

東京駅周辺地区における地下歩行空間 浸水予測の検討

STUDY OF POTENTIAL FLOODING OF UNDERGROUND PEDESTRIAN SPACE IN THE AREA AROUND TOKYO STATION

粕谷 太郎¹・大森 高樹²・澤田 基弘^{3*}・斎藤 貴裕⁴

The large underground pedestrian space in the area around Tokyo Station extends over multiple layers, including subway concourses and connecting buildings. Although the space is very convenient, the underground pedestrian network is very complicated, connecting several stations and commercial buildings.

This underground space accommodates not only the pedestrian space but also previously built urban infrastructure, which supports various urban functions, such as subways and utility lines. If this underground space were to be flooded, extremely serious loss of life and economic damage are predicted.

For this area, an urgent issue is to prepare a flooding hazard map and determine effective measures and formulate an evacuation plan, based on quantitative assessment of flooding risk, etc. Since further development in this area, the center of the Japanese economy, can be expected, it is essential to take strong disaster prevention measures that will provide safety and comfort at a level much greater than at present. Through these commitments, the area will contribute to economic prosperity, with Tokyo setting an example as a disaster-resistant city. To achieve these targets, reducing the risk of flooding in the underground space in this area is a major challenge.

Key Words : *underground pedestrian area , underground space, underground pedestrian network, Flooding risk, flood hazard map*

1. はじめに

本検討は、近年頻発する都市型局所豪雨を主として、浸水リスクの調査を公共的地下空間について実施し、浸水に対する弱点を把握したうえで被害の軽減対策を検討し、民間事業者の地下空間を含めた今後の全体浸水リスク調査の第一ステップとして位置付けたものである。さらに本検討成果を活かして、民間事業者への地下空間浸水リスクの啓発に繋がるとともに、万が一水害が発生した場合に、可能な限り減災を図ることのできる対策や体制づくりを準備することができる。

2. 検討の背景

都市水害（高潮、津波、河川氾濫及び内水氾濫）の中でも、地球規模での気候変動等を起因とした都市型局所

豪雨による内水氾濫が、日本国内においても10年ほど前から増加している。平成19年8月の大雨においても地下鉄が水没して多大な浸水被害が出たことは記憶に新しい。都市型局所豪雨は、毎年のように発生し、平成23年8月26日の夕方16時頃も、関東で記録的な大雨となり、練馬区で90mm/時間、相模原市で94mm/時間、羽田で82mm/時間と同地点での8月最多雨量を観測した。この時には都内の地下鉄が運転を見合わせたり、住宅の浸水被害、トンネル内の冠水等があり、道路や鉄道などが麻痺した地区が多発した。また、横浜では6,000世帯が一時避難勧告を受けるなど、住民生活にも多大な影響を与えた。

(図-1)

このような短時間に集中的に降る大雨による内水氾濫は、対策準備が比較的とりやすい台風や前線に伴う風水害とは異なり、晴天時に突如、局所的な豪雨に襲われ、対策準備の時間的猶予も少ないことから、思いも寄らな

キーワード：地下歩行空間、地下空間、地下歩行者ネットワーク、浸水リスク、洪水ハザードマップ

¹フェロー会員 都市地下空間活用研究会（〒112-0014 東京都文京区関口1丁目23番6号）

²正会員 ㈱日建設計シビル 都市施設設計部門（〒112-0004 東京都文京区後楽1丁目4番27号）

³正会員 ㈱日建設計シビル 都市施設設計画室（〒112-0004 東京都文京区後楽1丁目4番27号） E-mail:sawada@nikken.co.jp

⁴正会員 ㈱日建設計シビル 水環境室（〒541-8528 大阪市中央区高麗橋4丁目6番2号）

い災害拡大の可能性が高い¹⁾。

東京都には約63,000箇所の地下空間があり、その面積は年々増加の傾向にあり、さらに地下空間が多くのビル等に接続されるなど、複雑なネットワークが形成されている。そのうち不特定多数の利用者が非常に多く集まる地下街や地下鉄、商業ビルが約4割を占め、うち主な地下街は8箇所（延床面積約214,000㎡）で東京ドーム約5個分の面積に相当しており、その地下街利用者数は、最も多いものでは約15万人/日（八重洲地下街の例）に及び、地下鉄駅は約280箇所でその利用者数は年々増加し、平成18年度は約800万人・日に及んでいる²⁾。（図-2）



