

GeoStudio 公路铁路行业 解决方案



中仿科技

序

公路铁路工程中，从道路到隧道、桥梁都需要考虑岩土问题。例如：在路基填筑过程中需要考虑不均匀沉降及稳定性；在隧道开挖过程中，需要考虑变形情况以及结构受力情况；在桥梁的修筑过程中，需要考虑桩基础的稳定和破坏问题。这些岩土工程问题是运用工程地质学、土力学、岩石力学解决各类工程中关于岩石、土的工程技术问题的科学，其本质是岩体或土体稳定、渗流和变形的问题。

有限单元法作为工程数值分析中最强有力的工具，已在岩土工程分析中得到广泛的应用，岩土工程数值分析对于工程师决策具有非常重要的意义。其分析领域涵盖岩土工程问题的各个研究方向，如土的本构关系、土的渗透性与渗流计算、地基应力与建筑物沉降、土的固结、岩土坡稳定、地基承载力分析、土的动力分析；施工过程模拟，如地下洞室开挖支护、基坑开挖支护、路基、坝基填筑变形及稳定性分析、以及污染物运移问题等。

随着计算机技术的飞速发展，有限单元法在岩土工程领域取得了很大进展，为岩土工程设计、分析、方案优化提供了一个得心应手的工具。GEO-SLOPE 公司是加拿大 D.G.Fredlund 于 1977 年创立至今，已成为全球最著名的岩土软件开发公司之一，已经在全球岩土工程行业得到了广泛的应用，用户覆盖全球 100 多个国家。GeoStudio 发展至今，已成为学者、工程师解决岩土工程问题的专业、高效的分析计算工具，为众多的用户所支持和信赖。在国内亦拥有众多的用户群体。GEO-SLOPE 公司不断提升软件的易用性、易操作性，同时根据全球用户的反馈不断增强软件的分析功能。为推动中国的岩土工程师对于软件应用水平的提高，GEO-SLOPE 公司在中国每年都开展用户研讨会，交流应用经验，总部会派遣研发工程师与中国用户交流。同时 GEO-SLOPE 公司在中国的唯一合作伙伴——中仿科技，为用户提供深层次的技术支持和服务。

为了增加中国岩土工程师对 GeoStudio 软件的全面了解，以及在岩土工程领域的广泛应用，我们编写了这份资料，力求以丰富的应用实例为主，全面地介绍 GeoStudio 软件的功能和应用。



图 1 GeoStudio 的操作界面



图 2 GEO-SLOPE 和中仿科技合作举办用户研讨会

我们期待这本资料能推广 GeoStudio 软件在中国岩土工程行业得到广泛应用，共同为中国岩土工程行业的发展作出贡献。

（GEO-SLOPE 公司中国唯一合作伙伴 中仿科技 CnTech <http://www.CnTech.com.cn>）

GeoStudio 软件在公路铁路行业的应用——实例剖析

GeoStudio 系统软件是由全球著名的加拿大岩土软件开发商 GEO-SLOPE 公司在七十年代开发的面向岩土、采矿、交通、水利、地质、环境工程等领域开发的一套仿真分析软件，是全球最知名的岩土工程分析软件之一。作为优秀的岩土工程设计分析软件，GeoStudio 目前已经为上百万科学研究人员、工程技术人员、教育工作者以及学生提供了无与伦比的帮助。

GeoStudio 软件以其全面的功能、友好的用户界面、高效的建模分析、强大的技术支持赢得了设计院工程师、高校科研院所专家教授以及学生的广泛认可，越来越多的用户选择 GeoStudio 软件作为分析设计工具和教学工具。

GeoStudio2007 包括以下八款专业软件：

SLOPE/W 边坡稳定性分析软件

SEEP/W 地下水渗流分析软件

SIGMA/W 岩土应力变形分析软件

QUAKE/W 地震动力响应分析软件

TEMP/W 地热分析软件（温度场分析软件）

CTRAN/W 地下水污染物运移分析软件

AIR/W 空气流动分析软件

VADOSE/W 综合渗流蒸发区和土壤表层分析软件

1 路基路面工程篇

路基工程是指按照路线位置和一定技术要求修筑的作为路面基础的带状构造物，路基是用土或石料修筑而成的线形结构物。它承受本身的岩土自重和路面重力，以及由路面传递而来的行车荷载，是整个公路构造的重要组成部分。因此在路基设计中必须考虑具有足够的强度和稳定性，即在其本身静力作用下地基不应发生过大沉陷；在车辆动力作用下不应发生过大弹性和塑性变形；路基边坡应能长期稳定而不坍塌。

1.1 问题提出：常见路基稳定性如何分析，采用何种分析方法？

解决方案：GeoStdudio 系列软件可以通过三种方法计算路基边坡稳定性：

方法一、极限平衡方法程序 SLOPE/W，SLOPE/W 包含全面的极限平衡分析方法，如 Morgenstern-Price、GLE、Spencer、Bishop、Ordinary、Janbu、Sarma 法等用户可以灵活选择分析理论；包含全面的材料强度本构，从最通用的摩尔库伦强度准则到非线性强度准则，以及霍克布朗强度准则等十多个强度模型可供选用。

方法二、用户也可以使用 SIGMA/W+SLOPE/W 实现边坡稳定分析，SIGMA/W 有限元计算的应力分析和 SLOPE/W 极限平衡法方法耦合计算边坡稳定性。这种方法优点在于：不需

对条间力进行假定；由有限元计算出应力场，边坡稳定性分析不存在迭代和收敛问题；满足位移兼容性，应力分布更接近于真实情况；分析中可以直接考虑应力集中；土和结构的相互作用被更真实的处理。

