

STEEL CONSTRUCTION TODAY & TOMORROW

(第 34 期, 2011 年 11 月)
日本钢铁联盟与日本钢结构协会会刊

中文版

STEEL CONSTRUCTION TODAY & TOMORROW 是每年出版 3 期的英文版刊物, 面向全球各相关企业与部门发行。本刊物的目的是介绍建筑、土木工程领域的钢结构相关规格、规范以及先进的项目实例、最新施工技术及材料等。

为了更便于中国的读者理解这些内容, 我们以文章部分为中心编辑了中文版, 与英文版一并提供。有关文中的图表与照片, 我们仅翻译、刊载了标题。有关具体内容, 请参照英文版。另外, 也请参照英文版确认技术性说明和具体内容。

第 34 期 (2011 年 11 月) : 目录

特刊 先进的大跨度结构

钢结构:	
强化型大跨度混合结构的主角	1
新加坡空中花园:	
横跨 3 座高塔的大规模钢结构	4
大阪车站:	
在铁路站台上建造的大型顶棚	8
旭川车站建筑:	
大跨度开放式车站建筑的结构设计	12
空中花园:	
大型天台, 横跨 3 座高塔的钢结构	15
东日本大地震:	
面对复兴和恢复的钢结构提案	封底

中文版: ©一般社团法人日本钢铁联盟 2011

邮政编码 103-0025
东京都中央区日本桥茅场町 3-2-10
一般社团法人 日本钢铁联盟
传真: 81-3-3667-0245
电话: 81-3-3669-4815
电邮地址: sunpou@jisf.or.jp
URL <http://www.jisf.or.jp>

(第1页~第3页)

钢结构：强化型大跨度混合结构的主角

法政大学名誉教授

川口卫结构设计事务所代表

川口 卫

钢结构经常作为许多复合、或混合结构的首选。钢结构作为抗拉构件发挥重要作用，与其他抗压、抗剪、受弯构件材料配合，构成合理结构满足对特性的要求。值得注意的是，根据设计的目的，这些后者的构件可由各种材料构成。本文将介绍笔者近期的部分设计，以钢材作为主要抗拉材料，采用诸如混凝土、天然石料、木料、铝合金、甚至空气，构成合理、美观的大跨度结构。

吊索—钢混合结构：半刚性抗拉结构（国立代代木竞技场）

国立代代木竞技场由两个主要设施构成，即第一体育馆和第二体育馆。这两座体育馆的屋顶设计均运用了抗拉结构原理。（参见照片1）

第一体育馆最初设计为游泳馆和滑冰馆，可容纳15,000个座席。该建筑的中央结构采用了与吊桥类似的结构系统。两根主支柱之间的两条主吊索跨距为126m，外侧的后支索长度为65m。

由型钢构成的一系列悬吊构件横跨在主吊索和围绕观众席的曲线形RC边界之间的区域。一组拉撑钢索穿过这些钢构件沿着屋顶面的测地线设置，这些钢索被拉紧以提高整个屋顶结构的刚性。最初建议采用钢索形成索网构成屋顶面，然而在设计阶段预见到，如果不大幅度牺牲经济性能，单纯的索网无法实现由不同特性的边界结构确定的屋顶面。为了解决这个问题，我们对屋顶开发了“半刚性”悬吊系统，由具有一些抗弯刚性的抗拉构件和拉撑钢索构成。（参见图1）

照片1 国立代代木竞技场第一体育馆

图1 国立代代木竞技场的结构系统

钢—RC 铰接式混合结构（栃木县绿色体育场）

栃木县绿色体育场（照片2）在宇都宫市于1993年建成，用于足球比赛。在考虑结构设计时，我们进行了以下尝试：1)结构部件的铰接，2)预制构件RC看台结构。

照片2 栃木县绿色体育场的浮顶

第一项尝试对于实现“灌木丛中的浮顶”氛围非常重要，这是建筑师对看台顶持有的视觉欲望。为了实现这个目的，浮顶的支撑结构被铰接到纯抗拉和抗压构件，并且通过铰链相互连接。这种铰接可使结构部件的截面更小，减少其自身的存在感，获得“浮顶”的效果。抗拉构件的设计采用了直径为32~52mm的钢拉杆，抗压构件采用预应力混凝土桩。这种采用未进行表面处理的混凝土桩作为结构部件的做法可能属于首例。混凝土桩是量产工业品，具有高标准尺寸精度和材料质量。此外，预应力或无预应力的混凝土桩表面非常致密、精细、光滑，无须进一步处理即可作为结构部件。

