

下水道マンホール安全対策の手引き（案）

平成11年3月

ま え が き

下水道マンホールは、管きよの適切な維持管理等のために不可欠な存在であり、また、下水道が整備されたまちなかには「路上の紋章」としてふたが数多く見受けられます。我々にとって最も身近な「見える下水道」でもあるわけです。このような下水道マンホールに関して、平成10年に起こった集中豪雨によってふたの浮上・飛散という現象が起こり、それに伴う安全上の問題が指摘された事例が生じました。そこで、建設省では、同様の事例や対策に関する情報の収集等を行い、今後の豪雨時等におけるマンホール安全対策のあり方を緊急に検討することとし、平成10年10月に「下水道マンホール緊急対策検討委員会」を設置しました。

本委員会では、平成10年10月20日に第1回、11月27日に第2回をそれぞれ開催し、第2回委員会において、「下水道マンホール緊急安全対策（案）」をとりまとめました。また、引き続き検討を進め、平成11年2月22日に開催した第3回委員会で、緊急安全対策に加え中長期的な安全対策を含むものとして「下水道マンホール安全対策の手引き（案）」をとりまとめました。

本手引き（案）が有効に活用されることによって、より安全で安心なまちづくりに貢献する下水道が整備されるものと大いに期待しています。また、地方公共団体の下水道担当者をはじめ関係する方々には、本手引き（案）を是非ご参考にして頂ければと思います。

最後に、本手引き（案）のとりまとめに当たり熱心な検討を頂いた委員各位、そして原案作成等に当たられた事務局及び作業担当の方々に謝意を表します。

平成11年3月

下水道マンホール緊急対策検討委員会

委員長 楠 田 哲 也

委員会構成

委員長	楠田 哲也	九州大学大学院工学研究科教授
委員	吉本 国春	東洋大学工学部環境建設学科教授
	渡辺 政広	愛媛大学工学部環境建設工学科助教授
	笹部 薫	建設省土木研究所下水道部下水道研究室長
	伊東 三夫	東京都下水道局施設管理部管路管理課長
	鎌田 修	名古屋市下水道局管路管理部保全課長
	福井 聡	大阪市下水道局建設部計画課長代理
	佐賀井雅彦	神戸市建設局下水道河川部保全課主幹（保全企画担当）
	野村 富久	横須賀市下水道部長
	三宮 嘉郎	高知市環境下水道部副部長
	西口 勇	（社）日本下水道協会理事兼技術部長
	富澤 健二	（社）日本下水道管路維持管理業協会専務理事
オブザーバー	田中 博	日本グラウンドマンホール工業会技術委員会副委員長
事務局	町田 裕彦	建設省都市局下水道部下水道企画課下水道管理指導室長
	平岡 利夫	建設省都市局下水道部下水道企画課下水道管理指導室課長補佐
	森岡 泰裕	建設省都市局下水道部下水道企画課課長補佐
	広田 和男	建設省都市局下水道部下水道企画課下水道管理指導室指導係長
	堂蘭 洋昭	建設省都市局下水道部下水道企画課企画調整係
作業担当	浅田 一洋	（株）日水コン東京下水道事業部技術第一部長
	松田 博希	（株）日水コン東京下水道事業部技術第一部計画第二課長

目 次

序

第1章 マンホールの現状と安全対策の必要性	1
1-1. マンホール安全対策の必要性	1
1-2. マンホールふたの種類及び支持構造	2
1-3. マンホールふた設置の現状	7
1-4. マンホールふた浮上・飛散の水理	8
第2章 マンホール緊急安全対策	14
2-1. マンホール緊急安全対策の基本的考え方	14
2-2. マンホールふた浮上・飛散現象の発生要因	16
2-3. マンホールふた浮上・飛散防止緊急安全対策	22
2-4. マンホール緊急安全対策の検討手順	25
2-5. その他の留意事項	31
第3章 マンホール安全対策	32
3-1. マンホール安全対策の基本的考え方	32
3-2. マンホールふた浮上・飛散防止安全対策	33
3-3. マンホール安全対策の検討手順	36
3-4. その他の留意事項	43
参考資料	44
参-1. 安全対策の水理計算例	44
参-2. マンホールふたの浮上・飛散に関するアンケート調査結果	55
参-3. 「下水道施設計画・設計指針と解説」におけるマンホール関連記述	65
参-4. マンホールふたに求められる広義の安全機能の概要	68

序

下水道マンホールは、管きよ清掃点検等のために、管きよの会合する箇所や管径や勾配の変化する箇所などに設けられる、下水道管理上重要な施設である。下水道マンホールは、一般に道路上に設けられることが多いが、降雨に伴う管きよ流下能力以上の下水流入等によって、そのふたが浮上・飛散する現象が顕在化している。

そこで、本手引き（案）では、マンホールふたの種類や現状、ふたの浮上・飛散の水理等を整理するとともに、マンホールふたの浮上・飛散に関する緊急安全対策としてとりうる対策、必要箇所及びその検討手順、さらには、安全対策検討のための水理計算や中長期的な対策の考え方についてとりまとめたものである。また、マンホールふたに求められる安全機能としては、降雨時のふたの浮上・飛散に加え、その役割を適切かつ安全に発揮するためのガタツキやスリップ防止等についても、その概念に広義には含まれるべきものであり、若干の記述を加えている。

本手引き（案）の構成及びその概要を以下に示すが、マンホールふたの浮上・飛散に関する安全対策としては、第2章に示す「緊急安全対策」を早急に策定して必要な対策を速やかに実施するとともに、水理計算による定量的な検討等により中長期的な観点から第3章に示す総合的な「安全対策」を検討し、下水道施設の改築計画等に反映させ、可能な対策から実施することが必要であるとしている。

〔第1章：マンホールの現状と安全対策の必要性〕

本章では、マンホール安全対策の必要性及びその背景を述べるとともに、マンホールふたの種類、構造、設置の現状、浮上・飛散の水理現象について紹介している。

〔第2章：マンホール緊急安全対策〕

本章では、マンホールふたの浮上・飛散に対する緊急安全対策の基本的な考え方、発生要因、とりうる対策を紹介するとともに、対策必要箇所の概略検討手順及び緊急安全対策に関する留意事項を示している。

〔第3章：マンホール安全対策〕

本章では、マンホールふたの浮上・飛散に対する総合的な安全対策として、緊急安全対策を含み中長期的な観点からとりうる対策を紹介するとともに、第2章で示す検討手順に加えて、水理解析を行う場合の手順を示している。また、マンホールふたの機能が適切かつ安全に発揮されるための配慮事項等も併せて示している。

〔参考資料〕

参考資料として、安全対策の水理計算例やマンホールふたの浮上・飛散に関するアンケート調査結果、「下水道施設計画・設計指針と解説（1994年版 社団法人日本下水道協会）」のマンホールに関する記述、マンホールふたに求められる広義の安全機能の概要を掲載している。

第1章 マンホールの現状と安全対策の必要性

1-1. マンホール安全対策の必要性

下水道は、身近な生活環境の改善、浸水の防除、公共用水域の水質保全等の役割を担う重要な基盤施設である。しかし、下水道は、マンホールふたやポンプ場、処理場を除き、管きよの大部分が地下に埋設されていることから、その存在が人々に意識されることは少なくなりがちである。

マンホールは、管きよの接合や維持管理のために不可欠なものであるが、降雨に伴う計画を超える雨水の管きよへの流入等に伴い、そのふたが浮上・飛散する現象が顕在化しており、安全対策をとることが必要である。

【解説】

マンホール（人孔、manhole）は、下水管きよの清掃や点検、採水などを目的として設けられるもので、一般に管きよが会合する箇所、勾配や管径が変化する箇所及び維持管理上必要な箇所に設けられる。

下水管きよ、特に汚水管きよや合流管きよは、暗きよ構造が原則であり、マンホールは「路上の紋章」として数多く設置されている。

このマンホールに関して、下水道計画対象とする以上の、或いは現在埋設されている管きよの流下能力に対応する以上の集中的な豪雨が降った場合に、水圧及び空気圧によってふたが浮上し、飛散する現象が顕在化しており、いくつかの都市において事例が報告されている。

マンホールふたの浮上・飛散が生じた場合、特に路面が冠水状態にある場合は、マンホール位置の確認ができないことから安全上の問題が大きい。したがって、特にマンホールふたの浮上・飛散に関する安全対策を講じることの必要性は大きなものがある。

また、マンホールふたに求められるその他の安全機能としては、がたつき防止、耐荷重性、耐スリップ性、耐食性、転落防止、不法投棄・侵入防止、汚水管きよにおける雨水流入防止が挙げられる。これらの機能もマンホールふたに求められる重要な要素であり、その概要を参考資料に示す。

1-2. マンホールふたの種類及び支持構造

マンホールふたの種類は、その設置場所によりT-25、T-14の2種類に分けられる。また、支持構造には平受方式と勾配受方式があり、最近では、がたつき防止のために勾配受方式のふたを設置する例が多い。

【解説】

マンホールは、下水管きよの点検、清掃及び維持管理のために重要な施設であるとともに、道路施設の一部でもある。このため、マンホールふたは車両などによる荷重を繰り返して受け、交通量の増大、大型化等による過酷な設置環境の中で、強度、摩耗性、耐久性、安全性、がたつき防止等の機能を果たすことが求められる。このようなことから、マンホールふたの品質を確保するためにJIS規格等が設けられている。

下水道用マンホールふたの規格の変遷を見ると、昭和33年に初めて「JIS A 5506」として制定され（鋳鉄及び鉄筋コンクリートふた、平受け）、昭和36年には球状黒鉛鋳鉄品がJISに制定された後に、昭和47年に球状黒鉛鋳鉄ふたが「JIS A 5506」に取り込まれ、強度が格段に向上した。その後、昭和62年にはがたつき防止のため球状黒鉛鋳鉄ふたについて、勾配受型が「JIS A 5506」に追加された。また、平成9年には日本下水道協会規格として「下水道用鋳鉄製マンホールふた JSWAS G-4」が制定された。

マンホールふたの種類として「下水道用鋳鉄製マンホールふたJSWAS G-4」では、T-25（大型車の走行を想定した道路）及びT-14（大型車の走行が少ない道路）の2種類が設定されている。「JIS A 5506」では、鋳鉄ふた（T-25、道路一般）と鉄筋コンクリートふた（歩道用）が規格化されている。

マンホールふたの支持構造は平受方式と勾配受方式があり、平受方式は、ふたの下部を直接受枠が支えている。一方、勾配受方式は、くさび効果でふたの外周と受枠の内周とが傾斜接触面をかみ合い、ふたが受枠に食い込む方式であり、がたつきが防止できる（図1-1）。また、JIS規格及びJSWAS規格では、万一の事故に備えマンホールふたが飛散することを防止するため、ふたと受枠は蝶番等で連結することとしている（図1-2）。

JIS規格及びJSWAS規格の概要を表1-1に示す。

ふたに要求されるその他の機能に対応して、規格では触れられていないが、都市の景観を向上させるためにデザイン化を行ったもの、作業性や安全性の向上を目的としてマンホール内部への転落防止のための網を設けたもの、部外者の侵入を防止するために鍵を設けたもの、マンホール内部の圧力を緩和させるために一定の高さまでふたが浮上し圧力を逃がす構造としたもの（図1-3）や中ふたを設けたもの（図1-4）、転落を防止するための梯子等を設けたもの（図1-5）等がある。

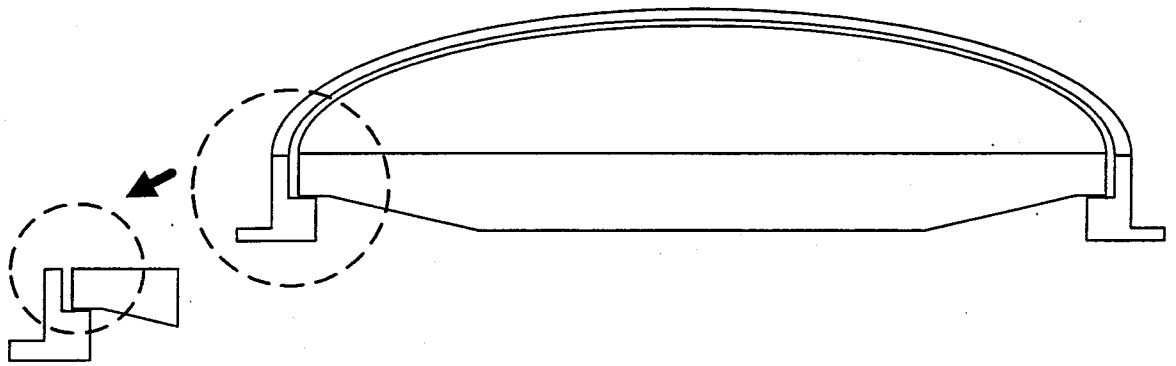
表1-1 下水道用マンホールふたのJIS規格及びJSWAS規格の概要

	J I S 規格 (JIS A 5506)	J S W A S 規格 (JSWAS G-4)
呼び寸法 (口径)	600	・ 300, 400, 500, 600, 900, 900-600
荷重強さ (種類)	・ T-25 (道路一般) ねずみ鋳鉄、球状黒鉛鋳鉄ふた に適用：試験荷重 210kN ・ 鉄筋コンクリートふた：歩道 (試験荷重 65kN)	・ T-25 (道路一般) 寸法600以上で試験荷重210kN ・ T-14 (歩道または大型車の交通の 少ない道路) 寸法600以上で試験荷重120kN
構造・機能	・ 平受け、勾配受け ・ 蝶番、鎖 (ふたの逸脱防止)	・ 急勾配受け (がたつき防止) ・ 蝶番等で連結 (ふたの逸脱防止)
材質	・ ねずみ鋳鉄 (FC) ・ 球状黒鉛鋳鉄 (FCD) ・ 鉄筋コンクリート	・ 球状黒鉛鋳鉄 (FCD)
引張強さ等	(引張強さ) ・ ねずみ鋳鉄ふた (FC200, FC250, FC300) ・ 球状黒鉛鋳鉄ふた (FCD500, FCD600, FCD700) (コンクリートの圧縮強度) ・ 鉄筋コンクリートふた 30N/mm ² 以上	(引張強さ) ・ ふた (FCD700) 700N/mm ² 以上 ・ 枠 (FCD600) 600N/mm ² 以上

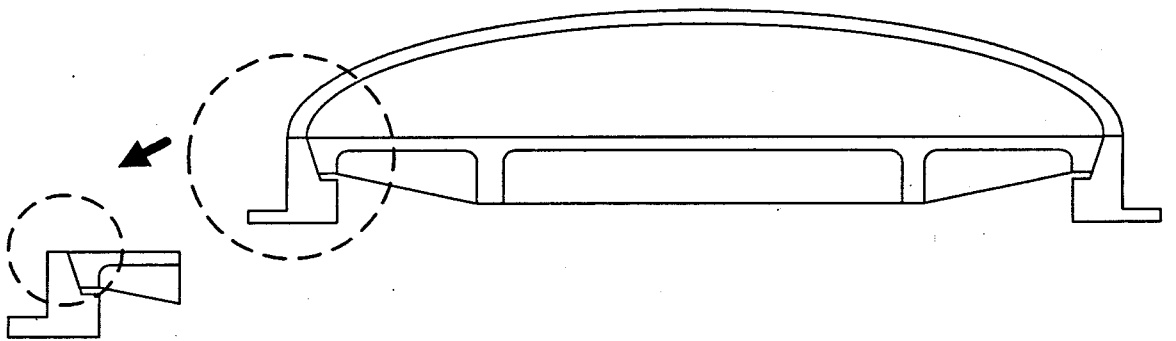
JIS A 5506 : 昭和33年3月29日制定

平成7年3月1日改正

JSWAS G-4 : 平成9年4月1日制定



(平受方式)



(勾配受方式)

図1-1 ふたの支持構造

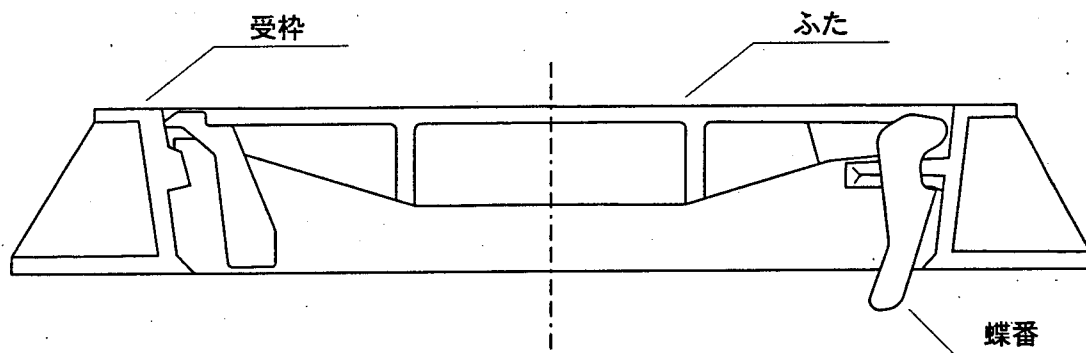


図1-2 蝶番付き鉄ふた

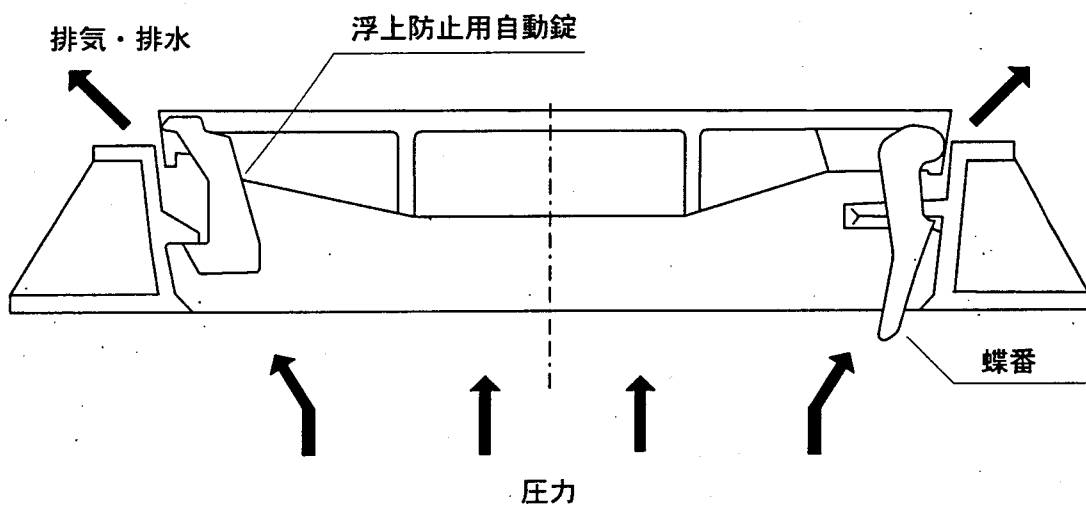


図1-3 圧力開放型浮上防止用鉄ふた

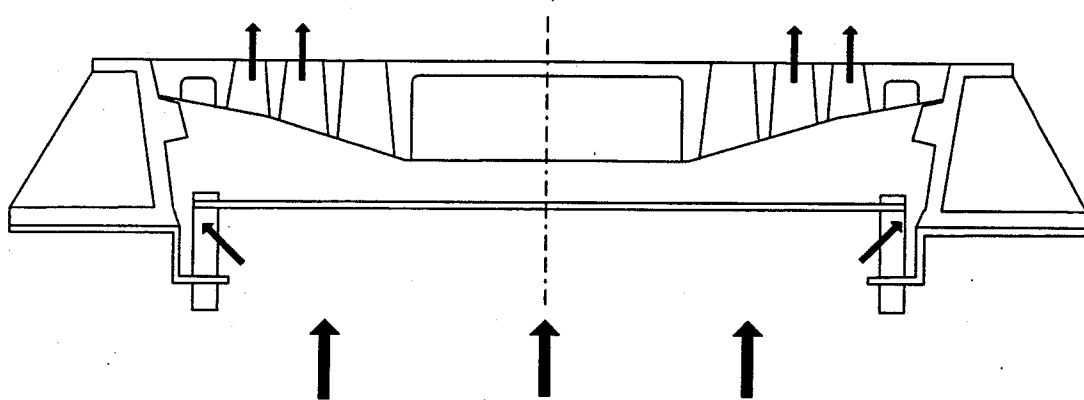


図1-4 格子ふた (中ふた付き)

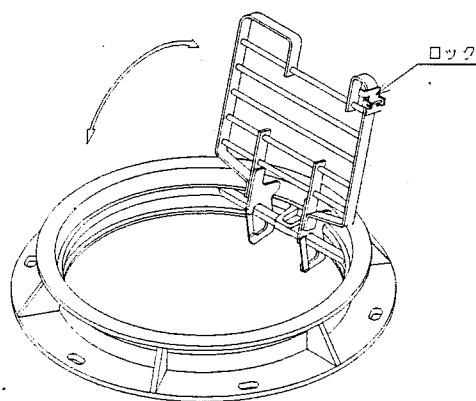


図1-5 ロック付転落防止用梯子

1-3. マンホールふた設置の現状

マンホールは、管きよの起点や方向、勾配、管径が変化する箇所、段差が生じる箇所、管きよが会合する箇所及び維持管理上必要な箇所に設けることとなっている。

管きよの直線部のマンホール最大間隔は、管きよ径別に標準値が設定されている。

【解説】

マンホールは、管きよ内の点検や清掃、換気等に必要のものであり、上記に示したように管きよの会合地点等に設置することとなっている。管きよの直線部においても、できるだけ多く設置することは維持管理をする上で便利であるが、経済性等の観点から管きよの直線部のマンホール最大間隔は表1-2を標準としている。また、く形きよなどの現場打ち管きよや推進工法、シールド工法等による場合については、現場の状況、維持管理方法を考慮して、また最近ではコスト削減を目的として、必要に応じてマンホール間隔が広がられている。

マンホールの設置数は、平成9年度末における管きよ総延長約277千Kmに対して、約8,530千基となっており、管きよ延長の概ね30mに1カ所の割合でマンホールが存在することとなる。内訳として、平受方式が約2,580千基(30%)、勾配受方式が5,950千基(70%)となっている。平成9年度におけるマンホールふたの総設置数は、約500千基となっており、このうち、97%が勾配受方式となっている(日本グラウンドマンホール工業会調べ)。

「下水道施設計画・設計指針と解説(1994年版 社団法人日本下水道協会)」では、ポンプ場及び処理場の放流管きよや構造的に内圧がかかる管きよにマンホールを設置する場合は、内圧強度に応じた耐圧強度及び水密性のある構造とするとともに、圧力ふたとし、ふた枠のアンカーを構造鉄筋に溶接するなどの注意が必要であるとしている。

「下水道維持管理指針(1991年版 社団法人日本下水道協会)」では、降雨時における事故防止対策として、マンホールからの吹き出しにより鉄ふたが飛散し通行人の転落等事故の原因にもなるため、鉄ふたの飛散防止を行う必要があるとしている。

表1-2 マンホールの管きよ径別最大間隔

管きよ径 (mm)	最大間隔 (m)
300以下	50
600以下	75
1,000以下	100
1,500以下	150
1,650以上	200

(出典:「下水道施設計画・設計指針と解説」1994年版 社団法人日本下水道協会)

1-4. マンホールふた浮上・飛散の水理

マンホールふたの浮上・飛散は、雨天時に雨水が大量に下水管きよへ流入し、衝撃圧や急激な水位上昇という水理現象が生じ、管路内の流体圧（空気圧、水圧）が一定規模以上になると発生する。

マンホールふたの浮上・飛散をもたらす水理現象及び空気圧の上昇をもたらす施設状況として以下のものが挙げられる。

(1) 水理現象

- ① 衝撃圧（ウォーターハンマー現象、エアハンマー現象）
- ② 急激な水位上昇（背水、跳水の移動、動水勾配線の急勾配化等）

(2) 空気圧の上昇をもたらす施設状況

- ① 空気の排気能力が小さい管きよ
- ② 大きな空気塊が残存しやすい管きよ
- ③ 高水圧を受けやすい管きよ

【解説】

マンホールふたの浮上・飛散は、下水管きよ内へ雨水が大量に流入し、流れの遮断や管きよ能力不足などにより衝撃圧や水位の急上昇という水理現象が生じ、管路内の流体圧がふたの浮上に要する流体圧を上回ったときに発生する。

マンホールふたの浮上・飛散をもたらす水理現象としては、衝撃圧と水位の急上昇が挙げられる。衝撃圧については、ポンプ場等のゲート閉操作によるウォーターハンマー現象（水撃圧）やエアハンマー現象（圧縮空気のマンホールへの移動）が考えられる。一方、水位の急上昇については、背水（下流の水位の変化が上流にまで影響を及ぼすこと、いわゆるバックウォーター）や跳水（流れが急流から緩流に不連続に変化し、表面に渦を伴いながら小水深から大水深へ急激に変化する現象）の移動、動水勾配線（圧力水頭と位置水頭との和を連ねた線）の急勾配化、伏越し等における損失水頭（管きよの摩擦、曲がり、断面の変化等により失われたエネルギーを水頭で表したもの）の増大等が考えられる。また、このような水理現象が単独または複合的に発生し、空気圧の上昇をもたらす状況が重なり合うこと等によりマンホールふたが浮上・飛散することになる。水理現象については、図1-6～図1-12に示す。

