

掺入竹灰的粉煤灰地聚合物混凝土在高温下的性能

李贤民, 阿兹林·阿卜杜勒·舒科尔, 诺哈萨娜·穆罕默德·阿里芬, 林汉升

所属机构: 韩国建筑工程系

摘要: 本文介绍了掺入竹灰的粉煤灰地聚合物混凝土在所需温度 (200℃~800℃) 下的实验结果。本文研究了不同量的竹灰, 并将粉煤灰地聚合物混凝土作为对照样品, 用氢氧化钠和硅酸钠溶液合成了地聚合物, 测定了超声脉冲速度, 重量损失和残余抗压强度, 并使用两种不同的冷却方法 (即风冷 (AC) 和水冷 (WC) 状态) 测试所有样品。这些测试的结果表明, 在粉煤灰中加入5%的竹灰, 与对照样品相比, 在800℃时, 地聚合物在AC和WC中残留强度分别提高了5MPa (53%) 和5.65MPa (66%), 并且分别提高了940m/s (76%) 和727m/s (53%)。因此, 当竹灰面临高温时, 它可以成为地聚合物混凝土的替代品之一。

关键词: 粉煤灰; 竹灰; 补充材料; 土聚合物混凝土; 高温

Performance of Fly Ash Geopolymer Concrete Incorporating Bamboo Ash at Elevated Temperature

Hyun-Min Lee, Mohd Azreen Abdul Shukor, Nor Hasanah Mohd Ariffin, Han-Seung Lim

Affiliation: Department of Architectural Engineering, Korea

Abstract: This paper presents the experimental results on the behaviour of fly ash geopolymer concrete incorporating bamboo ash on the desired temperature (200 °C to 800 °C). Different amounts of bamboo ash were investigated and fly ash geopolymer concrete was considered as the control sample. The geopolymer was synthesized with sodium hydroxide and sodium silicate solutions. Ultrasonic pulse velocity, weight loss, and residual compressive strength were determined, and all samples were tested with two different cooling approaches i.e., an air-cooling (AC) and water-cooling (WC) regime. Results from these tests show that with the addition of 5% bamboo ash in fly ash, geopolymer exhibited a 5 MPa (53%) and 5.65 MPa (66%) improvement in residual strength, as well as 940 m/s (76%) and 727 m/s (53%) greater ultrasonic pulse velocity in AC and WC, respectively, at 800 °C when compared with control samples. Thus, bamboo ash can be one of the alternatives to geopolymer concrete when it faces exposure to high temperatures.

Keywords: Fly ash; bamboo ash; supplementary materials; geopolymer concrete; elevated temperature

引言:

波特兰水泥的生产消耗能源并向大气中释放大量二氧化碳 (CO₂), 但由于其在大多数土木工程应用中的出色性能, 仍被视为传统的粘合剂。此外, 在某些情况下, 用波特兰水泥生产混凝土在侵蚀性环境和高温条件下的耐久性较差。然而, 据观察, 地聚合物已成为所有这些问题的问题解决者。对传统混凝土的高需求, 即所谓的环保混凝土, 也可以通过导致回收和再利用废料来解决垃圾填埋问题。通过在建筑目的中利用工业废物, 可以消除这些问题。在地聚合物混凝土中使用废品作为胶凝材料也将最大限度地提高其在整个工业部门的回收潜力。

地聚合物是一种无机复合材料, 是在高碱性氢氧化物和/或碱性硅酸盐下合成火山灰材料而生产的。除此之外, 地聚合物混凝土具有优异的耐化学侵蚀性, 并且对高CO₂含量, 高硫酸盐含量和耐酸性的侵蚀性环境表现出极大的抵抗力。Wallah和Rangan之前的一项研究得出结论, 地聚合物混凝土在暴露于硫酸盐溶液一年后, 长度变化很小, 质量几乎没有增加。Bakharev用不同类型的活化剂研究了不同浓度的硫酸盐溶液中混凝土的性能, 发现混凝土的性能取决于材料和活化剂的质量。

地聚合物混凝土可用于各种应用, 包括防火, 密封剂, 混凝土, 陶瓷等。据报道, 地聚合物混凝土可以承受高温暴露。因此, 与传统混凝土 (即普通硅酸盐水泥

(OPC) 相比, 地聚合物混凝土可能具有优异的耐火性。

自2000年以来, 对使用粉煤灰作为地聚合物混凝土的可持续材料的兴趣有所增加。Hardjito和Rangan在他们的研究中研究了碱性参数, 含水量和固化条件的影响。在马来西亚, 一些研究人员也专注于土聚合物混凝土。因此, 地聚合物由于其环保和高性能特性而在研究人员中变得突出。

