

抗滑桩滑坡治理工程数值模拟研究

夏永旭¹, 胡庆安¹, 赵子胜²

(1 长安大学公路学院, 陕西, 西安, 710064)

(2 陕西省公路勘察设计院, 陕西, 西安, 71006)

摘要:应用有限元数值模拟方法,对采用抗滑桩进行滑坡治理的效果进行研究,岩土采用非线性材料模拟,抗滑桩采用线弹性材料模拟,滑动面采用一系列接触单元模拟。通过对治理前后岩体的位移场和应力场的比较分析,认为采用抗滑桩进行黄土滑坡治理是完全有效的。

关键词:滑坡,抗滑桩,数值模拟。

抗滑桩支挡是滑坡治理中常用的一种工程措施,其主要工作原理是凭借桩与周围岩(土)体的共同作用,将滑坡体的推力传递到滑动面以下的稳定地层,利用稳定地层的锚固作用和被动抗力来平衡滑坡体的推力。但是,由于抗滑桩支挡是一个半隐蔽的地下工程,加之桩周围的岩(土)体通常都是不连续的多相材料,要对其进行严格的力学机理分析,还存在许多困难。然而,无论是从工程的可靠性评估还是从经验积累的需要,业主和设计单位,甚至于施工单位,都需要对已经实施的滑坡治理工程的效果,进行评价和考察。本文拟应用数值分析的方法,通过对某滑坡治理工程的15#、34#和52#三根抗滑桩,以及典型截面群桩抗滑作用的数值模拟分析,评估滑坡治理工程的效果。

1. 工程概况

某滑坡位于黄土塬与河谷间的坡地上,南北宽700m,东西长600m,属于一多牵引式低缓型黄土古滑坡体。该滑坡体曾于20世纪70年代中期局部复活,到80年代中期达到高峰,当时造成了严重的人员伤亡和财产损失。后于1987~1992年进行了治理,滑体基本保持稳定。1994年国道210开始建设,又对该滑坡进行了二次治理^[1],所采取的工程措施为地表、地下截排水和接建抗滑桩进行支挡。其中地面截、排水工程共修复截水沟700m,修建树枝状矩形截面截水沟596m。地下排水工程共修复仰斜排水孔17个,总长850m;修建宽1.0m,高2.0m的渗水盲沟200m。

抗滑桩支挡工程,设计了不同长度、不同配筋的三种桩型。I型桩截面尺寸 $2 \times 3\text{m}^2$ 、长度16.9m,II型桩截面尺寸 $2 \times 3\text{m}^2$ 、长度15.7m,III型桩截面尺寸 $2 \times 3\text{m}^2$ 、长度19.1m。这三种桩型分为三段布置。第一段由1#桩(座标 $X=81500\text{m}$, $Y=95617.5\text{m}$)开始,沿N15W方向,由南向北共布设I型桩19根,编号1~19。桩为全埋式,相邻两桩中对中间距6.0m,所有各桩均在同一轴线上。第二段由20#(座标 $X=81612.5\text{m}$, $Y=95577.5\text{m}$)开始,沿N15W方向设置,编号20~29。桩为全埋式,相邻两桩中对中间距6.0m,各桩在同一轴线上。第三段共26根III型桩,编号30~55。桩为全埋式,相邻两桩中对中间距6.0m。

2. 计算理论及方法

2.1 计算理论

计算理论分为二维非线性理论和三维线弹性理论两部分。目的是想通过二维非线性理论,详细地研究单个桩体的抗滑作用,通过三维线弹性理论分析群桩的整体抗滑功能,同时也可以考察两种计算理论的相互差别。非线性本构方程为增量塑性流动形式,相关函数为德鲁克-普拉哥方程。

2.2 计算方法

采用的数值分析方法为有限单元数值方法，分析程序为美国 MSC 公司的 NASTRAN 计算软件^[1]。二维非线性问题的计算主要是围绕 15#、34#、52# 三个典型桩进行，通过分析比较人工排、降水和设置抗滑桩前后滑动体的位移、应力，评估滑坡治理的效果，计算模型为平面应力模型。单元划分以 15# 桩为例，包含平面 4 节点单元 12304 个，节点数 16483。计算模型总长度 400 m，滑动面以下深度取 50m；计算模型垂直方向的两个边界没有水平位移，而底面完全固定。计算工况分为有抗滑桩和无抗滑桩两类，而每一类又分为三种，即完全饱水情况，天然含水情况，人工排水情况。滑动体中的滑动面是一个软弱结构面，这些软弱结构面对岩体的整体受力、变形以及稳定性都有着十分重要的影响。为了模拟滑动面效果，计算时在上、下滑面之间设置了一系列接触单元。它们主要的力学特征是，可沿与层面垂直的方向传递压应力，也能沿与层面平行的方向传递抗剪应力；但沿垂直于层面方向不能传递拉应力。由于这些软弱结构面的抗剪强度一般低于岩体强度，因此当不连续面间的剪应力超过某一限度时，层间将产生相对滑动。

