

最新土石坝工程学

(修订版)

改訂
新版 最新フィルダム工学

日本电力土木技术协会编

陈慧远 徐关泉 李鸿俊 艾苑 张鸣岐 译

赵 山 校订

水利电力出版社

目 录

译 序

原 序

修订新版《最新土石坝工程学》执笔委员

第一章 绪论	1
1-1 概述	1
1-2 土石坝的分类	3
1-2-1 均质坝	3
1-2-2 分区坝	3
1-2-3 防渗面板坝	3
1-3 土石坝的发展过程	3
1-3-1 各国的土石坝	3
1-3-2 日本的土石坝	5
1-4 土石坝的特征	11
1-5 土石坝的主要问题	12
第二章 坝型选择	15
2-1 概述	15
2-2 均质坝	16
2-3 分区坝	18
2-4 防渗面板坝	20
2-5 坝型选择应考虑的因素	21
2-5-1 坝高	21
2-5-2 筑坝材料的性质和数量	21
2-5-3 坝址地形	25
2-5-4 坝址地质	27
2-5-5 气象条件和施工条件	28
2-5-6 水库的用途	30
2-6 坝型选择实例	30
2-6-1 均质坝	30
2-6-2 分区坝	30
2-6-3 防渗面板坝	32
第三章 筑坝材料	34
3-1 概述	34
3-2 材料勘探	35
3-2-1 材料勘探的步骤	36

3-2-2 勘探方法	37
3-2-3 勘探工程计划	38
3-3 材料试验	39
3-3-1 材料试验	40
3-3-2 室内试验方法	41
3-3-3 野外试验	46
3-4 土料	46
3-4-1 材料特性	46
3-4-2 土料实例	51
3-5 半透水材料	63
3-5-1 材料特性	63
3-5-2 半透水料实例	63
3-6 石料	67
3-6-1 材料特性	67
3-6-2 石料实例	73
第四章 坝的基础	85
4-1 概述	85
4-2 地质勘探	85
4-2-1 地质勘探目的	85
4-2-2 地质勘探方法	85
4-3 岩石基础	96
4-3-1 岩石及地质构造的特征	96
4-3-2 断层破碎带	102
4-4 砂砾基础	103
4-4-1 强度	103
4-4-2 液化现象	105
4-4-3 渗透	106
4-4-4 渗流造成的基础破坏	108
4-4-5 防止管涌措施	112
4-5 土基	112
4-5-1 强度	112
4-5-2 沉降	114
4-5-3 稳定上的因素	116
第五章 坝的细部设计	118
5-1 概述	118
5-2 坝坡坡度	118
5-2-1 坝坡坡度的决定方法	118
5-2-2 已建坝的坝坡坡度	121
5-3 坝的分区	122

5-4 防渗区	123
5-4-1 防渗区的设计条件	123
5-4-2 防渗区的细部设计	123
5-5 半透水区设计	130
5-5-1 反滤层的必要性	130
5-5-2 反滤层的厚度	130
5-5-3 反滤层的颗粒级配	130
5-5-4 防渗面板坝过渡区的设计	132
5-6 透水区的设计	133
5-7 非溢流部分的高程	133
5-8 坝顶	136
5-8-1 坝顶宽度	136
5-8-2 坝顶断面	137
5-9 坝体超填	138
5-9-1 超填的必要性	138
5-9-2 超填高度	138
5-9-3 已建坝的实例	140
5-10 坝轴线的形状	140
5-11 坝面护坡	141
5-11-1 上游坝面护坡	141
5-11-2 下游坝面护坡	143
5-12 溢洪道	143
5-12-1 溢洪道设计	143
5-12-2 坝的设计洪水流量	144
5-12-3 溢洪道的型式	145
5-12-4 溢洪道闸门	149
5-13 泄水建筑物	150
5-14 廊道的设计	153
第六章 人工材料防渗墙	156
6-1 概述	156
6-2 混凝土防渗墙	157
6-2-1 混凝土防渗墙的厚度	157
6-2-2 混凝土防渗面板的分块	158
6-2-3 混凝土防渗面板的接缝	161
6-2-4 混凝土防渗面板的施工	161
6-3 钢制防渗面板	167
6-3-1 钢制防渗面板的厚度	167
6-3-2 钢制防渗面板的接缝	168
6-4 沥青防渗墙	168

