

评估粘土 - 砾石混合物的强度特性

M. T. Akinleye¹, L. O. Salami¹, M. O. Salami²

¹ 阿德莱克大学土木工程系 尼日利亚 埃德 232104

² 伊巴丹大学土木工程系 尼日利亚 伊巴丹 200132

摘要: 剪切强度是几乎所有岩土工程问题中最重要的土壤特性之一。本研究旨在调查砾石对粘土剪切强度的影响。两个粘土样品是从奥逊州奥索博不同地点的挖坑中获得的, 砾石在当地收集。三种不同等级的砾石 (2-6 mm、6-12 mm 和 12-20 mm) 在干燥状态下分别以 5%、10%、15%、20%、30%、40% 和 50% 的比例与收集的粘土混合。首先, 根据 BS 1377-3:2018 测定了粘土和砾石的一些物理特性, 包括比重、粒度分析、液限和塑限。随后, 根据 BS 1377 (1990), 在 50、100 和 150 kN/m² 三种不同的约束压力下, 以 0.5 mm/min 的加载速率对粘土 - 砾石混合物进行了加州承载比 (CBR) 和固结 - 不排水 (CU) 三轴压缩试验。CBR 试验的结果表明, 粘土 - 砾石混合料的 CBR 值高于纯粘土。剪切强度的结果表明, 随着砾石浓度从 0 到 50% 的增加, 内聚力和有效内摩擦角也在增加。当砾石尺寸从 6-12 mm 增加时, 有效内聚力减少, 内摩擦角变大。可以得出结论, 当地可用的砾石可以用来改善工程建设中粘土的强度特性。
关键词: 粘土; 砾石; 粘土 - 砾石混合物; 剪切强度; 加利福尼亚承载率比

Evaluating the strength characteristics of clay-gravel mixtures

M. T. Akinleye¹, L. O. Salami¹, M. O. Salami²

¹Department of Civil Engineering, Adeleke University, Ede 232104, Nigeria

²Department of Civil Engineering, University of Ibadan, Ibadan 200132, Nigeria

Abstract: Shear strength is one of the most important soil properties in almost all geotechnical engineering problems. Therefore, this study was aimed at investigating the effect of gravel on the shear strength of clayey soil. Two clayey soil samples were obtained from a dug pit from different locations in Osogbo, Osun State and the gravels were collected locally. Three different gradations of gravel (2-6 mm, 6-12 mm, and 12-20 mm) were mixed in a dry state in percentages of 5, 10, 15, 20, 30, 40 and 50% with the collected clay soil respectively. Initially, some physical properties of clayey soil and the gravel, which include specific gravity, particle size analysis, liquid limit and plastic limit, were determined in accordance with BS 1377-3:2018. Consequently, the California Bearing Ratio (CBR) and Consolidated-Undrained (CU) triaxial compression tests at three different confining pressures of 50, 100 and 150 kN/m², with a loading rate of 0.5 mm/min were carried out on the clay-gravel mixtures in accordance with BS 1377 (1990). The results from the CBR test indicated that the CBR value of the clay-gravel mixtures was higher than that of pure clay. The result of shear strength showed that the cohesion and effective angle of internal friction increases as the concentration of gravel increases from 0 to 50%. As the gravel size was increased from 6-12 mm, effective cohesion reduces and angle of internal friction increases. It concluded that locally available gravel can be used to improve the strength properties of clayey soil for engineering construction.

Keywords: clayey soil; gravel; clay-gravel mixtures; shear strength; California bearing ratio

一、引言

根据 Njoka 等人 (2015) 的说法, 粘土是一种天然存在的材料, 由细粒材料的分层结构组成, 在适当的水分含量下表现出可塑性的特性。它在化学和结构上与其他植物硅酸盐类似, 但含有不同含量的水, 并允许其阳离子更多地进行置换。粘土材料是由地球表面的化学风化过程形成的, 它对细粒沉积岩的贡献约为 40% (Ombaka, 2016)。粘土具有较低的强度和渗透性、较高的压缩性和、较高的抗开裂性能, 且不容易液化。

