

文章编号: 1000-8608(2018)01-0064-08

海陆交互相黏性土蠕变试验与经验模型研究

李刚^{*1,2}, 张金利², 杨庆², 蒋明镜³

- (1. 西京学院 陕西省混凝土结构安全与耐久性重点实验室, 陕西 西安 710123;
2. 大连理工大学 海岸和近海工程国家重点实验室, 辽宁 大连 116024;
3. 同济大学 地下建筑与工程系, 上海 200092)

摘要: 海陆交互相沉积土是在复杂的沉积环境下形成的, 其力学性质与其他沉积土有所区别。针对大连海陆交互相黏性土原状样, 采用三轴排水蠕变试验对黏性土的蠕变特性进行了研究, 分析了轴向应变、体应变、轴向应变速率与蠕变时间、偏应力间的关系。基于蠕变试验结果, 耦合 Mesri 模型与三次多项式, 建立了可以描述土体衰减蠕变与加速蠕变过程的经验模型。结果表明, 该地区土体具有典型的非线性蠕变特性, 随着偏应力的增加, 非线性蠕变特性愈加明显。在低偏应力作用下, 蠕变过程表现出衰减蠕变与剪缩特性; 在破坏偏应力下表现出加速蠕变与剪缩、剪胀交替特性。轴向应变速率随着蠕变时间的增加而减小, 随着偏应力的增大而增大, 而偏应力对 m 值(曲线斜率)的影响较小。试验结果与模型计算结果吻合较好, 表明新建模型适用于描述该地区海陆交互相黏性土的蠕变特性。

关键词: 海陆交互相; 蠕变试验; 经验模型; 黏性土; Mesri 模型

中图分类号: TU411

文献标识码: A

doi: 10.7511/dllgxb201801010

0 引言

土体的工程性质与沉积环境有关, 由于历史上的海进海退、海岸线往复运动等原因形成了海陆交互相沉积土^[1]。与典型的海相沉积土相比, 其天然含水率、孔隙比一般较小, 而力学性质指标(压缩指数、摩擦角等)相对较好, 物理力学指标的变异性更大。陈晓平^[2]针对珠江三角洲海陆交互相沉积软土的固结特性进行了研究, 分析了固结作用对土体基本力学特性的影响, 提出了考虑固结效应的量化分析方法。柳艳华等^[3]通过对长江口海陆交互相黏性土物理力学性质的研究, 得出该地区土体的物理与力学性质指标不完全吻合, 分析了出现该现象的原因, 并提出评价该类土工程性质的新方法。张宏等^[4]运用主成分分析原理, 分析了长江口北侧海陆交互相沉积黏性土的物理性质指标, 指出运用液性指数判别稠度状态的方法存在不合理之处。刘志彬等^[5]通过对长江口北岸海陆交互相沉积土 PHC 管桩复合地基孔压响

应特性的研究, 得出浅层土体的渗透性较好, 超孔压反应灵敏; 而深层土体的渗透性差, 超孔压随上部荷载的增加而增大。拓勇飞等^[6]对湛江地区海陆交互相软土的工程性质进行了研究, 指出受构造运动的影响, 该沉积土在复杂地质应力的耦合作用下呈现出特殊的沉积特征, 胶结作用使其具有较高的结构强度。石名磊等^[7]通过对长江口北岸天然沉积中间土力学特性的研究得出, 该类土具有类似于软黏土的物理性质, 但原位强度与天然含水量却与硬黏土相似, 认为颗粒分布对于天然沉积土原位强度具有较大影响。

土体分布具有典型的地域特征, 目前针对海陆交互相沉积土蠕变特性的研究较少。本文针对大连海陆交互相黏性土, 采用三轴排水蠕变试验对土体蠕变特性进行研究, 分析轴向应变、轴向应变速率、体应变与蠕变时间、偏应力间的关系, 基于蠕变试验结果, 建立适用于描述该地区黏性土蠕变特性的经验模型。

1 试验材料与方法

1.1 试验设备与土样

采用土体三轴流变仪(CSS-2901TS)进行三轴排水蠕变试验,该设备可进行恒定应力下的蠕变试验与恒定应变下的应力松弛试验。试验土样为取自施工现场的海床原状样,取土深度介于14~30 m,为海陆交互相黏土与粉质黏土,呈灰~灰褐色,黏性土的物理性质指标见表1。由表可见,海相沉积土(淤泥与淤泥质黏土)的含水率与孔隙比较大、重度较小,土体呈流塑状态。而海陆交互沉积土(黏土与粉质黏土)的含水率与孔隙比较小、重度较大,土体呈可塑状态。