空気圧の上昇をもたらす状況としては、空気の排気能力が小さい（マンホールが少ない、空気穴が小さい）、大きな空気塊が残存しやすい（落差工の存在、大規模な管きよ）、高水圧を受けやすい埋設深が深い管きよが挙げられる。

このような水理現象をもたらす要因及び空気圧の上昇をもたらす施設状況を以下に述べる。また、マンホールふたの浮上・飛散をもたらす水理現象とその主な要因を表1-3に、空気圧の上昇をもたらす施設状況を表1-4に示す。

(1) 水理現象

① 衝撃圧（ウォーターハンマー現象、エアハンマー現象）

ウォーターハンマーは、ポンプ場におけるゲートの急閉操作、ポンプの急停止等により管きよ内の流れが急激に遮断されるような場合、管きよの上流に急激な水位上昇が発生し、これが上流へと伝播することにより発生する。このウォーターハンマーによりマンホール内の空気圧及び水圧が高くなり、マンホールふたを飛散させようとする圧力が作用する（図1-6）。

エアハンマーは、下水管きよ内に空気がトラップされ、この空気塊が圧縮された後、移動してマンホールへ噴出するときに生じ、このエアハンマーによりマンホール内の空気圧が高くなり、マンホールふたを飛散させようとする圧力が作用する（図1-7）。

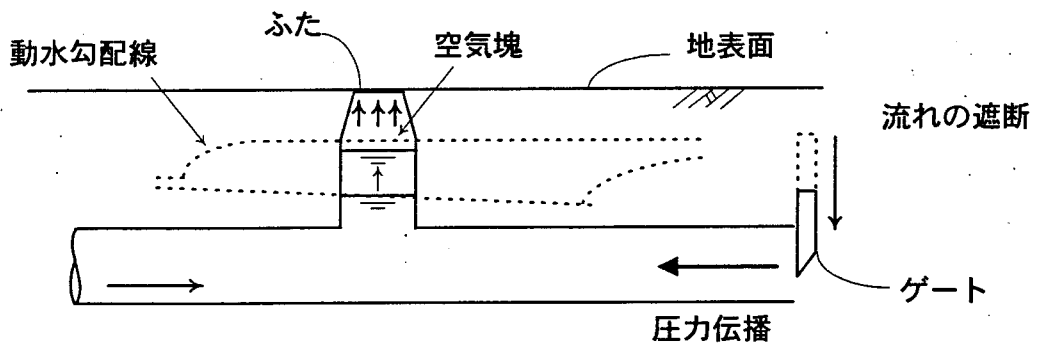


図1-6 ウォーターハンマー現象

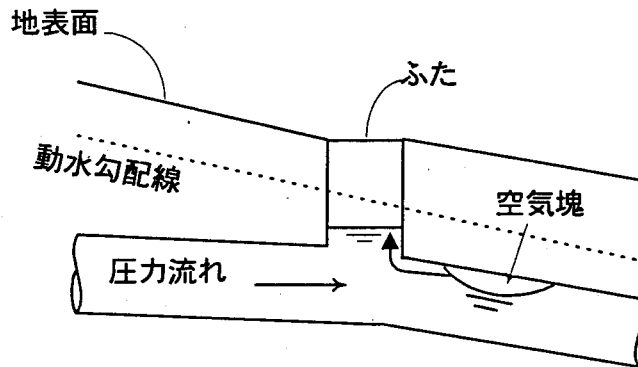


図1-7 圧縮空気の移動（エアハンマー現象）

② 急激な水位上昇

1) 背水による水位上昇

背水による水位上昇は、当該排水区が自然排水区域となっている場合には、その放流先（河川、海、湖沼）の水位上昇により発生する。この水位上昇により、マンホール内の水面も急激に上昇し空気圧及び水圧が高くなり、マンホールふたを飛散させようとする圧力が作用する（図1-8）。

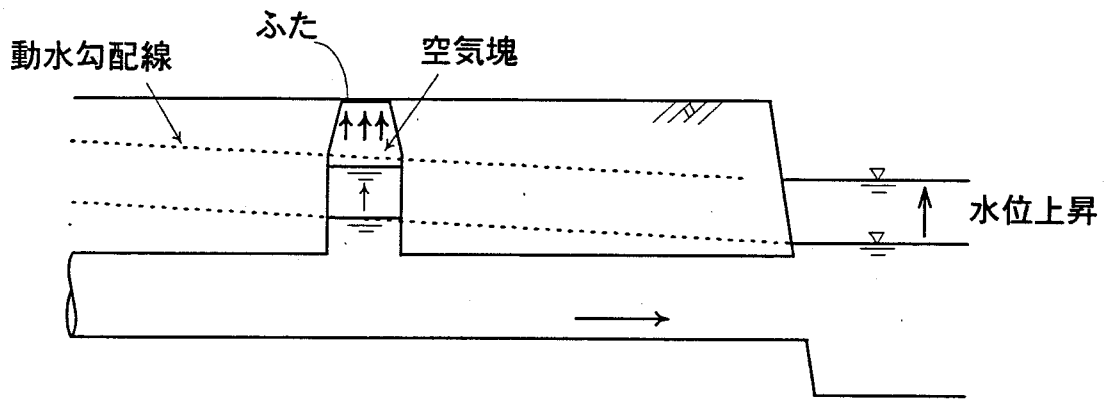


図1-8 背水による水位上昇

2) 跳水の移動による水位上昇

下水管きよの勾配が、上流側が急勾配、下流側が緩勾配へと変化する付近では、豪雨時の流れは開水路流れから跳水が生じ、その後、圧力流れとなることが多い。このような流況のもとで下流側の水位の急激な変化や流入水量の急激な増大により、跳水は上流へと急速に移動し、水位の上昇に伴い管きよ内の空気塊も上流へと急速に移動する。このため、マンホール内の空気圧及び水圧が高くなり、マンホールふたを飛散させようとする圧力が作用する(図1-9)。

また、下水管きよの勾配が、上流から緩勾配、急勾配、緩勾配へと変化しているような場合、豪雨時の流れは、圧力流れ、開水路流れ、圧力流れとなることが多く、開水路流れ部では空気塊が発生する。このような状況において、跳水が急速に上流へと移動した場合、空気塊が圧縮され、マンホール内の空気圧も高くなり、マンホールふたを飛散させようとする圧力が作用する(図1-10)。

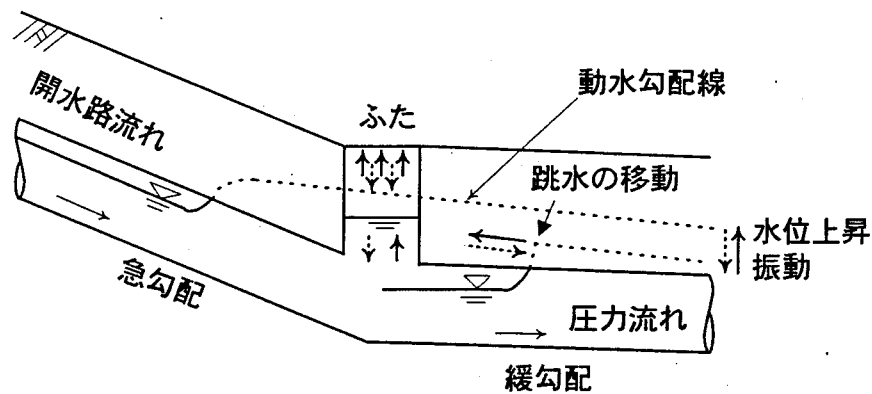


図1-9 開水路流れから圧力流れへの変化部で発生する跳水の移動

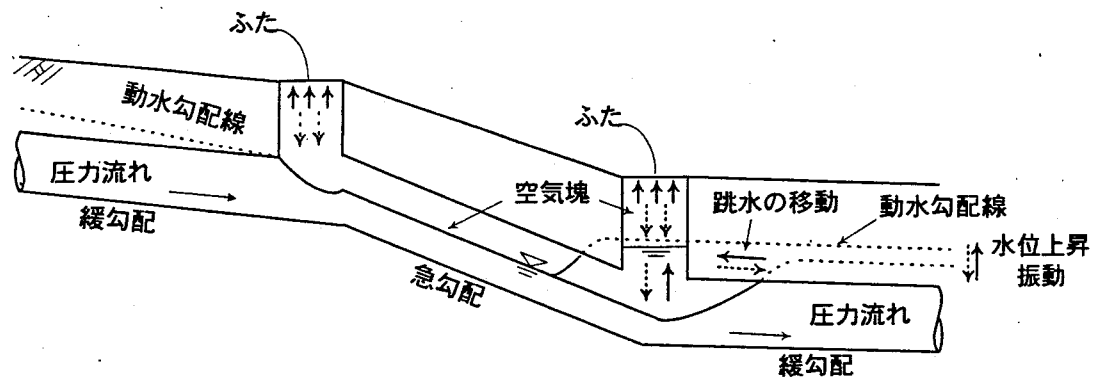


図1-10 圧縮された空気塊が集中する管きよでの跳水の移動

3) 動水勾配線の急勾配化による水位上昇

動水勾配線の急勾配化は、管きよの流下能力不足によって起こる。管きよの流下能力不足は、計画規模を上回る雨水流出量が管きよに流入する場合と計画規模以下の雨水流出量であっても管きよ断面が計画値を下回っている場合に生じる。動水勾配線の急勾配化により水位が上昇しマンホール内の空気圧及び水圧が高くなり、マンホールふたを飛散させようとする圧力が作用する（図1-11）。

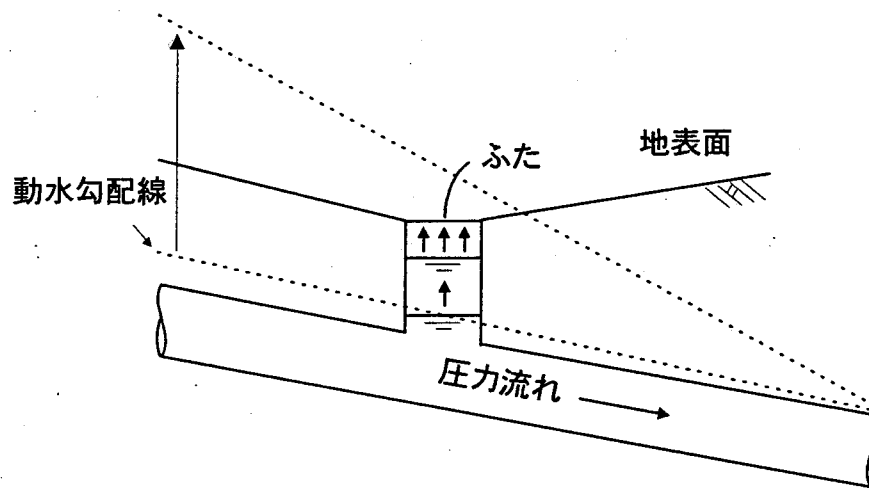


図1-11 動水勾配線の急勾配化による水位上昇

4) 伏せ越し等における損失水頭の増大による水位上昇

損失水頭の増大は、管きよの構造に起因することが多く、伏越し、管きよ断面の縮小、管きよの曲がり、管きよの合流部などで生じる。損失水頭が増大すると水位が上昇しマンホール内の空気圧及び水圧が高くなり、マンホールふたを飛散させようとする圧力が作用する（図1-12）。

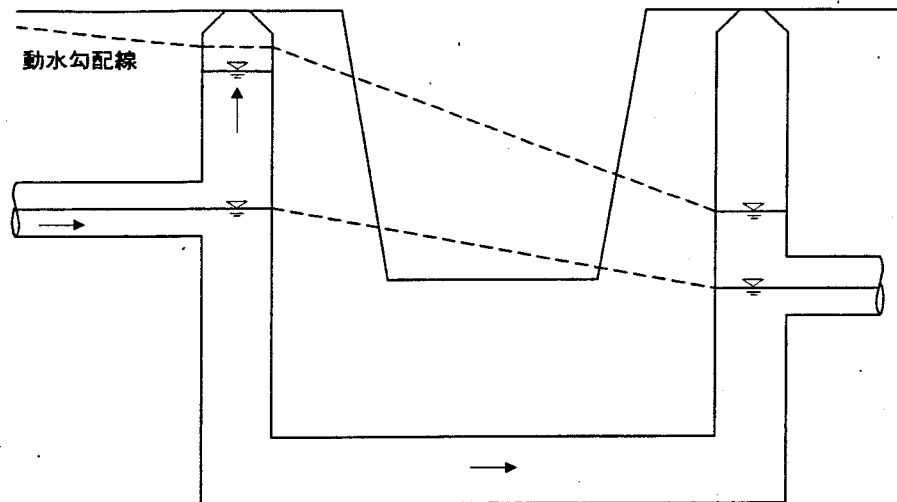


図1-12 損失水頭の増大による水位上昇（伏越し）

(2) 空気圧の上昇をもたらす施設状況

① 排気能力が小さい管きょ

空気圧の上昇をもたらす施設状況としては、排気能力が小さい管きょが挙げられる。このような管きょには、シールド工法や推進工法等により管きょ延長が長くなりマンホールが少ない管きょや取付け管が少ない管きょ、マンホールふたの空気穴面積が小さい管きょ等がある。

② 大きな空気塊が残存しやすい管きょ

空気圧の上昇をもたらす施設状況としては、大きな空気塊が残存しやすい管きょが挙げられる。空気を連行する落差工や大規模な管きょ等がこれに相当する。

③ 高水圧を受けやすい管きょ

空気圧の上昇をもたらす施設状況としては、埋設深が深い管きょ等の高水圧を受けやすい管きょが挙げられる。管きょ内に高水圧を受けた空気塊が存在すると、この圧縮された空気塊が移動し、マンホールで上昇・膨張するエアハンマー現象が生じることがある。

表1-3 マンホールふたの浮上・飛散をもたらす水理現象とその主な要因

主な要因		水理現象		
		衝撃圧		水位上昇
		ウォーターハンマー (水圧)	エアハンマー (空気圧)	
流れの遮断	ポンプ場等でのゲート急閉操作	◎	◎	
	ポンプの急停止	◎	◎	
	ポンプ場等でのゲート緩閉操作			◎
	ポンプの能力不足			◎
背水	河川水位、潮位の上昇			◎
跳水の移動	管きよ縦断形 (急勾配から緩勾配)			◎
動水勾配線の急勾配化	管きよの 相対的能力不足			◎
損失水頭の増大	伏越し			◎
	管断面の縮小			◎
	管きよの曲がり			◎
	管きよの合流部			◎

表1-4 空気圧の上昇をもたらす施設状況

空気圧の上昇をもたらす状況	施設状況	備考
排気能力が小さい	・マンホールが少ない	シールド工法及び推進工法等による長距離の管きよ
	・取付け管が少ない	
	・マンホールふたの空気穴面積が小さい	
大きな空気塊が残存しやすい	・空気を連行する落差工、深いマンホール	
	・大規模な管きよ	
高水圧を受けやすい	・埋設深が深い管きよ	

第2章 マンホール緊急安全対策

2-1. マンホール緊急安全対策の基本的考え方

マンホールふたの浮上・飛散を未然に防ぐとともに、ふたが浮上・飛散した場合においても、事故に繋がらないための対策を講じる必要がある。

マンホールふたの浮上・飛散に対する緊急安全対策としては、その発生の危険度の高い地点を特定して、危険度の高いところから順次、可能な対策を講じることを基本的考え方とする。したがって、本章に示す緊急安全対策をまず速やかに実行することが重要である。また、第3章に示す安全対策についても併せて検討することとし、中長期的な安全性向上対策については、雨水排除計画、改築計画等に盛り込み、施設改善時等に合わせて実施することが望ましい。

【解説】

本章では、マンホール緊急安全対策として、マンホールふたの浮上・飛散の発生頻度が高い地点を特定するための概略検討手法及び緊急対策として当面取り得る対策を示すものである。さらに、併せてマンホールふたが浮上・飛散した場合にも事故に繋がらないような対策を講じるとともに、日頃の広報活動等を必要に応じて行うことも重要であるとしている。

計画を上まわる降雨によって下水道施設の流下能力以上の下水流入が生じた場合等に、マンホールふたが浮上・飛散する現象が発生する可能性があるが、その発生の危険度は、雨水管きよや合流管きよでは降雨の強度により、汚水管きよでは雨天時の不明水量や浸水時に開けられたマンホールふたからの流入量により異なる。また、設置位置や構造によってもその発生の危険度が異なる。加えて、この現象は危険度の高いところで発生し、その発生のエネルギーが発散すれば他の箇所での発生の可能性が減少するという性格を有している。したがって、緊急安全対策としては、発生の危険度の高い地点を特定し、その危険度の高いところから当面実施可能な対策を速やかに行うことが重要である。また、緊急安全対策と並行して、第3章に示す中長期的な安全対策についても併せて検討を行い、雨水排除計画、改築計画等に盛り込み、施設改善時等に合わせて実施することが望ましい。なお、緊急安全対策は定性的な判断に基づいて行うため、中長期的な安全対策では、発生の危険度の高い地点及び緊急安全対策の実施箇所について水理的検討を行い、実施可能な安全対策を検討するものとする。緊急安全対策と安全対策との関係を図2-1に示す。

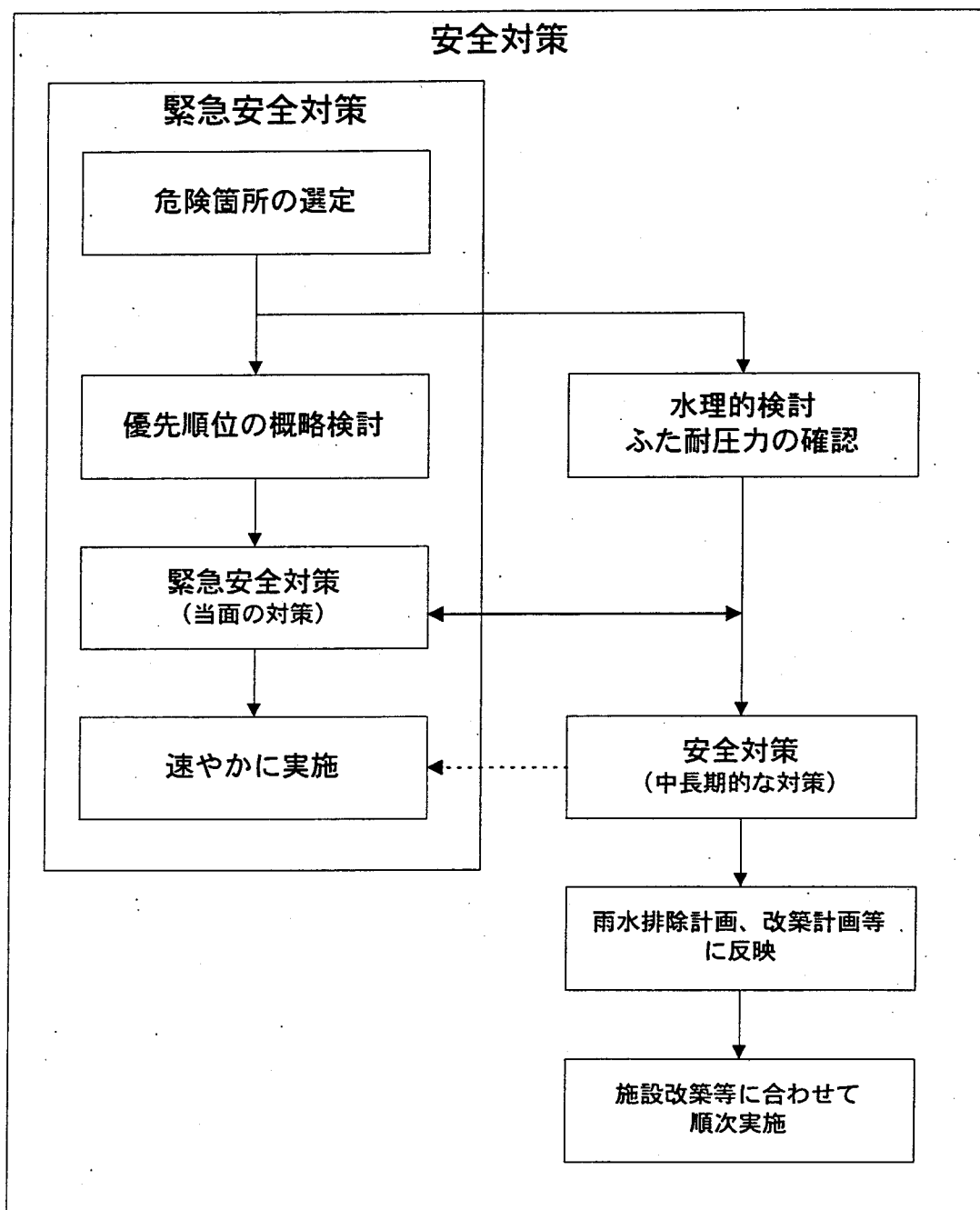


図 2 - 1 緊急安全対策（第 2 章）と安全対策（第 3 章）との関係

2-2. マンホールふた浮上・飛散現象の発生要因

マンホールふたの浮上・飛散は、マンホール内の水圧や空気圧が上昇した場合や、管路施設内に滞留した被圧空気の急浮上による下方からの圧力が、マンホールふたや側塊の耐圧力を上まわった時に発生する。このような現象は下水道施設への過剰な流入水量による管きよ内水位の上昇に直接起因するが、その要因としては下記の項目が考えられる。

- ① 管きよまたはポンプ場の相対的能力不足
- ② ポンプ場での急激なゲート閉操作
- ③ 空気が残存しやすい、または空気を連行する管きよ縦断形
- ④ 埋設深が深い管きよ
- ⑤ 大口径の管きよ
- ⑥ 伏越し、管きよの急曲部、合流部等の流下障害
- ⑦ 落差工
- ⑧ 施設の排気能力不足（マンホールや取付け管が少ない場合やマンホールふたの穴が小さい場合）
- ⑨ 凹地や急斜面から緩斜面への変化点
- ⑩ マンホールふた・側塊の耐圧力不足

【解説】

マンホールふたの浮上・飛散に至るまでに管路施設内で発生する現象、その現象を引き起こす状況、それらの要因の因果関係を以下に示す。

(1) 現象の因果関係

マンホールふたの浮上・飛散に至るまでの管路施設内の現象の因果関係は図2-2のとおりである。

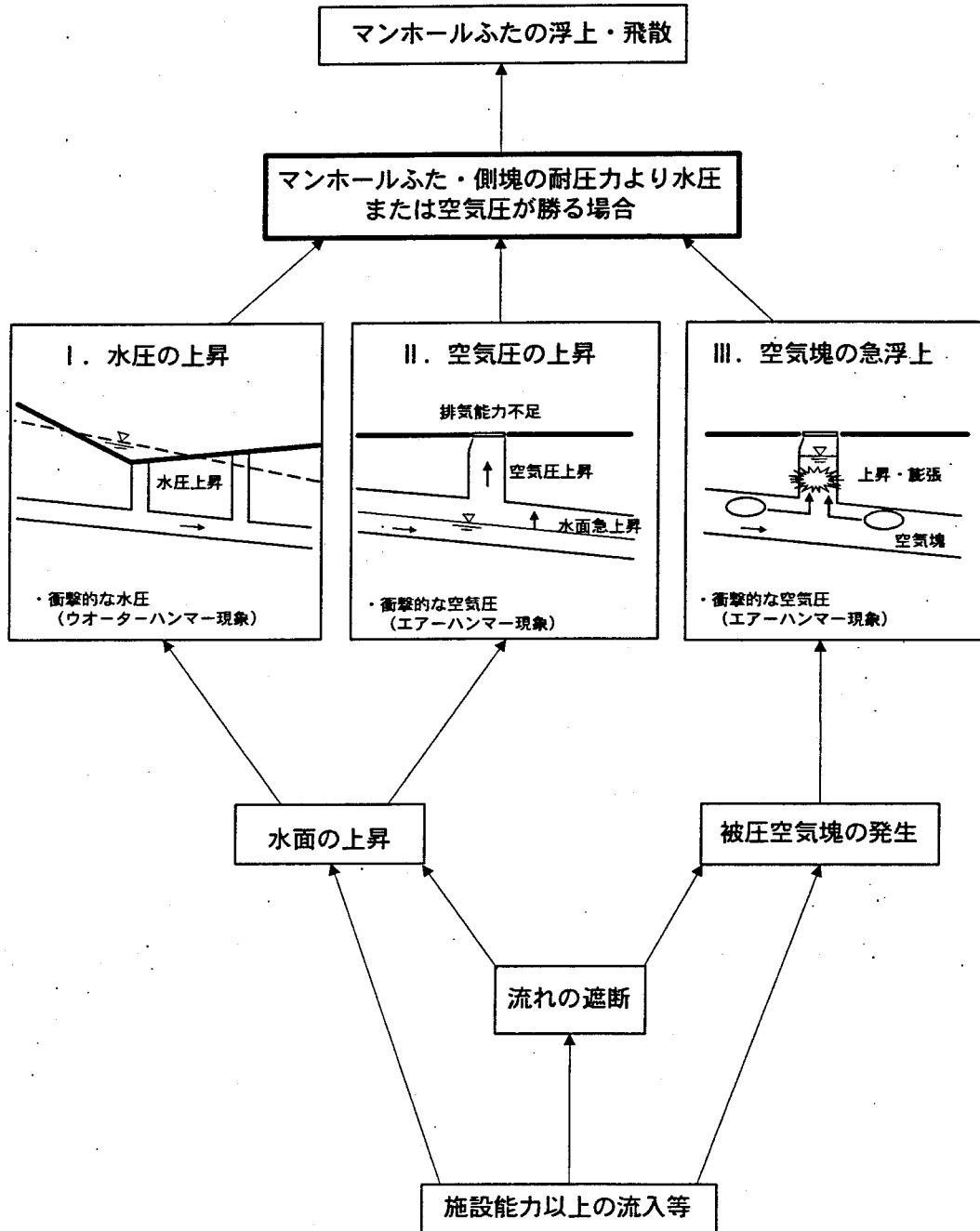


図2-2 マンホールふたの浮上・飛散に至る管路施設内の現象の因果関係

(2) 現象に至る状況とその要因

現象の因果関係 (図2-2) において、水面の上昇に起因する現象ⅠとⅡは、その上昇速度に応じて連続して発生したり、あるいはいずれか一方の現象が発生したりする。一方、現象Ⅲは水位上昇に関係するものの、発生する現象の性格はⅠやⅡのものとは異なる。現象ⅠとⅡの状況と要因の関係を図2-3に、現象Ⅲのそれらを図2-4に示す。

