

学位論文の要旨（和文）

論文題目 ^{なま}生火山灰を活用した保水性インターロッキングブロックの開発と
その温度上昇抑制機能に関する研究

専攻名 社会基盤工学専攻 専攻 学位の種類 博士（工学）

学籍番号 ー 氏名 細川 吉晴

最近噴火した新燃岳の火山灰と時々噴火している桜島の火山灰のコンクリート用細骨材への適用性について、物理的・化学的性質の試験や採取地の現地調査などから検討した。前者は、採取地により吸水率が4～7%、表乾密度が2.1～2.3g/cm³、粗粒率が2.0～3.2の範囲で土木学会の細骨材の標準粒度範囲に入るものは少なかった。高吸水率な生火山灰を混練したモルタルは保水性を高めることが示唆された。化学的性質のpHは当初、火山灰中のSO₂ガスによって4.60程度で強酸性を呈したが、1年1か月の室内保存後には中性に近づき、また3年半経過の堆積火山灰層のSO₂ガス濃度を検知できなかった。生火山灰の使用に当たり、暴露期間が短いのでSO₂ガス残留が皆無とはいえない以上、鉄筋コンクリートよりは保水機能を持たせた無筋コンクリート製品への活用が無難に思われた。製品試験に用いるため、粗粒率2.15～2.27の採取地に近い堆積地から粗粒率2.20と吸水率7.60%の新燃岳火山灰（T）を多量に採取した。一方、後者の桜島火山灰（S）は、0.6mmふるいをほとんど通過するほど微細で粗粒率が0.61、吸水率が0.93%、表乾密度が2.67g/cm³の性質であった。生火山灰の化学成分は両者とも56%のシリカ、17%のアルミナを主体としており、天然ポゾラン材といえる。X線回折の分析の結果、両者にアルカリ骨材反応（ASR）物質が確認されたので、ASR試験（モルタルバー法）を実施し26週目の膨張率がJIS基準0.100%より低く“無害”と判定された。以上のことから、両者はコンクリート用細骨材のJIS規格を満足するものではないが、良質な細骨材との併用により保水機能を有する無筋コンクリート製品への適用が妥当と考えられた。

次に、高吸水性のTに着目し保水性インターロッキングブロック（以下、保水性ILBという）を開発するため、比較としてSも用い、生火山灰の単体および両者の混合による配合設計で各種保水性ILBをJIS認定ブロック工場で製造しJIS試験（他に透水試験も）を実施した。堆積灰の減容促進を考慮した最大火山灰混入率（細骨材量置換割合）の特定と、製品性能としてJIS規格を満足する点で配合を検討した。保水性ILBのJIS規格は、ヒートアイランド現象緩和に寄与するとして2010年3月に制定されたばかりで、3.0N/mm²以上の曲げ強度（歩道用）、0.15g/cm³以上の保水量、70%以上の吸上げ高さが要求される。単体配合の試験結果、JIS規格をすべて満足する火山灰混入率（vol.）の最大はTが30%、Sが20%であった。ILB粉末の重金属溶出試験から基準値を越すものはなかった。また、火山灰のT・S混合配合では、T：S容積比3：7、5：5、7：3の混合で火山灰混入率（vol.）を20、30、40%、および、火山灰無混入の10配合で保水性ILBを製造した。曲げ強度のJIS規格を満足したのは、火山灰混入率20%では3：7、5：5、7：3が、同じく30%と40%では5：5と7：3の配合であった。全ての配合が保水量と吸上げ高さのJIS規格を満足した。混入率30・40%でSの多い配合は保水量を若干高めた。以上のことから、堆積灰減容や保水量、安全側な混入率を考慮すると火山灰混入率30%の5：5混合が最適

