

歩道舗装用資材「チャコールブロック」への竹炭の利用

誌名	愛媛県林業技術センター研究報告 = Bulletin of the Ehime Prefectural Forest Research Center
ISSN	13489534
著者名	松岡,真悟 加藤,真吾
発行元	愛媛県林業技術センター
巻/号	25号
巻号補足	
掲載ページ	p. 18-24
発行年月	2006年12月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター

Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



〈資料〉

歩道舗装用資材「チャコールブロック」への竹炭の利用

松岡真悟・加藤真吾

Shingo MATSUOKA and Shingo KATOH

竹材有効利用の一つとして竹炭利用を挙げ、愛媛県森林組合連合会が製造を手がけていた土木建築資材「チャコール六角ブロック」に準じて、破碎竹炭を用いたブロックを試作した。数回の試作を繰り返して、強度性能と歩行性能をバランスよく発揮できる製造方法を検討した結果、歩道舗装用ブロックとしては十分な強度性能と高い透水性を持ち、さらに柔軟性を持ちながらも、同時に寸法安定性や凍結に耐える丈夫さも有する竹炭ブロックを完成させた。

キーワード — チャコールブロック、歩行性、舗装資材、強度、竹炭

1. 緒言

西日本の里山地域では多くの竹林が放置されて周辺への侵入拡大が問題となっている。現在、竹林の管理・供給面の研究は様々な方面で検討・実施され、一方で、竹材利用面についてもバイオマス熱利用などの大量消費の方法が注目されているが、これらが決定打を放つにはまだまだ時間を要する。また、竹材利用の一つ“竹炭”に目を向けてみても、ブームといわれる中、各地で炭焼き活動が行われているものの、竹炭の使用用途が少なく、竹材利用には大きく貢献していない。ただ、この竹炭ブームが、意識を里山へ向けさせる材料になっていることは確かであり、これを大きく発展させることは重要である。そこで、本研究では、竹材利用の一つとして竹炭の利用を考え、愛媛県森林組合連合会が製造を手がけていた歩道舗装用資材「チャコール六角ブロック」を、破碎竹炭を用いて製造した。本報内容は一部を除き、松岡(2006)により要約的に報告されており、ここではその詳細を報告する。なお本研究は、林野庁林業普及情報活動システム化事業「竹材新規用途開発研究」(平成16～17年度)の中で行った。

2. 材料及び方法

2.1 供試材料

2.1.1 破碎竹炭

破碎竹炭として、2箇所で作製されたモウソウ

チク炭(以後竹炭A、竹炭Bと称する)を購入し、破碎したものをふるい分けた。ふるい分けには、4つの目開きの試験用ふるいを使用し、目開き19mm以上のものを除いた上で、9.5mm以上19mm未満、4.75mm以上9.5mm未満、2mm以上4.75mm未満、2mm未満(以後それぞれ大粒炭、中粒炭、小粒炭、細粒炭と称する)の4つの大きさにふるい分けた。なお、竹炭については購入後、それぞれ50個の薄片を任意に採取し、精錬度(株式会社三陽電機製作所製の木炭精錬計を使用して、全乾時に測定)と全乾密度(=全乾重量/竹炭の見かけ体積)を測定した。

2.1.2 接合剤等混合物

接合剤等混合物には、普通ポルトランドセメント、レジン(エチレン酢酸ビニルエマルジョン)、砂、水道水を用いた。

2.2 材料の配合及びブロックの製造

材料の配合を変えながら、3回の試作(以後第1期試作、第2期試作、第3期試作と称する)を行った。各材料の配合を表-1に示す。

第1期試作の材料使用量および配合は、既存製品の特許内容に準じ、後述の要領にてブロックを製造し試験に供した。この第1期の試験結果から、強度性能と歩行性能の竹炭粒度別配合による違いについての所見が得られたため、第2期試作では、強度性能重視型、歩行性能重視型とこれらの中間

