

ヒートアイランド対策の 超保水性インターロッキングブロック

高い保水機能を有するレインボーエコロブロック Biz の効果実証

関 賢 治

ヒートアイランド対策として水の蒸発による潜熱効果を利用した保水性舗装である。潜熱効果を持続するためにはできるだけ多くの水を舗装体に保持し、長期間蒸発させ続ける必要がある。今回開発したインターロッキングブロック「レインボーエコロブロック Biz」（以下「本ブロック」という）は従来の保水性インターロッキングブロックに比べ1.5倍程度の保水能力があることから路面温度低減能力が長時間持続されるものとなった。さらに軽量であることから人工地盤などにも使用できるほか、産業廃棄物を有効利用しており循環型社会に適合するインターロッキングブロックとなった。

キーワード：路面温度低減、保水・透水性インターロッキングブロック、雨水対策、産業廃棄物有効利用、緑化

1. はじめに

都市環境においては、住宅地や企業施設により緑被率が低下し、また道路や屋根といった人工物の地表面被覆が増加している。こうしたことから舗装分野においては、熱環境改善効果が期待できる保水性舗装や遮熱舗装が開発、導入されている。遮熱性舗装とは地表に到達する太陽光線のうち可視光線域より長波長となる近赤外線域を効率よく反射し、路面温度上昇を抑制する工法である。一方保水性舗装は水の相変化に伴う潜熱を利用し、水が蒸発する際の吸熱効果により路面表面の温度低減をねらったものである。この潜熱効果は効率的（水から水蒸気の相変化に伴う潜熱は $2.5 \times 10^6 \text{ J/kg}$ ）ではあるものの、当然水分が蒸発してしまえばその効果を発揮できない。ブロック舗装でもすでに保水能力のあるインターロッキングブロックが適用されているが、一般の保水性インターロッキングブロック舗装は、保水能力の持続性の確保などに課題があった。

これらの課題を解決するため、骨材自体に吸水性があるセラミック骨材を使用し、保水能力の持続性が期待できる保水性インターロッキングブロックを開発した。本文では開発したセラミック保水性インターロッキングブロック（Ceramic Water Retentive Interlocking Block）をC-WRIBとし、一般的表現としては保水能力が著しく大きいことから超保水性インターロッキングブロックと呼んでいる。以下ではC-WRIB開発の経

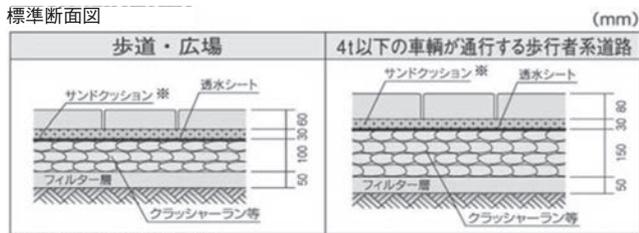
緯、保水能力持続性や寒冷地での耐久性などの諸性能の検討結果、産業廃棄物を利用した保水性骨材を説明し、環境負荷低減を目指した過程を紹介する。

2. インターロッキングブロックとしての検討

2010年、繊維染色メーカーがゼロエミッション戦略の一環として製作している保水性セラミック緑化基盤を使った舗装材料を共同開発するよう依頼を受けた。この緑化基盤材を検討した結果、このまま舗装材として使用するの難しいことが様々な試験施工の結果わかった。このため保水容量を確保し、交通荷重に耐えうるためには、舗装構造を厚くすることが効果的であり、歩行空間の景観演出がしやすいことからインターロッキングブロックとして開発することとした。過去の経験から吸水性の高い骨材をアスファルトバインダーや樹脂バインダーで混合した場合、保水性骨材自身がバインダーを吸収してしまうことから、吸水効果を保つことが困難であることがわかっていった。また、平板に比べインターロッキングブロックは目地砂を通じて荷重を分散するセグメント式であるため、硬質な超微多孔質セラミック材を用いてもたわみに追従する効果が高い。また、ブロックの製造過程で水セメント比を小さくできる。後述する保水性セラミック骨材を使用した場合、空隙を確保しやすく、保水機能と透水機能との両立がしやすい。さらにインターロッキングブロックは広く舗装材料として取り入れられてお

