

鳥取大学工学部 正会員 寺西靖治
 学生員 村瀬義典
 日本水道コンサルタント 正会員 平野 康

1. まえがき

市街地雨水流出解析を行なうにあたってまず第一に要求されることは、現地における観測データの収集であるが、そのためには多大の日数と労力を必要とする。そこで、これを補うために、自然降雨現象および流出現象をシミュレートした実験装置を用いることが有効な手段となる。本研究発表者は実際に降雨シミュレーターの設計・製作を試み、これに関して2, 3の成果が得られたので、ここに発表するものである。

2. 降雨装置の概要および性能

本装置の概要は図-1に示すとおりである。大別して降雨発生部と移動台とに分けられる。降雨発生部は1ユニットが内径19mm、長さ50mmの透明合成樹脂の水槽で、その底面には内径0.8mm、外径1.2mmのステンレス管が中心間隔5cmで取り付けられている(図-2)。ユニットの数はタテ3個、ヨコ3個合計9個あり、おののおの独立して高位水槽に接続されている。したがって、ユニットごとに流量調整が可能であって、降雨強度は0~400mm/hrの範囲で任意に設定できる。高位水槽出口にはフローター式流量計が取り付けられており、これによってただちに降雨強度が測定される。移動台は台車の上に平面積3m×3m=9m²の資料台を載せたもので、手動または電動式によってレール上を移動するものである。電動式運転の場合には、台車走行速度は2.6~31.6cm/secの範囲で任意に設定できる。この装置は降雨域の移動を再現するために設けられたものである。

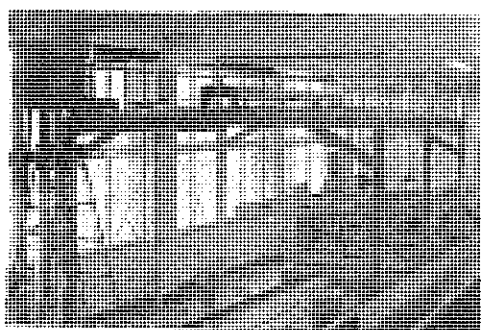
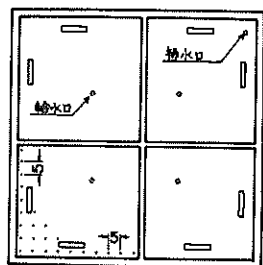


図-1 降雨装置



(mm)

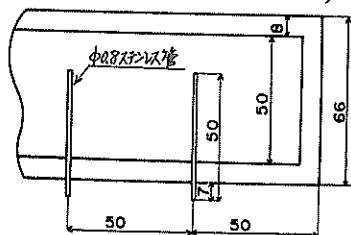


図-2 降雨発生水槽

3. 雨滴発生機構

降雨発生水槽は図-2で示したとおり、内径0.8mmのステンレス管19×19=36本が設置されているので、この管における平均流速は次式で表わされる。

$$V = 0.00153 I \text{ ----- (1)}$$

ここに、 V :流速(m/sec), I :降雨強度(mm/hr)である。(1)式

に $I = 0 \sim 400 \text{ mm/hr}$ を代入すると, $V = 0 \sim 0.612 \text{ m/sec}$ となる。
また, 最大流量のときのレイノルズ数は, $Re = Vd/L = 490$ となり,
管内水流は層流と考えられる。

一般に流速によって生じる圧カ P は,

$$P = \frac{\rho V^2}{2g} \text{ ----- (2)}$$

によ, て表わされるので, 管内径 $d_t \text{ (m)}$ として管内流による力
 $F_v \text{ (kg)}$ は,

$$F_v = \pi d_t^2 \omega V^2 / 8g \text{ ----- (3)}$$

で表わされる。よって (1) 式を代入して,

$$F_v = 6.00 \times 10^{-11} I^2 \text{ ----- (4)}$$

管末端に働く表面張力 $F_s \text{ (kg)}$ は,

$$F_s = \pi d_t \sigma \text{ ----- (5)}$$

であるので, $\sigma = 0.00742 \text{ kg/m}$ として次式を得る。

$$F_s = 1.865 \times 10^{-5} \text{ ----- (6)}$$

図-3において, F_w を雨滴に働く重力による力とすると, $F_v + F_w < F_s$ のときに管出口において雨滴
の形成が進行し, $F_v + F_w = F_s$ になった時点で雨滴形成は完了し, 次の瞬間に落下する。また, 降雨
強度がある限度以上になって, $F_v + F_w > F_s$ となれば雨滴落下は連続流れに変わる。本実験装置にお
いては降雨強度 280 mm/hr のときにこの現象がみられた。雨滴形成過程の例を図-4に示す。

