

黄河三角洲地区软土的初步研究

尹明泉 韩淑萍

(山东省地质矿产局第二水文地质工程地质大队)

提要 黄河三角洲地区是正在加紧开发的经济区,大中型建筑日益增多,而软土在该区广泛分布,厚度较大,易发生不良工程地质问题。本文就黄河三角洲地区软土的成因、厚度、埋藏条件、分布规律及发育过程进行了初步研究,总结了该区软土的物理力学特性及若干物理力学指标的经验关系,并对其主要工程地质问题及措施提出了建议。

一、概 述

黄河三角洲地区位于鲁北平原的东端,北、东濒临渤海,南至小清河,西以博兴—滨州公路和徒骇河一线为界。该区在大地构造上属华北拗陷区内的济阳凹陷和埕宁隆起,

是中、新生代以来的下降沉积区,基岩在数百米以下,上部为松散土层。该区表层及浅部岩性主要为全新统滨海海积冲积及1855年后近代黄河三角洲冲积海积物¹⁾。表层三角洲相沉积层,厚度一般小于15m,岩性分布受黄河河道控制,在河漫滩、故河道带及决口扇顶,岩性主要为土黄色的砂性土,呈条带状、肩形分布;在主流道、故河道带间的低洼地带,为静水或缓慢流水沉积,岩性主要为土黄色、棕红色的粘性土;在主流道、故河道的两翼地带,岩性主要为砂性土和粘性土互层。三角洲相沉积层之下为浅海及过渡相沉积物,厚度小于30m,从东北向西南逐渐变薄直至尖灭(见图1),岩性主要为含有淤泥质或夹有薄层纸状淤泥的浅灰、深

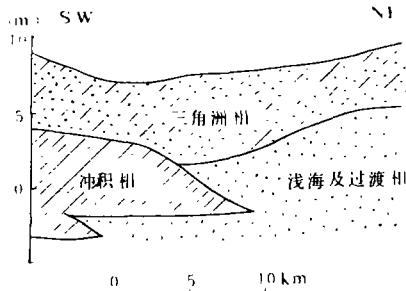


图1 黄河三角洲沉积相结构示意图
(据山东地矿局二水资料)

本文1991年10月收到,1993年4月收回。

¹⁾ 据曹有易等,山东省黄河三角洲工程地质水文地质综合勘察报告。

灰色的砂性土和灰褐色、灰黑色含淤泥质的粘性土,含有孔虫、海相介形虫及软体动物化石。

根据黄河三角洲 1:10 万综合工程地质水文地质调查中原状测试的 231 个粘性土样品的物理力学指标的统计,不论浅海相、过渡相粘性土,还是三角洲相粘性土,大部分为松软、饱和、呈软塑到流塑状态,其具高压缩性和低承载力,表现出软土特性。

软土多在我国沿海地区分布,内陆分布较少。国内对软土的成因、分布、物理力学特性有过不同程度的研究,其中长江三角洲、福建沿海、贵州六盘水等地研究程度较高,黄河三角洲研究程度较高,尽管有关单位以往曾对黄河三角洲地区个别建筑场地基础做过工作,但对该区软土的物理力学特性及其工程地质问题等未进行过系统研究。随着黄河三角洲地区的大举开发,大中型建筑日增,对在该区分布广泛、厚度较大、直接影响工程建筑物稳定性软土的研究显得尤其重要了。

二、软土的沉积特征及分布

软土是在静水或缓慢流水环境中沉积而成的天然的含水量大、压缩性高、承载力低、呈软塑到流塑状态的饱和粘性土。

黄河三角洲地区的软土主要为新近沉积粘土、粉质粘土以及淤泥和含淤泥质的粉质粘土及粉土。其归属第四系全新统的刁口组(Q_4d)和五号桩组(Q_4w)。刁口组为晚全新世晚期或近期上三角洲平原陆相沉积物,岩性为土黄色粉砂、粉土或夹有棕红色粉质粘土的土黄色粉砂、粉土,软土分布较少,矿物组分轻矿物含量大于 90%,重矿物含量小于 10%;轻矿物以长石、石英、碳酸盐矿物为主,含量比大体为 4:5:1;重矿物以云母含量最多,与磁铁矿、赤铁矿和其他重矿物含量比大体为 9:1。五号桩组为早全新世晚期至晚全新世浅海及过渡相沉积物,岩性为灰褐色含淤泥质粘土、粉质粘土和含淤泥质的浅灰、深灰色的粉砂、粉土,软土分布较广,厚度较大,矿物组分中的云母、黄铁矿与磁铁矿、赤铁矿及其他重矿物含量比大体为 9:9:2。

