

doi:10.11835/j.issn.2096-6717.2019.003



自由落体贯入试验获得土体强度的简化分析

孟醒, 王栋

(中国海洋大学 环境科学与工程学院, 青岛 266100)

摘要:自由落体贯入仪(FFP)用于量测黏性土的不排水抗剪强度,具有操作快捷、经济性好等优点,在海洋原位勘察中有相当大的应用潜力。但 FFP 在土中的动力贯入机制复杂,其试验数据解释还存在较大的不确定性。进行 FFP 的室内缩比尺模型试验,同时改进现有的简化分析模型,比较预测与试验结果,验证了借助简化分析模型推算不排水强度的合理性。进而提出 FFP“质量-初始贯入速度”图,根据场地土强度的大致范围和贯入深度要求,能够快速设计现场试验需要的 FFP 质量与初始贯入速度。

关键词:贯入仪;模型试验;原位试验;黏土;抗剪强度

中图分类号:TU411.93 **文献标志码:**A **文章编号:**2096-6717(2019)01-0022-07

Simplified analysis of determining undrained shear strength from FFP tests

Meng Xing, Wang Dong

(College of Environmental Science and Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266100, Shandong, P. R. China)

Abstract: Free-fall penetrometers (FFPs) are used to measure undrained shear strength of cohesive soils. FFPs are featured with quick operation and good economical efficiency, with significant potential in offshore in-situ investigations. However, the data interpretation of FFP tests is impaired by uncertainty in the dynamic penetration mechanism of FFPs. Reduced-scale model tests were conducted in kaolin clay with different strength profiles, whilst a simplified analytical model was modified to predict the undrained strength through the penetration velocity profile. The analytical model was validated by comparison with the testing data. Based on parametric study, the "FFP mass-impact velocity" contours are proposed for quick design of the in-situ tests given the rough range of undrained strength from local experiences.

Keywords: penetrometers; model test; in-situ investigation; clay; shear strength

近年来,石油、天然气和风电等海洋资源的开发吸引了越来越多的关注。在复杂的海洋环境中获得

海底土样不仅成本高昂,而且取样和运输过程中扰动严重,确定地层分布及沉积物的力学性质要求更

收稿日期:2018-04-07

基金项目:国家自然科学基金(41772294)

作者简介:孟醒(1994-),女,主要从事海洋岩土工程研究,E-mail:mengxing@stu.ouc.edu.cn.

王栋(通信作者),男,教授,博士,E-mail:dongwang@ouc.edu.cn.

Received:2018-04-07

Foundation item:National Natural Science Foundation of China(No. 41772294)

Author brief:Meng Xing (1994-), main research interest: offshore geotechnical engineering, E-mail: mengxing@stu.ouc.edu.cn.

Wang Dong (corresponding author), professor, PhD, E-mail: dongwang@ouc.edu.cn.

先进的技术。与传统“取样-室内试验”相比,原位测试技术能快速准确地测定沉积物力学参数,在海洋岩土工程中具有良好的应用前景。常用的海洋黏性土原位强度测试方法包括:1)十字板法,该方法设备简单,便于应用,但每次只能量测一个深度处的不排水抗剪强度,且量测结果受扭剪速率影响较大。2)静力触探,该方法是海洋工程中应用最广泛的原位测试手段,能获得黏性土不排水强度随深度的连续变化,但设备安装耗时长,海上操作费用高。

自由下落式贯入仪(Free-Fall Penetrometer, FFP)是一种在静力触探基础上发展起来的新型海上原位仪器,依靠在自由下落过程中获得的动能,贯入仪以一定的初始速度接触黏性土海床表面,然后在阻力作用下速度逐渐降低直至为 0。通过在 FFP 上安置加速度传感器,可量测贯入仪在水中下落及土中贯入的实时加速度,通过求解运动方程,推算海床土的不排水强度^[1]。与传统的静力触探相比,FFP 具有结构轻便、操作方法简单及经济性好等优点^[2],在海洋作业中已有少量应用^[3]。虽然与测定土体液塑限的落锥几何外形相似,但 FFP 一般不用作土样的单元试验,进行室内模型试验是为了总结 FFP 贯入过程规律。FFP 贯入速度快、动力贯入机制复杂,导致其数据解释还存在较大的不确定性。现有的研究多借助土工离心机试验^[6]及常规重力条件下的模型试验^[9],变化土体的不排水抗剪强度、FFP 的几何形状与重量、初始贯入速度等,研究 FFP 在沉积物中的实时贯入速度与埋深。对应的理论讨论多集中在土体不排水强度的率相关特性与贯入深度之间的关系。O'Loughlin 等^[6]曾提出动力贯入锚的简化分析模型,动力贯入锚的形状和工作机理与 FFP 相似,因而简化分析模型也可用于研究 FFP 的工作性能。

