



移动荷载在ABAQUS中的模拟研究

李才志, 张春华

(中交上海航道勘察设计研究院有限公司, 上海 200120)

摘要: 分别从子程序开发和基于“荷载移动平台”思想巧妙建模的方向研究移动荷载在ABAQUS中的模拟方法。移动荷载在工程计算中是经常用到的荷载项之一, 到目前为止, 大型通用有限元软件ABAQUS/CAE的荷载模块中缺失这一项使用功能, 限制了结构在移动荷载作用下的有限元计算。

关键词: 移动荷载; ABAQUS; 子程序; 荷载移动平台

中图分类号: U656.1*1

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2012)09-0061-04

Simulation study of moving loads in ABAQUS

LI Cai-zhi, ZHANG Chun-hua

(Shanghai Waterway Engineering Design and Consulting Co., Ltd., Shanghai 200120, China)

Abstract: The moving loads, which is often used in engineering calculations, is not included in the load module of the large general-purpose finite element software ABAQUS/CAE until now. So the finite element calculation of structure under the effect of the moving loads has been bounded. The author takes a new way to research the simulation method of the moving loads in ABAQUS, respectively from the subroutine development and the ingenious modeling based on the idea of “the moving platform with a load”.

Key words: moving load; ABAQUS; subroutine; moving platform with a load

在结构工程的计算当中, 移动荷载是经常要考虑的荷载之一, 如码头桥吊对轨道梁的作用, 汽车对码头面板的作用就是典型的移动荷载作用效应。在丰海、易工等国内开发的码头计算软件当中, 移动荷载对结构的作用计算均已实现, 不过这两种软件是港口工程计算软件, 主要适用于国内港口工程计算, 适用范围有限。相对来说, 大型国际通用有限元软件ABAQUS的梁单元、板单元等单元的类型更多, 所计算的结构类型更广泛, 单元大小可以根据计算精度自由调整, 不受任何规范限制, 但到目前为止, ABAQUS/CAE的荷载模块中没有移动荷载的使用选项, 这就直接限制了采用ABAQUS进行移动荷载作用下的结构有限元计算, 如码头在移动荷载作用下空间整体计算, 因此有必要研究在ABAQUS中如何实现移

动荷载的模拟计算。

目前, 移动荷载在ABAQUS中的模拟实现是一个难点, 也是结构工程师经常遇到的问题之一, 在公开的资料当中, 还未见有比较好的解决方法。近些年, 有学者提出了采用“荷载移动带”(图1)^[1]的方法去实现移动荷载的模拟, 即每一个分析步均载移动一个方格, 设置多个分析步实现均载在“荷载移动带”上移动, 这种方法虽然可以实现均载在结构面(如面板)上的移动, 但由于需要设置多个分析步而使实际操作繁琐, 效率低下, 对较长的“荷载移动带”尤其如此。本文将另辟蹊径, 在ABAQUS中, 分别从子程序开发和基于“荷载移动平台”的思想, 巧妙建模研究移动荷载在ABAQUS中的模拟方法, 使实际操作方便、效率高、计算过程直观形象。

收稿日期: 2012-03-31

作者简介: 李才志(1981—), 男, 硕士, 工程师, 主要从事港口与航道工程的设计与研究。

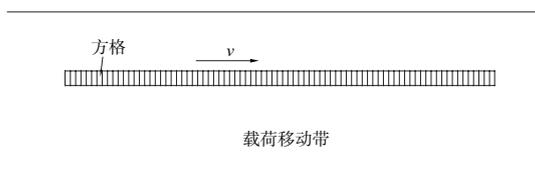


图1 荷载移动带

1 子程序开发

移动荷载是随着时间和空间变化的，ABAQUS/CAE的荷载模块中提供的荷载目前只能随着时间变化，作用点是固定的，因此在ABAQUS/CAE中是无法直接模拟荷载沿着结构面移动。一般的做法，是通过子程序来实现荷载随着时间和空间变化。

