

强夯处理高填方的现场试验与数值分析

周世良¹, 王多垠¹, 吴友仁²

(1. 重庆交通大学河海学院, 重庆 400074; 2. 广州四航工程技术研究院, 广东 广州 510230)

摘要: 介绍重庆江北嘉陵江防洪护岸工程高填方的强夯加固现场试验, 并采用有限元方法对强夯处理高填方的过程进行了数值模拟, 数值分析与现场试验结果吻合较好。研究表明, 高填方经过强夯处理后, 土体发生了较大的沉降变形, 密实度和承载力有较大幅度提高; 采用有限元方法对高填方强夯加固处理进行数值分析是可行的, 能够模拟高填方地基土在强夯冲击荷载作用下的弹塑性动力响应。

关键词: 强夯; 高填方; 现场试验; 数值分析

中图分类号: TU472.3 文献标识码: A 文章编号: 1674-0696(2007)05-0087-05

Site Test and Numerical Analysis of Dynamic Consolidation Method for High Earth Fill

ZHU Shi-liang¹, WANG Duo-yin¹, WU You-ren²

(1. School of River & Ocean Engineering, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China;

2. Guangzhou Shihang Institute of Engineering Technology, Guangdong Guangzhou 510230, China)

Abstract: A site test of dynamic consolidation for high earth fill of Chongqing Jiangbei Jialing River flood embankment engineering was introduced, and the process of dynamic consolidation was simulated by FEM. The numerical analysis results are basically consistent with those of site tests. It could be seen that a biggish settlement deformation was produced in soil by dynamic consolidation, and the consistency and bearing capacity of soil advanced to a great extent. At the same time, it indicates that numerical analysis for dynamic consolidation by FEM is feasible, and it could preferably simulate the elasto-plastic

dynamic response of high earth fill rammed by impact load.

Key words: dynamic consolidation; high earth fill; site test; numerical analysis

随着重庆市城市建设的发展,大规模的护岸工程不断出现,如长江滨江路、南岸滨江路、嘉陵江滨江路、江津滨江路等。这些滨江路护岸工程的共同特点是工程规模较大,往往需要数十万甚至上百万 m^3 的后方回填,且填土时对土质成分、均匀性、级配等几乎无法控制,加之受江河水位影响,工期紧迫,采用常规的处理方法既不经济,也难以满足工期要求。因此在重庆地区近几年的护岸工程建设中,后方的高填方路基较多采用了强夯处理方法,效果显著。

强夯法加固地基就是利用巨大的夯击能,在地基中产生冲击波和动应力,对地基土进行挤密,提高土的强度并降低其压缩性^[1]。由于地基土强夯加固的机理较为复杂,现有的设计计算方法基本上都是

经验性或半经验性的,至今尚未形成一套完整的设计计算理论^[2],所以目前工程实用中通常采用由现场或室内试验获得的数据作为试夯参数,并根据现场试夯结果最后确定正式的强夯施工参数。但现场试验存在研究费用高、测试精度受外界诸多因素影响等缺点。数值分析法则通过合理确定地基土的应力-应变关系、屈服准则以及力学边界条件来模拟强夯加固地基的全过程^[3]。与试验方法相比,数值分析法具有研究费用相对低廉,并且方便进行参数研究的优点。

以重庆市江北区嘉陵江护岸工程的强夯处理高填方现场试验^[4-5]为例,采用有限元方法对强夯处理高填方的过程进行数值模拟,并与现场试验测试结

收稿日期:2006-07-14

基金项目:重庆市教委科技项目(040406)资助课题。

作者简介:周世良(1972-),男,浙江宁波人,副教授,博士,主要从事水工结构、岩土工程的教学与研究。e-mail: zhsl1972@163.com.

果进行比较,以验证其可靠性.

1 强夯处理高填方的现场试验

重庆市江北区嘉陵江护岸(1期)工程是重庆市重点工程,位于重庆市江北区刘家台长江河滩上,加筋土护岸挡墙长度855 m,后方回填面积约3 500 m²,回填厚度10~20 m不等,填料为开山土和建筑弃土,采用强夯法进行加固处理^[4-5].强夯分两层进行,如图1.强夯参数见表1,施工现场及施工机械见图2.

