

软土地基理论与实践

Theory and Practice on
Soft Soil Foundations

高大钊 主编

Edited by Gao Dazhao



中国建筑工业出版社

China Architecture and Building Press

同济大学出版社

Tongji University Press

软土地基理论与实践

Theory and Practice on
Soft Soil Foundations

高大钊 主编

Edited by Gao Dazhao

中国建筑工业出版社

China Architecture and Building Press

同济大学出版社

Tongji University Press

(京)新登字 035 号

本书是同济大学岩土工程研究所为祝贺我国著名土力学与基础工程学家俞调梅教授八十寿辰选编的部分研究成果。内容包括上海软土的静、动工程性质,地基基础设计与施工的理论研究和工程经验总结,以及国内外对这些领域的研究动向。可作为从事岩土工程勘察、设计、施工技术人员的读物,也可作为科研、教学的参考书。

《软土地基理论与实践》编辑委员会

主编 高大钊

委员 叶书麟 朱百里 赵锡宏 洪毓康 杜 坚 高大钊

秘书 李镜培

责任编辑 石振华 高 峰

技术设计 黄 燕

责任校对 骆毓华

软土地基理论与实践

高大钊 主编

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

新华书店经销

中国建筑工业出版社印刷厂印刷(北京阜外南礼士路)

开本: 787×1092毫米 1/16 印张: 15¹/₄ 字数: 367千字

1992年8月第一版 1992年8月第一次印刷

印数: 1—3,700册 定价: 9.50元

ISBN7-112-01608-8/TU·1209

(6643)

谨以此书献给俞调梅教授
并祝贺他八十寿辰

编辑委员会

俞调梅教授简历



俞调梅先生，浙江湖州人，汉族，1911年4月生。1934年毕业于上海交通大学。后留学英国伦敦大学，获硕士学位。1938年回国。历任东吴大学副教授，江西中正大学、江苏学院、上海交通大学以及同济大学教授。1956年参加中国民主同盟，曾任上海市第二、三届人大代表，全国政协第四、五、六届委员。是中国土木工程学会、中国水利学会和中国建筑学会会员，又是国际土力学与基础工程协会会员。曾任中国土木工程学会土力学与基础工程学会副理事长，中国水利学会岩土力学专业委员会副主任委员，中国建筑学会地基基础学术委员会副主任委员，上海土木工程学会土木工程组副组长等。

俞调梅教授是我国岩土力学与基础工程学科奠基者之一。也是国内最早从事土力学教学工作的少数知名学者之一。他从事结构工程、岩土工程的教学、科研与技术服务工作达50年之久，是国内外深孚众望的岩土工程前辈和知名专家。编著有“钢筋混凝土结构”、“圬工拱桥”和“土质学与土力学”等专著和大学教材；主译有《地基基础》、《土力学原理》、《岩土工程》等国外专著。先后又在土的液塑限测定、土的快速固结试验方法、先期固结压力测定方法，桩基础的沉降分析方法、静力触探应用、软土中基础工程问题等方面发表著述论文多篇，均受到国内外同行的重视和高度评价。

俞调梅先生，治学严谨，作风朴实无华，注重理论联系实际，重视工程实践经验的总结和推广。建国以来，他积极参加我国的四个现代化建设活动。曾先后担任武汉长江大桥、上海宝山钢铁厂工程和石油部软基工程等国家重点工程的技术顾问。多次指导肖(山)穿(山)线宁波软基高填方、上海地面沉降、软基上大型油罐基础以及人造卫星地面接收站等工程建设项目的地基基础设计研究工作，平时更是经常为解决各类工程的地基基础(有时也涉及上部结构)问题出谋献策，并以点子多，思路广，方法活而深得我国岩土工程和土木工程界的重视和尊敬。