笔者进行 FFP 室内缩比尺模型试验,同时改进现有的简化分析模型,通过对比预测结果与试验结果验证简化分析模型的合理性,并进行变动参数计算,针对海底浅层典型黏土的不排水抗剪强度分布,提出“FFP 质量-贯入速度”等值图,在已知 FFP 质量、贯入速度与贯入深度条件下,能够快速估计试验场地不排水抗剪强度的大致范围。

1 试验材料与方法

1.1 土样制备与 FFP 模型

室内模型试验所用土样为商品高岭土,塑限为

37%,液限为 61%,三轴压缩试验测得有效内摩擦角为 24.6°,单向压缩试验得到应力水平 20~50 kPa 下的固结系数为 11 m²/a。将白色的高岭土粉末与水混合均匀,制成 1.2 倍液限含水率的泥浆,然后将泥浆移入高 800 mm、直径 600 mm 的圆柱形模型箱中。模型箱底部铺设 50 mm 厚排水砂层并设置排水孔,土样表面铺设排水毡层,制造双面排水条件。毡层上逐级增加配重,使得土样排水固结。先后制备 3 箱土样,通过改变每箱土样上的配重,制造 3 种典型的不排水强度随深度变化的情况:1)模型箱 1,首级加载 0.2 kPa,总加载 5.0 kPa,加载共持续 4 周,土样最终高度 500 mm,由于加载级数较多,并且每级加载固结时间较长,造成土样的不排水强度大致均一;2)模型箱 2,首级加载 0.5 kPa,总加载 9.8 kPa,加载共持续 2 周,土样最终高度 550 mm,由于加载级数较少、每级加载持续时间较短,造成的不排水强度随深度线性增加;3)模型箱 3,分两个阶段固结,第 1 阶段首级加载 0.5 kPa,总加载 9.8 kPa,加载持续 2 周;然后在土样表面添加泥浆,第 2 阶段首级加载 0.5 kPa,总加载 5.0 kPa,加载持续 1 周,土样最终高度为 620 mm。模型箱 1 和模型箱 3 加载过程如图 1 所示。当土样固结完成后,卸除全部配重,将土样表层修平。土样表面不设上覆水层,为防止水分蒸发导致强度变化,所有试验要在 12 h 内完成。FFP 由锥尖、探杆及内置的加速度测量模块组成,如图 2 所示。探杆由若干 200 mm 长的短杆通过螺纹连接而成。短杆的数目可以自由改变,以调整探杆的长度和质量。采用两种直径的锥尖,直径 D 分别为 10、16 mm。加速度测量模块为商品化的三轴姿态传感器,安装在工程塑料保护壳内,并通过蓝牙与电脑通讯,数据实时传输,加速度测量量程为 $\pm 16g$,采集频率为 200 Hz。通过传感器测得初始加速度数据后,对时间积分获得 FFP 运动速度,再次对时间积分获得运动距离。试验整体平台如图 3 所示。

