

外装材の凹凸によるよごれの見え方に関する研究

－壁面を流下する水滴の経路について－

日大生産工（院）○下田 ありさ 日大生産工 永井 香織

日大生産工 渡辺 康 日大生産工（非常勤）松井 勇

1 はじめに

建築物の外装材は、経年によってよごれて、美観性を損ねる要因となる。このため、定期的な点検や清掃、修繕工事が必要であるが、コストがかかり、資材を浪費してしまうため、メンテナンスフリーの外装材が必要とされている。

外装材のよごれの研究には、「よごれ物質が付着しにくい」「よごれが付着しても洗浄しやすい」「よごれても不快感を与えないエイジング」など、多くの種類の研究がある。その中で、本研究は、よごれが目立たない外装材に焦点を当てている。

外装材の例として浅目地タイルを写真 1、凹凸を施してあるタイルを写真 2 に示す。浅目地タイルは、流れ落ちた雨滴がタイルを乗り越えて流下し、タイル前面に雨筋よごれが形成され、よごれが目立っている。凹凸模様付きタイルは、凸部が傾斜しているため雨滴が傾斜に沿って流下し、タイル前面に雨筋よごれが形成されていない。これらの例から、雨滴の流下経路は外装材のよごれを目立たなくするために重要な要素であり、外壁に凹凸を施す事で雨筋よごれが目立たないように操作する事ができると考えられる。

2 水滴のエネルギー

既報¹⁾では、板に 2 方向に傾斜角度をつけた凸部を貼りつけ、上から塗装した試験体に水滴を流下させ、水滴が凸部を乗り越えるか否かの実験を行った。その実験結果を表 1 に示す。凸部の上部角度と、凸部の傾きとの組み合わせによって水滴が乗り越えるか否かがわかった。この結果を計算で判定ができるのではない

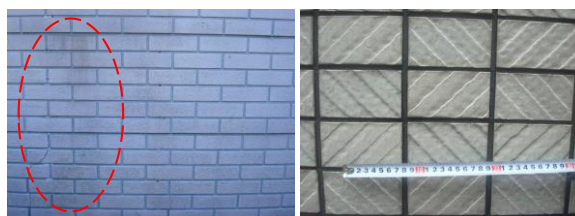


写真 1 浅目地タイル

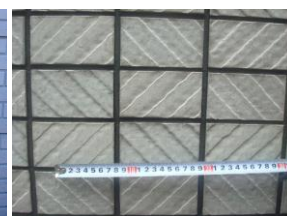


写真 2 凹凸模様付きタイル

表 1 既報の実験結果

		凸部上部角度			
		0°	15°	30°	45°
凸部の傾き	0°				
	15°				
	30°				
	45°				
	60°				
	75°				

凸部厚さ：6mm 凸部の幅：45mm 水接触角：76°

かと考えた。水滴が凸部を乗り越えるかどうかは、水滴の運動エネルギーが関係していると考えられる。水滴の運動エネルギーの関係を図 3 に示す。試験体には、 T_x と T_y の 2 方向に傾斜角度がついているので、図 3 のように X 軸、Y 軸を決め、傾斜のついた凸部から斜め

Study on appearance of dirt due to unevenness of outer wall
- On the path of water droplets flowing down the wall -

Arisa SHIMODA, Kaori NAGAI, Yasushi WATANABE, Isamu MATSUI

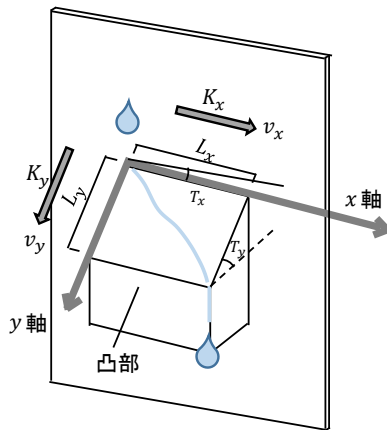


図3 水滴の運動エネルギーの関係

表2 試験体の種類

試験体	ガラス	アクリル板	塗膜
水接触角	34.0°	61.3°	86.4°

に流下していくとき、水滴のエネルギーはX軸方向のエネルギー K_x とY軸方向のエネルギー K_y に力を分けて考える事ができる。運動エネルギーの式を(1)に示す。

$$K = \frac{1}{2}mv^2 \quad \dots (1)$$

ここに、

K : 運動エネルギー(J)

m : 質量(g)

v : 速さ(mm/s)

