

吹填淤泥土真空预压沉降计算修正系数的分析

龚丽飞^{1,2}, 朱方方², 唐彤芝^{1,2}, 吴月龙²

(1. 南京水利科学研究院, 江苏 南京 210029; 2. 南京瑞迪建设科技有限公司, 江苏 南京 210029)

摘要: 同天然软土相比, 吹填淤泥土初始含水量高, 初始孔隙比甚至超过3。通过对比国内不同行业的相关规范可知, 软土地基设计阶段的沉降计算尤其是沉降修正系数取值难以适用于吹填淤泥土。通过对天然软土地基沉降计算进行分析, 研究了吹填淤泥土采用真空预压处理下的沉降特点。结果表明, 吹填淤泥土沉降修正系数的取值范围幅度远大于规范给定的取值范围。对不同地区吹填土沉降数据进行分析, 从实例角度验证吹填淤泥土沉降计算修正系数取值范围; 对吹填淤泥土沉降与厚度关系曲线进行拟合, 得出沉降量与吹填层厚度的比值在初步设计阶段可按吹填厚度的30%考虑。

关 键 词: 吹填淤泥土; 真空预压; 沉降; 修正系数

中图分类号: TU472

文献标志码: A

文章编号: 1009-640X(2014)06-0071-07

围海造地工程主要采用远距离吹填工艺, 结合外海或航道疏浚工程, 将淤泥质土或砂土利用管路输送至围区内形成陆域, 以解决我国东部沿海地区建设用地的稀缺问题。由于我国大部分地区围海造地吹填土多为淤泥质黏土或粉土, 具有高含水量、大孔隙比、高压缩性、无承载力和结构性等特点^[1]。为达到土地使用条件, 需要进行软基处理, 一种情况是对吹填土进行浅层快速处理, 达到后续工程建设对承载力的要求, 一般要求表层土的承载力达50~60 kPa; 另一种情况是吹填土表层回填一定厚度的风化砂、山皮土或开山石形成硬壳层或持力层, 结合场地建设项目的具体要求对吹填土层和原始软土层进行一并处理, 即通常所谓的深层处理, 一般要求表层承载力达80 kPa以上。而对吹填土目前处理的方法从经济性和可实施性等角度综合考虑, 一般多采用真空预压技术进行处理, 尤其是第一种处理情况。

由于吹填土的物理力学性质不同于天然软土地基或多年沉积软土地基, 国内外亦有学者将其定义为“超软土”^[2]。尤其是新近吹填的淤泥土, 土体颗粒骨架尚未形成, 土颗粒仍在自重作用下处于落淤沉积过程中, 其沉降为浮泥状态向可塑状态沉降的过程。本文首先分析了国内相关规范对真空预压软基处理沉降变形的计算, 并对吹填淤泥土和天然软土进行对比分析, 从理论上论述了真空预压下吹填淤泥土以及天然软土的特点, 并进行理论推导, 得出吹填淤泥土的沉降修正系数, 然后运用工程实例进行沉降变形分析验证理论计算值的可行性。

1 国内规范的经验参数

目前不同行业涉及真空预压处理方法设计、施工的规范主要有《建筑地基处理技术规范》(JGJ 79-2012)、《公路路基设计规范》(JTG D30-2004)、《真空预压加固软土地基技术规程》(JTS 147-2-2009)、《港口工程地基规范》(JTS147-1-2010)以及《真空预压法加固软土地基施工技术规范》(HG T 20578-95)等。上述规范对真空预压处理法的沉降计算均采用分层总和法和太沙基一维固结理论^[3-7]:

$$\text{分层总和法: } s_f = \xi \sum_{i=1}^n \frac{e_{0i} - e_{1i}}{1 + e_{0i}} h_i \quad (1)$$

