

建筑与结构设计之“合”

——石上纯也与佐藤淳的合作访谈

To the Harmony of Architectural and Structural Design :
Interview of Junya ISHIGAMI and Jun SATO Working in Cooperation

周艺蓝 武卿

[日]石上纯也 [日]佐藤淳

文 | Written by ZHOU Yilan WU Qing Junya ISHIGAMI Jun SATO

边丝妮 绪杏玲 译 | Translated by BIAN Sini XU Xingling

王帅中 陈义龙 校 | Proofread by WANG Shuaizhong CHEN Yilong

摘要：现代建筑发展潮流中，日本建筑的设计风格独树一帜，新生代建筑师层出不穷，这离不开其独特的建筑文化环境，比如师承体系，与结构师之间的紧密合作等。此次访谈以建筑师与结构师的合作为主题，采访了石上纯也和佐藤淳两位先生，以了解和学习他们的工作模式。本文包括三部分：第一部分探讨合作模式，通过初期项目的讨论，阐述了双方合作开始的契机与发展，而海外项目中与当地事务所合作经验的对比，更显示出他们合作模式的独特性；第二部分探讨设计理念，通过两位老师在以往展览和建筑设计项目中关于自然的讨论，对场地的回应等，表达出他们彼此对建筑和结构设计理念的理解与思考；第三部分探讨对未来教育模式、新材料、新技术的建议与展望。

关键词：建筑师与结构师、合作、结构设计、自然、随机性、透明感

Abstract: Japanese architecture is world renowned by its distinct style, with the emerging of new generation of architects. It's impossible to be developed so well without the unique workplace culture in Japan, such as the traditional mentoring system, and the close cooperation with structural engineers. Based on the topic of the collaboration between architects and structural engineers, Junya ISHIGAMI and Jun SATO were interviewed to explore their cooperation mode. The conversations are composed of three parts: the first is the discussion of the initial project, explaining the reason why they started to cooperation and how they work with each other; the second part is their works of exhibitions and architectures, showing their discussion about some consensus of design ideas like nature and time; the final part is their suggestions and prospects for the future of architecture, including education system, new materials, and new technologies.

Keywords: Architects and engineers, Cooperation, Structure design, Nature, Randomness, Transparency

作者：

周艺蓝，team-Lab新媒体艺术团体视觉设计师，东京大学建筑系硕士；

武卿，株式会社大林组，东京大学新领域创成科学系硕士；

[日]石上纯也，石上纯也建筑事务所主持建筑师，东北大学特任副教授；

[日]佐藤淳，佐藤淳结构设计事务所主持结构师，东京大学建筑系副教授。

译者：

边丝妮，东京大学建筑系博士在读，UCL Bartlett 建筑学硕士；

绪杏玲，株式会社大林组，东京工业大学建筑系硕士。

校者：

王帅中：苏黎世联邦理工学院建筑系结构设计教席博士候选人，研究助理；

陈义龙，日本应用技术株式会社，东京大学新领域创成科学系硕士。

一、前言

石上纯也，日本新生代建筑师，2000年毕业于东京艺术大学建筑系，在SANAA工作四年之后，于2004年成立自己的事务所（图1）。自2010年起，他在东北大学担任特任讲师，现为特任副教授。他独立执业后的第一个设计作品——神奈川工科大学KAIT工房，就获得了日本建筑界最高荣誉，即当年度日本建筑学会奖。之后，他又连续两次代表日本参与威尼斯建筑双年展（2008年、



图1：石上纯也与佐藤淳

2010年)，并荣获2010年第12届威尼斯双年展金狮奖。2019年，他在每年一度的英国蛇形画廊项目中，担任主设计师。

佐藤淳，日本著名的结构设计师，1995年毕业于东京大学建筑系，毕业后就职于结构设计师木村俊彦的事务所，为木村俊彦关门弟子。事务所因木村老师身体原因解散后，他于2000年成立了自己的结构设计事务所。在工作中，他与众多著名建筑设计师保持着密切合作关系，包括山本理显、隈研吾、藤本壮介等。2006年起，他出任庆应大学、芝浦工业大学、横滨国立大学等多所大学的特任讲师；2010年起，成为东京大学副教授；2016年起，担任斯坦福大学客座教授。

石上纯也和佐藤淳的合作从2005年开始，他们设计了众多广受赞誉的作品，其中有展览作品，如在威尼斯双年展中的极致自然 (extreme nature) 和空气般的建筑 (architecture as air)，也有实际建筑，如神奈川工科大学多目的广场 (KAIT PLAZA) 和荷兰迷宫公园游客中心 (Park Groot Vijversburg Visitor Center)。他们在中国也有一些正在推进的项目，如山东日照白鹭湾的谷之教堂和森林幼儿园。

时间：2019年9月9日

地点：石上纯也建筑设计事务所

二、合作的开始与模式

周艺蓝（以下简称周）：目前为止，石上纯也先生和佐藤淳先生，分别作为建筑师和结构师已经合作设计了很多优秀的作品，请问两人开始合作的契机是什么呢？

石上纯也（以下简称石上）：最开始合作的项目应该是T project^[1]吧，是东京电力公司用自己的土地作为基地举办的一个竞赛。

佐藤淳（以下简称佐藤）：对，其中的“T”其实就是指东京电力公司。那个项目是在石上赢得竞赛项目之后，我们才开始合作的。实际上最开始合作的结构师是小西泰孝先生，但他们事务所后来没时间，人手不够，石上才给我打的电话，问有没有时间能接下这个项目。实际上最开始我们也有点头痛，因为只有三个月的时间来做设计，真的很难，商量之后，东京电力公司又把时间延长了两个月，这才接下来。那是一栋两层的钢结构建筑，一层很高，约6m，设计成通透的室内庭院，作为整个家的玄关，二层是无间隔的生活空间。房子的整体围合用的是亚克力板，做成一个透明盒子的感觉。这个项目遇到的挑战是，在树木围绕的环境中，为了让整体建筑达到视觉上的内外通透，需要把

结构体系中的柱子做到极致的纤细。石上先生的很多建筑追求透明感，那当然柱子越细，结构的存在感越低，空间的透明感就越强。在这个项目的框架结构之中，除了梁柱之外，连接上下两层的楼梯是可以设计为强支撑构件的，所以我把楼梯作为主要抗震构造，柱子的配置就可以尽可能的少而细了（图2）。

周：在做那个项目的时候，石上先生主动寻找佐藤先生合作，是什么样的原因呢？

石上：T project 是在KAIT工房^[2]（图3）之后的，其实我在做KAIT工房的时候就已经萌生了希望跟佐藤先生合作试试看的想法。KAIT工房项目一起合作的是小西泰孝 (Yasutaka KONISHI) 先生，当然，他也是一位非常优秀的结构师。那个项目是想要把柱子做成随机无序的形态，用CAD做了模型，在里面探索不同的可能性。但是如果是在探索设计上的可能性的同时，去进行结构的演算的话，过程会比较麻烦。那个时候听说佐藤先生用算法在这方面做过一些研究，所以有想去咨询他的建议。

通常我们在做结构比较规则的建筑设计的时候，可以整体中抽出一个样本单元作为结构模型来做计算，一开始可能是一个1：100的小样，后面等设计逐步确定



图2：T project模型照片



图3：KAIT工房室内

了以后，再扩大到 1 : 50、1 : 30，甚至 1 : 10 的模型，只要做好这个结构单元，就可以推定整体效果。但是在 KAIT 工房的项目中，不能用这样的方法。因为它并不是结构单元拼接而成，而是所有随机分布的柱子相互作用构成的整体系统，所以无法拆分出结构单元来代表整体。因此，在设计调整的过程中，哪怕只调整一根柱子的位置，结构方面都得对建筑整体重新演算一遍。甚至不只是柱子位置的调整，还有它的截面朝向。这个项目中柱子的截面不是四四方方的，是扁平的，这使得柱子在平面中不只是一个点，而是一小段有引导作用的线条，柱子的位置是随机的，朝向也是（图 4）。在设计的过程中，会通过调整柱子的位置或朝向，来调整空间给人的感受，这对建筑师来说还算相对轻松，但对于结构师来说，一旦调整了一根柱子的位置，或者旋转了一根柱子的方向，旁边的柱子可能也得相应地做出移动或者旋转，就需要反复计算，非常麻烦。所以当时就这个问题，有去咨询过佐藤先生。