表－1 試作期別の粒度別竹炭及び各材料の配合

試作 段階	接合剤等混合物				竹炭					竹炭粒度 別配合設 定数	
	セメント kg	砂 kg	水 l	レジン l	粒度別配合比率(体積比率)				合計量 ^{注1)} l		使用竹炭
					大粒 %	中粒 %	小粒 %	細粒 %			
第1期	0.48	0.90	0.32～0.42	0.55	0～100 0～100 0 or 10 0 or 10 (組み合わせによる設定数11種類)				6.67	竹炭A、竹炭B	11
第2期	0.48	0.90	0.32～0.42	0.41 (1期の75%)	0	75 (強度性能重視型)	12.5	12.5	6.00 (1期の90%)	竹炭A	レジン量2種 類×配合タイ プ3種類× 竹炭合計量 3タイプ=18
				0.28 (1期の50%)	65	10 (歩行性能重視型)	12.5	12.5	5.33 (1期の80%)		
					37.5 (強度、歩行性中間型)	37.5	12.5	12.5	4.67 (1期の70%)		
第3期	0.48	0.90	0.32～0.42	0.39 (1期の70%)	50	30 (中間型改Ⅰ)	10	10	5.33 (1期の80%)	竹炭A	2
				40 (中間型改Ⅱ)	40	10	10				

注1) 竹炭の合計容積は、大粒炭、中粒炭、小粒炭、細粒炭のそれぞれの容積を合計したもの。

型を設定し、使用材料の減量についても考慮したうえで配合を決定した。更に、第2期試作の試験結果を検討した上で第3期試作の材料使用量および配合を決定し、これを最終試作とした。

供試ブロックのサイズ及び形状は縦300mm×横300mm×厚さ50mmの立方体とした。ブロックは特別に金属製型枠を設け、4mm厚さの合板を中敷した上に材料混合物(人力で混合)を充填し、ロードセル付き加圧装置により加圧成型した。成型荷重は、ブロックが所定の厚さになるまで無制限としたが、最終的には、既存製品の特許内容に準じて50N/cm²を目指した。なお、加圧成型後は、速やかに中敷ごと型枠から取り出し、1か月程度養生した後、“もどり”の有無を確認するため、寸法測定を行った。

2.3 性能試験

2.3.1 基礎性能試験

2.3.1.1 ブロック全乾密度

全乾密度は、後述の曲げ試験体2体について、破壊後に温度105℃中での恒量を測定して全乾重量とし、ノギスで外寸法を測定して得た見かけの体積で除して求め、これをブロック代表値とした。

2.3.1.2 寸法安定性試験

ブロックの、温度変化や吸水・乾燥による膨張・収縮の有無を確認した。30cm角平板から、200mm×50mm×厚さ50mmの小試験体を1体切り出し、水

中浸漬7日間(常温水道水)の後、40℃乾燥を7日間施し、寸法変化や反り、曲がり測定した。

2.3.1.3 定水位飽和透水試験

客観的な透水性能を知るために、土壤透水性試験に常用される定水位透水試験を適用した。供試体は、30cm角平板から、直径50mm×厚さ50mmの小試験体を2体切り出し、これらを試料円筒(DIK-1800型、内径50mm、高さ51mm)に装てんし、小試験体と円筒との接触面は、シリコンでコーティングをした。試験は、供試体の24時間以上の水中浸漬を経てから行い、飽和透水係数[cm/s]を算出した。なお、係数には、水の粘度の温度変化を考慮した補正を指定温度15℃で施した。

2.3.1.4 連続空隙率測定

透水性に大きく関わる連続空隙率を、次式より算出した。

$$\text{有効空隙率} = (V1 - V2) / V1 \times 100 [\%]$$

30cm角平板から、各種試験体を採取した残りの約100mm×300mm×厚さ50mmの平板1体について、ノギスで外寸法を測定し見かけの体積(V1)を求めた。その後、水中に強制浸漬し、微振動を与えながら体内空気を逃がしたときの1分後の浮力を測定し、それを有効空隙と半有効空隙を除いたブロック平板の体積(V2)と見立てた。

2.3.1.5 pH測定

pH 測定は、30cm角平板から任意に試料を採取

し、JIS K 1470 粉末活性炭試験方法に準じて行った。すなわち、ブロックから切り出した乾重量約1gの小片をハンマーで砕き、その粉末を100mlの蒸留水に投入し、5分間煮沸・攪拌したものを常温まで冷まし、その液体のpHを計測した。

