos anyagmodellek alkalmazása a mezőgazdasági Gépesítési Intézet, Gödöllő, 2009.*
- [4] Bablena Adrien: *Vibrációs rosta optimális lengésfrekvencia tartományának meghatározása diszkrét elemek módszerével*. Tudományos diákköri dolgozat, SZIE TDK 2009.
- [5] <http://www.dem-solutions.com>

Köszönetnyilvánítás:

A kutatást a Magyar Tudományos Akadémia Bolyai János Kutatási Ösztöndíja támogatta.

Horváth Roland, egyetemi hallgató
Munkahely: Szent István Egyetem Gépészmérnöki Kar
Cím: H-2100, Gödöllő, Péter Károly u. 1.
Telefon: +36-28-522080
E-mail: horvath.roland@hallgato.szie.hu

Dr. Keppler István, egyetemi docens
Munkahely: Szent István Egyetem Gépészmérnöki Kar
Cím: H-2100, Gödöllő, Péter Károly u. 1.
Telefon: +36-28-522080
E-mail: keppler.istvan@gek.szie.hu