

平成22年度
地下水・再生水利活用の地下空間利用に関する調査
報告書

平成 23 年 3 月

財団法人 エンジニアリング振興協会
地下開発利用研究センター

KEIRIN



この事業は、競輪の補助金を受けて実施したものです。

<http://ringring-keirin.jp>

序

本報告書は、財団法人JKAから機械工業振興資金の補助を受け、財団法人エンジニアリング振興協会が実施した平成22年度「地下水・再生水利活用の地下空間利用に関する調査」の成果を取りまとめたものであります。

本調査研究では、地下空間および地下水・再生水・雨水を有効に利活用できる新しい水循環ネットワークを構築し、都市域におけるヒートアイランド現象の緩和や、局地的豪雨などによる自然災害に対する防災・減災の機能を持たせることで、現代の都市が抱える諸課題を解決することを目的としています。また、水循環ネットワークの構築は、CO₂排出の少ない都市社会を実現するとともに、都市域で生活する人々の安全・安心を確保し、そこに暮らす人々にとって豊かな生活環境を提供するための新たな基盤になると考えます。

今年度の調査研究では、平成21年度の調査研究において示された健全な水循環ネットワークシステムを具体化するための課題を踏まえ、水循環の変化に伴う環境への影響、システムの有効性、官民連携した事業協力の可能性、および、ネットワーク構築と広域展開のための技術とその管理システム等について、より具体的な調査検討と議論を行って参りました。

調査研究にあたっては、文献資料調査、ヒアリングと現地調査、モデル地区の選定方法の検討とそれにもとづいたモデル地区の選定を行い、選定されたモデル地区について健全な水循環系のイメージを作成するとともに、今後の課題の抽出を行いました。これらの成果を報告書として取りまとめました。

しかしながら、地下水・再生水・雨水の健全な水循環ネットワークの構築には、その都市が持つ現状と背景および歴史などを含めた議論を行い、その結果を踏まえた設計が必要です。また、それぞれの都市が持つ自然や構造物など、すべての事象・事物に目を向けて、地下水・再生水・雨水の水循環のあり方を検討することが、真に持続可能な都市社会の形成に資するものになります。このような側面にも思慮を傾けながら、より良い社会を形成するための水循環ネットワークが構築されることを期待しています。

本調査研究は、地下開発利用研究センターの研究企画委員会の下で、学識経験者、官庁および企業の専門家からなる調査委員会(委員長 徳永朋祥 東京大学准教授)ならびに作業部会を編成し、調査研究を実施したものであります。なお、本調査研究の取りまとめは、西松建設株式会社を中心となって行いました。

本調査研究にご協力下さいました関係各位に対して、心から謝意を表するとともに、本報告書の成果が各方面で有効に活用されることを切望する次第です。

平成23年3月

財団法人エンジニアリング振興協会
会 長 増田 信行

「平成22年度 地下水・再生水利活用の地下空間利用に関する調査委員会」

委員名簿

(委員長)

徳永 朋祥 東京大学 大学院新領域創成科学研究科 環境システム学専攻 教授

(委員)

風間 聡 東北大学 大学院工学研究科 土木工学専攻 教授

井上 康 名古屋大学 エコトピア科学研究所
環境システム・リサイクル科学研究部門 助教

飯田 輝男 立正大学 オープンリサーチセンター 外部研究員

駒井 武 独立行政法人 産業技術総合研究所 地圏資源環境研究部門
副研究部門長

三好 悟 株式会社大林組 技術研究所 環境技術研究部 副主査

油野 英俊 川崎地質株式会社 取締役 執行役員 事業本部副本部長

石川 美宏 株式会社建設技術研究所 東京本社 水システム部 下水道室
グループリーダー

稲葉 薫 株式会社竹中工務店 技術研究所 先端技術研究部
エコエンジニアリング部門 主任研究員

緒方 信一 中央開発株式会社 地盤技術事業部長

平野 孝行 西松建設株式会社 土木設計部 部長

奥村 忠彦 財団法人エンジニアリング振興協会 地下開発利用研究センター
研究理事

(オブザーバー)

小宮 康則 経済産業省 経済産業政策局 地域経済産業グループ 産業施設課
課長補佐

萬上 俊隆 経済産業省 製造産業局 国際プラント推進室／戦略輸出室
プラント貿易企画一係長

(事務局)

和田 弘 財団法人エンジニアリング振興協会 地下開発利用研究センター
技術開発第二部 研究主幹

(前事務局)

加藤 猛士 財団法人エンジニアリング振興協会 地下開発利用研究センター
技術開発第二部 主任研究員

「平成22年度 地下水・再生水利活用の地下空間利用に関する調査 作業部会」

部 会 員 名 簿

(部会長)

平野 孝行 西松建設株式会社 土木設計部 部長

(部会員)

三好 悟 株式会社大林組 技術研究所 環境技術研究部 副主査

油野 英俊 川崎地質株式会社 取締役 執行役員 事業本部副本部長

稲葉 薫 株式会社竹中工務店 技術研究所 先端技術研究部
エコエンジニアリング部門 主任研究員

緒方 信一 中央開発株式会社 地盤技術事業部長

下坂 賢二 戸田建設株式会社 土木本部 アーバンルネッサンス部 主管
技術1チーム 主管

仲松 宇大 西松建設株式会社 土木施工本部 土木設計部 企画課 課長

永山 智之 西松建設株式会社 土木施工本部 技術研究所
技術戦略グループ 係長

(事務局)

和田 弘 財団法人エンジニアリング振興協会 地下開発利用研究センター
技術開発第二部 研究主幹

(前事務局)

加藤 猛士 財団法人エンジニアリング振興協会 地下開発利用研究センター
技術開発第二部 主任研究員

地下水・再生水利活用の地下空間利用に関する調査

目 次

第 1 章 調査経緯	
1.1 調査研究の背景と目的	I - 1
1.2 調査研究の進め方	I - 3
1.3 調査研究の内容	I - 4
第 2 章 都市の抱える課題についての検討	
2.1 ヒアリング・現地踏査結果	II - 1
2.2 モデル地域の現状と課題の分析	II - 26
2.3 課題に対する改善項目	II - 55
2.4 都市の課題解決のための方策とその効果	II - 62
第 3 章 具体的な施設の提案	
3.1 事業実施箇所選定から施設配置までの手順	III - 1
3.2 モデル地区内の事業実施箇所の選定（例）	III - 3
3.3 事業検討箇所の課題整理	III - 9
3.4 施設配置のための諸条件の整理	III - 10
3.5 配置する各種施設の機能検討	III - 20
3.6 個別施設の設置	III - 25
3.7 モデル地区で必要とされるネットワークシステム	III - 27
3.8 施設の運用ならびに維持管理	III - 31
第 4 章 建設方法の検討	
4.1 建設のための調査項目	IV - 1
4.2 建設方法	IV - 6
第 5 章 概算事業費の検討	
5.1 対象事業	V - 1
5.2 概算事業費の検討	V - 4
第 6 章 官民渠行の可能性	
6.1 関連する規制・基準類	VI - 1
6.2 規制・基準類に対し期待される法整備・課題	VI - 4
6.3 インフラの整備手法	VI - 5
6.4 地域の合意形成調査について	VI - 7
6.5 今後の課題	VI - 8
第 7 章 まとめと今後の課題	
7.1 調査研究のまとめ	VII - 1
7.2 今後の課題	VII - 4

以上

第 1 章 調査経緯

1.1 調査研究の背景と目的

人間活動に伴う温室効果ガスの排出・蓄積（図 1.1-1 炭素循環参照）に伴う地球温暖化の進行と自然災害の増加等の影響が懸念される中、京都議定書（H17.2 発効）やその後の国際的枠組みを見据えた長期的な視点に基づく CO₂ 削減目標の実現は大きな命題となっている。また、2009 年 9 月 22 日 鳩山由紀夫首相は、ニューヨークの国連本部で開かれた国連気候変動サミットにおける演説内で温室効果ガスの 25%削減という目標を発表している。

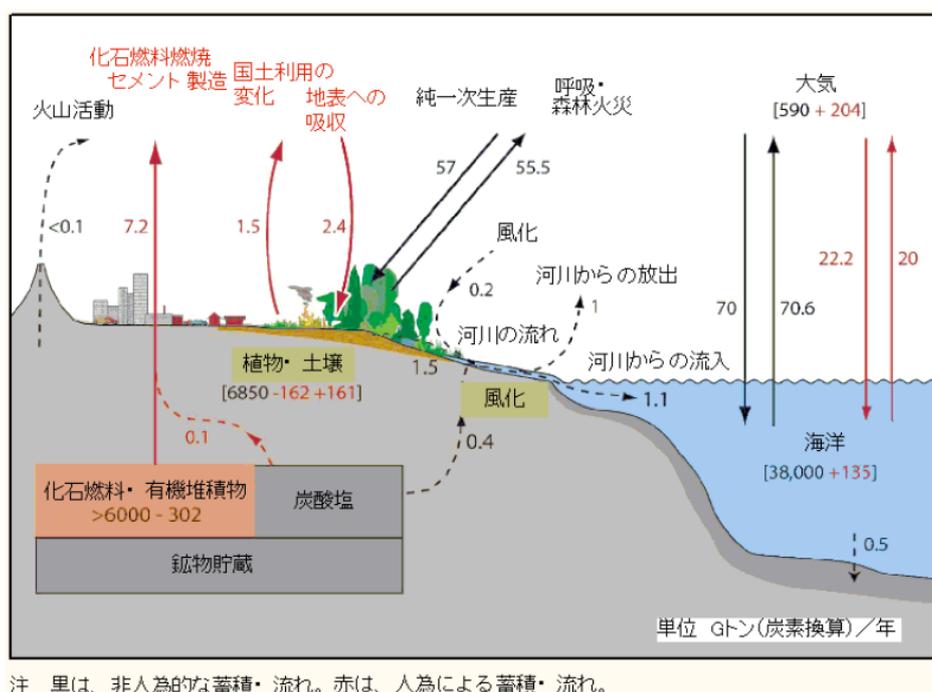


図 1.1-1 炭素循環

出典：京都議定書目標達成計画（平成 20 年 3 月全部改訂）

その様な中、都市活動によって発生する河川の水質汚濁や大気汚染、また建築物・舗装等の増加による人工廃熱の増加に伴う気温上昇、ヒートアイランド現象を緩和することは、省 CO₂ 型の都市構造の構築のために必要不可欠であるといえる。さらに、昨今の局地的異常気象に基づく豪雨・浸水被害や渇水現象は都市機能を弱体化させ、国民生活の安全・安心確保にとって大きな脅威となっており、早急な広域防災ネットワークの構築と治水・利水安全度の向上を図ることが求められている。

このような背景から、現状では余剰水として処理されている地下水・再生水を新たな水資源と捉えることにより、その特性を生かして緑地空間・水辺空間を再生したり、ヒートアイランド対策や中水に利用する方策の有効性が見直されている。

また、併せて地下空間利用の一環として、地下水・再生水・雨水の水循環系を改善し、治水・利水安全度向上を図る地下貯留トンネル・ネットワークの有効利用も浮上

してくる。しかし、現状を振り返ってみると、地下水や再生水の利用範囲は小規模で限定された地域内に限られたものとなっている。一方で、雨水については、外郭放水路のように、大規模に一時貯留されるものの、その後、河川等に直接放流され有効利用とはなっていない。

本研究では、地下の高度利用における周辺技術や事例等を検証し、都市機能の向上とヒートアイランド対策、CO₂削減に対して高い有効性が期待される水循環系の改善と防災・減災システムの構築の実現化に向け、文献・事例調査を行い、今後の地下水・再生水・雨水の有効利用のあり方について総合的に検討することを目的としている。
 (図 1.1-2 調査研究イメージ参照)

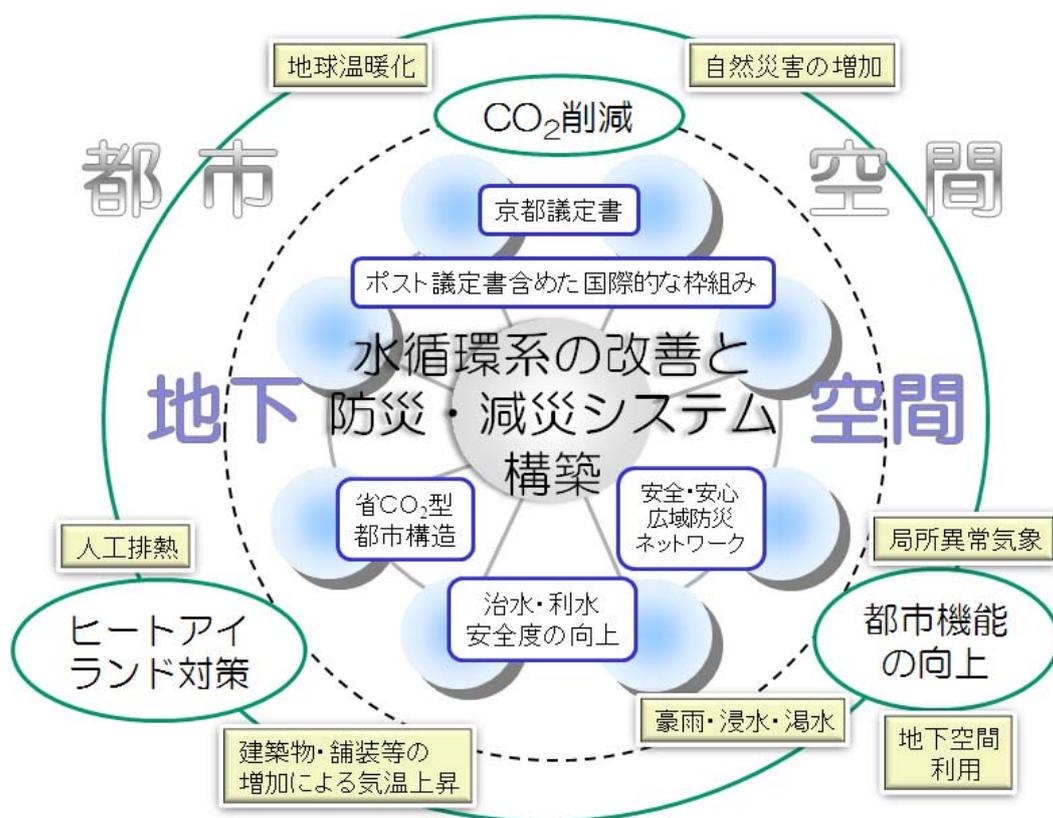


図 1.1-2 調査研究イメージ

1.2 調査研究の進め方

本研究は、平成 21・22 年度の 2 ヶ年にわたり実施され、2 ヶ年の調査全体像と本年度の位置付けを以下にに取りまとめた。

平成 21 年度

1. 調査方針

2. 都市の現状と課題

- ・地下空間の利用状況、地下水、雨水、再生水の利用状況、および内水氾濫やヒートアイランド、人工被覆による流失について、都市の現状と課題を調査した。

3. 基本コンセプトの策定

- ・基本コンセプトとして、『都市の環境、防災に関する問題を解決するための有効な手段として、地下空間を含めた都市空間を有効利用して都市の水機能をネットワーク化し水循環の改善を図り、更に進んでより良い都市を築く』を策定した。

4. 期待される効果の評価手法

- ・基本コンセプトを基に策定した対策の効果について、その評価方法について調査した。

5. 基本コンセプトの具体化に向けて

- ・基本コンセプト実現に向けてモデル地区選定方法を検討し、モデル地区として港区を選定した。

6. 今後の課題

- ・システムを構成する技術について案出した。

各年度

新技術提案

- ・都市気象予測と地下施設の関連性向上
- ・維持管理コスト
- ・工期の低減

効果提言

- ・環境への影響や防災・減災施設としての効果推定
- ・官民協業の可能性

平成 22 年度

1. 調査経緯

- ・過年度の調査内容の概要ならびに今年度の調査内容の概要を記述する。

2. 都市の抱える課題についての検討

2.1 ヒアリング・現地踏査結果

- ・今年実施したヒアリング・現地踏査から得られた知見を整理する。

2.2 モデル地域の現状と課題の分析

- ・過年度の調査結果に加えて、今年度調査した都市環境のデータを整理分析し、都市の課題を整理する。

2.3 課題に対する改善項目

- ・課題に対して都市機能向上を図り、環境改善のために必要な項目を抽出する。

2.4 都市の課題解決のための方策とその効果

- ・必要な改善項目に対して、実現可能な方策とその効果を整理する。

3. 具体的な施設の提案

3.1 事業実施箇所選定から施設配置までの手順

- ・モデル地域の課題を整理からネットワークシステム構築までの検討手順を記述する。

3.2 モデル地域の課題の整理

- ・モデル地域の都市環境データから課題を整理し、それらのデータを用いて、モデル地域内で対策実施の優先度の高い事業実施箇所を選定する。

3.3 モデル地域の事業実施箇所の課題の整理

- ・選定したモデル地域内の事業実施箇所の課題を整理し、対策による改善イメージを記述する。

3.4 施設配置のための諸条件の整理

- ・施設配置検討の為の水文地理学的特徴、地上・地下利用状況の変遷などの諸条件を整理する。

3.5 配置する各種施設の機能検討

- ・各種施設の機能と有効な配置場所について整理する。

3.6 個別施設の設置

- ・各種施設の個別システムとしての配置について記述する。

3.7 モデル地域で必要とされるネットワークシステム

- ・個別施設をネットワークで連携することにより得られる効果について記述する。

3.8 施設の運用ならびに維持管理

- ・ネットワークシステムの運用方法ならびに維持管理方法についての考え方を記述する。

4. 建設方法の検討

5. 概算事業費の検討

6. 官民協業の可能性

7. 今後の課題

1.3 調査研究の内容

1.3.1 平成 21 年調査研究実施内容

平成 21 年調査研究では、委員会における議論、およびヒアリングから抽出されたキーワードを基にして、地下空間を利用した都市機能改善、自然環境改善、防災・減災を目的としたネットワークシステムの構築を目指し、システムの有効性の評価方法ならびにシステムを具体化するための方法について以下の検討を行い、その内容を取りまとめた。

- ①健全な水循環ネットワーク構築に関わる基本コンセプトの検討
- ②環境および防災分野における評価指標と評価手法の検討
- ③モデル地域の選定手法の確立と選定
- ④各施設構造・機能等のシステム概略検討

平成 21 年度の委員会・作業部会とヒアリングの実施内容を表 1.3.1-1 に取りまとめた。

表 1.3.1-1 平成 21 年度調査実施内容

実施日	実施内容	議題及び調査内容
6月 25 日	第1回 作業部会	<ul style="list-style-type: none">・メンバーの紹介・第1回委員会資料の審議・本研究についての意見交換
7月 30 日	第1回 委員会	<ul style="list-style-type: none">・調査背景および趣旨説明・地下水、再生水の地下空間利用に関する現状について・実施計画・今後のスケジュールの確認
9月 3 日	福岡県庁 ヒアリング	<p>【県土整備部 北部福岡緊急連絡管建設室】</p> <ul style="list-style-type: none">・事業の経緯と進捗について・施設運営について <p>【県土木整備部 河川課】</p> <ul style="list-style-type: none">・平成 21 年 7 月中国・九州北部豪雨について・河川におけるハード対策（河川改修、災害復旧など）とソフト対策について <p>【県土木整備部 水資源対策課】</p> <ul style="list-style-type: none">・水資源や水利用などに関して（水利用についての広報資料をもとに） <p>【福岡地区水道企業団】</p> <ul style="list-style-type: none">・海水淡水化施設（まみずピア）の見学
9月 13 日	第2回 作業部会	<ul style="list-style-type: none">・第1回委員会議事録確認・福岡ヒアリング報告・研究対象事例及び資料の紹介・研究成果イメージ検討・今後のスケジュールの確認

11月5日	第2回 委員会	<ul style="list-style-type: none"> ・第1回委員会議事録 ・福岡県庁ヒアリング実施結果報告 ・調査報告書の内容についての検討
11月24日	第3回 作業部会	<ul style="list-style-type: none"> ・第2回作業部会議事録と第2回委員会議事録の確認 ・調査報告書目次案について ・各調査経過報告（目次案に併せ報告書へ調査内容の反映） ・今後のスケジュールの確認
11月26日	名古屋市 上下水道 局	<ul style="list-style-type: none"> ・福江雨水滞水地の見学 ・浸水、濁水等の自然災害の状況について ・施設の稼働状況について ・施設の管理・制御方法について ・施設維持管理について ・今後の整備（拡張）について
12月16日	第4回 作業部会	<ul style="list-style-type: none"> ・第3回作業部会議事録の確認 ・名古屋現場見学とヒアリングについて ・各調査経過報告（目次案の確認と報告書へ調査内容の検討） ・今後のスケジュールの確認
12月22日	皇居 周辺 見学会	<ul style="list-style-type: none"> ・踏査ルート：大手門⇒皇居東御苑⇒北桔橋⇒千鳥ヶ淵⇒半蔵門⇒桜田門⇒日比谷 ・地下水の水面高さ、水深及び湛水量などを確認 ・皇居内のお濠や地下水の流れを調査
1月29日	第3回 委員会	<ul style="list-style-type: none"> ・第2回委員会議事録 ・名古屋ヒアリング調査及び皇居見学会の報告 ・調査報告書内容について

1.3.2 平成 22 調査研究実施内容

平成 22 年度の調査研究は、前年度に実施された「地下水・再生水利活用の地下空間利用に関する調査」より、健全な水循環ネットワーク・システムを具体化するための今後の課題から、以下の内容について引き続き検討を行うこととなった。

- ①水循環の変化に伴う環境変化に関する調査
- ②システムの有効性の検証
- ③事業協力の可能性
- ④水循環資源化施設を高度利用するために連結させる技術とその管理システム
- ⑤施設や管理システムの改良や広域展開、または別の街区の雨水地下水利活用システムと連携させる技術

平成 22 年度の委員会・作業部会と現地踏査、ヒアリングの実施内容を表 1.3.2-1 に取りまとめた。

表 1.3.2-1 平成 22 年度調査実施内容

実施日	実施内容	議題及び調査内容
6 月 15 日	第 0 回 作業部会 (準備会)	<ul style="list-style-type: none"> ・メンバーの紹介 ・第 1 回委員会の内容検討 ・昨年度の調査研究についての意見交換
7 月 2 日	第 1 回 委員会	<ul style="list-style-type: none"> ・調査背景および趣旨説明 ・実施計画 ・今後検討項目の確認
7 月 13 日	第 1 回 作業部会	<ul style="list-style-type: none"> ・第 1 回委員会の内容整理 ・今年度検討項目の意見交換
8 月 24 日	第 2 回 作業部会	<ul style="list-style-type: none"> ・ベースマップ作成 ・選定評価シートの意見交換
9 月 22 日	第 3 回 作業部会	<ul style="list-style-type: none"> ・モデル地域における評価項目・評価方法の検討 ・作業分担の確認
11 月 5 日	秋川・五日 市 現地踏査 ヒアリング	<ul style="list-style-type: none"> ・水源涵養林の現況調査 ・涵養林化実験状況調査

11月9日	第2回 委員会	<ul style="list-style-type: none"> ・ 第1回委員会議事録 ・ 秋川・五日市現地踏査、ヒアリング実施結果報告 ・ 調査報告書の内容についての検討
11月25日 26日	神戸市 現地踏査 ヒアリング	<p>【神戸市住吉公園雨水地下貯留施設】 (神戸市建設局下水道河川部)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 地下雨水貯留施設の機能・利用状況等について ・ 雨水の再利用の可能性について <p>【灘五郷酒造組合】 (水資源委員会)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 灘五郷地区の地下水について ・ 地下水保全の取組みについて
12月7日	第4回 作業部会	<ul style="list-style-type: none"> ・ 現地踏査、ヒアリング報告 ・ 作業進捗報告
1月12日	第5回 作業部会	<ul style="list-style-type: none"> ・ 委員会に向けた報告書の取りまとめについて
1月28日	ヒアリング	<p>【(社)東北建設協会「仙台圏域の健全な水環境調査研究会」】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 河川分野における環境用水としての工業用水等の目的外利用事例について
2月8日	ヒアリング	<p>【大成建設㈱】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ (仮称)神田駿河台4-6計画における地下鉄湧出水の活用について
2月10日	第3回 委員会	<ul style="list-style-type: none"> ・ 第2回委員会議事録 ・ 現地踏査及びヒアリング調査の報告 ・ 調査報告書内容について
2月15日	第6回 作業部会	<ul style="list-style-type: none"> ・ 第3回委員会を受けての報告書取りまとめ ・ 今後のスケジュールの確認

1.3.3 調査内容

委員会における議論、および現地踏査やヒアリングを基にして、地下空間を利用した都市機能改善、自然環境改善、防災・減災を目的としたネットワークシステムの構築を目指し、システムの有効性の評価方法ならびにシステムを具体化するための方法について以下の検討を行った。

1) 平成 22 年度の実施内容

- ①モデル地域における概略計画
- ②環境保全・改善効果の推定
- ③各施設構造・機能等のシステム建設方法
- ④概算事業費の検討
- ⑤官民協業の可能性

2) 新技術の提案：調査研究の中で新技術について検討する

- ①都市気象予測と地下施設の連携・向上
- ②維持管理コスト
- ③工期の低減

3) 効果・提言

- ①環境への影響や防災・減災施設としての効果推定
- ②官民協業の可能性

1.3.4 調査方法

本研究では、主に文献・事例調査を行い、具体的な事例として現地踏査や施設見学を行いながら、今後の地下水・再生水・雨水の有効利用のあり方について総合的に調査を行った。

第2章 都市の抱える課題についての検討

2.1 ヒアリング・現地踏査調査結果

今回の調査にあたって、実際に地下水・雨水・再生水を利用している現地を見学し、関係者の方からお話を聞きながら、方針や課題に取り込んでいくこととした。

- ①五日市樽沢地区
- ②灘五郷酒造組合
- ③住吉公園雨水地下貯留施設
- ④工業用水（未使用分）等の弾力的利用事例
- ⑤地下鉄の湧出水利用

2.1.1 五日市樽沢地区

東京都の五日市樽沢地区では、スギ・ヒノキの放置林を伐採し、広葉樹を植栽することで水源涵養林化させ、水量、水質を改善する実験を行っている。2002年に伐採後、1年置いて広葉樹の植栽を行い、2010年で7年目であるが、沢水の量は以前と比べると2倍程度になっており、水質の改善もみられている。

東京地方のスギ・ヒノキの放置林をすべて水源涵養林化し、水量を増やし玉川上水を通じて都心の御濠やその他の中小河川まで導水することが目的で、都心に潤いのある街を再生することを目指している。

1) 踏査ルート

武蔵五日市駅（①）出発して、化石研究者の樽氏に樽沢地区（②）の特徴などを聞き、樽沢の実験フィールド踏査（③）、山頂の金比羅山～琴平神社（④）を周り、五日市郷土館（⑤）でこの地域の地層や化石を見学して、広葉樹の涵養により良質な水質と豊富な水量を誇るの金剛の滝（⑥）を踏査した。



図 2.1.1-1 踏査ルート

2) 樽 良平氏（化石研究者、広葉樹の水源涵養林化共同研究者）樽集落の踏査

五日市の高校で地学を教えておられたという樽 良平氏（化石研究者、広葉樹の水源涵養林化共同研究者）より、五日市の地質を中心としたお話を伺った。

特徴的には様々な年代の地層が露出しており、約 3 億から 1 億年前の古生代（三葉虫などが生息していた時代）や中生代（恐竜が生息していた時代）の地層も出ており、都内でアンモナイトの化石が出た例はこの地域だけとのことで、樽氏宅のある樽沢の谷入口付近にも中生代ジュラ紀の地層が露出しており、ジュラ紀の石灰岩の中にシダリスなどの棘皮類や腕足類、サンゴの化石が出ている。

水に関しては、大正時代に多摩地区で初めて水道事業が行われた五日市（現あきる野市）であるが、都市化によって樽集落に生息していた生物は、十数年前と比べると減少しているとのことであった。



図 2.1.1-2 化石の見学と踏査状況

広葉樹の水源涵養林化実験フィールドの伐採前の流出率は、79.6%（2002年）79.3%（2003年）でスギ・ヒノキの放置林では、都市河川流出率が80%とあまり変わらないことがわかる。伐採後の2004年では65.1%になり、流出率の改善に効果があることが確認され、また、電気伝導度は檜林に比べて広葉樹林は30~40 μ S/cmほど低いことが分かった。

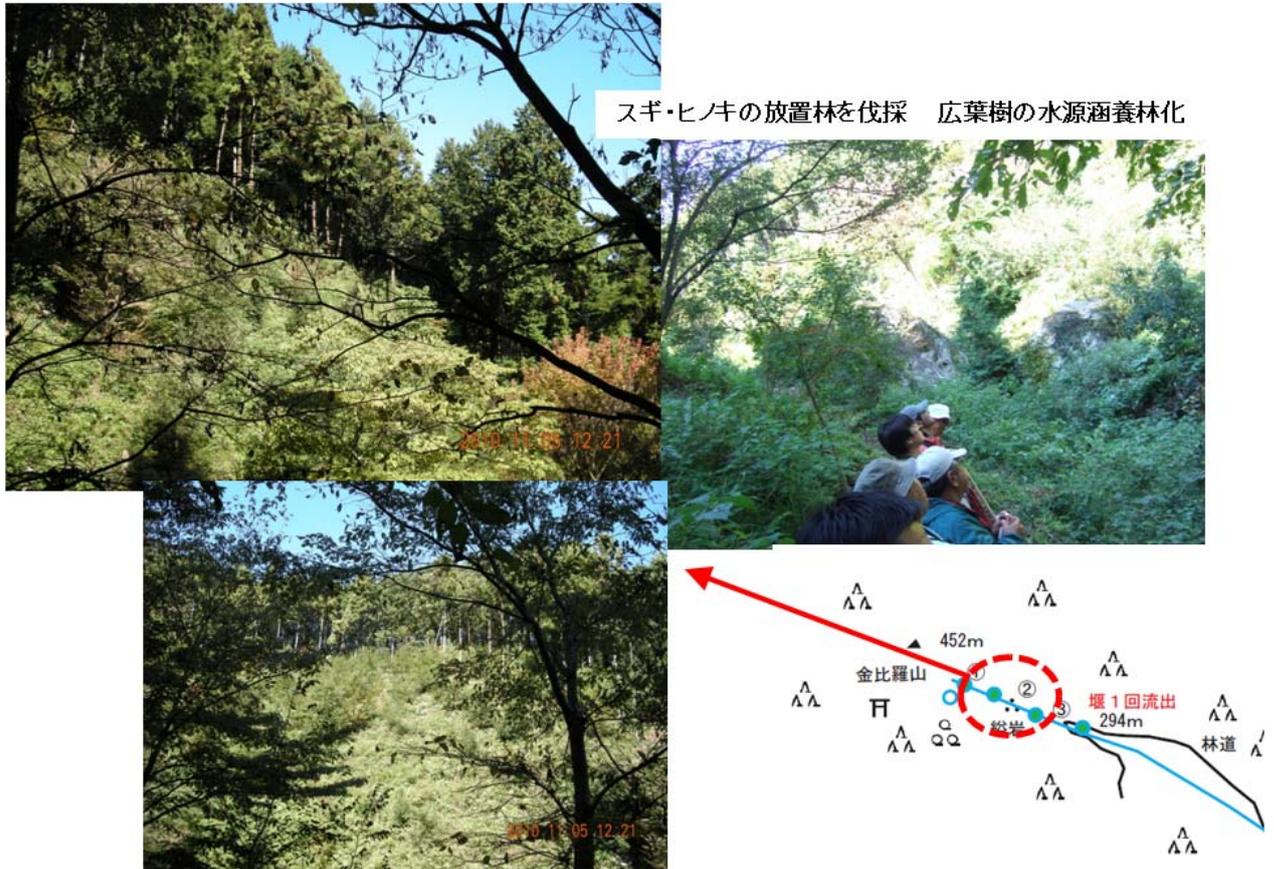


図 2.1.1-5 水源涵養林の踏査状況

4) 五日市郷土館

五日市の自然史と郷土史に関する様々な展示品が陳列されており、化石に関する展示には、様々な年代の化石が含まれていた。五日市には様々な年代の地層が存在することから、地層を半年も観察していれば、地質学や古生物学の基本が身につくほど、豊富な資料に触れることができ、この五日市の資源ともいえる貴重な資料を展示するジオパーク構想をお話いただいた。



図 2.1.1-6 五日市郷土館見学状況

5) 沢戸橋～刈寄川～坂沢川

多摩地区を流れる広葉樹の森の川で、当地区の他の河川とは反対に東から西に流れることから、本来の名称は『逆沢』とのこと。水温は約 12℃の非常に澄んだ川で、この川の水量や水質が樽沢の水源涵養林化実験の目標である。



図 2.1.1-7 坂沢踏査状況



図 2.1.1-8 金剛の滝踏査状況

6) 流域の樹木による水質比較：秋川流域の逆沢（広葉樹林）と養沢（スギの樹林）との比較

流出高は広葉樹林の逆沢(金剛の滝)は 3.2mmha/d で、スギの樹林地の養沢川支流宝沢では 1.6mmha/d 、逆沢は宝沢の倍の流域面積当たりの水量を蓄えることができる。また、伝導度は金剛の滝が $58\mu\text{S/cm}$ 、宝沢は $108\mu\text{S/cm}$ である。

広葉樹林の逆沢は、土壤水中に NO_3^- がほとんど含まれておらず、これに対し、スギやヒノキの針葉樹林は NO_3^- を土壤水中に保持し、水温は落葉樹の方が夏場 2°C 以上低く、冬が逆に暖かいことがわかった。

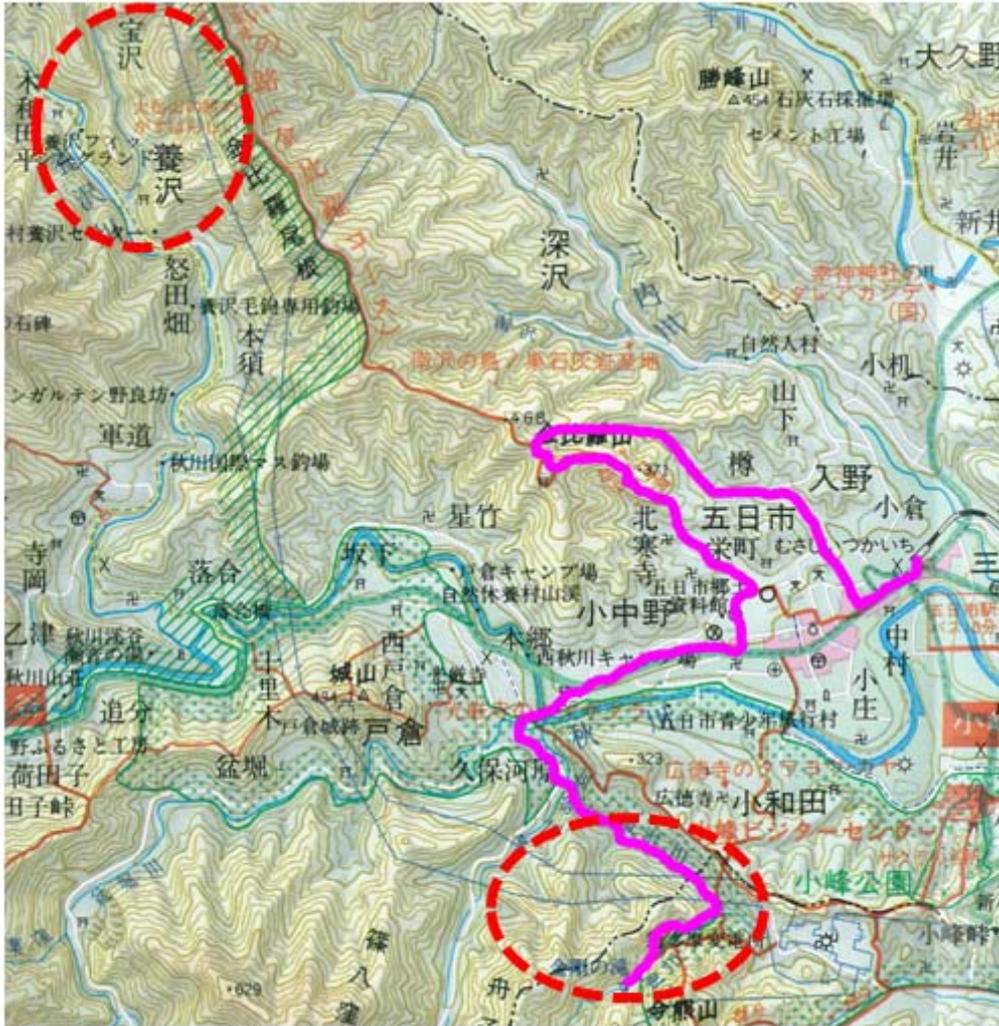


図 2.1.1-9 比較流域関係図

2.1.2 灘五郷酒造組合

灘五郷酒造組合は、この地域での酒造りに欠かせない「宮水」と呼ばれる地下水の保全に民間事業者として取り組んでおられる事業組合である。

1) 灘五郷酒造組合の地下水に対する考え方

日本を代表する酒どころ「灘五郷」は、表六甲の兵庫県西宮市から神戸市灘区にかけて東西約 12km の阪神間に位置している。灘五郷が発展したのは、臨海部の大量輸送に適した港、酒造りに好適な六甲風（おろし）の寒風といった地理的環境条件もあるが、表六甲の河川の存在なしでは灘五郷は語れない。河川から地下に潜り込んだ河川伏流水は、表六甲の花崗岩質の地層で磨かれ良質の地下水となる。中でも、今津郷、西宮郷、魚崎郷、御影郷、西郷（これら五郷を総称して灘五郷と呼ぶ）の地下水は酒造りに適しており、多くの酒造家がこれらの地域に蔵を構え、これが灘五郷の始まりとなった。



図 2.1.2-1 灘五郷絵図（灘五郷酒造組合提供：無断転載厳禁）

灘五郷の酒造用地下水は六甲山系の河川を起源とする伏流水である。それが「水みち」と呼ばれる地中の透水性の高い場所を選び、分流・合流をくりかえして流れるうちに酒造用地下水としての絶妙な水質の地下水になる。

この地域の井戸はそれぞれ水質が異なり、いろいろな『顔』をして個性の異なる酒を生み出している。従って、涵養源を含めた広域で地下水を管理するというマクロな視点ではなく、『井戸のひとつひとつを守っていく』という考えのもとで地下水と向きあっている。



図 2.1.2-2 ヒアリング状況



図 2.1.2-3 宮水井戸の一例

（スミカワ研究所提供：無断転載厳禁）

2) 灘五郷の地下水について

地下水の流路を「水みち」と呼ぶ。表六甲のように急峻な河川の氾濫で堆積した沖積層の地層は複雑で、「水みち」を正確に捉えなければ「地下水」を語るができない。その「水みち」を捉えることが大きな技術課題といえる。

図 2.1.2-4 に「水みち」の写真を示すが、この地域ではこうした水みちが三次元の網のように入り混じっており、単純なモデルによる解析が通用しない地域である。



(スミカワ研究所提供：無断転載厳禁)

図 2.1.2-4 西宮市宮水地帯につながる戒伏流の「水みち」

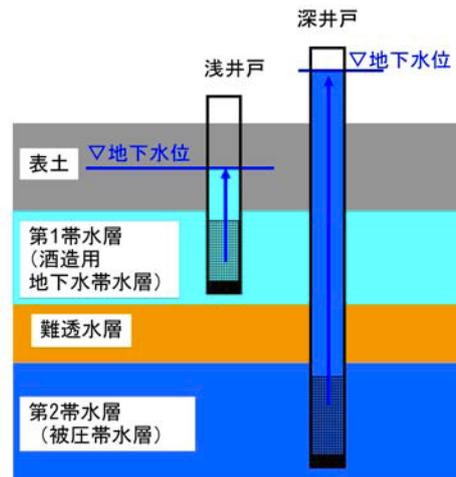
出典：都市部における地下水保全のあり方について*1)

さらに表六甲の地下水の特徴として被圧地下水の存在がある。地下十数 m の地下水が自噴することも珍しくない。地下 2～3 m を流れる地下水の水温が真冬でも水温 20℃を上回る箇所も珍しくない。こうした実例を交えた説明を聞くことで、表六甲の「水みち」を捉えることの重要性を改めて認識することができた。



(スミカワ研究所提供：無断転載厳禁)

図 2.1.2-5 被圧地下水



(スミカワ研究所提供：無断転載厳禁)

図 2.1.2-6 地下水イメージ

出典：都市部における地下水保全のあり方について*1)

灘五郷酒造組合では、現地の地下水・地層の状況を把握しないまま設計施工が行われることを危惧している。当地域での地下水調査は深度 20cm 毎に採取した土質試料の性状・透水性(室内透水試験)・土中水の分析結果などで帯水層の位置を確認し、現地の地層の透水性を反映していることを検証した観測井を設置し、それらの水位・水質を長期にわたり継続観測して「水みち」を確認することから始まる。1 万本を超えるボーリングデータ、過去 80 余年にわたる膨大な資料、独自の地下水観測体制、昔からの井戸の数十年間にわたる継続観測などで地下水の状況を常に監視しているとのことであった。隠れて揚水を行った地下工事に対して、2km 以上離れた観測井から場所を特定して工事方法を見直してもらったこともあるとのことであった。

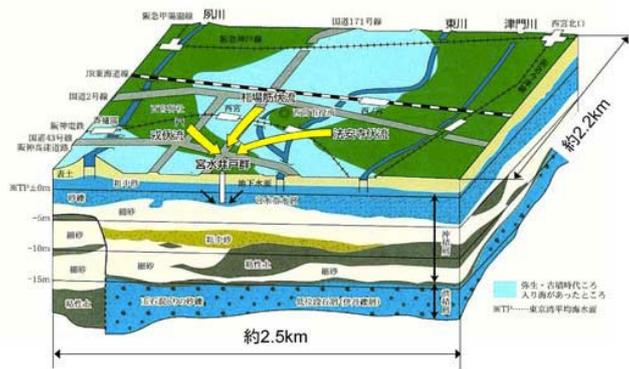
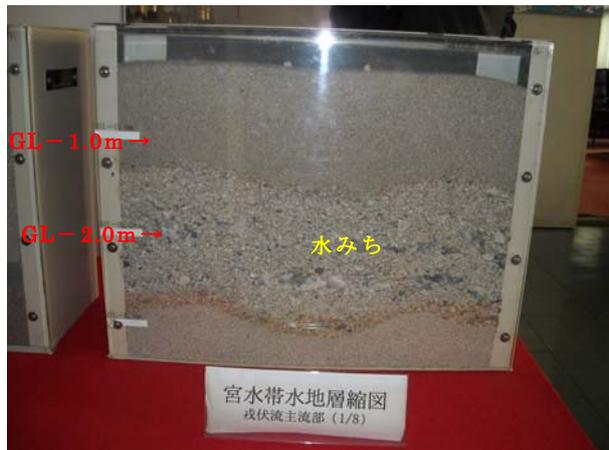


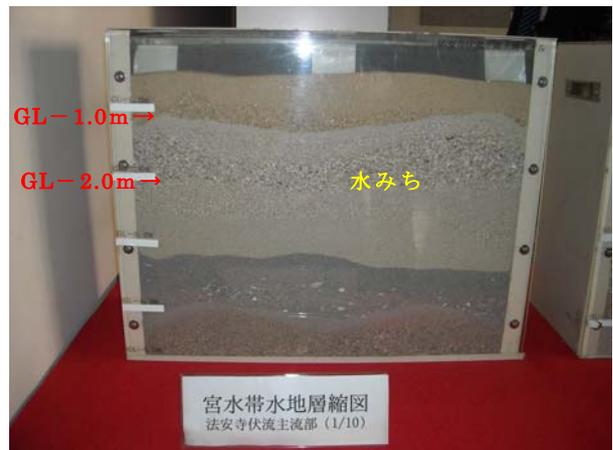
図 2.1.2-7 西宮市南部帯水層模式図（宮水地帯付近）
（スミカワ研究所提供：無断転載厳禁）

追記：【「都市部における地下水保全のあり方について」*1)より】

地下水は透水層の中でもより透水性の高い箇所を選んで流れ、簡単な土質分類だけで「水みち」を捉えることはできない。表六甲では「水みち」が複雑に分流・合流し、場所によって地下水は、さまざまな顔を見せる。西宮地区の宮水は、限られた場所にしか湧出せず、戒伏流、札場筋伏流、法安寺伏流の3つの流れがブレンドされて醸し出される微妙なバランスを保った芸術的な酒造用水といわれる。



戒伏流主流部 (1/8)



法安寺伏流主流部 (1/10)

図 2.1.2-8 宮水帯水地層縮図（灘五郷酒造組合地盤模型）

3) 地下空間の環境調査（地下水など）について

地下の環境調査は、計測機器の性能は上がっているものの、目的が曖昧な例が見受けられる。たとえば、杭工事とシールド工事では地下水への影響が異なる。杭工事でも杭の種類が異なれば影響は異なる。調査では地層・地下水の状況と工事内容によって問題が異なる。こうしたことを考えなければせっかく行った調査が意味を持たないこともある。地下の状況をしっかりと把握した上で、工事がどのような影響を及ぼすか知恵を絞って、工事の内容に合わせた調査を行う必要であるとのお話であった。

地下水調査とは目的が異なる地盤調査結果に基づいた設計施工、有孔管を地中に埋め込んだだけの観測井（観測孔）など、目的に合った調査が行われていない。地下水観測で用いる観測井戸（観測孔）は現地の地層の透水性を反映していなければ意味がない。少なくとも現位置試験で求めた透水係数とボーリング採取土の室内透水試験から求めた透水係数とが合わなければ観測に用いるべきではない。そのためには、ボーリングのやり方から工夫を凝らしていかなければならない。具体的な指示もせずにオペレータ任せでボーリングを行い、その結果を精査せず、工事内容に応じた調査計画を策定することもできない業者が多いことに危機感を感じている。

4) 雨水の涵養（利用）について

雨水の涵養（利用）については、さまざまな研究会等で議論されているが、目的が不明確なものが多い。地下水の環境保全・水質を守る観点からは、その利用目的から計測項目が決められるべきであるが、絞り込みが不十分なものが多い。安易な計測項目（地下水位、pH、電気伝導度程度）、少ない観測頻度、問題があった場合の対応など不十分なものが多い。降水量との関連性なども時間雨量や日間・月間・年間降雨量との関係などが調べられていないためデータとして不十分なものが多い。雨水涵養（利用）と地下水との関係を見るのであれば、地下水の本質をしっかりと把握した上で行うべきである。地下水の本質を把握しきれない状況で、限られた分析項目と水位測定で涵養を議論するのは安直すぎるのではないだろうか。地下水涵養というのはありのままの自然な地下水を保全するためのものである。自然というものは多くの因子を含んでいる。その意味でも、浸透枡や河床からの浸透、枯れ井戸から涵養することについてもまだまだ検討する必要があるのではないだろうか。

涵養の効果を見る上で地下水位の回復を指標としても、ボーリング時に地層を細かく調査したうえで、地下水観測井のストレーナー設置位置などを決定しなければ、本当の地下水位はわからない。一般の取水のための井戸と地下水観測井とは目的が異なり、仕様も異なって然るべきである。涵養の効果を確認するには、涵養を行う帯水層をモニタリングできる観測井を用いることが重要であろう。観測が長期にわたる場合は観測井のメンテナンス（清掃）などもどのような方法で行い、清掃完了の基準をどのように定めるかも重要で、そのあたりのノウハウがなければ信頼できるデータとして使えない。

この地域は塩水化についても早期から懸念しており伏流水圧を低下させないためにさまざまな施策を行ってきた。一定の地下水圧を保ち海水浸入を防止するために、表六甲に涵養することを考えるならば、地下水の「水みち」と水質への影響をどの用に考えるかが重要に思われるとのことであった。

5) 地下水の工業用水としての使用について

一般的に地下水が自然の中でどのような役目をしているかは難しい問題であるが、工業用水など大量に地下水を使用する場合には、地盤沈下の問題や沿岸部では塩水化の問題がある。地層構造が複雑な地域では浅井戸に影響が出ないとも限らない。当地域の地層・地下水の状況を知らないまま机上計算で揚水の影響範囲を見積もって揚水を行った結果、予想の5倍以上の範囲となる下流域数 km にわたって地下水位を低下させた事例がある。工業用水の規制などは古い法律のまま運用されており、現状に合っていないところがある。最近では、学校や病院、商業施設、スポーツジムなど工業用水の規制対象ではない施設が周辺の地下水に与える影響をモニタリングしないままに地下水を大量にくみ上げ、消費していることを懸念しているとのことであった

6) 自治体の地下水環境への対応について

自治体での規制事項や工事監理などについては、しっかりと対応されていると思う。地下水については、当組合で詳細に調査(項目や経年データ)しているものがあるので、調査などの協業は期待していない。地域によっては地下水についての意識が高いところがあり、そのニーズに合わせた対応をしていただくことが良いのではないだろうかとのことであった。

7) 地下水の保全について

宮水を守ることができたのは、地下水が比較的浅いところにあり、観測体制が充実しており、異常に気付きやすかったことがあげられる。また、この地域に住む方々が井戸の水を必要以上にくみ上げず、適宜清掃を行うなどメンテナンスに気を使っていたり、近隣で地下水をくみ上げるような工事の情報提供等をしていただいている。このような地域のネットワークによって、宮水は地域の『情』で守られているとお考えであった。