佐藤：虽然现在的参数化设计已经比较成熟了，但在那个时候，市面上还没有辅助结构计算的软件，所以就想要尝试用计算机来减轻重复计算的负担，也还没有完善的环境。我出于兴趣，做过这方面的探索，做了一套自己的结构计算软件^[3]来辅助设计，所以跟小西先生用的方法不太相同，但两种方法都是可行的，没有优劣之分。其实当时也有注意到小西先生和石上先生的合作，比方说他们设计的桌子^[4]，会感叹“小西先生做得真是不错啊”。

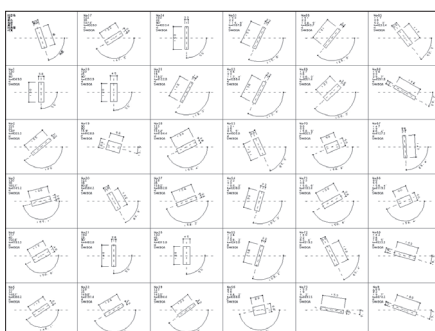


图 4: KAIT 工房部分柱子截面图

周：那佐藤先生在看到自己觉得做得不错的项目的时候，比如说刚才提到的那张超薄的桌子，会因为感觉石上先生做的项目有意思，而萌生合作的想法吗？

佐藤：“因为对某位建筑师感兴趣，而想要跟他一起合作”这样的想法，我认为我们结构专业的人都不太会有。我们的工作中不存在那样的思考逻辑，我们是被委托的一方。比如听说小西先生和石上先生在一起合作了什么项目的时候，会想到的也只是“小西先生真是辛苦呢，这个项目做得很优秀啊”之类的，而不是“我也想和石上先生一起合作试试看”这样的，并不是不喜欢，只是不会往那方面去想。像 T project 这样石上先生主动提来说，能不能一起合作，才会去认真地想这个结构我来做会怎样，合作模式应该会很有趣之类的。

周：说到合作模式，像刚才提到的 T project 是在石上先生已经赢得竞赛、设计方案定下来之后才开始合作的，有没有从一开始结构设计就介入的情景呢？

石上：T project 那个竞赛的话主要比拼的是设计概念，当时的设计时间也非常紧张，尽管最开始有跟小西先生一起讨论，但还没有非常详细地考虑结构，主要考虑的是空间感受和用法。最多想到一楼层高比较高，会给结构设计带来一定困难之类的。

佐藤：其实在我们过往的合作案例中，T project 的开始节点算是比较特殊的，其他大部分项目都是从最开始就和石上先生一起做的。初期阶段，他会先有一个大致的设计概念，一个整体的体块构想，会据此做很多体块模型来做推敲，真的相当多，然后开始跟我讨论，这样的体块，实际上能不能做出来。

周：也就是说大部分项目中，佐藤先生都是很早就介入设计了。那么合作开始的时间对设计的推进方向会有什么样的影响呢？

佐藤：合作开始的早晚对项目发展的影响是很大的。这就是为什么我们经常从

项目初期就开始合作。虽然我们的讨论常常是从石上先生的设计概念还有空间构想出发的，但在讨论的过程中，这些可能都会发生变化，那些只是决定了讨论的初始主题。

石上：作为建筑师，虽然设计的时候自己也需要考虑很多事情，但如果把全部建筑空间设计完成之后，才把“如何实现它”这样的问题抛给结构师的话，结构有可能会变成跟设计完全不同的两套系统。如果双方在前期没有交流，为了完成建筑师设计的空间，结构可能配置得非常勉强，而且可能会增添很多跟设计意图不符的东西。因此为了消除建筑设计和结构设计的明显边界，我们会很早就开始合作。虽然在最初，我会提出比较明确的设计概念和空间构想，但如果结构的走向与我想象的完全不同的话，形态也是完全可以重新考虑的，我们会在这种递进讨论的过程中，逐步达到设计意图和结构表现的平衡。

周：从 T project 建立合作的缘分到现在，已经十几年了，两位老师一起合作这么久，是因为在设计上会有一些共同的兴趣或者偏好吗？

佐藤：长时间共同合作并不一定需要共同的兴趣，但确实合作过程中会了解对方的设计偏好。实际上呢，我跟很多位建筑师合作过，石上先生也跟很多位结构工程师一起合作过。正是因为有这样合作的经验，对彼此的设计习惯和喜好都比较熟悉，所以可能在做某个项目的时候，他才会有“啊，这个项目来找佐藤一起合作吧”这样的想法。其他的建筑师也是一样的，建筑师看人十分敏锐，工作中他们会观察我们，所以有时候会自然而然地产生某种感觉说，“像这样的东西佐藤应该会喜欢”，“那是佐藤在行的领域”之类的。这样的话，双方能够很好地调和，我做的结构能够很适合他的设计方向。

周：这样来看，建筑师似乎在合作初期扮演着主导的角色，或者说是主动的一

方，并且发现双方契合的点也会很重要。那么在实际项目的推进过程中，两位老师怎么看待合作中建筑师和结构师的角色分工？两者之间的关系是什么样的呢？

石上：首先，我认为建筑师的工作，就是把一个设计概念翻译成为空间实体。而我一直以来对设计的想法是：一栋建筑，即使是私人住宅，有一个非常个性化的使用者，在功能上有非常个性化的需求，如果从长远的角度来看，比方说一百年、二百年或一千年以后，最初的使用者早已不在了，但依然有某种空间感受，能够跨越时间保留下来，才是建筑的意义。所以目前我在建筑设计中想要表达的，是一种暧昧的不确定性。因为建筑的使用者会发生变化，建筑在功能上的合理性标准也会随着时代的更迭而变化，所以我更倾向于将建筑的功能和空间设计得比较暧昧。

那么对应到结构，KAIT 工房最初在结构上也没有设计得非常明确，跟结构师的探讨过程中也充满了不确定性（图 5），所以和不同的结构师合作也可能会得到不同的结果，我很喜欢这种不确定性。

佐藤：我们结构师的角色，更像是建筑师的设计概念的实现者。当然，结构设计最重要的是保证安全，保护生命。以安全为前提，如果能够在结构设计上，实现一些自己理念的表达，当然是再好不过的。在工作中，模仿自然中的结构也好，运用

电脑的技术来辅助计算也好，我们会进行多方面的尝试来完成建筑的结构设计。对于建筑师来说，我们结构师应该是幕后的支持者。

在我之前工作过的木村俊彦^[5]先生的事务所，木村先生经常会教我，要认真去倾听建筑师想做的到底是什么，帮助实现建筑师的想法就是我们的工作。木村老师说建筑师考虑的主要是空间上的内容，和我们做结构的用的是不一样的语言体系，所以我们要尽可能地去理解他们的想法。因为这样的师承关系，老师是这么做的，我也是这么做的。年轻的时候，我原本的理想是航空宇宙相关的方向，想基于力学去设计形状相关的内容，可能会更富想象力吧。现在的工作呢，是基于力学来做结构设计，更加接近生活，在幕后去支撑建筑设计的完整表达。

周：在日本，像石上先生和佐藤先生这样的，达成建筑师和结构师非常默契的合作，跟两位老师优秀的工作能力当然是分不开的。我们好奇的一点是，这跟日本的建筑设计的整体环境是否也有关系呢？因为放眼世界来对比的话，能感受到在日本有相对更多的，建筑设计和结构结合得很好的案例。

佐藤：是有关系的，日本确实有这样的合作传统。而且我能感受到其他国家对于日本建筑和结构合作模式的关注，因为

在合作海外项目的时候，我有跟荷兰、英国、澳大利亚等地的当地工程师讨论过。

首先在教学体系上，日本有一个特征是，不管是建筑师还是结构师，学生时代都是在建筑学专业学习的；而海外的很多国家是，建筑师出身于偏艺术系的建筑系，工程师出身于工学系，两个专业的学生在学习过程中可能一次都没见过面。我觉得首先这算是一个区别。

还有在工作中，跟海外工程师合作的时候，项目初期阶段，建筑师才刚提出想法、创意，做出初步方案，工程师们就开始提出各种问题，“这样设计的话防水怎么办？保温怎么办？结构中间的缝隙怎么处理？通风怎么办？”。受到教育体系的影响，他们认为一个好的工程师，需要能很好地指出设计中的问题点。但是在项目刚开始的时候，就这样去找设计问题的话，建筑师会认为这个方案在结构上可能是无法实施的，就很难推进下去。但其实很多问题后来都能够解决，刚开始应该关注的是设计实现的可能性，推进过程中遇到问题，再从那里开始讨论，这样才能逐渐把想法化成现实。当然，这也牵扯到另一个不同点，就是责任问题。