空间三维线弹性问题的计算，主要目的是为了考察群桩的支挡效果。计算中取了一组四根桩。整个计算模型宽度为 24m，长度仍然为整个长度 400 m，滑动面以下深度取 50m，并且仅考虑自然含水情况。空间三维群桩计算的示意图见图 1。有限元计算模型包含六面体 8 节点单元 31453 个，节点数 79750 个，计算自由度数 239250。给定边界条件，在垂直于 x、z 两轴的四个侧面上均无水平位移，而模型的底面完全固定，三个方向位移分量均为零。

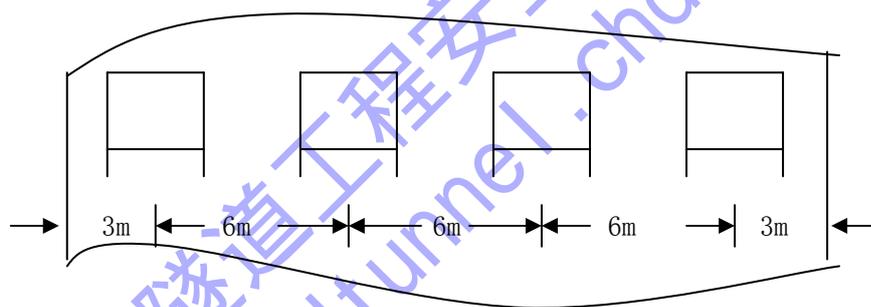


图 1 空间三维计算实体断面

2.3 计算参数

根据勘察报告所提供的地质资料和实验室的测试结果，确定二维非线性问题和三维空间问题的计算参数见表 1。

表 1 计算参数

参 数	E (MPa)	C (kPa)	γ (N/m^3)	ϕ ($^\circ$)	μ
土 层	6.39	25.0	16.1	24	.35
岩 体	2.0×10^4	42.0	25.0	45	.20
滑动层	6.39	7.0	20.0	9	.35
抗滑桩	2.1×10^4		25.0		.20

