

高性能混凝土的早期收缩开裂及裂缝控制

石永莉 苏芳利 杨丽琴 苗勇
河南省长垣县建筑工程质量监督站(453400)

摘要: 阐述了高性能混凝土的早期收缩及影响收缩的因素,总结了高性能混凝土早期开裂的预防措施。

关键词: 高性能混凝土 自收缩 收缩 裂缝

高性能混凝土(HPC)具有很高的耐久性、良好的工作性与体积稳定性,随着现代混凝土技术的发展,HPC在工程中已经得到应用。HPC以矿物掺合料、高效减水剂和低水胶比改善微观结构,具有许多优良性能,但是混凝土收缩裂缝出现几率增多(可能比普通混凝土更严重),影响建筑物的外观、使用功能,对结构物的耐久性和使用寿命构成严重威胁。据统计,混凝土结构开裂有80%是因变形引起的,而混凝土的体积变形主要表现为收缩。HPC大量推广应用必须解决好其早期易裂的问题。

1 混凝土的早期收缩

1.1 干燥收缩

干燥收缩是指混凝土停止养护后,在不饱和空气中失去内部毛细孔和凝胶孔的吸附水而发生的不可逆收缩。随着环境中相对湿度的降低,水泥浆体的干缩增大^[1]。尤其是混凝土板,干燥只发生在板的一个表面,内部和外部的约束制约着水泥石的收缩;内部约束是由混凝土内的湿度梯度造成的,直到混凝土与外部环境的相对湿度达到平衡。干燥收缩过程中产生不均匀的收缩变形,导致混凝土内部产生拉应力,当其超过混凝土的抗拉强度时便产生开裂^[2]。

1.1.1 干燥收缩的机理

引起干燥收缩主要是失去毛细孔和凝胶孔的吸附水,当失去一部分水后会在毛细孔中形成凹液面,单个毛细孔的毛细孔压力公式为: $P=2\sigma/r$

式中 σ 为表面张力, r 为凹液面的半径,周围环境湿度越低,形成凹液面的半径就越小,毛细孔压力就越大,干燥收缩也就越大。

1.1.2 干燥收缩的影响因素

影响混凝土干燥收缩的因素有混凝土的水灰比和水化程度、水泥的组成和水泥用量、细掺料和外加剂、集料的品种和用量。Beonit Bissonnette 曾试验,在相对湿度为48%~100%的环境中,干缩近似的与环境的相对湿度呈反比,干缩量与胶凝材料用量成正比。Pichett 曾在不使用减水剂的情况下,对水灰比为0.35和0.50的水泥和砂浆大试件进行试验,认为水灰比对混凝土的干燥收缩有较大的影响。而 Beonit Bissonnette 等人研究认为水灰比在0.35~0.50间变化对混凝土

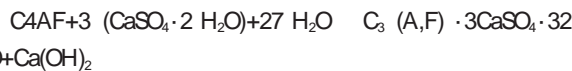
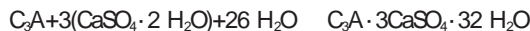
的收缩影响不大,产生这种矛盾观点的原因是由于试验材料和方法的不同造成的^[3]。在混凝土中掺入磨细的矿渣和硅粉能显著降低干燥收缩,混凝土的尺寸对干燥收缩率有较大影响,但对最终的收缩变形影响很小^[4]。

1.2 化学收缩

化学收缩是指混凝土内水泥水化过程中,水化物的绝对体积同水化前水泥和水的绝对体积之和相比有所减少的现象。所有的胶凝材料水化以后都有这种减缩作用,这是由于水化反应前后胶凝材料的平均密度不同造成的。有研究表明,100g水泥与33mL水拌成的水泥浆体,其硬化后的体积收缩总量为7%~9%^[5]。HPC中胶凝材料总量比普通混凝土的多,但其水胶比小,水化程度受到制约,故HPC的化学收缩量比普通混凝土小。

1.2.1 化学收缩的机理

化学收缩与水泥的矿物组成有关,水泥中各矿物在水化反应后都会发生不同程度的收缩。各矿物的水化反应近似以下列各式表示:



C_3S 化学收缩计算如下^[6]:



