

水灰比对钢筋混凝土梁裂缝影响试验的研究

赵全儒¹, 钟 声²

(1. 南阳理工学院艺术设计学院, 河南 南阳 473000; 2. 四川大学建筑与环境学院, 四川 成都 610225)

摘要: 为研究不同水灰比对钢筋混凝土梁裂缝的影响, 以混凝土开裂荷载、时间, 出现位置, 分布、发展状况以及梁破坏时的极限荷载、时间为主要观测指标, 制作三组 9 根不同水灰比的钢筋混凝土梁试件, 加静载使其产生裂缝发展直至破坏。实验结果表明: 水灰比在 0.550~0.600 范围内, 随着水灰比的增加, 裂缝出现时间变早, 剪切裂缝强度下降, 裂缝发展越来越快, 最终梁极限荷载下降, 强度降低, 但对裂缝出现位置并无太大影响。

关键词: 钢筋混凝土梁; 水灰比; 裂缝

中图分类号: TU528.0

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2014)01-0120-05

钢筋混凝土结构以其受力性能、可模性及耐久性好等诸多优点, 已经成为建筑行业里用途最广的结构材料。由于混凝土结构的设计理论比较完善、施工技术及经验比较成熟, 所以在今后相当长的时间内, 钢筋混凝土结构仍将作为建筑结构的主要承重体系^[2]。在混凝土配制过程中, 水灰比(w/c)是一个重要参数, 它决定了混凝土的强度和密实性, 影响混凝土的和易性、抗渗性、抗冻性、抗蚀性、抗碳化性等^[3]。目前关于钢筋混凝土裂缝成因的研究较多, 涉及有混凝土碳化、钢筋锈蚀、骨料和外加剂等^[4-6], 但关于水灰比对钢筋混凝土裂缝的研究尚少。文献[7]在 2003 年就水灰比对混凝土塑性收缩裂缝的影响做了试验研究, 其对 0.35~0.50 之间的水灰比进行了研究, 但未涉及钢筋混凝土梁构件。早期研究多以较小的水灰比配制试件, 试验的水灰比也都大致保持在 0.35~0.5 之间^[7-9]。水灰比过小时, 混凝土和易性差, 混凝土振捣、密实很困难, 所以为施工方便和保证质量, 水灰比不宜小于 0.5^[10]。因此从施工方面和成本造价方面, 对于水灰比在 0.5 以上的试验有必要进行研究。

基于此, 本文设计了三组水灰比大于 0.5 以上的钢筋混凝土梁试件进行试验, 以研究水灰比对混凝土梁的裂缝在时间和空间分布上产生的影响, 探讨水灰比和钢筋混凝土梁裂缝二者之间的相关性, 对实际施工中混凝土的水灰比做出建议。

1 试验研究

1.1 试验概况

本次试件共 9 根, 混凝土强度等级设计为 C30。按水灰比的不同, 分 3 组: A 组 3 根, 编号 A-1, A-2 和 A-3, 水灰比为 0.550; B 组 3 根, 编号 B-1, B-2 和 B-3, 水灰比为 0.575; C 组 3 根, 编号 C-1, C-2 和 C-3, 水灰比为 0.600。三组试件除水灰比不同外, 其他研究条件基本相同。设计的截面尺寸见图 1, 每根梁梁长为 1 200 mm, 混凝土保护层厚度 20 mm。梁中所配钢筋力学性能列入表 1。三组试件的具体配合比见表 2。《普通混凝土配合比设计规程》(JGJ55-2011 J64-2011)^[11]在定义水灰比时, 未考虑到骨料吸水率的影响^[12]。本文忽略骨料吸水率的影响, 水灰比中水的用量为总用水量。

