

利用再生骨料制备防洪块体经济性分析

韩 毅¹, 王 伟², 刘弘昱²

(1. 江苏省水利防汛物资储备中心, 江苏 南京 210029;

2. 河海大学 港口海岸与近海工程学院, 江苏 南京 210098)

摘要:将建筑垃圾回收利用,处理后重新制备为混凝土块体应用于防洪抗汛,可大幅降低建筑垃圾存放、转运费,同时降低储备防汛材料的成本,缓解日益突出的石料资源供需矛盾,为发展生态水利、节能水利提供技术支持。基于以建筑垃圾制备防洪块体的关键技术,在此基础上对利用再生混凝土制备防汛块体的成本进行经济分析,评判利用废弃混凝土中的再生粗骨料生产防洪材料产业化的技术经济可行性。

关键词:再生骨料; 防洪块体; 经济性

中图分类号:TV87

文献标识码:B

文章编号:1007-7839(2020)09-0063-05

Economic analysis of flood control block made of recycled aggregate

HAN Yi¹, WANG Wei², LIU Hongyu²

(1. Jiangsu Provincial Water Conservancy and Flood Control Material Reserve Center,

Nanjing 210029, China;

2. College of Harbor, Coastal and Offshore Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: The recycling of construction waste and the preparation of concrete blocks after treatment can be used for flood control, which can greatly reduce the storage and transfer costs of construction waste, reduce the cost of storage of flood control materials, alleviate the increasingly prominent contradiction between supply and demand of stone resources in Jiangsu Province, and provide technical support for the development of ecological water conservancy and energy-saving water conservancy. Based on the key technology of preparing flood control blocks with construction waste, the cost of preparing flood control blocks with recycled concrete was analyzed economically, and the technical and economic feasibility of industrialization of producing flood control materials with recycled coarse aggregate from waste concrete was evaluated.

Key words: recycled aggregate; flood control block; economy

江苏省河道纵横、水网发达,拥有数量众多的江河湖泊,同时其地势低平,面临严峻的防汛抗洪压力,需储备大量防汛物资,块石作为一种不可或缺的防汛物资,在防汛抢险中发挥着极为重要的作用。然而江苏地区石料资源相对匮乏,加之近年环保要求的提高,可开采的石料资源锐减;但随着建筑、水利、交通等行业的快速发展,江苏对石料资源

的需求急剧增加,进而出现石料价格较高,储备防汛块石的成本大幅上涨。

同时,随着城镇化的推进和城市棚户区改造工程的实施,老旧建筑的拆除产生大量建筑垃圾。据统计,仅南京市每年产生建筑垃圾约1 000万t,以当前主要采用的填埋方式进行处理,每年需占用近千亩土地用于建筑垃圾填埋。建筑垃圾的填埋处

收稿日期:2020-03-12

基金项目:江苏省水利科技项目(2018022);教育部人文社会科学研究规划基金项目(18YJAZH092)

作者简介:韩毅(1982—),男,本科,主要从事水利防汛物资储备管理工作。E-mail: 13813826667@hhu.edu.cn

理不仅消耗巨额的土地征用费、垃圾清运费,而且会造成环境污染。如将建筑垃圾回收利用,处理后重新制备为混凝土块体应用于防洪抗汛,大幅降低建筑垃圾存放、转运费用的同时,降低储备防汛材料的成本,缓解日益突出的石料资源供需矛盾,为发展生态水利、节能水利提供技术支持。

当前建筑垃圾的再利用主要有免烧砖和再生混凝土两类,免烧砖主要应用于城市人行道;再生混凝土技术也有所发展,少量应用于道路及边坡工程。由此可见,建筑垃圾通过适当处理后制备的再生混凝土块体,可重复应用于工程结构^[1-2]。但与免烧砖和普通再生混凝土不同的是防汛块体浸泡于水中,长期经受水流冲刷,对以建筑垃圾为原料的再生混凝土块体耐水、抗冲磨等性能提出了更高要求。江苏省水利防汛物资储备中心联合河海大学在对建筑垃圾原料进行分析归类的基础上,通过再生骨料预处理、添加矿物掺合料、调节配合比、改进制备工艺等多方面着手,开发以建筑垃圾制备防汛块体的关键技术,为防汛抗洪物资储备提供新的思路和途径,论文在此基础上对利用再生骨料制备防汛块体进行了经济性分析。

