

文章编号: 1000-7598-(2003)03-0369-03

钙质砂与钢板接触面力学特性试验研究

吴梦喜, 楼志刚

(中国科学院力学研究所, 北京 100080)

摘要: 对一种人工制备的钙质砂与光滑钢板接触面进行了一系列的单调和循环剪切试验, 表明钙质砂与光滑钢板的接触属于摩擦接触, 界面剪应力与正应力之比与剪切位移关系有较好的归一性。等正应力试验中钙质砂的剪缩性较大; 等体积试验中接触面的抗剪强度因正应力的降低而远低于等正应力试验; 循环剪切中加载与卸荷曲线基本重合, 经历循环剪切作用后接触面的抗剪强度有降低的趋势。界面湿摩擦系数低于干摩擦系数。

关键词: 钙质砂; 接触面; 剪切位移; 剪应力

中图分类号: TU 441⁺.5 文献标识码: A

Experimental study on mechanical behavior of calcareous sand-steel interfaces

WU Meng-xi, LOU Zhi-gang

(Institute of Mechanics, Chinese Academy of Science, Beijing 100080, China)

Abstract: A series of artificial calcareous sand - steel interface direct shear tests was performed. It shows that the contact relationship of the interfaces is frictional; and the curves of shear - normal stresses ratio vs shear deformation under different normal stresses are almost identical. Negative dilatancy of the sand under constant normal stresses is quite large. Shear strength under constant volumetric shear test is far below that under constant normal stress condition. Load and unload curves are almost superposition. There is a trend of shear strength debasement after cyclic shearing. And the wet friction coefficient of the interface is less than the dried one.

Key words: calcareous sand; interface; shear deformation; shear stress

1 前 言

钙质砂通常是指海洋生物成因的碳酸钙含量超过 50 % 的粒状或片状砂。由于对其力学特性缺乏认识, 60~80 年代在海洋工程建设中出现过一系列的问题, 人们才把它作为一种新的岩土介质^[1~3]。该种土经受中等应力水平的静水压力或剪切作用即会产生大的体积收缩, 这会显著降低这类地基中基础的承载力^[4]。关于这种现象和钙质土的地质和工程特性的大量论文包含于 Jewell 和 Andrews 编辑的论文集^[5]中。土与结构系统的荷载-位移响应受到结构与土体界面的应力-位移关系的重要影响, 国内外进行了大量的土与结构接触界面的试验和研究。然而, 钙质砂与结构物接触面的试验研究国内未见报道。由于我国南海海域钙质砂分布广泛^[3], 钢管桩基是海洋工程中常用的基础形式, 钢质吸力锚在南

海深水中有很好的应用前景, 因而, 对钙质砂与钢板的接触界面的特性进行试验研究十分重要。

为了研究钙质砂与钢板接触面在单调和循环荷载作用下的力学特性, 本文采用人工制备的钙质砂在国产 GJY-2 型等应变直剪仪上, 进行了几种密度钙质中砂和粒径均匀的粗、中、细钙质砂粒与钢板接触面的一系列单调和循环直剪试验以及限制剪缩变形的单调直剪试验, 研究钙质砂的力学性质及其对界面特性的影响。

2 试验内容

试验砂样采取人工制备的方法获取。取海贝壳, 碾压破碎后, 用稀硫酸浸泡进行腐蚀处理, 去掉砂颗粒的尖锐棱角, 使之接近天然的钙质砂颗粒。然后用清水冲洗干净, 烘干后过标准筛。所得的砂含钙量约为 99 %, 比重为 2.83。分别对颗粒级配

如表 1 的中砂和 3 种粒径均匀的砂样, 即粒径 0.5~1 mm 的粗砂、0.25~0.5 mm 的中砂和 0.1~0.25 mm 细砂进行砂与钢板的接触面试验, 4 种砂样编号分别为 A, B, C, D。剪力盒内径 61.8 mm, 下部装 10 mm 厚、外径 61.8 mm 的光滑圆钢板, 上部装 10 mm 厚砂样, 正应力通过传力杠杆由砝码施加。剪力盒受剪错开后, 错开部分砂样与下盒的光滑铜板接触, 由于这一部分面积在总的接触面积中占的比例很小, 手触摸试验用钢板与仪器的铜板其粗糙度无明显差别, 粗糙不同所造成的误差, 未作修正。共进行了 24 组接触面剪切试验, 基本情况如表 2。试样密度分别为 1.45 g/cm³, 1.53 g/cm³, 1.55 g/cm³; 表 2 中试验条件一栏标注的是特别的情况, 一般的情况指砂样干燥、单调剪切、正应力在剪切过程中固定不变、剪切速率为 0.015 mm/min; 慢速指剪切速率 0.002 2 mm/min; 加水指在剪切过程中向试样周边加水; 等体积指施加正应力后, 在剪切前调节杠杆的限位螺栓顶住杠杆, 限制试样

