

# 国土強靱化に資する地下空間利用に関する 調査・提案

## AN EXPLORATION AND APPROACH OF USE OF UNDERGROUND SPACE THAT CONTRIBUTES TO NATIONAL RESILIENCE

稲葉 薫<sup>1\*</sup>・笠 博義<sup>2</sup>・平野 孝行<sup>3</sup>・奥村 忠彦<sup>4</sup>

Kaoru INABA<sup>1\*</sup>, Hiroyoshi KASA<sup>2</sup>, Takayuki HIRANO<sup>3</sup>, Tadahiko OKUMURA<sup>4</sup>

Local government in Japan should develop the local resilience plan in conformity with the local conditions responding to the building national resilience. It is necessary to assume risk scenarios and draft policies that mitigate the risks. In this study, the procedures of developing the local resilience plan were ordered, and fundamental studies about the way of resilience for urban functions were investigated through the risk analysis considering usual water utilization and water utilization in a time of disaster, and organizing problems of the flood hazard maps. In addition, the provisional concept of “urban qanat” as one of concrete plan for intercommunity cooperation was proposed. This concept could fulfill functions both of rainwater storage tube and river detention pond, and contribute to maintenance of hydrological circulation from underground recharge area to discharge area.

**Key Words :** *national resilience, risk analysis, hazard map, intercommunity cooperation, groundwater utilization*

### 1. はじめに

国土強靱化を目指す上で、都道府県および市町村は国が進める「国土強靱化基本計画」を受けて、各地域の条件に即した地域強靱化計画を策定することとなる。このとき、計画立案者はリスクシナリオを想定し、それに対応するさまざまな施策を立案することが必要である。本研究では、この施策立案に資する情報の整理のために、地域強靱化計画策定の手順を整理し、特に都市の生活基盤としての水関連施設に注目し、災害時だけではなく通常時の利水も考慮したリスク分析と、洪水を対象としたハザードマップの課題点の整理を通じて、都市機能の強靱化の在り方について基礎的な検討を行った。

また、エンジニアリング協会地下開発利用研究センターでは、都市機能強靱化のための地域間連携の具体策の一つとして、「仮称 大都市カナート構想」を提案して

いる<sup>1)</sup>。この提案は、各地域の既存の貯留槽を連結することにより、全体で見たときの貯留容量を大きくすることによって、より強靱な災害対策とするもので、平常時は地下水を有効に利用しながら、災害時に局所的に水が必要となった場合に、カナートに貯留された水を融通するといった利用を想定したものである。本研究では、従来の構想に広域的な水循環の観点を加えて深化させた新たな構想を提案する。

### 2. 地域強靱化計画の位置づけと事例分析

地域強靱化計画とは対象地域がどのような災害が起きても機能不全に陥らず、いつまでも元気であり続ける「強靱な地域」を作る計画のことである。その策定手順は、「国土強靱化地域計画策定ガイドライン（第2

キーワード：国土強靱化、リスク分析、ハザードマップ、地域間連携、地下水利活用

<sup>1</sup>正会員 株式会社竹中工務店 技術研究所, Takenaka Research & Development Institute, (E-mail: inaba.kaoru@takenaka.co.jp)

<sup>2</sup>正会員 安藤ハザマ 技術本部技術企画部, Technical Planning Department Technical Division, Hazama Ando Corp.

<sup>3</sup>正会員 西松建設㈱ 土木事業本部, Civil Engineering Design Department, Nishimatsu Construction Co., Ltd.

<sup>4</sup>正会員 エンジニアリング協会 地下開発利用研究センター, Geo-space Engineering Center, Engineering Advancement Association of Japan

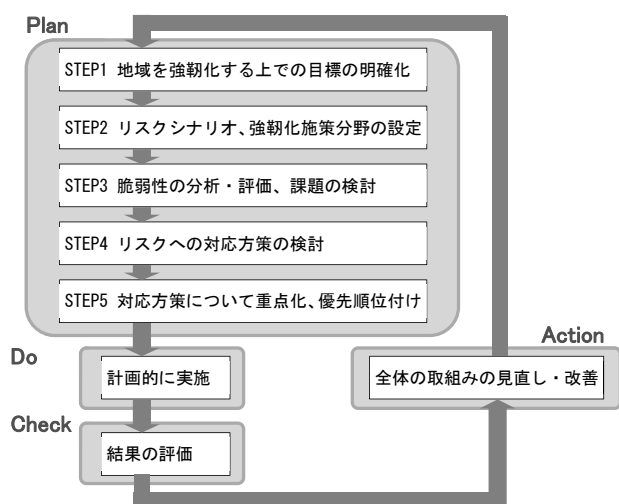


図-1 地域強靱化策定計画の流れ

(国土強靱化地域計画策定ガイドライン(第2版)より引用・加筆)

