土力学与基础工程

陈梁生
陈仲颐 合编

水利出版社

土力学与基础工程

編　　者　陈梁生　陈仲颐

出 版 者　水利出版社
（北京和平門內北新華街 35 號）
北京市書刊出版業營業許可證出字第 080 號

印 刷 者　水利出版社印刷厂
（北京西城皮方街 13 號）

發 行 者　新　華　書　店

287 千字　插圖 1　850×1168　1/32開 15 1/16 印張
1957年8月第一版　北京第一次印刷　印數1—3,000
統一書號：15047.62　定價：(10)2.80元

編者的話

在1952年高等院校進行教学改革时，編者与教研組其他教師即共同編寫工業及民用建筑專業和水工結構專業用的土力学、基礎工程講义。这份初稿，以后經过編者修改补充，曾經在1954年作为高等学校內部交流講义由高等教育出版社出版。在这以后，又經过編者这几年來几次修改、补充，成为現在这份講义。

这份講义的內容，大体上可以滿足上述兩个專業的五年制教学大綱的要求。按照我們的經驗，它大約可以在60小时內講完（用小号字編排部分可以不講，并可以根据具体条件决定是否指定給同学作为課外学習材料）。

这个講义还是很不成熟的。虽然在編寫时，曾經参考了苏联和英美这一方面常見的教科書、一些專門著作和設計施工規范，同时对于某些难点（例如变形模量、等值層法原理等）的說明和論証，曾經根据教学經驗努力使初学者易于獲得正确的观念；但是限于学術水平和时間关系，一般地說，編者未能充分吸收这門科学的國內外学者的工作經驗以及我國近年來的工程实踐經驗，在問題的处理和文字方面也沒有來得及細心鑽研。鑒于有些高等学校和產業部門曾經要求用它作为教材和参考書，我們想目前作为高等学校交流講义出版，便于兄弟学校和產業部門采用，也許不無实际价值。我們希望讀者們热心地指出这份講义在各方面的缺点，以便繼續修改补充。

在1952年編寫这份講义的最初稿时，有一部分是由前清華大学

副教授陈致忠先生执筆的。在編寫最初稿及以后歷次修改补充过程中，教研組同事們經常提供了宝貴的意見。对于他們所給予的帮助，我們謹致以衷心的感謝。

陈梁生　陈仲頤

1956年12月，清華大学

目　　錄

緒　論 …… (1)
§1. 土与土力学 …… (1)
§2. 地基与基礎 …… (2)
§3. 正确解决地基基礎問題的重要性 …… (4)
§4. 本課程的任务和特点 …… (7)
§5. 土力学与基礎工程学的發展簡史 …… (8)
§6. 我國在这兩門学科上的成就 …… (14)
第一章　土的物理性質 …… (17)
§1—1　土的生成 …… (17)
§1—2　土的組成 …… (22)
§1—3　土的物理性質 …… (33)
§1—4　土的工程分类 …… (54)
第二章　土力学的基本定律 …… (59)
§2—1　概　說 …… (59)
§2—2　土的压縮性—压密定律 …… (60)
§2—3　土的透水性—綫流滲透定律 …… (74)
§2—4　土的抗剪強度—摩擦定律 …… (80)
第三章　土中应力的分布 …… (103)
§3—1　自重应力和附加应力 …… (103)
§3—2　布辛內斯克課題 …… (106)
§3—3　基礎底面上的压力分布 …… (109)
§3—4　地基中的附加应力分布 …… (118)
§3—5　土壩中的应力分布 …… (141)
§3—6　土中应力分布的实驗資料 …… (145)
第四章　建筑物基礎沉降的計算 …… (148)
§4—1　概　說 …… (148)

