

深厚覆盖层高土石坝地震加速度响应分析

张大鹏, 马震岳

(大连理工大学 建设工程学部, 辽宁 大连 116024)

摘要: 采用二维有限元软件 GeoStudio 对高土石坝进行动力响应分析, 应用等效线性方法计算深厚覆盖层上高土石坝的地震加速度分布情况, 对比分析了不同坝高、不同覆盖层厚度以及不同抗震设防烈度下所得到的加速度分布规律。结果表明, 以上三方面因素对地震加速度响应均存在不可忽略的影响。

关键词: 深厚覆盖层; 二维有限元; 高土石坝; 地震加速度响应

中图分类号: TV641.1

文献标识码: A

文章编号: 1672—1144(2012)05—0161—04

Analysis on Seismic Acceleration Response of High Earth-rock Dam on Deep Overburden Foundation

ZHANG Da-peng, MA Zhen-yue

(Faculty of Infrastructure Engineering, Dalian University of Technology, Dalian, Liaoning 116024, China)

Abstract: In order to study the acceleration distribution of high earth-rock dams on deep overburden foundation, the seismic acceleration distribution laws of the dams are compared and analyzed here with equivalent linear method by using 2D finite element software (GeoStudio) and considering the height of dam, the thickness of overburden layer and seismic intensity. The results show that the influence of these three factors on seismic acceleration response could not be ignored.

Keywords: deep overburden foundation; 2D FEM; high earth-rock dam; seismic acceleration response

在地震作用下, 坝体的加速度响应与坝体安全关系密切, 是研究地震时土石坝破坏机制及其抗震措施的重要因素^[1]。近年来, 随着我国水利事业的蓬勃发展, 考虑到水资源开发的客观需要, 很多高土石坝工程被提上了建设日程, 事实表明, 我国水利资源丰富的西南部大多存在深厚的覆盖层, 又属于地震频发的地区, 坝址的选取经常受到了地质条件的限制^[2], 在这类地区修建坝体就需要充分考虑地震发生时深厚覆盖层对坝体加速度的影响。所以, 为了更好的研究坝体的抗震加固范围及分析坝坡稳定等大坝安全问题, 深厚覆盖层上的高土石坝加速度响应分析是很有必要的。

根据 SL274—2001《碾压式土石坝设计规范》中的规定: 高度在 30 m 以下的为低坝, 高度在 30 m 至 70 m 之间的为中坝, 高度超过 70 m 的为高坝^[3]。本文通过等效线性法分别对坝高为 100 m, 200 m 和 300 m 的心墙堆石坝进行二维有限元分析, 研究坝顶加速度响应峰值和坝顶加速度放大倍数的变化特

点, 并分析不同坝高、不同抗震设防烈度和不同厚度覆盖层对加速度分布的影响。

1 算例

1.1 本构模型

计算包括静力和动力计算, 静力计算采用弹塑性模型, 动力计算采用等价粘弹性模型^[4]。国内的用于土石坝动力计算的程序很多是以 QUAD-4 程序为基础, 在弹性的迭代计算中, 每个单元计入与应变有关的剪切模量和阻尼比, 再求得与应变水平相应的剪切模量和阻尼比^[5]。即用等价粘弹性本构模型将一个非线性问题转化为线性问题。

1.2 计算工况及参数

考虑不同覆盖层厚度, 不同坝高的心墙堆石坝, 在不同抗震设防烈度下的加速度响应情况, 由于篇幅有限, 将部分计算工况列于表 1。坝体的上、下游坝坡坡比均为 1:2, 上、下游压重坡比均为 1:2.5, 心墙坡比 1:5, 过渡料坡比 1:4。模型网格尺寸取为 4

m。以工况 15 为例,网格剖分图如图 1 所示,材料计算参数见表 2、表 3,模量衰减曲线及阻尼增加曲线见参考文献[6]。

土石坝的动力响应分析目前大多只考虑由基岩发生的剪切波向上传播对坝体的作用,而忽略压缩波的影响^[7],故本文动力计算采用剪切波地震动输入。在考虑不同的抗震设防烈度对加速度响应的影晌时,用输入不同的设计基本地震加速度值的方法代替,根据相关规范,二者关系列于表 4。基于《水工建筑物抗震设计规范》^[8]和《水工建筑物》,覆盖层土层为中硬场地土,按规范有关场地类别的划分规定,覆盖层厚度 20 m、40 m、60 m、80 m、100 m 均为二类场地,采用埃尔森特罗(EL Centro)地震波作为计算的地震荷载比较合适。埃尔森特罗(EL Centro)地震波的时间间隔为 0.02 s,持续时间取前 30 s,加速度时程曲线如图 2 所示。

