

混凝土结构实体强度应用问题的讨论

程志军, 韩素芳, 刘 刚, 徐有邻

(中国建筑科学研究院, 北京 100013)



程志军

【摘 要】 本文讨论了混凝土结构实体强度的意义,以及同条件养护强度的作用。文章对比了标准养护强度、钻芯强度以及各种推定强度与同条件养护强度的关系。还对检测验收的风险进行了讨论。

【关键词】 混凝土强度; 实体强度; 同条件养护强度

【中图分类号】 TU528.0 【文献标识码】 B 【文章编号】 1002-3550(2005)03-0016-03

The application of solid strength of concrete structure

CHENG Zhi-jun, HAN Su-fang, LIU Gang, XU You-lin

(China Academy of Building Research, Beijing 100013, China)

Abstract: The significance of solid strength of concrete structure and the function of the concrete strength gotten under the same curing condition are discussed in this paper. It contrasts the relation between the strength gotten under the standard curing condition, the strength gotten by drill, some putative strength and the strength gotten under the same curing condition. Kinds of risk in the inspection and accept are also discussed.

Key words: concrete strength; solid strength; the curing strength gotten under the same curing condition

1 实体检验的背景

为适应加入 WTO 后的对外开放及建筑业向市场经济过渡,我国施工类标准将由技术管理型标准向质量验收型规范过渡。为落实“强化验收”,《建筑工程施工质量验收统一标准》GB50300-2001 规定:“对涉及结构安全和使用功能的重要分部工程应进行抽样检验”即实体检验。为此,《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB50204-2002 提出:在各分项工程验收通过以后,要通过混凝土工程的实体检验,才能进行子分部工程验收。实体检验包括两部分:混凝土强度及钢筋保护层厚度。

2 混凝土结构实体强度的意义

传统规范以标准养护的立方体抗压强度(标养强度)作为混凝土强度验收的依据。但实际上其是一种“材料强度”,只反映拌合物的质量(材料及配合比),由于养护条件(温度、湿度)和龄期(承载时间)与结构实际情况不同,两者存在着差异而缺乏代表性。如何更真实地反映结构混凝土的实际强度?这是众多学者和工程界长期以来探讨的问题。

对结构实体检测其它物理量(如回弹法测硬度)而间接得到的推定强度偏差较大,往往发生误判。钻芯强度成本太高且伤害结构,本身也存在偏差,难以作为普查手段。因此这些方法不宜用于检验混凝土

实体强度。

同条件养护试件的立方体抗压强度(同条件养护强度),过去常作为施工控制(拆模、预应力施工、吊装、出池等)之用,这种做法本身就意味着其比标养强度更接近结构的实际强度。因为除了比表面积(单位体积混凝土的表面积)大于实际结构以外,其余影响强度的因素与实际结构基本一致。因此,以同条件养护强度作为混凝土结构实体强度的验收依据,是比较有效的途径。

当然作为规范的检验项目,必须建立完整配套的检测验收方法,包括抽样范围、试件数量、试验方法、验收界限等。经过系统的试验研究、统计分析及试点应用,规范的第 10.1 节及附录 D 已通过利用同条件养护强度的检测对结构实体混凝土强度的验收作出了明确规定。规范公布实施以后,新增这一层次的检测对控制混凝土结构的施工质量,更真实地反映结构混凝土强度,保证结构安全,起到了积极作用。

3 与标准养护强度的关系

3.1 标准养护强度的意义

标养强度是特定养护条件下的混凝土强度。有关标准规定,其是养护温度为 $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$;湿度不小于 95%;28d 后以 $0.3\text{MPa/s} \sim 0.8\text{MPa/s}$ 速度加载测得的立方体抗压强度;经一定规则计算后所得的强度代表值。按其进行评定以确定检验批混凝土强度是否

可以合格验收。实际上标养强度只反映了混凝土拌合物的质量(原材料质量、组成成分、配合比、搅拌工艺)而并未反映施工养护条件对混凝土强度增长的影响(振捣、养护、施工状态等)。

