

有色防除雪氷剤（有色 ADF）処理対策検討手引き

令和 5 年 10 月

国土交通省 航空局

有色防除雪氷剤（有色 ADF）処理対策検討手引き

改訂履歴表

改訂履歴	改訂年月	改訂内容
手引き（案）	令和 2 年 3 月	—
手引き（初版）	令和 4 年 8 月	脱色対策としての活性炭フィルタの追加
手引き（二版）	令和 5 年 10 月	処理対策選定フローの更新 対策方法の追加 設計例の追加

有色防除雪氷剤（有色 ADF）処理対策検討手引き

第 1 章	総則	1
1.1.	目的	1
1.2.	本手引きの適用範囲	2
1.3.	対策検討の基本方針	3
1.4.	対策目標値の設定	5
1.5.	対策選定の基本手順	7
1.6.	対策実施後の水質モニタリング	7
第 2 章	有色 ADF 処理対策の概要	9
2.1.	調節池による希釈・自然分解	9
2.2.	貯留施設による回収・処分	12
2.3.	活性炭フィルタによる脱色対策	13
第 3 章	調節池による希釈・自然分解に係る検討（STEP-1）	14
3.1.	現況排水路の確認	15
3.2.	調節池候補地の選定	16
3.3.	調節池容量の検討	17
3.4.	調節池での希釈による色度低減検討	27
第 4 章	貯留施設による回収・処分に係る検討（STEP-2）	29
4.1.	現況排水路の確認	30
4.2.	設備候補地の選定	31
4.3.	貯留ピットの容量検討	32
4.4.	排水減容装置（蒸発・濃縮装置）の検討	36
第 5 章	活性炭フィルタによる脱色対策に係る検討（STEP-3）	37
5.1.	流出起点及び現況排水系統の確認	38
5.2.	フィルタ設置側溝の選定	38
5.3.	封入する活性炭量の算出	39
5.4.	活性炭フィルタ設計	43
5.5.	色度の確認（エプロン側溝）	47
5.6.	色度の確認（雪捨て場側溝）	53
5.7.	活性炭フィルタの構造・仕様	56
参考資料	モデルケースによる有色 ADF 処理対策選定の例（広島空港）(R2.3)	59
参考資料	モデルケースによる有色 ADF 処理対策選定の例（活性炭フィルタ、松山空港）	66
参考資料	一律排水基準／地下浸透基準	70
参考資料	本手引き作成時に使用した活性炭の ADF 吸着量・通水性能・脱色性能	73
参考資料	水質調査の方法	75
参考資料	側溝までの流出係数の調査	76
参考資料	その他の対策事例	78
例-1	降雨による希釈効果について	
例-2	ADF の流出率について	
例-3	東京国際空港における活性炭フィルタの設置例	
例-4	活性炭フィルタの目詰まり対策について	

第1章 総則

1.1. 目的

本手引きは、有色防除雪氷剤（以下、「有色 ADF」（Anti-/ Deicing Fluid）という。）を使用した航空機のデアイシング作業を実施する空港について、デアイシング作業後の有色 ADF を含んだ空港排水を周辺河川等に直接流出させず、適切な水質とし放流するための処理対策を選定するための基本的な考え方を示すことを目的とする。

【解説】

(1) 背景

霜、雪、氷霧、氷雨などの気象条件下では、航空機の翼や機体に氷や雪が付着したり凍結したりする場合があります。このような状態で、航空機が離陸すると推力の低下、揚力の減少、抗力の増加、失速速度の増加、失速特性及び操作性の変化など航空機に様々な影響を及ぼし、安全性を損なうことがあります。冬季運航の安全を確保するため、積雪寒冷地域等の空港では、航空機の機体表面に防除雪氷剤を散布するデアイシング作業を実施している。

我が国では、デアイシング作業において無色の ADF が用いられてきたが、2018 年 5 月に、SAE(Society of Automotive Engineers)G-12 コミュニティにおいて、航空機に散布する防除雪氷剤への着色を義務付けることが決定されたのを受け、我が国も現在の無色から有色への切替えが必須となった。

ADF の有色化にあたり、ADF を含む空港排水の着色が懸念されること、ADF（有色・無色とも）はプロピレングリコールを主成分としており水域に多量に流入すると、BOD（COD を含む。以下同じ）を高め、有機汚濁を生じることが懸念されることから、色度と BOD の両面を考慮した処理対策が必要となる。

なお、ADF の主成分であるプロピレングリコールは、環境中で分解することが報告されているが、空港場内にて、十分に負荷を低減した後に排水し、河川等への影響を減らすものとする。

色度については、目視上、有色 ADF 由来の着色が確認できない程度とすることを目安とする。

また、BOD については、処理後の水質目標値の参考基準として排水基準値というものがある。これは、特定施設（工場や有害物質の貯蔵場所）からの排水に対して、放流先への影響の観点から、水質規制を与えるものであるが、規制対象施設に空港は含まれていない。すなわち、空港排水に関しては、法令による規制は存在しないが、BOD については基本的に排水基準を準用することとする。

(2) 本手引きの目的

周辺環境や地域共生のあり方、ADF 散布量、用地スペース等により、各空港において ADF 処理対策は異なることが想定されるため、本手引きでは、対策の選定にあたっての考え方や検討手順を示すことにより、空港の設置管理者等が適切な有色 ADF 処理対策を実行できるようにすることを目的としている。

1.2. 本手引きの適用範囲

本手引きは、デアイシング作業が実施される国管理空港、地方管理空港、会社管理空港、その他の空港及び共用空港において、有色 ADF 処理対策を実施していない空港に適用することができる。

なお、本手引きは、各空港において、放流時に排水基準値を満足するような有色 ADF 処理対策を講ずることを基本としており、使用量の削減やより高度な処理対策によって、周辺環境の保全に最大限配慮することが望ましい。

また、本手引きは、令和4年時点での最新の知見に基づきとりまとめているものであり、当面の対策方針を与えるものであるが、今後、より新しい知見・技術等が集まった際には、当該情報を踏まえて、適宜、更新を図っていくものとする。

【解説】

本手引きは、デアイシング作業が実施される国管理空港、地方管理空港、会社管理空港、その他の空港及び共用空港において、有色 ADF 処理対策を実施していない空港に適用することができる。

なお、本手引き作成にあたっては、東京国際空港、新千歳空港、稚内空港、釧路空港、函館空港、丘珠空港、仙台空港、三沢空港、新潟空港、小松空港、広島空港、美保空港、岩国空港、高松空港、松山空港、高知空港、徳島空港、福岡空港、北九州空港、長崎空港、熊本空港、大分空港、宮崎空港、鹿児島空港、百里空港、旭川空港、青森空港、秋田空港（計28空港）を対象として検討しており、対象に含まれない空港に関しては、適用の際に注意を要する。

本手引きでは、空港場内から放流先に排水する際の水質目標値として、排水基準値をとりあげている。周辺環境のあり方等を考慮し、より清澄な水質が求められる場合には、その確保に努める必要がある。

本手引きは既往の対策検討をもとに、令和4年度時点で、日本の空港に適していると考えられる対策をとりまとめている。他国の取り組み状況や技術開発等、有色 ADF 導入時の現地状況等を踏まえて、適宜更新を加えていくものとする。

1.3. 対策検討の基本方針

有色 ADF 対策の検討にあたっては、対象空港における周辺環境や地域共生のあり方、既往の ADF 使用量・水質調査結果、運航便数、用地スペースを踏まえた上で、調節池による色度と BOD を希釈・BOD を自然分解する対策を講ずることを基本とし、「既存施設の活用」「既存施設の断面改良・増設」「新規施設（調節池）」を優先的に検討するものとする。

調節池による希釈・自然分解対策が実現困難であると判断された場合、「新規設備（回収処分設備）」について検討するものとする。

調節池や回収処分設備の早期設置が難しい等の場合には、「脱色対策（活性炭フィルタ）」を先行して検討するものとする。

なお、各空港の特性を踏まえ、上記に示す以外の対策手法を採用することが適切と考えられる場合には、その導入を妨げるものではない。

【解説】

(1) 有色 ADF 処理対策の概要

有色 ADF 処理対策としては、下記の対策が考えられる。詳細は 2 章に示す。

1) 調節池による希釈・自然分解

ア) 既存施設の活用

既設池を保有する空港において、既設池流末にゲートを設け、放流管理しながら貯留を行い、色度と BOD を希釈・BOD を自然分解する対策である。

イ) 既存施設の断面改良・増設

既設池を保有する空港において、既設池の断面改良または新規調節池を増設し、かつ流末にゲートを設け、放流管理しながら貯留を行い、色度と BOD を希釈・BOD を自然分解する対策である。

ウ) 新規施設（調節池）

既設池を保有しない空港において、流末にゲートを設けた調節池を新設し、放流管理しながら貯留を行い、色度と BOD を希釈・BOD を自然分解する対策である。

2) 貯留施設による回収・処分

エ) 新規設備（回収処分設備）

エプロンの排水流末に分岐ピットと貯留施設を設け、デアイジング作業時の排水を分岐・貯留させて回収する対策である。回収した排水は、水量が大きい場合には、濃縮装置にて減容した後、産廃処分する。

3) 活性炭フィルタによる脱色対策

オ) 活性炭フィルタ

既設排水側溝内に、活性炭を内蔵したフィルタを設け、排水がフィルタを通過する際に、吸着効果により脱色を行う対策である。活性炭の吸着能力が低下した場合には、フィルタ内の活性炭を交換する必要がある。

(2) 優先的に検討すべき対策

有色 ADF 処理対策は、デアイシング作業による公共用水域への影響を抑え、周辺環境を適切に保全するための対策であり、当該空港における周辺環境や地域共生のあり方、ADF 使用量、既往の水質調査の結果、土地使用状況を踏まえた上で、色度と BOD の両面に対応した対策を講じることとする。より経済的に対策を行う観点では、実態に即して降雨による希釈効果を考慮した設計を行うことができる。降雨による色度の希釈効果の設計例は、例-1「降雨による ADF の色度希釈効果について」に示している。

本手引き作成時に対象とした空港においては、現実的な対策として、「調節池による希釈・自然分解」または「貯留施設による回収・処分」が考えられるが、「調節池による希釈・自然分解」は、「貯留施設による回収・処分」による対策と比べて、産廃処分費が不要なため一般的にトータルコスト面で優位となることから、優先的に検討するものとし、その際には、既存施設を最大限活用した処理対策を優先的に検討するものとする。

「調節池による希釈・自然分解」や「貯留施設による回収・処分」による対策を早期に実施することが困難であるなどの場合においても、有色化による影響を低減させるため、脱色対策のみを先行して行うことを検討することとする。また、既往の水質調査にて水質目標値(BOD/COD)の超過が見られない場合には、有色化に際して脱色対策のみを講ずることも考えられる。

なお、水質調査において、BOD/COD 等の水質目標値の超過が見られた場合には、対策の検討・実施とは別に継続的な調査を実施することにより、以下の項目について把握することが望ましい。

- 水質目標値超過の要因は ADF 散布によるものか
- 水質目標値の超過は継続的なものか
- 空港排水により、放流先水域の水質に影響が見られるか

1.4. 対策目標値の設定

有色 ADF 処理対策の水質目標値は、排水基準に基づくものとする。

【解説】

有色 ADF 処理対策にあたっては、色度及び BOD に関して、処理後の水質目標値を設定する必要がある。処理後の水質目標値の参考基準として、排水基準値 (p.70 参考資料を参照) がある。これは、水質汚濁防止法に基づき、特定施設 (工場や有害物質の貯蔵場所) からの排水に対して、放流先への影響の観点から、水質規制を与えるものであるが、規制対象施設に空港は含まれていない。すなわち、空港排水に関しては、法令による規制は存在しないが、環境に配慮した先進的な取り組みを行うものとし、排水基準を参考基準とする。

排水基準には、全国一律に全ての水域に課される一律排水基準と、都道府県が各地域の環境を考慮し、一律排水基準よりも厳しい基準を独自に設定する上乘せ排水基準がある。上乘せ排水基準に関しては、水域ごと (河川や海域ごと) に設定され、設定水域に流入する河川・湖沼もその基準が適用される。各空港における排水基準値 (BOD/COD) を次ページに示す。

なお、色度に関しては、排水基準に明確な数値設定がないことから、下図に示す色度と目視状況の対応を踏まえ、対策実施後 (フィルタ通過後) の有色 ADF 由来の色度を 2 (目視上着色が確認できない色度) 程度とすることを目安とする。なお、空港排水 (流末放流部) の色度には有色 ADF 以外の要因も含まれるため、各空港の排水時の色度の目標値については、通常時の空港排水流末部の色度を計測した上で設定することが望ましい。

上記を考慮した上で、水質目標値は周辺環境のあり方等を考慮し、設定することが望ましい。

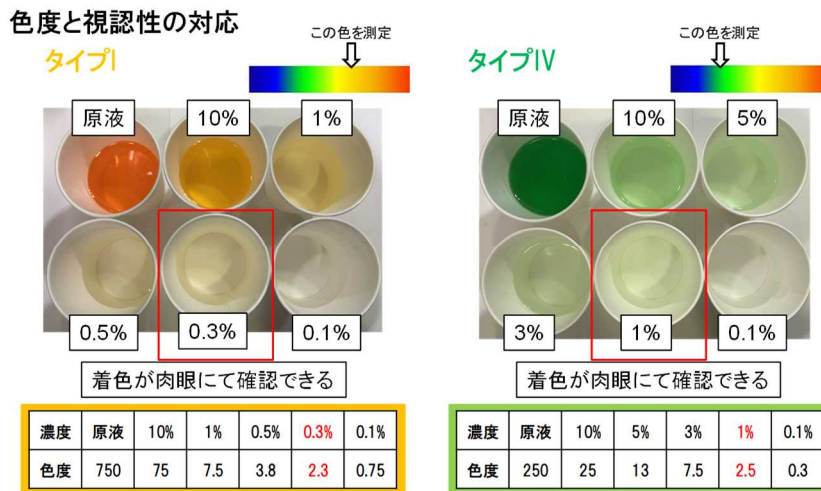


図 1.1 有色 ADF 排水の色度と目視状況の対応

< 環境基準 >

排水基準と似た概念に、環境基準がある。これは、「維持されることが望ましい基準」であり、行政上の政策目標である。

環境基準は、人の健康等を維持するための最低限度としてではなく、より積極的に維持されることが望ましい目標として、その確保を図っていこうとするものであり、排水が環境中で、雨水や河川水・海水等による希釈を受けた上での、目標値であることから、排水時に当該基準を満足することが非常に困難な水質基準値であり、通常、排水の水質管理には適用されない (参考: 一般的な下水処理水が BOD : 10 mg/L であるのに対して、河川環境基準の A 類型は BOD : 2 mg/L)。

表 1.1 各空港における排水基準値（日間平均値）

No.	空港名称	水質管理項目	排水基準値 (mg/L)	上乘せ排水基準設定水域
1	東京国際空港	COD	60	東京湾
2	新千歳空港	BOD	120	一律排水基準
3	稚内空港	COD	30	稚内海域
4	釧路空港	BOD	30	釧路海域
5	函館空港	BOD	30	函館海域
6	丘珠空港	BOD	30	石狩川
7	仙台空港	BOD	120	一律排水基準
8	三沢空港	BOD	120	一律排水基準
9	新潟空港	BOD	120	一律排水基準
10	小松空港	BOD	60	加賀沿岸水域
11	広島空港	BOD	10	瀬戸内海（燧灘北西部）
12	美保空港	BOD	120	美保湾
13	岩国空港	BOD	60	海域（岩国港）
14	高松空港	BOD	60	瀬戸内海（高松港）
15	松山空港	BOD	20	瀬戸内海
16	高知空港	BOD	120	一律排水基準
17	徳島空港	BOD	20	紀伊水道海域
18	福岡空港	BOD	90	御笠川、博多湾
19	北九州空港	COD	50	響灘及び周防灘
20	長崎空港	COD	20	大村湾
21	熊本空港	BOD		
22	大分空港	COD	50	海域（瀬戸内区域）
23	宮崎空港	COD	120	一律排水基準
24	鹿児島空港	BOD	120	一律排水基準
25	旭川空港	BOD	30	石狩川
26	青森空港	BOD	120	一律排水基準
27	秋田空港	BOD	120	一律排水基準
28	百里空港	BOD/COD	20	霞ヶ浦

※河川は BOD、海域は COD にて排水の水質を管理する。

※熊本空港は場内池から地下に浸透させているため、BOD/COD 基準値なし

一律排水基準（BOD/COD のみ抜粋）

	BOD（生物的酸素要求量）	COD（化学的酸素要求量）
日間平均値	120 mg/L	120 mg/L
日最大値	160 mg/L	160 mg/L

1.5. 対策選定の基本手順

有色 ADF 処理対策は、優先的に検討すべき対策から、段階的に検討する。

【解説】

有色 ADF 処理対策は、1.3 に示した基本方針に従い、段階的に検討する。検討手順は、図 1.2 に示すフローとしており、水質調査の結果に基づき、BOD/COD の対策が不要と想定される空港については、着色対策として、「既存施設の活用」（着色対策としての既設調節池の活用・回収設備の活用）または「活性炭フィルタによる脱色対策」を検討するものとする。

既往の水質調査結果にて水質目標値の超過が見られた空港については、対策の検討・実施とは別に継続的な調査を実施し、水質調査の結果と有色 ADF の関係を確認することが望ましい。

BOD/COD に対する対策を検討する際は、STEP-1 として調節池による希釈・自然分解に係る検討をし、調節池による対策が出来ない場合、STEP-2 として対策貯留施設による回収・処分に係る検討をすることとしている。検討にあたっては、空港のおかれた状況等に応じ、柔軟に検討を行うものとする。

なお、上記の BOD/COD に対する対策施設の検討・整備には、時間・コストを要することから、ADF の有色化までに実現することが困難な場合が想定される。その場合には、検討・整備に係る期間が比較的短い「活性炭フィルタによる脱色対策」を先行して実施した上で、順次、BOD/COD に対する対策の検討・整備を進めることが考えられる。

また、空港の排水機能の向上のための施設整備等が現在進行中で計画されている場合においては、図 1.2 のみによらず、整備に係る全体計画の中で有色 ADF 処理対策を検討することが望ましい。

1.6. 対策実施後の水質モニタリング

有色 ADF 処理対策導入後は、処理後の放流水について、継続的に水質調査を実施し、水質目標値を満足していることを確認することが望ましい。

【解説】

上記の検討フローに従い、有色 ADF 処理対策を導入した後についても、対策導入による効果を確認するために、水質モニタリング（空港流末における水質調査）を継続して実施することが望ましい。また、当該調査結果を踏まえて、有色 ADF 処理対策についても、フィードバック的に更新を図っていくことが考えられる。

なお、空港排水の水質モニタリングについては、空港場外への放流部において水質目標値を満足することが基本であることから、空港排水流末での実施が適当である。採水場所や測定頻度・水質分析項目については、参考資料「水質調査の方法(p.75)」に示すものを基本とするが、各空港の周辺環境のあり方等を考慮し、変更・追加することも考えられる。

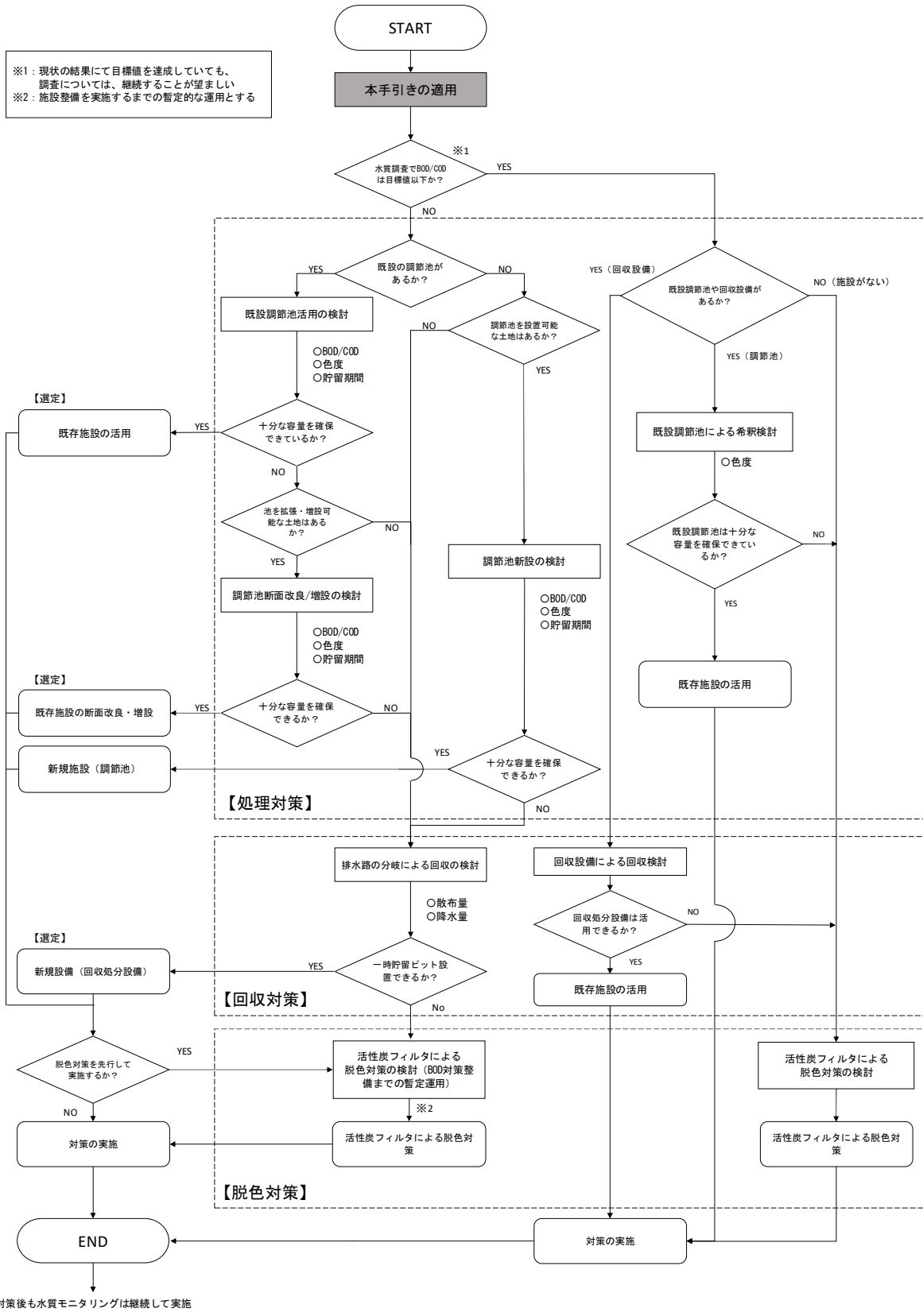


図 1.2 有色 ADF 処理対策選定の全体フロー

第2章 有色 ADF 処理対策の概要

2.1. 調節池による希釈・自然分解

(1) 既存施設の活用

既設池を保有する空港において、既設池流末にゲートを設け、放流管理しながら貯留を行い、色度と BOD を希釈・BOD を自然分解する対策である。

【解説】

1) 特徴

「既存施設の活用」は、既設池にゲートを設けて、有色 ADF 排水を貯留し、希釈効果や貯留中の自然分解により水質が改善したことを確認した後に放流を行うものである。

現状に加えて、放流口でのゲートによる放流管理と TOC 自動計測計などによる水質モニタリング、及び水質モニタリングのための BOD-TOC 換算式の設定を行う必要がある。

2) 概要図

「既存施設の活用」による有色 ADF 処理対策の概要図を以下に示す。

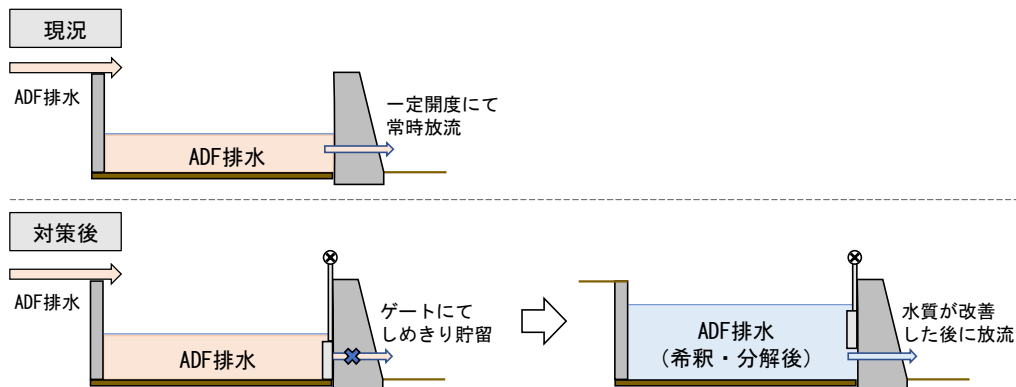


図 2.1 既存施設の活用による有色 ADF 排水処理対策

<放流管理に関して>

放流管理項目としては、TOC、必要に応じて色度、放流流量について、日最大瞬間値（時間最大値）ならびに日累積値を計測（演算）できるように計測装置を設ける。

- ・ BOD は測定に 5 日を要するため、BOD と相関性があり、即時測定の可能な TOC を測定することで、水質を管理するものとする。
- ・ 色度については調節池の容量に応じて対象項目とする。
- ・ 放流流量については、汚濁負荷総量の把握や、河川管理者との協議を考慮し、把握することが必要である。方法としては、水位情報からの換算等が考えられる。必要に応じてゲート開度情報等についても反映し、放流流量を演算可能とすることが望ましい。

(2) 既存施設の断面改良・増設

既存池を保有する空港において、既設池の断面改良または新規調節池を増設し、かつ流末にゲートを設け、放流管理しながら貯留を行い、色度と BOD を希釈・BOD を自然分解する対策である。

【解説】

1) 特徴

「既存施設の断面改良・増設」は、既設池の断面改良（掘削拡張）または、新規の池を増設を行い、各池にてゲートを設けて、有色 ADF 排水を貯留し、希釈効果や貯留中の自然分解により水質が改善したことを確認した後に放流を行うものである。

現状に加えて、池の断面改良・増設、放流口でのゲートによる放流管理、TOC 自動計測計などによる水質モニタリング、及び水質モニタリングのための BOD-TOC 換算式の設定を行う必要がある。池の増設を行う場合には、流末位置の変更や放流量の変化が想定されることから、放流先の河川等管理者との協議が必要となると考えられる。

2) 概要図

「既存施設の断面改良・増設」による有色 ADF 処理対策の概要図を以下に示す。

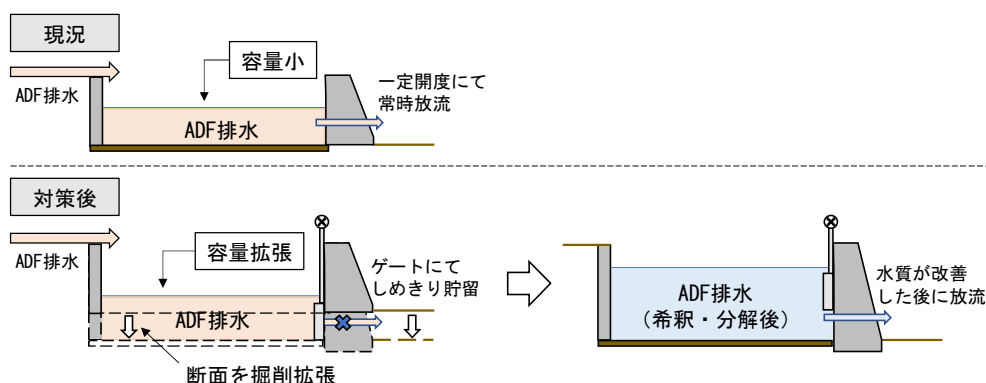


図 2.2 既存施設の断面改良による有色 ADF 排水処理対策

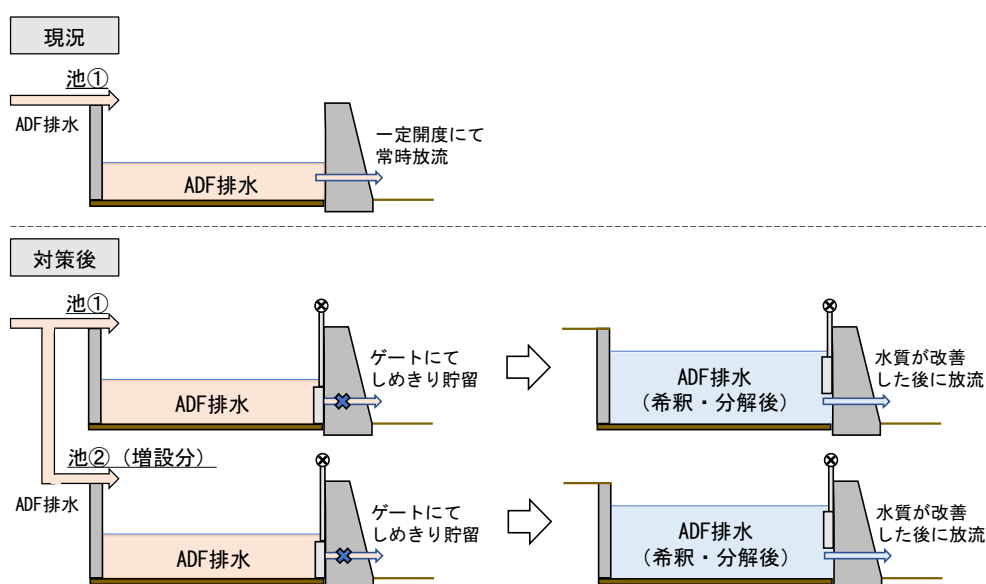


図 2.3 既存施設の増設による有色 ADF 排水処理対策

(3) 新規施設（調節池）

既設池を保有しない空港において、流末にゲートを設けた調節池を新設し、放流管理しながら貯留を行い、色度と BOD を希釈・BOD を自然分解する対策である。

【解説】

1) 特徴

「新規施設（調節池）」は、既設池を保有しない空港において、放流口にゲートを備えた調節池を設けて、有色 ADF 排水を貯留し、希釈効果や貯留中の自然分解により水質が改善したことを確認した後に放流を行うものである。

調節池の設置に加えて、放流口でのゲートによる放流管理、TOC 自動計測計などによる水質モニタリング、及び水質モニタリングのための BOD-TOC 換算式の設定を行う必要がある。

調節池の設置にあたっては、流末位置の変更や放流量の変化が想定されることから、放流先の河川等管理者との協議が必要となると考えられる。

2) 概要図

「新規施設（調節池）」による有色 ADF 処理対策の概要図を以下に示す。

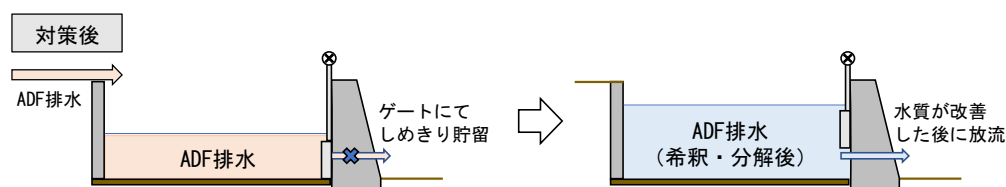


図 2.4 新規施設（調節池）による有色 ADF 排水処理対策

2.2. 貯留施設による回収・処分

(1) 新規設備（回収処分設備）

エプロンの排水流末に分岐ピットと貯留施設を設け、デアイジング作業時の排水を分岐・貯留させて回収する対策である。回収した排水は、水量が大きい場合で、産業廃棄物コストを踏まえ、濃縮装置にて減容した後、産廃処分するなど総合的に判断することが望ましい。

