

贝壳地基工程特性研究及工程设计

柴寿喜 席燕林

(水电部天津勘测设计院)

摘 要: 贝壳层作为一种海进、海退运动的产物,在我国沿海地区形成了一种特殊的地质体。

贝壳层的工程特性如何,是否可作为建筑物的地基,目前还未进行过研究。本文结合具体工程设计,经大量室内及现场试验研究,初步揭示了贝壳层的工程特性。工程设计计算与建筑物变形实测结果基本吻合。为我国沿海地区贝壳地基的处理与利用提供了一个可靠的工程实例。

关键词: 特殊地基。

中国图书分类号: TV471

在渤海湾西岸的天津地区,由于特殊的海滩地貌条件,在历史上多次海进、海退过程中形成了多道贝壳层,现保存完好的就有四道,本文所涉及的为四道贝壳层中的第二道。该贝壳层大体与现代海岸线平行展布,总长约80余公里,一般厚为2.5~6米,宽约200~350米。近年来,天津城市迅速向沿海地区扩展,贝壳地基的处理与利用将是大量工程设计要面临的问题。因此,研究贝壳地基的工程特性具有广泛的意义。

本文采用砂性土的测试方法,对贝壳层的物理力学性能进行了试验研究。还通过现场中型动力触探测试和大型振动碾压试验,对贝壳层的结构特性及工程处理效果进行了分析,获得了大量的试验资料。据此,本文将贝壳层综合评价为松散的粗砂~细砾。并成功地采用振动碾压法对贝壳地基进行处理后作为建筑物地基。

1 贝壳层的形成与分布

据有关资料记载,渤海湾西岸在近代地质历史上,曾发生过五次规模较大的海进、海退运动。由于渤海湾西岸特殊的海滩地貌和海生物(贝类)富集的条件,海退过程中,在海浪及岸流的堆积作用下,形成了一种特殊的地质体——贝壳层。从地貌地质观点看,贝壳层实际上是历次海退过程中,保存下来的古海岸线遗迹。

据调查,现天津东部沿海地区贝壳展布规模较大,保存完好者有四道(亦称贝壳堤)。平面分布为海边自陆地排列见图1。本文所论述的第二道贝壳层,在工程区范围内宽350米,厚2.7米。据碳同位素测定,大约形成于距今1500~2500年前。其层位稳定,位于薄层耕植土层下,组成物质主要为毛蚶等海生贝类。层内贝壳大致呈迭瓦状,凹凸相向沉积,层次清晰,粗细相间,可见断续分布的水平层理。上部50厘米,贝壳较完整,粗大,结构松散;下部多呈碎片、碎屑状,粒径较小,结构稍密实。

