

STEEL CONSTRUCTION TODAY & TOMORROW

(第 33 期, 2011 年 7 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 33 期 (2011 年 7 月) : 目录

特刊: 钢管桩、钢板桩

港湾钢结构体用钢板桩和钢管桩 —防腐技术的现状和未来—	1
钢管桩、钢板桩的修补和加固技术	6
越南日新桥 (Nhat Tan Bridge) 的 设计概要及下部结构的施工状况	10
东京京门大桥钢管板桩基础的设计和施工	14
特别报告 东北部太平洋地震及海啸	封底

(第 1 页~第 5 页)

港湾钢结构体用钢板桩和钢管桩

—防腐技术的现状和未来—

滨田 秀则 (工学博士, 九州大学教授)

山路 徹 (工学博士, 港湾空港技术研究所
研究组负责人)

审良 善和 (工学博士, 港湾空港技术研究所
研究员)

日本的防腐技术具有 50 多年的历史。因此, 这些技术已经取得了显著发展, 港湾钢结构体的防腐保护已基本完成。此外, 每个国家防腐技术应用的情况各不相同, 所以采用的方法将有所不同。然而, 日本在该领域获得的各种经验也将适用于其他国家。本文将讨论日本用于港湾钢结构体的防腐保护技术, 我们相信, 本文对全球钢结构体防腐技术的顺利发展将作出贡献。

日本的港湾钢结构体

●历史

1876 年, 采用钢螺旋桩建造的码头在神户港完成, 是日本最早的港湾钢结构体。此后, 在横滨港、名古屋港、大阪港、以及敦贺港相继建造。在大正时代 (1912~1926 年) 后期, 日本进口钢板桩用于修建因关东大地震造成的受损。1926 年, 首座钢板桩型锚泊码头在大阪港建成。

进入昭和时代 (1926~1989 年), 钢板桩的进口量增加, 最初时每年达到 25,000~35,000 吨。1929 年, 国营的八幡钢铁厂开始试制钢板桩, 并且于 1930 年全面投产。1931 年, 日本国内制造的钢板桩首次用于宫古港的港湾结构体。此外, 钢板桩型锚泊码头于昭和时代早期在大阪港、名古屋港、伏木港、函馆港、以及留萌港建成。

在战后期间, 钢管桩大量用于港湾设施的建设。1954 年, 随着盐釜港项目的建设, 对码头基础结构采用桩结构广泛展开。在盐釜港, 建成了首座采用平钢板桩的单元型锚泊码头 (1954~1959 年), 随后陆续在户畑港、名古屋港、直江津港、青森港、以及横滨港建造。

进入上世纪 60 年代, 钢桩码头的发展迅速, 越来越多地在许多港口用于建造大型锚泊码头。横滨港的山下码头和神户港的摩耶码头是典型的这种结构。

最近, 导管架型钢结构体被更多地采用于港湾

设施建设。典型的这种结构有大井集装箱泊位和东京国际机场的 D 跑道。

●港湾钢结构体的特点

近年来, 日本近半数的锚泊码头采用钢结构建造, 成为日本码头的一个特点。在日本较多采用钢结构的几个主要原因是日本的钢铁工业成为在上世纪 60 年代国家快速经济发展的核心要素。从上世纪 60 年代开始, 由于日本的经济快速发展, 要求港湾设施迅速改善, 因此大量采用钢结构体的另一个原因是其快速建造的可能性。采用钢结构的锚泊码头总长达到了 490km。在东京港, 钢结构在总体港湾设施 (包括防浪堤) 中的比例快速上升。在总长达 200km 以上的港湾设施中, 钢结构设施超过了 150km。

●典型的港湾钢结构体——钢板桩型码头

钢板桩型锚泊码头将钢板桩打入地下形成挡土墙建造 (图 1)。最常见的钢板桩型锚泊码头采用横拉杆将钢板桩墙与设在该墙后的支柱结构体 (钢管、钢板桩、型钢等) 连接。根据支撑的负荷大小, 对桩墙采用两种桩——通常采用的 U 型钢板桩、以及具备连接接头的钢管桩。诸如浅水码头等负荷较小时, 采用自承墙结构而无需使用支柱结构和横拉杆。即使采用钢板桩或钢管桩, 桩墙的前表面承受严酷的腐蚀性海洋环境。

图 1 钢板桩型锚泊码头的典型结构

一桩型锚泊码头

建造桩型锚泊码头时, 将上部结构设置在柱形构件上完成 (图 2)。桩型锚泊码头由设在码头前侧的桩和后侧的挡土结构构成, 对前侧桩采用了大量的钢构件。对上部结构设置钢筋混凝土或预制混凝土梁及水泥板。在港湾设施中, RC (钢筋混凝土) 上部结构是盐害最常造成结构劣化的部分。

图 2 钢桩型锚泊码头的典型结构

海洋环境下腐蚀的特点

港湾钢结构体的所处环境可大致分为 5 个部分, 即大气带、飞溅带、潮汐带、浸水带、以及海泥带。如果诸如钢板桩及钢管桩等较长的钢构件穿过数个环境带 (潮汐带、浸水带、以及海泥带), 这些不同的所处环境将导致发生宏电池腐蚀。如果不采取防腐措施, 钢结构体腐蚀最严重的部分位于飞溅带

