

雨水流出実験装置

北川吉男・藤原清司・中村行雄*

災害観測実験センター宇治川水理実験所 水災害研究部門*

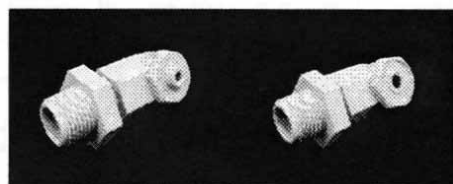
宇治川水理実験所には以前、河川災害総合基礎実験施設棟内に降雨装置があったが、実験所の敷地を2分する洛南道路の建設工事のため、同施設は取り壊された。道路開通時の環境悪化が予測されるため、多くの実験施設を収納する4棟の新実験棟が平成10年11月に完成した。降雨装置も第1実験棟にリニューアルされ、雨水流水実験装置として完成した。以前の装置に比べると、系統ごとに降雨量が制御できるなど大変扱いやすくなった。



写真—1 雨水流出実験場

〔実験目的〕

雨水流出実験装置が、設計仕様通りの性能を有しているかを、実験によって検証をした。雨量の設定には、計算式による設定値を用い、実験で得られた結果と比較することでより正確な設定値を見出すことにした。実験床での降雨分布が雨量強度によりどのように変化するかを、時間雨量を30、50、100、200、250、300、350、400mm/hの9段階に変えて実験を行った。又、フルコーン4mm、スタンダード6.3mm3.1mmの3種類の口径の違ったノズルを特定のエリアだけ取り替え、ノズルの特性を知ること、雨量強度による最適なノズルを見出すことにした。ノズルの写真及び形状を（写真—2）に示す。



(フルコーン) (スタンダード)

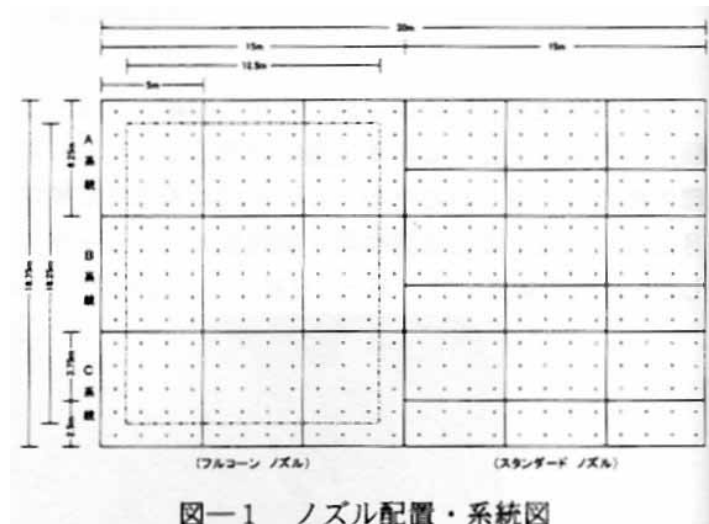
写真—2 ノズル

〔実験装置〕

雨水流出実験装置は、30m×18.75mの範囲に雨を降らすことが出来る。実験床上6mに1.25m間隔で格子状に360ケのノズルが取り付けられてあり、A、B、C系統ごとに雨量設定が出来る。（図—1）に示す。図中の点がノズルの配置で、右半分のエリアにはスタンダードノズルが取り付けられてあり、流域模型の実験が行われている。左半分にはフルコーンノズルが取り付けられてあり、15m×18.75mの範囲を使い実験を行った。

給水系統は（図—2）に示すように、低水槽より15kwのポンプ2台で全ノズルに供給されるが、少雨量、少範囲であればポンプ1台の稼動でも十分である。実験範囲は予め、系統ごとに9個のエリアバルブAvが設けられており、手動で開閉することにより範囲決定する。次に降雨面積が決まれば、計算式により流量の設定を行う。パソコンに雨量強度、降雨時間を系統ごとに入力設定し調節計に転送することで、系統バルブZvの開閉が自動で行われAvで決めた範囲のノズルに供給される。