本区软土按成因可分为陆相(三角洲相)、浅海及过渡相(滨海、泻湖、溺谷)沉积。黄河三角洲地区各期河道形成河成高地,地表波状起伏,河成高地之间为河间洼地、背河槽洼地及故河道洼地,地势低平,地下水、地表水排泄不畅,局部地区积水呈宽浅的潮湿洼地,沉积间断时间较长,为现代低能还原环境,沉积了水平层理发育良好的软弱粘性土(棕红色粘土和粉质粘土)。在软土层之上,由于黄河泛滥沉积了砂性土或由各种营力作用形成了硬壳层。三角洲相软土的分布与地形地貌、水文地质等条件关系密切,其分布地段在地貌上处于滨海平原区和冲积平原与滨海平原的交接地带及黄河三角洲平原区,为黄河故河道间带的河间洼地、背河槽洼地及故河道洼地和交接洼地等处,这些地段地形低洼平缓,表层多为粉土质,水位埋藏较浅,一般不过 1—1.5m,水流不畅,排泄条件差,喜水植物较发育。受沉积环境限制,三角洲相软土分布较少,仅在博兴、纯化、利津、宁海、河口、永安、东营等地附近呈小条带状分布。剖面上呈透镜状,洼地中间厚度大,向四周厚度渐小至尖灭。软土层厚度小于 5m,顶板埋深大多小于 5m,局部 5—10m,底板埋深小于 10m(见图 2)。

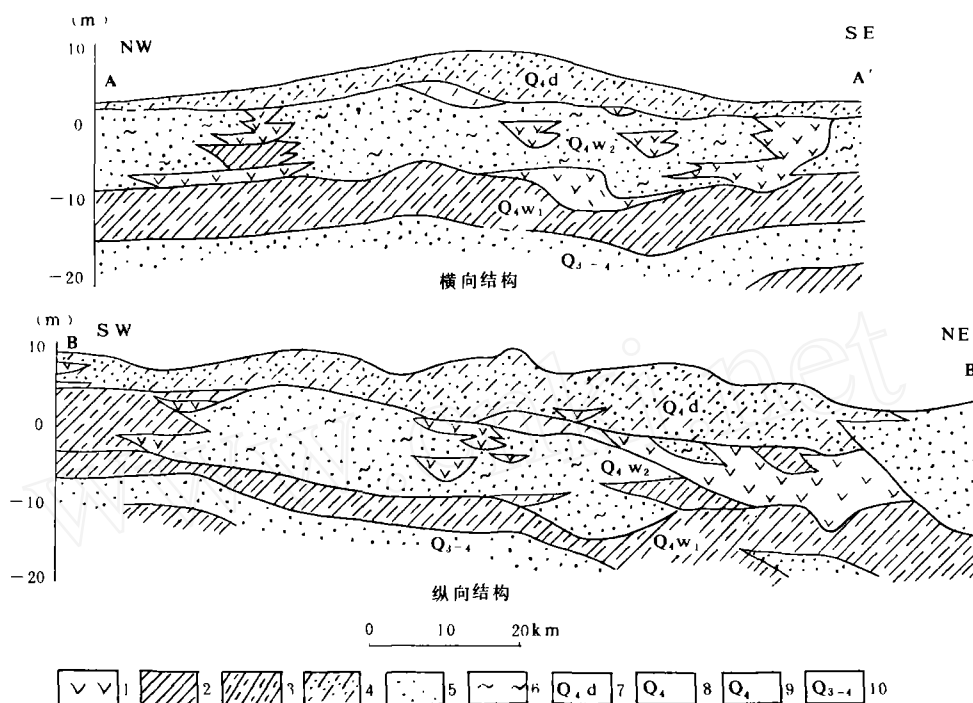


图2 黄河三角洲横、纵向结构剖面图

1. 软土;2. 粘土;3. 粉质粘土;4. 粉土;5. 粉砂土;6. 淤泥质土;7. 第四系全新统刁口组;
8、9. 全新统五号桩组上部及下部;10. 第四系全新统一上更新统

