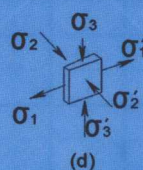
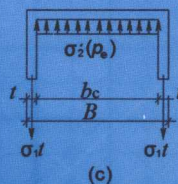
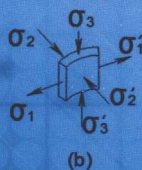
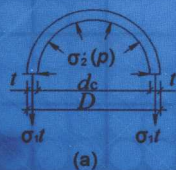
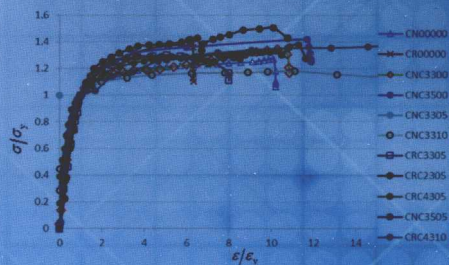
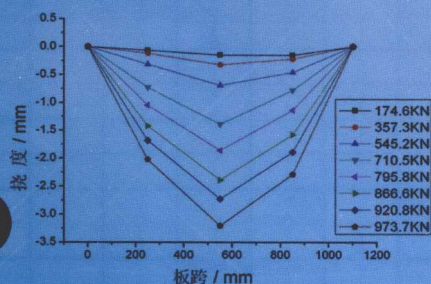


江苏省第四期“333工程”科研资助项目（项目编号：BRA2013142）
 泰州市社会发展项目（项目编号：TS2013025）
 泰州市钢筋混凝土结构加固与修复工程技术研究中心创新项目
 泰州市绿色混凝土工程技术研究中心创新项目
 江苏省第一建筑安装股份有限公司博士后科研工作站创新项目
 江苏永泰建设工程有限公司技术中心（校企共建）创新项目
 泰州职业技术学院工程力学学社（精品社团）创新项目
 泰州职业技术学院硕博基金项目（项目编号：TZYBS-12-2）

包容型再生混凝土及其构件 承载力试验研究

蒋凤昌 编著



同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS

江苏省第四期“333 工程”科研资助项目(项目编号: BRA2013142)

泰州市社会发展项目(项目编号: TS2013025)

泰州市钢筋混凝土结构加固与修复工程技术研究中心创新项目

泰州市绿色混凝土工程技术研究中心创新项目

江苏省第一建筑安装股份有限公司博士后科研工作站创新项目

江苏永泰建设工程有限公司技术中心(校企共建)创新项目

泰州职业技术学院工程力学学社(精品社团)创新项目

泰州职业技术学院硕博基金项目(项目编号: TZYBS-12-2)

包容型再生混凝土及其构件 承载力试验研究

蒋凤昌 编著



同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS

内 容 提 要

本书顺应建筑业可持续发展的理念,通过开发废旧混凝土再生应用技术,提出包容型再生混凝土的概念,并进行其受力性能的相关研究。由于无需对废料碾磨以取得粗骨料,而是以混凝土块体形式直接应用,因而可大大提高废弃混凝土的利用率,显著地降低生产成本,有助于解决目前约束再生混凝土实际应用的瓶颈问题。

全书共分九章,依次为:绪论、包容型再生混凝土配合比设计试验研究、包容型再生混凝土基本力学性能试验研究、包容型再生混凝土旧料预湿处理试验研究、包容型再生混凝土旧料破碎工艺试验研究、包容型再生混凝土板冲切承载力试验研究、包容型再生混凝土板冲切承载力数值分析研究、钢管-包容型再生混凝土柱受力性能试验研究、钢管-包容型再生混凝土柱承载力计算研究。

本书读者对象为土木工程技术与管理人员,以及相关专业的研究生、本科生和专科生。

图书在版编目(CIP)数据

包容型再生混凝土及其构件承载力试验研究 / 蒋凤昌编著. — 上海: 同济大学出版社, 2015. 9

ISBN 978-7-5608-5994-1

I. ①包… II. ①蒋… III. ①再生混凝土—结构构件—承载力—试验—研究 IV. ①TU528.59

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 212971 号

包容型再生混凝土及其构件承载力试验研究

蒋凤昌 编著

责任编辑 李小敏 责任校对 徐春莲 封面设计 潘向葵

出版发行 同济大学出版社 www.tongjipress.com.cn
(地址:上海市四平路 1239 号 邮编:200092 电话:021-65985622)

