DOI:10.16198/j.cnki.1009-640X.2016.04.016

简富献,张宏伟,张钧堂,等. 浸水时间对砂泥岩填料压缩特性影响试验研究[J]. 水利水运工程学报, 2016(4): 111-117. (JIAN Fu-xian, ZHANG Hong-wei, ZHANG Jun-tang, et al. Influences of soaking time on compression properties of sandstone-mudstone mixture[J]. Hydro-Science and Engineering, 2016(4): 111-117.)

# 浸水时间对砂泥岩填料压缩特性影响试验研究

## 简富献,张宏伟,张钧堂,游克勤

(重庆交通大学,河海学院,重庆 400074)

**摘要:** 土料压缩特性参数是计算地基沉降变形的重要指标。为明确砂泥岩混合填料在不同浸水时间下压缩特性,设置7组不同时间的浸水方案、2种浸水方式,采用侧限压缩试验探究砂泥岩填料经不同时间浸水后的强度变化规律。试验结果表明,与不浸水试样相比,砂泥岩混合料浸水1h后轴向变形增大11.48%,浸水5d后,压缩模量降低了31.22%,压缩系数增大了45.03%;浸水5d后,轴向变形比浸水1h增大了47.40%,孔隙比减小了7.71%。长时间浸水降低砂泥岩混合料压缩模量,增大其压缩系数,其压缩变形增大。建议将压缩系数、压缩指数与压缩模量相结合来评判砂泥岩混合料长期浸水条件下的压缩特性。不同浸水时间下的应力应变曲线在 ln *ɛ*-ln *p* 平面内呈直线,曲线簇呈扫帚状且有汇聚趋势。浸水饱和与真空抽气饱和的试验数据差值小于5%,这两种饱和试验方法对砂泥岩混合料压缩特性的影响不明显。

关键 词:浸水时间;压缩特性;砂泥岩混合料

#### 中图分类号: TV41 文献标志码: A 文章编号:1009-640X(2016)04-0111-07

西南地区灰白砂岩具有分布广、强度高特点。以重庆为例,在诸多工程建设中用其破碎颗粒作为填筑骨料,如重庆江北机场扩建项目、三峡库区重庆黄旗集装箱码头。因砂岩在地质形成过程中与泥岩互嵌、相伴而生,其开采、破碎过程难免混有泥岩颗粒,成为砂泥岩混合料。混合料中泥岩颗粒吸水性较强、易破碎,遇水后其强度急剧下降<sup>[1]</sup>;砂岩颗粒具有高强度、饱水后软化效用不明显特点<sup>[2]</sup>。砂泥岩颗粒这种物理化学性质差异性不仅妨碍其骨料使用的广泛性,更会影响工程安全。工程使用中,砂泥岩混合料难免处于地下水位上涨、河水位升高等水位变动环境,骨料将受到不同时长饱水作用,这将进一步增加混合料力学性质的复杂性。

对此,学者从不同角度探究了填筑混合骨料力学性质差异的深层原因。从湿化角度出发,朱俊高等<sup>[3]</sup> 分析了三轴试验下板岩湿化变形,指出了堆石料由干到湿的过程中体积变形将随围压增大而显著增大。谭 罗荣<sup>[4]</sup>从泥岩颗粒遇水软化、崩解等微观角度,探究了矿物成分及水分在裂隙发育中作用等因素对黏土岩 崩解、泥化的影响,指出软弱岩泥化过程存在吸水-泥化或崩解阶段。土料颗粒强度方面,张兵等<sup>[5]</sup>开展多 组坝体填筑料的大型侧限压缩试验,认为填筑料在轴向压力大于颗粒破碎应力后压缩曲线存在大幅下降现 象,其压缩性随母岩强度增加而减小。从浸水时间角度出发,杨建林等<sup>[6]</sup>利用粉晶 X 射线研究了泥岩浸水 时间效应,指出随着浸水时间增加,泥岩表面裂隙数目、宽度将增加,强度降低;毛雪松等<sup>[7]</sup>研究了风化千枚 岩在不同浸水时的变形,其浸水形变量随着浸水时间增长而增大;赵宇坤等<sup>[8]</sup>采用压缩固结、直接快剪等试

