



КУЗЛО МИКОЛА ТРОХИМОВИЧ

Кандидат технічних наук, доцент кафедри основ і фундаментів Національного університету водного господарства та природокористування (м. Рівне)

Основні напрямки наукової діяльності: оцінка стійкості ґрунтових укосів і природних схилів при пониженні рівня води у водоймищах; прогноз деформацій і несучої здатності ґрунтових масивів при зміні гідрогеологічних умов та дії техногенних факторів.

Автор понад 40 опублікованих наукових праць.

E-mail: kuzlo-@ ukr. net

УДК 624.131

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КОНЦЕНТРАЦІЇ СОЛЬОВИХ РОЗЧИНІВ НА СИЛИ ЗЧЕПЛЕННЯ У ГЛИНИСТИХ ҐРУНТАХ

Ключові слова: сили зчеплення ґрунту, коефіцієнт фільтрації, напружено-деформований стан.

Отримано експериментальну залежність питомого зчеплення ґрунту від концентрації сольового розчину. Наведена математична модель оцінки напружено-деформованого стану ґрунту з урахуванням зміни сил зчеплення при фільтрації сольових розчинів.

Получена экспериментальная зависимость удельного сцепления ґрунта от концентрации солевых растворов. Представлена математическая модель оценки напряженно-деформированного состояния ґрунта с учетом изменения сил сцепления при фильтрации солевых растворов.

The experimental dependence of the specific adhesion of soil on the concentration of salt solution has been obtained. Mathematical model for evaluating stress-strain state of soil to the changing forces of adhesion about filtering salt solutions has been showed.

На міцнісні властивості глинистих ґрунтів помітну, іноді основну роль, відіграють внутрішні сили зв'язності, що не залежать від нормального тиску. Сили зв'язності в глинистих ґрунтах виникають від ряду факторів [1,2]:

- наявності природних цементно-колоїдних гелів і солей, як розчинних, так і нерозчинних у воді (жорсткі цементацийні зв'язки);
- водно-колоїдних зв'язків, що утворюються під впливом сил молекулярного протягування та іншими фізико-хімічними процесами.

На сьогоднішній час досить детально вивчено вплив вологості і ущільнення ґрунту на сили зв'язності. Так, сили зв'язності глинистих ґрунтів, що визвано молекулярним силами, зменшуються зі збільшенням вологості у зв'язку із зменшенням між частинних сил при збільшенні товщини шарів зв'язаної води, що покриває ґрунтові частинки.

Сили зв'язності глинистих ґрунтів, що визваної цементациєю, є більш стійкими, якщо тільки вони не пов'язані із вмістом в ґрунті водорозчинних солей.

Метою роботи є дослідження впливу концентрації сольових розчинів на сили зв'язності глинистих ґрунтів.

В механіці ґрунтів, сили зв'язності прийнято характеризувати питомим зчепленням C . Крім того, розрізняють: структурне зчеплення C_s , що утворилося цементацийними зв'язками і відновлююче зчеплення C_w , що утворилося водно-колоїдними зв'язками. Зчеплення глинистих ґрунтів іноді розглядається як опір внутрішньому тертю, яке викликане умовним еквівалентним тиском, що створений силами зв'язності. Внутрішній еквівалентний тиск можна визначити шляхом випробування глинистих ґрунтів на зсув або на стиснення в умовах трьохстороннього розширення на момент руйнування зразку ґрунту за формулою:

$$P_A = C \cdot ctg\varphi, \quad (1)$$

де C - питоме зчеплення ґрунту;
 φ — кут внутрішнього тертя ґрунту.

В даній роботі пропонується вивчення вплив сил зчеплення ґрунту на тиск, що еквівалентний внутрішнім силам зв'язності в залежності від концентрації сольових розчинів. В якості сольового розчину, яким будуть насичуватись ґрунтові пасти прийнято використовувати $NaCl$ з концентрацією від 0 до 50 г/л.

Випробування виконувались за стандартною методикою згідно ДСТУ Б В.2.1-4-96 методом одноплощинного зрізу. Для випробування використовувались зразки ґрунту порушеної будови у вигляді ґрунтової пасти із заданими показниками їх характеристик. У зв'язку з необхідністю попереднього ущільнення зразків використовувались ущільнювачі, які дозволяли робити ущільнення ґрунту при заданому тиску та вологості. Кожен ступінь тиску при попередньому ущільненні, витримували згідно стандарту для суглинків з числом пластичності $I_p > 12$, протягом 12 годин, а кінцевий ступінь - до досягнення умовної стабілізації деформацій стиску зразка ґрунту. За критерій умовної стабілізації деформацій приймався її приріст, що не перевищує 0,01мм за 12 годин.

