

地下空間を含む鉄道駅の 浸水危険要因について

VULNERABILITY FACTORS TO FLOOD OF RAILWAY STATION WITH UNDERGROUND SPACE

石垣 泰輔¹・坂本 祥太²・尾崎 平³・戸田 圭一⁴

Taisuke ISHIGAKI¹, Shouta SAKAMOTO², Taira OZAKI³, Keiichi TODA⁴

Underground inundation has been investigated by some researchers on several kinds of underground spaces such as subway stations, shopping malls, car parkings, underpasses and basements. The flood disaster survey of 2011 flood in Aichi Prefecture caused by Typhoon No.15 said that another kind of underground space such as railway station which has underground wicket or corridor has to be investigate the vulnerability to flood. In this paper, vulnerability factors concerning with underground inundation in railway stations are discussed and estimated quantitatively. From the results, it is found that the time to reach the limit depth of evacuation through the underground corridor is very short, it is less than 20 minutes.

Key Words : underground space, inundation, railway station, vulnerability factor

1. はじめに

都市域の高度利用の観点から，地下空間の利用が拡大し，640以上の地下鉄駅，85か所以上の地下街，多数の地下駐車場，地下道，地下階が建設されてきた．わが国の都市は，低平な沖積平野上に発達しており，海面より低い，いわゆるゼロメートル地帯にも多くの地下空間が存在している．このような地区は，外水氾濫，内水氾濫，高潮氾濫，津波氾濫などの水災害が発生しやすく，地下空間の浸水リスクが潜在している．

近年の地下空間の浸水は，1983年の赤坂見附駅，1999年と2003年のJR博多駅地下街，2000年の名古屋市営地下鉄で発生しており，1999年には福岡と新宿で地下室浸水による犠牲者がでていた．このような被害は，わが国だけではなく，2001年のソウル地下鉄駅，2002年プラハの地下鉄駅など，国外でも発生した．このような背景から，地下空間における浸水に関する研究が行われている．

地下空間浸水に関する検討は，これまでに多くの研究者により数値解析や実験が行われており（例えば，戸田

ら¹⁾），水深および流速の時間変化を計算することが可能となっている．このような手法を用いれば，時々刻々の水深 h と流速 V を得ることができ，それらの値を利用して著者らの研究²⁾で提案した浸水時の避難困難度指標である単位幅比力 M_0 ($=V^2h/g+h^2/2$) を計算すれば，個々の避難者の避難経路上での避難困難度および歩行速度を算定することができる．さらに，個々の避難者の行動が扱えるマルチエージェントモデルでの解析に，単位幅比力による歩行速度の変化を適用すると，より高度な避難解析が可能となり，避難誘導計画立案に有益な結果を得ることが可能である（関根ら³⁾，川中ら⁴⁾）．

このように，地下空間の浸水と避難に関する研究がすすめられているが，その対象としている地下空間は，地下鉄・地下街のような大規模地下空間や，地下駐車場，地下道，地下室のような小規模地下空間である．しかしながら，土木学会地下空間委員会の防災および計画小委員会が実施した平成23年台風15号による名古屋地方の浸水被害調査の結果⁵⁾，地下鉄駅等の地下空間以外でも，地下改札口や地下道を有する鉄道駅の浸水危険性を検討

キーワード：地下空間、浸水、鉄道駅、浸水危険要因

¹正会員 関西大学 環境都市工学部 (Faculty of Environmental and Urban Engineering, Kansai University) E-mail:ishigaki@kansai-u.ac.jp

²非会員 関西大学 環境都市工学部 (Faculty of Environmental and Urban Engineering, Kansai University)

³正会員 関西大学 環境都市工学部 (Faculty of Environmental and Urban Engineering, Kansai University)

⁴正会員 京都大学 防災研究所 (Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University)

する必要性が示唆された。本論文は、この示唆に基づき、浸水被害が発生する可能性がある鉄道駅を調査し、対応策を立案する際に、考慮すべき要因について検討した結果をまとめたものである。

2. 平成23年台風15号浸水被害調査の概要⁵⁾

平成23年9月20日に台風15号の接近による大雨により、愛知県春日井市のJR高蔵寺駅の地下道ならびに周辺のアンダーパス部などが浸水被害にあった。東海地方では平成12年9月11日に発生した東海豪雨により名古屋市営地下鉄などの地下空間施設において甚大な被害が発生していることもあり、9月23日に土木学会地下空間員会の防災、計画小委員会に属する有志で現地へ赴き、地下道の浸水が見られたJR高蔵寺駅およびその周辺を中心に調査を行った。調査結果の概要を以下に示す。

名古屋市周辺では、台風15号の影響により、大気の状態が不安定となり、9月20日に大雨となり、降り始め（19日17時）から21日19時までの降水量は、名古屋で274mm（20日の日降水量169.5mm）を観測した。最大時間雨量は45.5mm（名古屋、20日15:56）であった。また、庄内川の上流にある多治見雨量観測所（多治見市）では累加雨量436mm、時間最大雨量64mmを記録した⁶⁾。なお、愛知県災害本部のまとめ⁷⁾（9月22日20時時点）によると主な被害状況は表-1のとおりである。