经 销 全国各地新华书店
印 刷 江苏凤凰数码印务有限公司

开 本 787 mm×960 mm 1/16

印 张 13.5

字 数 270 000

版 次 2015 年 9 月第 1 版 2015 年 9 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5608-5994-1

定 价 50.00 元

本书若有印装质量问题, 请向本社发行部调换 版权所有 侵权必究

前言

目前,我国新型城镇化和社会主义新农村建设稳步推进。一方面,城乡面貌和生活环境得到极大改善,另一方面,由于大量老旧建筑物、构筑物和道路的拆迁、新建和翻建,产生大量的建筑废弃物。大型城市的建筑垃圾年产量可达千万吨,在建筑垃圾中,废弃混凝土可达40%左右。如何将废弃的旧料混凝土“变废为宝”,这是工程界和学术界普遍关注的热点问题。

国内外学者在废弃混凝土的再生利用技术上研究已久,日本和欧、美一些工业发达国家已制订相关法规和管理办法,督促废弃混凝土的再生利用。但是在中国,废弃混凝土的再生利用率不足5%,究其原因是再生利用的成本太高。

本书所述包容型再生混凝土的相关研究,有助于解决目前约束再生混凝土实际应用的瓶颈问题。由于无需对废料碾磨以取得粗骨料,而是以混凝土块体形式直接应用,相对于以往的普通再生混凝土而言,可以大大提高废弃混凝土的利用率,同时又可显著地降低生产成本。

本书的研究内容源于江苏省“333”人才培养项目“钢管-包容型再生混凝土柱受力性能研究(项目编号: BRA2013142)”、泰州市社会发展计划项目“包容型再生混凝土基本性能研究(项目编号: 2012182)”、泰州市社会发展计划项目“包容型再生混凝土构件受力性能研究与推广应用(项目编号: TS2013025)”和泰州职业技术学院硕博基金项目“包容型再生混凝土构件承载力试验研究(项目编号: TZYBS-12-2)”。同时,研究工作亦属泰州市钢筋混凝土结构加固与修复工程技术研究中心创新项目、泰州市绿色混凝土工程技术研究中心(为海集团共建)创新项目、江苏省第一建筑安装股份有限公司博士后科研工作站创新项目、江苏永泰建设工程有限公司技术中心(校企共建)创新项目、泰州职业技术学院工程力学学社(精品社团)创新项目。本书的试验工作获得江苏一建、为海集团、江苏永泰等企业资助;试验过程中,获得同济大学研究生郭志刚、相阳、李政启、李家明,泰州职业技术学院

工程力学学社王炎、陈健、朱恒其、程越东、顾斌、费海俊、沙旭、徐虎和卓启文等学生的帮助；书稿撰写过程中参考和引用了郭志刚、相阳和李政启的相关研究成果；泰州职业技术学院周桂香副教授在试验和书稿撰写过程中做了大量工作；同济大学朱慈勉教授悉心指导研究工作。在此对帮助和支持书稿出版的单位、老师与学生，一并表示感谢。

限于作者水平，书中难免存在一些缺陷甚至错误，恳请专家和读者批评指正。

蒋凤昌

2015年6月于泰州

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 建筑废弃物及其综合利用现状	1
1.1.1 建筑废弃物的产生	1
1.1.2 国外建筑废弃物综合利用状况	2
1.1.3 国内建筑废弃物综合利用状况	4
1.2 再生混凝土基本力学性能的研究现状	5
1.2.1 再生混凝土的抗压强度	5
1.2.2 再生混凝土的抗拉强度	6
1.2.3 再生混凝土的弹性模量	6
1.3 再生混凝土施工工艺的开发研究现状	7
1.4 再生混凝土结构构件的研究现状	8
1.5 包容型再生混凝土研究课题的提出	9
第 2 章 包容型再生混凝土配合比设计试验研究	12
2.1 引言	12
2.2 试验准备工作	13
2.2.1 旧料混凝土	13
2.2.2 水泥	15
2.2.3 天然骨料	15
2.2.4 水	16

