第 28 卷　第 4 期(370 ~ 380)　中国地震　Vol. 28　No. 4
2012 年 12 月　EARTHQUAKE RESEARCH IN CHINA　Dec. 2012

梁建文、梅雄一、巴振宁,2012,斜入射平面 SH 波在层状半空间中沉积谷地周围的三维散射,中国地震,**28**(4),370 ~ 380。

斜入射平面 SH 波在层状半空间中沉积谷地周围的三维散射

梁建文　梅雄一　巴振宁

天津大学土木工程系,天津市南开区卫津路 92 号　300072
天津市土木工程结构及新材料重点实验室,天津　300072

摘要　采用直接刚度法计算自由场动力响应,以层状半空间中移动斜线均布荷载动力格林函数模拟散射波场,采用间接边界元方法求解了层状半空间中沉积谷地对斜入射平面 SH 波的三维散射问题。由于文中采用的层状场地三维动力刚度矩阵是精确的,且用于模拟散射波场的均布移动斜线荷载可以直接施加在沉积交界面处而不存在奇异性,所以本文方法具有很高精度。文中以均匀半空间和基岩上单一土层中沉积谷地对入射 SH 波的散射为例进行了数值计算,研究表明,沉积谷地对地震波的三维散射与二维散射之间存在本质差别;层状半空间中沉积谷地与均匀半空间中沉积谷地附近地表位移存在显著差异。

关键词:　三维散射　沉积谷地　平面 SH 波　层状半空间

[文章编号] 1001-4683(2012)04-0370-11　[中图分类号] P315　[文献标识码] A

0　引言

沉积谷地对地震波的散射,依据地震波入射方向与沉积谷地轴线夹角的不同,分为二维散射和三维散射。当地震波的入射方向与沉积谷地轴线成直角(垂直)时为二维散射,当地震波入射方向与沉积谷地轴线形成一夹角(非垂直)时为三维散射。

对于沉积谷地对地震波的二维散射,自 Trifunac(1971)开创性地给出了半圆形沉积谷地在 SH 波入射下平面外散射问题解析解后,诸多学者分别采用不同的方法对此类问题进行了研究,如波函数展开法(梁建文等,2003;Trifunac,1971;Wong et al,1974;Yuan et al,1995)、波源方法(Dravinsk,1983;Dravinsk et al,1987)、边界元方法(梁建文等,2007;Kawase et al,1989; Sanchez-Sesma et al,1993)等;对于沉积谷地对地震波的三维散射,由于问题求解的复杂性,目前研究较少。梁建文等(2009、2010)给出了均匀半空间中沉积谷地对 SV 波和 P 波三维散射的解析解,但由于解析方法的局限性,难以处理层状半空间以及不规则的沉积截面形状。De Barros 等(1995)采用“波源”方法求解了层状半空间中沉积谷地对地震波的三维散射,但由于其方法采用的“虚拟波源”不能直接放置在沉积边界上,精度受到“波源”

[收稿日期] 2011-12-26
[项目类别] 国家自然科学基金资助项目(50908156、50978183)、天津市应用基础及前沿技术研究计划(12JCQNJC04700)
[作者简介] 梁建文,男,生于 1965 年,教授,博士生导师,主要从事地震工程研究。E-mail:liang@ tju. edu. cn

位置的限制。Pedersen 等(1995)以全空间格林函数为基本解,采用间接边界元方法研究了均匀半空间中沉积谷地对地震波三维散射问题,但由于其方法采用动力格林函数是全空间格林函数,求解时需离散半空间自由表面,且其方法难以对层状半空间情况进行求解。

本文考虑天然土体的成层特性,考虑沉积截面的不规则性,在梁建文等(2007)研究的基础上,将方法进一步拓展,采用间接边界元方法求解了层状半空间中沉积谷地对斜入射平面 SH 波的三维散射问题。文中以均匀半空间和基岩上单一土层中半圆沉积谷地为例进行了数值计算,研究了沉积谷地对地震波的二维散射与三维散射的差异,并讨论了土层厚度以及基岩与土层刚度比对沉积附近地表位移幅值的影响。

1　计算模型与求解

如图 1 所示,任意形状无限长沉积谷地(沉积谷地截面沿轴向不变)位于层状半空间中,斜入射平面 SH 波传播方向在平面($x-y$)投影中与 y 轴形成夹角 θ_h(如图 1(a)所示),入射方向在波传播平面内与 y' 形成夹角 θ_v(如图 1(c)所示),图 1(b)为沉积地形在截面($x-z$)平面内的视图。