表1 黏性土物理性质参数

Tab. 1 Physical parameters of clayey soils

成因	分类	$w/\%$	$\gamma/(kN \cdot m^{-3})$	e	$w_l/\%$	I_p	I_l
海相	淤泥	63.7	16.0	1.75	48.5	24.3	1.63
沉积	淤泥质黏土	47.8	17.2	1.30	40.2	19.9	1.38
海陆交	黏土	39.2	17.9	1.10	48.7	24.4	0.61
互沉积	粉质黏土	25.1	19.6	0.70	31.2	14.3	0.57

1.2 试验方法

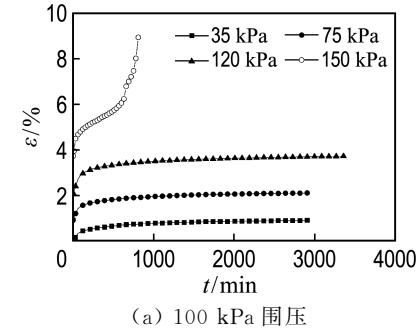
试样直径为39.1 mm,高为80 mm。试验采用分级加载方式,围压等级设定为100、200、400及800 kPa。试验分4~5级加载,根据土样在相同围压下固结排水剪切试验达到破坏时的偏应力 q_f 来确定每级的加载增量($q_f/4 \sim q_f/5$)。试验过程中尽量减小对试样的扰动,依次对试样进行饱和、固结及分级加载。试验稳定标准设置为24 h内的变形量小于0.01 mm,试验过程中温度控制在(20±1)℃。

2 蠕变试验结果与分析

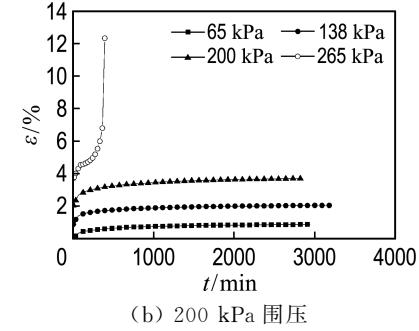
2.1 轴向应变与时间关系

为分析海陆交互相黏性土的排水蠕变特性,采用“陈氏加载法”^[8]对试验数据进行处理,图1列出26 m深度粉质黏土在100、200、400、800 kPa围压下的蠕变特征曲线。由图可见,蠕变曲线呈现出明显的非线性特性,在偏应力作用初期,轴向应变变化较大,随着时间的增加,应变慢慢趋于稳定。在低偏应力作用下,土体变形表现出明显的

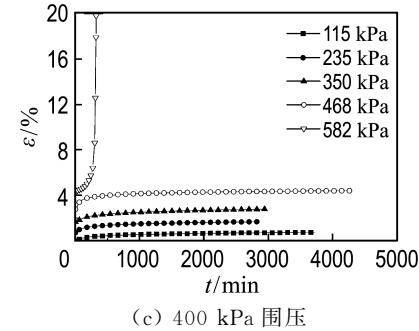
衰减蠕变特性,在破坏偏应力作用下,呈现出明显的加速蠕变特性。总体来看,破坏偏应力随着围压的增大而增大,不同围压与偏应力作用下土体的变形规律基本一致,在偏应力作用的5 000 min内变形基本达到稳定状态。由以上分析可以得出,大连海陆交互相黏性土具有典型的非线性蠕变特