质量 456.6 108.1 342.5 222.3

密度 3.15 1.0 2.71 2.24

体积 145.0 108.1 126.4 99.2

253.1 225.6

化学收缩 $\frac{(253.1-225.6)}{253.1} \times 100\% = 10.87\%$

其它矿物的化学收缩也可如上计算。硅酸盐水泥中各矿物的化学减缩按大小顺序依次为 $C_3A > C_4AF > C_3S > C_2S$ 。

1.2.2 化学收缩的影响因素

影响HPC的化学收缩的主要因素有:水泥矿物组成、水化时间、骨料的含量和弹性模量、掺合料等。 C_3A 的收缩最大,约为 C_3S 和 C_2S 的3倍,约为 C_4AF 的4.5倍。 C_3A 含量越

大,水泥的收缩越大。采用矿物细掺合料时,水泥的化学收缩和细掺合料的活性有关,例如,掺加的矿渣粉越细,活性越高,化学收缩越大。

1.3 自收缩

混凝土自收缩是指混凝土在不与外界发生水分和温度交换条件下,混凝土初凝后因凝胶材料的继续水化引起自干燥而造成的混凝土宏观体积的减少。它随着混凝土水灰比的降低以及硅灰的掺入而增大。水灰比高时,自收缩现象不是混凝土收缩的主要方面,随着混凝土水灰比的降低,自收缩在混凝土收缩中的权重增大,HPC的水胶比很低,能提供水泥水化的自由水分少,早期强度发展较快,自由水消耗较多。在水分供应不足的情况下,水泥水化不断消耗水分而自干燥产生自生的原始微裂缝,影响混凝土的强度和耐久性。

1.3.1 自收缩的机理

密封的混凝土内部相对湿度随水泥水化的进展而降低,称为自干燥。自干燥造成毛细孔中水分不饱和而产生压力差:

$$P = \frac{2 \cos \theta}{r}$$

式中: P—毛细孔水内外压力差;

—毛细孔水表面张力;

—水和毛细孔壁的接触角;

r—毛细孔水力半径。

压力差 P 为负值,因而引起混凝土的自收缩。

1.3.2 影响自收缩的因素

混凝土自收缩的大小与水灰比、细掺料的活性、水泥细度等因素有关。最终的自收缩值随水灰比的降低而增大,而且水灰比越低,干缩出现的时间越早^[9];水泥的细度越大,早期自收缩越大;矿物掺合料的细度越大,活性就越大,混凝土的自收缩也越大。

1.4 碳化收缩

水泥水化产物中的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 在相对湿度合适的条件下,与空气中的 CO_2 发生反应生成 CaCO_3 , 伴随有体积的收缩称为碳化收缩。 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 碳化的结果使水泥浆体中的碱度下降,继而其他水化物也可发生碳化反应,伴有水分的损失,引起体积收缩。如果混凝土有足够的密实度,碳化就只限于表层,很难向内部进行。在表面层,干燥速率最大,干缩和碳化收缩的叠加受到内部混凝土的约束,可能会引起严重开裂。

混凝土的碳化是伴随着 CO_2 气体向混凝土内部扩散,溶解于混凝土孔隙内的水,再与各水化产物发生碳化反应的物理化学过程。 CO_2 气体的扩散速度与混凝土密实性、 CO_2 气体的浓度、环境湿度、试件的含水率等因素有关,碳化反应受混凝土内孔溶液组成、水化产物的形态等因素的影响^[9]。这些因素可归结为与混凝土自身相关的内部因素和与环境相关的外部因素。

1.5 塑性收缩和温度收缩

塑性收缩是指混凝土硬化前由于表面的水分蒸发速度大于混凝土内部水分向外迁移的速度而发生的收缩,多见于道路、地坪、楼板等大面积混凝土工程,遇夏季有风的情况下

施工最为普遍,水灰比过大,水泥用量大,外掺剂保水性差,粗骨料少,用水量大,振捣不良,环境气温高,表面失水大等都能导致塑性收缩表面开裂。影响塑性收缩开裂的外部因素是风速、环境温度、凝结时间和相对湿度等,内部因素是水灰比、辅助胶凝材料、浆骨比、混凝土的温度。

