

砂固结预应力锚杆的试验及其数值模拟

陈 荣¹ 彭伟东¹ 尹建华¹ 胡正东² 葛修润^{3, 4} 丰定祥³

(¹深圳市城市建设开发(集团)公司 深圳518010) (²深圳市市政工程总公司工程部 深圳 518034)

(³中国科学院武汉岩土力学研究所 武汉 430071) (⁴上海交通大学 上海 200030)

摘要 砂固结预应力锚杆的锚固力是由砂体与锚孔壁之间的摩擦力提供的。设计了室内试验和现场试验,并对这项技术作了深入地研究。基于室内试验成果,对现场试验作了数值模拟分析。

关键词 砂固结锚固,室内试验,现场试验,数值模拟

分类号 TD353⁺.6 **文献标识码** A **文章编号** 1000-6915(2000)03-0330-04

1 引言

砂固结锚固技术是近几年来出现的新型锚固技术(其结构示意图见图1),与常见的锚固技术不同,它所利用的是砂的膨胀性产生的与岩壁的摩擦力作用而提供锚固力。此项技术的基本思想和室内试验原理与结果见文[1~3]。

本文基于室内试验成果,通过数值模拟分析由正算拟合法得出内锚固段砂体的弹性参数,然后利用这些参数模拟出现场试验的围岩应力场及砂与锚孔壁之间摩擦力的分布情况,从而加深了对砂固结锚固机理的认识,验证了试验研究结果的合理性。

种直径(16, 20, 25, 30mm)的钢筋做锚杆。试验时把锚杆拉拔到接近屈服(不能再拉,以防锚杆断裂)。其中部分试验结果见图2。由此可见,随着拉拔力的增大,后一级荷载产生的载荷板位移增量小于前一级荷载产生的位移增量,即载荷位移增量是逐渐收敛的。从原理上,砂固结锚固技术是切实可行的^[2, 3]。

做测定摩擦力分布试验时,用薄壁无缝钢管模拟锚孔(钢管外径为64mm,内径为56mm),直径为20mm的钢筋作锚杆。分别在钢管外表面上均匀地沿轴向、环向粘贴应变片,通过试验测得钢管上某测点处的轴向应变和环向应变,从而计算得到砂与钢管内壁之间的摩擦阻力。试验结果见图3。由此可见,在某级荷载作用下,摩擦力集中作用在载荷板附近,在封口附近很小。随着荷载的增加,载荷板附近摩擦力显著增大,而封口附近增加很少。

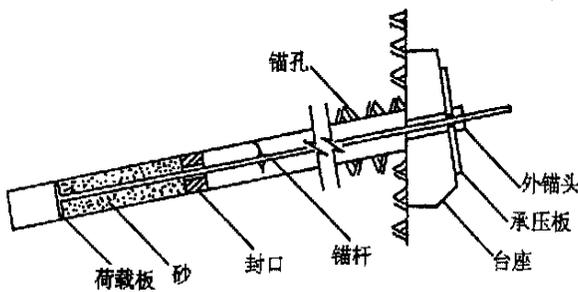


图1 砂固结预应力锚杆结构示意图

Fig. 1 Sand-consolidated-anchorage prestressed bolt

2 室内试验的补充说明

做拉拔力与载荷板位移关系试验时,分别用3种内径(65, 56, 37mm)的厚壁无缝钢管模拟锚孔,用4

3 现场试验

试验地点位于某铁矿307[#]巷道入口处,岩石名称为角页岩,其力学参数为:抗压强度 $\alpha = 14.0$ MPa,弹模 $E_{50} = 49200$ MPa,泊松比 $\mu = 0.31$,强度指标 $c = 0.57$ MPa, $\varphi = 14.29$ 。锚孔直径76mm,锚杆直径40mm。拉拔试验所得拉拔力与载荷板位移关系曲线见图3,锚杆的长期观测结果见图4。

现场试验结果表明:

(1) 1[#] 锚杆砂体长约36cm,只能提供200kN的锚固力,这时封口滑动,锚固力上不去。

1999年3月9日收到初稿,1999年5月10日收到修改稿。

作者 陈 荣 简介:男,30岁,博士,1992年毕业于华中理工大学土木系工业与民用建筑专业,目前主要从事建筑合同预算和岩土工程方面的工作。

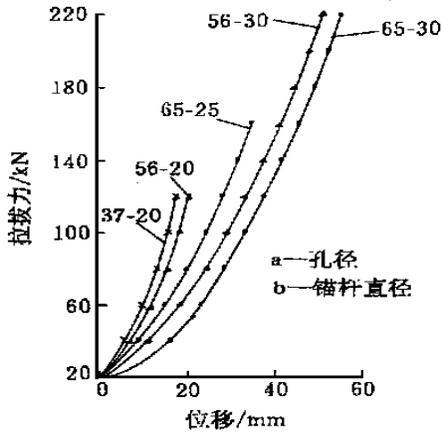


图2 室内试验拉拔力与载荷载板位移关系曲线
Fig 2 Relationship between pulling force and displacement of loading plate in lab test

