

A TALAJOK REZILIENS MODULUSÁNAK MEGHATÁROZÁSA, MÉRÉSI EREDMÉNYEK BEMUTATÁSA

Back Márta - Dr. Szendefy János
BME Geotechnika és Mérnökgeológia Tanszék

KULCSSZAVAK

reziliens modulus, CBR, talajstabilizáció

1. BEVEZETÉS

A reziliens modulus (M_R) a földművek dinamikus, forgalmi terheléshez hasonló terheléséből számítható rugalmassági modulusa. Meghatározása történhet közvetlen módszerrel, vagyis dinamikus triaxiális vizsgálattal, illetve közvetett eljárásokkal, amelyek során különböző talajparaméterek (például CBR-teherbírás) alapján számítják ki az M_R értékét. Hazánkban még nem létezik bejáratott módszer a reziliens modulus meghatározására, ezért kutatásaink során ennek lehetőségeit vizsgáltuk a közvetlen és közvetett módszerek alkalmazásával egyaránt.

A kérdés aktualitását a nemrég kidolgozott alternatív pályaszerkezet méretezési eljárás adja, amely a reziliens modulus kezeli bemenő paraméterként, és ami a korábbi típuspályaszerkezet méretezési eljárással ellentétben lehetővé teszi a korábban elvárt földműteherbírástól magasabb értékek figyelembe vételét is a méretezés során.

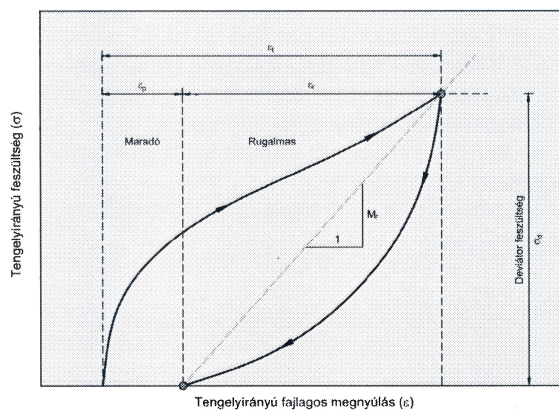
2. A REZILIENS MODULUS MEGHATÁROZÁSA

A reziliens modulus általános definíciója alapján a deviátor feszültség és a rugalmas alakváltozás aránya. Értéke nem az anyag szilárdságát jellemzi, hanem a merevséget. Mivel nagysága változik az oldalnyomás függvényében, így többféle terhelés és oldalnyomás párosítás mellett is meghatározható. Az esetek többségében olyan körülmények között jellemzi a talajt, amely nem jár együtt a pályaszerkezet tönkremenetelével.

Az M_R értékének meghatározására közvetett módszerként a szakirodalom leginkább a CBR teherbírás vizsgálatot javasolja, amely laboratóriumban egyszerűbb eszközökkel végrehajtható, mint a speciális berendezést igénylő és költséges dinamikus triaxiális vizsgálat. A CBR teherbírás vizsgálat eredményeiből különböző összefüggések segítségével számítható az M_R értéke. Ezen összefüggések laboratóriumi vagy helyszíni CBR teherbírás mérés esetében egyaránt alkalmazhatók vagyis a bonyolultabb közvetlen mérés elméletileg kiváltható lenne alkalmazásukkal.

