

基于 Kelvin 链率型模型的混凝土徐变有限元计算

杨超, 陈梦成

(华东交通大学土木建筑学院, 江西 南昌 330013)

摘要: 基于混凝土徐变固结理论, 推导出一种计算混凝土徐变的递推格式, 递推过程可以结合使用有限元商用软件来完成。首先, 基于 Kelvin 链模型, 将徐变 Volterra 积分方程转化为率型徐变积分微分方程; 其次, 将时间进行离散, 通过引入中间变量, 把率型徐变积分微分方程转化为可递推计算徐变方程; 再次, 使用可递推计算徐变方程, 结合应力应变增量弹性本构关系, 建立考虑复杂应力状态下混凝土徐变分析的包含初应变的应力应变增量弹性本构关系。在此本构关系基础上, 构建初应变弹性结构有限元分析模型; 最后, 作为应用, 对 Ansys 有限元商用软件进行二次开发, 用 Fortran 语言修改 Ansys 软件中材料本构子程序 Usermat, 并用其计算了一些现有算例。计算结果表明, 研究结果与现有算例结果吻合优良。研究方法无需记录应力历史, 大大提高计算效率, 亦为复杂结构混凝土的徐变计算提供了另一条有效途径。

关键词: 混凝土; 徐变; 固结理论; Kelvin 链模型; Ansys 二次开发

中图分类号: U21; TV315

文献标志码: A

本文引用格式: 杨超, 陈梦成. 基于 Kelvin 链率型模型的混凝土徐变有限元计算[J]. 华东交通大学学报, 2021, 38(1): 17-22.

Finite Element Calculation of Concrete Creep Based on Rate-Type Law Visualized by the Kelvin Chain Model

Yang Chao, Chen Mengcheng

(School of Civil Engineering and Architecture, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

Abstract: Based on the solidification theory, a recursion format for calculating concrete creep is derived. The recursion process can be programmed by commercial finite element software. Firstly, the creep Volterra integral equation was transformed into a rate-type creep integrodifferential equation based on the Kelvin chain model; secondly, the integrodifferential equation was transformed into a recursive creep calculation equation by discretizing the time and introducing intermediate variables; thirdly, a stress-strain incremental elastic constitutive relationship with initial strain was established by using the recursive calculation. The stress-strain incremental elastic constitutive relationship was suitable for complex stress conditions. Finally, as an application, the Ansys finite element commercial software was re-developed by modifying the material constitutive subroutine Usermat with Fortran language. Some existing examples were calculated by the program. The calculation results show that proposed method has satisfactory accuracy by comparing with the existing results. The proposed method does not need to store the stress history, which greatly improves the calculation efficiency, and also provides another effective way for the creep calculation of complex concrete structure.

Key words: concrete, creep, solidification theory; Kelvin chain model; secondary development by Ansys

Citation format: YANG C, CHEN M C. Finite element calculation of concrete creep based on rate-type law visualized by the Kelvin chain model[J]. Journal of East China Jiaotong University, 2021, 38(1): 17-22.

收稿日期: 2020-11-23

基金项目: 国家自然科学基金项目(51878275)

作者简介: 杨超(1991—), 男, 博士生, 研究方向为重大工程材料和结构中安全性基础问题。E-mail: chaoyangyq@ecjtu.edu.cn。

通信作者: 陈梦成(1962—), 男, 教授, 博士, 博士生导师, 研究方向为重大工程材料和结构中安全性基础问题。E-mail: mc-chen@ecjtu.edu.cn。

混凝土徐变是指混凝土结构在恒载作用下随时间变化的变形。混凝土徐变计算的理论基础主要包括老化理论^[1]、多孔介质理论^[2]、黏弹性理论^[3]、继效流动理论^[4]、固结理论^[5]等。基于上述徐变理论,演绎出了各种混凝土结构的徐变分析方法如:初应变法^[6-7]、位移增量法^[8]、Galerkin 加权残值法、等效模量法^[9]、龄期调整有效模量法^[10-13]、逐步积分法^[14]、全量递推方法^[15]、率型叠加算法^[16]等。2001年 Bazant^[17]将等效模量法、按龄期调整有效模量法、徐变率法、流动率法及 Levi's & Arutyunian's 方法等 6 种徐变计算方法的计算结果与徐变试验曲线进行比较,结果发现,按龄期调整有效模量法优于其它所有方法。混凝土材料在长期服役过程中,徐变性能因受众多因素影响,目前尚未形成统一、有效的徐变计算方法。

