

文章编号: 1001-831X(2002)03-0225-04

不同类别岩土层深基坑转角处岩土工程量计算*

马 炜¹, 马贯中²

(1. 广东海外建设总公司, 广州 510620; 2. 重庆大学建筑城规学院, 重庆 400045)

摘 要: 转角部分土石方工程量是多边形深基坑采用放坡开挖土石方工程量的一个组成部分, 当开挖深度穿过多层不同类别的岩土层时, 角部方量的计算变得相当困难且无现成的计算方法, 笔者在剖析涉及角部不同类别岩土方量的各有关因素后, 用数学解析方法导出了适用于各种情况下的角部方量计算公式。

关键词: 挖方; 放坡; 角部; 岩土工程量

中图分类号: TU723.3

文献标识码: B

1 引 言

高层建筑多边形深基坑开挖的分类土石方工程量是由场地的网格方量、场边的放坡方量及转角部分的角部方量三部分组成。其中之一、二部分已在《高层建筑深基坑开挖不同类别岩土工程量计算》^[1]中作了介绍, 本文探讨转角部分的分类土石方工程量计算方法。

深基坑开挖多边形场地转角部分的分类土石方工程量取决于场地的边数、形状、地形及岩层的产状。目前涉及土石方工程量计算的资料, 如:《工程预算手册》^[2]、《建筑施工手册》^[3]等中, 仅介绍了单一岩土层平基后矩形基坑及竖向布置矩形场地放坡开挖时的角部方量计算方法。这对于非矩形的多边形场地及开挖深度穿过多层不同类别岩土层时, 远不能满足《全国统一建筑工程预算工程量计算规则》(GJDz-101-95)的要求, 这就要求我们探索适用于该《规则》要求的新计算方法。

本文在剖析影响放坡开挖角部分类岩土方量诸因素的基础上, 导出了角部分类岩土方量的解析计算公式。该式考虑了可能出现的转角形式及岩层和地形的各种可能产状和变化, 因此是计算场地转角分类岩土方量的通用算式。

多边形深基坑放坡开挖可归纳为两种情况: 一

是场平后单一岩土层的开挖; 二是原貌地形下穿过多层不同类别岩土层时的开挖。虽然前者只是后者的一个特例, 但把用于后者的工程量计算方法用于前者显然会增加不必要的工作量, 故本文拟对二者分别进行讨论。

2 场平后单一岩土层转角部分岩土工程量计算

在有关资料[2]、[3]中, 仅介绍了场平后单一岩土层矩形基坑放坡开挖时的角部方量计算方法, 此时转角的内夹角等于直角, 而高层建筑地下室可能是任意多边形, 其内夹角可能大于 0° , 小于 180° 及大于 180° , 小于 360° 中的任意一个角度值(图1、图2)。

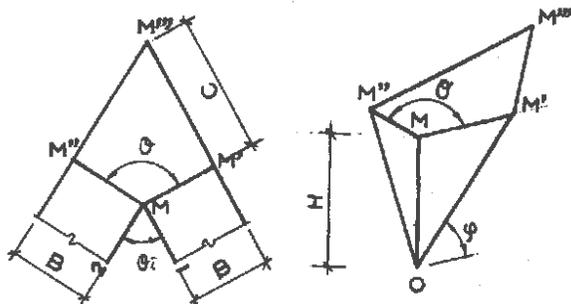


图1 $0^\circ < \theta < 180^\circ$

* 收稿日期: 2002-05-03

作者简介: 马炜(1972), 男, 湖南人, 本科毕业, 从事海外建设工程招标投标及承包工作。

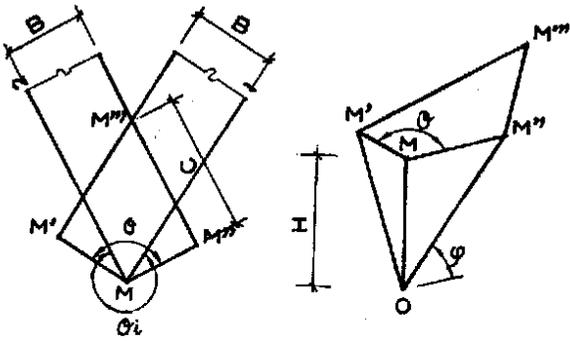


图 2 $180^\circ < \theta_i < 360^\circ$

从图 1.2 不难看出, 场地第 i 个转角的岩土方量 V_i 等角锥 $O-MM'M''M'''$ 的体积。

$$V_i = \frac{H^3}{3} \cdot \frac{\tan \frac{\theta}{2}}{\tan^2 \varphi} \quad (1)$$

