

大跨径索结构桥译文集

江苏省交通规划设计院

一九九二年七月

大跨径索结构桥译文集

江苏省交通规划设计院

一九九二年七月

前 言

最近，为了适应桥梁建设工程发展的大好形势，我们集中力量组织翻译了大跨径索结构桥方面的一些文章，供借鉴参考。在编辑过程中，承蒙许多高级工程师、教授在百忙之中作了审核，在此谨表感谢。为了出版方便，每篇文章的插图都集中放在这篇文章之后，作为一种分隔。特别需提及的是，在我们的编辑出版过程中，得到了铁道部大桥局桥梁研究所同志的支持，也将有关译文收进了译文集。由于我们是初次出版译文集，存在的缺点在所难免，希望广大读者多提宝贵意见，以利今后工作改进。

江苏省交通规划设计院

一九九二年七月

责任编辑：张正毅

目 录

- 一、日本长跨钢桥……………刘慧一译 欧庆保校
陈冠军审……………(1)
- 二、明石海峡大桥全桥大型风洞试验……张正敖译 于 泉校
周世忠审……………(10)
- 三、台风地区的斜拉桥……………夏何畏译 刘慧一校
姚鼎元审……………(17)
- 四、乌里扬诺夫斯克的伏尔加河桥……丁小明译 刘慧一校
邵容光审……………(22)
- 五、诺曼底大桥的设计与施工……………徐子清译 欧庆保校
周世忠审……………(27)
- 六、跨越丹麦大海峡东部的悬索桥……曹骏驹译 夏何畏校
刘慧一 张正敖复校(33)
- 七、诺曼底斜拉桥的施工近况……………陈炳坤译 周 履校
周世忠审……………(46)
- 八、双锚式斜拉桥……………朱 敏译 张正敖校
周世忠审……………(51)

日本长跨钢桥

Manabu ITO (日本) 著 刘慧一译 欧庆保校

摘要

本文介绍日本长跨钢索桥的现代技术发展水平，重点叙述其设计、施工特点。在对日本钢索桥进行全面述评以后，突出介绍两座正在施工的特大桥梁：明石海峡桥和多多罗桥，它们将分别是世界最长跨径的悬索桥和斜拉桥。

1、引言

与其它国家相比，钢结构在日本已有较广泛的应用。这是因为在日本，桥梁必须经受严重地震冲击，而且在必须建桥的人口稠密地区，许多桥梁常常得建造在软土地基上。此外钢材货源充裕，价格合理。过去两年内用于桥梁上部结构的钢材，每年达80万吨。

除了这些地方条件外，不言而喻，钢结构对于长跨桥梁比较有利。日本国由四个岛屿及许多小岛组成，社会经济的蓬勃发展促进了运输网络的改善。由于这些地理、社会环境所致，许多横跨海峡、河口的城市桥梁，以及一些连接沿海城市垦拓区的桥梁项目均已纷纷上马。在要求特长跨径的场合，往往率先考虑索桥，即悬索桥或斜拉桥。

这篇论文叙述了日本索桥的现代发展水平，重点阐述其上部结构设计与施工技术之间的相互影响。特别提到了上述桥型两个最为壮观的桥梁项目，目前，这两座桥梁亦已开始施工。

2、日本的索桥

过去几年内，包括中、短跨径在内的索桥建设在日本一直十分活跃。日本斜拉桥的数量大约已达世界斜拉桥总数的1/3，而在过去的十年中，日本悬索桥（包括正在施工的）数量可能已超过世界悬索桥总数的一半。表1和表2罗列了日本主要的或值得注意的索桥。这些桥梁几乎均建造（或正在建造）于本世纪的最后25年。

2.1 悬索桥

50年代以前，日本建造的悬索桥尽管为数甚多，但却全部是小型的或短跨径的，主要为山区提供人行道或山峡的道路。1962年，中跨367米的若户桥的建成标志着现代悬索桥新纪元的开始。列于表1顶部的关门大桥竣工于1972年，是第一座名副其实的长跨悬索桥。从那时起，几座长跨悬索桥陆续建成或投入施工，其中多数与本州—四国联络工程有关。

现代日本悬索桥的特点是：

(a)一半以上是加劲桁架型的，但85年以前建造的属例外，那是由于设计上的局限而无法避免。表1中5座悬索桥具有双层桥面，下面还要详细介绍的明石海峡大桥是特长跨径的桥梁。目前箱型截面加劲梁的悬索桥在日本已较普遍。

