

文章编号: 1000-7598 (2010) 05-1491-06

板式基础托换法沉降规律的试验研究

贾 强, 谭海亮, 魏焕卫

(山东建筑大学 山东省建筑结构鉴定加固与改造重点实验室, 济南 250100)

摘 要: 板式基础托换法是利用拟建地下室的部分顶板和底板交替支撑既有建筑物完成开挖土方和施工地下室的方法。托换过程引起地基的不均匀沉降会在上部结构中产生附加内力, 从而影响到结构的安全。为了研究板式基础托换法沉降规律, 将托换过程分为顶板托换、托换顶板四周的土方开挖、接长坑内立柱、底板托换、托换顶板下方土体开挖等 5 个工况, 进行 1:10 模型试验, 用百分表测量立杆底部位置各工况沉降的变化值并计算出沉降差。从试验的结果可以看出, 顶板托换、顶板四周的土方开挖和立柱接长 3 工况出现了中间大、四周小的“盆式”沉降; 而底板托换和顶板下方土体开挖工况出现了中间小、四周大沉降规律。最大不均匀沉降出现在立柱接长工况, 底板托换工况之后沉降差减少。因此, 立柱接长工况成为引起上部结构最大附加内力的最不利工况。

关 键 词: 板式基础托换法; 不均匀沉降; 附加内力; 模型试验

中图分类号: TU 473

文献标识码: A

Test study of settlement law of slab foundation underpinning method

JIA Qiang, TAN Hai-liang, WEI Huan-wei

(Key Laboratory of Appraisal and Retrofitting in Building structures of Shandong Province, Shandong Jianzhu University, Jinan 250100, China)

Abstract: Slab foundation underpinning method is an effective method to develop underground space in existing buildings, which weight can be supported by partial top slabs and base slabs by turns. The additional internal forces caused by differential settlement in underpinning affect the safety of existing buildings. The slab foundation underpinning process was divided into five conditions: top slabs underpinning, soil excavation around top slabs, lengthening columns, base slabs underpinning, and soil excavation under top slabs. In order to study settlement law, a 1:10 model test was done, in which settlement values of every conduction can be obtained by the dial indicator installed on standing post. The differential settlements can be calculated using the settlement values. The test results indicate that the settlements of column-heels in middle part were larger than ones in around part during the process of top slabs underpinning, soil excavation around top slabs and lengthening columns conditions; while, the settlements of column-heels in middle part were smaller than ones in around part during the process of base slabs underpinning and soil excavation under top slabs conditions. The biggest differential settlement was produced in the lengthening columns, which was reduced after the base slabs underpinning. Therefore, lengthening columns is the most unfavorable condition for causing the biggest additional internal force.

Key words: slab foundation underpinning method; differential settlement; additional internal forces; model test

1 板式基础托换法的技术特点

板式基础托换法利用拟建地下室的部分顶板和底板作为托换构件, 起到临时基础的作用, 承担上部荷载, 以施工新增的地下室^[1-3], 在基础上部位置 (一般在室内地坪处) 施工部分顶板, 顶板通过梁与柱可靠连接。该顶板兼作托换构件, 将上部荷载传递到顶板下的土体, 这样就可以开挖原基础下的土体。接长了竖向传力构件后, 在竖向传力构件

的底端, 施工部分底板, 再作为“临时”基础承担上部荷载以开挖剩余土体, 浇筑剩余底板。两部分板交替作托换构件, 可完成多层地下室的施工。

某 5×3 跨框架结构: 柱距为 7.5 m, 柱下为钢筋混凝土独立基础, 准备改造成为带 1 层地下室的结构, 柱网、顶板布置见图 1, 图中阴影部分的板兼作托换构件, 这种“梅花型”的布板方式可有效减少不均匀沉降。以中间跨 (1-1 剖面) 为例, 说明施工的工艺过程: ①室内地坪处施工所有主次梁

收稿日期: 2009-03-04

基金项目: 住房与城乡建设部科技计划 (No. 2007-K6-13); 山东省科技攻关计划 (No. 2007GG20006005)。

第一作者简介: 贾强, 男, 1970 年生, 博士研究生, 副教授, 主要从事工程鉴定加固和改造的研究。E-mail: jiaqiang@sdjzu.edu.cn

