

論文 ポーラスコンクリートの水質汚染物質除去特性

新西 成男*¹・中澤 隆雄*²・張 日紅*³・今井 富士夫*²

要旨:本研究では、ポーラスコンクリートの空隙がバクテリアの増殖によって目詰まりすることを抑制するために、内部空隙の他に汚水の通路となるパイプ状の穴を設けたポーラスコンクリートを作製し、骨材の粒径の違いや穴の有無および本数がリンや窒素などの水質汚染物質の除去に及ぼす影響を検討した。

キーワード:ポーラスコンクリート, 水質浄化, ぼら, 空隙率

1. はじめに

近年、地球温暖化をはじめ地球規模の環境問題に対する関心が高まっており、環境保全の重要性が盛んに叫ばれている。環境問題の一つである水質汚濁では、水域に生育する生物等が有する浄化能力以上の流入負荷が工場、畜産および家庭排水等によってもたらされていることが要因の一つとして考えられる。

最近では、建設材料としてのコンクリートに対しても、力学的な性質のみならず、生物との共生あるいは環境保全を可能とする性質を有する、いわゆるエコマテリアルであることが強く求められるようになってきた。この一環として自然環境との調和、環境負荷低減が可能なポーラスコンクリートに関する研究が活発になされている¹⁾。ポーラスコンクリートは内部に連続空隙を有するため透水性および透気性に富み、汚水を通水した場合には空間内部に生物膜も形成され、水質浄化効果²⁾も高まると考えられる。

ポーラスコンクリートを用いて水質汚染物質を除去させる場合、汚水中の水質汚染物質が高濃度であると、ポーラスコンクリートの内部空隙において目詰まりが生じることがあり、汚染物質の除去効果が低下するほかに、嫌気性状態で悪臭やアンモニアの発生の問題が生じる。

そこで本論文では、ポーラスコンクリートの空隙における目詰まりを抑制するために、内部空隙の他に汚水の通路となるパイプ状の穴を設けたポーラスコンクリートを作製し、骨材の粒径の違いや穴の有無および本数がリンや窒素などの水質汚染物質の除去に及ぼす影響を検討した。

2. 実験概要

2.1 供試体作製

水質浄化試験用の供試体は 10 × 10 × 40cm の角柱供試体とした。また、圧縮強度試験用に φ 10 × 20cm の円柱供試体を作製した。使用したセメントは普通ポルトランドセメント（密度：3.15g/cm³）である。粗骨材は、南九州地域に広く分布している火山性の軽石であるぼら³⁾を使用した。骨材の粒径は、5 ~ 10mm（密度：1.35g/cm³）と 10 ~ 15mm（密度：1.32g/cm³）の 2 種類とし、水セメント比は全て 35 % とした。表-1 に使用したコンクリートの配合を示す。

表-1 ポーラスコンクリートの配合

骨材粒径 (mm)	空隙率 (%)	W/C (%)	単位量(kg/m ³)		
			W	C	G
5-10	25	35	64	182	851
10-15			75	215	801

* 1 宮崎大学助手 工学部土木環境工学科 博士（工学）（正会員）

* 2 宮崎大学教授 工学部土木環境工学科 工博（正会員）

* 3 和光コンクリート工業株式会社 博士（工学）（正会員）

練混ぜ方法は、パン型水平強制練りミキサ(50 l)を用いて、セメントと粗骨材を30秒間空練りした後、水を10秒間で投入し、その後20秒間練混ぜを行った。次に60秒間放置した後90秒間練混ぜを行った。

締固めにおいては、角柱供試体と円柱供試体の両供試体とも2層に分けて、各層を15回突き固めた。打設後の供試体は24時間 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ の恒温室に静置した後脱型した。なお湿度の制御は困難であり、50～70%の範囲で変動した。