図-1(上段)東京水道橋駅付近の道路冠水状況(8月26日撮影)
(下段)大阪御堂筋駅付近の道路冠水状況(8月27日撮影)

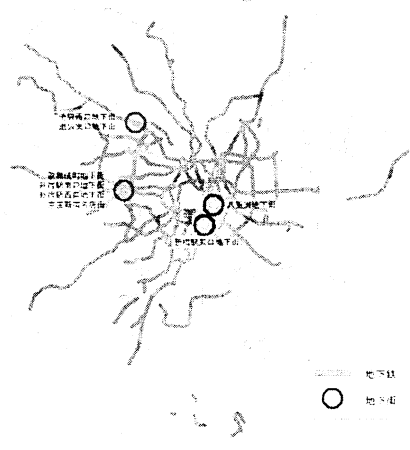


図-2 都内の主な地下街と地下鉄
出典：東京都地下空間浸水対策ガイドライン

このような状況を踏まえ、東京都においても総合治水対策（通称：61答申）が進められ、平成18年に検討を開始した「今後の豪雨対策のあり方」をとりまとめて、「東京豪雨対策基本方針」を策定した。あわせて平成19年度以降、地域防災計画の見直しが進められ、この計画立案に必要な洪水ハザードマップの整備、公表が進められており、これらは万が一の風水害発生において、一定の減災効果をあげるものと考えられる。

現在、「10年後の東京」への実行プログラム2011に盛り込まれている「緊急豪雨対策計画」のなかでも、新たな対策で局所的豪雨による浸水リスクを回避する緊急重点事業の実施や3カ年のアクションプランにおける実行プログラムの実施などが明記されていて、特に大規模な地下街等の対策を拡充していく取り組みを進めること、迅速な洪水情報と避難誘導の強化を図っていくことなどが明記されているところである³⁾。

一方、東京駅周辺地区に整備されている大規模な地下施設は、非常に多くの人々が利用している地下歩行者通路、地下鉄やライフラインなどが輻輳していて、東京駅周辺の来街者への空間提供や様々な民間ビル等で働く多くの人々の都市活動を支えていることは明らかである。なかでも地下歩行者通路は、多くの不特定な利用者がおり、万が一、この地下空間に浸水した場合に生じる人的・物的な被害や影響は甚大なものとなる可能性は高いものと考えられる。

このような中、一定規模以上の地下空間の管理者等に対して、洪水・高潮時の避難確保計画の作成は義務化（H17. 水防法改正）されているが、地下空間の洪水ハザードマップの作成は義務化されていないことから、地下空間浸入水の場合・量・地下浸入水による滞在時間などを定量的に地下空間の弱点として把握して減災対策を計画立案しにくい状況となっている。

このように地震時における耐震上安全に見える地下空間は、浸水に対しては非常に脆弱であり、さらに地上と比較して閉鎖的空間であることから、

- ① 避難経路が限定される
- ② 情報を得にくく、避難開始等の状況判断が難しい
- ③ 避難時における時間的猶予が少ない
- ④ 浸水とともに照明等の設備機能が停止する可能性が高い

というような特有な災害特性を有している。

以上を背景として本論文では、東京駅周辺地区の地上と地下の現地調査による精緻なデータ整備を踏まえて、地上の内水氾濫による地下歩行者空間浸水予測の検討状況を報告するものである。

そして今後は、ハザードマップのデータを用いた浸水解析シミュレーション検討の内容を踏まえて、内水氾濫

による地下通路空間への浸水時における避難計画を含めた浸水リスク低減対策案を検討していくことを予定している。

3. 検討の目的と概要

(1) 検討の位置づけ

本論文の地下空間浸水予測検討は、前述のとおり避難計画を含めた定量的な浸水リスクを低減するための第一ステップ（事前予測フェーズ）として位置づけており、今後、第二ステップとして、この浸水予測に基づく浸水対策（ハード・ソフト）、避難計画を具体的に検討する対策案をエリアの関係者とともに協働で検討していくことを予定している。

(2) 検討フロー

本調査は、東京駅周辺地区における公共的な地下空間について、現地調査を実施して、地下空間の特性を整理・把握するとともに、ハザードマップのデータを活用した浸水シミュレーションを実施したうえで、浸水に対する地下空間の弱点や課題等を把握するものである。本調査の検討フローを図-3に示す。