3. 计算结果与分析

通过大量的数值计算，得出了围绕 15#、34#、52# 三个典型桩平面，在人工排、降

水和设置抗滑桩前后滑动体的位移、应力以及包含 15# 附近群桩的滑坡体的应力及位移。

3.1 二维非线性计算结果

图 2 为 15# 桩附近岩体自然含水状态下、未设置抗滑桩之前的位移矢量，图 3 为设置抗滑桩之后，抗滑桩附近位移矢量，图 4 为主应力。

通过对 34#、52# 桩的分析，可以同样得到上述结果，限于篇幅不在列出。

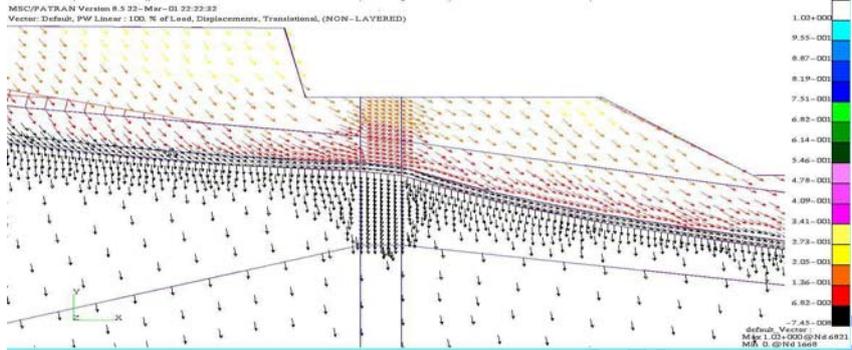


图 2 未设置抗滑桩时的位移矢量

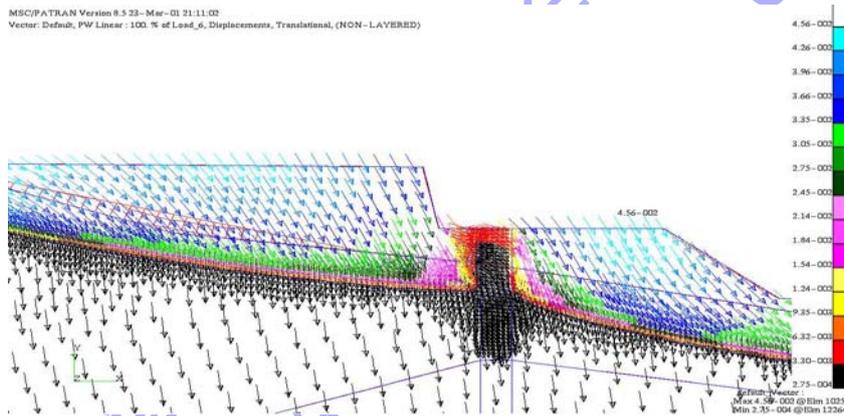


图 3 设置抗滑桩时的位移矢量

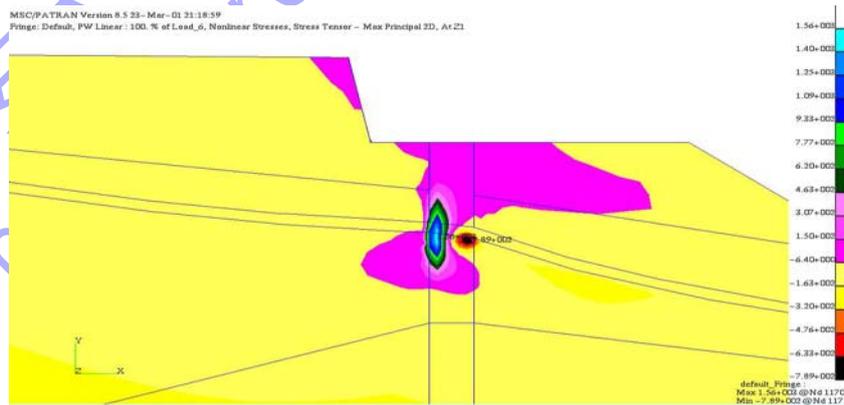


图 4 设置抗滑桩时的应力云图

3.2 三维线性计算结果

图 5 为用空间三维线性理论计算得到的群桩附近的位移矢量，图 6 为最大主应力云图。

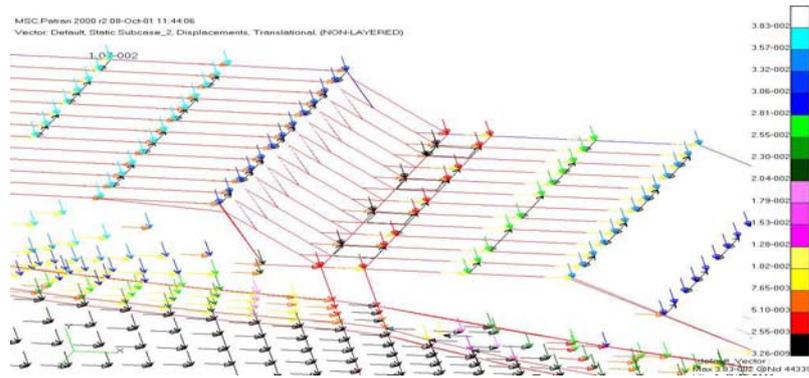


图 5 设置抗滑桩时的位移矢量

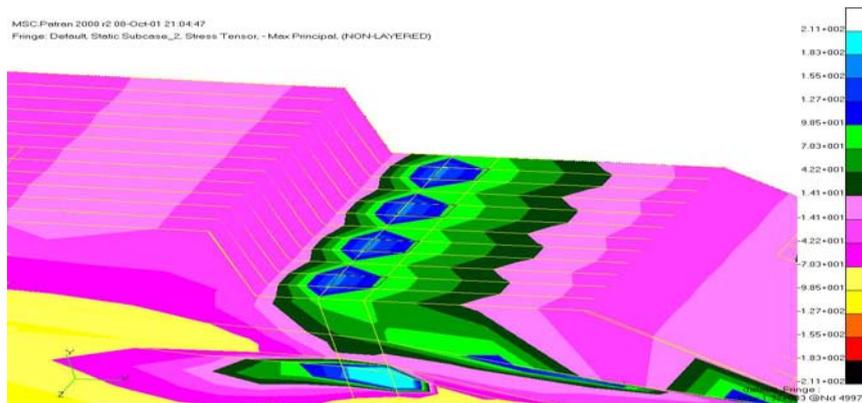


图 6 设置抗滑桩时的最大应力云图

3.3 数值计算结果分析

通过大量的数值计算，可以看到^[2]：

(1). 设置抗滑桩后，15# 桩平面滑体的最大位移从 1.02m 下降到 2.03×10^{-1} m，抗滑桩处滑动面上层的位移从 6.82×10^{-2} m 下降到 2.75×10^{-4} m。同样，34# 桩平面滑体的最大位移从 2.48×10^{-1} m 下降到 2.36×10^{-1} m，抗滑桩处滑动面上层的位移从 7.19×10^{-2} m 下降到 5.10×10^{-4} m。52# 桩平面滑体的最大位移从 8.76×10^{-1} m 下降到 8.74×10^{-1} m，抗滑桩处滑动面上层的位移从 2.09×10^{-2} m 下降到 1.25×10^{-3} m。很显然抗滑桩对滑坡体起到了明显的支挡作用。

