



当代交通名家论丛

王伯惠 论文续集

(2003—2013)

王伯惠◎著



人民交通出版社
China Communications Press



当代交通名家论丛

王伯惠 论文续集

(2003—2013)

王伯惠◎著



人民交通出版社
China Communications Press

内 容 提 要

本论文集是作者 2004 年第一部论文选集出版之后的续集,主要收集了作者 2002 年后在公路桥梁等方面的一些研究和心得,内容分为五部分:桩基工程;渤海湾跨海工程;斜拉桥,桥梁文化、美观和人物;中印公路。全书内容涉及桥梁设计的基本理论;重大建设工程的可行性研究的建议及技术方案的评述探讨;国外新型斜拉桥的情况介绍和发展趋势;从人文与科技的角度对于桥梁文化、美观和人物诸多方面综合的论述;世界反法西斯战争和抗日战争中修建中印公路的历史回忆。是值得桥梁工作者阅读、研究的一本好书。

图书在版编目(CIP)数据

王伯惠论文续集 / 王伯惠著. —北京:人民交通出版社, 2014. 5

ISBN 978-7-114-11025-2

I. ①王… II. ①王… III. ①桥梁工程—文集②高速公路—文集 IV. ①U44—53②U412.36—53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 279814 号

书 名:王伯惠论文续集(2003—2013)

著 作 者:王伯惠

责任编辑:刘永芬

出版发行:人民交通出版社

地 址:(100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街 3 号

网 址:<http://www.ccpress.com.cn>

销售电话:(010)59757973

总 经 销:人民交通出版社发行部

经 销:各地新华书店

印 刷:化学工业出版社印刷厂

开 本:787×1092 1/16

印 张:20.5

字 数:510 千

版 次:2014 年 5 月第 1 版

印 次:2014 年 5 月第 1 次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-11025-2

定 价:80.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

本论文集是笔者继第一部论文选集 2004 年出版之后的续集,主要收集了笔者 2002 年从广东虎门咨询公司回到沈阳家中之后近 10 年来在公路桥梁等方面的一些学习心得,内容可分为 5 部分:

1. 桩基工程:我国桥梁桩基设计规范对承载力计算一直未考虑沉降问题,这里笔者在文克尔理论的基础上,除提出一个桩尖土基抗压系数外,又提出一个桩侧土抗剪系数的双因子法,并推导出一组简易可行的计算公式,可以计算各种不同情况下的承载力和桩身的沉降量。这是对桩基计算基础理论的探索,需要根据大量试桩才能取得桩侧土的抗剪系数,这就不是个人力所能及而是要依靠今后科研和设计、施工等部门的共同努力。另外,对于当今一些地方检测桩身承压力时采用的自平衡测试法,进行了评述并提出了改善建议。

2. 渤海湾跨海工程:山东省烟台市和国家发改委对这项宏伟工程已进行了十多年的可行性研究工作,都认为十分重要,亟须开发。由于一项重大工程的前期工作一般需要十几年甚至数十年的时间,根据当前我国经济和交通运输发展的形势,笔者向项目主管部门交通部提出建议:立即开展工程可行性研究工作,尽可能搜集和测取有关地质、水文和气象等资料,以提出有确实技术依据的桥形比较路线和桥型比较方案以及可信的投资估算,供领导决策参考,同时对南桥北隧、全隧、全桥三种方案进行评述探讨。

3. 斜拉桥:重点译述介绍了近期国外多座新型斜拉桥的情况。由于渤海湾、台湾海峡等跨海大桥的需要,斜拉桥由于其风稳性好和造价较低,在特大跨径桥中与悬索桥相较具有很大的竞争力。斜拉桥跨径发展到 1500~2000m 及以上是亟待解决的问题。因此特集中了三篇近期国内外讨论特大跨径斜拉桥的重要文章,其中丹麦、日本各一篇,为笔者翻译;另一篇为我国同济大学肖汝诚教授的著作,供有兴趣的读者学习参考,并在此向肖汝诚教授谨致谢忱。