在ABAQUS说明手册中可以看到荷载子程序对应的荷载类型有DLOAD和UTRACLOAD，DLOAD对应压力荷载和体力荷载，UTRACLOAD对应面荷载，压力荷载和面荷载都是施加在面上的均载，前者是一个标量，后者是一个矢量。DLOAD和UTRACLOAD的子程序开发界面类似。

DLOAD子程序开发界面如下：

```

SUBROUTINE DLOAD(F,KSTEP,KINC,TIME,N
OEL,NPT,LAY ER,KSPT,1 COORDS,ILTY P,SNAME)
C
INCLUDE 'ABA_PARAM.INC'
C
DIMENSION TIME(2), COORDS (3)
CHARACTER*80 SNAME
user coding to define F
RETURN
END

```

其中，F表示荷载，KSTEP和KINC分别表示子程序在哪个分析步和增量步被引用，TIME(1)表示当前分析步（step）的时间值，TIME(2)表示荷载作用总时间的当前值，NOEL表示单元编号，NPT表示积分点编号，COORDS (3)表示积分点的3个坐标值，用户只需对变量F进行定义。

下面利用DLOAD子程序开发界面模拟单个荷载沿着梁长度方向的移动计算。计算模型：简支梁长7 m，梁单元采用B21，单元大小为0.1 m，移

动荷载大小为100 kN，设置一个静力分析步，分析步时间为70，采用固定时间增量计算，每单位时间移动0.1 m，计算移动荷载作用下梁的最大弯矩值。有限元模型见图2。

图2 简支梁有限元模型

从ABAQUS后处理文件中，可以查询得到简支梁在100 kN单个移动荷载作用下的弯矩值为173.4 kN·m，见图3，图中“时步”不代表真实的时间，只代表荷载的变化过程，下同。

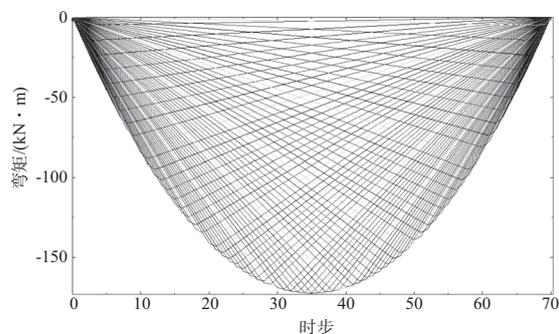


图3 单个移动荷载作用下简支梁的最大弯矩

为验证这个计算结果，采用丰海KZZGDL宽支座轨道梁计算系统对同样的模型进行计算，由图4可知，简支梁最大弯矩值为175 kN·m，与ABAQUS的计算结果基本一致，从而验证了通过DLOAD子程序可以实现ABAQUS中移动荷载作用下的结构计算。之所以存在误差，主要是因为DLOAD子程序中F为均布压力荷载，丰海KZZGDL宽支座轨道梁计算系统中的移动荷载是集中荷载。另外，从DLOAD和UTRACLOAD子程序界面中，可以看到子程序只能模拟单个均载在结构面上的移动，并不能模拟多个均载在结构面上同时移动，也不能模拟一个或者多个集中荷载在结构面上移动。而实际工程计算中，移动荷载往往是多个荷载同时移动，例如桥吊轮子数量比较多，计算时要考虑多个轮载同时移动的工况，在ABAQUS中，这种工况计算通过子程序是无法解决的，因此DLOAD和UTRACLOAD子程序在模拟移动荷载作用下的结构有限元计算有很大的局限性。

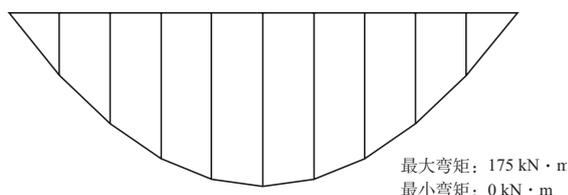


图4 单个移动荷载作用下简支梁的最大弯矩值

2 荷载移动平台

如果直接通过ABAQUS/CAE建模来实现多个集中荷载或者均载在结构面上移动, 就会遇到荷载的作用点无法移动的问题。经过研究, 巧妙地建模是可以避开这个问题的困扰, 这个建模思想是“荷载移动平台”, 即荷载平台(如短杆或小块面板)在ABAQUS中可以通过边界条件的设置在结构面上实现移动, 如果把荷载作用在移动平台上, 而不是作用在结构面上, 荷载相对于结构面就移动了, 从而实现了移动荷载作用下的结构计算。荷载和移动平台是相对静止的, 荷载作用点没有移动。

