

軟土地区修筑路基試驗总结

铁道部基本建設总局編

人民铁道出版社

目 录

第一章 緒言	1
第二章 勘测试驗和观测	5
一、勘测工作	6
1. 軟土地区的地質勘探	6
2. 試点勘探經過	7
3. 几种特殊勘探工具	9
4. 經驗和体会	11
二、土工試驗工作	12
1. 試驗項目及工作量	12
2. 几种試驗項目的討論	13
三、施工观测控制	14
1. 观测項目	14
2. 观测仪器設置	15
3. 观测設備构造及观测方法	15
4. 經驗和体会	21
第三章 反压护道法	22
一、宁波地区采用反压护道处理路堤沉陷坍滑的經過	22
二、反压护道的設計原則	23
三、反压护道計算实例	25
四、小結	29
第四章 砂垫层法	29
一、試驗过程	30
二、設計和施工控制方法的討論	32
1. 設計問題	32
2. 关于砂垫层的厚度問題	33
3. 施工控制	33
三、資料分析	34
四、小結	36
第五章 砂井加固法	37
一、砂井加固的設計	37
1. 砂井尺寸及垫层	37

2. 基底沉降及沉降時間計算	39
3. 填土速度的估算	44
4. 砂井及垫层填料的选择	45
二、砂井加固的施工	45
1. 机具设备	45
2. 施工方法	46
三、观测試驗資料成果分析	48
1. 观测点的布置	48
2. 加固效果的分析	50
3. 观测資料的討論	56
4. 沉降時間关系的分析	57
四、有待研究的几个問題	58
1. 填土速率	58
2. 砂井地基强度的預測	59
3. 打砂井对于地基土力学性质的影响	61
4. 砂井长度及排列	62
5. 渗透系数的測定	63
五、小結	63
六、附录	65
1. 砂井加固設計計算实例	65
2. 瑞恰特 (F. E. Richart) 砂井加固理論的討論	79
第六章 柴排及其他	81
一、柴排	81
1. 柴排設計	81
2. 路堤断面的选定	82
3. 柴排截面的确定	82
4. 柴排結構	83
5. 施工注意事項	84
二、电渗加固	85
1. 电渗加固設計	85
2. 試驗施工	88
3. 观测資料及加固效果的討論	90
4. 对今后試驗工作的几点意見	94
三、爆破砂井試驗	94
四、砂切沟試驗	96
第七章 結語	96
参考文献	100

第一章 緒 言

在軟土或泥沼地区进行建筑施工时，往往因基底軟弱，发生建筑物坍塌和沉陷。我国劳动人民，几千年来在修筑水利堤坝和民用房舍等方面，对此已有深切的体验，并积累了分年筑堤、换填基土等宝贵经验。近三四十年来，苏联在泥沼地区筑路的经验和研究中，特别是关于泥沼分类、泥炭下沉的计算、爆破炸淤以及在发展固结理论等方面，已经取得很高的成就。近几年来，一些国家在軟土地基加固方面，所进行的預压加固、排水砂井以及电化加固等工作，无论在理论研究与实践经验上也有很好的成果。但这一项建筑技术问题，毕竟还有待于进一步研究，特别是在深层軟土上建筑高大的建筑物如铁路路基等，如何进行合理的设计，如何从理论上分析基底的稳定性等，都还是一个极待研究的技术问题。

正如李維洛夫斯基教授在“铁路建筑”一书中所说：“泥沼地区修建路基是铁路工程中最困难的问题之一，与它同样困难的只有山岳地区的坍方滑坡可与比拟。”根据我们的体会，这种评价是十分恰当的。

所谓軟土及泥沼地区，从工程设计施工的意义来说，它可以包括淤泥质饱和土层、一般泥沼、湖塘与一切冲积和沉积的軟弱土层；它们的成因、结构和形态虽然不同，但对于工程建筑物的影响来说，都可以造成坍塌沉陷，因而基本性质是相同的。軟土和泥沼在我国分布很广，无论是山岳、丘陵、高原、平原以及海滨地带、森林地带都可遇到。根据现有资料，我国北自内蒙森林地带，东至沿海平原，西至新疆青藏，南至广东福建，以及内地平原丘陵地区都有这类地区的分布。从城市建设实践上来看，北京、天津、上海、武汉、哈尔滨、广州等都有軟弱地基问题。从铁路建筑实践来看，津浦、粤汉、京汉、沪杭、哈长、淮南、湘桂等线以及牙林、肖穿、内昆、南福等新线都曾遇到軟土和泥沼的阻难，正在勘测设计中的温州金华线、三水茂名线以及蕪湖、南京大桥引线都要通过大面积的軟土泥沼地区。祖国铁路基本建设正以空前速度向全国范围内延展，可以预料今后会遇到更多的这类地区。因此可以认为軟土和泥沼地区筑路问题是一项带有普遍意义的极需重视的问题。

在旧中国的铁路建设中，对于这样一个技术困难问题是无能为力的。根据1927年铁道年鉴记载“津浦线东葛花旗营间自从筑堤以后，高20呎的路堤曾全部陷入泥中三次。经历年填修基底已大部为石块所代替，建成20年后仍在继续下沉，必需常年用道碴起道”。事实上，建成50年以后(1951年)还曾有一次突然下沉3m，幸及时发现，未出重大事故。其他如粤汉南津港淤泥地带，也曾大量抛填片石，而建成后多年仍有下沉。旧中国修建的路基，因基底沉陷，有的因起道而补填的道碴深达3~5m。可以看出，由于以往在軟土地区上盲目施工造成的危害和损失是十分严重