(2). 从抗滑桩附近的应力云图可以看到，所有的抗滑桩在滑动面处的左侧均承受弯拉应力，而在右侧全承受弯压应力。自然含水状态下，15# 桩的最大弯拉应力为 1.56MPa，最大弯压应力 0.789MPa，最大剪应力 1.29MPa。34# 桩的最大弯拉应力为 2.30MPa，最大弯压应力 1.53MPa，最大剪应力 2.39MPa。52# 桩的最大弯拉应力为 3.49MPa，最大弯压应力 2.12MPa，最大剪应力 3.35MPa。说明抗滑桩完全抵消了滑体的下滑推力。

(3). 采用人工排、降水措施后，如果不设置抗滑桩，15# 桩平面滑体的最大位移从饱水时的 1.21m，下降到 9.44×10^{-1} m，设置抗滑桩后，滑体的最大位移从 2.54×10^{-1} m，下降到 2.03×10^{-1} m。抗滑桩的最大弯拉应力从饱水时的 1.89MPa 下降到 1.26MPa，最大弯压应力从 0.878MPa 下降到 0.717MPa。

如果不设置抗滑桩，34# 桩平面滑体的最大位移从饱水时的 5.73×10^{-1} m，下降到

$5.54 \times 10^{-1} \text{m}$ ，设置抗滑桩后，滑体的最大位移从 $2.38 \times 10^{-1} \text{m}$ ，下降到 $2.31 \times 10^{-1} \text{m}$ 。34# 抗滑桩的最大弯拉应力和最大弯压应力变化不明显。如果不设置抗滑桩，52# 桩平面滑体的最大位移从饱水时的 $8.77 \times 10^{-1} \text{m}$ ，下降到 $8.46 \times 10^{-1} \text{m}$ ，设置抗滑桩后，滑体的最大位移从 $8.19 \times 10^{-1} \text{m}$ ，下降到 $7.99 \times 10^{-1} \text{m}$ 。抗滑桩的最大弯拉应力从饱水时的 3.74MPa 下降到 3.43MPa ，最大弯压应力没有变化。

上述计算结果充分说明采用人工排、降水措施，对减缓滑坡体的下滑和降低抗滑桩的受力很有帮助，

(4). 从三维空间分析结果可以看到，抗滑排桩产生了很好的等效连拱支挡作用。分析位移云图可以看到，在相邻两桩间隔处明显地有一个拱支撑，使得滑体的下滑位移被抑制。并且位移分矢量图显示，在桩后的滑动面处还产生了反向水平位移。应力云图显示，在群桩作用下，抗滑桩间隔处土体所承担的水平应力和桩所承担的应力几乎相同，说明在桩与桩之间形成了拱效应。垂直于抗滑桩轴线的各个剖面的应力分布完全相同，说明各个抗滑桩提供相同的抵抗力，也说明用平面应力模型进行抗滑桩力学分析完全可行。而从最大和最小主应力图可以明显地看到，抗滑桩群是抵消整个滑体下滑推力的主要结构。

4. 结论

(1) 抗滑桩支挡是滑坡治理中常用的一种工程措施，但是对其治理效果的定量评价存在许多困难。本文的实例说明采用数值模拟分析的方法进行滑坡治理效果的评价完全可行，如果能将数值分析的结果和现场观测的结果对应起来，评价的效果将更切合实际。

(2) 对于围岩及结构相同的排桩抗滑设计，采用平面应力模型进行抗滑效果的数值模拟分析，是完全可行的。

(3) 在进行抗滑治理效果数值模拟分析时，岩体的本构方程和计算参数将直接影响计算结果，所以在具体工作中要慎重选取或者通过试验测定。

参考文献

1. 美国 MSC 公司，NASTARN 程序计算手册 (M)，北京：美国 MSC 公司北京办事处，1999
2. 夏永旭，胡庆安，赵子胜，川口滑坡治理工程数值模拟研究 (R)，长安大学，2001