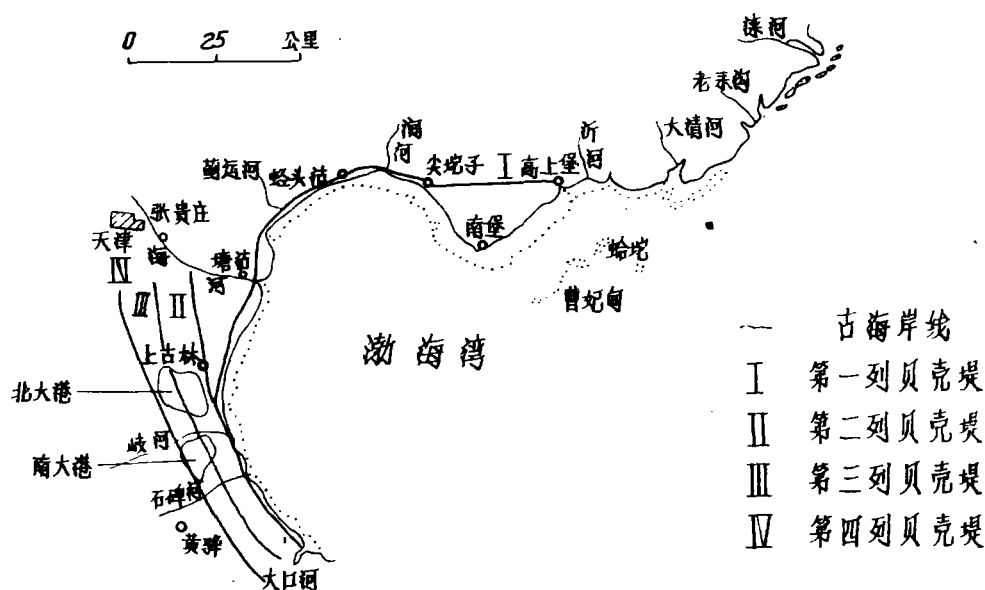


图1 渤海湾西部海岸范围与贝壳堤分布略图

2 地质概况

工程区位于天津大港, 东临渤海湾, 属海陆交替地貌, 区内地势平坦, 地面高程 2.8 米左右。

在 20 米勘探深度范围内, 除表层耕植土外, 均为第四系松散堆积物 (Q_4), 按沉积环境可划分为第一海相层 (Π_1 、 Π_2 、 Π_3) 第二陆相层 (III)。各土层特征描述如下:

I 耕植土: 为棕黄色亚粘土, 含植物根系, 结构松散, 厚 0.4 米。

Π_1 贝壳层: 以毛蚶, 白蛤, 笋螺, 扇贝等海生贝类为主, 含少量淤泥质粘土及粉细砂。结构松散, 局部具轻微钙质胶结。厚 2.7 米, 顶、底面分布高程为 2.4 米及 -0.3 米。该层为建筑物基础主要持力层。

Π_2 淤泥质粘土: 黑灰、黄灰色、呈流塑, 软塑状、土质不均一, 夹粉砂及轻亚粘土团块。天然含水量 $W = 36 \sim 45\%$, 标贯击数 $N_{63.5} = 1 \sim 1.5$ 击, 顶、底面分布高程为 -0.3 米及 -4.5 米。

Π_3 粘土: 灰黄色, 软塑状, 夹粉砂薄层。天然含水量 $W = 33 \sim 37\%$, 标贯击数 $N_{63.5} = 2.4 \sim 4.0$ 击。顶、底面分布高程为 -4.5 米及 -14.2 米。

III 轻亚粘土、亚粘土: 灰黄、棕黄色, 可塑状, 下部含钙质结核及贝壳碎片。天然含水量 $W = 20\%$ 左右, 标贯击数 $N_{63.5} = 6.5 \sim 10$ 击, 揭露厚度 4.0 米。

地下水为第四系潜水, 主要赋存于贝壳层轻亚粘土及粉砂透镜体中。地下水位高程 1.6 米, 属 Cl^- 、 Na^+ 、 K^+ 、 Mg^{++} 型水, 对砼有中等侵蚀性。

3 贝壳层物理、力学特性测试成果

关于贝壳层的试验研究方法,目前尚无专门性的技术规程和要求可供执行。为判断其物理力学性质,系参照有关土工试验规程和砂性土野外测试方法进行。

3.1 室内试验

根据室内七组原状样(试坑中采取)分析试验,贝壳层的基本物理性质指标如表 1。

贝壳层物理性质试验成果

表 1

试验组数	取样深度(米)	数 值	天 然 含水量 W (%)	天 然 容 重 γ 10^4N/m^3	干容重 γ_d 10^4N/m^3	孔隙比 e	饱和度 Sr (%)	比 重 G	相对密度 Dr
7	1.0~1.3	最大值	10.8	1.49	1.39	1.81	24.2	2.84	0.33
		最小值	0.43	1.01	1.01	1.04	0.67	2.83	0.11
		平均值	6.1	1.30	1.23	1.32	13.9	2.83	0.25

