



教程 6 边坡排水

目录

1. 预览	2
1.1. 教程目的	2
1.2. 问题详述	2
2. 几何和网格	3
2.1. 几何	3
2.2. 网格	5
3. 水文地质分析	5
3.1. 天然边坡	5
3.2. 带地下排水沟的边坡	7
4. 结果分析	8
4.1. 流网等值图	8
4.2. 边坡上的地下水位	9
5. 进一步分析：水力-力学分析	10

1. 预览

1.1. 教程目的

由于孔隙水压力的升高和边坡抗剪强度的降低，降雨产生的过量水渗透可能是导致边坡破坏的主要原因。因此，以排出地下水和保持水压的方式保护边坡至关重要。

本教程旨在研究地下排水系统对地下水流动的影响。将比较两个模型：一个没有任何排水系统，另一个有地下排水系统。水力分析后，可进一步进行水力力学分析，以观察静水压力变化引起的应力演变。

通过本教程，用户可以学到：

1. 通过 2D 几何创建 3D 实体
2. 在 3D 模型中获取地下水位位置和流网
3. 使用 CESAR 进行非耦合流体力学分析

1.2. 问题详述

从压力计测试中可以看出，天然斜坡的上游水头为 20m，下游水头为 16.6m。

为了排出边坡中的水流，安装了地下排水系统，该系统由现场排水沟和水平集水沟组成。现场排水沟的宽度为 2m，中心轴到边坡边缘的间距为 4m。水平集水沟排水管为 $60 \times 60 \text{cm}^2$ 的方形截面。安装后，下游的水头变为 16m。