表-1 水利用と水に関わる災害事例<sup>2)</sup>

分類	名称・概要		頻度	都市化との関連	防災施設		上水・水源		地下構造物
					堤防 落差工	貯水管 ポンプ場	井戸	貯水池 貯水管	
①	津波	津波	中～低	広域災害	●	●			
	地震	塩水汚染	中	広域災害			●	●	
		配管損傷	中	広域災害				●	●
②	高潮	内水氾濫	中	広域災害	●	●			●
	洪水	破堤	高	広域災害	●				
		破堤	高	広域災害	●				
		内水氾濫	高	都市化		●			
		内水氾濫	高	都市高度化		●			●
		内水氾濫	高	都市高度化		●			●
	斜面災害	土石流・地すべり	高	都市化	●				
	豪雪	融雪水排水不良・雪捨て場	高	都市化		●			
	異常漏水	異常漏水	高	都市化			●	●	
②,③	下水不良	汚染水排出	中	都市高度化		●			●
	漏水・資源浪費	雨水利用・民間施設利用	中	成熟都市		●		●	●
	汚染	地下水汚染	中	都市化		●			
③	消防	消防水利	中	都市化		●			
	老朽化	上下水道配管	中	成熟都市			●		●
	地下水保全	地下水異常	中	都市高度化	●	●			●
		水圧・浸出水	中	高度化					
	資源活用	小水力発電	中	成熟都市	●				●
	少子高齢化	水いんフラ統合	中	成熟都市	●	●			●

版)」（[http://www.cas.go.jp/jp/seisaku/kokudo\\_kyoujinka/pdf/guideline2.pdf](http://www.cas.go.jp/jp/seisaku/kokudo_kyoujinka/pdf/guideline2.pdf)(2016/09/30参照)）に詳しく示されており、多くの都道府県・市町村がこのガイドラインにしたがって、計画の策定に取り組んでいる（平成28年8月現在、53団体が計画策定済み、44団体が計画取り組みを公表）。地域強靱化計画の策定は、図-1に示したSTEP1～5の手順で進められるが、その過程においては、地域の自然・社会条件を十分に踏まえたリスクシナリオを設定することが極めて重要である。

## (1) 事例分析によるリスク分析

上述したように、地域の実情に応じたリスクシナリオを検討する上では過去の災害について分析し、その特徴を明らかにすることは極めて有効な方法の一つである。こうしたことから、特に都市における水に係わる災害対象として、主に2000年以降に発生した災害による被害と都市インフラとの関連性について整理を行った（表-1）<sup>2)</sup>。ここで取り上げた事例は、その発生要因から、① 巨大地震に伴う災害、② 異常気象に伴う災害、③ 都市化に伴った環境変化による事象に分類されるが、③においては自然災害のみならず、都市構造の変化に伴う生活への支障の発生事象に加えて、それらを解消すべく取り組まれている事例も含んでいる。

このうち、①の「巨大地震に伴う災害」は、東日本大震災のように、発生頻度は低いものの水インフラ全般に与える影響や経済的損失が非常に大きく、こうした災害を契機に法改正や新たな制度の設定などが行われている。②の「異常気象に伴う災害」は発生頻度が高く、特定の地域で同様の災害に繰り返し見舞われることが少なくない。また、主として防災施設や地下構造物への影響が大きい。

上記の二つのタイプに対して、③の「都市化に伴った環境変化による災害」は、地震や異常気象等の災害要因そのものではなく「その受け皿となる都市の環境変化に起因して様々な災害が生じる」という特徴があり、対象となる水インフラの施設也多岐に渡る。