灘五郷の地下水については、法的規制などが無いため自主的な保全を行ってきており、こうした地下水調査は、企業の CSR 活動のさきがけのように思う。

宮水も震災時には生活用水として活躍した。また、地域の行事において「宮水はどのようなもので、いかに守られているか」説明をしたり、お酒のブランドとあわせて酒としての宮水を認識してもらっている。

これからは、地下水保全を共通の目標や課題とし、気にかけて頂く事項などを共有、都市開発との共存を考え、お互いが案を出し合うようにしていかなければならないと考えておられるとのことであった。

1) 済川 健ほか：地下水技術、第 49 巻 第 9 号 (2007 年 9 月)、発行

2.1.3 住吉公園雨水地下貯留施設

1) 施設概要

汚水幹線工事(シールド工法)の立坑を利用して、都市公園の地下に雨水貯留槽を設置している。貯留槽に雨水を一時貯留することによって、大雨時の雨水流出量を減らし、下流部での浸水に対する安全度が向上する。

また、貯留された雨水を様々な用途に有効利用することができる。

- ①. 初期汚濁槽(100m³)降雨初期汚濁水の分離、汚水管に放流
- ②. 利水槽(400m³)散水、せせらぎ、仮設トイレ用水に有効利用・
- ③. 調整槽(300m³)雨水流出抑制、・降雨後に雨水幹線に放流

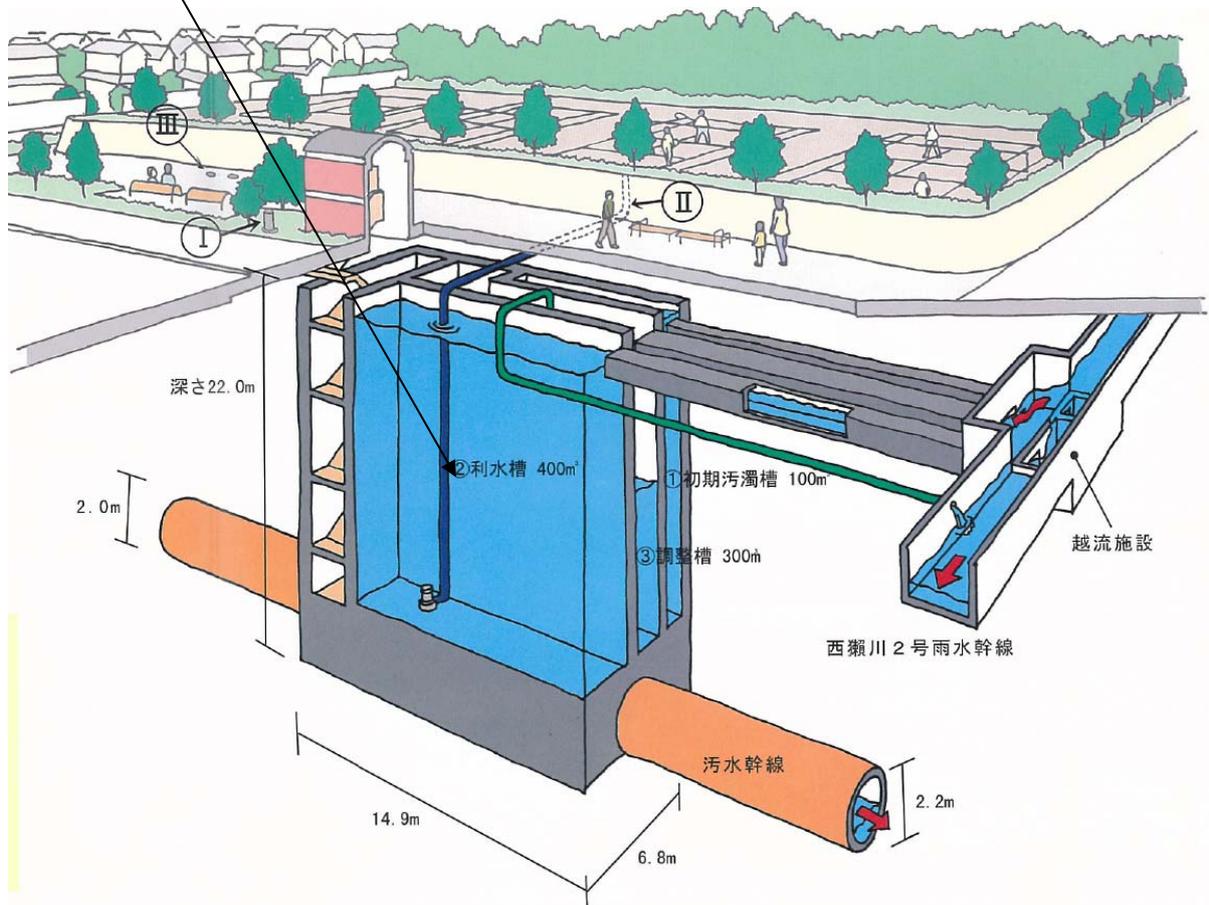


図 2.1.3-1 施設概要図

完成年度は、平成10年度(公園整備を含む)で対象流域は3ha。神戸の地形を利用し、短い距離で勾配もとることができることから、流達時間、流下時間は共に短い。この地域の降雨強度は100mm/hで設定されているが、ここ数年、降雨による浸水被害は確認されていない。

財政状況や周辺施設との連携や利用条件などいくつかの条件が必要で、今後、同様な施設の建設は、計画されていない。

2) 利水槽の利用方法

Ⅰ 消防水利として利用



非常用水として貯留水を利用できる構造になっています。万一、水道が使用できない状況でも、消防水源を確保できます。

Ⅱ 公園内植栽への散水・道路清掃用水



公園内の木々や草花への水やり・道路の清掃などに貯留水を利用できるように、取水栓が取り付けられています。

Ⅲ 公共下水道利用型仮設トイレ用水



大きな災害などのために電気や水道がストップしても、仮設トイレを設置できるような配管構造になっています。貯留しておいた雨水をトイレ用水として利用します。

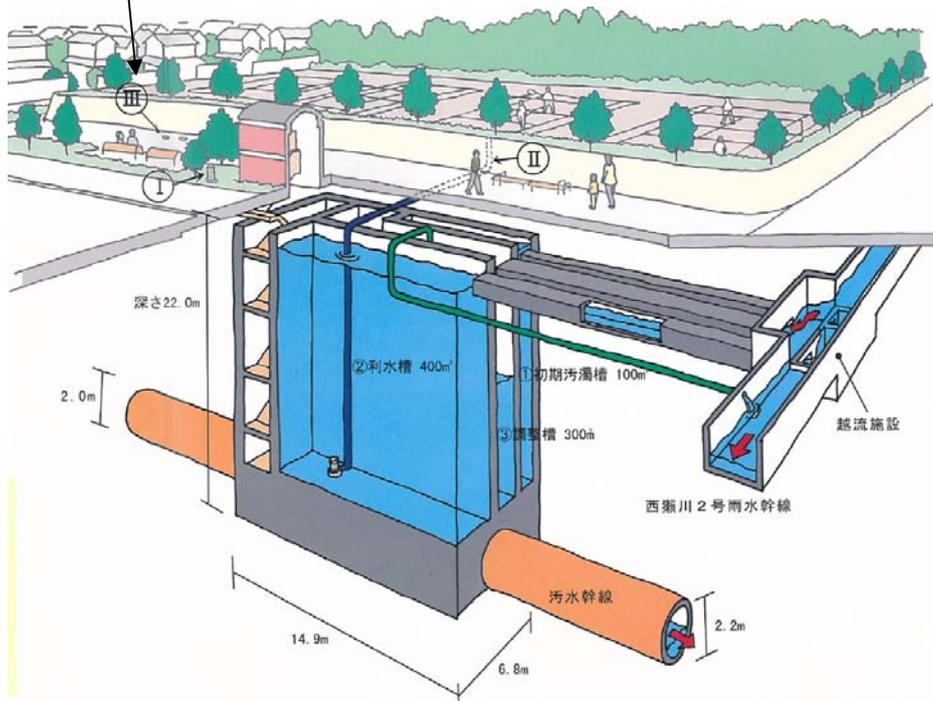


図 2.1.3-2 施設概要図



图 2.1.3-3 施設内見学状況



図 2.1.3-4 せせらぎ利用状況

3) 施設の利用について

現況の利用槽（Ⅱ）は、公園脇を流れる地下河川の一部をパイプ（φ50mm程度）を介して流入（約60ℓ/分）させ、せせらぎや清掃・植栽に利用している。降雨が予測される際に利用槽の排水を行ったりしておらず、貯留機能を優先させており、雨水の処理・利用について異なる機能の水槽が並列に並んでいる施設として利用している。



図 2.1.3-5 施設見学状況

4) 越流施設について

越流部は、初期汚濁槽が満水になり水かさが増してくると、左手の堰を超え、利用槽・調整槽へ流れ込むようになっている。

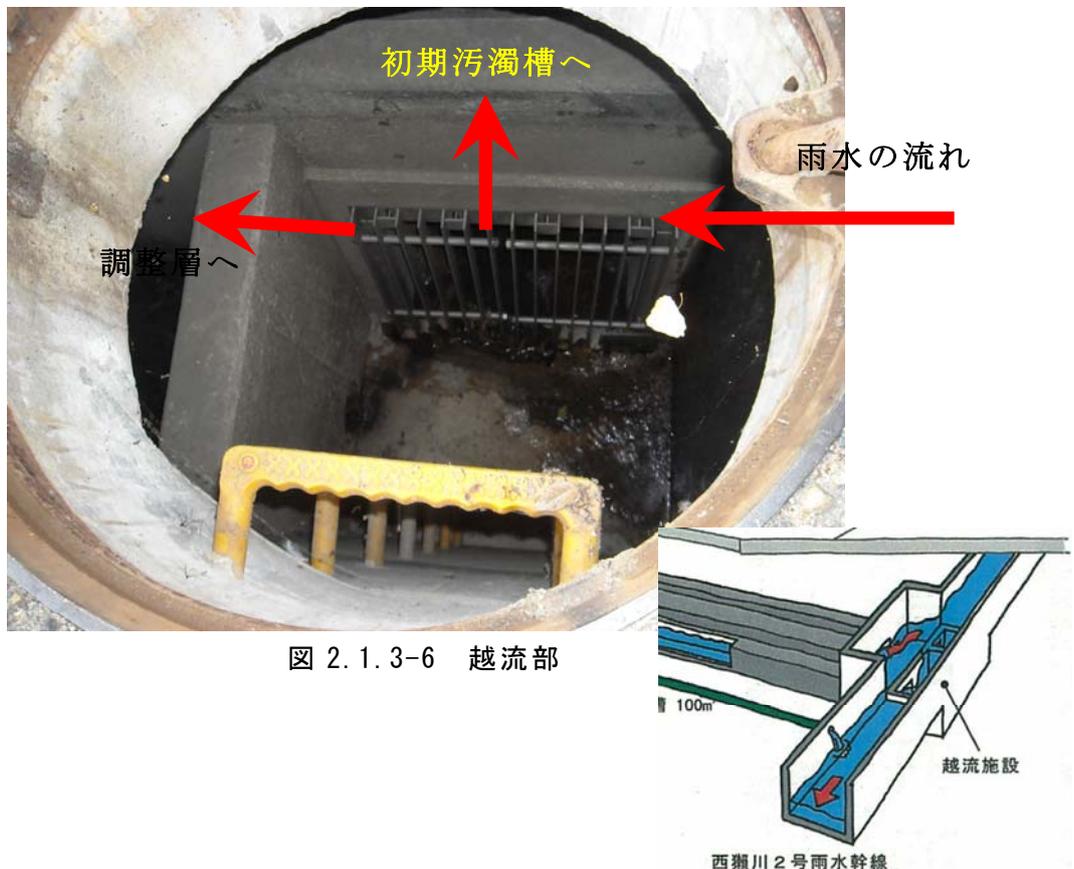


図 2.1.3-6 越流部

西瀬川2号雨水幹線

5) その他の雨水利用について（学校雨水貯留槽）

通常は散水等に、非常時は仮設トイレの洗浄用水として雨水を有効利用するために、学校の校庭等に雨水貯留槽(容量 15m³)を設置している。(平成 22 年現在、市内に 25 箇所設置済)

神戸市では、兵庫県南部地震の後、非常時に利用できる汚水管直結型の仮設トイレを 60 箇所(5 基/箇所)整備している。

2.1.4 工業用水（未使用分）等の弾力的利用事例

仙台市内を流れる梅田川の水環境の悪化、広瀬川瀬切れ、農業用水路の非灌漑期における環境悪化などの問題に対し、水利権者の権利や他の水環境を害さない範囲で環境用水として活用することで環境改善に貢献している事例である。

利活用に際し、河川法の改正までは行わず、本省河川局通達で運用しているとのことである。

1) 工業用水の弾力的利用

(1) 四ッ谷用水路から梅田川への導水

梅田川の水環境改善のため、工業用水の一部を四ッ谷用水路を使い梅田川へ注水している。

(2) 名取川から広瀬川への導水

広瀬川が瀬切れ(広瀬橋上流付近)などの最悪の状態になることを回避するため、既存の取水施設(名取頭首工)、用水路等(木流堀、木流堀川、長町雨水幹線)を活用し、名取川から広瀬川へ導水する事業。水源は、現状で釜房ダムの工業用水のうち未使用となっている分(0.5m³/s)を活用している。

2) 非灌漑期における農業用水路への通水（暫定豊水水利権）

六、七郷堀では農業用水の利用がない非灌漑期に農業用水路に水が流れず、生活排水の流入などによる悪臭、景観悪化などの問題が生じており、地域住民から通水要望を受けて平成17年から暫定豊水水利権を取得し導水を行っている。

通水条件として、広瀬橋地点における広瀬川の流量が2.40m³/sを超える場合に限り、その超える部分の範囲内で取水可能としている。

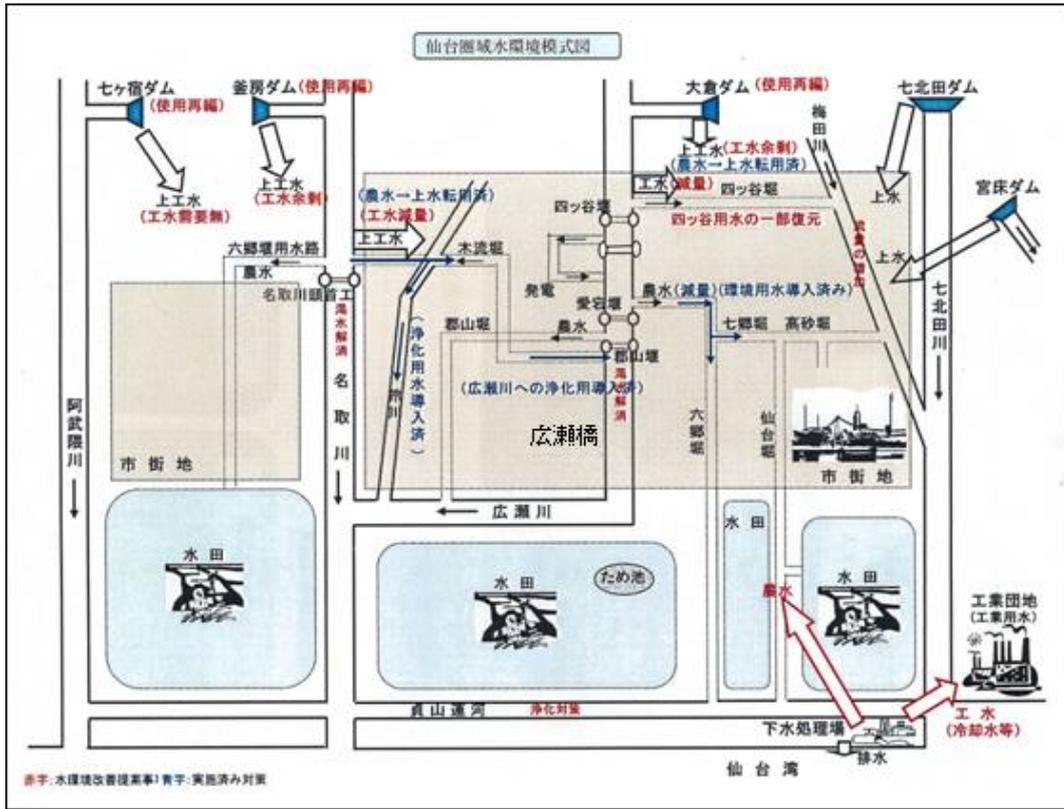


図 2.1.4-1 水環境改善イメージ



図 2.1.4-2 四ッ谷用水の梅田川への導水



図 2.1.4-3 非灌漑期における七郷堀への通水

■ 河川環境の問題点

- ・ 生物生息環境の悪化

仙台の市街地を流れる広瀬川、名取川は、天然のアユやサケが遡上する自然豊かな川です、特に仙台市街地を流れる広瀬川は季節になるとアユ釣りの人々が多数訪れ自然豊かな河川です、しかし、夏場の渇水時期になると河川流量は激減し、特に東北新幹線から見える広瀬川の愛宕堰下流では渇水による瀬枯れ（流れが途切れる状態）が度々発生し、H6年6月渇水（写真）や、平成11年5月渇水にはマルタコイなどの魚がへい死するなど、生物生息環境の悪化が懸念されます。

このことに対し釜房ダムや大倉ダムでは弾力的運用により広瀬川への環境用水導水などの措置が実施されているものの解決には至っていません。さらに、名取川頭首工直下、広瀬川の発電減水区間、荒川、梅田川など、夏場の河川環境の悪化は同様に今後の改善が望まれているところです。

H6年6月渇水での広瀬橋上流の状況

図 2.1.4-4 名取川から広瀬川への導水

2.1.5 地下鉄の湧出水利用（神田駿河台4－6計画について）

1) 建設概要

所在地	: 東京都千代田区神田駿河台四丁目6番1
敷地面積	: 9,547.08 m ² (約2,888坪)
地域地区	: 商業地域、防火地域、都市再生特別地区
建築面積	: 5,589.94 m ² (約1,691坪)
延床面積	: 102,179.14 m ² (約30,909坪)
階数	: 地上23階、塔屋2階、地下2階
建物高さ	: 最高部109.99m (建築基準法上の高さ)
構造	: 鉄骨造、鉄骨鉄筋コンクリート造
基礎工法	: 現場造成杭
用途	: 事務所、店舗、大学等教育関連施設、ホール、会議室、文化交流施設、駐車場(248台)
建築主	: 駿河台開発特定目的会社(大成建設(株)他4社の出資によるSPC)
基本・実施設計者	: 大成建設株式会社一級建築士事務所
工事監理	: 株式会社久米設計
施工者	: 大成建設株式会社 東京支店
着工	: 2010年11月1日 新築工事
竣工	: 2013年03月31日予定



図 2.1.5-1 計画地周辺の整備イメージ

出典：大成建設(株)HPより

2) 計画地の背景について

都市機能の高度化及び都市の居住環境の向上を目的とした都市再生緊急整備地域における市街地の整備を推進するため、都市再生特別地区の提案を行い、2010年3月に都市計画決定された。

市街地整備の推進に関し必要な事項として、神田地域は、歴史・文化を伝える街並み形成や、学生街等のにぎわい・回遊性の向上を促進させるため、都市開発事業における敷地内緑化（地域広場）・屋上緑化・壁面緑化などのヒートアイランド対策の配慮や歩行者ネットワークの改善などが検討されていた。

3) 施設計画の経緯について

施設計画にあたっては、東京メトロ千代田線新御茶ノ水駅が地上から駅ホームへつながるエレベーターを利用した導線がなく、東京メトロの機能改善として計画敷地内の一部を使いメトロ用エレベーターの建設が検討されることとなり、あわせて地下鉄の湧出水利用が検討された。

湧出水は、駅施設（立坑部）の下部にある排水槽に貯留され、ポンプアップにより下水へ放流されていた。

今回の使用については、東京都都市整備局との調整の上、環境局や下水道局と技術面、水質面を確認いただき施設配置となった。



図 2.1.5-2 計画地周辺の整備イメージ

出典：大成建設(株)HPの図に丸、矢線、テキスト追記

4) 地下鉄湧出水の活用について

千代田線新御茶ノ水駅の立坑では、地下鉄湧出水が1日あたり約150m³生じており、地下鉄の排水槽に一旦貯留される水を建物内の受水槽に移し、以下のように活用する。

- ①給水式の保水性舗装への利用→ヒートアイランド対策
- ②敷地内植栽への散水→自然環境対策
- ③水熱源ヒートポンプによる空調熱源→地球温暖化対策など

残余水については、建物内で中水として利用することにより、建物内での年間使用水量の約37,500tの削減が可能と予測される。建物全体の上水使用量の約20%(建物全体の雑用水では使用量の約30%)相当を削減することに寄与し、CO₂排出量では約7t/年の削減に換算される。

活用にあたっては、水量の増減や水温の変化、水質などについて、モニタリングしていくとともに、水循環や周辺環境への影響に十分配慮して計画、運用する。特に水熱源ヒートポンプによる空調熱源としての活用については、水温上昇が環境用水としての利用に支障を与えない範囲となるようモニタリングする。

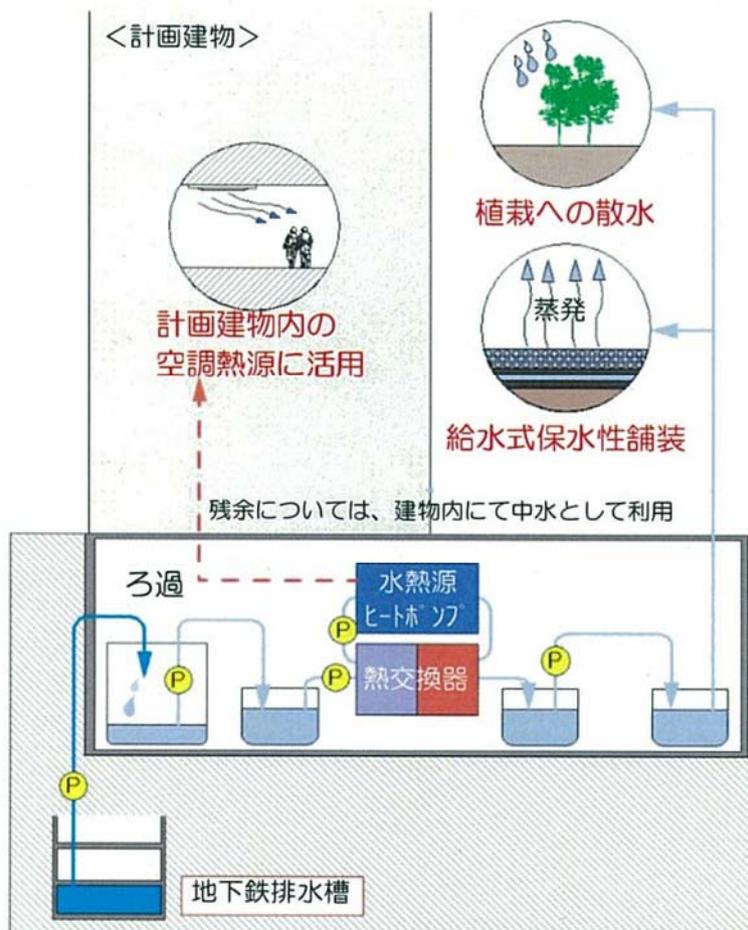


図 2.1.5-3 地下鉄湧出水活用イメージ図

出典：大成建設(株)様より

5) 行政機関への届け出について

東京都環境局自然環境部水環境課へ、地下水使用に関する計画書を提出し、東京都下水道局には、下水道料金の支払いに関する区分や計量方法などについて確認している。

地下水は、基本的に自然に戻すという考え方があり、植栽や保水性舗装については理解を得られた。残余水については、中水利用した後に、下水道へ放流することです理解が得られている。



図 2.1.5-4 地下鉄湧出水利用位置

出典：大成建設㈱HPの図に粹追記

2.2 モデル地域の現状と課題の分析

本年度調査は、過年度で調査された都市の現状と課題をもう一度整理し、主に港区を中心に、都市環境の経年変化等に関するデータを追加収集し整理した。

2.2.1 過年度で調査された都市の現状

過年度の調査でモデル地域として「東京都港区」を選定するにあたり、以下の項目について現状を調査した。

1) 文献・事例調査

(1) ヒートアイランド

- ・関東地方における 30℃を超えた延べ時間の広がり（1980年～2004年）
- ・都区部の日最高/最低気温の平均（2005年）
- ・港区の夏季（6月～8月）の日最高気温平均（2005年～2008年）

(2) 水に関連する災害の状況

- ・東京都の不浸透率の推移（1980年～2007年）
- ・東京都の降水量（1950年～2008年）
- ・浸水被害（1999年から2005年）

(3) 地下水・再生水・雨水の状況

- ・地下水の利用状況と全国の地下水使用量の推移（1975年から2006年）
- ・東京都の地盤沈下の状況（1892年～2009年）
- ・東京都の地下水位の経年変化（1955年～2006年）
- ・湧水の状況（地下鉄）と湧水利用状況（2002年～2005年）
- ・全国の再生水（中水）利用状況（2006年）

(4) 緑化状況

- ・全国の緑化状況（2009年）
- ・港区の緑化状況（緑化状況2006年）

(5) 地下空間利用状況

- ・東京都の地下空間利用状況（2008年）

(6) 規制関連

- ・国、自治体における規制（2009年）

2) 施設見学・ヒアリング

- (1) 福岡県庁：浸水対策事業や渇水対策の連絡管事業のヒアリングと海水淡水化施設（まみずピア）の施設見学
- (2) 名古屋市上下水道局：雨水貯留施設（福江滞水池）の施設見学

2.2.2 港区における都市環境の現状

1) 気温・湿度

(1) 日最高・低気温の月平均値の推移（大手町）

1876年からの2010年までの8月の平均気温を見ると最高気温と比べて最低気温の上昇が顕著である。日中に上がった温度が夜になっても下がっていない。

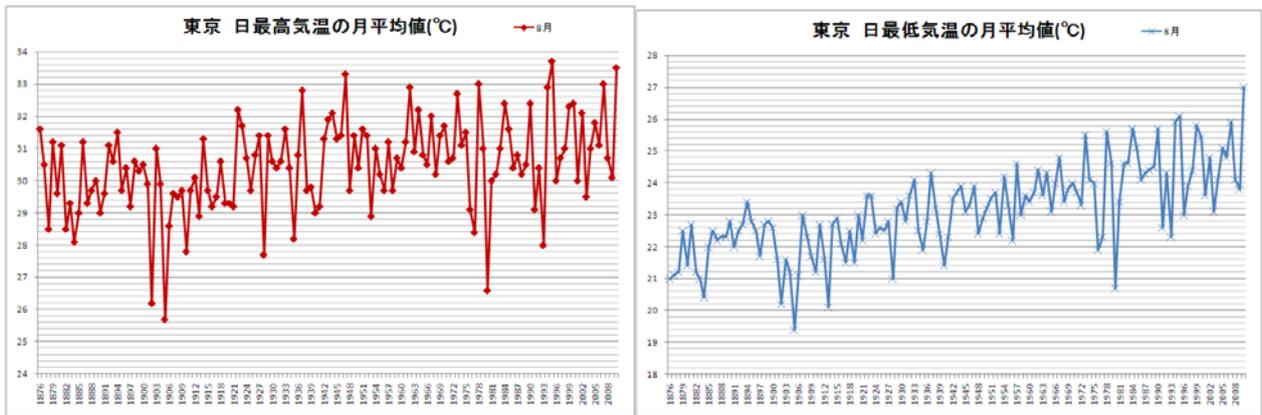


図 2.2.2-1 東京の日最高・低気温の8月平均値の推移

気象庁データより作成

夏の最低気温の上昇は、夏の最高気温が上がることを示しており、最多熱帯夜は平成6年の47日を大きく上回り、56日の新記録であった。

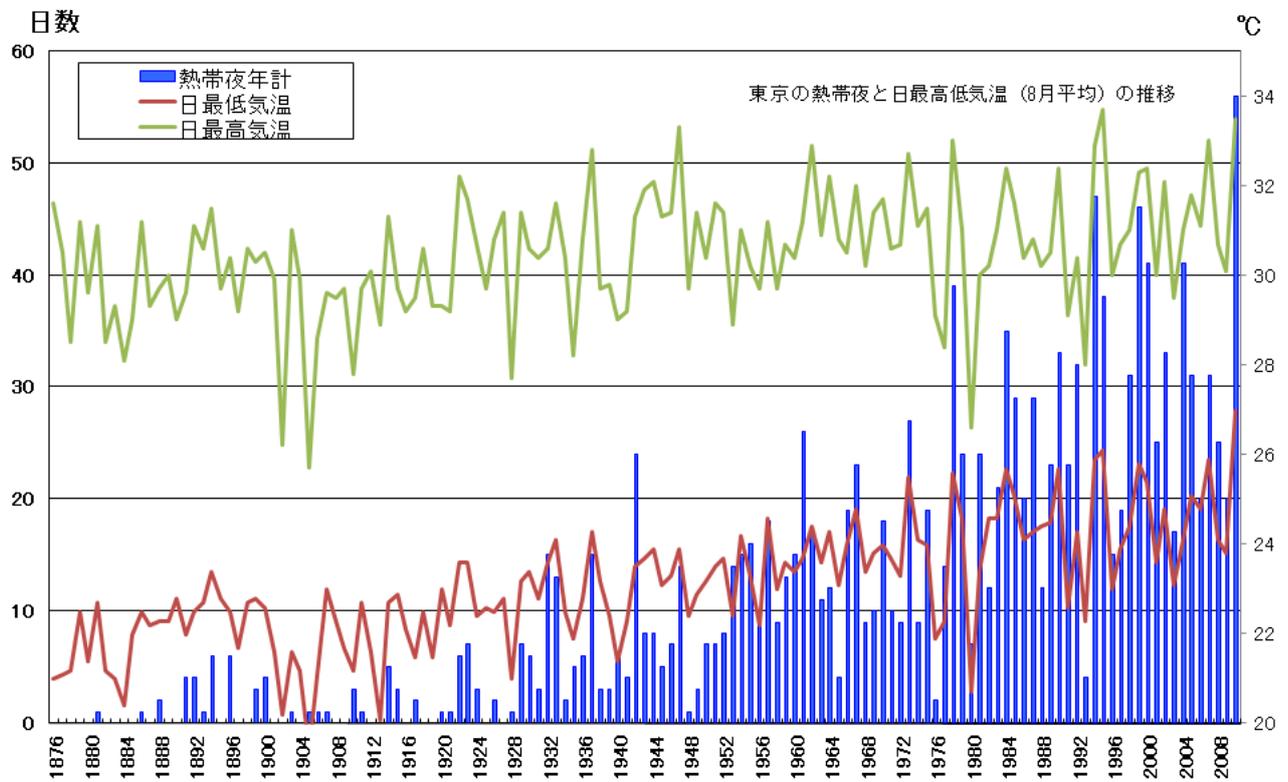
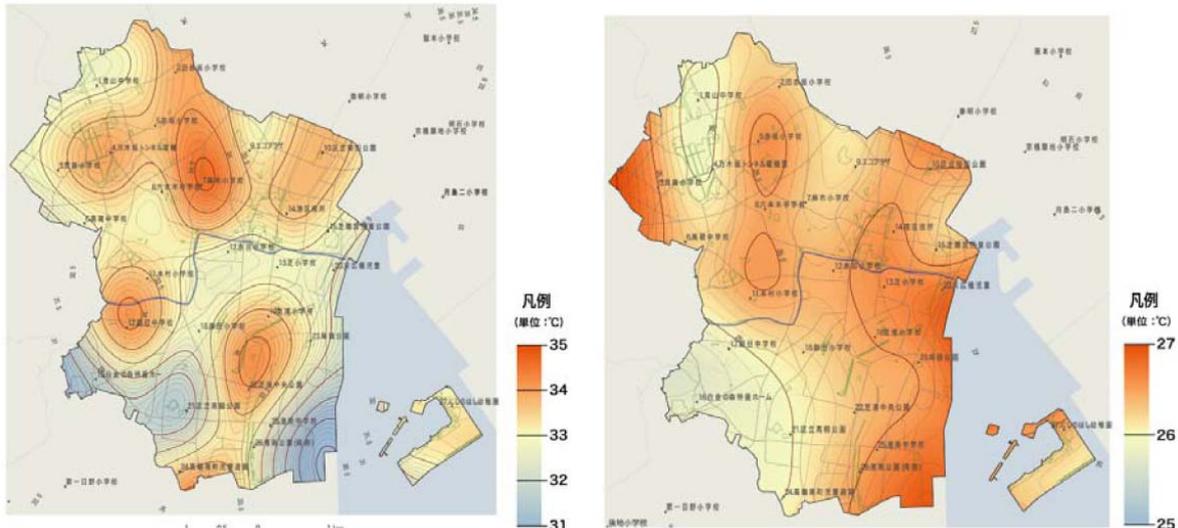


図 2.2.2-2 東京の熱帯夜と日最高低気温（8月平均）の推移

気象庁データより作成

(2) 日最高・最低気温の平均値 (港区)

港区内の日最高/最低気温の平均では、昼夜の分布が異なる。



【左：日最高気温平均値図、右：日最低気温平均値図】

図 2.2.2-3 2007 年 8 月の日最高及び最低気温平均値図

出典：ヒートアイランド現象データ等解析調査業務 (2007 年度、港区)

(3) 相対湿度の月平均値の推移 (大手町)

東京都区内の相対湿度は年々減少してきており、100 年前と比べると約 15% 程度下がっている。(熱帯夜年計を併記)

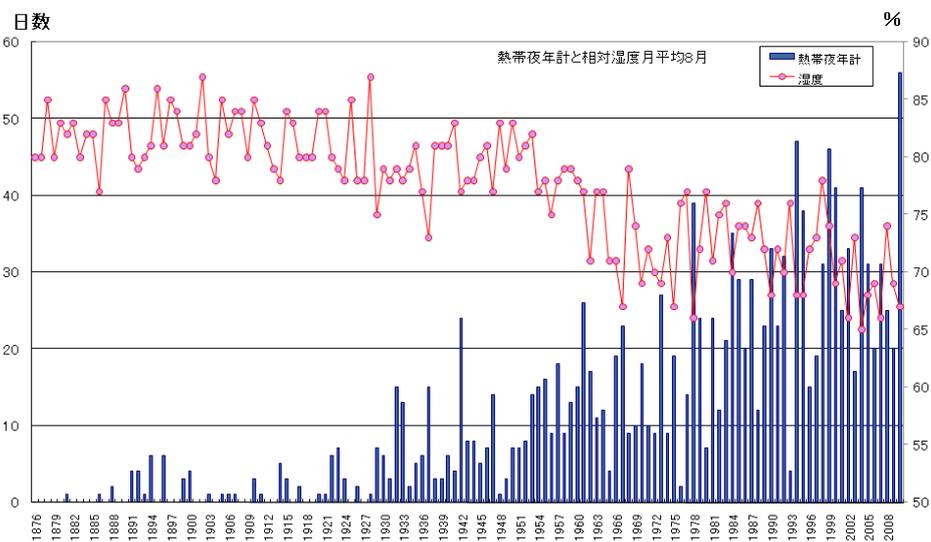


図 2.2.2-4 熱帯夜年計と相対湿度月平均 (8 月)

気象庁データより作成

【都市の実態】

都市部は人工排熱の発生や高層ビル群などにより、気温が上昇し、社会問題化している。また、1920 年代以降、湿度は低下している。

(2) 区部の地下水位の経年変化

区部の地下水位は、戦後、大量の地下水利用を伴い大幅に低下した。昭和41年から工業用水法による規制基準の強化、城北地区の工業用水源井の一部廃止や天然ガスの採取の停止などが実施され、区部全体の揚水量が大幅に減少したことにより、江東地区をはじめ低地の地下水位は、規制直後から昭和58年頃まで急激に上昇している。

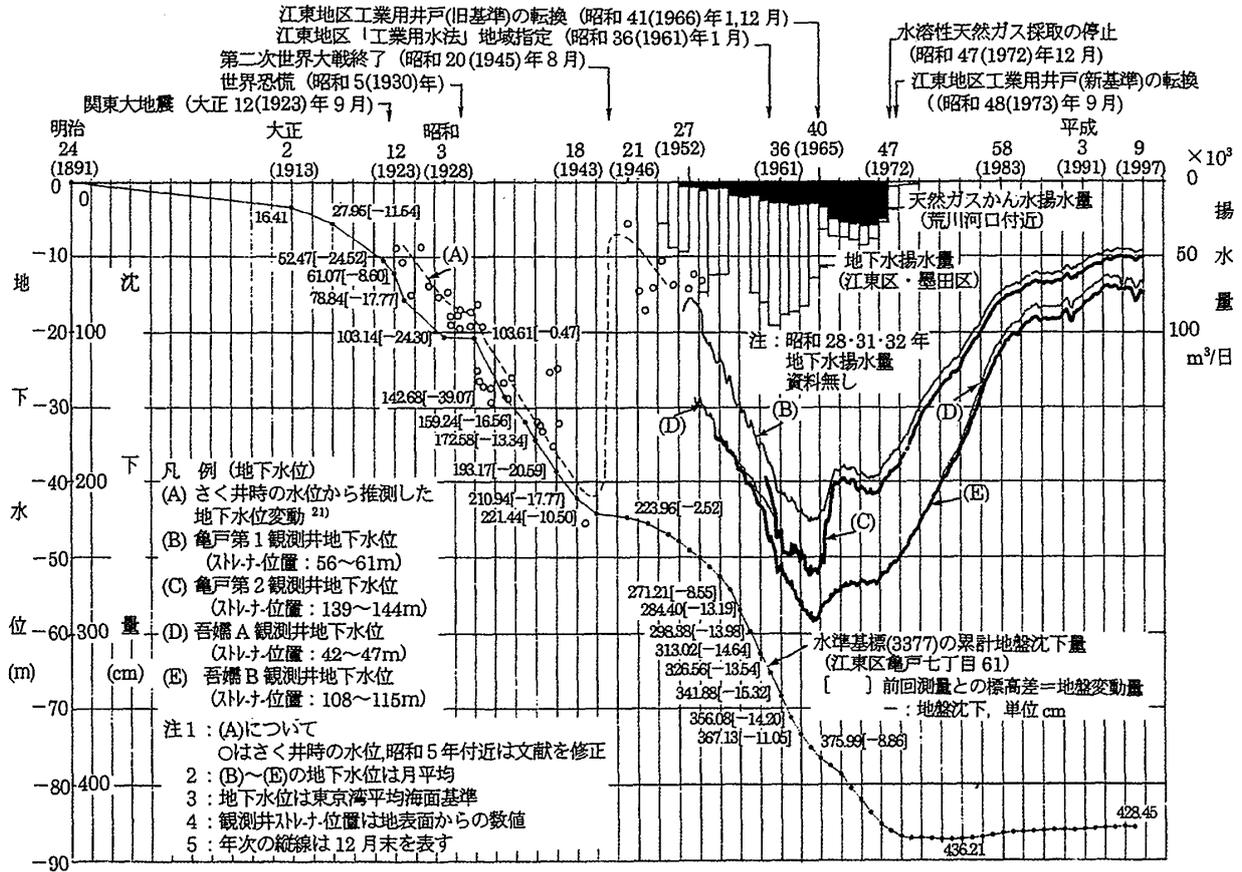


図2.2.2-6 東京地域における地下水・天然ガスかん水の揚水量と被圧滞水層に設置した観測井の井戸内水位、地盤沈下量の推移

出典：遠藤ほか、応用地質、42 (2)、76 (2001)

(3) 地下鉄や洞道に湧出している地下水の量

昭和 62 年における区別の地下水湧出量分布を示す。新宿区・千代田区・中央区・港区で 2,000m³/日以上と多く、次いで文京区、渋谷区の順になっている。1,000 m³/日以上湧出している区は上記の 6 つの区で都心部に集中しており、地下鉄の路線延長が反映しているものと考えられている。区部全体では、17,000~20,000 m³/日の地下水が湧出している状況である。

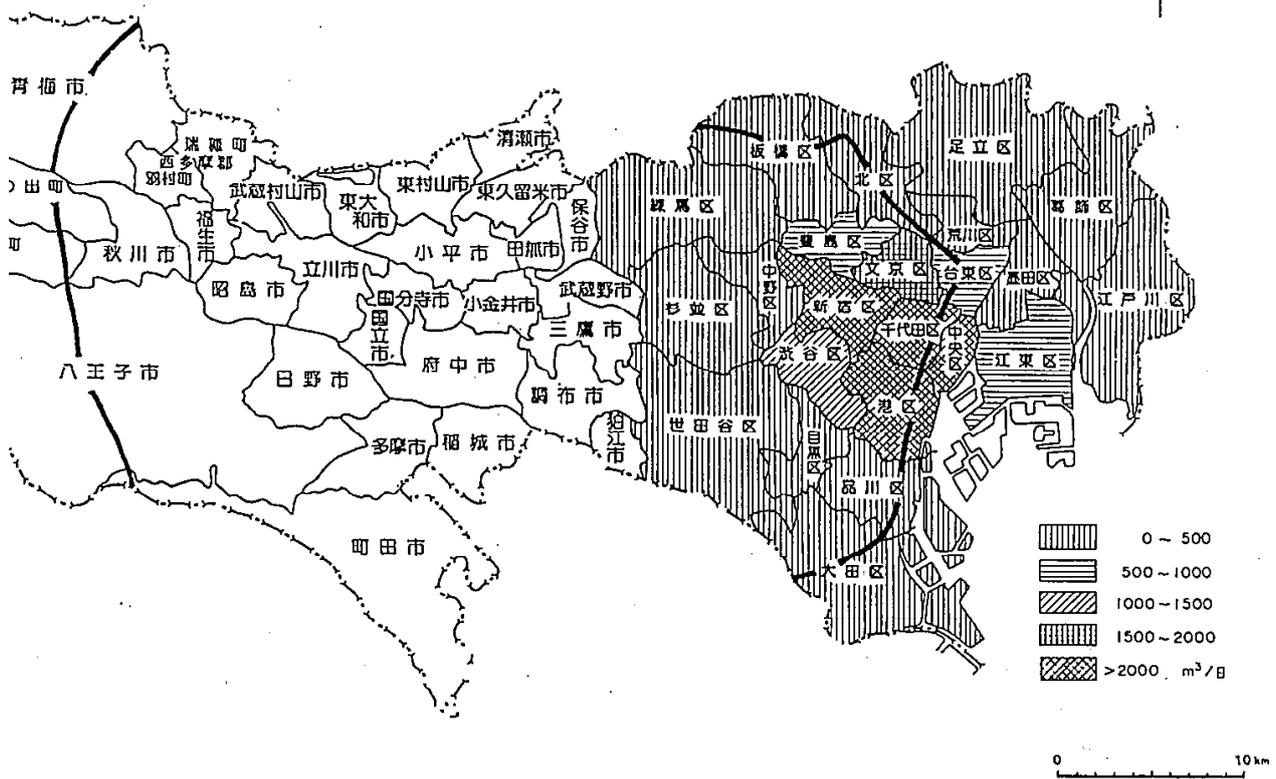


図 2.2.2-7 区別の地下鉄・洞道への地下水湧出量

出典：地下水実態報告書 平成 4 年 5 月 東京都環境局

地下鉄トンネル内湧水は、34のポンプ室で、3～12m³/h（72～288m³/日）の量をポンプにてくみ上げている。

表 2.2.2-1 地下鉄施設の湧水量

H16年11月1日現在(東京メトロ調べ)

番号	ポンプ室名	水量(m ³ /h)	番号	ポンプ室名	水量(m ³ /h)
1	恵比寿	12	18	千川場内	4.4
2	万世橋	9.7	19	国会議事堂前場内	4.2
3	根津場外	9.4	20	上野	4.1
4	新線池袋	8.7	21	中野新橋	4
5	千代田橋	7.8	22	湯島場内	3.8
6	氷川台場内	7.43	23	代々木公園	3.7
7	大手濠	7.3	24	市ヶ谷	3.6
8	飯田橋	7.2	25	要町場内	3.5
9	日枝神社下	7	26	護国寺下	3.3
10	南砂町	6.6	27	飯田橋	3.29
11	千住緑町B	6.3	28	高田馬場	3.2
12	表参道	5.8	29	王子場内	3.2
13	蛸殻町	5.1	30	外苑前	3.2
14	東銀座	5	31	神谷町場内	3.2
15	新御茶ノ水場内	4.7	32	赤坂山王	3.1
16	江戸川橋	4.5	33	南青山二丁目	3.1
17	窪町	4.5	34	渋谷場内	3.1

*排水量は下水道料金査定数量。

出典：東京メトロ（平成16年11月）

【都市の実態】

近年の地下水位の変動状況を見ると、上昇傾向はほぼ停止状態を示す観測井もあり、かつてのような揚水規制の効果による水位上昇は頭打ちの状況にあるといえる。

また、地下鉄や洞道に湧出している地下水の量は、港区で2,000m³/日以上であり、地下鉄施設1か所あたり4%～14%の湧水量であるが、下水に直接放流されるなど、有効な活用がなされていない。

(2) 港区内の湧水

港区で現在も湧水が見られる個所は、淀橋台地の芝や麻布などの一部で、淀橋台地における湧水は、台地の東崖に位置するものや広い空き地が周辺にある場合が多く、柳の井戸（善福寺前 港区元麻布 1-6）のように、20カ所程度の湧水ポイントがあることが知られている。

表 2.2.2-2 港区湧水調査

湧水調査	港区みどりの実態調査		
昭和 51 年	第 4 次（平成 3 年）	第 5 次（平成 8 年）	第 6 次（平成 14 年）
27 箇所	18 箇所	22 箇所	20 箇所

番号	名称	所在地	湧水量	湧水状況	周辺状況	備考
1	御田八幡神社	三田 3-7-16	++	ポンプアップ	高度に都市化が進み、樹林は少ない	ポンプにより集水タンクへ導入
2	O 氏邸	三田 3-9-9	+	滴となって落ちる程度	高度に都市化が進み、樹林は少ない	個人住宅内
3	成覚寺	三田 3-9-9	+++	かなり大量に流れる	高度に都市化が進み、樹林は少ない	かなり大量に流出する
4	芝公園・もみじ台	芝公園 4-3	-	-	公園には樹林地が存在するが、周辺は高密度の都市化が進む	湧水箇所特定できず
5	K 氏邸	麻布狸穴町 28	-	-	住宅地及び商業業務地	湧水箇所特定できず
6	所在不明	南麻布 3-9-6	-	-	有栖川宮記念公園やフランス大使館の樹林が周囲に見られる	湧水箇所特定できず
7	光林寺	南麻布 4-11-24	+++	ポンプアップ	フランス大使館の樹林が寺のものとなり、緑の塊をなしている。北に有栖川宮記念公園が位置する	深い井戸で水は生活水として利用している。
8	区立有栖川宮記念公園	南麻布 5-7-29	+	ポンプアップ	公園自体が質・量的に高い樹林地となる	池の脇に井戸を設け、ポンプで水を池に流す。
9	善福寺	元麻布 1-6-21	+++	かなり大量に流れる	周囲に小規模な樹林地が点在する	「柳の井戸」として、文化財に指定されている
10	宮村児童遊園	元麻布 2-6-22	+	染み出す程度	小規模な樹林地が点在する	公園内の擁壁下部より湧出
11	がま池	元麻布 2-10	△	自然湧水	小規模な樹林地が点在する	
12	筭小学校	西麻布 3-11	△	井戸	周囲には小さな樹林地が点在し東部に有栖川宮記念公園がある	校舎内の一ヶ所に湧水を集めポンプで汲み上げる
13	所在不明	六本木 6-11	-	-		湧水箇所特定できず
14	区立榎町公園	赤坂 9-7-9	+++	井戸	公園南東に水川神社を中心とする質・量的に高い樹林地がある	公園の井戸より汲み上げ池に流す。
15	根津美術館	南青山 6-5-36	+++	自然湧出	美術館の周囲は都市化が進み、まとまった樹林が北東に青山墓地としてある	敷地内の湧水を集め池に流す。
16	宝生院	三田 4-1-29	-	-	大規模な緑地として慶応義塾大学の樹林がある	湧水箇所特定できず
17	大松寺	三田 4-1-38	++	自然湧水	大規模な緑地として慶応義塾大学の樹林がある	湧水は池に流入
18	大信寺	三田 4-7-20	+	自然湧出	小規模な樹林地が点在する	湧水は池に流入
19	NTT データ	三田 4-19-15	-	-	第一京浜沿いの高層業務地	湧水箇所特定できず
20	伊皿子ハウス	三田 4-19-25	+++	ポンプアップ	住宅地及び商業業務地	ビルの一角より湧出
21	泉岳寺	高輪 2-11-1	+	井戸	寺院の樹林が質・量共に高い。また周囲には高松宮邸等の樹林がみられる	首洗いの井戸。湧水はわずかで、荒れた古井戸が残る
22	道住寺	高輪 2-16-13	++	井戸	高密度に都市化が進み、点在する樹林地も少ない	井戸よりポンプで水を汲み上げる
23	願生寺	高輪 2-16-22	+	滴となり落ちる程度	高密度に都市化が進み、点在する樹林地も少ない	3ヶ所より湧出し、それぞれがたまりを造っている
24	ホテルパシフィックメリアン東京	高輪 3-13-3	+++	自然湧水	まとまった樹林はホテル内のものしかなく周囲は、品川駅等、高密度の都市化が進んでいる	湧水を導入して池で循環
25	東禅寺	高輪 3-16-16	+++	自然湧水	かなり大量に湧水	池に流入している
26	所在不明	白金 6-16-35	-	-	外苑西通り沿いの住宅地	湧水箇所特定できず
27	国立自然教育園	白金台 5-21-5	+++	自然湧出	公園自体の樹林が質・量ともに高いものとなる	年中枯れることなく流れる

