

粉煤灰碾压地基的波动测试及液化判别

蔡钟业 王明洋

吴少武 张绍治

(工程兵工程学院 南京 210007)

(江苏省地震局 南京 210014)

提要 通过对扬子石化公司粉煤灰碾压地基的下孔法和面波法测试研究,结合室内动力试验、现场标贯及场地卓越周期的实测,对粉煤灰碾压地基的液化特性作出了判别。

关键词 粉煤灰碾压地基,波动测试,液化判别

1 前言

粉煤灰是各大火力发电厂、热电厂污染环境的废弃物,随时间推移,需大量投资兴建新的煤灰池且占用土地。为解决扬子石化粉煤灰的废物利用问题,项目组采用控制含水量分层碾压法,进行了现场试验。在碾压的灰基上,分别掺合5%水泥和10%石砂(体积百分比)进行不同掺合料条件下与纯粉煤灰的对比试验。在不同掺合料粉煤灰地基上(剖面见表1),开展了波速测试,试验分检层法和面波法两种,结合室内粉煤灰动力试验、现场标贯以及场地的地震卓越周期实测,对扬子石化二期工程粉煤灰碾压地基的液化特性作出了判别。

表1 扬子粉煤灰填筑试验场地
Table 1 The strata in Yangz PCC site

代号	土层名称	岩土性状描述	状态	密度	湿度	标贯 击数	层厚	承载力 T/M ²
Q ₇ ¹	填土	褐灰色,由粉煤灰组成		密实		25	3.40	30
Q ₇ ¹	粉土	灰黄色,含云母及粘粒	软型	稍密	很湿	6	1.90	12
	粉质粘土	灰色,含有机质及云母,土质均匀	软塑 流塑			4	4.00	10
	粉土	灰色,含有机质及云母片	软型	稍密	很湿	5	1.90	11
	粉质粘土	灰色,含有机质及云母,土质均匀	软塑 流塑			4	19.1	10

2 波动及振动测试

扬子石化公司粉煤灰填筑场地地基土动力特性研究项目采用了室内试验与现场测试相

1996年4月27日收到初稿,1996年8月11日收到修改稿。

结合的方法，本次现场测试更采用了将 4 种激振手段相结合的平行试验方法，目的是将各种方法所得结果相互校核，以使所得结果可信度更高。现将测试的主要结果综合分析如下：

2.1 场地土剪切波速 V_s

现场土层动弹性参数测试技术的关键是剪切波(S 波)的激发与接收，按记录方式有跨孔法、检层法(又分上孔法、下孔法)、瑞利波法；按激振方式可分为冲击源法和稳态源法。本次测试采用的是检层法中的下孔法和瑞利波法。

表 2 将检层法实测 V_s 、动弹性参数与面波法实测的深度小于 1.8m 的 V_R (明置条件下)换算出的 V_s 、动弹性参数作了对比。由表中可见，由 V_R 换算的 V_s 值与检层法结果基本一致，其差异系地基土的非均匀性所致。对比 79 动规亦与按天然地基承载力基本值求出的天然地基刚度表中砂土类的值相近。

表 2 地基土动弹性参数一览表

Table 2 General table of dynamic elastic properties of soil

方法	检层法					面波法												
	明置状态					明置状态				挖沟状态				埋置状态				
	V_p	V_s	μ	E_d	G_d	V_R	η	V_s	E_d	G_d	V_R	V_s	E_d	G_d	V_R	V_s	E_d	G_d
参数	m/s	m/s		kN/m ²	kN/m ²	ms		m/s	kN/m ²	kN/m ²	m/s	m/s	kN/m ²	kN/m ²	m/s	m/s	kN/m ²	kN/m ²
测值																		
No. 1	284.0	126.5	0.33	6.1EA	2.2EA	118.3	0.94	125.9	6.0EA	2.2EA	107.3	114.3	5.0EA	1.8EA	66.1	70.4	1.9EA	0.7EA
No. 2	280.0	94.0	0.43	6.5EA	2.3EA	108.6	0.95	114.5	9.6EA	3.3EA	119.0	125.8	1.6EA	4.0EA	136.5	144.3	5.2EA	5.3EA
No. 3	296.0	185.0	0.18	7.8EA	7.3EA	128.5	0.91	141.5	0.1EA	4.3EA	116.2	128.0	8.3EA	3.5EA	136.3	150.1	1.4EA	4.8EA