看台和看台顶由25根预应力桩立柱以及预制混凝土大梁构成，支撑起楼板。在纵向上，钢拉杆支撑实现了稳定结构，相邻的立柱相互“手拉手”站立。

钢材—天然石料混合桥（伊纳科斯桥）

伊纳科斯（INACHUS）桥（照片3）在九州别府市于1994年建成。这是一座人行桥，通往南立石公园。该桥的跨距为34m。在与市长和市建筑部门人员进行讨论的阶段，笔者注意到别府市与出口优质花岗岩的中国烟台市是姊妹城市。实验室的试验结果表明，这种石料作为结构用途具备极好的强度和刚性，因此笔者决定采用烟台的花岗石作为该桥的结构部件。该桥的设计采用了透镜形状，上弦采用了拱形花岗岩，下弦采用了悬吊方式。在该设计中，花岗岩上弦具有双重作用，既是主要结构部件又是桥面，人们在桥上行走时直接踩在上面。

照片3 花岗岩伊纳科斯桥

上弦由78块宽40cm、厚25cm、长2.6m~3.6m的花岗石构成。对整个上弦施加预应力，实现真正的“整体”结构构件。下弦由连续设置的钢板构成。上弦和下弦通过排成倒锥体形状的钢管构成的腹杆相互连接，笔者将这种方式称为“空腹桁架”，大梁的腹杆没有如同普通桁架格架的重复形成的“闭合”。考虑到格架的节省、连接的细节、以及简洁外观的美学优点，笔者相信空腹桁架在结构设计中具有充分的存在理由。桥梁竣工后，对桥的名称在别府市民中进行了征集。最后，该桥被命名为“伊纳科斯（INACHUS，希腊神话中的河神）”。

钢—木复合结构

· 钢加强木结构

木材是一种出色的天然材料，可通过森林循环再造。木材也是一种能够在人们的活动空间产生良好感觉的材料。然而，作为结构构件，木材一般存在强度和刚性有限的缺点。这种情况令人联想到采用诸如钢材等坚固的材料加强木材构件。根据这个构想已经建造了一些桥梁。笔者最近参与了鬼石町礼堂的设计，建筑师希望以一些非常细的木材构件支撑屋顶，因此采用了钢材加强这些木梁，合理地实现了该要求（照片4）。

照片4 鬼石礼堂

· 钢—木混合结构

木材是一种抗拉和抗压强度相同的材料，但是在抗拉连接方面的效率却远低于抗压连接。因此，采用木材承受抗压力的混合设计将会获得良好的结果。

始良综合运动公园体育馆（照片5）的面积规模为100m×50m，体育馆的屋顶采用了由厚度为200mm的层压弯曲面与钢格架系统构成的混合木材壳体。木材壳体作为典型的抗压构件，不仅发挥结构部件的作用，而且还能够隔音和隔热，形成天花板的舒适质地。

日向市车站（图2）采用了更加复杂形式的钢—木混合屋顶结构，覆盖面积为18m×110m的线路和站台。层压木梁加工成一定形状，能够与钢管构件配合有效承载横向风载荷产生的弯矩。

高知车站（照片6）的拱形主顶覆盖面积为39m×60m，由一组形状不对称、钢构件膝部向拱脚延伸的钢—木混合拱构成。该混合拱设在沿建筑物北侧的RC支撑上，而在南侧由高架铁路的结构支撑。

照片5 始良综合运动公园体育馆

图2 日向市车站

照片6 高知车站

预应力铝合金桥

在银座的一个建筑物内，设计了连接一家餐厅和电梯厅的小型室内人行桥（照片7）。这是一座铝合金桥，长6m、宽1.7m。之所以选用了铝合金材料是由于其良好的视觉质感、不会生锈、以及免维护的特性。全部桥身在铸造工厂铸造成为一个整体。因为人们对铸铝合金的抗拉延展的可靠性没有把握，所以通过设在桥箱体内部的两根预应力杆施加

300kN 预应力，防止拉伸应力对桥的影响。

照片7 预应力铝合金桥

钢膜—空气混合结构

在上述讨论中，钢材专门用于抗拉构件，然而对于抗压构件采用了各种材料，包括混凝土、石料、木料、以及铝合金等。仅可承受抗压力、最有趣的材料之一可能是空气。空气无法承受较大的拉伸力或剪切力，然而对于体积变化却具备较大的阻力。通常，空气在压缩时不会发生“坍塌”或“断裂”。因此我们产生了一个构想，混合结构可采用钢材用于抗拉、采用空气用于抗压。基于这种构想实现的第一个实例是于1979年竣工、位于加拿大哈里法克斯的达尔豪斯大学运动设施的不锈钢膜空气支撑屋顶。该屋顶覆盖面积为92m×73m的体育馆，屋顶非常平坦，构件由厚度为1.6mm的焊接不锈钢板构成。

