

## 木炭を混入したポーラスコンクリートの力学的特性について\*

遠藤典男\*\* 松岡保正\*\*\*

## Mechanical Characteristics for porous Concrete Mixing to Charcoal pieces

ENDO H Norio and MATSUOKA Yasumasa

According to water purification function, micro-habitat creation effect of charcoal making it known to everyone. Application to insulations, sound-proof, and permeable pavement, etc, was expected using many properties due to porous concrete (PoC) which has void. So that PoC contains a lot of void, there are many cases that demanded strength of PoC are small. In this reason, substituting to pieces of charcoal into a part of coarse aggregates of PoC, the following suppositions were made. 1) Because strength of charcoal is small, charcoal does not contribute to strength of PoC. 2) When mixing proportion of PoC was decided, the substitution rate was calculated by volume percentage.

Under these suppositions, substitution ratio of charcoal was changed, and trial manufacture of PoC in different substitution ratio and consideration for properties of hardened, strength of PoC.

キーワード：ポーラスコンクリート，木炭置換，圧縮強度

## 1. はじめに

木炭の水質浄化機能，マイクロハビタット創出効果は周知の通りである．一方，ポーラスコンクリート（以下 PoC と記す）は，一般的なコンクリートの配合に較べ極めて多量の粗骨材を，僅かな高強度のセメントペーストで接着したものであり，多くの空隙を有するコンクリートである．この空隙の多さを利用し断熱・遮音・透水性舗装など種々の分野への適用が期待される．また，コンクリートの強度に寄与するセメントペーストの配合が少量なため，PoC の要求強度は小さいことが多い．このため本研究では，PoC の粗骨材の一部を木炭に置換し，力学的特性—特に圧縮強度—に関して考察するものである．

木炭を混入した PoC 製のブロックを河川等に設置した場合，PoC の種々な効果に加え木炭の有する水質浄化機能およびマイクロハビタット創出効果が期待できると思われる．

しかしながら，木炭は原料となる木材に起因した不確定性要因，すなわち木材の種類，乾燥の程度および乾燥収縮による亀裂の有無あるいは多少，さらには木炭作成時の温度や状況等でその力学的特性力学的特性が異なるため，特に本研究に対しては木炭の強度を定性的に評価することは難しい．このため粗骨材を木炭に置換するにあたり次のような仮定を行った．

1) 木炭部分の強度は小さいため，木炭部分は PoC の強度には寄与しない．したがって，配合設計段階において，木炭は PoC の空隙と同等の位置付けとした．ただし，空隙率測定時における空隙体積： $V_a$  は PoC の実空隙部分の体積のみを考え，粗骨材の木炭への置換の有無に関係なく全体積： $V$  に対する  $V_a$  の割合 ( $V_a/V$ ) を一定とした．

\* 本研究の一部を平成 17 年度土木学会中部支部研究発表会において発表した

\*\* 環境都市工学科助教授

\*\*\* 環境都市工学科教授

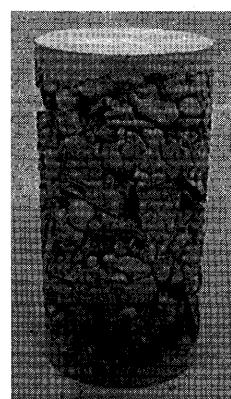
原稿受付 2006 年 5 月 19 日



(a) 置換率 0%



(b) 置換率 20%



(c) 置換率 40%

写真1 木炭を混合した PoC 供試体

表1 木炭の物理諸量

最大寸法	絶乾密度	表乾密度	吸水率
25 (mm)	0.83 (g/cm <sup>3</sup> )	1.09 (g/cm <sup>3</sup> )	29.0 (%)

表2 PoC に配合した粗骨材の物理諸量

最大寸法	絶乾密度	吸水率	粗粒率	実積率
20 (mm)	2.62 (g/cm <sup>3</sup> )	1.3 (%)	6.70	65.5 (%)