な配合であり、生火山灰を活用する保水性 ILB を開発することができた。

また、保水性 ILB でも火山灰混入を保水性 ILB (灰)、火山灰無混入を保水性 ILB (無) というが、この両者に加え、普通 ILB、芝生およびアスファルト舗装 (As) の 5 種類の資材で施工した試験歩道において、2013 年 7 月下旬～8 月初旬の暑熱期に、資材の歩道温度上昇抑制機能を比較する温度測定試験をおこなった。各資材区 1 m² の中央部で高さ 100, 50, 20, 0 (表面), -3cm (内部) の温度を測定した結果、高さ 20～100cm ではいずれの資材区でも外気温と大差ない温度変化を示し、表面と内部では温度の高い順に As > 普通 ILB > 保水性 ILB (無) ≒ 保水性 ILB (灰) > 芝生となった。保水性 ILB (灰) の温度上昇抑制効果は保水性 ILB (無) よりも認められたが、その差は小さかった。その小さな温度差の原因把握のため ILB 切片で実験した結果、1) 保水性 ILB (灰) の表面温度は保水性 ILB (無) より最大 1°C 下げた、2) ILB 表面を強制的に温めると保水性 ILB (灰) と保水性 ILB (無) の表面が温度上昇し始め、保水性 ILB (灰) の目地も遅れて徐々に温度上昇したことから、目地が温度上昇抑制に影響することが示唆された、3) 保水量の高い保水性 ILB (灰) は、保水性 ILB (無) より保水性能が認められた、4) ILB 表面に平行に切断した三層の単位容積質量は表層ほど若干重い傾向を示し、ILB 製造工程で密実に締固められる中でも表層ほど緻密に形成されていた、5) 保水性 ILB (灰) の表面から水を浸透させると保水性 ILB (無) より浸透が遅かった。よって、保水性 ILB (灰) は微細な S の混入で保水量を高めるが、より緻密な表層からの水分蒸発が抑制され、ブロック舗装では目地が温度低減に寄与することが示唆された。

保水性 ILB (灰) の歩道温度上昇抑制機能のメカニズムは、微細火山灰 S を混入したことでブロックの表層がより緻密に製造工程で形成されたため、内部の保水の表層への毛細管現象が抑制されブロック表面からの水分蒸発が抑制されることと、そのために内部の保水がブロック側方に回り自由面である目地を介しての水分蒸発や目地砂からの水分蒸発が生じることから、歩道表面温度は目地がブロック表面より低く発現することが示唆された。これは、夕方に撮影した熱画像から目地の温度がブロック表面より 0.4～1.3 °C 低く推移したことから裏付けられる。舗装面の温度上昇抑制に目地が大きな役割を果たすので、測定面の円直径と高さが同一な簡易放射温度計で目地を含めて舗装面温度を測定する方法を、ヒートアイランド現象緩和効果を評価する方法として新規に提案した。この方法は、今までの ILB 1 個の表面や供試体、φ100mm コアを用いる室内照射試験よりも現場的に実用性がある。実際に 3 色普通 ILB (宮崎市) と 2 色保水性 ILB (東京都) の歩道でブロック舗装面温度を測定した結果、歩道の目地の温度がブロック表面より有意に低く発現した ($P < 0.05$ および $P < 0.01$)。このことは、保水性 ILB 歩道の温度上昇抑制メカニズムを解明するとともに、熱画像で目地の温度が低く表示した結果を再現するものであり、目地を含む舗装面の平均温度で温度上昇抑制 (低減) 効果を評価する方法が自然で実用的で妥当性があることを実証した。この簡易放射温度計は廉価であるが、舗装面温度を容易に迅速に測定できることを確認した。

最後に、最近多発する火山噴火を鑑み、生火山灰を活用する対策として、汎用性のある火山灰等混入型の保水性 ILB 製造技術を構築した。これは、生火山灰や古来の堆積火山灰 (シラス) を細骨材の一部として、あるいは、凝灰岩粉末を混和材料として火山噴火地域で調達できる前提下で、火山灰等混入の積ブロックや環境製品を防災現場に備蓄する公共事業などに優先して供するフローも含め、火山灰等活用メニューとして提案した。