例えば左半分のフルコーンノズル全体に200mm/hの雨量を降らすときの1系統当たりの設定流量は



図—1 ノズル配置・系統図

< 計算式 >

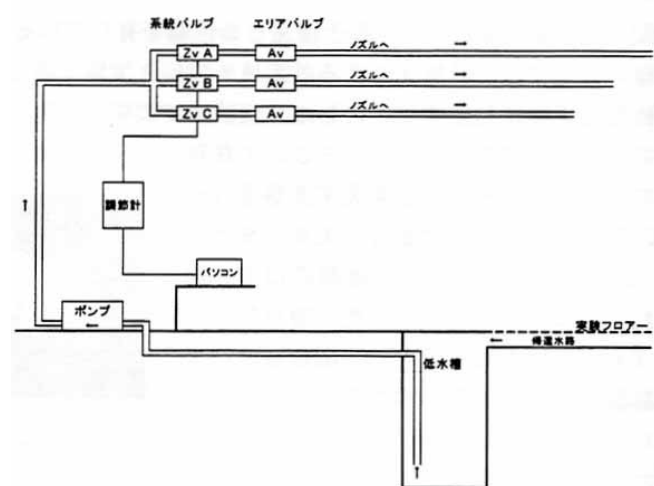
$$\begin{aligned}
 \text{1系統あたりの設定流量は} &= \frac{200 \text{ mm/h} \times 281.2 \text{ m}^2 \text{ (降雨面積)}}{60 \times 3 \text{ (系統数)}} \\
 &= 312.5 \text{ l/min} \quad \text{となる}
 \end{aligned}$$

左半分フルコーンノズルでの実験を行ったが、端の影響を考慮し、1つ内側（図-1）破線内130ヶのノズルを計測対象とし調べることにした。実験床に降った雨水はグレーチング蓋の帰還水路を経て低水槽に戻され循環される。

〔実験〕

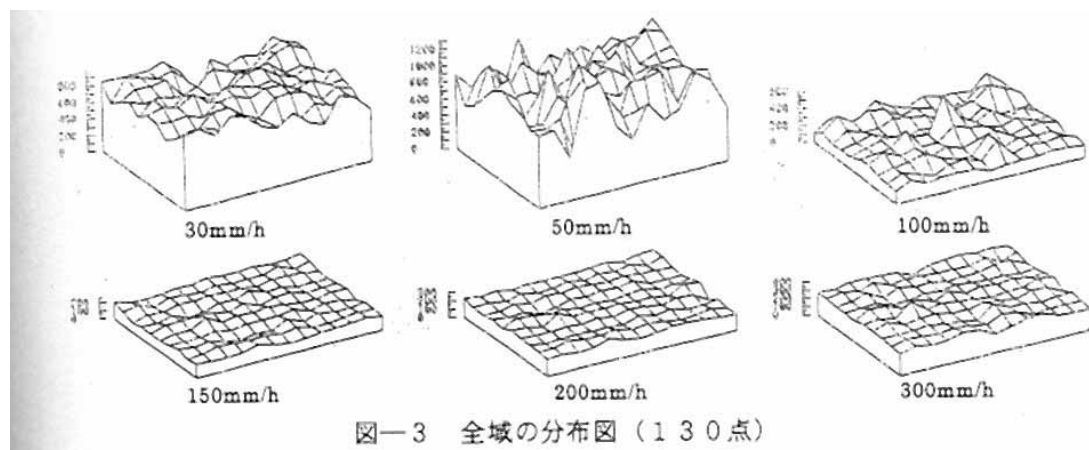
（一）フルコーンノズル実験
床全体の範囲130点の降雨分布を知ると、各ノズルから正常に噴出しているかを確かめるた

めに計算式で求めた値を用い、雨量強度を9段階変え計測をした、雨量計はノズルの直下にセットすることにした。フルコーンノズルの特長は雨滴の再現性に優れており、雨滴の大きさが問題になる実験には最適である。当実験施設には口径が4mmのノズルが取り付けられてあり、その他2、3、5、6mmが市販されている。



