

日 本 土 木 工 程 手 册



# 混凝土

中 国 铁 道 出 版

9645

TU528  
7

日 本 土 木 工 程 手 册

# 混 凝 土

〔日〕 主审 村田二郎（东京都立大学）  
干事 岩崎训明（东洋大学）  
执笔者 岩崎训明（东洋大学）  
长滝重義（东京工业大学）  
岡村 甫（东京大学）  
林 正道（北海道开发局）  
尾坂芳夫（东北大学）  
村田二郎（东京都立大学）  
铃木康一（日本铺路）  
柳田 力（建设省）  
永倉 正（中央电力研究所）  
山崎宽司（日本水泥）

译 者 滕家祚

中 国 铁 道 出 版 社

1 9 8 3 年 · 北 京

## 内 容 简 介

本书系译自日本土木工程手册(1974年第三版)的第17篇。对普通混凝土、特殊混凝土(特殊水泥混凝土、人工轻混凝土、重混凝土、多孔混凝土等)、沥青混凝土的原材料、性质、施工以及配合比设计等,均作了详细地阐述。内容丰富、面广,既有科学的理论分析,又结合了现场实践经验。主要包括:材料;混凝土性质;配合比;预拌混凝土;混凝土施工;特殊混凝土;质量管理;结构物的检查与维修等共11章。

本书可供土建工程技术人员和高等院校师生参考。

## 土木工学ハンドブック

土木学会编

技報堂

日本土木工程手册

混凝土

滕家禄 译

中国铁道出版社出版

责任编辑 王顺庆

封面设计 王毓平

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

中国铁道出版社印刷厂印

开本: 850×1168 $\frac{1}{16}$  印张: 9 字数: 237千

1983年4月第1版 1983年4月第1次印刷

印数: 0001—14,000册 定价: 1.10元

## 出版者的话

从事各项工作的工程技术人员，都希望能得到一部内容较丰富而又切合实用的手册。

这些年来，我们在积极组织编写和出版有关铁路工程设计和施工技术手册的同时，征求一些国内专家对手册类工具书的意见。1979年中国土木工程学会桥梁及结构工程学会开会期间，经同济大学李国豪校长推荐，认为日本土木学会主编的1974年修订出版的土木工程手册，在内容上有其特色，它反映了现代科学技术的新成就，加强了基础理论方面的内容。为此，根据我国情况及我社的出版能力，决定选译其中的应用数学、材料力学、结构力学、土力学、水力学和水文学、混凝土、钢筋混凝土结构、钢结构、基础及挡土结构、桥梁、隧道等十一篇，作为十一个分册出版，供我国广大土木工程人员参考。

在各分册的翻译过程中，承陈英俊教授热心指导及各位参加译校同志的共同努力，提高了译文质量，我们在此深表感谢。

## 目 录

|                 |    |
|-----------------|----|
| 第1章 绪论          | 1  |
| 1.1 概述          | 1  |
| 1.2 定义          | 1  |
| 1.3 复合材料混凝土     | 2  |
| 1.4 混凝土的基本性质    | 3  |
| 1.5 混凝土规格和规范    | 3  |
| 第2章 材料          | 5  |
| 2.1 水泥          | 5  |
| 2.2 骨料          | 6  |
| 2.3 水           | 23 |
| 2.4 混合材料、外加剂    | 25 |
| 2.5 沥青材料        | 33 |
| 2.6 钢筋          | 34 |
| 2.7 其他材料        | 40 |
| 第3章 混凝土的性质      | 42 |
| 3.1 未凝固混凝土的性质   | 42 |
| 3.2 硬化的混凝土性质    | 48 |
| 第4章 配合比         | 79 |
| 4.1 概述          | 79 |
| 4.2 配合比设计方法     | 80 |
| 第5章 预拌混凝土       | 91 |
| 5.1 概述          | 91 |
| 5.2 预拌混凝土的产品质量  | 92 |
| 5.3 预拌混凝土的生产和运送 | 95 |

