

# STEEL CONSTRUCTION TODAY & TOMORROW

(第 36 期, 2012 年 8 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 36 期 (2012 年 8 月) : 目录

### 特刊: 东日本大地震

序言 如何应对自然灾害 .....	1
海岸设施: 从地震和海啸中吸取的教训 .....	3
河流堤坝的受损与恢复和重建的措施 .....	6
液化对房屋和埋设的重要管线造成的破坏 .....	9
瓦砾、海啸堆积物的处理和 针对恢复重建的对策 .....	15

### 钢材的利用技术

关于防腐的基础知识 .....	18
-----------------	----

第 16 届土木钢结构研究学术研讨会 ..... 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>

## 特刊：东日本大地震

(1~2 页)

### 序言 如何应对自然灾害

东北大学 名誉教授 首藤伸夫

在日本，包括用于应对自然灾害的结构物在内的社会资本是从 1960 年以后开始积累的。这是因为随着收入倍增计划的推进，使资金的投入成为可能。在工程建设现场也发生了变化。钢铁和混凝土取代了以往的主要材料——土方、木材、以及石料。木杆脚手架变成钢管脚手架，振捣器出现在混凝土浇筑工地。由于发挥了机械化威力，使工期缩短，可靠性提高。

图 1 因自然灾害造成的死亡、失踪人数的状况

过去，就连一位数的一级国道也是砾石路；如今，即使穿过农地的田间道路都是柏油大道。人们修建堤坝和水库，很少发生洪水泛滥。如图 1 所示，以 1960 年为界，因自然灾害造成的死亡人数锐减。针对海啸采取了怎样的措施呢？除了极个别情况外，1933 年发生昭和东三陆大海啸之前，在山地居住、海啸来袭时撤离逃生是海啸对策。虽然 1933 年以后的对策也以在山地居住为主，但对于无法提供宽阔场地的釜石、田老等城市地区的 5 个地点，建造了防潮堤和防潮壁。

当时，收音机开始普及，将收音机用于海啸报警成为可能。从 1941 年起，以三陆地区为对象开始了海啸预报。虽然气象业务法于 1952 年度规定以日本全国为对象，但是在于此之前发生的 1952 年十胜近海地震海啸中，非正式运行的海啸预报发挥了作用。

结构物成为海啸对策的主要措施是从 1960 年发生智利海啸时开始的。海啸的影响波及到从北海道至冲绳的大面积范围，浪高较高处为 6m，大部分地区的浪高为 3、4m，因此采用结构物可容易地防范。在智利海啸对策特别措施法中规定：“海啸对策指结构物的新设及改造”，由此建造了大船渡海啸防波堤等巨大结构物。此外，还建立了国际性海啸预报机构。

然而在当时，人们并没有对结构物完全放心。作为象征性的写照，在以回顾智利海啸为目的发行的《三陆海啸纪实》（气仙地区调查委员会）中，对照片附加了这样的说明：“人类真的能够战胜自然？自然是否在嘲弄人类？”。但是在作为智利海啸对策

的结构物建成后不久，1968 年发生的十胜冲地震海啸来袭，由于浪高没有超过智利海啸，所以基本上完全抵挡了这次海啸。

经历了这样的过程，由于结构物抵御了并不十分大的自然外力，因此通过人工建造的结构物可以抵御海啸及洪水的概念逐渐形成。当然，虽然能够抵御，但是可抵御的程度有限。建造这些结构物的一代人通过抵御了外力的实例取得经验，渐渐忽视了这种限度。而下一代人则认为本来就能够抵御自然外力，因此忽视了应防备万一发生的情况。在这方面，具有代表性的大概是提出“没有必要建造堤坝保护东京抵御 200 年发生一次的洪水”的舍弃式项目分类。

2011 年 3 月 11 日发生了东北部太平洋近海地震。气象厅没有能够做出准确的预报。根据建立在 30 多年观测数据基础上的地震地体结构论，曾说明为各自独立活动的 3 个板块发生了连锁运动。地球存在了 50 亿年，如果人类的一生为 50 年，那么 30 年的观测仅相当于在人的一生中观察 10 秒钟。由此便认定已经全部了解就是产生错误的原因。对于这种错误，或许应该通过继续观测 3、4 百年、并且查明以往发生的海啸来纠正。

在建设省河川局·水产厅于 1983 年总结的《海啸常袭地区综合防灾对策指导方针（草案）》、以及海啸相关 7 省厅于 1998 年通过的《地区防灾计划中的海啸对策强化指南》中，都明确指出结构物无法防御巨大海啸，需要通过防灾体制来保护人身安全，应推进可防御海啸的城市建设实现减灾。因此，被视为 1,000 年发生一次的本次海啸越过既有的结构物、或者造成结构物的破坏是已预期的事情。

过度依赖结构物以及提供的信息而导致受灾的事例比比皆是。岩手县大槌町吉里吉里不属于岩手县设定的海啸淹水区域，然而却在该区域内、并且是 1933 年后迁居高处地区的死亡者比例最高。在岩手县釜石市唐丹本乡有一位经历过昭和海啸、在高出居住的老奶奶，发生地震后立即撤离到更高处避难。老奶奶的女儿虽然也住在高处，“因为平时总是商量好了”，所以马上撤离避难。老奶奶的孙子是 40 多岁的男子，在较低处居住，认为“已经建造了高大的堤坝，不会发生问题”而疏忽大意，看到海啸越过堤坝后慌忙开车逃离，却不幸被海啸吞噬。

虽然目前的结构物对于数十年、乃至一百多年发生一次的海啸能够完全发挥作用达到防灾效果，然而对于更大规模的海啸，重新要求结构物以具备坚韧的减灾效果为目标。

总之，仅依靠结构物无法完全保证人身安全。只有通过“在高位居住，自身亲自判断，自身采取避难行动”，才能灵活应对自然灾害——这条基本规律不会改变。



(3~5 页)