从表一可以看出,贝壳层具有含水量低,孔隙比大,比重大的物理特征,其物理性质既不同于粘性土,也不同于砂砾石,而是介于两者之间的一种特殊的地质体。

3.2 中型动力触探测试

为探查贝壳层在天然状态下的主要力学特征,在勘察区内进行了 60 个孔的原位中型动力触探测试,探孔呈网格状布置,触探深度 3.2 米。试验成果如图 2。

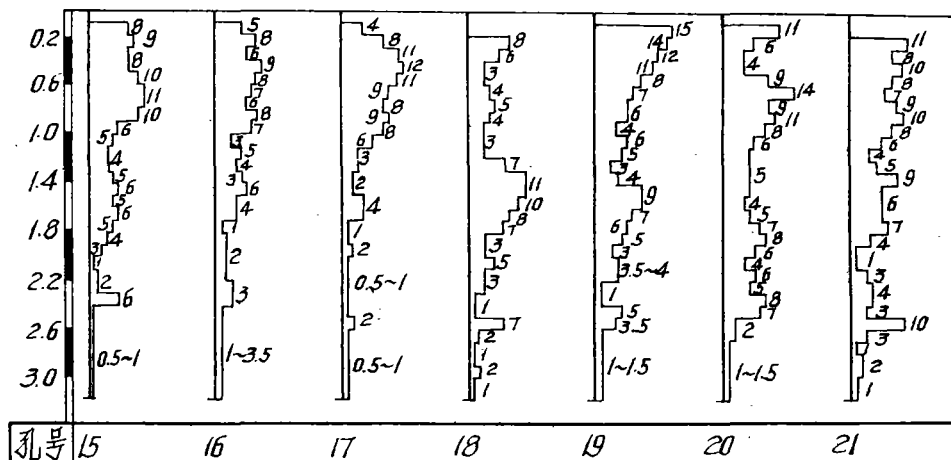


图 2 中型动力触探试验成果曲线

注:孔深 3.2 米,顶部 0.4 米为耕植土,底部 0.2 米为淤泥质粘土。击数为实测击数,未经修正。

从图 2 可以看出,贝壳层上部由于贝壳粗大、强度较高, N_{28} 一般为 8~10,而其下部由于贝壳呈碎片、碎屑状,颗粒细小,强度较低, N_{28} 一般为 3~5。但总体看,贝壳层的强度明显高于其下部的淤泥质粘土 (N_{28} 仅 0.5~1.0)。

应该指出, 在贝壳层中进行触探测试是将其视作结构松散的碎石土应用的。虽然不尽符合有关规程要求, 但亦可相对说明贝壳层的力学特征。

3.3 振动碾压试验

为了进一步论证贝壳层的工程特征, 在建筑物基坑范围内进行了现场振动碾压试验, 碾压试验是在挖除上复耕植土后, 直接在贝壳层上进行的。

碾压试验采用 10 吨振动碾压机, 分别 4、6、8、10 次碾压, 同时用灌砂法于现场测定容重, 然后以最大干容重进行相对密度测定及直剪、压缩试验。

3.3.1 碾压次数的选择

试验在基坑中进行, 使用 YZL10 铰接式振动碾。其自重 10 吨, 振动力 200kN, 振动频率 1920 次/分。在自然含水量 R 条件下, 进行碾压 4、6、8、10 遍现场干容重测试, 每 200 m^2 取样一个, 取样深 0.5~0.8 米, 试验成果如表 2。

贝壳层碾压试验成果

表 2

碾 压 遍 数		4	6	8	10
碾 压 后 干 容 重 $rd(10^4\text{N}/\text{m}^3)$	最 大 值	1.49	1.71	1.56	1.43
	最 小 值	1.25	1.41	1.24	1.32
	平 均 值	1.40	1.55	1.43	1.39
较天然状态下干容重 rd 平均提高(%)		14	26	16	13

现场碾压试验成果及其与天然状态下干容重相比提高率如表 3。

贝壳层颗粒组成对比

表 3

组 粒	>20 mm	20-10 mm	10-2 mm	2-0.5 mm	0.5-0.25 mm	0.25-0.1 mm	0.1-0.05 mm
碾压前 (%)	3.2	16.9	38.1	15.4	10.6	14.7	1.1
碾压后 (%)	2.8	16.4	31.0	20.3	11.4	17.0	1.1

注: 表列为 1#楼基坑 6 组取样试验成果。

从试验成果分析可知, 当碾压 4 遍和 6 遍后干容重增长较快, 碾压 8 遍后干容重增长不明显, 而当碾压 10 遍后干容重几乎没有提高, 甚至出现回落现象, 综合考虑碾压效果后, 确定碾压 6 遍为大面积碾压次数, 经现场测试表明, 表层 0.5~0.8 米范围内平均干容重可达 $15.5\text{kN}/\text{m}^3$ 。已达中~密实状态, 具备砂垫层的性能。