农业废弃物是许多国家的一个严重的环境问题。这些废物主要来自花园和稻田。以前涉及农业废物的大多数研究都涉及棕榈油燃料灰(POFA)和稻壳灰(RHA)作为粘合剂。Navid Ranjbar等人对暴露在高温下的POFA和基于粉煤灰(FA)的地聚合物砂浆的性能进行了实验。他们得出的结论是, 所有基于FA / POFA的地聚合物在暴露于高达500℃的温度下时都会获得强度。然而, 通过增加样品中的FA含量, 它们在300℃时产生了更高的抗压强度, 而另一方面, 增加POFA含量延迟获得最大强度。他们还提出, 当温度升高到500℃以上时, 所有样品都失去了强度。除此之外, 还进行了一项研究, 重点研究了FA和POFA的预处理对土工聚合过程后力学性能的影响。结果表明, 当FA被加热到800℃时, 观察到颗粒的烧结导致变形和再活化, 从而导致凝固时间的减少和早期抗压强度的增加。

随着重点转向减少建筑对环境的影响和建筑环境的隐含能量, 对建筑竹子的兴趣不断增长。对于发展中国家来说, 竹子被认为是农村发展的理想作物。竹子的生产和利用被认为与联合国可持续发展目标中的许多人有关。当然, 竹子是在圆柱形杆或立方体中发现的。竹子也是草家族的一部分。全世界有超过1200种竹子, 结构物种因地点而异。不同的物种可以分为三种类型的根系: 对称(聚集), 单足(运行)和两栖(聚集和运行)。

根据联合国粮食及农业组织(UNFAO)的数据, 马来西亚共有72%的土地面积被森林填满。竹子是一种易于生长的植物。在马来西亚发现的热带雨林地区为竹子植物提供了理想的生长条件。竹炭的产量有所增加, 其应用特别是在医疗保健, 烹饪, 净水和园艺方面显着增长。因此, 竹灰是生产竹炭的废物。虽然富含二氧化硅, 但竹灰性能差是由于硅酸盐材料的存在。由于没有氧化铝, 与其他富含氧化铝的材料(即粉煤灰)结合使用具有吸引力。竹子植物在马来西亚和印度尼西亚很常见, 已被用作防火材料。竹子即使在较高的温度下也具有耐火性, 因此, 它可以用于建筑行业。

对竹灰在建筑行业的使用缺乏研究。因此, 在本研究中, 我们实验研究了粉煤灰地聚合物混凝土在高温下掺入竹灰的性能和性能。此外, 以前没有研究使用竹灰作为建筑材料。该检查包括所需暴露后物理外观、抗压

强度、重量减轻和超声脉搏速度损失的影响。

粘结剂

在这项研究中, 使用了粉煤灰(FA)作为低钙粉煤灰(F级)和竹灰。两种材料的化学成分和粒度分析将在结果和讨论部分进行讨论。粉煤灰是从马来西亚柔佛州的丹绒宾获得的。竹灰(BA)是从马来西亚彭亨州兰昌获得的。首先, 将收集的竹灰在110℃(±5℃)的烘箱中干燥24小时, 以确保没有水分可用。然后, 将竹灰在耐磨试验机中研磨6小时, 以提高灰分的细度。然后, 通过45 μm筛分将竹灰筛分, 以除去更大尺寸的灰烬颗粒和杂质。只有通过筛子的细竹灰按照混合中使用的波特兰水泥的标准尺寸进行收集。FA和BA的比重分别为2.20和2.05。

一、X射线荧光(XRF)

本文使用XRF测定竹灰和粉煤灰的化学成分。竹灰的主要氧化物组成是二氧化硅、氧化钾、氧化钙和三氧化硫, 分别含有35.2%、33.1%、13.5%和8.3%。对于粉煤灰, 大多数化合物是二氧化硅和氧化铝。此外, 竹灰的二氧化硅/氧化铝比例尚未确定, 而粉煤灰约为2.0。二氧化硅和氧化铝对于地聚合物合成非常重要。竹灰中无百分比的氧化铝对于地聚合物的发生太不切实际了。竹灰中存在大量的氧化钙, 减少了含地聚合物混凝土的粉煤灰的凝结时间。本研究使用的粉煤灰被认为是F类, 表明二氧化硅, 氧化铝和氧化铁的总和超过88%。

