

结合可再生的高密度聚乙烯 (HDPE) 混凝土的工程性能: 系统评价

兰吉斯·阿贝辛格, 普里扬·古纳塞卡拉, 查明达·阮, 查米拉·迪萨纳亚克, 凯特班达拉
隶属机构: 澳大利亚工程学院

摘要: 在全球范围内, 每年塑料处理和自然资源快速枯竭的趋势中, 将再生塑料废料纳入混凝土制造是最具生态和经济可持续性的解决方案之一。本文全面回顾了以骨料或纤维或胶凝材料形式掺入混凝土中的再生高密度聚乙烯 (HDPE) 工程性能的文献。HDPE 细骨料混凝土在 HDPE-10 下观察到, 最佳 28 天抗压和抗弯强度, 在 HDPE-5 下观察到劈裂抗拉强度, 而对于 HDPE 粗骨料混凝土, 在 HDPE 掺入量的 10% 至 15% 范围内和在 HDPE-15。同样, HDPE 纤维增强混凝土的 28 天弯曲和劈裂抗拉强度分别提高到 HDPE-3 时 4.9MPa 和 HDPE-3.5 时 4.4MPa 的最佳值, 并且高于标准/普通混凝土基体 (HDPE-0) 在所有 HDPE 包含水平。HDPE 的疏水性、光滑的表面纹理和非反应性导致混凝土基体与 HDPE 之间的结合较弱, 从而随着 HDPE 的增加而降低 HDPE 混凝土的力学和耐久性性能。总体而言, 这是第一次介绍和分析再生 HDPE 作为可持续建筑材料的机械和耐久性性能的现状, 因此, 推动了 HDPE 混凝土更好性能和成功应用的研究。

关键词: 可持续性; 再生塑料; 高密度聚乙烯; 混凝土; 建材

Engineering Performance of Concrete Incorporated with Recycled High-Density Polyethylene (HDPE): A Systematic Review

Ranjith Abeysinghe, Priyan Gunasekara, Chaminda Nguyen, Chamila Dissanayake, Kate Bandara
Affiliation: School of Engineering, Australia

Abstract: Incorporating recycled plastic waste in concrete manufacturing is one of the most ecologically and economically sustainable solutions for the rapid trends of annual plastic disposal and natural resource depletion worldwide. This paper comprehensively reviews the literature on engineering performance of recycled high-density polyethylene (HDPE) incorporated in concrete in the forms of aggregates or fiber or cementitious material. Optimum 28-days' compressive and flexural strength of HDPE fine aggregate concrete is observed at HDPE-10 and splitting tensile strength at HDPE-5 whereas for HDPE coarse aggregate concrete, within the range of 10% to 15% of HDPE incorporation and at HDPE-15, respectively. Similarly, 28-days' flexural and splitting tensile strength of HDPE fiber reinforced concrete is increased to an optimum of 4.9 MPa at HDPE-3 and 4.4 MPa at HDPE-3.5, respectively, and higher than the standard/plain concrete matrix (HDPE-0) in all HDPE inclusion levels. Hydrophobicity, smooth surface texture and non-reactivity of HDPE has resulted in weaker bonds between concrete matrix and HDPE and thereby reducing both mechanical and durability performances of HDPE concrete with the increase of HDPE. Overall, this is the first ever review to present and analyze the current state of the mechanical and durability performance of recycled HDPE as a sustainable construction material, hence, advancing the research into better performance and successful applications of HDPE concrete.

Keywords: Sustainability; recycled plastic; high-density polyethylene (HDPE); concrete; construction material

引言:

全球每年产生约 20.1 亿吨城市固体废物 (MSW), 其中三分之一的城市固体废物未经环保管理就被公开倾倒。大约 40% 的 MSW 直接排放到垃圾填埋场, 其中 19% 通过回收或堆肥回收, 另外 11% 被焚烧。随着城市化的快速发展, 预计到 2050 年将产生 34 亿吨 MSW。产生的 MSW 中约有 12% 是塑料, 即约 2414 万吨。塑料工业始于 1900 年代初期的美国。1950 年至 2015 年期间, 全球生产了 83 亿吨塑料, 其中 63 亿吨作为废物排放。只有 9% 的塑料垃圾被回收利用, 12% 被焚烧, 其中 79% 的大部分被排放到垃圾填埋场或公开倾倒。中国在塑料制造业中名列前茅, 其次是欧洲, 分别占 30% 和 19%。此外, 中国的塑料消费量甚至位居榜首, 其次是西欧, 分别约为 20% 和 18%。塑料是大量排放到环境中的废物之一, 在过去几十年中不断对野生动物、它们的栖息地和人类产生不利影响。这强调现在是重新思考塑料回收和再利用必要性的时候了。