2.3.2 強度性能試験

強度は重要な要素であり、特に使用目的を考えると曲げ性能と圧縮性能が高いほうが良いと思われる。また、敷設場所がいわゆる野ざらしであるために、耐候性の確認も必要である。

2.3.2.1 曲げ試験

30cm角平板から、240mm×30mm×厚さ50mmの小試験体を切り出し、厚さ方向を高さとした、スパン200mmの中央集中荷重方式(荷重速度0.5mm/min)で曲げ試験を行った。なお、試験体はブロック1枚につき2体採取し、それらの平均値をブロックの代表値とした。

2.3.2.2 圧縮試験

30cm角平板から、30mm×30mm×厚さ50mmの小試験体を切り出し、厚さ方向を高さとした圧縮試験(荷重速度1mm/min)を行った。なお、試験体はブロック1枚につき2体採取し、それらの平均値をブロックの代表値とした。

2.3.2.3 促進耐候試験

30cm角平板から切り出した50mm×50mm×厚さ50mmの小試験体を、促進耐候試験機(スガ試験機株式会社製低温キセノンウェザーメーターXL75)にセットし、1サイクル〔照射(キセノンランプ)＋降雨(スプレー噴射0.5MPa)[30分]→低温(−5℃)[60分]→乾燥(60℃)[90分]〕の促進耐候処理を40サイクル施した後、80℃恒量の前後比較による重量損失率測定と、色彩色差計(ミノルタ株式会社製色彩色差計CR-300)による色(明度)の変化の計測を行った。なお、この試験は第3期試作のみに行った。

2.3.2.4 30cm角平板曲げ試験

舗装用コンクリート平板(JIS A 5304現在廃止)との比較のため、300mm×300mm×厚さ50mmのサイズで平板曲げ試験(スパン240mm)を行った。なお、

この試験は、第3期試作のみに行った。

2.3.3 歩行性能試験

歩行の際、足にやさしい条件として、滑りにくいこと、透水性が良いこと、適度な弾力があることが主要な要素に挙げられる。そこで、カットしないままのブロック(300mm×300mm×50mm)を供し、これらの性能を確認した。

2.3.3.1 すべり抵抗性試験

舗装試験法便覧(1988)「6-5舗装路面のすべり抵抗の測定方法」のうちの、振子式スキッドレジスタンステスターによる方法で、表面が濡れた状態(撒水直後の冠水状態)でのすべり抵抗値(BPN)を測定した。これはゴム製のスライダーの縁が試験面を滑動するときの抵抗値を測定するものである。堀江(1999)は、この方法は自動車タイヤのすべりを想定したものとして、歩行用としては別のものを提唱しているが、アスファルトなどとの比較も容易であり、ゴム底靴との相関も高いと見込めるため便宜的にこの方法を用いた。なお、すべり抵抗値は、舗装試験法便覧(1988)「6-5舗装路面のすべり抵抗の測定方法、解説(1)振子式スキッドレジスタンステスターによる方法の温度補正」に基づいて、表面温度補正(20℃)を施した。

2.3.3.2 現場透水試験

舗装試験法便覧(1988)「5-4-1透水性アスファルト舗装の現場透水試験方法測定方法」を適用して透水性を評価した。ここでの評価は、400mlの水が流下した時間[秒]を用い、客観的な透水係数は、先述の2.3.1.3 定水位飽和透水試験に委ねた。

2.3.3.3 弾力性試験

舗装試験法便覧別冊(1996)「1-3-2T弾力性試験方法」を適用し、ゴルフボール反発係数及びスチールボール反発係数のうち、予備試験により、明確に数値が読みとることができたゴルフボール反発係数を採用した。なお、スチールボール反発試験では、球の直径が1インチとゴルフボールより小さいため、表面の凹凸の影響で垂直に跳ね上がりにくいことや、跳ね返り高さの読みとりが不可能なくらい小さかったことから採用しなかった。

2.3.4 野外敷設試験

第3期試作の[中間型改Ⅰ](表-1)の配合でブロックを数枚製造し、そのうち8枚を、林業技術センター敷地内に敷設して、歩行性や耐候性の実証試験を行った。敷設時期は平成18年4月であり、敷設方法は、砂利の上に砂を5mm程度厚さで敷きならし、その上にブロックを設置した。敷設直後にゴルフボール係数(GB)を測定した。

