

竹片を混合したポーラスコンクリートの力学的特性

遠藤典男*¹・猪瀬大幸*²・大山彩香*³・小林清*⁴・丸山健太郎*⁴

Mechanical Properties for Porous Concrete Mixing with Bamboo Chip

ENDO H Norio, INOSE Hiroyuki, OHYAMA Ayaka,
KOBAYASHI Kiyoshi and MARUYAMA Kentaroh

It is known that bamboo have water-quality purification function. When porous concrete are mixed with bamboo chip, improvement of water-quality purification function is expected, but compressive strength is decreased.

In this research, mortar (which constitutes porous concrete) are replaced by bamboo chips (that size is about 1.2mm or 2.5mm×0.5mm×0.1mm), evaluating that mortar and porous concrete to mechanical properties.

At first step, in order to evaluate 15hit-flow value and compression strength of mortar which were replaced by bamboo chip, here changing to ratio of replacing, and changing to sizes of bamboo chip. Next, verifying compression strength of porous concrete mixing with bamboo chip.

As the results, replacing ratio, which compression strength is not decrease remarkably and bamboo chip are able to recognize on surface of porous concrete, is about 5%.

キーワード：ポーラスコンクリート，圧縮強度，フロー値

1. 緒 言

ポーラスコンクリート（以下 PoC）は、通常のコンクリートに比し空隙が多いことに起因し、植生基盤、水質浄化を目的とし、護岸の近自然化工事や水質浄化材として適用されつつある。近年では PoC の実用化が拡大し、植生目的のプランターや集水枡、護岸工事、さらには防音壁、透水性舗装等に適用されている。今後、環境共生型の社会基盤整備が推進されると考えられることから、設置や修繕、維持管理が容易な PoC 製のコンクリート 2 次製品の需要が高まると思われる。

一方、中山間地の管理が不十分となった竹林では

著しい速さで生育し、竹林周辺に隣接する森林、あるいは住宅、構造物等へ拡大する被害（竹害）が見られるようになった。また、竹が水質浄化機能を有することは広く知られており、竹を炭化させた竹炭を河川中に静置することで水質浄化を図った事例も報告されている。また、竹を粉体にした竹粉中には窒素酸化物を分解する微生物が生息するとの報告もある。

以上の見地から、現状では廃棄物として焼却処分される竹の有効利用として、PoC のモルタルの一部を竹片により置換した。これにより PoC と竹の有する水質浄化機能が相まって、機能向上が期待できると考えた。このため本研究では、竹片を混合した PoC の力学的性状に対してのみ考察することとし、水質浄化機能に関しては今後の検討課題とし、本文では言及しない。ここで、竹片を PoC のモルタルへ混合するにあたり、1) 竹片置換割合、および形状寸法の変化に伴うモルタルのフロー値と圧縮強度、2) 竹片を混合した PoC の圧縮強度、の 2 項目に関して検証した。

*1 環境都市工学科教授

*2 平成 23 年度特別研究生（現 榑守屋商会）

*3 平成 23 年度卒業研究生（現 榑NTT ファシリ
ティーズ）

*4 技術支援部

原稿受付 2012 年 5 月 20 日

2. 使用材料

2-1 物性値

表1にPoC試験体作製に使用した骨材の物性値を示す。骨材は千曲川水系の川砂利であり、粗骨材の実積率は67.9%である。

表2にPoCに混合した竹の物性値を示す。竹は長野市西部地域に自生する孟宗竹であり、採取後1年程度自然乾燥したものをを用いた。ここで、竹は繊維質で吸水率が大きく、また湿潤状態、絶乾状態の定義が一義的になさされていないため、竹の密度に関しても粗骨材の密度測定方法（JIS A 1110）に準じた。すなわち、竹の湿潤密度は、50mm×50mm×5mm程度の竹片を、24時間以上水中に静置した後の状態を湿潤状態と仮定し湿潤密度を算出し、また乾燥密度は、同様な形状の竹片を105℃の炉内で24時間以上乾燥した後の状態を絶乾状態と仮定し乾燥密度を算出した。