脱型した供試体の空隙はJCIエココンクリート研究委員会が定めた空隙率の測定方法(重量法)¹⁾によって求めた。なお、配合において設定した空隙率と実測により求められた連続空隙率との差は4%以内であった。空隙率を測定した後28日間水温 20°C で水中養生を行った。養生直後の供試体を水路に浸漬した場合、水路内の水道水のpH値が12程度まで上昇するため、微生物の付着が阻害される。したがって、養生直後の供試体を 60°C で96時間乾燥させた後、中性化促進装置を用いて、濃度50%の炭酸ガス(空気：炭酸ガス=1:1)を20l/分の流入量で約30日間通気させて供試体を中性化させた。その後、供試体を水路に設置し、水道水を2日間通水させた後の流入部および流出部のpH値を測定したところ、流入部で約7、流出部で約8であった。

2.2 水質浄化試験

水質浄化試験は、写真-1に示すような6列の水路を有する実験装置を作製し、室温を 20°C に設定して行った。供試体は、図-1(a)および(b)に示すように粗骨材に用いたばらの粒径が5～10mmおよび10～15mmの2種類とし、各粒径において水の通路となるパイプ状の穴を1本(径30mm)および2本(径20mm)開けたポーラスコンクリート、ならびに穴無しのパーラスコンクリートを比較用で作製した。穴を含む連続空隙率は、粒径5～10mmでは、穴1本および2本において、それぞれ27.8%および

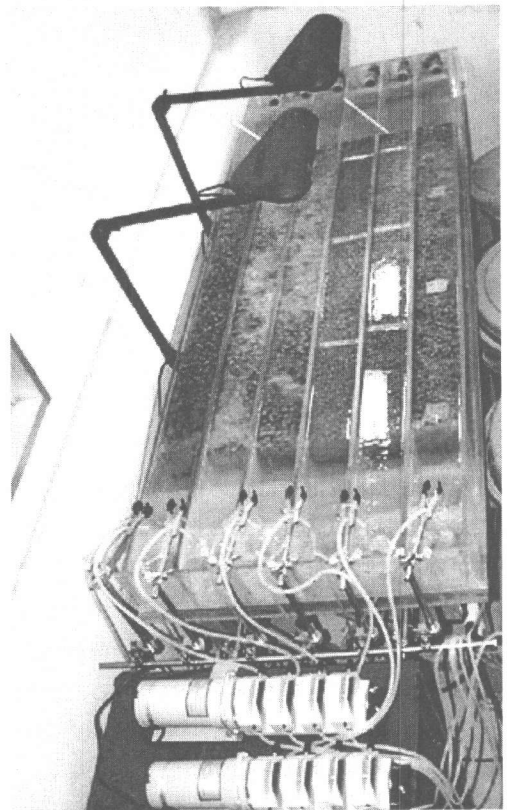
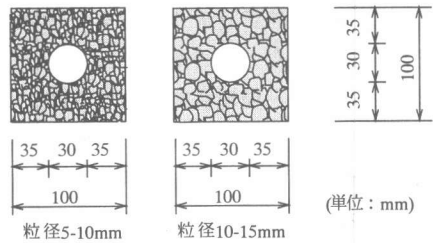
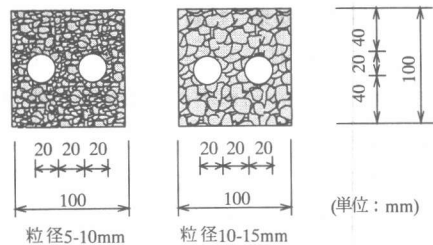


写真-1 水質浄化装置



(a) 供試体1 (穴1本)



(b) 供試体2 (穴2本)