今天, 可以找到 30 多种原生塑料和数千种不同的辅助塑料, 它们是通过使用不同组合和比例的原生塑料制成的。塑料也可以根据许多方面进行分类。不同的塑料根据其成分和化学结构具有不同的特性, 例如机械性能、耐久性和不同的应用。世界上最常制造和应用的塑料是聚乙烯 (PE)、聚丙烯 (PP)、聚氯乙烯 (PVC)、聚对苯二甲酸乙二醇酯 (PET) 和聚苯乙烯 (PS), 占全球塑料消费量的 69%。在全球塑料产量中, 聚丙烯 (PP) 和低密度聚乙烯 (LDPE) 分别占 17% 和 16%, 其次是高密度聚乙烯 (HDPE) (13%) 和聚邻苯二甲酰胺 (PP&A) (13%)。此外, 塑料制品制造中使用的添加剂在全球塑料生产中也占有相当大的份额 (6%)。此外, 在高层建筑中使用可燃覆层显着增加了火灾通过外立面蔓延的风险。拆除聚乙烯覆层的紧急工作对于确保居住者和建筑物的安全是必要的, 但也导致大量聚乙烯被送往垃圾填埋场。

混凝土被列为全球建筑业使用的最顶级的人造资源。全球对混凝土生产的骨料需求约为每年 45 亿吨, 这警示了寻找混凝土生产增长趋势所需的替代骨料来源的必要性。由于其经济和生态优势, 将再生塑料废料纳入混凝土生产是一种处理塑料废料和骨料稀缺的可持续方法。混凝土复合材料以不同比例的骨料、粘合剂、填料或纤维增强材料取代各种类型的再生塑料, 从而优化混凝土性能。PP、PET 和 HDPE 是建筑行业中使用最多的塑料。然而, 与 PP 和 PET 相比, HDPE 与混凝土一起使用的应用和研究非常少。HDPE 是一种热塑性合成聚合物, 属于 PE 大塑料组。PE 聚合物由永不持久的烃链组成,

其中每个碳分子与另外两个碳分子和两个氢分子结合。HDPE 在其聚合物链中具有最少的支链, 这导致在结晶过程中将线性分子链定期堆积在一起。结果, 由于聚合物链的规则堆积, 半结晶 HDPE 聚合物变得更加致密、刚性和延展性更高, 具有在 20 至 45 MPa 之间的相对强的弯曲强度。HDPE 还具有 950 至 970 kg/m³ 之间的低密度、更好的柔韧性和 20 至 32 MPa 之间的高拉伸强度。此外, HDPE 是一种化学惰性材料, 其熔点为 130°C, 而点火温度为 487°C。

一、HDPE 细骨料混凝土的耐久性特性

当再生 HDPE 含量从 0% 增加到 15% 时, HDPE 细骨料混凝土的吸水率从 5% 增加到 10.4%。同样, 随着 HDPE 从 0% 增加到 15%, 初始吸附率 (IRA) 从 0.5 kg/m²/min 到 6.0 kg/m²/min 增加了 5.5 kg/m²/min。可以观察到, 随着混凝土中 HDPE 含量的增加, 氯离子的渗透率降低, 在 2000-4000 库仑范围内。例如, 当混凝土中的 HDPE 从 0% 增加到 15% 时, 氯离子渗透性从 4250 库仑降低到 2700 库仑, 即降低了 36.5%。

养护 28 天后, 对 HDPE 细骨料混凝土进行超声波脉冲速度 (UPV) 测试, 观察到速度从 3880 m/s 下降到 2720 m/s, HDPE 从 0% 增加到 60%, 间隔 15%。此外, 在 HDPE-0、HDPE-15、HDPE-30、HDPE-45 和 HDPE-60 的固化期分别为 28 至 90 天。

