

文章编号: 1000-7598 (2010) 02-0427-06

长江漫滩相软土结构性特征及其工程效应分析

刘维正, 石名磊

(东南大学 交通学院, 南京 210096)

摘 要: 采用自由活塞薄壁取土器从地表至深度 30 m 取得不扰动原状土样, 通过室内的固结压缩试验, 并结合现场 CPTU 原位测试, 利用重塑土的压缩与强度特性作为描述天然沉积土相应特性的基准框架, 探讨了长江漫滩相天然沉积软土的物理力学性质。结果表明, 长江漫滩相天然沉积软土具有高位结构性, 固结系数 C_v 在土体屈服后急剧降低, 屈服前后有明显的分段特征。同时指出, 在静荷载水平相对较低的低路堤结构下, 软弱土层沉积过程中形成的固结屈服压力和结构强度对其工程特性的影响相对更加显著。减小对天然沉积土的施工扰动作用、充分利用土结构力学效应、尽可能使地基工作于力学性质良好的屈服前阶段, 在实际工程应用中具有重要的现实意义。

关 键 词: 结构性; 长江漫滩相软土; 低路堤; 工程效应

中图分类号: TU 411; TU 433

文献标识码: A

Structural characteristic and engineering effect analysis of Yangtze River backswamp soft soil

LIU Wei-zheng, SHI Ming-lei

(School of Transportation, Southeast University, Nanjing 210096, China)

Abstract: Free piston thin wall samplers were employed to obtain undisturbed specimens of natural sedimentary soils from ground surface to the depth of 30 m. One-dimensional consolidation compression tests performed on the undisturbed samples, and in-situ piezocone penetration test—CPTU, were adopted to investigate the physical and mechanical behavior of the Yangtze River backswamp soils. And then, intrinsic compression line (ICL) and intrinsic strength line (ISuL) of reconstituted clays were used as a basic frame of reference for describing the corresponding characteristics of natural sedimentary clays. The above results indicate that the Yangtze River backswamp soils have a high level of soil structure; consolidation coefficient C_v shows a rapid decrease after yielding and has obvious features of stages. Another conclusion could be drawn that the consolidation yield pressure and structural strength of natural sedimentary soils have more notable effects on engineering characteristics under lower static load level of the low embankment. Moreover, it's of practical value to decrease the construction disturbance of natural soil and make full use of the structural strength in engineering application.

Key words: structural characteristic; Yangtze River backswamp soft soil; low embankment; engineering effect

1 引 言

低路堤作为一种新的公路建设设计理念, 因其结构荷载水平低, 对于软土地基承载力和沉降稳定的要求相对较低, 近年来在国内外应用比较普遍。采用了低路堤结构方案的江北沿江高等级公路, 其场地所在区域地貌类型属长江漫滩, 对工程特性影响较大的长江漫滩相沉积物是天然形成的地质材料, 结构性正是这类材料的显著特点^[1]。从微观上

讲, 土的结构性是指土体颗粒和孔隙的性状、排列形式(几何特征)及其颗粒间的相互作用(联结特征)的综合; 从宏观上讲, 是指土结构的结构力学效应, 即受力时土的结构与其力学行为的相互影响。绝大多数天然沉积土在沉积过程以及沉积后均会受到土结构性的影响^[2-4]; 天然沉积土的结构性, 对其土工特性有非常大的影响作用^[5-6]。受到土结构性影响的天然沉积土主要特征之一是具有有一定的天然结构强度, 其固结屈服应力大于有效上覆压力。

收稿日期: 2008-09-23

基金项目: 江苏省交通科学研究计划项目 (No. 06y14, No. 06y15)。

第一作者简介: 刘维正, 男, 1982 年生, 博士研究生, 主要研究方向为软土工程特性。E-mail: lwzseu@126.com

结构性软土的力学特性与其所承受的应力水平有关。应力水平较低时,呈现出较好的力学特性;若应力水平超过其固结屈服应力或受剧烈扰动,土体的力学特性急剧恶化且在短期内难以恢复^[7-8]。