(1) 式を、水滴の流下に当てはめると、水滴の量と速さが運動エネルギーに関係していることがわかる。X軸方向の凸部の長さを L_x 、Y軸方向の長さを L_y 、X軸方向の水滴の速さを v_x 、Y軸方向の速さを v_y とすると、凸部の $L_x=L_y$ の場合、水滴の速さ $v_x=v_y$ の時、水滴は凸部前面と側面の境界に流れると考えられる。また、図に示すように、 L_x に対し L_y が $2L_x$ の場合、 v_x に対し v_y が $2v_x$ の時、同様に水滴は境界に流れると考えられる。このことから、X軸方向、Y軸方向の速さと凸部の長さは(2)式で表すことができる。

$$\frac{v_x}{v_y} = \frac{L_x}{L_y} \quad \dots (2)$$

ここに、

v_x : X軸方向の水滴の流下速度(mm/s)

v_y : Y軸方向の水滴の流下速度(mm/s)

L_x : X軸方向の凸部の長さ(mm)

L_y : Y軸方向の凸部の長さ(mm)

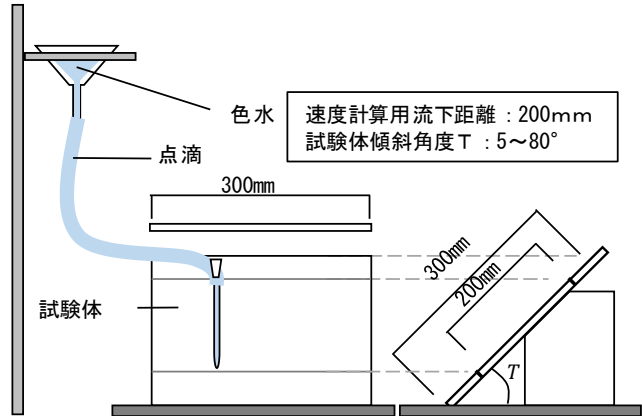


図4 速度測定の実験方法

表3 試験条件

項目	条件
傾斜角度(°)	5° から5° 毎に80° まで変えた。
水滴の大きさ(g)	水滴の大きさはノズルの直径を変えて流下させたときの水滴の重さは0.013g(小)、0.086g(中)、0.235g(大)の3種類とした。

(2) 式から、凸部の長さを決めるためには水滴の流下速度を求める必要がある。

水滴の流下速度は、素材や傾斜角度によって異なり、水滴が凸部を乗り越えない外装材のデザインを考えるために必要な要素となる。そこで本報告は、水接触角の異なる3種類の試験体を用い、傾斜角度を変えた時の水滴の流下速度について実験した結果を述べている。

3 流下速度の実験方法

3.1 実験に用いた試験体

流下速度は試験体の水接触角に影響を受けるため、表2に示す水接触角の異なるガラス板、アクリル板、塗膜の3種類とし、試験体寸法は図4に示すように300mm×300mmとした。

3.2 速度測定方法

速度測定の実験方法は図4に示すように、カメラで動画撮影をし、水滴滴下後、試験体に水滴がついた地点から200mm流下した地点までの時間を測定し、速度を算出した。使用する水は、見やすくするため絵の具で着色した。着色していない水と色水の水接触角を測定したところ、大きな差は見られなかったため、本試験では着色した色水を使用した。

