

STEEL CONSTRUCTION TODAY & TOMORROW

(第 38 期, 2013 年 4 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 38 期 (2013 年 4 月) : 目录

JSSC 奖 (2012 年度)

空中花园 (SkyPark)	1
采用 1000N 钢材建造的综合技术研究所	2
现有超高层建筑的抗震对策	3
东京门大桥	4
JSSC 论文奖 (2012 年度)	5~6

专刊: 日本的最新超高层建筑技术

抗震设计	7
抗风设计	8
索尼城大崎	9
ABENO HARUKAS	11
ARK HILLS 仙石山森塔楼	13
环状 2 号线项目	15
大手町 1-6 计划	17

JSSC 的主要活动: JSSC 钢结构研讨会	封底
致辞	封底

中文版: ©一般社团法人日本钢铁联盟 2012

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>

JSSC 奖（2012 年度）

（1 页）

空中花园（SkyPark）： 巨型楼顶，跨越三座高塔的钢结构 获奖者：三轮恭久（JFE 工程株式会社）

空中花园的概要

新加坡的 SkyPark 建造在三座高塔之上，长 340m，宽 40m，是一座名副其实的空中花园。这座新地标建筑于 2010 年 6 月隆重举行了开业典礼，在由新加坡的综合度假设施企业——滨海湾金沙有限公司运营的各种设施中脱颖而出（照片 1）。

日本的 JFE 工程株式会社和新加坡的荣南（Yongnama）工程建筑公司构成了联合企业体，于 2008 年 4 月获得了空中花园钢结构躯体的建造合同。联合企业体立即着手进行详细设计和架设计划，从 2009 年 7 月开始了现场施工，在短短的 9 个月期间，完成了 8,000 吨钢结构体的架设施工。

空中花园的结构

空中花园由两组钢桁架桥构成，连接 3 座酒店高塔（1 号塔楼、2 号塔楼、3 号塔楼）。钢结构箱梁桥在第 3 塔楼上向外伸出，形成 67.7m 长的悬臂结构。2 号塔楼、3 号塔楼顶上的两个钢架结构体形成了集成结构。

钢结构的制作及架设

钢结构部件由当地的制造企业——荣南工程建筑公司制造并运至现场。关于 1 号塔楼和 2 号塔楼上钢结构体的架设，使用塔吊将构件逐一吊起安装在指定位置。（请参照片 2、3）

关于 3 号塔楼上的箱梁桥构件，两跨塔楼连接桥和悬臂结构在两座塔楼旁的地面上预组装形成大段，在塔楼顶部设置门架，然后组装重型钢丝绳起重器完成吊装。2 跨塔楼连接桥的各主梁分 3 段、3 号塔楼上的箱梁桥两座主梁分 2 段、悬臂结构分 6 段组装成大段。对合计 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。每件大段构件以每小时 15m 的速度吊装，经过约 15 小时吊装到 200m 的目标高度。

安全措施

由于空中花园的建造施工始终在 200m 以上的高空进行，同时还有其它地面作业，因此我们将保证施工人员的安全提高到了前所未有的程度。在实际施工中，我们对最繁忙期达 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，包括为了防止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。（参照片 4）

在本空中花园的施工建设过程中，最显著的成绩是我们以 100 万小时零重大事故完成了如此艰巨的工程。本地企业管理人员、在当地聘用的技术人员、以及来自日本的人员，大家克服了语言及文化的壁垒，团结一心圆满完成了施工。

照片 1 空中花园——新加坡的新地标建筑

照片 2 超重钢桁架桥段的吊装

照片 3 超重钢构件段被吊装到 200m 的目标高度

照片 4 以 100 万小时零重大事故完成了巨大的工程

（第 2 页）

采用 1000N 钢材建造的综合技术研究所 获奖者：株式会社日建设计、清水建设株式会社、片山 STRATECH 株式会社、住友金属工业株式会社（现在的新日铁住金株式会社）

本建筑物首次对实际的建筑采用了由住友金属工业株式会社（现在的新日铁住金株式会社）开发的世界最高强度 1000N 级钢材（抗拉强度 950N/mm^2 ）。（照片 1）

关于 1000N 级钢材，2003 年至 2010 年，住友金属工业、大阪大学、京都工艺纤维大学、片山 STRATECH、以及日建设计开展了钢材及焊接材料的开发、以及热输入、预热、后加热等焊接条件的共同开发。

本建筑物在建筑设计方面具备以下 3 个主要特点。

第 1 个特点是对 1 层采用了由 1000N 级钢材的支柱和减震支撑构成的 1 层集中减振结构（图 1）。地震的能量几乎全部被 1 层的减振支撑吸收，即使在发生大地震时，2 层以上的构架也可维持弹性状

态。

对于 1000N 级钢材的支柱，为了实现对于超过预估的地震动也可维持弹性状态，对基座设置球面座和较短的托架，并设有起动装置，防止支柱发生屈服。(图 2、照片 3、4)

第 2 个特点是作为 133m×23m 的大型工作场地的设计，可使研究室能够灵活地应对未来研究内容和机构的变化(照片 4)。

第 3 个特点是为了实现节能对东面采用了夹层结构、以及考虑到研究室的作业环境而采用的空调系统和照明系统。

在外观上，透过玻璃呈现构成格架形状的钢结构柱梁构架，同时，来访者可在 1 层的入口层亲眼目睹 1000N 级钢材和减振支撑构成的集中减振结构，这些建筑结构形成了本建筑物外观的主要特点。

照片 1 建筑物的外观

图 1 结构框架

图 2 基座部分的详细结构

照片 2 建造状况

照片 3 基座

照片 4 研究室的内部

(3 页)

现有超高层建筑的长周期、长时间地震动对策的技术开发

获奖者：细泽 治、木村 雄一、须田 健二、吉村 智昭、青野 英志(大成建设株式会社)