Після попереднього ущільнення зразок ґрунту швидко розвантажувався та переносився у зрізуючий прилад. Далі на зразок передавався той самий тиск, при якому відбувалося попереднє ущільнення ґрунту. Кожне фіксоване нормальне навантаження передавалося на зразок в один ступінь і витримувалося згідно стандарту для суглинків, не менше 30хв. Після того, як на зразок ґрунту було передано нормальне навантаження, прикладалось горизонтальне (дотичне) навантаження ступенями, що складало 5% від значення нормального навантаження. На кожному ступені навантажування при умовній стабілізації фіксувалися деформації зрізу.

За критерій умовної стабілізації деформацій зрізу приймалась швидкість деформацій, що не перевищувала 0,01мм/хв..

Випробування вважалось закінченим, якщо при прикладанні чергового ступеня дотичного навантаження загальна деформація зрізу буде перевищувати 5мм.

За визначеними в процесі випробування значення дотичного і нормального навантажень обчислювались дотичні та нормальні напруження τ та σ .

Питоме зчеплення C визначалось за формулою:

$$C = \frac{\sum \tau_i \cdot \sum \sigma_i^2 - \sum \sigma_i \cdot \sum \tau_i \sigma_i}{n \cdot \sum (\sigma_i)^2 - \sum (\sigma_i)^2}, \quad (2)$$

де τ_i — дослідні значення опору зрізу, що визначені при різних значеннях σ_i ; n - число випробувань.

Дослідженнями встановлено, що міцність глинистих ґрунтів залежить не тільки від їх складу, ущільнення і вологості, але і від концентрації солей в поровій воді. Ці дослідження показали, що зміна концентрації порового роз-

Таблиця 1. Дані експериментальних досліджень питомого зчеплення ґрунту в залежності від концентрації сольових розчинів.

Концентрація солей, г/л	Вологість, %	Вологість на межі текучості, %	Вологість на межі пластичності, %	Число пластичності, %	Питоме зчеплення, кПа
0	40,2	29,3	17,0	12,3	3,0
5	40,3	30,4	17,5	12,9	5,5
10	40,3	32,7	17,8	14,9	6,5
15	40,4	35,6	18,2	17,4	8,0
20	40,4	38,1	18,4	19,7	8,5
25	40,4	40,2	18,5	21,7	9,6
30	40,4	44,6	18,6	26,0	10,0
35	40,4	44,8	18,6	26,2	10,2
40	40,4	44,8	18,7	26,1	10,9
45	40,4	45,0	18,7	26,3	11,0
50	40,4	45,0	18,8	26,2	11,0

чину, суттєво впливає на сили зв'язності глинистих ґрунтів.

Досліди виконувались з пастами, що були приготовлені з лесовидних суглинків. Основні показники властивостей ґрунту та результати дослідження наведені в таблиці 1.

В результаті проведених експериментальних досліджень та їх математичної обробки і поширення цих досліджень на інші ґрунти була застосована мультиквадратична радіально базисна функція, що в загальному вигляді записується:

$$\varphi(r, \varepsilon) = \sqrt{1 + (r, \varepsilon)^2}. \quad (3)$$

Для нашого випадку отримано наступну залежність питомого зчеплення від концентрації сольового розчину:

$$C = \sum_{i=1}^{11} a_i \cdot \sqrt{1 + (\bar{C} - \bar{C}_i)^2}, \quad (4)$$

де a_i - вільні члени, що отримали в процесі статистичної обробки, $a_1 = 0,44569412$; $a_2 = -0,2390127$; $a_3 = 0,09845744$; $a_4 = -0,1414456$; $a_5 = 0,0972468$; $a_6 = -0,0929422$; $a_7 = -0,0222066$; $a_8 = 0,07174023$; $a_9 = -0,079025$; $a_{10} = -0,0198$; $a_{11} = 0,14988672$;

\bar{C} - будь-яке значення концентрації якими можна задатися для визначення питомого зчеплення C ;

\bar{C}_i - експериментальні дані концентрації при i -тому дослідженні.