俞调梅教授一向十分重视科技信息的交流。特别是近年来，他充分利用其在国内外岩土工程界的地位和影响，积极开展岩土工程科学技术的国际合作与交流，为促进我国和国际上的科技合作交流作出贡献。1978年他曾率我国代表团出席了墨西哥召开的国际土力学与基础工程协会执委会议；1981年主持筹建了“同济大学岩土工程情报资料站”，同20多个国家和地区的岩土工程学术团体、机构以及科学家建立经常的联系，成为我国岩土工程方面中外交流活动的窗口。1983年和1985年他作为中方主席，同美国里海大学方晓阳教授先后两次共同筹办和主持了“海洋岩土工程及近岸离岸结构物国际讨论会”，为推动我国的海洋岩土工程的发展作出了贡献。鉴于他在学术上的成就和在中外科技交流工作中的贡献，他荣获澳大利亚新南威尔士大学1985年度Myers奖章。

俞调梅先生为人谦和，慈厚，严于律己，宽以待人，不尚虚名，乐为人梯。善于用

传、帮、带的方式，亲自动手，身体力行培养和教育中青年一代。在他长达半个世纪的学术活动和教育工作中，培养了一大批的结构工程和岩土工程专业的科技工作者、中青年教师和研究生。他们当中有不少人已经成为国内岩土工程界的技术骨干和学科带头人，纵然今天他已是桃李满天下，但他仍保持着谦虚谨慎的精神风貌，继续在我国岩土工程的园地耕耘，受到岩土工程界的崇敬。

目 录

俞调梅教授简历

序

第一篇 学习与写稿的回忆——答客问

俞调梅

一、关于焊接刚构架节点的试验研究	(3)
二、柱比法应用于连续拱及连续排架	(5)
三、曲梁的剪应力	(11)
四、关于液限试验的讨论	(13)
五、圆球体和圆锥体压入粘性介质的问题	(13)
六、上海桩基础的沉降计算	(14)
七、关于国际土力学及基础工程协会的土力学讨论会、执行委员会 (1979年) 的介绍	(15)
八、关于《工业与民用建筑地基基础设计规范》(TJ7—74) 的讨论	(16)
九、岩土工程的反思	(17)
十、试论稠度试验及有关问题	(19)
十一、上海的基础工程	(20)
十二、静力触探在我国的发展	(31)
参考文献	(33)

第二篇 软土地基研究与工程实践

1. 上海软土的工程性质	魏道堦 高大钊 胡中雄 宰金璋 (39)
2. 土动力学在上海的工程实践中的应用	杜 坚 祝龙根 (50)
3. 上海覆盖土层的地震反应分析	王天龙 胡文尧 (55)
4. 上海软土地区复合地基的基本特性分析	韩 杰 叶书麟 (62)
5. 软土深基坑工程的稳定与隆起研究	侯学渊 夏明耀 李桂花 (69)
6. 软土工程问题的可靠性研究	高大钊 李镜培 郑 云 (84)
7. 上海软土桩基沉降的基本特性和计算方法	杨 敏 赵锡宏 董建国 (94)
8. 高层建筑下短桩基础的原位测试研究	洪毓康 陈强华 陈冠发 (106)
9. 桩和桩基的试验与分析	陈竹昌 徐 和 (117)
10. 预估桩的沉桩阻力和沉桩可能性	朱小林 (125)
11. 水泥土挡土结构的水平位移计算	蔡伟铭 (132)
12. 数值分析法在地基基础中的应用	朱百里 曹名葆 (137)

13. 静力触探估算打入桩竖向承载力参数.....陈强华 洪毓康 高大钊 (145)

14. 层状土中侧向受荷桩性状的分析与研究.....宰金璋 陈忠汉 沈锡英 (169)

15. 高层建筑地基基础共同作用研究及其应用
.....赵锡宏 张问清 董建国 曹名葆 钱宇平 殷永安 杨 敏 沈伟跃 (181)

16. 静力触探在我国的发展.....陈强华 俞调梅 (198)

17. 托换技术的现状.....叶书麟 (211)

