

实体混凝土强度合格性评定标准探讨

周岳年¹, 刘屠梅², 钟宏方¹, 傅敏红¹

(1. 舟山市建筑工程质量监督站, 浙江 舟山 316000; 2. 浙江省建设工程质量安全监督总站, 浙江 杭州 310003)



[摘要] 如何科学地对实体混凝土强度进行合格性评定是我国工程质量评价理论中的一项空白。本文结合工程实践论述了混凝土强度标准值与实体混凝土强度值的关系,并提出了实体混凝土强度合格评定标准,对于完善我国建立在“实体检验”基础上新的工程质量评价理论具有一定意义。

[关键词] 实体混凝土; 强度; 合格评定; 检测; 标准

[中图分类号] TU528.0 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1002-3550(2005)03-0020-04

Standard on eligibility of solid concrete strength

ZHOU Yue-nian¹, LIU Tu-mei², ZHONG Hong-fang¹, FU Min-hong¹

(1. Zhoushan Architectural Engineering Quality Supervising Station, Zhoushan 316000, Zhejiang, China;

2. Provincial Architecture Engineering Quality Supervising Station, Hangzhou 310003, Zhejiang, China)

Abstract: There is no record about how to review solid concrete strength's eligibility scientifically in China. It expounds the relationship between concrete strength standard data and solid concrete strength data. The standard on eligibility of solid concrete is proposed. The results are magnificent to Chinese new theory of engineering quality review based on "solid checking".

Key words: solid concrete; strength; quality review; checking; standard

1 序言

在建筑工程领域,有“实体混凝土强度可测而不可评”的说法,这是长期以来建工行业没有建立实体混凝土强度验收与合格性评定标准体系之缘故,对实体混凝土质量验收的科学性、客观性带来严重影响。混凝土设计强度等级是实体混凝土强度合格性评定的唯一标准,笔者试图通过自己肤浅的研究和探讨,在混凝土设计强度等级与实体混凝土强度之间架起一座“桥梁”,为建立实体混凝土强度合格性评定标准作出努力。

2 混凝土抗压强度标准值 $f_{cu,k}$

指按照标准方法制作养护的边长为150mm的混凝土立方体试件在28d龄期用标准试验方法测得的具有95%保证率的抗压强度, $f_{cu,k}$ 是确定混凝土强度等级的依据,也是结构设计有关混凝土各种力学指标的基本代表值。

3 实体混凝土抗压强度值 $f_{cu,e}$

是指采用检测仪器按现行技术规范要求在实体混凝土工程中进行测试和计算所获得的强度值。 $f_{cu,e}$ 是已有混凝土结构能否满足结构安全性的重要参数。

由于钻芯法检测具有直观、可靠等特点,一般以

从实体混凝土中钻取芯样并按技术规程要求进行试验和计算所得的强度值作为实体混凝土抗压强度值,也可参考其他检测方法来推算实体混凝土强度值。

实体混凝土由于材料性质及客观的施工因素影响,其强度值会有比较明显的离差特征和随龄期(累积龄期)增加而增长的规律(即不同部位或不同时期测得的混凝土强度值是不一致的)。

4 $f_{cu,k}$ 与 $f_{cu,e}$ 二者之区别

二者都是混凝土抗压强度的力学性能指标, $f_{cu,k}$ 主要用于强度等级的确定及结构设计的计算, $f_{cu,e}$ 主要用于已有结构工程中实体混凝土强度测定及结构安全性的鉴定、评价与处理。主要区别有以下几点:

4.1 $f_{cu,k}$ 具有很多“标准”的特征,是在有许多条件约束下获得的,并不等同于实体混凝土强度。如:标准的尺寸——150mm×150mm×150mm立方体;标准养护——温度为(20±2)℃,湿度≥95%的环境;标准龄期——标准养护28天;标准的制作方法——按GB/T50081-2002《普通混凝土力学性能试验方法标准》;标准的试验方法——按GB/T50081-2002。

4.2 $f_{cu,e}$ 除了具有“标准”的试验方法和近于“标准”的试件尺寸外(仅限于钻芯法),其他均无“标准”之特征,代表着实际施工形成的混凝土母样的一个子样, $f_{cu,e}$ 是实体混凝土强度值的代表。