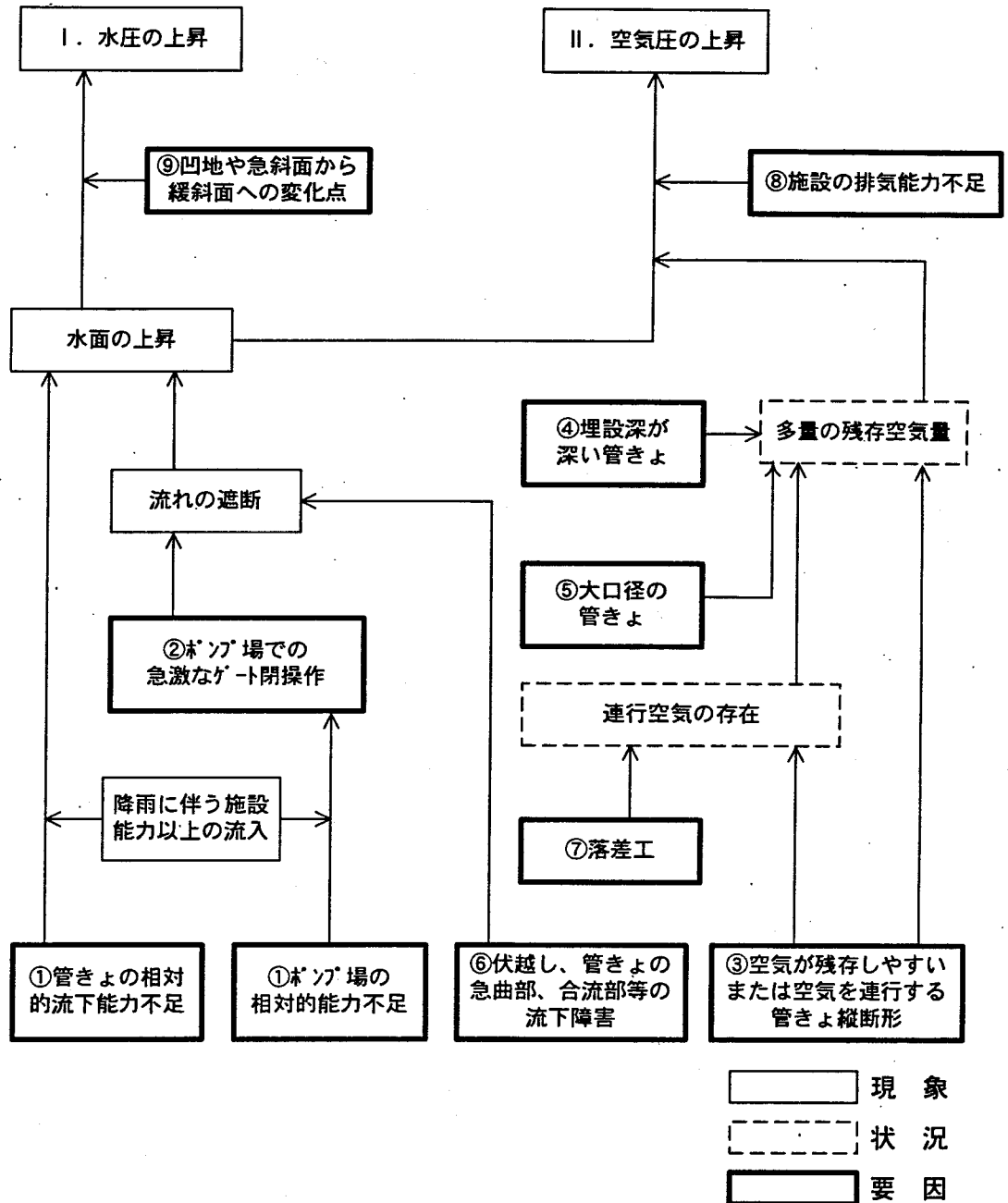


図2-3 マンホール内の水圧及び空気圧上昇に至る状況と要因の関係図

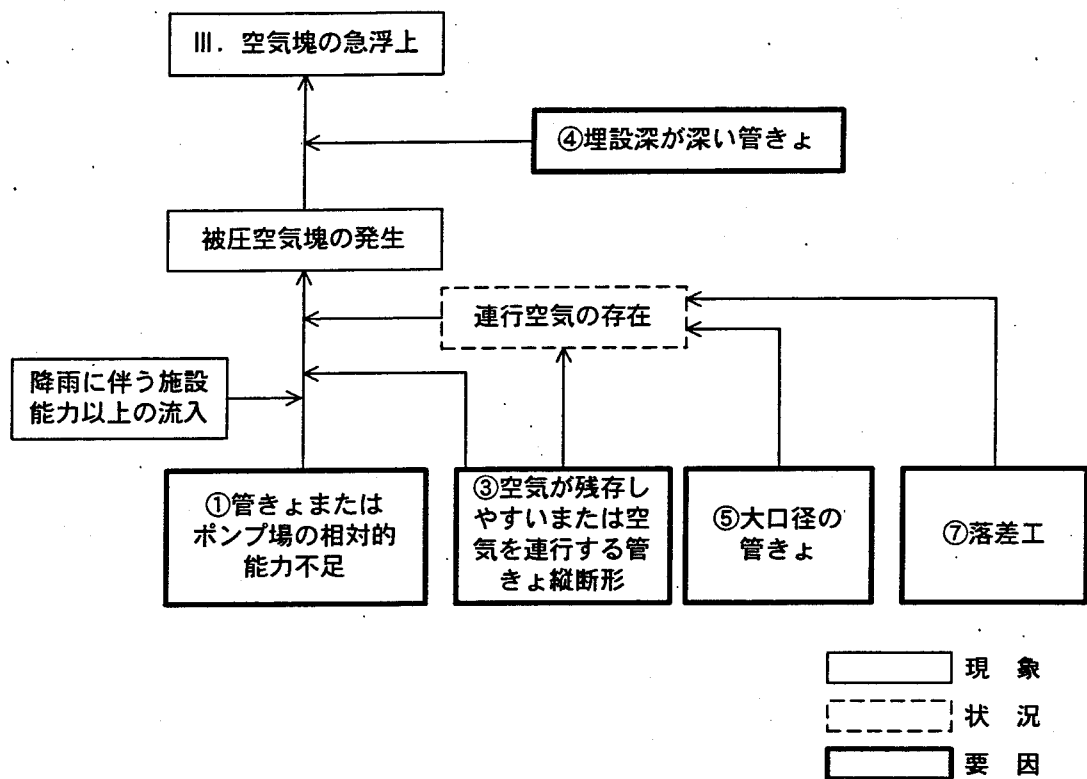


図2-4 マンホール内の空気塊の急浮上に至る状況と要因の関係図

マンホールふたが浮上・飛散する危険箇所は、図2-3及び図2-4に示した要因の存在箇所及びその周辺であると推定できる。これらの危険箇所について以下に説明する。

① 管きよまたはポンプ場の相対的能力不足

管きよの流下能力やポンプ場の揚水能力に余裕が少なければ、その排水系統における危険度は高い。雨水管路施設や合流管路施設では豪雨の場合に、污水管路施設では浸入水が過剰となる場合等に管きよ内水位が上昇する。管きよの流下能力が低いとマンホールから溢水することになり、マンホールふたが浮上・飛散する危険度が高くなる。したがって、溢水の履歴がある位置はマンホールふたの浮上・飛散危険度の高いところと推定できる。

② ポンプ場での急激なゲート閉操作

ポンプ場への流入量が揚水能力を上まわった場合、流入ゲートを閉めてポンプ場の流入水を制御することがある。ゲートの操作を急激に行う場合や開度が小さい場合には、上流の管きよ内水位が急激に上昇するとともに、衝撃が伝播して管きよ内水位の急変をもたらす原因となる。

③ 空気が残存しやすい、または空気を連行する管きよ縦断形

管きよ内の水位が急激に上昇した場合に、管きよ内の空気が外部に排出されずに溜まる構造となっている位置や、急勾配から緩勾配になり流れが射流（開水路の流れで微小水面波の伝播速度より流速が速い流れ）から常流（開水路の流れで微小水面波の伝播速度より流速が遅い流れ）に遷移する構造となっている位置周辺では、空気を管きよ内に連行することが考えられ危険度が高くなる。この場合、管きよ内に残存する

空気量が多ければ多いほど危険度は高くなる。

④ 埋設深が深い管きよ

埋設深が深い管きよでは、マンホール深も深いことから管路施設内に残存している空気が多い。また、被圧空気塊が膨張しながら加速されてマンホール内を上昇し、吹き出す現象が発生しやすくなる。

⑤ 大口径の管きよ

断面が大きい管きよでは、管路施設内に残存している空気量が多い。管きよ内の水位が急激に上昇し、かつ排気能力が低い場合には、空気圧が上昇する原因となる。

⑥ 伏越し、管きよの急曲部、合流部等の流下障害

伏越し、管きよの急曲部、合流部等の流れの損失が大きな構造物や貯留管等では、急激に流入量が増加した場合、ポンプ場のゲートを閉めた場合と同じ現象が起る可能性がある。また、大型ごみのつまりによる流下障害も考えられる。

⑦ 落差工

落差工では、水の落下に伴って空気を連行し管きよ内に空気が抽入されることになる。また、水の落下が内部残存空気の排出を阻害することもある。

⑧ 施設の排気能力不足

通常の管路施設では、取付け管（雨水管路施設）やマンホールふたの穴から排気される。マンホールや取付け管が少ない管きよやマンホールふたの穴が小さいかない場合などは管きよ内の空気が排出され難くなる。

⑨ 凹地や急斜面から緩斜面への変化点

地形上凹地や、急斜面から緩斜面への変化点では、管きよが満管となった後にさらに水位が上昇した場合に、動水勾配線が地上に出て溢水することになる。このような場所は、マンホールふたが下方からの空気圧や水圧を最も受けやすい位置である。

⑩ マンホールのふた・側塊の耐圧力不足

マンホールのふた・側塊の耐圧力よりマンホール内の水圧、または空気圧が勝る場合にふたが浮上・飛散する。

以上の要因とマンホールふたの浮上・飛散に至る現象（Ⅰ.水圧の上昇、Ⅱ.空気圧の上昇及びⅢ.空気塊の急浮上）との関係について、危険度の高くなる条件を整理したのが表2-1である。マンホールふたの浮上・飛散は複数の要因が作用し合って発生するが、危険度が高い状態が重なり合う地点及びその上流部の周辺で発生危険度が高くなるものと考えられる。

表2-1 現象と要因の関連と危険度の高くなる状態

現象 要因	I. 水圧の上昇	II. 空気圧の上昇	III. 空気塊の急浮上
①管きよの相対的流下能力	小	小	小
①ポンプ場の相対的揚水能力	小	小	小
②ポンプ場でのゲート閉操作	速い	速い	—
③管きよ縦断形（残存空気量）	—	多い	多い
④管きよの埋設深	—	深い	深い
⑤管きよの口径	—	大	大
⑥管きよの急曲部、合流部等の 流下障害	有	有	—
⑦落差工の落差	—	大	大
⑧施設の排気能力	—	小	—
⑨凹地や急斜面から緩斜面への 変化点	有	有	—
⑩マンホールふた、側塊の耐圧 力	小	小	小

2-3. マンホールふた浮上・飛散防止緊急安全対策

マンホールふたの浮上・飛散対策は、「2-2. マンホールふた浮上・飛散現象の発生要因」で挙げた要因を取り除くか、その状態を緩和することにある。緊急安全対策としては、短期間で実施可能なもので、即効性のあるものとして、下記の対策を対象として考える。

- (1) ポンプ場の運転操作(ポンプ運転、ゲート閉操作)の改善
- (2) 管路施設からの排気能力の向上
- (3) マンホールのふた・側塊の耐圧力の向上
- (4) 大型ごみの流入防止

また、マンホールふたの浮上・飛散が生じた場合においても事故に繋がらないために、必要に応じてロック付転落防止用梯子をマンホールに設置する対策を講じることとする。

【解説】

マンホールふたの浮上・飛散対策としては、ポンプ排水量や管きよ流下能力の向上、縦断形や線形の改良等の抜本的な改善策も中長期的には検討の対象とすべきであるが、緊急に取り得る現実的な対策としては、下記の項目が挙げられる。

(1) ポンプ場の運転操作(ポンプ運転、ゲート閉操作)の改善

ポンプの効率的な運転により排水能力を向上させるとともに、可能な範囲でゲート閉操作基準を修正する。具体的には下記の対策が挙げられる。

- ① ポンプの起動、停止設定水位の改善
- ② ゲートの緊急閉水位及び開度の見直し

緊急閉を作動させる水位を再検討するとともに、ゲート作動速度を減少させ、緊急閉の開度を見直して従来より大きめの開度とする。

- ③ 降雨予測運転の導入

(2) 管路施設からの排気能力の向上

管路施設からの排気能力の向上策には、マンホールふたの取替え及び排気口の設置がある。

- ① マンホールふたの取替え

- ・ 圧力開放型浮上防止用鉄ふた(図2-5、マンホール内の圧力が高まった場合はふたが一定の高さまで浮上して圧力が減じれば元に戻るもの)
- ・ 格子ふた(中ふた付き)(図2-6、空気弁を内蔵したグレーチング構造のふた)
- ・ 格子ふた(グレーチング式)

なお、格子ふたへの取替えについては、視覚障害者用の杖やハイヒール、土砂等の流入などの問題があり、設置場所の選定に当たっては、これらの点に注意する。

- ② 排気口の設置(図2-7、必要な排気量がマンホールふたのみでは確保できない場合や被圧空気塊の吹き出しが想定される箇所において、開口部から空気や水が噴出しても安全な位置に設置)

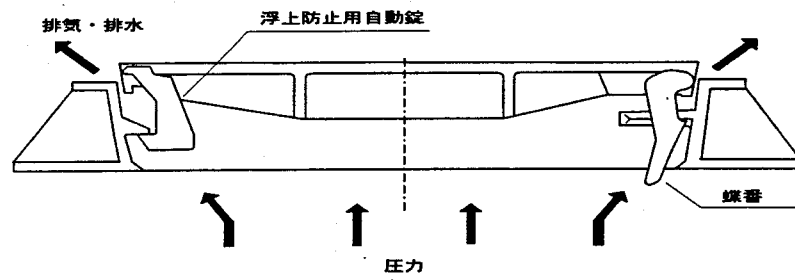


図2-5 圧力開放型浮上防止用鉄ふた

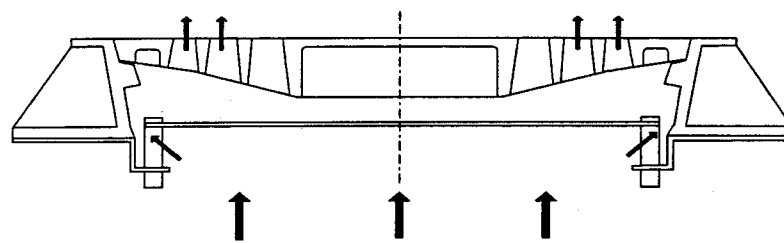


図2-6 格子ふた (中ふた付き)

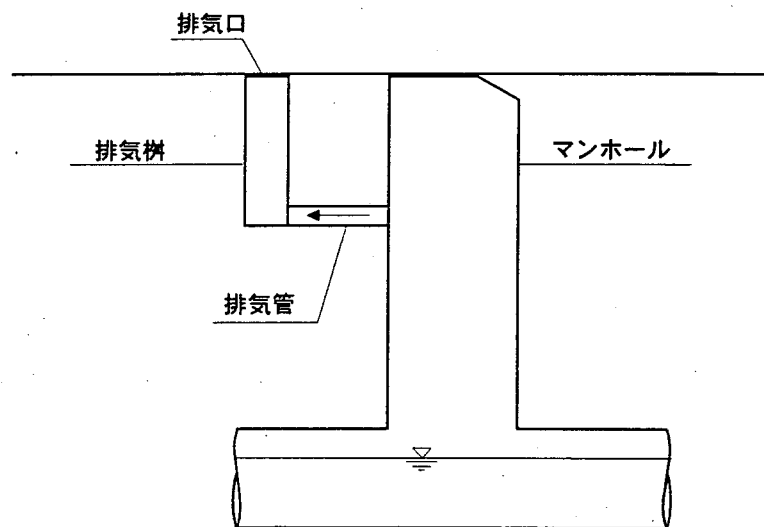


図2-7 排気口の設置

(3) マンホールのふた・側塊の耐圧力の向上

マンホールふたを圧力開放型浮上防止用鉄ふた（図2-5）または耐圧型ふた（図2-8）とする。この場合、マンホールふたと側塊の間は緊結構造とする。ただし、排水設備への影響等も考慮して、耐圧型ふたの場合には必要に応じて排気口を設置する。

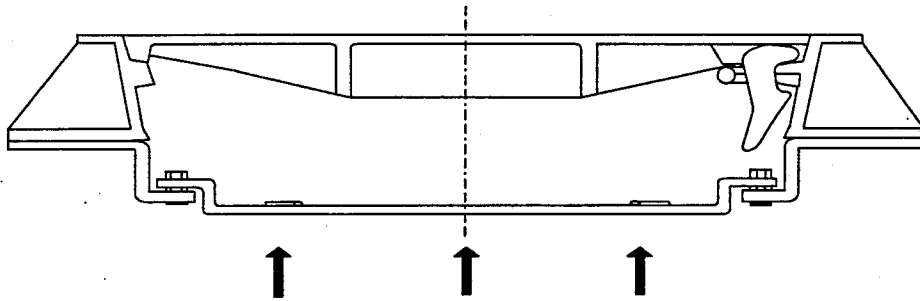


図2-8 耐圧型ふた

(4) 大型ごみの流入防止

開きよ部分からの流入があるところでは、スクリーンなどを設置して大型ごみの流入を防止する。

また、マンホールふたの浮上・飛散が生じた場合においても転落事故が発生しないように、必要に応じてロック付転落防止用梯子（図2-9）あるいは同様の転落防止機能を有する装置をマンホールに設置する対策を講じることが望ましい。

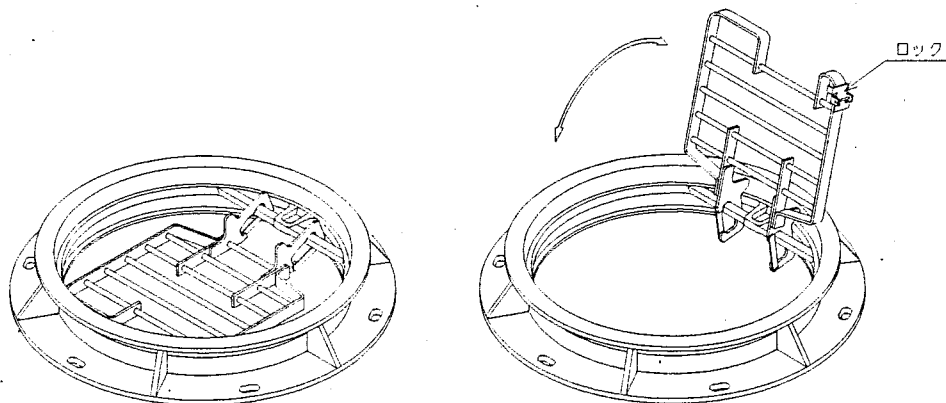


図2-9 ロック付転落防止用梯子

2-4. マンホール緊急安全対策の検討手順

以下の手順により緊急安全対策を作成し、順次実施することとする。

- (1) 危険箇所の推定及び対策優先順位の設定
- (2) 緊急安全対策の選定

【解説】

(1) 危険箇所の推定及び対策優先順位の設定

下水管きよにおいて、溢水の履歴があり、かつ流下能力の改善を実施していない箇所は、マンホールふたの浮上・飛散の危険度が最も高いと考えられるため、対策の最優先箇所とする。その他の危険箇所の推定と緊急安全対策優先順位の設定は、合流管路施設、雨水管路施設及び汚水管路施設ごとに下記の要領で行う。

また、対策の実施に際しては、歩道部や横断歩道といった通行者の存在箇所、人口密集地区など社会的状況等を勘案し重要な箇所を優先するものとする。

① 合流管路施設及び雨水管路施設 (図2-10)

管きよの流下能力及びポンプ場の揚水能力の現況計画流量に対する割合を算出する。その割合の小さい地区が相対的に危険度が高いことから、危険度が高い地区から順次、表2-2の項目についてチェックし危険箇所の推定と優先順位の設定を行う。表2-2において、各項目で危険度が一番高い事項または、数値以上に該当する地点周辺について各項目のレベルを記載し、危険度の高い項目の数が多い地点ほど緊急安全対策の優先度が高いものとする。

また、ゲート閉操作を行うポンプ場では、ポンプ場流入部より上流のマンホールでポンプ場に近いものほど危険度が高いものとする。

② 汚水管路施設 (図2-11)

汚水管路施設におけるマンホールふたの浮上・飛散現象は、ほとんどが雨天時の不明水及び浸水時に開けられたマンホールのふたからの流入量の増加に伴い生じる。

したがって、まず、処理区別、処理区分別、地区別または路線系統別に雨天時浸入水率を把握することとするが、算定する地域はできる限り小さくとることが望ましい。なお、雨天時浸入水率は、過去最大浸入水量の計画汚水量に対する割合として算定する。雨天時浸入水率が高い地域では一般に下記の地点の順に危険度が高い。

1. 地形的に急斜面から緩斜面への変化点
2. 断面の縮小部(下流管きよの勾配が急になり流量計算上は能力がある場合も含む) とその上流マンホール
3. 管きよの急曲部(合流地点を含む) から上流マンホール
4. 伏越し部とその上流マンホール
5. 地形が凹地となっている部分