收稿日期: 2015-09-24

- 基金项目:重庆市研究生科研创新项目(CYB15109);重庆交通大学大学生创新创业训练计划项目(201510618021);重 庆交通大学国家内河航道整治工程技术研究中心暨水利水运工程教育部重点实验室开放基金资助项目 (SLK2014B07)
- 作者简介:简富献(1991—),男,四川南充人,硕士研究生,主要从事岩土工程、地基处理及水工建筑物诊断等方面研究。 E-mail:fuxian\_jian@126.com

验方法研究了不同浸水条件下黄河堤防黏质及粉质土体强度变化,试验表明黏土在浸水5d后压缩模量降 低 59.3%。

可见,目前对不同浸水时间后砂岩与泥岩混合料强度问题,以及浸水时间效应等的研究较少。本文采用 WG 型单杠杆(高压)固结仪进行砂泥岩混合料压缩固结试验,以探究不同浸水时间对其压缩特性的影响。

试验设计 1

选取三叠系上统须家河组底层的砂岩及泥岩作为试验母岩,其力学性质见表 1<sup>[9]</sup>。用 EP-3B 颚式破碎 机进行初次破碎,随后用不同孔径滤筛进行初次人工筛分,并按粒径储存。将初次筛分所得不同粒径砂岩、 泥岩颗粒放入数显恒温鼓风干燥箱内 8 h.恒温 110℃烘至恒重,再使用震击式标准振筛机对烘干后的砂岩 泥岩颗粒进行二次筛分,得到干燥的不同粒径砂岩泥岩骨料。

rab. 1 Sandstone and industone incentance parameters													
夕む	状态	单轴抗压	黏聚力/	内摩擦角/	弾性模量/	泊松臣	名称	舔 状态	单轴抗压	黏聚力/	内摩擦角/	弾性模量/	, 泊松比
石仰		强度/MPa	MPa	(°)	GPa	101216			强度/MPa	MPa	(°)	GPa	
孙毕	天然	67.614	16. 699	43. 521	11.786	0.284	泥岩	天然	22. 192	5.165	39.967	3.718	0.311
亚石	饱和	64. 541	14. 264	42.022	10. 177	0.246		饱和	11.797	3.837	37.778	2.600	0. 292

表1 砂岩泥岩力学参数<sup>[9]</sup> Sandstone and mudstone mechanic

混合料中砂岩、泥岩颗粒的粒径分布一定程度上决定了压实 特性等力学性质<sup>[10]</sup>,试样所用砂岩泥岩均采用图1中级配曲线, 其C。值为8.67,C。值为1.85,级配均匀且良好。堆石料中泥岩 含量高低对其压缩特性产生显著影响<sup>[5]</sup>,故混合料采用砂泥配比 为8:2:粗粒料在低压条件下干密度对其湿化变形、压缩特性影响 不明显<sup>[11]</sup>,确定试样干密度为1.8 g/cm<sup>3</sup>,初始含水率为8%。

选用直径 Φ79.8 mm,高 20 mm 的环刀在 150 mm×150 mm× 20 mm 模具中切样制备试样,选用 WG 型单杠杆(高压)固结仪进 行排水固结试验,按照 0→0.05 MPa→0.10 MPa→0.20 MPa→ 0.40 MPa→0.80 MPa→1.60 MPa→2.00 MPa 顺序施加轴向应 力。为节省时间,采用快速固结试验法进行试验。



根据试验目的,采用浸水饱和法和-0.10 MPa 真空抽气饱和法饱和试样,探究不同浸水方式对压缩固结 试验的影响;两种饱和方式下,试样均不设置上覆压力。泥岩在饱和状态的无侧限抗压强度与干燥状态的比 值称为软化系数[6]。砂泥岩混合料中泥岩遇水后,内部增生了大量微孔隙,破坏了泥岩天然内部结构,使得 泥岩出现软化、崩解现象<sup>[1]</sup>。崩解速率与浸水时间长短直接相关<sup>[12]</sup>。因而,控制不同浸水时间,探究混合料 浸水时效性。详细方案如表2所示。