4.3 $f_{cu,k}$ 针对同一混凝土配合比而言,除了配合比设计理论中已经考虑属于正常范围的施工质量控制等因素外(1.645σ), $f_{cu,k}$ 的确定并不再额外考虑其他施工因素和人为因素的影响,而实际施工过程中影响混凝土的因素及不确定程度要远远大于理论上的因素,如粗细骨料颗粒级配的变化,含水率的变化,振捣、养护以及人为的原因(如偷工减料)等等。

$f_{cu,k}$ 与 $f_{cu,e}$ 在施工实施过程中,配合比、环境条件、施工质量控制、龄期等方面有着很大的区别,环境条件及龄期的影响尤为显著,因此, $f_{cu,k}$ 与 $f_{cu,e}$ 在数值上存在差异是客观存在的事实,其差值要视具体情况而定(如水泥品种、气温、湿度、龄期等之不同)。

5 $f_{cu,k}$ 与 $f_{cu,e}$ 二者之联系

5.1 $f_{cu,k}$ 与 $f_{cu,e}$ 均为同一配合比指导下反映混凝土抗压强度的力学性能指标,二者存在着密切关系。

5.2 根据国内外的研究,当 $f_{cu,e} \geq k_0 f_{cu,k}$ 时(k_0 为折减系数),就认为结构工程中实体混凝土强度满足设计强度等级和结构安全性能要求,并将其编入相应的技术规范。如:美国 ACI318-92 和德国 DIN1085 标准中取 $k_0 = 0.85$,且美国标准还规定 $k_{0,min} \geq 0.75$,丹麦和挪威的国家标准分别取 k_0 为 0.90 和 0.70,我国的 GB50010-2002《混凝土结构设计规范》中 $k_0 = 0.88$,GB50204-2002《混凝土结构工程施工质量验收规范》指出标准养护试件与同条件试件强度之间的折算系数宜取为 1.10,相当于 $k_0 = 1/1.1 = 0.909$,而 JTJ/T272-99《港口工程混凝土非破损检测技术规程》中采用按强度等级不同而取不同的 k_0 值(需特别指出,这是在研究了 1250 多个芯样比对试验结果基础上经统计分析得出的),见表 1:

表 1

强度等级	$\leq C20$	C25~C30	C35~C45	C50~C60
k_0	0.82	0.85	0.88	0.90

6 k_0 取值的探讨

6.1 由上可知,各国、各行业 k_0 取值虽有所不同,但 k_0 均在(0.70~0.91)之间,均小于 1.0, k_0 取值之大小取决于各行业及各个国家对结构安全度及实际施工质量控制水平的要求之程度。

6.2 国内有学者认为,由于实体混凝土强度有随龄期增长而增加的特性,对同一强度等级的混凝土,在同一配合比施工时,不同龄期测得的 $f_{cu,e}$ 是不同的, $f_{cu,e}/f_{cu,k}$ 在不同龄期可能会出现小于 1 有时又会大于 1 的情况(即后期强度问题),因此认为 k_0 确定为 $0 < k_0 < 1$ 范围内的某一个定值是不妥的。笔者认为:

6.2.1 $f_{cu,k}$ 是设计人员进行结构受力及结构安全性计算的主要依据,根据结构设计的一般规律,在整个结构受力计算中,并不将混凝土的后期强度(即标准试块在 28d 以后的强度增量 $\Delta_{cu,k}$)纳入设计计算范围。众所周知, $\Delta_{cu,k} \geq 0$,设计人员只关心 $f_{cu,k}$ 而并不关心 $\Delta_{cu,k}$,因为 $\Delta_{cu,k} \geq 0$ 并不会降低其设计的结构安全度,并将 $\Delta_{cu,k}$ 看作是额外的混凝土强度安全系数 R_r , $\Delta_{cu,k}$ 越大, R_r 越大,就结构安全性来说安全度越高。

6.2.2 笔者认为在实体混凝土强度合格性评定中,将实体混凝土后期强度增加值($\Delta_{cu,e}$)列入评定标准是不合理的,因为就混凝土强度指标而言,合格性评定的标准只能是 $f_{cu,e} \geq k_0 f_{cu,k}$,即只规定下限而不应规定上限;如果取 $k_0 \geq 1.0$,这显然是不合理的,更没有科学性,否则我们对施工质量控制的要求就会超标准,脱离基本国情和行业特点。因此,取 $0 < k_0 < 1$ 是科学的,也是合情合理的。

