

Study on Deformation Model of Secant Boring Pile in Foundation Pits

Gengning Liu^{1,2}, Huarong Liao³, Yuebiao Wu², Cong Zhang³, Yuehuan Zhuang²

¹Department of Earth Sciences, Sun Yat-sen University, Guangzhou

²Jiangnan Foundation Engineering Company of CNACG in Guangzhou, Guangzhou

³Guangzhou Guang-An Geotechnical Engineering Technology Co., Ltd., Guangzhou

Email: 76133246@qq.com

Received: Feb. 25th, 2013; revised: Mar. 12th, 2013; accepted: Mar. 21st, 2013

Copyright © 2013 Gengning Liu et al. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Abstract: The secant boring pile is a new type of retaining wall, and the process of its deformation and failure mode is important to the design and construction of retaining wall. This paper introduces shakedown theory into the analysis of deformation and failure of a secant boring pile. In terms of the several deformation behaviors of shakedown theory, deformation and failure of a secant boring pile in foundation pit retaining are addressed and five modes concerning the secant boring pile from gradual deformation to failure are established. This provides a new path to approach the deformation mechanism of a secant boring pile when subjected to loads. The achievement is of significant value in the design and construction of the foundation pit reinforcement through the secant boring pile.

Keywords: Secant Boring Pile; Deformation and Failure Modes; Shakedown Behavior

基坑围护钻孔咬合桩变形模式研究

刘更宁^{1,2}, 廖化荣³, 武岳彪², 张 聪³, 庄岳欢²

¹中山大学地球科学系, 广州

²广州中煤江南基础工程公司, 广州

³广州市广安岩土工程技术有限公司, 广州

Email: 76133246@qq.com

收稿日期: 2013 年 2 月 25 日; 修回日期: 2013 年 3 月 12 日; 录用日期: 2013 年 3 月 21 日

摘 要: 钻孔咬合桩是一种新颖的基坑挡土墙型式, 其变形破坏过程及模式对于基坑挡墙的设计和施工至关重要。本文将安定理论引入咬合桩的变形破坏分析, 根据安定理论的几种变形行为, 对基坑围护钻孔咬合桩的变形破坏模式进行探讨, 提出了钻孔咬合桩逐渐变形直至破坏的 5 种模式, 从一个崭新的角度对咬合桩受力变形机理进行研究, 为咬合桩基坑支护工程的设计及施工提供参考依据。

关键词: 钻孔咬合桩; 变形破坏模式; 安定行为

1. 引言

咬合桩作为一种新型的围护结构, 由于其桩芯相交咬合, 解决了传统桩的桩芯相切防水效果差的毛病。咬合桩通常分素混凝土桩 A 桩(简称“素桩”)和钢筋混凝土桩 B 桩(简称“荤桩”)。施工顺序是, 先

施工 A 桩, B 桩施工在后, 切割 A 桩部分混凝土而形成咬合结构。A 桩浇筑混凝土一般采用超缓凝型的混凝土以满足 B 桩施工时, 可以顺利切削 A 桩, 最终达到桩间完全止水的效果^[1-4]。其咬合方式如图 1 所示。

目前, 咬合桩的设计和实际施工技术已经比较成

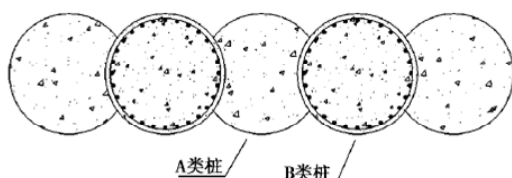


Figure 1. Sketch of secant boring pile
图 1. 咬合桩示意图

熟，但其受力变形机理及破坏模式的研究至今仍较少，特别是该类桩型的变形破坏模式，很少专家学者进行研究。咬合桩的素桩与荤桩之间、咬合桩与土之间的相互协调、耦合及共同作用，是研究咬合桩受力变形和破坏模式的重点。

