

文章编号:1671-2579(2005)04-0096-06

日本钢筋混凝土拱桥调查与分析

陈宝健¹, 许有胜², 陈宝春² 编译

(1. 福建交通职业技术学院, 福建 福州 350007; 2. 福州大学)

摘要: 该文主要介绍了日本钢筋混凝土拱桥现状的调查与分析结果。调查报告的结果包括日本国内钢筋混凝土拱桥的数量、跨径、结构形式、施工方法、构造分析等方面。日本在钢筋混凝土拱桥建设方面具有丰富的经验和许多值得我国借鉴的地方。

关键词: 日本; 钢筋混凝土拱桥; 现状; 调查; 分析

1 日本钢筋混凝土拱桥基本现状

日本土木学会于1999年开始至2003年3月,组织力量对日本国内跨径在100 m以上的钢筋混凝土拱桥进行了调查。调查结果显示:已建成的跨径在100 m以上的钢筋混凝土拱桥共38座,详见表1。

2 结构形式与跨径

拱的结构形式分为上承式固定拱、倒朗格尔拱和“其他”3大类。其中上承式固定拱的数量最多,占总数的68.4%,共计26座;倒朗格尔拱是指桥面梁为连续梁的拱梁组合结构,与一般的朗格尔拱为下承式无推力结构相反,它是上承式、有推力的结构,在调查的38座桥中,倒朗格尔拱有6座;在“其他”的这6座桥中,又分为倒朗格尔平衡拱、上承式平衡拱、两孔连续固定拱、两铰拱、PC扁平拱共5种结构形式,其中PC扁平拱2座,其余均为1座。

图1给出了不同时期修建的钢筋混凝土拱桥的跨径,可以发现跨径随时间的推移在不断地增大。1966年建成的新山清路桥,跨径100 m;1974年建成的外津桥,跨径170 m;1982年建成的宇佐川桥,跨径204 m;1989年建成的别府明矾桥,跨径235 m;2000年建成的天翔大桥,跨径260 m;预计于2005年建成的富士川桥,跨径265 m。

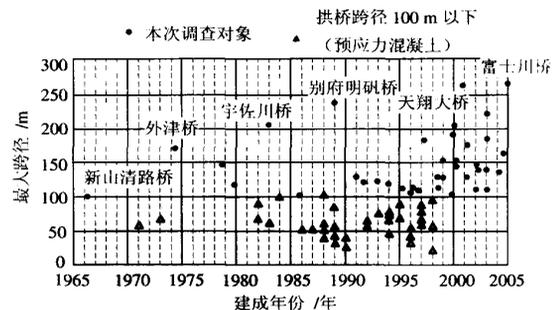


图1 拱桥跨径的变迁

3 施工方法

拱肋的架设施工方法分为: 满堂支架现浇法; 拱架现浇法; 塔架斜拉索架设法; 刚性骨架与塔架组合施工法; 悬臂桁架架设法; 刚性骨架与桁架组合施工法; 竖向转体施工法。图2为拱肋施

