

# 混凝土的特性

[日]岩崎訓明 著  
尹家辛 李景星 译

中国建筑工业出版社

# 混凝土的特性

[日]岩崎訓明 著

尹家辛 李景星 译

高乃熙 校

中国建筑工业出版社

本书共分七章，第一章绪论是从材料科学的角度说明混凝土的破损与其组成和结构的关系。第二章主要用流体力学来分析未凝固混凝土的物理特性与施工性能。第三章着重从微观结构说明水泥的水化和混凝土的硬化过程。第四章是从固体物理学、材料力学和流变学方面阐明混凝土的强度、弹性、塑性和徐变的特性。第五章主要分析了硬化混凝土在温度、湿度、水分和放射性作用下的物理特性。第六章分别叙述了混凝土的抗冻融性、抗磨性、耐火性、耐海水浸蚀、电化学腐蚀和混凝土碳化以及钢筋锈蚀方面的耐久性能。第七章简单介绍了超早强、超速硬、高强和塑料混凝土，以及矾土水泥和膨胀水泥混凝土的特性。

本书供从事混凝土和混凝土工程的研究人员和技术人员，以及高等院校有关专业师生参考。

### コンクリートの特性

岩崎訓明 著

共立出版株式会社

1975.東京

\* \* \*

### 混凝土的特性

尹家辛 李景星 译

高乃熙 校

\*

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

中国建筑工业出版社印刷厂印刷(北京阜外南礼士路)

\*

开本：787×1092毫米 1/32 印张：7% 字数：171 千字

1980年12月第一版 1980年12月第一次印刷

印数：1—14,700册 定价：0.62元

统一书号：15040·3868

## 译 者 的 话

随着科学和技术的发展，基础理论和测试工具的日趋完善，材料科学日益受到人们的重视。当代世界各国对材料结构的分析已从宏观进入微观和亚微观的研究；对材料性能表征参数的测定已从定性进入半定量和定量的研究。这对揭示材料的本质、研制新型材料和正确使用材料，都具有十分重要的意义。

混凝土作为土木建筑工程的一种主要材料，无论在使用数量上，还是在应用范围方面，都有相当的发展，特别是各种外加剂的应用，对混凝土性质的改善起了很大作用，因此研究混凝土的性质，不只是材料科学的一个重要组成部分，而且成为当代各国对混凝土研究的主要课题。

《混凝土的特性》一书就是从这个角度，应用了物理学（包括固体物理学、分子物理学）、化学（包括物理化学、胶体化学）和力学（包括材料力学、流体力学等），也应用了一些新兴学科，如流变学、复合材料学、界面化学和断裂力学等，研究混凝土在温度（高温，低温）、湿度（干燥，水）、原子放射线以及外力和介质作用下的施工特性、强度、变形和耐久性。本书所涉及的内容较广，加之著者以深入浅出的笔法概述了混凝土的特性，是值得一读的。这就是我们推荐本书并译出给我国从事科研、设计、施工人员以及高等院校师生作为参考书的理由。当然，书中也有些章节所涉及的内容还是值得进一步商榷和研究的。譬如对于未凝固

混凝土的流变特征只是初步的阐述；对于特种混凝土特性一章所叙述的内容还不够深入，作为混凝土第五个组成部分的外加剂特别是减水剂的内容就显得少了些。但是，总的看来，《混凝土的特性》一书，是理论知识和实践经验相结合的一本令人感兴趣的专著。