式中: H 是坑的深度; φ 是根据岩土性质及施工方法确定的放坡坡度角; θ 是过角点铅垂线 OM 并垂直构成该转角的二条场地边线所作的两个半平面的二面角。

由图 1.2

$$\theta = 360^\circ - (180^\circ + \theta_i) = 180^\circ - \theta_i$$

故

$$\frac{\theta}{2} = 90^\circ - \frac{\theta_i}{2} \quad (2)$$

(2)代入(1), 化简

$$V_i = \frac{H^3}{3 \tan^2 \varphi \tan \frac{\theta_i}{2}} \quad (3)$$

式中: θ_i 是多边形深坑转角 i 的内角值。

式(3)便是计算场平后单一岩土层之任意多边形深坑放坡开挖角部岩土方量的通式。式中 θ_i 的值不仅影响角部方量的大小, 而且具有不同的工程涵义。现就三种情况进行探讨。

(1)当 $\theta_i = 90^\circ$ 时, $\tan \frac{\theta_i}{2} = 1$, 若令 $K = \frac{1}{\tan \varphi}$, 则

$V_i = \frac{1}{3} K^2 H^3$, 便是常见资料中计算矩形基坑角部方量的计算公式。

(2)当 $0 < \theta_i < 180^\circ$ 时 $\tan \frac{\theta_i}{2}$ 的值为“+”, V_i 为“+”, 从场内看该转角是阴角(图 1), 该方量是场地网格方量、场边放坡方量未包含的角部方量, 故应增计在场地岩土总量之中。

(3)当 $180^\circ < \theta_i < 360^\circ$ 时, $\tan \frac{\theta_i}{2}$ 的值为“-”, V_i

为“-”, 从场内看该转角是阳角(图 2), 该方量是计算场边放坡方量的重叠部分多计算的方量, 故应在计算场地岩土总量时取“-”值(扣去该量)。

3 原貌地形下穿过多层不同类别岩土层时转角分类岩土工程量计算

原貌地形下穿过多层不同类别岩土层深坑放坡开挖时的转角部分分类岩土方量, 是角点铅垂线并垂直于构成该转角的二条场地边线所作的两个半平面与以该两边线为基线的两个坡面围成的角部空间, 此空间顶部以自然地面为界, 并在开挖深度范围内被不同类别岩土层界面切割成多个空间多面体(图 3), 这每一个多面体的体积便代表着某一类别岩土层的角部方量, 而某类别岩土层的角部方量应是该角部在开挖深度范围内同类岩土方量之和。

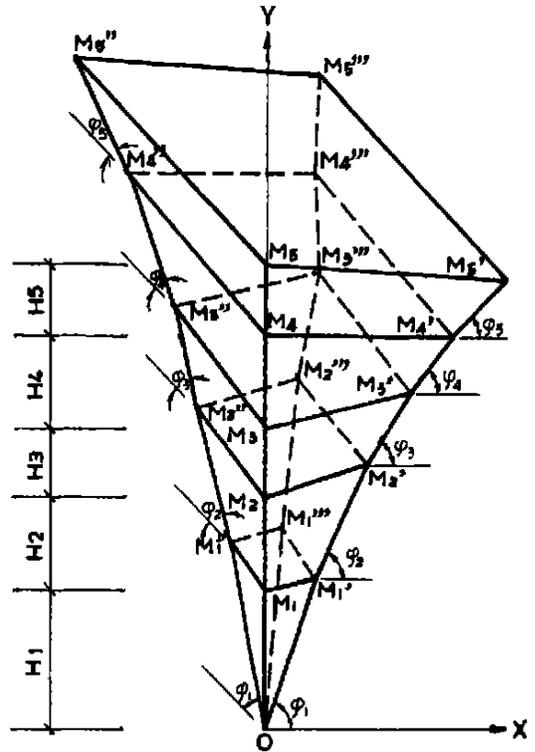


图 3 空间多面体

可以证明(从略), 只有在转角放坡范围内地面及开挖深度之各岩土层界面均为水平面, 且转角 θ_i 等于 90° 及 270° , 采有变坡度开挖时的特殊情况下, 转角部分分类岩土方量的几何形体, 其底层方为一顶点在角点之四分之一倒置正四棱锥体, 其余为相互衔接之四分之一倒置正四棱台。虽然这种几何形体在实际的工程中是极鲜见的, 但考虑到场地的角部方量比起整个场地的岩土方量来是比较少的(视场地大小而异), 且计算简单, 因此在某些场合

