

预制高强预应力混凝土格构试验与数值模拟研究

王全成

(中国地质科学院探矿工艺研究所,四川 成都 610081)

摘要:概述高强预应力混凝土格构锚固的优点,建立起锚墩的三维有限元计算模型,通过有限元模拟及室内试验对比研究,探索构件的受力机制、变形及裂缝的发展过程,论证使用 ANSYS 软件设计预应力混凝土构件的有效性。

关键词:高强预应力混凝土格构;三维有限元;裂缝;锚固;地质灾害治理

中图分类号:P642.22 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2012)12-0036-04

Pre-cast High Strength Pre-stressed Concrete Lattice Test and the Study on Numerical Simulation/WANG Quan-cheng (The Institute of Exploration Technology, CAGS, Chengdu Sichuan 610081, China)

Abstract: The advantages of anchor frame lattice are overviewed and the three-dimensional finite element calculation model of anchor pier is established. Through the comparative study on finite element simulation and indoor experiment, mechanical mechanism, the development of deformation and fracture are explored. The efficiency of ANSYS software application in the design of pre-stressed concrete members is demonstrated.

Key words: high strength pre-stressed concrete lattice; three-dimensional finite element; fracture; anchorage; geological hazard control

格构锚固作为一种常用的地质灾害治理技术在我国滑坡灾害治理与边坡防护工程中得到广泛应用。但由于采用现场配筋和现场浇筑形式,需在现场进行支模、配筋、浇注及养护等工序,施工周期长,工艺复杂,无法满足突发滑坡灾害快速加固的需要。在日本,预应力混凝土框架锚固施工技术已比较成熟,已成功应用于典型工程实例。该技术由预制预应力混凝土框架与灌浆锚索(杆)组合而成,具有现场安装后可马上以设计锚固力锚固,大大缩短工期,预应力框架具有截面性能好,能够降低部件厚度,不易产生裂纹,同时表面美观,增大绿化面积等优点。因此,开展预制高强预应力混凝土格构相关研究与工程应用有着重要的理论意义与工程意义。

1 试验概况

本次预制高强预应力混凝土格构试验所属项目为西部复杂山体滑坡快速加固技术研究,为方便对比研究,室内试验完成不同设计锚固力(1000 和 1500 kN)、不同砼标号(C40、C50、C60)、不同断面尺寸(4 种)、不同格构型式(2 种)的预制锚墩共 12 组 36 套(如表 1 所示)。预制锚墩的 2 种结构型式,一种是十字形,另外一种为加肋的(如图 1 所示)。

表 1 预制格构室内试验工作量统计表

组号	设计锚固力 /kN	砼 强度	断面尺寸 /mm	格构 型式	钢丝 数量
1	1000	C40	300 × 200	Ⅱ	10
2	1000	C40	250 × 200	Ⅱ	12
3	1000	C40	300 × 200	Ⅱ	无
4	1000	C40	300 × 200	I	12
5	1000	C50	300 × 200	Ⅱ	10
6	1000	C50	350 × 200	Ⅱ	8
7	1000	C50	300 × 200	Ⅱ	无
8	1000	C50	300 × 200	I	12
9	1500	C60	300 × 200	Ⅱ	14
10	1500	C60	350 × 200	Ⅱ	12
11	1500	C60	300 × 200	Ⅱ	无
12	1500	C60	300 × 200	I	18

注: I 型结构为十字型, II 型结构为加强型。

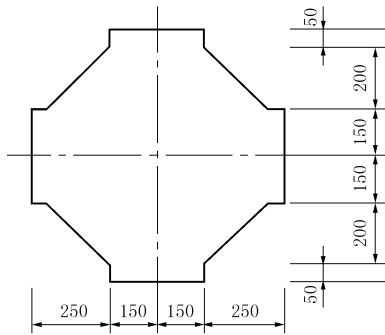


图 1 预制格构俯视图

收稿日期:2012-07-03; 修回日期:2012-12-13

基金项目:地质调查项目“西部复杂山体地质灾害成灾模式研究”(1212011014023)

作者简介:王全成(1974-),男(汉族),四川人,中国地质科学院探矿工艺研究所高级工程师,水工环专业,从事探矿工程技术研究工作,四川省成都市一环路北二段 1 号, wangquancheng1@126.com。