1 再生混凝土制备防汛块石配合比方案及强度检测结果

1.1 强度检测成果

针对再生骨料取代率和再生骨料改性进行了优化^[3],并得出其强度结果。检测成果见表 1。

从表 1 可知,28 d 各再生粗骨料取代率组和再生骨料改性组的混凝土抗压强度均超过 20 MPa,且

表 1 各组再生混凝土性能检测结果

组号	成型及 养护方式	配合比	28 d 强 度/MPa
A	拌制, 100 mm 立方体, 泡水养护	水泥:再生粗骨料:天然粗骨料:砂:水 = 375 kg:258 kg:774 kg:688 kg:180 kg	28.5
B	拌制, 100 mm 立方体, 泡水养护	水泥:再生粗骨料:天然粗骨料:砂:水 = 375 kg:516 kg:516 kg:688 kg:180 kg	30.4
C	拌制, 100 mm 立方体, 泡水养护	水泥:再生粗骨料:天然粗骨料:砂:水 = 375 kg:774 kg:258 kg:688 kg:180 kg	27.7

(续表 1)

组号	成型及 养护方式	配合比	28 天强 度/MPa
D	拌制, 100 mm 立方体, 泡水养护	水泥:再生粗骨料:砂:水 = 375 kg:1 032 kg:688 kg:180 kg	23.7
E	骨料改性, 拌制, 100 mm 立方体, 泡水养护	水泥:再生粗骨料:砂:水 = 375 kg:1 032 kg:688 kg:180 kg, 此外改性所用 32.5 水泥:水 = 30 kg:12 kg	26.7
F	骨料改性, 拌制, 100 mm 立方体, 泡水养护	水泥:再生粗骨料:砂:水 = 375 kg:1032 kg:688 kg:180 kg, 此外改性所用 42.5 水泥:水 = 30 kg:12 kg	34.2
G	骨料改性, 拌制, 100 mm 立方体, 泡水养护	水泥:再生粗骨料:砂:水 = 375 kg:1 032 kg:688 kg:180 kg, 此外改性所用偏高岭土:氢氧化钠:硅酸钠:水 = 25 kg:5 kg:8 kg:40 kg	34.7
H	骨料改性, 拌制, 100 mm 立方体, 泡水养护	水泥:再生粗骨料:砂:水 = 375 kg:1 032 kg:688 kg:180 kg, 此外改性所用偏高岭土:粉煤灰:氢氧化钠:硅酸钠:水 = 22 kg:3 kg:5 kg:8 kg:40 kg	31.5

有部分超过 30 MPa,再生粗骨料可以替代天然粗骨料用于制备水工防汛块体等材料。

1.2 推荐配合比

从以上再生混凝土中优选出 B、D、F、G 共 4 组进行经济分析。

(1) 配合比 B

B 组配合比为水泥:再生粗骨料:天然粗骨料:砂:水 = 375 kg:516 kg:516 kg:688 kg:180kg,检测 28 d 按以上配合比拌制成型的立方体混凝土块,其尺寸为 100.0 mm × 100.0 mm × 100.0 mm。以上配合比拌制成型的立方体试件的 28 d 抗压为 30.4 MPa,达到 C30 混凝土力学性能要求,可以用于配置 C30 混凝土。

(2) 配合比 D

D 组配合比为水泥:再生粗骨料:砂:水 = 375 kg:1 032 kg:688 kg:180 kg,检测 28 d 按以上配合比拌制成型的立方体混凝土块,其尺寸为 100.0 mm × 100.0 mm × 100.0 mm。以上配合比拌制成型的立方体试件的 28 d 抗压为 23.7 MPa,达到 C20

混凝土力学性能要求,可以用于配置 C20 混凝土。

(3) 配合比 F

F 组配合比为水泥:再生粗骨料:砂:水 = 375 kg: 1 032kg:688 kg:180 kg,此外改性所用 42.5 强度水泥:水 = 30 kg:12 kg,检测 28 d 按以上配合比拌制成型的立方体混凝土块,其尺寸为 100.0 mm × 100.0 mm × 100.0 mm。以上配合比拌制成型的立方体试件的 28 d 抗压为 34.2MPa,达到 C30 混凝土力学性能要求,可以用于配置 C30 混凝土。

(4) 配合比 G

G 组配合比为水泥:再生粗骨料:砂:水 = 375 kg:1 032kg:688 kg:180 kg,此外改性所用偏高岭土:氢氧化钠:硅酸钠:水 = 25 kg:5 kg:8 kg:40 kg,检测 28 d 按以上配合比拌制成型的立方体混凝土块,其尺寸为 100.0 mm × 100.0 mm × 100.0 mm。以上配合比拌制成型的立方体混凝土块试件的 28 d 抗压为 34.7 MPa,达到 C30 混凝土力学性能要求,可以用于配置 C30 混凝土。

2 再生混凝土制备防洪块石的经济性分析

2.1 材料单价成本分析

检测结果表明,配合比 B、D、F 和 G 的材料强度均能达到 C30 混凝土材料的强度要求,可用来制作水工防汛块体航道工程护底压载块等。不考虑材料运费的单价成本分析见表 2~5。