## 海岸设施：从地震和海啸中吸取的教训

港湾空港技术研究所 菅野高弘

### 序言

2011 年 3 月 11 日，日本历史上规模最大、被日本气象厅命名为“2011 年东北部太平洋外海地震”袭击了日本东北部沿海地区。这次里氏 9.0 级地震产生的强烈震动波及到本州岛从东京湾到本州北部，引发了一系列海啸，摧毁了整个地区的沿海城镇。在应急救援和灾后重建过程中发生了强烈余震（里氏 7 级以上），使得东北沿海地区的损失更加严重。

本文对港湾空港技术研究所的调查组沿大约 600km 海岸线对沿海设施的调查、以及后续实验和分析结果进行概述。本次观测到的地震动特征是持续时间长和高频率成分。因此，海岸设施受地震动的破坏程度相当小。通过区分强烈地震动和由继发的巨大海啸二次影响（例如液化、地面塌陷、沉降）对海岸设施造成的破坏，本次大范围调查对在整个地震灾区的破坏模式给出解释。

### 对海岸设施的破坏

在许多情况中，我们调查的设施状况受到地震和海啸组合效应的影响，在现场无法确定破坏的顺序以及地震和海啸载荷的相关影响。这些推测基于综合工程判断，并根据对海岸设施及全球范围地震的第一手经验加以整理，同时对许多类似灾害进行案例分析（如同“犯罪”调查），做出了巨大的努力。随着时间的推移，在主要现场可获得更多的数据，在本报告中对破坏模式给出的许多解释将被完善。在本初步报告中提供的调查结果和建议旨在港湾设施工程界引发讨论，促进应用研究的进展，最终达到提高技术水准和实现最佳实践的目的。

在本报告中，笔者将讨论因地震动和海啸的组合效应导致的典型破坏，根据地震和海啸的效应，提出对设计理念的未来展望。

地震动造成破坏的一个显著特点是码头岸壁朝海方向变形、以及码头岸壁后侧地面的下陷。与码头边缘位移量的中央部分相比，码头岸壁朝海方向

的变形较小，经常呈现如照片 1 所示的渐进弧。码头岸壁后侧的地面下陷量的增加趋向与朝海方向的变形量一致。因此，整个泊位往往无法使用。

照片 1 在 1993 年北海道西南近海地震中受损的北海道港钢板桩码头岸壁

如图 2 所示，以下考察在 2011 年发生的东北部太平洋近海地震中受损的相马港钢板桩码头岸壁。我们可以合理认为，码头岸壁发生的破坏是地震动和随后的海啸作用的结果。然而，对灾后现场的调查表明，许多因地震动造成的破坏痕迹与海啸的作用不无关联。因此，我们将根据地震动和海啸造成的不同破坏追查受损的原因。照片 1 和 2 的不同之处是，虽然两个码头岸壁都发生了几乎相同程度的破坏，但是在照片 1 中的码头岸壁全部损坏。另一方面，相马港的破坏仅发生在角部和全部码头岸壁的大约 30m 部分，而其他部分比较健全。当时的破坏过程详情尚不明确，笔者计划通过实验和计算分析解明该破坏过程。

照片 2 相马港钢板桩码头岸壁在 2011 年发生的东日本大地震中的受损状况

### 考虑地震和海啸两种效应的新设计理念构想

日本的港湾设施设计标准于 2007 年进行了重要修改。新设计标准的最显著特点是完全基于“以性能为基础的设计方法论”的理念。同时，新标准力求与工程地震学和地震工程学领域的最新发展保持一致。根据当前的设计标准，应调查和评估在 2011 年东北部太平洋外海地震中因地震动和海啸载荷导致的破坏，以完善当前的设计标准。

“以性能为基础的设计方法论”的理念构成了新设计标准的主干。设计过程的首要任务是“设施的目的”。其次，“性能要求”由“政府部门的条例”确定，以普通语言阐述设施的目的，以便于该目的被纳税人理解。然后，使用技术术语定义“性能标准”以实现性能要求，从而使这些标准能够严格地被技术人员理解。最后，采用某些“验证方法”来验证设施的性能。

从土工技术的角度考虑，如果按照时间序列考虑由地震和海啸导致的设施破坏，则发生的破坏可概括如下：

- 1) 发生高响应加速度，产生较大变形，出现诸如液化和发生裂纹等材料劣化
- 2) 在海啸袭击中的海啸浪压力，诸如拖曳力、浮力、

以及浮动物体的冲击力等水流的液压力。尤其对于临海位置发生的海啸，如图 1（下侧）所示，地面可能发生孔隙水压力的扰动，如同快速水位降低现象。

图 1 防波堤的推测受损机理

目前，破坏的原因和海啸导致的实际破坏机理尚未查明。我们正在推进实验和计算分析，以明确由地震和海啸的组合效应导致的破坏机理。

为了对海岸设施建立新设计理念实现“坚固的设计”，以抵御地震和海啸的组合破坏效应，应规定荷载条件、性能要求、性能标准、以及验证方法。对荷载条件的概括如表 1 所示，需要设定适当的荷载条件组合。关于建造坚固的防波堤，我们参照在表 1 中列出的性能要求。关于最大规模的海啸，难以将诸如“有用”和“可修复”等性能要求解释成为性能标准，在目前现状下，也难以通过定量的精度对设计进行验证。

