

附件

投稿须知

一、基本要求

1.来稿必须包括：题目、作者姓名、作者单位、作者简介(性别、出生年、职称、学位、研究方向、电子邮箱)、中文摘要、关键词(3~8个)、中图分类号、文献标志码、正文、参考文献、英文信息(题目、作者姓名、单位、摘要和关键词)。

2.中文摘要采用报道性摘要，说明论文的目的、方法、具体的结果和结论，字数以400字左右为宜。英文摘要内容一般与中文摘要对应。

3.来稿标题应层次分明、用字规范，章节序号分别用1、1.1、1.1.1表示。

4.量和单位的名称、符号、书写规则应符合国家标准。外文字母必须分清大小写、正斜体(包括黑正体、黑斜体及白正体、白斜体)；上下角标的字母、数码和符号，其位置高低应区分明显。

5.图、表选最必要的，随文出现。图、表应具有自明性和简明性，其中的文字和符号与正文一致。图、表要有中英文对照的图题和表题。

6.参考文献务必规范化，未公开发表的资料请勿引用。文献序号按其在文中出现的先后顺序编排。参考文献执行国家标准(GB/T 7714—2015)规定的著录规则，中文参考文献同时列出相应英文引用格式。

二、注意事项

1.稿件应注明联系人及联系方式，并附作者所在单位出具的保密审查证明。

2.稿件3个月内请勿再投他刊。

3.稿件不收取任何费用。一经《火箭军工程大学学报》刊用，致丰厚稿酬(请第一作者提供银行卡卡号及开户行信息)，并赠送当期刊物。

4.《火箭军工程大学学报》已入编中国知网中国学术期刊数据库、万方中国学术期刊数据库、维普中文期刊数据库等，相应稿酬与印刷版稿费一并支付，同时表明作者同意论文录入各数据库。

三、投稿方式

(1) 互联网邮箱：depbxb@126.com。

(2) 军网在线投稿系统：xb.epgc.mtn

四、联系方式

联系人：于福兴 18813058688；办公座机：029-84744009

徐金标 18189265128；办公座机：029-84743870

罗京圣 18782116233

邮政编码：710025

邮寄地址：陕西省西安市灞桥区洪庆镇同心路2号《学报》

中文题目 (简洁准确, 一般不宜超过 20 字)

作者¹, 作者^{1,2}, ..., ...一般不宜超过 5 个

(1.上标为 1 的作者的工作单位, 所在省 市 邮编; 2.上标为 2 的作者的工作单位, 所在省 市 邮编) (作者单位应使用全称; 单位是高校的, 还应写出二级学院名称; 单位为设计院、研究所的, 视实际情况而定。)

摘要:《火箭军工程大学学报》对稿件摘要有严格要求。摘要应按照摘要四要素(目的、方法、结果、结论)依次撰写, 直接切入主题(请勿论及论文研究的基础和背景知识, 请勿进行自我评价), 字数 400 字左右, 方法和结果部分尤其要具体说明。须体现研究方法的核心内容, 即创新性。研究结果必须详细具体, 体现计算具体数值或某种变化趋势, 并且要得出具有创新性的结论。

关键词: 关键词 1; 关键词 2; 关键词 3; 关键词 4;

(关键词一般为 5~8 个, 第 1 个关键词为该论文所属相应栏目名称(一级或二级学科名称), 第 2 个关键词为该论文研究成果名称, 第 3 个关键词为得到该论文研究成果所采用的方法名称, 第 4 个关键词为作为该论文主要研究对象的事物名称, 第 5 个及以后的关键词为作者认为有利于文献检索的其他名词。)

中图分类号: (请在中国图书馆分类法中查找)

文献标志码: A

English title (每个实词首字母大写)

The first author's name¹, The second author's name^{1,2}, ..., ...