表 2 50% 再生粗骨料取代率再生混凝土 (配合比 B) 成本分析

序号	原材料	质量/ (kg · m ⁻³)	单价/ (元 · t ⁻¹)	单价/ (元 · m ⁻³)
1	再生粗骨料	516	80	41.3
2	天然粗骨料	516	120	61.9
3	32.5 水泥	375	270	101.3
4	砂	688	120	82.6
5	水	180	2	0.4
合计:287.5 元				

普通 C20 混凝土材料及 C30 混凝土材料单价成本核算见表 6 和表 7。

从表 2~5 可知,50% 再生粗骨料取代率再生混凝土(配合比 B)、100% 再生粗骨料取代率再生混

表 3 100% 再生粗骨料取代率再生混凝土 (配合比 D) 成本分析

序号	原材料	质量/ (kg · m ⁻³)	单价/ (元 · t ⁻¹)	单价/ (元 · m ⁻³)
1	再生粗骨料	1032	80	82.6
3	32.5 水泥	375	270	101.3
4	砂	688	120	82.6
5	水	180	2	0.4
合计:266.9 元				

表 4 水泥裹浆再生混凝土(配合比 H) 成本分析

序号	原材料	质量/ (kg · m ⁻³)	单价/ (元 · t ⁻¹)	单价/ (元 · m ⁻³)
1	再生粗骨料	1032	80	82.6
2	32.5 水泥	375	270	101.3
3	42.5 水泥	30	390	11.7
4	砂	688	120	82.6
5	水	192	2	0.4
合计:278.6 元				

表 5 偏高岭土裹浆再生混凝土(配合比 G) 成本分析

序号	原材料	质量/ (kg · m ⁻³)	单价/ (元 · t ⁻¹)	单价/ (元 · m ⁻³)
1	再生粗骨料	1032	80	82.6
2	32.5 水泥	375	270	101.3
3	砂	688	120	82.6
4	偏高岭土	25	500	12.5
5	氢氧化钠	5	6000	30
6	硅酸钠	8	1200	9.6
7	水	192	2	0.4
合计:319.0 元				

表 6 普通 C20 混凝土材料成本分析

序号	原材料	质量/ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	单价/ ($\text{元} \cdot \text{t}^{-1}$)	单价/ ($\text{元} \cdot \text{m}^{-3}$)
1	32.5 水泥	343	270	92.6
2	石子	1 261	120	151.3
3	砂	621	120	74.5
4	水	175	2	0.4
合计:318.4 元				

表 7 普通 C30 混凝土材料成本分析

序号	原材料	质量/ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	单价/ ($\text{元} \cdot \text{t}^{-1}$)	单价/ ($\text{元} \cdot \text{m}^{-3}$)
1	32.5 水泥	461	270	124.5
2	石子	1 252	120	150.2
3	砂	512	120	61.4
4	水	175	2	0.4
合计:336.5 元				

凝土(配合比 D)、42.5 强度水泥裹浆再生混凝土(配合比 H)和偏高岭土裹浆再生混凝土(配合比 G)材料单价成本分别为 287.5 元、266.9 元、278.6 元和 319.0 元。从表 6~7 可知,普通 C20 和 C30 混凝土材料单价成本分别为 318.4 元和 336.5 元。与普通混凝土相比,再生混凝土材料单价成本稍低。

根据 2019 年 9 月全国水运工程材料价格信息平台上的统计,抛江石块的平均价格为 340 元/ m^3 。根据江苏省水利防汛物资储备中心最新采购的一批防汛块石 158.6 元/t,按照平均比重 2.5 t/ m^3 ,折算得到 396.5 元/ m^3 ,这里综合取防汛块石采购成本 340 元/ m^3 。该采购成本均未包括运输费用,再生混凝土块石材料单价成本低于块石采购成本。

2.2 材料综合成本分析

利用废弃混凝土制备水工材料,将再生粗骨料作为主要骨料来源,不仅可以节约石料购置,同时还可以减少废弃混凝土的外运填埋费用,对生态环境也有积极作用。分别考虑公路运输和水路运输,其利用再生粗骨料生产再生混凝土综合成本见表 8 和表 9。

