

《混凝土结构设计规范》修订简介(六) ——混凝土结构的结构分析

李云贵¹, 李杰², 徐有邻¹

(1 中国建筑科学研究院,北京 100013; 2 同济大学,上海 200092)

[摘要] 介绍《混凝土结构设计规范》中有关结构分析的修订要点。规范修订强调结构分析中基本假定和计算简图的作用,详细介绍了混凝土结构分析的原则和基本分析方法:弹性、内力调幅、弹塑性、塑性极限、间接作用分析方法,以及试验分析等应注意的问题。还介绍了结构分析所需的有关参数、本构关系以及用于二、三维结构应力设计的混凝土多轴强度准则。可供设计人员理解修订规范背景,准确、合理地进行结构内力分析及设计参考。

[关键词] 混凝土结构; 效应; 分析; 多轴强度准则

中图分类号: TU318.4 文献标识码: A 文章编号: 1002-848X(2011)07-0134-06

Introduction of revision of Code for design of concrete structure part VI: Structure analysis of concrete structure

Li Yungui¹, Li Jie², Xu Youlin¹

(1 China Academy of Building Research, Beijing 100013, China; 2 Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: The key point of structural analysis in *Code for design of concrete structure* was introduced. The basic assumptions of the structural analysis as well as the role of the simplified diagram were emphasized in this revision, the principle and basic methods of the concrete structural analysis, including elastic, amplitude modulation of internal force, elastic-plastic, plastic ultimate, indirectly interaction analysis and the problems deserving attention in test analysis, were introduced. The related parameters and constitutive models needed in structural analysis, and multi-axial strength criterion used in 2-D and 3-D structural stress design were introduced, too. It can be used for designers to understand the background of this revision of the code and carry out structural analysis and design accurately and rationally.

Keywords: concrete structure; effect; analysis; multi-axial intensity criterion

1 结构分析的基本概念

1.1 结构分析的作用

混凝土结构设计中,在“结构方案”确定后就应进行“结构分析”。根据荷载作用情况求出结构中各个构件的内力,作为“截面配筋计算”的依据,并落实到“连接构造措施”。“结构分析”是设计过程中必不可少的一步,起到了承上启下的作用,是所有设计计算和构造措施的基础,在设计中具有重要的地位。

但是我国传统设计对结构分析不太重视,反映为设计规范中缺失此部分内容,一般都简单地按弹性方法分析求得内力,再进行构件设计。可以设想,如果按近似方法求得偏差很大的内力进行截面配筋,再精确的计算公式也是枉然。2002版的规范修订增加了“结构分析”一章,弥补了此欠缺,但仍失之于太简约。本次修订作了进一步的补充、完善。

1.2 结构分析的内容

(1) 确定作用 结构分析的目的是确定由各种作用在结构中引起的效应(内力、应力、变形等),亦即极限状态方程中的左边项(S),以供设计计算。

因此首先就要确定对结构的作用:直接作用(荷载)可按《建筑结构荷载规范》确定;间接作用是指温差、收缩、沉降、强迫位移等非力作用;偶然作用则是指罕见自然灾害或非人为因素等的作用。它们都会在结构中引起效应,应根据结构的实际情况和具体条件决定。

(2) 建立模型 为求得结构上的效应,必须建立结构的计算模型,才能进行可操作的运算。模型包括计算简图、几何尺寸、计算参数、边界条件、材料性能指标等。为便于计算,模型必须在某些假定的基础上进行一定程度的简化。但这种简化应尽量符合结构的实际承载受力情况,否则就会造成很大的计算偏差,甚至得出完全不同的效应。

(3) 效应计算 有了模型以后,就可以根据确定的作用,选择适当的分析方法计算结构的效应。分析方法很多,大体分为弹性(线性)、塑性(非线性)

作者简介:李云贵,中国建筑科学研究院,研究员。

李杰,同济大学,教授。

徐有邻,中国建筑科学研究院,研究员。

注:本文由徐有邻执笔。

性)以及其他方法,应根据结构的实际情况和具体计算手段的条件选择。由于结构在施工期和使用期作用(承载受力)情况的复杂性,尚应按不同工况分别进行分析计算,并确定其最不利组合。