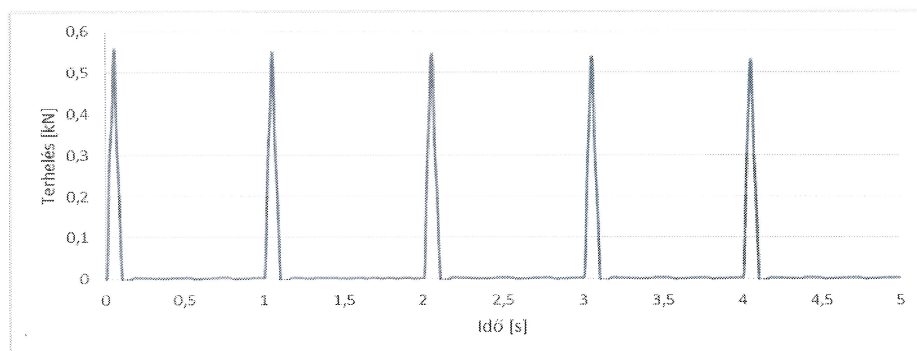
A jelen cikk tárgyát képező kutatás során kötőanyagokkal stabilizált talajok M_R értékét vizsgáltuk közvetlen módszerrel, vagyis dinamikus triaxiális vizsgálattal. Ezzel párhuzamosan CBR-vizsgálatok is készültek azonos módon

előállított próbatesteken azon célból, hogy a szakirodalom által javasolt összefüggések alkalmazásával számított M_R értékek és a közvetlenül mért reziliens modulus összehasonlítható legyen. Ezen vizsgálatok mellett további célkitűzés volt a reziliens modulus értékeinek elnedvesedés hatására bekövetkező változásának vizsgálata, így a próbatestek egy részén 28 napos kötésidő után, míg a másik részén további 4 nap víz alatt tárolást követően hajtottuk végre a dinamikus triaxiális vizsgálatokat.



3. ábra: A reziliens modulus értelmezése

A laboratóriumi vizsgálati programot az AASHTO T-307 amerikai előírás szerint hajtottuk végre. Ennek keretében eltérő deviátor feszültségek alkalmazásával összesen 150 db dinamikus triaxiális vizsgálatot végeztünk el, amelyek során előre meghatározott nagyságú tengelyirányú ciklikus terhelés alá vetettük a próbatesteket. Egy terhelési ciklus minden esetben egy 0,1 másodperc hosszúságú terhelési fázisból, valamint egy 0,9 másodpercig tartó nyugalmi periódusból állt, így teljes időtartama pontosan 1 másodperc volt. Az egyes mintákat először 1000 cikluson keresztül 27,6 kPa cellanyomás és 27,6 kPa deviátor feszültség mellett, ún. kondicionáló terhelésnek vetettük alá, aminek célja, hogy megszüntesse a tömörödés és a terhelés közti időszak hatását, illetve a kezdeti terhelést az újrateherelés ellenében. Ezen kívül minimalizálja a minta végei, illetve a terhelőfej és az alapzat között esetlegesen fennálló nem megfelelő érintkezés hatását. A kondicionáló terhelés után a 27,6 kPa cellanyomást fenntartva 5 különböző, fokozatosan emelkedő deviátor feszültség alkalmazása mellett, 100-100 cikluson keresztül történt a minták terhelése. A vizsgálat végső lépéseként pedig az utolsó terhelési lépés 68,9 kPa nagyságú deviátor feszültségének alkalmazásával a minták terhelése további 10 000 cikluson keresztül folytatódott a maradó alakváltozások vizsgálata céljából.



4. ábra: A ciklikus triaxiális vizsgálat során alkalmazott teher időbeli lefutása

