

管桩在津滨高速改扩建工程中的应用

马文生

(天津市市政工程设计研究院, 天津 300201)

摘要: 依托津滨高速改扩建工程, 计算了管桩复合地基的地基承载力, 重点对太沙基理论公式进行推导验算, 并对太沙基理论公式在管桩复合基础应用中做了修正, 通过对典型单元体的分析, 推导了表征刚性基础下复合地基性状的桩土应力模型, 最后将工程设计方案和本文方法分析的结果进行对比, 二者基本一致, 说明本文方法能较好反映天津地区管桩处理地基的工作性状。进一步补充了管桩在复合地基中的应用, 并对此模型做进一步展望。

关键词: 津滨高速; 太沙基理论公式; 管桩复合地基

中图分类号: TU47 文献标识码: A 文章编号: 1000-4548(2011)S1-0131-04

作者简介: 马文生(1980-), 男, 山西岢岚人, 硕士, 工程师, 主要从事岩土勘察设计的研究。E-mail: mawensheng20609@126.com。

Application of pipe piles to reconstruction project of Tianjin-Tanggu Expressway

MA Wen-sheng

(Tianjin Municipal Engineering Design & Research Institute, Tianjin 300201, China)

Abstract: Based on the reconstruction project of Tianjin-Tanggu Expressway, the subgrade bearing capacity of composite foundation with pipe piles is calculated. The Terzaghi's theory is verified, and the Terzaghi's theoretical formula is modified for application in composite pipe piles. Through the analysis of the typical elements, the stress model of pile-soil under rigid foundation is derived. Finally, it is demonstrated that the results from this solution are in accordance with the design ones of a project. So the proposed method can reflect the working behaviors of foundation treatment of pipes pile in Tianjin area. It supplements the application of composite foundation with pipe piles and prospects for the model.

Key words: Tianjin-Tanggu Expressway; Terzaghi's theoretical formula; composite foundation pipe pile

0 引言

津滨高速公路改扩建工程是天津市较早早在原有高速公路运行的基础上进行扩建的高速公路, 由于扩建工程需要占用道路两边耕地, 这样本着少占用耕地原则, 又要充分利用公路两侧原有反压护道。经分析对比, 选用管桩基础对津滨高速公路两侧反压护道进行地基处理。

1 场地力学参数

本文以津滨高速改扩建工程 K4+140.000~K4+198.307 段为例, 本段选用桩长为 20 m, 桩顶标高 2.80 m 左右, 地面标高 3.10 m, 桩外径 0.4 m, 桩内径 0.28 m, 桩距 2.5 m, 采用梅花形布桩, 路基平均填土高度 5.40m, 本段物理力学指标^[1]如下表 1。

2 规范法对管桩复合基础的承载力的计算

根据《建筑桩基技术规范》(JGJ 94—2008)中 5.3.6 条

$$Q_{uk} = Q_{sk} + \alpha \sum q_{sik} l_i + \eta p_p A \quad (1)$$

式中, 取 $\alpha = \eta = 1$, 以津滨高速公路西河桥靠市区方向 K4+140.000~K4+198.307 段为例, 计算得单桩极限承载力为: $Q_{uk} = 1550$ kN, 得单桩的容许承载力为: $Q_{uk}/2 = 775$ kN, 计算得单位面积复合基础地基承载力为: 240 kPa, 而路基对地基的压力为: $240 > 5.4 \times 22 = 119$ kPa。

3 太沙基理论对老路基承载力计算

根据太沙基从刚性核的静力平衡条件求地基的极限承载力理论^[2]; 如图 1 (b), 假定 AC 和 BC 是刚性核两个滑裂面, 在基底应力 p_0 的作用下, AC 和 BC 面挤压两侧土体至破坏, 这时基底压应力就是极限承

载力 p_u 。根据图 1 (b) 的几何条件, 当 $\bar{\psi} = \phi$ 时, 被 动土压力 E_p 的方向必定是竖直向。 E_p 求得以后, 就