Також результати експерименту в найзручнішому вигляді з вибором оптимального масштабу наведено на рисунку 1.

Як видно з результатів досліджень, що зі збільшенням концентрації сольового розчину для приготовленої

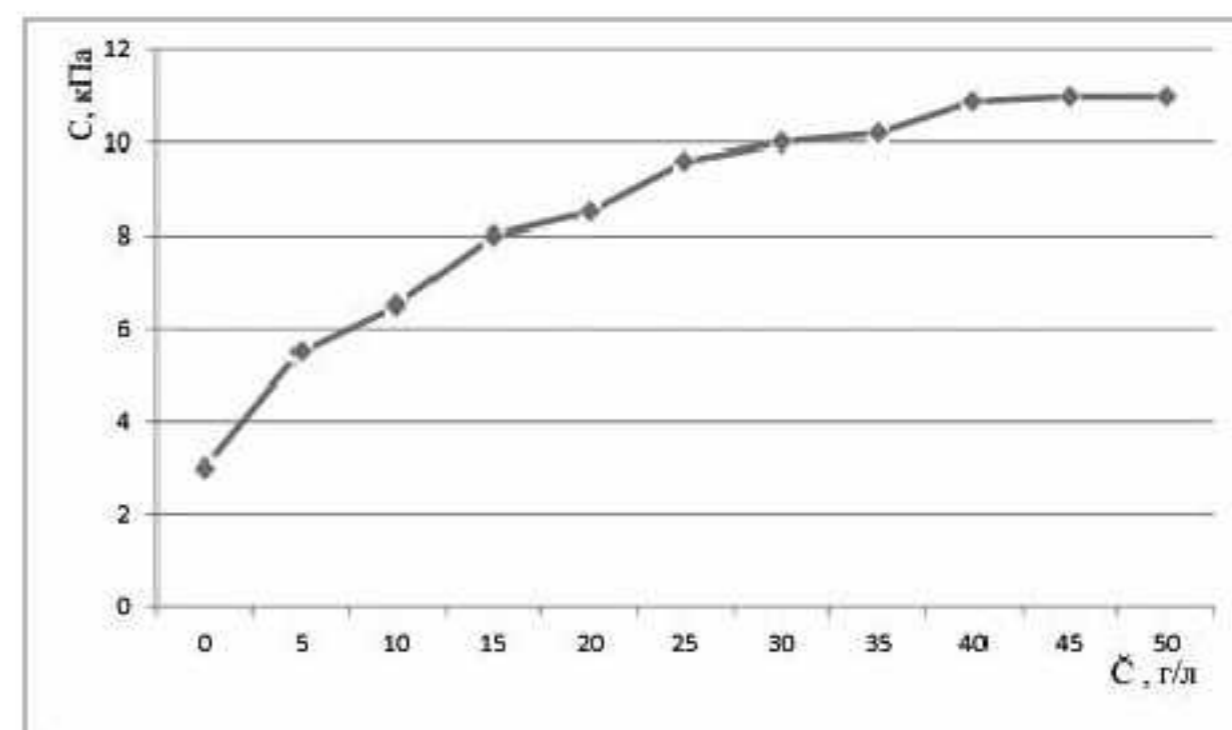


Рис.1. Графік залежності питомого зчеплення ґрунту від концентрації сольового розчину

ґрунтової пасти питоме зчеплення в декілька разів більше ніж у дистильованій воді. Це можна пояснити тим, що насичений сольовим розчином глинистий ґрунт являє собою дисперсну систему, в якій розчинені солі можна розглядати як дисперсне середовище, а глинисті мінеральні частинки - як її дисперсну фазу.

Однією з найбільш важливих особливостей мінеральних часток є те, що вони несуть електричний заряд, що відіграє велику роль при формуванні структури ґрунтів і в значній мірі обумовлює їх фізико-механічні властивості.

Більшість мінеральних часток ґрунту у природному стані заряджені негативно, що пояснюється присутністю на їх поверхні аніонів, які входять у їхні кристалічні ґратки. Негативно заряджена мінеральна частка і навколишні її катіони утворюють подвійний електричний шар. Катіони, що складають зовнішній шар, здатні обмінюватися на катіони розчину, з яким стикається мінеральна частка, причому обмін цей відбувається у еквівалентних відношеннях.

