充填工程学介绍

许东俊, 陈从新, 肖国峰

(中国科学院武汉岩土力学研究所 岩土力学与工程国家重点实验室, 武汉 430071)

1 前 言

本文介绍的充填工程对象是指历史上遗留的浅层采煤巷道、地下采空区、遗弃的防空壕、古时的城市排水管路等, 这些前人开挖的地下空间, 其支撑大都是砖木结构及矿柱。这些简单的支撑长时间在地下水的物理化学作用下, 其围岩和残柱及木支撑风化而软化, 已基本丧失支护效用。后人在其上兴建房屋、铁路、公路等工程设施后, 由于荷载增加, 会产生地表沉陷、塌陷及滑坡等地质灾害。

我国长江三峡青滩左岸链子崖危岩体就是因为清代以来在底部开挖煤层后回填不密实而造成的, 地表已形成 12 条宽大裂缝, 岩体支离破碎, 如产生滑坡, 崩塌, 将严重威胁长江航道安全。为了长江航道的安全和三峡工程建设, 现在不得不花费大量人力、物力和财力去治理它, 这是前人留给我们的“负”遗产。

为了治理这些废弃的地下空洞, 作为主要工程措施, 就是要把其他材料充填到地下, 由此即产生了新的充填工程学。充填工程学研究的内容大体包括地下废弃空洞分布的探测、环境破坏的评估、充填材料学、充填技术及其设备和工艺、充填物对地下水污染评估, 充填效果的监测等多方面课题。在充填材料方面, 应尽可能利用工矿企业废弃物及城市建筑垃圾的循环资源学研究尤其重要。

充填工程学研究在日本已有 20 多年历史。1975 年, 日本名古屋市通商产业局设置了“古洞关连总合施策委员会”, 在此基础上于 1977 年成立了充填学会, 组织有关学者开展研究, 已在循环资源利用和充填材料配比研究上取得了可喜的成就。

我国学术界尚无充填工程学专门组织, 国家环保局还未把古洞治理纳入规划。从环境保护和基本建设工程需要和安全出发, 系统开展研究充填工程学诸课题, 很有必要。

本文着重介绍日本在充填工程学中——地下空洞探测和充填材料研究方面的成就, 并对我国的充填工程学研究提出几点建议。

2 地下空洞探测

2.1 地下古洞探测方法

历史上的地下空洞, 由于历史久远, 故当时的平面布置、形状、大小等设计资料未必完整地保存至今, 当某项工程建设需要或可能受到安全威胁时, 人们不得不重新进行探测。

日本用于古洞探测的技术主要是物探法其中包括: (1) 使用重力偏差计的重力探测方法^[2]; (2) 电法勘探技术; (3) 声波测井技术和钻孔摄影技术; (4) 表面波探测技术; (5) 地质雷达探测技术; (6) 地质钻孔法探测等。针对历史上废弃洞室的不同情况, 选择适宜的探测方法, 有时要多种方法交叉使用, 相互检验才能达到目的。

2.2 古洞探测项目

古洞探测项目包括: (1) 空洞的存在与否及其平面分布; (2) 空洞大小及其形状; (3) 空洞存在的状态, 即充满空气还是充满地下水, 地下水位和空洞崩塌情况; (4) 支柱法开采的矿洞残柱率, 矿洞倾斜率等。

3 充填材料研究

3.1 初期充填材料开发

1975 年开始, 日本用于地下空洞充填工程的材料是产自爱知县濑户地区和岐阜县东浓地区的陶土和硅砂。由于这两种材料, 受地域限制, 很难在其他地方取得。因此, 就试用了在采砂和采砾石时筛选掉的黏土质细砂和黏土等废弃物。这两种废弃物, 由于含少量微小云母片而闪闪发光, 因此, 起了个砂 kira 和黏土 kira 的美名, 日文中 kifa 是闪烁的意思。

刚开始时,是把这两种材料混合加水溶解后再添加水泥制成浆液以用于充填,充填后固结较快,但其成本较高,而且从一个孔充填的范围很有限,对较小的空洞无法充填,是其主要缺点。

后来又开发研制了水泥杆菌的充填调节剂。将含氧化铝的物质溶解在水中,再掺合石灰、石膏、水泥制成乳状液,与黏土 kira 和砂 kira 一起搅拌后用于充填,这一凝固较慢的泥浆物不但可以扩散充填到较大范围的空洞中,而且能流入到较小的空洞和空隙中。这一混合物,凝固后生成硫酸盐矿物且不断吸水硬化,因此极适合于不规则的小的空隙的充填。

这一种充填材料的开发,使日本充填工程从 2000 年起步入有效利用循环资源时期,是标志性的技术创新。

下面分别介绍用于充填工程的天然资源和循环资源的开发利用情况。

3.2 循环资源充填材料

3.2.1 充填材料应满足的条件

充填条件:(1)产地离工地要近,产量应满足需求,运费和材料价格要低廉;(2)不含有害物质,便于使用;(3)性质稳定,满足质量要求。符合这些条件的循环资源材料,除了上述“土 kira”和“砂 kira”外,还有采石场的脱水黏土、煤灰、烧结纸浆灰、建筑残土、下水污泥烧结块、熔融炉渣等。