采用 Kelvin 链模型将应变 Volterra 积分方程转化为率型徐变积分微分方程^[18],在此基础上,引入中间变量离散连续时间,结合应力应变增量弹性本构关系,最终建立含初应变的弹性结构有限元分析模型。最后使用该有限元分析模型,对大型商用有限元软件 Ansys 进行二次开发,实现混凝土徐变计算。

1 基于 Kelvin 链率型模型的徐变理论

根据微观力学理论^[19],混凝土在工作应力范围内,单轴作用下徐变模型可依据 Stieltjes 积分公式,用以下两种 Volterra 积分方程形式表示

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon(t) - \varepsilon_0(t) &= \int_0^t J(t, t') d\sigma(t') \\ \sigma(t) &= \int_0^t E_R(t, t') [d\varepsilon(t') - d\varepsilon_0(t')] \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

式中: t 为混凝土开始浇筑至徐变计算时间; t' 为加载龄期; σ 为混凝土应力; ε 为混凝土应变; $\varepsilon_0(t)$ 为非弹性初始应变(如温度引起的热膨胀和收缩等除作用力以外产生的应变); $J(t, t')$ 为徐变函数(也称为徐变柔度函数), 定义为单位应力作用下, $t-t'$ 时间内引起的应变; $E_R(t, t')$ 为松弛函数(也称为松弛模量), 定义为单位应变作用下, $t-t'$ 时间内引起的应力; $1/J(t, t') = E_R(t, t') = E(t)$ 表示为瞬时弹性模量。

徐变函数通过 Dirichlet 序列变化^[20]可以表示为

$$J(t, t') \approx \frac{1}{E_0} + \sum_{i=1}^M \frac{1}{D_i(t')} \left[1 - \exp\left(-\frac{t-t'}{\tau_i}\right) \right] \quad (2)$$

式中: τ_i 为黏滞时间(事先给定值), 其中 $i=1, 2, \dots, M$; E_0 为瞬时弹性模量; $D_i(t')$ 为龄期相关模量, 可以由确切的柔度函数通过最小二乘法拟合得到, 也可以由连续黏滞谱^[21]确定, 在后文给出。

将式(2)代入式(1)中, 可得

$$\varepsilon(t) = \sum_{i=1}^M \varepsilon_i(t) \quad (3)$$

其中

$$\varepsilon_0(t) = \int_0^t \frac{1}{E_0} d\sigma(t') = \int_0^t \frac{1}{E_0} \sigma(t) \quad (4)$$

$$\varepsilon_i(t) = \int_0^t \frac{1}{D_i(t')} \left[1 - \exp\left(-\frac{t-t'}{\tau_i}\right) \right] d\sigma(t') \quad (5)$$

式(3)可以理解为总应变由 $M+1$ 个元件的应变累加而成; 式(4)理解为编号为“0”、弹性刚度为 E_0 的弹簧元件; 式(5)理解为流变模型中的其他 M 个 Kelvin 黏滞元件。

将式(5)对 t 进行微分, 得到

$$\dot{\varepsilon}_i(t) = \int_0^t \frac{1}{D_i(t')} \exp\left(-\frac{t-t'}{\tau_i}\right) d\sigma(t') \quad (6)$$

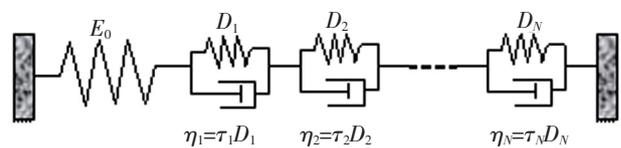
结合公式(5), 可以得到以下积分微分方程

$$\varepsilon_i(t) + \tau_i \dot{\varepsilon}_i(t) = \int_0^t \frac{d\sigma(t')}{D_i(t')} \quad (7)$$