表3 木炭を混合した PoC の仕方配合

置換率 (%)	W/C (%)	W (kg)	C (kg)	G (kg)	木炭 (kg)	P/G (%)
0	30	86	287	1491	0	25
10	30	86	287	1341	48	27
20	30	86	287	1192	95	29
30	30	86	287	1043	143	31
40	30	86	287	894	190	34
50	30	86	287	745	238	38

2) PoC 設計時において、セメントペースト:Pと粗骨材:Gの割合(P/G)は重量百分率で表されるが、粗骨材を木炭で置換しない場合(木炭による置換率:0%)を基準として配合設計した後、粗骨材と木炭の総体積、すなわち全体積:Vに対する粗骨材と木炭の体積が変化しないよう、置換率は体積百分率により算定した。

以上の仮定の下で、PoCに配合する粗骨材の一部を木炭に置換し、置換割合を変化させ硬化後の性情および圧縮強度に関する考察を行った。

## 2. 木炭および骨材の物性値

表1に木炭の、表2に粗骨材の物理諸量を示す。まず、木炭は50mm×50mm×(60~70mm)程度

の形状寸法を有する市販の燃料用木炭を、ハンマーにより粉碎した後、30mmふるいを全て通過し、5mmふるい通過分はできる限りカットしたものを適用した。PoCへ木炭を混入するに際しては、先に示した仮定でも述べたように、木炭自身は一種の空隙と位置付けた。このため大小の粒径の木炭をPoCに混合することにより、見かけ上の空隙が増加すると考えることもできる。なお、木炭は十分な強度が期待できないため(個体差はあるものの)、練り混ぜ時の損傷を考慮し粗骨材に比し多少大きい25mmを最大寸法とした。また、表乾密度は当初1より小さいと考えていたが、測定の結果1.09と、吸水率が大きいため絶乾密度の0.83よりもかなり大きな値となった。一方本研究で取り扱う木炭を混合したポーラスコンクリートは、PoC固有の空隙と、木炭の混合に起因する空隙(木炭の強度をないと仮定、見かけ上の空隙)という2種類の空隙が存在する状態を仮定したため、十分な強度が得られないと考えた。このため、PoC中により密実に粗骨材を配し、強度向上を目指したいとの理由から多様な粒径が混在している千曲川水系の川砂利(粒径20-05)を用いた。

## 3. 配 合

表3に仕方配合を示す。各配合とも水-セメント比:(W/C)を30%とし、目標空隙率:( $V_a/V$ )を25%(容積百分率)、置換率0%(木炭を混合しない場合)のセメントペースト重量:Pと粗骨材重量:Gの割合(P/G)を25%とし、目標圧縮強度を、10(N/mm<sup>2</sup>)と仮定した。粗骨材を木炭へ置換した配合に対しては、先述した仮定に基づき置換率を10%~50%まで5段階に変化させた。なお、60%以上の置換率に対しては、PoCの重量および強度面で実用的ではないと判断し、置換率50%を上限とした。

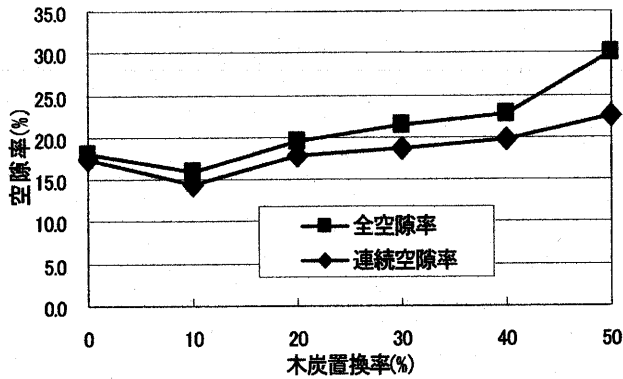


図1 木炭置換率と空隙率の関係

#### 4. 硬化後の性状

写真1(a)は粗骨材のみの供試体を、(b)、(c)は各々木炭への置換率を20%、40%としたPoC供試体を示す。写真(b)で示すように、木炭の置換率が10%~20%のPoC表面では、木炭をあまり確認できないのに対し、写真(c)で示すように、置換率の増加に伴いより多くの木炭を確認できる。また、PoC表面の木炭にセメントペーストの付着が確認されるが、内部空隙部分においても多くの木炭表面が確認（表面空隙より内部を観察した際の目視による）でき、木炭の表面積は外見よりも相当多いと考えられる。