运费根据公路货运现价进行估算,1 km 约

0.36 元/t,水路运输 1 km 约为 0.18 元/t,填埋处理费为 50 元/t,取砂石材料运距和废混凝土运距为 100 km。

考虑废弃混凝土的运出费及处理运费后,利用再生粗骨料制备的水工材料的综合单价显著降低,以运距为 100 km 计,与普通 C20 混凝土相比,公路运输和水路运 50% 再生粗骨料取代率再生混凝土(配合比 B)的综合单价分别降低 38.8% 和 41.5%。公路运输和水路运输 100% 再生粗骨料取代率再生混凝土(配合比 D)的综合单价分别降低 44% 和 46.4%。公路运输和水路运输 42.5 强度水泥裹浆再生混凝土(配合比 H)的综合单价分别降低 40.8% 和 43.4%。公路运输和水路运输偏高岭土裹浆再生混凝土(配合比 G)的综合单价分别降低 30.6% 和 33.6%;以运距为 100 km 计,与普通 C30 混凝土相比,公路运输和水路运输 50% 再生粗骨料取代率再生混凝土(配合比 B)的综合单价分别降低 31.9% 和 35.2%。公路运输和水路运输 100% 再生粗骨料取代率再生混凝土(配合比 D)的综合单价分别降低 37.6% 和 40.6%。公路运输和水路运输 42.5 强度水泥裹浆再生混凝土(配合比 H)的综合单价分别降低 34.2% 和 37.4%。公路运输和水路运输偏高岭土裹浆再生混凝土(配合比 G)的综合单价分别降低 23.1% 和 26.8%。与采购的防汛块石相比,再生混凝土制备的块石的单价降低则更为显著。

3 结 语

研究表明,与采购的防汛块石相比,再生混凝土制备的块石的经济性较为显著。随着我国城市化建设和国家“十三五”时期产业政策的调整和要求,以拆除的废弃混凝土为原料的再生建材将拥有广阔的市场前景。同时,现阶段新型工业化道路要求科技含量高、经济效益好、资源消耗少、环境污染少,这无疑为新型防洪材料的发展创造了有利的条件。全面节约和高效利用资源,坚持节约优先,树立节约集约循环利用的资源观,是国家“十三五”时期经济工作发展的要求,新型环保材料发展已成为防汛防旱结构调整的重要内容。依照国家的有关规定,废弃物再利用生产新型材料可享受减、免税的优惠^[4]。同时,在地方各级人民政府的鼓励、引导、扶持新型材料的研究、开发、生产和推广应用基础上,以再生混凝土制备防洪材料符合国家节能减排政策,且通过和天然骨料混凝土进行比

表 8 各类再生混凝土材料综合费用对比(公路运输)

序号	名称	材料/ (元·m ⁻³)	砂石水泥 材料运费/ (元·m ⁻³)	废弃混凝土运 出及填埋费/ (元·m ⁻³)	综合单价/ (元·m ⁻³)
1	50% 再生粗骨料取代率再生混凝土(配合比 B)	287.5	75.4	-119.2	243.7
2	100% 再生粗骨料取代率再生混凝土(配合比 D)	266.9	75.4	-119.2	223.1
3	42.5 强度水泥裹浆再生混凝土(配合比 H)	278.6	76.5	-119.2	235.9
4	偏高岭土裹浆再生混凝土(配合比 G)	319.0	76.7	-119.2	276.5
	C20 混凝土	318.4	80.1	—	398.5
	C30 混凝土	336.5	80.1	—	416.6
	防汛块石	340	80.1	—	420.1

表 9 各类再生混凝土材料综合费用对比(水路运输)

序号	名称	材料/ (元·m ⁻³)	砂石材料运费/ (元·m ⁻³)	弃土运出费/ (元·m ⁻³)	综合单价/ (元·m ⁻³)
1	50% 再生粗骨料取代率再生混凝土(配合比 B)	287.5	37.7	-81.0	244.2
2	100% 再生粗骨料取代率再生混凝土(配合比 D)	266.9	37.7	-81.0	223.6
3	42.5 强度水泥裹浆再生混凝土(配合比 H)	278.6	38.2	-81.0	235.8
4	偏高岭土裹浆再生混凝土(配合比 G)	319.0	37.7	-81.0	275.7
	C20 混凝土	318.4	40.1	—	358.5
	C30 混凝土	336.5	40.1	—	376.6
	防汛块石	340	40.1	—	380.1

较,经济优势较为明显。将再生骨料直接或改性后运用到再生混凝土的制备,可适应于不同强度等级要求的防汛抢险工程,在避免废弃混凝土块转运掩埋的同时也减少降低工程造价,解决了固体废弃物的二次污染问题,可有效缓解对环境的影响,具有显著社会和经济效益。

参考文献:

[1] 陈德玉,袁伟,刘欢. 再生粗骨料改性的试验研究

[J]. 新型建筑材料, 2009, 36 (2): 20-23.

[2] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 25177—2010 混凝土用再生粗骨料[S]. 北京:中国建筑工业出版社, 2010.

[3] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. JGJ 55—2011 普通混凝土配合比设计规程[S]. 北京:中国建筑工业出版社, 2011.

[4] 杜婷,李惠强,郭太平. 废弃混凝土再生骨料应用的经济性分析[J]. 新型建筑材料, 2006 (6): 30-33.