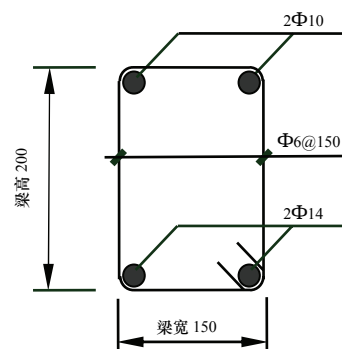


图 1 试件截面尺寸及配筋
Fig.1 specimen sectional dimension and steel details

表 1 试件的钢筋力学性能

Tab.1 Mechanical properties of reinforcing bars

钢筋 型号	屈服强度 f_y /MPa	抗拉强度 f_u /MPa	弹性模量 E_s /GPa
Φ6	270	270	210
Φ10	300	300	200
Φ14	300	300	200

表 2 试件的水灰比

Tab.2 Water to cement ratios of specimen

试验组	水灰比	水的质量 /kg	水泥的质量 /kg	粗骨料的质量 /kg	细骨料的质量 /kg
A	0.550	8.5	15.4	46.3	18.9
B	0.575	8.9	15.4	46.3	18.9
C	0.600	9.3	15.4	46.3	18.9

收稿日期: 2013-07-01 修改稿日期: 2014-01-25

基金项目: 国家自然科学基金青年基金项目(51208326)

作者简介: 赵全儒 (1970-), 男, 硕士, 副教授, 主要从事建筑、城市规划、景观等方面的研究。E-mail: 13837768697@163.com

1.2 试验方法

试验仪器采用微机控制电液伺服压力试验机(长春新试验机厂制造), 试件采用两端简支、跨中两点对称集中加载, 纯弯端为 400 mm, 支座中心到梁端距离为 100 mm. 荷载的施加由 0 kN 开始, 并在加载达到 30 kN、60 kN、90 kN 时各保持 60 s 直至达到试件最大承载力. 具体加载方式见图 2. 试验过程中借助高清摄像机对钢筋混凝土梁开裂过程的时间和空间分布进行观测, 在构件开裂后, 对裂缝的发展情况进行详细观察, 并用放大镜仔细观察裂缝形态, 同时利用试验机所记录的加载-时间信息, 对应裂缝发展在空间和时间以及荷载的对应情况.

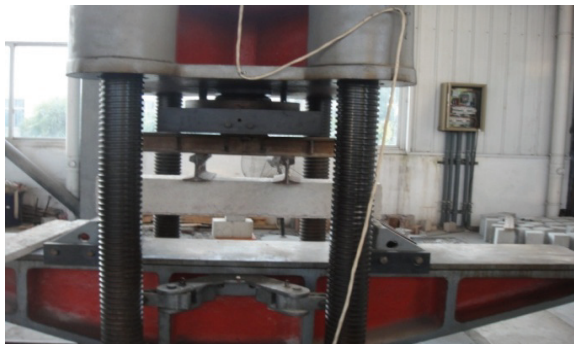


图 2 试验加载方式

Fig.2 Test setup

2 试验结果与分析

2.1 试件裂缝开展情况与破坏形态

在试验过程中, 对三组钢筋混凝土梁裂缝开展与破坏形态的记录, 通过试验结果分析, 可知三组试件在相同受力情况下, 裂缝开展空间形态大致相同, 主要在裂缝出现时间、以及之后发展速度和试件破坏极限荷载有所查异. 各试件的破坏形态均呈现为剪切破坏. 图 3 为根据裂纹开展情况绘出的各试件在发生剪切破坏时的裂缝分布形态. 试件在荷载加载过程中, 首先在支座处出现弯剪斜裂缝, 之后随着荷载增加其中一条弯剪斜裂缝快速发展形成主要斜裂缝. 斜裂缝向加载点附近的受压区发展, 同时梁中间开始出现由底部向上部发展的弯曲裂缝, 随后梁底部由于两侧弯剪裂缝发展贯通, 直至最后梁失去承载力.

