



饱和砂土液化的动三轴试验判断与评价

王峻^{1,2}, 王兰民^{1,2}, 李兰^{1,2}

(1. 中国地震局地震预测研究所兰州科技创新基地, 甘肃 兰州 730000;

2. 中国地震局兰州地震研究所, 甘肃 兰州 730000)

摘要:基于动三轴砂土液化试验,采用抗液化剪应力判别方法和地震反应分析计算结果与地震剪应力时程相结合的综合判别方法,对某长江大桥工程场地的饱和砂土液化进行了判断,并对其液化危害程度进行了等级划分,给出了不同超越概率下的预测结果。

关键词:饱和砂土;液化;试验判断;评价

中图分类号:TU411.7;P315.9 文献标识码:A 文章编号:1000-0844(2004)03-0285-04

0 前言

砂土液化是造成地基失稳的主要原因之一,不论砂土部分液化或完全液化都可能使建筑物产生破坏。国内外的大量实例表明地震液化对人类生命和财产造成了巨大的损害,因此,预测饱和砂土在地震作用下是否液化已成为工程地基抗震设计的重要内容。以往在动三轴砂土液化试验判断中只对场地作出“液化”或“不液化”的判断,而工程部门往往需要对饱和砂土的液化程度作出更具体的判断。鉴于这种情况,本文基于饱和砂土液化试验,采用抗液化剪应力判别方法^[1],利用场地地震反应分析计算结果和地震剪应力时程对饱和砂土的液化程度进行评价,将场地液化区分为:轻微液化、中等液化和完全液化。

本文利用以上方法,结合某长江大桥工程场地的地震安全性评价工作,对该场地饱和砂土的液化进行了判断,并对其液化程度做出了评价,为工程建设提供了较为实用的结果。

1 试验概述

试验中使用的砂样分别取自某长江大桥南北两岸的桥址处,其指标见表1。

表1 砂样指标

砂样编号	取土深度/m	相对密度	土类
S-1	6.3~6.45	0.70	细砂
N-1	12.7~12.9	0.65	粉砂

试验是在 DSD-160 型电磁式振动三轴仪上进行。试样直径为 50 mm、高度为 100 mm。动荷载按等幅正弦波形式施加,振动频率为 1 Hz。整个试验严格按《土工试验规程》SDS01-79(下册)^[2]所规定的饱和砂土振动三轴试验规程进行。试验中采用三个固结压力分别为 80、140、和 200 kPa,一个固结比为 $K_c = 1.0$ 。

破坏标准的选择,目前工程上多以初始液化或轴向应变值 $\epsilon_a = 5\%$ 作为破坏标准。在采用轴向应变值作为破坏标准时,对于等向固结的情况,其应变值为全幅轴向应变。在本次试验中,采用 5% 轴向应变作为液化破坏标准。

2 液化试验结果与液化判别

饱和砂土的液化试验结果以液化应力比 $(\sigma_d/2\sigma'_0)$ 和破坏振次 $\log N_f$ 的关系曲线表示(图1),由图1就可得到不同破坏振次下的液化应力比值(表2)。利用抗液化剪应力判别方法,求得天然埋藏状态下的抗液化剪应力和地震作用时等效平均剪应力。

2.1 抗液化剪应力的计算

天然埋藏状态下砂层的抗液化剪应力可由下式来确定:

收稿日期:2004-05-06

基金项目:甘肃省科技攻关计划项目;中国地震局“十五”重点项目;中国地震局兰州地震研究所论著编号:LC20040053

作者简介:王峻(1957-),男(汉族),河南汤阴人,高级工程师,现主要从事地震工程和黄土动力学实验研究工作。

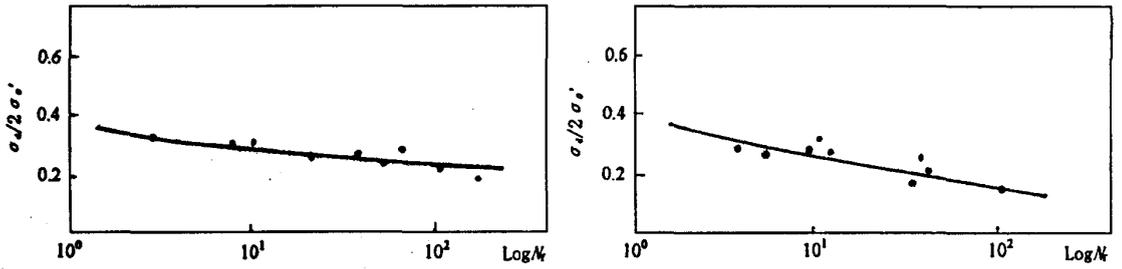


图1 $\sigma_d/2\sigma'_v - \log N_f$ 关系曲线
 Fig. 1 Relationship of $\sigma_d/2\sigma'_v$ versus $\log N_f$.