6-4-1 型式和构造	168
6-4-2 沥青防渗面板	175
6-4-3 沥青防渗心墙	199
第七章 稳定分析	205
7-1 概述	205
7-2 滑动面分析	207
7-2-1 分析条件	208
7-2-2 应考虑荷载	208
7-2-3 设计数据	210
7-2-4 最小安全系数	217
7-2-5 计算方法	217
7-3 应力-应变分析法	246
7-3-1 有限元法	246
7-3-2 分析中采用的变形特性及其应用	251
7-3-3 用有限元法分析特殊问题的实例	258
第八章 坝体的工作状态	266
8-1 概述	266
8-2 坝的变位	266
8-2-1 施工过程中的沉降和水平变位	266
8-2-2 竣工后的变位	277
8-2-3 地基的变位	286
8-2-4 坝体变位量测实例	288
8-3 坝体内部的土压力	312
8-3-1 土压力	312
8-3-2 土压力的量测实例	314
8-4 坝内孔隙水压力	322
8-4-1 施工过程中的孔隙水压力	322
8-4-2 竣工后的孔隙水压力	328
8-4-3 孔隙水压力的实测举例	330
第九章 坝体和坝基渗流	341
9-1 概述	341
9-2 渗流理论	341
9-2-1 渗流和达西定律	341
9-2-2 达西定律的适用范围	342
9-2-3 影响透水性的因素	343
9-3 渗透系数的测定方法	346
9-3-1 试验室测定法	347
9-3-2 现场测定法	348
9-4 渗流基本方程式	351

9-4-1	运动方程式	351
9-4-2	连续性方程式	353
9-4-3	速度势函数和流函数	354
9-4-4	边界条件	355
9-5	渗流解析方法	357
9-5-1	理论解法	357
9-5-2	图解法	362
9-5-3	试验解法	365
9-6	渗流有限元解析法	368
9-6-1	饱和渗流解析法	369
9-6-2	饱和·不饱和渗流解析法	373
第十章	地震影响	386
10-1	概述	386
10-2	地震动	386
10-2-1	地震活动度	386
10-2-2	地震观测	390
10-2-3	地震动特性及其工程意义	392
10-2-4	土石坝的震害	398
10-3	土石坝地震观测所得的动力特性	400
10-3-1	地震观测的目的	400
10-3-2	土石坝地震反应观测实例	400
10-4	土石坝模型振动实验所得的动力特性	405
10-4-1	实验目的	405
10-4-2	振动实验的成果	406
10-4-3	模型振动实验的相似律	407
10-4-4	用土料做成模型的共振实验实例	411
10-4-5	用土料做成模型的振动破坏实例	419
10-5	土石坝材料的动力特性	422
10-5-1	动力变形特性	422
10-5-2	动力强度特性	439
10-6	土石坝抗震设计	445
10-6-1	设计地震动	445
10-6-2	动力分析的方法	451
10-6-3	动力分析实例和滑动稳定评价	459
第十一章	量测仪器及埋设	467
11-1	概述	467
11-2	量测目的及项目	467
11-3	量测仪器	468
11-3-1	各种变换器的特性	468
11-3-2	孔隙水压力计及土压力计	471

11-3-3	沉降计	471
11-3-4	水平变位计	475
11-3-5	滑移(剪切)变位计	477
11-3-6	土应变计	477
11-3-7	地震仪	477
11-3-8	基岩变位计	481
11-3-9	漏水量测定装置	482
11-3-10	量测设备一览表	483
11-3-11	仪器配置图	483
11-4	仪器的埋设	514
11-4-1	电缆的埋设	514
11-4-2	仪器的埋设	516
11-4-3	埋设计划	518
11-5	量测	519
11-5-1	量测人员的职责和量测次数	519
11-5-2	资料的整理	519
11-5-3	量测值的整理	519
11-5-4	自动量测装置	519
11-6	仪器的管理	522
11-6-1	施工过程中的管理	522
11-6-2	竣工后的管理	522
第十二章	施工计划	523
12-1	概述	523
12-2	施工进度	523
12-2-1	进度计划的拟定	523
12-2-2	施工进度计划举例	524
12-3	施工计划	526
12-3-1	开采计划	526
12-3-2	运输计划	535
12-3-3	填筑计划	541
12-3-4	施工机械的运行管理	555
第十三章	施工导流	564
13-1	概述	564
13-2	施工导流的流量	564
13-3	施工导流方式	568
13-4	隧洞导流	569
13-4-1	导流隧洞	569
13-4-2	围堰	571
13-4-3	导流隧洞的封堵	572