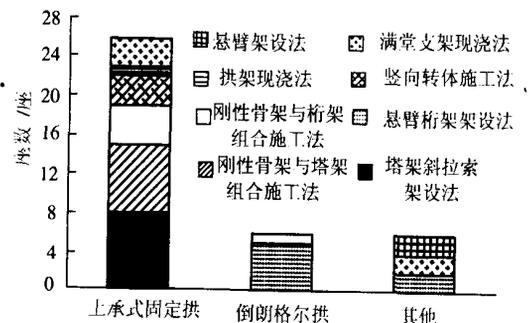


图2 拱肋架设施工法

收稿日期:2005-02-20

表 1 日本已建成的跨度大于 100 m 的钢筋混凝土拱桥一览表

序号	桥名	建成年份	地点	主跨/m	结构形式	施工方法
1	新山清路桥	1966	长野县	100	PC 扁平拱	悬臂架设法(组合临时支柱)
2	大龙桥	1985	兵库县	100	上承式固定拱	满堂支架现浇法
3	日莲桥	1999	神奈川县	100	上承式固定拱	刚性骨架与塔架斜拉索架设法
4	茶间川桥(本四)	1996	兵库县	103	上承式固定拱	塔架斜拉索架设法
5	须津溪谷桥	2002	静冈县	105	钢筋混凝土固定拱	悬臂架设法
6	龟山城桥	2003	宫崎县	105	上承式钢筋混凝土固定拱	竖向转体施工法
7	中谷川桥	1996	熊本县	106	倒朗格尔拱	悬臂架设法
8	茶间川桥(县道)	1995	兵库县	108	上承式固定拱	拱架现浇法
9	玉川温泉大桥	1996	秋田县	110	上承式固定拱	刚性骨架与塔架斜拉索架设法
10	中央 1 号桥	1998	广岛县	110	上承式固定拱	刚性骨架与支架法
11	赤谷川桥	1979	群马县	116	倒朗格尔拱	悬臂桁架架设法
12	天子大桥	1993	爱媛县	116	倒朗格尔拱	悬臂桁架架设法
13	丸山大桥	1991	新潟县	118	上承式固定拱	刚性骨架与塔架组合法
14	误野川桥	1992	岛根县	119	倒朗格尔拱	悬臂桁架架设法
15	梦乃桥	1999	岩手县	124	上承式固定拱	刚性骨架与塔架斜拉索架设法
16	阿嘉大桥	1998	冲绳县	125	上承式平衡拱	满堂支架现浇法
17	下田原大桥	2001	宫崎县	125	上承式固定拱	刚性骨架与竖向转体施工法
18	泷里坝 2 号桥	1990	芦别市	126	PC 扁平拱	悬臂架设法(组合临时支柱)
19	东峰桥	2000	爱媛县	132	倒朗格尔拱	悬臂桁架架设法
20	神源溪谷大桥	2002	大分县	135	上承式固定拱	竖向转体施工法
21	大苏大桥	2003	熊本县	135	上承式固定拱	塔架斜拉索法
22	接组大桥	2000	静冈县	140	上承式固定拱	刚性骨架与塔架组合法
23	神都高干穗大桥	2002	宫崎县	143	倒朗格尔拱	刚性骨架与桁架组合法
24	帝释川桥	1978	广岛县	145	上承式固定拱	刚性骨架与塔架组合法
25	水晶山桥	1999	兵库县	150	两跨连续固定拱	满堂支架现浇法
26	新小仓桥	2000	神奈川县	150	上承式固定拱	塔架斜拉索架设法
27	水之崎大桥	2004	宫崎县	160	上承式钢筋混凝土固定拱	刚性骨架法
28	外津桥	1974	佐贺县	170	两铰拱	悬臂桁架架设法
29	胧大桥	2001	福冈县	172	上承式固定拱	刚性骨架与塔架组合法
30	青叶大桥	1997	宫崎县	180	上承式固定拱	钢管刚性骨架与桁架组合法
31	国见大桥	2003	宫崎县	181	上承式固定拱	刚性骨架与塔架斜拉索法
32	立山大桥	1999	富山县	188	上承式固定拱	刚性骨架与塔架组合法
33	池田~其湖桥	2000	德岛县	200	倒朗格尔平衡拱	平衡拱悬臂桁架施工法
34	宇佐川桥	1982	广岛县	204	上承式固定拱	刚性骨架与塔架组合法
35	头岛大桥	2003	冈山县	218	上承式固定拱	刚性骨架与塔架组合法
36	别府明矾桥	1989	大分县	235	上承式固定拱	刚性骨架与桁架组合法
37	天翔大桥	2000	宫崎县	260	上承式固定拱	刚性骨架与桁架组合法
38	富士川桥	在建	静冈县	265	上承式固定拱	塔架斜拉索架设法

工方法统计值。在 26 座上承式固定拱桥中,主要采用塔架施工法(8 座采用塔架斜拉索架设法、7 座采用塔架与桁架组合施工法,两者共计 15 座,占总数的半数以上)。相对于此,在 6 座倒朗格尔拱中有 5 座采用悬臂桁架架设法,1 座采用刚性骨架与桁架组合施工法。