Чим більший заряд мінеральних часток, тим стійкіша дисперсна система. Як тільки частки втрачають свій заряд і стають нейтральними, то навколишні їх водні оболонки руйнуються, частки збираються в комки і виділяються із розчину - дисперсна система руйнується. Процес, зв'язаний із втратою електричного заряду і злиття окремих часток у комки називають коагуляцією. Процес коагуляції відбувається в результаті підвищення концентрації сольових розчинів, що оточують мінеральні глинисті частинки. Так, як при цьому зменшується товщина ущільнених оболонок навколо мінеральних часток вони легко злипаються між собою. Таким чином, підвищення концентрації сольових розчинів може суттєво збільшити сили зв'язності між глинистими мінеральними частинками, що призводить до зміни напружено-деформованого стану ґрунтового масиву. Так, як напружений стан ґрунту залежить не тільки від напружень, що виникли від зовнішніх навантажень, але й від внутрішніх сил, що діють в самому ґрунті.

До числа внутрішніх сил, що впливають на напружений стан водонасиченого сольовими розчинами ґрунту, відносять:

1. Вертикальний тиск від власної ваги ґрунту у зваженому стані γ_{sb} ;
2. Гідродинамічний тиск води, що діє за напрямком руху лінії току

$$\Phi = \gamma_w \frac{\partial H}{\partial S},$$

де γ_w - питома вага рідини; $\partial H/\partial S$ - похідна напору за напрямком лінії току;

3. Тиск, що виникає за рахунок сил зв'язності в глинистих ґрунтах, $P_c = C \cdot \text{tg} \varphi$.

Таким чином, напружено-деформований стан ґрунту, що насичений сольовими розчинами визначається за дією об'ємних сил γ_{sb} , Φ , P_c .

Визначення самих напружень в умовах плоскої задачі запишеться у вигляді системи рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} = \gamma_{sb} + \gamma_w \frac{\partial H}{\partial z} + C \cdot \text{ctg} \varphi; \\ \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} = \gamma \frac{\partial H}{\partial x}; \\ \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(k_{x(c)} \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k_{z(c)} \frac{\partial H}{\partial z} \right) \right] = 0, \end{cases} \quad (5)$$

де σ_x , σ_z - горизонтальні і вертикальні напруження в скелеті ґрунту; k_x , k_z - коефіцієнти фільтрації ґрунтового масиву відповідно у горизонтальному і вертикальному напрямках.

Приймається, що коефіцієнти фільтрації залежать від концентрації сольового розчину [3]:

$$k_{(c)} = a_5 \cdot c^5 + a_4 \cdot c^4 + a_3 \cdot c^3 + a_2 \cdot c^2 + a_1 \cdot c + a_0, \quad (6)$$

де $a_5 = 5,94 \cdot 10^{-2}$; $a_4 = -1,67 \cdot 10^{-1}$; $a_3 = 1,70 \cdot 10^{-1}$; $a_2 = -7,43 \cdot 10^{-2}$; $a_1 = 1,05 \cdot 10^{-2}$; $a_0 = 1,005 \cdot 10^{-3}$.

У даному випадку фільтрація сольових розчинів в ґрунтовому масиві відбувається згідно модифікованому закону А.Дарсі:

$$\begin{cases} v = k_{x(c)} \frac{\partial H}{\partial x}; \\ v = k_{z(c)} \frac{\partial H}{\partial z}. \end{cases} \quad (7)$$

ВИСНОВКИ:

На основі експериментальних досліджень встановлено, що питоме зчеплення у глинистих ґрунтах залежить не тільки від їх мінералогічного складу, ущільнення і вологості але і від концентрації солей в поровій воді. З метою поширення даних досліджень на інші глинисті ґрунти, отримано емпіричну залежність питомого зчеплення від концентрації сольового розчину. Подальшими дослідженнями можуть бути оцінка напружено-деформованого стану ґрунтових масивів з урахуванням сил зв'язності, що залежать від концентрації сольових розчинів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Денисов Н.Я. Строительные свойства глинистых пород и их использование в гидротехническом строительстве. - М.: 1956 - 288 с.
2. Шаров В.С. Природа глины и ее отношение к воде и раствором. Гидрогеология и инженерная геология. - №5 - 1940.
3. Власюк А.П., Кузло М.Т. Експериментальні дослідження деяких параметрів фільтрації сольових розчинів у піщаних ґрунтах. Меліорація та водне господарство. Міжвідомчий тематичний науковий збірник. - К.: Аграрна наука - 200 - випуск 87 - с. 43-46.