用它来进行角部分类岩土方量的计算仍是可接受的。我们把此情况下的转角处分类岩土方量计算称作“特殊情况下的转角处分类岩土工程量计算”。

一般情况下, 转角分类岩土构成的几何形体, 底层为一顶点在角点之倒四棱锥体, 其余为相互衔接之六面体, 故必须将其分解为四面体后, 再根据其四面体的角点坐标用解析法求其体积。

为避免计算中的判别过程, 因此在公式中引入绝对值(ABS)及符号函数(SGN)。

3.1 特殊情况下的角部分类岩土工程量计算

今以 h_i 表角部第 i 层岩土在转角点的垂直厚度; B_i 表第 i 层岩土构成的转角锥、台之上底宽度 ($B_0=0$); φ_i 代表根据第 i 层岩土性质及施工条件确定的坡度角; V_i 表第 i 层岩土在 [1] 中未计算或被重复计算的转角方量; θ_i 是该转角之内角。

对于自下而上的第 i 层岩土, 有

$$B_i = \sum_{j=1}^i \frac{h_j}{\tan \varphi_j} \quad (4)$$

$$V_i = \text{SGN}(\tan \frac{\theta_i}{2}) \cdot \frac{h_i}{3} \cdot (B_i^2 + B_{i-1}^2 + B_i \cdot B_{i-1}) \quad (5)$$

式(5)中, 若 $\text{SGN}(\tan \frac{\theta_i}{2}) = 1$, 则所求之方量未包括在 [1] 中所计算的边坡放坡方量之内, 若 $\text{SGN}(\tan \frac{\theta_i}{2}) = -1$, 则说明该方量已在 [1] 中计算边坡方量时被重复计算了两次, 故需予以扣减。

3.2 一般情况下的角部分类岩土工程量计算

从图 3 不难看出: 图中自下而上的倒四棱锥和多个相互衔接的六面体之体积, 除遇前面介绍的两种特殊情况外, 均必须用解析法求解。而欲求解其体积, 首先须求出各几何形体之顶点 M_i 、 M_i' 、 M_i'' 、 M_i''' ($i=1, 2, 3, \dots$) 在空间笛卡儿直角坐标系中的坐标值, 其次是将各形体分解成解析几何中可根据角点空间坐标值计算其体积的空间四面体。

合理地选择空间坐标系统对简化计算是十分重要的。为避免坐标变换带来的一系列计算并与 [1] 中的计算结果协调一致, 我们取第 i 边末端为转角 i 之坐标原点 o , 自 o 作垂直于 i 边并指向坡面之水平线为 ox 轴, 自 o 点作向上之铅垂线为 oy 轴, 自 o 点作 i 边的外延线为 oz 轴的 i 角局部空间笛卡儿直角坐标系(左手系)。

此时, 第 i 边末端坡截面与以 i 角为原点的局部空间笛卡儿直角坐标系之 oxy 平面重合。故第 i 边末端坡截面上之 M_i 的坐标值为 $(0, h_{0-i}, 0)$; M_i'

的坐标值为 $(d'_{0-i}, H'_{0-i}, 0)$ 。

第 $i+1$ 边始端坡截面与所取的 i 角点空间笛卡儿直角坐标系之 oxy 平面成一二面角, 此二面角的平面角 $\theta = 180^\circ - \theta_i$ (θ_i 是转角 i 的内夹角)。故第 $i+1$ 边始端坡截面之 M_i'' (见图 3) 的坐标值为 $(d_{0-i} \cdot (-\cos \theta_i), H_{0-i}, d_{0-i} \cdot \sin \theta_i)$ 。

上面用到的 $h_{0-i}, H_{0-i}, d_{0-i}, H_{0-i}, d_{0-i}$ 是在 [1] 中边坡放坡方量计算时已经求得的, 故为已知量。而 M_i'' 的坐标值则是待求的未知值。

