

ポーラスコンクリート舗装の雨水流出抑制効果に関する大型屋外実験

名城大学理工学部 正会員 ○原田守博・飯尾尚平
三重大学大学院工学研究科 畑中重光・三島直生

1. はじめに

近年、局地的豪雨に伴う市街地の湛水や都市河川の氾濫・溢水を防ぐために、雨水流出を抑制する施策の重要性がますます高まっている。流域における流出抑制方策の一つとして透水性アスファルト舗装があるが、アスファルト舗装は熱に弱く耐久性が低いため、ポーラスコンクリート（POC）を用いた透水性舗装が注目されている。POCは碎石をモルタルペーストで結合したもので、連続した粗大空隙により高い透水性をもつ。これにより POC 舗装は相当な強雨であっても地中に浸透させ、地表面から雨水を消し去る能力を備えている。しかしながら、透水性が高いがゆえに舗装内に浸透した水は速やかに排水路へ流出する可能性があり、河川への雨水流出抑制対策としては十分に機能しないことが危惧される。本研究では、POC 舗装の雨水浸透能力および下流への流出過程を確かめるため、大型 POC 槽に人工降雨装置を設置して雨水の浸透・流出実験を行うとともに、POC の非線形透水法則¹⁾を考慮した水理解析によって実験結果の検証を行なったので報告する。

2. 大型 POC 槽を対象とした雨水浸透流出実験

実験には三重大学に設置されている大型 POC 実験槽を使用した（図-1）。POC 槽は長さ 4.18m×幅 0.9m×層厚 0.4m であり、6 号碎石を用いて水平基盤上に製作されている。POC 全体に降雨を与えるため人工降雨発生装置を設置した。降雨装置は 16 個のノズルから水を霧状に噴出させるもので、ノズル高さを 5cm ピッチで変えられる構造とした。POC 槽からの流出流量は、下流端に受水板を設けて集水し、三角堰を用い測定した（図-2）。三角堰は測定精度を高めるため 20° の鋭角とし、磁歪式精密水位計により越流水深を測定した。

実験を行うに当たり、人工降雨装置の精度検証として、ノズルから噴出される降雨分布の均一性を調べた。具体的には 1.1cm 角の透明なマス 304 個を POC 槽上に並べ、個々のマスへの水量を測定した。ノズル高さや降雨強度を種々変化させて一様に降る組合せを決定した。図-3 は一例として、ノズル高さ 96cm、降雨強度 253mm/hr で降らせた時の雨量の空間分布を示す。図-4 は各マスの相対雨量の頻度分布である。ノズル下で強く降り周辺で弱い傾向はあるものの、全体的には偏ることなく一様に降っていると見なすことができる。

POC 槽の水理条件として、上流端に高さ 0.5m の止水壁を設置して不透水条件とし、下流端には高さ 0.2m の止水壁を設置、槽全体の初期水深を 0.2m として降雨の浸透水を越流流出させる形式とした。降雨強度と降雨継続時間の異なる 2 種類の降雨（RUN1, RUN2）を与えた場合の POC 槽からの流出流量を図-5 に示す。図によると、降雨開始後 60～90 秒遅れて流出が始まるが、その後は急激に流量を増加させ、約 500 秒後には降雨量に応じた一定値に達している。降雨終了後は速やかに低減し、500 秒後には排水がほぼ終了している。

