

定向型钢纤维增强混凝土可能性探讨

陈 宁

(武汉理工大学 武汉 430063)

摘 要:对预应力、定向型钢纤维砼受力构件新型施工方法的构想进行初步论证。并期待更进一步的试验验证;这一创新构想的实现,会在构件的延性、抗裂性方面有更大改善,结构构件中钢纤维用量会有大幅度降低,促使节省材料、降低造价,以利钢纤维增强砼结构的广泛应用。

关键词:钢纤维 砼结构 电磁场 定向

1 前言

钢纤维增强混凝土,由于具有较好的抗拉、耐磨、抗冲击等性能,已广泛用于工业厂房楼板、高层建筑节点区、高速公路路面、机场跑道、军事抗爆工程、喷射混凝土隧洞衬砌以及铁路轨枕等。目前我国已有熔抽法、切割法、报废的钢丝绳去污拆断法,浇注钢纤维混凝土路面或框架结构节点及用于钢筋混凝土桩的桩头和桩尖部位。钢纤维掺入高强混凝土可改善其延性或韧性,以利军事防护。如船的底板掺入钢丝网水泥的薄壳结构。可增强抗货件抛放的冲击能力,掺入预应力混凝土构件,可改善延性、滞回特性以及抗剪能力等。

通过对电磁效应探讨使一般砼结构中乱向分布的钢纤维,根据受力需要定向排列的可行性,以更大程度的发挥这一结构材料的优势。

2 砼受弯构件设置定向型钢纤维的初步设想

由于钢纤维是乱向型分布,对于承受温度、收缩应力和改善构件面层耐磨性及抗冲击性能有一定的益处;然而对于承受荷载作用方面,却存在相当大的随机性,甚至由于其方向的任一性。使一部分对后者几乎不起作用或其作用部分抵消,造成了材料的浪费,如图1所示,如果取集中荷载作用下受弯构件纯弯段、下边缘一微单元体加以讨论,假定有三根截面面积为 A_f 的钢纤维随机穿过该单元体,其与水平向交角为 α_i ,以开裂前应力较小时($\sigma < 0.3 f_c$)微单元体上受力为例,对所设想的定向型分布钢纤维与非定向型分布钢纤维进行对比:

(1) 砼近似按弹性变形阶段取其受拉应力平均分布为 σ_{ct} ,单元体截面面积 A_c ,则合力 $F_{ct} = A_c \cdot \sigma_{ct}$ 见图1(c)。

(2) 乱向型钢纤维在水平方向分力之和如图1(d),假定三根钢纤维均穿过单元体中心,角度分别为 α_1 、 α_2 、 α_3 ,每根钢纤维的应力分别为 σ_{f1} 、 σ_{f2} 、 σ_{f3} ,则钢纤维所受合力为:

$$F_{fv} = A_f \cdot \sigma_{f1} \cos \alpha_1 + A_f \cdot \sigma_{f2} \cos \alpha_2 + A_f \cdot \sigma_{f3} \cos \alpha_3 \\ = A_f \sum_{i=1}^3 \sigma_{fi} \cos \alpha_i \quad (1)$$

若 $\alpha_i = 0^\circ$, $F_{fv} = A_f \sigma_{f1} + A_f \sigma_{f2} + A_f \sigma_{f3}$

此时,若设 $\sigma_{f1} = \sigma_{f2} = \sigma_{f3} = \sigma_f$,则

$$F_{fv} = 3A_f \sigma_f$$

若 $\alpha_i = \pm 90^\circ$,则 $F_{fv} = 0$ 。

故钢纤维所受力在 $0 \sim 3A_f \sigma_f$ 之间。

(3) 定向型分布钢纤维所受拉力为三者之和。见图1(e),假定三纤维与梁纵向平行(即 $\alpha_i = \pm 0^\circ$)穿过单元体中心,并作用于单元体上,则三根钢纤维所受应力分别为 σ_{f4} 、 σ_{f5} 、 σ_{f6} ,其合力为

$$F_{fu} = A_f \sigma_{f4} + A_f \sigma_{f5} + A_f \sigma_{f6}$$

即为:

$$F_{fu} = A_f \sum_{i=4}^6 \sigma_{fi} \quad (2)$$

设在外荷载作用下,该单元体所受拉应力均为 σ_1 ,水平拉力同为 $F = A_c \sigma_1$,分别由平衡条件可得:乱向型分布的钢纤维砼单元体上 $F = F_{ct} + F_{fv}$

即为:

$$A_c \sigma_1 = A_c \sigma_c + A_f \sum_{i=1}^3 \sigma_{fi} \cos \alpha_i \quad (3)$$

