

山东省莱州湾淤河三角洲滨海 盐渍土工程地质特征

郑广琦

(山东省环境水文地质总站)

提要 莱州湾淤河三角洲滨海盐渍土,为近代松散沉积物。因海水入侵和蒸发浓缩作用,导致盐渍土(多属氯盐渍土)。根据土的物理力学性质指标,天然湿度下载荷试验和浸水载荷试验,认为:盐渍土是具有中等压缩性和湿陷性的土。

盐渍土受水浸润后,土的压缩模量 E_s ,承载力 (R) 明显下降,一般为浸水前的0.6倍。

滨海盐渍土地区,地下水中硫酸根离子含量常大于3000毫克/升,具强结晶侵蚀性,应采取特殊防腐措施。

山东莱州湾西部滨海——羊口镇至淮北盐场一带,有丰富的卤水资源。随着各种资源和滩涂开发利用,在这“不毛”之地的广阔滨海盐渍土平原地区,大型工矿企业和各类建(构)筑物,近几年来如雨后春笋拔地而起。故在此特定的条件下,各类建筑物地基基础的处理和相应的岩土工程勘察引起了人们的重视。

笔者于1982—1984年期间,曾参与该区某厂址工程地质勘察工作,对该地区滨海盐渍土的工程地质特征,做了初步研究分析,现简介如下:

一、地形地貌

该地区处于淤河冲积平原下部,是连接海湾潮间地带的滨海沉积平原区。地势由南西北偏东倾斜,地面标高4.50—3.60米,高差0.72—0.90米,地形坡降为千分之一左右,除地表散流冲刷的浅槽沟外,纵观地势低平,具广阔的滨海平原景观。

二、第四系地层岩性特征

滨海平原区地处中朝准地台,鲁西中台隆郟部—葛沟断裂以西的济阳拗陷南缘东段,地震基本烈度为6度。全新世以来,地壳运动表现为间歇性缓慢上升,海水逐渐退却成陆地,同时接受淤河散流碎屑物质堆积,形成近代冲积层(Q_4)覆盖于海相沉积物之上,据现有钻孔资料第四纪沉积厚度为350—400m以上,为一套巨厚的陆相、海相、海陆交互相沉积。