表1 日本主要的悬索桥 (1991年资料)

名称	最大跨径(米)	年代	备	注
关 门	712	1973	加劲桁架	
因 岛	770	1983	加劲桁架	
Ohnaruto	876	1985	加劲桁架	公铁两用
Ohshima	560	1988	双梯形箱梁	
下津井	940	1988	连续双层桥面桁架	公铁两用
北Bisan	990	1988	连续双层桥面桁架	公铁两用
南Bisan	1100	1988	连续双层桥面桁架	公铁两用
东京港	570	火	双层桥面桁架	
Hakucho	720	火	流线形箱梁，多雪地区	
来岛 I	600	火火	箱形截面，用两座 锚碇墩联结的三组 三跨桥梁	
来岛 II	1020	火火		
来岛 III	1030	火火		
明 石	1990	火	加劲桁架	

注： 火正在施工 火火开始施工

(b)濑户项目的三座悬索桥为公铁两用桥。这些长跨悬索桥设计新颖，施工技术独特，可以承受高速火车的重荷载，在下面的章节里将予以介绍。

(c)除了下津井、濑户大桥以外，表1所列其它长跨悬索桥都是采用工厂预制平行钢丝缆索建造的，而下津井、濑户大桥则应用了空中编索方法，北端采用隧洞锚固以减少环境干扰。上述这两种缆索安装工艺均起源于美国，但在日本已取得显著进展。

2.2 斜拉桥

从历史上来看,也许是日本最先突破德国技术领域,建造出最早的现代化斜拉桥。日本的钢斜拉桥和预应力混凝土斜拉桥分别建于1960年和1963年,虽然后者仅有40米的跨径。从钢桥的数量和规模来看,日本的斜拉桥建造似乎是最活跃的。表2所列有5座正在施工的桥梁,其跨径比目前世界上任何斜拉桥都长。

现对这些长跨斜拉桥评介如下:

a)钢梁的基本设计型式实质上是类似的,换句话说,双层桥面采用桁架结构,而单层公路桥采用具有正交各向异性钢桥面的薄型箱梁。

b)与国外同类桥梁相似,盛行使用多缆索系统。

c)濑户工程的Iwakuro岛桥和Hitsushi岛桥上层桥面为四车道公路,下层桥面为双向双轨铁道。

d)Metropolitan高速公路的Katsushika桥是世界上第一座斜拉弯桥。由于连续四跨明显不对称,两只塔的高度有很大差异。

表2 日本主要的斜拉钢桥 (1991年资料)

名称	最大跨径(米)	年代	备	注
大和	335	1982	斜腹板梯形箱梁	
Meikoh—西	405	1985	流线型六角形箱梁	
Katsushika	220	1987	螺旋曲线流线型箱梁	
十胜	250	1988	双箱, R/C塔, 多雪地区	
Iwakuro Is.	420	1988	二桥均为双层桥面桁架, 并在	
Hitsuishi Is.	420	1988	一条直线线路上 (公铁两用)	
横滨湾	460	1989	上弦为薄箱形的双层桥面桁架	
Tempozan	350	1990	扁平六角形薄板箱形	
东高暮	485	火	双层桥面桁架	
生口	490	火	双六角箱形, 边跨为预应力砼梁	
鹤海	510	火	流线型箱梁	
Meikoh—中心	590	火火	梯形箱梁	
Meikoh—东	410	火火	梯形箱梁	
多多罗	890	火火	流线型箱梁, 边跨为预应力砼梁	

注: 火正在施工 火火开始施工

e) Meikoh—西桥和鹤海桥将来分别有两座相似的桥梁并肩而立。对于这种相当邻近的桥梁基础是否可行以及两座平行桥面之间的气动干扰均已进行过研究。尽管鹤海桥跨径长达510米，但由于美学原因，仍然采用单索面。

f) 生口桥是日本第一座组合梁斜拉桥，主跨为490米的钢梁，而连续延伸的边跨为预应力混凝土结构，多多罗桥将有类似的结构。

g) 几年之前，日本PC梁的斜拉桥跨径仍属中等或偏小，然现在已有几座平均跨度长达250米左右的同类桥梁。

日本索桥的其它一些值得注意的特性将在下面的章节里予以介绍。

3、设计特点

3.1 地震和风的影响

地震和强风常常是日本长跨桥梁设计中的决定性因素。一般说来，地震决定下部结构和塔的比例，而风的作用影响上部结构的设计，包括索桥的塔。在结构设计中，普遍采用动力分析或校核程序。