(3) 検討内容

a) 浸水対象とする事象

地下空間の浸水要因は様々なものがあるが、本検討では内水氾濫の事象を対象とした（図-4）。

b) 空間情報データ収集と浸水シミュレーションの条件設定

データ収集や現地踏査を行い、条件設定のための精緻な調査を実施した。

c) 浸水予測方法の整理及び地下空間浸水シミュレーション

地表部の氾濫解析データは、ハザードマップで公表されたものを入力条件として地下空間浸水シミュレーション（浸水開始時間、浸水経路、浸水深の予測）を実施した（解析モデルは5. を参照）。

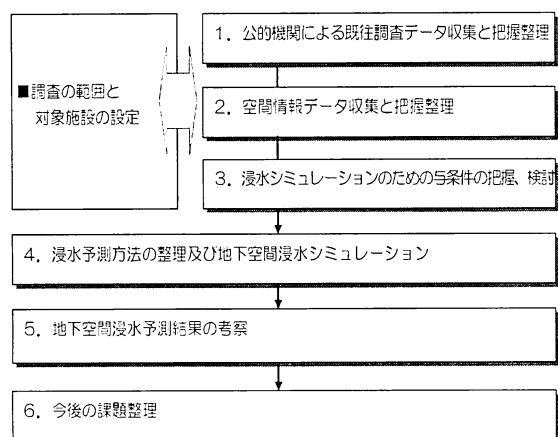


図-3 検討フロー

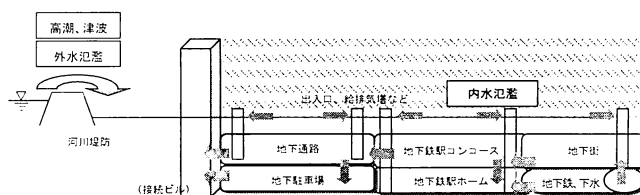


図-4 地下空間の主な浸水要因と浸水イメージ

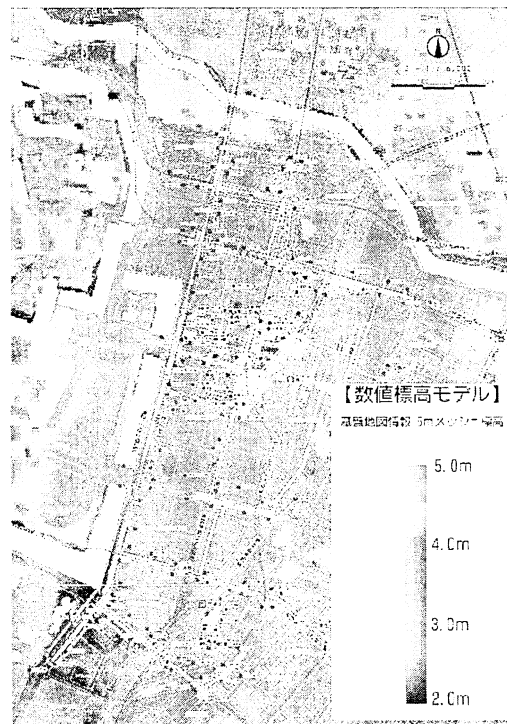


図-5 検討対象範囲の地表部の標高
標高データ：基盤地図情報 数値標高モデル5mメッシュ
(単位：T.P.m) 国土地理院)



図-6 検討対象とした地上出入口階段、地下通路（地下1階）
(●は出入口)

(4) 検討対象範囲及び地区の概要

a) 検討対象範囲の設定

検討対象範囲は、「当該地区まちづくり懇談会」で定められている地区を基本とした。なお、現時点において地下空間の浸水要因として考慮している地上施設は、地上出入口階段、民地内接続ビルの地上出入口階段である。それ以外の施設で浸水要因として可能性のある地下鉄等の換気口、民地内の地下駐車場の自動車用車路出入口、ビル等の玄関等出入口や換気ダクト等については現時点において対象としていない。また、地下鉄軌道部のような地下空間下層から上層への浸水についても、本検討では対象としていない。

b) 地区の概要（数値は概数）

解析対象範囲の全体面積（図破線）は118.7haであり、そのうち地下空間の面積（地下1階の図着色部分）は12.3haとなっている。また、出入口の数は148箇所（2011年7月調査時点。閉鎖中、工事中のもの除く）と非常に多く、複雑な地下ネットワークが形成されている状況となっている。国土地理院で公表されている地盤標高図によれば、当該地区の日比谷駅（日比谷線及び千代田線）付近の地盤高が相対的に低い傾向にあり、過去にも大雨時に道路の冠水があったことなどを経験している地区である（図-5、図-6）。