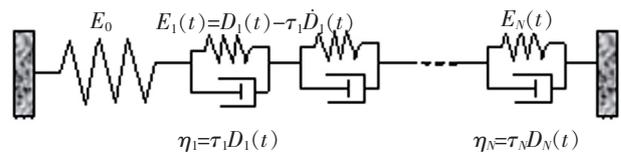
1) 考虑非老化情况, 满足 $D_i(t') = D_i = \text{常数}$, 式(7)改写为微分方程(率型方程)

$$D_i \varepsilon_i(t) + \tau_i D_i \dot{\varepsilon}_i(t) = \sigma(t) \quad (8)$$

由式(8)可得, 总的应力可以分为两部分。第一部分为由刚度为 D_i 弹性元件引起的应力; 第二部分为 $\eta_i = \tau_i D_i$ 由线性阻尼为黏滞元件引起的应力, 该阻尼元件的应变率为 $\dot{\varepsilon}_i$ 。此时对应图 1 中的 (a) 非老化 Kelvin 链模型。



(a) 非老化 Kelvin 链



(b) 老化 Kelvin 链

图 1 Kelvin 链模型

Fig.1 Kelvin chain model

2) 考虑老化情况。通常情况需要考虑材料的老化。为了消除式(7)中的积分,再次对该式对 t 进行微分,得到微分方程(率型方程)

$$\dot{\varepsilon}_i(t) + \tau_i \ddot{\varepsilon}_i(t) = \frac{\dot{\sigma}(t')}{D_i(t')} \quad (9)$$

同样,可以采用式(9)来表征具有时变性能的 Kelvin 元件(包含其中的弹性元件和阻尼元件)。参考文献[18],考虑老化时, $E_i(t) = D_i(t) - \tau_i \dot{D}_i(t)$, $\eta_i = \tau_i - D_i$ 。此时对应图 1 中的(b)老化 Kelvin 链模型。

式(8)和式(9)即为不考虑材料老化与考虑材料老化情况下的徐变计算微分方程形式(也称为率型)。在考虑材料老化情况下,为了解上述二阶微分方程,文献[18]提出中间变量使计算便捷有效,引入中间变量

$$\gamma_i(t) = \tau_i \dot{\varepsilon}_i(t) \quad (10)$$

将式(10)代入式(9),即可得到满足初始条件 $\gamma_i(0) = 0$ 的一阶微分方程

$$\dot{\gamma}_i(t) + \frac{1}{\tau_i} \gamma_i(t) = \frac{\dot{\sigma}(t)}{D_i(t)} \quad (11)$$

在复杂应力状态下,一阶微分方程(11)可改写为

$$\dot{\gamma}_i(t) + \frac{1}{\tau_i} \gamma_i(t) = \frac{D_V \dot{\sigma}(t)}{D_i(t)} \quad (12)$$

式中: $D_V = \begin{bmatrix} 1 & -\nu & -\nu & & & \\ & 1 & -\nu & & & \\ & & 1 & & & \\ \text{对 称} & & & 2(1+\nu) & & \\ & & & & 2(1+\nu) & \\ & & & & & 2(1+\nu) \end{bmatrix}$

一般来说,微分方程(11)式的解需要对每个时间步 Δt (从时刻 t_n 到 t_{n+1})进行积分计算,分析任意步计算时,中间变量 $\gamma_i(t_n) = \gamma_i^{(n)}$ 的值总是依赖于上一步(如果是第一步,则依赖于初始条件)。根据文献[18]分析,时间步 Δt 的选取对计算效率影响很大。当 $\Delta t \geq \tau_i$ 时,采用积分算法求解常微分方程所得到的结果是不稳定且精度不高,为此,需要对时间步 Δt 寻找其它选择方法。Zienkiewicz 等^[22]在分析非老化材料时对时间步 Δt 的选取,曾提出了指数法,后来这种时间步 Δt 选取的指数法被 Bazant^[23]延伸到了老化材料中。