在翻译本书的过程中，对于原书印刷有误或译者认为有待商榷和需要加以说明的地方，都加了译者注。由于译者水平所限，不当或错误之处请读者指正。

译 者

1978年10月于北京

## 序

作为结构材料的混凝土，其用途每年在扩大，特别在特殊条件下使用场合日益增多的今天，混凝土工程学并不限于混凝土工程技术人员，也应为广大从事建设的工程技术人员所理解。

最近发行了许多有关论述混凝土工程的书籍，可以说是适应了上述要求。过去，混凝土作为单相材料对待，是以材料、配合比、龄期、养护方法等为影响它的主要因素，这是普通的又是实际的方法。然而近年来有关未硬化混凝土的流变学、硬化过程、已硬化混凝土的微观结构等的研究进展，正在探明混凝土的各种特性与物理化学法则的关系。本书基于这种形势，尽量将有关混凝土的知识和实际经验加以科学的解说，以便在加深对混凝土本质的重视与理解方面，起到一种辅导作用。

不言而喻，混凝土与以物理、化学、材料力学等为基础的许多学科领域有着密切的联系。因此，本书即使只论述研究成果，但不能充分消化或理解的地方也不少。对于有关这些学科的基础知识，虽也接触到认为是必要的范围，但从读者来说，会觉得有些多余或说明不够的地方。而且，由于笔者学浅，恐有流于独断，以及错误解释之处，如蒙读者指正，则为幸甚。

执笔之际，曾蒙东京都立大学村田二郎教授给予宝贵帮助和校阅，在此表示深切的谢意。

著 者

一九七五年九月

# 目 录

## 第一章 绪 论

|                            |   |
|----------------------------|---|
| 1-1 混凝土的破损与混凝土构筑物的破损 ..... | 1 |
| 1-2 混凝土的组成与结构 .....        | 2 |
| 1-2-1 尚未凝固的混凝土的组成 .....    | 2 |
| 1-2-2 硬化后混凝土的组成与结构 .....   | 2 |

## 第二章 尚未凝固的混凝土的物质特性与施工特性

|                                |    |
|--------------------------------|----|
| 2-1 概 论 .....                  | 4  |
| 2-2 尚未凝固的混凝土的粘附力与弹性性质 .....    | 5  |
| 2-2-1 粘附力与内聚力 .....            | 5  |
| 2-2-2 刚性模量与抗剪强度 .....          | 8  |
| 2-2-3 体积弹性模量 .....             | 9  |
| 2-3 尚未凝固的混凝土的流动特性 .....        | 10 |
| 2-3-1 物质的流动 .....              | 10 |
| 2-3-2 测定流动特性的方法 .....          | 12 |
| 2-3-3 混凝土的流动特性 .....           | 16 |
| 2-3-4 泵送混凝土的流动特性 .....         | 20 |
| 2-4 混凝土的配合比与稠度 .....           | 24 |
| 2-4-1 混凝土的流变特性与稠度试验值的相关性 ..... | 24 |
| 2-4-2 混凝土的单位用水量与稠度的关系 .....    | 28 |
| 2-4-3 混凝土的配合比与稠度的关系 .....      | 32 |
| 2-4-4 最佳含砂率 .....              | 33 |
| 2-4-5 外加剂的影响 .....             | 34 |

|       |                    |    |
|-------|--------------------|----|
| 2-5   | 振动捣实的性质 .....      | 36 |
| 2-5-1 | 由振动引起的混凝土液化 .....  | 36 |
| 2-5-2 | 振动特性与液化作用的关系 ..... | 36 |
| 2-6   | 对材料离析的抵抗性 .....    | 38 |
| 2-6-1 | 材料离析 .....         | 38 |
| 2-6-2 | 施工中的材料离析 .....     | 39 |
| 2-7   | 灌注后混凝土的沉降与泌水 ..... | 42 |
| 2-7-1 | 沉降收缩与泌水 .....      | 42 |
| 2-7-2 | 沉降收缩与泌水的关系 .....   | 43 |
| 2-7-3 | 塑性收缩与表层剥落 .....    | 44 |
| 2-7-4 | 泌水特性 .....         | 45 |
| 2-8   | 混凝土对模板的侧压力 .....   | 47 |
| 2-8-1 | 影响侧压力的主要原因 .....   | 47 |
| 2-8-2 | 最大侧压力 .....        | 49 |