(英文姓名中姓全大写, 名字首字母大写, 多位作者顺序应与中文顺序保持一致)

(Affiliated Institutions of Authors, Address Information)

(作者单位英文表述要求与中文表述相互对应)

Abstract: Content of abstract (英文摘要必须与中文摘要严格对应, 专业词汇必须准确, 题目、摘要、关键词、图名、表名中的有关术语应使用相同的表述, 不要使用近义词代替; 尽量用短句子, 用过去时态叙述所做的工作, 用现在时态叙述得出的结论; 避免使用一长串形容词或名词来修饰名词; 对于缩写词, 应在第一次出现时给出全称。)

Key words: keyword 1; keyword 2; keyword 3; keyword 4;

基金项目: 基金项目类别、名称(附项目编号)

第一作者简介: 姓名(出生年份-), 性别, 职称, 学位, 研究方向, 电子邮箱。

引言

引言作为论文的开头, 是论文内容的重要提示。作者应以简短的篇幅介绍论文的写作背景、目的、缘起和提出研究要求的现实情况, 并对相关领域国内外近期的研究概况进行较完整的回顾和恰当的评述(文献综述), 指出目前研究的优缺点或存在的不足, 说明本研究与前人工作的关系, 目前的研究热点、存在的问题及作者所做工作的意义, 并陈述论文研究在此基础上所取得的成果和突破, 最终落归到本文的研究目的、意义和内容上。引言中对文献进行回顾和评述时, 应当有针对性且较为具体; 所引用的文献中, 近五年文献比例不少于三分之一。同时注意, 引言中不得出现图、表。

引言也可点明本文的理论依据、试验基础和研究方法, 简单阐述其研究内容; 用三言两语预示本研究的结果、意义和前景, 但不必展开讨论。

1 正文

投稿时应检查：1) 论文结构是否合理、逻辑是否清晰；2) 语句是否通顺，论文中的错别字是否均已改正（论文投稿前一定要仔细通读几遍，务必把句子含义表达得非常清楚，避免因文字表达等问题被拒稿）；3) 所有公式及涉及的物理量符号是否均已在文中解释含义；4) 论文中的图、表分析是否深入，不能只对图表进行一般性的描述，而应有深入的分析。

1.1 文档格式要求

请将投稿文档保存为 Word 文档格式，请勿使用 PDF 格式。

1.2 图表要求

正文中的图、表按出现的先后顺序进行编号，图必须清晰、精确，应当保证黑白印刷时具有足够的区分度，作者可自行黑白打印后检查效果。子图要有子图名。图表中文字均用中文表示，文中已有解释的符号或英文缩写除外。图题置于图下方，表题置于表上方，附英文图题、表题，坐标图的横、纵坐标必须标明其对应的量及单位（量纲为一的量除外）。

1.3 参数解释

论文中出现的所有参数首次出现都必须解释。这些参数包括：正文、公式（如果上、下标为变量，也应解释）、图、表中凡是有变量含义的符号（包括表示量及其上、下角标的符号）首次出现时必须一一解释，且一律用斜体，反之用正体。表示矩阵、矢量的符号一律用斜黑体。量的符号务必使用单个字母表示。

1.4 单位要求

论文中涉及到量的单位，务必使用中国法定计量单位；图表中的量与单位之间用“/”切分，出现的复合单位用幂的形式表示；度、分、秒的符号外加圆括号。

1.5 公式要求

公式务必清晰，请使用 Math Type 编辑（公式中符号正斜体设置方法：Math- Type-样式-定义-高级），同一编号下的不同公式连排用逗号切分；公式与约束条件并排，用逗号切分。

2 结论

结论应当明确、具体、简练，并说明论文研究的实用意义以及研究中存在的不足、后续工作的展望等。结语不能是论文中各节的简单总结，也不能与摘要简单重复。

参考文献：

《火箭军工程大学学报》参考文献务必规范化，未公开发表的资料请勿引用。文献序号按其在文中出现的先后顺序编排。参考文献执行国家标准(GB/T7714—2015)规定的著录规则，中文参考文献同时列出相应英文引用格式。

- 1.书籍:[序号]作者.题名[M].版次(初版不写).出版地:出版社,出版年:起止页码.
- 2.译著:[序号]作者.题名[M].译者.版次(初版不写).出版地:出版社,出版年:起止页码.
- 3.期刊论文:[序号]作者.题名[J].期刊名,年,卷(期):起止页码.
- 4.专著中的析出文献:[序号]作者.题名[M]//专著责任者.专著题名.出版地:出版社,出版年:起止页码.
- 5.论文集中的析出文献:[序号]作者.题名[C]//论文集责任者.论文集题名.出版地:出版社,出版年:起止页码.
- 6.学位论文:[序号]作者.题名[D].学位授予地:学位授予单位,答辩年份:起止页码.
- 7.国际或国家标准:[序号]责任者.标准名称:标准代号—发布年[S].出版地:出版社,出版年:起止页码.
- 8.专利:[序号]专利所有者.专利题名:专利号[P].公告日期或公开日期.
- 9.电子文献:[序号]作者.题名[文献类型标识/文献载体标识].出版地:出版社,出版年:起止页码(修改或更新日期)[引用日期].获取和访问路径.