また、ゲート閉操作を行うポンプ場で浸入水量の割合が多い地域では、ポンプ場流入部より上流のマンホールでポンプ場に近いものほど危険度が高いものとする。

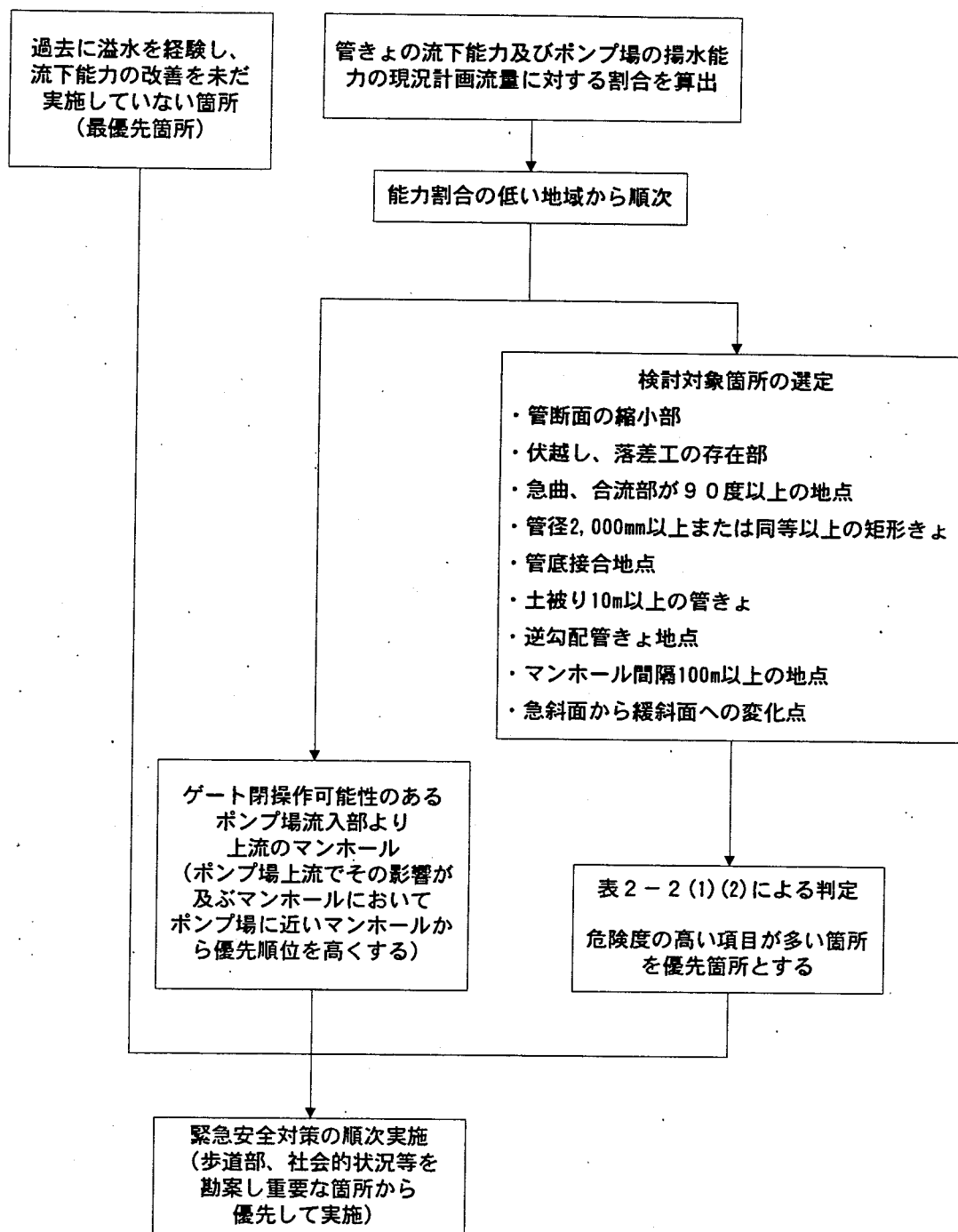


図 2-10 合流管路施設及び雨水管路施設の緊急安全対策優先箇所検討手順

表2-2(1) 危険地点、優先度判定表(最重要項目)

危険度		低い—————→高い		備考
構造物	管断面の縮小	90%	80%	下流/上流
	伏越し	有り		
	急曲	90度	90度以上	
	合流(雨水吐き室を含む)	90度	90度以上	
	落差工	有り		
マンホール	マンホール間隔	50m	100m	
	ふたの空気抜き	800cm ²	100cm ² 10cm ²	
地形	凹地部	凹地部		
	急斜面から緩斜面への変化点	変化点		
能力	管きよ流下能力	100%	50%	計画流量比
	ポンプ場揚水能力	100%	50%	

表2-2(2) 危険地点、優先度判定表(重要項目)

危険度		低い—————→高い		備考
管きよ形状	管径	Φ 1,000mm	Φ 2,000mm	く形の場合は断面積相当
	管きよの接合	管頂	水面 中間 管底	
	土被り	2m	5m 10m	
	縦断形	逆勾配		

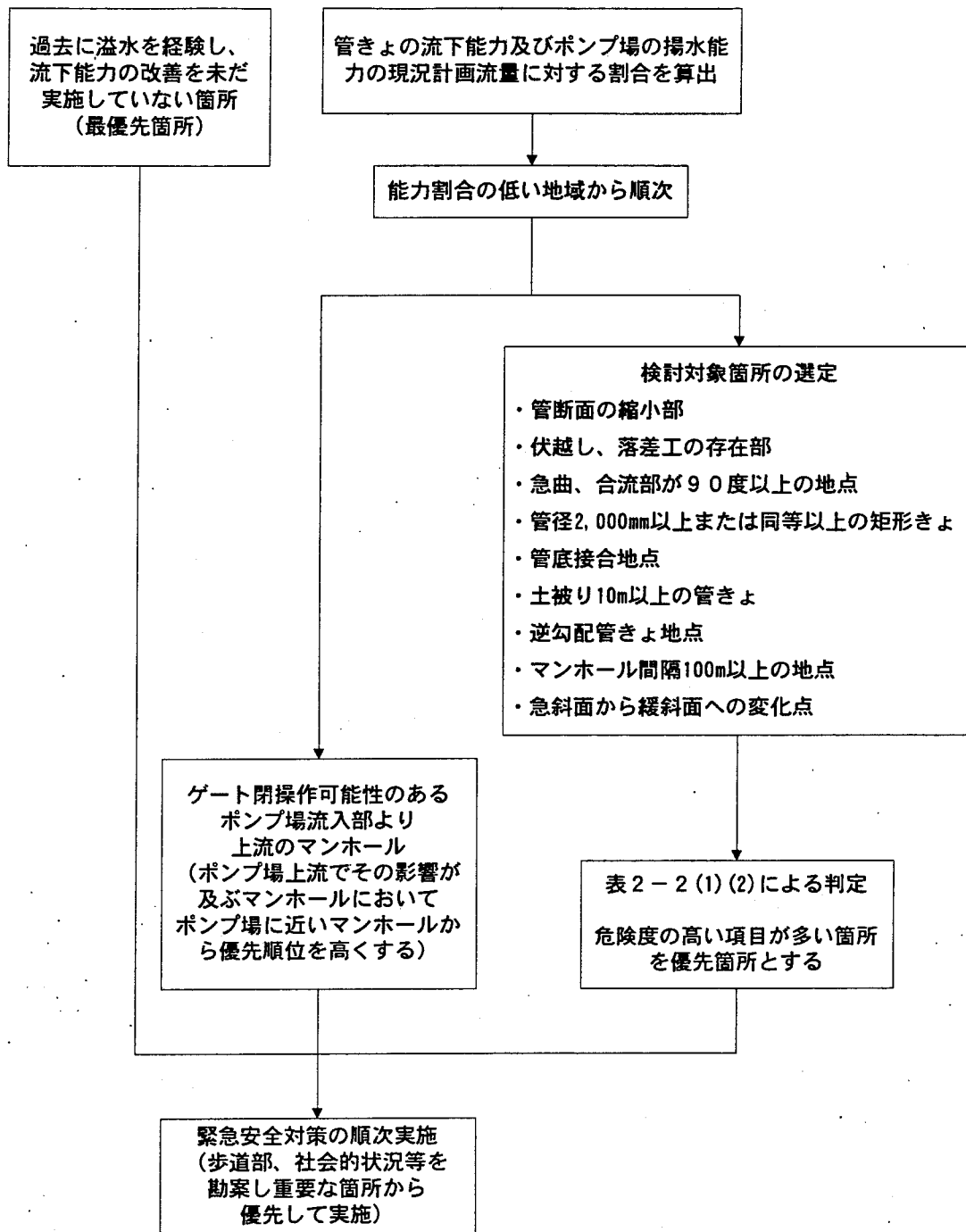


図 2-11 汚水管路施設の緊急安全対策優先箇所検討手順

(2) 緊急安全対策の選定

緊急安全対策としては、「2-3. マンホールふた浮上・飛散防止緊急安全対策」に挙げた項目を検討することとし、当該マンホールの状況等に応じて適当な対策を実施する。

- ① ポンプ場の運転操作(ポンプ運転、ゲート閉操作)の改善
- ② 管路施設からの排気能力の向上

マンホールふたの取替え及び排気口の設置を行うものである。

i) マンホールふたの取替え

合流管路施設及び汚水管路施設については、マンホールふたからの臭気漏れを考慮して、常時マンホール内からの排気がない構造とし、雨水管路施設に関しては、できる限り開口部の大きいマンホールふたとする。

a. 合流管路施設及び汚水管路施設

合流管路施設及び汚水管路施設のマンホールは、圧力開放型浮上防止用鉄ふたまたは格子ふた(中ふた付き)とする。

b. 雨水管路施設

雨水管路施設のマンホールは、圧力開放型浮上防止用鉄ふたまたは格子ふた(グレーチング式)とする。

なお、マンホールふたの取替えに当たっては、空気及び水による揚圧対策のために次の点に留意することとする(図2-12)。

- ・側塊(斜壁)にナットを埋め込むかまたはナットを埋め込んだ調整リングを側塊と接着接合し、これとマンホール受枠とをボルトで緊結する。
- ・マンホール受枠と側塊との調整部分にマンホール内部の水が浸入しないように、隙間を完全になくす。

ii) 排気口の設置

必要な排気量がマンホールふたのみでは確保できない場合や、被圧空気塊の吹き出しが想定される箇所では、開口部から空気や水が噴出しても安全な位置に排気口を設置する。

③ マンホールふた・側塊の耐圧力の向上

マンホールふたを圧力開放型浮上防止用鉄ふたまたは耐圧型ふたとする。マンホールふたと側塊の間は緊結構造とする。ただし、耐圧型ふたを用いる場合は必要に応じて排気口を設置する。

④ 大型ごみの流入防止

開きよ部分からの流入があるところでは、スクリーンなどを設置して大型ごみの流入を防止する。

⑤ 転落事故防止対策

マンホールふたの浮上・飛散が生じた場合においても転落事故が発生しないように、必要に応じてロック付転落防止用梯子あるいは同様の転落防止機能を有する装置をマンホールに設置する。

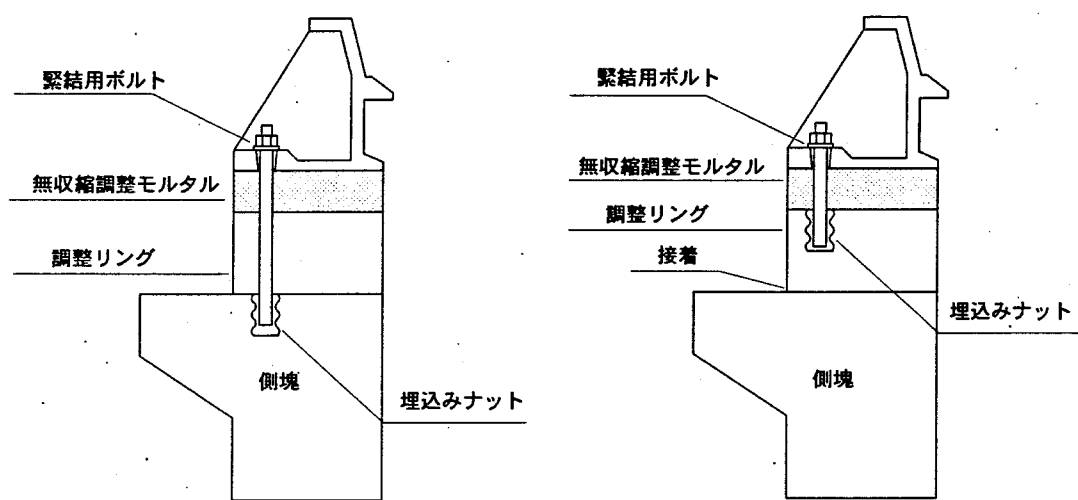


図 2-12 マンホールふた取替えの揚圧対策上の留意点

2-5. その他の留意事項

マンホールふたの浮上・飛散が事故に繋がらないために、緊急対策として必要に応じて以下の事項を盛り込むこととする。また、マンホールふたの機能を確保するためには維持管理を適正に行うことが重要である。

- (1) 豪雨時や浸水時には下水道のマンホールふたが浮上・飛散する可能性があることを、広報等で住民に周知する。
- (2) 豪雨時や浸水時には速やかに現場での対応が取れる体制を整える。

【解説】

その他の留意事項としては、豪雨時や浸水時には下水道のマンホールふたが浮上・飛散する危険性があることを、日頃から広報などで住民に周知するとともに、豪雨時には十分注意して通行することを住民等に注意喚起する等の対策を必要に応じて行うこととする。

また、豪雨時や浸水時に速やかに現場で対応できるように、レーダ雨量計の活用を検討するとともに、豪雨位置と危険個所の関連を整理し、的確に出動できる体制の整備を行いポンプ場等との連絡体制も整えておくものとする。さらに、このような対応等についてマニュアル等を整備し、迅速な対応が図れるよう措置することが望ましい。

加えて、マンホールふたの適正な機能を確保し発揮させるためには、例えば、排気口の堆積土砂除去など適正な維持管理を行うことが不可欠である。

第3章 マンホール安全対策

3-1. マンホール安全対策の基本的考え方

マンホールふたの浮上・飛散に対する安全対策の実施に際しては、第2章に示すように緊急安全対策としてその発生の危険度の高い地点における当面对応可能な対策を、まず、講じることになる。本章に示す中長期的な安全対策は、緊急安全対策の実施内容等を踏まえ水理的な検討等を行ってとりまとめることとし、雨水排除計画や下水道施設の改築計画を策定・改定する場合にその内容を反映させることとする。

【解説】

マンホールの緊急安全対策としては、発生の危険度の高い地点を特定し、その危険度の優先順位に応じて、可能な対策を速やかに講じていくことになるが、緊急安全対策と並行して中長期的な安全対策を検討する必要がある。中長期的な安全対策では、緊急安全対策で選定した危険度の高い箇所（過去に溢水を経験した箇所、流下能力不足となっている箇所、水面上昇や空気圧の上昇をもたらす施設構造となっている箇所）や緊急安全対策を実施した箇所について水理的な検討等を行い、可能な限り定量化を試みて対策案をとりまとめることとする。緊急安全対策と安全対策との関係は図2-1に示したとおりである。

本章では、中長期的な安全対策の検討手法及びその内容を述べるとともに、危険度を定量的に把握するために、定量的な検討が可能な水理現象について、その検討手順を示すものである。

なお、とりまとめた対策案は、雨水排除計画や下水道施設の改築計画の策定・改定する場合にその内容を反映させることとし、施設改築時等に合わせて実施することが望ましい。さらに、日頃の広報活動や適正な維持管理、現象解明のための水位観測、水理実験等を必要に応じて行うことも重要である。

3-2. マンホールふた浮上・飛散防止安全対策

マンホールふたの浮上・飛散対策は、「2-2. マンホールふた浮上・飛散現象の発生要因」で挙げた要因を取り除くか、その状態を緩和することにあるが、安全対策としては、下記のもののうち、地域の状況等に応じて実施可能な現実的対策を講じることとする。

- (1) ポンプ場の運転操作(ポンプ運転、ゲート閉操作)の改善
- (2) 管路施設からの排気能力の向上
- (3) マンホールのふた・側塊の耐圧力の向上
- (4) 大型ごみの流入防止
- (5) 排水施設的能力改善
- (6) 排水系統の見直し
- (7) 施設構造の改善
- (8) 浸入水量の削減

また、マンホールふたの浮上・飛散が生じても事故に繋がらないようにするために、必要に応じてロック付転落防止用梯子をマンホールに設置することとする。

【解説】

マンホールふたの浮上・飛散防止安全対策は、緊急安全対策とそれに引き続く中長期的な安全対策とに分けられる。緊急安全対策としては、ポンプ場の運転操作(ポンプ運転、ゲート閉操作)の改善、管路施設からの排気能力の向上、マンホールのふた・側塊の耐圧力の向上及び大型ごみの流入防止が考えられる。また、中長期的な安全対策としては緊急安全対策に加え、排水施設的能力改善、排水系統の見直し、施設構造の改善及び浸入水量の削減が挙げられる。

安全対策を検討する際には、地域特性、施設特性、経済性等を踏まえ、実現可能な対策を選定する必要がある。安全対策の内容を以下に示す。

(1) ポンプ場の運転操作(ポンプ運転、ゲート閉操作)の改善

ポンプの効率的な運転により排水能力を向上させるとともに、可能な範囲でゲート閉操作基準を修正する。具体的には下記の対策が挙げられる。

- ① ポンプの起動、停止設定水位の改善
- ② ゲートの緊急閉水位及び開度の見直し

緊急閉を作動させる水位を再検討するとともに、ゲート作動速度を減少させ、緊急閉の開度を見直して従来より大きめの開度とする。

- ③ 先行待機型ポンプの導入による低水位運転
- ④ 降雨予測運転の導入

(2) 管路施設からの排気能力の向上

管路施設からの排気能力の向上策には、マンホールふたの取替え及び排気口の設置がある。

① マンホールふたの取替え

- ・ 圧力開放型浮上防止用鉄ふた（図2-5、マンホール内の圧力が高まった場合はふたが一定の高さまで浮上して圧力が減じれば元に戻るもの）
- ・ 格子ふた（中ふた付き）（図2-6、空気弁を内蔵したグレーチング構造のふた）
- ・ 格子ふた（グレーチング式）

なお、格子ふたへの取替えについては、視覚障害者用の杖やハイヒール、土砂等の流入などの問題を別途引き起こすので、設置場所の選定に当たっては、これらの点に注意する。

② 排気口の設置（図2-7、必要な排気量がマンホールふたのみでは確保できない場合や、被圧空気塊の吹き出しが想定される箇所において、開口部から空気や水が噴出しても安全な位置に設置）

(3) マンホールのふた・側塊の耐圧力の向上

マンホールふたを圧力開放型浮上防止用鉄ふたまたは耐圧型ふた（図2-8）とする。この場合、マンホールふたと側塊の間は緊結構造とする。ただし、排水設備への影響等も考慮して、耐圧型ふたの場合には必要に応じて排気口を設置する。

(4) 大型ごみの流入防止

開きよ部分からの流入があるところでは、スクリーンなどを設置して大型ごみの流入を防止する。

(5) 排水施設の能力改善

排水施設の能力改善は、雨水排除計画と整合を図ることが必要である。雨水排除計画が降雨や雨水流出の実態と異なっているような場合は、計画の見直しを行い、雨水排除計画の一環として安全対策を検討することとする。ポンプ場の揚水能力を向上させることは、ポンプ場の運転操作（ポンプ運転、ゲート閉操作）の改善にも繋がることとなる。また、計画降雨を超過する降雨に対して排水施設の能力改善を行う場合には、対策を講じたときの費用と効果を十分勘案する必要がある。

① 管きよの流下能力の改善

管きよ断面の拡大、増強管や貯留管、雨水調整池の設置等を行い、管きよの流下能力を向上させる。

② ポンプ場の揚水能力の改善

ポンプの増強、ポンプ場の新設及び増設によりポンプ場の揚水能力を向上させる。

(6) 排水系統の見直し

排水系統の見直しは、排水系統の能力改善と同様に雨水排除計画と整合を図り、雨水排除計画の一環としてマンホール安全対策を検討することとする。

危険箇所に関係する排水系統の見直しにより、ふた浮上・飛散の要因を緩和することになる。ただし、この見直しにより新たな危険箇所を生じさせることがないよう確認する必要がある。排水系統の見直しとして下記のもの挙げられる。

① 当該排水区内での排水系統の見直し

危険箇所の上流域の一部を下流部へバイパスすることにより危険箇所への雨水量を減少させる。

② 他排水区への変更

危険箇所に影響を与える排水区域の一部を他排水区へ変更し、危険箇所の緩和を図る。このとき、変更先の排水施設の能力に余裕があることが前提であり、変更先において危険箇所が発生しないよう留意することが必要である。

(7) 施設構造の改善

水位の上昇をもたらすような施設構造の改善を行う。施設構造の改善として下記のものなどが挙げられる。

① 管断面縮小部の改善

② 急曲部や合流部の改善

流入角度や合流角度が小さくなるように改善する。

③ 縦断形の改善

逆勾配や急勾配となっている管きよの縦断形を改善する。急勾配から緩勾配となる箇所については、跳水が発生する可能性があるため、跳水が発生しないような縦断形とする。

(8) 浸入水量の削減

汚水管路施設については、雨天時の浸入水量の削減対策を行う。雨水は、管きよ継手、本管と取付管やマンホールと管きよの接合不良部、管きよのクラック・破損部、雨水排水施設の汚水管きよへの誤接続部などから浸入する。浸入水の増加は、マンホールふたの浮上・飛散に加え、処理水質の悪化や管きよ内への土砂堆積、維持管理費の増大等の悪影響をもたらす。浸入水を削減するためには、浸入水発生の原因、浸入水量、浸入箇所などを把握し、管路の状況に応じた補修を行うことが必要である。また、浸入水量の削減対策方法については、「下水道管路施設における浸入水防止対策指針（社団法人 日本下水道協会）」を参考に検討することとする。

また、マンホールふたの浮上・飛散が生じた場合においても転落事故が発生しないように、必要に応じて図2-9に示すロック付転落防止用梯子あるいは同様の転落防止機能を有する装置をマンホールに設置することが望ましい。

3-3. マンホール安全対策の検討手順

マンホール安全対策の検討は、水理的検討が可能な現象と困難な現象とに分けて行うこととし、水理的検討が可能なものについては、以下の手順により安全対策を作成することとする。

(1) 危険箇所の選定

(2) 水理的検討

- ① 雨水流出量（流量ハイドログラフ）の算定
- ② 管きよ内の水位検討
- ③ 管路内の流体圧の算定
- ④ ふたの耐圧力との比較

(3) 安全対策の選定

なお、水理的検討が困難なものについては、危険度が高い地点でふたの耐圧力の確認を行い、安全対策を選定することとする。また、必要に応じて水理模型実験を行うことが望ましい。

【解説】

マンホールふたの浮上・飛散をもたらす水理現象には、衝撃圧（ウォーターハンマー現象、エアハンマー現象）と急激な水位上昇（背水、跳水の移動、動水勾配線の急勾配化、損失水頭の増大等）がある。このうち、下水管きよ網における衝撃圧については、水理的に未解明な現象であることから定性的に検討することとする。安全対策で定量的に検討する水理現象は、水理的に検討が可能なものとする。

水理的検討が可能な水理現象の安全対策検討手順は、まず、第2章2-4に示す手順に基づき急激な水面の上昇をもたらす危険箇所を選定し、その排水系統路線について水理的検討を行う。次にマンホールのふたが浮上・飛散しないための安全対策案を検討し、当該対策案を講じた場合の水理計算を再度行い対策として十分かどうか確認する。

水理的検討は、実績降雨等をもとに雨水流出量計算を行い、管きよ内の水位変化を時系列的に把握し管路内の流体圧を算定する。その一方、危険箇所のマンホールふたについて、ふたの耐圧力（ふた浮上に要するマンホール内の流体圧）を求め、管路内の流体圧がふたの耐圧力を上回るときはふたが浮上する可能性があるため、ふたの耐圧力を下回るように安全対策を選定する。

水理的検討が困難な水理現象の安全対策の検討手順については、その水理現象をもたらす要因を把握し、影響を及ぼすことが想定されるマンホールふたの耐圧力の確認を行い、実施可能な安全対策を選定することとする。また、必要に応じて水理模型実験も行うことが望ましい。

ここでは、水理的検討が可能な水理現象の安全対策の検討手順について以下に述べることとする。安全対策の検討手順を図3-1に示す。

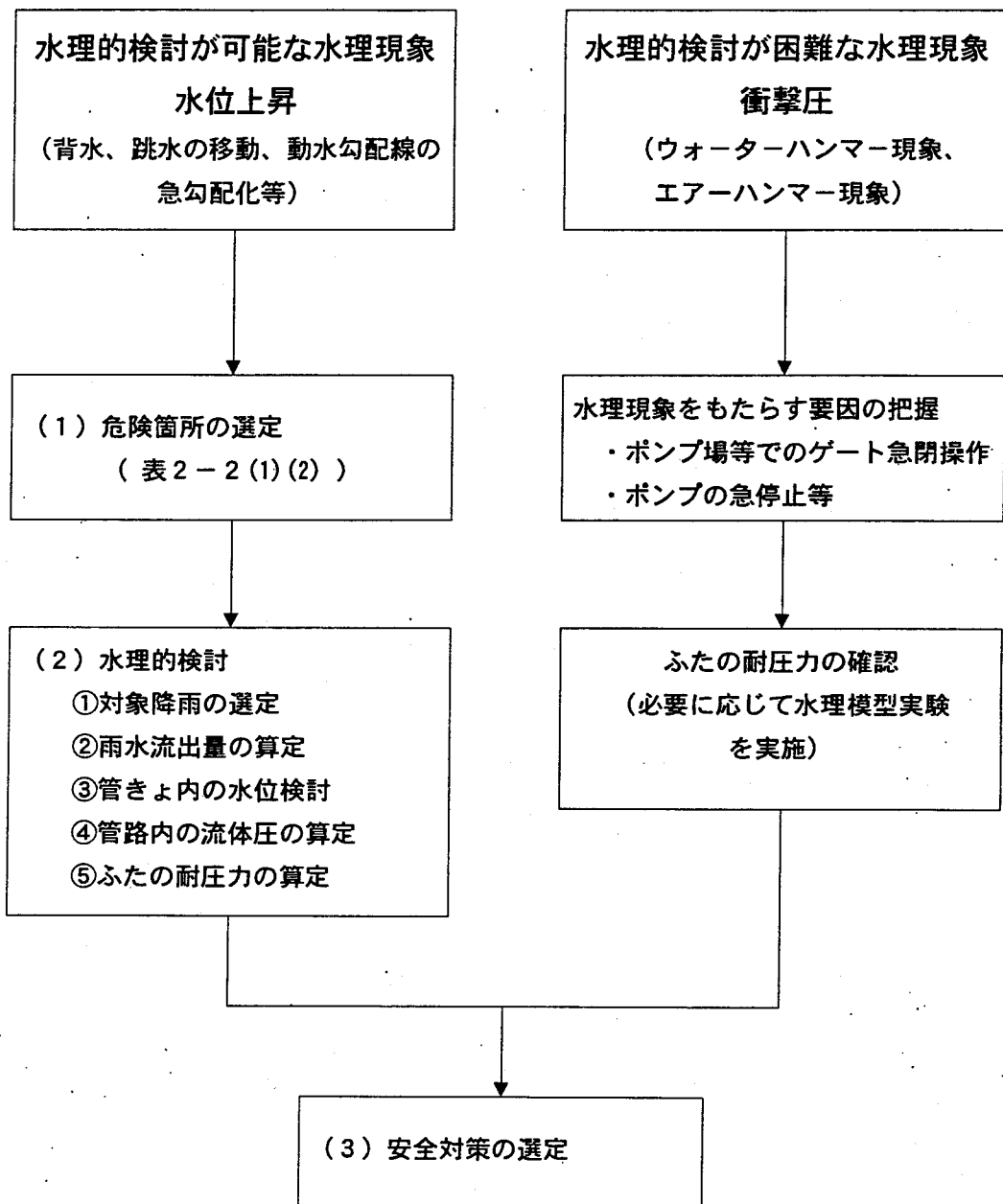


図3-1 安全対策の検討手順

(1) 危険箇所の選定

マンホールふたが浮上・飛散する可能性のある危険箇所は、原則として第2章表2-2を参考に緊急安全対策において最優先箇所として設定した①過去に溢水を経験し流下能力の改善を未だ実施していない箇所、及び②急激な水位上昇をもたらす要因のある箇所とする。また、緊急安全対策でマンホールふたの改善等を行った箇所についても危険箇所として選定し安全性の確認を行うこととする。