目前,针对静荷载水平相对较低的低路堤结构,对天然沉积土的基本特性的认识与利用,即土结构性的工程效应问题研究尚不多见。因此,合理认识与评价土层的基本特性,并充分利用土的结构性以便取得更好的工程效果,这对于在软土地区修筑高速公路是很有意义的。本文结合江北沿江高等级公路(南京段)试验段 II,通过一系列物理力学试验与 CPTU 原位测试,探讨了长江漫滩相沉积软土结构性及其低路堤结构下工程效应的问题。

2 场地和土的基本物性

现场试验段位于江北沿江高等级公路(南京段)K6+850~K7+050 段落,路基填高为 2.0 m。典型江漫滩天然沉积物层底埋深一般超过 13 m,局部超过 20.0 m,层厚在 10.0 m 左右,地基处理采用了浅层固化处置方案。针对获取的原状样进行一系列室内物理力学试验,得出该区域软弱土层主要为淤泥质黏土夹粉土或粉细砂,粒度成分一般以粉粒为主,含量为 60 % 左右,见图 1,具有类似于有较高结构性的长江口海陆交互天然沉积物的物理性质^[9]。

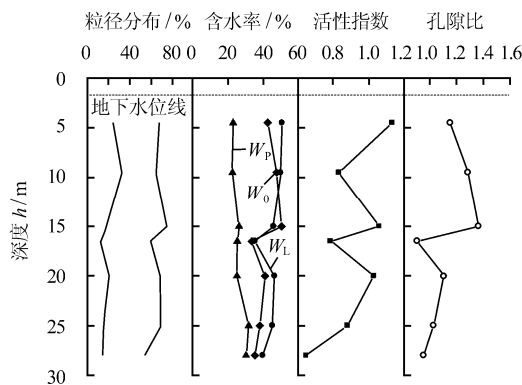


图 1 长江漫滩相软土钻孔剖面图
Fig.1 Profile for borehole of Yangtze River backswamp soil

试验段典型的长江漫滩相软土液限含水率 w_L 为 35.3 %~56.5 %,天然含水率 w_0 分布在 33.5 %~50.3 % 之间,约为液限的 0.80~1.15 倍,平均为 0.93 倍液限含水率;活性指数(塑性指数与黏粒含量之比)在 0.65~1.13 范围内;孔隙比大小为 0.90~1.36;塑性指数 I_p 的范围为 11.1~33.2。以上各指标沿深

度的变化,具体参见图 1。由此可见,所研究的土样为典型低液限黏土。

3 长江漫滩软土的沉积压缩特性

Burland (1990 年)^[10]采用孔隙指数 I_v 作为归一化指标,提出了饱和重塑土的固有压缩曲线(ICL)和天然土的沉积压缩曲线(SCL),为量化研究天然软黏土的初始结构性及其与土体沉积压缩特征之间的联系奠定了基础。Burland (1990 年)^[10]通过 I_v 对液限变化范围为 25.0 %~127.1 % 的 26 种初始含水率为液限 1.0~1.5 倍的重塑土的压缩曲线进行归一化,得到固有压缩曲线(ICL),表达式为

$$I_v = 2.45 - 1.285 \lg \sigma'_v + 0.015 (\lg \sigma'_v)^3 \quad (1)$$

式中: σ'_v 为固结压力 (kPa), 归一化指标 I_v 的定义为

$$I_v = (e - e_{100}^*) / (e_{100}^* - e_{1000}^*) = (e - e_{100}^*) / C_c^* \quad (2)$$

式中: e 为孔隙比, e_{100}^* 、 e_{1000}^* 分别为重塑土一维压缩试验中对应于外加压力为 100 kPa 及 1 000 kPa 时的孔隙比。

ICL 基于重塑土,能表现软黏土的最为本质的颗粒材料压缩特征。与绘制 ICL 类似,将某一黏土不同深度的天然孔隙比 e_0 换算为天然孔隙指数 I_{v0} ,得到 $I_{v0} - \lg \sigma'_v$ 坐标下归一化的沉积压缩曲线(SCL)^[10]。

