

駅舎の上家に設置された谷樋の排水機能の推定

Prediction of drainage capacity of gutter installed in roofed railway station

安田 陽一¹, 坂本 圭司², ○西井 俊³
 Yoichi Yasuda¹, Keiji Sakamoto², *Shun Nishii³

Abstract: This report presents the prediction for the change of depth in the gutter connected to drainpipes on the basis of recent experimental works. In order to clarify the relationship between the depth in the gutter and the discharge, the discharge coefficients were formulated by using the experimental results in prototype scale physical models, and the drainage capacity could be predicted by using Torricelli's theorem. Also, as it has been confirmed experimentally that the depth in the gutter affects the water level in a vertical pipe connected to the gutter and drain pipes, Bernoulli's theorems were applied to predict the water level in the vertical pipe.

1. まえがき

駅旅客上家において、近年、ゲリラ豪雨と呼ばれる短時間の集中豪雨時に、駅旅客上家の谷樋からのオーバーフローと見られる漏水が報告されている。谷樋がオーバーフローするかどうかは、谷樋の下に接続する横引き管、曲り、および合流部の組み合わせによる排水能力に大きく影響を受ける。しかし、これまで、時間降水量とこれらの組み合わせによる谷樋の排水機構の推定は行われていなかった^{1,2)}。本研究では、過去に実験的に解明した研究成果^{3,4)}に基づき、降雨量の変化に伴う谷樋内の水深変化と排水管内の挙動との関係が推定可能なモデルをトリチェリーの原理およびベルヌーイの定理を用いて構築した。

2. 谷樋の排水機能に関する実験背景

Figure 1 に示す 14 パターンの原型模型を用いて谷樋の排水機能に関する実験を行った。ここでは、100m² 当りの上家に 10 分間に降る降雨量 h_w を変化させ、定流状態で実験を行った(流量 Q (m³/s) = 降雨量 h_w (mm) / 6000 に対応)。なお、横引き管の内径は 100 mm, 谷樋の幅、高さはそれぞれ 500mm, 150mm とした。

実験では、各降雨量に対応する谷樋内に貯留された水深を計測し、横引き管内の流況を記録した⁴⁾。また、谷樋に接続する鉛直管内の水位上昇が谷樋内の水深変化に与える影響を明らかにするため、追加実験を行った。

3. 谷樋の排水機能の特徴

谷樋に接続する横引き管内全体が満水状態でない場合、谷樋の排水口では巻き込み渦が形成される。また、降雨量の増加に伴い、谷樋内の水深は直線的に変化する。横引き管内全体が満水状態に達すると、降雨量の増加に伴い谷樋内の水深は指数的に増加し、谷樋からオーバーフローしやすくなる。

谷樋内の水深の急激な増加を制御するためには、排水口に接続する鉛直管の長さを確保することが重要である。鉛直管内で満水の水位が存在する場合 (Photo 1(a)), 排水口で形成される巻き込み渦によって管路壁に沿った螺旋流れが形成され、満水の水位変化に対する谷樋内の水深の影響は小さく、横引き管の長さ、曲りの影響は大きい。

Photo 1(b)に示されるように、排水口に接続する鉛直管の長さが小さい場合、満水状態になりやすく排水機能が低下する。

なお、同一の上家面積に対して谷樋内の排水量を分配するように排水箇所を増やすこと (Figure 1 の③-2-1,③-2-2, ③-3,⑤-1,⑥-2 の場合に対応) によって、排水機能を向上することが可能となる。

例えば、②シリーズの場合、50mm の降雨量では谷樋の水深は 11~12 cm, 60 mm の降雨量では 14 cm となるのに対し、③-3,⑥-2 の場合、50mm の降雨量では 4~5cm, 60 mm の降雨量では谷樋の水深は 5cm~7cm となる。