18. 压实粘土衬垫控制离子的迁移及衬垫设计
.....胡中雄 李向约 周建敏 陈文华 (220)

19. 上海地基规范与软土工程技术的进步.....高大钊 (227)

编后记 (234)

CONTENTS

Preface..... *Tsien Shou-I*

PART ONE. Studies and writing contributions—an engineer's recollections Yu Tiao mei

1	Testing and analysis of welded rigid joints	(3)
2	Column analogy applied to multi-span arches and bents	(5)
3	Shearing stresses in curved beams.....	(11)
4	On liquid limit tests.....	(13)
5	On spherical and conical bodies pressed into a cohesive medium	(13)
6	Settlement analysis of pile foundations in Shanghai.....	(14)
7	On the Soil Mechanics Symposium and the Executive Committee Meeting of ISSMFE, 1979.....	(15)
8	Comments on clauses in the Code of Building Foundations (TJ 7—74)	(16)
9	Retrospects regarding geotechnical engineering.....	(17)
10	On consistency tests and related questions	(19)
11	Foundation engineering in Shanghai.....	(20)
12	Static cone penetration tests in China	(31)
	References	(33)

PART TWO. Study and Engineering Practice of Soft Soil Foundation

1.	The Engineering Properties of Soft Soils in Shanghai <i>Wei Daoduo Gao Dazhao Hu Zhongxiong Zai Jinzhang</i>	(39)
2.	Applications of Soil Dynamics in Shanghai Engineering Practice..... <i>Du Jie Zhu Longgen</i>	(50)
3.	Seismic Response Analyses of Shanghai Deposits <i>Wang Tianlong Hu Wenyao</i>	(55)
4.	Analysis of Characteristics to Composites Ground <i>Han Jie Ye Shulin</i>	(62)

5. Stability and Rebound Analysis of Deep Excavation in Soft Clay *Hou Xueyuan Xia Mingyao Lee Guihua* (69)
6. The Reliability Research for Soft Soil Engineering
..... *Gao Dazhao Li Jingpei Zheng Yun* (84)
7. Some Behaviour of Pile Foundation in Shanghai Soft Clay
..... *Yang Min Zhao Xihong Dong Jingguo* (94)
8. Field Measurement on Piled Box-Foundation Interaction of A Tall Building..... *Hong Yukang Cheng Qianghua Cheng Guanfa*
..... (106)
9. Experiment and Analysis for Piles and Pile Foundation
..... *Chen Zhuchang Xu He* (117)
10. Prediction of Penetration Resistance and Driveability of Piles
..... *Zhu Xiaolin* (125)
11. Calculating of Horizontal Movement of Cement-Soil Pile Retaining wall..... *Cai Weiming* (132)
12. The Application of Numerical Method on Foundation Engineering..... *Zhu Baili Cao Mingbao* (137)
13. Estimation of Parameter on Verticle Bearing Capacity of Driven Pile from Static cone Penetration Data
..... *Chen Qianghua Hong Yukang Gao Dazhao* (145)
14. Analysis of Laterally Loaded Piles in Layered Soil
..... *Zai Jinzhang Chen Zhonghan Shen Xiying* (169)
15. Study for Tall Building-Foundation-Soil Interaction and Its Application
..... *Zhao Xihong Zhang Wenchi Dong Jingguo Cao Mingbao*
..... *Qian Yuping Yin Yongan Yang Ming Sheng Weiyuan*..... (181)
16. State-of-the Practice of Penetration Testing in China
..... *Chen Qianghua Yu Tiaomei* (198)
17. The Present Situation of the Underpinnings
..... *Ye Shulin* (211)
18. Control of Contaminant Migration by The Use of Compacted clayey Liners
..... *Hu Zhongxiong Li Xiangyue Zhou Jianmin Chen Wenhua* (220)
19. The Shanghai Foundation Design Code with The Progress of Soft Clay Engineering Technology..... *Gao Dazhao* (227)
- Closing Remarks *Gao Dazhao* (234)