表 1 场地地基土层物理力学性质指标统计

Table 1 Physical and mechanical parameters of soil layers

地基土层	湿密度 $\rho/(\text{g cm}^{-3})$	直剪快剪		固结快剪		管桩侧摩 阻力/kPa	地基土承 载力/kPa	管桩桩尖土极 限承载力/kPa	地层平均 厚度/m
		c/kPa	$\phi/(\circ)$	c/kPa	$\phi/(\circ)$				
素填土									1.9
Q43al②-黏土	1.87	12.00	9.00	15.00	13.00	60	100		0.9
Q42m③-1 淤泥质土	1.76	5.15	6.08	9.00	10.00	30	70		1.7
Q42m③-2 粉质黏土	1.89	11.04	18.60	14.53	21.28	35	100		7.5
Q41al~Q3eal④-1 粉 质黏土	1.98	12.00	16.00	14.00	18.00	70	140	2100	4.4
Q41al~Q3eal④-2 粉 土	1.98	7.96	27.73	8.00	29.00	85	160	2300	4.1

可以根据刚性核本身的静力平衡条件, 求得地基极限承载力, 如下式:

$$p_u B = 2E_p + cB \tan \phi - \frac{\gamma B^2}{4} \tan \phi, \quad (2)$$

式中, $\frac{\gamma B^2}{4} \tan \phi$ 为刚性核的自重, $cB \tan \phi$ 为 AC 和 BC 面上黏聚力的竖直分量。

3.1 被动土压力 E_p 的确定

对于浅埋基础 ($D \leq B$), 可以不考虑基础底面以上土体的抗剪强度, 而把它当成基础两侧作用着均布荷载 $q = \gamma D$, 因此总的被动土压力可以看成由图 1 (c) 中滑裂土体 CDFAC 的重量所产生的抗力 E_{p1} , 和图 1 (d) 滑裂面 $\overline{CF}$ 和 $\overline{AC}$ 上的黏聚力 c 所产生的抗力 E_{p2} 以及均布侧荷载 q 所产生的抗力 E_{p3} 所构成。

土体中真正滑裂面的形状决定于这三种抗力共同作用的结果, 但很难确切求得。太沙基为了简化计算, 先把地基土当成无侧荷载的无黏性土, 即 $q = 0, c = 0, \phi > 0, \gamma > 0$, 求由于滑裂土体 CDFAC 的重量所产生的土抗力 E_{p1} , 如图 1 (c) 再把地基土当成有侧荷载的无重黏性土, 即 $q > 0, c > 0, \phi > 0, \gamma = 0$, 计算黏聚力 c 和侧荷载 q 所产生的土抗力 E_{p2} 和 E_{p3} , 如图 1 (d)。然后三者叠加起来就得到总的被动土压力。

$$E_p = E_{p1} + E_{p2} + E_{p3}, \quad (3)$$

无黏性土的被动土压力可按库伦土压力理论计算, 表达为

$$E_{p1} = \frac{1}{2} \gamma H^2 \frac{K_{p1}}{\sin \alpha \cos \bar{\psi}}, \quad (4)$$

无重黏性土由黏聚力 c 和侧荷载 q 引起的被动土压力, 分别为

$$E_{p2} = H \frac{cK_{p2}}{\sin \alpha \cos \bar{\psi}}, \quad (5)$$

$$E_{p3} = H \frac{qK_{p3}}{\sin \alpha \cos \bar{\psi}}. \quad (6)$$

式中 H 为刚性核的竖直高度, $H = \frac{1}{2} B \tan \bar{\psi}$; $\bar{\psi}$ 为刚性核的底角; α 为刚性核的外侧倾角, 即 $\alpha = 180^\circ - \bar{\psi}$;

K_{p1}, K_{p2}, K_{p3} , 分别为由于滑裂土体重量, 滑裂面上黏聚力和侧荷载所产生的被动土压力系数。

当 $\bar{\psi} = \phi$ 时,

$$E_p = \frac{1}{8} \gamma B^2 \frac{K_{p1}}{\cos^2 \phi} \tan \phi + \frac{B c K_{p2}}{2 \cos^2 \phi} + \frac{B q K_{p3}}{2 \cos^2 \phi}, \quad (7)$$

将式 (7) 代入式 (2), 整理后得

$$p_u = \frac{\gamma B}{2} \left[\frac{\tan \phi}{2} \left(\frac{K_{p1}}{\cos^2 \phi} - 1 \right) \right] + \left(\frac{K_{p2}}{\cos^2 \phi} + \tan \phi \right) + q \frac{K_{p3}}{\cos^2 \phi} = \frac{\gamma B}{2} N_\gamma + c N_c + q N_q, \quad (8)$$