3. 結果と考察

3.1 供試竹炭の密度と精錬度

ブロックの材料として使用した竹炭の全乾密度と木炭精錬計による精錬度を表-2に示す。

表-2 使用した竹炭の精錬度と全乾密度

	木炭精錬計 による精錬度	全乾密度 g/cm ³
竹炭A	4.42 (3.08)	0.70 (0.15)
竹炭B	2.81 (3.04)	0.56 (0.08)

上段: 平均値 下段(): 標準偏差

精錬度では竹炭Bの方が高く、竹炭Aの精錬度分布において5.0未満が58%であるのに対し、竹炭Bでは82%であり、竹炭Bの方が全体的に良く炭化されている傾向を示したが、全乾密度は竹炭Aの方が高かった。これらの両竹炭は、第1期試作に供されたが、両者間で、竹炭密度がブロック密度に反映された(第1期試作、竹炭A使用ブロック全乾密度が0.82g/cm³に対し、竹炭B使用では0.73g/cm³)だけで、その後の試験結果には特徴的な差が無かったため、第2期試作以降は竹炭Aを試作に供した。

3.2 成形荷重及び養生後の寸法確認

ブロックの成形荷重は、第1期試作においては250N/cm²を示すものもあったが、その後の竹炭量の減量等により、第3期試作においては、既存製品の仕様と同じ50N/cm²とすることができた。次に養生後の、いわゆる“もどり”の確認であるが、第3期試作ブロック10枚の寸法について、各辺の

中央部にあたる部位の厚さを測定した結果、合計40箇所の厚さ平均値は、51.2mmであり、成型後のもどりが若干見られた。しかしながら、40箇所のうち、最大52.5mmと最小49.1mmの差は3.4mmであり、一般にバリアフリーの観点において、段差は5mm以下にしておくことがつまづき防止になると言われていることから、ブロックの敷設を想定した時、“もどり”により生じるブロック厚さのバラツキが、直接つまづきの原因にはなりにくいと考えられた。

3.3 性能試験

第1期試作及び第2期試作のデータ分析の結果から、次のような知見を得た。図-1は、第1期試作ブロック22枚と、第2期試作ブロック18枚の合計40枚の試験結果について、試験項目ごとに性能の良い順に順位を付け、強度性能(曲げ強度、曲げヤング率、圧縮強度)の順位合計と歩行性能(GB、現場透水、すべり抵抗)の順位合計の相関をあらわしたものであり、簡易な手法ではあるが相互性を示している。また、図-2は、同じく第1期と第2期の合計40枚について、成形荷重と圧縮強度の相関を示したものである。これらは、図-1、図-2ともにある程度の相関関係を示しており(相関係数が共に0.6程度)、これらのことから次の2点を推測した。

- ①強度性能と歩行性能は相反し、負の相関にある。
- ②使用竹炭量が多く、製造時の圧力が高いほど強度性能が高くなる。

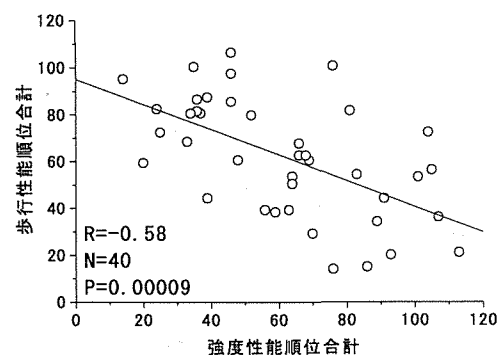


図-1 強度性能と歩行性能の相関図

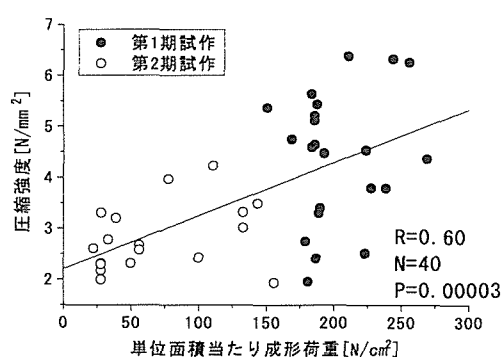


図-2 成形荷重と圧縮強度の相関図

そこで、工場の加圧装置の能力に制約があること、強度を高くすれば歩行性能を損なうことを考慮して、強度性能と歩行性能をバランスよく発揮できる製造方法を検討し、第3期試作に反映させた。さらに、第2期試作以降、炭やレジンの減量についても検討しているが、第3期では、高価なレジンの量を初期設定よりも30%減じることが可能であった(表-1参照)。