試験条件を表3に示す。傾斜角度は、水平面から5°～80°までを、5°ずつ変えた。水滴の大きさ(中)については30°から15°ずつ変えて測定した。

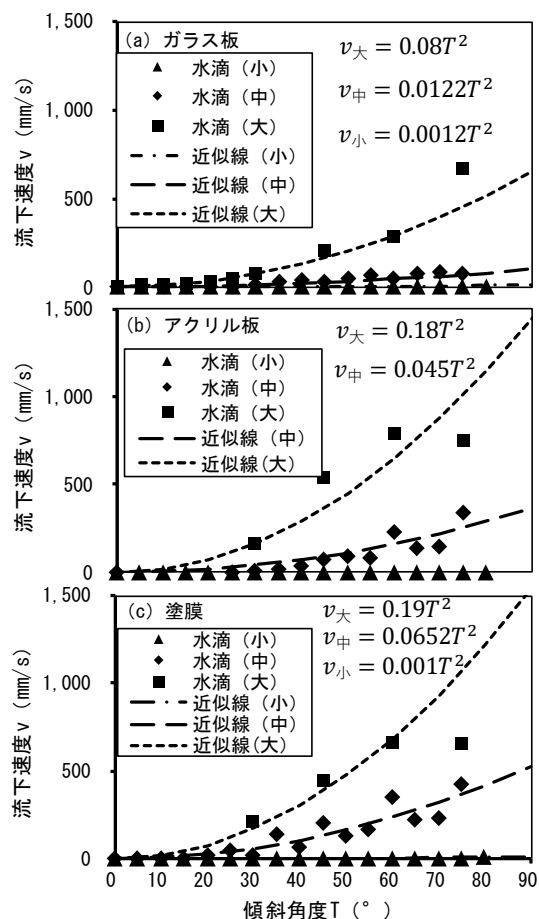


図5 傾斜角度と流下速度の関係

滴下する水滴の量は、0.013g (小)、0.086g (中)、0.235g (大) の3種類とした。水滴の量から水滴を球体とした場合の直径は、それぞれ2.52mm、4.54mmおよび7.66mmである。一般的に、大粒の雨は直径5mmで、それ以上は水滴が地上に到達する前に割れてしまうとされているため、これより小さいと考えられる。

流下速度は各10回測定をし、ばらつきを考慮し平均値±標準偏差外の値を除外した平均値を用いた。

4 結果および考察

4.1 流下速度の結果

(1) 傾斜角度と流下速度の関係

傾斜角度と流下速度の関係を図5に示す。全ての試験体で、傾斜角度が大きくなるほど、流下速度は二次関数的に大きくなっている。これらの近似式は原点を通る二次式として図中に示している。

