

48 溃口发展中三维边坡变形破坏的SPH模拟

吴强 石传奇 安翼 刘青泉

中国科学院力学研究所, 北京市海淀区北四环西路15号, 100190

土坝漫顶溃决过程中溃口冲刷到一定程度将会引起坝体边坡失稳破坏。土体大变形和裂缝的三维扩展是边坡变形破坏的典型特征。有限元等网格类方法在处理这类问题时往往需要进行复杂的网格处理, 常常不能精确地模拟裂缝间断和土体的塑性流动。因此, 部分学者开始尝试使用无网格类方法来模拟边坡失稳过程, 并且取得了不错的成果。但是这些研究多局限于二维平面问题, 忽略了实际边坡的三维效应。另外, 这些研究多侧重于方法的实现, 缺乏对边坡破坏特征的讨论及对其中规律的探讨。作为一种典型的拉格朗日型无网格粒子法, SPH(Smoothed particle hydrodynamics)方法在处理大变形和界面流动问题时具有明显的优势。因此, 本文采用SPH方法对三维边坡变形破坏问题进行模拟研究, 探讨当前溃口对溃口进一步发展的影响规律。

针对土体大变形的运动特性, 本文将Drucker-Prager土体本构模型嵌入SPH计算框架中来描述土体的弹塑性力学行为。基本实现方法是: 将问题域用有限的但足够多的粒子来表达, 这些粒子携带质量、动量、应力等物理特性, 粒子间的相互作用通过“光滑函数”积分来实现, 控制方程由连续方程、动量方程和本构方程来组成, 也以粒子形式来表达, 于是追踪这些粒子就可以模拟整个边坡破坏中土体的变形和塑性流动过程。首先, 我们模拟了两个典型边坡失稳问题: 二维边坡重力失稳(图1)和三维边坡倾斜失稳(图2), 模拟结果分别与已有计算结果和实验数据吻合良好, 验证了本文方法的有效性。然后针对溃坝中溃口发展问题, 我们模拟了三维均质土坝的变形破坏过程, 讨论了当前溃口形态对溃口进一步变形破坏特征的影响。结果表明: 溃口发展呈现明显的三维形态; 溃口的位置, 形状和大小对溃口进一步发展影响很大; 溃口冲槽坡面的凹凸程度对破坏形态也有一定的影响, 凹凸程度越大, 坡面越容易变形。

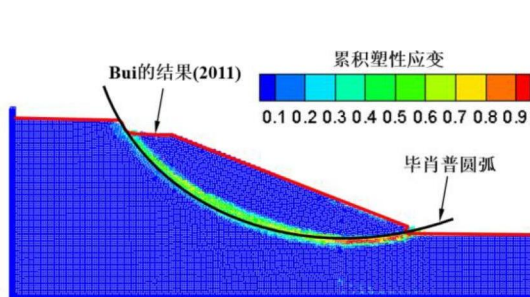


图1 二维边坡重力失稳

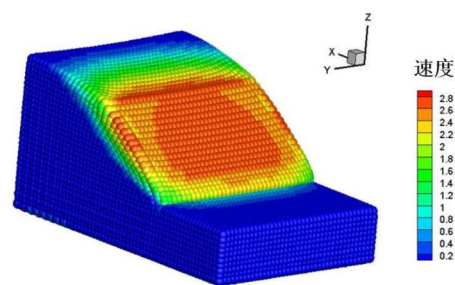


图2 三维边坡倾斜失稳

关键词: 溃口发展; 三维边坡; 裂缝扩展; 土体大变形; SPH