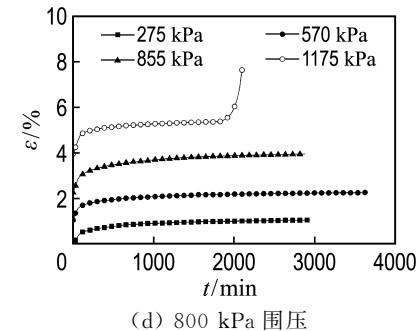
(a) 100 kPa 围压



(b) 200 kPa 围压



(c) 400 kPa 围压



(d) 800 kPa 围压

图1 黏性土轴向应变-时间关系曲线

Fig. 1 Relationship curve of clayey soil between axial strain and time

性,轴向应变随着偏应力的增大而增大,随着时间的增加而慢慢趋于稳定,整个蠕变过程表现出衰减蠕变与加速蠕变特征。

2.2 体应变与时间关系

图 2 为 100、200、400 及 800 kPa 围压下的体应变-时间关系曲线。由图可见,随着蠕变时间与

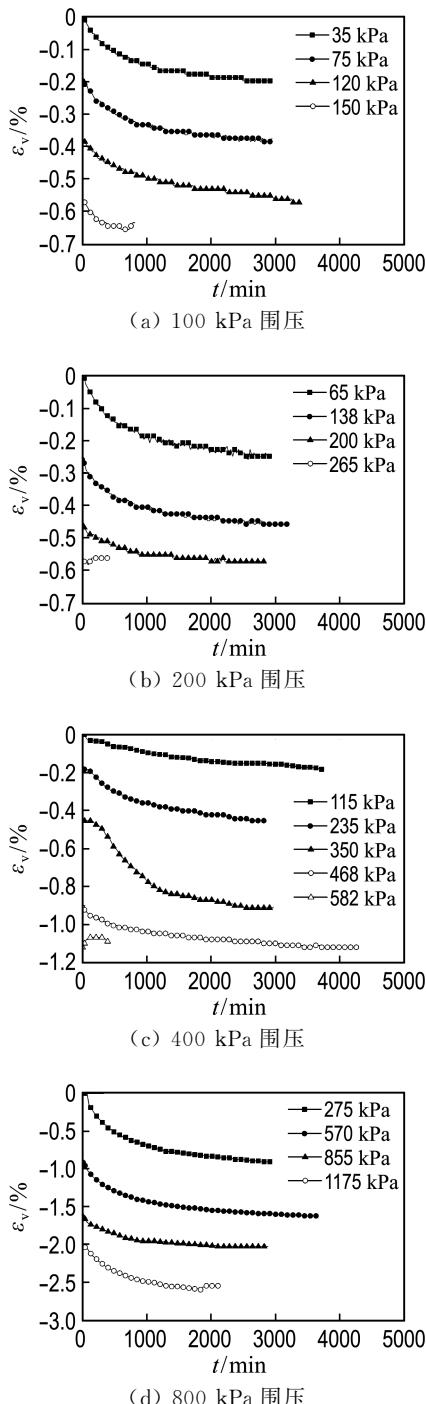


图 2 黏性土体应变-时间关系曲线

Fig. 2 Relationship curve of clayey soil between volume strain and time

偏应力的增加,体应变逐渐减小,表明土体呈剪缩特性。在破坏偏应力作用下,体应变先减小后增大,表明土体呈现出剪缩与剪胀的交替,这与天津滨海软黏土^[9]仅剪缩的体变规律不同。土体蠕变过程实际上是内部结构不断改变、自我调整再造以适应外力变化的过程^[10]。土体在外荷载作用下,颗粒间连接力较弱处会先破损,小孔隙数量和体积逐渐增多,造成体积膨胀,但体胀较小。与此同时,破损的颗粒会在外力的作用下重新聚集成团,形成新的集合体,孔隙的改变表现为颗粒的重新组合排列,导致体积减小。蠕变是土的硬化与软化相互转化的过程,硬化与软化在偏应力作用下哪—个占优是决定出现剪胀还是剪缩的根本原因。

2.3 偏应力与轴向应变关系

为分析黏性土的应力-应变关系,以 26 m 深度粉质黏土在 100 kPa 围压下的蠕变试验结果为例,图 3 列出其偏应力-轴向应变等时曲线。由图可见,黏性土的应力-应变关系表现出明显的非线性特性,随着偏应力的增大,轴向应变逐渐增大。在低偏应力作用下,等时曲线的斜率较小;随着偏应力的增大,曲线斜率逐渐增大,对应的轴向应变也随之增大。与文献[11]中软黏土蠕变特征相似,不同时间下的等时曲线分布规律基本一致,当偏应力一定时,轴向应变随着时间的增加而增大;当轴向应变一定时,偏应力随着时间的增加而减小。由以上分析可以得出,大连海陆交互相黏性土具有典型的非线性蠕变特性,随着偏应力的增大,非线性蠕变特性越来越明显。

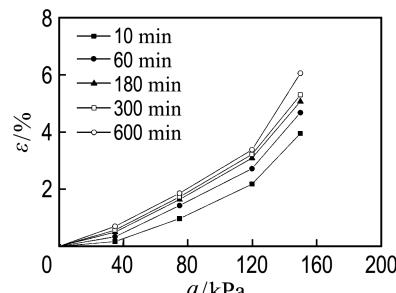


图 3 100 kPa 围压下黏性土应力-应变等时曲线

Fig. 3 Stress-strain isochronal curves of clayey soil under 100 kPa confining pressure

