

文章编号: 1000-7598-(2006)08-1287-06

上海市外滩防汛墙结构沉降的预测研究

陈 宝¹, 程徽丰², 杨林德¹

(1. 同济大学 地下建筑与工程系, 上海 200092; 2. 上海防汛墙建设管理处, 上海 200050)

摘 要: 以上海市外滩防汛墙改建工程为背景, 依据外滩防汛墙多年的沉降观察资料, 使用黏弹性有限元反分析, 对未来防汛墙结构沉降进行预测。整理和分析了从 1993 年建成之时到 2002 年的结构沉降观测资料, 选取了用于结构沉降反演计算和预测的典型断面和测点, 并分别绘制了防汛墙结构沉降随时间发展的曲线。通过二维平面应变有限元正分析, 确定了影响结构沉降的主要地层。基于外滩防汛墙二期结构沉降量测数据, 采用黏弹性有限元反分析方法对防汛墙结构沉降进行反算, 得到主要压缩土层的等效弹性模量, 进而预测未来防汛墙结构沉降的发展趋势。其研究成果可为上海市防汛墙建设和技术管理工作提供依据。

关 键 词: 防汛墙; 结构沉降; 预测

中图分类号: TU 443

文献标识码: A

Prediction for structural settlement of flood-control wall along the bund in Shanghai

CHEN Bao¹, CHENG Hui-feng², YANG Lin-de¹

(1. Department of Geotechnical Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China;

2. Section of Flood-control Wall Construction and Management, Shanghai 200050, China)

Abstract: Based on the settlement measurement of flood control wall along the bund in Shanghai, the structural settlement of the flood control wall was predicted with viscoelastic FEM back analysis. In order to calculate and predict the structural settlement, authors arranged and analyzed the measurement data of structural settlement from 1993 during the construction of the flood control wall to 2002, selected the typical section and measurement points, and then drew the curves of settlement with the development of time. With the help of two-dimensional finite element analysis, determined the soil layer that influence the settlement mostly, and then gained the equivalent elastic modulus of this layer with FEM back analysis so as to predict the development of the settlement in the future. The results can be good reference to the construction and technical management of flood control walls in Shanghai.

Key words: flood control wall; structural settlement; prediction

1 引 言

黄浦江两岸修建的防汛墙已按千年一遇的水位设计, 并已考虑地震荷载及潮位涨落的影响, 因而成为使上海市区免于因台风、暴雨、天文高潮位和源自太湖流域的洪水的侵袭而产生江水倒灌等严重水患灾害的屏障。对于上海市区水灾的防治, 这项工程属于生命线工程^[1]。然而, 由于上海地区河岸的地基一般由含水率较高的软黏土组成, 不仅强度较低, 而且具有流变特征, 即在载荷作用下土体会发生随时间而缓慢发展的变形, 由此引起防汛墙墙

体发生垂直沉降、水平位移、倾斜及墙后地面沉降等后果。进入 20 世纪 90 年代以来, 市区防汛墙沉降加剧, 而且市中心地区沉降比较严重。根据测量统计资料显示, 目前已有长达 20~30 km 防汛墙, 其累积下沉已达 20~30 cm 以上, 这其中既包含了地面沉降因素, 也包含了结构沉降因素。若不及时恢复其原设计高程, 那么在遇设防水位时, 这些沉降大的地段, 有可能出现漫溢, 甚至局部溃决的险情^[2]。市区防汛墙的不断下沉使防御能力降低, 风险面广、量大, 故其所带来的防汛安全风险是持续、累积的。因此, 在对防汛墙结构建立安全性预测的

计算方法时, 应注意使其可模拟地层变形随时间而发展的规律。此外, 只要掌握土体的流变规律, 就可通过土体前阶段位移发展的规律推测后阶段位移发展的趋势, 从而预测破坏发生的可能性, 以便及时采取相应的工程措施^[3]。因此, 在对新建防汛墙结构进行变形监测的基础上, 分析防汛墙结构的变形规律, 据此预测其未来发展趋势和安全性, 具有极为重要的意义。

由于上海市黄浦江沿岸防汛墙缺少连续的跟踪观测资料, 本文拟以外滩防汛墙改建工程为背景, 根据外滩防汛墙多年的沉降观察资料, 使用黏弹性有限元反分析方法, 对未来防汛墙结构沉降进行预测。