笔者开发了空气支撑钢膜系统，不仅可应用于平面，而且还可应用于较深的穹面。该系统可称为条带系统，主要在其长度方向利用条带的强度。这些条带在长度方向连续，并且在两端与边界牢固连接，可在长度方向产生其全部强度，但相邻的条带没有连接，或仅沿其长度侧进行辅助性相互连接。（参见照片8）

我们知道，理论上存在的圆顶面在内部空气压力下产生无环向应力，由内部均布载荷形成了对应旋转膜壳体极限条件的结构。笔者将该表面称为“最浅的气动方式”，将其应用于钢膜空气圆顶。

根据上述原理，使用厚度为0.3mm的不锈钢皮建造了一个直径为20m的试验圆顶。对圆顶的形状调查表明其足够接近理论值。该圆顶经历了几次强风，其中一次风速达30m/秒，没有发生任何问题。

照片8 钢膜空气圆顶

结语

钢材是一种出色的材料，具备抗拉和抗压强度，并且也具备良好的刚性。特别是在抗拉应用方面，能够发挥最高的强度，但其抗压强度在很大程度上取决于承载的方法，经常因压屈而大幅度降低。因此，我们通过组合两种以上材料试图开发新型结构组件或结构系统时，其中承载抗拉强度的基本上总是钢材。然而有许多材料可承载抗压和/或剪切。在本文中，笔者试图说明各种材料可与始终发挥抗拉构件作用的钢材进行组合实现其目的。本文列举的

材料有混凝土、木材、铝合金、甚至空气。当然，还有许多材料能够与钢材形成新型结构组件和结构系统。



(第4页~第7页)

新加坡空中花园的建造

五洋建设株式会社

海外事业本部 钢结构部 副部长

三轮 恭久

空中花园是全长 340m、宽 40m 的空中庭院，在由新加坡的综合度假设施企业——滨海湾金沙公司运营的设施当中，作为引人注目的新地标建筑，于 2010 年 6 月隆重开业。(照片 1)

JFE 工程技术株式会社与荣南工程与建筑公司组成了联合企业体，在 2008 年 4 月获得了空中花园结构躯体的建设施工项目后，立即着手进行详细设计和架设计划，从 2009 年 7 月起开始了现场施工，在短短的 9 个月期间，完成了 8,000 吨钢结构体的架设施工。

照片 1 空中花园的全景

空中花园的结构

空中花园由架设在酒店塔楼之间的 2 跨连接桥、在第 3 塔楼上设有悬臂部分的箱梁桥、以及塔楼上的钢结构体构成，在结构上由支撑外装板、被称为包层支撑和桁条的钢结构体围起。(照片 2)

塔楼之间的连接桥采用了由对倾式横梁连接 3 个主构架的单桁架桥。根据空中花园的平面线形、以及支撑桥身的塔楼形状，主构架并非平行，因受到建筑设计方面的限制，主构架高度也发生变化，所以结构十分复杂(图-1)。第 3 塔楼的上面采用了 3 个主桁架的形式，其中两侧的 2 个主桁架从板梁桥向箱梁变化，形成 67.7m 的悬臂部分。主桁架由设在第 3 塔楼最上层 55 层的结构壁上的 W 型圆形桥墩支撑，在格点 HTL60 及 HTL67 的桥墩上，通过固定承座支撑，其他桥墩通过焊接于主桁架刚性连接。为了支撑悬臂部分，在箱梁内面的上边缘侧设有 PC 钢绞线，采用了在箱梁架设完成后进行拉紧的结构(图-2)。此外，在悬臂部分的前端部分，采用了设置重量为 5 吨的避震装置等具有特色的结构设备。

图 1 钢桁架桥的断面

图 2 钢箱梁桥

照片 2 空中花园的总体结构

设计

本结构体虽然属于建筑结构体，但由于也具备桥梁的特性，因此设计并用了 BS5950:2000 Structural use of Steelworks in Buildings 以及钢桥的设计标准 BS5400:1988 Steel, Concrete and composite bridges。关于材料，采用了基于 BS EN 10025 结构钢热轧产品的 S355J。关于桥段的连接接头部分的设计，在 BS5950 中，允许极限载荷时摩擦面的滑动，以螺栓的受剪承载能力以及钢板的承压承载能力按照承受极限载荷的“Non-slip in service”进行了摩擦连接的设计。使用的螺栓为扭剪型螺栓(S10T)。

关于承座，我们指定德国的 Maurer 公司协作进行设计。设计标准采用了 BS5400 Part9, 1983。

由于对塔顶及塔楼外面 10m 的相邻范围要求 1.5 小时的耐火性能，因此对外环在外部暴露的部位采用了膨胀性耐火涂料，对外装板等另行覆盖的部位采用了喷涂型耐火被覆材料。

制作及架设

钢结构部件由当地的荣南公司制造并运至现场。(照片-3、4)