2-2 竹片の形成と形状寸法の決定

竹片の形成に関して、まず軸方向を40mm程度に切断した後、周方向を1mm程度にスライスしミキサーで粉碎した。さらに、粉碎後の竹片を、PoC作製時の粗骨材最大寸法(20mm)を鑑みて、2.5mmおよび1.2mmフルイに残留したものを、モルタル、およびPoCに混合時した。なお、竹片の形状寸法に関しては予備実験として、窒素酸化物の存在する溶液中に、5、2.5、1.2mmフルイに残留した竹片を静置し、時間経過に伴う窒素酸化物分解試験を実施した。その結果、5mmにフルイ残留した竹片は窒素酸化物の分解が不十分なことが判明しており、PoCに混合する竹片の形状寸法を2.5mmと1.2mmフルイに残留した竹片とした(以下では2.5mmを竹25、1.2mm竹12と称する)。

3. モルタルとPoCの配合と力学的特性

3-1 竹片置換したモルタルのフロー値と圧縮強度

表3にPoCへ適用するモルタルの配合を示す。同表において、モルタルの竹片置換割合を0~12%まで3%刻みで変化させた5種類の配合を設定した。ここで、PoCに適用するモルタルの強度は、粗骨材を堅固に結合する必要から、水セメント比(W/C)を0.42とした。また、フロー値は細骨材の配合割合に大きく依存し、さらにフロー値がPoCの圧縮強度に影響を与えるため、竹片を混合しない場合において、PoC作製時に適切な値となる細骨材粉体比(S/C)を2.0と設定した。竹片置換する場合には、

表1 骨材の物性値

	細骨材	粗骨材
表乾密度 (g/cm ³)	2.60	2.62
絶乾密度 (g/cm ³)	2.56	2.57
吸水率 (%)	2.4	0.8
単位容積質量 (kg/l)	1.63	1.78
実積率 (%)	62.7	67.9
粗粒率	2.4	6.4

表2 竹の物性値

乾燥密度 (g/cm ³)	湿潤密度 (g/cm ³)	引張強度 (N/mm ²)
0.66	1.00	300

表3 モルタルの配合

配合種別	W/C	S/C ^{*1}	単位量(kg/m ³)			
			水 W	セメント C	細骨材 S	竹片 B
B0	0.42	2.0	268	638	1277	0
B3	0.42	2.0	260	619	1239	20
B6	0.42	2.0	252	600	1200	40
B9	0.42	2.0	244	581	1162	59
B12	0.42	2.0	236	562	1124	79

*1 細骨材質量Sとセメント質量Cの質量割合(細骨材-粉体比)

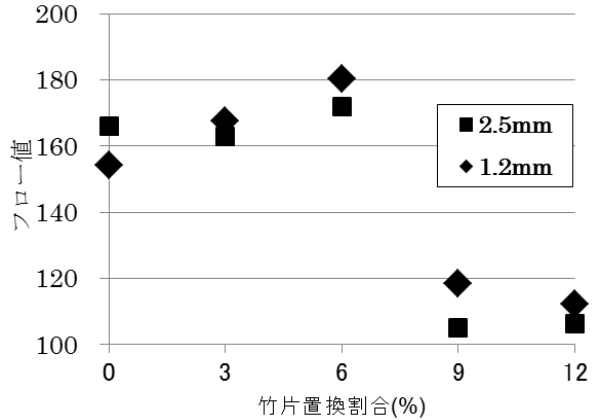


図1 竹片置換割合-モルタルフロー値関係

モルタルの一部が竹片で置換されることになるが、セメントと細骨材の混合割合は変化しない。なお、竹片は自然乾燥したものをを用いたため、竹片置換した場合には、モルタル中の混合水の一部が竹片に吸収されることになるが、竹片混合率が小さいため吸収される水量は僅かと考え、配合計算の際には本件に対する特別な配慮はしなかった。

図1に竹片置換割合とモルタルの15打フロー値の関係を示す。竹25、竹12ともに、置換割合が6%までは竹片量の増加に伴い、フロー値は僅かに増加し、流動性もPoCの作製に適用可能な範囲と考えら