几何：

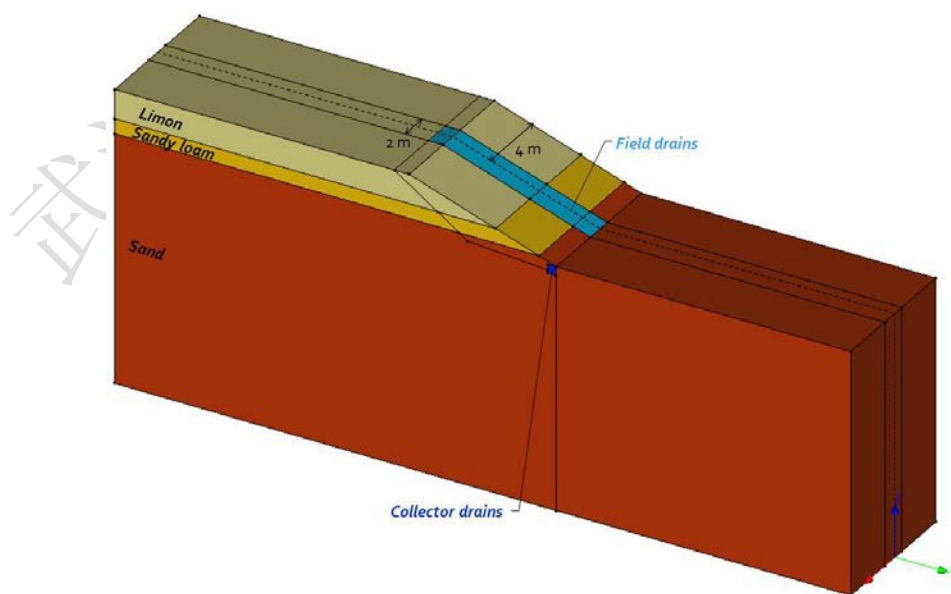


图 1：模型的 3D 几何视图

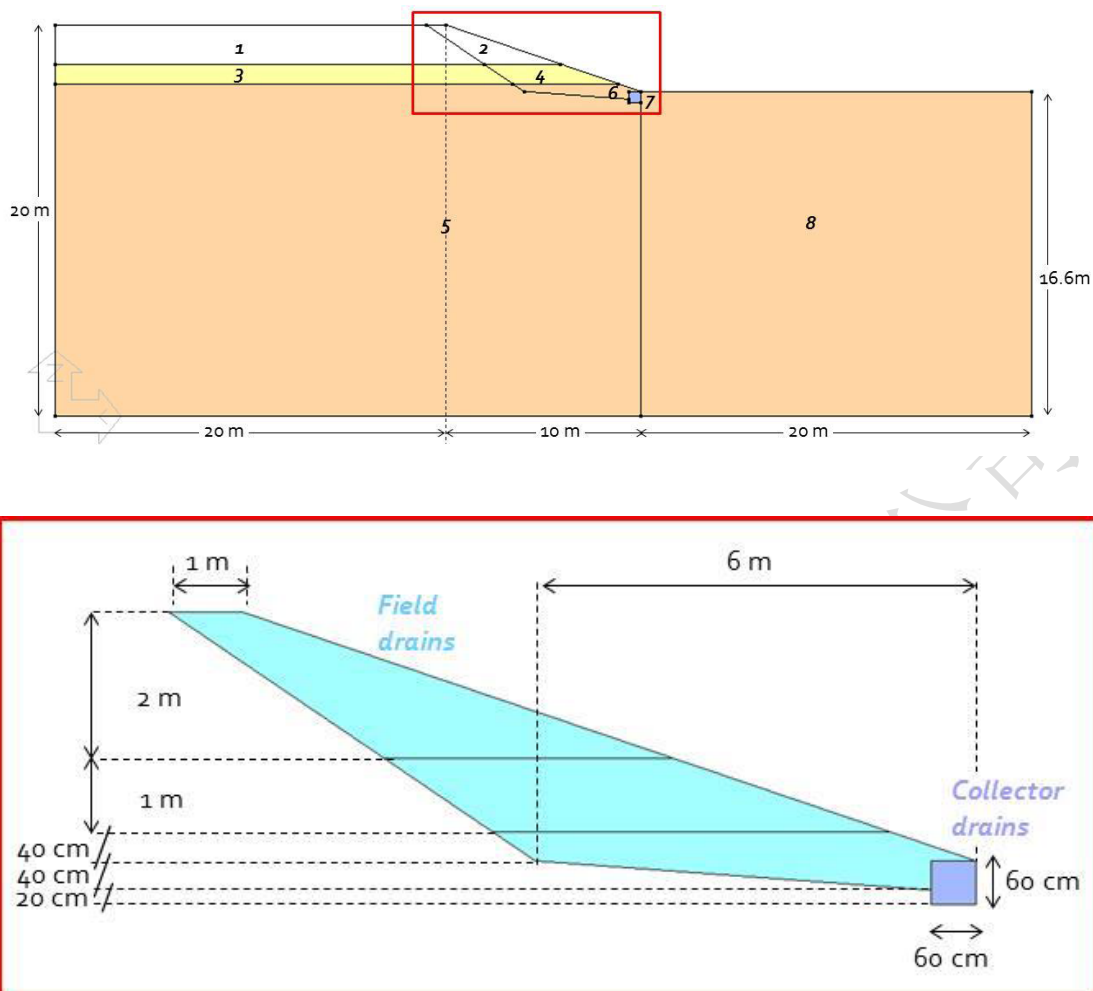


图 2：在 OYZ 平面上，模型的几何尺寸

分析阶段：

水文地质分析：

1. 初始化流网-天然边坡
2. 初始化流网-带排水沟的边坡

力学分析：

3. 流体力学分析-天然边坡
4. 流体力学分析-带排水沟的边坡

2. 几何和网格

2.1. 几何

设置工作平面：



设置 OYZ 平面，设置可见网格为 0.2m ($dX=dY=dZ=0.2m$)