这种建模方法可以模拟各种分布形式的荷载在结构面上移动, 操作简单方便, 在计算过程中也可以看到荷载移动平台在结构面上移动, 直观形象。为说明这个问题, 下面将分别简单介绍2个集中荷载移动作用下梁的受力计算和2个均载移动作用下面板的受力计算过程。

2.1 两个集中荷载移动

每一个移动荷载需要一个移动平台来载着它移动。对于集中荷载, 这个移动平台就是短杆。

计算模型如下: 简支梁长7 m, 梁单元采用B21, 单元大小为0.1 m, 有两个100 kN的集中荷载在梁长度方向上移动, 间隔1 m, 计算梁的最大弯矩。有限元模型如图5所示, 从图中可以看到有2根短杆与梁结构面接触, 这2根短杆就是集中荷载的移动平台。



图5 移动荷载作用下简支梁有限元模型

在建模时, 分析步(step)采用线性静力分析步, 这里要注意的是, 荷载在移动过程中要保证大小不变。从ABAQUS后处理文件中可以查询

得知简支梁的最大弯矩为301 kN·m, 见图6。

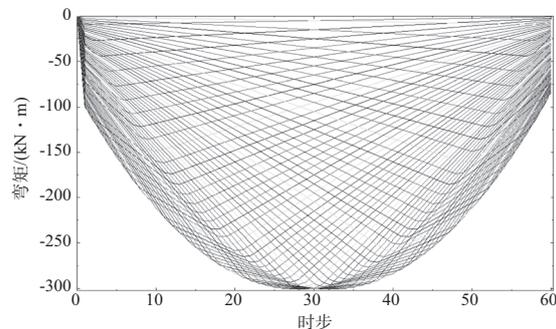


图6 2个移动荷载作用下简支梁的最大弯矩

为验证这种建模思想的正确性, 采用丰海KZZGDL宽支座轨道梁计算系统对同样的模型进行计算, 见图7, 简支梁的最大弯矩为300 kN·m, 与ABAQUS的计算结果几乎完全一致, 这里误差主要是由于单元类型不同所致, 从而验证了这种建模思想的正确性。

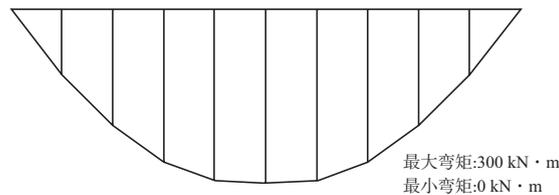


图7 2个移动荷载作用下简支梁的最大弯矩值

2.2 两个均载移动

相对于集中荷载的移动平台是短杆, 均载的移动平台就是小块面板。通过这种建模方法可以模拟一个或多个均载在面板上任意位置移动。计算模型: 四边固支面板长7 m, 宽3 m, 两个均载大小均为65 kPa, 作用面积均为宽0.6 m, 长0.2 m, 间距1.8 m, 沿着板长度方向移动, 移动路线对称于板的长轴线, 计算板的最大弯矩。有限元模型见图8, 图中2个方格就是均载的移动平台——小块面板。

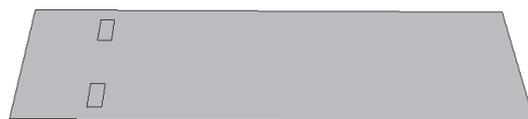


图8 移动均载作用下四边固支板有限元模型

板的计算弯矩见图9和图10, 其中正值表示负弯矩, 负值表示正弯矩。沿板长边方向的正弯矩最大为1 293.4 N·m/m, 最小负弯矩为899.9 N·m/m,

沿板短边方向的正弯矩最大为928.2 N·m/m，最小负弯矩为1 452.6 N·m/m。由于2.1已经验证了这种建模思想的正确性，这里不需再对板的计算结果进行验证。

