

II-57 集水管付き雨水浸透基盤の設計に関する研究

国立環境研究所 水士圏環境部 正員 原田 茂樹
 東京大学 工学部 都市工学科 正員 市川 新

1. 研究の目的: 都市域では、不浸透面からの流出雨水が雨水排除システムを通じて速やかに河川へと集中し、河川の流出能力を越えるような大きな流出ピークが記録されるようになってきている。そのため、都市内では都市型洪水と言われる浸水が頻発している。この問題に対処するためには河川改修を行うことが必須であるが、用地取得に多大な時間がかかるために早急には効果が現れ難く、流出抑制の促進が強く求められている。流出抑制の方策の1つに、「雨水浸透基盤」(「透水性舗装」とも呼ばれる)がある。これは、透水性アスファルト、礫層、砂層で構成される複層の人工土壌であり、透水性アスファルトから砂層下部の在来地盤への雨水の移動、および基盤(おもに礫層)内の雨水貯留によって流出を抑制するものである。雨水浸透基盤は既に各地で積極的に整備が進められているが、在来地盤の透水係数が小さい場合(例えば、関東ロームは埋め戻しによってほぼ難透水性になると言う指摘がある¹⁾)には、効果的な流出抑制ができない場合がある。すなわち、基盤が雨水で満たされた後に降雨ピークが記録された場合には、その多くが流出してしまうのである。筆者らは在来地盤の透水係数が小さい場合の基盤構造の改善策として、雨水浸透基盤の最下部に遮水シート及び集水管を設置した「集水管付き雨水浸透基盤」を提案し、東大球場での実スケール実験を通じてその効果を解析してきた²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾。その結果、①遮水シートおよび集水管の働きにより、砂層まで到達した雨水が基盤外へと排除(以下、「集水」と呼ぶ)されるので、基盤は雨水で満たされ難くなる、②集水は基盤外への流出であるが、集水強度の時間変化は降雨強度(基盤が雨水で満たされていない場合には基盤への浸透強度となる)の時間変化よりも小さく、集水ピークの強度(すなわち流出ピークの強度)は降雨ピークの強度を大きく下回る、の2点が結論として得られている²⁾³⁾⁴⁾。集水の時間変化が小さくなるのは、基盤に浸透した雨水が礫層内に貯留された後に集水されるので、集水強度の平均化が起こるためと考えられている⁵⁾。集水管付き雨水浸透基盤に関する現状の課題の1つは、将来の実用化に向けて、最適な構造設計についての知見を集めることである。そのため、本研究では、集水管付き雨水浸透基盤における水分移動を表す数値モデルを用いて、独自に作成した計画降雨に対応するような「礫層厚」および「集水管の大きさ」の2つの諸元の設計値について検討することを目的とした。

2. 東大球場での実スケール実験: 東大球場に設置した集水管付き雨水浸透基盤(Z2基盤)の形状を図1に示す。人工芝は基盤が設置されている野球場での活動を簡便にするためのものであるが、同時に透水性アスファルトの目詰まり防止に機能することも期待されている。各層の厚さは、人工芝が2cm、透水性アスファルトが10cm、礫層が30cm、砂層は中央部で15cm、端で5cmである。1984年からの計測を通じて、100以上の降雨における降雨量(1分おき)、集水量(2分おき)のデータが取得されている。

3. 集水管付き雨水浸透基盤における水分移動を表す数値モデルの作成: 基盤は左右対象であるので、右半分のみを計算の対象として計算格子(縦3cm×19個、横6cm×100個)を設けた。数値モデルの基本式は二次元Richards式(土壌水分特性はCampbell式によって与えた)であり、陰解法によって差分化した。上部境界では各時間ステップにおけるすべての雨水が浸透するという条件を与え、下部境界では集水管の真上に位置する格子からのみ集水が起こるとした。計算においては、各格子の圧力ポテンシャルと含水率、格子間を移動する水分フラックス、集水量を各時間ステップ(30秒)ごとに48時間分計算した。その際に、表層の圧力ポテンシャルが0(すなわち大気圧)を越えていれば、基盤全体が飽和されていると考えて計算を終了させた。各時間ステップにおける集水量を求める際には、集水管が砂で満たされている状態を想定し、集水管の底部の圧力ポテンシャルを0(すなわち大気圧)とし、集水管上部の格子の圧力ポテンシャルと砂層の透水係数を用いてダルシー則で計算した。土壌水分特性を表すパラメータは、ライシメータ

