

駅舎における集中豪雨 対策手法の実証実験



尾住 秀樹*



坂本 圭司*

近年、首都圏を中心に集中豪雨が増加傾向にあるが、当社の駅施設でもオーバーフローによる樋の漏水で、お客さまへご不便をおかけする、鉄道設備機器が故障するなどの被害が多発している。特に安全上、サービス上、影響が大きいホーム旅客上家の対策は急務である。

近年の集中豪雨の傾向と、当社での上家での漏水被害の現状および、各駅の樋の形状を調査したうえで、上家の負担面積、樋の形状より、降雨量別の排水処理能力、オーバーフローの可能性を見出す手法を考案し、オーバーフローリスクが高まる形状、排水をスムーズにさせる形状を明らかにした。

これを樋の設計やメンテナンスに活用することにより、集中豪雨によるオーバーフロー危険箇所の把握、その効果的な対策ができるようになった。

●キーワード：集中豪雨、上家、樋、実証実験、水理学

1. はじめに

近年、大都市を中心に集中豪雨が頻発し、駅施設でオーバーフローによる漏水被害が多く発生している。

最近の集中豪雨は、短時間に、局部的に、多量に降る傾向がある。雨樋の設計の基準としている、日本気候表に記載されている地域別降雨強度のうち、120mm/1時間→20mm/10分（東京都の場合。地域によって異なる）を超える豪雨は、年に数回発生しており、30mm/10分を超える豪雨も首都圏で年1回程度発生している（図1、図2、図3）。想定以上の豪雨により漏水被害が多く発生していると考えられる。

なかでも、ホーム旅客上家は、お客さまの安全、サービスへの影響、および鉄道設備機械の故障に対する影響は非常に大きい。

本研究では、駅舎における集中豪雨対策手法を明らかにし、特にお客さま、鉄道設備機器への影響の大きい旅客上家に着目し、オーバーフローを防止する樋の設計手法の改善を提案する。

なお今回、図2のように、集中豪雨は10分程度の短時間にピークを迎えることがわかったため、10分間の最大降雨量を実験のベースとして行うこととする。

平成23年7月	新潟県室谷	50.0mm / 10分
平成23年8月	東京都練馬	30.0mm / 10分
平成22年8月	埼玉県寄居	31.5mm / 10分
平成20年8月	埼玉県熊谷	33.5mm / 10分

気象庁HPより

図1 近年の集中豪雨の例

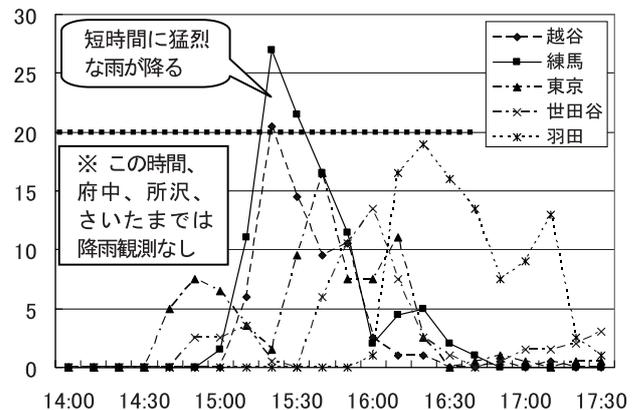


図2 集中豪雨の降雨量変化例
(気象庁HPより：平成23年8月26日10分間降雨量)



図3 集中豪雨による漏水の例

2. 漏水被害の現状

図4に、首都圏における建物種別ごとの降雨による漏水被害の発生状況を示す。折れ線グラフが建物の延床面積、棒グラフが単位面積あたりの漏水被害発生件数を表している。

建物の延床面積は駅舎（≒本屋など）が圧倒的に多いものの、単位面積あたりの件数ではホーム上家が最も多いと分かる。よって、集中豪雨対策手法を検討するにあたり、まずはホーム上家に着目した。

ホーム上家における漏水被害の発生箇所を屋根および樋に二分すると、およそ56%が樋であった。図5に樋における漏水被害の原因を示す。

大半は落ち葉、ゴミなどによる詰まりが原因であり、これに対しては落とし口にゴミを受ける金物を設置するなどさまざまな工夫がされている。

ほかにも、樋自体の劣化、破損によるもの、高架橋など、他の構造物とのつなぎ目の取り合い不良の原因がある。

一方、14.4%は原因は明らかでない。これは、安全性の観点から原因の調査を後日晴天時に実施しており、この際に原因が見当たらないものである。また、近年の集中豪雨により、想定外の降雨量により樋の設計容量を上回るオーバーフローを含んでいる可能性がある。