方法三、强度折减法，用户也可以使用 SIGMA/W 中的应力重分布分析类型实现基于有限元强度折减法的边坡稳定性的计算。

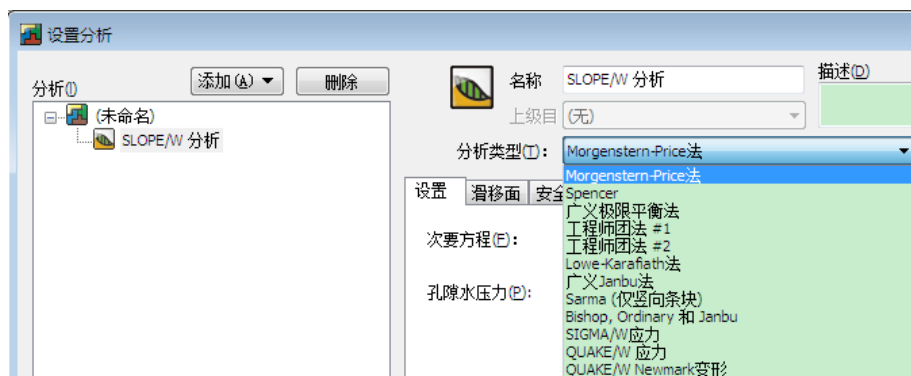


图 3

实例 1.1.1: 某含软弱夹层路基边坡稳定性分析

该边坡地基中存在软弱夹层及基岩层，用户采用了 Morgenstern-Price 法，并采用进口出口滑裂面搜索方法。边坡稳定分析结果如下图所示：

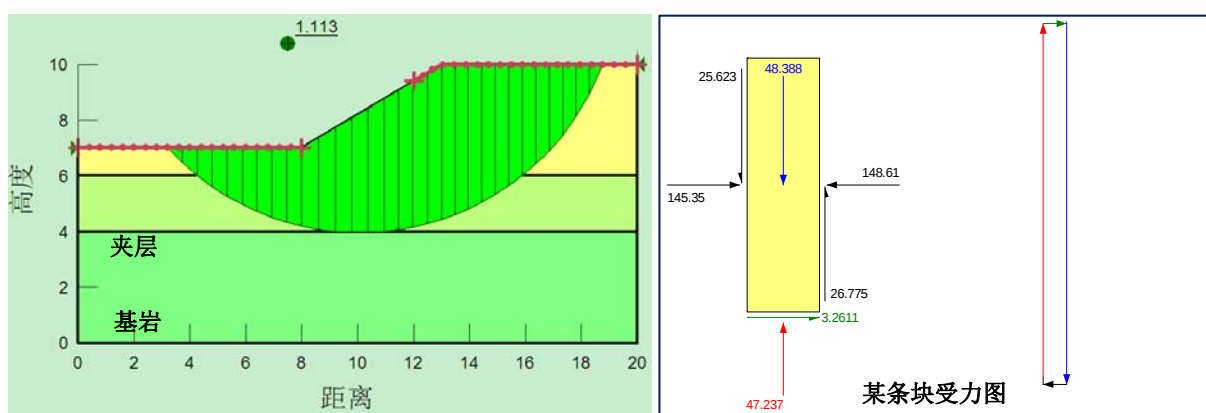


图 4

1.2 问题提出：路基分层填筑施工过程如何模拟

解决方案：在 SIGMA/W 中可以轻松实现施工过程的模拟，比如基坑开挖支护、路基填筑、坝体填筑等。友好的建模界面、清晰的建模流程，建立复杂的模型轻松快捷，大大缩短用户的建模时间，使得用户专注于研究对象实质问题。比如国内有部分用户采用本软件研究尾矿库的填筑变形研究、港区软基处理以及分层筑坝等项目的模拟分析，取得了良好的模拟效果。

实例 3.1.1: 某路堤分层堆筑应力变形模拟

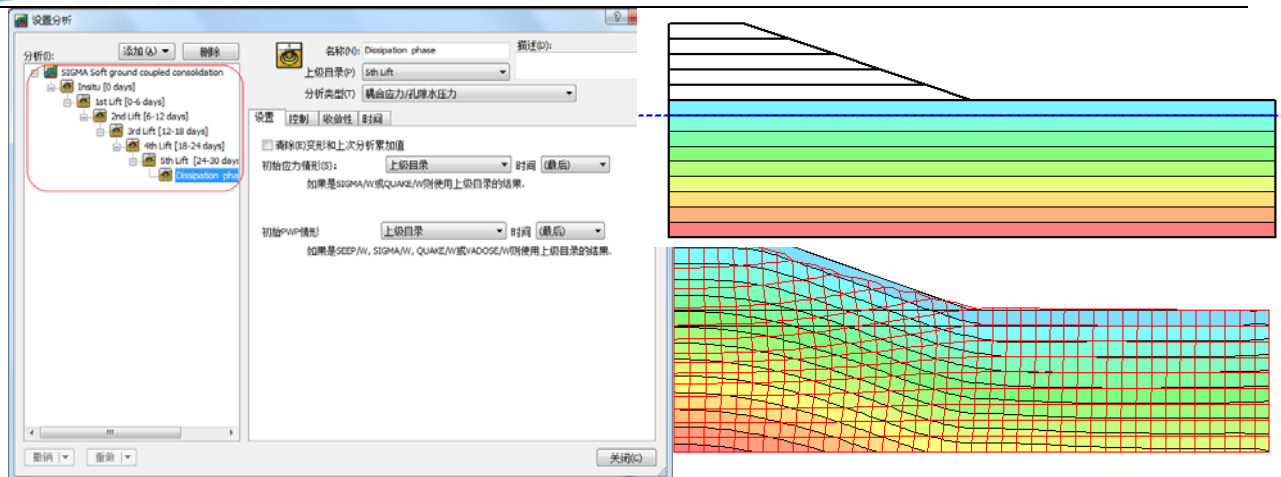


图 5

1.3 问题提出：如何考虑加固措施的边坡分析

解决方案：SLOPE/W 软件可以模拟包括锚杆、土钉、土工布和桩四种加固组件。包含恒定荷载和可变荷载两种作用方式，采用恒定荷载可以帮助用户确定达到某一安全系数所需的加固力大小，同时可以校核结构是否否和要求，比如太长或者太短，从而辅助结构优化设计。