第一篇

学习与写稿的回忆 ——答 客 问

俞 调 梅

【导言】有人问我，能否把过去所写文章的详细提要汇成一集？我认为这样作没有多大意义，因为那些文章并不好，而且过时了；不如将提要写得简短一些，再谈谈体会和存在的问题，以及对于师友的怀念。准备提出12篇文章并加以讨论。

一、关于焊接刚构架节点的试验研究^[1]

这是在已有供探索性科学研究的焊接空腹桁架室内模型上进行的（图1，2）。已有的试验结果（未发表）认为构件的抗弯刚度在靠近节点处将减小，称为“瓶颈效应”。作者的试验研究，认为不存在瓶颈效应。

已有的试验与结论如下。图1（a）表示无梁腹加劲板条的焊接空腹桁架，这是超静定结构（跨径约1.5m，高约0.4m）；图1（b）表示静定的L形及T形刚构。图2表示在L形刚构臂上进行的量测；在梁翼的若干点（P）上量测角变（即刚构臂ab的斜率 dy/dx ），由此求得角变位的导数，从已知的弯矩（M）值，用如下的公式：

$$\frac{d^2y}{dx^2} = -\frac{M}{EI} \quad (1)$$

计算刚构臂的抗弯刚度（EI）。这样，就得出了如下的推论：当梁翼进入弯曲段时（在图2的截面C处），亦即截面增大时，刚构臂的截面二次矩（I）的推算值不是随之增大，而是减小到约二分之一，如图2上方所示。这被称为抗弯刚度的“瓶颈效应”，认为是由于腹板的压屈。在空腹桁架及T形刚构上（图1），也进行如上述的试验，观测到了瓶颈效应。这在当时曾有人关心和表示怀疑。

本文^[1]对上述瓶颈效应问题进行了分析和试验，提出如下论点：（a）I字形截面腹板厚度与高度之比不太小（根据回忆，大约是 $\geq \frac{1}{40}$ 或 $\frac{1}{30}$ ），不可能出现压屈现象。

（b）是否可能因为梁翼翘曲（图3）而导致梁翼截面有效面积减少？经过计算分析，认为这也不可能引起瓶颈效应。（c）假如存在着瓶颈效应的话，那末，空腹桁架以L形与T形刚构（图1，2）在荷载作用下的变位将是很大的，比常规计算（假定I为常量）的变位大得多；但试验观测的变位很接近于常规计算。（d）在L形刚构（图2）腹板的若干点，量测互成45°的四个方向上的应变；由此可计算各点的主应力数值及方向。如果只考虑腹板一面的应力，这并不与荷载成线性关系；这可能是由于焊接应力的影响。但腹板正反两面应力的平均值，是与荷载成线性关系的。由此推论，腹板并没有进入压屈阶段。（e）根据如上述的实测腹板主应力数值及方向，推算了L形刚构轴线（图2的a、b）的变位（y）、角变位（ $\frac{dy}{dx}$ ）及导数（ $\frac{d^2y}{dx^2}$ ），由此证明，并不存在瓶颈效应。（f）为什么过去的试验研究会得出瓶颈效应的结论？这是因为不应该在梁翼上（图2的若干点P上）量测梁的角变位。因为：梁翼进入弯曲区段时，梁截面在受弯后仍保持为平面这一假设不再适用了。后一点是导师A. J. S. Pippard教授指出的。