表 1 计算工况

工况	覆盖层厚度/m	坝高/m	抗震设防烈度/(°)
1	20	100	8
2	40	100	8
3	60	100	8
4	80	100	8
5	100	100	8
6	20	200	7
7	40	200	7
8	60	200	7
9	80	200	7
10	100	200	7
11	20	300	6
12	40	300	6
13	60	300	6
14	80	300	6
15	100	300	6

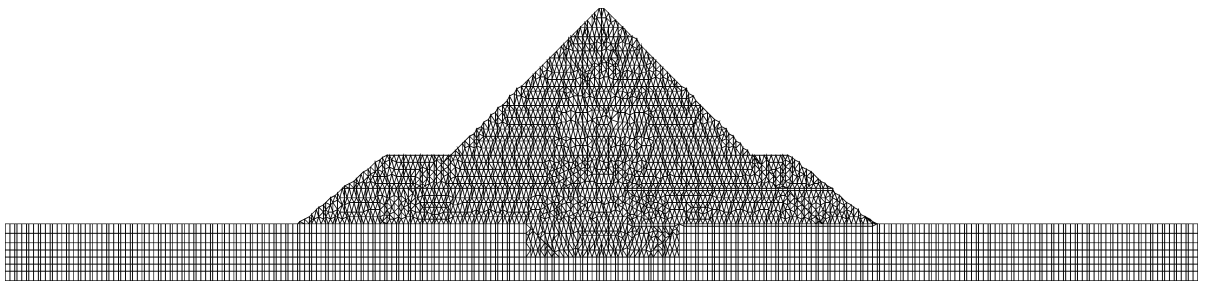


图 1 有限元网格图

表 2 静力计算参数

材料	粘聚力 c /kPa	内摩擦角 φ /(°)	剪胀角 ψ /(°)	重度 γ /($\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$)	泊松比 ν	弹性模量 E /MPa	渗透系数 K /($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)
坝基	10	35	11	18	0.32	70	$1\text{E}-5$
过渡料	15	32	12	19	0.33	120	$4\text{E}-4$
心墙料	20	30	10	20	0.35	80	$2\text{E}-8$
堆石料	5	40	14	20	0.30	200	$7\text{E}-4$

表 3 动力计算参数

参数	k	n	泊松比 ν
坝基	5586	0.344	0.47
过渡料	5370	0.305	0.46
心墙料	1276	0.801	0.48
堆石料	6309	0.255	0.45

表 4 抗震设防烈度和设计基本地震加速度值的对应关系

抗震设防烈度/(°)	6	7	8	9
设计基本地震加速度值/ g	0.05	0.10(0.15)	0.20(0.30)	0.40

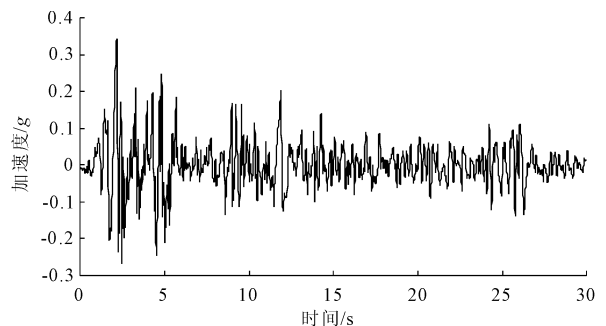


图 2 加速度时程曲线图

2 计算结果与分析

对 100 m、200 m 和 300 m 高的心墙堆石坝进行

不同设计工况下的二维有限元加速度响应计算,将所得数据绘制成关系曲线,在此基础上,研究不同工况条件下坝顶加速度响应峰值和坝顶加速度放大倍数的变化规律,并进行分析比较。