この分析より、災害タイプ別に検討が必要なインフラや対象範囲の大きさが異なることがわかる。さらに、地域強靱化の検討においては対象とする災害の特徴と同時に都市化による生活基盤の変化や、都市域における昼夜間人口変動および観光客等の一時滞在者についても十分に検討する必要があることがわかる。

## (2) 洪水ハザードマップの有用性と課題

前節では地域強靱化を検討する上で、防災施設を含めた水インフラでの留意事項に関する検討結果を示した。これに対して、ここでは緊急時の避難に活用する対策の柱であるハザードマップについて検討する。

ハザードマップは「リスクの見える化」と「リスクへの気付き」に大きな効果があるため、近年多くの自治体で整備が進められている。一方で、最近発生した複数の災害を通じて、この整備が行政単位で行われていることが問題点として指摘されている。この問題点について、東京都内の荒川氾濫を対象としたハザードマップを対象に検討を行った。

荒川の堤防が決壊して河川が氾濫した場合の氾濫流の広がりや水深については国土交通省が浸水想定区域図として公開しており、流域の各自治体ではそれに基づいて洪水ハザードマップを作成している。

図-2は荒川区<sup>3</sup>とその周辺の足立区<sup>4</sup>、北区<sup>5</sup>、台東区<sup>6</sup>、墨田区<sup>7</sup>、文京区<sup>8</sup>の6区の洪水ハザードマップを統合したものであるが、この図では区境界での差異が目立ち、全体として統一感がないなど、「災害の見える化」が十分にできていないことが分かる。さらに、各区のハザードマップにおける浸水被害想定の方針も統一されておらず、複数の区を超えての避難誘導には支障が生じる懸念がある。さらには東日本大震災で発生した津波による大規模な火災が発生したこと等を受けて、複合災害への備えについても検討する必要がある。

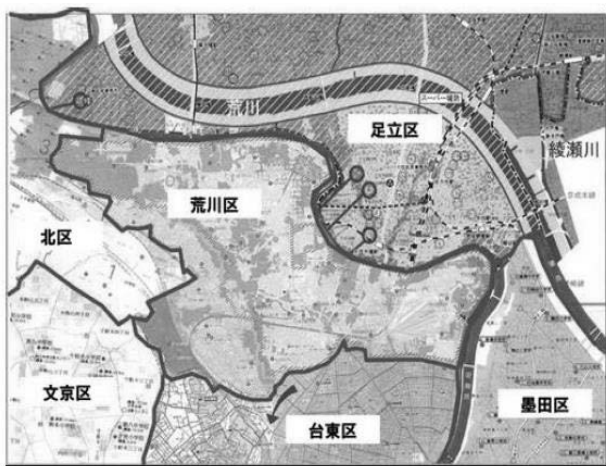


図-2 合成ハザードマップ（文献<sup>3）～<sup>8</sup>より作成）</sup>

上記のように、自治体独自に作成されるハザードマップは、広域災害においては、自治体境界部での整合性の確保や表示法の統一ルール化などの自治体間の連携が必要であることが示された。これに対しては、隣接する市町村が連携した計画策定は一部の地域で始まった段階であり、今後早急に一層の連携を進める必要がある。

### 3. 大都市カナート構想の提案

#### (1) 従来のカナート構想

前述のように、地域強靱化を実現するためには、より広範囲の領域における地域間の連携が重要である。また、広域的な評価を行う上では、水資源・水環境の保全の観点から、災害時だけでなく平常時の水利用施策を広域的に検討することも併せて重要である<sup>9,10</sup>。

エンジニアリング協会地下開発利用研究センターでは、これまでに地域間連携の具体策の一つとして、災害時の水利用を主眼においた平常時の地下貯留のための「仮称大都市カナート構想」（図-3）を提案した<sup>1)</sup>。これは各地域の既存の貯留槽を連結し、全体での貯留容量を大きくすることによって、より強靱な災害対策とすることを狙ったもので、災害等により局所的な領域で水が不足する事態を想定し、大都市カナートに貯留された水を他地域から融通することでそうした事態を防ぐ、といった災害時の水利用を主眼においた平常時貯留の概念である。