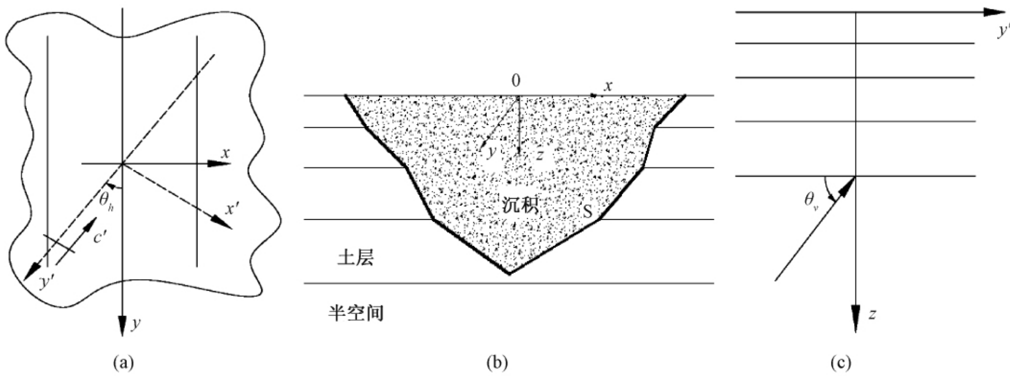

图 1　计算模型

截面形状沿沉积轴线不变的沉积谷地,在入射平面 SH 波作用下的动力响应是三维的,但由于沉积谷地沿轴线无限长,其结构是二维的,这时可以只取一个截面进行离散求解,就可以得到任意位置的动力响应,其计算量远小于三维的情形,可以在很大程度上节省计算资源。具体求解时,首先采用直接刚度法求解平面 SH 波入射下层状半空间自由场响应(无沉积谷地存在);然后分别在沉积交界面施加均匀斜线移动荷载,以其产生的动力响应模拟层状半空间及沉积内部的散射场;由沉积交界面的位移和应力连续条件求得施加移动荷载的密度;最后叠加自由场动力响应和散射场动力响应即可得到斜入射平面 SH 波对层状半空间沉积谷地的三维散射解答。

平面 SH 波斜入射下,层状半空间自由场反应可采用直接刚度法求得,由式(1)和式(2)可求得每层土上下交界面处的位移,然后通过各土层中上下行波的幅值与交界面处位移的关系求得土层中波的幅值,最后再根据位移和应力等动力响应与上下行波幅值的关系即可求得层状半空间中任意点的动力响应。

$$\begin{bmatrix} P_{x0} \\ P_{y0} \\ iP_{z0} \end{bmatrix} = [S^{\mathrm{R}}_{\mathrm{P-SV-SH}}] \begin{bmatrix} u_0 \\ v_0 \\ iw_0 \end{bmatrix} \tag{1}$$

$$[S_{\mathrm{P-SV-SH}}]\{U\} = \{Q\} \tag{2}$$

其中，u_0、v_0 和 w_0 为基岩露头“运动”，$[S^{\mathrm{R}}_{\mathrm{P-SV-SH}}]$ 为基岩半空间三维动力刚度矩阵，$[S_{\mathrm{P-SV-SH}}]$ 为层状半空间三维整体动力刚度矩阵。向量$\{U\}$ 为土层交界面处位移幅值组成的向量，向量$\{Q\}$ 为土层交界面处力幅值组成的向量(巴振宁等,2010)。

由于沉积谷地存在产生的散射波场，可由施在沉积与层状半空间交界面上的移动斜线均布荷载动力格林函数来模拟，设 $g_u(s)$ 和 $g_t(s)$ 分别为位移和应力的动力格林函数，则层状半空间中任一点的位移以及沿坐标 x、y 和 z 方向的应力可由式(3)和式(4)表示。

$$\{u^p, v^p, w^p\}^{\mathrm{T}} = [g_u(x,y,z)]\{p_x, p_y, p_z\}^{\mathrm{T}} \tag{3}$$

$$\{t_x^p, t_y^p, t_z^p\}^{\mathrm{T}} = [g_t(x,y,z)]\{p_x, p_y, p_z\}^{\mathrm{T}} \tag{4}$$

其中，p_x、p_y 和 p_z 为施加的3个方向移动均布斜线荷载密度，u^p、v^p 和 w^p 为在移动均布斜线荷载作用下产生的位移，t_x^p、t_y^p 和 t_z^p 为移动均布斜线荷载作用下产生的沿 3 个坐标轴方向的应力(巴振宁等,2010)。

沉积交界面 S 上的应力和位移连续条件可表示为

$$\int_s [W(s)]^{\mathrm{T}} \left(\begin{bmatrix} t_x^L(s) \\ t_y^L(s) \\ t_z^L(s) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} t_x^f(s) \\ t_y^f(s) \\ t_z^f(s) \end{bmatrix} \right) \mathrm{d}s = \int_s [W(s)]^{\mathrm{T}} \begin{bmatrix} t_x^V(s) \\ t_y^V(s) \\ t_z^V(s) \end{bmatrix} \mathrm{d}s \tag{5}$$

$$\int_s [W(s)]^{\mathrm{T}} \left(\begin{bmatrix} u^L(s) \\ v^L(s) \\ w^L(s) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} u^f(s) \\ v^f(s) \\ w^f(s) \end{bmatrix} \right) \mathrm{d}s = \int_s [W(s)]^{\mathrm{T}} \begin{bmatrix} u^V(s) \\ v^V(s) \\ w^V(s) \end{bmatrix} \mathrm{d}s \tag{6}$$

其中，$W(s)$ 为权函数，可取为单位矩阵，使积分在每个单位上都能独立进行，其中上标“L”代表与层状半空间有关的参数，上标“V”代表与沉积有关的参数，上标“f”代表与自由场有关的参数，将式(3)和(4)代入式(5)和式(6)得

$$[T_p^{\ L}] \begin{bmatrix} p_{1x} \\ p_{1y} \\ p_{1z} \end{bmatrix} + [T_f] = [T_p^{\ V}] \begin{bmatrix} p_{2x} \\ p_{2y} \\ p_{2z} \end{bmatrix} \tag{7}$$

$$[V_p^{\ L}] \begin{bmatrix} p_{1x} \\ p_{1y} \\ p_{1z} \end{bmatrix} + [V_f] = [V_p^{\ V}] \begin{bmatrix} p_{2x} \\ p_{2y} \\ p_{2z} \end{bmatrix} \tag{8}$$

