

doi:10.11835/j.issn.1674-4764.2014.06.013

涡压挤扩机理应用于地基处理的室内试验研究

李春宝^{1a}, 薛世峰^{1a}, 俞然刚^{1a}, 张艳美^{1a}, 孙翔^{1b}, 刘晓辉^{1a}, 赵致俊²

(1. 中国石油大学(华东) a. 储运与建筑工程学院; b. 规划建设处, 山东 青岛 266580;

2. 莱西市建筑总公司, 山东 青岛 266600)

摘要:分析了现有各种地基处理方法的优缺点,首次提出并经室内试验验证了涡压挤扩机理。使用自行设计制作的涡压挤扩环境箱和钢套管实施粘性土和砂性土的涡压挤扩试验,设置于钢套管内的涡压叶片可顺利地将其内部的流态混凝土挤扩到周围的土体中。定义了扩径比,测得不同扭矩条件下砂性土和粘性土的扩径比,并得到其极限扭矩。对涡压过程中混凝土可能出现的流动形态进行分析,建立混凝土流动分析模型,得到流态混凝土在涡压腔内的动力学模型。结果表明,采用涡压挤扩方法处理地基在理论上是可行的,具有较强的适用性,涡压挤扩方法将为地基处理行业注入新的活力。

关键词:涡压挤扩机理;地基处理;扩径比;混凝土流动形态

中图分类号:TU444 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-4764(2014)06-0078-04

Laboratory Experimental Analysis of Foundation Treatment Using Vortex Squeeze Expansion Mechanism

Li Chunbao^{1a}, Xue Shifeng^{1a}, Yu Rangang^{1a}, Zhang Yanmei^{1a}, Sun Xiang^{1b}, Liu Xiaohui^{1a}, Zhao Zhijun²

(1a. College of Pipeline and Civil Engineering; 1b. Planning and Construction Department, China University of Petroleum, Qingdao 266580, Shandong, P. R. China; 2. General Construction Company of Laixi, Qingdao 266600, Shandong, P. R. China)

Abstract: The advantages and disadvantages of existing methods of foundation treatment were analyzed. The “vortex squeeze expansion mechanism” was proposed and tested in the laboratory. The self-designed vortex squeeze expanding environment box and steel casing were used to implement the vortex squeeze expanding experiment. The vortex pressure blade in the steel casing can squeeze the flowing concrete into the surrounding soil medium smoothly. The expanded diameter ratio was defined. The expanded diameter ratio conditions of sandy soil and clay under different torque and the ultimate torque were presented. The concrete flow analysis model and dynamics model of concrete in the vortex pressure chamber was established based on the analysis of flow patterns that occurred during the vortex compressed concrete. The results indicate that it's feasible to use the method of vortex squeeze expansion to handle foundation, it have strong applicability. Vortex squeeze expansion mechanism will bring new vitality for the foundation treatment methods.

Key words: vortex squeeze expansion mechanism; foundation treatment; expanded diameter ratio; concrete flow pattern

收稿日期:2014-05-15

基金项目:2013年国家自然科学基金(51208510);2014年中国石油大学(华东)研究生自主创新基金(14CX06134A)

作者简介:李春宝(1980-),男,博士生,主要从事岩土工程、工程力学研究,(E-mail)13905321393@163.com。

目前地基处理方法主要有:换土垫层法、振动挤密法、排水固结法、置换法、加筋法、胶结法等^[1-3]。上述方法在以往的地基处理中发挥了积极的作用,但都存在各种弊端阻碍了每种方法的广泛推广。如强夯法产生的噪音影响周围居民的生产和生活,并且会引起对周围土体产生扰动,导致土体应力状态和应力路径改变以及土体工程性质变异,或有可能诱发土体液化^[4-5];换土垫层法、置换法、加筋法工作量大,成本较高^[6-7];排水固结法周期较长;胶结法质量难以控制、保证^[8-9]。基于以上原因,首次提出并验证了“涡压挤扩机理”,并将“涡压挤扩机理”应用于地基处理。笔者设计了带有涡压叶片的钢套管^[10],可在地面以下沿水平方向将流态混凝土涡压挤扩到需要加固的土层中,在该土层附近区域形成增强体,提高了该土层在水平方向和竖直方向抗剪强度,降低土体的压缩性。该方法适用性强、处理深度大、简单易行、保证质量、造价低廉。