试读结束，需要全本PDF请购买 www.ertongbook.com

§4—2 基礎沉降量的計算—分層总和法 …… (149)
§4—3 基礎沉降量的計算—等值層法 …… (155)
§4—4 基礎沉降量的計算—耶哥罗夫方法 …… (163)
§4—5 基礎沉降量的計算—ПиТУ127—55 規定的方法 …… (167)
§4—6 沉降与时間关系的計算 …… (167)
§4—7 基礎沉降計算結果的应用 …… (181)
第五章 地基强度和土体的穩定性 …… (187)
§5—1 概 說 …… (187)
§5—2 土的極限平衡理論 …… (189)
§5—3 地基中極限平衡区范圍的决定 …… (196)
§5—4 边緣臨界荷載及相应于極限平衡区达到某一范圍时的其他臨界荷載 …… (202)
§5—5 地基的極限荷載 …… (203)
§5—6 地基許可承載力的决定标准 …… (221)
§5—7 土坡穩定 …… (223)
第六章 天然地基上淺基礎的設計 …… (235)
§6—1 概 說 …… (235)
§6—2 天然地基上淺基礎的类型 …… (237)
§6—3 基礎設計原則 …… (246)
§6—4 基礎砌置深度的选擇 …… (249)
§6—5 地基許可承載力的决定—应用規范 …… (252)
§6—6 剛性基礎的設計—在中心荷載作用下 …… (258)
§6—7 在偏心荷載作用下基礎的設計 …… (265)
§6—8 在垂直及水平荷載作用下基礎的設計 …… (268)
§6—9 水对地基土穩定性的影响 …… (271)
第七章 天然地基上淺基礎的施工 …… (280)
§7—1 地下水位以上修建基礎 …… (280)
§7—2 地下水位以下修建基礎 …… (290)
§7—3 在飽和土中的特殊施工法 …… (305)
§7—4 積水地区修建基礎 …… (324)
第八章 深的天然地基 …… (331)
§8—1 沉井的適用条件、种类和結構 …… (333)
§8—2 沉井的施工 …… (339)
§8—3 沉井的計算 …… (346)

§8—4 压气沉箱的適用条件和主要構造設备 …… (352)
§8—5 沉箱的計算 …… (360)
§8—6 可撤式沉箱 …… (364)
§8—7 压气沉箱水力机械施工法—盲式沉箱 …… (365)
§8—8 管柱鑽孔法 …… (367)
第九章 人工土基 …… (369)
§9—1 垫層法 …… (370)
§9—2 机械压密法 …… (371)
§9—3 預压固結法 …… (375)
§9—4 灌漿法 …… (375)
§9—5 矽化法 …… (376)
§9—6 电动化学加固法 …… (379)
§9—7 各种加固土的方法的分类和应用范圍 …… (380)
第十章 樁 基 …… (382)
§10—1 概 說 …… (382)
§10—2 樁的种类 …… (384)
§10—3 單樁承載量的計算 …… (389)
§10—4 关于打樁时土中發生的一些物理現象 …… (397)
§10—5 樁基的設計 …… (398)
第十一章 在淤泥及黃土类土上修建基礎 …… (413)
§11—1 在淤泥上修建建筑物的方法 …… (413)
§11—2 黃土和类黃土作为天然地基 …… (417)
§11—3 黃土和类黃土的变形特性 …… (418)
§11—4 变形特性的測定和沉降的計算方法 …… (422)
§11—5 黃土和类黃土地基的規范 …… (426)
§11—6 在黃土和类黃土地基上修建工業及民用建筑物应采取的特殊措施 …… (429)
§11—7 在黃土層中修筑水道的特点 …… (431)
§11—8 黃土層作为水工結構物地基时加以預先浸湿的方法 …… (433)
§11—9 黃土用作修筑堤壩的材料 …… (435)
第十二章 机器基礎 …… (437)
§12—1 概 說 …… (437)
§12—2 动力作用对地基土的影响 …… (438)
§12—3 机器基礎的一般要求 …… (440)