13-5 施工导流工程实例	573
13-5-1 隧洞导流实例(岩屋坝)	573
13-5-2 分期围堰导流实例(船明坝)	577
第十四章 基础处理	584
14-1 概述	584
14-2 岩石基础	584
14-2-1 基础开挖和表面处理	584
14-2-2 断层和破碎带的处理	588
14-2-3 混凝土截水墙	589
14-2-4 检查廊道	590
14-3 砂砾石基础	591
14-3-1 表土处理	591
14-3-2 防渗和排水措施	591
14-4 土质基础	599
14-4-1 表土处理	599
14-4-2 地基改良法	599
14-4-3 施工实例	600
14-5 灌浆	601
14-5-1 灌浆计划	601
14-5-2 施工方法	606
14-5-3 灌浆机械设备	609
14-5-4 灌浆管理	610
14-5-5 灌浆记录整理	612
14-5-6 灌浆效果的检查	620
14-5-7 灌浆施工举例	620
14-6 涌水处理	620
14-6-1 地基涌水	620
14-6-2 其他渗水	622
第十五章 填筑工程	624
15-1 概述	624
15-2 材料开采	624
15-2-1 土料开采	624
15-2-2 砂砾料开采	627
15-2-3 石料开采	628
15-2-4 废碴开采	638
15-3 填筑	642
15-3-1 防渗区的填筑	642
15-3-2 半透水区的填筑	650
15-3-3 透水区的填筑	654
15-3-4 特殊土料的填筑	662

15-3-5 堆石护坡的施工	665
第十六章 施工管理	667
16-1 概述	667
16-2 管理标准	668
16-2-1 质量管理	668
16-2-2 管理标准	668
16-2-3 现场管理试验方法	669
16-3 管理实例	677
16-3-1 高瀨坝	677
16-3-2 手取川坝	679
16-3-3 南原坝	683
16-3-4 新冠坝	689
16-3-5 沼原坝	691
第十七章 养护管理	708
17-1 概述	708
17-2 土石坝的管理	708
17-2-1 管理时段的划分	708
17-2-2 量测管理	709
17-2-3 检查管理	716
17-2-4 调查、修补及其他	717
第十八章 事故及其防治措施	719
18-1 概述	719
18-2 土石坝事故的实际状态	719
18-2-1 土石坝的事故	719
18-2-2 事故发生的频度	719
18-3 事故的原因和发生过程	724
18-3-1 事故原因	725
18-3-2 事故的发生过程	725
18-3-3 溢流	725
18-3-4 管涌	726
18-3-5 滑动	727
18-3-6 裂缝	728
18-3-7 地震的损害	728
18-4 事故实例	729
18-4-1 由于管涌而破坏的坝	729
18-4-2 发生滑动的坝	735
18-4-3 发生裂缝的坝	736
18-4-4 遭受地震灾害的坝	737
18-5 事故的调查、加固实例	745

第十九章 土石坝一览图表756

 表19-1 日本主要土石坝的参数756

 表19-2 其它国家土石坝的主要参数.....760

汉英坝名对照855

第一章 绪 论

1-1 概 述

原始时代，人类以打猎和捕鱼为生，对水的利用仅仅是直接使用天然的河水或地下泉水作为饮用水及供其它生活杂用而已。但当人类在一个地区定居下来并开始了农业生产后，就在各处修起了蓄水池，供枯水期放水保护农作物免于枯死的危险。这就出现了坝。但这些坝全都是土石坝，并且一直到十六世纪末重力坝出现为止，土石坝作为一种唯一的坝型，在世界各地修建起了无数座。