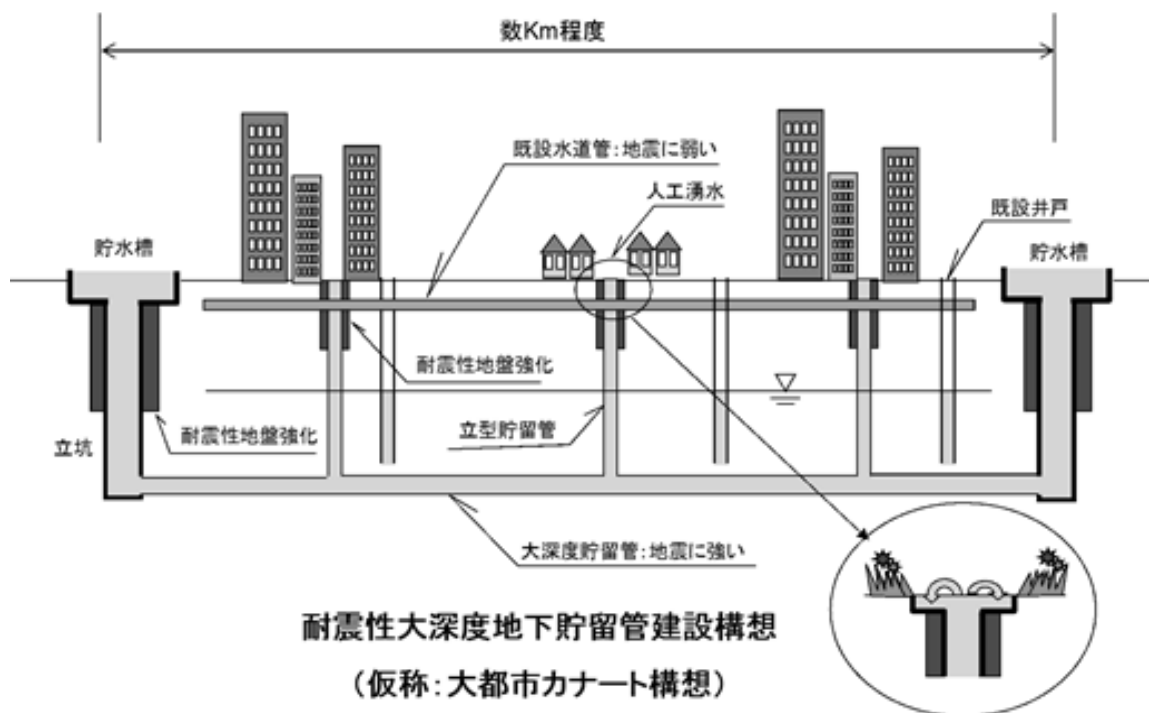


図-3 従来の大都市カナート構想

すなわち、常時、カナート内に一定の水が貯留されていることを念頭に置いている。

一方、近年多発するゲリラ豪雨等の集中豪雨や台風被害に対して、首都圏外郭放水路のように貯留槽を空の状態にして大規模水害に備えている事例がある。限られた社会原資の中で効率的に強靱な災害対策を推進していく上では、既存のストックを有効に活用して豪雨等の災害に備えることも重要であると考え、従来の「仮称 大都市カナート構想」を深化させた新たなカナート構想（図4）を提案する。

## (2) 新たなカナート構想の提案

地方都市程度の範囲に存在する複数の貯留槽を考えた場合、積極的な排水管理を行わなければ「ある地域では空」であったり、「ある地域では満水に近い状態」であったりといった貯留量の地域間の差が生じることが考えられる。この時、貯留槽が連結管によって連結されていたならば、満水に近い状態の地域に集中豪雨が起きたとしても、満水に近い状態の貯留槽の水を空の貯留槽に送水することで貯留可能量を大きくさせて豪雨対策として有効活用することが可能となる。また、各貯留槽を連結させた場合、基本的に上流側から下流側へ連結管を通じて水が流れる管理にすることが自然である。一般的に上流側地形の標高は高く下流側地形の標高は低いので、貯留槽を連結させた場合でも重力エネルギーを使って上流側から下流側へ流動を起こすことができるといった点からも有利である。また、自然に流下する水の流れを利用し、図-5に示すような小水力発電システムを導入すれば1か所につき100kW程度の発電を見込むことができる<sup>1)</sup>。