本文^[1]也考虑了如下两个问题。首先是，想根据已有的梁翼、梁腹应力的试验量测

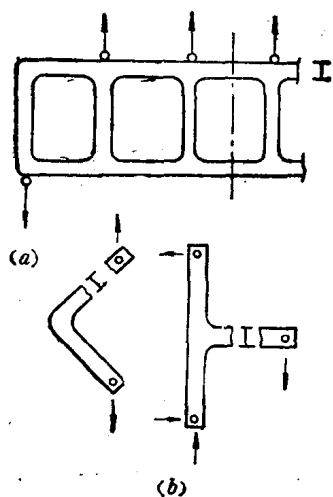


图 1 室内模型

(a)空腹桁架(跨径约1.5m, 高约0.4m);
(b)L形及T形刚构

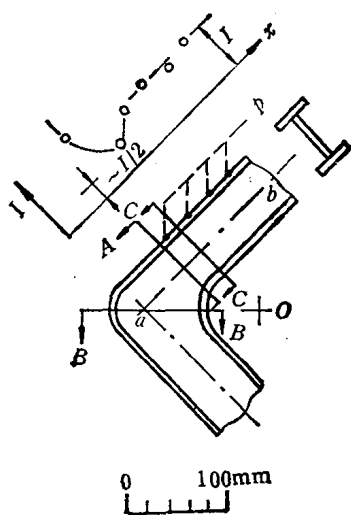


图 2 L形刚构的试验

(上图表示抗弯劲度的“瓶颈效应”)

数据, 对于如何计算空腹桁架(以及L形与T形刚构)的方法进行探索。为此, 曾试把L形刚构的截面A(图2)作为具有不平行梁翼的I字梁进行计算分析; 结果不满意。又曾将截面B及C(图2)作为曲梁(弯曲中心为图中的O点)进行计算分析; 结果也不满意。但因此对曲梁提出了一些问题, 并进行了探索, 后来推导了曲梁剪应力计算的公式⁽³⁾; 这将在后面介绍。

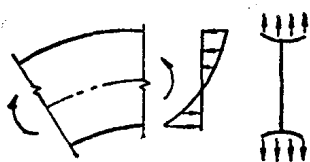


图 3 曲梁的梁翼翘曲

[梁翼上的箭头表示梁翼在环向压力(或张力)作用下的次生离心力(或向心力)]

第二个问题是, 从图1, 2及3不难理解, 空腹桁架的梁翼和梁腹都需要有加劲板条。但是, 就在那时候有一座焊接空腹桁架公路桥在车辆行驶过桥时垮了; 桁架的加劲板条是经过周密设计的。曾有不同的说法, 认为可能是由于钢材、焊接质量不高(这是比利时一条运河上的桥; 当时曾有文献报导, 但现在不容易查到了)。直到最近几年, 才听到钱令希教授的意见, 认为桥垮下来是由于应力集中和疲劳, 而这是由于加劲板条太密, 劲度太高。看来这是有意思的。为此, 把大连的一座带有撑杆的板梁桥^(15*)作如下的介绍。图4(a)表示板梁的两端有弯头; 板梁与撑杆间设置了立柱; 图4(b)表示桥的剖面, 包括油管、污水管及路面; 图4(c)表示弯头的细节, 这里可以看出, 加劲板条的设计是考虑了应力集中问题的。图4(c)的截面C的应力分析, 是用曲梁公式计算的; 看来, 这比图2(截面B及C)用曲梁公式更为合理一些, 但未知是否有实测应力数据作为比较。