混凝土的温度收缩又称冷缩,是指混凝土内部由于水泥水化温度升高,最后又冷却到环境温度时产生的收缩。温度收缩的大小与混凝土的热膨胀系数、混凝土内部最高温度和降温速率等因素有关。高强混凝土早期的水化速度快,水化放热量大,温降收缩应力大,与普通混凝土相比更容易发生温度收缩开裂。

2 HPC 的早期开裂

与普通混凝土相比,HPC 的塑性收缩和自收缩最为突出。HPC 由于水胶比低、自由水分少、成型后泌水少、表面水分蒸发快,所以比普通混凝土更易产生塑性裂缝。在低水胶比与掺入较多活性细矿物掺和料的 HPC 中产生的自收缩,会引起混凝土内部结构损伤产生裂缝。研究表明^[10],龄期 2 个月,水胶比为 0.4 的 HPC 自收缩率为 1×10^{-4} ;水胶比为 0.3 的 HPC 自收缩率为 2×10^{-4} ;水胶比为 0.17 的 HPC 自收缩率为 8×10^{-4} 。HPC 的总收缩中干缩和自收缩几乎相等,水胶比越低,自收缩所占比例越大。根据宫泽伸君等的实验结果,水灰比为 0.4 时自收缩占总收缩的 40%;水灰比为 0.3 时自收缩占 50%;水灰比为 0.17 时自收缩占 100%。因此 HPC 比普通混凝土在早期更容易发生塑性收缩裂缝和自收缩裂缝。

3 HPC 早期开裂预防和处理

3.1 塑性收缩裂缝的预防和处理

塑性收缩裂缝特点是:裂缝不规则的出现于混凝土构件的表层,通常不连贯,中间宽,两边渐细,且很少发展至边缘,严重时,裂缝也能相互连通。减少塑性收缩裂缝应注重混凝土的早期养护,防止表面水分蒸发过快;调整混凝土配合比,特别是掺引气剂,有助于减少收缩裂缝^[11]。一旦发生裂缝应及时修整抹面,通常可以涂刷水泥浆或低粘度聚合物堵封裂缝,防止水分侵入。

3.2 自收缩裂缝的预防和处理

(1) 利用轻质多孔集料和多孔活性掺合料的“自养护”作用,可以抑制 HPC 的自收缩。为了不损失混凝土的强度可用浸水轻骨料替代部分砂石骨料。

(2) 利用粉煤灰的自收缩“能量滞后释放效应”,粉煤灰掺量在 10%~30% 范围内,不仅不损失后期强度,而且还可以有效地抑制自收缩。

(3) 采用膨胀过程耗水量少的石灰系列膨胀剂,应将膨胀剂磨细至比表面达 $450\text{m}^2/\text{kg}$ ^[12],可以抑制 HPC 的自收缩。

(4) 理论上有机收缩低减剂、纤维(钢纤维、聚合物纤维)可抑制 HPC 的自收缩。但是有关纤维品种、形状、掺量对自收缩的影响还有待于进一步研究。

(5) 水泥矿物成分的水化速率、水化程度与水化结合水含量是影响自收缩大小的关键,水化速率最快的 C_3A 影响最

浅谈土工格栅在公路地基处理中的作用

王 华 湖南省郴州公路桥梁建设有限责任公司(423000)

摘 要:介绍公路地基处理中土工格栅加固的基本原理、计算方法、稳定性分析方法和影响加筋效果的因素。

关键词:土工格栅 稳定性分析 土工合成材料

土工格栅在公路上通常用于软土地基处理、不均匀沉降等常见病害的处理。在软土地基上修建公路,涉及到地基土的稳定和变形两大难题。在工程中要解决这两大问题,既要考虑满足工程要求,又要考虑经济合理,土工格栅的应用基本满足了工程要求。本文介绍土工格栅加固的基本原理、计算方法、稳定性分析方法和影响加筋效果的因素。

1 土工格栅加固的基本原理

公路地基设置土工格栅加筋后构成了土—筋材复合体,受到外力作用时,引起筋材与其周围土之间的相对位移,但材料的界面摩擦阻力(和咬合力)限制了土的侧向位移,等效给土体加了侧压力增量,提高土的强度和承载力。筋材-土复合体在荷载作用下发生变形时,通过两者界面引起的应力传递方式有两种,依靠表面摩擦和依靠横杆的被动抗力。