根据上述理论,将不同深度的长江漫滩相天然沉积软土一维压缩试验得到的 $e - \lg \sigma'_v$ 曲线换算为 $I_v - \lg \sigma'_v$ 坐标下的压缩曲线,其中比较典型的压缩曲线如图 2 所示。

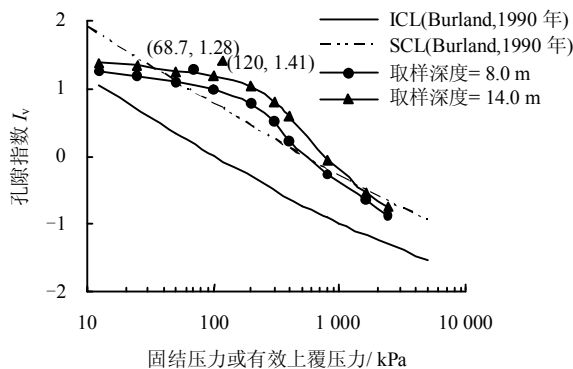


图 2 长江漫滩相天然沉积土的典型 $I_v - \lg \sigma'_v$ 压缩曲线
Fig.2 Typical $I_v - \lg \sigma'_v$ compression curves of Yangtze River backswamp soft soil

由图可见, 取样深度为 8.0 m 土样的有效上覆压力和天然孔隙指数 σ'_{v0} 、 I_{v0} 分别为 68.7 kPa、1.28, 取样深度为 14.0 m 土样的有效上覆压力和天然孔隙指数分别为 120 kPa、1.41, 其位置均位于其天然沉积压缩曲线的上方。表明了长江漫滩相软土在沉积过程以及沉积后受到土结构性的强烈影响, 土样的天然状态具有强结构性, 有着较高的灵敏度, 其力学性状与重塑土样有着根本性的区别。而压缩曲线在低于其原位应力状态下穿过天然沉积曲线, 说明取样制样对其有扰动作用。

此外, 由图 2 可见, 应力水平达到固结屈服应力后, 土的结构性影响逐渐消失, 压缩曲线出现陡降段, 同时向固有压缩曲线 (ICL) 靠近。许多天然结构性沉积土都具有这种特征^[7, 11-12]。

4 土结构性的工程效应

4.1 结构性强弱的判定

从土力学的角度, 土结构性研究的根本目的不在于看到土结构性及其变化的现象, 而在于发现土结构性及其变化的力学效果。沈珠江院士^[13]将土的结构特性定量地引入到变形强度规律的研究中, 并将此作为 21 世纪土力学研究的核心问题, 因而使得寻找一个有效、能应用于实际、带有综合性质的结构性指标成了研究者一致的追求。在以往的研究中, 灵敏度 S_l 是应用较多的表征结构性强弱的指标, 它反映的是结构性对土的不排水强度的影响。结构性强弱对抗压缩能力的影响, 可采用屈服应力比。

类似于固有压缩曲线 (ICL) 可作为评价原状土的压缩特性基准, Chandler (2000 年)^[14]提出固有强度 (IS_uL) 曲线的概念来评价原状土的强度特性, 进而在固有压缩曲线与固有强度曲线基础上提出灵敏度评价体系 (基本框架参见图 3), 并把屈服应力比与强度灵敏度 S_l 有机结合起来, 通过比较原状土样与其重塑土样的力学性状, 定量地分析和评价结构性影响。在灵敏度评价体系中, 固有强度 S_u^* 为重塑土固结到 σ'_{v0} 的三轴不排水剪切强度, 大量试验表明: $S_u^*/\sigma'_{v0} = 0.33$ ^[14]; $IsSR$ 为原位应力比, 定义为原位有效上覆应力 σ'_{v0} 与相同孔隙比下的固有竖向有效应力 σ_{ve}^* 之比, 即 $IsSR = \sigma'_{v0}/\sigma_{ve}^*$; YSR 为屈服应力比, 定义为固结屈服应力 σ'_{vy} 与原位有效上覆应力 σ'_{v0} 之比, 即 $YSR = \sigma'_{vy}/\sigma'_{v0}$; S_σ 为应力灵敏度, 定义为固结屈服应力 σ'_{vy} 与等效的固有竖向有效应力 σ_{ve}^* 之比, 即 $S_\sigma = \sigma'_{vy}/\sigma_{ve}^*$, 用以度量土的结构性抗力, 对于完全重塑土, 应力灵敏度为 1。由图 3 可见, $S_\sigma = IsSR \cdot YSR$, 图中表示为在相同的