Tijani 等人 (2017) 指出, 从工程建设目的出发, 有必要获得有关土壤特性的信息, 以便在不符合国际既定标准的情况下进行改进。

将粘土与颗粒材料 (如沙子和砾石) 混合是减少膨胀和收缩潜力以及提高强度的方法之一。这些以粘土为主的土壤被称为混合粘土 (Soltani 和 Soroush, 2007)。Jafari 和 Shafiee (2004) 对高岭土、沙子 / 砾石的混合物进行了固结不排水压缩三轴试验, 观察到临界状态下的剪切阻力角随着混合料中骨料含量的增加而增加。该研

究还观察到,在不排水荷载期间,在骨料含量较高的混合物中会产生较高的孔隙水压力。

Soltani 和 Soroush (2007) 通过进行不排水三轴试验研究了压实的粘土-砂和粘土-砾石混合物的行为。研究表明,在临界砂/砾石含量以下,混合土的抗剪强度和正切变形模量(与纯粘土相比)几乎保持不变,而超过这个临界值,它们就会大大增加。另外,研究结果显示,在粘土中加入沙子/砾石会增加单调剪切过程中的孔隙水压力。与粘土-砂子混合物相比,粘土-砾石混合物在剪切过程中显示出稍高的强度和较低的孔隙水压力。

Ayininuola 等人(2018年)研究了砾石对粘土岩土工程特性的影响。他们进行了等级为 2-6 mm、6-12 mm 和 12-20 mm 的砾石对两种粘土岩土工性能的影响。粒度分析结果表明,在粘土中加入砾石后,粘性土的等级从 A-5-7 变为 A-2-7。另外,在粘土中加入砾石,随着砾石在粘土-砾石混合物中的浓度增加,导致最大干密度(MDD)增加、最佳水分含量(OMC)减少。随着砾石大小的增加,MDD 进一步增加,OMC 也减少。

Vallejo 和 Mawby (2000年)发现,粘土-骨料复合材料的剪切强度取决于骨料和粘土的相对浓度(以重量计),如果复合材料中的颗粒材料含量大于 75%,剪切强度就会被骨料单独控制。在另一项研究中,Kumar 和 Wood (1999年)指出,在粘土含量超过 35% 的情况,仅仅是粘土基体控制了混合物的机械性能,而砾石只有在颗粒部分达到约 45% 时才开始影响机械性能。

Iannacchione 和 Vallejo (2000) 回顾了 31 篇技术论文(包括现场案例研究、实验室调查和理论分析),其中包含对具有不同岩石颗粒混合物的粘土和砂子的剪切强度分析。该研究得出结论,剪切强度随着非饱和粘土中浮动颗粒百分比的增加而逐渐增加。因此,本研究旨在评估与三种不同等级的砾石混合的粘土的剪切强度特性和加州承载比。粘土-砾石混合物是通过标准的普氏压实试验制备的,并在固结-不排水(CU)三轴试验条件下对制备的样品的剪切强度性能进行了评估。研究结果将揭示当地可用的砾石是否适合改善工程建设中粘土的强度特性。

二、材料和方法

在不同的地点收集了两个粘土样品。一个位于奥逊州奥索博奥戈-奥卢瓦市 Gbongan 路的一个用于建造龙门架的挖坑。另一个样品是在位于奥逊州奥索博奥克-巴莱的一个挖好的井里收集的。砾石是在奥索博的奥克-巴莱的 Kasmu 地区附近收集的。根据 BS 1377-3 (2018),确定了加州承载比和固结不排水三轴压实试验。砾石在实验室里被分成 2-6 mm、6-12 mm 和 12-20 mm 三个等级。砾石在干燥状态下与所收集的两种粘土分别按 5、10、15、20、30、40 和 50% 的比例混合。在奥戈-奥卢瓦收集的粘土被标记为粘土 A,在奥克-巴莱收集的另一种粘土被标记为粘土 B。

