

三次元流体解析による雨水ますの能力評価と効果的な対策の検討

日本水工設計(株) 名古屋支社 ○岡本光史
 谷端浩二
 九州支社 杉江 修

道路上に設置されている雨水ますの役割は、降雨時に路面排水を集水し、下水道本管へ流下させることであり、降雨時に十分に機能することが必要とされている。A 市においては、計画降雨においても浸水が発生している状況であり、浸水の発生要因の一つとして雨水ますの排水能力が不足していることが考えられる。加えて、雨水ますの設置数の不足や排水区域外からの流入なども要因として考えられる。本稿は、A 市の標準的な雨水ますの排水能力をフィールド実験と三次元流体解析で評価するとともに、浸水を発生させる要因および排水能力を向上するための効果的な対策を検討するものである。

Key Words : 雨水ます、排水能力、フィールド実験、三次元流体解析

1. はじめに

近年、局所的大雨や集中豪雨による浸水被害が全国各地で頻発しており、A 市においても内水による床上・床下浸水が深刻な問題となっている。A 市の治水対策の整備目標は、1 時間 63mm の計画降雨に対して浸水被害をおおむね解消するとともに、1 時間 100mm の過去最大降雨に対して床上浸水をおおむね解消することである。その中で、下水道事業では、貯留施設の整備、雨水ポンプ場および管きょの能力向上などが進められている。

A 市では局所的大雨や集中豪雨による降雨だけでなく、計画降雨においても浸水が発生している。その要因として、降雨時に路面排水を集水し、下水道本管へ流下させる役割をもつ雨水ますの排水能力が不足していること、雨水ますの設置数の不足や排水区域外からの流入などが考えられる。

本稿は、A 市の標準的な雨水ますの排水能力をフィールド実験と三次元流体解析で評価するとともに、浸水を発生させる要因および排水能力を向上するための効果的な対策を検討するものである。

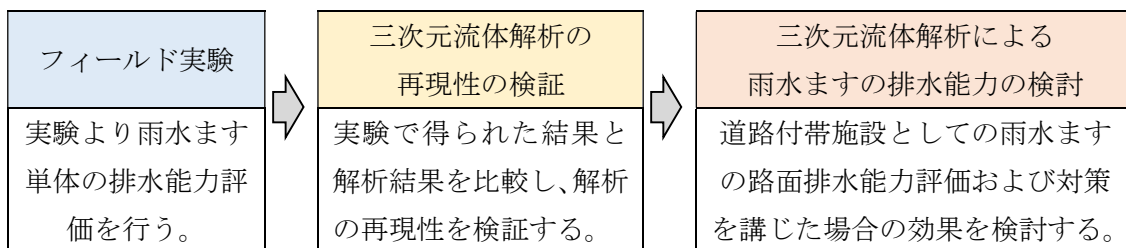


図 1 本調査の検討フロー

3. フィールド実験

3.1 実験概要

A 市の一般道路を模して造られた実験施設内の雨水ます（図 2 参照）を用いて、表 1 に示す 3 つの実験ケースで流量を徐々に増加させながら表 2 に示す項目について計測を行い、雨水ますの排水状況を確認した。実験では、取付け管の排水能力 $0.020\text{m}^3/\text{s}$ を基準とした場合に、雨水ますが同等の排水能力を有しているかを検討した。

表 1 実験ケース

ケース	蓋形状	目的
実験①	コンクリート	コンクリート蓋の排水能力の限界を把握
実験②	グレーチング	実験①と同等の流量で、蓋形状の違いによる流況の違いを比較
実験③	グレーチング	グレーチング蓋の排水能力の限界を把握

表 2 計測機器

名称	計測項目	設置位置
①超音波式流量計	放水量	放水前の水路内部
②フレューム式流量計	放流量	下流側の人孔内部
③圧力式水位計	雨水ますの水位	雨水ます内部

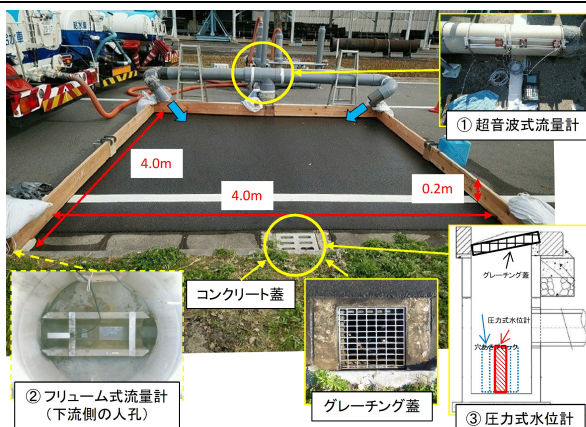


図 2 実験状況

3.2 実験結果

放水量と雨水ます内の水位は、全ケースで流量の増加に伴い水位が増加している。各ケースの雨水ます内の余裕高と蓋上部および L 形側溝の滞水状況を以下に示す。

実験①：放水量が $0.019\text{m}^3/\text{s}$ の時点でます内に約 240mm の余裕はあるが、蓋上部は水で覆われ、L 形側溝の水位は縁石を越え始める。よって、 $0.019\text{m}^3/\text{s}$ をコンクリート蓋の排水能力と判断する。（図 2 参照）

