

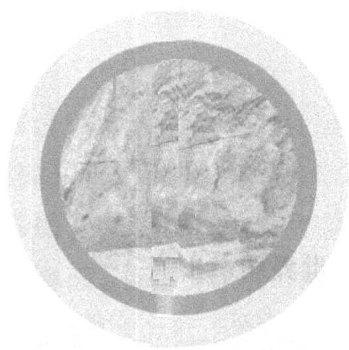


岩土 工程技术初探

YANTU GONGCHENG JISHU CHUTAN

和礼红◎著

世界图书出版公司



岩土 工程技术初探

YANTU GONGCHENG JISHU CHUTAN

和礼红◎著

中国出版集团

世界图书出版公司

广州·上海·西安·北京

图书在版编目 (CIP) 数据

岩土工程技术初探 / 和礼红著. —广州: 世界图书出版
广东有限公司, 2014. 9
ISBN 978-7-5100-8650-2

I. ①岩… II. ①和… III. ①岩土工程 IV. ①TU4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 221121 号

岩土工程技术初探

责任编辑 胡一婕
封面设计 高艳秋
投稿邮箱 stxscb@163.com
出版发行 世界图书出版广东有限公司
地 址 广州市新港西路大江冲 25 号
电 话 020-84452177
印 刷 虎彩印艺股份有限公司
规 格 787mm×1092mm 1/16
印 张 9.75
字 数 200 千
版 次 2014 年 10 月第 1 版 2015 年 1 月第 2 次印刷
ISBN 978-7-5100-8650-2/TU·0039
定 价 40.00 元

版权所有 翻印必究

今年，2014年，是一个特殊的年份，一是因为正值武汉市政工程设计研究院有限责任公司60年大庆；二是笔者到该公司已经工作10年；三是笔者步入四十不惑之年，因此有一种给公司和自己献礼的冲动。

十几年来，笔者实实在在做了一些事情，从硕士研究生至今，撰写了20余篇科技论文，申请并授权了7项专利，同时也设计了800余项项目，担任近300余项项目的负责人，等等。为此积累了一些经验，特别在地基处理和基坑支护方面都有自己的一点想法和观点，一直想把这些想法、观点描述出来。现在，应该是个好时机，因此决心写一部书，以慰藉吾心，向公司献礼。

本书所收集的论文都可以认为是岩土工程领域。虽然“断柱法在某煤矿栈桥纠偏工程中的应用”似乎有点牵强，但目前业界仍习惯把它归为岩土工程领域的特种技术；其他如土结构性方面、基坑支护方面、地基处理方面、吹填方面等归为岩土工程是没有疑义的。同时本书没有进行高深、系统的理论研究，更多的是对设计和现场施工、管理有指导意义的实例和探讨，实用性强，因此应是技术范畴较为适宜。笔者也没有对任一领域，如钉形桩、土结构性等进行全面、深入、系统地描述、分析、归纳和总结，因此说是“初探”较为合适。

综上，本书定名为《岩土工程技术初探》。

本书大部分论文都是在公开期刊上已经发表过的，在收入本书时，为了更具完整性、连贯性和借鉴性，笔者对部分论文略有修改。



本书的目的是希望能够给读者一些启示和借鉴意义，因为本书的很多结论和观点都来源于设计和施工实践，来源于长期的疑问、讨论、思考以及收集、分析、总结，因此对设计、施工和管理都有一定的借鉴作用。同时笔者无论在学术上还是实践上都有更多需要发展、提高、完善之处，希望有兴趣的读者批评、指正，相互切磋、促进，笔者不胜感激。

值本书付梓之际，笔者要衷心感谢下列人员：硕士导师王芝银教授、赵来顺教授以及博士导师汪稔研究员；武汉市政工程设计研究院有限责任公司的柯昌春董事长、姚华总经理和蒋乐总工程师。

本书系笔者在硕士及博士研究生学习阶段以及工作阶段所从事一系列科研课题及工程实践，对部分范畴的岩土工程技术进行初步探索和研究的成果。具体分述如下：

对目前国内土结构性研究的三种方法进行了综合描述，同时对目前国内五种特殊土结构性研究进行了综合描述，指出结构性数学模型的建立是今后土结构性研究的首要任务。首次提出冰率的概念，对冻土的结构性研究方法进行了初步探索。