重的。

随着我国社会主义大规模建设的开始，我们在软土及泥沼筑路方面更遇到了新问题。1955年当修筑肖穿线慈柴段的路堤时，我们遇到史无前例的深层软土，同时建设需要多快好省地进行，因此如何使软土泥沼地区筑路问题很好得到解决，要求更为迫切。

肖穿线经过我国浙江沿海冲积平原，地层系属第四纪淤泥质湖沼土，线路所经淤泥层深度达到62m，地表一般为可塑性粘土，呈灰黄色，厚约0.6~1.0m，下为流动性软粘土，部份地段夹有厚0.2~1.0m的泥炭。土质分析结果大致为： $W=40\sim50\%$ ， $e=1.0\sim1.2$ ， $W_L=35\sim40\%$ ， $W_n=15\sim70\%$ ，有机质5~8%， $a_r>0.1\text{cm}^2/\text{kg}$ ， $K=i_s\cdot10^{-8}$ ，三轴试验快剪 $\phi=1\sim2^\circ$ ， $C=0.2\text{kg}/\text{cm}^2$ 。地表许可承载力约为0.4~0.6 kg/cm^2 。铁路路基建筑在这样深层的软土上，不只我国无此经验，从我们现有的资料来看，国外铁路工程也无先例（苏联泥沼最深18m，美国泥沼最深30m）。由于我们对此缺乏经验，上述地区自1955年开工以来在长达50km的地段上，

一年之内路堤曾继续发生坍塌，其中一处高约8m的桥头路堤在将近填土完成时一次整体滑坍，下沉4.3m，滑动范围远离中线56m，坡脚地面隆起2m，形成严重的滑坍事故。事故发生后，在苏联专家的帮助下，经过一年的整治（主要是采取反压护道，加作排水盲沟及引桥等），虽已基本建成，但个别高填地段仍然不能保证稳定。

如前所述，由于在深层软土上填筑路堤我们还缺乏实践经验，同时由于地质、

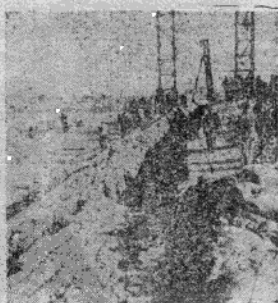
土质及其他条件为不同，已有经验和研究也各有其局限性。已有的处理方法，也各有其一定的适用范围。如通常习用的反压护道方法，事实上只能适用于较低的路堤，爆破炸淤只能适用于较浅的或有条件排水的泥沼，柴排只宜适用于木材丰富的地区，大量的基底换土需有一定的施工机械化条件等。近年来，一些国家所用的预压加固（包括砂井或真空及纸板排水等），虽在建筑高路堤方面已收到良好的效果，但工程对象与其他条件各有不同，而且有些经验也还不够成熟，至于在我国铁



照1-1 K1321+50~K1322+30路堤高2~3m，天然护道宽1~3m，路堤通过旧线取土坑内，竣工后即铺筑，机车通过时，路堤发生坍塌，最大下沉达1.5m。



照1-2 肖穿线K28+40~K31+00路堤高3.5~4.5m，地面下1m为泥炭层，厚0.8m，路堤填完开始铺筑，即突然向左侧坍塌下沉。



照1-3 肖穿线K40+10~K41+44路堤高7~8m，当填至设计标高加填预压土时，突然向左整体滑坍，沉陷3m。

道建設中，以往对此更未有任何嘗試。

鐵道部有鑒于此，同時為了突破這一技術關，保證多快好省地進行鐵路建設，1957年初決定在寧波組織進行專門的泥沼路基試驗工作。根據部令指示，試驗工作由施工、設計、研究各部門派員組成專門的機構進行，並由原工程總局直接領導（1958年底，劃歸上海、杭州鐵路局領導），計劃以較長的時間、進行多種多樣的試驗，以便比較各種可能的處理方案，為今後泥沼筑路的設計施工創造條件。可以看出，這一決定是十分英明正確的，這一工作的意義是非常重大的，這也是又一次反映了黨的偉大正確和目光遠大，反映了社會主義制度的無比優越性。也以事實說明只有在今天，科學技術才能得到迅速和有利的發展。

寧波試驗工作系在鐵道部領導和蘇聯專家大力關懷下進行的，1957年12月，呂、武副部長和工程總局、設計總局領導都曾親到試驗工地視察，給現場同志以莫大的鼓舞。蘇聯專家伊萬諾夫、契契金、扎岡達也夫（國家計委專家）等同志，對該項試驗工作都表示十分關切，都曾到現場指導，並寄予很大希望。

試驗工作也得到國內有關科學研究機構，高等學校和生產部門的重視與協作，水利科學研究院、浙江大學、同濟大學對我們的幫助特別大，在研究確定試驗方案、編制設計文件、解決試驗中發生的技術問題以及協助解決觀測試驗設備等方面，都給予了很大幫助。浙江大學曾國熙教授、同濟大學俞調梅教授、水利科學研究院王正宏工程師曾給予了經常的具體指導，對我們工作幫助極大。