2.2.5	高效减水剂	16
2.2.6	试验设备	17
2.2.7	试验流程的确定	18
2.2.8	配合比设计要求	20
2.2.9	配合比设计计算	21
2.3	水灰比设计试验及其结果分析	22
2.3.1	配合比资料	22
2.3.2	立方体抗压强度	23
2.3.3	试验结果分析	24
2.4	砂率设计试验及其结果分析	26
2.4.1	配合比资料	26
2.4.2	立方体抗压强度	27
2.4.3	试验结果分析	28
2.5	旧料掺入率影响试验及其结果分析	29
2.5.1	标准立方体试块(150 mm×150 mm×150 mm)	30
2.5.2	较大尺寸立方体试块(200 mm×200 mm×200 mm)	34
2.6	本章小结	36
第3章	包容型再生混凝土基本力学性能试验研究	37
3.1	引言	37
3.2	包容型再生混凝土轴心抗压强度试验	38
3.2.1	轴心抗压强度试验的要求及计算	39
3.2.2	配合比资料	39
3.2.3	轴心抗压强度	40
3.2.4	试验结果分析	41
3.3	包容型再生混凝土抗拉强度试验	43
3.3.1	抗拉强度试验的方法及计算	43
3.3.2	配合比资料	45

3.3.3 劈裂抗拉强度	46
3.3.4 试验结果分析	47
3.4 包容型再生混凝土弹性模量试验	49
3.4.1 弹性模量试验的方法及计算	49
3.4.2 配合比资料	51
3.4.3 弹性模量	51
3.4.4 试验结果分析	51
3.5 本章小结	52
第4章 包容型再生混凝土旧料预湿处理试验研究	53
4.1 引言	53
4.2 包容型再生混凝土旧料吸水率试验研究	53
4.3 包容型再生混凝土旧料预湿处理工艺试验	58
4.4 包容型再生混凝土旧料预湿处理效果试验	61
4.5 本章小结	64
第5章 包容型再生混凝土旧料破碎工艺试验研究	65
5.1 引言	65
5.2 混凝土旧料破碎施工的常用机械及其分类	65
5.2.1 混凝土旧料常用破碎机械	66
5.2.2 混凝土旧料破碎的机械分类	70
5.3 包容型再生混凝土旧料破碎试验过程	71
5.3.1 旧料混凝土的准备	71
5.3.2 应用颚式破碎机破碎旧料	72
5.3.3 应用锤式破碎机破碎旧料	73
5.4 旧料混凝土破碎产物的分析研究	75
5.4.1 旧料混凝土破碎产物的粒度分布	75
5.4.2 旧料混凝土破碎产物的力学性能	77

5.5 本章小结	81
第 6 章 包容型再生混凝土板冲切承载力试验研究	83
6.1 引言	83
6.2 试验考虑的影响因素	83
6.3 试验准备工作	85
6.3.1 试件设计与制作	85
6.3.2 材料性能	89
6.3.3 试验设备	91
6.4 试验内容	92
6.4.1 板冲切承载力测量	92
6.4.2 板挠度测量	93
6.4.3 板裂缝开展观测	93
6.5 试验结果	93
6.5.1 板受冲切承载力	93
6.5.2 板挠度	94
6.5.3 板裂缝开展	103
6.6 分析研究	106
6.6.1 混凝土抗压强度	106
6.6.2 抗弯钢筋配筋率	107
6.6.3 冲跨比	108
6.6.4 板厚度	110
6.6.5 其他影响因素	110
6.7 本章小结	113
第 7 章 包容型再生混凝土板冲切承载力数值分析研究	115
7.1 引言	115
7.2 建立 ANSYS 有限元分析模型	115

7.2.1	分离式模型	115
7.2.2	材料性质	116
7.2.3	有限元建模	117
7.3	模拟加载和数值分析结果	123
7.3.1	板受冲切应力云图	124
7.3.2	板受冲切应变云图	127
7.3.3	板下表面裂缝发展	128
7.3.4	板受冲切承载力	129
7.4	包容型再生混凝土破坏准则与冲切破坏机构	129
7.4.1	包容型再生混凝土破坏准则	129
7.4.2	包容型再生混凝土板冲切破坏机构	133
7.5	包容型再生混凝土板冲切承载力计算	134
7.5.1	混凝土抗冲切部分—— P_c	134
7.5.2	抗弯钢筋销栓作用部分—— P_b	136
7.5.3	板冲切承载力计算式分析	137
7.5.4	特殊板承载力计算与讨论	140
7.5.5	简化计算式及其与设计规范计算方法对比	141
7.6	本章小结	146
第 8 章	钢管-包容型再生混凝土柱受力性能试验研究	148
8.1	引言	148
8.2	试验考虑的影响因素	149
8.3	试验准备工作	150
8.3.1	试件设计与制作	150
8.3.2	材料性能试验	155
8.3.3	试验设备	158
8.4	轴压试验过程与结果	160
8.4.1	试验主要过程	160

