

软基上框架结构的计算及程序设计

王贤铭¹, 高大泉², 谭恩会¹

(1. 南京市市政设计院, 江苏南京 210008; 2. 铁道部第十九工程局, 辽宁辽阳 111000)

摘要: 利用粘弹性力学理论, 将地基简化为粘弹性地基模型, 用梁单元离散上部结构, 应用半解析-子结构法编制了相应的计算程序, 成功地解决了软基上采用“墩底分浇, 预留宽缝, 后期封合”施工方案的框架结构船闸、水闸的计算问题。

关键词: 粘弹性; 半无限大地基; 半解析法; 船闸; 程序设计; 框架结构; 船闸; 水闸; 计算; 地基

中图分类号: TU311.41; TV314

文献标识码: B

文章编号: 1006-7647(2000)01-0063-02

以往对软基上结构的计算通常都是简化为弹性地基上基础梁或基础板的计算。这种方法有明显的不足之处: 不能较全面地反映上部结构的位移与内力状态及不能体现地基沉降随时间而变化的规律。事实上, 近年来许多工程设计部门已经利用地基沉降随时间变化的规律, 调整施工方案、施工次序, 有效地降低了结构中的不利内力。例如, 京杭大运河上江苏段的复线船闸均采用了“墩底分浇, 预留宽缝, 后期封合”的施工方案, 以降低完建期底板的最大负弯矩, 进而防止底板开裂, 取得了十分显著的效果。然而, 到目前为止, 仍没有一个较好的计算方法可以定量地分析采用这种施工方案的船闸结构在各时刻的内力、位移状态。文献[1, 2]利用粘弹性理论, 提出了软基上结构计算的实用方法, 本文在此基础上, 使用粘弹性地基模型结合有限元等现代计算方法, 建立能模拟框架式结构施工的全过程, 能给出各个时刻结构中内力与位移定量结果的计算方法, 以获得较满意的成果。

1 粘弹性地基沉降公式

粘弹性地基沉降的理论公式取决于两个因素: ①地基模型假设, 常见的有文克勒地基、中厚地基、成层地基、半无限大地基等; ②地基的粘弹性本构关系, 常用的有 Kelvin 模型、三参量模型及广义模型。根据粘弹性力学理论^[3], 线弹性边值问题经 Laplace 变换后, 形式上与相应的弹性问题完全相同。这种线粘弹性问题经 Laplace 变换后与相应弹性问题有相同的表达式, 被称为弹性-线粘弹性相应原理, 简称相应原理, 我们可以利用现有的弹性问题的解经过

Laplace 反变换得到相应的线粘弹性问题的解。

三参量本构模型由一个弹性元件 E_2 和一个粘性元件 η_1 串联再与一个弹性元件 E_3 并联组成, 设在平面半无限大地基上作用有分布集度为 c 的线分布力, 荷载分布中心点为 i 点, k 点、 b 点距 i 点分别为 x_k, x_b 。对于平面应变问题而言, 由该分布力引起的 k 点相对于 b 点的粘弹性沉降公式为:

$$z_{ki} = \frac{F_{bi} - F_{ki}}{4} \left[\left(\frac{1}{G_3} + \frac{3}{3K + G_3} \right) + \left(\frac{1}{G_1 + G_2} - \frac{1}{G_3} \right) e^{-\frac{G_2 G_3}{(G_1 + G_2) \eta_1} (t - t_1)} + \left(\frac{\eta_1}{(3K + G_3) G_2} - \frac{3}{3K + G_3} \right) e^{-\frac{G_1 (3K + G_3)}{(3K + G_2 + G_3) \eta_1} (t - t_1)} \right] \quad (1)$$

其中:

$$\begin{cases} F_{ki} = \frac{1}{\pi} \left(\frac{2x_k}{c} \ln \left| \frac{2x_k/c + 1}{2x_k/c - 1} \right| + \ln \left| \frac{4x_k^2}{c^2} - 1 \right| \right) & \frac{x_k}{c} \neq 0.5 \\ \frac{2}{\pi} \ln 2 & \frac{x_k}{c} = 0.5 \\ F_{bi} = \frac{1}{\pi} \left(\frac{2x_b}{c} \ln \left| \frac{2x_b/c + 1}{2x_b/c - 1} \right| + \ln \left| \frac{4x_b^2}{c^2} - 1 \right| \right) & \frac{x_b}{c} \neq 0.5 \\ \frac{2}{\pi} \ln 2 & \frac{x_b}{c} = 0.5 \end{cases}$$

