

УДК 625.02-032.61

## ДОСЛІДЖЕННЯ МІЦНОСТІ УКРІПЛЕНИХ ҐРУНТІВ НА РОЗТЯГ МЕТОДОМ РОЗКОЛЮВАННЯ

**В. О. Голеско, проф., к. т. н.,  
Харківський національний автомобільно-дорожній університет**

*Анотація.* Наведено результати експериментальних досліджень міцності укріплених ґрунтів на розтяг методом розколювання. Одержано кількісні характеристики міцності, оцінено достовірність результатів.

*Ключові слова:* укріплений ґрунт, міцність, метод розколювання, достовірність.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ УКРЕПЛЕННЫХ ГРУНТОВ НА РАСТЯЖЕНИЕ МЕТОДОМ РАСКАЛЫВАНИЯ

**В. А. Голеско, проф., к. т. н.,  
Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет**

*Аннотация.* Приведены результаты экспериментальных исследований прочности укрепленных ґрунтов на растяжение методом раскалывания. Получены количественные характеристики прочности, оценена достоверность результатов.

*Ключевые слова:* укрепленный ґрунт, прочность, метод раскалывания, достоверность.

## ANALYSIS OF SPLITTING TENSILE STRENGTH OF SOILS BY MEANS OF CLEAVING METHOD

**V. Golesko, Prof., Ph. D. (Eng.),  
Kharkiv National Automobile and Highway University**

*Abstract.* The results of experimental studies of splitting tensile strength of soils by means of cleaving method are specified. The quantitative characteristics of strength are obtained; the accuracy of the results obtained is assessed.

*Key words:* soil stabilization, strength, splitting method, accuracy.

### Вступ

Укріплені ґрунти широко застосовуються в дорожньому будівництві. Різноманітність типів ґрунтів і способів їх укріплення мінеральними та органічними в'язучими дає можливість цілеспрямовано використовувати ці матеріали в шарах дорожнього одягу [1].

Як і будь-який матеріал, укріплені ґрунти за своїми механічними характеристиками мають відповідати складному напружено-деформованому стану дорожньої конструкції.

Серед критеріїв міцності дорожніх матеріалів, зокрема укріплених ґрунтів, є метод випробування їх на розтяг шляхом розколю-

вання зразків стискальним навантаженням, запропонований Ф. Карнейро. Метод оснований на вирішенні відомої з теорії пружності задачі Герца про розподіл напружень у тонкому диску, стиснутому двома силами [2].

До широкого розповсюдження методу розколювання привела складність випробувань цементних бетонів, укріплених ґрунтів та кам'яних матеріалів на розтяг при осьовому навантаженні.

### Аналіз публікацій

Дослідження цементних бетонів та укріплених ґрунтів на розколювання, як правило, проводяться на половинках балок, які зали-

шаються після випробування на розтяг при згині. Навантаження передається на зразок через два циліндричних взаємонаправлених рифлі. Схему навантаження показано на рис. 1. За даними досліджень [3, 4] встановлено, що для кристалічних та зернистих матеріалів процес розколювання починається з фази пружних деформацій матеріалу під рифлями. Потім утворюється площадка зминання, виникає зона роздроблення матеріалу. Розвиток зони роздроблення матеріалу в клин розколювання призводить до руйнування зразка по направлений площині між рифлями внаслідок відриву часток зразка, тобто по вертикалі. Це дає можливість стверджувати, що площа розколювання дорівнює площі поперечного перерізу зразка.

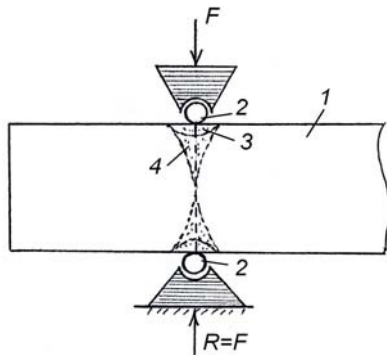


Рис.1. Схема передавання навантаження на зразок: 1 – зразок, 2 – циліндричні рифлі, 3 – площадка зминання, 4 – клин розколювання

Міцність матеріалу на розтяг при розколюванні визначають за формулою

$$R_{\text{розк}} = \frac{2F_{\text{розк}}}{\pi A_{\text{розк}}}, \quad (1)$$

де  $R_{\text{розк}}$  – міцність на розтяг при розколюванні;  $F_{\text{розк}}$  – сила, яка призводить до руйнування зразка;  $A_{\text{розк}}$  – площа розколювання.

