

混凝土空心板梁回弹强度与试块强度的试验研究

宗 健

(兴化市金桥工程有限公司, 江苏 兴化 225700)

摘要:通过对先张法混凝土空心板梁的回弹强度,同养试块、标养试块回弹强度及抗压强度统计数据的研究,利用对数回归拟合方法得出抗压强度、回弹强度随龄期的变化方程,给出各龄期回弹强度、抗压强度的换算表,有助于加强对空心板梁实际强度、回弹强度、试块抗压强度之间的认识,为混凝土构件强度检测提供参考。

关键词:空心板梁;同养试块;标养试块;回弹强度;抗压强度

中图分类号:V446.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1671-5322(2014)01-0065-05

在桥梁、港口、船闸等交通工程中,混凝土强度现场检测以回弹法为主。多年实践经验表明,标养试块抗压强度、同养试块抗压强度都达到设计要求,而回弹强度却偏小,这是由于回弹强度换算无地区和专用测强曲线,一般都依据统一测强曲线进行换算,换算后的回弹强度偏低,因此回弹法检测混凝土构件强度存在一定的误差,对先张法空心板梁来讲,其误差相对较大。本文从空心板梁 C40、C50 两种设计强度分析研究标养试块强度、同养试块强度、回弹强度随龄期增长发展规律,提出它们的历时变化曲线表达式,为正确指导检测混凝土构件强度提供参考。

1 试验组织及方案

1.1 原材料

水泥:江苏磊达股份有限公司生产的 P·II

52.5 级水泥

江砂:安徽芜湖 II 区中砂

碎石:江苏六合 5-25 碎石

外加剂:南京辽源混凝土外加剂厂生产的 BC-400 型高效减水剂

水:车路河河水, I 类水质

1.2 空心板梁混凝土配合比

空心板梁混凝土配合比见表 1。

表 1 空心板梁混凝土配合比

Table 1 Hollow plate girder concrete mix

设计强度	配合比							
	水/Kg	水泥/kg	江砂/kg	碎石/kg	外加剂/kg	砂率/%	水灰比	坍落度/mm
C40	148	419	621	1206	5.02	34	0.35	140~160
C50	148	474	570	1211	5.68	32	0.31	140~160

1.3 试验方案

(1)在预制构件厂对 16 mC40 空心板梁、20 mC50 空心板梁组织强度检测,研究对象为 2011 年 10 月、2012 年 10 月生产的空心板梁,混凝土为预制厂自有扬州中建建设机械有限公司 JS1000 型拌和楼搅拌,试块成型采用人工捣实,空心板梁成型采用插入式振捣棒;回弹仪采用山

东省乐陵市回弹仪厂生产的 ZC3-A 中型回弹仪,回弹强度采用 JGJ/T 23-2011《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》统一测强曲线,按附录 A 换算^[1];试块为立方体标准试块,压力机采用无锡新路达仪器设备有限公司生产的 TYA-2000 型压力机。

(2)空心板梁试验龄期分别为 7 d、14 d、28

收稿日期:2013-12-04

作者简介:宗健(1971-),男,江苏兴化人,工程师,主要研究方向为道路桥梁检测。

d、45 d、60 d、90 d。每一龄期 16 mC40 空心板梁 12 片、标养试块 36 组、同养试块 36 组,试块小计 72 组,每组 3 块,计 216 块;每一龄期 20 mC50 空心板梁 20 片、标养试块 60 组、同养试块 60 组,试块小计 120 组,每组 3 块,计 360 块。

(3)试验环境:标养试块 24 h 拆模后放在标准养护室养护,标养环境为温度 20 ℃,湿度 95%;同养试块 24 h 拆模后放在空心板梁上与其一起养护,同养试块及空心板梁拆模后 6 d 内洒水养护,同养为室外自然温度,自然温度见表 2。

表 2 室外自然温度
Table 2 Outdoor temperature

时间	2011 年			2012 年		
	10 月	11 月	12 月	10 月	11 月	12 月
室外平均温度/℃	18	11	4	17	10	4

(4)试验方法:空心板梁回弹按 JGJ/T 23 - 2011《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》,检测部位为侧面梁高 1/3 ~ 2/3 处;混凝土试块抗压按 JTG E30 - 2005《公路工程水泥及水泥混凝土试验规程》进行;混凝土试块回弹在压力机加载至 80 ~ 100 kN 时,在两个相对侧面水平方向各测