本研究では、いままでの設定雨量を超えた集中豪雨時でも、オーバーフローを防止する樋の形状について研究を行う。

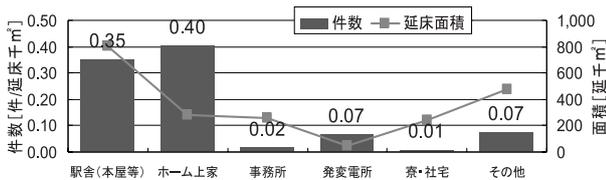


図4 建物種別ごとの漏水被害の状況
(件数は延床1000㎡あたりの件数)

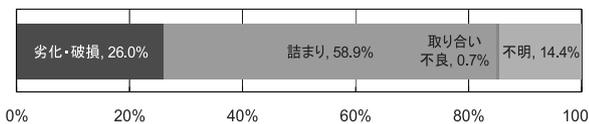


図5 樋における漏水被害の原因

3. 谷樋水位の算定式について

3.1 一般的な旅客上家の雨樋排水経路

図6に一般的な旅客上家の雨樋排水経路を示す。谷樋には、上家に溜まった雨水が、図のように流れ込み、縦樋へ排出される。排出されずに残った雨水により、樋の水位は徐々に上昇する。集中豪雨時には、排水しきれない雨水が谷樋に溜まり、オーバーフローする事象が発生することがある。

この現象に着目して、谷樋の水位変化を求める算定式を作成した。それを実験で実証することとした。

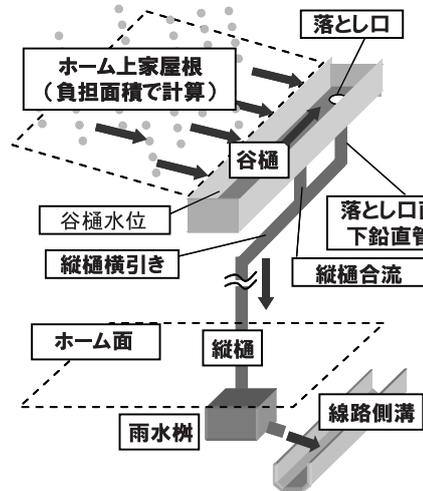


図6 一般的なホーム旅客上家の雨樋排水経路模式図

3.2 算定式の概要

最初に、谷樋の算定式の概要を示す。現在、社内で使用されている谷樋式の考え方はKutterの式の簡易式であり、開水路として水が流れる水路とみなしているが、実際の駅の谷樋は、落とし口が谷樋断面積と比較して小さいため、谷樋に水が溜まる現象が見られる。溜まった水が樋の有効高さを超え、オーバーフローする現象に着目して算定式を作成した。

樋に流入する水は、模式的に図7のように捉えられる。「屋根面からの流入による谷樋水位が上昇する」→「落とし口から縦樋に流れこむ」→「排水しきれず水位が残る」という計算を1秒単位で繰り返し計算をしていく。

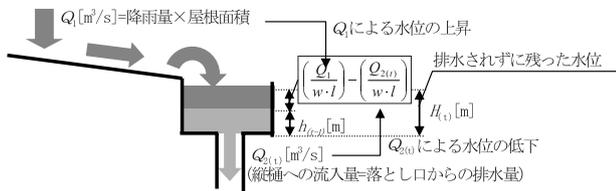


図7 降雨開始からt秒後の谷樋水深h(t)の求め方

$$h(t) = h(t-1) + \left(\frac{Q_1}{w \cdot l} \right) - \left(\frac{Q_{2(t)}}{w \cdot l} \right)$$

Q_1 : 当該の樋が負担する降雨量 [m³/s]

= 降雨量 × 屋根面積

w : 谷樋の幅 [m] l : 谷樋の長さ [m]

$$Q_{2(t)} = C \cdot a_1 \sqrt{2g \left\{ h(t-1) + \left(\frac{Q_1}{w \cdot l} \right) \right\}}$$

$Q_{2(t)}$: t秒後の縦樋への流入量 [m³/s]

C : 流量係数 a_1 : 落とし口の断面積 [m²/s]

繰り返し計算により10分後(600秒後)の谷樋水位 $h(600)$ を求める。

この算定式の考え方によると、水位は時間とともに対数的な増加を示し、一定時間を過ぎると、定常状態となる(図8)。この計算方法で求めた10分経過後の谷樋水位が谷樋有効高さを下回っていれば処理できるという判断をする。

流量係数については、一般に $C=0.6$ 程度の値をとる¹⁾が、落とし口の形状、渦のでき方、空気層の入り方により異なる。今回、実験では落とし口径、降雨量などの条件別に、流量係数のとりうる範囲を確認する。