|                        |     |
|------------------------|-----|
| 5.4 预拌混凝土的检查 .....     | 97  |
| 5.5 使用预拌混凝土的注意事项 ..... | 97  |
| 第6章 混凝土施工 .....        | 99  |
| 6.1 概述 .....           | 99  |
| 6.2 搅拌 .....           | 100 |
| 6.3 运输和灌注 .....        | 102 |
| 6.4 表面整修 .....         | 109 |
| 6.5 养护 .....           | 111 |
| 6.6 模板及其安装 .....       | 115 |
| 6.7 钢筋工程 .....         | 122 |
| 6.8 防水工程、排水工程 .....    | 124 |
| 6.9 伸缩缝 .....          | 129 |
| 6.10 施工机械 .....        | 132 |
| 6.11 施工计划 .....        | 135 |
| 第7章 特殊混凝土 .....        | 139 |
| 7.1 概述 .....           | 139 |
| 7.2 特殊水泥混凝土 .....      | 139 |
| 7.3 人工轻混凝土 .....       | 145 |
| 7.4 重混凝土 .....         | 152 |
| 7.5 多孔混凝土 .....        | 153 |
| 7.6 冬季施工混凝土 .....      | 155 |
| 7.7 夏季施工混凝土 .....      | 161 |
| 7.8 水下灌注混凝土 .....      | 163 |
| 7.9 水密性混凝土 .....       | 165 |
| 7.10 耐热混凝土 .....       | 166 |
| 7.11 预填骨料灌浆混凝土 .....   | 168 |
| 7.12 注浆施工法 .....       | 174 |
| 7.13 真空处理混凝土 .....     | 176 |
| 7.14 喷射混凝土 .....       | 177 |
| 7.15 填塞法 .....         | 181 |

|      |                        |     |
|------|------------------------|-----|
| 7.16 | 路面混凝土 .....            | 181 |
| 7.17 | 大坝混凝土 .....            | 182 |
| 7.18 | 隧道混凝土 .....            | 183 |
| 7.19 | 海洋混凝土 .....            | 183 |
| 7.20 | 原子反应堆使用的混凝土 .....      | 183 |
| 第8章  | 质量管理 .....             | 186 |
| 8.1  | 概述 .....               | 186 |
| 8.2  | 混凝土的质量管理 .....         | 188 |
| 8.3  | 判定现场混凝土的质量 .....       | 195 |
| 第9章  | 结构物的检查与维修 .....        | 200 |
| 9.1  | 结构物的破坏和恶化的种类 .....     | 200 |
| 9.2  | 调查 .....               | 200 |
| 9.3  | 损害原因 .....             | 203 |
| 9.4  | 维修 .....               | 203 |
| 第10章 | 混凝土预制构件 .....          | 205 |
| 10.1 | 概述 .....               | 205 |
| 10.2 | 混凝土预制构件的制作 .....       | 206 |
| 10.3 | 公路用混凝土预制构件 .....       | 211 |
| 10.4 | 灌溉、排水用的混凝土预制构件 .....   | 213 |
| 10.5 | 用于河海的混凝土预制构件 .....     | 215 |
| 10.6 | 混凝土预制管 .....           | 216 |
| 10.7 | 杆和桩 .....              | 219 |
| 10.8 | PC (预应力混凝土) 预制构件 ..... | 220 |
| 第11章 | 沥青混凝土 .....            | 223 |
| 11.1 | 概述 .....               | 223 |
| 11.2 | 配合比设计 .....            | 228 |
| 11.3 | 力学性质 .....             | 231 |
| 11.4 | 其他性质 .....             | 233 |
| 文献   | .....                  | 235 |
| 附录   | .....                  | 244 |

# 第1章 绪 论

## 1.1 概 述

混凝土与钢材都是非常重要的土木建筑材料。但是，混凝土与钢材不一样，它从选材到混凝土的制作和施工，都是土木技术中的一个专门领域，作为混凝土学这样一门科学体系已经形成。