【解説】

1) 特徴

「新規設備（回収処分施設）」は、散布された有色 ADF を回収し、直接産廃処分する対策である。

産廃処分量の低減のため、有色 ADF 散布時の排水は、集水桝にて分岐して貯留ピットに誘導し、それ以外の場合は通常の雨水排水系統へ流下させる。分岐での流下方向の切り替えは TOC 濃度計等に基づき行う（成田国際空港での事例）。処分の際の回収作業を考慮し、貯留ピットは、日中に回収車両が作業を行える位置に配置することが望ましい。

想定される排水量が多い場合には、蒸発濃縮装置を導入し、産廃処分量の低減を図ることで処分費用を抑えることが望ましい。

2) 概要図

「新規設備（回収処分設備）」による有色 ADF 処理対策の概要図を以下に示す。

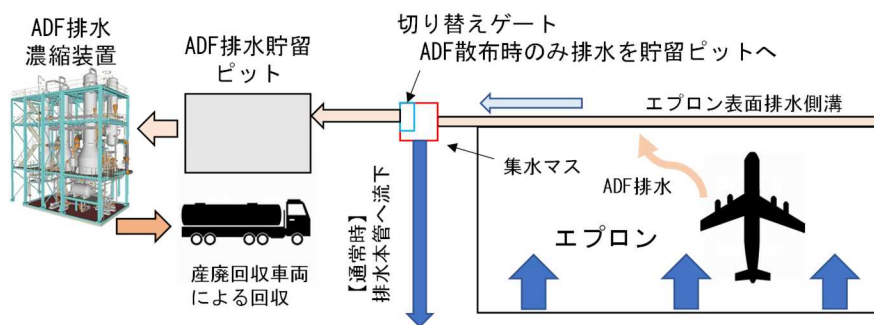
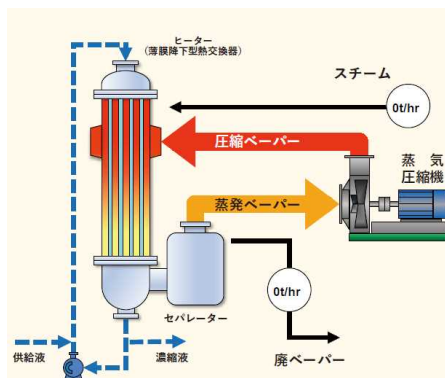


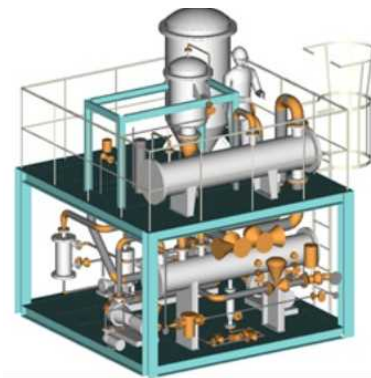
図 2.5 新規設備（回収処分設備）による有色 ADF 排水処理対策

<参考>

蒸発濃縮装置：対象空港により産業廃棄物コストは異なることが想定されるが、処分対象水量によっては、非常に高価となることから、運転管理コストも考慮し蒸発濃縮装置の導入を検討する必要がある。



装置概念図



装置例（概要図）

蒸発量：
5～30 ton/hr

電気使用量：
25～50kW
(蒸発量 1ton/hr
あたり)

(参考：木村化工機(株))

2.3. 活性炭フィルタによる脱色対策

(1) 活性炭フィルタ

有色 ADF を含む排水が、内部に活性炭を充填したフィルタを通過することで、活性炭による脱色を行う対策である。フィルタの設置は、エプロン横の側溝等の有色 ADF の排水中濃度が高く、目視点検や維持管理が容易な箇所が望ましい。土砂等によりフィルタが目詰まりすることを防止するために、フィルタ前面にはプレフィルタを設ける。

【解説】

1) 特徴

既設の排水側溝内に活性炭を内蔵したフィルタを設け、排水が側溝を流下する際にフィルタを通過することで、フィルタ内部の活性炭の吸着効果により脱色を行う対策である。フィルタによる排水の流下阻害を防ぐために、冬季の降水量を流下させるための断面を確保することを前提としてフィルタの設置高さを設定することとし、降水量が増加した際には、雨水の一部はフィルタを越流することを許容する。ADF 散布・流出期間外では取り外すことを原則とする。

活性炭フィルタは、内部に細かい活性炭を封入することから、側溝内の土砂等の夾雑物による目詰まりの可能性がある。対策として、活性炭フィルタ前面にプレフィルタを設けるとともに、定期的な点検を行い、活性炭フィルタやプレフィルタに詰りが見られる場合には清掃を実施する。

フィルタは脱色対策として設けるものであり、BOD/COD への対策には効果がない。

2) 概要図

「活性炭フィルタによる脱色対策」による有色 ADF 処理対策の概要図を以下に示す。

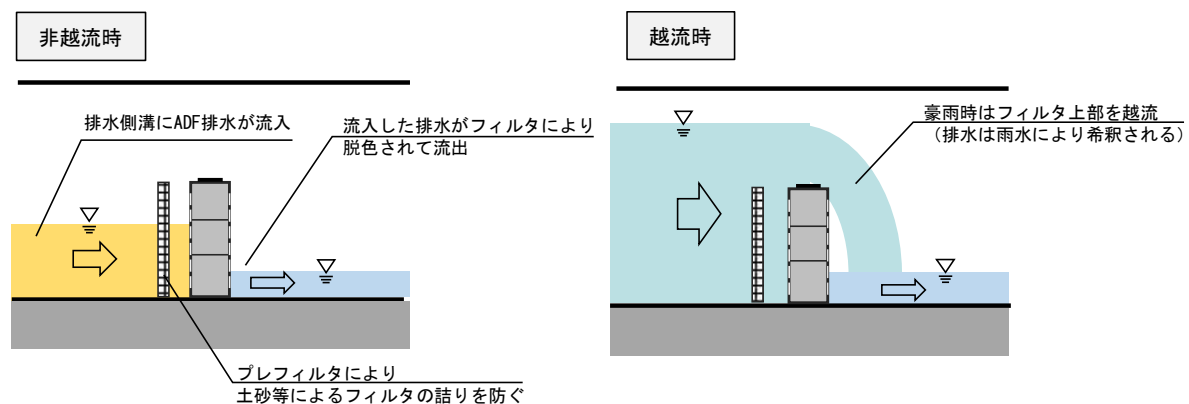


図 2.6 活性炭フィルタによる有色 ADF 排水脱色対策

第3章 調節池による希釈・自然分解に係る検討（STEP-1）

調節池による希釈・自然分解による対策は、優先的に検討すべき対策から、段階的に検討する。検討フローを以下に示す。

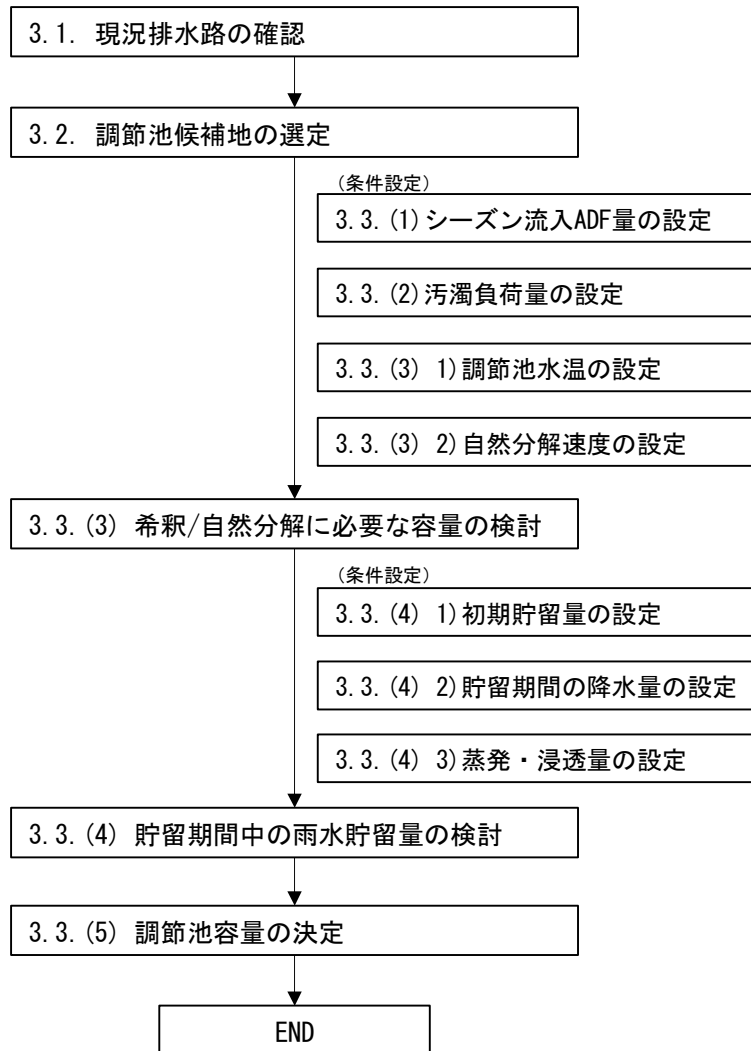


図 3.1 調節池による希釈・自然分解の検討フロー

3.1. 現況排水路の確認

有色 ADF 散布位置、散布後の排水が流入する排水系統及びその排水先、既設池の有無や周辺の土地利用状況等に関して確認する。既設池の有無から、有色 ADF 処理対策選定の全体フローに従って、以降の検討方針を決定する。

【解説】

有色 ADF を散布する位置及びその排水が流入する系統・排水先により、講ずる排水処理対策及び処理後の目標水質が異なると想定されるため、当該情報を以下の資料等から確認するものとする。

- ・ ADF 散布位置：デアイシング作業記録等
- ・ 排水流入系統及び排水先：既往排水設計・検討資料等

以降の検討のために、土地利用状況等に関しても、施設台帳等から確認する。

<参考>

本手引き作成における検討では、以下の資料をもとに ADF 散布位置及び排水流入系統、排水先を整理した。

- ・ ADF 散布位置
スポット使用実績
※各空港所在地の気象情報（気象庁データ）を参照し、気温 0℃以下または降雪時を ADF 散布が行われた時間として、当該時間に使用されたスポットを ADF 散布位置とした。
- ・ 排水流入系統及び排水先
既往排水設計・検討資料

3.2. 調節池候補地の選定

既設排水路近傍にて、調節池を設置する候補地を以下の条件で選定する。

- ・ 空港場内を第一優先とし、空港場外とする場合は住宅地等の開発地を避ける。
- ・ 空港場内のうち、着陸帯、誘導路整備予定地等、勾配規定を有する施設は避ける。
- ・ エプロン拡張用地は、候補地を含める。

土地利用状況や埋設物、高低差等を考慮し、実現性の高い用地を選定する。

【解説】

調節池を設置する際には、広大な土地を有する。空港場外への設置を行う場合には、周辺住民との合意形成や用地の買収等が必要となることから、場内を第一優先とし、適地がない場合には、場外の森林地域等、開発地を除く地域を検討するものとする。

また、「陸上空港の施設の設置基準・同解説：国土交通省航空局（平成31年4月）」に基づき、勾配規定を有する区域に関しては、開口部を設けることができないことから、候補用地に含めないものとする。

なお、エプロン拡張用地に関しては、エプロン拡張までの土地の有効活用として候補用地に含めるものとしているが、エプロン拡張が必要な際には、別途新たな用地を設定する必要がある。

上記の条件以外にも、埋設物が存在すると掘削不可となる場合や埋設物の移動が必要となる場合があることから、埋設物の設置状況についても考慮が必要である。また、放流にあたって、調節池の底面は、地下水位や放流先河川・海域水面より上に設けるため、周辺地域との高低差等も考慮する必要がある。やむを得ず、深い調節池を築造する際には、ポンプによる排水を検討する必要がある。

<参考>

本手引き作成の検討においても、上記と同様の条件にて、設備配置を設定した。



調節池候補地の配置例（広島空港）

3.3. 調節池容量の検討

調節池容量の検討は、調節池に流入する ADF 量を設定し、それに対して十分に希釈・分解できる容量を検討する。貯留中に自然分解が進むことで、希釈に必要な水量が低減されることから、その影響も評価する。検討手順を以下に示す。

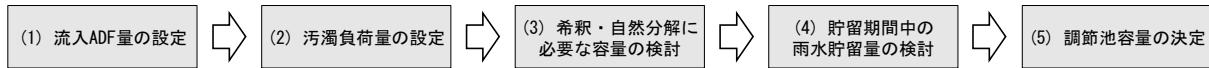


図 3.2 「既存施設の活用」の検討手順

(1) 流入 ADF 量の設定

既設池に流入する ADF 量（原液相当量）は以下の式にて設定される。

$$Q_{in} = Q \times a \times C$$

- ここに、 Q_{in} ：流入 ADF 量 (kL) （原液相当、Type I・Type IV別）
 Q ：散布 ADF 量 (kL) （原液相当、Type I・Type IV別）
 a ：ADF のエプロン落下率 (Type I：100%、Type IV：10%)
 C ：池までの合成流出係数

それぞれの値は以下の手順にて設定するものとする。

- 1) 散布 ADF 量： Q
当該空港を利用する全エアラインの 1 シーズンにおける ADF 使用量の合計値とする。
- 2) ADF のエプロン落下率： a
ADF Type I は全量(100%)、Type IV は 10%がエプロン面に落下するものとする。
または、各空港における実測値を用いることもできる。
- 3) 池までの合成流出係数： C
エプロンにて散布された ADF 量と、デアイシング作業後の、エプロン排水路または空港排水路流末での、排水量及び ADF 濃度 (BOD 濃度、色度) を調査し、エプロン落下分と排水路流下分の比率から設定するものとする。
または、既往排水設計・検討資料で用いられている流出係数を準用することができる

$$C = \frac{\text{実際に池に流入する ADF 量}}{\text{エプロンに落下した ADF 量}} \\ = \frac{\text{散布後の排水量} \times \text{排水中の ADF 濃度}}{\text{エプロンに落下した ADF 量}} \\ (= 1/360 \times \text{散布後初の降水量(mm)} \times \text{流域面積(ha)} \times \text{排水中の ADF 濃度} / \text{エプロンに落下した ADF 量}) \quad \text{※降雨後に流下した場合}$$

【解説】

調節池容量の検討にあたっては、まず、池に流入する ADF 量及びそれによる色度・BOD の汚濁負荷を設定することが必要である。

1) 散布 ADF 量

調節池による希釈・自然分解では、1 シーズン分の ADF を池に貯留し、希釈・分解することから、設計は 1 シーズンの ADF 使用量に基づくものとする。

1 シーズンの ADF の使用量は、各エアラインの ADF 剤の在庫状況や購入量または、実際の散布車両への投入量の累計から求められる。ADF 使用量は、シーズンごとにばらつきがあることから、数年分の実績から最大使用量を抽出し、設計に用いるものとする。なお、上記のデータを得ることが困難な場合には、＜参考＞に示すように、定期航空協会提供資料より散布 ADF 量を推定することが考えられる。

2) ADF のエプロン落下率

散布された ADF は一部がエプロン表面に落下し（一部は機体表面に付着する）、雨水等と混ざって排水路に流入し、調節池へと流入する。このエプロンへの落下率は、ADF の種類により異なる（粘性の違いによる）。

実際の散布において、Type I は散布後にほとんどがエプロン面に落下、Type IV はほとんどが機体表面に付着し落下しないことが目視確認された。Type I・Type IV とともに安全側を見て、前述のエプロン落下率を設定するものとする。

なお、今後の検証において、より詳細な落下率が設定された場合には、この限りではない。

3) 池までの合成流出係数

散布後の流下中には、エプロンの目地や排水路の継ぎ目等からの浸透や、路面や排水路への吸着、蒸発散などにより ADF の損失が生まれると想定される。そのため、調節池の設計にあたっては、排水路流末での排水量及び BOD 濃度（ADF 濃度）を確認し、正確な ADF 流入量を見積もることが経済性の観点からは望ましい。既往の流出係数に係る調査の手法・結果については、「参考資料 側溝までの流出係数の調査」、例-2「ADF の流出率について」に示している。なお、各空港において正確な ADF 流入量の見積もりが困難な場合には、既往排水設計・検討資料で用いられている流出係数（舗装で 0.95、芝地等では 0.3～0.5）を準用することができる。ただし、ADF は通常の雨水と、粘性等の特性が異なることから、既往排水設計・検討資料で用いられる流出係数を一律に適用するのは適切ではない可能性がある。

＜ADF 排水の地下浸透に関して＞

本手引きにおいては、空港場外の水質への影響を避けるため、基本的にエプロンに落下した ADF に対しては処理対策を行うものとし、ADF 排水の地下浸透を推奨しないものとする。

なお、地下浸透に関しては、浸透基準は、「有害物質を含む排水」に関して適用されるが、ADF は定められた有害物質を含まないため、ADF 排水は規制を受ける対象外となる（p.72 参考資料を参照）。

<参考>

本手引き作成の検討においては、以下の手順にて、調節池に流入する ADF 量及びそれによる色度・BOD の汚濁負荷を設定した。

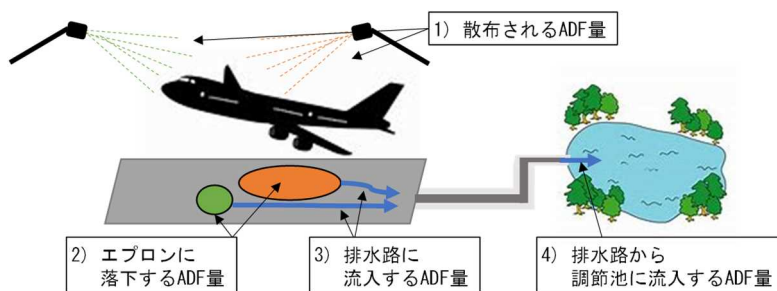


図 3.3 ADF 量設定概要図

1) 散布される ADF 量 (シーズン量、原液量)

- 各空港での年間最大 ADF 使用量 (定期航空協会資料、2015~2017 年、JAL/ANA のみ) に、当該空港での「全離発着機体数/JAL・ANA 便数」を乗じることで、総 ADF 使用量を見積もった。離発着機体数に関しては、各空港におけるスポット使用実績データ：航空局資料 2018 年 1 月 21 日~27 日 (7 日分) に基づいた。

2) エプロンに落下する ADF 量

- 散布した ADF のうち、ADF Type I は全量(100%)、Type IV は 10% がエプロン面に落下するものとした。

【解説】と同様の根拠にて設定した。

3) 排水路に流入する ADF 量

- エプロン面に落下した ADF は、流出係数に従って、排水路に流入するものとした。エプロン除雪後の雪捨て場を有する空港は、雪捨て場も流出起点とした。

エプロンから既設排水路への流入に関しては、各空港での流出係数を把握していないことから、排水路の設計に用いられる流出係数に従うものとした (舗装で 0.95、芝地等では 0.3~0.5)。

エプロン除雪後の雪を移動させている空港に関しては、散布された ADF が雪に混ざって移動し、雪解けとともに流出すると想定されることから、雪捨て場も流出の起点とした。なお、エプロン部に残る ADF 量と雪捨て場に移動する ADF 量の割合については空港毎に異なると考えられるため、各空港における検討の際には、雪捨て場の BOD を計測することで ADF 量を推定することが望ましい。

4) 排水路から調節池に流入する ADF 量

- 排水路に流入した ADF は全量が調節池に流入するものとし、排水路を流下中での蒸発や浸透・吸着によるロスは 0 とした。

ADF 排水は、排水路を流下し調節池に流入するまでに、蒸発や浸透・排水路面への吸着により損失が生じていると考えられるが、損失分の定量化は困難であり、安全側として、流下中の損失を見込まないものとした。

5) 池にて蒸発・浸透する ADF 量

- 調整池に貯留される水は、1/6 が蒸発散、1/6 が浸透により失われるものとした。

新千歳空港場周調整池における調査結果から、池内水の蒸発散・浸透による損失は流入する水量の 1/3 程度であることから、蒸発散量と浸透量を等量として設定した。ADF は揮発性が低いことから、浸透分のみを考慮した。

(2) 汚濁負荷量の設定

池での BOD・色度汚濁負荷量は、以下の式にて設定される。

$$\text{BOD} = \text{BOD}(\text{Type I}) + \text{BOD}(\text{Type IV}) + \text{BOD}(\text{池内水})$$

$$\text{色度} = \text{色度}(\text{Type I}) + \text{色度}(\text{Type IV}) + \text{色度}(\text{池内水})$$

ここに、BOD・色度(Type I または Type IV) : 流入した ADF による BOD・色度負荷
BOD・色度(池内水) : 池内の水(自然)由来の BOD・色度負荷

ADF 及び池内の水による BOD・色度負荷は以下の通りとする。

1) ADF の BOD・色度原単位

Type I の BOD は 900,000mg/L、Type IV の BOD は 470,000mg/L とする(原液)。

Type I の色度は 750、Type IV の色度は 250 とする(原液)。

2) 池内水による BOD・色度負荷量

既設池保有空港に関しては、池での当該水質項目の調査から、既設池を保有しない空港に関しては、周辺河川・海域での水質調査から、自然由来の BOD・色度負荷量を設定する。

【解説】

1) ADF の BOD・色度原単位

ADF の単位量あたりの BOD・色度汚濁負荷は、原液成分分析結果より上記の通りとする。

2) 池内水による BOD・色度負荷量

調節池に流入した ADF は、池内の水によって希釈され、BOD 及び色度が低減する。一方、調節池の水をはじめ、環境水中にも BOD・色度分が含まれることから、希釈による BOD・色度の低減を検討する際には、希釈のための池の水に由来する BOD・色度分を考慮することが求められる。

なお、上記の調査の実施が困難な場合には、<参考>に示すように池内の水の BOD・色度成分を考慮せずに設計することが考えられる。

<参考>

本手引き作成の検討においては、以下の手順にて、色度・BOD の汚濁負荷を設定した。

1) ADF による BOD・色度負荷量

➤ Type I の BOD は 900,000mg/L、Type IV の BOD は 470,000mg/L とした(原液)。

➤ Type I の色度は 750、Type IV の色度は 250 とした(原液)。

【解説】と同様の根拠に基づき設定した。

2) 自然由来の BOD・色度負荷量

➤ 調節池に貯留されている雨水等の BOD、色度負荷は 0 とした。

調節池では、流入した ADF が雨水等と混ざりあい希釈される。その際、希釈に用いられる池内に貯留された水にも BOD、色度分が含まれると考えられるが、当該情報の把握は困難であり、負荷量を 0 とした。

(3) 希釈・自然分解に必要な容量の検討

以下の手順にて、希釈・自然分解に必要な容量を算定する。

- 1) 調節池水温の設定
既設池を保有する空港に関しては、月平均水温を実測し、設定する。
既設池を保有しない空港に関しては、周辺河川・海域における月平均水温を測定し、代用する。
- 2) 自然分解速度の設定
既設池を保有する空港に関しては、調節池水を用いた自然分解性試験の結果から設定する。
既設池を保有しない空港に関しては、周辺河川等の水を用いた自然分解性試験の結果から設定する。
- 3) 希釈・自然分解に必要な容量の算定
自然分解による BOD の低減を考慮した後に、排水基準を満たすための希釈を行うための水量を必要な容量とする。

【解説】

貯留期間が長くなるほど、ADF の分解が進むため、希釈に必要な水量は小さくて済むようになる。貯留期間ごとに、ADF の分解度合いと希釈に必要な水量を検討する。

なお、BOD は原液→水質目標値（排水基準値）への希釈倍率が、 $900,000$ （原液 BOD、Type I）/ 120 （一律排水基準値）= $7,500$ 倍であり、 $7,500$ 倍に希釈した際の色度は、 0.1 で、着色が目視可能な色度値 2 （p.4 参照）を大きく下回る。よって、容量の検討は、BOD に基づくものとする。

1) 調節池水温の設定

調節池内の水温は、貯留期間中の自然分解速度に影響するパラメーターであり、把握する必要がある。なお、調整池の水温は水深によって異なると想定されることから、深さ方向への温度分布を把握することが望ましい。

上記の測定が困難な場合には、＜参考＞に示すように、各空港における月平均気温にて代用することが考えられる。

2) 自然分解速度の設定

調節池での貯留中には、微生物による自然分解により BOD が減少する。この分解速度は、温度にも影響を受けるが、水中に含まれる微生物量や栄養塩濃度（窒素やリン等）によっても異なる。これらの値は各空港において異なることから、各空港において、現地の水を用いた ADF の自然分解性試験を行い、実態を把握することが望ましい。

上記の試験の実施が困難な場合には、＜参考＞に示すように、既往の試験結果を用いた設計を行うことが考えられる。

3) 希釈・自然分解に必要な容量の算定

1),2)から、貯留期間を設定することで、当該期間中における自然分解量が把握できる。(2)にて設定した汚濁負荷量と自然分解量、排水基準値から、排水基準値を満たすために必要な希釈水量を算定する。

<参考>

本手引き作成の検討においては、以下の手順にて、希釈・自然分解に必要な容量を算定した。

1) 調節池水温の設定

- 貯留期間中の1ヶ月あたりの自然分解速度の設定に用いる調節池の水温は、空港気象観測台での月間平均気温値とした。

過去5年間の平均気温を採用した。気温情報は、各空港気象観測所データ（気象庁データ）を用いた。

2) 自然分解速度の設定

- 貯留期間中の1ヶ月あたりの自然分解速度は、水温に基づき以下の式にて算出した。

$$\text{BOD自然分解速度(mg/L/月)} = 11 \cdot (\text{調節池水温}(\text{°C})) + 70$$

分解速度式は、既往の実験結果から設定した。なお、上記の式は蒸留水に微生物を一定量(SS:50mg/L相当)添加した際の分解性であり、微生物量は空港により異なる。

3) 希釈・自然分解に必要な容量の算定

- 自然分解によるBODの低減を考慮した後に、排水基準を満たすための希釈を行うために必要な水量を必要な容量とした。

1),2)から算定した自然分解による低減を考慮した場合の、排水基準を満たすための希釈に必要な水量を算定した。希釈に用いる水はBOD負荷が0であるとしている。

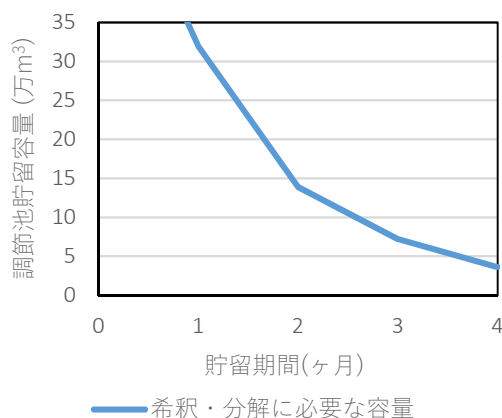


図 3.4 貯留期間ごとの希釈・分解に必要な容量 計算例

(4) 雨水貯留量の検討

以下の手順にて、雨水貯留量を算定する。

- 1) 初期貯留量の設定
調節池は、想定される流入 ADF が 0.3%まで希釈されるように、あらかじめゲート操作により初期貯留を行うものとする。
- 2) 貯留期間中の流入水量の設定
貯留期間中の流入水量は、以下の式により求める。なお、各月の降水量は、空港気象観測台での月間降水量の 10 年最大値を基本とする。

$$Q_{\text{water}} = 10 \times i \times A \times C$$

ここに、 Q_{water} : 貯留期間中の流入水量 (m³)
i : 各月の降水量 (mm) (10 年最大値を基本)
A : 調節池の流域面積 (ha) (既往排水設計・検討資料より設定)
C : 流域の合成流出係数 (既往排水設計・検討資料より設定)

- 3) 蒸発散・浸透量の設定
2)で設定した流入水量のうち、貯留期間中に蒸発散・浸透する量を設定する。当該量の設定にあたっては、各空港における気温・日射量や土質等を考慮し、現地調査等も含めて検討するものとする。
- 4) 雨水貯留量の算定
初期貯留量と貯留期間中の雨水流入量から蒸発・浸透量を差し引いたものを雨水貯留量とする。

【解説】

貯留期間中に調節池に雨水が流入する。調節池にて希釈・自然分解し、放流するためには、希釈に十分な水量を確保すること及び貯留中に池からオーバーフローしないことが必要である。

貯留期間中の雨水貯留量を、以下の手順にて検討する。

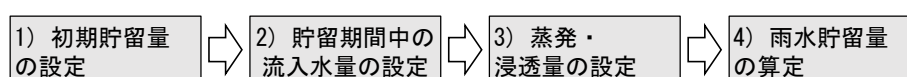


図 3.5 貯留期間中の雨水貯留量の検討手順

1) 初期貯留量の設定

既往の検討・調査にて、明確な ADF の自然分解が確認されているのは、既往の分解実験検討 (ADF : 0.1%) 及び新千歳空港における場周調整池での貯留分解時 (ADF : 最大時 0.3%相当) である。当該濃度以上では自然分解による低減が報告されていないことから、ADF が 0.3%濃度となるまでは、希釈を行うものとし、流入 ADF 量から初期貯留量を設定する。ADF が 0.3%まで希釈された場合の色度は、2.2 であり、この初期貯留による希釈の時点で、色度は目標値をほぼクリアしている。

なお、調査等からより適した初期貯留量が設定される場合には、この限りではない。

2) 貯留期間中の流入水量の設定

貯留期間中の流入水量に関しては、貯留中のオーバーフローにより、自然分解が不十分な状態で、空港場外に排水されることを防ぐ必要がある。空港の排水路は、「空港土木施設設計要領 (施設設計編)」(国土交通省航空局、令和 4 年)において、10 年確率を標準としていることから、10 年最大値の降水量にて設定することを基本とする。ただし、異常降雨が記録されている場合には、それを考慮しないことは妨げない。

なお、調節池容量が過剰な設計となる場合には、分岐水路を設け、流入水量を調整する等、運用面での対応を検討するものとする。

3) 蒸発・浸透量の設定

調節池での貯留中には、池水面からの蒸発散や地下への浸透が想定される。これらの水量は、各空港によって異なると想定されることから、既設池での水位実測や空港周辺池での水位調査、気温や日照量、土質などの調査を行うことが望ましい。

上記の調査が困難な場合には、＜参考＞に示すように、流入水量の一定割合を見込むことが考えられる。

4) 雨水貯留量の算定

初期貯留量と貯留期間中の雨水流入量から蒸発・浸透量を差し引いたものを雨水貯留量とする。

<参考>

本手引き作成の検討においては、以下の手順にて、雨水貯留量を算定した。

1) 初期貯留量の設定

- 調節池は、想定される流入 ADF が 0.3%まで希釈されるように、あらかじめ初期貯留を行うものとした。

【解説】と同様の根拠にて設定した。

2) 貯留期間中の流入水量の設定

- 貯留期間中の流入水量は、以下の式により求めた。なお、各月の降水量は、空港気象観測台での月間平均降水量とした。

貯留期間中の流入水量 = 各月の総降水量 × 調節池の流域面積 × 流域の合成流出係数
過去 5 年間の平均降水量を採用した。

3) 蒸発・浸透量の設定

- 調整池に貯留される水は、1/6 が蒸発散、1/6 が浸透により失われるものとする。

新千歳空港の場周調整池における調査結果から、池内水の蒸発散・浸透による損失は流入する水量の 1/3 程度であることから、蒸発散量と浸透量を等量として設定した。

4) 雨水貯留量の算定

- 初期貯留量と貯留期間中の雨水流入量から蒸発・浸透量を差し引いたものを雨水貯留量とした。

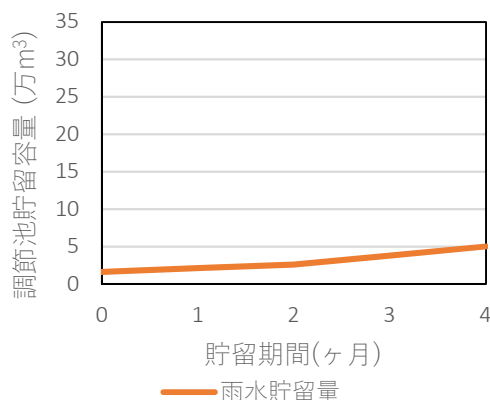


図 3.6 貯留期間ごとの雨水貯留量 計算例

(5) 調節池容量の決定

希釈・自然分解に必要な容量と雨水貯留量から、調節池容量を決定する。

【解説】

希釈・自然分解し、放流するためには、希釈に十分な水量を確保すること及び貯留中に池からオーバーフローしないことが必要である。貯留期間を長くするほど、自然分解は進むが、オーバーフローしないために必要な容量が大きくなることから、両者の兼ね合いから最適な容量を設定する。