1 涡压挤扩机理介绍

涡压挤扩机理是利用钢套管在旋转的过程中使涡压腔内的流态混凝土获得动能和静压能(其中静压能占主导),获得静压能的流态混凝土经过涡压腔口被涡压叶片挤压到套管外的周围土体中,使流态混凝土在深度土层位置向水平方向挤扩。此机理已在中国石油大学(华东)岩土工程实验室内得到验证(见图1)。运用涡压挤扩机理进行地基处理的过程中,石子被挤入到周围土体中形成扩径体,能够有效地挤密桩周土体;水泥浆被挤扩带入到周围土体中与其凝结固化,起到了胶结土体的作用。桩体、扩径

体和周围的胶结土体形成的共同体使得地基土在水平方向和竖直方向的整体强度得到了大幅度提高。

2 涡压挤扩机理室内试验

涡压挤扩机理的验证试验采用的挤扩环境箱和涡压套管等设备为自行设计的,委托中国石油大学(华东)机械加工厂制作(图1)。钢套管顶部设孔,作为扭矩扳手的施力点,钢套管总高度为800 mm,内径为100 mm,壁厚5 mm,距离钢套管底部100 mm处以上设置涡压腔,涡压腔的高度为120 mm。挤扩环境箱由1个底板、2个侧壁板和1个盖板组成(图1(a)、(b)),2个侧壁板所围成的圆柱形箱体直径为800 mm,箱体高度为600 mm。底板中心位置设有固定钢套管的环箍,盖板上设有固定钢套管的圆孔,底板环箍的圆心与顶板圆孔的圆心同轴,以方便钢套管顺利旋转。试验过程中,首先将2个侧壁板与底板用螺栓固定好,将钢套管底部放置在底板的环箍内;将粘性土或砂性土投放到挤扩环境箱内,并作夯实处理,以模拟真实的土质环境;再将盖板放置在侧壁板上,使得钢套管从盖板中央的孔中穿出,使用螺栓将盖板和侧壁板固定好;将流态混凝土灌入到钢套管内,顺时针旋转扭矩扳手,带动钢套管旋转,钢套管内的流态混凝土即可通过涡压腔口(图1(c))被挤扩到周围土体中;挤扩至预定的扭矩值时,拔出钢套管;待混凝土强度 $\geq 50\%$ 时,将盖板和其中的一个侧壁板拆除掉,剥开粘性土或砂性土介质,并用毛刷将桩体模型表面的残留土质刷掉,即可看到图1(a)、(b)中所示的混凝土扩径部分。

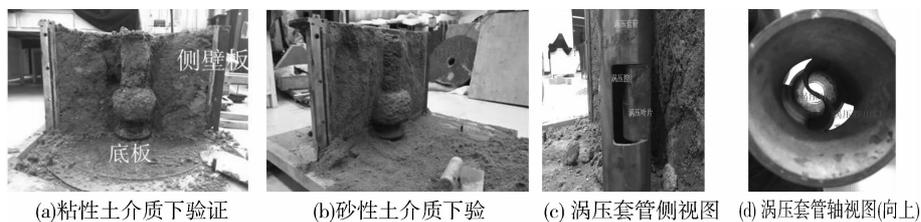


图1 涡压挤扩机理的试验验证

试验所采用的粘性土物理力学性能指标^[11]:孔隙比 $e=0.675$,天然重度 $r=19.2 \text{ kN/m}^3$,含水量 $w=22.5\%$,塑性指数 $I_p=16.2$,液性指数 $I_L=0.15$,压缩系数 $a_{1-2}=0.14 \text{ MPa}^{-1}$,标贯击数 $N=18$,属于中等偏低压缩性土。模型桩的直径 d 为100 mm,最大扩径部分的直径 D 为200 mm,在涡压挤扩过程中所需要的扭矩通过扭矩扳手测量,以扭矩为控制指标,待扭矩扳手上的数据分别显示

