FIATAL MŰSZAKIAK TUDOMÁNYOS ÜLÉSSZAKA

Kolozsvár, 2003. március 21-22.

SZEMCSÉS ANYAGOK TERMÉSZETES BOLTOZÓDÁSA ÉS A TÖNKREMENTETELI JELLEMZŐK KAPCSOLATA

Keppler István

Abstract

Inside a silo or hopper, there are three different regions, regarding the difference in the capability of supporting the weight of the granular materials above one region, and in the stress state within the specified region. The arching action within the granular mass is depends on these regions shape and size. The research was supported by OTKA 035022.

Összefoglalás

Feltevésünk szerint egy silóban tárolt szemcsés anyaghalmon belül három tartományt különíthetünk el a teherviselő képesség és a feszültségállapot alapján. A tartományok alakja és mérete hatással van a boltozódási folyamatokra. A kutatást az OTKA 035022 téma keretében végeztük.

Bevezetés

A szemcsés anyagok viselkedése esetenként a folyadékokéhoz, máskor pedig a szilárd anyagokéhoz hasonlítható, bizonyos körülmények között pedig mechanikai viselkedésük eltér mind a szilárd, mind a folyékony halmazállapot esetén megszokott viselkedési formáktól. Szemcsés anyagnak nevezhetjük azt az anyaghalmozatot amely [1]:

1. a rendelkezésre álló teret kis terhelés hatására kitölti;
2. oldalirányú megtámasztás nélkül semmilyen vagy csak kis terhelés felvételére alkalmas;
3. oldalirányú megtámasztás melletti terhelés esetén a terhelés függvényében a sűrűsége nőhet;
4. belső súrlódással rendelkezik;
5. kis alakváltozások keletkeznek benne a terhelések hatására.

A szemcsés anyagok mechanikai tulajdonságainak vizsgálata során arra a következtetésre jutottunk, hogy azok viselkedésének pontos modellezéséhez a legnagyobb körültekintést a tönkremeneteli kritériumok megfogalmazása igényli. A szemcsés anyagok vizsgálata során ugyanis a műszaki gyakorlatban hatékonyan alkalmazott; a redukált feszültség viszonylag egyszerű fogalmára alapozott tönkremeneteli kritériumok felhasználása nem képes a valóságban lezajló tönkremenetel modellezésére.

Anyag- és tönkremeneteli jellemzők

A szemcsés halmaz két fontos állapotáról beszélhetünk: egyik a *tehveriselő* a másik a *terhelést létrehozó* állapot. Az elsőnél a halmaz valamely külső terhelés elviselésére képes; a másodiknál a szemcsés halmaz hatása valamilyen szilárd testre - vagy a teherviselő állapotban lévő szemcsehalmazra - terhelésként jelentkezik.

Természetes boltozatnak nevezhetjük a szemcsés halmazban kialakult üreg felett keletkező azon ívet, amely képes a felette lévő anyagtömeg megtartására. Egy ilyen teherviselő tartomány alakja, a teherviselésben résztvevő anyagtömeg kiterjedése és mennyisége nem ismert. Mindezeket figyelembe véve a feszültségviszonyok alakulásának modellezése és követése igen nehéz feladat.

Vizsgálataink során kontinuum modellt alkalmazunk, azaz a szemcsés anyaghalmaz szerkezetére semmilyen feltevést nem teszünk, hanem annak tulajdonságait mérésel meghatározható anyagi állandókkal vesszük figyelembe. Feltételezzük, hogy a szemcsés anyag folytonosan tölti ki a teret, és a halmazra jellemző fizikai mennyiségek folytonos függvényekkel adhatók meg. A szemcsehalmaz állapotát jellemző függvények változását meghatározó fizikai törvényeket pedig differenciálegyenletek alakjában keressük.

A szemcsés anyag Young-modulusát (E) és Poisson-számát (m) kvázitriaxiális berendezés segítségével határozhatjuk meg [2]. A kvázitriaxiális berendezéssel végrehajtott mérések eredményei arra következtetésre vezetnek [3], hogy mérési eredmények feldolgozásához a lineáris közelítés nem minden esetben célravezető, helyette két lineáris függvény alkalmas összeillesztésével sokkal jobb közelítést érhetünk el, és eközben megőrizhetjük a modell linearitásból eredő egyszerűségét. Ezért vizsgálatainkhoz bilineáris, homogén, izotróp anyagmodellt alkalmazunk.

1. ábra: Bilineáris közelítés elve 2. ábra: Folyási függvény meghatározása kvázitriaxiális vizsgálóberendezés segítségével

A szemcsés anyagok tönkremenetelének három formájáról beszélhetünk. *Ny írási tönkremenetelnek* nevezzük azt a jelenséget, amikor a szemcsehalmaz egy elemi tartományában találhatunk egy olyan n

normálisú síkot, amelyiken a nyírófeszültségek túllépik a σ_n normálfeszültség egy meghatározott hányadát: $|\tau_{nm}| \geq \sigma_n \tan \phi + c$, ahol c a kohéziót jelöli.

