

## 译者前言

这本《人造轻骨料砼设计施工手册》是日本土木学会组织日本国内几十位轻骨料砼专家合作完成的。书中对日本几十年来轻骨料砼的使用经验作了总结。对已使用了20多年的人造轻骨料砼结构耐久性等方面进行了调查和技术评价。本书从人造轻骨料的生产工艺、成品力学性能物理性能及其配制的人造轻骨料砼的材料性能到施工中的砼搅拌、浇注、压实等一系列过程都作了详细的说明。《手册》中还附有大量的日本国内及世界各国轻骨料砼参考文献，并且将轻骨料砼和普通砼在铁路、公路桥梁上的应用作了经济比较。特别是为了提高施工效率，用砼泵压送施工方面有独到的研究成果。内容非常丰富。

我国有很丰富的生产人造轻骨料的原料资源，今后随着构件不断朝着大型化方向发展，必然会对砼提出轻量化的要求。所以我国的轻骨料砼应用前景是很光明的。这本《手册》为我们提供了很宝贵的应用经验。本书可供从事土木、建筑方面研究、设计、施工和教学等各方面的技术人员参考。如果这本中文译本能在今后各位朋友的工作中起作用，并带来好的社会效益和经济效益，译者不胜荣幸。

由于时间仓促，加之译者水平有限，译文中难免有不妥之处，望多多原谅并提出宝贵意见。

译者

1990年4月

## 人造轻骨料砼分委会成员

○干事 ●委托方委员 ( ) 原委员

委员长村田二郎 (都立大学)

干事长大内雅博 (首都公团)

委员: 泉 满明 (名城大学) (远藤武平) (道路公团)  
大即信明 (港湾技研) 鬼丸良雄 (道路公团)  
(加藤武彰) (道路公团) 川岸 力 (都土研)  
木贺一美 (住都公团) ○久保信雄 (首都公团)  
小林明夫 (国铁构设) 小林和夫 (京都大学)  
小林茂敏 (建土研) ○国 府胜郎 (水泥协会)  
樱井纪郎 (本四公团) 清水 昭 (三井金属)  
关 博 (早稻田大学) 田泽雄二郎 (鹿岛建设)  
中岛裕之 (阪神公团) ●西冈思郎 (日本水泥)  
沼田晋一 (新口铁) ○原 光夫 (首都公团)  
船越 稔 (政法大学) 町田笃彦 (埼玉大学)  
宫崎武雄 (铁建公团) ●柚原治美 (住友金属矿  
山)  
横沟幸雄 (东方咨询) ●横山昌宽 (三井金属)

## 序

大约在20年前日本就开始了人造轻骨料の開発，以谋求大幅度的减少普通砼的缺欠——过大的自重，同时保留高强度性能。这在当时作为一种接近理想的新技术迎合了土木技术人员多年的愿望。

1966年日本土木学会根据土木技术人员的普遍要求，制定了人造轻骨料混凝土设计施工标准（草案），那以后对这个标准（草案）又作了修改，1974年以后纳入砼标准规范。这期间人造轻骨料砼除在道路桥梁、铁路桥梁的钢筋砼板，预应力砼梁，桥墩及基础上应用外，在沉箱、船舶等漂浮构造上也有了应用。

然而，由于骨料吸水性的原因，人造轻骨料用泵施工还很困难，加之缺少试验资料，所以其使用逐渐地有所减少，形成了今天这种用于土木结构上的人造轻骨料仅为整个产量的3%的不正常局面，最近，对砼流动性能作了技术开发，人造轻骨料砼泵施工实践不断增加，对其在耐久性方面也有了很好的评价。这样，在不易得到优质骨料的情况下，我们已经可以将产品作为工业制品保证质量，生产出没有水泥碱—集料反应，可靠度高的骨料。从此，重新评估人造轻骨料的时期到来了。

日本土木学会砼委员会根据人造轻骨料协会的委托，于1982年5月组成了人造轻骨料砼分委会，再次对人造轻骨料特性以及采用这些骨料的结构设计、施工整个环节作了

研究。特别是对经过流动化的人造轻骨料砼泵压送性能作了确认试验。并就采用国内生产的人造轻骨料砼建成的结构物进行了耐久性方面的调查，同时与铁路桥（预应力砼梁）的普通砼作了经济分析。将这些成果归纳后，写成了这本人造轻骨料砼设计施工手册。