地震学家预测在不久的将来会发生东海、东南海、以及南海地震等大地震，担心地震时发生的长周期、长时间的地震动将保持着巨大的能量从震中向相隔很远的地点传播。大城市地区建造了许多超高层建筑，然而在现有的超高层建筑中，有些在设计时没有考虑长周期地震动，因此如果受到长周期地震动的作用，大幅度的摇动将长时间持续，可能导致结构体受损、以及非结构构件和设备等损毁。

作为现有超高层建筑的长周期地震动对策，有效的方法是设置减震器，对建筑物形成衰减，减少建筑物的最大变型和地震后的摇动。但是如果对现有建筑设置减震器，减震器的反力会作用于现有构架(柱、梁、基础等)，存在需要加固现有构架的问题。

针对这个问题，本项技术采用变位响应型液压

减震器，通过降低最大变形附近的减震器衰减力，无需加固现有构架即可设置减震器。此外，针对减震器的设置方法也开发了无需现场焊接的 PC 钢拉杆压接工艺，可在继续使用建筑物的同时完成施工。

作为长周期地震动对策，新宿中央大厦采用了本项技术，通过变位响应型液压减震器的响应降低效果，在东北部太平洋近海地震中没有发生较大的地震危害，对建筑物的继续使用未产生影响。

照片 1 减震器的设置状况

照片 2 新宿中央大厦

图 1 减震器的设置位置

(4 页)

东京门大桥：钢结构 3 跨连续桁架箱形复合结构

获奖者：福西 谦(国土交通省 关东地方整備局 东京港湾事务所)

为了疏导因东京港集装箱货物增加而导致的周边交通拥挤，致力于物流的顺畅和降低物流成本，我们提出了“东京港临海道路”计划。东京门大桥是作为东京港临海道路的一部分建造的钢结构桥，全长 2,618m。

东京门大桥的架设位置靠近东京国际机场(羽田机场)，设有 98.1m 的空域限制，桥下作为东京港东航道，必须保证宽 300m、高 54.6m 的空间。因此，无法采用需要主塔的吊桥及斜拉桥，而采用了桁架结构。

东京门大桥的设计

在建造东京门大桥时，我们克服了各种限制条件，并且以压缩建设成本、创造优良的景观、以及降低维护管理费用为基本理念进行设计。

为了实现这些基本理念，需要采用和开发新技术、收集损伤事例并讨论改善措施。以下介绍各项措施中具有代表性的内容。

①采用 BHS 钢材减轻钢构件的重量

固定载荷在桁架桥中占大部分，因此考虑极力减少自重来降低建设成本。与普通钢材相比，BHS 钢材的抗拉强度优异，因此可减少钢构件的自重，并且也能够对在自然环境严酷、狭小部分的焊接较多的本项目施工中发挥作用。

②钢桥面桥板构架的合理化、钢桥面的疲劳对策

关于桁架桥板构架，讨论可减少上部结构固定载荷以及合理分散动载荷的结构，采用了箱形结构的合成桁架桥板构架。此外，从防止作用于钢桥面的交变载荷产生应力集中的观点考虑，改进槽形肋的形状，实现了高疲劳耐久性的钢桥面。

③桁架格点的合理化及全断面焊接的采用

对桁架格点的销连接采用全断面焊接实现刚性连接，省略了连接板和螺栓。由此提高了耐腐蚀性，是有利于降低维护管理费的结构。此外，桁架格点的外观整洁，也提高了景观性。

④抗震结构支撑的开发

为了支撑 80,000kN 垂直反力，具备地震时的抗震功能，东京门大桥采用了功能分离型滑动抗震支撑。使支撑功能的“承载”与“抗震”功能分离，设置了吸收发生地震时水平载荷的“抗震橡胶”、以及平时承载垂直载荷、发生地震时配合抗震橡胶的动作而滑动的“载荷支撑板”。

⑤不锈钢衬套的采用

作为保护桥桩的防护构件，利用下部结构施工时使用的临时栈桥的钢管桩，实现了建设成本的降低。使用钢管作为海上防护构件，由于海水加速了腐蚀及劣化，因此对钢管的飞溅区贴附不锈钢，实现了长寿命化。

⑥桥梁监测系统的采用

东京门大桥从建设当初开始就将“便于维护管理”列入计划，设置了监测设备，掌握设计与现状的一致性和动载荷特性，观测对桥梁的损害积累等，包括在箱形梁内及桥墩设置应变计、位移计、以及加速度计等，目的在于获得定期数值进行定量观察，同时获得有助于制定未来维修计划的数据。



JSSC 论文奖 (2012 年度)

(5 页)

关于梁柱部分骨架模型 ESW 部位破坏性状的研究

获奖者：宋勇勋(川岸工业)、石井匠、下川弘海(JFE 钢铁)、铃木孝彦、菅森阳一(新日铁住金)、原田孝弘(千叶大学)、森田耕次(东京电机大学)

随着建筑物向高层化发展，焊接组装箱形断面

支柱的需求增加。在焊接组装箱形断面支柱的制作过程中，对柱外板与内隔板的焊接采用电渣焊 (ESW)。虽然 ESW 是高效焊接方法，然而因属于大热输入焊接，所以 ESW 部位因受到热影响，与健全的母材部位相比，其破坏韧性降低，因此担心发生脆性破坏 (图 1)。此外，由于其连接细节等，柱外板与背垫板之间存在缝隙，应力集中明显，也是对于脆性破坏薄弱的细节部分 (图 2)。

本论文着眼于 ESW 部位的焊接金属、融合部位、以及热影响部位的破坏韧性，收罗了有关焊接施工 (焊透形状、连接错位)、设计 (柱外板的轴向拉伸载荷) 的因素，通过实验及解析，得出对脆性破坏将产生的各种影响。此外，根据讨论的结果，我们对建立破坏韧性 (保有性能) 与破坏韧性指标 (必要性能) 的关联进行了新的尝试。在具体方面，我们着眼于临界最大主应力，根据解析结果获得发生破坏时的最大主应力与破坏韧性的关系 (图 3)，并根据实验结果，得出了 ESW 部位的接头弹性极限应力与破坏韧性的关系 (图 4)。