本文将安定理论引入咬合桩的变形破坏过程分析，根据安定理论并借鉴安定理论的几种变形行为特征，对基坑围护钻孔咬合桩的变形破坏模式进行探讨，从一个崭新的角度对咬合桩受力变形机理进行研究，为咬合桩基坑支护工程的设计及施工提供参考依据。

2. 安定理论

安定理论^[5]最初用于描述金属在承受循环反复应力时的力学行为。安定是指结构体在某特定的荷载下，所产生的塑性变形会在有限的荷载次数后稳定下来，且在安全界限之内，结构体并不会产生破坏。但应力状态持续增加到某一程度时，塑性变形会随着荷载次数不断地累积，而呈现不稳定状态，直至结构体因过大塑性变形而产生破坏。常见的行为有完全弹性行为、弹性安定行为、塑性行为、塑性潜变行为和增量崩溃行为^[6,7]，五种行为具体特征如下：

1) 完全弹性行为

施加的轴差应力非常小，使得材料未达屈服阶段。因此，材料呈线性行为，所有的应变完全回复，而没有任何塑性变形产生，是纯弹性变形，此种反应称为完全弹性行为。

2) 弹性安定行为

施加的轴差应力比完全弹性行为时所施加的轴差应力大，却比塑性安定行为小，且在最初有限次数的应力-应变循环下材料呈现塑性行为，但塑性变形微小。但至最终的反应仍是线弹性行为，没有进一步塑性变形的增加，达到安定状态，而此状态的最大应力水平称之为“弹性安定界限”，这种行为称其为弹

性安定行为。

3) 塑性安定行为

反复施加的轴差应力比弹性安定行为所施加的轴差应力大，较塑性潜变安定行为小。在有限次数的反复荷载下，材料有明显塑性变形累积，但随后会达到稳定状态，并无塑性变形再产生，而呈现出弹性行为，且伴随迟滞现象，显示有部分的能量被材料所吸收。一旦观察到路基土出现完全回弹行为，此时材料再度达到安定状态，而此状态下最大的应力水平称为“塑性安定界限”，该行为称为塑性安定行为。

4) 塑性潜变安定行为

施加的轴差应力比塑性安定行为所施加的轴差应力大，但较增量崩溃行为小。初期行为与塑性安定行为相似，随荷载次数增加材料有明显塑性变形累积，且每一应力循环皆有迟滞现象。与塑性安定行为相比，不同之处在于后期，塑性潜变安定行为的塑性变形依旧持续累积，但仍稳定，并不会发生突然崩溃的现象发生。这时的最大应力水平称为“塑性潜变安定界限”，该反应称为塑性潜变安定行为。

5) 增量崩溃行为

此时反复施加的轴差应力相对于上述行为较大，材料明显的进入屈服阶段，且塑性变形迅速累积，材料在一定次数的反复荷载后即发生破坏。

咬合桩的受力和变形过程是素混凝土桩与钢筋混凝土桩、混凝土桩与土之间相互协调、相互耦合的过程，在桩间和桩土的受力过程中，虽然不是循环受力的过程，但素桩与荤桩之间、桩与土之间的受力状态经历了从弹性变形向塑性变形发展，处于一种静态的安定状态和安定行为，从弹性变形向塑性变形发展的过程中存在不同的安定界限，也存在应力应变累积的过程，当超过塑性潜变安定界限时，咬合桩之间以及桩土之间最终发生破坏，其整个受力变形过程与循环荷载作用下的安定行为及其类似，因此，本文在引入和借鉴安定理论的基础上，对咬合桩的整个受力和变形过程及变形发展模式进行分析。

3. 咬合桩受力和变形过程及模式分析

3.1. 咬合桩受力和变形过程

咬合桩围护结构在支护系统中是受弯构件，即咬合桩的受力体系也是水土压力、支撑反力、地面超载

和桩土之间等的共同作用。咬合桩的抗弯能力和变形程度决定了支护结构的安全与稳定。咬合桩受力变形的时空效应主要表现为土压力随时间(工况)的变化情况,其变化趋势为:土压力随工况呈现减小→增大→减小→稳定。