### 第三章 水泥的水化和混凝土的硬化过程

|       |                       |    |
|-------|-----------------------|----|
| 3-1   | 波特兰水泥的化合物与水化反应 .....  | 51 |
| 3-1-1 | 波特兰水泥的化学成分与矿物组成 ..... | 51 |
| 3-1-2 | 水泥化合物的水化反应 .....      | 52 |
| 3-1-3 | 水泥的水化热与混凝土的绝热升温 ..... | 54 |
| 3-2   | 波特兰水泥的凝结与硬化 .....     | 56 |
| 3-2-1 | 胶体与凝胶 .....           | 56 |
| 3-2-2 | 波特兰水泥的凝结、硬化过程 .....   | 57 |
| 3-2-3 | 正常凝结和不正常凝结 .....      | 58 |
| 3-2-4 | 促凝剂与缓凝剂的作用 .....      | 60 |
| 3-3   | 已硬化水泥浆的微观结构 .....     | 61 |
| 3-3-1 | 水泥凝胶 .....            | 61 |
| 3-3-2 | 水泥浆的空隙与比表面积 .....     | 62 |
| 3-3-3 | 已硬化水泥浆中的水 .....       | 62 |

|                               |    |
|-------------------------------|----|
| 3-4 水泥浆的水化与混凝土强度 .....        | 64 |
| 3-4-1 硬化的水泥浆的强度 .....         | 64 |
| 3-4-2 水泥水化度与混凝土强度的联系 .....    | 66 |
| 3-4-3 龄期与水泥水化度、混凝土强度的关系 ..... | 68 |
| 3-4-4 水泥浆与集料的结合机理 .....       | 69 |
| 3-5 环境条件对混凝土硬化的影响 .....       | 71 |
| 3-5-1 温度影响 .....              | 71 |
| 3-5-2 湿度影响 .....              | 74 |

## 第四章 硬化混凝土的力学特性

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| 4-1 固体结构与强度 .....               | 77  |
| 4-1-1 固体的结合形式 .....             | 77  |
| 4-1-2 固体的理想强度 .....             | 79  |
| 4-1-3 脆性材料的开裂强度 .....           | 82  |
| 4-1-4 因应力引起混凝土内部结构的破损与断裂 .....  | 89  |
| 4-2 混凝土强度 .....                 | 90  |
| 4-2-1 混凝土强度的定义 .....            | 90  |
| 4-2-2 影响混凝土强度的主要原因 .....        | 91  |
| 4-2-3 材料强度与混凝土强度的关系 .....       | 91  |
| 4-2-4 混凝土的含水状态和温度的影响 .....      | 94  |
| 4-2-5 各种应力状态下的混凝土强度 .....       | 96  |
| 4-2-6 混凝土的疲劳 .....              | 101 |
| 4-2-7 混凝土与钢筋的粘着特性 .....         | 104 |
| 4-3 混凝土的弹性与塑性 .....             | 110 |
| 4-3-1 材料的弹性与塑性 .....            | 110 |
| 4-3-2 混凝土的应力——应变曲线 .....        | 112 |
| 4-3-3 混凝土的弹性模量 .....            | 114 |
| 4-3-4 作为二相材料的混凝土的弹性模量与泊松比 ..... | 116 |
| 4-4 混凝土的徐变 .....                | 119 |

|       |                    |     |
|-------|--------------------|-----|
| 4-4-1 | 混凝土的徐变特性 .....     | 119 |
| 4-4-2 | 影响混凝土徐变的主要原因 ..... | 122 |
| 4-4-3 | 徐变方程式 .....        | 127 |
| 4-4-4 | 平行移动法则与叠加原理 .....  | 130 |
| 4-4-5 | 混凝土的徐变机理 .....     | 132 |

