

# 埭岛海域粉土地震液化分区\*

林霖 冯秀丽 李安龙 刘涛

(中国海洋大学海洋地球科学学院 青岛 266003)

**摘要** 结合几年来的野外和室内实验资料,运用不同的液化分析方法,对埭岛海域粉土在地震作用下的液化可能性进行了综合评价,并对7度、8度、9度地震作用下该土层的液化情况进行分区,为本区海上工程勘察和基础设计提供科学依据。

**关键词** 埭岛海域,粉土,地震作用,液化

**中图分类号** P315.9 **文献标识码** A **文章编号** 1000-3096(2003)06-0064-04

## 1 研究区概况

现代黄河三角洲埭岛海域,位于黄河故道和五号桩之间水深2—15 m的范围内(图1),是胜利油田海上采油的主力区块。由于黄河尾间的频繁摆动,河口沙坝与烂泥区互相叠置,研究区地层分布在空间上不连续,工程地质性质十分复杂,对海上工程地质勘察和基础设计十分不利。而影响本区地基和基础稳定性的主要因素是海底土体的液化,因此对海底土体进行液化分区十分必要。本区表层土体受波浪和海流作用,逐渐粗化,沉积物类型以粉土为主,其在波浪的作用下几乎全部液化<sup>[1,2]</sup>,但在地震作用下不同土体却出现差异,因此对该区的液化分区主要是地震液化分区。由于勘察单位众多,资料较为分散,对此区的液化分区还未有人做过。本文利用已有钻孔资料和浅地层剖面的对比分析,对整个研究区进行地震液化分区。

## 2 液化分析方法

对于地震活动区的海域,当存在可液化土层时,可以采用陆地上的液化分析方法<sup>[3]</sup>。目前常用的评价方法有标准贯入试验法、抗液化剪应力法、静力触探试验法等<sup>[4,5]</sup>。

### 2.1 标准贯入试验法

将饱和土标准贯入锤击数实测值  $N_{63.5}$  (未经杆长修正)与液化判别标准贯入锤击数临界值  $N_{cr}$  进行比较,当  $N_{63.5} \leq N_{cr}$  时,土层可能液化,反之则不液

化。 $N_{cr}$ 值由下式确定:

$$N_{cr} = N_0 [0.9 + 0.1(d_s - d_w)] \left( \frac{3}{\rho} \right)^{1/2}$$

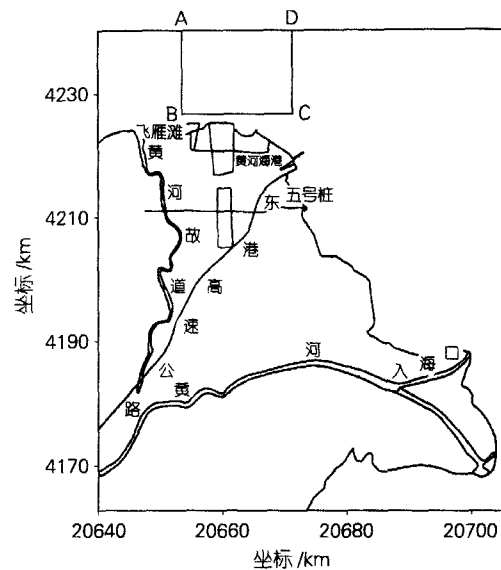


图1 研究区位置(ABCD为研究区)

Fig.1 Location of research areas (ABCD)

\* 山东省自然科学基金项目 Q2002E02 号。

第一作者:林霖,出生于1972年,在职硕士,工程师,主要研究方向:海洋工程地质。E-mail: ll.qd@163.com

收稿日期:2003-01-29;修回日期:2003-03-14

式中:  $N_0$  为液化判别标准贯入锤击数基准值;  $d_s$  为饱和土标准贯入点深度(m);  $d_w$  为地下水位深度(m);  $\rho_c$  为粘粒含量百分率。