下侧和平均低水位 (M. L. W. L.) 附近。腐蚀环境造成的腐蚀趋势如图 3 所示。

图 3 钢管桩和钢板桩在垂直方向腐蚀的腐蚀速率典型例

●大气带

在大部分情况下,该部分结构体的腐蚀速率(腐蚀损失)大约为 0.1mm/年。

●浪溅带

在浪溅带,结构体始终受到海水的飞溅,钢结构体表面具有大量的海水和氧。因此,飞溅带是最恶劣的腐蚀环境。通常,该区域的腐蚀速率可达到 0.3mm/年的程度。根据在冲绳地区进行的调查,由于高温和高湿的作用,出现过腐蚀速率达到 0.5~0.6mm/年的事例。

●潮汐带

潮汐带是结构体因潮汐作用经受周期性浸入海水和暴露于大气的区域。在该区域,平均海平面 (M. S. L.) 附近的腐蚀速率较小,但是平均低水位 (M. L. W. L.) 下侧附近的腐蚀速率非常大。这是由于形成了宏电池,阴极区域位于平均海平面(溶解氧浓度较高),阳极区域位于平均低水位下侧附近(溶解氧浓度较低)。在有些情况下,根据不同的条件,平均低水位下侧附近的腐蚀速率超过浪溅带。这种现象称为“集中腐蚀”。集中腐蚀造成了港湾钢结构体发生结构损伤的事例。

●浸水带以及海泥带

浸水带的腐蚀基本上均匀。深度为-1m 或更深范围的腐蚀速率大致为 0.1~0.2mm/年。在海泥带,由于与浸水带相比含氧较少,因此腐蚀速率较小:大约为 0.03~0.05mm/年。

港湾钢结构体的防腐技术

●防腐技术的历史

过去,最普遍的防腐概念是“腐蚀余量”。因此,对钢构件的厚度预先留出余量以应对腐蚀损失。1953年,阴极保护被首次用于港湾钢结构体。在尼崎港,采用了由镁合金阳极构成的阳极系统。这种保护是外部电源系统。

进入上世纪 60 年代后,在各种港湾结构体对应用阴极保护(外部电源系统)进行了尝试。在 1960~1970 年前后,开发了油漆和焦油环氧树脂,对浸水

带以上的区域越来越多地采用防腐保护。作为涂层/衬料防腐保护,开发了富锌涂料用于焦油环氧树脂的底漆。此外,对海平面以上的结构体尝试采用混凝土覆盖码头钢管桩的上部,因为对该位置无法获得阴极保护的效果。1970 年前后开发了氯化橡胶涂料,并且于 1972 年开发了氨基甲酸乙酯涂料。在阴极保护方面,开发了高效铝合金阳极法,开始了阳极防腐保护的全面应用。同时,水下焊接技术也在 1970 年前后得到发展,缩短了安装铝合金阳极时的工期并提高了安全性。

在从 1980 年开始的几年,开发了多种高耐久性涂层/衬料防腐保护方法,其中包括水泥砂浆/FRP 被覆法、矿脂衬料法、以及水下硬化型衬料法等。1982 年前后,开发了聚乙烯衬料和聚氨酯衬料(称为耐用型防腐保护法)。作为涂层型防腐工艺,开发了具备高耐候性超量/超厚型环氧树脂涂料和氟树脂涂料。

然而即使在当时,防腐保护工艺也未必对全部港湾设施采用,而“腐蚀余量”工艺依然保留。结果,1983 年在横滨港发生了一次事故,造成了港湾设施的下沉。以这次事故为契机,1984 年将阴极保护定为对浸水带及海泥带的原有钢结构体防腐保护的标准方法,将涂层/衬料保护定为对潮汐带、浪溅带、以及大气带的原有钢结构体防腐保护的标准方法。

在相同时期,钛作为防腐保护材料投入了实际应用,诸如采用防腐不锈钢衬料那样,对钢板采用钛包层。钛材料已经被采用作为实际的结构体,例如跨东京湾高速公路(对于水深-2m~+3m 范围)以及梦舞大桥(浮桥、旋转型)。耐海水不锈钢衬料作为导管架型码头的防腐保护措施用来改善大井泊位的防腐性能(对于水深-1m 以上)。

此外,《港湾设施技术标准》于 1999 年 4 月修订,取消了基于腐蚀余量的防腐保护方法,规定了在一般情况下,对平均潮面以下的区域应采用阴极保护法,对平均潮面下 1m 以上的全部区域应采用涂层/衬料保护方法。

●标准防腐保护方法的概念

发生在平均低水位 (M. L. W. L.) 下侧附近的集中腐蚀难以直观地发现,并且难以采用涂层的方法修补,因此需要采取适当的对策。对于集中腐蚀制定了三项标准防腐保护工艺(图 4)。

(A):本方法对低水位-1m 以上部分采用涂层/衬料防腐保护,对平均低水位以下部分采用阴极保护,是最广泛应用的方法。

(B): 本方法对向海底延伸的部分采用涂层 / 衬料防腐保护方法 (A)。对于需要采用较大的阴极保护防腐保护电流密度的远海、以及承受高潮流冲击的区域是经济有效的方法。对大跨度桥梁和水闸具有很多方法 (B) 的应用实例。

(C): 本方法对腐蚀最严重的区域浪溅带、以及潮汐带、浸水带和海泥带的构件采取涂层 / 衬料防腐保护。通常, 本方法用于设在浅水区域的钢板桩护岸。在这些应用中, 涂层 / 衬料防腐保护方法是最优异的防腐保护, 并且具有耐久性。在大部分情况下, 新建结构体采用聚乙烯衬料和聚氨酯弹性体衬料, 原有结构体采用矿脂衬料和砂浆衬料。通常, 涂层 / 衬料方法的应用深度限制可达 G.L. -1m。对 G.L. -1m 或以下的海泥带不采取防腐保护方法。对于这种情况, 需要采用对相应的海域增加了足够的腐蚀损失厚度的钢构件。