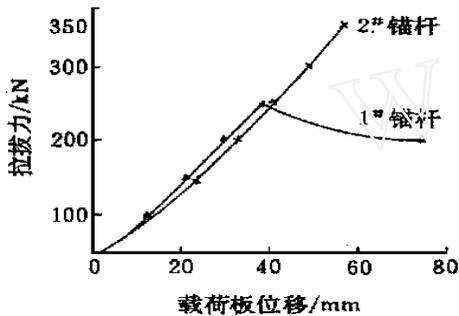


图3 现场试验拉拔力与载荷载板位移关系曲线
Fig 3 Relationship between pulling force and displacement of loading plate in field test

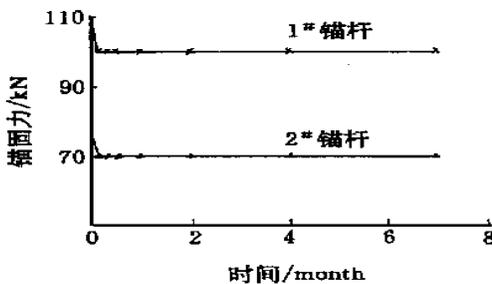


图4 现场试验锚杆锚固力随时间变化曲线
Fig 4 Relationship between anchoring force and time in field test

(2) 2# 锚杆砂体长约48cm, 锚固力已超过350 kN 而封口没有滑动, 这时锚杆已临近屈服, 不能再加载。

(3) 现场试验再次证明: 锚固砂体长度依设计需要的锚固力大小而定, 如果砂体长度不够, 锚杆拉拔时封口可能滑动。由于砂土非常便宜, 锚杆安装时, 砂体长度应该有些富余。

(4) 随着拉拔力的增大, 后一级荷载产生的载

荷板位移增量小于前一级荷载产生的位移增量, 即载荷位移增量是逐渐收敛的。

(5) 经过近7个月的连续观测, 锚杆拉力一直保持稳定。在锚杆锁定后这段时间里, 距离锚杆50~100m 远处经常有放炮作业, 而锚杆拉力并没有下降。可见, 本锚杆的锚固效果是非常理想的。

4 数值模拟分析

本文数值模拟的目的是从原理上分析现场试验时砂和锚孔内壁之间摩擦力的分布规律以及围岩的应力场, 以加深对砂固结锚固机理的理解。

在锚杆的加载过程中, 砂体的体积逐渐变小, 密度逐渐变大, 砂的本构关系很复杂, 力学参数也是变化的, 其量值无法确定。因此, 在目前的数值分析方法中, 很难找到一种合适的方法来模拟。本文为了简化计算, 采取了以下措施:

(1) 基于室内试验成果, 从载荷载板由近到远把砂体分成3个区: 超密砂区, 长5cm; 密砂区, 长9cm; 松砂区, 长26cm。在某级荷载作用下, 这3个区的参数各不相同。

(2) 采用线弹性本构关系。

(3) 砂体的弹性参数根据室内试验成果由正算拟合法计算。

(4) 为了减少参数的个数, 在某级荷载作用下, 超密砂区的参数 E_3 和 μ_3 , 密砂区的参数 E_2 和 μ_2 取经验值。主要试算松砂区参数 E_1 和 μ_1 。

(5) 不考虑加载过程, 只计算在某级荷载作用下的钢管(围岩)应力以及砂和钢管(围岩)之间的摩擦力。

(6) 载荷载板作用在砂体上的压力均匀分布。

(7) 不考虑锚杆杆体与砂体接触面的摩擦力。

4.1 室内试验数值拟合

室内试验的有限元网格划分见图5。当砂体各区的参数取表1所示数值时, 摩擦力的试验曲线和计算曲线拟合得比较好, 见图6。

表1 砂体参数模拟值

Table 1 Initiation value of elastic parameter for sand						
锚杆拉力 /kN	松砂区		密砂区		超密砂区	
	E_1 /MPa	μ_1	E_2 /MPa	μ_2	E_3 /MPa	μ_3
40	38	0.36	60	0.26	100	0.30
60	39	0.36	60	0.26	100	0.30
82	40	0.36	60	0.26	100	0.32