二、X射线衍射(XRD)

粉煤灰显示石英(SiO_2 , JCPDS = 88-2487)和莫来石($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$, JCPDS = 06-0259)在XRD图谱中存在石英(SiO_2 , JCPDS = 88-2487), 氧化钾(K_2O , JCPDS = 26-1327), 罗氏盐, 即氢氧化钙硅酸盐($\text{Ca}_3\text{Si}_3\text{O}_8(\text{OH})_2$, JCPDS = 83-1242)和三氧化硫(SO_3 , JCPDS = 76-0760)。氧化钾, 罗氏盐和三氧化硫仅存在于竹灰中。这一结果与XRF数据相印证。

三、粒度分析

粉煤灰和竹灰的粒径分布以D50值为特征。竹灰颗粒为微粒, 最大尺寸为163 μm, 中位数为14.5 μm。此外, 粉煤灰中颗粒的最大尺寸为66.9 μm, 中位数大小为15 μm。据透露, 83%的竹灰颗粒小于45 μm, 而几乎96%的粉煤灰颗粒的尺寸小于45 μm。

讨论

一、可加工性

根据不同拌合比例下土聚合物混凝土的可加工性结果, 发现不同拌合比例的标准偏差为2~8 mm。据描述, 坍落度值随着活化剂与粘合剂比率而增加。混合物非常坚硬, 当两种类型的样品的活化剂与粘合剂之比

均为0.40时, 没有观察到流动。根据目视观察, 混合不均匀, 难以混合和紧凑。显然, 竹灰在混合过程中吸收了更多的水分, 从而降低了混合物的可加工性。

一旦活化剂与粘合剂的比例达到0.45, 与100%FA (C样品) 和5%BA + 95%FA (A样品) 的0.40相比, 坍落度值增加。根据观察结果, 与0.40的比例相比, 混合是相当均匀的, 混合过程更容易。当两种样品的活化剂与粘合剂之比均为0.50时, 获得具有最高流量值的可行混合物。

总之, 与C样品相比, 小百分比即以0.45的比例添加5%的竹灰, A样品的坍落度损失要小得多。然而, 在0.40和0.50比率下, A样品的坍落度损失为10 mm。因此, 我们决定以0.45的活化剂与粘合剂的比例进行另一项实验。

二、抗压强度

竹灰与粉煤灰的比值(%)在活化剂与粘结剂的0.45比值下影响地聚合物混凝土的抗压强度。结果表明, 随着固化时间的增加, 土聚合物混凝土的抗压强度也随之增加。这是由于氧化铝和二氧化硅与碱性溶液的粘合剂之间的土聚合过程。但是我们的研究未能获得所需的超高性能纤维增强混凝土抗压强度。然而, 随着竹灰百分比的增加, 地聚合物混凝土的抗压强度降低。这可能是由于竹灰中氧化铝的含量不足, 这减少了土聚合产物并有助于混凝土的强度。在固化7天时, 用5%竹灰替换的抗压强度为18.94 MPa, 而粉煤灰为100%, 即16.15 MPa。BA与FA的早期抗压强度增加是由于水解作用形成结晶相并降低了样品的孔隙率。此外, 由于竹灰的添加, 混合物的表面积也有所增加, 因为BA (2.05) 的比重小于FA (2.20)。不同混合比例的抗压强度标准偏差为0.11至1.31 MPa。需要非常稳定的比例才能获得用于建筑目的的非常好的混凝土混合物。与其他混合物相比, 添加5%的竹灰被证明是最合适的混合物, 以获得更好的早期抗压强度性能。

三、火耐久性测试

耐火性试验是根据ASTM E119-12a进行的, 使用100 mm × 100 mm × 100 mm混凝土的自动电炉。所有样品均在25 ± 2℃下固化28天, 然后经高温。使用电加热炉, 设计最高温度为1200℃。所有样品在200℃, 400℃, 600℃和800℃作为目标温度下加热1小时。测试了两种不同的冷却方法, 分别是空气冷却(AC)和水冷(WC)制度, 固化条件为25℃和60%相对湿度。普通水泥复合材料的不同冷却方式对混凝土暴露后的力学性能有显著影响。在进行测试之前, 对所有样品进行称重以确定其初始密度和初始超声脉冲速度(UPV)值。在获得温度水平后, 进行进一步的实验以确定UPV损失, 重量损

