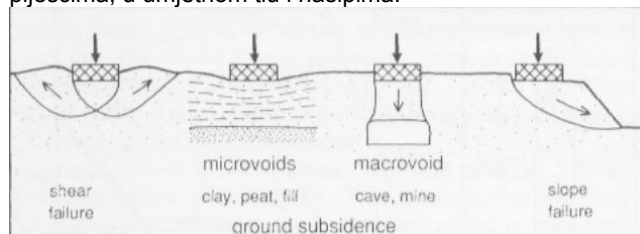


16 USIJEDANJE

Usijedanje je moguće jedino tamo gdje se materijal koji izgrađuje podzemlje može premjestiti u bilo koju vrstu podzemnih šupljina, koje su opet karakteristične za određene vrste stijena.

Makrošupljine, velike kaverne: kaverne nastale otapanjem vapnenca; puno su rjeđe prirodne kaverne u ostalim vrstama stijena, uključivo sol i bazalt; kaverne nastale rudarenjem u bilo kojoj vrsti stijena.

Mikrošupljine u vrlo poroznim, deformabilnim stijenama: najvažnije u glinama; u tresetu, nekim prahovima i nekim pijescima; u umjetnom tlu i nasipima.



Usijedanje se ne može dogoditi na čvrstim, nepotkopanim stijenama – pješčenjaku, granitu, muljnjaku, slejtu – osim u slučaju posmičnog sloma i rotacijskog premiještanja prema površini i to pod nekim prevelikim opterećenjem ili klizanjem na mjestu gdje je za to povoljan profil kosine.

Hazard potencijalnog usijedanja može se stoga predvidjeti (procijeniti) na osnovi vrste stijene prema geološkim kartama.

Sve stijene se zbijaju pod opterećenjem. Slabi muljnjak ili pješčenjak može se zbijati dovoljno da bi prouzročio slijeganje građevina, ali normalno je da je ono unutar prihvatljivih granica.

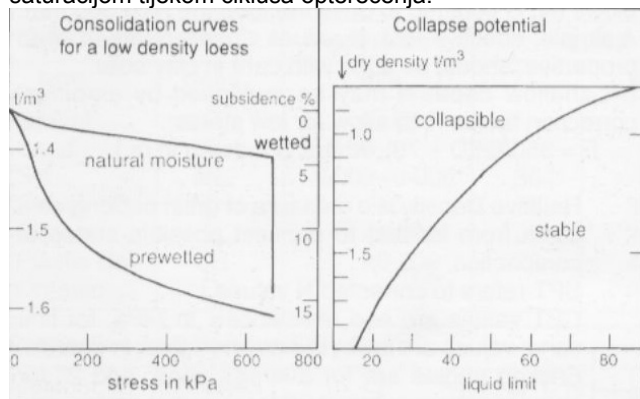
HIDROKOMPAKCIJA KOLAPSIBILNOG TLA

Neka sitnozrnata tla slome se uslijed promjena u strukturi u trenutku kada su prvi put saturirana; ova hidrokompakcija može prouzročiti usijedanje od 15% od debljine tla. Slom, tj. urušavanje tla se dešava zbog potpunog gubitka kohezije, nakon rušenja slomljivih veza među glinama ili otapanjem topivog cementa.

Les se najlakše urušava ako sadrži oko 20% gline; s više ili manje gline od toga, manje je nestabilan.

Aluvijalni prahovi istaloženi tijekom poplava u semi-aridnim bazenima, neka tropska tla i neki umjetni nasipi mogu se također urušavati prilikom saturacije.

Potencijal kolapsibilnosti je najviši u tlu sa suhom gustoćom $<1.5 \text{ t/m}^3$, granicom tečenja <30 i vlagom $<15\%$ u suhim klimama. Ovaj potencijal se može prepoznati pokusom konsolidacije s naknadnom saturacijom tijekom ciklusa opterećenja.



Hazard usijedanja je najveći u sušnim poručjima koja se navodnjavaju, npr. Centralna dolina u Kaliforniji. Urušavanje tla može se umjetno izazvati prije gradnje poplavlivanjem.

PRIRODNE KAVERNE

Najčešće u vapnencima i gipsu; rjeđe u drugim vrstama stijena.

Vapnenac je stijena topiva u vodi. Otapa se u kišnici obogaćenju ugljičnim dioksidom; proces dominantan u toplim i vlažnim klimama.