湧水量
 +++ : かなり大量に湧出する
 ++ : 連続して湧出する
 + : 滴程度で湧出する
 △ : 湧出量不明
 - : 湧水地特定できず

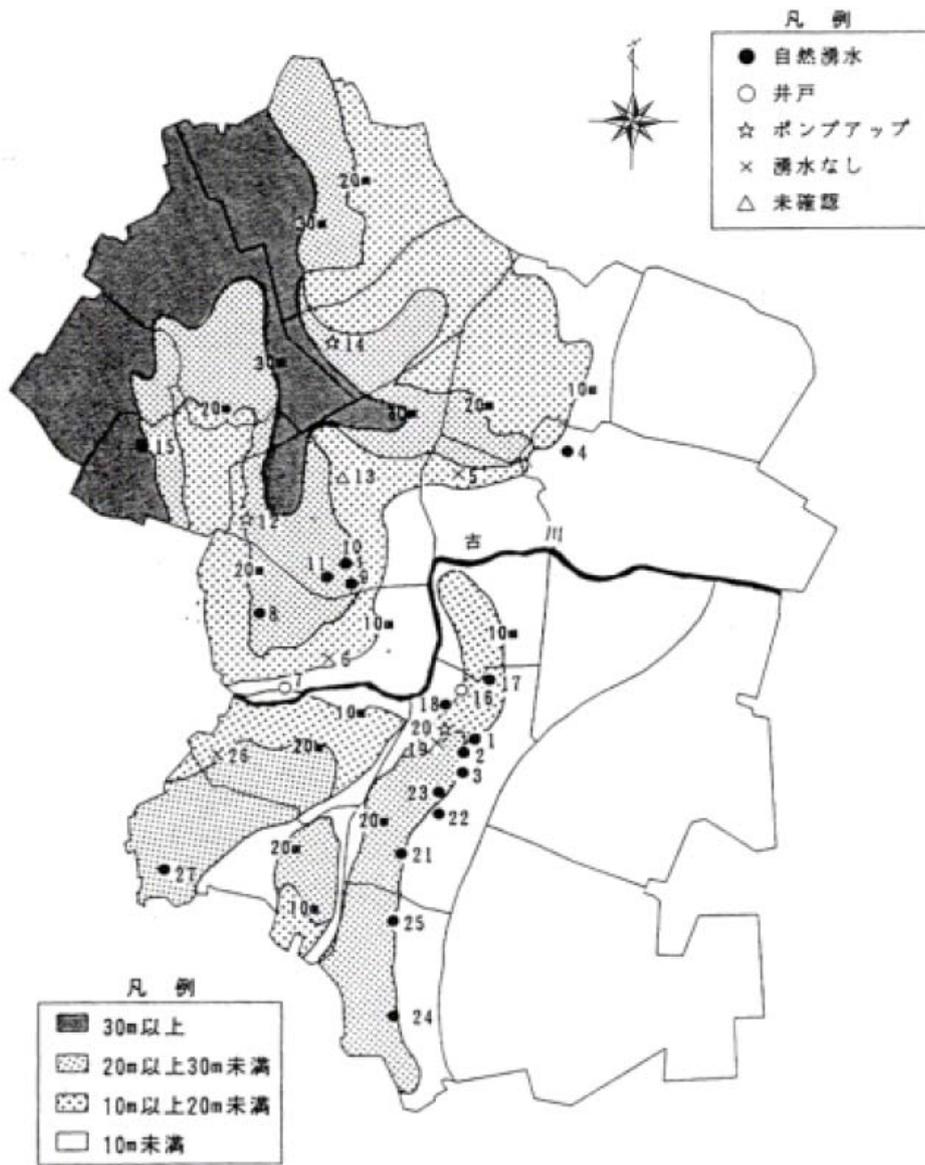
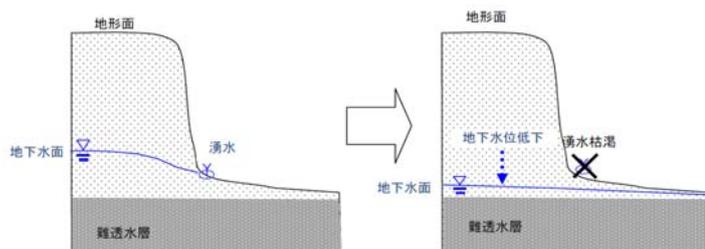


図2.2.2-9 港区の湧水

出典：「港区水循環マスタープラン」（平成14年）

【都市の実態】

都心部で湧水が残っているのは、周辺に比較的多くの緑地公園や空き地等があって、雨水を地下に浸透できる空間が残っている地域で、地下水の揚水による深層水位低下と都市化によるかん養量の減少で、湧水地点数の減少や湧出量が減少している。



環境省 水・大気環境局HP

4) 地盤沈下の状況

東京都においては、ここ14年間、1年間に2cm以上地盤が沈下した地域はなく、安定した状態が続いている。地下水揚水規制の効果や天然ガスの採取の停止による効果といわれている。

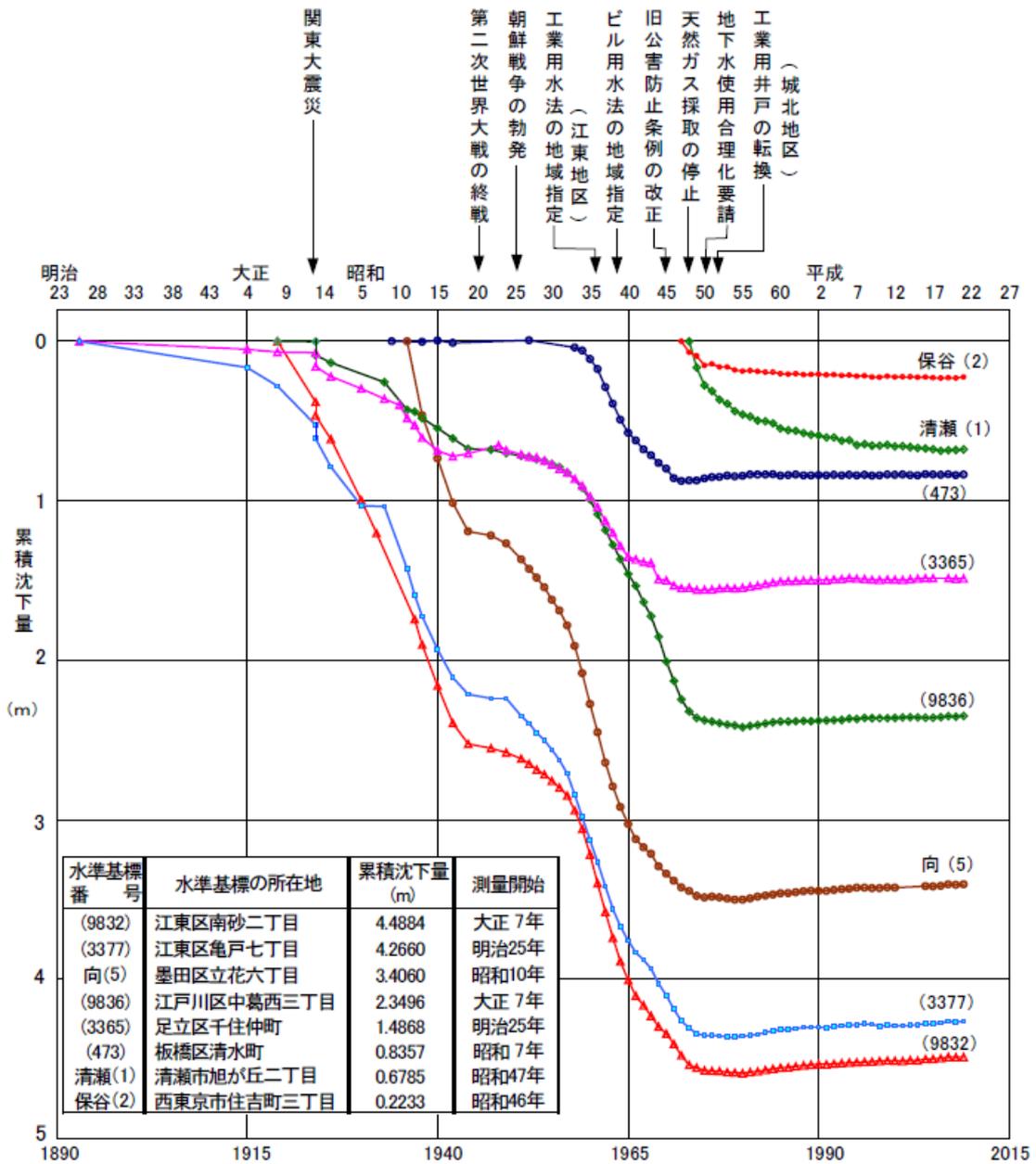


図 2.2.2-10 主要水準基標の累積沈下量図

出典：平成22年度土木技術支援・人材育成センター一年報

東京都の昭和 56 年から平成 16 年までの 6 地点の累積地盤変動量を見ると、港区「復(18)」は、平成 5 年頃まで沈下が大きく進行したが、その後、沈下は継続しているものの年間変動量は縮小している。

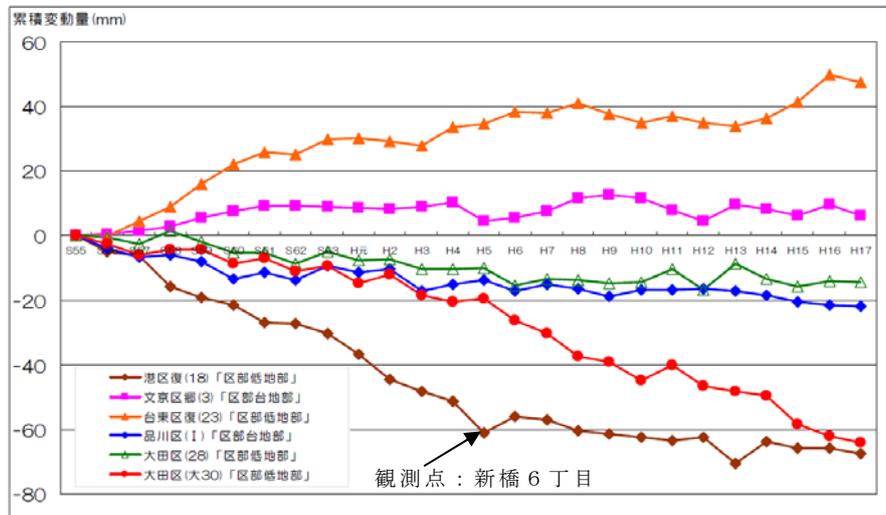


図2.2.2-11 水準基標 6 地点における累積地盤変動量

出典：東京都の地盤沈下と地下水の現況検証について

平成 18 年 5 月 東京都環境局

【都市の実態】

近年、大きく地盤沈下した地域はなく安定した状態が続いており、地下水揚水規制の効果や天然ガスの採取の停止による効果といわれているが、城南地域（大田区・品川区）は、毎年数ミリ地盤沈下が進行している。

5) 被覆率

(1) 不浸透率の推移

東京都内の不浸透率の推移は、区部で 73.9%（昭和 55 年）→83.5%（平成 19 年）、多摩の台地部で 29.6%（昭和 55 年）→48.5%（平成 19 年）である。

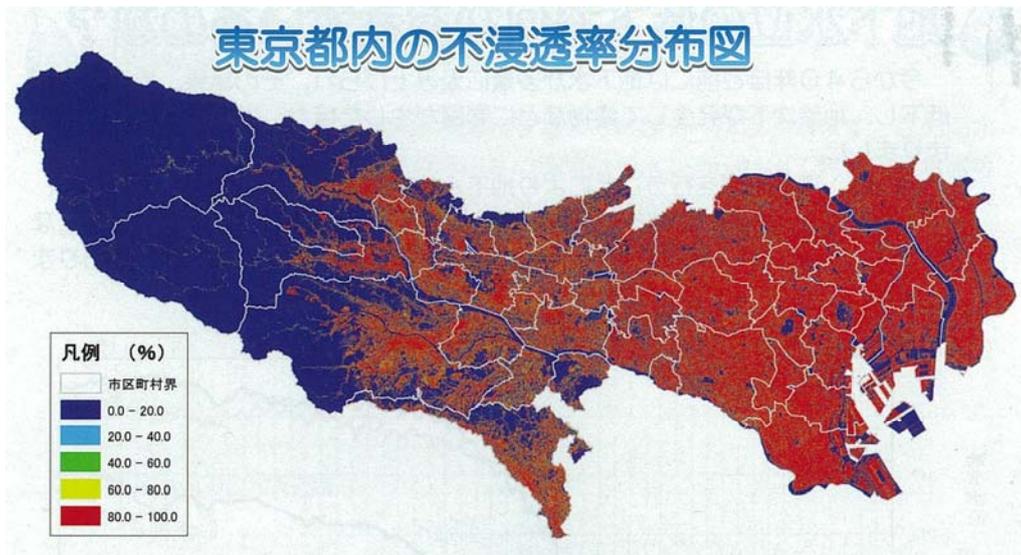
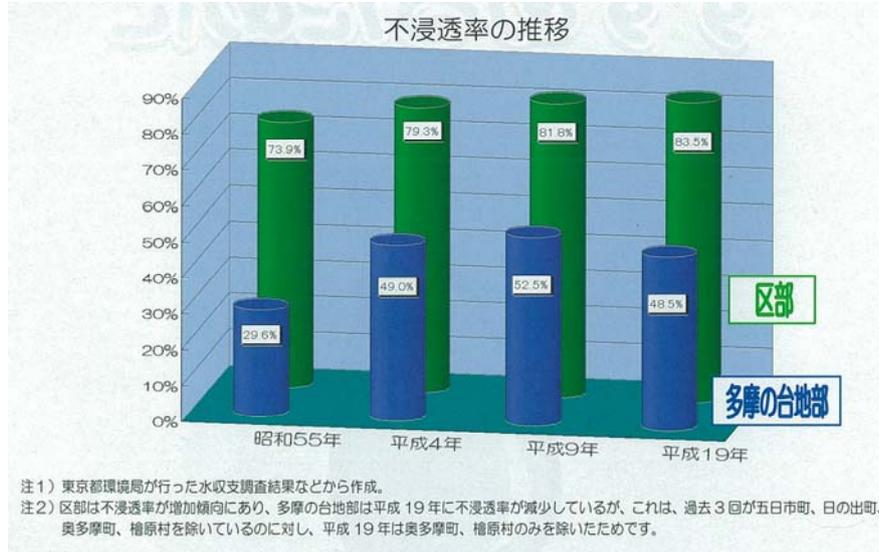


図 2.2.2-12 東京都の不浸透率の推移と分布図

出典：雨水の浸透と地下水のかん養をすすめるために
(東京都環境局：平成 21 年 3 月)

(2) 港区みどりの実態調査

港区では、区の緑化施策を推進する上での基礎資料とするため、5年に1度、港区内の全域を対象に港区みどりの実態調査を行っている。

港区緑と水に関する基本方針（平成 18 年 3 月）では、2026 年までに、緑被率 25%、みどり率 30%、実質浸透域率（非構造物被覆地／港区の総面積）30%を設定している。港区の緑化状況は、緑被率、みどり率共に上昇している。

表 2.2.2-3 港区の緑化状況

みどりの実態調査（第7次）概要		
	第6次調査（平成13年度）	第7次調査（平成18年度）
緑被率※1	18.99%	20.51%
みどり率※2	22.30%	23.93%
樹木	13,833本	13,611本
樹林	265.5ha	228.5ha
保護樹木	662本	652本
保護樹林	30件	27件
保護生垣	10件	13件
巨木※3	58本	75本
生垣※4	426箇所	446箇所
壁面緑化	76箇所	64箇所
屋上緑化		2,058箇所 95,241㎡
街路樹	11,858本	12,543本
公園緑地		144箇所

※1 緑被率：河川等の水面の占める割合と公園内樹林等の緑で覆われていない面積の割合を加えたもの。

※2 みどり率：「緑被率」に「河川等の水面の占める割合」と「公園内の樹林等の緑で覆われていない面積の割合」を加えたもの。

※3 巨木：幹周り393cm以上の樹木。

※4 生垣：長さが10m以上で高さが1m以上の生垣。

出典：「港区みどりの実態調査」第7次（平成18年）

実質浸透域率は、「港区みどりの実態調査」第6次 平成14年は18.99%である。

表 2.2.2-4 港区全体の緑被地等の状況

項目	面積（ha）	比率（%）
緑被地（樹木被覆地・草地・屋上緑化）	386	18.99
裸地	77	3.78
水面	37	1.83
構造物被覆地	1,533	75.40

出典：「港区みどりの実態調査」第6次（平成14年）

(3) 緑化の変化と地目別土地面積の推移

都市域では、人工被覆地が増大しているが、緑化施策を推進することで、樹木被覆地・草地・屋上緑化など適切な涵養や蒸発散が行われている。

表 2.2.2-5 港区の地域別 緑化の変化

		第4次 (平成3年)	第5次 (平成8年)	第6次 (平成14年)
緑被率(%) (緑で覆われた面積の割合)	芝	11.25	14.11	12.42
	芝浦・港南	10.16	8.39	10.21
	高輪	24.25	23.63	24.63
	麻布	17.72	17.43	18.39
	赤坂・青山	28.42	31.57	31.54
樹木(本) (直径30cm以上)	芝	—	3,133	2,931
	芝浦・港南	—	521	432
	高輪	—	4,361	4,190
	麻布	—	3,631	3,159
	赤坂・青山	—	3,421	3,121
みどり率 注1)	芝	—	—	14.62
	芝浦・港南	—	—	17.62
	高輪	—	—	27.14
	麻布	—	—	20.39
	赤坂・青山	—	—	33.16

注1)「緑被率」に「河川等の水面の占める割合」と「公園内の樹林等の緑で覆われていない面積の割合」を加えたもの。(東京都)

出典:「港区みどりの実態調査」第6次(平成14年)

(4) 東京都「建築物環境計画書制度」(平成14年6月施行)

東京都は、延床面積1万平米を超える、新築・増築した建物は、環境配慮の取組を示した届出を計画時・完了時に提出することが義務づけられており、都が公表することにより、建築物の環境配慮の状況がわかるようになっている。

水循環では、建物の敷地内に降った雨を浸透や、生活用水・散水などに使うことにより、都市の水資源の涵養を図る対策を評価し、建物の敷地内や屋上・壁面などへの緑化は、都市環境に潤いを与えヒートアイランド現象の緩和、雨水の流出抑制などの効果をもち、緑化の量と質について評価している。

表 2.2.2-6 港区内の水循環と緑化施設

名称	用途	施設内容	完了予定日
警視庁赤坂警察署庁舎	庁舎・職員寮	雨水浸透・雨水流出抑制水槽 屋上緑化部分には低木の植樹を考慮し、30cmの土壤厚を確保する。また、自動灌水設備を設置する	平成23年3月31日
(仮称)南青山2丁目ビル新築工事	事務所	雨水流出抑制水槽 屋上緑化部分、および雨掛りにならない部分に自動灌水設備を設置 ヒートポンプ室外機の排気を屋上または西側設備バルコニーにて開放し、地上の歩行者空間との干渉に配慮する	平成21年11月30日
環状二号線新橋・虎ノ門地区第二種市街地再開発事業(I街区-1棟)新築工事	住宅・事務所 飲食店	雨水浸透・雨水流出抑制水槽 適切な位置に散水栓と自動灌水設備を設置	平成22年11月30日
東海大学高輪キャンパス整備計画	大学	雨水流出抑制水槽 屋上(緑化部)には自動灌水設備を設置。 ガス式ヒートポンプエアコンの室外機を屋上階に集中し、キャンパス内の地上歩行者空間との干渉に配慮する	平成23年7月31日
(仮称)六本木三丁目地区第一種市街地再開発事業施設建築物	住宅・駐車場	雨水浸透・雨水流出抑制水槽	平成23年5月31日
(仮称)芝浦4丁目計画	賃貸住宅	雨水浸透・雨水流出抑制水槽 屋上緑化への自動灌水システムの導入 GHP 室外機からの排熱	平成22年3月31日
(仮称)港区芝浦2丁目計画	賃貸住宅・事務所	雨水浸透・雨水流出抑制水槽 自動灌水設備を設置 電気空冷ヒートポンプエアコン(マルチ型)の室外機は屋上の設備架台上に設置し、排熱が地上の歩行者空間と干渉することのないよう配慮する	平成22年5月30日
港区立港南小学校改築工事	学校	雨水利用・雨水浸透・雨水流出抑制水槽 地上部・屋上部ともに散水栓を設置し、児童の教育の一環もかねて水遣りを行い維持する 空調屋外機は屋上に設置するなど、歩行者レベルへ排出しないよう配慮する	平成22年2月26日

出典：東京都「建築物環境計画書制度」

【都市の実態】

一般に不浸透率が80%を超えると洪水が起きやすくなるといわれており、都市域において人工被覆地の増加・不浸透率の上昇は、適切な涵養や蒸発散が行われず、ヒートアイランドが発生していることや、降雨の流出量が増大している。

6) 降雨量

(1) 降雨量

東京都における降雨量の推移と都内における時間 50 ミリ以上の豪雨の数を記す。都内の時間 50 ミリ以上の豪雨の数は増減こそあるものの近年は 7～8 回を記録する年も確認できる。

表 2.2.2-7 東京都における降雨量の推移

年	降水量 (mm)			年	降水量 (mm)		
	合計	最大			合計	最大	
		日	1 時間			日	1 時間
1950	1951.7	151.3	41.6	2000	1603.0	115.0	82.5
1960	1281.9	83.9	78.1	2005	1482.0	74.5	66.0
1970	1122.0	73.0	16.0	2006	1740.0	154.5	33.0
1980	1577.5	65.5	34.0	2007	1332.0	88.5	31.0
1990	1512.5	123.5	49.0	2008	1857.5	111.5	59.5

出典：気象庁

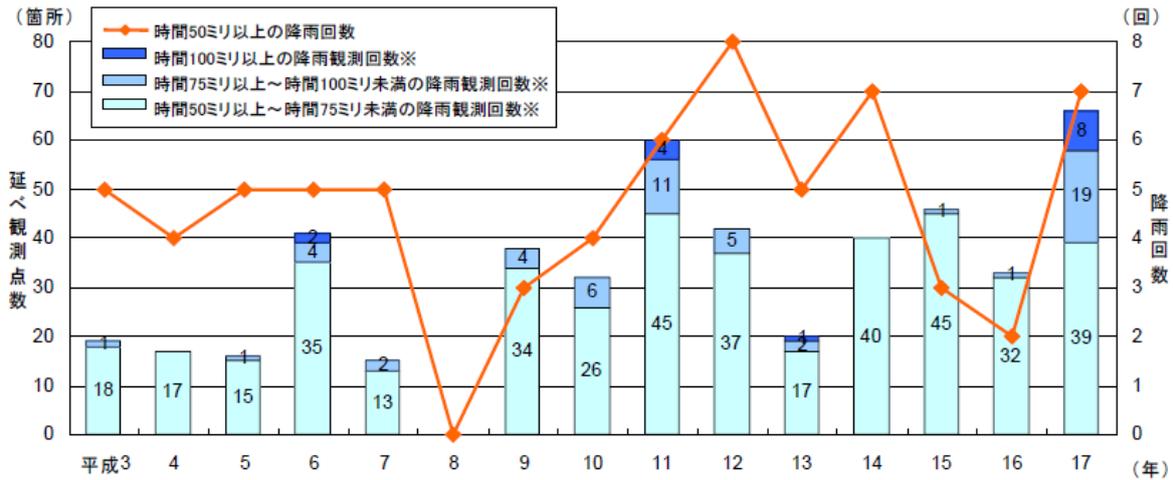


図 2.2.2-13 都内における時間 50 ミリ以上の豪雨の数

※都内 117 観測所における観測回数

出典：東京都建設局「水害記録」

(2) 浸水実績と水害による被害状況

平成12年～平成17年における港区の水害被害状況と浸水実績図をに記す。港区の過去の水害被害状況では、平成11年8月29日、時間最大量115mm、日総雨量125mm（東海豪雨は、時間最大雨量114mm、総雨量589mm）の大雨を観測している。

表 2.2.2-8 港区内における過去の水害による被害状況

年月日	気象	雨量(mm)		床上浸水 (世帯数)	床下浸水 (世帯数)	地下浸水 (棟数)
		1日	時間最大			
平成11年 8月29日	集中豪雨	125	115	191	741	35
平成12年 7月 3日	集中豪雨	44	43	4	59	3
平成12年 7月 4日	集中豪雨	61	57	46	229	37
平成14年 9月6、7日	集中豪雨	167	65	1	6	0
平成16年10月9、10日	台風22号	218	67	13	5	0
平成16年10月20日	台風23号	197	47	3	14	0
平成17年9月4、5日	集中豪雨	60	57	2	3	0
平成17年9月11日	集中豪雨	73	64	4	2	1

※日総雨量、時間最大雨量は、区内の計測器の最大値をとっています。
 ※被害状況は、区に寄せられた情報をもとに集計したものです。

出典：港区都市計画課



図 2.2.2-14 過去の浸水実績（港区）

出典：東京都建設局

【都市の実態】

都市域では人工被覆地の増加・不浸透率の上昇によって適切な涵養や蒸発散が行われず、近年の気候変動（降雨強度の増大）と相まって、降雨の流出量が増大し、内水氾濫が発生している。

2.2.3 モデル地域の現状から課題の分析

平成 21 年度の検討において、モデル地区として選定した東京都港区に対して、ヒアリングや現地踏査で得た都市環境に関わる視点から水門地形学的特長、気象状況、災害の発生状況、施設配置状況などの都市環境に関するデータ（分布図）をプロットし、都市の課題を分析する。

1) 都市環境に関するデータによる分布図

(1) 水門地形学的特徴

- ①-1 地形（標高）
- ①-2 海岸線の変遷
- ①-3 地下水位分布
- ①-4 湧水分布

(2) 気象状況

- ②-1 気温分布

(3) 災害状況

- ③-1 浸水被害分布

(4) 施設配置状況

- ④-1 用途区分
- ④-2 緑地分布
- ④-3 高層ビル分布
- ④-5 下水幹線分布
- ④-6 雨水貯留浸透施設分布
- ④-7 旧河川分布

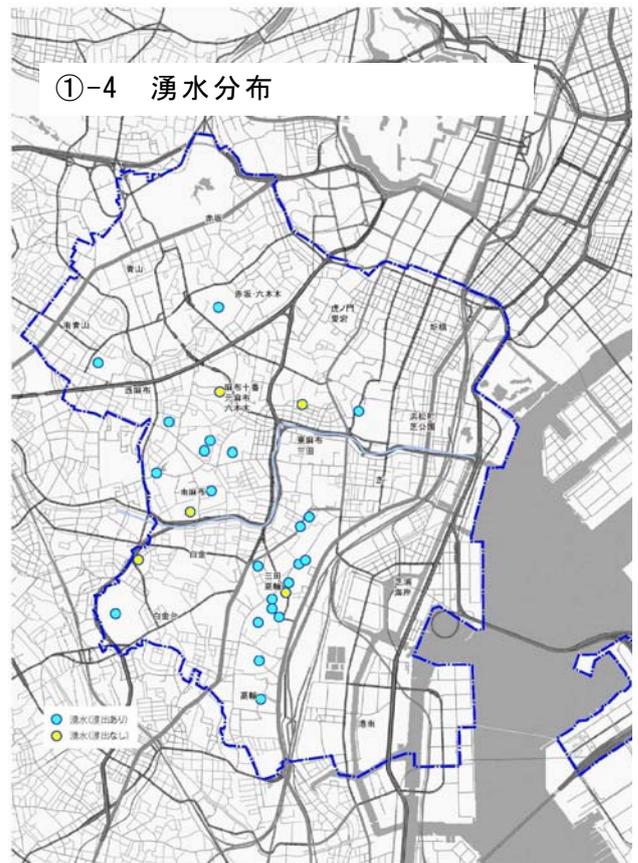
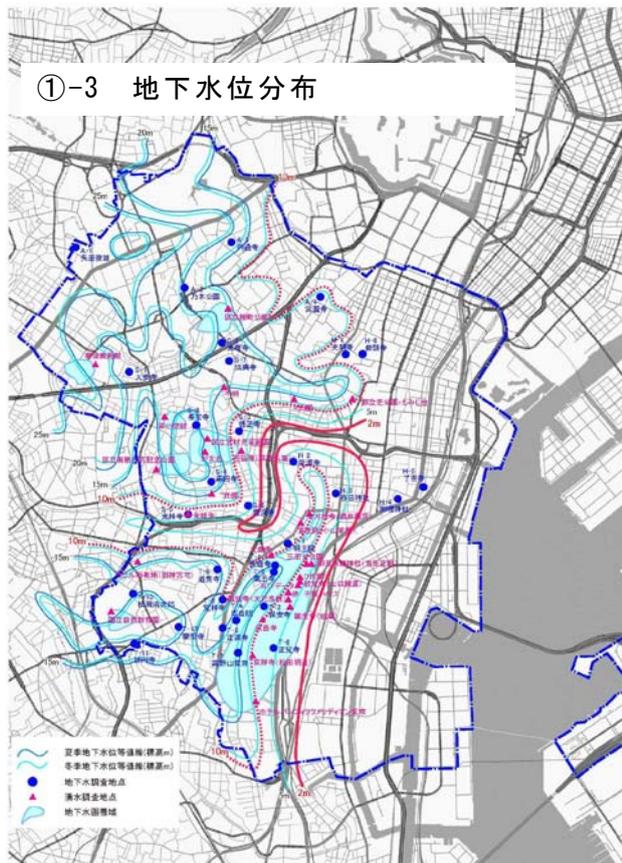
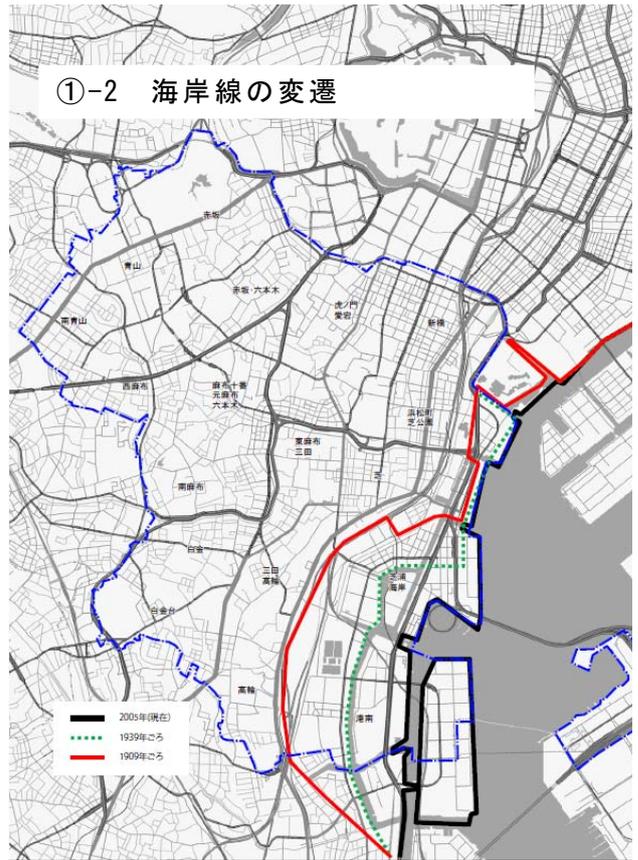
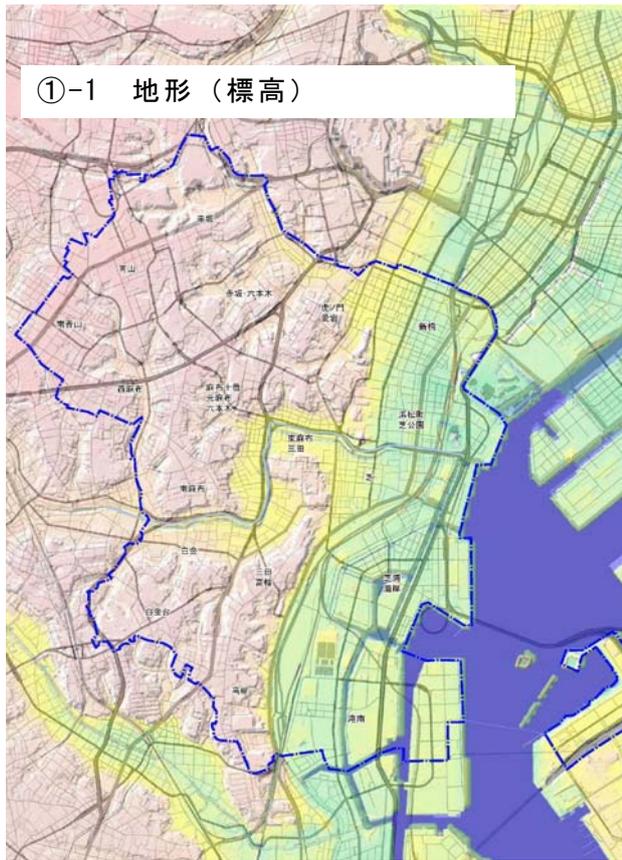


図 2.2.3-1 都市環境に関するデータによる分布図（その1）

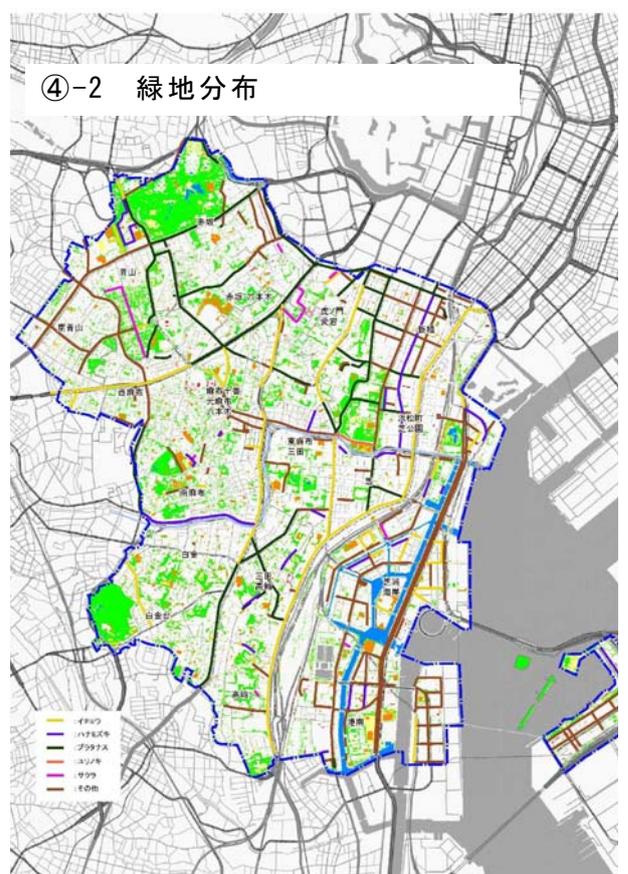
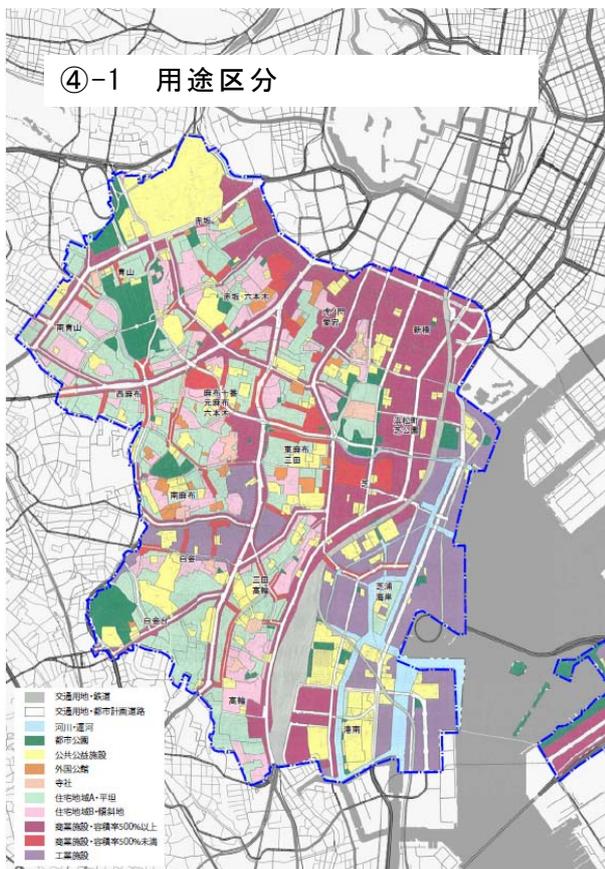
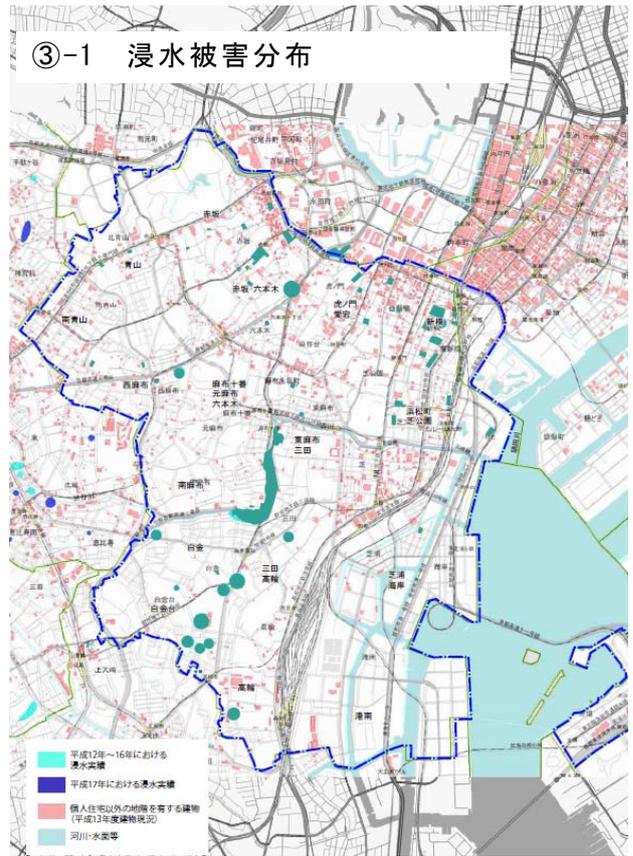
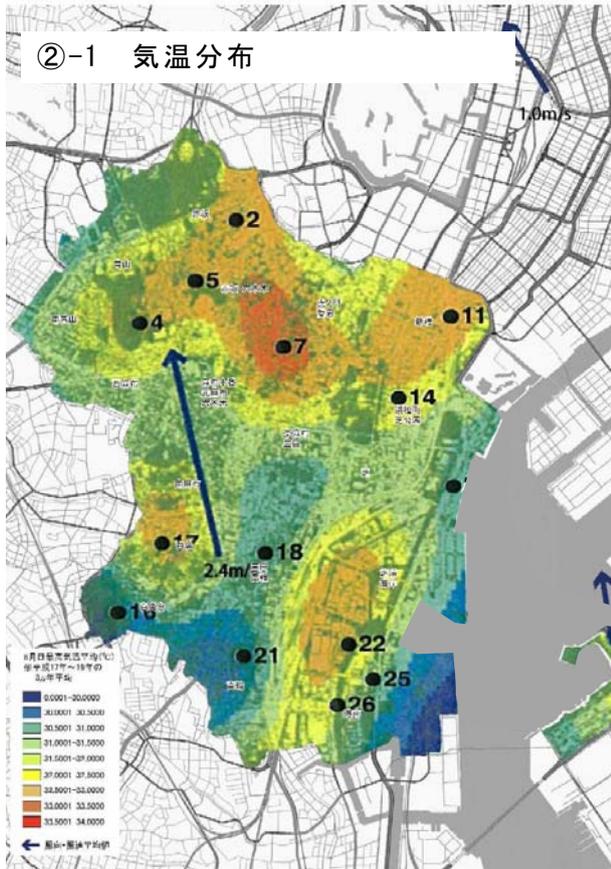


図 2.2.3-2 都市環境に関するデータによる分布図 (その2)

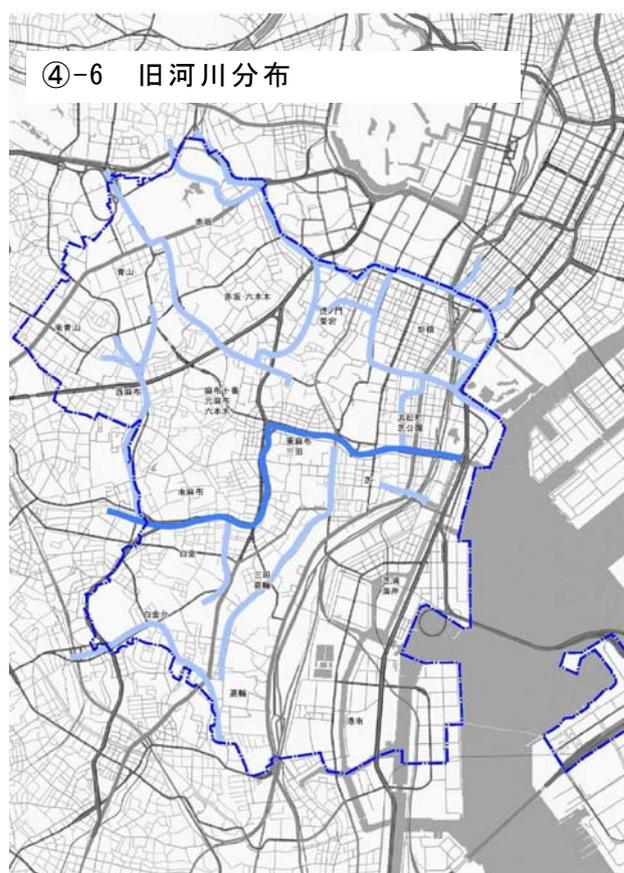
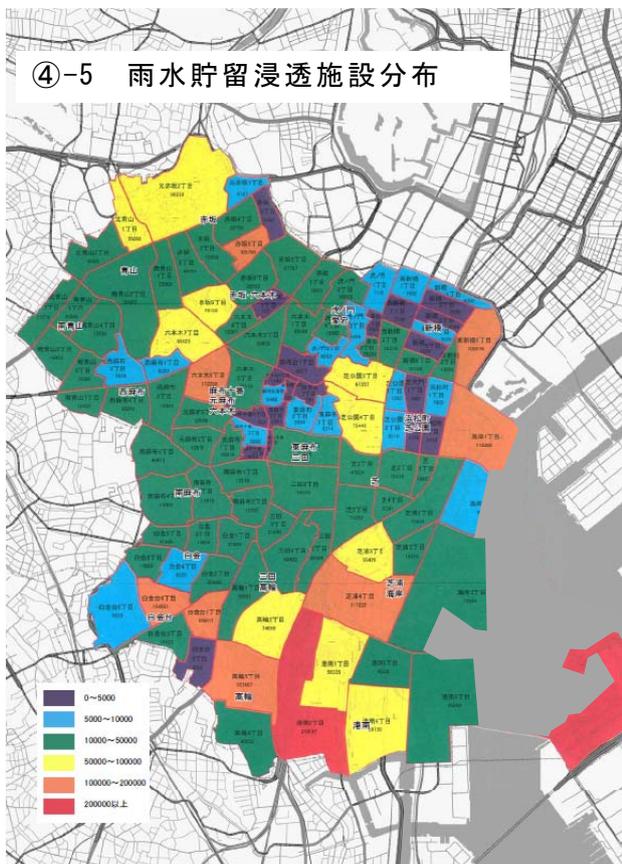
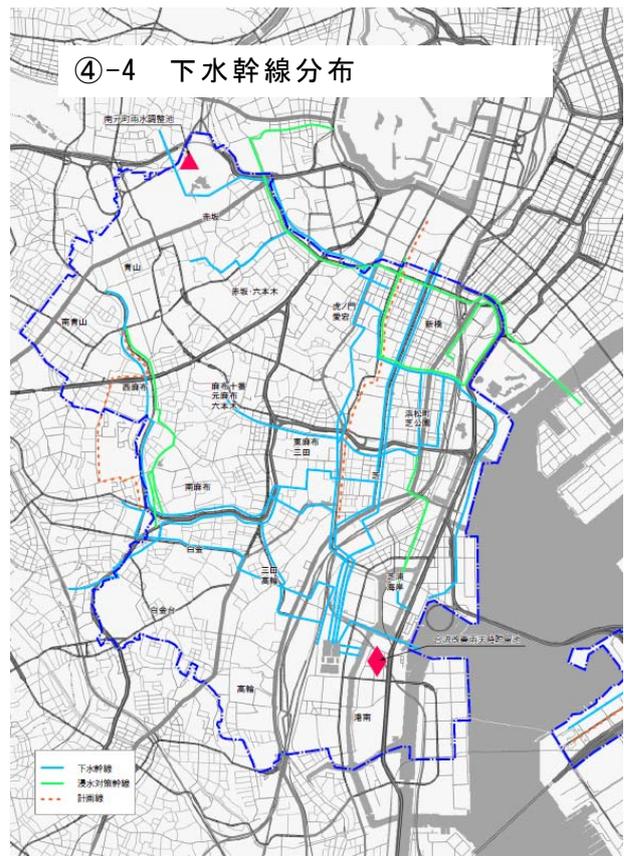
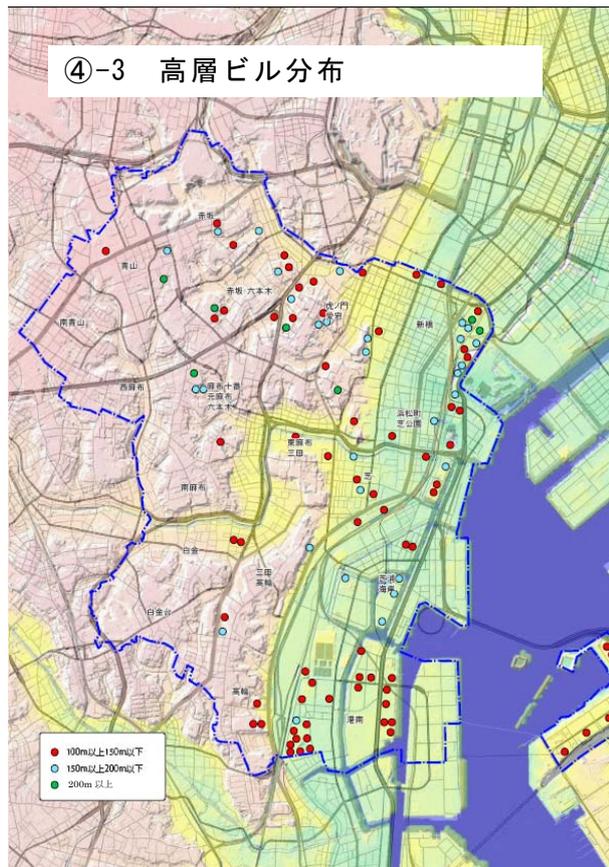