失, 物理外观和残余抗压强度。

四、冷却对混凝土物理外观的影响

高温即热暴露是影响混凝土表面特性, 表面外观, 形状和颜色的最重要参数之一。虽然它没有提供有关混凝土所遭受的变形的重要信息, 但它会给人一种混凝土失效趋势的直接印象。在200℃下的整个冷却方案, 对于C样品和具有光滑和锋利边缘的A样品, 样品的颜色都是灰色的。这些特性在高达400℃时保持。在600℃时, 观察到浅灰色用于表面粗糙的空气冷却(AC), 而水冷(WC)表现出黄灰色, C样品中出现裂纹, 而在As充足时没有裂缝。在800℃时, C样品在AC和WC中在整个表面形成重裂纹, 而A样品在AC和WC中与C样品相比显示出较小的裂纹。

基质结构的变化是粘合剂在暴露于不同温度期间各相脱水的结果。它表现为孔隙率和颜色的变化, 以及物理缺陷, 如裂缝的存在。通常, 由于加热而在两种样品中经历的颜色变化可能与加热样品中发生的化学转化有关。

五、残余抗压强度

本文讨论了C样品和A样品在不同温度和冷却条件下的残余抗压强度。对于两种冷却类型, 残余抗压强度在200℃时增加, 并达到C样品和A样品的最大强度。在400℃时, C样品的强度损失最小, 分别为AC和WC的41%和43%。对于600℃, 两种样品的损耗趋势继续增加, 并在800℃时达到最大的抗压强度损失, C样品获得的强度损失为78%(AC)和80%(WC), 这是抗压强度损失最高的A样品, 而A样品的强度损失为65%(A/C)和66%(W/C)。这是抗压强度损失最高的样品。根据以前的研究人员的说法, 在热条件下, 土聚合物混凝土强度得到了增强。化学结构的变化以及游离和化学结合的水的脱水是由暴露于高温引起的。随着温度的升高, 样品内部的水分颗粒往往会逸出到表面。

在这项研究中, 证明了粉煤灰地聚合物混凝土(A样品和C样品)直到28天过去才完成土聚合过程。在200℃曝光范围内, 两种类型的样品在强度和基质结构方面都得到了改善。这些与暴露后报告的抗压强度值的变化有关。

可以看出, 水分子在存在热量时从地聚合物混凝土中排出, 这提高了混凝土的强度并导致基体的不连续纳米孔。由于高温, 并非所有水分子都被排出, 特别是在较大的样品中。与较小的样品相比, 较大样品中较高的表面张力会以较慢的速度消散水分。从400℃, 600℃和800℃的热暴露水平开始, 两种样品的抗压强度都降低了。但在竹灰存在的情况下, A样品的残余抗压强度在800℃时往往显示出阳性结果, 其中强度高于C样品。这

清楚地表明,在800℃时,竹灰的存在含有氧化钾,因此与C样品相比产生了显著的抗压强度。如果碱金属氧化物含量超过一定限值,则表现出较高的热膨胀系数。随着竹灰在高温下的存在,氧化物的趋势导致其形状发生变化,具有更高的面积和体积。因此,形成更多的固体和填充分子,并为地聚合物混凝土提供更好的结构构件。

六、粗骨料在地聚合物混凝土中的影响

相比之下,粉煤灰基地聚合物浆料的抗压强度高于粉煤灰基地聚合物混凝土的抗压强度。在地聚合物浆料中引入粗团聚体(粗团聚体和细骨料)导致玄武岩和矿渣团聚体在环境温度下的强度分别从71.2 MPa降至70.5 MPa和61.8 MPa。此外,在暴露于高温后,地聚合物混凝土的强度进一步降低。结果表明,玄武岩基混凝土的强度下降了58.4%,而渣骨料基混凝土在温度暴露后下降了64.6%。此外,与玄武岩基混凝土相比,新渣骨料基混凝土的可加工性得到改善。在地聚合物中,硅铝酸盐凝胶是提供颗粒间结合的主要结合相,这反过来又增强了宏观强度。两种骨料性能的变化主要是由骨料和浆料之间的热膨胀差引起的。Rahier等人将脱羟基化归因于300℃以下地聚合物收缩的原因,而Duxson等人假设收缩与蒸发的自由孔隙水形式的质量损失有关。此外,320℃至700℃之间的热收缩速度缓慢可能与热重数据中观察到的低失重率有关。