4. 雨滴径

$F_v + F_w = F_s$ のときに雨滴形成がなされることは上述のとおりであるが, Chow¹⁾ は F_v が F_s に比較し

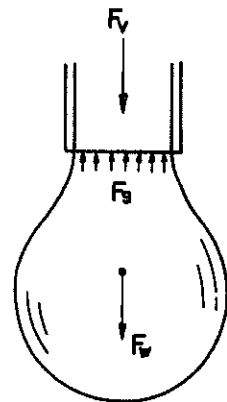


図-3 自由形成雨滴

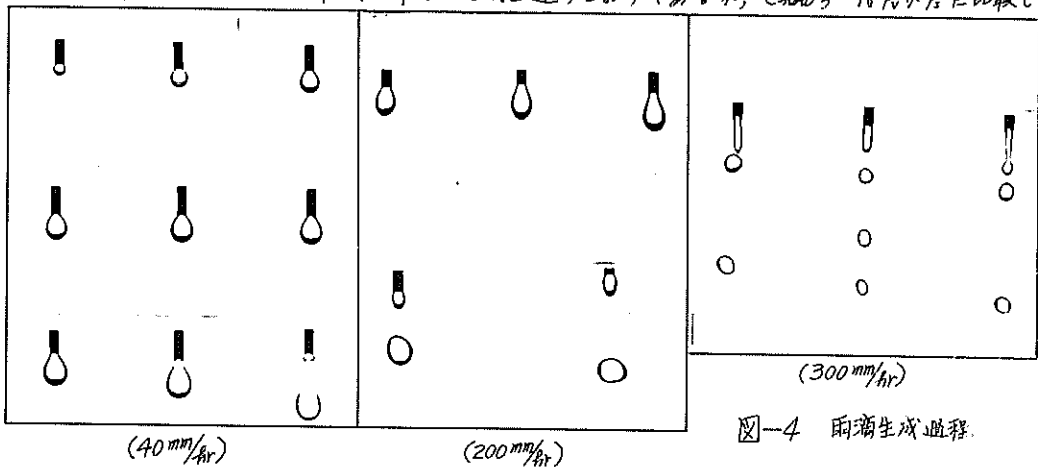


図-4 雨滴生成過程

4 3 村瀬義典

て微小であるとき、すなわち、雨滴形成速度が遅く、雨滴が十分に成長する場合と考へて、 $F_w = F_s$ と仮定し、このときの雨滴径を次式によつて求めた。

$$d = 0.182 (\sigma dt)^{1/3} \text{ ----- (7)}$$

(7)式を本実験装置の場合に適用すると、 $d = 3.29 \text{ mm}$ と計算される。(7)式および Mutchler²⁾, Mutchler-Moldenhauer³⁾, Chow and Hanbaugh⁴⁾ら求めた実験値を図-5に示す。しかるに、図-4に示したように、降雨強度によつても雨滴径は変化することは明

