

弹性矩形板下横观各向同性多层地基分析

艾智勇^{1,2}, 曹国军^{1,2}

(1. 同济大学 地下建筑与工程系, 上海 200092; 2. 同济大学 教育部岩土及地下工程重点实验室, 上海 200092)

摘 要: 利用弹性矩形板与多层地基表面的竖向位移协调条件与光滑接触条件, 由横观各向同性多层地基应力与位移非耦合的传递矩阵解, 推导出弹性矩形板下竖向应力和位移的解析解。在此基础上, 编制了相应的程序, 并进行了数值计算。计算结果表明: 矩形板刚度对板底竖向位移及板中心下的竖向应力有着较为显著的影响; 板底竖向位移及板中心下的竖向应力随着板刚度的增加而减小, 相同荷载作用下横观各向同性地基与均匀各向同性地基模型的计算结果差异较大, 实际工程中很有必要采用更符合土体性质的横观各向同性地基模型。

关 键 词: 横观各向同性地基; 弹性矩形板; 非耦合传递矩阵; 解析解

中图分类号: TU 470

文献标识码: A

Analysis of transversely isotropic layered soils under an elastic rectangle plate

AI Zhi-yong^{1,2}, CAO Guo-jun^{1,2}

(1. Department of Geotechnical Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China; 2. Key Laboratory of Geotechnical and Underground Engineering of Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: Based on the continuity of vertical displacements and the smooth contact conditions between the transversely isotropic layered soils and the elastic rectangular plate, the analytical solution of transversely isotropic soils under the elastic rectangular plate can be obtained by using the uncoupled transfer matrix solutions for displacements and stresses of transversely isotropic layered soils. Numerical calculation and analysis are carried out by the computer program. The numerical results show that the rigidity of the elastic rectangular plate has a great influence on the vertical displacements under the rectangular plate and the normal stresses under the center of the rectangular plate, and they decrease with the growth of the rigidity of the elastic plate. It is also shown that the calculation results for the transversely isotropic layered soils are quite different from those for the homogeneously isotropic layered soils under the same load, so it is necessary to adopt the transversely isotropic foundation model which is more accord with soil's properties in practical projects.

Key words: transversely isotropic soil; elastic rectangular plate; uncoupled transfer matrix; analytical solution

1 引 言

在岩土问题的研究中, 地基模型历来是学术界与工程界研究的重点。天然地基在沉积过程中, 由于颗粒排列的方向性, 造成水平和竖直方向上的性质不同, 呈现各向异性的现象; 通常水平模量大于竖直模量, 而在水平面内却往往是各向同性的, 形成了以水平面为同性面的所谓横观各向同性地基。国内外许多学者对横观各向同性地基做了多方面的研究。王炜和徐新生^[1]给出了横观各向同性弹性体

轴对称问题的通解, 陈光敬等^[2]运用传递矩阵法求解了成层横观各向同性弹性体轴对称问题, 李沛豪等^[3]研究了横观各向同性弹性半空间非轴对称问题, 李捷等^[4]采用位移函数解法研究了横观各向同性地基空间问题, 艾智勇等^[5]在直角坐标下推导出三维层状横观各向同性地基的非耦合传递矩阵解。

但就作者所知, 关于横观各向同性地基与弹性板的共同作用问题的研究还较少。袁聚云等^[6]运用传递矩阵法分析了中心荷载作用下对称刚性板下横观各向同性地基的沉降及反力。本文在文献[5]的基

基础上, 利用横观各向同性多层地基应力与位移非耦合的传递矩阵解, 结合弹性矩形板与多层地基表面的竖向位移协调条件与光滑接触条件, 在直角坐标系下推导出弹性矩形板下横观各向同性多层地基竖向应力和位移的解析解。