定向型分布钢纤维砼单元体上 $F = F_{ct} + F_{fu}$

即为:

$$A_e \sigma_1 = A_e \sigma_c + A_f \sum_{i=1}^6 \sigma_i \quad (4)$$

当单位体上受力相同时, 则

$$A_e \sigma_c + A_f \sum_{i=1}^3 \sigma_i \cos \alpha_i = A_e \sigma_c + A_f \sum_{i=1}^6 \sigma_i$$

化简则

$$\lambda_f = \frac{\sum_{i=1}^3 \sigma_i \cos \alpha_i}{\sum_{i=1}^3 \sigma_i} = \cos \alpha_i \quad (5)$$

式中: λ_f 为定向型、乱向型单元体钢纤维拉应力之比。

当 $\alpha_i \pm 0^\circ$, $\lambda_f = 1$; 当 $\alpha_i \pm 90^\circ$, $\lambda_f = 0$;

故 $\cos \alpha_i = 1 \sim 0$, 在 1 至 0 之间变化, 由于乱向型分布的钢纤维同为水平分布或垂直分布的机率很小, 故一般可舍去 $\lambda_f = 0$, $\lambda_f = 1$ 的情况. 则 $1 > \lambda_f > 0$ 的范围内, 亦即:

$$0 < \sum_{i=1}^6 \sigma_i < \sum_{i=1}^3 \sigma_i \quad (6)$$

式 (6) 中可说明定性钢型纤维中的应力低于乱向型钢纤维在砼中的应力值, 在强度均充分发挥时, 前者作用明显优于后者, 这一点尚可采用实验方法予以进一步验证。

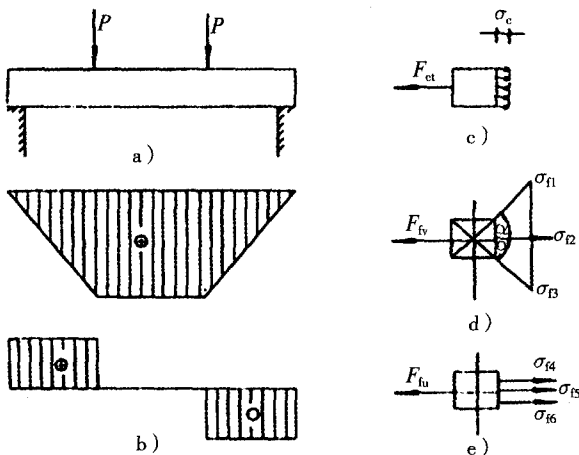


图1 受弯构件纯弯段受拉区下边缘某单元体受力分析

3 定向型钢纤维的可行性探讨

3.1 自然定向型

众所周知, 在地球的天然磁场作用下, 会使磁针发生定向运动如图2 (a); 在一块下置磁铁

的玻璃板上, 撒上铁粉. 微振玻板, 铁粉将沿磁力线有序排列如图2 (b); 故可以设想在一受拉砼构件制作时, 将其置于地球天然磁场中, 其内的钢纤维在振捣中, 若能克服拌合料粘滞阻力作用, 必然有沿磁力线方向排列的趋势, 如图2 (c) 将构件拟受拉方向按南北方向 (S、N 极向) 放置, 钢纤维会在振动过程中出现有序排列的趋势。其理想条件是:

(1) 砼浇筑、振捣过程足够长, 使定向运动得以基本完成;

(2) 砼应具有一定的流动性, 且初凝时间在基本完成定向运动之后才发生;

(3) 钢纤维直径、长度及水泥砂浆的稠度, 应足以使钢纤维实现定向运动成为可能;

(4) 钢纤维的直径、数量及长度应使其在构件中具有有良好的抗裂性能、抗冲击性能及延性等。

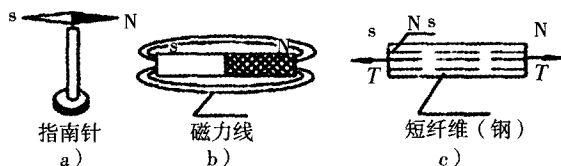


图2 钢纤维沿地磁场排列示意图

3.2 强迫定向型

随着我国水力、风力、潮汐、地热发电及核能的开发. 在供电高峰或用电低谷电能短期供过于求的矛盾, 日趋瞩目. 由于建筑市场广阔有望利用这部分剩余电能开发新的用户市场以解决这一矛盾, 使得以上地磁场强度不足以实现或大部实现的钢纤维的定向运动意图, 以人造电磁场的方式得以实现。

3.2.1 电磁铁外磁场型

通过电磁铁按需要方向设置 (如图3拟受拉构件), 可使钢纤维沿拉力方向有序排列; 且构件在振动台上制作. 振动时间应使定向运动基本完成; 若构件过长, 可分段制作, 由预应力筋将其连为整体。

3.2.2 磁力振捣棒的设置

根据结构构件不同的受力性质、部位及对其钢纤维方向要求不一, 另行设计带有电磁铁的振捣棒如图4所示, 其组成可为:

(1) 振捣棒; (2) 电磁铁 (内设铁芯、线

圈以及密封外壳)。由天然磁铁定向在一无磁铁棒上反复同向移动,会使其内分子有序排列,而具磁性。可知,振捣棒从某受弯构件下部受拉区有序通过,电磁效应亦会使其中钢纤维沿磁力线方向大致定向排布;与前者相比,其不足处是有可能使小部分钢纤维被电磁铁吸住而影响操作的顺利进行。

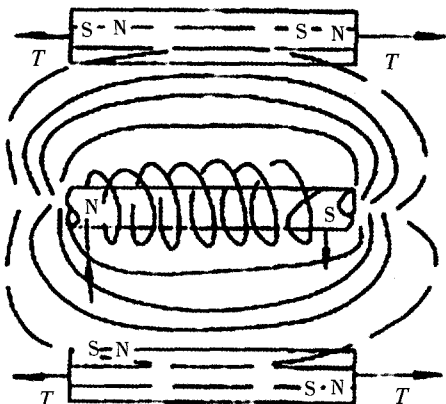


图3 拟受拉构件在磁场内部钢纤维定位排列图示

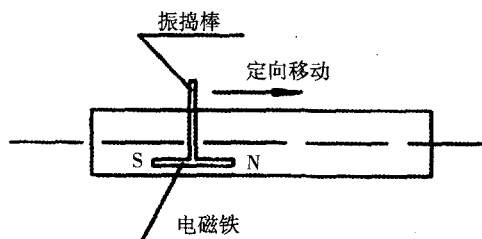


图4 某带电磁铁振捣棒在一构件制作中定向移动

若上部处于受压区,对钢纤维而言最好垂直与水平方向排列,则可以在受拉区接近初凝时,通过换向振荡浇筑于上部的砼或不予处理。上部即使沿轴向排列问题也不大,因钢纤维仍可承受表面纵向拉应力(由温度、收缩变形等所致);尤其在交变荷载作用下,会转变为受拉区;另外,即使在受压区沿正压力方向布置,也会有利于加强砼截面抗压强度(亦可同前取单元体予以推导,此略),提高其延性,间接减少砼截面及构件自重,则应在意料之中。定向型钢纤维亦可与乱向型钢纤维结合使用,以加强某些拉应力大的部位,如图1纯弯段下边缘、弯剪段主拉应力大的部位等。

3.3 预应力强迫定向型初探

(1) 定向型蒸气养护、振捣、电热法

在这一过程中,采用线膨胀系数小的砼。其拌合料中的钢纤维定向排布,会因受热而变形,

达到初凝后,由已凝于砼中伸长的钢纤维在其中随外界降温,有弹性回缩的趋势,从而在砼内部形成微预压力,增强了定向钢纤维的作用。

(2) 排布于一般预应力构件中的定向型钢纤维,由于在预压力作用下,将处于受压状况,若承受拉力其抗裂效应势必更为显著。

4 初步结论

(1) 定向性钢纤维的作用远大于乱向性钢纤维在砼中的作用。

(2) 定向性钢纤维砼的设想具有一定的可行性,同于交通运输的悬浮列车,充分利用了地磁场或电磁场的效应。

(3) 这一设想的实施,可以预料在钢纤维增强砼广为认知并得以应用的基础上,若引入定向型概念,使其具有较普通钢纤维增强砼更加良好的力学性能(尤其是抗裂性、延性方面),因材料的节省是可观的,故有利于大范围普遍推广钢纤维增强砼结构。

(4) 对于实施、验证这一构想尚需开展一定的试验研究,提出切实可行的方案和规程,这也应是不难做到的。

综上所述,已为土木工程界广泛认知的钢纤维增强砼结构材料具有良好的工作性能,然而因其掺置及造价,使之应用受到一定限制(尤其在量大、面广的工程中)。如交通工程中飞机场跑道、高速公路路面尚未全面推广;所设想布置合理的定向型钢纤维增强砼结构,若在飞机起、降跑道或道路中,沿起、降或行车方向布置,可适应移动荷载在路面或跑道中所引起的拉、压应力的变化,也能更好发挥其固有的优点。根据本文初步推断钢纤维消耗量较常规钢纤维砼结构用量低,其推广和研究具有一定可行性,且对于增加耐久性、抗裂性、延性、抗冲击性能等势必带来意料之中的良好效果。可望在不远的将来,这一研究方向会引起学者们的重视,并予以大力开发。

参考文献

- [1] 陈宁. 现代预应力建筑结构(教学录像). 武汉: 武汉大学出版社, 1996
- [2] 程守洙. 江之水等. 普通物理学: 下册. 北京: 人民教育出版社, 1964
- [3] 赵国藩. 钢筋砼结构的现状及未来. 结构工程科学的未来. 北京: 清华大学出版社, 1989