図 2.2.3-3 都市環境に関するデータによる分布図（その3）

2) 都市の課題の分析

都市環境に関するデータによる分布図より、対象地域である港区の課題を分析する。

(1) ヒートアイランド現象の発生

都市環境に関するデータの中で、温度分布と地下水位分布状況、温度分布と高層ビル分布をそれぞれ重ね合わせた図を以下に示す。

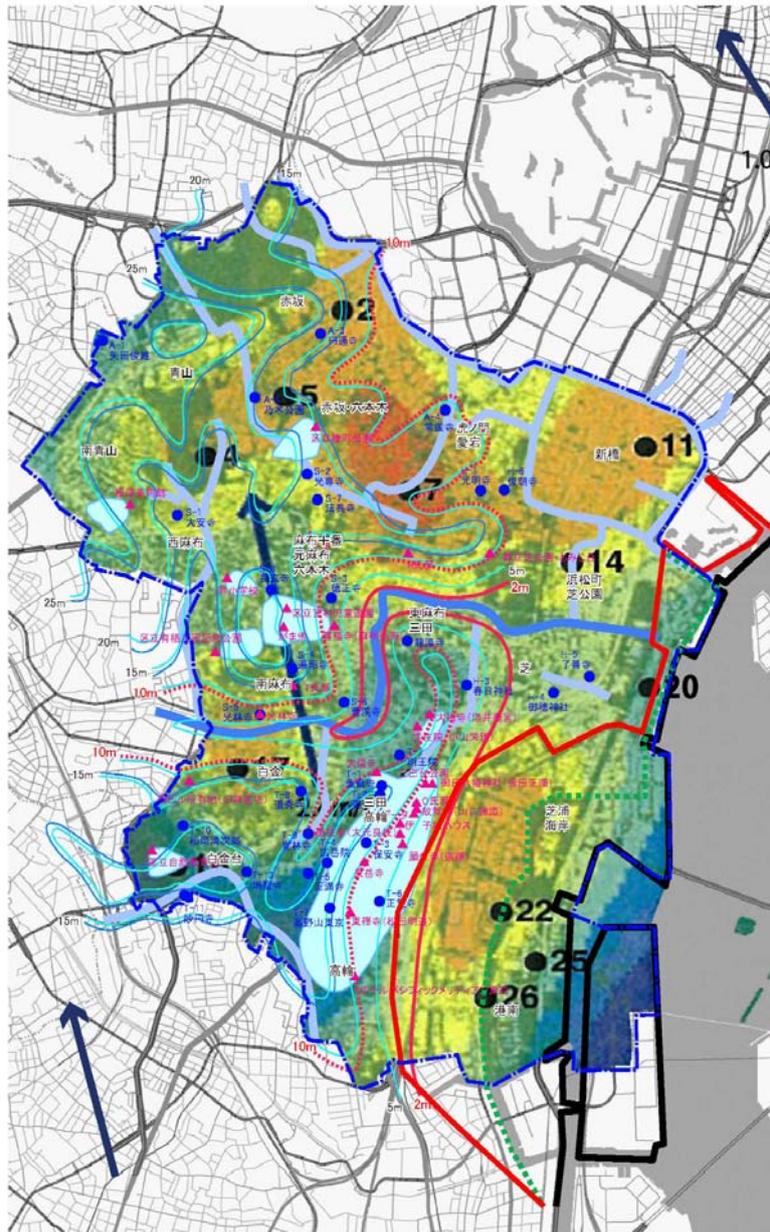


図 2.2.3-4 温度分布（8月）と地下水位分布

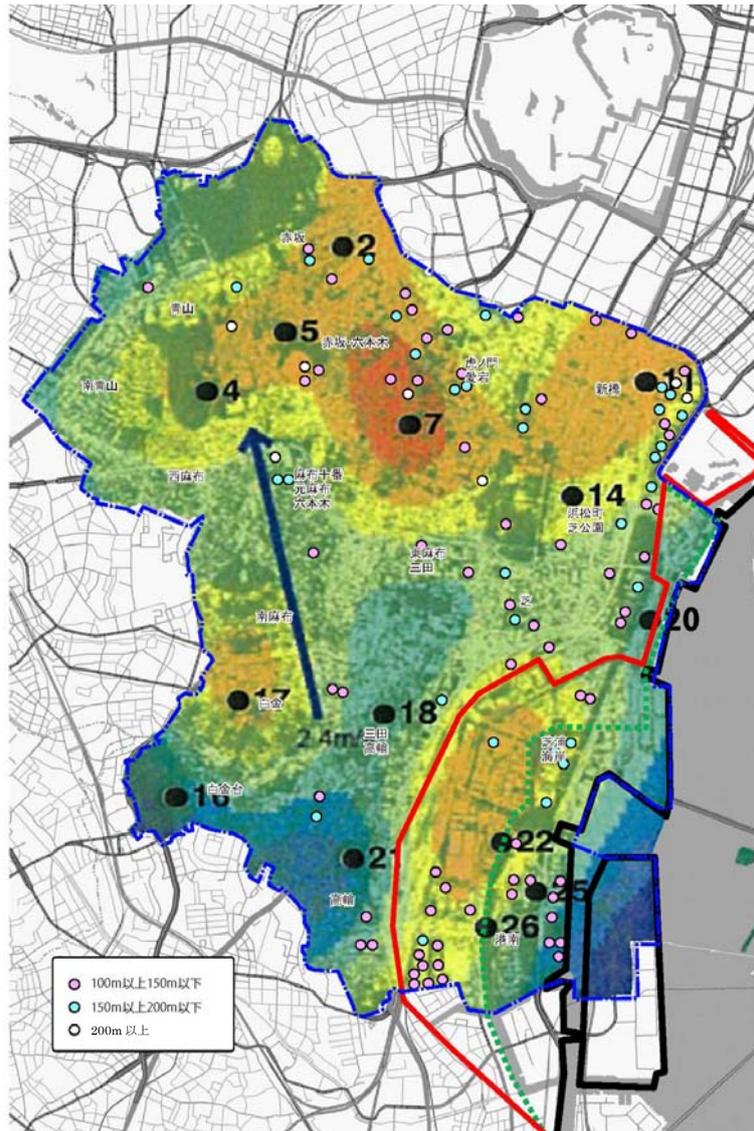


図 2.2.3-5 温度分布（8月）と高層ビル分布

この2つの重ね合わせ図より以下のことが確認できる。

- ・新橋、汐留、港南地区では、地下水位が浅いが、温度が高い。
- ・赤坂、溜池地区では、地下水位が深く、温度が高い。
- ・東東側にビルが多く、風がビルに沿って、主に南北方向に吹き込んでいる。
- ・虎ノ門・赤坂付近の高温箇所は、高層ビルが多く建っている。

港区では、緑の減少と人工被覆地の増大による蒸発散機構の低下、高層ビル群による涼風の遮断（大気循環の阻害）、さらに都市排熱の増加により、「ヒートアイランド現象の発生」が起きていると考えられ、この温度上昇に対して、周辺のビルから冷房排熱が大量に出され、気温上昇を助長するなど悪循環が発生していると想定される。

(2) 降雨の短期流出による浸水被害の発生

都市環境に関するデータの中で、地形と地下水位分布状況、雨水浸透施設設置状況と洪水費が状況をそれぞれ重ね合わせた図を以下に示す。

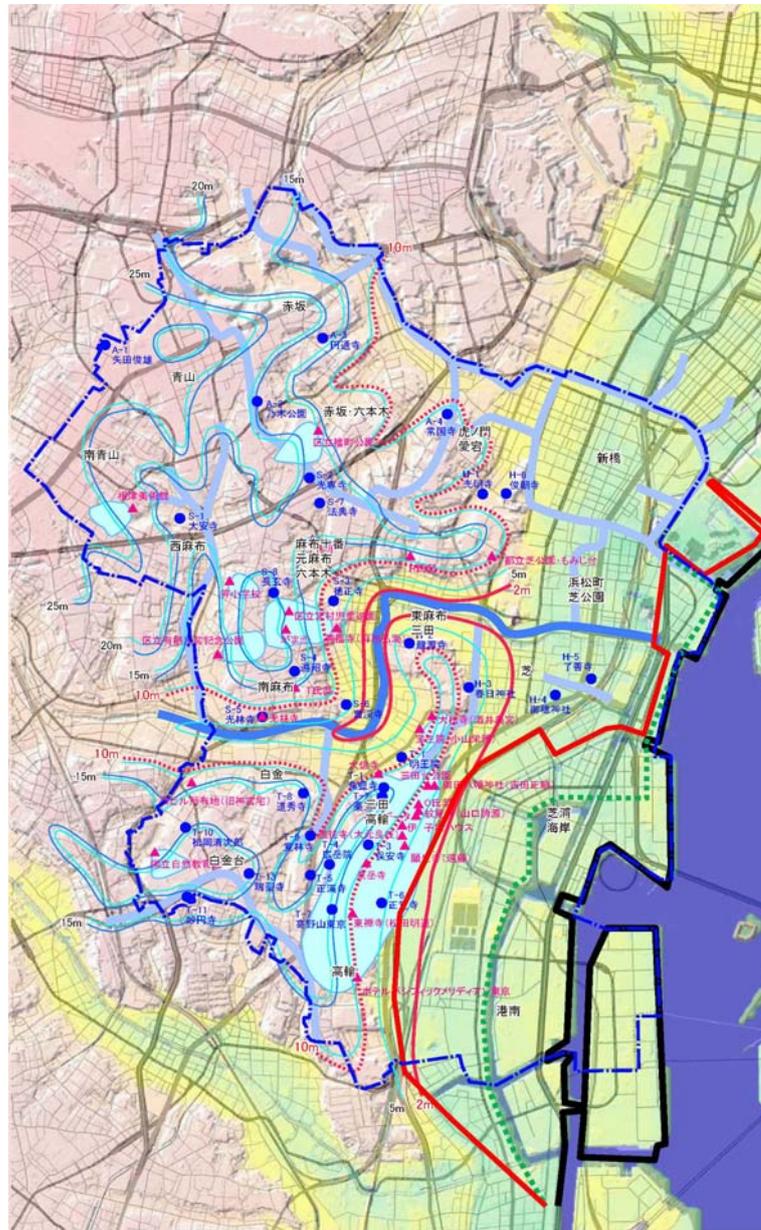


図 2.2.3-6 地形と地下水位分布

2.2.4 まとめ

このように都市における課題の分析から大きな課題である「ヒートアイランド現象の発生」、「降雨の短期流出による浸水被害の発生」は、蒸発散量の減少、地下浸透量の減少、地下水流出の減少、表面流出の増大が一因となっている。例えば、福岡市の平成 10 年頃と昭和 30 年頃の水収支を比較すると同様の傾向がみられる。

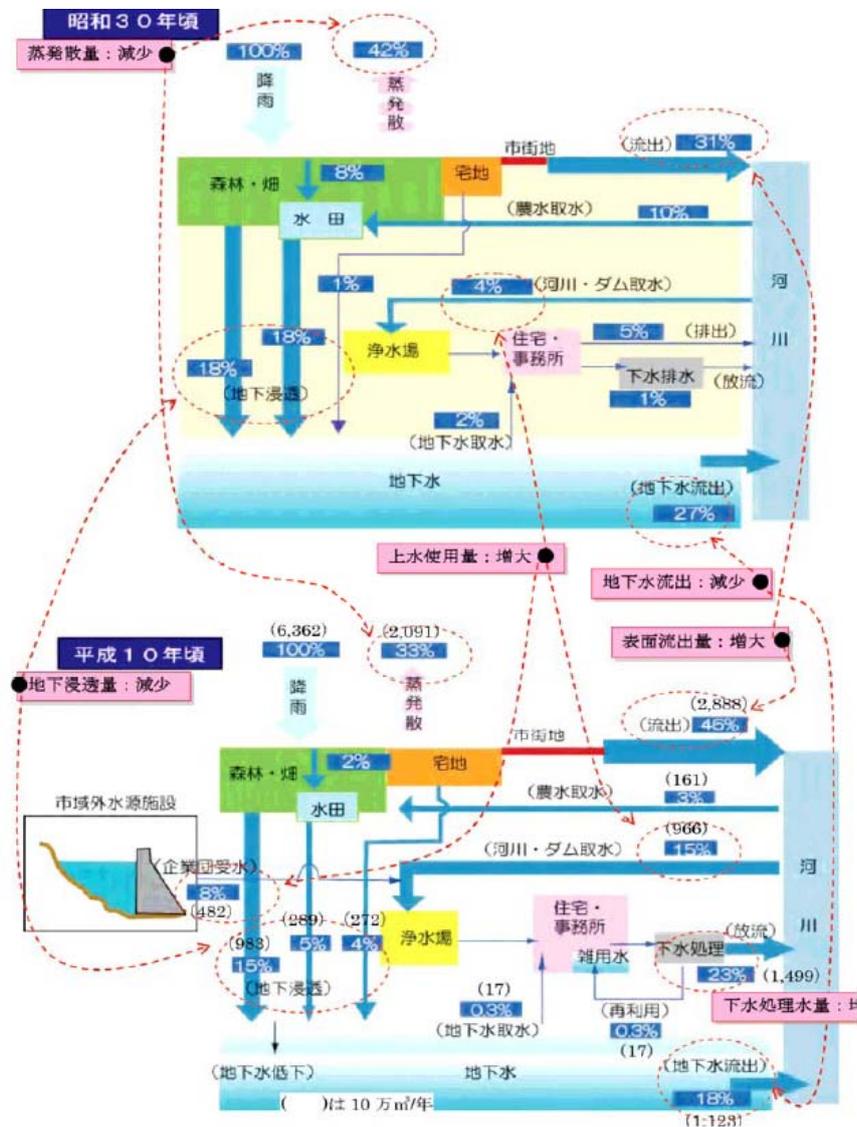


図 2.2.4-1 昭和30年と平成10年の比較をした水収支図

出典：環境省：水・土壌・地盤環境の保全、福岡市水循環型都市づくり基本構想

これまでに示したモデル地域の現状から都市域での水環境に関する問題を整理する。

① ヒートアイランド現象の発生

都市域では、人工被覆地の増大による蒸発散機構の低下と、ビル群による涼風の遮断（大気循環の阻害）、更に都市排熱の増加により、一部の都市域では夏期気温が大きく上昇し、この上昇が更に冷房排熱の増加や都市活動の低下を招き、結果として CO₂ 排出を増加させる大きな原因となっている。

② 降雨の短期流出の増加

都市域では、人工被覆地の増加と、都市水辺空間の減少、降雨強度の増大により、大雨時の降水が資源化されることなく、域外へ短期流出する場合が増加している。それにも関わらず都市域において消費される雑用水や工業用水は増加し、一部では上水からの転用も行われ、健全な水利用が損なわれている状況にある。

③ 内水氾濫被害の発生

都市域では、人工被覆地が増大し、適切な涵養や蒸発散が行われなくなったため、近年の気候変動（降雨強度の増大）と相まって、降雨の流出量が増大し、内水氾濫が多発するようになった。

④ 余剰地下水の発生

地下水位上昇対策として JR 上野地下駅及び東京地下駅における地下水位の上昇による浮き上がりは、両駅の構造的な特徴などが原因の限定的な事例であるが、地下駅等への地下水による影響については、漏えい地下水対策など個別の対応による必要がある。

⑤ 自然豊かな河川の喪失

都市の発達とともに都市内を流れる河川は、規模により、コンクリート等で三面が囲まれた改修や蓋がかけられ、暗渠、地下河川として改修された。これにより水辺の緑やせせらぎなどの癒しの空間が喪失した。

このように都市においての水利用の現状や課題を鑑み、都市域の水循環に関する問題は、主に浅層地下水に関する水循環が不健全になっていることや、人工の水循環系と自然の水循環系が効率的に働いていないことによるところがあると思われる。

2.3 課題に対する改善項目

2.3.1 ヒートアイランド現象対策に対する改善項目

ヒートアイランド現象の発生要因は主に以下の項目である。

- ・人工被覆地増大による蒸発散機構の低下
- ・ビル群による風の通り道の遮断
- ・冷暖房による都市排熱の増加

従ってこれらの要因を取り除くことがこの課題に対する対策となる。地下水・再生水を活用したこれらの対策としては、

- ①蒸発散機構の回復
 - ①-1 保水性舗装・透水性舗装
 - ①-2 親水空間（緑地を含む）の創出
 - ①-3 その他の緑化施策（屋上緑化、壁面緑化など）
 - ②冷暖房効率アップ
 - ②-1 地中熱利用
 - ③直接的な気温低下施策
 - ③-1 ミスト噴霧など
- などが挙げられる。

ヒートアイランド対策により改善されるべき項目は、以下の2点である。

- ・「夏季気温（の低下）」
- ・「地中伝導熱＝地下蓄熱量（の低減）」

ここで、後者は夜間の放射冷却の促進に繋がり、熱帯夜対策として考慮すべき項目である。ヒートアイランド対策は打ち水、高反射塗料など、太陽光からの熱輸送の緩和に着目した対策も多いが、上記のように熱帯夜の問題もあり、昼夜を含めた一定期間での評価を行うことが重要であろう。また、夜間の気温低下の事例として、建物の緑化によって建物に面した広場での夜間気温の低下が観測される事例もあり（三坂ら，2001）、種々の対策による効果を検討する必要がある。

一方、夏季の温度低減を狙った施策が冬季の暖房効率を阻害する可能性があり（井原，2008）、夏季だけでなく冬季の対策も併せて考えた方が効率的な場合もある。地中熱利用による省エネ対策については、利用が長期に及んだ場合の周辺環境への影響も考慮する必要がある。以上のことから、ヒートアイランド対策とはいえ、夏季のみの環境影響評価を行うだけでは不十分となることもあるため、1年あるいはそれ以上に渡る長期環境評価を行うことが重要である。

以上は、気温など定量評価できる改善項目について述べたが、親水空間や緑化などは「癒し」といった定量化が難しい項目も考えられる。室内空間における人のすごしやすさについての指標は、SET*（標準新有効温度）（例えば，土木研究所，2001）などが提唱されているが、室内外空間に適用できるような汎用的な定量評価指標は未だ確立されていない。「癒し」については、肌温度や血液中の成分濃度の計測などから定量的に評価する研究もあるが、心理的な要素も含まれるため評価が困難である。今後の研究の進展に期待したい。

2.3.2 降雨の短期流出の増加対策に対する改善項目

降雨の短期流出への対策は

- ① 表面流出率の低減（保水能力向上）
 - ①-1 緑化空間の創出
 - ①-2 透水性舗装
 - ①-3 雨水浸透枡の設置
- ② 雨水の一時貯留施設建設

が挙げられる。

これら施策による改善項目は、以下の点である。

- ・通常降雨時の「河川の増水ピーク（の遅延）」
- ・「ピーク流量（の低減）」
- ・「平常時地下水位（の上昇／維持）」

特に雨水一時貯留施設を地下空間に建設する場合、周辺地下水の低下を招かないよう留意する必要がある。

上述の①は主に「浸透施設」による対策、②は「貯留施設」による対策というように帯別できる。”平常時における”これらの対策は、水害抑制の目的の他、人工被覆地における水循環を自然の循環系に近づける目的で行われることが多い。

なお、これらの対策は、健全な水循環系の回復によって湧水の復活などの副次的な効果が得られることもあり（図 2.3.2-1 参照）、上述の「癒し」に繋がる対策となる可能性もある。

<雨水浸透施設による湧水の保全>

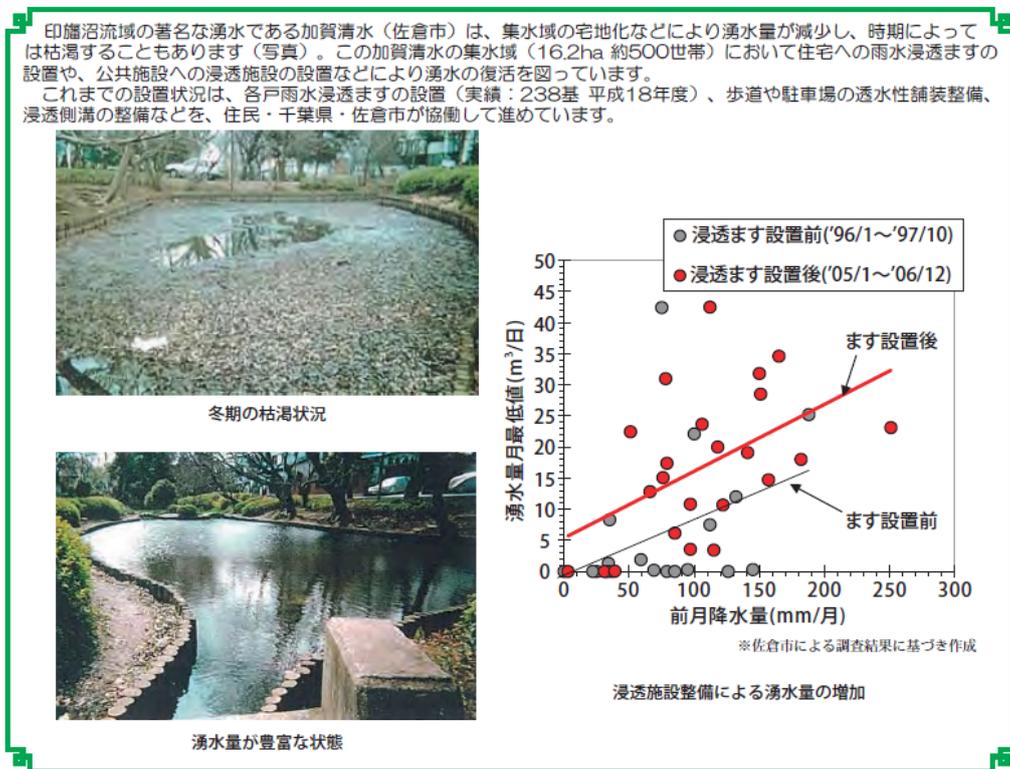


図 2.3.2-1 雨水浸透施設による湧水の保全（雨水貯留浸透技術協会，2008 より引用）

2.3.3 内水氾濫被害対策に対する改善項目

内水氾濫の低減のための対策としては、

- ①流域上流域の保水能力向上
 - ①-1 植林、緑化（緑のダム）
 - ①-2 透水性舗装
 - ①-3 ダム
- ②被害発生域（低地）での対策
 - ②-1 河川改修
 - ②-2 遊水地建設
 - ②-3 一時貯留施設建設

などが挙げられる。

現在の治水計画は森林の存在を前提として策定されており、森林の治水上の効果は現行の計画に織り込み済みである（国土交通省,2007）。こうした情勢の中、近年発生しているゲリラ豪雨のような、局所的に 100mm/hr に達するような豪雨への対策として緑のダムに対して一般的なダムのような一時保水能力は期待できないことは明らかである。また、都市域に関してはダムを建設する余地もそれほど残されていないことから、上流域で取られる対策（ダム、緑化等）よりも低地における氾濫対策が主となるであろう。しかし、東京のような大都市においては河川幅の拡幅や遊水地のための用地確保が難しく、住人を退去させて用地を確保するといった施策が取れない場合は実質的に河川水・雨水の一時貯留施設を建設する以外に効果的な方法はない。

内水氾濫対策による改善項目は、以下の 2 点である。

- ・「集中豪雨時の河川増水量のピーク（の遅延）」
- ・同じく「ピーク流量（の低減）」

前項の"平常時における"水循環系の健全化対策の一つである浸透・貯留施設により、集中豪雨等による内水氾濫に対して一定の効果は得られる。図 2.3.3-1 は東京都昭島市における旧住宅都市整備公団団地において浸透工法を採用した地域における流出抑制効果を示したものである。図のように 30 分雨量 20mm を超えるような降雨に対して、流出率が浸透工法未採用地区に比べて 1/3 程度に減少している。

浸透能力が見込める台地部などではこうした浸透施設が有効であるが、流出域となる低地部においては浸透施設の効果はそれほど大きくないと考えられる。こうした地域において、50mm/hr～100mm/hr といった豪雨に対する内水氾濫対策としては、雨水一時貯留施設が有効な手段である。首都圏外郭放水路は代表的な例である。その他にも例えば名古屋市では雨水の一時貯留施設として表 2.3.3-1 のような施設を建設し、稼働させている。

□ 中央集中二山型 (平成6年8月20日の観測)

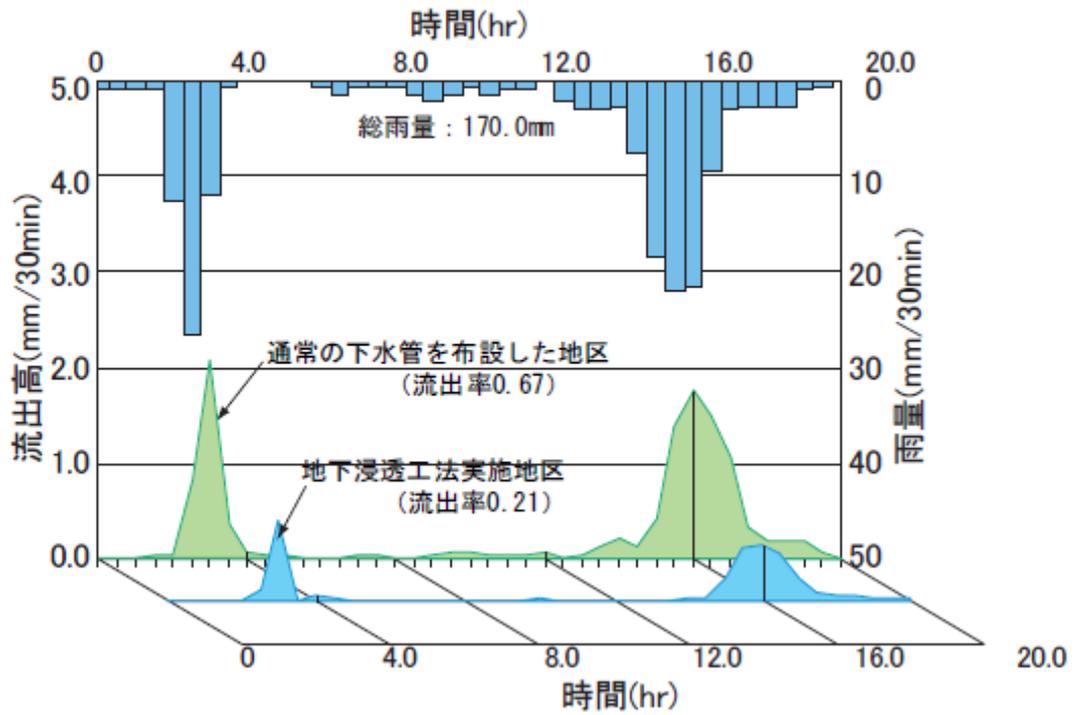


図 2.3.3-1 浸透施設による流出抑制効果 (雨水浸透貯留技術協会, 2007 より引用)

表 2.3.3-1 名古屋市における主な雨水貯留施設（2000m3 以上，平成 20 年度末現在）

名称	対策の種類	貯留量 (m3)	稼働年度
久屋雨水調整池	浸水対策	2000	昭和 53 年度
自由ヶ丘雨水調整池	浸水対策	10000	昭和 54 年度
香流雨水調整池	浸水対策	2000	昭和 60 年度
高辻雨水滞水池	浸水対策，合流改善	30000	昭和 62 年度
玉船雨水調整池	浸水対策	5000	平成 4 年度
瑞穂通雨水調整池	浸水対策	4600	平成 4 年度
東山雨水調整池	浸水対策	9000	平成 5 年度
福德雨水調整池	浸水対策	7500	平成 6 年度
柳島雨水調整池	浸水対策	3300	平成 8 年度
富田雨水調整池	合流改善	26000	平成 8 年度
喜惣治雨水調整池	浸水対策	5000	平成 9 年度
野並雨水調整池	浸水対策	5400	平成 11 年度
福江雨水滞水池	浸水対策，合流改善	31000	平成 11 年度
平田雨水調整池	浸水対策	12000	平成 11 年度
笠東雨水調整池	浸水対策	15100	平成 11，20 年度
小碓碓井調整池	浸水対策	14000	平成 12 年度
柴田雨水調整池	浸水対策	9300	平成 12 年度
豊田雨水調整池	浸水対策	2500	平成 13 年度
南郊雨水滞水池	浸水対策，合流改善	25000	平成 13 年度
駙上雨水調整池	浸水対策	3800	平成 13 年度
権現通雨水調整池	浸水対策	3600	平成 13 年度
名西通雨水調整池	浸水対策	3500	平成 14 年度
尾頭橋雨水調整池	浸水対策	2500	平成 14 年度
若宮大通調整池内合流対策施設	合流改善	19000	平成 14 年度
惟信雨水調整池	浸水対策	12000	平成 14 年度
戸田雨水滞水池	合流改善	11100	平成 15 年度
道德雨水調整池	浸水対策	3000	平成 15 年度
本山雨水調整池	浸水対策	3300	平成 15 年度
当知雨水調整池	浸水対策	17000	平成 16 年度
丸新雨水調整池	浸水対策	8100	平成 16 年度
名駅雨水調整池	浸水対策	7700	平成 16 年度
水里雨水滞水池	合流改善	2000	平成 16 年度
鳴尾雨水調整池	浸水対策	13900	平成 16 年度
大我麻雨水調整池	浸水対策	5600	平成 17 年度
守西雨水調整池	浸水対策	3000	平成 17 年度
落合雨水調整池	浸水対策	17000	平成 17 年度
小田井雨水調整池	浸水対策	54000	平成 18 年度
大曾根雨水調整池	浸水対策，合流改善	34000	平成 18 年度
平田第二雨水調整池	浸水対策	10000	平成 18 年度
山崎川右岸雨水滞水池	合流改善	16500	平成 18 年度
大江雨水調整池	浸水対策，合流改善	8000	平成 19 年度
五反田雨水調整池	浸水対策	9300	平成 19 年度
弥富第二雨水調整池	浸水対策	7100	平成 19 年度
中根第二雨水調整池	浸水対策	11300	平成 20 年度
扇川左岸雨水調整池	浸水対策	4000	平成 20 年度
天白川左岸雨水調整池	浸水対策	33600	平成 20 年度

2.3.4 余剰地下水の発生対策に対する改善項目

余剰地下水の発生対策としては次の項目が考えられる。

- ①漏洩地下水などの余剰地下水の発生防止
- ②余剰地下水の有効活用

余剰地下水を活用するためには、ある程度まとまった量が必要であるが、東京の場合、現状では個々の建物への漏えい地下水量、地下鉄トンネルなどの漏水ポイントごとの湧水量が少ないため十分に活用されず、下水や河川に放流されていることが多い。ある程度まとまった余剰地下水がある場合は、上野駅の余剰地下水を利用した不忍池の水質浄化（図 2.3.4-1）、東京駅の余剰地下水を利用した立会川への放流による河川浄化（図 2.3.4-2）などがある。小規模な余剰地下水の場合、下水等への放流以外では、トイレの洗浄水などの中水利用がなされているところもある。

これらの対策による改善項目は以下である。

- ・余剰地下水の減少
- ・（余剰地下水が減少できない場合）資源としての水量の増加

一般的に地下構造物を伴うような建築物の場合、極力漏水を止めるように施工されることが殆どであり、また、居住空間への浸水等を防ぐ意味でも積極的な地下水漏水の活用はほとんど行われないと考えられる。

ただ、地下鉄網、地下道網など、ある程度空間的な広がりを持つ地下空間への浸出水を集中させることで資源として活用できる可能性はある。

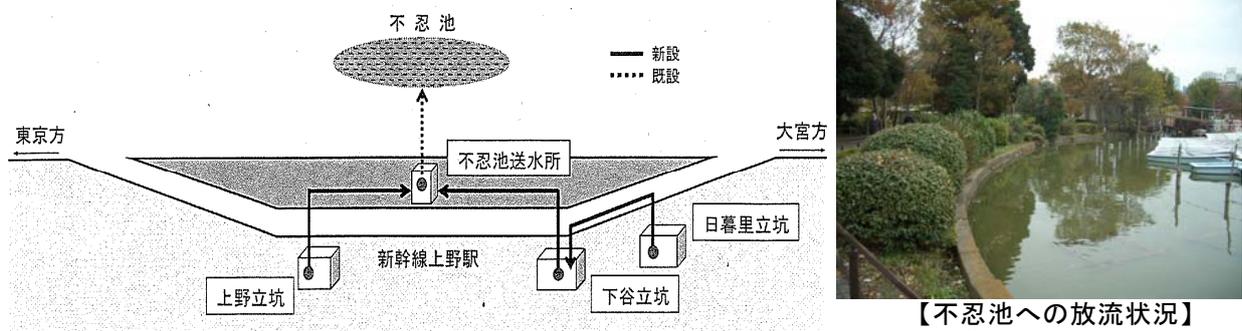


図 2.3-4-1 JR 上野地下駅周辺～不忍池への導水状況（清水満、2004 より引用）



図 2.3.4-2 JR 総武線東京駅周辺～立会川への導水状況（清水満、2004 より引用）

2.3.5 自然豊かな河川の喪失に対する改善項目

自然豊かな河川の喪失への対策としては次の項目がある。

- ① 緑化等による親水空間の創出
- ② 枯渇湧水・河川の復元

具体的には 2.3.2 で挙げたような浸透・貯留施設による水循環系の改善対策が有効である。また、図 2.3.5-1 のような 2.3.4 の余剰地下水の発生対策と同様な対策が施された例もある。

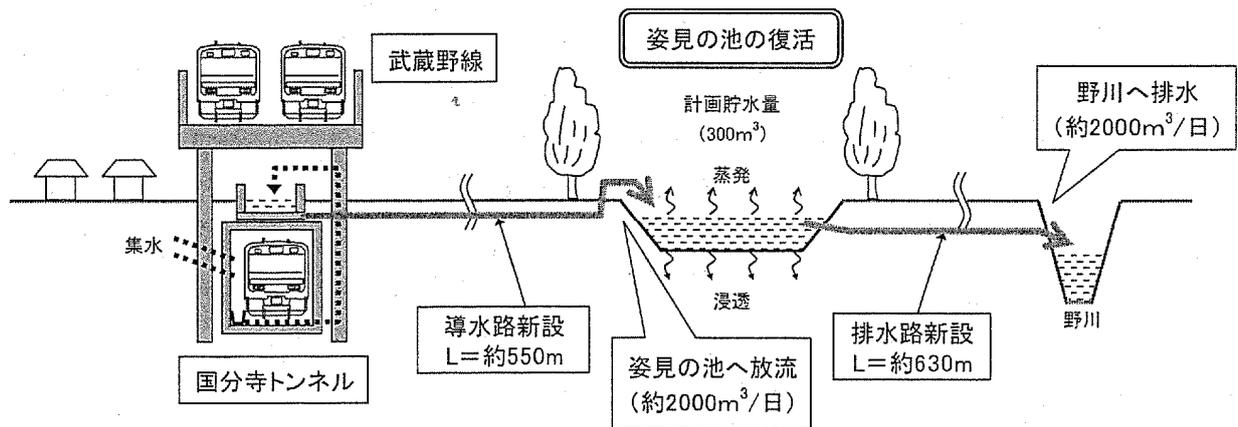


図 2.3.5-1 JR 武蔵野線国分寺トンネルにおける湧水活用事例（清水，2004 より引用）

2.4 都市の課題解決のための方策とその効果

2.4.1 都市の課題解決のための方策

2.3で挙げた各改善項目に対して、エンジニアリング的に実現可能な方策を以下に提案する。

1) 「夏季気温（の低下）」

各種ヒートアイランド対策の評価については、国総研資料（2010）にまとめられており、それによると各種対策の効果は以下のようにになっている。

表 2.4.1-1 各種ヒートアイランド対策の効果評価

対策	気温低下量	表面温度低下量	電力使用料低下量
高反射塗料	—	7.5℃	100 円/日
打ち水	1℃弱	約 10℃	—
ミスト	2～3℃	—	—
屋上緑化	—	約 10～20℃	約 300 円/日
窓ガラスの遮熱・断熱	—	約 5℃	約 150 円/日

夏季気温を直接的に低下させるエンジニアリング的手法としては、現在はミスト噴霧が有効な手段である。一般にミスト噴霧による効果は 2～3℃といわれている（奥宮，2007）。また、ミスト噴霧については、近年の猛暑による熱中症対策として使われている事例も見られる。

ノズル 50 個程度で 2.5 リットル/min の噴霧を行う標準的なシステムで自動制御システムを組み込まない場合では 300 万円程度である。気象センサー及び自動制御システムを組み込むと 500 万円程度である。ランニングコストは月に 5000 円程度（夏季 3 か月で約 500 時間程度の運転）。（環境情報科学センター，2010）

なお、ミスト噴霧については、公共の場への噴霧事例が多いことから、噴霧する水の水質の問題についてクリアしておく必要がある。



図 2.4.1-1 ミスト噴霧の例（なごミスト HP (<http://nagomist.com/>) より引用)

保水性舗装や打ち水等の蒸発潜熱を用いた対策では気温低下の効果はそれほど大きく

ない。ただし、1km～数 km のエリアにおける歩道等を全面的に保水性舗装にした場合については、シミュレーションによると 1℃程度の気温低下効果が得られるとの報告もある（井上，2009）。

気温低下を目的として保水性舗装を導入する場合は、規模が大きくなることによるイニシャルコストの増大と管理面で費用がかかることが問題となると考えられる。

2) 「地中伝導熱＝地下蓄熱量（の低減）」

蓄熱量の低減対策としては、高反射塗料（屋根等）および保水性舗装（地面）が有効である。前者は太陽からの短波放射を反射し、建物に入力される熱量を低減させようというもの、後者は水の蒸発に伴う潜熱輸送により地表面付近の温度低下を図るためのものである。これらの表面温度低減効果例を図 2.4.1-2、図 2.4.1-3 に示す。

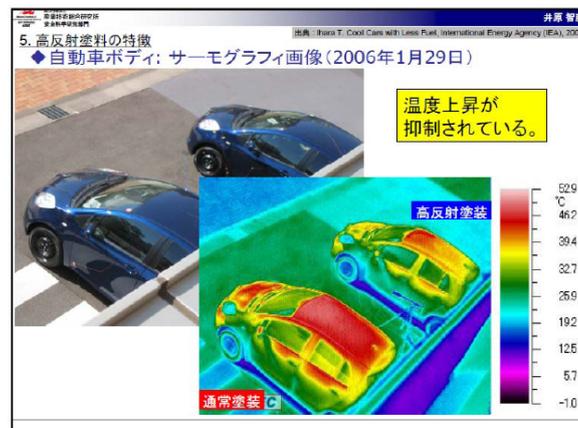


図 2.4.1-2 高反射塗料による表面温度上昇抑制効果（井上，2008 より引用）

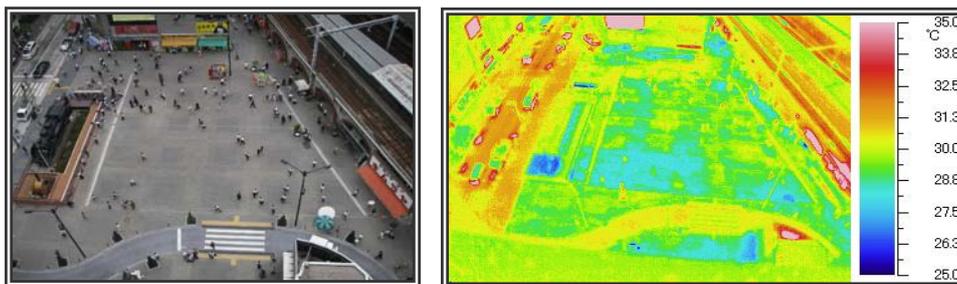


図 2.4.1-3 保水性舗装による表面温度上昇抑制効果(新橋 SL 広場)(出典:港区提供資料)

このうち、高反射塗料については、前述のように冬季において暖房効率を悪化させる要因となることが指摘されており、夏季だけでなく冬季も含めた年間の評価を行うことが必要である。しかし、駐車場等の屋外施設への適用は推進すべきであると考えられる。

保水性舗装は、舗装への給水システム等のコストが別途必要となる。雨水のみの水供給でもある程度の効果は期待できるが、我が国の夏季において数日以上降雨がないことはよくあることであり、給水システムがないと保水性舗装の効果を十分に発揮できないと考えられる。

3) 「癒し」

前述した SET*（標準新有効温度）による評価も癒しの評価手法の一つであるが、現在は研究段階にあり、エンジニアリング的に評価できる段階には至っていない。

なお、SET*のような物理的な計測結果から導かれる指標とは別に、生物多様性の観点から、緑化あるいは親水空間の創出によって飛来する昆虫、鳥類の種類・数や、育成する植物の種類などの豊富さをもって指標とする例が近年増加している。例えば、京都市下京区の梅小路公園内に設置された面積約 0.6ha の緑地におけるビオトープ創生事業では 1996 年から継続して調査が行われており、2009 年度においては、142 種の植物、30 種の鳥類、29 種の昆虫が観測されている（京都ビオトープ研究会，2010）。図 2.4.1-4 に鳥類の観測種数の推移を示す。

2010 年度は生物多様性条約第 10 回締約国会議（COP10）が名古屋で開催されたこともあり、日本国内での生物多様性への関心が高まっており、今後、こうした生物多様性の観点による指標での評価が行われることが増加すると予想される。

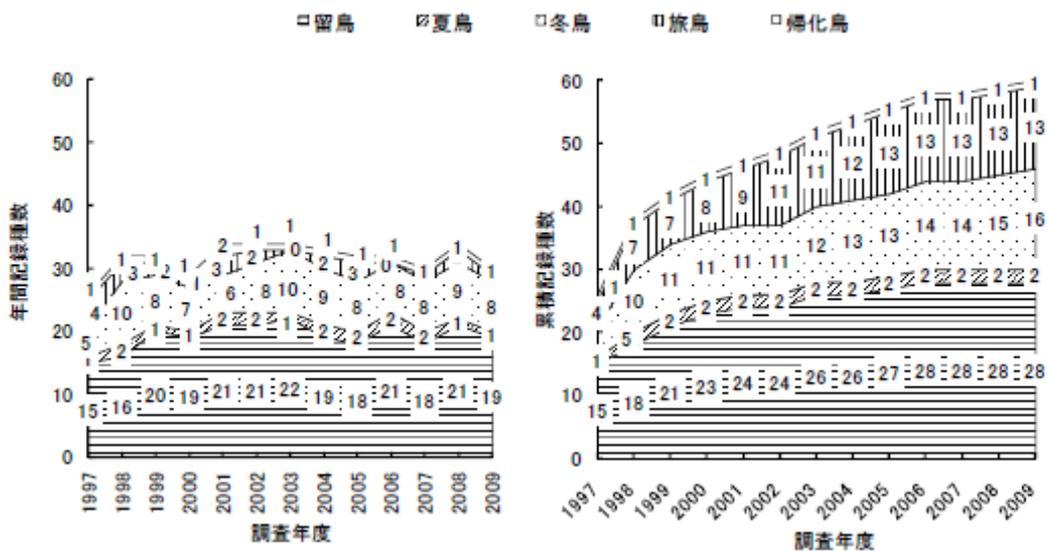


図 2.4.1-4 京都市梅小路公園内緑地で観測された鳥類の年間記録種数の推移および累積記録種数の推移（京都ビオトープ研究会，2010 より引用）

4) 「通常降雨時の河川増水ピーク（の遅延）」・「通常降雨時の河川増水ピーク流量（の低減）」・「平常時地下水位（の上昇／維持）」

上記 3 つの項目に対しては、地表面流出の抑制および地下浸透量の増大のための方策が有効である。具体的には、緑化、浸透・貯留施設が挙げられる。

(1) 緑化

緑化は、建物における緑化と公園などの緑地の整備に大きくわけられる。建物における緑化は屋上緑化、壁面緑化などがあり、緑化により地表面流出の抑制に繋がると考えられるが、これについて定量的に評価した事例はあまりない。荻原（2008）によ

れば、屋上緑化による流出低減効果は 40%程度と見積もられるが、緑化植物の種類、土壌状態等によって変化すると考えられる。緑地の流出抑制効果については表 2.4.1-2 に示すように、裸地と比べて概ね 40~50%の低減効果と考えられる。

いずれにせよ、緑化による流出低減効果は、対策施工範囲と流域の広さに応じてその効果は相対的に変化する。すなわち、施工範囲が広く、流域が狭いなら効果は大きく、施工範囲が狭く、流域が大きいなら全体的にみた場合の効果は少ない。

緑化による表面流出抑制効果については、その効果を出現させたい地域（河川）の集水面積を把握した上で、緑化を行う場所の特性（上流に位置するのか、下流に位置するのかなど）も鑑みて評価すべきである。

表 2.4.1-2 林地等地表状態別の流出係数（千葉県林地開発許可審査基準（案）より引用）

区分 地表状態	浸透能小	浸透能中	浸透能大
林地	0.6~0.7	0.5~0.6	0.3~0.5
草地	0.7~0.8	0.6~0.7	0.4~0.6
耕地	—	0.7~0.8	0.5~0.7
裸地	1.0	0.9~1.0	0.8~0.9

（注） 区分欄の浸透能は、地形、地質及び土壌等の条件によって決定されるものであるが、区分の適用については、山岳地は「浸透能小」、丘陵地は「浸透能中」、平地は「浸透能大」として差し支えない。

（2）浸透施設

浸透施設は、浸透枡、浸透池、透水性舗装などがある。図 2.4.1-5 に代表的な雨水浸透施設の手法を示す。

浸透枡は、広い場所が不要、施工経費が安価、維持管理も簡単であることから、個別の一般住宅等をはじめとして様々な個所で導入されている。一般家屋などにおいて雨水を受ける場合は長期的な浸透機能が確保されるが、路面排水等 SS 分を含む水を受ける場合は目詰まりによる性能低下が問題となっている。

浸透枡等の浸透施設による表面流出抑制効果は、概ね 40%程度と見積もられるが、これは時間降雨 5mm 程度の降雨に対して 2mm 程度が確保できると述べられているもので（雨水浸透貯留技術協会，2009）、ゲリラ豪雨のような強い雨に対しての流出抑制効果は大きくないと考えられる。そこで、最近では道路に貯留施設と浸透施設を組み合わせた対策が取られるようになってきている。

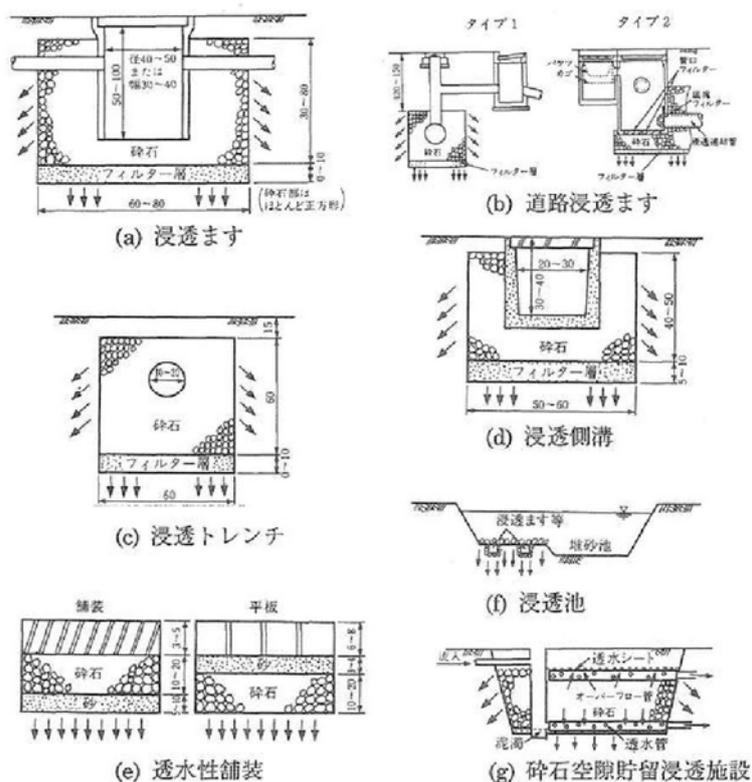


図 2.4.1-5 雨水浸透施設の手法例（東京都，2002）

（3）貯留施設

貯留施設は、図 2.4.1-6 のように形態分類できる。

都市部における集合住宅・オフィスビルへの敷設可能性が高いと考えられる以下の施設について、現状を記す（エンジニアリング振興協会，2010）。

（a）オフサイト貯留

イ 地下貯留

雨水貯留施設を地下に設け、地上部を駐車場、公園など他の用途に利用できる構造とすることができる。地下貯留は貯留容量当りの建設費が高くなるので、地価の高い市街地住宅に適すると考えられる。

ロ 床下貯留

床下貯留は、地下貯留にも分類されるが、洪水多発地区の高密度住宅の貯留方式で、高層住宅等の地中梁高の大きな建築物の地下空間を利用して設けると有利となる。

ハ 砕石空隙貯留

砕石空隙貯留は、砕石などの空隙を雨水の貯留空間として利用するもので、地中に砕石溝（トレンチ）や砕石槽を設け、砕石間の空隙に雨水を導いて、その上部を緑地やグラウンドなどとして利用するものである。したがってこの方法も広義には地下貯留の一種とも言える。この手法の費用は、他の手法と比較して一般に安価で、施設の計画規模のフレキシビリティもある。このため、他の工法や施設と組み合わせて雨水流出抑制を有機的に計画しやすい。

(b) オンサイト貯留

イ 棟間貯留

棟間貯留の利用可能幅は、集合住宅などを対象とした場合は住棟間隔内で計画され、一般に住棟間隔からさらに緊急車幅(5m)など住居に必要なスペースを確保した後のスペースから決まる。このため、棟間の半分の利用スペースの中で貯留施設の平面計画をたてるのが一般的であり、水はけや景観上の配慮を行うことが重要になる。

ロ 駐車場貯留

駐車場貯留は、自動車のブレーキドラムへの浸水や、自動車の走行上の支障などがないように配慮する必要がある。また、一定の縦横断勾配が必要であり、面積当りの貯留可能量はあまり高くない。ショッピングセンターなどの広い駐車場では、使用頻度の少ない部分で貯留し、全面を貯留場所とする場合は、歩行のため一段高い場所を設け利用者の足元を濡らさない工夫が必要である。

ハ 屋根貯留

集合住宅などで最も多い屋根勾配がフラットな住棟では、屋根そのものが雨水の貯留場所となる。本方式では、建ぺい率の高さが貯留可能性の高さに比例するので、都市型洪水の心配のある高密度の市街地においてメリットがあると考えられる。

屋根貯留は、アメリカの都市部では有効な貯留方式と評価されて、かなりの実施例がある。また、当施設を建築規制の中で義務付けている州もある。一方、日本においては事務所ビルなどで散見されるが、住宅での実施例は少ない。