文献作者3名以内应全部列出,4名以上的只列出前3名,后面加“等”(或etal)。中、外文作者均姓前名后,姓需大写,名可缩写,不加缩写点。

文章示例：

Logistic 函数型土体非线性动力本构模型及数值应用

×××¹, ×××², ×××¹, ×××¹, ×××¹

(1.火箭军工程大学, 陕西 西安 710025;

2.同济大学 土木工程防灾国家重点实验室, 上海 200092)

摘 要: 为获得数学形式简单、物理意义明确的土体非线性动力本构模型并实现其数值应用, 基于 Logistic 函数构造了一种新的土体动力本构模型, 利用典型软土动力试验数据验证了模型的有效性, 并通过应力-应变滞回曲线证明了该模型能正确反映土体非线性动力特性。推导了该模型在初始加载、卸载和再加载阶段的增量剪切模量的表达式, 并将应力-应变关系推广到三维。利用 ABAQUS 的 UMAT 二次开发平台, 编制了 Logistic 函数型土体非线性动力本构模型计算子程序, 并验证了子程序的正确性。最后, 以典型软土场地为例, 对比分析了基于 Logistic 函数型土体动力本构模型和 Davidenkov 模型场地反应的计算结果。研究表明: 本文的土体非线性动力本构模型数学形式简单, 骨架及滞回曲线有统一的表达式, 物理意义明确且自动满足 Masing 准则; 本文模型能较好地拟合典型软土动力试验数据并能正确反映土体的非线性动力特性; 基于 UMAT 实现了在 ABAQUS 软件中 Logistic 函数型土体非线性动力本构模型的数值应用; 软土场地对长周期地震波的放大效应十分明显, 基于本文模型计算得到的加速度响应峰值和相对位移响应峰值小于 Davidenkov 模型的结果, 相应的土体应力-应变滞回曲线更符合实际情况。

关键词: 非线性动力本构模型; Logistic 函数; ABAQUS 软件; 二次开发; 数值应用

中图分类号: TH212; TH213.3

文献标志码: A

Nonlinear Dynamic Constitutive Model and Numerical Application of Soil Based on Logistic Function

×××¹, ×××², ×××¹, ×××¹, ×××¹

(1.Basic Disciplinary Department, Rocket Force University of Engineering, Xi'an 710025, Shaanxi;

2.State Key Laboratory of Disaster Reduction in Civil Engineering, Tongji University, Shanghai 200092)

ABSTRACT: To obtain a nonlinear dynamic constitutive model of soil with a simple form and a clear physical meaning and realize its numerical application, a new dynamic constitutive model based on Logistic function was proposed. First, the validity of the proposed model was verified by the dynamic experimental data of typical soft soil. Then, the stress-strain hysteresis curves proved that the model can correctly reflect the nonlinear dynamic characteristics of soil. Furthermore, the expression of the incremental shear modulus of the novel model in stages of initial loading, unloading and reloading were derived, and the stress-strain relationship was extended to three dimensions. Additionally, the subroutine of the Logistic function-based nonlinear dynamic constitutive soil model was compiled and verified by the secondary development platform UMAT provided by ABAQUS. The calculation results of a typical soft soil site obtained by the Logisticbased model and the Davidenkov model were compared. Results

基金项目: 国家自然科学基金 (52108387); 中国博士后面上基金 (2022M713850); 陕西省自然科学基金 (2022JQ447)

第一作者简介: ××× (1991—), 男, 讲师, 博士, 主要从事××研究, Email: ××××××××。

showed that the proposed model has a simple form, an uniform expression on the framework and the hysteresis curve and clear physical meaning and can automatically satisfy the Masing criterion. The Logistic-based model can fit the dynamic experimental data of typical soft soil well and correctly reflect the nonlinear dynamic characteristics of soil. Based on UMAT, the numerical application of Logistic model could be realized in ABAQUS software. The acceleration response peak and the relative displacement response peak calculated by the Logistic-based model are smaller than those obtained by the Davidenkov model. The stress-strain hysteresis curves of soil based on Logistic model are more in line with the actual situation that the soft soil has an obvious amplification effect on the longperiod seismic wave.