当 HDPE 在 7 天从 0% 增加到 60% 时, 热导率从 2 W/m·K 下降到 1.14 W/m·K。在 14、28、90 和 365 天的热导率变化中观察到类似读数, 分别为 0.8 W/m·K、0.81 W/m·K、0.76 W/m·K 和 0.69 W/m·K, 分别随着混凝土中 HDPE 百分比的增加而增加。还观察到, 当 HDPE 以 15% 的间隔从 0% 添加到 60% 时, 热导率在 7 到 90 天之间下降。HDPE-0、HDPE-15、HDPE-30、HDPE-45 和 HDPE-60 的降幅分别为 11%、5.2%、6.7%、3.8% 和 10.5%。然而, 在 90 天后, 标准和 HDPE 细骨料混凝土均显示出稳定的导热性, 因为 HDPE-0、HDPE 在 90 至 365 天之间导热系数的下降幅度分别为 2.8%、3%、0%、4% 和 1.9% -15、HDPE-30、HDPE-45 和 HDPE-60 混凝土。

二、HDPE 粗骨料的耐久性特性

HDPE 粗骨料混凝土的孔隙率和渗透性随着 HDPE 含量的增加而增加。HDPE-0 标准混凝土的孔隙率为 22.67, 当 HDPE 添加到 30% 时, 孔隙率增加到 36.21。透水混凝土的典型渗透率值范围为 0.135 至 1.219 cm/s, 所有 HDPE 粗骨料混凝土的渗透率均高于规定范围。当 HDPE 以 10% 的间隔从 0% 增加到 30% 时, 1 2 00 HDPE 粗骨料混凝土的渗透性增加了 5.28 cm/s。同样, 当 3 4

00 HDPE 粗骨料在相同范围内增加时, 渗透率增加了 4.03 cm/s。可以看出, 本研究的 HDPE 粗骨料混凝土的渗透率已超过行业标准, 在 0.135467 至 1.2192 cm/s 之间变化。此外, HDPE 粗骨料混凝土的孔隙率分别增加了 65% 和 59.7%, 其中 1 2 00 和 3 4 00 骨料尺寸的 HDPE 分别从 0% 增加到 30%。对 HDPE 粗骨料混凝土的吸附性进行的广泛研究表明, 随着 HDPE 从 0% 增加到 32%, 吸附性下降了 45.4%。

当 HDPE 从 0% 增加到 20% 时, HDPE 粗骨料混凝土的吸水率提高了 34.7%。在另一个实验中, 随着 HDPE 含量增加到 8%, 观察到类似的增益, 即 35.5% 的吸水率。然而, Philomina 和 D'Mello 观察到, 当 HDPE 的添加量从 0% 增加到 32% 时, HDPE 粗骨料混凝土的吸水率下降了 6.13% (从 4.4% 到 4.13%)。

在直接 UPV 测试中, 当 HDPE 添加量从 0% 增加到 16% 时, HDPE 粗骨料混凝土的脉冲速度从 4200 m/s 增加到 4650 m/s。在 HDPE-16 达到最大速度 4650 m/s 后, 随着 HDPE 从 16% 增加到 32%, 记录到了 560 m/s 的下降。同一实验对 HDPE 粗骨料混凝土进行了间接 UPV 测试。最初, 当 HDPE 从 0% 增加到 8% 时, 速度增加了 560 m/s。然后, 观察到在 8% 到 16% HDPE 添加期间速度下降 830 m/s, 随后随着 HDPE 从 16% 增加到 24%, 速度增加 1030 m/s, 最后下降 1860 m/s s, 当 HDPE 从 24% 添加到 32% 时。同一项研究进行了回弹锤试验, 得到了 56 天抗压强度下的回弹值。56 天回弹值在 HDPE 从 0% 增加到 8% 时从 40 增加到 42, 然后随着 HDPE 从 8% 增加到 32%, 从 42 下降到 36。通过回弹锤试验和破坏性试验获得的抗压强度表明, 当 HDPE 从 0% 增加到 8% 时增加了 2.1 MPa 和 1.71 MPa, 而当 HDPE 从 8% 增加到 32% 时, 则分别下降了 6.32 MPa 和 5.47 MPa。