当前，我们可以针对最常发生的海啸进行“设计”。另一方面，对于最大规模的海啸，我们只能提出“设计理念”建议。吸取 1995 年兵库县南部地震的教训，我们采用 1 级和 2 级地震动的理念，花费数年时间，基于 2 级地震动建立了抗震设计构想。同样，我们可能需要几年时间，对地震和海啸的组合效应建立新设计理念，与包括设计人员、工程建设官员、以及管理人员等在内的利益攸关者建立共识。



(6~8 页)

## 河流堤坝的受损与恢复和重建的措施

东京大学土木工程系教授 东畑 郁生

### 序言

与其他结构设计同样，日本的河流堤坝抗震设计的传统哲理曾基于安全系数大于 1 的理念。然而，河流堤坝有两个需要考虑的重要因素。第一个因素是经济问题，用于堤坝单位长度抗震加固的预算有限，这是由于易遭受地震破坏的堤坝总长度很大。第二个因素是地震安全系数小于一并不意味着立即会发生灾害或河水漫堤，因为强地震和大洪水同时发生的可能性被认为较低。因此，对地震安全系数大于 1 没有作出硬性规定。

作为一种选择，致力于以通常为 14 天的较短时

间修复河流堤坝可能发生的损坏。为了实现这个目标，基本的做法是建立以抗震性能为基础的设计原则，假设在给定的设计地震条件下的堤坝变形，将其与允许变形比较，若假设的变形超过了允许限量，则讨论各种降低措施的效果。基于这种观点，本文简短的内容阐述了河流堤坝在 2011 年东日本大地震中的表现和降低受损的成功案例。

### 河流堤坝在 2011 年大地震中的受损

本文讨论的河流和堤坝的位置如图 1 所示。首先，利根川堤坝的佐原段呈现了建在液化下层土上的堤坝或堤岸的典型破坏、以及顶部的下陷和侧向扩展导致的纵向裂纹。作为常见的情况，该地点曾经是河道的一部分，后来人为或自然地由砂质土填埋，形成了易发生液化的下层土条件。

一个值得注意的情况如照片 2 所示，尽管这里是粘土质所以是不易液化的下层土，但却发生了严重变形。因为该堤坝的诱发变形包含了在顶部的下陷和侧向扩展，是堤岸的液化引发变形的典型特征，照片 2 中的这些损坏被推测为由坝体内部的液化所导致。这种新构想的机理被认为符合 Sasaki et al. (1994)<sup>1)</sup> 和 Kaneko et al. (1996)<sup>2)</sup> 于 1993 年对十胜川和钏路川的上述案例的研究（图 3）：

- 1) 由于固结，河堤沉入较软的粘土质下层土，
- 2) 由于标高低于地表面，周围是低渗透性粘土，因此下陷部分对渗透雨水和渗出地下水的排水性差，
- 3) 下陷和随之发生的侧向扩展的过程可能伴随着土层松散并降低对液化的抵抗力。

有关内部液化的问题是诸如在监测易发生液化的堤坝、以及该类堤坝排水方面的困难。

图 1 本文讨论的受损堤坝的位置

照片 1 利根川堤坝的严重变形

照片 2 涸沼堤坝的严重变形

图 2 堤坝内部液化的机理示意图

### 成功地减轻堤坝液化引发的破坏

近十年来，由于对堤坝地震安全性的高度关注而采取了各种减轻措施。2011 年发生的东日本大地震提供了验证其效果的良好机会。应注意，这些减轻措施是针对以大约 50 年至 70 年期间发生一次的 1 级设计地震而设计的。虽然对利根川的小见川采取的碎石排水措施获得成功，但挤密砂桩对成瀬川的下中野目有效（图 1），因篇幅有限，有关详细内容，请参照 Towhata (2012)<sup>3)</sup>。

在茨城县筑波市荣地区，对利根川河堤采用地下板桩墙加固（减少水的渗漏），并在河堤采用了宽护坡道。发生地震时，该河堤未发生变形（照片 3）。与此对比，堤坝的背水侧因基础土层发生液化而损坏，这里的地下水位位于地表的 50cm 以内（笔者于 2012 年 4 月的观测）。沿坡脚设置 8m 板桩对受损部分进行修复（照片 4）。板桩上的孔可渗漏地下水，因此，在河流高水位时可降低堤坝的水位。

照片 3 位于利根川荣地区段的河堤没有受损（2012 年 4 月进行的堤坝全面修复）

照片 4 设置有孔板桩墙重建利根川荣地区段堤坝的背水侧

### 计算分析

对于结构的性能（变形）评估，笔者提出了承受强烈震动的液化砂土粘性模型（(Towhata et al.,1999 和 2010)<sup>4),5)</sup>，开发了计算程序。用于实例分析的堤坝模型如图 3 所示，其性能（顶部下陷）通过埋设的板桩墙、抗衡护堤、或两者改善（图 4）。图 5 所示的流动分析结果表明，板桩墙和抗衡护堤的组合效应可将强烈震动和 20 秒的流土后的顶部下陷降低至 50% 以下。

图 3 用于性能分析的基础发生液化的堤坝模型

图 4 板桩墙和抗衡护堤的改善措施

### 结语

本文关注在 2011 年东日本大地震中堤坝遭受的地震破坏。在许多破坏中，堤坝内部的液化可能性是一个新的重要课题。作为对比，数种改善措施发挥了作用，埋设板桩墙是其中之一。最后，采用粘性液体模型可完成堤坝发生液化的性能评估。



（9~14 页）

## 液化对房屋和埋设的重要管线造成的破坏

东京电机大学土木工程系教授  
安田 进、助理 石川

2011 年 3 月 11 日，在距离日本本州岛东北海岸约 130km 的太平洋近海，发生了里氏 9.0 级地震，被称为 2011 年东日本大地震。在沿东京湾填海造地