绘制几何：

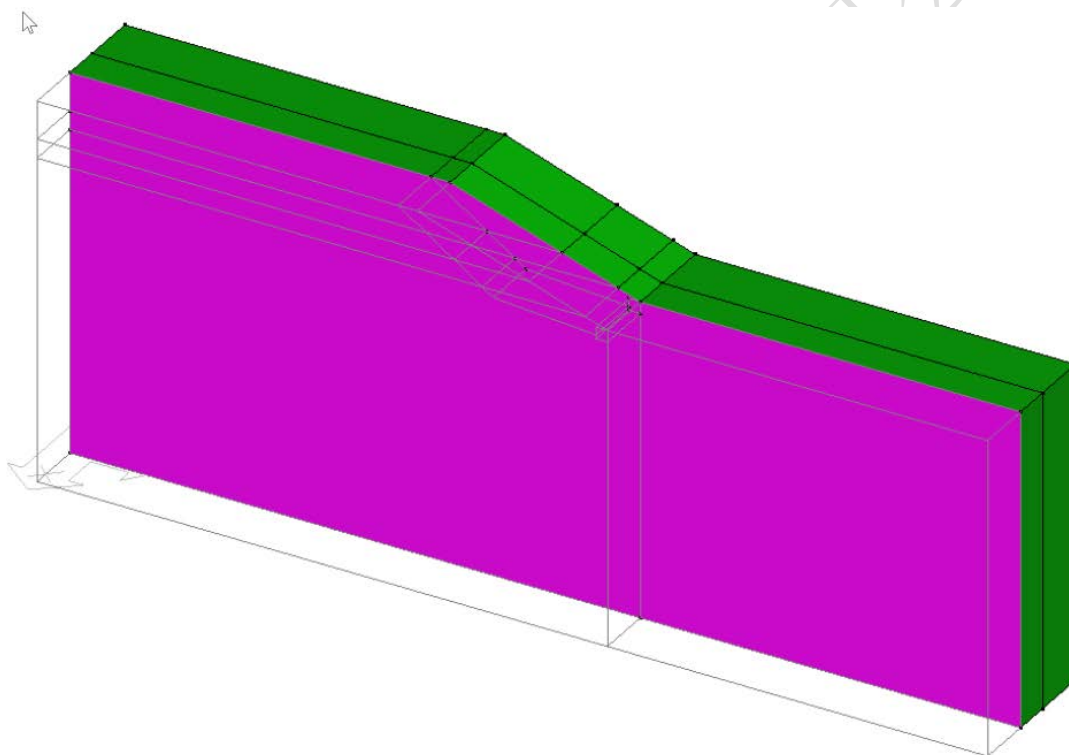
添加点，见图 1，使用线连接这些点，点击“边划分”划分坡度/场地排水管段中的轮廓线（在线段 1-2-3-4-5 中间）

生成面：

有轮廓线后，即可生成面。

生成体：

将面拉伸成体，拉伸矢量为 $V_x=-3$ 、 $V_y=0$ 、 $V_z=0$ ，勾选“移除面实体”。重复拉伸操作，矢量分别为 $V_x=-2$ 、 $V_y=0$ 、 $V_z=0$ 和 $V_x=-3$ 、 $V_y=0$ 、 $V_z=0$ 。



