X. FIATAL MŰSZAKIAK TUDOMÁNYOS ÜLÉSSZAKA

Kolozsvár, 2005. március 18-19.

TERMÉSZETES BOLTOZATOK KIALAKULÁSÁNAK ÉS TÖNKREMENTELÉNEK VÉGESELEM MODELLJE

Keppler István

Abstract

During the discharge of granular materials from containers, sometimes special region takes form. This region is capable of bearing the pressure originating from the mass above it, and can cut off the stream of granular mass. In this paper we demonstrate a new iterative method for the modelling of this arching action with the use of finite element method. The use of the method for the determination of critical outlet size also discussed.

Összefoglalás

A szemcsés halmazok tartályból történő kifolyása során a kifolyónyílás környezetében időnként olyan tartományok alakulnak ki, melyek képesek a fölöttük lévő anyaghalmoz súlyából eredő terhelés elviselésére, és így a kiömlés folyamatának megakadályozására. Alábbiakban bemutatjuk a természetes boltozódás végeelem módszerrel történő modellezésének egy új módszerét, valamint az új módszer alkalmazását a boltozódás szempontjából kritikus nyílásméret meghatározására.

Bevezetés

Szemcsés anyagok tárolóedényből való kiürítése során időnként a kifolyást akadályozó természetes boltozatok alakulnak ki. A természetes boltozatok olyan tartományok a szemcsehalmozban, melyek képesek a saját súlyuk megtartása mellett ellenállni a felettük lévő anyag súlyából adódó terhelésnek, és így meg tudják akadályozni a tároló kiürítését. Ez a jelenség bizonyos esetekben súlyos problémákat okozhat a tároló építményre ható terhelési viszonyok megváltozása miatt.

A természetes boltozattal átívelhető kritikus nyílásméret meghatározása a témával foglalkozó kutatók által leggyakrabban vizsgált kérdés. Végeelem módszer segítségével fogjuk megvizsgálni egy természetes boltozat kialakulását, a feszültségviszonyok változását a természetes boltozat környezetében, valamint az összeomlás okait.

A halmazbeli feszültségviszonyok, a boltozat kialakulása és összeomlása

A szemcsés halmaz feszültségviszonyainak tisztázása során a következő feltételezésekből indulunk ki.

1. A szemcsés anyag folytonosan tölti ki a vizsgált tartományt, anyagtulajdonságai helytől, időtől, iránytól és előzetes terhelési viszonyoktól függetlenek.
2. A feszültségi és alakváltozási tenzor között lineáris kapcsolat van, *lineárisan rugalmas kontinuumként* modellezve a halmazt, annak viselkedése kellő pontossággal leírható.
3. A vizsgált halmaz terhelése az önsúlyból adódik.
4. A halmazt határoló falak és a szemcsés anyag között nincs súrlódás.
5. Az oldalirányú megtámasztás végtelen merevségűnek tekinthető.
6. A tartománynak a vizsgálat síkjára merőleges méretét végtelennek tekintjük, azaz *sík alakváltozási állapotot* feltételezünk.

1. ábra: Iterációs algoritmus a természetes boltozódási folyamat numerikus szimulációjára

Korábbi munkánkban [1] megmutattuk, hogy az előbbi feltételek mellett a természetes boltozódás jelensége végelem módszerrel modellezhető; a megfelelő tönkremeneteli feltételek figyelembevételével.

A boltozat kialakulásának modellezése során a szemcsés anyagoknak azt a tulajdonságát kell kihasználnunk, hogy nem képesek a húzó feszültségek elviselésére. A kiömlőnyílás megnyitása után a halmaz egyes pontjaiban a legnagyobb főfeszültség (σ_1) pozitívvá válik. Ezeken a helyeken a halmazban húzófeszültség keletkezik, az anyaghalmoz folytonossága megszakad. A $\sigma_1 > 0$ feltétel felhasználásával jelölhetők ki azok a tartományok, ahonnan a szemcsés anyag kiömlik.