§12—4 机器基础的振动計算…… (442)
§12—5 地基土与振动計算有关的弹性性質…… (449)
§12—6 基础尺寸的初步选擇…… (452)
§12—7 具有曲柄連杆机件的机器的基础…… (456)
§12—8 具有旋轉部分的机器的基础…… (461)
§12—9 冲击作用的机器的基础…… (462)
§12—10 減小振动振幅的方法 …… (464)
§12—11 構架式机器基础 …… (467)
参考書目 …… (468)

緒　論

§1. 土与土力学

地球的外壳（岩界）由各种岩石組成。它的外層，一方面受存在于地球內部的各种內力（地球內部热量、地殼升降、火山作用等等）的影响，另方面受各种外力（太陽热量、水界、气界和生物界）的物理化学風化作用。

土（грунт）通常指岩界外層（大約在地面以下不到500米范圍以內）的組成部分，里面主要是正在經受風化的岩石及岩石風化后的產物。土是各种工程措施的对象：許多建筑物（例如堤壩、路基）是用土筑成的，有些建筑物（例如隧道、运河）是造在土里面的，而一切建筑物的重量最后沒有不是由土來承受的。

最靠近地面部分（一般不到1.5～2.0米）的土，除了經受一般的風化作用之外，由于加上有机物的作用形成土壤（почва）。

岩石具有很大的强度，并且是不可压縮或压縮性甚小。当用它們作为建筑物地基时，建筑者对于它們的承載能力一般沒有疑問。对于它們的穩定性的研究，屬工程地質学范圍。当岩石用作建筑材料时，它們的性能通常根据材料力学的方法决定。至于岩石以外的那些土，也就是各种岩石風化后的產物（例如礫石、砂、粘土等），具有一种区别于岩石的特性——碎散性。这类土在地壳表面分布最廣，它們不是連續的固体，而是由許多單独的固体顆粒所組成的物体，这些顆粒之間沒有粘結或者粘結的强度比顆粒本身的强

度要小得多。由于碎散性，这些土具有一般理想剛体和連續固体所沒有的特性。Н.А. 崔托維奇(Цытович)教授称这些特性的作用規律为土的孔隙法則，包括土的压縮性、滲透性和內摩擦等。

土力学是一門科学，它專門研究上述岩石以外那些土（在本課程中，今后当講到土的时候，我們通常就指这部分土）与工程建筑有关的各种性質以及这些土內部在受荷情形下所發生的各种作用过程。更具体点說，土力学研究：土的孔隙法則、土內的应力与应变情况、土的强度和穩定性問題以及擋土結構上的土压力等。

土是自然歷史的產物，它的性質是复雜而变化多端的。不同类的土性質固然不同，即使是同类的土，取自同一地方，性質也可能不尽相同，而且同一种土，随着季節（温度、湿度等）及其他条件不同，性質也可能發生很大的变化。

处理有关土的問題时，还有另一特点，就是使用土不像使用其他工程材料那样，可以按照設計者的願望獲得并使用合乎一定規格的材料。使用土，往往只能按照它的天然狀态直接使用，例如，房屋及水工建筑物基礎一般建筑在天然土層上面，运河水道开在天然土層里面，排水工程从天然土層中抽水等等，这些时候，不管土的性質如何，除非更改工程地点，我們一般是沒有选擇余地的。当然，土有时候也可能加以一些人工处理，但往往費用很大而效果有限。又例如筑壩或筑路，虽然我們可以选擇比較適宜的土來使用，但是由于經济和其他条件，选擇往往受到很大限制，除了就材使用之外，最多也是只能加以某种程度的改良而已。

§2. 地基与基礎

建筑物造在土上面，承受这个建筑物重量的全部地層就叫做这个建筑物的地基（основание）。

建筑物的基礎（фундамент）是指建筑物的一部分，它把建筑物的重量和作用在建筑物上的力通过它傳布到地基上去。

圖1表明一个柱子或牆在地下部分的大概布置。注意圖中基礎与上部結構和地基的关系，并注意設計地面与天然地面的差别。圖中 H 称为基礎对于設計地面的砌置深度，h 称为基礎对天然地面的砌置深度。