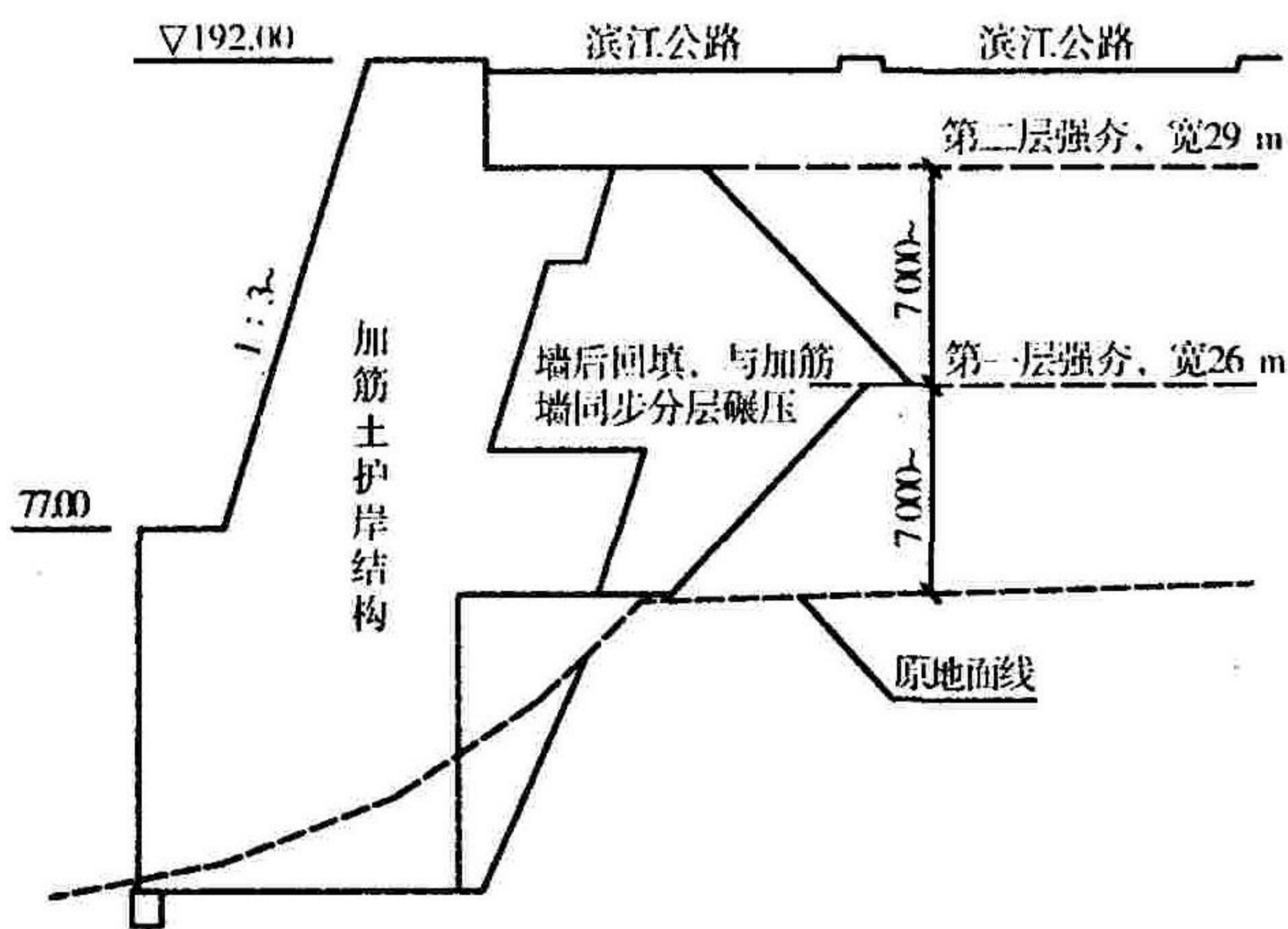


图1 典型断面
表1 强夯参数

单击夯击能/(kN·m)	单点击数/次	夯点间距	夯击遍数/遍	间歇时间/d	满夯
1 200	6	4 m×4 m	6	7	1 000 kN·m (5 击)



图2 强夯施工现场及施工机械

1.1 夯坑变形测试

强夯施工结束后,经测量地基土下沉量达90~120 cm.在施工过程中,对夯坑的变形做了详细的测试和记录,笔者选取一个夯坑的强夯过程结果进行整理,见图3、图4.