图 4 港湾钢结构体的标准防腐保护方法

●用于涂层 / 衬料防腐保护的材料

港湾钢结构体采用了 5 种主要涂层 / 衬料防腐保护方法——涂层、有机衬料、矿脂衬料、砂浆衬料、以及金属衬料。

典型的涂层工艺采用大量 / 厚膜型富锌涂料加环氧树脂涂料。有机衬料具备更高的耐腐蚀性。用于港湾钢结构体的有机衬料包括聚乙烯衬料、聚氨酯弹性体衬料、超量 / 厚膜型衬料、以及水下衬料。水下衬料分为两种类型, 一种是像油灰状态的油灰型衬料材料, 用于手工被覆; 另一种是涂料型, 衬料材料采用辊子或刷子涂覆。水下衬料工艺的特性之一是对诸如钢板桩连接部分等形状复杂的结构体施加衬料。

矿脂衬料具有许多实际应用, 对于港湾钢结构体是一种有效的防腐保护方法。采用这种工艺, 矿脂型衬料牢固地粘合在钢构件表面, 并采用塑料或增强塑料覆板、或者耐腐蚀金属覆板保护。在有些情况下, 向矿脂衬料和覆板之间插入缓冲衬料。这种综合工艺的特点是水下适用性、表面打磨比较容易、以及衬料无需养护期。

砂浆衬料是在钢构件表面形成致密的钝化膜获得的防腐保护方法, 充分利用了水泥中的碱性。采用混凝土衬料时, 这种方法经常被称为砂浆衬料。砂浆衬料已经长期被用于港湾钢结构体的防腐保护。衬料砂浆发生劣化, 出现裂纹、脱落、以及中和时, 衬料便会丧失防腐保护性能。作为补救可采取各种措施, 包括增加衬料厚度、混入有机聚合物

和钢纤维、采用表面涂层、以及也作为 FRP 和金属模采用的保护装置。

金属衬料在抗冲击性和耐磨性方面尤为出色, 并且耐腐蚀性高。高耐腐蚀不锈钢和钛衬料作为金属衬料材料使用。

●阴极保护

—原理

作为阴极保护工艺, 用以抵消从钢构件流向电解质 (海水) 的腐蚀电流连续从外电源流向钢构件, 防止钢构件发生电离 (腐蚀)。阴极保护工艺分为两种——外电源工艺和牺牲阳极工艺。关于牺牲阳极工艺, 利用金属材料发生电离的大 / 小、和 / 或高 / 低趋势, 将铝、锌、镁等金属材料与钢构件连接发生电离 (腐蚀) 以取代钢的腐蚀, 从而保护钢构件不发生腐蚀。

—应用

对阴极保护规定的应用范围是平均低水位以下的区域。阴极保护对防止位于平均低水位下侧的钢构件发生集中腐蚀非常有效。作为当前采用的阴极保护工艺, 几乎全部使用铝合金阳极作为牺牲阳极系统, 其主要原因是牺牲阳极工艺具备许多优点: 系统安装后无需使用电源 (与外电源工艺不同), 无电力消耗, 通过定期测量电位可进行检查和维护。

防腐保护技术的新主题

—东京国际机场 (羽田机场) —

羽田机场最近新建的第 4 跑道如图 5 所示 (2009 年当时, 正在建设)。该跑道的特点是由回填部分 (长度 2, 020m) 和码头部分 (长度 1, 100m) 构成。根据上述介绍的“港湾钢结构体”的以往经验, 由于对新建的第 4 跑道要求长达 100 年的长期设计使用寿命, 因此需要对码头结构体采取充分的防腐保护技术。对于这种非常重要的结构体, 构成钢导管架的钢桩全部由不锈钢板保护。潮汐带和浪溅带部分的板厚为 0.4mm (图 6)。对构成上部结构框架的钢梁采用环氧树脂涂层保护。长达 100 年的设计使用寿命是对暴露在非常严酷环境条件下的海洋钢结构体提出的挑战。如上所述, 对导管架型钢构件采用了最高级别的防腐保护技术。然而, 实现 100 年的使用寿命并不需要进行经常维护。

图 5 新羽田机场的第 4 跑道

图6 码头型跑道的下部结构

防腐保护技术的性能驱动设计和维护的展望

总体说来，作为日本防腐保护技术的历史，在上世纪80年代，“腐蚀余量理论”的重要性降低，而确定了阴极保护及涂层/衬料等“防腐保护方法”。进入21世纪，基础设施管理的主要部分从新建变成对原有结构体的维护。此外，设计系统也从“规格”逐渐向“性能驱动”转变。同时，防腐保护工艺的设计也逐渐转向了性能驱动方法。防腐保护工艺的性能定义是“在设计使用寿命期间，防止钢材发生腐蚀（锈蚀）”。

一般钢结构体的设计使用寿命通常为50年，但是羽田机场的新跑道例外（100年）。衬料或涂层方法和可期待使用寿命如表1所示。在现有技术条件下，50年期间是最长的耐久年限。通常，20年至30年是预期的程度，意味着对于海洋钢结构体需要采用妥善维护的工艺来达到50年以上的预期使用寿命。在从2000年起的10年中，主要的讨论集中在港湾结构体的维护工艺方面，包括混凝土结构体（RC、PC、混凝土钢材混合）以及钢结构体（钢板桩、钢管桩、导管架型）。

表1 衬料或涂层方法和预期使用寿命。

性能劣化曲线和维护的效果如图7所示。该图也显示了三种不同维护等级的情况。最高维护等级称为“I级”，中间等级称为“II级”，最低等级称为“III级”。根据对几个重要因素的考虑，诸如“结构的重要程度”、“环境条件”、以及“检查/测量的难度”等，对各结构设定等级。维护工作应基于各个结构体的LCM概念。一系列的维护作业包括“定期检查”、“必要的调查”、“劣化或性能降低的评估”、根据需要进行“修补和加固”、以及“对于高等级和低成本维护系统建立数据库”。

