

透水性舗装による都市型洪水抑制のための雨水浸透に関する研究

京都大学大学院工学研究科 学生員 ○田中 裕

京都大学大学院工学研究科 正会員 大西 有三

京都大学大学院工学研究科 正会員 西山 哲

京都大学大学院工学研究科 正会員 矢野 隆夫

大阪工業大学工学部土木工学科 正会員 青木 一男

1. はじめに

近年、都市の急激な市街化により、雨水の地中への浸透を阻害する人工被覆面が地表面の大半を占めるようになった。このため都市においては雨水を急激に河川や下水道へ流出してしまい、集中豪雨の際には雨水の流出に対応できず雨水が溢れるという、都市型洪水が問題となっており、河川流域全体での総合的な治水対策が必要となっている。その対策の1つとして透水性舗装が挙げられる。透水性舗装は雨水浸透機能を持つため、降雨時の河川や下水道の雨水処理量負担を軽減でき、都市型洪水抑制効果を持つと考えられている。丹原ら¹⁾は透水性舗装による雨水浸透機能を検証するため、国道163号線の車道透水性舗装構造を再現した実験施設を用いて様々な降雨強度での散水実験を行なった。国道163号線は5層構造となっており、図1に実験モデル断面図、表1に各層の材料、飽和透水係数、間隙率を示す。

都市型洪水には、降雨時の透水性舗装表面からの雨水流出(ここでは溢流と呼ぶ)が大きく寄与する。図2に散水実験における降雨強度別の水収支を示す。70mm/hrより強い降雨強度では溢流量の割合が急激に大きくなっていることが分かる。また図3に各降雨強度時の溢流開始時における舗装下部に設置した間隙水圧計による舗装内の水位を示す。これによると降雨強度70mm/hr付近より強い降雨時には、舗装内の水位が上昇する前に溢流が始まっている。すなわち降雨強度が強い場合には、舗装内に不飽和領域

が残る状態で溢流が始まることが分かった。

これらの結果より、降雨強度が強い場合、透水性舗装の雨水浸透能力が低下し、都市型洪水抑制に十分な効果を発揮しない可能性が考えられる。この不飽和領域が関係する降雨強度による浸透の違いには舗装のどのような特性が影響しているかを調べるため、本研究では飽和・不飽和浸透流解析を用い、透水性舗装の不飽和浸透特性について検討を行なった。

2. 飽和・不飽和浸透流解析

本研究では有限要素法により、飽和不飽和浸透流解析を行なった。本解析ではダルシー則と連続式から導かれる以下の式を支配方程式として用いている。

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k(\theta) \frac{\partial \phi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k(\theta) \frac{\partial \phi}{\partial z} + k(\theta) \right) = (C(\phi) + \alpha S_s) \frac{\partial \phi}{\partial t} \quad (1)$$

ここで k : 透水係数 ϕ : 圧力水頭 θ : 体積含水率 $C(\phi)$: 比水分容量 S_s : 比貯留係数 α : 飽和領域では1, 不飽和領域では0をとる定数である。

解析モデルは実験モデル同様の5層構造、パラメータを用い、鉛直方向のメッシュを5mm間隔とした。また、側面は不透水境界、底面は浸出面境界、表面は降雨浸透境界とした。初期には舗装内の水の移動は無いものと考え、初期条件は解析モデル全ての点で全水頭0とした。

3. 不飽和浸透特性の検討

舗装材料の不飽和浸透特性に関する既往の研究が少ないことから、本研究では、図4に示すように各層の不飽和浸透特性を2TYPE設定し、降雨強度を

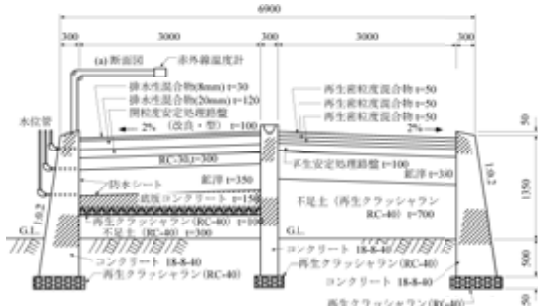


図1 実験モデル断面図

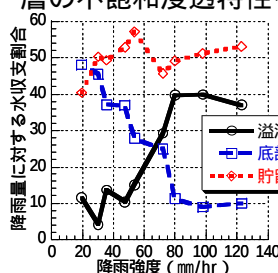


図2 水収支割合

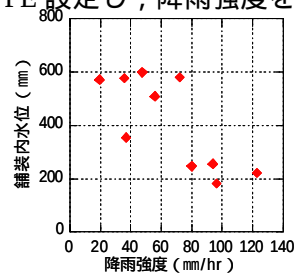


図3 溢流開始時の水位

Keyword 透水性舗装 雨水浸透 不飽和浸透特性

連絡先 京都市左京区吉田本町 京都大学大学院都市環境工学専攻ジオフロント環境工学講座

表 1 各層材料，層厚，飽和透水係数，間隙率

	材料	層厚 (mm)	飽和透水係数 (cm/sec)	間隙率 (%)
表層	開粒度(最大粒径8.0mm) 高粘度改質アスコン	30	5.01×10^{-2}	22.5
基層	開粒度(最大粒径20.0mm) 高粘度改質アスコン	120	6.42×10^{-2}	20.3
上層路盤 (As安定処理層)	開粒度アスファルト安定 処理	100	6.86×10^{-2}	20.8
下層路盤 (RC-30層)	再生クラッシュラン	150	1.30×10^{-3}	26.5
路床	鉾津	350	9.0×10^{-5}	5.0