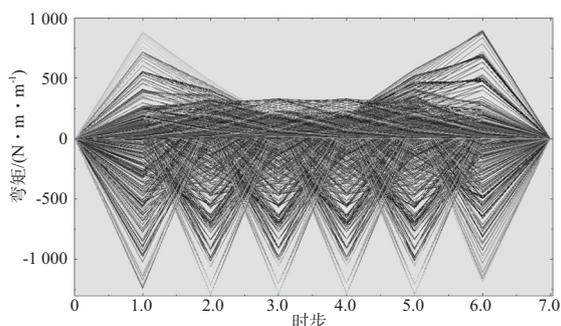


图9 板沿长边方向的弯矩

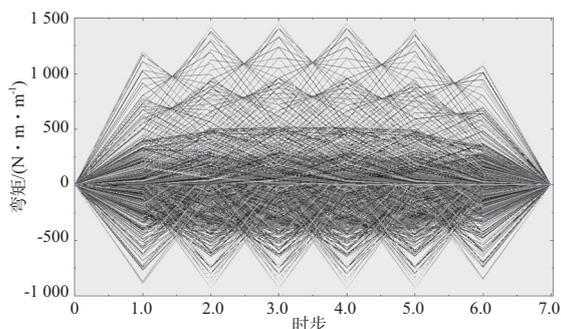


图10 板沿短边方向的弯矩

这种方法可以很方便地计算出面板在移动均载（如汽车荷载）作用下的弯矩最大值和最小值，不

需要采用有关规范^[2]提供的繁杂的简化计算方法。

3 结论

1) 采用“荷载移动带”的方法可以实现均载沿结构面的移动，但操作繁琐、效率低下，对集中荷载沿线结构面的移动模拟尤其不适合。

2) DLOAD或UTRACLOAD子程序只能模拟单个均载沿结构面移动，这种方法对线结构面比较合适，但在实际工程计算中，适用性并不广泛。

3) 在ABAQUS/CAE中直接建模是可以模拟实现各种分布形式的荷载沿结构面的移动计算，其主要建模思想是“荷载移动平台”，实质是荷载作用平台载着荷载在结构面上移动，从而间接地实现了荷载沿结构面的移动模拟。这种方法简单实用、效率高、计算过程直观形象，能很好解决ABAQUS中移动荷载模拟的问题。

因此，本文推荐第3种方法来实现ABAQUS中移动荷载的模拟。

参考文献：

[1] 廖公云, 黄晓明. ABAQUS有限元软件在道路工程中的应用[M]. 南京: 东南大学出版社, 2008.
 [2] JTS 167-1—2010 高桩码头设计与施工规范[S].
 (本文编辑 武亚庆)

~~~~~  
 (上接第54页)

综上所述，护面块体掩护下胸墙所受波浪力与规范计算值在波浪力大小、分布形状上均有较大差异。如不加区别地套用规范将偏于危险，对胸墙结构稳定性不利。重要防波堤、围堰工程胸墙稳定性宜进行物理模型试验测定胸墙波浪力，验证胸墙的整体稳定性。

### 参考文献：

[1] 牛恩宗, 王玥葳, 李业富, 等. 黄骅港防波堤、防沙堤结

构设计研究[J]. 水运工程, 2009(1):136-142.  
 [2] JTJ 213—1998 海港水文规范[S].  
 [3] JTS 154-1—2011 防波堤设计与施工规范[S].  
 [4] 交通运输部水运工程科学研究院工程泥沙交通行业重点实验室. 黄骅港散货港区航道南侧围堰二期工程波浪断面物理模型试验报告[R]. 北京: 交通运输部水运工程科学研究院工程泥沙交通行业重点实验室, 2012.

(本文编辑 武亚庆)