在此，对那些在两年多的时间里始终尽心尽力的各位委员，特别是对委员会，工作组等的辛勤劳动及编写本书时作过工作的干事长：大内雅博、干事久保田信雄、原光夫、国府胜郎深表谢意

1985年

# 人造轻骨料设计施工手册

## 目 录

|                      |        |
|----------------------|--------|
| 1. 概述                | ( 1 )  |
| 2. 轻骨料砼应用领域          | ( 2 )  |
| 2.1 概述               | ( 2 )  |
| 2.2 日本的使用实践          | ( 2 )  |
| 2.2.1 结构分类           | ( 3 )  |
| 2.2.2 地区分类           | ( 6 )  |
| 2.2.3 设计强度分类         | ( 6 )  |
| 2.3 在特殊结构方面的应用       | ( 6 )  |
| 3. 设计                | ( 7 )  |
| 3.1 设计基本项            | ( 7 )  |
| 3.1.1 一般内容           | ( 7 )  |
| 3.1.2 在结构计划和设计上的注意事项 | ( 9 )  |
| 3.2 轻量化与经济性          | ( 20 ) |
| 3.2.1 概述             | ( 20 ) |
| 3.2.2 铁路桥梁的经济比较      | ( 20 ) |
| 3.2.3 公路桥梁的经济比较      | ( 29 ) |
| 4. 施工                | ( 39 ) |
| 4.1 配比设计             | ( 39 ) |
| 4.1.1 关于质量的规定        | ( 40 ) |

|                              |        |
|------------------------------|--------|
| 4.1.2 配比的确定方法·····           | ( 42 ) |
| 4.1.3 配比设计实例·····            | ( 45 ) |
| 4.2 一般施工·····                | ( 49 ) |
| 4.2.1 人造轻骨料的管理·····          | ( 49 ) |
| 4.2.2 搅拌·····                | ( 52 ) |
| 4.2.3 运输·····                | ( 52 ) |
| 4.2.4 浇注及压实·····             | ( 52 ) |
| 4.2.5 饰面及养生·····             | ( 53 ) |
| 4.2.5.1 饰面·····              | ( 53 ) |
| 4.2.5.2 养生·····              | ( 53 ) |
| 4.2.6 质量管理及检查·····           | ( 53 ) |
| 4.2.6.1 制造砧时的管理、接收检查及试验····· | ( 54 ) |
| 4.3 泵压送·····                 | ( 54 ) |
| 4.3.1 施工计划·····              | ( 54 ) |
| 4.3.1.1 基本计划·····            | ( 54 ) |
| 4.3.1.2 砧的压送计划·····          | ( 55 ) |
| 4.3.2 材料及配比·····             | ( 58 ) |
| 4.3.2.1 材料·····              | ( 58 ) |
| 4.3.2.2 配比·····              | ( 58 ) |
| 4.3.3 砧的生产及供应·····           | ( 59 ) |
| 4.3.3.1 砧的生产·····            | ( 59 ) |
| 4.3.3.2 砧的供应·····            | ( 59 ) |
| 4.3.4 压送·····                | ( 59 ) |
| 4.3.4.1 配管·····              | ( 59 ) |
| 4.3.4.2 压送作业·····            | ( 60 ) |
| 4.3.5 对压送砧的质量管理·····         | ( 60 ) |