日本在责任问题上，即合同上，跟海外也有一些差别。在海外，如果工程师进行了结构提案，那他就需要对此负责，所以他们的主要工作是跟进设计师的方案变化来进行结构演算，而很少主动提案，因为那样会产生责任问题。而日本的结构师在这方面就不用太过担心。

还有费用问题。当我们做结构设计的时候，经常需要去调整材料的种类啊，墙的厚度啊，需要反复进行计算，海外的工程师每计算一次都会产生相应的费用，所以他们可能也很少主动去做调整。而在日本的话，相比具体做了多少次计算，完成一个项目更为重要，费用是项目整体结算的。

我觉得以上种种区别，都关系着合作能否很好地进行。

周：如此看来，这种差别从最开始接受建筑学教育的时候就开始了，而工作的



图 5: KAIT 工房设计过程草图

整体大环境更容易让不同国家的建筑师和结构师走向不同的合作模式。近几年两位老师在中国也展开了很多项目，我们比较好奇的是，在建筑师和结构师的合作关系这一点上，两位老师感觉中国的设计环境有什么比较不同的特点吗？

石上：中国有太多不一样的地方，怎么说呢，首先法律上就有很大区别。

佐藤：我印象中，中国的设计人员在做结构设计的时候，有相对固定的计算软件。如果有些结构不能用这种软件计算的话，就不能很好的推进。虽然也有一些时候，可以不受软件制约，去精心地设计结构，完成更加独特的设计，但是在大多数情况下，软件的使用会限制设计形态的可能性。

石上：最近在中国做的项目，有和佐藤先生合作的，比方说谷之教堂^[6]（图6），也有后期找当地的结构师合作的。如果有一个合适的交流的模式的话，其实在中国这样的合作也是可以展开的。因为我和佐藤先生的长期合作，养成了一种工作的习惯，也就是相对灵活的设计模式，虽然大概有一套设计的想法，但并不会固执己见，也会接受结构设计反馈给我其他的可能性。其实能感受到，合作的过程中，结构师对于从他的角度来寻找合适的结构这件事，也是乐在其中的。所以在海外开展项目合作的时候，也能逐渐适应新的工作模式，他们也有一些我觉得很好的工作习惯，合作也能很好地展开。

佐藤：我觉得在中国，最近结构设计的自由度好像是增加了。而且海外项目也有一些别的特点，比方说荷兰迷宫公园游客中心^[7]（图7），那个项目的玻璃结构如果在日本来施工的话手续会非常复杂，但是在荷兰，不用花那么多时间就得到设计许可。海外的设计项目，在不同的国情之下，有好处也有难处，但都是很有意思的经历。

武卿（以下简称武）：那么随着合作项目的经验积累，在互相的影响之下，两位老师对于设计的理解，或者自己的工作方法是否发生了一些变化呢？

石上：嗯，说到这个，首先我想讲一下我心目中艺术家和建筑家的不同。我们还是用“翻译”这个词来说。艺术家的表达是由内而外的，他的创作是对自己内心的一个“翻译”的过程，比如说一件雕塑，就是将自己的想法表现出来的一个产物，它只需要承担“翻译”创作概念的作用。而我们建筑师的作品，是要给别人使用的，我们的工作更像一个过滤器，来自外部的要求和信息通过自己的过滤，处理为某种概念，表达为一个建筑设计。我们对外部事物的处理方式会随着年龄、时间、外部的限制发生变化。例如，即使只是很短的时间，像这次的冠状病毒的流行之后，关于建筑的思考方式也可能会发生变化，我认为这种随着环境变化而做出的改变，对建筑师来说是一种进化。

佐藤：事实上，在做结构设计的时候，我是有一些自己的习惯的，例如跟石上先生合作的时候，会习惯性地想，该怎么去解决屈曲问题^[8]，怎么解决材料的塑性变形问题来达到透明感之类的。虽然每个项目最后呈现的状态可能完全不同，但这种追求建筑的透明感、追求结构的透明感的

思考是连续的、递进的。例如，在极致的自然^[9]项目中，成功用了玻璃来辅助控制结构的变形（图8），那么在后来的荷兰迷宫公园游客中心项目中，才有了完全用玻璃作为墙体支撑结构的想法（图9）。因此，在跟石上合作的过程中，我觉得我的设计方法或者说“套路”是在不断增加的。其实在一般的设计过程中，采用很简单的结构设计方法就能完成任务，但在时不时地做一些有挑战性的项目的时候，会花费更多功夫。随着这些项目不断积累，才能做出像四角气球（Balloon^[10]），荷兰迷宫公园游客中心，还有 Cloud Arch^[11] 这样不同寻常的结构设计。

三、建筑设计与结构设计的思考

周：接下来我们就一些具体项目的结构设计来展开讨论。说到透明感以及纤细的柱网的话，从开始的 T project，到后来双年展上的极致自然项目，还有空气般的建筑项目中，单纯从外观上看好像都有这种特性，它们在结构设计上，也有类似的特点吗？



图6：谷之教堂



图7：荷兰迷宫公园游客中心外景



图8：极致的自然项目中，玻璃辅助极细钢柱增强稳定性



图9：荷兰迷宫公园游客中心玻璃墙体

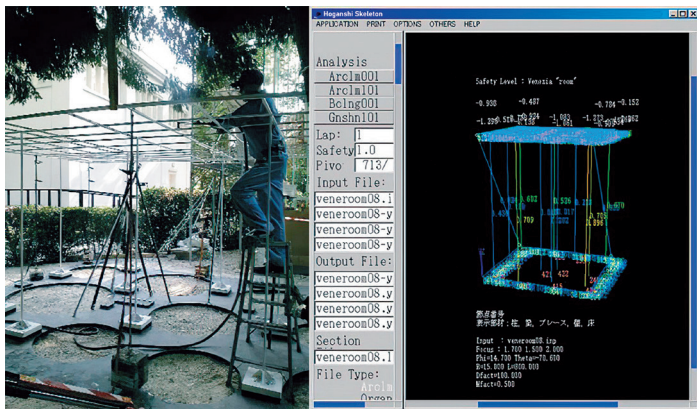


图 10: extreme nature 结构及相应软件解析界面

佐藤：其实不管是在 T project，把柱子做得很细，还是在四角气球项目，要把网格状的结构做薄做轻，主要需要解决的都是屈曲问题。解决了这个问题，就容易达到建筑所想表现的透明感了。当初在做 T project 项目的时候，我不仅在研究室做了很多实验，还升级了结构计算软件，能够在软件里通过调整柱子来寻找最合适的配置（图 10），这项改进后来在极致的自然项目也用到了。

周：因为是佐藤老师自己开发的软件，所以针对项目要求调整起来也得心应手啊。那像再后来的蛇形画廊(Serpentine)^[12]项目，也是极细的杆件支撑，这能否看作是一系列的建筑以及结构设计的尝试呢？

佐藤：虽然并不能称之为“系列”，但就像刚才说的，它们在结构上要解决的确实是类似的屈曲问题。在杆件支撑中，如果将杆件的末端固定的话，结构强度能提升 4 倍左右（图 11）。所以我在这几个项目中，分别用了不同的方式来辅助稳定结构：T project 用了楼梯；极致的自然项目用了周围的玻璃墙壁；蛇形画廊是在屋顶比较低的地方，加粗了柱子（图 12）。同时通过设计屋顶的整体形状减少了水平方向晃动产生的荷载。这些调整通常都放在不引人注目的地方，或是通常不被视作结构的部位，因为很多时候石上先生会不希望结构露出来，或者说，过于清晰地暴露结构的设计原理，会破坏建筑的透明感。

石上：与其说是要把结构藏起来，不

如说是根据设计意图，在建筑设计和结构表现上追求一种平衡。在需要表现结构力度的时候强化它，在追求透明感的时候弱化结构的存在。

佐藤：所以在蛇形画廊项目中，黑色的片岩屋顶和下面极细的白色柱子在视觉上形成了一种对比，既解决了结构上的问题，又达到了石上先生所想要的出乎意料的透明感。

武：从两位老师的合作状态来看，很多项目都是作为建筑师的石上先生做主导，佐藤先生在结构设计上予以辅助，或者反过来提供一些结构设计上别的可能性。当然大部分的合作项目都是建筑设计，那我们刚刚讨论的蛇形画廊那个项目，看上去会比较像一个偏重结构设计的构筑物，在设计它的过程中，两位老师的角色会有什么不同吗？