2.4 轴向应变速率与时间关系

图 4 为 26 m 深度粉质黏土在 100 kPa 围压

下的应变速率随时间变化曲线。由图可见,在双对数坐标系下,应变速率随着时间的增加而减小,在偏应力作用初期(小于100 min),曲线斜率较小;当蠕变时间大于100 min后,曲线斜率基本恒定,这与文献[12-13]中黏性土的蠕变规律相似。此外,土体应变速率随着偏应力的增大而增大,在加载后期(100 min后),不同偏应力作用下(破坏偏应力除外)的曲线斜率基本相同, m 值(曲线斜率)介于0.77~0.82,表明偏应力对 m 值的影响较小。从蠕变过程来看,在低偏应力(35、75及120 kPa)作用下,应变速率随着时间的增加而减小,表现出衰减蠕变特性;在破坏偏应力作用下,应变速率先减小后增大,表现出衰减蠕变与加速蠕变特性,印证了前文分析结论。

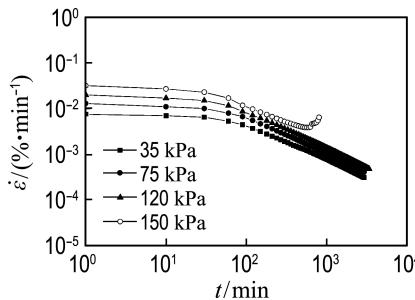


图4 100 kPa围压下黏性土应变速率-时间关系曲线

Fig. 4 Relationship curve of clayey soil between strain rate and time under 100 kPa confining pressure

2.5 轴向应变速率与偏应力关系

图5为轴向应变速率与偏应力等时曲线。由图可见,与文献[14]中软黏土蠕变特征相似,随偏

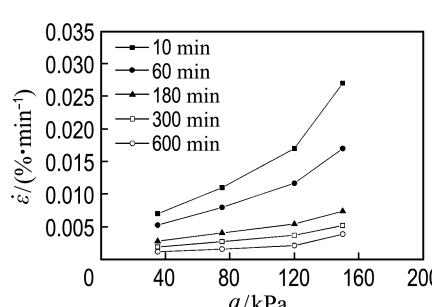


图5 100 kPa围压下黏性土应变速率-偏应力等时曲线

Fig. 5 Strain rate-deviatoric stress isochronal curves of clayey soil under 100 kPa confining pressure

应力的增加,轴向应变速率逐渐增大;随蠕变时间的增加,轴向应变速率逐渐减小。在低偏应力作用下,曲线斜率相对较小,随偏应力的增大,曲线斜率随之增大,表明应变速率随偏应力的增大而增大。当偏应力一定时,随蠕变时间的增加,应变速率随之减小;当应变速率一定时,偏应力随蠕变时间的增加而增大。由此可见,对于大连海陆交互黏性土而言,轴向应变速率与偏应力间呈现出非线性特性,但随蠕变时间的增加,非线性特性越来越不明显。

3 蠕变经验模型

3.1 Mesri 蠕变方程

针对黏性土蠕变特性研究的经验模型较多,代表性的为 Singh-Mitchell 与 Mesri 模型^[15-20]。 Singh-Mitchell 模型仅适用于描述 20%~80% 偏应力水平范围内的应力-应变-时间关系,因此 Mesri 模型更具优势。本文基于大连海陆交互黏性土三轴蠕变试验结果,尝试采用 Mesri 蠕变方程来描述该地区黏性土的应力-应变-时间关系。Mesri 蠕变方程表示为

$$\epsilon = \frac{2}{E_u/S_u} \cdot \frac{\bar{D}}{1 - R_f \bar{D}} \left(\frac{t}{t_1} \right)^\lambda \quad (1)$$

式中: ϵ 为轴向应变; t 为蠕变时间; E_u 为初始切线模量; S_u 为抗剪强度; \bar{D} 为剪应力水平, $\bar{D} = (\sigma_1 - \sigma_3)/(\sigma_1 + \sigma_3)$; R_f 为破坏应力比; t_1 为参考时间; λ 为试验常数。

当 $t=t_1$ 时,式(1)可表示为

$$\frac{\epsilon}{D} = \frac{2}{E_u/S_u} + R_f \epsilon \quad (2)$$

式中: $\frac{2}{E_u/S_u}$ 与 R_f 分别为 $\frac{\epsilon}{D}$ - ϵ 关系曲线中的截距与斜率。 λ 为 $\lg \epsilon - \lg(t/t_1)$ 关系曲线的斜率。

