

# Kavicscölöpözés az M7 autópályán

Az M7 autópálya Nagykanizsa – Becsehely között épülő szakaszán a tervező 15 db műtárgynál a háttöltések süllyedésének csökkentésére és a konszolidáció gyorsítása érdekében kavicscölöpözéses mélytömörítést írt elő. Az EMAB Rt. feladata a Z34 jelű kerethíd, valamint a Z36, Z37 és a Z39 jelű hidak háttöltésének kavicscölöpözési munkálatainak elvégzése volt. Műtárgyanként változó hosszúságú és kiosztású, de egységesen 70 cm átmérőjűre tervezett kavicsoszlopokat egy új, eddig a hazai gyakorlatban még nem alkalmazott technológiával készítettük el.

HRAGYIL TIBOR\*,  
KONDOR JÁNOS\*\*

**A** technológia használhatóságát jól példázza a Z37 jelű híd előtt, illetve mögött a puha, 4-6 m vastag közepes és kövér agyag rétegekben készített, kifogástalan minőségű kavicscölöpös mélytömörítés. A szóban forgó híd, amely az autópályát vezeti át az Újkúti árok felett, a műtárgyak közül az egyik legkedvezőtlenebb altalaj adottságokkal rendelkezik.

A műtárgy Ny-i illetve K-i hídfője felőli oldalán a feltárások szerint a kavicscölöpök által érintett rétegeket mindkét oldalon 2.2-2.5 m mélységig sötét- vagy barnásszürke, sodorható állapotú kövér agyag ( $I_p=32\%$ ,  $I_c=0.77$ ,  $W_L=57\%$ ) képezi. A Ny-i oldalon készített fúrásban 2,5-4,2 m között iszapos homokliszt ( $I=16\%$ ,  $HL=73\%$ ,  $H=11\%$ ), majd 4,2-4,8 m és 4,8-5,6 m között sötétszürke, sárgásszürke könnyen sodorható közepes agyag, végül barnafoltos, könnyen sodorható közepes agyag ( $I_p=21\%$ ,  $I_c=0.63$ ,  $W_L=47\%$ ) települt.

A K-i oldali fúrásban a vékony 2,2-2.7 m közötti iszap réteg után, 2.7-6.4 m között szürkésárga, barnafoltos, sodorható, közepes agyagtalajt azonosítottak, ( $I_p=23\%$ ,  $I_c=0.94$ ,  $W_L=42\%$ ), az összenyomódási modulus a kompressziós vizsgálat szerint  $E_s=5,9 \text{ MN/m}^2$ .

A fúrásokhoz hasonlóan a K-i oldali fúrás közelében készült CPT szonda diagramjai  $z=7,0 \text{ m}$  mélységig ( $100f_s/q_c=2-6 \%$  között) agyagot, iszapot és iszapos agyagot jeleznek. A csúcscellenállás  $z=0-5,5 \text{ m}$  tartományban a felső 3,0 m-nél mért kisebb,  $q_c=0,8 \text{ MN/m}^2$ -től eltekintve  $q_c=1,0-2,0 \text{ MN/m}^2$  közé esik.

A talajvíz megütött szintje a K-i oldali fúrásban  $z=3,2 \text{ m}$ -en (2003.11.27) jelentkezett. A nyugalmi vízszint 2,3 m-el feljebb alakult ki.

A terület agyagtalajának nyírószilárdsága elsősorban a CPT szondázás alapján becsülhető.

Az [1] szerint a kötött talajok drénezetlen nyírószilárdsága a

$$c_u = \frac{q_c - \sigma'}{13,4 + 6,65 \cdot w_L}$$

tapasztalati összefüggésből számítható.