现代斜拉桥的梁多数为两跨或两跨以上连续梁，而拉索和柔性塔的存在使得选择支承条件相当方便可行。最近日本流行的做法是用钢筋、层状板弹簧、抗剪力橡胶或链杆沿纵方向将梁和塔或桥台相连接，以此来控制下部结构所受的地震力并使地震及温度效应下断面受力最佳。在某些长跨桥梁中还考虑了多支承激发现象以及地震波的长周期分量。

表1和表2中桥梁的设计风速很高(桥面高程处风速大约在50~75m/s之间)，规定由风洞试验预测的有偏离反应的临界风速要在设计风速的1.2倍以上。因此许多长跨桥，有时甚至钢连续梁桥均备有能消除风激震动的装置。首要的选择是采用气动稳定横截面，如果必要，再加上减阻装置，风门片及其它气动稳定附件。近来，随着结构规模的增大，将各种减震器用于塔、梁和缆索的情况也日益增多。尤其是在施工期间，独立式塔常常装备有可调块体减震器和可调液压减震器。

3.2 铁路交通结构

濑户大桥上三座1000米跨度级的悬索桥和两座420米主跨的斜拉桥承担公铁两种交通。在索桥这样的柔性结构中，为了保证火车运行的安全性和服务能力以及该结构在重复承受重荷载的耐久性，开发了各种新技术。首先，在加劲桁架上的铁轨与固定桥台上的铁轨之间设置了一种全新的轨道结构系统。该系统旨在考虑发生在加劲桁架末端的膨胀和收缩，以及活载引起的倾斜度变化。一套这样的系统由四个功能不同的小型梁组成。其次，用于加劲桁架的高强钢的疲劳设计以大型疲劳试验为基础，并仔细控制焊接工程，

如4.1节所述。最后，考虑高速火车会增大冲击，在设计规范中规定了相应的冲击系数。

3.3 美学方面的考虑

虽然日本桥梁结构的设计通常受安全、功能和经济的支配，但是过去20年内外观形态正在日益得到工程师们的关注。在索桥方面，美学上考虑的部位通常为桥塔和锚固墩台。采用曲线部件似乎已成为发展趋势之一，尽管它常常会增加一些制造和施工费用。在用大体积混凝土作为悬索桥锚固墩台的情况下，墩台身常常做成凹凸不平的锥形表面，其作用也可以防止雷达波影响桥梁周围的船只通行。

3.4 缆索

缆索的材料、组分、构造及防腐措施的选择与施工工艺及其维护技术有关。据报道，最新开发的高强钢丝绳能改善明石海峡桥梁的设计与安装工艺。日本其它一些悬索桥的主索安装已在2.1节中介绍过。

就长跨斜拉桥的拉索而言，近年来世界上的发展趋向是使用加套平行钢丝束的多索系统。为了防腐蚀，比较流行的做法是在包覆拉索的聚乙烯套管里灌浆，但最近一种直接将套管与钢丝束粘接的工艺正在兴起。该聚乙烯管只能用黑色的，但目前已采用在外面再加涂彩色树脂层的做法。这种聚乙烯管的另一最新特点是在高悬桥中为减少拉索风激振动所采用的一种刻槽表面。

4、制造和安装

4.1 铁道桁架梁的焊接

必须十分仔细地制造公铁两用桁架梁以保证其疲劳强度。濑户桥梁工程的制造技术规范是基于疲劳测试和断裂机理分析来确定的。箱形弦构件的角部焊缝，气孔的容许尺寸按照设计应力范围与容许应力范围之比来规定。焊缝断面形状和底切的合理尺寸也由各点的疲劳要求来确定。现已开发了一种监测槽焊根部小气孔的检测系统，同时记录焊点缺陷的尺寸和位置，这些记录可应用于维护检测。