在考虑硫酸盐侵蚀试验时, 除了标准混凝土基体 (HDPE-0) 外, 用 Na₂SO₄ 浸泡时, HDPE 粗骨料混凝土的抗压强度 (随着 HDPE 从 0% 增加到 32%) 增加。浸泡在 Na₂SO₄ 中后, 标准混凝土基体 (HDPE-0) 的抗压强度下降了 1.48 MPa。HDPE-8、HDPE-16、HDPE-24 和 HDPE-32 混凝土的抗压强度分别提高了 0.33 MPa、0.51 MPa、0.58 MPa 和 1.63 MPa。由于 HDPE 粗骨料混凝土中的硫酸盐侵蚀试验, 随着 HDPE 从 0% 增加到 32%, 这进一步显示了 6.25% 的重量损失。

通过比较将 HDPE 粗骨料混凝土混合物在水和盐酸 (HCl) 中固化 28 天后获得的抗压强度值进行酸侵蚀试验。当 HDPE 以 8% 的间隔从 0% 增加到 32% 时, 在 HCl 酸和水中浸泡后抗压强度分别降低了 12.21 MPa 和

12.45 MPa。比较每种 HDPE 粗骨料混凝土基体的抗压强度下降: HDPE-0、HDPE-8、HDPE-16、HDPE-24 和 HDPE-32 由于浸泡在 HCl 酸中记录为 2.7%、5.0%、4.1%、3.31% 和 2.97%。在 HDPE-0 混凝土基体中记录到最小的抗压强度下降, 然而, 可以观察到随着 HDPE 的增加, 抗压强度下降显著降低。同一个实验观察到重量损失百分比增加了 54.5%, HDPE 从 0% 增加到 32%。根据 Kodua 的说法, 当混凝土混合料浸泡在硝酸 (HNO₃) 酸溶液中时, 随着 HDPE 从 0% 增加到 8%, HDPE 粗骨料混凝土的抗压强度降低了 53.9%。在浸入 HNO₃ 后, 当 HDPE 从 0% 增加到 8% 时, 还观察到重量损失增加了 34.1%。因此, 酸对 HDPE 粗骨料混凝土的影响非常小, 可以承受混凝土内的化学反应。

三、HDPE 纤维增强混凝土的耐久性特性

考虑 45 天后的透水性, 发现当直径为 0.4 mm 的 HDPE 纤维从 0% 加入到 1.25% 时, HDPE 纤维增强混凝土的透水高度从 43 mm 降低到 26 mm。同样, 直径为 0.25 毫米的 HDPE 纤维在相似的 HDPE 百分比下将水渗透高度从 43 毫米降低到 28 毫米。与 HDPE-0 标准混凝土相比, HDPE 纤维增强混凝土有助于将吸水量从 35% 减少到 80%, HDPE 纤维从 0.40% 增加到 1.25%。Poonyakan 等人观察到, 当 HDPE 从 0% 添加到 30% 时, HDPE 纤维增强混凝土的孔隙率增加了 45%。因此, 已经确定回收的 HDPE 纤维极大地提高了混凝土的耐久性。

已经观察到, 与标准混凝土相比, HDPE 纤维增强混凝土的裂缝总数和裂缝宽度有所减少。当 HDPE 纤维的添加量从 0% 增加到 1.25% 时, 0.25 mm HDPE 纤维混凝土的平均裂缝宽度和最大裂缝宽度分别减少了 83.63% 和 81.8%。同样, 当 HDPE 纤维的添加量从 0% 增加到 1.25% 时, 0.4 mm HDPE 纤维增强混凝土的平均裂缝宽度和最大裂缝宽度分别减少了 76.4% 和 77.3%。与标准混凝土基体 (HDPE-0)。

四、讨论

骨料的形状、尺寸和表面纹理会影响混凝土的可加工性以及骨料与水泥/粘合剂基体之间的结合, 进而影响混凝土的力学性能。随着 HDPE 百分比的增加, HDPE 粗骨料混凝土的坍落度在 0 mm 和 25 mm 之间变化。这是因为混凝土基体中的低可加工性是由于一些 HDPE 颗粒是有角的, 而其余颗粒具有不均匀的形状。随着 HDPE 细骨料和粗骨料的增加, 这些不同且不均匀形状的 HDPE 颗粒明显无法用 HDPE 细骨料和粗骨料填充空隙并阻碍混凝土混合物的流动。HDPE 骨料混凝土中密度随着 HDPE 的增加而降低的原因主要是由于 HDPE 与