人类就是这样把水作为饮用水、生活用水、灌溉用水来使用的。进入十八世纪后半叶，工业革命得到发展，水开始用于工业和水力发电方面，此后，人类对水的利用就急速地大量增加和多样化起来。

与此同时，工业的振兴使人口集中、生活水平提高。这样，河流泛滥所造成的灾害也日益增大，于是人类又开始利用坝进行大规模的洪水调节，以消除水灾。

由于对水的各种需求不断增加和河流治理上的要求，坝工建设越来越盛行，除了已有的土石坝、重力坝外，拱坝、支墩坝等各种型式的坝也得到了发展，并在各地陆续建起了一些大型坝。

混凝土坝的修建是1824年硅酸盐水泥发明之后兴起的，从十九世纪后半叶起，其数量逐渐增多。与土石坝那种依然不得不依靠旧的经验施工方法相反，混凝土坝在力学上很快地得到阐明，所以在二十世纪初就修建了高度100m以上的重力坝。把二十世纪前半叶称作混凝土坝时代也并不过分。因为在世界各地所建成的大型坝，大部分都是混凝土坝，而土石坝却屈指可数。然而在这期间，土力学、土工学也取得了惊人的发展，其成果应用于土石坝建设，建立了一套科学的施工方法。

这样，到1940年以后，土石坝的建设也活跃起来，宛如要与混凝土坝媲美一样，大型土石坝陆续兴建，而近年来，土石坝的发展则更有明显超过混凝土坝的趋势。

由于二十世纪前半叶混凝土坝的突然兴旺，使各发达国家在地质上或经济上适宜修建混凝土坝的坝址愈来愈少，在今后坝工建设中，土石坝占据主要地位的情况将会增多。

也就是说，土石坝比混凝土坝，对地质条件要求较低，在不适宜建混凝土坝的地方有时也可以建造，一般来说经济方面也是有利，表1-1为日本的坝工建设情况。

另外，在工业发达国家，现在人工费非常昂贵，通货膨胀严重，造价不断猛涨，所以在坝工建设方面不断研制大型施工机械，力求以此降低工程费用。而施工的机械化与大型化对土石坝来说可直接降低造价，所以土石坝今后必将会越来越多地修建起来。

表 1-1

日本的坝 (按不同坝型、年代划分)

年 代	土 坝		堆 石 坝		重 力 坝		拱 坝		连 拱 坝		支 墩 坝		合 计	
	15~30m 以下	30m 以上	15~30m 以下	30m 以上	15~30m 以下	30m 以上	15~30m 以下	30m 以上	15~30m 以下	30m 以上	15~30m 以下	30m 以上	15~30m 以下	30m 以上
公元 162~1602	33	3											33	3
1603~1887	480	3											480	2
1888~1899	80		1			1							81	1
1900~1925	168	5			14	7					1		183	12
1926~1945	270	17			80	49			1		4	1	354	68
1946~1955	122	6	1	3	30	47	1	2					154	58
1956~1965	113	15	3	7	61	121	3	21		2		9	180	175
1966~1975	80	28	7	34	31	118		16				4	118	200
1976~1979	14	19	2	28	8	37		2					24	86
合 计	1360	96	14	72	224	380	4	41	0	3	5	14	1607	606
总 计	1456		98		604		45		3		19		2213	

注 1. 坝的数目统计到1979年3月31日。出处: 坝工总览(1980年);

2. 重力坝中包括重力拱坝, 重力坝和土石坝的混合枢纽;

3. 支墩坝中包括宽缝重力坝。

1-2 土石坝的分类

土石坝是用石料、砂砾料、土料等作为筑坝材料堆筑起来的坝的总称。土坝、堆石坝即属于这一类。

过去曾按坝的组成材料区分为土坝和堆石坝，但由于两者在设计和施工方法上有许多共同之处，还因为近年来有很多坝从坝的组成材料上很难明确是土坝还是堆石坝。把它们叫做土和石填筑坝更为确切，所以日本采用填筑坝^①这一总称来处理。

日本以外的国家几乎不使用填筑坝这个名称，而叫做土坝，堆石坝，土石坝或者将它们统称为堤坝（embankment dam）。为与土坝相区别，虽然有人多次提出过堆石坝的定义，但尚无一个确定的解答。