一方でこうした管理にした場合、自然に水は下流方向へ流動していくため、下流側では常に貯留水が余剰にある状態、上流側では常に貯留水が少ない状態となりやすい。貯留水の有効活用方策の一つとして、上流側（涵養域）における地下水浸透を期待した使い方（親水公園への水の供給など）があるが、涵養域の貯留槽の貯留水は不足しがちであるため、こうした活用ができないケースが考えられる。そこで、普段余剰気味の下流側から上流側の貯留施設へ水を融通することで、貯留槽内の水を涵養域においても常時有効活用することができるようにする。具体的には下流側の貯留槽にポンプを設置し、必要に応じて上流側の貯留槽へ貯留水を送水できる設備を設置する。平常時は涵養域で使用する水量を下流側から送水することとするが、下流側に集中豪雨等の災害が生じた場合は、下流側の貯留水を上流へ移動させることにより、

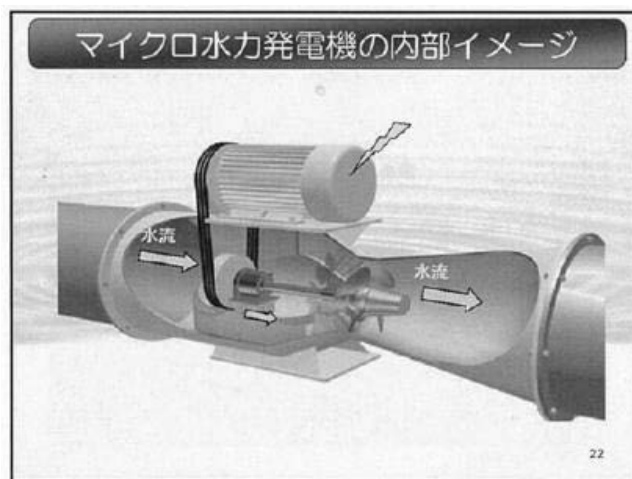


図-5 小水力発電概念図

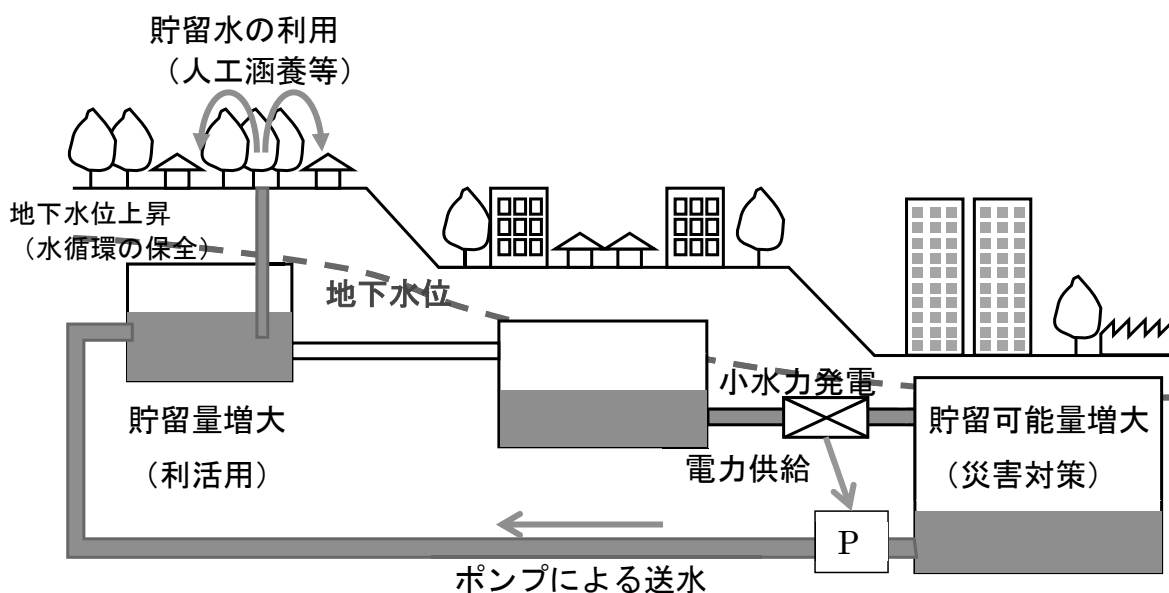


図-4 新たな大都市カナート構想

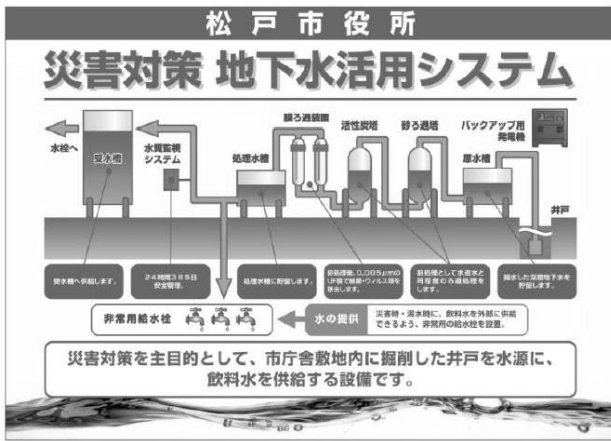


図-6 水質処理システムの例