8 点回弹值,每个试块可得 16 个回弹值^[2],然后按 JGJ/T 23 - 2011《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》进行数据取舍、换算,每组试块得到 3 个回弹换算值,再按 JTG E30 - 2005《公路工程水泥及水泥混凝土试验规程》T0553 - 2005 取其代表值^[3]。

2 试验结果及分析

2.1 试验结果

对各龄期的试验数据整理,16 mC40 空心板梁试验结果见表 3,20 mC50 空心板梁试验结果见表 4。

2.2 试验结果分析

由表 3、表 4 数据可见,试块回弹后抗压强度与试块直接抗压强度结果相近,试块回弹后再抗压对抗压强度影响不大;以标准差、变异系数作为判断参考量,同养试块回弹强度 90 d 收敛,其余试验项目 60 d 收敛。

(1)根据表 3、表 4 对各试验项目运用对数进行回归拟合,得到各试验项目强度随龄期的变化方程^[4],见表 5。

表 3 16 m C40 空心板梁试验结果
Table 3 The test results of 16mC40 hollow plate girder

龄期	强度	试验项目						板梁回弹 /12 片
		标养试块 回弹/18 组	标养试块 回弹后抗压 /18 组	标养试块 直接抗压 /18 组	同养试块 回弹 /18 组	同养试块 回弹后抗压 /18 组	同养试块 直接抗压 /18 组	
7 d	均值/MPa	12.6	34.3	33.9	15.9	41.2	40.6	20.4
	标准差/MPa	5.52	4.77	4.93	5.48	4.65	4.71	5.02
	变异系数	0.438 1	0.139 1	0.145 4	0.344 7	0.112 9	0.116 0	0.246 1
14 d	均值/MPa	24.9	46.0	45.7	26.5	48.9	49.3	32.5
	标准差/MPa	5.34	4.81	4.86	5.36	4.71	4.80	4.93
	变异系数	0.214 5	0.104 6	0.106 3	0.202 3	0.096 3	0.097 4	0.151 7
28 d	均值/MPa	32.5	53.8	53.6	34.8	55.0	54.4	38.7
	标准差/MPa	4.97	4.65	4.74	5.25	4.56	4.55	4.87
	变异系数	0.152 9	0.086 4	0.088 4	0.150 9	0.082 9	0.083 6	0.125 8
45 d	均值/MPa	38.3	57.0	57.3	37.5	57.1	56.4	42.4
	标准差/MPa	4.85	4.57	4.60	5.19	4.44	4.40	3.88
	变异系数	0.126 6	0.080 2	0.080 3	0.138 4	0.077 8	0.078 0	0.091 5
60 d	均值/MPa	41.8	59.4	59.2	40.3	58.5	58.4	45.7
	标准差/MPa	4.86	4.48	4.51	4.97	4.37	4.27	3.16
	变异系数	0.116 3	0.075 4	0.076 2	0.123 3	0.074 7	0.073 1	0.069 1
90 d	均值/MPa	42.3	59.8	60.1	43.0	59.2	59.0	45.9
	标准差/MPa	4.73	4.42	4.45	4.83	4.28	4.30	3.07
	变异系数	0.111 8	0.073 9	0.074 0	0.112 3	0.072 3	0.072 9	0.066 9

