

岩土工程原位测试与室内土工试验结果对比分析

赵路路

新疆生产建设兵团建筑工程科学技术研究院有限责任公司 新疆 乌鲁木齐 830000

【摘要】：岩土工程勘察时，原位测试和室内土工试验是取得土体物理力学参数的主要方法，两者的合理性以及匹配度影响着岩土工程设计、施工以及地基稳定性评价的准确性。本文以实际工程勘察案例为基础，对原位测试和室内土工试验的主要方法及适用场合进行梳理，选取黏性土、粉土、砂土等常见土类，对两类试验得到的抗剪强度、压缩模量、密实度等关键参数进行对比，分析结果差异的主要原因，给出工程实践中参数选择和修正的合理建议。原位测试更能反映土体天然的应力状态和结构特点，而室内试验的结果很容易受到取样扰动、试验条件等因素的影响，两者需要结合起来使用，互相验证，才能给工程提供可靠的岩土参数支持。

【关键词】：岩土工程；原位测试；室内土工试验；参数对比；差异分析

DOI:10.12417/2811-0722.26.05.094

1 引言

岩土工程勘察的主要任务就是准确获得场地土体的物理力学性质指标，给地基基础设计、基坑支护、边坡稳定等工程提供科学依据。原位测试是在土体天然赋存场地，不扰动或者轻微扰动土体原有的结构、应力状态和含水率，直接测定土体的工程性质，可以有效避免取样扰动造成的误差，更能贴近土体在现场的实际受力和赋存条件，但是测试结果受到场地地质条件、设备精度、操作工艺、经验公式选用的影响较大，部分参数需要通过间接换算得到，针对性较弱。在实际工程当中，两种试验结果之间会存在着一定的差别，如果只选择其中的一种试验数据来使用，就容易导致岩土参数的取值偏保守或者偏危险，从而影响到工程的安全性和经济性。因此，对原位测试和室内土工试验的结果进行对比分析，找出二者之间的差异原因，提出合理的参数选择原则，对提高岩土工程勘察质量、保证工程建设的安全性有着十分重要的现实意义。本文根据多项工程勘察实测数据展开全面的对比分析，给同行工程实践提供一定的借鉴。

2 原位测试与室内土工试验核心方法概述

2.1 室内土工试验核心内容

室内土工试验利用规范试验设备和流程，对原状土样和扰动土样做物理性质和力学性质测试，主要试验项目和目的如下表所示。物理性质试验主要是测定土的天然含水率、天然密度、比重、颗粒级配、液限、塑限等指标，确定土的分类和基本物理状态；力学性质试验主要进行固结试验、直接剪切试验、三轴压缩试验、无侧限抗压强度试验，得到压缩模量、压缩系数、黏聚力、内摩擦角、不排水抗剪强度等重要的力学参数，是地基沉降计算、承载力验算的主要依据。

室内试验优势在于试验条件可控、指标测定准确、数据重复性好，可以有针对性地对不同应力路径、排水条件下进行专项试验，适合于各种土样的精细化测试，但原状土样取样困难，

扰动不可避免，试验结果只能代表取样点局部土体性质，不能反映土体空间变异性。

2.2 原位测试核心方法

原位测试方法种类繁多，适应不同的土类和工程需求，岩土工程勘察中常用的有以下几种。

2.2.1 静力触探试验

匀速将探头压入土层，测得锥尖阻力和侧壁摩阻力，快速划分土层、判定土类，估算土体承载力、压缩模量和不排水抗剪强度，适用于黏性土、粉土、砂土和软土，测试连续高效、分辨率高。

2.2.2 标准贯入试验

用重锤自由下落贯入土体，测得贯入阻力，确定砂土密实度、黏性土稠度状态，计算地基承载力及抗剪强度，是目前国内岩土勘察中应用最广泛的原位测试方法。

2.2.3 十字板剪切试验

对饱和软黏土进行直接测定天然含水率下的土体不排水抗剪强度，不需要取样，可以准确地反映软土原位强度特性。

2.2.4 旁压试验

向土体施加径向压力，测得土体旁压模量和承载力，反映土体原位应力应变特性，适用于各种土层。原位测试不需要取样，可以反映土体大范围的平均性质和天然应力状态，测试效率高，可以弥补室内试验取样扰动的缺点，但是测试结果需要经验公式换算，受场地地下水、土层不均匀性、操作水平的影响较大，需要根据地质条件合理选择测试方法。

3 两类试验结果对比分析

本次对比分析选取了多个民用建筑和市政工程勘察项目的场地土层，场地土层包括粉质黏土、黏土、粉砂、细砂等常见土层，共选取 30 组有效的测试数据，对抗剪强度、压缩模量、密实度这三个主要的物理力学参数进行了横向比较，具体