石上：也不能只算是个构筑物吧。蛇形画廊的项目，从设计开始到施工大约只有 6 个月的时间。需要完成从制定设计方案，到提交确认申请、结构计算、经费预算，以及完成施工等很多任务，时间安排非常紧张，而且客户也会不断地提很多需求，这里需要喝咖啡的地方呀，那里有几棵树呀，里面还需要某些设施之类的，有很多功能方面的需求都需要设计来协调，其复杂度不亚于一个小型建筑。

佐藤：而且基地里能用的只有一个大概三角形的区域。

石上：是的，为了符合场地需求，当

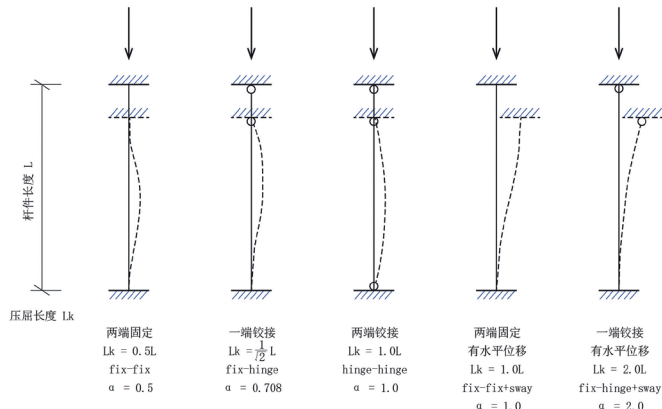


图 11: 杆件末端固定以增强结构强度的力学解析



图 12: 蛇形画廊边角位置柱子加粗

时还考虑过很多形状，比如环形之类的。

佐藤：基地中有些土地是不能使用的，要避免这些地方，平面形态只能是环形或三角形之类的。

石上：当时，我们需要不断调整设计来满足客户的各种需求。而且，像这种海外项目，我们必须跟当地的结构设计师合作。现在的蛇形画廊是梁柱框架结构的，但最初是想用张拉结构来做屋顶的。项目刚开始的时候，我认为用纯粹的张拉结构更能表现我所感受到的、来自场地地面的某种张力，虽然后来换成了梁柱结构，但最后完成的屋顶形状仍然沿用了最初的设计形态（图 13）。

佐藤：对，如果用张拉结构的话，还可以减少钢结构材料的用量。屋顶的片岩搭在钢丝网上，因自重会形成自然的下垂曲线。而且支撑用的柱子顶端被几个方向的钢丝牵引着，反而能利用屋顶重量起到控制屈曲的作用。在这个结构系统推敲的过程中，英国方面的工程师建议我应该调整屋顶平面的形状，从开始偏圆的三角形，

到后来三边向内凹的形状。直到建成为止，一切都是在跟合作的工程师的协调中完成的。

周：既然屈曲问题的解决在两位合作的多个设计中都如此重要，那对石上先生而言，了解到这方面的结构知识反过来对设计过程会有什么影响或者启发吗？

石上：与其说是影响，不如说建筑设计和构造设计一体化的过程很重要。比方说一个项目中，因为结构的原因，柱子需要更粗呀，而因为设计的原因，柱子需要更细呀，在这种讨论中，我会对结构抱着比较暧昧的期待，会在跟结构师协调的过程中，定下最终的方案。

佐藤：在石上跟我讨论的时候，他不是单纯地说“我想要把这些柱子设计成很细的样子”，而是说“因为有什么什么样的力学理论，所以这里的柱子应该可以很细吧”。虽然他的论据通常都是比较荒唐的，经常天马行空地提案一些力学构造啊，还有材料的使用方法，但会很有意思。所以在项目前期头脑风暴的过程中，我必须详细地跟他解释结构设计的原理。他会问，“这个结构中的力学模型为什么是这样的”，“屈曲问题为什么是这样的”，“这个变形曲线为什么是这个形状”，“那为了解决问题需要怎么配置材料”等这样的一系列问题。虽然这样的讨论很耗时，动辄5个小时、8个小时什么的，但是在讨论的过程中，他会根据我对力学模型的解释提出新的设计思路，“这样的话换这套体系就好了”之类的。这对项目的顺利推进是非常有用的。像今天采访结束，我们也会进行这样的头脑风暴。

石上先生是东京艺术大学的，主要接受的是艺术教育，可以说在讨论的过程中，我给他完整地上了一套建筑力学课。

武：虽然讨论很耗时但感觉两位老师似乎乐在其中。在两位老师的很多项目中，设计理念、使用材料，甚至结构逻辑、施工过程，都会和自然的某种概念产生联系。在我的理解中，石上先生和佐藤先生似乎

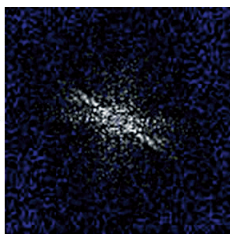
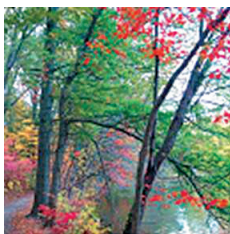
都试图向自然学习，并表现自然的生机盎然之美。具体而言，二位是怎样看待自然的呢，又有什么共感之处？

佐藤：我在平时的研究室的课题中，也会尝试用数学的方式分析和表现自然空间，比如林中荫翳，去分析它那种随机又有层次的氛围感的成因。但并不是想要完全复制这样的空间，而是希望解析出其不同形态要素的分布方式和内在联系（图14），从而用相似的内在逻辑来重现类似森林的自然氛围（图15）。虽然这方面的研究还没能应用在石上先生的项目中，很多时候，我反而能从他的设计想法中感受到某种力学中的自然原理。同石上先生讨论他的空间构想的时候，在探寻合适的结构支撑、摸索其中力学原理的过程中，经常发现他的想法恰好与某种自然原理相通。

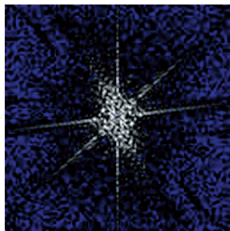
石上：我认为大自然是远比我们能够分析的程度更为复杂。当我们走入自然环境，比方说走进森林中的时候，能清晰地感受到大自然的复杂性。在我们眼中，树木是以一种很随机的方式分布的，也能想象到这种随机性的背后，可能蕴含着某种演化机制。但是，分析自然环境的难度太大了，就算这种演化机制确实存在，它的具体内容我们也很难搞清楚。即便找不到确切答案，这种自然带给我们的思考，以及对自然的说不清道不明的内在机制的猜想，正是我们可以向自然学习的地方。在设计中模仿这种复杂性，比方说在看不见的地方把结构藏起来，让人对这个建筑的形来产生猜想，或者说模仿云来呈现形态的不确定性之类的，我们尝试过很多这样的探索。



图13：蛇形画廊屋顶



Autumn Woods



Pavilion using Super Organza + Carbon Rods

图14：分析秋日树木的2D光谱作为搭建逻辑

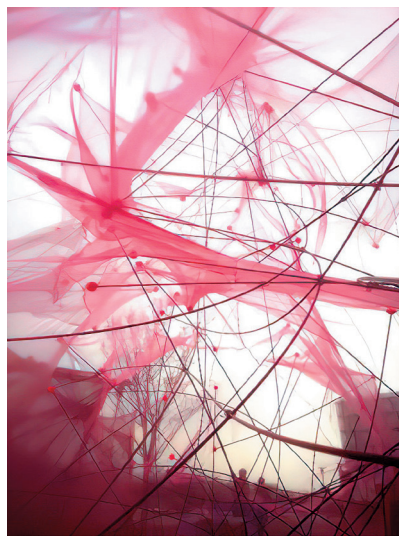


图15：由透明硬纱和碳棒搭建的半张拉结构构筑物

周：那在蛇形画廊中，通过厚重屋顶与白色细柱的对比，营造了一种反重力的感觉。这种异常轻盈的状态有种跳脱自然规则的感觉，能否算作反自然形态的尝试呢？

佐藤：并不是，像那种轻盈的感觉，并非自然相悖，反而需要对自然规则的深度学习。比如森林中，有些树木虽然又细又高却能抵抗强劲的台风；树枝虽然布满树叶，枝杈细长，却能承受风压而不折断；昆虫的腿与身体相比虽然极细，却能支撑其全身硬壳……诸如此类的现象太多了，如果我们能够学到它们支撑重量的原理，在结构中可能可以用更细的杆件承受更多的荷载。