有试验表明^[8-10]:支护结构顶部的侧向变形小于支护结构高度的1‰时,土压力表现为静止土压力;支护结构顶部向支护结构前侧向变形1‰~8‰时,土压力表现为主动土压力;支护结构顶部向支护结构后侧向变形1‰~5‰时,土压力表现为被动土压力。被动区土压力介于静止土压力和被动土压力之间;主动区土压力与朗肯主动土压力差异不大。

采用多道支撑围护结构情况下,在基坑开挖过程中,由于首道支撑一般都采用刚度较大的钢筋混凝土支撑或桩锚支护,围护结构顶部的侧向位移受到有效约束,各施工工况下顶部侧移均很小;随着基坑开挖深度的增大,围护结构侧移迅速增大,最大侧移点深度随着开挖深度的增加不断下移,直至稳定在某一深度范围内;水平位移变化速率一般在基坑开挖到底、未浇注垫层前最大,垫层浇注完成后位移发展趋缓,变化速率迅速减小;墙体两端变形小、中间变形大。

3.2. 变形模式分析

安定理论主要是把材料从弹性变形-塑性变形-破坏整个过程划分为五个变形发展阶段,每个阶段规定了变形的临界状态,当变形超过临界状态后,就向下一阶段发展。咬合桩体系中,咬合桩之间以及桩土之间的变形过程与安定理论界定的五个阶段及其类似,也存在相应的临界变形状态,因此将安定理论引入咬合桩的变形机理分析。

根据前述基坑开挖过程中钻孔咬合桩受力变形过程的时空效应分析,借鉴安定理论的变形发展阶段,将咬合桩的变形模式划分为五个阶段:弹性变形阶段、弹塑性变形发展阶段、塑性变形阶段、塑性破坏变形发展阶段和破坏阶段。

弹性变形阶段:在基坑开挖的最初阶段,首先是咬合桩开始受弯,咬合桩先受力,并逐渐传递给土,此时桩土均为可恢复的弹性变形。

最开始是素桩先受力,而后传递给荤桩,再传递给土。此时,主动区的土压力很小,主动区土体抗剪

强度基本不受影响;咬合桩桩身和土体应变均在可恢复的弹性范围内,变化不大,主要由素桩受力,素桩和荤桩无裂缝出现,素桩承担了相当比率的弯矩,素桩与荤桩共同作用,整体性很好。素桩与荤桩能同步变形共同抵御外加荷载,两者能很好的协同作用。

弹塑性变形发展阶段:随着基坑开挖深度的增加,咬合桩和土的受力进一步增大,变形也继续增大。在变形发展过程中,咬合桩先受力,并将力传递给土,因桩的强度大于土,此时桩身仍处在弹性变形阶段,而土已开始出现塑性变形,随着受力的进一步加大,继而咬合桩开始出现塑性变形。这个阶段是桩、土由弹性变形往塑性变形过渡阶段,土已开始出现不可恢复的塑性变形,而桩身处于弹性变形与塑性变形的临界状态。

在该阶段,土体为塑性变形,主动区的土压力减小。由于土体的流变特性,出现应力松弛,导致主动区土体抗剪强度降低,主动区土压力随时间有增大趋势;而主动区土压力的增大,又反过来使主动区土体应变增长,主动区土压力又相应减小。而咬合桩处于弹塑性变形的临界状态,此时,素桩开始进入塑性变形阶段并出现微裂缝,荤桩也慢慢开始向塑性变形发展,但无裂缝出现;素桩承担的弯矩开始减小,荤桩承担的弯矩逐渐增大,咬合桩整体性开始减弱。素桩与荤桩同步变形共同抵御外加荷载,两者的协同作用性能较好。