最后一次拉伸前的模型（使用“显示”预览效果）

实体分离：

在拉伸操作时，初始面由 8 个面组成，拉伸后导致一个实体里含有 8 个实体，为了区分具有不同材质特性的实体，有必要对其进行拆分。

点击  炸开实体，选择一个实体，应用。为另外两个实体，重复此操作。

合并实体和实体编辑：



该步骤是可选的，但它有助于在多个分析阶段为一组元素指定材料特性和荷载情况。

分别将排水沟、集水沟、淤泥、砂质黏土和砂合并，并分别命名及指定不同颜色。

2.2. 网格

网格密度定义：

选择排水沟的全部边界，点击固定长度密度，输入 0.5m，应用。

选择集水沟的全部边界，点击固定长度密度，输入 0.3m，应用。

点击可变密度，勾选“第一/最后一段”，第一段输入 0.5m，最后一段输入 5m，点击连接排水系统和土体边界的线，靠近排水系统较密。

选择土体的全部边界，点击固定长度密度，输入 5m，应用。

选择坡顶的横轴线，点击固定长度密度，输入 1m，应用。

生成体网格：

选择全部实体，点击“体网格划分”，选择“2 次插值”，设置“一般网格”，应用。

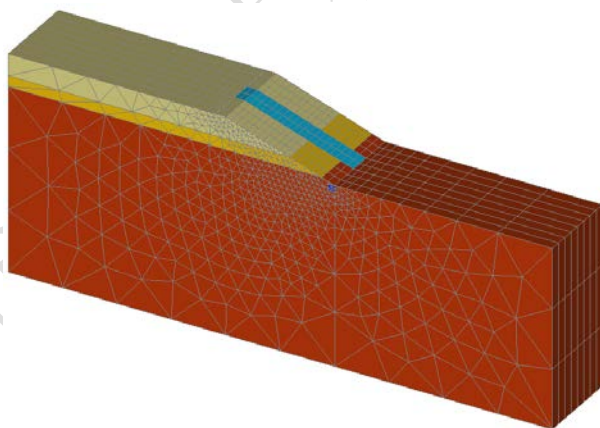


图 3：网格

3. 水文地质分析

为分析具有潜在非饱和区域的多孔介质中的地下水流动，CESAR-LCPC 提供了 NSAT 模块。

3.1. 天然边坡

模型定义：

右击地下水流动，添加模型，命名“水力-天然”，选择“NSAT”，勾选“初始参数”，确认。

实体材料属性：

💡一般先把材料一次性添加上去，然后在统一指定，这样会更方便。

添加淤泥，流动参数中选择“Van Genuchten&Gardner”非饱和准则，参数见下表。

重复操作录入其它材料参数。

		<i>Limon</i>	<i>Sandy loam</i>	<i>Sand</i>	<i>Field drains</i>	<i>Collector drains</i>
Saturated permeability coefficient	k_{xs}, k_{ys}, k_{zs}	1.10^{-4}	5.10^{-5}	3.10^{-4}	1.10^{-2}	1.10^{-1}
	k_{xy}, k_{yz}, k_{zx}	0.	0.	0.	0.	0.
Unsaturated water content function ¹	θ_s	0.40	0.36	0.35	0.5	0.5
	θ_r	0.10	0.28	0.12	0.01	0.01
	α	0.20	0.34	0.22	0.05	0.05
	n	1.8	1.60	1.50	2.0	2.0
	m	0.44	0.38	0.33	0.5	0.5
Unsaturated permeability function ²	a	0.02	0.03	0.04	0.01	0.01
	nn	1.5	1.9	2.2	3.0	3.0

在文献研究的基础上，选择了 van Genuchten 含水量函数和 Gardner 渗透率函数的常数参数。用户还可以根据实验室实验测试结果通过曲线拟合参数手动定义这些参数。有关更多信息，请参阅 CESAR 理论手册。参考压力为大气压力等于 100 kPa。