石上：而且从某种层面上，我认为人类思考产生的合理性与自然界的合理性或许并不相同。人在追求合理性的过程，会把事物单纯化、省略化，建筑结构也是如此。在建造的过程中，无论建筑的概念怎样接近自然，它从结构合理性体现出的尺度感也会暴露建筑的人造属性。为此在荷兰迷宫公园游客中心这座观景建筑中，我们设计用玻璃作为支撑，让通常作为支撑物的梁柱从视线中

消失，在观感上室内外更加融为一体，让建筑也成为自然的一部分。

周：大概我们通常做事的逻辑确实如此，通过观察和总结得出客观规律或者行事准则，再照着总结出来的规律创造新的东西。所以即使模仿，人造物大概也很难达到自然造物的复杂度。刚刚您提到的荷兰迷宫公园游客中心项目，那弯曲的玻璃墙体实在是一次独特的结构实践。玻璃原本是脆弱易碎的素材，是怎样做到了可以支撑屋顶的强度呢？

佐藤：玻璃虽薄，但是做成曲面的话，强度就会提高好几倍。提高材料的曲率，降低弯曲半径就能逐步提高它的强度。利用这个原理，玻璃也能做到支撑屋顶的强度（图 16）。另外，在屋顶和玻璃墙体之间传导荷重的是梁，如果将梁的排列方式调整到最合理的状态，会很好地将荷重分散到玻璃上（图 17）。将这两个影响因素做到最优解，也就呈现了这次建筑和结构设计的最终形态。垂直荷重也好，抗风压也好，都没问题。

这次的结构设计依然始于石上先生的草图手

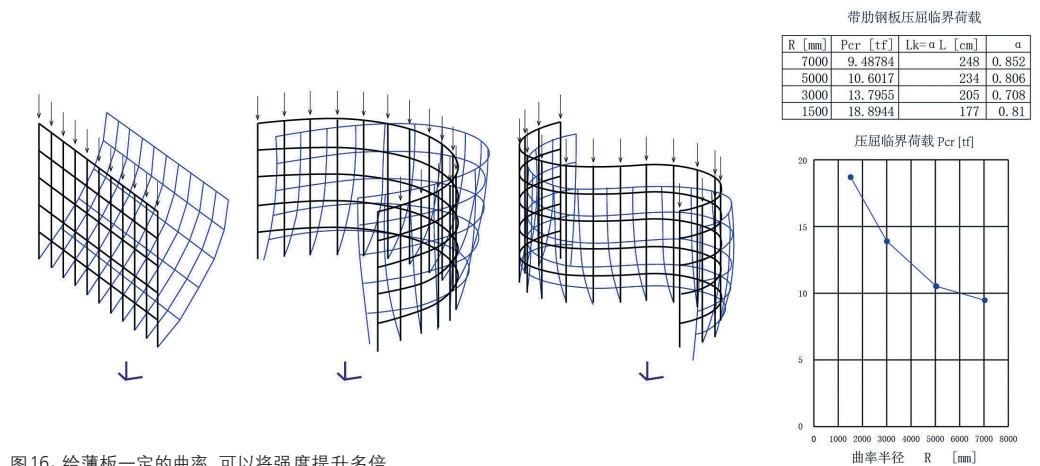


图 16. 给薄板一定的曲率，可以将强度提升多倍

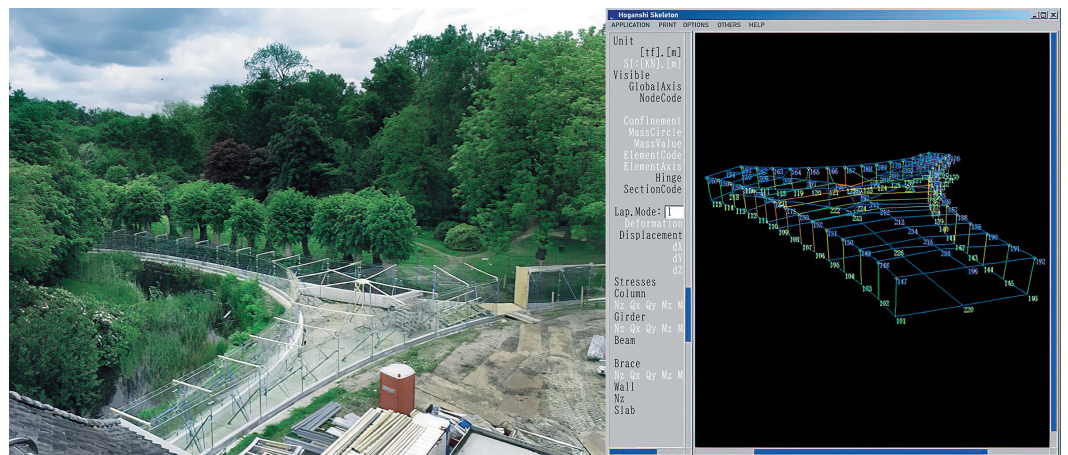


图 17: 荷兰迷宫公园游客中心项目中梁的配置优化分析——现场施工图及软件分析图

稿，一个大概是三角形或者说Y字形的空间，营造与自然交互的通透氛围。从这个空间构想中可以提炼出很多结构控制要素，但如果找到了关键点，也就是刚刚提到的那两点，就能比较容易地导出最优化结构设计。如果要素过多的话，会很难控制，但如果过少，通常会很难实现石上先生的空间构想。像是手稿中呈现出的建筑的整体形态也好，开放的空间感受也好，柱子的无序排列方式也好，这样想要追求某种自然的感觉而体现在建筑中的很多不对称、不规则、随机的设计，也必须将其简化为人可以控制的要素才能够实现。对我来说，在这种看似自由随机的形态中提炼几何学的控制要因的过程是十分有趣的。

武：说起随机性，石上先生的作品中常常体现出仿若自然的随机性，比方说KAIT PLAZA项目中，屋顶上的天窗开洞位置，看上去非常有趣。那站在结构师的角度，佐藤先生是如何实现这样的随机性的呢？

佐藤：建筑的形态也好，天光开洞的位置也好，就算它们设计成了随机的形态，只要有三维模型，就可以用软件很快完成结构计算。虽然我们有一套自己开发的软件，但现在这样的解析软件已经有很多了，所以随机性对结构计算并没有什么影响。

但是就设计上的随机性而言，石上先生可能有一些他会考量的参数吧。

石上：说到实现随机性布局的参数，在我看来，自然的随机性是人类很难实现的。比如我之前水之亭的项目，需要布置300多棵树木，如果我们只是随意地点上300个点，最终总有一些树木看起来像是成行成列，显出人造的秩序感，难以达到自然中真实的随机感觉。所以，水之亭也好，之前的KAIT工房也好，我们会通过手绘草图（图18）和CAD软件（图19）来调整平面上树木或者柱子的位置分布。把相距几米以内，看起来像是一条线的点全都连起来，然后一根一根地调整，直到没有能连起来的线为止。其实最开始，随意点出的位置是能连出超多线条的，把它们统统消除掉之后人造感就很弱了。当地的园艺师们看到这样的结果（图20）非常惊讶，因为人造园的树木通常都是整齐排列的。我想要实现的随机性，就是让人看不出人为痕迹，很难分辨原理，才能一定程度上体现出自然般的复杂。

佐藤：类似的工作我们在极致的自然项目的时候也做过。那个项目真的是直到最后一刻石上先生都在调整柱子的位置，“要不要把这根柱子移动1cm？”（笑）那个时候，我以这个结构框架为基础，对计算软件又做了更新，只要在模型中用鼠标

移动柱子的位置，就能够显示改动对整体结构中的影响，危险的柱子会用红色标识出来。我给学生课上最初讲授的那部分软件的内容，其实一开始就是为极致的自然这个项目而生的。我把软件交给石上事务所的员工后，让他们移动柱子来调整空间关系的同时，也注意不要产生红色柱子。就这样直到项目交稿的那天晚上，我们还在这张桌子上开了柱子位置敲定大会（笑），一直调整到午夜12点。我感觉那个时候，石上先生好像对经济、对结构最优化设计等没什么兴趣。但是为了实现他的建筑构想，我通常都是用类似的最优化分析去操作的。