圖2（a）表明一个重力壩通过复盖造在石基上面，圖2（б）表明一个滾水壩直接造在非石基上面。注意在这兩張圖所示情形之下壩身和壩的基礎部分实际上是一个整体，并沒有顯明的分界。

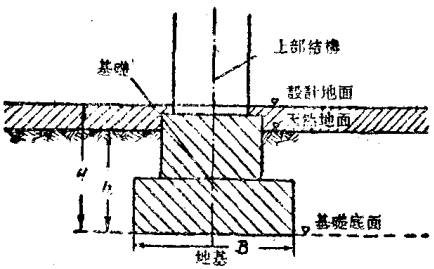

圖1　地基与基礎

地基可以分为兩大类：天然地基与人工地基。假如基礎直接砌置在沒有預先加强过的土（包括岩層）上面，这种地基就称天然地基。天然地基是最簡單而經济的地基，因为这种地基的施工費用僅限于开挖基槽、支撐槽壁（某些必要的場合）及抽水（基礎底面設于地下水位以下时）的費用。

遇到較弱的天然土層，經过人工加固之后才在它上面建造基礎时，这种地基就称为人工地基。人工地基通常可分为兩类：人工土基及樁基。人工土基包括換土、夯实固結、膠結及灌漿等几种方法。人工地基在費用方面

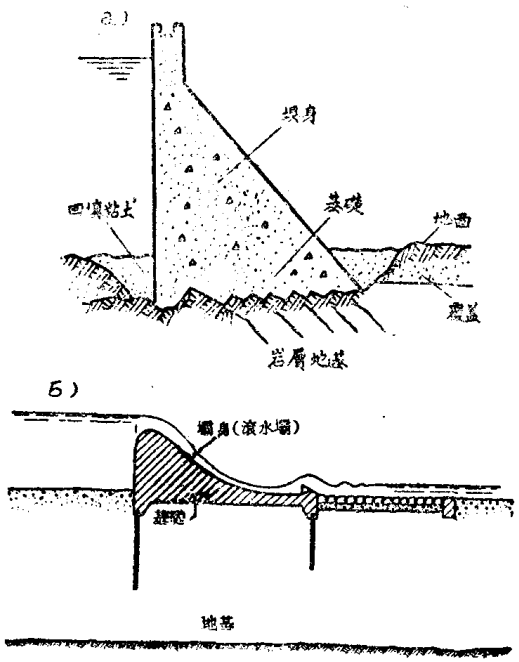

圖2　壩基

试读结束，需要全本PDF请购买 www.ertongbook.com

比天然地基昂貴，但是增加了天然土層的强度，使得基礎有可能砌在比較淺的地方。

天然地基上的基礎依砌置的深度可分为淺基及深基，H.H.博哥斯洛夫斯基（Богословский）認为凡基礎砌置深度H小于基礎寬度B的四倍、或在任何条件下小于五米者称为淺基；$H>4B$者則称为深基。

建造深基时遇到水的机会比較多，需要用特殊的施工方法与設备，因此施工复雜且造价高昂，一般的水工建筑物及工業与民用建筑物多采用淺基。最常見的淺基礎的形式有單独基礎（如柱基）、条形基礎（如牆基、擋土牆基礎）、整塊基礎（圖2）和連續板基礎（圖3）等。

