

中主应力对邓肯-张模型影响的 真三轴试验研究

邱斌

(南京华港房地产开发有限公司, 南京 210005)

徐志伟

(河海大学土木工程学院, 南京 210024)

【摘要】 邓肯-张模型由于试验参数少, 其物理意义明确, 在很多理论计算、设计和实际工程中仍然广泛运用。但它的一个较为突出的局限性表现在其忽略中主应力的影响。对于土体来说, 到底中主应力对邓肯-张模型有多大的影响, 就此问题, 对细砂进行了真三轴试验的初步研究和探讨。

【关键词】 真三轴试验; 应力路径; 邓肯模型; 应力-应变关系; 本构关系

【中图法分类号】 TU41

True Triaxial Test of Medium Stress Influence on Duncan-Zhang Model

【Abstract】 Duncan-Zhang model, which has several parameters with definite physical meaning, is widely applied in theoretical calculation, design, and actual projects. But it has limitation because of ignoring the influence of medium stress. The influence of medium stress on Duncan-Zhang model is studied.

【Key words】 true triaxial test; stress path; Duncan-Zhang model; stress and strain relation; constitutive relation

0 引言

岩土工程中, 对土体强度和变形的定量、定性分析都离不开土体应力~应变关系的研究, 这就是土体本构理论及模型的研究。从基于广义虎克定律基础的各种非线性弹性理论, 到弹塑性理论, 一直到目前较流行的坐标直接变换法, 其中得到最广泛而成功应用的仍然是基于广义虎克定理基础上的邓肯-张(Duncan-Zhang)双曲线非线性增量模型。该模型数学公式相对简单、意义较为明确、参数(E, ν)易确定, 与理论全面、数学表达式复杂、参数多、参数意义不明确、参数难于用普通土工仪器确定的模型相比, 仍然是最简单而实用的模型。但该模型由于不能考虑中主应力的影响, 不能反映土体的剪胀性, 理论基础存在不可避免的

局限性, 要探讨和研究中主应力对该模型的影响, 就需要进行详尽的真三轴试验研究。

邓肯-张模型中的参数 E, ν 就是广义虎克定理中的弹模和泊松比, 弹模是在常规三轴试验轴对称条件下, 通过轴向加荷方式获得的, 即在条件: $\Delta\sigma_2 = \Delta\sigma_3 = 0, \sigma_2 = \sigma_3$ 的情况下, 在轴向加荷。由于轴对称条件, 无法考虑中主应力的影响。本文为了与邓肯-张模型对比, 仍然采用与邓肯-张模型类似的条件: $\Delta\sigma_2 = \Delta\sigma_3 = 0$, 取 σ_2 分别接近 σ_3, σ_1 来验证邓肯-张模型在这两种相对极端的情况下, 与真三轴试验结果的差别, 从而分析研究中主应力的影响。

1 试验仪器简介

本文使用的真三轴仪是由河海大学土木

学院岩土工程研究所、南京某自动化研究所和溧阳某土仪器厂联合研制的。试样尺寸为 $7\text{ cm} \times 7\text{ cm} \times 3.5\text{ cm}$ (见图1)。微机自动采集位移和应力等数据,微机控制应力路径、等应力控制和等应变控制试验。加荷方式为:小主应力 σ_3 利用气压加载,中主应力 σ_2 和大主应力 σ_1 分别在气压的基础上用液压加载。