4. 桥梁文化、美观和人物:这一部分主要系应《桥梁》杂志之约的写作,其中“美观”是近年桥梁大规模发展过程出现的新课题,其核心是在桥梁建筑“技术、经济、美观”三大基本问题中如何把“美观”摆在适当的位置上。笔者提出“三赢”的概念,鼓励优秀的广大桥梁设计者们尽量多的提出“技术、经济、美观三赢”的设计来。“人物”部分则记述笔者所熟悉的几位老一代和较年轻的桥梁专家的成就和风范,他们对中国现代桥梁的发展和贡献值得我们永久铭记。

5. 中印公路(中印公路是怎样打通的及补充资料):这是一个特殊的部分。笔者 1944 年于昆明西南联大毕业之后被征调从军抗日,到当时中国驻印军新 38 师(后新一军)任翻译,目睹了当时中印公路的建设,并亲自参加了中缅国界南坎瑞丽江上一座跨径 450 英尺(1 英尺=0.3048 米)贝雷式悬索桥的建设。2005 年,世界反法西斯

战争和抗日战争胜利 60 周年,据当时所可能收集到的资料和自己的回忆写成《中印公路是怎样打通的》一文以作纪念。这篇文章后来编入抗日老兵和笔者共同编写的《中国驻印军印缅抗战》(2009)和王子言编《亲历印缅抗战》(2011)书中,由团结出版社出版。当时由于国内能看到的有关印缅战场抗日的资料很少,再加上是回忆 60 多年前的故事,难免记叙有欠周详。近年这方面出版的资料多了起来。当年初建滇缅公路的谭伯英局长 1945 年在美国以英文写成出版的《滇缅公路纪实》一书于 2003 年由国内翻译出版。抗战后期,抢修滇缅公路的工务局龚继成局长哲嗣龚启英所著叙述其父的辉煌业绩的书也于 2012 年面市。尤其美国中印缅战区美军后勤部老兵后代,密苏里州州立中央学院历史教授 L. 安德斯(Leslie Anders)1965 年出版了“雷多公路(The Ledo Road)一书。他通过设立网站联系了当年参战老兵大量的回忆资料,包括众多重要将领如当时的公路指挥官皮克少将(不幸 1956 年去世)、中印缅战区后勤(SOS)司令官 R. A. 惠勒(Raymond A. Wheeler)中将等的审阅和建议,写成此书。我所看见的是重庆交通大学的唐伯明校长为首的“中印公路研究课题组”研究员张勃提供给我的 2002 年的复印版。此书内容详实细致,公认是记录当年中印公路修建较为真实的著作。还参阅一些其他的宝贵资料,借此次编撰论文集之机,分雷多公路(中印公路国外段)、滇缅公路(中印公路国内段)、密支那——腾冲——龙陵北线和中印油管四部分给予补充,使广大读者对这条抗日的英雄之路能有更全面的了解。

另外,在斜拉桥部分后面的论文《曼海姆斜拉桥》是 1984 年 7 月笔者参加省交通厅组织的访问团一行 5 人去联邦德国购买沈大高速公路设备和考察高速公路时住在曼海姆市的重要考察收获之一。该桥是斜拉桥发展早期的一座优良、宏伟、举世闻名的大型斜拉桥。莱翁哈特开发的、后来全世界推广的冷铸锚就是首先在那座桥上使用的。我们聆听了介绍,参观了全桥和 6 年一度的检查保养细节,获取了大量的德、英文资料,回国后编写成该文,由辽宁省交通科研所作为内部资料印刷交流。该桥无论技术和管理,有许多地方至今都值得我们学习,在 2003 年出版的论文选集中不慎被漏列,这次特予补刊。

最后,交通部西安公路研究所桩基工程专家赵学勤研究员对钻孔灌注桩承载能力和沉降计算的来信,首先倡导台湾海峡跨海工程的清华大学水利工程系吴之明教授对渤海湾跨海工程海底隧道方案的来信,提出了许多宝贵的评述和意见,也一并刊出供大家参考,并对他们的热情关注,表示诚挚的感谢。