(2),(3)の検討結果から、「希釈・分解に必要な容量」と「雨水貯留量」の両方を満たすための容量を調節池容量と設定する。

<参考>

本手引き作成の検討においても、上記と同様の手順にて、調節池容量を決定した。

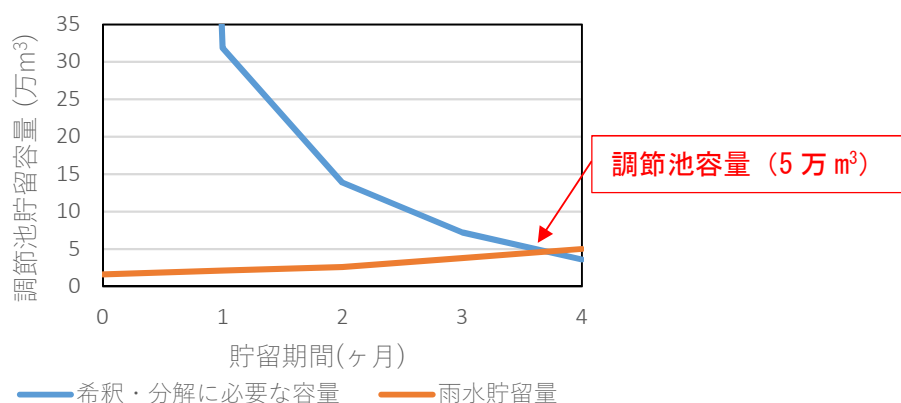


図 3.7 貯留期間ごとの希釈・分解に必要な容量及び雨水貯留量 計算例

3.4. 調節池での希釈による色度低減検討

調節池に流入する ADF 量を設定し、それに対して十分に色度を希釈できる容量を検討する。検討手順を以下に示す。

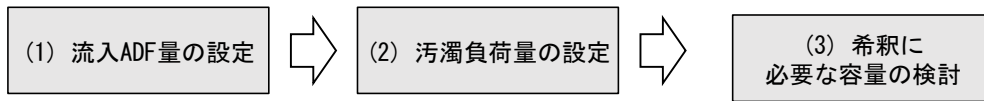


図 3.8 「調節池での希釈による色度低減」の検討手順

(1) 流入 ADF 量の設定

調節池に流入する ADF 量（原液相当量）は以下の式にて設定される。

$$Q_{in} = Q \times a \times C$$

ここに、 Q_{in} ：流入 ADF 量 (kL) （原液相当、Type I・Type IV別）

Q ：散布 ADF 量 (kL) （原液相当、Type I・Type IV別）

a ：ADF のエプロン落下率 (Type I：100%、Type IV：10%)

C ：池までの合成流出係数

それぞれの値は以下の手順にて設定するものとする。

1) 散布 ADF 量： Q

当該空港を利用する全エアラインの 1 シーズンにおける ADF 使用量の合計値とする。

2) ADF のエプロン落下率： a

ADF Type I は全量(100%)、Type IV は 10%がエプロン面に落下するものとする。

または、各空港における実測値を用いることもできる。

3) 池までの合成流出係数： C

エプロンにて散布された ADF 量と、デアイシング作業後の、エプロン排水路または空港排水路流末での、排水量及び ADF 濃度（BOD 濃度、色度）を調査し、エプロン落下分と排水路流下分の比率から設定するものとする。

または、既往排水設計・検討資料で用いられている流出係数を準用することができる

$$C = \text{実際に池に流入する ADF 量} / \text{エプロンに落下した ADF 量}$$

$$= \text{散布後の排水量} \times \text{排水中の ADF 濃度} / \text{エプロンに落下した ADF 量}$$

$$(\text{= } 1/360 \times \text{散布後初の降水量(mm)} \times \text{流域面積(ha)} \times \text{排水中の ADF 濃度} / \text{エプロンに落下した ADF 量}) \quad \text{※降雨後に流下した場合}$$

【解説】

調節池での希釈による色度低減検討にあたっては、まず、池に流入する ADF 量及びそれによる色度の汚濁負荷を設定することが必要である。各項目の内容は、p.17～19 に記載の通りである。

(2) 汚濁負荷量の設定

池での色度汚濁負荷量は、以下の式にて設定される。

$$\text{色度負荷量} = \text{色度(Type I)} + \text{色度(Type IV)} + \text{色度(池内水)}$$

ここに、色度(Type Iまたは Type IV) : 流入した ADF による色度負荷
色度(池内水) : 池内の水 (自然) 由来の色度負荷

ADF 及び池内の水による色度負荷は以下の通りとする。

- 1) ADF の色度原単位
Type I の色度は 750、Type IV の色度は 250 とする (原液)。
- 2) 池内水による色度負荷量
池での色度の調査から、自然由来の色度負荷量を設定する。

【解説】

各項目の内容は、p.20 に記載の通りである。

(3) 希釈に必要な容量の検討

色度の希釈低減に必要な調節池の水量は、以下の式にて設定される。

$$\text{調節池容量(m}^3\text{)} = \text{色度負荷量(度} \cdot \text{m}^3\text{)} \div \text{色度目標値(度)}$$

【解説】

調節池に流入した ADF は、池内の水によって希釈され、色度が低減する。希釈後の色度は池内の色度負荷量を池内水量で除した値となる。

第4章 貯留施設による回収・処分に係る検討（STEP-2）

「新規設備（回収処分設備）」の検討にあたっては、ADF 散布時の雨水等も含めた ADF 排水量を設定し、それに対して十分な容量の貯留施設及び処分量低減のための濃縮装置を検討する。検討フローを以下に示す。

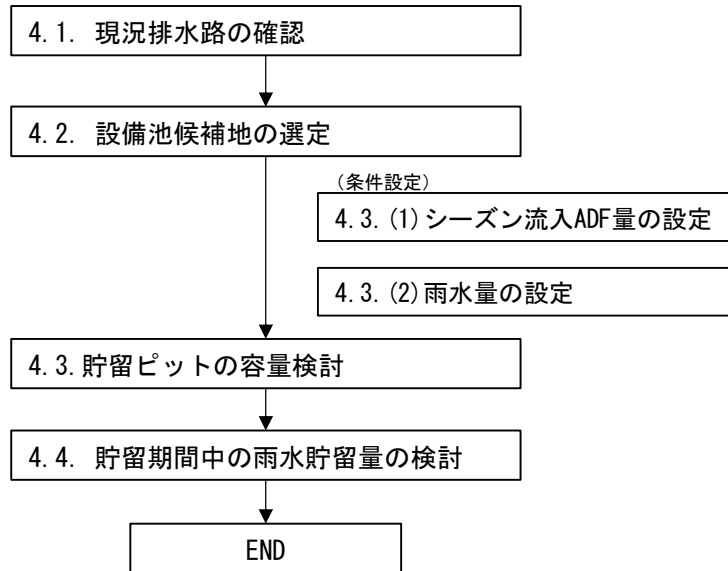


図 4.1 貯留施設による回収・処分に係る検討

4.1. 現況排水路の確認

有色 ADF 散布位置、散布後の排水が流入する排水系統及びその排水先や周辺の土地利用状況、埋設物等に関して確認する。

【解説】

有色 ADF を散布する位置及びその排水が流入する系統・排水先及び周辺の土地利用状況、埋設物により、処理対策設備の配置等が異なると想定されるため、当該情報を以下の資料等から確認するものとする。

- ・ ADF 散布位置：デアイシング作業記録等
- ・ 排水流入系統及び排水先：既往排水設計・検討資料等
- ・ 土地利用状況：施設台帳、航空写真等
- ・ 埋設物：埋設物台帳等

<参考>

本手引き作成における検討では、以下の資料をもとに ADF 散布位置及び排水流入系統、排水先を整理した。

- ・ ADF 散布位置
スポット使用実績
※各空港所在地の気象情報（気象庁データ）を参照し、気温 0℃以下または降雪時を ADF 散布が行われた時間として、当該時間に使用されたスポットを ADF 散布位置とした。
- ・ 排水流入系統及び排水先
既往排水設計・検討資料
- ・ 土地利用状況
各空港の施設台帳
- ・ 埋設物
各空港の埋設物台帳（一部空港のみ）

4.2. 設備候補地の選定

既設排水路から貯留施設に排水を分岐する位置及び貯留ピットの設置位置は、以下の通りとする。

(1) 排水路の分岐位置

排水路の分岐位置は、エプロン排水系統流末付近の緑地帯または GSE 通路・置場を基本とする。ただし、工事中の運用への影響等を考慮して現実的な配置とする。

(2) 貯留ピットの設置位置

貯留ピットは地下埋設型とし、設置場所は緑地帯を第一候補地とし、適した用地がない場合には GSE 通路・置場下とする。ただし、工事中の運用への影響等を考慮して現実的な配置とする。貯留ピットからは、貯留した ADF 排水を搬出する必要があることから、日中に回収車両が作業を行える配置とすることが望ましい。

【解説】

(1) 排水路の分岐位置

排水路を分岐し、ADF 排水を回収・処分する場合には、処分量の低減のため、なるべく雨水をとりこまない上流側（エプロン近傍）に分岐位置を設定することが望ましい。

エプロン舗装下に分岐排水路を設置することは、工事中の運用への影響が大きいと想定されることから、エプロン近傍での緑地帯を第一候補とし、適した用地がない場合には GSE 通路・置場とする。

ただし、エプロン付近は運用への影響が懸念されることから、工事による運用への影響を十分に考慮し、実現可能な配置とするよう留意する。

(2) 貯留ピットの設置位置

貯留ピットに関しても、分岐水路と同様に、エプロンや誘導路付近を避けて配置するものとする。なお、貯留ピットからは、貯留した ADF 排水を搬出する必要があることから、回収車両の作業性も考慮した配置とする。

具体的には、場周道路等、日中の車両の出入りが容易な施設周辺への配置が望ましい。分岐位置から貯留ピットまでの分岐管は管内貯留を行うものとするので、ピットの容量を抑えることができる。

<参考>

本手引き作成の検討においても、上記と同様の条件にて、設備配置を設定した。



4.3. 貯留ピットの容量検討

ADF 排水を貯留するピットの容量を検討する。貯留ピットの容量は、車両での回収を想定し、ADF 散布時の 1 日分の排水を貯留・回収できる容量とする。

1 日分の排水量は、ADF 排水量と雨水量の合計から設定される。それぞれの水量は以下の通りに設定する。

(1) ADF 排水量

貯留ピットに流入する ADF 排水量は以下の式にて設定される。

$$Q_{ADF} = Q \div (D \div 100) \times a \times C$$

ここに、 Q_{ADF} : 流入 ADF 排水量 (m³) (Type I・Type IV 別)

Q : 1 日 ADF 散布量 (kL) (原液相当、Type I・Type IV 別)

D : ADF の希釈倍率 (%) (Type I・Type IV 別、散布地域別)

a : ADF のエプロン落下率 (Type I : 100%、Type IV : 10%)

C : 貯留ピットまでの合成流出係数

それぞれの値は以下の手順にて設定するものとする。

1) 1 日 ADF 散布量 : Q

当該空港を利用する全エアラインで、それぞれの会社による 1 日の ADF 使用量を足し合わせたものを、1 日 ADF 使用量とする。

2) ADF の希釈倍率 : D

各空港における、各タイプの希釈倍率を設定するものとする。

3) ADF のエプロン落下率 : a

ADF Type I は全量(100%)、Type IV は 10%がエプロン面に落下するものとする。

または、各空港における実測値を用いることもできる。

4) 貯留ピットまでの合成流出係数 : C

エプロンにて散布され、落下した ADF 量と、デアイシング作業後の、エプロン排水路または空港排水路流末での、排水量及び排水中の ADF 濃度 (BOD 濃度、色度) を調査し、エプロン落下分と排水路流下分の比率から設定するものとする。

または、既往排水設計・検討資料で用いられている流出係数を準用することができる

$C =$ 実際に池に流入する ADF 量 / エプロンに落下した ADF 量

$=$ 散布後の排水量 \times 排水中の ADF 濃度 / エプロンに落下した ADF 量

($= 1/360 \times$ 散布後初の降水量(mm) \times 流域面積(ha) \times 排水中の ADF 濃度 / エプロンに落下した ADF 量) ※降雨後に流下した場合

【解説】

1) 1 日 ADF 散布量

当該空港を利用する全エアラインで、それぞれの会社による 1 日ごとの ADF 使用量を足し合わせたものを 1 日における ADF 散布量とする。設計にあたっては、ADF 散布量はばらつくことから、数年間での最大散布量を見込むことが望ましい。

なお、上記のデータを得ることが困難な場合には、〈参考〉に示すように、定期航空協会提供資料及び気象条件より ADF 散布量を推定することが考えられる。

2) ADFの希釈倍率

一般的に ADF Type I は、空港や使用時の気象状況により希釈倍率を設定して運用される。希釈倍率により、回収する ADF 排水量が増えることから、各空港にて適切な値を設定するものとする。なお、希釈倍率を変動させて運用している場合には、ADF 使用量と希釈倍率を考慮した際に、水量が最大になる場合を設定に用いるものとする。(希釈倍率は、積雪寒冷地空港では 50%、その他の空港では 20%で使用されている例がある。)

3) ADFのエプロン落下率

散布された ADF は一部がエプロン表面に落下し (一部は機体表面に付着する)、雨水等と混ざって排水路に流入し、貯留ピットへと流入する。このエプロンへの落下率は、ADF の種類により異なる (粘性の違いによる)。

実際の散布において、Type I は散布後にほとんどがエプロン面に落下、Type IV はほとんどが機体表面に付着し落下しないことが目視確認された。Type I・Type4 とともに安全側を見て、上記のエプロン落下率を設定するものとする。

なお、今後の検証において、より詳細な落下率が設定された場合には、この限りではない。

4) 貯留ピットまでの合成流出係数

散布後の流下中には、エプロン面での目地や排水路の継ぎ目等からの浸透や、路面や排水路への吸着、蒸発散などにより ADF の損失が生まれると想定される。そのため、設計にあたっては、分岐排水路候補地での排水量及び BOD 濃度 (ADF 濃度) を確認し、正確な ADF 流入量を見積もることが経済性の観点からは望ましい。既往の流出係数に係る調査の手法・結果については、「参考資料 側溝までの流出係数の調査」、例-2「ADF の流出率について」に示している。なお、各空港において正確な ADF 流入量の見積もりが困難な場合には、既往排水設計・検討資料で用いられている流出係数 (舗装で 0.95、芝地等では 0.3~0.5) を準用することができる。ただし、ADF は通常の雨水と、粘性等の特性が異なることから、既往排水設計・検討資料で用いられる流出係数を一律に適用するのは適切ではない可能性がある。

<ADF 排水の地下浸透に関して>

本手引きにおいては、空港場外の水質への影響を避けるため、基本的にエプロンに落下した ADF に対しては処理対策を行うものとし、ADF 排水の地下浸透を推奨しないものとする。

なお、地下浸透に関しては、浸透基準は、「有害物質を含む排水」に関して適用されるが、ADF は定められた有害物質を含まないため、ADF 排水は規制を受ける対象外となる (p.72 参考資料を参照)。

<参考>

本手引き作成の検討においては、以下の手順にて、貯留ピットに流入する ADF 排水量を設定した。

1) ADF 散布量 (1 日量、原液量)

- 3.1 (1)にて設定したシーズン ADF 散布量に「日最大散布量/年間散布量比率」を乗じて設定した。散布機体数が 1 日に離発着する機体数を超過した場合には、1 日の全機体数を ADF 散布機体数とした。

1 日あたりの ADF 散布量に関しては、データが得られないことから、年間散布量から 1 日使用量を推定した。

2) ADF の希釈倍率

- ADF Type I の希釈倍率を、積雪寒冷地空港においては 50%、その他の空港に関しては 20%とした。積雪寒冷地空港は、年間平均降雪日数が 2 日以上空港とした。
ADF Type IV に関しては、全国一律で原液状態で使用するものとした。

3) エプロンに落下する ADF 量

- 散布した ADF のうち、ADF Type I は全量(100%)、 Type IV は 10%がエプロン面に落下するものとした。

【解説】と同様の根拠にて設定した。

4) 排水路に流入する ADF 量

- エプロン面に落下した ADF は、流出係数に従って、排水路に流入するものとした。エプロン除雪後の雪捨て場を有する空港は、雪捨て場も流出起点とした。エプロン側溝と雪捨て場への ADF の分配は、各空港により異なると想定されることから、本手引き作成時の検討においては、安全側として、それぞれの側溝で、落下した ADF が流出係数に従い流入するものとした。

エプロンから既設排水路への流入に関しては、各空港での流出係数を把握していないことから、排水路の設計に用いられる流出係数に従うものとした (舗装で 0.95、芝地等では 0.3~0.5)。

エプロン除雪後の雪を移動させている空港に関しては、散布された ADF が雪に混ざって移動し、雪解けとともに流出すると想定されることから、雪捨て場も流出の起点とした。なお、エプロン部に残る ADF 量と雪捨て場に移動する ADF 量の割合については空港毎に異なると考えられるため、各空港における検討の際には、雪捨て場の BOD を計測することで ADF 量を推定することが望ましい。

5) 排水路から貯留ピットに流入する ADF 量

- 排水路に流入した ADF は全量が調節池に流入するものとし、排水路を流下中での蒸発や浸透・吸着によるロスは 0 とした。

ADF 排水は、排水路を流下し調節池に流入するまでに、蒸発や浸透・排水路面への吸着により損失が生じていると考えられるが、損失分の定量化は困難であり、安全側として、流下中の損失を見込まないものとした。

(2) 雨水量

貯留ピットの設計にて見込む雨水量は以下の式にて設定される。なお、ADF 散布時における日最大降水量は、ADF 散布時における空港気象観測台での日降水量の 10 年最大値とする。

$$Q_{\text{rain}} = 10 \times I \times C \times A$$

ここに、 Q_{rain} : 雨水量 (m³)

I : ADF 散布時における日最大降水量 (mm/day)

C : 貯留ピットへの合成流出係数 (既往排水設計・検討資料より設定)

A : 流域面積 (ha) (既往排水設計・検討資料より設定)

【解説】

散布された ADF が雨や雪と混ざって流下する場合があります、その場合は回収する排水量が増大するため、貯留ピット容量の設定にあたっては、この水量を見込まなければならない。

「空港土木施設設計要領（施設設計編）」（国土交通省航空局、令和 4 年）より、回収する水量は、ADF 散布時における日降水量の 10 年最大値（1 日分の排水を貯留するため）に基づくものとする。ただし、異常値が記録されている場合には、その影響を除くことを妨げないものとする。

ADF 散布時における降水量の把握には、エアラインの協力（散布日時の記録）が必要である。当該情報を得ることが難しい場合には、＜参考＞に示すように、気象条件から、ADF 散布日時を設定することが考えられる。

なお、現地調査等にて、ADF 排水回収時におけるより正確な雨水量の把握が可能な場合には、その水量にて設定を行う。

＜参考＞

本手引き作成の検討においては、以下の手順にて、貯留ピットに流入する雨水量を設定した。

雨水量の設定

- 排水量の検討にて考慮する雨水量は、以下の式にて求めた。なお、ADF 散布時の降水量は、ADF 散布時における日最大降水量とした。

$$\text{流入雨水量} = \text{ADF 散布時の降水量} \times \text{貯留ピットの流域面積} \times \text{流域の合成流出係数}$$

ADF 散布時における日最大降水量は、日最低気温が 0℃以下の日（ADF 散布日）における日降水量の 5 年最大値とした。

気温データは、各空港気象観測所データ（気象庁データ）を用いた。

4.4. 排水減容装置（蒸発・濃縮装置）の検討

排水減容装置（蒸発・濃縮装置）は、貯留ピットに流入する水量、減容処理を行う時間、産廃処分費用を含めた経済性等を比較し、導入を検討するものとする。

【解説】

回収した排水は車両により場外に搬出され、産廃処分される。産廃処分には処分費用（参考：新千歳では、7万円/m³）がかかることから、この処分費用低減のために、排水を濃縮し、処分量を低減することが望ましい。処分量の低減手法としては、蒸発・濃縮装置の利用がある。

蒸発・濃縮装置は、排水中の水分を蒸発させることで、排水を濃縮し水量を低減するものである。蒸発・濃縮処理は、一般に1日で2～5倍程度に排水を濃縮できるとされており、処理に時間をかけることができればできるほど、濃縮により容量を減らすことができる。そのため、ADF散布が連日行われなない場合には、時間をかけることで、容量を大きく減らすことができることから、処分費用の低減効果が大きくなる。よって、蒸発・濃縮装置の導入にあたっては、ADF排水量、処理を行う時間、産廃処分単価を設定し、導入／未導入それぞれの場合に要するコストを算定した上で判断することが望ましい。

第5章 活性炭フィルタによる脱色対策に係る検討（STEP-3）

「脱色対策（活性炭フィルタ）」の検討にあたっては、排水系統毎に流れ込む ADF 排水量を設定し、排水機能を維持しつつ、十分な脱色性能を有する配置方法を検討する。検討フローを以下に示す。

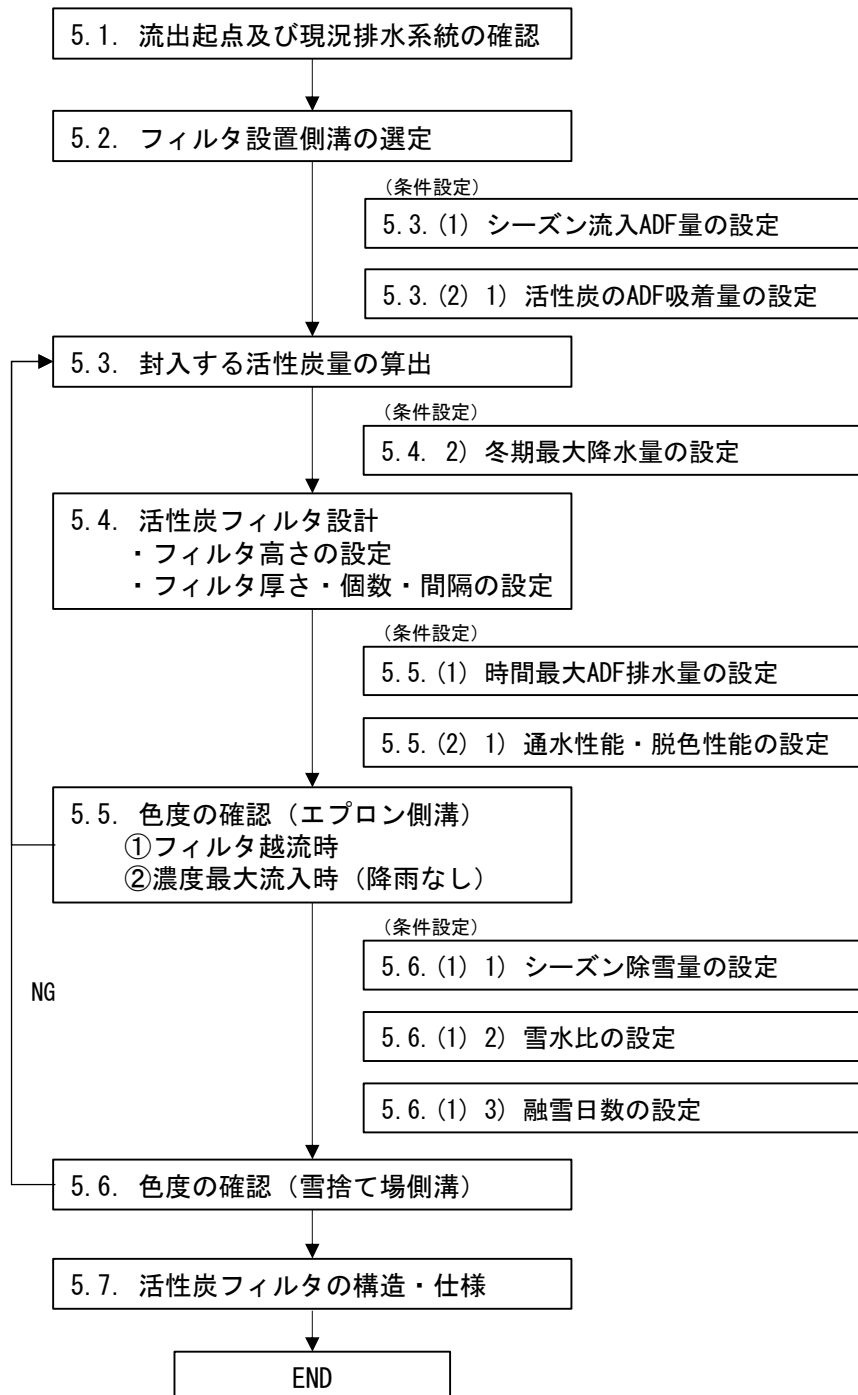


図 5.1 活性炭フィルタによる脱色対策の検討フロー

5.1. 流出起点及び現況排水系統の確認

有色 ADF 散布位置、散布後の排水が流入する排水系統及びその排水先に関して確認する。

【解説】

有色 ADF を散布する位置及びその排水が流入する系統・排水先により、活性炭フィルタの配置等が異なると想定されるため、当該情報を以下の資料等から確認するものとする。

除雪作業を実施している空港については、除雪作業により雪捨て場に ADF が移動している可能性があることから、雪捨て場の位置及び雪捨て場から流出する ADF 量についても併せて確認し、流出起点を適切に設定するものとする。

- ・ ADF 散布位置：デアイシング作業記録等
- ・ 排水流入系統及び排水先：既往排水設計・検討資料等
- ・ 雪捨て場位置：空港管理事務所・維持管理業者へのヒアリング

<参考>

本手引き作成における検討では、以下の資料をもとに ADF 散布位置及び排水流入系統、排水先を整理した。

- ・ ADF 散布位置
スポット使用実績
※各空港所在地の気象情報（気象庁データ）を参照し、気温 0℃以下または降雪時を ADF 散布が行われた時間として、当該時間に使用されたスポットを ADF 散布位置とした。
- ・ 排水流入系統及び排水先
既往排水設計・検討資料
- ・ 雪捨て場位置
各空港管理事務所へのヒアリング
- ・ 雪捨て場からの ADF 流出量
本手引き作成における検討では、エプロン部で散布された ADF のうち雪捨て場に移動する ADF 量を把握することができなかつたため、安全側の検討として、エプロン部で散布された ADF 量が、エプロン部及び雪捨て場からそれぞれ流出すると仮定した。
なお、雪捨て場からの ADF 流出量を把握する方法としては、雪捨て場の BOD 濃度を計測して、ADF 量に変換するなどの方法が考えられる。

5.2. フィルタ設置側溝の選定

活性炭フィルタは、有色 ADF 排水の流出起点（有色 ADF 散布エプロン、除雪後の雪捨て場等）の表面側溝に配置するものとする。

【解説】

活性炭による脱色処理は、入口側の有色 ADF 濃度が高い箇所ほど、同じ時間で活性炭にて吸着される着色物質の量が多く効率的である。また、地下の幹線・暗渠よりも表面側溝の方がフィルタの設置撤去・維持管理作業が容易である。これら対策効率・施工性の観点から、活性炭フィルタは、排水中の有色 ADF 濃度が高い流出起点の表面側溝に設けることを基本とする。なお、当該箇所への設置が不適切な場合は、より下流の排水系統内（幹線暗渠等）に設置することも考えら

れる。幹線暗渠等に設置する場合には、活性炭フィルタを通過せず、排水が場外に流出することがないように、配置に留意する。参考として、東京国際空港における活性炭フィルタの配置の考え方・留意点を、例-3「東京国際空港における活性炭フィルタの設置例」に示している。流出起点は、有色 ADF 散布エプロンを基本とするが、除雪作業による ADF の移動を考慮することとする。

5.3. 封入する活性炭量の算出

シーズン中に、フィルタ内部の活性炭の交換が発生しないように封入する活性炭量を算出する。なお、活性炭量や 1 箇所あたりのフィルタ厚さ等が過大となる場合には、シーズン中の交換を考慮して封入量を設定することも考えられる。

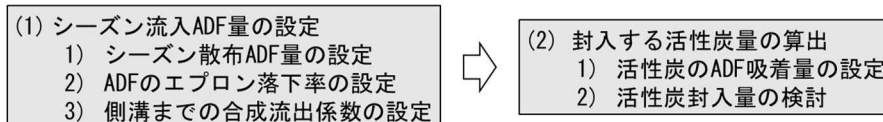


図 5.2 封入する活性炭量の検討手順

(1) シーズン流入 ADF 量の設定

側溝に流入する 1 シーズンにおける ADF 量（原液相当量）は以下の式にて設定される。

$$Q_{in} = Q_s \times a \times r \times C$$

- ここに、 Q_{in} : 流入 ADF 量 (kL) (原液相当、Type I・Type IV 別)
 Q_s : ADF 散布量 (kL) (原液相当、Type I・Type IV 別)
 a : ADF のエプロン落下率 (Type I : 100%、Type IV : 10%)
 r : 除雪による ADF の移動・残留割合
 C : 側溝までの合成流出係数

それぞれの値は以下の手順にて設定するものとする。

- 1) シーズン ADF 散布量 : Q_s
当該空港を利用する全エアラインの 1 シーズンにおける ADF 使用量の合計値とする。
- 2) ADF のエプロン落下率 : a
ADF Type I は全量(100%)、Type IV は 10%がエプロン面に落下するものとする。
または、各空港における実測値を用いることもできる。
- 3) 除雪による ADF の移動・残留割合 : r
除雪による ADF の移動・残留割合 (エプロン残留分と雪捨て場移動分の分配割合) を設定する。移動量の把握は、雪捨て場の BOD 濃度から、ADF 量に変換することが考えられる。
- 4) 側溝までの合成流出係数 : C
エプロンにて散布され、落下した ADF 量と、デアイシング作業後のエプロン排水路における排水量及び排水中の ADF 濃度 (BOD 濃度、色度) を調査し、エプロン落下分と排水路流下分の比率から設定するものとする。雪捨て場については、雪捨て場に移動した ADF 量と排水路における融雪水量及び ADF 濃度 (BOD 濃度、色度) を調査し、比率から設定するものとする。または、既往排水設計・検討資料で用いられている流出係数を準用することができる。

$$C = \frac{\text{実際にエプロン側溝に流入する ADF 量}}{\text{エプロンに落下した ADF 量}} \\
= \frac{\text{散布後の排水量} \times \text{排水中の ADF 濃度}}{\text{エプロンに落下した ADF 量}} \\
(= 1/360 \times \text{散布後初の降水量(mm)} \times \text{流域面積(ha)} \times \text{排水中の ADF 濃度} / \text{エプロンに落下した ADF 量}) \quad \text{※降雨後に流下した場合}$$