初始孔隙比下, 固结屈服应力 σ'_{vy} 到 ICL 的相对距离。

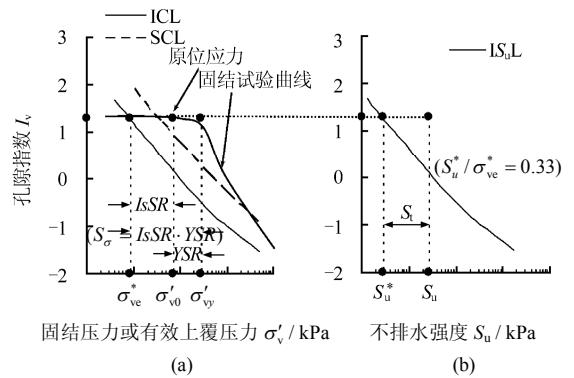


图 3 灵敏度评价体系中主要参数定义的示意图^[14]
Fig.3 The main elements of the sensitivity framework^[14]

鉴于原状土的固结屈服应力与不排水强度都受到结构强度的影响, 对结构强度的大小有着同样的表征作用, Chandler (2000 年)^[14]假定在相同的初始孔隙比下, 原状土的三轴不排水剪切强度 S_u 等于相应的固有强度 S_u^* 乘以应力灵敏度 S_σ 。这样一来, 就可将原位状态土的结构性抗力 (structural resistance) 以及将土样加载到屈服时产生的附加抗力 (extra resistance) 联合起来反映到天然土样的强度中去, 由图 3 可得

$$S_u = S_u^* S_\sigma = S_u^* \cdot IsSR \cdot YSR \quad (3)$$

整理可得

$$S_u / S_u^* = S_l = IsSR \cdot YSR = S_\sigma \quad (4)$$

同时, Chandler (2000 年)^[14]引用 Skempton (1970 年)^[2]和 Burland (1990 年)^[10]的相关数据, 并将其表示在 $IsSR-S_l/YSR$ 坐标中, 得出斜率为 1 的误差范围为 $\pm 25\%$, 验证了式 (4) 的合理性。

为了合理评价长江漫滩相软土的工程特性, 本文采用国际先进的 CPTU 孔压静力触探系统, 集原位测试、多指标联合测试等优点进行测试。CPTU 是在常规静力触探 (CPT) 探头上安装孔压传感器测试元件, 在测试常规锥尖阻力 q_c 和侧壁摩擦力 f_s 外, 还可测试地下水位以下各土层的孔隙水压力 u 及超孔隙水压力消散过程。基于 CPTU 实测数据, 可建立超孔隙水压力 ΔU 与 S_u 之间的关系式, 得出三轴不排水抗剪强度 S_u ; 根据 Schmertmann 建议的经验公式^[4], 采用静力触探摩阻比 R_f 可以得到天然沉积土的灵敏度 S_l ; 再利用前面得到的不排水抗剪强度 S_u , 结合土层的上覆有效压力 σ'_{v0} 和塑性指数

I_p , 根据 $S_u / \sigma'_{v0} - I_p$ 就可以估算出各土层的平均 OCR 值。在图 1 所示的钻孔剖面土层沿深度变化的三轴不排水抗剪强度 S_u 、强度灵敏度 S_t 、平均 OCR 值的原位测试结果, 参见表 1。

表 1 CPTU 原位测试结果

Table 1 In-situ results from piezocone penetration test

深度 h / m	CPTU 原位测试结果		
	S_u / kPa	S_t	OCR
4	20.5	8.0	2.6
6	36.3	6.6	1.8
8	26.4	6.0	1.8
10	36.0	4.4	1.4
14	33.3	5.0	1.6
17	32.3	5.4	1.5
20	95.3	4.9	1.9
22	51.6	3.9	1.9
26	84.3	5.6	1.9