一方、当該地区内の鉄道路線は東京メトロ（6路線：丸ノ内線、千代田線、東西線、日比谷線、半蔵門線、有楽町線）、都営地下鉄（1路線：三田線）、J R 東日本及びJ R 東海（7路線：東海・東北新幹線、京葉線、総武線、京浜東北線、山手線、東海道線）があり、非常に多くの鉄道路線が輻輳して、地下通路空間を利用した移動が便利な地区であることから、鉄道乗降者数は合計で約220万人/日（H21年都市交新年報）と非常に多くの人が利用している。

4. 地下通路等の現状調査

地下空間浸水解析の条件設定のため、現地踏査及び資料収集により詳細な現状調査を行った。

(1) 地上部出入口調査

地上と繋がる出入口数は計148箇所、目視により止水板の設置状況を調査した。また、止水板の高さについてできるだけ現地でスケールをあてて寸法を測る調査を実施した（図-7）。その結果、出入口における止水板設置率は、全体の約7割という調査結果となった（閉鎖中、工事中の出入口は除く）。また、地下通路の標高を確認するため、出入口部の高さについてレベル測量を行って、解析条件として地盤高さを精緻に確認した。

(2) 地下通路の標高調査

地下通路の標高（深度、勾配）については、鉄道事業者（東京メトロ、J R 東日本）、東京都（交通局、第一建設事務所）、関係各所から貸与された図面・データを参考にした。

更に、地下通路全体の標高を確認するために、現地踏査による地下通路へ繋がる階段部において精緻な確認（階段段数や高さなど）を行い、地上部出入口部の高さデータから地下通路の標高を算出してデータ補足を行った。

その結果、地下鉄6路線及びJ R 2路線の地下通路の深度は、南北方向に位置する地下通路は比較的浅く、東西方向に位置する地下通路は南北方向の地下通路より深いところに位置する傾向が把握できた。

また、対象範囲の地下通路の特徴は、

①通路単路部での凹状の窪み（4箇所）

②同じく単路部での2m以上の急な標高変化（5箇所）

③通路間接続部の2m以上の急な標高変化（18箇所）

などの詳細な状況を把握した。（図-8）

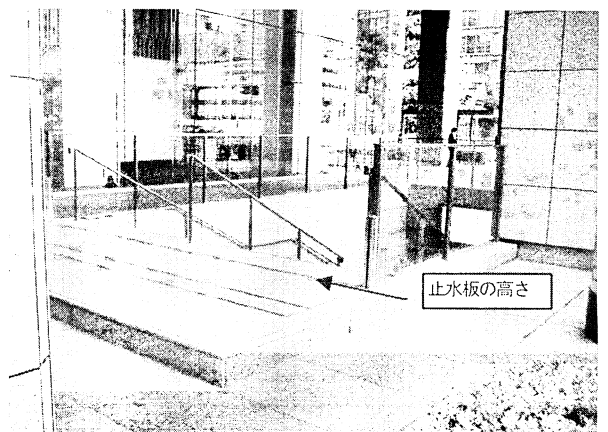


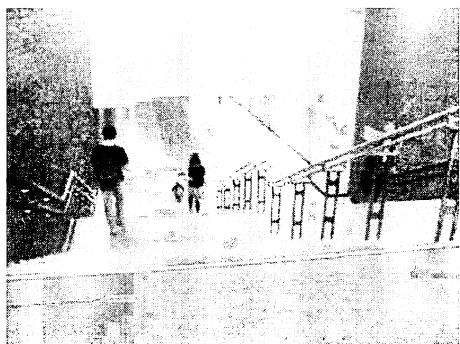
図-7 地上部出入口の止水板設置状況
（上段：止水板を差し込むタイプ、下段：止水板を埋め込んでいるタイプ）

当該地区のような広い範囲における複雑な地下通路ネットワークは各々の管理者が違うことから、鉄道事業者を含む地区の関係者の協力なくしては、浸水シミュレーションを行う地下空間モデルを構築することはできないものと考えている。