实例 1.3.1：某边坡加固安全系数计算

通过对不同支护方案的计算分析，选择最优方案，并对支护结构参数进行优化，从而达到安全、经济的目的。

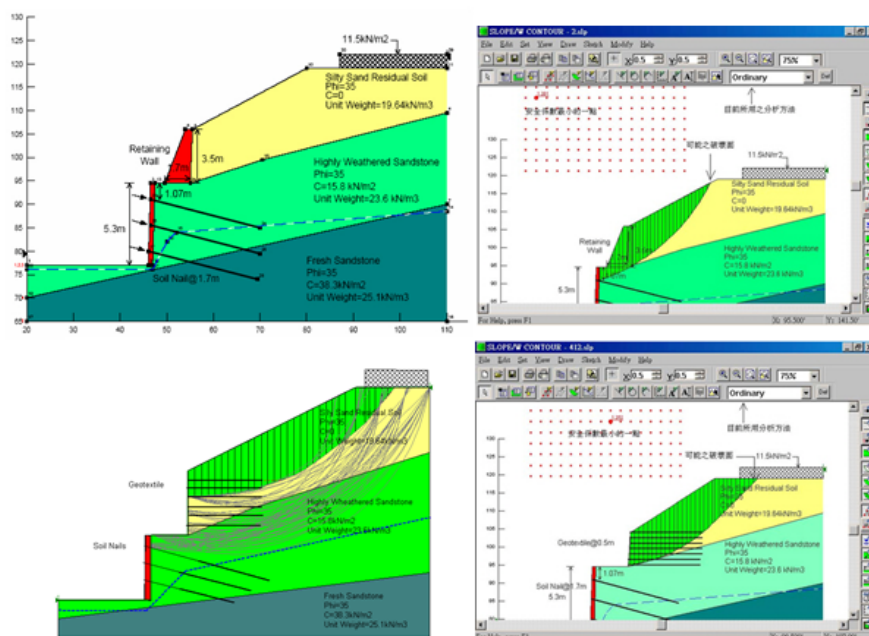


图 6

1.4 问题提出：如何进行软土路基的变形和稳定性计算？

解决方案：软土路基是指在强度低，压缩量较高的软弱土层。软土路基的危害主要有两方面：（1）强度及稳定性，由于软土中超孔隙水压力不容易消散，造成稳定性降低；（2）变形，由于排水性能差，因此造成路基表面不均匀沉降较大。因此在软土路基中，常常需要对

地基进行处理，常见的处理方法有：高压喷射注浆、堆载预压法、复合地基处理法、压密注浆碎石桩处理。

在 GeoStudio 中 SIGMA 软件提供了耦合应力/孔隙水压力分析类型，能够独立进行固结分析。在此类分析的基础上，程序也提供了各种适用于软土固结分析的本构模型，例如：修正摩尔库伦模型及非线性邓肯张模型。

对于固结阶段中各个时间点的安全系数问题，由于各个阶段的应力和孔隙水压力分布情况存在这个较大差别，因此不能简单的判断哪个时间点安全系数较低。用户可以使用 GeoStudio 中各个软件之间的相互调用功能，将 SIGMA/W 计算的应力和孔隙水压力分布调入 SLOPE 中，对各个时间点分别进行边坡稳定分析，得到整个工期及固结期的安全系数。

实例 1.4.1 某软土路基分层填筑过程模拟

某软土路基构造如下图，分 4 期填筑，每填筑期为 30 天（一个月），并考虑施工完成后两年内的路基固结期。该施工过程，设计单位采用 GeoStudio 的 SIGMA/W 软件计算整个过程中的沉降，并使用 SLOPE/W 软件在考虑 SIGMA/W 计算的应力分布结果基础上，计算施工期和固结期各个阶段的安全系数。

由于需要考虑施工过程中软土的固结问题，因此选择了国际上常用的修正剑桥模型（即 SIGMA/W 中的软粘土模型）。

为了反映各个时间段，由于堆载及固结时的超孔隙水压力消散对于边坡稳定的影响。因此设计人员采用了有限元+极限平衡法的方法，将 SIGMA/W 计算的各个时间点的应力及孔隙水压力分布状态调入到 SLOPE/W 中进行边坡稳定计算，从而得到各个时间点的安全系数。

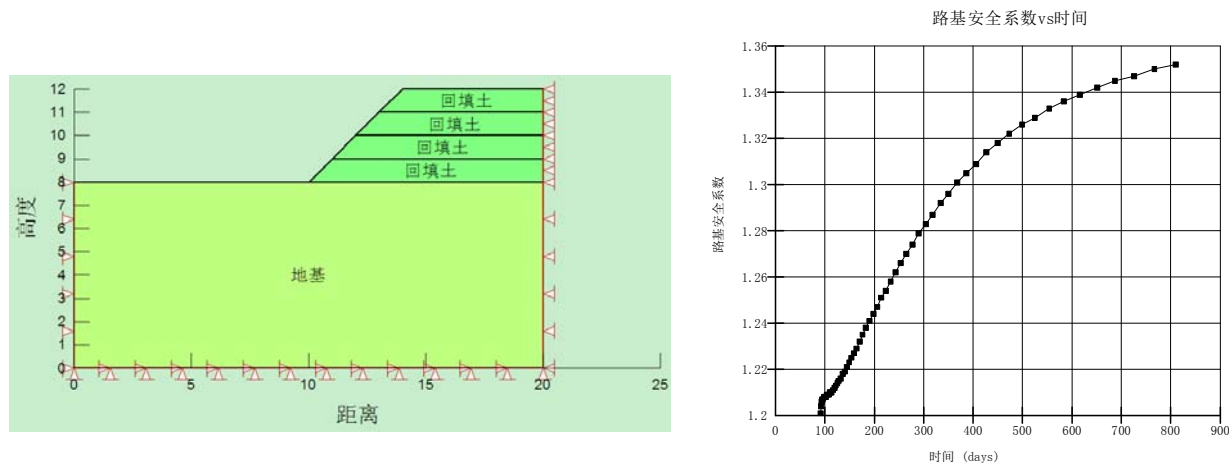


图 7 模型示意图及固结期安全系数变化图

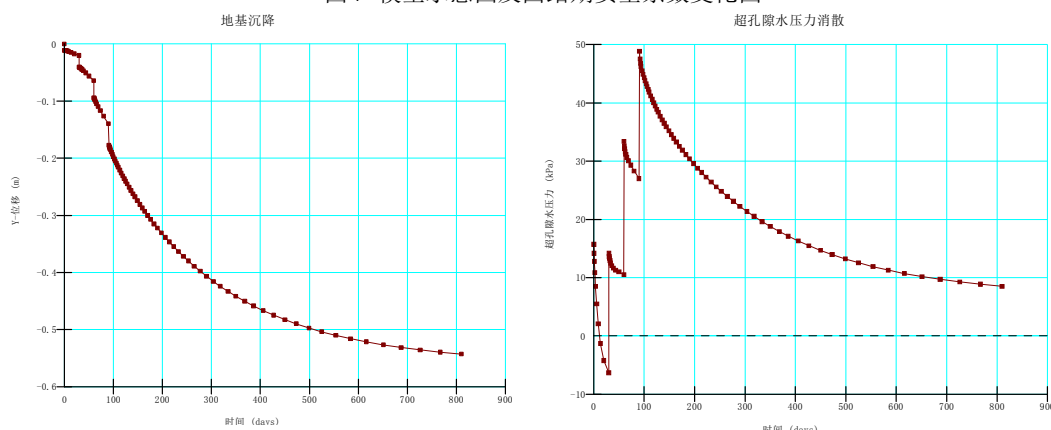


图8 路基某点在施工期和固结期沉降及超孔隙水压力变化情况

实例 1.4.2 某软土路基地基处理模拟——排水板

在软土工程中，为了加快软土的固结，排水板是一种常见的地基处理方式。以上一个模型为例，在路基中设置排水板。通过计算可以发现，由于排水板的存在，加快了软土中超孔隙水压力的消散，一方面使边坡在固结期中各个时间点的安全系数相同，为 1.355，增大了最小安全系数；另一方面降低了路基表面的不均匀沉降量。