和部分顶板, 该顶板兼作托换构件, 将建筑物上部荷载传递到施工顶板下的土体, 见图 2(a); ②开挖未施工顶板部位的土体, 深至地下室底板设计标高, 见图 2(b); ③截除独立基础, 接长所有柱至地下室设计标高, 施工开挖部分地下室底板作为托换构件支撑建筑物上部荷载, 见图 2(c); ④开挖已施工顶板下方的土体, 深至地下室底板设计标高, 见图 2(d); ⑤施工剩余底板和顶板, 完成整个工程, 见图 2(e)。

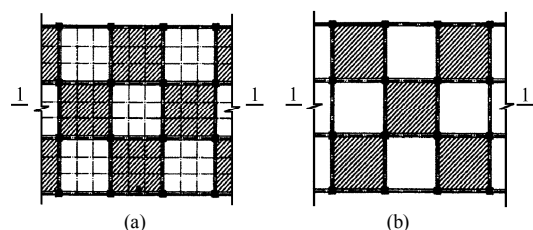
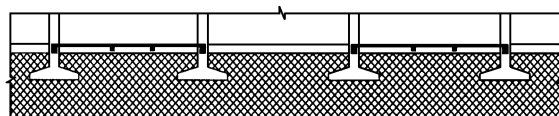
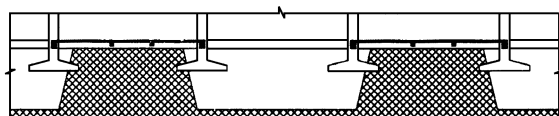


图 1 地下室顶(底)板结构布置图

Fig.1 Arrangement of top slabs and base slabs



(a) 工序 1



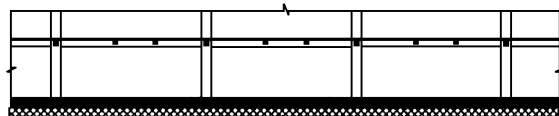
(b) 工序 2



(c) 工序 3



(d) 工序 4



(e) 工序 5

图 2 工序

Fig.2 The construction steps

由于开挖到角柱位置时, 没有相连的临时的地下室底板承力, 因此在建筑物 4 个大角位置上, 向外悬挑部分顶板, 作临时托换构件。

基础托换施工既有建筑物地下空间首先要考虑托换沉降变形对上部结构的影响^[4]。被托换建筑物的自身变形已在托换前完成, 托换过程对建筑物而言是一个 2 次变形, 并且这一过程是在相对短暂的时间内完成的。建筑物耐受 2 次变形的能力, 低于新建建筑物耐受自身 1 次变形的能力, 托换结构变形允许值应小于新建建筑物变形允许值^[5]。板式基础托换法施工过程的沉降规律是上部结构-托换结构-地基共同作用的结果^[6]。上部结构所用材料的刚度与地基土体的刚度差异很大, 地基的变形与结构的变形具有不协调性, 难以建立统一的受力和变形计算方程, 很难在理论上建立此问题的计算公式^[7], 采用模型试验的方法研究此类问题具有明显的优势^[8]。

2 板式基础托换法的试验过程

2.1 试验模型设计

试验研究的工程原型为图 1 中 3 层框架结构建筑物再增加 1 层地下室的板式基础托换。拟进行的模型试验采用 1:10 的几何相似比确定模型的几何参数。考虑到试验模型制作和现场加载的困难, 为简化试验上部框架结构纵向和横向均取 3 跨, 上部框架结构不用钢筋混凝土材料制作, 而是采用钢管扣件式脚手架搭设的临时“钢框架”, 脚手架的立杆模拟各框架柱; 既有建筑物的荷载通过脚手架上部堆土包模拟; 地下室的顶板和底板用相应厚度的钢板模拟; 下部地基土采用天然地基土^[9]。

上部框架采用钢管扣件式脚手架搭设, 钢管的规格直径为 48 mm, 壁厚 3.5 mm, 惯性模量已经确定, 不可能用量纲分析的方法进行推导。因此, 原型与模型不能满足所有相似条件, 只是部分相似, 是一种非正态模型^[10]。而影响板式基础托换法沉降值的上部框架的主要因素是托换板的刚度。根据量纲分析确定的托换顶板为长 800 mm, 宽 600 mm (考虑立管伸入坑内, 故宽度适当减小), 厚 6 mm 的钢板。托换底板长 800 mm, 宽 800 mm, 厚 20 mm 的钢板。标高±0.000 处的轴线尺寸和构件布置以及百分表的位置见图 3。