图 3 表示的是施工方法与跨径之间的关系。支架现浇(含满堂支架和拱架支架)和竖向转体施工法仅用

于跨径 200 m 以下的拱桥,悬臂桁架架设施工的最大跨径为 200 m。跨径超过 200 m 的主要采用塔架斜拉索架设法和刚性骨架与桁架、塔架组合的施工法。以塔架斜拉索架设法施工的跨径为 265 m 的富士川桥没有在交界墩(拱脚处主拱与引桥相交的桥墩)位置处设置塔架,而是在拱的跨内(河道内)设置塔架,塔架间距为 195 m。

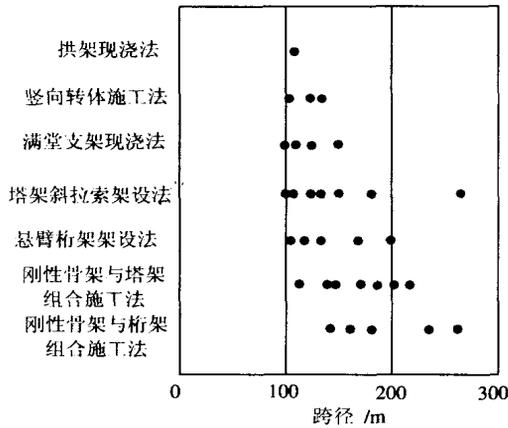


图3 架设方法与跨径的关系

4 结构与构造分析

4.1 矢跨比和拱轴线

当左右两幅桥矢跨比不同时,列出其平均值。除新山清路桥(PC 扁平拱)外,矢跨比均在 $1/3.1 \sim 1/8.4$ 的范围内。随着跨径的增大,矢跨比逐渐变小。矢高取得越大,虽然能减小作用在拱座上的水平力,但地震时弯矩、水平力等截面内力变大。实际的矢跨比,主要根据线形规划、地形条件等决定。

为最大限度地发挥拱的受压作用,拱轴线应接近于压力线。图4为各种拱轴线的统计值,大多数桥拱轴线为悬链线和圆曲线。跨径在 132 m 以上的 17 座拱桥(除了外津桥、池田~其湖大桥外),拱轴线全都为悬链线。当拱轴线为悬链线时,拱轴系数 m 的变化影响到拱肋的弯矩。统计分析表明:拱轴系数 m 在 $1.6 \sim 3.1$ 的范围内变化,与跨径及矢跨比之间不存在相关性。

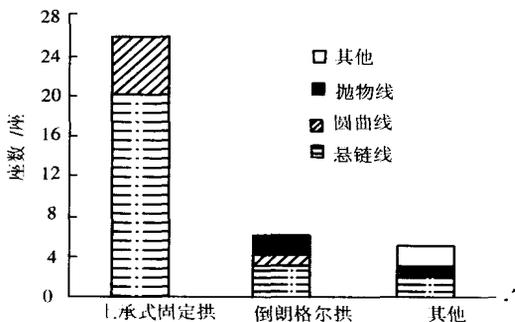


图4 拱肋的轴线形状

4.2 拱肋

跨径在 100 m 以上的拱桥(除倒朗格尔拱以外)均

采用截面效率较高的箱形截面。6 座倒朗格尔拱桥加上池田~其湖大桥共 7 座拱桥全都采用了实体截面。图5为拱肋截面形状统计图。

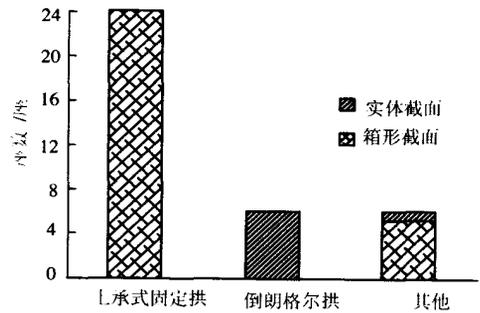


图5 拱肋的截面形状

图6和图7所示为跨径与拱肋厚度的关系。在上承式固定拱中,拱肋厚度在拱脚处,约为跨径的 $1/35 \sim 1/50$,在拱顶处约为跨径的 $1/45 \sim 1/90$ 。在倒朗格尔拱中,拱脚处的拱肋厚度,约为跨径的 $1/75 \sim 1/150$,拱顶处的拱肋厚度约为跨径的 $1/110 \sim 1/250$ 。