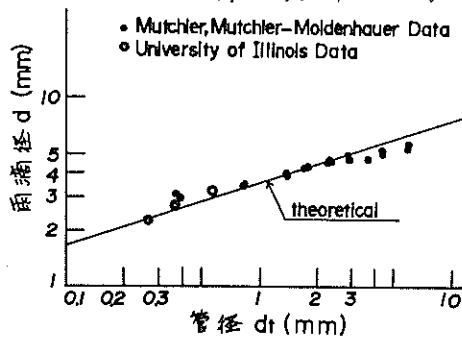


図-5 $dt \sim d$ 関係図

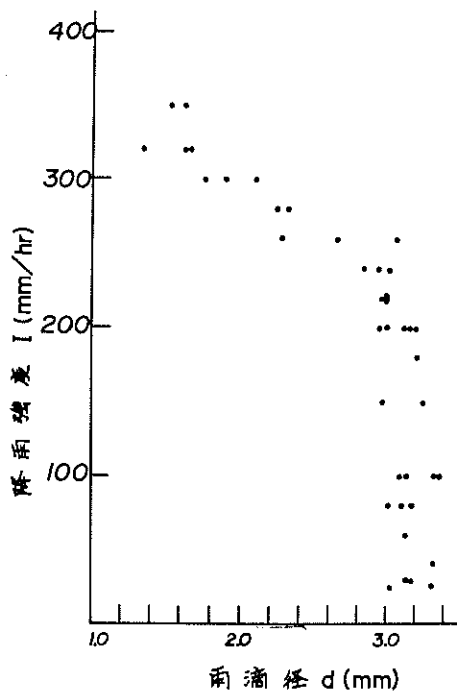


図-6 $d \sim I$ 関係図

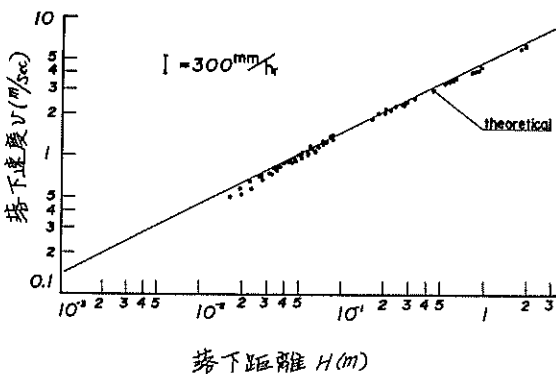
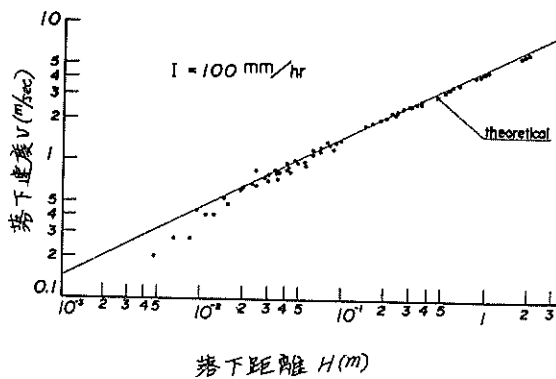
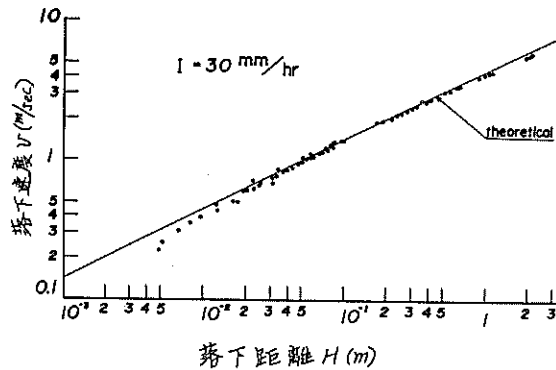


図-7 落下距離～落下速度関係図

4 村瀬義典

うかであって、図-5のような検討のみでは不十分である。いま、図-4によって測定される雨滴形をだ円の回転体と見なし、この体積と等しい球の直径を求めて、降雨強度との関係を表わすと図-6のようになる。図から明らかなように、同一降雨強度であっても、生じる雨滴の大きさは必ずしも一定ではなく、降雨強度0~200 mm/hrでは雨滴径はほぼ3.0~3.4 mmのあいだにあり、200 mm/hrを越えると急激に減少することがわかる。

5. 落下速度

いま雨滴の落下を、空気抵抗を無視して自由落下するものと考えると、落下速度 V と落下距離 H との間には、

$$V = \sqrt{2gH} \text{ ----- (8)}$$

なる関係が存続するはずである。本装置における V と H との関係を調べるために、ストロボ写真撮影を行なった。その結果の一部を図-7に示す。本実験装置における雨滴の有効落下距離は約45~2.0 mの範囲で任意に設定可能であるが、この範囲での V ~ H 関係は、降雨強度に関係なく理論値とよく一致することがわかる。

6. おわりに

自然降雨の雨滴径および落下速度は、気象条件あるいは降雨の種類によって種々異なり、一般的に論じることが困難であるが、通常雨滴は落下途中で空気抵抗や風によるせん断作用によって、直径5~6 mm以上には成長しないとされている。また、そのときの最大落下速度は約9 m/secとなることが報告されている⁴⁾。本実験装置によって生成される雨滴径は図-6に示したとおりであるが、一般に市街地流出解析を対象とする場合には、降雨強度は20~100 mm/hr程度であるから、このときの雨滴径は3.0~3.4 mmのものが作り出されていると考えられる。Laws⁴⁾によると、自然降雨において直径約3 mmの雨滴は降雨強度約100 mm/hrのときに最も多く発生するとされているので、上記の値はそれ以上の高強度の降雨による雨滴のものと考えられる。しかしながら、雨水流出実験を行なう場合には降雨のみならず、流出過程に関しても相似則の適用が考えられるので、この点の解釈は要なり得る。雨滴の落下速度は、地上に到達したときの衝撃あるいは土砂の飛散などを究明する上で重要な要素となるが、最終的に形成される雨滴形状が問題となる。本例では図-4に示したとおり、流出管を離れた直後では雨滴は長軸と短軸を垂直および水平方向に交互に変化させながら、だ円回転体となつて振動しつつ落下することがわかるが、落下距離約10 cmを越えるとその後ほとんど球形となることバストロボ写真撮影によって確認された。自然降雨の雨滴形状についても現在ストロボ写真によって解析中であるが、機会をあらためて発表する予定である。

< 参 考 文 献 >

- 1) Chow, T. V., and T. E. Harbaugh., Raindrop Production for Laboratory Watershed Experimentation, Jr. of Geophysical Research, Vol. 70, No. 24, 1965
- 2) Mutchler, C. K., Equipment for Producing Uniform Drops, U.S. Dept. Agr., ARS Rept. Progr., 1962
- 3) Mutchler, C. K., and W. C. Moldenhauer., An Application for a Laboratory Rainfall Simulator, Iowa Agr. and Home Econ. Exp. Sta., Journal Paper J-4186, Ames, Iowa, 1962
- 4) Laws, O. J., Measurement of the Fall-Velocity of Water-Drops and Raindrops, Trans. Amer. Geophysical Union, Part 3, 1941