指数算法的关键在于当 $\Delta t \geq \tau_i$ 时,若微分方程(11)的右边在任意时间步保持为常数,则微分方程(11)可以有解析解。为简便计算,我们先考虑单向

应力问题,然后再拓展至复杂应力状态问题。令 $\Delta t = t_{n+1} - t_n$, $\Delta \sigma = \sigma(t_{n+1}) - \sigma(t_n)$, $D_i^{(n+1/2)} = D_i(t_n + \Delta t/2)$, 则式(11)右边可以写成 $\Delta \sigma / \Delta t D_i^{(n+1/2)}$, 即式(11)可以表示为

$$\dot{\gamma}_i(t) + \frac{1}{\tau_i} \gamma_i(t) = \frac{\Delta \sigma}{\Delta t D_i^{(n+1/2)}} \quad (13)$$

求解常微分方程(13),得到

$$\gamma_i^{(n+1)} = \gamma_i(t_{n+1}) = \lambda_i \frac{\Delta \sigma}{D_i^{(n+1/2)}} + \beta_i \gamma_i^{(n)} \quad (14)$$

其中, β_i 和 λ_i 为

$$\beta_i = \exp\left(-\frac{\Delta t}{\tau_i}\right), \lambda_i = \frac{\tau_i}{\Delta t} (1 - \beta_i) \quad (15)$$

对式(10)积分求出应变增量,根据 Kelvin 链模型,对应变增量进行求和可以得到总的应变增量计算公式

$$\Delta \varepsilon = \sum_{i=1}^M \Delta \varepsilon_i = \Delta \sigma \left(\frac{1}{E_0} + \sum_{i=1}^M \frac{1 - \lambda_i}{D_i^{(n+1/2)}} \right) + \sum_{i=1}^M (1 - \beta_i) \gamma_i^{(n)} \quad (16)$$

式(16)右边第一项理解为施加应力时引起的弹性应变增量,该弹性应变增量等于弹性应力增量乘以等效弹性柔量。等效弹性模量表示为

$$\frac{1}{E} = \frac{1}{E_0} + \sum_{i=1}^M \frac{1 - \lambda_i}{D_i^{(n+1/2)}} \quad (17)$$

式(16)右边第二项理解为恒载引起的徐变应变增量

$$\Delta \varepsilon'' = \sum_{i=1}^M (1 - \beta_i) \gamma_i^{(n)} \quad (18)$$

为方便有限元子程序编写,式(16)可以改写为

$$\Delta \sigma = \bar{E} (\Delta \varepsilon - \Delta \varepsilon'') \quad (19)$$

将式(19)代入公式(14),中间变量可以由下式更新计算

$$\gamma_i^{(n+1)} = \frac{\lambda_i \bar{E}}{D_i^{(n+1/2)}} (\Delta \varepsilon - \Delta \varepsilon'') + \beta_i \gamma_i^{(n)} \quad (20)$$

以上算法适用于单向应力情况,但是也很容易通过乘以各项同性材料矩阵 C_V 应用至复杂应力情况(即三维情况)。

基于 Kelvin 链模型的计算连续黏滞谱有^[21]

$$L(\tau) = -\lim_{k \rightarrow \infty} \frac{(-k\tau)^k}{(k-1)!} C^{(k)}(k\tau) \quad (21)$$

式中: $C^{(k)}(k\tau_i)$ 为徐变函数 $C(t, t_{n-1/2})$ k 阶导数; $C(t, t') = J(t, t') - 1/E_0$; 当 $k=3$ 的时候,计算可满足精度要求^[21]。将连续的黏滞谱离散得到离散的黏滞谱

$$A(\tau_i) = L(\tau_i) \ln 10 / E(t_{n-1/2}) \quad (22)$$

2 Ansys 有限元软件中 Usermat 子程序的算法设计

基于 Kelvin 链率型的混凝土徐变计算方法式 (19), 采用 64 位 Ansys15.0+Vsual Studio 2010+Inter Fortran Composer XE 2013 SP1 对用户材料子程序 Usermat 进行二次开发, 算法流程图如图 2 所示。具体计算步骤如下。

