

堆石流变性对水布垭面板堆石坝性状影响的研究

郭兴文¹, 孙林松¹, 于玉莽²

(1. 河海大学土木工程学院, 江苏 南京 210098; 2. 徐州市水利局, 江苏 徐州 221002)

摘要:以水布垭混凝土面板堆石坝为研究对象, 采用考虑堆石料流变性的计算模型进行整体计算, 分析堆石料流变变形对高面板堆石坝防渗系统的影响。结果表明, 考虑堆石料流变性后, 面板应力与接缝位移与常规分析所得结果有较大的差别。堆石流变性使面板坡向压应力增大, 拉应力减小, 使河谷部位面板轴向压应力增大, 两岸拉应力增加, 面板缝在河谷中部压紧值增加, 两岸部位张开位移增加, 周边缝错动位移进一步加大。面板坝设计中应对这些因素加以考虑。

关键词:面板堆石坝; 堆石流变; 面板应力; 接缝位移

中图分类号: TV641.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-198X(2001)03-0088-04

面板堆石坝工程原型观测表明, 堆石的流变在现场都比较明显。对于面板堆石坝这一坝型, 堆石体的变形性态对防渗体系的应力、变形性态起着主导作用, 这一点已成为共识。堆石流变产生的附加变形必然对防渗体系的应力、变形状态带来较大的影响。因此, 进行计入时间效应的应力应变分析, 无论从理论上, 还是实践上都显得非常必要。这将有助于人们更加全面地了解面板堆石坝状态, 而且还将对监测预报分析具有重要意义。水布垭混凝土面板堆石坝高 234 m, 为目前世界上处于设计阶段的最高的混凝土面板堆石坝。本文以该坝为研究对象, 进行三维有限元流变变形计算, 分析堆石料流变变形对高面板堆石坝防渗系统的影响, 可为设计提供参考依据。

1 堆石料流变分析模型

堆石料在加荷后首先产生一定的瞬时变形, 然后是随时间增长的变形。因此堆石的流变特性可表示为

$$\epsilon = \epsilon^0 + \epsilon(t) \quad (1)$$

式中: ϵ^0 ——瞬时变形; $\epsilon(t)$ ——随时间增长的变形。在复杂应力状态下, 堆石料与时间无关的变形可以利用经典非线性模型或弹塑性模型进行模拟分析。建立堆石料的流变模型就是合理的模拟堆石料变形随时间变化的过程。沈珠江院士建议了一个 3 参数模型^[1]:

$$\epsilon(t) = \epsilon_f (1 - e^{-ct}) \quad (2)$$

式中: ϵ_f —— $t \rightarrow \infty$ 时的最终流变量; c —— $t = 0$ 时第一天流变量占 ϵ_f 的比值。堆石材料体积流变与剪切流变有不同的规律。沈珠江院士对体积与剪切流变建议有关系式^[1]:

$$\epsilon_{vf} = b \frac{\sigma_3}{P_a} \quad \epsilon_{sf} = d \frac{SL}{1 - SL} \quad (3)$$

式中: b, d ——参数, b 为 $\sigma_3 = 1 \text{ Pa}$ (大气压) 时的最终体积流变量, d 为应力水平 $SL = 0.5$ 时的最终剪切流变量。式 (3) 是低围压条件下得到的结果, 比较适用于低坝。对于高坝, 其相应的 σ_3 比低坝的 σ_3 要大得多, 这样必然导致体积流变的线性增大, 这与实际是不太相符的。笔者曾建议将式 (3) 修正为^[2]

$$\epsilon_{vf} = k \left(\frac{\sigma_3}{P_a} \right)^{0.5} \quad \epsilon_{sf} = d \frac{SL}{1 - SL} \quad (4)$$

以上就是修正的堆石料 3 参数流变模型。文 [2] 给出了应用该模型进行有限元增量分析的计算步骤。

2 水布垭面板坝的流变分析

本文为文[2]研究成果的进一步补充,主要给出文[2]中未能给出的一些有意义的结果,从而完善堆石流变性对大坝结构性态的影响的认识.因此有关水布垭面板坝的概况、网格剖分、计算参数、分级加荷信息不再列出,参见文献[2].进行两种方案对比分析,方案1不考虑施工过程中堆石的流变性,只在满蓄后计入堆石的流变性;方案2考虑施工过程中及满蓄后堆石的流变性.图1给出要分析的面板单元位置.

2.1 不同部位面板单元应力变化特点

图2为计算方案1部分面板单元应力时程线,图3为计算方案2部分面板单元应力时程线图.