試驗工作自1957年起至目前為止已經整整經過了兩年。兩年來，在黨的正確領導下，在黨的社會主義建設總路綫的光輝照耀下，在1958年全國大躍進形勢的鼓舞下，通過現場同志們的辛勤勞動，取得很多寶貴的經驗，具體的說有以下几个方面：

一、通過試驗，對軟土地區筑路的土質勘測、化驗與施工控制觀察工作，取得了系統的經驗。如對於一些軟土地基勘測控制需用的活塞取土器，空腔水壓力測定儀（薄膜式、電阻式），十字板剪力儀及深層沉降觀測設備等，以往在國內使用經驗還很少，通過這次試驗已取得較多的經驗。試驗肯定了邊樁位移和地面沉降觀測對軟土地區填土速度控制的意義和作用，為保證質量提供了條件。

二、通過試驗和實地調查試驗，對反壓護道的使用範圍，提出了較明確的概念，這樣就可以克服以往使用反壓護道的盲目性，使今後設計施工少走彎路。實踐說明，反壓護道僅適於路堤高度超過所謂該地基的“臨界高度”（即當用快填施工時，可能填筑完成而不致坍塌的路堤高度，在甬穿綫約為3.5m）不大的情況，如在甬穿綫最多為5~6m。用時也初步提出了使塑性平衡區（ $K=1$ 綫）限定在基礎寬度（包括護道在內）一半之內的方法以設計反壓護道寬度意見，因而也為多快好省的設計提供條件。

三、通過試驗，肯定了砂井加固處理軟土地基是一項值得今後重視和推廣的方法。近年來有些國家開始採用了這一方法，但他們所經過的淤泥層也都較淺，砂井都是穿透軟土到達硬層，但寧波淤泥特深，因此如何決定砂井深度即成為一項新的

課題。我們曾根據圓弧法、塑性平衡區法、考慮壓縮層等方面比較應有的深度，最後決定採用按圓弧法計算所得最小的深度 18m，試驗情況結果良好。在選擇井徑時，考慮到今後推廣和發展方向及實際排水作用，採用了較小的 300 mm。其他方面也都盡量結合理論計算，決定應有尺寸。其他如採用砂溝代替砂墊層，滲水填料就地取材，以及採用活動桩尖等方面，對在保證質量的基礎上降低成本作用很大。

四、砂墊層試驗結果表明，在一定的條件下（如路堤不太高，在肖穿綫約為 7~8 m），如施工控制得當，也是一項經濟有效的方法。這種方法的特点是比較簡便經濟，便於推廣，特別是當淤泥較淺並有雙面排水時，效果可能更加顯著。

五、柴排法使用於鐵路路基已有長久的歷史，但由於條件不同，如何在深層軟土上進行設計還無經驗可循。通過這次試驗，提出了柴排加固的計算，雖然未進行實地試驗，但對今後路基設計提供了有用的資料。電滲用在鐵路路基也是在寧波首次試驗，雖然實地試驗不多，但對今後工作提供了良好的開端。其他如爆破炸孔與砂切溝路堤等，因試驗資料不多，尚不能提出定論，但這一方向還是值得今後繼續努力的。

以上是寧波試驗工作的主要經驗與收效。

當然，由於我們理論技術水平的限制，以及具體組織管理工作的不夠，工作中也存在一些缺點甚至錯誤，特別是在對已有資料的分析研究方面，對及時深入有系統的進行，作得不夠。在執行計劃方面，由於努力爭取不夠，使部分工作也沒有達到預期的目的和效果，如對於砂井施工所需机具問題，還沒有隨同試驗過程一併解決，因而必然將影響今後工作的迅速推廣等。這些經驗教訓有待於我們很好吸取，並在今後工作中改進。

總之，必須指出，在黨的正確領導下，寧波試驗工作同其他工作一樣，成績是巨大的，也是躍進的。寧波試驗結果，不只为我國技術科學工作中增添了一項新的成就，尤其重要的是必然將對鐵路基建工作的多快好省，特別是長、大、重的快速施工提供有利的條件。

第二章 勘測試驗和觀測

由於軟土土質的特殊性和複雜性，當在軟土地基上填筑路基時，必須格外注意地質勘測和土工試驗工作，因為只有這樣才可能對土質特性充分了解，以保證正確的進行設計和施工。同時由於目前有關土力學計算理論與實際情況尚不能完全符合，因此常不能憑計算結果指導施工，所以在軟土地基施工過程中進行觀測控制也成為目前不可缺少的措施。茲根據寧波試點經驗，對勘測試驗和觀測等工作作一介紹。

一、勘测工作

1. 软土地区的地質勘探

軟土地区一般地势平坦,起伏不大(但也有位于丘陵沟谷地带的),地层表面常复可塑土层或硬壳,因此有时易被外业地质勘测人员所忽略。但軟土地区也有其一定的地貌特征,如一般多处在地形低洼,滨海地区,地势起伏不大的地带,或常年受地下水浸泡的地带。在这些地区常常是植物丛生,土呈暗灰色,含有机质,有臭味,呈半流动状态,灵敏度高,是一种未經压密的年轻土层,其成因多系海相或湖相沉积而成,如:沼泽湖泊,古河床,埋藏谷以及河滩和潮湿地带等。一般铁路路基跨越上述地带时,即須进行 $\frac{1}{1000}$ 比例尺的工程地质测绘,其宽度由中綫算起二