由此可见,Mesri 蠕变方程共有 3 个参数,分别为 $\frac{2}{E_u/S_u}$ 、 R_f 及 λ ,均可通过对试验结果的回归分析获取。

3.2 模型建立

为了获取 Mesri 模型参数,以 26 m 深度粉质黏土在 100 kPa 与 200 kPa 围压下的蠕变试验结果为例,设定参考时间为 10 h,拟合结果见图 6。由图可见,100 kPa 与 200 kPa 围压下的 ϵ/D 与 ϵ 基本

呈线性关系, 相关系数大于 0.98。双对数坐标下的 ϵ 与 t/t_1 也呈线性关系, 相关系数大于 0.88。经过回归分析得到的 26 m 与 30 m 深度粉质黏土在 100、200 kPa 围压下的 Mesri 模型参数见表 2。

值得注意的是, 图 6 并没有列出破坏偏应力下的拟合结果, 原因在于 Mesri 方程对加速蠕变过程的拟合效果较差。鉴于此, 作者采用最小二乘

法对破坏偏应力下的蠕变过程进行了拟合分析, 得到采用三次多项式时的拟合效果较好。因此, 借鉴分段函数的思想, 耦合 Mesri 方程与三次多项式来描述黏性土在全应力水平下的蠕变过程, 当偏应力小于破坏偏应力时, 采用 Mesri 方程进行模拟; 当偏应力等于破坏偏应力时, 采用三次多项式进行模拟, 模型表达式为

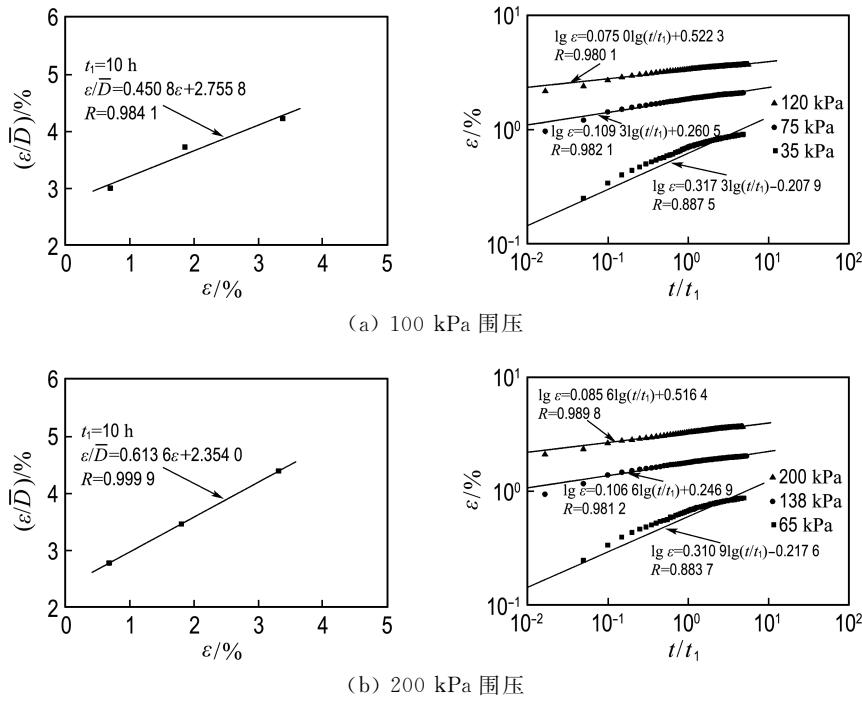


图 6 Mesri 模型参数拟合

Fig. 6 Parameters fitting of Mesri model

表 2 Mesri 模型参数

Tab. 2 Parameters for Mesri model

深度/m	σ_3/kPa	$(\sigma_1 - \sigma_3)_f/kPa$	t_1/h	\bar{D}	$\left(\frac{2}{E_u/S_u} \right)$	R_f	λ
26	100	150	10	0.233 3	2.755 8	0.450 8	0.317 3
				0.500 0	2.755 8	0.450 8	0.109 3
				0.800 0	2.755 8	0.450 8	0.075 0
	200	265	10	0.245 3	2.354 0	0.613 6	0.310 9
				0.520 8	2.354 0	0.613 6	0.106 6
				0.754 7	2.354 0	0.613 6	0.085 6
30	100	183	10	0.273 2	4.935 1	0.228 9	0.182 5
				0.546 4	4.935 1	0.228 9	0.095 8
				0.847 0	4.935 1	0.228 9	0.064 6
	200	345	10	0.266 7	2.864 8	0.455 5	0.142 5
				0.542 0	2.864 8	0.455 5	0.099 7
				0.811 6	2.864 8	0.455 5	0.061 1