的大范围地区发生了液化，尽管这里距离震中很远，大约 380 至 400km。从 17 世纪开始，在东京湾地区开垦了大量土地。在诸如 1923 年的关东大地震以及 1987 年千叶县东方近海地震等以往的地震中曾引发了液化。但是，本次东日本大地震首次记录了在如此大范围地区引发的液化，造成房屋、重要管线和道路的严重损坏。

### 液化现场的调查

由于东京湾地区的全部列车在发生地震后立即停止运行，直到当天午夜才恢复通车，因此笔者在地震后的第二天对东京湾地区开始调查。通过调查，在地图上标出发现和未发现涌砂的道路（图 1）。由红线圈起的区域被判断为发生了液化，但请注意，该区域中的一些较小范围没有发生液化，因为其地面已采用了挤密砂法或后述的其他方法改良。笔者用了大约 10 天时间，对从东京的御台场至千叶市的范围、包括浦安市、市川市、以及习志野市的整个区域进行了调查。根据该第一阶段调查，我们绘制了液化区域推测地图（Yasuda 及 Harada, 2011）。

由于液化造成了房屋、河堤、公路、重要管线、以及港口和码头的严重损坏，国土交通省关东地方整備局计划与 JGS 开展联合调查以确定液化地点。图 2 是对暂定地图略加修改的推测液化区域地图。

图 1 用于判断发生液化和未发生液化区域的方法  
图 2 从东京的御台场至千叶市的液化区域

### 液化区域的土质条件

如图 2 所示，地震引发严重液化的区域分布在东京的新木场至千叶市的范围，包括千叶县的浦安市、市川市、船桥市、以及习志野市。在这些地区，填海造地工程从 1966 年开始。填海施工时，将疏浚土从海底填埋到高出海面的高度。然后对填埋层表面用山砂覆盖。疏浚施工过程如图 3 所示。采用挖掘装置挖掘海底的土层，用水泵与水混合，再通过管道输送，最后从管道的出口排出。由于疏浚的土质含大量的水、粗粒土颗粒和细粒土颗粒，因此它们易于分别在靠近出口和远离出口处堆积。此外，出口的位置各处移动，形成了非常不均匀的地层。在用疏浚土填埋、然后由山砂覆盖后，除了个别的几个区域采用挤密砂桩或碎石桩以及其他方法防止液化之外，没有对土层进行改良施工。

由于 JGS、千叶县、以及东京都政府发表了 3 套发生液化区域的基本数据，笔者根据这些数据，沿着与海岸线垂直的 11 条线估测了主要土层横截

面。沿浦安 3-3' 线的估测主要土层横截面以及发现涌砂的区域如图 4 所示。发现涌砂的区域与原海堤的海侧填海造地地区完全一致。在填海区域,以 6~9m 的厚度堆积了主要为山砂 (B) 的填埋层,以及为疏浚砂土 (F) 并且 SPT N 值较低、为 2~8 的填埋层。在其下侧是厚度为 4~8m、SPT N 值为 10~20 的冲积砂层 (As)。非常软质的冲积粘土层 (Ac) 以 10~40m 的厚度堆积在 As 层下侧,厚度沿着海的方向增加。在其下侧是 SPT N 值大于 50 的致密洪积砂层 (Ds)。地下水位较浅,为 GL-0.5m~-3m,深度沿着海的方向减少。与此不同,在未发现涌砂区域,As 层从地面开始堆积。因此可以推测,尽管在填海造地的某些松散部分可能发生液化,某些地下水位以下的疏浚砂土部分可能发生液化,但 As 层基本没有因 2011 年东日本大地震造成液化。尽管每个土层的厚度不同,但土层的成分与其他 10 个土层横截面类似。

以石原研而教授为委员长、由浦安市政府组建的浦安市液化对策技术讨论调查委员会于 2011 年夏季进行了详细的土质调查,开展钻探、SPT、CPT、PS 记录、原状土取样、以及循环三轴试验等工作,并于 2011 年 12 月报告了有价值的数值。标准化 SPT N 值的频数分布,  $N_1$  和细粒含量、F 层的  $F_c$  和 As 层的比较内容如图 5 (1)~(4) 所示。虽然 F 层基本上来自 As 层,但 F 层的细粒含量非常散乱,并且大于 As 层的细粒含量。这种不同很可能归结于填埋施工中冲积砂质土的缺少。由于疏浚区域正好位于由江户川形成的三角洲之上,因此用于填埋的砂质土不足,所以挖掘了部分冲积粘土与冲积砂质土混合。F 层的细粒含量的平均值很高,达到 43.8%。尽管其细粒含量高,但塑性指数  $I_p$  并不高。F 层的  $N_1$  明显低于 As 层的  $N_1$ 。原状土试样从 9 个地点获取,以得到循环抗剪强度和剪切模量。在 20 次循环三轴试验后发生液化的剪切应力比的频数分布、对于 F 和 As 层的  $R_L$  ( $N_L=20$ ,  $DA=5\%$ ) 如图 6 所示。虽然 F 层的数据非常散乱,但 F 层和 As 层的主要  $R_L$  值分别为 0.25~0.30 和 0.30~0.40。因此可以得出结论: F 层的土质比 As 层更容易发生液化。

图 3 疏浚施工的方法

图 4 估测的主要土层横截面

图 5 疏浚土和冲积砂的  $N_1$  及  $F_c$  的频数分布

图 6 导致液化的剪切应力比的频数分布

## 液化的过程

由于地震发生在星期五下午 14:46,因此在沿东

京湾的许多地点拍摄了大量重要的照片和视频,可研究发生液化的过程和机理。其中照片 1 (A~D) 是发生地震后小川先生立即在浦安市舞滨 3 丁目拍摄的一组照片:

<<<主震引起的摇动于 14:47 在浦安开始发生>>>

**A<14:56>**: 在东北方向开始发生的泥水渗出。主震的数分钟后开始发生涌水。

**B<15:01>**: 涌出的泥水逐渐蔓延并覆盖道路。

<<<15:16, 强烈余震袭击浦安>>>

**C<15:21>**: 西南侧道路全部被泥水覆盖。水管似乎受损。

**D<15:22>**: 许多房屋下陷和倾斜,汽车陷入涌出的泥水。

笔者向居住在浦安市入船地区的 30 位居民发出问卷询问涌水的时间和泥水涌出的高度,得到的答复概要如图 7 所示。大约 1/3 的居民在主震后立即发现了泥水涌出,而另外 1/3 的居民在主震后的 5~9 分钟发现泥水渗出。其他居民在不同的时间看到泥水。泥水的高度较低,在主震后大多小于 9cm。约 2/3 的居民说泥水的涌出持续到发生余震,约 3/4 的居民看到道路被水覆盖直到发生余震。与此不同,约 3/4 的居民在发生余震后立即看到泥水渗出,泥水的高度明显超过主震后的高度。这表示在某些地点,涌水因余震加速,在余震中发生了更严重的液化。虽然有关房屋下陷时间的询问对于居民很难回答,但 1/3 的居民和另外 1/3 的居民分别说他们的房屋在主震后的下陷为 0 和 10~19cm。并且许多居民在第二天发现了下陷。

根据在今川地区的调查,有些居民证明在主震时没有发生涌水,但涌水在余震时发生。

照片 1 按时间顺序拍摄的照片

图 7 对入船地区居民进行的问卷调查

## 长时间摇动对液化的效应

发生主震和余震时的地表加速度如图 8 所示。尽管发生了严重液化,但地表加速度并不高,大约在  $160\text{cm/s}^2\sim 230\text{cm/s}^2$  的范围。在实际观察到涌砂的千叶县 K-NET 稻毛记录的加速度记录仪非常重要,因为可通过记录的波形判断发生液化的时间。稻毛的加速度记录仪和在未发生液化的地点、由 K-NET 浦安记录的加速度图如图 9 所示。两个记录几乎在相同时间开始,稻毛为 12:46:16,浦安为 14:46:15。关于浦安的波形,在大约 118 秒 (14:48:13) 出现峰值加速度后,频率没有大幅度变化。与此不同,稻毛的波形在位于 120 秒 (14:48:16) 和 126 秒

(14:48:22) 出现两个峰值后, 频率变成较低值。因此可以判断, 在 K-NET 稻毛, 液化发生在大约 14:48:16 至 14:48:22。这意味着剪切应力的多次循环、例如从 110 秒开始约 20 次循环可能导致在 K-NET 稻毛地点发生液化。同时, 必须注意到在发生液化后, 摇动仍持续了较长时间。参照 K-NET 浦安的加速度记录仪, 发生液化后, 稻毛地面的摇动持续了约 3 分钟。

对地面的又一个影响很可能是余震时的摇动。如图 8 所示, 东京湾地区的余震峰值加速度几乎为主震时的一半。尽管如此, 如上所述, 一些地点在余震后发生涌水。因此, 发生严重液化的主要原因很可能是主震时的长时间摇动和余震所导致的。笔者尝试进行了循环扭剪试验和一些简单分析, 用来评估长时间摇动对于发生液化产生的效应。对试样施加两种类型的剪切波: 20 次循环的正弦波以及在 K-NET 浦安对主震和余震记录的地震波。关于地震波如图 10 所示, 超孔隙水压力随剪切应力逐渐增加。在图 11 中绘出对于正弦波的应力比  $R(\tau_d/\sigma')$ 、对于地震波的  $R_{max}(\tau_{max}/\sigma')$ 、以及剩余超孔隙水压力  $u/\sigma_c'$  之间的关系。因为对于  $u/\sigma_c' = 1.0$ ,  $R = 0.27$ , 对于  $u/\sigma_c' = 1.0$ ,  $R_{max} = 0.31$ , 根据 JRA 标准 (2002) 的校正系数  $C_w$  为 0.82。然后, 在  $C_w = 0.82$  和 1.0 的条件下, 针对各用于估测 11 个主要土层横截面的钻探数据评估对于液化  $F_L$  和液化势  $P_L$  的安全系数。关于估测, 使用由浦安市液化对策技术讨论调查委员会建议的公式, 通过 SPT N 值和  $F_c$  估测  $R_L$ 。对在发生液化的浦安得到的钻探数据评估的  $F_L$  值如图 12 所示。如果  $C_w$  设定为 1.0, 全部  $F_L$  估测大于 1.0, 而如果  $C_w$  设定为 0.82, 则  $F_L$  小于 1.0。在图 13 中, 对设定  $C_w = 0.82$ 、 $C_w = 1.0$  时对全部钻探数据的  $P_L$  进行比较。如果  $C_w = 0.82$ , 发生液化地点的  $P_L$  按大于约 10 计算, 可证明发生严重的液化。

图 8 K-NET 记录的主震和余震加速度的比较

图 9 K-NET 稻毛和浦安记录的加速度的比较

图 10 剪切应力、剪切应变、超孔隙水压力随时间的变化

图 11 剪切应力比与超孔隙水压力之间的关系

图 12 对浦安市今川的  $F_L$  的分析

图 13 对  $P_L$  的  $C_w$  效应

### 房屋的下陷和倾斜

根据国土交通省的统计, 约有 27,000 座房屋因液化受损 (表 1)。照片 2 (1~2) 是分别在受损房屋的外部 and 内部拍摄的。下陷和倾斜的房屋大约为