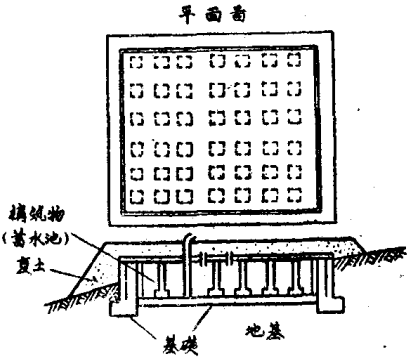

圖3　連續板基礎

当荷載較重而地基土質較弱，或建筑物要求甚高的强度和穩定性，再或在積水地区基礎可能受到冲刷时，就不得不采用深基。

§3. 正确解决地基基礎問題的重要性

地基承受建筑物的重量之后，通常發生变形，因而引起建筑物基礎的沉降。在过去，当房屋的重量比較小而且一般是由承重牆經过条形基礎傳布于地基的时候，沉降并不是十分嚴重的問題。近代的民用及工業建筑物不但比較重大，而且它們的結構形式一般不容許比較大的不均匀沉降。因此，今天当我們設計地基和基礎的时候，必須考慮建筑物的可能沉降。在水工建筑物方面，沉降更是地基設計中必須考慮的最主要問題之一。对于地基的强度和穩定性也必須加以考慮，尤其是建筑物受有水平荷載时。

要考慮建筑物的可能沉降、地基的强度和穩定性，就不能沒有

关于地基的地質和水文地質資料。为計划地基和基礎的適当施工方法，这些資料同样也是必須的。由于地質和水文地質情况变化很大，要獲得这一方面的可靠材料一般必須進行实地勘測（包括鑽探、取样、試驗等）。

根据地基勘測資料确定各層土的物理力学性質之后，便可以結合建筑物的要求并考慮施工的可能条件進行地基設計——选擇地基和基礎的类型及布置方案、驗証建筑物的沉降及沉降差、驗証地基的强度和穩定性、并决定基礎的砌置深度和基礎底面積的大小等等。接着，便可以進行基礎的結構設計。最后，進行地基和基礎的施工。

如果要使建筑物坚固、安全、而且使用上滿意，顯然地它的地基和基礎必須首先滿足坚固和穩定的条件才有可能。

为保証地基基礎的坚固和穩定，就必須做好勘測、設計和施工三个环節，并做好这几个环節之間的相互配合。施工之前必須完成設計，設計之前必須取得充分的勘測資料。在進行地基設計的时候沒有勘測資料，或有勘測資料但沒有加以充分利用，將帶來不可估計的灾难和損失。这在下面所举的例子中得到清楚的說明。在進行地基設計的时候沒有考慮施工的条件和方法，同样也会造成困难和失敗。当然，問題不僅如此，進行勘測的时候沒有考慮建筑物的性質和要求，進行施工的时候沒有体会設計的意圖等等都是不对的。任何这类的疏忽和脫節都可能導致整个工程的嚴重失敗。因此，正确解决地基問題是全面性的極其重要的工作。

某厂的主要厂房，剛建好不久就有一百多根柱子發生嚴重的下沉，有的沉了20厘米左右，造成了極大的損失。事后研究，知道距地面1.7米以下有数米厚的軟粘土層，柱子的沉降就是由于这个軟粘土層的压縮。可是，事先沒有經过詳細勘查，予以应有的注意。

另一工厂有一座四層楼的机器房，东边是倉庫，西边是机器，重量不等，結果随着基礎的不均匀沉降，整个楼房歪了，机器也歪了。由于机軸不正，用电量增加；这样虽然勉强还能使用，但大大

提高了生產成本。更嚴重的是不均匀沉降的結果，大大縮短建筑物和机器的寿命。这是沒有正确設計基礎因而造成嚴重后果的一个典型例子（見人民日报 1953.3.1.）。

在水利工程方面，也有許多类似例子。某土壩在建造过程中發生边坡坍塌事故，造成嚴重損失，原因是事先对壩底一層軟粘土層的存在沒有予以足够的注意，結果壩身的重量使地基發生局部滑动。某滾水壩翼牆，由于对作用在基礎上的力估計不足，同时对于地基抵抗移滑的能力又估計过高，因而產生了構筑物滑动的現象，造成工程失敗。