下流側の貯留槽の空きを作り豪雨対策とする、といった前述のような役割を期待した運用も可能である。さらに、前述した小水力発電システムを設置しておけば、その発電電力をポンプ稼働電力の補助電源として使うことも可能となり、省エネ効果を見込むことができる。

なお、このような運用を行った場合、各貯留槽内に常時、一定の水量が確保されることとなる。この時、水の利用用途によっては滞留する水の水質が問題となる。この場合、図-6に示すような水質処理システムを別途設置する必要がある。

#### 4. まとめと今後の課題

##### (1) まとめ

水資源・水環境の保全の観点から検討した平常時の地下水利用、および災害時における地下水利用の課題と重要性から、平常時、災害時とも一地域（自治体）限定の局所的対策でなく、より大規模な領域を踏まえた地域間の連携した対策が重要なことが示された。

災害時の水利用を主眼においた平常時の地下貯留のための「仮称 大都市カーナート構想」は、各地域の既存の貯留槽を連結して全体としての貯留容量の大規模化を図る事で、より強靱な災害対策とするものである。より効率的・強靱な災害対策を推進していく手法として、平常時、災害時ともに有効な施設とするために同構想を深化させた検討を行った。

深化させた同構想とは、広範囲（地方都市程度）に複数の貯留槽を考え、上流から下流への貯留水の自然流下などによって生じる貯留量の地域間差に対して積極的な排水・貯留管理を行うことで、平常時・災害時を問わず水を有効利用するものである。連結管によって結ばれた

