

# 地下水面を有する土層への降雨浸潤における湿潤状況と土中空気圧変動

## Wetting pattern and soil air pressure change during rainfall infiltration

安中 武幸・三村 一仁

ANNAKA Takeyuki and MIMURA Kazuhito

### 1. はじめに

乾いた砂層への降雨浸潤では、降雨強度が砂層の透水性に比べて弱い場合および湛水下で土中空気圧が上昇する場合にフィンガー流が生じ得る。このことは、地下水面が比較的浅い位置に存在し空気が下方には逃げられない砂層への降雨浸潤過程が、降雨強度によって異なる様相を示すことを示唆する。すなわち、湿潤域（流路）の形成や土中空気圧の変動等が降雨強度に依存するものと考えられる。本研究では、地下水面が存在するが、毛管上昇面以上では乾いている、均一な砂層への降雨浸潤現象について、その降雨強度依存性を実験的に検討した。

### 2. 試料と方法

(1) 試料：実験に用いた試料は霞ヶ浦砂である。水で良く洗い乾燥させた後2mmふるいにかけて、通過したものをを用いた。粒子密度 $2.67\text{g/cm}^3$ 、中央粒径 $0.20\text{mm}$ で $0.106\text{mm}$ ~ $0.85\text{mm}$ に重量で96%を占める。飽和透水係数は $0.012\text{cm/s}=432\text{mm/hr}$ （20、充填密度 $1.50\text{g/cm}^3$ ）である。水分特性曲線（Fig. 1）により、乾燥試料の水浸入圧と飽和試料の空気侵入圧がともに $-30\text{cm}$ 程度であることが分かる。また、別に乾燥試料への上昇浸潤実験によって推定した前進毛管圧は $-18\text{cm}$ 程度であり、吸水過程の水分特性曲線の変曲点と良く対応していた。

(2) 降雨浸潤実験：実験には、幅 $50\text{cm}$ ×高さ $60\text{cm}$ ×奥行き $2.0\text{cm}$ の亚克力製チャンバーを用いた（Fig. 2）。風乾した霞ヶ浦砂をランドマイザーを通して落下充填（充填高さ $56\sim 58\text{cm}$ 、密度 $1.53\sim 1.56\text{g/cm}^3$ ）した後、チャンバーを水槽に静置し15時間程度毛管上昇させた。この操作により、地下水面と毛管上昇面が試料下端からそれぞれ $3\text{cm}$ 、 $30\text{cm}$ の高さにあり、毛管上昇面の上は乾燥したままという初期水分状態が得られた。降雨装置は、水槽、定量ポンプ、 $4\text{cm}$ 間隔でノズルを設けた散水管および振動装置からなっている。散水管を振幅 $2\text{cm}$ ・周期 $2$ 秒で振動させ、試料表面への一様な散水を心がけた。降雨強度は $25\text{mm/hr}$ ~ $400\text{mm/hr}$ とし、総雨量は初期状態での砂層中の空隙量とほぼ等しくなる様に $100\text{mm}$ とした。これらの降雨に対して、湿潤域の形成状況を観察するとともに、空気圧をチャンバー中央部で測定した。なお、実験時の水温は $18\sim 19$ であった。

### 3. 結果と考察

(1) 降雨強度による浸潤過程および最大空気圧の相違：それぞれの降雨強度における湿潤状況、最大空気圧、それまでの浸潤量等をTable 1に示す。毛管上昇面に到達するまでの浸潤前線の形状は、波状からフィンガー状であった。いずれの場合も、浸潤前線が毛管上昇面に到達以降も水平浸潤が継続し、 $100\text{mm}$ 浸潤した時点ではほぼ全面がぬれている状態となった。降雨強度 $150\text{mm/hr}$ 以上の場合、浸潤前線の位置に水平亀裂が生じた。特に $400\text{mm/hr}$ と $300\text{mm/hr}$ では、浸潤前線が $2\text{cm}$ の深さに到達したところで亀裂が発生した。この場合、亀裂部位に空気の逃げ道が確保されるため、空気圧はさほど上昇しないものと考えられた。 $125\text{mm/h}$ 以下では亀裂は発生せず、最大空気圧は低かった。

(2) 空気圧変動の降雨強度依存性：浸潤の進行に伴う空気圧変動を、空気圧が上昇しかつ亀裂が発生する $200\text{mm/hr}$ 、空気圧は上昇するが亀裂は発生しない $100\text{mm/hr}$ 、空気圧上昇もほとんど生じない $25\text{mm/hr}$ の場合について示した（Fig. 3）。 $200\text{mm/hr}$ の場合、最大値を示した後2回の急激な低下を経て一定となったが、積算浸潤量 $70\text{mm}$ 以上で再び低下を示した。 $100\text{mm/hr}$ では、積算浸潤量 $50\text{mm}$ で最