须要提醒的是, 对应场地最后一个角 N_T 角, H_{0-i}, d_{0-i} 的值应取第 1 边始端截面之值。

至此, 可按下述步骤计算转角部分的分类岩土方量。

3.2.1 M_i'' 在转角局部空间坐标系中的坐标值

从图 3 可以看出, M_i'' 是同一岩层界面上直线 $M_i'M_i''$ 及 $M_i'M_i'''$ 的交点。 $M_i'M_i'''$ 可根据已知的 M_i' 及 i 边 N_{T-1} 截面上该直线延长线上的另一点 M_i'' 按两点式来建立直线方程, 而 $M_i'M_i''$ 可根据已知的 M_i' 及 $i+1$ 边第 2 个截面上该直线上的点 M_i'' 按两点式建立直线方程。

M_i'' 及 M_i'' 的坡截面坐标值在 [1] 中已算出, 从图 4 可知, 它们在 i 角局部笛卡儿直角空间坐标系中, M_i'' 的坐标值为 $(d_{0-i}, H_{0-i}, -L_i \cdot (N_T-1))$, M_i'' 的坐标值为 $(L_{i+1,1} \cdot (-\sin \theta_i) - d_{0-i}^+ \cdot (-\cos \theta_i), H_{0-i}^+, L_{i+1,1} \cdot (-\cos \theta_i) + d_{0-i}^+ \cdot \sin \theta_i)$ 。

根据上述, 有:

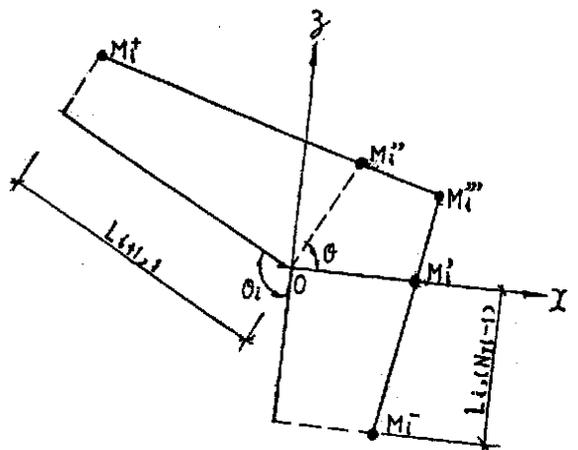


图 4 $M_i \dots$ 点坐标关系

$$\begin{cases} \frac{x_i - x_i^-}{x_i' - x_i^-} = \frac{y_i - y_i^-}{y_i' - y_i^-} = \frac{z_i - z_i^-}{z_i' - z_i^-} \\ \frac{x_i - x_i''}{x_i^+ - x_i''} = \frac{y_i - y_i''}{y_i^+ - y_i''} = \frac{z_i - z_i''}{z_i^+ - z_i''} \end{cases} \quad (6)$$

解(6)联立方程, 并化简, 得

$$\begin{cases} x_i'' = \frac{1}{E-F}(E \cdot x_i^- - F \cdot x_i'' + (z_i'' - z_i^-)) \\ y_i'' = \frac{1}{A-B}(A \cdot y_i^- - B \cdot y_i'' + (x_i'' - x_i^-)) \\ z_i'' = \frac{1}{C-D}(C \cdot z_i^- - D \cdot z_i'' + (y_i'' - y_i^-)) \end{cases} \quad (7)$$

(7)式便是计算各几何形体未知点 M_i'' 坐标值的计算公式。式中:

$$\begin{aligned} A &= \frac{x_i^- - x_i''}{y_i^- - y_i''}; B = \frac{x_i^- - x_i''}{y_i^- - y_i''}; \\ C &= \frac{y_i^- - y_i''}{z_i^- - z_i''}; D = \frac{y_i^- - y_i''}{z_i^- - z_i''}; \\ E &= \frac{z_i^- - z_i''}{x_i^- - x_i''}; F = \frac{z_i^- - z_i''}{x_i^- - x_i''} \end{aligned}$$

3.2.2 底层倒四棱锥之体积计算

图3 底层之倒四棱锥,可用 $OM_i M_i''$ 平面分割成两个四面体, $O-M_i M_i M_i''$ 和 $O-M_i M_i'' M_i''$, 故该倒四棱锥的体积等于两个四面体体积之和。

根据四面体角点坐标求四面体体积之计算公式,并化简,有

$$\begin{aligned} V_i = & \text{SGN}(\tan \frac{\theta_i}{2}) \cdot \{ \text{ABS}(\frac{1}{6} h_{\sigma-1} \cdot d'_{\sigma-1} \cdot z_i'') \\ & + \text{ABS}[\frac{1}{6} h_{\sigma-1} \cdot d''_{\sigma-1} (z_i'' \cdot \cos \theta_i + x_i'' \cdot \sin \theta_i)] \} \end{aligned} \quad (8)$$

