

Telített és telítetlen lösz talajok dinamikus alakváltozási tulajdonságait befolyásoló tényezők

Influencing Agents of Dynamic Soil Properties of Saturated and Unsaturated Loess

BACK Márta¹, BSc hallgató, VÁMOS Máté², PhD hallgató

¹Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Építőmérnöki kar

²Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Geotechnikai és Mérnökgeológiai Tanszék,
1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3, tel.: +361-463-3004; e-mail: vamos.mate@epito.bme.hu;
http://www.gtt.bme.hu

ABSTRACT

In case of geotechnical design satisfying the SLS under dynamic loading can be critical. During the research saturated and unsaturated loess specimens were examined by cyclic triaxial test, where different CSRs were applied. The aim was to study the change of the strain, the stiffness and the damping ratio depending on the number of cycles and the cyclic strain amplitude and to analyse the effect of the CSR on these parameters.

ÖSSZEFOGLALÓ

A használhatósági határállapot teljesítése dinamikus terhelés hatására kritikus lehet a geotechnikai tervezésben. A kutatás során telített és telítetlen lösz talajmintákon hajtottunk végre ciklikus triaxiális vizsgálatokat eltérő pulzáló feszültségarányok mellett. Célunk az alakváltozás, a rugalmassági modulus és a csillapítás alakulásának vizsgálata volt a ciklusszám, illetve a ciklikus alakváltozási amplitúdó függvényében, valamint a CSR ezen paraméterekre gyakorolt hatásának elemzése.

Kulcsszavak: CSR, lösz, maradó alakváltozás, csillapítás, telítés

1. BEVEZETÉS

Az építőmérnöki létesítményeket különböző eredetű dinamikus hatások érik, amelyek más megközelítéseket igényelnek a tervezés során, mint a megszokott statikus terhelési esetek. A dinamikus terhekre való méretezés kiemelt jelentőséggel bír a geotechnikában, ugyanis a talajok a statikus viselkedéstől eltérő módon reagálnak az ismétlődő terhelésre, változhatnak a merevségi és csillapítási viszonyaik, alakváltozási paraméterei. A geotechnikai tervezésben sok esetben nem a teherbírási, hanem a használhatósági határállapot a mértékadó, ezért fontos, hogy előre meg tudjuk becsülni, a talajok dinamikus alakváltozási paramétereit, és meghatározzuk a legfontosabb in-situ tényezőket, amelyek befolyással bírnak ezen alakváltozási paraméterekre [1].

Kutatásunk során lösz talajokat vizsgáltunk, amely Magyarországon igen gyakori felszínközeli talajtípus, továbbá földműépítési és alapozási célra egyaránt alkalmas. A vizsgálatok során széles feszültségtartományt fedtünk le, mivel a dinamikus terhelés nagysága jelentős hatással van a merevségi és csillapítási viszonyok alakulására, a létrejövő alakváltozások nagyságára, valamint a pórusvíznyomás változására. A dinamikus terhelés nagyságát a ciklikus feszültség arány (CSR), vagyis a dinamikus terhelés során működő pulzáló feszültség és a talaj statikus nyírószilárdságának hányadosaként értelmeztük.

$$CSR = \frac{q_{cyc}}{q_f} \quad (1)$$

A vizsgálatok során a CSR-t 0,2-0,9-es értékek között változtattuk. Az alacsonyabb feszültségtartományok a közlekedési földművek járműterhét, a közepes feszültségtartományok a gépalapok, szélerőművek terheit, míg a magas feszültségtartomány a földrengés hatására előálló teherbírási határállapotot jellemzi.

A talaj merevségének csökkenését nem csak a törés, hanem a többlet pórusvíznyomás kialakulása is előidézheti, ezért a talajok dinamikus viselkedését jelentősen befolyásolja a telítettség mértéke. A kutatások során eddig főként a telített talajok dinamikus paramétereit vizsgálták, mert az elmúlt évtizedekben a fő cél a talajfolyósodás jelenségének vizsgálata volt, ami csak telített talajok esetén lép fel. Ugyanakkor sok esetben a ciklikus terhelésnek kitett szerkezetek a talajvízszint felett, telítetlen altalajra épültek. Telített mintákon végzett kísérletek eredményei azt mutatják, hogy a ciklusszám növekedésével, a többlet pórusvíznyomás ki-

alakulása a merevség lecsökkenéséhez vezet, kellően magas ciklusszám elérése után pedig a rugalmassági modulus egy állandó értékhez tart, és a hiszterézis hurkok alakja sem változik tovább. Telítetlen talajok esetében azonban nem keletkezik többlet pórusvíznyomás, vagyis elvileg nem következhet be a merevség degradációja [5].

