

東京大学土木工学科 正員 玉井 信行

国土庁大都市圏整備局の正員 大和田 哲生

東京大学土木工学科 正員 浅枝 隆

1. はじめに

雨水浸透施設に対する社会的要請の高まりを受けて、東京大学野球場では雨水浸透実験施設が設けられ観測体制に入っている。¹⁾ この実験施設には浸透基盤の底部に遮水シートを敷設した実験地盤があり、埋設された集水管からの流出量が各種水文量とともに観測されている。本報告においては、遮水シートが不飽和浸透流に及ぼす影響を二次元砂モデルによる実験を通じて明らかにし、理論的解析を併せて行った。

2. 三層モデルによる実験

雨水浸透施設に浸透基盤は粒径、透水係数等の異なる三つの層から構成されている。そこで幅50cm、高さ61cm、奥行10cmの槽内に浸透基盤モデルを作成した。その概略を図-1及び表-1に示す。浸透基盤と基礎地盤の境界面に相当するC-D境界面には集水効果を期待して1/50の傾斜が施してあり、遮水シートの敷設面積率が50%と0%の2つの場合について実験を行った。

この実験では注射針方式により種々の強度の矩形波形の降雨を与え、集水管及び排水管からの流出量を測定した。尚、実験は充分な先行降雨を与えた後それによる流出が終了した時点で開始し、集水管及び排水管内は大気圧である。

表-1 各層の条件

層名	透水係数(cm/sec)	層厚(cm)
A	8.38×10^{-1}	10
B	7.45×10^{-2}	30
C	7.97×10^{-3}	5
D	2.33×10^{-3}	12

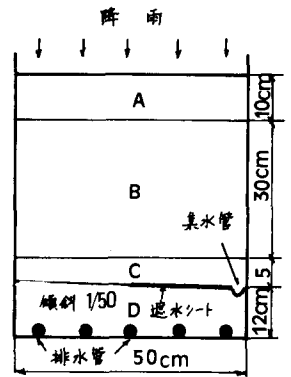


図-1 三層モデルの概略

表-2及び表-3に実験結果を示す。ただしここでいう流出率とは、総降雨量に対する集水管からの総流出量の割合である。ほぼ同様な降雨条件において比較すると、遮水シートを50%敷設した場合の方が0%の場合よりも流出率が大きくなり、遮水シートによる集水効果が認められる。又、

降雨継続時間或いは総降雨量がほぼ等しい場合に注目すると、降雨強度が激しい程流出率が大きくなっている。

表-2 実験結果(遮水シート50%)

降雨強度(mm/hr)	3.8	11.3	30.0	64.3
降雨継続時間(hr)	1.00	3.25	1.00	1.00
総降雨量(mm)	3.8	36.7	30.0	64.3
流出率(%)	0.0	3.3	18.7	31.4

表-3 実験結果(遮水シート0%)

降雨強度(mm/hr)	12.4	30.4	51.6	66.0
降雨継続時間(hr)	3.00	1.16	1.00	1.00
総降雨量(mm)	37.2	35.5	51.6	66.0
流出率(%)	0.0	0.0	18.5	25.1

3. 単層モデルによる実験

遮水シートの存在が不飽和浸透流に及ぼす影響を、より単純化したモデルによって明らかにするために、単層モデルによる実験を行った。実験装置の概略を図-2に示す。単一の砂からなる砂層中に敷設面積率50%、傾斜1/50で遮水シートを敷設し、集水管及び排水管を設けた。実験は透水係数の異なる二種類の砂について行い、一定強度の降雨を継続的に与えて集水管及び排水管からの流出が定常状態に至った時の単位時間、単位面積当りの流出量を測定した。これは降雨強度と同じ次元を有する値で、ここでは流出高さ強度と呼ぶ。又、各降雨強度に対する集水管からの流出高さ強度の割合を集水率と呼ぶ。実験結果として、細粒、粗粒それぞれの場合について降雨強度と集水率の

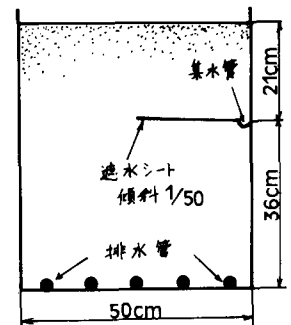


図-2 単層モデルの概略

関係を図-3に示す。これを見ると、細粒、粗粒とも降雨強度が大きくなるにつれて集水率が増加し、その後ほぼ一定な値に近づいている。又、同程度の降雨強度に対する集水率は、細粒の場合に比べて粗粒の場合の方がかなり大きくなっている。