王伯惠

2014 年 1 月 8 日

第1篇 桩基工程

承压桩压力-变形机理及计算	(003)
1 基本理论和等截面单一土层桩基的计算	(003)
2 不同情况下桩基的计算	(012)
3 对一些问题的探讨	(022)
4 结论	(030)
5 对一些问题的探讨(续)	(032)
6 附件:西安公路科学研究院赵学勤研究员来信二则	(039)
参考文献	(043)
评桩基测试自平衡法	(045)
1 自平衡法的基本概念	(045)
2 计算极限承载力的基本公式(5)存在的问题	(048)
3 Q-S 曲线转换法存在的问题	(052)
4 小结	(056)
参考文献	(056)
桩基测试自平衡法改进意见初探	(057)
1 基本公式的改进	(057)
2 整桩极限承载能力计算方法的改进	(059)
3 事先估算自平衡点位置的方法	(061)
4 算例	(062)
5 结论和意见	(064)
参考文献	(065)

第2篇 渤海湾跨海工程

关于渤海湾跨海工程从速立项开展前期(工可)工作的建议	(069)
1 引言	(069)
2 当前的问题和对策	(071)
3 几点建议	(074)
4 附件	(075)
参考文献	(076)
渤海湾跨海工程基本方案探讨	(077)
1 跨海线路和技术标准	(077)

2 南桥北隧方案	(083)
3 全隧道方案	(089)
4 全桥方案	(106)
5 附件:清华大学吴之明教授来信摘录	(116)
参考文献	(117)

第3篇 斜拉桥

三十年来的中国斜拉桥	(121)
1 在艰难中起步	(121)
2 光辉的发展	(122)
3 技术上的创新和不足	(124)
4 继续前进 走科学发展之路	(126)
米洛桥的技术成就和顶推施工新方法	(128)
1 主要技术经济指标	(128)
2 技术成就	(129)
3 结束语	(134)
俄罗斯主跨 1104m 的海参崴斜拉桥	(136)
1 设计概述	(136)
2 施工概述	(140)
3 质量检查和监测	(143)
4 已完工部分桥面正视图	(144)
斜拉桥跨径的演变	(145)
1 现代斜拉桥的历史与演进	(145)
2 将来的趋向	(148)
3 自锚式斜拉桥主梁轴向压力	(149)
4 主梁的横向弯曲	(150)
5 斜拉桥部分地锚法	(151)
6 横向稳定性的增进	(153)
7 施工程序	(154)
8 结束语	(155)
钢斜拉桥的跨径限制	(156)
1 从力学观点考虑的限制	(156)
2 静力和动力稳定性和结构分析	(156)
3 通过数字计算的新发现	(158)
4 经济比较和跨径限制	(160)
5 采用新拉索体系扩展跨径限制	(160)
千米级斜拉桥结构体系	(162)
1 超千米全自锚斜拉桥试设计	(162)

2 超千米部分地锚斜拉桥及协作体系式设计	(164)
3 三种体系结构性能对比	(168)
4 体系创新展望	(169)
曼海姆莱茵河斜张桥	(171)
1 一般情况和总体方案	(171)
2 两岸的联接立交枢纽	(174)
3 莱茵河主桥的方案和招标	(176)
4 主桥的施工	(181)
5 拉索	(184)
6 锚头	(186)
7 荷载试验	(187)
8 建筑艺术及其他	(189)
参考文献	(190)

第4篇 桥梁文化·美观·人物

文 化

桥梁文化的发生、发展和创新	(193)
1 桥梁文化是一个国家民族文化的组成部分	(193)
2 中国桥梁文化曾经有过的辉煌	(193)
3 有关我国当前桥梁文化落后的一些问题	(195)
参考文献	(198)