実験を通じて同定された値である⁵⁾⁶⁾⁷⁾。モデルの検証として、集水の強度と累積量の実測値と計算値を比較した。図2に示す例に見られるように、ヒステリシスを考慮していないため降雨終了後の値に差があるが、降雨期間中の集水の挙動はある程度再現されている。

4. 数値モデルによる設計諸元の検討：礫層厚と集水管の大きさを変え、5つのケースを表1のように設定して計画降雨に適用した。計画降雨は、1986年7月31日から8月1日にかけて記録された降雨8617の1分当りの降雨強度を常に2.5倍して作成したものである。この降雨は総降雨量が526.8mm、降雨ピークの強度が58.2mm/時であり、かつ降雨ピークの前後の降雨強度が高いため、集水管付き雨水浸透基盤設計のための計画降雨として適切なものであると思われる。数値モデルの適用の結果、ケース1～4においては降雨の途中で基盤が雨水で満たされたが、ケース5においては降雨期間中に基盤が満たされることはなかった。図3に示すケース5の結果を見ると、集水の総量は降雨の総量に近いが、集水ピークの強度が降雨ピークの強度よりも16.0mm小さな値となっている。したがって、このケースで与えた設計値に基づいて集水管付き雨水浸透基盤を設計すれば、計画降雨の流出抑制を行うことが可能であると言える。

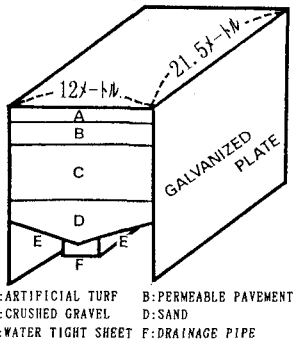


図1 集水管付き雨水浸透基盤の形状

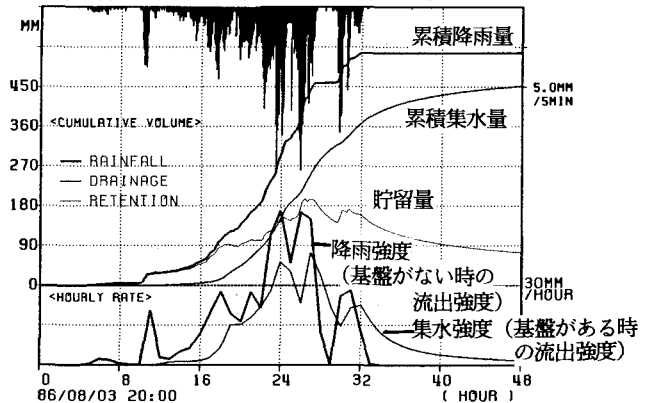


図3 ケース5の結果

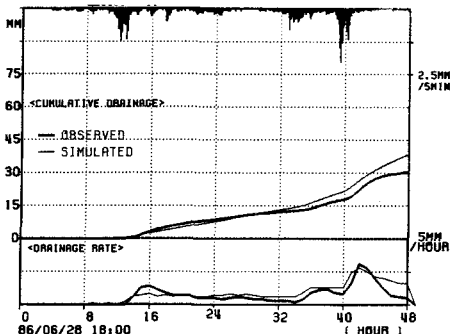


図2 数値モデルの検証例（降雨8613）

表1 数値モデルを適用したケース

ケース	礫層厚	集水管の大きさ
現状	30cm	24cm
1	30cm	48cm
2	45cm	24cm
3	45cm	48cm
4	60cm	24cm
5	60cm	48cm

5. 結論と今後の課題：数値モデルを計画降雨に適用することによって、集水管付き雨水浸透基盤の設計の1つの形を示すことができた。今後、更に様々な波形の降雨に数値モデルを適用していく必要がある。

6. 参考文献：1)市川新他，「都市域の雨水流出とその抑制」，鹿島出版会、2)市川新他，「東大球場のデータによる集水管付き雨水浸透基盤の効果に関する研究」，第44回年講、3)市川新他，「集水管付き雨水浸透基盤による流出抑制効果に関する研究」，第27回下水協、4) ICHIKAWA, ETAL, 「MITIGATING PEAK DISCHARGE OF URBAN OVERLAND STORM RUNOFF USING DRAINAGE INFILTRATION STRATA」, 5) THICUSD, 6) 原田茂樹他，「雨水浸透基盤内の浸透機構の定式化とその流出抑制効果に関する研究」，衛生工学論文集27、7) 原田茂樹他，「雨水浸透基盤における浸透挙動に関する研究」，第45回年講、7) 原田茂樹他，「土壌内の雨水浸透のシミュレーションに関する研究」，第3回水文水資源学会