图 2 为预制锚墩的侧视图。

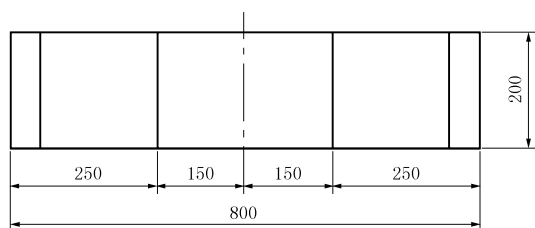


图 2 预制格构侧视图

试验工序大致为制作张拉台座、配置钢筋和钢丝、钢丝张拉、架设模板、浇筑混凝土、制作混凝土试块、拆模养护、钢丝放张、锚索张拉进行格构破坏试验。图 3 为锚索张拉试验现场的照片,在张拉台架上,混凝土锚墩底面与泡沫板、木板接触以模拟岩土基础,顶面与钢垫板接触,往上依次为千斤顶、传感器、工具锚。在 1860 MPa 级刻痕钢丝及锚墩表面均贴有应变片,这些应变片与 3816 静态应变测试系统连接,监控构件在整个试验当中所表现的力学性质。



图 3 锚索张拉现场

2 有限元计算模型

一般情况下,根据特征尺寸和研究方法侧重点的不同,将混凝土内部结构视为微观、细观和宏观 3 个层次。就本文而言,由于构件制作工序复杂,在浇注混凝土过程中不能保证完全均匀,在张拉过程中也不能保证构件绝对水平,因此构件具有各向差异,且模型相对复杂,是三维实体,并有弯起钢筋、预应力钢筋,因而更适合采用宏观层次的思路及方法来研究。

以试验中混凝土标号为 C40 的一组为例,构件的尺寸如图 1、图 2 所示。构件的每个方向布置刻痕钢丝 10 根,分 2 层布置,同时在每个方向布置 2 根弯起钢筋(图 4)。本文将预应力钢丝、弯起钢筋

与混凝土分开建模,分别使用 link8 单元和 solid45 单元模拟钢筋及混凝土材料,采用降温法模拟施加荷载,并使用 APDL 语言实现钢筋与混凝土的粘结,完成建模工作,如图 4 所示。图中黄色块体为混凝土单元,较粗的银色线条为弯起钢筋,较细的青色线条为刻痕钢丝。

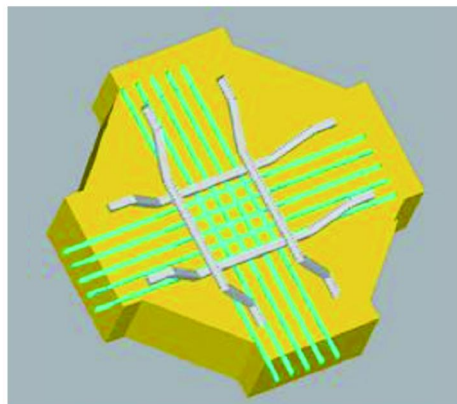


图 4 有限元计算模型

为模拟预制格构在实际工作中的承力机制,按照室内试验的实际情况,当使用悬臂梁的支撑方式时,加载到设计锚固力的 1.1 倍时,构件仍没有破坏,如果继续加载,钢绞线将断裂。这时再采用简支梁支撑方式来研究构件的破坏方式及极限承载力。试验中采用的荷载分级如表 2 所示。

表 2 荷载分级表

级别	/kN	
	悬臂	简支
I	200	200
II	300	300
III	500	400
IV	750	500
V	1000	600
VI	1100	700
VII		800

注:悬臂梁是指构件底面与十层木板、一层泡沫板完全接触,简支梁是指构件底面在上述基础上在构件底面的端部各垫上一块木垫块使构件中部悬空。

3 计算结果

使用 ANSYS 软件按照表 2 中的荷载分级对锚墩进行模拟,通过对计算结果的整理和分析,并与试验结果对比,本文将从以下 4 个方面分析构件的受力机制。

3.1 应力分析

图 5 为 1000 kN 下,第一种支撑方式下混凝土构件底面的最大主应力分布图。从图中可以看到大部分的应力都在 1.71 MPa 以下,这些极少数超过了

混凝土抗拉强度的区域会产生微裂。但大部分混凝土构件都是带裂缝工作的,故判定构件能否正常工作,还需要分析构件裂缝的分布发展情形。

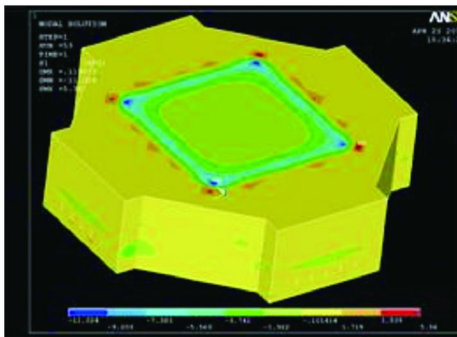


图5 最大主应力分布

3.2 裂缝分析

本文采用 William - Warnke 五参数模型模拟混凝土的失效过程。图6、图7为设计锚索张拉力(1000 kN)在第一种支撑方式下构件裂缝分布规律,主要集中在4个地方:(1)上表面钢垫板与混凝土接触面附近;(2)端部应力筋附近;(3)为斜面中心处;(4)斜面与直面相交线。分布于(1)、(2)的裂隙不具备扩展的条件,也不会影响构件的工作性能,(3)、(4)处的裂隙均从底面向顶面发展。