本区浅海及过渡相软土有滨海、泻湖、溺谷等各种沉积,溺谷沉积软土和泻湖沉积软土分别为海进时期和缓慢海退时期缓慢沉积的产物,分布范围较窄,剖面为透镜状,厚度较小。滨海沉积软土,为海进时由海浪岸流及潮汐的水动力作用在近岸的陆缘地区沉积了厚度较大、分布较广的浅灰、深灰色粉砂、粉土,含有淤泥质和贝壳碎片;远离海岸的地区,由于海水较深,沉积速度和能量显著减弱,水中细粒物质呈悬浮状态,在海洋动力作用下,在较大范围均匀分散沉积下来,沉积物为含淤泥质粘性土或淤泥质粘性土(灰褐色粘土、粉质粘土),含有大量海生物,具有向海倾斜的斜层理,土体产状也向海倾斜,叠覆于陆缘海进沉积砂性土之上。滨海相软土的分布受古地形、古海岸线的控制,其分布地段在地貌上处于黄河三角洲和滨海的低地区及平原区,部分决口扇形地、泛流河道及黄河主流带的缓平岗坡区之边缘部位,这些地段为软土形成时的古海岸线以下地带,具有负向地形,有软土形成的环境条件和物质来源。该区滨海相软土是建筑地基主要持力层段,其分布广泛,在富国—义和以西和义和—新安以北的近海地段及利国—东营一线为大面积连续分布(见图3—5),仅个别地区无软土沉积。软土层厚度较大,连续分布,向海倾斜。软土的厚度、顶、底板埋深受沉积时的古地形和海水深度控制,敞海地区软土厚度

