

LEJTŐCSÚSZÁSOK TÚLKONSZOLIDÁLT AGYAGOKBAN[✱]

II. rész

(A földcsuszamlásokkal kapcsolatos geotechnikai-talajmechanikai tudnivalók és tennivalók)

Mihail E. Popescu [†]

1. A földcsuszamlások tanulmányozásához alkalmas talajtulajdonságok

A földcsúszások mechanizmusának megértéséhez szükség van a mozgás által érintett anyagok pontos leírására és - az ilyen szempontból lényeges - tulajdonságaik mennyiségi meghatározására is.

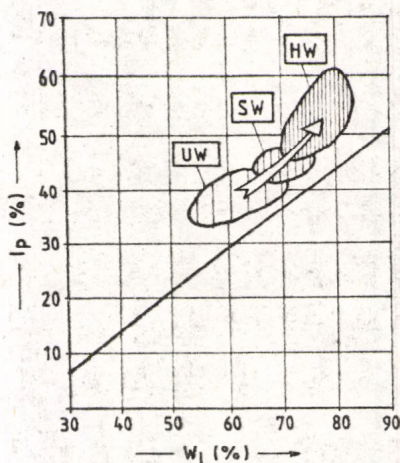
A túlkonszolidált agyagok műszaki jelentősége igen nagy a legtöbb államban, ahol nagyobb területeken fordulnak elő idősebb korú üledékek. Az ilyen agyagokat más üledékek, vagy a jég súlya egyszer már összenyomta, majd jelentős torzulásokat szenvedtek a felemelkedés és lepusztulás folyamata közben, ezért töredezettek és egykori csúszások nyomait is őrzik.

A túlkonszolidált agyagok plaszticitása tág határok között változik, elsősorban a bennük levő agyagásványok mennyiségétől és minőségétől függően. Folyási határuk az 50 %-nál valamivel kevesebb és a 100 %-ot jóval meghaladó értékek között lehet, a Casagrande-féle ábrázolásban a rájuk jellemző pont magasan az A-vonal fölött helyezkedik el.

[†] a bukaresti építőmérnöki intézet tanára

[✱] "Landslides in Overconsolidated Clays as Encountered in Eastern Europe". State - of - the - Art Lecture; 4th Int. Symp. on Landslides, Toronto, 1984.
Ez a közlemény az előadás kissé (a szerző hozzájárulásával) - értelemszerűen - rövidített szövegváltozatának második fele. Az előadás első felét egy előző közlemény ismertette. (Fordította és a publikációt gondozta: Dr. Varga László, KTMF, Győr).

Constantinescu és társai (1979) egy pannon agyaggal fedett terület csúszásának tanulmányozása kapcsán mutattak példát a mállásnak az agyakok plaszticitását befolyásoló hatására. Az ásványtani vizsgálatok alapján az agyagot három csoportra bontották (1. ábra): nem-mállott (UW), kissé mállott (SW) és erősen mállott (HW). Az agyakok mállása ugyanis szétrombolja a keletkezésük idején kialakult kötéseket és ezért egyike a legfőbb folyamatoknak, amelyek a csúszásra való hajlamosságot kialakítják. A másik ilyen tényező a talajok feszültségi eseménysora.



1. ábra

Előterheltségük miatt a túlkonzolidált agyakokban jelentős vízszintes túlnyomások maradtak vissza és ezek csak a progresszív törések által oldódnak ki. Ezért nem kielégítő a jelenlegi gyakorlat, amely csak a "normálisan konzolidált" és az "előterhelt" talajokat különbözteti meg a korábban rajtuk volt nyomások alapján (Hamandjiew; 1977). Ez ugyanis csak az alakváltozási feladatok esetében lehet használható, de nem nyújt tájékoztatást az üledék természetes feszültségi állapotáról. Ha a konszolidációs állapotot, vagy az in-situ feszültségi állapotot kell megbecsülni, akkor ehhez csak a K_0 nyugalmi nyomási tényező lehet támpont.

Az in-situ feszültségállapotnak a lejtős talajtömegekre - ide értve a bevágásokat sőt töltéseket is - gyakorolt befolyása nem volt széles körben ismert a véges elemek módszerének térhódítása előtt. A természetes lejtők egyensúlyi állapota is a létező feszültségek függvényének tekintendő (Chowdhury; 1978). Így hát a természetes lejtők és a rézsűk számszerű vizsgálatához szükséges alapvető mennyiségek egyike a K_0 együttható.

Wenkow (1979) leír egy módszert a K_0 laboratóriumi meghatározására. Henger alakú zavartalan talajmintákat vizsgáltak egy készülékben, amely 10-12 félgűrűből állott, ezek belső átmérője 20 cm, magasságuk 2,5 - 2,5 cm volt. E félgűrűket olyan kötőelemekkel kapcsolták egymáshoz, amelyekben feszültségérzékelők voltak. A készülékkel mérhető volt a nyugalmi nyomás a minta egész hosszán, ha a talaj tulajdonságaiban valamilyen változás állott be. Az irodalomban sok más laboratóriumi módszerre található javaslat. Mégis hangsúlyozni kell, hogy a laboratóriumi minták feszültségi körülményei miatt még ma sincs kielégítően megoldva a "zavartalan" mintákon való K_0 mérés. Az oldalnyomás in-situ mérése viszont lehetséges nyomásmérő cellákkal, hidraulikus törési vagy feszültségmérési vizsgálótokkal. A hidraulikus törési módszer sem alkalmazható viszont a $K_0 > 1$ talajokban, mivel ilyenkor vízszintes törés alakul ki és a mérés eredménye a takarási nyomás lesz. Az ilyen talajok esetében az önfúró pressziométerek ajánlhatók, ámbar e téren elég sok részletkérdést kell még tisztázni, mielőtt a módszer széles körben rutinvizsgálattá válhat.

Ilyen körülmények között különböző tapasztalati és félig-tapasztalati megközelítéseket javasolnak K_0 meghatározására a plasztikus index és a túlkonzolidáltsági viszonzyszám függvényében (Popescu; 1981).

A túlkonzolidált agyagokban, agyagpalákban bekövetkezett földcsuszamlások számos vizsgálata azt mutatta, hogy a csúszólapon érvényesülő átlagos nyírófeszültség jelentősen kisebb, mint a laboratóriumi vizsgálatok során mérhető nyírószilárdság-csúcs. Legelőször Skempton (1964) ismerte föl, hogy milyen jelentősége van a lejtőállékonysági vizsgálatokban a reziduális nyírószilárdságnak. Rankine-re emlékező előadásában javasolta az R reziduális tényező bevezetését annak jelölésére, hogy valamely csúszólap hányad részén esett már vissza az ellenállás a reziduális értékre. Eszerint

$$R = \frac{S_p - S}{S_p - S_r}$$

illetve innen

$$S = R \cdot S_r + (1 - R) S_p$$

ahol S a törést okozó átlagos nyírófeszültség, S_p és S_r pedig a csúcs-, és a maradék-nyírószilárdság. Bros (1980) például $R = 0,91$ értéket talált egy vasúti bevágás által okozott csúszásnál, amely repedezett, túlkonzolidált harmadkori agyagban következett be. A csúcs-, és a maradékszilárdság közötti különbség nő az agyagtartalommal és az előterheltség mértékével. Skempton (1964) mutatott rá, hogy a reziduális szilárdság csökken az agyagtartalom növekedésével, és hogy egy adott hatékony feszültség esetében a maradék szilárdság gyakorlatilag független a megelőző feszültségállapotoktól. Egyébként a maradék szilárdság nagyságát nem csak az agyagszemcsék mennyisége határozza meg, hanem az agyagásvány típusa is. Voight (1973) vizsgálatai kimutatták, hogy határozott statisztikai összefüggés van a maradék-szilárdsághoz tartozó ϕ' súrlódási szög és az I_p plasztikus index között: I_p növekedésével ϕ' csökken; I_p egyaránt tükrözi az agyag mennyiségének és minőségének hatását is.

A reziduális nyírószilárdságot általában ismételt (felcserélt irányú) dobozos nyírással, vagy kör-nyírógéppel, vagy különleges triaxiális nyírással mérik. Fleischer és Scheffler (1979) kétféle körgyűrűs nyírógépet fejlesztettek ki, amelyben a minta korlátlan mértékben elmozdulhat, a nyírás sebessége változtatható, csakúgy, mint a vizsgált talajminta magassága. A szokványos körülmények között 16 mm magas, zavartalan minták elnyírására szolgáló készülék különösen alkalmas rutin vizsgálatokra, de felhasználható akár 2 mm vastag zavart anyaggal való kísérletekre is.