図-1 供試体

26.6%、粒径10～15mmでは、穴1本および2本において、それぞれ28.8%および27.3%であ

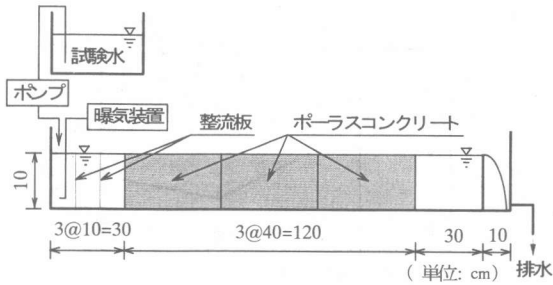


図-2 水質浄化装置の概略

った。pH 値を下げた供試体を各水路にそれぞれ 3 体直列に設置した。本装置の概略および供試体の設置状況を図-2 に示す。

生物膜の形成度を示す評価項目として、TOC (全有機炭素) を設定し、栄養塩類の除去効果には、全リンおよび全窒素の除去率を用いた。水路に流入させた試験水は表-2 に示すような人工汚水とし、その試験水を装置に外付けされたタンク内に貯留し、装置に供給した。供給した汚水は循環させず、一回のみ通水させた。人工汚水の流入側における濃度は、炭素 C : 窒素 N : リン P = 100 : 5 : 1 となるよう、TOC 40mg/l、全リン 0.4mg/l、全窒素 2mg/l に設定した⁹⁾。しかし、各水路の流入部のスペース (図-1 に示した整流板を設置している長さ 30cm の区間) に微生物が発生し、その微生物の量が各水路において異なったため、分解される汚水の量も異なり、流入部での汚水の濃度が相違したものと思われる。流入量は 20ml/分とし、滞留時間は約 2 時間 30 分 ~ 3 時間とした。また、生物膜が発達した場合、酸素不足になる可能性があるため、酸素を供給するためにエアーポンプにより 1.5l/分の曝気を行った。さらに、藻類が繁殖しやすいように、蛍光灯により約 2000 ルクスの光を供試体に対して 12 時間毎に点灯および消灯した⁹⁾。流入開始後、水路の流入側と流出側の両側において、TOC、全リン、全窒素、DO (溶存酸素) 濃度、pH、水温等の経時変化を測定した。なお、TOC の測定は全有機体炭素計、全リンの測定は多項目迅速水質分析計、全窒素の測定は携帯型富栄養計、DO 濃度の測定には DO 計

表-2 汚水の組成

グルコース	100mg/l (40mg-TOC/l)
NH ₄ Cl	7.6mg/l (2mg-N/l)
Na ₂ HPO ₄	1.8mg/l (0.4mg-P/l)
NaCl	3.3mg/l
KCl	1.6mg/l
MgSO ₄	1.3mg/l

を用いた。流入部での DO 濃度は各水路ともほぼ 4 ~ 8mg/l、流出部では 0.5 ~ 4mg/l であった。ポータブル pH 計によって測定した pH 値は、流入部で 6.5 ~ 8、流出部で 7 ~ 8.5 であった。水温は各水路とも 17 ~ 20 °C であった。

3. 実験結果及び考察

3.1 TOC濃度の経時変化

図-3(a)~(f) に TOC 濃度の経時変化を示す。穴の各本数における除去率の変化を粒径別に比較すると、粒径 5 ~ 10mm において、測定開始時 (実験開始後 7 日目) では、穴無しおよび穴 1 本の供試体で約 65%、穴 2 本の供試体で約 50% の除去率を示し、穴 2 本が穴無しおよび穴 1 本より若干低い除去率を示した。測定開始以降においては、穴無しの場合、約 40 日目頃まで変化が見られなかったが、約 70 日目頃までに約 90% まで除去率が増加し、約 70 日目を以降では約 80% の除去率を示した。これは、約 40 日目頃から供試体内部に加え供試体上部表面にも生物膜が発達したことによると思われる。それに対して、穴 1 本および穴 2 本では、それぞれ約 80 および 100 日目頃までほとんど変化が見られず、約 50 ~ 70% の除去率で推移し、両供試体の除去率に大差はなかった。これは、骨材粒径が小さい場合、穴から供試体の空隙へ向かう生物膜が発達する距離が短くなることが考えられ、穴の表面積 (円筒の側面積) の違いの影響は少なく、穴の周辺に発達する生物膜量に大差が無いことによると思われる。また、40 日目以降の穴無しとの除去率の差異は、穴を有