砂的密度不同以及HDPE的单位重量较低。沙子和HDPE的密度分别为 1600 kg/m^3 和 950 kg/m^3 , HDPE比沙子轻约40%。因此, HDPE细骨料混凝土的总密度随着混凝土中HDPE含量的增加而降低。

有多种技术用于评估混凝土的性能。扫描电子显微镜(SEM)图像用于检查掺入HDPE的混凝土的微观结构发展。类似地, 纳米压痕用于观察混凝土基体的界面过渡区(ITZ)和计算机断层扫描(CT)以识别混凝土的孔隙结构。粘结能力差和含有HDPE骨料的混凝土基体中空气含量较高的可用性是由于非反应性(化学惰性)行为导致HDPE骨料混凝土的机械和耐久性能降低。水泥浆体和HDPE骨料之间的粘附较弱和粘附强度较低, 这主要是由于圆形HDPE颗粒的疏水性和光滑和有光泽的表面纹理而不是破碎的骨料。与天然细骨料(沙子)和水泥浆体之间形成的ITZ相比, HDPE的疏水性导致界面过渡区(ITZ)的水泥/粘附剂基体和HDPE骨料之间的结合较弱, 强度较低。随着再生HDPE百分比的增加, 这些较弱的结合导致HDPE细骨料和粗骨料混凝土的抗压强度和抗拉强度以及弹性模量降低。除了水泥浆体和HDPE颗粒之间的结合较弱之外, 疏水效应通过限制水的运动进一步限制了水泥水化的抑制, 并可能导致HDPE细骨料和粗骨料混凝土的耐久性和力学性能随着HDPE的增加而降低。此外, HDPE细骨料和粗骨料混凝土中较高的孔隙率和较大的气泡会导致抗压强度随着HDPE的增加而降低。HDPE中的这种延展性行为可以显著减少混凝土中裂缝的形成和扩展, 因为裂缝被HDPE颗粒捕获。

HDPE骨料混凝土显示出比标准混凝土(HDPE-0)更高的抗拉强度, 这可能与HDPE细骨料和粗骨料的延展性有关。还观察到, 当HDPE细骨料混凝土样品破碎时, 混凝土基体中的大多数HDPE颗粒没有破碎; 相反, 当达到断裂应力时, 它们已从干燥的混凝土基体上脱落。混凝土混合料的弹性模量主要取决于所用骨料的类型、密度和混凝土的抗压强度。HDPE粗骨料混凝土的弹性模量随着HDPE的增加而降低, 这可能是由于混凝土基体中孔隙体积的增加、HDPE颗粒与混凝土配合比和内部缺陷的弹性模量值差异等原因。

HDPE细骨料混凝土的吸水率随HDPE掺量的增加而增加, 这主要是由于HDPE与骨料之间缺乏界面结合, 混凝土基体孔隙率增加, HDPE含量较高, 占据空间混凝土会蒸发水分, 导致留下空隙, 从而增加吸收值, 同时创造更多空间来填充水。波速很大程度上取决于混凝土的力学性能, 并且受混凝土中空隙的影响很大。由于声阻抗的增加, 由HDPE颗粒产生的孔会减慢超声波的速

度。当入射波穿过混凝土、HDPE和孔隙时, 部分波被部分反射, 其余部分被透射。这种现象导致波速随着HDPE含量的增加而降低。由于孔隙中储存了大量的水, HDPE细骨料混凝土的导热系数随着HDPE含量的增加而下降。