关于酒店塔楼上方的钢结构部分，使用塔吊将构件逐一起吊安装。关于 3 号塔楼上方的箱梁桥、塔楼之间的 2 跨连接桥、3 号塔楼北侧悬臂部分，由荣南公司将制作的构件通过陆地运输送至现场，在塔楼旁的地面上进行组装，形成较大的桥段吊装。塔楼之间的 2 跨连接桥的各主梁分 3 段、3 号塔楼上方箱梁桥的东西两主梁分 2 段、3 号塔楼北侧悬臂部分在伸出方向分 6 段，将合计 14 大段、总重量达 4000t 的构件，在 2009 年 10 月 1 日至 12 月 29 日的 3 个月期间完成了吊装(表-1)。架设时采用了大型起重工艺，在塔楼上设置门架，然后安装钢丝绳起重器吊装到 200m 高度。吊装时以每小时 15m、几乎是起重器行程移动的最高速度进行，经过约 15 小时后到达 200m 的目标高度。吊起后使用横向起重器拉至规定位置，然后泄掉钢丝绳起重器的液压将桥段降下，安装在桥墩上的最终位置(图-3)(照片-5、6、7、8)

制订吊装计划时，确定了地面的组装位置及酒店塔楼顶的吊装点，保证即使在 26m/s 的设计最大风速的风压下发生主梁横移时，桥段与酒店塔楼也

保证 1m 的距离，避免发生接触。

- 照片 3 在荣南公司进行钢构件加工
- 照片 4 在荣南公司进行试验组装
- 照片 5 超重钢桁架桥桥段的吊装
- 照片 6 将钢桁架桥段向指定位置滑动组装
- 照片 7 3 号塔楼的超重钢桁架桥段的吊装
- 照片 8 3 号塔楼的超重钢结构悬臂部分的吊装
- 表 1 超重钢结构的吊装记录
- 图 3 吊装步骤

安全及环保措施

由于始终在 200m 以上的高空作业，因此在安全方面，我们将注意力提高到了前所未有的程度。为了防止自身坠落规定使用全身安全吊带，为了防止工具等的落下而使用系索等，对最繁忙期达 450 名工人、70 名管理人员大部队的每一个细节反复进行贯彻落实。

对于全部的作业，我们编制了详细的施工步骤，获得业主及咨询公司的认可，并充分由经理层干部讨论，然后向全体管理人员贯彻。特别是关于预想到危险的作业，进行了全面的风险管理。

结语

关于本施工项目，最值得注意的是我们以 100 万小时零重大事故完成了如此艰巨的施工。外国劳工、本地企业管理人员、在当地聘用的技术人员、以及我们日本人，大家克服了语言及文化的壁垒，团结一心圆满完成了施工。本项目获得了新加坡钢结构协会颁发的 Structural Steel Design Awards 2010 (2010 年度钢结构设计奖)。



(第 8 页～第 11 页)

大阪站

～在铁路站台上设置的大型顶棚～

西日本旅客铁道株式会社
建设施工部 课长 梅木隆之

“大阪站开发项目”于 2004 年 5 月动工，经过了 7 年的努力，我们于 2011 年 5 月 4 日迎来了“大阪车站城”的开业。这座“城市”由原有的车站设施、车站北侧的“北门大厦”、南侧的“南门大厦”、

以及相互连接这些设施的桥上车站和顶棚构成。

大阪车站城的概要

包括“梅田货运站”在内的大阪站北地区是在日本全国也堪称“残留在市中心最后的一块顶级土地”，作为引领关西地区复兴的新基地受到关注。2003 年 10 月，大阪市公布了“大阪站北地区总体结构”，制订了城市建设的基本方向（图 1）。

本项目与“大阪站北地区”的城市建设相关联，以大阪市为首的行政机构及周边的企业、承租企业等形成一体推进。具体包括与周边街区连接的人行道网络的完善，符合作为大阪及关西地区门户的各种功能的汇集，将重点放在通过与其他铁路企业等协作提高车站周边地区的魅力等，并且与作为铁路企业推进的项目（九州、山阳新干线的相互直通运行、在城市网络中与大阪站的交通改善和充实等）相结合，实现大幅度提高大阪站周边地区基地性的目标。

图 1 大阪站北地区基本计划

项目的基本方针

本项目根据以下 4 项基本方针构成。

①广场、道路的整備…在线路上空新设南北连接通道，进一步保证顺畅的动线，实现大阪车站城内畅通移动，并且提高车站周边地区的洄游性。此外，设置 8 个广场，打造繁华以及休闲的空间。（照片 1）

照片 1 站前广场和通道的改善

②车站的改善…为了提高方便性，在车站的中央位置设置桥上车站建筑，进一步改善各检票口内大厅，充实无障碍化设备。此外，在站台上方设置东西约 180m×南北约 100m 的大型顶棚。（照片 2）