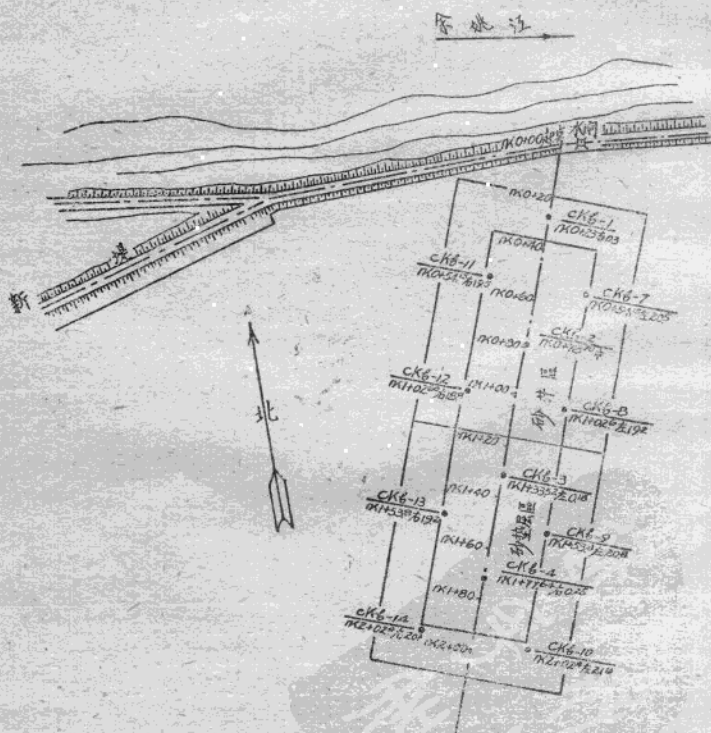


图2-1 鑽孔平面布置示意图

边各寬 200~300m。測繪中須詳細調查并說明軟弱土层的成因及其特性，分布区域及其沉积最大厚度；对于地貌特征，地面水流情况，物理地质现象，地下水的高度及流向，岩层天然露头等，也均应詳細調查并加以說明。为了了解軟土的物理力学性质并探明其分布区域，軟土深度及矿质沼底之横向坡度，应先以輕型鑽普查，以便概括了解；然后在綫路縱横断面上布置一定数量試坑或鑽孔，进行詳細勘察。鑽孔或試坑的数量和布置应根据路基断面及当地的工程地质条件决定，但鑽孔深度一般应鑽穿軟土层到达矿质沼底，如軟土层很厚或因鑽机设备限制，也应鑽至压缩层底部（深至 $\sigma_z = 0.1\gamma h$ 处）。原则上应按土层分层取样，如土层較厚时，应每隔 3~4m 加取土一次。

2. 試点勘探經過

本試驗工点配备了 4 $\frac{1}{2}$ 吋人力鑽探机一台，鑽机中包括复壁式固定活 塞 取 土 器，輕型螺紋鑽和十字板剪力仪。为了选择試驗地点曾在四处地点共鑽有 9 个孔，根据这些鑽探資料經過討論研究后，最后选定現有的試驗地点。在試驗地点上，又鑽探四个主孔和八个旁孔：主孔位于中心綫且多为試驗区的中点，旁孔位于距中

全地质剖面图比例：纵 1:2000 横 1:100

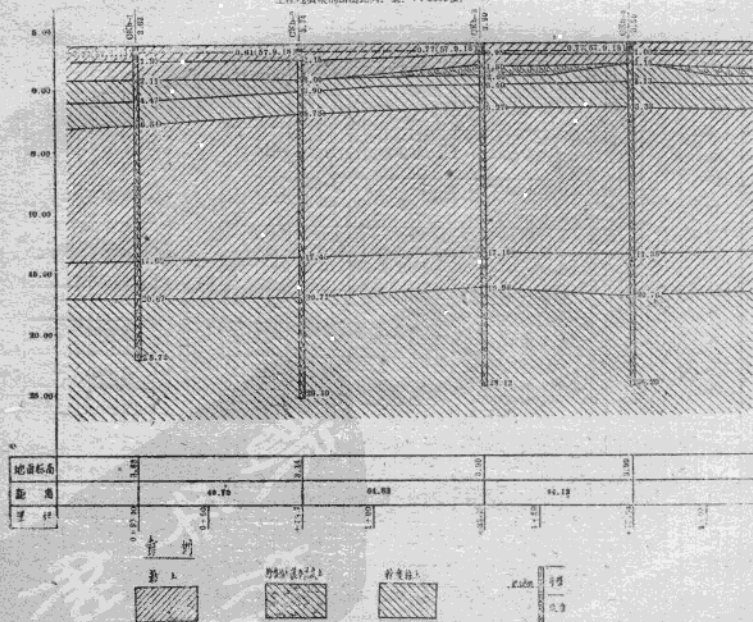


图2-2 工程地质剖面图

綫20m左右，与主孔成梅花形布置，詳见图2—1。主孔深度一般到达地面下28m，边孔深度一般至地面下24m，地层縱剖面见图2—2。为了更全面詳細地查明軟土层的厚度，我組又进行了深孔鑽探，深度达106m，地层柱状图见图2—3。为了获得較可靠的地基强度指标，且避免取土及送样过程中对土样的扰动影响，我們在現場进行了12个載荷試驗及2孔十字板剪力試驗（在2、3号鑽孔旁）。砂垫层及砂井試驗区在填土过程中分别于不同填土高度时进行了鑽探取土送室内試驗，并就地作了十字板剪力試驗。