在2011年当前，防腐保护技术在一定程度上已经获得了很好的发展，但是未来随着升级，仍然需要建立1)防腐保护系统的性能驱动设计系统，2)更高等级的维护系统。

图7 性能劣化曲线和维护的效果

结论和致谢

有关本文，港湾空港技术研究所提供了许多宝贵数据和资料，对此我们表示由衷地感谢。毋庸置

疑，虽然防腐保护技术已经取得了大幅度进展，但是目前的技术并不一定完美。在日本，该领域的新研发工作正在推进，笔者希望以某种方法对此作出贡献。就此而言，在港湾钢结构体建设的防腐保护领域，我们非常希望能够与全球的工程及研究人员展开合作。



（第6页～第9页）

钢管桩、钢板桩的修补和加固技术

- 防腐及修补工艺研究会 增田 和广
（吉川海事兴业株式会社）
- 防腐及修补工艺研究会 白石 弘
（株式会社 Nakabohtec）
- 防腐及修补工艺研究会 守分 敦郎
（东亚建设工业株式会社）

前言

由于港湾钢结构体处于严酷的腐蚀环境中，如果针对防腐蚀的维护管理不善，将发生承载力大幅度降低等，可能导致致命性劣化。日本在从昭和30年代（1955年）至昭和40年代（1965年）的高度经济成长期，建造了很多港湾设施，并同时也建造了大量钢结构体。当时，钢结构体的防腐蚀技术没有发展到今日的程度，在建造的结构体中，发生了许多因集中腐蚀导致的严重劣化。

水下部分的钢材发生的集中腐蚀实例如照片1所示。此外，照片2是在防腐被覆的浪溅带发生的腐蚀孔的实例。在诸如这些实例的状态下，如果此后不进行妥善维护管理，劣化进一步发展后，将对结构体造成致命性损害。

图11)是对日本的港湾钢结构体防腐蚀技术发展过程的归纳。在建造了许多港湾结构体的昭和30年代（1955年）至昭和40年代（1965年），对海洋的水下部分，采用外部电源方式的电化学防腐工艺；对潮汐带以上部分，采用腐蚀余量的设计方法。

照片1 海洋水下部分的集中腐蚀实例

照片2 被覆防腐部分腐蚀孔实例

图1 日本的港湾结构体防腐蚀技术的发展过程

当时，由于对维护管理的重要性尚未形成如同今日的认识，因此发生了上述因集中腐蚀及腐蚀孔导致致命性劣化的事例。1981年发生的横滨港山下码头栈桥钢管桩因集中腐蚀导致的压屈及上部结构

的塌陷事故，就是致命性劣化的典型事例。

以该事例为契机，防腐蚀技术的重要性得到了肯定，在推进先进技术发展的同时，制定了防腐蚀、修补规程 2)，目前，吸取诸如上述事故等教训，对新建造的结构体采取防腐蚀措施已成为标准，并且妥善进行维护管理。

然而采用腐蚀余量设计的钢结构体至今仍有很大，并且由于以前的维护管理不善，钢材进一步腐蚀，甚至存在可能导致严重劣化的结构体，因此需要按照防腐蚀、修补规程 2)，对这些钢结构体进行修补和加固。

本文将介绍有关对已发生钢材腐蚀的钢结构体进行修补和加固的最新技术。

采用钢筋混凝土进行修补和加固

●设计的基本构想

这种工艺的设计基本构想如图 2 的虚线所示，对于因钢材腐蚀严重导致的钢材设计断面承载力降低、低于设计断面承载力的部位，采用钢筋混凝土进行修补和加固，以满足式 (1)。对此，在工艺上采用水下栓销，与作为修补和加固对象的钢管桩及钢板桩的健全部分形成一体，使作为修补和加固材料的钢筋混凝土能够可靠地保持断面承载力。

修补和加固的工艺概念图如图 3 所示。在修补和加固对象部分的两侧焊接水下栓销，然后浇筑满足式 (1)、设有足量钢筋的水下混凝土可靠加固。

采用这种工艺恢复的断面承载力概念图如图 4 所示的虚线形状。

图 2 因钢材腐蚀导致断面承载力严重降低的概念图

图 3 采用钢筋混凝土进行修补和加固的概念图

图 4 修补和加固后的钢材断面承载力恢复的概念图

●施工方法的概要

关于施工方法的概要如照片 3 所示，使用铲棒及风铲等将附着在对象钢材上的海洋生物及浮锈去除，然后对水下栓销的焊接部位进一步进行基底处理，以满足焊接的要求。

由于水下栓销是使钢管桩及钢板桩与钢筋混凝土形成一体的重要部件，因此采用可在水下可靠焊接的水下栓销焊接工艺（照片 4）。关于水下栓销焊接施工的质量管理，采用根据焊接时的电流波形确认焊接质量的方法。

然后，设置必要数量的钢筋，但对于钢板桩，也采用设置事先在陆地组装状态的钢筋的方法。

对于混凝土采用通常的水下混凝土，如果需要

考虑对周围海域水质的影响，一般采用抗分离性能优异的“水下不分离性混凝土”。

拆模后的状态如照片 5 所示，由于钢管桩及钢板桩的形状在完成没有较大改变，因此作为日后的维护管理，与其他桩结构同样，可通过目视进行检查。

照片 3 栓销焊接位置的划线和基底处理

照片 4 水下栓销的焊接

照片 5 钢筋混凝土的完成状态

采用钢板进行修补和加固

●设计的基本构想

本工艺是采用钢板代替上述混凝土的工艺。这种工艺的具体做法是，对发生了腐蚀使设计断面承载力大幅度降低的钢管桩或钢板桩安装必要厚度的钢板，在钢管桩及钢板桩（修补和加固对象的两侧）的健全部分，采用水下焊接固定钢板。