A túlkonzolidált, repedezett agyagból nagyon gondosan kell venni a mintákat, hogy elkerüljék annak megzavarását és hogy a minta kielégítő méretű legyen a repedezettségéhez képest. De még így is, a leggondosabb laboratóriumi vizsgálatok eredményei is jelentősen különböznek a helyszínen mért hasonló mennyiségektől. Georgescu és Stanculescu (1977) nagyméretű helyszíni vizsgálatokat végeztek egy túlkonzolidált vörös agyagban, amelyből 80 x 80 cm alapterületű tömböket faragtak ki.

egy táró belsejében. Sajnos a körülmények csak 10 cm vízszintes elmozdulást engedtek meg, így a valódi reziduális szilárdság nem volt megállapítható.

A legtöbb túlkonzolidált agyag közös jellegzetessége a makroszkópos szerkezetük, amely rögtön elének tárul, ha pl. egy ilyen agyagrögöt elejtünk. Ekkor az kis poliéderez darabkákra törik szét, amelyek oldalai egyaránt lehetnek fényesek vagy matt felületűek. Az ilyesféle szerkezet legfőbb következménye a közet nyírószilárdságának fokozatos csökkenése, ami különösen a bevágásokban tapasztalható (Popescu; 1980).

A laboratóriumi és a helyszíni vizsgálatok egyaránt azt mutatják, hogy a túlkonzolidált agyagok expandálnak a nyíró feszültségek hatására (Stanculescu és tsai; 1980). Ez a hézagterfogatnövekedés a víztartalom növekedésével járhat együtt. Így a felszín alatti megcsúszást okozó nyírófeszültségek hatására növekvő térfogatú talajtömeg vizet szívhat magába és ez magyarázza a talajvíz szintjének csökkenését a csúszás közben ill. után.

A túlkonzolidált agyagok többségében található folytonossági hiányok: repedések, törésvonalak. Ezeknek többféle eredete is lehet: zsugorodás, korábbi földmozgások, a fedőréteg lepusztulása miatti tágulás, vagy akár szinerézis-jellegű kolloidális jelenségek is. Sok túlkonzolidált, de térfogatváltozásra hajlamos agyagban fellelhető a függőleges helyzetű elválási felületek hálózata - amelyet a zsugorodás okozott - és olyan ferde repedezések is, amelyet a váltakozó zsugorodás és duzzadás vált ki (Popescu; 1978). A talajtömegek viselkedését - különösen éppen a nyírással összefüggésben - nagyban befolyásolják ezek a folytonossági hiányok és még jelenleg sincs olyan általános érvényű módszer, amellyel előre meg lehetne állapítani a nagy, repedezett agyagtömegek valamilyen átlagos szilárdságát. Úgy vélik, hogy a törési vonalak, a repedések - a kiváltó okuktól függetlenül - a feszültségek halmozódási helyei és így a talajtömegek progresszív törésének kezdő pontjai lehetnek. (Foerster, Gehrisch; 1976)

Skempton és La Rochelle (1965) szerint a túlkonzolidált agyagok repedezettsége különbözőképpen befolyásolhatja a nyíró-

szilárdságukat:

- a nyílt repedések a csúszólap olyan részét alkotják, ahol nincs mozgósítható nyírási ellenállás;
- a nyílt repedések a csúszólapnak olyan részei lehetnek, ahol csak a reziduális szilárdság érvényesülhet;
- a repedések (akár nyitottak, akár zártak) hatással vannak a lejtős talajtömeg feszültségállapotára és növelik a progresszív törésre való hajlandóságot.

Átgyúrt állapotba kerülve a makro-szerkezetű agyagok gyakorlatilag vízzárók. A természetes helyzetükben azonban a repedéshálózatban szivároghat a víz és ez kedvezőtlen a lejtő stabilitása szempontjából (hidrosztatikus nyomások a repedésekben; megnő a nedves térfogatsúly és - a felületek nedvesítése folytán - csökken a lehetséges belső ellenállás).

2. A nyírószilárdság mozgósítási folyamata és a lejtőállókonyosság vizsgálatának kérdései

Sok bizonyíték van rá, hogy a földcsuszamlások nem hirtelen következnek be. Csaknem mindig megelőzi őket egy lassú mozgási folyamat, amelynek tartalma a "néhány nap" és a "sok év" között tág határok között változhat. Ezek a mozgások a földcsuszamlás előtt felgyorsulnak, olykor pedig a csuszamlás bekövetkezése után is folytatódnak. A csúszás megindulását és lezajlását több tényező is erősen befolyásolja, pl. a geológiai adottságok, a húzási repedések, az egyenlőtlen feszültség- és alakváltozás eloszlás és a közeg nem-lineáris ("lágyló") tulajdonsága.

A csúszás gyorsulása, sebessége és a teljes elmozdulás mértéke a kiegyensúlyozatlan erők nagyságától függ. Minél nagyobb a különbség a csúcshilárdság és reziduális szilárdság között, annál nagyobb lesz a sebesség és az elmozdulás. Emeljanova (1968) körscúszólapos sík alakváltozási állapot esetére vezette le a csúszás legnagyobb sebességének képletét. Szerinte:

$$v_{\max} = \frac{S_p - S_r}{W} \cdot L \sqrt{g \cdot R}$$

ahol S_p és S_r a csúcs, ill. reziduális nyírószilárdság a csúszólap mentén, W a csúszó test súlya, L a csúszólap hossza, g a nehézségi gyorsulás, és R a körcsúszólap sugara.

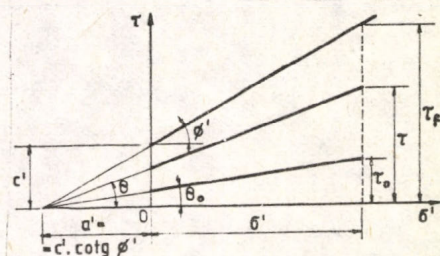
Sok rézsű végez kúszás-jellegű, észrevehetetlenül lassú mozgást. A kúszást általában úgy értelmezik, mint a lejtős felszíni tömegek csúszólap kialakulása nélküli mozgását. Ezen belül különbséget kell tenni az időszakosan jelentkező "felszíni" és a folyamatosan zajló "mély" kúszás között. A folyamatos kúszás az, amely - az általaj feszültségállapotából következően - nagy mértékben függ a lejtő anyagának reológiai tulajdonságaitól. Ez a mozgás viszonylag kis nyírófeszültségek hatására következik be és hosszú időn át tarthat anélkül, hogy csúszási törésbe váltana át.

A kúszási folyamatot különféle reológiai jellegű képletekkel szokták leírni (Vyalov és tsai, 1972; Meschyan, Badalyon, 1976; Németh 1980; Tsyrovich, Ter-Martirosyan, 1981). Egy következő "mennyiségi" megközelítést javasolt Ter-Stapanian (1974, 1979), aki a kúszási zónát, valamint a kúszás ütemét vizsgálta természetes lejtőkön, sík és körcsúszólap mentén. Eljárásai röviden a következő:

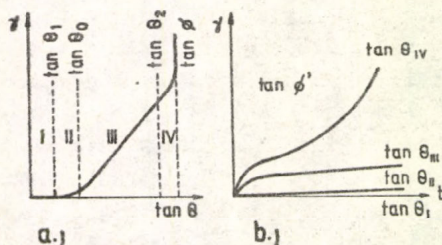
A lejtős felszíni tömeg összetett feszültségi állapota következtében kialakul a csúsztató feszültségek koncentrációs zónája. E tartományban kúszás kezdődik a Bingham-képlet szerinti sebességgel. Mivel a σ normál és a τ csúsztató feszültségek eloszlása nem egyenletes, a potenciális csúszólap feszültségállapota jobban kifejezhető a tan θ mobilizált nyírószilárdsággal, amely kevésbé változékony mint az egyes összetevői külön-külön. Eszerint (2. ábra):

$$\tan \theta = \frac{\tau}{c' \cdot \cotg \vartheta' + (\sigma - u)}$$

2. ábra



A kúszási zónát a $\tan \theta_0 = \text{konst}$ vonallal lehet lehatárolni, amely az a kúszóbérték, amely alatt már nem fordul elő deformáció (3/a ábra):



3. ábra

$$\tan \theta_0 = \frac{\tau_0}{c' \cdot \cotg \phi' + (\sigma' - u)}$$

Az ábrán látható reológiai görbe a mobilizált nyírési ellenállás és az alakváltozás üteme közötti kapcsolatot szemlélteti. Eszerint a talaj a következő fázisok valamelyikében lehet:

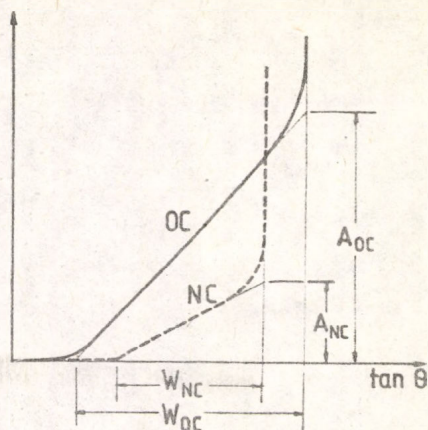
merev állapotban ha	$\tan \theta < \tan \phi_0$
kúszási "	$\tan \phi_0 < \tan \theta < \tan \phi'$
plasztikus "	$\tan \theta = \tan \phi'$

A kis és közepes mobilizálódás szintjén a kúszás üteme fokozatosan csillapodó, a nagyobb kihasználtság tartományában viszont gyorsuló és a folyamat idővel a plasztikus állapotba megy át. Ez utóbbi egy újabb, $\tan \theta_2$ kúszóbértékekkel jellemezhető. Így - a 3/b ábrán látható módon - a következő kúszási lehetőségek különböztethetők meg:

- évszázadokig tartó egyenletesen lassú kúszás, ha $\tan \theta_1 < \tan \theta < \tan \theta_0$
- csillapodó kúszás, ha $\tan \theta_0 < \tan \theta < \tan \theta_2$
- gyorsuló kúszás, ha $\tan \theta_2 < \tan \theta < \tan \phi'$.

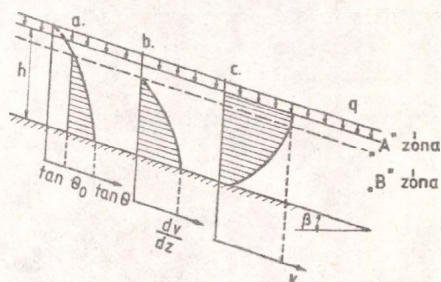
A 3/a ábrán már látott reológiai görbét két alapvető adattal lehet jellemezni: az igénybevételi tartomány W kiterjedésével és az A kúszási elmozdulással (Ter-Stepanian; 1980).

E mennyiségek a 4. ábrán szemléltethetők, ahol az is jól látható, hogy - a normálisan konszolidált (NC) agyagokhoz hasonlítva - mindkettő nagyobb a túlkonszolidált (OC) agyagok esetében.



4. ábra

Valamely lejtő, rézsű anyagának különböző pontjaiban különböző lehet a nyírószilárdság mobilizáltságának mértéke. Emiatt kialakulhatnak benne gyorsuló, lassuló és "évszázados" kúszási zónák. Egy lejtős felszínű féltér esetében az azonos mobilizáltságú pontokat összekötő vonalak a térszínnel párhuzamosak. Minthogy $\tan \theta$ lefelé haladva növekszik, egy bizonyos mélységben eléri a $\tan \theta_0$ kúszási határértéket. (5. ábra a-részlete).



5. ábra

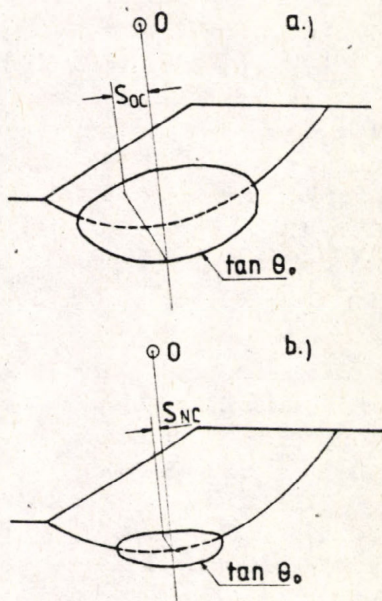
Az ezen mélység fölötti talajtömeg (az "A" jelű zónában) "me-rev" alakváltozási állapotban van, alatta viszont a "B" zóna már kúszási alakváltozást végez. A $\tan \theta - \tan \theta_0$ különbség fokozatosan nő a mélységgel, ezért a kúszási sebesség $\frac{dv}{dz}$

fajlagos növekménye az ilyen mozgásban lévő talajtömeg alsó határfelületén lesz a legnagyobb (5/b ábra). Valamely tetszőlegesen kiválasztott függőleges vonal deformációja tehát az 5/c ábra-részlet szerinti görbével jellemezhető a kúszási zónában, és csak a merev "A" zónában lesz - a legnagyobb sebességek helyén - $v = \text{konstans}$. Ez a feladat matematikailag is meg van oldva. (Ter-Stepanian; 1974)

A viszonylag rövid rézsűkön megfigyelt körcsúszólapok esetében kimutathatók a nyírófeszültségek erős koncentrációjának tartományai, amelyeket a 6. ábrán látható $\tan \theta_0$ vonalak határolnak. A mélységbeli kúszás e tartományok belsejében kezdődik meg, míg a többi talajtömeg még merev állapotban van. E zónákon belül teljes egészében mobilizált állapotú kisebb "szigetek" is előfordulnak.

A mobilizált nyírószilárdságnak csúcsértékről a reziduális értékre való visszaesése folytán a nyírófeszültségek eloszlása átrendeződik és a plasztikus "szigetek" terjeszkednek.

A 6. ábra két egyforma geometriájú rézsűn túlkonzolidált, illetve normálisan konszolidált agyagok esetében mutatja a kúszási zóna helyét, kiterjedését, valamint a teljes törést megelőző kúszási elmozdulás mértékét. Mint a 4. ábrán láttuk $W_{0c} > W_{NC}$ és $A_{0c} > A_{NC}$, így hát a kúszási zóna és a kúszás mértéke is nagyobb a túlkonzolidált agyagokban. Ebből következik, hogy a földcsuszamlást megelőző mozgások a túlkonzolidált agyagok esetében már igen korai fázisban észlelhetők.



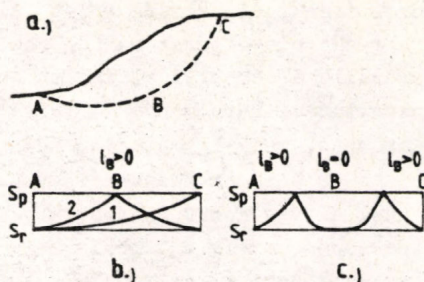
6. ábra

A progresszív törés - mint a túlkonzolidált agyagok jellegzetes csúszási mechanizmusa - az egész mozgó tömeg egyes részcsovéinek fokozatos elnyíródását jelenti, a folyamat térben terjeszkedik és kifejlődéséhez időre van szükség.

Sokan hangsúlyozzák az ilyen csúszás típus kiemelt jelentőségét és megértéséhez különböző megközelítési lehetőségeket javasoltak. Skempton az 1964 évi eredeti közleményében érdekes korrelációt mutatott ki a reziduális tényező és a lejtő megcsúszásához szükséges idő között. Egy későbbi (1977) munkájában viszont azt közli, hogy a londoni agyagba mélyített bevágás rézsűjének késői megcsúszása a pórusvíznyomás egyensúlyi helyzetének igen lassú ütemű visszaállításából következett - noha az agyag repedezett szerkezetű volt. Ennek kapcsán hangsúlyozta, hogy a repedezett agyagtalajú természetes lejtők állékonysága egy külön probléma, ahol a reziduális szilárdság meghatározó tényező. Bjerrum (1967) olyan progresszív törési mechanizmus alapul vételét javasolja, amely nincs összefüggésben a korábbi repedések jelenlétével és föl is sorolja, hogy az ilyen törés milyen előfeltételek teljesülése esetében fejlődhet ki. Feda (1973) a Bishop féle

$$I_B = \frac{S_p - S_r}{S_p}$$

ú.n. törékenységi mutató és a progresszív törés lehetősége közötti kapcsolatra hívta föl a figyelmet. Ez a mennyiség a hatékony normál-feszültségektől is függ és így jelentősen változik a csúszólap mentén. A talajtömeg "törékenyen" viselkedik (és dilatál) ha $I_B > 0$, illetve "nyúlós" (és térfogatát csökkenti), ha $I_B = 0$. A 7/b ábra-részleten a nyíró feszültségek progresszív törési állapotban való eloszlása érzékelhető két változatban. Az "1" esetben a törés az A ponttól a C pont felé terjed, a "2" esetben viszont A-tól és C-től halad B felé. Előfordulhat a "törékeny" és a "nyúlós" viselkedés együtt is, ha feltételezzük pl. hogy az A és C pontoknál $I_B > 0$ de a B környezetében $I_B = 0$. Ilyenkor széles elnyírt zóna fejlődik ki, a nyírófeszültségek eloszlásának jellege pedig a 7/c ábra szerinti lehet.