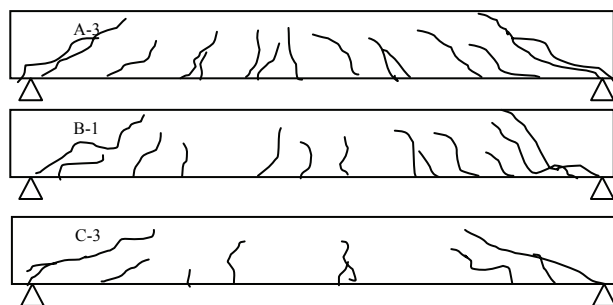


图 3 裂缝破坏形态

Fig.3 Crack pattern of specimens at failure

2.2 试验结果与分析

排除离散性相对较大的试件 B-3, 取每组当中具有代表性的试件的数据进行分析, A 组取 A-3 试件, B 组取 B-1 试件, C 组 C-3 试件, 由试验仪器得到它们的试验负荷-时间曲线, 如图 4.

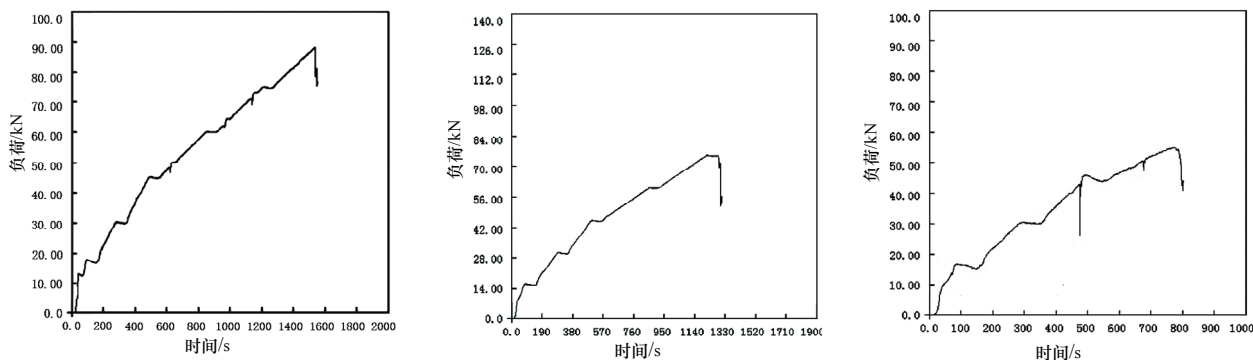


图 4 试件的负荷-时间曲线

Fig.4 Load-time curves of specimens

表 3 给出了各试件出现剪切裂缝和发生剪切破坏时的荷载 P_{cr} 、 P_u 与相应的时间 T_{cr} 、 T_u 以及跨中挠度试

验结果.

表 3 试验结果
Tab.3 Testing results of specimens

试件	开裂荷载 P_{cr}/kN	开裂时间 T_{cr}/s	极限荷载 P_u/kN	破坏时间 T_u/s	跨中挠度 w/mm
A-3	42.4	460	88.3	1 538	8.9
B-1	32.8	373	75.2	1 285	10.2
C-3	30.4	307	55.1	774	19.8

注: 试件 A-1、A-2; B-2; C-1、C-2 由于和表 3 试件具有近似代表性故不列出, B-3 具有较大离散型.

分析结果表明水灰比增大, 钢筋开裂荷载下降, 开裂时间提前. 由实测数据可知, 水灰比在 0.550~0.600 范围内, 对比三组裂缝最早出现的时间, 可知随着水灰比的增加, 开裂时间变早. 其中 A 组相比 B 组出现裂缝的时间延缓了 87 秒, 相应承载力提高 29.27%; A 组相比 C 组出现裂缝的时间延迟了 169 s, 相应承载力提高 39.47%; B 组相比 C 组出现裂缝的时间延后了 88 秒, 相应承载力提高 7.89%.

从裂缝出现位置来看试验结果, 对比三组试件的第一条裂缝出现的位置可知, 第一条裂缝出现位置并不受水灰比变化的影响, 三组试件的首条裂缝均大致出现在支座附近, 并以斜裂缝形式出现, 如图 5.