类似的失敗例子很多，从这些例子中可以清楚看到正确設計基礎的重要性。現在讓我們看一个处理地基成功的例子。从这个例子中我們可以進一步看到正确运用土力学原理解决地基基礎問題的巨大意义。

在1926～1933年間，在苏联斯維尔河上修建了一座水电站，它的地基是 100 多米厚的可压縮粘土層。在当时世界实踐上还沒有遇到过在这种地基上修建混凝土壩和水电站的經驗。当时的美國顧問組長認为这是危險而荒謬的主意。然而，苏联的科学家和工程师們在Г.О.格拉弗提奧（Графтио）院士領導下展开了大規模的研究工作。他們在壩址鑽了 200 多个鑽孔，共長 6,000 多米，試驗了 800 多个土样，試驗的多样性和規模在世界实踐上也是前所未有的。他們在1926～1930 五年間做了 12 个比較設計方案，最后决定修建高22米、長 220 米的混凝土壩，放在整塊基礎底盤上。根据沉降分析和施工过程中的观测，他們断定主厂房当水庫裝滿水后將向上游傾斜 0.35° 左右。由于渦輪机必須在水庫裝水前安裝，而計算傾斜度又超过渦輪机所能容許的数值，于是决定安裝渦輪机时，先向下游傾斜，使得水位升高后正好垂直。結果証明，当水庫裝滿后渦輪机軸果然垂直，与予料一致。1933 年 12 月斯維尔水电站开始發电，向全世界証实了在非石基上筑壩和建立水电站的可能性，顯示了苏联科学的輝煌成就，創造了正确处理地基問題的卓越范例。

应当指出，正确而良好的地基設計不僅要能够保証建筑物的坚固和穩定，而且还要是最經济最合理的解决方案。不少建筑物沒有發生嚴重变形，可是由于采用了不必要的、过分安全的基礎設計，以致大量宝貴的建筑材料被永远埋沒在地下而浪費掉。这种損失或許并不比因發生危險而造成的損失小，但往往沒有被發現罢了。

做出只花費最少的物力、財力而又能保証最大安全程度的建筑物設計，这是每一个土木工程师和水利工程师的主要任务。顯然地，如果他对于几乎每一建筑物都要接触到的土的性能缺乏必要的知識，对于正确解决地基基礎問題缺少必要的訓練，那么，要他成功地执行他的任务是不可想像的。

§4. 本課程的任务和特点

本課程的任务，在于使同学对土作为建筑物材料或建筑物地基的基本性能有明确的概念和認識，熟悉土力学原理及土的試驗方法，并基本上掌握一般地基和基礎的分析，設計原理及施工步驟。

学習本課程后，同学們应当会計算建筑物的沉降，分析建筑物基礎的穩定性，决定地基的許可承載力，熟悉各种类型的基礎及其構造，能够选擇適合于不同地質和水文地質条件的地基基礎方案，作出一般基礎的設計并提出基礎施工的方法。

因此，本課程主要包括兩部分：（1）土的基本物理力学性質及其在受荷情形之下的作用（第一章至第五章）；（2）建筑物基礎的一般設計原理和施工要点（第六章至第十三章）。

有关特殊結構物的基礎（例如壩基、閘基等）的具体設計和施工方法以及岩石地基問題，同学們將在水工結構課程中進一步深入学習。一般建筑物基礎的結構設計，將在鋼筋混凝土結構和磚石結構課程中学習。

本課程是一門以其他許多学科为基礎的課程，其中主要的有工程地質、理論力学、材料力学、建筑力学和建筑施工技術等。因

此，学習本課程之前，一般应已掌握这些学科的知識。另一方面，在本課程中学習到的知識，同学們將在今后学習專業課、生產实習和畢業設計中得到進一步的运用和巩固。

学習本課程时，同学們应当記住，不僅要深刻而牢固地掌握理論教材，还要会运用自己所学到的知識去解决实际問題。这个对于一切应用科学都適合的規則，对于土力学和基礎工程学尤为重要，因为有关地基設計方面的实际問題几乎沒有一个能找得到完全相同的前例，許多实际問題都必須根据具体情况去單独解决。