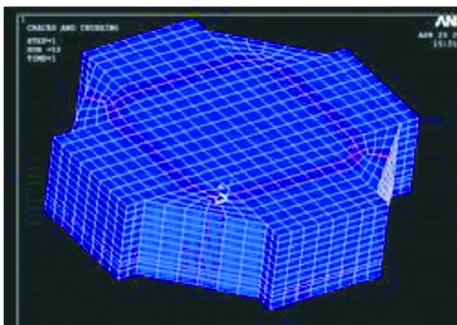


图6 1000 kN(方式一)裂缝分布

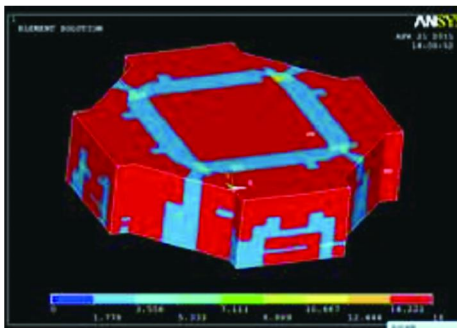


图7 1000 kN(方式一)裂缝的开裂状况

从图7可以看到,构件大体都是完好无损的(开裂指标16),只有少数积分点的开裂指标低于3

(各方向裂纹闭合)。且这些低于3的积分点的值接近3,这说明这些裂纹是闭合的,张开度均不大,构件还能带裂纹正常工作,说明构件的设计是合理的。这与实验过程中观察到的现象是一致的,图8为构件1000 kN下斜面中心处产生的一条裂纹。



图8 1000 kN(方式一)裂缝

此外,通过整理各荷载下的有限元计算结果,将计算结果与试验结果对比,发现数值模拟体现出来的裂缝发展规律与试验观测的结果一致:当荷载为500 kN以下时,构件无裂纹产生,当荷载为500 ~ 750 kN时构件出现微裂(见图9、图10),微裂部位多见于斜面中线处,自底而顶发展,方向为近竖直;当荷载继续增大1100 kN时,裂缝向顶面伸延,方向可能出现一些偏斜,张开程度无明显扩展,仍处于微裂状态,构件在1100 kN下也能带裂纹正常工作。

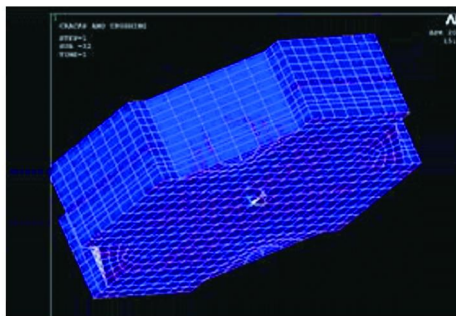


图9 700 kN(方式二)裂缝分布



图10 700 kN(方式二)裂缝

比较图 9 与图 6, 可以发现第二种支撑方式下, 当施加荷载为 700 kN 时, 构件斜面将产生斜裂缝, 而不是竖直裂缝。斜裂缝自斜面与直边交界处向斜面中心倾斜扩展。图 9 中的竖直裂缝是在第一种边界条件 1100 kN 级荷载下形成, 在第二种边界条件荷载为 700 ~ 800 kN 的作用下继续发展而形成。700 kN 可以视为构件在支撑方式二下的临界点, 而 800 kN 时构件已不能正常工作。

3.3 挠度 - 荷载曲线

在混凝土构件使用中过大的变形将会影响构件的刚度, 影响构件的长期使用, 并会给人造成不安全的感。通过有限元计算表 2 所列荷载下预应力混凝土构件跨中(构件中心)挠度, 作挠度 - 荷载曲线如图 11、图 12。

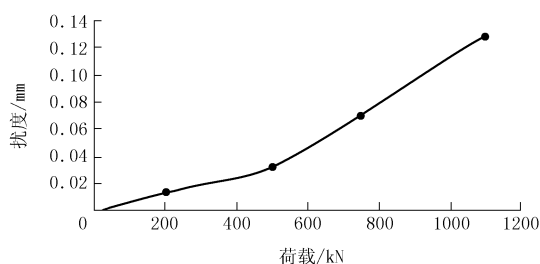


图 11 挠度 - 荷载曲线(方式一)