3.2.2 循环充填材料适用性研究

(1) “土 kira”、“砂 kira”的质量控制

在褐煤古洞充填实践中,“土 kira”、“砂 kira”的主材地位已得到确认。作为固化剂,初期使用了熟石灰和石膏,现已改用水泥。其配合比的经验数据见表 1。土的 kira 充填混合物质量标准见表 2

表 1 黏土 kira 和砂 kira 配合比

材料	开发时期	现在
黏土 kira/kg	350	400
砂 kira/kg	150	200
石膏/kg	50	
熟石灰/kg	30	
水泥/kg		50
水/L	776	759

注:开发时期为 1975 年

黏土 kira 和砂 kira,随着产地的不同,其组成成份和质量可能不同。因此,除了用配合比控制之外,还必须用其他质量指标来控制质量(表 2)。

表 2 土 kira 充填混合物质量标准

质量项目	标准值	备注
流动性值(流出时间)/s	9~14	预填骨料混凝土 P 漏斗
离析率(bleeding)/%	3 以下	量筒或塑料袋
		标准养护期 28 d
单轴压缩强度/kPa	50 以上	($\phi 5$ cm, $h = 10$ cm 试样)
	20 以上	不搅拌空洞充填试料
有害物质含量	定量标准以下	

通过相应的室内试验,确定出便于施工的具有适合的流动性和能够填充空洞顶部间隙的离析抵抗(bleeding)率及相应的单轴抗压强度。

(2) 限定空洞范围充填技术

当有必要只充填一定范围的空间时,如果使用表给出的配比浆液,则泥浆有可能流到充填范围以外而造成浪费。为此,近年开发了控制充填范围的限定充填技术^[5]其充填材料如表 3 所列。

表 3 限定充填技术充填材料配合比

材料	指标			
	低强度型		高强度型	
	外围	内部	外围	内部
黏土 kira (clay) / kg	360	340	360	360
砂 kira (sand) / kg	180	170	180	180
水泥(固化剂) / kg	90	100	120	150
水玻璃/kg	48.8	12.2	48.8	24.4
水/L	724	763	715	725

(3) 各种循环材料实用性试验

如果各种工业废料用来作为充填材料,不仅可为废物处理找到好的出路,而且可大大减少环境污染,因此,这是循环资源利用的理想途径。为此,学者们对满足表 2 的充填材料质量标准的各种工业废料进行了其配合比、流动性指标及离析抵抗率和强度试验,其结果如表 4 所列。上述试验结果表明,这些材料作为充填固结体,是符合土壤环境标准的,可以认为适合于地下空洞充填工程。

4 对我国充填工程学研究与实践的建议

历史上古人开采的铁矿、铜矿、煤矿遗址、大量存在浅层古洞,在修建新的铁路、公路及其他工程设施时,经常遇到那些古洞的稳定性影响问题。

为了安全生产和资源有效利用,国家制定了许多环保政策,关闭了大量小煤窑、小铁矿、小有色金属矿等而留下大量的地下空洞,天长日久,这些地下空洞将严重影响地表稳定及地下水环境。因此,

全国的历史上和近代的地下空洞充填问题应该纳入到议事日程上,为此,笔者提出如下建议:

(1) 国家及各地区环保部门应设立专门机构,组织有关专家进行全国性的普查,统计历史上和近代的各种古洞的地区分布和数量;并搜索已有对地下洞的处理措施,效果和经历。

(2) 在全国性的岩土工程学会内附设充填工程专业委员会;组织有关专家,拟定出充填工程学研究课题,并设立专项基金;中国科学院和各个部的研究所、大专院校的有关教研室,可组织有关科研人员申请充填工程学方面的基金课题。

(3) 建议中国科学院武汉岩土力学研究所,设

立充填工程学研究课题组,同有关城市、工矿企业和各地区环保部门合作,开展地区性古洞调查、评估古洞对城市发展和新建工程地基稳定性的影响,规划古洞治理措施。

(4) 开展古洞充填学研究的国际合作与交流,采取派出去、请进来的方法,引进和吸收国外充填学研究的成果,以促进我国充填工程学研究的发展。

(5) 岩土力学、岩石力学与工程、岩土工程学报、地下空间、金属矿山,煤炭学报等全国性学报和刊物,定期刊登国外充填工程学方面的译文和信息,以引起国内有关学者的关注,以激发我国充填工程学研究的兴起和发展。