7. ábra

A szokványos állékonysági vizsgálatokban azt feltételezik, hogy a talaj nyírószilárdsága egyidejűleg és teljes mértékben mozgósítódik a csúszólap egész hosszán. Ezáltal a talajt merev-plasztikus közegnek tekintjük, a feszültségek és alakváltozások közötti valószínű összefüggés pedig nem jelenik meg a számításokban. És bár a progresszív törés esetében nem egészen érvényesek a hagyományos határegyensúlyi számítások, bizony állítható, hogy mégis ezek a módszerek bizonyultak a leghasználhatóbbaknak és, hogy nagyon kevés esetben számolnak be olyan helytálló analízisekről, amelyekben nem e módszerek valamelyikét alkalmazták (Morgenstern, 1977; Madej, 1977; Fredlund és Tsai, 1981; Farkas-Nagy 1982).

Ámbar léteznek már igen nagy számítógépi programok tetszőleges alakú csúszólapok esetének vizsgálatára is, a mértékadó csúszólap helyzetének meghatározásához rendszerint hosszadalmas próbálgatás szükséges. Úgy tűnik, hogy a variációszámítás adja a megoldás kulcsát, mert olyan függvénykapcsolatok meghatározásáról van szó, amelyek a biztonsági tényező legkisebb értékéhez vezetnek (Biernatowski, 1976; Kaczmarczyk, 1977).

Régebben a legtöbb geotechnikai feladat tervezését, számításait determinisztikusan közelítették meg. A valószínűségszámításon alapuló eljárások - amelyek egy vagy több paramétert véletlen jellegű változónak tekintve határozzák meg a törés valószínűségét - az utóbbi időkben megjelentek a rézsúállékonysági vizsgálatokban is (Rétháti, 1979; Biernatowski, 1980). De míg a

valószínűségi módszerek iránti érdeklődés tovább növekszik, a mindennapi tervezésre gyakorolt hatásuk ma még csekély.

A legtöbb rendelkezésre álló állékonyságvizsgálati módszer két-dimenziós és sík alakváltozási körülményeket feltételez. Figyelembe kell venni azonban, hogy így gyakran túl alacsony biztonsági tényezők adódnak és ellentmondásban is vannak a valószínűségi csúszásokkal, ahol a "véglapok" hatása lényeges lehet. Ezért jogos az az érdeklődés, amely a térbeli rézsűállékonysági módszerek fejlődését kíséri (Shapiro, 1979). A három dimenziós határegyensúly-vizsgálatok értéke tovább növekedett, midőn összekapcsolták a térbeli helyzettől is függő nyírószilárdság valószínűségi változásaival (Bilz és tsai, 1981.)

A különböző határegyensúlyi módszerek a matematikai megfogalmazás részleteiben különböznek egymástól és ezért nem vezetnek pontosan azonos biztonsági tényezőkre. Fredlund és tsai (1981) részletesen elemzik az egyes módszerek különbözőségeit és ezek következményeit. Az összehasonlító számítások azonban azt mutatták, hogy a jelenleg általánosan használt határegyensúlyi vizsgálatok a legtöbb esetben egymástól csak kevéssé különböző biztonsági tényezőket adnak és ezért jogos a számításokat végző mérnökök azon törekvése, hogy figyelmüket főként a talajjellemzők minél pontosabb kiértékelésére fordítsák.

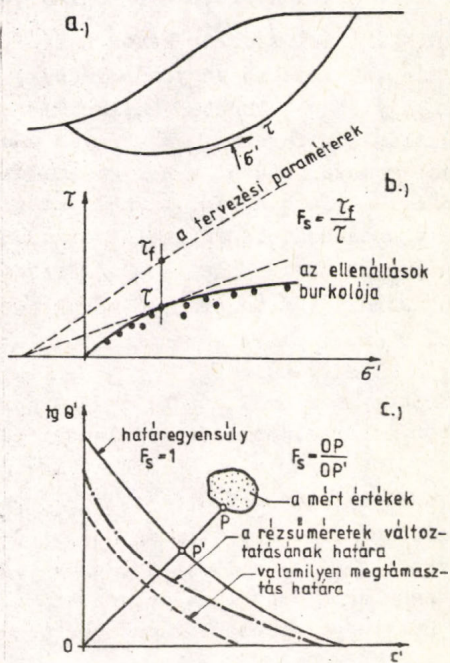
Az eset-tanulmányokból az tűnik ki, hogy a szokványos módszerekkel meghatározott nyírószilárdsági paraméterek nem állnak szükségszerű kapcsolatban azokkal az értékekkel, amelyek a rézsű megcsúszásának időpontjában a helyszínen érvényesültek. Ezért a már ténylegesen bekövetkezett csúszások adataiból nagyon értékes adatokat lehet kikövetkeztetni. Az ilyen "visszaszámítási" módszereket több mint harminc éve eredményesen alkalmazzák sok országban, egyszerűségüket és érvényességüket pedig elméleti megfontolások és tényleges esetek példái egyaránt bizonyították (Janbu, 1977; Kézdi, 1979; Popescu, 1980.) Ezzel szemben tény, hogy néhány más szerző kételkedését fejezte ki az ilyen eljárásokkal szemben (Leonards, 1981.). A rézsűcsúszások után-számolása egy átlagos, látszólagos szilárdságot feltételez, amely ilymódon függ:

- az éppen alkalmazott módszertől;
- a törési felület helyének megbízható ismeretétől;
- a számításban alapul vett pórusvíznyomástól.

Az utánszámítással nyert nyírószilárdság magában foglalja a progresszív törés hatásait, továbbá a különböző folytonossági hiányok, az anizotrópia, a növényzeti adottságok és az időhatások következményeit. Ezek miatt ez az érték nem egészen "anyagi jellemző", hanem inkább valamiféle tapasztalati mennyiség.

Janbu (1977) egy felvett nyírási felületen kereste az összefüggést az egyensúlyhoz szükséges τ nyíró,- és ennek megfelelő σ' normálfeszültségek között - feltételezve, hogy a pórusvíznyomások ismertek. A különböző helyzetű csúszólappal elévázott számításainak próbálgatás jellegű eredményei egy-egy ponttal voltak ábrázolhatók a σ' - τ koordináta rendszerben (8/b ábra részlet). Az ezen pontok helyét felülről lehatároló

görbét nevezik az "ellenállások burkoló görbéjének", a biztonsági tényező pedig az ábrán látható módon számítható ki. Valamely ténylegesen bekövetkezett törés esetében a vizsgálatokkal nyert adatok burkoló görbéje egybeesik az egyensúlyhoz szükséges nyírószilárdságok burkolójával - a normálfeszültségeknek abban a tartományában, amely a csúszólap helyzetének megfelel. Az ilyen ellenállási burkológörbék felhasználására adtak esettanulmányokat Perlea (1973) és Popescu (1980). Janbu (1977) arról számolt be,



hogy számos esetben jó egyezést talált a "vissza számolt" adatokból adódó ellenállási burkolók és a laboratóriumi adatok között.

Gyakran előnyösebb, ha azon c' és δ' nyírószilárdsági paraméterek között állapítunk meg kapcsolatot, amelyek együtt tartoznak a határegyensúlyi állapothoz (8/c ábra), mintha csupán a paraméterek "egyszerű" halmazát vizsgálnánk. Így bármely helyreállítási beavatkozás (a rézsű geometriájának változtatása, megtámasztó szerkezet beépítése stb.) hatása könnyen kiértékelhető. Ha pedig a megmért nyírószilárdsági paraméterek összetartozó értékeit is feltüntetjük ugyanebben a diagramban, akkor a biztonsági tényező a 8/c ábra szerint kiszámítható.*

* A fordító megjegyzése: Ezt az eljárást Magyarországon is elterjedten használjuk, de talán kevésbé közzismert, hogy a biztonság ilyen definíciója Lazard-tól származik (Travaux, 1955 év, 707. old.)

A vissza-számítási módszer kevés használható alapadatot szolgáltat más területekre vagy más részsűkre. Ha pedig a csúszólap két vagy több különböző anyagot metsz át, akkor még az átlagos szilárdság fogalma sem könnyen védhető. Így a vissza-számolási módszer főként a helyreállítások tervezésénél alkalmazható a legelőnyösebben. Bármely hiba, amelyet egy adott csúszás vissza-számolásánál elkövethetünk - nagyságától úgy szólván függetlenül - kiesik a végeredményből, ha az így nyert adatot használjuk a megerősítő művek tervezéséhez, vagy egy új rézsű számításaihoz ugyanazon területen és, ugyanazon körülmények között.