3. A MÉRÉSI EREDMÉNYEK BEMUTATÁSA, ÉRTÉKELÉSE

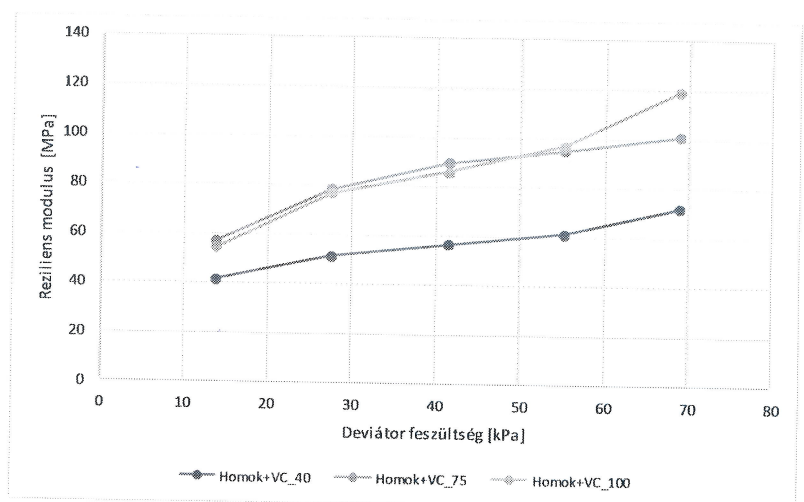
A vizsgálatokat kötőanyag hozzáadásával stabilizált homok és löszmintákon végeztük el. A homok talaj stabilizációját cement és ViaCalco50, a lösz talajét pedig cement, ViaCalco30 és ViaCalco50 kötőanyagok alkalmazásával hajtottuk végre. A kötőanyagot három különböző adagolással (40, 75 és 100 kg/m³) adtuk hozzá a talajokhoz. A reziliens modulus értékei a 100-as ciklusszámú terhelési lépések eredményeiből, valamint a 10 000 ciklusszám mellett végzett terhelés első és utolsó 10 ciklusának mérési adataiból kerültek meghatározásra.

A 100 db ciklusszám mellett végrehajtott vizsgálatok esetében általános tapasztalat volt, hogy a reziliens modulus növekszik a deviátor feszültség emelkedésével. Ez a megfigyelés ellentmond a normál, nem stabilizált talajokra vonatkozó szakirodalmi adatoknak, azonban az általunk alkalmazott deviátor feszültségek a törőfeszültség kb. 10%-áig terjedtek, míg a szakirodalmi hivatkozásokban több esetben a deviátor feszültség megközelítette a törőfeszültség értékét.

A vizsgálatok eredményei alapján az MR értéke a kötőanyag-adagolás emelkedésével növekszik. A növekedés mértéke és az adagolás között nincs egyenes arányosság, ahogy az a korábbi szakirodalmakban (Szendefy 2009) is szerepel, ami szerint az optimális kötőanyag-mennyiség eléréséig jelentős növekedés következhet be, azonban azt követően már nincs számottevő hatása az adagolás növelésének.

A stabilizált talajminták vízzel szembeni tartósságának, illetve a reziliens modulus elnedvesedés hatására bekövetkező változásának vizsgálata érdekében a mintákat 4 napig víz alatt tároltuk, majd utána végeztük el a dinamikus triaxiális vizsgálatokat. Az eredmények nem mutattak koherens összefüggést. A homok talaj cementtel stabilizált mintáinál, illetve a VC50 50 kg/m³ adagolású mintájánál a száraz minták eredményeinél is magasabb értékek adódtak,

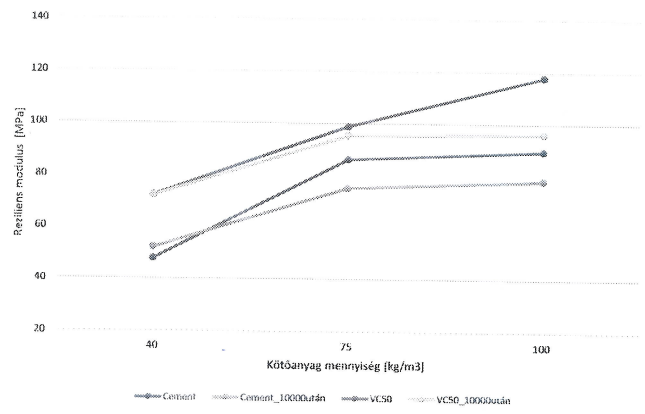
ami szerint a víz alatt tárolás nem rontotta, hanem javította a minták ellenálló képességét, míg a VC50 75 kg/m³ és 100 kg/m³ adagolásánál ~20%-os leromlás volt tapasztalható. A lösztalajok keverékeinél 20–40%-os leromlás volt tapasztalható, azonban a leromlás mértéke nem mutatott korrelációt a kötőanyag típusával vagy a kötőanyag adagolásával.