虽然基本断面承载力降低及恢复状态与上述采用钢筋混凝土修补和加固同样，但由于钢板部件的厚度没有钢筋混凝土厚，因此修补和加固后的钢管桩及钢板桩发生的应力状态与修补前类似，具有修补和加固的不良影响较少的特点。

●施工方法的概要

使用风铲等清除附着在对象钢材上的海洋生物及浮锈，然后将事先加工的修补和加固用钢板设置在指定位置。对于钢管桩等如照片 6 所示，大多将加强用钢板按分成两部分的形状加工。

然后通过湿式水下焊接，将修补和加固钢板与钢管桩及钢板桩焊接（照片 7）。由于作业的质量受到焊接作业人员的技术及海洋条件的影响，因此保证足够的安全焊接长度非常重要。为此，湿式水下焊接部分的屈服应力特性值取按同样方法在工厂焊接时的 70%。但是，如果因波浪等导致作业环境较差、以及对于承受较大交变应力的钢管桩及钢板桩，有时即使取该数值也仍不够，对其适用性需要加以注意。

另外，这种工艺以应用防腐蚀工艺为前提，因此应参考港湾钢结构体防腐蚀、修补规程 2) 等，需要对水下部分采取电化学防腐、对于潮汐带及大气带采取被覆防腐。

照片 6 修补和加固用钢板的设置

照片 7 一体化后的状况

结语

目前，需要进行修补及加固的钢管桩及钢板桩还有很多。在现今不景气的经济环境中，这些结构体难以在短时间内全部解决。

然而，2009年11月发行的《港湾钢结构体防腐蚀、修补规程（2009年版）》2)不仅再次强调了港湾钢结构体维护管理的重要性，而且还提出了更加具体的维护管理方法。根据该规程，即使对于迄今没有妥善管理的钢结构体，今后也将基于LCC的观点进行妥善的修补和加固，能够作为安全、放心的社会基础设施，对社会的发展作出贡献。如果本文能够发挥这种作用，笔者将感到十分荣幸。

致谢：

本文引用了由防腐蚀、修补工艺研究会和（财团法人）沿岸技术研究中心进行的《港湾钢结构体防腐蚀、修补规程（2009年版）》2)修订作业的成果。此外，本文也反映了防腐蚀、修补工艺研究会对于2011年秋出版的《防腐蚀、修补工艺实务手册》3)进行了修订的部分成果。在此，我们对相关各位表示由衷地感谢。

[参考文献]

- 1) 阿部正美：港湾钢结构体防腐技术的发展过程，材料与环境，60，PP.3-8，2011
- 2) 财团法人沿岸技术研究中心：《港湾钢结构体防腐蚀、修补规程（2009年版）》，2009年11月
- 3) 防腐蚀、修补工艺研究会：《港湾钢结构体调查诊断、防腐蚀、修补工艺实务手册》



（第10页～第13页）

越南日新桥（Nhat Tan Bridge）的设计概要及下部结构的施工状况

池田大树、安藤滋芳、秋庭司、大桥治一
大日本咨询株式会社

前言

日新桥的建设是总长8.5km的公路桥项目，大致南北跨越越南首都河内市的红河。作为2010年10月迎来河内迁都1000周年的项目，拥有5座桥塔的斜拉桥将成为日越友好的象征。设计和施工管理由长大-大日本咨询公司合资承担，包括主桥梁在内的建设施工项目1作为STEP日元贷款事业，由IHI-三井住友建设合资承担，于2009年10月动工。

以下以主桥桥塔基础采用的钢管板桩井筒基础的设计和施工为中心进行介绍。

桥梁计划及设计

●桥梁概要

项目业主：越南交通运输部 PMU85

桥长：1,500m

跨距：150m+4×300m+150m

形式

上部结构：6跨连续合成2主I梁斜拉桥

桥板：钢筋混凝土预制板

主塔：钢筋混凝土A形主桥塔

基础结构：钢管板桩井筒基础

（图1~3）

图1 上部结构断面图

图2 P12主塔总图

图3 总体侧面图

●桥梁方案的选择

目前，红河在架桥位置附近被砂洲分成南北两条河道。根据河床变动的历史记载，河道及砂洲的位置随时代而变动。因此，考虑到砂洲及河道在未来的变动，选用了等跨距6跨连续斜拉桥方案（图4）。

图4 完成预想的CG透视图

●采用标准

本设计采用了基于美国AASHTO-LRFD的越南国家桥梁设计标准《Specification for Bridge Design 22TCN-272-05》。此外，对于该标准中没有规定的项目（钢管板桩井筒基础、免震支撑等），采用了日本国内的设计标准。

●主要材料

本桥梁设计采用的主要材料如下所示。

- 钢材：SS400、SM400、SM490、SM490Y、SM520、SM570
- 钢缆：7mm镀锌钢丝平行绞合钢索（抗拉强度1,770MPa）
- 钢管板桩：SKY400、SKY490
- 混凝土设计标准强度：40MPa（主塔、桥板），30MPa（端部桥墩、现场浇筑桩）、25MPa（钢管板桩基础的承台）
- 钢筋：SD390