Mint korábban már említettük: a törés progresszív volta térben és időben is értelmezhető. A jelenség teljes megértéséhez kívánatos volna olyan véges-elemek (VEM) megoldás, amely számításba veszi a talajok időtől is függő feszültségi-alakváltozási tulajdonságait. Foerster és Georgi (1981) ismertetnek egy ilyen VEM eljárást, amelyet a rézsűk feszültségeinek és elmozdulásainak meghatározására dolgoztak ki.

Az így nyert jellegzetes eredmények azt jelzik, hogy a túlfe-

szített zónák kiterjedése időben növekszik. Ha megbízható talaj-adatok állnak rendelkezésre, ez a módszer értékes lehetőséget kínál a fokozatos törés idő-függésének becsülésére és ezáltal a tartós állékonyság kiértékelésére is.

Bevágási rézsűk VEM szerinti, de az idő hatását nem vizsgáló ellenőrzéséről számolnak be: Popescu (1982), Stefannof és tsai (1976), valamint Constantinescu és tsai (1979).

A VEM segítségével a kivitelezés folyamata is utánozható, amelynek, - mint ismeretes - jelentős a befolyása a végső feszültségi állapotra és ezáltal az állékonyságra is.

Bár a VEM a rézsűk feszültségeinek és elmozdulásainak meghatározásához jól használhatónak bizonyult és ehhez nagy számítógépi programok is rendelkezésre állnak már, a legtöbb esetben lehetetlen beszerezni mindazon információt, amely egy igazán szigorú analízishez szükséges volna. Ezért azután ma is szükség van a tervezői gyakorlatban használható, egyszerű módszerekre.

Andrei és Athanasiu (1980) a VEM alternatíváját ismertették, amellyel figyelembe vehetők a határegyensúlyi számításokban a közeg feszültségi-alakváltozási tulajdonságai. A nyírószilárdság a csúszólap mentén a csúcs-, és a reziduális érték között változik a nyírési alakváltozástól függően. Az eljárásuk két fő lépése:

1) Meghatározzák - laboratóriumban, vagy helyszíni kísérletekkel - a különböző alakváltozásokhoz értelmezhető Coulomb-egyeneseket. Ezáltal rendelkezésre áll a különböző nyírési alakváltozások által mobilizált nyírószilárdság;

2) Kiválasztanak egy potenciális csúszólapot és meghatározzák a biztonsági tényezőt, fokozatosan növekvő nyírési alakváltozásokat feltételezve, illetőleg az ennek megfelelően mobilizált súrlódással és kohézióval számolva. A biztonsági tényezőt a határegyensúly módszerével számítják. A nyírési elmozdulás akár állandónak is vehető a csúszólap mentén, de progresszív törés esetén felvehető a rézsűlába felé lineárisan növekvően is.

Ez az állékonyságvizsgálati módszer a talaj alakváltozási tulajdonságainak számításba vételével olyan eredményeket

szolgáltat, amelyek sokkal jobban egyeznek a helyszíni tényekkel, ahol is az egyensúly határállapotához a nyírás ellenálás nem-egyenletes mobilizálása társul és ezért a törés progresszív jellegű.

3. A csúszások megelőzésének és kézbe tartásának módszerei

Sok adatot kell ismerni ahhoz, hogy dönthessünk: milyen úton-módon előzzük meg, illetve tartjuk felügyeletünk alatt a földcsuszamlásokat. Ilyen pl. a csúszás jellege, a mozgás valódi okozói, a mozgások mértéke és gyakorisága, költségtényezők, jogi természetű szempontok, kivitelezési kérdések, vagy akár a terület külső megjelenésének problémái is. Valójában a földcsúszások oly számosak, jellegük és méreteik annyira változatosak és mindig annyira függenek a sajátos helyi körülményektől, hogy végül is valamely adott esetben többféle módszer is hatásos lehet a csúszás megelőzésére ill. megrendszabályozására. Az éppen alkalmazott módszer eredménye nagyban függ attól, hogy mennyire ismerjük és használjuk fel a tervezéshez a helyi talajadottságokat és talajvízviszonyokat.

A földcsúszások megelőzéséhez és megrendszabályozásához egyeztetni kell a mérnökök, geológusok, geomorfológusok, valamint a társadalom különböző tényezőinek erőfeszítéseit. Legget és Karrow (1983) pl. a következő tevékenységi rendet ajánlják egy földcsúszás esetében:

- 1: Ne essünk pánikba;
- 2: Ne kezdjünk taláalomra intézkedni;
- 3: Vizsgáljuk meg minden a helyszínen jelentkező víz eredetét és mindenestre vezessük el a felszíni vizeket;
- 4: Határozzuk meg a helyszín geológiai adottságait ill. tanulmányozzuk a korábbi ismert adatokat;
- 5: Ha lehetséges tekintsük át a levegőből is a helyszínt és tanulmányozzuk a légi fényképeket;
- 6: Tanulmányozzuk a területen volt régebbi csúszásokat - ha vannak ilyenek;
- 7: Kísérreljük meg behatárolni a csúszólap helyzetét;
- 8: A megoldás keresése előtt tegyük fel a kérdést:
"miért következett be a csúszás?";

9: Tanulmányozzuk át az időjárásra vonatkozó adatokat, a közelmúltat és a hosszú idősorokat egyaránt;

És csak ezek után:

- 10: Mélyítsük le a szükségesnek tartott kutató fúrásokat;
- 11: Tervezzük meg a megoldást az állékonysági számítások alapján;
12. Építsünk vízelvezető és/vagy megtámasztó létesítményeket;
13. Rendezzük a rézsút és annak megfelelő növénytakaróját;
14. Készítsük elő a legalkalmasabb megfigyelő rendszert és biztosítsuk a rendszeres ellenőrzést, valamint mindezek karbantartását.

Különösen fontos, hogy a tervezés szorosan kapcsolódjék a megfigyelésekhez és, hogy eléggé rugalmasan kövesse a helyreállítás közben - vagy után - beálló változásokat.

A lejtők állékonyságát biztosító rendszabályokról sok tanulmány jelent meg, közülük a legújabbak: Hutchinson, (1977); Schuster és Krizek, (1978); Chowdhury (1980). Lényeges tudnivalókat összegeztek Zaruba és Mencl, (1980); Stanculescu, (1974); valamint Bally és tsai (1974). A rézsúcsúszások megelőzésének ill. kijavításának figyelemre méltóan sok lehetőségét alkalmazták már. Valamennyi azon alapul, hogy csökkentik a csúszólapon működő nyírófeszültségeket és/vagy növelik a mozgás által érintett tömeg nyírószilárdságát.

Ezek alapján a helyreállítás módszerei a következő négy csoportba oszthatók:

- 1) a felsőbb részek tehermentesítése, vagy az alsóbbak megterhelése;
- 2) vízelvezetés;
- 3) támasztó létesítmények;
- 4) különböző egyéb módszerek.

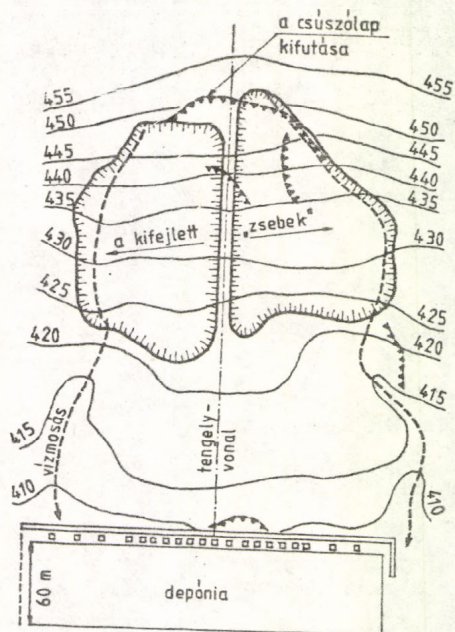
Mindezek alkalmazhatók külön, vagy kombináltan - ahogy a legjobban célt érünk.

Ha tudjuk egy túlkonzolidált agyagról, hogy nyírószilárdsága már évek óta csökkentő hatások alatt áll, akkor kívánatos, hogy ezt a folyamatot megelőzzük - vagy amennyire csak lehet

késleltessük - vízelvezetéssel, az erózió megfékezésével, és a gyenge diagenetikus kötések által tárolt alakváltozási energiák megőrzésével. Ha előfordulnak helyi csúszások, akkor azokat mielőbb hozzuk rendbe. Alapvető jelentőségű az egész érintett tömeg általános stabilitásának figyelemmel kísérése.

Az általános stabilitás érdekében különösen gondosan kell elemezni azokat a helyreállítási eljárásokat, amelyek során a rézsű felső részének anyagát eltávolítják. Erre jól használható útmutatást adhat a Hutchinson (1977) által javasolt "semleges vonal" koncepció.