(4) 特殊分析 一般按结构整体分析得出整个结构体系上的效应(内力、应力)分布以后,就可以进行下一步的截面设计并落实构造要求了,结构分析的任务已基本完成。但某些设计还要求对结构受力状况特殊的部分(如关键受力构件、形体受力复杂的部分)进行更详细、更为特殊的局部分析。

1.3 结构分析的特点

混凝土结构是由钢筋和混凝土组成的。钢筋是比较理想的弹塑性材料:屈服以前为理想弹性,屈服以后则认为是塑性的。而混凝土材料则复杂得多,其抗压强度高而抗拉强度极低,相差一个数量级;变形模量也是非线性的;开裂以后则转变成各向异性体,垂直裂缝方向已不可能传递拉力,从而呈现出复杂的弹塑性性质。

由这两种性质完全不同的材料构成的混凝土结构,力学性能则更为复杂。承载受力以后构件可能经历线性、非线性、开裂、屈服、压溃等过程,而作为结构分析重要参数的“刚度”,也是处在持续变化之中,这就给结构分析带来了极大的困难。不像钢、砌体等结构材料,混凝土结构这种复合材料的复杂多变造成了结构分析的特殊难度。

1.4 结构分析的重要性

结构分析属于仅次于结构方案的第二安全层次。其对结构安全的影响程度,远大于构件设计。分析效应的结果造成的误差可能达到几成,而截面计算至多不过百分之几而已。许多结构事故或灾害调查都表明,结构分析中基本假定和计算简图的失误可能造成很大的偏差,甚至会导致破坏形态的根本性变化。

长期以来,我国规范和设计人员比较重视构件的配筋计算而往往忽视结构分析。斤斤计较于截面、配筋、强度,而对作为配筋设计依据的内力的来源,却不甚了解。应尽快改变这种本末倒置的现象。修订规范强调了结构分析的重要性并补充、丰富了有关内容,但囿于其特点只能作原则性的表达。这就需要设计者建立起清晰的力学概念并具有必要的结构常识,尽量采用比较科学、合理的分析手段,以提高结构分析的水平。

2 基本假定及计算简图

2.1 基本条件

与所有的力学问题一样,结构分析应满足下列

三个基本条件。

(1) 平衡条件 无论是整个结构体系、各个结构构件、还是其中的局部、甚至是计算单元,力学的平衡条件是必须满足的。

(2) 变形协调 作用(荷载)必然引起结构的变形,而变形以后结构体系仍应保持完整。即在各个构件的连接处仍然连续,在所有的计算单元边界上也应保持协调变形。

(3) 本构关系 遭受荷载作用以后,结构材料(钢筋、混凝土)或计算单元都会发生变形。而其受力-变形的本构关系应基本符合实际情况。规范提出了确定本构关系的方法。

在上述三个基本条件中,平衡条件必须满足;变形协调根据需要在不同程度上满足;而本构关系则是合理选择的问题。它们在不同程度上影响了结构分析的精确程度。

2.2 分析假定及计算简图的原则

实际的混凝土结构工程往往是十分复杂的,加上结构材料(钢筋、混凝土)性能多变,就不可避免地要作出必要的假定,以简化计算。分析假定会造成一定的计算偏差,但是只要误差在一定范围内、能够满足设计的基本要求是允许的。早期的混凝土结构不太复杂,计算手段也比较简单,因此比较粗糙的假定也可以接受。现代结构的形状、功能、作用越来越复杂,传统的假定难以满足要求,计算手段也越来越先进。有限元方法、计算机技术等的应用,为使计算假定更接近地反映真实结构创造了条件。因此,“假定”的成分减少,计算结果也可以更接近真实情况了。但是,作为计算的手段,“简化”仍然得到广泛的应用。

计算假定的最主要内容是计算简图。计算简图反映了结构体系的几何尺寸、形状特性、构件布置、连接方式以及结构上作用(荷载)的分布,是结构分析的核心内容。计算简图必须反映结构承载受力的主要特征,否则脱离实际条件的简图会引起计算所得的效应(内力、应力)失真、偏差过大,甚至影响到承载能力和破坏形态,造成很大的偏差。