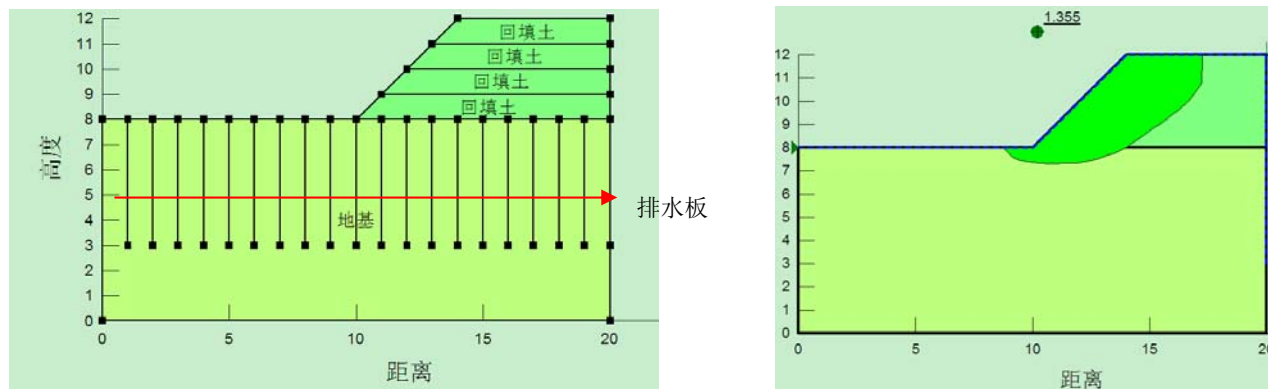


图9 模型示意图及固结期安全系数、滑裂面

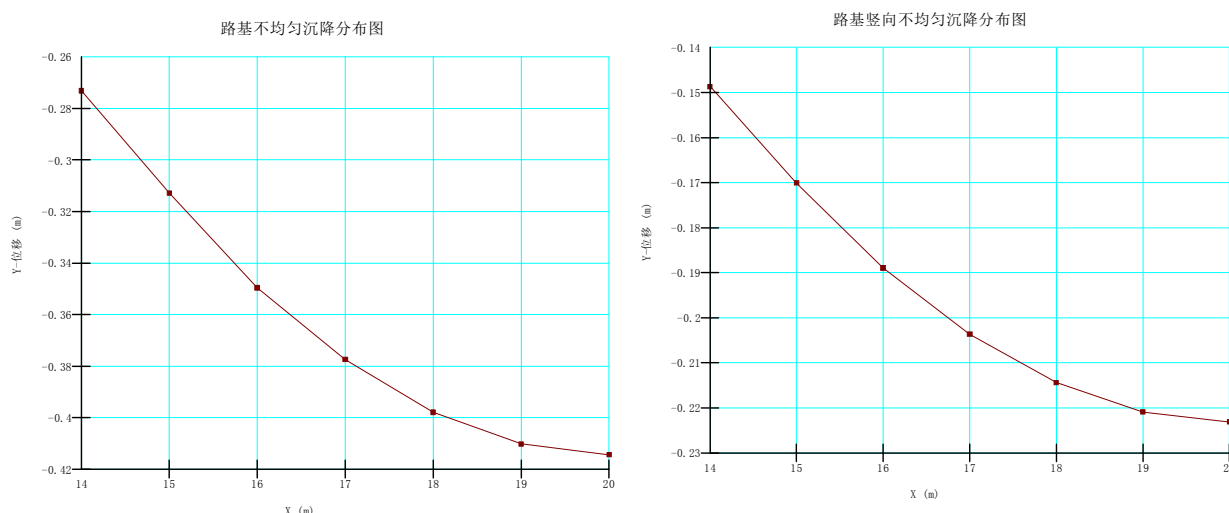


图10 路基表面不均匀沉降对比（左侧为不含排水板，右侧为含排水板）

1.5 问题提出：如何考虑非饱和土体对路基的影响？

解决方案：路基填土一般在水位以上，属于非饱和土范畴，用传统的饱和土固结理论计算路基的沉降变形存在很多问题。

实例 1.5.1：某路堑在强降雨条件下的渗流分析

当气候条件在短期内突然剧烈变化的时候我们需要地表及时响应这一变化，例如在高温天气干燥的地表突然遭遇暴雨，在短时间内地表由干燥变得饱和，要想在数值模拟中处理这种快速剧烈的变化，地表网格必须非常好的离散化才可以，SEEP/W 允许用户在已经存在的几何边界上创建“面层”，能够完美的解决这一问题。单位流量边界可以应用于面层，在 SEEP/W 中可以记录渗流、浸润面和径流量，以及低地势处积水的深度。

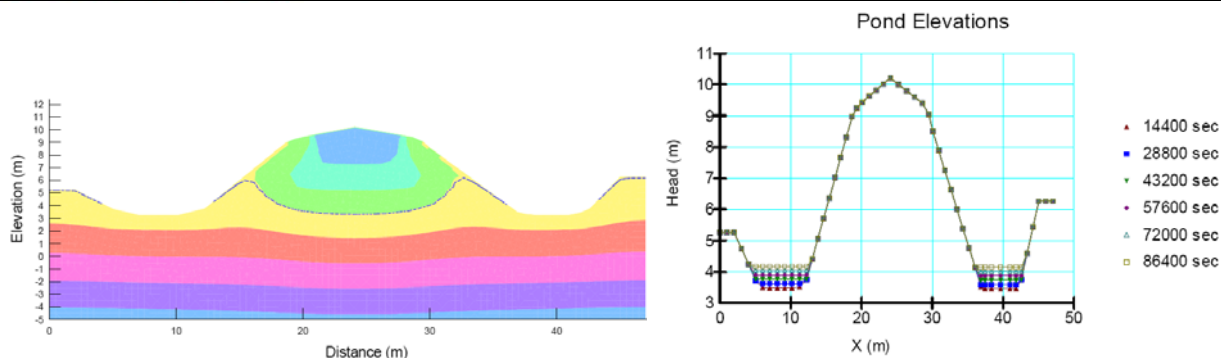


图 11

实例 1.5.2: 膨胀性路基毛细孔上升分析

膨胀土是一种典型的非饱和土体。土体湿度增大时，体积膨胀并形成膨胀压力；土体干燥失水时，体积产生收缩并形成收缩裂缝。吸力的下降或丧失会引起非饱和土抗剪强度的降低，引发路堤、路床的破坏。作者采用SLOPE/W进行耦合分析，得出土柱的含水量与高度之间的关系曲线；并结合土水特征曲线得出最大毛细水上升高度值。