2 防汛墙结构沉降反演分析原理

2.1 黏弹性模型

三元件黏弹性模型可较好地表述材料的瞬时弹性变形和弹性后效的性态, 是一种稳定的蠕变模型, 可较好地模拟工程实践中遇到的饱和土体材料的特性。谢宁和孙钧^[4]曾对上海地区有代表性的淤泥质黏土、暗绿色粉质黏土和褐黄色粉质黏土等 3 类饱和软土的流变特性进行了深入研究, 试验得到的土样变形随时间变化的曲线形状与表示黏弹性性态的模型曲线相似。林秀桂^[5]等对上海外滩二期道路工程的位移监测资料进行了分析, 认为含水率变化不大的老土地基的沉降随时间而变化的规律可用三元件黏弹性模型描述。以上研究说明了三元件模型能用于反映饱和软黏土的流变特性。由于现场量测获得的防汛墙结构沉降和地层位移变形随时间而变化的规律与三元件黏弹性模型揭示的规律较为相符, 因而在分析防汛墙施工完成后的变形时, 本文拟采用三元件黏弹性模型, 据此为确定地层性态参数建立优化反分析方法, 并对防汛墙变形的发展趋势及其安全性的判别建立预测方法^[6]。

图 1 所示的三元件黏弹性模型由一个弹簧元件与一个 Kelvin 模型串联而成。应力 $\sigma = \sigma_0$ 为常量时, 与之相应的蠕变方程可写为

$$\varepsilon(t) = \frac{\sigma_0}{E_1} + \frac{\sigma_0}{E_2} \left(1 - e^{-\frac{E_2}{\eta_2} t}\right) = \frac{\sigma_0}{E_t} \quad (1)$$

式中 E_1, E_2 为弹性模量; η_2 为黏滞系数; E_t 为等效弹性模量, 并有

$$E_t = \frac{1}{\frac{1}{E_1} + \frac{1}{E_2} \left(1 - e^{-\frac{E_2}{\eta_2} t}\right)} \quad (2)$$

线性黏弹性问题的求解可采用对应性原理简

化。对于任意时刻 t_i , 都有一个等效弹性模量 E_{t_i} 与之相对应。如采用与时间序列相对应的等效弹性模量 E_{t_i} 代替 E_1, E_2 和 η_2 的综合效应的作用, 则可将二维平面应变黏弹性问题的计算简化为线弹性问题的分析。等效弹性模量 E_{t_i} 随时间而衰减, 并逐渐趋近于定值 (图 2):

$$E_{t_i} \Big|_{t_i \rightarrow \infty} = \frac{E_1 E_2}{(E_1 + E_2)} \quad (3)$$

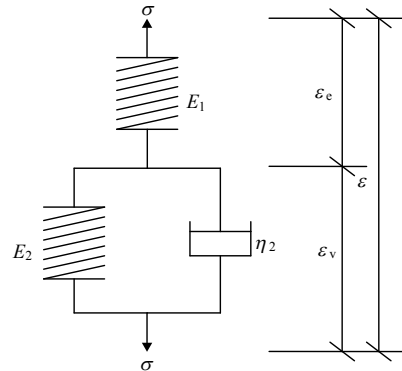


图 1 三元件黏弹性模型

Fig.1 Three-element viscoelastic model

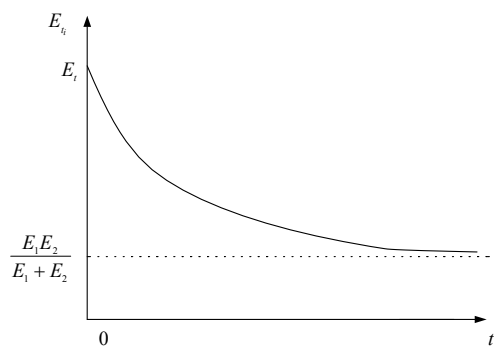


图 2 三元件模型等效弹性模量与时间关系

Fig.2 Relationship between equivalent elastic modulus and time of three-element viscoelastic model

地层材料的性态符合三元件黏弹性模型揭示的规律, 且应力边界条件和排水条件保持不变时, $t = t_i$ 时刻的有限元计算的基本方程为

$$[K'] \{u\} = \{F\} \quad (4)$$

式中 $[K']$ 元素的计算表达式与 $[K]$ 相同, 区别仅为须以 $t = t_i$ 时刻的地层等效弹性模量 E_{t_i} 代替 E , E_{t_i} 的计算式仍为式 (2)。