Egy túlkonzolidált agyagban bekövetkezett kb. 600 000 m³ anyagot érintő földcsúszás kapcsán számol be Stanculescu (1983) az ottani eredményes kijavítási munkálatokról és egy részleges tehermentesítési módszert javasol. Az ott elmozdított 80 000 m³ anyagot két "zseb" alakjában vágták ki a csúszó tömegből, de köztük középen fenntartottak egy támasztó bordát, hogy ezzel megakadályozzák a csúszás fölfelé való terjeszkedését. (9. ábra)



9. ábra

Mihul és tsai (1983) ismertetnek egy másik jó példát a fejtéssel való gazdaságos és eredményes védekezésre. Egy észak-romániai téglagyárat fenyegetett egy kis mélységig terjedő lassú földcsúszás. A védekezés alapvető eleme az az árok volt, amelyet a létesítménnyel párhuzamosan a lejtő lábánál mélyítették.

Ezáltal a szerkezet és alapjai mentesültek a ráterülő föld nyomásától. A mentesítő árokba benyomuló agyagot folyamatosan kifejtették és téglát készítettek belőle.

Egyébként azonban a vízelvezetés a legfontosabb helyreállítási rendszabály, amely akkor igen hatékony, ha a csúszás okát és az instabilitást okozó víz eredetét teljes mértékben ismerjük. A felszín víztelenítése és a csúszásos területre folyó vizek megsabályozása lényeges ugyan, mégis ez csak javít a helyzeten, de még nem orvosolja azt.

A csúszások hatékony megelőzése, vagy helyreállítása végett a vízelvezető rendszernek át kell szelnie a mozgással okozati kapcsolatban álló talajvizet. Amint Hutchinson (1977) hangsúlyozta, a bevágási rézsűk esetében az árkos szivárgók akár ellenkező hatást is kiválthatnak, mert lehet, hogy a "negatív pórusvíznyomás-többlet" zónáját metszik át és ezáltal pozitív nyomástöbbletet hoznak ott létre, ami azután a nyírószilárdság csökkenésével járhat. Nem érvényes viszont ez a fenntartás a természetes lejtők esetében, mert ott az árkos szivárgók mindig hasznosak.

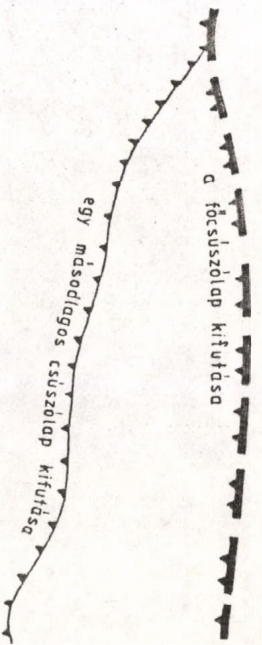
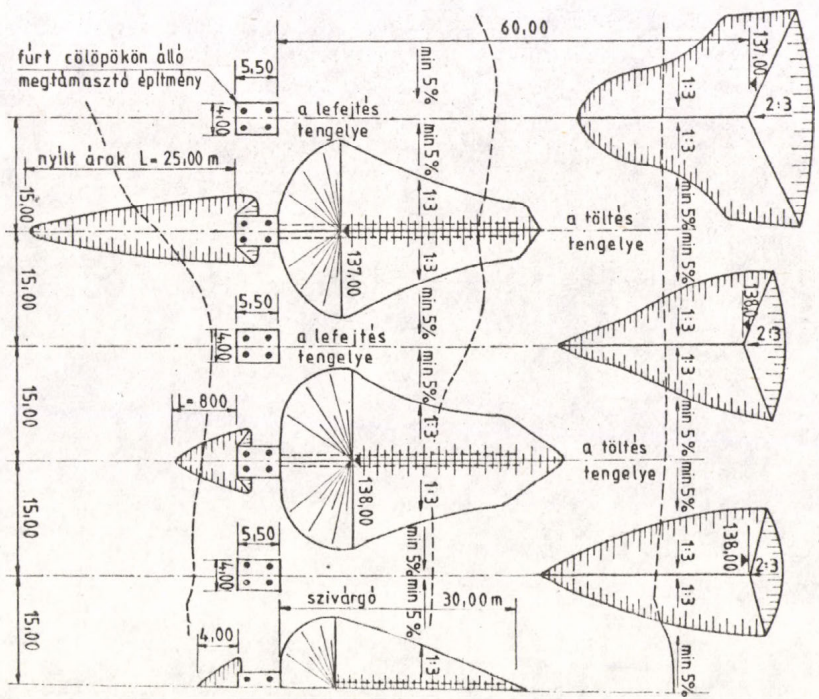
Előfordult már az is, hogy alagutat kellett építeni csúszásveszélyes területen, noha ez nagyon is kritikus művelet (Zaruba-Menci, 1982). A legújabb fejlődés ilyen esetekben a vízszintes lecsapoló csápok használata: a lejtő felszínéről viszonylag kis átmérőjű csöveket hajtanak a talajba s ezáltal megszűnik a csúszó anyagban végzett munka veszélyessége.

A vízszintes drének eredményessége főleg attól függ, hogy helyzetüket pontosan a helyi geológiai adottságokhoz igazodóan határozzák meg. Repedezett agyagban a vízszintes furatok összeköttetést teremthetnek a repedések, törésvonalak között. Ezáltal a természetes vízelvezetési körülmények még akkor is

jobb(hat)nak, ha egyébként a lejtő felszínére egyáltalán nem lép ki víz. Mindenesetre az ilyen vízszintes vízkivezetéseket a vízleadási felület közelében elegendően nagy hosszön vízzáróan kell kialakítani, különben a drének szintje alatt újabb törési zóna jöhet létre. Megjegyzendő, hogy még kevés a logikus tervezési szabály a vízszintes víztelenítő csápokra sőt ennek kutatása is csak a kezdetén tart. E tekintetben értékes adalékokat szolgáltatott Nonveiller (1981) tanulmányai. Bizonyosodott, hogy a lejtő felszínéről behajtott rövid furatok stabilizáló hatása jelentéktelen a lejtő talpánál létesített hosszú furatokéhoz képest, viszont ez utóbbiak hatékonyabbak a szokványos talpszivárgóknál. Kimutatták, hogy a biztonsági tényező ilyen módon való kielégítő megnöveléséhez szükséges idő egy hónapnál kevesebb lehet a homokos vagy iszapos talajokban, míg agyag esetén ugyanehhez kb. hat hónap is kell.

A rézsű geometriájának módosítása és a rendezett víztelenítés bizonyára a legszokványosabb orvoslási módszerek. Ahol viszont ezek nem bizonyulnak elegendőknek, ott megtámasztó szerkezeteket, támfalakat, a csúszást keresztező cölöpsorokat stb. szokás készíteni. A 10. ábra ilyen többszörös stabilizáló rendszert mutat, amelyet egy városi terület értékes építményeinek védelmére terveztek. A lejtő felső szakaszán lefejtettek a megcsúszott tömegekből és ezt az anyagot az alsóbb részekben terítették el, hogy az így megnövelt nyírási ellenállás tehermentesítőleg hasson a fűrt cölöpökön álló megtámasztó szerkezetekre. Ez utóbbiak környezetét pedig nyílt vízelvezető árkokkal alakították ki (Popescu, 1983).

A súlytámfalak, máglyafalak, cölöp-sor falak hasznosak lehetnek a viszonylag kis csúszások esetében, ellenben alig érnek valamit a nagy földmozgások ellen. Ha egy szokványos megtámasztó szerkezetet terveznek a csúszás ellen, akkor figyelmet kell szentelni a feszültség átrendeződésnek, amelyet az építéshez szükséges földfejtés hív létre. Ez ugyanis - átmenetileg - szükségyszerűen tovább csökkenti a stabilitást, az ebből fakadó hátrányok esetleg nagyobbak, mint a megtámasztó szerkezet előnyei.



10. ábra

Ez a hatás igen nyilvánvaló a túlkonzolidált agyagokban, amelyekre jellemző, hogy nagyok a vízszintes feszültségeik, és hogy az alakváltozások növekedésével veszítenek szilárdságukból. Emiatt az utóbbi években horgonyzásokkal egészítik ki a különféle megtámasztó szerkezeteket (Stanculescu és tsai, 1971; Hobst és Zajic, 1977).