4. 理論的解析及び考察

単層モデルによる実験結果の傾向について、準一様流の仮定の下に理論的解析を試みた。図-4に示すように遮水シートの上側に飽和水面が生じるものと考え、ダルシーの法則及び連続の式より、

$$\frac{d^2 H}{dx^2} = -\frac{1}{H - \frac{x}{50}} \left(\frac{dH}{dx} - \frac{1}{50} \right) \cdot \frac{dH}{dx} - \frac{1}{H - \frac{x}{50}} \cdot \frac{r}{k} \quad (1)$$

を得る。一方、遮水シートの傾斜が $1/50$ と緩いことからこれを無視した場合には次式となる。

$$\frac{d^2 (H^2)}{dx^2} = -\frac{2r}{k} \quad (2)$$

境界条件は、 $x=0$ で $H=H_1$ 、 $x=25\text{cm}$ で $H=H_2$ (3) である。式(1)は数値的に、式(2)は解析的に解くことができる。 $x=0$ においては集水管内が大気圧であることから、使用した砂の毛管上昇高さを H_1 の値とした。

又、 $x=25\text{cm}$ においては側面が壁ではなく不飽和状態の砂であり、負圧が作用することから $H_2=0.5$ 或いは H_2 の値を毛管上昇高さよりも小さな値に仮定した。 $dH/dx=0$ となる時の x の値を x_c とすると x_c よりも集水管側に降った雨が集水成分になると考えられるので、集水率 $G(\%)$ は式(4)のように表わされる。

$$G = 100 \times (x_c/50) = 2x_c (\%) \quad (4)$$

こうして各降雨強度に対する集水率を求めたが、式(1)を解いた場合を厳密解、式(2)を解いた場合を簡易解と呼ぶこととし、これを実験値とともに図-3に示した。これを見ると、厳密解、簡易解とも降雨強度が大きくなるにつれて集水率が大きくなり、やがて一定値に近づくという実験値と同じ傾向を示している。又、簡易解は厳密解に比べてやや小さな値になってはいるが、定性的な検討に使用することに支障はないものと思われる。そこで、簡易解を解析的に解き式(4)を用いた場合、集水率 $G(\%)$ は式(5)のように表わされる。

$$G = 25 + \frac{k}{25r} (H_2^2 - H_1^2) (\%) \quad (5)$$

いま、式(5)において k 、 H_1 、 H_2 が一定であり先述のように $H_2 < H_1$ であることから、降雨強度 r が極く小さい時には $G \leq 0$ となり集水率は 0% となる。そして r が大きくなる程集水率 $G(\%)$ が大きくなり、一定値($=25\%$)に近づく。以上のことから簡易解によって実験値の傾向に対する定性的な説明がなされた。一方、定量的には細粒の場合の方が粗粒の場合よりも実験値と計算値の開きが小さく、この解析手法の適合性が良い。しかし、境界条件の決定や透水係数の一様性の仮定の適否など不飽和浸透にかかわる因子について検討すべき課題が残されている。

<参考文献>

1) 間片・市川・玉井：東京大学野球場の雨水浸透能実験施設の概要，土木学会誌、Vol. 69, No. 4, 1984.

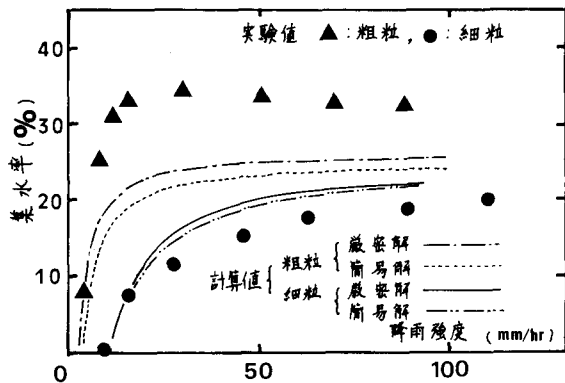


図-3 単層モデルの実験結果及び計算結果

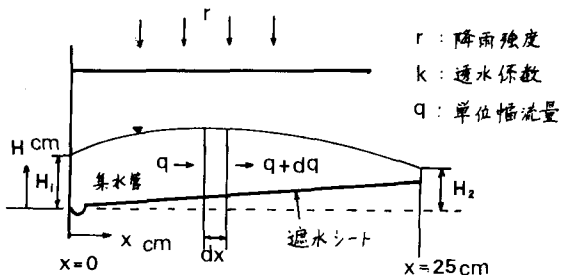


図-4 解析の概略