

島取大学工学部 正会員 ○寺 西 靖 治
 学生員 村 頼 義 典

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要する。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。本研究は実際に設計・製作を試みた降雨シミュレーターに関して得られた成果である¹⁾。

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 $1\text{m} \times 1\text{m} \times 50\text{mm}$ 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。ユニットの数はタテ3個、ヨコ3個合計9個あり、おのおの独立して高位水槽に連結されている。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 $0 \sim 400\text{mm/hr}$ の範囲で任意に設定できる。

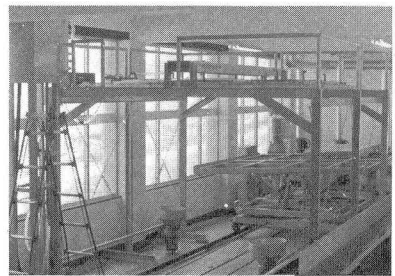


図-1 雨水流出実験装置

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 $3\text{m} \times 3\text{m} = 9\text{m}^2$ 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 $2.6 \sim 31.6\text{cm/sec}$ 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計された。

3. 雨滴発生機構 雨滴発生に関する因子は、管内流による力 F_v 、管末端における表面張力 F_s および雨滴に働く重力による力 F_w である。 $F_v + F_w < F_s$ 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へと変わる。本実験装置においては降雨強度 280mm/hr のときにこの現象がみられた。雨滴形成過程の例を図-2に示す。この図によって測定される雨滴形を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示したものが図-3である。同一降雨強度であっても雨滴径にはややばらつきがあるが、 $I = 0 \sim 200\text{mm/hr}$ の範囲では $d = 3.04 \sim 3.53\text{mm}$ にあり、 $I > 200\text{mm/hr}$ となれば

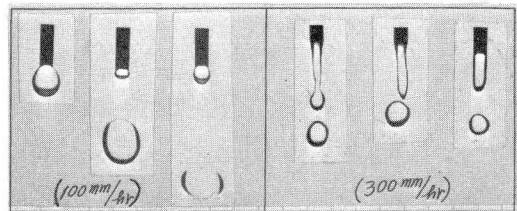


図-2 雨滴形成過程

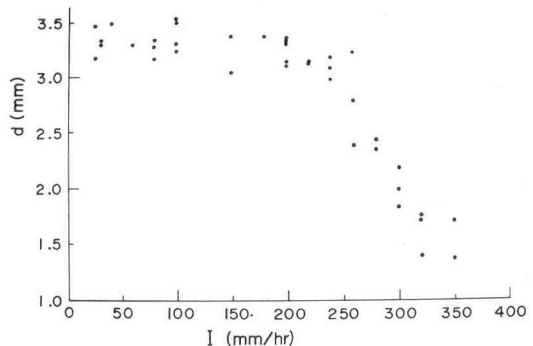


図-3 降雨強度～雨滴径関係図

d は急激に減少することが認められる。実験装置によって生成される雨滴径は流出管内径 d_t によって定まり、一般に次式で表わされる。²⁾

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

(1)式を本実験装置に適用すると、 $d = 3.29 \text{ mm}$ が得られ、上記実験値の平均値と一致する。

4. 落下速度 雨滴の落下速度は、地上に到達したときの鍵まうあるいは土砂の分散などを究明する上で重要な要素となる。雨滴の最終落下速度は、雨滴重量と雨滴が最終形状になったときの抗力、とを等値して次式のように得られる。

$$V_k = (4w d^3 / 3 \rho C_d d_r^2)^{1/2} \text{----- (2)}$$

ここに、 V_k :雨滴最終落下速度(m/sec), w :水の単位重量(kg/m³), d :雨滴径(m), d_r :雨滴最終形状の直径 $= (1 \sim 1.25) d$ (m), ρ :空気密度(Kg·sec²/m⁴), C_d :抵抗係数(レイノルズ数の関数), である。 (2)式によって V_k が与えられるならば、落下距離 x における速度 V は次式によって得られる。

$$V = V_k \{1 - \exp(-2gx/V_k^2)\}^{1/2} \text{----- (3)}$$

(2)式を用いて、本実験の場合の V_k の最大値($d_r = d$ のとき)、および最小値($d_r = 1.25d$ のとき)を求めると、 $d = 3.3 \text{ mm}$, $w = 999 \text{ kg/m}^3$ (15°C), $\rho = 0.125 \text{ Kg·sec}^2/\text{m}^4$ (15°C, 760 mm Hg), $C_d = 0.37$ ($d_r = d$ のとき), 0.38 ($d_r = 1.25d$ のとき), として、 $V_{k \max} = 9.7 \text{ m/sec}$, $V_{k \min} = 7.7 \text{ m/sec}$ となる。一方、本装置における実際の雨滴落下速度を測定するために、ストロボ写真撮影を行なった。得られた結果および(3)式を図-4に示す。本装置の運転に際しての最大～最小落下距離は20～0.6 mであるが、この間では降雨強度にかかわらず、理論値と実験値とがよく一致することが認められた。

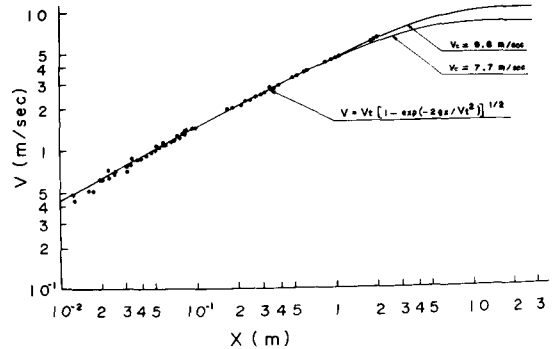


図-4 落下距離～落下速度関係図

5. おすび 自然降雨の発生機構は複雑であるが、簡単にいえば、凝結核→雲粒→水滴→雨滴といった生成過程をとる。落下途中において付着、衝突、分裂をくりかえしているため、地上に到達した時点では種々の大きさの雨滴が存在する。統計的には雨滴径 d (mm)と降雨強度 I (mm/hr)との間には、 $d = 1.24 I^{0.82}$ なる関係があると示しているが³⁾、実際には最大5～6 mm程度までしか成長しないといわれる。こゝを本例に適用するならば、 $d = 3.3 \text{ mm}$ として $I \approx 200 \text{ mm/hr}$ となる。また、自然降雨の終末速度は9 m/sec程度と報告されている⁴⁾。今回得られた結果は、今後雨水流出実験を行なうにあたって、1つの指針となり得べきものであるが、流出過程に関して相類似の適用が考えられるので、目的に応じて両者を勘案せねばなるまい。

1) 昭46.5.土木学会中四四支部学術講演会において一部発表済み

2) Chow, T.V., and T.E. Harbaugh., Raindrop Production for Laboratory Watershed Experimentation, Jr. of Geophysical Research, Vol. 70, No. 24, 1965

3) Laws, J.O., and D.A. Parsons., The Relation of Raindrop Size to Intensity, Trans, Am. Geophys. Union, 24, 1943

4) Laws, J.O., Measurements of the Fall-Velocity of Water-Drops and Raindrops, Trans, Am. Geophys. Union, 22, 1941