$$\varepsilon = \frac{2}{E_u/S_u} \cdot \frac{\bar{D}}{1-R_f \bar{D}} \left(\frac{t}{t_1} \right)^\lambda; \quad \bar{D} < 1 \quad (3)$$

$$\varepsilon = at^3 + bt^2 + ct + d; \quad \bar{D} = 1$$

采用三次多项式对 26 m 与 30 m 深度粉质黏土在 100、200 kPa 围压下破坏偏应力下的蠕变试验结果进行拟合,得到的模型参数见表 3.

3.3 模型验证

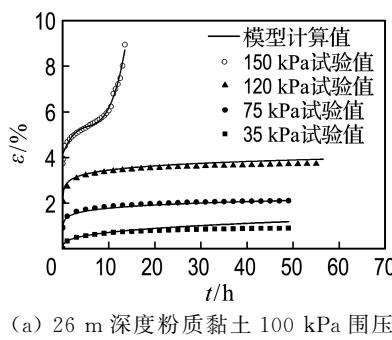
采用新建模型对 26 m 与 30 m 深度粉质黏土在 100、200 kPa 围压下的蠕变过程进行了计算,结果对比见图 7. 由图可见,在 100 与 200 kPa 围压下,Mesri 模型计算结果与试验结果吻合较好,多项式计算结果能够较好地描述土体的加速

蠕变过程,二者相对误差较小.由此可见,试验与计算结果的吻合度验证了新建模型的可靠性,表明新建模型适用于描述大连海陆交互相黏性土的蠕变特性.

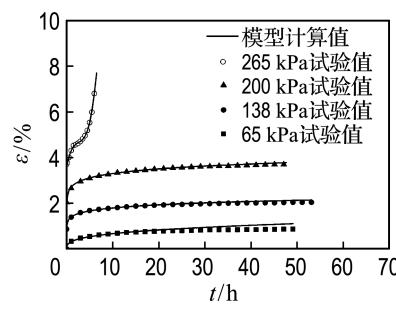
表 3 多项式模型拟合参数

Tab. 3 Fitting parameters for the polynomial model

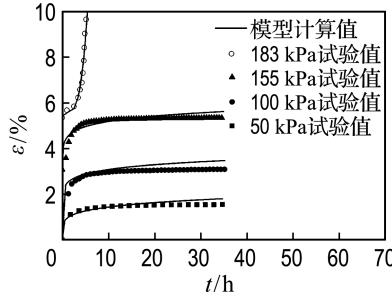
深度/m	σ_3/kPa	\bar{D}	a	b	c	d
26	100	1	0.0054	-0.0882	0.5448	4.1375
	200	1	0.0442	-0.3451	1.0045	3.6136
30	100	1	0.0570	-0.2180	0.3130	5.4140
	200	1	0.0730	-0.4540	1.3100	3.8030



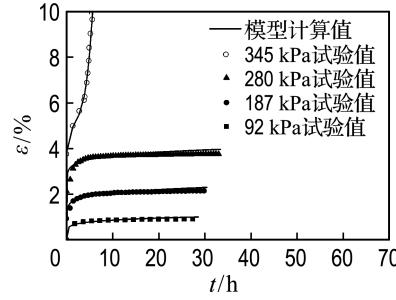
(a) 26 m 深度粉质黏土 100 kPa 围压



(b) 26 m 深度粉质黏土 200 kPa 围压



(c) 30 m 深度粉质黏土 100 kPa 围压



(d) 30 m 深度粉质黏土 200 kPa 围压

图 7 试验与计算结果对比

Fig. 7 Comparison between measured data and calculation values

4 结 论

(1) 大连海陆交互相黏性土具有典型的非线性蠕变特性. 在低偏应力下表现出剪缩特性;在破坏偏应力下表现出剪缩、剪胀交替特性. 不同偏应力作用下的黏性土在 5 000 min 内的变形基本达到稳定状态.

(2) 轴向应变速率随蠕变时间的增加而减小,随偏应力的增大而增大,偏应力对 m 值的影响较小. 在低偏应力作用下,应变速率随蠕变时间逐渐减小,呈衰减蠕变特征;在破坏偏应力作用下,应

变速率随蠕变时间先减小后增大,呈衰减与加速蠕变特征.