図—2 給水系統図

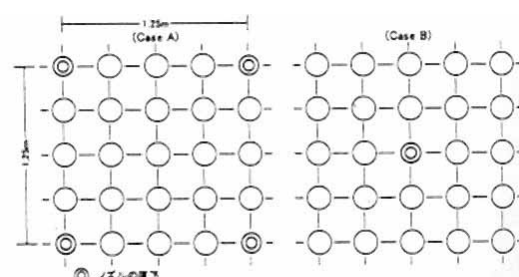
フルコーンノズル4 mmで主な雨量での計測結果を分布図で（図—3）に示す。図中から上方向は雨量強度を表す。30、50 mm/hの雨量ではノズルからほとんど拡散することなく雨量計の柵にキャッチされるため、各計測点で多雨量が計測された。100 mm/hになると拡散が始まり、雨水が分散され、図中の起伏がなだらかになりつつある。150、200、300 mm/hになると、ほぼ平坦になり一様に分布していることが図より伺える。実験では350、400 mm/hについても計測したが同様の結果が得られた。結果から少



図—3 全域の分布図（130点）

雨量で一様な分布を求めるには、ノズル口径を2 mmか3 mmに取り替える必要がある。

（二）フルコーンノズル4 mmで全域のノズル直下に雨量計を設置しての分布を前に調べたが、次にノズル間の狭い範囲の分布を調べることにした。ここでは、ノズルの特性を調べるためフルコーンノズル4 mmとスタンダードノズル6.3 mm、3.1 mmの3種類ノズルに交換して計測することにした。ノズルは1.25 m間隔の格子状に設置されており、実験床ほぼ中央部で計測することにし、1.25 m四方を等分割し25点での計測を前項同様に雨量強度を9段階変えて計測した。雨量計の配置は、Case A はノズル直下が四隅にくる配置で、Case B はノズルの直下が中心にくる配置にし計測を行った。（図—4）に示す。フルコーンノズル4 mmの分布図を（図—5）に示す。Case A と Case B の各25点計測結果を分布図に表したもので、雨量強度は9段階ない200、350、400 mm/hについては似た結果が得られたので図示を省略した。30、50 mm/hでの Case A は四隅がノズルの直下にあたり、全域での計測同様に拡散せず雨量柵に入るため端が際だっている。他の測点はほとんど雨量を計測していないことが図で分かる。Case B についても同様である。100 mm/hになると突き出しが少なくなり、周辺の雨量が増し図に厚みが出来、拡散が始まりつつ有ることが伺える。150、200、300 mm/hと変化するにつれて平坦になり雨量強度とともに暑さもまし、狭い範囲でも均一に降っていることが分かる。