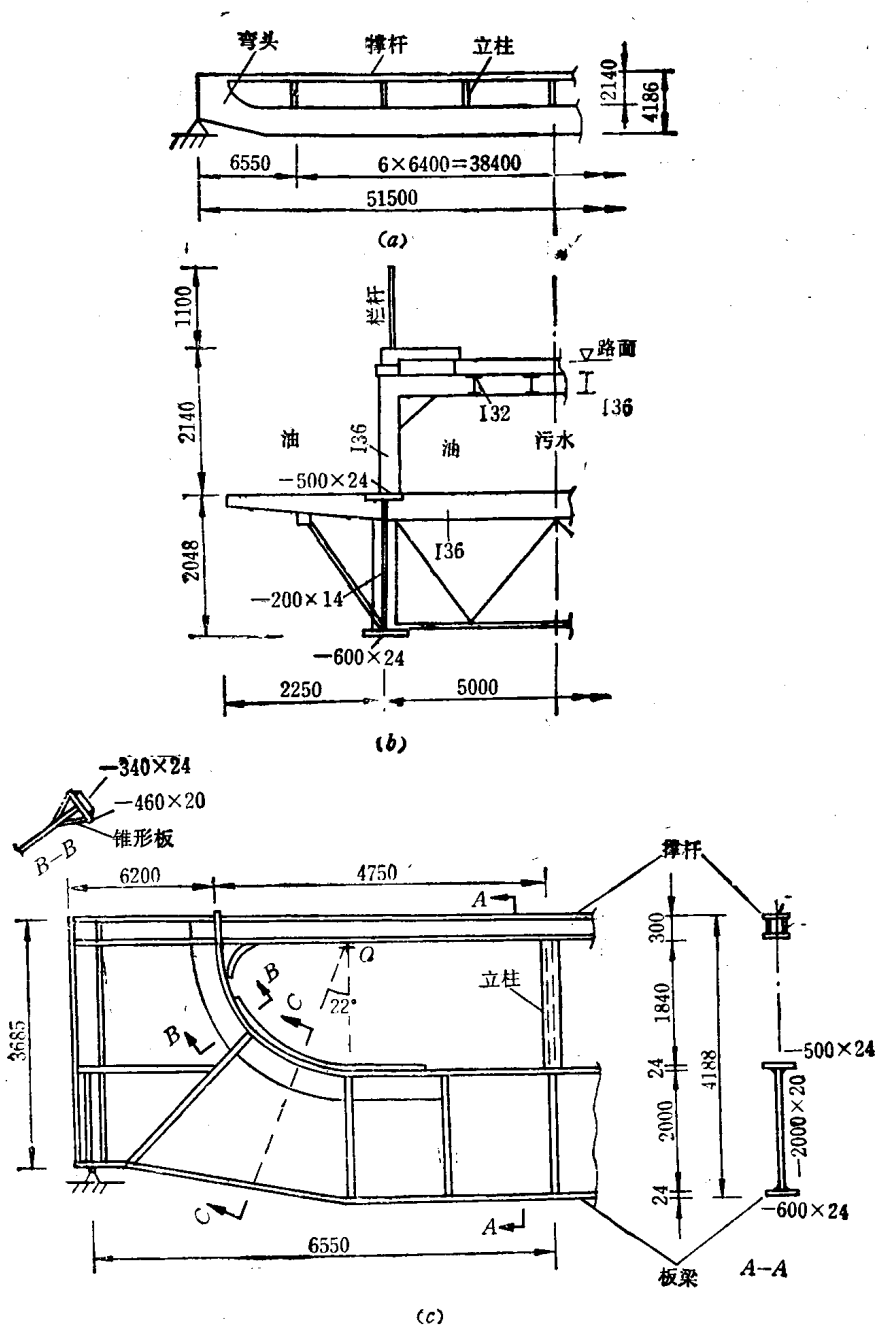


图 4 带有撑杆的板梁桥^[15*]
(a)总图; (b)剖面; (c)弯头构造

二、柱比法应用于连续拱及连续排架^[2]

本文把求解三次超静定框架的柱比法^{[16*], [17*], [18*]}推广应用于连续拱及连续排架。为了便于说明问题,下面将介绍:(a)短柱的偏心受压;(b)弹性中心法;(c)柱比法;(d)柱比法的推广应用,弹性支座及替代杆件;(e)例题。

1. 短柱的偏心受压

柱比法是作为短柱的比拟方法提出来的, 所以先从短柱公式讲起。如图 5 所示, 某一点(Q)的压应力(σ)为:

$$\sigma = \frac{P}{A} + \frac{M'_x}{I'_x} \cdot x' + \frac{M'_y}{I'_y} \cdot y', \quad (2)$$