美 观

桥梁美观和结构创新刍议	(199)
1 引言	(199)
2 国内外桥梁结构创新简况	(200)
3 关于原始创新	(204)
4 关于集成创新	(209)
5 关于引进、消化、吸收再创新	(209)
6 结束语	(213)
参考文献	(215)
桥梁美观浅议	(216)
1 对于美的一些基本认识	(216)
2 美的相对性	(216)
3 设计工程师的责任和权利	(217)
4 桥梁工程师设计的对象	(217)
5 美的代价	(218)
6 结论	(219)

参考文献	(219)
德国莱茵河魏尔和法国许林根之间的三国桥	(220)
1 引言	(220)
2 主桥	(220)
3 结构分析	(221)
4 吊杆	(222)
5 联结和支承	(222)
6 约束杆·基础	(223)
7 厂内组装	(224)
8 匝道	(224)
9 施工阶段	(224)
10 振动测试	(224)
11 小结	(225)
创新、经济、美观“三赢”桥梁示例	(227)
参考文献	(230)

人 物

中国拱桥转体施工法的开拓者——桥梁专家张联燕	(231)
1 拱桥的无支架施工法	(231)
2 开创转体施工技术之先河	(232)
3 水平转体施工法	(232)
4 无平衡重转体施工法	(232)
5 竖转施工法	(234)
6 几种转体施工法相结合	(234)
7 钢管混凝土空间桁架结构	(235)
8 结语	(236)
我国钢管混凝土劲性骨架的开拓者——桥梁专家程懋芳	(237)
1 在西北:首创轻台微弯板坦肋拱桥	(237)
2 在南昌:开发钢管混凝土作为劲性骨架修建钢筋混凝土大拱	(238)
3 钢管混凝土劲性骨架到钢管混凝土拱桥	(242)
4 持续的闪光	(242)
悼念林祥威同志	(245)
与谢总一起工作的日子	(247)
回忆曾威总工	(251)
回忆周念先先生	(254)
钻孔灌注桩河南群英谱	(258)
1 诞生和承载力试验	(258)

2 运用、改进和技术鉴定,全国推广	(259)
3 河南省公路局总工范磊的贡献	(259)
参考文献	(260)

第5篇 中印公路

中印公路是怎样打通的	(263)
1 楔子	(263)
2 第一次策划和勘查	(266)
3 第二次勘测准备施工	(268)
4 盟国对反攻缅甸计划的多次磋商	(269)
5 中印公路的第三次修建	(272)
6 中印油管	(288)
7 驻印军凯旋	(289)
参考文献	(290)
中印公路补充资料	(291)
1 雷多公路(Ledo Road)美方资料	(291)
2 滇缅公路——血肉筑成的英雄路	(298)
3 龙一密公路——中印公路北线补述	(307)
4 中印油管工程	(311)
参考文献	(317)



第

1

篇

桩基工程

承压桩压力-变形机理及计算^①

1 基本理论和等截面单一土层桩基的计算

1.1 引言

桩基是桥梁主要的和最重要的承压构造,对于其承压能力,《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTJ 024—1985)所提出的公式中存在一定缺点,已为若干研究者所指出,主要如下。

(1)垂直承压力没有和桩身和地基的垂直变形相关联,没有提出桩基垂直变形的计算方法,而是在桩基水平承载力计算中由于采用了前苏联的 m 法才附带提到垂直变形的计算方法^[1],这是严重不协调的,而且那个垂直变形计算方法远欠完善。

(2)桩基垂直变形除了桩身本身的压缩变形外,还有桩尖土的压缩变形和桩周土的剪切变形。所有变形都是随深度而变化的,因而相关联的力也是随深度而变化的。计算桩基承载力的公式则是不论多大深度,桩周土都提供了容许摩阻力,桩尖土都提供了容许支承力,承载力是二者的叠加,结果大大提高了桩尖支承力所占比重,与许多试验结果皆不符合。此点早已发现,并有多数学者提出意见。

(3)近期由于桥梁规模越来越大,桩基承载越来越重,设计者按照公式力求加深桩长以寻找有利的桩尖承压层,或增大桩周摩阻力,桩长常常深达 100m 以上,形成了所谓的“超长桩”,其下段数 10m 桩究竟能提供多少摩阻力是可疑的,因而又有多个学者提出了“有效桩长”的问题。