图 1 破坏模式例

图 2 缝隙尖端附近的一次应力集中例

图 3 一次应力与材料韧性的关系

图 4 接头弹性极限应力与破坏韧性的关系

承受交变载荷的冷轧圆形钢管柱的塑性变形性能

获奖者：安井信行 (长崎综合科学大学 环境、建筑学部 建筑学科)

在本项研究中，为了查明承受交变载荷局部压曲变形累积、弹性极限应力逐渐降低的圆形钢管柱的塑性变形性能，我们对在一定轴向力下承受一定振幅交变载荷的冷轧成型圆形钢管柱进行了数值解析和圆形钢管柱的实验。

关于解析，对于承受如图 1 所示的一定轴向力 P 和一定振幅交变水平变形的圆形钢管柱，采用了笔者提案的非对称局部压曲解析模型。根据解析结果，获得的构件端点力矩 M 和构件回转角 θ 的关系如图 2 所示，将 M 降低到考虑轴向力的全塑性力矩 M_{pc} 过程的累积塑性回转角 $\Sigma \theta_{pM}$ 作为本项研究中的塑性变形性能。

累积塑性回转角与径厚比 D/t 的关系例如图 3 所示。由于 D/t 与 $\Sigma \theta_{pM}$ 具有良好的相互关联，因此

回归解析结果, 求出评估塑性变性能 D/t 与 $\Sigma \theta_{pM}$ 的关系式。

图 3 的○是为了确认回归曲线适当性而进行的实验结果。实验结果的各标绘分布在回归曲线的附近。在本论文中提案的 D/t 与 $\Sigma \theta_{pM}$ 的关系可充分预测圆形钢管柱的塑性变性能。

- 图 1 解析对象
- 图 2 累积塑性变形角
- 图 3 $\Sigma \theta_{pM}$ 与 D/t 的关系

(6 页)

焊接部位形状对造成地震时承受弯曲的焊接部位延展性裂纹的影响、以及通过焊趾修整实现抑制

获奖者: 田村洋 (东北大学)、佐佐木荣一 (东京工业大学)、金城东、山田均 (横滨国立大学)、胜地弘 (横滨国立大学)

钢结构体上存在很多焊接部位, 由于其形状的不连续性而发生显著的应力多轴性和应变集中, 所以因地震时承受弯曲变形可能在焊趾发生延展性裂纹。在这种情况下, 当发生北岭地震以及兵库县南部地震时, 许多钢结构体发生问题, 存在诱发以延展性裂纹为起点的脆性破坏 (发生地震时的脆性破坏)。

本项研究以验证焊接部位形状对焊接部位焊趾的延展性裂纹的发生极限产生的影响进行验证为目的, 将模拟实际结构体焊接部位的十字焊接接头的试样作为对象, 实施了交变载荷实验和 FEM 解析。实验表明, 不同焊接形状在交变载荷下的延展性裂纹的发生极限不同。此外, 关于在实验中确认的焊接部位形状的影响, 通过 FEM 解析进行分析发现, 在填角焊尺寸比例、焊趾半径、以及因焊趾修整减薄量中, 尤其焊趾半径的影响较大。根据上述结果, 关于在焊接部位焊趾处发生的延展性裂纹的抑制, 可以认为通过焊趾修整缓和焊趾半径是有效的方法。

- 图 1 试样
- 图 2 在实验中发生的裂纹
- 图 3 通过解析获得的裂纹深度分布



专刊: 日本的最新超高层建筑技术

(7 页)

抗震设计

东京工业大学名誉教授

和田 章

日本的抗震工程学的发展

关东大地震发生于 1923 年, 翌年, 对于当时通行的城区建筑法的规则, 佐野利器教授提出了对静态水平震度应取 0.1 以上的补充。10 年后, 棚桥谅教授发表文章指出, 关于结构体的抗震性, 仅保证结构体对于静态水平力的强度还不充分, 应以最大速度的二次方的能量表示地震力, 对于结构体的抵抗力, 应采用结构体具备的韧性吸收的应变能量来评估 (1934 年 7 月)。同年 3 月, 关于在作为地震之国的日本也建造如同纽约那样的超高层建筑, 提出了应开展研究的意见。

战后, 棚桥在投稿 (1963 年 4 月) 中提出, 因为地震动无论对较小的物体或较大的物体均以相同的振幅作用, 诸如花瓶那样的较小物体容易倒下, 然而即使比例相同, 但巨大的超高层建筑不会象花瓶那样倒下, 小船容易被风浪打翻, 但大船可抗击风浪, 通过列举这些事例, 主张也应在日本建造超高层建筑。

在相同时期, 武藤清教授推进有关东京站大厦的超高层化研究, 虽然该项目最后没有实现, 但是新大谷酒店作为高度超过 45m 的建筑竣工。1968 年, 三井霞关大厦作为日本第一座高度超过 100m 的超高层建筑竣工, 在该骨架的各层, 作为保证初期刚性和地震时能量的吸收构件, 采用了事先在纵向设有许多缝隙的预制混凝土墙。由此可以说, 初期的超高层建筑采用了抗震结构的设计方法。

进入上世纪 70 年代, 采用通过钢梁端点的塑性回转能力吸收能量的抗震设计方法在超高层建筑领域普及, 对骨架设置能量吸收构件的做法基本上不再采用。但是有的设计人员认为, 通过这种设计方法建造的超高层建筑承受较大的地震动后, 受到较大塑性变形的骨架留下残留变形, 其后难以修复, 因此萌生了损伤控制设计的考虑。在 1994 年 1 月发生的北岭地震以及 1995 年 1 月发生的兵库县南部地震中, 许多钢架结构体的梁端发生了断裂现象, 这种担心成为了现实。