2 解的推导

横观各向同性多层地基上对称受荷弹性矩形板的示意图, 可参见图 1。

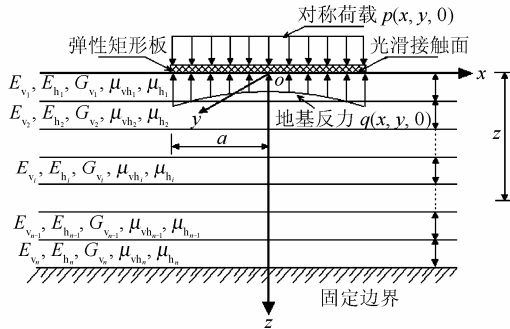


图 1 横观各向同性多层地基上对称受荷矩形板
Fig.1 Symmetric loaded elastic rectangular plate on transversely isotropic layered soils

横观各向同性多层地基中, G_v 、 E_v 、 E_h 、 μ_{vh} 、 μ_{hv} 、 μ_h 分别为竖直面上的剪切模量、竖向弹性模量、水平向弹性模量、竖向应力引起的水平向应变的泊松比、水平向应力引起的竖向应变的泊松比、水平向应力引起的正交水平向应变的泊松比。根据弹性材料应变能为正数的原理, 这 6 个参数的取值有如下限制: $E_v > 0$, $E_h > 0$, $G_v > 0$, $|\mu_h| < 1$, $|\mu_{hv}| < (\frac{E_h}{E_v})^{1/2}$, $|\mu_{vh}| < (\frac{E_v}{E_h})^{1/2}$, $1 - \mu_h - 2\mu_{hv}\mu_{vh} > 0$, $1 - \mu_h^2 - 2\mu_{hv}\mu_{vh} - 2\mu_h\mu_{hv}\mu_{vh} > 0$ 。根据 Maxwell 功能互等定理: $E_h\mu_{vh} = E_v\mu_{hv}$, 因此, 在 μ_{vh} 、 μ_{hv} 之间选用一个即可, 通常选用前者而不选用后者。

横观各向同性多层地基中作用任意荷载时, 土层内深度 z 处的应力与位移为^[5]

$$\bar{\mathbf{G}}(\xi_x, \xi_y, z) = \mathbf{A} \cdot \bar{\mathbf{G}}(\xi_x, \xi_y, H_n) \quad (1)$$

式中: ξ_x 、 ξ_y 为 Fourier 变换后的参数, $\xi^2 = \xi_x^2 + \xi_y^2$ 。

$$\bar{\mathbf{G}}(\xi_x, \xi_y, z) = \begin{bmatrix} \bar{U}(\xi_x, \xi_y, z) \\ \bar{Z}(\xi_x, \xi_y, z) \\ \bar{X}(\xi_x, \xi_y, z) \\ \bar{W}(\xi_x, \xi_y, z) \end{bmatrix}^T \quad \mathbf{A} = \Phi(\xi_x, \xi_y, z - H_1) \Phi(\xi_x, \xi_y, -\Delta H_{i+1}) \cdots \Phi(\xi_x, \xi_y, -\Delta H_n) \quad (2)$$

式中: H_i 为地基表面至第 i 层土底面的距离, 而 ΔH_i 为第 i 层土的厚度; $\Phi(\xi_x, \xi_y, z)$ 为 4×4 的传递矩阵, 其元素详见文献[5]; $\bar{U}(\xi_x, \xi_y, z)$ 、 $\bar{Z}(\xi_x, \xi_y, z)$ 、 $\bar{X}(\xi_x, \xi_y, z)$ 、 $\bar{W}(\xi_x, \xi_y, z)$ 分别代表 $U(x, y, z)$ 、

$Z(x, y, z)$ 、 $X(x, y, z)$ 、 $W(x, y, z)$ 经二次 Fourier 变换后的形式, 并具有如下关系:

$$\left. \begin{aligned} (\bar{U}, \bar{W}) &= \frac{1}{4\pi^2} \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} (U, W) e^{-i(\xi_x x + \xi_y y)} dx dy \\ (\bar{X}, \bar{Z}) &= \frac{1}{4\pi^2} \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} (X, Z) e^{-i(\xi_x x + \xi_y y)} dx dy \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

$$\left. \begin{aligned} (U, W) &= \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} (-\bar{U}, \bar{W}) e^{i(\xi_x x + \xi_y y)} d\xi_x d\xi_y \\ (X, Z) &= \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} (-\bar{X}, \bar{Z}) e^{i(\xi_x x + \xi_y y)} d\xi_x d\xi_y \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