図—4 雨量計設置

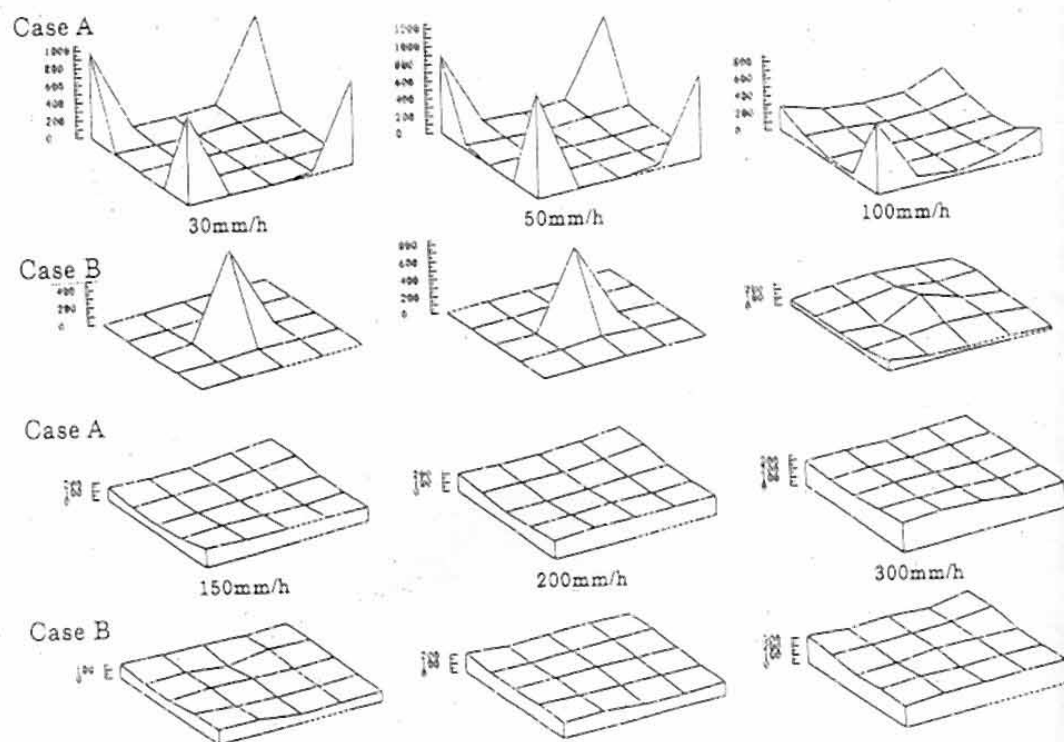


図-5 フルコーンノズル4mm分布図