作为日本, 在 1981 年 6 月施行了新抗震设计方

法以后，对抗震结构的研究广泛展开。1995年，采用作为弹性支撑构件的积层橡胶支撑、以及利用钢材和铅的能量吸收构件的抗震结构进入了实用化阶段。超高层建筑的柱、梁的骨架如同抗震结构的积层橡胶支撑那样承受垂直载荷，地震时以弹性变化为主，由在各层骨架设置的能量吸收构件吸收地震时的能量，较多地采用了这种构想。

在设计方法如此进步的同时，通过钢材的高强度化和韧性的保证、对屈服点设定上限和下限、焊接技术的进步、以及为了避免梁的端点焊接部位塑性化而采用水平梁腋等，通过钢结构提高了超高层建筑的安全性。向方形钢管及圆形钢管内部灌入混凝土的CFT的实用化，运用提高了刚性和强度的支柱构件也是巨大的进步。

除此之外，采用计算机的结构解析技术日新月异进步，能够正确掌握柱、梁、抗震墙、以及各种减震器的力学表现的动态响应解析，实现了复杂骨架的超高层建筑和高度已达到300m的超高层建筑。

在2011年3月11日发生的东北部太平洋近海地震中，不仅在距离震中较近的仙台，而且在位于东京、名古屋、以及大阪等地的超高层建筑也发生了大振幅和长时间的摇动。对地震动以加速度记录，将这些作为输入进行响应解析用于抗震设计，但是地震动中所含长周期成分的加速度与短周期成分的加速度相比非常小，在用于以往设计的加速度记录中没有正确包括。此外，用于响应计算的地震动的持续时间为30秒左右时，周期为4秒以上的衰减使较小结构体不会因长周期成分的加速度造成同步振动，由于这个原因，发生了超过预想的摇动而成为问题。为了解决这些问题，需要对现有的超高层建筑设置吸收发生地震时能量的构件。

图 损伤抑制结构

(8页)

抗风设计

东京工艺大学教授

田村 幸雄

日本高层建筑抗风设计的要点

在日本，我们必须考虑诸如在2011年3月11日发生的2011东北部太平洋近海地震等的强烈地震动(震级9.0、最大加速度 $2,933\text{cm/s}^2$)。此外，强台

风也时常袭击日本，例如，台风鸣蝉(Maemi)于2003年9月10日、11日通过宫古岛，记录了超过 90m/s 的3s阵风速度(Cao et al., 2009)。

针对地震的影响，建筑物应具备轻量和柔韧的结构；然而针对强风的影响，建筑物应具备厚重和刚性的结构。因此，关于地震和强风的影响，对建筑物提出了相反的设计要求，同时，在日本必须在很大的程度考虑地震以及强风的影响。

通常，大部分低于200m的高层建筑的主要外部设计载荷是地震载荷，因此，这些建筑物基本上为轻量、柔韧结构，所以易受到强风而损坏。此外在日本，考虑在通常情况下由风产生的建筑物振动时的居住舒适性必然是重要的问题。

从上世纪70年代初期开始，针对外部作用的结构性能、以及对建筑物振动的居住舒适性评估和风环境评定，在日本进行了独特和有效的开发。在各种抗风设计方面，抑制风致响应是一项重要的内容。

非常规配置的高层建筑空气动力学特性的综合研究

对于顺向风或扭转响应，高层建筑或超高层建筑以周期性卡门涡旋脱落导致的横风向响应为主。因此，从空气动力学的角度考虑，应避免形成卡门涡旋来降低其强度和周期性，同时将沿垂直轴的脱落涡旋的空间相关性降低到最小。近来，世界各地建造了许多非常规配置的高层建筑和超高层建筑，例如哈利法塔(Burj Khalifa Tower)和上海塔等。这些建筑物采用新奇和复杂配置的原因之一是其出色的空气动力学特性，特别是其横风构件。

笔者与竹中工务店、鹿岛建设、日建设计、以及日本设计合作，对各种非常规配置超高层建筑模型的空气动力学特性开展了全面调查。这项工作得到了国土交通省(2008~2009年度, MLIT)和日本科学技术振兴机构(2010~2012年度, JST)的资金援助。我们调查了37座建筑物模型，包括含锐缘、切角、以及倒角的方型模型，有各种扭转角(螺旋模型)、缩后、锥形、以及各种开口的模型，以及三叶草形、复合型等三角模型。对于所有模型，分别将高度和体积设定为400m和 10^6m^2 。

根据我们的研究，最近的超高层建筑流行的三角模型和三叶草形模型的空气动力学特性未必良好。除了三角形和其它模型以外的28个模型的顺向风和横向风的最大脉动风力系数如图1所示。“方型模型”如图1的左侧所示。表明了角部修整、螺旋模型的扭转角、锥形、缩后、以及这些配置的组合的效能。

组合效应对于降低横向风力特别明显。

图 1 28 个模型的脉动风力系数的比较

(9~10 页)

索尼城大崎

—蒸发百叶板与可调抗震结构—

株式会社日建设计

向野 聪彦

针对热岛问题，我们在计划中采用“如同植树那样建造高层建筑”的理念。正因为是环境负荷较大的大型建筑，才能够实现哪些环境对策，我们也是从对这个问题的意识开始着手推进。

对环境的考虑

为了不遮挡吹向用地的风道，配置扁平形建筑物，在周围进行充足的绿化，使雨水流入在东侧设置的赤陶土百叶板内，通过洒水效果和风的作用对周围进行冷却——我们尝试了这种被称为“生物皮肤”的开发和使用（照片 1、2）。使雨水循环的能源来自于太阳能电池板。我们针对降低周围温度的效果进行了实际测定，获得了近似于设计时使用 BIM 进行模拟预测的效果。由不锈钢棒构成的张力结构用来支撑“生物皮肤”，采用振动数确认由螺母的转动形成的张力。