## 第五章 硬化混凝土的物理特性

|       |                          |     |
|-------|--------------------------|-----|
| 5-1   | 干燥收缩 .....               | 139 |
| 5-1-1 | 混凝土的干燥与吸湿 .....          | 139 |
| 5-1-2 | 水泥石的干燥收缩和混凝土的干燥收缩 .....  | 143 |
| 5-1-3 | 水泥石的干燥收缩机理 .....         | 144 |
| 5-1-4 | 设计计算上采用的干缩应变值 .....      | 146 |
| 5-2   | 因温度变化引起混凝土体积的变化 .....    | 149 |
| 5-2-1 | 由于温度变化引起水泥石体积变化的机理 ..... | 149 |
| 5-2-2 | 集料对热膨胀率的影响 .....         | 149 |
| 5-3   | 混凝土的热传导与温度的变化 .....      | 150 |
| 5-3-1 | 混凝土的热性质 .....            | 150 |
| 5-3-2 | 内部发热时的热传导方程式 .....       | 151 |
| 5-3-3 | 表面条件与初始条件 .....          | 154 |
| 5-3-4 | 混凝土的温度变化与热应力 .....       | 155 |
| 5-4   | 混凝土的水密性 .....            | 158 |
| 5-4-1 | 透水现象与热传导的相似性 .....       | 158 |
| 5-4-2 | 混凝土渗透系数与扩散系数之间的关系 .....  | 159 |
| 5-4-3 | 混凝土的渗透系数 .....           | 160 |
| 5-5   | 对射线的屏蔽性 .....            | 161 |
| 5-5-1 | 放射线的能量 .....             | 161 |
| 5-5-2 | 放射线的吸收与衰减 .....          | 163 |
| 5-5-3 | 屏蔽混凝土的必要性质 .....         | 165 |
| 5-6   | 高温下混凝土的性能 .....          | 167 |

|       |                      |     |
|-------|----------------------|-----|
| 5-6-1 | 在高温下使用的混凝土构筑物 .....  | 167 |
| 5-6-2 | 高温下混凝土的力学性质 .....    | 167 |
| 5-6-3 | 温度对热性质的影响 .....      | 168 |
| 5-7   | 超低温混凝土的性质 .....      | 170 |
| 5-7-1 | 在超低温下使用的混凝土构筑物 ..... | 170 |
| 5-7-2 | 水泥石中水的冰点 .....       | 170 |
| 5-7-3 | 低温下的混凝土性质 .....      | 175 |

## 第六章 混凝土的耐久性

|       |                          |     |
|-------|--------------------------|-----|
| 6-1   | 对冻融循环的耐久性 .....          | 178 |
| 6-1-1 | 由冻融循环引起混凝土破损的种类 .....    | 178 |
| 6-1-2 | 冻结时产生的内部压力 .....         | 178 |
| 6-1-3 | 气泡对水泥石耐久性的影响 .....       | 183 |
| 6-1-4 | 改善耐久性所需要的空气量 .....       | 188 |
| 6-1-5 | 集料对混凝土耐久性的影响 .....       | 189 |
| 6-1-6 | 表层剥落的发生机理 .....          | 191 |
| 6-2   | 抗磨耗性 .....               | 191 |
| 6-2-1 | 磨耗的原因 .....              | 191 |
| 6-2-2 | 对机械磨耗作用的抵抗性 .....        | 192 |
| 6-2-3 | 由空洞现象引起的侵蚀 .....         | 193 |
| 6-3   | 耐火性 .....                | 193 |
| 6-3-1 | 由温升引起混凝土强度与弹性模量的降低 ..... | 193 |
| 6-3-2 | 残余强度的恢复 .....            | 195 |
| 6-3-3 | 钢筋混凝土的耐火性 .....          | 196 |
| 6-4   | 混凝土的碳化和钢筋的腐蚀 .....       | 196 |
| 6-4-1 | 由水泥石的碳化引起混凝土的碳化 .....    | 196 |
| 6-4-2 | 混凝土的碳化速度 .....           | 197 |
| 6-4-3 | 混凝土中钢筋的锈蚀 .....          | 198 |
| 6-4-4 | 钢筋混凝土残余裂缝宽度的影响 .....     | 200 |