Nemcsak a telítettség, hanem a drénezési körülmények is befolyásolják az egyes vizsgálatok eredményeit. Drénezetlen körülmények között a ciklusszám növekedésével a hiszterézis hurkok hajlásszöge lecsökken, köszönhetően a pórusvíznyomás kialakulásának, valamint a talaj szerkezetében bekövetkező változásoknak [2]. A merevség leromlása azonban lelassul a ciklusszám növekedésével, sőt egy adott ciklusszám elérése után megszűnik a hiszterézis hurkok ellaposodása, alakjuk pedig szinte változatlan marad [3]. Drénezett esetben a ciklikus terhelés hatására keletkező többlet pórusvíznyomás képes távozni a rendszerből, miközben a hézagtenyező csökken, vagyis a minta tömörödik. A drénezetlen körülményekkel ellentétben drénezett ciklikus terhelés hatására a ciklusszám emelkedésével hiszterézis hurkok meredekebbé és keskenyebbé válnak [4].

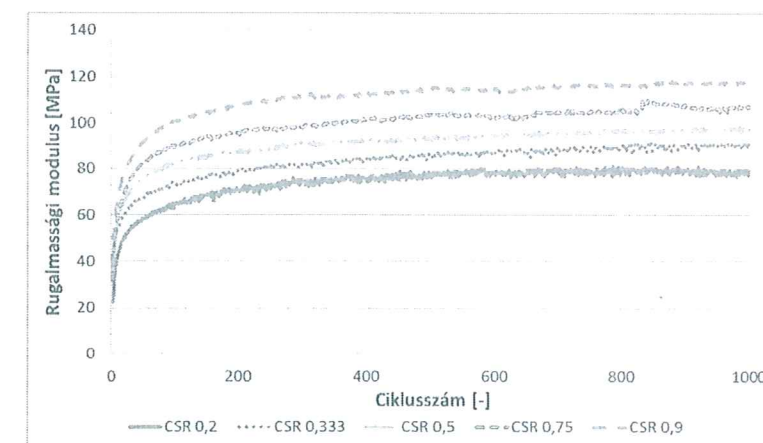
2. ELVÉGZETT VIZSGÁLATOK

A kutatás során az alakváltozás, a rugalmassági modulus és a csillapítás alakulását vizsgáltuk a ciklusszám, illetve a ciklikus alakváltozási amplitúdó függvényében. A vizsgálatokat ciklikus triaxiális berendezés segítségével hajtottuk végre. A kísérletekhez zavart dunajvárosi lösz mintákat használtunk fel, melyeket optimum víztartalom mellett, valamint a felett tömörített talajból 3,8 cm átmérőjű, 7,5 cm magas szabványos rézhengerrel szűrtünk ki. A vizsgált talaj plaszticitási indexe 7,2%-ra, anyagsűrűsége 2,726 g/cm³-re adódott, megnevezése a szemeloszlási görbe alapján homokos-agyagos iszap.

Három vizsgálati kört alakítottunk ki: telítetlen-konzolidálatlan, telítetlen-konzolidált és telített-konzolidált mintacsoport. A telítetlen-konzolidálatlan minták segítségével vizsgálható azon eset, amikor egy építőmérnöki szerkezet telítetlen talaj felett vagy friss feltöltésen található, a telítetlen-konzolidált minták esetében az előterhelés hatását kívántuk kimutatni, míg a telített-konzolidált minták eredményein keresztül a telítettség hatását vizsgáltuk. Mindhárom vizsgálati körben 5-5 mintát terheltünk 1000-es ciklusszám, 0,2 Hz-es frekvencia mellett, különböző CSR alkalmazásával.