桥梁桩基属于桥梁总体结构的一个重要组成部分。根据目前的计算理论,桥梁基本上在弹性范围内工作,桩基也不例外。桩基作为弹性结构,只计其受力而不计其弹性变形,显然在理论上就是不完善的。有鉴于此,作者在拙著^[1]中曾初次提出了桩土体系的力和变形机理,并提出了相应计算方法。遗憾的是,这个问题还未引起有关方面的注意和重视,在新近提出的《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTG D63—2007)中桩基计算仍然沿用原来规范的方法,没有关于垂直变形方面的论述。推其原因,除了主观方面之外,客观上应是由于:

(1)目前还没有建立一个合理的计算理论和方法。

(2)缺乏在这种计算方法基础上提出各种有关参数。

1985 年规范中提出的各种桩基计算参数适应当时的计算方法(公式),并且是通过全国协作进行了 116 根试验桩的试验,对结果统计分析而得出的。

本文根据拙著^[1]中提出的思路继续深入地探索桩基的受力和变形机理,从而提出基于变形理论的新的桩基承载力计算方法。这是关于承压桩设计的基础理论研究,希望有

① 原载于《中国公路学会桥梁与结构分会 2009 年论文集》。

兴趣的学者们都来探讨这个问题,在大家认可的新计算方法建立起来之后,再经过几年的时间搜集系统的试验资料和分析结果,则下一次规范修订就可能提出更合理、更完善、更符合实际的桩基计算方法。

1.2 桩—土受力和变形机理

图1示出一承压桩,取原点 o 于桩顶,竖坐标 y 向下,横坐标 x 向右,桩长 h ,桩直径 d 。在桩顶 o 处承受压载 P_o ,桩尖 h 处承受土垂直抗力 P_h ,桩周有土摩阻力 T ,由力的平衡显而易见:

$$P_h = P_o - T \quad (1)$$

即桩顶压力 P_o 克服了桩周摩阻力 T 之后才将余下部分 P_h 传到桩尖。

桩周土对桩身的作用力为摩阻力,而反过来,桩身对桩周土的作用力则为剪切力(详见本文1.5)。剪切力由剪切位移(变形)引起,这个位移的发生源于:

(1) 桩尖土受 P_h 的作用引起的桩身下沉 Δ_h ,这个下沉是沿桩身整体发生的,因而沿桩身引起相同的剪切力 τ_h ,如图1b)所示,这部分剪切力是沿桩身矩形分布的。

(2) 桩身受轴向力引起的桩身材料的弹性压缩。轴向力在桩顶为 P_o 最大,以后随深度受到摩阻力 T 的抵消而到桩尖为 P_h 最小, P_h 最后传达到桩尖土基。这个弹性压缩引起的桩身位移,在桩尖处为 o ,在桩顶处集中表现为 Δ^c ,上标“c”表示压缩,由此引起土的剪切力为 τ^c ,如图1c)所示,这部分剪切力是沿桩身三角形分布的。

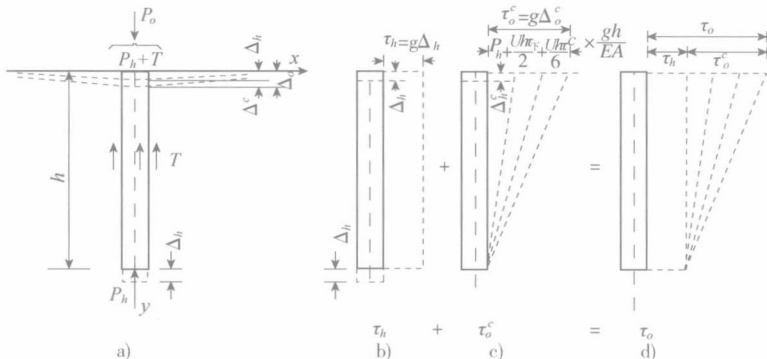


图1 桩的受力和变形机理

桩周剪切力为上述两部分之和,见图1d),是沿桩身梯形分布的^①。以下的问题是:

- (1) 如何找出桩尖土压力 P_h 和下沉 Δ_h 的关系。
- (2) 如何找出桩周土剪切力 τ 和剪切位移 Δ^r 的关系。
- (3) 如何计算桩身弹性压缩 Δ^c 。

实质上摩阻力和剪切力是两个不同的概念。摩阻力是桩身和周围土界面上相互作用的力,这个力是界面土相互作用的垂直压力与桩和土两种材料之间的摩阻系数的乘积,如打入空心钢柱或混凝土桩之间的竖直阻力就主要是摩阻力。剪切力则是土材料内部抗剪切破坏的力,试验证明^[1],灌注桩垂直受荷破坏时皆为桩周土体剪切破坏,因而其竖直阻力以土壤剪切力为主。本文在文字叙述时摩阻力与剪切力混用,而力学分析时则主要以

① 这里已经隐含了剪切力与剪切位移之比为常数的假设,相当于 $\tau/\Delta^r = g$,见本文公式(11),相当于文克尔竖向地基系数 $C_o = \sigma/\Delta$,见本文公式(3)。 g 可称为竖向剪切系数,采用常数主要是为了简化计算。

剪切力为准。

1.3 桩基水平力计算 m 法中的桩顶垂直位移公式

前苏联桩基水平力计算 m 法已由我国规范采用数十年,其中桩顶垂直位移的计算公式,早为人们所熟知,见《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTJ 024—85)第 103 页和《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTG D63—2007)第 91 页。

$$\rho_{pp} = \frac{1}{\frac{L_o + \xi h}{EA} + \frac{1}{C_o A_o}} \quad \text{而} \quad \Delta_o = \frac{P_h}{\rho_{pp}} \quad (2)$$

式中: ρ_{pp} ——桩的抗压刚度;

$\frac{L_o + \xi h}{EA}$ ——单位力作用下桩身的弹性压缩 Δ^c ;

L_o ——桩身地面以上长度;

h ——地面以下长度;

EA ——抗压弹性模量和截面积;

ξ ——考虑摩阻力的折减系数,对钻孔桩取 $\frac{1}{2}$;

$\frac{1}{C_o A_o}$ ——单位力作用下桩尖的下沉量,一般用 δ 表示;

A_o ——每一桩四周自地面按 $\varphi/4$ 向下扩散至桩底面处的面积;

φ ——桩所穿过土层的平均内摩擦角,如图 2 所示;

C_o ——桩底土的竖向地基系数。

扩散是指集中力作用在物体某点通过剪力横向向前传播逐渐达到整个断面的现象,是结构计算常用的一种简化方法。横向扩散的角度称为扩散角,对于松散体如土,扩散角取 $\varphi/4$, φ 为内摩擦角,这些都是土力学试验研究的结果,是正确的。

令:桩顶荷载作用下桩尖的下沉量为 Δ_o 。

桩尖平面土的压应力为 σ_o 。

由前应有:

$$\Delta = P_o \delta = \frac{P_o}{C_o A_o} = \frac{\sigma_o}{C_o}, \text{即 } C_o = \frac{\sigma_o}{\Delta} \quad (3)$$

这个土垂直位移和土基垂直压应力成直线比例的关系,是捷克土力学学者文克尔 (E · Winkler) 1867 年提出的(前苏联资料称沙俄院士尼古拉·伊万诺维奇·鲁斯在 1801 年也曾提出),故称为“文克尔理论”或“文克尔假设”。它虽然不能严格地表达土基受力和变形之间十分复杂的关系,但却使计算公式大大简化,容易得出数学解答,而且系数由试验求得,一般土基又多在弹性范围内工作,因而采用很广。前苏联学者把它用于弹性地基上的梁和板,研究开发了一整套用于初参数法的计算公式,形成了一个学派。