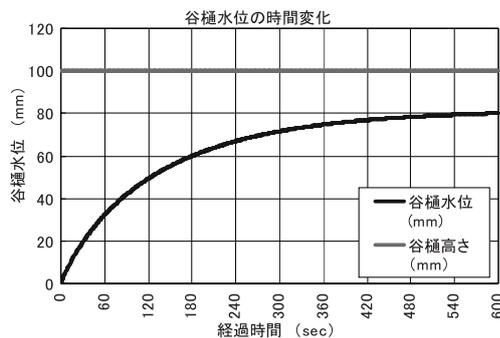


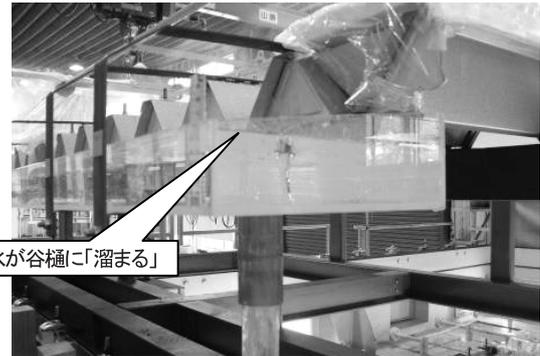
図8 算定式による樋水位変化の予測

3.3 算定式の検証実験

算定式の内容を検証するため、上家・谷樋・縦樋を一体化した既存上家のモックアップを作成し、降雨設備で模擬雨水を流して実験をおこなった(図9、図10)。まず、現象を確認するため、縮小実験(屋根面積6m²(3m×2m)、降雨量20~50 [mm/10分])を実施し、次に実大実験(屋根面積50m²(5m×10m)、降雨量最大33 [mm/10分])

を確認し、水位の時系列変化を計測した。

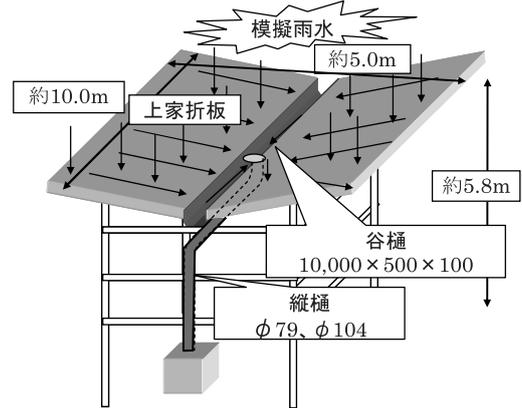
谷樋に一定量の雨水が流入した場合、先述した算定式では、落とし口から縦樋に流入しきれず残った水位が上昇するが、縦樋への流入量は谷樋の水位に依存するため、上昇した水位の分だけ縦樋への流入量も大きくなり、理論上水位は対数的な増加を示し、最終的に谷樋水位は一定になる。



縮小実験(屋根3m×2m)



実大実験(屋根10m×5m)



実大実験概念図

図9 実証実験試験体写真・概念図

実験結果の一例を図11に示す。実験においても、対数的に水位が上昇し、定常状態になることが確認できた。これは、縮小実験、実大実験両方に同じ傾向が見られた。

今回の実験結果のグラフから、近似の流量係数を求め、それを代入した算定式で求めた値を理論値として図11に表した。今回の実験により得られた流量係数の分布を内径別に降雨量と比較する。

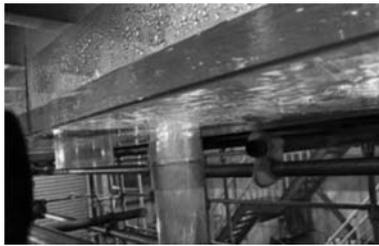


図10 実大実験の様子

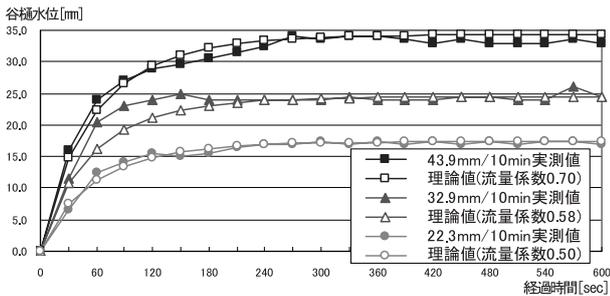


図11 降雨量別水位変化と理論式との比較
(屋根面積6㎡、谷樋L3,000、W150、H100、落とし口内径φ31)

流量係数は空気層が多く入るほど、小さい値をとるため、降雨量が多くなるほど流量係数は大きくなる傾向が把握できる(図12)。小さい流量係数で計算するほうがより安全側となる。

処理能力の余裕が大きい場合、水位がほとんど上昇せず、空気層が多く入ったφ104のケースを除き、0.5以上の値をとっている。流量係数0.5とした場合、計算上は上記理由より、安全側の数字と考えられる。

ただし、落とし口に設置した詰まり防止の金物や、堆積物により流量障害が起こることが考えられるため、実際の現場特情を考慮し、谷樋有効高さを設定する必要がある。また、流量係数は降雨量が大きくなると大きくなるため、オーバースペックにならないように設計する必要がある。