结合工程实践，分析了渭北某煤矿栈桥黄土地基沉降前后物理力学特性的变化及其成因，为地基处理提供了理论依据和参考方法；对此煤矿栈桥的变形进行了原因分析，并提出了合理的地基加固方案及纠偏、顶升方案；也详细介绍了此煤矿栈桥断柱纠偏的工程实践。运用随机-模糊线性回归方法和传统的随机回归方法对此煤矿栈桥 8 根桩的现场静载试验进行了对比分析，得到了更为精确的静压桩压桩终止压力与极限承载力的关系式；同时运用最小二乘法定量探讨了微型静压桩在托换过程中回弹力与回弹量之间的关系，运用桩-土相互作用机理定性分析了回弹产生的原因。

详细描述了钉形水泥土双向搅拌桩的特点及其施工工艺。通过大量的试验数据，建立了桩身标准贯入击数与桩身无侧限抗压强度以及桩体分段深度的数学关系式，同时对钉形水泥土双向搅拌桩桩身强度不一致的现象进行了深入分析，对桩身强度检测项目和方法进行了深入探讨，并初步确定了武汉新区桩身强度检测的项目和方法。提出采用加权平均值作为桩身强度设计和检测的标准更为妥当。



通过与混凝土强度进行比较分析,清晰地探讨了水泥土搅拌桩桩身强度折减系数;通过理论分析、实例计算以及规范探讨,表明进行道路地基处理时水泥土搅拌桩验收宜采用复合地基承载力载荷试验并结合抽芯检测。介绍了规范规定的几种沉降计算方法,认为对于水泥土搅拌桩软土复合地基,沉降计算采用《建筑地基处理技术规范》JGJ79-2002规定的方法较为方便、合理。对于填方道路,一般情况下桩顶标高设置在现状地面或接近现状地面较为经济、合理。通过分析桩体承载力和复合地基承载力的计算公式,结合施工和检测,探讨了如何设置经济合理的桩体直径,并证明了计算桩体置换率所采用的直径应是计算桩体周长的桩体直径,而不应是桩帽的直径。

对武汉市某基坑工程施工过程中出现的问题进行了分析,并介绍了处理措施;介绍了武汉市某污水泵站 SMW 工法基坑支护设计;介绍了番禺某工地预应力管桩的应用实践;介绍了武汉某工程的吹填设计。

土结构性

土结构性研究方法之现状	003
特殊土结构性研究之现状	009
冻土结构性研究方法初探	019

黄土地基及微型静压桩

某黄土地基沉降前后地基土力学特性变化分析	031
煤矿栈桥地基变形分析与处理	036
断柱法在某煤矿栈桥纠偏工程中的应用	043
静压桩压桩终止压力与极限承载力的随机-模糊分析方法	050
微型静压桩托换技术回弹研究	057

钉形水泥土双向搅拌桩

钉形水泥土双向搅拌桩简介	067
钉形水泥土双向搅拌桩桩身强度差异原因分析与检测探讨	077

桩体探讨

水泥土搅拌桩桩身强度折减系数及验收标准探讨	091
水泥土搅拌桩软土复合地基沉降计算方法及桩顶标高探讨	098
复合地基桩体直径的探讨	106



基坑及工程实例

武汉市某基坑工程问题分析	115
SMW 工法在某污水泵站基坑中的应用	124
预应力管桩在番禺某工地软基处理中的应用	133
武汉新区四新地区 10 [#] 地块吹填砂场平工程简介	142

土 结 构 性

土结构性研究方法之现状

摘 要: 本文对目前国内土结构性研究的三种方法进行了综合描述,表明这三种方法都是有效的土结构性研究之方法。

1 前言

广义地讲,土的结构包括土的成分、组构和联结。土的结构性表征的是天然土具有结构强度的特性。土的结构强度是土的原生结构与次生结构的差异所引起的。原生结构是指构成土的最基本的物质成分在搬运、迁移、沉积和成土的演化过程中产生的与周围环境相适应的结构,与之相对应的土体强度即为原生土体强度;当天然土受到重塑或其他剧烈扰动时,原生结构被相对破坏,生成次生结构,与之相对应的土体强度即为次生土体强度。原生土体强度与次生土体强度之差即为天然土的结构强度。土体结构概念最早是太沙基于 1925 年提出来的,至今已有近 90 年的历史。关于土结构性研究发展历史,文献^[1,2,3,4,5]已有较为详尽的描述,本文不再赘述。本文重点要描述的是目前国内土体结构性研究的途径或方法。