为了配合試点工作，我們又在肖穿正綫余姚江南北两岸及奉化江东岸进行一些鑽探試驗工作，为老路基的驗證分析工作提供資料。此外在IIK42+00~IIK42+60一段路基采用电滲真空排水加固时，也曾在施工过程中不同時間鑽取土样进行化驗。

余姚江南岸 鑽孔編号：

孔口标高3.57 地下水位标高0.44 (1957年9月18日)

編号	地質年代	岩 层 名 称 及 特 征	标 高	地質断面 1/200	层 深	层 厚
1	Q	表層粘土，褐黃色，夾有植物根，种植土約0.5m，可塑	2.47	略	1.10	1.10
2		淤泥質粘土，灰色，含有約2%白云母片，成流动状态	1.67		1.20	0.80
3		淤泥質粉質粘土，灰褐色，含有1~2白云母片，夾有少許粉砂层，約3%，成流动状态	0.32		3.25	1.35
4		淤泥質粉質粘土，深灰色，含有2~3%白云母片，夾有厚1~2mm粉砂层，約占3%，成流动状态	-1.43		5.00	1.75
5		淤泥質粘土，深灰色，含有2~3%白云母片，夾有風化貝壳片及厚1~2mm粉砂层，約占10%，成流动状态	-13.81		17.38	12.33
6		淤泥質粘土，深灰色，含有2~3%白云母片，夾有1~2%風化貝壳片，白色，厚1~3mm粉砂层，含量約占40%，成流动状态	-16.94		20.51	3.13
7		淤泥質粉質粘土，深灰色，含有2~3%白云母片，夾有少量風化貝壳片及厚1~2公厘粉砂层，其含量約占5~10%，靠近底面含量稍多，成流动状态	-43.03		45.60	25.09
8		細砂，褐黃帶灰綠色，內含有一定數量之粘土顆粒及少量白云母片，成流动状态	-44.43		48.00	1.40
9		淤泥質粉質粘土，深灰及灰褐色，約含粉砂5%左右，成流动状态，已接近可塑	-58.43		62.00	14.00
10		細砂，灰綠帶褐黃色，內含有少量白云母片，夾有粘土顆粒，成流动状态	-59.63		63.20	1.20
11		中砂，灰綠帶灰白色及褐紅色小顆粒（長石），含有卵石，成流动状态	-62.23		65.80	2.60
12		粉質粘土，灰綠帶淺綠色，含有約0.5%白云母片，局部地方夾有2~5mm厚之中砂层，含量約5~10%，自72.8m以下顏色為灰綠，帶淡白色，可塑	-80.49		84.06	18.26
13		粘砂土，土黃帶淺灰綠及白色，粘土較少，含砂以細中砂為主，可塑	-86.36		89.93	5.87
14		粘土，褐黃及紫紅色，含細砂及中砂，粘性強而硬，在91.13m至92.80m間夾卵石，均為鐵質及石英質，直徑0.02~0.03m左右，約占10%，可塑	-98.23		101.30	11.87
15		礫灰岩，暗紫色，節理發達，岩石破碎成碎石帶	-102.66		106.23	4.43

图2—3 工程地質深孔鑽探柱状图

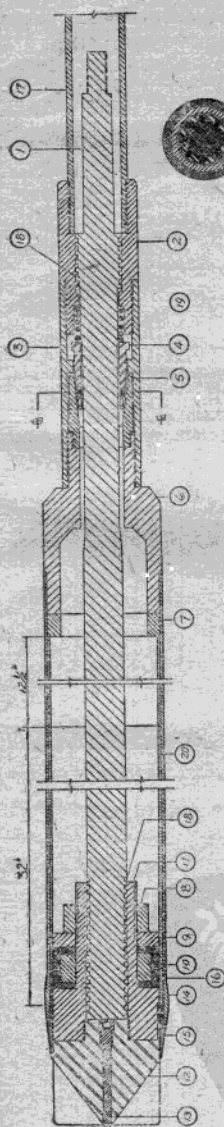


圖2-1 雙壁固定活塞取土器的構造圖
 ①活塞頭；②活塞桿；③雙壁筒；④活塞；⑤活塞桿；⑥活塞頭；⑦活塞桿；⑧活塞；⑨活塞桿；⑩活塞頭；⑪活塞桿；⑫活塞；⑬活塞桿；⑭活塞頭；⑮活塞桿；⑯活塞；⑰活塞桿；⑱活塞頭；⑲活塞桿；⑳活塞；㉑活塞桿；㉒活塞頭；㉓活塞桿；㉔活塞。

二年来完成的鑽探工作量計：鑽孔91孔，總長度1890m；採取原狀土樣（每筒20cm長）1679個；深鑽1孔106.13m；輕型螺旋鑽89個孔，總長256m；十字板剪力試驗11孔，總長度255.12m；試驗211次。