図1に粗骨材の木炭への置換率と全空隙率および連続空隙率の関係を示す。同図において、木炭の置換率が増加するのに伴い全空隙率、連続空隙率ともに大きくなるとともに、全空隙率と連続空隙率の差も徐々に大きくなっている。これは、置換率の変化に伴い、個体差はあるが、木炭表面の一部にセメントペーストの付着が生じた部分と、非常に吸水性の高い木炭本来の表面が露出している部分の両者が混在しており、木炭表面から急速に吸水はするものの、非常に吸水率も大きいため、短時間で空隙の多くを水で満たすまでには至らなかったことが要因だと考えられる。

図2に木炭置換率と木炭表面積の関係を示す。置換率の増加割合に比し、PoC表面に木炭が露出する割合が小さいことがわかる。木炭置換率20%の場合には、総表面積（約628.32 cm<sup>2</sup>）に対する木炭の露出面積の割合は10%（63.34 cm<sup>2</sup>）であるのに対し、木炭置換率40%の場合では約15%（93.11 cm<sup>2</sup>）であった。ここで、供試体表面のみに関しては木炭置換率の増加に伴い、木炭表面積は減少しているが、図2に示すように置換割合に応じて連続空隙率と全空隙率の差が広がっていることから、PoC内部空隙の木炭表面積についても勘案すると、木炭表面積は

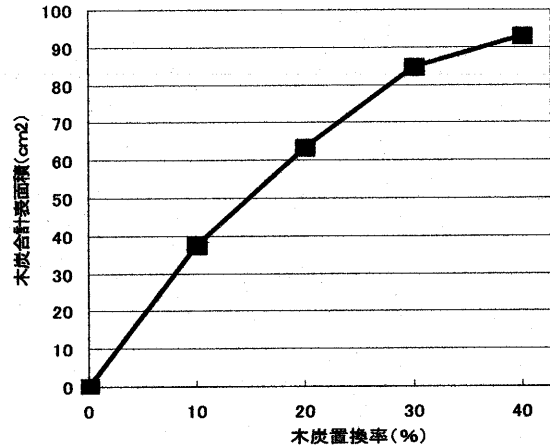
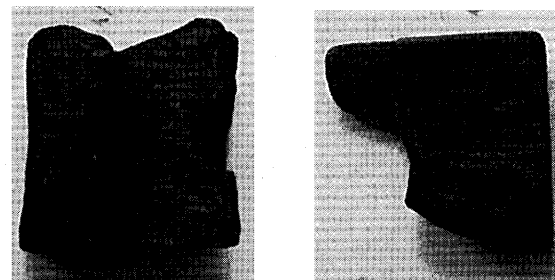


図2 木炭置換率と木炭表面積



(a) 攪拌前の木炭

(b) 攪拌後の木炭

写真2 攪拌前後の木炭の状態

減少してはいないと考えられる。

#### 5. 機械練り時の木炭損傷評価

本研究では、手練により、木炭を混合したPoCを作成したが、機械練り時における木炭の損傷も行なった。その方法は、木炭置換率を30%とした骨材（粗骨材：10.45 kg (4.0ℓ) + 木炭：1.45 kg (1.75ℓ)）のみを傾胴型ミキサーにいれ、5分間空練りし、攪拌後の木炭の状態を評価することにより、損傷状態を確認した。