收稿日期: 2014-04-10

作者简介: 龚丽飞(1981-), 男, 江苏海门人, 工程师, 硕士, 主要从事土力学及地基处理方面的研究与施工工作。

E-mail: lifeigong@126.com

太沙基一维固结理论:

$$s = U_t s_f \quad (2)$$

$$s_f = m_s s_c \quad (3)$$

式中: s_f 为总沉降值; U_t 为某一时刻固结度; s 为该固结度下的沉降量; m_s 为经验系数; s_c 为主固结沉降。

分层总和法是最常用的沉降估算方法,即土层在荷载作用下,求出各个分层的一维压缩量,求和后乘以综合修正系数,虽然该方法存在着诸多缺点,但由于该方法简便易行,在工程界普遍使用,再加上多年的实践,设计人员对修正系数的取值、误差的大小逐步积累了经验,使这种方法的计算结果在精度上可以满足工程要求。所以,一般采用该方法作为设计计算的依据^[8]。

《建筑地基处理技术规范》对真空预压沉降计算经验系数 ξ 的取值为 1.0 ~ 1.3,《真空预压加固软土地基技术规程》对经验系数 m_s 的取值为 1.0 ~ 1.3,《公路路基设计规范》对经验系数 m_s 的取值则为 1.1 ~ 1.7。真空预压处理方法在不同行业间工程应用的程度不一、技术研究的程度不一,从而在经验上造成认识和理解程度的不一。《建筑地基处理技术规范》认为真空预压在抽真空过程中将产生向内的侧向变形,按单层压缩分层总和法计算固结变形后应乘小于 1 的系数,而通过多数真空预压工程可以发现该系数应大于或等于 1,因此在最新 2012 版《建筑地基处理技术规范》将真空预压沉降计算经验系数修订为 1.0 ~ 1.3,向内的侧向变形有一定的减少作用,因而比产生向外变形的堆载预压经验系数适当减小,并借鉴水运工程行业的《真空预压加固软土地基技术规程》所推荐的经验值,这也是因为水运工程行业是我国引入、应用真空预压最早和最为成熟的行业之一。

《公路路基设计规范》则在推荐经验系数范围的基础上,结合京津唐高速公路软基试验工程研究成果另给出了经验公式(式 4)。采用真空预压处理公路地基实质是真空联合堆载预压处理,因此与公路路基断面形式、填料速率、材料、高度、地质因素、地基处理方法等有关。

$$m_s = 0.123\gamma^{0.7}(\theta H^{0.2} + VH) + Y \quad (4)$$

上述目前现行的各个行业规范基本是针对天然软土地基,各类软土的物理力学指标见表 1。相比天然软土地基,吹填淤泥土初始含水量高达百分之百,初始孔隙比亦可能大于 2,各地区吹填淤泥土的物理力学性质见表 2。

表 1 各类软土的物理力学指标统计

Tab. 1 Physico-mechanical properties of soft soil

成因类型	含水量/ %	重度/ ($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$)	孔隙比	抗剪强度		压缩系数/ MPa^{-1}
				$\phi / (^{\circ})$	C / kPa	
滨海沉积软土	40 ~ 100	15 ~ 18	1.0 ~ 2.3	1 ~ 7	2 ~ 20	1.2 ~ 3.5
湖泊沉积软土	30 ~ 60	15 ~ 19	0.8 ~ 1.8	0 ~ 10	5 ~ 30	0.8 ~ 3.0
河滩沉积软土	35 ~ 70	15 ~ 19	0.9 ~ 1.8	0 ~ 11	5 ~ 25	0.8 ~ 3.0
沼泽沉积软土	40 ~ 120	14 ~ 19	0.5 ~ 1.6	0	5 ~ 19	>0.5

表 2 各地区吹填淤泥土物理力学指标统计

Tab. 2 Physico-mechanical properties of dredger fill sludge

分布地区	含水量/ %	重度/ ($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$)	孔隙比	抗剪强度		压缩模量/ MPa
				$\phi / (^{\circ})$	C / kPa	
天津	77.6	15.4	2.130	3.0	0	1.70
黄骅	144.4	14.6	2.819	9.4	9.8	1.95
青岛	109.0	14.2	3.062	3.5	8.2	2.83
连云港	114.0	13.9	3.234	—	—	2.48
温州	117.0	14.2	3.217	0.4	4.9	2.42
广州	70.0	15.7	1.880	1.0	8.0	—
珠海	73.9	16.1	2.050	5.9	9.6	—
深圳	119.9	14.0	3.197	13.9	11.5	—

