

文章编号: 1007-2993(2021)06-0416-04

旁压试验和标准贯入试验与 砂土变形模量的相关性

沈 振¹ 屈鹏飞¹ 孟轲荆¹ 赵占宇²

(1. 北京京能地质工程有限公司, 北京 102300; 2. 北京昆仑利时勘察基础工程有限公司, 北京 101400)

【摘要】 为方便、较准确地确定砂土变形模量, 以水源九厂 DN2200 输水管道加固专项地质勘察为背景, 对标准贯入试验击数和旁压试验获取的变形模量数据进行统计对比分析, 建立了标准贯入击数与变形模量间的函数关系。考虑到不同粒径砂土对试验结果的影响, 将粉细砂和中粗砂分别进行统计分析并建立函数关系。结果表明, 粉细砂标准贯入试验击数与变形模量之间存在很高的正相关性。通过该关系式, 利用标准贯入试验击数可便捷地计算出砂土变形模量指标参数, 以满足工程实际需要。

【关键词】 变形模量; 旁压试验; 标准贯入试验

【中图分类号】 TU 411

【文献标识码】 A

doi: 10.3969/j.issn.1007-2993.2021.06.013

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Correlation Between Pressuremeter Test and Standard Penetration Test on Sand Deformation Modulus

Shen Zhen¹ Qu Pengfei¹ Meng Kejing¹ Zhao Zhanyu²

(1. Beijing Jingneng Geo-engineering Ltd., Beijing 102300, China; 2. Beijing Kunlun Diachronic Survey Base Engineering Survey Co., Ltd., Beijing 101400, China)

【Abstract】 To determine the deformation modulus of sand conveniently and accurately, based on the special geological survey of DN2200 Water Pipeline Reinforcement in Shuiyuanjiuchang, the blow count of standard penetration test and deformation modulus of pressuremeter test were statistically compared and analyzed, and the function relation between standard penetration blow count and deformation modulus was established. Considering the influence of different particle sizes of sand, fine sand and medium coarse sand were statistically analyzed respectively, and the function relationships were established. The results show that there is a high positive correlation between the blow count and deformation modulus of fine sand. Through the relationship, the deformation modulus index parameters of sandy soil can be conveniently calculated by using the standard penetration test, so as to meet the practical needs of engineering.

【Key words】 pressuremeter test; standard penetration test; deformation modulus

0 引言

原位试验是指岩土体在原来所处的位置上或基本上在原位状态和应力条件下对岩土性质进行的测试^[1-3]。原位试验对天然地基岩土体的扰动较小, 通常能够比室内试验获得更加可靠的岩土体相关参数, 从而提高地基检测的准确性。旁压试验和标准贯入试验是原位试验较为常用的试验方法, 两者应用都较为广泛。土体的变形模量 E_0 是指土体在无侧限条件

下的应力与应变的比值^[4]。工程中的变形模量通常通过载荷试验结果求得。在 $p-s$ 曲线的直线段或接近直线段任选一压力 p 及与其对应的沉降 s , 再利用弹性力学公式, 即可求得岩土体的变形模量。变形模量也可以通过旁压试验获得。由于变形模量是通过原位试验(如载荷试验、旁压试验)得到的力学参数, 从理论上讲, 利用变形模量进行沉降计算的结果更为可靠和准确^[5]。但载荷试验和旁压试验都具有过程

作者简介: 沈 振, 男, 1977 年生, 汉族, 河北张家口人, 高级工程师, 主要从事工程地质勘察、地基处理及岩石试验工作。E-mail: 34658334@qq.com

复杂、耗时长、不经济的缺陷,而标准贯入试验则是工程中常用、快捷、经济的一项原位测试手段。标准贯入试验击数可以较准确反映岩土体的密实度。研究表明,标准贯入试验数据与变形模量二者之间存在很高的相关性。如肖先波^[6]根据厦门轨道交通1号线勘察工作,对花岗岩残积粉质黏土标准贯入试验与变形模量之间建立线性拟合曲线,但仅限于黏性土,没有拓展到其他岩土层。陈法波等^[7]就福建平潭风化花岗岩原位测试及岩土参数取值进行了深入研究。于元峰等^[8]在对沙漠砂室内大中型槽原位模拟试验和现场原位试验的基础上,建立了静力触探、标准贯入指标与沙漠砂变形模量和地基承载力间经验关系。汪浩等^[9]通过预钻式旁压试验,重点分析红黏土各物理参数随土层深度的变化关系。唐竞等^[10]采用室内土工试验与现场原位试验相结合的方式,对不同埋深粉砂细层的旁压承载特性指标变化规律进行了对比分析。