利用表 1 中三轴不排水抗剪强度 S_u 原位测试值, 结合深度 8.0 m 与 14.0 m 原状试样的室内压缩曲线以及上述灵敏度评价体系, 得到长江漫滩典型软土原位状态与原位强度, 参见图 4。可见原位状态与原位强度分别位于 ICL 与 IS_uL 曲线的右边, 可定性地判别出土结构性对长江漫滩软土的力学性质有着显著影响。

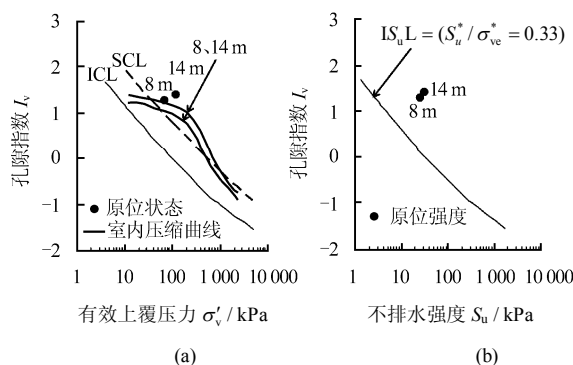


图 4 长江漫滩相典型沉积土的原位状态与原位强度
Fig 4 In-situ states and strength of Yangtze River backswamp typical sedimentary soil

结合土样的上覆有效压力 σ'_{v0} 以及由 ICL 定义得到的 σ'_{ve} , 可计算出 $IsSR$; 再根据表 1 中 CPTU 原位测试结果 S_t , 利用式 (4), 可得出整个钻孔断面土样结构屈服应力比为

$$YSR = S_t / IsSR \quad (5)$$

进而可以对结构性强弱进行判定。长江漫滩相软土沿深度变化的结构屈服应力比 YSR , 参见图 5。

由图 5 可见, 根据公式 (5) 计算得到的结构

屈服应力比 YSR 分布在 1.7~2.8 之间, 均值为 2.0, 与 CPTU 原位测得的 OCR 相比大部分偏大, 主要是因为 OCR 定义为历史上土层受到的最大有效固结应力 (前期固结压力) 与当前有效应力之比, 而 YSR 是固结屈服应力与当前有效应力之比, 固结屈服应力是前后期固结压力与结构强度之和, 结构强度也就是加载到屈服时产生的附加抗力。此外, 在深度分别为 8.0 m 和 14.0 m 处, 由室内压缩曲线得出的 YSR 比根据式 (5) 计算的要小, 是由于取样、制样扰动, 导致结构屈服应力降低的原因。

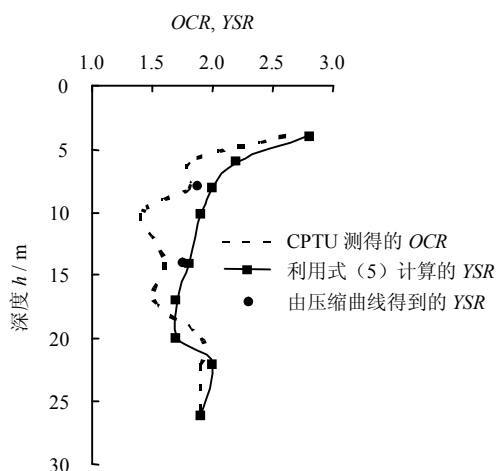


图 5 长江漫滩相软土典型断面的 OCR 与 YSR
Fig 5 OCR and YSR for typical profile of Yangtze River backswamp soft soil

