

つららを伴う屋根雪のCG表現法

CG Simulation of Roof Snow with Icicle

千田 昂†

村岡 一信†

Ko Chida

Kazunobu Muraoka

1. はじめに

CGによる季節感の表現は景観シミュレーションやドライビングシミュレータ等への応用が期待される重要なテーマである。季節の中でも冬季の表現には雪が欠かせない。本研究では、市街地でも見られる積雪として屋根雪に着目し、その軒先にできる巻き垂れのCG表現法について検討を行った。

2. 巻き垂れの特徴

表現対象である巻き垂れについて、文献[1]に基づきまとめておく。

巻き垂れとは、傾斜屋根に積もった雪が滑落し、軒先から垂れ下がっていく現象である。室内の暖房器具や日中に溜まった熱により積雪の下層が融け、摩擦が減少することで滑落が始まる。このとき、雪融け水は傾斜屋根に沿って下へ流れる。雪融け水は冷気にさらされて再び凍り、積雪の下層に氷の層を作る。屋根雪が軒先で巻き込むとき、積雪表面が引き伸ばされて表面にひび割れが生じる。また、巻き垂れ先端にはつららが発生する。つららは巻き垂れの成長とともに次第に内側に巻き込まれ、外側へと曲がっていく。図1に実際の巻き垂れの写真を示す。

3. 巻き垂れのCG表現法

3.1 屋根雪の定義法

巻き垂れを生成させる屋根の形状は切妻屋根とし、屋根に積もる雪の量は、風による影響を考慮して風下側を増加させた[2]。この積雪を格子で分割し、分割された各要素に座標値と状態変数を与える。座標値に平行移動や回転操作を行うことで巻き垂れの形状生成を行う。状態変数は積雪の融解の程度を表す変数で、完全に凝固している状態を 0.0、融解している状態を 1.0 で表す。

3.2 巻き垂れの生成法

屋根の傾斜角を θ としたとき、 $\tan \theta$ が屋根と積雪の静止摩擦係数 μ より大きいとき、積雪を滑落させる。滑落する積雪の加速度 a は次式で求める。

$$a = g(\sin \theta - \mu' \cos \theta)$$

ここで、 g は重力加速度、 μ' は屋根と積雪の運動摩擦係数である。加速度 a より滑落速度と滑落距離をオイラー法で求める。

屋根と積雪の間の摩擦係数は、表1に示すように積雪の下層の状態変数の値によって変化させる。なお、状態変数の値が 0.0 と 1.0 の間にあるときの摩擦係数は線形補間で求める。

滑落により軒先からはみ出した積雪は、軒先に一番近い要素を支点に回転させる。この回転角 θ は次式で求める。

$$\theta = \theta_{\max}(1 + \text{mweight} / \text{sweight}) \text{st}$$

ここで、 $\theta_{\max}$ は最大回転角、 mweight は屋根からはみ出した積雪の質量、 sweight は積雪全体の質量、 st は支点の要素の状態変数である。