表 4 20 mC50 空心板梁试验结果
Table 4 The test results of 20mC50 hollow plate girder

龄期	强度	试验项目						板梁回弹 /20 片
		标养试块 回弹/30 组	标养试块 回弹后抗压 /30 组	标养试块 直接抗压 /30 组	同养试块 回弹 /30 组	同养试块 回弹后抗压 /30 组	同养试块 直接抗压 /30 组	
7 d	均值/MPa	15.6	44.4	44.0	20.3	50.7	50.9	25.8
	标准差/MPa	5.37	4.28	4.46	5.29	4.45	4.54	4.93
	变异系数	0.344 2	0.096 4	0.101 4	0.260 6	0.087 8	0.089 2	0.191 1
14 d	均值/MPa	27.2	57.3	57.7	35.4	60.8	60.5	41.2
	标准差/MPa	5.42	4.35	4.29	5.23	4.51	4.47	4.84
	变异系数	0.199 3	0.075 9	0.074 4	0.147 7	0.074 2	0.073 9	0.117 5
28 d	均值/MPa	38.6	68.4	68.0	44.1	67.9	67.5	49.7
	标准差/MPa	5.28	4.16	4.27	5.38	4.43	4.35	4.70
	变异系数	0.136 8	0.060 8	0.062 8	0.122 0	0.065 2	0.064 4	0.094 6
45 d	均值/MPa	46.4	74.6	74.2	48.2	73.3	72.5	54.5
	标准差/MPa	5.07	3.94	4.03	5.22	4.18	4.13	3.99
	变异系数	0.109 3	0.052 8	0.054 3	0.108 3	0.057 0	0.057 0	0.073 2
60 d	均值/MPa	50.4	78.5	78.3	50.8	76.0	75.9	57.2
	标准差/MPa	4.95	3.87	3.85	5.03	3.98	4.09	3.28
	变异系数	0.098 2	0.049 3	0.049 2	0.099 0	0.052 4	0.053 9	0.057 3
90 d	均值/MPa	50.7	78.7	78.4	52.3	76.3	76.0	57.1
	标准差/MPa	4.83	3.69	3.80	4.92	3.95	4.01	3.25
	变异系数	0.095 3	0.046 9	0.048 5	0.094 1	0.051 8	0.052 8	0.056 9

表 5 试验项目强度 (Y/MPa) 随龄期 (X/d) 的变化曲线
Table 5 Test item strength(Y/MPa) with age(X/d) curves

试验项目强度	强度等级			
	C40		C50	
	拟合变化方程	相关系数 R^2	拟合变化方程	相关系数 R^2
标养试块回弹	$Y=11.919\ln(X)-8.2947$	0.967 3	$Y=14.659\ln(X)-11.489$	0.974 4
标养试块回弹后抗压	$Y=10.081\ln(X)+17.58$	0.939 4	$Y=14.074\ln(X)+19.325$	0.966 0
标养试块直接抗压	$Y=10.329\ln(X)+16.656$	0.944 1	$Y=13.998\ln(X)+19.365$	0.964 0
同养试块回弹	$Y=10.449\ln(X)-2.3849$	0.972 2	$Y=12.381\ln(X)-0.0749$	0.942 4
同养试块回弹后抗压	$Y=7.1308\ln(X)+29.169$	0.945 4	$Y=10.417\ln(X)+32.224$	0.967 8
同养试块直接抗压	$Y=7.1331\ln(X)+28.862$	0.941 4	$Y=10.245\ln(X)+32.524$	0.971 7
板梁回弹	$Y=9.996\ln(X)+3.7504$	0.946 8	$Y=12.373\ln(X)+5.6848$	0.928 8

(2)由表 3、表 4 数据可计算出试验项目在各龄期的强度差值,见表 6。

(3)由表 6 可见,标养试块强度与同养试块强度在 28 d 接近相等,早期 7 d、14 d 同养试块强度较高,后期 45 d、60 d、90 d 标养试块强度较高;7 d、14 d 标养试块抗压强度与空心板梁回弹强度差值最小,45 d、60 d、90 d 同养试块抗压强度与空心板梁回弹强度差值最小。由于同养试块与空心板梁一起养护,同养试块强度能代表空心板梁的实际强度,而回弹法检测空心板梁根据统一测强曲线方程换算的回弹强度偏低,回弹强度并不

能代表空心板梁的实际强度,空心板梁实际强度与回弹强度同龄期差值 C40 < C50,并且此差值都随龄期的增长而减小;同样试块抗压强度与回弹强度相差更大,试块回弹强度不能代表试块抗压强度。

3 推算空心板梁强度的应用及误差分析

表 5、表 6 是在泰州市兴化金桥预制构件厂生产的空心板梁强度统计的基础上,分析得到的推算表,因此两表同样适用于温湿度与泰州市相差不大的地区空心板梁强度的推算,如:位于泰州

表 6 空心板梁试验项目在各龄期的强度差值(MPa)