4.2 用浮式起重机进行大部件安装

日本钢桥施工的最杰出之处是很频繁地使用和发展大部件安装。一般说来，这种方法只能在开阔场地并有深水的情况下使用。

该安装法的优点是缩短了施工期，减少了现场劳动力，可以更好并更方便地控制安装质量，减少了高空作业因而提高了安全性。上述前两项优点即可降低安装费用。不过，不言而喻，这种方法也有其局限性及需要注意之处。这些局限性包括施工前需要与航运交通、渔业部门进行协商，以及水的流速太快影响安装等等。安装期间要进行仔细的结构分析并制定精细的安装计划。此外，由于需要附加设备以及结构在安装期需暂时加筋或局部加筋而不能总是节省费用。

虽然大部件安装法有好几种不同的工艺,但在日本,横跨海峡、水道以及河口建造钢桥最流行的工艺是采用浮式起重机。起吊能力达30MN以上的大型浮式起重机现已达6台,其中最大的起重机起吊能力可达41MN,吊臂外伸距离达51.7米,起吊高度123.5米,曾经安装过的结构部件重达61.6MN,它就是Hitsuishi岛大桥的整个边跨。安装时将两个起吊能力分别是35MN和30MN的浮式起重机同时使用。这种方法不仅可用来安装梁和桁架,也可用来安装桥墩和塔这样的竖直结构部件。

5、明石海峡大桥

5.1 工程概要

明石海峡大桥是一座连接神户城西端和淡路岛的三跨悬索桥。它位于日本本州—四国联络线上三条干道之一,与已经通车的Ohnaruto大桥均座落在淡路岛和四国之间。明石海峡大桥的基础已于1988年由本州四国桥梁公团组织实施,预计施工期大约十年。

这座世界最长跨径的大桥独具特色,其中跨长达1990米,每个边跨达960米,图3显示该桥全貌。跨长的确定是使上部结构和下部结构的总费用降至最低,并可满足国际航道的通航要求。水上净高65米,可供世界最大的船只通行。该桥设6车道,可承担繁重的公路交通。

5.2 环境条件

该地区的气候通常温和宜人,但也曾有过几次强台风肆虐桥梁附近。根据统计资料和风洞试验的结论,海平面以上10米处平均10分钟的参考设计风速为 46m/s ,重现期150年。

尽管该地区强地震发生的频率与日本其它地区相比并不大,但在距现场大约200公里的太平洋海岸线以外预计有8至8.5级的地震,鉴于这种情况,在抗震设计中,将承重基岩的最大水平加速度规定为 180cm/s^2 。

该桥施工现场是内陆海的一部分,但海峡潮流十分湍急,设计时考虑其最大流速达 4.0m/s 。

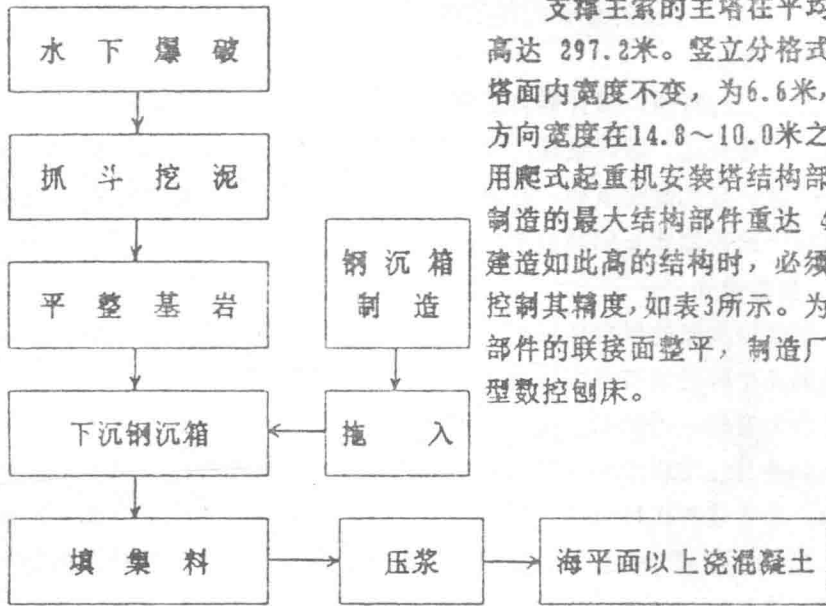
5.3 下部结构

主塔基础由“下沉沉箱”法建造,其工艺过程如图2所示,与濑户桥所采用的矩形箱截面不同,明石海峡大桥鉴于工地的海蚀情况严重,并考虑沉箱运输就位的方便,故采用双壁钢圆筒沉箱。较大的沉箱直径达80米,高65米,总高度将是70米。用混凝土作业船将专用水下混凝土置于沉箱内。每个塔基础底部所受的竖向力大约为6GN,其中1/5左右的力来自塔。