石上：那个时候不感兴趣的原因是，很多最优化设计的产物都是能很明显看出生成逻辑的。哪怕是随性做的设计，将它最优化处理之后，总会让人觉得生成逻辑一目了然。在我看来，那和我的设计出发点是完全相反的。

佐藤：但是最优化的要素并不是单一的，在调整KAIT PLAZA的天窗设计的时候（图21），将随机性作为要素之一，同时要调整的除了结构受力，还有光环境以及风环境。KAIT PLAZA作为大跨度建筑，天窗的位置会极大影响建筑中的光线，还有空气的流动。将这些都作为评价要素的话，我们要做的就是多目的最优化设计。其实



图18: KAIT工房柱子连线草图分析

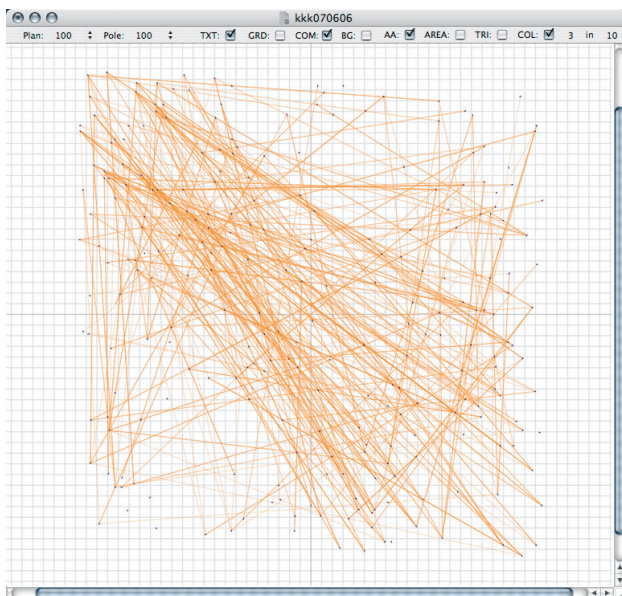


图19: KAIT工房柱子连线软件分析

现在结构力学方面的最优化设计已经很成熟了，最新的热门话题是如何更好地实现多目的最优化设计。随着计算机技术的发展，计算所需的时间越来越短，多目的最优化分析也有了相对成熟的发展环境。像 KAIT PLAZA 这样的，参考石上先生图纸当中天窗的位置，从力学、光环境、风环境等方面出发去做调整，当然如果过分追求力学上的最优解，则会削弱设计上的随机性，所以我们做了多次调整，最终成为现在的形式。

周：是交给程序，让它自动调整吗？

佐藤：我们事务所目前还是手动的。其实现在自动计算的程序也可以做出来了，但是计算耗时过长，目前还没办法在实践中投入使用。所以现在还是先手动去修改模型，来得到演算结果，还相对快一些。

这个项目的随机性带来的另一个问题是施工方面的，就是屋顶钢板的预应力加工。



图 20：水亭

在和石上先生合作的这些项目中，极致的自然项目也面临过预应力加工的问题，积累了一定经验。那个是钢制框架结构，因为框架极细，而且要镶嵌玻璃，我们计算出顶上的梁可能会出现 6cm 左右的变形，所以要预先给它设置一个反向的 6cm 的弯矩。那个项目的柱网也是不规则的，所以用一般的方法去处理的话，屋顶会变成复杂曲面，没办法镶嵌玻璃，因此在现场施工时，将每根会变形的梁分别做反向变形处理，然后再用天然气燃烧器将其炙烤恢复形状，这样屋顶整体恢复平面后，会具备超出其原本平面形态的承受力。KAIT PLAZA 的屋顶原本是一个中间低、四边高的曲面，如何在开不规则开洞之后，还让它维持平整的状态，依然需要做预应力处理。屋顶是一张一张的钢板拼接起来的，我们利用之前项目中积累的技术经验，在预应力加工之后，控制了弯矩的同时也控制了应力。最终做出的屋顶尽管跨度有 50m×80m，屋顶厚度只有 10mm (图 22)。



图 21：KAIT PLAZA 天窗调整过程模型图



图 22：KAIT PLAZA 模型



图 23：KAIT PLAZA 施工现场——拼接屋顶

石上：下周基础施工就完成了，看，这是施工现场的照片 (图 23)。2020 年底，KAIT PLAZA 建成 (图 24)。

佐藤：基础施工完成后，结构方面的工作差不多就结束了。

武：照片很有冲击性，周围的支撑结构比想象中要大得多。

周：下雨天确实像效果图那样变成了雨帘的庭院。也有做雨水相关的模拟实验吗？

石上：是的，根据天窗和地势做了相关模拟，找到一些会积水为流、积水成潭的地方。

佐藤：这样连雨水都作为控制因素，是更进一步的多目的最优化。

周：若论项目的生成逻辑，像是最近完成的 HOUSE & RESTERANT^[13] 项目，宛若天然洞穴 (图 25)。但是从施工过程的图片来看，跟自然的洞穴形成逻辑完全不同。请问这个项目在设计过程中，有参考一些自然的原理或者构成机理吗？

石上：设计的时候我并没有考虑那么多。这个项目的甲方——饭店的主人，有这么一个想法：他认为与在崭新的建筑内用餐相比，在古老的建筑里面吃到的食物会感觉更美味。打个比方，他感觉在日本乡下的一栋朴实的老建筑中吃到的米饭，会比都市中的一家大饭店里的更香甜，所以他想要在建筑中营造一种质朴的古旧的氛围。也就是说，我需要设计一栋刚建成就看上去很古旧的建筑。建筑的古旧意味着什么呢？从我对建筑的理解来看，建筑作为人造物，一栋建筑新建成的时候，通常是它的人造感最为明显的时候，伴随着时间流逝，在阳光的摧残、风雨的侵蚀下，建筑上会留下各种自然因素对它的影响，人造感逐渐褪去，最极端的情况可能是景观化，跟自然融为一体。所以建筑变旧的过程，就是人造物自然化的过程。因此，如果我捕捉到人造和自然的中间地带，就可以赋予新建筑古旧的气质。虽然看



图 24：KAIT PLAZA 项目照片



图 25. house & restaurant 施工阶段——拆除模板后



图 26. 挖掘土地作为混凝土模具

起来同样是学习自然，但每次项目的出发点也是不一样的。

佐藤：对，虽然与自然形成的洞穴原理完全不同，但这个项目的施工过程很有意思。一开始最主要的问题是施工造价太高了，在这种钢筋混凝土的施工过程中，一般来说价格高的原因是没有足够的模具木匠。这次的解决办法是用土坑来代替模具，可以大大地节省人工。虽然这一步工作花费了很多时间，但是使用土壤作为模具另一个好处是可以随心所欲地制作曲面（图 26）。通常情况下，模具的弯曲有一定限度，很难制作曲率很小的曲面，但用土壤作为模具，一切都有了可能。

武：这种施工方法很有意思，那像这种比较特殊的施工过程，主要的困难是什么，又怎么与施工人员进行交流呢？

佐藤：能不能顺利建成与施工难度的关系很大，但另一方面也非常受限于造价。造价太高而不能施工的情况是很多的。所以从项目的设计阶段开始，就会去咨询专家的意见，包括施工方法、材料等方面，会跟合作方进行很详细的讨论，这就跟结构师很早介入设计过程是一样的。

周：那两位老师目前为止完成的项目中，感觉最有挑战性的是哪一个呢？

佐藤：对我来说，最困难的项目之一是四角气球项目。这个项目做了一个方形气球，用轻量的铝造网状结构，充入氦气，让 1t 重的构造物浮在了空中。其实最开始接这个项目的时候，听到这个项目要浮起来，我还以为是建筑通常那种用很细的柱子让空间看起来好像漂浮的样子。结果石

上说，这次是真的漂浮，不是看起来，还吃了一惊呢。

四角气球项目是很早的项目了，它的难点的是在短时间内要设计出可以漂浮的构造，而且需要比较特殊的结构计算。与一般的建筑结构计算相比，不同点在于，如果用同样的材料铝来制作建筑物的话，不管是耐震还是耐风计算，在设计时间不够的情况下为了增加安全度，加粗就好了。虽然计算粗略但效果可以保证。而在这个项目中，如果单纯加粗的话，结构就会变重，也就浮不起来了。所以就算时间不够，也必须对结构的材料的质量、体积等做出精确计算，容错率非常低。而一般建筑物的结构设计是没有严格的重量限制的。所以在时间紧迫的情况下，那次的结构设计是比较困难的。