A képletben a

$q_c$ : a CPT szonda csúcscellenállása

$\sigma'$ : az adott mélységben működő hatékony függőleges feszültség

$w_L$ : a kötött talaj folyási határa

A CPT diagramról kapott csúcscellenállások átlaga  $z=6,0 \text{ m}$ -ig:  $q_c=0,92 \text{ MN/m}^2$

A hatékony feszültség átlaga:

$$\sigma' \cong \frac{6}{2} \cdot 20 = 60 \text{ kN/m}^2$$

A CPT -hez közeli fúrásban  $z=0-6 \text{ m}$  közötti sávban a folyási határ átlaga:

$$W_L = \frac{1}{2} (55 + 40) = 47,5\%$$

A fentiek szerint az átlagos drénezetlen nyírószilárdságra:

$$c_u \cong 52 \text{ kN/m}^2\text{-t kapunk.}$$

A tapasztalatok szerint a vibrótömedékeléses mélytömörítés azokban a talajösszetételekben lehetséges, illetve eredményes, ahol a drénezetlen nyírószilárdság  $c_u=15-70 \text{ kN/m}^2$  tartományban van. Az alsó határ alatt a kavicsoszlop nem kap elég megtámasztást, ezért csak gazdaságtalanul nagy sűrűségű kavicscölöp kiosztás, vagy a kitöltő anyag ha-barcsosítása ad elfogadható teherbírást. A felső határ fölött pedig nem tartják szükségesnek a mélytömörítést. Mint látjuk, ez esetben a  $c_u$  a határértékek között van, tehát a kavicscölöpözés e vonatkozásban is indokolt.

A zalai agyagok összenyomódási modulusát  $q_c=0,2-3,2 \text{ MN/m}^2$  tartományban elfogadhatóan becsülhetjük az alábbi – MÁVTI mérésekből nyert – tapasztalati összefüggésből,  $z=100-200 \text{ kN/m}^2$  között:

$$E_s \cong -1,16q_c^2 + 7,55q_c + 0,23 \cong 6,3$$

,  $\text{MN/m}^2$  ami lényegében megegyezik laboratóriumban mért adatokkal.



Tájékozódásul: a  $h=9,0$  magas töltéssel terhelt, kavicscölöpökkel érintett  $z=6,0$  m-s zóna összenyomódása:

$$\Delta h \cong \frac{9 \cdot 20}{7700} \cdot 6,0 = 0,17 \text{ m}$$

Az alkalmazott technológia lényeges elemei és fázisai:

a./ a  $0,3-0,5$  m, vagy esetenként még vastagabb felső – viszonylag kemény – réteget úgynevezett előszűrással egy speciálisan kiképzett függőleges helyzetű cső levibrálásával bővítjük a szükséges méretre. Az acélcsövet a hidraulikus működtetésű vibrátor a kívánt mélységre vibrálja. A tervezett mélység elérésekor a vibrálást a fedélzeti számítógép leállítja. Ez a mélység a Z37 műtárgynál  $z=6,0$  m, a csőátmérő  $d=0,5$  m volt. A csövet visszahúzzuk és a hengeres üreget az adagoló segítségével feltöltjük az ellenőrzött minőségű kitöltő anyaggal, ami esetünkben a Mu-ra folyó homokos kavics hordaléka. A műveletet a tervezett cölöpátmérő függvényében szükség szerint megismételjük.

b./ A következő a fázisban először a vibro-lándzsát vibrációs üzemmódban, alacsony nyomású levegősugár mellett, acélsodronyra függesztve a homokos kavics oszlopra helyezük. A lándzsa, a vibrációs hatás, a súly, a lándzsa él szélessége, valamint a talaj nyírószilárdsága által megszabott egyensúlyi

sebességgel a határmélységig süllyed, miközben tömöríti a kitöltő anyagot, ugyanakkor tovább bővíti a hengert is. A technológiában azt a mélységet tekinthetjük határmélységnek, amikor a vibrátor hidromotorjának olajnyomása eléri a maximumot. E mélység elérése után a lándzsát a felszínre húzzuk, a kitágított hengeres üreget feltöltjük, majd a lándzsával folytatjuk a tömörítést mindaddig, míg a tömörített kavicsoszlop eléri a terepszintet.

Üzemközben a vibro-flot lándzsa mélységi helyzetét, valamint a vibrátort hajtó hidromotor olajnyomását az alkalmazott elektronikus adattárolók folyamatosan rögzítik. Ezen adatokkal történik a kavicscölöpök minősítése.

