

基于强度折减的有限元法的边坡稳定分析

曲哲 2006 年 3 月

极限平衡法和塑性极限分析法是土坡稳定分析中有传统方法。基于强度折减的有限元法用于边坡稳定分析是较新的方法（连镇营 2001）。其基本思路是，通过（1）式折减土体的材料参数，其中 γ 为折减系数。 γ 从 1 开始逐渐增大，直到用折减后的材料参数进行有限元分析，土体中某一幅值的广义剪应变自坡角底部下方向坡顶上方贯通，则认为此前的折减系数为安全系数。

$$\begin{aligned} c' &= c / \gamma \\ \phi' &= \arctan(\tan \phi / \gamma) \end{aligned} \quad (1)$$

张鲁渝（2002）则用计算是否收敛来判断是否达到界限状态。他认为计算“正好”收敛时所对应的折减系数即为坡体稳定安全系数，所谓正好收敛是指折减系数再大一点计算便不收敛了。计算实践表明，张鲁渝（2002）的方法更加可行，因为对于许多问题，经常在得到贯穿的滑裂面之前计算就无法收敛了。

张鲁渝（2002）用这种方法进行了算例分析。本文以他的计算结果为参照。他还总结了已有的三种将 Mohr-Coulomb 模型参数 c , ϕ 转化为 D-P 模型参数 α , k 的方法，并提出了一种新的方法，列于表 1。

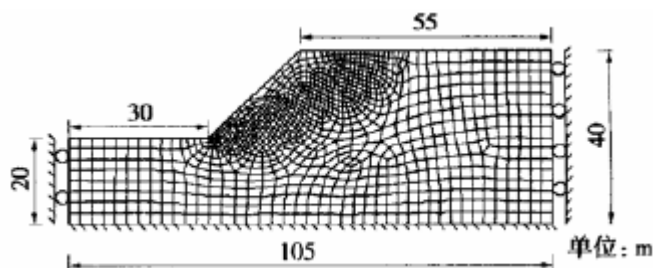


图 1: 文献中分析对象的几何尺寸与网格划分

表 1: DP 准则与莫尔库仑准则的转换

DP 准则种类	α	k
DP 圆外接莫尔库仑 (DP1)	$\frac{2 \sin \phi}{\sqrt{3}(3 - \sin \phi)}$	$\frac{6c \cos \phi}{\sqrt{3}(3 - \sin \phi)}$
DP 圆内接莫尔库仑 (DP2)	$\frac{2 \sin \phi}{\sqrt{3}(3 + \sin \phi)}$	$\frac{6c \cos \phi}{\sqrt{3}(3 + \sin \phi)}$
DP 圆与莫尔库仑等面积 (DP3)	$\frac{2\sqrt{3} \sin \phi}{\sqrt{2\sqrt{3}\pi}(9 - \sin^2 \phi)}$	$\frac{6\sqrt{3}c \cos \phi}{\sqrt{2\sqrt{3}\pi}(9 - \sin^2 \phi)}$
莫尔匹配 DP 圆 (DP4)	$\sin \phi / 3$	$c \cos \phi$

分析对象的材料参数如表 2 所列。本文采用 MARC 内带的 Linear Mohr-Coulomb 材料模型（相当于 D-P 模型）。按照表 1，将其中的 c 、 ϕ 指标换算到在 MARC 中实际输入的参数，如表 3 所列。这里列出的都是折减前的参数。

表 2：分析对象的材料参数

E (kPa)	泊松比	容重 (kN/m ³)	ϕ (deg)	c (kPa)	剪胀角(deg)
10000	0.3	25	17	42	0

表 3：不同材料模型在 MARC 中的输入参数

	DP1 (外接)	DP2 (内切)	DP3 (等面积)	DP4 (匹配)
α	0.125	0.102	0.103	0.097
σ (kPa)	89.0	73.2	73.4	69.6

注：MARC 中使用参数 σ 代替 k ， $\sigma = \sqrt{3}k$

本文用折减强度法，以 DP1 和 DP4 为基础计算了分析对象的安全系数，并与张鲁渝（2002）的结果进行了对比，如表 4 所列。图 2 显示了 DP1 的安全系数的计算过程。当 $\gamma=1$ 时塑性剪应变很小，增加折减系数到 1.228，则达到了所谓的正好收敛，此时已有比较明显的塑性剪应变滑裂面。

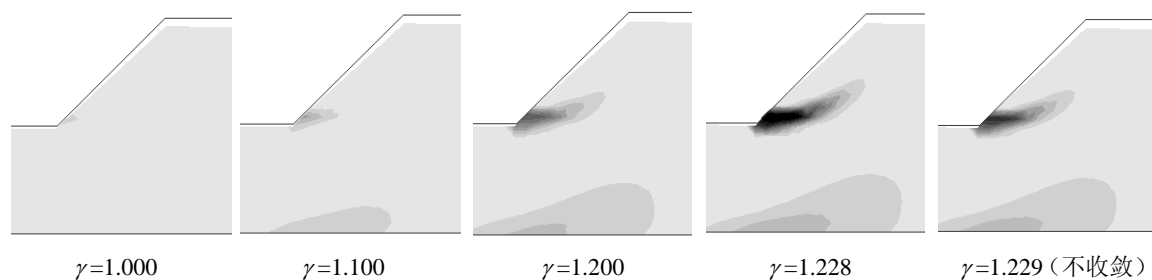


图 2：安全系数试算过程（DP1）：自重下的塑性剪应变分布

表 4：安全系数比较

安全系数	DP1 (外接)	DP4 (匹配)
张鲁渝 (2002)	1.368	1.068
本文	1.228	0.960

从表 4 可以看出，本文计算的结果与张鲁渝（2002）的结果有一定差异。这反映出这种用计算是否收敛作为判据的方法对有限元计算工具的依赖性。

参考文献：

- 连镇营，韩国城，孔宪京（2001）。强度折减有限元法研究开挖边坡的稳定性。《岩土工程学报》，v.23 n.4，pp407-411
- 张鲁渝，时卫民，郑颖人（2002）。平面应变条件下土坡稳定有限元分析。《岩土工程学报》，v.24 n.4，pp487-490