石上：对做结构设计的佐藤先生来说，是那个项目没错。但对我来说，最难的是 KAIT PLAZA。做结构设计的话，保证这个结构本身是安全的、牢固的、就可以了，而建筑的安全性不止要做到这样。就 KAIT PLAZA 而言，在地震的情况下，屋顶是会有起伏的振动的，所以甲方认为振动的时候屋顶可能会撞到人的头部，有可能会带来使用上的不安全。为了向甲方说明结构设计的安全性，在这个项目里，我们找了能够模拟振动动态的公司，专门做了模型。这是这个项目跟以往设计非常不同的一点，我们在此花了很多时间。

佐藤：KAIT PLAZA 呢，其实并没有什么使用上的危险，虽然强风或地震的时候，屋顶会摇晃，但是很缓慢、很轻微的那种，不是像弹簧板那样剧烈振动的，所以实际上没有任何隐患。但是因为会动的建筑并

不常见，跟没办法想象这种轻微晃动场景的人，是很难解释其安全性的，这个过程中可是好生辛苦石上先生了。（笑）

石上：毕竟是一个会振动的结构，所以甲方当然会非常担心安全问题，单纯地解释是不够的，所以我们最后用动态模拟来证明它是不会撞到人的。

四、对未来的展望

武：下面我们来讨论一下两位对未来结构设计的思考。两位老师在做设计的时候，为了实现某种建筑设计理念，会希望出现某种新型建筑材料吗？

石上：每次设计的时候都会有这种想法吧，如果有这种材料就好了。

佐藤：纳米碳管——要是能用在建筑上就好了。还有更硬的钢。

武：是指减少钢材的脆性吗？

佐藤：不是脆，就是希望钢材更硬。现在还没有能够提高钢材硬度的加工方法，所有钢材都是差不多硬度的，但是像碳就能加工到钢的硬度的两倍。想要控制结构中很容易产生的屈曲问题的话，材料的杨氏模量^[14]很重要。杨氏率越高，材料的硬度越高。虽然也有比钢材硬度更高的材料，比如碳和金刚石，但是铁的其他特性，如易于焊接，易于加工，易弯曲等，是别的材料很难做到的。要是碳能像铁一样容易加工就好了。

还有一种建筑材料大家应该都很想要——软性玻璃，希望玻璃能够做到又薄又可弯曲、方便塑形，就像铁板一样。

周：可能以后这些都可以实现吧，毕竟新的科技层出不穷，像以前觉得遥不可及的 AI 也正在慢慢渗透到各行各业了，两位老师对于类似这样的新技术在建筑上的应用，有什么样的期待呢？

佐藤：说到 AI 的话，最容易想到的应用就是用深度学习来提高设计最适化的运算效率。虽然用别的方法也可以得出最优化结果，但非常花费时间。跟结构计算比起来，像是建筑环境设计里的光环境、热

环境，都要花费大量的时间进行模拟，如果能将AI应用在这个领域，应该能极大地提升计算效率。现在虽然已经有很多相关研究，但还很难将其投入实际工程来广泛使用。比方能有某种算法，能根据条件迅速匹配出相应的系统，根据变化很快给出对应的解答；或者我们有方案A和方案B，输入参数之后可以混合两个方案的特点，或者说融合80%方案A和20%方案B，得到一个相对自然的最优解。目前有些算法可以做出这样的判断的，所以我想在建筑设计上应该也是有可行性的。

石上：这么说的话，AI还可以用在场地规划、方案设计里面，像建筑的功能、流线之类的设计。虽然现在我们能根据自身的经验做出相对合理的形式，但这个答案并不是唯一的。这种合理性通常也只是来自于大概的经验和感觉，并没有坚实的理论依据。如果能用大数据来建立空间与人的心理相关的对应关系，设计可能会更加合理。建筑师不是上帝，只是根据自己的个人感受来做出合理性的判断。我们这个学科在设计上、规划方面有很多规律性的总结，但如果AI能够应用在这方面的话，可能可以得到更加准确的分析结论。如果能够实现的话，可能会出现这种场景：输入某种需求之后，AI生成了一个空间形态，虽然中间的过程并不清楚，但你看它会觉得，啊，就是它了，那应该会很有趣吧。像现在便利店就可以利用人们购买商品的数据来分析他们的偏好，据此来重新排列商品，促进消费。如果建筑设计里面，能够构建出对不同的人或者不同的心理对应的空间形态或者功能的偏好，应该很有意思。

佐藤：是啊，AI的可能性是很多的。就算表象上很复杂的东西，用单纯的大量计算和深度学习来训练人工智能。如果AI能够来分析出人在不同空间中的行动规律，对空间的认知和感受，甚至不只是空间，还能分析出使用者对出现在同一空间的其他人的感受，分析出方方面面的细节，应该能够帮助建筑师做出更加合理的设计吧。可以说，商场里面货物的配置，就是一个

出于商家的利益最大化来做的最优化设计。

甚至未来还可能直接用AI做出石上风的设计（笑）。训练AI来学习石上先生的图纸。既然AI已经能够人们的喜好和习惯，那么以石上先生的想象力作为学习对象的话，设计习惯应该也可以呢。

石上：哈哈，我觉得这会比较困难吧。首先有个问题，设计的风格是什么，怎么养成？现在说到机器学习，根据大量信息来积累经验，最后的成果可以称之为一种风格吗？算法也许会发展出只有这种算法才能做出的风格，但它依然是很难模仿我的。人类里有做得好的和做得差的，机器里面也有做得好的和差的，在这样的竞争和演变之中，会有表现突出的人，也会有表现突出的机器，但人和机器的不同在于，对于同一个问题，机器不会像人一样有很多不同的解决方法。而且现在的技术更新得太快了，像是作为技术硬件的手机，用了一年就已经算是老机型了；依存于手机的软件，可能短时间内非常好用，但也只是短时间。而建筑是可以保留千百年的，虽然它的硬件也依托于当前的技术发展，但它并不是当前技术的简单集成。建筑所能保留的意义，我想是单纯的技术难以达到的。

佐藤：当然，目前的AI是有这样的问题的。还有一个难题是，一个用100万条数据训练完成的AI算法，如果想要修改的话，可能不得不再次学习这100万条数据，不能直接继续使用它之前的积累。这也是人工智能和人的不同吧。

之前我说AI可以设计出石上风格的建筑什么的，现在来看还是遥不可及的事情。但是，如果AI能够应用到石上先生设计建筑的过程中的话，比方说能够根据他的草图，自动生成很多可能的结构方案以供选择；或者刚等他画出一雏形，AI就能根据他以往的设计，给出一个颇具完成度的方案，那样的话大概效率会很高吧。

周：虽然建筑中的技术更新并不是最快的，但新材料、新技术的发展总是让我们充满期待。在技术革新之前，基于现在的设计与合作经验，两位老师对于当前的

建筑与结构的教育模式有没有什么建议呢？比方说建筑师应该学习结构吗？

佐藤：提到教育，人们通常会建议给入门的学生说不要好高骛远，总望着山顶的那一小群人，重点是从基础知识开始一步一步扎扎实实地按顺序学习，逐步学习和掌握数学和力学知识以及结构设计知识。但我认为这样的说法是有局限性的。我倒是觉得，去了解你的领域中最高水平上的那些人在做什么，是很重要的。去看看在这个时代中，哪些结构设计是可以实现的，可能创新的方向又在哪里，为了实现那样的理想需要掌握哪些数学和力学知识。在有了这样一个印象之后，学习这些基础知识才会更有针对性，也更有动力。

石上：当然了，学生时代会学习很多东西，但就我个人而言，90%的建筑知识都是工作之后学习的，甚至包括对建筑设计的热情，都是工作带给我的。在实际的工作中，面对自己真正落地的建筑，对设计的热情和动力会油然而生。这个时候会关注什么样的建筑是能够建成的，什么样是不能建成的。这种想要实现自己设计的愿望会驱使我了解结构相关的知识。但是如果我在学生时代，太早了解工作的事情，太早地被灌输一些固定概念，可能会失去学习的热情，失去自己的可能性，也很难在以后创造出一些新的东西。而且学生时代的同学也有很大一部分并没有想成为建筑师，大家会思考很多更宽泛的东西。但确实也有一些局限性，学生时代我基本上只关注图面上的东西，如果那个时候有多了解一些非常新的建筑实践，也可能会有不同方向的启发吧。