今回実験より、落とし口の径を拡大すること、有効深さを大きくすることが谷樋のオーバーフローを防ぐために有効であることが確認できた。

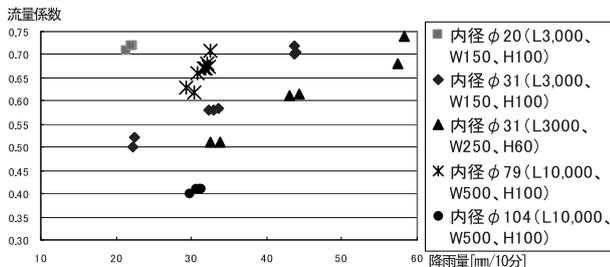


図12 流量係数と降雨量との比較

3.4 落ち葉など、ゴミによる詰まり

雨漏りの一番大きな原因として、落とし口の詰まりがあげられる。詰まりの原因を引き起こす堆積物は、泥、コケ、紙くず、落ち葉などの小さなものが多く、ビニールや空き缶などの大き

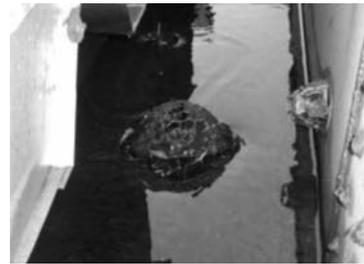


図13 網の目詰まりの事例

なものが入りやすくなる(図13)。

落ち葉やゴミによるつまり対策として、落とし口に網をかける対策を施すことがある。上家と樋全体に、落ち葉とちぎった新聞紙をのせ、33mm/10分の降雨実験をおこなった。結果、網の周りにゴミが堆積し、5分後に高さ100mmの樋がオーバーフローする現象がみられた。

通常は50mm程度までしか水位が上昇しなかったことと比較すると、排水能力が大幅に低下していることがわかる。これは、網の目詰まりにより、樋の実質径、水深が小さくなったことが考えられる(図14)。網を目の大きな金物に変え、落ち葉などは流末に落とし、空き缶や雑誌などの大きなゴミの目を止める手段が有効である。



図14 落ち葉などによる樋の詰まり実験

4. 縦樋の排水能力について

谷樋から縦樋に流入した雨水は、流末へと流れるが、実際の旅客上家では、ホーム下へ雨水を導水する箇所が限られているため、長い横引き、合流などの手段を取っているケースが多い。ここでは、排水能力の低下により、オーバーフローの危険が高まる縦樋の形状および、その改善策について実験により検証をおこなった。

4.1 実験の概要

縦樋の形状による排水能力の違いを明らかにするため、以下のようなモックアップを作成して実験を行った（図15）。

駅でよく見られる幅500mm、高さ150mm、長さ10,000mmの谷樋、および縦樋の太さφ100mmのモックアップを作成し、実験を行った。落とし口が2ヶ所のものについては、5,000mmの樋を2本作成した。

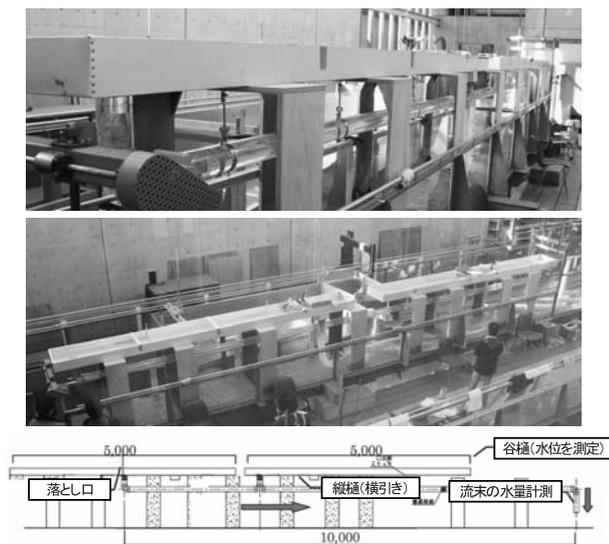


図15 試験体の例（図は横引き管途中合流）

4.2 縦樋実験の結果検証

縦樋の形状が排水能力に及ぼす影響について、本実験により明らかになった点を以下に述べる。比較のため、落とし口をφ100mmとし、自由放流したパターンを基本形とし、比較対象とした（図16）。

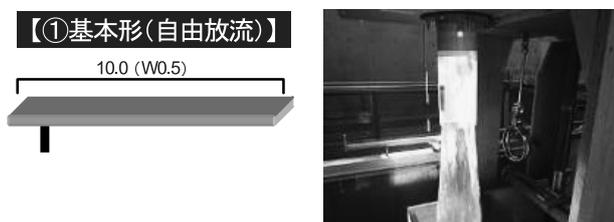


図16 基本形（落とし口φ100、自由放流したパターン）

4.2.1 横引き長さや曲がりによる影響

横引きが長い場合、横引き管が満水となり、排水能力が低下する。100㎡負担面積（一般的な上家の1スパン負担面積）の場合、60mm/10分程度のときに谷樋の水位が急激に上昇した（図17）。