混凝土，除普通水泥混凝土之外，还包括沥青混凝土和塑性混凝土，本篇主要讲述水泥混凝土（以后简称混凝土）的性质和施工。

## 1.2 定 义

### 1.2.1 混 凝 土

所谓混凝土，就是由水泥、水、粗骨料、细骨料、以及根据需要掺加的混合料，经搅拌等方法而合成为一个整体的物质。

混凝土中没有粗骨料的叫做砂浆，砂浆里没有细骨料的叫做灰浆。

### 1.2.2 钢筋混凝土

钢筋混凝土是以钢筋加强的混凝土，在外荷载作用下，二者作为一个整体进行工作。

以高强度的预应力钢筋或其他方法施加预应力的叫做预应力混凝土。

### 1.2.3 沥青混凝土

沥青混凝土是由粗骨料、细骨料以及填料与沥青加热混合而成。

## 1.3 复合材料混凝土

### 1.3.1 概 述

混凝土是重要的复合材料之一。复合材料又分类为：分散强化型复合材料和纤维强化型复合材料。

混凝土是由多种材料所组成，故属于多相分散强化型复合材料。

通常将钢筋混凝土、预应力混凝土中的混凝土看做为均质材料，而钢筋混凝土和预应力钢筋混凝土是由混凝土和钢材所组成的，可看做是二相纤维强化型的复合材料。

### 1.3.2 混凝土复合法则

每种复合材料都有各自的固有复合法则。艾布拉姆斯 (Abrams) 的水灰比法则是混凝土的重要复合法则，除了上述法则之外，至今，基本上还没有看到其他混凝土复合法则。这是由于构成混凝土的材料种类众多，各种材料的状态、形状和特性又有显著差异，复合机理复杂所致。为此，用解析方法研究这些法则是极其困难的。

近年来，由于流变法、空隙理论和有限单元法的应用，以及高性能的光学仪器和分析仪表的使用等，正在飞速地推进混凝土复合机理的研究。

## 1.4 混凝土的基本性质

### 1.4.1 强 度

混凝土的抗压强度非常大，制作出抗压强度为  $1000\text{kg/cm}^2$  左右的混凝土是不困难的。但是抗拉强度很小，一般小于混凝土抗压强度的  $1/10$ 。因此，欲将混凝土用于结构构件时，要善于运用其抗压强度，如用于柱子和弯曲构件的受压部分。计算钢筋混凝土弯曲构件时，受拉一侧的混凝土抗拉能力忽略不计。

### 1.4.2 耐 久 性

混凝土对于大气影响和化学腐蚀具有良好的耐久性。混凝土内部的pH值一般为12，呈现出碱性，不会腐蚀埋入其内部的钢筋。

### 1.4.3 自 重

混凝土的单位重量为  $2.3 \sim 2.4\text{t/m}^3$ ，因此，结构物的自重太大，不宜制作长大跨度的桥梁等。一般来说，自重是混凝土的缺点，但用于重力坝、轨枕时就变成优点了。还有，如用人造轻骨料，混凝土的单位重量可减轻为  $1.6 \sim 1.8\text{t/m}^3$ 。

### 1.4.4 其 他 性 质

具有造形自由、刚度大、耐火性高等优点。相反，有容易发生裂纹、拆除困难等缺点。

## 1.5 混凝土规格和规范

### 1.5.1 规 格

由通商产业省工业技术院制定出有关混凝土试验方法、检查方法、施工机械、混凝土材料以及混凝土预制构件等各种规格（日本工业规格JIS）。为了补救不能事事都以JIS化的试验方

法进行或不能达到JIS产品规格，土木学会制订了土木学会标准。还有日本国有铁道、道路关系公团公社等业务机关，日本铁道协会、日本材料协会等也以JIS制订的规格为标准制订出各单位使用的规格。