$$\tau = C_r \sigma'_v \frac{\sigma_d}{2\sigma'_v} \tag{1}$$

式中： τ 为砂土的抗液化剪应力(kPa)； C_r 为应力校正系数； σ'_v 为地震前上覆土层自重有效压力(kPa)。计算得到不同振次下的抗液化剪应力 τ ，见表2。

表2 不同振次下的液化应力比与抗液化剪应力

砂样编号	$\sigma_d/2\sigma'_v$			上覆土层自重有效应力			τ /kPa			
	$N_f=5$	$N_f=10$	$N_f=20$	σ'_v /kPa	$N_f=5$	$N_f=10$	$N_f=20$	$N_f=5$	$N_f=10$	$N_f=20$
S-1	0.302	0.290	0.275	57.33	11.25	10.81	10.25			
N-1	0.291	0.260	0.228	109.22	20.02	17.89	15.69			

2.2 地震作用时等效平均剪应力的计算

利用该场地的地震反应分析计算结果如表3所示。

据PGA值可计算出地震作用时的等效平均剪应力 τ_e ：

$$\tau_e = 0.65 K \frac{a_{max}}{g} \gamma d_s \tag{2}$$

式中K为应力折减系数； γ 为深度 d_s 以上的上覆土层的天然重度，地下水位以下为饱和重度，多层土应分层计算(kN/m³)； d_s 为砂土所处的深度(m)。计算结果如表4所示。

表3 地震反应分析计算结果(据武汉地震工程研究院)

50年超越概率	10%	2%
地震烈度	6.7	7.9
地面PGA/gal	213.15	494.51
等效振次N	10	20

表4 地震时土层中的等效平均剪应力

层位编号	深度/m	τ_e /kPa	
		50年超越概率10%	2%
S-1	6.3~6.45	15.84	36.75
N-1	12.7~12.9	27.66	64.17

将表2中砂层的抗液化剪应力 τ 与表4中的等效平均剪应力 τ_e 进行比较，就可对液化的可能性作出判断。即： $\tau_e > \tau$ 时，可能液化； $\tau_e < \tau$ 时，不可能液化。

根据以上液化实验和计算结果结合液化势判断方法，判断该长江大桥场地的饱和砂层在未来遭受到50年基准期内超越概率为10%和2%的地震作用时可能发生液化。

3 液化势评价^[3]

对于实际工程问题，场地的液化程度无疑是工程部门最为关注的问题。由于在工程建设中需要对饱和砂层的液化程度作出评价，而动三轴液化实验的规范判别方法不能满足这一要求，只能对液化的可能性做出判断，因此在判断中采用了利用砂层所在场地的地震剪应力时程 $\tau(t)$ (图2)和规范判别法综合评价的方法。具体标准为：

- (1) $\tau(t) < \tau_c$ 且 $\tau_c < \tau$ 时,评价为不可能液化①;
- (2) $\tau(t) \geq \tau_c$ 的往复次数小于或等于相应的烈度等效振次,且 $\tau_c < \tau$ 时,则评价为轻微液化;
- (3) $\tau(t) \geq \tau_c$ 的往复次数大于相应的烈度等效振次,且 $\tau_c < \tau$ 时,则评价为中等液化;
- (4) $\tau(t) \geq \tau_c$ 的往复次数大于相应的烈度等效振次,且 $\tau_c \geq \tau$ 时,则评价为完全液化。