在规范中,混凝土强度作为混凝土分项工程的重要项目是以“检验批”为单位检查验收的。检验批是质量相近而又能代表一定工程量的施工内容,因此抽样检验的结果代表性较好,能客观地反映工程实际质量,而检测工作量也不大。《混凝土强度检验评定标准》GBJ107 标准对检验批混凝土的“量”作出了明确规定。

对方差已知统计法每连续 3 组试件为一批;方差未知统计法 10 组以上为一批;非统计法则适用于不足 10 组的情形,但不得少于 3 组。不同方法的验收界限(合格条件)是不同的,因为其有着严格统计学的背景和保证率(95%)。应注意,当按“标养强度”评定的“验收批”未能通过验收时,需进行处理的仅为该检验批(而不是“组”)所对应的工程范围。

实际工程中,违反上述标准而硬要按“组”为单位验收,认定“组”的强度代表值与相应结构部位的对应关系,而不按标准规定以“检验批”评定验收的现象时有发生。GBJ107-87 标准公布已经 18 年了,上述验收概念的错误仍屡有发生,是很不应该的事情,因此加强规范标准的学习和正确理解,仍很有必要。

3.2 实体强度的意义

与标准强度不同,同条件养护强度由于如实反映了施工和养护的影响,故更接近结构混凝土的真实强度,有更好的代表性。试验和分析表明,由于比表面积大,干燥失水的影响更大,因此同条件养护强度一般略低于结构实际强度,所以验收界限还须适当调整。

与标养强度的另一不同点是实体强度不属于分项工程,而是作为子分部工程验收的前提,在各分项工程验收完成后进行。其不按“检验批”检查验收,而按强度等级检查验收。抽样范围应是该强度等级的混凝土,合格与否也只影响该强度等级的混凝土。亦即当混凝土实体强度未能通过验收时,应对该强度等级的混凝土进行实体强度的非正常验收。

由此可知,标养强度与实体强度是属于不同检验层次的两种检验,其从不同角度控制混凝土结构的施工质量,保证强度 and 安全性,它们的作用是难以互相替代的。因此在实际工程验收时,两者均应先后通过验收。两者其中任何一种强度未能通过验收,均应按相应的范围进行处理。

4 与推定强度及钻芯强度的关系

4.1 推定强度

结构混凝土的强度也可采用非破损或半破损的方法间接测定,称为推定强度。推定的方法很多,但都不是对混凝土立方体抗压强度的直接测定。而是通过测定其它的物理量,利用这些物理量与混凝土立方体抗压强度的对应关系,间接推定出来的。

例如,回弹法测的是混凝土表面硬度;超声和应力波法测的是超声波或应力波的传播速度;拔出法测的是表层混凝土的抗拉强度等。这些方法很多是基于上一个世纪对当时混凝土的试验统计资料建立对应关系而确定的。至今有些已很难适应不断发展变化的实际情况了。

近年混凝土为适应泵送、免振等施工工艺,组成成分有了很大的变化。粗骨料(石子)的含量及粒径大幅度减小;还掺入了大量粉煤灰或其它掺合料。因此,混凝土强度增长滞后;硬度显著变“软”;传播波速也减小;碳化速度的发展也有很大变化。如果仍以原规范规定的方法检测和判断,就很可能误判。

对于混凝土这样大量就地取材(砂、石、粉煤灰等)的材料,不同地域所反映的推定关系差别很大,越是全国性的标准规范,适用性就越成问题。对比试验及统计表明,不讲条件盲目套用回弹法、综合法等推定强度作为实体强度的验收依据,往往错判,引起生产方验收风险的增大。正因如此,GB50204-2002 规范仅将推定强度作为混凝土实体强度的辅助检测手段。

因此,在不得已情况下应用推定强度确定混凝土结构的实体强度时,应注意两点:第一,通过系统的试验统计分析,建立适用性更好的地方推定关系。第二,用不同的检测方法互相校准,避免只靠一种方法确定结构的实体强度。