- 1) 说明 Ansys 有限元软件中 Usermat 子程序所需要的常数、变量、变量数组。
- 2) 从 Ansys 主输入数据中读取材料常数, 包括弹性模量、泊松比、加载龄期等。
- 3) 在三维复杂应力情况下, 定义 C_V 和雅克比矩阵 $D=E_0C_V$ 。
- 4) 离散时间 $t_n, n=1, 2, \dots; \Delta t=t_n-t_{n-1}; t_{n-1/2}=t_0+[(t_n-t_0)(t_{n-1}-t_0)]^{1/2}$; 当 $n=1$ 时, $t_{1/2}=(t_0-t_1)/2, t_0$ 为加载龄期, 开始时间步循环步。
- 5) 当计算时间小于加载龄期 t_0 时, 按式 (6) 计算瞬时加载弹性变形, 否则 (即当 t 超过加载龄期 t_0 时) 按式 (7) 计算持荷过程中徐变变形。
- 6) 初始化应力增量, 按弹性结构计算初应变增量 $\Delta \varepsilon$ 。

7) 按照率型徐变拟线弹性应力应变关系计算任意时刻徐变变形:

- ① 初始化中间变量: $\gamma_i^{(0)}=0; J(t_0, t_0)=1/E(t_0)$; 取 Kelvin 链中 Kelvin 元件数 $N=13$, 即黏滞时间 $\tau_i=10^{-7i} (i=1, 2, \dots, 13)$; ② 按公式 $E_t=E_{28}\sqrt{t/(4+0.85t)}$ 计算中间时间 ($t=t_{n-1/2}$) 弹性模量 $E_{t_{n-1/2}}$; ③ 采用 ACI 给定的徐变度模型, 计算连续黏滞谱式 (20)。经验表明, 当 $k=3$ 的时候, 计算结果可满足精度要求^[21]; 由连续谱离散计算离散谱: $A(\tau_i)=L(\tau_i)\ln 10/E(t_{n-1/2})$; ④ 计算中间变量, $\beta_i=e^{-\Delta t/\tau_i}, \lambda_i=\tau_i(1-\beta_i)/\Delta t$; ⑤ 计算 Kelvin 元件中弹性元件弹性模数 $D_i=1/A(\tau_i)$ 和等效弹性模量 $1/\bar{E}=1/E_0+\sum_{i=1}^N A(\tau_i)(1-\lambda_i)/D_i^{n+1/2}$, 更新雅克比矩阵 $D^{(n+1)}=\bar{E}D^{(n)}$; ⑥ 计算徐变应变增量 $\Delta \varepsilon''=\sum_{i=1}^M (1-\beta_i)\gamma_i^{(n-1)}$ 和每个积分点处弹性应力增量 $\Delta \sigma=\bar{E}D(\Delta \varepsilon-\Delta \varepsilon'')$; ⑦ 更新应力 $\{\sigma_n\}=\{\sigma_{n-1}\}+\{\Delta \sigma_n\}$; ⑧ 更新中间变量 $\gamma_i^{(n)}=\lambda_i\Delta \sigma A(\tau_i)+\lambda\beta_i\gamma_i^{(n-1)}$ 并进行储存, 以备下一步分析使用; ⑨ 当前分析步计算结束。