Tab. 2 Times and ways for saturating mixture particles									
编号	时效	浸水时间 T/ h	处理方式	编号	时效	浸水时间 T/ h	处理方式		
j0h	对照组	0	制样状态,不处理	z1d	长时效	24	真空抽气饱和		
j1h	短时效	1	浸水饱和	j2d	长时效	48	浸水饱和		
j2h	短时效	2	浸水饱和	z2d	长时效	48	真空抽气饱和		
j3h	短时效	3	浸水饱和	j5d	长时效	120	浸水饱和		
j1d	长时效	24	浸水饱和	z5d	长时效	120	真空抽气饱和		

表 2 混合料浸水时间及饱和方式方案

### 2 试样饱和度变化

泥岩颗粒的主要矿物组成成分为黏土矿物,其质量 百分比为 43.93%<sup>[13]</sup>,砂岩颗粒主要矿物组成成分为 SiO<sub>2</sub>,其质量百分比为 35.04%<sup>[14]</sup>,因此颗粒亲水性不 同,吸水性存在差异。经过不同浸水时间后测定试样试 验前后含水率变化,其饱和度 *Sr* 变化如图 2。

试验前,在浸水1h后试样饱和度Sr为86.34%, 3h后Sr为95.09%,试样饱和。试验后,在0~1h内, 试样饱和度Sr由初始不浸水的38.36%迅速上升至浸 水1h后的74.45%,3h后为81.50%;随后曲线近似呈 直线状,试样饱和度Sr变化不明显。在浸水时间超过 24h后,浸水与真空抽气饱和方式下试验前后的试样饱



和度变化曲线近似呈4段直线,如图2;这说明试样在排水固结试验中,孔隙水压力消散趋于一致。砂泥岩 混合料属于粗粒土,渗透系数大;当试样与水相接触,水立即渗入其内部,饱和度急剧上升。

3 浸水时间效应分析

在土石坝等工程建设中,将填筑料因初次浸水而其压缩变形量增大的部分称为湿化变形。红黏土等细粒土在浸水时因丧失基质吸力而产生湿化变形<sup>[15]</sup>,但粗粒土颗粒在水的作用下出现不同程度软化,棱角被破坏,这减弱了颗粒间摩擦和咬合作用<sup>[9]</sup>;若所受应力进一步增大,骨料颗粒发生破碎,湿化变形与湿化颗粒破碎密切相关<sup>[16]</sup>。因此,对比 j0h 与其他浸水试验组 *ε-P* 曲线可知,不同浸水时间,对其压缩特性产生显著影响。

#### 3.1 浸水时间对混合料压缩性的影响

试样经不同浸水时间与饱和方式作用,其应变与孔隙变化不相同。0.1~0.2 MPa 应力下 j0h,j1h,j5d 及 z5d 方案的应变与孔隙比的比较见表 3。与不浸水 j0h 试样相比,混合料 j1h 试样浸水 1 h 后轴向变形增大 11.48%,孔隙比减小了 1.61%;j5d 试样浸水 5 d 后轴向变形增大了 64.32%,孔隙比减小了 9.20%。与浸水 j1h 方案相比,浸水 j5d 方案混合料变形增大 47.40%,孔隙比降低 7.71%;z5d 方案混合料变形增大 48.95%,孔隙比降低 8.18%。这说明长时间浸水将进一步增大土料压缩性。

对比方式		轴向变形/mm	孔隙比	对比方	对比方式		孔隙比
	j0h	0. 810	0. 435		j5d∕j0h	64. 32	-9.20
海水中国	j1h	0.903	0. 428		j5d∕j1h	47.40	-7.71
仅小时间	j5d	1.331	0.395	变幅/%	z5h∕j0h	66.05	-9.66
	z5h	1.345	0. 393		z5d/j1h	48.95	-8.18
变幅/%	j1h∕j0h	11.48	-1.61		z5d⁄j5d	1.05	-0.51

表 3 浸水 0 h,1 h 及 5 d 时变形与孔隙比对比 Tab. 3 Comparison between deformation and void ratio in saturating times 0 h, 1 h & 5 d