Table 6 Hollow plate beam test project in the intensity difference of each instar(MPa)

龄期	比较项目									
	标养试块抗压 - 标养试块回弹		同养试块抗压 - 同养试块回弹		标养试块抗压 - 同养试块抗压		标养试块抗压 - 板梁回弹		同养试块抗压 - 板梁回弹	
	C40	C50	C40	C50	C40	C50	C40	C50	C40	C50
7 d	21.3	28.4	24.7	30.6	-6.7	-6.9	13.5	18.2	20.2	25.1
14 d	20.8	30.5	22.8	25.1	-3.6	-2.8	13.2	16.5	16.8	19.3
28 d	21.1	29.4	19.6	23.4	-0.8	0.5	14.9	18.3	15.7	17.8
45 d	19.0	27.8	18.9	24.3	0.9	1.7	14.9	19.7	14.0	18.0
60 d	17.4	27.9	18.1	25.1	0.8	2.4	13.5	21.1	12.7	18.7
90 d	17.8	27.7	16.0	23.7	1.1	2.4	14.2	21.3	13.1	18.9

市周边的南通、盐城、扬州、淮安、以及与扬州淮安邻近的安徽天长等。下面通过两个例子来说明推算的应用及误差大小。

3.1 空心板梁强度的推算值与实际值的比较

例 1 2013 年 10 月 10 日生产的兴化市戴南镇连心桥 2-2#16 mC40 空心板梁, 龄期 60 d 时实际测得标养试块强度 56.4 MPa、同养试块强度 55.2 MPa、板梁回弹强度 41.5 MPa。用表 5、表 6 推算强度及比较误差大小。

由表 5 推算: 标养试块强度 $Y = 10.329 \ln(X) + 16.656 = 10.329 \ln(60) + 16.656 = 58.9 \text{ MPa}$

同养试块强度 $Y = 7.133 \ln(X) + 28.862 = 7.133 \ln(60) + 28.862 = 58.1 \text{ MPa}$

板梁回弹强度 $Y = 9.996 \ln(X) + 3.7504 = 9.996 \ln(60) + 3.7504 = 44.7 \text{ MPa}$

由表 6 换算: 实际测得标养试块强度 56.4 MPa

同养试块强度 $56.4 - 0.8 = 55.6 \text{ MPa}$

板梁回弹强度 $56.4 - 13.5 = 42.9 \text{ MPa}$

将以上推算值进行整理, 并与实际值比较, 结果见表 7。

表 7 2-2#16 mC40 空心板梁 60 d 强度推算值与实际值的比较

Table 7 60 d 2-2#16 mC40 hollow plate beam intensity calculated value and actual value

比较项目	实际值/ MPa	推算值/ MPa	表 5 绝对误差/MPa	相对误差/ %	换算值/ MPa	表 6 绝对误差/MPa	相对误差/ %
同养试块强度	55.2	58.1	2.9	5.3	55.6	0.4	0.7
标养试块强度	56.4	58.9	2.5	4.4	—	—	—
板梁回弹强度	41.5	44.7	3.2	7.7	42.9	1.4	3.4

例 2 2013 年 9 月 20 日生产的兴化市 333 省道盐靖高速跨线桥 18-16#20 mC50 空心板梁, 龄期 7 d 时实际测得标养试块强度 49.6 MPa、同养试块强度 56.3 MPa、板梁回弹强度 31.9 MPa。用表 5、表 6 推算强度及比较误差大小。

由表 5 推算: 标养试块强度 $Y = 13.998 \ln(X) + 19.365 = 13.998 \ln(7) + 19.365 = 46.6 \text{ MPa}$