8) 循环计算下一分析步, 当增量步达到设置的最大值时结束计算。

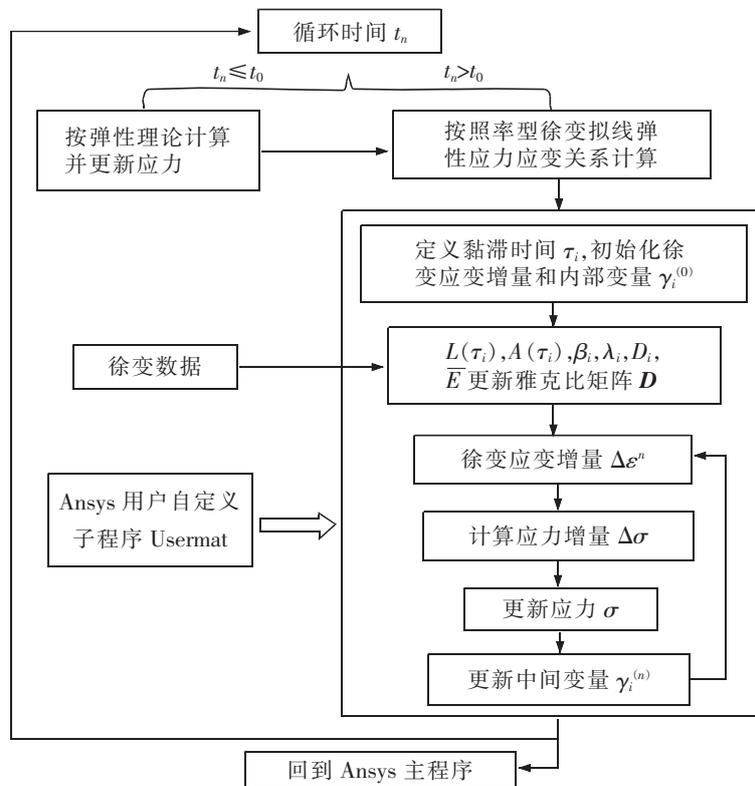
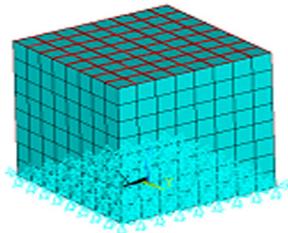


图 2 基于率型徐变模型的有限元徐变分析算法流程图

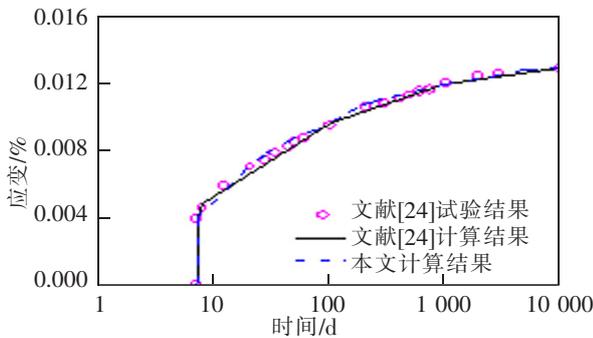
Fig.2 Flowchart of finite element creep analysis algorithm based on rate-type creep model

3 标准算例

算例1 计算恒定轴压荷载作用下素混凝土方块徐变^[24]。素混凝土 28 d 弹性模量 $E_{28}=30$ MPa。混凝土龄期为 7 d 时, 方块顶面施加 1 MPa 恒定应力, 随后保持荷载恒定 30 年左右。本节有限元模型数值解与及现有结果^[24]对比情况如图 3(b)所示。比较结果表明, 三者结果几乎一致。



(a) 有限元模型



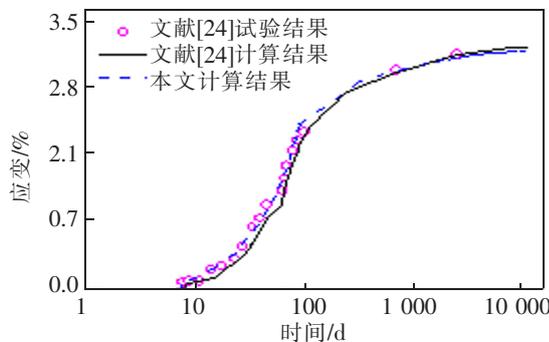
(b) 计算结果对比情况

图 3 素混凝土方块有限元模型及计算结果对比图
Fig.3 Finite element model and calculation results comparison of plain concrete brick

算例 2 计算逐步施加轴压荷载的素混凝土长柱徐变^[24]。素混凝土强度 $f_{c28}=30$ MPa, 相对环境湿度



(a) 有限元模型



(b) 计算结果对比情况

图 4 素混凝土长柱有限元模型及计算验证

Fig.4 The finite element model and calculation validations of plain concrete long column