#### 3.2 不同浸水时间混合料压缩指标变化

**3.2.1** 应力应变曲线变化 在 ε-P 坐标系下绘制轴向变形 ε 与应力 P 关系曲线(图 3)。可见,曲线簇由下 至上按浸水时间不同大致分为 5 部分,其变化趋势均随压力增大逐渐变缓。

变换图 3 中坐标轴为对数形式,如图 4;砂泥岩混合料在 ln *ɛ*-ln *P* 平面呈现良好的线性关系,这与天然 沉积软黏土<sup>[17]</sup>在同样坐标下趋势一致,但混合料应变曲线呈扫帚型且有汇聚趋势。不同浸水时间,混合料

在某级压力下的孔隙比将不同;随着轴向压力逐渐增大,土体中孔隙逐渐减少,试样密实度逐渐接近最大密 实度,因而图4中曲线呈现汇聚趋势。



图 3 不同浸水时间砂泥岩混合料 ε-P 曲线 Fig. 3 ε-P curves of sandstone-mudstone mixture in different soaking times

3.2.2 乳隙比 e 变化 土体孔隙比 e 是反映土体在不 同应力状态下内部孔隙体积与固体颗粒体积相对大小 的物理量。将每级压力下试样轴向变形按土力学公式 计算得到土料孔隙比,并绘制孔隙比与轴向压力的 e-P 曲线簇(如图 5)。曲线簇自上向下细分为 5 部分,各部 分按浸水时间与饱和方式不同成平行状,并呈一致变化 趋势;其中,j1h,j2h 及 j3h 曲线紧密相邻,为一部分;j1d 与 z1d, j2d 与 z2d, j5d 与 z5d 紧挨,分别各为一部分, j0h 曲线在最上面。

干燥状态的泥岩颗粒具有一定强度,但浸水过程中 泥岩颗粒受到不均匀应力时将产生细小孔隙,孔隙扩展



图4 不同浸水时间砂泥岩混合料  $\ln \varepsilon - \ln p$  曲线

Fig. 4 In  $\varepsilon$ -ln p curves of sandstone-mudstone mixture in different soaking times



图 5 小问夜小时间下砂泥石底百种 e-P 曲线 Fig. 5 Sandstone-mudstone mixture e-P curves in different soaking times

形成裂隙<sup>[12]</sup>,强度大幅下降。因此,加压过程中泥岩颗粒出现颗粒破碎现象<sup>[5]</sup>。相比其他浸水试样的 *e-P* 曲线,相同轴向应力时 j0h 曲线孔隙比最大,为外包线。各级压力下曲线簇各点清晰地分成 5 部分,表明浸水时间长短对孔隙比影响明显。在 0~0.10 MPa 区段,*e-P* 曲线簇近似呈倾斜直线;大于 0.10 MPa 时,曲线簇形状稍向下弯曲。混合料在轴向压力较低时,轴向变形主要由于骨料颗粒间相互错动,并重新排列所致;若所处应力大于颗粒破碎应力,试样呈现塑性压缩变形。

**3.2.3** 压缩模量、压缩系数及压缩指数变化 土体侧限压缩特性是评价土料压缩性及其地基沉降计算的重要参考依据,实际工程中采用竖向应力从 0.10 MPa 变化至 0.20 MPa 时侧限压缩模量 *E*<sub>s</sub>,压缩系数 *a* 及压缩指数 *C*<sub>e</sub>等参数来测评土料压缩性,计算沉降。将 0.10~0.20 MPa 不同浸水时间下的试样压缩指标与未浸水试样进行对比分析,探讨浸水时间效应,见图 6。

由图 6 可见,压缩模量 E<sub>s</sub>曲线在浸水时间 0~1 h 间呈直线下降,这主要是因为泥岩遇水软化、崩解,并 伴随颗粒间相对位置调整,导致试样压缩模量降低。在浸水 1,2 及 3 h 段曲线近似直线,表示在短期浸水时 间内,试样在饱和度变化不剧烈条件下压缩模量趋于稳定,水化作用对该配比砂岩泥岩颗粒强度的影响不明 显。在浸水超过 3 h,曲线又呈直线下降趋势;这之后,泥岩颗粒已经不再作为试样骨架,砂岩颗粒在长时间 浸水时强度逐渐降低,压缩模量曲线呈下降趋势。