3. 几种特殊勘深工具

(1) 复壁式固定活塞取土器

我們采用的活塞取土器系根据南京水利科学研究所图纸试制，取土直徑为 4"，长1.5m，见图2-4。

复壁式固定活塞取土器在飽和軟粘土地层中采取原狀土是一种值得今后推行的勘深工具，它由于构造上的特点，在取土过程中可以避免土样的扰动和墜落，同时效率也很高。

取土步骤见图2-5。取土前先将取土器按图2-4装好，活塞杆置于鑽杆內，固定活塞系在鑽杆接箍处以反絲扣与基本系統連接。

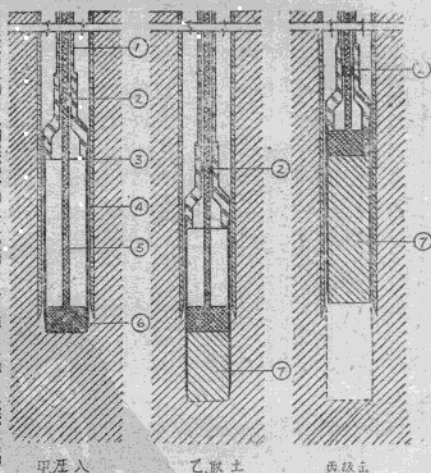


圖2-5 以固定活塞取土器取土的步骤

①鑽杆；②活塞；③套箍；④取土筒；⑤活塞桿；⑥活塞頭；⑦土樣。

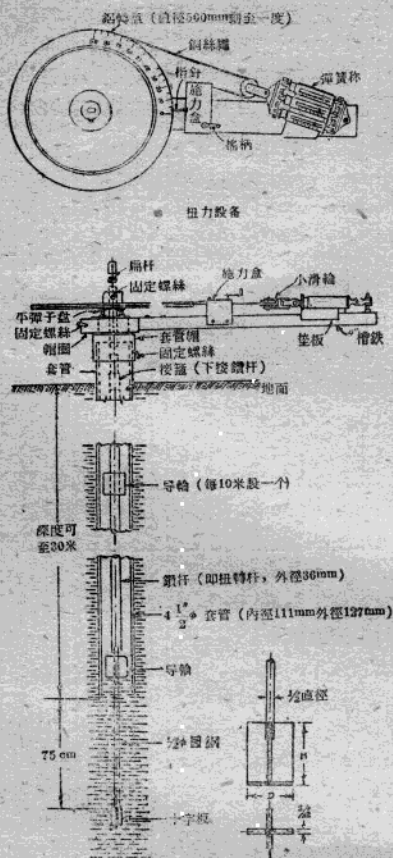


图2-6 十字板剪力仪構造圖

种：50×100（直径 D 为50mm，高 H 为100mm），75×100及75×120；我們用的是75×100。根据一年多来的工作实践，认为这种試驗仪器使用简单方便，效果好。

十字板剪力仪是由下列四个主要部份組成（见图2-6）：

- i. 十字板头——系一具有十字型断面的薄片金属板构成。
- ii. 鑽杆——上部連接轉盘并借鋼絲繩与彈簧秤相連，其下部連接十字板头，因此在試驗时，可将搖柄的扭力全部傳于十字板头上。

将取土器放入鑽孔內至取土标高，使活塞头与土层密貼，然后以順时針轉動活塞杆，使固定活塞系統与取土器本体脱离，将活塞系統固定，此时活塞系統靠錐卡座⑤錐卡④及彈簧作用，不可能靠重力貫入，通过滑車組合架将取土器身徐徐均匀地压入土中。待取土器本体被活塞头頂住时，由于活塞系統之固定作用，取土器不可能繼續压入，此时表示土样已滿，即可将取土器取出。

取土器身內放有襯筒六节或四节，第一节长度与活塞头高度相同，第二节10cm为扰动土部分，第三、四两节（或三至六节，当每节长30cm时）为所取土样，共长80cm。取土器拔出后，将刀鞋卸开擦松，放松錐卡的接箍，用力推动活塞杆，土样連同襯筒即被推出。

（2）十字板剪力仪

十字板剪力仪是在鑽孔中直接測定軟粘土总抗剪强度 τ 的一种有效而經濟的方法。在現場測定軟土强度可避免取土过程中对土样的扰动与土样应力状态的改变，因而可以最大程度的代表土的天然情况，特別对灵敏度很高的軟粘土来讲更具有重要的意义。