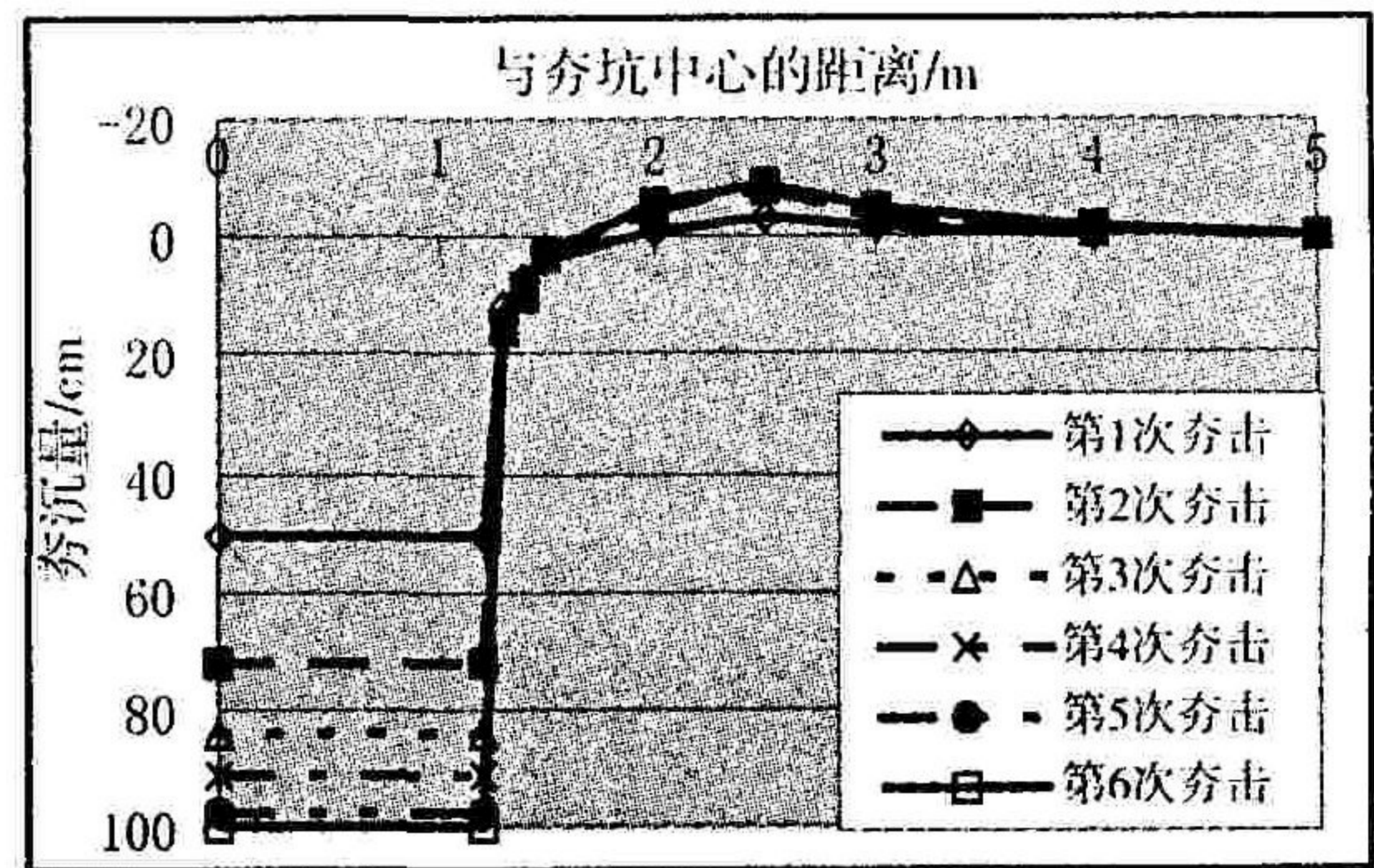


图3 不同夯击次数的夯坑变形

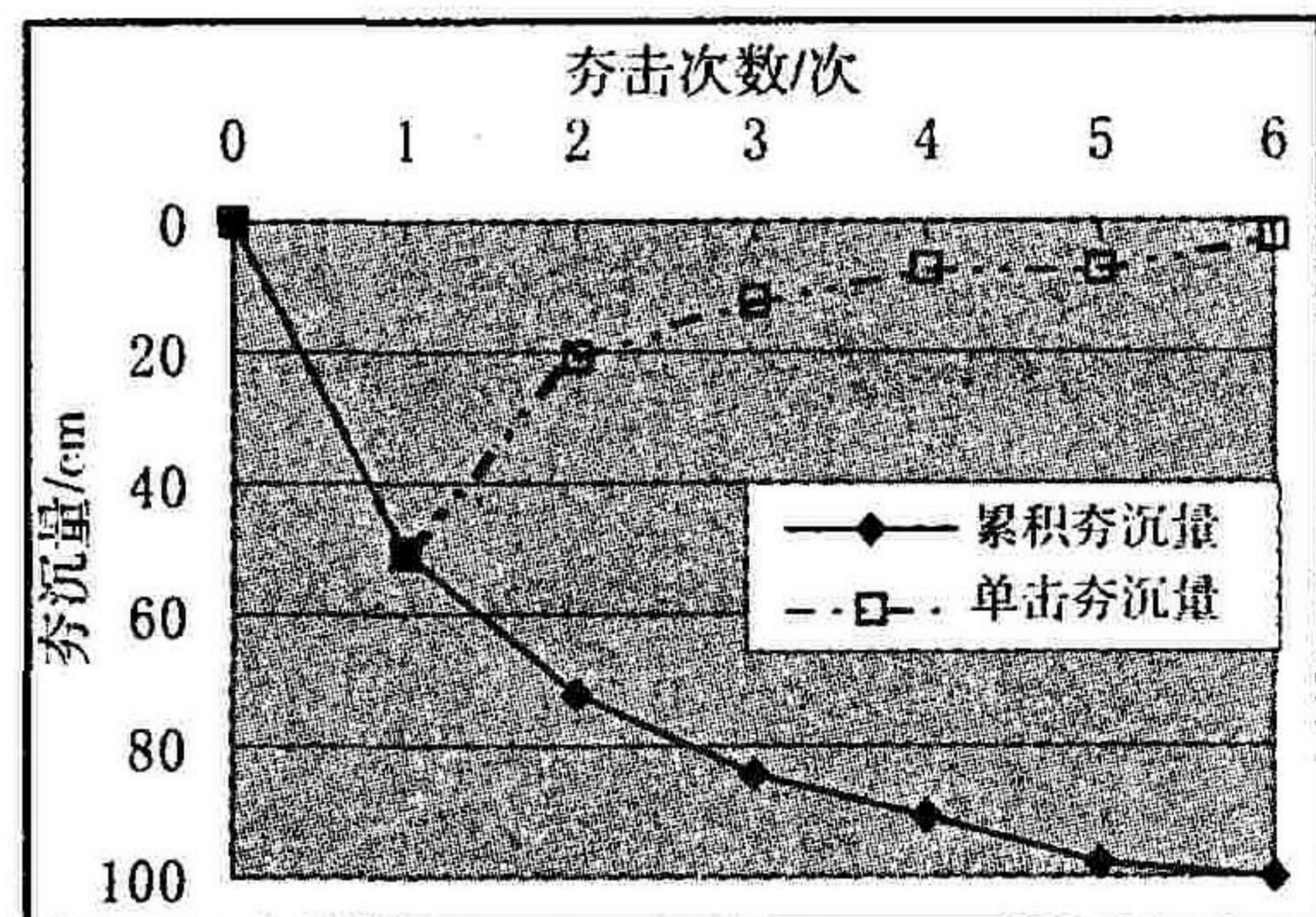


图4 夯击次数与夯沉量关系

图3表明:随着夯击次数的增多,夯坑不断加深,但是增长幅度却随之减小,坑壁陡直,夯坑周围土体受侧向挤压作用,有隆起现象.

图4表明:随着夯击次数的增加,总的夯沉量也不断增大,但是每击夯沉量在逐渐减小,说明在强夯动力作用下,地基土逐渐密实,承载力得到一定程度提高,达到加固的目的.最终夯沉量约100 cm,最后一击夯沉量为2 cm,最后两击的夯沉量差为5 cm.

1.2 强夯效果检测