式 (8) 是太沙基的极限承载力公式。

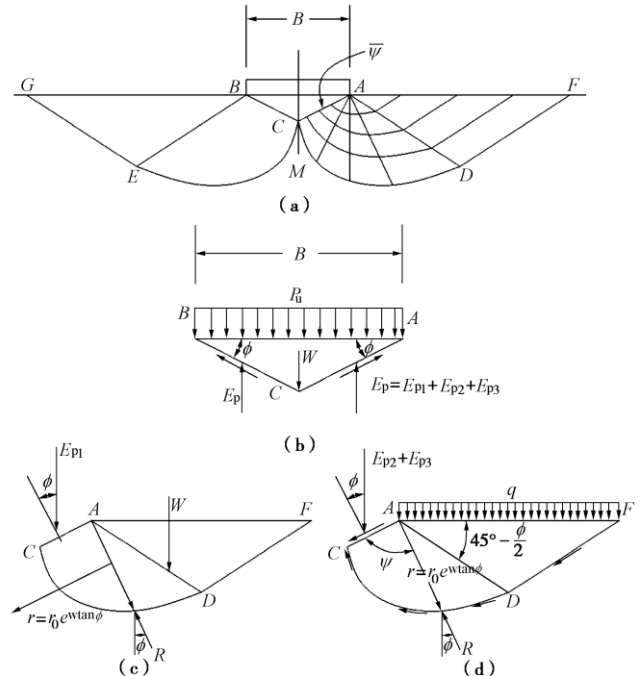


图 1 太沙基公式临界滑动面

Fig. 1 Critical sliding surface of Terzaghi's formula

但是图 1 (d) 边界条件下的承载力系数 N_c 和 N_q 已由普朗德尔和瑞斯纳给出, 为

$$N_c = \cot \phi \left[\frac{e^{\left(\frac{3\pi - \phi}{2} \right) \tan \phi}}{2 \cos^2 \left(45^\circ + \frac{\phi}{2} \right)} - 1 \right], \quad (9)$$

$$N_q = \frac{e^{\left(\frac{3}{2}\pi - \phi\right)\tan\phi}}{2\cos^2\left(45^\circ + \frac{\phi}{2}\right)} \quad (10)$$

3.2 太沙基理论公式的修正

(1) 由于本高速公路的加宽改造过程中, 对外拓宽的占用土地有很大限制, 所以在拓宽过程中, 路基要占用原有的反压护道, 这样在应用太沙基理论计算路基承载力时, 实际上不应该考虑侧荷载 q 所产生的土抗力 E_{p3} 。

(2) 由于在本高速公路反压护道上要进行管桩地基处理, 所以在处理后地基承载力验算时, 实际上由黏聚力 c 所产生的土抗力 E_{p2} 不是由原有地基土承载, 而是由管桩和地基土组成的复合地基承载。这样就应对太沙基理论公式进行修正, 即在式 (8) $c \times \tan \phi$ 中的 c 为基础地面下黏聚力, $c \frac{K_{p2}}{\cos^2 \phi}$ 中的 c 则是由管桩和地基土共同提供抗剪强度。

基于以上分析, 对太沙基理论做以下修正, 假设管桩和地基土共同提供的抗剪强度为 $c_{\text{桩}}$, 则式 (8) 太沙基极限承载力理论公式为

$$p_u = \frac{\gamma B}{2} N_\gamma + q N_q + c_{\text{桩}} [N_q \cot \phi - \cot \phi - \tan \phi] + c \times \tan \phi \quad (11)$$

式中, $c_{\text{桩}}$ 为由管桩和地基土共同提供的单位抗剪强度, c 为基础地面下的黏聚力。针对津滨高速没有反压护道, 公式 (3~10) 则可修正为

$$p_u = \frac{\gamma B}{2} N_\gamma + c_{\text{桩}} [N_q \cot \phi - \cot \phi - \tan \phi] + c \times \tan \phi \quad (12)$$