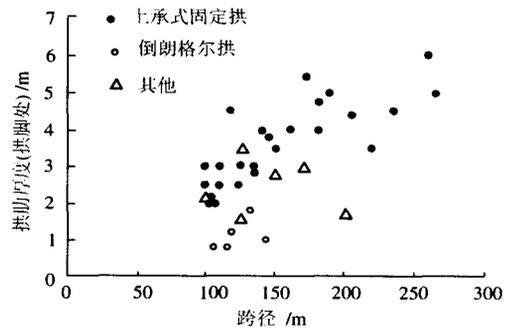


图6 跨径和拱肋厚度(拱脚处)的关系

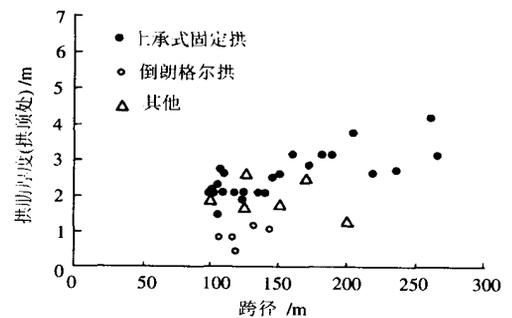


图7 跨径和拱肋厚度(拱顶处)的关系

图8所示为跨径与拱脚处的拱肋宽度的关系。从图8(a)可见,除了特大桥拱肋为变宽外,加劲梁宽与拱肋宽之比应在 $0.44 \sim 1.03$ 的范围内,拱肋宽与加劲梁宽大致相等或小一些。从图8(b)可见,随着跨径增长,拱脚处的拱肋宽度有增大的趋势。

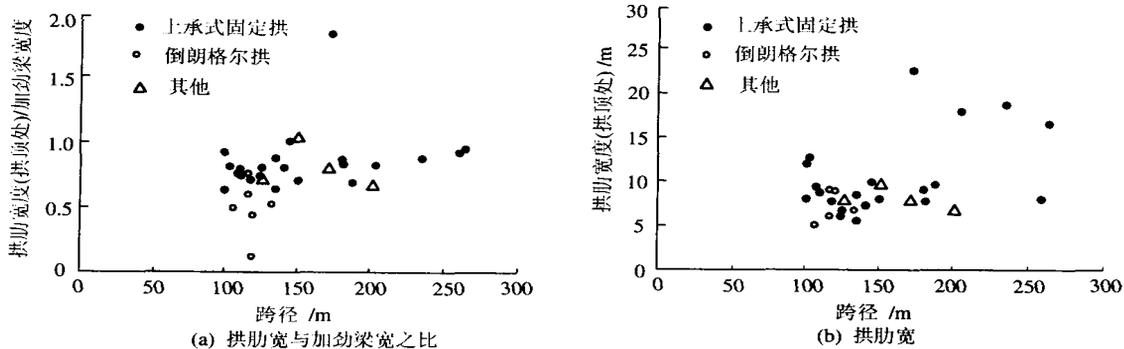


图 8 跨径与拱肋宽度(拱脚处)的关系

4.3 加劲梁

加劲梁参与总体受力的桥面纵桥向结构,包括系梁、纵梁和桥面板。图 9 为加劲梁的结构形式统计图。空心桥面板最多,占了总数的 63%;其次是 PC 箱梁为 31%,两者共占总体的 94%。倒朗格尔拱形式的 6 座桥均采用 PC 箱梁、少主梁钢梁。跨径 265 m 的富士川桥即采用了轻型化的加劲梁以减轻拱肋的负担。