相比于不浸水试样,浸水1h,压缩模量降低7.91%;浸水5d,其降低31.22%。在浸水时间内,试样压 缩模量为9.3~6.4 MPa;按工程提供土料压缩性判别参考值,此状态下混合料属于中等压缩性土料。随着 浸水时间延长,其压缩性有接近高压缩性土料界线4.0 MPa 趋势。





Fig. 6 Changes of  $E_s$ , *a* and  $C_c$  of mixture in different soaking times

从变动区间角度看,与压缩系数值最小的不浸水方案相比,压缩系数值最大的浸水5d方案 a 增大了 0.07,幅度为不浸水时压缩系数0.16的45.03%;与压缩指数值最小的浸水1h方案相比,压缩指数值最大 的浸水5d方案压缩指数C。增大了0.015,幅度为浸水1h压缩指数0.065的24.63%。

对应工程土体压缩性参考值, $a \in C_{e}$ 均处于中等压缩性土料区间。由此可见,压缩指数 $C_{e}$ 在长期浸水时变化范围小于压缩系数a,结合压缩模量 $E_{s}$ 变化幅度,建议将压缩系数a,压缩指数 $C_{e}$ 与压缩模量 $E_{s}$ 相结合来评判长期浸水条件下砂泥岩混合料压缩特性,而不是单独采用压缩系数 $a_{o}$ 

#### 3.3 浸水方式对混合料压缩性的影响

**3.3.1** 应变 ε 及孔隙比 e 对比 对比浸水饱和 j5d 与真空饱和 z5d 试样应变与孔隙比数据(见表 3)可见, z5d 方案的应变比浸水 j5d 增大 1.05%, 孔隙比降低 0.51%。浸水饱和与真空抽气饱和方法对试样轴向应变 与孔隙比的影响不显著, 两种饱和方式没有差异。

**3.3.2** 压缩模量、压缩系数及压缩指数对比 采用两种饱和方法时各参数变化见图 7,可见,参数变化趋势 一致,但数值略有差别。与抽气真空饱和方式的 zld, z2d 及 z5d 方案相比,浸水饱和方式的 E<sub>s</sub>与 a 值变幅 小,在 4%以内,C<sub>e</sub>值为 7.48%。造成差值的原因有两个方面:第一,在真空环境下饱和时,试样内及水中气 体在负压环境下快速消散,这造成土体内水力梯度大于浸水饱和环境下的试样;第二,砂泥岩颗粒表面及裂 隙中空气在真空环境下消散得更为彻底,试样饱和度更高。





Fig. 7 Changes of  $E_s$ , a and  $C_c$  of mixture by different soaking ways

#### 4 结 语

(1)砂泥岩混合料浸水3h后能达到饱和,浸水饱和与真空浸水饱和两种方式对其压缩性影响不明显。 砂泥岩混合料在试验前浸水3h后饱和度为95.09%,试样饱和;试验后,在浸水1h后饱和度为74.45%,3h 后为81.50%;继续增加浸水时间,试验前后饱和度曲线近似呈直线状,试样饱和度几乎不再变化。 (2)随着浸水时间增加,砂泥岩混合料压缩模量降低,压缩系数增加,其沉降变形增大。与不浸水试样相比,混合料浸水1h后轴向变形增大11.48%,浸水5d后压缩模量降低了31.22%,压缩系数增大了45.03%;浸水5d后轴向变形比1h增大了47.40%,孔隙比减小了7.71%。

(3)砂泥岩混合料不同浸水时间的应力应变曲线在 ln *ε*-ln *p* 平面呈直线,曲线簇呈扫帚状且有汇聚趋势;随着浸水时间不同,直线斜率随浸水时间增加而减小。