A kvázitriaxiális vizsgálóberendezés segítségével meghatározhatunk egy másik tönkremeneteli kritériumot is, amit *folyási függvénynek* neveznek [4]. A folyási függvény (*FF*) meghatározása során a vizsgálóberendezésbe helyezett anyagmintát összetömörítjük adott σ_1 feszültséghez tartozó nyomóerővel. σ_1 egy adott értékénél szabaddá tesszük az anyagminta oldalát - σ_1 fenntartásával -, majd tovább növeljük a terhelést, egészen a szemcsehalmaz összeomlásáig. A kísérletet megismételjük különböző tömörítő feszültség értékek mellett. A vizsgálat során kapott mérési pontokra illesztett függvény grafikonját nevezzük az anyag szabad felületéhez tartozó folyási határgörbéjének.

A harmadik tönkremeneteli forma az *anyagszerkezeti tönkremenetel* amelyet a bilineáris anyagmodell alkalmazásával írhatunk le. Anyagszerkezeti tönkremenetelnek nevezzük azt a szemcsehalmazban lezajló folyamatot, amelynél - feltehetően az anyagban lezajló mikrostrukturális átrendeződések hatására - az anyag mechanikai tulajdonságai megváltoznak. Ilyen anyagszerkezeti tönkremeneteli helyet definiál a bilineáris anyagmodellnél az a pont a terhelési diagramban, ahol a mérési pontokra illesztett két egyenes metszi egymást.

A tönkremeneteli jellemzők és a boltozódási hajlam kapcsolata

Szemcsehalmazok természetes boltozódásának vizsgálata során két fő kérdéssel foglalkozunk:

1. Meghatározzuk azokat a feszültségeket, melyek a szemcsés anyag tömörödését okozzák. A szemcsés anyag ugyanis a tömörödés hatására válik képessé az önsúlyából és a felette elhelyezkedő anyagtömeg hatásából eredő terhelések elviselésére.
2. Vizsgáljuk a természetes boltozatot alkotó szemcsehalmazban kialakuló feszültségeket. A feszültségek és a megfelelő tönkremeneteli kritérium ismeretében meghatározhatjuk a boltozat teherbíró képességét valamint a kritikus nyílásméret nagyságát.

Feltevésünk szerint egy silóban tárolt szemcsés anyaghalmazon belül három tartományt különíthetünk el a feszültségviszonyok alapján. Felülről lefelé haladva ezek a tartományok a következők:

1. A szemcsehalmaz szabad felületének környezetében található anyagtömeg a függőleges feszültségek hatására még nem tömörödik össze annyira, hogy képes legyen - alátámasztás nélkül - a felette lévő anyagtömeg megtartására. Ez a réteg kizárólag *terhelést okozó anyagtömegként* jelenik meg a tárolóban.
2. A tömörödési okozó feszültségek növekedésével elérünk egy akkora feszültség értékhez, amelynél a szemcsés anyag belső strukturális változáson megy át, ezt jelzi a bilineáris

modellnél látható töréspont. Ebben a környezetben - és ez alatt - a szemcsés anyag már képes a felette lévő anyagtömeg megtartására, ez a *tehveriselő tartomány*.

3. A legalsó tartományban az anyag nem képes terhelés felvételére (ha a tároló alja nyitva van), mert ilyenkor a szemcsés anyag kéttengelyű feszültségállapotba kerül, és ilyenkor csak a folyási függvény által meghatározott terhelések elviselésére képes. A *tönkrement tartományban* található anyaghalmoz kifolyik a nyitott kiömlőnyíláson keresztül.

A tárolóban maradt anyagtömeg ezután vagy megtartja a felette lévő terhelést, és az anyag boltozódik, vagy olyan nagy nyírófeszültségek lépnek fel benne, hogy megjelenik a nyírási tönkremenetel, és az anyag teljes egészében kiömlik a tárolóból.

3. ábra: A szemcsehalmoz 4. ábra: A függőleges feszültségek változásának jellege a végelelem módszeres vizsgálatokhoz létrehozott modellsilóban

Irodalom:

1. **Csizmadia B.:** *Differential Equation of Silo Problem*, kézirat
2. **Huszár L, Csizmadia B.:** *Determination of Poisson's ratio in elastic oedometer*, 4th ICCPAM Int., Conf., Rostock, 1989, Proceeding, Volumel, pp. 26-30
3. **Huszár L, Csizmadia B.:** *Biotechnológiai [...] folyamatokban résztvevő anyagok mechanikai tulajdonságainak vizsgálata*, OTKA 881 zárójelentése, GATE MGK MECT, 1990
4. **Gabriel I. Tardos:** *Stresses in Bins and Hoppers*, www.erpt.org/992Q/tard-00.htm

Keppler István Ph.D. hallgató

Szent István Egyetem Gépészmérnöki Kar,
Mechanika és Műszaki Ábrázolás Tanszék

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