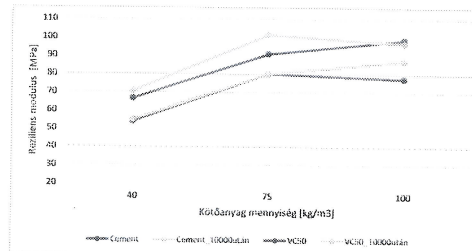
5. ábra: ViaCalco C50-tel stabilizált homok minták reziliens modulusa a deviátor feszültség és a kötőanyag mennyiség függvényében

A homok talajból készült stabilizációk esetében, azoknál a mintáknál, amelyeket nem tároltunk víz alatt, megfigyelhető volt, hogy a 10 000 ciklus-számú terhelés hatására az MR értéke kismértékben csökken. Az eredmények alapján a csökkenés nagyságát a kötőanyag-adagolás befolyásolja, ugyanis magasabb kötőanyag mennyiséget alkalmazva nagyobb csökkenés volt tapasztalható. Ez valószínűsíthetően azért következik be, mert a kötőanyag adagolással a merevség is nő, aminek jó része a kevésbé rugalmas hidraulikus kötésekéből áll, és ezek terhelés hatására bekövetkező tönkremenetele okozhatja a merevség csökkenését is.

A stabilizált homok talajoknál tapasztalt trend nem volt megfigyelhető a stabilizált lösz talajok reziliens modulus értékeiben, mivel itt nem jött létre leromlás, a 10 000 ciklus után inkább kismértékű felkeményedés volt tapasztalható.



6. ábra: Stabilizált homok talaj reziliens modulus értékének változása a kötőanyag-adagolás mennyiségének és a terhelési ciklusszámnak függvényében



7. ábra: Stabilizált lösz talaj reziliens modulus értékének változása a kötőanyag-adagolás mennyiségének és a terhelési ciklusszámnak függvényében

A 4 napig víz alatt tárolt minták esetében hasonló eredmények adódtak, mint a száraz próbatesteknél. A stabilizált homok talajok esetében nem volt kimutatható csökkenés vagy javulás, míg a lösz talaj alapú stabilizációk eredményeiben kismértékű emelkedés volt megfigyelhető.

Valamennyi vizsgálati eredményt tekintetbe véve megállapítható volt, hogy a homok minták összenyomódási modulusai adódtak a legnagyobbra, ezen belül a cementtel stabilizált minták adták a legnagyobb, 100 MPa feletti értékeket, míg a ViaCalcoval kezelt homok valamivel alacsonyabb, $MR \sim 100$ MPa körüli modulusot mutatott. A lösz minták esetében a víz alatt tárolt és a száraz próbatesteken mért reziliens modulus $MR=30-80$ MPa közötti értékekre adódott.