每个锚碇必须承受大约1.2GN力的缆索拉力。由于北锚的承重层距地面约60米深,

因而其基础采用了地下连续墙的方法，墙的直径为85米，高度为75.5米。墙内浇筑混凝土。另一方面，南锚建在一个倾斜的花岗岩薄层上，此种情况下，将利用挡土墙采取明挖的方法。

5.4 上部结构



支撑主索的主塔在平均水位以上高达 297.2米。竖立分格式钢塔柱在塔面内宽度不变，为6.6米，沿桥轴线方向宽度在14.8~10.0米之间变化。用爬式起重机安装塔结构部件。车间制造的最大结构部件重达 4.6MN。在建造如此高的结构时，必须很仔细地控制其精度，如表3所示。为了将塔柱部件的联接面整平，制造厂配备有大型数控刨床。

图2. “下沉”沉箱法工艺

表3 塔身建造中的允许精度

垂直度	1/10000
金属接触度：主要板件(肋)	在0.04毫米以内 50(25)%以上
最大空隙或开口	0.20毫米

由于发生偏离振动所要求的临界风速为 78m/s 以上，加劲梁的设计因而受风效应的支配。虽然有各种箱梁供选择，但考虑到气动稳定性、经济以及安装问题，最终还是采用了传统的加劲桁架，它可以附加一种竖直稳定器。加劲桁架将使用相当多的高强钢（高达 800N/mm^2 级）。桁架梁横截面的高度和宽度分别是14米和35.3米，就气动稳定性而论，很高的塔对于风激也较敏感。虽进行了各种风洞测试，但预计仍需安装某些机械减震器。

6、多多罗桥

6.1 工程概况

多多罗也是本四联络线最西路线上连接生口和Ohmishima的桥梁之一，其主跨为890米，完工后将是世界上主跨最长的斜拉桥。工程于1990年开始，预计施工期大约7年。该桥为四车道公路桥。

对于如此长的跨径，原计划自然倾向于悬索桥方案。但是，在生口一侧设置大块锚定会使得地形严重变化，破坏景观，而且该侧的道路线形在桥端附近有一急转弯，因而改用斜拉桥方案。对比研究表明，在费用和施工期两方面斜拉桥比悬索桥更为可取，唯一的问题是对于跨径如此长的斜拉桥尚缺乏经验。

6.2 初步设计

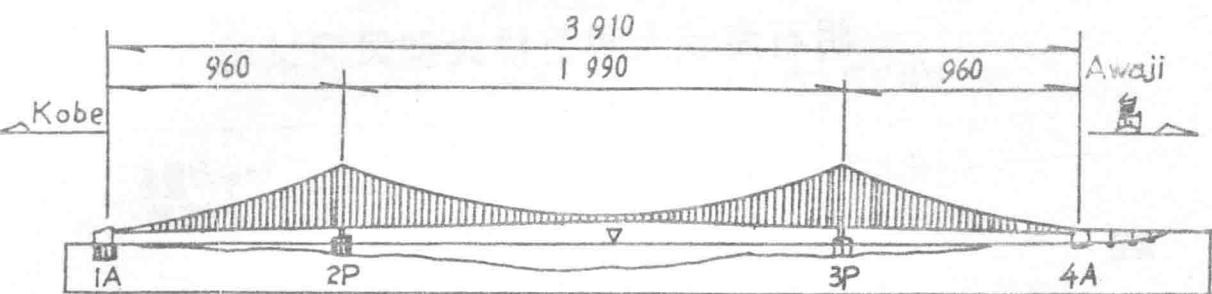
对下列两种类型的斜拉桥设计进行了比较：一种是边跨加辅助墩的自锚型，另一种是将边跨的几个外拉索锚固在地面上。虽然已发现第二种类型对于竖向荷载以及拉索的应力变化较为有利，但仍然采用了第一种型式，因为在这种设计中，如果梁在各个支承点可以活动并且在塔和梁的连接部位装有弹簧，那么在结构的各部分均能得到合理分布的截面力。由于边跨比较短(如图3所示)，连续梁由中心跨的钢箱梁部分和边跨的预应力混凝土梁部分组成。带有正交各相异性钢桥面和减风装置的钢箱梁宽25.3米，高2.5米。塔高大约216米。