为取得板式基础托换法的沉降规律, 试验用百分表观测立管底部(模拟柱脚处)的沉降变形。距基坑外缘足够远处设置立杆, 将钢管固定在立杆上, 钢管穿越框架, 且在试验过程中不被扰动。

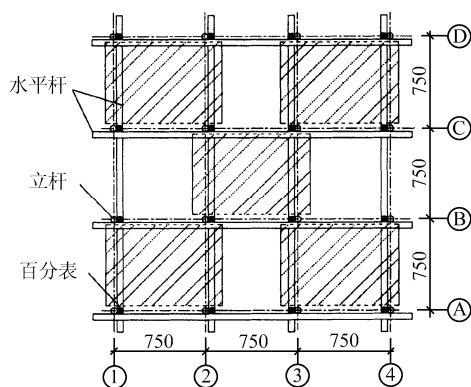


图3 标高±0.000处的构件布置(单位: mm)

Fig.3 Arrangement of component on elevation ±0.000 (unit: mm)

2.2 试验地点与土工参数

试验地点在济南市山东建筑大学和平校区内, 试验土层为杂填土, 现场测得土工参数见表1。

表1 试验地点的土工参数
Table 1 Soil parameters of test place

土质	γ /(kN/m ³)	c /kPa	ϕ /(°)	E /MPa
杂填土	19.1	14.2	21	5.2

2.3 试验准备

(1) 平整试验场地。

(2) 定位、放线: 选定一个参考点并以此标定出轴线位置、柱、梁、板外边线位置及基坑开挖的轮廓线。现场定位、放线见图4。



图4 现场定位、放线
Fig.4 Fixing and mark position

(3) 土方开挖: 开挖图3中托换板包围的4块区域内的土体, 开挖出的坑呈“梅花形”排列, 见图5。虽然托换顶板四周土方的开挖(工序2)是在顶板托换之后的工序, 但由于模型试验空间小, 在安装了百分表之后, 再开挖土方和放置托换钢板会碰撞安放百分表的钢管, 影响到试验结果, 因此选

择了先开挖土方的方案。

(4) 安放托换底板: 在坑底铺一层细沙, 依据各轴线位置将托换底板放入坑内。

(5) 坑内回填: 将挖出的土装入塑料袋回填坑内, 当模拟托换顶板四周土方的开挖(工序2)时, 将塑料袋小心提出, 可防止碰撞安放百分表的钢管。

(6) 安放托换顶板: 安放托换顶板, 脚手架底层水平杆支撑在托换顶板上, 见图6。

(7) 搭设脚手架: 搭设脚手架模拟既有框架结构建筑物, 见图7。

(8) 安放百分表: 从基坑外设2个固定立管, 在2个立管间架设水平钢管, 与测点位置距离适中, 以方便百分表的安装; 安装磁力架及百分表, 调节仪器记录初始值。见图8。



图5 开挖出的坑呈“梅花形”排列
Fig.5 Soil excavated into cinquefoil hole



图6 安放托换顶板
Fig.6 Installing top slabs underpinning slabs



图7 搭设好的脚手架
Fig.7 Fixed scaffold



图 8 安装百分表
Fig.8 Installing dial indicator



图 11 立柱的接长
Fig.11 Lengthening columns

2.4 试验步骤

①堆载和顶板托换（工序 1）：在脚手架上部堆载，模拟既有建筑物的恒荷载和活荷载，见图 9。



图 9 堆载
Fig.9 Applying load

②托换顶板四周土方的开挖（工序 2）：将坑内塑料袋小心提出，以模拟托换顶板四周土方的开挖过程，见图 10。



图 10 将坑内将塑料袋小心提出
Fig.10 Lift plastic bag from hole

③接长坑内立柱（工序 3）：在托换顶板四周土方的开挖（工序 2）之后，需要向下接长竖向传力构件（框架柱）。试验中，用直径为 48 mm 钢管立柱模拟实际工程中的框架柱，立杆分成坑内段和坑上段两部分。在工序 2 之后，用扣件将两段立杆相连，即可模拟了框架柱向下接长的过程，坑内立杆应顶紧底板，见图 11。

