

海中公路路堤的设计研究

吴连海^{*}

(铁道部第三勘测设计院)

提要 本文对甜水套子海堤复杂的水文状态、设计高水位、波浪要素进行分析,选定了适宜的横断面型式,通过计算,确定外侧侧栏板等不同形式分段及内侧与外侧不同的坡面防护措施和地基处理加固措施,对公路海中路堤的设计进行了深入探讨。

关键词 公路 海中路堤 设计 研究

1 前言

大连至开发区振兴路(高速)改扩建工程为大连市重点工程项目,甜水套子海中路堤改建段是其中的关键控制工程,全长 1.67 km,投资 4000 多万。1986 年铁三院进行了施工图设计,甲方为节省投资改为沿海岸边绕行的变向三车道路基,经常发生堵车、撞车事故。由于交通流量大,扩建已无余地,必须改建。

2 工程概况

2.1 工点概况

甜水套子海堤改建段,DK3+624~DK5+285 从已成为大连化学工业公司的废渣液排放场中部穿过,堤高 2~9.0 m,现排渣场沿东、北、西岸边泄洪道建有挡渣墙及碎块石挡渣堤。海堤左侧 700 m 处海湾口建有挡渣坝及突堤码头,挡渣坝设计标准为 25 年。1994 年夏遭台风海浪袭击曾溃坝百余米,现已修复。挡渣坝顶高程 4.52 m,设计高水位为大连筑港高程 1.87 m,坝顶设钢筋混凝土防浪墙,内外海侧边坡采用栅栏板防护,坝体填堤心石,并设土工布反滤层,坡脚外设抛石棱体基础及护底石等。排渣场淤渣最终高程 5.87 m。

本段路堤在 DK4+387~+394 处与废盐田的碎块石堤斜交,两端与 1、2 号桥相连,海湾内地势平坦,两岸石灰岩裸露,受海潮影响,高潮时水深 2.5~4.0 m,低潮时水深 0~1.5 m,其中 DK4+400~DK5+285 段海堤位于海湾口山包与北岸边的凹地中部,水浅,部分地表基

^{*} 本文收稿日期: 1997-02-04 吴连海 高级工程师 铁道部第三勘测设计院地路处 天津 邮编: 300142

岩出露。

2.2 地质概况

海湾内地表为海相沉积层,下为冲、洪积层及残积层,下伏石灰岩,自上而下为:

DK3+700~DK5+060段:海底地表为细砂层,标贯 $N_{63.5} = 1 \sim 4$,厚 $1 \sim 4.4$ m,为地震液化层, $e_0 < 100$ kPa