|                         |        |
|-------------------------|--------|
| 4.3.5.1 质量的变化·····      | ( 60 ) |
| 5. 现存结构物调查·····         | ( 61 ) |
| 5.1 概述·····             | ( 61 ) |
| 5.2 公路桥梁·····           | ( 61 ) |
| 5.2.1 东京高速公路调查总结·····   | ( 61 ) |
| 5.2.2 阪神高速公路调查总结·····   | ( 63 ) |
| 5.2.3 东京高速公路三宅坂高架桥····· | ( 64 ) |
| 5.2.4 东京都高井户阪桥·····     | ( 66 ) |
| 5.3 铁路桥梁·····           | ( 68 ) |
| 5.3.1 东北干线金山架路桥·····    | ( 68 ) |
| 5.3.2 总武线荒川西高架桥·····    | ( 69 ) |
| 5.3.3 高丹寺车站站台·····      | ( 71 ) |
| 5.4 海洋结构物·····          | ( 72 ) |
| 5.4.1 三井彦岛的结构物·····     | ( 72 ) |
| 5.4.2 日比共同制炼所栈桥·····    | ( 80 ) |
| 5.5 寒冷地区的结构物·····       | ( 81 ) |
| 5.5.1 市区渡桥·····         | ( 81 ) |
| 5.5.2 石狩大桥·····         | ( 83 ) |
| 5.5.3 札内桥·····          | ( 84 ) |
| 5.5.4 尾幌桥·····          | ( 86 ) |
| 5.5.5 留萌汐见跨线桥·····      | ( 87 ) |
| 6. 人造轻骨料·····           | ( 88 ) |
| 6.1 概述·····             | ( 88 ) |
| 6.2 定义·····             | ( 88 ) |
| 6.3 种类·····             | ( 89 ) |
| 6.4 制造·····             | ( 89 ) |

|                           |         |
|---------------------------|---------|
| 6.4.1 制造厂家                | ( 89 )  |
| 6.4.2 原料                  | ( 89 )  |
| 6.4.3 烧结原理                | ( 90 )  |
| 6.4.4 生产工艺                | ( 91 )  |
| 6.5 性质                    | ( 93 )  |
| 6.5.1 比重                  | ( 93 )  |
| 6.5.2 吸水率                 | ( 93 )  |
| 6.5.3 粘度                  | ( 95 )  |
| 6.5.4 单位体积重量              | ( 96 )  |
| 6.5.5 有害物质含量              | ( 96 )  |
| 6.5.6 耐久性                 | ( 97 )  |
| 7. 轻骨料砼特性                 | ( 98 )  |
| 7.1 单位体积重量                | ( 98 )  |
| 7.2 单位用水量 and 坍落度         | ( 98 )  |
| 7.3 强度特征                  | ( 98 )  |
| 7.3.1 水灰比 $\varphi$ 与抗压强度 | ( 98 )  |
| 7.3.2 抗压强度与静弹性系数          | ( 99 )  |
| 7.3.3 抗压强度与抗拉强度           | ( 102 ) |
| 7.3.4 承压强度                | ( 102 ) |
| 7.4 徐变                    | ( 102 ) |
| 7.5 干燥收缩                  | ( 102 ) |
| 7.6 疲劳特性                  | ( 104 ) |
| 7.6.1 抗压疲劳特性              | ( 104 ) |
| 7.6.2 构件的抗弯疲劳特性           | ( 104 ) |
| 7.7 冻融耐久性                 | ( 104 ) |
| 7.8 不透水性                  | ( 105 ) |

|                       |       |
|-----------------------|-------|
| 7.9 热特性               | (106) |
| 7.9.1 线膨胀系数           | (106) |
| 7.9.2 热传导率            | (107) |
| 7.9.3 比热              | (107) |
| 7.9.4 热扩散率            | (107) |
| 7.9.5 绝热湿度升高          | (108) |
| 8. 国内、外文献一览           | (112) |
| 8.1 关于轻骨料及轻骨料砼的一般文献   | (112) |
| 8.2 关于物理性质方面的文献       | (114) |
| 8.3 关于用途方面的文献         | (116) |
| 8.4 关于特殊用途的文献         | (118) |
| 8.5 关于经济性文献           | (120) |
| 9. 附录                 | (122) |
| 9.1 标准及指针类            | (122) |
| 9.1.1 我国的标准、指针        | (122) |
| 9.1.2 各国的标准、指针        | (123) |
| 9.2 泵压送试验结果           | (136) |
| 9.2.1 本委员会实施的压送试验结果   | (136) |
| 9.2.1.1 试验目的          | (136) |
| 9.2.1.2 试验概要          | (136) |
| 9.2.1.3 使用材料和砼配比      | (138) |
| 9.2.1.4 压送试验          | (140) |
| 9.2.1.5 考察            | (146) |
| 9.2.1.6 小结            | (151) |
| 9.2.2 国铁实施压送试验结果 (精选) | (152) |
| 9.2.2.1 实验目的          | (152) |