A technológia jól alkalmazkodik a keményebb felső rétegekhez, kihasználva a nagyobb nyírószilárdságot a szabadon felfüggesztett vibro-flotációs lándzsa megvezetésére.

A kavicscölöpök átlagos átmérője a következők szerint alakul:

A levibrált cső átmérője  $d=0,5$  m. A vibro lándzsa által készített henger sugaránál a vibrálás és a tölcseresedés miatt átlagosan 20% átmérő növekedéssel lehet számolni. Ha figyelembe vesszük, hogy a kitöltő homokos kavics Proctor kísérlettel meghatározott legnagyobb száraz térfogatsűrűsége  $\rho_{dmax}=2,20 \text{ g/cm}^3$  és feltételezzük, hogy a homokos kavics hengeres üregbe szórt átlagos, laza térfogatsűrűsége:  $\rho_{laza}=1,70 \text{ g/cm}^3$  valamint, hogy a cölöpözés során az átlagos tömörítési fok eléri a  $T_{rp}=90\%$ -t

Ekkor a tömörített átlagos térfogatsűrűsége:  $\rho_{\text{tör}} \text{ g/cm}^3$

$$\rho_{\text{tör}} = \frac{T_{rp}}{100} \cdot \rho_{dmax} = \frac{90}{100} \cdot 2,2 = 1,98$$

A térfogatcsökkenés,

$$\eta = \frac{\rho_{laza}}{\rho_{\text{tör}}} = \frac{1,7}{1,98} = 0,858$$

az agyagtalaj tömörödését a henger tágításakor a biztonság javára elhanyagoltuk.

A fentiek alapján elméleti úton is levezethető, hogy a mélyebb, pu-

hább rétegekben a kavicsoszlop átmérője legalább  $D=0,72$  m. Ha a számításokat a kedvezőtlenebb  $\rho_{laza}=1,65 \text{ g/cm}^3$  feltételezéssel végezzük el, akkor az átmérőre  $D=0,71$  m adódik.

Az alkalmazott technológia a fenti adatokkal a kavicscölöp átmérőjét tekintve is megfelel.

A  $H=6,0$  vastag réteg összenyomódása a kavicscölöpök figyelembevételével a [3] szerint az alábbi adatok alapján:

Raszter méret:  $3 \times 3$  m,

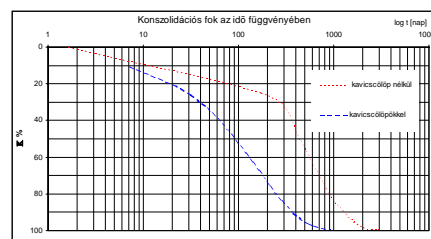
$E_s=50 \text{ MN/m}^2$ ,  $D=0,72$  m és,  $\phi 38 \text{ }^{\circ} p=180 \text{ kN/m}^2$

A javított talaj összenyomódása:  $\Delta h_t = 0,13$  m

A kavicscölöp összenyomódása:  $\Delta h_c = 0,098$  m

Érdemes megfigyelni, hogy a kavicscölöpök még ilyen laza kiosztás mellett is körülbelül 25 %-al csökkentik a réteg összenyomódását.

A  $H=6,0$  m vastag agyagréteget nyílt rétegnek ( $H=2 \times 3$  m) tekintve és  $k=10^{-10}$  m/s szivárgási tényezőt feltételezve a [2] ajánlásaival számított konszolidációs függvényt az 1. ábra mutatja.



1. ábra. A kavicscölöpökkel érintett zóna konszolidációja

#### Irodalom

[1] T.Lunne, P.K. Robertson and J.J. M. Powel Cone Penetration Testing in Geotechnical Practice, BLACKIE ACADEMIC & PROFESSIONAL, First edition 1997.

[2] Kézdi, Á.-Réháti, L. Handbook of Soil Mechanics, Akadémiai Kiadó, Budapest, 1988

[3] Heinz J. Priebe: The design of vibro replacement, Ground Engineering, Dec. 1995

\* Hragyil Tibor termelési igazgató EMAB Rt

\*\*Kondor János osztályvezető MÁVTI