其中

$$[T_p^{\ L}] = \int_s [W(s)]^{\mathrm{T}} [g_t^L(s)] \mathrm{d}s \quad [T_p^{\ V}] = \int_s [W(s)]^{\mathrm{T}} [g_t^V(s)] \mathrm{d}s \quad [T_f] = \int_s [W(s)]^{\mathrm{T}} [t_f(s)] \mathrm{d}s$$

$$[V_p^{\ L}] = \int_s [W(s)]^{\mathrm{T}} [g_u^L(s)] \mathrm{d}s \quad [V_p^{\ V}] = \int_s [W(s)]^{\mathrm{T}} [g_u^V(s)] \mathrm{d}s \quad [V_f] = \int_s [W(s)]^{\mathrm{T}} [v_f(s)] \mathrm{d}s$$

其中，$g_u^L(s)$，$g_u^V(s)$，$g_t^L(s)$ 和 $g_t^V(s)$ 分别为层状半空间和沉积谷地的位移和应力格林函数，

p_1 和 p_2 分别为计算层状半空间和沉积谷地格林影响函数矩阵所施加的虚拟分布荷载。

由式(7)和(8)可求得 p_1 和 p_2，结合式(3)，最后可求的地表位移为

$$\begin{Bmatrix} u(x,y,z) \\ v(x,y,z) \\ w(x,y,z) \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} u^f(x,y,z) \\ v^f(x,y,z) \\ w^f(x,y,z) \end{Bmatrix} + [\,g_u^L(x,y,z)\,] \begin{bmatrix} p_{1x} \\ p_{1y} \\ p_{1z} \end{bmatrix} \quad （沉积外） \tag{9}$$

$$\begin{Bmatrix} u(x,y,z) \\ v(x,y,z) \\ w(x,y,z) \end{Bmatrix} = [\,g_u^V(x,y,z)\,] \begin{bmatrix} p_{2x} \\ p_{2y} \\ p_{2z} \end{bmatrix} \quad （沉积内） \tag{10}$$

2　方法验证

以均匀半空间中沉积谷地对斜入射平面 SH 波的三维散射为例来验证本文方法的正确性。图 2 为本文计算结果与 De Barros 等(1995)采用“波源”方法给出结果的比较。计算参数如下：水平入射角度 $\theta_h = 45°$，竖向入射角度 $\theta_v = 30°$、$60°$ 和 $90°$，泊松比 $\mu = 1/3$，无量纲频率 $\eta = \omega a/\pi c_s = 0.5$，阻尼比 $\zeta = 0.005$，沉积谷地与半空间的剪切波速比为 0.5，质量密度比为 2/3。从图 2 可以看出，本文结果与 Barros 等(1995)给出结果非常吻合，证明了本文方法的正确性。本文所采用间接边界元方法以层状半空间中移动斜线荷载动力格林函数为基本解，具有无需离散自由地表和荷载、可以直接加在沉积交界面上而不存在奇异性的优点，所以计算精度非常高。

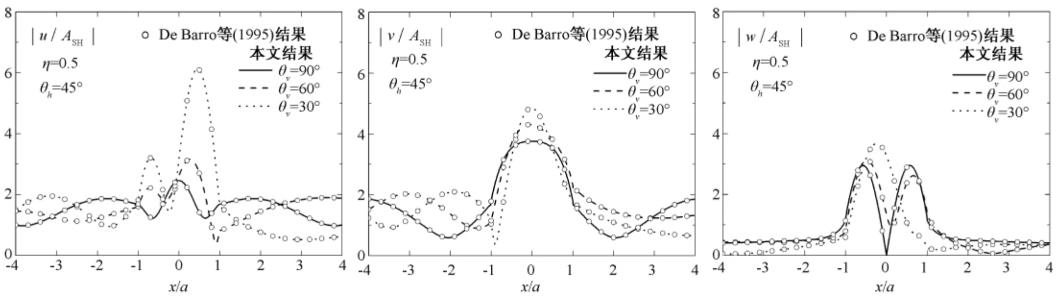

图 2　本文计算结果与 De Barros 等(1995)结果的比较

3　算例分析

3.1　三维散射与二维散射的比较

为比较沉积谷地对入射 SH 波的二维散射与三维散射之间的差异，探讨是否可以将斜入射 SH 波分解到沉积谷地截面方向，然后按平面外散射进行简单二维求解。图 3 给出均匀半空间中半圆形沉积谷地对地震波的二维散射与三维散射之间的比较。沉积介质与半空间介质剪切波速比为 1/2，质量密度比为 2/3，泊松比均为 1/3，无阻尼（实际取阻尼比 0.001），取无量纲频率 $\eta = \omega a/\pi c_s = 0.5$ 和 1.0。图 3 中对于三维散射情况取水平入射角度为 $\theta_h = 45°$，取竖向入射角度分别为 $\theta_v = 0°$、$30°$、$60°$ 和 $90°$，二维情况取入射角度分别为 $\theta = 0°$、$30°$、$60°$ 和 $90°$。图中二维散射情况无量纲位移幅值为 $|u/A_{SH}|$ 和 $|w/A_{SH}|$，三维散射情