为进一步了解强夯处理的效果,施工结束2周后对强夯地基进行了质量检测.质量检验采用探坑检测,见图5.每400 m²地基做1个探坑检测,探坑位置应能代表该检测范围的填土情况和施工情况.探坑深度7 m,沿深度每0.5 m分1层,每层做3个压实度试验检测和3个动力触探试验.

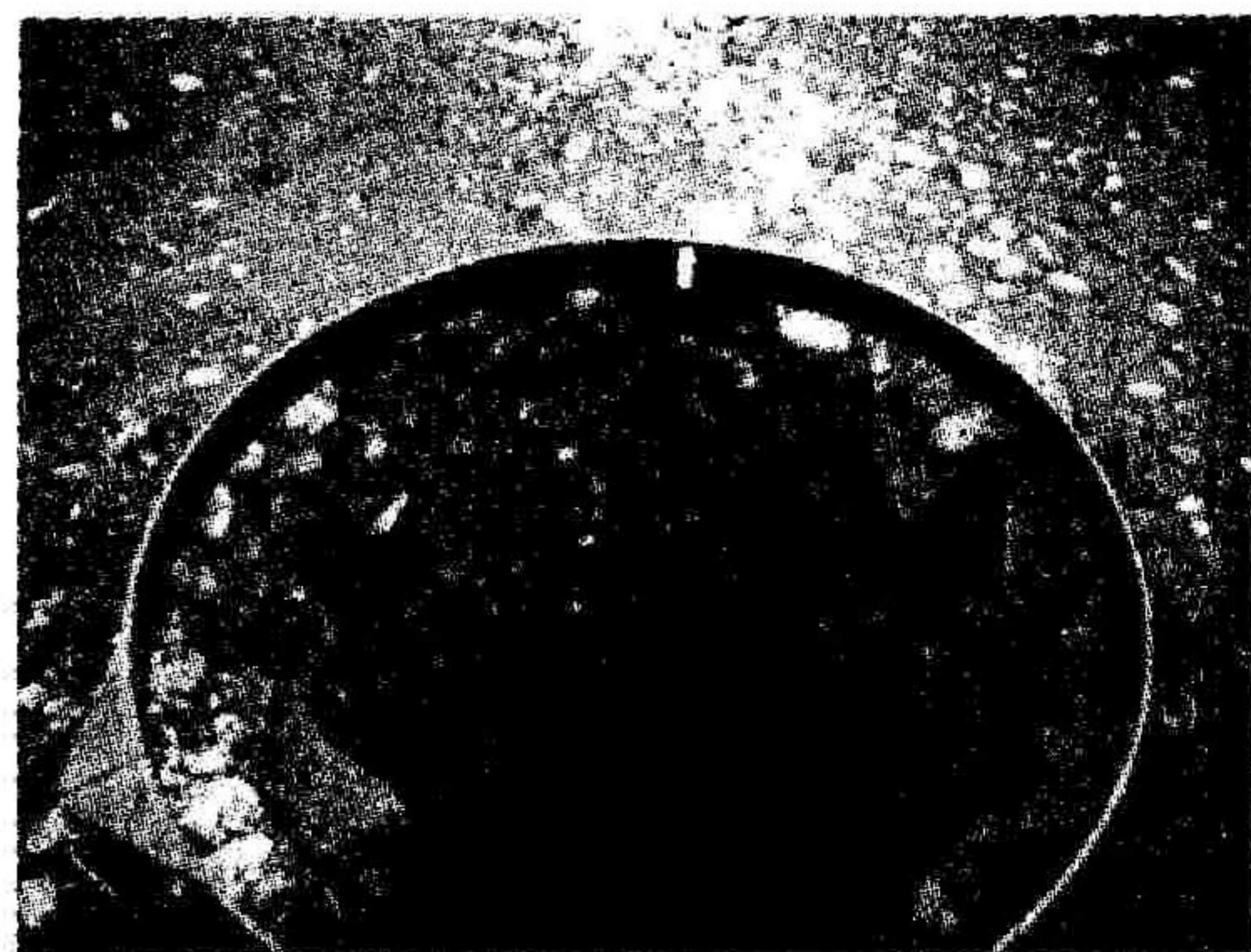


图5 强夯效果探坑检测

探坑检测结果如图6、图7。从图中可以看出,墙后回填土经强夯后密实度和承载力均有较大提高,最大密实度和最大承载力均出现在离地面3 m深度附近。这是由于强夯过程中每击夯击能皆从地基浅部向深部逐渐衰减,这样,夯后地基浅部土颗粒较为密实,土体物理力学性质得到较大改善,形成强夯实区,而深部土体土颗粒密实程度相对较小,形成弱夯实区。路基土强夯后承载力均 > 200 kPa,满足设计要求。