8.4.2	试件破坏的现象	161
8.4.3	试验数据与试验曲线	163
8.4.4	破坏特征分析	172
8.4.5	影响因素分析	175
8.5	本章小结	179
第9章	钢管-包容型再生混凝土柱承载力计算研究	180
9.1	引言	180
9.2	轴压理论分析	180
9.2.1	钢管混凝土轴心受压时的工作机理	180
9.2.2	钢管-包容型再生混凝土应力-应变全过程拟合曲线	187
9.3	设计规范与计算公式	189
9.3.1	各国关于钢管混凝土柱的设计规范	189
9.3.2	钢管-包容型再生混凝土柱承载力设计公式推导	191
9.4	本章小结	195
	参考文献	196
	附录 课题组相关照片	203

第 1 章 绪 论

1.1 建筑废弃物及其综合利用现状

1.1.1 建筑废弃物的产生

随着我国城镇化进程的加快和城市规模的不断扩大,建筑废弃物的产生和排放也不断增加^[1]。据统计^[2-3]数据显示,我国年均竣工工程的建筑面积近 20 亿 m^2 ,几乎占了全世界每年建筑面积的 1/2,更为严峻的是,在这个数据基础上每年还在增加。2005 年北京市建筑废弃物排放量就已达到 3 600 万 t,且 2001—2010 年的十年期间,北京年均排放量已超过 3 800 万 t^[4]。2013 年,上海市建筑废弃物的排放量已达 2 300 多万 t,其中新建、改建、扩建过程中以及建筑物、构筑物的修缮和拆除过程中产生的建筑废弃混凝土达 700 多万 t^[5]。南京市 2013 年产生建筑固体废弃物 800 万 t,预计 2015 年南京市建筑固体废弃物产生量会达到 1 250 万 t^[6]。据估算,我国新建建筑面积到 2020 年将新增约 300 亿 m^2 ,由此产生建筑垃圾 134 亿 t^[7]。

城市建设产生的建筑废弃物大致有两种:一种是旧建筑拆除产生的垃圾(图 1.1);另一种是新建过程中产生的建筑垃圾,例如在大型工程的深基坑围护结构中,混凝土内支撑(图 1.2)拆除产生的废弃物。据调查^[8],杭州市 2011—2013 年开挖深度大于 5 m 的基坑工程分别为 182, 171, 186 项,每年拆除支撑产生的建筑废弃物量约 100 万 t。

根据欧洲水泥协会统计资料,1900 年全世界水泥总产量约为 1 000 万 t,如果以每立方米混凝土平均水泥用量为 250 kg 来计算,全世界浇筑的混凝土仅为 4 000 万 m^3 ;到了 1998 年,全世界混凝土的生产量发展到 64 亿 m^3 ,每人每年平均消费混凝土 1 m^3 多。到了 2003 年,全世界水泥产量达到了 15 亿 t,而中国就消费了 8.2 亿 t,相当于全世界 55% 的水泥都倒在中国的土地上^[9]。



图 1.1 旧建筑拆除

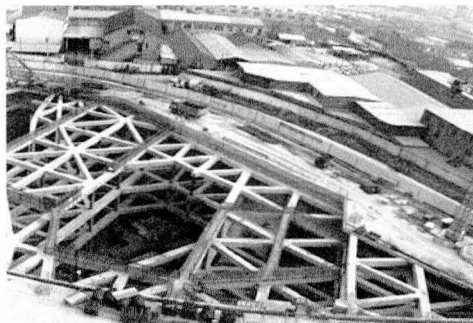


图 1.2 混凝土内支撑

我国是一个地震多发的国家,据本书文献[10]描述,仅 2008 年四川省汶川地震就产生了 2 亿 t 的建筑垃圾(图 1.3),青海省玉树地震产生了 400 万 t 的建筑垃圾(图 1.4)。在建筑垃圾中,废弃混凝土可达 40%左右。一方面,废弃混凝土不仅占用了大量土地,还污染了环境,随着经济的发展这种趋势明显加快;另一方面,混凝土骨料的开采每年约在 80 亿 t^[11],亦严重破坏了环境。于是,如何将废弃混凝土再生利用便成为摆在世人面前的具有重要社会效益、经济和环境价值的问题。因此,废弃混凝土再生利用已成为国内外学者普遍关注的前沿课题之一。