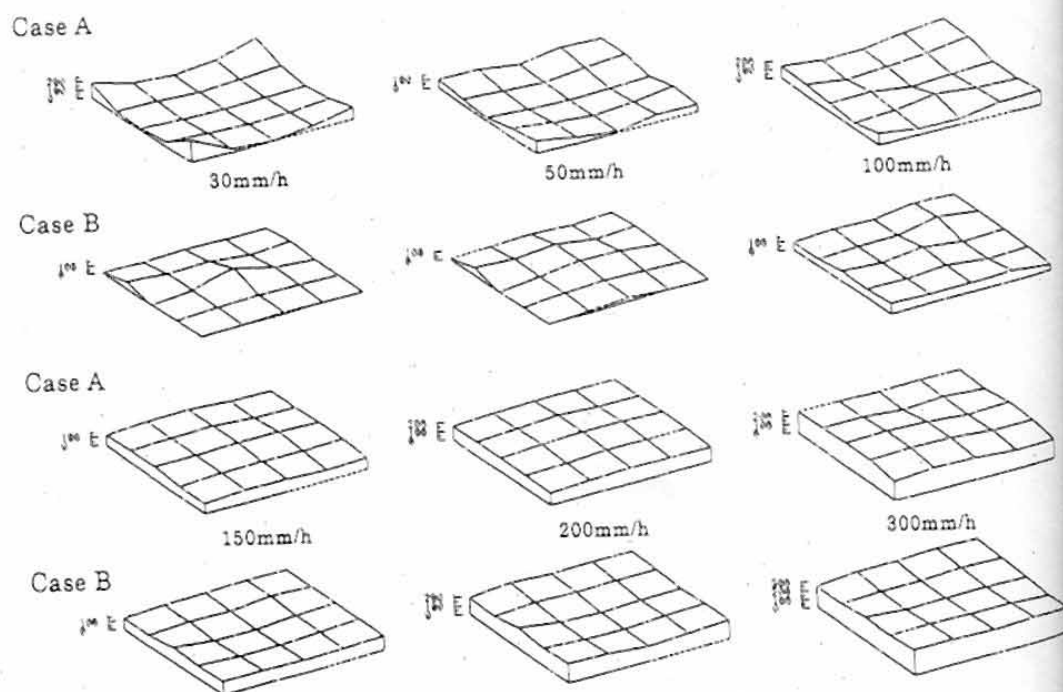
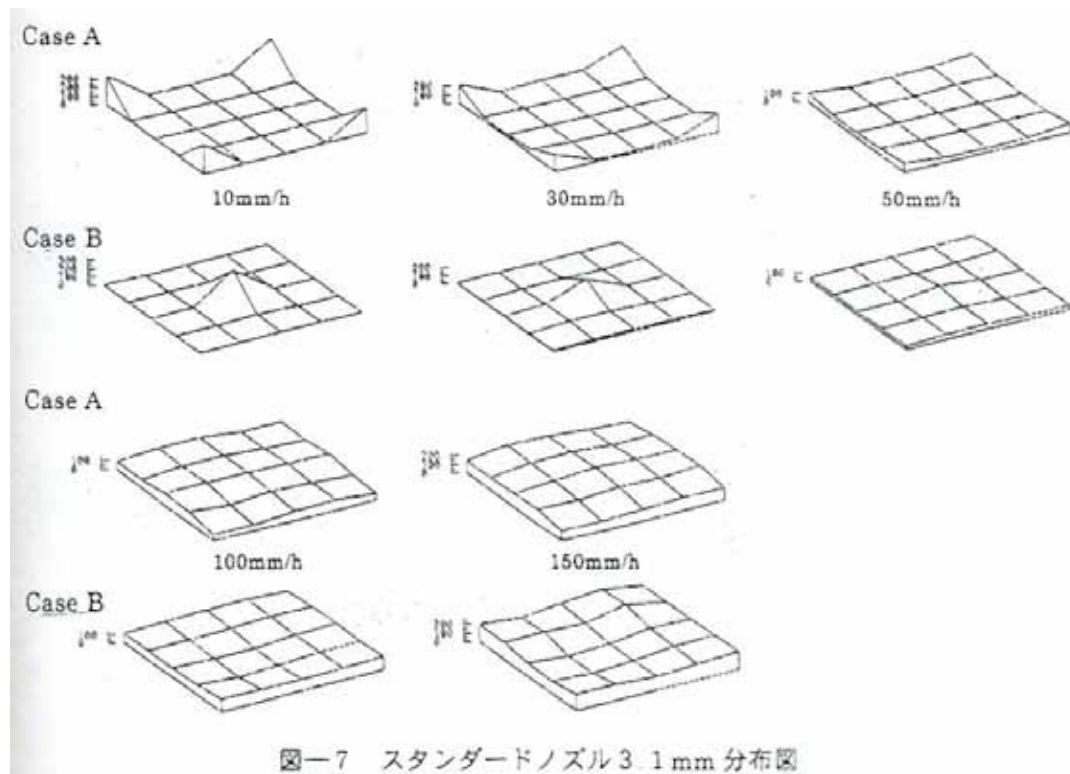