山形大学農学部（Faculty of Agriculture, Yamagata Univ.）

キーワード 降雨浸潤、フィンガー流、土中空気圧

大値を示した後、低下し始めた。浸潤の後半になって空気圧が低下するのは、浸潤前線が毛管上昇面に到達すると浸透が生じるため、乾燥領域への浸潤速度すなわち空気圧縮速度が低下するためと考えられる。

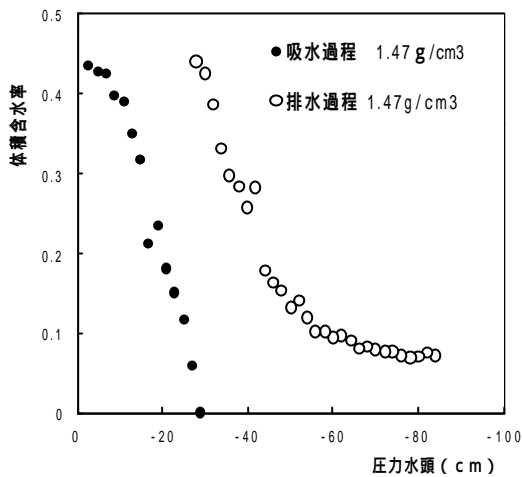


Fig.1 Water characteristic curves for Kasumigaura sand

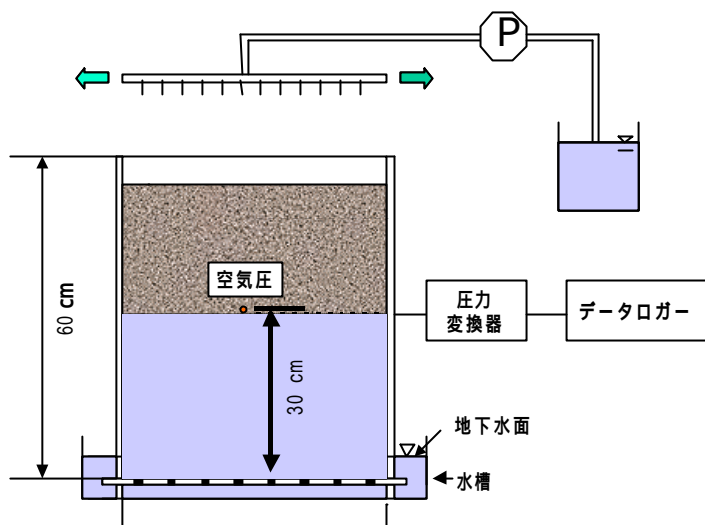


Fig.2 Schematic diagram of experimental apparatus for rainfall infiltration

Table 1 Features of wetting process and maximum air pressure for each experiment

降雨強度 mm / hr	湿 潤 状 況	最大空気圧 cm	同左時浸潤量 mm	水 平 亀 裂
400	波 状 / 全面	3.3	19	形成 / 深さ 2cm
300	波 状 / 一部残	3.7	15	形成 / 深さ 2cm
200	フィンガー状 / 全面	5.1	36	形成 / 深さ 4 ~ 8cm
150	フィンガー状 / 一部残	4.0	37	形成 / 深さ 4 ~ 8cm
125	フィンガー状 / 一部残	1.7	52	形成しない
100	フィンガー状 / 全面	1.8	44	形成しない
50	フィンガー状 / 全面	0.6	47	形成しない
25	フィンガー状 / 全面	0.2	95	形成しない

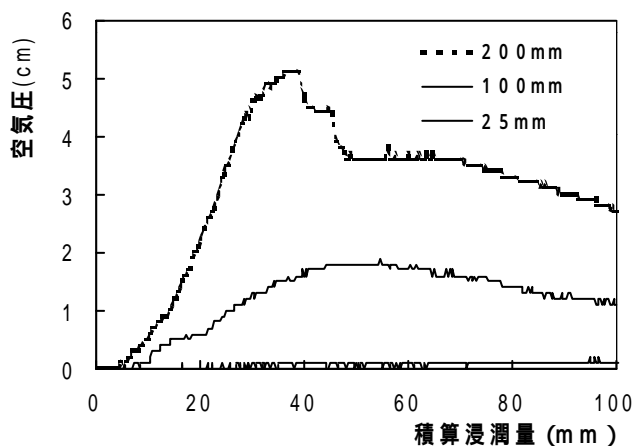


Fig.3 Relationship between air pressure and cumulative infiltration