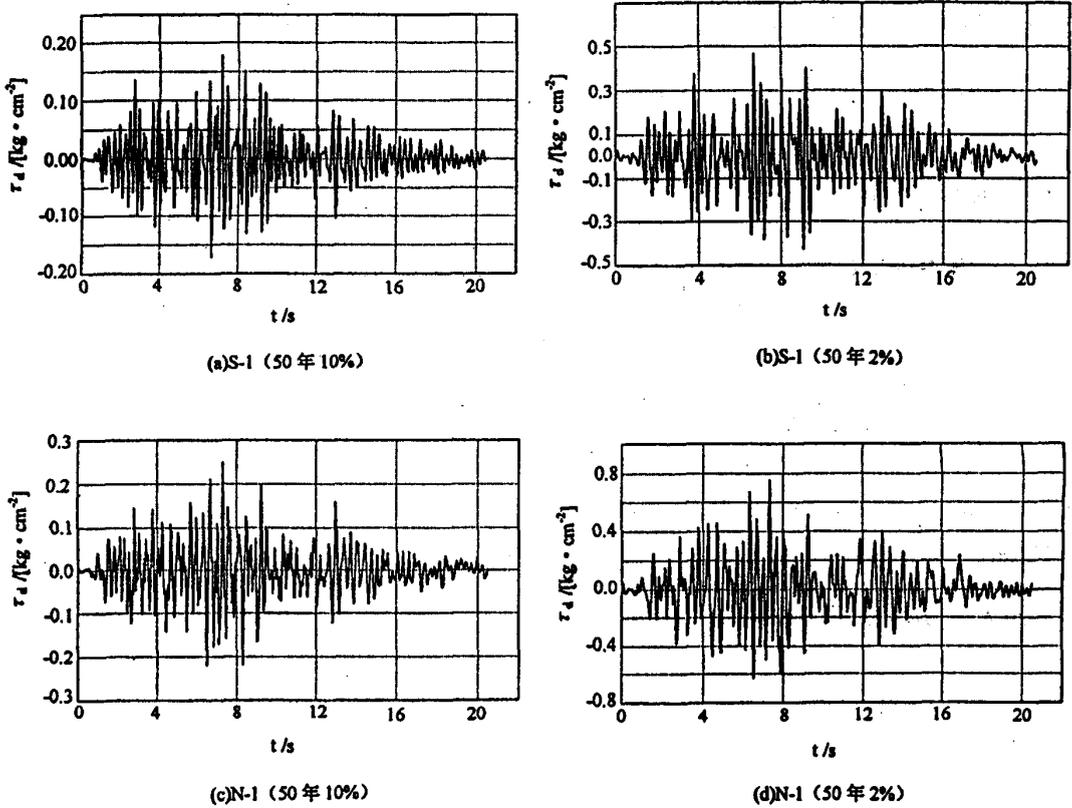


图2 地震剪应力时程(据武汉地震工程研究院)

Fig.2 Artificial earthquake shear stress time history.

按照上述标准对该桥址砂层在不同超越概率下的液化程度进行了评价,结果见表5。

表5 50年超越概率液化势判断结果

层位编号	深度/m	岩性	$\tau(t) > \tau_c$ 次数		$\tau_c > \tau$?		液化势评价	
			10%	2%	10%	2%	10%	2%
S-1	6.3~6.45	细砂	8	27	Y	Y	II	III
N-1	12.7~12.9	粉砂	4	29	Y	Y	II	III

注:N—否;Y—是;X—不可能液化;I—轻微液化;II—中等液化;III—完全液化。

由表5可以看出,该大桥桥址南北两处的砂层在遭受到50年10%超越概率下的地震作用时,尽管其等效平均剪应力大于砂层的抗液化剪应力,由图2可见地震剪应力峰值超过抗液化剪应力,但动剪应力往复次数分别只有8次和4次超过砂层的抗液化剪应力,未超过相应地震烈度等效振次。所以评价为中等液化。

当该场地遭受到50年2%超越概率下的地震作用时,由于土层中的等效平均剪应力都超过抗液化剪应力3.5~4倍左

① 国家地震局兰州地震研究所. 荆沙长江大桥场址土动力学实验分析报告,1998.

右,地震剪应力峰值大大超过抗液化剪应力,动剪应力往复次数超过相应地震烈度等效振次,因此砂土已处于完全液化状态。

4 结束语

通过对该工程场地的液化试验,利用上述综合判别方法对该场地砂层的液化程度进行了等级划分,为该长江大桥工程场地的液化判别提供了较为实用的结果。这种综合判别方法对工程地基的抗震设计和处理具有实用意义。

[参考文献]

- [1] 《工程地质手册》编写委员会. 工程地质手册(第三版)[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1992.
- [2] 中华人民共和国水利部,电力工业部. 土工试验规程 SDS01-79(下册)[S]. 北京:水利出版社,1981.
- [3] 孙崇绍,段汝文,刘元生,等. 利用动三轴试验结果判断饱和砂土的液化势[J]. 西北地震学报,1997,19(增刊):1-6.

THE DYNAMIC TRIAXIAL TEST DISCRIMINATION AND EVALUATION FOR LIQUEFACTION OF SATURATED SAND

WANG Jun^{1,2}, WANG Lan-min^{1,2}, LI Lan^{1,2}

(1. Lanzhou Base of Institute of Earthquake Prediction, CEA, Lanzhou 730000, China;

2. Lanzhou Institute of Seismology, CEA, Lanzhou 730000, China)

Abstract: Based on dynamic triaxial liquefaction test of saturated sand and using a method combining liquefaction shear stress evaluation and earthquake response calculating, the liquefaction potential of sand in a Yangtze River Bridge site are evaluated and liquefaction level under different probability of exceedance were given.

Key words: Saturated sand; Liquefaction; Test discrimination; Evaluation