本文1989年11月收到,12月改回。

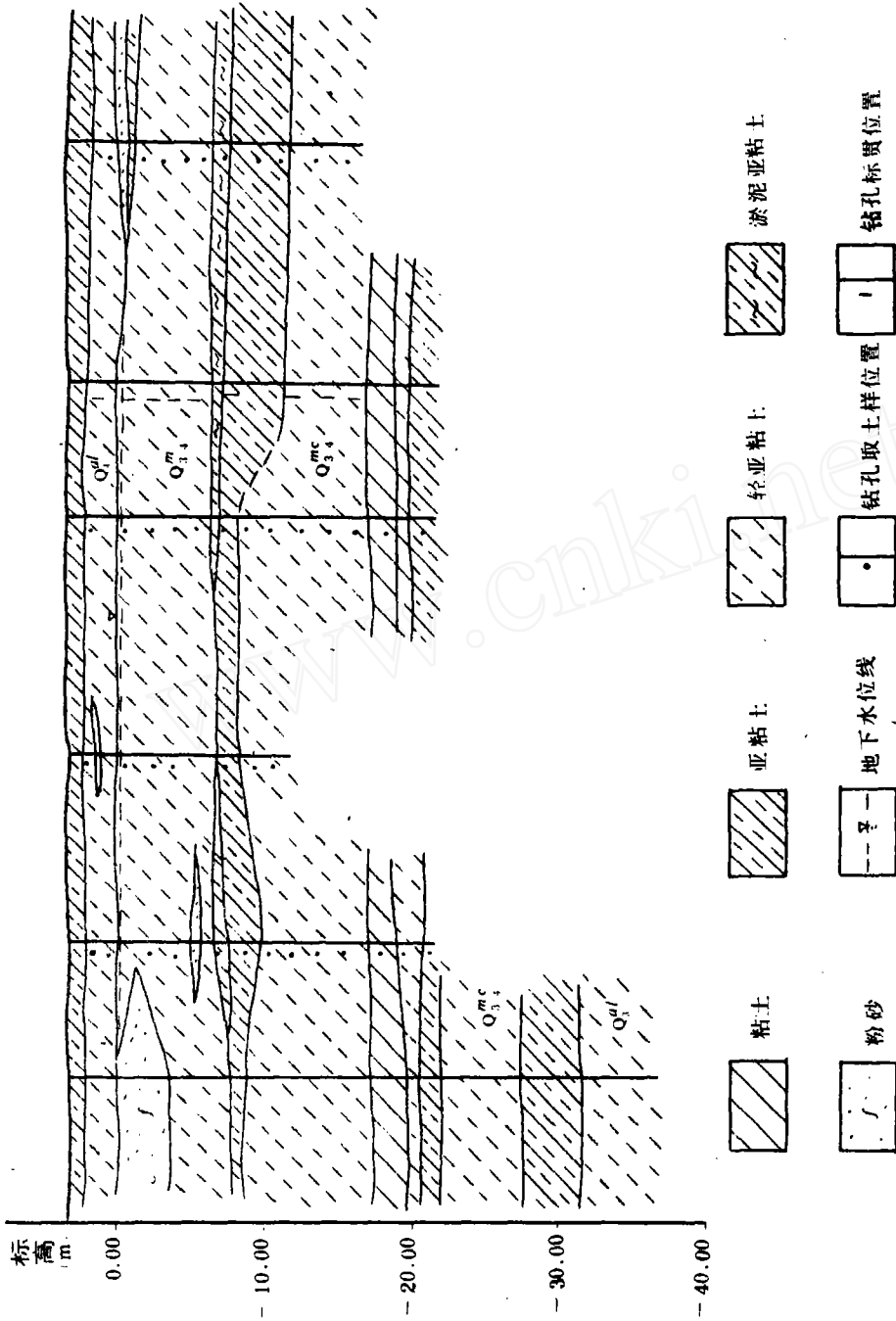


图1 工程地质剖面图

在勘察孔揭露 44m 深度内,第四系上部为全新统河流冲积层(Q₄^{pl}),其下为下更新统一全新统海相沉积(Q₄^{ml}),下部是上更新统一全新统海陆交互相沉积(Q₄^{pl/ml})底部为上更新统冲积层(Q₄^{pl})。各成因类型沉积岩性特征如下(图 1)。

1. 冲积层(Q₄^{pl}):为较稳定的黄褐色亚粘土,上部亚粘土夹粘土、轻亚粘土薄层,下部可见粉砂透镜体,本层具清楚的水平层理和氧化铁侵染,厚度 3.0—4.3m。

2. 海相沉积层(Q₄^{ml}):上部为黄色、浅黄色轻亚粘土,下部黄灰色、黑灰色亚粘土,局部夹粘土、粉砂薄层或透镜体,厚 7.5—8.05m。

本层在轻亚粘土中见有厚度不等的深灰色淤泥层,最大厚度 4.65 米,下部的亚粘土常含多量有机质,一般厚度 0.7—1.1m。

3. 海陆交互沉积(Q₄^{pl/ml}):本层以轻亚粘土为主,轻亚粘土与亚粘土、粘土互层。上部轻亚粘土夹有粉砂薄层,为灰黄色、褐黄色,具水平层理,偶见蠕虫状构造,含钙质结核及少量贝壳碎片,陆相螺。有不同程度的氧化铁浸染现象,厚 20.95—24.10m。

4. 冲积层(Q₄^{pl}):在揭露深度内,自上而下为褐黄色、棕黄色亚粘土、轻亚粘土及粉砂。具水平层理和氧化铁,含少量钙质结核、贝壳碎片。

三、滨海盐渍土的物理力学性质

本文将着重研究上部可能做为天然地基基础的亚粘土和轻亚粘土的工程地质特征(原状土样分别为 61 个及 65 个)举此也可略见一斑,现将土的物理力学性质列表如下(表 1、2)。