$h=70\%$ 。混凝土龄期为 7 d 时, 柱端面进行第一次加载, 应力值为 1 MPa; 随后每隔 7 d 对柱端面叠加 1 MPa 应力; 叠加次数共 12 次; 叠加完成后, 保持荷载恒定约 30 年。有限元计算模型如图 4(a) 所示, 本节有限元模型数值解与及现有结果^[24]对比情况如图 4(b)所示。比较结果表明, 三者结果几乎一致。

4 结论

1) 从微观力学角度出发, 建立 Kelvin 链率型徐变模型。基于该模型对 Ansys 有限元商用软件实施二次开发, 修正了 Ansys 软件中材料子程序 Usermat, 最后通过经典算例验证了本文徐变计算模型的正确性和有效性, 弥补了 Ansys 软件中徐变模型的不足。

2) 提出的徐变模型也适用于其它有限元商用软件, 如: Abaqus, Msc.Marc 和 ADINA 等的二次开发。

参考文献:

- [1] 朱伯芳. 混凝土结构徐变应力分析的隐式解法[J]. 水利学报, 1983(5):40-46.
- [2] 陈松, 柯敏勇, 刘海祥, 等. 基于多孔介质理论的混凝土徐变力学行为的有限元分析[J]. 固体力学学报, 2009, 30(5): 522-526.
- [3] 程晓东, 叶贵如, 汪劲丰. 长期荷载作用下钢管混凝土徐变的理论研究[J]. 浙江大学学报(工学版), 2004(8): 67-75.
- [4] 韩冰, 王元丰. 圆钢管混凝土轴心受压构件徐变分析的比较[J]. 中国公路学报, 2007(2): 83-86.
- [5] 张军, 段亚辉. 基于变系数广义开尔文模型的混凝土徐变和松弛[J]. 华南理工大学学报(自然科学版), 2014, 42(2): 74-80.
- [6] 黄海东, 向中富. 混凝土结构非线性徐变计算方法研究[J]. 工程力学, 2014, 31(2): 96-102.
- [7] 李传习, 杨飞跃, 张建仁. 节段施工桥梁的徐变变形及内力重分布研究[J]. 中国公路学报, 2000(4): 49-54.
- [8] 叶见曙, 温庆杰. 混凝土桥梁拼接后收缩徐变计算方法分析[J]. 计算力学学报, 2008(6): 164-168.
- [9] 高岳权, 黄浩良, 王佶, 等. 基于等效模量法与 ANSYS 计算混凝土徐变[J]. 武汉理工大学学报, 2010, 32(3): 13-15.
- [10] 曹国辉, 阳亮, 张锴, 等. 配筋对混凝土徐变的影响分析[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2017, 48(2): 506-511.

- [11] 韩冰,王元丰. 圆钢管混凝土轴心受压构件徐变分析的比较[J]. 中国公路学报,2007(2):83-86.
- [12] 文永奎, 陈政清. 考虑预应力损失的混凝土梁徐变计算方法[J]. 中国铁道科学,2005(3):36-41.
- [13] 徐腾飞,向天宇,杨成,等. 预应力混凝土梁长期变形的随机性分析[J]. 土木建筑与环境工程,2013,35(1):111-116.
- [14] 肖思柯,耿悦,刘昌永,等. 考虑徐变非线性的钢管混凝土柱徐变稳定承载力计算方法[J]. 建筑结构学报,2019,40(S1):264-270.
- [15] 傅学怡,孙璨. 混凝土徐变应变全量递推方法研究及程序设计[J]. 计算力学学报,2011,28(2):283-289.
- [16] 张军,段亚辉. 基于变系数广义开尔文模型的混凝土徐变和松弛[J]. 华南理工大学学报(自然科学版),2014,42(2):74-80.
- [17] BAZANT Z P. Prediction of concrete creep and shrinkage: past, present and future[J]. Nuclear Engineering and Design, 2001,203(1):27-38.
- [18] JIRÁSEK M,BAZANT Z P. Inelastic analysis of structures [M]. London:John Wiley & Sons,2001:722.
- [19] BAZANT Z P,JIRÁSEK M. Creep and hygrothermal effects in concrete structures[M]. Dordrecht,the Netherlands:Springer, 2018:412.
- [20] SCHAPERY R A. Approximation methods of transform inversion for viscoelastic stress analysis[J]. Proc Fourth US Nat Congr Appl Mech,1962,2:1075.
- [21] BAZANT Z P,XI Y. Continuous retardation spectrum for solidification theory of concrete creep[J]. Journal of Engineering Mechanics,1995,121(2):281-288.
- [22] ZIENKIEWICZ O C,WATSON M,KING I P. A numerical method of visco-elastic stress analysis[J]. International Journal of Mechanical Sciences,1968,10(10):807-827.
- [23] BAZANT Z P. Numerically stable algorithm with increasing time steps for integral-type aging creep [C]//JAEGER T A. Proceedings,First International Conference on Structural Mechanics in Reactor Technology. West Berlin,Germany,1971:119-126.
- [24] YU Q,BAZANT Z P,WENDNER R. Improved algorithm for efficient and realistic creep analysis of large creep-sensitive concrete structures[J]. ACI Structural Journal,2012,109(5):665.