途中に曲がりを設けた場合、曲り部で形成される渦の影響で流速が低下し、排水能力が低下することになる（図18）。

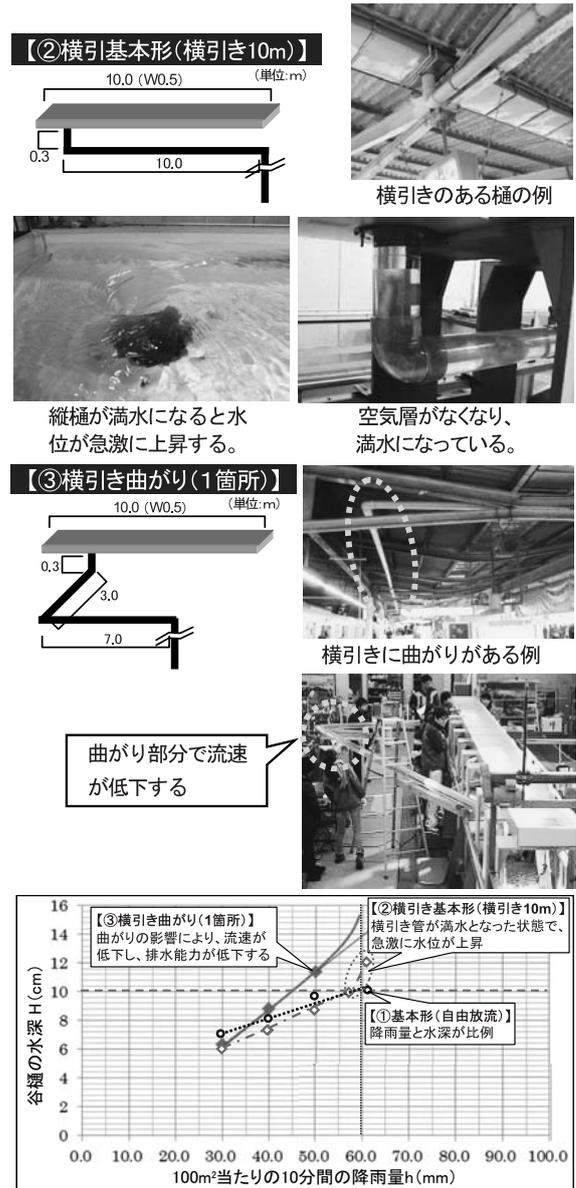


図17 横引き、曲がりによる影響

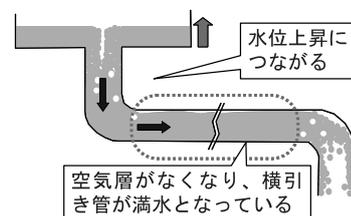


図18 横引きが満水の状態模式図（62mm/10分程度）

4.2.2 落とし口に接続する鉛直管の長さの影響

落とし口で直ちに曲げた場合、横引き管までの落差が少なく、位置エネルギーが小さいことから流速が大きくなり、このため、横引き管の中で満水状態になりやすく、流量のわずかな上昇により谷樋水位に影響を及ぼし、オーバーフローの危険性が高まることを確認した（図19）。