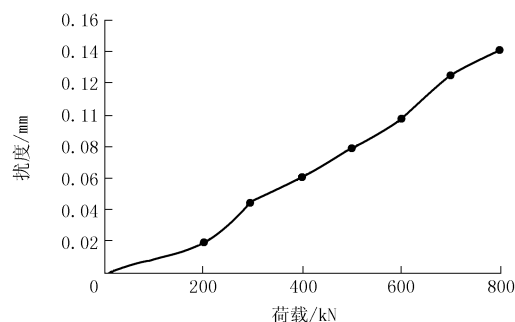


图 12 挠度 - 荷载曲线(方式二)

从图 11、图 12 可以看出, 在安全系数为 1.1 下, 悬臂梁模式时, 构件跨中挠度为 $0.13 \text{ mm} < L/250$, 在允许的变形范围内。而支撑方式为方式二的情形下, 构件破坏点的变形极值为 0.15 mm , 同样满足变形要求。图 11 中曲线有一个转折点, 对应的荷载为 500 kN, 而通过数值计算与试验结果分析, 500 kN 恰好是混凝土出现微裂的点。图 12 中的转折点为 600 kN, 是裂缝继续发展开始的点。

4 结论

(1) 本文使用 ANSYS 软件分析预应力混凝土, 获得的裂缝分布发展规律与试验结果很好的吻合, 为使用 ANSYS 设计带裂缝工作的构件提供一条思路, 即并不要求构件的每个区域的最大主应力均在混凝土抗拉强度以下;

(2) 通过对挠度 - 荷载曲线的分析发现, 变形曲线的转折点即为混凝土开裂(或者裂纹继续发展)的点;

(3) 通过对构件的应力、裂缝发展及变形分析, 安全系数为 1.1 时, 预制构件能够正常工作, 设计合理。

参考文献:

- [1] 赵晓华, 薛国亚, 宋启根. 带裂缝钢筋混凝土板的断裂力学[J]. 东南大学学报, 1994, (3): 8 - 11.
- [2] 凌广, 吴同乐, 贾永刚. 钢筋混凝土有限元分析[J]. 四川建筑, 2003, (5): 51 - 52.
- [3] 戴显荣, 蔡若虹. 利用 ANSYS 模拟分析预应力混凝土[J]. 浙江交通科技, 2004, (2): 22 - 24.
- [4] 简斌. 对后张有粘结部分预应力混凝土连续梁次内力及内力重分布规律的试验及研究[D]. 重庆: 重庆建筑大学, 1999.
- [5] 刘光廷, 高政国. 三维凸型混凝土骨料随机投放算法[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2003, 43(8).

南京市浅层地热能调查初具成果

中国地质调查局网站消息(2012 - 12 - 24) 近日, 江苏省地质调查研究院和南京市国土资源局承担的《南京市浅层地热能调查评价》项目野外工作收官。《南京市浅层地热能调查评价项目》是 2011 年中国地质调查局启动的全国地热资源调查评价的工作项目之一, 由中央财政和地方财政按照 1: 1 的比例共同出资, 项目总经费达 1650 万元, 为江苏省规模最大、层次最高的浅层地热能调查评价项目。开发利用浅层地热能对南京市构建资源节约型和环境友好型社会、保障能源安全、改善南京市现有能源结构、促进节能减排战略目标的实现具有非常重要的意义。

2012 年 2 月以来, 南京市浅层地热能调查评价项目组历时 9 个月, 经历了严寒和酷暑的考验, 圆满完成了野外主体工作。累计完成水文地质调查 2078 平方公里, 地质钻探 5360.7 m, 埋设了超过 20000 m 的 HDPE 管, 完成了物探测井 3175.77 m、样品分析测试 1837 组、

热响应试验 50 组、抽水回灌试验 6 组等重要的试验和调查工作。

为了更好地结合南京市地方实际, 由南京市国土资源局、财政局和江苏省地质调查研究院组成的调研组, 专程赴北京和天津两市进行了专题调研, 学习了相关的工作经验, 考察了两市浅层地热能示范工程, 就推动南京市浅层地热能调查评价和规划工作, 以及开发利用工作涉及到的政策和措施进行了深入的研讨。结合南京市浅层地热能开发利用管理的需要, 开展了针对性的工作。今年以来, 项目组调查了开发利用工程 30 处, 基本查明了南京市主要开发利用方式, 并进行了夏热冬冷地区的浅层地热能开发利用专题研究, 这些将为制定南京市浅层地热能合理开发利用提供依据, 确保浅层地热能长效开发利用。同时, 根据不同的地质环境, 规划了南京市浅层地热能开发利用动态监测网, 并进行了开发利用规划编制与管理政策研究等工作。