注意:在一般材料力学里一个物体的压缩变形由式(4)来确定(图 3)。

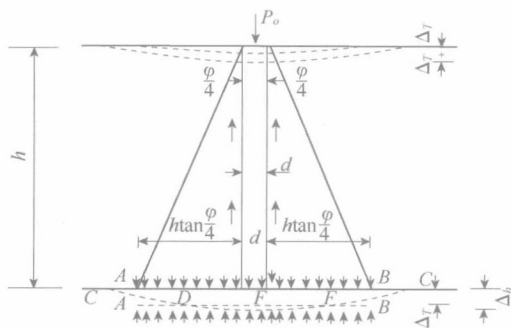


图 2 桩顶作用力 P_o 通过桩身向地下扩散

$$\Delta = \frac{Ph}{EA} = \frac{\sigma}{E/h} \quad (4)$$

式中:弹性模量 E 的量纲为 $\frac{[\text{力}]}{[\text{长度}]^2}$, 受压体高度 h 的量纲是 $[\text{长度}]$ 。

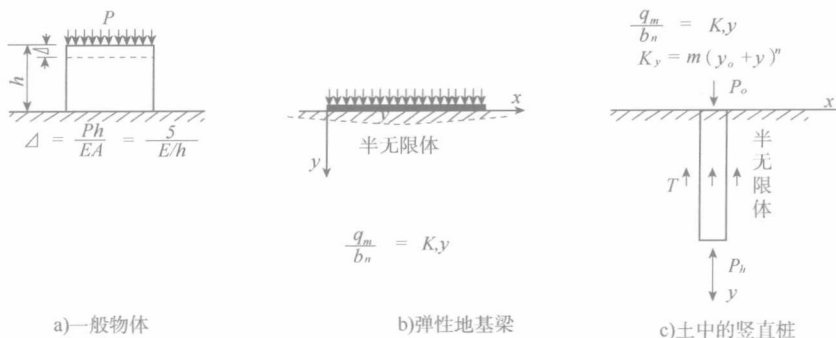


图3 受压物体压缩量和受力的关系

当力作用在土表层(弹性地基梁)或深层(桩尖)时,土基无论横向或竖向都是半无限体,其受压高度是无法确定的,因而不能用一般弹性模量的概念来表达其抗压特征,只能用地基系数 C_o 来表达,这个系数巧妙地避开了受压高度的问题,相当于式(4)中的 E/h , 其量纲为 $\frac{[\text{力}]}{[\text{长度}]^3}$ 。

在桩基计算的发展过程中,为了计算桩在水平力作用下的水平位移,也引用了文克尔理论进来,首先开发这个计算方法的是中国留美学者张有龄,后来前苏联也采用了这种方法,这时考虑到深度、土质等对抗力的影响,水平地基系数 K_y (相当于前述的 C_o) 表达如下式:

$$K_y = m(y_o + y)^n \quad (5)$$

式中: y_o ——表达地面处($y \approx 0$)土的水平抗力情况,与土的黏结力有关,对微弱黏结力的松软土或无黏结力的砂土, $y_o = 0$;

n ——与土和桩身材料有关的指数,试验确定;

m ——比例系数,实测确定, m 法对水平和竖向地基系数取同一数值,对于深层土,是合理的,在理论上是协调的。

对于 n 值,张有龄采用 $n=0$,相当于 $K_y = m$,为常数。建国初期前苏联的 K 法传入我国,也采用 $n=0$,我们曾推行了一段时间。后来 m 法传入我国,我国规范至今采用,它将上式中的 y_o 取为零,指数 n 取为 1,乃有:

$$K_y = m y \quad (6)$$

由此可见比例系数 m 的量纲为 $\frac{[\text{力}]}{[\text{长度}]^4}$ 。

在 m 法之后,我国于 20 世纪 70 年代制订桩基规范过程,也曾由交通部科研院对试验资料进行统计分析,提出了 C 法,采用 $n=0.5$ 。以上 $n=0, 1, 0.5$ 都不完全符合实际情况,如开发 C 法时,统计分析得出的 n 值在 0.1~0.4 之间,视土质等情况而异。之所以采用 0.5,以及 0 或 1,主要是数值简单,易于从桩基计算基本微分方程诱导出有关计算参数的数学解析式,而早在 1978 年笔者就已找到了 n 为任意值时的解答公式,这就可能根据实测资料分析得出更符合、更接近现场土质情况的 n 值,直接代入从而得到更准确的桩基