Krški fenomeni su erozijski oblici nastali otapanjem ogoljelih površina stijene, na površini osnovne stijene prekrivenoj tlom i unutar stijene.

Šiljasta površina osnovne stijena - jako raspucana površina vapnenca ispod pokrivača tla. Visoki, uski, nestabilni šiljci poduprijeti su jedino tlom, a pukotine se mogu proširiti u špilje na velikim dubinama.

VRTAČE

Različiti oblici udubljenja površine približno stožastog oblika u podzemlju. Različiti tipovi vrtača imaju različit utjecaj na inženjerske radove.

Vrtače otapanja nastaju polako kao slijepe doline; nema opasnosti od usijedanja zbog sporog formiranja.

Vrtače urušavanja nisu česte, a slom stijene je rijedak.

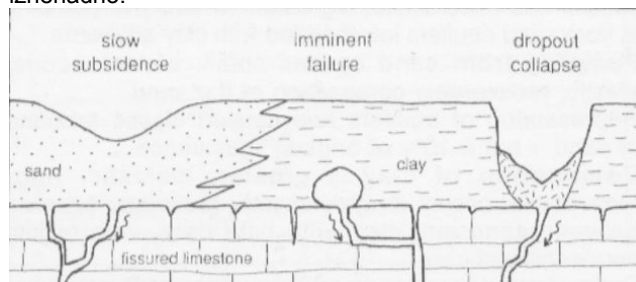
Procesima urušavanja nastaje više vrtača; tijekom geološkog vremena u vapnencima su kreirane cijele zone slomljene nestabilne stijene.

Zatrpane vrtače su potencijalno opasne za diferencijalno slijeganje. Mogu biti stožastog oblika, cilindričnog ili nepravilnog; izolirane ili povezane; dubine 1-50 m, široke 1-200 m. Predstavljaju ekstremni oblik reljefa površine osnovne stijene s kratkim zatrpanim dolinama.

Vrtače usijedanja obuhvaćaju 99% urušavanja podzemlja u vapnencima. Oblikuju se u pokrivaču tla, iznad kavernozone stijene uslijed ispiranja tla u pukotinama osnovne stijene. Primjer vrtača može biti 1-100 m. Lokacije su nepredvidive, uglavnom u tlu debljine 2-15 m.

U pjeskovitim tlima površina sporo usijeda.

U glinovitim tlima - kaverna prvo nastaje u osnovnoj stijeni, a tada se širi sve dok se ne slomi most koherentnog tla, tako da je propadanje površine iznenadno.



Vrtače inducirano usijedanja puno su češće od onih nastalih prirodnim slomom stijene. Prouzročene su na mjestima na kojima je drenaža kroz osnovnu stijenu povećana, tako da se ispire više tla. Najčešće prouzročeno oborinama.

Sniženje razine podzemne vode učinkovito pogoduje postanku vrtača, i to većinom kada se ona spusti ispod razine površine osnovne stijene. Ovim procesom obično su zahvaćena velika područja ako je uzrok sniženja preveliko crpljenje podzemne vode (kao na Floridi); a mogu biti i manja područja u slučaju kada se razina vode snižava zbog građevinskih ili rudarskih radova (površinskih ili podzemnih).

Nekontrolirana drenaža u okviru građevinskih projekata uzrokuje stvaranje mnogih novih vrtača; također i opterećenje građevinama, iskapanja, uklanjanje vegetacije, navodnjavanje i cjevovodi koji propuštaju.

USIJEDANJE NA GLINAMA

Gline imaju visok porozitet, a zrna minerala glina su podložna deformiranju.

Kompakcija = smanjenje volumena = konsolidacija. Uslijed gubitka vode (primarna konsolidacija) praćena promjenama u strukturi (sekundarna konsolidacija).

Konsolidacija glina, usijedanje površine i slijeganje građevina povećava se uslijed opterećenja ili uslijed gubitka vode.

Usijedanje je najveće na debelim slojevima glina, s visokim sadržajem smektita, niskim udjelom praha i kod mladih sedimentata s minimalnom povijesti prekonsolidacije.

Nosivost glina varira u rasponu 50-750 kPa, što uveliko ovisi o vlažnosti.