表中计算使用的重力密度分别为：No. 1 13.56kN/m³、No. 2 25kN/m³、No. 3 21kN/m³

2.2 场地的卓越周期、场地类别划分与液化判别

在地面微动的研究中，一直存在着两种不同的观点。以金井清为代表的日本学者认为，强震时地面振动特性可由常时微动特性推测得出。美国学者则持“微小振动和强振动特性根本不同”的强烈否定观点，认为地面微动只是一种小变形弹性范围内的振动，而强地震运动则是大变形非弹性范围内的运动，两者在本质上是不同的。因而欲根据常时微动的地面特性推测大地震变形的地面运动特征是有问题的，即不能由此得出真正的地震反应谱。但常时微动确定包含有地基土的固有特征，因而常时微动观测常用作现场土动力特性调查的手段之一，将记录的卓越周期反映土层综合动力放大效果，用来划分场地类别。另外这些特性虽然反映的是弹性范围内的性质，但必然与大变形下的某些特征有联系，特别是长周期微动是如此。在《GBJ11-89 建筑抗震设计规范》中将覆盖土层的平均 V_s 和土层厚度作为场地分类指标，没有包含常时微动的内容。可是在建设部抗震办公室编印的该规范统一培训教材里，允许当缺乏 V_s 时可参照下判据划分场地类别：0.1 < T ≤ 0.4，场地类别 II；0.4 < T ≤ 0.8，场地类别 III；T > 0.8，场地类别 IV。

场地土指场地范围内一般深度在 15-20m 以内的地基上。《BJ11-87 建筑抗震设计规范》规定了场地土类型和场地类别。

场地土类别一般按场地覆盖层(场地覆盖层厚度大于 15m 时取 15m)范围内平均(按厚度加权)剪切波速(V_{sm} , m/s)进行划分坚硬场地土 $V_{sm} > 500$; 中硬场地土 $500 \geq V_{sm} > 250$; 中软场地土: $250 \geq V_{sm} > 140$; 软弱场地土: $V_{sm} \leq 140$ 。

本次实验实测的平均剪切波速由下式计算: $V_{sm} = \frac{1}{H} \sum_{i=1}^n V_i H_i = 136.6 \text{ m/s}$, 即属于软弱场地土。

场地类别不是按地基刚度, 而是按地震效应划分的。GBJ11-89 规范规定应根据场地土类别和场地覆盖层厚度(地面至坚硬场地土顶面的距离)划分为 I、II、III、IV 类。

本场地基岩埋深小于 45m, 按场地土类别对照上表应属于 III 类场地。根据 1/4 波长法则, 卓越周期可由公式 $T_0 = \sum_{i=1}^n \frac{n 4h_i}{V_{si}}$ 估算, 式中 h_i 为第 i 层土层厚度, V_{si} 为第 i 层土的剪切波速, n 为土层层数。本场地据钻孔波速测试结果由该式估算出场地卓越周期为 0.44s。与培训教材允许按卓越周期划分场地类别的表对照亦为 III 类场地。

场地未填筑粉煤灰时曾测得原状场地卓越周期中不同方向为: 南北向 0.30+0.40s, 东西向 0.2-0.7s, 垂直向 0.30-0.40s。均发现有一周期为 0.06s 左右的非常稳定连续的振动迭加, 经调查可能是场地邻近厂区(如发电厂等)机器设备运作产生的类似强迫振动, 其出现概率达 90% 以上, 掩盖了场地土层的自振特性, 而真正反映场地土层自振特性的周期为 1.25-0.4s 的常时微动出现概率反而仅有 60%。在场地土施工填筑粉煤灰后, 垫层和动力基础的低频振动出现的概率有了提高, 粉煤灰与亚粘土分层碾压后的场地卓越周期为 0.40-0.50s, 与未填筑时的原状土场地相比差异不大, 但强迫振动产生的高频振动出现的概率降低, 说明还是有改善的, 各种状态下三个基础的优势振幅最大位移一般不超过 3μ , 最大优势速度不超过 $40\mu/\text{s}$ 。不同状态对个基础的影响较为复杂: 在 5Hz 以下低频段, 三种状态均产生明显的减振作用, 以明置状态为最明显; 在 16Hz 附近, 仅 No. 3 基础在三种状态下均有明显减振作用, 其余两个基础差异不大; 在 24Hz 高频段, 在明置状态下 3 个基础均有明显的放大作用, 而埋置和挖沟状态则减震作用明显。总的来说, 在埋置、明置状态下, No. 1 基础除低频外, 放大作用最明显在挖沟状态下, No. 2 基础的放大作用较明显; No. 3 基础则减震性能较差。此外, 常时微动具明显方向性, 垂直分向幅度较水平分向要小, 但共振频率相对平坦, 放大或减震作用相对不那么明显。基础的固有频率在两个频段出现: 15-24Hz 是固有频率的主体, 特别是明显状态下峰值较高, 另一个频段是 2Hz 和 8Hz。上述这些复杂情况可能与地基和基础之下垫层施工的非均一性有关; 也与优势常时微动的最大位移和速度随时间变化较大有关, 垂直分向变化相对不大, 幅度亦小, 则可能与阻尼较大有关。