混凝土混合料的弹性模量主要取决于所用骨料的类型、密度和混凝土的抗压强度。HDPE粗骨料混凝土的弹性模量随着HDPE的增加而降低, 这可能是由于混凝土基体中孔隙体积的增加、HDPE颗粒与混凝土配合比的弹性模量值差异以及内部缺陷(裂缝)等原因造成的。发生在HDPE颗粒周围)。HDPE细骨料混凝土的吸水率随HDPE掺量的增加而增加, 这主要是由于HDPE与骨料之间缺乏界面结合, 混凝土基体孔隙率增加, HDPE含量较高, 占据空间混凝土会蒸发水分, 导致留下空隙, 从而增加吸收值, 同时创造更多空间来填充水。波速很大程度上取决于混凝土的力学性能, 并且受混凝土中空隙的影响很大。由于声阻抗的增加, 由HDPE颗粒产生的孔会减慢超声波的速度。当入射波穿过混凝土、HDPE和孔隙时, 部分波被部分反射, 其余部分被透射。这种现象导致波速随着HDPE含量的增加而降低。由于孔隙中储存了大量的水, HDPE细骨料混凝土的导热系数随着HDPE含量的增加而下降。还注意到标准混凝土(HDPE-0)的热导率更高。标准混凝土基体(HDPE-0)具有更强ITZ界面的SEM图像。HDPE细骨料混凝土的吸水率随HDPE掺量的增加而增加, 这主要是由于HDPE与骨料之间缺乏界面结合, 混凝土基体孔隙率增加, HDPE含量较高, 占据空间混凝土会蒸发水分, 导致留下空隙, 从而增加吸收值, 同时创造更多空间来填充水。波速很大程度上取决于混凝土的力学性能, 并且受混凝土中空隙的影响很大。由于声阻抗的增加, 由HDPE颗粒产生的孔会减慢超声波的速度。

当入射波穿过混凝土、HDPE和孔隙时, 部分波被部分反射, 其余部分被透射。这种现象导致波速随着HDPE含量的增加而降低。由于孔隙中储存了大量的水, HDPE细骨料混凝土的导热系数随着HDPE含量的增加而下降。还注意到标准混凝土(HDPE-0)的导热系数高于HDPE细骨料混凝土, 这可能是由于HDPE的导热系数($0.4 \text{ W.m}^{-1} \text{ K}^{-1}$)与天然混凝土的导热系数相比较低。沙。在考虑氯离子渗透测试时, 观察到随着HDPE的增加, 氯离子渗透降低并处于2000-4000库仑的有利范围内, 这主要是由于HDPE颗粒的不透水性阻碍了氯离子渗透和变质的通过的混凝土。测试混凝土混合物的化学侵蚀是至关重要的, 因为暴露在混凝土中的化学元素和水的反应会导致混凝土结构的恶化。Philomina和D'Mello

指出, 与标准混凝土基质 (HDPE-0) 相比, 化学品对 HDPE 混凝土的影响较小。他们进一步确定了 HDPE 粗骨料混凝土的化学成分具有抵抗化学作用和腐蚀的能力。在考虑酸蚀试验时, 在 H₂SO₄ 酸性介质中, 随着 HDPE 的增加, HDPE 粗骨料混凝土的抗压强度和重量的降低大于水中。这种抗压强度和重量的降低是由于在硅酸盐和 H₂SO₄ 酸之间的作用后形成的石膏沉积物。

五、结论

综合评价了作为细骨料、粗骨料、纤维和水泥粘合剂掺入再生 HDPE 的混凝土的力学性能和耐久性能, 得出的主要结论如下:

- HDPE 细骨料混凝土的最佳 28 天抗压和抗弯强度在 HDPE-10 时观察到, 在 HDPE-5 时观察到劈裂抗拉强度, 而对于 HDPE 粗骨料混凝土, 最佳抗压和抗折强度记录在 10% 到 HDPE-15 的 HDPE 掺入和劈裂拉伸强度为 15%。

- HDPE 细骨料和粗骨料混凝土的吸水率分别增加 5.4% 和 35%, HDPE 从 0% 增加到 15% 和 20%, 而 HDPE 粗骨料混凝土的孔隙率和渗透性增加 65%, 461% 随着 HDPE 百分比从 0% 增加到 30%。

- 同样, 观察到 HDPE 细骨料和粗骨料混凝土的其他耐久性特性, 例如较低的热导率 (下降 25%) 和较高的抗氯、硫酸盐和酸侵蚀性, 其中 HDPE 的含量比标准/普通混凝土高出 32% 混凝土基质 (HDPE-0) 始终。