図-6 スタンダードノズル6.3mm分布図



図—7 スタンダードノズル 3.1 mm 分布図

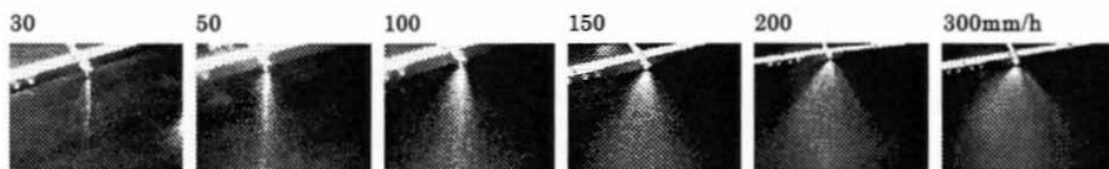
実験床の中央部の計測地点を中心に周辺のノズルを交換し、(図—6)でスタンダードノズル 6.3 mm (図—7)でスタンダードノズル 3.1 mmでの計測をおこない分布図に示した。スタンダードノズル 3.1 mmでは、配管が圧力によって破裂する恐れがあるので、少雨量 10、30、50、100、150 mm/hの5段階の雨量強度にとどめた。

(図—6)によると、30 mm/hで Case A、Case Bともにフルコーンノズルに比べ突き出している部分が低く多雨量を測定せず、四隅に近い測点で少雨量が測定でき拡散している様である。50 mm/hになると拡散し始め四隅の突出が無くなり、100 mm/hでは厚みができ、150、200、300 mm/hでは厚みが増しフルコーンの場合と同じで分布も平坦になった。スタンダードノズルの規格には 1.5、2.3、3.1、3.9、4.7、5.1、5.9、6.3、9.6 mmの9種類が市販されている。旧降雨装置に使われていた 3.1 mmノズルの在庫があったので利用した。図から、6.3 mmでの計測では、100 mm/h位から拡散し分布もほぼ均等になりつつあったので、3.1 mmのノズルに交換し100 mm/h以下の分布を主に調べることにした。(図—7)では、10 mm/hでは拡散することなく、30 mm/hで拡散が始まり50 mm/hでは均等に近い分布を示している。100、150 mm/hでそれなりに厚みが増えてきた。図で凹凸が無くなり平坦な板状になれば、どの場所に設置しても同雨量が得られるはずである。

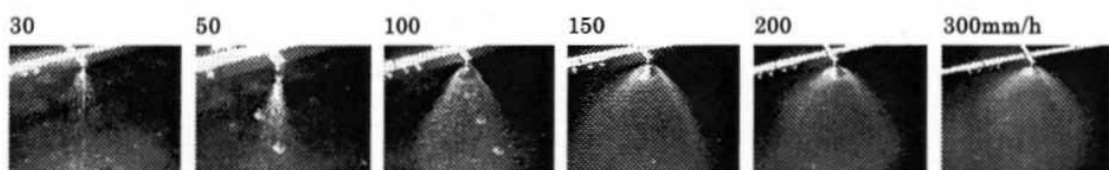
これまで、狭い範囲での分布を 3種類のノズルを替え計測をしてきたが、フルコーン 4 mmで 400 mm/hとスタンダード 6.3 mmの 300 mm/h以上の雨量になると霧状態になり飛散して一部が実験床に到達せず、実験室全体に広がり正確な計測が難しいことが分かった。したがって、実験の結果少雨量から多雨量までを一つのノズルでカバーする

ことは難しく、雨量強度により適正なノズルに交換することで正確な雨量が得られることが分かった。今回3種類のノズルは適応範囲が分かったが、今後これら以外のノズル口径についても同様の実験をおこなう必要がある。

(フルコーンノズル4 mm)



(スタンダードノズル6.3 mm)



写真—3 ノズル噴き出し写真

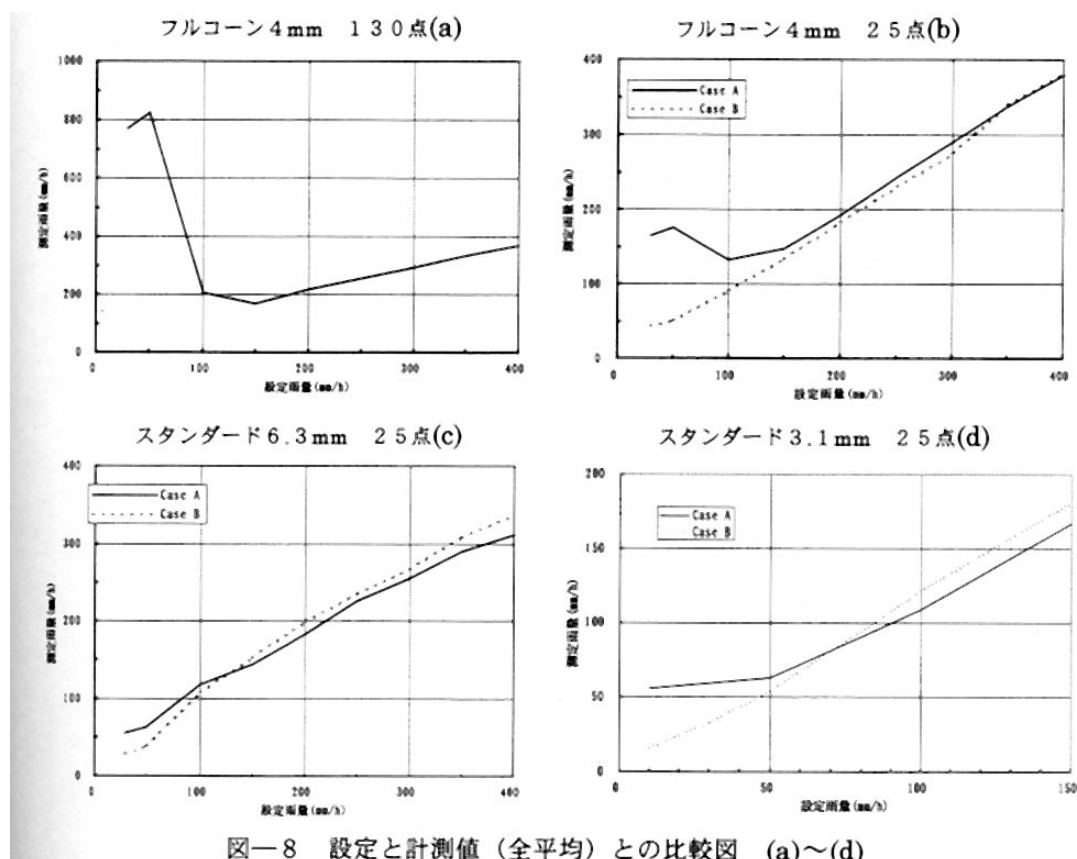
(写真—3)では、フルコーンノズル4 mm/hとスタンダードノズル6.3 mmの噴出しの状態を比較した写真で、雨量強度による特長がよく分かる。30、50 mm/hでは、さほど違いが現れてないが、100 mm/hになると両ノズルとも円錐の後形に広がりスタンダードでは広範囲に拡散し、雨量が増すと共に広がりも大きくなっていく。写真からスタンダードの300 mm/hになると、一部は霧状になってしまいスタンダードノズル6.3 mmでの限界に近いのではと思われる。