【解説】

活性炭フィルタの検討にあたっては、まず、側溝に流入する ADF 量を設定することが必要である。

1) シーズン ADF 散布量

フィルタに封入する活性炭量の算定のために 1 シーズン全体での散布量を確認するものとする。1 シーズンの ADF の使用量は、各エアラインの ADF 剤の在庫状況や購入量または、実際の散布車両への投入量の累計から求められる。ADF 使用量は、シーズンごとにばらつきがあることから、数年分の実績から最大使用量を抽出し、設計に用いるものとする。エプロンや排水系統が複数ある場合には、空港全体の散布量を各箇所適切な割合で分配することが望ましい。分配の設定が困難な場合には、安全側として、空港全体の散布量を各排水系統に流入する散布量とすることが考えられる。

2) ADF のエプロン落下率

散布された ADF は一部がエプロン表面に落下し（一部は機体表面に付着する）、雨水等と混ざって排水路に流入する。このときのエプロンへの落下率は、ADF の種類により異なる（粘性の違いによる）。

実際の散布において、Type I は散布後にほとんどがエプロン面に落下、Type IV はほとんどが機体表面に付着し落下しないことが目視確認された。Type I・Type IV とともに安全側を見て、前述のエプロン落下率を設定するものとする。

なお、今後の検証において、より詳細な落下率が設定された場合には、この限りではない。

3) 除雪による ADF の移動・残留割合

エプロン面に落下した ADF は一部が除雪により雪捨て場へ移動し、雪捨て場を起点として流出することとなる。そこで、各流出起点への ADF の分配割合（移動・残留割合）を設定するものとする。雪捨て場からの ADF 流出量を把握する方法としては、雪捨て場の BOD 濃度を計測して、ADF 量に変換するなどの方法が考えられる。

4) 側溝までの合成流出係数

散布後及び雪捨て場への移動後の流下中には、エプロン面での目地や排水路の継ぎ目等からの浸透や、路面や排水路への吸着、蒸発散などにより ADF の損失が生まれると想定される。そのため、設計にあたっては、エプロン側溝等での排水量及び BOD 濃度（ADF 濃度）を確認し、正確な ADF 流入量を見積もることが経済性の観点からは望ましい。既往の流出係数に係る調査の手法・結果については、「参考資料 側溝までの流出係数の調査」、例-2「ADF の流出率について」に示している。なお、各空港において正確な ADF 流入量の見積もりが困難な場合には、既往排水設計・検討資料で用いられている流出係数（舗装で 0.95、芝地等では 0.3~0.5）を準用することができる。ただし、ADF は通常の雨水と、粘性等の特性が異なることから、既往排水設計・検討資料で用いられる流出係数を一律に適用するのは適切ではない可能性がある。

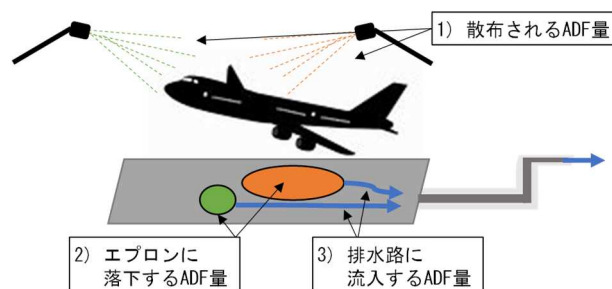
<ADF 排水の地下浸透に関して>

本手引きにおいては、空港場外の水質への影響を避けるため、基本的にエプロンに落下した ADF に対しては処理対策を行うものとし、ADF 排水の地下浸透を推奨しないものとする。

なお、地下浸透に関しては、浸透基準は、「有害物質を含む排水」に関して適用されるが、ADF は定められた有害物質を含まないため、ADF 排水は規制を受ける対象外となる（p.72 参考資料を参照）。

<参考>

本手引き作成の検討においては、以下の手順にて、側溝に流入する ADF 量を設定した。



ADF 量設定概要図

- 1) 散布される ADF 量 (シーズン量、原液量)
 - 各空港におけるシーズン ADF 散布量 (各空港におけるグラウンドハンドリング会社へのヒアリングより整理) に基づき整理した。
- 2) エプロンに落下する ADF 量
 - 散布した ADF のうち、ADF Type I は全量(100%)、 Type IV は 10% がエプロン面に落下するものとした。
 - 【解説】と同様の根拠にて設定した。
- 3) 排水路に流入する ADF 量
 - エプロン面に落下した ADF は、流出係数に従って、排水路に流入するものとした。エプロン除雪後の雪捨て場を有する空港は、雪捨て場も流出起点とした。エプロン側溝と雪捨て場への ADF の分配は、各空港により異なると想定されることから、本手引き作成時の検討においては、安全側として、それぞれの側溝で、落下した ADF が流出係数に従い流入するものとした。

エプロンから既設排水路への流入に関しては、各空港での流出率を把握していないことから、排水路の設計に用いられる流出係数に従うものとした（「空港土木施設設計要領（施設設計編）」（国土交通省航空局、令和4年）に基づき舗装で 0.95、芝地等では 0.3~0.5 とした）。

エプロン除雪後の雪を移動させている空港に関しては、散布された ADF が雪に混ざって移動し、雪解けとともに流出すると想定されることから、雪捨て場も流出の起点とした。なお、エプロン部に残る ADF 量と雪捨て場に移動する ADF 量の割合については空港毎に異なると考えられるため、各空港における検討の際には、雪捨て場の BOD を計測することで ADF 量を推定することが望ましい。

(2) 封入する活性炭量の算出

以下の手順にて、活性炭の封入量を設定する。

1) 活性炭の ADF 吸着量の設定

使用する活性炭の、単位量当たりの有色 ADF 吸着量を設定するものとする。なお、活性炭については、通水性及び脱色性能を考慮し、各空港の状況に応じて適切なものを使用することとする。

2) 活性炭封入量の検討

フィルタ内への活性炭の封入量については、シーズン中の活性炭交換がないよう、1 シーズン分の流入 ADF を吸着できる量を基本とする。

【解説】

1) 活性炭の ADF 吸着量の設定

活性炭が有色 ADF 排水中の着色成分を吸着すると、流入側から徐々に飽和していき、最終的に全体が飽和すると、流出側の色度が急激に上昇し、流入側と等しくなる（脱色効果がなくなる）。これを活性炭の破過という。

活性炭が破過するまでに吸着することのできる有色 ADF 量は、本手引き作成時の検討において使用した活性炭（粒径 0.5～2.4 mm）では、120 L/kg であった。ただし、活性炭の材料等により異なることから、別途吸着量を確認し、その値を用いることもできる。

なお、本手引き作成時の検討においては、通水性能及び脱色性能の両者を考慮した際に、粒径 0.5～2.4mm 程度のものが推奨された。

2) 活性炭封入量の算出

シーズン中に活性炭が破過してしまうと、排水の脱色機能確保のために活性炭の交換が必要となるが、破過のタイミングが把握困難であることや作業性を考慮すると、シーズン中での交換が発生しないように活性炭量を調整しておくことが合理的であることから、過去のシーズン流入 ADF 量の最大値を吸着できるだけの活性炭をフィルタ内に封入するものとする。ただし、活性炭量が多い場合には、シーズン途中での交換を前提として検討を進めることが合理的な場合もあるため、各空港の状況に応じて適切に判断するものとする。

なお、封入する活性炭は、全量が常に 100%機能するわけではなく、フィルタの上端側の活性炭は、降雨等の水量増加時にのみ機能することが考えられる。そのため、算出した必要活性炭量からさらに割増をした量をフィルタ内に封入することや、シーズン途中でフィルタ内の上側と下側の活性炭を入れ替える等の対策を行うことが望ましい。

<参考>

本手引き作成の検討においては、以下の通りとした。

1) 活性炭の ADF 吸着量の設定

- 検討に使用した活性炭（粒径 0.5～2.4mm）の試験値として、活性炭 1kg あたり 120 L の ADF を吸着できるものとした。

2) 活性炭封入量の算出

- シーズン中の交換が発生しないよう、シーズン流入 ADF 量の最大値を吸着できる量の活性炭を封入するものとした。
なお、活性炭量の割増については、散布された ADF の大半が降雨時や融雪期といった水量が増加するタイミングに流出するものと仮定し、フィルタ全面が機能しているものとして、非考慮とした。

5.4. 活性炭フィルタ設計

以下の手順にて、活性炭フィルタの寸法や設置間隔等を設定する。

1) 側溝断面の確認

土木施設台帳等の資料及び現地調査から、フィルタ設置箇所の側溝断面寸法を確認するものとする。設置箇所の側溝幅をもとに、フィルタ幅を設定する。

2) 冬季最大降水量の確認

フィルタ高さの決定にあたっては、冬季（ADF 散布・流出(融雪)期間）の降水を流下させられるよう配慮するものとする。流下させる流量については、冬季（ADF 散布・流出(融雪)期間）の降雨強度に基づき、合理式により設定するものとする。

3) フィルタ高さの設定

活性炭フィルタ高さは、ADF 排水を処理するために、可能な限り高くすることが望ましいが、側溝からの溢水を避ける必要があることから、上記の冬季最大降水量を流下させることができるように、フィルタ高さの上限を設定する。

4) フィルタ厚さ、個数及び設置間隔の設定

設定したフィルタの幅・高さ と活性炭の封入量から、厚さ、個数及び設置間隔を設定する。

【解説】

1) 側溝断面の確認

設定したフィルタ設置位置における排水側溝の断面を確認する。図面と施設現況の整合性が確認できない場合は現場での実測結果を優先する。なお、グレーチングの設置部を除いた有効な断面について確認するよう留意する。活性炭フィルタの幅は、フィルタ設置部で水がフィルタを通過せずに流下することがないように、側溝と同一として設定する。

2) 冬季最大降水量の確認

冬季に必要な確保すべき通水量を確認するために、既往の実績降雨を確認する。実績最大降水量に対応可能なことが望ましいが、空港の排水施設は、「空港土木施設設計要領（施設設計編）」（国土交通省航空局、令和4年）に基づき、10年確率降雨を標準としていることから、フィルタ設置期間における降雨実績から、冬季での10年確率降雨強度を設定する。

冬季として考慮する期間は、活性炭フィルタを設置する期間として、ADF 散布・流出期間（散布後の降雨時の流出が想定される）と融雪により雪捨て場の ADF 排水が流出する期間を考慮するものとする。

排水側溝への降雨の流出量は、降雨強度及び流達時間、集水面積、流出係数から合理式を用いて算定されるが、それらの諸元は排水設計時の流量表から確認し、設定する。

<参考>

【合理式】

$$Q = \frac{1}{360} \times C \times I \times A$$

ここで、Q：流出量(m³/s)、C：流出係数、I：流達時間内の降雨強度(mm/hr)、
A：流出面積(ha) である。

3) フィルタ高さの設定

活性炭フィルタは、流入した ADF 排水を全量処理できることが望ましいため、可能な限り越流を起こさないよう、高さを高く設定することが望ましい。一方で、活性炭フィルタを排水側溝内に設置すると、フィルタ設置部は通水量が限定されるため、水路の排水能力が低下することに注意が必要である。

そこで、脱色対策と排水施設機能の兼ね合いから、活性炭フィルタの高さは、上記の冬季降雨を流下させるために必要な断面を確保しつつ、最大となるよう設定することを基本とする。なお、フィルタ高さの設定に際しては、「空港土木施設設計要領（施設設計編）」（国土交通省航空局、令和4年）に基づき、最大通水可能量の90%が設計水量となるよう余裕高を設けるものとする。

活性炭フィルタは排水側溝内で堰として機能することから、フィルタ設置部での通水量は、堰の越流公式に基づき算定するものとする。具体的な各高さの関係は、図 5.3 の通りである。

$$h = H - h1' - (h2 + h2')$$

ここに、 h : フィルタ高さ (m)

H : 側溝高さ (m)

$h1$: 側溝の設計水深 (m)

$h1'$: 側溝の設計余裕高 (m)

$h2$: 冬季降雨の設計水深 (m) (冬季に必要な通水量 Q を流下させる越流高さ)

$h2'$: 冬季降雨の設計余裕高 (m)

また、堰の越流公式より、

$$h2 = (Q / C \cdot B)^{2/3}$$

ここに、 Q : 冬季に必要な通水量 (m^3/s)

C : 堰の流出係数 (一般的に、 $C=1.8^*$ とする)

B : 側溝幅 (m)

※下水道施設計画・設計指針と解説-2019年版-p.359 (日本下水道協会、2019年)より

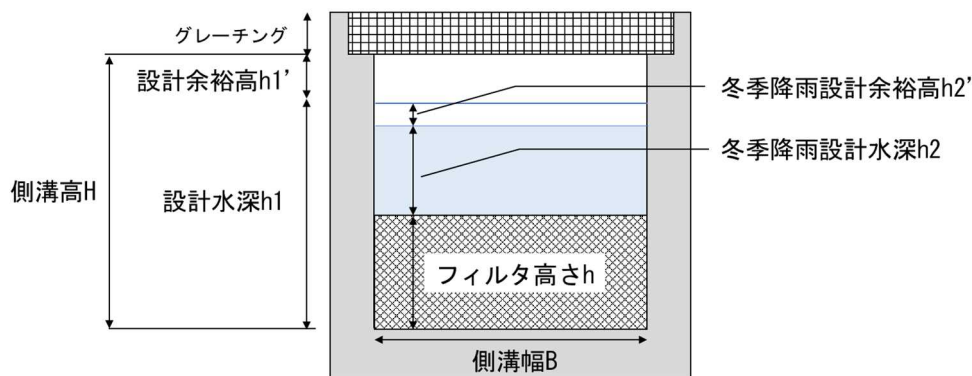


図 5.3 各設計高の関係

<参考>

【越流公式】

$$Q = CBh^{3/2}$$

ここで、 Q : 越流量(m^3/s)、 B : 堰幅(m)、 C : 流量係数、 h : 越流水深(m)である。

4) フィルタ厚さ、個数及び設置間隔の設定

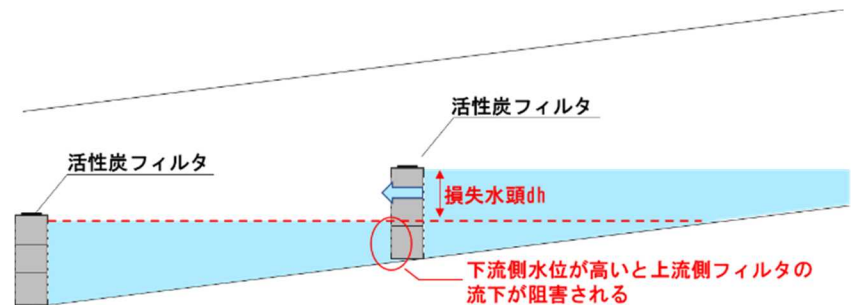
活性炭フィルタを複数個配置する場合、フィルタ同士の間隔が小さいと、下流側のフィルタの影響で、上流側のフィルタを通過する水量が低減されてしまう。そこで、活性炭フィルタの配置に際しては、フィルタ天端までの貯留時に上流側のフィルタに影響を及ぼさない程度の間隔を設けることを基本とする。

具体的な設置間隔については、排水側溝の勾配や設置するフィルタの高さによるが、例えば、側溝断面を、H0.5m×W0.5m、縦断勾配 0.3%、フィルタ高さ 0.25m と仮定すると、フィルタ高さ 0.25m により貯留される水路延長は、 $L=0.25\text{m} \div 0.3\%=83.3\text{m}$ となり、概ねコード E~F の 1 スポット幅 72.5~87.5m と一致することから、スポットごとの配置とすることが考えられる。

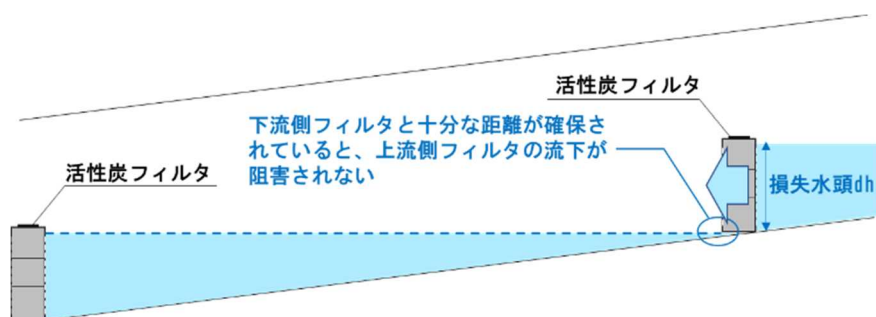
ただし、ADF 散布量の少ない空港では、1 か所あたりの対策規模が非常に小規模となることが想定される。そのような場合には、複数のフィルタを設置することの施工手間や小規模なフィルタ製作の困難さを考慮して、複数箇所分の活性炭をまとめてひとつのフィルタに集約することも考えられる。同様に、散布量の少ない空港においては、散布後の降雨により ADF が十分希釈される可能性もあることから、降雨による希釈にて色度が十分に低減されると考えられる場合については、安全対策として最下流にのみ活性炭フィルタを設ける等、経済的な設計とすることも考えられる。

また、表面側溝から、集水枡を通じて暗渠に排水が流れ込んでいる場合については、施工や維持管理が難しい暗渠への設置を避けるため、集水枡の手前にフィルタを設置するものとする。

上述の、活性炭封入量、フィルタ高さ及び設置個数から、フィルタの厚さを設定する。1 か所当たりの厚さが過大となってしまう場合には、設置個数を増やしたり、シーズン中の交換を前提として、封入する活性炭量を低減する等の対応が考えられる。設置箇所数が増加した等で、フィルタ間の間隔が確保できない場合には、下流側のフィルタによる貯留時の水位を考慮して、上流側のフィルタの通過水量を低減した状態で見込む（損失水頭を低減させる）よう配慮する（p.51）。



(a) 下流側フィルタにより上流側フィルタの流下が阻害される場合



(b) 下流側フィルタで上流側フィルタの流下が阻害されない場合

図 5.4 フィルタの配置間隔

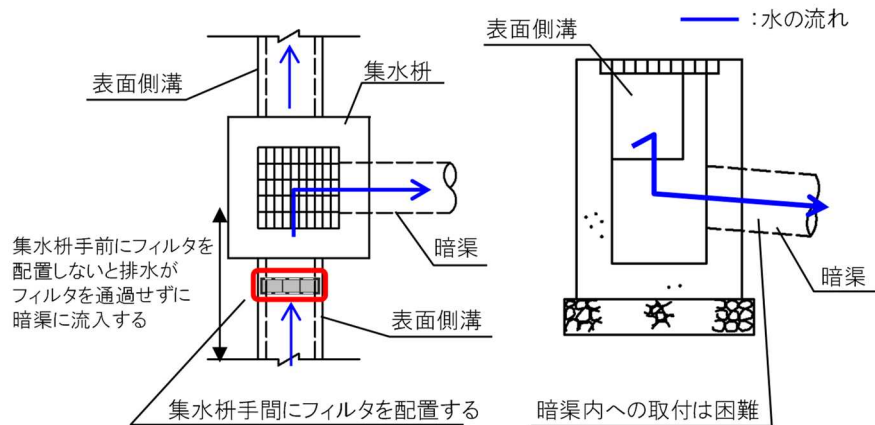


図 5.5 集水枡がある場合のフィルタ配置

<参考>

本手引き作成の検討においては、以下の通りとした。

- 1) 側溝断面の確認
 - 各空港の土木施設台帳より、側溝幅・高さ・勾配、グレーチング厚さを確認した。
- 2) 冬季最大降水量の確認
 - 近年の降雨トレンドも考慮し、直近 10 年での実績降水量を確認し、最大値を採用した。降水量データは、各空港に近接した気象観測台のものを用いた。降水量を確認する期間については、活性炭フィルタ設置が想定される期間として、ADF 散布実績のある期間 + 融雪期間（積雪寒冷地空港）として整理した。
- 3) フィルタ高さの設定
 - 堰の越流公式にて、上記の冬季降水量を流下させるために必要な越流水深を算定し、10% の余裕高を見込んで、フィルタ高さの上限を設定した。
- 4) フィルタ厚さ、個数及び設置間隔の設定
 - 活性炭フィルタは、スポットごとに配置することを原則とした。フィルタ厚さは全スポットで共通とし、空港全体に必要な活性炭量を等分し、活性炭を充填できる厚さとした。1 箇所あたりの厚さは、フィルタ製作を想定して、最低 10cm として整理した。

5.5. 色度の確認（エプロン側溝）

設定した活性炭フィルタの寸法・配置にて、ADF 排水流入時に、フィルタ出口側（フィルタによる脱色直後）で、色度目標値を達成できることを確認する。確認に際しては、①降雨なしの濃度最大流入時（5.5 (2) 3)）、②降雨によりフィルタ上を越流する時（5.5 (2) 4)） について、検討を行うものとする。

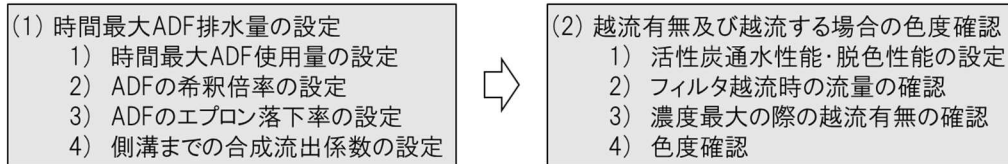


図 5.6 色度の確認の検討手順

(1) 時間最大 ADF 排水量の設定

1 時間当たりに側溝に流入する最大 ADF 排水量は以下の式にて設定される。

$$Q_{ADF} = Q_a \div (D \div 100) \times a \times C$$

- ここに、 Q_{ADF} : 流入 ADF 排水量 (m³) (Type I・Type IV 別)
 Q_a : 時間当たり最大 ADF 散布量 (kL) (原液相当、Type I・Type IV 別)
 D : ADF の希釈倍率 (%) (Type I・Type IV 別、散布地域別)
 a : ADF のエプロン落下率 (Type I : 100%、Type IV : 10%)
 C : 側溝までの合成流出係数

それぞれの値は以下の手順にて設定するものとする。

- 1) ADF 散布量 : Q_a
当該空港を利用する全エアラインでの 1 機当たりの最大散布量を時間当たり最大 ADF 散布量とする。
- 2) ADF の希釈倍率 : D
各空港における、各タイプの希釈倍率を設定するものとする。
- 3) ADF のエプロン落下率 : a
ADF Type I は全量(100%)、Type IV は 10%がエプロン面に落下するものとする。
または、各空港における実測値を用いることもできる。
- 4) 側溝までの合成流出係数 : C
エプロンにて散布され、落下した ADF 量と、デアイシング作業後の、エプロン排水路での、排水量及び排水中の ADF 濃度 (BOD 濃度、色度) を調査し、エプロン落下分と排水路流下分の比率から設定するものとする。
または、既往排水設計・検討資料で用いられている流出係数を準用することができる。

$$C = \text{実際にエプロン側溝に流入する ADF 量} / \text{エプロンに落下した ADF 量}$$

$$= \text{散布後の排水量} \times \text{排水中の ADF 濃度} / \text{エプロンに落下した ADF 量}$$

$$= 1/360 \times \text{散布後初の降水量(mm)} \times \text{流域面積(ha)} \times \text{排水中の ADF 濃度} / \text{エプロンに落下した ADF 量} \quad \text{※降雨後に流下した場合}$$

【解説】

1) ADF 散布量

当該空港を利用する全エアラインでの 1 機当たりの最大散布量を時間当たり最大 ADF 散布量

とする。設計にあたっては、ADF 散布量はばらつくことから、数年間での最大散布量を見込むことが望ましいが、異常値が見られる場合には、それを考慮しないことは妨げない。

2) ADF の希釈倍率

一般的に ADF Type I は、空港や使用時の気象状況により希釈倍率を設定して運用される。希釈倍率により、回収する ADF 排水量が変化することから、各空港にて適切な値を設定するものとする。なお、降雨なしの濃度最大流入時 (5.5 (2) 3)) の検討では、希釈倍率を変動させて運用している場合には、ADF 使用量と希釈倍率を考慮した際に、色度確認はフィルタを ADF が全量通過又は越流する 2 ケースあり、安全側を見て越流する場合の方を考慮して水量が最大になる場合を設定に用いるものとする。(希釈倍率は、積雪寒冷地空港では 50%、その他の空港では 20% で使用されている例がある。)

3) ADF のエプロン落下率

散布された ADF は一部がエプロン表面に落下し (一部は機体表面に付着する)、雨水等と混ざって排水路に流入し、調節池へと流入する。このエプロンへの落下率は、ADF の種類により異なる (粘性の違いによる)。

実際の散布において、Type I は散布後にほとんどがエプロン面に落下、Type IV はほとんどが機体表面に付着し落下しないことが目視確認された。Type I・Type IV ともに安全側を見て、前述のエプロン落下率を設定するものとする。

なお、今後の検証において、より詳細な落下率が設定された場合には、この限りではない。

4) 側溝までの合成流出係数

散布後の流下中には、エプロン面での目地や排水路の継ぎ目等からの浸透や、路面や排水路への吸着、蒸発散などにより ADF の損失が生まれると想定される。そのため、設計にあたっては、エプロン側溝等での排水量及び BOD 濃度 (ADF 濃度) を確認し、正確な流入 ADF 量を見積もることが望ましい。なお、ADF は通常の雨水と、粘性等の特性が異なることから、既往排水設計・検討資料で用いられる流出係数を一律に適用するのは適切ではない可能性がある。

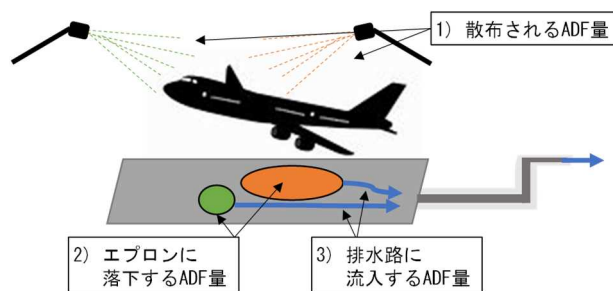
<ADF 排水の地下浸透に関して>

本手引きにおいては、空港場外の水質への影響を避けるため、基本的にエプロンに落下した ADF に対しては処理対策を行うものとし、ADF 排水の地下浸透を推奨しないものとする。

なお、地下浸透に関しては、浸透基準は、「有害物質を含む排水」に関して適用されるが、ADF は定められた有害物質を含まないため、ADF 排水は規制を受ける対象外となる (p.72 参考資料を参照)。

<参考>

本手引き作成の検討においては、以下の手順にて、側溝に流入する ADF 量を設定した。



ADF 量設定概要図

- 1) 散布される ADF 量（時間最大量、原液量）
 - 各空港における 1 機当たり ADF 散布量（各空港におけるグランドハンドリング会社へのヒアリングより整理）に基づき整理した。
- 2) エプロンに落下する ADF 量
 - 散布した ADF のうち、ADF Type I は全量(100%)、 Type IV は 10% がエプロン面に落下するものとした。
 - 【解説】と同様の根拠にて設定した。
- 3) 排水路に流入する ADF 量
 - エプロン面に落下した ADF は、流出係数に従って、排水路に流入するものとした。エプロン除雪後の雪捨て場を有する空港は、雪捨て場も流出起点とした。エプロン側溝と雪捨て場への ADF の分配は、各空港により異なると想定されることから、本手引き作成時の検討においては、安全側として、それぞれの側溝で、落下した ADF が流出係数に従い流入するものとした。

エプロンから既設排水路への流入に関しては、各空港での流出係数を把握していないことから、排水路の設計に用いられる流出係数に従うものとした（舗装で 0.95、芝地等では 0.3~0.5）。

エプロン除雪後の雪を移動させている空港に関しては、散布された ADF が雪に混ざって移動し、雪解けとともに流出すると想定されることから、雪捨て場も流出の起点とした。なお、エプロン部に残る ADF 量と雪捨て場に移動する ADF 量の割合については空港毎に異なると考えられるため、各空港における検討の際には、雪捨て場の BOD を計測することで ADF 量を推定することが望ましい。

(2) 越流有無及び越流する場合の色度確認

以下の手順で、活性炭フィルタを設置した際の越流有無、及び越流する場合の有色 ADF 排水の脱色後の色度について確認する。

1) 活性炭の通水性能・脱色性能の設定

使用する活性炭の通水性能や脱色性能を設定する。

2) フィルタ越流時の流量の確認

排水がフィルタ上を越流し始める際の流量を確認するものとする。

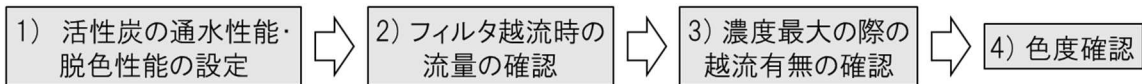
3) 濃度最大の際の越流有無の確認

時間当たりの最大散布量が流入した際に、フィルタを越流することがないか確認するものとする。越流する場合は、越流するタイミングの流量でフィルタ下流側の色度を確認するものとする。

4) 色度確認

時間最大流入 ADF 量を基に、降雨で越流する際における、活性炭フィルタを通過する分と、越流する分が合流した際の色度を算出し、目標値を満足するかを確認するものとする。

色度が目標値を超過してしまう場合には、5.3、5.4 に戻り、活性炭量やフィルタ個数の増加等を検討するものとする。



【解説】

1) 活性炭の通水性能・脱色性能の設定

活性炭は、その形状および材料により複数種類に分類され、それぞれで通水性能や脱色性能が異なることから、各空港で適切なものを採用するよう留意する。一般に、粒径が細かいものほど、吸着能力が高く脱色性能が高い。一方で、粒径が細かいものは、水理的損失が大きいことから、通過できる水量が小さい。

本手引き作成時の検討では、通水性能及び脱色性能の両者を考慮した際に、粒径が 0.5~2.4mm 程度の活性炭が適当と考えられたが、各空港における ADF 使用量や冬季の降水量等を考慮して、最適なものを選定するものとする。

2) フィルタ越流時の流量の確認

活性炭フィルタは、流下能力確保のために、降雨等の際の越流を前提としているが、越流部についてはフィルタによる脱色が行われないことから、越流が起こる際にフィルタ下流側の色度が高くなることが想定される。そのため、ADF 排水がフィルタ上部を越流する際の流量を確認するものとする。なお、越流が起こった際のフィルタ透水係数の変動については十分な知見が得られていない。今後の検証において、より詳細な透水係数の検討が行われた場合には、その知見を活用することも考えられる。

3) 濃度最大の際の越流有無の確認

色度が最も大きい場合（濃度が最大の場合）の越流の有無を確認するものとし、越流する場合は、越流するタイミングの流量でフィルタ下流側の色度を確認するものとする。

なお、室内試験や現地試験において活性炭の脱色効果は確認できていることから、越流しない場合（全量が活性炭を通過する場合）は同様の脱色効果が得られているものとする。

4) 色度確認

越流する場合、越流量については、活性炭フィルタによる脱色が働かないものとして、以下の式に基づき、フィルタ下流側の色度を算出する。活性炭フィルタを1つの排水系統に複数配置する場合、上流側の排水は複数のフィルタを通過することとなるが、1つのフィルタを通過した際に、目標値を満たすことを基本とする。なお、下流側のフィルタによる脱色や排水系統下流で雨水等と合流することによる希釈効果を考慮することを妨げるものではない。