40/1,000。在严重倾斜的房屋, 居民感到眩晕、恶心, 并且在地震后难以在其房屋居住。然而在以往的地震中, 液化导致受损的房屋仅被判定为部分倒塌或损伤, 因为墙壁和门窗没有受损, 尽管人们希望在判定中务必考虑下陷和倾斜。

后来在五月, 日本政府内阁对房屋因下陷和倾斜两个因素造成的损坏公布了新的评估标准如表 2 所示。浦安市按照新标准的受损房屋数量在表 3 中列出, 并同时列出了按原判定方法计算的数量 (浦安市, 2011 年)。全部和部分损毁的房屋大幅度增加, 受损的房屋数量比部分受损的数量更多, 增加到 3,680。

如上所述, 液化的发生很可能受到了余震的影响。不仅液化的发生、而且下陷和倾斜也很可能受到了余震的影响。在许多地点, 地下水位在主震后上升, 然后涌出并覆盖地面直到发生余震。如图 14 所示, 虽然余震摇动的振幅小于主震, 但是在余震中容易发生房屋下陷。

东京湾地区的许多居民面临着严重问题, 即如何修复受损的房屋。问题的复杂性在于发生余震或未来发生地震时的再次液化。除了修复之外, 还必须采取某些针对再次液化的措施, 但问题是成本和原有结构的状态下处理地面的技术。有几个机构推进早期开发, 对原有木结构房屋的液化问题采用经济和有效的措施。此外, 目前正在开展通过降低地下水位改良一个区域的特殊措施适用性的研究。

表 1 因液化造成受损的房屋数量

照片 2 浦安市严重下陷和倾斜的房屋

表 2 房屋受损的新判定标准

表 3 按新旧标准判定的浦安市受损房屋数量

图 14 余震对房屋下陷可能造成的影响

### 液化地面的晃动造成的下水管道和检修井受损

在东京湾地区许多地点的人行道和小巷, 观察到如照片 3 所示的隆起、屈曲、以及挤压等异常现象。如图 15 所示, 某些挤压可能因液化地面的某种晃动导致在边界处发生。

(1) 由于摇动在发生液化后长时间持续。浦安市人行道和小巷的隆起以及地下水位下侧 F 层厚度的等高线如图 16 所示。或许可以这样解释, 在 F 层底部的位置发生了隆起, 换句话说, 液化层发生了倾斜。如图 15 所示, 这意味着可能由于水平压缩应力的集中造成了某种表面层的水平屈曲。

(2) 然而, 对于这种屈曲的机理仍需进一步研究。

关于下水设施，管道被扭曲或损坏，接头被拉出，管道充满泥水。许多检修井被横向切断并灌满泥水，也有少量检修井被抬起。虽然对这些独特的破坏机理仍在研究，但笔者的一个推测如图 17 所示。如上所述，长时间的摇动可能导致液化地面的某种晃动，造成道路发生挤压。由于地面的相同运动，管道可能在水平方向发生强烈的扭曲，造成接头被拉出或损坏，最终液化的泥水灌入管道。检修井可能被水平力切断，有压力的液化泥水灌入检修井。

难说是幸运还是不幸，向下水管道和检修井涌入的泥水可能防止了它们被抬起。

照片 3 市川市高滨町的人行道隆起

图 15 隆起的两种可能的机理

图 16 浦安市人行道和小巷的隆起以及地下水水位下侧 F 层厚度的等高线

图 17 下水管道和检修井发生的独特受损

### 涌砂和下陷造成的交通问题

在发生液化地区，出现了许多涌砂和大规模地面下陷。笔者观察到的最大涌砂厚度和最大地面下陷深度分别为 30cm 和 50cm，这是笔者在日本首次看到如此厚的涌砂堆积。但是，另一位笔者在克赖斯特彻奇于 2010 年 9 月发生主震和 2011 年 2 月发生余震时，曾看到相同的涌砂和大规模地面下陷。图 18 是主震时在克赖斯特彻奇的涌砂颗粒尺寸分布曲线与东京湾在本次地震时的曲线比较。克赖斯特彻奇和东京湾的细粒含量相似。对此可以推测，关于非常细的砂土，在这两个地区，由于液化泥土的低渗透性，导致了涌水的长时间持续。此外，细的泥土颗粒容易被涌水带到到地表面。居民清除堆积的砂土加速了地面的下陷。

照片 4 是被涌砂覆盖的小巷。汽车或自行车难以在堆积了又厚又湿砂土的道路上通行。另外，建筑物周围的大规模下陷阻碍汽车进出停车场。

图 18 东京和克赖斯特彻奇的涌砂颗粒尺寸分布曲线的比较

### 结语

2011 年东日本大地震在东京湾地区造成了严重的液化。尽管在该液化地区的地震强度并不高，但是涌砂覆盖了液化的地面。相当长时间的主震和 29 分钟后的余震可能造成了严重的液化。液化导致许多房屋发生大幅度下陷或严重倾斜。下水管道被扭曲或被损坏，接头被从地面挤出，管道涌入泥水。

许多检修井被横向切断并灌入泥水，也有少量检修井被抬起。这些对埋设管道和检修井的严重破坏可能归结于液化地面的某种晃动。

### 鸣谢

本文引用的一些结论来自以石原研而教授为委员长、由浦安市政府组建的浦安市液化对策技术讨论调查委员会的报告。此外，小川先生提供了重要的照片。笔者在此向各位表示衷心感谢。



(15~17 页)

## 瓦砾、海啸堆积物的处理和 针对恢复重建的对策

京都大学研究生院地球环境学堂 胜见 武

因东日本大地震发生了大量的瓦砾及海啸堆积物，在灾区的恢复重建工作中，对其妥善的处理成为迫在眉睫的任务。在岩手、宫城、福岛三县，发生了 2200 万吨以上的瓦砾和震灾废弃物，例如在岩手县，可称通常 11 年发生的废弃物因震灾而一次出现。照片 1 是在田地中堆积的海啸堆积物，照片 2 是以海啸堆积物为主设置的临时堆场，照片 3 是混合状态的废弃物临时堆场。