式中: θ_i —— 转角之内角; z_i', x_i'' 是按(7)式求出的 M_i 点在角部局部笛卡儿坐标系中的坐标值。

3.2.3 二层及以上的各层之六面体体积之计算

根据图3,第 i 层之六面体 $M_i M_i M_i M_i - M_{i+1} M_{i+1} M_{i+1} M_{i+1}$ ($i=2, 3, \dots, m$) 可被分割成六个四面体。即: $V_{i,1} (M_{i+1} - M_i M_i M_i)$; $V_{i,2} (M_{i+1} - M_i M_i M_{i+1})$; $V_{i,3} (M_{i+1} - M_i M_{i+1} M_i)$; $V_{i,4} (M_{i+1} - M_i M_i M_i)$; $V_{i,5} (M_{i+1} - M_i M_{i+1} M_i)$; $V_{i,6} (M_{i+1} - M_i M_{i+1} M_{i+1})$ 。

分别将各四面体的角点坐标值代入其体积计算公式,化简求和,有

$$\begin{cases} V_{i,1} = \text{ABS}[(h_{\sigma-i} - h_{\sigma-(i+1)}) \cdot d_{\sigma-i} \cdot z_i''] \\ V_{i,2} = \text{ABS}\{[(h_{\sigma-(i+1)} - H_{\sigma-(i+1)}) \cdot d_{\sigma-i} \\ - (h_{\sigma-(i+1)} - H_{\sigma-i}) \cdot d_{\sigma-(i+1)}] \cdot z_{i+1}''\} \\ V_{i,3} = \text{ABS}[(h_{\sigma-(i+1)} - y_{i+1}'') \cdot (z_i'' - z_{i+1}'') \cdot d_{\sigma-i} \\ + (h_{\sigma-(i+1)} - H_{\sigma-i}) \cdot (x_i'' \cdot z_{i+1}'' - x_{i+1}'' \cdot z_i'')] \end{cases}$$

$$\begin{cases} V_{i,4} = \text{ABS}[(h_{\sigma-(i+1)} - h_{\sigma-i}) \cdot (z_i'' \cdot (-\cos \theta_i) - x_i'' \cdot \sin \theta_i) \cdot d_{\sigma-i}] \\ V_{i,5} = \text{ABS}[(h_{\sigma-(i+1)} - y_{i+1}'') \cdot (x_i'' \cdot \sin \theta_i + z_i'' \cdot \cos \theta_i) \cdot d_{\sigma-i} + (h_{\sigma-(i+1)} - y_i'') \cdot (-z_{i+1}'' \cdot \cos \theta_i - x_{i+1}'' \cdot \sin \theta_i) \cdot d_{\sigma-i} + (h_{\sigma-(i+1)} - H_{\sigma-i}) \cdot (x_{i+1}'' \cdot z_i'' - z_{i+1}'' \cdot x_i'')] \\ V_{i,6} = \text{ABS}[-(h_{\sigma-(i+1)} - H_{\sigma-i}) \cdot (z_{i+1}'' \cdot \cos \theta_i + x_{i+1}'' \cdot \sin \theta_i) \cdot d_{\sigma-(i+1)} + (h_{\sigma-(i+1)} - H_{\sigma-(i+1)}) \cdot (x_{i+1}'' \cdot \sin \theta_i + z_{i+1}'' \cdot \cos \theta_i) \cdot d_{\sigma-i}] \end{cases} \quad (9)$$

故自底二层起之上部各层转角方量为:

$$V_i = \text{SGN}(\tan \frac{\theta_i}{2}) \cdot \sum_{j=1}^6 V_{i,j} \quad (10)$$

3.2.4 岩层分类及分类岩土方量计算

基于场地在挖深范围内岩层产状可能导致各角点自下而上同一编号层的岩土类别可能是各异的,为了求得不同类别的岩土方量,我们必需按《全国统一建筑工程预算工程量计算规则》(GJDGZ-101-95)的要求计算出不同类别岩土的方量。这就要求我们根据场地挖深范围内出现的岩土类别对每一转角各层岩土按分类进行累加,从而得到转角部分各类岩土的总量 V_{Ck} , k 表岩土类别的类型编号 ($k=1, 2, \dots, N_k$)。