况无量纲位移幅值为 $|u/(A_{SH}\sin\theta_h)|$ 和 $|w/(A_{SH}\sin\theta_h)|$。

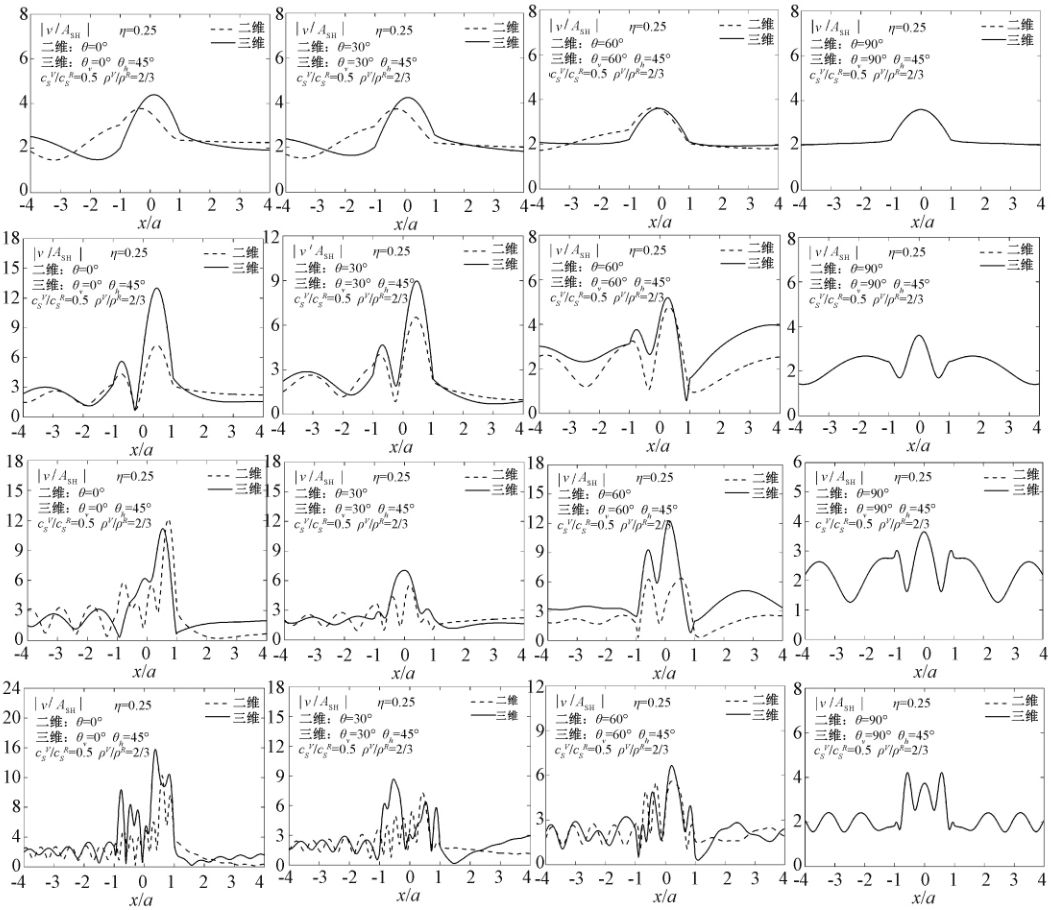

图 3　沉积谷地对平面 SH 波二维散射与三维散射的比较

从图中可以看出，SH 波非垂直地入射（$\theta_v \neq 90°$）时，沉积谷地对 SH 波的二维散射与三维散射之间存在较大差异，不能简单地将斜入射 SH 波分解到沉积谷地截面方向，按平面外散射进行求解。当 SH 波垂直入射时（$\theta_v = 90°$），三维散射与二维散射情况完全一致，此时可以将斜入射 SH 波以分解到沉积截面方向，按平面外散射进行计算。从图中还可以看出，整体上 SH 波斜入射时，沉积谷地附近地表位移幅值较大。SH 波垂直沉积谷地轴线入射（二维散射）时，沉积对 SH 波的“屏障效应”较 SH 波斜入射（三维散射）时要明显的多。

3.2　斜入射角度对地表位移幅值的影响

为研究斜入射 SH 波水平入射角度对沉积附近地表位移幅值的影响，图 4 给出了平面 SH 波水平入射角度不同时，均匀半空间中沉积谷地附近地表位移幅值。图 4 中沉积介质与半空间介质质量密度比为 1.0，其他参数与图 3 相同，无量纲频率的定义方式也与图 3 相同。图 4 给出结果中，竖向入射角 θ_v 分别为 45° 和 90°，水平入射角 θ_h 分别为 0°、30°、60° 和 90°，无量纲频率 η 分别为 0.5、1.0 和 2.0。