照片 2 大型顶棚

③北门大厦的新建…在车站的北侧，为了形成大阪站北地区的“门户”，新建包括百货商店、专卖店、服务设施、办公楼等各种功能的大厦。不仅发挥车站大厦的功能，而且还创建广场等供人们交流的空间。（照片 3）

照片 3 新建的北门大厦

④南门大厦的扩建…结合站前广场的重新整備，对作为车站南侧门户的 ACTY 大阪进行扩建。此外，

对动线进行改善，并且提高了向周边地区的洄游性。
(照片 4)

照片 4 南门大厦的扩建

顶棚的设计概要

本项目的象征性建筑物，是在站台上方设置的
东西约 180m、南北约 100m 的大型顶棚。将北门大
厦、南门大厦、桥上车站建筑、以及站台融为一体，
创造了舒适、充满魅力的车站空间。(照片 5)

顶棚由北门大厦 12 层部分和位于站台上方的桁
架结构框架(东西框架)支撑。基本框架为 17 排立
体三角形钢管桁架(全长约 100m、最大直径 600)
构成，高低差约 30m，以 23 度的最大倾斜角倾斜架
设。顶棚的表面采用波形板，为了使顶棚内的空间
明亮，在顶棚上装有 12 排顶灯。(图 2)

作为总重量达 3,500 吨的顶棚，为了有效降低地
震力的影响而采用了避震结构，对北门大厦侧的支
撑部位设置了 17 台积层橡胶及积层橡胶一体型避震
U 形缓冲器。对东西框架侧的支撑部位，设置了 17
台地震时避免对下部结构施加过度水平力的十字滑
动支撑(移动量为 1m)、以及 6 台液压缓冲器。

此外，对表面材料采用了在桥梁获得了使用实
绩、维护频度较低的超防腐蚀硅变性环氧树脂涂装。
另外，作为节水措施，将顶棚汇集的雨水经由东西
框架、南北框架集中到北门大厦地下层的蓄水池，
用于厕所的冲洗用水等。

照片 5 顶棚

图 2 顶棚结构的概要

顶棚的施工概要

在进行顶棚的施工中，需要保持车站的功能，
从列车的运行和乘客安全性的观点考虑，根据作业
的内容，有时需要在深夜末班车后至凌晨始发车前
之间的约 3 小时进行。对于在这种非常严峻条件下
的作业，在事先设置的桥上车站建筑的屋顶完成每
件立体三角形钢管桁架的钢结构和表面施工，然后
采用向东西两侧各滑动 7 次的工艺，顺利、无事故
地完成。对于施工方法进行以下补充说明。

首先，对于桁架的地面组装，利用同时并行施
工的北门大厦低层屋顶进行作业，将 1 件桁架分成 8
份进行地面组装。然后，将桁架移动到桥上车站建
筑进行连接。

作为连接移动的桁架的作业场地，在先设置在
车站中央部位的桥上车站建筑屋顶的东西两端建造

了排架装配台。在该装配台上，连接分成 8 份的桁
架构件，并且安装波形板和顶部玻璃并进行涂装等
表面加工，在该阶段实施了质量检查。(图 3)

然后，在每增加 1 件桁架的同时，向东西两侧
各滑动 7 次。(图 4)

在北门大厦 12 层设置的轨道桁架和东西框架的
梁上，将顶棚桁架放在桁架输送装置(最大 200 吨)
上移动到线路上方的指定位置。(照片 6)滑动用起
重器采用了可连续工作的高速穿心式起重器(复合
双起重器：最大 70 吨)，在深夜末班车后至凌晨始
发车前之间的短时间内，完成了各次的滑动施工，
为了实时掌握滑动时的变位量和结构体状况而建立
了测量管理系统，提高了安全性。

最后，关于全部 17 件桁架中不滑动的 3 件，利
用桥上车站建筑屋顶上的排架装配台进行桁架的连
接和表面施工，封闭顶棚的中央部分，完成了顶棚
总体施工。

图 3 排架门架

图 4 桁架框架的滑动

照片 6 顶棚桁架的移动



(第 12 页~第 14 页)

JR 旭川站建筑的结构设计

川口设计事务所

川口 卫/阿藤 有士

旭川站包括高架桥的本计划于 1995 年动工，历
经 15 年，一期工程于 2010 年 10 月竣工，今年 11
月迎来了隆重的开业(照片-1、2、图-1)。

照片 1 JR 旭川站全景

图 1 实施方案(断面)