如果存在液化土层, 根据各液化土层的深度和厚度, 按下式计算液化指数  $I_{LE}$ :

$$I_{LE} = \sum_{i=1}^n \left( 1 - \frac{N_i}{N_{crit}} \right) d_i W_i$$

式中:  $n$  为 15 m 范围内每一个钻孔标准贯入试验点总数;  $N_i$ 、 $N_{crit}$  分别为  $i$  点标准贯入锤击数的实测值和临界值;  $d_i$  为  $i$  点所代表的土层厚度(m);  $W_i$  为  $i$  土层考虑单位土层厚度的层位影响函数值 ( $m^{-1}$ )。

液化指数用于划分土层的液化等级, 液化指数不超过 5 ( $0 < I_{LE} \leq 5$ ), 表示土层液化等级为轻微; 液化指数不超过 15 ( $0 < I_{LE} \leq 15$ ), 表示土层液化等级为中等; 若液化指数超过 15 ( $I_{LE} > 15$ ), 则表示土层严重液化。

## 2.2 抗液化剪应力法

在海洋土液化评价中, 目前广泛使用的是西特(H. B. Seed)简化法, 它是根据地下某一深度土层的实际应力状态, 计算出能够引起该土层液化的剪应力, 即通过动三轴试验确定的土层抗液化剪应力  $\tau_d$ , 将其与地震等效平均剪应力  $\tau_e$  进行比较, 如果  $\tau_d \leq \tau_e$ , 砂土可能发生液化, 反之则不液化。

地震作用时等效平均剪应力  $\tau_e$  按下式计算:

$$\tau_e = 0.65k \frac{\rho \cdot d_s}{g} \alpha_{max}$$

式中:  $k$  为应力折减系数;  $\alpha_{max}$  为地面最大加速度;  $g$  为重力加速度;  $\rho$  为深度  $d_s$  以上土层的天然容重 ( $kN/m^3$ );  $d_s$  为砂土所处的深度(m)。

砂土抗液化剪应力  $\tau_d$  按下式计算:

$$\tau_d = C_r \sigma'_v \left( \frac{\sigma_{dc}}{2\sigma_a} \right)_{N, D_r}$$

式中:  $C_r$  为应力校正系数;  $\left( \frac{\sigma_{dc}}{2\sigma_a} \right)_{N, D_r}$  为相对密度  $D_r$  的砂土在等效应力循环次数  $N$  时的室内动三轴试验的液化应力比;  $\sigma'_v$  为地震前上覆土层自重有效压力(kPa)。

## 2.3 静力触探法

按下式判别饱和粉土的液化势:

$$Qc' = Q_{c0} \alpha_w \alpha_u \alpha_p$$

式中:  $Qc'$  为饱和粉土液化临界锥头阻力

(MPa);  $Q_{c0}$  为地下水位 2 m 时饱和粉土液化临界锥头阻力判别值(MPa);  $\alpha_w$  为地下水位影响系数  $\alpha_w = 1 - 0.065(d_w - 2)$ ;  $d_u$  为上覆非液化土层厚度(m);  $d_w$  为地下水埋深;  $\alpha_u$  为上覆非液化土层影响系数;  $\alpha_p$  为土性综合影响系数。

将  $Qc'$  与  $Q_{c0}$  值进行比较, 如果  $Qc' \leq Q_{c0}$ , 土层可能发生液化, 反之则不液化。

## 3 液化判别结果

液化影响深度范围为 15m<sup>[5]</sup>, 将各钻孔在此深度范围内的粉土层, 分别运用上述方法对 7 度、8 度、9 度地震烈度下的液化可能性进行判别, 结果见表 1。

## 4 液化分区

综合各钻孔的液化判别结果, 在烈度为 7 度的地震作用下, 大部分区域粉土层不会发生液化, 仅有 CB22D, CB22B, CB271A, CB27A, CB251B, CB251C 等下覆软弱淤泥层较厚的路由段发生轻微到中等液化; 在烈度为 8 度的地震作用下, 粉土层可能发生液化, 液化程度从轻微到中等, 而在中心二号平台附近及 CB11G-CB11F、CB22A-CB22C 路由段, 土层分布趋于本区标准化, 下覆土层性质较好<sup>[2]</sup>, 因此不发生液化; 在烈度为 9 度的地震作用下, 粉土层均可能发生液化, 液化程度一般为中等。