的数据如下表所示。

表1 两类试验结果对比

土类名称	试验项目	室内土工试验结果	原位测试结果	差异幅度	差异特征
粉质黏土	黏聚力 c (kPa)	18.2~24.5	22.6~28.3	室内偏低 12%~18%	原位值高于室内值
粉质黏土	内摩擦角 φ ($^{\circ}$)	12.3~15.6	10.8~13.2	室内偏高 8%~14%	室内值高于原位值
饱和软黏土	不排水抗剪强度 (kPa)	16.8~20.2	21.5~25.7	室内偏低 22%~28%	原位值显著高于室内值
粉砂	压缩模量 E_s (MPa)	8.5~11.2	10.3~13.6	室内偏低 15%~21%	原位值高于室内值
细砂	标准贯入击数 N	12~16 (室内换算)	15~19	室内换算值偏低 20%左右	原位密实度高于室内判定

3.1 抗剪强度指标对比

抗剪强度属于土力学里的主要参数，分为黏聚力和内摩擦角，这两者都会对地基的承载能力和边坡的稳定性产生影响。从对比数据可知，黏性土和软土的原位测试抗剪强度比室内试验结果要大得多，其中饱和软黏土差异最大，室内不排水抗剪强度比原位十字板测试结果低 22%~28%。主要原因在于软土具有较强的结构性和灵敏性，在室内取样时土体的应力被释放出来，原有的结构遭到破坏，土体的强度出现明显的降低；原位十字板测试完全保留了土体的天然结构和应力状态，测得的强度更接近现场实际情况。

粉质黏土室内直接剪切试验测得的黏聚力偏低、内摩擦角偏高，因为室内剪切试验用固定剪切面，与土体现场实际剪切破坏模式不同，试样制样时存在轻微扰动，使黏聚力测定值偏小，颗粒间摩擦作用被放大，内摩擦角偏高。原位测试是通过土体整体受力破坏来获得数据，更能反映实际工程受力情况，指标的合理性也更高。

3.2 压缩性指标对比

压缩模量是反映土体压缩性的指标，也是计算地基沉降量的依据。从对比数据可知，各种土层的原位测试压缩模量均大于室内固结试验结果，粉土和砂土的差异幅度在 15%到 21%之间，黏性土的差异幅度在 10%到 15%之间。室内固结试验时，原状土样受到取样扰动的影响，土体孔隙比发生变化，压缩过程中颗粒的排列更容易密实，表现出压缩模量较低、压缩性较高的特点；原位测试时土体处于天然密实状态，孔隙结构没有被破坏，在相应的应力作用下压缩变形更小，压缩模量测定值较高，更能反映场地土体实际的压缩特性。室内固结试验只能

反映单个试样的压缩特性，对于土层不均匀、存在薄层交互的场地，代表性差；原位测试可以连续测定土层的压缩性状，综合反映土层的空间变异性，数据更符合工程实际沉降计算的要求。

3.3 砂土密实度对比

砂土密实度一般用标准贯入击数来判定，室内试验用颗粒分析和相对密度试验换算密实度，原位测试直接测定标准贯入击数。室内换算得到的密实度比原位实测值低 20%左右。主要原因是砂土取样困难，原状砂样很容易受到扰动，颗粒松散，室内相对密度试验不能还原土体现场的天然密实状态；原位标准贯入试验直接在场地土层中进行，不受取样扰动的影响，可以准确反映砂土的现场密实程度，判断结果更可靠。

4 试验结果差异核心原因分析

4.1 土体扰动因素

土体扰动是造成两种试验结果不同的主要原因。室内土工试验依靠原状土样，从现场取样、密封、运输到实验室制样，整个过程都会给土体带来不同程度的扰动。对软土、松散砂土等敏感性土体来说，扰动会造成土体天然胶结结构和颗粒排列被破坏，使土体强度下降、压缩性增大；黏性土取样过程中应力释放会导致土体孔隙结构发生改变，从而影响到抗剪强度和压缩指标的测定。原位测试基本不扰动土体原有的结构，保持土体的天然含水率、应力状态和颗粒排列，从根本上避免了扰动造成的误差，这也是原位测试结果普遍更接近土体真实性的主要原因。

4.2 试验条件与受力状态差异

室内试验是在可控的实验室环境中进行的，在试验过程中，应力路径、排水条件和加载速率等均是标准的，与土体现场实际三维受力状态以及地下水渗流条件存在差异。室内直接剪切试验是平面应变受力，限定剪切面，与现场土体三维受力、不规则破坏模式不相符；室内固结试验是单向压缩，与现场地基实际受力变形状态有偏差。原位测试是在场地的天然环境下进行的，受力状态、地下水情况、土层约束等与工程实际情况一致，测试过程更加贴近真实的工况，试验结果具有更强的工程针对性。