(3) 试验与模型计算结果吻合较好,验证了新建模型的可靠性,表明该模型适用于描述大连海陆交互相黏性土的蠕变特性. 其中,Mesri 模型适用于描述土体的衰减蠕变特性,而多项式模型适用于描述土体的加速蠕变特性.

参 考 文 献:

- [1] 刘志彬,刘松玉,周伯明,等. 长江口海陆交互相沉积土成因及其空间特征[J]. 地下空间与工程学报,

- 2014, **10**(1):102-108.
- LIU Zhibin, LIU Songyu, ZHOU Boming, *et al.* Geological genesis and spatial variability characteristic of the interactive marine and terrestrial soft deposit in Yangtze River estuary [J]. **Chinese Journal of Underground Space and Engineering**, 2014, **10**(1):102-108. (in Chinese)
- [2] 陈晓平. 海陆交互相沉积软土固结效应[J]. 岩土工程学报, 2011, **33**(4):520-528.
- CHEN Xiaoping. Consolidation effect of soft soil in interactive marine and terrestrial deposit [J]. **Chinese Journal of Geotechnical Engineering**, 2011, **33**(4):520-528. (in Chinese)
- [3] 柳艳华,石名磊. 海陆交互相下黏性土性状辨析及评价研究[J]. 岩土力学, 2008, **29**(2):523-528.
- LIU Yanhua, SHI Minglei. Evaluation research and distinguishing of cohesive soil properties in the interactive marine & terrestrial deposit [J]. **Rock and Soil Mechanics**, 2008, **29**(2):523-528. (in Chinese)
- [4] 张宏,柳艳华,石名磊,等. 海陆交互相下粘性土的性状研究[J]. 岩土力学, 2005, **26**(9):1491-1494.
- ZHANG Hong, LIU Yanhua, SHI Minglei, *et al.* Research of characteristics of the sedimentary clay in the alternate marine and terrigenous environment [J]. **Rock and Soil Mechanics**, 2005, **26**(9):1491-1494. (in Chinese)
- [5] 刘志彬,刘松玉,经绯,等. 长江口海陆交互相沉积土复合地基孔压响应特性[J]. 岩土工程学报, 2015, **37**(z2):91-95.
- LIU Zhibin, LIU Songyu, JING Fei, *et al.* Pore pressure response of composite foundation in interactive marine and terrestrial deposit of Yangtze River estuary [J]. **Chinese Journal of Geotechnical Engineering**, 2015, **37**(z2):91-95. (in Chinese)
- [6] 拓勇飞,孔令伟,郭爱国,等. 湛江地区结构性软土的赋存规律及其工程特性[J]. 岩土力学, 2004, **25**(12):1879-1884.
- TUO Yongfei, KONG Lingwei, GUO Aiguo, *et al.* Occurrence and engineering properties of structural soft clay in Zhanjiang area [J]. **Rock and Soil Mechanics**, 2004, **25**(12):1879-1884. (in Chinese)
- [7] 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 Minglei, ZHANG Bo, HONG Zhenshun. Mechanical properties of natural sedimentary intermediate soils [J]. **Rock and Soil Mechanics**, 2005, **26**(11):1753-1756. (in Chinese)
- [8] 卢萍珍,曾静,盛谦. 软黏土蠕变试验及其经验模型研究[J]. 岩土力学, 2008, **29**(4):1041-1044, 1052.
- LU Pingzhen, ZENG Jing, SHENG Qian. Creep tests on soft clay and its empirical models [J]. **Rock and Soil Mechanics**, 2008, **29**(4):1041-1044, 1052. (in Chinese)
- [9] 雷华阳,刘景锦,贾亚芳,等. 滨海软黏土蠕变特性的三轴试验[J]. 天津大学学报(自然科学与工程技术版), 2013, **46**(5):387-392.
- LEI Huayang, LIU Jingjin, JIA Yafang, *et al.* Triaxial test on creep properties of coastal soft clay [J]. **Journal of Tianjin University (Science and Technology)**, 2013, **46**(5):387-392. (in Chinese)
- [10] 孔令伟,张先伟,郭爱国,等. 湛江强结构性黏土的三轴排水蠕变特征[J]. 岩石力学与工程学报, 2011, **30**(2):365-372.
- KONG Lingwei, ZHANG Xianwei, GUO Aiguo, *et al.* Creep behavior of Zhanjiang strong structured clay by drained triaxial test [J]. **Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering**, 2011, **30**(2):365-372. (in Chinese)
- [11] 刘业科,邓志斌,曹平,等. 软黏土的三轴蠕变试验与修正的 Singh-Mitchell 蠕变模型[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2012, **43**(4):1440-1446.
- LIU Yeke, DENG Zhibin, CAO Ping, *et al.* Triaxial creep test and modified Singh-Mitchell creep model of soft clay [J]. **Journal of Central South University (Science and Technology)**, 2012, **43**(4):1440-1446. (in Chinese)
- [12] LAI X L, WANG S M, YE W M, *et al.* Experimental investigation on the creep behavior of an unsaturated clay [J]. **Canadian Geotechnical Journal**, 2014, **51**(6):621-628.
- [13] WANG Lizhong, YIN Zhenyu. Stress dilatancy of natural soft clay under an undrained creep condition [J]. **International Journal of Geomechanics**, 2015, **15**(5):1-5.
- [14] 闫澍旺,刘克瑾,李伟,等. 天津滨海新区软黏土的蠕变特性及无屈服面模型研究[J]. 岩土力学, 2010, **31**(5):1431-1436, 1444.
- YAN Shuwang, LIU Kejin, LI Wei, *et al.* Study of creep properties of soft clay in Tianjin Binhai New Area and no-yield-surface constitutive model [J]. **Rock and Soil Mechanics**, 2010, **31**(5):1431-1436, 1444. (in Chinese)