〔実験結果〕

ここまで3種類のノズルで分布状況ならびに特性等をみてきた。これらのデータをもとにフルコーンノズル4 mmで全測点130点を平均したものを雨量強度毎にグラフにしてみた。(図—8(a)~(d))に示す。図中(a)フルコーンノズル4 mm 130点平均では、30、50 mm/hの設定値で800 mm/h前後のとてつもない値を計測した。次に100 mmに設定すると計測値が200 mm/h近くに下がり拡散しだしていることが分かる。150 mm/hでは168 mm/hを計測し、200 mm/hで217 mm/hとなった。図中150 mm/hから350 mm/hにかけてほぼ直線になり、直線部分では設定値より計測値が多ければ設定値を下方修正し、設定値より計測値が少なければ設定値を上方に修正することで設定値に近づける。400 mm/hになると、直線からやや垂れ下がり気味になり、霧状態になっているようである。したがって、フルコーン4 mmでは150 mm/hから350 mm/hまでの雨量に対応できると言える。

次に同じノズルで狭い範囲についても調べることにした。25点計測を平均し雨量計配置のCase A、Case Bについて計測した。(図—8(b))に示す。設定値30、50 mm/hでのCase Aは、130点平均と同様に設定値よりかなり多雨量を計測したがCase Bでは

それ程ではなかった。今までの実験結果から 30、50、100 mm/h については拡散が充分ではないので計測値に信憑性がないと言える。Case A で 150 mm/h の設定値で 147 mm/h Case B で 133 mm/h を計測し、200 mm/h の設定値で Case A で 192 mm/h、Case B で 133 mm/h を計測した。以降の多雨量に関しても、やや少な目になるがほぼ直線になり、狭い範囲においても 130 点平均と同様の結果となった。



図—8 設定と計測値（全平均）との比較図 (a)～(d)

スタンダードノズル6.3 mmの25点平均したものを(図—8 (c))に示す。30、50 mm/h の Case A では、フルコーンの場合程ではないが設定値より多い雨量を計測した。(図—6)の分布図でも分かるように、少しは周辺にも広がっているようである。(c)では、Case A、B とともにきれいな直線にはならないが、100 mm/h から 250 mm/h にかけてはほぼ直線に近似出来るのではないかと考える。250 mm/h 以上の雨量になると Case A、B とともに下方に離れたてきた。(写真—3)のノズル噴出し写真を見ると、霧状態になり、実験床で正確な計測ができていないためと推測できる。したがって、スタンダードノズル6.3 mmでは、雨量強度100 mm/h から 250 mm/h の範囲には対応できそうである。