図2に生成した巻き垂れのワイヤーフレームモデルを示す。

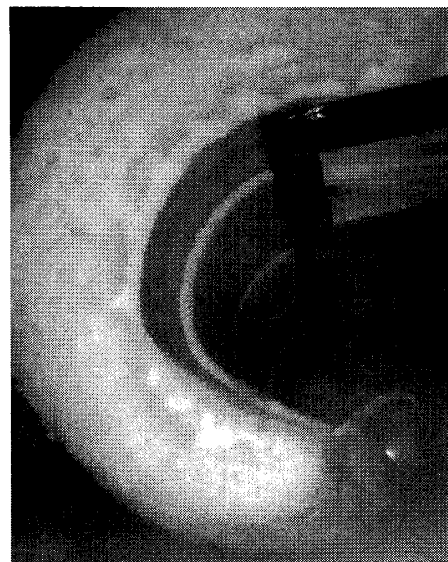


図1 実際の巻き垂れ

† 東北工業大学 Tohoku Institute of Technology

表1 屋根雪の摩擦係数

状態変数値	静止摩擦係数 μ	運動摩擦係数 μ'
0.0	0.5	1.0
1.0	0.05	0.1

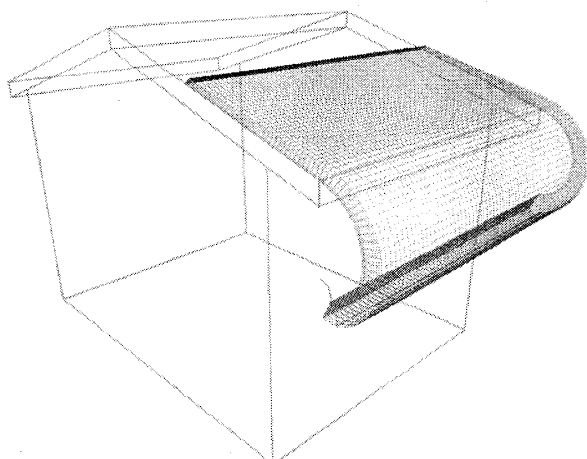


図2 巻き垂れのワイヤーフレームモデル

3.3 ひび割れの生成

ひび割れの発生は巻き垂れの生成時に行い、積雪の回転角がある一定の値を超えたとき、軒先の位置にある積雪の表面に発生させる。

ひび割れの形状データは、実際の巻き垂れの写真から取得したひび割れの線情報より生成する。ひび割れの線情報を離散化してフーリエ変換し、位相を変化させた後、逆フーリエ変換してひび割れのデータを得る。このデータに基づき積雪表面の格子から雪を除去し、ひび割れを表現する。

3.4 巻き垂れの切断

巻き垂れ先端が建物に接触したとき、または巻き垂れ部分の重量が一定値を超えたとき、軒先で切断する。切断面には滑らかにならないように揺らぎを与える。

3.5 つららの表現

巻き垂れの先端部分にランダムにつららの発生点を配置し、成長速度 iv を割り当てる。なお、つららの発生点を配置しようとする時、近傍にすでに他のつららの発生点が配置されていた場合は、その成長速度が iv_{max} （成長速度の最大値）に達しているかどうかを調べる。達していた場合は配置し、達していない場合は iv を近傍のつららの発生点に加算して、配

置は行わない。これにより、近傍に生えるつららの成長速度のばらつきを表現する。

雪融け水はすぐには流れ落ちず、積雪に蓄積される。積雪が蓄積できる水量を超えたとき流れ始め、つららを伝わって落ちる。これを表現するため、本手法では雪融け水を蓄積する仮定のタンクを仮定する。タンクの水量は積雪が融解している間増加し、その増加量は積雪下層の状態変数の値に比例するものとする。つららへの水の供給は、タンクの水量が最大蓄積量を超えたとき開始する。

つららの成長は積雪の下層が凝固しておらず、かつ、つららの発生点が下方を向いているときに行う。タンクから溢れ出た水の量と成長速度より、つららの先端を重力方向に伸ばすことによりつららの成長を表現する。この処理により、巻き垂れの形成中につららが成長すると曲がったつららが形成される。

図3につららのワイヤーフレームモデルを示す。

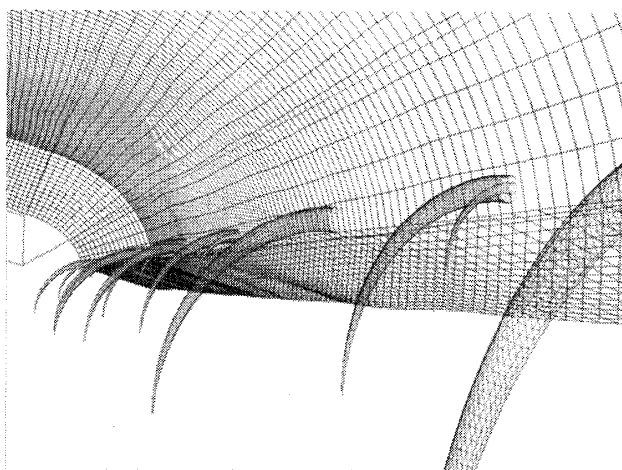


図3 つららのワイヤーフレームモデル

4. まとめ

市街地の積雪表現のための一手法として、つららを伴う巻き垂れのCG表現法を提案した。今後の課題としては、建物の室温の分布による巻き垂れ形状の変化や、レンダリング法の検討等が挙げられる。

参考文献

- [1]橋本寿資：雪氷辞典，日本雪氷学会，1990
- [2]D.M.グレイ，D.H.メー：防雪技術ハンドブック，築地書館，1990