- [15] SUN Mingqian, WANG Qing, NIU Cencen, *et al.* Research on the one-dimensional rheological consolidation theory that considers secondary consolidation effect [J]. **Journal of Computational and Theoretical Nanoscience**, 2016, **13**(2): 1136-1146.
- [16] ZHU Yanbo, YU Hongming. An improved Mesri creep model for unsaturated weak intercalated soils [J]. **Journal of Central South University**, 2014, **21**(12):4677-4681.
- [17] FENG Shengyang, WEI Limin, HE Chongyang, *et al.* A computational method for post-construction settlement of high-speed railway bridge pile foundation considering soil creep effect [J]. **Journal of Central South University**, 2014, **21**(7): 2921-2927.
- [18] JIANG Mingjing, LIU Jingde, YIN Zhenyu. Consolidation and creep behaviors of two typical marine clays in China [J]. **China Ocean Engineering**, 2014, **28**(5):629-644.
- [19] SUN Mingqian, WANG Qing, RUAN Yunkai, *et al.* Settlement prediction of soft soil foundation based on consolidation and creep theory [J]. **International Journal of Simulation: System, Science and Technology**, 2015, **16**(2A):2, 1-2, 8.
- [20] SHABAN A M, COSENTINO P J. Modeling long-term deformations of unbound pavement materials using the miniaturized preburemeter creep data [J]. **Geotechnical Testing Journal**, 2016, **39**(5):813-826.

Creep test and empirical model study of marine-terrestrial interactive clayey soils

LI Gang^{*1,2}, ZHANG Jinli², YANG Qing², JIANG Mingjing³

- (1. Shaanxi Key Laboratory of Safety and Durability of Concrete Structures, Xijing University, Xi'an 710123, China;
 2. State Key Laboratory of Coastal and Offshore Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China;
 3. Department of Geotechnical Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: The marine-terrestrial interactive deposit soils are formed in the complex depositional environment, its mechanical properties are different from the other deposits. The creep behaviors of Dalian marine-terrestrial interactive clayey soils are studied according to drained triaxial creep tests, and the relations between axial strain, volume strain, axial strain rate and creep time, deviatoric stress are analyzed. Based on the creep test results, the empirical model is established to describe the attenuation and acceleration creep process, which coupling Mesri model and cubic polynomial model. The results show that, Dalian clayey soils have the typical nonlinear creep behavior, and the nonlinearity is more obvious with the increasing of deviatoric stress. Under low deviatoric stress, the creep processes show the characteristic of attenuation creep and shear shrinkage. However, it shows the characteristic of acceleration creep, shear shrinkage and shear dilatancy under damage deviatoric stress. The axial strain rate decreases with the increasing of creep time, and increases with the deviatoric stress increasing, while the deviatoric stress has little effect on the m values (slope). The test results agree well with calculation results, which shows that the empirical model can describe the creep behaviors of marine-terrestrial interactive clayey soil in this area.

Key words: marine-terrestrial interactive; creep test; empirical model; clayey soils; Mesri model