A halmaz szabad felszínnel határolt – kéttengelyű feszültségi állapotban lévő – részeinél egy másik tönkremeneteli feltételt is figyelembe kell vennünk. Kéttengelyű feszültségi állapotban a szemcsés anyagok csak egy bizonyos σ_K értéknél kisebb nyomófeszültség elviselésére képesek. σ_K értéke az anyagtulajdonságokon kívül az előtömörítés módjától és értékétől is függ,

meghatározása a triaxiális vizsgálat egy módosított változatával történhet [2]. Amennyiben a legkisebb nyomófeszültség (σ_3) abszolút értéke nagyobb, mint σ_K , akkor a boltozat pereme összeomlik, és ez általában a teljes boltozat összeomlásához vezet.

2. ábra: A végelelem modell

Numerikus vizsgálataink

Vizsgálataink célja a kritikus nyílásméret meghatározása volt egy leegyszerűsített modellsilóban, végelelem módszerrel. Az előzőekben megfogalmazott tönkremeneteli feltételek felhasználásával kidolgoztunk egy iterációs módszert a boltozódási folyamat feszültségviszonyainak tisztázásához. Modellsilónk egy téglalap alakú, a vizsgálat síkjára merőleges irányban végtelen kiterjedésű tartomány volt, melynek alján a kiömlőnyílás méretét fokozatosan növeltük. Minden alkalommal, amikor megnöveltük a kifolyónyílás méretét, meghatároztuk a feszültségviszonyokat majd megvizsgáltuk a tönkremeneteli feltételeket. A tönkrement anyagrészeket eltávolítottuk a tárolóból, újra megvizsgáltuk a feszültségviszonyokat, ezután pedig újra a tönkremeneteli feltételeket. Ezt az eljárást mindaddig folytattuk, amíg a $\sigma_3 < \sigma_K < 0$ feltétel nem teljesült, mert ekkor a természetes boltozat összeomlott.

Az iterációs módszer blokk-sémáját láthatjuk az 1. ábrán.

A végelelem modell lehetőséget adott a feszültségviszonyok folyamatos nyomon követésére. A 2. ábra az iterációs folyamat egyik közbenső lépéséhez tartozó állapotban mutatja az első főfeszültségek eloszlását és a tartomány alakját a részben kialakult boltozattal.

Megvizsgáltuk a boltozat tönkremenetelét okozó harmadik főfeszültségek változását az iteráció során (3. ábra). Azt tapasztaltuk, hogy a tönkremenetel szempontjából a kritikus pillanat mindig a nyílás

megnövelésének időpontja. Ekkor a harmadik főfeszültségnek minden esetben lokális szélsőértéke volt. A húzófeszültségek megjelenése miatti anyagkihullás nem növelte a harmadik főfeszültséget, sőt kismértékű csökkenés volt tapasztalható. A lokális maximumok értékei közelítőleg lineáris növekedést mutattak, egészen a kritikus nyílásméret (példákon 120mm) eléréséig, ahol σ_3 értéke elérte a kéttengelyű feszültségállapothoz tartozó kritikus nyomófeszültség értékét, és a boltozat összeomlott.

3. ábra: A boltozat mentén számítható maximális harmadik főfeszültség értékének változása

Továbblépési lehetőségek

Fentiek alapján ez az új eljárás alkalmazható a természetes boltozódás numerikus szimulációjára. Pontosabb eredmények elérése érdekében célszerű a későbbiekben a falsúrlódást, a kohéziót, az oldalfal rugalmasságát valamint a tároló valódi alakját figyelembe vevő modellek megalkotása. A tönkremeneteli feltételek és az anyagjellemzők időbeli és terhelési értékektől függő változását is figyelembe vehetjük.

Irodalom:

1. Keppler I.: *Természetes boltozódás modellezése végelemek módszerrel*. 2005. Gödöllő, MTA-AMB XXIX.
2. Csizmadia B., Oldal I., Keppler I.: *Quasi-triaxial apparatus for the determination of mechanical properties of granular materials*. 2003. Győr, 20-th Danubia Adria Symposium.

Keppler István

Szent István Egyetem Gépészmérnöki Kar,
Mechanika és Műszaki Ábrázolás Tanszék
06 28 522 042, keppeler.istvan@gek.szie.hu