照片 1 外观

照片 2 “生物皮肤”系统

建筑物的概要

从环境的角度考虑，板状建筑物是必然的要求，在东侧配置了 24m×130m 的办公设施空间，在西侧配置了电梯、楼梯、卫生间等，以单芯结构方式实现（图 1）。大约 3,000m² 的工作场地是采用外框结构的无柱空间，在周围设置露台用于方便维护以及针对火灾等提高疏散安全性（照片 3）。西侧的芯结构将各种用途设在适当的位置，在与办公楼之间设置了 5 个备用芯结构用于满足未来的变化。在地下还设有 3,400t 的蓄热槽和 NAS 电池，用于应急和节能措施。

图 1 建筑物的平面及断面

照片 3 无柱空间工作场地

抗震系统

高度超过 130m 的板状钢结构办公楼采用了抗震结构，保证高抗震性是本建筑结构的主题。发生大地震时的性能是非抗震结构的 2 倍（层间变形角为 1/200 以下、楼面响应加速度为 250gal 以下）。抗震系统由天然橡胶材质的积层橡胶隔振器（高接触压力规格 1100φ~1500φ）、液压减震器、以及钢减震器构成。由于采用了扁平形钢结构，与通过抗震降低的地震载荷相比，设想的台风的风载荷较大。对风载荷较大的短边方向液压减震器，设有用电磁阀控制液压油流动的锁定机构（照片 4），通过风速计、加速度计、以及变位计进行控制，在发生强风时降低抗震层的振动和钢减震器的累积塑性。检测到一定强度的地震后，锁定解除，成为地震优先模式控制。通过与钢减震器的组合效果，可与锁定时的刚性很好地配合，是对费用与效果的追求获得的解决方案。关于西侧芯结构的悬臂方式，降低中柱的轴向力，与最大直径 1500φ 的支撑力一致，在超过 7m 的悬臂前端采用设有粘弹性构件的间柱连接，以降低垂直振动和相对变位。对短垂直面设置 V 形粘弹性构件，提高衰减性能（照片 5）、以及 5 层的微振动对策等，在各个方面采取了振动对策。

照片 4 抗震层的建造

照片 5 设有锁定机构的液压减震器

索尼城大崎项目采用了设有可调机构的抗震系统、并且采取了冷却周围环境的新型环保对策，提出了向前迈进一步的超高层建筑方案并予以实现（照片 6、7）。

照片 6、7 按照“如同植树那样建造高层建筑”的理念完成的索尼城大崎

(11~12 页)

ABENO HARUKAS

—300m 高层建筑的性设计—

竹中工务店株式会社

平川 恭章

本文介绍在作为地震大国的日本设计创造了日本最高高度 300m 的超高层建筑所采用的正式性能设计事例。

建筑计划的概要

本计划“ABENO HARUKAS”是在对位于大阪市内的阿倍野终点站的百货商店进行改建的同时计划的项目，在改建被称为车站上部主楼的原有百货商店的同时实施本计划。图 1 是东西方向的断面图。塔楼有地上 60 层，地下 5 层，在地下层计划设置设备室、与铁路的连接部分以及停车场，在低层部分计划设置百货商店，在中层部分计划设置美术馆和各个大厅及办公设施，在高层部分计划设置酒店及展望台。此外，在桁架层设置设备室。

图 1 东西方向的断面图

照片 1 最新的施工状况（从西北方向）

结构计划概要

关于本建筑物的结构设计，应解决的课题如下所示。

- (1) 满足高轴向力要求构架的构建
- (2) 可抑制变形的构架计划
- (3) 预测将发生的特大地震动的应对措施
- (4) 针对强风的居住舒适性的保证
- (5) 考虑施工合理性的技术采用

为了解决这些问题的结构计划概要如下所示。关于平面形状，地下及低层部分大约为 71m×80m、中层部分大约为 71m×59m、高层部分大约为 71m×29m，各部分基本上为完整的形状，但作为断面形状，为了使南面一致，北面缩后。低层部分与中层部分、中层部分与高层部分的分界部分和高层部分的正上方设有桁架层，此外在办公楼的中间层设置支撑以期获得弯曲回复效果。

对于低层部分，在四角按良好的平衡配置粘性系统的液压减震器和滞后系统的回转摩擦减震器；对于中层部分，在中央芯结构周围沿 X 方向设置波纹钢板抗震墙，沿 Y 方向设置钢骨抗震支撑；对于高层部分，沿 X 方向设置刚性构架，沿 Y 方向在酒店客房之间的墙壁内设置钢骨抗震支撑。（图 2）

图 2 采用的技术一览表

各种抗震设计

关于抗震设计，采用了如表 1 所示的 3 类输入地震动。第一类是法律要求的告示波和通常采用的标准波，第二类是取 2 级告示波 1.5 倍的最大级别地震动（讨论富余度用地震动），第三类是考虑地区特性的东南海、南海地震地震动和上町断层地震动。

如表 2 的设计标准所示，作为本建筑物，将对通常的高层建筑物设定的构件状态的设计标准提高 1 级。在具体上，对于级别 2 地震，构件不发生塑性变化，对于富余度讨论用级别地震，大梁和支撑允许发生塑性化。

表 1 采用的输入地震动

表 2 设计标准

作为抗震构件的波纹钢板抗震墙，对于级别 2 允许剪切屈服；作为摩擦减震器，对于级别 1 允许滑动回转，分别作为抗震构件发挥性能。

此外，为了保证冗长性，不仅输入各种地震动及加大规模，而且进行了特性偏差的讨论。

- (1) 对于上町断层线上的许多计算点，不仅考虑距离建设地点较近的计算点，而且也讨论了在其它计算点计算的模拟地震动产生的影响。
- (2) 使作为地区波设定的上町断层地震动的主周期与建筑物的 1 次、2 次、3 次固有周期基本一致，进行响应解析确认其影响。
- (3) 设想在各处设置的抗震构件（波纹钢板抗震墙、液压减震器、回转摩擦减震器）无法按照设计发挥衰减性能的情况，进行地震响应解析。