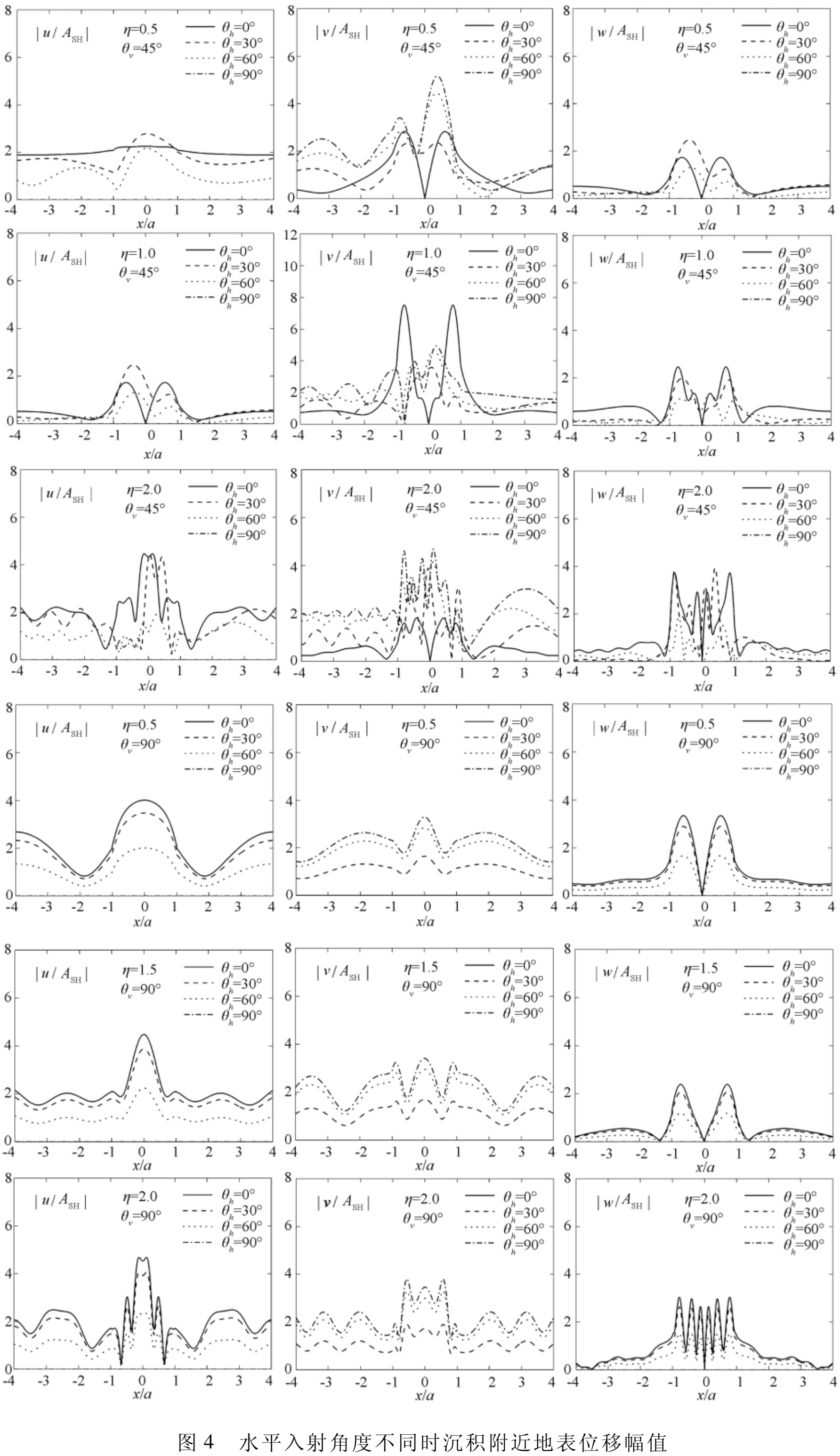

图 4　水平入射角度不同时沉积附近地表位移幅值

从图中可以看出，沉积附近地表位移幅值受水平入射角度的影响显著。随着水平入射角的增大(SH 波入射方向与沉积谷地轴线的夹角逐渐增大)，整体上 x 方向水平位移和 z 方向竖向位移逐渐减小，而 y 方向水平位移逐渐增大，且随着水平入射角度的增大，沉积谷地对入射 SH 波的“屏障效应”变得愈加明显。另外从图中还可以看出，当波垂直入射($\theta_v = 90^0$)时，沉积附近地表位移幅值的空间变化不再受水平入射角的影响，无论是水平位移还是竖向位移均关于沉积谷地轴线对称，只是对于不同的水平入射角，位移幅值不同，并且此时沉积附近地表在 $\theta_h = 0^0$时无 y 方向水平位移。另外，值得指出的是，当水平入射角 $\theta_h = 90°$时，SH 波的入射方向与沉积谷地轴线垂直，此时沉积谷地动力响应是二维的，沉积附近地表无平面内 x 方向水平位移和 z 方向竖向位移，而仅有 y 方向出平面水平位移。