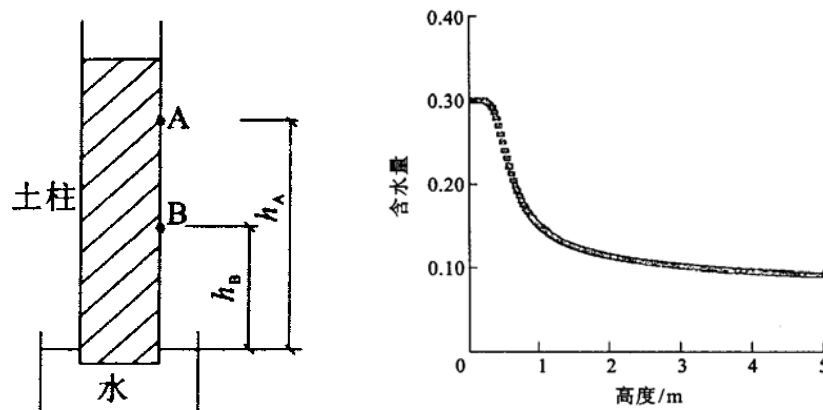


图 12 纯砂柱的含水量与高度关系

实例1.5.3: 考虑降雨入渗影响的非饱和膨胀土边坡稳定性分析（《考虑裂隙及雨水入渗影响的膨胀土边坡稳定性分析》岩土工程学报2001年9月第23卷第五期）

在某高速公路非饱和膨胀土边坡工程中，使用GeoStudio中SEEP/W软件计算考虑非饱和土特性计算降雨作用，在此基础上使用SLOPE/W采用极限平衡法对边坡稳定分析。在模拟过程中考虑基质吸力对于抗剪强度的增强作用。

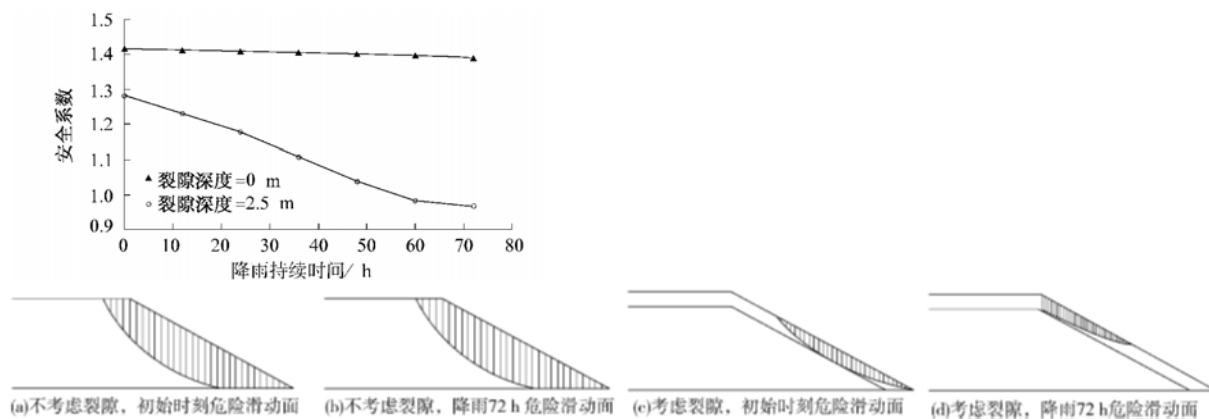


图 13 安全系数与降雨持时的关系及各种工况下计算滑动面

1.6 问题提出：路基的动力稳定性如何模拟？

解决方案：在 SLOPE/W 程序中，动力效应有如下几种考虑方式：

最简单的是拟静力分析法，加速度可产生惯性力，进而引起地震动效应，拟静力分析可反映这一点，在 SLOPE/W 程序中，水平惯性力作为一个水平力作用于每个条块，竖向惯性力计入条块重量。

更严格的方法是在 SLOPE/W 程序中调用 QUAKE/W 程序的有限元动应力和孔隙水压力成果。当模拟地震动力分析时，QUAKE/W 允许用户轻松定义或者调用地震加速度时程曲线，并提供地震波的修正，比如峰值修正、持续时间以及基线校正。所见即所得的用户界面，可以方便时间输入地震波的查看。QUAKE/W 软件也提供的本构模块包括：线弹性、等效线性和非线性模型供用户选择使用。通常情况下，等效线性模型应用多年，是较为成熟的动力分析本构模型。在参数输入方面，SLOPE/W 可以定义土体发生液化后材料的强度。

SLOPE/W 程序中调用 QUAKE/W 程序的有限元动应力和孔隙水压力成果的计算方法，可以真实的模拟土体发生液化后的边坡稳定性。

2 其他工程篇

在公路铁路工程中，涉及到岩土方面除了路基路面工程外，还有其他工程类型：

2.1 问题提出：挖方高边坡及其加固的模拟？

解决方案：在铁路公路工程中除了路基等填方边坡，也存在一些挖方边坡，挖方边坡稳定性模拟的计算方式同路基边坡。

实例 2.1.1：某高速公路高压铁塔边坡稳定性模拟（出自《福建省漳州)-诏(安)高速公路 A2 合同段高压铁塔边坡加固工程设计施工》，中国港湾建设 2001 年 12 月第 6 期）