土石坝大致可分为均质坝，分区坝和防渗面板坝。

1-2-1 均质坝

均质坝是对分区坝而言，系指坝体绝大部分由相同性质的材料组成，以坝体的全断面起稳定和防渗作用的坝型。

自古以来靠经验修建的土坝，大部分是这种坝型，而一般来说，又都是中型以下的坝。

这种坝型适合在坝址附近能开采到大量不透水土料的情况，与其它型式的土石坝相比，甚至在软弱的地基上也可能修建。

1-2-2 分区坝

分区坝系指由防渗区及几个不同渗透特性的区域组成的坝型。

根据防渗体的型式和布置的位置，又可进一步划分为薄斜防渗墙型坝（斜心墙坝），薄中央防渗墙型坝（心墙坝）和厚防渗墙型坝。但不管是哪种坝型，为避免渗透系数和材料级配的突变，都要以防渗体为中心，向上下游方向顺次设置一层比一层粗的材料。分区坝因为可以根据坝址地形、地质及可能获得的筑坝材料做出最优设计，所以它的适用范围最广，大部分大型土石坝都属于这种坝型。

1-2-3 防渗面板坝

防渗面板坝系指在坝体的上游面具有用沥青混凝土，钢筋混凝土及其它人工或天然材料筑成防渗板的坝型。

最近，日本的这种坝型大部分都采用沥青混凝土防渗板，而在其他国家，也修建有使用连续浇筑施工方法建成的钢筋混凝土防渗板的坝。

近年来，还建造了一些将沥青混凝土防渗墙布置于坝体中央的沥青心墙坝。

1-3 土石坝的发展过程

1-3-1 各国的土石坝

① 这里及下一行出现的填筑坝一词日文是“フィルダム”（Fill Dams），为符合我国的习惯叫法，本书统译为“土石坝”。但为了照顾“1—2土石坝的分类”，这一节的内容而二次使用了“填筑坝”的叫法，译者

世界筑坝历史是极其悠久的，虽然详情不清，但在古代文化的发源地——埃及、叙利亚、印度等地，为了用于灌溉或航运而修建的土石坝工程可说是最古老的了。

尚能见于历史记载的古老的土石坝中，有公元前504年在锡兰所修建的坝，有为解决修建金字塔工程的奴隶饮用水而修建的弗米尔格沙（Four-mel-Ger Za）坝（公元前五世纪）。特别是前者，坝高23m，坝顶长17.7km，坝体积竟达13000000m³。

然而，这些古代的土石坝都是凭经验选料，凭经验修建的，没有得到理论的阐明，其大部分都溃决。但是，在极其漫长的岁月中，土石坝的构造和施工方法，也正是通过这种筑坝和溃坝的反复，逐步地向着安全的方面进步的。

随着时间的推移到了十九世纪中叶，美国利用丰富的木材修建不少木笼坝（Log Gribdam），这是一种将表面用木材组装成面板作为防渗墙，内部用填充石块承担水压力的坝。这种坝逐渐地得到改良，也建成一些较高的坝。后来，随着把钢材和钢筋混凝土用于防渗墙及施工机械的进步，这种坝型得到急速地发展，1931年建成了高100m的盐泉坝（Salt Springs）（图19-150），接着1934年又建成了圣加别勒2级（San Gabriel No.2）坝（美国，H=85m）。

另一方面，以土料为主体的土石坝，即所谓的均质坝和分区坝，基于经验的设计方法虽然不断有所发展，但在使用畜力和蒸汽机车运输材料的时代，大型工程仍很少。

然而到了二十世纪初，在筑坝中采用了水力冲填施工法，陆续建造了一些50m以上的坝。于是，运用水力冲填法或半水力冲填法修建土石坝流行起来。泥卡沙2级（Necaxa No.2）坝（墨西哥，H=50m，1909年）、圣巴勃罗（San Pablo）坝（美国，H=67m，1921年）、卡拉维拉斯（Calaveras）坝（美国，H=67m，1925年）、科布尔山（Cobble Mountain）坝（美国，H=78m，1932年）等坝先后建成，而且到1940年就建成了坝体体积多达9200m³的皮克堡（Fort Peck）坝（美国，H=76m）。