落とし口に接続する鉛直管の長さについては、極力、長めに確保することが極めて重要である（図20）。

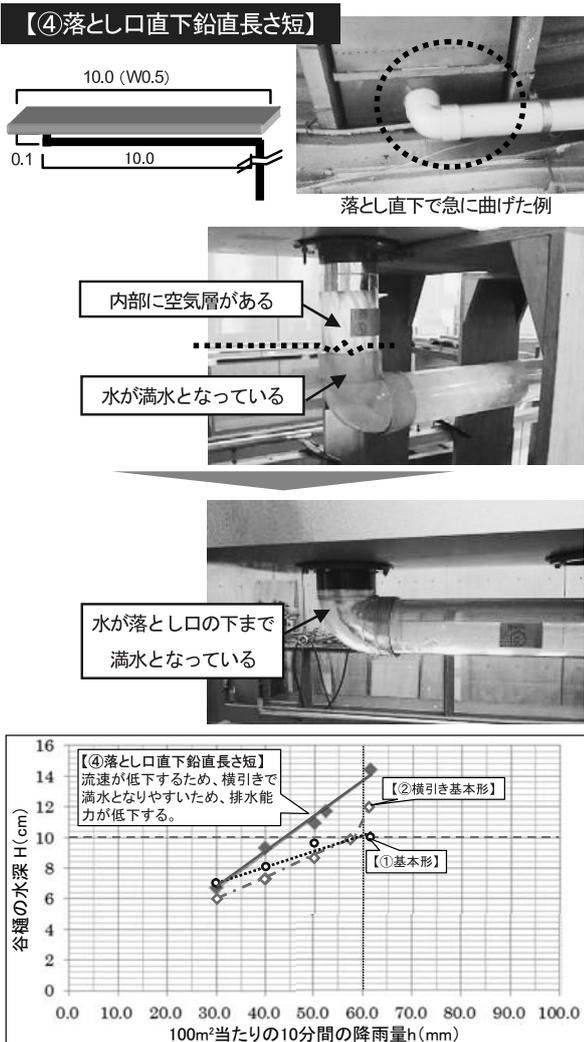


図19 落とし口直下の鉛直管の長さが短い場合

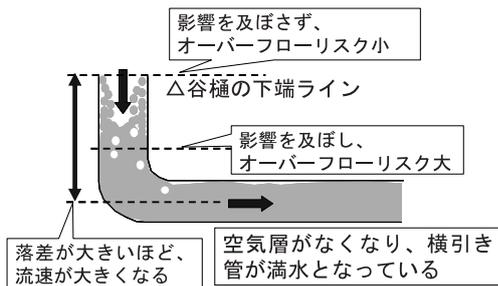


図20 落とし口直下鉛直管長さの影響

4.2.3 落とし口の形状や有効断面積による影響

谷樋に溜まった雨水は、落とし口から縦樋を伝わり、流末に排水される。これをスムーズに排出させるためには、落とし口をスムーズに流れるような形状とすること、排水有効面積を大きくとることが有効である。

（図21）のように、落とし口を箱型にして流入部の幅を広げ、縦樋に流入するときの流速が大きくなるような工夫をすることにより、大幅に排水能力が向上することが確認できた。なお、流入部の形状を漏斗状にした場合も同様に効果がある。

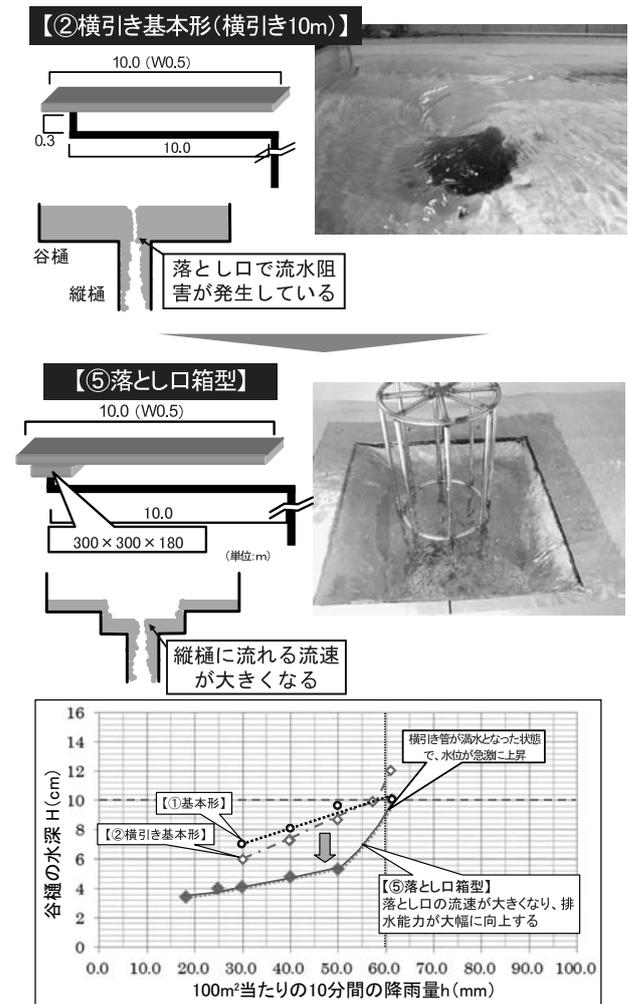


図21 落とし口を箱型にした場合

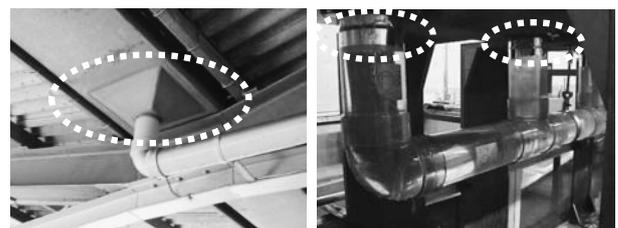


図22 落とし口漏斗型、落とし口の追加

実際の上家では、3.4で述べたように、ゴミのつまりが大きな問題となる。今回の研究成果を取り入れ、別途千葉建築技術センターでメンテナンスに配慮した落とし口を開発している。目の粗い金物を落とし口に設置し、大きなゴミだけを止め、小さなゴミを下に流し、ホーム上からの点検・清掃を可能にする考えとしている。(図23)

