

都市型水害の減災に資する地盤内の水流制御技術の開発研究 (その1:水流の制御に関する基礎的研究)

正会員 ○畑中 重光*1 酒井 俊典*2
同 中川 武志*3 三島 直生*4

ポーラスコンクリート 都市型水害 減災
水平方向の透水性 見かけの透水係数 浸潤

1. はじめに

近年、いわゆる「ゲリラ豪雨」が発生すると、アスファルト舗装等の被覆面積が多い都市部では雨水が水路や河川に短時間で流入するために溢水・氾濫が生じ、都市型水害が発生することが報告されている¹⁾。このため、都市型水害を防止または減災する総合治水対策を考慮した都市づくりが求められている。

本研究では、高い透水性を有するポーラスコンクリートにより路面または床面を形成することで、その内部での雨水の貯水・排水を可能とし、雨水の流出遅延効果と流出量の低減効果を付与できる工法を提案する。この工法は、道路、歩道、公園、公共空間、建物外構等を形成する舗装工法²⁾として、豪雨時に雨水を路面下に吸収して、通行者の安全性を確保できるとともに、水路・河川への雨水流入の短時間集中を防止する(貯水・排水)機能により、都市型水害の防止対策となり得る。

本報では、ポーラスコンクリート内を水平に流れる水の動きの制御技術について基礎的検討を行う。

2. 透水係数

2.1 透水係数の考え方と実験方法

ポーラスコンクリート(以下、Poc)の透水係数は、これまで、主に、2004年に日本コンクリート工学会(JCI)の規準(案)として提示されている測定方法³⁾により評価されることが多かった。これは、供試体を容器内で水没させ、供試体を格納した管内を通過する流量及び(流入側と流出側の)水位差から算出される。この測定方法では、供試体を垂直に配置するが、基本的には水平・垂直によらない飽和状態の流れを代表する透水係数となる⁴⁾。

しかし、ここで、路面下のPoc内を水平方向に流れる場合の水流は、大気に接し、自由水面をもつ状態であり、飽和状態で測定された透水係数をそのまま使用できるかどうか不明である。また、実際の流れに適用するために、流路の形状・表面性状・勾配、水位等を考慮した経験式の導入が必要となることも考えられる。

そこで、自由水面を持つ水平方向の水流に関して使用できる透水係数または類似のパラメータを見出すため、溝型

の中にPocを打設した試験体中の水流に関する実験を実施した。実験の概要を表-1に示す。実験では、図-1に示すように、ポンプを使用して、連結した溝型内に水流を形成し、上流側の水位が安定した状態で流量を測定し、下流端の水位も測定する。

図-2は、供試体部の水流を示したものであるが⁵⁾、Poc内の水流の上面(浸潤面)が滑らかな流線となると仮定すると、デュブイの近似仮定から式(1)の関係が導かれる。

$$k = 2QL / (H_1^2 - H_2^2) \cdot W \quad (1)$$

ここで、k:見かけの透水係数(cm/s)、Q:流量(cm³/s)、H₁、H₂:水位(cm)、L:供試体長さ(cm)、W:流路の幅(cm)
本実験では、見かけの透水係数(以下、k値)とPocの平均骨材粒径、供試体長さ、水位等との関係を調べた。

表-1 実験の概要(要因と水準)

要因	水準
骨材(粒径mm)	5号(13-20)、6号(5-13)、7号(2.5-5)
長さ	0.25m、0.5m、0.75m、1.0m

※ 太字は基準となる水準

底面の勾配:なし、設計空隙率:30%、水セメント比:45%

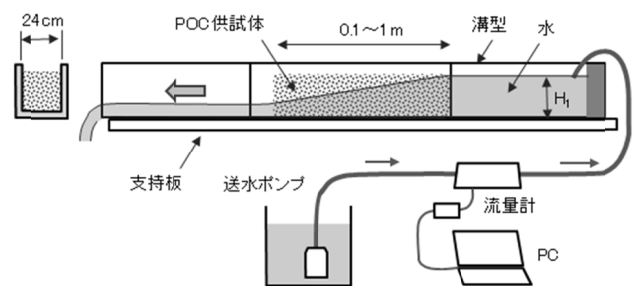


図-1 ポーラスコンクリート内の水流に関する実験方法

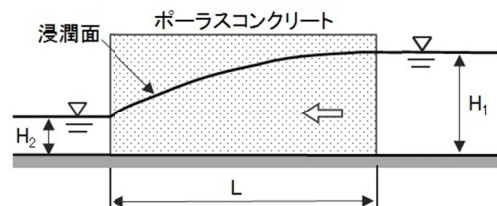


図-2 供試体内部に自由水面(浸潤面)をもつ水流

2.2 実験結果

図-3、図-4 に実験結果の例を示す。算出された水平方向の k 値は一定値ではなく、次の定性的傾向がある。すなわち k 値は、Poc の骨材粒径が大きいほど、初期水位(H_1)が高くなるほど増大する(図-3)。また、供試体が長くなるに伴って k 値は低下するが、次第に一定値に近づく傾向がある(図-4)。

水平方向の k 値は、例えば、6号砕石(骨材粒径 5-13mm)、空隙率 30%、水位 20cm で 7cm/s 程度であった。この値は、JCI 基準(案)方式で得られた円柱供試体の透水係数 2~4cm/s に比べて若干大きい。この差の原因としては、流路形状及び壁境界の効果の影響も考えられる。また図-3において、初期水位 10cm の場合より 20cm の場合の方が流量が大きかったが、流量が大きくなると k 値が小さくなる傾向が見られる。その原因として、流れが式(1)の前提である層流ではなく乱流であることも考えられ、式(1)の適用可能な範囲についてはさらに検討が必要と考えられる。