结构的尺寸和刚度由参数分析来决定。抗地震和抗风安全性似乎得以满足，但进一步的研究仍在进行。目前令人担忧的主要问题是安装期间和安装以后结构系统的总体弹性稳定。针对这个问题正在考虑进行大规模的模型试验以及有限位移分析。

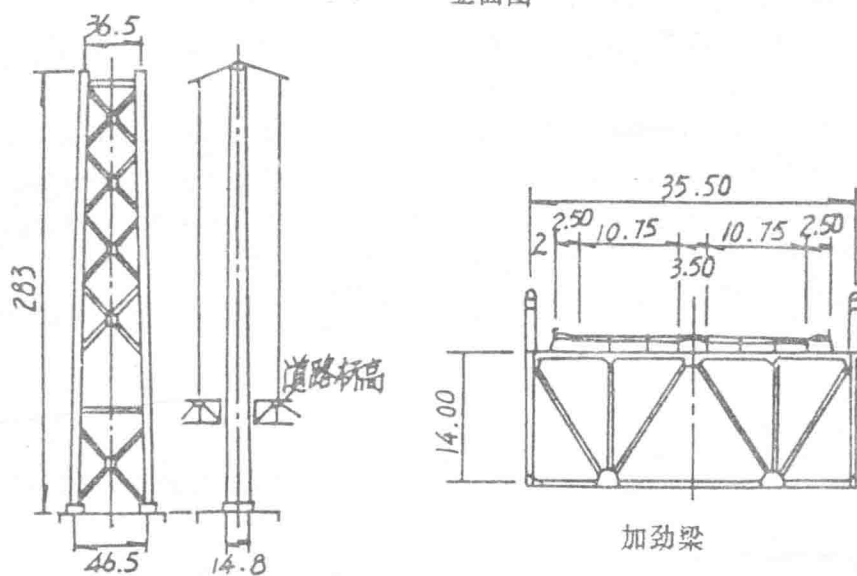
7、附记

一般说来，从投入的大量资金可以预计这些长跨桥将达到较长的寿命。此外，我们也注意到，这些大型结构的建造要求较好的质量和较高的精度。为此，应当建立一种贯穿设计、制造和安装全过程的协作系统，尤其对于大型钢结构更应如此。

正如本文所报导的，目前日本桥梁建筑技术似乎居世界领先地位，但仍然存在问题，比如建筑工业年轻而熟练的操作工人数量减少，现正通过节省劳力、自动化以及制造和安装工程的简化和标准化来解决这个问题。



(a) 立面图



主塔

(b) 主塔与加劲梁

图1. 明石海峡大桥

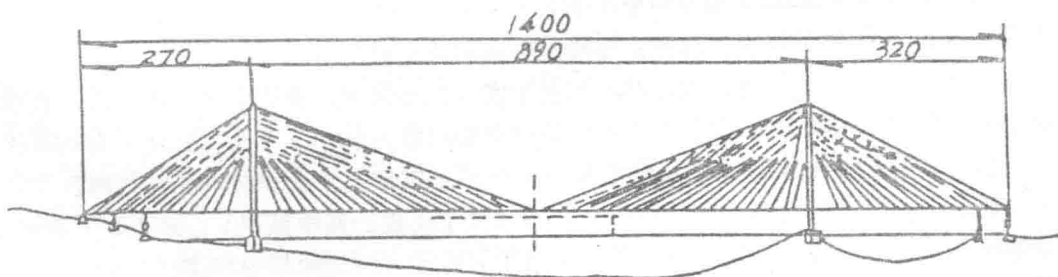


图3. 多多罗桥

明石海峡大桥整桥大型风洞试验

横山功一·保田雅彦·铃木周一(日) 张正敦译 于泉校

前言

明石海峡大桥，跨越日本本州四国联络桥神户——鸣门通道的神戸市垂水区与淡水岛之间的明石海峡，全长3910m，是一座中间主跨长1990m的长大型悬索桥。

该桥目前正在进行主塔基础及锚定基础的施工，主塔在工厂制作。神戸一侧的主塔(2P)，1992年初即在现场架设，整个桥梁预计在1997年完工。

本桥与以往的长大悬索桥相比，主跨径的长大化有了飞跃性的突变，为确保该桥的抗风性成为一个非常困难的研究课题。为此，在茨城筑波市的建设省土木研究所内设置了“大型风洞实验设施”，进行对本桥的整桥式模型风洞试验，以便能很好地对桥梁的抗风性进行详细调查，大体上可得出桥的抗风性判断资料。

