

# 構造物表面における降雨粒子の到達と流動過程に関する数値解析

コンクリート研究室 高木 耕  
指導教員 下村 匠

## 1. はじめに

沿岸部に位置するコンクリート構造物の塩害の劣化予測を向上させるためには外部環境下で水分供給源となる降雨について把握する必要がある。その理由として、降雨の影響による洗い流しによって、コンクリート表面の塩分量が小さくなること、水の流動による塩分の再分配がおこることが挙げられる。そのため、降雨によるコンクリート構造物に到達する水分量とそれに伴う水の流動を把握する必要がある。

したがって、本研究ではコンクリート構造物における降雨粒子が付着するまでの到達過程および到達してからの流動過程の数値解析モデルの構築を目的とし、研究を行った。さらに、その数値解析の妥当性を確認するため実寸大の模型を用いた実験を行った。

## 2. 降雨粒子の到達過程に関する模型実験

### 2.1 実験施設および実験模型

実験は、風、降雨を作用できる施設を利用して実施した。この施設は、図-1のように送風機、降雨発生機が配置されているものであり、コンクリート製の実験模型に風、降雨を同時に作用できるようにになっている。実験模型は、高さ2.2m(地表面から2.5m)、幅1.6m、奥行き1.8mである。

### 2.2 実験方法および実験条件

降雨発生機は、加圧型の散水ノズルを用いることで降雨による水滴の再現を行った。送風機は、地表面から高さ3.0mの間に6台を2列で配置した。

測定項目は、模型周辺の風速と模型表面に到達する降雨の水分量である。風速の測定は、プロペラ式風速計を用いて、1分間隔で5分間の風速を測定し、それを平均した。風速計の配置は、図-2に示す。模型表面に到達する降雨の水分量は水分捕捉器を用いて採取した。捕捉器は、給水スポンジが設置されており、そのスポンジ部に触れた水分を採取できる構造になっている。水分の測定点は、図-3のように合計36点を配置した。

## 3. 降雨粒子到達過程および風況の数値解析

### 3.1 計算モデル

本計算モデルは、風の場合と降雨粒子の移動到達モデルを組み合わせたものである。風の計算は3次元のN-S方程式を用いた。降雨粒子の運

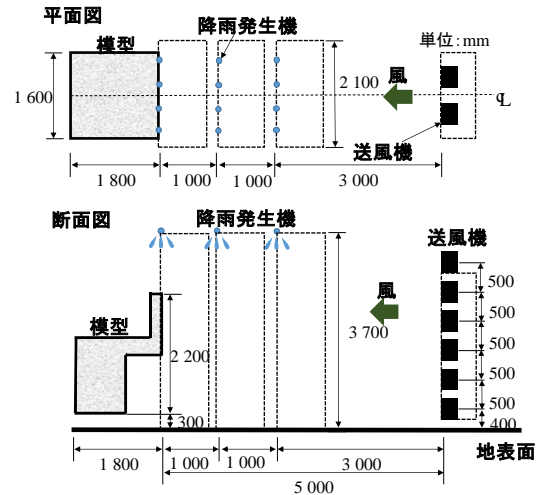


図-1 実験設備の配置図

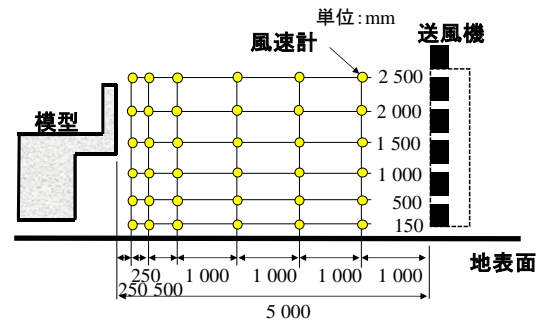


図-2 風速計の測定位置

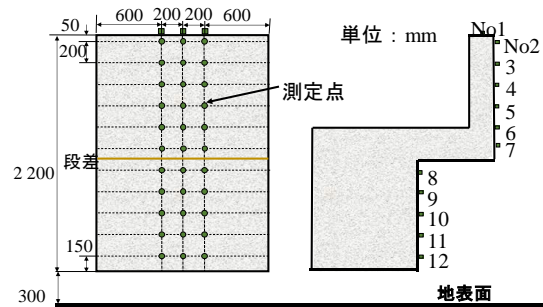


図-3 到達水分量の測定位置

動方程式は式(1)である。

$$m \frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{F}_D - m\vec{g} \left( 1 - \frac{\rho}{\rho_p} \right) \quad (1)$$

ここで、 $m$ :粒子の質量、 $\vec{v}$ :粒子の速度ベクトル、 $\vec{F}_D$ :抵抗力ベクトル、 $\vec{g}$ :重力加速度ベクトル、 $\rho$ :大気密度、 $\rho_p$ :粒子の単位体積質量である。

### 3. 2 解析条件および境界条件

幅 3.0m×高さ 3.7m×奥行き 12.0m の領域で底面および風下は壁面境界, それ以外の面は自由境界とした. 計算格子は最大 0.10m とし, 模型近傍では, 計算格子が小さくなるように設定した. 風速は, 風速 6.8m/s を水平方向に一定とした. 降雨粒子は, 解析領域の上側から  $6.28 \times 10^5$  個/s が流入するように設定した. 粒子の粒径は, 直径 0.60mm である.