4.3 测试范围与代表性差异

室内土工试验只对取样点的小块土样进行测试，测试范围小，如果土层存在空间变异性，单个试样的结果很难反映整个土层的平均性质，容易出现数据离散性大等问题。原位测试是大范围土体测试，静力触探、标准贯入等方法可以连续测定土层性质，测试结果反映一定范围内土体的平均性状，可以有效弱化土层局部不均匀性带来的影响，数据代表性更强，特别适合于地质条件复杂、土层变异性大的场地。

4.4 经验公式与人为操作影响

原位测试部分参数要依靠经验公式换算,不同地区、不同土类所适用的经验证据公式有所不同,如果选用不恰当,就会造成换算结果出现偏差;原位测试设备精度、操作人员技术水平也会影响测试结果。室内试验操作流程标准化程度高,人为操作误差小,但是土样采集、制样的精细程度也会影响试验数据的准确性。两类试验都受操作规范性的影响,必须严格按照勘察规范的要求来进行,否则会因为人为因素而产生误差。

5 工程实践中参数选用与修正建议

5.1 分土类差异化选用参数

对饱和软黏土、松散砂土等容易扰动的土类,主要用原位测试结果作为主要参数,室内试验结果只作为参考,主要选择十字板剪切试验、静力触探试验得到的强度和压缩指标;对于黏性土、粉土等结构较稳定、取样质量容易保证的土类,以室内试验结果为主,结合原位测试数据进行修正,取两种试验的合理均值,避免单一数据的片面性;对于密实砂土、碎石土,室内取样难度大,完全依靠原位测试(标准贯入、重型动力触探)来确定土体性质,不需要做室内试验。

5.2 建立区域修正系数

根据不同的地区地质条件,得到原位测试和室内试验的对比数据,建立区域参数修正系数。根据室内试验强度低、压缩性高的问题,结合原位测试结果,提高软土室内抗剪强度指标15%-25%,提高压缩模量指标10%-20%;黏性土内摩擦角过高时,根据原位测试数据适当降低,使参数符合现场实际情况。区域性修正系数要依靠当地工程经验不断加以完善,提高参数取值的区域性和适用性。

5.3 规范试验操作,提升数据质量

提高室内原状土样的采集质量,使用优质的取样器,改进

取样、密封、运输的过程,尽可能减小土体的扰动,尤其是对软土和砂土,严格按快速取样、密封保湿的要求执行,防止应力释放和含水率的变化。原位测试严格按照规范流程进行,校准测试设备,选择与当地土类相适应的经验公式,做好现场测试记录,减少人为操作和设备误差,保证两类试验数据的准确性、可靠性。

5.4 结合工程规模确定测试方案

对小型简易工程主要做室内土工试验,少量原位测试验证参数;对大型建筑、基坑工程、高边坡等重要工程要同时进行原位测试和室内土工试验,建立完整的测试数据体系,综合对比分析后确定岩土参数,防止单一试验数据主导设计,保证工程的安全性和经济性。

6 结论

原位测试和室内土工试验在岩土工程勘察中都不可缺少,两者结果有规律性差异,整体上表现为原位测试土体强度、压缩模量大于室内试验,室内试验黏性土内摩擦角偏高、黏聚力偏低,砂土密实度判定偏保守。土体取样扰动、试验受力状态不同、测试范围代表性不同、操作和经验公式影响,都是造成两类试验结果差异的主要原因,其中土体扰动是主要的影响因素,对于敏感性土体影响更加明显。工程实践上不能只依靠某一种试验数据,要按照土类特性、工程重要性和地质条件,采用原位测试为主、室内试验为辅、相互验证、综合修正的参数选用原则,建立区域性修正系数,规范试验操作,提高岩土参数的准确性、适用性。随着岩土工程勘察技术的发展,原位测试的应用范围不断扩大,但是它不能完全代替室内土工试验,两者相互配合才能全面反映土体的工程性质,给岩土工程的设计、施工和安全评价提供可靠的依据。

参考文献:

- [1] 王雪婷.岩土工程勘察中原位测试技术应用研究[J].工程技术研究,2025,10(10):43-45.
- [2] 刘岩.岩土工程勘察中原位测试的重要性分析——以某工程为例[J].生态与资源,2025,(02):120-122.
- [3] 刘晓雷.岩土工程地质勘察中的原位测试技术分析[J].大众标准化,2025,(02):31-33.
- [4] 韩喜斌.基于岩土工程勘察中原位测试的重要性研究[J].西部探矿工程,2024,36(10):29-32+36.
- [5] 段文轩.原位测试技术在岩土工程地质勘察中的应用分析[J].工程与建设,2024,38(04):798-799+802.