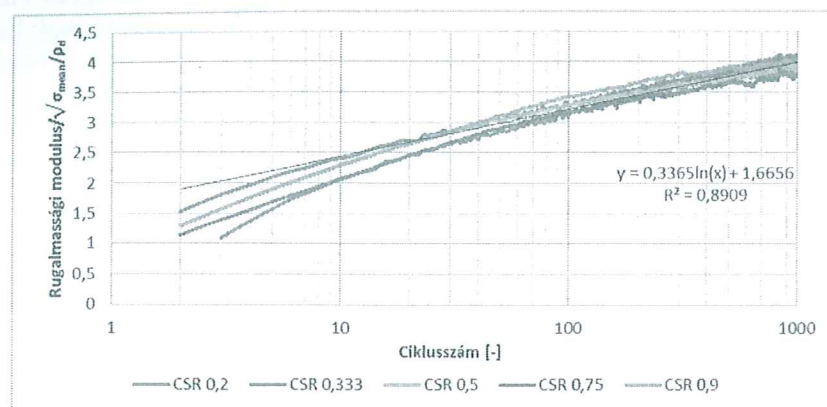
3. EREDMÉNYEK BEMUTATÁSA

Az 1. ábra a rugalmassági modulus alakulását mutatja a ciklusszám függvényében. Látható, hogy a ciklusszám emelkedésével nő a talaj merevsége, továbbá magasabb CSR esetén nagyobb rugalmassági modulus értékeket kapunk. Ez egy következetes tendenciának bizonyult valamennyi vizsgálati kör esetében, ami alapján feltételezhető a kapcsolat a feszültség és a merevség között. Az 1. ábrán látható rugalmassági modulus – ciklusszám összefüggés abból következik, hogy a ciklikus terhelés hatására bekövetkező maradó alakváltozások miatt a talaj egyre inkább tömörebb állapotba kerül, amely maga után vonja a rugalmassági modulus emelkedését. A talajok rugalmassági modulusát leginkább befolyásoló paraméter a feszültségállapotot jellemző átlagos hatékony feszültség (illetve ennek gyöke), valamint a tömörséget jellemző száraz térfogatsűrűség. A vizsgálatok során meghatározott rugalmassági modulusokat az átlagos hatékony feszültség gyökével normálva a görbék közelebb kerülnek egymáshoz, szórásuk csökken. A különböző feszültségtartományú görbék rugalmassági modulusainak eltérése tovább csökkenthető, amennyiben a görbéket normáljuk a kezdeti száraz térfogatsűrűséggel.



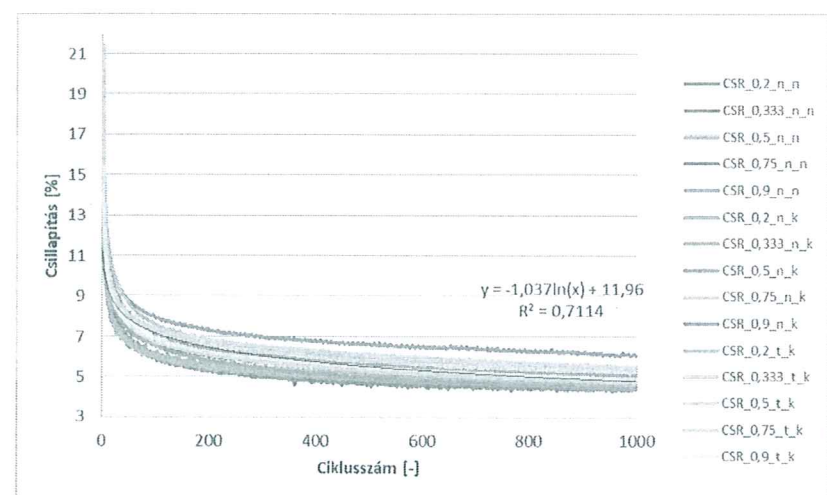
1. ábra: Rugalmassági modulus változása a ciklusszám függvényében

Az átlagos hatékony feszültség gyökével és a száraz térfogatsűrűséggel normált rugalmassági modulusok értékeit a 2. ábra mutatja. Az ábrán látható, hogy a merevségek értékei egy igen szűk tartományban mozognak, és szemi-logaritmikus léptékben ábrázolva közel egy egyenesre esnek.



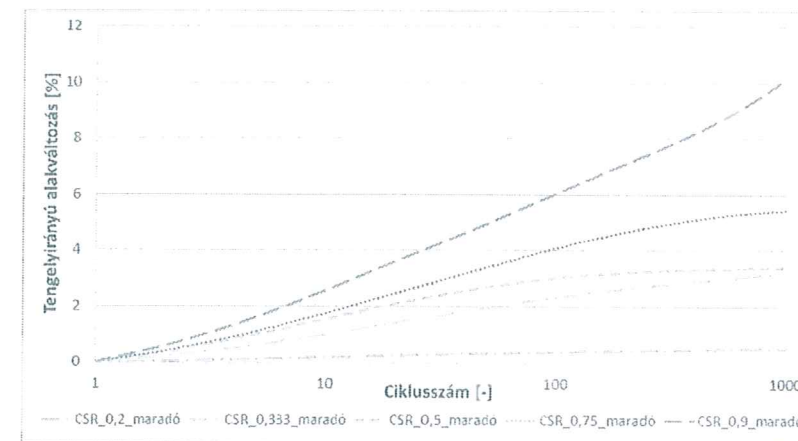
2. ábra: Rugalmassági modulus becslése logaritmikus függvényvel

Valamennyi általunk vizsgált minta csillapításának alakulását a ciklusszám függvényében mutatja a 3. ábra. Látható, hogy a talaj csillapítása csökken a ciklusszám emelkedésével, azonban a terhelés végére a görbe ellaposodik, egy adott érték felé tart. Mivel a grafikonok egy nagyon szűk tartományt fednek le, ezért a csillapítás értéke általánosan tekintve (vagyis mind a telítettségtől, vagy a konszolidáltságtól, mind pedig a pulzáló feszültség arányától függetlenül) is jól közelíthető egyetlen logaritmikus függvényvel.