3.3　土层厚度对地表位移幅值的影响

为研究层状半空间中沉积谷地对斜入射平面 SH 波的三维散射特性，以基岩上单一土层中半圆沉积谷地为例，图 5 给出了 SH 波斜入射、土层厚度不同时，沉积附近的地表位移。基岩介质由其剪切波速 C_s^R 和质量密度 ρ^R 确定，土层的剪切波速和质量密度为 C_s^L 和 ρ^L，沉积谷地的剪切波速和质量密度为 C_s^v 和 ρ^v，基岩、土层和沉积谷地的阻尼比分别为 ζ^R，ζ^L 和 ζ^v，基岩、土层和沉积谷地的泊松比分别为 v^R、v^L 和 v^v，土层厚度为 H。定义无量纲频率 $\eta = 2a/\lambda^L = \omega a/\pi c_s^L$，$\lambda^L$ 为土层中剪切波波长。计算参数如下：基岩与土层剪切波速比 $C_s^R/C_s^L = 5.0$，基岩与土层质量密度比 $\rho^R/\rho^L = 1$，沉积谷地与土层质量密度比 $\rho^V/\rho^L = 1$，沉积谷地与土层剪切波速比 $C_s^V/C_s^L = 0.5$，土层、沉积谷地和基岩阻尼分别为 $\zeta^L = 0.05$、$\zeta^V = 0.05$ 和 $\zeta^R = 0.02$，土层、沉积谷地和基岩泊松比均为 $v^L = v^V = v^R = 1/3$，水平入射角度 $\theta_h = 45°$，竖向角度 $\theta_v = 5°$、$30°$、$60°$ 和 $90°$，无量纲频率分别为 $\eta = 0.375$、0.5 和 1.0。土层厚度分别为 $H/a = 1.0$ 和 4.0。

从图 5 可以看出，土层厚度对沉积附近地表位移幅值有显著影响，土层厚度的改变使地表位移的幅度和空间分布都有明显变化，这是因为土层厚度的改变直接导致了土层自身动力特性的改变，即改变了平面 SH 波入射下层状场地自由场反应。整体上沉积地表位移幅值较沉积两侧地表位移幅值要大的多(如 $\eta = 0.375$、$H/a = 1.0$ 时，沉积表面两水平位移达 8.69 和 10.61，均远大于两侧的位移值)，这是由于波在沉积内部多次反射折射引起的。从图 5 还可以看出，当 $\eta = 0.5$，$H/a = 1.0$ 时，沉积附近两水平地表位移达 5.4 和 6.75，明显大于均匀半空间情况，这是因为层状场地在 SH 波垂直入射下存在多个水平共振频率，而 $\eta = 0.5$ 对应土层厚度 $H/a = 1.0$ 时的第一共振频率。另外值得指出的是，对层状半空间，随着竖向入射角度的增大，地表位移逐渐增大，即当竖向入射角度较小时，地表位移值较小，这与均匀半空间情况相反(均匀半空间，掠入射时地表位移值较大)。

3.4　基岩与土层刚度比对地表位移的影响

图 6 给出了在 SH 波斜入射且基岩与土层刚度比不同时(图中以基岩与土层剪切波速比表示)沉积附近地表位移值。其他计算参数及无量纲频率的定义均与图 5 中相同，$\eta = 0.25$、0.5 和 1.0，$H/a = 2.0$，$C_s^R/C_s^L = 2.0$ 和 $C_s^R/C_s^L = 5.0$。从图中可以看出，随着基岩与土层剪切波速比的变化，沉积附近的地表位移变化较大，但空间分布变化不大，这是因为虽然基岩与土层剪切波速比发生了变化，但土层自身的动力特性却没有改变。另外从图 6 还可以看出，随着基岩与土层剪切波速比的增大，整体上沉积附近地表位移幅值逐渐增大。