标准贯入试验击数与变形模量的研究大多集中于黏性土地层,针对砂土的变形模量研究未分别考虑不同粒组的砂土。标准贯入试验击数与变形模量的关系多以经验数据表示,没有统一的理论公式。本文在前人的研究基础上,基于工程实例,按照粉细砂和中粗砂对砂土进行分类,将不同粒组砂土标准贯入试验击数 N 与旁压试验获得的变形模量 E_0 建立关系式,通过此关系式,可利用标准贯入试验击数换算出变形模量 E_0 ,为工程设计及科学研究提供参数。

1 旁压试验及标准贯入试验与变形模量

旁压试验是一种水平向原位载荷试验,主要通过旁压器加压对土体施加径向均匀压力,根据得到的压力与径向位移关系曲线得出土体承载力特征值。已有研究表明,旁压试验适用于软岩地基承载特性评价^[11-14]。本工程采用预钻式旁压试验^[15](PMT),通过旁压器在预先打好的钻孔中对孔壁施加横向压力,使土体产生径向变形,利用仪器量测孔周岩土体的径向压力与变形关系,测求地基土的原位力学状态和力学参数。

变形模量的取值参照《铁路工程地质原位测试规程》(TB 10041—2003)确定^[16]。

$$E_0 = KG_m \quad (1)$$

式中: E_0 为变形模量, MPa; K 为变形模量转换系数,无量纲,按表1取值,本案例均取下限值; G_m 为旁压剪切模量, MPa。

标准贯入试验(SPT)是用质量 63.5 kg 的穿心锤,以 76 cm 的自由落距,将标准规格的贯入器打入试

表1 变形模量转换系数表

砂土分类	粉砂	细砂	中砂	粗砂
K值	4.0~5.0	5.0~7.0	7.0~9.0	9.0~11.0

验土层中,先对钻孔底部预打 15 cm,再记录打入 30 cm 的锤击数,根据锤击数来推定土的力学特性的一种原位试验方法。标准贯入试验不仅广泛应用于岩土工程勘察,在地基检测中也有较为广泛地应用。本次采用自动脱钩的自由落锤法进行标准贯入试验^[3]。

标准贯入试验击数和变形模量均可反映岩土体的力学性质。击数的高低、模量的大小与岩土体力学强度具有很高的相关性。于元峰等^[8]总结出根据标准贯入击数 N 确定沙漠砂变形模量(见表2)。

表2 用 N 确定沙漠砂变形模量 E_0 ^[8]

N	2	4	6	8	10	12	15	18	20
E_0 /MPa	9	13	18	22	25	28	33	38	42

王晓峰和王树怀^[17]建立的砂土动探、标贯及主要物理力学指标关系综合表,总结了砂土的动探击数 $N_{63.5}$ 与标贯击数 N 及其与其他主要物理力学指标之间的关系。实现了依据标贯击数 N 或动探击数 $N_{63.5}$ 对砂土的主要工程特性指标的全面评价以及指标之间的相互转换,并按照中粗砂、粉细砂等不同粒径进行了分类对比。对比结果表明,在相同标准贯入试验击数情况下,中粗砂与粉细砂变形模量相差较大。为了更准确地反映标准贯入试验与变形模量的关系,本文将砂土按照中粗砂和粉细砂两种不同粒径分别与变形模量建立关系式。

2 研究概况

2.1 勘察方法及完成的工作量

本工程勘察采用工程钻探、物探、原位测试(包括旁压试验)及室内试验相结合的方法。工程钻探采用 DPP-100 型钻机回转钻进和 SH-30 型锤击钻进相结合,完成钻孔 22 个,钻探进尺 345 m。在钻探过程中对黏性土及粉土层取得原状土样 117 件,对砂土、粉土及黏性土进行标准贯入试验(SPT)112 次,取得扰动样 29 件,对碎石土进行重型动力触探试验 0.3 m,在管道管顶、管中、管底位置进行旁压试验。

为研究标准贯入试验击数 N 与砂土变形模量的相关性,结合工程勘察实例,设计了砂土的旁压试验和标准贯入试验方案。选取 14 个钻孔对粉砂、细砂、中砂、粗砂层分别进行旁压试验共计 32 次,为获取同一地层同深度的试验数据,在距离旁压试验钻孔 1.0 m 处再开孔钻进至同一深度,对该砂土层进行标