Talaj	Kötőanyag típusa és mennyisége	CBR	1. Heukleom & Klomp	2. Green & Hall	3. Powell et al	4. Ohio DOT	5. South African Council	6. Georgia Department of Transportation	Min	Max	Átlag
Homok	Cement 40kg/m ³	128,15	1325,4	1175,5	393,3	1060,3	484,9	218,6	218,6	1325,4	776,3
Homok	Cement 75kg/m ³	133,50	1380,7	1210,2	403,7	1104,6	498,0	222,9	222,9	1380,7	803,3
Homok	Cement 100kg/m ³	133,7	1382,3	1211,2	404,0	1105,8	498,4	223,0	223,0	1382,3	804,1
Homok	VC50 40kg/m ³	74,3	767,9	797,5	277,3	614,3	340,1	168,4	168,4	797,5	494,3
Homok	VC50 75kg/m ³	96,8	1001,2	963,0	328,6	800,9	404,1	191,1	191,1	1001,2	614,8
Homok	VC50 100kg/m ³	106	1096,3	1027,2	348,3	877,0	428,7	199,6	199,6	1096,3	662,8
Lösz	Cement 40kg/m ³	23,5	243,0	351,9	132,8	194,4	161,0	97,2	97,2	351,9	196,7
Lösz	Cement 75kg/m ³	63,1	652,6	710,3	249,9	522,1	306,0	155,8	155,8	710,3	432,8
Lösz	Cement 100kg/m ³	79,3	820,2	835,7	289,3	656,1	355,0	173,8	173,8	835,7	521,7
Lösz	VC30 40kg/m ³	32,8	339,2	446,1	164,4	271,4	200,0	113,9	113,9	446,1	255,8
Lösz	VC30 75kg/m ³	37,55	388,4	491,1	179,3	310,7	218,3	121,5	121,5	491,1	284,9
Lösz	VC30 100kg/m ³	40,85	422,5	521,4	189,2	338,0	230,6	126,5	126,5	521,4	304,7
Lösz	VC50 40kg/m ³	30,75	318,0	426,1	157,8	254,4	191,8	110,5	110,5	426,1	243,1
Lösz	VC50 75kg/m ³	52,65	544,5	624,5	222,6	435,6	272,0	142,9	142,9	624,5	373,7
Lösz	VC50 100kg/m ³	58	599,9	669,0	236,8	479,9	289,7	149,6	149,6	669,0	404,1

1. táblázat: Stabilizált talajminták CBR értékeiből számított M_R értékei

4. A DINAMIKUS TRIAXIÁLIS MÉRÉSEK ÉS A CBR TEHERBÍRÁSBÓL SZÁRMAZTATOTT ÉRTÉKEK ÖSSZEHASONLÍTÁSA

A szakirodalom a reziliens modulus közvetett meghatározására legtöbbször a CBR-értékből történő átszámítást javasolja, amihez több különböző összefüggés is létezik. Ezen összefüggések célja, hogy a még kevésbé elterjedt dinamikus triaxiális berendezést igénylő közvetlen mérés helyett az M_R értéke

egy egyszerűbb, kevésbé költséges laboratóriumi vagy helyszíni vizsgálattal is előállítható legyen. A laboratóriumi vizsgálatok során elvégzett CBR-mérések eredményeit 7 eltérő szakirodalmi ajánlás alapján számítottuk át MR értékek-ké, és vetettük össze a laboratóriumban mért reziliens modulus értékekkel. A kapott eredményeket az alábbi táblázat tartalmazza.

Az eredmények alapján a CBR teherbírásból számított reziliens modulusok jóval magasabbak, mint a közvetlen mérésből kapott értékek. Méréseinkhez az átszámítási módok közül a legkisebb értékeket adó Georgia Department of Transportation ajánlása adta a legközelebbi értékeket, azonban még ezek is 1,5-szer nagyobbra adódtak, mint a laboratóriumban dinamikus triaxiális berendezéssel mért MR értékek. A 7 különböző összefüggéssel meghatározott reziliens modulusok átlagértéke azonban ettől jóval magasabb, az eltérés akár 3-4-szeres is lehet.

5. ÖSSZEFOGLALÁS

Kutatásunk során az alternatív pályaszerkezet méretezési eljárás bemenő paraméterét, a földmű dinamikus, forgalmi terheléshez hasonló terhelésből adódó rugalmassági modulusát, az úgynevezett reziliens modulus (MR) értékének meghatározási lehetőségeit vizsgáltuk. Az MR a dinamikus teher és az annak hatására létrejövő rugalmas alakváltozás hányadosából számítható, közvetlen mérése dinamikus triaxiális berendezéssel történik, illetve a szakirodalomban fellelhetők más talajfizikai mérésekből (pl. CBR) való közvetett átszámítási módok is.