式中 P ——荷载; A ——截面面积; $M'_x = P \cdot e'_x$; $M'_y = P \cdot e'_y$; $I'_x = \int (x')^2 dA$;

$I'_y = \int (y')^2 dA$; 主轴(ox' , oy')的倾斜角(θ)由下式确定:

$$\tan 2\theta = \frac{2I_{xy}}{I_x - I_y}, \quad (2A)$$

其余符号的意义见图 5。公式(2)可以改写如下^[18*]:

$$\sigma = \frac{P}{A} + \frac{M_x - M_y \frac{I_{xy}}{I_x}}{I_x - I_y \frac{I_{xy}}{I_y}} \cdot x + \frac{M_y - M_x \frac{I_{xy}}{I_x}}{I_y - I_x \frac{I_{xy}}{I_y}} \cdot y, \quad (2B)$$

或

$$\sigma = \frac{P}{A} + \frac{M_y}{I_y} \cdot x + \frac{M_x - M_y \frac{I_{xy}}{I_x}}{I_y - I_x \frac{I_{xy}}{I_y}} \cdot \left(y - x \frac{I_{xy}}{I_y} \right), \quad (2C)$$

用公式(2B)或(2C)计算, 有时比较方便。

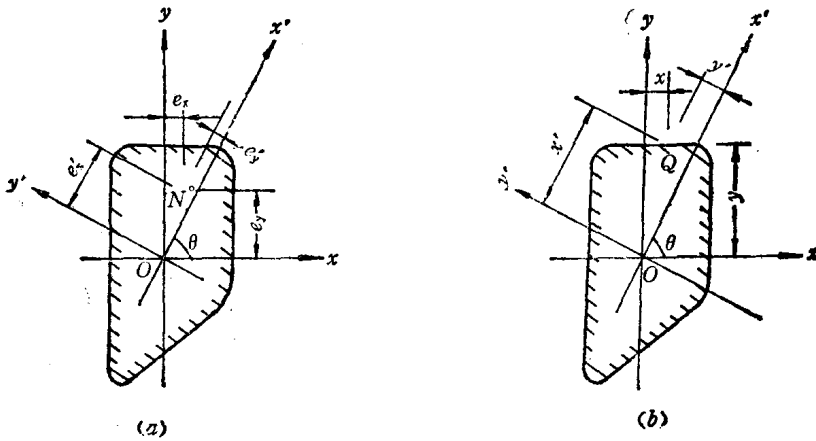


图 5 短柱的偏心受压

说明: (1) Ox , Oy 为通过形心(O)的任意直角坐标轴; Ox' , Oy' 为形心主轴。

(2) (a) 图表示偏心荷载(P)作用点(N)的坐标: e_x , e_y , e'_x , e'_y 。

(3) (b) 图表示求解应力点(Q)的坐标: x , y , x' , y' 。

2. 弹性中心法^{[18*], [19*]}

这也是求解三次超静框架的方法, 与柱比法有共同之处。图 6 (a) 表示: 框架 $ABCD$, A 与 D 为固定端; F 为荷载 (作为一个例子); O 为框架杆件 (AB , BC , CD) 的“弹性面积” ($A = \int \frac{ds}{EI}$) 的形心, 即“弹性中心”; Ox 及 Oy 为通过形心(O)的任意直角坐标轴, Ox' 及 Oy' 为形心主轴, 参见前面的公式(2A)。图 6 (b) 表示: 把框架 $ABCD$ 固