图 3 为不同坝高的坝顶加速度响应峰值在不同地震加速度值条件下,随覆盖层增厚的变化情况。

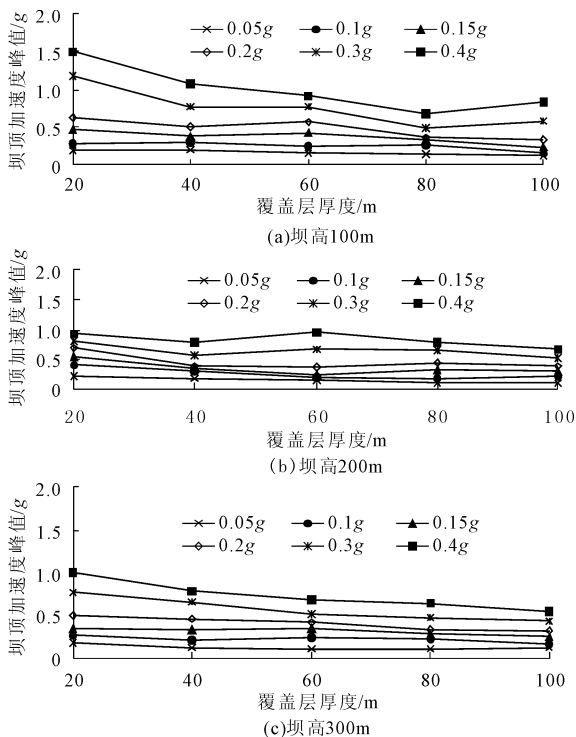


图 3 不同坝高在不同覆盖层时坝顶加速度响应峰值比较

依据以上曲线关系分析坝顶加速度响应峰值随覆盖层厚度增加的数值变化规律,从中也可以比较不同输入地震加速度值和坝体高度对加速度响应峰值的影响。如图 3 所示:坝高一定,输入相同地震加速度条件下,随着覆盖层厚度的增加,坝顶加速度响应峰值呈非线性规律,整体趋势是下降的,在这个过程中,坝顶加速度响应峰值在输入地震加速度值较大时会有相对更明显的变化;相同覆盖层厚度,输入相同的地震加速度值,坝体低的坝顶加速度响应峰值相对较大。通过比较和分析三个不同高度坝体的数据曲线,可以得出以下结论:坝高一定,随着覆盖层厚度的增加,由于土体的阻尼作用的积累效应,坝顶加速度响应峰值呈明显减小趋势。对于输入地震加速度值较大,高度相对较低的土石坝,加速度响应峰值随覆盖层增厚的过程中下降的幅度相对较大。

图 4 为不同坝高的坝顶加速度响应峰值在不同覆盖层厚度条件下,随输入的地震加速度值增大而发生变化的情况。

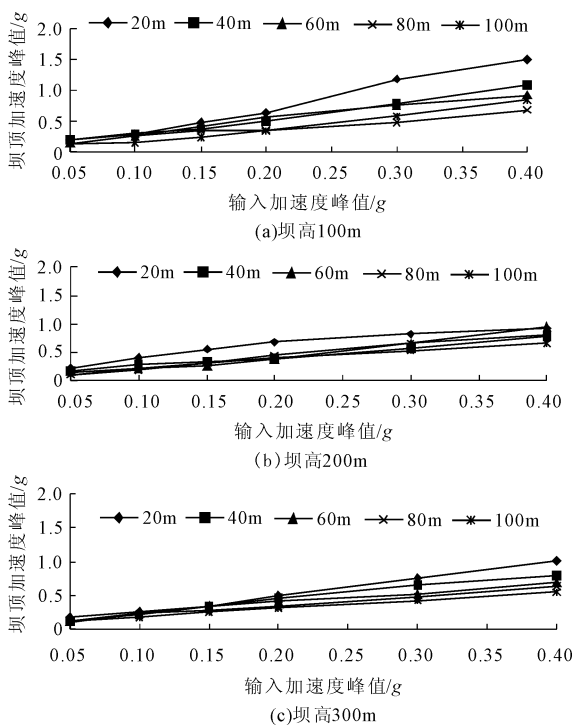


图 4 不同坝高在输入不同加速度峰值时坝顶加速度响应峰值比较

依据以上曲线关系分析坝顶加速度响应峰值随输入地震加速度的增加而发生变化的规律,从中也可以比较不同覆盖层厚度和坝体高度对加速度响应峰值的影响。如图 4 所示:坝高一定时,相同覆盖层条件下,随着输入的地震加速度值的提升,大坝顶部的加速度响应峰值的变化趋势是增大的,这类规律在相对较低的坝体表现的更为显著。通过比较和分析三个不同高度坝体的数据曲线,可以得出以下结论:随着输入的地震加速度值的增大,坝顶加速度响应峰值呈明显上升趋势。对于覆盖层较薄,坝高相对较低的土石坝,加速度响应峰值随输入地震加速度增大过程中上升的幅度相对较大。随着覆盖层的增厚和坝高的增加,这种上升的趋势会被不同程度的削弱。