确定分析假定及计算简图的方法很多,但是必须遵守下列原则:1) 反映结构及作用的特点;2) 分析结果尽可能地接近实际;3) 计算方法有可操作性,能被设计者所接受;4) 简图中的连接构造措施能在现代技术条件下实现。工程设计中常用的简化手段如下节所述。

2.3 简化方法

(1) 梁、柱、杆件等一维构件的轴线取截面几何

中心连线,墙、板等二维构件的中轴面取为截面中心的平面或曲面。

(2) 现浇结构和装配整体式结构的连接处可作为刚接;连接部分的刚度远大于杆件刚度时可作为刚域处理;非整体浇筑的次梁两端及板跨两端可近似作为铰接。

(3) 杆件的计算跨度或计算高度可按两端支承长度的中心距或净间距确定,并应根据支承连接的刚度或支承反力的位置加以修正。

(4) 体形规则的空间结构可沿柱列或墙轴线分解为两个方向的平面结构,分别进行结构分析,但应考虑各个平面结构在平面外的空间协调受力。

(5) 一般情况下不考虑构件受力后,轴向、剪切和扭转变形对结构内力分布的影响。

(6) 结构整体分析时,对现浇结构或装配整体式结构的楼盖,可假定在其自身平面内为无限刚性。有较大孔洞或局部会产生明显平面内变形时,应考虑其影响。

(7) 现浇楼盖和装配整体式楼盖中计算梁的刚度和承载力时,宜考虑楼板作为翼缘对梁的影响。梁受压区有效翼缘计算宽度按有关规定确定。

(8) 当地基与结构的相互作用对结构的内力和变形有显著影响时,结构分析时宜考虑地基与结构的相互作用。

2.4 假定-简化的影响

结构分析是混凝土结构设计理论处在发展中而尚不太成熟的部分,长期以来都只是按照传统习惯的方法进行计算,分析计算所得的效应(内力),准确性存在疑问。对于越来越复杂的现代工程结构,往往难以适应。事实上,目前设计计算理论中,尚有许多不完善甚至是互相矛盾的地方。例如,梁、板两端一般均为弹性支承,其所受的竖向反力与沉降有关;而端部弯矩与转角有关。计算图简化为固接或铰接后,都会引起一定的误差。进一步考虑,典型的两边现浇在梁上的单向板,通常按两端固接的受弯构件用弹性分析计算内力。但支承梁的挠曲变形(下沉)和约束扭转(转动),反过来也都会影响板的内力分布,使支座弯矩减小而跨中弯矩增大。

因此,在某些假定下,按计算简图分析所得的效应(内力、应力等)总是存在着误差。设计人员在结构分析阶段,尤其应多下功夫进行深入的思考和判断,这远比在截面计算上斤斤计较要有意义得多。但这需要设计者有清晰的力学概念和丰富的结构常识,而这正是一般设计人员所缺乏的,故应加强这方面的训练。

3 弹性分析方法

3.1 弹性分析

弹性分析是最简单、最基本的方法。其用定值弹性模量的线性本构关系进行分析,因此十分简单。混凝土材料可视为匀质体,不考虑钢筋及预应力留孔的影响,并由此计算截面惯性矩(刚度)。由于实际结构混凝土受力以后开裂、徐变等因素引起的非线性,宜考虑材料性能退化引起刚度折减的影响。

分析可以采用结构力学、弹性力学的方法,也可以采用有限元分析或其他方法。体形规则的结构,还可以根据作用的种类和性质,采用适当的简化分析方法。由于弹性分析方法简单,对一般结构计算所得的效应(内力)误差并不太大,因此至今仍被大量使用。

应该注意的问题是:构件受力变形后,由于在边界连接处的变形协调,可能会对构件本身以及邻近构件的内力造成影响。例如,支承在梁上的板,当承载变形较大时,支承梁的竖向不均匀变形(沉降)以及转动(约束扭转),都可能会反过来影响板的内力分布。