漳诏高速公路铁塔边坡加固工程中，采用SLOPE/W软件和Morgenstern P rice方法，对铁塔边坡在路基开挖施工前后分别进行边坡稳定性分析计算。

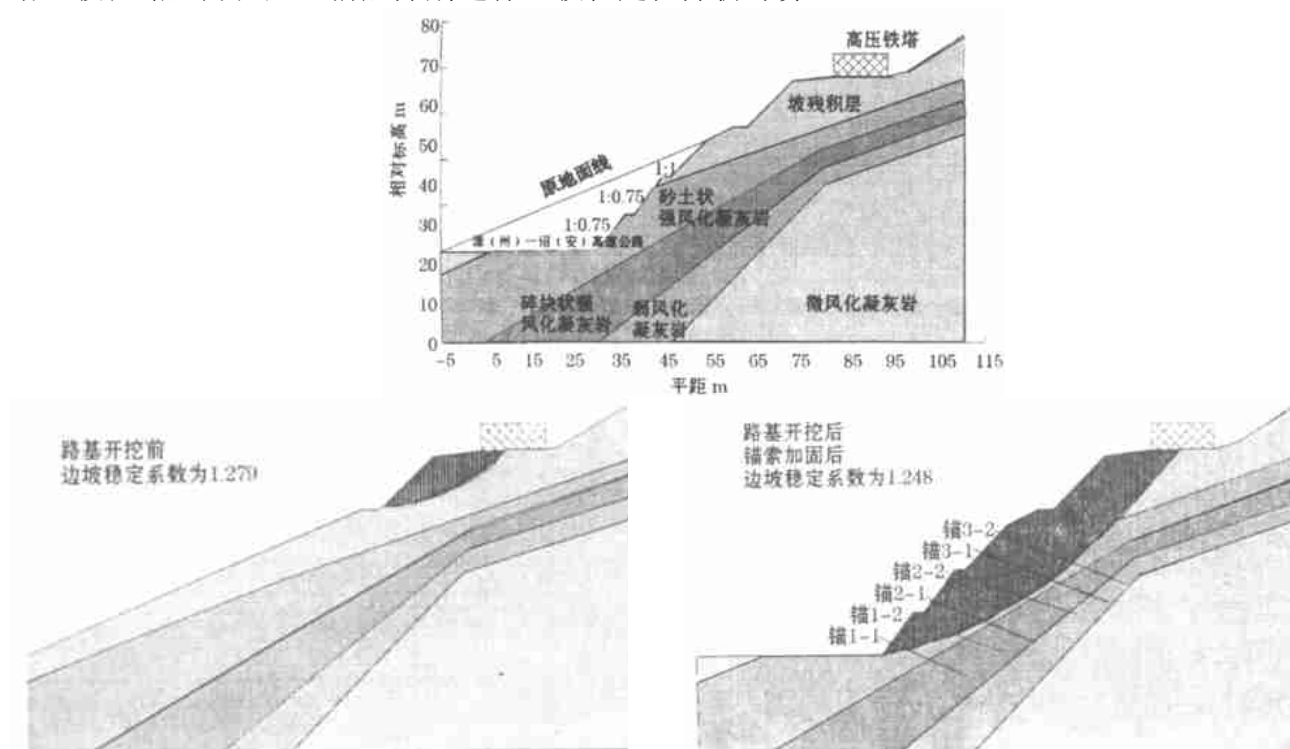


图 14

2.2 问题提出：计算结果如何被 SLOPE/W 调用以模拟复杂孔隙水压力的边坡稳定性？

解决方案：GeoStudio 系列软件的一个突出特点就是多模块（软件）集成分析，根据分析目的，联合多个分析模块来模拟复杂问题，这一点操作起来非常的容易，比如我们这里要举的这个算例，其水压力分布形式非常的复杂，难以用 SLOPE/W 自带的水压力定义方式完成，就可以用 SEEP/W 求解出水压力分布，然后由 SLOPE/W 调用。只需将 SEEP/W 分析作为 SLOPE/W 分析的上级目录（parent）。

实例 2.2.1：流量边界的稳态渗流分析

存在上层滞水的渗流分析，我们知道类似该案例的孔隙水压力分布在 SLOPE/W 模块是无法定义的，因为 SLOPE/W 不允许出现 Z 形的水位线，但可以通过 SEEP/W 分析获得孔隙水压力分布。在此基础上进行边坡稳定性分析，计算结果更加准确。

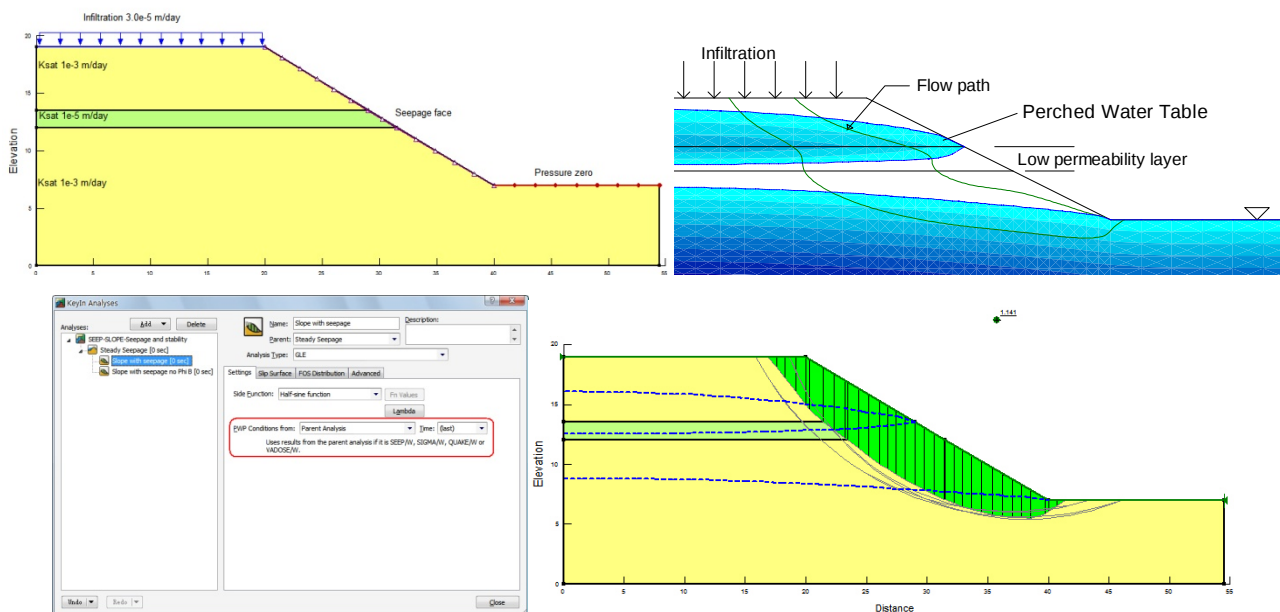


图 15

2.3 问题提出：含有软弱夹层的岩质边坡如何模拟？

解决方案：1、滑面搜索方法采用用户自定义；2、利用基岩强度本构可以间接控制滑面形状，使滑面位于软弱层中；3、岩质边坡还可以利用霍克布朗强度本构模型，配合 block surface 滑面搜索方法。