综合上述判别结果, 结合本区的物探资料, 对埕岛海域粉土在 7 度和 8 度地震作用下液化情况进行分区。

## 5 小结

5.1 通过计算可知, 埕岛海域浅表地层在地震烈度为 9 度的情况下全部液化, 在地震烈度为 8 度的情况下在研究区中部的土体表现出较强的抗地震液化能力, 在地震烈度为 7 度的情况下研究区内的大部分土体表现出较强的抗地震液化能力, 只是在原黄河行水期间的河口区主轴方向上显示出较强的液化性。

5.2 埕岛海域的地震液化分区与沉积环境有较好的对应关系, 即原行水河道主轴两侧区块土体抗地震液化能力较差。

表 1 液化判别结果

Tab.1 Result of liquefaction potential

钻孔号	土层埋深 (m)	判别方法	液化判别结果					
			7 度	$I_{LE}$	8 度	$I_{LE}$	9 度	$I_{LE}$
CB11A	0~4.5	1	×		○	4.1	○	10.2
ZK1	0~1.4	1	×		×		○	9.1
ZK2	0~3.6	1	○	11.2	○	12.1	○	14.7
ZK3	0~2.0	1	○	8.4	○	8.5	○	11.3
CB22A	0~2.4	1	×		×		○	8.4
CB22C	0~3.1	1	×		×		○	13.1
中心一号	0~3.7	1	×		○	2.1	○	11.0
中心二号	0~3.4	1	×		×		○	11.3
CB20A	0~3.4	1	×		×		○	10.0
CB12A	0~1.9	1	×		×		○	5.9
CB12A1	0~3.1	1	×		○	3.7	○	13.3
SH1A	0~2.6	1	×		○	3.5	○	10.3
SH1B	0~2.7	1	×		×		○	2.8
SH1C	0~2.8	1	×		○	6.4	○	12.9
SH6A	0~2.6	1	×		○	1.2	○	9.6
SH6B	0~2.7	1	×		○	4.3	○	12.6
SH6C	0~2.6	1	×		○	5.1	○	12.9
CB35dan	3.0~7.9	1	×		×		○	3.2
GU3	1.9~6.5	1	×		×		×	
ZH11	4.6~10.3	1	×		○	6.4	○	15.1
CB151-4	0~6.1	1	×		○	4.7	○	17.9
CB151-5	0~6.3	1	×		×		×	
CB151-6	0~6.8	1	×		×		×	
CB22C	0~3.1	2	×		○		○	
CB20A	0~3.4	2	×		○		○	
CB20A1	0~2.7	2	×		○		○	
CB12A	0~1.9	2	×		○		○	
CB12A1	0~3.1	2	×		○		○	
SH1A	0~2.6	2	×		×		×	
SH6C	0~2.6	2	×		○		○	
CB35dan	3.0~7.9	2	×		×		○	
CB151-4	0~6.1	2	×		○		○	
CB151-6	0~6.8	2	×		×		○	
KD34	9.8~15	2	×		×		○	
JK1	0~1.9	3	○		○		○	
JK2	0~3.6	3	○		○		○	
JK3	0~3.6	3	×		○		○	
JK4	0~2.0	3	○		○		○	
CB35dan	3.0~7.9	3	×		×		○	
GU3	1.9~6.5	3	×		×		○	

注：× 为不液化；○ 为液化；1 为标准贯入法；2 为抗液化剪应力法；3 为静力触探法。

5.3 用三种液化分析方法对埤岛海域浅表地层进行了地震液化评价。相比较而言,抗液化剪应力判别法采用了室内动三轴试验结果,而样品扰动对试验结果有一定影响;标准贯入法和静力触探法都是