以下就本桥的概要和抗风性设计进行叙述，也对现正在实施中的大型风洞试验概要作一叙述。

1. 明石海峡大桥概要

本桥桥长约4km，架桥线路上最大水深110m，在明石海峡架桥处最大的潮流速度为4.0m/s左右。

本桥开始采用的是以公路铁路两用的悬索桥规划，其主跨长1780m。后来接受了单一公路桥的可行性调查的指示，对桥梁规划作了研讨，变更为公路桥设计。另外，为了减轻对航道的影响，进行了最佳桥梁基础位置的研讨及上部结构设计技术的研讨，最后确定为建设创记录的主跨径长1990m、桥长3910m的超长大型的悬索桥方案。

图2为当今前世界上悬索桥主跨大跨径变化的情况。目前完建的最大悬索桥是英国的恒比尔桥，其主跨径为1410m。另外，在施工的悬索桥中，丹麦王国的大海峡东桥其主跨径达1624m。相比之下明石海峡的长大悬索桥规模更大，特别是在确保抗风性方面课题更大。

2. 明石海峡大桥的抗风设计

(1) 明石海峡大桥的抗风稳定性

在表1，将本桥与本四联络桥的结构特性作了比较。其中风速 $V_{90}/f\theta \cdot B$ 是表示确保抗风性难度的无量纲指标。图3中表示了风速(以无量纲单位表示)与主跨径之间的关系，该图表明，与过去的大跨径悬索桥相比，本桥在确保抗风稳定性的研究方面将进入极其困难的领域。

表1 结构要素比较表

	因岛大桥	大鸣门桥	南备赞懒户桥	明石海峡大桥
主跨径L(m) (缆索跨)	770	876	1100	1990
震动限制风速 V_{cr}	65.9 m/s	87.6 m/s	79.5 m/s	78.0 m/s
振动数 赫兹 f_{θ} / f_{η}	0.374 / /0.178	0.308 / /0.155	0.324 / /0.162	0.142 / /0.064
代表长度 B (主构件宽)	26.0 m	34.0 m	30.0 m	35.5 m
风速(无量纲) $V_{cr} / f_{\theta} B$	6.8	8.4	8.2	15.5

(2) 抗风设计法

本桥抗风设计中所采用的基本风速(海平面上方10m处10分钟间隔的平均风速)以150年1~2遇强风作为依据,本桥风速采用46m/s。

关于考虑加劲钢箱梁的抗风性设计风速时,基本风速要按桁架梁的高度进行修正,采用60m/s。另外在核对抗阵风稳定性方面的基本风速,在设计中出于考虑风速变动及预留安全的富裕因素,基本风速采用78m/s。

(3) 加劲桁架的结构形式

本桥的加劲梁采用了桁架结构(见图4),钢桥面板的中央分隔带及端部结构等采用敞开式钢格构,借此提高抗风稳定性。为了提高本桥的抗风稳定性,对抗风稳定性采用的构件作了研究。其中之一是大鸣门桥中所采用的垂直稳定器,它是在中央分隔带钢格构下方所设置的一种垂直板式结构(见图5),认为这一措施对抗风稳定性的效果有所提高。

在本桥中,对其它形式桁架进行新加劲梁的采用可能性作了研究。在研讨中,对各种箱形梁及桁架与箱梁的复合形式等作了风洞试验,并对抗风设计的标准与桁架梁作了对比,其结果象图6所示那样,选择顺桥向梁高不同而相连的两种箱形梁方案进行详细

研讨。关于两种箱形梁的各种研试结果均表明，虽然它们的抗风稳定性都满足设计标准，但对提高抗风稳定性所采用的措施与方法的自由度很少，架桥时要采取抗风措施，还要明确架设桥梁时所占的海面范围有多大。为此加劲梁采用桁架结构。