三元件模型参数的选取可运用反分析方法来获得, 通过引入反分析方法依据现场量测信息确定模型参数, 建立可用于岩土工程设计和安全性监测的分析理论与计算方法等。

2.2 反分析基本理论

优化反分析方法的理论研究提出了全局最优解与局部最优解的概念,并对解的唯一性问题进行了讨论,认为可获得全局最优解的基本条件是目标函数必须是待求参数的凸函数。然而对于多数复杂的实际问题,其目标函数的图形是否为凸形常常难以判断。为了避免这一问题,对二维黏弹性问题的反分析计算拟改按下述途径建立目标函数,以使建立的方法更有实用价值^[7,8]。

对于任一测点,其位移随时间的变化可描述为相应于时间序列 $\{t_1, t_2, \dots, t_k\}$ 的位移序列 $\{u_1, u_2, \dots, u_k\}$,并存在与这两个序列相应的等效弹性模量序列 $\{E_{t_1}, E_{t_2}, \dots, E_{t_k}\}$ 。与时刻 t_j 相应土层的等效弹性模量 E_{t_j} 仍可由弹性问题的反分析方法求得,为避免由参数值之间数量相差太大和(或)物理量纲不同等因素对反分析计算结果的精确度产生显著的影响,目标函数可写为

$$F(E_{t_j}) = \min \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^n w_i \left(\frac{u_{ij}}{u_{ij}^*} - 1 \right)^2 \quad (5)$$

$(i=1, \dots, n; j=1, \dots, k)$

式中 u_{ij} 和 u_{ij}^* 分别为 t_j 时刻测点 i 的位移量的计算值与实测值; n 为测点总数; k 为数据系列的组数; w_i 为不同量测信息种类的加权常数,一般取 $w_i=1$ 。 u_{ij} 随 E_{t_j} 而变化,因而目标函数 F 为参数 E_{t_j} 的函数。当目标函数 F 为最小极小值时,与其对应的参数 E_{t_j} 值即为由反分析计算得到的优化解。采用有限元法求解任意时刻 t_j 的等效弹性模量 E_{t_j} 时,其控制方程为式(4)。

以上目标函数 F 通常是参数 E_{t_j} 的非线性函数,一般无法用解析法求解,而需采用数学规划法。本文采用的优化反分析算法是下山单纯形优化搜索

法,类属多维参数优化的非导数方法。计算自选定初始单纯形开始,在 n 维空间中形成 $n+1$ 个点的集合,以后通过重复搜索过程将单纯形中具有最高函数值的点(即误差最大的点)逐个用另外一个点代替,直至使误差函数满足设定的要求。

3 防汛墙结构沉降的敏感度分析

3.1 计算断面与计算简图

鉴于外滩防汛墙结构可视作平面应变问题,在数值分析中按二维平面应变问题进行研究。考虑到江内侧河水、岸边公路和人行道的影响,计算域选取长 180 m(岸上 120 m, 江内侧 60 m), 高 63.5 m(江内侧 50 m) 的范围。

初始条件分为初始应力场条件和初始边界约束条件两类。初始应力场主要按地层自重应力场选用。初始边界约束条件取为:在左、右两个侧边界设置水平链杆支撑,底部边界为竖向链杆支撑,上部为荷载已知的自由变形边界。江水水位取为常年平均水位 2.2 m, 岸侧地下水位在 -1.0 m 处。

有限元分析网格划分如图3所示。网格共计 818 个节点和 830 个单元,其中四边形各向同性体单元 730 个,分别用于模拟地层与河中淤泥、填土、灰色淤泥质黏土、灰色黏土、灰色粉质黏土、暗绿色粉质黏土、草黄色细砂及沥青细石层路面和土工织物垫层;梁单元 100 个,分别用于模拟 PHC 管桩、排桩、墙前承台桩及防汛墙厢体结构。

3.2 荷载计算

对路面结构也按平面应变问题分析,计算宽度取为 1 m。厢体防汛墙、人行道和非机动车道的计算荷载取为城市人口密集地区的人群荷载,量值为 3.5 kPa。车辆荷载换算为均布等代荷载^[9],其计算公式为