|                          |         |
|--------------------------|---------|
| 9.2.2.2 试验概要             | ( 152 ) |
| 9.2.2.3 使用材料和配比          | ( 156 ) |
| 9.2.2.4 试验结果             | ( 159 ) |
| 9.2.2.5 结果的考察            | ( 170 ) |
| 9.2.2.6 小结               | ( 174 ) |
| 9.2.3 由人造轻骨料协会进行的泵压送试验结果 | ( 177 ) |
| 9.2.3.1 试验目的             | ( 177 ) |
| 9.2.3.2 试验概要             | ( 177 ) |
| 9.2.3.3 使用材料和砂配比         | ( 178 ) |
| 9.2.3.4 试验结果与分析          | ( 179 ) |
| 9.2.3.5 小结               | ( 182 ) |

## 1. 概述

在第一次世界大战（1914～1918）期间美国领先使用人造轻骨料砼结构，二次大战后在世界范围内得到了发展，日本在1955年以前才开始正式使用人造轻骨料。作为初期土木结构物的施工例子可以举出1964年建造的东京高速公路三宅坂高架桥，1965年建造的国铁东北干线PC桥梁等。

日本土木学会考虑到人造轻骨料砼的使用量不断增加，于1965年5月制定了「人造轻骨料砼设计施工标准(草案)」给出了这种砼结构的设计施工标准，1974年在「砼标准规范」（以下称「RC」规范）中制定了有关人造轻骨料砼（以下称「轻骨料砼」）章节。

从那以后，以道路桥梁、铁路桥梁等为主，在PC结构的大型海洋浮游结构物等方面得到了大量的使用。然而，最近的建筑设计施工方法有了显著的进步和变化，土木学会为了适应这种发展趋势制定了新的轻砼设计施工手册。

因此，日本土木学会于1982年4月设置了人造轻骨料砼分委员会，这个分委员会由①文献调查，②手册制作，③标准规范修改三个工作小组组成。工作内容为收集最近国内外轻砼文献、分类、择译、结构物现状调查。泵压送性能实验、对公路桥及铁路桥轻量化和经济性进行比较研究等。下面简单地叙述一下这些方面的概要内容。

关于轻骨料砼结构物耐久性，与普通砼结构物相比稍稍有些处于劣势，但从裂缝的产生及盐成分向砼中浸透程度方面来看，它比普通砼具有更好的特性。对于泵压送性能来

说,轻骨料砼的坍落度即使为8~12cm,经过流动化以后,实践证明也是可以进行泵送施工的。公路桥及铁路桥轻骨料砼的经济性,在比较长的桥梁上当然是很有利的,即便是在一般的中小跨度的桥梁中,如果在公路桥的路面板或铁路桥的横梁及路面板上采用轻砼,也可以节省5%的施工费用。在处理软弱地基底部工程中,由轻砼与普通砼的单价差,也可以看到采用轻砼会更为经济。

随着今后的构件大型化的趋势,我们认为对砼会提出更高的质量及轻量化要求,使其适用于大型海洋浮游结构和不透水结构。

为了适应这个新时代的要求,土木学会将轻骨料砼的各种物理性质、结构设计及施工的新的研究结果和高见放入本书,完成了这本手册。

## 2.轻骨料砼的应用领域

### 2.1 概述

作为轻骨料砼的特点,首先是它比普通砼容重小,此外,还可以举出抗热性能好等特点。从强度上来说,抗压强度与普通砼相同,但在其它方面的强度仅为普通砼的60~80%,所以设计上需要考虑这些问题。轻骨料砼的价格比普通砼偏高,因此,要在分析比较结构物整体经济性基础上区别使用。