解答结果^[1]。上述并不是要摒弃 m 法,只不过是说明 m 法并不是绝对的、唯一的、精确的解法,而仅是桩基受力近似解法的一种。

1.4 确定桩尖垂直下沉量的合理方法

规范迄今采用的 m 法计算桩顶垂直位移的公式(2)的总的概念:桩顶垂直位移为桩尖下沉量和桩身弹性压缩量之和,这一点是正确的,但确定这两种位移量的具体方法(公式)则是不完全正确,还需修正完善,有如下述:

(1)地面以下桩身弹性压缩量是与桩周剪切力分布有关的,式中笼统用 ξ 表述其影响是随意性的,后面我们可以看到, $\xi = \frac{1}{2}$ 是剪切力按矩形分布时之值,而一般桩基剪切力皆按梯形分布, ξ 应当按分布形式积分求算。

(2)式中的竖向地基系数是桩尖水平面上的平均压应力 σ 和桩尖位移 Δ 的比值,这从一般弹性变形的计算方法说是不正常的,或不习惯的,因为它与桩尖传达到土上的压力 P_h 无关,而正常的、习惯的、也是最直接和最易理解的计算方法则是按照文克尔理论直接从桩尖压力求出桩尖的沉陷量。

令: P_h 、 σ_h 、 A_h 、 Δ_h 为桩尖处土基压力、压应力、桩身截面积、桩尖下沉量;
 e 为桩底土的竖向地基比例系数;

$$\text{有:} \quad \Delta_h = \frac{P_h}{A_h e} = \frac{\sigma_h}{e}, e = \frac{E_{\pm}}{h_{\pm}} = \frac{\sigma_h}{\Delta_h} \quad (7)$$

观察图2,通过剪力横向扩散而传播到桩尖处土层的压力分布如图中虚线 $CDEFG$ 所示,计算 C_o 时取其平均值 $\sigma = \frac{P_o}{A_o}$,如图中虚线 $A'B'$ 所示。实际上桩尖处必然有较大的应力 $\sigma_h = \eta\sigma$, $\eta > 1$,为桩尖下土的压力的增大系数,相应地有较大的土基变形 $\Delta_h = \eta\Delta$,即

$$e = \frac{\sigma_h}{\Delta_h} = \frac{\eta\sigma}{\eta\Delta} = \frac{\sigma}{\Delta} = C_o \quad (8)$$

$$\eta = \frac{\sigma_h}{\sigma} = \frac{P_h A_o}{A_h P_o} \quad (9)$$

可见 e 和 m 法中的 C_o 数值上是相同的,但两者的物理意义则不同。 e 简明的显示了桩尖压力 P_h 和桩尖下沉 Δ_h 的关系,容易理解便于使用,而且由试桩得出的 P_h 和 Δ_h 值可立即求出比例系数 e 来,便于以后搜集、积累参数。

以下计算桩尖下沉量时我们将采用式(7)进行。在初步设计时,如无试桩资料,可先按规范方法算出 $C_o (=e)$, σ , Δ ,再采用 $\eta = 1.1 \sim 1.3$ 算出 σ_h , Δ_h 。由于桩尖支承力占桩整个承压力比重较小, η 值变化对承压力计算结果影响不大^[1]。

1.5 确定桩周土的剪切位移的合理方法

桩尖的下沉和桩身的弹性压缩都将引起桩身和周围土壤之间发生相对位移,从而引起对土的剪切力,如果在弹性范围以内(不发生滑移),剪切力和剪压力之间存在比例关系。

如果是一般的固体材料,不论横向或竖向受剪,都可运用传统的抗剪公式(4)求得,如图4所示。