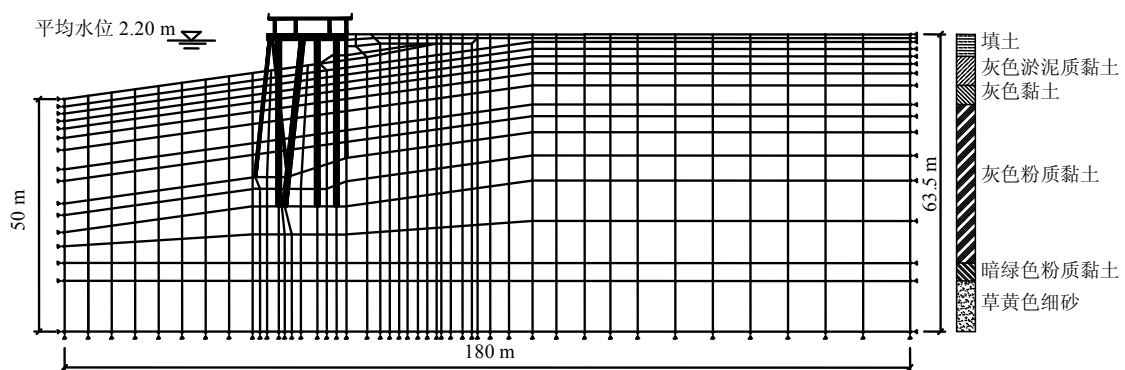


图3 防汛墙沉降变形分析有限元网格图

Fig.3 FEM mesh for settlement analysis of flood control wall

$$P = \frac{mG}{BL} \quad (6)$$

式中 m 为横向分布的车辆数, 一般取为车道数;
 G 为每辆汽车的重力 (kN), 按主车计算; L 为车辆荷载的纵向分布长度 (m); B 为车辆荷载的横向分布长度 (m), 取为横向并行车辆轮胎 (或履带) 着地时最外缘间的距离, 即

$$B = mb + (m-1)d + e \quad (7)$$

式中 b 为车辆两侧车轮的中距 (m); d 为并行车辆相邻车轮的中距 (m); e 为轮胎的着地宽度 (m)。由于外滩道路为一级公路, 故按汽车—20 级主车计算车辆荷载。据此由规范查得的有关参数值为 $G=200$ kN, $L=5.6$ m, $b=1.8$ m, $d=1.3$ m, $e=0.6$ m, 代入式 (6)、式 (7) 算得的均布等代荷载值 P 为 11.79 kPa。

鉴于外滩道路两侧的建筑物距防汛墙较远、基础埋深较大, 且建成时间较早, 地层固结变形已基本完成。故计算防汛墙沉降结构变形时, 不考虑这部分建筑物的影响。地下水位取为地面以下 1 m。黄浦江河内侧水位按常年平均水位选取。江水压力按常年平均水位+2.2 m 进行计算。

3.3 参数估计

(1) 沥青细石层路面单元

由文献[5]可知, 老路基上的沥青细石层路面材料, 可令抗压回弹模量 $E=900$ MPa, 泊松比 $\nu=0.30$; 而对新路基上的沥青细石层路面材料, 则可令抗压回弹模量 $E=700$ MPa, 泊松比 $\nu=0.30$ 。

(2) 垫层单元

由于土工布包封的垫层材料与土体界面上传力的状态较为复杂, 难以在数值计算中精确模拟, 即使将土工布的拉筋作用与土分开考虑, 也难以准确估计其作用, 故在分析计算中将垫层视为各向同性弹性复合体, 弹性模量取为按面积计算的加权平均值。依据上海市政工程设计研究院积累的资料, 将粉煤灰填料的回弹模量取为 52 MPa (厚度为 0.80 m); 碎石垫层回弹模量为 700 MPa (厚度为 0.30 m); 土工织物的弹性模量为 294 MPa (3 层总厚度为 2.04×10^{-3} m)。由上述各项指标算得的综合弹性模量的加权平均值为: $E_0=228.85$ MPa, $\nu=0.30$ 。

(3) 地层单元

由地质勘察资料所得的各地层的参数汇总于表 1。其中各土层的泊松比按经验取值, 对淤泥为 0.42, 填土为 0.35, 淤泥质黏土为 0.40, 黏土为 0.35, 粉质黏土为 0.38, 砂土为 0.3。根据经验弹性模量 E