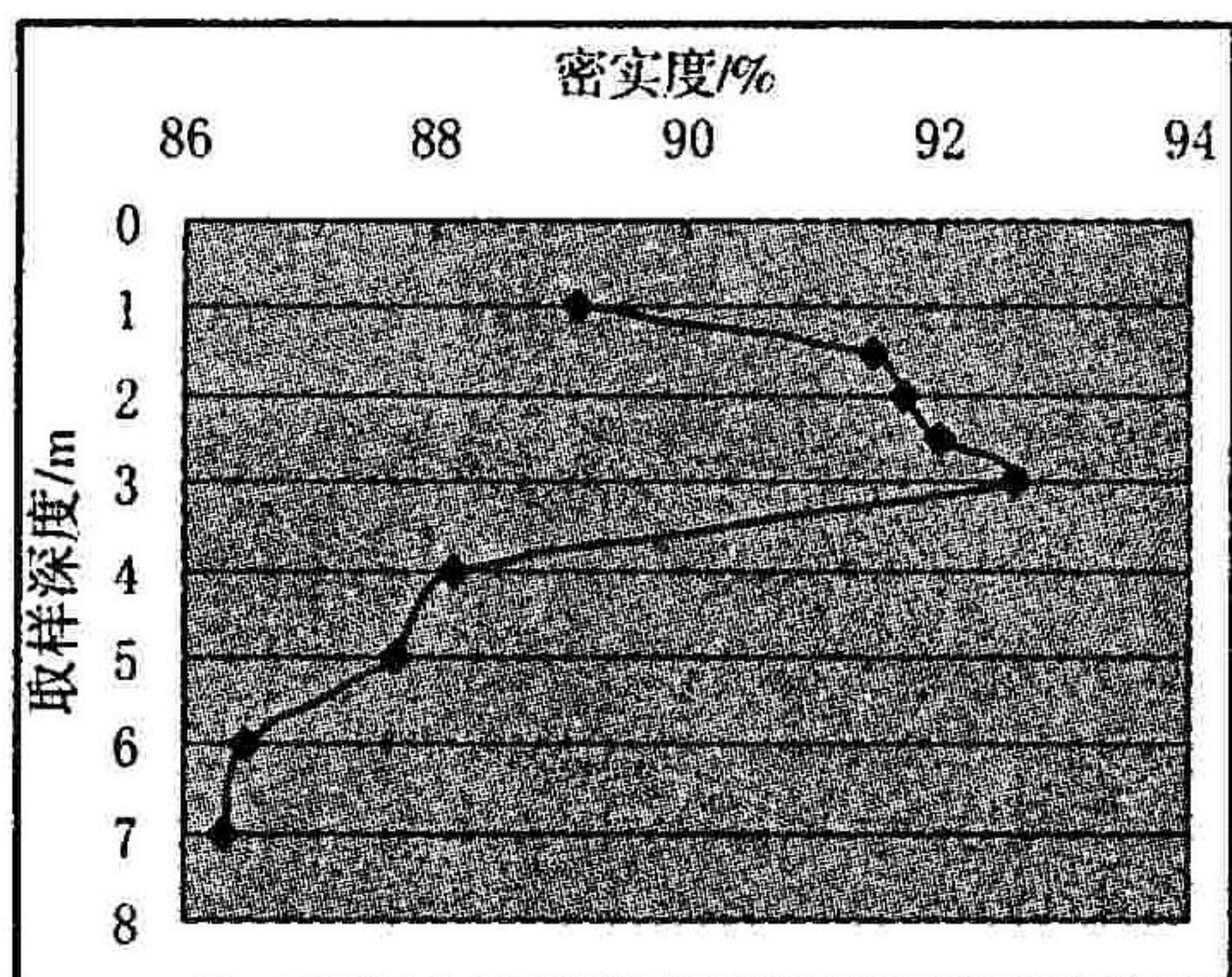


图6 密实度随深度变化曲线

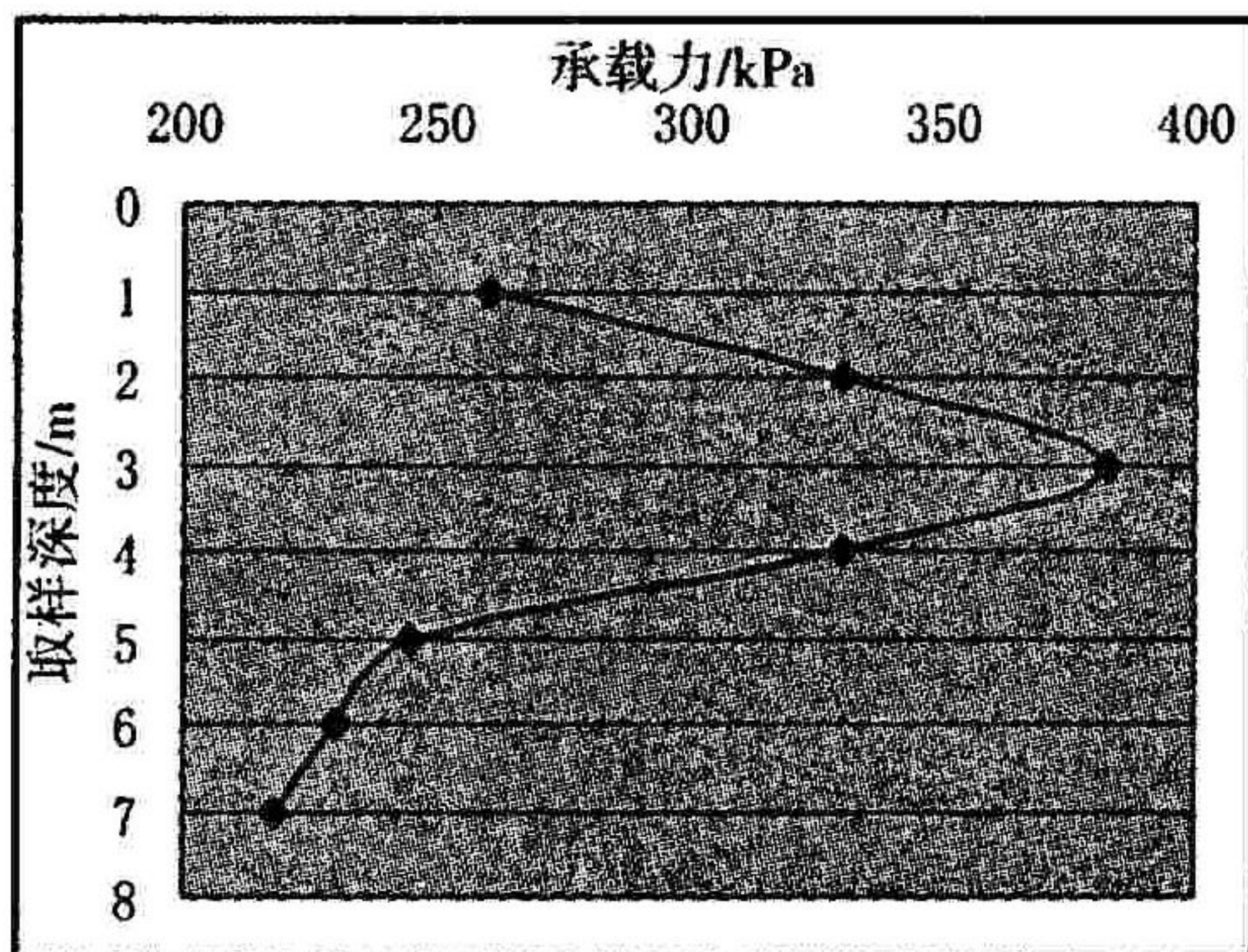


图7 承载力随深度变化曲线

2 强夯处理高填方的数值分析

为进一步深入研究强夯加固机理,笔者采用有限元方法对强夯处理高填方的过程进行数值分析^[6]。有限元计算模型及网格划分见图8,计算模型为一个立方土体,边长为16 m,底面采用固定边界条件,4个侧面采用横向约束边界条件。夯锤作用在图中顶面的中心,夯锤半径为1.1 m,重量12 t,分6次夯击。土体单元采用8节点六面体等参单元,共划分了144 720个单元。土体材料参数见表2。强夯过程见图9。

2.1 夯坑变形分析

图10为夯坑的变形过程。图示表明,随着夯击

次数的增加,土体的竖向位移不断增加,但是增长幅度有明显的减缓。强夯形成的夯坑侧壁比较陡直,夯坑周围土体有明显隆起,夯坑深度的增幅随着夯击次数的增加而减小,夯坑的最终深度为103 cm。图11为数值分析与现场试验的累积夯沉量和单击夯沉量的对比。

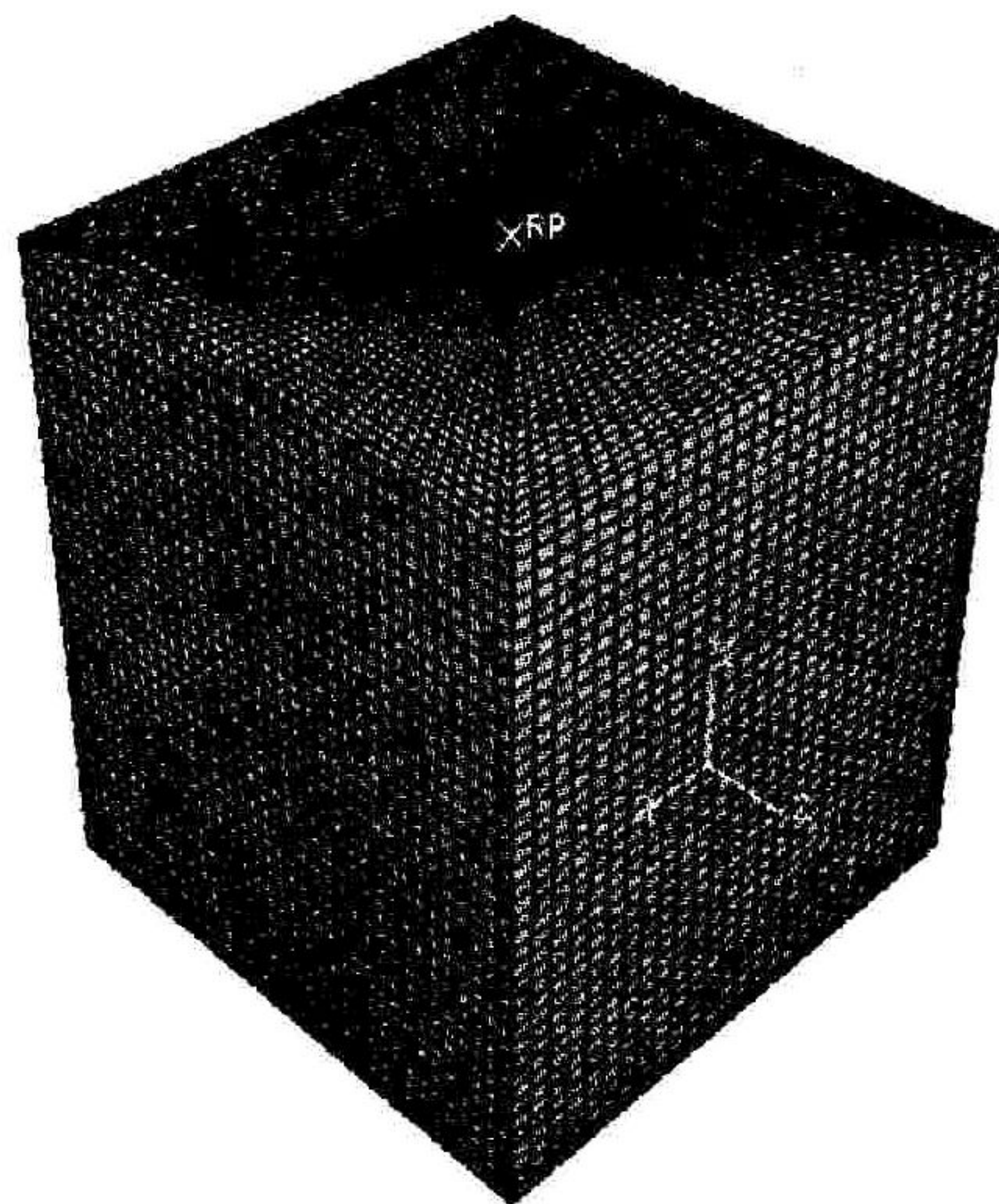


图8 数值分析模型

表2 土体材料参数

项目	容重 γ / ($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$)	弹性模量 E/kPa	泊松比 μ	内聚力 c/kPa	内摩擦角 $\varphi/(\text{°})$
土体	18.37	2.50×10^3	0.30	10.0	30.0