り、工法としての信頼性が高く施工が容易である。

上記の理由から、環境改善工法として全国に普及が容易なインターロッキングブロック工法を選定した。原料発生場所から近い石川県内のブロック製造工場に協力いただき、新たな発想で生まれた舗装骨材を使用したブロックの開発に着手した。



※水砕スラグも利用可能。

図一 1 インターロッキングブロックの舗装構造

3. 保水量増加のために使用した骨材

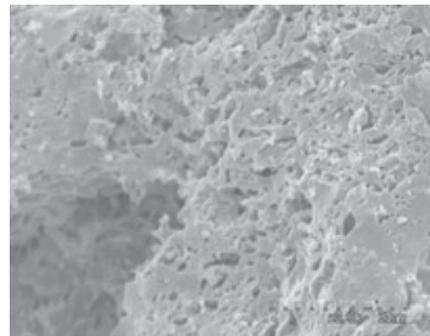
本製品に使用している保水性セラミック骨材には、石川県内の繊維染色メーカーから排出される余剰微生物を有効利用している。このメーカーは毎日多くの繊維染色作業を行っており多量な水を使うとともに排水している。この廃液に含まれる有機物を活性汚泥法により分解無害化させ、この時多量に発生する廃棄微生物（バイオマス）を有効利用したものがある。この廃棄微生物は活性汚泥法を安定的に行うために、有機物分解で多量に増殖した微生物が自らの増殖により酸欠状況を引き起こし、死滅してしまうことを防ぐため、適度な密度に間引きした結果発生するものである。このメーカーでは年間6,000~7,000tもの余剰微生物を産業廃棄物として廃棄していた（写真一）。

この余剰微生物は2~3ミクロンの安定した大きさを持ち、細胞壁にかこまれた、いわば水のマイクロカプセルである。このため脱水による廃棄量の減量化は

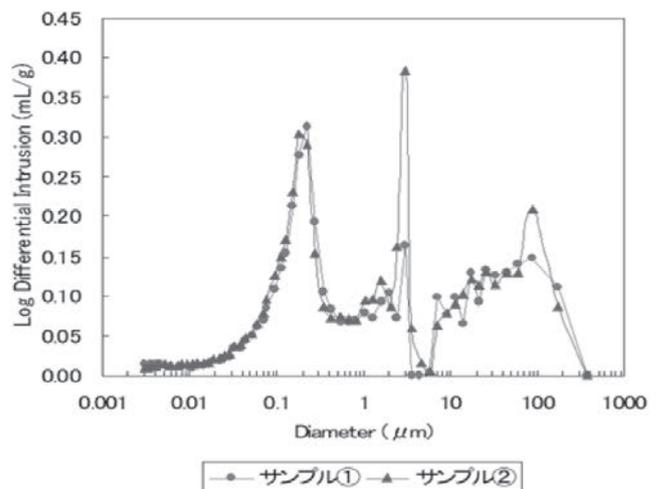


写真一 1 活性汚泥法処理施設

大変難しいものの、焼成するとなくなるこの微生物によるマイクロカプセルの特徴を利用し、粘土に混ぜ950~1,000℃で焼成したところ、微生物の細胞壁の空間がそのまま残り、さらに細胞内の水分が焼成の際、水蒸気となって粘土から抜けることにより、空隙が連続性を持つセラミックとなることが確認された（写真一2、図一2）。



写真一 2 セラミック骨材の空隙



図一 2 セラミック骨材の空隙計測

このセラミック基盤はこの繊維染色メーカーならびに同社の関係会社とともに、屋上緑化植生基盤材として商品販売している（写真三）。この基盤自体は物性的な強度は十分であるが、たわみ性が小さく、厚さを確保できないことからセグメントタイルとして機能を保持するためのブロックかみ合わせを確保できなかった。また、セメントコンクリートとの接着についても問題が生じた。このことから繰り返し荷重に追従しなければならない道路舗装にこの基盤をそのまま使用することは難しかった。

こうした基盤の性状から本製品開発にあたり、緑化基盤材生産に際し発生する端材に着目し、この端材を破碎し粒径を調整したものをインターロッキングブロックの主たる骨材として使用することとした。