照片 1 海啸堆积物

照片 2 以海啸堆积物为主设置的临时堆场状况

照片 3 混合状态的震灾废弃物临时堆场状况

### 瓦砾、震灾废弃物处理指导方针

这里不仅存在接受灾区的处理、处置的能力问题，而且从日本至今推进的“构建循环型社会”的方向性观点出发，也应对瓦砾及震灾废弃物尽可能实现再生资源化和有效利用，采取必要的分选等处理，对实在无法实现资源化的，应进行妥善处理和处置，以此为目标而努力。对此，在震灾发生后的早期阶段，也作为政府的方针提出。作为有效利用的用途，包括重建项目在内的建筑领域的作用非常重要。今年 3 月，国土交通省制定了“关于东日本大地震灾害复兴、与公园绿地建设相关的技术指导方针”、以及“有利于迅速开展恢复重建、将再生材料用于住宅用地的平地土方的基本构想”（以下简称再生材料住宅用地土方指导方针）两项指导方针，笔者也参加了这些工作。这两项方针都提出了使用来自震灾废弃物的再生材料进行公园建设以及沉降

地基的填土加高等共同、且基本的构想。

### 海啸堆积物

本次震灾发生的瓦砾及震灾废弃物的特点是，大量发生了称为海啸堆积物的泥沙、以及呈现含这种海啸堆积物的多种物体的混合状态。因此，在用于建筑材料、重建材料时，需要将泥沙及泥沙状态的物体与其他材料妥善分选。虽然统称为海啸堆积物，但其物性多种多样，例如虽然堆积在田地的海啸堆积物的粒度分布以泥浆成分为主，超出了河流土方工程手册规定的合格粒度范围，但在临时堆场堆积的海啸堆积物等泥沙的粒度分布良好（图 1）<sup>1)2)</sup>。在有效利用这些泥沙和海啸堆积物时，令人担心的问题之一是盐分的浓度。对在福岛县沿海地区的自治体田地里堆积的海啸堆积物于 2012 年 12 月采集试料进行氯化物含量测定，结果如图 2 所示，占全部 38 个试料的约 2/3 在 2mg/g 以下，但对于 1mg/g 以下的标准，则减少到约占 1/3、即 13 个试料<sup>1)</sup>。通常，关于土方材料中氯化物的含量，从防止钢管桩等地下的钢材发生腐蚀的观点考虑为 1mg/g 以下，上述的“再生材料住宅用地土方指导方针”也沿用了该指标。然而，如果是对因地震导致地基沉降的沿岸部分进行填土加高，地下水的盐分浓度原本也较高，利用含超过标准盐分的泥沙也应从合理性的角度予以认可。对此在本指导方针中也以“间接”的方式阐述。

图 1 在田地上堆积的海啸堆积物（上图）和向临时堆场搬运堆置的海啸堆积物、泥沙（下图）的粒度分布曲线（虚线是《河流土方工程手册》规定的泥沙合格粒度）

图 2 海啸堆积物的盐分浓度

### 瓦砾、废弃物

对于瓦砾及废弃物如图 3 所示予以一次粗选，然后进行由破碎、筛选、湿式或干式分级、以及进一步手选等组合构成的二次处理。我们对几个临时堆场及二次分选场的泥沙试料进行试验，结果表明，不但碎木等不纯物较少、而且压实性也较好（图 4）<sup>2)</sup>。今后，从有机物分解产生长期沉降等观点考虑，需要验证有机物的允许含量和二次处理的妥当性。若采用先进的处理技术可提高质量，根据用途的要求质量和可有效利用的数量来选择和采用处理程度也较为合理，笔者等提出了如图 5 所示的方案<sup>3)</sup>。

图 3 震灾废弃物的典型处理流程

图 4 分选土的压实特性

图 5 考虑用途的要求质量和可有效利用的数量的处理战略构想

### 震灾废弃物的有效利用

东北地区是人们关注来自自然界的重金属类的地区，在笔者进行的调查中也发现了溶解析出超过环境标准的砷及氟的海啸堆积物（表 1）<sup>4)</sup>。鉴于它们是当地固有的泥沙，因此需要根据妥善的风险评估采取措施。解体建筑物中的石棉等有害物质、以及放射性物质的处理也成为课题。另一方面，在废弃物管理中也采用了利用 ETC（Electronic Toll Collection System）以及移动信息终端的可跟踪性技术。关于震灾废弃物的有效利用，需要讨论促进向公共用地的利用、以及在基于社会性同意的同时根据合理的风险评估进行处理和有效利用的方向性。我们应在尊重当地固有风土的同时有效、贤明地利用有限的资源，对此希望科学技术能够发挥作用。

表 1 海啸堆积物的物性例



（18 页）

### 钢材的利用技术

#### 关于防腐的基础知识

#### 关于腐蚀

金属的腐蚀是金属受到所处环境的作用，因化学性、或电化性反应使表面发生变化的现象。腐蚀可大致分类为干性腐蚀和湿性腐蚀。“干性腐蚀”是在不存在水分的状态下，金属受到高温作用时发生的腐蚀，主要在气体的作用下发生。“湿性腐蚀”是在存在水分的状态下，金属因离子化作用发生的腐蚀。湿性腐蚀除了离子化产生的自然腐蚀之外，也包含因杂散电流产生的电腐蚀。