3.3.2 碾压前后的颗粒结构对比

贝壳层碾压前后(以碾压 6 遍为例)的颗粒组成对比列于表 3。

由表 3 可知碾压前后贝壳层颗粒组成变化不大, 振动碾压主要是改变贝壳层的颗粒排列, 使其结构密实。据现场确定, 碾压前其相对密度为 0.11~0.33, 平均为 0.25, 碾压(6 遍)后相对密度为 0.54~0.92, 平均为 0.69, 平均提高 176%。参照砂土密实度分类属

中—密实。

此外, 据现场观察, 振动碾压影响深度可达 1.0~1.5 米, 而上部 10 厘米振动碾压效果尤为明显。

3.3.3 碾压后的剪切、压缩试验

由于原状取样困难, 剪切和压缩试验均以扰动试样进行。试样以碾压 6 遍后采取, 过 5 毫米筛, 操作方法参照土工试验规程。

为了较好地分析贝壳层的抗剪和压缩特性, 每组试样分别以两种密度 (以干容重控制) 制备。剪切试验采用应变式直剪仪, 饱和固结, 垂直荷重分别为 0.1、0.2、0.3、0.4MPa² 四级施加。压缩试验采用 QGy—12 气压式固结仪, 浸水饱和, 垂直荷重分别为 0.05、0.1、0.2、0.3、0.4MPa² 五级施加。试验成果列于表 4

压 缩 、 剪 切 试 验 成 果

表 4

干 容 重 (g/cm ³)	数 值	压 缩 试 验 压 缩 系 数 a (MPa)	剪 切 试 验 (饱 固 快)	
			凝 聚 力 C (KPa)	摩 擦 角 ϕ (度)
1.14~1.22	最大值	0.66	0	49
	最小值	0.35	0	32
	平均值	0.5	0	33.5
1.73~1.85	最大值	0.15	0	49
	最小值	0.05	0	39.5
	平均值	0.09	0	43

注: 表列为 1[#]楼基坑 6 组试样试验成果。

上述试验表明, 当干容重为 11.4~12.2KN/m³ 时, 贝壳层的压缩系数 n_{1-2} 平均值为 0.5MPa⁻¹, 属高压缩性, 其摩擦角平均值为 33.5°, 相当于一般砂性土。当干容重为 17.3~18.5KN/m³ 时, 贝壳层的压缩系数 a^{4-2} 平均值为 0.09MPa⁻¹, 属中—低压缩性, 其摩擦角平均值 43°, 相当于中—粗砂, 可见, 贝壳经过适当的碾压处理 (6 遍) 可获得较好的力学强度。

综上所述, 贝壳层在天然状态下, 是一种低容重、高压缩性、结构松散的特殊的地质体, 但其整体强度仍较淤泥质亚粘土为高, 经过振动碾压处理其物理状态和力学性质都有明显的改善。

4 基础处理设计

本工程为 1.5 万米² 四层住宅, 建筑物长高比大于 4。由计算知, 如将贝壳层直接作为建筑物地基, 其承载力能满足设计要求, 但建筑物的永久沉降很大, 最大可达 40cm。其中仅贝壳层的变形量就达到 16cm 左右, 达到总沉降的 2/5。不能满足设计要求。根据沿海工程建设经验, 如不对地基进行处理, 必将由过大的变形危及建筑物的安全。

由此可知, 该工程基础处理的主要问题是减少基础沉降, 而不是提高承载力。在设计中比较了砼预制桩基础, 换土垫层处理, 砂井预压处理, 分层碾压处理及表层一次性振动碾压与适当增加上部结构刚度相结合的处理方法。经过进行技术经济比较, 最终选定最后一个方案。

根据贝壳层的特殊分析, 采用振动碾压可以达到以下目的: a、由振动产生振陷直接消减永久沉降。b、经振动加密增加压缩模量减少压缩变形。c、振动密实后起应力扩散作用, 减少下卧层的附加应力, 达到减少总变形量的目的。当综合考虑处理效果, 可认为总沉降量明显减少, 不满足设计要求的剩余部分可考虑增加建筑物自身抗变形能力来予以克服。