### 1.5.2 规 范

土木学会“混凝土规范”（“コンクリート標準示方書”）制订了无筋、钢筋混凝土的设计和施工，需要特殊考虑的混凝土，如轻骨料混凝土、海洋或水中混凝土、预填骨料灌浆混凝土、喷涂混凝土、混凝土预制构件等设计和施工，以及有关大坝混凝土、路面混凝土的施工等一般原则。该规范只提出了混凝土结构的设计方法、施工方法的基本原则，所以各个业务部门，又根据这一原则，制订了各自范围内的混凝土结构设计施工规范。此外，日本道路协会制订了与道路有关的混凝土结构物（路面、桥梁、基础等）标准，日本大坝会议制订了混凝土大坝的设计施工标准。

## 第2章 材 料

### 2.1 水 泥

#### 2.1.1 水泥的制造、质量

目前市场上出售的水泥，符合JIS规定的，有硅酸盐水泥四种：普通硅酸盐水泥、低热硅酸盐水泥、早强硅酸盐水泥、超早强硅酸盐水泥；有掺入混合材料的硅酸盐水泥：高炉矿渣硅酸盐水泥、二氧化硅硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥（各有A、B、C三种）。

除了这些符合JIS规定的水泥外，还有具有特殊性能的水泥如下：

- ① 快硬性水泥 矾土水泥、超速硬水泥；
- ② 耐酸性、耐硫酸性的 耐酸水泥、耐硫酸水泥；
- ③ 高温用水泥 油井水泥；
- ④ 具有美丽颜色的 白色水泥、彩色水泥；
- ⑤ 具有超微粉末性质的 胶质水泥；
- ⑥ 适用冬季施工水化热大的 矾土水泥、超速硬水泥。

上述各种水泥都有各自的特性，质量的差异也大。选择工程用水泥时，必须根据结构类型、地点、气候条件、施工季节、工期长短、施工方法等，选出满足质量要求、价钱便宜的水泥。

#### 2.1.2 水泥的运输

由于预拌混凝土（商品混凝土）的发展，目前散装运输水泥已成为绝对优势。散装运输具有减少装载空间、节省装卸费、缩短车厢占用时间、运输中容易保证质量等优点。此外，如现场设

有筒仓，可防止贮存时的风化，并有可按存贮的顺序使用水泥等优点。

散装运输是以散装卡车、散装货车、散装罐等进行的，也有把水泥散装在集装箱里，用货车、卡车进行运输的。

近距离散装运输，可用气动运输、皮带运输、链条运输、吊桶运输等。

### 2.1.3 水 泥 存 贮

贮存中的水泥，如与空气接触，就要吸收空气中的水分和二氧化碳而风化。因此，贮存水泥要防潮湿就不用说了，至关重要的是要密闭贮存。

散装水泥的贮存筒仓应是防潮结构，仓底要做到流出畅通不滞留水泥。为了水泥易于流出，切望将筒仓的底部作成非对称、陡角度的圆锥形，或在底部安装振动器或吹风装置。筒仓要经常检查、清扫。筒仓的容量最好是一天水泥用量的三倍。搅拌混凝土的设备应设在水泥供应地点的附近，如果水泥供应方便及时，筒仓的容量可以小一些。

袋装水泥，要堆放在离地30cm以上的架板上，堆积的厚度不超过13袋。应堆放在不受雨露影响的仓库里，不与仓库壁直接接触。

## 2.2 骨 料

### 2.2.1 概 述

#### (1) 骨料需求、供给的现状和将来

近年来建设工程急增，骨料的需要也随之显著增加。1972年，一年里骨料的消耗量约达6亿吨，其中用于混凝土的骨料大约占70%。

针对目前需要，供应情况如表2.1所示，天然骨料有逐渐减少的趋势。面对将来的需要，其对策是在更合理使用河砂、河砾

石的同时,利用碎石和天然轻骨料,利用高炉矿渣和其他工业副产品骨料,还必须促进人工轻骨料的增产。另外,细骨料方面,确保河砂的供应已非常困难了,合理的推广使用山砂、海砂已迫在眉睫。