(2) 水接触角と流下速度の関係

水滴(中)の場合の水接触角と流下速度の関係を図6に示す。水接触角が大きいほど、流下速度が速くな

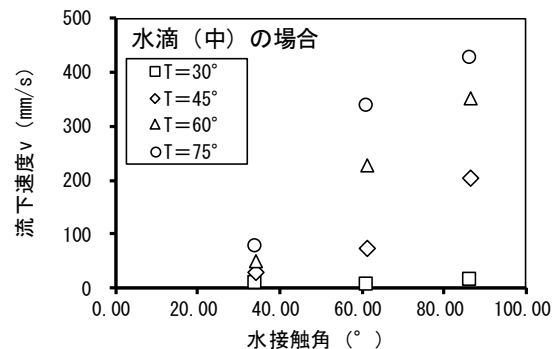


図6 水接触角と流下速度の関係

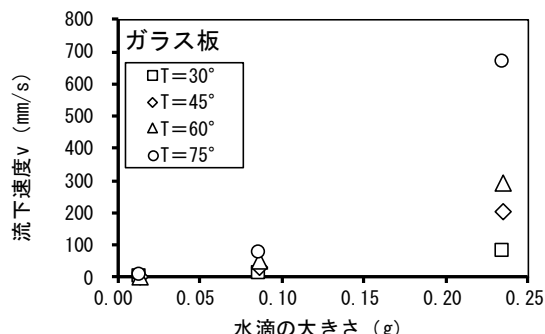


図7 水滴の大きさと流下速度の関係

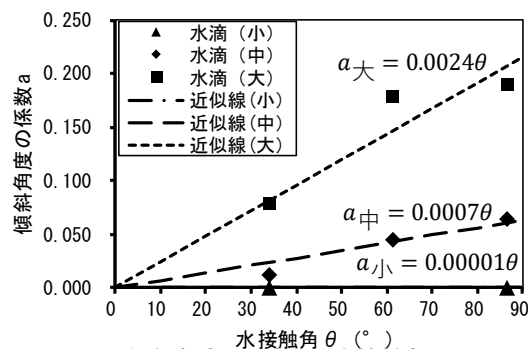


図8 傾斜角度の係数aと水接触角の関係

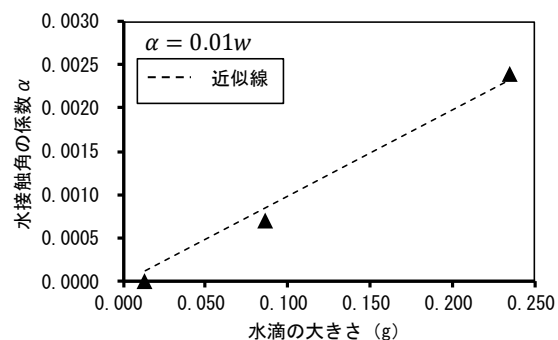


図9 水滴の大きさと水接触角係数αの関係

っている。このことから、水接触角は速度に比例していると考えられる。

(3) 水滴の大きさと流下速度の関係

ガラス板の場合の水滴の大きさと流下速度の関係を図7に例示する。水滴が大きくなるほど、流下速度が二次関数的に速くなっている。

4.2 速度の関係式の算出

図5に示した近似式を(3)式に示す。ここで傾斜角度の係数 a は水接触角と水滴の大きさによって定まる。

$$v = a T^2 \quad \dots (3)$$

ここに、

v : 水滴の流下速度(mm/s)

a : 傾斜角度の係数

T : 傾斜角度 (°)

各試験体の二次式の係数 a と水接触角の関係を図8に示す。傾斜角度の係数 a は(4)式のように、原点を通る直線で示すことができる。

$$a = \alpha \theta \quad \dots (4)$$

ここに、

a : 傾斜角度の係数

α : 水接触角の係数

θ : 水接触角 (°)

α は水滴の大きさによって、図9に示すように、原点を通る直線で示すことができる。この式の傾きを β とすると、(5)式のように表すことができる。ここで β は0.01となる。これを速度の(3)式に当てはめると(6)式になる。この式から、流下速度を求める事ができる。

$$a = \beta w \theta \quad \dots (5)$$

$$v = \beta w \theta T^2 \quad \dots (6)$$

ここに、

a : 傾斜角度の係数

β : 実験定数

w : 水滴の大きさ(g)

θ : 水接触角 (°)

v : 水滴の流下速度(mm/s)

T : 傾斜角度 (°)

5 適用

(2)式に、流下速度の式(6)を当てはめ、実際にその判定ができるかを検証した。

既報の、凸部上部の角度15°、凸部の傾き45°の試験体を例に挙げる。凸部の厚さ(Y軸方向の長さ L_y)

の、水滴が凸部を乗り越えないための最低長さを求める。求めたい長さを左辺に移項させ、 v を実験定数、水滴の大きさ、水接触角、傾斜角度で表すと、(7)式になる。

$$L_y = \frac{0.01w\theta T_y^2}{0.01w\theta T_x^2} L_x \quad \dots (7)$$

これより、 w 、 θ や実験定数は相殺され、傾斜角度と凸部の長さによって定められることがわかる。

$$L_y = \frac{T_y^2}{T_x^2} L_x \quad \dots (8)$$

(8)式に T_x 、 T_y 、 L_x を当てはめると、 $L_y=5$ になる。この結果から、厚さ5mmのとき、水滴は凸部の前面と側面の境界に流れ落ちるため、これより大きい時、水滴が凸部を乗り越えない、という判定ができる。既報の試験体の厚み L_y は6mmなので、5mmより大きく、実験結果でも、水滴は凸部を乗り越えない結果となっている。水滴が凸部を乗り越えない傾斜角度を求めるときは、同様に式変形を行い、水滴が凸部を乗り越えない傾斜角度を求めることができる。

このように、水滴が凸部を乗り越えない壁面デザインにすることで、雨筋が前面に出てこない、よごれが目立たない外装材にすることが可能である。

6 まとめ

(1) 水滴の流下速度は、傾斜角度、水接触角、水滴の大きさによって、(6)式から求める事ができる。

(2) 雨滴が凸部を乗り越えないための、凸部の長さ、傾斜角度は、判定式(8)によって判定する事ができる。

(3) 提案した判定式を用いて既往の研究結果を適応した結果、よく対応することがわかった。

「参考文献」

1) 下田ありさ 永井香織 松井勇, 外装材の凹凸によるよごれの見え方に関する研究 壁面を流下する水の経路について, 日本大学生産工学部第49回学術講演会講演概要, 平成28年, pp379-380

2) 石川廣三, 屋根面上の雨水の流下性状に関する基礎的研究, 東海大学紀要. 工学部, pp67-75