表4 各种适合于充填料的循环材料试验结果

主要材料种类		配合比/ kg·m ⁻³				试验结果		
循环材料	调节材料	主要材料		水泥	水	漏斗中流动 时间/s	析出率 Bleeding ratio / %	抗压强度 / kPa
		循环材料	调节材料					
黏土 kira (clay scum)	黏土渣	320	160	60	799	11.5	0.7	0.061
黏土 kira (clay scum)		420	0	60	822	11.2	0.65	0.063
粉煤灰(coal fly ash)(1)		300	300	60	725	10.6	2	0.143
粉煤灰(coal fly ash)(2)		650	150	60	629	12.5	2.5	0.202
纸浆烧结灰(paper sludge ash)(1)	黏土渣(clay scum)	570	0	60	753	12.6	1.24	0.141
纸浆烧结灰(paper sludge ash)(2)	黏土渣	570	0	60	753	10.8	0.13	0.397
建筑残土		460	0	60	813	9.3	0.43	0.258
建筑残土		480	0	60	793	9.5	0	0.475
水处理污泥烧结灰 (sewage incineration ash)	黏土渣	175	325	120	789	10	0	0.104
水处理污泥烧结灰 (sewage incineration ash)	黏土渣	57	513	60	766	13.6	0.77	0.074
水处理污泥烧结灰 (sewage incineration ash)	黏土渣	114	456	120	744	13.5	0	0.440
火山灰(shirasu)	过滤压缩块	420	420	60	632	10.1	1.78	0.340
质量目标值(criteria of quality control)						9~14	≤3	≥0.050

5 结 语

笔者写这篇文章的起因源自日本名古屋大学名誉教授川本眺万的来信和他寄来的几篇有关充填工程学方面的论文^[4-7]。川本教授是国际著名的岩石力学与工程学专家,退休后担任应用地质(株)最高技术顾问,从2001年起任日本充填学会会长,经常在学会上进行充填工程学方面的学术报告,笔者阅读后很受启发,因此撰写了此文。

这篇文章主要介绍日本充填学研究与实践方面的成果,意在引起我国有关部门和学者们的关注。并发展充填学研究。

在日本尽管充填工程学已趋成型,但在我国学术界的研究,还鲜为人知,因此,充填工程学研究

还有很大发展空间,期望它能在我国长足发展,服务于国民经济建设。

参 考 文 献

- [1] 阿苏弘生. 物探法空洞调查(日)[J]. 充填. 2001, 40: 2-11.
- [2] (日) 稻崎富士. 爱知县及名古屋市志段味、旭地区的褐煤采掘状况[J]. 充填. 2004, 45: 18-26.
- [3] (日) 杉浦乾郎, 山田纪利. 东海环状可儿褐煤坑充填工程完工之后[J]. 充填. 2003, 44: 8-17.
- [4] 川本眺万. 地表塌陷灾害和地下空洞调查[Z]. 日本充填杂志社, 2005.
- [5] 川本眺万. 循环材料的地下空洞充填适用性[Z]. 日本:

充填杂志社, 2005.

1 128.

[6] 坂田昭夫, 山田纪利, 岩城圭介, 川本眺万. 循环材料在空洞充填中的适用性[J]. 材料. 2005.54(11): 1 123—

[7] (日)川本眺万, 藤井纪之. 打开产业副产物用途的地下空洞充填技术[J]. 充填. 2004, 45: 1—10.

欢迎订阅 2008 年《岩土力学》

《岩土力学》是全国中文核心期刊、美国《工程索引》(EI) 收录期刊, 同时也是中国科学引文数据库、中国科技论文统计源期刊, 且为《中国期刊网》、《中国学术期刊(光盘版)》、《万方数据库》、重庆维普全文收录, 欢迎读者通过各期刊网查阅本刊内容。本刊主要报道岩土力学与工程研究和工程获得的新理论、新成果、新方法, 主要内容有: 岩土力学与岩土工程研究、典型工程实录、测试技术与测试方法、学术讨论、学术与工程动态、学术讲座等。

本刊为月刊, 大 16 开本, 每期页码为 280 页, 每月 10 日出版, 国内、外公开发行人。每期定价 28 元, 全年定价 336 元。本刊邮发代号: **38-383**, 同时自办发行, 国外订户可通过中国国际图书贸易总公司订阅。编辑部电话: 027-87198484。

直接在本编辑部订阅, 付款方式有两种:

(1) 邮局汇款: 430071 湖北省武汉市小洪山中国科学院武汉岩土力学研究所, 收款人: 《岩土力学》编辑部, 注明 2008 年《岩土力学》刊款, 并将订阅回执(或复印件)发 E-mail 至 ytlx@whrsm.ac.cn, 或邮寄到编辑部。

(2) 银行汇款: 中国科学院武汉岩土力学研究所, 账号: 42001237053050000260, 开户行: 中国建设银行武汉市科学院支行, 注明: 2008 年《岩土力学》刊款。

收到订刊款后, 编辑部将根据订户提供的通讯地址及时寄给发票, 并按时寄刊。请订户务必写明邮政编码、详细的通讯地址, 联系电话及 E-mail 地址。

2008 年《岩土力学》订阅回执单

订户单位		通讯地址	
订购单价	336 元/年	联系人	
订购份数		订户邮码	
共计金额		电 话	
付款方式		E-mail	

注: 直接通过本刊编辑部订阅《岩土力学》的订户填写。