|       |                       |     |
|-------|-----------------------|-----|
| 6-5   | 抗海水性 .....            | 201 |
| 6-5-1 | 海水对混凝土构筑物的侵蚀作用 .....  | 201 |
| 6-5-2 | 海水对水泥石的化学作用 .....     | 202 |
| 6-5-3 | 在海水作用下混凝土中钢筋的锈蚀 ..... | 203 |
| 6-5-4 | 影响混凝土抗海水性的主要原因 .....  | 204 |
| 6-6   | 钢筋混凝土的电蚀 .....        | 205 |
| 6-6-1 | 电蚀的原因 .....           | 205 |
| 6-6-2 | 电蚀机理 .....            | 205 |

## 第七章 特种混凝土的特性

|       |                         |     |
|-------|-------------------------|-----|
| 7-1   | 超早强波特兰水泥混凝土 .....       | 208 |
| 7-1-1 | 超早强波特兰水泥的特性 .....       | 208 |
| 7-1-2 | 超早强波特兰水泥混凝土的特性 .....    | 211 |
| 7-2   | 超速硬水泥混凝土 .....          | 213 |
| 7-2-1 | 超速硬水泥的特性 .....          | 213 |
| 7-2-2 | 超速硬水泥混凝土的性质 .....       | 215 |
| 7-3   | 矾土水泥混凝土 .....           | 216 |
| 7-3-1 | 矾土水泥的化学成分与水化反应的特性 ..... | 216 |
| 7-3-2 | 矾土水泥混凝土的凝结与硬化 .....     | 217 |
| 7-3-3 | 干燥收缩与耐久性 .....          | 220 |
| 7-4   | 膨胀混凝土 .....             | 221 |
| 7-4-1 | 膨胀水泥掺和料 .....           | 221 |
| 7-4-2 | 膨胀混凝土的膨胀特性及其应用 .....    | 221 |
| 7-4-3 | 膨胀速度公式 .....            | 223 |
| 7-4-4 | 膨胀混凝土的强度与耐久性 .....      | 225 |
| 7-5   | 高强混凝土 .....             | 226 |
| 7-5-1 | 高强度化的原理与方法 .....        | 226 |
| 7-5-2 | 高强度减水剂的特性 .....         | 227 |
| 7-5-3 | 采用高强度减水剂的混凝土的工作度 .....  | 228 |

|       |                       |     |
|-------|-----------------------|-----|
| 7-5-4 | 采用高强度减水剂的混凝土的强度 ..... | 229 |
| 7-6   | 塑料混凝土 .....           | 230 |
| 7-6-1 | 塑料混凝土的种类 .....        | 230 |
| 7-6-2 | 树脂混凝土的特性 .....        | 231 |
| 7-6-3 | 聚合物浸渍混凝土的特性 .....     | 231 |
| 7-6-4 | 聚合物水泥混凝土的特性 .....     | 232 |

# 第一章 绪 论

## 1-1 混凝土的破损与混凝土构筑物的破损

力一旦作用在构筑物上，构成构筑物的材料就产生应力。材料因应力而变形，随着应力的增加，同时变形也增大，终于破损。

然而，材料的破损不一定直接影响到构件或整个构筑物的破损。例如，钢筋混凝土梁的受拉区混凝土所产生的微裂，并不损坏梁的功能。这是因为设计时有效地利用了混凝土及钢筋的特性。可是裂缝一旦大于某种限度时，钢筋就要生锈，结果使梁的寿命显著地缩短。在这种状态下，才被看成是梁的破损。

一般，对于构筑物使用目的的完整性已经丧失后，才是破损。破损不只是指承载力，而且包含着美观、舒适性等。另外，破损的原因也不只是应力，还有气象作用和化学作用等各种因素。