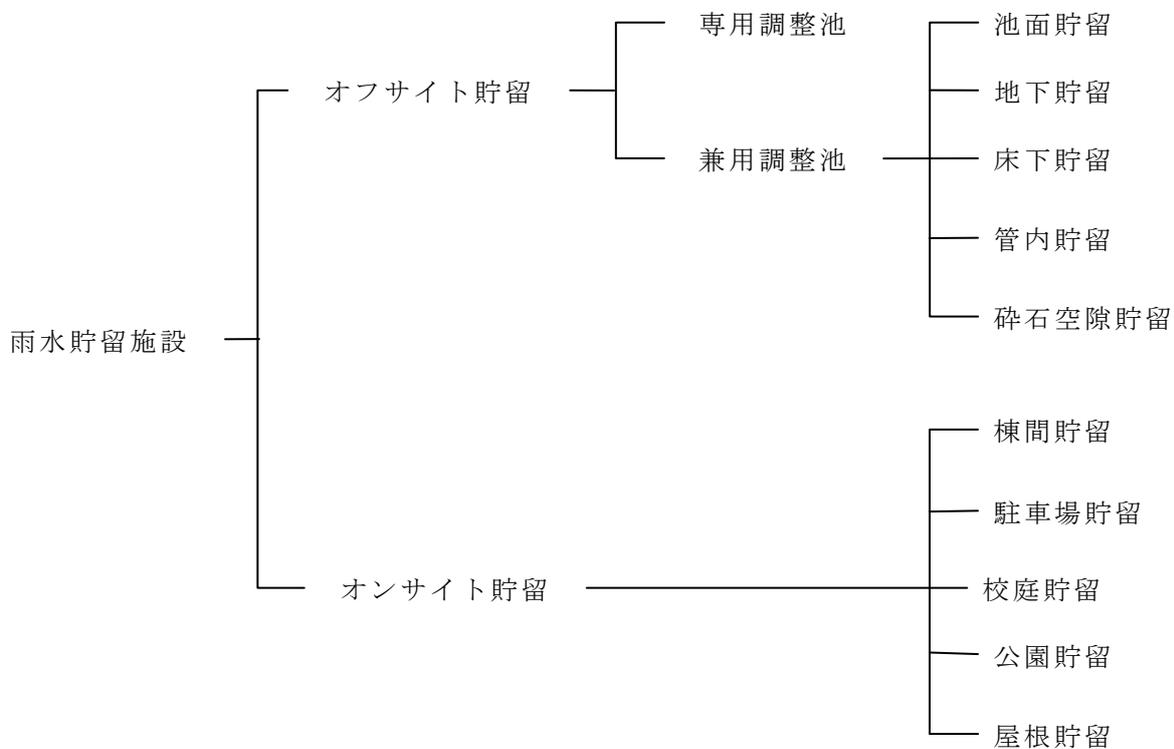


図 2.4.1-6 雨水貯留施設の形態分類 (東京都環境局, 2002)

河川流域の市街地化が進行すると、農地や樹林が持っていた保水機能が弱まったり、遊水機能があった低地の水田等が開発されたことにより、一気に河川に雨水が集まりやすくなり、低地を中心に水害が起きやすくなる。雨水の表面流出抑制に関しては、河川の総合治水対策の一環として流域の保水機能を確保する目的で、校庭などの公共用地に雨水貯留施設を設ける事例が増加している。

また、貯留施設については、流出抑制効果を維持するために定期的な清掃等の維持管理および定期点検を行う必要がある。特に、公園や学校用地等の兼用施設では、機能維持のみでなく利用者の安全に配慮した維持管理を求められる。

(5) 「集中豪雨時の河川増水ピーク（の遅延）」・「集中豪雨時の河川増水ピーク流量（の低減）」

前述のように、浸透施設では集中豪雨のような高強度の降雨において流出抑制を期待できないため、これらの項目に対するエンジニアリング的に実現可能な対策としては雨水の一時貯留施設が有効な手段として挙げられる。

代表的な例は、渡良瀬遊水地、首都圏外郭放水路などである。その他、横浜国際総合競技場のように、増水時は遊水地として利用し、洪水を抑制する機能を持たせ、普段は別の用途に用いる施設のようなものもある。

横浜国際総合競技場は、これまで表 2.4.1-3 に示すような洪水調整が行われている。このうち、平成 16 年の台風 22 号では、約 125 万 m³ の洪水調整を行い、下流域において 1.5m 水位を下げたと国交省により試算されている（横浜市，2006）。

表 2.4.1-3 横浜国際総合競技場（鶴見川多目的遊水地）の冠水状況（横浜市，2006）

年度	月日	要因	洪水調整量
平成 15 年度	8 月 15 日～16 日	前線豪雨	7,000m ³
平成 16 年度	10 月 8 日～10 日	台風 22 号	125 万 m ³
〃	10 月 19 日～21 日	台風 23 号	8 万 m ³
平成 17 年度	9 月 5 日	台風 14 号	5 万 m ³

(6) (余剰地下水が減少できない場合) 資源としての水量の増加

建築物において余剰地下水は基本的に発生させないように設計・施工されるため、一般的に余剰地下水を積極的に使うための施策は行われたい。しかし、洪水抑制のための一時貯留施設に、平常時の地下水利用機能を付加した施設は一部にある。神戸市の住吉公園雨水地下貯留施設がその一つであり、この施設は、豪雨時の雨水流出抑制の機能の他に、平常時においては貯留された雨水を、散水、せせらぎ、仮設トイレ用水に活用する機能も併せ持っている。

しかし、こうした施設は、財政状況や周辺施設との連携・利用条件などの制約条件が必要であり、神戸市においても今後、同様の施設の建設は計画されていないのが現状である。

2.4.2 ネットワーク化の効果および必要性

これまで、都市の課題解決のための方策とその効果について、個々の技術の概要と効果、課題等について述べてきたが、表面流出抑制などの都市の水循環系の健全化を目的とした施策については、個々の対応だけでなく、流域内の統合的な治水対策を念頭に計画・立案することが、長期的な社会発展のために必要となる。

図 2.4.2-1 に統合的な治水の体系を示す。

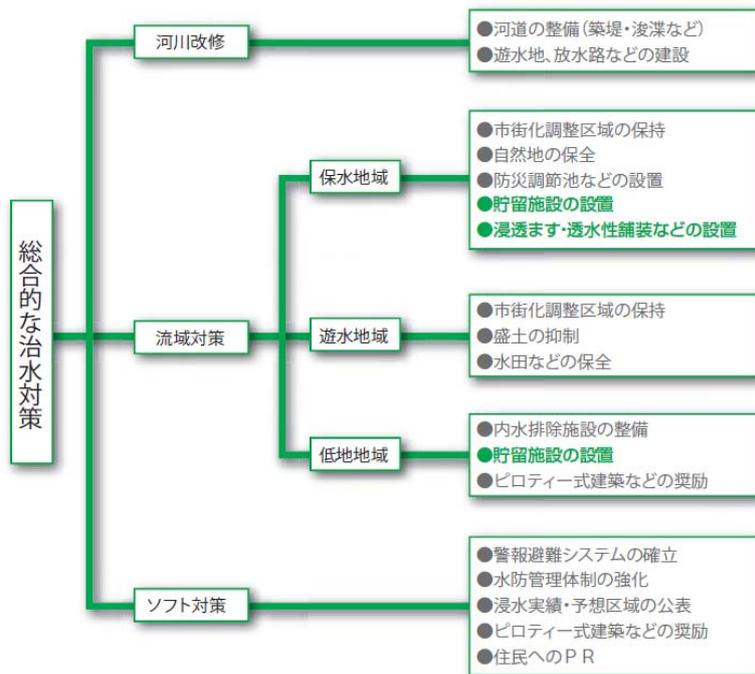


図 2.4.2-1 統合的な治水対策体系（雨水貯留浸透技術協会，2009）

図 2.4.2-1 に示すように、健全な水循環系の回復を目的とした場合、保水地域（上流域）では貯留施設、浸透施設が有効である。低地地域（下流域）では浸透施設はあまり効果的ではなく、貯留施設設置による内水氾濫対策が主要な対策となる。

さらに都市の低地地域はヒートアイランド現象が起きることが多く、治水とは別にミスト噴霧や保水性舗装、緑化などの対策を併せて行うことが考えられる。

このことから、上流域においては、一時貯留された水を浸透させる水に用い、下流域においては一時貯留された水をミスト噴霧や保水性舗装への給水、緑化植物への散水等に活用できれば効率的であると考えられる。さらに低地地域における一時貯留施設を連絡することにより、近年増加している超局所的なゲリラ豪雨に対するバッファが増えることが予想される他、低地地域（下流部）において水を融通し合える可能性があり、さらに効率的な水利用に繋がると考えられる。豪雨に対するバッファ増大については、既存の地下空間を活用することにより、外郭放水路のような機能を持たせることも可能と考えられ、低コストで安全性の高い都市創出に繋がる。

また、低地地域と保水地域の貯留施設を連絡できれば、保水地域で浸透させた水を低地

地域の貯留施設に貯め、保水地域へ輸送して再度浸透させるといった、水循環速度の促進を人工的に行える可能性もある。水循環速度を促進させることで、地下水流量が増加し、枯れた湧水や川の復活にも繋がることから考えられる。

図 2.4.2-2 に水循環の再生イメージを示す。

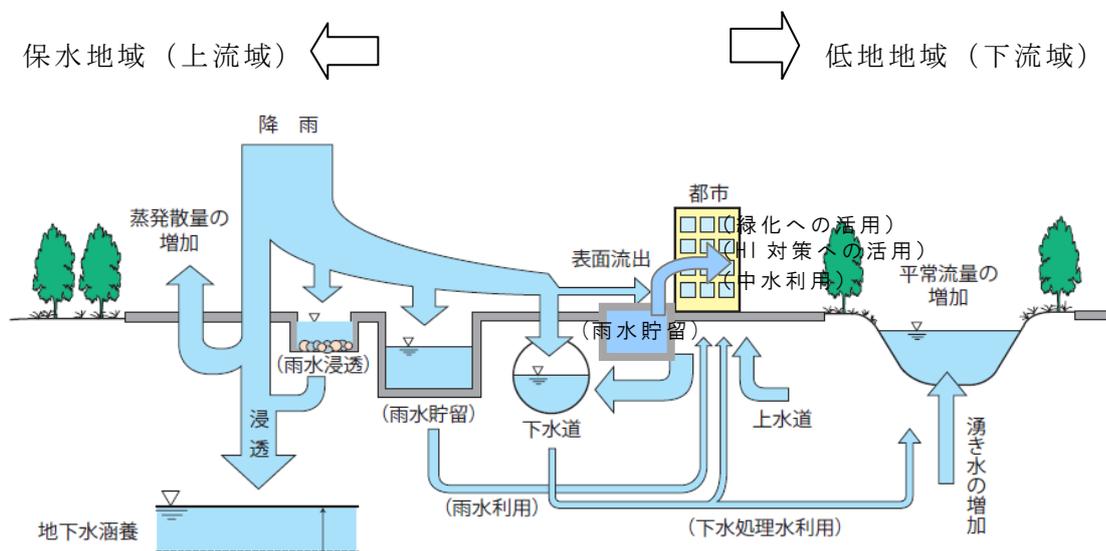


図 2.4.2-2 水循環再生のイメージ（雨水貯留浸透技術協会，2009 に加筆）

現状ではネットワーク施設建設について、大きな技術的課題はなく、建設は可能である。施設建設を推進させるためには、コストパフォーマンス評価、環境影響評価を定量的に行うことが課題であろう。

地下水・再生水の地下空間利用の環境保全対策あるいは防災・減災システムとしての効果をできるだけ定量的に評価し、施設建設・運用コストと効果の費用対効果を適切に判断することが、将来的にこの施策が積極的に奨励されるようになるための重要な課題の一つである。

以下に、前で提案した、都市環境の課題を改善するための個別のエンジニアリング方策に対し、その効果を既往の観測事例や数値シミュレーションの結果等を基に推定した上で、より効率のよい施設・設備を構築するための設置条件等を検討した結果を記す。

施設・設備において利用可能な水量については、特に地下水については慎重な取り扱いが必要である。揚水に対する地下水位や揚水量が、透水性などの地盤特性、地形、地表の利用状況、それに、帯水層の賦存状況などその場の多くの要因によって左右される量であるためである。このように複雑な地下水の応答を予測する有効な方法の一つに数値解析による地下水流動シミュレーションがある。また、ヒートアイランドのように熱環境を扱う場合は、水の流動だけでなく、熱の移動についても同時に解く必要があるだろう。

環境評価を実施する場合は、外部からの環境への入力を考慮しなくて良いような（境界条件の影響を無視できる）閉じた系での評価が望ましい。

水の移動に関しては、河川等、表層流を対象とした水文学の分野では尾根線で囲まれた流域内を閉じた系として評価を行うことが一般的である。

熱の移動に関しては現実の空間において閉じた系を抽出することは不可能である。一般的にはより大きな領域での熱環境測定結果あるいは解析結果を用い、評価モデルの境界条件を測定結果あるいは解析結果を持って設定することが多い。もしくは、評価モデルの外側にダミーのモデルをかぶせた入れ子構造とし、外側のモデルの境界を評価したいモデルの遠方に設定して境界条件の影響をなくす、といった方法もあるが、評価には用いない外側の部分においても計算を行うこととなり無駄が多いことからあまり用いられない。

また、詳細な環境影響評価を行うために、モデルの精度を上げる（メッシュ分割数を増やし、モデル要素を増やす）必要がある場合があるが、数 km スケールで高精細なモデルを作成することには計算機の容量やモデル作成工程に限度があるため困難な場合が多い。そのため、閉じた系とは言えない小さな領域を取りだして高精細なモデル化を行うことも多い。この場合は境界条件の与え方が問題となるが、小さなモデルより大きなやや粗いモデルでシミュレーションを行い、そこから境界条件を設定するなどの方策が取られることが多い。より広域のシミュレーションから対象領域を絞り込んでいくプロセスを取ることは、ある限られた領域の精度の高い環境評価を行うことを目的とした場合においても有用なる。

以上のことを考慮した、シミュレーションを用いて長期的な環境評価を行う場合の理想的な作業フローを図 2.4.2-3 に示す。

基本的に、広域の粗いモデルから徐々に狭い領域の高精細なモデルへの移行を行うことを趣旨とする。このことは先に述べた境界条件の問題を軽減する他、様々なスケールの問題に対応可能である利点があり、流域全体の水循環システムの評価を適切に行うことができる。また、都市環境改善ネットワークシステムの効果を種々のスケールで示すことが可能である。このことは、当該システムの推進にあたっての合意形成に非常に有用なアプローチとなり得、システム導入の推進力となることが期待される。

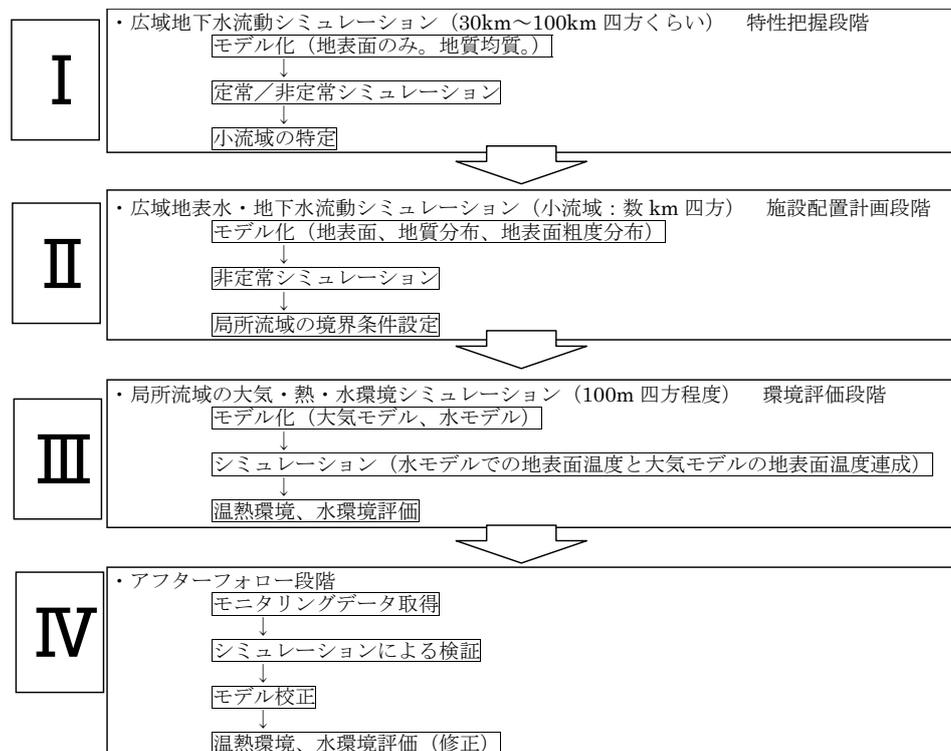


図 2.4.2-3 理想的な環境評価シミュレーション作業フロー

流域内の環境評価、および、都市環境改善ネットワークシステムの効果評価を行い、涵養を促す施設（雨水浸透枡、植林等）と流出域での対策施設（雨水・河川水一時貯留施設等）の効果的な配置を検討することができる。

考慮すべき環境特性としては、地形、地質、土地利用、風環境（風速・風向）、地下水位、気温、地下温度などがある。

地中熱利用の適正評価マップ（産総研）や、効果的な環境対策施設配置検討のための都市気候をマッピングしたクリマアトラス（建築学会）などのマップが作成されはじめているが、こうした情報を用いて施設配置を検討していくことが重要である。

さらに、施設建設後の環境変化を予測し、その効果をできるだけ定量的に把握することにより施設建設の費用対効果を適切に評価することが可能となる。また、長期の環境影響評価を行うことによって、長期的に環境への悪影響がないかどうかを判断することができる。

予測項目として以下が挙げられる。

- ① 気温変化（夏季気温が何℃下がるか）
- ② 平常時に使用できる水量がどのくらいか
- ③ 周辺地下水位への影響
- ④ 集中豪雨時の河川増水パターン
- ⑤ 省エネ効果
- ⑥ 長期環境影響評価（地下水位、地下水温の長期評価）

以上から、施設計画段階から数値シミュレーション手法を取り入れた検討を行うことが効率的であると言える。

プロジェクト計画段階においては一般的に地下情報は不足していることが多く、シミュレーションによる精度の高い定量評価は不可能であるが、おおまかな地下水位分布などを得ることはできるので、施設配置計画、影響範囲の把握等を目的とした場合には十分に足る情報を提供することができる。

プロジェクト進行時は、ボーリング調査等、新規の情報が得られ、それらをシミュレーションモデルに集約していくことでモデルの精度を高めることができる。ある程度情報量が集積すれば、精度の高い定量評価をシミュレーション技術を用いて行うことができ、環境影響評価（気温変化など）結果から、冷暖房効率などのコストパフォーマンス評価に繋げることも可能となる。また、より効率的な施設配置などにフィードバックすることができるほか、10年、20年といった長期シミュレーションを行うことにより、長期的な環境影響について精度良く評価することもできるようになる。

プロジェクト竣工後は、モニタリングデータを用いてシミュレーションモデルの妥当性を検証すると同時に、さらにモデルの精度向上を図る。これにより、環境影響評価の精度をさらに高めることができるほか、問題が生じた際の対策を速やかに取ることも可能である。

2.4.3 気温変化の予測評価

本研究の昨年度の報告書で述べたように、昨今のコンピュータ処理能力の向上によって数値計算の環境が大きく改善されてきており、都市の熱環境の予測にもパーソナルコンピュータなどを用いた数値都市気候モデルによる数値計算が利用されている。例えば、ヒートアイランドは都市気候の主要な問題であり、数値都市気候モデルの研究はその原因解明のための重要な分野の1つであると考えられている(日下, 2008)。数値都市気候モデルとは、土地利用形態や人工排熱の効果を取り入れて気温や風の詳細な分布を再現する数値解析手法の総称であり、空気や熱の移動を表す方程式を、有限の空間要素および有限の時間間隔ごとに数値的に求解し、気温や風の空間分布の時間変化を離散的に求める手法である。

数値モデルによって都市の気候を再現するためには、都市自体による様々な効果をモデルによく反映する必要がある(日下, 2008)。モデル内での都市効果の有効な取扱いは、そのモデルの対象とするスケールおよび解像度によって変わる。モデルのスケールには、通常、都市あるいはそれより広範囲の全体規模の気象を対象とするモデル、街路内での平均的な温度や風を対象とするモデル、そして、ビル周りの温度や風の分布を対象とするモデルがある。

Myrup (1969) が先駆けとなり、メソスケールモデルの視点で都市における熱収支を考えるためには、アルベド、粗度、蒸発量による境界条件の表現が重要であることが示されてきた。例えば、都市における建物の増加を表すには粗度を大きくしアルベド(反射率)を小さくする。緑地の減少を表すには蒸発効率を小さくし熱容量と熱伝導率を大きくする。また、人工排熱項を追加し、人間活動の影響による人工的な排熱を表すことも可能である。このような方法で都市を表現する熱収支モデルは平板都市モデルと呼ばれており、広く利用されてきた。

これに対して、近年、都市の凹凸効果による風速低下やフラックスの変化を物理的に考慮する都市キャノピーモデルが開発されてきた(Uno et al., 1989; Brown and Williams, 1998 など)。先に述べたように、街区などを単位とした数値解析では温度や流量一定とする通常の境界条件を設定することは事実上難しいことから、より広範囲のメソスケールモデルとの連成シミュレーションモデルを用いることが一般に行われている。メソスケールモデルと都市キャノピーモデル、そして、さらに解像度の高いモデルを結合して行う数値解析は、ヒートアイランド対策効果の総合評価などに用いられており(持田ほか, 2000; 村上ほか, 2006)、このような結合は都市気候モデルに関する主要な研究テーマの1つとなっている(日下, 2008)。

ここでは、昨年度紹介したもの以外で、数値都市気候モデルによってヒートアイランド緩和策の効果予測を行った例を挙げ、昨年度紹介した例と合わせて総括することとする。

1) 「東京 23 区に対するヒートアイランド緩和策の効果予測」(浦野と大黒, 2005)

建物の省エネルギー性がヒートアイランド緩和にどれぐらいの効果を与えるかを評価するために、東京都 23 区全体における標準的な商業ビルや住宅の熱負荷エネルギーシミュレーションを行い、その結果を都市スケールの気温熱シミュレーションを行うことができるシステムを開発した。このシステムを用いて、ヒートアイランド緩和対策として、芝生による屋上緑化および屋上表面の高反射化によるヒートアイランド緩和

和効果を調べた。

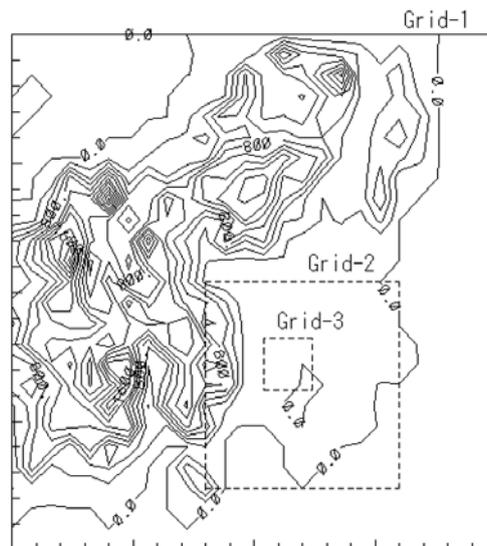


図 2.4.3-1 解析に用いた格子システム。Grid-3 には建物キャノピーの影響を考慮。

この検討では、解析ケースとして、23 区内の商業用建物全体に対し、case-1: 無体策、case-2: 高反射化材料による屋根、case-3: 軽量芝生の屋根、case-4: 普通芝生の屋根というケースを設定し、ケースごとに上記のシミュレーションを実施した。その結果、無体策に比べて軽量芝生の屋根および高反射化材料による屋根を導入した場合は、最大約 1.5°C の温度低下効果があり、普通芝の屋根ではその倍程度の効果があることが示された。

2) 「都市気候・ビルエネルギー連成モデルによるヒートアイランド対策の評価」(近藤ほか, 2006)

この検討でも、前項の 1) と同様に、都市キャノピーモデルとビルエネルギーモデルを連成し、これとメソスケールモデルも必要に応じて連成し、都市の気温熱シミュレーションを行うことができるシステムを開発し、ヒートアイランド緩和対策技術による効果の評価を行った。この検討で考慮したヒートアイランド緩和対策は、以下の 4 項目である。

- A. 日射の反射に関連する対策：高反射塗料
- B. 潜熱輸送に関連する対策：光触媒コーティング
- C. 省エネルギーに関連する対策：高断熱化
- D. 人工排熱の排熱位置に関連する対策：空調排熱源の高所配置化、
地中熱源ヒートポンプ

評価の指標として、夏季には、①昼間における 30[°C]以上延べ時間の増減（真夏日出現日数の代替指標）、および、②夜間における 25[°C]以上延べ時間の増減（熱帯夜出現日数の代替指標）を、冬季には、①昼間における 5[°C]以下延べ時間の増減、および、②夜間における 5[°C]以下延べ時間を、無体策の場合に対する増減として評価した。

この検討の結果、例えば昼間 30[°C]以上の延べ時間数の減少を指標にした場合、光触媒コーティング、地中熱源ヒートポンプ、高反射塗料、空調排熱源の高所配置化、空調機器の省エネルギー、内部発熱機器の省エネルギーの順に、ヒートアイランド緩和効果が大きいことがわかった。ただし、高反射化塗料を用いた場合は冬季の室内気温を下げる効果も現れるため、通年でのエネルギー消費量を増やす場合もあることを考慮する必要があると述べている。

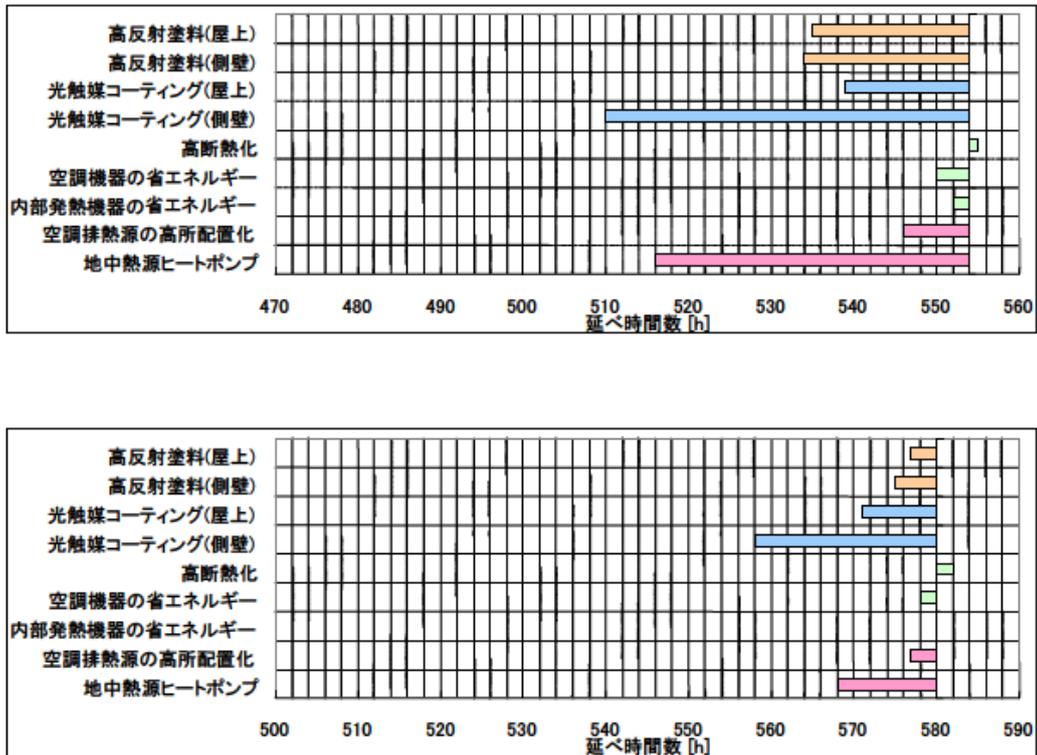


図 2.4.3-2 ヒートアイランド緩和対策技術による、夏季の日中における 30°C以上の気温が出現する延べ時間の低減効果 (上)、および、夏季の夜間における 25°C以上の気温が出現する延べ時間の低減効果 (下)

3) 数値都市気候モデルを用いた都市における気温変化の予測評価に関するまとめ

昨年度行った検討も合わせて、数値都市気候モデルを用いた都市における気温変化の予測評価技術、特にヒートアイランド緩和対策技術の効果予測について、表 2.4.3-1 に総括した。これから、数値都市気候モデルにより、様々なヒートアイランド緩和対策技術の効果を定量的に予測評価することができることがわかる。

都市キャノピーモデルでは、建物の屋上や壁面と道路の表面状態や、建物から、あるいは、路上の車などからの人工排熱をモデル化することにより、緑化屋上、保水性舗装、人口排熱の減少などのヒートアイランド緩和対策の評価が可能である。また、ビルエネルギー・シミュレーションを連成したシステムを用いることで、建物内の温湿度と空調排熱の時間変化を考慮した気温熱シミュレーションが可能になることから、建物内での省エネルギー化等によるヒートアイランド緩和対策の効果も評価可能となる。

表 2.4.3-1 数値都市気候モデルによる検討事例 - ヒートアイランド緩和対策による温度低下効果 -

検討名	文献	数値解析対象領域	モデル	評価項目	結果
大阪市中之島周辺地区の全域温潤化	片岡ほか, 2009	大阪中ノ島を中心とした東西1.88km、南北1.58km、高さ700mの領域。	都市キヤノビー	下記のヒートアイランド対策による温度低下効果。 屋上：断熱有の陸屋根→緑化 舗装：通常舗装→保水性舗装	夏季の昼間、地上1.5mの気温分布について、対策なしで33℃→34℃→32～33℃(1℃程度低下効果)
東京駅周辺のヒートアイランド対策効果予測	廣島ほか, 2004	東京駅を中心とした5km四方、高さ5500mの領域	都市キヤノビー	次の条件での東京駅周辺2×3kmのエリアの気温の平均値。 1. 現状、 2. 全域保水性舗装 3. 一部保水性舗装 (東京駅周辺) 4. 建物の50%に緑化屋上 5. 上記2と4両方 6. 人工排熱を50%削減 7. すべて原野	11～15時の平均気温で1.現状との比較を行った。 2. 0.6℃低下 3. 0.2℃低下 4. 0.7℃低下 5. 1.2℃低下 6. 0.1℃低下 7. 1.7℃低下
東京23区に対するヒートアイランド緩和策の効果予測	浦野と大黒, 2005	東日本→関東→東京23区全体	メソスケール+都市キヤノビー+ビルエネルギー・シミュレーション	次の対策による23区全体における温度分布 1. 現状、2. 高反射化材料による屋根、3. 軽量芝生の屋根、4. 普通芝生の屋根	2と3は最大約1.5℃低下 4は3.0℃程度低下
都市気候・ビルエネルギー連成モデルによるヒートアイランド対策の評価	近藤ほか, 2006	東北～近畿地方(約500km四方)→東京周辺(約180km四方)→東京23区全体	メソスケール+都市キヤノビー+ビルエネルギー・シミュレーション	次のヒートアイランド緩和対策に対して、評価点(新橋付近)の夏季昼間の30℃以上延べ時間などで評価。 A. 高反射塗料 B. 光触媒コーティング C. 高断熱化 D. 空調排熱源の高所配置および地中熱源ヒートポンプ	効果の順序は下記のようにあった。 光触媒コーティング 地中熱源ヒートポンプ 高反射塗料 空調排熱源の高所配置化 空調機器の省エネルギー 内部発熱機器の省エネルギー

参考文献

三坂育正, 尾之上真弓, 成田健一他 2 名, ステップガーデンを有する建物周辺の温熱環境実測評価 その 1 その 2, 日本建築学会学術講演梗概集, 環境 D-1, p.725-728, 2001.

井原智彦, 太陽熱高反射塗料によるヒートアイランド緩和と地球温暖化防止, クールシティ 2008, 環境省, 2008.

土木研究所 水理水文チーム, 人間の温冷感を評価する, 土木研究所ホームページ, <http://www.pwri.go.jp/team/suiri/heatiland/shisuu.htm>, 2001.

(社) 雨水貯留浸透技術協会, 雨水貯留浸透施設の設置に対する支援措置のご紹介, 平成 20 年度版, 2008.

名古屋市上下水道局, 雨水貯留施設一覧,

<http://www.water.city.nagoya.jp/intro/shisetsu/gesuido/choryu.html>

国土交通省, 目で見るダム事業 2007, 国土交通省パンフレット, 2007.

(社) 雨水貯留浸透技術協会, 貯留浸透施設の効果, 流域貯留浸透施設のご紹介, 2007.

清水満: 「建設工事、地下構造物に見られる地下水問題」、日本応用地質学会平成 16 年度特別講演およびシンポジウム予稿集(地質スケールに応じた地下水流動問題とその応用地質学的アプローチ)、pp.27~33、2004.5.28.

日本鑄鉄管株式会社 HP: 「工事実績紹介」.
[http://www.nichu.co.jp/whats_nck/jisseki.html]

奥宮正哉, 建物周辺の微気候の調整・制御ードライミストを用いた環境制御, 日本建築学会環境工学委員会熱シンポジウム, 2007.

(社) 環境情報科学センター, 平成 21 年度ヒートアイランド現象による環境影響等に関する調査業務報告書, 平成 21 年度環境省請負業務報告書, 2010.

井上, 東京駅周辺「大丸有地区」におけるヒートアイランド対策, 低炭素社会とヒートアイランド, 2009 年度日本建築学会地球環境部門パネルディスカッション資料, 2009.

京都ビオトープ研究会 いのちの森モニタリンググループ, いのちの森 NO.14 2009 年度調査報告書, 2010.

東京都環境局: 東京都雨水浸透指針解説、2002 年

荻原国宏, 雨水を水資源として開発活用する屋上緑化システム (雨水流出抑制型屋上緑化開発), 平成 20 年度 JST シーズ新技术説明会資料, 2008.

エンジニアリング振興協会, 平成 21 年度 都市域の地下水・再生水を活用する CO2 削減対策に関する調査専門部会 (第 3 部会) 報告書, 2010.

横浜市，平成 18 年度第 3 回横浜市公共事業評価審査委員会 新横浜公園整備事業，2006.

日下博幸，都市気候モデリング研究の取り組みと今後の課題，天気，55，227-240，2008

Myrup, L.O., A numerical model of the urban heat island. J. Appl. Meteor., 8, 908-918, 1969

Uno, I., H. Ueda and S. Wakamatsu, Numerical modeling of the nocturnal urban boundary layer. Bound.-Layer Meteor., 49, 77-98, 1989

Brown, M. and M. Williams, An urban canopy parameterization for mesoscale Meteorological models. Proceedings of 2nd AMS Urban Environmental. Symposium, Albuquerque, New Mexico, November 2-7, 1998, American Meteorological Society, 1998

持田灯，村上周三，金相，近藤裕昭，島田昭男，玄地裕，吉田伸，ヒートアイランド現象の解析とその対策技術の総合評価のための Software Platform の開発と風環境の解析事例. 第 16 回風工学シンポジウム論文集，137-142，2000

村上周三，松縄堅，持田灯，丹羽英治，大岡龍三，足永靖信，谷本潤，森川泰成，柳原隆司，ヒートアイランド現象緩和に関する評価システム CASBEEHI の開発. 日本建築学会技術報告集，23，247-252，2006

浦野明，大黒雅之，東京 23 区に対するヒートアイランド緩和策の効果予測，大成建設技術センター報，第 38 号，2005

近藤裕昭，亀卦川幸浩，玄地裕，井原智彦，大橋唯太，東海林孝幸，都市気候・ビルエネルギー連成モデルによるヒートアイランド対策の評価，日本ヒートアイランド学会論文集，1，53-57，2006

片岡浩人，大塚清敏，赤川宏幸，小野佳之，川口彰久，数値都市気候モデル「Appias (アッピラス)」の開発，大林組技術研究所報，第 73 号，2009

廣島ほか，数値シミュレーション解析によるヒートアイランド対策効果の検証，東京都土木技術研究所年報告，271-278，2004

第3章 具体的な施設の提案

3.1 事業実施箇所選定から施設配置までの手順

都市域での水循環悪化に伴う都市機能低下や都市環境の課題としては、前章で示した様に

- ①都市気候の悪化（ヒートアイランド現象の発生）
- ②都市河川の短期流出の増加（浸水被害の発生）
- ③都市域内水氾濫被害の発生
- ④都市地下構造物の余剰地下水の増加
- ⑤都市河川の流況変化に伴う自然豊かな河川の喪失

などが挙げられる。

各地域で最も解決が望まれる課題は、その地域の水文地形や水文地質の特徴、都市河川流況、都市気候状況、都市化の変遷や各種都市災害の発生状況、またその地域で暮らす住民の意識により異なっている。

検討対象地区の課題を抽出し、事業実施箇所を選定するためには、都市環境に関するデータ、地域住民の意識に関する情報を収集し、整理する必要がある。

特に自然豊かな河川の喪失など、時代の変遷とともに変化してきた都市内の自然環境に対して、どの様に、どの程度まで自然を回復させるかなどの考え方について、そこに暮らす地域住民のコンセンサスが重要である。しかし、地域住民の意見を調査し、コンセンサスを得るためには時間と労力が必要であり、本調査では課題として取り上げるに留め、その取扱いについては今後の課題に整理した。

検討地区内の事業実施箇所の選定は、地下水湧水の状況、地形的特徴、気温、降雨等の気象状況、緑地分布等の地上利用状況、浸水被害状況や既存雨水貯留施設等の分布状況などの情報を基に、都市環境の課題を分析し、上記の都市域での①～⑤の課題が集中し、検討地区内において事業実施の優先度が高く、地下水、再生水、雨水の利活用による環境改善効果が見込まれる箇所を選定する。

以下に検討地区内の都市水循環の改善事業化の検討手順を示す。

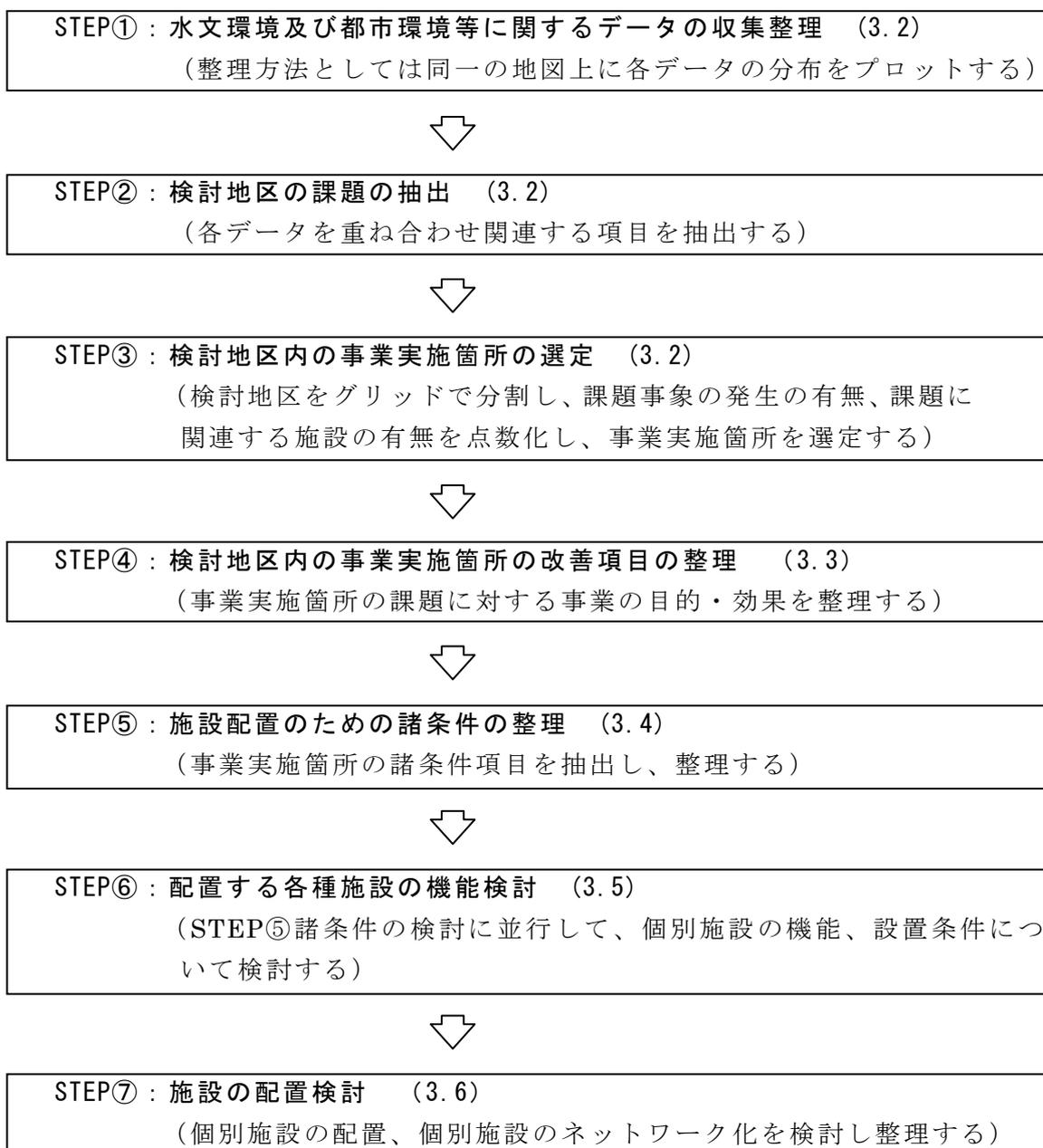


図 3.1-1 都市水循環改善事業化計画の検討手順図

3.2 モデル地区内の事業実施箇所の選定（例）

3.2.1 選定方法

本調査でモデル地区として選定した港区の中でも、多くの課題を抱え、地下水、再生水、雨水の利活用による環境改善効果が見込まれ、事業化する上で優先度の高い事業実施箇所を選定する。

モデル地区内の事業実施箇所の選定は、地域住民の意見、行政の考えを反映させることが重要であるが、ここでは、モデル地域の課題として抽出した①「都市気候の悪化によるヒートアイランド現象の発生」、②「都市河川の短期流出増加による浸水被害の発生」に関連すると考えられる項目に着目し、ヒートアイランド、浸水被害等の課題が集中し、事業化する上で優先度が高く、地下水、再生水、雨水の利活用によって環境改善効果が見込まれる事業実施箇所を選定する。

1) 選定方法

事業実施地域の選定方法は、港区内を 500m のグリッドで分割し、グリッド毎に関連項目に対する評価値を与え、その値の合計値を基に選定する。

グリッド毎に評価する項目は、以下のヒートアイランドに関する項目、浸水被害に関する項目の 12 項目とした。

評価は、次頁に示す各項目に対する評価基準を基に配点する。事業実施箇所の選定は、この配点をグリッド毎に集計し、その集計値が最も大きな箇所、すなわち課題が集中し、事業化する上で優先度の高い事業実施箇所を選定する。

● ヒートアイランドに関連する項目

- ① 気温分布
- ② 地下水位分布
- ③ 湧水分布
- ④ 用途地域分布
- ⑤ 公園緑地分布
- ⑥ 高層ビル分布

● 浸水被害に関連する項目

- ⑦ 浸水被害分布
- ⑧ 地形
- ⑨ 旧河川分布
- ⑩ 雨水貯留浸透施設分布
- ⑪ 地下水位分布
- ⑫ 下水幹線分布

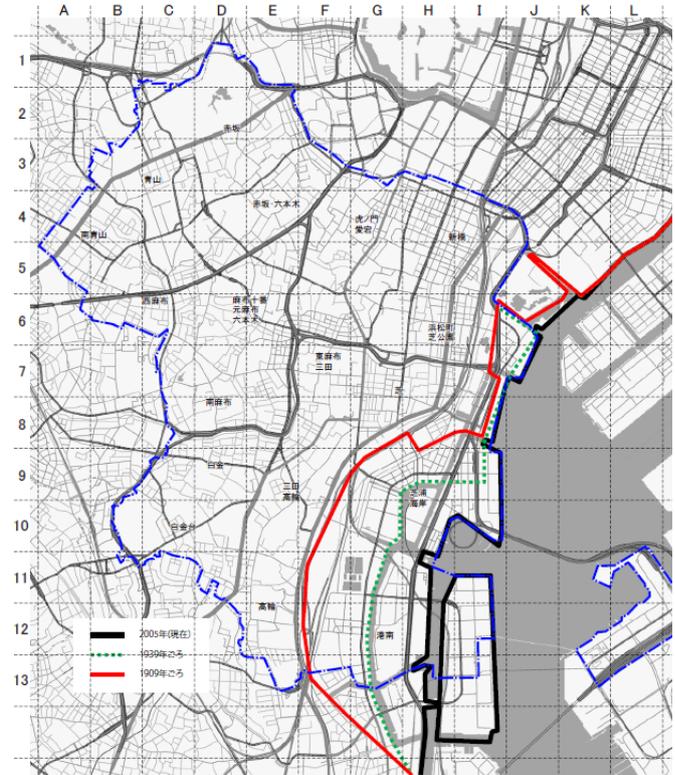


図 3.2.1-1 評価グリッド図

表 3.2.1-1 評価基準と配点

● ヒートアイランドに関連する項目

評価項目	評価基準と配点	
	○(1点)	×(0点)
①気温分布	30℃以上の真夏日	30℃以下
②地下水位分布	地表から 2.0m 以深である	地表から 2.0m 以浅である
③湧水分布	分布していない 小規模の分布	数箇所分布している
④用途地域分布	商業施設等が 分布している	住宅地が 分布している
⑤公園緑地分布	配置されていない	広い規模の配置、 数箇所配置されている
⑥高層ビル分布	東側に高層ビルが 位置している	高層ビルが 近接していない

● 浸水被害に関連する項目

評価項目	判定基準	
	○(1点)	×(0点)
⑦浸水被害分布	実績がある	実績は無い
⑧地形	傾斜がある	傾斜が無く平坦である
⑨旧河川分布	旧河川が位置している	旧河川は無い
⑩雨水貯留浸透施設分布	貯留量が 100,000m ³ 以下 である	貯留量が 100,000m ³ 以上 である
⑪地下水位分布	地表から 2.0m 以浅である	地表から 2.0m 以深である
⑫下水幹線分布	下水幹線が 配置されていない	下水幹線が 配置されている

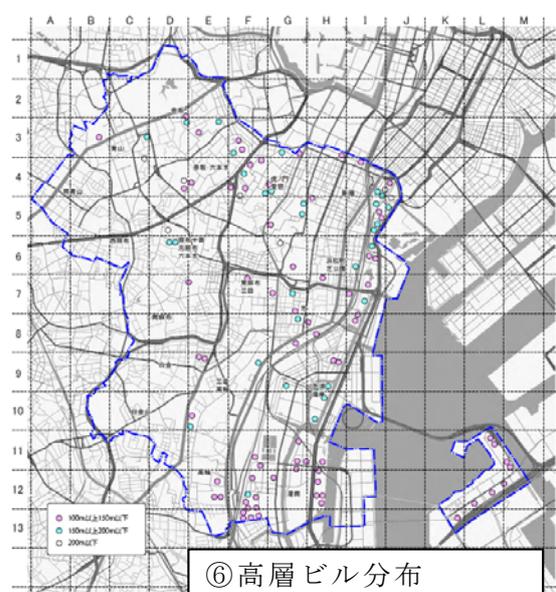
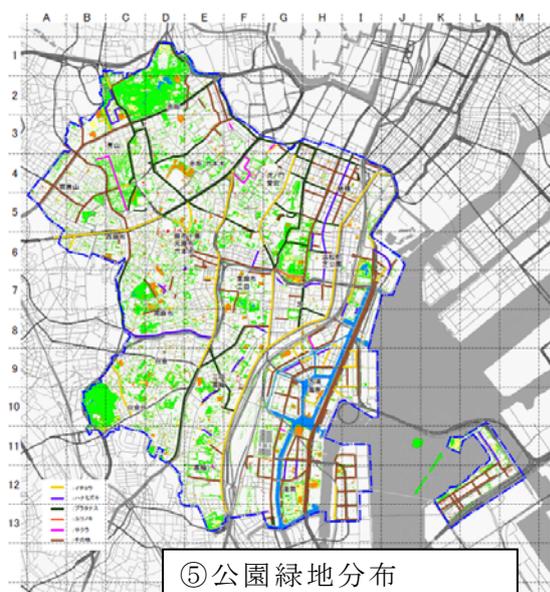
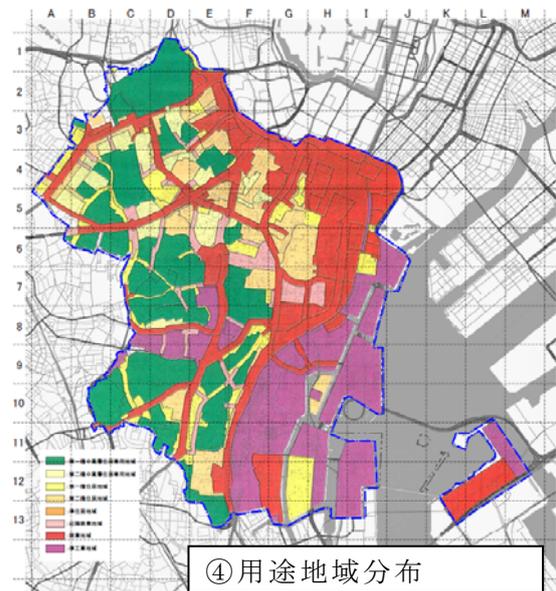
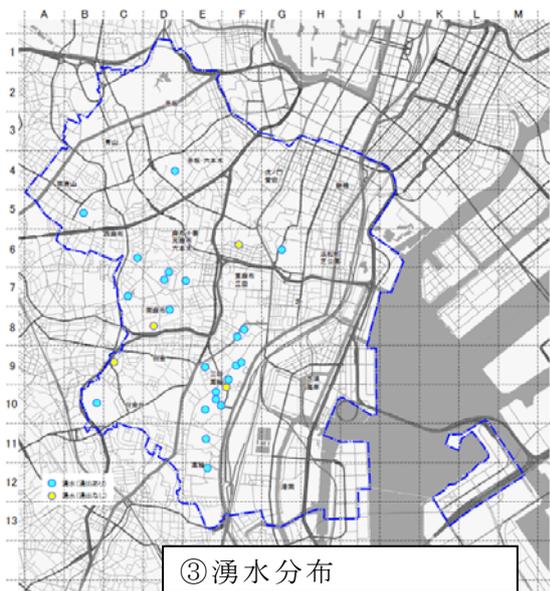
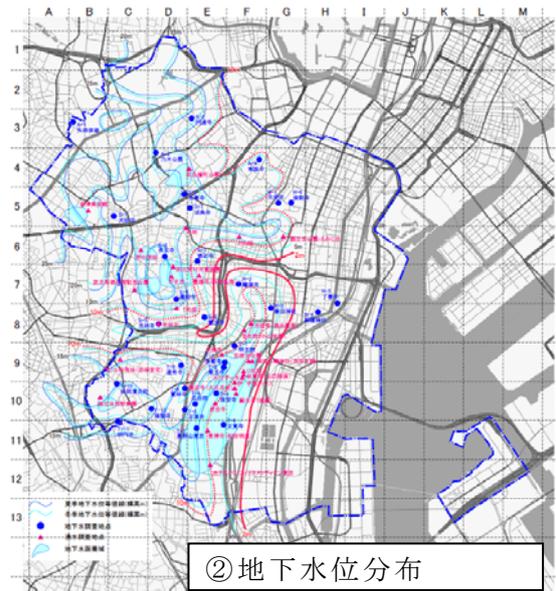
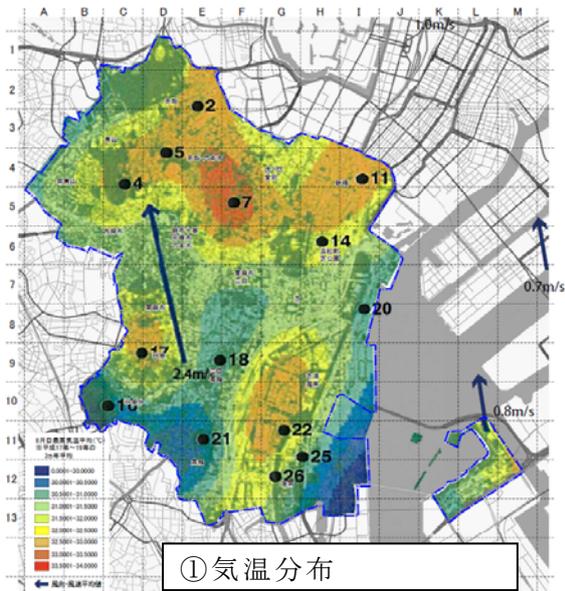