取为 2~3 倍的变形模量 E_0 , E_0 则由压缩模量 E_s 换算得到, 具体计算公式为

$$E_0 = \frac{(1+\nu)(1-2\nu)}{1-\nu} E_s \quad (8)$$

土的静止侧压力系数 K_0 亦由泊松比估算得到, 计算公式为

$$K_0 = \frac{\nu}{1-\nu} \quad (9)$$

对于影响防汛墙沉降较大的主要地层参数则拟通过反演分析确定。

表 1 路基地层参数

土层名称	土层厚度/m	γ /kN·m ⁻³	E_s /MPa	E_0 /MPa	ν	K_0	c /kPa	φ /(°)
淤泥	1.6	18.4	1 000	1 959	0.42	0.72	9	8.0
填土	3.1	18.9	2 960	9 222	0.35	0.54	12	19.3
灰色淤泥质黏土	6.2	17.4	1 820	4 247	0.40	0.67	10	9.5
灰色黏土	4.1	17.5	2 435	7 586	0.35	0.54	16	9.0
灰色粉质黏土	22.8	18.4	3 375	9 015	0.38	0.61	18	12.4
暗绿色粉质黏土	3.8	19.9	5 560	14 851	0.38	0.61	41	10.5
草黄色细砂	15.3	19.5	13 320	49 474	0.3	0.43	9	25.2
沥青细石层路面	/	20	/	700 000	0.3	0.43	700	30.0
垫层材料	/	20	/	228 850	0.3	0.43	229	30.0

(4) 基础与结构

防汛墙以管桩承台、后板桩挡土钢筋混凝土空厢结构为主。主要构成为 4 排 PHC 管桩 ($\phi 1\ 000$ mm $\times$ 32 000 mm) 和后板桩 (350 mm $\times$ 750 mm $\times$ 2 400 mm) 由纵、横梁及面层连成一体共同支承着上部框架结构的空厢。空厢顶标高+6.90 m, 宽 18 m, 前沿为厚度 0.3 m 的挡水胸墙, 底面层标高+3.50 m, 横梁高 1.2 m, 宽 1.4 m; 纵梁高 1.2 m, 宽 0.8 m, 组成梁系, 预制面板厚 0.15 m, 浇筑面层厚 0.2 m 连成底板。防汛墙基础与结构材料参数见表 2。

表 2 防汛墙基础与结构材料参数

结构类型	尺寸 /m	间距 /m	γ /kN·m ⁻³	面积 /m ²	惯性矩 /m ⁴	$E/10^4$ MPa
PHC 管桩	/	3.5~4	25	0.089	0.008 60	3.25
排桩	0.35 $\times$ 0.5	密排	25	0.350	0.003 57	3.25
承台桩	0.45 $\times$ 0.55	3.5~4.0	25	0.248	0.004 18	3.25
底纵梁板	1.2 $\times$ 0.8 0.35	4.0 整体	25	0.590	0.038 13	3.00
柱	0.4 $\times$ 0.4		25	0.040	0.000 53	3.00
顶梁板	0.55 $\times$ 0.25 0.15	4.0 整体	25	0.184	0.001 15	3.00

注: 表中面积和惯性矩均为换算到每延米上的等效面积或惯性矩。

3.4 确定影响沉降变形的地层

改变各地层参数，通过有限元正分析寻找各土层中对防汛墙沉降变形影响最大的因素，据此确定反演计算的目标参数。分别将各地层的弹性模量降低 20 %和泊松比提高 10 %，采用有限元正算获得防汛墙沉降变形对各土层参数的敏感程度。这里的敏感程度 S 定义为沉降的相对变化量与弹性模量相对变化量的比值，即

$$S = \frac{\Delta s / s_0}{\Delta f / f_0} \times 100 \% \quad (10)$$

式中 Δs 为由于影响因素的变化而引发的沉降变化量， s_0 为参考沉降量； Δf 为影响因素的变化量， f_0 为影响因素的参考值。此处的影响因素分别为各土层的弹性模量或泊松比。沉降对弹性模量的敏感度的计算结果见表 3。

表 3 防汛墙沉降对各土层弹性模量的敏感度
Table 3 Sensibility of settlement on the elastic modulus of each soil layer

降低弹性模量的土层	降低后的弹性模量 /kPa	外侧测点		内侧测点	
		沉降量 /mm	敏感度 /%	沉降量 /mm	敏感度 /%
弹性模量均不变时		58.6		59.5	
淤泥	1 567	58.6	0	59.5	0
填土	7 377	58.8	1.77	60	2.521
灰色淤泥质黏土	3 397	58.9	2.600	60	4.202
灰色黏土	6 069	58.9	2.600	60	2.521
灰色粉质黏土	7 212	68.3	82.765	69	82.353
暗绿色粉质黏土	11 880	59.8	10.239	61	10.084
草黄色细砂	39 579	61.2	22.184	60	6.723