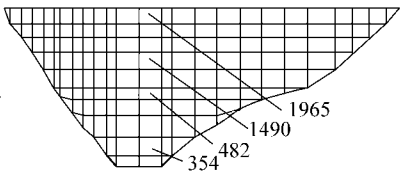


图1 面板剖分及部分单元位置
Fig.1 Mesh of slab and location of some elements

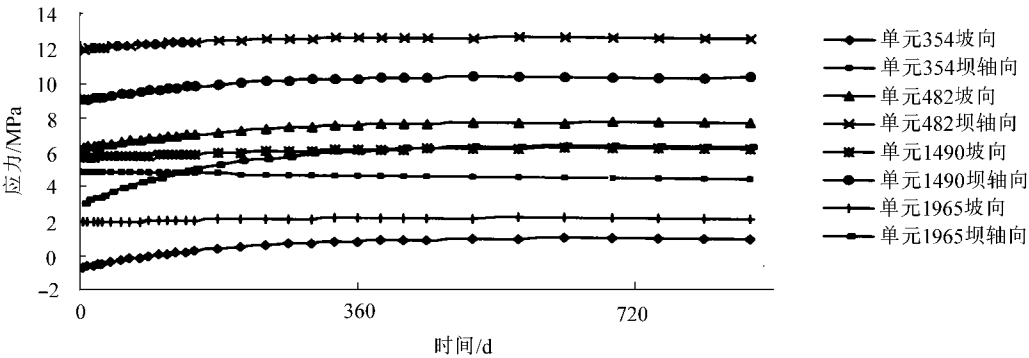


图2 计算方案1部分面板单元应力时程线
Fig.2 Stress-time curve of slab elements in case 1

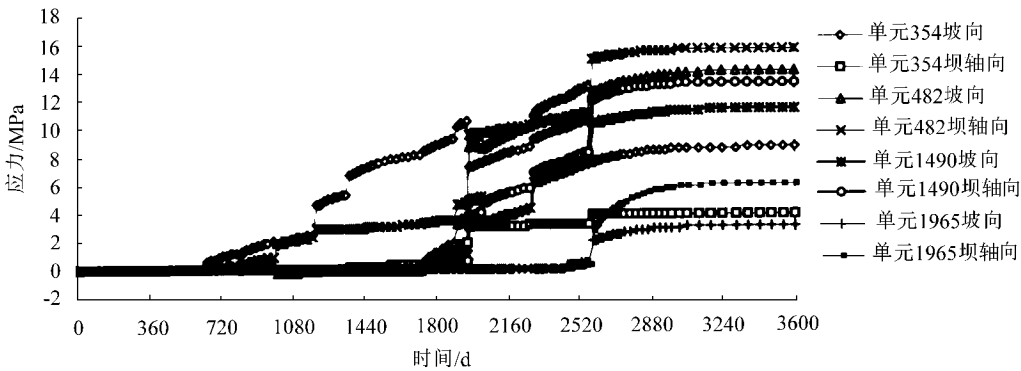


图3 计算方案2部分面板单元应力时程线
Fig.3 Stress-time curve of slab elements in case 2

由图可以看出堆石流变性对不同部位面板单元应力变化影响.(a)对于河谷底部单元(单元354),其应力变化特征是坡向应力增幅较大,而坝轴向应力变化很小.表明在底部由于河谷狭窄,两岸坡对该部位堆石体及面板的轴向位移产生较强的约束作用,相应坝轴向的附加变形也比较小,因而该方向的附加应力也比较小.然而在高应力作用下该部位堆石的附加沉降仍有一定的增加,同时底部面板上的水压力较大,从而使得该部位面板单元坡向应力有一定幅度增加.(b)对于中部单元(单元482、单元1490),坡向应力与坝轴向应力的增加都比较大.表明随着高度的增加,一方面河谷逐渐变得开阔,两岸坡对该部位堆石体及面板的轴向位移产生的约束作用进一步减弱,另一方面是由于该部位在高应力作用下堆石的附加沉降及坝轴向附加位移均比较大而引起的.(c)对于顶部单元(单元1965),坡向应力变化很小,坝轴向的应力增加明显.这是由于在顶部河谷开阔,岸坡对河谷中央部位的约束作用已很小,但由于岸坡较陡,因此在应力作用下堆石进一步变形,这种变形在坝轴方向更加明显一些.(d)考虑施工过程中堆石流变性,由于施工及蓄水过程比较复杂,对于每一级加载,由于施工间歇时间不长,面板的应力在相应时段不能达到基本稳定状态,只有在满蓄后给以足够长的流变时间,面板的应力才能达到相对稳定状态.(e)考虑施工期堆石的流变性,将引起面板应力的进

一步增加.同时可以看出,每次蓄水加载将引起下部面板单元(单元 354)坡向应力降低,而对中上部单元影响很小.达到正常蓄水位后,不同部位的应力变化规律与计算方案 1 基本一样.