土石坝史上不可忽略的近代化转折是1933年普鲁克托（R·R Proctor）发表了“碾压式土坝的设计和施工”这一论文，它证实了土料最优含水量的存在，对于土体压实问题进行了科学的说明。这样，高密度压实就成为可能，运用这种技术的压实施工方法所修建的土石坝是安全的，而且其经济性也是明显的。于是，根据合理的设计理论，近代的高土石坝陆续投入了施工。

这种近代高土石坝的变迁大致有过两个基本形式，其一，是美国垦务局和田纳西河管理局等所修建的厚防渗体坝。例如，青山（Green mountain）坝（1942年，H=82m）、安德森伦奇（Anderson Ranch）坝（1950年，H=139m，图19-65）、诺梯里（Nottely）坝（1942年，H=56m）等。其二，主要是美国铝业公司的格罗顿（J·P·Growdon）所设计的具有薄斜防渗体（斜心墙）的阿勒卡（Alca）型或格罗顿型坝。后一种坝是把防渗面板坝以往使用的钢筋混凝土防渗板改为压实土料防渗墙，在土料上面铺上压实的石料。代表这种坝型的有南达哈拉（Nantahala）坝（1942年 H=76m 图19-130）。肯尼（Kenney）坝（1952年 H=104m 图19-116）和熊溪（Bear Creek）坝（1961年 H=72m 图19-70）等。

从此，近代的大型土石坝在各国相继修建起来。但是不可忘记，这之所以成为可能，

并不仅仅是由于采用了土防渗体和研究出反滤层，而且施工技术的进步、大型施工机械的出现也起了很大的作用。

另外，在二十世纪初，由于缺乏雨量、流量，特别是洪水流量等水文资料，不可能在可靠的数据基础上进行溢洪道设计。而随着水文学和水文统计学的进步，这些方面的观测密度和精度都有了提高，加之洪水调查方法的发展等，提高了根据水文资料进行数值分析的可靠性，使设计安全的溢洪道成为可能。

其次，虽然由于土石坝的特性不可避免地要发生沉降，但采取把溢洪道及其它水工建筑物与坝体分开的设计措施，明显地提高了土石坝的安全性。

在筑坝材料方面，早期是尽量选用大小一样的大块石头，只把那种经得住高填筑层抛石冲击的坚硬石头作为合格材料，其余都作为废料遗弃。但随着施工方法从高处翻卸撞击及高压水冲压实的老方法，过渡到对低填筑层用推土机、夯击碾、轮胎碾以及振动碾等压实的施工方法以后，那些采石场岩屑和隧洞、溢洪道及其它开挖弃碴、风化岩、以及河床砂砾等也都被积极利用起来作为填筑材料。

随着这种材料和施工方法的变迁，坝体断面形状也发生了变化，像格罗顿型防渗斜心墙坡度做得相当陡的坝型[如，渥洛维尔（Oroville）坝，美国，图19-136]和受沉降影响小的心墙坝[如，盖帕契（Gepatsch）坝，奥地利，图19-102]以及介于它们之间的各式各样坝型的土石坝，根据各自坝址的地形、地质、可开采材料的条件相继修建起来。表1-2为日本以外国家的主要土石坝建设情况。

防渗面板坝，在初期多数都采用混凝土面板，而随着富于抗渗性和柔性的沥青混凝土的产生，使用沥青混凝土的坝，以欧洲为中心，从二十世纪五十年代后半期起，也开始兴建起来。但是近年来，由于防渗面板混凝土的施工方法或坝体填筑方法的进步，使人们对混凝土防渗面板开始重新评价，有几个国家正在修建或者计划修建比较大型的混凝土面板防渗坝。

土石坝就这样一边不断改进着筑坝材料、施工方法、断面形状，一边向着大型方向发展，终于在1972年完成了高达242m的买卡坝（加拿大，图19-126），而今天，苏联325m的罗贡坝（苏联，图19-146）也正在施工中。