図 3.2.1-2 ヒートアイランドに関連する項目の分

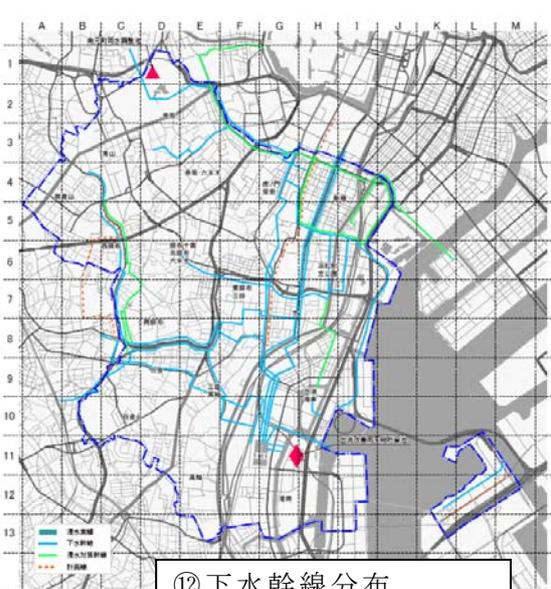
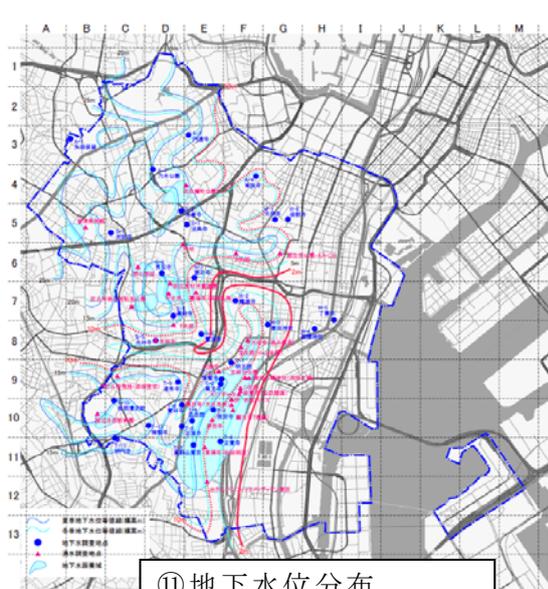
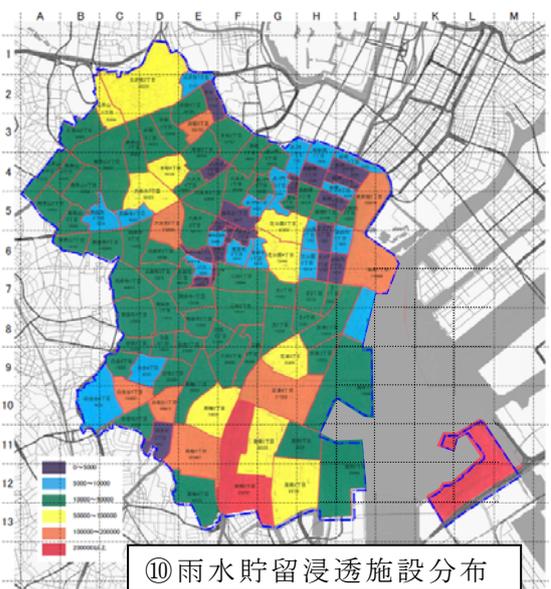
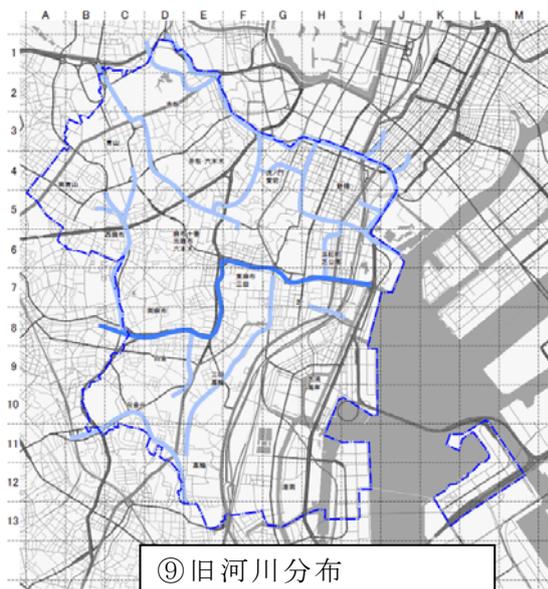
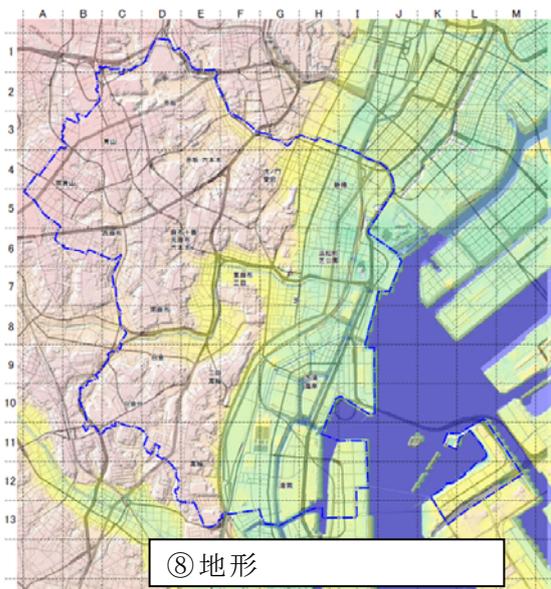
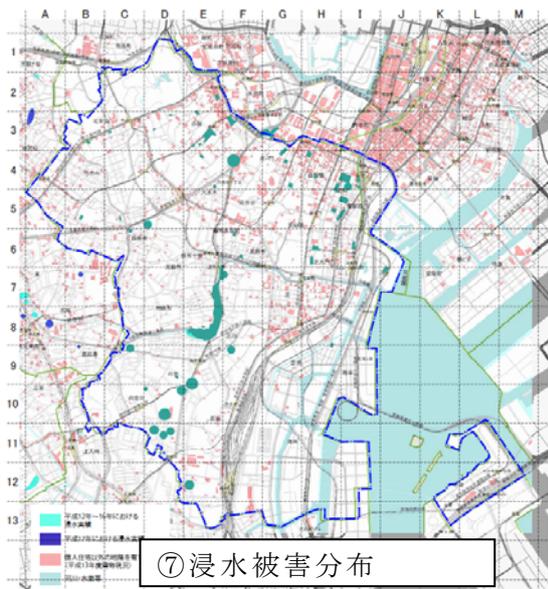


図 3.2.1-3 浸水被害に関連する項目の分布図

3.2.2 選定した事業実施箇所

前述の手法により、モデル地区である港区について評価した結果、事業実施箇所としては、港区の中でもヒートアイランドの発生、浸水被害の発生が見られ、地下水の改善により効果が見込めると想定される「六本木・赤坂・溜池地区」を選定した。

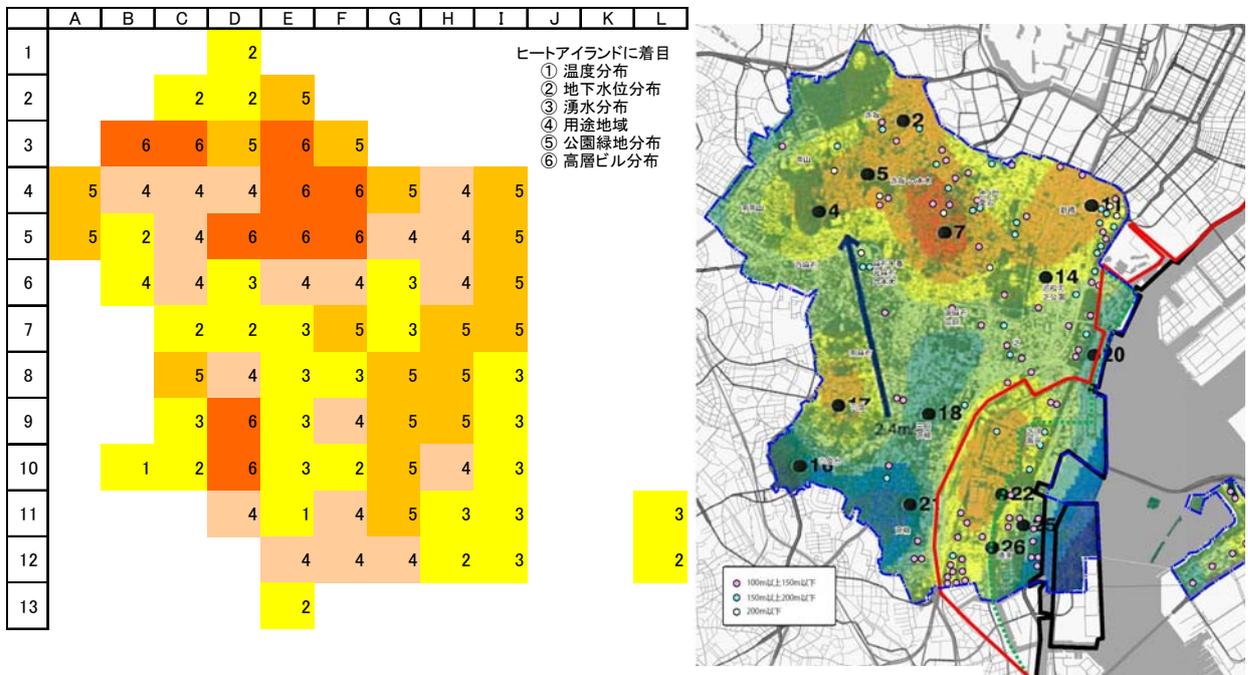


図 3.2.2-1 ヒートアイランドに関連する項目の評

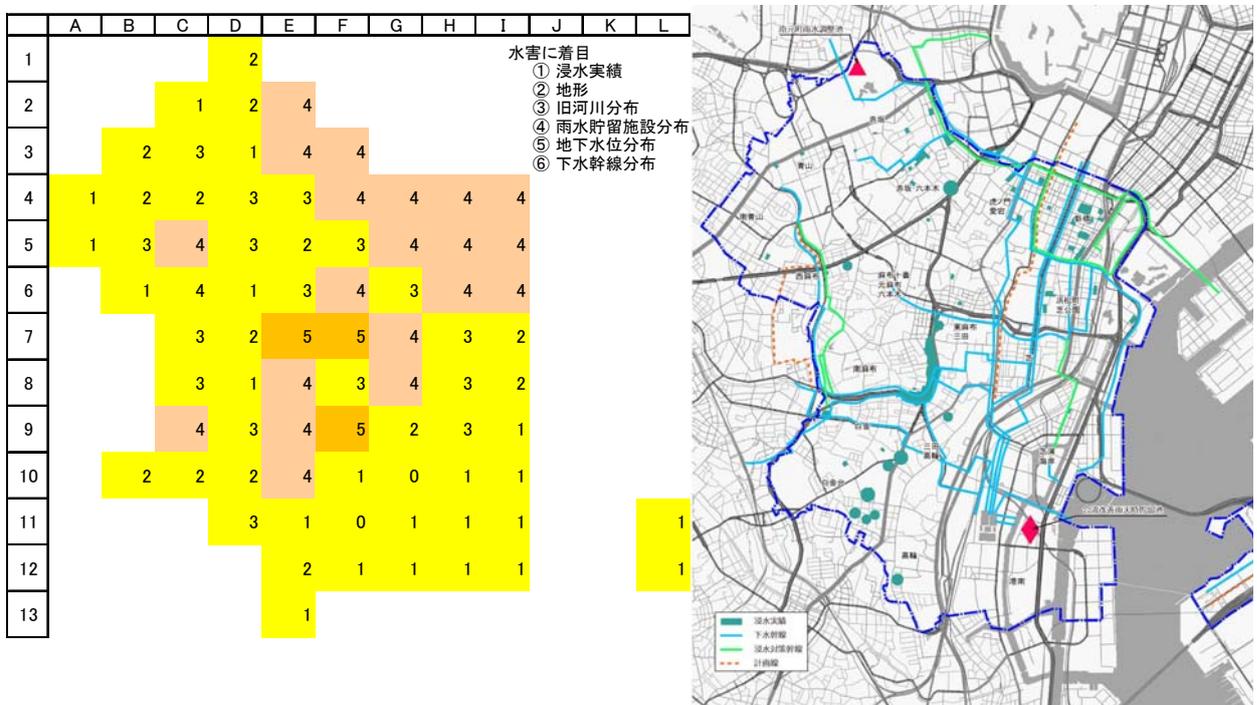
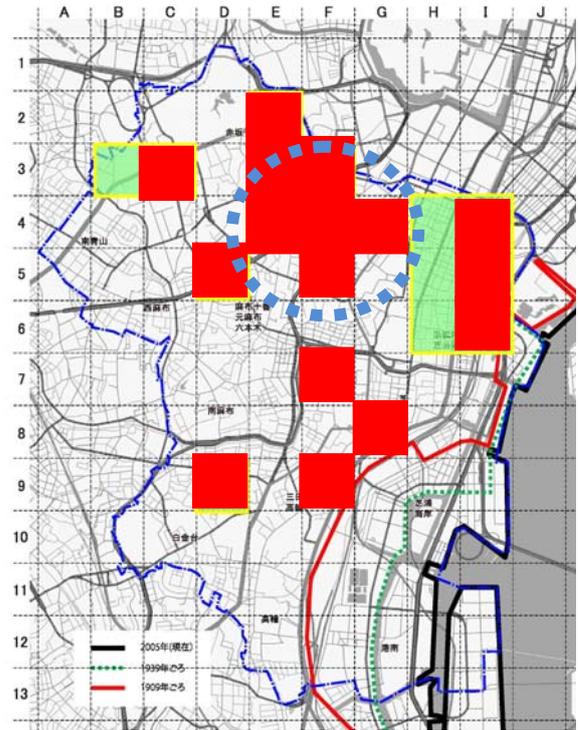
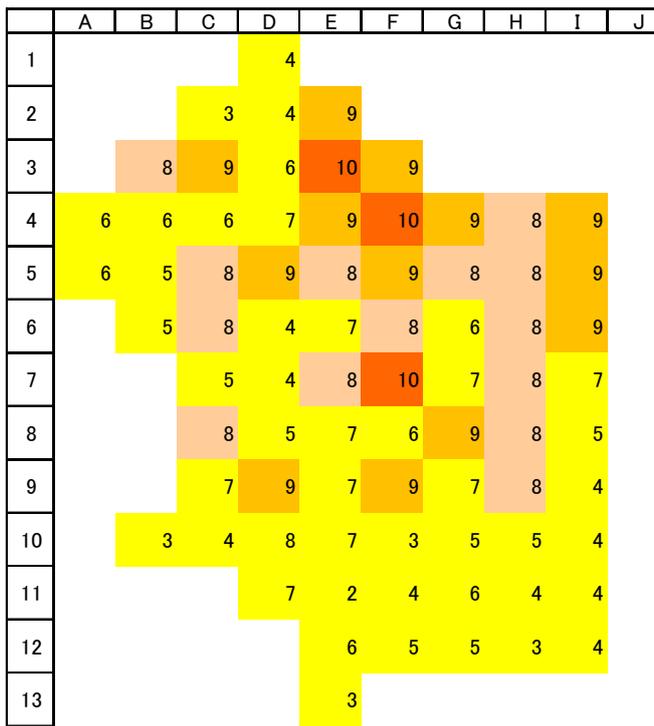


図 3.2.2-2 浸水被害に関連する項目の評価結果図



- | | |
|-------------|------------|
| ヒートアイランドに着目 | 水害に着目 |
| ① 温度分布 | ⑦ 浸水実績 |
| ② 地下水位分布 | ⑧ 地形 |
| ③ 湧水分布 | ⑨ 旧河川分布 |
| ④ 用途地域 | ⑩ 雨水貯留施設分布 |
| ⑤ 公園緑地分布 | ⑪ 地下水位分布 |
| ⑥ 高層ビル分布 | ⑫ 下水幹線分布 |

図 3.2.2-3 項目全てに対する評価結果図

3.3 事業検討箇所の課題整理

事業検討地域として選定した「東京都港区赤坂・溜池・六本木」地区における課題とそれに対する対策ならびに効果について整理し、想定する将来の都市の姿について以下に示す。

対象地区における課題としては、3.2 で示した「都市気候の悪化によるヒートアイランド現象の発生」、「都市河川の短期流出増加による浸水被害の発生」が挙げられる。

3.3.1 都市気候の悪化によるヒートアイランド現象の発生

当該箇所では、緑の減少と人工被覆地の増大による蒸発散機構の低下、高層ビル群による涼風の遮断（大気循環の阻害）、さらに都市排熱の増加により、「ヒートアイランド現象の発生」が起きていると考えられ、この温度上昇に対して、周辺のビルから冷房排熱が大量に出され、気温上昇を助長するなど悪循環が発生していると想定される。

この地域においては、ヒートアイランド対策による夏季の気温低下に加えて、気温上昇による不快感を解消できるような親水公園など心地良い癒しの空間を構築することが求められていると考える

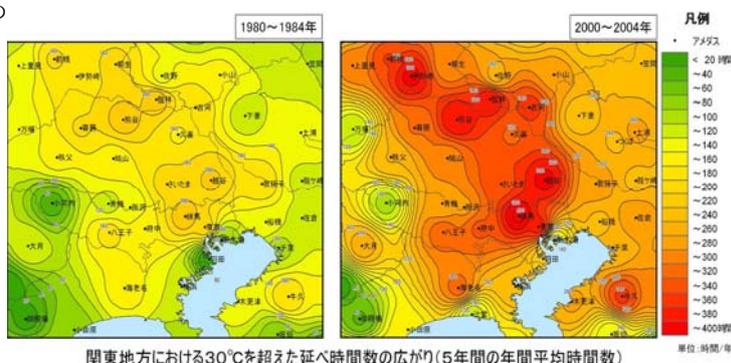


図 3.3.1-1 関東地方における 30°C を超えた延べ時間数の広がり（5 年間の年間平均時間数） 出典：環境省 HP

3.3.2 都市河川の短期流出による増加による浸水被害の発生

当該箇所では、台地部では人工被覆地が増加し、低地部では旧河川が被覆され主要下水幹線に変わり、台地部から低地部への降雨後の雨水の早期流出が発生する状態にあることに加え、近年の異常気象による局所豪雨の影響によると想定される浸水災害が発生している。

この地域に対しては、降雨後の雨水の低地部への早期流出を防止するための貯留、地下浸透などの機能を備えた施設が求められていると考える。

表 3.3.2-1 港区内における過去の水害による被害状況（出典：港区都市計画課）

年月日	気象	雨量 (mm)		床上浸水 (世帯数)	床下浸水 (世帯数)	地下浸水 (棟数)
		1日	時間最大			
平成11年 8月29日	集中豪雨	125	115	191	741	35
平成12年 7月 3日	集中豪雨	44	43	4	59	3
平成12年 7月 4日	集中豪雨	61	57	46	229	37
平成14年 9月6、7日	集中豪雨	167	65	1	6	0
平成16年10月9、10日	台風22号	218	67	13	5	0
平成16年10月20日	台風23号	197	47	3	14	0
平成17年9月4、5日	集中豪雨	60	57	2	3	0
平成17年9月11日	集中豪雨	73	64	4	2	1

※日総雨量、時間最大雨量は、区内の計測器の最大値をとっています。
※被害状況は、区に寄せられた情報をもとに集計したものです。

3.4 施設配置のための諸条件の整理

事業検討地域として選定した「東京都港区赤坂・溜池・六本木」地区に対して、台地上に位置する六本木地区から低地部の溜池地区における現状の課題とその課題を解決するための具体的な施設について検討する上での諸条件を整理する。

3.4.1 諸条件

施設配置のための諸条件としては、以下項目が考えられる。

1) 水文地形学的特徴

水文地形学的特徴は、検討地区の地形、地質、地下水位の現状ならびに地下水位の経時変化を調査し、雨水・地下水を効果的に集水・送水でき有効利用する施設配置を検討、施設機能を選定するために整理する。

例えば、浅層地下水位が地表面から離れて低下しているなどの障害がある箇所に対して、涵養施設を設置し地下水位を上昇させ地表面温度の低下を図ることが考えられる。また、緩やかな傾斜のある地盤に対して、降雨時に台地部で積極的に集水・貯留し、低地部への早期流出を抑え、貯留水を徐々に低地部に送水し効果的に利用することが考えられる。

2) 地下利用状況

地下利用状況は、地下鉄、共同溝、地下街、地下通路などの既設設備を調査し、計画する各施設規模を検討するために整理する。

例えば、施設設置箇所の地下に地下鉄などの大規模な構造物がある箇所に対しては、大中規模施設は設置できず、小規模施設を分散して配置することが考えられる。

3) 地上利用状況

地上利用状況は、検討地区の道路規格（歩道、車道幅等）や周辺の学校、公園等の公共施設の規模と分布、公開空地の規模と分布を調査し、計画する各施設の配置を検討するために整理する。

例えば、道路、学校などの公共施設の地下空間、民間ビルの公共空地、歩道、中央分離帯などの空間を利用することが考えられる。

4) 地域住民の意識

対象とする地域の住民が意識する課題について調査し、課題解決に対応可能な施設機能の選定、ならびに施設配置を検討するために整理する。地域住民の環境ならびに都市の課題に対する意識は様々であり、地域住民の意識の実態を調査・集計し、その最大公約数を把握することが必要である。ここでは、地域住民の意識については、今後の課題として取り上げるのみに留める。

3.4.2 水文地形学的特徴を踏まえた配置検討

1) 六本木-溜池区域の水文地形学的特徴

六本木は標高 30m 程度の洪積台地にあり、仮に海水準が上昇し標高 15m にあった場合、リアス海岸のような複雑に入り組んだ台地外縁を有する。一方低地側の溜池は標高 10m 程度の平坦な谷埋め地形を呈し、その兩岸は南北に帯状の谷底低地を多く有する。

このような地形では、リアス海岸のような外縁を呈する台地は雨水からの涵養を維持しにくく、反対に溜池の低地では多くの帯状谷からの流出によって地表水・地下水が排水されにくい特徴を有することになる。さらに近代にあつては人工被覆率の増大によって一時流出が大きくなり長期的な循環としての地下水水面を台地では維持できず、西側の台地に比べて一層地下水位の低下傾向が顕著になっている。

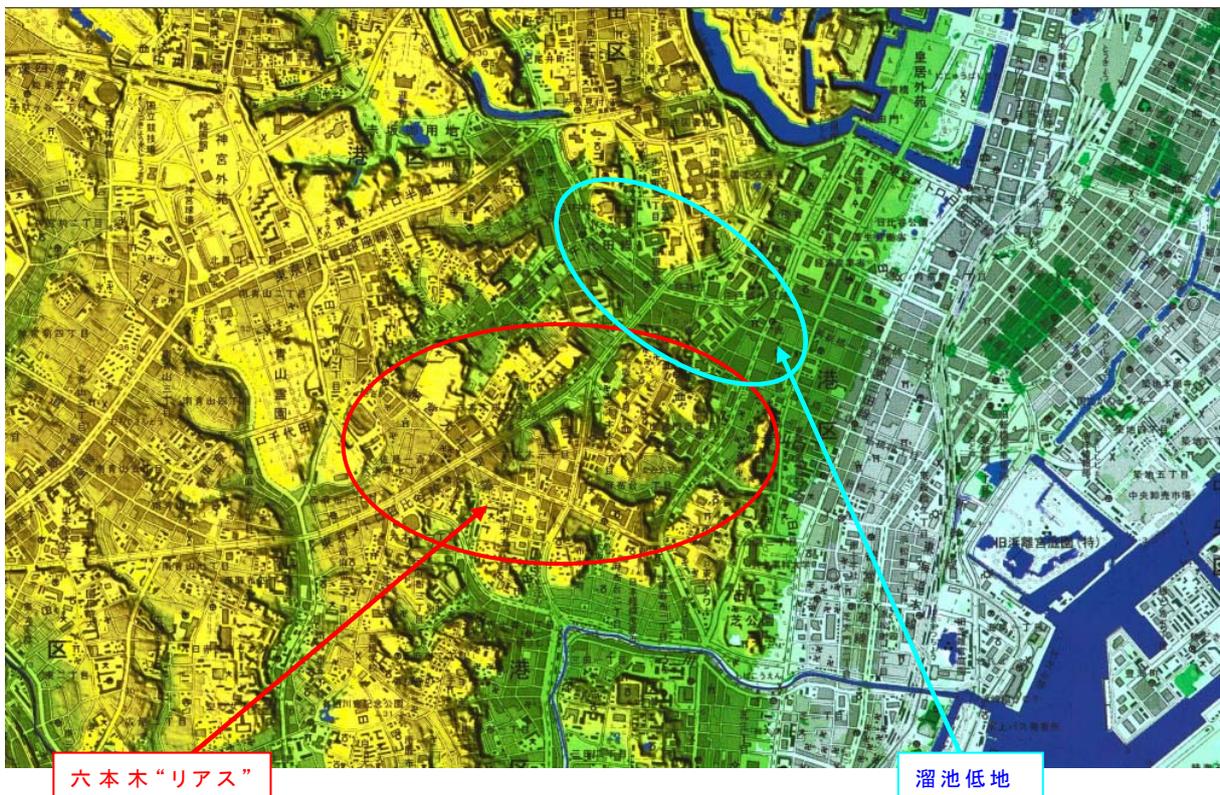


図 3.4.2-1 六本木-溜池区域の水文地形学的特徴

国土地理院 1:25,000 デジタル標高地形図「東京都区部」を使用

六本木は標高 30m 程度のリアス海岸様外縁を有する台地であり、溜池は標高 10m 程度の平坦な谷埋め低地で南北に延びる谷底低地を多く擁する。

2) 六本木-溜池区域の水文地質学的特徴

本区域の水文地質学的特徴の最も大きなものは、水理基盤である上総層群北多摩層(泥岩)の上面起伏(標高)が六本木の南側から溜池にかけて大きく変化することである。そのため先ず水文地質を概観するために、次の平面図に示す2つの水系(古川と汐留川)の低地・台地を結ぶ4つのラインを設定し地質断面を作製し、水文地質層序は、表 3.4.2-1 に整理した。

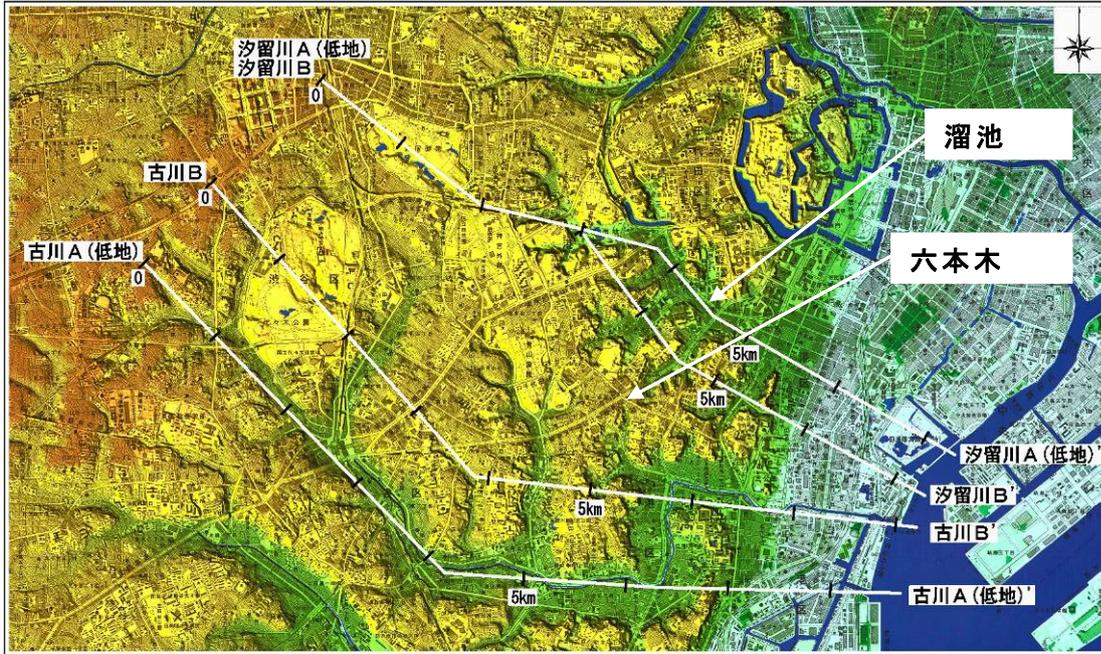


図 3.4.2-2 水文地質断面の検討位置

国土地理院 1:25,000 デジタル標高地形図「東京都区部」を使用

(古川 A・B, 汐留川 A・B; A 断面はできるだけ谷-低地に沿った断面, B 断面は比較として帯状低地に沿って分布する台地を縦断する断面)

表 3.4.2-1 六本木-溜池区域周辺の水文地質層序

時代	地層名	層相	透水性 ・有効間隙率※	水理特性・備考	
完新世	沖積層	シルト・砂・礫	中	帯水層	流動・流出域に分布。シルト層が主であるが帯水層。
更新世	ローム	ローム	中		乱さないと良好な透水性と保水性。
	武蔵野礫層	礫・砂	高		標高30m以上の台地を構成し、良好な帯水層であり且つ下位層への漏水多い。
	東京層	砂	中		比較的固結しており砂層であるが透水性は中程度の帯水層。
	東京礫層	礫	高		層厚5m程度で広く分布する。帯水層であり下位層への漏水多い。
	舎人層 ・東久留米層	砂・シルト・礫	中		比較的固結しており砂層であるが透水性は中程度の帯水層。
	北多摩層	泥岩	低		水理基盤

※ 透水性 透水係数として-低;10E-8m/s 程度, 中;10E-6m/s 程度, 高;10E-4m/s 程度。
 ※ 有効間隙率 低;10%以下, 中;15~20%程度, 高;25~30%程度

表 3.4.2-1 を見ると六本木-溜池区域周辺の水文地質で着目すべきは、水理基盤の北多摩層と流出域で相対的難透水性を示す沖積層、乱されない場合良好な透水性と保水性を有するロームである。これらの3層に着目し、次頁に示す図 3.4.2-4 の断面図から、水文循環の特徴について説明する。

断面図は、北から汐留川 A (低地)、汐留川 B (台地)、古川 B (台地) そして一番南側が古川 A (低地) である。

ここで先ず着目されるのが水理基盤の北多摩層の上面起伏 (標高) である。北多摩層の上面標高は南部でかなり高く、北部で急激に深く、撓曲に伴う波状の起伏を呈している。北多摩層よりも上位の地層は基本的には帯水層であり、水文循環ではこの北多摩層の上面標高の分布が大きな要素となっている。

次にロームのカバーである。ロームは乱されない場合は雨水浸透性と保水性が良好であり、台地のトップを覆い、水循環の有効なバッファーとなり得るが、乱されると透水性が低くなる。都市部の台地面に分布するロームは人工被覆されたり、ローム表層が乱されたりして、現状として雨水が流出し易い状況にある。ロームの良好な性質をできるだけ確保するために、都市に残されている農地や緑地等自然被覆地をできるだけ保全することが望ましい。

第三に沖積層の分布である。沖積層は台地を樹枝状に侵食した谷を埋め立てており、地下水位が高く且つ相対的には透水性が低いため流動阻害層となっている。

したがって、南部の白金-麻布にかけての地域は地下水位や流況変化に、比較的感度が高い特徴 (地下水としては高い水位となることもあるが、かなり低下することもある特徴) があること、これに対し六本木-溜池にかけての北部は、急激に水理基盤が深くなり、水位変化は比較的鈍感であるが、水文に関して量や質の問題が生じた場合は、長期間・広域な対策が必要となる特徴を有すると考えられる (図 3.4.2-3)。



図 3.4.2-3 地下水分布状況

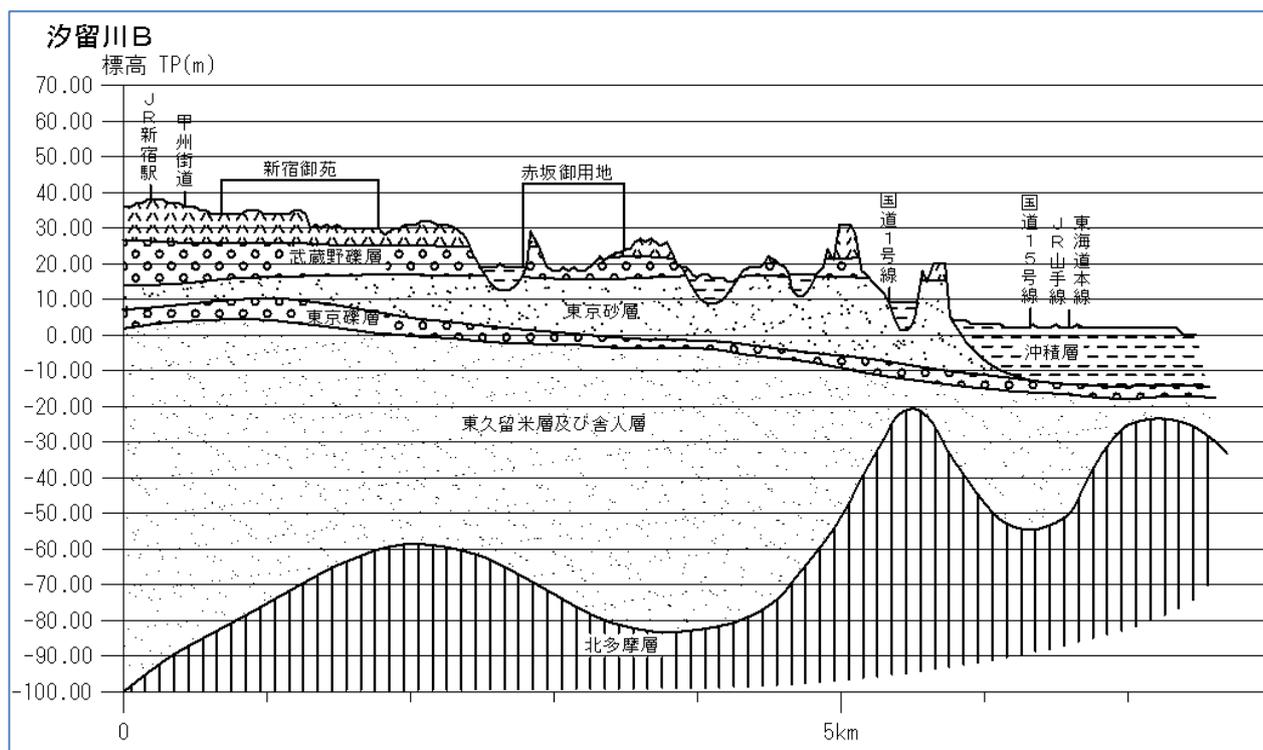
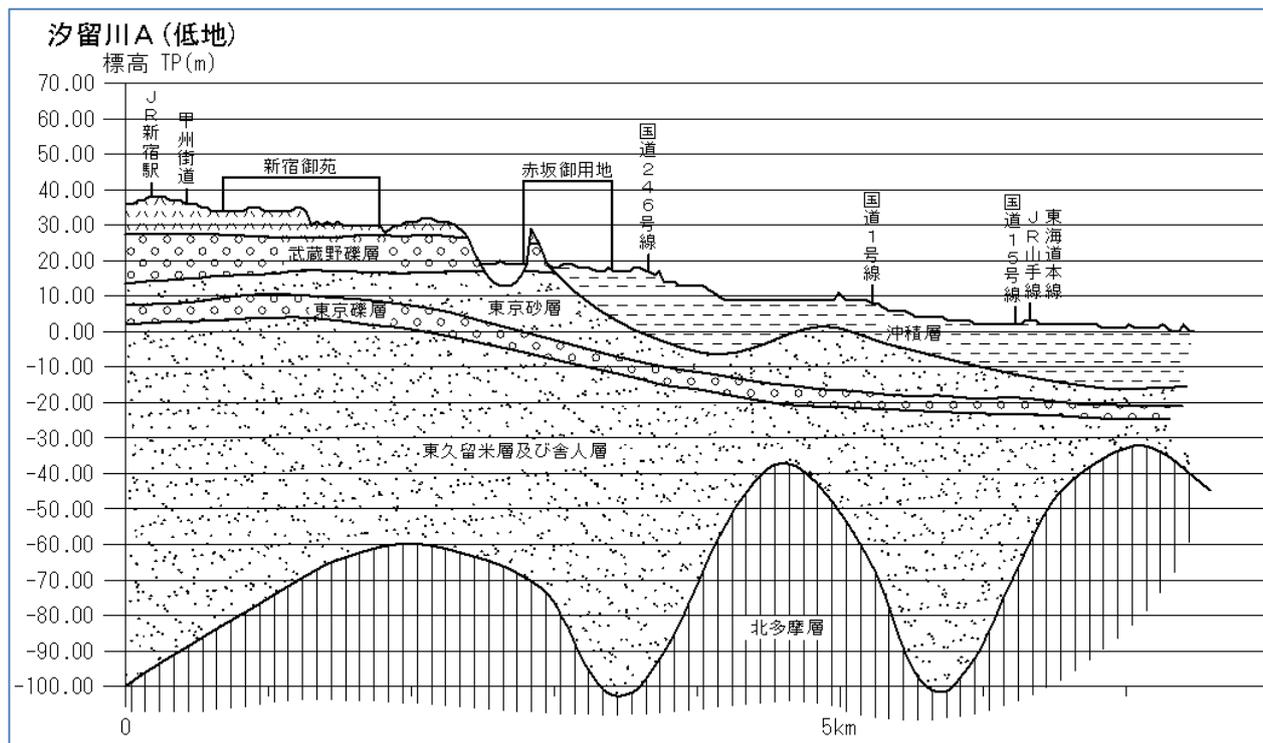


図 3.4.2-4(1) 六本木-溜池区域周辺の地質断面
 東京都土木技術研究所(1996)東京都(区部)大深度地下地盤図を基に
 作成

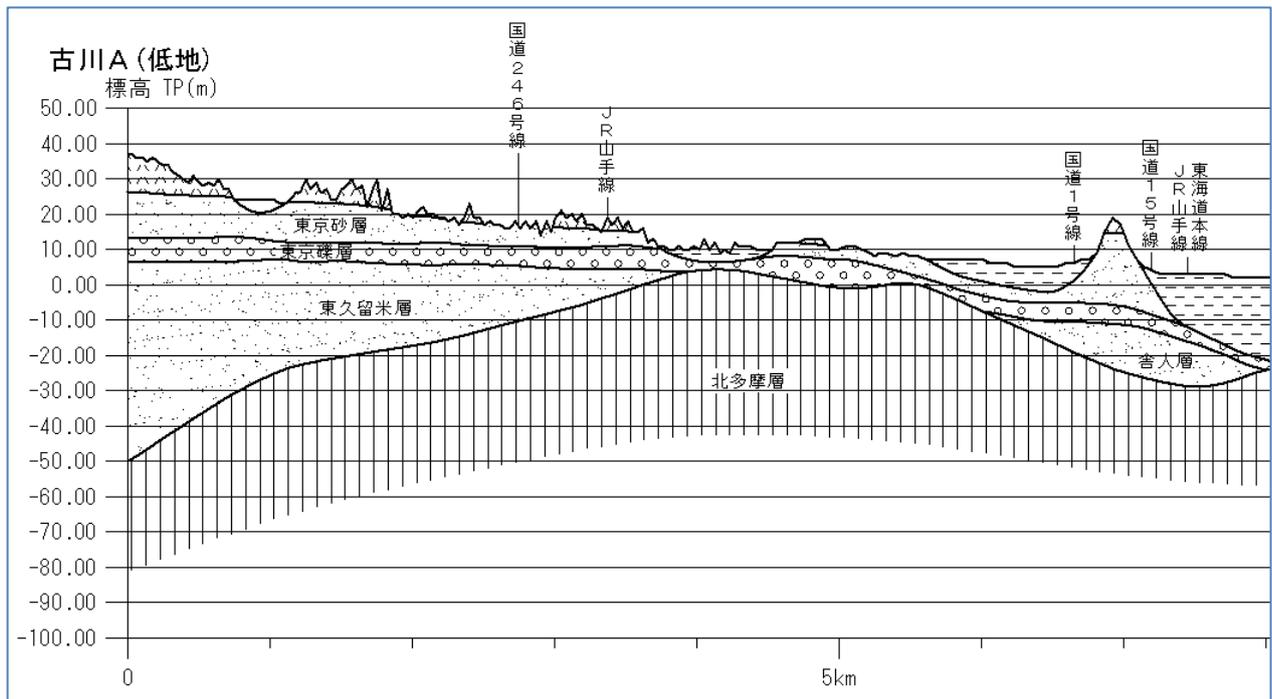
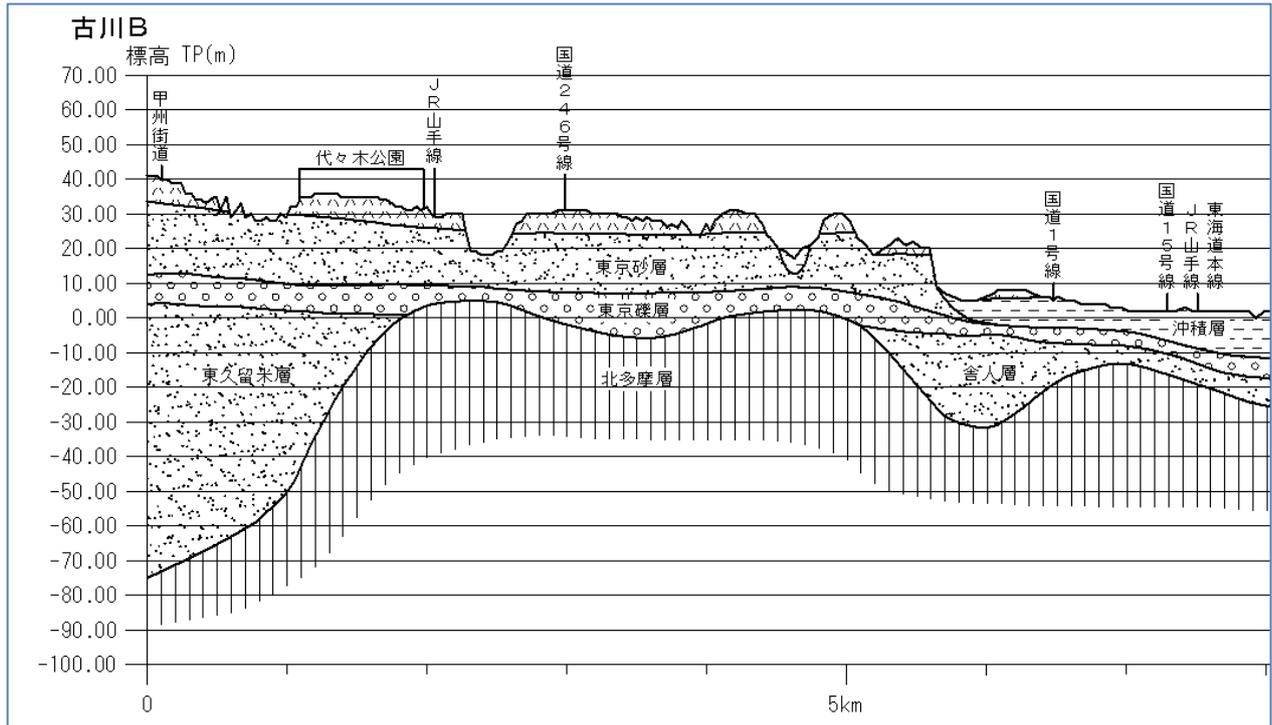


図 3.4.2-4(2) 六本木-溜池区域周辺の地質断面
 東京都土木技術研究所(1996)東京都(区部)大深度地下地盤図を基に
 作成

3.4.3 地下利用状況

モデル地区には、地下鉄が通っており、外苑東通りの地下に東京メトロ日比谷線、都道415号線の地下に東京メトロ南北線がある。また、外苑東通りと都道412号線（六本木通り）の交差点に六本木駅、都道415号線地下に六本木一丁目駅、外堀通り地下に溜池山王駅がある。

六本木2丁目交差点から六本木交差点までの間の六本木通りは、中央分離帯位置に高速道路橋脚基礎、歩道側に共同溝、一部に地下横断地下道が敷設されているのみで、地下鉄等の大規模な構造物はない。

六本木通りには、地下鉄等の大規模施設が無い箇所にも中央分離帯を除く、車道下に小規模の貯留施設等を設置できる可能性があり、さらに、六本木通りと都道415号線が分岐する箇所には大規模貯留槽を設置できる可能性が考えられる。

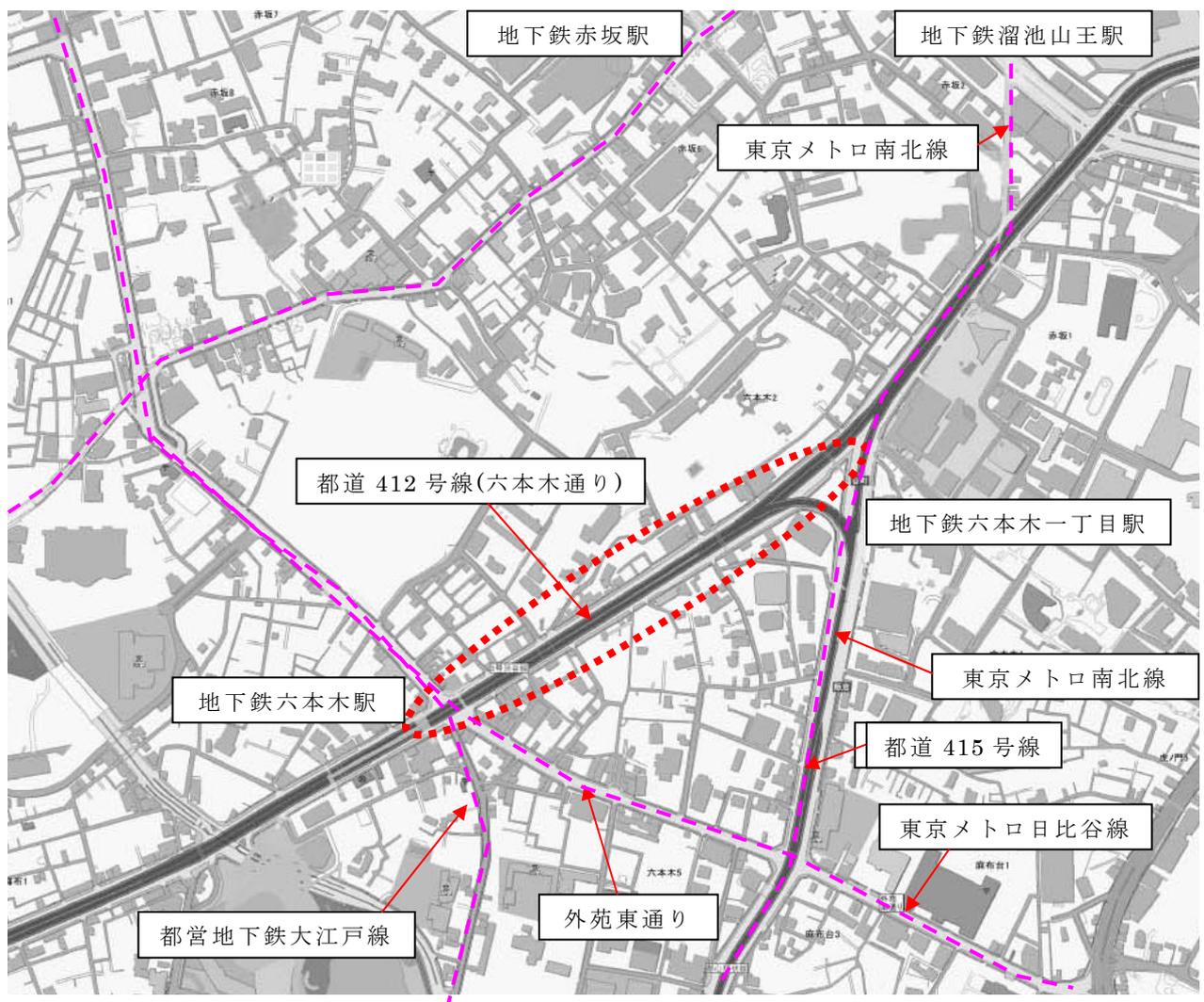


図 3.4.3-1 六本木-溜池区域周辺の状況



図 3.4.3-2 六本木通りの状況（六本木より溜池方面 北側）



図 3.4.3-3 六本木通りの状況（六本木より溜池方面 南側）



図 3.4.3-4 六本木通りの状況（六本木一丁目付近その1）



図 3.4.3-5 六本木通りの状況（六本木一丁目付近その2）

3.4.4 地上利用状況

検討地区の中で都道 412 号線（六本木通り）と都道 415 号線は、ともに片側 3 車線で広い歩道で構成されている幹線道路であり、中央分離帯位置に構造道路の高架橋が位置している。この 2 つの都道の両側には、大規模な民間ビルが位置している。また、六本木通りの脇には、親水施設、消防団施設を保管した港区立三河台公園があり、通りから少し離れた位置に湧水がある大規模な港区立檜町公園、緑豊かな神社、小中学校など公共施設が位置している。