粉煤灰具有颗粒细而均匀, 比重小, 孔隙比大的特点。国内一些电厂对粉煤灰的室内动三轴试验表明, 在地下水位较高时饱和的粉煤灰因浮容重小, 极易发生振动液化而丧失其强度, 因此, 对粉煤灰地基来说液化判别不能回避。而 V_s 是反映土壤地震液化势一个很好的指标, 室内试验得到的剪应力比与 V_s 关系表明, 在液化与未液化间确实存在界线。国内经验亦表明, 用 V_s 预测液化势的结果与用标准贯入击数判别的结果基本一致。《GBJ11-89》规范中规定液化判别方法采用标准贯入击数表示, 在此仅将根据实测的 V_s 用于液化判别的结果作为标准贯入试验的一种补充, 仍以标准贯入试验的判别结果为准。根据张克

绪(1991年)提出的液化判别的地震烈度法,当地震动水平以裂度表示时,地下水位埋深2—4m条件下,用下式进行液化判别:如果 $V_s \leq V_{s,c}$ 时则液化,否则不液化。式中, $V_{s,c}$ 为临界剪切波速。

$$V_{s,c} = V_{s,c}(hs - 0.0133h_s^2)\alpha^{0.5}$$

其中 $V_{s,c}$ 为参数,取决于土类和烈度地震烈度Ⅶ,粉土42,砂土68;地震烈度Ⅷ,粉土60,砂土89;地震烈度Ⅸ,粉土84,砂土125。

场地地震基本烈度为Ⅶ度,取粉土 $V_{s,c} = 42$ 计算15m深土层 $V_{s,c} = 145.5\text{m/s}$,小于该层土 $V_s = 198.7\text{m/s}$;分别取粉土 $V_{s,c} = 42$ 及砂土 $V_{s,c} = 63$ 来计算3.5m深填(筑的粉煤灰层各得 $V_{s,c}$ 为72.8m/s及113.4m/s,亦小于该层 $V_{ss} = 126.48\text{m/s}$ 。因此,皆不会液化。由上述可见,饱和粉煤灰经掺合料碾压处理后的抗液化能力是较高的,且随相对密度的提高抗液化强度也提高。为此,在粉煤灰表面采用铺设起镇压作用的一定厚度的垫层,提高灰体的相对密度,降低地下水位对防止厚度不大回填的粉煤灰层的振动液化有较好效果)。

3 结语

(1) 通过对扬子石化公司二期工程粉煤灰碾压地基的波动测试,场地卓越周期的实测,按场地卓越周期可划分场地的分类类别。这是国内第一次尝试。

(2) 采用剪切波速法,对照规范,证明 V_s 是判断粉煤灰地基及粉土类地基的有效指标。

(3) 采用临界剪切波速判别法,同样证实了上述二种方法的一致性和结论的可靠性。

(4) 笔者还通过室内动单剪和动三轴试验证实了剪应力比与剪切波速,确实存在液化与否的明显界线,见另文介绍。

THE MEASUREMENT OF FLY ASH FILLED FOUNDATION AND LIQUATION DIFFERENTIATION

Cai Zhongye Wang Mingyang

(Army Engineer Institute, Nanjing 210007)

Wu Shaowu Zhang Shaozhi

(Jiangsu Seismology Bureau, Nanjing 210014)

Abstract Through seismic logging by down-hole test and Rayleigh-wave test, the foundation filled with fly ash in Yangtze PCC site has been researched. Comparing with the fly ash dynamic experiment in lab, standard penetration test and seismic predominant period measurement, the liquation character has been differentiated.

Key words fly ash filled foundation, wave test, liquation