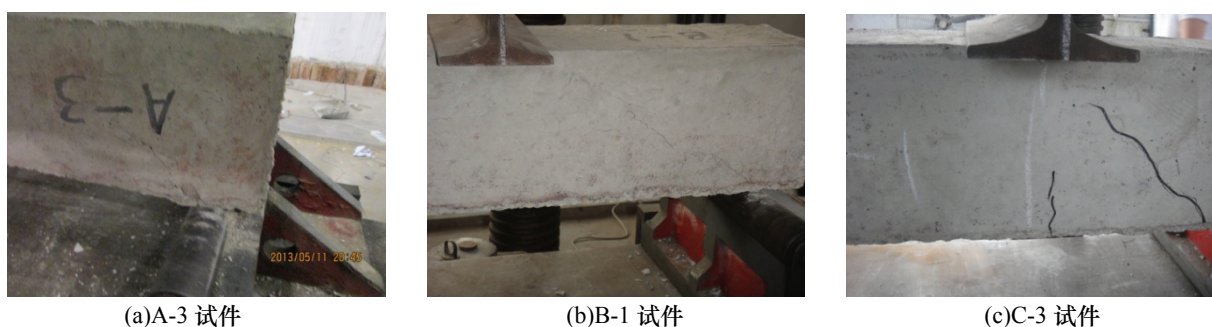


图 5 试件的首条裂缝位置

Fig.5 First crack position of the specimens

由三组试件的发展趋势来看: A 组试件在第一条裂缝出现后, 又经过了 513 s 后裂缝才开始迅速发展; B、C 组试件在第一条裂缝出现后, 斜裂缝便开始迅速发展, 而相应承载力在下降.

分析试验结果可知水灰比对试件极限荷载和破坏时间存在比较明显的影响. 试验以负荷时间曲线开始下降即梁失去承载力为试件最终破坏点, 由试验可以确定, A 组的最大承载力比 B 组的最大承载力大 17.42%, 相应破坏时间 A 组比 B 组延长了 305 s; A 组比 C 组的最大承载力大 60.25%, 相应破坏时间延迟了 764 s; B 组比 C 组的最大承载力提高 36.48%, 相应破坏时间延后了 459 s.

3 试验结论分析

3.1 剪切裂缝强度和抗剪强度

图 6 给出了三组试件的剪切裂缝强度和抗剪强度随水灰比变化情况. 分析可知, 随着水灰比的增加, 斜裂缝的宽度增大, 骨料咬合作用削弱, 裂缝面残余拉应力降低, 斜面剪应力的传递能力下降^[13]. 从微观上分析, 控制水泥浆体强度的主要因素是毛细空隙率, 也即水泥水化产物的固体(凝胶)体积占其有效空间的比例. 毛细空隙率在很大程度上取决于水与水泥的质量比, 即水灰比 (w/c). 随着水灰比的增加, 毛细空隙率增大, 水泥浆体及集料-水泥浆体界面的强度就会下降.

如图 6 所示, 本文试件的剪切裂缝强度 AB 组的下降程度即开裂荷载-水灰比曲线的斜率明显小于 BC 组. 产生剪切裂缝是因为梁腹部的混凝土主拉应力大于其抗拉强度, 故水灰比通过影响骨料咬合作用对混凝土强度产生影响继而影响剪切裂缝强度, 并且对水灰比在 0.55~0.575 之间变化比在 0.575~0.600 之间的影响更加显著.