6.2.3 在混凝土配合比设计理论中,配制强度按 $f_{cu,0} \geq f_{cu,k} + 1.645\sigma$,是在充分考虑了材料变化、施工因素(包括浇捣、养护等)不确定因素情况下配合比设计原则(其强度标准值具有不小于 95% 的强度保证率)。而我们在结构安全性设计中,强度按 $f_{cu} = f_{cu,k} - 1.645\sigma$ 取值(也是指不小于 95% 的强度保证率),其目的是要结构安全性至少有 $\geq 95\%$ 的保证率,因此从这个角度看取 $k_0 > 1$ 也是不合理的。

6.2.4 前已述, $f_{cu,k}$ 与 $f_{cu,e}$ 是在不同的条件下形成的两个概念,就环境条件而言, $f_{cu,k}$ 是在温度为 $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$,湿度 $\geq 95\%$ 条件下获得的,而 $f_{cu,e}$ 则在自然状态下获得,一般情况下,自然条件总要比标准养护条件下对混凝土强度的发展更为不利,《混凝土结构工程施工质量验收规范》(GB50204-2002)附录 D 在解释同条件试件与标准养护试件强度值的折算系数为 1.1 的原因时也认为是“考虑到实际混凝土结构及同条件试件可能失水等不利于强度的因素”。因此,仅就养护条件而言,取 $k_0 < 1$ 是合理的。

6.2.5 由于实体混凝土始终处于自然条件(主要为温、湿度条件),取得 $f_{cu,e}$ 又在龄期概念上很难获得统一,一年四季气温的差异在同样日数内获得的 $f_{cu,e}$ 是不同的,《混凝土结构工程施工质量验收规范》(GB50204-2002)提出了 $600^\circ\text{C} \cdot \text{d}$ 等效养护龄期的概念,即引入气温与日数双因子来界定实体混凝土的龄期(笔者将它定义为积温龄期,用 TD 表示)这是合理的。然而,随着预拌混凝土技术、粉煤灰混凝土等的推广应用,以及各种外加剂的应用,使得混凝土 28d 强度不能满足设计要求或偏离现实情况,因此,也有许多工程的设计单位采用 60d 或 90d 作为 $f_{cu,k}$ 的龄

期,如:《粉煤灰混凝土应用技术规范》(GBJ146-90)第4.1.2条中有用28d、60d、90d或180d的不同龄期来确定 $f_{cu,k}$ 的规定。针对这一情况,根据混凝土强度发展的一般规律和对工程质量验收与评定的客观情况,笔者认为将 $f_{cu,e}$ 的积温龄期TD分为 $[20d+40] \sim [3 \times (20d+40)]$ 及 $>3 \times (20d+40)$ 二段是可取的(d 为设计所要求的确定 $f_{cu,k}$ 时的标准养护龄期)。

6.2.6 k_0 究竟应取何值?根据国内外的研究成果和有关规范, k_0 在0.7~0.91之间,有些学者提出, k_0 具体应取哪个定值尚很难确定。笔者认为针对实体混凝土强度的验收与合格性评定而言,已不是最重要的问题,我们不仿参照外国或其他行业已有的研究成果和标准,在0.7~0.91之间选择一个适合本行业特点的具体的 k_0 值。总之,确定 k_0 的取值是十分必要的,这是关系到混凝土设计强度等级($f_{cu,k}$)与实体混凝土强度值($f_{cu,e}$)之间“桥”的问题,更是关系到如何建立实体混凝土强度合格性评定标准的问题,以解决当前工程质量验收过程中客观存在又十分迫切的理论性问题。长期来建工行业缺乏实体混凝土强度合格性评定标准的历史应该尽早结束!

7 实体混凝土强度的检测

无损检测技术的发展为实体混凝土强度的合格性评定奠定了基础。对结构工程中的实体混凝土强度已有成熟的无损(或微破损)检测技术,我国也建立了相应的技术标准体系,如《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》JGJ/T23、《超声回弹综合法检测混凝土强度技术规程》CECS02、《后装拔出法检测混凝土强度技术规程》CECS69、《钻芯法检测混凝土强度技术规程》CECS03。就这些检测方法的实用性和测试精度而言,由于回弹法检测相对方便、快捷、无损,检测费用相对较低,因此在实体混凝土质量抽样检测中被广泛应用,但受回弹法原理的限制,其测试精度受混凝土材料组成、表面状态(如潮湿、平整等)因素影响较大,其测试精度相对要低些;钻芯法(仅限于标准芯样)是国际上公认的检测混凝土强度的标准方法,也是其他无损检测方法的参照标准(一般情况下其他检测方法建立数学模型后,其检测结果均与钻芯法检测结果进行比较,以验证其准确性),但由于钻芯法操作麻烦,检测周期长,对结构有一定的损伤,且检测费用相对较高,在实际工程检测中一般不优先选用。笔者认为:

7.1 就检测技术而言,当今的无损(或微破损)检测技术已经能够满足实体混凝土强度合格性评定的技术要求。

7.2 根据不同结构工程验收或鉴定的需要,应合理

地选择检测方法,兼顾现场检测的方便性、检测周期及检测费用等因素,对于新建工程或者混凝土表面比较平整、干燥的结构工程的质量验收宜优先选用回弹法,且应采用数字化回弹仪以提高检测的公正性和效率;对于各方有争议或需获取比较准确的混凝土强度者宜优先选用钻取标准芯样的检测方法。

8 实体混凝土强度合格评定标准的建立

针对实体混凝土的客观实际及实际工程中对实体混凝土强度验收与合格性评定的迫切需要,并结合实体混凝土现场检测特点,笔者建议采用如下方法来建立实体混凝土强度合格性评定标准:

8.1 对于同一检验批(相同设计等级、同一配合比、相同施工工艺、相同龄期)的实体混凝土强度,在具备检测条件时可以采用回弹法、超声回弹综合法、拔出法、钻芯法等无损(微破损)检测方法进行检测,回弹仪应采用数字化回弹仪。

地下工程、桩基工程及其他不具备无损或微破损方法进行实体混凝土强度检测时应采用同条件养护试件进行检验与合格性评定,但应在工程施工合同中给予规定。

8.2 当回弹法、超声回弹综合法、拔出法及小芯样钻芯法检测所测得的实体混凝土强度同时满足(1)式和(2)式要求时,判定实体混凝土强度为合格。

$$m_{fcu} \geq 1.15 f_{cu,k} \quad (1)$$

$$f_{cu,min} \geq 0.95 f_{cu,k} \quad (2)$$

式中 m_{fcu} ——除标准芯样外,其他方法测得的实体混凝土强度平均值;

$f_{cu,min}$ ——除标准芯样外,其他方法测得的实体混凝土强度最小值;

$f_{cu,k}$ ——混凝土强度标准值。

8.3 当按8.2条进行检测,其结果不能满足合格评定要求,或者对该方法的测试结果仍有怀疑的,应按钻取标准芯样的方法进行进一步检测,标准芯样应在该检测方法所测得的强度相对较低区域或构件上钻取,标准芯样的数量不应小于3个。

8.4 直接采用标准芯样作实体混凝土强度合格性评定时,其芯样数不应少于3个,芯样钻取位置应按随机抽样方法确定。

8.5 采用标准芯样评定实体混凝土强度合格性的标准按以下方法确定:

$$K_{0i} = \frac{f_{cu,ei}}{f_{cu,k}} \quad (3)$$

当 $(20d+40) \leq TD \leq 3 \times (20d+40)$ 且满足

$$\begin{cases} K_{0,m} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n K_{0i} \geq 0.85 \\ K_{0,min} \geq 0.75 \end{cases} \quad (4)$$

或者当 $TD > 3 \times (20d + 40)$ 且满足

$$\begin{cases} K_{0 \cdot m} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n K_{0i} \geq 0.88 \\ K_{0 \cdot \min} \geq 0.75 \end{cases} \quad (5)$$

时, 评定结构工程中实体混凝土强度满足设计强度等级和结构安全性能要求, 否则应为不满足设计强度等级和结构安全性能要求。

式中 $f_{cu \cdot k}$ ——混凝土强度标准值(强度等级), 单位为 MPa;

$f_{cu \cdot ei}$ ——用钻芯法测得的实体混凝土各测点强度值, 单位为 MPa(芯样直径宜 $\geq 95\text{mm}$);

k_{0i} ——各测点实体混凝土强度实测值与混凝土强度标准值之比(折减系数);

$k_{0 \cdot m}$ ——平均折减系数;

$k_{0 \cdot \min}$ ——最小折减系数;