准贯入试验。进行标准贯入试验前,对标准贯入仪器进行仔细校准并使用新标贯头,确保试验结果精准可靠。对各类砂层标准贯入试验击数 N 与旁压试验获得的变形模量 E_0 进行统计分析,总结出 E_0 与 N 之间的计算公式。

2.2 变形模量与标准贯入击数相关性

将本工程砂层 32 次标准贯入试验数据按照粉细砂和中粗砂进行分类。考虑到不同密实度砂土性质差异较大,因此本次旁压试验仅涉及中密砂土。稍密砂土及密实砂土旁压试验与标准贯入试验之间的相关性有待进一步研究。

(1) 粉细砂

粉细砂层旁压试验与标准贯入试验成果数据见表 3、图 1。

表 3 粉细砂层旁压试验与标准贯入试验成果表

孔号	深度/m	岩性	旁压剪切模量 G_m /MPa	变形模量 E_0 /MPa	标准贯入 试验击数 N
1	2.2	粉砂	2.47	9.88	16
1	3.2	粉砂	2.5	10	16
1	4.2	粉砂	2.5	10	17
3	3.2	粉砂	3.5	14	19
3	4.2	粉砂	3.25	13	20
5	7.25	细砂	2.8	14	24
5	8.10	细砂	2.8	14	25
7	2.15	粉砂	2.5	9	16
7	3.15	粉砂	2.25	10	18
9	3.5	粉砂	1.75	7	15
9	4.5	粉砂	2	8	17
13	7.5	细砂	3.6	18	26
13	8.2	细砂	3.58	17.9	27
15	8.15	细砂	3.5	17.5	26
17	7.85	细砂	3.34	16.7	24
22	5.65	细砂	2.48	12.4	21
22	6.65	细砂	2.36	11.8	22
25	9.15	细砂	2.64	13.2	24

建立标准贯入击数 N 和变形模量 E_0 之间的线性拟合曲线,如图 1 所示。可知粉细砂层标准贯入击数和变形模量相关系数 $R^2=0.8382$, 大于 0.8, 属于高度相关。中密粉细砂与标准贯入试验之间存在 $E_0=0.7629N-3.2316$ 的关系。

(2) 中粗砂

中粗砂层旁压试验与标准贯入试验成果数据见表 4 及图 2。

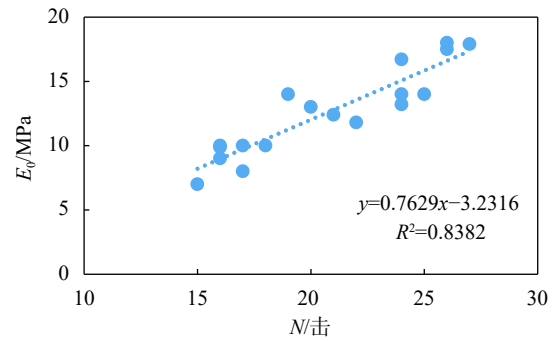


图 1 粉细砂层变形模量和标准贯入击数关系

表 4 中粗砂层旁压试验与标准贯入试验成果表

孔号	深度/m	岩性	旁压剪切模量 G_m /MPa	变形模量 E_0 /MPa	标准贯入 试验击数 N
1	8.45	中砂	1.53	10.71	16
1	9.45	中砂	2.21	15.48	21
2	6.5	中砂	3.48	24.37	23
17	9.1	中砂	1.56	10.89	21
17	10.1	中砂	2.73	19.1	26
26	8.2	中砂	2.5	17.5	25
26	9.2	粗砂	2.27	20.43	29
26	10.2	粗砂	2.32	20.88	30
28	7.1	中砂	2.91	20.37	25
28	8.1	粗砂	2.2	19.8	26
30	7.8	中砂	2.94	20.58	21
30	8.8	中砂	2.57	17.99	23
30	9.8	中砂	2.46	17.22	24
30	10.8	粗砂	2.07	18.63	27