2.2 面板接缝位移变化特点

面板缝有三个方向的位移,而主要位移是拉压方向的位移.两种计算方案的面板缝拉压位移的分布见图 4 5.总的趋势是面板缝在河谷中部处于受压状态,在两岸处于受拉状态.考虑堆石流变性后,河谷中部面板缝压紧值增加,使两岸部位面板缝张开位移也有增加.因此,就面板缝的张拉位移来看,考虑堆石流变性的影响,其张拉位移也将进一步增大.对这些部位的面板接缝应做适当的处理.

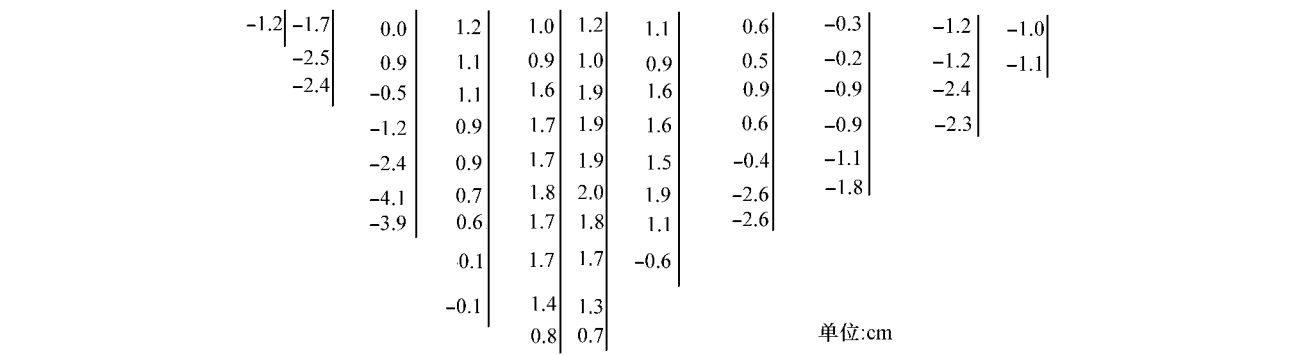


图 4 方案 1 蓄水至位移基本稳定时面板缝拉压位移

Fig.4 Displacement of slab joints for case 1

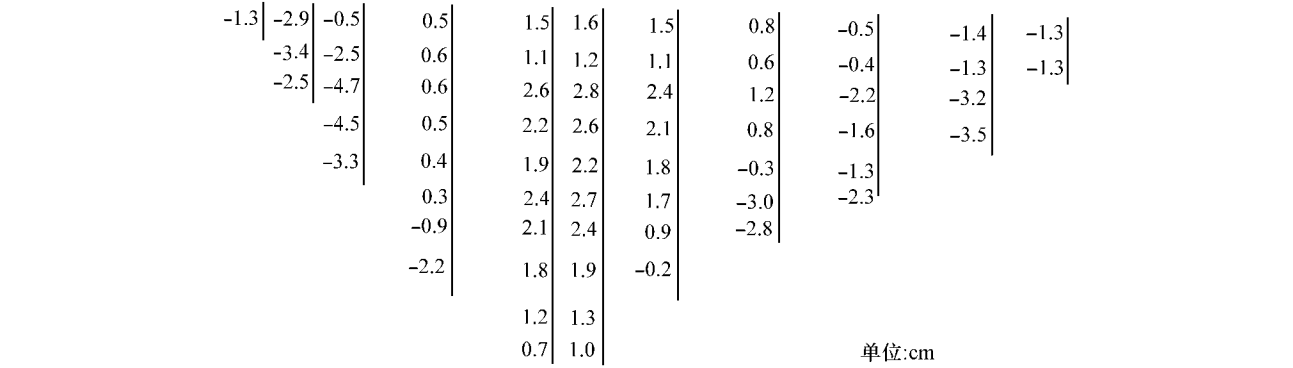


图 5 方案 2 至位移基本稳定时面板缝拉压位移

Fig.5 Displacement of slab joints for case 2

2.3 周边缝位移变化特点

图 6 为周边缝错动位移的计算结果.