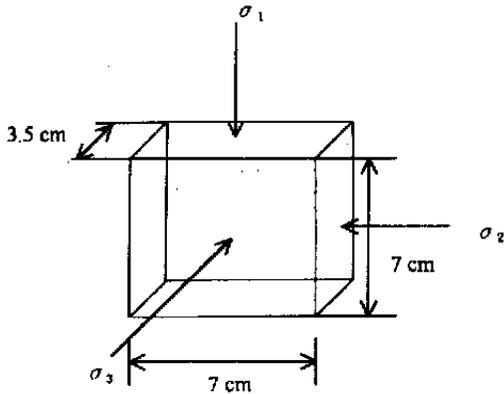


图1 试样尺寸示意图

2 试样制备及试验方法

本次真三轴试验主要为了研究和揭示砂土排水固结后,考虑中主应力的排水剪切过程的应力-应变规律及与邓肯-张模型理论计算的差别。由于砂土排水固结比较快,试验时间短,因此选用了细砂来研究。试验所用细砂为长江江砂,过 2 mm 筛,试样的干密度为 $1.7/\text{cm}^2$,相对干密度 $D_r=0.65$,称量砂土的质量后,分层击实填满特制的橡胶膜并饱和。将 σ_1 、 σ_2 、 σ_3 增加到 50 kPa 等向固结后, σ_1 、 σ_2 分别增加到 150 kPa 、 60 kPa (σ_3 比较接近 σ_2 , 即 $b = [(\sigma_2 - \sigma_3) / (\sigma_1 - \sigma_3)]$ 接近 0 的情况) 以及 σ_1 、 σ_2 分别增加到 150 kPa 、 140 kPa (σ_2 比较接近 σ_1 , 即 $b = (\sigma_2 - \sigma_3) / (\sigma_1 - \sigma_3)$ 接近 1 的情况), 固定 σ_2 、 σ_3 , 只增加 σ_1 剪切, 这种加荷方式广义虎克定理仍然成立。试验的目的是: 用邓肯-张模型理论计算的应力应变关系和试验所得的应力应变关系相比较, 分析中主应力的影响, 由常规三轴试验测得的邓肯-张模型的参数为: $c_d=2\text{ kPa}$, $\varphi_d=42^\circ$, $R_f=0.71$, $k=450$, $n=0.9$, $G=0.46$,

$F=0.15$, $D=9.4$ 。

3 试验结果与分析

图2试验结果为: 初始应力状态为 ($\sigma_1=150\text{ kPa}$, $\sigma_2=60\text{ kPa}$, $\sigma_3=50\text{ kPa}$), 增加 σ_1 ; 图3试验结果为: 初始应力状态为 ($\sigma_1=150\text{ kPa}$, $\sigma_2=140\text{ kPa}$, $\sigma_3=50\text{ kPa}$), 增加 σ_1 。 σ_1 逐级加荷, 每一级加荷为 10 kPa 。图2的结果由于接近常规三轴剪切试验的试验条件, 因此邓肯-张模型计算的应力应变关系也比较接近试验曲线。图3的结果, 由于中主应力很接近 σ_1 , 是邓肯-张模型未曾考虑的中主应力的影响的极端情况, 中主应力的影响比较明显, 这时, 邓肯-张模型计算的结果与试验结果分离得较远, 主要原因是邓肯-张模型由于忽略了中主应力的影响, 其计算过程中, 计算采用的弹性模量较小造成的。

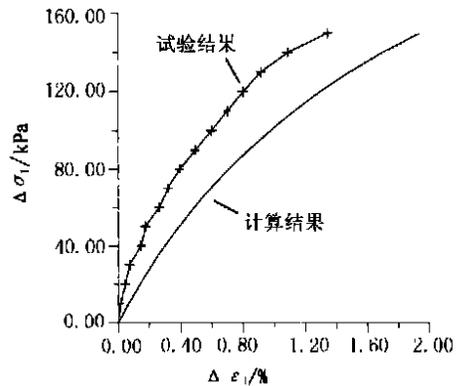


图2 σ_1 - ϵ_1 关系曲线图

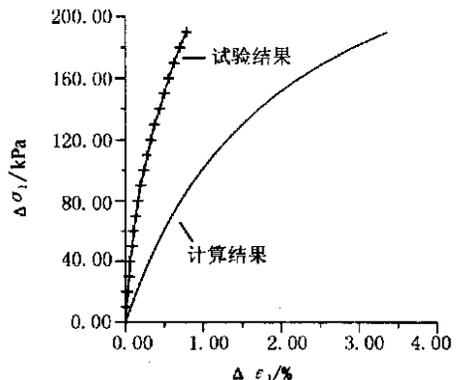


图3 σ_1 - ϵ_1 关系曲线图

4 结 论

室内真三轴试验是对土体三维受荷比较真实的再现, 而常规三轴试验只能研究轴对称的应力状态, 不能研究中主应力的影响。由常规三轴试验获得的参数 E 、 ν 仅适应轴对称轴向加荷。