- 将 HDPE 百分比增加到 1.25% 并将 w/c 比保持在 0.62 会使 HDPE 纤维增强混凝土的可加工性降低 80%, 弹性模量增加 4.1%。• HDPE 纤维增强混凝土的 28 天抗弯和劈裂抗拉强度提高到 4.9 MPa (HDPE-3 时) 和 4.4 MPa (HDPE-3.5 时) 的最佳值, HDPE 从 0% 增加到 6% 并且在 HDPE 的所有夹杂物水平中均高于标准/普通混凝土基体 (HDPE-0)。

- 由于 (a) (b) 图 8. (a) 标准混凝土基体的 XDM 光谱, HDPE 增加至 1.25% 的 HDPE 纤维增强混凝土显示出比标准/普通混凝土基体 (HDPE-0) 更好的耐久性性能 (HDPE-0) 和 (b) 水泥在 20℃ 时取代了 HDPE-6 混凝土基体。

- 混凝土混合料与 HDPE 骨料之间较弱的结合和较低的粘合强度主要是由于 HDPE 的疏水性、光滑和有光泽的表面纹理以及 HDPE 的化学惰性行为导致 HDPE 细骨料和粗骨料混凝土的耐久性和机械性能降低随着 HDPE 的增加。

- HDPE 纤维增强混凝土中加入延性纤维后, 其抗拉强度的提高取决于几个因素, 如纤维韧性、纤维体积分数、排列以及纤维与水泥基体之间的粘合强度。

参考文献:

[1]Lopez, N.; Collado, E.; Diacos, L.A.; Morente, H.D. Evaluation of Pervious Concrete Utilizing Recycled HDPE as Partial Replacement of Coarse Aggregate with Acrylic as Additive. In Proceedings of the MATEC Web of Conferences, EDP Sciences, Yogyakarta, Indonesia, 5 - 7 September 2018.

[2]Habib, M.Z.; Alom, M.M. and Hoque, M.M. Concrete production using recycled waste plastic as aggregate. J. Civ. Eng. IEB 2017, 45, 11 - 17.

[3]Zainal, S.H.; Ali, S. Effect of Fly Ash and HDPE on Concrete Strength. Politeknik & Kolej Komuniti. J. Eng. Technol. 2018, 3, 81 - 89.

[4]Rahman, M.; Islam, A.; Ahmed, M.; Salam, A. Recycled Polymer Materials as Aggregates for Concrete and Blocks. J. Chem. Eng. 2013, 27, 53 - 57.

[5]Pešić, N.; Živanović, S.; Garcia, R.; Papastergiou, P. Mechanical properties of concrete reinforced with recycled HDPE plastic fibres. Constr. Build. Mater. 2016, 115, 362 - 370.

[6]Tahmasebinia, F.; Niemelä, M.; Sepasgozar, S.M.E.; Lai, T.Y.; Su, W.; Reddy, K.R.; Shirowzhan, S.; Sepasgozar, S.; Marroquin, F.A. Three-Dimensional Printing Using Recycled High-Density Polyethylene: Technological Challenges and Future Directions for Construction. Buildings 2018, 8, 165.

[7]Poonyakan, A.; Rachakornkij, M.; Wecharatana, M.; Smittakorn, W. Potential Use of Plastic Wastes for Low Thermal Conductivity Concrete. Materials. 2018, 11, 1938.

[8]Malagavelli, V.; Patura, N.R. Strength characteristics of concrete using solid waste an experimental investigation. Int. J. Earth Sci. Eng. 2011, 4.

[9]Aattache, A.; Mahi, A.; Soltani, R.; Mouli, M.; Benosman, A.S. Experimental study on thermo-mechanical properties of Polymer Modified Mortar. Mater. Des. 2013, 52, 459 - 469.

[10]Naik, T.; Singh, S.; Huber, C.; Brodersen, B. Use of post-consumer waste plastics in cement-based composites. Cem. Concr. Res. 1996, 26, 1489 - 1492.

[11]Mohammed, H.; Sadique, M.; Shaw, A.; Bras, A. The influence of incorporating plastic within concrete and the potential use of microwave curing; A review. J. Build. Eng. 2020, 32, 101824.

[12]Gunasekara, C.; Law, D.W.; Setunge, S.; Burgar, I.; Brkljaca, R. Effect of Element Distribution on Strength in Fly Ash Geopolymers. ACI Mater. J. 2017, 114, 795 - 808.