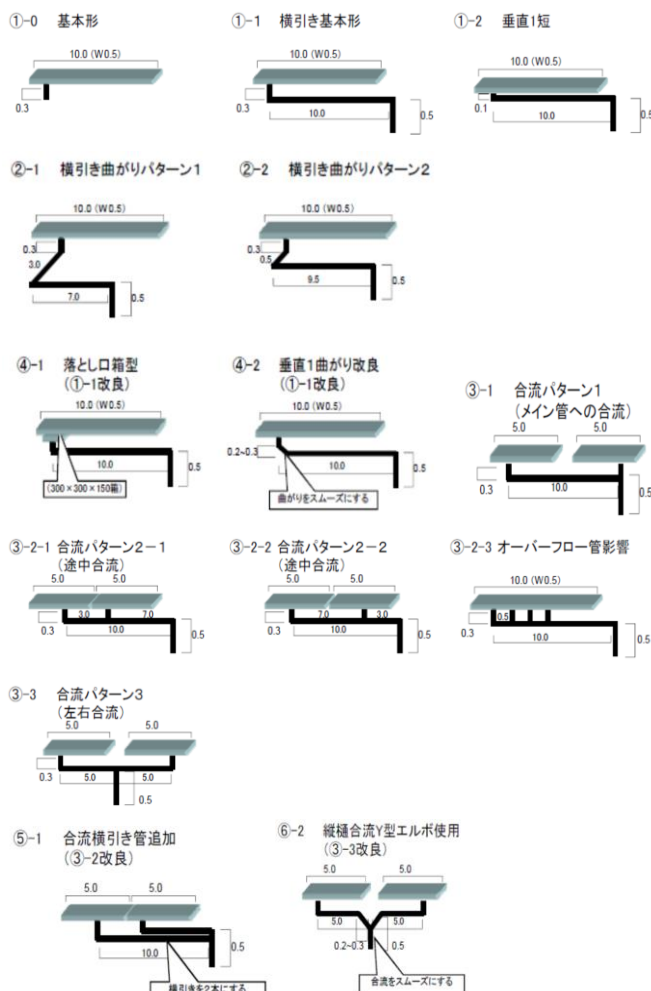


Figure 1 14 proto-type scale physical models

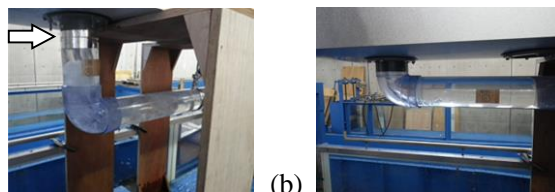


Photo 1 Flow conditions in vertical drainpipes connected gutters.

1: 日大理工・教員・土木, 2: 東日本旅客鉄道(株)JR 東日本研究開発センター, 3: 日大理工・学部・土木

4. 谷樋内の排水機能の推定

トリチェリーの原理にもとづき、谷樋内の水深 h と排出係数 C との関係について、Figure 1 に示す全ての実験ケースおよび追加実験を対象に整理したものを Figure 2 に示す。図に示されるように、排水管の設置条件にかかわらず、流量係数 C は谷樋内の水深比 h/D (D : 排水管の内径) によって変化し、次式で近似される。

$$C = 0.88 \frac{h}{D} - 0.4 \left(\frac{h}{D}\right)^2 + 0.2 \pm 0.16 \quad (0.28 \leq \frac{h}{D} \leq 1.36) \quad (1-1)$$

$$Q = C \frac{\pi D^2}{4} \sqrt{2gh} \quad (h = \frac{V^2}{2g}) \quad (1-2)$$

ただし、谷樋から複数で排水する場合、(1)式の Q は 1 か所からの排水流量となる。

100m² 当たりの 10 分間の降雨量 hw (mm) は $hw = 6000Q$ (Q の単位は m³/s) としている。実験 4-2 シリーズを例にした推定結果を Figure 3 に示し、実験 3-2-1 シリーズを例にした推定結果を Figure 4 に示す。なお、4-2 シリーズの場合の谷樋に接続する鉛直管内の水面と排水管内の流出口付近との間で適用したベルヌーイの定理⁴⁾を以下に示す。

$$h_1 + s = \frac{V^2}{2g} \left(1 + 2f_b + f \frac{L}{D}\right) \quad V = \frac{Q}{\frac{\pi D^2}{4}} \quad (2-1)$$

$$f = \frac{1}{(2.0 \log \frac{2R}{k_s} + 1.74)^2}, R = \frac{D}{4} \quad (2-2)$$

$L = 10$ m, $k_s = 0.15$ mm, $f_b = 0.3$, $s = 0.10$ m

また、3-2-1 シリーズに適用したベルヌーイの定理を以下に示す。

$$h_1 + s = \frac{V_1^2}{2g} \left(f_b + f \frac{L_1}{D}\right) + \frac{V_2^2}{2g} \left(1 + 2f_b + f \frac{L_2}{D}\right), \quad (3-1)$$

$$h_2 + s = \frac{V_2^2}{2g} \left(1 + 2f_b + f \frac{L_2}{D}\right), V = \frac{Q}{\frac{\pi D^2}{4}}, V_1 = \frac{Q_1}{\frac{\pi D^2}{4}}, V_2 = \frac{Q_2}{\frac{\pi D^2}{4}}, f = \frac{1}{(2.0 \log \frac{2R}{k_s} + 1.74)^2}, R = \frac{D}{4} \quad (3-2)$$