A vizsgálatok során homok és lösz talajokból kötőanyag hozzáadásával stabilizált minták dinamikus triaxiális vizsgálatait végeztük el, amelyekből meghatározott MR értékek a szakirodalomban fellelhető értékekkel jó azonos-ságot mutattak. A mérési eredmények alapján a homok talajoknál a kötő-anyag típusa és mennyisége, valamint a deviátor feszültség függvényében $MR=40-120\text{MPa}$, míg lösz talajoknál $MR=30-80\text{MPa}$ értékeket kaptunk. A stabilizált talajminták esetében a reziliens modulus értékek 4 nap víz alatti tárolás hatására nem mutattak számottevő értékcsökkenést, ami bizonyítja a stabilizált talajok vízzel szembeni ellenállóképességét. A reziliens modulus mérések során kiegészítő vizsgálatokat végeztünk, ahol további nagy számú (10.000db) teherciklussal terheltük a mintákat. A mérések szerint az MR értéke kvázi változatlanul tekinthető 10.000 ciklus után.

A reziliens modulus értékeket közvetett módszerrel CBR-teherbírásmérés eredményeiből is meghatároztuk. A számított értékek a dinamikus triaxiális berendezéssel mért MR értékeknél minden esetben magasabb értékeket mutattak, a különböző összefüggések alapján számítható értékek között akár fél nagyságrendi eltérés is lehet. A dinamikus triaxiális vizsgálatok eredményeiből közvetlenül kapott reziliens modulus értékek jó egyezést mutatnak a szakirodalomban fellelhető értékekkel. Egyelőre bizonytalan, hogy mi eredményezi

ezt az ellentmondást az eredményekben, ennek feloldására az összefüggések további elemzése és hazai összehasonlító vizsgálatok készítése lenne szükséges.

IRODALOMJEGYZÉK

- Achampong, F., Usmen, M., Kagawa, T. (1997): Evaluation of resilient modulus for lime- and cement-stabilized synthetic cohesive soils
- Berg, R. L., Bigl S. R., Stark, J., Durell, G. (1996): Resilient Modulus Testing of Materials from Mn/ROAD Phase1, Technical Report Minnesota Department of Transportation
- Buchanan, S. (2007): Resilient Modulus: What, Why and How?, Report, Vulcan Materials Company
- Durham, G. N., Marr, W. A., De Groff, W. L. (2003): Resilient Modulus Testing for Pavement Components ASTM STP 1437
- Primusz P., Tóth Cs., Pethő L. (2016): Alternatív méretezési eljárásokra vonatkozó tanulmány és az alternatív módszerek bevezetését segítő irányelv
- Qiu, X., Yang, Q., Wang, B., Luo, X. (2014): Prediction model of dynamic resilient modulus of cohesive subgrade soil based on triaxial test system, Key Engineering Materials Vols. 579-580, pp 873-876
- SAS, W., Gluchowski, A., Szymanski, A., (2012): Determination of the Resilient modulus MR for the lime stabilized clay obtained from the repeated loading CBR test, Annals of Warsaw University of Life Sciences Land Reclamation No44
- Szendefy J. (2009): A hazai talajok szerkezetének és teherbírásának változása meszes talajstabilizáció hatására, Phd dolgozat Budapesti Műszaki És Gazdaságtudományi Egyetem Építőmérnöki Kar
- Szendefy J. (2014): Viacsalcovaal kezelt talajok laboratóriumi vizsgálata, Geotechnika Konferencia, Ráckeve
- Szendefy J. (2017): Kutatási jelentés aszfaltburkolatú útpályaszerkezetek méretezésének alternatív módszere című tervezői utasítás geotechnikai paramétereinek pontosítására
- Vogrig, M. & all. (2003): A Laboratory Technique for Estimation the Resilient Modulus of Unsaturated Soil Specimens from CBR and Unconfined Compression Test, 56th Canadian Geotechnical Conference