式中: K 为体积变形模量, G_2, G_3 为剪切模量。

2 求解结构与地基共同作用的半解析法

将地基简化为粘弹性地基模型,地基与结构的相互作用采用工程上常见的连杆法,由各连杆处地基与结构的位移协调条件以及各个子结构的整体平衡条件建立典型方程,求解出各连杆力的值和各个子结构的整体位移.用有限单元离散上部结构,对于上部结构采用一个或多个简支静定基本系,地基与结构通过简化的连杆联系,设 $x_1, x_2, \dots, x_N$ 为地基对结构的作用力,均匀分布在相应的梁段内.关于平面框架有限元理论这里就不再详细叙述,对这样一个基本系,我们所关心的是分别在各连杆处单独作用单位力以及单独外荷载作用下结构在连杆处的位移,以便能与地基联合求出地基对结构的作用力 $x_1, x_2, \dots, x_N$. 求出 $x_1, x_2, \dots, x_N$ 后,便可以进一步求出上部结构的内力与位移及地基沉降.由于地基沉降计算采用理论解,上部结构计算采用数值方法,我们称这种方法为半解析法.用这种方法求解连杆力(地基与结构之间的相互作用力)需要注意一个问题,即连杆力的大小是时间的函数,要精确地模拟这种变化非常困难.因此,我们将连杆力对时间离散,即将整个计算时间分成若干时间区段,假设在各时间区段内连杆力的大小不变,而位移协调方程则建立在各时间点上.

3 算 例

某船闸的下闸首采用“墩底分浇,预留宽缝,后期封合”的施工方案.它的计算简图依施工次序分别为:底板分缝浇筑,边墩空箱浇筑,底板和缝,两侧回填,最终模型见图 1.地基开挖共 180 d,从底板开始浇筑时开始计时,浇筑底板与边墩共用了 120 d,在浇筑边墩的同时,也进行闸首两侧部分回填土的回填工作,第 180 天时宽缝封合,第 420 天时闸室充水,回填土全部回填完毕.将地基化为平面半无限大粘弹性地基,相应的粘弹性参数为: $\eta_1 = 800 \text{ MPa} \cdot \text{d}$, $G_1 = 8.7 \text{ MPa}$, $G_2 = 7.6 \text{ MPa}$, 根据计算结果,图 2 给出了底板第 200 天时的闸首结构的弯矩,图 3 给出了底板跨中弯矩随时间的变化曲线.



图 1 分级计算的最后一级模型

从图 2 和图 3 可以看出,结构中最大负弯矩出现在底板跨中处,为 $-2685 \text{ kN} \cdot \text{m}$,发生在闸室蓄水

前.另一方面,如果底板不分缝,按弹性方法可算得底板跨中最大负弯矩为 $-11240 \text{ kN} \cdot \text{m}$.由此可见船闸底板分缝与否对闸首结构的内力有很大的影响,这种方法能定量地分析这种影响的大小.



图 2 底板第 200 天时弯矩
(极值: $-1645 \text{ kN} \cdot \text{m}$)

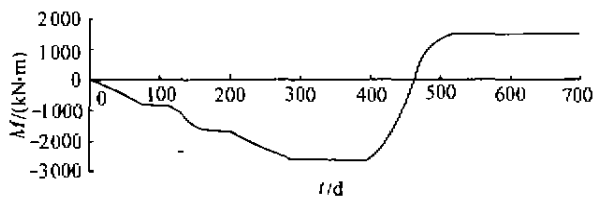


图 3 闸首结构底板跨中弯矩随时间变化曲线

从前面的理论分析以及算例的计算结果,可以看出,本文提出的算法能够模拟框架结构船闸施工的全过程,为工程技术人员调整施工次序以减少结构中的不利内力提供了科学的分析工具.以上方法是在线性粘弹性假设情况下推导出来的,若土体进入塑性状态或地基开挖并非在同一水平面上,方法的使用将受到限制.另一个重要问题是模型参数,它可以通过室内实验、实测参数反分析和工程类比等方式得到,确定方法需要进一步的研究.

参考文献:

- [1] 姜弘道,苏超,谭恩会.粘弹性地基上船闸底板的计算方法与程序设计[J].江苏力学,1994;85~91.
- [2] 苏超,姜弘道,谭恩会,姜昱波.软基上船闸计算方法及地基模型参数及分析研究[A].在:赵光恒主编,河海大学科技进展 1991~1995[C].南京:河海大学出版社,1995.79~81.
- [3] 杨挺青.粘弹性力学[M].武汉:华中理工大学出版社,1990.

(收稿日期:1998-09-03 编辑:熊水斌)

声 明

为适应我国信息化建设需要,扩大作者学术交流渠道,本刊已加入《中国学术期刊(光盘版)》和“中国期刊网”.作者著作权使用费与本刊稿酬一次性给付.如作者不同意将文章编入该数据库,请在来稿时声明,本刊将做适当处理.

《水利水电科技进展》编辑部