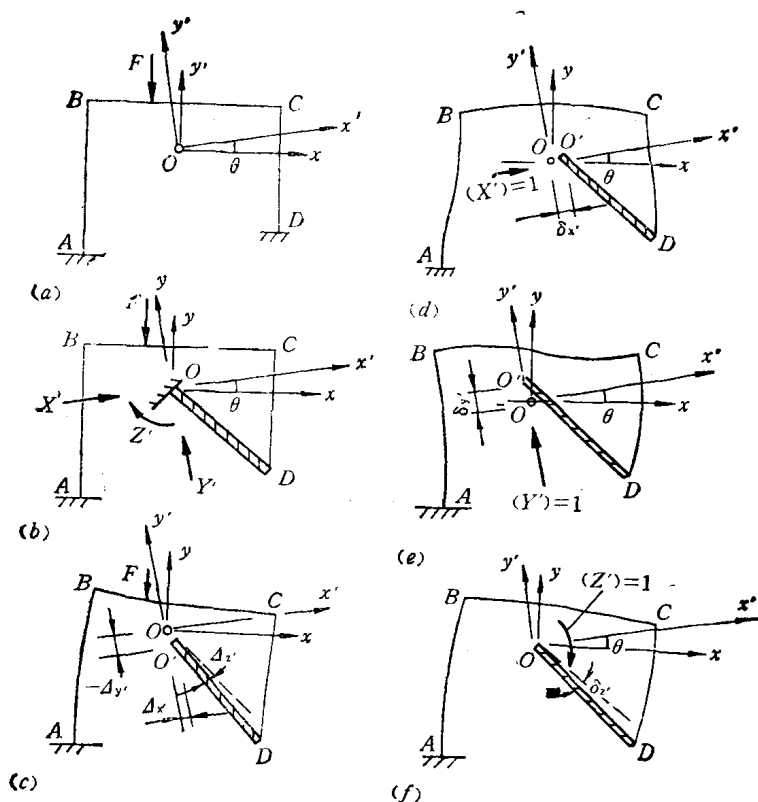


图 6 弹性中心法

- (a) 求解的三次超静定框架 (ABCD);
 (b) DO 为刚性杆; 求解超静力分量 (X' , Y' , Z');
 (c) 当 O 点没有支承时, O 点的变位分量为 $\Delta_{x'}$, $-\Delta_{y'}$, $\Delta_{z'}$;
 (d), (e), (f) 分别为 ($X'=1$), ($Y'=1$), ($Z'=1$) 作用在 O 点时产生的变位; 这里的变位分别为 $\delta_{x'}$, $\delta_{y'}$ 及 $\delta_{z'}$ 。

定支承在形心 O 点, DO 为刚性的 (不变形的) 杆件; 求解作用在形心 (O) 点的超静定力的三个分量, 即分力 (X' , Y') 及力矩 (Z')。图 6 (c) 表示, 在框架 ABCDO 上作用着荷载 F (与前同), 但在 O 点没有支承 (没有约束); 在这样的条件下, 不难计算求得 O 点的位移 (移到 O' 点), 位移分量为 $\Delta_{x'}$, $\Delta_{y'}$, $\Delta_{z'}$, 正负号规则是: Ox' 及 Oy' 的正号方向为正, 顺时针向为正。图 6 (d) 表示: 若框架 ABCDO 上没有外荷载, 在 O 点作用着与 Ox' 轴平行的单位力 ($x'=1$) 时, O 点将移至 O' 点, 即 $OO' = \delta_{x'}$, 并且可证明, 在 Oy' 方向的位移等于零, 转角也等于零。图 6 (e) 表示: 在同上条件下, 在 ($Y'=1$) 作用下, O 点的位移为 $OO' = \delta_{y'}$, Ox' 轴方向的位移等于零, 转角也等于零。图 6 (f) 表示: 在同上条件下, 在力矩 ($Z'=1$) 的作用下, OO' 的转角为 $\delta_{z'}$; Ox' 轴方向、 Oy' 轴方向的位移都等于零。这样, 就可求解图 6 (b) 所示超静定力的三个分量:

$$\left. \begin{aligned} X' &= -\Delta_{x'}/\delta_{x'} \\ Y' &= -\Delta_{y'}/\delta_{y'} \\ Z' &= -\Delta_{z'}/\delta_{z'} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

这里, 毋须解联立方程式; 因此用弹性中心法是比较方便的。