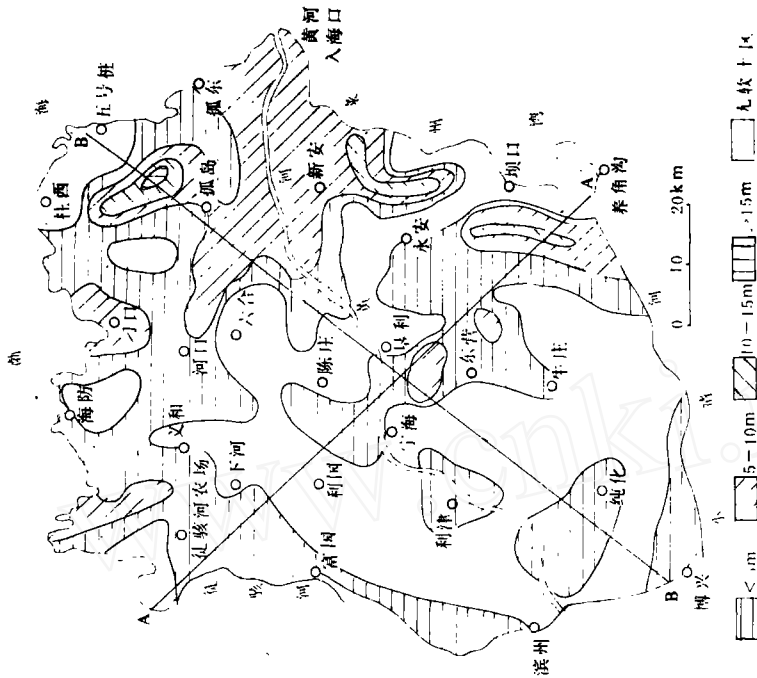


图 3 黄河三角洲地区软土厚度分区图

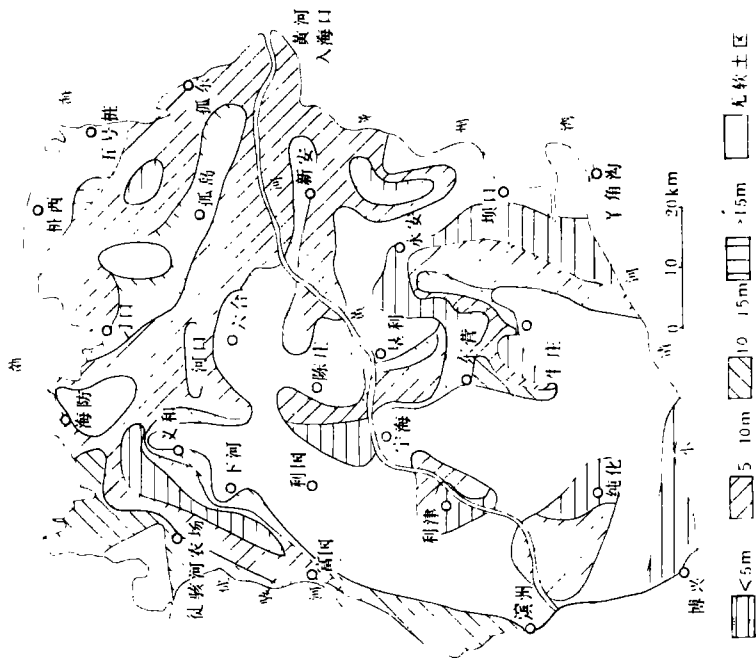


图 4 黄河三角洲地区软土顶板埋深分区图

大,底板埋藏深;在近岸的边缘地带软土层很薄至尖灭,底板埋藏浅;软土层顶板由近岸地带向敞海方向倾伏。厚度小于5m的地区占软土分布总面积的近1/2,河口、孤岛、孤北水库、孤东、新安、广北农场附近软土厚度较大,大部为5—10m,总面积仅次于小于5m区,在孤北水库、新安南、广北农场北等局部地段厚度达10—15m,甚至在15m以上,呈条带状平行海岸分布(见图3);顶板埋深变化较小,大部地区为5—10m或10—15m,仅在齐鄆到新户、孤北水库、新安南、广北农场北、纯化等局部地段小于5m,五号桩西大于15m(见图4);底板埋深受沉积时的古地形控制,大体是1855年海岸线以下地区软土底板埋深大于15m(如新户、刁口、孤岛及新安一线以北、以东地区),1855年海岸线以上地区底板埋深一般10—15m(如徒骇河农场、河口、渤海农场到新安、广北农场等地),或大于15m(如下河、陈庄、渤海农场、六户等地),见图5。

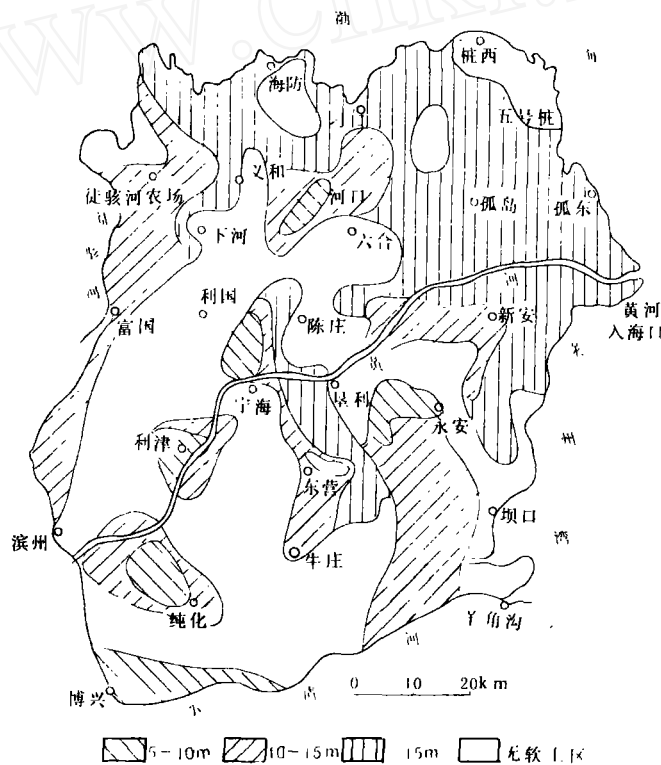


图5 黄河三角洲地区软土底板埋深分区图

三、软土的物理力学特征

黄河三角洲地区的软土(以浅海及过渡相软土为主,占90%以上)主要物理力学特征表现为(见表1):