4.2 结构性对固结沉降的影响

上述分析揭示, 长江漫滩相天然沉积软土的结构屈服应力比均值为 2.0, 具有较高的结构屈服强度, 使得土体在结构屈服应力前后压缩特性发生急剧变化。从图 2 的原状样压缩曲线及结构性土的理想化压缩曲线^[15]可以看出, 当承受的应力较低且应力水平未超过固结屈服应力时为平缓段, 即屈服前阶段; 当承受的应力较大并超过固结屈服应力时为陡降段, 即屈服后阶段。相应的 $e - \lg \sigma'_v$ 曲线可表示为

$$\left. \begin{aligned} e &= e_0 - c_e \lg \left(\frac{\sigma'_v}{\sigma'_{v0}} \right), \quad \sigma'_v \leq \sigma'_{vy} \\ e &= e_0 - c_e \lg \left(\frac{\sigma'_{vy}}{\sigma'_{v0}} \right) - c_c \lg \left(\frac{\sigma'_v}{\sigma'_{vy}} \right), \quad \sigma'_v > \sigma'_{vy} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

式中: c_e 为屈服前阶段压缩指数; c_c 为屈服后阶段压缩指数; σ'_{v0} 为自重应力; σ'_{vy} 为结构屈服应力。

结构性土体的这一压缩特征必然影响其渗透、固结特性。假定渗透系数随孔隙比 e 而变化, 且 e

与 $\lg k$ 的变化成直线关系, 斜率为渗透指数 c_k , 且有 $c_k = 0.5e_0$ [16]。因此, 基于结构性土体的非线性压缩特性和渗透特性的固结系数为

$$c_v = \frac{k_v}{m_v \gamma_w} = \begin{cases} c_{v0} \left(\frac{\sigma'_{v0}}{\sigma'_v} \right)^{\frac{c_e}{c_k}-1}, & \sigma'_v \leq \sigma'_{vy} \\ c_{v0} \frac{c_e}{c_k} \left(\frac{\sigma'_{v0}}{\sigma'_{vy}} \right)^{\frac{c_e}{c_k}-1} \left(\frac{\sigma'_{vy}}{\sigma'_v} \right)^{\frac{c_e}{c_k}-1}, & \sigma'_v > \sigma'_{vy} \end{cases} \quad (7)$$

式中: $c_{v0} = \frac{k_{v0}}{m_{v0} \gamma_w} = \frac{(1+e_0)k_{v0}\sigma'_{v0} \ln 10}{c_e \gamma_w}$, c_{v0} 为初始固结系数。

由式 (7) 可见, 固结系数随着有效应力的增大而非线性减小, 由于 c_e 与 c_k 差别显著, 屈服后固结系数骤减, 固结指标在屈服前后具有明显的分段特征。

为探讨结构性对固结与沉降特性的影响程度, 采用一维非线性固结的半解析解法和迭代法进行分析 [17], 并结合上述的分析结果, 取 $c_e = 0.0678$, $c_k = 0.397$, $e_0 = 1.08$, $c_k = 0.54$, $\sigma'_{v0} = 100$ kPa, $k_{v0} = 2.5 \times 10^{-7}$ cm/s, 瞬时施加荷载 50 kPa。当考虑结构性时, 取 $\sigma'_{vy} = 140$ kPa; 不考虑结构性影响时, 取 $\sigma'_{vy} = \sigma'_{v0}$, $c_e = c_k$ 。计算结果如图 6、7 所示。

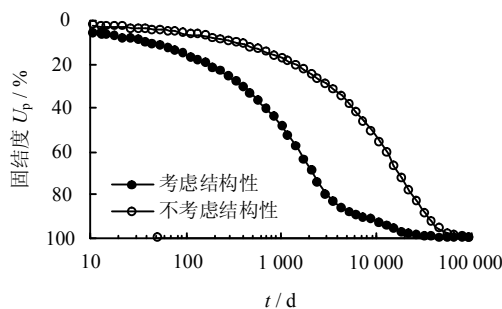


图 6 结构性对固结性状的影响

Fig.6 Influence of soil structure on consolidation behavior

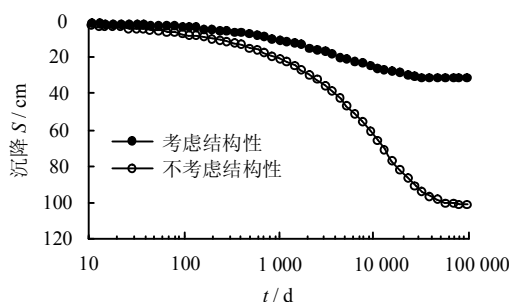


图 7 结构性对沉降的影响

Fig.7 Influence of soil structure on settlement behavior

从图 6、7 分别可以看出: 天然沉积土结构性保

持完好时, 由于结构强度的作用, 在外荷载作用下, 原有的大孔隙骨架结构未被破坏, 因此, 孔压消散速率高, 固结快, 沉降量小; 结构强度完全丧失后, 土体结构发生大量坍塌, 固结速率相对有结构性的明显偏慢, 沉降显著增大。