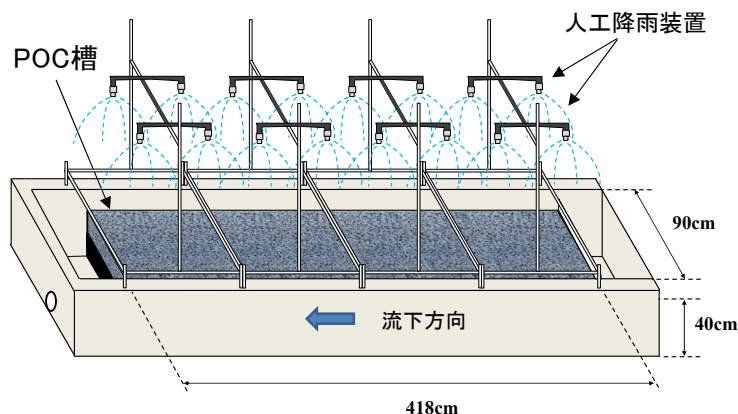


図-1 大型 POC 槽を用いた雨水流出実験装置の構成

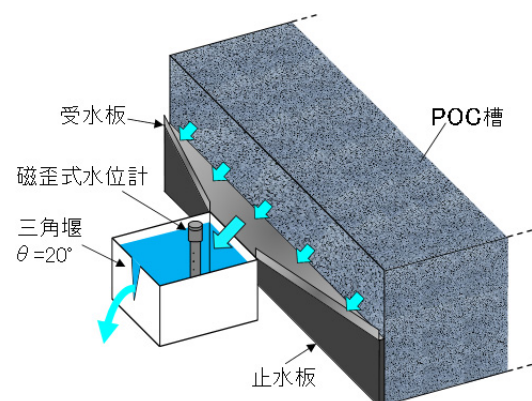


図-2 下流端における流量測定手法

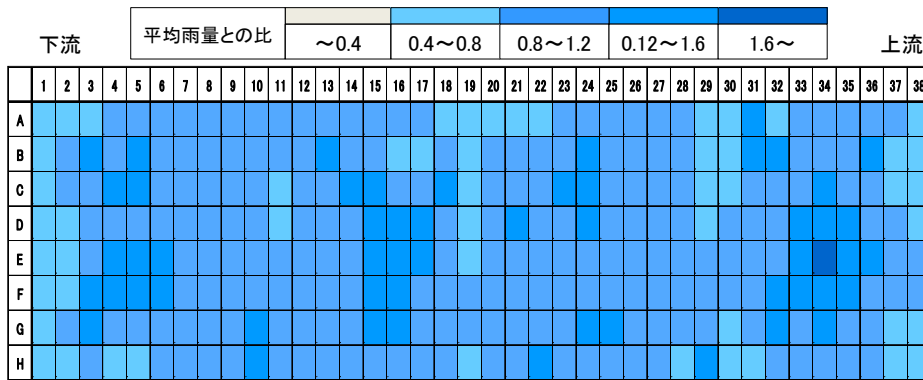
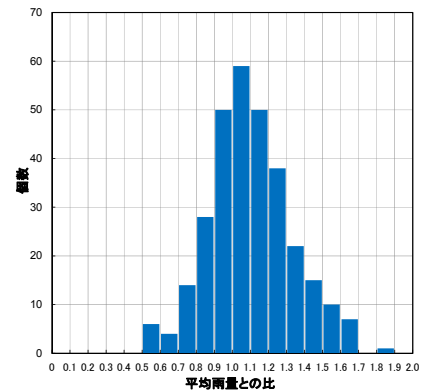
図-3 人工降雨装置による雨量の空間分布 (平均降雨強度 $r = 253\text{mm/hr}$)