很明显,上述针对天然软土的沉降计算公式不适合直接应用于吹填淤泥土,必须对其进行修正^[2]。

2 吹填淤泥土性质

2.1 吹填淤泥土物理力学特性

吹填淤泥土作为一种特殊软土,其含水量和孔隙比极高,固结速率慢,压缩性高,抗剪强度低,工程性质极差。吹填淤泥土在吹填过程中落淤工况复杂,物理力学性质、土颗粒级配、吹填过程中落淤等表现为极大的差异性和不均匀性,吹填淤泥渗透系数、固结系数低于常规或多年沉积软土淤泥。根据晾晒时间不同,物理力学参数也存在极大差异。吹填淤泥土的物理力学参数可参见表2。吹填淤泥土具有如下工程特性:①吹填淤泥的物质组成及工程性质与取泥区原状淤泥的性质密切相关;②吹填完成时间的长短对土的工程性质影响很大,且在吹填场地内土体具有不均匀性;③吹填淤泥含水量和孔隙比很大,重度小,压缩性很高,渗透性小,强度极低、承载力很低,且灵敏度很高。

《港口工程地基规范》将淤泥性土根据孔隙比和含水量分为淤泥质土、淤泥以及流泥(见表3)。吹填淤泥土晾晒时间较短时多为流泥甚至浮泥;日本根据土的重度、含水量、液限指数、无侧限抗压强度等指标将软土分为软土和超软土,吹填淤泥据此可判定为超软土。参考日本关于软土的划分,在天津召开的全国超软土地基排水固结与加固专题研讨会上将软土根据土的重度、含水量、液限指数、含水量/液限以及无侧限抗压强度分为软土及超软土(见表3),吹填淤泥据此也可确定为超软土。

表3 淤泥性土的分类

Tab.3 Classification of silt soil

淤泥性土的分类			中国软土的分类				
土的名称	孔隙比	含水量/ %	土的名称	重度/ ($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$)	含水量/ %	液性指数	无侧限 抗压强度/ kPa
淤泥质土	$1.0 \leq e < 1.5$	$36 \leq w < 55$	软土	≥ 16	≤ 70	≤ 1.4	≥ 5
淤泥	$1.5 \leq e < 2.4$	$55 \leq w < 85$	超软土	< 16	> 70	> 1.4	< 5
流泥	$e \geq 2.4$	$w \geq 85$					

2.2 吹填淤泥土工程力学特性

吹填淤泥土含水量大于70%,强度极低,采用普通的土工试验仪器如直剪、三轴和现场十字板剪切仪都很难测得其强度指标,部分工程室内试验中的吹填淤泥土加固前没有强度结果。为了准确掌握吹填淤泥土处理前的工程力学特性,朱耀庭等选取部分地区吹填淤泥土样进行试验,得出其强度随着含水量的增加而减小,两者基本呈半对数关系,吹填淤泥土实际重度稍大于《港口工程地基规范》中公式的计算重度,见式(5)(理论公式)和(6)(经验公式)。吹填淤泥土的强度很小,试验强度均小于2 kPa,并且随着含水量增加而快速减小,当含水量大于150%时,十字板剪切强度均小于0.1 kPa。

$$\gamma = \frac{G_s(1 + 0.01\omega)}{1 + 0.01\omega G_s} \gamma_w \quad (5)$$

$$\gamma = 32.4 - 9.07 \log w \quad (6)$$

2.3 吹填淤泥土的固结特性

吹填淤泥土在吹填完成后经历了细颗粒絮凝下沉阶段和自重固结阶段,前者沉降量大,历时较短,后者持续时间很长,沉降量与时间基本成线性关系^[9]。吹填淤泥土黏粒含量较多,含水量高,渗透性能差,强度和压缩性指标都比同类天然沉积土差,自然固结时间可长达数十年。要投入使用,必须对其进行人工加固处理。吹填淤泥土是由高含水量、低密度的泥浆逐渐脱水固结形成的,具有变形较大的特点,大量试验表明吹填淤泥土渗透系数、固结系数等随固结过程而不断变化,因此这两个参数不能视为常数,不能简单地采用常规的太沙基固结理论进行固结分析。而且在以往的固结理论中,认为主固结阶段应力应变关系是唯一的,孔隙比与有效应力之间有一一对应关系;实际上,越来越多的试验资料表明,黏土的应力应变关系是加荷速率