鉴于上述分析, 在静荷载水平相对较低的低路堤结构的作用下, 天然沉积软黏土如果不发生屈服 (往往也是这样的), 则不会发生明显的土体压缩, 相应低路堤地基总沉降也就很小, 且固结排水速率大, 沉降稳定相对较快, 工后沉降量就非常小。因此, 从工程角度来说, 选择合适地基处理方式与施工速率, 以使原状土体未受扰动破坏, 保持结构性的完整, 合理利用土体的天然结构强度, 能极大地缩减软基处理的工程数量和难度、缩短工期, 在实际工程应用中有重要的现实意义。

5 结 论

(1) 薄壁原状样压缩试验结果表明, $I_v - \lg P$ 曲线位于天然沉积压缩曲线 SCL 上方, 揭示了长江漫滩相软土天然状态且具有高位结构性, 变形与强度特性受结构屈服应力比的控制。

(2) 基于 Chandler 提出的应力灵敏度评价体系, 并结合具有连续测试、多指标联合测试等优点的 CPTU 孔压静力触探原位测试结果, 得出长江漫滩相软土典型断面的结构屈服应力比的均值为 2.0, 表明原位状态的长江漫滩相软土具有较高的结构性抗力与附加抗力。

(3) 固结压缩指标在屈服应力前后具有明显的分段特征, 屈服后固结系数骤减; 考虑土体结构性影响的固结度明显大于不考虑土结构性的结果, 而沉降量显著小于不考虑土结构性的结果。

(4) 低路堤结构下, 荷载水平远未达到结构屈服应力时, 相应的压缩性指标低和排水固结指标高, 软土地基沉降稳定相对较快, 应避免原状土体未受施工扰动破坏, 保持结构性的完整, 充分利用土体结构性对强度及变形特性的有利影响, 使结构性的工程效应达到最佳。

参 考 文 献

- [1] 沈珠江. 从学步走向自立的岩土力学[J]. 岩土工程界, 2003, 6(12): 15-17
- [2] SKEMPTON A W. The consolidation of clays by gravitational compaction[J]. Quarterly Journal of the Geological of London, 1970, (125): 373-411.
- [3] LEROUÉIL S, VAUGHAN P R. The general and