実験②：放水量が $0.020\text{m}^3/\text{s}$ の時点でます内に約 130mm の余裕があり、蓋上部も水で覆われていないが、実験①と同様に L 形側溝の水位は縁石を越え始める。（図 3 参照）

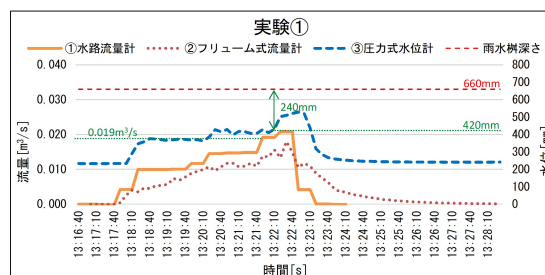


図 2 流量および水位の関係（実験①）

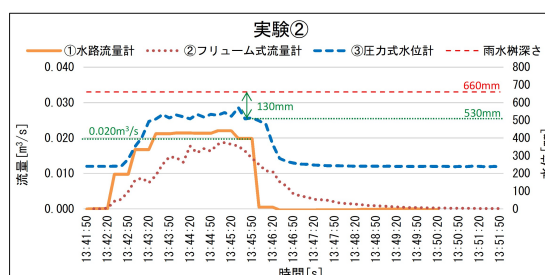


図 3 流量および水位の関係（実験②）

実験③：放水量が $0.033\text{m}^3/\text{s}$ の時点でます内は満水となり、蓋上部は水で覆われる。よって、 $0.033\text{m}^3/\text{s}$ を雨水ます本体およびグレーチング蓋の排水能力と判断する。(図 4 参照) よって、取付け管の排水能力よりも能力が高い。

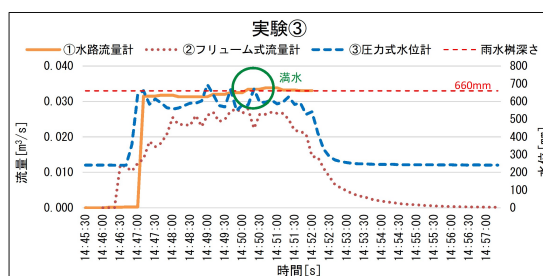


図 4 流量および水位の関係 (実験③)

3.3 全実験を通じた考察

1) 蓋の種類の違いによる影響

実験②より、コンクリート蓋とグレーチング蓋の両方とも、放水量が $0.019\text{m}^3/\text{s}$ の時点で L 形側溝の水位が上昇して縁石を超え始めるが、開口面積が大きいグレーチング蓋のます上部は水で覆われていないため、排水能力が高いと判断できる。

なお、両方の蓋で同等の放水量で縁石を越え始めているが、実際の道路排水施設と比べて、実験施設は道路の縦断勾配や排水面積が異なることに留意する必要がある。

2) 降雨量換算

本稿は、L 型側溝、雨水ます、取付け管などの雨水関連施設の一体的な能力評価を目的としており、取付け管の排水能力 (m^3/s) を基準として、雨水ますが同等の排水能力を有しているかを検討した。排水能力の比較では伝わりにくいため、参考として、1 時間当たりの降雨量 (mm/h) に換算した。合理式による算出を試みたが、合理式は流達時間の設定が条件となる一方で、雨水ますは降雨時の瞬間的な排水となるため、整合を図ることが難しい。実験や流体解析の結果を考慮し、合理式に一定条件の時間を与えて整合を図るものとした。降雨量換算値は、コンクリート蓋で $80\text{mm}/\text{h}$ 相当、グレーチング蓋で $140\text{mm}/\text{h}$ 相当である。

4. フィールド実験に基づく三次元流体解析による再現性の確認

本稿では、熱流体解析プログラム (STAR-CCM+) を用いた流体解析を実施した。実験施設の解析モデルは、雨水ます、蓋、取付け管、本管を実施設と同じ寸法で構築した。基準となるメッシュサイズは 20mm とし、雨水ます周辺は精度向上のため最小 2mm とした。