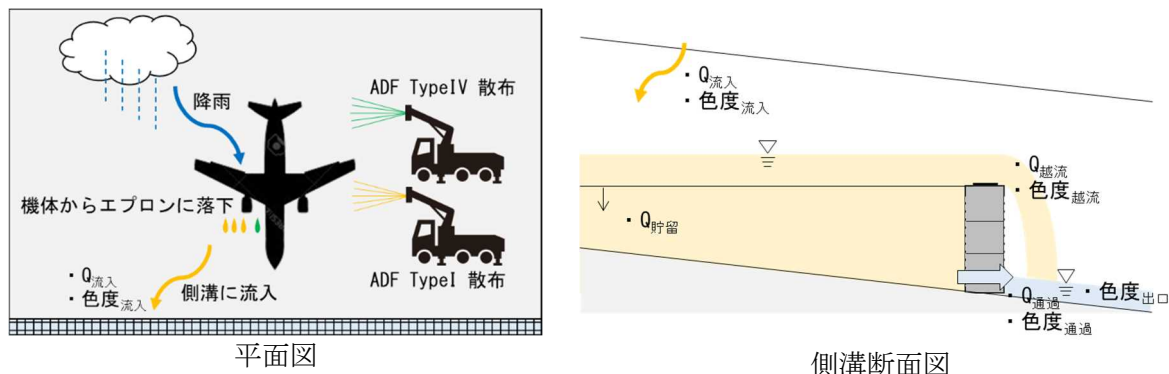


図 5.7 色度確認計算の概念図

$$\text{色度}_{\text{出口}} = (\text{色度}_{\text{通過}} \times Q_{\text{通過}} + \text{色度}_{\text{越流}} \times Q_{\text{越流}}) \div (Q_{\text{通過}} + Q_{\text{越流}})$$

ここに、 $\text{色度}_{\text{出口}}$: フィルタ出口側での色度

$\text{色度}_{\text{通過}}$: フィルタを通過した ADF 排水の色度

$Q_{\text{通過}}$: 活性炭フィルタを通過する ADF 排水量 (m³/hr)

$Q_{\text{越流}}$: 活性炭フィルタを越流する ADF 排水量 (m³/hr)

また、色度について、

$$\text{色度}_{\text{通過}} = \text{色度}_{\text{流入}} \times \text{フィルタ除去率}$$

$$\text{色度}_{\text{越流}} = \text{色度}_{\text{流入}}$$

$$\text{色度}_{\text{流入}} = (\text{色度}_{\text{Type I}} + \text{色度}_{\text{Type IV}}) \div Q_{\text{流入}}$$

$$= (750 \times Q_{\text{ADF Type I (原液} \cdot L)} + 250 \times Q_{\text{ADF Type IV (原液} \cdot L)}) \div Q_{\text{流入}(L)}$$

ここに、フィルタ除去率：使用する活性炭の性能・SVに基づき、表 5.1 のように設定

ここに、 $\text{色度}_{\text{Type I}}$: 流入する ADF Type I による色度負荷

ここに、 $\text{色度}_{\text{Type IV}}$: 流入する ADF Type IV による色度負荷

各 ADF の色度負荷は、Type I : 750 度、Type IV : 250 度とする (原液 1L あたり)

水量について、

$$Q_{\text{通過}} = 36 \times B \times h \times k \times dh/dl \text{ (m}^3/\text{hr)}$$

$$Q_{\text{越流}} = Q_{\text{流入}} - Q_{\text{通過}} - Q_{\text{貯留}} \text{ (m}^3/\text{hr)}$$

$$Q_{\text{流入}} = Q_{\text{ADF Type I}} + Q_{\text{ADF Type IV}} + Q_{\text{降雨}} \text{ (m}^3/\text{hr)} \quad \text{※} Q_{\text{ADF Type I}} \text{ は希釈水を含む}$$

$$Q_{\text{貯留}} = B \times 1/2 \times h \times (h \div (i / 100)) \text{ (m}^3)$$

$$Q_{\text{降雨}} = 10 \times C \times I \times A \text{ (m}^3/\text{hr)}$$

ここに、 B : 側溝幅 (m)

h : フィルタ高さ (m)

dh : 損失水頭 (m)

※通常、フィルタ高さ h と同等とできるが、下流側フィルタによる貯留水面がある場合 (図 5.4 参照) は、その水位を考慮する

dl : フィルタ奥行 (m)

- k : 透水係数 (cm/s)
- i : 側溝勾配 (%)
- C : 流出係数
- I : 降雨強度 (mm/hr)
- A : スポット面積 (ha) とする。

<参考>

本手引き作成の検討においては、以下の通りとした。

1) 活性炭の通水性能・脱色性能の設定

- 本手引き作成時の検討にて使用した活性炭の試験性能として、以下の通りとした。

- 活性炭の粒径：0.5～2.4 mm
- 通水性能：透水係数 k = 0.75 cm/s
- 脱色性能：表 5.1 の通り

活性炭の通水性能は、透水係数にて整理した。透水係数から、流量は以下の通り表現される。

【ダルシー則】

$$Q = \frac{1}{100} A k \frac{dh}{dl}$$

ここで、Q：透水量(m³/s)、A：断面積(m²)、k：透水係数(cm/s)、dl：活性炭延長(m)、dh：損失水頭(m)である。

フィルタ通過水量は限定的なため、損失水頭 dh は、フィルタ高さ相当として簡単に考えることができるが、下流側のフィルタによる貯留時の水面が、上流側のフィルタと重なる場合は、その分を低減させた。

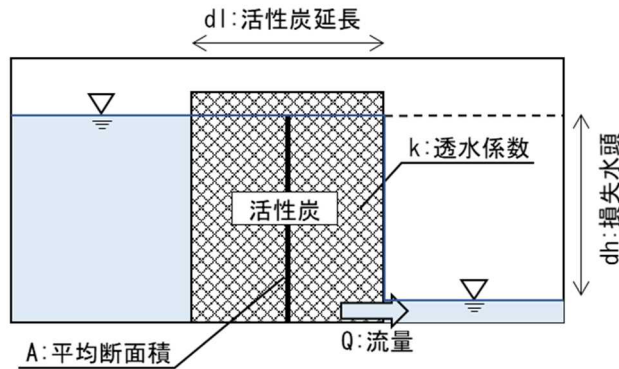


図 5.8 ダルシー則概念図

脱色性能は、活性炭フィルタと ADF 排水の接触する時間により決定されることから、接触時間ごとに整理した。

表 5.1 接触時間ごとのフィルタの色度除去率

SV (1/hr)	50	75	100	125	150
色度除去率 (%)	97.83	96.29	93.89	90.86	85.85

※SV：活性炭層体積 1m³ に対する 1 時間あたりのフィルタ通過水量を表す数値

$$SV = Q \text{ (m}^3\text{/hr)} \div V \text{ (m}^3\text{)} \quad Q: \text{透水量、} V: \text{活性炭体積}$$

5.6. 色度の確認（雪捨て場側溝）

設定した活性炭フィルタの寸法・配置にて、ADF 排水流入時に、フィルタ出口側（フィルタによる脱色直後）で、色度目標値を達成できることを確認する。

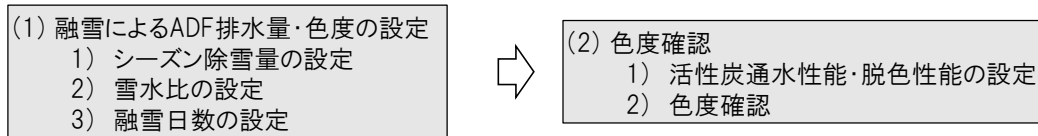


図 5.9 色度の確認の検討手順

(1) 融雪による ADF 排水量・色度の設定

以下の手順で、融雪による ADF 排水の水量・色度を設定するものとする。設定に際しては、5.3.(1)にてシーズン ADF 量を採用した年度（ADF を最も多く散布した年度）の情報に基づくものとする。

$$Q_{\text{融雪}} = Q_{\text{除雪}} \div s \div d \times C$$

ここに、 $Q_{\text{融雪}}$: 雪捨て場からの融雪水（ADF 排水）量（ $\text{m}^3/\text{日}$ ）

$Q_{\text{除雪}}$: シーズン除雪量（ m^3 ）

s : 雪水比（散布地域別）（ cm/mm ）

d : 融雪日数（日）

C : 側溝までの合成流出係数

$$\text{色度}_{\text{融雪}} = (\text{色度}_{\text{Type I}} + \text{色度}_{\text{Type IV}}) \div Q_{\text{除雪}}$$

$$= (750 \times Q_{\text{ADF Type I(原液・kL)}} + 250 \times Q_{\text{ADF Type IV(原液・kL)}}) \div Q_{\text{除雪}(\text{m}^3)}$$

ここに、 Q_{ADF} : 雪捨て場へ移動した ADF 量（ kL ）（シーズン値、原液相当、Type I・Type IV 別）

$$Q_{\text{ADF}} = Q_s \times a \times r$$

Q_s : ADF 散布量（ kL ）（シーズン値、原液相当、Type I・Type IV 別）

a : ADF のエプロン落下率（Type I : 100%、Type IV : 10%）

r : 除雪による ADF の移動割合

それぞれの値は以下の手順にて設定するものとする。 Q_{ADF} については、p.39を参照する。

1) シーズン除雪量の設定： $Q_{\text{除雪}}$

1シーズンに雪捨て場に移動する雪量（除雪量）を設定する。除雪量は、除雪面積にシーズン降雪量の累積値を乗じたものとする。

2) 雪水比の設定： s

除雪された雪を水量に換算するために雪水比を設定する。雪水比は $2 \text{ cm}/\text{mm}$ を基本とするが多雪区域については、その区域に設定されている積雪荷重を参照し設定する。

3) 融雪日数の設定： d

上記の除雪された雪が全量融雪するまでに要する日数を設定する。各空港の気象記録から、積雪の減少が見られる日数の累積値とする。

【解説】

1) シーズン除雪量の設定

雪捨て場からの融雪水量及び融雪水中の ADF 濃度を設定するために、除雪量（雪捨て場の雪量）を設定する。除雪量の設定は、除雪面積にシーズン中の降雪量を乗じることで求めることができる。なお、除雪作業は、一定以上の積雪深が見込まれる場合にのみ実施するものであることから、上記の算定によらず、除雪量の記録等がある場合には、そちらを採用することもできる。

2) 雪水比の設定

除雪された雪を水量に換算するために雪水比を設定するものとする。雪水比とは、降水 1mm に対する降雪量の比率を定めたものであり、雪の性状により異なる。本手引きにおいては、建築基準法施工令第 86 条に記載の積雪荷重 (20 N/cm²) の設定を参考として、2 cm/mm とすることを基本とする。多雪区域については、区域ごとに上記と異なる値が定められていることもあるため、区域ごとの設定を確認し、値を決めるものとする。

3) 融雪日数の設定

1 日あたりの融雪水量を設定するため、融雪に要する日数を設定する。積雪状況については、空港に近接した測候所にて、日ごとの積雪深を計測していることから、その数値を確認することで、融雪状況を確認することができる。

(2) 色度確認

1) 活性炭通水性能・脱色性能の設定

5.5. (2) 1)と同様に、使用する活性炭の通水性能や脱色性能を設定する。

2) 色度確認

5.5. (2) 4)と同様に、活性炭フィルタを通過する分と、越流する分が合流した際の色度を算出し、目標値を満足するかを確認するものとする。

色度が目標値を超過してしまう場合には、5.3、5.4 に戻り、活性炭量やフィルタ個数の増加等を検討するものとする。

【解説】

1) 活性炭通水性能・脱色性能の設定

活性炭は、その形状および材料により複数種類に分類され、それぞれで通水性能や脱色性能が異なることから、各空港で適切なものを採用するよう留意する。一般に、粒径が細かいものほど、吸着能力が高く脱色性能が高い。一方で、粒径が細かいものは、水理的損失が大きいことから、通過できる水量が小さい。本手引き作成時の検討では、粒径が 0.5~2.4mm 程度の活性炭が、通水性能及び脱色性能の両者を考慮した際に、適当と考えられたが、各空港における ADF 使用量や冬季の降水量等を考慮して、最適なものを選定するものとする。

2) 色度確認

排水がフィルタ上越流しない場合は、全量が脱色されるものとし、フィルタ上を越流する場合は、越流水量については、活性炭フィルタによる脱色が働かないものとして、以下の式に基づき、フィルタ下流側の色度を算出する。活性炭フィルタを 1 つの排水系統に複数配置する場合、上流側の排水は複数のフィルタを通過することとなるが、1 つのフィルタを通過した際に、目標値を満たすことを基本とする。なお、下流側のフィルタによる脱色や排水系統下流で雨水等と合流することによる希釈効果を考慮することを妨げるものではない。

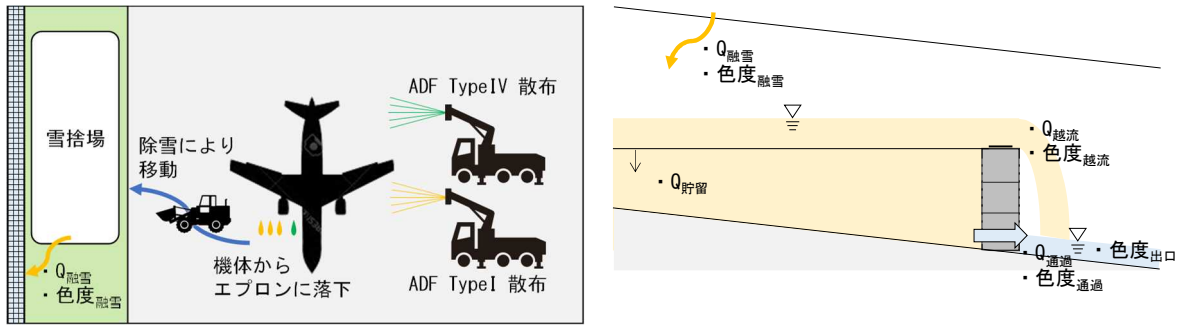


図 5.10 色度確認計算の概念図

$$\text{色度}_{\text{出口}} = (\text{色度}_{\text{通過}} \times Q_{\text{通過}} + \text{色度}_{\text{越流}} \times Q_{\text{越流}}) \div (Q_{\text{通過}} + Q_{\text{越流}})$$

ここに、色度_{出口} : フィルタ出口側での色度

ここに、色度_{通過} : フィルタを通過した ADF 排水の色度

ここに、Q_{通過} : 活性炭フィルタを通過する ADF 排水量 (m³/hr)

ここに、Q_{越流} : 活性炭フィルタを越流する ADF 排水量 (m³/hr)

また、色度について、

$$\text{色度}_{\text{通過}} = \text{色度}_{\text{融雪}} \times \text{フィルタ除去率} \quad (\text{表 5.1 参照})$$

$$\text{色度}_{\text{越流}} = \text{色度}_{\text{融雪}}$$

水量について、

$$Q_{\text{通過}} = 36 \times B \times h \times k \times dh/dl \quad (\text{m}^3/\text{hr})$$

$$Q_{\text{越流}} = Q_{\text{融雪}} - Q_{\text{通過}} - Q_{\text{貯留}} \quad (\text{m}^3/\text{hr})$$

$$Q_{\text{貯留}} = B \times 1/2 \times h \times (h \div (i / 100)) \quad (\text{m}^3)$$

ここに、B : 側溝幅 (m)

h : フィルタ高さ (m)

dh : 損失水頭 (m)

※通常、フィルタ高さ h と同等とできるが、下流側フィルタによる貯留水面がある場合 (図 5.4 参照) は、その水位を考慮する

dl : フィルタ奥行 (m)

k : 透水係数 (cm/s)

i : 側溝勾配 (%)

5.7. 活性炭フィルタの構造・仕様

活性炭フィルタは、排水路内に設置することから、水圧や浮力等に対して構造的に問題ない仕様とする。また、活性炭フィルタ本体及び封入する活性炭が流出しないように留意する。

【解説】

活性炭フィルタは、排水側溝内に設置することから、排水の水圧や浮力等に耐えうる構造とすることが必要である。

また、フィルタジャケット内の活性炭については、有色 ADF を吸着すると、徐々に飽和していき吸着能力が低下していくため、交換が必要である。そのため、フィルタジャケットは、活性炭の交換作業が容易な形式とすることが望ましい。

なお、設置期間中には、排水側溝内の土砂等の夾雑物が活性炭フィルタ表面に付着し、通水能力を低下させる恐れがある。フィルタ表面への付着であれば、散水洗浄することで夾雑物を洗い流すことが考えられる。基本的には、活性炭フィルタに夾雑物が付着しないよう、前面にプレフィルタを設けることが望ましい。プレフィルタを設けた場合も、プレフィルタ及び活性炭フィルタを定期的に点検し、目詰まり等が見られる場合には、適宜清掃が必要となる。活性炭フィルタを設置する前に、設置する側溝の清掃を実施することも有効と考えられる。

設置期間については、ADF 散布・流出期間（散布後の降雨時の流出が想定される）と融雪により雪捨て場の ADF 排水が流出する期間とし、それ以外の期間については、排水機能確保の観点から取り外すことが基本となるが、シーズン最後の ADF 散布から流出までの間にタイムラグがある可能性もあることから、取り外し時期については留意が必要である。

<参考>

設置する活性炭フィルタの仕様を、以下に例示する。

下記以外にも、各空港で適した形式とすることが望ましい。

1) 材料

活性炭フィルタは、以下の材料により構成されるものを基本とする。

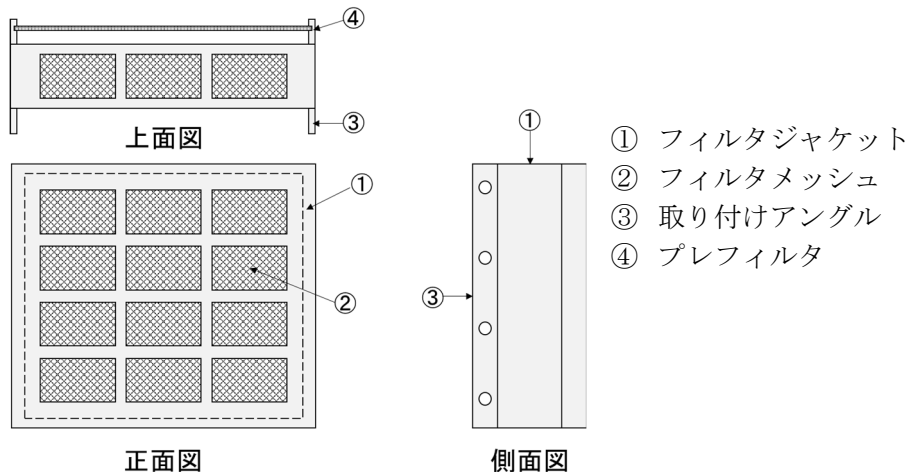


図 5.11 活性炭フィルタ外形図例

① フィルタジャケット

活性炭を内部に充填するジャケット部。

降雨時の水圧や浮力、積雪時の積雪荷重や凍結による影響に対して、構造的に問題ないものとする。当該構造自体の安全性は、見積仕様に明記し製品保証を規定する。

② フィルタメッシュ

ADF 排水を流下させるための断面部。

メッシュが大きいと内部に充填した活性炭が流出してしまう可能性があることから、使用する活性炭を保持できる程度のものとする。一方で、メッシュが細かいものは、通水阻害の程度も大きくなることから、フィルタ部の通水性の確保についても留意する。

③ 取り付けアングル

側溝内に、アンカーにて固定する構造の場合のアンカー設置部。

当該アングルのアンカー固定用の穴は、既設水路内の鉄筋を避ける目的から、複数箇所アンカー固定ができるよう配置上の工夫を行うことが望ましい。また、夏季に水路断面確保の観点から、一時撤去が可能なよう工夫を行うことが望ましい。

④ プレフィルタ

活性炭フィルタに側溝内の夾雑物が付着することを防止する。

排水側溝内には、土砂や草木等の夾雑物がある場合があり、それらが活性炭フィルタに付着し、通水を阻害する可能性がある。活性炭フィルタを設置する前に、側溝内の清掃を行うことが望ましいが、設置期間が長期にわたる場合もあるため、通水機能を維持するために、夾雑物が活性炭フィルタに付着することを防止するプレフィルタをとりつけるものとする。プレフィルタの設計例は、例-4「活性炭フィルタの目詰まり対策について」に記載している。なお、定期的にプレフィルタ表面の夾雑物やプレフィルタ前面の土砂の堆積状況の目視点検を行い、必要に応じて清掃作業等の維持管理を行うことが望ましい。また、今後の維持管理頻度の設定のため維持管理の記録を行うことが望ましい。設置手間や、本体フィルタとプレフィルタの間に夾雑物が風等で入りにくくするために、フィルタ本体と一体の形式とすることが望ましい。

2) 材質

排水側溝内に設置することから、排水による腐食等を考慮しなければならない。

耐久性の観点から、SUS304 製等の採用が望ましいが、現時点での冬季降雨量、ADF 使用実績量等によりサイズを決定することから、暫定的に SS 材を用いることについても妨げるものではない。また、内部に乾燥活性炭の充填後、活性炭フィルタ自体の比重は 1.0 以上となるよう材質を選定することが望ましい。これは、平常時はドライな水路内に配置しておくものであり、雨天時や、ADF 散布後の流入水により浮力が発生し、流出を防ぐ目的から設定したものである。

3) 側溝内への取り付け方式

冬季のみの設置とすることから、取り外しが容易な形式が望ましい。

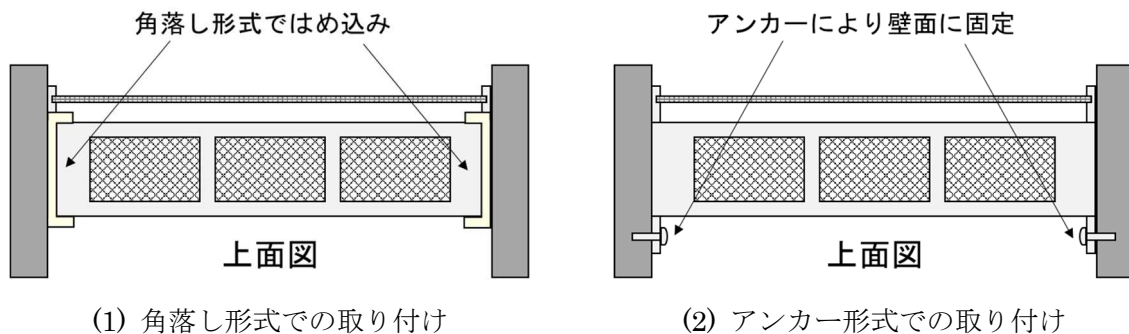


図 5.12 活性炭フィルタ外形図例

4) 内部に充填する活性炭性能

ADF含有排水の着色成分に対し、十分な吸着性能を期待できることが確認されている、粒度調整が行われた活性炭を使用すること。

5) 構造計算（例：幅 1.0m×高 0.6m）

活性炭フィルタ（以下、“ジャケット”と称す）は、見積対象として単体は仕様規定することで構造的な安全を担保することを基本とする。なお、作用荷重条件については、見積依頼時に指定を行うこととし、以下の算定式により設定する。

① 作用荷重

活性炭フィルタには、水路部に発生する流水圧と、冬季降雨が発生した際の越流状態においても安全性を担保する必要がある、流水圧、静水圧については、道路橋示方書・同解説(H29.11)を参考に、以下として算定する。

$$\text{設計荷重 (P)} = \text{動水圧(Pm)} + \text{静水圧(Ph)} \quad (\text{kN}) = 5.4 + 0.36 = 5.76 \text{ kN}$$

$$\text{ここに、動水圧 (Pm)} = K \times V^2 \times A \quad (\text{kN}) = 1.0 \times 3.0^2 \times 0.6 = 5.40 \text{ kN}$$

$$\text{静水圧 (Ph)} = w_o \times H \times A \quad *^1 \quad (\text{kN}) = 10 \times 0.6 \times 0.6 = 0.36 \text{ kN}$$

K : 形状係数 (1.0) *²

V : 水路流速 (例：最大流速として V=3.0m/s) *³

A : ジャケット通水面積 (W×H) (m²) = 1.0×0.6=0.6 m²

W_o : 流水の単位体積重量 (10 kN/m³)

H : ジャケット高 (m) = 0.6m

W : ジャケット幅 (m) = 1.0m

*¹ : 静水圧は三角分布で作用するが、小規模な流水中の作用荷重であり水深変化はないものとし最大静水圧 P=w_o×h が全面に作用することとした。

*² : 形状係数は橋脚形状による流水障害係数で矩形は 0.7 などである。
本ジャケットは全幅設置であり 1.0 として検討する。

*³ : 水路流速は、流量表などで計画降水量時の流速設定がされている場合には当該数字で設定することについて妨げるものではない。本計算例では排水路設計上の最大流速 3.0m/s として安全側に設定することとした。

② 固定アンカー照査

ジャケットの固定は、ジャケット下流側（圧力を受ける側）の左右水路壁面に施工する金属製拡張アンカーのせん断耐力で照査することとする。

ここで金属製拡張アンカーは、各種ネジピッチ、材質(SUS)、形式により許容せん断耐力（長期）がメーカーごとに異なる。採用するアンカーごとに設定することが望ましい。

（ここで、例として、ジャケット高 0.6m で、300 mm 程度の離隔を確保することとし、鉛直方向に 2 本×両側=4 本でアンカー照査を実施することとする。）

$$\begin{aligned} \text{アンカー 1 本あたりの作用せん断力 (kN)} &= \text{設計荷重 (P)} / \text{全本数 (N)} \\ &= 5.76 \text{ kN} / 4 \text{ 本} = 1.44 \text{ kN} \leq \text{許容荷重 (長期せん断耐力：メーカー保証値)} \end{aligned}$$

ここで複数社のアンカーせん断耐力（長期）の最も小さな数字を許容値としてボルト径を選定し、M8 と仕様設定される。

なお、アンカー本数・径の設定に際しては、既設側溝の鉄筋等への構造的な影響に配慮し、適切なものを採用するよう留意が必要である。

参考資料. モデルケースによる有色 ADF 処理対策選定の例（広島空港）(R2.3)

1. 既存施設等の条件整理

(1) 排水経路

デアイシング作業は、エプロン（スポット 1,2,3,5,6,7）にて実施される（実績調べ）。

散布された ADF 排水は、排水路を経由して、7号沈砂池に排水し、空港管理外の用倉新池に排水した後、沼田川を経由して瀬戸内海に排水される。

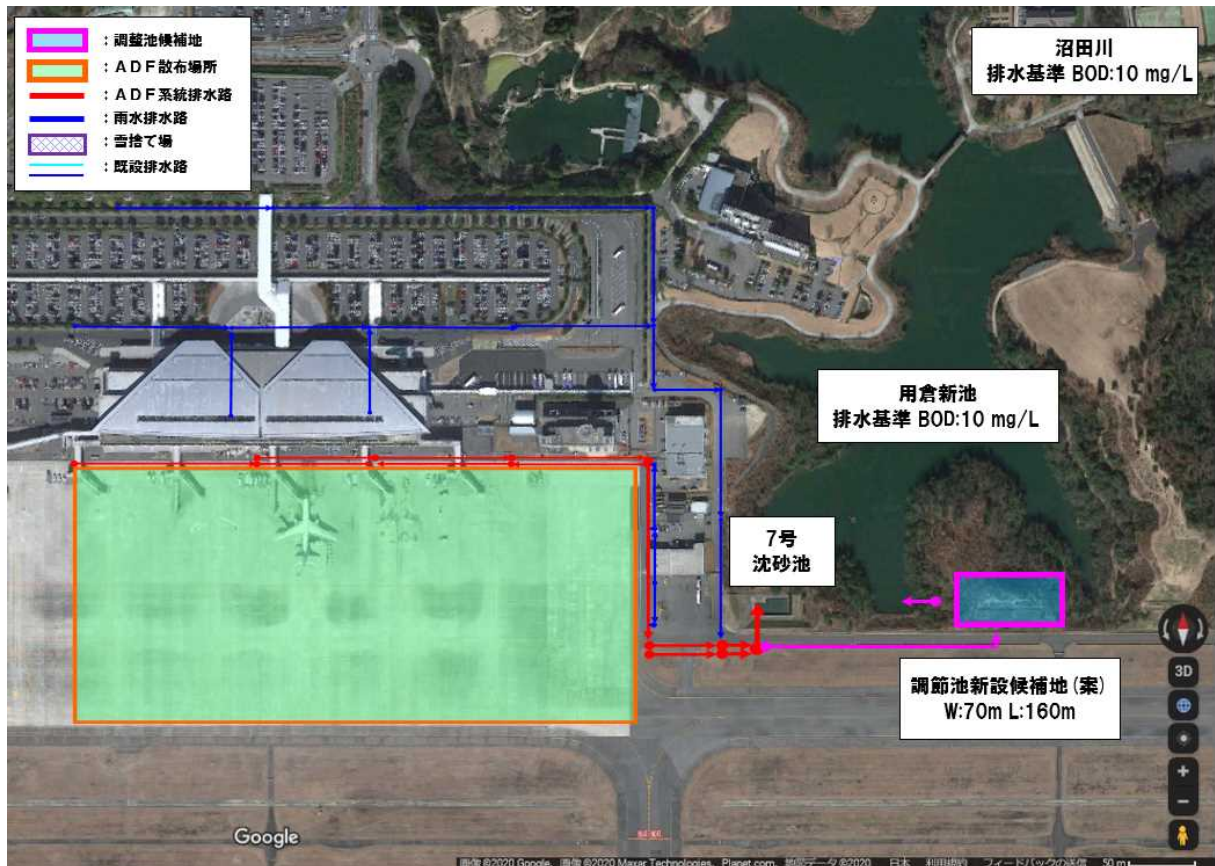


図1 現況排水路航空図

(2) 排水基準

用倉新池及び沼田川の BOD 排水基準値は、瀬戸内海の排水基準値である 10mg/L が適用される。なお、空港に関しては、水質汚濁防止法に定める特定事業場に該当しないことから、排水基準値による規制は適用されないが、周辺環境に配慮した先進的な取り組みを行うものとし、排水基準値を目標処理水質とする。