新技术的采用

- (1) 高强度材料 CFT 柱

对承担高轴向力的支柱，采用高强度混凝土 Fc150 与 590N/mm² 级高强度钢材（屈服强度为 440N/mm²，基准强度为 590N/mm²）组合结构的 CFT 支柱。不仅进行结构性能确认试验，而且通过耐火性能确认试验、混凝土填充性确认试验（照片 3）等进行了多方面的性能确认。

照片 3 填充性能确认试验

- (2) 新连接系统

考虑 CFT 支柱的混凝土填充性，并考虑在工厂的施工性能，采用了分割型外隔板方式。

关于与大梁的连接，采用通过热喷涂铝提高滑动系数（0.45→0.70）的连接形式，实现了连接部位的省力化，缩短了工期。通过确认表明，这种连接部位对于摩擦连接面的浸水、损伤、以及油污影响等施工中的问题具有稳定的性能。

图 3 分离型外隔板

图 4 热喷涂铝连接

照片 3 施工不良的事例（浸水、损伤）

（3）减震器

本建筑物在低层部分设有速度依存性较高的液压减震器、以及变形依存性较高的回转摩擦减震器的组合，设计上可在地震的任何时刻均获得效果。

摩擦减震器如照片 4 所示，采用钢板夹住摩擦块，然后通过螺栓紧固发生规定的摩擦力来吸收能量。这种方式的结构简单，衰减力为摩擦力，具有在支撑构件的刚性之外可通过调整摩擦块的重叠数量进行设定的优点。

在中层部分，利用办公楼的 EV 厅墙壁，沿建筑物长边方向设置了波纹钢板墙。波纹钢板墙是在高度方向弯折的波纹钢板和其周围的边缘钢板与附带骨架形成的一体化结构，具备抗震性能（照片 5）。钢板在波纹方向可自由伸缩，而对于诸如地震时的水平力等与波纹方向垂直的力则表现抵抗。按规定的间距配置的角钢作为加强肋板束缚压曲。如图 5 所示，在 $R=3/1000rad$. 时发生剪切屈服，在 $R=30/1000rad$. 时发生压曲，可发挥高塑性变形性能吸收地震能量。

照片 4 回转摩擦减震器正面图

照片 5 波纹钢板墙

图 5 波纹钢板的载荷、变形关系

对于高层部分如图 6 所示，从顶部桁架向门厅内延伸垂直桁架，在与周边构架之间设置液压减震器，使高层部分的层间变形角约降低 10%。

在建筑物顶部设置如图 7 所示的质量减震器。对于下部设有住宿房间的西端，采用常规吊摆与倒立摆的组合，使减震器的周期与建筑物的周期一致，将强风时的加速度限制在 3gal，保证了约 30% 的人

感到摇动的 H-30 级居住舒适性。

图 6 芯棒型减震器

图 7 AMD 配置图

结语

针对本建筑物的设计以及技术开发的未知内容，我们反复进行了多方面、而不是单一的讨论，最终完成了日本第一高度的超高层建筑物的性能设计。

（注：关于以上稿件，由于篇幅有限，在英文版中进行了部分删除。因此，本稿与英文印刷品的图、表、以及照片的编号有所不同。）

（13~14 页）

ARK HILLS 仙石山森塔楼

—最先进的安全、大厦建筑技术的应用—

森大厦株式会社

土桥 徹、安田 正治

株式会社大林组

山中 昌幸、后闲 章吉、大高 秀一

本项目是横跨东京都港区虎之门~六本木地区、面积约为 2.0 公顷的再开发事业。ARK HILLS 仙石山森塔楼于 2012 年 8 月竣工。建设地点的周围分布着各国大使馆和酒店等，是充满国际性、文化性氛围的东京重要地区。地上 47 层的复合楼建于高台上，下层部分设有商业设施和城市型住宅（1~24 层），上层部分设有办公设施（25~47 层）。在用地的南侧，计划另外建造地上 7 层的住宅楼（抗震结构）。（照片 1、表 1）

照片 1 俯瞰照片

表 1 建筑物的概要

结构概要、设计概要

构架形式为钢筋混凝土结构的刚性构架。基础层的形状为 50.4m×50.4m（7.2m×7 跨），高层办公设施层为 2~3 跨的钢骨梁，实现了无柱空间（图 1）。此外，中央芯结构部分采用了粘性型抗震墙和滞后型抗震墙（制动减震器）（照片 2）。

对于建筑材料使用了最高达 $F_c120 \text{ N/mm}^2$ 的高

强度混凝土和 $\sigma_y 685,785\text{N/mm}^2$ 高强度钢筋。基础结构是承载层为砂质土层(长期土层耐力超过 100t/m^2) 的直接基础,采用了厚度为 4.5m 的垫板。本建筑物的结构性能目标及讨论结果如表 2 所示。

图 1 标准楼板骨架图

图 2 制动减震器

表 2 结构性能目标及讨论结果

PC 工艺

a) LRV 工艺

LRV 工艺是对连接部分和梁的一部分采用预制化构件的工艺。该工艺由使用护管在支柱主钢筋位置形成贯通孔的梁及连接部位一体化的预制构件(LR 梁)、与在支柱头部位内设主钢筋用砂浆填充型机械式接头(套筒接头)且支柱主钢筋向下伸出的预制支柱(V 支柱)构成。向预制构件相互的连接部位、主钢筋贯通孔内、以及接头填充砂浆,对各构件实现一体化建造构架。(图 2、照片 3)