我們使用的十字板剪力仪主要系根据南京水利科学研究所的圖紙經過局部修改后制造的。十字板尺寸有三

iii. 扭力設備——與彈簧秤相接，以測量在試驗時加于搖柄的扭轉力矩，並控制十字板旋轉速度。

iv. 轉 盤——鋁制，其上刻有度數。

十字板剪力試驗在軟土層中每隔一定深度進行試驗一次，我們採用每隔 100 cm 進行一次，其深度可達 30m，操作步驟簡介如下：

i. 將鑽機套管鑽進至欲試驗深度以上 75cm 處為止，然後清孔，放入十字板至欲試驗標高。

ii. 裝上扭力設備及鋁質轉盤，接好銅絲繩，準備進行試驗。扭力設備上的固定螺絲均應上緊。

iii. 開動秒表，以手轉搖柄，借指針以保持轉速之均勻（10秒鐘一度），每轉一度，讀彈簧秤拉力一次，並使最大扭矩約在 3～10分鐘內到達，當彈簧秤至最大讀數後，繼續讀數一分鐘。

iv. 完成土層不扰动狀態的十字板剪力試驗後，卸下銅絲繩，將鋁質轉盤很快



圖2-7 十字板剪切試驗現場操作實況

的旋轉 6 轉，以使土體結構完全破壞，然後再將銅絲繩裝好，仍以 10 秒鐘一度轉速進行試驗，這樣所得的粘聚力 c' 值即為重塑土的粘聚力。

v. 完成以上試驗後，拔出十字板，鑽進套管，繼續進行下一次試驗。

vi. 此外還須在鑽孔附近進行軸杆校正試驗。

vii. 試驗完成後，應根據彈簧秤最大讀數並加以軸杆校正後，算出各點總抗剪強度 τ 值。

現場試驗操作實況見圖2-7。

4. 經驗和体会

1) 在軟土地帶進行勘測時必須取得以下資料：（1）軟土的成因，類型及特性；（2）軟土分布範圍，包括寬度、深度和橫向底坡；（3）鑽取足夠數量的原狀土樣送往室內試驗，測定其物理力學性質。

2) 鑽探時須分層取樣，鑽探深度應滿足設計上要求，在鑽探過程中還應注意地層中夾有砂層的位置和分布，是否能作為天然排水面。

3) 在軟土地區利用雙壁固定活塞取土器，配合滑車組合架壓入取土，可以保證質量提高工率。其土樣攪筒每節高以 15cm 或 30cm 為適宜。

4) 在鑽孔中進行十字板剪力試驗，可不須採取土樣，而且土的扰动性小，是測定靈敏度較高的軟土抗剪強度的一種快速而有效的方法，可以推廣。此外，我們認為軸杆校正試驗只須在開始時仔細進行 1～2 孔即可，不必逐孔進行。

5) 為了驗證試驗，所有鑽孔應注意不得重合，以免影響試驗結果的準確性。

二、土工試驗工作

1. 試驗項目及工作量

为了充分了解軟土的特性起見，我們进行了較全面的物理力学性試驗。物理性試驗包括：顆粒分析，含水量，容重，比重，液塑限，有机質含量，水溶盐含量等；力学性試驗包括：固結，滲透（垂直及水平），无側限壓縮試驗（包括灵敏度），应变及应力式直接剪力試驗（快剪，固結快剪），三軸剪力試驗（快剪、固結快剪），夯实試驗等。

为供应試驗工程的設計施工，我們在一年多來所完成的土工試驗工作量計有：含水量試驗1177个，容重試驗647个，液塑限各227个，有机質含量包括灼燒法及化学法各173个，顆粒組成134个，固結試驗（包括垂直及水平）240个，滲透（包括垂直及水平）33个，应变直接剪力試驗（包括快剪、固結快剪）167个，三軸剪力試驗（包括快剪、固結快剪）157个，无側限壓縮試驗（包括原狀及重塑土）551个等。

茲將宁波軟粘土的物理力学性質試驗結果綜合列表于下：

宁波基点土工試驗成果綜合表

(1) 物理性質：

表2-1

標 高 (地面下) m	天然含水量 W (%)	天然容重 γ_w (t/m^3)	土粒比重 γ_o	天然孔隙比 e	流性限度 W_L (%)	塑性限度 W_P (%)	塑性指数 W_{Li} (%)
0~1.0	25.3~48.4 36.1	1.74~1.92 1.85	2.66~2.72 2.70	0.733~1.265 0.982	38.6~57.8 47.8	21.6~25.0 23.1	1.76~33.5 24.7
1.0以下	31.8~65.0 44.8	1.63~1.82 1.74	2.67~2.72 2.70	0.967~1.78 1.247	26.7~61.6 39.5	1.50~23.0 20.9	8.7~54.0 18.6

標 高 (地面下) m	稠 度 R	飽 和 度 $G\%$	有机質含量%		顆粒組成 (以干土重%計)		
			加熱損失	化学方法	砂 (0.25~0.05) mm	粘 土 (0.05~0.005) mm	粘 土 (<0.005) mm
0~1.0	0.22~0.92 0.53	89.2~100 97.2	4.9~8.4 6.42	0.8~1.3 1.03	0~2.3 1.33	95.4~49.5 40.2	48.7~76.1 58.4
1.0以下	0.9~1.99 1.35	84.7~100 95.5	5.1~8.9 6.92	1.1~4.6 2.09	0~45.6 8.90	22.4~55.6 41.7	32~66.3 49.4

(2) 力学性質:

标高 (地面下) m	无侧限抗压强度 q_u kg/cm ²	抗 剪 强 度		三 轴 固 结 快 剪	
		内 摩 擦 角 ϕ (度)	粘 聚 力 c kg/cm ²	内 摩 擦 角 ϕ (度)	粘 聚 力 c kg/cm ²
0~1.0	0.25~0.93 0.51	1.1°~5° 2.70	0.1~0.15 0.137		
1.0以下	0.12~0.95 0.435	0.5°~2.2° 1.2°	0.04~0.22 0.093	9°25'~12°21' 10°55'	0.08~0.22 0.157