3 つの実験ケースに対して、フィールド実験と三次元流体解析で結果を比較したところ、「① 雨水ます内の水位」、「② 雨水ますへの流入状況」、「③ L 形側溝の水位」の各項目で再現性を確認できた。(図 5 参照) よって、三次元流体解析によるシミュレーションは、雨水ますの排水能力を評価する手法として妥当性があると判断する。



水が覆われていない状況を再現

図 5 雨水ますへの流入状況の一例 (実験②)

4. 三次元流体解析による雨水ますの能力評価

4.1 既存道路施設のモデル構築

モデル構築する既存道路施設として、浸水常襲地区であり、雨水ますの配置状況や道路の横断勾配が現在の設置基準と異なる図 6 に示す路線を選定し、雨水ますの効果的な対策について検討を行うものとした。

モデル構築するにあたり、考慮した点を以下に示す。

モデル化対象範囲：複数の雨水ますを連動させた解析を目的とする場合、モデル化対象範囲は広い方が望ましい。しかし、膨大な解析時間を要するため、本稿では道路の片側排水を対象に延長 100m 程度とした。

解析時間の短縮方法：三次元流体解析は、多くの時間を要する。メッシュサイズを大きくすることで解析時間は短縮できるが、解析精度が低くなるというトレードオフの関係にある。そのため、評価したい範囲はメッシュサイズを小さくして精度を高め、それ以外はメッシュサイズを大きくすることで解析時間の短縮を図るものとした。

道路外からの排水：モデル化施設では、屋根や駐車場などの民地から道路へ直接排水している箇所が複数見られた。本稿では、これら民地からの流入が路面排水に与える影響を確認するため、当該箇所は民地を含んだ排水区域を設定した。(図 6 参照)



図 6 排水区域の設定

4.2 シミュレーションの条件設定

4.2.1 評価手法

評価項目は図 7 に示すとおり、雨水ますに流入する「雨水ます流入水量」と路肩から流出する「路肩流出水量」の 2 項目とする。本稿においては、道路排水施設（雨水ます、L 形側溝等）の排水能力を検証することが目的であるため、路肩流出水量（溢水量）をケースごとに比較して評価した。

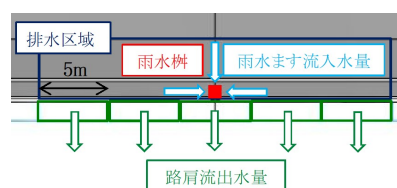


図 7 評価単位のイメージ

評価単位は 1 つの雨水ますが受け持つ排水区域を設定し、雨水ますを中心に 5m 単位で排水区域を区切って路肩流出水量を算定した。(図 8 参照)

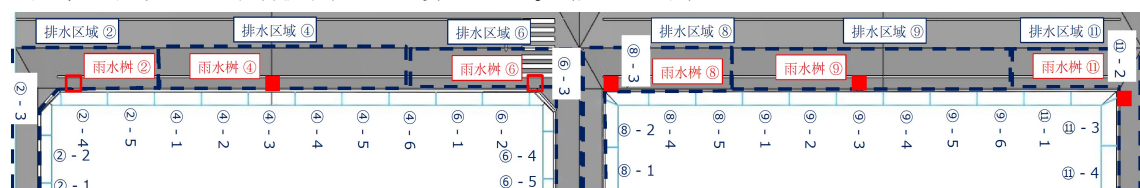


図 8 現状の雨水ますの配置および排水区域(5m 単位)

4.2.2 シミュレーションのケース設定

シミュレーションは計画降雨である時間雨量 63mm/h に対し、道路排水施設を「現状施設」、「対策案」、「理想案」の 3 ケースで実施した。(表 3 参照)

表 3 施設形状の設定

検討ケース	検討概要	施設形状
現状施設	既存道路における雨水ますを含めた道路排水施設の能力評価	雨水ます 6 箇所 設置間隔はおおむね 26.0m/箇所
対策案	「現状施設」を一部改良した場合の雨水ますを含む道路排水施設の能力評価	①コンクリート蓋→グレーチング蓋 ②現状の交差点の中間に雨水ますを 1 箇所追加 (雨水ます: 8 箇所)
理想案	雨水ますを A 市の設置基準どおりに配置し、道路横断勾配を標準勾配とした場合の道路排水施設の能力評価	①A 市の設置基準より、15m~20m に 1 箇所間隔で配置 (雨水ます: 8 箇所) ②蓋の種類は全てグレーチング蓋 ③道路横断勾配を 1.75% (標準道路横断勾配 1.5~2.0%の中間値)

4.3 シミュレーション結果

4.3.1 対策案および理想案の浸水軽減効果

現状施設、対策案、理想案の順に、路肩流出水量が減少しているため、各対策の浸水軽減効果が確認できた。(表 4 参照)