3. ábra: Csillapítás becslése a ciklusszám függvényében

Telítetlen-konszolidálatlan minták maradó alakváltozásának alakulása a ciklusszám függvényében látható a 4. ábrán. Az eredmények alapján megállapítható, hogy az alakváltozás nő a ciklusszám emelkedésével, továbbá magasabb pulzáló feszültségárány nagyobb alakváltozásokat eredményez ugyanazon ciklusszám mellett. A CSR emelkedésével az alakváltozás sebessége is növekszik, ugyanakkor a minták esetleges eltérő tömörsége és telítettsége jelentősen befolyásolja a CSR változásának az alakváltozási paraméterekre gyakorolt hatását. Szemi logaritmikus léptékben ábrázolva a görbék közel egy egyenest lehet illeszteni, azonban a nagyobb ciklusszámok esetén a görbék elhajlanak az addigi tendenciáktól, így nem lehet egyértelmű következtetéseket levonni a magasabb ciklusszámok esetén bekövetkező alakváltozások mértékéről.



4. ábra: Maradó alakváltozás alakulása a ciklusszám függvényében

4. ÖSSZEFOGLALÁS

Kutatásunk során zavart lösz talajokat terhelünk ciklikus triaxiális berendezés segítségével, hogy megvizsgáljuk a telítettség, az előterheltség, és a feszültségi szint hatását a dinamikus alakváltozási paraméterekre. A feszültségi aránnyal a feszültségskála széles tartományát lefedtük, így modellezve a gyakorlatban előforduló terheléseket. Vizsgálatunk során megállapítottuk, hogy a vizsgált talajtípus rugalmassági modulusa leginkább a tömörségtől és az átlagos hatékony feszültség nagyságától függ. Az átlagos feszültség növelésével a mért rugalmassági modulusok is emelkedtek, továbbá a lazább minták modulusai alacsonyabbra adódtak. A ciklusok számának növelése szintén a rugalmassági modulus növekedéséhez vezet, mivel a képlekeny alakváltozások következtében nő a minta tömörsége. A mért értékeket az átlagos feszültséggel és a tömörséggel normálva az eredmények igen szűk tartományban mozognak. A csillapítás esetén megállapítottuk, hogy a csillapítást leginkább befolyásoló paraméter a ciklusok száma, a többi vizsgált paraméternek (telítettség, előterheltség, feszültségszint) nincs számottevő hatása az eredményekre. A csillapítás az első néhány ciklus után közel ötödére esik vissza, és végértéke 4-6%-ban adható meg. Az alakváltozások esetén megállapítottuk, hogy a ciklusszám emelkedésével a maradó alakváltozások folyamatosan nőnek, a növekedés mértéke, és a görbe jellege függ a telítettségtől, és a ciklikus feszültségáránytól. Nagyobb CSR érték mellett a maradó alakváltozások mértéke is nagyobb, továbbá az egy ciklus alatt létrejövő alakváltozás, vagyis az alakváltozás sebessége is növekszik.

A cikk megírását a NTP-TDK-14-0029 számú pályázat támogatta. Köszönet az Emberi Erőforrások Minisztériumának, az Emberi Erőforrások Támogatáskezelőnek, az Oktatókutatató és Fejlesztő Intézetnek és a Nemzeti Tehetség Programnak.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] BACK, M.: "Telített és telítetlen lösz talajok dinamikus alakváltozási tulajdonságait befolyásoló tényezők" TDK dolgozat, 2014
- [2] KRAMER, S.L.: „Geotechnical Earthquake Engineering”, Prentice-Hall, New Jersey, 1996
- [3] LIN, G., JUN, W., YUANQIANG, C., HANLONG, L., YUFENG, G., HONGLEI, S. „Undrained deformation behavior of saturated soft clay under long-term cyclic loading”, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 50, 28-37., 2013
- [4] VAMOS, M. és SZENDEFY, J. „Kövér agyagok dinamikus alakváltozási tulajdonságainak meghatározása”, Konferenciakiadvány, XVIII. Nemzetközi Építéstudományi Konferencia, Csíksomlyó, 2014 p. 325-328
- [5] VAMOS, M és SZENDEFY, J.: „Effect of pre-loading on dynamic soil properties and deformation characteristics”, In: Proceedings of the 23rd European Young Geotechnical Engineers Conference, Barcelona, Spanyolország, p. 11-14, 2014