标高 (地面下) m	现场十字板 剪力試驗抗 剪强度 τ kg/cm ²	压缩系数	固结系数	渗透系数	野外荷重試驗	
		a_v cm ² /kg	c_v cm ² /秒	K cm/秒	变形模量 E kg/cm ²	破坏荷重 kg/cm ²
0~1.0		0.1~0.2	$i \times 10^{-3}$	$i \times 10^{-7}$		1.75
1.0以下	0.1~0.3 0.21	0.15~0.35	$i \times 10^{-3}$	$i \times 10^{-8}$		1.50

- 注: 1. 地质情况詳见图 2-3。
 2. 横綫以上数值表示指标变化范围, 以下为平均值。
 3. a_v 、 c_v 及 K 系指大約数字。
 4. 荷重試驗承压底板面积用 50×50cm 及 70.7×70.7cm 二种。
 5. 十字板剪力試驗在地面下 17m 以下, 强度有显著增加趋势。

2. 几种試驗项目的討論

(1) 抗剪强度試驗

关于粘性土的抗剪强度是土力学中一个較复杂的问题, 一直到目前为止, 还没有发展到成熟的阶段。在試驗方法(快剪、固結快剪、慢剪)及仪器(应变应力直剪仪、三轴剪仪、无侧限压缩仪等)方面都还存在一定的缺点, 故在测定土的抗剪强度时必须根据不同类型的土及实际情况考虑采用适当的試驗方法及仪器, 这样才能得出較正确的指标。此外在设计工作中应用試驗結果的数据时, 除应选择多数試驗的近似結果外, 还要考虑到以下的一些因素, 例如: 工程的重要性, 土的天然工作条件与試驗条件的比較以及現有試驗方法及仪器本身的缺点等。

通过我們在軟粘土的試驗研究工作中的經驗, 初步认为应力式及应变直剪試驗所得結果偏大, 特别是应力式尤为突出, 而以三轴剪仪試驗比較合理。所以对軟粘土來說最好用三轴剪仪测定抗剪强度的指标。

关于几种主要土的抗剪强度测定仪器的选择可参考表 2-2:

(2) 固結試驗

固結試驗除可测定土的压缩系数外, 还可用時間平方根法計算固結系数, 然后利用压缩系数及固結系数值来估算渗透系数, 以和常水头粘性土渗透試驗結果进行比

土的抗剪强度测定仪的选择

表 2—2

土 的 种 类		试 验 条 件		
		快 剪	固 结 快 剪	慢 剪
粘土类	可塑状态的	应变式或应力式直剪仪, 或三轴剪仪, 无侧限压缩仪	应变式、应力式直剪仪或三轴剪仪	应力式直剪仪
	流动状态的 (即软粘土) 及淤泥	三轴剪仪, 无侧限压缩仪或就地十字板剪仪	三轴剪仪	应力式直剪仪
	泥炭土	三轴剪仪或无侧限压缩仪	三轴剪仪	应力式直剪仪

较。固结试验可做垂直向与水平向二种, 使从固结试验中求出水平渗透系数 K_h 与垂直渗透系数 K_v 的比值 (即 $\frac{K_h}{K_v}$)。水平向固结系数系将土样翻转 90° , 制备土样后进行试验测得, 这样作是否恰当, 尚待进一步探讨。根据试验结果, 从固结试验中估算的渗透系数值与直接从渗透试验中所求出者大致都还很近似, 宁波软土一般均在 $K = i \times 10^{-7} \sim i \times 10^{-8}$ 左右。

此外, 我们在肖穿线老路基的贯探取样试验工作中进行了快速固结与正常固结的比较试验, 并采用不同校正方法与正常固结试验进行比较, 初步认为快速固结试验对一些沉降量计算准确性要求不太高的工程, 且当时时间较紧迫须要早日提出资料时可以推广应用, 这样可以大大缩短试验所需时间, 提高工作效率。

(3) 渗透试验

渗透系数对软粘土基底的固结有特别重要的意义, 但目前在试验室中尚难准确测定。我们主要采用了南55型常水头渗透试验仪, 结果是否与现场实际情况相符, 尚待进一步比较研究。

此外我们在工作中还制作了一种原状土筒渗透淤塞试验仪 (见图 2—8), 以便直接利用从鑽孔中取出的原状土筒进行渗透试验。利用该种仪器可省去制备土样手续, 土的扰动程度较小, 经过多次试验, 情况良好; 同时也可利用该仪进行砂井填料的淤塞试验。该仪器各部份可以拆卸, 携带方便, 在今后进行该项试验时可考虑试用。

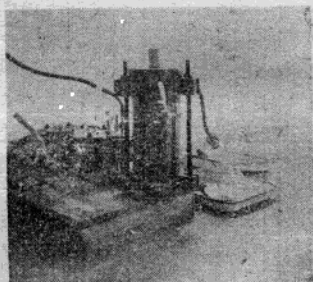


图 2—8 原状土筒渗透淤塞试验仪

三、施工观测控制

1. 观测项目

为了通过观测控制施工, 我们在试验中埋设的观测仪器设备计有: 地面及深层沉降观测设备, 薄膜式孔隙水压力仪, 地下水位观测井和位移观测边桩等五种。其