れる。一方、置換割合が 9%を超えると、フロー値は著しく低下した。PoC の作製時にはフロー値が 150~200 程度の適度な流動性が必要である。しかしながら竹片置換率が 9%以上では、フロー値が 100 程度であり、PoC 作製時に支障が生じると考えられる。したがって、竹片混合 PoC を作成するには、竹片置換割合を 3%と 6%とした。

図 2 に竹片置換したモルタルの圧縮強度を示す。同図より竹片置換割合が 6%までは、竹片置換割合の増加に伴い圧縮強度は低下し、6%以上では圧縮強度は置換しない場合の 20%程度と小さな強度となった。またフロー試験と同様に、竹片の形状寸法による圧縮強度の差異は僅かであった。ここで、竹片置換率が 6%の場合においては、フロー試験の結果から適度な流動性が得られたこと、また PoC の要求強度が小さいことから、PoC の配合は竹筋置換率が 0, 3, 6%の 3 種類を設定した。

3-2 竹片を混合した PoC の作製と圧縮強度

表 4 に竹片を混合した PoC の配合を示す。同表において、竹片置換によりモルタルの圧縮強度が低下することから、空隙率 (Va/V) を 10, 15%の 2 種類、モルタルの竹片置換割合を前述したように、0, 3, 6%の 3 種類を設定し、6 種類の配合により PoC を作製し、圧縮強度の比較を行った。なお、各配合で竹片として竹 25 を混合し、またモルタルの配合は、表 3 で示した値と同一割合とした。

ここで、竹片置換後の圧縮強度の目標値を 10 (N/mm²) とした。これは、粗骨材として川砂利を適用したこと起因し、特に竹片を混合した PoC を十分に締固めることは難しいこと、さらに竹片の混合によりモルタル強度が低下することを考慮したためである。

PoC 供試体の作製に当たっては、練り混ぜは手練

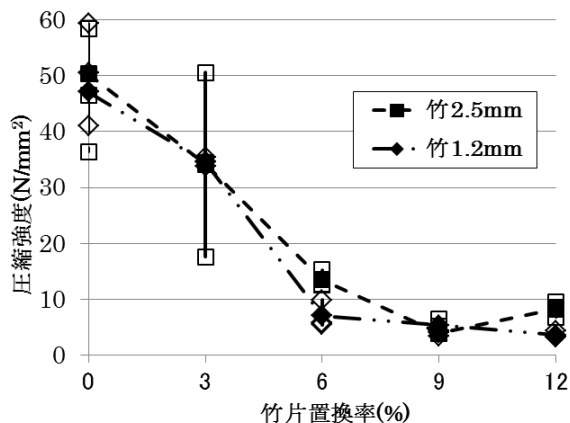


図 2 モルタルの圧縮強度



写真 1 竹片を混合した PoC の性状

りで行い、型枠に 3 層に分けて打設した。締め固めは各層で、まず突き棒で表面を均らした後、型枠断面よりもやや小さい円柱状のコンクリート塊を木槌で 30 回叩いた。前述したように、締固めによる竹片の損傷が危惧されることから、PoC を脱型した後の竹片の性状を目視により確認したが、著しい損傷は見られなかった。

写真 1 に竹片を混合した PoC 試験体 (配合は

表 4 竹片混合 PoC の配合

配合種類	粗骨材最大寸法 (mm)	W/C (%)	P/G*1 (%)	Va/V*2 (%)	単位量(kg/m ³)				
					水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	竹片 B
B0-10	20	42	31.8	10	160	381	761	1700	0
B0-15	20	42	25.2	15	127	302	603	1700	0
B3-10	20	42	30.9	10	155	370	740	1700	5
B3-15	20	42	24.5	15	123	293	587	1700	4
B6-10	20	42	30.1	10	151	360	721	1700	9
B6-15	20	42	23.8	15	120	285	570	1700	7

*1 モルタル質量 P (P=W+C+S+B) と粗骨材質量 G の割合

*2 PoC の全体積 V に対する空隙体積 Va の割合 (空隙率)