结构概要

旭川站的顶棚是在全长约 180m、宽约 60m、最
高高度为 26.3m 的钢筋混凝土高架结构上建造的钢
结构体(图-2)。旭川是日本屈指可数的多雪地区，
对积雪的处理是一个重要问题。此外，由于本计划
利用靠近周边河流的地理条件，因此屋顶按照堆雪
型设计。

图 2 旭川站的结构概要

对于北海道的车站建筑顶棚，由于冬季的自然条件，作为承担较大的积雪载荷以及漏水对策，一般要求采用混凝土板，支撑屋顶的框架承受巨大的长期载荷和地震力。因此，较短而粗的柱子林立的情况较多，往往导致站台视野不良、以及空间较暗。作为旭川站，为了实现障碍物较少的站台空间，采取了极力减少站台上的柱子、并且取较高层高的方针。（照片2）

由于上述理由，对屋顶框架以及用于支撑的柱子要求具备高强度和刚性，因此采用了具备足够梁高的钢桁架结构和称为“四叉柱”的组合柱。顶棚框架采用了X、Y方向均为梁高3m的平行弦桁架结构，以20座四叉柱支撑，由H-250×250的上下弦构件和斜构件、支柱构成的钢管（165.2~216.3φ）构成。（照片-3）

屋顶面设计采用钢筋混凝土板（厚150），以保证水平刚性。

外装部分由兼做竖框的H型钢（H-400×200）的销柱支撑。关于车站的设计，由于铁路高架结构由土建方面设计，顶棚部分由建筑方面设计，因此需要两方面的协作。然而铁路高架在顶棚开始施工设计之前就完成了结构设计而进入了施工阶段。

作为车站建筑设计，存在必须在很早的阶段向土木方面提供高架结构的顶棚柱桩反力信息的难题。并且高架结构设计人员希望顶棚柱桩的载荷尽可能简单。为此，土木方面对旭川站向建筑方面提出了“在顶棚柱桩由载荷条件产生的弯曲应力不变”的设计条件要求。我们通过对顶棚四叉柱柱桩采用铸钢的销支撑解决了这个问题。

另外，对高架结构考虑温度载荷，按顶棚施加的领域设置了EXPJ（2处）。该EXPJ虽然隔断轨道方向力的传递，但可传递其他方向的力（图-3）。对顶棚也在相同的位置设置与高架结构同样动作的EXPJ。

照片2 旭川站的内部

照片3 顶棚框架图

图3 伸缩接头的力的传递

详细设计

*四叉柱

四叉柱如图-4、照片-4所示。四角的主材为404.6φ×30（下段）、404.6φ×16（上段）、副材为216.3φ×25、中間的水平拉杆为165.2φ×9。

图4 四叉柱

照片4 完成的四叉柱

对柱桩采用的铸钢销支撑如图-5、照片-5所示。使用8×M76地脚螺栓将柱桩与高架框架牢固连接。

图5 柱桩铸钢销支撑

照片5 柱桩铸钢销支撑

*伸缩接头

对铁路的高架结构，在2个位置设置如图-2所示不束缚轨道方向动作的EXPJ。对顶棚也同样，在与该位置相应的位置也设置同样动作的伸缩接头，跟随高架的动作，防止对顶棚产生不良影响（图-6）。

图-6：顶棚屋顶面伸缩接头

为了不束缚桁架之间的轴向动作，沿轴的方向设置长孔，用65φ销连接。强轴的剪切力通过该销传递，对于弱轴的剪切，从一端起由螺栓连接，通过单支梁形状的弱轴剪切定位装置传递。

结语

以上介绍了JR旭川站的结构设计。在日本屈指可数的多雪地区建造一座车站，能够在漫长的冬季在城市中形成开放、欢快氛围，并且汇集人流，从最初开始就成为人们关注的话题。同时，实现土木结构要求的限制高架框架弯曲应力变动的柱桩成为重要的课题。这些课题通过采用四叉柱和铸钢销支撑得到了解决。



（第15页~第18页）

ION Orchard（新鸿基国际级顶尖商场） —横跨MRT地铁站的巨型钢桁架结构—

五洋建设株式会社

山下一志（副总经理）

Kelvin Teh（QA/QC 经理）

项目简介：地点和设施

ION Orchard 位于乌节路（Orchard Road）核心地带，是以零售店铺和住宅高层建筑为特色的综合开发项目。

ION Orchard 是一个 8 层智能化设计的购物空间开发项目——4 层位于地上、4 层位于地下，成功吸引了国际级著名品牌进驻开设旗舰店、概念店、以及生活品位店。

ION Orchard 向宾客提供独特的消费体验，涵盖零售、餐饮、以及娱乐等不同领域，其中 6 家国际顶级奢华品牌的双楼层旗舰店坐落在乌节路上，另外还有按照其品牌实力和创新的零售理念精心选择的其他国际品牌店、高级流行品牌店和生活品位店。除了广为大家喜爱的品牌店之外，ION Orchard 还设有巨大的美食广场，向宾客提供各式佳肴的选择，包括本地风味小吃和国际知名餐厅。