A vasalt-föld szerkezetek nagy érdeklődést keltettek a mélyépítők körében. Néhány esetben ezeket és a talajszegezést is sikerrel alkalmazták már földcsúszások kivédésére. (Popescu, 1979; Szabó, 1982). A vasalt-föld szerkezetek egyenes tartó elemei tökéletesen hajlékonyak és nem nyújthatók. A talajszegezés bekötő elemeit mikroöblöpként alakítják ki, amelyeknek lehet valamelyes merevsége és ez azután befolyásolja a szerkezet viselkedését. A talajszegezés alkalmas lehet egyrészt közvetlen megtámasztó szerkezet létesítésére, másrészt a rézsűk stabilizálására is, ha a csúszó felületre merőlegesen hajlító nyomoték felvételére képes elemeket készítenek.

Ha valamely megtámasztó szerkezet csúszási elmozdulások megállítására készül, akkor - az egészen kis földtömegektől eltekintve - arra kell számítani, hogy az ebből fakadó nyomás egészét kell fölvennie, illetve továbbítania a csúszás által nem érintett mélyebb rétegekre. Ez a terhelés viszont általában nem számítható ki megbízhatóan, így e szerkezetek tervezése és kivitelezése csak megfigyeléseken alapulhat, amelyet érdemes műszeres észleléssel alátámasztani azért, hogy a szerkezet építése közben szerzett tapasztalatok alapján azonnal módosíthassák a terveket.

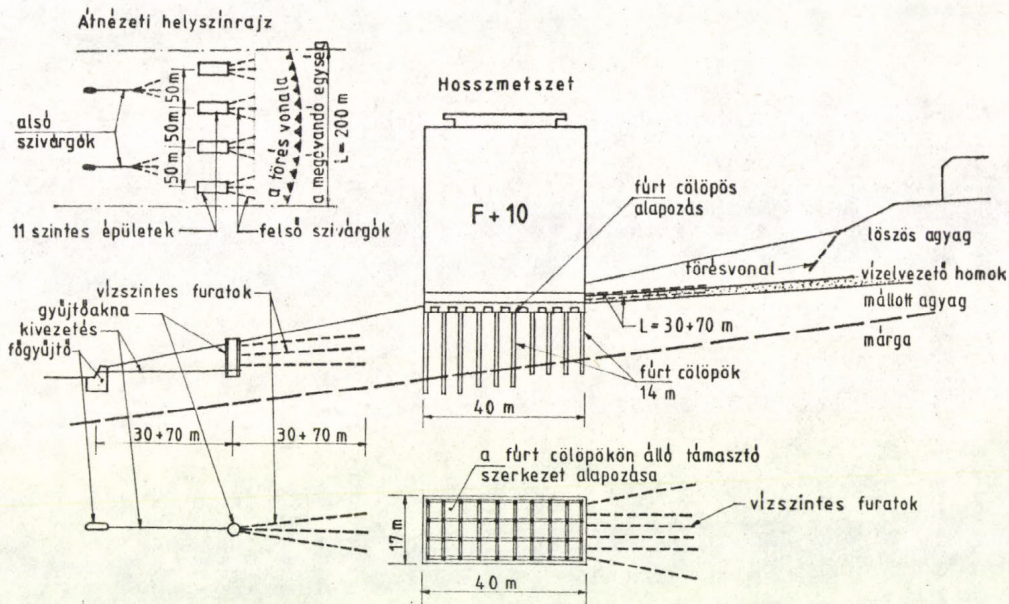
Számos egyéb lehetőség is ismeretes: injektálások, elektroozmózis, fagyasztás, kiégetés - amelyek a talaj nyírószilárdságát növelik, megváltoztatván annak fizikai vagy kémiai tulajdonságait. Ezeket a különleges eljárásokat rendszerint sajátos körülmények között alkalmazzák, amelyek miatt hatékonyabbnak vagy gazdaságosabbnak bizonyulhatnak az egyéb, szokványos lehetőségeknél. Az esetleges előnyüket azonban mindenkor külön bizonyítani kell. Mindenesetre az utóbbi években nincs hír arról, hogy a kelet-európai országokban e sajátos módszerek bármelyikét is alkalmazták volna túlkonzolidált agyagok csúszásai ellen.

Említésre méltó viszont, hogy a hőkezelést már 1958. óta eredményesen alkalmazták Romániában a földcsúszások megfékezésére és a roskadékony talajok tulajdonságainak megjavítására, (Beles és Stanculescu, 1958.), valamint 1960-ban, a SZU-ban (Litvinov, 1960). A hőt belső égetéssel hozták létre. Az utóbbi időkben javasolt változat, hogy égetés helyett elektromos fűtéssel hozzák létre a szilárdításhoz szükséges hőmérsékletet (Jurdanov, 1978).

La Rochelle és Marsal (1981) főelőadói jelentésükben kiemelték, hogy a legutóbbi években egyre inkább hangsúlyozzák a nehéz szerkezetek szerepét a földcsúszások megelőzésében és megfékezésében. Ezzel kapcsolatban ajánlatos azonban a jövőt is szem előtt tartani, gondolva az ilyen művek közepesen hosszú élettartamára és az ebből adódó ráfordítás/teljesítés hányadosra. Valóban, az ilyen stabilizációs rendszabályok nagy költségei indokolják, hogy keressük a minél kisebb fajlagos kiadások és a mérsékelt fajlagos munkák lehetőségét. Ez a kijavítás lehetséges elemeinek komplex alkalmazását indokolja, pl. azt, hogy a megtámasztó szerkezet szolgáljon egyben valamely épület alapozásául, vagy - ha lehet - a szivárgók legyenek bekapcsolva az ipari vízellátásba, stb. A 11. ábra arra mutat példát, hogy egy épületet már eleve arra méreteztek, hogy egy nem stabil domboldal anyagát megtámaszthassa (Stanculescu és tsai, 1971). Az ábrán látható elemek kombinációja jó példa a geológiai-mérnöki gondolkodású tervezésre.

Mint hogy a költségek és a műszaki lehetőségek úgyszólván kizárják annak lehetőségét, hogy egy nagy földcsúszást egészen és véglegesen megszüntessünk, ezért gyakran az a legelőnyösebb, ha csak egyes rendszabályokat léptetünk életbe és fokozatosan, néhány éves időközökkel törekszünk a lejtő stabilizálására. Ugyanezért mindig gondolni kell arra is hogy sokkal nehezebb a csúszás megtörténte után újra elérni a kívánatos egyensúlyt, mint megelőzni a bajt.

Ésszerű, ha a földcsúszások megfékezésével komplex módon foglalkoznak a településeknek, a mezőgazdaságnak, a közlekedésnek és a vízügyi igazgatásnak az érintett területen illetékesei, mert a külön-külön foganatosított rendszabályok sokkal kevésbé hatékonyak.



Irodalomjegyzék

- Andrei, S., Athanasiu, R. (1980). Stress-strain relation in Slope stability analysis, Proc. 3rd Int. Symp. Landslides, (1). 105-108. New Delhi.
- Bally, R.J., Zaharescu, E., Borsaru, I., (1974). Prevention and control of landslides on large areas affecting villages, agriculture and water management, UN-ECE Seminar on Constructions in Seismic Regions and in Regions with Difficult Ground Conditions, Bucharest.
- Beles, A.A., Stanculescu, I.I. (1958). Thermal Treatment as a means of improving the stability of earth masses. Geotechnique (8) 4.
- Biernatowski, K. (1976) Stability of slopes in variational and probabilistic solution. Proc. 6th Europ. Conf. SMFE. (1.1), 3-11. Wien
- Biernatowski, K. (1980). Selection of design parameters of soil for slope stability. Proc. 6th Danube Europ. Conf. SMFE. (3) 73-82, Varna
- Bilz, P., Brödel, C., Reinhardt, K. (1981). Spatial calculation of slope stability under definite surcharges. Proc. 10th ICSMFE, (3) 367-371. Stockholm.
- Bjerrum, L. (1967) Progressive failure in slopes in overconsolidated plastic clays and clay-shale. Terzaghi Lecture. Journ. SMF Div., ASCE (5) 3-49
- Bros, B. (1980). A case history of shear failures in railway cutting slopes of overconsolidated Tertiary clays. Proc. 6th Europ. Danube Conf. SMFE, (3) 105-114. Varna
- Chowdhury, R.N. (1978). Slope Analysis, Elsevier, Amsterdam, 424 pp.
- Chowdhury, R.N. (1980). Recent progress in evaluation and control of landslides. Proc. 3rd Int. Symp. Landslides, (1) 313-318. New Delhi
- Constantinescu, S., Comsa, R., Matei, L. (1979) Analysis of a progressive failure of a Pannonian clay. Proc. 7 th European Conf. SMFE (3), 189-192. Brighton.