④底板托换（工序 4）：掏除顶板下少许土方，抽出顶板。上部荷载既由顶板支撑转移到底板支撑，完成了托换的过程，见图 12。



图 12 底板托换
Fig.12 Base slabs underpinning

⑤托换顶板下方土体开挖（工序 5）：对托换顶板下方土体开挖，挖至托换底板标高。

由于受试验条件的限制，并未对工序 6 进行模拟。

3 板式基础托换法的试验结果

用百分表实测各工况立杆底部位置（标高 ± 0.000 ）沉降量的变化值分别见表 2。

由以上实测数据，计算得出各工况立杆底部位置（标高 ± 0.000 ）的沉降量，绘制各工况的沉降分布图见图 13。

由实测沉降数据，计算得出各工况立杆底部位置（标高 ± 0.000 ）的沉降差值见表 3。

4 结 论

（1）顶板托换、顶板四周的土方开挖和底板托换等 4 个工况柱脚处的沉降量是增大的，立柱接长和顶板下方土体开挖工况柱脚处的沉降量减小。立柱接长后，上部荷载除了部分由托换顶板承担以外，其他部分荷载通过立柱传递到托换底板，地基的附加应力减小，因此出现了立柱接长工况柱脚处

表 2 各测点沉降量变化值
Table 2 Settlement values change

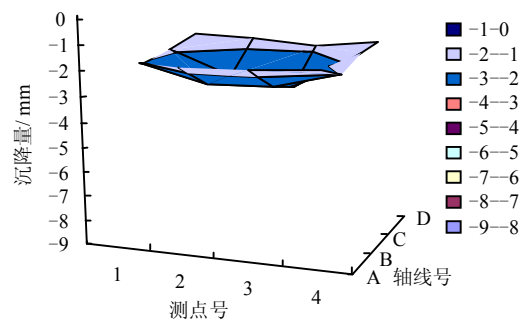
工况	轴线号	不同测点沉降差/ mm			
		1	2	3	4
顶板托换	A	-1.42	-1.59	-1.51	-1.37
	B	-2.04	-2.70	-2.64	-1.98
	C	-1.90	-2.84	-3.09	-1.62
	D	-1.59	-1.63	-1.86	-1.51
顶板四周土方	A	-1.91	-1.87	-1.79	-1.98
	B	-1.65	-2.67	-2.19	-1.73
	C	-1.56	-2.35	-2.99	-1.59
	D	-1.79	-1.96	-1.59	-1.83
立柱接长过程	A	+0.99	+0.75	+1.38	+0.85
	B	+1.44	+0.60	+0.54	+1.32
	C	+1.41	+0.80	+0.30	+1.38
	D	+0.83	+0.72	+0.11	+0.88
底板托换	A	-5.28	-4.82	-5.96	-5.19
	B	-5.45	-3.79	-4.24	-5.25
	C	-5.08	-3.85	-3.86	-5.13
	D	-5.23	-4.93	-5.36	-5.07
顶板下土方	A	+0.32	+0.43	+0.52	+0.44
	B	+0.67	+1.25	+1.17	+0.61
	C	+0.57	+1.33	+1.27	+0.57
	D	+0.24	+0.58	+0.67	+0.40

注：表中负值表示沉降量增加，正值表示土体回弹。

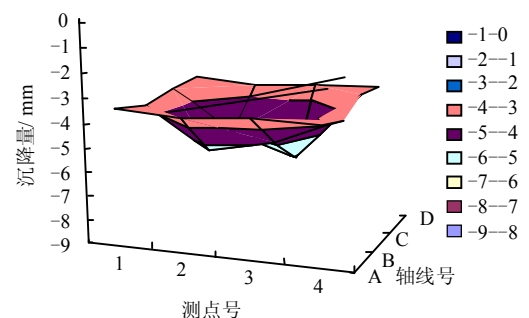
表 3 顶板托换各测点沉降差
Table 3 Differential settlements in top slabs underpinning condition

工况	轴线	不同测点沉降差/ mm			
		1	2	3	4
顶板托换	A	-0.05	-0.22	-0.14	0
	B	-0.67	-1.33	-1.27	-0.61
	C	-0.53	-1.47	-1.72	-0.25
	D	-0.22	-0.26	-0.49	-0.14
顶板四周土方	A	-0.12	-0.25	-0.09	-0.14
	B	-0.48	-2.16	-1.62	-0.50
	C	-0.25	-1.98	-2.87	0
	D	-0.17	-0.38	-0.24	-0.13
立柱接长过程	A	-0.63	0	-0.21	-0.79
	B	-0.54	-3.06	-2.58	-0.68
	C	-0.34	-2.68	-4.07	-0.12
	D	-0.84	-1.16	-1.63	-0.75
底板托换	A	-1.09	0	-1.35	-1.16
	B	-1.17	-2.03	-2.00	-1.11
	C	-0.60	-1.71	-3.11	-0.43
	D	-1.25	-1.27	-2.17	-1.00
顶板下土方	A	-1.20	0	-1.26	-1.15
	B	-0.93	-1.21	-1.26	-0.93
	C	-0.46	-0.81	-2.27	-0.29
	D	-1.44	-1.12	-1.93	-1.03