本文还表示了温度高达约800℃的玄武岩和炉渣聚集体的热膨胀数据。观测表明,由于骨料和地聚合物浆料都经历了热膨胀,因此在加热的初始阶段是相容的,因此损坏最小。地聚合物/骨料复合材料的应变与骨料的膨胀密切相关,因为骨料通常占混凝土体积的75-80%。因此,当承受220℃至320℃之间的温度时,骨料的膨胀主要作用于地聚合物浆料的收缩,从而导致混凝土膨胀的净结果。

结论

根据实验结果和讨论,可以得出以下结论:

- 1.SEM分析显示竹灰呈矩形,据信它可以将糊状物固定在一起,并有助于在高温下提供阻力。
- 2.与对照样品相比,在95%粉煤灰中加入5%的竹灰在短时间(即7天固化)后提供了更好的抗压强度。
- 3.在600℃下空气冷却(AC)呈浅灰色,水冷(WC)期间C样品表面粗糙,出现裂纹,A样品无裂纹。
- 4.C样品和A样品在暴露200℃时分别获得了约36%和39%的残余抗压强度,而在400℃至800℃下,使用空气冷却方案后分别损失约62%和41%。
- 5.与C样品相比,在AC和WC状态下,样品在800℃下表现出最高的残余抗压强度。
- 6.两类样品的UPV值在暴露温度为200℃时均大幅

增加,从混凝土质量来看,这一点很好。混凝土暴露的UPV值趋于从400℃下降到800℃。在800℃的暴露下发现更大的损失,导致地聚合物混凝土的刚度和机械性能发生变化。

参考文献:

- [1]Ahmad MH, Omar RC, Malek MA, et al. Compressive Strength of Palm Oil Fuel Ash Concrete. In Proceedings of the International Conference on Construction and Building Technology, Kuala Lumpur, Malaysia. 2008; 27: pp. 297 - 306.
- [2]Habeeb GA, Mahmud HB. Study on Properties of Rice Husk Ash and Its Use as Cement Replacement. Mater. Res. 2010; 13: 185 - 190.
- [3]Kartini K. Rice Husk Ash-Pozzolanic Material for Sustainability. Int. J. Appl. Sci. Technol. 2011; 1: 169 - 178.
- [4]Kawabata CY, Junior HS, Sousa-coutinho J. Rice Husk Ash derived Waste Materials as Partial Cement Replacement in Lightweight Concrete. Agric. Eng. 2012; 36: 26 - 31.
- [5]Ranjbar N, Mehrali M, Alengaram UJ, et al. Compressive strength and microstructural analysis of fly ash/palm oil fuel ash based geopolymer mortar under elevated temperatures. Constr. Build. Mater. 2014; 65: 114 - 121.
- [6]Ranjbar N, Kuenzel C. Influence of preheating of fly ash precursors to produce geopolymers. J. Am. Ceram. Soc. 2017; 100: 3165 - 3174.
- [7]Behzad N, Jay S. Effect of different superplasticizers and activator combinations on workability and strength of fly ash based geopolymer. Mater. Des. 2014; 57: 667 - 672.
- [8]Huseien GF, Ismail M, Tahir M, et al. Effect of Binder to Fine Aggregate Content on Performance of Sustainable Alkali Activated Mortars Incorporating Solid Waste Materials. Chem. Eng. Trans. 2018; 63: 667 - 672.
- [9]Shen P, Lu L, He Y, et al. Investigation on expansion effect of the expansive agents in ultra-high-performance concrete. Cem. Concr. Compos. 2020; 105: 103425.
- [10]Zhang X, Zhao S, Liu Z, et al. Utilization of steel slag in ultra-high-performance concrete with enhanced eco-friendliness. Constr. Build. Mater. 2019; 214: 28 - 36.
- [11]Liang X, Wu C, Yang Y, et al. Coupled effect of temperature and impact loading on tensile strength of ultra-high performance fibre reinforced concrete. Compos. Struct. 2019; 229: 111432.
- [12]Kim S, Yoo DY, Kim MJ, et al. Self-healing capability of ultra-high-performance fiber-reinforced concrete after exposure to cryogenic temperature. Cem. Concr. Compos. 2019; 104: 103335.