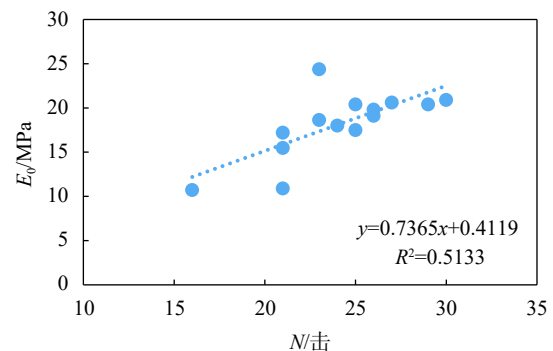


图 2 粗砂层变形模量和标准贯入击数关系

建立标准贯入击数 N 和变形模量 E_0 之间的线性拟合曲线,如图 2 所示。可知本项目中粗砂层标准贯入击数和变形模量相关系数 $R^2=0.5133$ 。 $0.5 < R^2 < 0.8$, 属于中度相关, 但已经临近低度相关, 其结果不可信。其主要原因初步分析, 可能与中粗砂颗粒较粉细砂粗, 级配不良而造成标贯击数的变异性较大。需要进行进一步研究测试。

综上所述,在中密状态下,粉细砂层的变形模量与标准贯入试验击数之间相关性很高,具有如下规律: $E_0=0.7629N-3.2316$ 。

3 展望

受试验场地地层土质所限,本试验成果经验公式仅适用于中密状态下的粉细砂层。对于其他密度状态的粉细砂层变形模量与标准贯入试验击数之间的关系有待进一步的研究。试验中,中粗砂层变形模量与标准贯入试验击数之间的相关性不高,应针对中粗砂的粒径级配与其力学性质关系进行详细研究。

为进一步研究标准贯入试验击数与变形模量的相关性,对标准贯入试验击数进行修正的必要性仍需进一步讨论。修正后的标准贯入试验击数能否与砂土变形模量建立一定的相关性,以及在不同土类引入不同修正系数的基础上如何建立一个对于砂土、粉土、黏性土均适用的公式,值得进一步研究。

4 结论

(1)变形模量是一项很重要的物理力学性质指标,基于旁压试验和标准贯入试验,推导出变形模量与标准贯入试验击数的经验关系式 $E_0=0.7629N-3.2316$,可用于中密粉细砂层变形模量的计算。

(2)本次试验中,粗砂旁压试验所获得变形模量与标准贯入试验击数相关性较低,有待进行进一步深入研究。

参 考 文 献

- [1] DBJ 15—60—2008 建筑地基基础检测规范广东省标[S].北京:中国建筑工业出版社,2008.
- [2] GB 50021—2001 岩土工程勘察规范(2009年版)[S].北京:中国建筑工业出版社,2009.
- [3] 化建新,郑建国.工程地质手册(第五版)[M].北京:中国
- 国建筑工业出版社,2018.
- [4] 陈希哲.土力学地基基础(第四版)[M].北京:清华大学出版社.
- [5] 范子中,王林志,胡 昊,等.地基土变形模量估算新方法[J].湖南交通科技,2016,42(1):20.
- [6] 肖先波.黏性土旁压试验与标准贯入试验土体参数相关性分析[J].施工技术,2017,46(17):131.
- [7] 陈法波,李志云,杨光华,等.福建平潭风化花岗岩原位测试及岩土参数取值研究[J].水利水电技术,2020,51(7):147-153.
- [8] 于元峰,张喜发,李 芳.沙漠砂变形模量和地基承载力试验研究[J].岩土工程界,2006,9(6):30.
- [9] 汪 浩,白文胜,曾祥勇.基于旁压试验的贵阳红黏土力学性质分析[J].中国水运(下半月),2021,21(3):118-120,123.
- [10] 唐 竞,赵云刚,许德鲜,等.不同埋深粉细砂层旁压承载特性试验研究[J].粉煤灰综合利用,2020,34(6):41-44,73.
- [11] 彭柏兴,王星华.软岩旁压试验与单轴抗压试验对比研究[J].岩土力学,2006,(3):451-454.
- [12] 赵善锐.旁压试验及其工程应用[M].成都:西南交通大学出版社,1987.
- [13] 李 昶,吴春勇,施晓文,等.吉阳核电厂古近系砂质软岩地基旁压试验研究[J].工程地质学报,2015,23(1):740-744.
- [14] 袁 峰,周水栋.南京河西砂性土地基承载力旁压试验研究[J].山西建筑,2021,47(7):65-68.
- [15] 王吉利,陈 盼,刘金龙.谈预钻式旁压试验[J].岩石力学与工程学报,2020,39(S1):2911-2919.
- [16] TB 10018—2003 铁路工程地质原位测试规程(条文说明)[S].
- [17] 王晓峰,王树怀.砂土主要物理力学指标关系分析[J].中国科技信息,2017,(19):61-62.

收稿日期:2021-01-15