写真一三 セラミック基盤上の屋上緑化

補助骨材としては、廃瓦破碎骨材を利用している。屋根瓦として広く使用されている瓦は建設廃棄物の中でも環境汚染に対する安全性が高く、かつ多孔質なセラミックである。主骨材の保水性セラミック破碎材に比べ保水量は劣るものの強度的には強いいため、補助骨材として使用することとした。

これらを適量配合し、ドライモルタルに近い状態でプレスし破碎材を固めることで曲げ強度3MPaを上回るインターロッキングブロックとすることができた(図一3)。

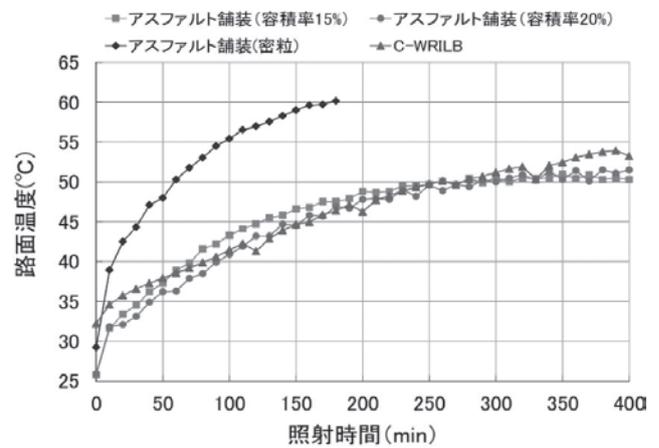
4. 保水能力とその他性状

C-WRILBの保水能力を検証するために以下の検証を行った。

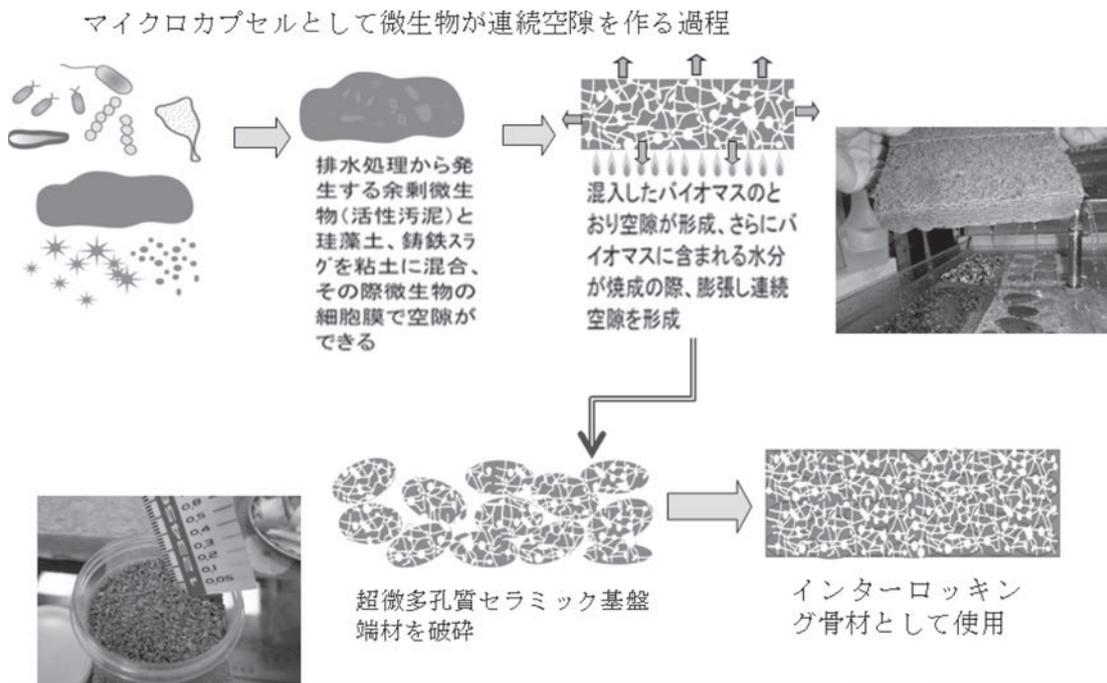
(1) 保水能力と路面温度低減効果

潜熱による温度低減効果は蒸発量によって物理的に決まるが、ブロックの蒸発界面の面積は他の保水性舗装とほぼ同じ(図一4)であるため、温度低減効果については同等である。したがって蒸発時間は保水量が多ければその分温度低減が長期間持続すると考えられる。