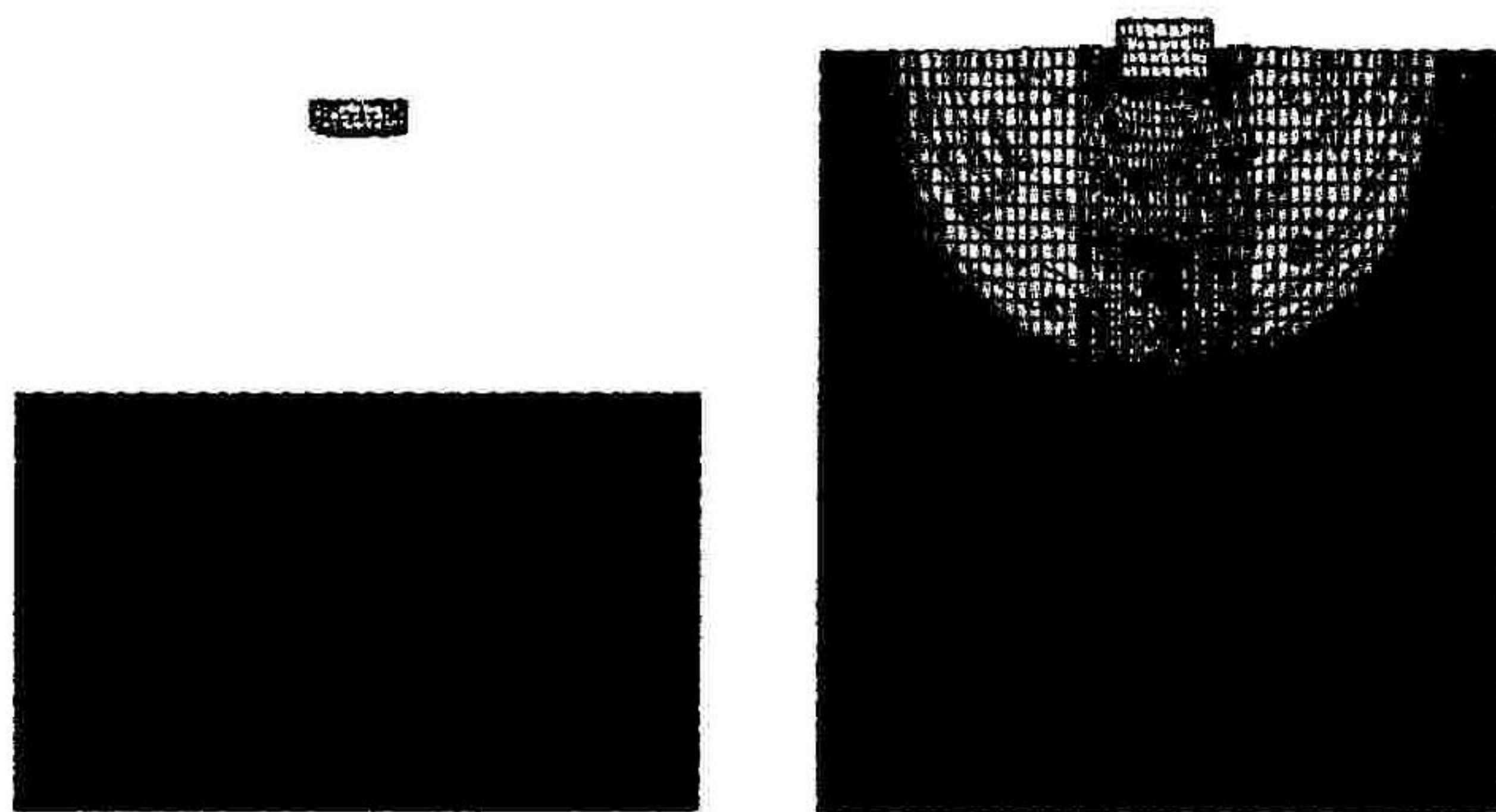


图9 强夯过程

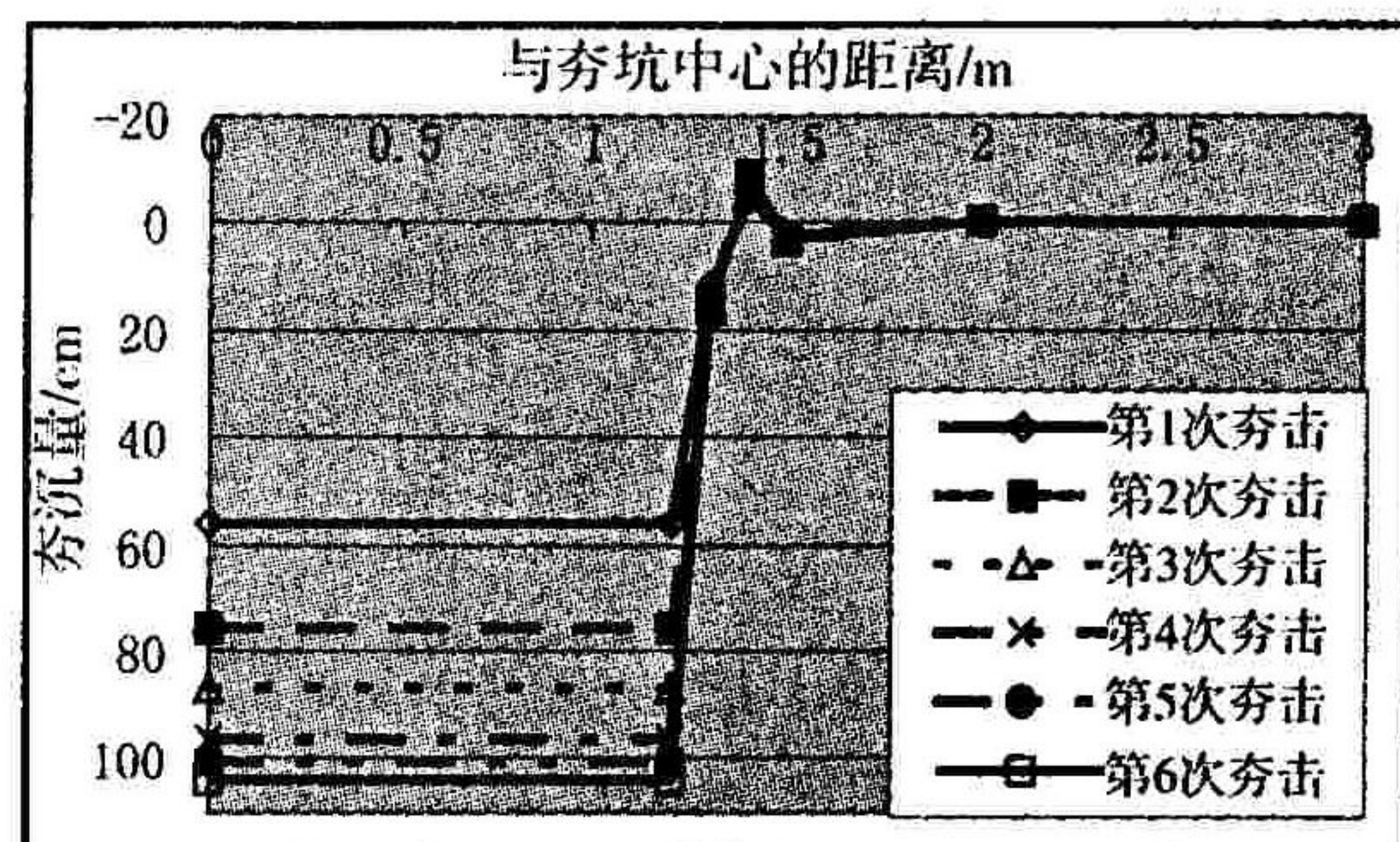


图10 不同夯击次数的夯坑变形

图11、图12表明,数值分析得到的强夯过程、夯沉量及夯坑形状与现场试验得到的结果较为吻合.