佐藤：从我的观点出发，倒是不需要鼓励建筑师们都去钻研结构知识。学建筑的学生中，有对结构感兴趣的，也有很多不感兴趣的。感兴趣的就去学，没兴趣的不了解那么深也可以。本来建筑师也是有各种风格的嘛。

周：建筑与结构的相互协调也包含着极多的可能性。非常感谢两位先生的精彩对话。

五、结语

石上纯也和佐藤淳两位先生，他们的合作关系更像是提问者与解答者，但并不是单向的提问与解答，而是互相的。他们对与各自的领域都有极高的热情，而这种热情在合作中碰撞导出很多有趣的建筑设计实践。他们在很多合作中多次提到了“自然”这个意象，在合作之外，也分别对“自然”有不同的理解和探索，石上先生有通过手绘去拆解自然的风云雨雪，佐藤先生有通过力学模型去模拟昆虫巢穴。而他们的建筑设计合作便是天马行空的想象照进现实的结果，从建筑概念提出开始，结构设计就一起推进，这样做的好处不仅是保证设计的落实，而且能帮助概念演化至极致。不论是空间的极致透明，柱子的极致纤细，屋顶的极致轻薄，种种不可思议的空间效果，都是建筑师与结构师相互交流相互理解的合作成果。在这样的合作中，结构不仅仅只是建筑实际落地的支撑，更是建筑概念的本质体现。在日本独特的建筑设计与结构设计的发展历史滋养下，不只是石上纯也和佐藤淳，很多建筑师与结构师的合作很多都是从方案阶段就开始了，他们之间相互尊重的关系，让小型建筑设计事务所百花齐放的同时，与之配合的小型结构设计事务所的发展也并驾齐驱，薪火相传。石上先生和佐藤先生十余年间的默契合作固然离不开他们本身的优秀，但这种代代相承的合作意识才是他们最初遇见的原因，而这样的结果，正应了木村俊彦先生当初所主张的建筑与结构的“合”。

[鸣谢：郭斌、林际远、卢晴]

注释

[1] T project, 全称“电气化住宅项目”。项目开展于2005年，是一个设定在东京府中市的私人住宅设计构想。该项目由东京电力公司策划发起，要求以“多样化生活方式”为主题，做一个全电气化住宅设计提案，

住户拟定为一对共同工作的年轻的夫妇。结构设计为两层的钢结构，首层高约6m，设计成屋内庭院，整体作为家的玄关，二层为主要生活空间。

[2] KAIT工房，全称“神奈川工科大学KAIT工房”，石上纯也和结构师小西泰孝的合作项目，建成于2007年，位于东京都神奈川县。在面积约2000m²、层高约5m的开放空间内，用305根厚度为16~55mm、角度与截面尺寸各不相同的扁钢柱来支撑建筑的同时，界定空间功能。该项目获得日本建筑学会奖、日本结构设计奖。

[3] 译者注：佐藤先生提到的结构解析软件，是他在学生时代开发的一套即时显示结构安全性解析结果的计算软件。其特点不止于能够根据结构三维模型做安全性分析而且能够在分析界面内通过鼠标手动调整，即时显示调整结果，因此在与建筑师交流过程中，能够实时反馈调整方案是否合理，易于双方及时沟通。佐藤先生在工作过程中，也在不断根据项目需求对软件功能进行更新，使其满足更复杂更新型的结构类型。软件内容虽然不断更新，界面却一直停留在初代版本，其核心代码及主要功能收录于2010年出版的*Jun Sato: Item in Jun Sato Structural Engineers*一书中。这套软件不仅用于实际项目中，也用于东京大学日常教学。

[4] 石上纯也与小西泰孝合作设计的桌子，可以看作一个大跨建筑的小型实践，桌子长9.6m、宽2.5m、高1.2m，厚度仅3mm，从侧面看就仿佛浮在地面上。结构设计在反向做预应力，以避免形变。

[5] 木村俊彦(1926—2009)，日本著名的结构设计师。他1950年毕业于东大建筑系，同年进入前川国男建筑事务所，工作两年后，深感建筑设计亟需结构设计辅助的他转入横山不学结构设计事务所，并于1964年独立执业，成立木村俊彦结构设计工作室。在他的职业生涯初期，战后的日本在现代建筑设计上也处于探索阶段，即使是前川国男这样的大师也深受建筑漏雨这样的苦恼，因此木村先生提出了“技术方针”(technical approach)主张，反对当时“设计为正，结构为反”的主流观点，认为结构应该与设计共同推演，成为“合”，也就是和谐的建筑。为了实现自己的建筑设计抱负，他将理念应用与实践，与许多建筑大师一起合作过，如槇文彦、筱原一男、矶崎新、原广司、安藤忠雄等，并探索出了自己独特的结构师与建筑师的合作模式。并且，他还培养了很多优秀的结构设计师，像是新谷真人、佐佐木睦朗、佐藤淳等，皆为当今日本结构设计届的中坚力量。

[6] 谷之教堂，位于山东日照，2016年开始设计，钢筋混凝土结构，目前处于施工阶段。

[7] 荷兰迷宫公园游客中心(Park Groot Vijversburg Visitor Center)，2017年建成。其结构特殊性源于以玻璃墙面为竖向支撑结构，是一次国际合作的大胆的尝试。

[8] 屈曲问题：屈曲是工程计算中的一种失效模式，当结构受压应力时便可能会发生。屈曲的特征是结构杆件突然侧向形变并导致结构失稳。对于受压杆件，屈曲是最常见的失稳原因。

[9] Extreme Nature (极致的自然) 2008年威尼斯双年展合作项目，钢结构玻璃温室。设计上希望支撑杆件极细而消隐，所以结构上除了使用高强度钢材、调整柱网合理性之外，还尝试使用温室墙面的玻璃作为辅助构件，来解决屈曲问题。最后达到的效果是，在长3.4m、

宽2.1m、高6.0m的框架体系中，柱径仅32mm；在长4m、宽5.4m、高2m的框架体系中，柱径仅16mm。

[10] Balloon 全称“四角气球”，2007年设计，以铝制网架作为结构，以铝板为膜，制成长约13m、宽约8m、高约15m的4层楼一般的不规则长方体，在其中注入氦气，使其飘浮在空中。

[11] Cloud Arch, 2015年开始设计，计划在悉尼建造的纪念性构筑物，设计概念为飘带一般形态自由的拱形，因尚未完成而没有展开讨论。

[12] Serpentine, 全称Serpentine Gallery, 每年一度的伦敦蛇形画廊项目，在采访中特指2019年石上纯也和佐藤淳合作建成的蛇形画廊。该项目用极细的钢结构，撑起弧形的片岩搭建的屋顶，远看仿若一片漂浮的山丘。

[13] House & Resterant, 形似洞窟的餐厅，位于日本山口县，2020年建成。其结构特殊性在于挖掘土壤塑型以成为钢筋混凝土的模板。在撤去作为模板的土层之后，在混凝土墙壁上留下土壤自然的质感，仿佛已经经历了千年时间。

[14] 杨氏模量，是描述固体材料抵抗形变能力的物理量。弹性材料承受正向应力时会产生正向应变，在形变量没有超过对应材料的一定弹性限度时，定义正向应力与正向应变的比值为这种材料的杨氏模量。

参考文献

- [1] 石上纯也.t project[J].PLOT08 JUNYA ISHIGAMI,2018 (11):44.
- [2] 石上纯也.KAIT工房时期[J].PLOT08 JUNYA ISHIGAMI,2018 (11):26-29.
- [3] 佐藤淳.四角气球[J].PLOT08 JUNYA ISHIGAMI, 2018 (11):32-35.
- [4] 佐藤淳,石上纯也.EXTRME NATURE[J].PLOT08 JUNYA ISHIGAMI,2018 (11):36-43.
- [5] 佐藤淳,石上纯也.大学多目的广场[J].PLOT08 JUNYA ISHIGAMI,2018 (11):196-229.
- [6] 佐藤淳.结构解析软件的说明[M]. Jun Sato: Item in Jun Sato Structural Engineers,2010:81.

图片来源

- 图1：作者自摄
图2~图6，图8，图18，图19，图21~图25：石上纯也建筑设计事务所
图10~图11，图14~图16：佐藤淳结构设计事务所
图17：左图，Marieke Kums；右图，佐藤淳结构设计事务所
图7，图9：Jacqueline ter Haar
图12：Ste Murray
图13：Images George Rex
图20：courtesy of nikissimo Inc.
图26：新建筑社写真部.住宅特集.2017年6月号。