特约专家徐长节:男,二级教授,博士生导师。现任华东交通大学党委副书记、副校长(主持行政工作),教育部“长江学者”特聘教授,国家杰出青年基金获得者,“万人计划”科技领军人才,国家百千万人才工程入选者,国务院特殊津贴获得者。主持及参与国家及省部级科研项目10余项、工程项目100余项。获国家科技进步二等奖等。



特约专家陈梦成:男,二级教授,博士生导师。现任华东交通大学党委委员、副校长,江西省先进工作者,中国优秀留学回归人员,赣鄱英才555工程领军人才,江西省优势科技创新团队学术带头人。主持完成及在研国家973、国家自然科学基金江西省等各类科研项目30余项;发表学术论文400余篇。获省部级奖项5项等。



特约专家刘林芽:男,二级教授,博士生导师。现任华东交通大学副校长,国家百千万人才工程国家级人选,教育部新学回归人员,赣鄱英才555工程领军人才,主持国家自然科学基金、教育部等各类科研项目50余项。获国家科技进步二等奖,江西省自然科学一等奖等等奖项11项。



特约专家杨辉:男,二级教授,博士生导师。新世纪百千万人才工程国家级人选,赣鄱英才555工程领军人才,江西省优势科技创新团队领军人才,获国务院特殊津贴、江西省突出贡献人才等荣誉,现任华东交通大学副校长,江西省人大常委。获江西省自然科学一等奖、江西省技术发明一等奖等省部级奖项7项。



特约专家罗文俊:女,教授,博士生导师。现任华东交通大学副校长,防灾减灾研究所所长。教育部青年长江学者,江西省主要学科学术及技术带头人,首批江西省青年井岗学者,享受国务院特殊津贴专家。主持国家自然科学基金4项,省部级科研课题10余项。获教育部科技进步二等奖2项,江西省科技进步一等奖等。



特约专家刘燕德:女,二级教授,博士生导师。现任华东交通大学首席教授,华东交通大学首批天佑学者,智能机电装备创新研究院院长,第三批国家“万人计划”领军人才,科技部重点领域创新团队负责人,江西省光电检测工程技术中心主任等。获江西省科技进步一等奖、江西省自然科学二等奖等省部级奖项8项。



特约专家宋立军:男,教授,博士生导师,智能激光制造湖南省重点实验室主任。研究方向:激光智能制造(3D打印、超快激光微纳制造)、激光光谱学、激光制造材料科学、传感及控制。主持及参与多项国家自然科学基金、湖南省等各类科研项目。获中国机械工业联合会和中国机械工程学会一等奖等。



特约专家肖乾:男,教授,博士生导师。现任华东交通大学机电与车辆工程学院院长,华东交通大学天佑拔尖人才,江西省百千万人才工程人选,获全国詹天佑铁道科学技术奖青年奖、茅以升铁道科学技术奖、江西省科技进步一等奖等。近五年来,主持国家自然科学基金3项,省部级科研课题多项以及企业横向课题等近20项。