2 国内土体结构性研究方法现状

应该说,关于土体结构性研究方法的思考是从 1996 年开始的。1996 年,沈珠江指出^[6]:从结构性模型的观点出发,原状土在刚开始受力时有一定的模量,其结构完全破坏后有一定的强度,而受力的中间过程则是从原状土到扰动土的逐渐转化过程。两年之后,即 1998 年,他又提出了研究土体结构性模型的观点(笔者称之为方法 1)^[7]:现代土力学就是非线性土力学,它以非线性本构模型为基础。非线性本构模型不仅仅限于非线性弹性模型和弹塑性



模型, 如以刚塑性体的水平线为渐进线的 Duncan 双曲线模型, 以刚塑性体的水平线为终极线的剑桥模型, 以及能够描述无结构性的超固结土的应变软化的模型等, 今后应重点发展新一代本构模型——结构性模型。只有在结构性模型的基础上, 现代土力学的三个理论, 即非饱和土固结理论、逐渐破坏理论和液化破坏理论的基本框架才能建立起来。结构性模型应建立在对土体受力后细观结构改变的全面考察的基础上, 但不必拘泥于对土颗粒运动的定量分析。其基本步骤为:

(1) 确定能代表结构性的指标。主要有以下 8 个指标: 平均孔隙率、孔隙分布的标准差、组构张量的主轴方向及其椭圆度、定向张量的主轴方向及其椭圆度、平均胶结力及其分布的标准差。

(2) 建立一组联系应力与结构改变的规律。即: 最小孔隙率原理、稳定孔隙率原理、孔隙匀化原理、接触面偏向原理、颗粒定向原理以及颗粒破损原理。

(3) 建立一组联系结构改变与应变的关系。主要有 3 个规律: 硬化规律、流动规律和剪胀规律。

(4) 根据以上规律建立带有特定系数的应力应变关系式, 并通过拟合试验曲线的办法确定这些系数。

沈珠江还指出, 未来的结构性模型可能有以下三种类型: 散粒体模型、复合体模型和堆砌体模型, 并且对此三种模型都有深入的研究。文献 [8] 建议了一个可以考虑应力路线转折和主应力旋转等复杂加载条件的砂土液化散粒体模型。文献 [9] 从损伤力学观点出发, 建议了一个可以考虑粘土结构破损过程的损伤力学模型, 即复合体模型。文献 [10] 对上文提出的弹塑性损伤模型进行了简化和改进, 使其更加简单实用, 其基本形式为: $S = (1 - \omega) S_i + \omega S_d$, 其中 S 表示特征参数, 如模量、应力、应变、渗透系数等, S_i 表示原状土特性, S_d 表示损伤土特性, ω 表示损伤比。文献 [11] 提出了用以描述软土结构破坏现象的新型堆砌体模型, 该模型能够反映结构性软粘土试样在低围压下剪切的剪胀和应变软化特性及高围压下剪切时因团粒破碎而引起的强烈剪缩特性。此模型认为总的变形由土块的弹性变形、土块之间滑动引起的塑性变形和土块破碎引起的损伤变形三部分组成。

1999 年, 谢定义等人在文献 [3] 中表达了一种研究土体结构性的新途径 (笔者称之为方法 2)。该方法认为: 土结构性研究的根本任务在于寻找一个能全面反映土颗粒的排列特征和联结特征的定量化指标, 且应该同时与土的



变形、强度具有密切的联系,以建立和描述它们之间的基本规律。为此,该方法指出,结构性参数应该能够反映以下基本认识和关系:

(1) 结构性的强弱,不只是土结构强度的大小,而应对土的联结和排列两个方面综合反映。

(2) 任何土均有自己的初始结构性,它在加荷或浸水过程中,会发生初始结构性破坏和次生结构性形成的耦合变化。

(3) 特殊土结构性的概念应该与其特殊的力学行为相对应,使土的结构性指标能够描述出特殊土的特殊性质。

(4) 结构的联结特征称为结构的可稳性,结构的排列特征称为结构的可变性,只有可稳性和可变性均较强的土才是强结构性的土。

(5) 土的结构性实质是一种土物理状态的显示,是土生成条件、环境的自然历史产物。

(6) 土的结构性既然是一种复杂的客观存在,那么研究土结构性最好的方法应该是使土的结构性破坏,让它的结构势充分表现出来。

基于上述的基本认识,该方法认为寻求有效结构势指标的基本思路为:

(1) 走土力学的研究途径。在极难对各结构要素由分别定量化到综合定量化的条件下,应该用简单可靠的方法,从土的变形、强度特性入手,直接寻求一个合理、灵敏、稳定并适用于各种土类的结构性指标。

(2) 用释放结构势的方法,如扰动、加荷、浸水等来寻求结构性的定量化指标。

(3) 以压缩试验为基础,对原状土试样、它的饱和土试样以及它的重塑土试样分别在压缩仪上作压缩曲线,得到三条压缩曲线,作为研究结构性的基本依据,此称为三线法。

(4) 以综合结构势 m_p 为土结构性参数。
$$m_p = \frac{m_1}{m_2} = \frac{S_s/S_0}{S_0/S_r} = \frac{S_r * S_s}{S_0^2}$$
 式中 S_0 , S_s , S_r 分别为原状土试样、饱和土试样和重塑土试样在某一压力 p 下的变形量。

(5) 适用于特殊土类并能够反映压力影响的动态过程。

在文献 [12] 中他们将提出的土结构性参数 m_p 引入土的变形本构关系和强度本构关系,首次得到了以结构性参数 m_p 为基础来描述变形和强度基本规律的本构关系。其表达式可以表示为:



$$\varepsilon_2 = \varepsilon_1 \times \left(A_\sigma \frac{m_{\sigma 1}}{m_{\sigma 2}} - B_\sigma \right)$$

$$\varepsilon_2 = \varepsilon_1 \times \left(A_q \frac{m_{q 1}}{m_{q 2}} - B_q \right)$$

$$\tau_2 = \tau_1 \times \left(A_f \frac{m_{f 1}}{m_{f 2}} - B_f \right)$$

其中, $m_{\sigma 1}$, $m_{\sigma 2}$ 为与 ε_1 , ε_2 相对应的球应力结构性参数; $m_{q 1}$, $m_{q 2}$ 为与 ε_1 , ε_2 或与 τ_1 , τ_2 相对应的偏应力结构性参数; A_σ , B_σ , A_q , B_q , A_f , B_f 为待定系数。

同一年, 胡瑞林、王思敬等人也提出了一种研究土体结构性的新方法——土体微结构力学方法(笔者称之为方法3)。在文献[4]中, 该方法提出, 土的结构性问题研究从本质上看与传统的土力学有三大区别: 一是在研究思路上前者是由微观机制的研究取得对宏观行为的模拟, 是一个由微观到宏观的过程, 而后者则主要通过宏观的力学性质试验去模拟和解释土体的变化机制; 二是前者视土体为非均质和非连续体, 而后者将土体视为连续的均质体; 三是前者强调结构的显著作用, 而后者忽略土的结构性。

据此, 作者提出“土体微结构力学”, 即以土体的结构性控制为基本点、以建立土体的结构性本构模型为核心内容、以土体工程问题的量化结构模拟和预测为目标、以非线性力学和土质学为基础的现代土力学。并且指出其基本思路为:

(1) 建立土的结构状态 S 的函数: $S = f(x_1, x_2, x_3, x_4, t)$, 式中, x_1, x_2, x_3, x_4, t 分别代表颗粒形态、颗粒排列形式、孔隙性、颗粒接触关系四项结构要素和时间。

(2) 以(1)为基础, 运用非线性科学方法, 如分形理论等对结构要素进行量化。

(3) 通过特定的关联性分析建立结构状态参数与其对应的宏观力学参量之间的联系。

(4) 土的结构性对其变形和强度特性的影响主要表现为天然土结构形成的初始微观应力状态差异和受力以后的结构变化(结构破损)两个方面。

土受力后结构的逐渐破损与宏观的力学性损伤必然有一定的对应关系, 通过确定结构损伤张量并应用等效应变假说建立结构性土的损伤本构模型。

他们将此方法广泛应用于黄土和软土等特殊土的结构性研究之中^[13,14,15,16,17]。



2000年,周萃英在文献[5]中提出了与方法3相类似的观点。她认为,基于土体介质结构的复杂性特点建立土力学理论是一种必然,现今土力学研究的基础依托不仅仅是弹性力学、塑性力学或弹塑性力学,还应结合以研究系统的复杂性特征为特点的非线性科学理论,如耗散结构、协同学、混沌动力学理论、自组织理论以及分形理论等。同时指出,土结构研究应脱离单变量模式的分析思路,应从系统演化的整体角度出发建立结构要素之间的相互关系模型。整体研究应包括以下四个层次:一、结构性差异,即介质性质的不同;二、结构参量的定量化,即结构要素之间的关系建立;三、基于微观结构力学作用机制的土体变形和强度理论;四、工程应用。文献[18]运用上述之观点,应用灰色系统理论模型、线性回归改进模型、竖向固结理论改进模型三种方法对某高速公路软土路基的沉降进行了综合分析和有效预测。