- congruent effects of structure in natural soils and weak rocks[J]. *Geotechnique*, 1990, 40(3): 467—488.
- [4] SCHMERTMANN J H. The mechanical aging of soils[J]. *Journal of the Geotechnical Engineering Division, American Society of Civil Engineers*, 1991, 117(9): 1288—1330
- [5] 刘恩龙, 沈珠江, 范文. 结构性黏土研究进展[J]. 岩土力学, 2005, 26(增刊): 1—8.
LIU En-long, SHEN Zhu-jiang, FAN Wen. Advance in researches on structured clay[J]. *Rock and Soil Mechanics*, 2005, 26(Suup.): 1—8.
- [6] GASPARRE A, NISHIMURA S, COOP M P, et al. The influence of structure on the behavior of London Clay[J]. *Geotechnique*, 2007, 57(1): 19—31.
- [7] NAGARAJ T S, NORIHIKO MIURA, CHUNG S G, et al. Analysis and assessment of sampling disturbance of soft sensitive clays[J]. *Geotechnique*, 2003, 53(7): 679—683.
- [8] 王立忠, 李玲玲. 结构性土体的施工扰动及其对沉降的影响[J]. 岩土工程学报, 2007, 29(5): 697—704.
WANG Li-zhong, LI Ling-ling. Field disturbance of structured clay and its effect on settlements of soil foundation[J]. *Chinese Journal of Geotechnical Engineering*, 2007, 29(5): 697—704.
- [9] 石名磊, 张波, 洪振舜. 天然沉积中间土的力学特性研究[J]. 岩土力学, 2005, 26(11): 1753—1756.
SHI Ming-lei, ZHANG Bo, HONG Zhen-shun. Mechanical properties of natural sedimentary intermediate soils[J]. *Rock and Soil Mechanics*, 2005, 26(11): 1753—1756.
- [10] BURLAND J B. On the compressibility and shear strength of natural clays[J]. *Geotechnique*, 1990, 40(3): 329—378.
- [11] HONG Z, TSUCHIDA T. On compression characteristics of Ariake clays[J]. *Canadian Geotechnical Journal*, 1999, 36(5): 807—814.
- [12] 吕海波, 汪稔, 孔令伟, 等. 结构性对琼州海峡软土压缩特性的影响[J]. 岩土力学, 2001, 22(4): 468—473.
LÜ Hai-bo, WANG Ren, KONG Ling-wei, et al. The influences of soil structure on compressibility of Qiongzhou Strait soft marine clay[J]. *Rock and Soil Mechanics*, 2001, 22(4): 468—473.
- [13] 沈珠江. 土体结构性的数学模型——21 世纪土力学的核心问题[J]. 岩土工程学报, 1996, 18(1): 95—97.
- [14] CHANDLER R J. Clay sediments in depositional basin: the geotechnical cycle quarterly[J]. *Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 2000, 33(1): 7—39.
- [15] 刘恩龙, 沈珠江. 结构性土压缩曲线的数学模拟[J]. 岩土力学, 2006, 27(4): 616—620.
LIU En-long, SHEN Zhu-jiang. Modeling compression of structured soils[J]. *Rock and Soil Mechanics*, 2006, 27(4): 616—620.
- [16] LEROUEIL S, LERAT P, HIGHT D W, et al. Hydraulic conductivity of a recent estuarine silty clay at Bothkennar[J]. *Geotechnique*, 1992, 42(2): 275—288.
- [17] 谢康和, 郑辉, 李冰和, 等. 变荷载下成层地基一维非线性固结分析[J]. 浙江大学学报(工学版), 2003, 37(4): 426—431.
XIE Kang-he, ZHENG Hui, LI Bing-he, et al. Analysis of one dimensional nonlinear consolidation of layered soils under time-dependent loading[J]. *Journal of Zhejiang University (Engineering Science)*, 2003, 37(4): 426—431.

第 44 届美国岩石力学研讨会将于 2010 年 6 月 27~30 日在美国犹他州盐湖城举行

美国岩石力学协会 (ARMA, 网址 www.armorocks.org) 现征集科学研究及工程技术论文, 包括研究、应用和案例分析等。

在过去的 54 年间, 美国岩石力学研讨会汇集了来自岩石力学、岩石工程、岩石物理等地质力学各行业的专业知识。来自世界各地的参会者均为岩石力学这一领域公认的具有突出成就的学术带头人。会议所宣读及出版的论文均代表世界领先水平。此次研讨会涵盖多个学科, 包括采矿、石油与天然气、土木工程以及地质工程。

除内容丰富的技术报告之外, 组委会还筹划了野外考察和旅行。技术旅行和野外考察目的地主要为地质胜景, 如正在作业的矿场和地热矿, 以及极具吸引力的一些旅游景点, 如大盐湖、螺旋形防波堤和为修建横贯美国大陆铁路而钉入的最后一枚道钉的所在地。一些久负盛名的国家公园 (如黄石国家公园、大峡谷国家公园) 距离会议地点仅一天车程; 拉斯维加斯也在附近。肯尼科特犹他铜业公司的宾汉姆峡谷铜矿位于会议地点附近; 这一露天矿场是世界上产铜最多的矿场, 目前已产铜约 1800 万吨。

会议主席 Sidney Green 电话: 1 801-584-2401

ARMA 执行董事 Peter Smeallie 电话: 1 703-683-1808

大会议程主席 John McLennan 电话: 1 801-587-7925

(摘自 中国岩石力学与工程学会 网站)