Формула (1) слушна, якщо в переріз зразка можна вписати окружність, діаметр якої дорівнює висоті зразка. Оскільки величина  $2/\pi$  є сталою для всіх перерізів, для зручності розрахунку частіше користуються характеристикою

$$R_{\text{розк}} = \frac{F_{\text{розк}}}{A_{\text{розк}}}. \quad (2)$$

За характером напружень, що виникають у зразку при розколюванні, та характером руйнування картина напружено-деформованого стану більшою мірою відповідає дійсним умовам роботи бетону та укріплених ґрунтів у дорожньому покритті [3, 4].

У шарах дорожнього одягу на площадках, перпендикулярних горизонтальній осі, виникають радіальні напруження  $\sigma_r$ . На нижньому волокні верхнього шару вони здебільшого розтягувальні.

Середні шари досить часто повністю знаходяться у розтягнутій зоні [5, 6]. Такий напружений стан середнього шару потребує порівняння напруження в шарах з нормативною характеристикою міцності матеріалу на розтяг, при згині або при розколюванні. Тому накопичування таких даних є важливою справою.

#### Мета і постановка завдання

Метою роботи є експериментальні дослідження міцності деяких типів укріплених ґрунтів на розтяг методом розколювання. Крім визначення характеристики міцності, необхідно оцінити достатню кількість даних для отримання достовірних значень результатів дослідження.

Досліджувались зразки квадратного перерізу  $4 \times 4$  см із супіску та суглинку, укріплених цементом М400, за вологості твердіння та температури повітря  $t = 20^\circ \text{C}$ , які залишилися після випробувань балочок на розтяг при згині. Дослідження проводились на машині Р-5. Навантаження на зразок передавалося через два рифлі  $\Phi = 12$  мм.

Експериментальні дослідження проведено на 26 зразках із супіску, укріпленого 9 % цементу, і на 28 зразках із суглинку, укріпленого 11 % цементу.

#### Результати досліджень

Дані експериментальних досліджень були опрацьовані методами математичної статистики, і було встановлено необхідну кількість зразків для отримання достовірних даних з певним ступенем імовірності ( $p = 0,95$ ) [7].

Необхідна кількість випробувань визначається співвідношенням систематичної та випад-

кової помилок. Систематична помилка однакова для всіх вимірювань, оскільки залежить від точності випробувальної машини і вимірювальних приладів. Випадкова помилка залежить від багатьох факторів навіть під час роботи на одному і тому ж обладнанні: неоднорідності матеріалу, наявності дефектів, тріщин у структурі й багатьох інших причин.

Якщо систематична та випадкова помилки сумірні, достатньо провести 1–2 випробування. Якщо випадкова помилка в декілька разів перевищує систематичну, необхідно зменшити її вплив на достовірність даних збільшенням кількості випробувань.

Необхідна кількість випробувань з певною мірою імовірності і припустимою помилкою визначається за формулою

$$n = \frac{(\chi V)^2}{\varepsilon^2}, \quad (3)$$

де  $n$  – кількість випробувань,  $\chi$  – коефіцієнт, який залежить від степеня ймовірності,  $V$  – випадкова помилка (міра мінливості), %,  $\varepsilon$  – припустима помилка, %.

При степені ймовірності  $p = 0,95$  коефіцієнт  $\chi = 1,960$  [7]. Для з'ясування достовірності даних експерименту визначено середні ари-

фметичні значення  $\bar{R}$  та середні квадратичні помилки окремого вимірювання

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum \varepsilon^2}{n-1}}, \quad (4)$$

де  $\sigma$  – середнє квадратичне,  $\varepsilon = R_i - \bar{R}$ ;  $n$  – кількість випробувань.