图 1.3 汶川地震后产生的建筑垃圾



图 1.4 玉树地震后产生的建筑垃圾

1.1.2 国外建筑废弃物综合利用状况

基于建筑业可持续发展和环境保护的考虑,世界各国的工程界和学术界都在开展建筑废弃物循环利用相关技术的研究工作^[12]。建筑废弃物的回收,可循环用作建筑材料,这些新技术在有的国家已制定了相应的技术规范与规程,并且推广应用于实际工程之中。在日本、美国、德国等工业发达的国家,首先涉及建筑废弃物

的处理技术研究,不仅节约了天然资源,而且解决了日益增长的垃圾处理危机,具有显著的经济效益、社会效益和环保效益,为我们提供了先进的经验与借鉴素材,对世界建筑业可持续发展意义深远^[13]。

日本由于国土面积较小,天然资源相对匮乏,因而将建筑废弃物视为“建筑副产品”,十分重视建筑废弃物的再生资源化与重新开发利用。从20世纪70年代开始,日本就开始研究建筑废弃物的处理技术,并且建立再生加工厂,其生产规模最大的可达每小时生产100 t。日本政府于1996年就颁布执行《资源再生法》,制订了建筑废弃物的处理方针:①尽可能不从施工现场排出建筑垃圾;②建筑垃圾要尽可能地重新利用;③对于重新利用有困难的则应适当予以处理。2012年日本颁布了《废弃物处理法》,条文规定:建筑废弃物由排放者负责;建筑废弃物需要进行特殊处理;未按要求进行处理的企业或个人经调查核实后需缴纳罚金,严重的将被处以拘役处分^[14]。据统计,2005年日本全国建筑废物资源总利用率达到85%,其中废弃混凝土的排放量约为3 200万t,废弃混凝土再生利用达3 100多万t,再生资源化率高达98%。

美国是较早提出环境标志制度的国家,美国政府制定的《超级基金法》规定:“任何生产有工业废弃物的企业,必须自行妥善处理,不得擅自随意倾卸。”据美国联邦公路局统计,美国现在已有超过20个州在公路建设中采用再生集料,26个州允许将再生集料作为基层材料,有15个州制定了关于再生集料的规程。美国陆军工程协会(SAME)在有关规范和指南中鼓励使用再生混凝土骨料。1969年美国制定了 *National Environmental Policy Act*,它对国家环境政策以及六项环境指标作了详细的规定^[15]。1976年美国为了促进公众健康和环境的保护,加强对有价值的物资和能源资源的节约,又制定了 *Solid Waste Disposal Act*^[16]。1990年制定的《污染防治法》^[17]提出源头减量的概念。1996年美国建筑废弃物资源利用率为20%~30%,根据国内加工设备能力推算,其废弃混凝土的再生利用量约为5 000万t^[18]。

德国是世界上最早推行环境标志制度的国家。德国每个地区都有大型的建筑废弃物再加工综合工厂,仅在柏林就有20多个。自1955年至今,德国已经生产加工再生骨料1 150万m³用于建造17.5万套住房。德国在1972年颁布了第一部环境保护法《废弃物处理法》^[19],1994年德国联邦政府颁布实施了综合性立法《循环经济和废物处置法》,德国钢筋混凝土委员会于1998年8月提出了《在混凝土中采用再生集料的应用指南》,要求采用再生集料配制的混凝土必须完全符合普通混凝土的国家标准。德国于2000年制定了《可再生能源法》,希望通过此法能够促进能源在供应上达到可持续发展,调控全球持续变暖和环境恶化的矛盾,同时,德国对每吨未经过处理再利用的废弃物收取高达500欧元的垃圾处理费用。