$U(x, y, z)$ 、 $Z(x, y, z)$ 、 $X(x, y, z)$ 、 $W(x, y, z)$ 的表达式如下^[5]:

$$\left. \begin{aligned} U &= \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y}; \quad Z = \sigma_z \\ X &= \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y}; \quad W = w \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

式中: u 、 v 、 w 分别为 x 、 y 、 z 方向上的位移; σ_z 、 τ_{xz} 、 τ_{yz} 分别为 z 面上的法向正应力以及沿 x 、 y 方向上的剪应力。

$\bar{\mathbf{G}}(\xi_x, \xi_y, H_n)$ 可由下式确定:

$$\bar{\mathbf{G}}(\xi_x, \xi_y, 0) = \mathbf{f} \bar{\mathbf{G}}(\xi_x, \xi_y, H_n) \quad (6)$$

式中: $\mathbf{f} = \Phi(\xi_x, \xi_y, -\Delta H_1) \Phi(\xi_x, \xi_y, -\Delta H_2) \cdots \Phi(\xi_x, \xi_y, -\Delta H_n)$ 。

假设地基地面为固定边界, 则有:

$$\bar{U}(\xi_x, \xi_y, H_n) = \bar{W}(\xi_x, \xi_y, H_n) = 0 \quad (7)$$

由经典弹性薄板理论, 可知矩形薄板弯曲时的挠度方程为

$$D \nabla^4 \omega(x, y, 0) = p(x, y, 0) - q(x, y, 0) \quad (8)$$

式中: $D = \frac{E_b h^3}{12(1 - \mu_b^2)}$, 为板的抗弯刚度, 其中 E_b 、 μ_b 和 h 分别为板的弹性模量、泊松比和厚度; ∇^2 为 Laplace 算子, $\nabla^2 = (\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2})$, $\nabla^4 = (\nabla^2)^2$;

$\omega(x, y, 0)$ 为板的挠度; $p(x, y, 0)$ 为矩形板上作用的荷载; $q(x, y, 0)$ 为矩形板底面地基的反力。

对式 (8) 进行 Fourier 变换得

$$D \xi^4 \bar{\omega}(\xi_x, \xi_y, 0) = \bar{p}(\xi_x, \xi_y, 0) - \bar{q}(\xi_x, \xi_y, 0) \quad (9)$$

式中: $\bar{\omega}(\xi_x, \xi_y, 0)$ 、 $\bar{p}(\xi_x, \xi_y, 0)$ 、 $\bar{q}(\xi_x, \xi_y, 0)$ 分别为 $\omega(x, y, 0)$ 、 $p(x, y, 0)$ 、 $q(x, y, 0)$ 相对应的二重 Fourier 变换后的形式。

假设弹性矩形板与地基地面光滑接触, 则由光

滑接触条件可得

$$\left. \begin{aligned} \sigma_z(x, y, 0) &= -q(x, y, 0) \\ X(x, y, 0) &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

将式 (10) 分别进行二重 Fourier 变换得

$$\left. \begin{aligned} \bar{\sigma}_z(\xi_x, \xi_y, 0) &= -\bar{q}(\xi_x, \xi_y, 0) \\ \bar{X}(\xi_x, \xi_y, 0) &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