(2) 水理的検討

危険箇所を選定した排水系統において、過去の最大降雨実績や計画降雨をもとに雨水流出量（流量ハイドログラフ）及び管きよ内の水位を把握し、管路内の流体圧を算定する。管路内の流体圧がふたの耐圧力を上回っている場合は、ふたが浮上・飛散する可能性があるため、ふたの耐圧力を下回るように安全対策を実施する必要がある。水理的検討の手順を以下に示す。なお、管きよ内で跳水が生じ管路内に水が一杯になった瞬間に生じるウォーターハンマー的な昇圧によるふたの浮上・飛散は、現時点では計算できないことに留意する必要がある。

① 対象降雨の選定

水理的検討で対象とする降雨は、雨水排除計画の計画降雨及びマンホールふたからの溢水等を引き起こした実績降雨とする。このとき、マンホールふたが浮上・飛散する可能性のある降雨は、排水区の状態や施設の状態等により異なることから、計画降雨の確率年を変化させたり、数種類の異なる降雨パターンの実績降雨を選定し水理計算を行うことが望ましい。なお、短時間に降雨が集中するほど危険性が増すことに留意すべきである。

② 雨水流出量（流量ハイドログラフ）の算定

管きよ内の水位を時系列的に求める必要があるため、流量ハイドログラフ（時間毎の雨水流出量）を算定する必要がある。流量ハイドログラフの主な算定方法として以下のものが挙げられる。

1) 合理式合成法

単位図と合理式を組み合わせて計算する方法であり、計算時間間隔を流達時間としている。流達時間が長いと流出量の時間間隔も長くなり、短時間の急激な降雨に対して、管きよ内の水位変動を十分に表現できない場合があるため、時間間隔を任意に設定できるタイムエリア法または修正RRL法を用いることが望ましい。

2) タイムエリア法

合理式に基づき各等到達時間域面積に有効雨量を掛け流出量を求め、時間のずれを考慮して合成する方法である。時間間隔は任意に設定できる。

3) 修正RRL法

タイムエリア法により流入ハイドログラフを算定した後、管きよの貯留効果を考慮し流出量を求める。

なお、最近ではGISを用いた新しいソフトも実用化されている。

③ 管きよ内の水位検討

流れの状態を分類すると、流量が時間とともに変化しない流れが定流、変化する流れが不定流である。定流のうち流れの方向に水深や流速が変化しない流れが等

流、変化する流れが不等流である。現実の下水管きよ内の流れは、時間的、場所的に変化する不定流不等流が多い。水位の算定は、一般に等流、不等流、不定流の順に精度がよくなるが、計算が複雑になる。しかし、水理現象には未解明な問題が残されていることと、下水道システムが広範囲で複雑なものとなっていること等から、不定流解析によりすべての現象を再現できるものではないことに留意すべきである。

簡易的に管きよ内水位を求める場合には、等流または不等流計算により、厳密に計算を行うためには不定流計算により水位の変動を把握することとする。

管きよ内水位の計算方法としては以下のものが挙げられる。

1) 等流計算

流れの状態が等流と仮定できる箇所については等流で計算できるものとする。水位の変動は、時間ごとの流量から算定することができる。

2) 不等流計算

放流先河川等の背水の影響を受けるような場合は、等流計算では水位を把握できないことから不等流計算が必要となってくる。水位の変動は、時間ごとの流量から算定することができる。

3) 不定流計算

下水管きよ内の流れは不定流となることが多く、サージング現象等の管きよ内水位を把握するためには不定流計算が望ましい。しかし、計算が複雑となりコンピューターの使用が不可欠となる。近年、コンピューターの急速な進歩に伴い下水管きよ網を対象とした不定流の流出解析モデルが多く開発されてきている。しかし、その多くは管きよ内の空気は滞りなくマンホール等から吸排気されるものと仮定されており、急激な水位上昇により空気が残存し圧縮されるような流れは、他に何らかの影響を与えている可能性があり、現象を正確に把握することは現在のところ困難である。

④ 管路内の流体圧の算定

1) 管路内の圧力算定区間等の設定

管路内の流体圧を算定するためには、管きよ内の水位算定結果から、どの区間、どの時間帯で管路内の空気が閉じ込められて圧縮されるかを想定する必要がある。管きよ内の流れが開水路のときは、管路内の空気は上下流へと自由に移動でき排気される。流れが開水路状態から満管状態へと遷移し、上流部管きよが満管となっていると空気の排気は限定された区間で行われることとなる。この限定された区間の空気排気能力が不足していると空気の圧縮、空気圧の上昇が生じ、ふたの浮上・飛散を発生させる可能性が生じる。空気圧でふたが浮上・飛散すると想定されるような場合は、管きよ内の水位状況を判断し空気が閉じ込められる空間や時間帯を設定する必要がある。また、水圧によりふたが浮上・飛散すると考えられる場合には、水位がふたに達しているため、流体圧は個々のマンホールで算定することとなる。

圧力算定区間における管路内の流体圧は、空気圧と水圧とに分け以下に示す式により算定する。

2) 空気圧の算定

空気を圧縮性・非粘性流体として扱えば、空気圧は(3-1)式で算定される。

(1)式は連続式、(2)式は断熱可逆過程(流体内の任意の点で粘性、熱伝導が無視でき衝撃波などの非可逆現象が存在しない場合)における状態方程式である。

$$\left. \begin{aligned} d\rho/dt &= (\rho Q - m)/V & - (1) \\ P &= k\rho^\gamma & - (2) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3-1)$$

ただし、 $P/P_{0A} \geq 1/0.5282$ のとき、

$$m = 0.5786\rho ca$$

$1 \leq P/P_{0A} < 1/0.5282$ のとき、

$$m = \rho_0 c_0 a (2/(\gamma - 1))^{0.5} ((P/P_{0A})^{1-1/\gamma} - 1)^{0.5}$$

ここで、 ρ : 空気密度 (kg/m^3)

Q : 水位上昇による管路内の空気排除量 (m^3/sec)

t : 時間 (sec)

V : 管路内空気容量 (m^3)

P : 管路内空気圧 (Pa)

k : 定数 ($P_0/(\rho_0^\gamma) = 98,000/(1.205^{1.4}) = 75,482$)

γ : 空気の比熱比 (=1.4)

P_{0A} : 大気圧 (=98,000Pa)

m : ふた穴等から流出する質量流量 (kg/sec)

c : 空気音速 (m/sec) = $(\gamma \cdot P / \rho)^{0.5}$

a : 空気排気面積 (m^2)

ρ_0 : 大気密度 ($1.205 kg/m^3 @ 20^\circ C$)

c_0 : 大気音速 ($\gamma \cdot P_{0A} / \rho_0$)^{0.5} = $(1.4 \times (98,000 / 1.205))^{0.5} = 337.43 m/s$

3) 水圧の算定

水を非圧縮性流体と仮定するとマンホールふたに働く力Fは噴出時の断面縮小や粘性等無視すると(3-2)式から算定される。

$$\left. \begin{aligned} F &= p \cdot (A_3 - A_2) \\ \rho \cdot Q \cdot V_1 + p_1 \cdot A_1 &= \rho \cdot A_1 \cdot g \cdot y + \rho \cdot Q \cdot V_2 + p \cdot (A_1 - A_2) \\ Q &= A_1 \cdot V_1 = A_2 \cdot V_2 \\ \rho \cdot V_1^2 / 2 + p_1 &= \rho \cdot V_2^2 / 2 + \rho \cdot g \cdot y \end{aligned} \right\} \dots (3-2)$$

ここで F : マンホールふたに働く力 (N)

ρ : 流体密度 (kg/m^3)

Q : 流量 (m^3/sec)

V_1 : マンホール内の水塊上昇速度 (m/sec)

V_2 : 空気穴からの流体流出速度 (m/sec)

A_1 : マンホール面積 (m^2)

A_2 : 空気穴面積 (m^2)

A_3 : ふたの面積 (m^2)

p : ふたに働く圧力 (大気圧基準) (Pa)

p_1 : マンホール内圧力 (大気圧基準) (Pa)

g : 重力加速度 ($9.8 m/sec^2$)

y : 高度水頭 (m)

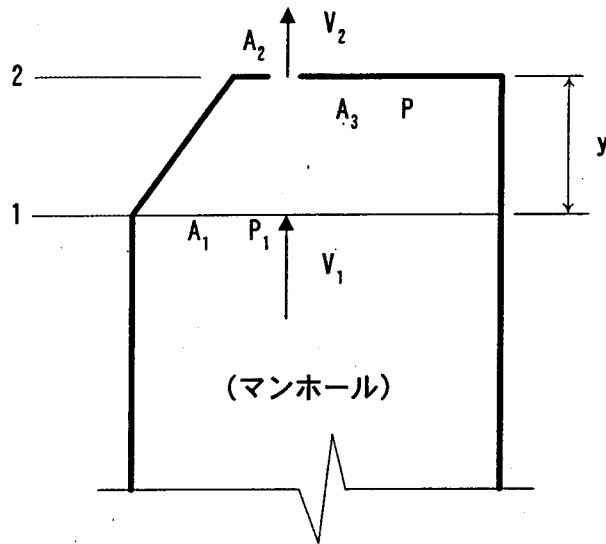


図3-2 式(3-2)において考慮すべきマンホール内の断面諸元の位置関係

⑤ ふたの耐圧力の算定

選定した危険箇所のマンホール構造(ふた重量、ふた面積、空気穴面積、形状)から、マンホール毎にふたの耐圧力(ふた浮上に要するマンホール内の流体圧)を算定する。

圧力ふたや圧力開放型浮上防止用鉄ふたのように、ふたと受枠とがボルトや蝶番等で固定されているものについては、そのボルト等の強度からふたの耐圧力が求められる。ふたの自重のみで閉まっているときの耐圧力については以下の方法により算定できる。

1) ふたの耐圧力の算定方法

マンホールふたが浮上・飛散するためには、必要な初速度をもって上方へ浮上するものと考えられる。初速度は、必要な浮上高さを近似的に与えることにより求められる。必要な初速度を得るためには、ふたとふた受枠とのすり合わせ区間距離を考慮に入れ、加速時間及び加速度が算定される。その加速度とふたの自重、ふたの面積から、マンホール内の流体圧が算定できる。

ふたの耐圧力の算定方法を以下に示す。

a) 初速度の算定

マンホールふたが浮上するための必要な初速度は(3-3)式により算定される。

$$\frac{V_0^2}{2g} = h \text{より}$$

$$V_0 = \sqrt{2gh} \dots\dots\dots (3-3)$$

ここで V_0 : 必要な初速度 (m/sec)
 g : 重力加速度 (9.8m/sec²)
 h : 浮上高さ (m)

b) 加速度の算定

必要な初速度となるための加速度は(3-4)式より算定される。

$$\Delta t = L / (1/2 \times V_0)$$
$$a = V_0 / \Delta t \quad \dots\dots\dots (3-4)$$

ここで Δt : 加速時間 (sec)
 L : ふたと受枠とのすり合わせ区間長 (m)
 a : 加速度 (m/sec²)

c) ふたの耐圧力の算定

ふたの耐圧力は(3-5)式より算定される。

$$m a = (A - a) \cdot p - m g \quad \dots\dots\dots (3-5)$$

ここで m : 質量 (kg)
 A : ふた面積 (m²)
 a : ふた穴面積 (m²)
 p : マンホール内流体圧 (Pa)
 g : 重力加速度 (9.8m/sec²)

(3) 安全対策の選定

安全対策は、「3-2. マンホールふた浮上・飛散防止安全対策」に挙げた項目を検討することとし、対象箇所の状況に応じて適当な対策を選定する。水理的検討によりふたが浮上・飛散する可能性があるかと判断(管路内の流体圧がふたの耐圧力を上回っている場合)されたときは、安全対策をとる必要がある。安全対策を選定した場合、ふたが浮上・飛散しないように再度、水理的検討を行い有効であるかどうか確認を行う必要がある。安全対策の項目を以下に示す。

[安全対策の項目]

- ① ポンプ場の運転操作(ポンプ運転、ゲート閉操作)の改善
- ② 管路施設からの排気能力の向上(マンホールふたの取替え、排気口の設置)
- ③ マンホールのふた・側塊の耐圧力の向上
- ④ 大型ごみの流入防止
- ⑤ 排水施設的能力改善(管きよの流下能力の改善、ポンプ場の揚水能力の改善)
- ⑥ 排水系統の見直し(当該排水区内での排水系統の見直し、他排水区への変更)
- ⑦ 施設構造の改善(管断面縮小部の改善、急曲部の改善、縦断形の改善)
- ⑧ 浸入水量の削減
- ⑨ 転落事故防止対策

3-4. その他の留意事項

マンホールふたの浮上・飛散が事故に繋がらないために、必要に応じて日頃から以下の事項に留意する。また、マンホールふたの機能の確保のためには維持管理を適正に行うことが重要である。

- (1) 豪雨時や浸水時には下水道のマンホールふたが浮上・飛散する可能性があることを、広報等で住民に周知する。
- (2) 豪雨時や浸水時には速やかに現場での対応が取れる体制を整える。
- (3) マンホールふたの浮上・飛散現象を解明するために、必要に応じて管きょ内水位等の挙動を把握するための観測や水理実験を行う。
- (4) マンホールふたに求められている安全性は浮上・飛散の他に多数あり浮上・飛散対策と併せ、他の安全対策にも留意する必要がある。

【解説】

その他の留意事項としては、豪雨時や浸水時には下水道のマンホールふたが浮上・飛散する危険性があることを、日頃から広報などで住民に周知するとともに、豪雨時には十分注意して通行することを住民等に注意喚起する等の対策を必要に応じ行うこととする。また、豪雨時や浸水時に速やかに現場で対応できるように、レーダ雨量計の活用を検討するとともに、豪雨位置と危険箇所に関連を整理し、的確に出動できるよう体制を整備し、ポンプ場等との連絡体制も整えておくものとする。このような対応等についてマニュアル等を整備し、迅速な対応が図れるよう措置することが望ましい。加えて、マンホールふたの適正な機能を確保し発揮させるためには、例えば、排気口の堆積土砂除去など適正な維持管理を行うことが不可欠である。これらは、第2章に示す緊急安全対策と共通のものである。

さらに、マンホールふたの浮上・飛散現象は、水理現象の不明確さ、下水管きょ網の複雑さから正確に把握することは困難である。そのため、その現象が頻繁に発生するような箇所については水位等の挙動を把握するための観測や水理実験を行う等、必要に応じて現象解明に努めることとする。

マンホールふたの浮上・飛散以外にマンホールふたに求められている安全機能を確保するためには、がたつき、破損・変形、スリップ、腐食、転落落下、不法投棄、不法侵入、雨水流入等を解決しなければならない。これらの事項についても、必要に応じ対策をとることが必要である。

参考資料

参-1. 安全対策の水理計算例

(1) 概要

検討対象区間は、雨水流出量の増大時に管路内に空気が閉じ込められ管路内の空気圧の上昇が想定される幹線管きよ下流部（断面φ 4,000mm、延長 2,000 m）とする。検討対象降雨は2種類の実績降雨を使用する。計画降雨については、雨水排水施設が計画降雨に基づいて整備されており危険性がないものとし、ここでは、実績降雨を対象とする。雨水流出量の算定はタイムエリア法、水位は等流計算で行う。計算の結果、計画規模以上の雨水流入量により水位が急激に上昇する水理現象が生じ、管路内圧力がふたの耐圧力を上回り、安全対策をとることが必要と判断された。安全対策は既存のふた（平受け）の圧力開放型浮上防止用鉄ふたへの取替え、排気口（φ 250mm、φ 300mm）の設置とした。安全対策後の管路内空気圧はふたの耐圧力以下となることを確認した。安全対策の概要を表-1に示す。

表-1 安全対策の概要

項目		現況	安全対策	
ふた	種類	平受け	圧力開放型浮上防止用鉄ふた	
	個数	10	10	
	耐圧力	5,600 Pa	294,000 Pa	
排気口	口径	—	φ 250 mm	φ 300 mm
	個数	—	1	1

平受けの耐圧力は計算例を参照、圧力開放型浮上防止用鉄ふたの耐圧力はふたの仕様による

(2) 排水区諸元

表-2 排水区諸元

項目	内容
排水面積	200 ha
流出係数	0.7
流達時間	30分
下流部管断面	φ 4,000 mm (1.0%)

(3) 検討対象区間

マンホールの安全対策を検討する箇所は、雨水流出量の増大時に管路内において空気の圧縮が生じることが想定される幹線管きよ下流部の断面φ 4,000 mm、延長 2,000 mの区間とする。検討対象区間のマンホール諸元を表-3に、縦断図を図-1に示す。

表-3 既存マンホールふたの諸元

種類	箇所数	内径(cm)	空気孔面積(m ²)	質量(kg)
平受け	10	60	0.0020	80
計			0.0200	

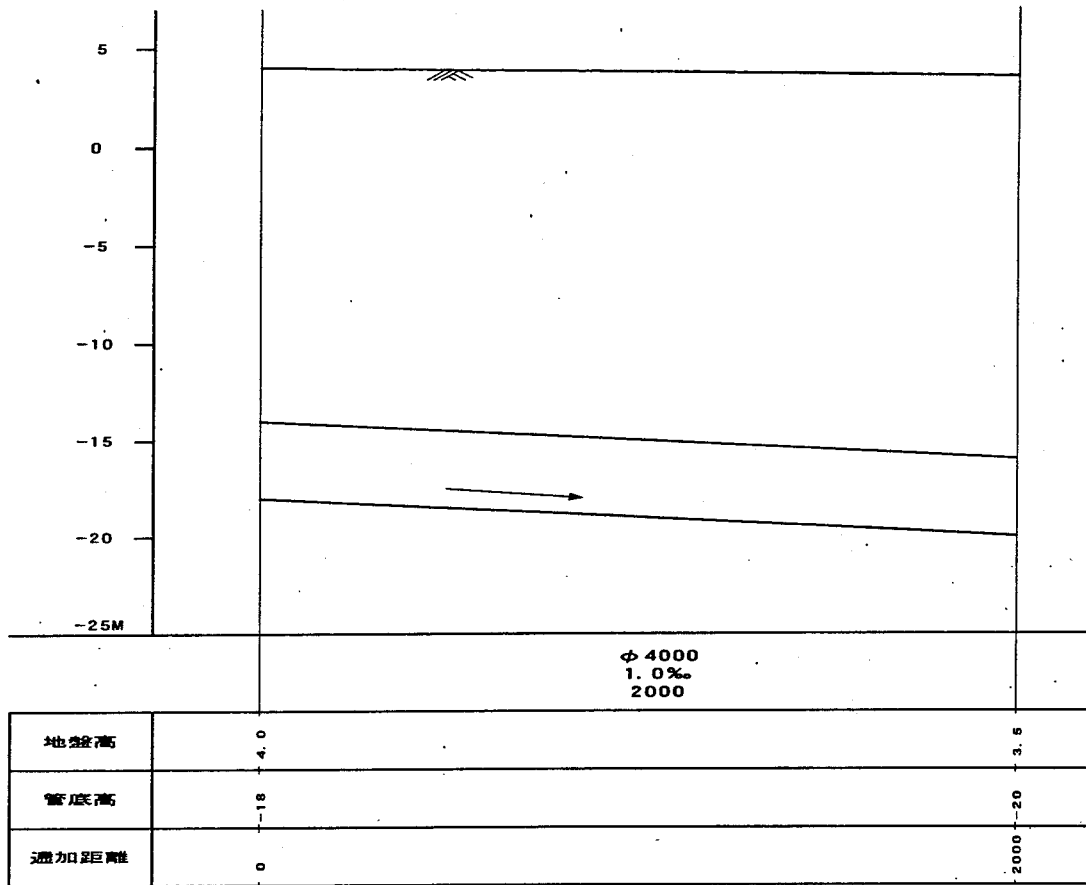


図-1 縦断面

(4) 水理的検討

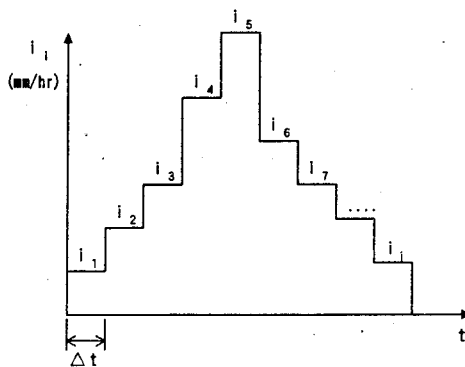
① 雨水流出量の算定

雨水流出量をタイムエリア法にて算出する。

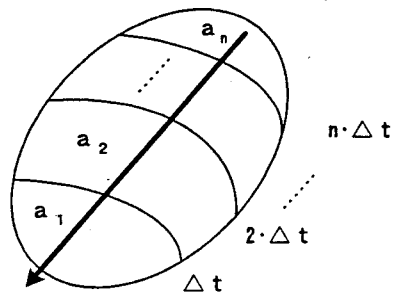
1) 算定法

タイムエリア法は、流出量の計算時間間隔毎に作成したハイトグラフと、この時間間隔毎の等到達時間域面積から、単位図の手法を用いてハイドログラフを求める手法である。

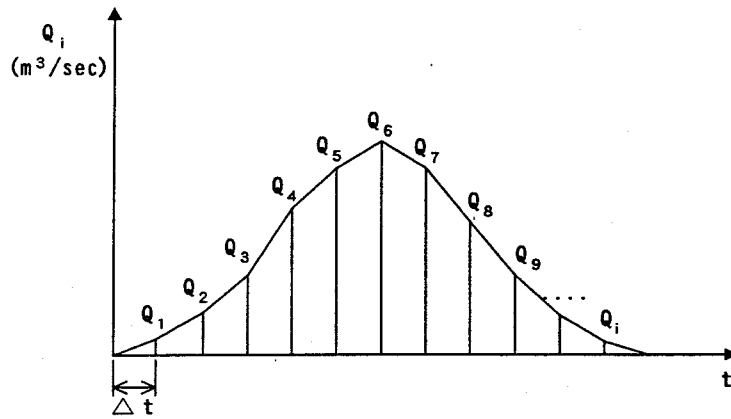
a) ハイトグラフ



b) 等到達時間域面積



c) 流量ハイドログラフ



$$Q_1 = f \cdot i_1 \cdot a_1 / 360$$

$$Q_2 = f \cdot (i_2 \cdot a_1 + i_1 \cdot a_2) / 360$$

$$Q_3 = f \cdot (i_3 \cdot a_1 + i_2 \cdot a_2 + i_1 \cdot a_3) / 360$$

$$Q_4 = f \cdot (i_4 \cdot a_1 + i_3 \cdot a_2 + i_2 \cdot a_3 + i_1 \cdot a_4) / 360$$

$$Q_5 = f \cdot (i_5 \cdot a_1 + i_4 \cdot a_2 + i_3 \cdot a_3 + i_2 \cdot a_4) / 360$$

$$\vdots$$

$$Q_i = f \cdot (\sum_{j=1}^n i_{i-j+1} \cdot a_j) / 360$$

ここに、 Q_i : 時刻 i における流量 (m^3/sec)
 f : 流出率
 i_i : 時刻 i の降雨強度 (mm/hr)
 a_j : 下流から j 番目の等到達時間域面積 (ha)
 n : 等到達区域の総数
 Δt : 計算時間間隔 (5分)

