FIATAL MŰSZAKIAK TUDOMÁNYOS ÜLÉSSZAKA

Kolozsvár, 2000. március 24-25.

NÉHÁNY GONDOLAT A SZEMCSÉS ANYAGOK TEMÉSZETES BOLTOZÓDÁSÁNAK MODELLEZÉSI LEHETŐSÉGEIRŐL

Keppler István, Csizmadia Béla

Abstract

We present measurements and finite element analysis of the arching action in granular mass. The results of the finite element analysis are compared with those obtained by measurements with our experimental setup.

Bevezetés

Szemcsés anyagok mechanikai tulajdonságainak vizsgálata mindig komoly kihívást jelentett a témával foglalkozó kutatók számára. Ezek az anyagok rendelkeznek mind a folyadékokra, mind a szilárd testekre jellemző anyagtulajdonságokkal. Vizsgálataink során azonban meggyőződhetünk arról, hogy a szemcsés anyagokban lejátszódó jelenségek modellezésére a fenti két anyagmodell egyike sem elégséges. Ilyen jelenség például a szemcsés anyagok természetes boltozódása, mellyel a mezőgazdaságban, bányászatban, építőiparban találkozhatunk.

Nemzetközi kutatási eredmények

A témával foglalkozó kutatók a jelenség számos részletének modellezésére tettek kísérletet. Az eddig elért eredmények biztatóak, azt azonban nem mondhatjuk, hogy a jelenséget kellő, a gyakorlat számára is elfogadható pontossággal leírják.

A legnagyobb kihívást kétségkívül a megfelelő anyagmodell megalkotása jelenti. A kontinuum mechanikában általában alkalmazott homogén lineáris anyagmodell (amint ezt kísérleti vizsgálataink alátámasztják) a természetes boltozódás jelenségének modellezésére változtatások nélkül nem alkalmazható.

A szakirodalmi források a boltozat alakjára vonatkozó feltételezésekben is különböző megfontolásokból indulnak ki. Egy részük szerint a kialakuló boltozat alakja körívvel, mások szerint parabolával közelíthető. Az általunk végzett kísérletek azt mutatják, hogy a szemcsés anyagokban kialakuló természetes boltozatok alakja parabolával megfelelő pontossággal közelíthető.

Kísérleti vizsgálataink mutatták meg azt is, hogy a szakirodalmi források által alkalmazott természetes boltozat definíció pontosításra szorul.

A szakirodalmi források a természetes boltozatok összeomlásának folyamatával kapcsolatos kérdésben sem képviselnek egységes álláspontot. Egyes szerzők szerint a boltozat tönkremenetele a boltív tetőpontjában keletkező repedések hatására következik be, míg mások szerint ezek a repedések a boltozat talppontjából indulnak ki.

Kísérleti vizsgálataink

A Szent István Egyetem Gépészmérnöki Karának Mechanika és Műszaki Ábrázolás Tanszékén kialakított boltozatvizsgáló berendezés vázlata látható a következő ábrán:

1. ábra: A kísérleti összeállítás

Vizsgálataink során nedves homokot terhelünk különböző nagyságú felső és oldalsó nyomással. A terhelés felvitele után az alsó nyílás méretét fokozatosan növeltük addig, míg az első természetes boltozat ki nem alakult. A kialakulás folyamatát videokamera segítségével rögzítettük. Ezután a nyílást tovább növeltük, míg a boltozat össze nem omlott. Az összeomlás folyamatát is rögzítettük.

A videofelvételek elemzésével sikerült néhány fontos megállapítást tennünk. Bebizonyosodott, hogy a természetes boltozatok mindig a nyílás feletti rész közepéből induló repedések hatására alakulnak ki. A keletkező boltívek a külső zavaró hatásokkal szemben meglehetősen stabilnak mutatkoztak. Az

összeomlást előidéző repedések viszont mindig a boltívek talppontjából indultak ki, és ezek hatására egymás után több, rövid ideig öntartó boltozat alakult ki, majd egy kritikus mérethatár elérése után az egész anyaghalmoz összeomlott.

A boltozat alakjával kapcsolatos vizsgálataink azt mutatják, hogy a boltív parabolával jobban közelíthető. Az alak pedig nem függ a felső és az oldalsó terhelés arányától. Az anyagtulajdonságok pontosabb leírására bilineáris modellt alkalmaztunk.

Számításaink

Végeselem módszerrel is megpróbáltuk követni a természetes boltozatok kialakulásának, majd összeomlásának folyamatát. Első közelítésként lineárisan rugalmas, homogén anyagmodellt alkalmaztunk, sík alakváltozási állapotot feltételezve.