### 2.2 日本的使用实践

根据人造轻骨料协会1983年进行的调查,从1964年到1983年约20年里,日本用于土木结构(包括海洋结构)工程

数量约为360例，砼用量超过40万 $\text{m}^3$ 。

这些施工实践的情况见图2.1。从1967年到1970年无论是施工数量还是砼使用量都出现过峰值，以1973年石油冲击为界，迎来了1977年的低谷。从那以后就逐渐衰减了。然而，到了82年、83年由于在海洋结构物上有了应用，使用量又有了增加。我们根据这些使用实践，对①结构、②地区、③设计强度进行了分门别类的整理。并就它们是如何使用的问题进行了探讨。

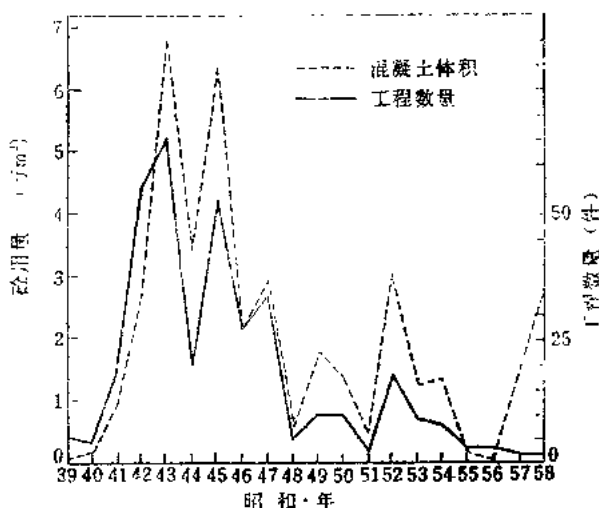


图2.1 轻骨料砼各年度施工实践  
(译注：图中的年数加上1925为西历年)

### 2.2.1 结构分类

若将使用情况按结构分类，则如图2.2所示。几乎全部都用在桥梁上。如果将桥梁上的使用情况再细分，用在路面

板上的占整个用量的50%以上。其次用于基础的约占25%，从而我们知道这两个部位占据了用量的大部分。板的大部分是公路桥板。此外，在铁路桥、人行桥上也有少量应用。作为公路桥板多为合成板及非合成板，例如在东京高速公路羽横线（合成），东京高速公路4号线（非合成）等就是用的这两种形式的板。

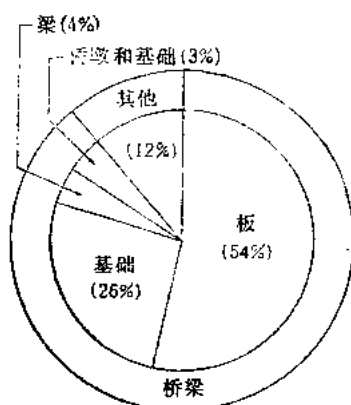


图2.2按结构分类

另外，也可以看到拱桥（大三岛桥）用预制板作为桥板（京叶公路花轮跨路桥）的特例。采用板的理由有以下几条：①由于减少了恒荷载使整体施工费用得到了节省，②由于其它条件梁高受到限制，有必要减轻恒荷载，③利用荷载差无需改建下部结构、大梁等，就可以扩宽桥面。追寻使用情况下降的原因，可以得出下面两点：①进行修补铺设时，剥取旧的铺装容易削掉轻骨料砼板。②泵送施工非常困难。