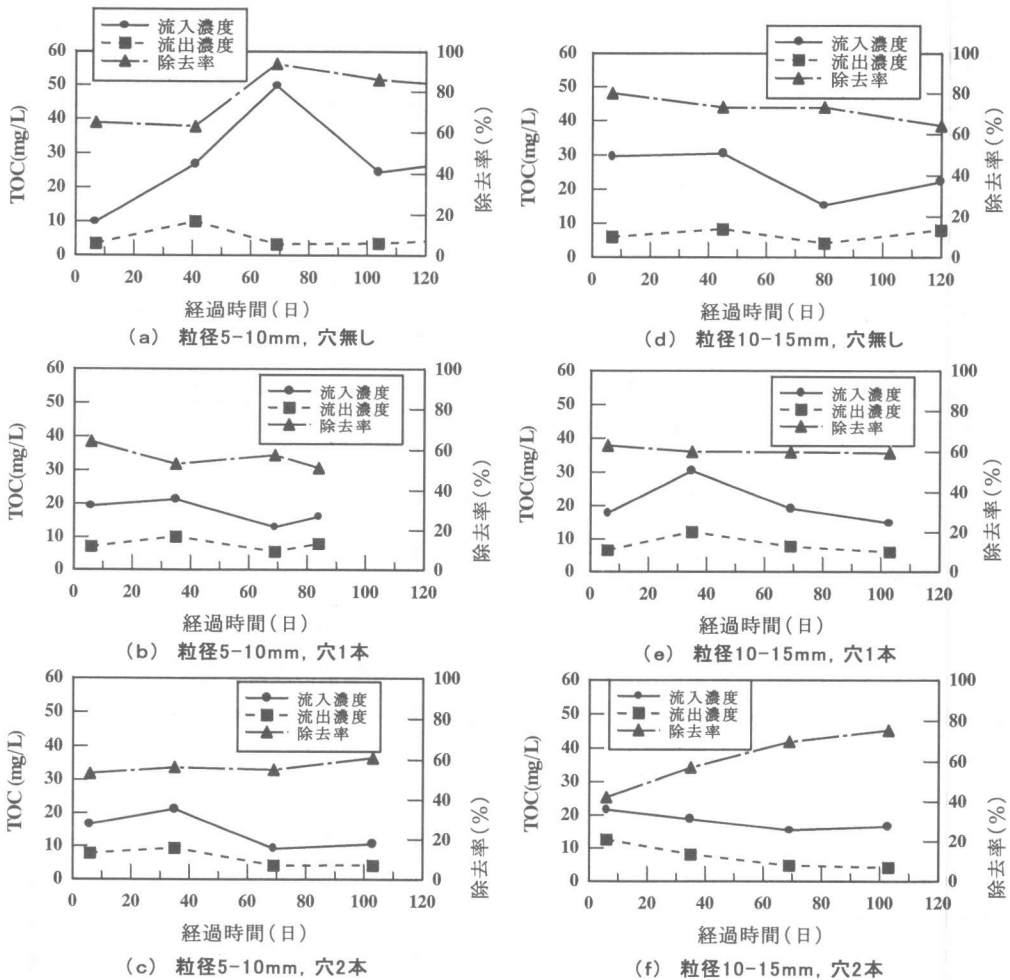


図-3 TOC濃度の経時変化

するものにおいて供試体上部表面にまだ生物膜が発達していないことにより若干低くなったと思われる。一方、粒径 10 ~ 15mm において、測定開始時では、穴無しで約 80%、穴 1 本で約 60%、穴 2 本で約 40%の除去率を示し、粒径 5 ~ 10mm と同様に穴 2 本では、穴無しおよび穴 1 本より低い除去率を示した。測定開始以降においては、穴無しでは約 120 日目頃までほとんど変化が見られず、約 60 ~ 80%の除去率で推移した。また、穴 1 本では約 100 日目頃までほとんど変化が見られない。それに対して、穴 2 本の場合、約 100 日目頃まで緩やかに増大し、約 80%の除去率を示した。約 40 日目以降において穴 1 本より高い除去率を示した理由と

して、骨材粒径が大きい場合、穴から供試体の空隙へ向かう生物膜が発達する距離が長くなることが考えられ、穴 2 本の場合の穴の表面積は穴 1 本の場合の 1.3 倍程大きく、穴の表面積の違いの分だけ生物膜量に差異が生じたことによるものと思われる。なお、各供試体とも約 40 日目頃から約 60 ~ 80%の除去率で推移しているのが分かる。