4.2 现场试验数值模拟

现场试验有限元网格划分及接触面的处理类似于室内试验。



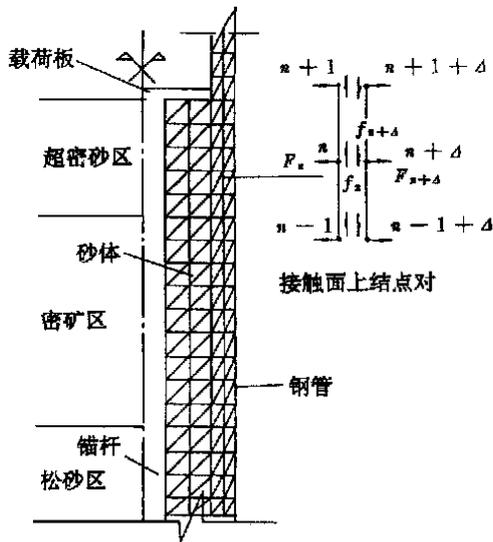


图5 室内试验有限元网格(内锚固段部分)
Fig 5 FEM mesh for lab test

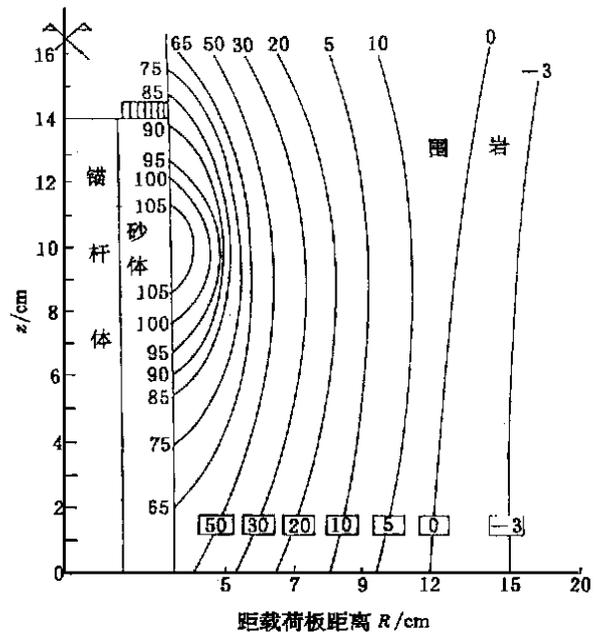


图7 现场试验围岩环向拉应力分布图
Fig 7 Tangential tension stress of surrounding rocks in field test

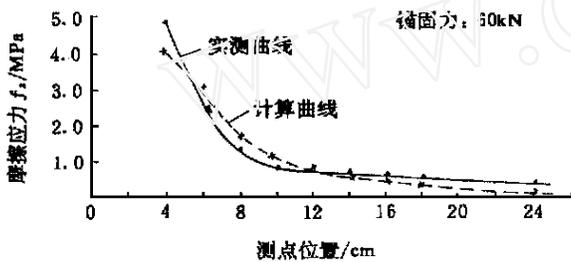


图6 室内试验摩擦力实测曲线与拟合曲线
Fig 6 The measured and simulated curves of friction force in lab test

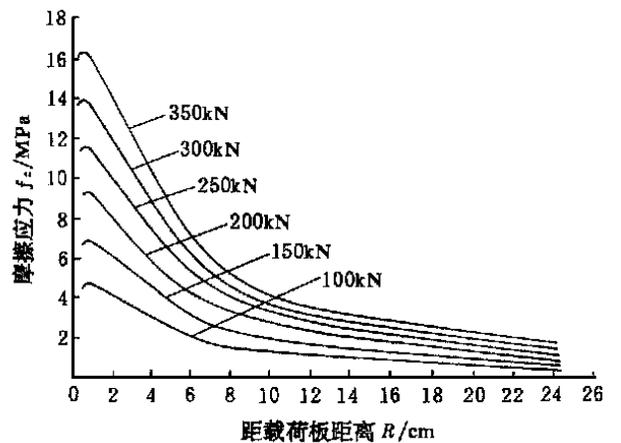


图8 现场试验锚孔内壁摩擦力模拟曲线
Fig 8 Simulated curve of friction force in field test

计算结果表明, 以锚固力为350kN 为例, 岩石的最大径向压应力 σ_r , 最大轴向压应力 σ_z 以及最大环向拉应力 σ_θ 为同一数量级, 且这些最大值分布在距载荷板2~6cm 处。我们知道, 岩石的抗拉强度至少比抗压强度小一个数量级, 因此, 如果岩石局部发生了塑性破坏的话, 应该是属于受拉破坏, 因此把围岩拉应力 σ_θ 描绘成等值线, 见图7, 图中横轴为松砂与密砂的界面线, 距载荷板14cm, 纵轴为锚杆体的中心轴。