(3) 検討フロー

7号沈砂池は容量が400m³と非常に小規模であることから、調節池としての活用は難しい。よって、調節池の新設を検討する。

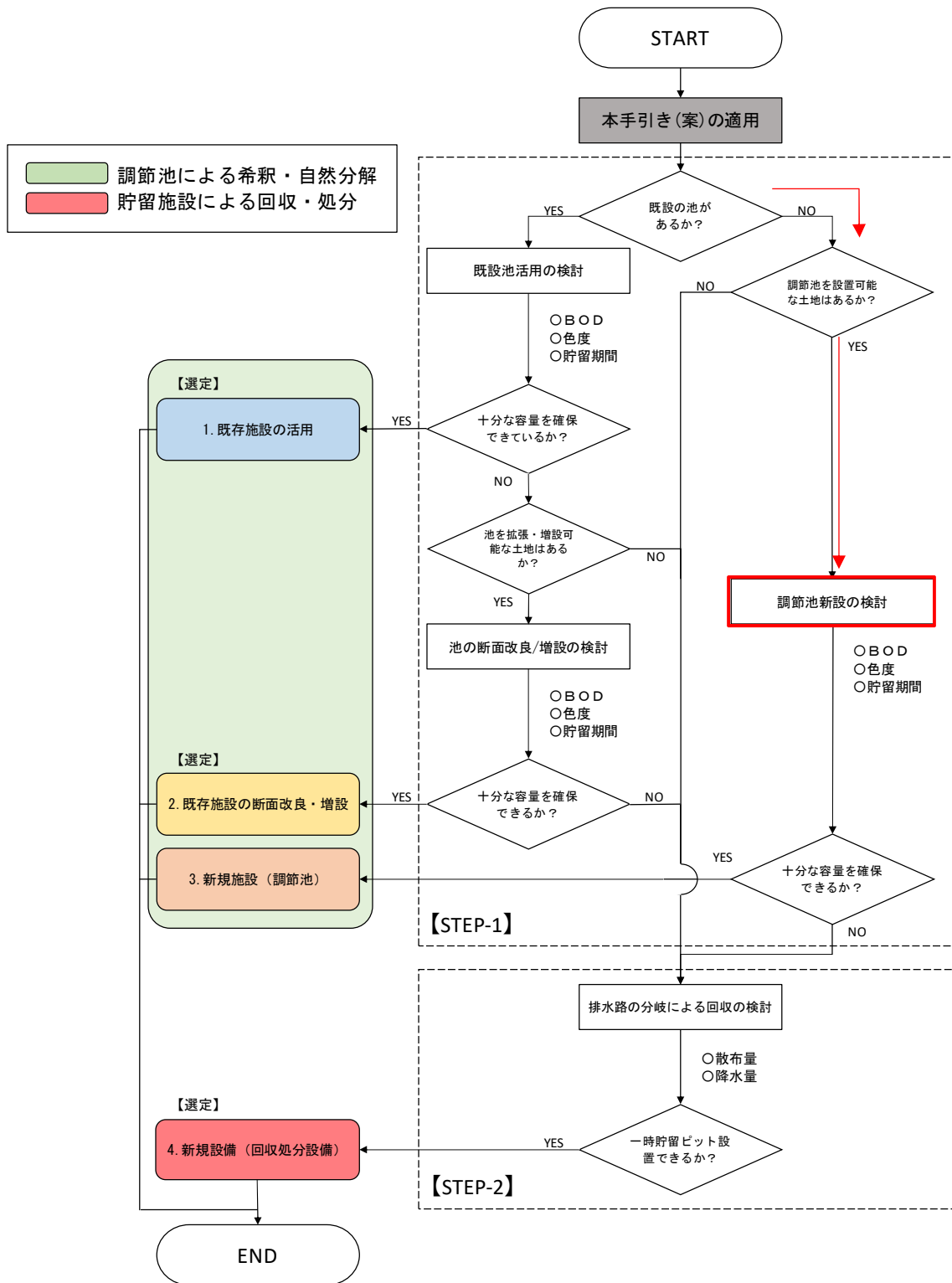


図2 有色ADF処理対策選定の全体フロー 広島空港事例

2. 新規施設（調節池）の検討

(1) 調節池候補用地の検討

以下の条件のもと、調節池新設の候補地を検討した。

- ・ 空港場内を第一優先とし、空港場外とする場合は住宅地等の開発地を避ける。
- ・ 空港場内のうち、着陸帯、誘導路整備地区域等、勾配規定を有する施設は避ける。
- ・ エプロン拡張予定地は、候補用地に含める。

既設排水路近傍にて、調節池を設置可能な候補地として、図3の候補地（案）を選定した。

なお、実際には、土地利用状況や埋設物、高低差等を考慮し、実現性の高い用地を選定することが必要である。



図3 調節池新設候補地（案）

(2) 流入 ADF 量・汚濁負荷量の設定

1) 散布される ADF 量（シーズン量、原液）

全エアラインを対象とした ADF 使用量の実績データが得られないことから、定期航空協会提供資料（2015～2017年、JAL/ANA）の年間使用最大値に「全機材数/JAL・ANA 機材数」（航空局資料より算出）を乗じて算出した。

2016 年度実績値 (JAL/ANA)			機体数比率 : 1.7	総散布量		
Type I	Type IV	合計		Type I	Type IV	合計
31.4	15.7	47.1	全機体数 30 / JAL・ANA18	52	28	79

(2018年1月21日～27日実績より)

2) エプロンに落下する ADF 量

散布した ADF のうち、ADF Type I は全量(100%)、Type IV は 10%がエプロン面に落下するものとした。

3) 排水路に流入する ADF 量

エプロンの流出係数 0.95 を用いて、エプロンから排水路に流入するものとした。流出係数は、既往の排水設計資料を参照した。

4) 排水路から調節池に流入する ADF 量

排水路に流入した ADF は全量が調節池に流入するものとし、排水路を流下中での蒸発や浸透・吸着によるロスは 0 とした。

5) 調節池での蒸発・浸透量の設定

新千歳空港場周調整池における調査結果から、池内水の蒸発散・浸透による損失は流入する水量の 1/3 程度であることから、蒸発散量と浸透量を等量 (1/6 ずつ) として設定した。

ADF の主成分であるプロピレングリコールは、揮発性が低いことから、浸透のみを考慮した。

6) ADF による BOD・色度負荷量

ADF 原液成分分析 (キルフrost、クラリアント製品) の結果より、

Type I の BOD は 900,000mg/L、Type IV の BOD は 470,000mg/L とした (原液)。

Type I の色度は 750、Type IV の色度は 250 とした (原液)。

7) 自然由来の BOD・色度負荷量

調節池に貯留されている雨水等の BOD、色度負荷は 0 とした。

(3) 希釈・自然分解に必要な容量の検討

1) 調節池水温の設定

貯留期間中の1ヶ月あたりの自然分解速度の設定に用いる調節池の水温は、空港気象観測台での月間平均気温値（気象庁データ、2014年～2018年の5ヶ年平均）とした。

表1 広島空港の月別平均気温（2014年～2018年平均値）

月平均気温											
1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
3.0	3.4	7.7	13.4	17.9	20.4	25.0	25.6	21.2	16.3	11.1	5.2

2) 自然分解速度の設定

既往の実験結果から、下記の式に基づいて、月別のBOD自然分解速度を算出した。

$$\text{BOD 自然分解速度 (mg/L/月)} = 11 \cdot (\text{調節池水温 (}^\circ\text{C)}) + 70$$

3) 希釈・自然分解に必要な容量の算定

自然分解によるBODの低減を考慮した後に、排水基準（10mg/L）を満たすための希釈を行うために必要な水量を算定した。なお、広島空港では、1月からADF散布及び貯留を行うものとした。

表2 貯留期間ごとの必要池容量

貯留期間	1ヶ月	2ヶ月	3ヶ月	4ヶ月
必要容量 (m ³)	319,000	139,000	72,000	36,000

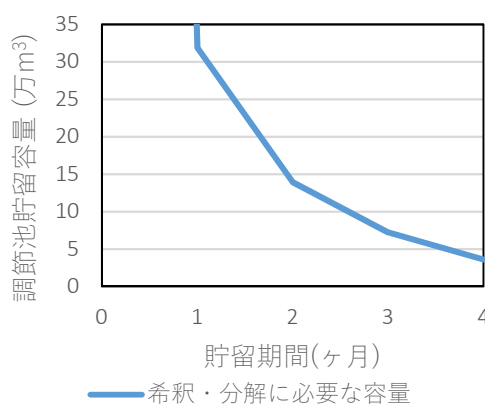
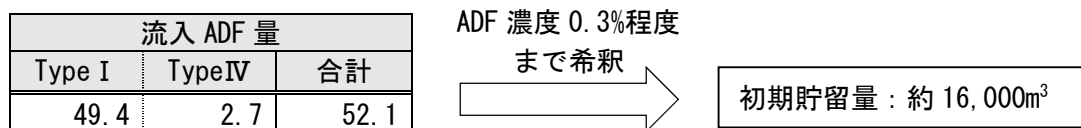


図4 貯留期間ごとの必要池容量

(4) 雨水貯留量の検討

1) 初期貯留量の設定

自然分解が確認されている濃度（ADF 濃度 0.3%、BOD:3,000mg/L 程度）までは、初期貯留水にて ADF を希釈する必要がある。調節池に流入する ADF 量から、初期貯留量を設定した。



2) 貯留期間中の流入水量の設定

下記の式から、各月での調節池への流入雨水量を設定した。

$$\text{貯留期間中の流入水量 (m}^3\text{)} = 10 \times \text{各月の総降水量 (mm)} \times \text{調節池の流域面積 (ha)} \\ \times \text{流域の合成流出係数}$$

各月の降水量は、空港気象観測台での月間平均降水量（気象庁データ、2014 年～2018 年の 5 年平均、雪を含む）とした。

既往排水設計・検討資料より、流域面積は 18.44(ha)、合成流出係数は 0.874 とした。

なお、広島空港では、1 月から ADF 散布及び貯留を行うものとした。

表 3 広島空港の月別平均降水量(mm) (2014 年～2018 年平均値)

1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
50.4	40.0	114.6	110.0	121.2	220.8	215.2	173.3	249.6	63.7	60.3	71.8

表 4 貯留期間中の累加流入水量 (m³)

	初期	1 ヶ月	2 ヶ月	3 ヶ月	4 ヶ月	5 ヶ月
流入水量	/	8,000	15,000	33,000	51,000	70,000

3) 蒸発・浸透量の設定

新千歳空港場周調整池における調査結果から、池内水の蒸発散・浸透による損失は流入する水量の 1/3 程度であることから、蒸発散量と浸透量を等量（1/6 ずつ）として設定した。

表 5 調節池での累加蒸発・浸透量 (m³)

	初期	1 ヶ月	2 ヶ月	3 ヶ月	4 ヶ月	5 ヶ月
蒸発・浸透量	/	3,000	5,000	11,000	17,000	23,000

4) 雨水貯留量の算定

初期貯留量と貯留期間中の雨水流入量から蒸発・浸透量を差し引いたものを雨水貯留量とした。

表 6 調節池での雨水貯留量 (m³)

	初期	1ヶ月	2ヶ月	3ヶ月	4ヶ月	5ヶ月
初期貯留量	16,000	16,000	16,000	16,000	16,000	16,000
(+) 流入水量		8,000	15,000	33,000	51,000	70,000
(-) 蒸発・浸透量		3,000	5,000	11,000	17,000	23,000
雨水貯留量	16,000	21,000	26,000	38,000	50,000	63,000

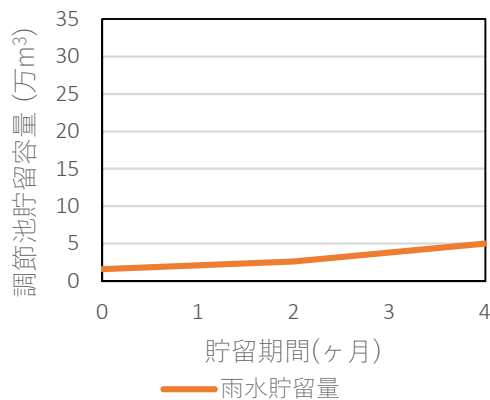


図 5 貯留期間ごとの雨水貯留量

(5) 調節池容量の決定

(3),(4)の検討結果から、「希釈・分解に必要な容量」と「雨水貯留量」の両方を満たす（希釈のための水量を確保でき、かつオーバーフローしない）ための容量を、調節池容量と設定した。

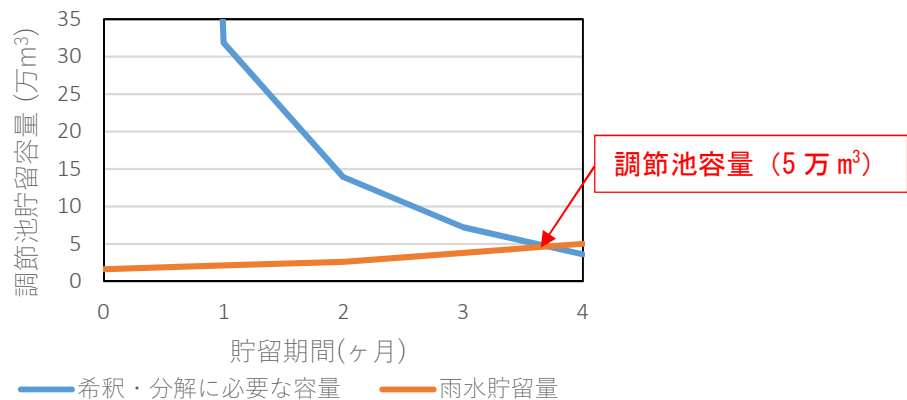


図 6 貯留期間ごとの希釈・分解に必要な容量と雨水貯留量

参考資料. モデルケースによる有色 ADF 処理対策選定の例（活性炭フィルタ、松山空港）

1. 流出起点及び現況排水系統の確認

ADF の散布はローディングエプロンにて実施され、ADF を含んだ排水はエプロン側溝を經由して、駐車場やターミナル側の排水と合流し、堂之元川へと流入する。なお、松山空港ではほとんど降雪が見られないことから、除雪作業による雪捨て場への雪の移動は想定されない。

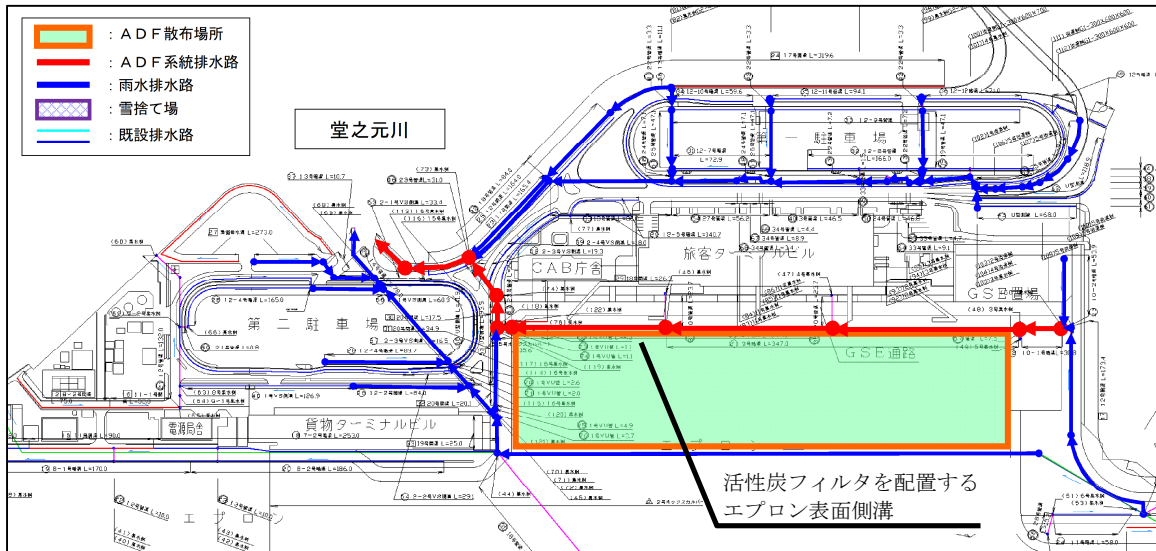


図 1 ADF 関連排水系統図

2. フィルタ設置側溝の選定

流出起点の既設表面側溝として、エプロン表面側溝に設置するものとした。

3. 封入する活性炭量の算出

(1) シーズン流入 ADF 量の設定

1) シーズン散布 ADF 量

データが得られた 2015 年度～2020 年度の実績散布量より、シーズン最大散布量（2015 年度実績値、Type I : 1.313 kL・TypeIV : 0.13 kL）にて整理した。

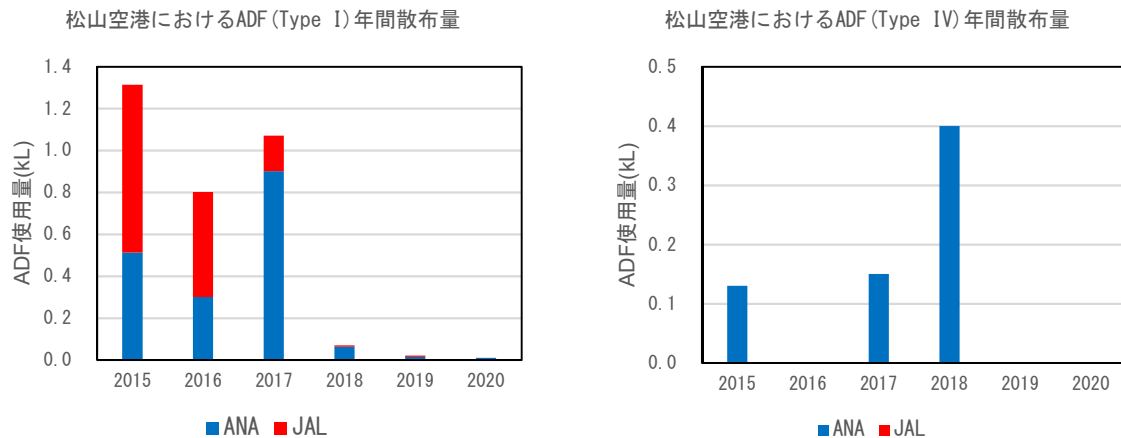


図 2 ADF のシーズン散布量

2) ADF のエプロン落下率

散布した ADF のうち、ADF Type I は全量(100%)、 Type IV は 10%がエプロン面に落下するものとした。

3) 側溝までの合成流出係数

側溝までの合成流出係数のデータが得られていないことから、安全側として、エプロン（舗装）の流出係数 0.95 を用いて、エプロンから排水路に流入するものとした。

(2) 封入する活性炭量の算出

1) 活性炭の ADF 吸着量の設定

本手引き作成時の検討にて使用した活性炭の試験結果から、単位活性炭が吸着できる ADF 量は、120 L/kg とした。なお、120L/kg については過去の試験結果により得られた値であり、この際には、石炭系活性炭の粒径が 0.5~2.4mm のものを用いている。

2) 活性炭封入量の算出

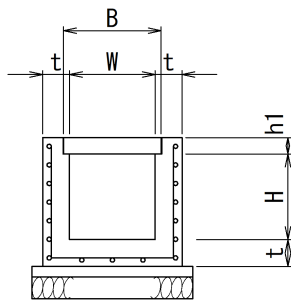
松山空港は ADF 散布量が限定的であることから、シーズン中のフィルタの交換はないものとして整理した。シーズン流入 ADF 量及び活性炭の ADF 吸着量から、空港全体に必要な活性炭量は以下の通りとなる。

- ・ シーズン流入 ADF 量 = $(1,313 \text{ L} \times 100\% + 130 \text{ L} \times 10\%) \times 0.95 = 1,260 \text{ L}$
- ・ 必要活性炭量 = $1,260 \text{ L} \div 120 \text{ L/kg} = 11\text{kg}$ (1kg 単位で切り上げ) → 体積換算で 22 L (活性炭の比重は 0.5 kg/L)

4. 活性炭フィルタ設計

(1) 側溝断面の確認

松山空港土木施設台帳（大阪航空局、令和 3 年）から、活性炭フィルタを設置する側溝の断面を確認した。



側溝幅	側溝高さ (内空)	側溝壁厚	蓋の幅	勾配
W (mm)	H (mm)	t (mm)	B (mm)	i (%)
800	548~1418	250	920	0.25

(2) 冬季最大降水量の確認

松山空港における ADF 散布実績より、散布期間は 12 月~2 月が想定される。当該期間をフィルタ設置期間とし、その期間における過去 10 年間の実績最大降水量を確認した。

24.5 mm/hr (12 月の記録) が 10 年最大降水量であったことから、上記を通水できる断面を確保できるように、活性炭フィルタを計画することとした。

(3) フィルタ高さの設定

松山空港における排水路の設計時間降雨強度は 50 mm/hr であることから、(1) (2)より、断面の余裕高 10%を考慮して、フィルタ高さを 400 mm とした。

(4) フィルタ厚さ、個数及び設置間隔の設定

各スポットへの1箇所ずつ配置とすることで、十分な間隔を確保できることから、スポットごとへの配置として計画した。各箇所の活性炭フィルタの厚さについては、フィルタ製作上の最低寸法も考慮して100 mmとした。

5. 色度の確認

(1) 時間最大 ADF 排水量の設定

1) ADF 散布量

松山空港における ADF 散布実績より、1機体当たりの最大散布量にて設定し、以下の通りとした。なお、散布記録に異常値が見られる場合には、その値は考慮しないものとした。

Type I : 210L (原液量 63 L、希釈倍率 30%)、Type IV : 244 L (原液量、希釈倍率 100%)

2) ADF の希釈倍率

松山空港における ADF 散布実績より、Type I 散布時の希釈倍率は 30%とした。

3) ADF のエプロン落下率

散布した ADF のうち、ADF Type I は全量(100%)、Type IV は 10%がエプロン面に落下するものとした。

4) 側溝までの合成流出係数

側溝までの合成流出係数のデータが得られていないことから、安全側として、エプロン（舗装）の流出係数 0.95 を用いて、エプロンから排水路に流入するものとした。

(2) 越流有無及び越流する場合の色度確認

1) 活性炭の通水性能・脱色性能の設定

本手引き作成時の検討にて使用した活性炭の試験結果から、以下の通りとした。なお、想定している活性炭は、石炭系活性炭の粒径が 0.5~2.4mm のものである。

- ・ 通水性能：透水係数が 0.75 cm/s
- ・ 脱色性能：SV ごとの色度除去率が以下の通り。

※SV は、活性炭層体積 1m³ に対する 1 時間当たりの流量を表す数値

表 1 活性炭の色度除去率

SV (1/hr)	50	75	100	125	150
色度除去率 (%)	97.83	96.29	93.89	90.86	85.85

2) フィルタ越流時の流量の確認

降水量が大きくなると、有色 ADF 排水がフィルタ上部を越流するが、越流部はフィルタによる脱色効果が働かないことから、下流側の色度が高くなることが想定される。そこで、越流が起こる際の流量を確認した。

フィルタ通水量及び貯留水量を考慮すると、越流が発生する際の降水量は 4 mm/hr が想定される。

3) 濃度最大の際の越流有無の確認

散布されエプロンに落下した有色 ADF 排水が直接排水側溝に流入した場合に、フィルタ上を越流することがないかを確認した。

(1) 1)~4)で設定した条件で、直接側溝に流入する場合の ADF 排水量は、

$210\text{ L} \times 100\% \times 0.95 + 224\text{ L} \times 10\% \times 0.95 = 223\text{ L}$ と想定されるが、当該水量がフィルタ部に流入した場合の水位は4 cm 弱程度であり、フィルタ高さを超過しないことから、越流は発生しない。

4) 色度確認

フィルタ上部を越流し始めるタイミングでフィルタ下流側の色度が高くなると想定されることから、そのタイミングでの色度の値を算定した。本手引き p.50 の内容に基づき、以下の式にて算定を行った。

$$\text{色度}_{\text{出口}} = (\text{色度}_{\text{通過}} \times Q_{\text{通過}} + \text{色度}_{\text{越流}} \times Q_{\text{越流}}) \div (Q_{\text{通過}} + Q_{\text{越流}})$$

ここに、 $\text{色度}_{\text{出口}}$: フィルタ出口側での色度

$\text{色度}_{\text{通過}}$: フィルタを通過した ADF 排水の色度

$Q_{\text{通過}}$: 活性炭フィルタを通過する ADF 排水量 (m³/hr)

$Q_{\text{越流}}$: 活性炭フィルタを越流する ADF 排水量 (m³/hr)

参考資料. 一律排水基準／地下浸透基準

(1) 一律排水基準（水質汚濁防止法第3条の1）（出典：環境省）

水質汚濁防止法においては、特定事業場（水質汚濁防止法施行令に規定する特定施設を設置する工場または事業場）から公共用水域への排水に関して、有害物質およびその他の項目において、環境省令で定める基準値を超過させてはならないとしている。「有害物質およびその他の項目」およびそれらに対する基準値は、下表に示す通りである。

なお、空港に関しては、上記の特定事業場に指定されておらず、現状、法的な拘束を受けない。

■有害物質

有害物質の種類		排水基準値
カドミウム及びその化合物		0.03mg Cd/L
シアン化合物		1 mg CN/L
有機燐化合物（パラチオン、メチルパラチオン、メチルジメトン及び EPN に限る。）		1mg/L
鉛及びその化合物		0.1 mg Pb/L
六価クロム化合物		0.5 mg Cr (VI)/L
砒素及びその化合物		0.1 mg As/L
水銀及びアルキル水銀その他の水銀化合物		0.005 mg Hg/L
アルキル水銀化合物		検出されないこと。
ポリ塩化ビフェニル		0.003mg/L
トリクロロエチレン		0.1mg/L
テトラクロロエチレン		0.1mg/L
ジクロロメタン		0.2mg/L
四塩化炭素		0.02mg/L
1,2-ジクロロエタン		0.04mg/L
1,1-ジクロロエチレン		1mg/L
シス-1,2-ジクロロエチレン		0.4mg/L
1,1,1-トリクロロエタン		3mg/L
1,1,2-トリクロロエタン		0.06mg/L
1,3-ジクロロプロペン		0.02mg/L
チウラム		0.06mg/L
シマジン		0.03mg/L
チオベンカルブ		0.2mg/L
ベンゼン		0.1mg/L
セレン及びその化合物		0.1 mg Se/L
ほう素及びその化合物	海域以外の公共用水域に排出されるもの：	10 mg B/L
	海域に排出されるもの：	230 mg B/L
ふっ素及びその化合物	海域以外の公共用水域に排出されるもの：	8 mg F/L
	海域に排出されるもの：	15 mg F/L
アンモニア、アンモニウム化合物、亜硝酸化合物及び硝酸化合物	アンモニア性窒素に 0.4 を乗じたもの、亜硝酸性窒素及び硝酸性窒素の合計量：	100mg/L
1,4-ジオキサン		0.5mg/L

■その他の項目

項目		排水基準値
水素イオン濃度 (水素指数) (pH)	海域以外の公共用水域に排出されるもの :	5.8 以上 8.6 以下
	海域に排出されるもの :	5.0 以上 9.0 以下
生物化学的酸素要求量 (BOD)		160mg/L
		(日間平均 120mg/L)
化学的酸素要求量 (COD)		160mg/L
		(日間平均 120mg/L)
浮遊物質 (SS)		200mg/L
		(日間平均 150mg/L)
ノルマルヘキサン抽出物質含有量 (鉱油類含有量)		5mg/L
ノルマルヘキサン抽出物質含有量 (動植物油脂類含有量)		30mg/L
フェノール類含有量		5mg/L
銅含有量		3mg/L
亜鉛含有量		2mg/L
溶解性鉄含有量		10mg/L
溶解性マンガン含有量		10mg/L
クロム含有量		2mg/L
大腸菌群数		日間平均 3000 個/cm ³
窒素含有量		120mg/L
		(日間平均 60mg/L)
燐含有量		16mg/L
		(日間平均 8mg/L)

(2) 地下浸透基準（水質汚濁防止法第 12 条の 3） （出典：環境省）

水質汚濁防止法においては、特定事業場から地下に浸透する水に関して、有害物質を含むものとして、環境省令で定める要件に該当するものは地下へ浸透させてはならないとしている。環境省令において、有害物質を含むものとしての要件とは、「環境大臣が定める方法により検定した場合において、当該有害物質が検出されること」とされている。「有害物質が検出される」とは、具体的には、下表に定められた有害物質が基準値を超過することを言う。

なお、これらの有害物質を含まない浸透水に関しては、規制は定められていない。

有害物質の種類		浸透基準値
カドミウム及びその化合物		0.001mg Cd/L
シアン化合物		0.1 mg CN/L
有機燐化合物（パラチオン、メチルパラチオン、メチルジメトン及び EPN に限る。）		0.1mg/L
鉛及びその化合物		0.005 mg Pb/L
六価クロム化合物		0.04 mg Cr (VI) /L
砒素及びその化合物		0.005 mg As/L
水銀及びアルキル水銀その他の水銀化合物		0.0005 mg Hg/L
アルキル水銀化合物		0.0005 mg Hg/L
ポリ塩化ビフェニル		0.0005mg/L
ジクロロメタン		0.002mg/L
四塩化炭素		0.0002mg/L
1,2-ジクロロエタン		0.0004mg/L
1,1-ジクロロエチレン		0.002mg/L
シス-1,2-ジクロロエチレン		0.004mg/L
1,1,1-トリクロロエタン		0.0005mg/L
1,1,2-トリクロロエタン		0.0006mg/L
1,3-ジクロロプロペン		0.0002mg/L
チウラム		0.0006mg/L
シマジン		0.0003mg/L
チオベンカルブ		0.002mg/L
ベンゼン		0.001mg/L
セレン及びその化合物		0.002 mg Se/L
ほう素及びその化合物		0.2 mg B/L
ふっ素及びその化合物		0.2 mg F/L
アンモニア、 アンモニウム化合物、 亜硝酸化合物及び硝酸化合物	アンモニア性窒素	0.7 mg/L
	亜硝酸性窒素	0.2 mg/L
	硝酸性窒素	0.2 mg/L
1,4-ジオキサン		0.005mg/L

参考資料. 本手引き作成時に使用した活性炭の ADF 吸着量・通水性能・脱色性能
 本手引き作成時の検討において使用した活性炭の通水性能・脱色性能は、以下の通りであった。

1. 活性炭の ADF 吸着量

本手引き作成時の検討においては、以下の条件にて、活性炭の透水係数を整理した。

(1) 使用した活性炭の概要

以下の 2 種類の活性炭について、整理した。

①小粒径(石炭系活性炭、粒径 0.4mm~0.8mm)、②中粒径(石炭系活性炭、粒径 0.5mm~2.4mm)

(2) 試験条件

以下の条件にて、活性炭を充填したカラムに有色 ADF 水を通水し、活性炭出口側の色度が 2 を超える(活性炭が飽和する)までに活性炭が吸着した有色 ADF 量を確認した。

- ・ 試験流体：有色 ADF 水 (有色 ADF Type I、5%濃度)
- ・ 試験流量：SV=10 (活性炭量 70.8 g に対して、23.6 ml/min)

※SV は、活性炭層体積 1m³ に対する 1 時間当たりの流量を表す数値

(3) 各活性炭の ADF 吸着量

各活性炭で、以下の吸着量となった。

①小粒径：300 L/kg、②中粒径：120 L/kg

2. 活性炭の通水性能

本手引き作成時の検討においては、以下の条件にて、活性炭の透水係数を整理した。

(1) 使用した活性炭の概要

上記と同様に 2 種類の活性炭について整理した。

(2) 試験条件

以下の条件にて、模型水路に設置した活性炭フィルタに純水を通水し、フィルタ前後の水位差から、透水係数を整理した。各粒径で、流量 2 ケースの平均から透水係数を整理している。

- ・ 水路模型形状：幅 100mm×高さ 400mm×延長 10,000mm、勾配 0.3 %
- ・ 活性炭フィルタ形状：幅 100mm×高さ 300mm×奥行 100mm
- ・ 流量：小粒径は、0.08 L/s と 0.1 L/s、中粒径は 0.2 L/s と 0.3 L/s

(3) 各活性炭の透水係数

各活性炭で、以下の透水係数となった。

①小粒径：0.18 cm/s、②中粒径：0.75 cm/s

なお、排水中に ADF Type IV が含まれ、粘度が上昇した際には、以下の通り、透水係数の低下が見られた。

	ADF TypeIV 濃度%(粘度 mPas)		
	0.05 % (12.5 mPas)	0.1 % (25 mPas)	0.4 % (100 mPas)
小粒径	0.12	0.044	0.046
中粒径	0.65	0.34	0.26

3. 活性炭の脱色性能

本手引き作成時の検討においては、以下の条件にて、活性炭の脱色性能を整理した。

(1) 使用した活性炭の概要

上記と同様に 2 種類の活性炭について整理した。

(2) 試験条件

活性炭の脱色性能を色度の除去率として整理した。色度除去率は SV によることから、複数の SV 条件下で試験を行った。有色 ADF 濃度は 1,3,5,10%にて試験を行い、平均値を整理している。

- ・ 試験流体：有色 ADF 水（有色 ADF Type I、1,3,5,10%濃度）
- ・ 試験流量：小粒径は SV=10,20,30,40,50 (1/hr)、中粒径は SV=50,75,100,125,150 (1/hr)