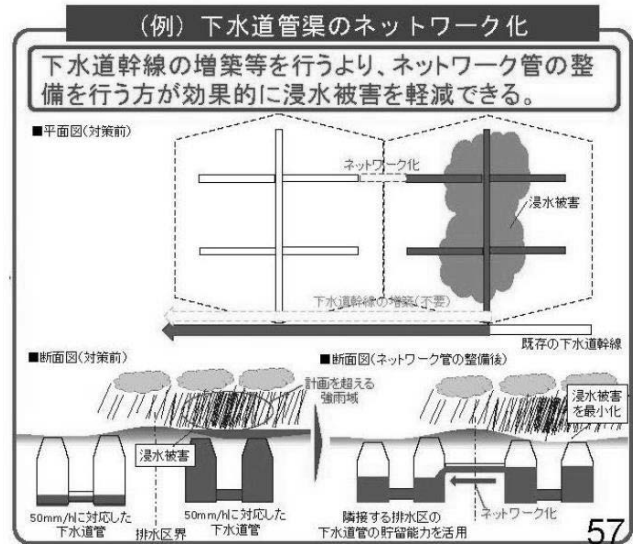


図-7 下水道管ネットワーク概念図

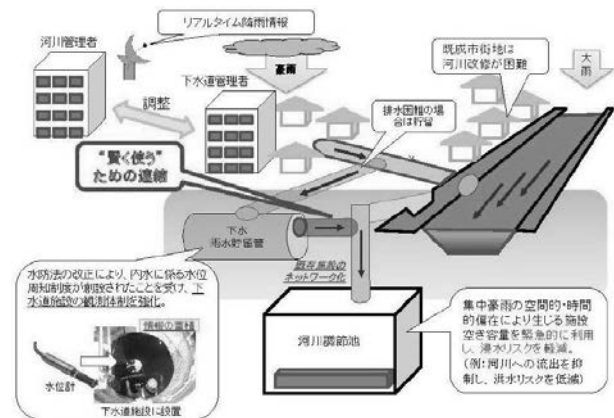


図-8 下水道の広域連結による機能強化概念図

貯留槽があれば、満水に近い状態の地域に集中豪雨が起こったとしても、一時的に空に近い貯留槽に送水することで必要調整容量を確保して災害対策として有効活用することができる。一方、貯留水が不足しがちな涵養域に位置する上流側貯留槽に、普段余剰気味の下流側貯留槽からポンプ圧送で水を融通し、平常時にも上流側貯留槽内の水を涵養域において有効活用することができる。

なお、既存の排水管のネットワーク化や広域的な連結の概念は国土交通省等でも検討されており（図-7、図-8）<sup>12)</sup>、ネットワーク化によって既存施設を活用したより強靱な災害対策となり得ることが示されている。限られた原資の中で、このような構想を実現するためには、既存施設を有効に活用することが重要である。本研究で提案した深化版の大規模カーナート構想は、国土交通省が提示している既存施設のネットワーク化における「雨水

貯留管」と「河川調節池」の機能を補強するだけでなく、地下水の涵養域から流出域までの水循環保全にも寄与するものである。

## (2) 今後の課題

これまでの検討過程において、以下に示すいくつかの課題が浮かび上がってきた。

- ・ ある程度限定した都市域を想定してリスク抽出・評価を行うことが必要である。また住民、勤労者、一時滞在者（観光客等）についても配慮が必要である。
- ・ ハザードマップ作成についても地域間連携が必要。
- ・ 複合災害についての対応については未検討の自治体が多く、喫緊の課題である。
- ・ 防災関連部局や住民等による施策の実施、施策の評価により、計画のブラッシュアップを図ることが重要である。
- ・ ホームページや機関誌等を通じた積極的な情報提供・広報啓発活動とそれらの継続性が望まれる。
- ・ 提案したカナート構造実現のためには、大規模大容量ポンプ、より精度が高く速報性を担保できる豪雨の早期予測システム、地下空間の有効活用に向けた地下空間データベースの開発が望まれる。

一方、施設の老朽化、少子高齢化による財源不足、施設用地不足などが国土強靱化の推進の上で大きな課題となることが考えられる。2011年の改組により発足した水管理・国土保全局の広域災害に対する地域の有機的連携に向けた積極的な関与が望まれる。

**謝辞：**本調査は（公財）JKAによる競輪の補助金を受けて（一財）エンジニアリング協会で実施したものです。また、本調査に当たってご尽力を賜りました基礎地盤コンサルタンツ（株）技術本部 吉川猛氏に感謝いたします。

## 参考文献

- 1) 稲葉ほか；社会インフラ施設の防災・減災に向けた地下水利用に関する調査（その3），第69回土木学会全国大会講演概要集,2014.
- 2) エンジニアリング協会；(26-73)平成26年度 国土強靱化に資する地下空間利用の調査研究補助事業報告書，pp.III-1~III-74，2014.
- 3) 荒川区役所；荒川区防災地図（水害版），2016.
- 4) 足立区役所；足立区洪水ハザードマップ～荒川がはん濫した場合～，2016.
- 5) 北区役所；東京都北区洪水ハザードマップ～荒川がはん濫した場合～，2008.
- 6) 台東区役所；台東区洪水ハザードマップ，2016.
- 7) 墨田区役所；墨田区洪水・都市型水害ハザードマップ～荒川がはん濫した場合～，2014.
- 8) 文京区役所；文京区水害ハザードマップ（神田川・隅田川版），2015.
- 9) エンジニアリング協会；(27-89)平成27年度 国土強靱化に資する地下空間利用の調査研究補助事業報告書，pp.III-1~III-89，2016.
- 10) 笠ほか；国土強靱化に資する地下空間利用に関する調査（その1），第71回土木学会全国大会講演概要集,2016.
- 11) 松戸市役所；災害対策地下水活用システム，2013.
- 12) 国土交通省；水災害分野における気候変動適応策のあり方について～災害リスク情報と危機感を共有し、減災に取り組む社会へ～，答申参考資料，2015.