现场试验锚孔内壁摩擦力模拟曲线如图8所示, 可见, 现场试验摩擦力的模拟曲线与室内试验摩擦力的实测曲线规律相同, 参见文[3]。

5 结论

从原理上, 砂固结锚固技术是切实可行的。拉拔试验进行时, 随着拉拔力的增大, 后一级荷载产生的载荷板位移增量小于前一级荷载产生的位移增

量, 即载荷位移增量是逐渐收敛的。在某级载荷作用下, 摩擦力集中作用在载荷板附近, 在封口附近很小。随着载荷的增加, 载荷板附近摩擦力显著增大, 而封口附近增加很少。现场长期观测表明, 锚杆拉力一直保持稳定, 锚固效果很理想。现场试验的数值模拟表明, 围岩应力最大值分布在距载荷板2~6cm 处, 如果岩石局部发生了塑性破坏的话, 应该是属于受拉破坏。现场试验摩擦力的模拟曲线与室内试验摩擦力的实测曲线规律相同。

致谢: 在本文的数值模拟研究过程中, 笔者曾经和中国科学院武汉岩土力学研究所教授郑宏博士进行过多次有益的探讨, 特此表示谢意!

参 考 文 献

- 1 Stazhevsky S B, Kolymbas D. Vorgespannte Anker nach dem dilatanzprinzip P202[J]. Boden und Felsmechanik, 1993, 4(1): 202~ 205
- 2 葛修润, 丰定祥, 陈 荣等. 砂固结内锚头预应力锚杆研究[J]. 岩石力学与工程学报, 1999, 18(增): 1091~ 1097
- 3 陈 荣, 邓学璟, 胡正东等. 砂固结锚固室内试验及砂土强度特性理论的再认识[J]. 岩石力学与工程学报, 2000, 19(1): 73~ 75

TESTING STUDY AND NUMERICAL SIMULATION ON SAND-CONSOLIDATED-ANCHORAGE-PRESTRESSED BOLT

Chen Rong¹, Peng Weidong¹, Yin Jianhua¹, Hu Zhengdong², Ge Xiurun^{3, 4}, Feng Dingxiang³

(¹ Shenzhen Expander(holdings)Co Ltd., Shenzhen 518010 China)

(² Shenzhen Municipal Works Co Ltd., Shenzhen 518034 China)

(³ Institute of Rock and Soil Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430071 China)

(⁴ Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030 China)

Abstract The anchorage force of sand-consolidated-anchorage-prestressed bolt is actually the friction resistance between sand and drill hole. Through laboratory and field tests, a thorough study is made on the sand-consolidated-anchorage-prestressed bolt. Based on lab test, a numerical simulation is carried out for the field test, and some useful results are obtained.

Key words sand consolidated anchorage, lab test, field test, numerical simulation

书 评

孙 钧著《岩土材料流变及其工程应用》 1999年12月中国建筑工业出版社出版

承孙 钧院士赠我一本由中国建筑工业出版社出版的新书“岩土材料流变及其工程应用”。经过初步研习,颇有茅塞顿开之感。该书在岩土流变领域涉及面颇宽,洋洋120万字,是我国近年来这方面的一本难能可贵的巨著。其主要内容包括:岩土介质在长期外载变化下变形的发展规律;室内流变试验的仪器和测试方法及研究结果;岩土流变学的理论方法;岩土流变问题的数值方法;岩土流变学在大型地下和地面工程中的应用等。其中关于岩土蠕变细观力学试验研究,流变损伤的时效特性,土体蠕变与固结的混合问题,蠕变与松弛的耦合分析,流变应力场与渗流场的耦合效应,非线性流变,蠕变损伤与断裂,本构模型的辨识与参数估计,大型工程的三维流变力学分析等都是当前国内外研究的热点和前沿课题。鉴于我国沿海和南方的许多大中城市的高层建筑或地铁工程都面临软弱土层的稳定和时效问题;我国西部大开发将面临复杂岩体的长期稳定和相关工程的时间效应的问题。比如跨世纪的世界顶尖级的大工程三峡工程,其船闸高边坡的变形时效问题及其他一系列工程问题,都可从该本巨著中寻求到有益的解答思路。

该著作的出版是我国岩土工程界的一件大事。相信它将对我国的广大岩土工程界科技人员和教学工作者在科研工程和教学中起到重要的指导作用。

中国科学院武汉岩土力学研究所

研究员 朱维申

2000年3月