- Emeljanova, E.P. (1968) Main objective laws to establish value and rate of landslide displacement. Hydrogeology and Engg. Geology of Arid Zones in USSR. Donish.
- Farkas, J., Nagy, L. (1982) Investigation of a slope slide on the motorway M-3. Periodica Polytechnica, Civil Engg., (3-4) 200-212. Budapest
- Feda, J. (1973) Discussion: Spec. Sess. 6. Proc. 8th ICSMFE (4.3) 290-291. Moskow.
- Fleischer, S., Scheffler, H. (1979). Problemoriented shearing technologies for the determination of the drained shear strength of cohesive soils. Proc. 7th European Conf. SMFE. (2) 41-48, Brighton.
- Foerster, W., Gehrish, M. (1976). Die Bedeutung von Harnischen für Stabilität von Tagebauböschungen. Proc. 6th Europ. Conf. SMFE (1.1) 45-50. Wien
- Foerster, W., Georgi, P. (1981) Application of a stress-strain-time relation. Proc. 10th ICSMFE (3). p. 405-408, Stockholm
- Fredlund, D.G., Krahn, J., Pufahl, D.E. (1981) The relationship between limit equilibrium slope stability methods. Proc. 10th ICSMFE, (3) 409-416. Stockholm
- Georgescu, E., Stanculescu, I. (1977). Some considerations about the in-situ shear tests on Palas red clay, Proc. 5th Europ. Danube Conf. SMFE. (1) 133-143 Bratislava
- Hamamdjiew, K.B. (1977). About the natural stress state of clay deposits. Proc. 9th ICSMFE (3) 429, Tokyo
- Hobst, L., Zajic, J. (1977). Anchoring in Rock. Elsevier, Amsterdam, 390 pp
- Hutchinson, J.N. (1977). Assessment of the effectiveness of corrective measures in relation to geological conditions and types of slope movement. Bull. IAEG. (16) 131-155.
- Janbu, N. (1977). State-of-the-art report on slopes and excavations in normally and lighted overconsolidated clay. Proc. 9th ICSMFE (2) 549-566, Tokyo

- Jurdanov, A.P. (1978). Osobennosti glubinnogo objiga gruntov i perspectiv i ego sovershenstvovaniya. Osnovaniya, fundamenti i mehanika gruntov. (6) 14-16.
- Kaczmarczyk, J. (1977). Application of calculus of variations methods to the slope stability analysis. Proc. 5th Danube Europ. Conf. SMFE. (2) 93-101. Bratislava
- Kézdi, Á. (1979). Safety factors for different types of failure Proc. 7th European Conf. SMFE, (1) 195-198. Brighton
- La Rochelle, P., Marsal, R.J. (1981) Slope Stability. General Report, Proc. 10th ICSMFE (4). 485-505 Stockholm
- Legget, R.F., Karrow, P.F. (1983). Handbook of Geology in Civil Engineering. McGraw Hill. 1340 pp.
- Leonards, G.A. (1981). Investigation of failures, Terzaghi Lecture. Journ. Geotechn. Div. ASCE (2) 185-246.
- Litvinov, I.N. (1960). Stabilization of settling and weak clayey soils by thermal treatment. Highw. Res. Board Spec. Rep. No.60. 94-112.
- Meschyan, S.R., Badayan, R.G. (1976). Regularity of creep of clays and deformation of slopes. Proc. 6 th European Conf. SMFE. (1.1) 71-74, Wien
- Mihul, A., Silion, T., Dordeanu, E. (1983). Actinunea curgerii lente a versantilor din amonte asupra cladirii fabricii de caramida Dorohoi, Proc. 5th Natl. Conf. SMFE (1) 58-67. Cluj
- Németh, G. (1980). Slow deformation of earth masses in sloping ground surface. Proc. 6th Europ. Danube Conf. SMFE (3) 165-176. Varna
- Nonveiller, E. (1981). Efficiency of horizontal drains on slope stability. Proc. 10th ICSMFE, (3). 495-500. Stockholm
- Perlea, V. (1973). Slope stability analysis when available strength parameters are unreliable. Bull. Sti. Inst. Constr., (2) 57-62. Bucharest
- Popescu, M. (1978). Contributii la studiul efectelor contractiei si umflarii argilelor asupra constructiilor si asupra stabilitatii taluzurilor si versantilor. Ph. D. Thesis, Civil Engg. Institute, Bucharest, 200 pp.

- Popescu, M. (1979). Some considerations on the design methods of reinforced earth retaining walls. Proc. Int. Conf. Soil Reinforcement. (1) 131-137. Paris
- Popescu, M. (1980). Stability problems associated with a railway cut-slope in overconsolidated clays. Proc. 6th Danube Europ. Conf. SMFE. (3) 199-214. Varna
- Popescu, M. (1981). Coefficient of earth pressure at rest in slope stability. Proc. 10th ICSMFE, (4) 922-923. Stockholm
- Popescu, M. (1982). Stability analysis of deep excavations in expansive clays. Proc. Int. Symp. Num. Models in Geomechanics, 660-667. Zürich
- Popescu, M. (1983). Stabilitatea taluzurilor si versantilor. Civil Engineering Institute, Bucharest, 176 pp.
- Rétháti, L. (1979). Number of soil samples and safety. Proc. 7th European Conf. SMFE, (1) 239-242. Brighton
- Schuster, R.L., Krizek, R.J. (1978). Landslides: Analysis and Control. Spec. Rep. 176. Transportation Research Board, 234 pp.
- Shapiro, D.M. (1979). Sposob prostranstvennogo rasceta ustoi-civosti otkosnih sooruzhenii, Osnovania, fundamenti i mehanika gruntov (3). 11-13.
- Skempton, A.W. (1964). Long term stability of clay slopes, Rankine Lecture, Geotechnique, (14) 77-101.
- Skempton, A.W. (1977). Slope stability of cuttings in brown London clay. 9th ICSMFE, (4) 25-33. Tokyo
- Skempton, A.W., La Rochelle, P. (1965). The Bradwell slip a short-term failure in London clay, Geotechnique, (15) 221-242.
- Stanculescu, I. (1974). Landslides and artificial fill failures, UN-ECE Seminar on Constructions in Seismic Regions and in Regions with Difficult Ground Conditions, Bucharest.
- Stanculescu, I. et al. (1983). Consolidarea unui versant cu alunecari in zona Curtea de Arges. Proc. 5th Natl. Conf. SMFE. (1) 137-144. Cluj

- Stanculescu, I., Popescu, M., Athanasiu, C., Chirica, A. (1980) Stress-strain and strength Characteristics of structured clays from the Dobrogean plateau area. Proc. 6th Danube Europ. Conf. SMFE, (2) 307-322. Varna
- Stanculescu, I., Todea, E., Dragomir, N. (1971). Sisteme de consolidare a unor alunecari de mare amploare, aplicate pe drumurile nationale, Proc. 2nd Natl. Conf. SMFE (2) 689-701. Bucharest.
- Stefanoff, G., Hamamdjiev, K., Christov, T. (1976). Stability analysis of multilayered excavation slope, Proc. 6th Europ. Conf. SMFE, (1.1) 85-88. Wien
- Szabó, G. (1982). Stabilisierung der Rutschung mit Mikropfählen, Proc. 10th Natl. Conf. SMFE 119-124. Brno.
- Ter-Stepanian, G. (1974). Depth creep of slopes, Bull. IAEG, (9) 97-102.
- Ter-Stepanian, G. (1979). Rheological basis of mechanism of slope failures, Int. Symp. Soil Mech., (1), 155-159. Oaxaca
- Ter-Stepanian, G. (1980). Creep on natural slopes and cuttings, State-of-the-Art Report, Proc. 3rd Int. Symp. Landslides, (2) 95-108, New Delhi
- Tsylovich, N.A., Ter-Martirosyan, Z.G. (1981). Short-term and long-term stability of slopes, Proc. 10th ICSMFE, (3) 539-540. Stockholm
- Voight, B. (1973). Correlation between Atterberg plasticity limits and residual shear strength of natural soils, Geotechnique (2). 265-267.
- Vyalov, S.S. et al. (1972). Problems of the structural rheology of clays, Bull. IAEG, (6).
- Wenkow, W. (1979). An apparatus for the evaluation of the coefficient of earth pressure at rest. Proc. 7th Europ. Conf. SMFE, (2). 171-174. Brighton.
- Zaruba, Q., Mencil, V. (1982). Landslides and their control, Elsevier, Amsterdam, 324 pp.

Landslides in overconsolidated clays

Mihail E. Popescu

There is no unique way available to solve slope stability problems in particular for the case of overconsolidated clays, following from the great number of variables may be associated with the problems. Experiences have been accumulated cannot be extrapolated to other sites in every case. For this reason case histories have great importance in the elaboration and in the application of design methods.