ION Art 作为一个专门的项目，将新型、多媒体艺术引入智能化购物体验，提供新加坡和其他亚洲国家的著名及新兴艺术家和设计师的一流现代和当代艺术及设计作品。ION Art 包括设在购物商场内面积为 5,600 平方英尺的画廊——这种形式在新加坡堪称最大规模——汇集了国际和当地的艺术、设计、以及新媒体作品的展览和展示。

ION Sky 是一座观景台，提供举办活动和餐饮的空间。位于 55 至 56 楼的 ION Sky 高度达 218m，是乌节路的最高点，宾客可居高临下，360 度饱览全市美景。

包括地下 4 层在内的 8 个楼层净出租面积为 624,440 平方英尺，云集 330 多家店铺。5 层至 8 层设有停车场以及机械和电气设备室。（照片 2）

ION Orchard 位处乌节路地铁站(MRT)正上方，能直接前往地铁站，并于周围的开发设施相连。新建的地下步行街穿过帕特森路连接会德丰广场，在乌节路和帕特森路交叉点构成地下步行街网络。

卓锦豪庭（Orchard Residences）因位于人们梦寐以求的乌节路核心位置而命名。这也是乌节路上最高的地标建筑，其高度和特征获得了当局的批准。合计 175 套限量超豪华公寓位于该地区的最高、并受建筑限制的地标建筑内，供人们俯视充满活力的城市，享受永恒的优雅和私密生活方式。卓锦豪庭以其涵摄一切的设计特征，最大限度地满足所有对生活方式最为挑剔的需求理念和追求，在奢华生活的各个方面建立了无以伦比的基准。

照片 1 ION Orchard 开发项目全景

照片 2 300 多家店铺云集在包括地下 4 层的 8 层空间（电脑绘图）。

建设的挑战

总承包商的任务是将 ION Orchard 的蓝图变成现实，他们面临着挑战。这些挑战包括：

- 在原有的 MRT 地铁站上方和侧面建造大厦（存在载荷限制）
- 在原有的繁忙道路下方建造一条通道，连接 ION Orchard 与会德丰广场（在不同的施工阶段，对绕行交通提供相同数量的车道）

建设战略和技术创新

针对这些挑战和限制条件，我们采用了以下建设战略和技术创新：

- 对地下室和地下通道建造永久性隔水墙。
- 从地下室 1 层开始采用逆作施工工艺，使上层结构的施工与地下室的施工同时进行。由于楼板设计用于支撑地下室墙，因此这种工艺也减少了地下室施工对临时钢框架的需求，节省了时间和资源。
- 由于地铁站载荷的限制，跨越 MRT 地铁站上方的巨型钢桁架在 5 至 8 层建造。采用巨型复合立柱支撑这些巨型桁架，依次由作为基础和地下室永久立柱建造的巨型方形桩支撑。
- 平台的上层结构采用钢结构和复合金属平台系统。平板在金属平台上建造，无须拆除模板，因此提高了安全性，并且缩短了工期，减少了对环境的影响。
- 采用预制剪力墙、梁、以及支架并包括预制楼梯，以每层 6 天的周期建造塔楼。由于不要求台架，因此每个楼层完成后即可立即进行内部泥工和机械及电气设备施工。（参见图 1）

图 1 建设战略和技术创新

ION Orchard 巨型桁架的建设

本项目独特的钢结构施工是横跨 MRT 地铁站的巨型桁架的建设。本项建设以下列施工为重点逐级推进：

- 方形桩和立柱的建造
 - 巨型立柱的建造
 - 巨型桁架的组装
 - 巨型桁架的重型吊装
 - 复合金属平台楼板的建造
- （参见图 2）

图 2 跨越 MRT 地铁站的巨型桁架

方形桩和立柱的建造

对于巨型桁架和 56 层的高层建筑，采用方形桩和立柱满足来自每个巨型立柱的巨大单点载荷的要求。

方形桩由数个方形桩笼构成，一根方形桩梁与这些方形桩笼连接，方形桩立柱设在方形桩梁的顶部。

建造工艺与隔水墙的建造十分相似，挖掘到要求的深度后，设置加固物，然后使用混凝土导管进行浇筑，使 G50 混凝土从底部向上充满。

方形桩的宽度通常为 1.5m，长度为 6m 至 9m，地下深度为 43m 至 82.5m。支撑巨型立柱的方形桩立柱宽度为 1.5m，长度为 1.5m 至 3m。总吊装重量为 50 吨至 135 吨。每次浇筑的混凝土为 430m³ 至 1,130m³。在挖掘暴露方形桩立柱之前进行声波探测，保证没有空洞。（参见图 3）