KEYWORDS: nonlinear dynamic constitutive model; Logistic function; ABAQUS software; secondary development; numerical application

在土层及土-地下结构相互作用地震反应分析中,土体的非线性是必须考虑的内容。众所周知,土体是一种非线性很强的材料,在地震作用下,其应力-应变关系几乎不存在线性阶段,而是表现出明显的非线性、滞后性及变形累积的特性^[1-2]。因此,寻找一种合适的土体动力本构模型来对动荷载作用下土体的应力-应变关系进行正确描述一直是研究者们所关注的热点问题。

目前,对土体动力非线性行为进行描述的方法主要包括等效线性化方法和真非线性方法。其中,等效线性化方法^[3-4]形式简单直观,计算量少,但由于不能计算土体的永久变形,所有具有在强震动时的计算结果误差大且容易产生“虚共振”现象等缺点^[5],制约其进一步发展。真非线性方法通过非线性滞回本构来描述土体的动力特性,能够较好地模拟土体在动力荷载作用下的应力-应变关系。其中,最为经典的本构模型为双曲线模型^[6-7],该模型是以双曲线函数来表示土体应力-应变关系的骨架曲线。在此基础上,一些学者提出了各种更为复杂的带有不同经验拟合参数的土体动力本构模型^[8-9]。更为复杂的土体动力本构模型通常需要更多的拟合参数,以精确描述土体在动力荷载作用下的应力-应变滞回曲线,而滞回曲线则受到土体参数及施加荷载大小的影响。虽然这些本构模型能够准确描述土体在动力荷载作用下的应力-应变关系,但这些经验拟合参数通常缺乏物理意义,也不容易获得,并且只适用于某些特定的土体。因此,确定一种形式简单、物理意义明确且易于数值推广应用的土体非线性动力本构模型是一项非常重要且必要的研究内容。

本文基于 Logistic 函数构造了 Logistic 函数型土体非线性动力本构模型(简称:Logistic 函数型模型),该模型形式简单,骨架曲线与后继滞回曲线有统一的表达式,物理意义明确且滞回曲线能自动满足 Masing 准则^[10],方便数值应用。其次,以典型软土的剪切模量比与剪应变幅的试验数据验证了该模型的有效性。在此基础上,推导了该模型在初始加载、卸载和再加载阶段的增量剪切模量的表达式,并将其应力-应变关系推广到了三维。然后,利用 ABAQUS 软件提供的二次开发平台 UMAT,编制了基于本文所给出的土体非线性动力本构模型的计算子程序,并利用复杂加载路径验证了该子程序的正确性,实现了在 ABAQUS 软件中 Logistic 函数型土体非线性动力本构模型的数值应用。最后,以典型软土场地为例,对比分析了软土场地 Logistic 函数型模型和 Davidenkov 模型计算结果间的差异。

1 构造原则及骨架曲线函数形式的选择

1.1 构造原则

构造土体非线性动力本构模型的核心任务是确定其骨架曲线和滞回曲线。以此为基础，可以将构造原则简要归纳如下：

- (1) 初始加载时，土体的动应力-应变关系遵循骨架曲线；
- (2) 后继滞回曲线与骨架曲线函数形式一致，可通过骨架曲线平移、翻转得到，但相关参数的选取有所差别；
- (3) 骨架曲线随着剪应变幅值的增大而增大，且骨架曲线和后继滞回曲线的剪应力值不能超过土体的剪应力极值。即当 $\gamma \rightarrow \infty$ 时，剪应力 $\tau(\gamma) \rightarrow \tau_{max}$ ；
- (4) 卸载及再加载时，滞回曲线上荷载转折点处的剪切模量等于最大剪切模量。

本文基于以上构造原则来构造土体非线性动力本构模型。

1.2 骨架曲线函数形式的选择

Logistic 函数^[11]由皮埃尔·弗朗索瓦·韦吕勒在 1844—1845 年研究人口增长关系时命名，该函数是一种常见的 S 形函数，其表达式为

$$y(x) = \frac{KP_0 e^{rx}}{K + P_0(e^{rx} - 1)}, x \in (-\infty, +\infty) \quad (1)$$

