

駅舎の上家に設置された谷樋の排水機能の推定

Prediction of drainage faculty of gutter installed in roofed railway station

日本大学理工学部土木工学科 学生会員 ○西井 俊
 日本大学理工学部土木工学科 正会員 安田 陽一
 東日本旅客鉄道(株)JR 東日本研究開発センター 坂本 圭司

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。そこで、本研究では、過去に実験的に解明した研究成果^{1),2),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構築した。

2. 谷樋の排水機能に関する実験背景

図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100mm、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、谷樋の排水機能を明らかにした⁴⁾。

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(写真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。

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

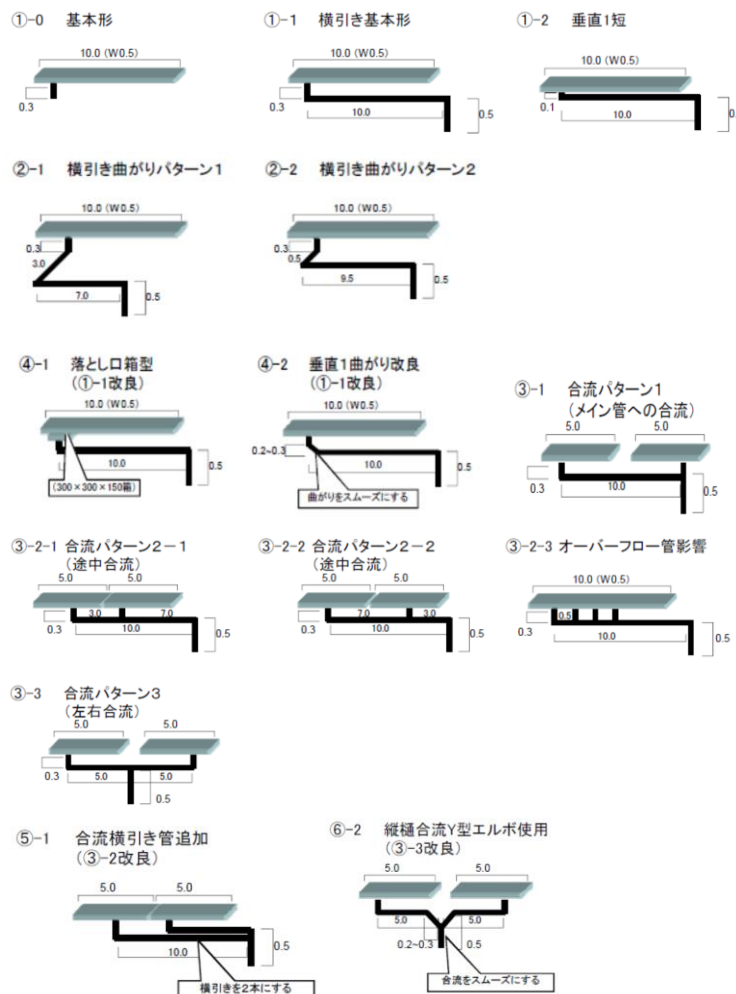


図1 谷樋に接続した様々な横引き管の原型模型

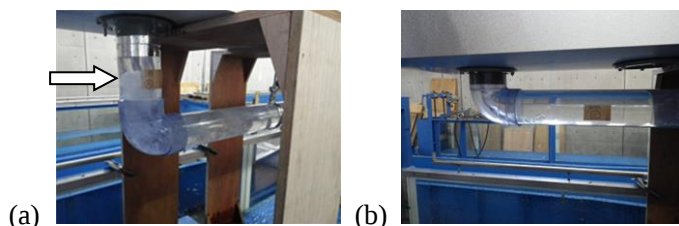


写真1 谷樋に接続する鉛直管内の流況

キーワード 駅舎上家, 谷樋, 横引き管, 満水状態, 排水機能

連絡先〒101-8308 東京都千代田区神田駿河台 1-8, TEL: 03-3259-0409, E-mail: yokyas@civil.cst.nihon-u.ac.jp

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、図 1 に示す全実験ケースを対象に整理したものを図 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、次式で示される。

$$C = 0.254 \frac{h}{D} + 0.43 \pm 0.16 \quad (0.28 \leq \frac{h}{D} \leq 1.36) \quad (1-1)$$

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

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図 3 に示し、実験 3-2-1 シリーズを例にした推定結果を図 4 に示す。なお、4-2 シリーズの場合の排水管内の流入口付近と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。

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

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

$$L = 10 \text{ m}, k_s = 0.15 \text{ mm}, f_b = 0.3, s = 0.10 \text{ m}$$

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。

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

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

$L_1 = 3 \text{ m}, L_2 = 7 \text{ m}, k_s = 0.15 \text{ mm}, f_b = 0.3, Q = Q_1 + Q_2, Q_1 = Q_2 = Q/2$ 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、 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。

図 3,4 において、左側の図に示す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。また、図 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。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。

6. 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(2010), 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.
- 2) 尾住ら他 2 名(2011), 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.
- 3) 砂原ら他 5 名(2011), 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.
- 4) 安田ら他 2 名(2013), 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 4 部門, CD-ROM.

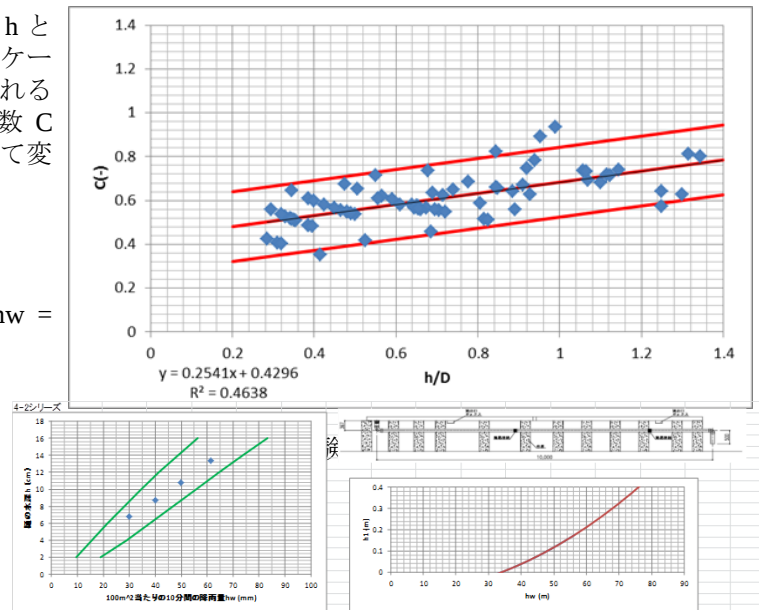


図 3 実験 4-2 シリーズの推定結果

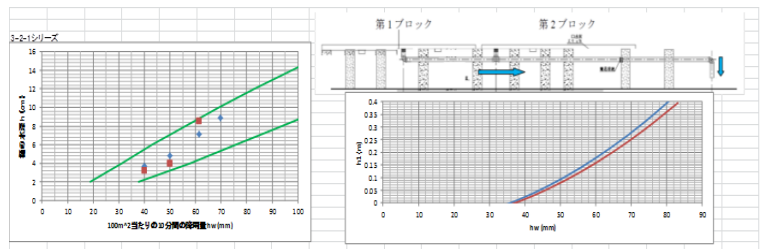


図 4 実験 3-2-1 シリーズの推定結果