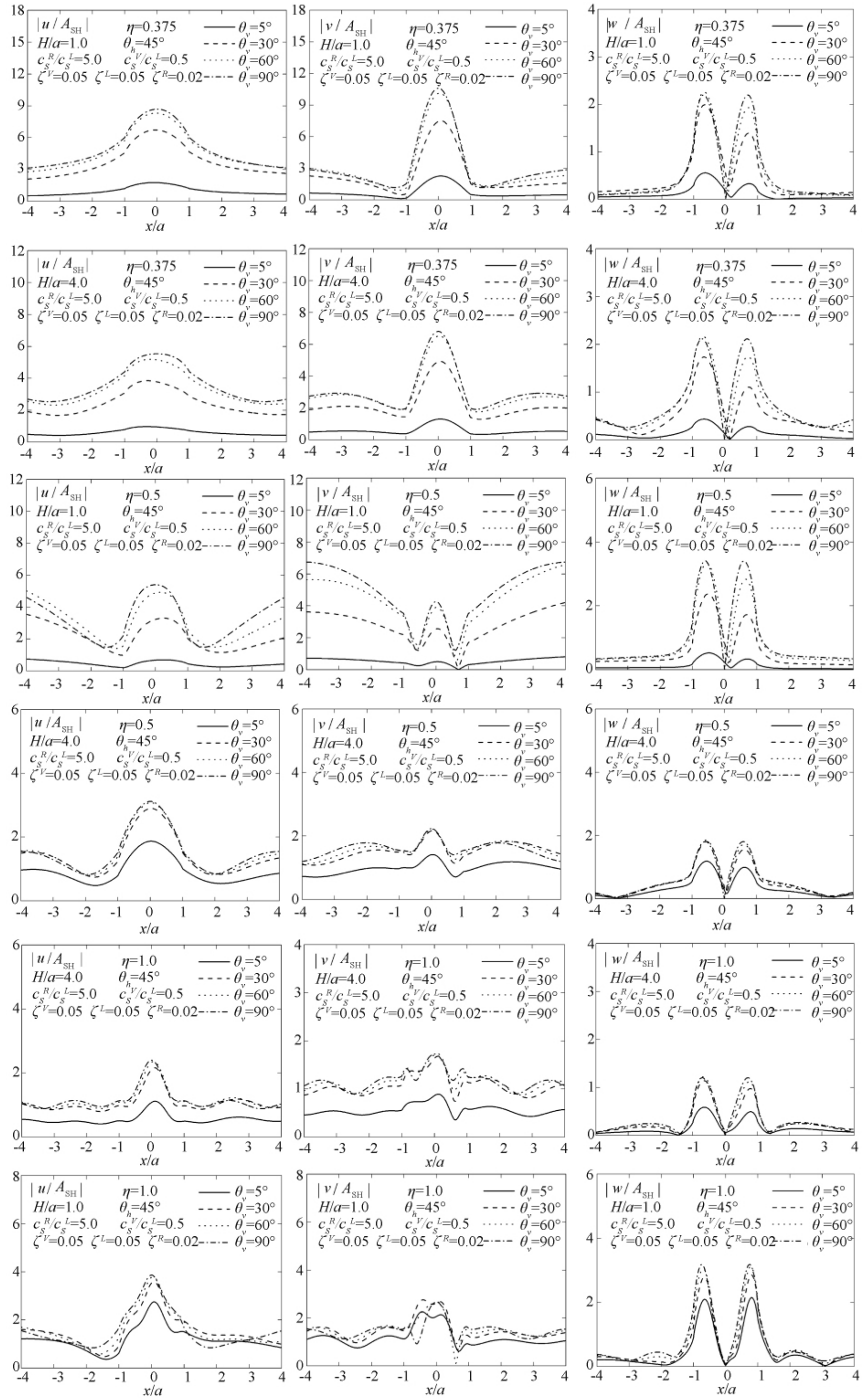

图 5　基岩上单一土层场地土层厚度不同时,沉积附近地表位移幅值

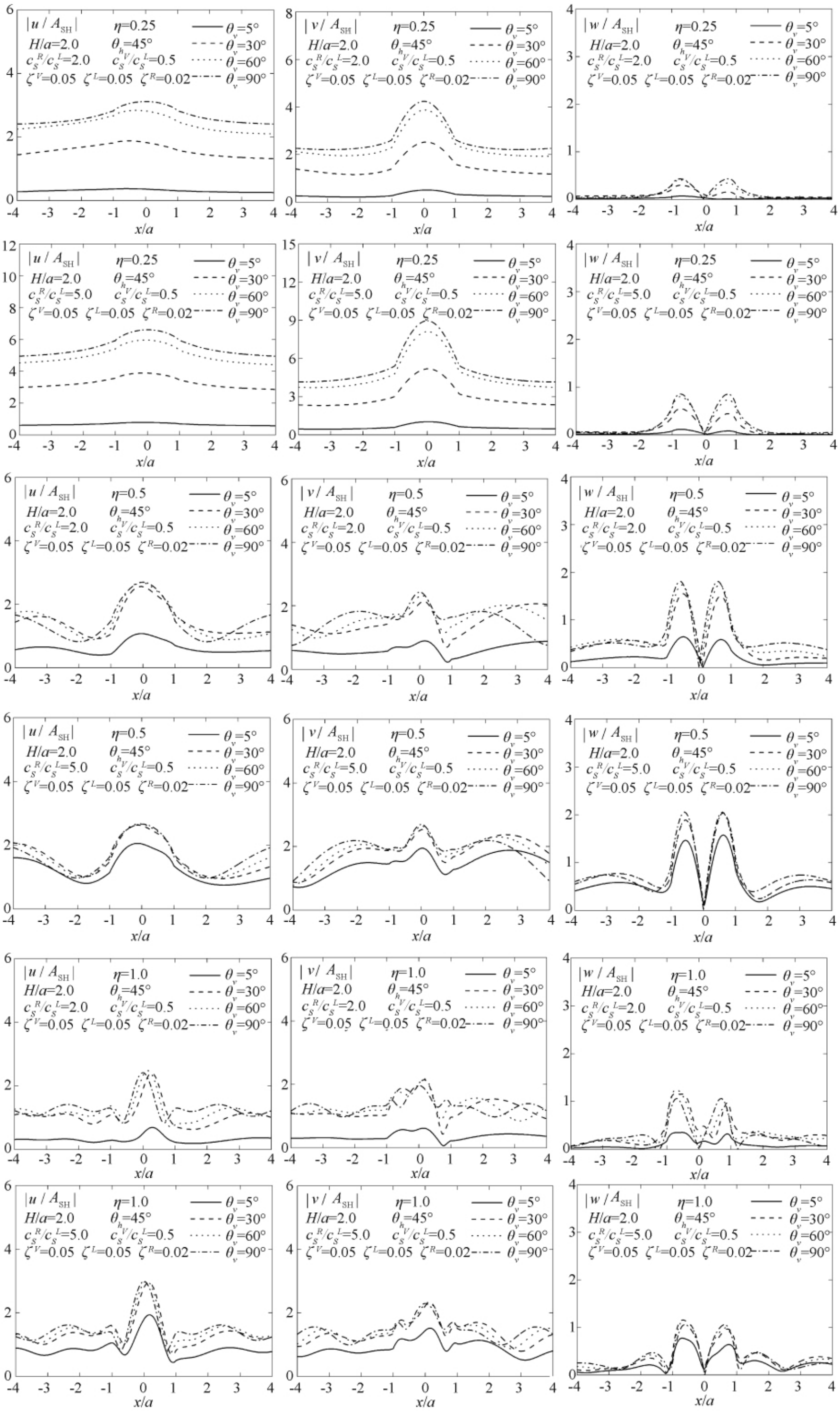

图 6 基岩刚度比不同时沉积附近地表位移幅值

4 结论

本文在考虑了天然土体的成层特性，考虑了沉积截面形状的不规则性的情况下，利用间接边界元方法求解了层状半空间中沉积谷地对斜入射平面 SH 波的三维散射问题。文中通过了大量数值计算结果的分析，得到了以下一些有益的结论。