Середні значення квадратичних помилок середнього арифметичного визначаються за формулою

$$\sigma_{\bar{R}} = \pm \sqrt{\frac{\sum \varepsilon^2}{n(n-1)}} = \pm \frac{\sigma}{\sqrt{n}}. \quad (5)$$

Найбільш імовірні значення міцності матеріалів на розтяг при розколюванні  $R_{\text{розк}}$  знаходять за залежністю

$$R_{\text{розк}} = \bar{R}_{\text{розк}} \pm \sigma_{\bar{R}}. \quad (6)$$

Коефіцієнт варіації дорівнює

$$V = \frac{\sigma_{\bar{R}}}{R} 100 \%. \quad (7)$$

Результати експериментальних досліджень міцності укріплених ґрунтів на розтяг при розколюванні, а також показники достовірності даних наведено в табл. 1, 2.

Таблиця 1 Результати досліджень міцності зразків із супіску, укріпленого цементом М400 (9 %), на розтяг при розколюванні

№ зразка	$R_{\text{розк}} = \frac{F_{\text{розк}}}{A_{\text{розк}}}$ , Н/см <sup>2</sup>	$R_i - \bar{R}$ , Н	$(R_i - \bar{R})^2$ , Н <sup>2</sup>	$\bar{R}$ , $\sigma$ , $\sigma_{\bar{R}}$ , $R$
1	65,00	-5,84	34,106	$\bar{R} = 70,84 \text{ Н/см}^2$  $\sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum (R_i - \bar{R})^2}{n-1}} =$ $= \pm \sqrt{\frac{2646,97}{26-1}} = \pm 10,29$  $\sigma_{\bar{R}} = \pm \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \pm \frac{10,29}{\sqrt{26}} = \pm 2,02$
2	65,00	-5,84	34,106	
3	81,25	10,41	108,368	
4	87,50	16,66	277,56	
5	75,60	4,76	22,658	
6	69,00	-1,84	3,386	
7	55,00	-15,84	250,9	
8	59,00	-11,84	140,18	
9	76,00	5,16	26,63	
10	78,80	7,96	63,36	
11	61,00	-9,84	96,82	
12	90,60	19,76	390,46	
13	86,00	15,16	229,83	
14	81,30	10,46	109,41	
15	76,90	6,06	36,72	
16	80,00	9,16	83,91	

Закінчення таблиці 1

№ зразка	$R_{\text{розк}} = \frac{F_{\text{розк}}}{A_{\text{розк}}}$ , Н/см <sup>2</sup>	$R_i - \bar{R}$ , Н	$(R_i - \bar{R})^2$ , Н <sup>2</sup>	$\bar{R}, \sigma, \sigma_{\bar{R}}, R$
17	66,90	-3,94	15,52	$R = \bar{R} \pm 2,02$
18	50,00	-20,84	434,31	
19	60,00	-10,84	117,51	
20	65,00	-5,84	34,11	
21	66,00	-4,84	23,43	
22	66,60	-10,24	104,86	
23	73,00	2,16	4,666	
24	72,50	1,66	2,756	
25	70,00	-0,840	0,706	
26	70,00	-0,84	0,706	
	$\sum 1841,95$ $\bar{R} = 70,84$	-109,26 +109,37	$\sum 2646,97$	$V = \frac{\sigma_{\bar{R}}}{\bar{R}} 100 \% =$ $= \frac{2,02}{70,84} 100 \% = 2,85 \%$

Таблиця 2 Результати досліджень міцності зразків із суглинку, укріпленого цементом М400 (11 %), на розтяг при розколюванні