$L_1 = 3$ m, $L_2 = 7$ m, $k_s = 0.15$ mm, $f_b = 0.3$, $Q = Q_1 + Q_2$, $Q_1 = Q_2$ を仮定している。

式(2),(3)において、 h は谷樋に接続する排水管内の水深 (添え字 1 は上流部区間の鉛直管、添え字 2 は下流部区間の鉛直管)、 L は排水管の長さ (添え字 1 は上流部区間の管路長さ、添え字 2 は下流部区間の管路長さ)、 f は摩擦抵抗係数、 f_b は曲りによる損失係数、 k_s は排水管内の相当粗度高さ、 Q は流量 (2 か所からの排水の場合、合成流量)、 R は径深、 s は単一排水管の場合を対象とした排水管最終曲り部からの落差高さである。

Figures 3,4 の左側の実線は流量係数の平均値の上限・下限値 (± 0.16) を用いて推定したものである。図に示されるように、谷樋内の水深が上限値に達する時間降雨量、および式(2),(3)から鉛直管路内の水深が 20cm (鉛直管の高さの約 70%) 以内と推定される時間降雨量のどちらか小さい方を採択することによって谷樋から越水しない安全な管理が可能となる。なお、Figure 1 に示す実験装置では、鉛直管の長さは 30cm であるため、鉛直管路内の水深が 30cm を越えた場合には、谷樋内の水深が急激に上昇し谷樋 (15cm 高さ) から越水するため谷樋内の測定水深の上限値は 14cm となっている。

5. まとめ

原型規模の試験体を用いた実験結果にもとづき、トリチェリーの原理から流量と谷樋内の水深との関係を推定できるように流量係数の実験式を示し谷樋内の水深が上限値に達する時間降雨量を推定し、ベルヌーイの定理から谷樋に接続する鉛直管内の水深が鉛直管の高さの 70% となる時間降雨量を推定することが可能となり、推定される時間降雨量のどちらか小さい方を採択することによって谷樋から越水しない安全な管理が可能となることを提示することができた。

参考文献

- 1) 藤井ら他 3 名, 「駅舎における集中豪雨対策に関する研究」, 日本建築学会概要集, E-1-5169, 2010.
- 2) 尾住ら他 2 名, 「駅舎における集中豪雨対策手法の実証実験」, 日本建築学会概要集, 5155, pp.343-344, 2011.
- 3) 砂原ら他 5 名, 「ホーム旅客上屋樋のオーバーフローに関する研究その 1」, 日本建築学会概要集, 1586, pp.1171-1172, 2011.
- 4) 安田ら他 2 名, 「駅舎の上家に設置された谷樋の排水機能に関する研究」, 土木学会年次学術講演会, 第IV部門, CD-ROM, 2013.

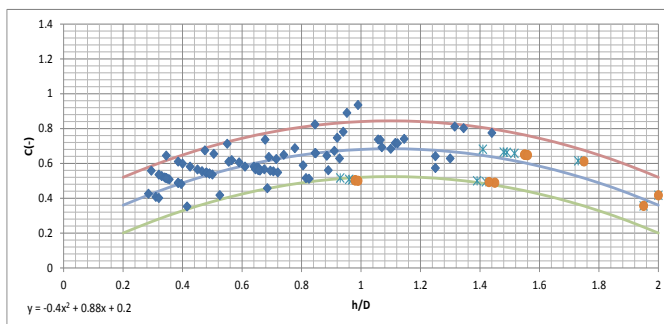


Figure 2 Discharge coefficients in gutter connected to vertical pipe

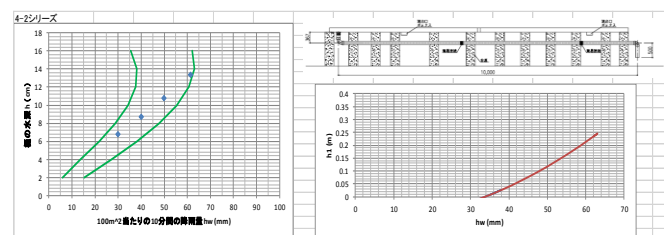


Figure 3 Prediction and experimental data in 4-2 model series.

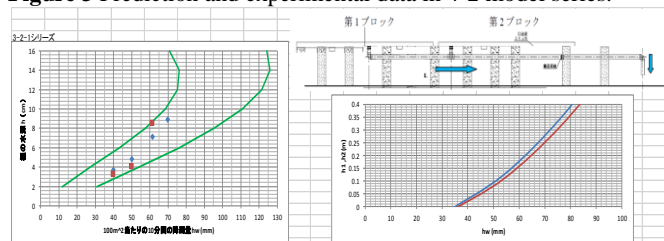


Figure 4 Prediction and experimental data in 3-2-1 model series.