或应变速率的函数^[10]。

吹填淤泥的固结与一般软土有较大差别。一方面,高压缩性淤泥地基的固结是一个大变形问题,土体的自重应力水平对固结过程影响很大;另一方面,吹填淤泥土在固结过程中渗透系数和压缩系数不是常量,而是随孔隙比显著变化。若仍沿用基于小变形和常系数假设的 Terzaghi 固结理论进行计算,将会带来不能允许的误差,计算出的固结过程将明显延长,某一时刻的固结沉降计算结果将有明显差别^[11-13]。

3 真空预压吹填淤泥土总沉降修正系数

3.1 总沉降修正系数取值范围

为研究真空预压处理吹填淤泥土的固结沉降问题,本文采用弹性力学对天然软土与吹填淤泥土的沉降变形进行对比分析(图1)。真空预压作用下,单元土体竖向、横向为等向应力,应变各向相等,天然软土与吹填淤泥土应变式分别为式(7)和(8):

$$\varepsilon_{z1} = \frac{1}{E_1}(\sigma_z - 2\mu_1\sigma_z) = \frac{1}{E_1}(1 - 2\mu_1)\sigma_z \quad (7)$$

$$\varepsilon_{z2} = \frac{1}{E_2}(\sigma_z - 2\mu_2\sigma_z) = \frac{1}{E_2}(1 - 2\mu_2)\sigma_z \quad (8)$$

式中: μ 为土的侧膨胀系数(泊松比),指在侧向自由膨胀条件下受压时,侧向膨胀的应变 ε_x 与竖向压缩的应变 ε_y 之比值; E 为土体的弹性模量, $E = E_s(1 - \frac{2\mu^2}{1 - \mu})$, E_s 为压缩模量。

则天然软土与吹填土的竖向应变比值为:

$$\frac{\varepsilon_{z1}}{\varepsilon_{z2}} = \frac{E_{s2}(1 + \mu_2)(1 - \mu_1)}{E_{s1}(1 + \mu_1)(1 - \mu_2)} \quad (9)$$

材料泊松比极限值无限趋近于0.5,根据天然软土泊松比的取值范围,认为天然软土同吹填淤泥土的泊松比基本一致,根据《软土地区工程地质勘察规范》取天然软土压缩模量为1.68~2.56 MPa,根据文献^[2]取吹填淤泥土压缩模量为1.45~1.63 MPa,则上述两种情况的竖向变形比范围在1.16~1.57,而软土真空预压经验系数 m_s 的取值为1.0~1.3,通过简单推导得出吹填淤泥土 m_s 的取值为1.1~2.0,其范围远大于各类规范的建议取值范围,且取值的灵活度较大,这在工程实践中,无论是设计阶段还是施工阶段,在缺乏大量工程实践经验的前提下,增大了相关技术人员的控制难度。

3.2 总沉降实例分析

近年来,笔者先后参与温州、连云港、天津等地区吹填淤泥土真空预压处理工程,上述工程均为新近吹填淤泥土真空预压浅层处理,吹填淤泥层厚度3~4 m,除处理后场地承载力要求外,均对场地交工标高有相应的要求。这就要在方案设计阶段能较好地预估吹填淤泥土的沉降量,从而确定吹填淤泥土厚度及相应吹填淤泥土厚度下的真空预压处理参数。

图2为上述工程吹填淤泥土沉降曲线,表4为工程实测沉降平均值及处理效果前后对比。根据真空预压90~120 d处理后沉降变形实测曲线,采用双曲线法推求总沉降在0.9~1.1 m之间,与利用加固前后孔隙比计算的理论值相比,修正系数 m_s 分别为1.35和1.23,此值均在1.1~2.0之间,与本文修正值相吻合。