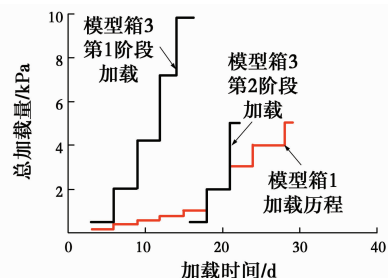


图 1 模型箱 1 和模型箱 3 的加载过程

Fig. 1 Loading process in strong boxes 1 and 3

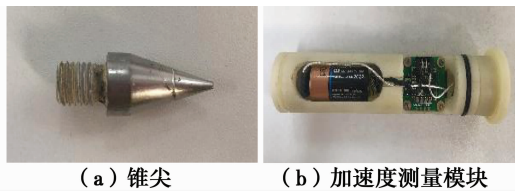


图 2 自由下落式贯入仪模型

Fig. 2 Model of free-fall penetrometer

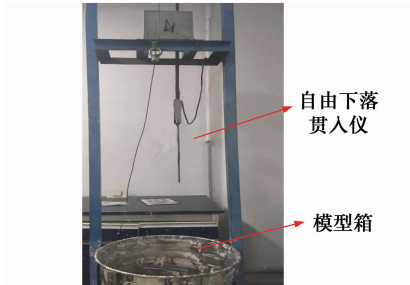


图 3 试验贯入平台

Fig. 3 Experimental platform for CPT and FFP tests

1.2 试验安排

首先在模型箱 1 内进行标准静力触探 CPT 试验(探杆直径 35.7 mm, 贯入速度 20 mm/s), 在模型箱 2

和模型箱 3 内进行微型 CPT 试验(探杆直径 10 mm, 贯入速度 5.6 mm/s), 以获得土样的不排水强度。模型箱 2 内也进行了 1 个标准 CPT 试验, 证明了标准和微型 CPT 获得的不排水强度差别不大。取锥尖阻力系数为 14^[11], CPT 试验结果如图 4 所示: 模型箱 1 的不排水强度近似均匀, $s_u = 2.6$ kPa; 模型箱 2, $s_u = 1.8 + 2.33z$ kPa; 模型箱 3 的强度按多段直线表示, 见图 4(c)。当 CPT 探头接近模型箱底部时, 贯入阻力突然增高是由于锥尖接近排水砂层。

FFP 试验集中在研究 FFP 质量、初始贯入速度及土体不排水强度对贯入曲线的影响。为保证 FFP 在空气中垂直下落, 在土体上方设置导轨, FFP 由预定高度处释放后沿导轨自由下落。3 个模型箱中分别进行了 30 个、24 个以及 10 个贯入试验, 具体试验安排如表 1 所示。表中列出了 FFP 的质量 m 、直径 D 及初始贯入速度 v_i 。Chow 等^[10]报告 FFP 贯入导致的径向变形集中在 $2D$ 范围内, 本试验中规定任意两个 FFP 贯入点之间的间距不小于 $5D$ 、FFP 与 CPT 贯入点间隔 $8D$ 以上。

表 1 FFP 试验安排

Table 1 FFP model test program

模型箱号	质量 m /kg	直径 D /mm	释放高度 h /m	初始贯入速度 v_i /($m \cdot s^{-1}$)	ρ /($kg \cdot m^{-3}$)
1	0.38, 0.54, 0.72, 1.28	10, 16	0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0	0~4.43	1600
2	0.54, 0.72, 1.12, 1.28, 1.74	10, 16	0.2, 0.3, 0.4	1.98~2.80	1650
3	0.72, 1.28, 1.74	10, 16	0.3, 0.4, 0.5, 0.6	2.43~3.43	1620

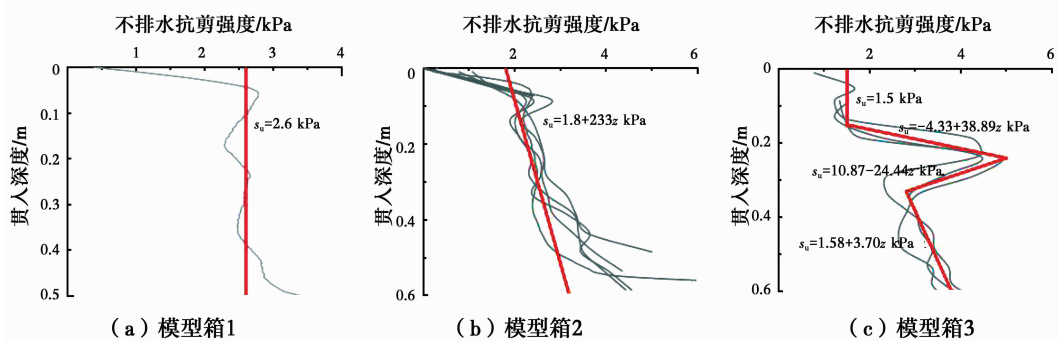


图 4 实测强度曲线

Fig. 4 Undrained strength profiles measured

2 试验结果与简化分析模型

2.1 典型试验曲线

此处只展示典型的 19 个试验结果。图 5(a)、(c)、(e)分别为模型箱 1、2、3 中相同质量、不同释放高度下的 FFP“速度-埋深”曲线; 图 5(b)、(d)分别为模型箱 1 和 2 中不同 FFP 质量、相同释放高度所