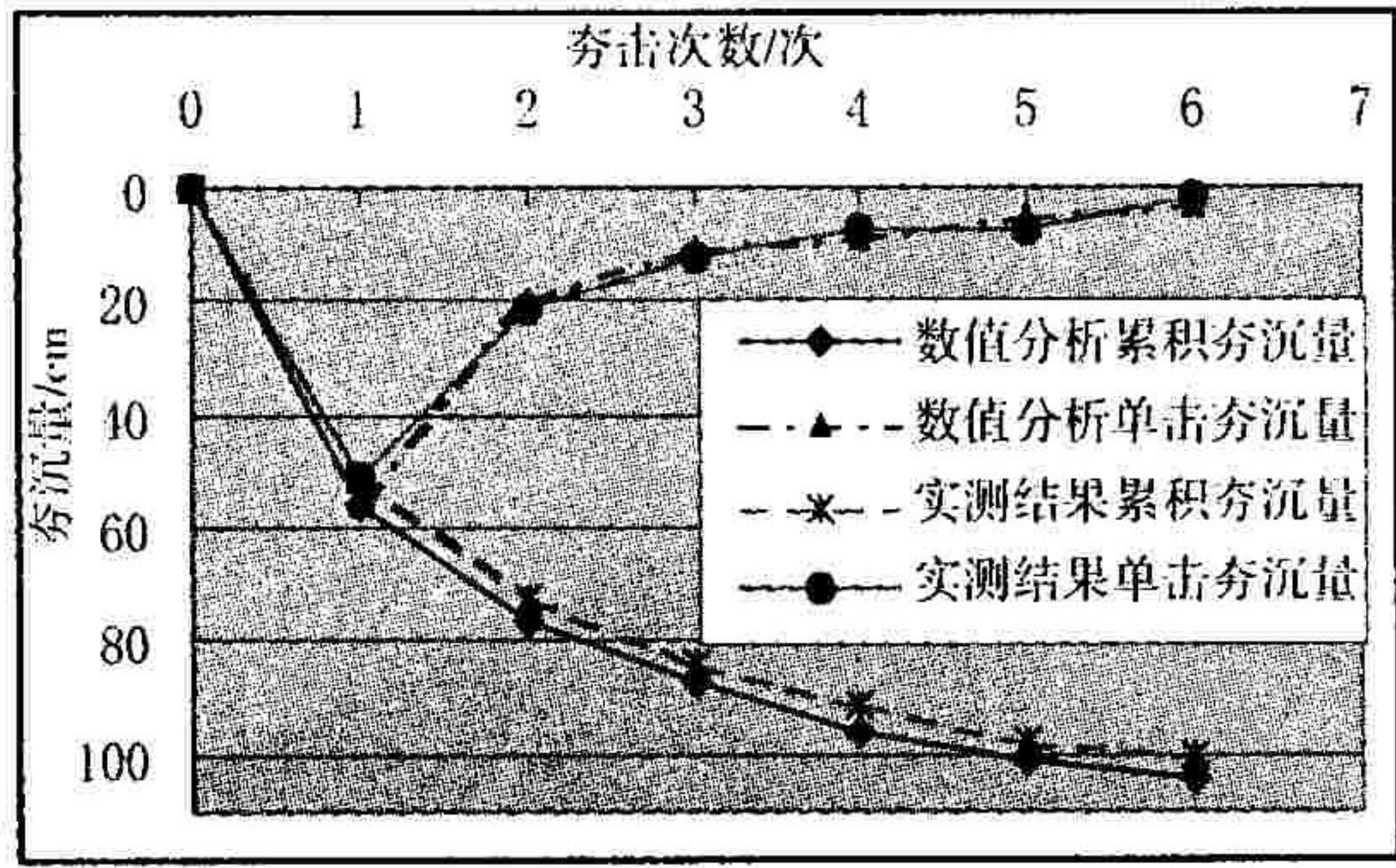


图11 夯击次数与夯沉量关系

2.2 土体塑性区分析

图12为强夯高填方过程中土体塑性区发展图.从图中可以看出,随着加载次数的增加,塑性区逐渐发展贯通,主要集中在夯坑壁周围及其下部的一定范围内,这与强夯过程中土体的变形特征是吻合的.

塑性区的出现表明该处土体已经破坏,主要原因是强夯冲击荷载的拉裂和剪切作用造成的.塑性区的出现也说明了在强夯施工过程中产生的强大振动,会使表层土有一定的程度的振松,所以一般常在最后一遍夯完后,要用低能量再满夯一遍,以达到对整个地基的加固目的.