荷兰人多地少,加之天然资源相对匮乏,因此该国对建筑废弃物的再生利用非常重视,也是最早开展再生骨料混凝土研究和应用的国家之一。其建筑废弃资源再利用率位居欧洲第一:1996年荷兰建筑废弃物排放量约为1500万t,其中废弃混凝土的再生利用率达90%以上。自1997年起,荷兰禁止掩埋建筑废弃物,其再生利用率几乎高达100%。

总体而言,这些发达国家在建筑废弃物形成之前,就采用技术与管理手段进行控制,实施“建筑废弃物源头削减策略”;并且对于产生的建筑废弃物,进行工业化再加工,使其成为再生资源。

1.1.3 国内建筑废弃物综合利用状况

我国在建筑废弃物的管理及综合利用领域起步相对较晚,只有几个一线城市开始于20世纪80年代末90年代初。迄今为止,我国针对资源再生利用没有形成专门的法律法规,如建筑废弃物再生利用方面,仅在《中华人民共和国固体废物污染防治》(1995年)、《城市固体垃圾处理法》(1995年)和《城市建筑垃圾管理规定》(2005年)中作了原则性的规定。

伴随着经济的发展,城市的现代化发展,生态环境的恶化,我国已经慢慢认识到环境保护、建筑业可持续发展、加强建筑废弃物回收利用的重要性,围绕这个课题进行了一系列的相关研究并取得了一定的成绩。例如,1997年建设部将“建筑废弃物综合利用”作为该年度重点科技成果推广^[20]。2002年上海市科委设立重点项目,对废混凝土的再生与高效利用关键技术展开了较为系统的研究。2004年交通部启动了“水泥混凝土路面再生利用关键技术研究”。2005年3月正式出台的《城市建筑垃圾管理规定》加大了对相关领域违规行为的处罚力度,明确了行政管理责任。2006年,科学技术部将“建筑垃圾再生产品的研究开发”列入国家“十一五”科技支撑计划,在2007年出版了相应的《再生混凝土应用技术规范》(DG/TJ 08—2007),以此来指导我国再生混凝土在工程中的实际应用。2008年财政部颁布《再生节能建筑材料财政补助资金管理暂行办法》,着重加强了对专项资金的使用、奖励、相关的技术标准、规范研究与制定的管理力度。同时,随着我国建筑废弃物资源化的蓬勃发展,相应的破碎再生设备研发也取得了长足的进步,国内各破碎、筛分设备性能得到较大的优化和提高。

有关统计表明,我国现有的建筑废弃物粗放式处理对土壤质量和地下水资源造成了不可逆转的污染,致使直接经济损失将近200亿元^[21]。建筑废弃物处理的观念滞后,造成我国建筑固体废弃物基数极其庞大,如果不尽快革新建筑废弃物处理工艺,将会给子孙后代乃至整个社会的生存发展带来毁灭性的灾难。由此加快建筑废弃物再生处理,使其成为可利用资源,不仅能够获得巨额的经济效益,还能

在一定程度上缓解当前环境压力。

目前,我国建筑废弃物的综合利用和管理现状主要具有以下特征:建筑垃圾数量急剧增加,占用大量土地资源,处理费用高,再生资源浪费情况严重^[22]。

1.2 再生混凝土基本力学性能的研究现状

基于环境保护和社会可持续发展的理念,国内外已广泛开展建筑废弃物再生利用的研究工作,尤其是以建筑废料生产的再生骨料制备再生集料混凝土的新技术已被国内外人士普遍关注。

再生集料混凝土(Recycled Aggregate Concrete)是指利用废弃混凝土破碎加工而成的再生集料,部分或全部代替天然集料配制而成的新混凝土,简称再生混凝土^[23]。废弃混凝土的再利用是建筑材料循环利用与生态协调的重要方面,合理地利用再生骨料或再生混凝土可有效地节约天然资源,这对于环境资源的保护具有十分重要的意义。

目前,国内外所开展的再生混凝土方面的试验研究大部分都集中在再生混凝土的物理和力学性能上。世界各地研究人员和学者主要从工作性、强度、弹性模量、变形以及收缩等基本力学性能上对再生混凝土开展试验研究。由于采用的再生骨料来源、制备方法和试验方法等诸多方面存在各种差异,他们得出的结论也不尽相同。在此,本书主要就再生混凝土的部分基本力学性能研究成果进行概述,其中包括再生混凝土的抗压强度、劈裂抗拉强度和弹性模量。