3.3 基于太沙基理论对津滨高速公路老路基承载力的计算

本工程 K4+140.000~K4+198.307 段假设所用单桩极限水平承载力 $R_h = 140 \text{ kN}$, 求得单桩的极限抗剪强度为 2295 kPa (水平极限承载力除以桩截面积), 单桩的设计抗剪强度为 1147 kPa ; ③-1 淤泥质土中的固结快剪指标 $c = 9 \text{ kPa}$, 这样得到该层土的复合抗剪强度为, $c_{\text{桩}} = 22.47 \text{ kPa}$, 代入式 (12) 得 $p_u = 377.08 > K_0 \times 5.4 \times 22 = 3 \times 5.4 \times 22 = 357 \text{ kPa}$ (B 取老路基 0.5 倍老路基宽度为: 13.3 m , 选用 $\phi = 10$, 得 $N_\gamma = 1.2$, $N_q = 2.6$, 安全系数^[3] $K_0 = 3$)。

根据以上验算结果, 津滨高速全线高填土软基处理采用管桩处理, 且效果良好, 具体可见图2。

4 展 望

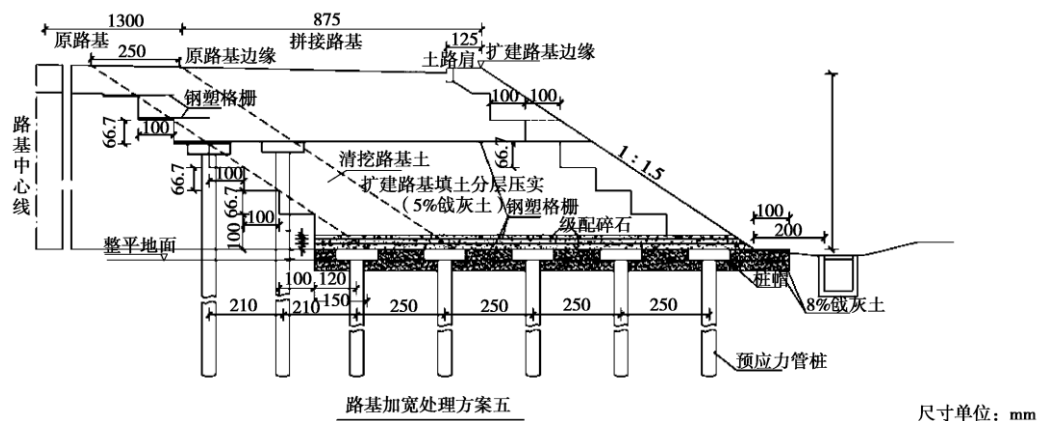
对于天津的软土地区, 其软土主要集中在第 I 海相层 (Q_4^m) 以及新近组 ($Q_4^{3N} si$) 和 ($Q_4^{3N} al$), 其厚度相对于其他地方的软土层厚度较薄, 而且管桩桩长易于穿透软土层, 这样管桩的结构模型实际上是桩头和桩尾铰接的二力杆件模型。所以, 在天津地区用管桩地基处理后, 一方面可提高地基承载力, 更重要是管桩可以充分发挥其刚度, 提供软土层的抗剪切能力, 这是刚性桩在地基处理中突出的地方。

对于这种管桩地基处理在天津地区可应用于道路旁景观河道的支护。

5 结 论

(1) 通过修正的太沙基理论公式可以查表计算 (经过刚性桩在原有路基两侧处理后) 原有路基的地基承载力。

(2) 通过对管桩对津滨高速地基处理的原理, 我们可以引用该种处理可以很好得应用于其他类似的地基处理^[4]。



(3) 对于管桩的应用,不能局限于管桩的抗压承载力的研究,更应该看到管桩的抗剪承载力的研究,所以今后应加大对特殊工程中的支护作用进行研究。

参考文献:

- [1] 津滨高速改扩建工程岩土工程勘察报告[R]. 天津: 天津市市政工程设计研究院, 2009. (Geotechnical investigation report of Tianjin-Tanggu Expressway reconstruction engineering[R]. Tianjin: Tianjin Municipal Engineering Design & Research Institute, 2009. (in Chinese))
- [2] 陈仲颐, 周景星, 王洪瑾. 土力学[M]. 北京: 清华大学出版社, 1994. (CHEN Zhong-yi, ZHOU Jing-xing, WANG Hong-jin. Soil mechanics[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 1994. (in Chinese))
- [3] 崔可锐. 岩土工程师实用手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 2007 (CUI Ke-rui. Geotechnical engineer practicality manual[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2007. (in Chinese))
- [4] 龚晓南. 复合地基理论及工程应用[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002. (GONG Xiao-nan. Theory of composite foundations and engineering applications[M]. Beijing: China Architecture and Building Press, 2002. (in Chinese))

(本文责编 黄贤沙)