表2.1 骨料需求、供应的现状<sup>1)</sup>

(单位: 100万吨)

| 骨 料 名 称 \ 年 度 |         | 1966 | 1967 | 1968 | 1969 | 1970 | 1971 |
|---------------|---------|------|------|------|------|------|------|
| 需 要           | 混凝土用骨料  | 287  | 312  | 328  | 348  | 370  | 392  |
|               | 其他用骨料   | 123  | 140  | 151  | 164  | 178  | 193  |
|               | 计       | 410  | 452  | 479  | 512  | 548  | 585  |
| 供 应           | 天然砾石    | 320  | 338  | 345  | 343  | 336  | 337  |
|               | 碎 石     | 85   | 107  | 124  | 155  | 192  | 220  |
|               | 人工骨料    | 0.2  | 0.4  | 0.8  | 2    | 4    | 6    |
|               | 天然轻石    | 1    | 1.6  | 2    | 2    | 2    | 2    |
|               | 高炉道碴、其他 | 4    | 5    | 6    | 8    | 11   | 14   |
|               | 进口砾石    |      |      | 1    | 2    | 3    | 6    |
|               | 计       | 410  | 452  | 479  | 512  | 548  | 585  |

## (2) 骨料定义和分类

所谓骨料就是制作砂浆或混凝土时,与水泥、水搅拌的砂、砾石、碎石以及其他颗粒状材料

a. 按颗粒大小分类 分为细骨料和粗骨料。细骨料要求全部骨料通过10mm筛子,或是重量的85%以上的骨料通过5mm筛子,当重量的85%以上通不过5mm筛网的叫粗骨料。但规范里所规定的是,全部通过5mm筛网的为细骨料,全部留滞在5mm筛网上的叫粗骨料。

b. 按产地分类 分为天然骨料和人造骨料。天然骨料有河砂、河砾石、海砂、海砾石、山砂、山砾石等。人造骨料有碎石、碎砂、高炉矿渣碎石、人造轻骨料、人造重骨料等。

## 2.2.2 骨 料 质 量

### (1) 骨料的石质

骨料的强度必须大于水泥浆的强度。其耐久性,也希望强于水泥浆。

优质骨料有深成岩、半深成岩,还有安山岩、玄武岩(火山岩)、石灰岩、砂岩(堆积岩)等。

不符合于作为混凝土骨料的有板岩、燧石、动力变质岩石(片岩、片麻岩等)<sup>2)</sup>

由于暗褐色的软质砂岩、凝灰岩、绝大部分火山砾的强度小于水泥浆的强度,所以混凝土的强度就由这些骨料的强度所控制。这类低强度石片称为死石。如死石量不多,不会影响混凝土的强度,如果死石量多,就会有损混凝土的强度和其他性能。

### (2) 有害物

污染骨料的有害物质,一般有灰尘、粉土、粘土、云母质物质、煤炭、褐煤、腐殖土及其他有机物质、化学盐等。

a. 有害物含量限度 当粉土、粘土等微粉末的数量一多时,就会使其单位水量增加,又会使混凝土表面形成一层强度低的有孔层,因而是有害的。这种有害物如与骨料表面粘附不紧密,分布得又均匀,数量又不多时,不一定有害。但是,如与骨料表面粘附紧密,就会妨碍骨料与水泥浆的粘结;一但有害物形成块状,则因潮湿干燥或冻结融化,块状会自行破坏,有害混凝土的表面。

一般来说,浮在比重为2.0的液体上的煤、褐煤等,强度低,易有害混凝土的表面。

上面所提到的普通有害物的含量限度,“混凝土规范”已有规定,如表2.2所示,对于特殊有害物质,应按工程技术负责人的意见处理。

b. 有机物 腐殖土、泥炭等含有腐殖酸的有机物,如使用的石料是被腐殖土等有机酸所污染的话,则与氢氧化钙(水泥水

化时的生成物)相结合,生成腐酸钙碱、其他有机酸金属碱,而阻碍水化反应,降低混凝土强度,而且当有机物质非常多的话,往往也会不能硬化了。

“混凝土规范”里,有关有机物的规定如下:

i) 天然砂里所含有有机物不纯物质,应根据JIS A 1105“砂的有机物不纯物质的试验法”进行试验。试验时,砂溶液上部的颜色,应比标准颜色浅。

ii) 如砂溶液上部的颜色比标准颜色深时,可用强度试验确定。先用含有有机物的砂作成水泥砂浆试件进行压缩实验,然后将该砂以3%氢氧化钠溶液冲洗,再用大量水冲洗,而后用该砂作成水泥砂浆试件进行压缩试验,如前者的压强达到后者压强的95%以上时,这种砂如工程负责人同意也可以使用。