（1）沉积谷地对地震波的二维散射与三维散射之间存在本质差别。不能简单将斜入射 SH 波分解到沉积谷地截面方向按平面外问题进行求解。

（2）斜入射 SH 波的水平入射角度对沉积附近地表位移有显著影响。随着入射方向在水平面内投影与沉积谷地轴线间夹角的逐渐增大，整体上 x 方向水平位移和 z 方向竖向位移逐渐减小，而 y 方向水平位移逐渐增大。

（3）土层厚度和基岩与土层刚度比对沉积附近地表位移有显著影响。由于直接导致了基岩上单一土层场地自身的动力特性的改变，土层厚度的改变对沉积附近地表位移的大小和空间分布均有显著影响；而基岩与土层刚度比的改变对位移的大小影响较大，但对位移幅值的空间分布影响较小。

参考文献

巴振宁、梁建文，2010，2.5D scattering of incident plane SH waves by a canyon in layered half-space，Earthquake Science，**23**，25 ~33。

梁建文、巴振宁，2007，弹性层状半空间中沉积谷地对入射平面 SH 波的放大作用，地震工程与工程振动，**27**(3)，1 ~9。

梁建文、魏新磊，Lee V W，2009，圆弧型沉积谷地对平面 SV 波三维散射解析解，岩土工程学报，**31**(9)，1345 ~1353。

梁建文、魏新磊，Lee V W，2010，圆弧型沉积谷地对平面 P 波三维散射解析解，岩土力学，**31**(2)，461 ~470。

梁建文、严林隽、秦东，2003，圆弧形沉积河谷场地在平面 SV 波入射下的动力响应，地震学报，**26**(12)，74 ~82。

De Barros FCP，Luco J E，1995，Amplication of obliquely incident waves by a cylindrical valley embedded in a layered half-space，Soil Dyn Earthq Engng，**14**，163 ~175.

Dravinski M，1983，Scattering of plane harmonic SH wave by dipping layers or arbitrary shape，Bull Seism Soc Am，**73**，1303 ~1319.

Dravinski M，Mossessian T K，1987，Scattering of plane harmonic P，SV，and Rayleigh waves by dipping layers of arbitrary shape，Bull Seism Soc Am，**77**，212 ~235.

Kawase H，Aki K，1989，A study on the response of a soft basin for incident S，P and Rayleigh waves with special reference to the long duration observed in Mexico city，Bull Seism Soc Am，**79**(5)，1361 ~1382.

Pedersen H，Campillo M，Sanchez-Sesma F J，1995，Azimuth dependent wave amplification in alluvial valleys，Soil Dyn Earthq Engng，**14**，289 ~300.

Sanchez-Sesma F J，Ramos-Martinez J，Campillo M，1993，An indirect boundary element method applied to simulate the seismic response of alluvial valleys for incident P，S and Rayleigh waves，Earthq Eng Struct Dyn，**22**，279 ~295.

Trifunac M D，1971，Surface motion of a semi-cylindrical alluvial valley for incident plane SH waves，Bull Seism Soc Am，**61**，1755 ~1770.

Wong H L，Trifunac M D，1974，Surface motion of a semi-elliptical alluvial valley for incident plane SH waves，Bull Seism Soc Am，**64**，1389 ~1408.

Yuan X，Liao Z，1995，Scattering of plane SH waves by a cylindrical alluvial valley of circular-arc cross-section，Earthq Eng Struct Dynam，**24**，1303 ~1313.

Three-dimensional scattering by an alluvial valley in a layered half-space for obliquely incident plane SH waves

Liang Jianwen *Mei Xiongyi* *Ba Zhenning*

School of Civil Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China

Tianjin key Laboratory of Civil Engineering Structures and New Materials, Tianjin 300072, China

Abstract The indirect boundary element method (IBME) is used to study three-dimensional scattering by an alluvial valley embedded in a layered half-space for obliquely incident plane SH waves; by using the direct stiffness method to calculate the free-field responses and dynamic Green′s functions of moving distributed loads acting on inclined lines in a layered half-space to simulate the scatter wave filed responses. The presented method yields very accurate results for the 3D dynamic stiffness matrixes and the fictitious uniform moving loads can be acted directly on the interface between the alluvial valley and the layered half-space without singularity. Numerical results and analyses are performed by taking the amplification of incident plane SH waves by an alluvial in a uniform half space and in one layer over half-space. The results show that the three-dimensional responses are distinctively different from the two-dimensional responses, and the displacement amplitudes around the valley in a uniform half-space are obviously different from those of in a layered half-space.

Key words: **Three-dimensional scattering Alluvial valley Plane SH waves Layered half-space**