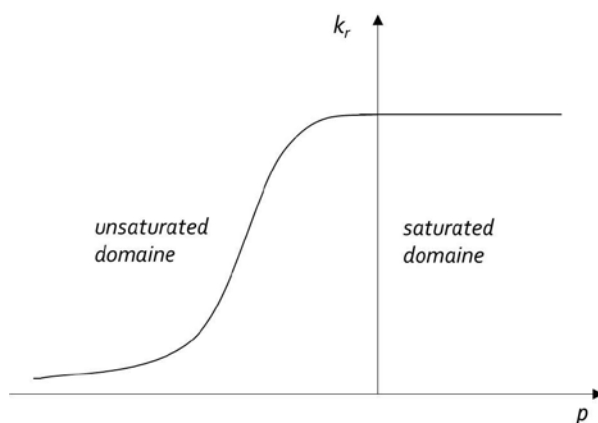


图 4：NSAT 模型的渗透函数

指定属性集：

在本阶段中，排水系统还没有设置。因此，排水系统对应的实体还是用天然土属性。

将土层属性指定给对应的实体，淤泥给 1-2，黏土给 3-4，砂给 5-8，参考图 2。

边界条件：

在选择工具中，仅激活选择面，点击  指定常数荷载，选择上游侧的面实体，输入 20m 作为荷载值，应用。选择下游侧，包括集水沟的顶面，输入 16.6m，应用。

点击  渗流条件，选择坡顶和沿着坡的面实体，应用。

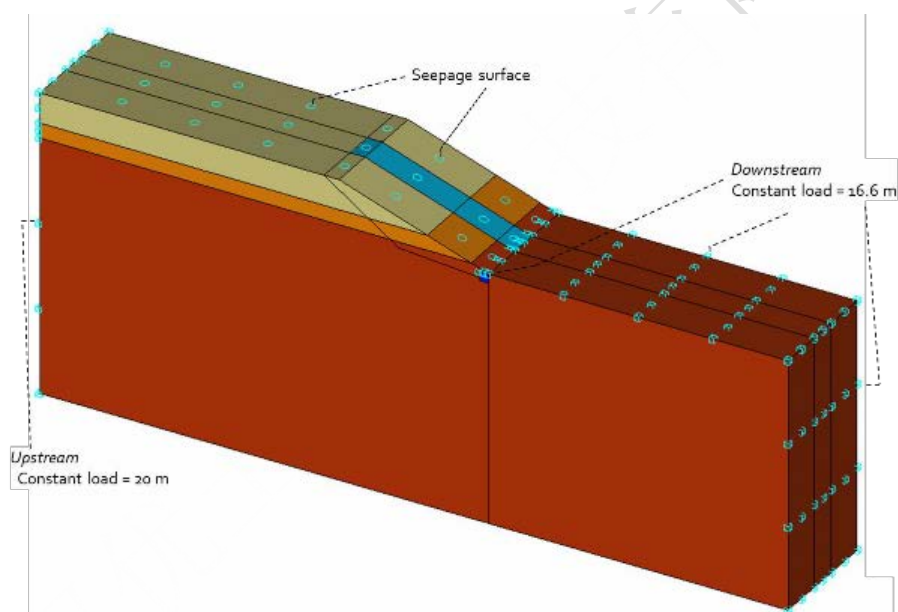


图 5：天然边坡边界条件

分析设置：

点击分析设置，在时间步部分，选择“稳态”，求解方式中选择“固定点方式”，迭代次数设置为 100，误差设置为 0.001。勾选“为后续计算存储”，指定用于存储计算水压的文件夹路径和文件名（扩展名*.rst），确认。

3.2. 带地下排水沟的边坡

模型定义：



右击上一个模型，复制，改名为“水力-排水”，选择“初始参数”，确认。将出现一个用于设置共享选项的工具箱。默认情况下，上一个模型的所有设置都会复制到新模型，取消勾选“属性”、“边界条件”，确认。