以後試験結果については、この第3期試作につ

いてのものを挙げる。第3期試作の試作数は、中間型改Ⅰ、中間型改Ⅱ(表-1参照)それぞれ5枚ずつの合計10枚であるが、両者間における目立った性能差はなかったため、双方をあわせて平均した結果を表-3に示した。なお両者の試験体数は同じである。

3.3.1 基礎性能

竹炭ブロック全乾密度では、木チップ炭を使用した既存製品で $0.59\text{g}/\text{cm}^3$ のところ、 $0.77\text{g}/\text{cm}^3$ と高いものとなった。ただしこれは、竹炭密度の高さが反映されたものであり、竹炭の充填率が高まったものではない。そのため連続空隙率は約20%と、既存製品よりも高い数値を示しており、透水係数による判断では、砂程度の中位の透水性を示している。また、寸法安定性は確保されており、敷設後に、寸法変化による狂いを起こさないことが予想された。pHにおいては、もともとの竹炭自体のpHが9~11程度であったのが、ブロックでは11~12となり、セメントの影響が加味されたものと思われる。

表-3 第3期試作の性能試験結果

試験項目	基礎性能					強度性能					
	全乾密度	寸法安定性	定水位飽和	連続空隙率	pH	曲げ試験		圧縮試験	耐候性試験	300×300平板曲げ試験	
	g/cm^3	(水浸漬と乾燥)	透水性 (土壌式)	%		曲げヤング率 kN/mm^2	曲げ強度 N/mm^2	圧縮強度 N/mm^2		曲げ強度 N/mm^2	曲げ強さ荷重 kN
試験体数	4	4	4	4	—	4	4	4	4	4	
平均値	0.77	膨潤・収縮 反り・曲がり 見られず	$10^{-3} \sim 10^{-1}$ cm/s	19.9	11~12	0.259	1.16	2.96	重量損失1% 程度。明度L* が23から32へ 変化した。	1.81	4.0
標準偏差	0.03			1.9	—	0.075	0.17	0.25		0.19	0.4
備考	木チップ炭の 既存製品は、 $0.59\text{g}/\text{cm}^3$ で あり、試作品 の方が重い。		砂程度の中 位の透水性と される。		第1期試作の 代表的なもの で測定。				表面が、断片 的に白色を帯 びた。	曲げ強さ荷重は厚さ平均が 51.6mmの時のもの。JISの 300×300×60mmのコンク リート平板曲げ強さ荷重の適 合基準は、11.77kN(曲げ強 度 $3.92\text{ N}/\text{mm}^2$)である。	

試験項目	歩行性能		
	すべり抵抗	現場透水	GB係数
	20℃補正值	(400ml流下時 間)秒	
試験体数	10	10	10
平均値	77	5.8	25
標準偏差	3	0.5	3
備考	40以上が望ま しいとされて いる。	透水性コンク リート板で5秒 程度とされ る。	コンクリート床 で70~80、ア スファルト舗 装で60~ 70(実測値)で あった。

3.3.2 強度性能

曲げや圧縮の強度性能については、木チップ炭を使用した既存の製品と同等以上の性能が得られた。これは、木チップ炭と比べて竹炭の粒度が大きいこと、さらに竹炭の強度が高いことが主な理由と考えられる。しかしながら、コンクリート平板との比較においては約半分程度の強度値しか示さず、舗装用コンクリート平板(30cm×30cm×厚さ6cm)の曲げ強さ荷重(スパン24cm)の適合基準が、11.77kN(曲げ強度3.92N/mm²)とされている一方、竹炭ブロックの平板曲げ強度から算出したブロック厚さ6cm換算時の曲げ強さ荷重は、5.43kNであった。ただし、厚さ5cmの30cm角竹炭ブロックの中央に荷重をかけたときに、約400kgfまで割れずに耐えることができるため、歩道用としては十分であると考えられる。促進耐候試験の結果については、表面が断片的に白みがかかる変化(明度L*が増加)を見せたものの、目視観察では損傷も無く、重量損失も1%程度であり大きな影響は無かった。