本文试件的极限荷载随着水灰比的增加而下降, 并且水灰比由 0.550 到 0.575 的变化过程中极限荷载

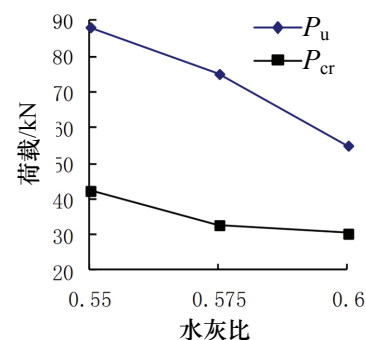


图 6 荷载-水灰比曲线

Fig.6 Load- w/c curves

下降程度缓于水灰比由 0.575~0.600 的变化过程。

对比试件的极限荷载和开裂荷载的差值 ($P' = P_u - P_{cr}$), A 组 $P'a = 45.9$ kN, B 组 $P'b = 42.4$ kN, C 组 $P'c = 24.7$ kN. A 组自开裂后仍有比 BC 组较大的承载力区间, 并且 BC 组的 P' 值差 ($P'bc = 17.7$ kN) 比 AB 组 ($P'ab = 3.5$ kN) 的更大, 故水灰比控制在 0.550~0.575 较 0.575~0.600 范围内的荷载变化区间更大。

目前在试验过程中开裂裂缝的判断主要借助放大镜通过目测完成, 因此在判别开裂裂缝时存在较大人为因素, 故而对开裂荷载的判别存在一定的不确定性. 所以, 对于剪切裂缝强度是否存在尺寸效应问题以及这一问题如果存在其影响大小, 尚需进一步的试验研究^[13]。

3.2 开裂时间和破坏时间

图 7 显示了三组试件的开裂时间和破坏时间随水灰比变化情况. 由图 7 可知, 随着水灰比的增大, 开裂时间和破坏时间都在提前. 这与文献[7]中的情况基本相一致. 出现第一条裂缝的时间以及裂缝的发展时间与水灰比有关, 低水灰比 (小于 0.4) 的混凝土拌合物出现第一条裂缝的时间与裂缝较快发展的时间基本一致, 大致在 2 h~2 h 30 min 左右; 高水灰比 (大于 0.4) 的混凝土拌合物成形后在 0.5~1 h 左右即出现第一条裂缝, 之后裂缝基本无发展, 且有部分愈合的现象, 2 h 30 min~3 h 30 min 后裂缝才较快地发展^[7]. 由于试验方案与试验材料的不同, 本文在裂缝发展情况上与文献^[7]存在差异. 低水灰比拌合物的塑性沉降较小, 而塑性收缩裂缝是混凝土塑性沉降的结果, 因而混凝土塑性沉降小, 塑性收缩裂缝也会减小。

对比三组试件的开裂时间, AB 和 BC 组之间的开裂时间差值随水灰比变化差别不大, 说明改变水灰比, 开裂时间虽在减小但减小幅度比较均匀。

比较试件的破坏时间, AB 组比 BC 组之间的破坏时间差值减小缓慢, 说明改变水灰比, 破坏时间在减小但减小幅度在变大。

破坏时间和开裂时间的差值 ($T' = T_u - T_{cr}$), A 组 $T'a = 1\ 078$ s, B 组 $T'b = 912$ s, C 组 $T'c = 467$ s. A 组开裂后仍有较 BC 组更长的时间才达到破坏, 因而其延性也更好. AB 组的 T' 差值 $T'ab = 166$ s, BC 组的 $T'bc = 445$ s, 因而将水灰比控制在 0.550~0.575 之间比控制在 0.575~0.600 之间对延性下降的影响更小, 将水灰比控制在 0.550~0.575 之间, 对钢筋混凝土梁的延性更好。

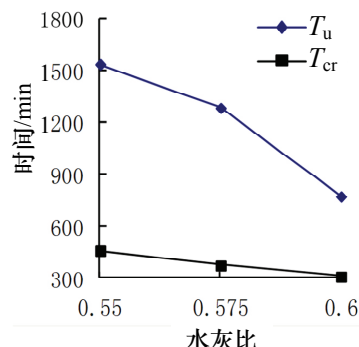


图 7 时间-水灰比曲线
Fig.7 Time-w/c curves

4 结论

根据本文试验结果, 得出以下结论:

(1) 在本文试验中, 试件的剪切裂缝强度随水灰比增大而减小, 但本实验中有 2 点难以判断: 1) 存在尺寸效应及尺寸效应带来的影响大小难以判断. 2) 目前国内实验研究开裂裂缝的判断主要借助放大镜通过目测完成, 人为判别因素存在的误差影响难以直接忽略. 所以, 剪切裂缝强度与水灰比之间的数值关系还有待进一步的试验研究。

(2) 试验表明, 试件的极限荷载随水灰比的增大而减小, 并且水灰比控制在 0.550~0.575 范围内极限荷载下降值比水灰比控制在 0.575~0.600 范围内更小, 对钢筋混凝土梁的受力更有利。

(3) 通过试件对比研究得出试件的开裂时间、破坏时间随着水灰比增大而减小. 需要说明的是水灰比由 0.550 变化到 0.575 的过程中其开裂时间和水灰比由 0.575 变化到 0.600 的过程中其开裂时间变化幅度大致均匀, 但破坏时间的减小幅度却在增加。

(4) 本文研究主要以破坏时间和开裂时间的差值衡量钢筋混凝土梁的延性, 差值越大说明钢筋混凝土梁在开裂后需要很长的时间才能破坏, 其延性更好. 通过上述三组试件对比, 水灰比在 0.550~0.575 范围内比水灰比在 0.575~0.600 范围内对钢筋混凝土梁的延性更有利。

(5) 综合全文实验来看: 在实际施工过程中, 在保证梁其他条件符合以及满足施工的情况下, 宜尽量降低水灰比, 以延缓混凝土裂缝出现的时间、延长钢筋混凝土构件的破坏时间, 保证正常使用。