得曲线, 贯入速度相同时, FFP 质量越大, 对应的最终贯入深度越大; 图 5(f)为 3 组模型箱中 FFP 质量、贯入速度均相同时的贯入曲线。所有 FFP 试验贯入速度范围在 0~4.43 m/s, 最大贯入深度 326 mm, 相比与制备土样厚度 500~600 mm, 距土样底面超过 10D, 可以避免边界效应的影响。试验结果符合一般规律。

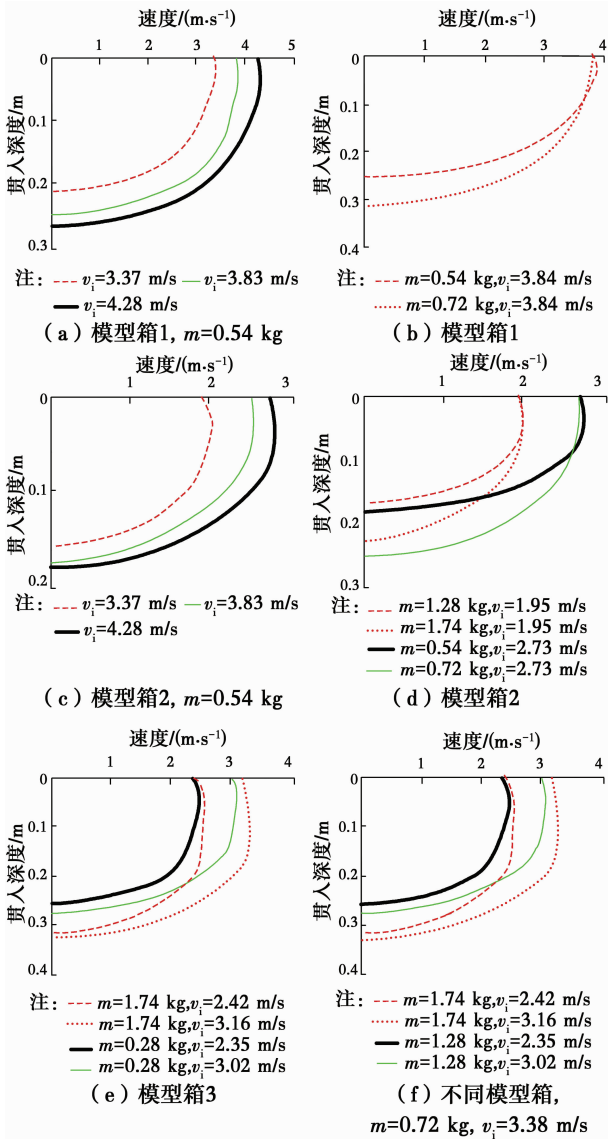


图 5 室内模型试验结果

Fig. 5 Experimental FFP velocity profiles

2.2 简化分析模型

参考 O'Loughlin 等^[6]提出的简化模型,分析 FFP 在土中的运动过程。作用在 FFP 上的力包括水中的自重 W_s 、贯入到土中后排开土受到的浮力 F_b 、与土体侧壁接触面积上的摩擦阻力 F_{frict} 、锥尖受到的端阻力 F_{bear} 以及拖曳力 F_d ,拖曳力是贯入过程中周围被带动加速的土体反作用于 FFP 上的力,类似于物体在水中运动时受到的阻力。按照牛顿第二定律,任意时刻 FFP 的动力平衡方程为

$$(m + m') \frac{d^2 z}{dt^2} = W_s - F_b - R_f (F_{frict} + F_{bear}) - F_d \quad (1)$$

$$F_{frict} = \alpha s_{uref_a} A_s \quad (2a)$$

$$F_{bear} = N_c s_{uref_t} A_p \quad (2b)$$

$$F_d = \frac{1}{2} C_d \rho A_p v^2 \quad (2c)$$

式中: m' 为附着在 FFP 上土的质量; z 为锥尖贯入深度; t 为时间; α 为摩擦系数; N_c 为承载力系数; A_s 和 A_p 分别为与土接触的 FFP 侧壁面积和投影面积; s_{uref_a} 和 s_{uref_t} 分别为与 FFP 接触的土体的平均参考强度以及 FFP 尖端处土体强度; C_d 为拖曳系数; v 为任意时刻 FFP 的速度。