3. 大型风洞试验

(1) 大型整桥模型风洞试验的必要性

核对本桥的抗风稳定性时，在二维风洞试验的中心进行了研讨。如图7所示，取出桁架梁的构件，用弹簧吊起，可以模拟桁架梁的振动特性。由于在梁的两端配置四根弹簧，相似于梁的挠度及扭曲的一次模型的振动值，此外，由于在模型上增加了平衡锤，相似于垂直方向的质量和极惯性矩。

这种二维模型弹性支承试验，已正为迄今为止的许多长大跨径的悬索桥中广泛采用。但是这种试验又常常简化掉与实际桥梁抗风性相关的诸多条件。在二维试验中可以被忽略的项目有：

- (1)、风的空间分布特性的影响
- (2)、维持结构物振动频率的影响
- (3)、结构物在顺桥向形变产生的影响
- (4)、桥轴面外变形的影响

本桥的主梁在暴风中的横桥向的水平挠曲变形较大，而且伴随了扭曲变形。另外，由于本桥的全长约为4km，需要考虑气流变动空间分布的影响。再次，风对梁、塔及缆索等结构物等整体振动特性的影响也随着跨径的长大化而不可忽视。

因此本桥与以往的长大悬索桥相比，要求有精度较高的抗风性评价，为达此目的，将整桥的形状与刚度模拟为三维的整桥模型而进行风洞试验是不可缺少的。

(2) 风洞设施

在进行整桥模型的风洞试验时，首先要进行试验用风洞设备的研究。所需的风洞规模，除了按全桥模型的大小确定外，其模型的缩尺比例对试验精度有较大影响。本桥主梁的抗风性问题，即使小的变形也有影响，为此要尽量符合实桥形状，在这方面尺寸精度要高。为此在抗风安全性方面最关键的是桁架梁各构件的形状精度要有良好的相似性，其次在梁的缩尺比例上，空气动力不影响梁的刚度，由此选用1/100的缩尺比例。

由上所述，因全桥长约4km，故其模型也约为40m长，于是所需的风洞设施若考虑预留测试部分的宽度总长要达41m。在日本，尚无这样规模大的风洞设施，另外国际上也没有如此之大的风洞设施。因此需要建设新的风洞设备，这将在建设省的土木研究所内设置。

明石海峡大桥风洞设施的要素见表2所示。如前所述测试部分有41m宽，塔高达4m。由于人工造风的变动特征出现的紊乱风需要保持必要的距离，测定部分的长度为30m。

表2 大型风洞设施明细表

项 目	说 明
风洞形式	吸入回填流多扇型 单回路垂直回流型
测 定 体	宽：41 m；高：4 m；长：30 m
送 风 机	风扇直径：1.8 m 台数：36台；风量：3280 m ³ /分 转速：37.5——900转/分
气 流	风速：0.5——1.2 m/s 乱风强度：1.0%以下

该风洞拥有口径为1.8 m的风扇送风机36台，机型是吸入充填式送风机。当风扇吸入气流后，气流回流到建筑物后侧的上部，再经过前面的隅角叶片，汇入风洞本身的缩流部（射流最小断面处），进入风洞的测定部位。在缩流部的前面，有两个铁丝网蜂巢，由于气流在这里非常细小的间隙中通过，所以可得到乱风少的均匀气流。

风洞试验首先要均匀气流，才能验证本桥的基本抗风性。其次要进行与自然风速变动相似的乱风试验。在这种情况下，为了在测定部位的前部形成乱风，需要设置一种能产生乱风的装置，以使在境界乱气流极高的测定部位后设置模型。另外为验证斜风对本桥抗风性的影响，在测定的中心部位设置了最大倾斜角度为36°的模型，以供测定斜风影响用。

(3) 整桥风洞模型

风洞模型的精度直接影响着试验的精度，因此要事先进行种种分析与风洞试验的结构构造试验，以研讨风洞的模型。

关于桁架梁，以往取梁的的预应力钢筋相似刚度的预应力筋作试验。但是由于本桥梁内附属物的形状及位置关系，认为对抗风性影响较大，故希望尽量采用实桥材料。

为此，如图8所示，根据桁架在四个角以4个V型弹簧测得垂直与水平的挠曲变形、弯曲变形而模拟各种刚性。另外，桁架的结构材料采用在碳纤维板中央硬发泡苯乙烯初制的复合材料，由于它轻质刚性高，可以制成精度高的模型。

其次要对主塔在刚度上的结构模型化，在整桥试验中着重于主梁的抗风性评价，在