由于中主应力的影响不可忽视, 在中主应力较大(较接近大主应力)的情况下, 邓肯-张模型与试验结果相差较大, 主要在计算上, 表现为邓肯-张模型采用的弹模过小, 随着应力水平的不断发挥, 其弹模过小的程度也在增大, 从而计算出偏大的侧向变形。

从土体微观机理上分析, 在中主应力比较大的情况下, 中主应力方向上的土体侧向变形由于中主应力的大小不同而受到不同程度的限制, 相应的轴向弹模有一定的提高, 这种提高造成侧向变形要小于邓肯-张模型的计算结果。

5 结 语

理论上, 邓肯模型尽管存在诸多局限性, 尚与工程实际有许多差异, 但由于其简单性, 在工程实际中仍具有广泛的实用性, 因此, 修正和逐步完善一些实际工程中的应力路径很有意义。通过真三轴试验正好可以弥补常规三轴试验的不足。对于工程中尚广泛运用的邓肯-张的 E 、 ν 模型, 仍然可以考虑中主应力影响的情况, 努力加以修正, 使之相对的较为合理。笔者就中主应力的影响, 提出一种可行的修正方法: 将邓肯-张的 E 、 ν 模型的每级增量的弹模用与 $b = (\sigma_2 - \sigma_3) / (\sigma_1 - \sigma_3)$ 参数关联的修正方法, 加以修正, 即可反映中主应

力的影响, 并使得邓肯-张模型的计算更为合理。图 4 是将图 3 中的邓肯模型用 b 参数的双曲线函数修正得到的修正后的邓肯-张模型的结果。欢迎同仁就此方法进一步研究和交流。

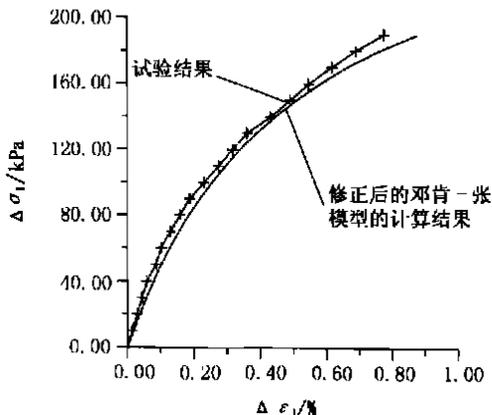


图 4 修正后的邓肯-张模型和试验结果的比较图

本次真三轴试验研究是在殷宗泽教授的指导下进行的, 非常感谢他的热心、认真的指导、帮助和支持。

参 考 文 献

- 1 殷宗泽. 土体的侧向变形. 见: 施建勇主编. 岩土力学的理论与实践. 南京: 河海大学出版社, 1998. 1~6
- 2 杨光华. 土的本构模型的数学理论及其应用: [学位论文]. 北京: 清华大学, 1998
- 3 殷宗泽. 土体弹塑性刚度矩阵与真三轴试验. 见: 石振华主编. 第七届土力学及基础工程学术会议论文集. 北京: 中国建筑工业出版社, 1994. 139~144

收稿日期: 2001-09-28

《岩土工程技术》2001年合订本有售

《岩土工程技术》2001年合订本(一~四期)已出版, 定价: 33元。欲购者, 可将款项从邮局寄: 北京 573 信箱《岩土工程技术》杂志社(邮编 100053)刘荣先收, 并注明“《岩土工程技术》2001年合订本”字样。