实例 2.3.1：某岩质高边坡稳定性分析

模型为存在软弱夹层的岩质边坡，软件夹层厚度非常薄，验算受软件夹层控制的边坡安全系数，采用了用户自定义滑面的方法，获得了 Bishop 法安全系数。

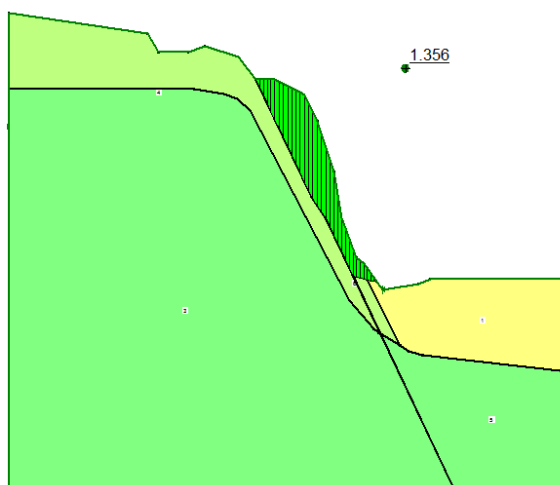


图 16

实例 2.3.2 某岩质边坡稳定分析

模型为均质岩质边坡，分析采用能反映岩石特性的霍克布朗强度本构模型，采用了折线搜索滑面的方法（block surface）。

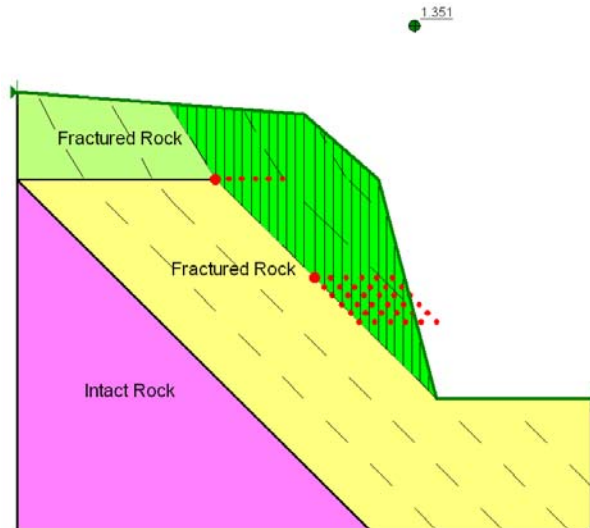


图 17

验证案例 2.3.3 高岭土化的花岗岩边坡稳定性

该案例引自 Doug Stead et. al. (2001). 发表论文“Advanced numerical techniques in rock slope stability analysis-applications and limitations”。

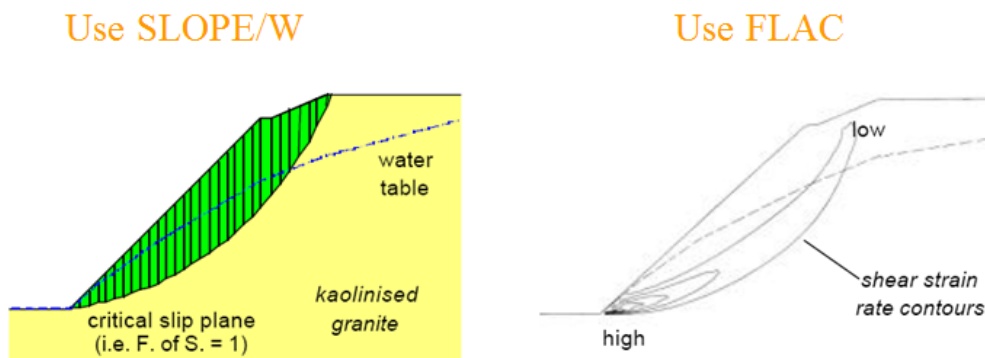


图 18

2.4 问题提出：边坡的失效概率分析和参数敏感性分析？

解决方案：随着人们对边坡工程稳定性分析认识的不断提高，概率和敏感性分析越来越为工程技术人员熟悉和接受，对边坡稳定进行概率和敏感性分析成为新的分析需求。土体的参数并不是一个值，而是符合某种规律的概率分布，这与工程实际是吻合的，分析边坡的失效概率，找出影响边坡稳定性的关键参数，对于评价边坡稳定性意义重大，所以做概率和敏感性分析是非常有意义的工作。这一工作用 SLOPE/W 软件来实现是件轻而易举的事情。

SLOPE/W 包含一个广泛通用的运算法则用以进行概率分析。几乎所有的输入变量都能被指定一种概率分布，然后利用 Monte Carlo 方法计算出安全系数的概率分布。对计算结果分析，可以得到边坡在参数符合某一概率分布条件下的失效概率，也可以得到影响边坡稳定性的主要参数，从而为工程选址、设计计算提供参考依据。