根据弹性矩形板与地基表面竖向位移的协调条件, 可得

$$w(x, y, 0) = \omega(x, y, 0) \quad (12)$$

上式经二重 Fourier 变换得

$$\bar{w}(\xi_x, \xi_y, 0) = \bar{\omega}(\xi_x, \xi_y, 0) \quad (13)$$

将式 (9)、(11)、(13) 代入式 (6), 得

$$\begin{bmatrix} \bar{Z}(\xi_x, \xi_y, H_n) \\ \bar{X}(\xi_x, \xi_y, H_n) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_{22} & f_{23} \\ f_{32} & f_{33} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} -\bar{p}(\xi_x, \xi_y, 0) \\ MD\xi^4 + 1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (14)$$

式中: $M = \frac{f_{32}f_{43} - f_{33}f_{42}}{f_{22}f_{33} - f_{23}f_{32}}$, f_{ij} 为 $\mathbf{f}$ 中的元素。

将式 (14) 代入式 (1), 得

$$\bar{\mathbf{G}}(\xi_x, \xi_y, z) = \frac{A_{i3}f_{32} - A_{i2}f_{33}}{f_{22}f_{33} - f_{23}f_{32}} \frac{\bar{p}(\xi_x, \xi_y, 0)}{MD\xi^4 + 1} \quad (i=1, 2, 3, 4) \quad (15)$$

式中: A_{ij} 为 $\mathbf{A}$ 中的元素; f_{ij} 为 $\mathbf{f}$ 中的元素。

当弹性矩形板上作用力 $p(x, y, 0)$ 是长为 $2a$ 、宽为 $2b$ 的均布矩形对称荷载 p 时, 有:

$$\bar{p}(\xi_x, \xi_y, 0) = \frac{p \sin(\xi_x a) \sin(\xi_y b)}{\pi^2 \xi_x \xi_y} \quad (16)$$

当弹性矩形板上作用力 $p(x, y, 0)$ 为集中力 P 时, 有:

$$\bar{p}(\xi_x, \xi_y, 0) = \frac{P}{2\pi} \quad (17)$$

由式 (15) 结合式 (16)、(17), 并进行 Fourier 逆变换, 可求得多层地基内任一深度 z 处的竖向应力和位移为

$$\left. \begin{aligned} \sigma_z(x, y, z) &= \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{A_{23}f_{32} - A_{22}f_{33}}{f_{22}f_{33} - f_{23}f_{32}} \frac{\bar{p}(\xi_x, \xi_y, 0)}{MD\xi^4 + 1} \\ &\quad e^{i(\xi_x x + \xi_y y)} d\xi_x d\xi_y \\ w(x, y, z) &= \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{A_{43}f_{32} - A_{42}f_{33}}{f_{22}f_{33} - f_{23}f_{32}} \frac{\bar{p}(\xi_x, \xi_y, 0)}{MD\xi^4 + 1} \\ &\quad e^{i(\xi_x x + \xi_y y)} d\xi_x d\xi_y \end{aligned} \right\} \quad (18)$$

3 数值计算与分析

本文采用 10 点复合二维 Gauss 积分来数值求解 Fourier 逆变换, 具体做法是通过积分函数 0 点间分段进行积分, 且本文分段数为 10, 详细的实现方法请参见文献[7]。对于指数函数项的溢出问题, 本文参考了文献[8]的处理方法。

3.1 本文理论和数值计算方法的验证

为了验证本文理论方法及程序的正确性, 将本文问题退化到弹性半空间后(土层深度取为 1 000 m 来近似模拟半空间问题), 再与文献[9]对称受荷弹性方板下弹性半空间地基竖向位移的计算结果进行对比。本文计算时参数取值如下: 地基参数为 $G_v = 12.25 \text{ MPa}$, $\mu_{vh} = \mu_h = 0.4$, $H = 1 \text{ 000 m}$, $E_v = E_h = 34.3 \text{ MPa}$; 板参数为 $\mu_b = 0.167$, $h = 0.2 \text{ m}$, $a = b = 2 \text{ m}$, $E_b = 34 \text{ 300 MPa}$; 荷载为 0.98 MPa , 并在板上对称满布。由图 2 可见, 本文得到的是有限土层的解析解, 理论上无法与半空间问题完全精确一致, 再加上数值求解采用的是有限分段积分, 所以计算结果无法与文献[9]完全一致, 但是本文结果与文献[9]中的计算结果吻合度较好, 这就验证了本文理论和数值计算方法的正确性。