3.2 二阶效应

受压构件的侧向位移会造成偏心受力而引起附加内力和附加弯曲变形,这称为 $P-\Delta$ 二阶效应。例如不对称结构在重力作用下竖向构件中的附加内力就可能产生二阶效应。其属于结构整体的范畴,故应在结构分析中考虑。这与受压构件自身挠曲引起的 $P-\delta$ 效应(在混凝土规范第6章构件层面的承载力中解决)不同。 $P-\Delta$ 效应可以采用有限元方法计算,但由于材料非线性和裂缝、构件的曲率和层间侧移、荷载持续作用、混凝土收缩和徐变等因素的影响,实现相应的分析还有困难,一般都采用简化的方法计算。

规范附录 B 是近似计算 $P-\Delta$ 二阶效应的增大系数法。应该注意的是: $P-\Delta$ 效应只会增大引起侧移的荷载所产生的内力,而不增大不引起侧移的荷载(例如对称结构上的对称竖向荷载)所产生的内力。因此增大系数 η_s 只乘相应的弯矩 M_s 和层间位移 Δ_1 。由于 $P-\Delta$ 效应同时也增大了水平构件中引起结构侧移的弯矩,因此弯矩增大同样适用于梁端控制截面的弯矩计算,也适用于结构抗震设计中同一节点处的梁端弯矩之和 $\sum M_b$ 进行增大。

规范给出了框架、剪力墙、框架-剪力墙、筒体结构中计算增大系数 η_s 的方法。由于结构开裂及其他非线性的影响,构件刚度降低,故计算时须考虑刚度折减。规范根据分析计算并简化统一取值,给出

了不同构件的刚度折减系数。还应注意:工业厂房的排架结构柱也同样存在着二阶效应的问题,本规范也给出了计算的方法。然而由于其特殊性,许多问题尚在研究探讨之中。

3.3 塑性内力重分布分析

混凝土结构多为超静定结构,当其中某些截面已经达到承载力极限状态(屈服),而材料尚有很好的塑性变形能力时,由于存在冗余约束,仍有可能继续承载而不至于破坏。例如,连续梁、连续单向板、现浇框架梁及双向板等,当其支座或节点边的钢筋屈服而达到极限状态后,由于钢筋塑性很好而仍能继续承载,虽产生较大的转动变形却仍不破坏,则可以将其视为能够承担一定弯矩的塑性铰,而以新的简图继续承载。当荷载继续增加时,其支座弯矩可以保持不变,跨中弯矩则相应增加。这种现象就称为塑性内力重分布。

利用塑性内力重分布这一特性,可以通过控制配筋,主动降低支座弯矩而增大跨中弯矩,以弯矩调幅的形式简化设计和施工,充分发掘材料抗力的潜力,节约配筋,具有较好的经济效益。尽管内力重分布完全是塑性阶段的现象,但仍可利用弹性分析方法计算出内力分布,再进行有控制的弯矩调幅加以修正,从而反映这种塑性内力重分布的规律。因此,这种分析方法基本仍属于弹性分析的范畴。

塑性内力重分布分析方法的应用条件及调幅数值应符合一定的限制条件:钢筋应有较大的延性(变形能力),最大力下总伸长率不小于本规范的相应要求;按塑性内力重分布进行承载力设计的构件,仍应满足正常使用极限状态(裂缝、变形等)的要求,并采取有效的构造措施;直接承受动载的构件、限制开裂的构件或恶劣环境(三类)下的构件,不应采用内力重分布的设计方法;钢筋混凝土梁端负弯矩调幅不大于 25%;梁端相对受压区高度不小于 0.10 且不大于 0.35;钢筋混凝土板负弯矩调幅不大于 20%;预应力构件调幅应符合规范第 10 章的有关规定;受相邻构件约束的支承梁的扭矩,宜考虑内力重分布的影响,按弯剪扭构件设计。

4 弹塑性分析方法

4.1 弹塑性分析

工程中受力复杂的结构或重要的结构,宜进一步采用弹塑性分析方法。弹塑性分析方法的特点是:应预先设定结构的形状、尺寸、边界条件、材料性能和配筋等条件,再对结构整体或局部进行验算。验算的规则如下:

(1) 采用弹塑性分析方法确定作用效应时,材

料(钢筋、混凝土)的性能指标及本构关系(应力-应变关系)宜取平均值。根据具体情况采用不同离散尺度的计算单元及本构关系(内力-变形关系等),并宜符合实际受力情况。钢筋混凝土界面的粘结滑移对分析结果影响较显著的构件(如框架结构梁柱的节点区域等),还宜考虑钢筋与混凝土间的粘结-滑移本构关系。材料的性能指标及本构关系宜通过试验分析确定,也可按规范的附录 C 采用。