根据腐蚀及其发生形态，将其分为全面腐蚀和局部腐蚀。全面腐蚀（General Corrosion）指金属发生均匀腐蚀的状态，环境条件在金属表面几乎同样作用时发生。与此不同，局部腐蚀（Local Corrosion）指腐蚀的状态不均匀、部分性发生深孔状或沟状的腐蚀，是因环境作用的局部差异、材质的不均匀、或者不同种类金属的接触等造成的。

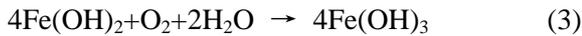
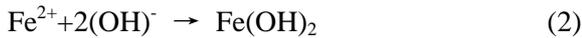
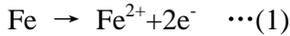
作为港湾结构物的钢管桩和钢板桩发生的局部腐蚀如照片 1 所示。发生这种局部腐蚀的结构物成为非常危险的状态。

照片1 港湾结构物发生的局部腐蚀(左侧:钢板桩  
右侧:钢管桩)

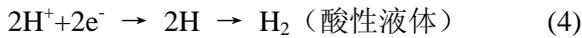
### 关于腐蚀的机理

观察钢材表面的微观结构,起因于轧屑的不均匀以及表面凹凸等钢材本身的不均匀、以及诸如钢材表面的干湿差等环境状态的不均匀,使钢材表面的电位也不均匀。因此,在钢材表面形成了阳极部分和阴极部分(图-1)。铁的腐蚀反应化学方程式如下所示。

\*阳极反应



\*阴极反应



在存在水和氧气的条件下,发生阳极反应(式(1))释放铁离子( $\text{Fe}^{2+}$ )。另一方面,发生阴极反应(式(4)~(6))产生氢氧化物离子( $\text{OH}^-$ )。这是腐蚀电池形成的第一阶段。然后, $\text{Fe}^{2+}$ 与 $\text{OH}^-$ 结合(式(2)),并被溶解氧所氧化成为铁锈(式(3))。

例如,将铁的试件埋入粘土和砂子两种不同的环境(A1、B1、A2、B2、C)(图2)。将试件按A1及B1的方式埋入后,在其表面发生肉眼无法看到的微小阳极部分和阴极部分,形成微腐蚀电池。这时,构成微腐蚀电池的微小阳极部分及阴极部分随着腐蚀反应的进行而随时变换其位置,因此钢材发生全面腐蚀。与此不同,将试件按C的方式埋入跨越粘土和砂子的不同环境时、以及将试件按A2、B2的方式采用电气连接后形成宏腐蚀电池。作为因环境差产生的腐蚀电池,在溶解氧浓度相对较高的环境中、即B2及C的砂子环境部分易成为阴极,在溶解氧浓度较低的环境中、即A2及C的粘土环境部分易成为阳极。

不仅限于铁,金属的腐蚀在自然环境中进行的状态在自发性变化。控制该变化的速度、或使其变化停止就是防腐蚀的任务。从宏观的角度考察腐蚀,还是从微观的角度考察腐蚀,在学术上的性质大不相同。微观角度的目的是用电化学理论说明阳极和阴极的形成,通过腐蚀电流考察腐蚀速度。而宏观角度是以结构物或结构部件为对象,通过腐蚀减量、或腐蚀面积等考察腐蚀速度。总之,作为土木工程学,正确评估结构部件的健全度、或以相反表示的

劣化度是最重要的课题。

图1 腐蚀电池的构成

图2 腐蚀电池形成的模型试验



(19页 封底)

## 日本钢铁联盟

### 土木钢结构研究学术研讨会

一般社団法人日本钢铁联盟于2012年3月13日(星期二)在东京举行了“土木钢结构研究学术研讨会”。当天,来自政府机构、大学科研部门、公路及铁路企业、建设企业、制造企业、以及工程咨询公司等方面的300多人参加了研讨会,会议圆满成功,并顺利闭幕。

本学术研讨会以日本钢铁联盟实施的“钢结构研究、教育补助事业”研究成果的公布和推广普及为目的,从1995年度开始每年举行。在迎来第16届的本次研讨会上,以“东北部太平洋近海地震受灾状况和针对恢复重建的对策”为特别主题,在主席——东京大学研究生院教授藤野阳三的主持下,聘请代表各界的知名人士,关于土木结构物在东日本大地震中的受损状况和恢复重建发表了演讲。

在研讨会上,关于港湾结构物的受损、铁路结构物、河流堤坝、公路结构物、海啸堆积物及瓦砾问题、以及液化等土木领域的受损状况及恢复重建发表了报告。(请参照以下内容)

最后,作为每年策划的特别演讲,被誉为海啸研究第一人的东北大学首藤伸夫名誉教授以“与海啸相伴的50年”为题发表了演讲,阐述在过去的50年中,通过对海啸的研究获得的宝贵见解,因海啸造成的受灾案例和防灾设施的重要性,以及包括政策措施在内的防灾对策的重要性等。

## 学术研讨会的议程

主席致词 东京大学研究生院 藤野 阳三
港湾结构物的受损和针对恢复重建的对策 独立行政法人港湾空港技术研究所 菅野 高弘
铁路结构物的受损和针对恢复重建的对策 东日本旅客铁道株式会社 野泽 伸一郎
河流堤坝的受损和针对恢复重建的对策 东京大学研究生院教授 东畑 郁生
公路结构物的受损和针对恢复重建的对策 国土交通省国土技术政策综合研究所 玉越 隆史
海啸堆积物及瓦砾问题和针对恢复重建的对策 京都大学研究生院教授 胜见 武
液化造成的破坏和针对恢复重建的对策 东京电机大学教授 安田 进
特别演讲：与海啸相伴的 50 年 东北大学名誉教授 首藤 伸夫
副主席致词 独立行政法人港湾空港技术研究所 高桥 重雄