両粒径における除去率の変化を穴の本数別に比較すると、約 40 日目以降において、穴無しでは、粒径 10 ~ 15mm より粒径 5 ~ 10mm の方が高い除去率を示した。また、穴 1 本では同程度の除去率を示し、穴 2 本では粒径 5 ~ 10mm より粒径 10 ~ 15mm の方が高い除去率

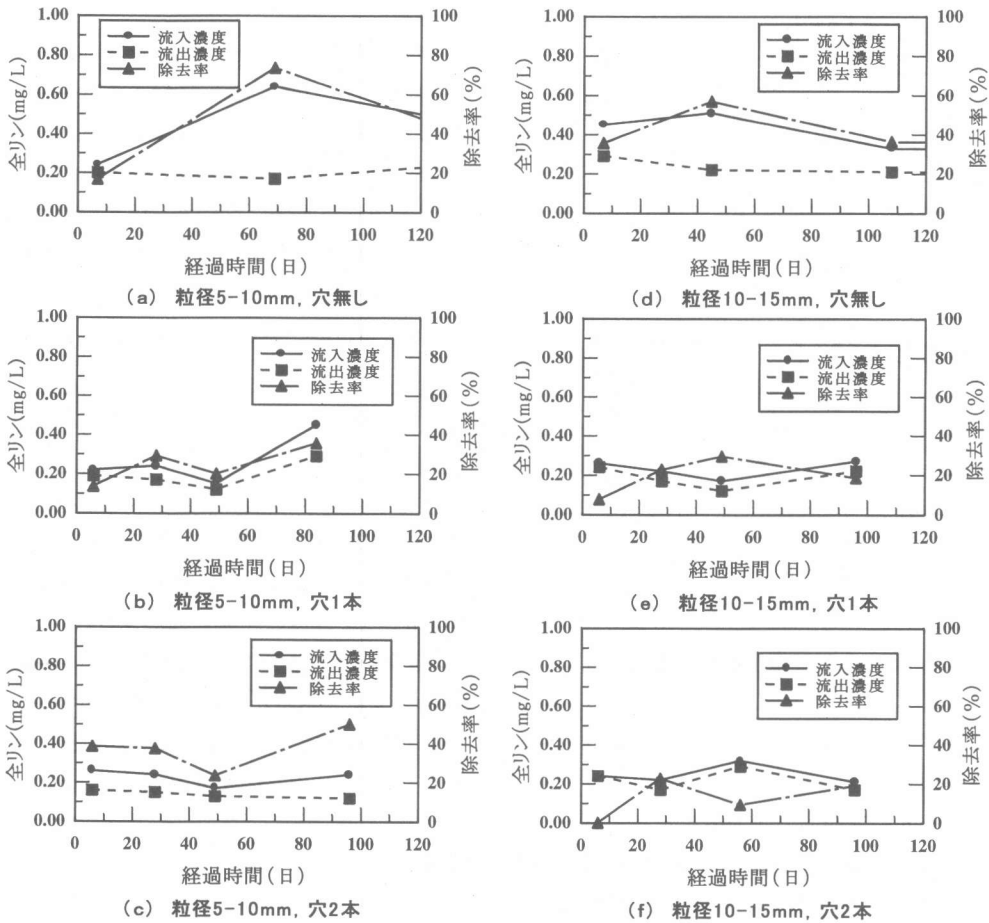


図-4 全リンの経時変化

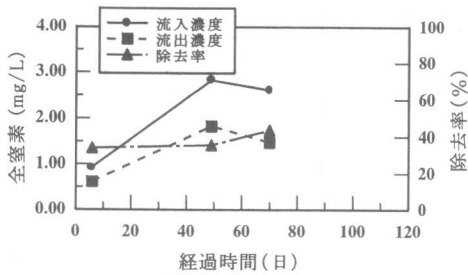
を示した。

3.2 全リン濃度の経時変化

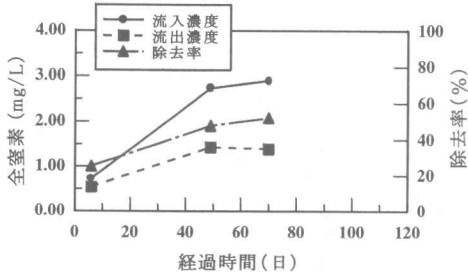
図-4(a)~(f)に全リン濃度の経時変化を示す。図より、穴の各本数における除去率の変化を粒径別に比較すると、粒径5~10mmにおいて、測定開始時では、穴無しおよび穴1本で約15%、穴2本で約40%の除去率を示した。測定開始以降では、穴無しの場合、約70日目頃において、約70%まで除去率が上昇し、その後減少した。穴1本および穴2本では、約30日目以降において約20~50%の除去率で推移した。一方、粒径10~15mmにおいて、測定開始時では、穴無しで約35%、穴1本および穴2本では10%以下の除去率を示した。測定開