指定荷载集：

本阶段中，安装了地下排水系统，需要对相应属性进行修改，将排水沟和集水沟指定给相应的实体。

边界条件：

默认上阶段的边界条件复制到了本阶段，我们仅需修改下游的压力水头即可。

分析设置：

时间步和求解法都不变，勾选“为后续计算存储”，指定用于存储计算水压的文件夹路径和文件名（扩展名*.rst），确认。

4. 结果分析

4.1. 流网等值图

我们会比较两个模型的流网，以便查看地下排水沟对边坡的影响。

在结果中，点击显示结果类型，选择不变形网格，勾选激活，选择水头，应用。

点击网格设置，选择组边界，应用

点击等值图设置，勾选激活，选择“区域”，勾选等值线，选择灰色，设置手动设置范围，设置 16-20，配色方案选择地下水，应用。

点击图例，选择等值图，勾选图例边界，应用。

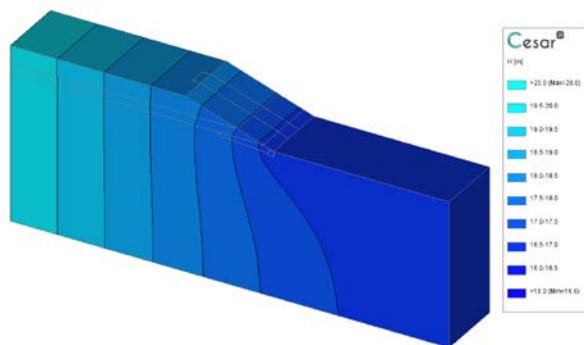


图 6：天然边坡条件下水头等值图

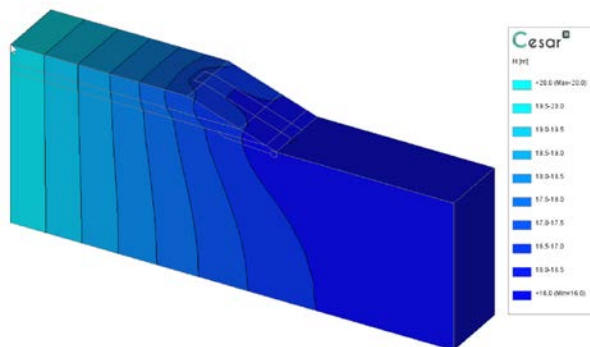


图 7：有地下排水系统的边坡水头等值图

4.2. 边坡上的地下水位

为了更好地比较分析，我们选择边坡中轴线上的水头值进行比较。

点击图表，点击实体图表中的点，创建 3 个点（A、B、C），绘制中轴线。

点击实体图表中的线，点击 2 条边，然后双击，直到出现红色的线。

点击实体图表中的线集，点击边坡中轴线的两条线，命名为“轴线”，点击添加。

点击“线集图表”，选择“水头”，选择中轴线，选择时间步，应用。

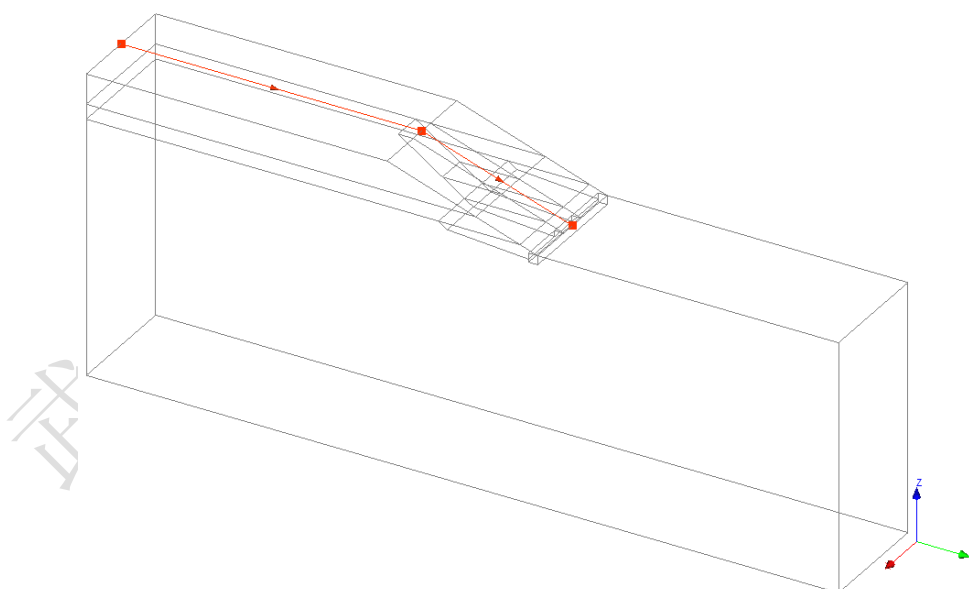


图 8：边坡的中轴线

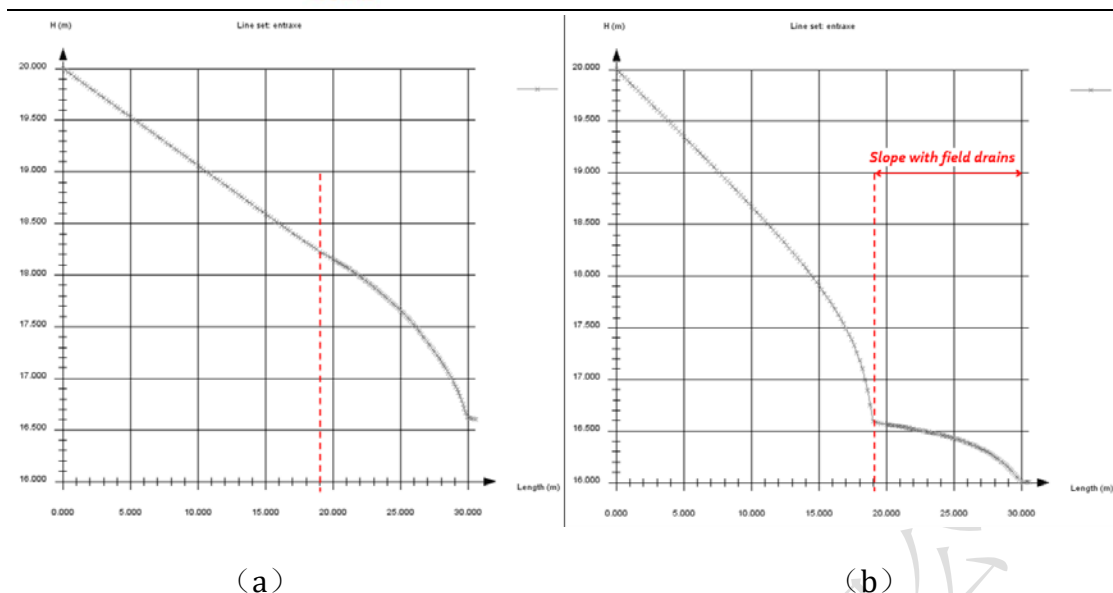


图 9：水头值对比，（a）为天然边坡，（b）为有地下排水沟的边坡