(3) 各活性炭の脱色性能

各活性炭で、以下の色度除去率となった。

表 1 小粒径の色度除去率

SV (1/hr)	10	20	30	40	50
色度除去率 (%)	99.4	99.1	98.6	97.3	94.9

表 2 中粒径の色度除去率

SV (1/hr)	50	75	100	125	150
色度除去率 (%)	97.83	96.29	93.89	90.86	85.85

参考資料. 水質調査の方法

本手引き作成時の検討における水質調査の方法を例示する。なお、調査地点・頻度や水質分析項目については、各空港の周辺環境のあり方等を考慮し、追加することも考えられる。

(1) 水質分析項目

水質分析項目は、有色 ADF に係る空港排水の性状把握ができる項目として、以下の項目とした。

表 1 水質分析項目設定例

水質分析項目	分析方法	選定理由
生物学的酸素要求量 (BOD)	JIS K 0102	水質目標値(排水基準値)を満足するか確認するため
化学的酸素要求量 (COD)	JIS K 0102	水質目標値(排水基準値)を満足するか確認するため
色度	JIS K 0102	有色 ADF 導入後の影響を評価するため
全有機炭素 (TOC)	JIS K 0102	調節池等の処理対策導入時の運用指標とするため
プロピレングリコール		ADF の影響を直接的に評価するため ※プロピレングリコールは、ADF の主成分である
水素イオン濃度 (pH)	JIS K 0102	排水水質の把握のため
溶存酸素 (DO)	JIS K 0102	排水水質の把握のため
水温		自然分解速度の決定要因であるため

(2) 調査地点

対策導入時には、空港から放流先水域に排水する出口（排水系統の流末）において、水質目標値をクリアすることが求められることから、ADF 排水が流下する排水系統の流末を調査地点とした。

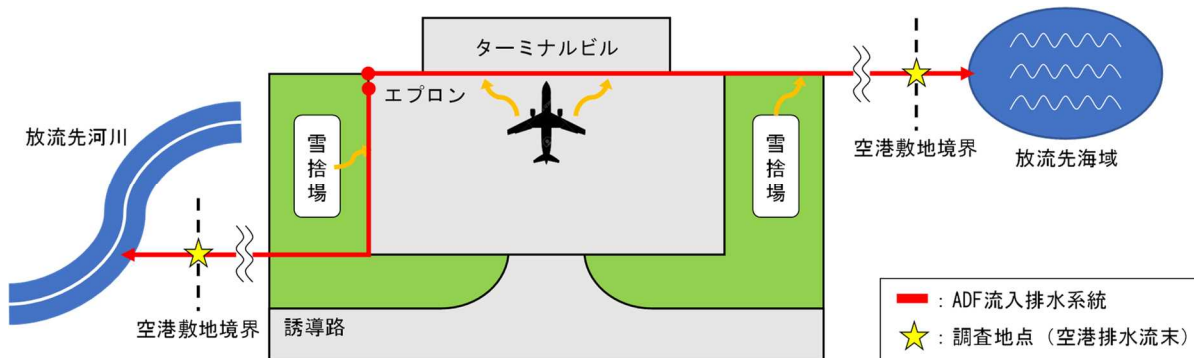


図 0.1 調査位置設定例

(3) 調査日

ADF 散布を実施しているグラウンドハンドリング会社や空港関係者へのヒアリングから、エプロンに落下した ADF は、エプロン上で滞留し、乾燥するケースが多いと想定された。従って、ADF 散布後に降雨によりエプロン上の ADF が側溝へ流出すると考え、ADF 使用期間における水質調査は ADF 散布後の降雨日に実施した。

(4) 調査実施頻度

環境省の水質調査に関する通達である水質調査方法（公布 S46.9.30 環水管 30 号）に記載の頻度のうち、「基準点、利水上重要な地点等で実施する通年調査」の頻度である月 1 回、1 日 4 回の調査を実施した。

参考資料. 側溝までの流出係数の調査

本手引き作成時の検討における側溝までの流出係数の調査方法を例示する。なお、当該調査においては、2回の試験にて結果を整理しているが、複数回の試験を行い、結果を整理することが望ましい。

(1) 調査の概要

エプロン上に散布された有色 ADF の量と、側溝内に流入した有色 ADF の量を比較することで、側溝までの ADF の流出係数を整理した。側溝内に流入した ADF 量は、側溝内に土嚢を設置し排水をせき止めることで水量を確認した。また、ADF は散水により希釈されて側溝に流入することから、水質分析により排水中の ADF 濃度を測定した。

(2) 実施フロー

以下のフローの通り、作業を実施した。

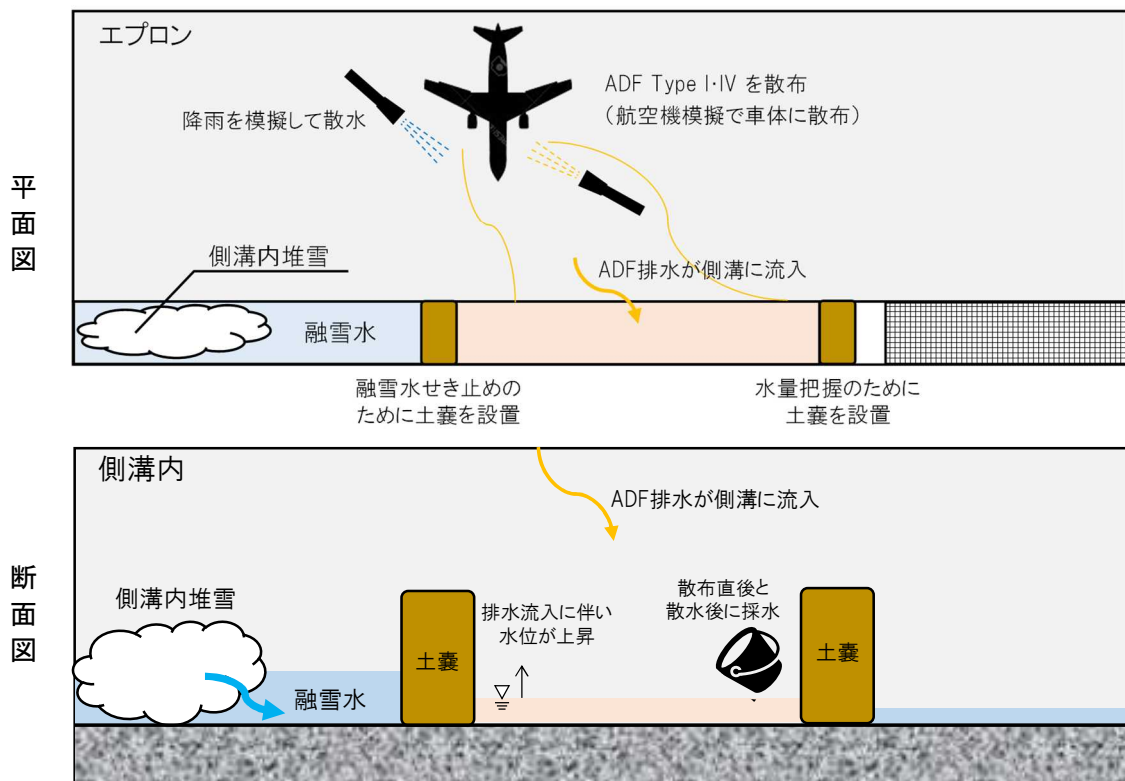
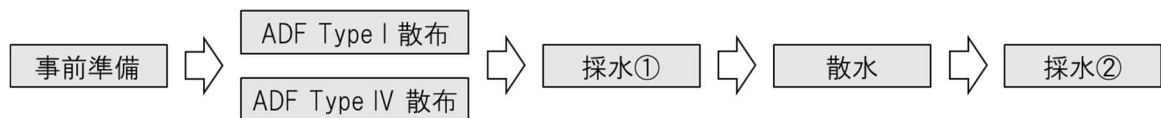


図 0.1 実施作業概要図

(3) 事前準備

側溝に流入した ADF 排水量を把握するために、ADF 散布位置の下流側に土嚢等を設置し、排水を貯めきる形とした。実施時に側溝内に堆雪がある場合には、日中の気温上昇に伴い、融雪水が流入し、排水量が把握できなくなることから、側溝内の堆雪の除去及び散布位置上流側へも土嚢等を設置した。

(4) ADF の散布

試験時の有色 ADF 散布量は対象空港の散布実績から設定した。ADF Type I については、使用時に希釈を行うことから、希釈率についても対象空港の実績を確認し、設定した。また、散布時の流量（散布速度）についても、実績相当として設定した。なお、試験の際は、実際に散布時に使用する機材によることが望ましいが、手引き作成時の調査においては、高圧洗浄ノズルにて代替して散布を行った。

表 2 試験時設定条件例（三沢空港における事例）

	ADF Type I	ADF Type IV
散布量	300 L(原液 90 L)	90 L
希釈倍率	30 %	100 %
散布速度	20 L/min	10 L/min

(5) 散水

既往のヒアリング結果から、散布された ADF は直接側溝に流出するケースは限定的であり、降雨や融雪水により流入することが想定された。そこで、降雨による流出時を模擬して、ADF 散布後に散水を実施した。散水量は、対象空港の ADF 散布期間中の降雨時平均降水量から設定した。

【試験時設定条件例】（三沢空港における事例）

- ・ ADF 散布期間：11 月～2 月（散布実績より設定）
 - ・ 降雨時平均降水量：1.03 mm/hr（近隣気象観測所データより設定）
 - ・ 試験時散水面積：200 m²
- } 散水量：200 L

(6) 採水・水質分析

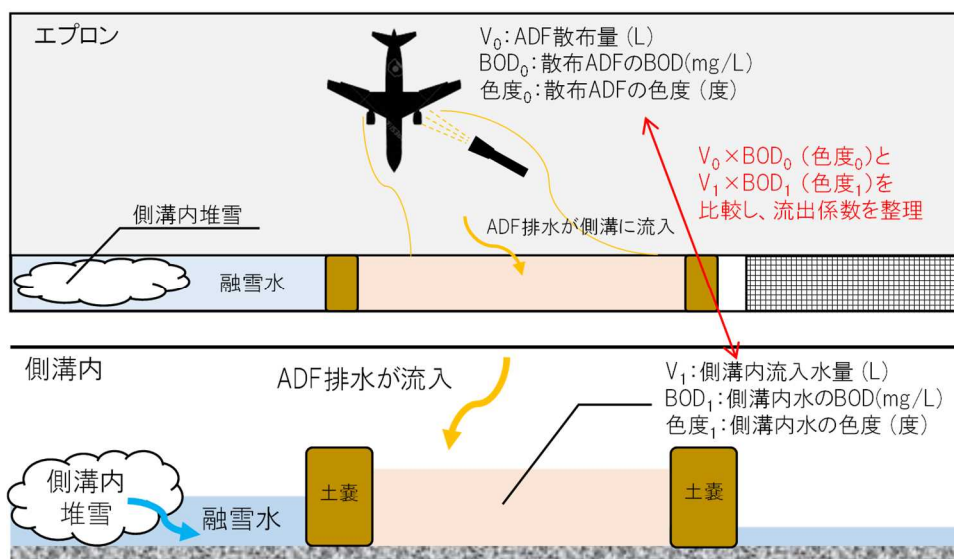
試験時の以下のタイミングで側溝内にて採水を行い、試料について以下の項目の分析を行った。採水実施時には、側溝内の水位を計測し、流入水量の把握も実施した。

採水実施タイミング	分析項目	備考
ADF 散布後	BOD、色度	散布後の直接流入量を評価
散水実施後	BOD、色度	降雨時の流入量を評価

(7) 流出係数の確認

上記の試験の結果から、以下の通り、ADF の側溝までの流出係数を整理した。

$$(\text{側溝までの流出係数}) = (V_1 \times \text{BOD}_1(\text{色度}_1)) \div (V_0 \times \text{BOD}_0(\text{色度}_0))$$



参考資料. その他の対策事例

本手引きに示した対策の他に、海外空港等では、以下のような対策の事例が見られる。
各空港においては、下記に示す対策事例のみならず、他に有効な対策が考えられる場合には、それらによる対策を行うこともできる。

(1) バキュームスイーパー車による回収

エプロン上に落下した ADF を、バキュームスイーパーにより吸引回収する処理手法である。

(2) RO 膜処理

RO 膜処理は、半浸透性の膜を利用し、排水を水と濃縮液に分離する処理手法である。主にリサイクルシステムにおいて、濃縮工程の前段で利用される。

(3) 活性汚泥処理

活性汚泥処理は、下水処理において最もよく利用される技術である。微生物が増殖する過程で有機物を取り込むことを利用し、エアレーションにより、微生物の活性を高めることで、水中の有機物を微生物に取り込ませ除去する。

(4) 嫌気性発酵処理

嫌気性発酵は排水中の有機物を、嫌気性微生物の働きで分解するものである。排水中の有機物は微生物の働きによって、加水分解→揮発性脂肪酸→酢酸→メタンガス+炭酸ガスへと分解される。活性汚泥法のようにエアレーションを行う必要がないが、微生物の活性を高めるため、通常 40℃程度まで排水を加温する。

(5) 公共下水道への接続

ADF 排水を空港施設からの排水と同様に下水道に排水し、地域の下水処理場にて、生活排水や産業排水とともに処理する手法である。下水道に排水するためには、下水道事業者の許可を受けする必要があり、排水量や汚染物質の最大許容濃度（BOD で管理、日本では通常 600mg/L 以下）等による制限を受ける。

例－1 降雨による ADF の色度希釈効果について

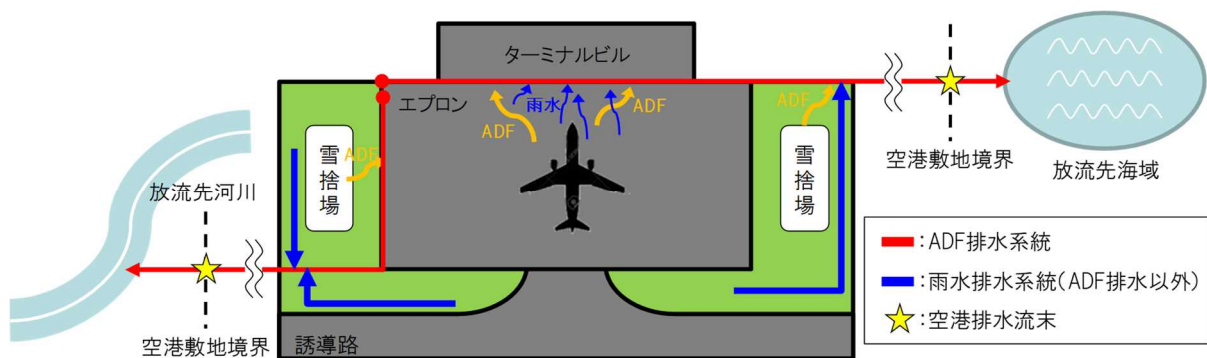
1. 降雨による希釈の考え方について

本手引きでは、降雨による希釈効果を考慮していないが、より経済的に対策を行う観点では、実態に即して降雨による希釈効果を考慮した設計を行うことが望ましい。

このため、降雨によってエプロン側溝に流入する ADF 排水は、エプロン部から流入する雨水や他系統から合流する雨水により希釈されると想定し、その希釈効果を机上検討にて整理した。

2. 降雨による ADF の希釈の試算について

ADF 排水は、空港流末までの間にエプロン雨水や他系統雨水により希釈されるため、流末までに合流する全雨水量による希釈効果の試算を行った。



例図-1 降雨による希釈のイメージ

(1) 試算条件について
各空港の試算条件を以下に示す。

空港（流域系統）名		小松	広島	美保	岩国	高松	松山	高知	徳島	北九州（北）
1日あたりの最大ADF散布量（実績）	タイプI（L）	5928	4673	1652	440	420	136	196	204	1291
	タイプIV（L）	3890	1788	700	333	584	400	177	150	370
雨水集水範囲（ha）	全体	2.23	18.44	5.29	2.08	16.13	12.86	56.48	37.45	5.00
流出係数（雨水）		0.95	0.87	0.85	0.93	0.84	0.87	0.66	0.80	0.95
空港（流域系統）名		北九州（南）	長崎	熊本（西）	熊本（全）	大分	宮崎	鹿児島（A）	鹿児島（B）	
1日あたりの最大ADF散布量（実績）	タイプI（L）	774	2180	855	107	1737	135	241	722	
	タイプIV（L）	222	950	933	117	1814	0	263	788	
雨水集水範囲（ha）	全体	5.00	5.17	160.64	36.31	7.40	30.92	20.99	140.33	
流出係数（雨水）		0.95	0.92	0.48	0.63	0.51	0.65	0.90	0.60	
流出係数（ADF）		0.95（手引き）								
ADF散布日の実績降雨量		気象庁日降雨量データ								
ADF原液の色度		タイプI：750度、タイプIV：250度（現行手引き）								
エプロン落下率		タイプI：100%、タイプIV：10%（手引き）								

【注】略称の流域系統：北九州（北側系統）、北九州（南側系統）、熊本（西側池系統）、熊本（全日空横池系統）、鹿児島（A流域）、鹿児島（B流域）

(2) 試算における計算式について

試算において使用した計算式について、以下に示す。

- ・ 側溝への ADF 流入量 = 1 日の ADF 散布量 × エプロン落下率 × 流出係数_(ADF)
- ・ 流入水量 = ADF 散布日の実績降雨量 × 流域面積 × 流出係数_(雨水)
- ・ 空港流末における降雨による希釈後の色度 = [タイプ I 流入量 × タイプ I 色度 + タイプ IV 流入量 × タイプ IV 色度] ÷ 流入水量

※ADF 散布日に降雨がない場合は、エプロン上に ADF が蓄積され、その後初めて雨が降る日に蓄積された ADF が一度に側溝に流れ込むものと仮定した。

【試算例】

上記の計算式をもとに、松山空港における試算例（2017 年 12 月 24 日を対象）を以下に示す。

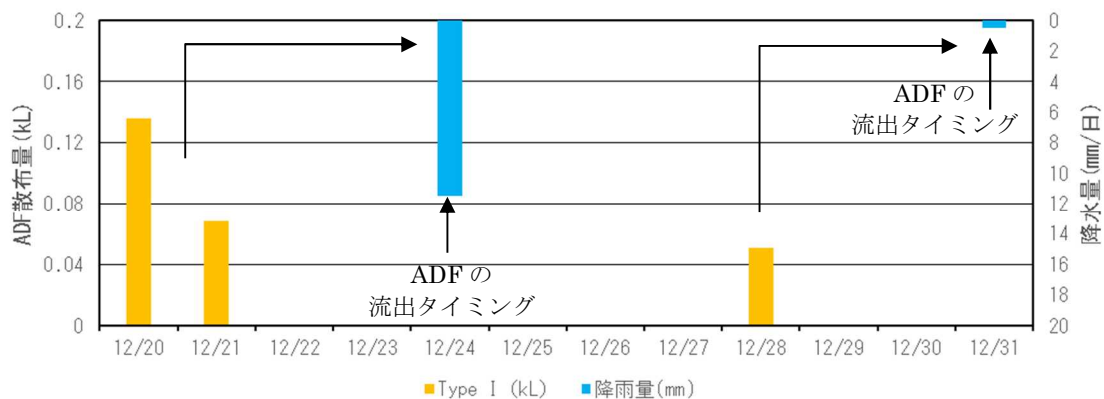
<計算条件>

- ADF 散布量：12/20（TypeI が 136 L、TypeIV は 0 L）、12/21（TypeI が 68 L、TypeIV は 0 L）
- エプロン落下率：TypeI が 100%、TypeIV が 10%（手引き記載例より）
- 流出係数（ADF）：0.95（エプロン舗装部における雨水の流出係数を準用）
- ADF 散布日の実績降雨量：12/20～12/23 は降雨なし、12/24 に 11.5 mm/日の降雨
- 流域面積（雨水集水範囲）：12.86 ha
- 流出係数（雨水）：0.87
- ADF 原液の色度：TypeI が 750 度、TypeIV が 250 度

<計算>

12/20、12/21 に散布された ADF はエプロン上に蓄積され、12/24 の降雨でまとめて流出する。流出時点（12/24）で、

- 側溝への ADF 流入量 = 136 L × 100 % × 0.95 + 68 L × 100 % × 0.95 = 193.8 (L)
- 流入水量 = 11.5 mm × 12.86 ha × 0.87 = 1286.6 (m³)
- 空港流末における降雨による希釈後の色度 = 193.8 L × 750 度 ÷ (1286.6 × 1000) L = 0.11 度



例図-2 松山空港における ADF の散布量及び降水量（2017 年度 12 月実績）

(3) 試算結果について

各空港の試算結果を次ページに示す。ADF 排水の色度目標値を各空港の「現状の放流先平均色度」と設定したところ、散布日数に対する目標値超過日数は、最大 29 日（小松空港）となるが、散布日の色度平均値では降雨による希釈により、色度は十分に低減される結果となった。

空港（流域系統）名		小松	広島	美保	岩国	高松	松山	高知	徳島	北九州 （北）
対策目標値（現状値）		9.3	7.9	7.6	27.0	2.6	14.0	9.7	2.3	5.7
ADF 散布総日数 （H29～R3 の5年間）		316	322	154	178	109	25	150	58	47
試算 結果	降雨による希釈後の色度が 対策目標値以下となる日（日）	252	93	134	59	44	18	53	25	27
	色度最小値 （度）	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	降雨による希釈後の色度が 対策目標値を超過する日（日）	29	6	2	2	1	0	0	0	7
	色度最大値 （度）	116.0	61.5	12.0	41.9	4.3	1.7	1.1	0.3	38.8
	散布日の色度平均値 （度）	4.6	2.3	1.0	3.5	0.4	0.3	0.1	0.1	4.5
空港（流域系統）名		北九州 （南）	長崎	熊本（西）	熊本（全）	大分	宮崎	鹿児島 （A）	鹿児島 （B）	
対策目標値（現状値）		5.7	7.4	2.0	2.0	9.9	6.8	26.5	26.5	
ADF 散布総日数 （H29～R3 の5年間）		47	87	179	179	130	17	179	179	
試算 結果	降雨による希釈後の色度が 対策目標値以下となる日（日）	27	59	65	65	58	11	88	88	
	色度最小値 （度）	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
	降雨による希釈後の色度が 対策目標値を超過する日（日）	7	1	0	0	6	0	0	0	
	色度最大値 （度）	23.3	33.1	1.6	0.7	33.1	0.3	1.4	0.9	
	散布日の色度平均値 （度）	2.7	1.4	0.2	0.1	2.8	0.1	0.1	0.1	

3. 降雨による希釈後の ADF 排水色度試算結果の活用について

ADF の使用量が少ない空港については、降雨による希釈で色度が目標値以下となることを見込めるため、以下の試算結果を考慮して、有色 ADF 対策を実施するかどうか、また、対策を実施したとしても、活性炭フィルタの設置個数を極力減らす等の設計上の工夫をすることが望ましい。

〔試算結果で考慮すべき事項〕

- ・ 降雨による希釈後の色度が対策目標値を超過する日
- ・ 色度の最大値
- ・ 散布日の色度平均値

【試算結果の活用例】

2 の計算において、松山空港では、例-4 ページの計算結果表より、以下のことが確認された。

- ・ 降雨による希釈後の色度が対策目標値を超過する日：0 日
- ・ 色度の最大値：1.7 度（色度目標値：14（現状値））
- ・ 散布日の色度平均：0.3 度

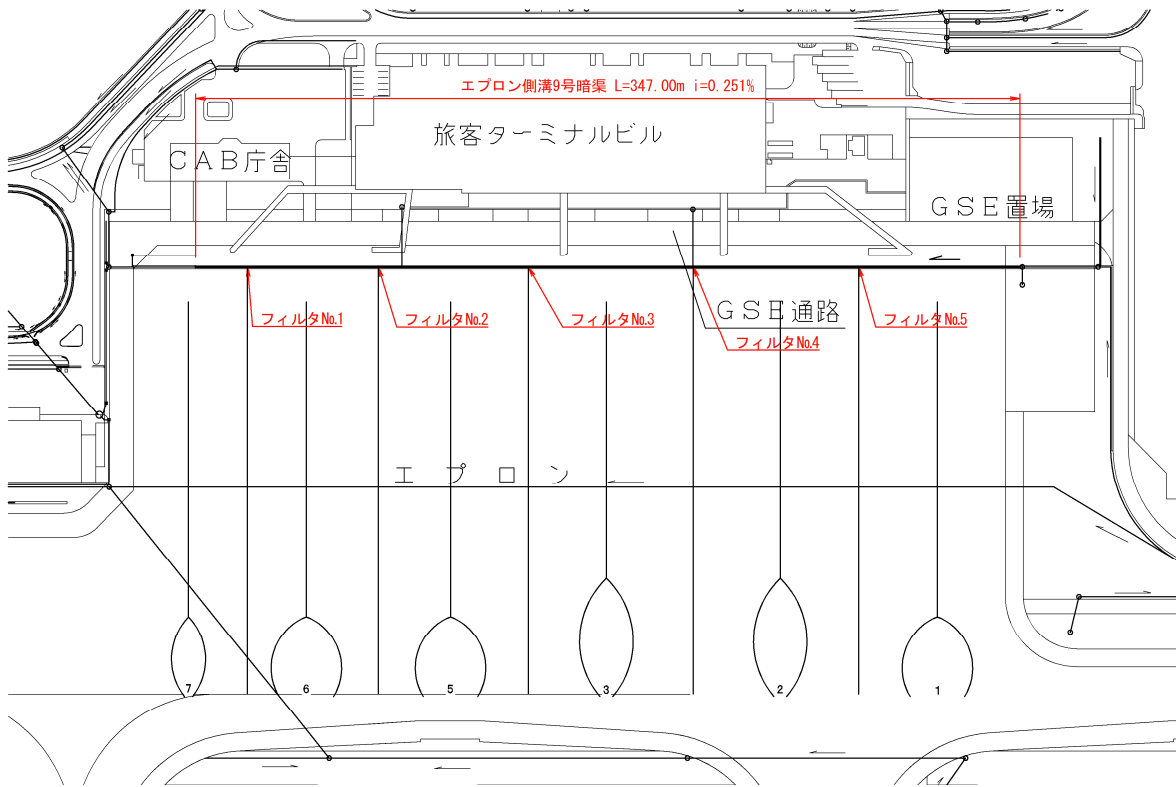
松山空港では、降雨による希釈にて色度目標値を満足できることから、1 スポットに 1 箇所の設置とせず、安全対策として最下流のみ対策を設けることとした。配置例を次ページに示す。

設置する活性炭フィルタについては、本手引き「5.4 活性炭フィルタ設計」「5.5 色度の確認（エプロン側溝）」に準じて、以下の要件を満たすものとして設定した。

- ・ 活性炭フィルタの高さは、冬季降雨を流下させるために必要な断面を確保しつつ、最大となる高さである。
- ・ 最大散布量が側溝に流入した際に、排水の色度を色度目標値（松山空港では現状平均値の色度 14）以下に脱色することができる。

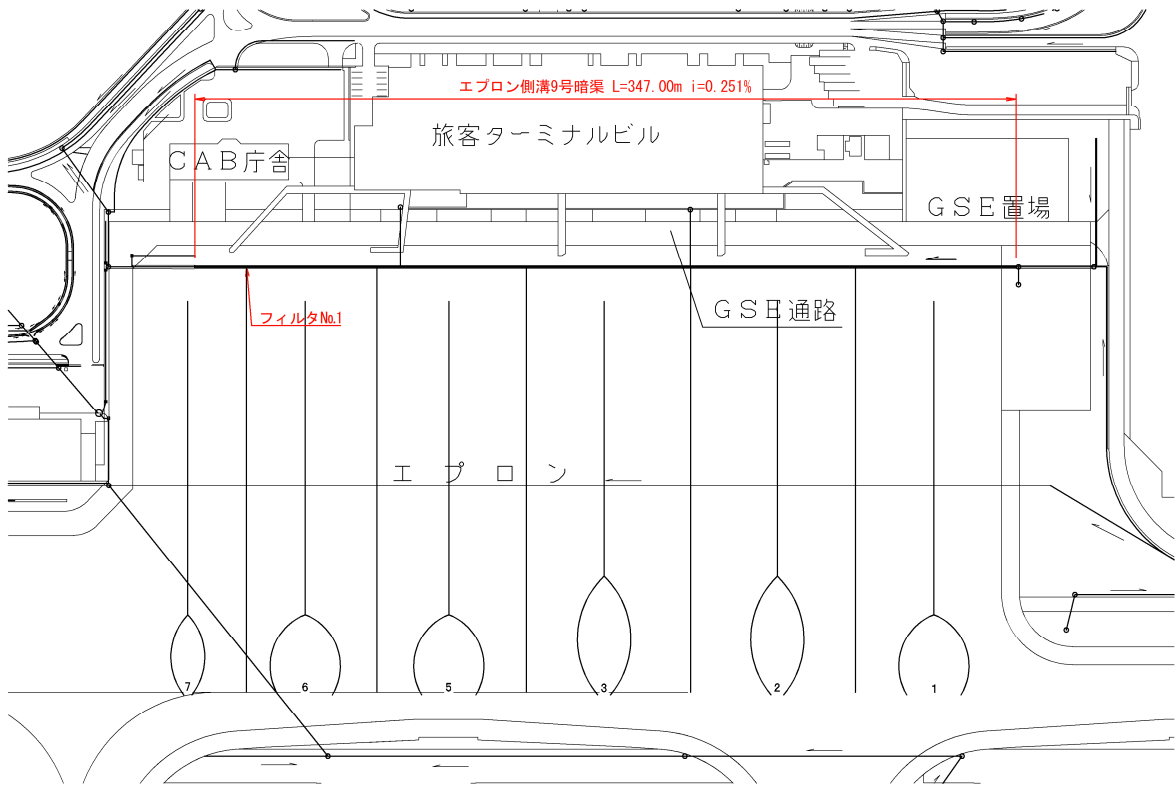
※本試算例においては、降雨による希釈で排水色度を十分に低減できることから、本手引き「5.3 封入する活性炭量の算出」に示している「1 シーズン分の流入 ADF を吸着できるだけの活性炭をフィルタ内に封入する」という観点については、非考慮としている。

活性炭フィルタ配置平面図 S=1:2,000



【1スポットに1箇所の配置とする場合】

活性炭フィルタ配置平面図 S=1:2,000



【最下流にのみ配置とする場合（希釈効果考慮後）】

例図-3 活性炭フィルタの配置更新例（松山空港）

例－2 ADF の流出率について

1. 本手引きにおける ADF 流出率について

活性炭フィルタによる脱色対策においては、エプロン上に落下した ADF が側溝に流出する量によって、封入する活性炭の量や活性炭フィルタの大きさが決定される。

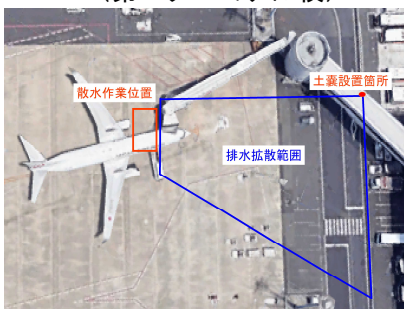


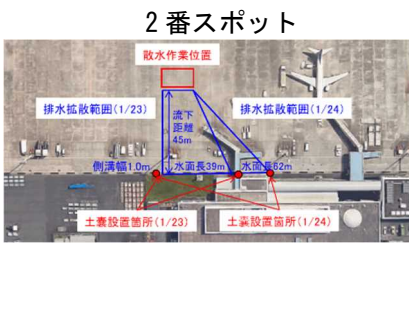
本手引きでは、エプロン上落下した ADF が側溝に流出する割合（ADF 流出率）として既存の空港土木設計要領での雨水の流出率を準用し、「舗装面：95%」及び「芝地：30%～50%」と設定しているが、令和 3 年度に、本手引き「参考資料.側溝までの流出係数の調査」で示す現地実証試験を行ったところ、三沢空港においては、ADF 流出率は舗装面において最大 30%であった。