的压缩变形, 如果试样剪缩, 那么试样受到的正应力就会降低; 循环是指往复剪切。

3 试验结果与分析

图 1 为砂样的单调剪切试验结果。由图可见, 不同正应力下摩擦系数与剪切位移的关系有很好的归一性, 而体应变却受到正应力的显著影响, 正应力越大, 剪缩变形越大, 正应力较小时, 甚至发生剪胀。图 2 为中砂 A 的密度与界面剪切摩擦系数的关系, 密度越大, 摩擦系数越大, 粒径均匀的 B, C, D 砂样试验结果也有同样的趋势。图 3 为等体积剪切条件下钙质砂的界面剪应力除以初始正应力的商与剪切位移之间的关系, 由图可见, 两者之间对不同初始正应力的试验结果的归一性不总是很好, 因为, 这一比值不是真正的摩擦系数。由于钙质砂具有很大的剪缩性, 在限制体变的情况下, 界面正应力随着剪切位移的发展而不断下降, 这种现象可称之为界面正应力松弛。剪应力峰值一般不到等正

表 1 颗粒级配表
Table 1 Grain-size distribution

粒径/mm	0.5~1	0.25~0.5	0.1~0.25	<0.1
含量/%	20	60	13	7

表 2 试验基本情况
Table 2 Basic situation of the test

试验编号	级配	干重度/g·cm ⁻³	试验条件	摩擦角/(°)
A1-1	A	1.45	慢速	22.3
A1-2	A	1.45		24.2
A1-3	A	1.45		22.4
A2-1	A	1.53		25.6
A3-1	A	1.55	慢速	27.9
A1v	A	1.45	等体积	13.4
A2v	A	1.53	等体积	15.5
B1	B	1.45		23.9
B2	B	1.53		27.9
B1w	B	1.45	周围加水	23.0
B2w	B	1.53	周围加水	25.1
B1v	B	1.45	等体积	15.7
B1c1	B	1.45	循环 4 次	22.8
B1c2	B	1.45	循环 12 次	22.3
C1	C	1.45		25.6
C2	C	1.53		25.6
C1w	C	1.45	周围加水	24.7
C1v	C	1.45	等体积	12.7
C1c	C	1.45	循环 4 次	23.3
D1	D	1.45		23.8
D2	D	1.53		25.2
D1w	D	1.45	周围加水	23.6
D1v	D	1.45	等体积	10.7
D2c	D	1.53	循环 4 次	结果分散

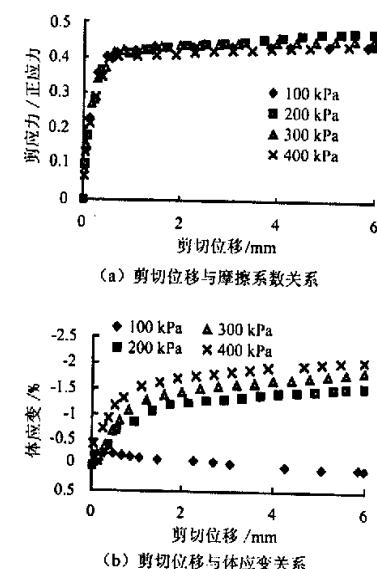


图 1 中砂 A1-2 单调剪切试验结果
Fig.1 Monotonic shear test results of medium sand

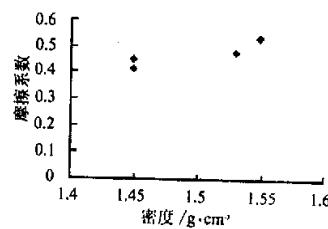


图 2 中砂 A 摩擦系数与密度关系
Fig.2 Relationship between friction coefficient and density of medium sand A