式中： P_0 为初始值， K 为终值， r 用来衡量曲线变化速度。由式 (1) 可知，该函数单调递增，在初始阶段大致呈指数形式增长，之后随着函数值的增加，其增长速度逐渐变慢，最后，达到峰值时增长速度逐渐降为 0。

对 Logistic 函数进一步研究可以发现，该函数的定义域为 $(-\infty, +\infty)$ ，值域为 $(0, K)$ 。因此，对该函数做简单的数学变换，将整个函数沿 y 轴向下移动 P_0 长度，并令 $P_0 = K/2$ ，如图 1 所示，此时式 (1) 变为

$$y(x) + \frac{K}{2} = \frac{KP_0 e^{rx}}{K + P_0(e^{rx} - 1)} = \frac{Ke^{rx}}{e^{rx} + 1}$$

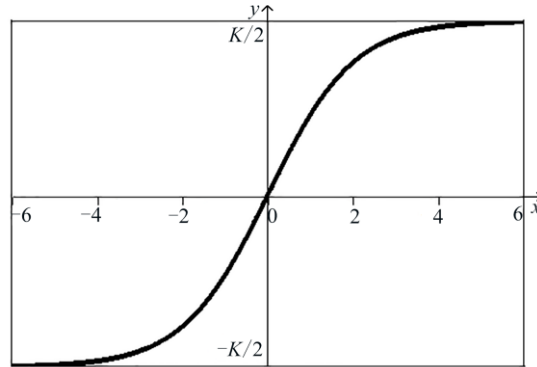


图 1 经数学变换后的 Logistic 函数

Fig.1 Logistic function processed by mathematical manipulation

由图 1 可知，经过数学变换后的函数定义域仍为 $(-\infty, +\infty)$ ，值域变为 $(-K/2, K/2)$ 。而经过简单的数学变换之后，新函数与土体应力-应变骨架曲线具有相似的形状。除此之外，根据该函数的图像性质发现，其满足构造土体非线性动力本构模型的基本原则，因此，可基于该函数构造土体非线性动力本构模型。构造步骤简述如下：首先构造骨架曲线，然后根据骨架曲线构造后继滞回曲线。

2 基于 Logistic 函数的土体非线性动力本构模型的构造及验证

[illegible]

Tab.1 The shear modulus rates of typical soft soil sits in Shanghai

$\gamma/10^{-5}$	$G/G_{\max}$					
	1 [#]	2 [#]	3 [#]	4 [#]	5 [#]	6 [#]
0.5	0.960 0	0.990 4	0.991 5	0.992 0	0.992 4	0.993 0
1.0	0.950 0	0.981 0	0.983 1	0.984 1	0.984 8	0.986 0
5.0	0.800 0	0.911 6	0.920 7	0.925 3	0.928 5	0.933 8
10.0	0.700 0	0.837 6	0.853 0	0.861 0	0.866 5	0.875 8
50.0	0.300 0	0.507 8	0.537 1	0.553 4	0.564 8	0.585 1
100.0	0.200 0	0.340 3	0.367 2	0.382 6	0.393 6	0.413 6
500.0	0.120 0	0.093 5	0.104 0	0.110 3	0.114 9	0.123 6
1 000.0	0.100 0	0.049 1	0.054 8	0.058 3	0.060 9	0.065 9