50、100、150、200、250 $\text{N} \cdot \text{m}$ 时停止旋扭,待混凝土强度 $\geq 50\%$ 时,将挤扩环境箱拆开,测量扩径的尺寸 Δr , Δr 为扩径部分的半径增加量,将 Δr 与模型桩直径 d 的比值定义为扩径比。扭矩与扩径尺寸 Δr 之间的关系(见图2),最大扩径比为0.5。

试验中所采用的砂性土物理力学性能指标^[12]:其 $w=20.6\%$, $N=21$ 击, $r=20.0 \text{ kN/m}^3$,属中等偏低压缩性土,为中密状态。模型桩的直径 d 为

100 mm,最大扩径部分的直径 D 为 220 mm。采用粘性土介质中的测试方法实施砂性土介质的挤扩试验,扭矩与扩径尺寸之间的关系(见图 3),最大扩径比为 0.6。

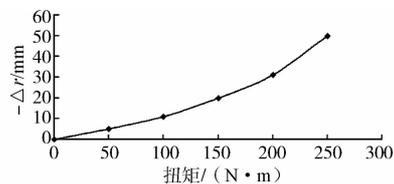


图 2 粘性土介质中扭矩- Δr 关系图

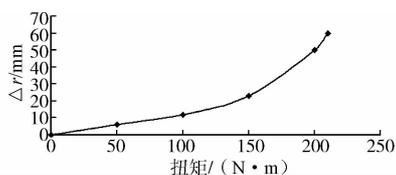


图 3 砂性土介质中扭矩- Δr 关系图

由扭矩- Δr 关系图可知: Δr 的大小与施加在钢套管上的扭矩呈非线性关系,且决定于土的压缩性。当土在弹塑性区域范围内被充分挤压时,曲线最初是平缓上升,后期曲率突然变大,在挤扩的后期即使增大扭矩也难以继续扩径,此时的扭矩为涡压挤扩的极限扭矩。这时的土体最为密实,抗剪强度达到最大,达到地基处理的目的。

3 涡压腔内流态混凝土流动形态的分析

钢套管内混凝土是通过涡压叶片(图 1(c))挤扩到周围土体中的,为了建立混凝土在涡压腔内运动的动力学模型,对涡压过程中混凝土可能出现的流动形态进行分析。根据涡压腔的结构特点和涡压原理,建立混凝土流动分析模型,得到混凝土在涡压腔内的动力学模型。

涡压腔内的混凝土流动状态较为复杂,并不是单纯的轴向流动和径向流动,而是两种运动复合的紊流运动。要得到理论模型,需将这种复杂的流动状态予以简化。提出假设^[13]:由于涡压腔内设置了涡压叶片,且流态混凝土受到重力的作用,可将涡压腔内混凝土的运动轨迹分解为两部分,一部分为沿涡压腔体轴向的竖向运动(图 4(a)),另一部分为与涡压腔体轴线垂直的水平方向运动(图 4(b))。涡压叶片驱使混凝土向涡压腔外水平方向扩散^[14-15]。

由于钢套管内部灌满了流态混凝土,在重力的作用下,在涡压腔的上部位置产生较大的静压力。钢套管在旋转的过程中,涡压腔内的流态混凝土被

不断地涡压到周围土体中,形成负压,涡压腔将不断的“吞吸”上部的流态混凝土进入腔体。所以,流态混凝土在钢套管和涡压腔内的运动可认为是连续稳定的。

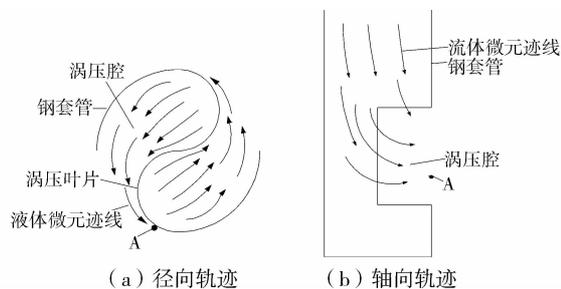


图 4 涡压腔内部混凝土运动轨迹

4 结论

提出并在实验室内验证了“涡压挤扩机理”,使用自制的挤扩环境箱在实验室内分别对粘性土和砂性土进行了挤扩试验,定义了“涡压挤扩机理”中所用到的扩径比和极限扭矩,结果表明:通过涡压挤扩方法可使模型桩的直径扩大 1 倍以上,实现了挤密土体、增加土体抗剪强度的目的。通过建立混凝土流动分析模型,得到混凝土在涡压腔内的运动轨迹图。证实了涡压腔内混凝土的流动趋势为混凝土向腔体外涡压挤扩的假设。随着对“涡压挤扩机理”进行更深入的研究,亦可将其应用到抗压桩、抗拔桩、锚杆、泥浆护壁以及石油钻井领域的固井方面。