TD ——积温龄期, 单位为 $^{\circ}\text{C} \cdot \text{d}$, 是指实体混凝土自浇捣之日起到抗压强度检测之前一日当地逐日大于 0°C 平均气温的累计值;

d ——设计要求的确定 $f_{cu \cdot k}$ 时的标准养护龄期, 单位为日数。

8.6 当按同条件养护试件进行实体混凝土强度检验, 其结果不能满足 GB50204 要求时, 尚应采用无损或微破损方法进行检验与评价。

9 实践与效果

引入实体混凝土强度的抽样检测及合格性评定机制是提高混凝土工程质量的有效途径, 也是整治“偷工减料”、“豆腐渣工程”的有力手段, 它不仅能实实在在地发现一些混凝土质量缺陷, 更重要的是使工程质量控制及验收评价更加科学、有效。

据笔者了解, 全国已有不少地区开展了实体混凝土强度的抽样检测, 并将检测结果作为评价实体混凝土强度是否满足设计要求的依据, 收到良好的质量效益。笔者所在市也曾发生过不少“豆腐渣工程”, 个别新竣工的工程最短寿命仅 4 年即成危房, 经钻芯法检测最低实体混凝土强度仅 4.6MPa, 不足设计强度等级的四分之一; 通过调查发现这些“豆腐渣工程”的资料中找不到一组试块、一组水泥是不合格的, 这显然是所谓的“质保资料”已经失去了真实性。为了探索新的工程质量监督与评定的方法, 我们从 1999 年起将实体工程质量抽样检测引入到质量监督与验收工作中, 并制订了“舟山市建筑工程结构实物质量抽样检测暂行规定”, 效果显著, 一些存在严重质量隐患的工程被及时检出, 质量缺陷显影于检测报告之中, 问题也得到及时地整改, 避免了危房病屋投向社会。

为检验实体质量抽样检测制度的实施效果, 笔者

调查统计了 2000 年至 2003 年本市专门接受人民群众对工程质量投诉的部门记录, 发现 4 年间有记录的涉及房屋质量的投诉共 376 起, 涉及 2000 年及以后竣工(引入实体质量抽样检测制度以后)的房屋质量投诉仅 25 件, 占 6.65%, 4 年的质量投诉记录还表明, 涉及实体混凝土强度的投诉共 148 起, 而涉及 2000 年及以后竣工房屋混凝土强度的投诉为零, 这充分表明人民群众对 2000 年及以后竣工的房屋质量是满意的, 房屋质量尤其是涉及结构混凝土强度的投诉率大大下降。事实证明, 几年来我市实施的这种建立在实体工程质量抽样检测基础上, 让数据说话的工程质量评价方法是非常有效的, 也是切实可行的。

10 结束语

全国各地出现的“豆腐渣工程”、“短命工程”及工程质量事故充分证明: 建立在“试件检验”基础上的工程质量验收与评价理论体系, 犹如在“烂泥巴”上建大厦, 已经不适合我国的基本国情, 也不符合工程建设领域客观实际, 应尽早摒弃这个早已陈旧、贻害无穷的工程质量评价理论, 尽早建立和完善以“实体检验”为基础新的工程质量评价理论体系已是当务之急。

新实施的《建筑工程施工质量验收统一标准》(GB50300-2001)及《混凝土结构工程施工质量验收规范》(GB50204-2002)都对实体混凝土质量的验收提出了要求, 并将之列为强制性条文, 这是标志着我国建立以“实体检验”为基础的新的实体工程质量验收与评定基本理论体系框架的确定, 而实体混凝土强度验收及合格性评定又是这一新的工程质量验收与评定标准体系之最基本的内容。尽管笔者的研究与剖析是肤浅的, 但笔者衷心地希望此文能起到抛砖引玉的作用, 为避免和减少本不应该发生的工程质量事故, 尽早完成适合我国国情的建立在“实体检验”基础上新的工程质量验收与评价理论体系的构建和完善作出努力。

【参考文献】

- [1] 混凝土结构设计规范(GB50010-2002)[S].
- [2] 混凝土结构工程施工质量验收规范(GB50204-2002)[S].
- [3] 港口工程混凝土非破损检测技术规程(JTJ/T272-99)[S].
- [4] ACI318-92.
- [5] 混凝土强度检验评定标准(GBJ107-87)[S].
- [6] 建筑工程施工质量验收统一标准(GB50300-2001)[S].
- [7] 周岳年, 严根宝, 等. 新版施工质量验收规范若干问题的探讨[J]. 工程质量, 2004.3.

【作者简介】 周岳年, 1960 年生, 男, 高级工程师, 舟山市建工质监站副站长。

【单位地址】 浙江舟山市定海区东河路 9 号(316000)

【联系电话】 0580-2362563, (0)13905808851, E-mail: zsfu@163.net