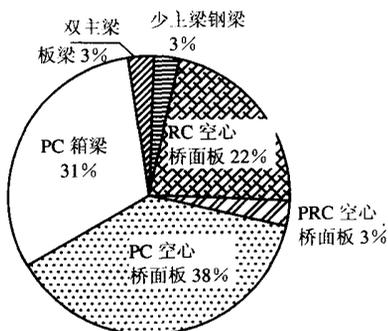


图 9 加劲梁的结构形式

图 10 表明加劲梁梁高与拱的跨径之间不存在相关性,其中,RC 空心桥面板集中应用于跨径 100~150 m 的拱桥。当跨径在 150 m 以上时,为了轻型化加劲梁,减轻拱肋的负担,多采用 PC 空心桥面板,但随着

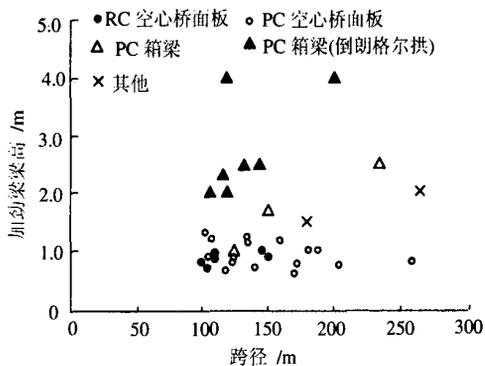


图 10 跨径和加劲梁梁高的关系

跨径的增长,还应考虑采用 PC 箱梁结构。

图 11 为立柱间距与加劲梁梁高的关系。空心桥面板的梁高在 0.7~1.3 m 范围内,是立柱间距的 1/25~1/11。PC 箱梁的梁高在 2.0~4.0 m 的范围内。加劲梁的梁高,受到加劲梁的跨径(立柱间距)影响,跨径小的时候,相关性不大。

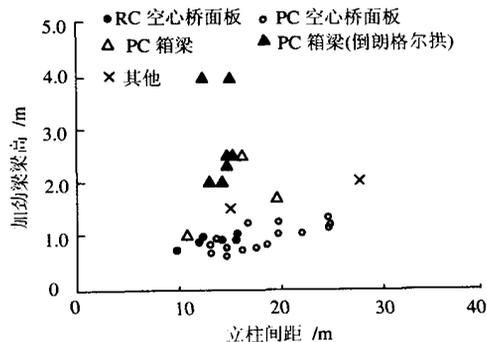


图 11 立柱间距和加劲梁梁高的关系

4.4 交界墩、立柱

图 12、图 13 为矢高与交界墩构件厚度、立柱的关系。交界墩的厚度大约为矢高的 1/10~1/25,立柱的厚度大约为矢高的 1/20~1/40。图 14、图 15 显示了交界墩、立柱的连接方式。下端刚接~上端刚接约占