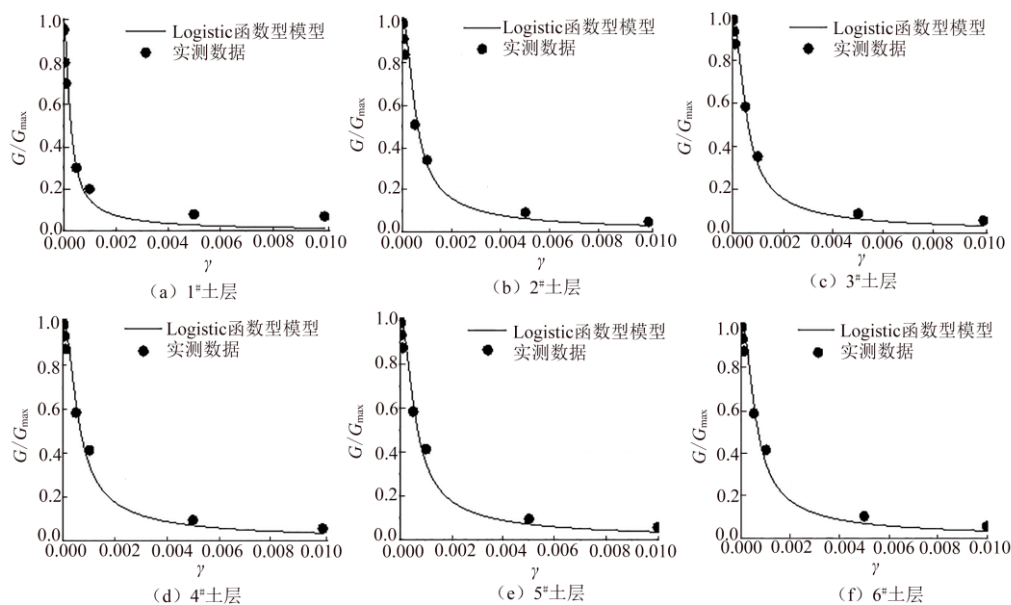


Fig.6 Verification results of dynamic shear modulus rates

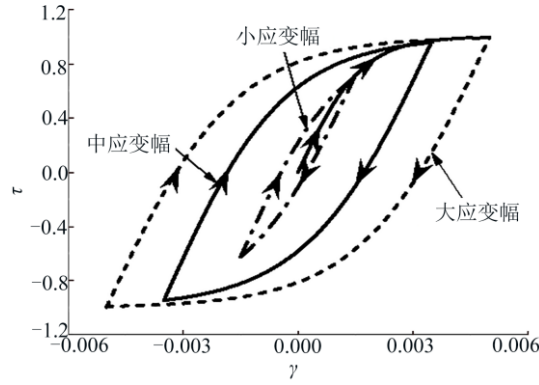


图 7 不同应变水平下滞回曲线

Fig.7 Hysteresis curves under different strains

3 结论

(1) 构造了 Logistic 函数型土体非线性动力本构模型, 该模型数学形式简单, 骨架曲线与后继滞回曲线有统一的表达式, 物理意义明确且滞回曲线能自动满足 Masing 准则, 方便数值应用。

(2) 通过典型软土的剪切模量比与剪应变幅试验数据验证了 Logistic 函数型模型有效, 并通过应力-应变滞回曲线证明了该模型能够正确反映土体的非线性动力特性。

(3) 推导了模型各阶段的增量剪切模量表达式, 并将应力-应变关系扩展至三维。基于 ABAQUS 二次开发平台 UMAT, 编制了 Logistic 函数型本构模型计算子程序, 并利用复杂加载路径验证了子程序正确, 实现了 ABAQUS 软件中 Logistic 函数型模型的数值应用。

(4) 以长周期地震波作为输入, 对比分析了软土场地 Logistic 函数型模型和 Davidenkov 模型的计算结果。结果表明, 软土场地对长周期地震波的放大效应十分明显, Logistic 函数型模型计算得到的加速度响应峰值和相对位移响应峰值小于 Davidenkov 模型的结果, Logistic 函数型模型计算的土体应力-应变滞回曲线更符合实际情况。

参考文献:

- [1] 陈迎锋, 张奎, 商学利, 等. 某场所放射性核素场内扩散规律分析[J]. 哈尔滨工程大学学报, 2022, 43 (11): 1572-1578.
CHEN Y F, ZHANG K, SHANG X L, et al. An analysis of the radionuclide diffusion rule at a radioactive site[J]. Journal of Harbin Engineering University, 2022, 43 (11): 1572-1578.
- [2] 袁炜烨. 放射性核素内污染所致人员辐射剂量估算模型应用研究[D]. 苏州: 苏州大学, 2020: 7-18.
YUAN W Y. Application research on the model of radiation dose calculation caused by radionuclide internal pollution[D]. Suzhou: Soochow University, 2020: 7-18.
- [3] DINUNNO J J, ANDERSON F D, BAKER R E, et al. Calculation of distance factors for power and test reactor sites: TID-14844[R]. Washington D. C., USA: U.S. Atomic Energy Commission. 1962: 1-5.