同养试块强度 $Y = 10.245 \ln(X) + 32.524 = 10.245 \ln(7) + 32.524 = 52.5 \text{ MPa}$

板梁回弹强度 $Y = 12.373 \ln(X) + 5.6848 = 12.373 \ln(7) + 5.6848 = 29.8 \text{ MPa}$

由表 6 换算: 实际测得标养试块强度 49.6 MPa

同养试块强度 $49.6 + 6.9 = 56.5 \text{ MPa}$

板梁回弹强度 $49.6 - 18.2 = 31.4 \text{ MPa}$

将以上推算值进行整理, 并与实际值比较, 结果见表 8。

3.2 误差分析

表 7 中误差最大的是用表 5 推算的板梁回弹强度, 绝对误差 3.2 MPa、相对误差 7.7%; 最小的误差是用表 6 换算的同养试块强度, 绝对误差 0.4 MPa、相对误差 0.7%。表 8 中误差最大的是用表 5 推算的同养试块强度, 绝对误差 3.8 MPa、相对误差 6.7%; 最小的误差是用表 6 换算的同养试块强度, 绝对误差 0.2 MPa、相对误差 0.4%。

表 8 18 - 16#20 mC50 空心板梁 7 d 强度推算值与实际值的比较

Table 8 7 d 18 - 16#20 mC50 hollow plate beam intensity calculated value and actual value

比较项目	实际值/ MPa	推算值/ MPa	表 5 绝对误差/MPa	相对误差/ %	换算值/ MPa	表 6 绝对误差/MPa	相对误差/ %
同养试块强度	56.3	52.5	-3.8	-6.7	56.5	0.2	0.4
标养试块强度	49.6	46.6	-3.0	-6.0	—	—	—
板梁回弹强度	31.9	29.8	-2.1	-6.6	31.4	-0.5	-1.6

表 5 是强度与龄期的对数拟合公式,表 6 是强度统计平均值的差值表,它们都是总体样本水平的反映,两者推算都存在一定的误差。通过表 7、表 8 可知,表 5 的推算强度相对误差较大,表 6 的换算强度相对误差较小,以上两例的最大相对误差 7.7%,这说明表 5、表 6 能够满足预测空心板梁强度的要求。

4 结论

本文通过 C40、C50 先张法空心板梁回弹强度、混凝土试块抗压及回弹强度统计数据的试验研究,获得各试验项目强度随龄期的变化曲线方程,得出它们的变化规律及相互之间的换算表,为空心板梁构件检测提供重要参考,主要结论如下:

(1)同养试块强度与标养试块强度在 28 d 时可以相互代替,同养试块回弹强度 90 d 收敛,其余试验项目强度 60 d 收敛。

(2)空心板梁实际构件强度大于按统一测强曲线方程换算的回弹强度,它们之间存在较大偏差。此偏差随龄期的增长先减小后增大。因此,根据统一测强曲线方程换算的回弹强度并不能代表空心板梁的实际强度,回弹法检测只能作为空心板梁混凝土强度检测的辅助方法。同样试块回弹强度也不能代表试块抗压强度。

(3)回弹强度、抗压强度随龄期的增大服从自然对数函数关系,各试验项目强度可以按龄期通过表 5 公式推算,也可根据某龄期强度通过表 6 进行换算。

参考文献:

[1] 中华人民共和国住房和城乡建设部. JGJ/T 23 - 2011. 回弹法检测抗压强度技术规程[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2011.

[2] 中国建筑科学研究院. CECS 02:2005. 超声回弹综合法检测混凝土强度技术规程[S]. 北京:中国计划出版社,2005: 10 - 22.

[3] 交通部公路科学研究所. JTG E30 - 2005. 公路工程水泥及水泥混凝土试验规程[S]. 北京:人民交通出版社,2005:61 - 96.

[4] 盛骤,谢式千,潘承毅. 概率论与数理统计[M]. 4 版. 北京:高等教育出版社,2010:224 - 383.

Experimental Study on Beam Rebound Strength of Concrete Hollow Plate and Sample Strength

ZONG Jian
(Xinghua Jinqiao Engineering Co. Ltd, Xinghua Jiangsu 225700, China)

Abstract:By analysing the rebound strength of pretensioned concrete hollow plate beam, with a test block, the standard curing test statistical analysis of the data block rebound strength and compressive strength, the logarithm regression method is proposed for compressive strength, rebound strength curve with the development of age, the age rebound strength, compressive strength conversion table. The study contributes to the understanding of strengthening of hollow slab beam actual strength, rebound strength, compression strength. It also provides reference for measuring the strength of concrete member.

Keywords:Hollow plate beam;The same curing test block;Standard curing test block;Rebound strength;Compressive strength

(责任编辑:张英健)