实例 2.4.1 某边坡失效概率分析

由于岩土工程问题的复杂性，土体属性的不确定性和空间变异性，做边坡安全系数可靠性评估成为必要。

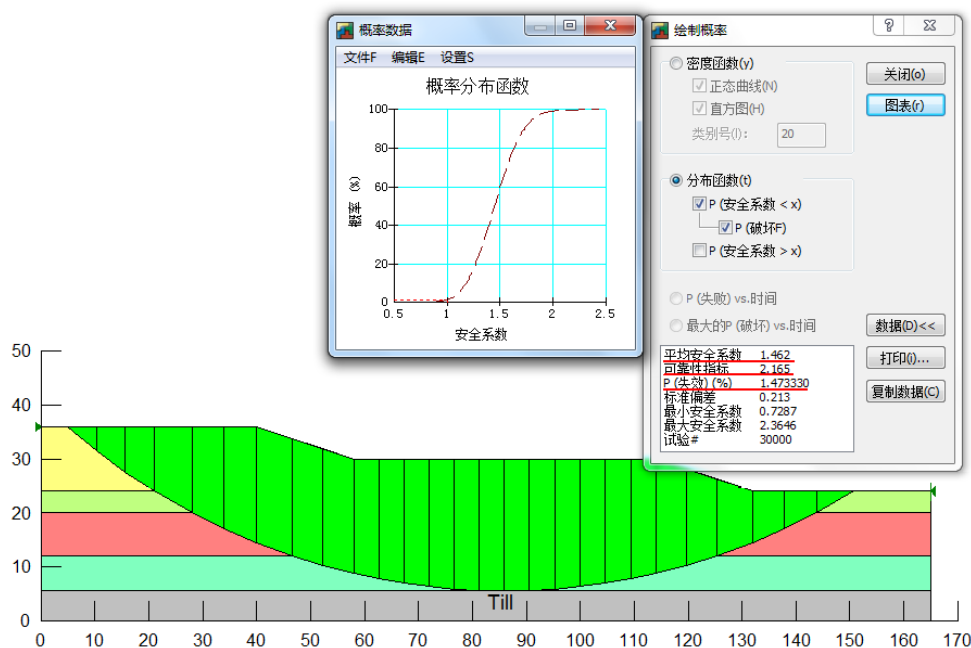
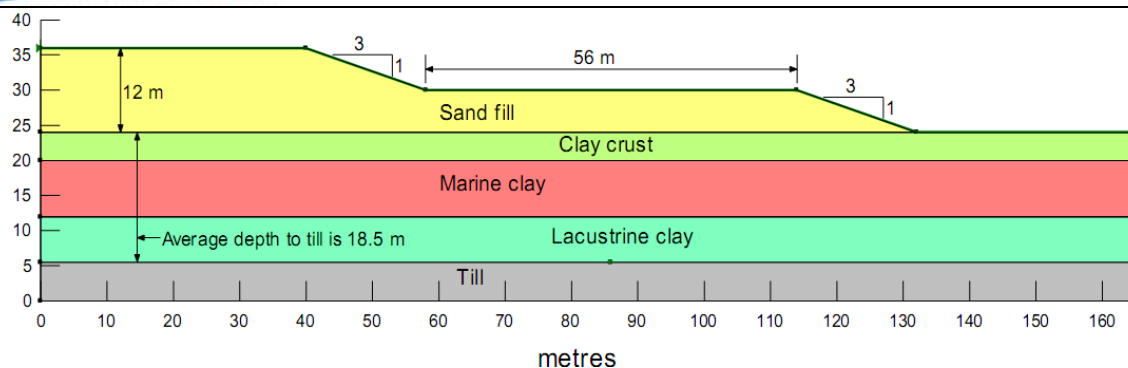


图 19

实例 2.4.2 某边坡参数敏感性分析

边坡的稳定性对砂土的摩擦强度还是粘土的不排水强度哪个更敏感，做参数敏感性分析，结果显而易见。

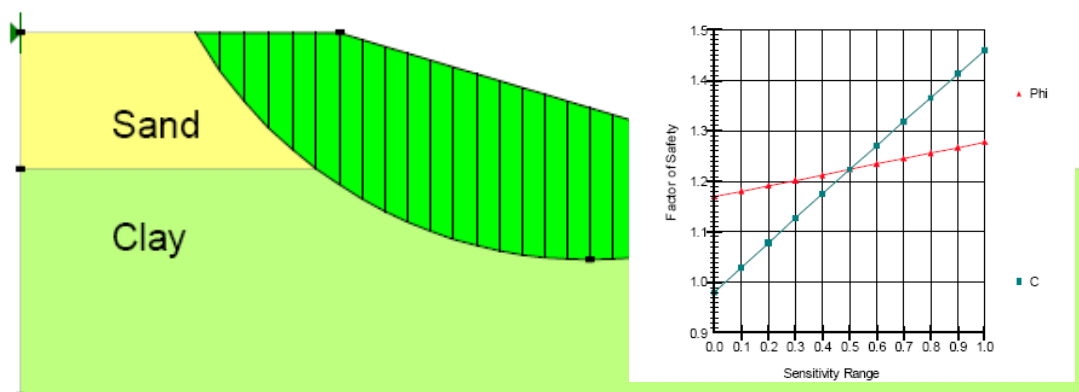


图 20

2.5 问题提出：能否分析土体与支护结构的相互作用？

解决方案：SIGMA/W 软件提供梁单元和杆单元两种结构单元，可以用来模拟桩、土钉、

锚杆、衬砌等支护结构。定义非常的方便，首先定义梁或者杆的材料属性参数，然后将材料赋给线即可模拟各类结构组件。此外 SIGMA/W 新增了接触面单元，可以在土体与结构单元之间设置接触面，以模拟结构与土体会发生相对的滑移。

实例 3.4.1：某基坑开挖支护模拟

采用梁单元模拟挡土桩，采用梁单元和杆单元结合模拟预应力锚杆，在桩与土体之间定义了接触面单元。下图为开挖支护后剪应力云图。

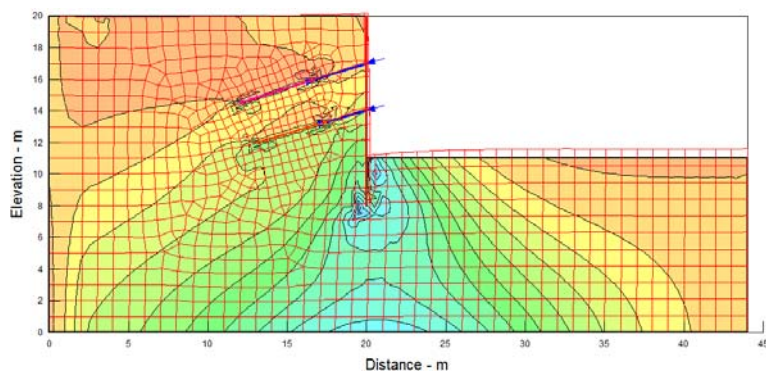


图 21

4 结束语

加拿大 GEO-SLOPE 公司从 1977 年发展至今，已成为全球最大的岩土软件开发公司之一，用户覆盖全球 100 多个国家。

中仿科技公司是 GEO-SLOPE 公司中国区独家总代理商，希望 GEO-SLOPE 公司的系列软件能给您的工作带来方便和帮助。

如果您希望了解关于 GeoStudio 软件的详细情况或者希望安装 GeoStudio 的免费试用版本来亲自体验它的强大功能，请及时与我们联系。

中仿科技是专业从事工程分析软件和咨询服务的提供商，业务主要包括工程咨询服务和企业信息化软件的集成。主要服务领域包括土木工程、机械工业、航空航天、汽车、电子产品等行业。我们始终遵循“客户满意为止”的服务准则，通过与高校、企业的合作为用户排忧解难、出谋划策、提供专业的技术应用服务。

中仿科技和国内外众多信息化企业有着长期的紧密合作关系，我们将竭诚为客户提供专业的工程解决方案和高质量的专业工程应用服务。

关于我们更多的软件产品以及服务信息，请登录公司网站：www.CnTech.com.cn 获取更详尽资料。