表 1 亚粘土物理力学性质指标

项 目	含水量 w (%)	容 量 r (gf/cm ³)	孔隙比 e	液 限 w _L (%)	塑 性 指 数 Ip	液 性 指 数 IL	压 缩 系 数 a ₁₋₂ (cm ² /kgf)	压缩模量 E _s (kgf/cm ²)		直 剪 (快)	
								试验	旁压	q ⁰	C (kgf/cm ²)
最大值	32.7	19.1	0.96	35.1	11.9	1.20	0.044	78	101		
最小值	20.9	1.78	0.715	26.5	10.1	0.09	0.028	40	60		
平均值	25.3	1.87	0.820	30	10.9	0.57	0.032	58	75	25°59'	0.17

注: 1gf/cm³=9.81kN/m³; 1cm²/kgf=10.2mpa⁻¹
1kgf/cm²=98.1kpa; (下同)。

表 2 轻亚粘土物理力学性质指标

项 目	含水量 w (%)	容 量 r (gf/cm ³)	孔隙比 e	液 限 w _L (%)	塑 性 指 数 Ip	液 性 指 数 IL	压 缩 系 数 a ₁₋₂ (cm ² /kgf)	压缩模量 E _s (kgf/cm ²)		直 剪 (快)	
								试验	旁压	q ⁰	C (kgf/cm ²)
最大值	26.6	1.92	0.917	30.1	9.8	0.95	0.043	149	131	34.22	0.13
最小值	10.5	1.55	0.728	17.6	6.7	0.04	0.011	53	48	21.49	0.06
平均值	19.3	1.78	0.804	26.9	6.6	0.49	0.020	99	85	31.06	0.10

从表 1、表 2 可看出,亚粘土和轻亚粘土多呈可塑状态,液性指数平均值在 0.5 左右,孔隙比较高,多大于 0.80 以上,天然含水量亚粘土略高,在 22—25% 之间,轻亚粘土含水量略低,在 19—20% 之间,力学强度指标,土的抗剪强度不高,压缩系数一般为 0.020—0.032(cm²/kgf),具中等压缩性。

四、盐渍土的原位测试结果

1. 静力触探试验

采用双桥和单桥探头,测试结果见表 3。

表 3 静力触探试验结果

项 目 土 类	锥尖阻力 q _c (kgf/cm ²)	侧壁摩阻力 F _s (kgf/cm ²)	比贯入阻力 P _s (%)	摩阻比 f _s /q _c (%)
亚粘土	18.5	0.26	12	1.40
轻亚粘土	46	0.29	34	1.90

从表 3 反应出两种土的静探测试指标 q_c 和 f_s 都略低,这说明滨海盐渍土密实程度较差。

2. 旁压(模压)试验

从旁(横)压试验结果所绘制的曲线(图 2)可看出:亚粘土和轻亚粘土均有不明显的直线段,它在土体受侧压后,产生了轻微的结构变形,而导致压密。在压力不大时,压力与土的孔隙比之间存在着一定的线性关系。这与载荷试验曲线没有明显的直线段基本一致。

3. 动力参数试验结果

测试方法为跨孔法,成孔距为 4 米,当示波器录下击发波形和经过土体传播所达的波时,测出波的传输时间,即可得剪切波速: V_s = 4/ts 和压缩波速 V_p = 4/lp,由 V_p 和 V_s 可算得泊松比 u,计算公式:

$$u = \frac{\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - 2}{2\left[\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - 1\right]} \dots\dots\dots(1)$$