(1) 依靠表面摩擦的应力传递

在土体中筋材表面(上下面)所受的摩擦阻力 F_f 为:

$$F_f = 2bl \sqrt{\sigma} \tan \alpha \quad (1)$$

大,其结合水含量也最高。其次是 C_4AF ,影响最小的是 C_3S 与 C_2S 。不同水泥类型对自收缩的影响,实质上是不同矿物成份对其的影响^[13]。

(6) 注重早期养护,浇注 HPC 时建议采用可带模供水养护的内衬憎水塑料绒钢模板或透水模板。模板内衬的多孔材料可吸收大量水分,同时具有憎水性而极易释放出水分,供给混凝土养护。

参考文献

- [1] Mindess S, Young JF. 方秋清等译. 混凝土[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1989.
- [2] F. Saucier, M. Pigeon. Durability of new to old concrete bonding [J]. In: Proceedings of the ACI International Conference on Evaluation and Rehabilitation of Concrete Structures and Innovations in Design, Hong- Kong, 1991: 689 – 705.
- [3] Benoît Bissonnette, Pascale Pierre, Michel Pigeon. Influence of key parameters on drying shrinkage of cementitious materials [J]. Cement and Concrete Research 29 (1999) 1655 – 1662.
- [4] Li Janyong, Yao Yan. A study on creep and drying shrinkage of high performance concrete [J]. Cement and Concrete

若为单界面

$$\text{则: } F_f = bl \sqrt{\sigma} \tan \alpha \quad (2)$$

式中: b, l 为筋材的宽度与长度; $\sqrt{\sigma}$ 为作用于筋材上的法向应力; α 为土与筋材的摩擦角(通过直剪试验或抗拔拉试验求得)^[1]。

一般情况下, α 是土的内摩擦角的倍 0.6~0.8, 即 $\alpha = 0.6 \sim 0.8 \alpha_0$ 。从上式中可看出, $\sqrt{\sigma}, \alpha$ 愈大, 能传递的 F_f 愈大, 但 F_f 最大值为筋材的抗拉强度; 筋材表面愈粗糙, 周围的土颗粒愈粗和带有棱角, 则 α 愈高。 F_f 还取决于筋材表面及周围土的性质。

(2) 依靠筋材横杆被动土拉力的应力传递

被动抗力一般产生在格栅内侧粗肋内。其中被动抗力:

$$F_p = mtb n \quad (3)$$

式中: t, b 为格栅厚度和孔洞的有效宽度; m 为单位宽度内格栅的横杆数目; n 为单位土被动抗力, 其中: $n = N_b \cdot \sqrt{\sigma}$ 。^[1]

土工格栅的承载机理假定土与土工材料合成一体, 在

Research 31 (2001) 1203 – 1206.

[5] 冯乃谦, 丁建彤等. HPC 耐久性[M]. 北京: 中国科学出版社, 1997.

[6] 游宝坤, 建筑结构裂缝控制新技术[M], 北京: 中国建材工业出版社, 1998.

[7] Ei - ichi Tazawa, Shingo Miyazawa and Tetsuro Kasa. Chemical shrinkage and autogenous shrinkage of hydrating cement paste[J]. Cement and Concrete Research 25 (1995) 288 – 292.

[8] Ei - ichi Tazawa and Shingo Miyazawa. Influence of cement and admixture on autogenous shrinkage of cement paste[J]. Cement and Concrete Research 25 (1995) 281 – 287

[9] 杨静. 混凝土的碳化机理及其影响因素[J]. 混凝土, 1995.

[10] 吴中伟, 廉慧珍. HPC[M]. 中国铁道出版社, 1999年.

[11] 谭晓燕. 混凝土裂缝的预防和处理[J]. 沙洲职业工学院学报, 2001.

[12] 贾立群. 普通混凝土膨胀剂对 HPC 早期收缩的影响[J]. 山东建筑工程学院学报, 2001.

[13] 安明喆. HPC 自收缩的抑制措施[J]. 混凝土, 2001.