(2) 结构分析的基本构件计算模型:对梁、柱等杆系构件可简化为一维单元,采用纤维束模型或塑性铰模型;墙、板等构件可简化为二维单元,采用膜单元、板单元或壳单元;复杂混凝土结构、大体积结构、结构的节点或局部区域需作精细分析时,宜采用三维块体单元。

(3) 根据实际情况采用静力或动力分析方法计算,并宜考虑结构几何非线性的不利影响。

4.2 塑性极限分析

当超静定混凝土结构具有足够的塑性变形能力时,结构中的某些截面屈服并不意味着整个结构破坏,结构往往还可以继续承载。只有足够数量的截面屈服而使结构体系形成几何可变机构时,结构才达到最大的承载能力。利用这种规律,可以采用塑性极限分析方法进行结构的承载力计算。这样就可以充分发挥超静定结构的承载潜力,使设计更加经济合理。

按塑性极限分析设计的结构中形成塑性铰的区域实际已具有一定程度的损伤。但是如果其具有足够的变形能力,则这种损伤对于承载力影响并不大。因此按塑性极限分析设计的构件,仍应满足正常使用极限状态(挠度、裂缝等)的要求。对于承受多次重复荷载作用的结构构件,则不得采用塑性极限分析方法设计。

目前对承受均布荷载的周边支承双向矩形板,已有成熟的塑性极限分析设计方法。通常采用塑性铰线法或条带法进行承载能力极限状态的分析与设计。同样,当边界支承位移对板的内力及破坏状态有较大影响时,还宜考虑边界支承竖向变形及扭转等对破坏机制的影响。

5 其他分析方法

5.1 间接作用分析

大体积混凝土结构、超长混凝土结构等约束积累较大的超静定结构,在温差、收缩、强迫位移等间接作用下裂缝问题比较突出,宜进行间接作用效应分析。可以采用弹塑性分析方法,也可采用简化的弹性分析方法。间接作用效应分析计算时,应考虑

混凝土徐变及混凝土开裂引起的应力松弛和重分布对构件刚度降低的影响,以减少作用效应计算失真。

5.2 试验分析方法

受力复杂的结构或重要结构,若一般分析方法偏差过大,宜采用更接近实际的试验分析方法。试验分析方法有两类:一类是对实际结构的模拟试验;另一类是对结构材料及分析单元的性能指标或本构关系的实测。无论哪类试验,均以确定相关结构设计参数为目的,以作为进行进一步分析计算的基础。有关内容反映在新修订的《混凝土结构试验方法标准》(GB50152)中。

6 结构分析的基本参数

无论采用哪种分析方法,都须用到结构材料(钢筋、混凝土)的性能指标及本构关系。本规范的附录 C 就提供了结构分析的基本参数。

6.1 钢筋的强度及本构关系

规范已给出了钢筋屈服强度和极限强度的标准值及设计值,前者是具有 95% 保证率的分位值;而后者又除以材料分项系数以考虑必要的安全储备,两者都不是材料真实强度的平均值。下列公式给出了强度平均值、标准值、设计值之间的关系:

$$\text{强度标准值: } f_k = f_m (1 - 1.645\delta) \quad (1)$$

$$\text{强度设计值: } f_d = f_k / \gamma \quad (2)$$

式中 f_m 为强度平均值。

其中关键是实际材料的离差(变异系数 δ)及材料分项系数 γ 的取值。规范给出的标准值及设计值是基于 20 世纪 80 年代大量统计分析给出的,具体工程设计时也可以根据试验、统计确定。