B3-10) の表面を示す。同写真は、円柱供試体の上部を示しているが、混合した竹片が確認できる。なお、同写真では示されていないが B3-x, B6-x の各配合においても、供試体の上部、および側面部においても、竹片置換割合が 3, 6%と小さな値ではあるが、多くの竹片が確認できた。これは、配合設計時にモルタルと竹片を質量割合で置換しているが、竹片の密度が小さいことに起因し、上述の置換割合でも、体積割合では多くの竹片がモルタル中に混合されるためである。

図 3 は、表 4 に示す各配合で PoC 供試体を作製し、実測した空隙率と圧縮強度の関係である。同図において空隙の実測値は、表 4 に記した値より全ての供試体で大きくなっている。これは、竹片が自然乾燥状態のものを用いており、PoC の空隙率測定時に、24 時間以上水中に静置後の質量を測定する際、置換した竹片が吸水した影響と考えられる。配合 B3-10 は圧縮強度のばらつきが大きいですが、平均すると 15 (N/mm²) 程度の強度が得られ、当初設定した強度 (10N/mm²) の 1.5 倍程度の強度が得られた。さらに、配合 B6-10 においても、竹片置換割合が大きくなると共に、モルタルの強度も低下することになるが、目標強度と同程度の約 10 (N/mm²) であった。

一方、仮定した空隙率が 15%の配合 B3-15 では、目標強度と同程度の約 10 (N/mm²) の圧縮強度が得られたが、B6-15 では 7 (N/mm²) 程度であり、目標強度が得られなかった。

以上のことから、竹片置換 PoC を作製する場合、竹片置換割合は 5%程度が上限であり、また置換によりモルタルの強度が低下するため、PoC の空隙率を小さく設定することで、構造物の構成材料として機能し得る強度が得られると考えられる。

4. 結 論

本研究で得られた知見を以下に記す。

1) 竹片を置換した PoC は、モルタルの一部を竹片で置換することで強度が低下する。このため、構造物の構成材料として機能し得る強度を得るための置換率は 5%程度が上限であり、かつ空隙率を小さく設定する必要がある。

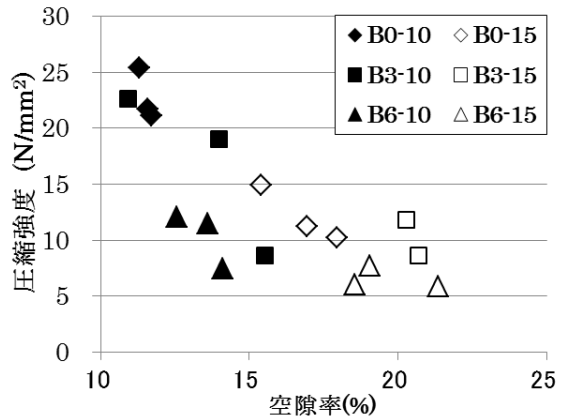


図 3 PoC の圧縮強度

2) モルタルの竹片置換を質量割合で配合設計したが、竹片の密度が小さいことに起因し、置換割合が 5%程度の小さい場合でも、置換割合に比し体積割合は大きくなる。このため、体積割合では多くの竹片がモルタル中に混合されることになり、PoC 表面において竹片を確認できることになり、竹片の環境負荷低減効果も期待できる。

参 考 文 献

- 1) 迫田恵三, 渡邊晋也, 梅澤智美: 竹炭とセメントを用いた多孔質な複合材料の性質, コンクリート工学年次論文集, Vol.26, No.1, pp.1497-1502, (2004.6)
- 2) 日本コンクリート工学協会: ポーラスコンクリートの設計, 施工法の確立に関する研究委員会報告書 (2003.5)
- 3) 建設副産物リサイクル広報推進会議編著: 総合的建設副産物対策, 財団法人先端建設技術センター (2000)
- 4) 猪瀬大幸: 竹混合ポーラスコンクリートの強度と水質浄化機能に関する研究, 長野高専専攻科平成 23 年度特別研究論文 (2012.2)
- 5) 猪瀬大幸, 遠藤典男, 酒井美月, 大山彩香: 竹混合ポーラスコンクリートの強度と水質浄化機能に関する研究, 平成 23 年度土木学会中部支部研究発表会講演概要集, VII-28, pp.507-508 (2012.3)