Számításaink során elsőként egy téglalapalakú, önsúlyos, síkjában terhelt mezőben kialakított, kisméretű, lekerekített oldalú nyílás körüli feszültségmezőt vizsgáltunk. A harmadik főfeszültségi vektormező kirajzolásakor azt tapasztaltuk, hogy ez a vektormező a kezdeti függőleges iránytól a nyílás környezetében nagymértékben elhajlik, és a nyílás felett mintegy követi a mérések során kialakult boltívek alakját. A nyílás középvonalán felfelé haladva a feszültség húzásból nyomásba megy át. A kezdetben kialakuló boltozat feltehetően a húzásból nyomásba való átmenet határáig szakad fel. Különböző terhelési arányok mellett a zavart zóna (a függőlegestől eltérő irányú főfeszültségi vektorok tartománya) szélessége változik. A felső és oldalsó terhelés hányadosának növekedésével a zavart zóna/résméret hányados értéke nőtt. Ha ezt összevetjük azzal a tapasztalatunkkal, hogy a természetes boltozat annál kevésbé volt érzékeny a külső zavarokra, minél nagyobb volt a felső terhelés/oldalsó terhelés arány, akkor azt mondhatjuk, hogy a végeselem módszerrel követhető zavart zóna méret/résméret arány egy, a boltozat stabilitására jellemző számként fogható fel.

A végeselem módszert megpróbáltuk egy már kialakult boltozat körüli feszültségállapot modellezésére is alkalmazni. Ekkor a mérési eredményeinknek megfelelő magasság/szélesség arányú, parabola alakú nyílást helyeztünk az előbbi téglalap mezőbe. A boltozat csúcspontjának környezetében közelítőleg nullát kaptunk a harmadik főfeszültség értékére. Azt is tapasztaltuk, hogy ezen feszültség nagysága a boltív pereme mentén annak talpzata felé haladva jelentősen nő.

Ebből azt a következtetést vontuk le, hogy a végeselemes modell ebben a formájában az alak, valamint a stabilitási jellemzők meghatározására alkalmazható, a feszültségállapot vizsgálatára azonban nem. Ennek oka az, hogy a szemcsés anyag a boltív peremén kéttengelyű feszültségállapotban van, és ilyenkor a modell szerint fellépő feszültségek elviselésére nem képes.

Ezért szükségesnek látszik néhány javítást eszközölni az általunk és a szakirodalom által használt modellen. A modell létrehozásánál figyelembe kell vennünk:

- az anyag homogén eloszlású, de a tönkremeneteli feltétel a feszültségállapot függvénye;
- az anyagtulajdonságok változnak a feszültségállapot függvényében: az anyag bilineáris modellel írható le

Következtetéseink

1. Természetes boltozatok jellemzésére alkalmazható vizsgálati paraméterek: a boltozati magasság és szélesség aránya, a maximális boltozat-szélesség, a maximális redukált feszültség és a zavart zóna szélességének és a résméretnek a hányadosa.
2. A vizsgálati paraméterek változására hatással lévő legfontosabb faktorok: felső és oldalsó terhelés hányadosa, kéttengelyű feszültségállapothoz tartozó törési feszültség, kohézió, belső súrlódási szög, háromtengelyű feszültségállapothoz tartozó törési feszültség, bilineáris anyagmodellre vonatkozó modulusok.
3. A boltozat a nyílás felett közepén induló repedések hatására alakul ki.
4. A boltozat alakja parabolával közelíthető.
5. A boltozat a talppontból kiinduló repedések hatására megy tönkre.
6. Természetes boltozatnak nevezhetjük a szemcsés halmazban kialakult üreg felett keletkezett azon ívet, amely mentén és amely fölött az anyagban tangenciális nyomófeszültségek keletkeznek. Ez a nyomófeszültség megzavarja a halmazban eredetileg létező feszültségállapotot. Ezt a zavart zónát a természetes boltozat vastagságának nevezhetjük.
7. A boltozat stabilitására jellemző tényező a zavart zóna és a résméret hányadosa.

Irodalom:

1. Drescher, A.J. Waters, C.A. Rhoades: Arching in hoppers I.-II. Powder Technology. 84 (1995) 165-176.
2. T. Karlsson, M. Klisinski, K. Runesson: Finite element simulation of granular material flow in plane silos with complicated geometry. Powder Technology 99 (1998) 29-39.

Keppler István Ph.D. hallgató

Dr. M Csizmadia Béla

Szent István Egyetem Gépészmérnöki Kar,
Mechanika és Műszaki ábrázolás Tanszék

06 28 522 042, keppeler@mect.gau.hu

06 28 522 042, csizmadia@mect.gau.hu