表 1 软土物理力学指标

指 标	天然 含水量 W%	天然 容重 γ g/cm ³	干 容重 γ_d g/cm ³	比 重 Gs	孔 隙度 n %	孔 隙比 e	饱 和度 Sr %	液 限 W _L %	塑 限 W _P %	塑 性 指 数 I _P	液 性 指 数 I _L	压 缩 系 数 a_{1-2} MPa ⁻¹	压 缩 模 量 E _s MPa	内 摩 擦 角 φ °	内 聚 力 C KPa
代 表 值	30 55	1.70 1.90	1.10 1.40	2.72 2.77	45 60	0.95 1.45	90 105	30 55	15 30	11 23	0.50 1.50	0.3 1.0	2.0 6.0	0 8	5 40
范 围 值	25 70	1.55 2.00	0.95 1.50	2.70 2.79	45 65	0.80 1.80	75 115	25 65	15 35	7 28	0.25 2.00	0.1 1.8	1.0 12.0	0 26	0 65

1. 天然含水量高,天然容重、干容重较小,孔隙比大,颗粒细小,以粘粒为主(占 25—60%),土粒排列紧密度差,呈饱和、过饱和状态;

2. 天然含水量大于或接近液限,呈软塑到流塑状态,为基本不透水的粘土、粉质粘土;

3. 具中至高压缩性,低抗剪强度的力学性质;

4. 承载力低,一般为 60—110KPa,最低只有 45KPa;

5. 在我国塑性图上,该区软土位于 A 线以上, C 线以右,接近 A 线并基本平行 A 线分布,为中塑到高塑性粘土、粉质粘土(见图 6)。

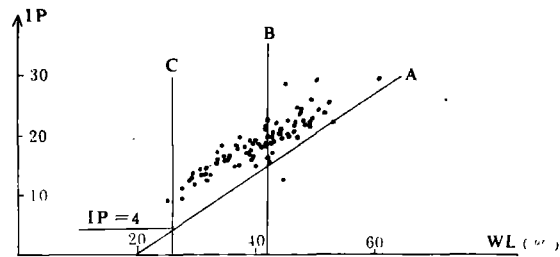


图 6 黄河三角洲软土在我国塑性图上的位置

四、软土物理力学指标的经验关系

通过对区内软土样品物理力学指标的相关分析统计,归纳黄河三角洲地区的软土物理力学指标具有如下相关特性(见表 2):

1. 天然孔隙比 e 与含水量 W 成正比;
2. 天然容重 γ 与含水量 W 成反比;
3. 液限 W_L 与天然孔隙比 e 、含水量 W 、粘粒含量 $d < 0.005$ 均成正比;
4. 塑性指数 I_P 与液限 W_L 、含水量 W 均成正比;
5. 压缩系数 a_{1-2} 与含水量 W 成正比,随天然孔隙比 e 增大而增大;
6. 压缩模量 E_s 随天然孔隙比 e 增大而减小。

表2 软土物理力学指标相关特性

相关指标	样品个数 n	相关系数 r	相关方程式	适用范围	均方差 Sy
W—e	136	0.9549	$e=0.1043+0.0255W$	W=25—70%	0.0551
W—r	138	-0.7899	$Y=2.1326-0.0080W$	W=25—70%	0.0436
e— W_L	93	0.8034	$W_L=7.1978+29.0105e$	e=0.8—1.8	4.1477
W— W_L	95	0.7353	$W_L=11.6692+0.7040W$	W=25—70%	4.6763
$d<0.005$ — W_L	94	0.6687	$W_L=22.9980+0.4044d<0.005$	$d<0.005=30-60\%$	5.1557
W_L — I_p	95	0.8762	$I_p=-4.6720+0.5199W_L$	$W_L=25-65\%$	1.9733
W— I_p	95	0.6777	$I_p=0.5897+0.3850W$	W=25—70%	3.0104
W— a_{1-2}	131	0.8088	$a_{1-2}=-0.5525+0.0295W$	W=25—70%	0.0147
e— a_{1-2}	131	0.7551	$\ln a_{1-2}=-0.7231+1.8674\ln e$ 或 $a_{1-2}=0.4853 \cdot e^{1.8674}$	e=0.8—1.8	0.2471
e— E_s	131	-0.6316	$\ln E_s=1.3805-1.4074\ln e$ 或 $E_s=3.9769 \cdot e^{-1.4074}$	e=0.8—1.8	0.2633