4.2 钻芯强度

在结构实体中钻芯取样而进行芯样的抗压试验,可以直接测得混凝土的强度。与各种形式的推定强度比较,钻芯强度更接近工程实际。但是钻芯强度也有它的局限性。

首先是钻芯设备价格昂贵;钻芯操作麻烦;试验芯样处理复杂,很难成为一种普查的手段。其次是这种局部破损的检验方法对结构伤害太大,不仅会削弱结构的截面,影响承载力;有时还会发生伤箍断筋的情况,降低结构安全储备。因此在配筋密集区域,这种方法难以适用。此外,芯样端面的处理还明显地影响试验结果。一般操作不易处理好,往往导致强度检测值的波动。

由于钻芯取样工艺对试件混凝土扰动引起的累积损伤,芯样强度一般低于结构混凝土强度。对比试验已证实了这种影响,而且对于较为脆性的高强混凝土,这种影响尤为明显。基于以上原因,钻芯强度也

难以用作结构混凝土实体强度的普查手段。由于其检测量不可能太大,一般多与推定强度并用,作为其复核手段而求得推定强度的折算系数。

4.3 同条件养护强度的主导作用

同条件养护强度的检验方法相对比较简单,而且能最接近地反映结构混凝土的真实强度。因此 GB5024-2002 规范确定以其作为结构实体检验的依据。规范第 10.1.3 条明确规定“对混凝土强度的检验,应以在混凝土浇筑地点制备并与结构实体同条件养护的试件强度为依据。”明确地肯定了同条件养护强度在结构实体检验中的主导作用。

4.4 推定强度的应用

对采用推定强度进行实体强度检验的情形,规范中也有规定。在第 10.1.3 条中“对混凝土强度的检测,也可根据合同约定,采用非破损或局部破损的检测方法,按国家现行有关标准的规定进行。”这里用词“也可”带有不提倡的含意,而且规定应在事先订有合同,以免检测偏差引起纠纷。当然,还必须遵守有关的推定强度检测标准的规定。

规范规定,只有当同条件养护强度的检测已不可能时,才考虑采用其它检测方式—推定强度或钻芯强度。规范第 10.1.6 条规定“当未能取得同条件养护试件强度、同条件养护试件强度被判为不合格时,应委托具有相应资质等级的检测机构按国家有关标准的规定进行检测。”可以看出,推定强度只是一种辅助检测手段,并且对检测单位和标准规范还有一定要求。此时,为了减小误判的可能性,最好以一定数量的钻芯强度对推定强度进行校准。当然,这是已经属于非正常验收的范围了。

5 检测验收风险问题的讨论

5.1 实体检验保证了工程质量

世界各国都以标养强度作为结构混凝土强度验收的依据,保证概率均为 95%。我国的《混凝土强度检验评定标准》GBJ107 就起到了这样的质量保证作用。现在 GB5024-2002 验收规范在保持标养强度检验的条件下又增加了对结构混凝土实体强度进行检测的要求,这无疑是一个很大的进步,因为更接近地反映了结构中混凝土的实际强度。

标养强度作为材料强度主要反映混凝土的组成成分以及搅拌等质量控制情形;而同条件养护强度则更反映了施工及养护的影响。因此从两个不同角度,在分项工程和子分部工程两个层次上进行两次验收,对于保证工程质量以及结构安全起到了很好的作用。

5.2 强化验收,加严了质量控制

以同条件养护强度为依据的实体检验,抽样数量相对较少,试验所得的强度代表值还要乘大于 1 的折

算系数。有些意见认为降低了质量要求,而且没有严格的统计学背景和明确的保证率。因此还应加严验收界限。

实际上,实体检验只是在标养强度为代表的检验批和分项工程通过验收以后补充进行的复核性检验,而决不是再重新检查验收一遍。因此,不必一定要明确的保证率和严格的统计学背景。在原规范检验的基础上再增加一个层次的检验,无论验收界限高低,都应认为是加严了验收合格的界限。