参考文献:

- [1] 高文生. 建筑业 10 项新技术(2010 版)之地基基础和地下空间工程技术[J]. 施工技术, 2011, 40(336): 5-13.
Gao W S. Foundation and underground engineering technology in 2010 edition ten new technologies of buildings [J]. Construction Technology, 2011, 40(336): 5-13.
- [2] 俞然刚, 王帅, 周金顺. 大型油罐软弱地基 CFG 桩加固机制[J]. 中国石油大学学报: 自然科学版, 2013, 37(3): 131-136.
Yu R G, Wang S, Zhou J S. Reinforcement mechanism of CFG pile used in large oil tank soft foundation [J]. Journal of China University of Petroleum: Edition of Natural Science, 2013, 37(3): 131-136.
- [3] Liew S S, Gue S S, Tan Y C. Design and instrumentation and results of a reinforcement concrete piled raft supporting 2500 ton oil storage tank on very soft alluvium deposits [C]// Ninth international conference on piling and deep foundations, Nice, 3rd-5th, June,

- 2002,263-269.
- [4] 张有春,鲁建荣. 强夯法在我国的发展及应用[J]. 道路工程,2013,4(8):21-24.
Zhang Y C, Lu J R. Development and application of dynamic compaction in China [J]. Highway Engineering, 2013,4(8):21-24.
- [5] 何国富,张玲云,韩根荣. 松散回填土地柔性墩强夯置换法地基处理[J]. 施工技术,2013,42(15):96-99.
He G F, Zhang L Y, Han G R. Dynamic compaction replacement with flexible earth column for soil treatment in loose backfill ground [J]. Construction Technology, 2013,42(15):96-99.
- [6] 米海珍,归娜. 巨厚填土地地基用垫层法处理时对地基缺陷的评价[J]. 兰州理工大学学报,2013,39(2):110-114.
Mi H Z, Gui N. Evaluation of groundwork defect in site foundation filled with large-thickness soil and processed with cushion approach [J]. Journal of Lanzhou University of Technology, 2013,39(2):110-114.
- [7] 王良发. 浅谈加筋法软土地基处理施工技术[J]. 科技信息,2012(11):430-431.
Wang L F. On construction technology of reinforced soft foundation treatment method [J]. Science and technology information, 2012(11):430-431.
- [8] Hansbo S. Dynamic consolidation of mixed fill-A cost-effective alternative to piling a case record [J]. Geotechnique, 1996, 46(2):351-355.
- [9] Menard L, Broise Y. Theoretical and practical aspects of dynamic consolidation [J]. Geotechnique, 1975,23(1):3-18.
- [10] 李春宝,薛世峰,刘晓辉. 用于分层涡压挤扩填料加固处理地基的设备与方法:中国,201410113635.7[P]. 2014.03.25.
- [11] Pradeep U, Kurup E P. Griff in prediction of soil composition from CPT data using general regression neural network [J]. Journal of Computing in Civil Engineering, 2006,20(4):281-289.
- [12] Prisco D, Imposimato S, Vardoulakis I. Mechanical modeling of drained creep triaxial tests on loose sand [J]. Geotechnique, 2000,50(1):73-82.
- [13] 王海英. 混凝土搅拌运输车搅拌筒内部流动的实验研究[D]. 长春:吉林大学,2005.
- [14] 江继辉. 混凝土搅拌运输车搅拌筒搅拌过程的运动分析[J]. 工程机械,1991(2):28-30.
Jiang J H. Motion analysis concrete mixing truck mixing process of mixing tube [J]. Construction Machinery, 1991(2):28-30.
- [15] Fangary Y S, Barigou M, Seville J P K. Fluid trajectories in a stirred vessel of non-Newtonian liquid using positron emission particle tracking [J]. Chemical Engineering Science, 2000,55(24):5969-5979.

(编辑 胡玲)