图 2 LRV 工艺

照片 3 V 柱与 LR 梁的建造

b) LRV-H 工艺

将支柱与连接部位实现一体化、具备与层高几乎相同全长的支柱预制构件(H 支柱)和将内跨度作为部分构件的梁预制构件(H 梁)的工艺。支柱构件水平设有梁主钢筋的贯通孔。在梁的端部附近设置套筒接头,将支柱夹在当中,梁主钢筋向相反侧的预制梁端部延伸。梁主钢筋通过在支柱上设置的梁主钢筋贯通孔,插入配对的梁端部的套筒。(图 2)

混合结构(RC-S 梁结构)

为了实现办公设施层的无柱空间,对大跨度部分采用了钢骨架。对钢架梁采用灌筑混凝土连接的方法,进行结构性能确认试验,在确认了性能后向设计反映。(图 3)将梁的屈服位置作为钢骨部分,可使构架屈服后的性状具有韧性。

图 3 钢架梁、RC 混合结构

制动减震器

制动减震器是应用了汽车盘式制动器结构的装置。在一定载荷下滑动,将建筑物的振动能量变换成为摩擦热,以降低建筑物的响应及损伤。本系统可反复使用,无需维护。(图 4)

图 4 制动减震器的基本结构

(15~16 页)

环状 2 号线项目

—在道路上建造超高层建筑—

株式会社日本设计

高桥 浩史

建筑物的概要

“环状 2 号线新桥·虎之门地区第二类市街地再开发事业 III 街区”是在东京虎之门地区正在兴建的大规模城市再开发项目。本项目的特点是,计划的道路“环状 2 号线”在用地内的地下沿东西方向纵向穿过,在其上面建造高度达 247m 的超高层大厦。(图 1、2)

图 1 俯瞰透视图

图 2 配置图

在约 $17,000\text{m}^2$ 场地上,建造地上 52 层、地下 5 层的建筑物,总楼面面积约为 $244,000\text{m}^2$ 。关于该建筑物的用途,地下层为停车场,地上 1~5 层的低层部分为商店及会展设施,6~35 层的中层部分为办公设施。对于 36 层,由于在上层变换为内部的支柱配置,因此将 1 层部分作为由立体桁架构成的结构变换层。37~46 层的高层为住宅,47 层以上为酒店,将许多不同的用途综合为一体。

本建筑物的主体是高层部分和几乎扩展到用地总体的地下部分,遮盖 3 层商业楼和位于高层楼旁侧广场上部的大型屋檐从 2 层楼板开始在上部配置了独立的构架。

结构概要

高层部分的地上范围采用以钢骨(支柱为 CFT)为主体、附带抗震装置的刚架结构,商业楼和大型屋檐为钢骨结构。地下部分为钢骨、钢骨钢筋混凝土、以及钢筋混凝土的混合结构,环状 2 号线上部

的人工地基是厚度为 1m 的预应力板。以缩短工期为目的，对基础采用了逆灌筑工艺，利用现场灌筑桩作为正式构件，成为桩与直接基础耐压板按照其刚性承受载荷的桩筏基础。

抗震结构

高层部分的地上范围为 85m×61m 的平面，作为抗震结构，在中央芯结构内的各处设置了抗震结构。对 1 层至 36 层的结构变换层桁架、与将顶点错开的倾斜楼顶组合、为了构成别具特色的楼顶构架而配置的 51 层楼板结构变换部分，通过抗震装置连接起来，构成了可有效抑制建筑物总体弯曲变形的巨型构架（图 3）。作为抗震装置，采用了液压减震器（516 台）、压曲束缚支撑（448 台）、以及摩擦减震器（620 台）3 种类型的复合性组合。通过这些机构，本建筑物与普通的超高层建筑物相比，发生地震时的层间变形压低了 1.5 倍以上，保证了高抗震性能（图 4）。

图 3 基准层楼板构架图

图 4 抗震装置的配置和结构变换桁架

斜柱交叉部分的连接

关于西北、东南、以及西南拐角部分的支柱，由于在环状 2 号线范围无法设置，以及需要按向上切除建筑物拐角部分的形状进行设计，所以采用了倾斜支柱。倾斜支柱分别在 8~13 层楼面附近与上部的两根支柱交叉、连接，在下层成为 1 根支柱。在支柱的交叉部分，设有 1 处约 20t 的铸钢构件的连接部分，可将上部的两个支柱的应力可靠地向下部支柱传递。（照片 1）

照片 1 外周倾斜支柱交叉部位的铸钢构件设置状况

道路防振对策

纵向穿越地下的环状 2 号线在用地东侧 B2 层的地下与用地外的隧道连接，在用地西侧钻出地面。环状 2 号线在与建筑物躯体独立的隧道式道路涵洞躯体内通过。在道路涵洞底板下部，设置防振材料（聚氨酯弹性体）与建筑物躯体隔绝，避免道路交通的振动对建筑物内产生影响。（图 5）

图 5 道路涵洞躯体和地下躯体

大型屋檐

大型屋檐设在高层部分西侧广场上，是外形约为 57m×32m、设有玻璃采光顶棚的大型屋檐。屋檐具备大致为椭圆形的平面形状，距离 2 层人造地基的高度约为 22m。

关于结构框架，由采光顶棚玻璃构成的内部框架部分为单层框架，边界框架部分采用以钢管为主体的立体桁架，以保持内部框架部分的推力，是高刚性构架。（图 6）

图 6 大型屋檐结构框架

施工状况

原有建筑物的解体施工结束后，2011 年 4 月，再开发建筑物的工程开工。采用逆灌筑工艺，与地下躯体的施工并行推进地上部分钢骨的建造。作为地上躯体施工难点的结构变换层的建造顺利完成，然后进入形状复杂的顶部构架施工。在推进高层部分施工的同时，也开始进行道路涵洞施工，高层部分的构架完成后，大型屋檐、商业楼、人造地基施工等低层部分的施工在大范围展开。本建筑物计划于 2014 年投入使用。（照片 3）