1.2.1 再生混凝土的抗压强度

混凝土的抗压强度是混凝土各种力学性能中最重要、最基本的一项,因此关于再生混凝土抗压强度的试验研究进行得最多,研究也相对成熟。Buck^[24], Ravindrarajah^[25], Dhir^[26], Kakizaki^[27], Limbachiya^[28]以及 Gupta^[29]的试验均发现再生混凝土抗压强度随龄期的发展规律与基准混凝土类似。Ravindrarajah 和 Hansen^[30]的研究发现再生混凝土的抗压强度较基准混凝土分别降低 5%~24% 和 5%,甚至更多。Ramamurthy^[31]的试验中强度降低得更多,达到了 15%~42%。Mandal 和 Gupta^[32]的试验发现再生混凝土各龄期的抗压强度均低于基准混凝土,平均降低幅度为 15%。Nixon^[33]和 B. C. S. J^[34]发现与基准混凝土相比,再生混凝土的抗压强度降低 20%左右。后来, Wesche 和 Schulz^[35]经过对 Buck^[24], Kakizaki^[27]及 Frondistou-Yannas^[36]等人的试验结果综合分析,发现再生混凝土的抗压强度较基准混凝土降低约 10%。但是,也有一些实验得到了相反

的结论。Yoda^[37]的试验发现再生混凝土的抗压强度较基准混凝土高出 8.5%。Ritual^[38]的试验表明,再生混凝土的抗压强度比基准混凝土高 2%~20%。Hansen^[39], Salem^[40],柯国军等^[41],黄显智^[42]和张亚梅^[43]等的试验也证明再生混凝土的抗压强度比基准混凝土的抗压强度略高。

在国内,邢锋等^[44]和肖建庄等^[45]在试验中发现当再生骨料取代率不超过 30%时,再生混凝土抗压强度基本能与基准混凝土相当。王武祥等^[46]也认为再生骨料的取代率对再生混凝土强度的影响不大。而黄显智等^[47]则认为只要再生骨料取代率不超过 50%时,就不会对再生混凝土的 28 d 抗压强度产生明显的不利影响。由以上试验研究结果可以得出,当再生混凝土中再生骨料取代率不超过 30%时,再生混凝土抗压强度较之基准混凝土无明显降低,这一点可以作为工程实用的参考依据。

综上所述抗压强度是再生混凝土重要的力学性能,但由于基体混凝土的来源、再生骨料的来源、再生骨料的取代率和湿水程度、基准混凝土和再生混凝土水灰比的不同,试验条件与方法等多方面存在差异,因而不同学者的试验结果不尽相同。

1.2.2 再生混凝土的抗拉强度

混凝土的抗拉强度也是混凝土基本力学性能中的一个重要指标。Coquillat 的试验结果表明再生混凝土的劈裂抗拉强度与基准混凝土差别不大。Mukai 的试验也得到了相似的结果。Kawamura^[48]的试验结果表明再生混凝土的劈裂抗拉强度与基准混凝土几乎相同。Ahmad 的试验也证实了上述结论。Ikeda^[49]等则发现再生混凝土抗拉强度较基准混凝土约降低 6%。Gerardu 发现再生混凝土的劈裂抗拉强度较基准混凝土降低 10%。Ravindrarajah 和 Tam^[25]的试验表明,再生混凝土的抗拉强度与抗折强度均较基准混凝土降低 10%。Salem^[40]的研究发现 ACI 规范中关于基准混凝土抗拉强度与抗压强度的计算公式也适用于再生混凝土,但关于基准混凝土抗折强度与抗压强度的关系式则偏于保守。Gupta^[29]的试验发现当水灰比较低时,再生混凝土的抗拉强度与抗折强度低于基准混凝土。而水灰比较高时,再生混凝土的抗拉强度与抗折强度则高于基准混凝土,同时发现再生混凝土抗折强度与抗拉强度随龄期的增长规律与基准混凝土相同。结合上述关于抗压强度的试验结果,最终表明:再生混凝土的抗拉强度和抗折强度较基准混凝土降低 0~10%,再生混凝土的劈裂抗拉强度较之基准混凝土要偏低。

1.2.3 再生混凝土的弹性模量

混凝土的弹性模量是反映混凝土变形能力的一项重要指标。Frondistou-Yannas^[36]认为与基准混凝土相比,再生混凝土的弹性模量最多可以下降到原生混