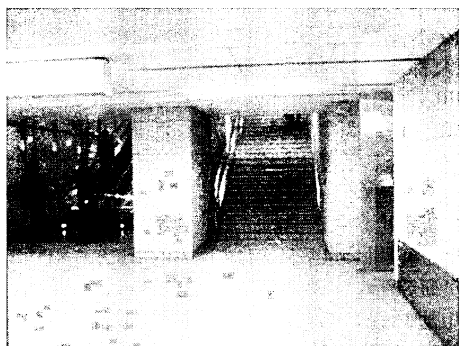
また、図面データが入手しづらい箇所については、実際に階段部の調査から地下通路の標高を算出する必要があるなど、地下空間データ構築についてはまだ多くの手間と課題が残されていることを実感できた。今後は、多くの地下空間でより簡易で、浸水解析に適用できるレベルの地下空間データ構築が望まれ、浸水解析がスムーズに行うことができる環境が整えられることが大切である。



①通路単路部での凹状の窪み



②急な標高変化



③接続部の急な標高変化

図-8 地下通路の調査による特徴

5. 地下空間浸水予測の解析状況の報告

(1) 地下空間浸水解析モデルの概要

本調査で用いた浸水解析モデルは、戸田ら（京都大学防災研究所）⁴⁾が福岡市地下街の浸水解析に用いたモデル（図-9）であり、井上ら⁵⁾の解析手法に川池⁶⁾による先端条件を加えたものである。本解析モデルは、戸田らにより福岡市地下街での実際の浸水との比較で再現性が検証されている。

解析を行ううえで、地下空間は広場、地下鉄改札口、隣接ビルの地階や地下駐車場など様々な施設がつながっているため、各ゾーンを隔てる壁や、地盤高、階層の違いなどによって地下空間を複数の領域に分割し、各領域を固有の容積をもった貯留槽に見立てる。

このように考えると、地下空間は貯留槽が3次的に連結した空間として考えることができ、地下空間での浸水の拡がりはその貯留槽間の流量を求めることで表現することができる。

(2) 地上入口階段からの浸入水量の考え方

地上階段からの浸入水量は、「地下街等浸水時避難計画策定の手引き（案）」（平成16年5月、日本建築防災協会）に記載されている（独）土木研究所での実験結果による次の推定式(1)を利用した。

浸水ありの場合の断面イメージを図-10に示す。

$$\text{浸水流量 } Q = 1.95 \times B \times H^{1.65} \quad (1)$$

(B : 階段幅, H : 浸水深)

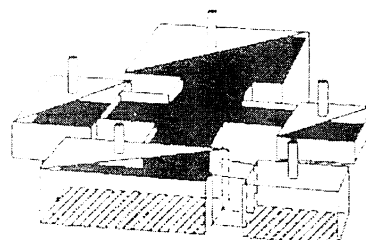


図-9 地下空間貯留槽モデルの概念

浸水ありの場合:

地表氾濫解析結果による浸水位 > 入口階段標高

(+ 止水板高さ)

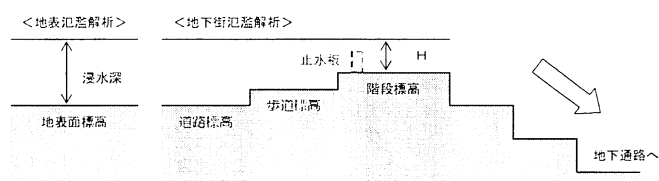


図-10 浸水する場合の地上部出入口断面イメージ

(3) 地下空間浸水予測の解析手順

浸水予測解析は、図-11に示すフロー図に基づいて実施した。

(4) 解析状況の報告

a) 地下通路の分割設定

4. の調査結果に基づき、床面高さが概ね同じ範囲で107の貯留槽に区分し、さらに地下鉄ホーム層をひとつの大きな貯留槽とし、全体で108の貯留槽を設定した。

この貯留槽は床面高さでみると、東西線大手町駅、JR京葉線東京駅、日比谷線日比谷駅あたりが低い傾向にある。

b) 地上入口階段の設定

同じく4. の調査結果に基づき、地上入口階段148箇所を対象にするが、日比谷線日比谷駅および千代田線日比谷駅あたりの地盤高が低く、入口階段の標高も低い傾向にある。

c) 地上浸水条件の設定

地上の浸水条件は、東京都が公表している平成15年作成の「隅田川及び新河岸川流域浸水予想区域図」（洪水ハザードマップ）を用いた。ただし、図面による最大浸水深の色分け表示による判断により設定した場合、かなりの誤差が生じるものと判断されたため、東京都建設局河川部計画課より解析データ（紙面上に記載したもの）を貸与していただき、解析を進めている。