规范还经统计分析给出了以三折线(图 1)及二折线(图 2)形式表达的钢筋本构关系,前者适用于有屈服阶段的钢筋(软钢),而后者适用于无屈服阶段的钢筋(硬钢)。

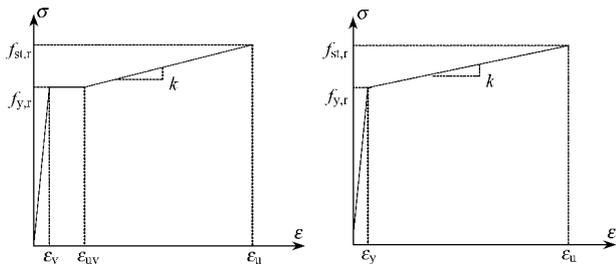


图 1 有屈服点钢筋的应力-应变曲线

图 2 无屈服点钢筋的应力-应变曲线

当需分析结构承受反复荷载作用的效应时,应提供钢筋在反复荷载作用下的本构关系曲线,附录 C.1 建议的钢筋卸载曲线简化为直线,并给出了钢

筋反向再加载曲线的表达式。

6.2 混凝土的强度及本构关系

与钢筋类似,规范也给出了混凝土抗拉强度、抗压强度的标准值及设计值,前者是具有 95% 保证率的分位值;而后者则除以材料分项系数以考虑必要的安全储备。强度平均值、标准值、设计值之间的关系同前。规范给出的标准值及设计值是基于 20 世纪 80 年代大量统计分析给出的,具体工程设计时可根据试验、统计确定。

混凝土单轴受拉的本构关系,原则上采用原规范的基本表达式与建议参数。根据近期相关的研究工作,还给出了与之等效的损伤本构关系表述,以便与二维本构关系相协调。混凝土单轴受压本构关系,对原规范的上升段进行了修订,下降段在本质上与原规范表达式等价。为与二维本构关系相一致,根据近期相关的研究成果在表述形式上做了调整。单轴受拉或受压的应力-应变曲线分为上升段和下降段,二者在峰值点处连续(图 3)。

为分析承受反复荷载作用结构的效应,修订规范新增了受压混凝土在重复荷载作用下的应力-应变本构曲线,以反映混凝土滞回、刚度退化及强度退化的特性。为简化表述,卸载段应力路径采用直线表达方式。此外,根据近期相关的研究成果,还给出了混凝土二维本构关系的表达式,为混凝土非线性有限元分析提供依据。该本构关系包括了卸载本构方程,实现了一维卸载的残余应变与二维卸载残余应变计算的统一。

应该指出的是:现有混凝土的强度和应力-应变本构关系大都是基于正常环境下短期试验的结果。若结构混凝土的材料种类、环境和受力条件等与标准试验条件相差悬殊,则其强度和本构关系都将发生不同程度的变化。这时不能直接采用规范建议的设计参数,而应自行试验测定,或参考有关文献做相应的修正。