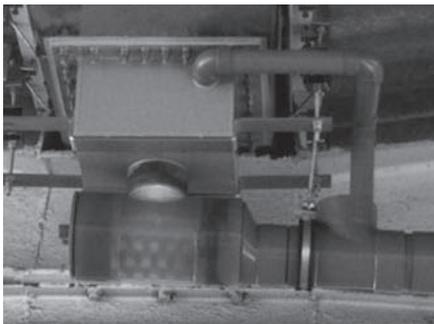
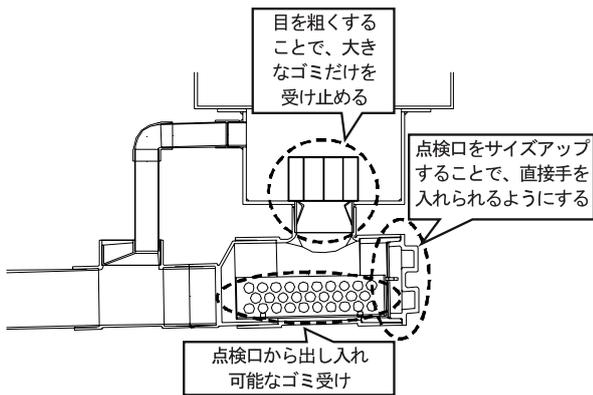


図23 メンテナンスに配慮した箱型落とし口

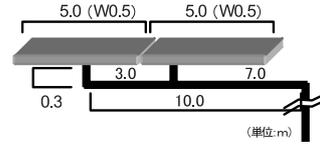
4.2.4 落とし口を複数箇所設けた場合の影響

図24のように、落とし口の箇所を増やし、横引き管に途中で合流させ、合算したときの有効断面積を増やすことにより、排水能力の向上が確認できた。これは、片方の落とし口がゴミなどで詰まった場合の補助手段としての効果も期待できる。

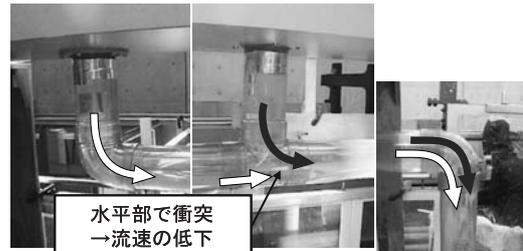
ただし、4.2.1で述べたように、降雨量（ここでは流量）が多くなると合流後の横引き管内で満水状態が発生し、水位が上昇することがわかった。これを防止するためには、下記のような手段が有効であることを確かめた。

横引き管への合流を解消し、バイパスのように、もう1本横引き管を設ける。もしくは、鉛直管に合流させるか、左右から縦管に合流させるなど、合流後の横引きを防止する設計とする(図25)。

【⑥横引き管途中合流】



横引きに途中合流。合流後の横引きで満水になりやすい



【⑦合流横引き管追加】



満水になりにくいため、排水能力が向上する

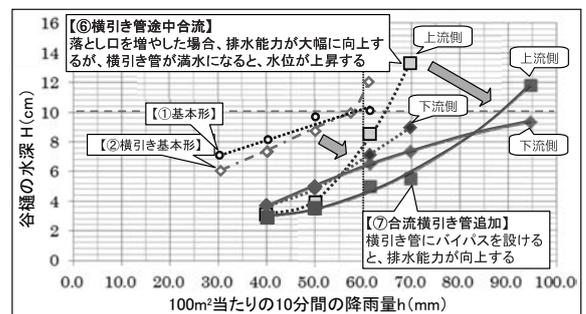
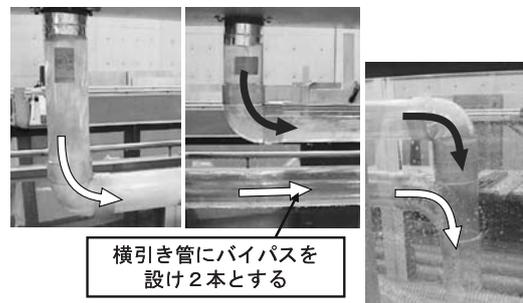


図24 落とし口を複数箇所設けた場合

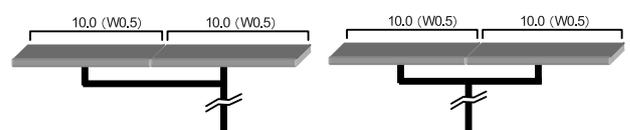


図25 鉛直管への合流、左右からの合流パターン

負担面積が大きいところでは、オーバーフローリスクを低減でき、有効な改良手法である。例えば、1ヶ所の縦樋で、200㎡程度の大きな面積（上家2スパン）を負担する場合などの対策として、たいへん有効である。