Starije gline, šejlovi i muljnjaci su jači i manje stišljivi; jaki muljnjak može imati BSP=2000 kPa; za starije šejlove karakteristična je cjepljivost.

SLIJEGANJE

Do konsolidacije gline dolazi kada je izložena opterećenju.

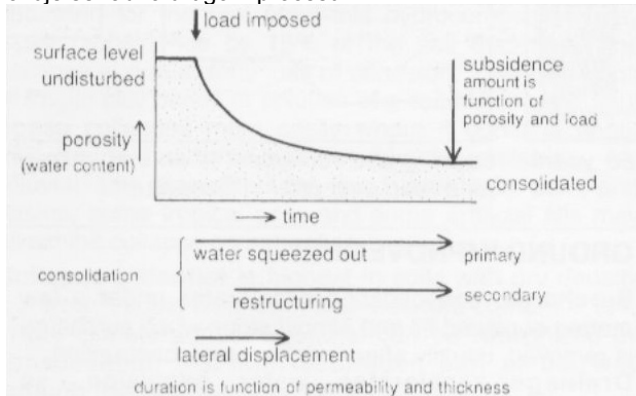
Neki stupanj slijeganja događa se kod svih gline.

Uslijed primijenjenih naprezanja voda izlazi iz glina.

Slijeganje tla i usijedanje građevina ovisi o početnoj vlažnosti glina i primijenjenim naprezanjima; što se laoboratorijski procjenjuje pokusom konsolidacije.

Mjere sprečavanja usijedanja se provode izbjegavanjem opterećivanja glina ili čekanjem da se slijeganje zaustavi (ili reducira do prihvatljive veličine).

Umjereno slijeganje ispod zgrada može slomiti krte drenove; nakandno procurivanje može isprati tlo stvaranjem kanala; ovo također uzrokuje usijedanje, ali ovdje se radi o drugom procesu.



STEZANJE

Konsolidacija glina se ubrzava gubitkom vode.

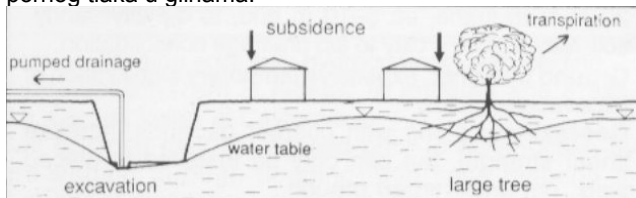
Sve gline iskazuju neki stupanj stezanja.

Voda se drenira, uzrokuje smanjenje volumena dreniranog tla; također i gubitak potpore koju pruža porni tlak.

Korijenje bilja uzrokuje stezanje u gornjih 2 m glinovitog tla, a u Londonskim glinama može dosegnuti i 6 m za vrijeme suhijh ljeta.

U Britaniji osigiranje šteta na kućama koje uzrokuje stezanje glina iznosi približno 500 milijuna GBP godišnje.

Crpljenje može uzrokovati drenažu određenog područja a time i stezanje tla. Neopodna je kontrola i stabilizacija pornog tlaka u glinama.



DIFERENCIJALNO SLIJEGANJE

Slijeganje građevina je najopasnije kada je diferencijalno. Do njega uglavnom dolazi zbog nejednolikog opterećenja, lateralnih promjena udjela praha u tlu, prisustva stijene u tlu ili nekontrolirane drenaže. Nagibanje visoke građevine uzrokuje diferencijalno opterećenja, čime ubrzava diferencijalno slijeganje.

KOSI TORANJ U PIZI

Toranj katedrale, visok 58 m, težine 14000 t.

Glavno slijeganje se dogodilo zbog kompaktacije i deformacije meke gline na dubini 11-22 m. Diferencijalno kretanje vjerojatno je započelo zbog promjena sadržaja glina u sloju prahova; a kasnije zbog nesimetričnog opterećenja.

Stabilizacija 1993-2001. godine pomoću kontroliranog izazvanog usijedanja sjeverne strane. Privremena kontra težina od 600 t vratila je toranj 15 mm. Izbušena je 41 nezacjevljena bušotina, promjera 225 mm, kako bi se otklonilo 35 m³ tla, što je povratilo toranj natrag za dodatnih 425 mm; te je sada stabilan.

Privezivanje kablovima poslužilo je samo kao mjera sigurnosti za vrijeme bušenja.