照片 3 施工全景（2012 年 11 月）

（17~18 页）

大手町 1—6 计划

—超高强度 CFT 支柱在超高层建筑的适用— 大成建设株式会社

松本 修一、河本 慎一郎

作为近来的超高层建筑，为了获得基准层的空间自由度而采用大跨度、为了实现低层部分与外部空间的连续性而采用宽阔的门厅，在许多项目中提出了这样的要求。为了实现这些目的，构成构架的结构构件将承受巨大的载荷，通过妥善地组合运用高强度材料，可以避免过大的构件体积。作为满足这些要求的技术，笔者等将设计基准强度超过 $F_c150 \text{ N/mm}^2$ 的超高强度混凝土与抗拉强度达 780 N/mm^2 的超高强度钢材组合，开发了世界最高等级强度的超高强度 CFT 支柱，用于本建筑物的下层部分的支柱¹⁾。

建筑物的概要及结构概要

本建筑是地上 38 层（建筑物高度为 199.7m）、地下 6 层（建筑物深度为 35.1m）、设有 3 层塔楼的超高层建筑，总楼面面积约为 198,000m²（照片 1）。建筑物的用途为办公设施、酒店、以及商店等。

关于结构的种类，地下为 RC 结构，地上为 S 结构（至 32 层为 CFT 支柱）。作为地上部分的结构形式，对芯结构部分设置抗震构件，形成设有抗震支撑的刚架结构。作为粘性系统减震器采用了液压减震器，作为滞后系统减震器对轴构件采用了低屈服点钢材（LY225）的压曲束缚支撑，可有效吸收地震能量。此外，对于在结构上变换支柱位置的 4 层和 32 层，作为结构变换层采用巨型桁架结构，成为可应对建筑物上下层不同用途跨度的构架形式。为了保证发生强风时的居住舒适性，在楼顶设置了防振装置（主动质量阻尼）。（图 2）

照片 1 建筑物的外观

图 1 构架图

超高强度 CFT 支柱的应用

作为建筑计划，在 1 层的人造基础面营造约 3,600m²的树林、以及在与地铁中央大厅之间设置大型空间，如何避免对这些设施造成影响和 safely 地完成结构构架成为课题。

本建筑物采用了 780N/mm² 钢材与 Fc150 N/mm² 混凝土的组合，实现了世界最高等级强度的 CFT 支柱（图 2）。对本建筑物的低层部分采用这种超高强度 CFT 支柱，成为可满足建筑计划、并且也可充分满足抗震安全性的构件（图 3）。此外，通过高强度化减少支柱构件的体积，可削减使用材料，也成为环保型构件。

钢材及混凝土的应力—应变关系如图 4 所示。780N/mm² 钢材与 Fc150 N/mm² 混凝土的临界应变几乎相等，是可最大限度发挥高强度材料优点的组合。这种支柱虽然具备很高的垂直承载能力，但由于其屈服比高，拉伸时的延伸小，因此在弹性范围内具备足够的余量。

在开发这种超高强度 CFT 支柱时，我们通过结构试验确认结构性能，在确定了耐力评估方法后进行结构设计。此外，我们还设想超高强度钢在工厂及现场进行焊接的情况，进行焊接施工和试验、以及超高强度混凝土的材料试验及填充确认试验等许

多试验，在确认了施工性能后实施施工。

图 2 CFT 支柱的使用材料的组合

图 3 超高强度 CFT 支柱的采用位置

图 4 混凝土及钢材的应力—应变关系

本建筑物是正在建造的高度达 200m 的超高层建筑。如照片 2 所示，采用超高强度 CFT 支柱，在超高层建筑的结构性承载较大的下层部分，实现了支柱数量较少的宽敞空间。

照片 2 超高强度 CFT 支柱

（封底）

JSSC 的主要活动

JSSC 钢结构研讨会

为了对各事业委员会的活动成果实现综合性的有机联系，向会员及钢结构相关人员提供交流的机会，日本钢结构协会从 2004 年开始，每年举行“钢结构研讨会”，今年的研讨会于 11 月 15 日、16 日两天举行。

两天研讨会的累计与会人数近 1,000 人，成为一次钢结构的相关研究人员以及技术人员开展交流和收集信息的宝贵机会。2013 年度的研讨会将于 11 月 14 日及 15 日举行。

图：研讨会的会议日程

海外委员长的致辞

国际委员会委员长（山梨大学研究生院 教授）

杉山 俊幸

从 2012 年度开始，本人荣幸地就任国际委员会委员长。

从 2009 年第 26 期起，社团法人日本钢结构协会（JSSC）、国际委员会企划了本刊每年 1 次的发刊。钢结构协会自成立以来，广泛开展有关钢结构的调查研究和技术开发，致力于钢结构的普及和技术的提高，同时向国际机构提供协作。

此外，随着 2010 年度与不锈钢建筑结构协会的

合并，不仅在碳钢领域、而且还涵盖耐腐蚀性能优异的不锈钢领域，我们将进一步广泛地将这项工作向全球展开。

本期与前期同样，首先介绍了由钢结构协会评选的业绩奖和论文奖。作为专刊，介绍了“日本的最新超高层建筑技术（概要及抗震设计的相关内容）”、以及 JSSC 研讨会的报告等活动内容。

国际委员会积极开展标准类的国际化工作，并且推进与海外相关团体的技术信息交流和人员交流。作为其中的一项工作，每年 1 次通过本刊介绍协会的活动和日本的建设动向、计划、设计、以及建设的相关技术及技术开发信息，今后仍将继续推进这项工作。

各位读者如果需要获得有关登载内容的详细资料等，请与担当事务局的杉谷 (h.sugitani@jssc.or.jp) 洽询。