图 5 为不同坝高的坝顶加速度放大倍数在不同的输入地震加速度值条件下,随覆盖层增厚的变化情况。

依据以上曲线关系分析坝顶加速度放大倍数随覆盖层增厚的数值变化规律,从中也可以比较坝体高度和输入不同的地震加速度对坝顶加速度放大倍数的影响。如图 5 所示,三个不同高度的土石坝的坝顶的加速度放大倍数的范围均在 1.5 ~ 4.5 倍之间,在覆盖层从 20 m 增加到 100 m 的过程中表现出较复杂的非线性变化特性,但是总体来看,同一坝高,在相同地震加速度输入条件下,坝顶加速度的放

大倍数随着覆盖层的增厚呈较明显的减小趋势。通过比较和分析三个不同高度坝体的数据曲线,可以得出以下结论:随着覆盖层厚度的增加,土体的阻尼作用得到了积累,坝顶加速度放大倍数呈明显减小趋势;随着输入的地震加速度值增大,土体的阻尼作用随之增大,坝顶加速度放大倍数呈明显减小趋势。在输入地震加速度值变大的过程中,随着坝高的增加,坝顶加速度放大倍数的下降趋势变得越发平缓。在地震加速度输入值较小情况下,坝顶加速度放大倍数受覆盖层厚度影响更大。

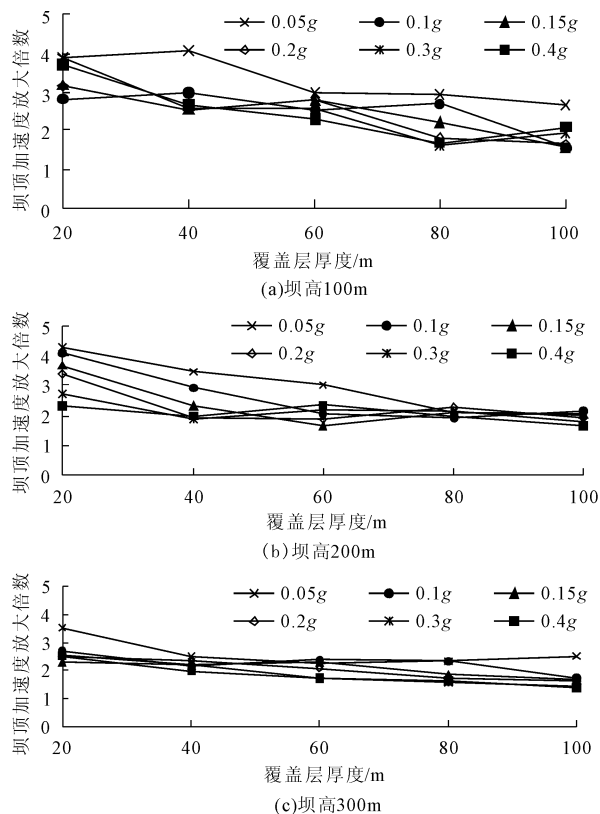


图 5 不同坝高的坝顶加速度放大倍数比较

3 结 语

坝体地震反应中,土体在动力作用下呈现出明显的非线性特性和阻尼作用,又考虑到不同坝高等影响因素的综合作用,导致深厚覆盖层上高土石坝的加速度响应情况变得极其复杂。

深厚覆盖层上的高土石坝一般建立于地形比较复杂的深山峡谷中,地质条件极其复杂,考虑到土体本身的非线性,使得在研究高土石坝加速度响应分析时应充分重视以上因素带来的三维效应,应在此基础上对三维分析方面进行深入研究。

参考文献:

- [1] 张 锐,迟世春,林 皋,等.地震加速度动态分布及对高土石坝坝坡抗震稳定的影响[J].岩土力学,2008,29(4):1072-1076.
- [2] 赵剑明,温彦锋,刘小生,等.深厚覆盖层上高土石坝极限抗震能力分析[J].岩土力学,2010,31(8):41-47.
- [3] 林继镛.水工建筑物(第四版)[M].北京:中国水利水电出版社,2006.
- [4] 杨志磊,沈振中,赵 斌,等.纳子峡面板砂砾石坝地震反应特性有限元分析[J].水利与建筑工程学报,2011,9(3):130-133.
- [5] 赵剑明,刘小生,袁林娟,等.超高心墙堆石坝大型振动台模型试验及数值模拟[J].水力发电学报,2011,30(6):20-24.
- [6] 孔宪京,娄树莲,邹德高,等.筑坝堆石料的等效动剪切模量与等效阻尼比[J].水利学报,2001,32(8):20-25.
- [7] 朱亚林,孔宪京,邹德高,等.高土石坝地震反应和破坏机理分析[J].岩土工程学报,2010,32(9):1362-1366.
- [8] 中国水利水电科学研究院.DL 5073-2000.水工建筑物抗震设计规范[S].北京:中国电力出版社,2001.