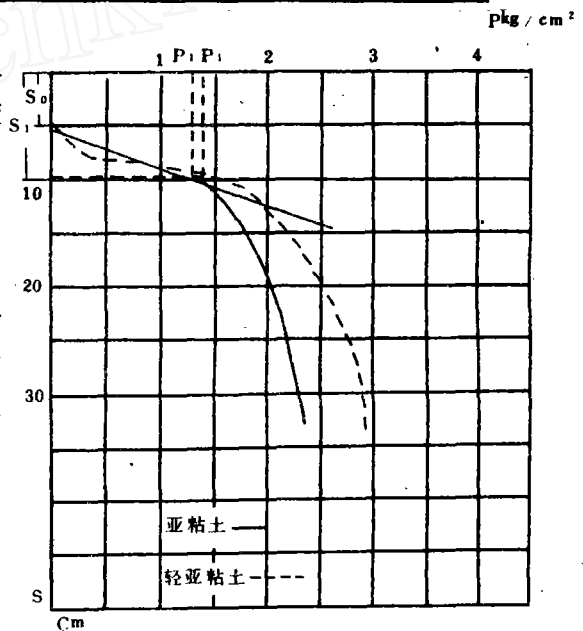


图 2 旁压曲线图

式中： u ——泊松比；

V_p ——压缩波速度；

V_s ——剪切波速度；

t_p ——压缩波到达时间；

t_s ——剪切波到达时间。

根据测试计算结果，

亚粘土 $u=0.43-0.47$ ，

轻亚粘土 $u=0.38$ 。

4. 载荷试验

进行浅层载荷试验三组，六个试验点，载荷圆形承压板面积 5000mm^2 ，试坑深度 1.5m ，板下土层为轻亚粘土，少数试坑表面残留有亚粘土，每组试坑距为 5m ，其先在天然湿度下进行加荷试验，要求达到极限载荷，然后卸荷至另一试验点、加一级载荷稳定后，开始进行浸水，至 24 个小时后继续加荷，同时不间断浸水至极限载荷。试验结束后，每点均在卸荷后于板下不同深度取原状土试验样，测试土的物理力学性质及易溶盐含量，试验结果见表 4，浸水前后的 $P-S$ 曲线见图 3。