対策案と理想案で削減率に大きな違いがないことから、対策案のほうが費用対効果が高いといえる。

表 4 施設形状別の路肩流出水量および削減率

	路肩流出水量 (m ³ /s)	削減率 (%)
現状施設	0.058	—
対策案	0.037	36.2
理想案	0.035	39.7

4.3.2 蓋交換による浸水軽減効果

対策方法として、比較的容易な蓋交換のみによる浸水軽減効果を検証するため、排水区域②のコンクリート蓋をグレーチング蓋へ変更した検討を行った。

コンクリート蓋からグレーチング蓋に交換することにより、路肩流出水量は排水区域②全体で 1 割程度減少する。(表 5 参照)

ただし、路肩流出水量が減少した箇所は②-2、②-3、②-4 であることから、蓋交換によって効果が及ぶ範囲は雨水ます周辺に限定されている。広範囲で効果を求めるためには、雨水ますを追加するなど、別途対策を講じる必要がある。

表 5 蓋交換による路肩流出水量の削減効果

単位: m³/s

	②-1	②-2	②-3	②-4	②-5	合計
A: コンクリート蓋	0.0003	0.0019	0.0015	0.0013	0.0034	0.0084
B: グレーチング蓋	0.0003	0.0018	0.0012	0.0010	0.0034	0.0077
削減率 (%)	0.0	5.3	20.0	23.1	0.0	8.3

4.3.3 民地からの流入が路面排水に与える影響

民地からの流入が路面排水に与える影響について検証した結果、民地からの流入がある排水区域②、④、⑪において路肩流出水量が多くなっていることに対して、民地からの流入がない排水区域では路肩流出水量は比較的少ない。(図 9 参照)

民地からの流入がない排水区域⑧では、路肩流出量が現状施設 0.004m³/s から理想案で 0.001m³/s に減少しているため、標準的な道路の横断勾配かつ雨水ますの配置であれば、計画降雨（時間雨量 63mm/h）に対して、路面排水はおおむね可能であると判断できる。よって、民地からの流入が浸水被害を拡大させる要因の一つと考えられる。

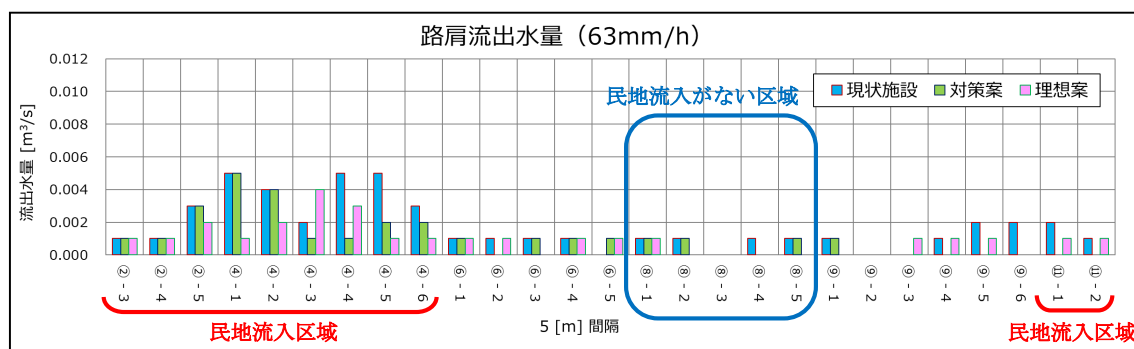


図 9 施設形状別路肩流出水量 (5m 間隔)

5. 検討成果および今後の課題と展望

5.1 検討成果

- ・ A 市における標準的な雨水ますの排水能力は、コンクリート蓋で 0.019m³/s（降雨量換算値：80mm/h 相当）、グレーチング蓋で 0.033m³/s（降雨量換算値：140mm/h 相当）である。
- ・ 浸水被害を軽減するための対策として、コンクリート蓋からグレーチング蓋への変更および雨水ますの追加は有効である。
- ・ A 市の整備水準である計画降雨（時間雨量 63mm/h）において、標準的な道路の横断勾配で雨水ますの設置基準を満足していれば、道路排水施設として雨水ますは排水能力を十分に発揮する。
- ・ 屋根や駐車場等の民地からの流入は、浸水被害を拡大する要因の 1 つとなるため、民地から道路へ流入する箇所については対策を講じる必要がある。

5.2 今後の課題と展望

蓋交換や雨水ます追加により浸水被害を軽減する効果が期待できるが、計画降雨（時間雨量 63mm/h）に対して浸水被害をおおむね解消できるよう、他の対策と組み合わせた効果検証が必要である。

また、雨水ますの追加や蓋交換は、貯留施設の整備や雨水ポンプ場および管きよの能力向上などと比較して施工が容易であり、対策効果の早期発現が期待できるため、それを踏まえた浸水対策の提案を進めていくことも重要である。