2) 雨水流出量

実績降雨 1、実績降雨 2 及び等到達時間域面積を表-4、表-5に、雨水流出量の算定結果を表-6に示す。

表-4 実績降雨

時刻	降雨量(mm)	
	実績降雨 1	実績降雨 2
1:00	1	
1:05	1	
1:10	2	
1:15	2	1
1:20	4	7
1:25	4	13
1:30	12	20
1:35	12	5
1:40	4	1
1:45	4	1
1:50	1	
1:55	1	

表-5 等到達時間域面積

時間域 (分)	面積(ha)
5	30
10	34
15	56
20	38
25	24
30	18
計	200

表-6 雨水流出量

時間 (分)	流量 (m ³ /s)	
	実績降雨1	実績降雨2
1:00	0.700	
1:05	1.493	
1:10	3.500	
1:15	5.180	0.700
1:20	8.447	5.693
1:25	11.340	15.960
1:30	20.113	34.347
1:35	28.653	43.120
1:40	34.627	46.667
1:45	36.213	35.980
1:50	28.140	23.193
1:55	22.027	13.393
2:00	12.927	3.547
2:05	6.113	0.980
2:10	3.127	0.420
2:15	0.980	0.000
2:20	0.420	0.000
2:25	0.000	0.000
2:30	0.000	0.000

② 管きよ内水位の算定

管きよ内の水位は、放流先等の水位の影響を受けないことが予想されるため、等流計算で行い、流量は管路内の圧力に関わらず流入し続けることとした。水位は下流部の断面φ 4,000 mm、延長 2,000 mの区間について算定する。また、満管の場合は動水勾配線により見かけの管きよ内水位を求める。管きよ内水位及び必要となる排気量を表-7 (実績降雨1)、表-8 (実績降雨2) に示す。

表-7 管きよ内水位 (実績降雨1)

時間 (分)	流量 (m ³ /s)	断面 (mm)	等流水深 (m)	動水勾配 (‰)	管きよ延長 (m)	管底高 (M)		見かけ水位 (M)		水位上昇速度 (cm/s)	排気量 (m ³)
						下流	上流	下流	上流		
1:00	0.700	4,000	0.42		2,000	-20.000	-18.000	-19.580	-17.580	0.140	1,405
1:05	1.493	4,000	0.60		2,000			-19.400	-17.400	0.060	959
1:10	3.500	4,000	0.91		2,000			-19.090	-17.090	0.103	1,936
1:15	5.180	4,000	1.11		2,000			-18.890	-16.890	0.067	1,389
1:20	8.447	4,000	1.44		2,000			-18.560	-16.560	0.110	2,457
1:25	11.340	4,000	1.69		2,000			-18.310	-16.310	0.083	1,951
1:30	20.113	4,000	2.37		2,000			-17.630	-15.630	0.227	5,413
1:35	28.653	4,000	3.07		2,000			-16.930	-14.930	0.233	5,189
1:40	34.627	4,000	4.00	1.28	2,000			-16.000	-13.434	0.499	4,434
1:45	36.213	4,000	4.00	1.40	2,000			-16.000	-13.193	0.080	0
1:50	28.140	4,000	3.03		2,000			-16.970	-14.970	-0.592	-4,707
1:55	22.027	4,000	2.52		2,000			-17.480	-15.480	-0.170	-3,747
2:00	12.927	4,000	1.82		2,000			-18.180	-16.180	-0.233	-5,551
2:05	6.113	4,000	1.21		2,000			-18.790	-16.790	-0.203	-4,714
2:10	3.127	4,000	0.86		2,000			-19.140	-17.140	-0.117	-2,447
2:15	0.980	4,000	0.49		2,000			-19.510	-17.510	-0.123	-2,207
2:20	0.420	4,000	0.33		2,000			-19.670	-17.670	-0.053	-775
2:25	0.000	4,000	0.00		2,000			-20.000	-18.000	-0.110	-986
2:30	0.000	4,000	0.00		2,000			-20.000	-18.000	0.000	0

粗度係数 0.013

表-8 管きよ内水位 (実績降雨2)

時間 (分)	流量 (m ³ /s)	断面 (mm)	等流水深 (m)	動水勾配 (‰)	管きよ延長 (m)	管底高 (M)		見かけ水位 (M)		水位上昇速度 (cm/s)	排気量 (m ³)
						下流	上流	下流	上流		
1:00	0.000	4.000			2.000	-20.000	-18.000	-16.000	-18.000	0.000	0
1:05	0.000	4.000			2.000			-16.000	-18.000	0.000	0
1:10	0.000	4.000			2.000			-16.000	-18.000	0.000	0
1:15	0.700	4.000	0.42		2.000			-19.580	-17.580	0.140	1.405
1:20	5.693	4.000	1.17		2.000			-18.830	-16.830	0.250	4.717
1:25	15.960	4.000	2.05		2.000			-17.950	-15.950	0.293	6.844
1:30	34.347	4.000	4.00	1.26	2.000			-16.000	-13.475	0.825	12.166
1:35	43.120	4.000	4.00	1.99	2.000			-16.000	-12.020	0.485	0
1:40	46.667	4.000	4.00	2.33	2.000			-16.000	-11.339	0.227	0
1:45	35.980	4.000	4.00	1.39	2.000			-16.000	-13.229	-0.630	0
1:50	23.193	4.000	2.61		2.000			-17.390	-15.390	-0.720	-7.763
1:55	13.393	4.000	1.85		2.000			-18.150	-16.150	-0.253	-6.002
2:00	3.547	4.000	0.92		2.000			-19.080	-17.080	-0.310	-7.001
2:05	0.980	4.000	0.49		2.000			-19.510	-17.510	-0.143	-2.606
2:10	0.420	4.000	0.33		2.000			-19.670	-17.670	-0.053	-775
2:15	0.000	4.000			2.000			-16.000	-18.000	-0.110	-986
2:20	0.000	4.000			2.000			-16.000	-18.000	0.000	0
2:25	0.000	4.000			2.000			-16.000	-18.000	0.000	0
2:30	0.000	4.000			2.000			-16.000	-18.000	0.000	0

1) 水位上昇速度計算例

表-7における、1:35 から 1:40 の5分間(300秒)の水位上昇速度 (v_{40})

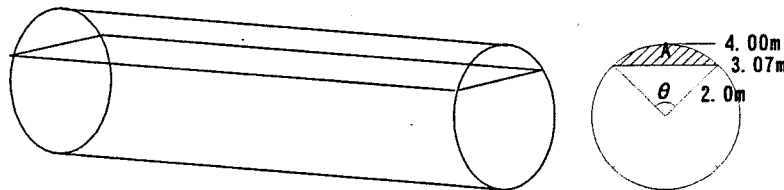
$$v_{40} = \frac{-13.434(1:40の上流水位) - \{-14.930(1:35の上流水位)\}}{300(\text{秒})}$$

$$= 0.00499 \text{ (m/s)}$$

$$= 0.499 \text{ (cm/s)}$$

2) 必要排気量

1:35 から 1:40 の5分間の必要排気量 (Ad_{40}) は、 ϕ 4000mm 管きよの 1:40 の水位(4.00 m)と 1:35 の水位(3.07 m)の差の断面積分であるから、図に示す断面積となる。



ϕ 4,000mm L=2,000m

$$\begin{cases} A = \frac{\pi}{4} \times D^2 \times \frac{\theta}{2\pi} - \frac{1}{2} \times 2 \sin \frac{\theta}{2} \times (3.07 - 2.0) \times 2 \\ \cos \frac{\theta}{2} = \frac{(3.07 - 2.00)}{2} \end{cases}$$

$$\cos \frac{\theta}{2} = \frac{1.07}{2}$$

$$\frac{\theta}{2} = 1.006289$$

$$\theta = 2.012577$$

$$\begin{aligned}
A &= \frac{\pi}{4} \times 4^2 \times \frac{\theta}{2\pi} - \frac{1}{2} \times 2 \sin \frac{\theta}{2} \times 1.07 \times 2 \\
&= 2\theta - 2 \times 1.07 \sin \frac{\theta}{2} \\
&= 2.21717(\text{m}^2) \\
Ad_{40} &= 2.21717 \times 2,000 \\
&= 4,434 (\text{m}^3)
\end{aligned}$$

③ 管路内空気圧の算定

ここでは、検討対象区間の管きよが満管となる直前において、管路内の空気が当区間に拘束され水位の上昇とともに空気圧も上昇するものと想定し、管路内の空気圧を算定することとした。管路内の空気圧が算出されれば、下式によりマンホールふたに下方から作用する圧力 (P_m) が求まる。

$$P_m = P - P_{0A}$$

ここで、 P_m : マンホールふたにかかる圧力

P : 管路内空気圧

P_{0A} : 大気圧

1) 管路内空気圧の計算例

管路内空気圧の計算対象時間は、管きよが満管となる時の 5 分間とする。管きよが満管になるまでは、その上流側の管きよ内へ排気されると考える。対象となる管きよが満管となる直前に上流側の管きよも満管になり対象とする管路内の空気は対象路線内のマンホールふたの穴からのみ排気されるとする。

したがって、表-7の事例では、1:35 から 1:40 を計算対象とし、1:35 を経過時間 0 秒として 1 秒単位で計算する。表-7より、この時点の管路内空気量 (V_0) は 4,434 (m^3)、空気密度 (ρ_0) は大気密度と同じ 1.205 (kg/m^3) とする。

管路内空気圧 (P) は式 (3-1) により計算される。

[参考文献: 岩浪他、基礎力学演習流体力学] (実教出版、1990)

$$\left. \begin{aligned}
d\rho/dt &= (\rho Q - m)/V & - (1) \\
P &= k\rho^\gamma & - (2)
\end{aligned} \right\} (3-1)$$

ただし、 $P/P_{0A} \geq 1/0.5282$ のとき、

$$m = 0.5786\rho ca$$

$1 \leq P/P_{0A} < 1/0.5282$ のとき、

$$m = \rho_0 c_0 a (2/(\gamma - 1))^{0.5} ((P/P_{0A})^{1-1/\gamma} - 1)^{0.5} \quad - (3)$$

ここで、 ρ : 空気密度 (kg/m^3)

Q : 水位上昇による管路内の空気排除量 (m^3/sec)

t : 時間 (sec)

V : 管路内空気容量 (m^3)

P : 管路内空気圧 (Pa)

k : 定数 ($P_0/(\rho_0^\gamma)$) = $98,000/(1.205^{1.4}) = 75,482$

γ : 空気の比熱比 (=1.4)

P_{0A} : 大気圧 (=98,000Pa)

m : ふた穴等から流出する質量流量 (kg/sec)

c : 空気音速 (m/sec) = $(\gamma \cdot P / \rho)^{0.5}$

a : 空気排気面積 (m²)

ρ_0 : 大気密度 (1.205kg/m³:20°C)

c_0 : 大気音速 $(\gamma \cdot P_{0A} / \rho_0)^{0.5} = (1.4 \times (98,000 / 1.205))^{0.5} = 337.43\text{m/s}$

(1) 式を差分式で表すと、

$$\bar{Q} = \frac{Q(t) + Q(t + \Delta t)}{2}, \bar{V} = \frac{V(t) + V(t + \Delta t)}{2}, \bar{m} = \frac{m(t) + m(t + \Delta t)}{2} \text{ として}$$

$$\frac{\rho(t + \Delta t) - \rho(t)}{\Delta t} = \left[\frac{(\rho(t + \Delta t) + \rho(t))}{2} \bar{Q} - \bar{m} \right] / \bar{V}$$

(t) = $i - 1$, ($t + \Delta t$) = i とし、上式を整理して ρ_i を求めると、

$$\rho_i = \frac{(2\bar{V}_i + \Delta t \cdot \bar{Q}_i)\rho_{i-1} - 2\Delta t \bar{m}_i}{2\bar{V}_i - \Delta t \bar{Q}_i}$$

これを (2) 式に代入して

$$P_i = k\rho_i^\gamma$$

$$P_i = 75,482 \times \left\{ \frac{(2\bar{V}_i + \Delta t \cdot \bar{Q}_i)\rho_{i-1} - 2\Delta t \bar{m}_i}{2\bar{V}_i - \Delta t \bar{Q}_i} \right\}^{1.4} \quad - (4)$$

となる。

計算時間間隔 $\Delta t = 1$ 秒として (4) 式は

$$P_i = 75,482 \times \left\{ \frac{(2\bar{V}_i + \bar{Q}_i)\rho_{i-1} - 2\bar{m}_i}{2\bar{V}_i - \bar{Q}_i} \right\}^{1.4} \quad - (5)$$

$$\text{ここに } (\bar{V}_i = \frac{V_i + V_{i-1}}{2}, \bar{Q}_i = \frac{Q_i + Q_{i-1}}{2}, \bar{m}_i = \frac{m_i + m_{i-1}}{2})$$

式 (5) において \bar{V}_i と \bar{Q}_i は表計算ソフトにより計算は容易となる。以下に \bar{V}_i と \bar{Q}_i の計算例を示す。

a) 管路内空気容量 (V)

管路内空気容量は、その時点の管きよ内の流水断面以外の容積であるから、マンホール部を無視すると「水位上昇速度計算例における必要排気量」の計算と同様となる。

0 秒時の管路内空気容量 (V_0) は表-7 より計算開始水位を 3.07m としたから必要排気量と同様 $V_0 = 4,434\text{m}^3$ である。水位上昇速度は表-7 より 0.499cm/s であるので、約 0.005m/s として、1 秒後の水位は 3.075m(3.07+0.005)となる。 V_0 と同様にして $V_1 = 4,401\text{m}^3$ と計算される。

$$\text{したがって、} \bar{V}_1 = \frac{V_0 + V_1}{2} = \frac{4,434 + 4,401}{2} = 4,417.5(\text{m}^3) \text{ となる。}$$

b) 空気排除量 (Q)

空気排除量(Q)は、管路内から排気された体積であるから

$$\begin{aligned} Q_1 &= V_0 - V_1 \\ &= 4,434 - 4,401 \\ &= 33\text{m}^3 \text{ となり} \end{aligned}$$

$$\bar{Q}_1 = \frac{Q_0 + Q_1}{2} \text{ で}$$

$$Q_0 = 0 \text{ であるから}$$

$$\bar{Q}_1 = 16.5\text{m}^3 \text{ となる。}$$

\bar{V}_1 及び \bar{Q}_1 を (4) 式に代入して P_1 を計算すると

$$P_1 = 75,482 \times \left\{ \frac{(2 \times 4,417.5 + 16.5)\rho_0 - 2\bar{m}_1}{2 \times 4,417.5 - 16.5} \right\}^{1.4} \quad - (6)$$

$$\left(\bar{m}_1 = \frac{m_0 + m_1}{2} \right)$$

となる。

$$\text{ここに } \rho_0 \text{ は (2) 式より } P_0 = k\rho_0^{1.4} \quad - (7)$$

計算開始時の管路内空気圧は大気圧に等しいから

$$P_0 = P_{0A} = 98,000 \text{ Pa}$$

$$\begin{aligned} \text{(7) 式より } \rho_0 &= \left(\frac{98,000}{75,482} \right)^{1/1.4} \\ &= 1.205 \end{aligned}$$

これを (6) 式に代入して

$$P_1 = 75,482 \times \left(\frac{8,851.5 \times 1.205 - 2 \frac{m_0 + m_1}{2}}{8,818.5} \right)^{1.4} \quad - (8)$$

計算開始時 P_0 は、大気圧と等しいから $P_0 / P_{0A} = 1$ であり、(3) 式より $m_0 = 0$ となる。本来ならば (8) 式に $m_0 = 0$ を代入し、収束計算を行って P_1 と m_1 を求めるべきであるが P の変動は大きくないため、 $m_i = m_{i-1}$ としても計算結果に大きな差は出ないと考えられる。したがって、 $m_1 = m_0 = 0$ と仮定して (8) 式は

$$\begin{aligned} P_1 &= 75,482 \times \left(\frac{8,851.5 \times 1.205}{8,818.5} \right)^{1.4} \\ &= 98,514 \text{ Pa} \end{aligned}$$

これによりマンホールのふたにかかる 1 秒後の空気圧 (P_{m1}) は

$$\begin{aligned} P_{m1} &= P_1 - P_{0A} \\ &= 98,514 - 98,000 \\ &= 514 \text{ Pa} \end{aligned}$$

と計算される。

上記の計算で添字を 1 ずつ足して計算すれば P_{mn} が逐次求められる。

以上のようにして計算されたふたに作用する下方からの空気圧を図-2に示す。

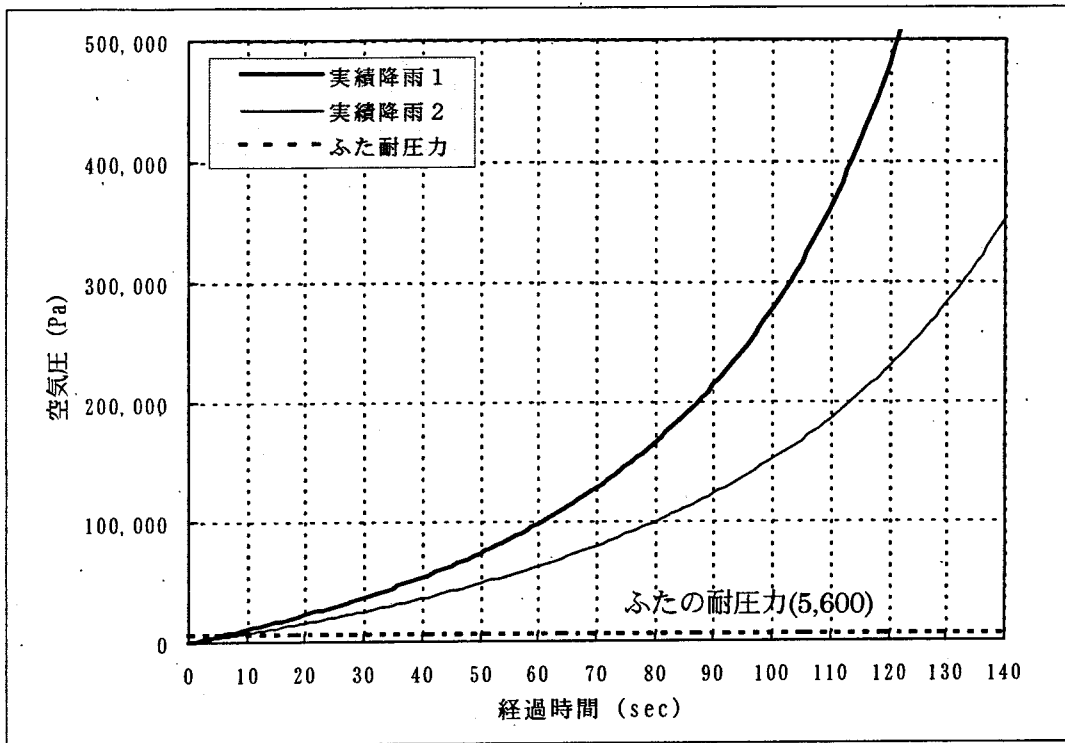


図-2 ふたに作用する下方からの空気圧 (現況)

④ ふたの耐圧力の算定

マンホールふたの浮上に要する浮上高さを5 cm (ふたの受枠の高さ) と仮定して、検討対象区間のふたの耐圧力 (このケースでは空気圧) を求めると $P_{max} = 5,600 \text{ Pa}$ となる。

マンホールふたが浮上するに必要な初速度 (V_0) は式 (3-3) より

$$V_0 = \sqrt{2gh}$$

g : 重力加速度 (9.8 m/sec^2)
 h : 浮上高 (0.05 m)

$$V_0 = \sqrt{2 \times 9.8 \times 0.05}$$

$$= 0.99 (\text{m/s})$$

必要な初速度となるための加速度 (α) は式 (3-4) より

$$\begin{cases} \Delta t = L / \frac{1}{2} V_0 \\ \alpha = V_0 / \Delta t \end{cases}$$

$$\alpha = \frac{1}{2} V_0^2 / L$$

L : ふたと受枠とのすり合わせ区間長 (ふた厚として 5cm)

$$\alpha = \frac{1}{2} (0.99)^2 / 0.05$$

$$\approx 9.8 (\text{m/sec}^2)$$

ふたの耐圧力 (P_{max}) は式 (3-5) より

$$\begin{aligned}
 m\alpha &= (A - a) \cdot P_{\max} - mg \\
 m &: \text{ふたの質量 (80kg)} \\
 A &: \text{ふたの面積 } \left(\frac{\pi}{4} \times 60^2 \text{ cm}^2 \right) \\
 a &: \text{ふた穴面積 (20 cm}^2\text{)} \\
 P_{\max} &= \frac{m(\alpha + g)}{(A - a)} \\
 &= \frac{80 \times (9.8 + 9.8)}{\left(\frac{\pi}{4} \times 60^2 - 20 \right)} \\
 &= \frac{1568}{2807} \\
 &= 0.56 \text{ (N/cm}^2\text{)} = 5,600 \text{ (Pa)}
 \end{aligned}$$

⑤ マンホールふた浮上・飛散の可能性の検討

検討対象区間の管路内圧力は、実績降雨1、2ともにふたの耐圧力(5,600 Pa)以上に上昇することから、マンホールふたが浮上・飛散する可能性があり、安全対策を行う必要がある。

(5) 安全対策の設定

ここでは、マンホールふたを圧力開放型浮上防止用鉄ふたに取替えるとともに空気の排気量を増大させるために排気口を設置することとし、再度、管路内の空気圧を算定し、安全性を確認する。

① 安全対策後のマンホールふたの諸元

実績降雨1、2ともに管路内の空気圧が既存マンホールふたの耐圧力を上回っていることから10箇所とも圧力開放型浮上防止用鉄ふたに取替える。さらに、実績降雨1については、排気口(φ250mm)1箇所が(表-9)、実績降雨2については、排気口(φ250、φ300mm)2箇所が必要となる(表-10)。

表-9 安全対策の諸元(実績降雨1)

安全対策	箇所数	内径(mm)	空気孔面積(m ²)	備考
圧力開放型浮上防止用鉄ふた	10	600 (ふた径)	0.004 (1箇所)	ふた耐圧力 294,000 Pa
排気口	1	φ 250	0.049	
	計		0.089	

ふたの空気孔面積は圧力解放時

表-10 安全対策の諸元(実績降雨2)

安全対策	箇所数	内径(mm)	空気孔面積(m ²)	備考
圧力開放型浮上防止用鉄ふた	10	600 (ふた径)	0.004 (1箇所)	ふた耐圧力 294,000 Pa
排気口	1	φ 250	0.049	
	1	φ 300	0.071	
	計		0.160	

ふたの空気孔面積は圧力解放時

② 安全対策後の管路内空気圧の算定

マンホールふたの取替え及び排気口の設置後の管路内空気圧は、ふたの耐圧力 (294,000 Pa) 以下となり、この安全対策が有効であると考えられる。ふたに作用する下方からの空気圧を図-3に示す。

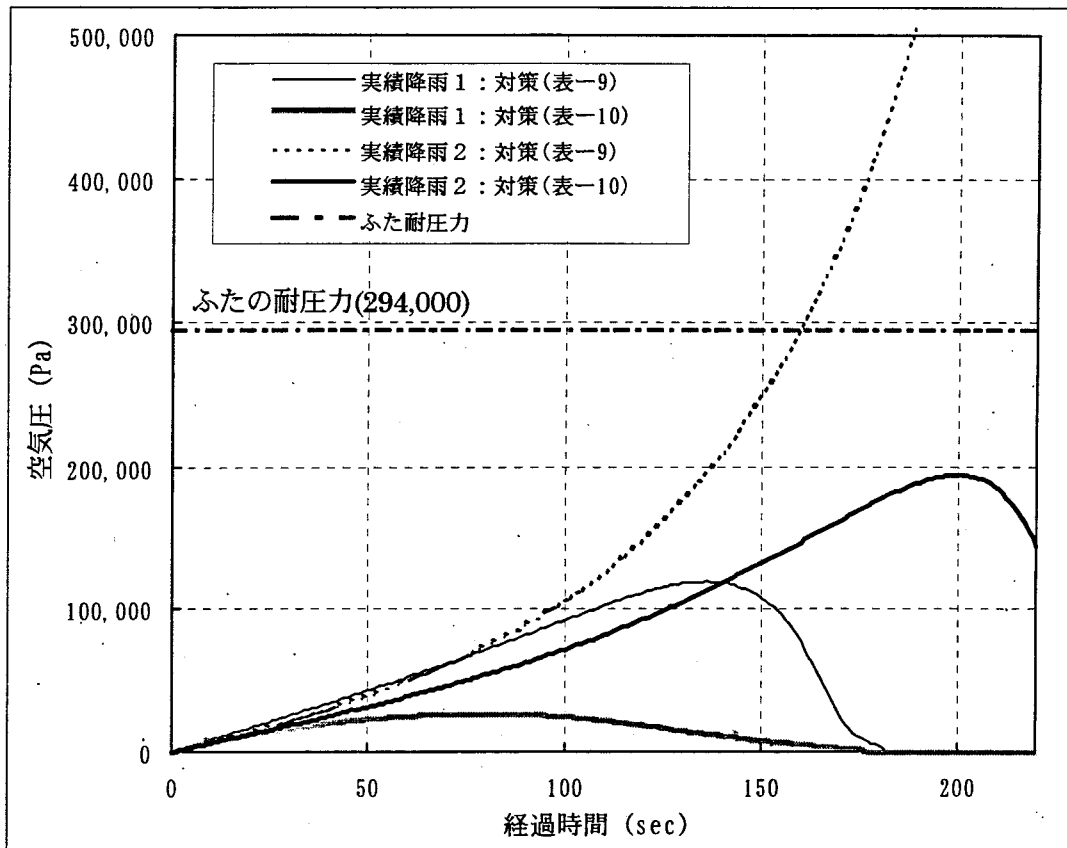


図-3 ふたに作用する下方からの空気圧 (安全対策後)