4.2.5 雨水桝に対する影響

合流後の流末については、雨水桝を設けて、3mの落差を設けて実験したところ、100㎡あたり、100mm/10分相当の雨量でも十分に耐えうることを確認した（図26）。

ただし、吹き上がり防止のため、水圧を極力減衰させる工夫が必要であり、蓋が水圧で吹き飛ぶ、隙間から漏れないように蓋を固定、グレーチングを設置、縦樋の流出口を水没しやすい構造にするなどの工夫が必要である。

5. まとめ

今回、上家樋のモックアップを作成し、流水実験をすることにより、谷樋の水位を求める算定式の検証、縦樋の形状が排水能力に及ぼす影響についてまとめた（図27）。今回の実験で得られた成果をもとに、さらに複雑な形状の樋についても、オーバーフローの危険性を予測することができる。

実際の樋の設計や、改修において、今回の研究で明らかになった排水能力を低下させる形状を改良し、また向上させる対策を施すことにより、集中豪雨時のオーバーフローのリスク低減が期待できる。また、社内のマニュアルに今回の研究成果の一部を反映する予定である。

参考文献

- 1) 環境・都市システム系教科書シリーズ 7「水理学」2002.4 / 日下部重幸 ほか

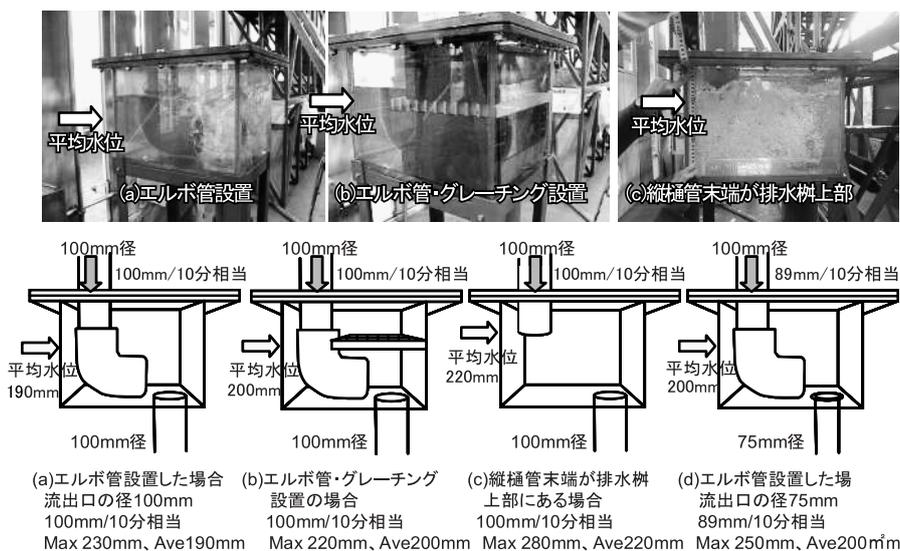


図26 雨水桝に対する影響検証

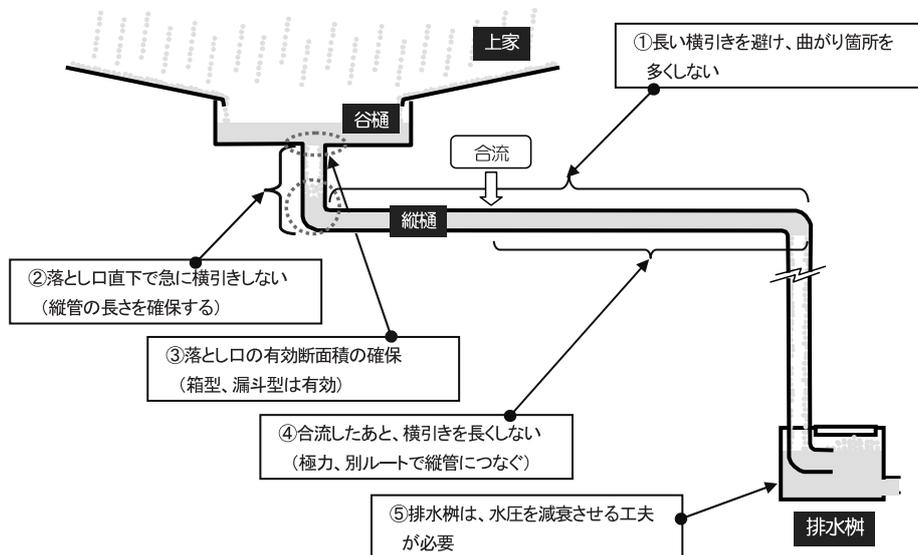


図27 排水能力に影響を及ぼす縦樋形状のまとめ