因此,应该充分肯定现行规范的方法是强化验收,加严质量控制的有力措施。不能再提出更严格的验收要求了。

5.3 验收风险的合理分担

传统混凝土的配制、浇筑和养护均由施工单位一家负责,因此其必然承担混凝土强度验收的全部风险。近年混凝土商品化生产,混凝土的配制单位与施工、养护单位分离,就不可避免地涉及到有关质量的责任问题。工程中因此而引起的纠纷不少,有时很难确定质量缺陷的真正原因和责任者。

标养强度和同条件养护强度分离以后,上述矛盾就比较容易解决了。作为混凝土的制备和运输单位,质量控制只能到运至交货地点的混凝土拌合物为止,因此主要反映材料质量的标养强度应是判断其质量状态的主要依据。而同条件养护强度还反映了施工(浇筑、振捣、养护等)工艺的影响,现场施工单位起到了主要的影响,应作为判断其质量控制的主要依据。

因此,规范增加的混凝土强度实体检测,不仅保证了工程质量,还有助于明确质量责任,有利于搅拌站和施工单位双方都加强质量控制,保证工程质量。

5.4 生产方风险的分析

有的看法认为增加实体检验以后,搅拌站被误判的可能性减少,而施工单位的验收风险增加了。系统的试验研究和工程试点应用表明,由于验收界限作了一定调整,已留出了一定的检验裕量,因此在正常的施工和养护条件下,凡标养强度合格的情况均能通过实体强度检验,验收松严程度基本未变。

当然,如果施工单位不注意浇筑、振捣、养护,不按正确的施工方法进行质量控制,也有可能标养强度合格而实体强度通不过验收。但这种不合格完全是应该的,是督促施工单位保证工程实际质量而规定的措施,也正是设置实体检验的目的。因此,在正常的施工养护条件下,增加实体检验并未增加生产方的风险。但对保证工程质量却是有效的。

5.5 用户的风险减小

增加实体混凝土强度检验这一层次是强化验收,保证质量的有力措施。由于加强了质量控制,结构实际安全储备提高,用户方面的风险相对减小,这也是

修订规范的重要目的之一。

5.6 非规范做法的风险

前已有述,如果不用同条件养护强度检验而只用回弹法测定推定强度作为结构实体强度的检验手段,则完全有可能因这种检验方式的局限性造成误判,加大生产方的风险。

也存在不照规范规定用同条件养护强度检验的做法。例如,试件不与结构同条件养护而另作特殊养护;有意改变有效养护龄期而延长试验期;甚至伪造数据,弄虚作假……,则验收风险可以大大减小甚至等于零。但是,任何规范标准只能是对正常条件而言的。涉及职业道德的行为属于行政管理甚至法律的范畴,不是任何规范所能解决的。

·上接第12页·

溶液的活度系数,就可以应用 Nernst - Einstein 方程计算出氯离子在混凝土中的扩散系数,由于满足了适用方程的稳态离子迁移基本条件,而且直接采用混凝土工程所处海洋环境下的海水进行试验,从而有效提高了测试结果的准确性和可靠性。

3.4 考虑氯离子结合能力的混凝土氯离子扩散系数

为实现快速预测氯离子扩散系数,当混凝土电阻率是在龄期较短时间内测试的,这时测试结果可能未包含混凝土结合氯离子能力使有效扩散系数降低的信息,因此必要时需对计算氯离子扩散系数进行修正,这时氯离子在混凝土中的有效扩散系数可按式修正:

$$D_{\text{eff}} = \frac{D_{\text{con,cl}}}{(1 + \partial C_b / \partial C_f)} \quad (28)$$

式中: $\partial C_b / \partial C_f$ ——混凝土结合氯离子能力,结合能力由 Langmuir 或 Freundlich 等温式描述。

当结合氯离子与游离氯离子的关系用 Langmuir 等温吸附式表示时,有:

$$C_{b,cl} = \frac{\alpha C_{f,cl}}{1 + \beta C_{f,cl}} \text{ 或 } \frac{C_{b,cl}}{C_{f,cl}} = \frac{\alpha}{1 + \beta C_{f,cl}} \quad (29)$$