1-3-2 日本的土石坝

自古以来，日本以种稻为主经营农业，所以，为了确保灌溉用水作了很大的努力，很早以前就修建了为数众多的农业用贮水池。据说现存总数尚能达到28万个之多，其中大多数都是土石坝。

在《日本书纪》和《古事记》中可以看到修建土石坝的事例。公元前36年所修建的依纲池和划坂池等就是其中的例子。

15m以上尚有记载的最古老的坝是公元162年在奈良县修建的蛙股池（ $H=17\text{m}$ ），继它之后，在466年修建了一番池（爱媛县 $H=15\text{m}$ ），708年修建了住吉池（鹿儿岛县 $H=20\text{m}$ ）。

由此可见，虽然日本修建土石坝的历史极其悠久，数量也非常多，但大部分是不到30m的小坝，50m以上的全部是第二次世界大战之后所建。

这些土石坝中，凡是老的，都是靠经验施工方法所建。日本与各国一样，一方面有着

表 1-2

日本以外国家的主要土石坝

坝 名	国 家	坝高(m)	竣工(年)	备 注
尼卡沙 2 级	墨西哥	50	1909	水力冲填土坝
特雷斯(Terrace)	美国	55	1912	水力冲填土坝
圣巴勃罗	美国	67	1920	水力冲填土坝
小熊溪(Little Bear Creek)	美国	58	1922	碾压式土坝
戴维斯桥(Davis Bridge)	美国	61	1924	半水力冲填土坝
狄克斯河(Dix River)	美国	84	1924	混凝土防渗面板堆石坝
卡拉维拉斯	美国	67	1925	半水力冲填土坝
上桑连德罗(Upper San Liandro)	美国	66	1926	水力冲填土坝
沙罗大(Saluda)	美国	63	1930	半水力冲填土坝
盐 泉	美国	100	1931	混凝土防渗面板堆石坝
科布尔山	美国	78	1932	水力冲填土坝
圣加别勒 2 级	美国	85	1934	混凝土防渗面板堆石坝
斑奎峡谷(Banquet Canyon)	美国	57	1935	碾压式土坝
圣加别勒 1 级(San Gabriel No.1)	美国	111	1939	斜心墙堆石坝
科戈堤(Cogoti)	智利	83	1939	斜心墙堆石坝
皮 克 堡	美国	76	1940	水力冲填土坝
南达哈拉	美国	76	1942	斜心墙堆石坝
泥山(Mud Mountain)	美国	130	1948	心墙堆石坝
安德森伦奇	美国	139	1950	厚防渗体土坝
肯 尼	加拿大	104	1952	斜心墙堆石坝
卡加开(Kajakai)	阿富汗	100	1952	心墙堆石坝
安布克劳(Ambuklao)	菲律宾	129	1955	心墙堆石坝
帕拉台拉(Paradela)	葡萄牙	110	1958	混凝土防渗面板堆石坝
宾加(Binga)	菲律宾	107	1959	斜心墙堆石坝
勃朗利(Brownlee)	美国	120	1959	斜心墙堆石坝
郭兴能(Göscheneralp)	瑞士	155	1960	心墙堆石坝
特兰斯赖特(Trängslet)	瑞典	125	1961	斜心墙堆石坝
德本地汗(Derbendgkhan)	伊拉克	128	1961	心墙堆石坝
福尔纳斯(Furnas)	巴西	127	1962	斜心墙堆石坝
英菲尔尼罗(El Infiernillo)	墨西哥	148	1963	心墙堆石坝
库加尔(Cougar)	美国	136	1964	斜心墙堆石坝
圆岗(Round Butte)	美国	134	1964	斜心墙堆石坝
盖 帕 契	奥地利	153	1965	心墙堆石坝
阿科索博(Akosombo)	加纳	141	1965	心墙堆石坝
卡力玛 1 级(Calima No.1)	哥伦比亚	115	1965	心墙堆石坝
克瑞玛斯塔(Kremasta)	希腊	165	1966	心墙堆石坝
贝内特(Bennet)	加拿大	183	1967	厚防渗体土坝
萨特伐雷(Seitevare)	瑞典	105	1968	心墙堆石坝
蒙谢尼(Mont-Cenis)	法国	120	1968	斜心墙堆石坝
涅洛维尔	美国	235	1968	斜心墙土坝
阿斯旺高坝(High Aswan)	埃及	111	1971	心墙堆石坝
新顿彼德勒(New Don Pedro)	美国	178	1971	心墙土坝
买卡(Mica)	加拿大	242	1972	斜心墙土坝
卡台尔(Carters)	美国	140	1974	心墙堆石坝
凯朋(Keban)	土耳其	207	1974	心墙堆石坝
安哥斯托拉(La Angostura)	墨西哥	146	1974	心墙堆石坝
腊孔山(Raccoon Mountain)	美国	70	1974	斜心墙堆石坝