图 9 清楚地显示了因设置地下排水系统含水层水位下降的现象。斜坡顶部（上游侧）的地下水位已逐渐降低约 0.3 到 1.6m。排水系统可拦截含水层。从图 7-8 中还可以看出，含水层水位下降发生在斜坡的横切面上。

5. 进一步分析：水力-力学分析

分析边坡排水后，可进行进一步分析，以检查边坡的力学稳定性。在本案例研究中，选择了非耦合分析。NSAT 模块计算的水压力将用作 MCNL 模块的负载压力条件。

模型定义：

右击静力学，添加模型，命名为“力学-天然”，选择“MCNL”，选择“初始参数”，确认。

材料属性：

使用相同步骤录入材料数据，参数如下：

		Limon	Sandy loam	Sand	Field drains	Collector drains
Elasticity parameters	γ_h (kN/m ³)	18	17	18	20	20
	E (MPa)	38	22	27	50	50
	ν	0.30	0.45	0.25	0.25	0.25
Plasticity parameters	c (kPa)	-	50	-	-	-
	ϕ (°)	32	20	34	40	-
	ψ (°)	2	-	4	10	-



指定属性集：

为“淤泥”、“砂质黏土”“砂”指定属性

初始化参数：

无初始静力

边界条件：

点击侧面和底部支撑，应用

荷载集：

点击重力，选择全部实体，应用。

在工具栏中，点击水位-各项同性压力，选择“文件”作为水头输入，选择由“水力-天然”模型计算出的水压文件，确认。

在工具栏中，点击水位-重度，重度设为 0.019MN/m^3 ，饱和重度设为 0.02MN/m^3 ，确认。

分析设置：

点击分析设置，在一般参数中输入：

迭代过程：

最大增量步：1

每个增量步最大迭代次数：500

容忍度：0.001

求解方式：1-初始应力法

算法类型：多波前