塑性变形阶段:咬合桩和土的受力进一步增大,变形也进一步发展,咬合桩和土均进入塑性变形阶段,产生的变形完全是不可恢复的塑性变形。

在该阶段,土体塑性变形进一步发展,土体因应力松弛而出现流变,导致主动区土体抗剪强度进一步降低,主动区土压力随时间逐渐增大,又反过来使主动区土体应变增长,主动区土压力又相应减小。此时,咬合桩处于塑性变形阶段,素桩出现部分裂缝,裂缝进一步发展,荤桩也开始出现裂缝。素桩承担的弯矩进一步减小,荤桩承担大部分的弯矩。素桩和荤桩的整体性进一步减弱,咬合面的性能开始弱化,整体性进一步降低。素桩与荤桩的同步变形共同抵御外加荷载,两者能的协同作用开始减弱。

塑性破坏发展阶段:桩、土由塑性向破坏发展,土先处于临界状态;而后素桩处于临界状态,土发生

破坏;最后荤桩处于临界状态,土和素桩均发生破坏。在荤桩处于临界状态时,土和素桩在中途破坏而退出工作,最后只有中间的荤桩受力。实际施工过程中应避免出现这种状况。

土处于完全流变状态,素桩出现完全裂缝,荤桩开始出现明显裂缝。素桩无法承担的任何弯矩,荤桩承担全部的弯矩。素桩和荤桩的整体性消失,咬合面的性能完全弱化,整体性破坏。素桩与荤桩无同步变形,两者无法协同作用。

破坏阶段:咬合桩的素桩、荤桩和土均完全破坏,基坑失稳,该阶段为极限破坏状态,实际施工过程中禁止出现该情况。

此时土已完全流变,素桩和荤桩完全开裂破坏,素桩与荤桩失去协同作用。失去支护和止水功能,基坑发生失稳现象。

4. 结语

本文对基坑围护的咬合桩受力和变形模式进行了探讨,根据安定理论并借鉴安定行为发展过程,首次将安定理论引入咬合桩受力变形的模式分析中,将咬合桩的受力变形过程分为弹性变形阶段、弹塑性变形发展阶段、塑性变形阶段、塑性破坏变形发展阶段

和破坏阶段五个阶段,分析了五个阶段的受力和变形特征,探讨其变形机理,为咬合桩基坑支护工程的设计及施工提供参考依据。

参考文献 (References)

- [1] 朱斌华, 雷崇红. 深圳地铁基坑钻孔咬合桩围护结构施工技术[J]. 铁道建筑, 2001, 12: 2-4.
- [2] 杨建学, 侯伟生, 郑陈旻. 冲孔咬合桩在某邻海深基坑围护中的工程应用[J]. 岩土工程学报, 2010, 32(s1): 207-209.
- [3] 赵钰. 冲击钻孔咬合桩在桥梁深基坑防护中的应用[J]. 铁道建筑, 2007, 11: 9-11.
- [4] 张佐汉, 刘国楠, 胡荣华. 深圳地区钻孔咬合桩围护结构施工技术的研究[J]. 铁道建筑, 2010, 5: 37-42.
- [5] E. Melan. Theorie statisch unbestimmter ysysteme ausidealplastischen baustoff. Sitzungsberichte der Akademie der Wissenschaften in Wien, 1936, 1: 45-195.
- [6] S. Werkmeister, R. Numrich, A. R. Dawson, et al. Deformation behaviour of granular materials under repeated dynamic load. Environmental Geomechanics-Monte Verità, 2002, 2: 1-9.
- [7] S. Werkmeister, A. R. Dawson and F. Wellner. Permanent deformation behavior of granular materials and the shakedown concept. Proceedings 80th Annual Meeting. Washington DC: Transportation Research Board, 2001: 1-152.
- [8] 李德章. 咬合桩支护结构侧向土压力的试验研究[J]. 安徽建筑工业学院学报(自然科学版), 2009, 17(1): 15-17.
- [9] 廖少明, 周学领, 宋博等. 咬合桩支护结构的抗弯承载特性研究[J]. 岩土工程学报, 2008, 30(1): 72-78.
- [10] 刘丰军, 廖少明, 李文林等. 钻孔咬合桩挡土结构咬合面的剪切性能研究[J]. 岩土工程学报, 2006, 28: 1445-1449.