写真2に攪拌前後の木炭の状態を示す。写真2(a)、(b)を比較すると、機械練り前の木炭(a)に比し、機械練り後の木炭(b)では、木炭端部の角部の鋭利な部分が骨材と攪拌されることにより磨耗し、木炭は僅かに丸みを帯びた程度で、実験に用いた全ての木炭においても破断、破損等の大きな損傷は見られなかった。なお攪拌後木炭のみを取り出し質量を計測したところ、3%（約50g）程度減少していた。これは微小な木炭粉となり回収できなかったものの質量であり、実際に機械練りする際には、木炭粉も僅かではあるがペーストに混入することがわかる。当初、木炭は一個体差はあるものの脆く壊れ易いと予想していたが、木炭を混合したPoC作成に対しても機械練りでも対応できることがわかった。

## 6. 圧縮強度

図3に木炭置換率と圧縮強度の関係を示す。PoCに木炭を混合するに際し、一般に木炭の強度が小さいため、強度的には一種の空隙として位置づけると仮定したが、圧縮強度試験結果を示す同図からも、木炭の置換率が増加するのに伴い、強度も減少している様子がわかる。木炭の置換率が0%~20%までは、全空隙率はほぼ一定であるのに対し、置換率が増加するのに伴い圧縮強度は小さくなっている。置換率30%以上では、圧縮強度が2~3(N/mm<sup>2</sup>)程度と小さくなってしまい、構造物として十分な機能を果たせないと考えられる。

## 7. おわりに

木炭をPoCに配合し、その性情、および圧縮強度に関して考察した。得られた知見を以下に示す。

PoC表面の木炭にセメントペーストの付着も多くの部分で確認されたが、PoC表面から内部に至る空隙にも多くの木炭表面が確認できた。このため、河川などに配置した場合にはPoCおよび木炭双方の相乗効果により、より効果的に浄水効果およびマイクロハビタット創出効果が期待できると思われる。

一方、木炭への置換率が20%までは、置換率の増加に比例して、圧縮強度は低下する。木炭への置換率が30%を超えると著しく圧縮強度が低下することがわかった。配合時に目標圧縮強度を10(N/mm<sup>2</sup>)と仮定しており、置換率が20%以上では目標値が満足できなかった。しかしながら、配合を変更する(P/Gを増加させる等)、木炭の形状寸法を変更する等により今後強度の向上を目指す。

最後に木炭を混合して機械練りする際も、比較的

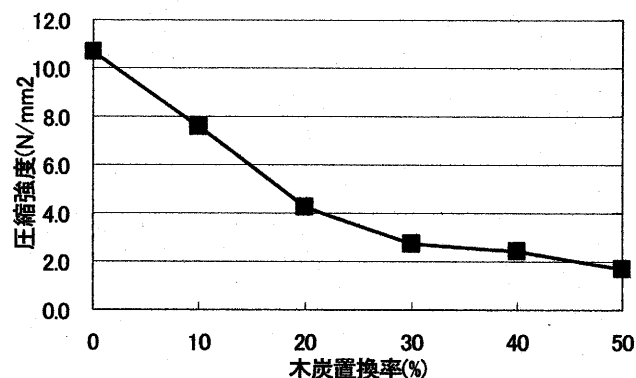


図3 木炭置換率と圧縮強度の関係

良好な品質の木炭を適用すると損傷の程度は僅かであり、機械練りにも対応可能であると考えられる。

## 参考文献

- 1) 山田, 川幡, 今井, 前田谷: 木炭微粉末を混合したコンクリートによる品質改善及び環境改善の研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.27No.1, pp.1297-1302, (2006.6).
- 2) 迫田, 渡邊, 梅澤: 木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.26No.1, pp.1497-1502, (2004.6).
- 3) リサイクル資材のコンクリートへの活用技術の標準化調査研究委員会: リサイクル資材のコンクリートへの活用技術の標準化, コンクリート工学, Vol.39, No.10, pp.98~101, 日本コンクリート工学協会 (2001.10).
- 4) 遠藤典男, 松岡保正, 酒井穂泉: 木炭を混入したポーラスコンクリートの力学的特性, 平成17年度土木学会中部支部研究発表会講演概要集, pp.513-514, (2006.3).