№ зразка	$R_{\text{розк}} = \frac{F_{\text{розк}}}{A_{\text{розк}}}$ , Н/см <sup>2</sup>	$R_i - \bar{R}$ , Н	$(R_i - \bar{R})^2$ , Н <sup>2</sup>	$\bar{R}, \sigma, \sigma_{\bar{R}}, R$
1	31,3	-30,18	910,83	$\bar{R} = 61,48 \text{ Н/см}^2$
2	48,6	-12,88	165,89	
3	58,0	-3,48	12,11	
4	92,2	30,72	943,72	$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum (R_i - \bar{R})^2}{n-1}} =$ $= \pm \sqrt{\frac{10556,19}{27}} = \pm 19,77$
5	98,9	37,42	1400,26	
6	58,0	-3,48	12,11	
7	78,0	16,52	272,91	
8	104,0	42,52	1807,95	
9	40,1	-21,38	457,10	
10	58,5	-2,98	8,88	
11	81,5	20,02	408,04	
12	36,8	-24,68	609,10	
13	34,9	-26,58	706,50	
14	31,10	-30,38	922,94	$\sigma_{\bar{R}} = \pm \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \pm \frac{19,77}{\sqrt{28}} = \pm 3,736$
15	55,9	-5,58	31,14	
16	90,9	29,42	865,54	
17	69,70	8,22	67,57	$R = \bar{R} \pm 3,736$
18	54,0	-7,48	55,95	
19	52,6	-8,88	78,85	
20	56,6	-4,88	23,81	
21	57,4	-4,08	16,65	$V = \frac{\sigma_{\bar{R}}}{\bar{R}} 100 \% =$ $= \frac{3,736}{61,48} 100 \% = 6,08 \%$
22	73,7	12,22	149,33	
23	73,0	11,52	132,71	
24	60,5	-0,98	0,96	
25	50,7	-10,78	116,21	
26	67,8	6,32	39,94	
27	43,4	-18,08	326,88	
28	63,3	1,82	3,31	
	$\sum 1721,4$ $\bar{R} = 61,48$	-216,76 +216,72	$\sum 10556,19$	

## Висновки

Дослідження укріплених ґрунтів на розтяг при розколюванні показали, що характеристика

$$R_{\text{розк}} = \frac{R_{\text{розк}}}{A_{\text{розк}}}$$
 для супіску, укріпленого цементом, у середньому складає  $R_{\text{розк}} = 71 \text{ Н/см}^2$ , а для укріпленого суглинку  $R_{\text{розк}} = 62 \text{ Н/см}^2$ .

Проведено також опрацювання результатів експериментальних досліджень випробування укріплених ґрунтів на розколювання для партії з 10 зразків.

З'ясовано, що для отримання достовірного значення  $R_{\text{розк}}$  з імовірністю 95 % і допустимою похибкою 5 % для супіску, укріпленого цементом, достатньо зробити 10–11 розколів, а для суглинку, укріпленого цементом, не менше 23 розколів, що пояснюється його менш однорідною структурою.

Для укріпленого цементом суглинку характерним є значно більший розкид експериментальних даних, що притаманно матеріалу з менш однорідною структурою порівняно з укріпленим супіском.

Для укріпленого цементом суглинку характерним є значно більший розкид експериментальних даних, що притаманно матеріалу з менш однорідною структурою порівняно з укріпленим супіском.

Слід зазначити, що при випробуваннях матеріалів на розтяг неоднорідність структури, наявність тріщин, дефектів значно впливають на показники міцності, оскільки такий вид деформації сприяє розкриттю тріщин і швидкому порушенню структурних зв'язків.

## Література

1. Дорожные основания и покрытия из укрепленных грунтов / В. М. Безрук, М. Н. Ритов, К. М. Глаголева, И. К. Чернов. – М.: Транспорт, 1966. – 128 с.
2. Ландау Л. Д. Теория упругости / Л. Д. Ландау, Е. М. Лившиц. – М.: Наука, 1987. – 248 с.
3. Грушко И. М. Прочность бетонов на растяжение / И. М. Грушко, А. Г. Ильин, С. Г. Рашевский. – Х.: Издат. ХГУ, 1973. – 184 с.
4. Волков М. И. Определение прочности цементного бетона и щебня методом раскалывания. Научное сообщение № 3 / М. И. Волков, Н. Ф. Глушенко. – Х.: Типография Харьковского сельскохозяйственного института, 1957. – 16 с.
5. Голеско В. А. Напряженно-деформированное состояние трехслойного полупространства / В. А. Голеско // Вестник ХГАДТУ. – 1997. – Вып. 5. – С. 40–44.
6. Голеско В. А. Исследование радиальных напряжений в слоях трехслойного полупространства / В. А. Голеско // Вестник ХНАДУ. – 2003. – Вып. 20. – С. 113–116.
7. Сиденко В. М. Основы научных исследований / В. М. Сиденко, И. М. Грушко. – Х.: Издат. ХГУ при издательском объединении «Вища школа», 1977. – 200 с.

Рецензент: В. П. Кожушко, профессор, д. т. н., ХНАДУ.

Стаття надійшла до редакції 25 лютого 2014 р.