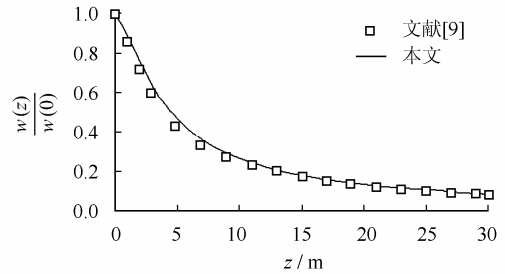


图 2 地基竖向位移沿深度分布
Fig.2 Distribution of vertical displacement along the depth of foundation

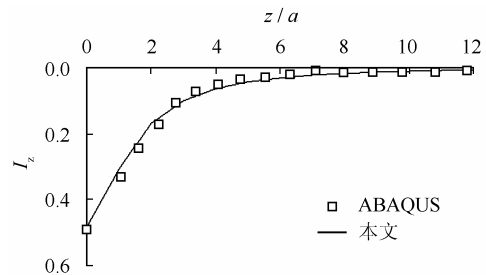


图 3 地基竖向应力沿深度分布
Fig.3 Distribution of vertical stress along the depth of foundation

本文计算结果与有限元软件 ABAQUS 结果的对比见图 3。计算时的参数取值如下: 地基参数为

$G_v = 20 \text{ MPa}$, $\mu_{vh} = \mu_h = 0.25$, $H = 100 \text{ m}$, $E_v = 60 \text{ MPa}$, $E_h = 30 \text{ MPa}$; 板参数为 $\mu_b = 0.1$, $h = 0.1 \text{ m}$, $E_b = 64\,000 \text{ MPa}$, $a = 1 \text{ m}$, $b = 0.5 \text{ m}$; 荷载为 1 MPa , 板上荷载满布且对称。由图 3 可见, 本文结果与 ABAQUS 计算结果吻合较好, 这就进一步验证了本文理论和数值计算方法的正确性。

3.2 对称受荷矩形板下多层地基的分析

这里以 4 层地基为例, 对满布且对称受荷矩形板下的多层地基问题进行分析。在本算例中弹性矩形板的刚度 k 定义为^[10]

$$k = \frac{E_b}{E_{v4}} (1 - \mu_{vh}^2) \left(\frac{h}{a}\right)^3 \quad (19)$$

式中: E_b 为矩形板的弹性模量; E_{v4} 为第 4 层土竖向弹性模量; μ_{vh} 为第 4 层土的竖向应力引起的水平向应变的泊松比; h 为矩形板的厚度; a 为矩形板长的一半; b 为矩形板宽的一半, 且 $a/b = 2$ (以下同)。 $I_z = \frac{\sigma_z}{p}$, $I_w = \frac{wE_{v4}}{2pa}$, I_z 和 I_w 分别为竖向应力系数和竖向位移系数。本算例中, 土层参数的取值如表 1 所示。

表 1 土层参数
Table 1 Parameters of soils

土层	E_v/kPa	E_h/kPa	μ_{vh}	μ_h	G_v/kPa	层厚/m
1	6 000	3 000	0.35	0.25	4 000	5.0
2	8 000	16 000	0.30	0.25	5 400	5.0
3	9 000	5 000	0.35	0.25	8 000	5.0
4	12 000	12 000	0.25	0.25	10 000	80.0

图 4 表明, 满布对称受荷矩形板下横观各向同性多层地基的竖向位移系数 I_w , 随 x 的增加而减小; 相同条件下, 板的刚度越大位移越小。

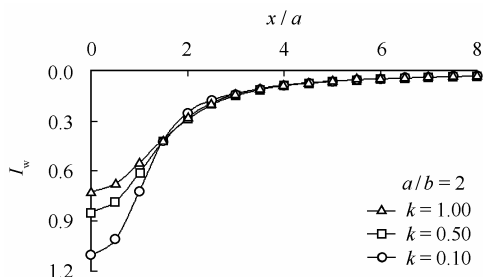


图 4 不同刚度 k 时地基表面不同 x 处的竖向位移系数 I_w
Fig.4 Vertical surface displacement factors I_w along the x -coordinate of layered soils for different values of rigidity k