三、结果和讨论

粘土 A 和 B 的液体极限分别为 49% 和 58%,塑性极限分别为 30.6 和 31.18%,线性收缩率分别为 9.3% 和 10%。粒度分析显示,粘土 B 比粘土 A 含有更多的细粒土壤,通过 0.075mm 筛孔的百分比为 54%,高于粘性 A 的 52%。两种粘土(A 和 B)按照美国国家公路与运输官员协会(AASHTO)的规定进行分类,被归类为 A-5-7,一般路基评级为中等至较差。岩土特性的结果与 Kumar 和 Muir (1999) 得到的结果相似。他们观察到当粘土含量低于约 40% 时,反应会发生急剧变化,反应的特征也会发生变化;当粘土含量高于约 35% 时,只有粘土基质控制着混合物的机械性能。

表 1 和表 2 中的加州承载比(CBR)的结果显示,所有粘土-砾石混合物的 CBR 值随着粘土 A 和 B 中砾石的浓度和尺寸从 0% 到 50% 的增加而增加。增加的原因是粘土-砾石混合物中存在较大的颗粒,在 2.5 和 5.0 毫米的穿透力下,CBR 测量需要更大的力的幅度。这与 Ayininuola 等人(2018)的研究是一致的。他们报告说,在粘土中加入砾石使土壤等级从 A-5-7 变为 A-2-7,一般路基评级为优至良。当在粘土 A 和 B 中分别加入 40% 尺寸为 2-6 mm 的砾石、30% 尺寸为 6-12 mm 的砾石和 20% 尺寸为 12-20 mm 的砾石时,土壤等级发生变化。

表 1. 粘土-砾石土壤样品 A 的平均 CBR 值(百分比)

砾石的百分比	砾石的尺寸(mm)		
	2-6 mm	6-12 mm	12-20 mm
0	65.00	65.0	65.0
5	66.5	67.5	68.8
10	68.0	69.0	70.5
15	70.5	72.0	74.6
20	71.2	74.6	78.2
30	74.4	78.2	81.6
40	76.0	80.0	85.7
50	78.0	82.0	87.0

表 2. 粘土-砾石土壤样品 B 的平均 CBR 值(百分比)

砾石的百分比	砾石的尺寸(mm)		
	2-6 mm	6-12 mm	12-20 mm
0	68.0	68.0	68.0
5	70.0	72.0	74.0
10	72.0	73.0	76.0
15	73.2	75.0	77.2
20	75.0	77.0	79.6
30	76.9	79.0	82.1
40	77.5	81.0	85.0
50	78.7	84.0	88.0

由于存在比 BS 1377-3 (2018) 规定的数值更大的颗粒尺寸,因此无法在三轴机上获得砾石尺寸为 12-20 mm 的粘土-砾石混合物的剪切强度参数(有效内聚力 c' 和内摩擦角 ϕ'),Bakhtiar 等人(2019)也报告了这一情况;这可以通过在使用前进行筛网分析来解决。表 3 和表 4

分别显示了粘土 A 和 B 的内摩擦角和粘聚力的变化, 其砾石尺寸为 2-6 mm 和 6-12 mm。观察到砾石含量的剪切强度增加了约 50%。这无疑是对发生在这一浓度中的重大颗粒间相互作用的反应。在粘土 - 砾石混合物中, 当砾石尺寸从 6-12 mm 增加时, 土壤的内聚力也相应减少, 因为粘土 - 砾石混合物变得更加颗粒化。

表 3. 粘土 - 砾石土壤样品 A 的剪切强度参数 c' 和 ϕ' 的结果

砾石的百分比	砾石的尺寸			
	c' (kN/m ²) 2-6 mm	ϕ' (°) 2-6 mm	c' (kN/m ²) 6-12 mm	ϕ' (°) 6-12 mm
0	2.0	10.0	24.0	10.0
5	24.0	12.0	30.0	14.0
10	26.0	14.0	32.0	18.0
15	28.0	16.0	34.0	20.0
20	30.0	18.0	36.0	22.0
30	32.0	20.0	40.0	24.0
40	34.0	30.0	40.0	32.0
50	38.0	35.0	39.0	38.0