- [1] 苗吉军, 陈娜, 侯晓燕, 等. 使用损伤与高温耦合作用下钢筋混凝土梁火灾试验研究与数值分析[J]. 建筑结构学报, 2013, 34(3): 1-11.
MIAO Jijun, CHEN Na, HOU Xiaoyan, et al. The use of damage and high temperature coupling of reinforced concrete beams under fire experimental study and numerical analysis [J]. Journal of Building Structures, 2013, 34 (3): 1-11.
- [2] 刘茂军, 赵艳林, 吕海波. 钢筋混凝土结构裂缝产生的机理分析及应对策略[J]. 混凝土, 2009(9): 56-58.
LIU Maojun, ZHAO Yanlin, LÜ Haibo. Reason analysis of the cracking of reinforced concrete structure and the coping strategies[J]. concrete, 2009(9): 56-58.
- [3] 王日军. 混凝土水灰比的影响因素[J]. 山西建筑, 2008, 34(18): 164-165.
WANG Rijun. Influence of water to cement ratio of concrete [J]. Shanxi architecture, 2008, 34 (18): 164-165.
- [4] 黄涛, 傅兴有, 金南国. 裂缝对混凝土碳化影响的数值分析[J]. 混凝土, 2013(1): 13-17.
HUANG Tao, FU Xingyou, JIN Guo. Numerical influence of cracks on concrete carbonation analysis of [J]. concrete, 2013(1): 13-17.
- [5] 杨晓旭. 钢筋混凝土结构裂缝及钢筋锈蚀研究现状[J]. 山西建筑, 2007, 33(21): 81-83.
YANG Xiaoxu. The present situation of steel bar corrosion and crack of reinforced concrete structure [J]. Shanxi architecture, 2007, 33(21): 81-83.
- [6] 孙大明, 何兵, 吴芳, 等. 粗骨料对轻骨料混凝土塑性收缩裂缝的影响[J]. 重庆建筑大学学报, 2004, 26(4): 88-91.
SUN Daming, He Bing, WU Fang, et al. Effect of coarse aggregate of lightweight aggregate concrete plastic shrinkage cracking [J]. Journal of Chongqing Jianzhu University, 2004, 26(4): 88-91.
- [7] 杨长辉, 王川, 吴芳. 水灰比对混凝土塑性收缩裂缝的影响[J]. 重庆建筑大学学报, 2003, 25(2): 77-81.
YANG Changhui, WANG Chuan, WU Fang. Effect of water cement ratio on plastic shrinkage cracking of concrete [J]. Journal of Chongqing Jianzhu University, 2003, 25(2): 77-81.
- [8] 高小建, 巴恒静, 祁景玉. 混凝土水灰比与其早期收缩特性关系的研究[C]//钢筋混凝土结构裂缝控制论文集. 北京: 中国土木工程学会, 2004: 86-93.
GAO Xiaojian, BA Heng Jing, QI Jingyu. Concrete water cement ratio and early age shrinkage characteristics of cracks of reinforced concrete structure control [C]//Crack Control of Reinforced Concrete Structures Proceedings. Beijing: China Civil Engineering Society, 2004: 86-93.
- [9] 杨长辉, 孙大明, 喻骁. 水灰比对轻骨料混凝土塑性收缩裂缝的影响[J]. 重庆建筑大学学报, 2004, 26(3): 85-88.
YANG Changhui, SUN Daming, YU Xiao. The water cement ratio of lightweight aggregate concrete plastic shrinkage cracking [J]. Journal of Chongqing Jianzhu University, 2004, 26(3): 85-88.
- [10] 姜宏, 陈宜虎. 水灰比过大和过小对混凝土性能的影响[J]. 中国水运, 2007, 7(10): 132-133.
JIANG Hong, CHEN Yihu. The water cement ratio is too large and too little impact on the performance of concrete [J]. China Water Transport, 2007, 7 (10): 132-133.
- [11] JGJ55-2011 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.
JGJ55-2011 Specification for mix proportion design of ordinary concrete[S]. Beijing: Chinese Architecture Industry Press, 2011.
- [12] 谢欣欣, 陈志飞. 关于“水灰比”或“水胶比”中“水”定义的探讨[J]. 商品混凝土, 2012(6): 50-51.
XIE Xinxin, CHEN Zhifei. A "water cement ratio" or "water binder ratio" in the definition of "water"[J]. Concrete, 2012(6): 50-51.
- [13] 于磊, 车轶, 宋玉普. 大尺寸钢筋无腹筋梁受剪试验研究[J]. 土木工程学报, 2013, 46(1): 1-7.
YU Lei, CHE Yi, SONG Yupu. Big size reinforced beams without web reinforcement shear tests [J]. China Civil Engineering Journal, 2013, 46 (1): 1-7.
- [14] GB 50010-2010 混凝土结构设计规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2011.
GB 50010-2010 code for design of concrete structures [S]. Beijing: Chinese Architecture Industry Press, 2011.
- [15] 赵顺波, 张学朋, 程晓天, 等. 钢筋混凝土梁裂缝分型试验研究及统计分析[J]. 工程力学, 2008, 25(12): 141-146.
ZHAO Shunbo, ZHANG Xuepeng, CHENG Xiaotian, et al. Cracks in reinforced concrete beam type experiments and statistical analysis [J]. Engineering Mechanics, 2008, 25 (12): 141-146.

Experimental research on influence of water-cement ratio on reinforced concrete beam

ZHAO Quanru¹, ZHONG Sheng²

(1. School of Arts and Design, Nanyang Institute of Technology, Nanyang 473000, China;

2. College of Architecture and Environment, Sichuan University, Chengdu 610225, China)

Abstract: In order to study the influence of water-cement ratio on reinforced concrete beam, the cracking load and cracking time, the position of cracks, distribution and development condition, ultimate load and time of failure of the beam were defined as main observation indexes. Nine RC beams of different water-cement ratios that were divided into three groups were designed to carry static load until they lost load carrying capacity. The results show that as water-cement ratio differs from 0.550 to 0.600, with the increase of the water-cement ratio, cracking time is advanced, and cracking shearing strength drops, besides, cracks develop at a faster speed, ultimate shear strength descends, and yet the position of cracks is not affected.

Key words: RC beam; water-cement ratio; crack

(本文编辑 桂智刚)