应变率增加会导致土体不排水强度的增加, R_f 为描述速率相关性的参数,某一应变率对应的不排水强度通常用式(3a)表示,其中 R_f 可用对数或指数形式表达,并且指数形式更适合应变速率大范围变化的问题。

$$s_u = s_{uref} \cdot R_f \quad (3a)$$

$$R_f = (\dot{\gamma}/\dot{\gamma}_{ref})^\beta = \left(\frac{v/D}{(v/D)_{ref}} \right)^\beta \quad (3b)$$

式中: s_{uref} 为参考应变速率; $\dot{\gamma}_{ref}$ 为对应的参考强度; $\dot{\gamma}$ 为实时应变速率; $\dot{\gamma}_{ref}$ 、 β 为应变速率参数。在实际情况中,土中任意位置的应变速率不断变化,其典型值通常用贯入仪或锚的 v/D 代表, $(v/D)_{ref}$ 为用于确定 s_{uref} 的静力触探的贯入速度与直径的比值。

试验采用的 FFP 模型形状细长,附加质量项 m' 可以忽略不计^[13]。O'Loughlin 等提出的简化模型以动力贯入锚为研究对象,假定锚完全贯入土中(也就是锚的最终埋深大于锚长),当锚的贯入深度超过一定临界值后,上部土体发生回流。而 FFP 的现场及模型试验中发现,FFP 贯入深度一般不会超过自身长度,因而修正 O'Loughlin 等的简化模型,假定没有任何土体回流。采用 Fortran 语言,编程实现了式(1)的连续求解。

2.3 模型主要参数选择

式(3b)中应变速率参数 β 的取值一般通过反演获得,典型的 β 取值有 $0.05 \sim 0.09$ ^[15]。Low 等^[18]认为在速率变化数量级在 $10^{-1} \sim 10^2$ 范围内时,高岭土 β 值的典型范围为 $0.03 \sim 0.08$ 。经过大量试算,此处取 $\beta=0.07$ 。参考应变速率 $(v/D)_{ref}$ 指标准和微型 CPT 试验, $(v/D)_{ref} = 0.56$ 。摩擦系数 α 通常取值为土体灵敏度的倒数^[19],这实际上是假定 FFP 周围的土在贯入过程中被完全扰动。对于一般高岭土,灵敏度典型范围为 $1 \sim 3$ ^[20],即 $\alpha=0.33 \sim 1$ 。试验中土样的固结时间最长只有 4 周,制备出的土样很难具备很强的结构性,因此,取 $\alpha=0.7$ 。式(2b)中的承载力系数 N_c ,Chung 等^[21]对球形建议取 $7 \sim 13$,Chow 等^[10]对圆锥类似的形状取 12 ,此处

采用 $N_c=12$ 。式(2c)中的拖曳力系数 C_d 与几何形状相关,可以通过试验^[22]或数值分析^[23]获得。Richardson^[24]建议头部椭圆形状且长短轴长度相差较大的圆杆, C_d 取 0.24;当头部为圆形时, C_d 增加到 0.35。试验采用的 FFP 形状与前者形状类似,此处定为 0.24。

采用显式积分法求解 FFP 贯入的控制方程:将整个荷载和运动过程分成一系列时间步,选用二阶中心差分法求解每一时步 FFP 的速度与加速度。

$$\dot{z}_k = \frac{z_{k+1} - z_{k-1}}{2\Delta t} \quad (4a)$$

$$\ddot{z}_k = \frac{z_{k+1} - 2z_k + z_{k-1}}{(\Delta t)^2} \quad (4b)$$

式中:变量下标表示所在的时间步。时间步长的选择是影响程序计算精度的重要因素,试算发现当步长小于 10^{-4} s 时,计算结果相差极小,以下计算取步长为 10^{-4} s。