### 3. 3 風況の結果および考察

風況の結果を図-4 に示す. 実験結果より 2.0m の位置では, 風速は 5.6~6.7m/s 程度で鉛直方向にほぼ一定であった. 0.25m の地点では, 下部のほうが風速が大きいことがわかる. これは, 模型形状の影響だと考えられる. また, 解析結果に関しては実験結果をおおむね再現できていることが分かった.

### 3. 4 降雨到達量の結果および考察

降雨到達量の結果を図-5 に示す. 図の降雨到達量の値は地表面から同じ高さの測定位置における到達量を平均した値である. 実験結果より, 模型上部と下部の側面で降雨到達量に差があることが分かった. したがって, 構造物の位置によって塩分の洗い流し作用が起りやすい部分と起りにくい部分があると考えられる. また, 解析結果と実験結果を比較するとおおむね再現できており, 風況の数値解析と降雨粒子の数値解析を統合することで降雨粒子の到達過程を定量的に再現できることが分かった.

## 4. 表面における水の流動の数値解析

### 4.1 計算モデル

構造物表面における重力を駆動力として式(2)~(4)を用いて解析を行った.

$$\frac{\partial(uh)}{\partial x} + \frac{\partial(vh)}{\partial y} = 0 \quad (2)$$

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -g \cos \theta_x \frac{\partial h}{\partial x} + g \sin \theta_x - fu \quad (3)$$

$$u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -g \cos \theta_y \frac{\partial h}{\partial y} + g \sin \theta_y - fv \quad (4)$$

ここで,  $u$ :  $x$  方向の速度(m/s),  $v$ :  $y$  方向の速度(m/s),  $h$ : 構造物表面からの水面の高さ(m),  $g$ : 重力加速度(m/s),  $\theta_x$ :  $x$  方向の傾斜(rad),  $\theta_y$ :  $y$  方向の傾斜(rad),  $f$ : 摩擦損失係数(1/s)である.

### 4.2 解析領域

解析条件として格子間隔は 0.01m とした. 粒子付着量を各格子あたりの水面高さに変更することで降雨による流動を求めた. 摩擦損失係数

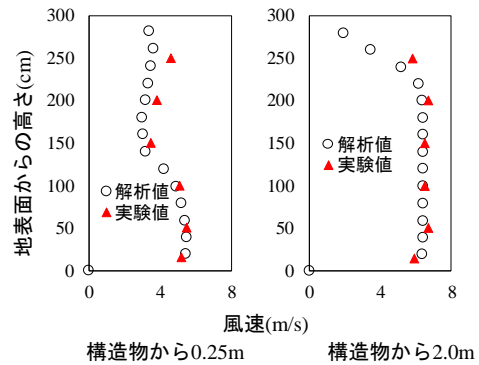


図-4 風況の結果

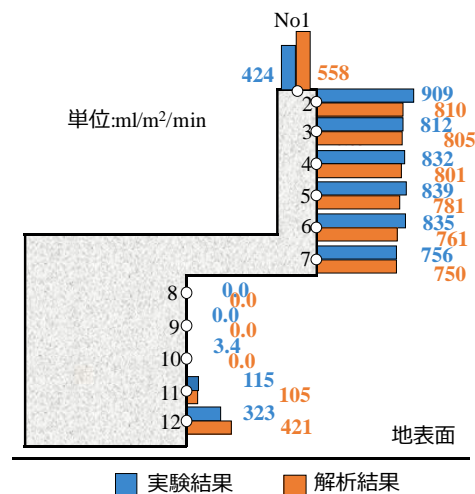


図-5 降雨到達量の結果

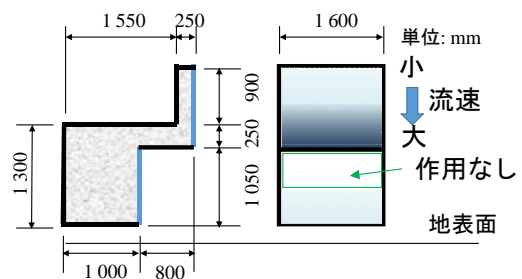


図-6 流動の解析結果

はすべてのメッシュで 2.0(1/s)とした.

### 4.3 解析結果および考察

流動の結果を図-6 に示す. 濃い青色が流速の大きい部分である. 解析結果から流速が模型の部分ごとに変化することが分かった. また, 降雨による水の流動解析を用いることで, 塩分の再分配の過程を導くことができると考えられる.

## 結論

本研究によって降雨粒子の到達過程を再現できることが明らかになった. また, 流動に関しては, 解析結果から模型の場所によって流速が変化することが分かった.