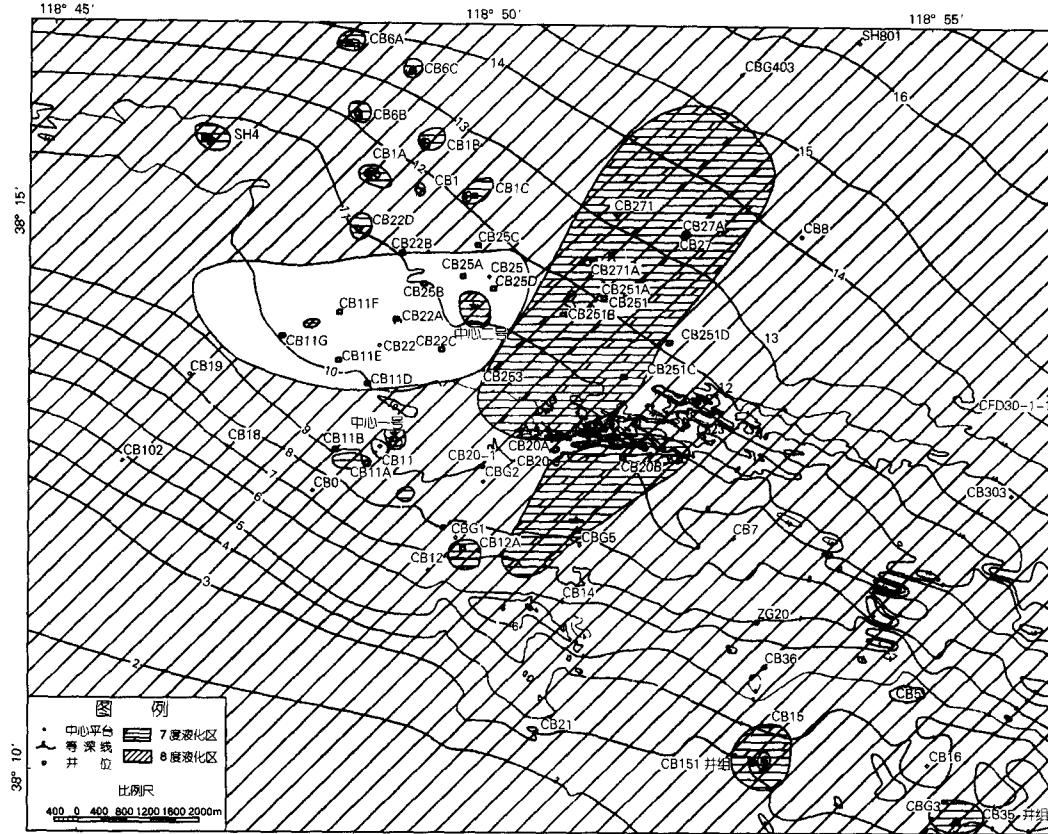


图2 7度和8度地震下的液化分区

Fig.2 Liquefaction areas of 7 and 8 degree of seismic intensity

采用了原位测试结果,避免了采样扰动问题,但标准贯入获得的测试结果不连续,静力触探则可以连续测试。建议在对海底土进行液化评价时采用静力触探法。

参考文献

- 1 杨作升,王涛主编. 埕岛油田勘探开发海洋环境. 青岛: 青岛海洋大学出版社,1993. 260-326
- 2 冯秀丽,林霖,庄振业,等. 现代黄河水下三角洲全新世

以来土层岩土工程参数与沉积环境之间的关系. 海岸工程,1999,18(4):1-7

- 3 顾小芸. 海洋工程地质的回顾与展望. 工程地质学报, 2000,8(1):40-45
- 4 《工程地质手册》编写委员会. 工程地质手册(第三版). 北京:中国建筑工业出版社,1992. 633-640
- 5 中华人民共和国建设部主编. 中华人民共和国国家标准建筑抗震设计规范(GB50011-2001). 北京:中国建筑工业出版社,2001,15-22

(下转第72页)

(上接第 67 页)

# THE LIQUEFACTION PART OF SILTY STRATA IN CHENGDAO'S SEA AREA ON SEISMIC EFFECT

LIN Lin FENG Xiu-Li LI An-Long LIU Tao

(*Marine Geosciences Collage, Ocean University of China, Qingdao, 266003*)

**Received:** Jan., 29, 2003

**Key Words:** Sea area of Chengdao, Silt, Seismic effect, Liquefaction

## Abstract

Based on the in situ and laboratory soil test data, according to different analysis methods of liquefaction potential, we evaluate the liquefaction potential of silty strata in Chengdao's sea area under seismic effect, partition the liquefaction area in 7, 8, 9 degree of seismic intensity, and provide reference to site selection and foundation design of marine engineering in this area.

(本文编辑:刘珊珊)