2.4 简化分析模型与试验结果比较

简化分析模型与试验结果的比较如图 6 所示。大部分工况中简化分析模型的预测结果与试验数据吻合较好,误差在合理的范围内,最终贯入深度 z_u 的误差最大不超过 25%。64 组 FFP 试验中,误差在 10% 以内的 15 组,误差 10~20% 的 42 组,误差大于 20% 的 7 组。上述比较证明了简化分析模型的预测结果较为可靠。

程曲线和式(1)推算黏土的不排水强度分布,也可以根据场地强度的经验范围快速设计 FFP 试验参数。取海洋黏土灵敏度典型值 2.5($\alpha=0.4$),以得到更为普适的结论。海洋软土浅层的两种典型强度分布为:1)强度均匀。图 7(a)~(c)分别为 $s_u=1, 2$ 和 3 kPa 时,贯入深度为 1、2、3 m 时对应的“FFP 质量-贯入速度”。2)强度随深度线性增加, $s_u = s_{u0} + kz$, s_{u0} 为表层土的强度, k 为强度增长坡度。图 7(d)和(e)为 $s_{u0}=1$ kPa、 $k=0.8, 1.2, 1.4$ kPa/m 时,最终贯入深度为 1 m 和 2 m 时对应的“FFP 质量-初始贯入速度”。由区域以往经验,大致知道浅层土的强度,根据调查要求的埋深,由图 7 可以快速查得需要配置的 FFP 质量和初始贯入速度。在实际应用时,FFP 的实际贯入速度一般小于 10 m/s,故图 7 只展示贯入速度小于 12 m/s 时的贯入速度。

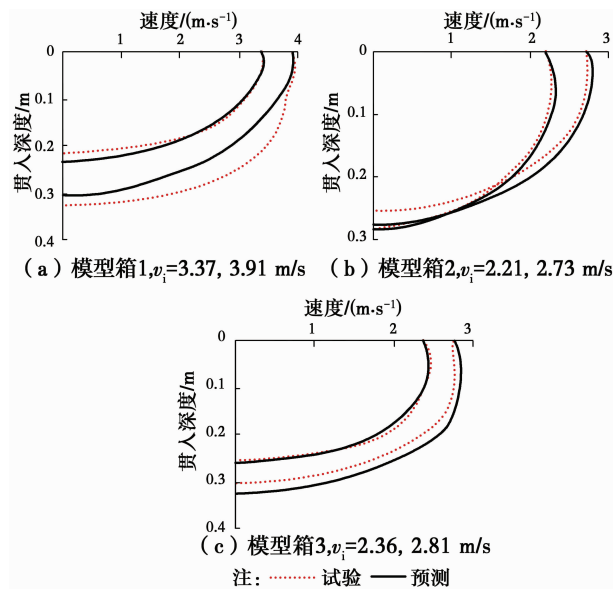
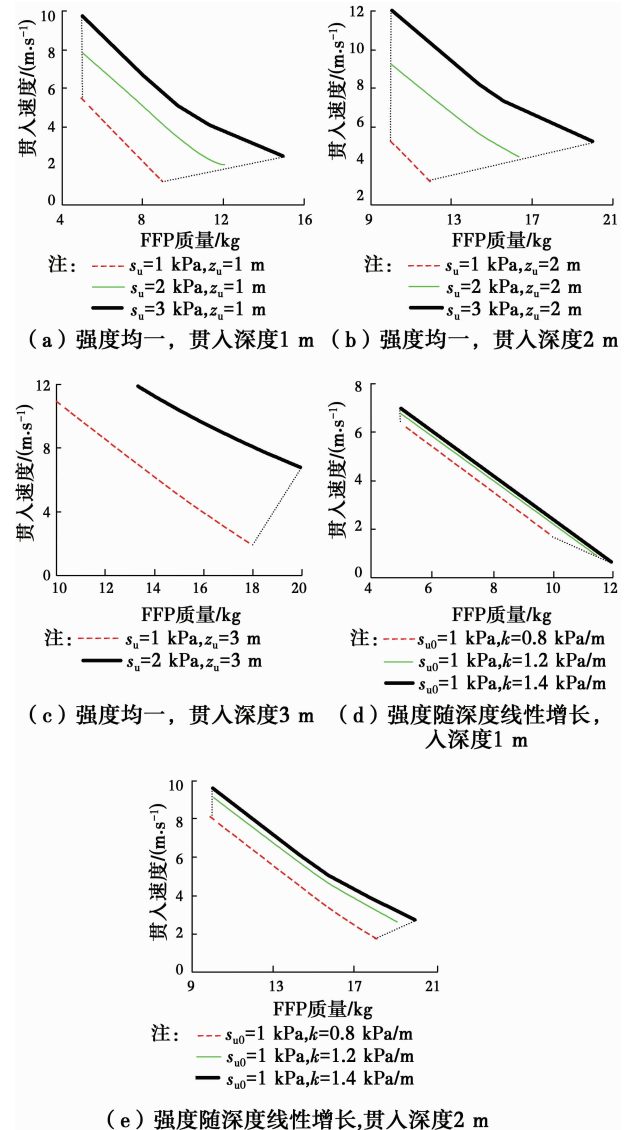