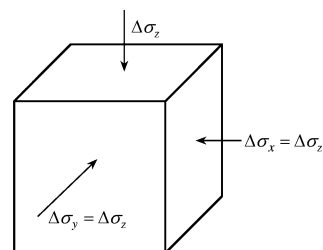


图1 真空预压下土体单元受力状态

Fig.1 Stress status under vacuum preloading

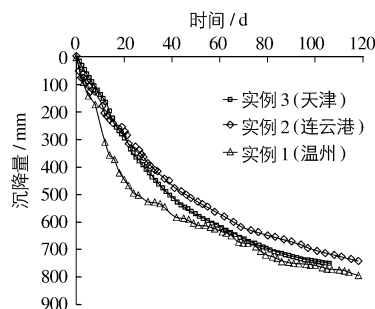


图2 实测沉降曲线

Fig.2 Measured settlement curves of dredger fill sludge

表4 吹填淤泥土处理效果

Tab.4 Treatment effect of dredger fill sludge after vacuum preloading

项目	含水量/ %		孔隙比		实测值/ m	推算值/ m	理论值/ m	按分层沉降计算 理论修正系数
	处理前	处理后	处理前	处理后				
实例1	93.8	53.2	2.55	1.56	0.888	1.132	0.838	1.35
实例2	100.0	61.8	2.55	1.62	0.762	0.935	0.760	1.23
实例3	94.5	57.1	2.32	1.50	0.738	0.911	0.740	1.23

3.3 吹填淤泥土沉降估计

目前工程设计中依照各类规范多采用分层总和法乘以总沉降修正系数,并考虑吹填淤泥土层在相应处理时期内的固结度对吹填淤泥土沉降加以确定,其问题在于一是如前述总沉降修正系数的选定随意性较大;二是由于吹填淤泥土为超软土,其含水量高达200%,孔隙比较大可至2甚至3,且处理前取土较为困难。土体物理力学参数一般很难获得或难以具有代表性,使得计算值与实测值相差较大,影响工程方案的预期目标。而类似工程在实践中往往借鉴大量的工程实践经验,通过吹填淤泥土厚度进行经验取值,笔者统计发现,吹填淤泥土真空预压处理后总沉降与吹填淤泥土层厚度有一定的关系,在工程实践中具有一定实用价值和借鉴作用。

表5给出了我国沿海地区同类工程采用真空预压处理后(真空预压时间90~120 d)的沉降数值,可以看出,实测总沉降与吹填淤泥土层厚度的比值在0.257~0.384之间,其值随着初始含水量的增加呈增大趋势,这同吹填淤泥土吹填后的晾晒时间有一定关系,晾晒时间长短影响吹填淤泥土真空预压处理前的初始含水量(或孔隙比),时间越短、土体含水量相对越高、真空预压处理实测沉降大,则总沉降与处理淤泥层厚度的比值也相对较大^[14-17]。

表5 真空预压处理吹填土实测沉降(90~120 d)

Tab.5 Measured settlement of dredger fill sludge under vacuum preloading (90~120 d)

地 区	吹填厚度/ m	初始含水量/ %	实测沉降/ m	推求沉降/ m	沉降量/吹填厚度
广州南沙	5.80	150.0	2.054	2.229	0.384
天津临港	3.50	87.3	0.846	1.024	0.293
广州龙穴	4.30	97.2	1.351	1.443	0.336
天津滨海	4.00	73.0	0.918	1.027	0.257
温州丁山	3.00	93.8	0.888	1.132	0.377
温州苍南	3.00	100.0	0.762	0.935	0.312
永兴北园	3.00	94.5	0.738	0.911	0.304

吹填淤泥土真空预压处理期间的沉降量与吹填厚度之间表现出一定的线性关系,初步分析可能在于吹填淤泥土在真空预压处理固结前后土体始终处于完全饱和状态,真空预压期间所排出水量基本为土颗粒间的自由水,利用三相图分析,吹填淤泥土的变形即为水的变形,且多为自由水,故而表现为一定的线性关系,从图3也可以看出其关系曲线延伸线经过原点。

图3对吹填土沉降与处理层厚度关系曲线进行拟合,得出沉降量与吹填层厚度的比值为0.331。但是由于各工程项目的差异吹填淤泥土处理前含水量大小各不相同,由表5中各项目初始含水量值与沉降量/吹填厚度的关系可以看出,初始含水量越大、比值越大。工程设计时,技术人员可根据工程吹填淤泥土的具体性状,在预估真空预压期沉降值时,