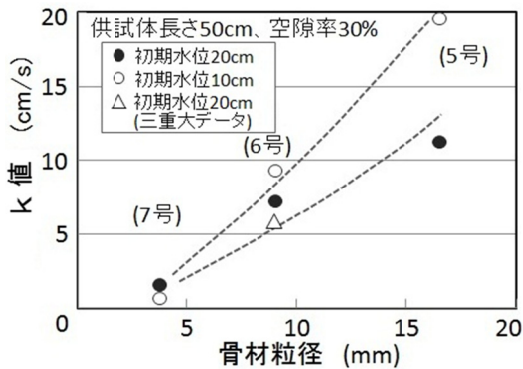


図-3 k 値と骨材粒径及び水位との関係

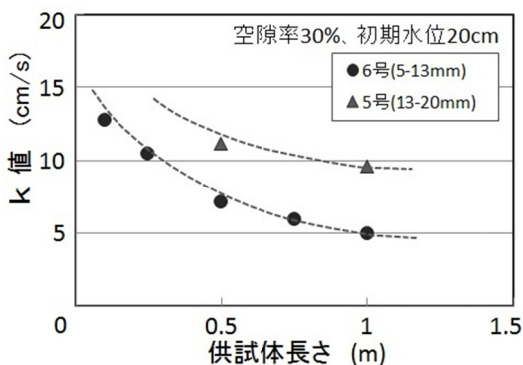


図-4 k 値と供試体長さの関係

3. 雨水の排水遅延効果の推定

市街のある Poc 領域への降雨について考える。 k 値が変動することがわかったため、ここでは、本実験で別途得られた下流端の流速(6号、空隙率 30%、初期水位 20cm で 6cm/s 程度、及び水路勾配 0.1 の同条件で 11cm/s という結

果を基に推定式を作成)を便宜的に使用して、流末の排水曲線⁶⁾を求めた。排水曲線は、領域を細分割して、ブロック毎の排水量と到達時間を求め、積算すれば概算できる。一方、非透水性舗装表面の流水の場合は、水路等の設計に用いられるマンングの式⁷⁾を用いて推定できる。

詳細は割愛するが、例えば 100m×100m の領域(Poc 厚さ 20cm、空隙率 30%、勾配が x 方向 0.03、y 方向 0.01)からの排水曲線を試算すると、非透水性舗装と比較して、定常降雨 100mm/h の場合で 60 分程度の排水遅延効果があると推定された。また、2 時間で 1 周期、100mm/h 相当の正弦波降雨波形では、40 分程度の排水ピークの遅延効果と、12%程度の排水ピークの低減効果があると試算された。

なお、Poc 内の水流に関する議論を進めるためには、 k 値が安定する条件の模索が必要であり、また、式(2)に示すように、ダルシーの法則を参照した適切な流下速度 V (cm/s)の推定式の提案が望ましい⁴⁾。

$$V = a \cdot k \cdot I \quad (2)$$

ここで、 I : 動水勾配(-)、 a : 定数
今後、この点について詳細な検討を進める予定である⁸⁾。

4. まとめ

水平方向の透水係数には、おおよそ次の傾向がある。

- 1) ポーラスコンクリートの骨材粒径が大きくなると見かけの透水係数は増大する。
- 2) 供試体の長さが長くなると、見かけの透水係数は低下し、また、初期水位が高いと増大する傾向がある。
- 3) 都市の街区に Poc 舗装を適用すれば、豪雨時の水害対策として効果を十分期待できる。

【謝辞】

本研究は、国土交通省建設技術研究開発助成制度の補助金を受けた。付記して、謝意を表する。

【参考文献】

- 1) 三上岳彦: 知りたいサイエンス 都市型集中豪雨はなぜ起こる?、技術評論社、2011年6月
- 2) 中川武志、畑中重光、三島直生、松村豪: 住空間における意匠性に配慮した複層ポーラスコンクリート歩道の施工実験、コンクリート工学、Vol.46, pp. 20-27, No.12, 2008年
- 3) JCI、ポーラスコンクリートの透水試験方法、2003年3月修正版
- 4) 増山幸衛、草刈憲嗣、小柴朋広: 排水性舗装の透水能力測定法に関する研究、土木学会舗装工学論文集、第6巻、pp.1-10, 2001年12月
- 5) 松岡元: 土質力学、森北出版、pp.32-53、1999年10月
- 6) 舗装委員会、舗装設計施工小委員会著: 透水性舗装ガイドブック 2007、社団法人日本道路協会、pp.付 1-7、丸善、2007年
- 7) 土木学会水理委員会: 水理公式集、pp.88-90、1999年11月
- 8) 馬永寿、畑中重光、三島直生、中川武志、夏目実徳: ポーラスコンクリート舗装内の水平方向透水挙動に関する実験的研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、2013年8月

*1 三重大学大学院工学研究科建築学専攻・教授・工博
*2 三重大学大学院生物資源学研究所環境共生学専攻・教授・工博
*3 株式会社川島工業取締役・博士(工学)
*4 三重大学大学院工学研究科建築学専攻・准教授・博士(工学)

*1 Prof., Div. of Arch., Graduate School of Eng., Mie Univ., Dr. Eng.
*2 Prof., Div. of Environ., Graduate School of Bio., Mie Univ., Dr. Eng.
*3 Director, Kawashima Industry Co. Ltd., Dr. Eng.
*4 Assoc. Prof., Div. of Arch., Grad. School of Eng., Mie Univ., Dr. Eng.