図-4 各マスの雨量の頻度分布

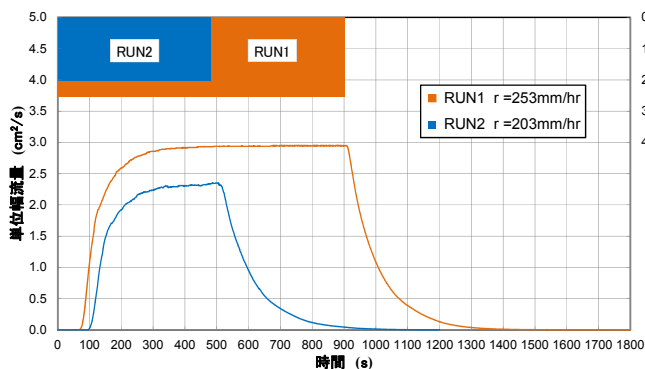


図-5 POC 槽からの流出流量の実験結果

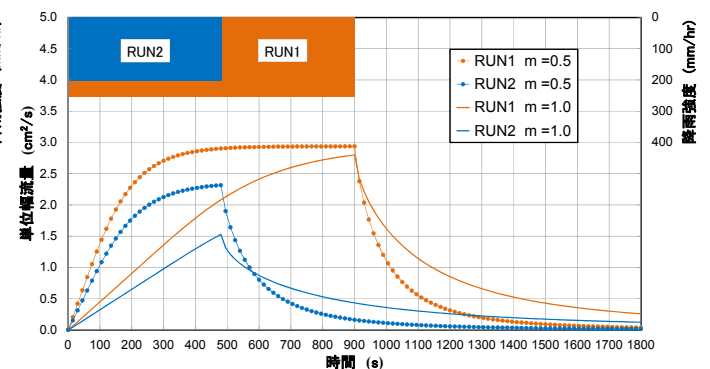


図-6 非線形透水則に基づく水理解析の結果

3. POC 槽からの流出流量と非線形透水法則に基づく水理解析

POC 槽中の浸透流に Dupuit - Forchheimer の準一様流の仮定²⁾が成立し、浸透流速 v は非線形透水則で表わされるものとする、流下方向 x の流れの連続方程式および単位幅流量 q は次式で表わすことができる。

$$n_e \frac{\partial h}{\partial t} = -\frac{\partial q}{\partial x} + r \quad (1) \quad q = hv = -hk' \left(\frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial z^*}{\partial x} \right)^m = -hk' \left(\frac{\partial h}{\partial x} - S_0 \right)^m \quad (2)$$

ここに、 n_e : POC 槽の有効空隙率、 r : 降雨浸透強度、 k' 、 m : 非線形透水則に係わる係数、 h : 浸透流の水深、 z^* : 基盤高さ、 S_0 : 基盤の x 方向勾配 (>0) である。数値計算は上式を差分展開し、陽解法によって行った。

解析に当たり、POC 槽の状況に合わせて $k'=7.0\text{cm/s}$ 、 $m=0.50$ 、 $n_e=0.25$ 、 $S_0=0.0$ と設定し、実験時と同じ降雨強度を与えて求めた流出流量を図-6 に示す。図-5 と比較して明らかなように、解析結果は降雨開始直後から流量増加が始まっており、一定値への漸近過程を含めて実験結果と異なっている。一方、降雨終了後の流量低減過程は良い再現性を示していることから、今回の解析モデルは POC 槽の流れは評価できているものの、降雨の開始・終了が POC 槽内の水面に到達するまでの時間遅れが表現できていないと考えられる。なお、図中には線形ダルシー則が成立する砂礫層等のケース ($m=1.0$) の解析結果も記載した。これと比較すると、POC 槽は砂礫層よりはるかに高い排水機能を持ち、浸透した雨水は速やかに排水されるものと推察される。

4. おわりに

屋外の大型 POC 槽を対象に雨水流出実験を行い、非線形透水則モデルと比較検討した結果、モデルの一応の再現性は確認された。今後は、POC 表面への降雨が内部の水面に到達するまでの時間遅れを表現できるようモデルを改良するとともに、POC 舗装の雨水流出抑制効果の評価と改善方策の検討を進める予定である。

謝辞: 本研究の遂行に当たり、JSPS 科研費 16H04448 の助成を受けた。また実験の実施に際して、名城大学水工学研究室および三重大学コンクリート工学研究部の諸氏に協力を得た。ここに記して謝意を表す。

参考文献 1) 原田・夏目・三島・畑中: 土木学会論文集 B1(水工学), Vol.71, No.4, I_319-I_324, 2015.
2) 今本・板倉・高木: 「水理学の基礎」, 新体系土木工学 21, pp.140-141, 技報堂, 1982.