由表 3 可知，作为管桩持力层的灰色粉质黏土层对防汛墙沉降的影响非常明显。防汛墙沉降对该层土弹性模量的敏感度超过 80 %，远大于其他各层土的影响。据此，以下拟针对该层土的力学参数进行平面黏弹性反分析，以期得到这层土在各个时期的等效弹模，研究防汛墙沉降变形规律，进而对未来沉降趋势进行预测。

4 外滩防汛墙结构沉降预测

4.1 计算断面与计算简图

按平面应变黏弹性问题进行反分析计算时，计算区域、边界条件、单元划分、荷载条件、土层性态的模拟和参数的选用与前述相同（见图 3、表 1 和表 2），这里不再赘述。

4.2 防汛墙结构沉降预测

根据表 4 所示的典型时刻沉降观测值^[10]，内、

外侧测点均布设在防汛墙厢体结构上表面，分别靠近黄浦江侧和沿江道路侧，测点沉降的观测值与通过有限元反分析得到的相应时刻回算值见表 4 和图 4。

表 4 结构沉降观测值、回算值
Table 4 Measured and calculated structural settlements

日期 /年-月-日	外侧测点		内侧测点	
	观测值 /mm	回算值 /mm	观测值 /mm	回算值 /mm
1994-5-5	0.00	0.00	0.00	0.00
1994-9-6	2.11	3.98	3.14	3.56
1994-12-2	3.41	5.67	6.21	5.08
1995-5-9	7.50	10.06	11.25	9.66
1995-8-14	10.46	12.03	12.85	11.71
1996-4-15	12.44	16.30	18.55	16.14
1996-10-20	11.97	14.88	16.61	14.66
1999-7-15	36.21	44.90	51.60	45.67
1999-11-6	37.36	45.98	53.04	46.77
2000-4-6	38.48	48.28	55.62	49.10
2000-9-7	40.24	49.28	56.45	50.12
2001-11-8	51.90	67.61	79.15	68.60
2002-12-2	59.22	75.78	87.95	76.79
2010-1-1		99.73		100.7
2030-1-1		125.2		126.0
2050-1-1		130.7		131.5
最终		132.0		132.7

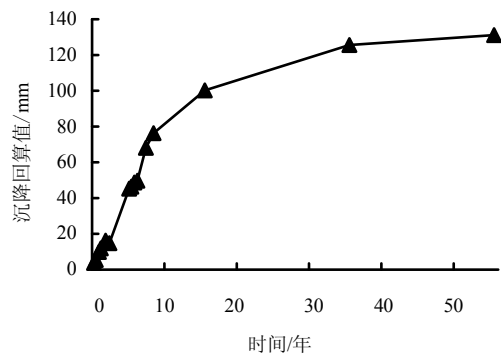


图 4 防汛墙结构沉降回算值随时间（1994 年~2044 年）发展曲线
Fig.4 Increase of calculated structural settlement of flood-control wall with time (1994-2044)

等效弹模随时间发展而变化的关系示于图 5，由此借助黏弹性模型参数的优化过程求得三元件黏弹性模型的参数值：

$$E_1=1.0 \times 10^6 \text{ kPa}, E_2=3.0 \times 10^3 \text{ kPa},$$

$$\eta_2=1.45 \times 10^7 \text{ kPa} \cdot \text{d}$$

相应的长期等效弹模收敛值为 $E_{t\infty}=3\ 000 \text{ kPa}$ ，以此预测出防汛墙结构 2050 年最终沉降量超过 132 mm。

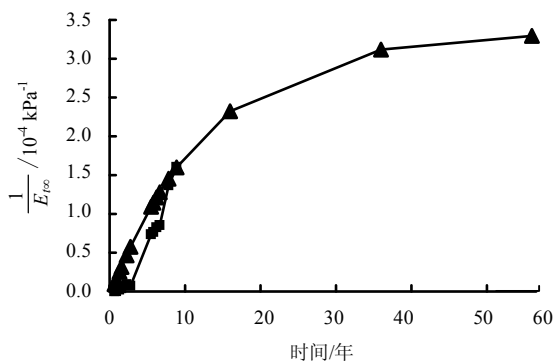


图5 等效弹模与时间（1994年~2050年）的关系曲线
Fig.5 Relationship between equivalent elastic modulus and time (1994-2050)