图 6 简化模型与试验结果比较

Fig. 6 Predicted and measured FFP velocity profiles

3 参数分析

利用简化分析模型,既可以通过量测的贯入时

图 7 FFP“质量-初始贯入速度”曲线

Fig. 7 FFP “mass-initial impact velocity” curves

根据图7,如果要达到3 m的最终贯入深度,即使土体强度低到1 kPa时,FFP质量也需要超过10 kg,且贯入速度不能低于12 m/s。该条件在实际中不宜实现,因而FFP的贯入深度一般不能超过3 m。

4 结论

通过室内模型试验,研究了FFP在黏性土中的贯入过程,探讨FFP质量和初始贯入速度对贯入过程的影响,发现两者与FFP最终贯入深度成正比。根据FFP工作特点,发展了追踪整个贯入过程的简化分析模型。通过对比试验结果与预测结果验证了简化模型的可靠性。利用简化分析模型,可以通过量测的贯入时程曲线推算黏性土的不排水强度分布。进行了变动参数计算,以海底浅层软土两种典型强度分布为代表,给出了FFP的“质量-初始贯入速度”关系曲线,发现在实际应用中FFP贯入深度很难超过3 m。

参考文献:

- [1] 朱超祁,张民生,贾永刚,等. 深海浅层沉积物强度贯入式原位测试装置研制[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版),2017,47(10):121-125.
ZHU C Q, ZHANG M S, JIA Y G, et al. Design and development of the free-fall CPT equipment used in deep water [J]. Periodical of Ocean University of China, 2017, 47(10): 121-125. (in Chinese)
- [2] JEANJEAN P, SPIKULA D, YOUNG A. Technical vetting of free-fall cone penetrometer [J]. IEEE Journal of Selected Topics Society in Signal Processing, 2012, 6(2):165-179.
- [3] MULHEARN P J. Influences of penetrometer tip geometry on bearing strength estimates [J]. International Journal of Offshore and Polar Engineering, 2003, 13(1): 73-78.
- [4] STEGMANN S, VILLINGER H, KOPF A. Design of a modular, marine free-fall cone penetrometer [J]. Sea Technology, 2006, 47(2): 27-33.
- [5] KOPF A, STARK N, HANFF H. Nimrod: A tool for rapid geotechnical characterization of surface sediments [J]. Sea Technology, 2009, 50(4): 10-14.
- [6] O'LOUGHLIN C D, RICHARDSON M D, RANDOLPH M F. Penetration of dynamically installed anchors in clay [J]. Geotechnique, 2013, 63(11): 909-919.
- [7] O'BEIRNE C, O'LOUGHLIN C D, GAUDIN C. Assessing the penetration resistance acting on a dynamically installed anchor in normally consolidated and over consolidated clay [J]. Canadian Geotechnical Journal, 2017, 54(1): 1-17.
- [8] HOSSAIN M S, O'LOUGHLIN C D, KIM Y. Dynamic installation and monotonic pullout of a torpedo anchor in calcareous silt [J]. Geotechnique, 2015, 65(2): 77-90.
- [9] CHOW S H, O'LOUGHLIN C D, WHITE D J, et al. An extended interpretation of the free-fall piezocone test in clay [J]. Geotechnique, 2017, 67(12): 1-14.
- [10] CHOW S H, AIREY D W. Free-falling penetrometers: a laboratory investigation in clay [J]. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 2014, 140(1): 201-214.
- [11] STEINER A, KOPF A J, L'HEUREUX J, et al. In situ dynamic piezocone penetrometer tests in natural clayey soils-A reappraisal of strain-rate corrections [J]. Canadian Geotechnical Journal, 2014, 51: 272-288.
- [12] LUNNE T, ROBERTSON P K, POWELL J J M. Cone penetration testing in geotechnical practice [M]. Blackie Academic and Professional, 1997.