#### 参考文献:

- [1] 刘长武,陆士良. 泥岩遇水崩解软化机理的研究[J]. 岩土力学, 2000, 21(1): 28-31. (LIU Chang-wu, LU Shi-liang. Research on mechanism of mudstone degradation and softening in water[J]. Rock and Soil Mechanics, 2000, 21(1): 28-31. (in Chinese))
- [2] 王幼麟, 蒋顺清. 葛洲坝工程某些粉砂岩软化和崩解的微观特性[J]. 岩石力学与工程学报, 1990, 9(1): 48-57.
  (WANG You-lin, JIANG Shun-qing. A study of mechanism of softening and slaking of some siltstones in the foundation of Gezhouba Project[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 1990, 9(1): 48-57. (in Chinese))
- [3] 朱俊高, MOHAMED A A, 龚选, 等. 某板岩粗粒料湿化特性三轴试验研究[J]. 岩土工程学报, 2013, 35(1): 170-174.
  (ZHU Jun-gao, MOHAMED A A, GONG Xuan, et al. Triaxial tests on wetting deformation behavior of a slate rockfill material
  [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2013, 35(1): 170-174. (in Chinese))
- [4] 谭罗荣.关于粘土岩崩解、泥化机理的讨论[J]. 岩土力学, 2001, 22(1): 1-5. (TAN Luo-rong. Discussion on mechanism of disintegration and argillitization of clay-rock [J]. Rock and Soil Mechanics, 2001, 22(1): 1-5. (in Chinese))
- [5] 张兵,高玉峰,刘伟,等. 坝体填筑料压缩特性及影响因素分析[J]. 岩土力学, 2009, 30(3): 741-745. (ZHANG Bing, GAO Yu-feng, LIU Wei, et al. Research on compressibility of rockfill materials for dams and analysis of influencing factors[J]. Rock and Soil Mechanics, 2009, 30(3): 741-745. (in Chinese))
- [6] 杨建林, 王来贵, 李喜林, 等. 泥岩饱水过程中崩解的微观机制[J]. 辽宁工程技术大学学报(自然科学版), 2014, 33 (4): 476-480. (YANG Jian-lin, WANG Lai-gui, LI Xi-lin, et al. Micromechanism of disintegration of mudstonein saturation process[J]. Journal of Liaoning Technical University(Natural Science), 2014, 33(4): 476-480. (in Chinese))
- [7] 毛雪松,郑小忠,马骉,等.风化千枚岩填筑路基湿化变形现场试验分析[J]. 岩土力学,2011,32(8):2300-2306.
  (MAO Xue-song, ZHENG Xiao-zhong, MA Biao, et al. Field experimental analysis of wetting deformation of filled subgrade with weathered phyllite[J]. Rock and Soil Mechanics, 2011, 32(8): 2300-2306. (in Chinese))
- [8] 赵宇坤, 刘汉东, 乔兰. 不同浸水时间黄河堤防土体强度特性试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2008, 27(增1): 3047-3051. (ZHAO Yu-kun, LIU Han-dong, QIAO Lan. Test study of soil strength with different soaked periods of embankment of Yellow River[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2008, 27(S1): 3047-3051. (in Chinese))
- [9] 郝建云. 砂泥岩混合料压缩变形特性及 K0 系数试验研究[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2014. (HAO Jian-yun. Experimental study on compression deformation behavior and coefficient of lateral earth pressure of Sandstone-mudstone particle mixture[D]. Chongqing: Chongqing Jiaotong University, 2014. (in Chinese))
- [10] 朱俊高,翁厚洋,吴晓铭,等. 粗粒料级配缩尺后压实密度试验研究[J]. 岩土力学, 2010, 31(8): 2394-2398. (ZHU Jun-gao, WENG Hou-yang, WU Xiao-ming, et al. Experimental study of compact density of scaled coarse-grained soil[J]. Rock and Soil Mechanics, 2010, 31(8): 2394-2398. (in Chinese))
- [11] 朱文君,张宗亮,袁友仁,等. 粗粒料单向压缩湿化变形试验研究[J]. 水利水运工程学报,2009(3):99-102. (ZHU Wen-jun, ZHANG Zong-liang, YUAN You-ren, et al. Study on wetting deformation behavior of coarse-grained materials under axial compression condition[J]. Hydro-Science and Engineering, 2009(3):99-102. (in Chinese))
- [12] 杨凌云,王晓谋,张哲,等. 秦巴山区软弱变质岩路基填料浸水前后的变形特性[J]. 岩石力学与工程学报, 2010, 29 (增2): 3536-3541. (YANG Ling-yun, WANG Xiao-mou, ZHANG Zhe, et al. Deformation characteristics of roadbed filling of soft metamorphic rock before and after soaking in Qinling-Bashan mountainous region [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2010, 29(Suppl2): 3536-3541. (in Chinese))
- [13] 张述兴. 重庆地区泥岩组成特征与力学参数关系研究[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2008. (ZHANG Shu-xing. Research on relationship between substantial composing and mechanical parameters of mudstone in Chongqing[J]. Chongqing: Chongqing Jiaotong University, 2008. (in Chinese))