续表

坝 名	国 家	坝高(m)	竣工(年)	备 注
契伏尔(Chivor)	哥伦比亚	237	1975	斜心墙堆石坝
马尼克-3(Manicouagan-3)	加 拿 大	108	1975	心墙堆石坝
塔贝拉(Tarbela)	巴基斯坦	148	1976	斜心墙堆石坝
科培顿(Copeton)	澳大利亚	113	1976	厚防渗体堆石坝
达特茅斯(Dartmouth)	澳大利亚	180	1978	心墙堆石坝
欧申涅克(Oscheniksee)	奥 地 利	116	1978	防渗面板堆石坝
哈桑乌古鲁(Hasan Ugrlu)	土 耳 其	175	1979	斜心墙堆石坝
万昭宁(Srinagarind)	泰 国	140	1979	心墙堆石坝
加那里斯(Caralaz)	西 班 牙	156	施工中	心墙堆石坝
古拉阿培托(Gura Apetor)	罗马尼亚	168	施工中	心墙堆石坝
拉格朗德-2(LG-2)	加 拿 大	160	施工中	斜心墙堆石坝
阿连诺斯(Arenos)	西 班 牙	105	施工中	斜心墙堆石坝
契柯森(Chicoasén)	墨 西 哥	263	施工中	心墙堆石坝
罗贡(Rogun)	苏 联	325	施工中	斜心墙堆石坝

出处：世界大坝登记册。

筑坝溃坝的反复经历，一方面是在漫长的岁月中一点一点地加以改进，才形成了安全的土石坝。

日本土石坝建设采用近代施工方法还是第二次世界大战之后的事。战前，全靠技术人员的感性认识和经验来设计，施工时仅仅使用了一些数量很少的机车，手推车，卷扬机，简易索道等施工机械，主要采用了人海战术施工方法。

战前修建的主要土石坝有大野坝（ $H=37\text{m}$ ，东京电力股份有限公司，1913年）、村山水库下坝（ 30m ，东京都水道局，1927年）、山口水库（ 33m ，东京都水道局，1934年）、昭和池（ $H=35\text{m}$ ，冈山县一宫土地改良区，1938年）等。

反之，采用近代土力学理论，对坝基及筑坝材料的物理、力学试验，掌握基础及材料的性质，合理地进行设计，采用大型机械施工，这是战后的事。

作为近代土石坝的第一号工程是在胆泽川上，作为北上川综合开发的一环，用了五年时间，于1953年建成的石湖坝（建设省， $H=53\text{m}$ ，图19-4），接着，1954年东京电力公司建成了野反坝（图19-46），但这些都是钢筋混凝土防渗面板坝。继这两座坝之后，由农林水产省战后很快动工的山王海、西乡、羽鸟各坝（三者都是土坝）也都相继竣工。这期间特别值得一提的是，从战前那种长期沿用下来的以机车、手推车为主的施工方法，转变为正铲机和自卸汽车联合作业的施工方法。

日本气候多雨潮湿，土料湿润，因此，按最优含水量进行施工比较困难，不易采用近代土防渗墙的大型土石坝。

1957年由电源开发股份有限公司动手施工的御母衣坝（图19-58），在日本是属于特别多雨多雪的地区，在长达五个月的冬季不得不中止防渗墙施工的恶劣条件下，采取堆土备料调节最优含水量施工措施，投入了大量大型机械，于1960年完成。131m的高度，在当时是世界最高级的坝，这样，日本也总算迎来了大型土石坝时代的黎明。