设计构筑物固然要考虑构筑物的使用状态和材料特性，但在设计混凝土构筑物时，充分发现预期混凝土的性质便成为更重要的条件。为了建造优良的混凝土构筑物，就要充分理解尚未凝固的混凝土的施工特性、混凝土硬化过程以及硬化混凝土的材料特性，从而进行适当的设计与施工。

## 1-2 混凝土的组成与结构

### 1-2-1 尚未凝固的混凝土的组成

尚未凝固的混凝土基本上是一种将水泥、砂及粗集料用水拌和而成的混合物,而这些材料在混合物中是均匀分布的。

水泥加水拌合后,立即溶解出一种可溶性的成分,开始水化反应,所以尚未凝固的混凝土中的液体部分是一种强碱性的溶液。固体部分则分布着由数毫微米( $m\mu$ )的微小水化物颗粒到数厘米的粗集料这样非常广泛的粒径,形成一种形状、密度不相同的颗粒聚集体,这些颗粒聚集体有的凝聚,有的独立分散着。气体部分是直径10微米~1毫米的气泡群,在加气混凝土中由于加气剂的作用而产生连续的微气泡群。此外还有封闭在水泥凝聚体内部的空气。

### 1-2-2 硬化后混凝土的组成与结构

从宏观看到的和微观看到的硬化后的混凝土组成与结构是非常不同的。如果严格地说,至少是由九种成分组成的多相材料,即:粗集料、砂、未水化的水泥颗粒,氢氧化钙和其它结晶颗粒、水泥凝胶、凝胶空隙、毛细管空隙、空隙水以及空气泡。

尤其在宏观所见的情况下,正如设计建筑物和构件时所假定的那样,混凝土整体是一种均质的各向同性材料。

往往也有把混凝土当作两相材料(two-phase material)对待的。在这种情况下,认为集料是分散在均质而连续的水泥浆结合料中的,或者认为是粗集料分散在水泥砂浆结合料中的。

将集料下边由于泌水<sup>①</sup>而影响集料和水泥浆不完全粘结

---

① 泌水(bleeding),也有叫做“水泥浮浆”的。——译者

的情况视为重要时，必须把混凝土看成是一种向气性材料。

在微观情况下分析，水泥浆是一种非均质的各向同性多相结构，在超显微镜下水泥凝胶也还是一种非均质的多相结构。

混凝土的各种材料特性是与混凝土的微观结构有密切的关系。例如，由于混凝土内部潜在的微细裂缝，在加载前对破坏强度就要受到很大影响。这样，对于结构敏感的物质特性叫做结构敏感性。与此相反，仅取决于构成成分性质和体积比，而不影响结构的非连续性的性质，叫做结构钝感性<sup>①</sup>。但混凝土的重要性质，多属于结构敏感性。

---

① “钝感性”也叫做不敏感性。——译者

## 第二章 尚未凝固的混凝土 的物质特性与施工特性

### 2-1 概 论

为了表明尚未凝固的混凝土的性质，采用以下技术名词：

稠度 主要是以用水量多少来表明软练程度的性质。

和易性 表明由于混凝土稠度达到容易灌注程度及抵抗材料离析的性质<sup>①</sup>。

可塑性 容易灌注模内，脱模后变形慢，表明材料要坍落但又不离析这样一种性质。

可修饰性 按照粗集料的最大粒径、含砂率、砂子粒径、稠度等，表明成活难易程度的性质。

以上四种性质之中，最有概括的是和易性。和易性良好的混凝土，就是具有适当稠度和良好可塑性以及可修饰性。就是说，和易性以外的三种性质是包含在和易性内的主要因素。

这些性质是和混凝土从拌合、灌注、到成型一系列作业有关的混凝土施工特性所决定的，而不是表示混凝土本身物质特性的。因此，不存在直接表示这些性质的数值及其测定方法。判断这些性质标准按照建筑物的种类和施工条件而不同。然而在实际中有必要用某些方法将和易性表示成数值，

---

① 即指能够抵抗砂、石材料 and 水泥浆分离而脱落的性质。——译者