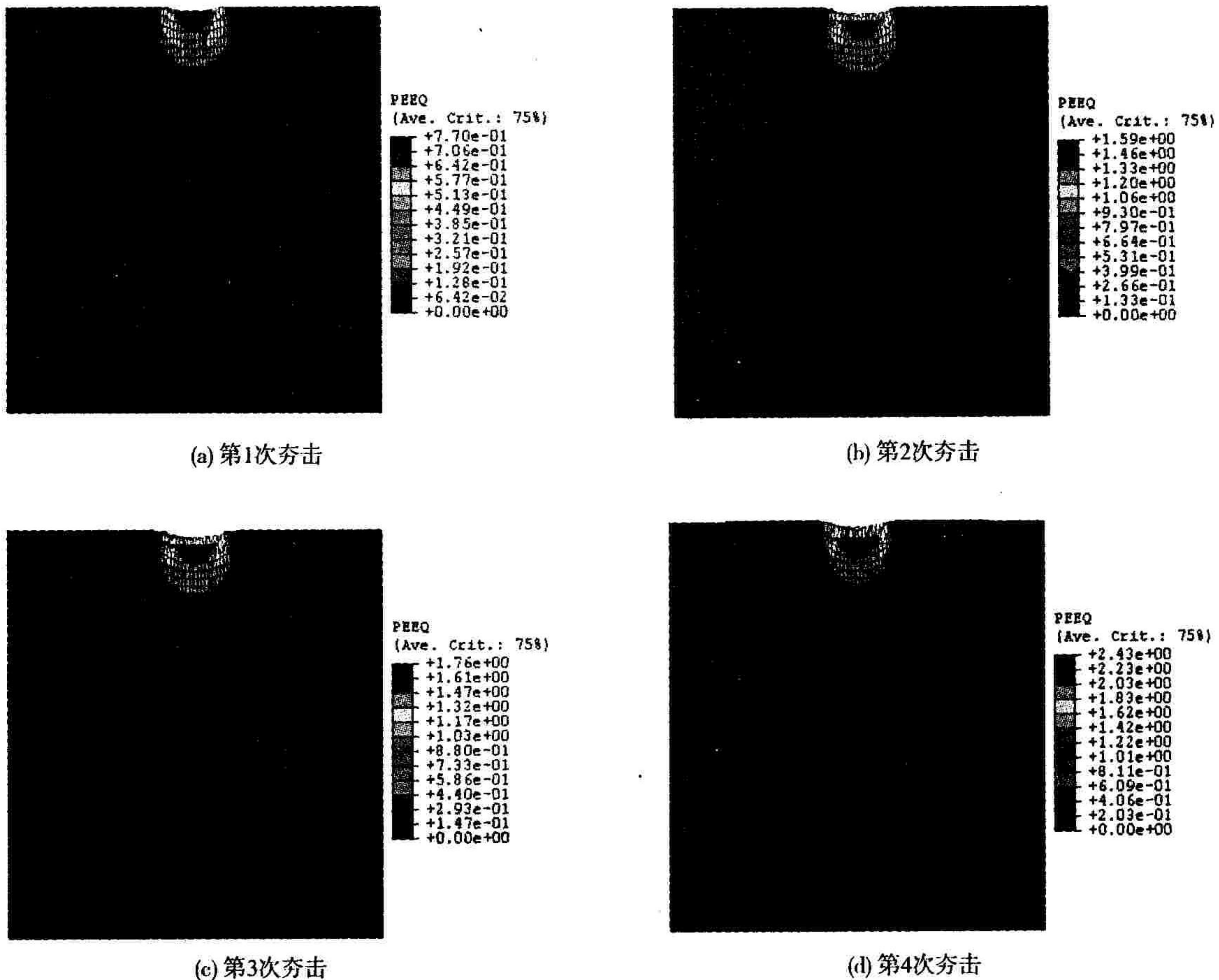


图12 加载过程中的塑性区

3 结论

重庆市的护岸工程高填方大量采用强夯法进行加固处理.介绍了江北嘉陵江防洪护岸一期工程高填方的强夯加固现场试验,采用有限元方法对高填方的强夯处理过程进行了数值模拟,并与现场试验结果进行对比分析.研究得到如下结论:

1) 现场试验测得护岸工程高填方经过强夯处理后,土体发生了较大的沉降变形,密实度和承载力有较大幅度提高,达到设计要求.这表明采用强夯法处理护岸工程高填方是一种快捷、经济且有效的方

法,在今后类似工程中应大量推广应用.

2) 数值分析结果与现场实测较好吻合,表明采用有限元方法对高填方强夯加固处理进行数值分析是可行的,能够模拟高填方地基土在强夯冲击荷载作用下的弹塑性动力响应.

参考文献:

[1] 地基处理手册编写委员会. 地基处理手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社,1989.

[2] 高大钊. 岩土工程的回顾与前瞻[M]. 北京: 人民交

通出版社,2001.

[3] 钱家欢,殷宗泽.土工原理与计算[M].北京:中国水利水电出版社,1996.

[4] 赵川,周宇.江北嘉陵江滨江路刘家台试夯段强夯试验报告[R].重庆:重庆交通学院,1998.

[5] 何光春,周世良.重庆市江北区嘉陵江滨江路护岸工程(刘家台段)路基处理工程设计[D].重庆:重庆交通学院,1999.

[6] 吴友仁.强夯法加固高填方地基数值模拟研究[D].重庆:重庆交通学院,2005.

(上接第24页)

表5 恒载作用下中跨应力对比分析

位置	L/4 截面				跨中截面			
	ANSYS	MIDAS	Δ	%	ANSYS	MIDAS	Δ	%
顶板	-15.882 5	-16.170 8	0.288 3	-1.8%	-5.115 2	-5.229 6	0.114 4	-2.2%
底板	-6.182 3	-6.308 2	0.125 9	-2.0%	-4.312 1	-4.425	0.112 9	-2.6%

表3和表4分别是在与上述位移比较时相同的5个工况下,两种分析所得出的施工过程中中跨悬臂根部1号截面和中跨10号截面的应力比较情况.施工过程中,悬臂根部受力较为复杂,相比10号截面而言,两种分析所给出的结果出入较大:1号截面顶板应力,空间分析结果较平面分析的平均相差-22.5%,10号位置仅相差-8.2%,在底板,前处平均相差-25.6%,后处则平均相差-7.3%.

表5为time36下中跨内L/4截面和跨中截面处的应力比较情况,空间分析结果较平面分析的平均相差-2.1%.

综观表1~表5可见,对于桥跨内绝大多数截面而言,平面分析(MIDAS)算得结果是偏于安全的.不过,在某些局部地方,两种分析得到的位移或应力结果可能相差甚远,如表1中time35下中跨内的最大下挠值,表2中time36下中跨跨中截面处的位移值,以及表3内time18下悬臂根部底板下缘的应力值等,在另外一些位置上两种分析甚至给出截然不同的应力结果,如表3内time10下悬臂根部底板下缘的应力值,空间分析为受拉(+0.358 9 MPa),而平面分析得出的是受压(-0.501 1 MPa).

4 结 语

通过对ANSYS程序进行二次开发,建立了重庆合川白果渡嘉陵江大桥主桥(130 m + 230 m + 130 m,三跨预应力连续刚构桥)的空间实体仿真模型,对预应力砼连续刚构桥的施工全过程进行了模拟和计算,得到了施工过程中各阶段相应的应力和位移,为开展施工过程中箱梁应力纵横向分布规律及其相关问题对策的研究奠定了基础.分析可见,目前广泛采用的平面分析,在整体上是基本可行的.鉴于平面计算不能考虑活载偏载作用产生的箱梁横向应力和扭转剪应力,也不能考虑剪滞效应,这些因素均可能导致梁体产生裂缝,故对于桥梁结构的重要部位如0号块、锚固端以及齿块局部等应采用国际通用结构分析程序进行空间分析和强度验算,并须采取正确的配筋等构造措施.

参考文献:

- [1] 朱汉华,陈孟冲,袁迎捷.预应力砼连续箱梁桥裂缝分析与防治[M].北京:人民交通出版社,2006:45-46.
- [2] 邓雪涛,曾德荣,刘宏伟.不对称变截面箱梁桥在悬臂施工阶段扭转控制分析[J].重庆交通学院学报,2007,26(3):24-28.