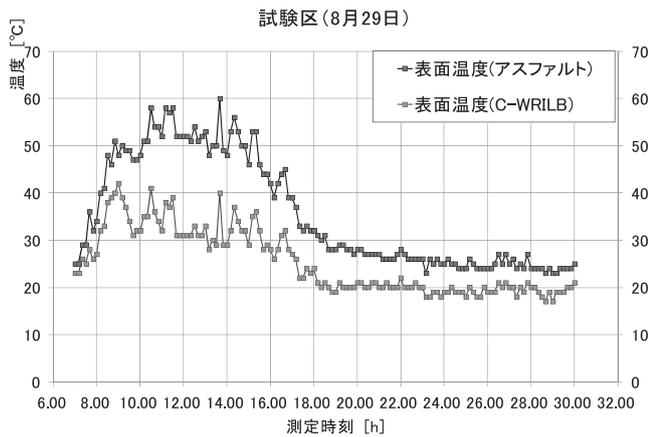
2011年8月下旬の晴時々曇りの条件における、フィールドでの測定結果は図一5のとおりである。



図一四 C-WRILBと保水性アスファルト舗装の温度上昇抑制効果比較



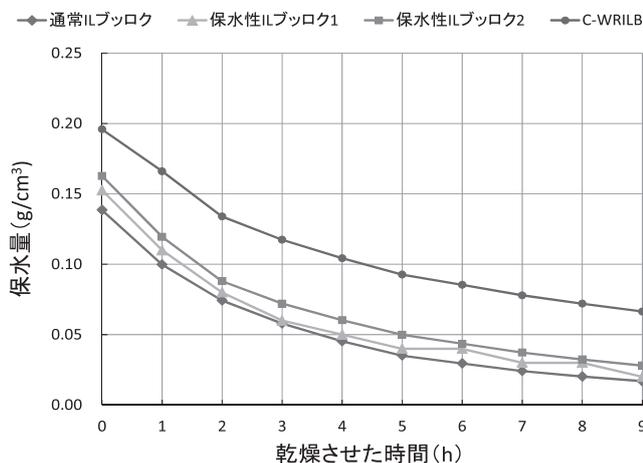
図一三 超微多孔質セラミック骨材を使ったインターロッキングブロックの製作過程



図一五 C-WRILB とアスファルト路面温度

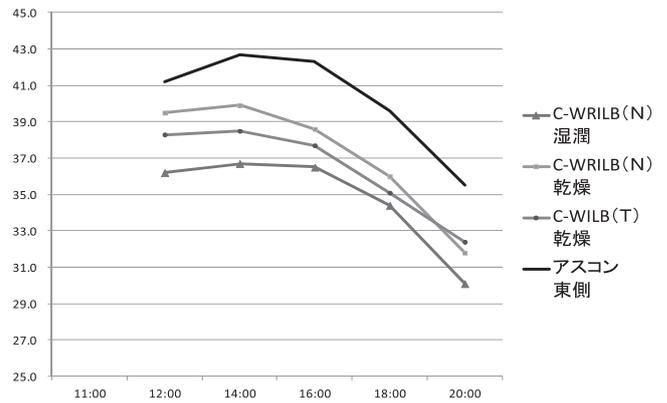
アスファルト舗装に比べ 15℃ 以上の温度低減がみとめられ、18 時以降日没後においても潜熱効果が持続し、熱帯夜緩和に期待できることがわかる。

乾燥炉を用いた従来の保水性ブロックとの対比を蒸発水分量(保水量の変化)の測定結果で図一六に示す。ともに使用したブロックの厚さは 6 cm で 21 時間水浸させ、100℃ の乾燥炉で観察したものである。C-WRILB の保水量は従来の保水性インターロッキングブロック(保水性 IL ブロック 2)と比較すると、乾燥 9 時間後において約 2 倍となっており、保水力の持続性に優れていると考えられる。



図一六 C-WRILB と一般保水性 IL ブロックの保水量比較

次に施工現場において長期間にわたる温度低減効果を示したのが図一七(2011年7月の計測)である。この測定日は曇りで相対湿度が70%以上という水分の蒸発が少なく、潜熱効果を発揮するのが難しい状況で計測した。この現場は歩道部と小型車来客用駐車場に「本ブロック」を使用し、ともに砕石路盤の上に、歩道部が t=6 cm、駐車場部が t=8 cm のブロックで施工した。図一七においても夜間の温度低下が顕著