此项工作亦可由计算机来完成,我们可根据现场的实际情况,输入一个岩土类别标识数组 $CS_{i,j}$, 其中 i 表转角的编号, j 表岩层自下而上的层序号, $CS_{i,j}$ 的值等于转角 i , 第 j 层岩土的类别编号。这样一来,我们只要用判别和循环语句编一小段程序,便可由计算机算出转角的各分类岩土工程量。

4 结束语

本文及[1]中,在计算网格、边坡及转角分类岩土方量时,在单元范围内均把岩层界面及地面视作平面,这只是对岩层界面和地面的一种近似。然而网格越密,这种近似就越接近于实际的界面和地面。为了确保计算精度要求,建议在场地开挖范围内对地质构造和地形变化急烈的部分(向斜、背斜, ...等)将网格加密。

参考文献:

[1] 马炜. 高层建筑深基坑开挖不同类别岩土工程量计算[J]. 地下空间, 2002, 22(1), 29—32
 [2] 工程预算手册[M]. 长沙: 湖南科学技术出版社, 1993年9月第1版.
 [3] 建筑施工手册(第三版)[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1998年3月.
 [4] 数学手册[M]. 北京: 高等教育出版社, 1984年9月.

function of urban roads.

[**Keywords**] urban traffic tunnel; street culture; coordination; Huagai Shan traffic tunnel

Analysis on Causes for Damage of Shallow Hydraulic Tunnel CHEN Yun-dong (211)

[**Abstract**] Based on survey design and construction work of shallow hydraulic tunnel in Dianjiang County, the characteristics of damage of shallow hydraulic tunnel are described and the causes for the damage are analyzed. Then the countermeasures for treatment of the project are suggested.

[**Keywords**] shallow buried hydraulic tunnel; characteristics of damage; causes; countermeasures for treatment

Construction Technology for Extra-large Span and Super Shallow Tunnel DING Chang-guo (214)

[**Abstract**] Based on experience in tunnel construction, the author presented a series of construction technology for the construction of extra-large span and super shallow tunnel for the station of light railway in Chongqing, including method for excavation, means for supporting, forms of blasting, construction of waterproof plates, secondary lining, monitoring measurement, safety for construction work and environmental protection. It can serve as reference for design and construction of underground projects.

[**Keywords**] extra large span; super shallow tunnel; guide tunnel with double walls; construction technology

Waterproof Design and Construction of Sunken Plaza in Zhujiang New District, Guangzhou AN Guan-feng et al. (221)

[**Abstract**] A discussion has been made on water proof design of sunken type plaza in Zhujiang new district, Guangzhou. In order to guarantee the water proof effect, some special measures have been taken to improve the ability of self water proof for the structure, especially the cooling pipeline has been installed in the structure and the ice blocks have been added into the concrete to lower the cast temperature. The facts proved that the measures are effective for preventing crack development.

[**Keywords**] sunken plaza; water proof; mixing pile; sealing; cooling pipeline

Calculation of Geotechnical Work Volume at Corners of Deep Foundation Pit with Layers of Different Rock MA Wei et al. (225)

[**Abstract**] The volume of earth work at corners of polygonal deep foundation pit is a part of earth work volume for its excavation. It is difficult to calculate the volume of earth work, when the depth of excavation includes several layers of different rock and there is no ready method for such calculation. Based on analysis of factors concerning the main volume of different rocks, a formula for calculation of earth work volume at corners under various conditions has been derived by mathematical analytical method.

[**Keywords**] volume of excavation; sloping; corner; volume of geotechnical work

Application of SMW Method in Protection of Existing Projects ZHANG Lei et al (229)

[**Abstract**] In this paper, based on a successful example of retaining structures, the application of the SMW method is presented. It is an economical method for foundation pit treatment and beneficial to the environment protection. The characters and advantages of this method and its effect on the retaining structure in protection of existing projects etc are summarized and discussed.

[**Keywords**] SMW method; ground treatment; retaining structure

Treatment of Deep Soft Soil Foundation by Vibro-Replacement Stone Column JIANG Zhu-hao (233)

[**Abstract**] Based on an example, it is illustrated that the method of treating deep soft soil foundation with vibro-replacement stone column can improve the bearing capacity and as a result reduces the engineering cost.

[**Keywords**] vibro-replacement stone column; soft soil foundation; treatment

Analysis of Computer Simulation for Digging Holes in Ground and Construction after Digging Holes Xing Wen-shu et al. (235)

[**Abstract**] This paper introduced the main characters of the program FLAC, and its field of application. Through a project, the effect of construction sequence on the stability of hole in underground was investigated in detail. The results show that concerning the stability of hole