五、软土的主要工程地质问题及工程措施

黄河三角洲地区的软土位处地基持力层段,孔隙比大,结构松软,紧密度差,含水量高,渗透性低;压缩系数 a_{1-2} 高,一般 $0.3-1.8\text{Mpa}^{-1}$,压缩模量 E_s 低,一般 $2.0-6.0\text{MPa}$,75%以上的软土样品 $a_{1-2}>0.5$, $E_s<4.0$,属高压缩性土,其余也为中等压缩性土;内摩擦角 φ 一般小于 8° ,内聚力 C 一般小于 40KPa ,抗剪强度低。

该区软土的物理力学特性决定了其主要工程地质问题:

1. 在荷载作用下,沉降量很大,因排水不畅,致使压缩过程很长,有的地基几年,甚至几十年后仍可能有沉降发生;

2. 因软土层多具向海倾斜的斜层理或呈透镜体状,厚度变化大,易引起建筑物地基不均匀沉降,发生剪切破坏或倾斜挤出。

针对软土地基存在的主要工程地质问题,可考虑适当地基处理方法:

1. 换土垫层法。适用于软土厚度不大,埋藏较浅,易于开挖的地基,将基础下持力层范围内的软土挖出,代之以夯实的人工垫层,但不宜用砂垫层处理,以免引起地基液化问题;

2. 桩基法。适用于软土埋藏不太深,而软土层下部为较厚的密实土层的地基,使建筑物的荷载通过桩尖传递到密实土层上;

3. 电动双液硅化法。电渗排水和硅化加固相结合,在电渗作用下,孔隙水由阳极流向阴极,溶液随之流入土的孔隙中,产生高强度硅胶;

4. 堆载预压法。建筑物施工前,在地基中打入砂井,用堆土或其他荷重对地基进行预

压,使地基土加密,提高土的强度,但要注意加荷总量和速度都不易过大,以免地基失稳。

六、结 论

1. 黄河三角洲地区的软土分陆相(三角洲相)和浅海及过渡相(滨海、溺谷、泻湖相)沉积两大类。三角洲相软土,分布范围较小,埋藏较浅,厚度较小;浅海及过渡相软土,分布范围较广,埋藏较深,厚度较大,具向海倾斜的斜层理。土体整体产状向海倾斜。

2. 黄河三角洲地区的软土含水量高,孔隙比大,天然含水量大于或接近液限,呈软塑到流塑状态,具中至高压缩性,低抗剪强度和低承载力。

3. 黄河三角洲地区软土的主要工程地质问题是:地基沉降量很大,压缩过程很长,且沉降不均匀,易发生地基的剪切破坏和倾斜挤出。适于本区软土地基处理的方法有:对浅埋软土适用换土垫层法和桩基法,对较深埋的软土适用电动双液硅化法和堆载预压法。

本文经刘克、张天祯高级工程师,安梦岭、童凤春工程师审阅并提出宝贵修改意见;杨宝林、何孝民对相关统计计算给予指导和帮助,笔者谨致谢意。

参 考 文 献

- [1] 机械工业部,1982,工程地质手册,中国建筑工业出版社。
- [2] 成国栋等,1987,黄河三角洲地区晚更新世晚期及全新世地层。海洋地质与第四纪地质,第七卷增刊。
- [3] 孙白云,1987,现代黄河三角洲沉积物矿物组份特征。海洋地质与第四纪地质,第七卷增刊。

PRELIMINARY STUDY ON THE SOFT SOIL IN THE YELLOW RIVER DELTA

Yin Mingquan and Han Shuping

(The Second Hydrogeological and Engineering—geological Brigade,
Shandong Bureau of Geology and Mineral Resources)

Abstract

The Yellow River Delta is an economic zone under rapid development where the constructions with large and intermediate size are increasing. Because of the widespread of soft soil with considerable thickness in the area some worse engineering—geological are likely to occur. This paper presents a preliminary study on the origin, thickness, burial conditions, development process and distribution of the soft soil in the Yellow River Delta. Meanwhile a summary is made on the physico—mechanical characteristics of the soft soil and on the empirical relations of some physico—mechanical indices and suggestions and measures for solving engineering—geological problems are proposed.