• PC 钢绞线: SWPR7BL

●桥宽构成

从中央起为 2×3.75m 的汽车车道、3.75m 的巴士车道、3.3m 的混合车道（摩托车、自行车等），最外侧为 0.75m 的步行道。

●上部结构

上部结构为全长 1,500m 的连续结构。主结构采用位于桥宽两侧的 2 根 I 梁作为主梁，按 4m 间隔配置支撑桥板的横梁。钢缆固定在主梁腹外侧面。主梁及横梁采用由榫销连接预制桥板形成的合成梁结构。桥板最外侧设有整流罩，用于提高抗风稳定性。

采用平行绞合钢索的钢缆从主塔以扇形向两面斜拉。

●主塔

钢筋混凝土结构的主塔采用了 A 形设计，以保证桥轴线直角方向的刚性。为了减小基础的平面形状，对于支撑上部结构的横梁以下区间，采用了主塔桥墩的间隔随着向下侧延伸而向内收缩的形状。因为横梁受到部件轴向拉伸力作用，所以采用了 PC 结构。在塔顶附近设置了由钢板构成的锚箱，在该锚箱内承载钢缆。

●钢管板桩井筒基础

关于主塔基础，以改善当时在越南被视为问题的现场浇筑桩的施工质量为目的，作为越南国内的首次应用项目而采用了钢管板桩井筒基础。

由于钢管板桩井筒基础是日本开发的结构形式，因此以道路桥示方书 IV（2002 年）及钢管板桩基础设计施工便览（1997 年）为适用标准。

关于冲刷深度，设计时推测从河床起最大 15m。关于板桩，从保证支撑力的角度考虑采用了打桩工艺，向作为支撑层的 N>50 沙砾层打入桩径的 5 倍以上。关于承台上端位置，考虑到长期河床变动的影 响，采用了标高=-3.0m 的位置。

钢管直径为 1,200mm，外周板桩的板厚为 16~21mm。平面形状为 48.7m×16.9m 的椭圆形，包括围堰部分在内的最大板桩长度为 50m。含隔壁和中间桩的板桩总数为 632 根。与承台的连接采用了钢筋栓销方式。（图 5）

施工进度

截至 2011 年 5 月底，P13、P14、P15 正在进行主塔底部的施工，P12 及 P16 的钢管板桩的打桩结

束，正在进行水下挖掘、底板、顶板等施工。（照片 1、2）

照片 1 施工现场全景

照片 2 在砂洲的陆地施工状况

●施工场地和施工设备

设置 P14 的红河砂洲用来作为材料放置场地、钢筋加工工厂、中转站等施工基地。对于河流内的 P12、P13、以及 P15，使用浮吊、材料运输船等各种驳船进行水上施工。（照片 3）

照片 3 水上施工的驳船群

●钢管板桩的打桩

为了准确地完成大规模基础、并且最长 50m 的钢管板桩的打桩，保证垂直精度十分重要。在现场，采用并用射水工艺的液压振动打桩机实施板桩的打桩。并用射水的液压振动打桩机打至从桩的前端到 6D（D：板桩直径）上方为止，向支撑层的最终击打采用柴油打桩机完成。

各基础分别设 1 根试验桩，通过 PDA（Pile Driving Analyzer，打桩分析仪）试验确认支撑力。（照片 4、5）

照片 4 射水喷口

照片 5 采用柴油打桩机最终击打钢板桩

●围堰

设计时根据红河的历史水位数据，将最高水位的夏季两个月除外，对施工时水位设定为标高+9.5m。由于水位差较大，因此对多段支撑、水位调节、以及底板浇筑时期调整等进行了讨论并采取措施，致力于减小板桩的残留应力。在实际施工中，因受到去年枯水的影响，水位只有+7m 左右，夏季也没有中断施工，并且与设计时相比，将板桩的顶端标高降低了 1m。（照片 6）

照片 6 井筒内部

●水下挖掘

使用水泵进行井筒内的水下挖掘，采用了将河底的土石与水一同排出的方法。（照片 7）

照片 7 水下挖掘泵的排水口

●后续工程

完成挖掘后，进行水下浇筑底板混凝土，焊接栓柱，设置承台钢筋并浇筑混凝土，然后转为主塔施工。这些内容将利用其他机会介绍。（照片7）

照片8 水下挖掘泵的排水口

结语

在今后大约两年半的期间，将在现场建造主塔、设置塔顶锚箱、以及架设主梁等持续进行要求一定精度的作业。我们希望运用日本的先进技术，顺利实现竣工和通车，使 Nhat Tan 大桥成为促进越南经济发展的桥梁。（照片8）

照片8 主塔基础钢筋笼施工讨论用实物尺寸模型

致谢

在视察钢管板桩井筒基础施工现场时，三井住友建设株式会社日新桥（Nhat Tan Bridge）建设施工现场办公室的山路项目经理以及三村设计经理提供了大力协助，在此表示衷心感谢。



（第14页～第18页）

东京京门大桥钢管板桩基础的设计和施工

早稻田大学 社会环境工学科
教授 清宫 理

概要

在东京港，为了使以沿海地区的国际贸易货物为中心的城市间物流保持顺畅，总长约8.0km的“东京港临海道路”的建设项目已经开始。“东京京门大桥”包括跨越东京港第三航道的桥梁（3跨连续钢结构箱形桁架复合桥）、以及两侧的陆地、海上引桥（多跨连续钢结构箱形板梁桥），是总长约2.9km的大型桥梁。计划在2011年度内竣工。