6.3 钢筋-混凝土粘结滑移本构关系

除了钢筋和混凝土的本构(应力-应变)关系以外,有时分析还要用到两种材料界面之间受力的粘结应力-相对滑移($\tau-s$)本构关系。例如:框架结构

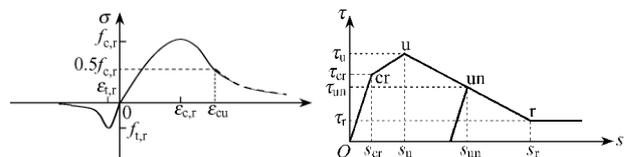


图 3 混凝土单轴受拉-受压的本构关系

图 4 混凝土与钢筋间的粘结应力-滑移本构关系

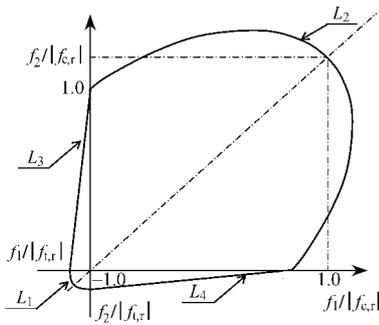


图 5 二轴应力的强度包络图

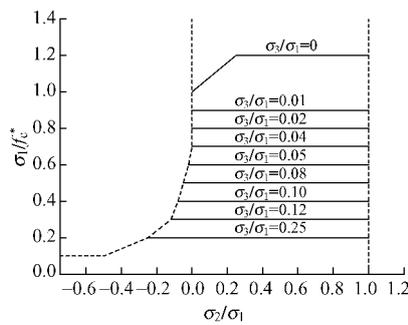


图 6 三轴拉-压状态下的抗压强度

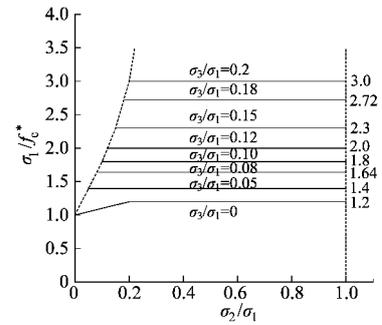


图 7 三轴受压状态下的抗压强度

梁柱的节点区域,钢筋在两端拉-压力作用下与混凝土界面上的粘结滑移对分析结果就可能造成较显著的影响。此时就应考虑钢筋与混凝土间的粘结-滑移的本构关系的影响。

建议的带肋钢筋与混凝土之间的粘结滑移本构关系是通过大量试验量测,经统计分析后提出的。本构关系曲线为四折线状(图4),分别代表弹性、劈裂、下降和残余四个粘结-滑移受力阶段,而特征点为劈裂、峰值和残余。建议的特征点是试验量测-统计分析的结果。

事实上,影响粘结-滑移本构关系的因素很多,如混凝土的强度、级配,纵筋的直径、强度、变形模量、外形参数、箍筋配置、侧向压力等都会影响粘结-滑移本构关系。因此,在条件许可的情况下,建议通过试验测定表达式中的参数。

7 混凝土的多轴强度准则

7.1 应力设计的强度验算

当二、三维的混凝土构件处于多轴应力状态时,有时难以简化为内力进行设计;处于约束状态的混凝土也宜考虑其侧向围箍作用对承载力的影响。上述情况都应考虑进行应力设计的强度验算。混凝土的多轴强度准则是随着近代试验技术和计算机应用而发展起来的,对开发混凝土抗力的潜力具有重要意义。

7.2 二轴应力状态的强度准则

根据试验研究结果以及多轴强度准则,规范提供了二轴应力状态下强度的表格以图形形式表达的强度关系,见图5。可以看出:两轴受拉状态下抗拉强度降低不多;两轴拉-压时近似呈线性关系;而两轴受压时抗压强度提高,最多达到1.2~1.3倍左右。

7.3 三轴应力状态的强度准则

根据试验研究及多轴强度准则,规范提供了三轴应力状态下以相对强度表格及以图形形式表达的强度关系。三轴受拉状态下抗拉强度降低不多;三

轴拉-压时的抗压强度规律类似二轴拉-压(图6);而三轴受压时抗压强度大幅度提高,最多可到3倍(图7)。

7.4 开发约束混凝土的潜力

传统的混凝土强度理论是建立在单轴应力状态上的,而处于应力场中的混凝土实际承受的是多轴应力状态,实际的强度及破坏状态与单轴应力状态大不相同。依托近代试验技术及计算机应用发展起来的混凝土力学,专门研究处于多轴应力状态下混凝土的力学行为。在此基础上提出的多轴强度准则具有很大的实用价值。

例如,根据多轴强度准则的规律,三轴受压状态下的混凝土抗压强度将增大:当侧压为轴压的0.1时,增大到1.8倍;0.2时为3倍。设计规范中的局部承压强度及约束混凝土强度的提高,都是基于上述原理的结果。而在混凝土力学指导下开发约束混凝土的巨大潜力,也将成为今后混凝土结构理论发展及工程实践应用的重要领域。

8 结语

基于对混凝土结构进行准确结构分析的重要性,强调了结构分析的基本假定和计算简图的作用,介绍了基本分析方法以及试验分析等应注意的问题。还介绍了结构分析所需的有关参数、本构关系,以及用于二、三维结构应力设计的混凝土多轴强度准则。本文可供设计人员理解修订规范背景,准确、合理地进行结构内力分析及设计参考。

《建筑结构》编辑部迁址通知

《建筑结构》编辑部将随中国建筑科学研究院(集团)总部于2011年7月底前迁入新址:北京市西城区德胜门外大街36号德胜凯旋大厦A楼4层(邮编100120),编辑部联系电话为:010-68362261,010-57368778,理事会秘书处及经营部联系电话:010-88375434。特此通知。

因办公地址迁移给您带来的不便敬请谅解。

《建筑结构》编辑部