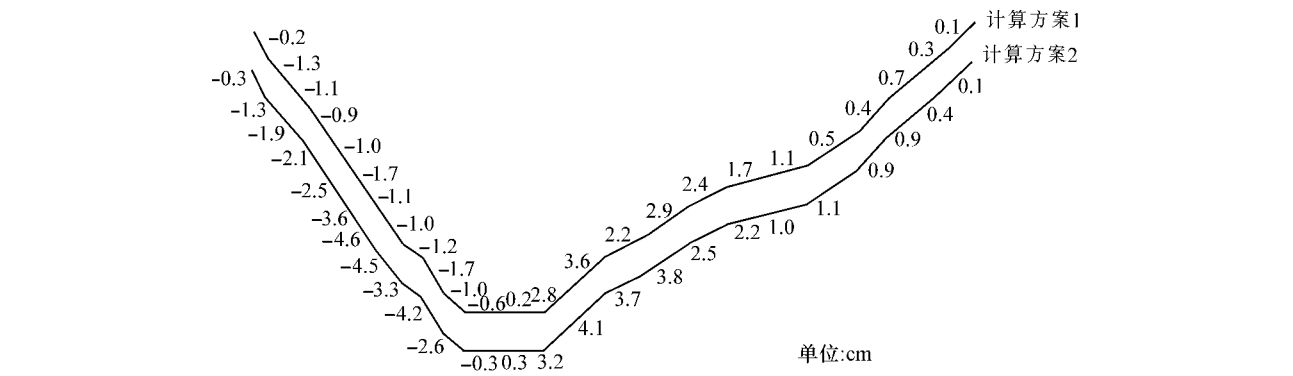


图 6 周边缝错动位移

Fig.6 Shear displacement of perimeter joint

考虑堆石的流变性,堆石坝的轴向位移总体上是向河谷发生挤压变形,从而带动面板向河谷移动,使周边缝的错动位移进一步加大.特别是考虑施工期堆石的流变性后,这种趋势对于一期面板周边缝的影响显著.

增加 ,堆石的流变性使沉降位移进一步增加 ,但其变化不如错动位移明显 ,这可能与面板在端部受到约束有关 ,堆石的流变性将使周边缝的张拉位移进一步减小 ,并转为受压状态 .由于错动位移是周边缝止水结构适应变形的薄弱环节 ,对于水布垭坝址的狭窄河谷 ,堆石的流变性对周边缝的影响是显著的 ,在水布垭周边缝设计中对此影响必须给予足够的重视 .

3 结 语

对水布垭混凝土面板堆石坝进行多种方案的流变数值计算 ,得到如下结论性意见 (a)堆石的流变性对面板应力影响显著 .从面板坡向应力状态来看 ,堆石流变使面板坡向趋于受压 ,该方向的压应力增加幅值较大 ,需给予足够的重视 ;从面板轴向应力状态来看 ,堆石流变性使面板在河谷区域进一步受压 ,而在两岸区域受拉 .(b)堆石流变性使面板缝在河谷中部挤压位移增大 ,两岸受拉位移值增大 .(c)堆石流变性使周边缝的错动位移进一加大 ,使沉降位移进一步增加 ,但其变化不如错动位移明显 ,使张拉位移进一步减小 ,并转为受压状态 .(d)面板堆石坝设计中应重视堆石流变性对大坝结构带来的影响 .

参考文献 :

[1] 沈珠江 ,赵魁芝 .堆石坝流变变形的反馈分析 [J].水利学报 ,1998(6) :1 ~ 6 .
[2] 郭兴文 ,王德信 ,蔡新 ,等 .混凝土面板堆石坝流变分析 [J].水利学报 ,1999(11) :42 ~ 47 .

Impact of Rheological Property of Rockfill
on Shuibuya Concrete Faced Rock-Fill Dam

GUO Xing-wen¹ ,SUN Lin-song¹ ,YU Yu-mang²

(1. College of Civil Engineering of Hohai Univ . ,Nanjing 210098 ,China ;
2. Xuzhou Water Conservancy Bureau ,Xuzhou 221002 ,China)

Abstract :Based on the 3-D FEM ,the deformation of the Shuibuya concrete faced rock-fill dam is calculated by use of a rheological model .The differences between the deformation of the structure obtained in consideration of rheology of rockfill and that from conventional models are as follows :the slope compression stress of the slab increases and the slope extension stress decreases ;however , the axial compression stress increases in the middle area ,and the axial extension stress also increases near the abutment area .The compression displacement of slab joints in the middle area and the extension displacement near the abutment are enlarged . The shear displacement of perimeter joints is also enlarged . These differences should be considered in the design of the structure .

Key words :concrete faced rock-fill dam ; rheology of rockfill ;stress of slab ;displacement of joint