- [14] 熊平生,谢世友,何多兴,等.重庆地区江北砾岩地球化学分析[J].东华理工学院学报,2005,28(3):244-248.
  (XIONG Ping-sheng, XIE Shi-you, HE Duo-xing, et al. The geochenical analysis of Jiangbei conglomerate in Chongqing region
  [J]. Journal of East China Institute of Technology, 2005, 28(3): 244-248. (in Chinese))
- [15] 谈云志,孔令伟,郭爱国,等. 压实红黏土的湿化变形试验研究[J]. 岩土工程学报, 2011, 33(3): 483-489. (TAN Yunzhi, KONG Ling-wei, GUO Ai-guo, et al. Experimental study on wetting deformation of compacted laterite[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2011, 33(3): 483-489. (in Chinese))
- [16] 魏松,朱俊高. 粗粒料三轴湿化颗粒破碎试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2006, 25(6): 1252-1258. (WEI Song, ZHU Jun-gao. Study on wetting breakage of coarse-grained materials in triaxial test [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2006, 25(6): 1252-1258. (in Chinese))
- [17] 刘鹏,丁文其. 结构性剑桥模型的修正研究[J]. 岩土工程学报, 2013, 35(增2): 793-797. (LIU Peng, DING Wen-qi. Modified constitutive cam-clay model[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2013, 35(Suppl2): 793-797. (in Chinese))

# Influences of soaking time on compression properties of sandstone-mudstone mixture

JIAN Fu-xian, ZHANG Hong-wei, ZHANG Jun-tang, YOU Ke-qin

(College of River and Ocean Engineering, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China)

Abstract: The compression properties of soil aggregates are an important reference index in the process of calculating settlement and deformation of some foundations. In order to understand the compression properties of the sandstone-mudstone mixture treated for different soaking times, 7 different soaking time plans and 2 different saturation ways are set up in this paper. A confining compression test method is adopted to finish the exploration that how the soil aggregate' intensity changes when the sandstone-mudstone mixture is soaked for different times. The experimental analysis results show that, comparing with the data without immersed specimens, the axial deformation increased by 11.48% after 1 h of the soaking time in the experimental scheme. And the compression modulus decreased by 31. 22% and the compression coefficients increased by 45. 03% after 5 d of the soaking time. Further, comparing the test results of the soaking time in 1 h, the axial deformation increased by 47. 40% and the void ratio decreased by 7.71% after 5 d of the soaking time. Thus, the compression modulus was reduced, the compression coefficients increased, and the deformation increased along with the soaking time prolonged for the soil aggregates. The analysis above suggests that the compression modulus, the compression coefficients and the compression index should be combined to evaluate the sandstone-mudstone compression properties under the conditions of long-term immersion. And it also suggests that the compression coefficients should not be separated from each other to evaluate them. In addition, it is found from analysis of data under different soaking times that the stress-strain curves present a series of straight lines when they are in the  $\ln \varepsilon$ -ln p coordinate. These lines show a shape of broom-part and also have a convergence trend in that coordinate. The difference of test data is within 5% between the vacuum way and the immersed way. Thus as a result, the two saturation ways have no significant influences on the compression properties of the sandstone-mudstone mixture.

Key words: soaking time; compression property; sandstone-mudstone mixture