表 4. 粘土 - 砾石土壤样品 B 的剪切强度参数 c' 和 ϕ' 的结果

砾石的百分比	砾石的尺寸			
	c' (kN/m ²) 2-6 mm	ϕ' (°) 2-6 mm	c' (kN/m ²) 6-12 mm	ϕ' (°) 6-12 mm
0	30.0	18.0	30.0	18.0
5	32.0	19.0	31.0	20.0
10	34.0	20.0	32.0	22.0
15	36.0	21.0	33.0	26.0
20	38.0	23.0	34.0	28.0
30	40.0	25.0	35.0	32.0
40	41.0	27.0	36.0	38.0
50	41.0	30.0	37.0	42.0

四、结论

使用三种不同等级的砾石评估了砾石对粘土的岩土工程和强度特性的影响。粘土 - 砾石混合物是通过标准的普氏压实试验制备的, 并在固结 - 不排水 (CU) 三轴试验条件下评估了所制备样品的剪切强度性能。结果显示, 在粘土中加入砾石有助于改善其岩土和强度特性。当尺寸为 6-12 mm 和 2-6 mm 的砾石比例分别为 30% 和 40% 时, 粘土 - 砾石混合物的强度受到了影响。结论是, 当地可用的砾石可以用来改善工程建设中粘土的强度特性。

参考文献

[1] Ayininuola, GM., Salami, MO. and Salami, LO.

2018. Investigating the Geotechnical Properties of Clay-Gravel Mixtures. International Research Journal of Advanced Engineering and Science, 4(1): 40 - 41.

[2]Bakhtiar, AO., Aminaton, M., Nor, ZMY., Tan, CS. and Faizal, P. 2019. The Grading Effect of Coarse Sand on Consolidated Undrained Strength Behaviour of Sand Matrix Soils. International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE), 7 (5): 88 - 92.

[3]BS 1377-3 2018. Methods of test for soils for civil engineering purposes. Chemical and electrochemical testing. British Standards Institution, July 2020, London. pp. 1 - 7.

[4]Iannacchione, AT. and Vallejo, LE. 2000. Shear Strength Evaluation of Clay-Rock Mixtures. Slope Stability 2000, Proceedings of Sessions of Geo-Denver 2000 Denver, Colorado, August 5-8, Geotechnical Special Publication No. 101, Editors; Griffiths DV., Fenton GA. and Martin TR., Reston, VA: American Society of Civil Engineers, 209 - 223.

[5]Jafari, MK. and Shafiee, A. 2004. Mechanical behaviour of compacted composite clays. Canadian Geotechnical Journal, 41 (6): 1152 - 1167.

[6]Kumar, GV and Muir, WD. 1999. Fall cone and compression tests on clay - gravel mixtures. Geotechnique, 49(6): 727 - 739.

[7]Njoka, EN., Ombaka, O., Gichumbi, JM., Kibaara, DI. and Nderi, OM. 2015. Characterization of clay from Tharaka Nithi Country in Kenya for industrial and agricultural applications. African Journal of Environmental Science and Technology, 9 (3): 228 - 243.

[8]Ombaka, O. 2016. Characterization and classification of clay minerals for potential applications in Rugi Ward, Kenya. African Journal of Environmental Science and Technology, 10 (11): 415 - 431.

[9]Soltani, JH. and Soroush, A. 2007. The behaviour of mixed clayey soils under monotonic loading. International Journal of Science and Technology-Amirkabir (CMM), 18(67): 21-29.

[10]Tijani, MA., Akinleye, MT. and Jaiyeoba, KF. 2017. Engineering Properties of Laterites Obtained in Ede, Southwestern Nigeria. International Journal of Engineering and Advanced Technology, 7(1):160 - 162.

[11]Vallejo, LE. and Mawby, R. 2000. Porosity influence on the shear strength of granular material/clay mixtures. Engineering Geology, 58: 125 - 136.