始以降では、穴無しの場合、約40日目頃において、約60%まで除去率が上昇し、その後減少した。穴1本および穴2本では、約30日目以降において、さほど変化が見られず、約10~30%の除去率で推移した。これらより、粒径5~10mmの場合、約30日目以降において穴1本と穴2本の差異はほとんど見られなかった。なお、約70日目頃においては、両供試体とも穴無しに対して約半分程度の効果があるといえる。また、粒径10~15mmについても、約30日目以降において、穴1本と穴2本の顕著な差異は見られなかった。なお、約30日目以降においては、両供試体とも、穴無しに対して1/6~1/2程度の効果があるといえる。

粒径の違いが除去率に及ぼす影響を穴の本数



(a) 粒径10-15mm, 穴1本



(b) 粒径10-15mm, 穴2本

図-5 全窒素濃度の経時変化

別に比較すると、穴無しでは、除去率の変化の傾向は類似しているが、約70日目頃では、粒径5～10mmの方が高い除去率を示している。穴1本では、約30日目を以降、両粒径とも約20～40%の除去率を示しており顕著な差異は見られない。穴2本では、終始、粒径5～10mmの方が全窒素の除去に対して効果的であった。

3.3 全窒素濃度の経時変化

粒径5～10mmにおける全窒素濃度の経時変化を図-5(a)および(b)に示す。図より、穴1本では、測定開始時から約70日目頃まで、終始約40%程度の除去率で推移した。また、穴2本では、測定開始時において、約30%程度の除去率であったが、約70日目頃までに約50%程度まで除去率が增大した。これらより、実験開始時から約70日目頃までにおいて、穴1本と穴2本の間には顕著な差異は見られず、約30～50%の除去率を示した。

4. まとめ

本研究で得られた成果を要約すると以下のよ

うになる。

- (1) 骨材粒径5～10mmのぼらを用いたポーラスコンクリートのTOCに対する除去率は、穴無しの供試体では、約70日以降において、約80%程度、穴1本および穴2本の供試体では、実験開始後において、両者の間に顕著な差異は見られず、約50～70%程度の除去率であった。また、粒径10～15mmでは、約40日目を以降において全て約60～80%程度であった。
- (2) 全リンの除去に対して、穴1本と穴2本の間には顕著な差異は見られなかった。また、粒径5～10mmの場合、約70日目頃において穴1本および穴2本では、穴無しの約1/2程度、粒径10～15mmでは、約30日目を以降において、約1/6～1/2程度の除去効果が見られた。
- (3) 全窒素の除去に対して、粒径10～15mmの場合、実験開始時から約70日目までにおいて、穴1本と穴2本の間には顕著な差異は見られず、約30～50%の除去率を示した。

参考文献

- 1) 日本コンクリート工学協会：コンクリート研究委員会報告書（自然環境との調和を考慮したエココンクリートの現状と将来展望），1995.11
- 2) 水口裕之ほか：連続空隙を持つポーラスコンクリートの水質浄化機能に及ぼす空隙寸法及び空隙率の影響，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.19，No.1，pp.1045-1050，1997.6
- 3) 土質工学会九州支部編：九州・沖縄の特殊土，九州大学出版会，pp.171-178，1983.7
- 4) 本田典章，友沢孝：多孔質コンクリートを用いた付着型担体の性能評価試験，第27回下水道研究発表会講演集，pp.272-274，1994
- 5) 岡田美穂ほか：光強度がおよぼす沿岸環境の付着生物特性とそれに伴う水質変化，土木学会第52回年次学術講演会概要集，第7部，pp.216-217，1997.9