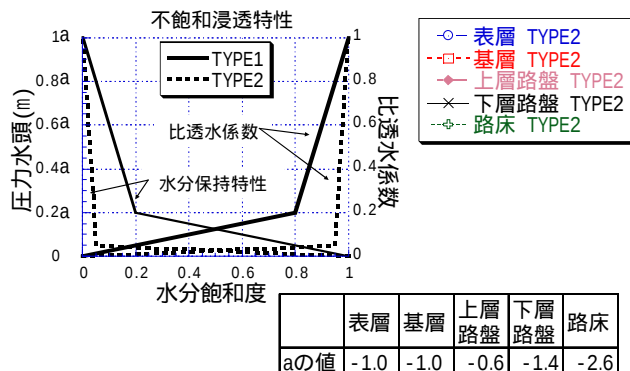


図 4 不飽和浸透特性

40mm/hr, 70mm/hr, 100mm/hr と変化させ、折れ曲がりの大きさと降雨強度による浸透傾向の違いについて検討した。ここでは比透水係数と水分保持特性を別々に検討した。1層のみ TYPE2 他の4層を TYPE1 とし、各層不飽和浸透特性の舗装全体の浸透への影響を検討し、その際検討しない方は線形関係を設定した。

4. 解析結果

解析結果の一例として、解析モデル水平方向中央の各層境界点での圧力水頭が正となる散水開始からの時間とをプロットし線形補完する。このグラフは、近似的に舗装内の自由水面の時間的な広がりを示している。また水面が舗装表面に到達すると舗装表面が湛水すると考えられるため、溢流開始とみなす。

(1)比透水係数についての検討

図 5 より、降雨強度 40mm/hr, 70mm/hr の場合は、水面が舗装表面に最後に到達するが、降雨強度 100mm/hr の下層路盤のみ TYPE2 とした場合には、先に舗装表面に水面が到達した後、舗装底部へ水面が到達する様子が分かる。すなわち下層路盤の比透水係数が舗装の浸透に影響が大きいと考えられる。

(2)水分保持特性についての検討

図 6 より、100mm/hr の下層路盤のみ TYPE2 とした場合、70mm/hr, 100mm/hr の路床のみ TYPE2 とした場合に舗装表面に先に水面が到達し、最後に舗装底部に水面が到達する様子が分かる。これより下層

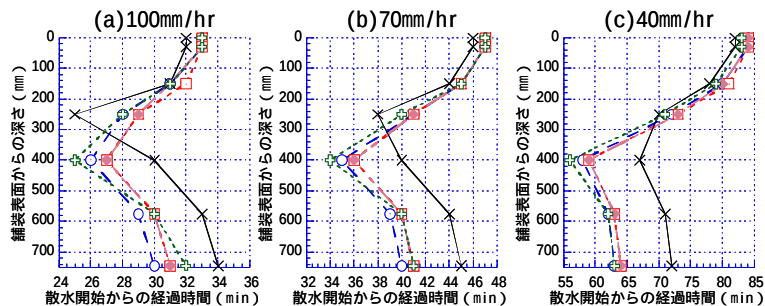


図 5 比透水係数の検討

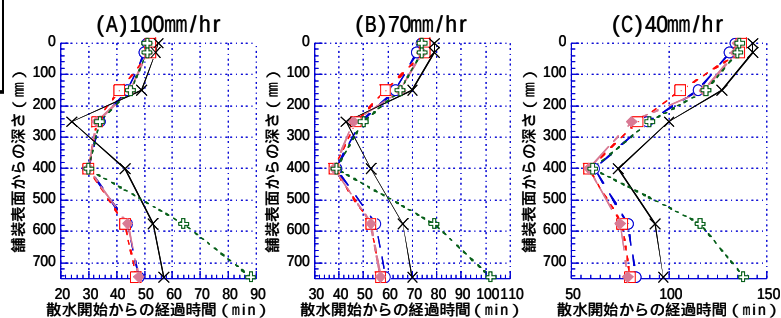


図 6 水分保持特性の検討

路盤、路床の水分保持特性が舗装の浸透に影響が大きいと考えられる。

5. 研究成果と今後の課題

比透水係数と水分保持特性は本来メカニズム的にも関係があるものと考えられたため、比透水係数、水分保持特性ともに影響の大きい下層路盤の不飽和浸透特性が、降雨強度による舗装の浸透傾向の違いに影響が大きいと考えられる。つまり下層路盤に不飽和浸透特性の折れ曲がりの小さな材料を用いれば、降雨強度が強い場合の雨水浸透能力の低下を防ぎ、透水性舗装の持ち得る都市型洪水抑制効果を十分に発揮できる可能性があると考えられる。

一般土壌においては雨水浸透の際、間隙空気の影響により浸透量が低下するという研究がなされている²⁾。今後は気相、液相 2 相の浸透流解析も用いて、透水性舗装において、降雨強度が強い場合の雨水浸透能力の低下に間隙空気の影響があるのかについても検討していく。

参考文献

- 1) 丹原康滋, 大西有三, 西山哲, 矢野隆夫, 曾田知, 小林英彦: 都市における洪水抑制のための地下水の水文学的研究, 日本材料学会第 54 期学術講演論文集, pp.131-132, 2005.
- 2) 石原安雄, 下島栄一: 間隙空気の影響を伴う一定強度の降雨浸透について, 京都大学防災研究所年報, 第 23 号 B-2, pp.175-191, 1980.