③ 安全対策の設定

実績降雨1では、表-9の対策、実績降雨2に対しては、表-10の対策が必要となる。

参一2. マンホールふたの浮上・飛散に関するアンケート調査結果

(1) アンケート対象都市

アンケート調査は以下の1都14市を対象とした。

(東京都、札幌市、仙台市、千葉市、川崎市、横浜市、名古屋市、京都市、大阪市、神戸市、広島市、北九州市、福岡市、横須賀市、高知市)。

(2) アンケート内容

マンホールの浮上発生時の概要、発生区域の諸元、浮上発生施設の諸元、浮上原因と対策についてアンケートを行う。アンケート内容を以下に示す。

1) 浮上発生時の概要

項目	記載例
①発生日時	■〇〇年 〇〇月 〇〇日
②降雨および浸水の状況	■1時間最大降水量〇〇mm、10分間最大降水量〇〇mm ■道路冠水(最大水深 15cm)
③浮上の状況	■設置個所から、2m程度離れた位置まで蓋が飛散した。 目撃者によれば水柱があがり、浮上後雨水の吹き出がみられた。 ■蓋が浮上しズレが生じた。目撃者なし。 ■蓋・受け枠・マンホール上部構造・路盤等が破壊した
④事故発生の有無	■車両が脱輪した。
⑤緊急対応内容	■目撃者→警察→下水道の情報伝達を経て、現場に職員を派遣、安全確保を行った。当日中に、格子蓋への置き換えを行った。 ■巡回中の職員が発見し、安全確保を行った。蓋を閉めた後状況を監視した。
⑥履歴	■以前に、近くのマンホール蓋にズレが生じたことがあった。

2) 発生区域の諸元

項目	記載例
①発生区域名称	■〇〇処理区 or 〇〇排水区など ■NO. X, X1, X2マンホール計3ヶ所(平面図と対照)
②排除方式	■合流式 or 分流式(雨水) or 分流式(汚水)
③排水方式	■自然排水(放流先、排水区域面積、放流地点の縦断面図、放流地点の外水位) or ポンプ排水(排水面積、ポンプ排水能力、当日の流入・揚水経過・ゲート操作記録)
④計画目標および施設計画基準 (対象施設建設当時の設計基準) (現況の流出係数)	■10年確率(50mm/hr) ■合理式、C=0.7 当時(■5年確率 ■実験式 70mm/hr C=0.6) 現況の流出係数(C=0.7)
⑤雨水整備率(当時及び現在) (概ねの排水能力)	■現在の雨水整備率 〇〇%(排水能力30mm/hr程度) ■当時の雨水整備率 〇〇%(排水能力20mm/hr程度)
⑥現在の浸水発生状況	■概ね30mm/hr程度の降雨時に一部で浸水が発生する地区である。

3) 浮上発生施設の諸元

項目	記載例
①管渠（機能、仕様）	<p>■機能・・・例えば次のような内容</p> <ul style="list-style-type: none"> ◇自然流下管渠（通常の管渠）か、それ以外の管渠（圧力渠等）か。 ◇幹線か、枝線か。 ◇浮上地点近辺の特殊構造物の有無（例えば伏せ越し直上流） ◇ポンプ施設からの放流管等 <p>■仕様</p> <ul style="list-style-type: none"> ◇○3000（管種）、土被り5m シールド工法 <p>■平面図（対象マンホールとポンプ場、伏せ越し、放流地点との関係が分かるもの）、縦断図、対象マンホール地点の流量計算表）を添付して下さい</p>
②マンホール（立坑、落差工、点検人孔、合流会所、換気孔など）構造	<p>■構造図を添付して下さい</p> <p>・・・しくみ、大きさが解る資料、簡単なポンチ絵でも可</p>
③マンホール蓋仕様	<p>■蓋の種別</p> <ul style="list-style-type: none"> ■○600, 空気抜き穴あり ■○600, 耐水圧形蓋（エア抜機構付き）

4) 浮上原因と対策

項目	記載例
①原因調査の実施状況	<p>■行っていない。</p> <p>■水理解析・圧力解析などを実施した。（検討書があれば添付下さい）</p>
②推定される浮上原因生じた水理現象とこれをもたらした要因	<p>■生じた水理現象</p> <ul style="list-style-type: none"> ◇水面急上昇による、大量な排気の発生と空気圧の上昇 ◇急上昇した水面による衝撃圧 ◇管渠内に残留したエアが脱気する時に発生するエアハンマー ◇急上昇した水面による衝撃圧 ◇ポンプ場ゲート急遮断時やポンプ急稼働・急停止時に発生したサージング、ウォーターハンマー <p>■これをもたらした要因</p> <ul style="list-style-type: none"> ◇施設計画値を越える雨水流入の発生。 ◇シールド工法のため、人孔が少なかった◇伏せ越し部での大きなロスの発生 ◇耐水圧形蓋を採用していたが、耐力が足りなかった。 ◇ポンプ場のゲート操作調整を行った。
③浮上箇所の対策	<p>■格子蓋に変更した。</p> <p>■圧力開放機構付き（浮上式蓋、飛散防止蓋などと呼ばれるもの）の蓋に変更した。さらに受け枠のマンホール本体構造への固定強化を図った。</p> <p>■空気抜き孔を新設した。</p>
④その他の対策	<p>■同様の特性を有する箇所について改良を図った。</p>

(3) アンケート結果

アンケート結果の概要を表-11に示す。

表-11 アンケート結果の概要

項目	概要	備考
1)調査都市数	15都市	
2)調査対象期間	概ね 過去10年	
3)発生ケース数	118ケース	
4)マンホール飛散箇所数	163カ所	
5)降雨の状況	1時間最大降雨量 50mm/hr未満-----約57% 50mm/hr以上-----約29% 不明-----約14%	図-4 (発生ケース割合)
6)浮上の状況	浮上-----約42% 溢水-----約38% ズレ-----約22% その他-----約44%	図-5 (発生箇所割合) (重複回答有り)
7)事故件数	52件	
8)事故内容	車両破損-----約85% 通行人等の負傷-----約8% その他-----約9%	図-6 (事故件数割合) (重複回答有り)
9)緊急対策内容 (主に当日)	職員を派遣し安全確認-----約75% 緊急業者に連絡-----約15% その他-----約20%	図-7 (発生箇所割合) (重複回答有り)
10)排除方式	合流式-----約61% 分流式雨水-----約11% 分流式汚水-----約28%	(発生ケース割合)
11)排水方式	ポンプ排水方式-----約68% 自然排水方式-----約32%	(発生ケース割合)
12)水理現象	水面上昇(空気圧の上昇)-----約47% エアハンマー-----約26% 水圧の上昇-----約15% その他-----約1%	図-8 (発生箇所割合) (重複回答有り)
13)水理現象を 引き起こす要因	施設能力を超える流入量-----約70% ゲート操作-----約17% マンホールが少ない-----約10% 合流部-----約9% その他-----約14%	図-9 (発生箇所割合) (重複回答有り)
14)対策	浮上式ふた(圧力解放)-----約56% 空気抜き孔-----約14% その他-----約43%	図-10 (発生箇所割合) (重複回答有り)

降雨の状況
(1時間最大降雨量)

項目	箇所	割合
～29mm/hr	24	20.3%
30～49	43	36.4%
50～69	20	16.9%
70mm/hr以上	14	11.9%
不明	17	14.4%
計(発生ケース)	118	100.0%

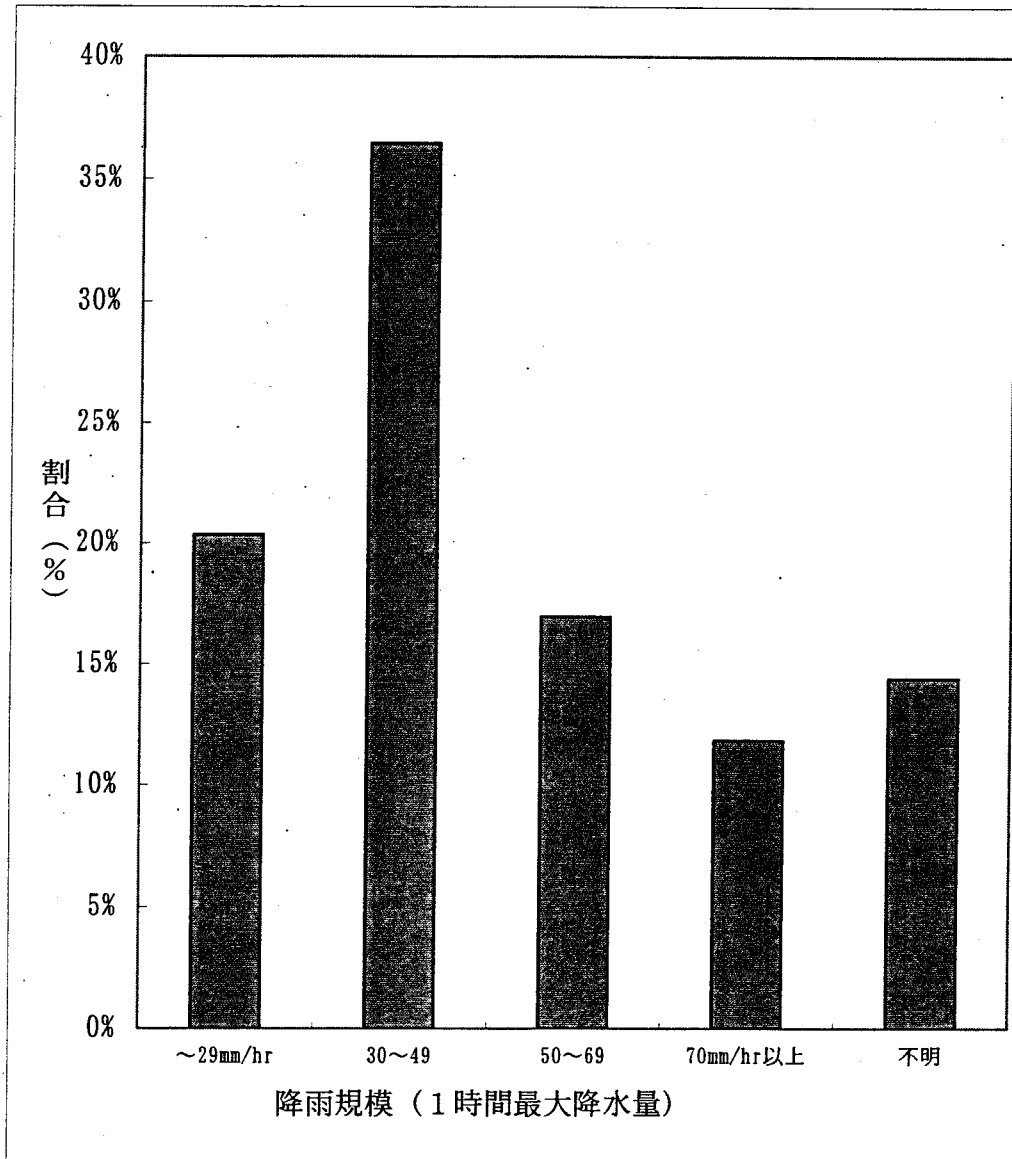


図-4 降雨規模の割合

浮上の状況（重複回答有り）

項目	箇所	発生箇所に対する割合
ズレ	35	21.5%
浮上	69	42.3%
飛散	13	8.0%
溢水	62	38.0%
破損（蝶番）	25	15.3%
舗装版等の破損	33	20.2%
計（延べ）	237	
計（発生箇所数）	163	

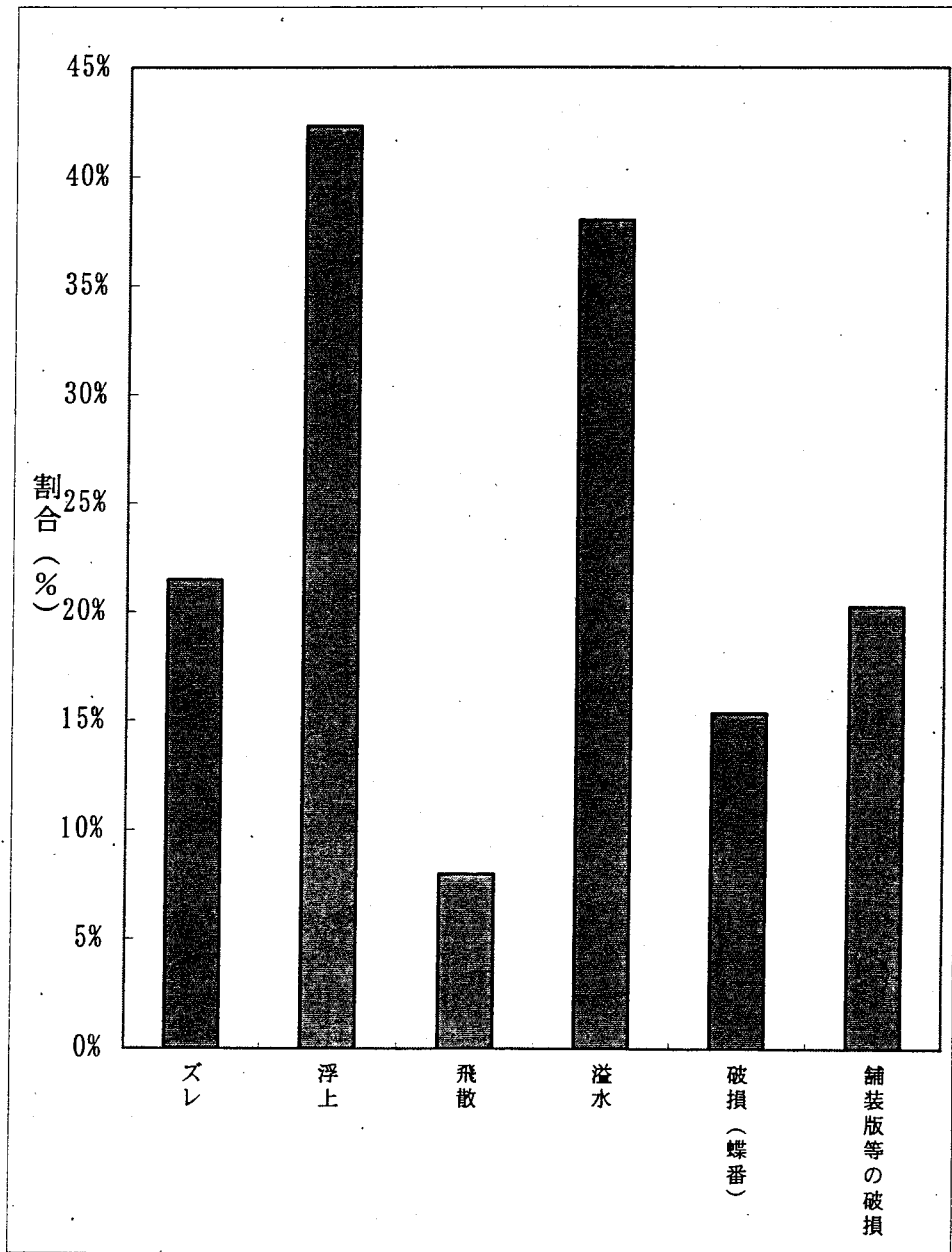


図-5 ふた浮上の状況

事故内容（重複回答有り）

項目	箇所	事故件数に対する割合
車両破損	44	84.6%
通行人等の負傷	4	7.7%
通行人の死亡	3	5.8%
付近店舗等の被害	2	3.8%
計（延べ）	53	
計（事故件数）	52	

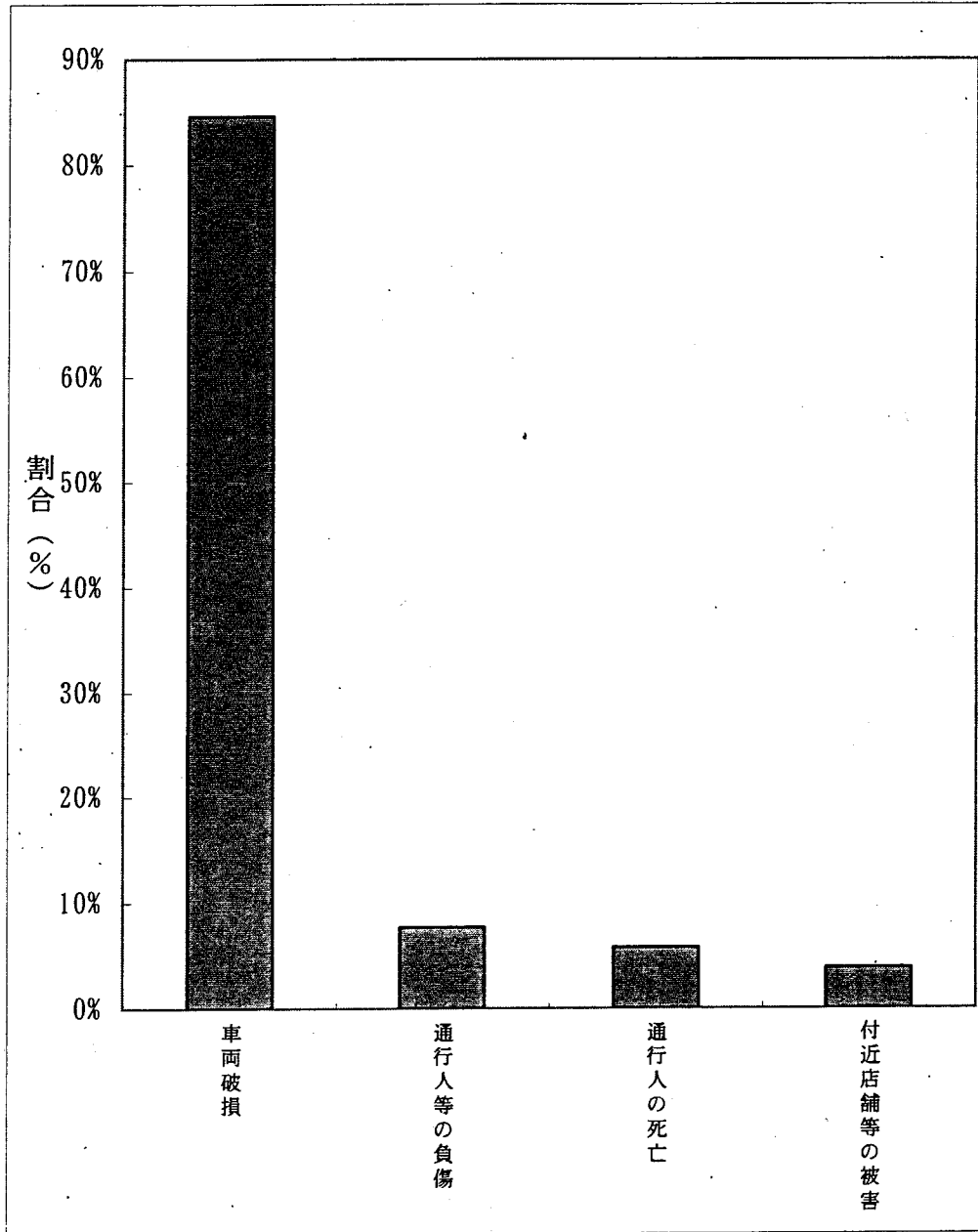


図-6 事故の内容

緊急対策内容（重複回答有り）

項目	箇所	発生箇所に対する割合
職員を派遣し安全確認	122	74.8%
バリケードの設置	13	8.0%
緊急業者に連絡	24	14.7%
警察署の出動	8	4.9%
消防署の出動	6	3.7%
レッカー車の出動	1	0.6%
車両の通行止め、交通規制	3	1.8%
被害者、通行人等が対応	2	1.2%
計（延べ）	179	
計（発生箇所数）	163	

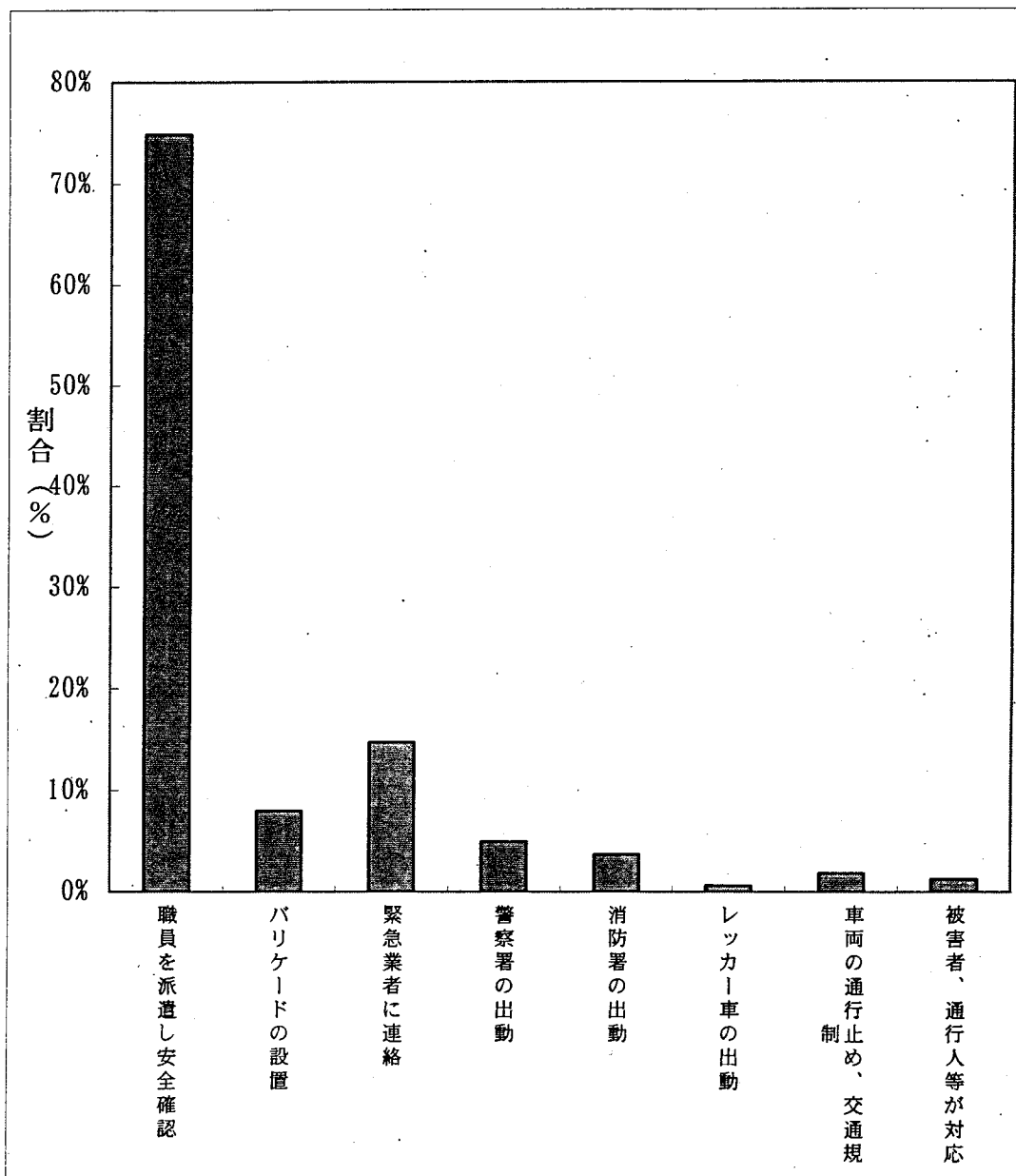
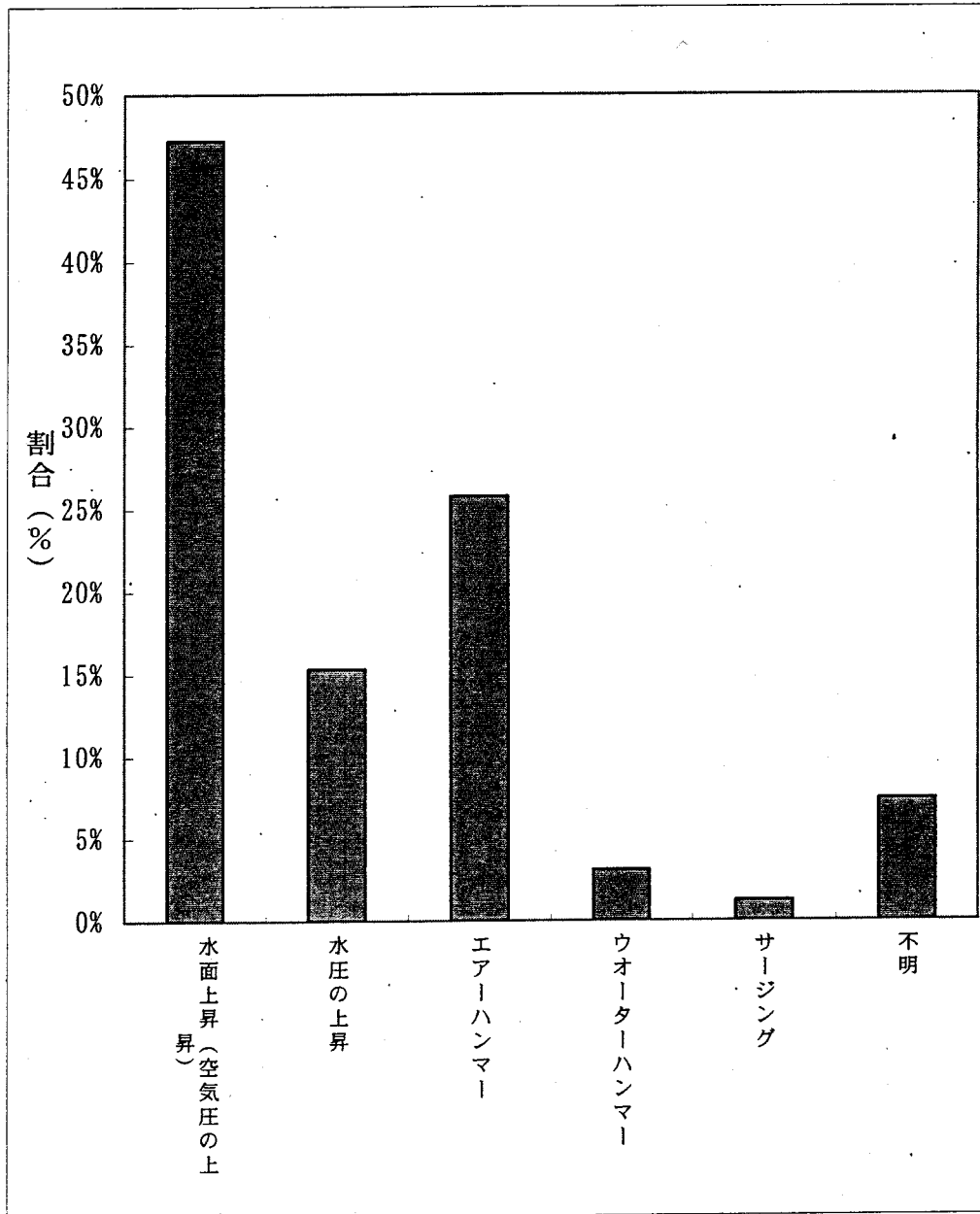