本課程的另一特点是內容的多方面性，从土的基本物理性質一直到基礎的施工方法都要学習。这里面有理論，有叙述性材料，有实驗，有設計。在有限的时数內，不可能对本課程所牽涉到的一切問題都深入鑽研討論，尤其是某些基礎理論課范圍以內的东西（例如有关膠体化学、彈性力学方面的原理），在本課程中一般只能直接应用它們的結論，指出其物理意义，不作理論上的推演或証明。同学們应当着重于掌握物理概念，抓住重点，照顧全面，密切联系实际，而不要把注意力僅僅放在数学演算或鑽到某一次要問題上去。

最后，在学習土力学部分时，同学們应当随时記住土力学和工程地質的密切关系。在研究土的特性和作用时，应注意緊密联系土的屬性。

§5. 土力学与基礎工程学的發展簡史

土力学与基礎工程学，像其他技術科学一样，是建立在人类对自然界斗爭的实踐經驗上面。这些經驗，提高为系統的理論，就成为科学。我國人民，从远古以來，对使用土做为建筑材料和地基有非常丰富的經驗和十分偉大的成就。我們对于这些經驗和成就还沒有認眞地总結，因此在目前还不可能做出詳尽的叙述，在下一節，我們將举出若干事实，說明我國人民在这門科学上的成就。在这一節，我們僅能叙述國外科学家和工程师們所做的工作。

土力学及基礎工程学作为独立的学科出現虽然只有三十多年的歷史，但是有关这方面問題的正式研究却从十八世紀末叶就已开始。

法國科学家庫倫（Coulomb）在1773年發表了有名的土压力滑楔理論和土的抗剪强度公式，对于后來土力学的創立打下了最初的重要基礎。1801年，俄國学者富斯（Фусс）在世界上第一次提出了关于道路輪溝形成的理論分析。1856年，法國工程师达西（Darcy）研究砂土的透水性，發表了大家所熟悉的达西公式。英國学者郎肯（Rankine）在1857年發表了另一有名的土压力理論。郎肯理論与庫倫理論并称为古典土压力理論，到今天仍然具有十分重要的理論和实用价值。

世界上第一本“地基与基礎”教程的作者是俄國著名学者卡尔洛維奇（Карлович）。在發表于1869年的这本巨著中，他首先注意到土的压縮过程对建筑物穩定性的影响，指出粘性土的压縮是随着时間慢慢進行的事实，强調研究土的压縮性的重要意义，并定出了相应的試驗方法。

在1879至1881年間，俄國学者進行了关于土內应力分布最初的实驗研究。1885年，法國科学家布辛內斯克（Boussinesq）应用彈性理論得出了地基中应力分布的第一个解答。俄國另一有名学者庫迪尤莫夫（Кудюмов）則于1889年第一次应用模型研究了地基破坏、基礎下陷时地基內土粒的位移情况。他的試驗大大地丰富了人們对于土的变形和破坏性質的了解。

在基礎工程方面，在十九世紀末叶和二十世紀初叶，在技術上取得了很大的進展。除了对歷史悠久的橋基的設計和施工做出了顯著的改進以外，在这个时期开始采用了压气沉箱修建基礎的方法、人工冻結土和深層降低地下水位等新的施工方法。压气沉箱法是法國工程师特利席(Triger)在1841年所首先創議，而在1849年首次应用于桥墩的施工。近代鋼筋混凝土沉箱的結構形式为俄國工程师連托夫斯基(Лентовский)在1900年提出而木筋混凝土压气沉箱則为

试读结束，需要全本PDF请购买 www.ertongbook.com