- [13] SHELTON J T, NIE C, SHULER D. Installation penetration of gravity installed plate anchors-laboratory study results and field history data [C] // The Proceeding of the Offshore Technology Conference, Houston, 2011.
- [14] BLAKE A P, O'LOUGHLIN C D. Installation of dynamically embedded plate anchors as assessed through field tests [J]. Canadian Geotechnical Journal, 2015, 52(9): 1270-1282.
- [15] JEONG S W, LEROUEIL S, LOCAT J. Applicability of power law for describing the rheology of soils of different origins and characteristics [J]. Canadian Geotechnical Journal, 2009, 46(9): 1011-1023.
- [16] CHUNG S F, RANDOLPH M F, SCHNEIDER J A. Effect of penetration rate on penetrometer resistance in clay [J]. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 2006, 132(9): 1188-1196.
- [17] LEHANE B M, O'LOUGHLIN C D, GAUDIN C, et al. Rate effects on penetrometer resistance in kaolin [J]. Geotechnique, 2009, 59(1): 41-52.
- [18] LOW H E. Performance of penetrometers in deepwater soft soil characterisation [D]. Crawley, Australia: The University of Western Australia, 2009.
- [19] KARLSRUD K, KALSNES B, NOWACKI F. Response of piles in soft clay and silt deposits to static and cyclic axial loading based on recent instrumented pile load tests [C] // The Proceedings of the Offshore

- Site Investigation and Foundation Behaviour, Volume 28 of the Series Advances in Underwater Technology, Ocean Science and Offshore Engineering, London, 1993: 549-583.
- [20] WATSON P G, SUEMASA N, RANDOLPH M F. Evaluating undrained shear strength using the vane shear apparatus [C] // The Proceedings of the International Offshore and Polar Engineering Conference, Seattle, USA, 2000: 485-493.
- [21] CHUNG S F. Characterization of soft soils for deep water developments [D]. The University of Western Australia, Crawley, Australia, 2005.
- [22] WATSON P G, SUEMASA N, RANDOLPH M F. Evaluating undrained shear strength using the vane shear apparatus [C] // The Proceedings of the International Offshore and Polar Engineering Conference, Seattle, USA, 2000: 485-493.
- [23] GAUDIN C, O'LOUGHLIN C D, RANDOLPH M F, et al. Influence of the installation process on the performance of suction embedded plate anchors [J]. Geotechnique, 2006, 56(6): 381-391.
- [24] RICHARDSON M D. Dynamically installed anchors for floating offshore structures [D]. Crawley, Australia: The University of Western Australia, 2008.
- (编辑 胡英奎)

期刊更名启事

经国家新闻出版署批准,《土木建筑与环境工程》更名为《土木与环境工程学报(中英文)》。《土木与环境工程学报(中英文)》国内统一连续出版物号为 CN50-1218/TU,文种为中英文,主管单位为教育部,主办单位为重庆大学,出版单位为《土木与环境工程学报(中英文)》编辑部(重庆大学内设机构)。《土木与环境工程学报(中英文)》的办刊宗旨:刊载国内外土木工程、环境科学与工程等领域最新研究成果,促进学术交流,培育高级人才,推动相关学科的繁荣发展。

期刊自 2019 年第 1 期正式启用新刊名《土木与环境工程学报(中英文)》,同时停用刊名《土木建筑与环境工程》。

《土木与环境工程学报(中英文)》编辑部
2019 年 2 月 20 日