道路に対しては、車歩道部への保水性舗装の採用、歩道側植え込への散水施設、高速道路高架橋下への霧噴霧装置の設置、大規模民間ビルでは雨水の効果的な集水・貯留施設の設置、公園・学校などの公共施設への雨水・地下水の貯留施設等の環境改善のための施設設置が考えられる。

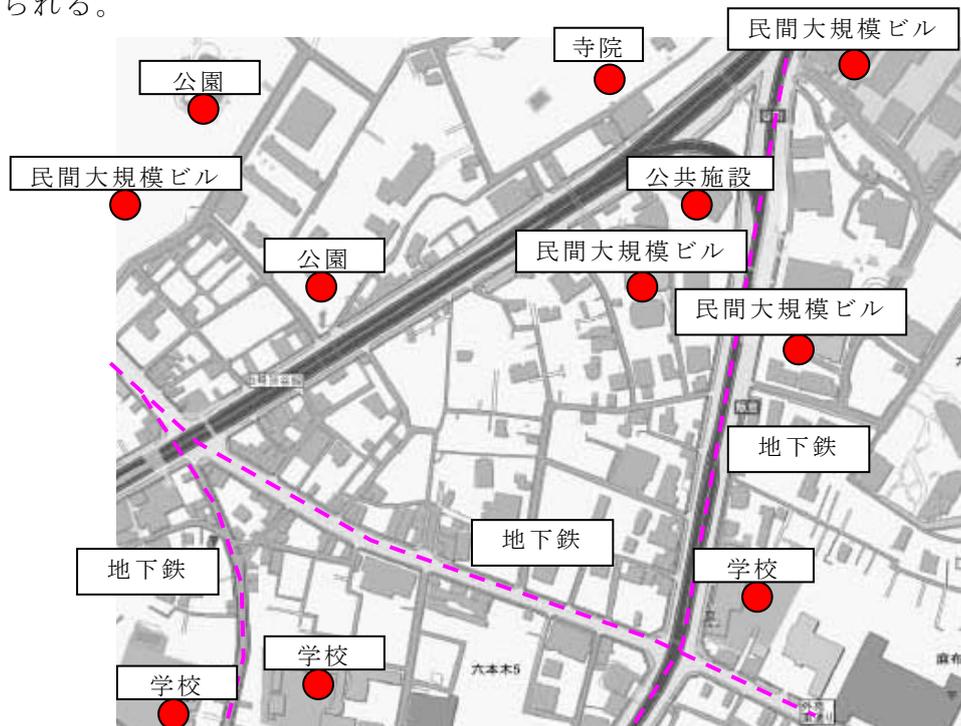


図 3.4.4-1 六本木地区の地上利用状況



図 3.4.4-2 港区立三河台公園（親水空間）



図 3.4.4-3 港区立三河台公園（防災拠点）

2) 貯留・涵養施設

貯留施設には、設置場所、機能に応じて規模が異なる。

小規模貯留施設は、民間ビル、公共施設に個別に設置された雨水集水施設や地下構造物に湧出した地下水、自噴する地下水などの集水施設から導水し、一時貯留し、利用施設に分配する施設である。ビルとビルとの間の公開空地や既設道路の中央分離帯など、小規模な青空空地を活用してその地上あるいは地下に設置する。

設置イメージとして、地すべり防止施設としての集水井、島嶼部の淡水レンズ地下水を取水する集水井が類似する。

貯留水は、既存の公園、あるいは近隣に設置する親水施設、散水施設での利用や浸透ますなどで浅層地下水への涵養を行う。

局所豪雨等により地表面水が増加した場合、雨水を集水し、一時貯留する機能、下流に設置した中・大規模貯留施設に導水する機能を有する。

中規模貯留施設は、小規模貯留施設や直接、雨水集水施設、湧出地下水集水施設などから導水し、一時貯留する施設である。公園や道路など公共用地の地下に設置する。

施設は、中深層の地下水脈と連結し、地下水位が低く、地表で局所豪雨等による地表面水が増加した場合は、集水した雨水等の一部を中深層の地下水脈へ涵養し、地下水位が高い場合は自噴による余剰分を取水・貯留し、小規模貯留施設と同様に有効利用する。また、局所豪雨などにより地表面水が増加した場合、雨水を集水し、一時貯留する機能、下流に設置した大規模貯留施設、下水道などに導水する機能を有する。

大規模貯留施設は、平地部の道路や公共駐車場などの公共用地の地下に新設する施設であり、中規模貯留槽と同等の機能を有し、さらに局所豪雨等により地表面水が増加した場合、周辺施設からの雨水を集水するとともに、道路等を通る雨水も集水し、施設内に一時貯留することにより、平地部の洪水を防止する機能を有する施設である。

道路表面を通る雨水を集水する場合は、ごみ等の異物が混入する初期排水を貯留する槽、利活用するための水槽に分割し構築することにより対応する。また、洪水が予測される場合には、槽内の貯留水を河川、お堀等へ放流し、洪水に備える機能を有する。さらに災害時は、給水栓、トイレ等を設置できる拠点として、貯留水を利用できる施設を設置できる機能を有する。

3) 親水施設

親水施設は、広い台地部、台地から低地にかかる斜面部、低地部に設置する。

広い台地部では、自然状態ではロームに覆われるため雨水の浸透が進まない。そこで広い台地部の空地を利用して、台地部に設置されている貯留施設から導水し、親水施設の構造を浸透・遮水と変化させることによって、流量を制御し、親水と浸透の両機能を受け持たせる施設とする。

次に、台地から低地にかかる斜面部では、親水施設を設置することによって、現況での道路等の人工被覆地の流下、崖や自然斜面を流下することによる侵食を抑制し、雨水の地下への涵養の改善を図るものである。

第三に、低地部での親水施設は、小規模貯留施設から中規模施設への導水路の一部として、大雨時の排水路としても機能することを期待する。

せせらぎ：施設近隣の人々が水に接することのできる地表の流水施設
ため池：小魚、昆虫等が生息する涼しさ、癒しの施設

4) 散水施設

散水施設には、開発された都市空間の中に点在する公園内、ビルの谷間に介在する公開空地内に設置され花壇、庭の草木、ならびに街路樹等の育成を目的とした散水施設と、高架橋、歩道橋下等の公共空間での霧噴霧（ミスト散水）、アスファルト舗装面への散水によるヒートアイランド対策を目的とした散水施設がある。

散水施設は、渇水期など雨水の少ない時期においても、地下構造物への湧水などの余剰地下水、貯留雨水等をネットワークで循環利用することにより、一年を通して散水可能な施設とする。

草木育成を目的とした散水施設は、草花の成長による緑豊かな空間、樹木の生長による木陰など空間等の涼しく、癒しの空間を創設することができるとともに、アスファルト、コンクリートで地表が覆われた都市内において、雨水の地下への涵養の改善を図るものである。

ヒートアイランド対策を目的とした散水施設は、道路の中央分離帯側、あるいは歩道側に散水装置を設置し、アスファルト舗装のすき間に水を蓄えることのできる保水性舗装と組み合わせることにより、気化熱によって、地表面温度を低下させ快適な空間を創設するとともに、雨水の地下への涵養の改善を図るものである。

草木育成のための散水施設：草花、樹木の緑豊かな癒しの空間を創設する施設

ヒートアイランド対策のための散水施設：地表面温度を低下させ快適な空間を創設する施設

5) 送水施設

各貯留槽、親水・散水施設等の各種施設を管路のネットワークで連結し、それぞれの施設で雨水・余剰地下水、貯留水を有効利用するための施設であり、各施設の設置場所、機能・目的に応じてポンプ、ゲート、オリフェス等を設置する。

台地部から低地部にかけての斜面を有する地形においては、運転・維持管理の容易性を考慮し、ポンプ、ゲート等を使用せず、オリフェス、自然流下方式の送水施設とすることが望ましい。ただし、渇水期など台地部での貯留水量が低下した場合の対策として、低地部の大規模貯留槽などの貯留水をポンプ等で台地部に送水し、循環利用することのできる施設とする。

3.5.2 各種施設の設置可能場所

各種施設は、設置箇所地形、地下水位などの自然条件や地上・地下の利用状況など環境条件によって、どのような施設が適しているか施設設置の可能性の有無が分かる。

また、施設設置により期待される効果としては、「ヒートアイランド対策効果」、「降雨短期流出抑制効果」、「内水氾濫抑制効果」、「余剰地下水利用」、「自然豊かな心地良い空間創出」があり、施設ごとに異なっている。

そのため、各種施設は、施設配置の可能性の有無と施設に期待される効果を考慮し、施設配置を計画する必要がある。

各種施設の具体的設置可能場所、期待される効果の一覧を表 3.5.2-1 に示す。

表 3.5.2-1 各種施設の設置可能場所と期待される効果

適用条件・効果		施設設置箇所の適用条件														施設設置により得られる効果				備考	
		地形		地下水位		表層地盤の透水性		地下の利用可能空間			地上用途地域		地上施設		ヒートアイランド対策	降雨短期流出抑制	内水氾濫抑制	余剰地下水の利用	自然豊かな心地良い空間創出		
		台地	斜面	高地	低地	高い	低い	広い	狭い	深い	住宅地	商業地	高層ビル	学校							公園
集水施設	自然湧水	△	○	○	△	○	△	-	-	-	-	-	-	-	-	-	◎	◎	◎		
	地下構造物への湧出水	-	-	○	△	○	△	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	◎	◎	◎	地上施設の道路には地下敷・共同溝などを設け
	建物への雨水	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	◎	◎	◎	
	浸透ます	-	-	△	○	○	△	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	◎	◎	◎	
貯留施設	道路への雨水	-	-	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	◎	◎	◎	
	保水性舗装	-	-	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	◎	◎	◎	
	小規模貯留施設	-	-	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	◎	◎	◎	
	地下	-	-	△	○	-	-	△	○	△	-	-	-	-	-	-	-	◎	◎	◎	
滲養施設	中規模地下貯留施設	-	-	△	○	-	-	-	-	○	△	△	○	△	○	△	○	◎	◎	◎	
	大規模地下貯留施設	△	△	○	○	-	-	-	-	-	△	△	○	△	○	△	○	◎	◎	◎	
	透水性アスファルト舗装	-	-	△	○	○	△	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	◎	◎	◎	
	滲養井	-	-	△	○	-	-	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	◎	◎	◎	
親水施設	噴水	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	◎	◎	◎	
	せせらぎ	△	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	◎	◎	◎	
	ため池	△	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	◎	◎	◎	
利用施設	屋上緑化	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	◎	◎	◎	
	壁面緑化	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	◎	◎	◎	
	街路の緑化	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	◎	◎	◎	
送水施設	ポケットパーク等でのミスト噴霧	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	◎	◎	◎	
	ポンプ施設	-	-	-	-	-	-	-	-	○	△	-	-	-	-	-	-	◎	◎	◎	
	管路	-	-	-	-	-	-	-	-	○	△	-	-	-	-	-	-	◎	◎	◎	

凡例 ○：設置可能
△：設置難、設置不可
◎：効果あり
-：対象外(条件とはならない)

3.6 個別施設の配置

モデル地区で必要とされる雨水・地下水利活用のための施設としては、「緑豊か、癒し、快適な心地良い空間」を創出し、「ヒートアイランド」を抑制する環境改善のためのシステム、ならびに「洪水などの水害を防止し安全な都市空間」を創設するための防災システムである。

モデル地区内の六本木台地部、台地外苑・裾野部、六本木低地部の各箇所への配置が考えられる個別施設を以下に示す。

3.6.1 六本木台地部

現状において、大雨時、標高の高い六本木側に降った雨は、地下への浸透が少なく、地表を流れ、標高の低い溜池側へと流出し、行き場を失った表流水は、地下鉄等の地下構造物に流入し、浸水被害が発生すると想定される。

そこで、標高の高い六本木側に上部小規模貯留槽を設け、地下鉄駅舎など地下構造物への浸出水などの余剰地下水、檜町公園内の雨水や余剰湧水、ならびに周辺の大規模なビルの屋上・壁面および敷地内に降った雨水等を集水・貯留する。貯留水は、近隣の道路、公共空地等に設置した利用施設に送水し、“散水”、“ミスト噴霧”、ならびに“浅層地下水涵養”による地表面温度の低下を図るヒートアイランド対策、公共空地等に親水施設としての“せせらぎ”、“小魚が生息するため池”を構築することによる癒し空間、快適な空間の創出に利用する。

3.6.2 台地外縁－台地裾部

台地外苑・裾野部への傾斜する箇所としては、六本木から溜池方面に向かう都道 412 号線（六本木通り）、飯倉から溜池方面に向かう都道 415 号線（高輪麻布線）がある。

六本木通り、高輪麻布線ともに首都高速道路 3 号渋谷線と都道 412 号線が 2 層構造となっており、溜池方面に向かって勾配がついている。高輪麻布線の地下には東京メトロ南北線が位置しており、地下利用に対して制限がある。

そこで、地上に配置する施設は、都道 412 号線（六本木通り）、都道 415 号線の勾配のある箇所の中央分離帯、側道ならびに周辺用地とし、地下に配置する施設は、六本木通りの車歩道の地下を考える。

六本木通りの中央分離帯、ならびに側道の地下空間に六本木台地で集水・貯留した貯留水を送水施設で送水し、地表に設けた「せせらぎ（親水空間）」へ導水し、各通りの地上にヒートアイランド対策、癒しの空間創出に利用する。親水施設は、地域の風の流れを考慮し配置する。

3.6.3 溜池低地部

標高の低い溜池側には台地からの流入水を回収するための下部小規模貯留槽を設け、導水した水を地下に涵養する。また、本施設は、局所豪雨等の大雨の情報に対応して、貯留槽内の水位をコントロールし、六本木、溜池の浸水被害を低減するためのバッファの機能を有する。

個別施設の具体的な適用位置と設置により得られる効果を以下に示す。

表 3.6.3-1 個別施設の具体的な設置位置と得られる効果

適用条件・効果		施設		具体的な適用位置	設置により得られる具体的な効果
集水施設	自然湧水		六本木台地部(檜町公園)における湧水の集水		湧水を集水し、集水箇所での有効利用、あるいは余剰水を中規模貯留槽に送水し、親水施設、散水施設、深層地下水への涵養に有効利用できる。 これにより、余剰地下水を有効利用し、ヒートアイランド対策、自然豊かな心地良い空間を創出できる。
	地下構造物への湧出水		六本木駅、六本木1丁目駅、溜池山王駅など地下鉄駅舎への湧出水の集水		湧出水を集水し、集水箇所での有効利用、あるいは余剰水を中規模貯留槽に送水し、親水施設、散水施設、深層地下水への涵養に有効利用できる。 これにより、余剰地下水を有効利用し、ヒートアイランド対策、自然豊かな心地良い空間を創出できる。
	建物への雨水	壁面雨水集水	周辺大規模民間ビル(六本木キューブ、アークヒルズ、泉ガーデンタワー、東京ミッドタウンなど)、学校、公共施設に設置		下流に流出していた雨水を集水し、集水箇所での有効利用あるいは中規模貯留槽に送水し、親水施設、散水施設、深層地下水への涵養に有効利用できる。 これにより、降雨の短期流出抑制、内水氾濫を抑制し、集水した雨水を利用して、ヒートアイランド対策、自然豊かな心地良い空間を創出できる。
		浸透ます	上記のうち低地部を除く台地部、斜面部に設置(低地部では、地下水位上昇時、浸水被害へ影響すると思われる?)		下流に流出していた雨水を浅層地下水への涵養に有効利用できる。 これにより、雨水の地下へ早期浸透を図り、降雨の短期流出を防止するとともに、地下水位上昇させ、ヒートアイランド対策、自然豊かな心地良い空間を創出できる。
	道路への雨水	保水性舗装	台地部、斜面部の都道、区道の歩道部、中央分離帯部の親水施設、ならびに近隣の公園に設置		下流に流出していた雨水を地表に保水し有効利用できる。 これにより、雨水を舗装に保持し、降雨の短期流出を防止するとともに、舗装面の温度低下を図り、ヒートアイランド現象を緩和できる。
貯留施設	小規模貯留施設	地上	周辺大規模民間ビル、学校、公共施設に設置		表面流出していた雨水を一時貯留し有効利用できる。 これにより、降雨の短期流出抑制、内水氾濫を抑制できる。
		地下	周辺大規模民間ビル、学校、公共施設に設置		表面流出していた雨水を一時貯留し有効利用できる。 これにより、降雨の短期流出抑制、内水氾濫を抑制できる。
	中規模地下貯留施設		学校、道路等の公共施設の地下に設置		小規模貯留施設の機能に加えて、個別に設置されていた集水施設、貯留施設を送水管で連結し、集水することにより、親水施設、散水施設、深層地下水への涵養に有効利用できる。 これにより、降雨の短期流出抑制、内水氾濫を抑制できる。
	大規模地下貯留施設		低地部の道路に挟まれた公共空間に設置		中規模貯留施設の機能に加えて、洪水時の貯水槽として利用できる。また、渇水期など貯留水を台地部の貯留槽に送水し、有効利用できる。 これにより、降雨の短期流出抑制、内水氾濫を抑制できる。
涵養施設	地下への涵養	透水性アスファルト舗装	台地部、斜面部の都道、区道に配置		浅層地下水への涵養を促進できる。 これにより、地表面温度を低下させ、ヒートアイランド現象を緩和できる。
		涵養井	中規模貯留槽、大規模貯留槽に設置		余剰貯留水を深層地下水へ涵養し有効利用できる。 これにより、地表面温度を低下させ、ヒートアイランド現象を緩和できる。
利用施設	親水施設	噴水	高層ビルの公共空地、学校、公園に設置		地表で貯留水を有効利用できる。 これにより、ヒートアイランド対策、豊かな心地良い空間が創出できる。
		せせらぎ	高層ビルの公共空地、学校、公園、道路中央分離帯に設置		地表で貯留水を有効利用することにより、ヒートアイランド対策、豊かな空間が創出できる
		ため池	高層ビルの公共空地、学校、公園、道路中央分離帯に設置		上記に加えて洪水時の一時貯留できる。
	散水施設	屋上緑化	民間ビル、学校、公共施設に設置		ヒートアイランド対策、豊かな空間が創出できる
		壁面緑化	民間ビル、学校、公共施設、道路構造物に設置		ヒートアイランド対策、豊かな空間が創出できる
		街路の緑化	道路歩道、中央分離帯に設置		ヒートアイランド対策、豊かな空間が創出できる
		ポケットパーク等でのミスト噴霧	高層ビルの公共空地、学校、公園、道路中央分離帯に設置		ヒートアイランド対策、豊かな空間が創出できる
送水施設	ポンプ施設		中規模貯留施設、大規模貯留施設に設置		渇水期など貯留水を台地部の貯留槽に送水し、有効利用できる
	管路		集水施設、小、中、大規模貯留槽間に設置		個別に設置されていた集水施設、貯留施設を送水管で連結し、集水することにより、貯留水を有効利用できる

3.7 モデル地区で必要とされるネットワークシステム

当該箇所でも有効利用できる水としては、水文地形的特徴で示した六本木から常時穏やかに供給された淡水（地表水・地下水）や、有効利用されことなく下水道へ流れ出る雨水、ならびに地下構造物への湧出水、自噴する地下水など余剰な中深層の地下水である。

これらの雨水・地下水は、個別施設あるいは狭い範囲でネットワークを構築し、前節で示したような周辺の公園、公開空地への親水施設、道路、公開空地への散水施設を設置により地表面温度の低下を促進させることによるヒートアイランド対策、水流、水に接する場所を造り、利用者に“安らぎ”や“涼”など癒し空間の創出などの効果を得ることができる。

しかし、より効果的に個々の施設で集水した雨水・地下水を利用するために、施設設置箇所の水文地形的特徴、土地利用状況を考慮し、各エリアに設置した施設管路で連結し、ネットワーク化を図り、各施設で貯留した雨水・地下水を融通しあい利用することが必要であると考えられる。

例えば、地下水の豊富なエリアで集水・貯留した雨水・地下水を地下水位が低く、地下水の動きが大変遅くなってしまったエリアに送水し、涵養を増加させ地下水位の上昇による地中熱の低下や、地下水を穏やかに流動させることにより、地下水熱をヒートポンプなどで利用できる状況を作り出すことへの利用などが考えられる。

また、台地部、低地部の各エリアに設置された施設のネットワーク化により、渇水時に低地部に設置した施設の貯留水を台地部へ送水し、貯留水を循環利用することにより、渇水期においても安定的に施設を効果的に利用することができる。

各エリアに設置された施設のネットワーク化のイメージを図 3.7-1～3.7-3 に示す。

システム利用の具体的な内容は、たとえば以下のようなものである。晴天時、上流の中規模貯留槽の貯留水を周辺の親水施設、散水施設や下流の小規模貯留槽に送水し、草木への散水、保水性舗装への水の供給などによりヒートアイランド対策、癒しの空間創出としての利用、浅層地下水への涵養による水循環系の改善を図る。このとき下流で雨水や湧水を貯留した大規模貯留槽から上流の中規模貯留槽に送水することにより、地域に存在する水を有効に利用する。また、降雨時は、事前に局所豪雨などの気象を予測し、各貯留槽から排水し、大量の降雨を集水できるように備える。集水した雨水は、深層地下水への涵養や下流の大規模貯留槽へ送水し、降雨の早期流出、内水氾濫被害を抑制する。

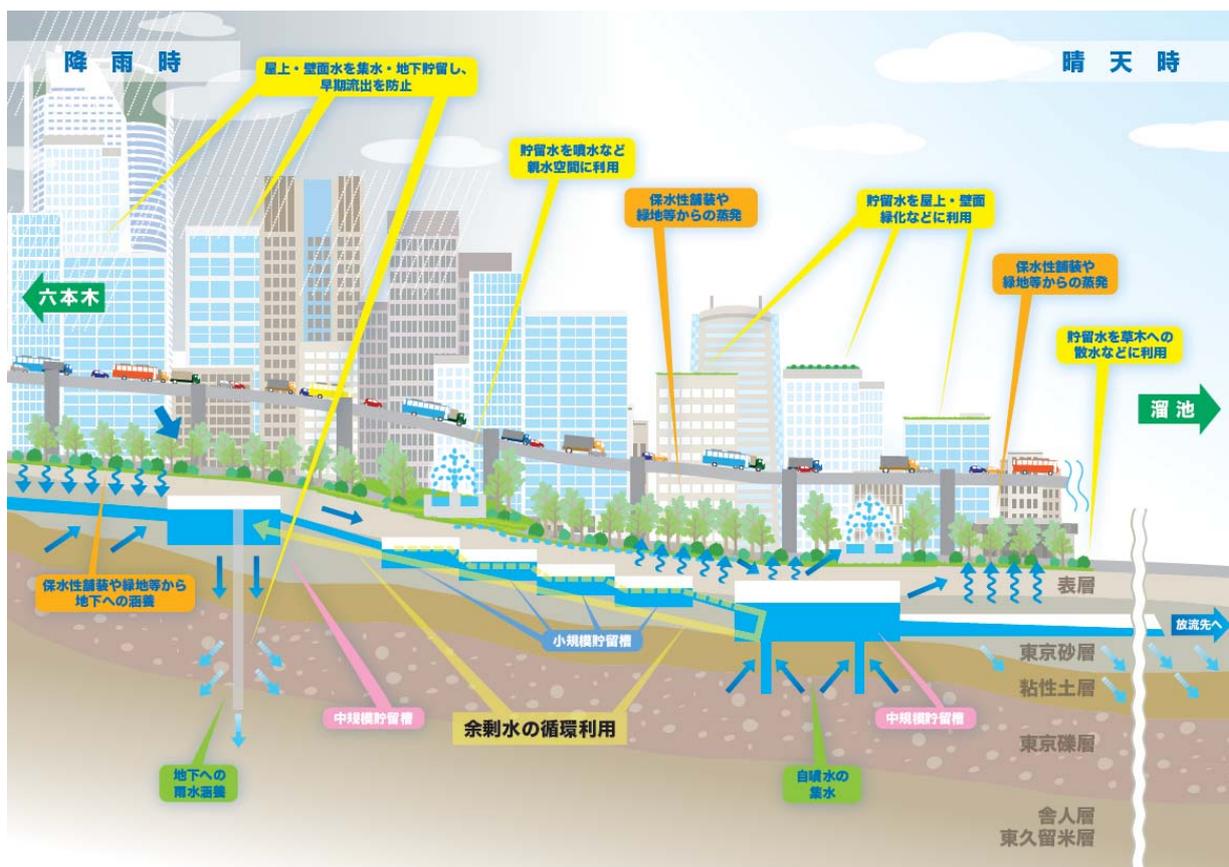


図 3.7-2 ネットワークによる貯留水利用概念（縦断面図）

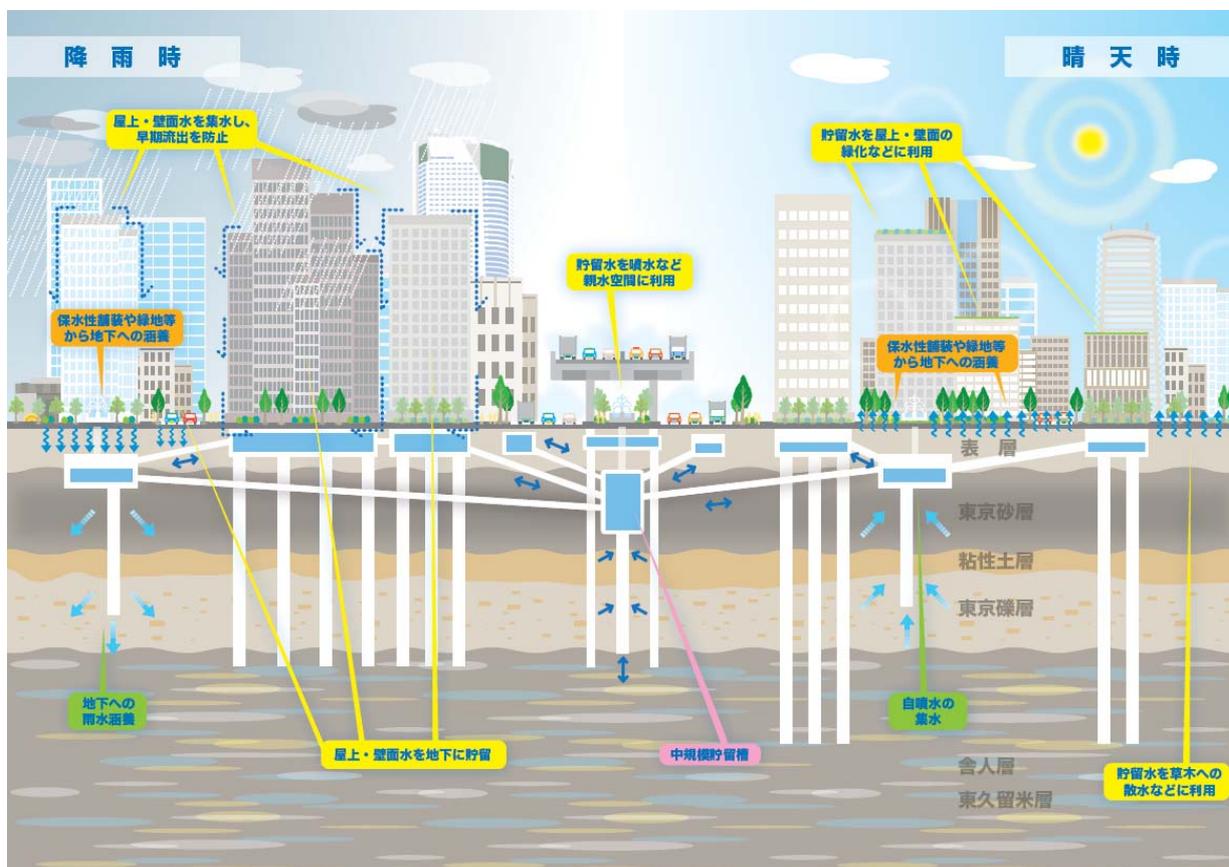


図 3.7-3 ネットワークによる貯留水利用概念（横断面図）

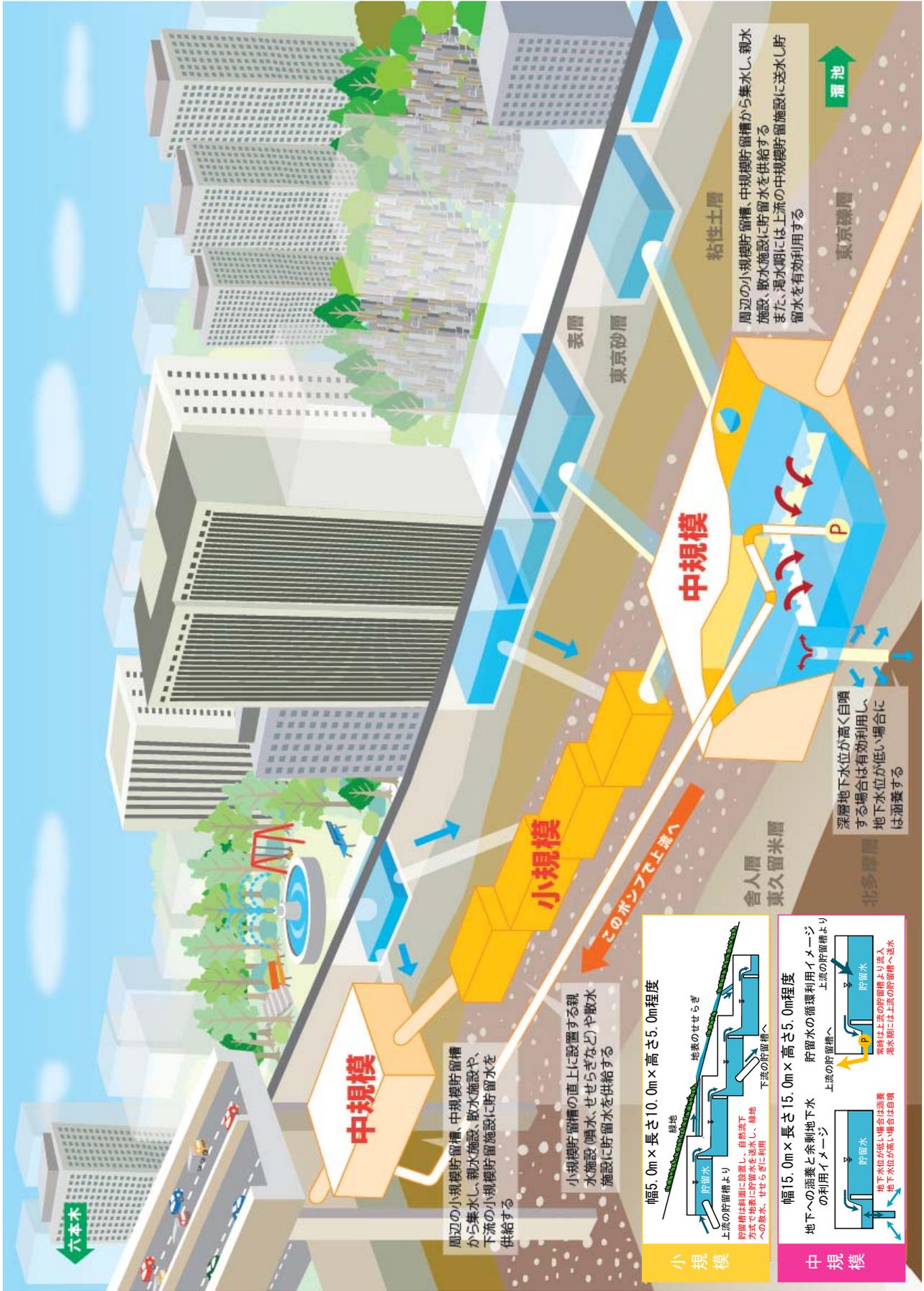


図 3.7-4 ネットワークシステムイメージ

3.8 施設の運用ならびに維持管理

雨水・地下水を集水・貯留・送水・利用する各施設を有効的に機能させ、長期間使用するためには、適切な運用ならびに維持管理が必要である。

3.8.1 施設の運用

各施設は水循環系の改善と防災・減災を目指したシステムであり、そのシステムの運用においては、通常時の送水を自然流下による方法とし、使用エネルギーを極力抑え、安定的に稼働できるシステムとする必要がある。また、システムは、現在、急速に発達した情報化社会の中で、精度良く予測された気象情報を利用し、局所豪雨発生前に事前に貯留水を放流し、十分な貯留水量を確保するなど貯留水を効率的に管理しながら稼働できるシステムとする必要がある。

3.8.2 施設の維持管理

維持管理については、施設の状態を十分に把握し、施設の機能保持、施設の使用期間の延命、他の施設への悪影響を防止するために有効な対策をとることにある。

施設の維持管理内容は、主に以下のものがあるが、これらを適切に行うためには、維持管理組織の充実、施設の引継ぎの適正化、安全衛生管理の強化および広報の徹底など図らなければならない。

- ・ 点検および調査
- ・ 清掃
- ・ 修繕
- ・ 保護および防護
- ・ 事故対策

施設の機能保持は、施設が有する機能が果たされない場合の異常現象を把握し、その項目に対する点検および調査を行い、異常を早期に発見し、対策を実施することが重要である。管路施設の異常現象の例を図 3.8.2-1 に示す。

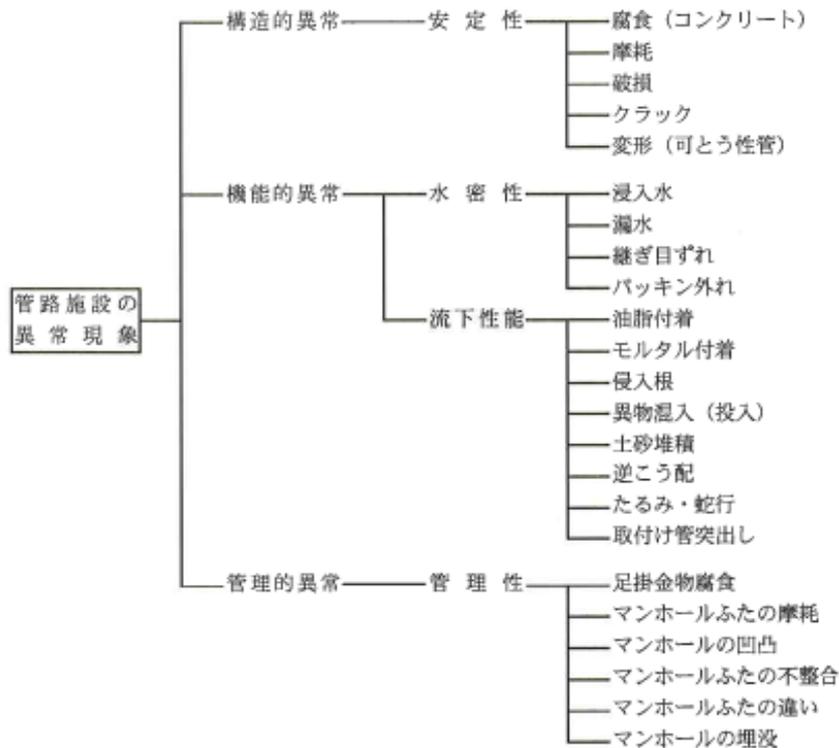


図 3.8.2-1 管路施設の異常現象の例

下水道維持管理指針 平成 15 年 8 日本下水道協会」より

施設使用金の延命は、施設の設計、建設、維持管理に投下される資本の合計（LCC ライフサイクルコスト）の縮減を考慮して、計画的な維持管理により施設の使用期間の延命化を図ることが重要である。

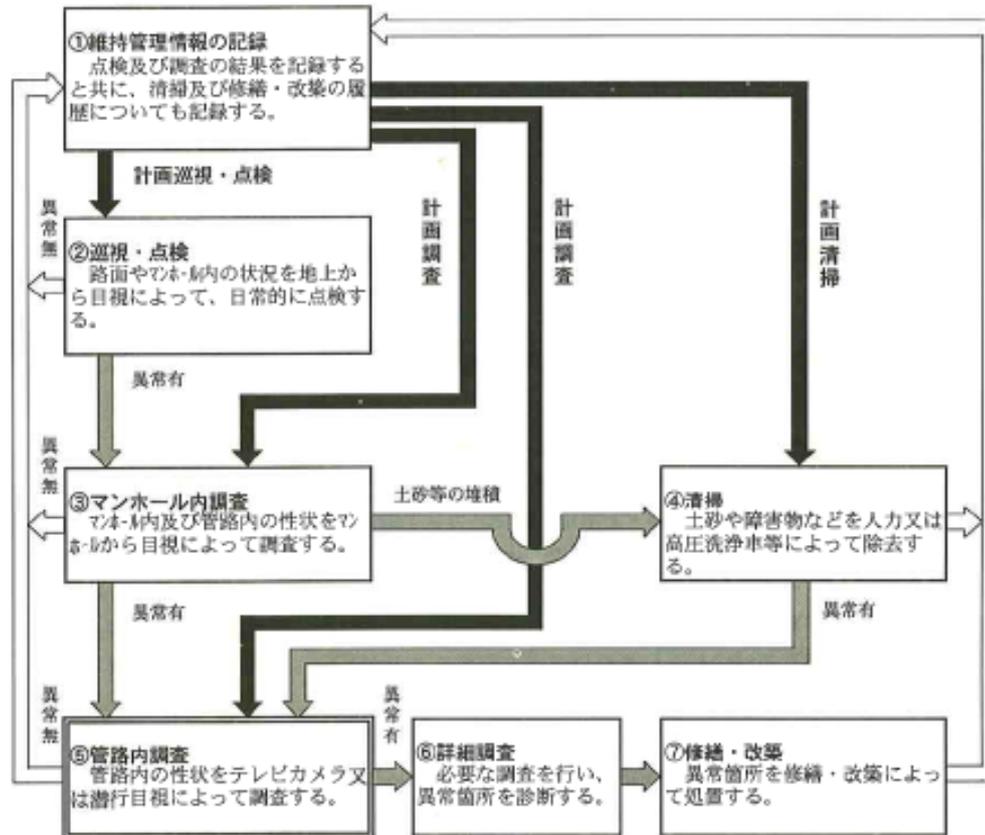
管路施設についてのライフサイクルコスト導入と管理ケースの概念を表 3.8-1 に示す。また、計画的な維持管理のフローを図 3.8.2-2 に示す。

表 3.8.2-1 ライフサイクルコスト導入と管理ケースの概念（管路施設）

コスト区別 ケース区別	耐用年数	建設コスト	維持管理コスト	耐用年数内の 年平均コスト
現在の標準ケース	50年	40	0.2/年	1.0 (40+0.2×50)/50
高耐久性管路施設 (ケース1)	100年	70	0.2/年	0.9 (70+0.2×100)/100
維持管理費の低減 (ケース2)	50年	40	0.1/年	0.9 (40+0.1×50)/50
施設の劣化早期発見 &適切な対応 (ケース3) 【注】	25年 +50年 計 75年	40 +12 計 52	0.2/年	0.9 (52+0.2×75)/75

【注】 建設（コスト40）後、25年目に施設の劣化を早期発見し、適切な改築（コスト12）を行った場合。

下水道維持管理指針 平成 15 年 8 日本下水道協会」より



※ 修繕：下水道管路施設の異常箇所を部分的に補強、取り替えにより修復すること。
改築：下水道管路施設をマンホール間単位で修復、布設替えること。

図 3.8.2-2 計画的な維持管理のフロー（管路施設）

下水道維持管理指針 平成 15 年 8 日本下水道協会」より

第4章 建設方法の検討

個別施設をネットワークで連携する施設に関する計画は、対策の実行性を勘案しながら対象地域を広げていく。対象地域を広く取り込むほど効果が期待でき、また、小規模でも設置が可能なものを想定する。そこで、河川流域での総合治水等で流域対策として検討するというよりは、新規開発地域や既成市街地を対象にし、中小規模な施設を計画する。

個別施設をネットワークで連携し、各施設を有効的に機能させ、長期間使用するためには、事前事後に対象領域の観測を行い、適切な運用・モニタリングならびに維持管理をすることが必要である。

本章では、建設のための調査項目のフローを示し、特に基礎条件の整理として、基礎調査や関係法令の整理をする。

また、建設方法については、ネットワークトンネルと浸透貯留施設の施工法と施設建設時の検討上の注意点について示す。

4.1 建設のための調査項目

4.1.1 施設計画のフロー

建設のための施設計画の全体のフローを示す。計画立案（施設の位置付け）を確認したうえで、基礎条件の整理を行い、施設計画、設計、施工、維持管理の順で施設整備をしていく。本調査では基礎条件の整理について基礎調査や関係法令について詳細に示す。

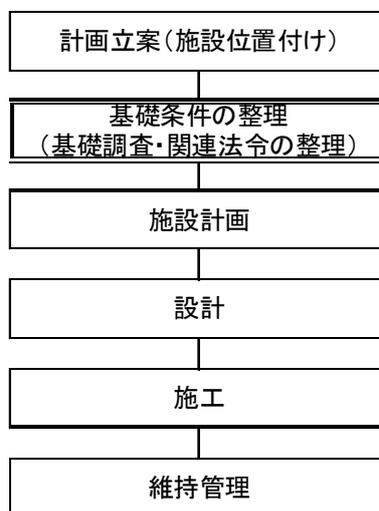


図 4.1.1-1 施設計画フロー

4.1.2 基礎調査

1) 資料調査

既往の文献・調査資料の収集・整理を通して、施設の設置の可否も含めて、対象地域の地盤の特性をあらかじめ把握する。

①資料の収集・整理

○対象地域の地形・地質、

地形判読の参考になる資料には、各機関作成の調査基図および地形分類地図情報があり、土壌・表層地質、盛土の状態、不透水層の存在等を既存資料で把握する。

地質の状況は、地形条件より推定するとともに、地質図や地盤図、ボーリング柱状図などの資料で確認する。既存のボーリング資料は、関連の機関（国土交通省、都道府県、市町村、JR、公団、電力会社等）から入手できる。

○地下水質と地下水利用量

定常的に地下水を観察している機関は、国土交通省、農林水産省、経済産業省、地方公共団体等である。観測記録が時系列情報として定期的に公表されているものは少ないが、限られたデータでも利用価値は高いので可能な限り収集する。また、地下浸透に伴う周辺環境への影響を検討するため、対象地域の地下水利用実態を把握しておくことが望ましい。

②地形区分

地形および土地利用の状況は、浸透に影響を及ぼす表層地盤の状態および地下水位を表していることが多いため、地形の把握は、主として地質図、各種条件図等の既存資料および現地調査によって行う。この際地形の改変状況を併せて調査することも重要になる。

地形区分は、検討対象地域の広さや、地形の特徴に応じて適宜区分すべきであり、調査地域に最も適した地形区分を行うことが望ましい。

台地部は、その形成時期や高さにより区分できるが、表層地盤や地質構成が異なり、浸透能力も変わる場合が多いので、注意が必要である。

③地下水位の分布

施設を設置するにあたっては、地下水の分布形態を知るとともに、その主な特徴を把握することが必要である。地下水位が地表面に近い場合は、浸透量が減少することが予想される。低地部では、降雨によって、地下水位が地表近くまで高まることがあるので、地下水位の変動についても十分な把握が必要である。

浅層地下水位は、地形や文献、既存資料により概略を把握しておき、現地調査時に周辺の浅井戸や崖等の露頭観察を通して水位の変動状況、季節変化等を調査することが望ましい。

2) 土質・地下水位調査

①ボーリング

既存の調査ボーリング資料や地盤図等の資料が欠如する場合には、必要に応じてボーリングを行う。ボーリング地点数がある程度まとまっている場合には、調査対象域に関する表層地盤平面図および断面図を作成し、現地浸透試験結果や地下水位分布の解析に利用する。

②土壌物性の把握

土質・地質の確認と室内土質試験を行うため、土壌を採取する。土の粒度試験により求まる粒度分布から簡易的に飽和透水係数を求める方法が幾つか提案されているので、室内土質試験結果をもとに飽和透水係数を推定してもよい。

③地下水位(宙水位)の把握

地下水位が高い場合は、浸透能力に大きな影響を及ぼすので、必要に応じて地下水位を把握する。関東ローム台地は宙水の良く発達していることが知られているが、この地域の宙水は関東ローム層中の粘土化した層で支えられていることが多い。

一般的に、関東ローム下層部の透水性が小さいので、強制的な雨水の注入によって宙水帯が生じ、一時的な地下水面になる可能性は十分にある。この一時的な地下水面は浸透能力に影響を与えるので、宙水の位置を把握する必要がある。この宙水位置は、降雨後、台地の崖等の露頭を観察し、水がしみ出している層を観察することによって概略の把握が可能であるが、現地浸透試験の際、オーガー孔を使って宙水の有無を調べると良い。

3) 水質調査

雨水を浸透させる場合、流入水の濁質成分による浸透施設の日詰まりと表層地盤の浸透の能力低減が問題になる。また、雨水浸透は地下水の人工涵養に相当するので、それを行う場合には、周辺環境への影響に対する配慮が必要になる。周辺への配慮事項には地下水位や地下水水質の変化があるが、特に地下水や土壌の汚染が懸念されるような大規模な雨水浸透を行うような場合には、流入水水質および土壌成分等の調査・分析を行うことが望ましい。

4) 現地透水試験

モデル地域では、地盤の浸透能力の評価を目的として現地浸透試験を行う。試験方法は、ボアホール法を標準タイプとするが、地盤状況などに応じ、土研法あるいは実物試験などを選択し、原則として定水位法で実施するものとする。

4.1.3 関連法令の整理

建設に関連する基本的な法規と、それに伴う労働災害、第三者災害への防止など、必要な法規や関係法令を示す。

1) 土木工事関連

- ①道路法(昭 27 法 180)
- ②河川法(昭 39 法 167)
- ③下水道法(昭 33 法 79)
- ④工業用水道事業法(昭 33 法 84)
- ⑤海岸法(昭 31 法 101)
- ⑥港湾法(昭 25 法 218)

2) 防災工事

- ①急傾斜地の崩壊による災害防止に関する法律(昭 44 法 57)

3) 安全管理

- ①市街地土木工事公衆災害防止対策要綱(昭 39 法 57)
- ②労働基準法(昭 22 法 49)
- ③労働安全衛生法(昭 47 法 57)
- ④消防法(昭 23 法 186)
- ⑤道路交通法(昭 35 法 105)

4) 公害防止

- ①騒音規制法(昭 43 法 98)
- ②振動規制法(昭 51 法 64)
- ③大気汚染防止法(昭 43 法 97)
- ④水質汚濁防止法(昭 45 法 138)
- ⑤廃棄物の処理及び清掃に関する法律(昭 45 法 137)
- ⑥自然環境保全法(昭 47 法 85)

5) 資格

- ①建設業法(昭 24 法 100)
- ②測量法(昭 24 法 188)
- ③技術士法(昭 32 法 124)
- ④建築士法(昭 25 法 202)

6) その他関係法令

- ① 建築基準法(昭 25 法 201)
- ② 都市計画法(昭 43 法 100)
- ③ 国土利用計画法(昭 49 法 92)
- ④ 都市公園法(昭 31 法 79)
- ⑤ 都市緑地保全法(昭 48 法 72)
- ⑥ 新都市基盤整備法(昭 47 法 86)
- ⑦ 都市再開発法(昭 44 法 38)
- ⑧ 大都市地域における住宅地等の供給の促進に関する特別措置法(抄)(昭 50 法 67)
- ⑨ 土地区画整理法(昭 29 法 119)
- ⑩ 公共工事の前払金保証事業に関する法律(昭 27 法 184)
- ⑪ 屋外広告物法(昭 24 法 189)
- ⑫ 駐車場法(昭 32 法 106)
- ⑬ 宅地建物取引業法(昭 27 法 176)