2. ADF 流出率に関する現地実証について

ADF 流出率について、知見を蓄積するため、令和 4 年度冬季に複数空港（羽田・小松・松山・鹿児島空港）において、三沢空港と同様の作業手順（本手引き「参考資料.側溝までの流出係数の調査」を参照）にて、現地実証試験を実施した。なお、ADF 散布量や散水量は各空港の実態に合うように設定した。

(1) 各空港における ADF 流出率についての現地実証について

各空港における現地実証の条件は以下のとおり。

	羽田	小松	松山	鹿児島
日程	12/12、14 (22~25時)	12/14、15 (9~15時)	1/17、18 (9~13時)	1/23 (9~13時)、24 (12~17時)
天候	晴れ	曇り時々雨	晴れ	晴れ、雪
気温※ ¹	12/12 : 9.4℃、12/14 : 7.5℃	12/14 : 5.1℃、12/15 : 4.1℃	1/17 : 8.6℃、1/18 : 9.6℃	1/23 : 11.1℃、1/24 : -1.5℃
路面温度※ ¹	12/12 : 3.2℃、12/14 : 2.5℃	12/14 : 2.0℃、12/15 : 1.8℃	1/17 : 12.6℃、1/18 : 14.4℃	1/23 : 15.9℃、1/24 : -0.5℃
ADF 散布原液量 (括弧内は 40%希 釈後の溶液量) ※ ²	タイプ I : 240 L (600 L) タイプ IV : 23 L	タイプ I : 130 L (325 L) タイプ IV : 13 L	タイプ I : 40 L (100 L) タイプ IV : 20 L	タイプ I : 60 L (150 L) タイプ IV : 11 L
散水量※ ³	7 m ³ (2mm/hr × 3,500m ²)	15 m ³ (7.5mm/hr × 2,000m ²)	2.3 m ³ (1.5mm/hr × 1,500m ²)	7.3 m ³ (4.1mm/hr × 1,800m ²)
ADF 原液 BOD	メーカーカタログ値 (タイプ I : 約 600,000 mg/L、タイプ IV : 約 270,000 mg/L)			
ADF 原液色度	手引きに記載の数値 (タイプ I : 750 度、タイプ IV : 250 度)			
実施場所※ ⁴	<p>24 番スポット (第 1 ターミナル横)</p> 	<p>12/14 : 4 番スポット 12/15 : 3 番スポット</p> 	<p>1 番スポット</p> 	<p>2 番スポット</p> 

※¹ : 気温・路面温度はいずれも試験時間帯において 30 分毎に計測した際の平均値

※² : 1 機体あたりの平均 ADF 散布量 (実績) × エプロンへの落下率 (手引き記載値 タイプ I : 100%、タイプ IV : 10%) より設定。タイプ I は 40%希釈で散布されるものと仮定。

※³ : 過去の ADF 散布日の平均降水量と散布面積から設定。なお、散布面積は実証実施時に現場で散水可能な範囲。

(2) 各空港における ADF 流出率についての現地実証結果について

BOD・色度収支について、同一空港においても試験日によって収支が大きく異なる場合があるため、今回の実証結果のみでは特定の値を設定することは困難であった。各空港における試験結果を以下に示す。

空港	試験日	時刻	貯留水量 (m ³)	BOD (mg/L)	色度 (度)	BOD 収支 (%)	色度収支 (%)	備考
小松空港	2022/12/14	12:00	1.530	1900	18	4	27	逆流の影響を受けたため要素検討より除外
	2022/12/15	12:30	7.898	2800	7	28	55	
松山空港	2023/1/17	10:15	1.008	6000	21	18	60	
	2023/1/18	09:50	1.050	6600	14	21	42	
鹿児島空港	2023/1/23	12:00	4.485	5100	10	53	91	※初期雨水の BOD 値：2mg/L、 色度値：3 度
	2023/1/24	15:00	4.340	2300	7	23	31	※初期雨水の BOD 値：49mg/L、 色度値：9 度
羽田空港	2022/12/12	0:25	5.856	11000	6	43	19	
	2022/12/14	23:45	5.172	17000	7	59	19	
三沢空港	2022/2/24	16:30	0.119	100000	130	30	31	
	2022/3/9	14:50	0.279	12000	10	6	4	融雪の影響を受けたため要素検討より除外

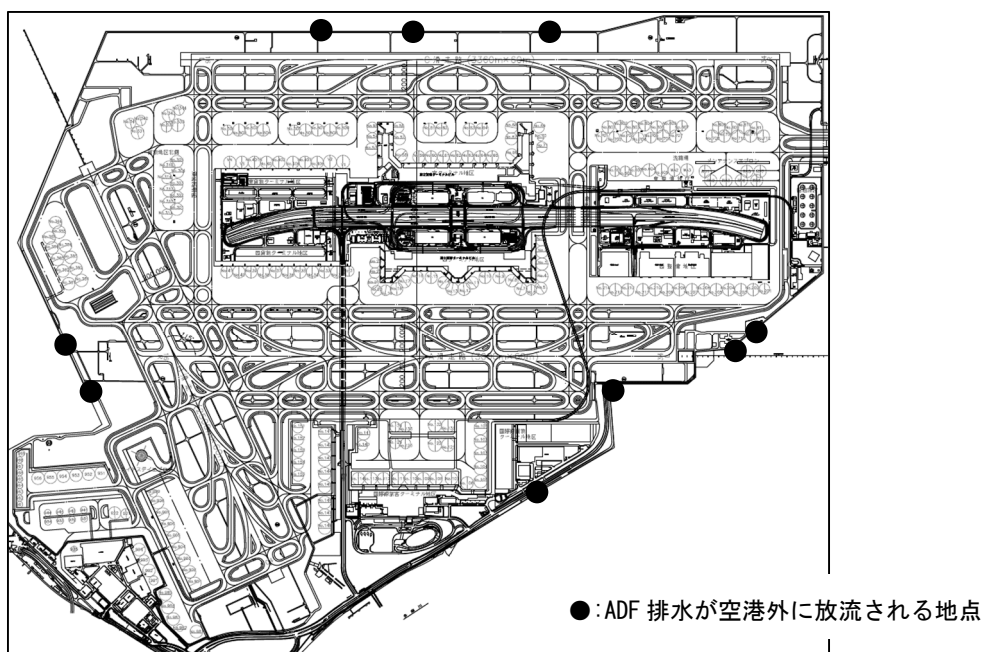
例－3 東京国際空港における活性炭フィルタの設置例

1. 活性炭フィルタ設置の考え方

本手引きでは、脱色効率を考慮してエプロン側溝への活性炭フィルタ設置を基本としているが、東京国際空港では活性炭フィルタ設置箇所が 250 カ所以上となり、整備・維持管理作業が滞ることが懸念される。

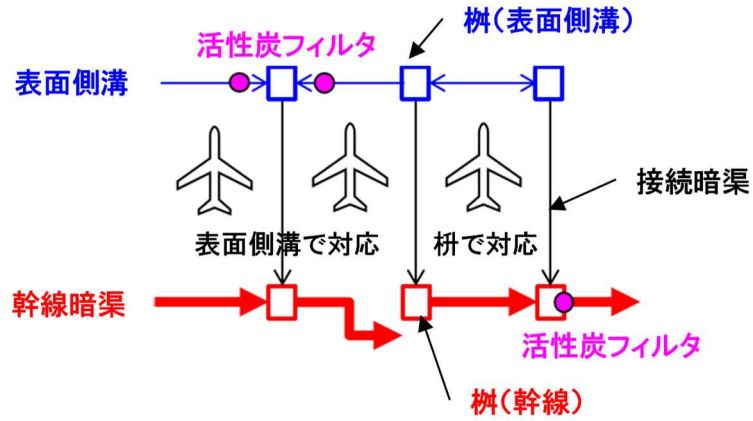
このため、活性炭フィルタの設置個所数を最小限に抑えつつ脱色対策を行うことを目的として、東京国際空港においては、「幹線柵への活性炭フィルタ設置を基本としつつ、幹線柵への設置が物理的要因等により困難な排水系統についてはエプロン側溝へ設置する」こととしている。

東京国際空港の ADF 排水が放流される幹線柵の流末は例図-1 のとおり 9 カ所であり、全ての幹線柵に対策を行うこととする。

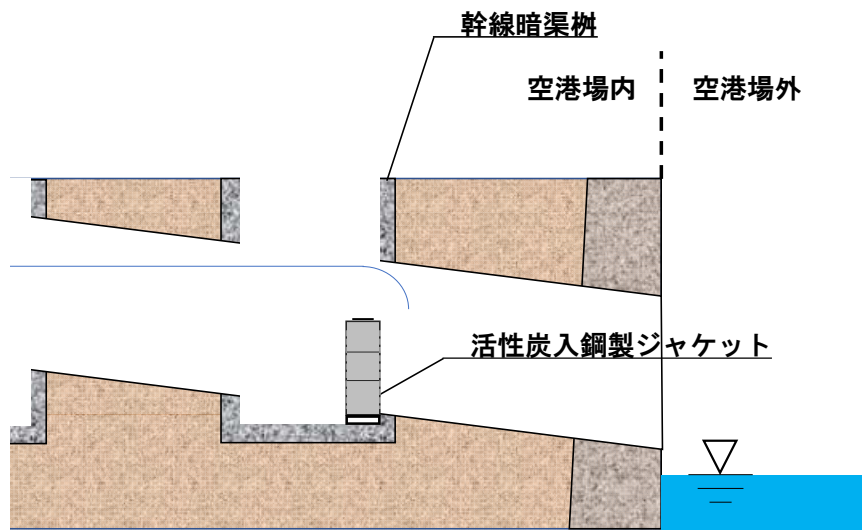


例図-1 東京国際空港 流末図

ADF 排水はエプロン等の表面側溝から流入し幹線暗渠（幹線柵）に集約され空港外へ排水される。幹線暗渠（幹線柵）に活性炭フィルタを設置する場合は、排水系統が複雑であることを考慮し、ADF 排水がそのまま空港外へ排出されることを防止するために例図-2 のように、どの側溝に流入した ADF 排水であっても必ず 1 カ所以上の表面側溝又は幹線暗渠の活性炭フィルタを通過させることに留意する。また、幹線暗渠には排水系統の排水が集約されるため、排水量や流入 ADF 負荷に応じた強度や脱色能力が必要であることに留意する。



例図-2 活性炭フィルタの配置



例図-3 幹線樹の配置

集約化後の活性炭フィルタの設置箇所数は例表-1 のとおり 50 カ所となった。

例表-1 設置箇所数

エプロン	集約後対策箇所数			
	表面側溝		幹線暗渠	合計
	集水樹	スポット		
A-2 系統	6	1	2	9
A-4 系統	0	0	6	6
A-6 系統	16	5	0	21
B-4 系統	0	0	3	3
国際線南側	2	1	5	8
C-6 系統	0	0	1	1
C-7 系統	0	0	1	1
C-8 系統	0	0	1	1
合計	24	7	19	50

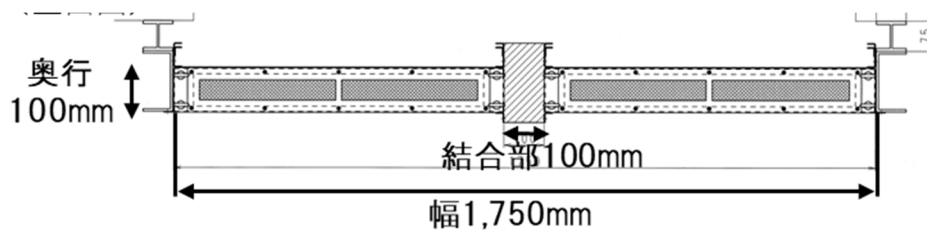
2. 幹線暗渠への活性炭フィルタの設置方法

東京国際空港では可能な限り活性炭フィルタの設置箇所数を抑えることにより1か所あたりのフィルタ寸法が比較的大きくなるため、幹線暗渠内への活性炭フィルタ搬入時には一旦活性炭フィルタを分割し、設置の際に結合した。その他、ジャケットやプレフィルタの概要、取付け方法等は例図-4のとおり。

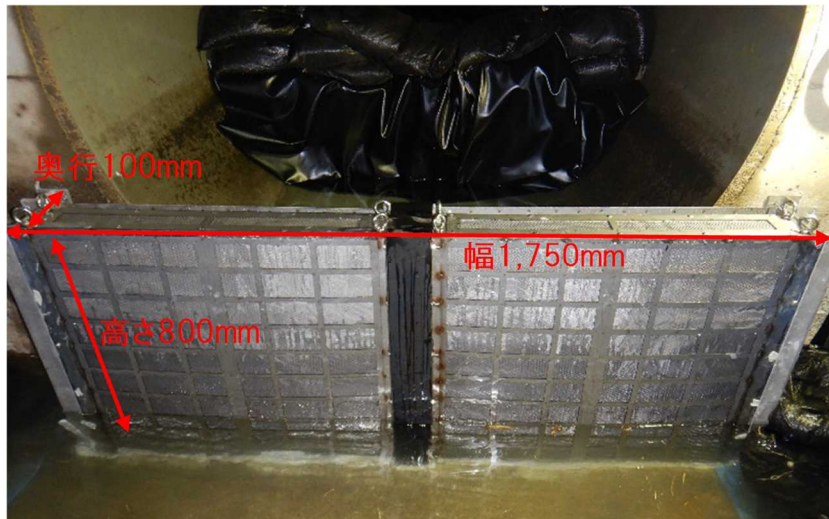
(1) 活性炭フィルタ概要

設置した活性炭フィルタの概要は、以下の通りである。

- ・ 材質：ステンレス(SUS304 製)
- ・ 有効寸法：幅 1,650mm×奥行 100mm×高さ 800mm
- ・ 重量：約 100 kg
- ・ 取付方法：
アンカーによる壁面固定（ネジ径 M9、片側 8 点固定）
ウレタン系シーリングにより止水
- ・ 使用した活性炭：
粒径：中（0.8～2.0mm）
重量：24 kg/フィルタ



【上面図】



【正面写真】

例図-4 幹線暗渠へ設置する活性炭フィルタの概要

(2) プレフィルタ概要

設置したプレフィルタの概要は、以下の通りである。

- ・ 目の粗さ：50 μ m
- ・ 本体フィルタと一体となる形でプレフィルタを設置（プレフィルタの取外しは容易）

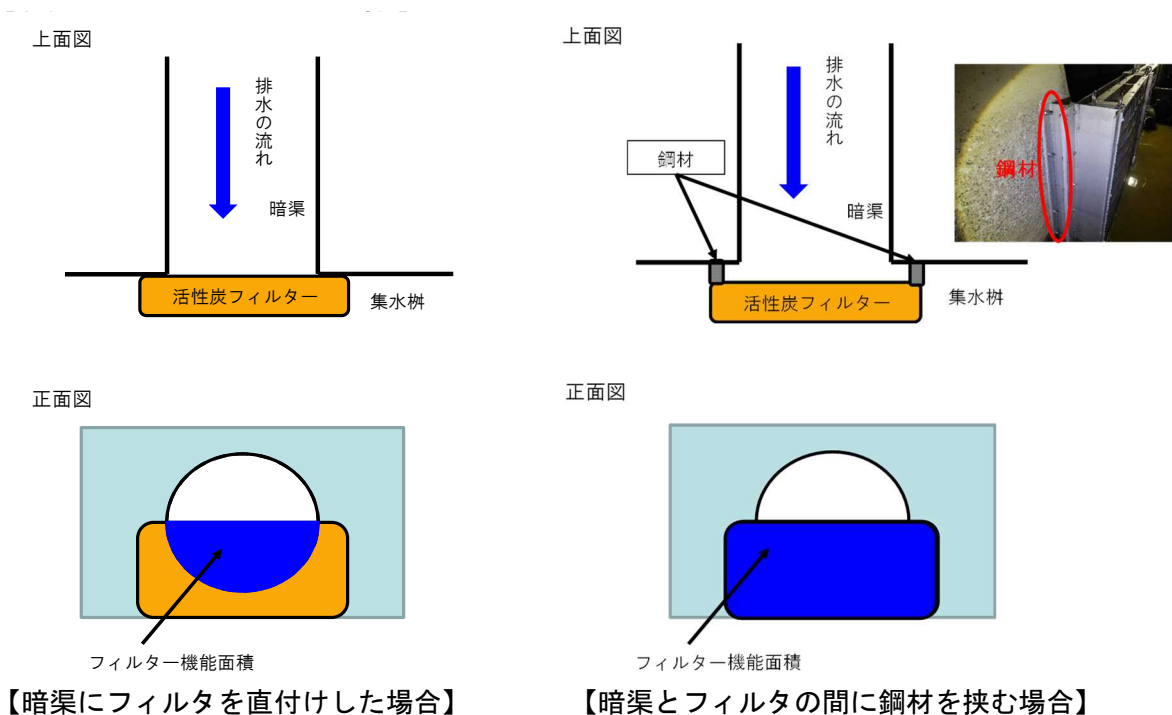


例図-5 幹線暗渠へ設置するプレフィルタの概要

3. 幹線暗渠への活性炭フィルタの設置の留意点

以下の点が、試験時に留意点として確認された。

- ① 降雨後も数日間は暗渠内に雨水が流入し、作業が困難となる。有色 ADF 使用開始前の整備完了に向けて、降雨期間の作業中止を考慮した工期設定が必要となる。
- ② 鋼材の取付穴の大きさに余裕がなく、現場で加工が必要となったため、取付穴の大きさに余裕を持たせた設計とすることが望ましい
- ③ 防水処理にあたり、湿潤面でも施工できるようにウレタン系のシーリングを採用したが、シーリング不良で漏水が見られたため、鋼材の設置面にゴム板等によるパッキング処理をすることが望ましい
- ④ 活性炭フィルタ通水断面を最大化するための設置方法は、例図-6 のように暗渠に対してフィルタを直付けせず、暗渠との間に鋼材を挟むことで活性炭フィルタの通水断面を最大限に確保することができる。



例図-6 通水断面を最大化するための設置方法

例－4 活性炭フィルタの目詰まり対策について

1. 活性炭フィルタの目詰まり対策について

令和3年度の三沢空港及び松山空港での活性炭フィルタの現地実証試験において、側溝中の夾雑物によりフィルタの目詰まりが生じることを確認された※1。

このため、令和4年度に、活性炭フィルタの上流側にプレフィルタを設置して夾雑物を捕捉することによりフィルタ本体の目詰まりを防ぐ方法について現地実証試験を行った。

※1：当該試験時は、フィルタ表面を流水洗浄することで、フィルタ部の通水性が改善された。



例 図-1 令和3年度実証試験時の現地状況（松山空港）

2. 室内試験によるプレフィルタの効果確認

現地試験実施前に、プレフィルタによる目詰まり対策の有効性を検証することを目的として室内試験を実施した。

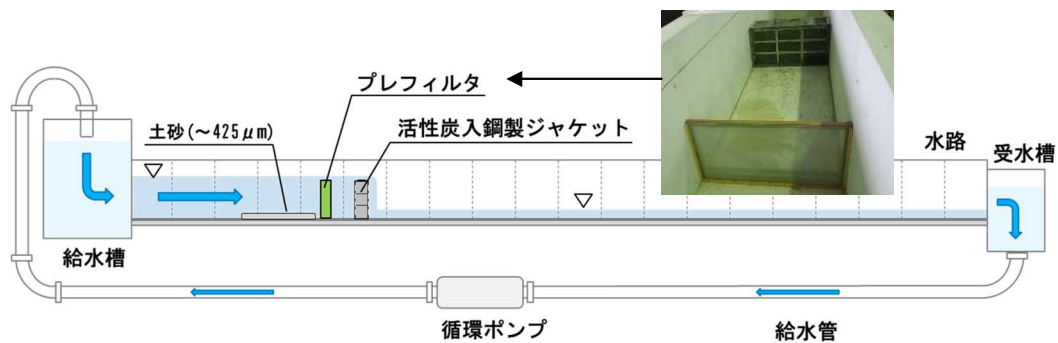
(1) 室内試験の概要

1) 試験条件

試験水路やフィルタ寸法等は以下の通りとした。

- ・ 試験水路寸法(mm)： W500×H500×L10,000
- ・ フィルタ本体寸法(mm)： W500×H250×D190
- ・ フィルタ本体孔径：250 μ m (活性炭の流出防止の観点から設定)
- ・ プレフィルタ孔径：50 μ m^{※1}
- ・ 土砂：425 μ m 以下^{※1}の土砂 640 cm³

※1：令和3年度実証試験(松山空港)時は50～400 μ m程度の細砂による目詰まりが確認されたため、試験では使用土砂は粒径425 μ m以下として、プレフィルタ孔径は50 μ mと設定した



例 図-2 室内試験装置概要

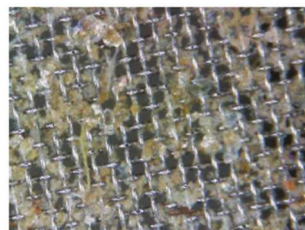
2) 試験手順

以下の手順で試験を行い、①の時と③の時の水位を比較することで、土砂によるフィルタ部の目詰まり（流量低下）が起きているかを確認した。

- ① 本体フィルタのみ設置して地下水を2.4L/sで通水し、その際の上流側水位を確認
- ② プレフィルタを追加設置するとともに、プレフィルタの上流側に土砂 640 cm³を撒き、2.4L/sで通水（1時間程度で計8,600L通水）
- ③ プレフィルタを取り外した後、本体フィルタのみが設置された状態で地下水を2.4L/sで通水して、その際の上流側水位を確認し、①の水位と比較

(2) 室内試験の結果

手順①③ともに上流側水位は27cmとなり、土砂混じりの水を通水した後もフィルタ本体の流量は低下しないことが確認された。通水後に取り外したプレフィルタの表面を観察した結果、土砂を捕捉していることが確認できた。なお、プレフィルタは金網1枚程度の薄いものであり、土砂が付着した際も大きく流量が低下するものではないと考えられる。



例 図-3 土砂を捕捉したプレフィルタの表面（網目部）

3. 現地実証試験によるプレフィルタの効果確認（三沢空港）

活性炭フィルタ本体の上流側にプレフィルタを設置し、フィルタ上流側水位の連続記録を行うとともに、記録機材及びフィルタの目視点検を2週間に一度実施した。融雪水流入時はフィルタ上流側の水位が上昇するが、フィルタ下流に水は抜けており、活性炭フィルタの目詰りは発生しなかった。

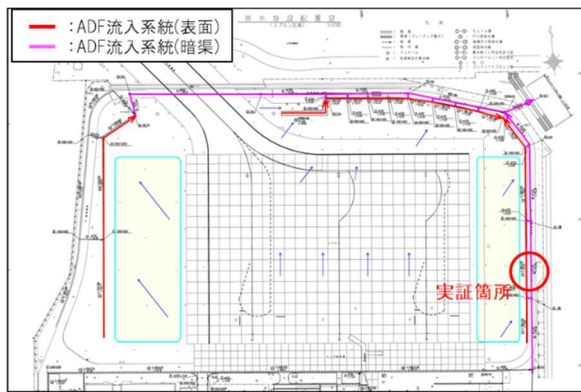
(1) 現地実証試験概要

試験実施場所や期間、フィルタ寸法等は以下の通りとした。

- ・ 実証箇所：三沢空港 雪捨て場付近のエプロン側溝（下図）
- ・ 実証期間：2022年12月8日～2023年3月9日（3か月間）
- ・ フィルタ寸法：幅300mm×高さ180mm×厚さ100mm
- ・ プレフィルタ寸法：幅300mm×高さ180mm×厚さ6mm

※活性炭フィルタは令和3年度製作の既製品を使用したため、プレフィルタは設置作業時の機材幅から、本体フィルタ上流側30cmの位置に設置

※プレフィルタはスリットはめ込み型なので容易に着脱可能



例 図-4 三沢空港の試験箇所



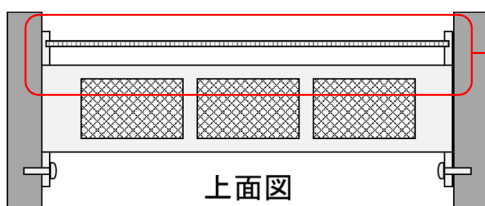
例 図-5 設置状況

(2) 現地実証試験の結果

設置後3ヶ月時点でも活性炭フィルタ部の通水が確認された。プレフィルタ・本体フィルタともに清掃等の対応は必要ない状況であった。プレフィルタが夾雑物を補足していたが、緑地帯内の側溝のため、プレフィルタと活性炭フィルタ間に枯れ草等が流入していた。プレフィルタについては、本体フィルタとの間に夾雑物が入りにくいよう、本体フィルタと一体として計画することが望ましい。

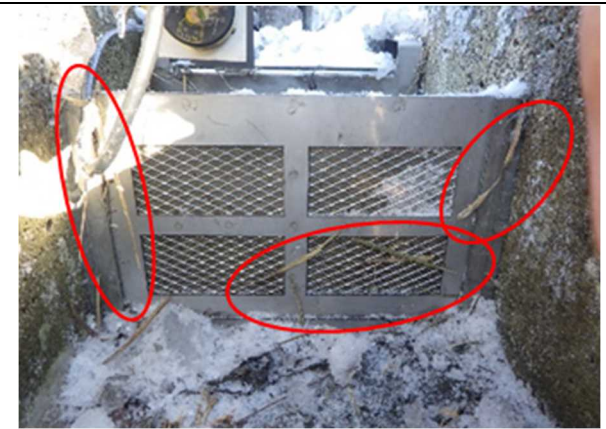
例 表-1 定期観察状況

日程	12/8	12/22	1/5	1/19
作業・現場状況	フィルタ等設置	定期点検① ・ 夾雑物あり ・ 通水確認	定期点検② ・ 積雪のため排水なし	定期点検③ ・ 夾雑物あり ・ 積雪のため排水なし
日程	2/2	2/16	3/2	3/9
作業・現場状況	定期点検④ ・ 夾雑物あり ・ 積雪のため排水なし	定期点検⑤ ・ 夾雑物あり ・ 積雪のため排水なし	定期点検⑥ ・ 夾雑物あり ・ 融雪し、通水確認	フィルタ撤去



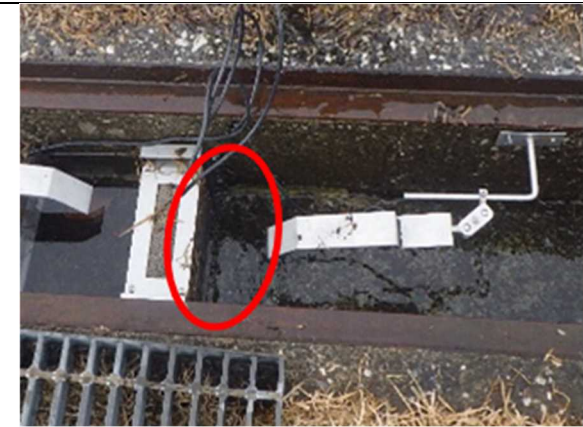
プレフィルタは施工性も考慮し、フィルタと一体とすることで、フィルタ・プレフィルタ間に夾雑物が入りにくいよう配慮する

例 図-6 フィルタ・プレフィルタ一体製作イメージ



設置後 2 週間 (12/22) 時点
 左：夾雑物がプレフィルタ上流で捕捉されている様子
 右：本体フィルタを通水している様子

設置後 6 週間 (1/19) 時点
 プレフィルタに夾雑物が付着している様子



設置後 12 週間 (3/2) 時点
 左：夾雑物がプレフィルタ上流で捕捉されている様子、右：本体フィルタを通水している様子

設置後 12 週間 (3/2) 時点
 プレフィルタとフィルタ間に夾雑物

例 図-7 各日のフィルタ部の状況

4. 現地実証試験によるプレフィルタの効果確認（松山空港）

上流側にプレフィルタを設置し、水位の連続記録を行うとともに、記録機材及びフィルタの目視点検を2週間に一度実施した結果、活性炭フィルタの目詰りは発生しなかった。

(1) 現地実証試験概要

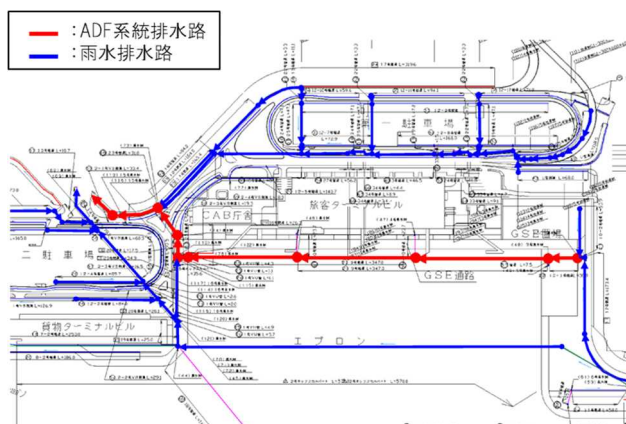
試験実施場所や期間、フィルタ寸法等は以下の通りとした。

- ・ 実証箇所：松山空港 第1スポットエプロン側溝（下図）
- ・ 実証期間：1月20日～2月22日
- ・ フィルタ寸法：幅800mm×高さ290mm×厚さ100mm
- ・ プレフィルタ寸法：幅800mm×高さ290mm×厚さ6mm

※活性炭フィルタは令和3年度製作の既製品を使用したため、プレフィルタは設置作業時の機材幅から、本体フィルタ上流側30cmの位置に設置

※プレフィルタはスリットはめ込み型なので容易に着脱可能

※設置期間中の夾雑物量を正確に把握するため、既存夾雑物の清掃を実施した



例 図-8 松山空港の試験箇所



例 図-9 設置状況

(2) 現地実証の結果

設置期間中にプレフィルタに夾雑物の付着が確認されたものの、水位計実績からも活性炭フィルタ部での目詰まりは見られないことから、プレフィルタ設置によって活性炭フィルタの目詰まり対策が図られていることが確認できた。

例 表-2 定期観察状況

日程	1/20	2/3	2/17	2/22
作業・現場状況	フィルタ等設備設置完了	定期点検① (清掃なし) 夾雑物なし	定期点検② (夾雑物除去) 夾雑物あり	実証終了、設備撤去

設置後4週間(2/22)時点ではプレフィルタの手前に夾雑物の浮遊が確認されており、また、活性炭フィルタ部での流量低下が発生していないことから、プレフィルタによる夾雑物遮断効果を確認。

<p>設置後 2 週間 (2/3) 時点 プレフィルタ前面に夾雑物付着</p>	<p>設置後 3 週間 (2/9) 時点 夾雑物がプレフィルタ上流で 捕捉されている状況</p>	<p>設置後 4 週間 (2/17) 時点 左：プレフィルタ前面に夾雑物の浮遊有り 右：活性炭フィルタ部の通水状況</p>	
<p>撤去前 (2/22) 時点 プレフィルタ前面に 夾雑物の浮遊有り</p>	<p>撤去後 (2/22) 時点 プレフィルタ表面に夾雑物付着</p>	<p>撤去後 (2/22) 時点 左：活性炭フィルタ上流側表面に夾雑物の付着なし 右：活性炭フィルタ下流側表面に夾雑物付着 (越流による)</p>	

例 図-10 各日のフィルタ部の状況