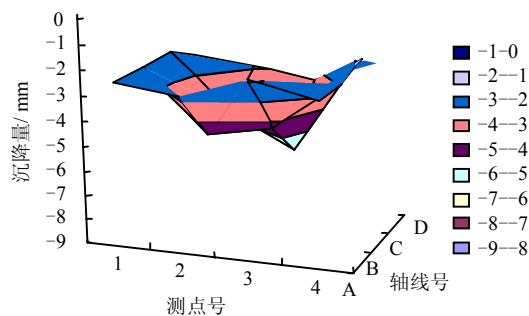
注：表中负值表示相对沉降量大。



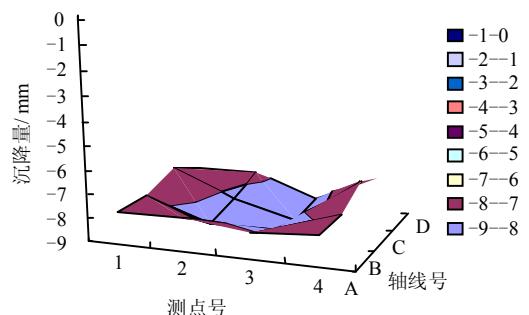
(a) 顶板托换



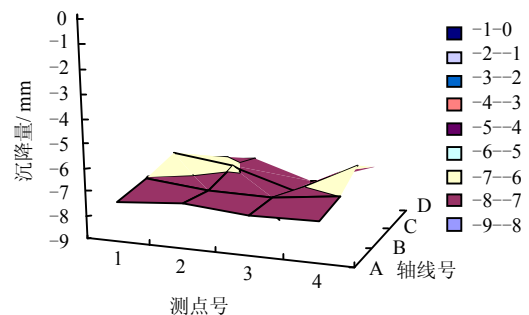
(b) 顶板四周土方



(c) 立柱接长过程



(d) 底板托换



(e) 顶板下土方

图 13 沉降分布图

Fig.13 Settlement distribution in soil excavation

沉降量减小的情况。顶板下方土体开挖同样减小了托换底板下方的地基附加应力,使得柱脚处沉降量变小。

(2) 顶板托换、顶板四周的土方开挖和立柱接长3工况出现了中间大、四周小的“盆式”沉降;而底板托换和顶板下方土体开挖工况出现了中间小、四周大沉降规律。最大不均匀沉降出现在立柱接长工况,底板托换工况之后沉降差减少。因此,立柱接长工况成为引起上部结构最大附加内力的最不利工况。

(3) 利用钢管扣件式脚手架模拟框架结构,用钢板模拟钢筋混凝土托换板进行试验研究,能够模拟板式基础托换法的沉降规律,可为同类工程提供参考。由于模型试验的局限性,试验结果并不理想,例如,通过扣件连接模拟竖向构件接长时,人为扰动使得后续工序的沉降观测结果受到影响,许多细节尚需改进。