当结合氯离子与游离氯离子的关系用 Freundlich 等温吸附式表示时,有:

$$C_{b,cl} = \alpha \cdot C_{f,cl}^\beta \text{ 或 } \log C_{b,cl} = \alpha \log C_{f,cl} + b \quad (30)$$

[参考文献]

- [1] Andrade C., Calculation of chloride diffusion coefficients in concrete from ionic migration measurements[J]. Cement and Concrete Research, 1993, 23(5): 724 - 742.
- [2] Tang Luping and Lars-Olof Nilsson, Rapid determination of the chloride diffusivity in concrete by applying an Electrical field[J]. ACI Ma-

6 结束语

本文对混凝土结构实体强度的应用进行了讨论,以澄清应用过程中的一些误解。本文可供施工、监理、管理人员参考。

[参考文献]

- [1] 国家标准. 混凝土结构工程质量验收规范(GB50204 - 2002)[S].
- [2] 徐有邻,程志军. 混凝土结构的实体验收[J]. 工程质量, 2003(10).
- [3] 徐有邻,程志军. 对“混凝土同条件养护试件强度检验结构实体的理解与探讨”的意见[J]. 工程质量, 2003(10).

[作者简介] 程志军, 1973 年生, 男, 博士, 副研究员。

[单位地址] 北京市北三环东路 30 号中国建筑科学研究院(100013)

[联系电话] 010 - 84272233 - 2859

terials Journal, 1992, 89(1): 49 - 53.

- [3] Zhang Tiewei and Odd E. Gjorv, An electrochemical methods for accelerated testing of chloride diffusivity in concrete[J]. Cement and Concrete Research, 1994, 24(8): 1534 - 1548.
- [4] Streicher P. E. Streicher and Alexander M. G., A chloride conduction test for concrete[J]. Cement and Concrete Research, 1995, 25(6): 1284 - 1294.
- [5] Delagrave A., Marvhand J. and Samson E., Prediction of coefficients in cement-based materials on the basis of migration experiments[J]. Cement and Concrete Research, 1996, 26(12): 1831 - 1842.
- [6] Feldman R. F., Chan G. W., Brousseau R. J., et al., Investigation of the rapid chloride permeability test[J]. ACI materials, 1994, 91(2): 246 - 255.
- [7] Garboczi E. J., Permeability, Diffusivity, and Microstructural Parameters: A Critical Review[J]. Cement and Concrete Research, 1990, 20(4): 591 - 601.
- [8] Dhir R. K., Jones M. R., Ahmed H E H, et al. Rapid estimation of chloride diffusion coefficient in concrete[J]. Magazine of Concrete Research, 1990, 42(152): 177 - 185.
- [9] 中国行业标准. 水运工程混凝土试验规程 JTJ 270 - 98[S]. 交通出版社, 1999.
- [10] 李翠玲, 路新瀛, 张海霞. 确定氯离子在水泥基材料中扩散系数的快速试验方法[J]. 工业建筑, 1998, 28(6): 41 - 43.
- [11] LU Xinying, Application of the Nernst-Einstein equation to concrete[J]. Cement and Concrete Research, 1997, 27(2): 293 - 302.
- [12] 赵铁军, 朱金铨, 冯乃谦. 用交流电测量混凝土渗透性试验方法参数确定[J]. 混凝土, 1996(2).
- [13] 邝生鲁, 等. 应用电化学[M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1994. 9.
- [14] 杨绮琴, 方北龙, 童叶翔. 应用电化学[M]. 广州: 中山大学出版社, 2002. 7.
- [15] Otsuki N., Hisada M., Otani T., et al., Theretiacle evaluation of diffusion coefficient of chloride ion in mortar from mobility[J], ACI Materials Journal, 1999, 96(6): 627 - 633.

[作者简介] 刘志勇, 1966 年生, 副教授。

[单位地址] 山东烟台大学土木工程学院(264005)

[联系电话] 13031645808; E-mail: lzy1698@ytu.edu.cn