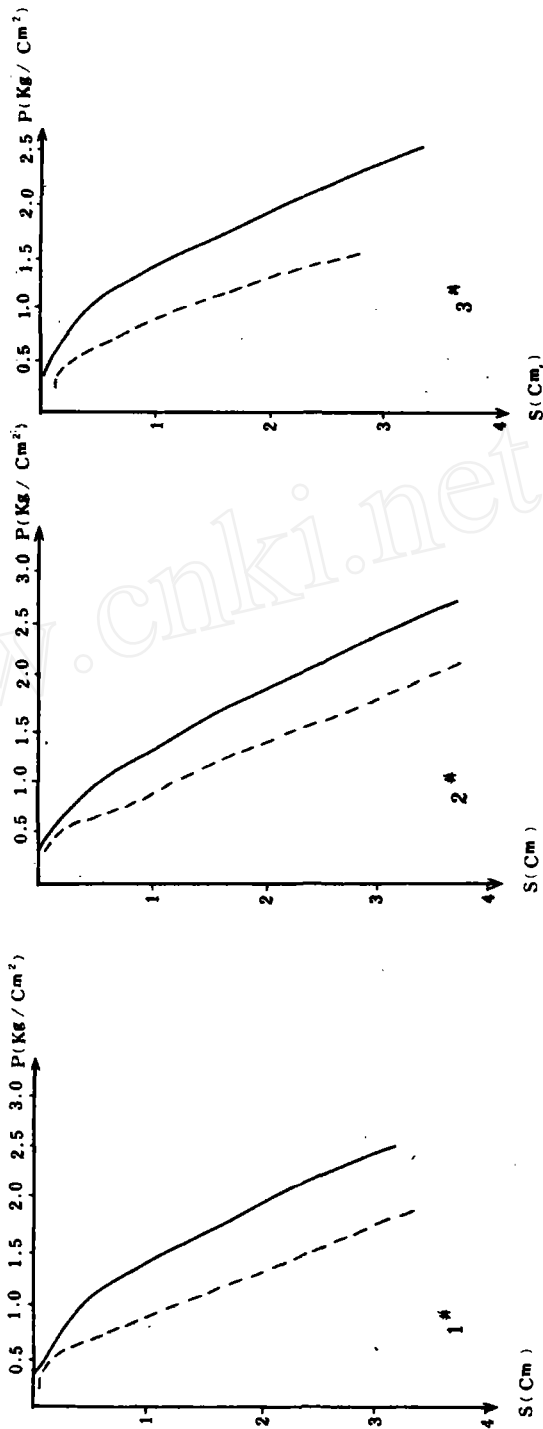


图 3 天然湿度及浸水条件下载荷试验 S—P 曲线对比图
 -----浸水 S—P 曲线 ——天然湿度 S—P 曲线

(1)从表4和图3曲线上清楚看出:盐渍土浸水后,比例界线载荷 P_0 ,变形模量 E_0 及土的承载力 $[R]$ 值明显下降。

表4 载荷试验结果

编号	试验深度 (m)	比例界线载荷 P_0 (kgf/cm ²)	P_0 浸/ P_0 (%)	变形模量 E_0 (kgf/cm ²)	E_0 浸/ E_0 (%)	承载力 $[R]$ (kgf/cm ²)	$[R]_{浸}/[R]$ (%)
载荷1	1.5	0.56	58	75	55	1.35	57
浸水载荷1		0.33		40		0.77	
载荷2	1.5	0.5	63	66	65	1.20	67
浸水载荷2		0.35		43		0.80	
载荷3	1.5	0.56	62	77	52	1.30	58
浸水载荷3		0.35		41		0.75	

浸水后的比例界线载荷 P_0 (在曲线上反映不清楚)为未浸水前的58—63%,浸水后的变形模量 E_0 为未浸水前的52—65%,盐渍土的承载力 $[R]$ 为未浸水前的57—67%,其平均值在57—60%之间。

根据浸水前后载荷试验所得的相关数值,建议该地区盐渍土,浸水后的承载力为:

$$[R]_{浸} = 0.6[R]$$

式中: $[R]_{浸}$ —浸水后盐渍土承载力;

$[R]$ —天然状态下盐渍土承载力。

(2)浸水后盐渍土承载力和强度的降低,其机理是因土体孔隙中易溶盐晶粒被溶滤下渗,土中含盐量下降(表5)易溶盐晶粒不能在土体中起骨架作用,故而改变了原来的土体结构,同时土的孔隙比相应增大,例如轻亚粘土浸水前孔隙比为0.808,浸水后孔隙比增大到0.875—0.860。

表5 易溶盐含量

土样编号	取土深度 (m)	易溶盐百分含量 (%)						
		$K^+ + Na^+$	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Cl^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-	总量
载1	1.70~1.85	0.27	0.03	0.01	0.14	0.27	0.28	1.00
浸载1		0.15	0.02	0.02	0.11	0.10	0.22	0.64
载2	1.50~1.65	0.49	0.02	0.02	0.68	0.14	0.17	1.48
浸载2		0.46	0.03	0.02	0.57	0.18	0.19	1.45

五、水文地质特征及水质评价

滨海平原区沉积了巨厚的第四纪地层,在揭露深度内,含水层为多元结构的承压水和上部潜水含水层。含水层岩性以轻亚粘土,粉砂为主,间有亚粘土、粘土隔水层,其含水层之间水力联系较弱。本区地下水埋深一般在 2.9—4.7 米,水力坡度千分之一左右,据室内渗透试验测定,轻亚粘土渗透系数 $K=0.22-0.293$ 米/昼夜,属弱透水层,亚粘土渗透系数 $K=0.0026-0.0019$ 米/昼夜,属弱—微透水层。

滨海平原区因受海水入侵和蒸发浓缩,土壤盐渍化严重,土壤多属氯盐渍土。地下水矿化度也高于非盐渍化地区几倍到几十倍。取水样分析结果,地下水水质类型多属 $Cl^- - Na^+ \cdot Mg^{2+}$ 型水,矿化度一般 81.7—84.1 克/升,pH 值 7.1—7.4,无侵蚀性 CO_2 。

为进一步对不同深度的水质进行评价,我们在不同的深度取水样进行分析,(表 6)。

表 6 不同程度水样分析结果

取水深度为	SO ₄ ²⁻ (mg/L)		Mg ²⁺ (mg/L)		Ca ²⁺ (mg/L)	
	最大值	最小值	最大值	最小值	最大值	最小值
5—6	13900	5483	8110	3663	921	518
8—9	11732	7524	7264	4300	1032	460
11—12	12625	5994	7546	2974	1186	567
14—15	12752	6759	8215	4571	1083	749
17—18	12652	5483	7586	2865	1238	516