図一七 C-WRILB とアスファルト舗装の温度比較

にあらわれていることがわかる。

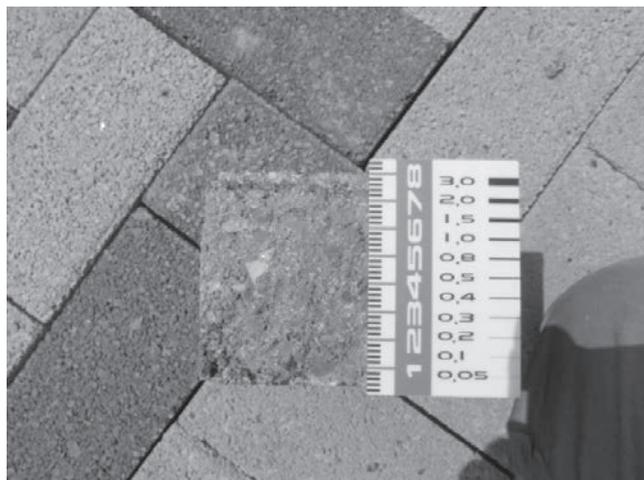
(2) 強度と耐久性

路面として供用される場合、耐久性が重要視される。特に空隙が多い保水・透水性ブロックの場合、冬季保水した水分が凍結することによって生じる凍結融解試験 (ASTM C 1645 に準拠) で評価した。試験方法は試験水槽にブロックを沈めて、供試体の中心温度が +5℃ ~ -5℃ の範囲で凍結融解を 25 サイクル繰り返し (1 サイクル = 16 時間凍結, 8 時間融解), 25 サイクル時点において、質量損失量が 200 g/m³ 未満の場合に凍結融解抵抗性を有しているものと判断した。結果は 25 サイクル後で 105 g/m³ の損失であり問題はないと判断された。

インターロッキングブロックの強度として使用される曲げ強度は、歩道ならびに小型車駐車場用としては 3 MPa 以上であるが、C-WRILB はこの値を完全にクリアしている。車道対応用としては曲げ強度 5 MPa が必要とされるが骨材料の配合を変えることで対応が可能である。しかしこの場合保水量は 1.5 g/cm³ 以上



写真一四 C-WRILB をカッターで切断



写真—5 C-WRILB のカッター切断面

となり、今回開発した C-WRILB とは区別する。

C-WRILB の強度を示す例としてインターロッキングカッターによる切断面がスムーズであることが現場で立証されている。このことは施工性にも大きな効果がある。インターロッキング舗装端部には“切りもの”と呼ばれる現場でカッティングされたブロックを使用するが、切断面がきれいに切断されない場合、材料ロスが増える。この点、C-WRILB は押しつぶされるような切断面とならず、カッターの刃に対して平行で平滑にカットされる施工性が向上された舗装ブロックである (写真—4, 5)。

(3) 製品としての性状値

この C-WRILB を製品化した「本ブロック」は以下の性状を有する。大きな特徴は前述のとおり保水能力の向上であるが、保水機能だけではなく、透水機能を有していることがあげられる。透水係数は 1.0×10^{-2} cm/sec 以上であることが、透水性舗装としての規格値であるが、C-WRILB は 4×10^{-2} cm/sec となった。

水たまりが発生しにくい舗装であるばかりでなく、雨水処理を考慮する場合の雨水流出係数を透水舗装として扱うことができる。また、表面に滞水しないので滑り抵抗が降雨時に変化しないため、雨天時のスリップ対策にも寄与する。透水機能が高いことにより、C-WRILB 表面に氷膜ができにくいことから歩行安全性が高いブロックといえる。路面のゴミや土による目詰まりも空隙が、mm から微多孔質といわれる μ m オーダーまで有するため、単一の大きさの空隙が集合しているポーラス舗装材に比べ、目詰まりしにくい特徴がある。

軽量であることも特徴の一つである。従来ブロックの7割程度の重さであるため、たとえば6cm厚のブロックの場合、輸送時に10t車両1台あたり80m²程度となるのに対し、C-WRILB は100m²以上の運搬が可能である。人工地盤等、死荷重を考慮する必要がある場所の施工にも有効な特徴である。