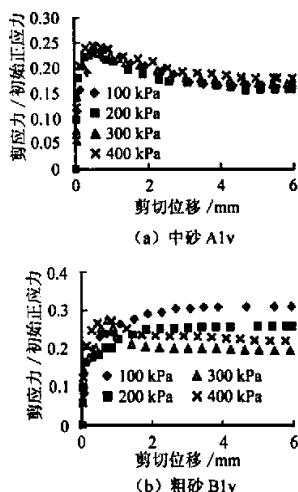


图3 等体积剪切条件下剪应力与初始正应力之比与位移关系

Fig.3 Shear-normal stresses ratios vs shear deformations under constant volumetric shear tests

应力情况下的 60 %, 峰值后剪应力一般随着剪切位移的增长不断下降。当然, 由于小正应力情况下钙质砂有时表现出剪胀特性, 因而, 试验结果中也有剪应力强化的曲线。由于钙质砂剪缩特性而引起的界面抗剪强度的弱化应引起设计人员的充分注意。

图4为粗砂样循环剪切试验结果, 试验在等正应力条件下经历了4次卸荷和重加载, 卸荷重加载曲线基本重合, 不同压力下的卸荷斜率基本一致, 进一步说明了钙质砂与钢板的接触摩擦特性。图5

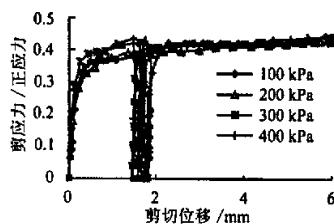


图4 粗砂B循环剪切试验结果

Fig.4 Results of cyclic shear test for coarse sand B

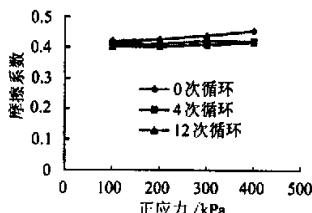


图5 粗砂B循环剪切对摩擦系数的影响

Fig.5 Influence of cyclic shears for coarse sand B on friction coefficient

为粗砂 B 往复剪切对界面摩擦系数的影响, 表明循环剪切会降低钙质砂与钢板接触界面的摩擦系数。究其原因, 是因为钙质砂的颗粒强度较低, 在循环剪切作用下发生颗粒破碎^[6]。从图1、图3和图4可以看出, 接触界面的相对位移不到1 mm时, 其强度就接近于峰值强度或最大强度。在桩基中, 桩周的摩擦强度往往首先得以发挥, 因此, 周期荷载引起的循环剪切对钙质砂与钢板的接触界面的强度弱化影响在设计中也是应该充分考虑的。

关于试样周边加水对剪切强度的影响, 从表2中可以看出, B、C、D三种砂样同一密度的试样, 加水的接触摩擦角均低于干试样。表明水的存在对钙质砂与钢板的接触摩擦强度起弱化作用。

4 结 论

通过一系列人工制备钙质砂与光滑钢板接触面的剪切试验, 可以得出以下结论:

- (1) 钙质砂与光滑接触面基本满足摩擦接触关系, 界面剪应力与正应力之比与剪切位移的关系受正应力大小的影响很小;
- (2) 一般的钙质砂剪缩性大, 密度越小, 正应力越大, 剪缩性越大。
- (3) 在等体积情况下, 钙质砂的剪缩性会显著降低剪切过程中界面的正应力, 从而降低界面剪切强度。
- (4) 在循环剪切作用下界面摩擦系数会降低。
- (5) 界面的湿摩擦系数低于干摩擦系数。

致谢: 本文试验工作由褚瑶高级实验师完成, 在此表示感谢!

参 考 文 献

- [1] 刘崇权, 杨志强, 汪稔. 钙质土力学性质研究现状与进展[J]. 岩土力学, 1995, 16 (4): 74-84.
- [2] 刘崇权, 汪稔. 钙质砂物理力学性质初探[J]. 岩土力学, 1998, 19 (1): 33-37.
- [3] 虞海珍, 汪稔. 钙质砂动强度试验研究[J]. 岩土力学, 1999, 20 (4): 6-11.
- [4] Carter J P, Boey C E, Airey D W. Shear Behaviour of Interfaces in Cemented Carbonate Soil[J]. International Journal of Offshore and Polar Engineering, 1992, 2 (2): 114-121.
- [5] Jewell R J, Andrews D. Engineering for Calcareous Sediments[M]. Rotterdam: Balkema A A, 1996.
- [6] 吴京平, 褚瑶, 楼志刚. 颗粒破碎对钙质砂变形及强度特性的影响[J]. 岩土工程学报, 1997, 19 (5): 49-55.