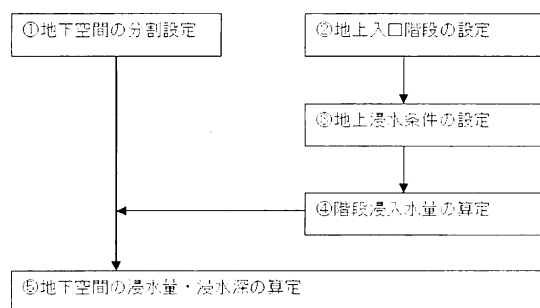


図-11 地下空間浸水予測の解析フロー

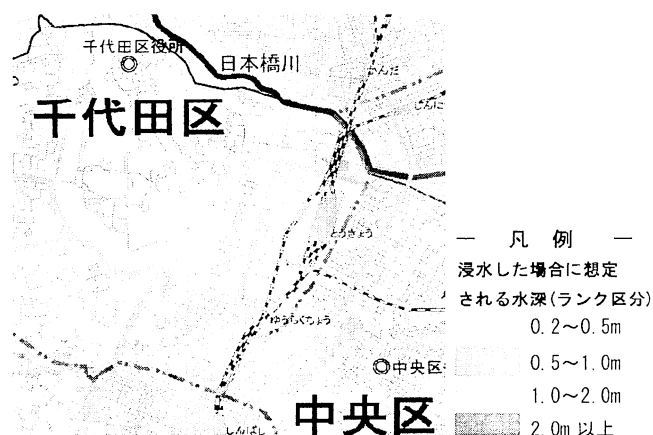


図-12 隅田川及び新河岸川流域浸水予想区域図(千代田区)

図-12 に隅田川及び新河岸川流域浸水予想区域図(千代田区)を示す。

5. まとめ

東京駅周辺の広範囲な地下空間における浸水解析を実施する際の解析条件として、現地の地盤高さ、止水板設置の有無、地下通路の高さ、民間ビルとの接続箇所、地下鉄コンコースへの接続階段などを現地確認するとともに、多くの関係者からデータを貸与していただき、浸水解析に資する精緻な地下空間データを構築することができた。

浸水解析を実施する段階においても昔からの知見で地形的にも低い日比谷駅（千代田線、日比谷線）周辺からの浸水は確認されているが、ハザードマップデータによる詳細な浸水シミュレーションは、実施中であり本検討における浸水予測結果を活用して、当該地区の浸水対策や避難計画等の立案に活かせる手法を確立していく予定である。

なお、浸水解析結果の公表については、対象エリアの関係者が多いため、慎重に帰する必要があると考えていることから、まだ時期については未定である。

謝辞：地下空間の条件設定のためのデータ整備については、東京メトロ、JR東日本、東京都（交通局、建設局河川部・第一建設事務所）、関係各所のご協力を賜りました。

さらに、本検討の進め方にあたり、国土交通省、東京都、千代田区、及び「地下防災に関する勉強会」（都市地下空間活用研究会）⁷⁾の皆様のご意見を賜りましたことを、この場をお借りし深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 土木学会：自然災害軽減への土木学会の役割，土木学会会長特別委員会報告書，2007.3
- 2) 東京都：東京都地下空間浸水対策ガイドラインー地下空間を水害から守るためにー，2008.9
- 3) 東京都：「10年後の東京」への実行プログラム 2011，2010.12
- 4) 戸田圭一，間島真嗣，大八木亮：福岡市の地上・地下空間を統合した浸水解析，第3回都市水害に関するシンポジウム，2004.5
- 5) 井上和也，戸田圭一，川池健司，栗山健作，大八木亮：地下空間における浸水過程の解析について，京都大学防災研究所年報大45号B，2002.4
- 6) 川池健司：都市における氾濫解析法とその耐水性評価への応用に関する研究，京都大学博士論文，2001.11
- 7) 都市地下空間活用研究会：地下防災に関する勉強会資料，2011.5