中液限微含粘土砾层,呈透镜体分布,厚 $0 \sim 3.5$ m

淤泥质中液限粘土,分布于 DK3+830~DK4+070 极软,厚 $0 \sim 1.7$ m

高液限粘土,厚 $0 \sim 9.5$ m,分布于中液限微含粘土砾层下。

石灰岩,岩质坚硬,中厚层状,溶洞沟槽发育,充填粘土夹碎石。

在 DK4+125+755有两断层,为海底第四系地层覆盖,对路基无影响

地震基本烈度为七度

2.3 海湾水文

潮汐:为规则半日潮型,涨潮延时 6 h 04 min,退潮延时 6 h 46 min,百年周期高潮位 2.80 m,低潮位 - 3.30 m

根据专家咨询纪要,按挡渣坝中溃毁 200 m 计算湾内水文状态,设计高水位 1.87 m

波浪高采用 50年重现期,波列累积频率 13% 的波浪高 $H_{13\%}$ 并计算波浪爬高。

右侧: DK3+624~DK4+030 $H_{13\%} = 1.60$ m

DK4+030~DK4+390 $H_{13\%} = 1.66$ m

DK4+390~DK5+285 $H_{13\%} = 1.14$ m

左侧:波浪高 0.67 m

2.4 气候

温带海洋季风区,气候湿润,雨量集中,最大冻结深度 0.93 m

3 海堤的设计与研究

3.1 设计高水位的选定

我国的《海港水文规范》采用高潮累积频率 10% 和低潮累积频率 90% 的水位作为设计高水位,《公路路基设计规范》规定以百年一遇的水位作为设计水位。本段海湾百年周期设计高潮位 2.8 m,1986年经甲方及港工水文专家研究确定采用设计高水位 1.68 m。大连市港口工程及挡渣坝采用的是筑港高程 4.0 m,换算黄海高程为 1.87 m。而该路的另一段海堤是电厂排灰场与公路路坝合一的红土堆子海堤,采用的是 1.68 m 设计高水位,已运营 10年,本次仅作加宽扩建。综合考虑以上因素,经专家咨询,决定采用 1.87 m 为设计高水位。这突破了公路设计规范标准,但与本段海堤所处的地理位置、地形及本段公路的统一标准相适应,是适宜的。

3.2 设计波浪高及波浪爬高的分析

3.2.1 设计波浪高的标准,包括波浪重现期和累积频率两个方面。设计波浪的重现期标准主要反映建筑物的使用年限和重要性,波列累积频率标准则主要反映波浪对建筑的不同作用性质。《港工规范》中规定对斜坡堤 I、II 级建筑采用五十年一遇作为设计波浪的重现期,对斜坡堤护面块体的稳定性检算采用波列累积频率为 $F = 13\%$ 。而《公路路基设计规范》则没有相应的规定。

因为排渣场设计淤满周期为 25 年,故 25 年后坝内海面已不存在。根据概率计算理论,重现期 T_k 年的浪高在 n 年内出现的概率为:

$$E = 1 - (1 - 1/T_k)^n$$

计算在 25 年内出现 $T_k = 25$ 年的波高概率: $E = 63.9\%$, 出现 $T_k = 50$ 年的波高概率 $E = 37.9\%$, 出现 $T_k = 100$ 年的波高概率: $E = 22.2\%$ 。可见选择 $T_k = 50$ 年是适宜的。

因为有挡渣坝的存在,设计波高与坝外海面波高不同,如何考虑这个因素是十分复杂的问题。我们在勘测中按不考虑坝体存在(即原来的状况),考虑大坝不破坏、考虑中间溃坝 200 m 全部溃坝但坝体跟部仍起阻浪、消浪作用四种不同状态,按主导风向、次主导风向的变化分别计算坝内海浪高度。因坝已修建而且曾溃坝,故第一、二状态不适用,挡渣坝防护结构比较牢固,在强大台风海浪冲击下,也不致于全部溃坝,即使溃坝也仅是局部的地段,易于修复,故我们认为采用中间溃坝 200 m 长作为计算依据是适宜的,并得到甲方及港工水文专家首肯。

因此确定,对于海堤右侧,按外海面 50 年一遇波列累积频率 13% 的波浪高 $H = 4.0$ m,在正对大坝的主导和次主导风向作用下经溃坝缺口,按双突堤绕射而计算坝内浪高,并作为计算波浪在海堤右侧坡面的爬高和防护工程设计的依据。

海堤左侧水面宽度 1 km,浪程小,水浅,按一般内陆水域,在正对路堤坡面主导风向作用下计算波浪高和爬高。

3.2.2 波浪爬高的计算

按港工规范,在斜坡堤坡面上规则波的爬高计算式为:

$$R^U = K_\Delta \times K_d \times R_o \times H \times \cos U \quad (1)$$

式中: K_Δ ——坡面结构的粗糙系数,根据所选用的防护构件及型式选用;

K_d ——水深校正系数;

H ——波浪高(m);

R_o —— $K_\Delta = 1, H = 1$ m 时的波浪爬高值,与坡面坡率 m 有关;

U ——波峰线与路堤轴线的夹角。

按栅栏板、安放块石、干砌块石、干砌片石防护计算右侧波浪爬高为 2.4~2.68 m;左侧按干砌片石防护,波浪爬高为 1.35 m。

3.2.3 路基设计高程的确定

按《公路路基设计规范》及《港工规范》中的规定,并考虑排渣场淤渣高程确定防护高程 $H_{防} = \text{设计高水位} + \text{重现期 50 年,波列累积频率 13\% 的波浪爬高} + 0.5$ m 安全高度。经计算,左侧: 3.22 m,右侧: 4.32~5.05 m,并以此控制最小路肩设计高程为 6.62 m 纵坡面按平坡。