参考文献

- [1] 贾强, 张鑫. 板式托换法在逆作法技术中的应用[J]. 建筑结构, 2006, 36(11): 59—62.
JIA Qiang, ZHANG Xin. Application of underpinned floor technology to inverse construction[J]. **Building Structure**, 2006, 36(11): 59—62.
- [2] 贾强, 张鑫. 板式基础托换法: 中国, ZL200610045257.4[P]. 2007-12-26.
- [3] 贾强, 张鑫. 板式基础托换法[J]. 建筑技术, 2009, 40(6): 493—495.
JIA Qiang, ZHANG Xin. Slab underpinning construction[J]. **Architecture Technology**, 2009, 40(6): 493—495.
- [4] 冯卫星, 韩文忠, 丁维利. 广州地铁三号线大一沥盾构区间桩基加固处理[J]. 岩土力学, 2004, 25(3): 487—489.
FENG Wei-xing, HAN Wen-zhong, DING Wei-li. Pile foundation treatment for interval shield tunneling from Datang station to Lijiao station of No.3 Guangzhou subway[J]. **Rock and Soil Mechanics**, 2004, 25(3): 487—489.
- [5] 黄小许, 朱英俊, 黄穗欢. 桩梁式托换结构设计方法及其应用[J]. 华南理工大学学报, 2004, 32(1): 85—89.
HUANG Xiao-xu, ZHU Ying-jun, HUANG Sui-huan. Design method for the underpinning structure composed of pile s and beams and its application[J]. **Journal of South China University of Technology**, 2004, 32(1): 85—89.
- [6] 解家毕, 刘祖德. 深厚软基上多(高)层建筑桩基础的共同作用分析[J]. 岩土力学, 2005, 26(1): 122—126.
XIE Jia-bi, LIU Zu-de. Analysis of interaction model of pile foundation and superstructure on thick and soft groundsill[J]. **Rock and Soil Mechanics**, 2005, 26(1): 122—126.
- [7] 李浩, 王涛, 徐日庆. 隧道施工对框架结构及地表位移影响的数值分析[J]. 铁道工程学报, 2008, 120: 58—61.
LI Hao, WANG Tao, XU Ri-qing. Numerical analysis of the influence of tunneling on ground movement and adjacent frame structure[J]. **Journal of Railway Engineering Society**, 2008, 120: 58—61.
- [8] 羊晔, 刘松玉, 邓永锋. 加筋路基处治不均匀沉降模型试验研究[J]. 岩土力学, 2009, 30(3): 703—706.
YANG Ye, LIU Song-yu, DENG Yong-feng. Effect of reinforced subgrade on differential settlement by model test research[J]. **Rock and Soil Mechanics**, 2009, 30(3): 703—706.
- [9] 谭海亮. 板式基础托换法的理论和试验研究[硕士学位论文D]. 济南: 山东建筑大学, 2009.
- [10] 姚振刚, 刘祖华. 建筑结构试验[M]. 上海: 同济大学出版社, 1996.
- [9] 赵成刚, 尤昌龙. 饱和砂土液化与稳态强度[J]. 土木工程学报, 2001, 34(3): 90—96.
ZHAO Cheng-gang, YOU Chang-long. Liquefaction and steady state strength of saturated sands[J]. **China Civil Engineering Journal**, 2001, 34 (3): 90—96.
- [10] 余湘娟, 姜朴, 魏松. 砂土的稳态强度试验研究[J]. 河海大学学报, 2001, 29(1): 50—54.
YU Xiang-juan, JIANG Pu, WEI Song. Experimental research on the steady strength of sandy soils[J]. **Journal of Hohai University**, 2001, 29(1): 50—54.
- [11] 高军伟, 王洪瑾, 周克骥, 等. 用稳态理论研究尾矿坝的抗震稳定性[C]//第四届全国土动力学学术会议论文集. 杭州: [s. n.], 1994: 43—46.
- [12] 朱建群, 孔令伟, 钟方杰. 南京砂强度特征与静态液化现象分析[J]. 岩土力学, 2008, 29(6): 1461—1465.
ZHU Jian-qun, KONG Ling-wei, ZHONG Fang-jie. Analysis of strength characteristics of Nanjing sand and mechanism of static liquefaction[J]. **Rock and Soil Mechanics**, 2008, 29(6): 1461—1465.
- [13] 王媛, 姜朴, 朱俊高, 等. 松粉砂地基地震后堤坝稳定性分析[J]. 水利学报, 2000, (11): 60—69.
WANG Yuan, JIANG Pa, ZHU Jun-gao, et al. Post-earthquake stability analysis of dike built on silty sand foundation[J]. **Journal of Hydraulic Engineering**, 2000, (11): 60—69.
- [14] ZHANG H M, VINOD K G. Quasi-steady state: A real behavior[J]. **J. Can. Geotech.**, 1997, 34(5): 749—761.
- [15] LAW K T, LEE C F, LJUAN M T, et al. Engineering behavior of loose fill of granitic soil[C]//Proceedings of the Special Sino-Japanese Forum on Performance and Evaluation of Soil Slopes under Earthquakes Technology and Rainstorms. Dalian: Dalian University Press, 1998: 18—34.

上接第 1490 页