(図—8 (d))にスタンダードノズル3.1 mmの25点平均を示す。前にも述べたように、ここでは6.3 mmの結果から最大で150 mm/hにとどめることにした。特に6.3 mm ノズルでは100 mm/h 以下が不向きであったので、3.1 mm ノズルで10、30、50、100、150 mm/h の雨量強度について比較をした。図中から、設定値10 mm/h で Case A では55 mm/h となり Case B で15 mm/h と離れた数値を計測した。

30 mm/h の設定値で Case A で 59 mm/h、Case B で 33 mm/h となり徐々に拡散し始めている。設定値が 50 mm/h になると、Case A で 63 mm/h、Case B で 54 mm/h となって、設定値 50 mm/h から 150 mm/h にかけてやや多い雨量を計測したが、ほぼ直線に推移している。設定値が 200 mm/h 近くになると霧状態になり 3.1 mm ノズルの限界に思える。したがって、スタンダードノズル 3.1 mm では 50 mm/h から 150 mm/h の雨量なら対応出来そうである。

これまでに 3 種類のノズルを用い雨量分布および特性を調べてきた。フルコーンノズルの特長は、前にも述べたが雨滴の大きさを重視する場合には適している。またスタンダードノズルに比べ雨量強度に対し適応範囲も広いことが分かった。スタンダードノズルは形状から、回転して噴出しているようで雨滴の大きさもフルコーンノズルに比べると小さい、少雨量で拡散し出すので分布も早く均一になる長所があるが、逆に多雨量になると霧状になり計測誤差が生じるため、フルコーンノズルに比べ適応範囲も狭くなる。ノズルには適応範囲があり、実験目的、雨量強度によりノズルを選択し取り替えることで目的にあった雨量を得るようにすべきである。これまでの実験から、100 mm/h 以下の雨量時にはまだ分布図から不安定であるため、ノズル径の小さい実験を追加する必要がある。

(図—8) のデーターを用い設定値の補正を試みた。3 種類のノズルの目標雨量に対し、式で得られた設定値を実験結果から補正を行うもので、(図—8) の比較図から Case A の直線部分を各ノズルの適応範囲と考え、計測値から回帰直線を求め、それを使い補正を行った。計測には転倒式の雨量計を用いたため、計測時間は少雨量の場合で 15 分間、多雨量では 2 分間を雨量強度により変えて行った。(表—1) の補正值は $18.75 \text{ m} \times 15 \text{ m} = 281.2 \text{ m}^2$ 実験床範囲の 1 系統あたりの設定値である。

目標雨量 (mm/h)		10	30	50	100	150	200	250	300	350	400
計算式による設定値		15.6	46.9	78.1	156.2	234.4	312.5	390.6	468.8	546.9	625.0
補 正 値	フルコーン 4mm		—	—	—	240.2	322.2	404.2	486.3	568.3	—
	スタンダード 6.3 mm		—	—	129.5	236.4	343.3	450.2	—	—	—
	スタンダード 3.1 mm	—	—	62.0	137.4	212.8					

表—1 目標雨量に対する補正值

〔おわりに〕

宇治川水理実験所には道路建設を伴い、幾つかの大型実験施設が新たに完成した。その中の一つの、雨水流出実験装置は降雨範囲も広く隣接して計測室を有し、ノズルも実験床上 6 m の高さに取り付けてあり、高さ的にも様々な模型実験が可能であると共に、雨量強度も的確なノズルを選び取り替えることで、かなりの範囲がカバー出来ることが分かった。今回の実験では、計算式による設定値を階段状に与えるやりかたを用いたが、設定値と時間を連続して入力設定することで雨量を曲線的に変化させることも出来、様々な雨量パターンの設定が可能であることも分かった。

実験の目的は、設計仕様の確認とノズルの特性を調べることであった。3 種類のノズルだけでは充分とはいえないが、実験結果が施設利用者の一助になればと考える。