从现场碾压试验可知, 采用表层碾压, 碾压次数为 6 遍效果最佳, 现场测试直接振陷为 7~9cm, 消减贝壳层的永久沉降近 50%。

4.1 处理设计

根据试验成果分析。采用的具体做法是: 每栋楼基础一次性处理, 首先去除表层 0.5 米松散完整贝壳, 然后进行大面积振动碾压。振动碾压影响深度考虑 1.5 米, 有效密实按 0.8~1.0 米计。表面回填 0.5 米石屑压实取代挖去的贝壳层。设计计算中考虑 1.5 米垫层的应力扩散作用, 应力扩散角按 33° 取用, 这样由垫层作用可直接减小下卧层附加应力 15%。贝壳层的变形计算采用击实后的压缩模量, 并考虑平均 8cm 的直接振陷。经计算表明建筑物的永久沉降仅为 29cm。但仍未满足规范要求。如要进一步进行基础处理, 工程费用将大大增加。为保证建筑物的安全运行, 经研究, 采用增加上部结构刚度的办法来增加抗变形能力, 具体做法是适当增加构造柱, 层层设置圈梁。为确保建筑物的使用效果, 在确定建筑物的建基面高程时予留 30cm 沉降, 这样不仅施工简单, 工期短, 而且工程处理费用很少。

4.2 运用效果

为检验处理效果, 在施工的不同阶段进行了多次观测, 均未发现有害变形。89 年 10 月该建筑群建成完工, 测得施工期总沉降为 9cm。90 年 3 月测得总沉降为 15cm。不均匀沉降均在设计允许范围内。到目前为止, 建筑物已使用 1.5 年, 一切正常。

从实测情况看, 设计对贝壳层特性的认识是切合实际的。采用的处理方案是合理的。建筑物的实测变形与设计计算基本吻合。据此可断定建筑物最终完成永久沉降不会影响建筑物的安全。

从工程处理费用看, 由于在设计基础处理方案中, 充分考虑了贝壳层碾压密实后对持力层的综合影响, 以及地基处理与建筑物抗变形能力的结合, 从而大大简化了地基处理工作。在近四千平米的基坑处理中, 仅用四个台班的机械施工, 按每台班 600 元的租金费用计算, 直接用于基础处理的费用仅 2400 元。因此取得了较好的经济效益, 同时也大大方便了施工, 得到了建筑单位和施工单位的好评。

5 结 语

5.1 贝壳层是海退过程中在波浪及岸流堆积作用下, 形成的一种特殊的地质体, 实际上它是古海岸线的遗迹。天然状态下, 结构松散, 具有较大的压缩性, 显然不宜做为天然地基直接使用。

5.2 通过钻探、坑探、中型动力触探及试验分析,基本查清了本工程所见贝壳层的分布、组成及其物理力学特征。对贝壳层定性为松散的粗砂~细砾,经工程实践证明是切合实际的。

5.3 本区贝壳层在天然状态下,是一种结构松散的特殊的地质体,显然不宜做为天然地基直接使用,如若挖除,不仅工程量大,而且由于贝壳层地下水富集,易产生不良地质现象。现场碾压试验表明,贝壳层经过适当的碾压处理,可使其结构紧密、降低压缩性、提高强度,不失为本工程可靠的基础持力层。

5.4 我国有着漫长的海岸线,仅天津近百公里的海岸线范围内就有四道贝壳层(堤),随着我国沿海经济的发展,贝壳地基将得到利用,研究贝壳地基的工程特殊性有着广阔的前景。

参 考 文 献

- [1] 侯钊等.天津软土地基.天津科学技术出版社.1987
- [2] 水电部天津设计院.天津大港某厂住宅楼地基贝壳试验报告.水电部天津设计院.1989
- [3] 水电部天津设计院.大港某厂职工住宅楼岩土工程勘察报告.水电部天津设计院.1988
- [4] 水电部天津设计院.大港某厂住宅楼基础处理设计.水电部天津设计院.1989

Study of the Engineering Characteristics & Engineering Design for the Shell Foundation

Cai shou Xi Xi Yan Lin

(Tianjin Investigation and Design Institute MWCHP)

Abstract: As a product of the movement of either the transgression or the regression the shell layer has already formed a special geologic body along the coast China.

Nowadays, none of the engineering characteristics of the shell layer and the application of that as the foundation of structure has been studied. Yet with a personal experience of a practical engineering design and supported by a great number of laboratory and worksite tests and studies, the engineering characteristics of the shell layer has been preliminarily put forward in this paper. Since the engineering design and calculation is roughly in conformance with the measured results on the deformation of the structure, this is a reliable engineering example provided for the treatment and utilization of the shell layer foundation along the coastal area in China.

Keywords: Special foundation