在建造东京京门大桥的海底基础，堆积了厚度超过30m的冲积粘性土层（N值 \approx 0），桥墩基础采用位于7号地层最深部位的砂层或沙砾层支撑地基，是从海底面向下延伸达65m以上的大深度基础。对于设定的地震动（max 534.7 gal, min -434.2 gal），为了实现地震时具备变形能力、以及经济的断面，采用了大口径钢管板桩井筒基础（钢管板桩直径 \approx 1,500mm，网纹钢板+高强度砂浆填充接头）。

本文将概要介绍东京京门大桥的大口径钢管板

桩井筒基础，并且介绍施工的情况。

东京京门大桥的特点是，跨越东京港第三航道（跨越部分的宽度：约310m，梁下高度：A.P. +54.6m），并且受到东京国际机场的空域限制（A.P. +98.1m）等。在本桥梁的建设中，在设计和施工的各阶段均满足这些限制条件，并且为了进一步实现结构、经济合理性，建成一座更加安全和高质量的桥梁，采用了以大型肋材省去钢桥板、镶接板的桁架连接部分、BHS钢材、大型免震支撑等尖端技术。

钢管井筒基础的设计以道路桥示方书及钢管桩协会发行的《钢管桩——设计与施工》为依据。作为对基础要求的性能，始终满足支撑力、翻倒等，在1级地震动时，材料在允许应力度以内及水平位移50mm以内；在2级地震动时，材料在屈服值以内，基础地基的屈服在40%的范围。

东京京门大桥的概要

- ◇桥梁形式：3跨箱形桁架复合桥 760m
- ◇公路分类：4类1级
- ◇车道数量：双向4车道
- ◇总长：2,933m（海上区间1,618m）
- ◇设计速度：50km/小时
- ◇计划完工：2011年（2001年度的国土交通省项目）
- ◇总建设费用：1,410亿日元

基础结构

如图1所示，支撑本桥梁（总长约2.9km）的桥梁下侧结构包括2座桥台、21座桥墩，其中海上部分（长度约1.6km）有9座桥墩，主桥桥墩（MP2、3）为RC壁式桥墩（照片1），其外侧的桥墩（MP1、4）为空心式RC桥墩。

如图2所示，钢管井筒基础周围的基础地基是厚厚地堆积了N值 \approx 0的松软冲积粘性土层（AC2层），作为CP9~MP2支撑层的沙砾层（Dg1层）、作为MP3~WP6支撑层的沙层（Ds2层）均分别位于A.P. -75m以深、A.P. -50m以深的较深位置。CP9~MP2基本上以A.P. -75m的沙砾层为支撑层，MP3~WP6以与此相比较浅的A.P. -54.5~-50.5m附近的砂层为支撑层。

钢管桩的打桩状况如照片2所示。首先使用振动打桩机打至支撑层，然后使用液压打桩机。使用的打桩机为IHC-S280、IHC-S200。向支撑层的设计打入长度为3.0D至3.2D。钢管桩的外径为1500mm，桩前端的板厚为17mm。钢管井筒基础的建设状况如照片3所示。

图 1 桥梁总体图

图 2 基础的结构与土质条件

照片 1 MP2 钢管桩的打桩状况

照片 2 钢管桩的打桩

照片 3 钢管井筒基础的建设状况

垂直支撑力加载试验

关于在本桥采用 $\phi = 1,500\text{mm}$ 钢管板桩，我们明确了在东京湾同类施工中发生问题的大口径钢管板桩的支撑机理，为了实现合理的基础设计和施工管理，在本项目施工前，于 2003 年进行了现场加载试验。作为加载试验进行了“冲击加载试验 (DLT)”、“静态加载试验 (SLT)(水平、压入)”、以及“急速加载试验 (STN)”，①实施冲击加载试验，通过波形匹配解析求出前端阻力，②实施静态加载试验求出周面摩擦力，③实施冲击加载试验和静态加载试验求出前端阻力的构成率（施工时前端静态阻力与地基恢复后前端阻力之比），④实施急速加载试验求出周面摩擦力与 N 值的关系。（表 1~2、图 3）

表 1 加载试验桩和试验项目

表 2 试验的内容和目的

图 3 试验位置的支撑层厚度与 N 值关系图

与钢管井筒基础的设计相关联，对钢管桩打入基础层的长度和钢管桩前端的闭塞率进行设定。此外，对地基反力系数、垂直方向地基反力等由道路桥示方书设定的数值也进行了确认。静态加载试验的状况如照片 4 所示。采用 4 根钢管桩作为反力桩，使用液压装置以多循环方式向支撑层深度方向压入钢管桩直径的 3 倍。关于液压装置的能力，④号桩为 48000kN、⑤号桩为 56000kN。⑤号桩的载荷与垂直变位关系如图 4 所示。最大载荷为 36000kN，最大变位为 280mm。变位量至 60mm 左右基本上为弹性范围，屈服载荷为 2000kN。根据在钢管桩的 13 处位置进行的应变测定结果，计算轴力的分布和周面摩擦力。钢管桩的轴力分布如图 5 所示。根据对钢管桩设置的应变计计算轴力。在各位置的轴力差可转换为摩擦力。

图 4 静态加载试验的结果

图 5 轴力的垂直分布

照片 4 静态加载试验

在上层粘土层，基本上没有周边摩擦力，周边摩擦力在下层增加。分离获得的前端支撑力与全载荷变位关系如图 6 所示。由此得知，该桩周面摩擦力远大于前端支撑力。此外，根据桩前端的摩擦力，可在桩外面和内面的摩擦力分离。在桩前端，内面摩擦力远大于外面，桩内面的砂及碎石为压紧的状态。