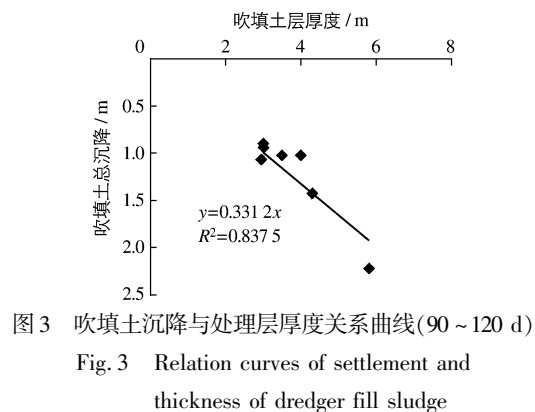


图3 吹填土沉降与处理层厚度关系曲线(90~120 d)

Fig.3 Relation curves of settlement and thickness of dredger fill sludge

充分考虑初始含水量(或孔隙比)的不同对沉降量/吹填厚度系数选取的影响。

4 结 语

分析了国内相关规范所涉真空预压软基处理沉降变形的计算在吹填淤泥土处理设计与施工运用中存在的不足之处,从理论上对比吹填淤泥土和天然软土沉降分析的不同特点,得出以下主要结论:

(1)国内规范对真空预压处理法的沉降计算均采用分层总和法和太沙基一维固结理论,并根据综合修正系数得出总沉降,但对吹填淤泥土适用性有待进一步完善。

(2)吹填淤泥的固结沉降与一般软土差别较大。一方面,高压压缩性淤泥地基的固结是一个大变形问题,土体的自重应力水平对固结过程影响很大;另一方面,吹填淤泥土在固结过程中渗透系数和压缩系数不是常量,而是随孔隙比显著变化。

(3)真空预压作用下,土体受到各向等压作用,侧压力系数 $K_0=1$,通过理论推导得出吹填淤泥土的沉降修正系数范围为 1.1~2.0,远大于目前现行规范的取值范围,在工程设计和施工时需充分考虑吹填淤泥土的沉降变形特点选择总沉降的修正系数值。

(4)通过各地区工程实测沉降变形分析,得出实测沉降与吹填淤泥土层厚度的比值在 0.257~0.384 之间,在吹填淤泥土设计初始阶段可作为工程技术人员预估沉降的经验参数,对场地标高控制和真空预压方案参数的选定具有一定参考价值。

参 考 文 献:

- [1] 唐彤芝,黄家青,关云飞,等.真空预压加固吹填淤泥土现场试验研究[J].水运工程,2010(4):115-122. (TANG Tong-zhi, HUANG Jia-qing, GUAN Yun-fei, et al. Experimental study on dredge fill sludge improved by vacuum preloading[J]. Port & Waterway Engineering, 2010(4): 115-122. (in Chinese))
- [2] 叶国良,郭述军,朱耀庭.超软土的工程性质分析[J].中国港湾建设,2010(5):1-9. (YE Guo-liang, GUO Shu-jun, ZHU Yao-ting. Analysis of engineering property of ultra soft soil[J]. China Harbour Engineering, 2010(5): 1-9. (in Chinese))
- [3] JGJ 79-2012,建筑地基处理技术规范[S]. (JGJ 79-2012, Technical code for ground treatment of buildings[S]. (in Chinese))
- [4] JTG D30-2004,公路路基设计规范[S]. (JTG D30-2004, Specifications for design of highway subgrades[S]. (in Chinese))
- [5] JTS 147-2-2009,真空预压加固软土地基技术规程[S]. (JTS 147-2-2009, Technical specification for vacuum preloading technique to improve soft soils[S]. (in Chinese))
- [6] JTS 147-1-2010,港口工程地基规范[S]. (JTS 147-1-2010, Code for soil foundations of port engineering[S]. (in Chinese))
- [7] HG T 20578-95,真空预压法加固软土地基施工技术规范[S]. (HG T 20578-95, Technical specification of construction for vacuum preloading technique to improve soft soils[S]. (in Chinese))
- [8] 刘汉龙,彭劼,陈永辉.真空-堆载联合预压的地基沉降简化计算方法[J].岩土力学,2006,27(5):745-748. (LIU Han-long, PENG Jie, CHEN Yong-hui. Simplified method of ground settlement under vacuum combined surcharge preloading[J]. Rock and Soil Mechanics, 2006, 27(5): 745-748. (in Chinese))
- [9] 刘莹,肖树芳,王靖.吹填土室内模拟试验研究[J].岩土力学,2004,25(4):518-521. (LIU Ying, XIAO Shu-fang, WANG Jing. Research on indoor scale-down test of dredger fill[J]. Rock and Soil Mechanics, 2004, 25(4): 518-521. (in Chinese))
- [10] 朱耀庭,郑爱荣,李卫.吹填超软土固结特性的试验研究[J].湖南大学学报:自然科学版,2008,35(11):120-123. (ZHU Yao-ting, ZHENG Ai-rong, LI Wei. Laboratory tests for the consolidation property of dredger fill in the Shenzhen area[J]. Journal of Hunan University(Nature Sciences), 2008, 35(11): 120-123. (in Chinese))
- [11] 关云飞.吹填淤泥固结特性与地基处理试验研究[D].南京:南京水利科学研究院,2009. (GUAN Yun-fei. A study of consolidation characteristic and ground treatment approach of hydraulic fill mud[D]. Nanjing: Nanjing Hydraulic Research