3.3.3 歩行性能

すべり抵抗値BPNは、望ましいとされる40以上を大きく上回り、アスファルトと同程度のBPN 77という値を示した。現場透水試験においては、透水性コンクリート板が5秒程度とされるところ、竹炭ブロックの平均値は5.8秒であり同程度の透水性能を見せた。また、ゴルフボールの跳ね返りを見る弾力性も竹炭ブロックのGB係数が25%であり、コンクリート床やアスファルト舗装での実測値を大きく下回っており、硬すぎず、軟らかすぎず程良い値が得られた。第3期試作品に代表される竹炭ブロックは、水はけが良く、たとえ冠水した直後でも滑りにくく、さらに軟らかい歩き心地を持ったブロックであるといえる。

3.3.4 野外敷設試験

竹炭ブロック敷設直後のGB係数の平均は24%程度であり、第3期試作の試験結果と同じ値が得られた。現在、敷設後半年程度経過したが、目立った損傷は無く、透水性も損なっていない。

また、この試験には、第3期試作の[中間型改Ⅰ]のタイプを用いたが、[中間型改Ⅱ]と比べて、次の利点が見られたためにこれを採用した。それは、竹炭の粒度別配合比において、[中間型改Ⅰ]では大：中：小・細＝5：3：2であるのに対し[中間型改Ⅱ]では、大：中：小・細＝4：4：2であった(表-1参照)が、この[中間型改Ⅰ]の比率は竹炭を人力(ゴムハンマー等)で破碎しただけで得られる比率であり、つまり、人力で破碎した竹炭破碎物から粒度が目開き19mm以上のものを取り除いたものの比率が、限りなく[中間型改Ⅰ]のものと近似していたためである。これは、作業の省力化にもつながる。なお、補足すると、表-1に示す竹炭の使用量は、粒度ごとの竹炭の体積(かさ)を合計したものであるが、野外敷設試験用[中間型改Ⅰ]の製造時に、破碎竹炭混合後の全体の体積(かさ)を計測した結果、4.2リットル(気乾重量実測で1.99kg)であった。

4. 結言

既存の製品である木チップ炭チャコールブロックの木チップ炭の代わりに破碎竹炭を用いたブロックを試作した。製造方法における最終的なコンセプトは、強度性能と歩行性能のバランスの良さであり、さらに、高価で製造コストを引き上げていたレジンの使用量の減量も試みた。その結果、①歩道舗装用ブロックとしては十分な(既存の製品と同等以上の)強度性能が得られた。②空隙が多くなり、高い透水性が得られた。これらは、竹炭自身が持つ硬度や、適度な粒度別配合、そして、破碎で生じた適当な粒形に由来する。③柔軟性を持ちながらも、同時に寸法安定性や、凍結に耐える丈夫さも持ち得た。この破碎竹炭ブロックは、舗装資材の他にも有用な用途があると思われる。

謝辞

本研究を進めるにあたり御協力いただいた、愛媛県森林組合連合会及び愛媛県建設研究所の方々にお礼申し上げる。

参考文献

- 堀江秀夫(1999) 木質系舗装版の性能評価方法.
北海道林産試験場だより 11:5-13.
- 岸 久雄・中山伸吾・渡辺京子・笠原大樹・徳田
迪夫(2003) 木質廃材を活用した舗装資材の開
発.三重県科学技術振興センター林業研究部研
究報告 15:1-13.
- 松岡真悟(2006) 歩道用ブロック資材へのモウソ
ウチク炭の利用.Bamboo Voice No.26:6-11.
- 社団法人日本道路協会編(1988) 舗装試験法便覧,
丸善,東京.
- 社団法人日本道路協会編(1996) 舗装試験法便覧
別冊(暫定試験方法),丸善,東京.