从表 6 可以看出:地下水中 SO₄²⁻ 和 Ca²⁺、Mg²⁺ 离子含量总的趋势是随深度增加而递增,其中 SO₄²⁻ 和 Mg²⁺ 离子含量变化较为一致(图 4),该区 SO₄²⁻ 离子含量为 5483—13900/L,按《工业与民用建筑工程勘察规范》TJ—21—77 环境水对混凝土侵蚀性判定方法及标准,本区环境地质条件为滨海盐渍土,土层是弱透水性,地下水 pH 值均 > 6.5,故可判定为结晶强侵蚀水。

六、结束语

1. 滨海盐渍土(多属氯盐渍土)是一种具有中等压缩性,而又无明显压密特征的沉积土,当受水浸润后土的压缩模量 E 和承载力 R 明显下降。一般为浸水前的 0.6 倍,故具有湿陷性。

2. 根据荷载试验所得 P—S 曲线,一般无明显直线段,比例界线荷载不易确定,建议采用 P— $\frac{S}{P}$ 曲线确定比例界线值为宜。

3. 滨海盐渍土浸水后易溶盐晶粒随水溶滤下移,土中易溶盐骨架受到破坏,孔隙比相应增大,是导致土承载力下降的重要因素。如施建筑工程应加强防渗措施,以免建筑物造成不均匀沉降。

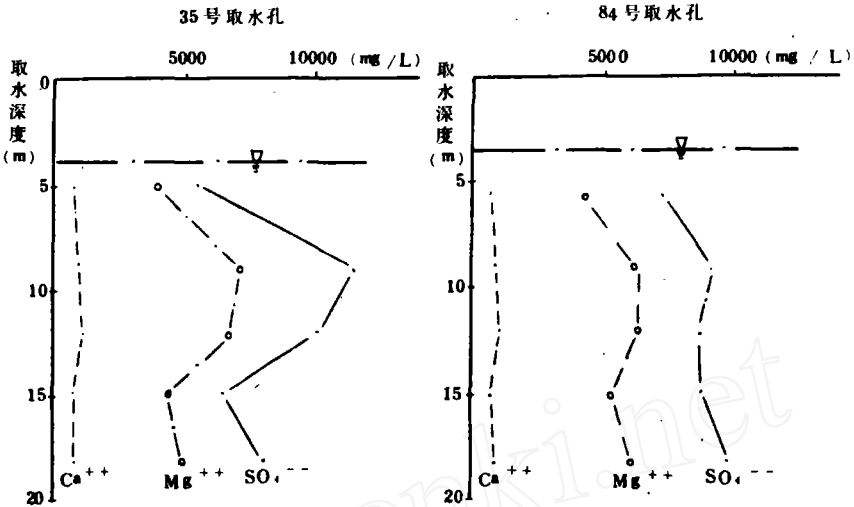


图4 地下水中阴阳离子含量随深度变化关系

4. 滨海盐渍土地区,地下水矿化度高,特别是水中硫酸根离子含量常大于3000毫克/升,具强结晶侵蚀性,除采用高抗硫酸盐水泥外,应研究特殊的防腐措施。

5. 本区基本地震烈度为6度,按《工业与民用建筑抗震设计规范》(TJ11-78)规定,砂土振动液化可不进行判别。

6. 笔者认为本区盐渍土浸水后承载力[R]降低的倍数(经验系数),仅适用本地区,其他盐渍土地区也可采用载荷试验确定,这样较为符合实际。

ENGINEERING GEOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE COASTAL SALT LICK SOIL IN MIHE DELTA, LAIZHOU BAY, SHANDONG

Zheng Guangqi

(The General Station of Environmental Hydrogeology, Shandong)

Abstract

The coastal salt lick soil in Mihe Delta, Laizhou Bay, belongs to loose sediments of recent age and was formed as a result of seawater ingress, evaporation and concentration. With reference to its physico-mechanical property indexes, load tests and soaking load tests at natural temperatures indicate that the salt lick soil has medium compressibility and wet depressibility.

The soil's compressibility modulus E_s and bearing capacity $[R]$ were decreased noticeably after it is soaked by water, generally to 0.6 as compared to that before.

The content of sulfuric acid radical in the groundwater in the salt lick area usually exceeds 3000 mg/l. Thus, the water possesses strong crystallization corrodibility, against which special an-ticorrosive measures should be taken.