路基面按人字坡两面排水设计。

3.3 横断面型式及结构的研究

根据《港工设计规范》和国内外海堤的设计经验,初步选择直墙式和斜坡堤式路堤进行比较。由于基岩中岩溶发育,地基又有液化层和软弱层,直立堤墙前波浪作用强烈,路堤断面小,稳定性差,而且施工难度大,投资比斜坡堤高 12%,斜坡堤结构简单,施工方便,整体稳定性好,对地基适应性强,填料来源丰富,即使遭浪破坏,也易于修复。结合原设计断面型式和设计经验,选用斜坡堤结构形式。采用填石、碎石屑混合倒滤层、碎石土、土分部填筑的横断面型式,比较常见。

3.4 坡面防护设计与计算

海堤设计关键是坡面防护设计,关系到路堤边坡稳定和运营安全。根据本段海堤所处的地形、水深、浪高等因素,经分析比较,采取右侧不同措施分段防护。左侧与右侧坡面防护有别的措施,以节省工程投资,并有效保证边坡稳定性。

3.4.1 DK3+624~DK4+400右侧栅栏板防护

此段正对大坝,溃坝后波浪作用最强,必须加强防护。根据国家内外经济资料,波浪高在 1.5m 以上以人工块体防护为宜。常的人工块体有钢筋混凝土栅栏板、工字块、四脚空心块等。栅栏板防浪消能效果好,是比较经济的新型坡面防护构件,本段又具备预制和施工条件,经济技术比较,选用栅栏板防护,比工字块、四脚空心块防护节省投资 8%、10%。

(1)栅栏板稳定厚度 t 的计算确定:

$$t = 0.235 \times \sqrt{V/(V_b - V)} \times (0.61 + 0.13 \times d/H) \times H/m^{0.27} \quad (2)$$

取: $V = 10.3 \text{ kN/m}^3$, $V_b = 25 \text{ kN/m}^3$, $d = 3.87 \text{ m}$ (水深), $H = 1.60 \text{ m}$ (浪高), $m = 1/1.75$ 代入上式计算得: $t = 0.21 \text{ m}$,取 0.30 m (结构要求)。

(2)栅栏板平面取长方形,长边沿斜坡面,短边沿路堤中心轴线方向,长短边长度比 $a = 1.25b$;长边 $a = 1.25H$,短边 $b = 1.0H$,并考虑施工因素及在坡面布置要求和防护高程,取 $a = 3 \text{ m}$, $b = 2.4 \text{ m}$ (其他细部尺寸计算略)。

3.4.2 DK4+400~+500右侧安放块石坡

DK4+500~+800右侧干砌块石护坡

DK4+800~+DK5+285右侧干砌片石护坡

由于以上各段在废盐堤以东,水浅,浪小,坡面防护应逐渐减弱,以节省防护费用。

(1)按大连理工学院公式计算它放块石稳定厚度:

$$t = 0.74 \times \sqrt{V/(V_b - V)} \times \frac{1}{m^2 + 1} \times (m + 0.85) \times H \times (0.476 + 0.157 \times d/H) \quad (3)$$

计算得: $t = 0.52 \text{ m}$,取 $t = 0.6 \text{ m}$

(2)干砌块石、片石护坡厚度按《港工技术手册》式:

$$t = 1.30 \times \sqrt{V/(V_b - V)} \times H \times (K_{bd} + K_b) \times \frac{1}{m^2 + 1} \times 1/m \quad (4)$$

计算得:干砌块石厚 $t = 0.41 \text{ m}$,取 $t = 0.6 \text{ m}$;

干砌片石厚 $t = 0.39 \text{ m}$,取 $t = 0.40 \text{ m}$ 。

(3)块石护坡单块稳定重量计算:

按《港工规范》(2.2.2)式:

$$W = V_b \times K_v \times K_D \times H^3 / m$$

式中 $K_v = V / (V_b - V)$, $K_D = 5.5$, 代入上式计算, 当 $H = 1.14 \text{ m}$ 时, $W = 0.9 \text{ t}$