图 5 表明, 满布对称受荷矩形板下横观各向同性多层地基板中心下的竖向应力系数 I_z , 随深度 z 的增加而减小, 并最终趋于 0; 同时, 板中心下的竖向应力还受矩形板刚度的影响, 矩形板的刚度越

大, 竖向应力越小。

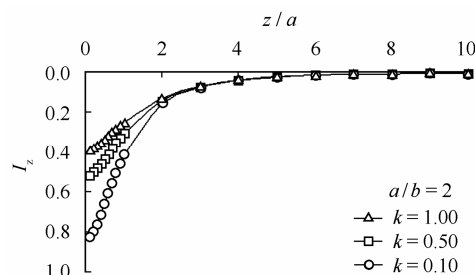


图 5 不同刚度 k 时板中心下竖向应力系数 I_z
Fig.5 Vertical normal stress factors I_z under the center of the plate for different values of rigidity k

3.3 横观各向同性地基与均匀各向同性地基对比

本算例中, 荷载在板上仍为满布且对称。横观各向同性地基参数取值同表 1。均匀各向同性地基参数取值如表 2 所示。这时, I_z 的定义同上, I_w 和 k 的定义分别为: $I_w = \frac{wE_4}{2pa}$, $k = \frac{E_b}{E_4} (1 - \mu_4^2) \left(\frac{h}{a}\right)^3$ 。

图 6、7 表明在相同荷载作用下横观各向同性地基和均匀各向同性地基沉降和竖向应力的计算结果存在较显著的差异; 因此, 研究横观各项同性地基模型对保证地基沉降和应力计算的正确性和精确性具重要的意义。

表 2 土层参数
Table 2 Parameters of soils

土层	E/kPa	ν	层厚/m
1	3 000	0.25	5.0
2	16 000	0.25	5.0
3	5 000	0.25	5.0
4	12 000	0.25	80.0

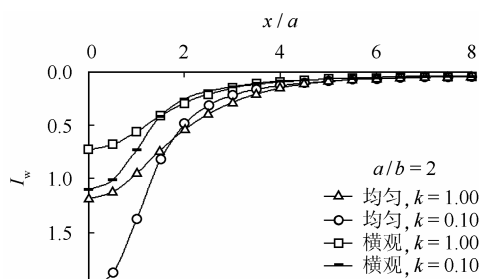


图 6 均匀和横观各向同性地基的表面竖向位移系数 I_w
Fig.6 Vertical surface displacement factors I_w of homogeneous and transversely isotropic layered soils

4 结 论

利用弹性矩形板与多层地基表面的竖向位移协调条件与光滑接触条件, 由地基应力与位移的非耦合的传递矩阵解, 在直角坐标下推导出满布对称

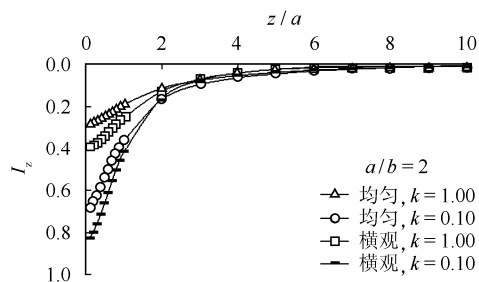


图7 均匀和横观各向同性地基板中心下竖向应力系数 I_z
Fig.7 Vertical normal stress factors I_z of homogeneous and transversely isotropic layered soils

受荷弹性矩形板下横观各向同性地基竖向应力和位移的解析解。在此基础上,编制了相应的程序,并进行了数值计算。计算结果表明:

(1) 矩形板刚度对板底竖向位移及板中心下的竖向应力均有较大的影响;板底竖向位移及板中心下的竖向应力,随着板刚度的增加而减小。

(2) 为了保证计算结果的精度和正确性,在实际工程中很有必要采用更符合土体性质的横观各向同性地基模型。

参考文献

- [1] 王炜, 徐新生. 关于横观各向同性弹性体轴对称问题的通解[J]. 北京大学学报, 1995, 31(3): 303—308.
WANG Wei, XU Xin-sheng. On the general solutions of axisymmetric problems of a transversely isotropic body[J]. *Journal of Beijing University*, 1995, 31(3): 305—308.
- [2] 陈光敬, 赵锡宏, 于立. 传递矩阵法求解成层横观各向同性弹性体轴对称问题[J]. 岩土工程学报, 1998, 20(5): 105—108.
CHEN Guang-jing, ZHAO Xi-hong, YU Li. Transferring matrix method to solve axisymmetric problems of layered cross-anisotropic elastic body[J]. *Chinese Journal of Geotechnical Engineering*, 1998, 20(5): 105—108.
- [3] 李沛豪, 朱向荣. 横观各向同性弹性半空间非轴对称问题解析解[J]. 岩土工程学报, 2004, 26(3): 331—334.
LI Pei-hao, ZHU Xiang-rong. Analytic solution of non-axisymmetric problems in transversely isotropic elastic half-space[J]. *Chinese Journal of Geotechnical Engineering*, 2004, 26(3): 331—334.
- [4] 李婕, 张学民, 顿志林, 等. 横观各向同性地基空间问题的位移函数解法[J]. 岩土工程学报, 2007, 29(1): 137—142.
- [5] LI Jie, ZHANG Xue-min, DUN Zhi-lin, et al. Displacement function method of space problem for transversely isotropic foundation[J]. *Chinese Journal of Geotechnical Engineering*, 2007, 29(1): 137—142.
- [6] 艾智勇, 成怡冲. 三维横观各向同性成层地基的传递矩阵解[J]. 岩土力学, 2010, 31(增刊 2): 25—30.
AI Zhi-yong, CHENG Yi-chong. Transfer matrix solutions of three-dimensional transversely isotropic multi-layered soils[J]. *Rock and Soil Mechanics*, 2010, 31(Supp.2): 25—30.
- [7] 袁聚云, 孙洋波, 王美云, 等. 传递矩阵法分析中心荷载下对称刚性板地基沉降及反力[J]. 力学季刊, 2005, 26(2): 316—321.
YUAN Ju-yun, SUN Yang-bo, WANG Mei-yun, et al. Analysis of settlement and contact pressure of symmetric rigid plate on subgrade under central concentrated load with method of transferring matrix[J]. *Chinese Quarterly of Mechanics*, 2005, 26(2): 316—321.
- [8] 艾智勇, 吴超. 三维直角坐标系下分层地基的传递矩阵解[J]. 重庆建筑大学学报, 2008, 30(2): 43—46.
AI Zhi-yong, WU Chao. Transfer matrix solutions for multi-layered soils in rectangular coordinate system[J]. *Journal of Chongqing Jianzhu University*, 2008, 30(2): 43—46.
- [9] AI Z Y, YUE Z Q, THAM L G, et al. Extended Sneddon and Muki solutions for multilayered elastic materials[J]. *International Journal of Engineering Science*, 2002, 40(13): 1453—1483.
- [10] 王春玲, 黄义, 李华. 板下地基位移分布规律及参数确定[J]. 应用力学学报, 2008, 25(1): 71—74.
WANG Chun-ling, HUANG Yi, LI Hua. Displacement regularity of foundation beneath plate and determination of parameters[J]. *Chinese Journal of Applied Mechanics*, 2008, 25(1): 71—74.
- [11] MILOVIC D. Stresses and displacements for shallow foundations[M]. Amsterdam: Elsevier Publishing Company, 1992.