- Institute, 2009. (in Chinese))
- [12] ADAMCEWICZ A S, MUHUNTHAN B, MASAD E. Soil fabric changes during consolidation[J]. ASTM Geotechnical Testing Journal, 1997, 20(3): 347-356.
- [13] BAI X, SMART P. Change in microstructure of kaolin consolidation and undrained shear[J]. Geotechnique, 1997, 47(5): 1009-1017.
- [15] 张俊. 新近吹填土超软地基加固技术的试验研究[D]. 天津: 天津大学, 2012. (ZHANG Jun. Experimental research on reinforcement techniques of dredger fresh fill ultra-soft foundation[D]. Tianjin: Tianjin University, 2012. (in Chinese))
- [16] 周子舟. 大面积吹填场地浅层及深层地基处理的试验及数值模拟[D]. 上海: 同济大学, 2009. (ZHOU Zi-zhou. Experimental and numerical study on shallow and deep improvements of a large dredger fill soft ground[D]. Shanghai: Tongji University, 2009. (in Chinese))
- [17] 李卫, 白金勇, 杨京方, 等. 浅层真空预压法在加固新吹填粉土及粉质黏土地基中的应用[J]. 中国港湾建设, 2010(4): 12-15. (LI Wei, BAI Jin-yong, YANG Jing-fang, et al. Application of surface vacuum preloading method in reinforcing dredge fill silt and silty clay foundation[J]. China Harbour Engineering, 2010(4): 12-15. (in Chinese))

Analysis of modified coefficients for calculating dredger fill sludge settlement under vacuum preloading

GONG Li-fei^{1,2}, ZHU Fang-fang², TANG Tong-zhi^{1,2}, WU Yue-long²

(1. Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China; 2. Nanjing R & D Tech Group Co., Ltd., Nanjing 210029, China)

Abstract: Compared with natural soft soil, dredger fill sludge has high initial moisture content (100%) and high initial void ratio, even more than three. By comparing the different relevant norms, it is indicated that the settlement calculation and the settlement value of the modified coefficients of the soft soil in design phase are inadequate to the dredger fill sludge. The settlement characteristics of the dredger fill sludge under vacuum preloading is analyzed by comparing the settlement calculation of the natural soft ground. The analysis results show that the range of the modified coefficients of the dredger fill sludge is much larger than that given in the norms. Additionally, the settlement data of the dredger fill sludge collected from different regions have been analyzed to verify the range of the settlement modified coefficients. Fitting the relationship curves between the measured settlement and thickness of the dredger fill sludge, thus it is concluded that the ratio of the settlement and thickness in 30% of the hydraulic reclamation thickness can be taken into account in the preliminary design phase.

Key words: dredger fill sludge; vacuum preloading; settlement; modified coefficient