5 结 语

本文首先通过有限元正分析确定影响沉降变形的地层，并用于工程实例中。其计算结果表明，防汛墙结构沉降对作为管桩持力层的灰色粉质黏土层的弹性模量的敏感度高达80%之多。然后，基于外滩防汛墙二期结构沉降量测数据，采用黏弹性有限元反分析方法对防汛墙结构沉降进行反演计算，得到作为桩基持力层的主要压缩土层的等效弹性模量。最后，预测了防汛墙结构沉降从2003年~2050年的发展趋势，预测出防汛墙结构最终沉降量可达132 mm之多。研究结果可为上海市防汛墙建设和管理工作提供技术依据。

参 考 文 献

- [1] 杨林德, 徐日庆, 陈宝. 上海市防汛墙岸堤变形规律的研究[J]. 岩土工程学报, 1997, 19(3): 89-94.
YANG Lin-de, XU Ri-qing, CHEN Bao. Research on the deformation of flood-control wall in Shanghai[J].

- Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 1997, 19(3): 89-94.
- [2] 刘毅. 确定大江大河防洪堤高度应考虑地面沉降因素[J]. 上海地质, 1998, (67): 6-12.
LIU Yi. Determination of the height of river flood dikes in China should consider land subsidence[J]. Shanghai Geology, 1998, (67): 6-12.
- [3] 程徽丰. 外滩防汛墙沉降对防洪能力的影响及对策研究[硕士学位论文D]. 上海: 同济大学, 2004.
- [4] 谢宁, 孙钧. 上海地区饱和软黏土流变特征[J]. 同济大学学报, 1996, 24(3): 233-237.
XIE Ning, SUN Jun. Rheological behaviors of Shanghai clays[J]. Journal of Tongji University, 1996, 24(3): 233-237.
- [5] 林秀桂. 土工织物性能与外滩二期道路工程的研究[硕士学位论文D]. 上海: 同济大学, 1995.
- [6] 杨林德. 岩土工程反演理论与实践[M]. 北京: 科学出版社, 1996.
- [7] 时蓓玲. 基坑变形的随机预报与安全性预报[博士学位论文D]. 上海: 同济大学, 1996.
- [8] 杨林德, 仇圣华, 杨志锡. 基坑维护位移量及其稳定性预报[J]. 岩土力学, 2001, 22(3): 267-270.
YANG Lin-de, QIU Sheng-hua, YANG Zhi-xi. Prediction on displacement and stability of frame bracing structure of foundation pit[J]. Rock and Soil Mechanics, 2001, 22(3): 267-270.
- [9] 陆鼎中, 程家驹. 路基路面工程(第二版)[M]. 上海: 同济大学出版社, 1999.
- [10] 上海市地矿工程勘察院. 外滩防汛墙变形监测测量报告书(1~11)[R]. 上海: 上海市地矿工程勘察院, 1994-2002.

第二届环境与工程地球物理国际学术会议在武汉召开

2006年6月5日, 第二届环境与工程地球物理国际学术会议在中国地质大学(武汉)召开。

会议由中国地质大学(武汉)和中国地球物理学会主办, 由中国国家自然科学基金委员会地球科学部、美国环境与工程地球物理协会、中国地质调查局、日本勘探地球物理学家协会、中国铁路工程协会、中国公路协会、浙江大学协办。刘光鼎院士任大会名誉主席和学术委员会主席, 王家映教授任大会主席。

会议云集了来自美国、加拿大、瑞士、法国、德国、匈牙利、日本、韩国等14个国家和地区的150名专家、学者。50多名专家、学者在大会和专题会上进行了交流。中国地质大学(武汉)展示的成果, 受到国际同行广泛关注。该校在环境与工程地球物理学科领域具有国内领先水平, 在三峡地质灾害调查与治理、20多个省份地下水资源调查与评估、长江堤防建设与安全检测、调整公路和铁路工程建设、河道排险等方面取得了显著成果, 为湖北省经济建设和发展作出了重要贡献。这次会议, 为我国年轻科学家和学生提供了与国际同行交流、学习的机会, 为提升我国在该领域科学技术的发展, 具有重要意义。

(摘自 中国岩土工程网)