使用单体基础的实例可以在公路桥上找到，以东京高速公路两国交接为首，即便在阪神高速公路上，以大阪神户线为主有好些地方都是这样施工的。

在底座及桥墩下部施工的实例约占3%，公路桥、铁路桥都有这样的实例。

用于大梁上的实例仅为整体的4%，但是有一些是被当作公路桥PC梁，以PC梁为主的铁路桥PC梁（如荒川高架桥）1），3），4）来使用的。

其它用途占整体的12%，如作为对软地基处理的对策中

表2.1按地区分类

| 地 区 名 称                          | 使用情况<br>(1000m <sup>3</sup> ) | 占整体比较<br>(%) | 结 构 或 部 位         |
|----------------------------------|-------------------------------|--------------|-------------------|
| 东 京 都                            | 286.6                         | 71.5         | 板梁、梁板、桥底脚、单沟型槽、铺设 |
| 大 阪 府                            | 26.5                          | 6.6          | 板梁、桥墩、海洋结构、其它     |
| 神 奈 川 县                          | 26.1                          | 6.5          | 板梁、净水厂、铺设、其它      |
| 兵 库 县                            | 23.2                          | 5.8          | 板梁、其它             |
| 三 重 县                            | 9.4                           | 2.3          | 石油钻探平台            |
| 崎 玉 县                            | 4.4                           | 1.1          | 板梁、其它             |
| 福 冈 县                            | 4.1                           | 1.0          | 板                 |
| 千 叶 县                            | 3.6                           | 0.9          | 板、梁、底脚、其它         |
| 爱 知 县                            | 3.2                           | 0.8          | 板、梁               |
| 长 崎 县                            | 2.5                           | 0.6          | 板                 |
| 冈 山 县                            | 2.4                           | 0.6          | 梁                 |
| 长 野 县                            | 2.3                           | 0.6          | 梁                 |
| 群 马 县                            | 1.9                           | 0.5          | 板、梁、底脚、其它         |
| 爱 媛 县                            | 1.3                           | 0.3          | 板                 |
| 德岛、广岛、富山、熊本、山口、静冈、新潟、北海道、宫城、福岛各县 | 1.0以下                         | —            | 板、桥墩、铺设、单沟型槽、其它   |

以减少自重为目的的沉降箱，充分利用其耐海水特性而制造的沉箱6)，护岸结构，海洋结构物1),6),7)，以及净化水厂等。特别是海洋结构和净化水厂的构件，用于一个构件的砼量就非常多。

### 2.2.2 地区分类

若将使用情况按地区分类，则如表2.1所示。

上述实践证明，约80%集中在以东京为中心的首都外围，其次阪神地区约占13%，是大都市集中型的。

### 2.2.3 设计强度分类

按设计强度的分类见表2.2，正象按用途分类那样，板和梁约占整体的60%。所以，用于这些部位的240、270、351kg/cm<sup>2</sup>等高强度砼占整体的60%也就显而易见了。

### 2.3 在特殊结构方面的使用。

表2.2按设计强度分类

| 设计强度<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | 百分率<br>(%) |
|-------------------------------|------------|
| 400, 450                      | 3          |
| 350                           | 36         |
| 320                           | 2          |
| 300                           | 14         |
| 280                           | 4          |
| 270                           | 8          |
| 260                           | 4          |
| 240                           | 20         |
| 210                           | 7          |
| 其他                            | 2          |
| 合计                            | 100        |

在日本作为特殊使用例子有板桩横挡桥及拱桥面板，在

国外有吊桥、斜张桥<sup>1)</sup>，PC箱桥梁，它们都是以减轻重量为目的的实例。

就海洋结构来说，对砼轻量化特性有较突出的要求。砼船<sup>1),6),12)</sup>，平底船、浮桥。海上机场、石油钻探平台等都考虑了这个问题。

砼驳船和石油钻探平台等，在日本已经有了实例。国外也有许多实践。此外，在欧美，浮桥<sup>1)</sup>和浮栈桥的实例也很多。

海上机场虽然现在还没有使用实践，但是，已经有使用预应力砼块设计建造浮动机场的例子。

日本制造的石油钻探平台，穿过白令海峡运往北极海，对平台的轻量化是有要求的。另一方面，它要在很恶劣的气候条件下工作。所以，对其冻融耐久性、对冰压的强度等问题，都如同对轻量化要求那样，在性能上要求极为严格。

### 3 设计

#### 3.1 设计基本项

##### 3.1.1 一般内容

采用轻骨料砼的结构设计，一般采用容许应力法或极限状态设计法。其本质上可以认为与普通砼的情况完全一样。然而，还是有与普通砼不同的地方，所以在结构设计时，最好采用表3.1「RC标准规范」，表3.2「预应力砼标准规范」(以下称「PC标准」)的数值。

结构设计上普通砼和轻砼的差异及其特点如下：

①单位体积重量虽然是由骨料的级配决定的，但是，与