如图 7 所示，急速加载试验时，通过推进剂的燃烧压力，将设在桩头上的 160t 反力质量以大约 20G 的加速度向上方提升，以其反作用力向桩头以大约 0.1 秒的加载时间进行准动态加载。这种方法具有不使用反力桩、并且试验期间也较短的优点。加载装置的状况如照片 5 所示。通过设在桩上的测力传感器、应变仪和加速度仪计算钢管桩的轴力和速度分布。测定的载荷与变位的关系如图 8 所示。计算前端支撑力与周面摩擦力的模型如图 9 所示。将钢管桩作为弹性体，与周边地层以弹簧和缓冲器连接，通过桩头输入载荷改变地层常数，使测定与计算的波形重合。计算的这些时间变化和测定结果如图 8 所示。此外，也可以根据轴力和速度计算输入波（锤头的载荷）和反射波（地层的阻力）。该时间性变化如图 10 所示。

波形匹配解析的钢管桩轴力和周面摩擦力如图 11 所示。虽然钢管井筒基础的设计基本上按照道路桥示方书规定的方法进行，但根据加载试验结果，对用于设计的数据进行调整。主要调整内容如下所示。

- ①外径 (D) 1500mm 钢管桩向支撑层的打入深度取 3D。作为钢管桩前端的表观闭塞率，砂层为 53%，碎石层为 74%，前端安装十字肋材后，前端阻力增加了 30%。
- ②关于周面摩擦力，在支持层内估测了内侧的周面摩擦力，采用了如表 3 所示的数值。
- ③作为通过水平加载试验求出的地层变形系数，在粘土层为 2~3 倍，大于道路桥示方书提出的数值。

照片 5 加载装置的外观

图 6 前端支撑力和全支撑力

图 7 急速加载装置的结构

图 8 波形匹配的状况

图 9 计算模型

图 10 输入波形 Fd 与地层的阻力波形 Fu

图 11 波形匹配解析的结果

表 3 周面摩擦力的设定

高强度钢管接头的加载试验

通常，钢管板桩井筒的变形强度通过钢管板桩本体的弯曲刚性和接头的剪切阻力获得，对于一般的接头，采用 165.2mm 钢管连接，在内部填充压缩强度为 20MPa 左右的砂浆。本次，为了使钢管井筒基础的水平变位在地震时等处于允许值以内，需要提高接头的刚性。对此，为了提高钢管井筒板桩的刚性，如图 12 左侧所示，我们着眼于向接头间隙填充的砂浆强度和砂浆与接头的附着力。本桥向接头填充的砂浆强度采用通常的 2 倍（40MPa），为了提高附着力而并用网纹钢板接头，可获得足够大的抗剪切力。作为如图 13 所示的模型加载试验结果，获得了最大约 1,640KN/m 的抗剪切力，该数值是通常的平滑表面接头设计标准（钢管板桩基础设计施工便览（社团法人）日本道路协会）中的抗剪切力上限制（200KN/m）的大约 6 倍。

根据加载试验结果和地层常数调整，初期设定了如表 4 所示的钢管井筒基础的形状，成为大幅度缩小的经济性结构。

图 12 接头的结构和加载试验装置

图 13 载荷变位关系

表 4 钢管板桩井筒基础设计的结果比较

结语

本桥的钢管井筒基础建造在松软的地层，并且在发生地震时的断面力和变形较大，因此采用了大型基础的设计。通过大口径钢管板桩的加载试验，明确了建设现场的支撑力机理，对设计参数进行了调整。采用大口径钢管板桩和网纹钢板+高强度砂浆填充并用接头，通过断面的紧凑化和基于加载试验对施工管理步骤的设定等，大幅度缩小了结构尺寸，实现了建设成本的大幅度降低，同时提高了质量。



（封底）

特别报告

东北部太平洋地震及海啸

冲 健

日本钢铁联盟 海外委员会委员长

2011 年 3 月 11 日下午 2 时 46 分，发生了东北

部太平洋近海地震，地震震级为里氏 9.0 级，是日本国内观测史上最高震级。以东日本为中心，死亡、失踪人数超过 2 万 7 千人，倒塌的建筑物超过 6 万 5 千户，日本遭受了前所未有的大灾难。本次大地震的震源位于太平洋三陆近海（牡鹿半岛东南偏东约 130km 附近），震源深度 24km，是海沟型地震。以最大震度 7 级为首，在从岩手县至茨城县的大面积范围，观测到的震度接近 6 级以上。断层破坏从震源的三陆近海开始，最终发生断层破坏的震源区域分布在从岩手县近海到茨城县近海的南北约 500km、东西约 200km 的大面积范围。主震发生后，随即接连发生了里氏 7 级以上的强烈余震。地震发生后大海啸来袭，进一步加剧了本次地震的受灾程度。在受灾惨重的青森县至茨城县的太平洋沿岸地区，袭击主要港口的海啸高度均超过了 3m，在大船渡港的港湾内侧观测到了 9.5m 的浪高。此外，根据国土地理院编制的水淹范围概况图，在从宫城县石卷市到福岛县中部的大面积范围，距离海岸最远 5km 以上的地点遭受水淹。

我们向在本次地震中受灾的所有灾民表示深切慰问。对于这次遭受前所未有的大地震，日本国内及海外的许多朋友发来了邮件，表示慰问和鼓励。借此机会，我们向提供支援和予以关切的各位朋友以及广大读者表示由衷地感谢。

为了帮助灾区早日重建和复兴，日本钢铁联盟提出了有效的工程和建筑的钢结构技术和工艺方案。今后，我们将开展地震、海啸受灾状况调查，采取进一步的防灾对策，促进钢结构体的发展和普及。

照片

海啸搁浅码头的大型船

遭到海啸破坏的宫城县名取川附件

中文版：©一般社团法人日本钢铁联盟 2011