取: 按放块石、干砌块石单块重量分别为 $100 \sim 200 \text{ kg}$ 块及 $50 \sim 100 \text{ kg}$ 块。

3.4.3 左侧干砌片石护坡

按式 4 计算得 $t = 0.27 \text{ m}$, 取 0.30 m

3.4.4 块石垫层设计

按港工规范, 护坡垫层石块重取为 $50 \sim 100 \text{ kg}$ 块, 厚 0.6 m 取消堤心石, 改为垫层下抛石 ($10 \sim 100 \text{ kg}$ 块), $1 \sim 1.5 \text{ m}$ 厚。

3.4.5 基础设计

根据水深、波浪等综合计算护坡基础 DK3+624~DK4+800 右侧抛石基础, 顶宽 2.0 m , 采用块石重为 $200 \sim 300 \text{ kg}$ 块, 右侧 DK4+800~DK5+000 及左侧护坡基础抛石为 $100 \sim 200 \text{ kg}$ 块, 顶宽 2.0 m 其余地段为勾型干砌片石基础

为避免海底细砂被浪底流掏刷, 栅栏板及安放块石护坡基础处抛填 5 m 宽护底石 ($50 \sim 100 \text{ kg}$ 块), 厚 1.0 m

3.5 地基加固设计

根据滨海地区路堤及建筑地基处理加固设计和施工经验, 结合本段工程条件和地层情况, 对 DK3+700~DK4+900 段地震液化细砂层, 采用填石至 1.0 m 高程后强夯加固措施, 初选参数: 锤重 15 t , $\phi = 2.0 \text{ m}$, 夯点呈梅花型布置, 间距 4.0 m , 落距 12 m , 分三遍跳打法施工, 总击数 $9 \sim 12$ 次, 最后满夯一遍, 每遍间距 $10 \sim 15$ 天 夯后 15 天, 对经砂层标贯检测, 击数不少于 $9 \sim 10$ 击为合格。大面积强夯前进行试夯, 并调整强夯参数。

4 结束语

4.1 目前, 公路滨海路堤的设计规范还未制定, 本段海中路堤的设计与研究, 为今后海堤设计及规范建立积累了素材和经验 目前施工正按设计顺利进行。

4.2 海中路堤勘测设计难度大, 技术条件复杂, 投资大, 风险大, 因此对海堤设计标准和工程措施的选择应慎重, 必要时应作大型水力模型试验验证, 随时解决施工的技术问题, 不断完善设计, 以确保海堤的安全稳定性, 这是海堤勘测设计需考虑的最重要的问题

4.3 海堤施工受风浪影响大, 必须采取措施避免涨落潮及台风狂浪袭击造成的破坏和安全事故。一般也应在路基两侧设置防浪墙或护栏, 以保证运营安全。

4.4 公路海堤对沉降稳定性要求高, 根据国内外路基设计经验, 可在海堤中上部填料中采用土工格栅等新型土工合成材料予以分层加筋, 或分期铺设路面层, 以减少不均匀沉降引起的路面破坏。

参考文献

1. 公路路基设计规范. JT J013- 86
2. 铁路工程设计技术手册. 路基. (修订版)
3. 海港工程设计手册. 中册. 交通部一航院编
4. 港口工程技术规范. 第五篇. 防波堤. JT J218- 87(1987)
5. 海港水文. 防波堤. 规范文集(修订、增订内容)

RESEARCH ON DESIGN OF HIGHWAY'S EMBANKMENT IN THE SEA

Wu Lianhai

Third Survey and Design Institute, Ministry of Railways

Abstract By analyzing the complex hydrologic state, designed high water level and the essential of waves for the sea wall at Tianshuitaozi in Dalian, the suitable types of its cross-section have been selected. By calculations, the following measures are determined: the division of sections with different outside lateral railing plates, etc, the different protection measures for inner and outside slopes, and the subgrade treating and strengthening measures. The design of highway's embankment in the sea has been deeply discussed.

Keywords highway; embankment in the sea; design; research