4.2 建設方法（ネットワークトンネルと浸透貯留施設）

4.2.1 建設ための前提条件

都市域で地下構造物を建設するにあたって地下構造物は極めて多種多様である。以下の一般図は、既存施設を重ね合わせた図で実際に存在するわけではないが、既存施設を確認できるように検討モデル地域の地下を一般図として示す。

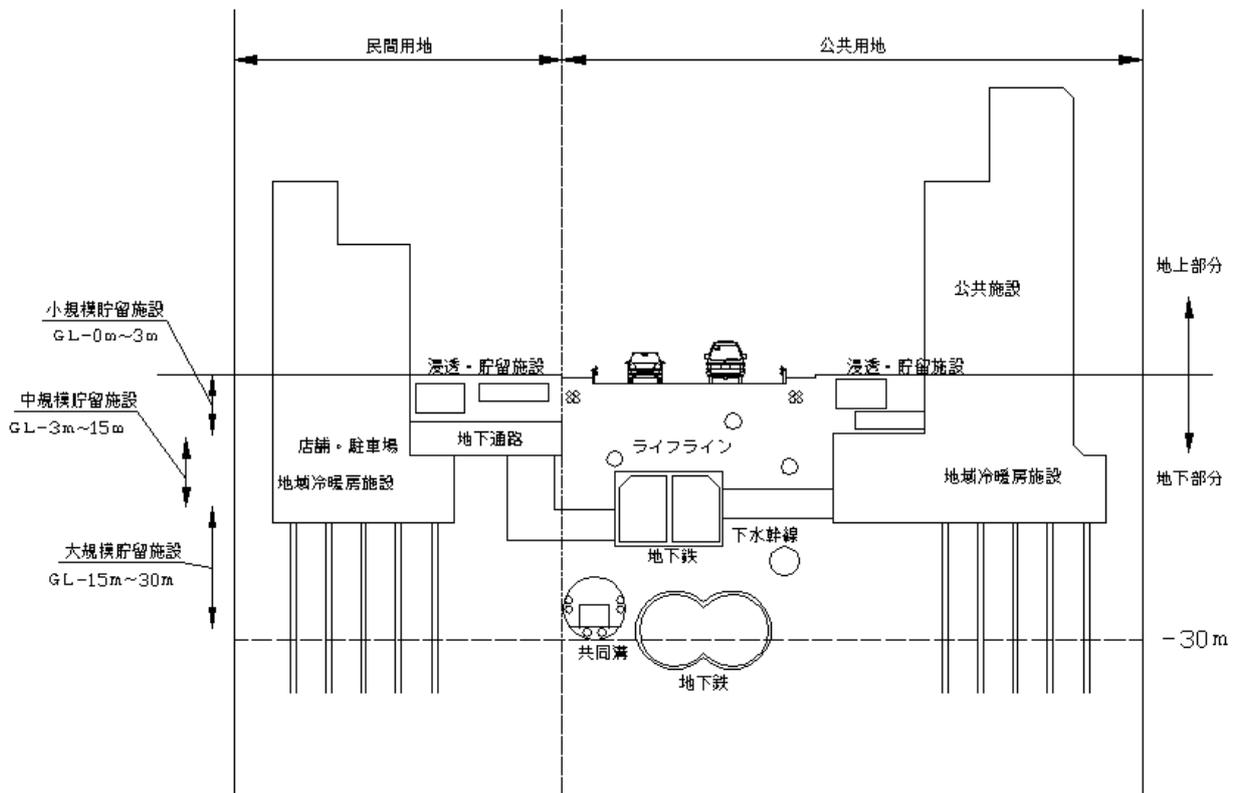


図 4.2.1-1 検討モデル一般図

都市の地下空間においては、施設設置の古い順に浅いところに建設され、また、インフラの規模（量・圧力・高度化）大きくなるにつれて、深い位置に整備されている。

今回の検討深度は、流末を港区内の下水幹線への放流を想定し、下水道台帳から施設建設深度を地下-30m程度に設定し、小規模貯留施設や雨水貯留施設、余剰水一時貯留施設を地表面からGL-0m~3m、中規模貯留施設をGL-3m~15m、大規模貯留施設をGL-15m~30mで検討を行う。

（参考）

地下鉄の地表面からの最大深度

東京メトロ 千代田線国会議事堂前駅、深さ 37.9m

都営地下鉄 大江戸線六本木駅内回りホーム、深さ 42.3m

4.2.2 浸透貯留施設の適用工法

浸透貯留施設を築造する技術として、都市部の近接施工等で施工される立坑の一般的な施工法について施工実績の多い順に示す。

1) 土留め工法

①親杭横矢板工法

親杭にH形鋼、レール等を80～150cm程度の間隔に打設し、掘削に伴い横矢板を入れていく工法。鋼矢板に比べ工費が安く、支保工に水圧がかからないことなどから深い掘削（杭間隔、横矢板厚）や比較的固い層でも可能である。湧水処理の困難な場所やヒービング現象の起る様な軟弱粘土層には不適。

②鋼矢板工法

鋼矢板を連続してかみ合わせながら打設した後、内部掘削を行う工法。水密性が高いことから軟弱地盤にも適し、深い掘削が可能で鋼材の転用も可能。連続壁に比べ剛性が低く、非常に固い地盤には打込できない（オーガー削孔必要）。水圧は殆ど支保工に作用する。

③SMW工法

専用機にて土中を削孔しながら、その先端よりセメントミルク、ベントナイト等の混合液を吐出させつつ、1エレメントの壁状の削孔混練を行い、各エレメント壁をラップさせることにより一体の壁体を形成する工法。止水性が高く、振動・騒音が少ない。泥土処理が必要となり、土質によって施工に熟練を要する。

2) ケーソン

構築物を地上で構築し、内部を掘削して地下に沈めていく工法で、圧縮空気を送り込み地下水圧とバランスを保つニューマチックケーソンと、圧縮空気を用いず全体を沈下させるオープンケーソンがある。軟弱地盤、湧水の多い所に適し、安定性が高い。周辺地盤沈下が少なく、騒音、振動が小さい。ニューマチックケーソンは、設備が大がかりでコストが高く、工期もかかり、エアブローを起こすことがある。オープンケーソンは、軟弱層、湧水量により形に制限あり、周辺摩擦の除去の検討などニューマチックケーソンと比較して工法・工期の検討を要する。

3) 素掘り

①深礎

人力または機械により掘削を行いつつ、鋼製波板とリング枠（主にライナープレート）で土留めを行う工法。施工径が多様で大深長や狭い敷地、傾斜地又は根切り面からの施工が可能。湧水が多い場合や崩れやすい地盤には適さない。

②NATM

地圧を利用して周囲の地層を一体のものとして支保工や吹付コンクリートで壁面を固め、トンネル中心部から放射状に穴を開け、ロックボルトを打ち込みながら掘削する工法。機械化された部分が多く、少人数で施工できる。汎用性が高く、補助工法との組み合わせで様々な地質に対応できるが、吹き付けコンクリートやロックボルト打

設のために専用の機器が必要で仮設備が大掛かりになる。

4) 特殊工法（縦型シールド）

円筒状で、底を抜いた茶筒のような形状をした掘進機で、先端の切羽（掘削面）にカッターヘッドという回転する面板（茶筒の蓋に相当する部分）を押し付けて掘削し、本体を分割されたブロック（セグメント）を組み上げることによって構築される工法。軟弱地盤でも掘り進むことができるが、作泥材や裏込材などの製造施設、セグメントの搬入機器など仮設備が大掛かりになる。

4.2.3 ネットワークトンネルの適用工法

ネットワークトンネルを築造する技術として、一般的な都市トンネルの施工法について工法選択深さの浅い順に示す。

1) 開削工法

地面の土を掘り返し、建設した後に埋めなおすという工法。工事費が安く工期が短い特長がある。一方で地面を開削することに起因する制約も多く、地面から深い場所や路線の上に建造物や河川などがある場合は使えない。地下に多量の埋蔵文化財（遺跡）を抱えている都市では開削工法による工事の前に埋蔵文化財の発掘調査が必要になり、その分の経費と時間が必要となる。また道路上を開削するため道路交通の障害になるという問題もあるが、交通量の多い時間帯には工事を止め、開削した穴を一時的に鉄板で覆って上部を通行可能とすることである程度緩和することができる。

2) 推進工法

計画高さの両端に発進立坑と到達立坑を設け、推進設備を備えた発進立坑から油圧ジャッキにより掘進機を地中に押し出し、掘進機の後続に既製の管を順次継ぎ足し、管列を推進することで掘進機を到達立坑に到達させ、管渠を構築する工法である。開削工法に比べ路面を掘割ることが少なくなるため、工事占有面積の減少、騒音、振動、粉塵等工事公害の低減、交通や市民生活への影響の抑止等の都市環境対策に優れている。

3) シールド工法

一般的には、所定の深さまで垂直に穴を掘った後、施設を建設する予定の空間にシールドマシンと呼ばれる円筒状の機械で掘り進みながらトンネルを造っていく。複数の構造物が地下で立体交差する場合や既設の地下鉄路線や下水道などの地下構造物が近くに存在したり、駅の地下空間に既に何らかの建造物が存在する場合には有利であり、さらに地上の交通に殆ど影響を与えないといった利点を持つ。

4) NATM工法

主に山岳部におけるトンネル工法のひとつ。掘削した部分を素早く吹き付けコンクリートで固め、ロックボルト（岩盤とコンクリートとを固定する特殊なボルト）を岩盤奥深くにまで打ち込むことにより、地山自体の保持力を利用してトンネルを保持する理論および実際の工法である。当初は固い岩盤を持つ山岳でのトンネル施工にもっぱら用いられていたが、現在では多種の関連工法と併せて軟弱地盤や都市部においても用いられるようになっている。

5) TBM工法

固い地盤の掘進に使用される工法で、半径方向に延びるジャッキ（グリッパ）を地山に突っ張る形で伸ばして反力をとり、前胴をスライドさせてマシンを前に進める工法で、シールド工法とはシールドジャッキを介してセグメントから反力をとってマシ

らし、ポンプ仕様、台数を決定し、水位センサーによる自動運転など運用方法を検討する。なおポンプ排水は、一般的に降雨強度に関係なく定量放流を行い、流入量が少なく断続運転となる場合にはポンプ台数を減らして運転するか、ある程度貯留してからポンプ運転を行う。

貯留・浸透施設の機能を保持するためには、排水溝、放流孔の清掃と土砂除去が必要となる。特に施設のうち地下に構築するものはオープン型の施設と異なり維持管理する上で状況を確認することが困難である上、維持管理作業も手間を要する。施設の点検・清掃作業の良好な作業環境の維持を図るため、換気設備が必要であり、また残留汚濁水による臭気などが発生する恐れがあるため、脱臭設備等が必要となる。

換気設備を設置する場合は、天井吊り下げ型や有圧換気扇等の簡易なものとし、換気機械室は設置しないもので検討する。また、脱臭設備は周辺状況を考慮し、設備を設ける場合は活性炭吸着方式などできるだけ維持管理する上で簡易な方式が望ましい。

また、地下各施設をネットワーク化し連携を図るためには、各施設の貯水量、流入流出量等の制御・管理が必要となり、ゲートを設ける等施設ハード面の設備のほか、日常点検・管理する上で必要な各種計測機器を考慮する。

第5章 概算事業費の検討

5.1 対象事業

モデル地域で必要とされるネットワークシステムは、水文・地形的特徴で示した六本木から常時穏やかに供給された淡水（地表水・地下水）や、有効利用されることなく下水道へ流れ出る雨水、ならびに地下構造物への浸出水など余剰な中深層の地下水を有効利用し、地下水、再生水、雨水の利活用による都市の環境改善効果を見込む事業である。

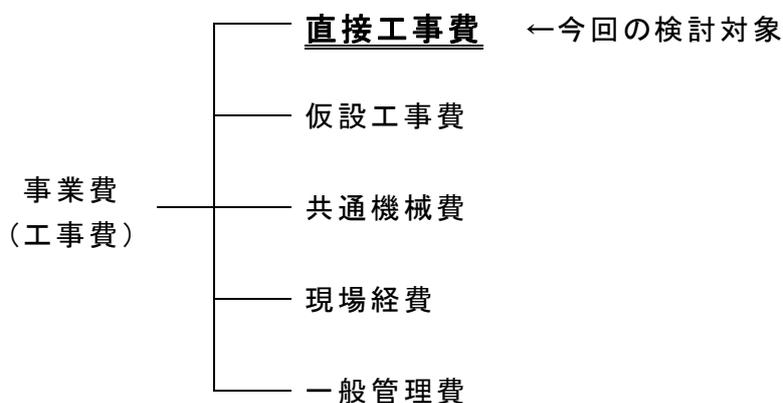
本事業は、「内水氾濫被害の抑制」、「降雨の短期流出抑制」など防災分野に対する効果に加えて、「ヒートアイランド対策」、「癒しの空間の創出」、「快適な都市空間の創出」など環境分野に対する効果が期待でき、水循環系の改善による都市機能の改善に対して大きな便益が期待される。しかし、過年度の調査にあるように、事業効果の評価は、下水道事業や各種対策事業などを参考に防災分野に対する評価は可能であると考えられるが、環境分野に対して現状では定量的に評価する手法が確立されていない。

本事業の推進にあたっては、事業実施における各種効果を定量的に評価する方法を確立し、費用便益を正しく評価することが必要である。

本章では、費用便益の基礎として、概算事業費の算定方法について以下に示す。

概算事業費（工事費）の構成は、各種発注機関及び、工種によって多少の差があるが、ここでは、一般的な土木工事の例として国土交通省の体系を以下に示す。

概算事業費の検討において、仮設工事費などは事業を適用する条件によって幅があるため考慮せず、本章では一般的な直接工事費を検討する。



5.1.1 施設配置イメージと事業範囲

モデル地域で必要とされるネットワークシステムの全体構成は、3章で検討されたイメージ図を基に検討を行う。



図 5.1.1-1 ネットワークシステムの平面図（3章再掲）

5.1.2 モデル地域の施設規模

1) 浸透貯留施設

浸透貯留施設は、過年度及び本年度のヒアリングから得た施設情報や既存施設をもとに同等の機能が発揮できるよう計画した。港区内の雨水貯留施設の事例を調査すると以下のような規模で施設が設置されている。

表 5.1.2-1 モデル地域の施設規模

事業名称	用途	雨水浸透量 ($\text{m}^3/\text{時}$)	空地面積 (m^2)	雨水浸透 の能力 ($\text{mm}/\text{時}$)	貯留槽容量 (m^3)
警視庁赤坂警察署庁舎	庁舎 職員寮	9.74	688.36	14.14	140.00
(仮称)南青山2丁目ビル新築工事	事務所	55.86	185.42	30.26	80.10
環状二号線新橋・虎ノ門地区第二種市街地再開発事業(I街区-1棟)新築工事	住宅・事務所・飲食店	11.57	94.26	12.29	136.23
東海大学高輪キャンパス整備計画	大学		6270.68		1227.30
(仮称)六本木三丁目地区第一種市街地再開発事業施設建築物	住宅 駐車場	38.60	1842.37	20.95	357.76
(仮称)芝浦4丁目計画	賃貸住宅	58.03	1137.86	50.99	52.00
(仮称)港区芝浦2丁目計画	賃貸住宅 事務所	21.18	725.63	29.18	78.62
港区立港南小学校改築工事	学校	149.79	5480.59	27.33	579.81

出典：東京都「建築物環境計画書制度」

- 雨水貯留施設 (80 m^3)：港区内の貯留槽と同規模
- 小規模貯留施設 (400 m^3)：住吉公園雨水貯留施設
- 中規模貯留施設 (800 m^3)：住吉公園雨水貯留施設と同規模
- 大規模貯留施設 ($31,000 \text{ m}^3$)：福江雨水滞水地と同規模
- 余剰水一時貯留施設 (50 m^3)：港区内の小規模貯留槽と同規模

2) ネットワークトンネル

ネットワークトンネルは、港区の下水道台帳より同等の施設規模を設定した。

- 小管路 ($\phi 45 \text{ cm}$)
- 中管路 ($\phi 70 \text{ cm}$)
- 大管路 ($\phi 150 \text{ cm}$)
- 幹線路 ($\phi 260 \text{ cm}$)

5.2 概算事業費の検討

5.2.1 貯留施設、ネットワーク管路施設

3章で検討されたシステム配置イメージ図をもとに検討を行う。

表 5.2.1-1 貯留施設構成一覧

番号	貯留量 (m ³)	規模・用途
1	80	雨水貯留施設
2	80	雨水貯留施設
3	80	雨水貯留施設
4	250	中規模貯留施設
5	80	雨水貯留施設
6	80	雨水貯留施設
7	80	雨水貯留施設
8	80	雨水貯留施設
9	80	雨水貯留施設
10	50	余剰水一時貯留施設
11	80	雨水貯留施設
12	250	中規模貯留施設
13	150	小規模貯留施設
14	150	小規模貯留施設
15	150	小規模貯留施設
16	250	中規模貯留施設
17	80	雨水貯留施設
18	80	雨水貯留施設
19	80	雨水貯留施設
20	80	雨水貯留施設
21	80	雨水貯留施設
22	80	雨水貯留施設
23	80	雨水貯留施設
24	80	雨水貯留施設
25	80	雨水貯留施設
26	80	雨水貯留施設
27	150	小規模貯留施設
28	31,000	大規模貯留施設

表 5.2.1-2 ネットワーク管路施設構成一覧

管路 番号	管路延長 (m)	管内径 (cm)
①	181	45
②	133	45
③	109	45
④	382	70
⑤	206	45
⑥	224	45
⑦	121	45
⑧	79	45
⑨	170	70
⑩	170	45
⑪	85	45
⑫	315	70
⑬	30	150
⑭	67	150
⑮	79	45
⑯	224	45
⑰	176	45
⑱	152	150
⑲	85	45
⑳	139	45
㉑	152	45
㉒	121	45
㉓	121	45
㉔	109	70
㉕	485	260
㉖	212	45

5.2.2 施設費

施設の概算費用を以下に示す。

表 5.2.2-1 貯留施設

施設	個数 (基)	単価 (千円/基)	金額 (千円)
雨水貯留施設 (80 m ³)	19	80,000	1,520,000
小規模貯留施設 (400 m ³)	4	150,000	600,000
中規模貯留施設 (800 m ³)	3	350,000	1,050,000
大規模貯留施設 (31,000 m ³)	1	20,000,000	20,000,000
余剰水一時貯留施設 (50 m ³)	1	50,000	50,000
		計	23,220,000

表 5.2-2 ネットワーク管路施設

管種	延長 (m)	単価 (千円/m)	金額 (千円)
小管路 (φ 45 cm)	2,167	228	494,076
中管路 (φ 70 cm)	976	756	737,856
大管路 (φ 150 cm)	249	1,089	271,161
幹線路 (φ 260 cm)	485	2,156	1,045,660
		計	2,548,753

5.2.3 その他の事業費用

その他の事業費として検討が必要と思われる項目を以下に示す。

- ・浸透ボーリング費用
- ・水に接することのできる地表上でのせせらぎ施設
- ・木育成やヒートアイランド対策のための散水施設
- ・施設の運用ならびに維持管理（各施設の設置場所、機能・目的に応じてポンプ、ゲート、オリフェス等を設置）

5.2.4 工事施工条件の把握

工事ごとに自然的条件、社会的条件等によって、工法、工期、作業性などが大きく左右され、その結果、工事の価格も大きく変動することとなるので、これらの現場条件を十分に調査把握する必要がある。

現場条件を把握するための都市環境での留意事項及びその具体的内容を整理すると次のようになる。

1) 地形

- ① 原地形の確認(地表勾配、高低差、地目、植生の種類及び程度、障害物の有無など)
- ② 土取場
- ③ 構造物の位置と地形の関係
- ④ 排水の状況
- ⑤ 仮設建物の設置場所
- ⑥ 仮設備の設置場所

2) 地質

- ① 地中の土質、岩質（縦方向の変化、基礎地盤の強さ）
- ② 地下水位
- ③ 湧水の有無
- ④ 地すべり箇所の有無

3) 気象

- ① 降雨（月別降雨日数、降雨量）
- ② 降雪（降雪開始時期、降雪量、融雪期）
- ③ 気温（最高気温、最低気温の変化）
- ④ 日照時間
- ⑤ 風向、風力

4) 水位、流況

- ① 水位（高水位、低水位の変化）
- ② 流量(流量の変化)
- ③ 潮位(潮位の変化、干満の差)
- ④ 波浪

5) 動力、用水

- ① 電力（電圧、容量、引込み距離）
- ② 用水（水量、水質、取水設備）
- ③ 代替動力（自家発電設備、ディーゼル機関の使用）
- ④ 排水設備

6) 輸送

- ① 搬入道路（幅員、曲線、勾配、制限荷重、制限高さ、路面の状態）
- ② 材料の輸送（輸送ルート、輸送距離、輸送手続、走行速度、待機場）
- ③ 労働者の輸送（輸送ルート、輸送距離、輸送形態、走行速度、駐車場）
- ④ 機械及び仮設材料などの輸送(基地、輸送ルート、輸送距離、輸送手段、走行速度)
- ⑤ 鉄道及び地下鉄（最寄駅までの距離、始終発時刻、運行）

- ⑥船舶（港までの距離、荷役設備）
- 7) 労務、材料の調整
 - ①労務の調達
 - ②材料の調達（各材料の生産地、生産量、輸送）
- 8) 環境
 - ①近隣関係（近隣の住宅、商店、学校、病院と工事現場との関係）
 - ②地上障害物（高架、送電線、通信線、鉄塔、電柱、索道などの有無）
 - ③地下埋設物（上下水道、ガス、電力、電信などの管路、その他の有無）
 - ④作業時間の制限（昼間作業に対する制限、作業時間に対する制限）
 - ⑤交通関係（交通量、定期バス路、通学路）
 - ⑥利権関係（水利権、漁業権、鉱業権など）
 - ⑦用地補償関係（未解決の用地及び物件、解決済で未移転の物件）
- 9) 仮設建物などの位置
 - ①仮設建物設置場所の確保（借地料、飲料水、電灯、電話、道路）
 - ②仮設備の設置（借地料、道路）
- 10) その他
 - ①隣接工事関係
 - ②残土処理場
 - ③産業廃棄物処理場
 - ④建設副産物の再資源化施設

第6章 官民協業の可能性

6.1 関連する規制・基準類

本事業の実施を想定した場合、主に事業実施に向けて直面しそうな規制について整理する。特に地下水、雨水、再生水を利用した後の放流先について厳しい規制がある。

6.1.1 地下水、雨水、再生水を利用した後の放流について

下水道法による定義では、「下水」とはいわゆる汚水だけでなく雨水も含まれ、また地下水であっても一度利用した水はその水質に依らず下水扱いとなる。

また、公共下水道の供用が開始された地区内における下水は公共下水道に流入させるための排水設備の設置義務がある。したがって、せせらぎ等に地下水や雨水を利用した水も下水道に接続し下水道料金を支払うことになる。

■下水道法■

第二条 この法律において次の各号に掲げる用語の意義は、それぞれ当該各号に定めるところによる。

- 一 下水 生活若しくは事業（耕作の事業を除く。）に起因し、若しくは付随する廃水（以下「汚水」という。）又は雨水をいう。

第十条 公共下水道の供用が開始された場合においては、当該公共下水道の排水区域内の土地の所有者、使用者又は占有者は、遅滞なく、次の区分に従って、その土地の下水を公共下水道に流入させるために必要な排水管、排水渠その他の排水施設（以下「排水設備」という。）を設置しなければならない。ただし、特別の事情により公共下水道管理者の許可を受けた場合その他政令で定める場合においては、この限りでない。

ただし、下水道法10条には公共下水道管理者の許可を受けた場合その他政令で定める場合について例外を認めており、下水道管理者である各自自治体下水道部局との協議により規制緩和してもらえる可能性がある。

例外として認められるための条件としては、以下のようなものが考えられる。

- ・対象下水の排除時の水質が一定の水準を満たしている。
- ・対象下水の水質を安定的に維持しうる状況にある。
- ・対象となる下水の放流先が公共用水域であり、水環境保全のために対象下水の要請がある。
(公共下水道に接続していない)

6.1.2 再生水利用について

再生水利用について大きな障害となるのは、利用用途上の制約である。「建築物における衛生的環境の確保に関する法律」では、以下のように規定されている。

■建築物における衛生的環境の確保に関する法律■

(定義)

第二条 この法律において「特定建築物」とは、興行場、百貨店、店舗、事務所、学校、共同住宅等の用に供される相当程度の規模を有する建築物（建築基準法（昭和二十五年法律第二百一号）第二条第一号に掲げる建築物をいう。以下同じ。）で、多数の者が使用し、又は利用し、かつ、その維持管理について環境衛生上特に配慮が必要なものとして政令で定めるものをいう。

2 前項の政令においては、建築物の用途、延べ面積等により特定建築物を定めるものとする。

特定建築物における利用制限

○施行規則

(雑用水に関する衛生上必要な措置等)

第四条の二

三 散水、修景又は清掃の用に供する水にあつては、次に掲げるところにより維持管理を行うこと。

イ し尿を含む水を原水として用いないこと。

○特定建築物の環境衛生管理基準

雑用水の管理

ビル排水の再生処理水、工水、井水や雨水等を雑用水として利用する場合は、以下の管理を行う。

ウ 散水、修景又は清掃に用いる場合

し尿を含む水を原水として用いることはできない。

この法律により、一般には建築物内における利用の場合、人に触れるような使用方法是困難であり、再生水(どんなに水質が良くても)であつてもし尿由来である以上トイレ洗浄用水くらいしか使用できないと解釈される場合がほとんどである。

その背景には、以下の検討会報告書があると考えられる。

建築物衛生管理検討会報告書 (抜粋) (平成14年7月 建築物衛生管理検討会)

○雑用水について

雑用水とは、人の飲用その他これに類する用途以外の用途に供される水の総称であり、建築物内で発生した排水の再生水、雨水、下水道事業者の供給する再生水、工業用水等が原水として利用されている。一方、使用用途としては、便所の洗浄水をはじめ、散水、水景用水、消火用水、栽培用水、清掃用水等多様な用途で使用されている。

雑用水は人の飲用に供される水ではないものの、配管等に不備がありクロスコネクションや逆流等が生じれば雑用水により飲料水が汚染されるおそれがあること、汚染された雑用水を飛沫等の形で吸飲あるいは小児が誤飲するなどすれば健康を害するおそれがあることなどの衛生上の問題が指摘されていることから、雑用水の利用に当たっては適切な維持管理が必要であり、建築物衛生法に基づく基準を設けるべきである。

具体的には、雑用水の利用を、水洗便所用水として使用する場合と、散水用水、水景用水、清掃用水等人が直接触れる可能性のある用途に使用する場合に分け、前者については、「大腸菌群数、pH、臭気、外観、残留塩素」の5項目について、後者については、さらに生物的安全性を確保するとの観点から「濁度」の項目を追加し、定期的な水質検査を行うべきであると考えられる。測定の頻度は、pH、臭気、外観、残留塩素は7日以内ごとに1回以上、大腸菌群数及び濁度については2か月以内ごとに1回以上とすることが考えられる。なお、雑用水の原水にし尿を含む場合は、当面、水洗便所用水だけに使用を限定するとともに、水景施設としての噴水や滝などエアロゾルを発生する用途にはこれを使用しないこととするのが適当である。また、雑用水槽の清掃等、雑用水が衛生的に供給されるため、雑用水に関する設備の維持管理も併せて行うことが必要である。特定建築物内の解釈についても、建物内だけでなく建築物を含みその敷地内すべてと捉える例もある。

6.2 規制・基準類に対し期待される法整備・課題

前節までに示したように、官民協業を推進していくに際しては関連する法規制や合意形成手法、役割分担などクリアすべき課題は多いが、協業の積極的かつ大胆な活用が実現されれば、新しい事業として効果が高く、また、科学的・経済的合理性のあるものが提案・実現されていくことが期待される。

一方で、河川分野では河川法を改正することなく本省河川局通達で既水利権の目的外使用を認めている事例もある(2章参照)。

下水道法では排水設備の接続義務の免除(特免)について下水道管理者の裁量に委ねられており、どのような場合に免除を認められるかについて一般には不明確である。このような状況のままでは、環境用水として使用した水は下水道に接続し下水道料金を支払い続けることになる可能性が高く官民連携事業推進に向けた大きな課題と言える。

また、再生水の利用用途についても当面、水洗便所用水だけに使用を限定するという解釈となっ
てはいるが、再生水の水質と利用用途の組み合わせをより具体的に考え実際に問題が生じるかについて検証することにより、建物敷地内での利用が可能となるケースもあるのではないかと考えられる(鑑賞用水、防火用水など)。

以上より、以下に示すような法整備に対する課題を官民で抽出・検討し、官民協業に向け課題を解決して行くことが重要である。

- ① 排水設備接続義務の免除要件の開示(用途、水質基準、放流先条件など：国)
- ② 再生水の建物内利用用途基準の提示(詳細な利用要件：国)
- ③ 建物内再生水利用時の発生しうる問題点の検証及び実験など

6.3 インフラの整備手法

整備の枠組みとして以下のようなものがある。

6.3.1 義務や指導などによる手法

法令、条例、指導要綱などにより事業を促進する。

例： 港区雨水流出抑制施設指導要綱

(抑制対策量)

第4条 国、東京都、区、公社等による公共的な施設に対する雨水流出抑制対策量は、自然浸透域及び雨水流出抑制施設により100平方メートル当たり6立方メートル以上を目標とする。

- 2 個人、企業等による民間施設に対する雨水流出抑制対策量は、自然浸透域及び雨水流出抑制施設により敷地面積500平方メートル以上の事業にあつては100平方メートル当たり6立方メートル以上、敷地面積500平方メートル未満の事業にあつては100平方メートル当たり3立方メートル以上を目標とする。

6.3.2 側面支援的な整備促進

貯留・浸透施設の設置に対する優遇税制や設置費への助成制度により事業を促進する。

- ・優遇税制

例.雨水貯留浸透施設に係る割増償却制度(平成10年～)

豪雨対策を主な目的

雨水貯留浸透施設の設置について、法人税、所得税の割増償却制度(5年間1割増償却)というインセンティブを民間に付与することにより、その整備を促進し流域の浸水被害の防止を図る。

- ・助成制度(各自治体の施設設置費の助成)

6.3.3 官民連携(義務などをとまわらない手法)

関係者間のメリットを見つけ出し、インセンティブを作り協力しあう。

例1：お濠の水質改善と民間開発業者による雨水貯留及びその利用

- ・公共にとってのメリット：浸水対策効果、お濠の水質改善に貯留水を活用
- ・開発業者のメリット：容積率の緩和(インセンティブの付与)

例2：緑地への給水とその効果によるヒートアイランド軽減への利用

- ・公共にとってのメリット：余剰水資源利用促進と都市環境改善に雨水・再生水を活用
- ・開発業者のメリット：緑地維持のための給水費用の軽減

6.3.4 現在の制度、枠組みを変える手法

新築や建て替え時には、雨水ますを必ず雨水浸透ますにするよう法制度を整備する。また、合わせてその構造基準を規定し効果を定量評価しやすくするといった手法が考えられる。

施設の維持管理及び役割分担は、地下水、雨水、下水再生水のネットワーク化にあたっては、集水・貯留・送水システムの運営および維持管理を適切に行う必要がある。

表 6.3.4-1 維持管理対象施設（例）

水源	対象施設	維持管理項目	備考
雨水・地下水	揚水施設、雨水集水管	定期点検、修繕等	雨水集水については、既存下水道施設（雨水管、合流管）との関係を調整する必要がある
	貯留施設	清掃、ポンプ運転、修繕等	
	浄化施設	運転管理、水質監視、薬品管理、逆洗排水管理、修繕等	用途に応じて何らかの追加処理が必要な場合
	送水施設	定期点検、修繕等	
下水再生水	高度処理施設	運転管理、水質監視、薬品管理、逆洗排水管理、修繕等	下水道からの再生水を利用する場合に合わせた個別処理する場合
	送水施設	定期点検、修繕等	

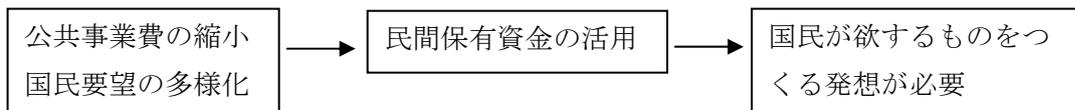
各種維持管理項目について役割分担を検討する必要がある。地域住民や民間企業等の協力を得て雨水を集水しネットワーク化する場合には、水の利用度合いや維持管理への協力度合いに応じたインセンティブの提供が必要になるとと思われる。

また、路面雨水も収集・利用する場合には、既存下水道施設の集水システムとの調整が必要になるとともに、集水施設自体の所有権の問題が生じる。所有権を有することになれば、日常の住民からの問い合わせや苦情への対応窓口が必要となり、また、雨水の流れに不具合が生じて冠水を生じた場合の対応方法等様々な状況を想定した検討が必要となる。

6.4 地域の合意形成調査について

以下の資料における検討報告から合意形成に関する部分について抜粋した。

- ① 平成18年度 都市再生・地域活性化・生活利便性向上を目指した都市機能高度化・地下空間開発利用等関連エンジニアリングの動向と今後のあり方に関する調査報告書 第3分冊 平成19年3月
- ② 平成19年度 都市再生・地域活性化・生活利便性向上を目指した都市機能高度化・地下空間開発利用等関連エンジニアリングの動向と今後のあり方に関する調査報告書 第3分冊 平成20年3月



このための手段としてPPPなどが挙げられる。

6.4.1 本当に必要なものの社会へ向けての情報発信

欧米諸国とは違う我が国の地下利用について、地下を利用することにより、地上で快適に生活できるということを、歴史や文化、自然条件、技術力を踏まえたPRが必要。そのためには、

- ・徹底した情報公開と正確な情報発信
- ・無関心層に対しての利用者の立場に立った説明
- ・反対者への真摯な対応
- ・新聞等による誤解を招く報道に対する素早い発信

などが不可欠

企画者・施工者側から理解・納得させるのではなく、利用者側(国民、住民、納税者)に、自ら「欲しい」と思わせる情報発信が重要である。

地下空間の利用にあたっては、より丁寧な地元への説明と地元住民から出た意見を吟味し、必要によっては計画に反映させたり、「分かりやすいキャッチフレーズ」をもってPRをしたりすることが重要となる。そのためには、地下空間の安全性評価や地下の優位性のデータ整理などとともに長期ビジョンや都市計画を、住民、民間、地方自治体、国が共有するシステムが必要である。

6.4.2 合意形成の課題

最近のP I事例を概観すると、かなりの成果、事例が存在する。しかしながら、「東京外かく環状道路P I」の事例を見ても、関係する住民が多数にのぼり価値観も多様化していることが合意形成を困難にさせ、計画決定までに長期間を要しているのが現状である。

さらに、最近では事業者、住民との間に中立的な第三者をおいて解決を図るメディエーションの研究も進められており、わが国における初めての制度として注目される。いずれにしても、中立的な第三者の具体的な立場、資格など法制度も含めた検討、改革が必要であり事業者主体側の積極的な取り組みが必要である。

6.5 今後の課題

地下水・雨水・再生水のネットワーク事業を進めるにあたり、以下のような課題が挙げられる。

- ・地下水・雨水・再生水のネットワーク事業には、企業、公共だけでなく個人も含めた官民連携が望ましい。その実現には各主体にとってのメリット、インセンティブを留意しておくことが重要である。
- ・必要な規制緩和、新たな制度・枠組み、期待される補助等を調査し、事業成立要件として整理するとともに、フィージビリティスタディを通じてより具体的な検討を行う必要がある。その際には各主体者にヒアリング、アンケート調査などを行う必要もある。
- ・水分野の事業としてだけでなく、住民が望むまちづくりの一環として水のネットワーク事業を構成し、地域住民の理解を得ながら継続可能で自主的な維持管理・運営ができるよう体制を構築することが必要である。

第7章 まとめと今後の課題

7.1 調査研究のまとめ

本研究では、平成21・22年度の2カ年にわたり、地下の高度利用における事例等について、特に、都市機能の向上とヒートアイランド対策、CO₂削減に対して高い有効性が期待される技術やコンセプトについて調査・検討を行った。ここでは、都市における水循環系の改善と防災・減災システムの構築の実現に関して、文献・事例調査を行い、その結果に基づき、今後の地下水・再生水・雨水の有効利用のあり方について総合的に検討した。

7.1.1 都市の現状と課題の抽出

都市のヒートアイランド現象、水に関係する災害状況、地下水・再生水・雨水の状況、緑化状況、地下空間の利用状況、規制に関連する事項、ならびに都市の地象・気象など環境に関わる状況の経年変化等について文献・事例調査を実施するとともに、都市が抱える課題の現状やそれに対する施策についてヒアリング・現地踏査を実施し、これらを基に都市域での水環境に関する問題を整理した。

人工的な変更を行っている都市では、ヒートアイランド現象の発生、降雨の短期流出の増加、内水氾濫被害の発生、余剰地下水の発生等の問題を抱えているという現状と、そこから浮かび上がる課題が、蒸発散量の減少、地下浸透量の減少、上水使用量の増大、地下水流出の減少、表面流出の増大等に起因していることを示した。また、都市域の水循環に関する問題は、主に浅層地下水に関係する水循環系に課題が認められることや、その原因が自然の水循環系が人工的な開発の影響を受けることによるものであると考えられた。

このことから、適切な都市環境を考えるにあたっては、水循環とそれに伴って形成される環境を改善または保全することが、課題を解決する上でポイントとなると想定された。

7.1.2 基本コンセプトの策定

ここでは、都市の循環を改善する上で地下水・再生水・雨水を総合的に有効利用することに着目して基本コンセプトを策定した。

大気から大地・河川を経て海域に向かう水循環のなかでも、都市の水循環の規模は、局所もしくは中間的な規模であり、個々の循環システムを個別に改善をしていくことによって、長期的には広域循環に対しても改善効果が得られると考える。

都市では、自然の水循環が人工的な開発の影響を受け、問題を発生させている。そのため、健全な水循環を再構築するためには、人工的なアプローチを積極的に導入し、かつ、その内容と自然の水循環とを調和させることが必要である。地下水・再生水・雨水を総合的に有効利用した健全な水循環の再構築は、都市の機能を改善させ、水収支だけでなく、水辺環境の改善や住みよい都市環境の形成につながり、より良い都市をデザインするための一つの重要な視点となることが期待される。

7.1.3 改善効果の評価方法

防災分野における防災性向上効果の考え方、環境分野における対策効果の解析・計測事

例、その他の環境保全対策の事例、および CO₂ 削減効果に関する指標について調査し、基本コンセプトを実現するために必要な都市の課題解決のための改善項目、個々の対策とその効果、ならびにネットワーク化による総合的な対策とその効果について検討した。

防災分野の評価方法では、各事業の特性にあわせて様々な方法が用いられているが、一般には、まず、期待被害額による防災性のリスク評価が行われる。その上で、事業の実施によって期待被害額が軽減するとした上で、その期待被害軽減額に基づいて効果を評価する方法がとられている。また、環境分野においては、都市の課題に対する各対策の効果の評価は、「癒し」といった心理的な要素を含むために、総合的な観点からの定量評価指標が未だ確立されていないものの、「気温変動量」「地下蓄熱量」「河川への流量」「地下水位変動量」などに関しては定量的な評価が行えるようになっている。すなわち、上述の各分野に対する評価方法は、既存の評価方法・事例を基に評価することが可能であると考えられる。

一方、都市の水循環系の健全化のためには、個々の施設の機能を効率的に発揮させるためにネットワーク化による総合的な対策が必要である。ネットワーク化による効果の評価方法としては、広域の粗いモデルから徐々に狭い領域へと高精度なモデルシミュレーションを行う方法が考えられ、この方法により都市環境改善の効果を種々のスケールで示すことが可能である。この方法は、事業化の推進にあたっての合意形成に対して非常に有用なアプローチとなり得、システム導入の推進力となることが期待される。

7.1.4 具体的な施設の提案

基本コンセプトに基づく具体案の策定にむけて、実現可能性のあるモデル地域を選定し、その中でも事業化する上で優先度の高い事業を実施する箇所の選定方法について例を示した。また、選定した事業実施箇所に対して、具体的な施設配置とネットワーク化、その建設方法と概算事業費を考える上での留意点、ならびに事業実施に向けての官民協業の可能性についてについて検討した。

モデル地域としては、人口集中地である大都市部で、浸水被害・ヒートアイランド現象・未利用水の問題がある区域、また、都市として地下が高度に利用されており水辺空間の減少が著しい区域、さらには人工被覆地率・表流水流出率が高い区域を選定することとした。その中でも、地域内に台地と低地を有し、小規模であるが地域内で水循環系が形成されている区域を対象として選定することが適切であると判断した。事業実施箇所としては、災害分野、環境分野に関する多くの課題を抱え、地下水・再生水・雨水の利活用による環境改善効果が見込まれるところが望ましいと考えた。また、地域住民の意見、行政の考えを反映させることができ、問題の重要さに鑑みて事業化優先度の高い場所を選定する必要がある。

具体的な施設配置は、事業実施箇所の水文地形学的特徴、地上・地下利用状況を調査し、配置する各種施設の機能とその効果に基づき個別施設の配置を考え、さらに個別施設のネットワーク化により、総合的な治水対策を効果的に行うことになる。ここでは、各施設で貯留した雨水・地下水を有効に利用し、水循環系を改善することができることが期待される。

個々の施設は、既存の技術で建設することが可能である。なお、その建設方法を定める

ためには、対象地域の地盤特性や、多種多様な構造物が輻輳して配置されている都市部の地下の情報を精度良く収集し検討することが必要である。

概算工事費の算定に関しては、自然条件、社会的条件等によって、工法、工期、作業性などが大きく左右され、その結果、工事の価格も大きく変動することとなるので、これらの現場条件を十分に調査把握する必要がある。

また、公共施設と民間施設を連携させ広域のネットワークシステムを構築していくためには、地下水・再生水・雨水を利用した後の放流先についての規制、再生水の利用用途上の制約に関連する法規制や、合意形成手法、役割分担などを検討し、官民協業を推進することにより、民間の地域環境改善への貢献を促進し、都市の抱えるヒートアイランド、降雨の短期流出や内水氾濫などの課題を解決することが必要である。

7.1.5 まとめ

本研究では、地下空間を利用した都市機能改善、自然環境改善、防災・減災を目的とした健全な水循環ネットワークシステムの構築と、そのシステムを具体化するための方法について検討を行った。

システムを具体化するための方法・手順を以下に提案する。

- ① 対象とする地域の現状から浮かび上がる様々な課題やその地域の意見を考慮した基本コンセプトを策定する。
- ② 策定したコンセプトの具体化に向けて、対策項目の選定と、その対策による防災・環境分野に期待される効果の評価方法に対する検討、および具体的な事業実施方法に対する検討を行う。
- ③ 事業実施方法での検討から提案される施設とそのネットワーク化から期待される「水循環系の改善効果」ならびに「防災・減災の改善効果」を評価・検証し、改善効果が最大となるネットワークシステムを構築する。

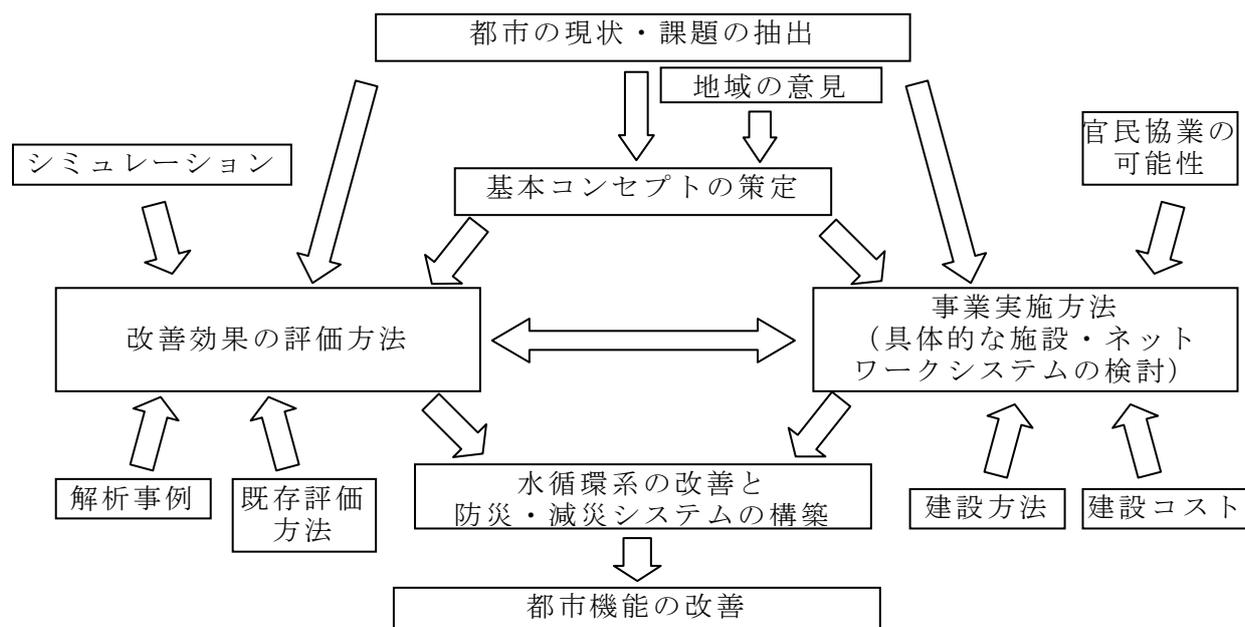


図 7.1-1 システム具体化の方法手順

図 7.1-1 に示した方法手順で検討を実施することによって、地下水・再生水・雨水を総合的に有効利用した健全な水循環を構築するシステムを具体化することが可能であると考ええる。

7.2 今後の課題

今回実施した「都市の現状と課題の抽出」、「基本コンセプトの策定」、「期待される効果の評価方法」、「事業実施方法」に関する調査における今後の課題を以下にまとめる。

7.2.1 都市の現状と課題の抽出について

今回の調査では、公にされているデータ・文献に対する調査、ヒアリング・現地調査により都市の現状を把握し、その調査結果を基に課題を抽出した。事業実施に向けては、行政や関連機関が保有する最新かつ精度の高いデータを幅広く収集し、現状の課題を的確に分析していくことが重要である。また、都市の課題を抽出する上で、そこに暮らす人々の意識、考え方に関するデータを付加し検討することが重要であると考ええる。

7.2.3 期待される効果の評価方法について

効果の評価方法に関しては、防災分野ならびに環境分野における方法について調査し、さらに都市の課題として考えられるヒートアイランド対策については、その効果を定量的に評価した事例や心理的な効果の評価方法について調査した。それらの結果を踏まえて、具体的な対策を実施する際の施設計画段階から実施段階、さらに改良・改善段階までの一連の評価方法について検討した。

本事業は、防災分野に対する効果に加えて、環境分野に対する効果が期待でき、水循環系の改善による都市機能の改善に対して大きな便益が期待される。そのため、事業推進にあたっては、事業実施における各種効果を定量的に評価する方法を確立し、費用便益を正しく評価することが必要である。そのため、現時点ではいまだ研究段階である心理的な効果など、定量的評価が難しいが対策実施により得られることが期待される様々な効果についても評価することが必要であると考ええる。

7.2.3 事業実施方法について

地域住民の環境ならびに都市の課題に対する意識は様々であり、地域住民の意識の実態を調査・集計し、把握することが肝要である。また、官民協業を推進していくという観点からは、関連する法規制や合意形成手法、役割分担などクリアすべき課題は多いが、協業の積極的かつ大胆な活用が実現されれば、新しい事業として効果が高く、また、科学的・経済的合理性のあるものが提案・実現されていくことが期待される。

事業実施に向けて残された課題を以下に示す。

- ・官民協業を進め、「排水設備接続義務の免除要件の開示(用途、水質基準、放流先条件など：国)」、「再生水の建物内利用用途基準の提示(詳細な利用要件：国)」、「建物内再生水利用時の発生しうる問題点の検証及び実験など」などの法整備に対する課題を官民で検討し解決して行くことが重要である。

- 地下水・再生水・雨水のネットワーク事業には、企業、公共だけでなく個人も含めた官民連携が望ましい。その実現には各主体にとってのメリット、インセンティブを用意しておくことが重要である。
- 必要な規制緩和、新たな制度・枠組み、期待される補助等を調査し、事業成立要件として整理するとともに、フィージビリティスタディを通じてより具体的な検討を行う必要がある。その際には各主体者にヒアリング、アンケート調査などを行う必要もある。
- 水分野の事業としてだけでなく、住民が望むまちづくりの一環として水のネットワーク事業を構成し、地域住民の理解を得ながら継続可能で自主的な維持管理・運営ができるよう体制を構築することが必要である。

書名 平成22年度
地下水・再生水利活用の地下空間利用に関する調査 報告書

発行 財団法人エンジニアリング振興協会
地下開発利用研究センター
〒105-0003 東京都港区西新橋一丁目4番6号
TEL : 03-3502-3671 FAX : 03-3502-3265
<http://www.ena.or.jp/>

印刷所 日本設計サービス株式会社

禁無断転・掲載