图 3 方形桩和立柱的建造

巨型立柱的建造

巨型立柱的尺寸为 2m×2m、1.5m×2m、175m×2m、以及复合直径 2.4m（各含重量为 162、202、以及 283kg/m 的 4 根通用立柱），固定在方形桩立柱的顶部。

巨型立柱分 3~4 段建造至 9 层。最高的巨型立柱高约为 37.7m。（照片 3）

照片 3 巨型立柱的建造

巨型桁架的组装

共建造了 14 座巨型桁架，其中最重（75.63m）和最重（508.93 吨）的桁架跨越 MRT 地铁站。该桁架最重的一段约重 60 吨，长度为 23.73m。

受 MRT 地铁站上方原有建筑物的影响，巨型桁架无法在地面组装。因此，在 3 层设置了带临时立柱支撑（合计 2,500 吨钢材）的临时平台（由于吊装型钢的限制）。

钢桁架的 5 层在该临时平台上组装，完成的桁架和其相关的楼面梁在升高到最终高度之前进行全面检查。（参见图 4 和照片 4）

图 4 巨型桁架的组装

照片 4 巨型桁架的组装（临时平台）

巨型桁架的重型吊装

由于受到吊装设备的限制，我们安排重型吊装专业公司将完成的巨型桁架从 3 层提升到 5 层的

终位置。采用液压钢丝绳起重系统完成了本吊装。

该液压起重系统的主要部件是移动装置（由穿心式液压起重器和与起重位置固定的下侧及上侧锚具构成）、用于载荷的带锚具抗拉构件（由公称直径为 15mm 的 7 根预应力钢丝绳构成）、以及液压泵和其控制设备。

吊装时，起重器伸展，使抗拉构件的各钢丝绳被上侧锚具夹紧而向上移动。活塞开始向下移动时，钢丝绳立即被下侧锚具夹紧，上侧锚具同时松开。负荷便这样一步一步移动。移动装置锚具独特的自夹紧方式实现了最大程度的内在安全性。（参见图 5、6，照片 5）

图 5 巨型桁架重型吊装设备和步骤

图 6 吊装前后的巨型桁架

照片 5 吊装前后的巨型桁架

复合金属平台楼板的建造

复合金属平台楼板是混合施工系统，采用钢板作为混凝土模板，并且加强部分楼板，代替抗拉加强。该系统对平台上层建筑楼板全部采用，并且包括巨型桁架区域。

钢型材固定在钢楼面梁上作为作业平台，从而在浇筑混凝土之前提供良好的工作和安全条件。安装了型材后，楼板底面便可防水和使用，实现清洁的完成后外观。

弯梁的形状使钢型材在混凝土中固定牢固。采用焊接网完成楼板后，全部作业结束。本系统减少了钢筋的用量，并且降低了混凝土的用量。



（封底）

特别报告

东日本大地震

一 面对复兴和恢复的钢结构技术、建造方法的提案一

目前，为了使受灾地区成为安全、放心、具有活力的地区而开展重建和复兴，关于新型城市建设和防灾、减灾等的构想，要求站在灾区的立场，及早制订复兴重建的规划。

日本钢铁联盟根据今后制订的计划，对于恢复和复兴事业，充分运用钢铁行业迄今积累的防灾性能、经济性、以及环保性优异的钢结构技术和工艺，

为了实现恢复和复兴所要求的“抗灾型城市建设及基础设施建设”，将努力作出贡献，特提出了以下钢结构技术和工艺方案。

尤其是作为钢结构体，发挥钢材具备的强度和加工性、运输方便性、由工厂生产实现的构件大量稳定供给、以及质量方面的精度和稳定性等特性，能够实现缩短现场施工工期、满足对曲线等设计自由度高的景观方面的要求、以及灵活的空间创造等，并且通过与混凝土及木材等其他结构部件的组合，可创造安全、放心的结构体。（参见下图）

（防灾型公共设施、防灾基地的建设）

- ①抗震、防海啸人工地基/钢结构防灾基地建筑物
- ②抗震性能优异的钢结构学校设施（抗震性能优异的住宅等的早期恢复）
- ③可在短期施工的钢结构房屋：（港湾、海岸设施等的早期恢复、建设，抗震及海啸对策）
- ④采用钢材的港湾复兴工艺
- ⑤采用钢材进行码头、堤岸、防波堤的抗震加固工艺
- ⑥采用钢管板桩、钢管桩对原有桥梁基础的加固工艺
- ⑦采用钢板桩、钢管板桩的防渗堤岸
- ⑧沿海地区的堤岸的测流对策（灾害时可迅速应对的防灾基地的整備）
- ⑨浮体式钢结构防灾基地（巨型浮体）