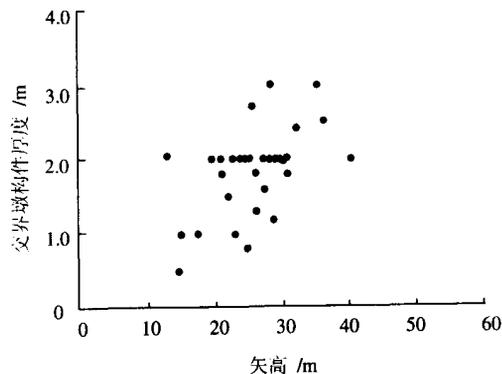


图 12 矢高和交界墩构件厚度的关系

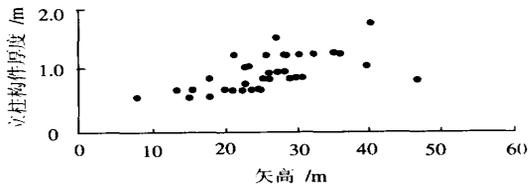


图 13 矢高和立柱构件厚度的关系

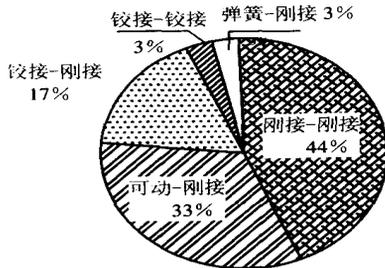


图 14 交界墩连接方式

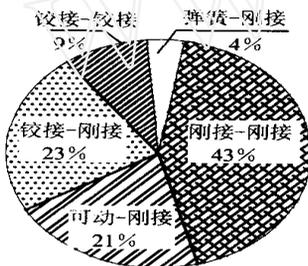


图 15 立柱连接方式

40%, 下端刚接~上端活动约占 30%, 两者共占总体的 70%。

4.5 混凝土强度

图 16~图 19 为拱肋、加劲梁、交界墩及立柱的混凝土强度统计图。对于拱肋, 强度为 40 MPa 的混凝土约占总体的 79% (跨径为 265 m 的富士川桥采用了 50 MPa 的高强度混凝土); 对于加劲梁, 强度为 40 MPa 和 35 MPa 的混凝土约占总体的 83%。24 MPa 与 25 MPa 的强度应用于 RC 空心桥面板中。交界墩

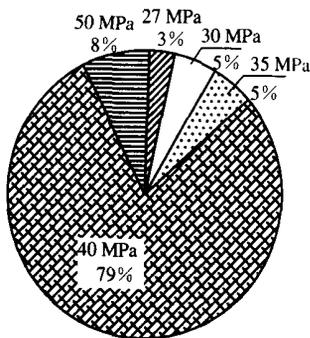


图 16 拱肋的混凝土强度

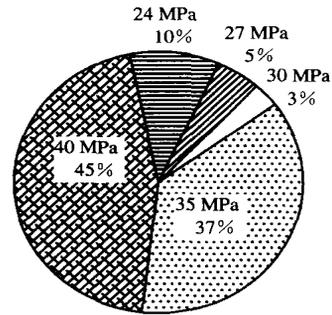


图 17 加劲梁的混凝土强度

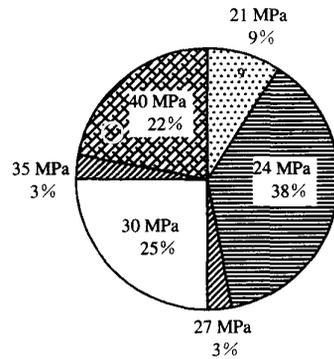


图 18 交界墩的混凝土强度

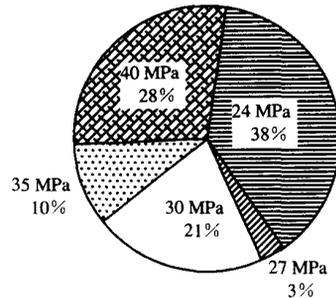


图 19 立柱的混凝土强度

及立柱的混凝土强度最多采用 24 MPa, 约占 40%, 在 21~40 MPa 的区间内, 是随机分布的。

4.6 基础工程

图 20 为拱座基础形式统计图。明挖基础 (包含一侧为明挖基础, 另一侧为沉井基础) 占总体的 85%, 绝大部分为直接支撑于岩级区分为 CM 级以上的基岩。对于沉井基础, 除了左、右拱座均为沉井形式的玉川温泉大桥、立山大桥及大苏大桥外, 其余 8 座都采用仅单侧沉井基础形式 (另一侧为明挖基础), 因为就拱肋形状和地基条件而言, 两拱座都直接支撑在较好的基岩上的情况较难达到。采用桩基础和沉井基础仅各有一桥, 均为平衡拱。

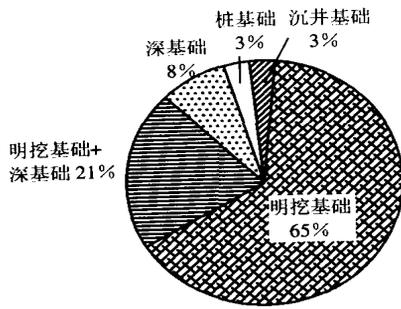


图 20 拱座的基础形式

图 21 ~ 图 23 为作用于拱座的水平力,纵轴为水平力与加劲梁宽度的比值(MN/m)。可见,随着跨径增大,不论是否考虑地震情况,拱座的水平力均变大。

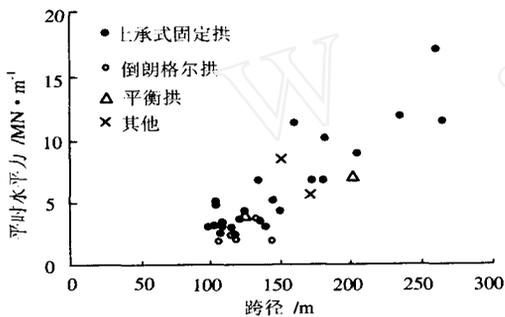


图 21 拱座的纵桥向水平力(非地震情况)