表2.2 有害物的含量限度

| 骨 料         | 种 类              | 最大值%              |
|-------------|------------------|-------------------|
| 细<br>骨<br>料 | 粘土块              | 1.0               |
|             | 冲刷试验时失去的有害物      |                   |
|             | 混凝土表面承受摩擦作用时     | 3.0 <sup>*1</sup> |
|             | 其他情况             | 5.0 <sup>*1</sup> |
|             | 煤、褐煤等浮在比重1.95液体的 |                   |
|             | 混凝土的外观重要的        | 0.5 <sup>*2</sup> |
|             | 其他情况             | 1.0 <sup>*2</sup> |
| 粗<br>骨<br>料 | 粘土块              | 0.25              |
|             | 软石片              | 5.0 <sup>*3</sup> |
|             | 冲刷试验时失去的有害物      | 1.0 <sup>*4</sup> |
|             | 煤、褐煤等浮在比重1.95液体的 |                   |
|             | 混凝土的外观重要的        | 0.5 <sup>*3</sup> |
|             | 其他情况             | 1.0 <sup>*2</sup> |

注: \*1 碎砂在进行冲洗试验时,所洗刷的是碎石粉,不含粘土、粉土时,其最大值分别为5%和7%。

\*2 不适用于高炉矿渣所作成的粗、细骨料。

\*3 适用于交通频繁的梁板和要求表面有特殊硬度的。

\*4 碎石在进行冲洗试验时,所冲刷的是碎石粉,其最大值可为1.5%。

这说明按JIS A 1105进行的比色试验,其结果只是表示含有有害的有机物的大致程度,如果要使用比色试验不合格的砂子,有必要进行强度等方法的试验。

### (3) 耐久性

为了制作具有抗大气作用的耐久性混凝土,在考虑水灰比及相应的空气量的同时,还必须使用耐久性好的骨料。

一般来说,比重大吸水量小的岩石是稳定的,有良好的耐久性。但是,比重小的吸水量大的岩石也有稳定的。这是因为岩石的稳定性不仅与孔隙量有关系,而且还与孔隙的大小和连续性有非常密切关系。具有代表性的不稳定骨料有软质砂岩、页岩以及其他粘土质岩石、燧石、某些云母质岩石等。

骨料的耐久性,可根据过去使用的实际情况进行判断。如果没有过去的实际经验,一般是进行硫酸钠、硫酸镁的稳定性试验,以及对混凝土进行反复冻融试验等耐久性试验,从其结果判断之。

骨料颗粒的内部或表面上含有蛋白石、玉髓等物质时,能与水泥中的碱性物质起化学反应,发生过度膨胀,即所谓碱骨料反应。据报告说<sup>5)</sup>,在美国的南部、西部,仅有少数有引起膨胀的实例。在不得已非使用有碱骨料反应的骨料时,为降低水泥的碱性,可掺火山灰。

### (4) 比重、单位容重

a. 比重 骨料的比重有真比重和视比重,视比重分为烘干比重和面干比重。真比重是不含孔隙的纯石质比重,即把骨料磨成细粉求得之值。视比重是骨料颗粒的重量与它的视体积(水泥浆中骨料所占的体积)的比值。这种情况下,如所用的是绝对干燥状态的骨料颗粒重,则定义为烘干比重;如所用的是饱和面干状态的骨料就定义为面干比重。

混凝土工学所说的骨料比重,是指面干比重。各种骨料的比重概值如表2.3所示。一般可假定细骨料为2.63~2.65,粗骨料为2.65。