図-7 緊急対策の内容

水理現象

項目	箇所	割合
水面上昇（空気圧の上昇）	77	47.2%
水圧の上昇	25	15.3%
エア－ハンマー	42	25.8%
ウォーターハンマー	5	3.1%
サージング	2	1.2%
不明	12	7.4%
計（発生箇所数）	163	100.0%



図－8 水理現象

水理現象を引き起こす要因（重複回答有り）

項目	箇所	発生箇所に対する割合
施設能力を越える流入量	114	69.9%
マンホールが少ない	17	10.4%
伏越しのロス	5	3.1%
空気抜きがない	1	0.6%
管径の縮径	2	1.2%
ゲート操作	28	17.2%
ポンプ停止	1	0.6%
合流部	14	8.6%
急勾配水路からの流入	2	1.2%
管きよの曲がり	3	1.8%
ふたの損傷	1	0.6%
落差工	2	1.2%
吐き口部でのロス	1	0.6%
逆勾配（能力不足）	1	0.6%
ゴミの閉塞	3	1.8%
計（延べ）	195	
計（発生箇所数）	163	

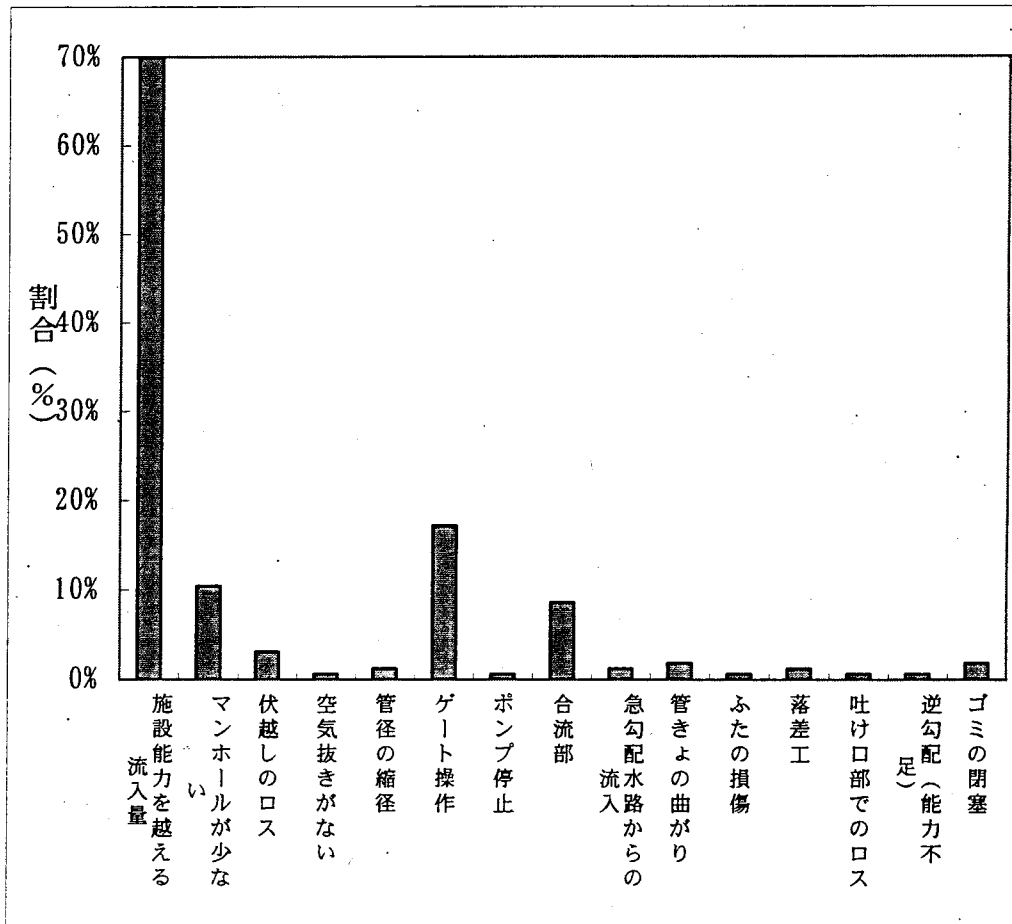


図-9 水理現象を引き起こす要因の割合

対策（重複回答有り）

項目	箇所	発生箇所に対する割合
格子ふた	14	8.6%
圧力ふた	11	6.7%
浮上式ふた（圧力解放）	91	55.8%
空気弁付きふた	8	4.9%
空気抜き孔の新設	22	13.5%
浮上防止金具の設置	3	1.8%
グレーチングの設置	1	0.6%
減勢工の一部撤去	17	10.4%
豪雨時の巡視点検強化	1	0.6%
管きよ増強、バイパス管	9	5.5%
現状復帰	8	4.9%
標準ふた（蝶番付き）	4	2.5%
管きよ網の改善	5	3.1%
合流箇所の形状変更	3	1.8%
二重ふた	1	0.6%
計（延べ）	198	
計（発生箇所数）	163	

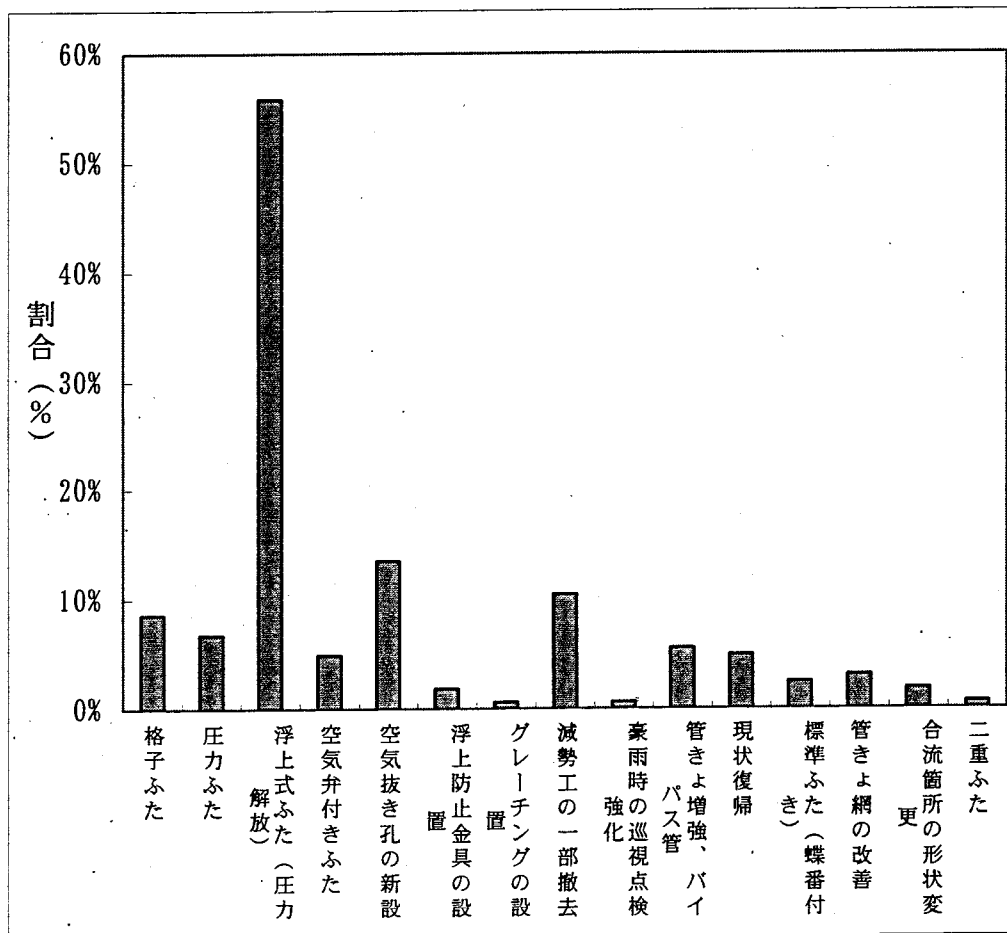


図-10 対策の割合

参一3. 「下水道施設計画・設計指針と解説」におけるマンホール関連記述

(抜粋)

§ 73 マンホール

マンホールは、次の各項を考慮して定める。

(1) 配置

- 1) マンホールは、管きよの起点及び方向、こう配、管きよ径等の変化する箇所、段差の生ずる箇所、管きよの会合する箇所並びに維持管理のうえで必要な箇所に必ず設ける。
- 2) 管きよの直線部のマンホール最大間隔は、管きよ径によって表2-7を標準とする。

表2-7 マンホールの管きよ径別最大間隔

管きよ径(mm)	300 以下	600 以下	1,000 以下	1,500 以下	1,650 以上
最大間隔 (m)	50	75	100	150	200

(2) 種類及び構造

- 1) マンホールの種類は、表2-8～10による。
- 2) ふた（蓋）は、鋳鉄製（ダクタイルを含む。）又は鉄筋コンクリート製を標準とする。
- 3) 側塊は、鉄筋コンクリート製を標準とする。また、下部は現場打ち又は既製コンクリートブロックとし、底部には管きよの状況に応じたインバートを設ける。
- 4) 足掛け金物は、鋳鉄製、鋼鉄製（樹脂被覆）、ステンレス製とし、側壁に設ける。

表2-8 標準マンホールの形状別用途

呼び方	形状寸法	用途
1号マンホール	内径 90cm 円形	管の起点及び 600mm 以下の管の中間点並びに内径 450mm までの管の会合点。
2号マンホール	内径 120cm 円形	内径 900mm 以下の管の中間点及び内径 600mm 以下の管の会合点。
3号マンホール	内径 150cm 円形	内径 1,200mm 以下の管の中間点及び内径 800mm 以下の管の会合点。
4号マンホール	内径 180cm 円形	内径 1,500mm 以下の管の中間点及び内径 900mm 以下の管の会合点。
5号マンホール	内のり 210×120cm 角形	内径 1,800mm 以下の管の中間点。
6号マンホール	内のり 260×120cm 角形	内径 2,200mm 以下の管の中間点。
7号マンホール	内のり 300×120cm 角形	内径 2,400mm 以下の管の中間点。

表2-9 組立マンホールの形状別用途

呼び方	形状寸法	用途
組立0号 マンホール	内径 75cm 円形	小規模な排水又は起点。
組立1号 マンホール	内径 90cm 円形	管の起点及び 600mm 以下の管の中間点並びに内径 450mm までの管の会合点。
組立2号 マンホール	内径 120cm 円形	内径 900mm 以下の管の中間点及び内径 600mm 以下の管の会合点。
組立3号 マンホール	内径 150cm 円形	内径 1,200mm 以下の管の中間点及び内径 800mm 以下の管の会合点。

表2-10 特殊マンホールの形状別用途

呼び方	形状寸法	用途
特1号 マンホール	内のり 60 × 90cm 角形	土かぶりが特に少ない場合、他の埋設物等の関係等で1号マンホールが設置できない場合。
特2号 マンホール	内のり 120×120cm 角形	内径 1,000mm 以下の管の中間点で、円形マンホールが設置できない場合。
特3号 マンホール	内のり 140×120cm 角形	内径 1,200mm 以下の管の中間点で、円形マンホールが設置できない場合。
特4号 マンホール	内のり 180×120cm 角形	内径 1,500mm 以下の管の中間点で、円形マンホールが設置できない場合。
現場打ち管きよ用 マンホール	内径 90, 120cm 円形 内のり D×120cm 角形	く形きよ、馬てい形きよなど及びシールド工法等による管きよの中間点。ただし、Dは管きよの内幅。
副管付き マンホール		管きよの段差が 0.6m 以上となる場合。

【解説】

(1) について

マンホールは、管きよ内の点検及び清掃のために必要なばかりでなく、管きよの接合及び会合のために必ず設置しなければならないものであって、マンホールによって管きよ内の換気を図ることもできる。通常、マンホールを必要とする箇所は、1) に示したとおりである。

また、管きよの直線部においても、できるだけ多く設置することが維持管理のうえで便利であるが、これでは工事費がかさみ、施工も困難であり、かつ、分流式下水道の汚水管きよの場合、雨天時にマンホールぶたの穴等から雨水が流入するなどの問題もある。したがって、マンホールの管きよ径別最大間隔は、表2-7を標準とする。

なお、く形きよなどの現場打ち管きよ、推進工法、シールド工法等による管きよの場合には、現場の状況及び維持管理の方法を考慮して、適宜間隔を広げることができる。

また、管きよ径が 300mm 以下で、その清掃作業に機械力を十分に活用できる場合は、

マンホール間隔を 100m 程度とすることも可能である。一方、清掃用車両が進入できないような狭い道路や歩行者専用道路での清掃作業（ホース引き作業）等は、人力による場合があるため、このような場合は、作業効率をよくする目的から、特例的にマンホール間隔を最大 30m 程度とする場合もある。

（2）について

マンホールの種類は、管きょ径等に応じて表 2-8、9 によることとするが地域の実情、埋設物の関係、管きょの構造等によって特殊なものを必要とする場合は、表 2-10 による。

一般に、マンホールふたは JIS A 5506 及びグランドマンホールが、また、マンホール側塊は JIS A 5317 及び組立マンホール側塊が使用されている。

（省略）

ふた・側塊については、維持管理上通常より大きな構造としたり、複数箇所設けるなどの工夫をしておくことが得策である。

ポンプ場及び処理場の放流管きょや、構造的に内圧がかかる管きょにマンホールを設置する場合は、内圧強度に応じた耐圧強度及び水密性のある構造とするとともに、圧力ぶたとし、ふた枠のアンカーを構造鉄筋に溶接するなどの注意が必要である。

なお、圧力ぶたは、維持管理のうえから、圧力ぶたであることがわかるように表示する必要がある。

（省略）

以上のほか、分流式下水道の汚水管きょのマンホールふたの穴等から雨水が流入して下水量を増大させ、その排除及び処理に支障を来すことがあるので、道路上のマンホールの位置は、雨水が集まりやすい L 形街きょ付近を避けるとか、建設及び路面補修時に路面より低くしないようにする。

また、マンホールふたの設計にあたっては、できるかぎり穴を少なくするとか、又は、なくするなどの配慮が必要である。

ふたの穴を皆無とする場合には、別途に空気抜きを考慮する。

参-4. マンホールふたに求められる広義の安全機能の概要

広義の安全機能の概要

状況及び原因	1. がたつき ふたと受枠がうまくかみ合わないや車面が通過したときなどに音が発生する。また、受枠の基礎調整部の施工が不十分だと受枠ごとがたつくことがある。原因としては、平受けのふたであることや受枠の異物挿入、受枠調整部の施工不良等が挙げられる。	2. 破損 腐食や摩耗による肉厚の減少や強度劣化、黒鉛の球状化不良等による材質不良のため破損が生じることがある。また、道路の荷重条件に適さないふたの使用による破損変形も発生する。	3. 浮上・飛散 マンホール内の圧力が耐圧力以上になるとふたが浮上・飛散したり、基礎調整部の施工が不十分である場合には、周辺舗装の損傷が生じる。積雪地区では除雪作業の際、除雪車と受枠との衝突でふたが飛ばされることもある。	4. スリップ ふたが摩擦してくるとふたと車面タイヤとの摩擦係数が小さくなり、車面が滑りやすくなる。	5. 腐食 一般に錆蝕は、酸等の化学的な作用により浸食される。硫化水素が発生すると酸が生じるため、硫化水素の発生が腐食の原因となる。	6. 転落・落下 ふたが外れたことによる通行人や車両の転落、施設の建設や維持管理中の落下（人、器具）、第三者の侵入による落下がある。	7. 不法投棄・侵入 容易に開けられる蓋構造では、ふたを開けゴミ等を不当に投棄したり、マンホール内への侵入がある。	8. 雨水流入 汚水管きよへの雨水の開口部（バルブ六、ガス穴）や基礎調整部から雨水が流入する。原因としては開口部が大きかったり、基礎調整部の施工不良等が挙げられる。
影響	がたつきにより音が発生し、周辺の住民からの苦情となる。また、がたつきを放置するとふたの寿命の低下、周辺舗装の亀裂、ふたの飛散の原因ともなる。	ふたが破損すると、開口部で通行人や車両事故発生のおそれがある。	ふたが浮上・飛散したり、外れると通行人の転落や車両、建物の破損の原因となる。除雪作業では、除雪車運転手の負傷の原因となる。	特に、二輪車に対してスリップ事故となる可能性がある。坂道、交差点等で急発進、急ブレーキをかける箇所が危険となる。	ふたが腐食されると、ふたが開閉不能となったり、開閉後のふたがかみ合わず、がたつきの原因ともなる。また、腐食が進むとふたの飛散が生じることがある。	転落は作業員の不注意や第三者によるものがある。転落すると大口径管きよでは下流部へ流される可能性がある。	ゴミを不法投棄されると管きよが詰まる。また、マンホール内への侵入等の問題がある。	汚水管きよへの雨水の浸入は施設処理能力以上の流量となるため処理場の処理機能を低下させる。また、マンホールからの溢水やふたの浮上・飛散の原因となる。
対策として想定できる措置	ふたのがたつきは、ふたと受枠が食い込む急勾配受けが有効となる。受枠の基礎調整部は緊結施工とする。	設置環境が厳しいところでは定期的な点検を行う。また、道路の荷重条件に合わせてふたを使用すると共に道路条件に合わないふたは計画的に取り替える。材質は鉄ふた専用の球状黒鉛鉄（FCD）等を使用する。	ふたが浮上・飛散しないよう管路内の圧力上昇の防止や管路施設からの排気能力の向上、ふたの耐圧力の向上を図る。事故防止のために、ロック付き転落防止用梯子を設置する。詳細は本編を参照。除雪作業に対しては除雪者のグレーダーが受枠に衝突しても力を和らげる構造等とする。	スリップの危険性がある場所では、ふたと地面との摩擦係数の差を極力小さくするとともに、スリップの原因となる砂や水等が効率よく排出されるような構造とする。	腐食の原因となる硫化水素の発生防止を行う。また、ふたの材質を腐食に強いものに変えるかコーティングをする。	転落・落下の防止は開口部に覆いをする。昇降時には補助器具を着用する。	不法な侵入や投棄に関しては、専用工具以外では開けられない構造とする。	ふたについては開口部を極力小さくする。基礎調整部は緊結施工とする。その他の雨水流入については、雨水の汚水施設への誤接防止等、不明水を減少させるよう対策を行う。

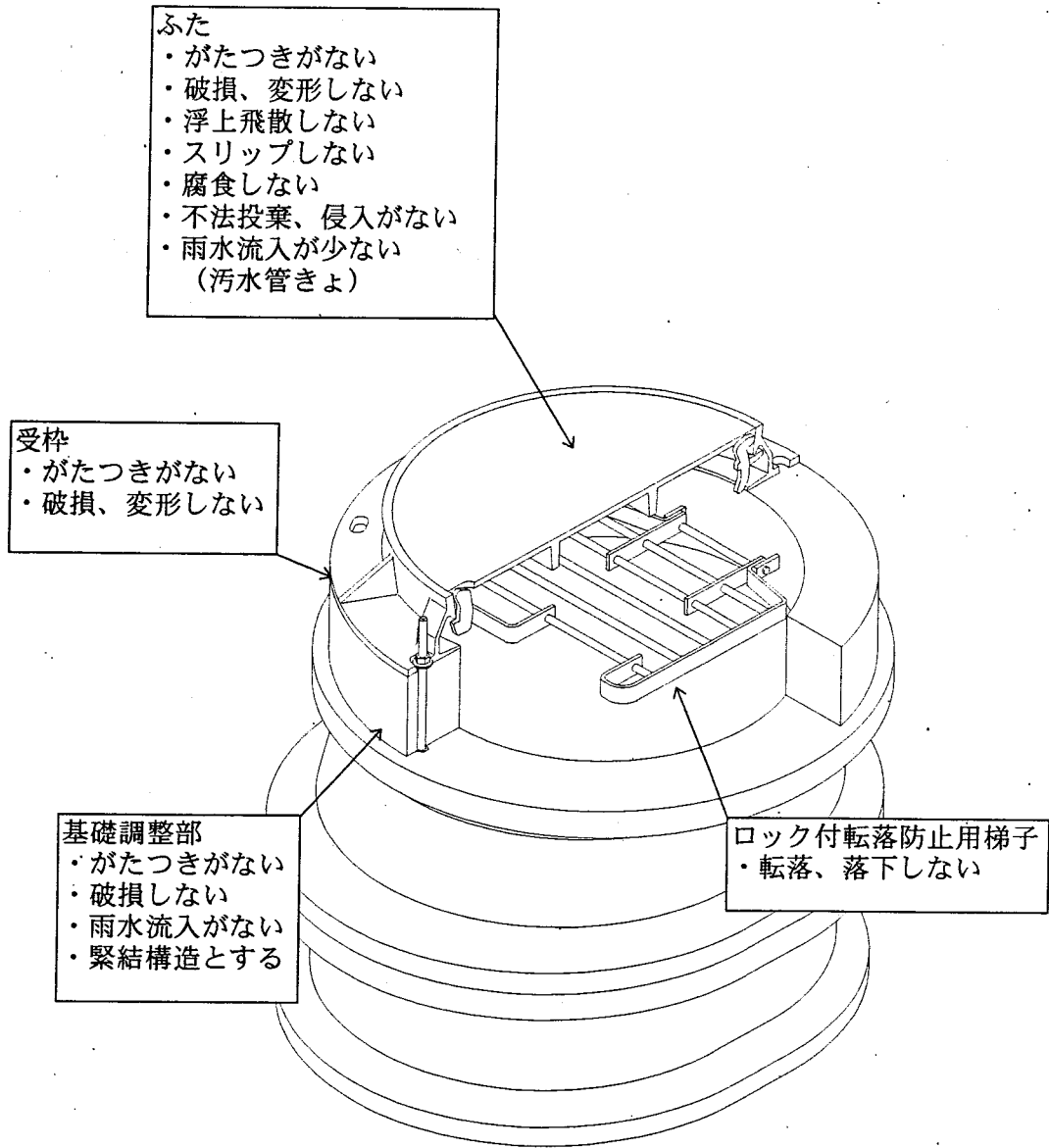


図-11 マンホールふたに求められる広義の安全機能