3 评价与讨论

笔者认为,目前关于土体结构性研究的方法主要有以上描述的三种。方法2注重宏观,即在宏观水平上用传统的理论进行研究,借助于一般的测量仪器来研究结构性土体的外部表现,如应力、应变等,从其外部表现来揭示土体所固有的微观特性和结构性特征,属于现象学。方法3注重微观,即努力从土体微观结构出发,并利用当今能够反映微观现象的手段,如混沌学、协同学、非线性力学等,来研究土体的结构性特征。方法1将宏、微观并重,在不同的侧面与方法2和3渗透。很难对此三类方法进行优劣比较。土的结构性研究无非有两个目的^[2]:一是根据微结构的研究成果,定性地说明某些工程特性的渊源,解释某些特殊的工程力学现象;二是通过结构性研究资料的数学处理,将它与宏观力学特性之间建立定量的联系。曲径通幽,殊途同归,只要能够达到这两个目的,任何一种方法都是可行的。

【参考文献】

- [1] 蒋明镜,沈珠江等.结构性粘土研究综述.水利水电科技进展,1999,19(1):26-30.
- [2] 谭罗荣.土的微观结构研究概况和发展.岩土力学,1983,4(1):73-85.
- [3] 谢定义,齐吉琳.土结构性及其定量化参数研究的新途径.岩土工程学报,1999,21(6):651-656.



- [4] 胡瑞林, 王思敬, 李向全, 官国琳. 土体微结构力学——概念·观点·核心. 地球学报, 1999, 20 (2): 150-156.
- [5] 周萃英. 土体微观结构研究与土力学的发展方向——若干进展与思考. 地球科学——中国地质大学学报, 2000, 25 (2): 215-220.
- [6] 沈珠江. 土体结构性的数学模型——21 世纪土力学的核心问题. 岩土工程学报, 1996, 18 (1): 95-97.
- [7] 沈珠江. 现代土力学的基本问题. 力学与实践, 1998, 20 (6): 1-6.
- [8] 沈珠江. 复杂荷载下砂土液化变形的结构性模型. 第 5 届全国土动力学学术会议论文集. 大连, 1998.
- [9] 沈珠江. 结构性粘土的弹塑性损伤模型. 岩土工程学报, 1993, 15 (3): 21-28.
- [10] 沈珠江. 结构性粘土的非线性损伤力学模型. 水利水运科学研究, 1993 (3): 247-255.
- [11] 沈珠江. 结构性粘土的堆砌体模型. 岩土力学, 2000, 21 (1): 1-4.
- [12] 谢定义, 齐吉琳, 张振中. 考虑土结构性的本构关系. 土木工程学报, 2000, 33 (4): 35-40.
- [13] 胡瑞林, 官国琳等. 黄土压缩变形的微结构效应. 水文地质工程地质, 1998 (3): 30-34.
- [14] 胡瑞林, 官国琳等. 黄土湿陷性的微结构效应. 工程地质学报, 1999, 7 (2): 161-167.
- [15] 胡瑞林, 王思敬等. 模拟强夯下黄土的固结变形特征及其微观分析. 岩土力学, 1999, 20 (4): 12-18.
- [16] 胡瑞林, 王思敬等. 动荷载作用下黄土的强度特征及结构变化机理研究. 岩土工程学报, 2000, 22 (2): 174-181.
- [17] 李向全, 胡瑞林, 张莉. 软土固结过程中的微结构变化特征. 地学前缘, 2000, 7 (1): 147-152.
- [18] 李德福, 周萃英, 谭祥韶. 基于软土微观结构研究的固结及沉降分析. 第六次全国岩石力学与工程学术大会论文集, 中国, 武汉, 2000, 10: 177-180.

〔原载《土工基础》, 2003 (3): 84-86. 略有修改〕