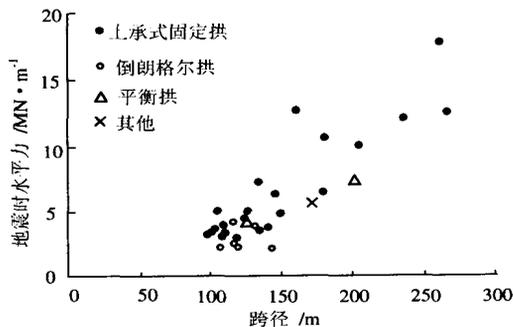


图 22 拱座的纵桥向水平力(地震情况)

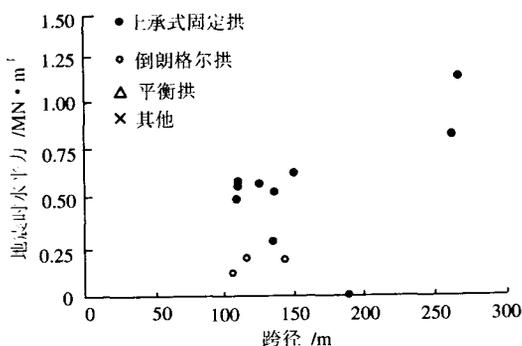


图 23 拱座的横桥向水平力(地震情况)

图 24、图 25 所示为作用于拱座的竖向力。随着拱的跨径增长,不论是否考虑地震情况,拱座的竖向力均变大。

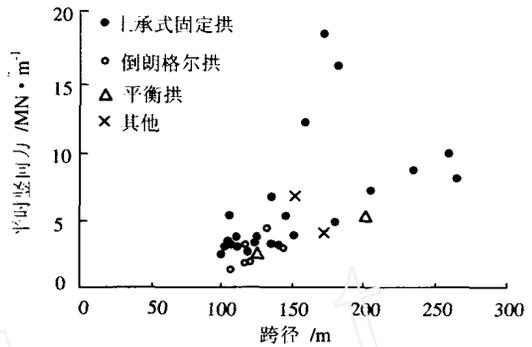


图 24 拱座的竖向力(非地震情况)

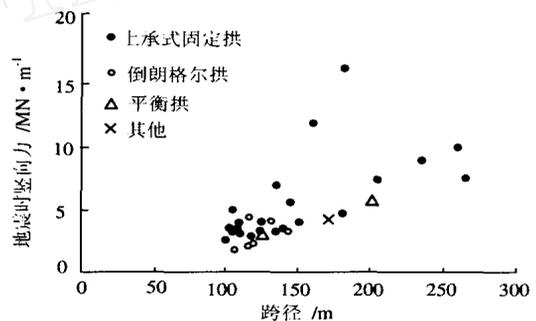


图 25 地震时拱座的竖向力

5 结语

日本作为一个工业发达国家,人工费用高,在桥梁建设中钢桥占了相当大的比例,尽管如此,日本作为岛国还是修建了不少混凝土拱桥。日本土木学会进行的这项调查较全面地反映了日本混凝土拱桥的技术与成就,对于促进我国混凝土拱桥的技术进步有许多值得借鉴之处。

我国已修建了大量的混凝土拱桥,也取得了骄人的成绩,但全面调查与分析的文献尚未见到,希望我国的桥梁工作者也能进行这样的调查,对我国在混凝土拱桥技术已取得的成果进行全面的总结,对今后的发展进行展望,促进我国混凝土拱桥的技术进步,保持我国在混凝土拱桥方面在世界上的优势,为经济建设与社会发展做出更大的贡献。

参考文献:

[1] 日本土木学会. 600 m 跨径级的混凝土长大拱桥的设计与施工[M]. 东京:日本土木学会,2003.