以下の表—1 が C-WRILB である「本ブロック」の性状をまとめたものである。

5. 新たな機能を利用した緑化事例

この C-WRILB の保水能力を生かし、緑化ブロックとして施工することができる。散水時あるいは降雨時に C-WRILB が保水した水分を徐々に芝の客土面に灌水すること (図—8) で、芝の育成をはかるものである。

6. まとめと今後の期待

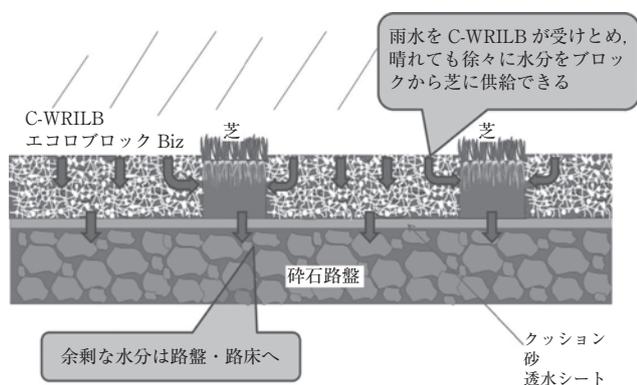
保水し、水の潜熱を利用し温度を低減させる方法は広く認知されている。しかし、最大2~3日で水分が

表—1 C-WRILB (「本ブロック」) の性状

	カタログ値	実測値	目標値 (参考値)
曲げ強度	3 MPa 以上	3.26~3.69 MPa	3 MPa 以上 (歩道・小型駐車場)
保水量	0.22 g/cm ³ 以上	0.253~0.255 g/cm ³	0.15 g/cm ³ 以上
透水係数	1.5×10^{-2} 以上	4.1×10^{-2}	1.0×10^{-2} 以上
すべり抵抗値 (BPN)	60 以上	89	40 以上 (歩道)
環境安全性 (溶出試験)	有害金属の溶出なし	有害金属の溶出なし	有害金属の溶出なし
凍結融解性	合格	105 g	ASTM-C 1645
ブロックの密度	1.6 g/cm ³ 以下	1.544~1.563 g/cm ³	非透水 2.1~2.2 cm ³ 透水 2.0~2.1 cm ³
ブロック1個の重さ t=60 mm	1.85 kg 程度	-	2.6 kg 程度
ブロック1個の重さ t=80 mm	2.48 kg 程度	-	3.4 kg 程度



写真—6 C-WRILBを使った緑化舗装



図—8 C-WRILBを使った緑化舗装システム概略

蒸発してしまい、水道水等の散水なしに雨水だけで、その機能を十分に発揮することは難しかった。このC-WRILBは1週間程度保水状態であることから、日本の天気状況においてはこの間に1回程度の降水が期待でき、ほぼ降雨のみで路面温度の上昇抑制を行えるブロックである。しかしながらコストの問題、施工性

のさらなる改善等いまだに解決しなければならない問題が残っている。

公共交通機関を利用するに際しては「待ち時間」がどうしても必要になり、人々の滞留時間が発生する。特にお年寄り、子ども・ベビーカーの幼児は路面に近いので、路面からの輻射熱を受けやすくなり、猛暑の影響を受けやすい。路面温度上昇抑制舗装は、熱環境の改善効果があるため今後さらに普及するものと期待できる。海外においてもこうした技術輸出は、自然の作用で温度上昇を抑制できるため低エネルギーの環境対策となるであろう。我々は微生物が生息した痕跡という新たな空隙を利用し、超微多孔質の材料から今回のブロックを開発したが、今後バイオと建設を融合させ新たな環境商品を安く、簡単に製作できるように、さらに開発を進めていきたい。

謝辞

最後にこのブロック開発にあたり、テーマを与えていただき、製作・実証実験にご協力いただいた、奥谷氏、富樫氏ほか小松精練(株)のみなさん、北陸ブロック(株)の山崎社長、長期間にわたり実験・評価をいただいた日本道路技術研究所 中原氏、朴氏、常松氏ら関係各位に深謝する。

JCMA

[筆者紹介]
 関 賢治 (せき けんじ)
 日本道路(株)
 技術営業部
 課長