JR 高蔵寺駅周辺の地盤は北高南低であり、地盤の高い北側の丘陵地には、大規模ニュータウン（開発規模702ha、2005年時点の人口48,461人）があり、分流式の雨水排水下水道が、5年確率降雨規模の58.5mm/hrで整備されている。東向きの地下改札口には北側から続く地下道と、南側の半地下の通路が連絡している。今回の豪雨では、北側の路上で50cm程度の浸水が発生し、その一部が二か所の階段より浸水し、地下道で約43cmの浸水が発生した。また、駅の西側約150mに位置する地下道で約185cmの浸水、同じく西側約500mに位置する国道155号線のアンダーパスで約165cmの浸水痕跡を確認した。

2005年の水防法の改正により、地下鉄駅では浸水時の避難確保計画の策定が義務づけられており、その整備が行われつつあるが、この調査で対象とした駅のような地下空間を有する鉄道駅は対象とされていないのが現状である。しかしながら、駅周辺への住宅や商店の集中により、駅の拡張スペースが不足するため、地下改札口や地下道が整備された駅が多く見られ、本調査のような浸水被害が発生する可能性がある。今回の調査結果例から明らかになったように、今後は、これまで指摘されていた地下鉄や大規模な地下空間だけでなく、駅の規模（大小）ならびに構造（地上・地下）に関わらず、水害に対する準備（対応行動方針や止水等）と、水害発生の予兆

の察知も含めた水害に対する対応行動がとれる体制を構築しておくことが肝要であることが知れた。

表-1 2011年9月台風15号被害状況

人的被害	死者 3 名、重傷者 3 名、軽傷者 8 名
住家被害	一部損壊 1 棟、床上浸水 6 7 棟、 床下浸水 170 棟
道路損壊	100 箇所
道路冠水	335 箇所
河川越水	8 箇所

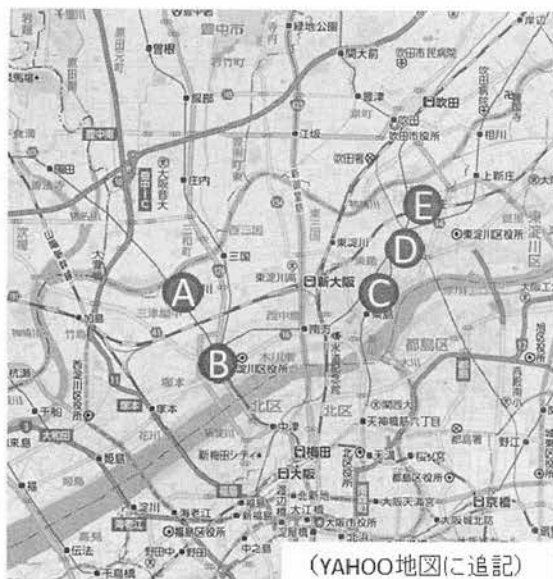
表-2 浸水危険性要因

外力 (災害因；誘因)	・豪雨による外水氾濫 ・豪雨による内水氾濫 ・津波・高潮による氾濫
場の条件 (脆弱性；素因)	・駅周辺の地盤高（微地形、地下道の有無など） ・駅構内の構造（出入口数・幅、地下空間の規模など） ・河川・海岸等の氾濫地点からの距離
外的拡大要因	・都市化（大規模開発など） ・高齢化
内的拡大要因	・出入口の止水版の有無 ・出入口のマウンドアップの有無 ・手すり・照明の有無 ・駅員の人数 ・電車の発着数・乗降者数

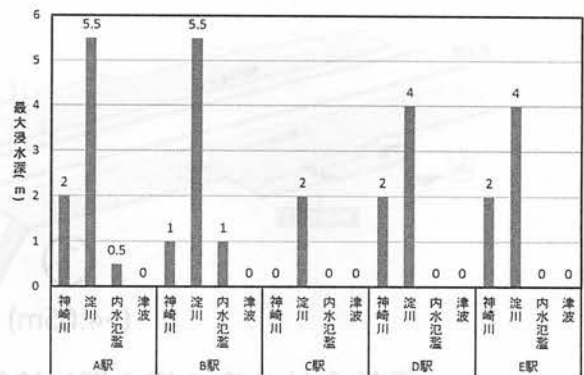
3. 浸水危険性要因について

前章の調査結果および著者らの地下空間浸水と避難に関する研究の成果⁸⁾に基づき、地下鉄駅および地下空間を有する鉄道駅の浸水危険要因は、表-2のようにまとめられる。

災害の構造を考慮すると、浸水危険性要因は、表-2に示すように、外力（災害因；誘因）、場の条件（脆弱性；素因）、拡大要因（外的要因；内的要因）に分けられる。浸水が発生させる外力（災害因；素因）は、外水氾濫、内水氾濫、津波・高潮による氾濫があり、ハザードマップあるいは氾濫解析により地下改札口やホームからの浸水危険性の定量的評価が可能である。ハザードマップは、最大浸水深のみの表示が主であるため、時間経過を検討することはできないが、外水氾濫あるいは内水氾濫時の浸水速度⁹⁾を考慮すれば、簡易的な検討は可能である。詳細には、周辺地盤高や雨水排水網を考慮した氾濫解析が必要である。水害に対する脆弱性である場



(YAHOO地図に追記)



の条件としては、駅周辺の微地形や地下道の有無など地盤高に関する要因、氾濫水が侵入する出入口数・幅、地下空間の規模など構造に関する要因、河川や海岸等の氾濫地点からの距離などが挙げられる。また、浸水被害の拡大要因としては、前章で述べたニュータウン等の大規模開発や駅周辺の都市化による雨水流出量の増大や流出時間の短縮に関わる要因、および近年の水害被災者に高齢者が多いことで分かるように、社会の高齢化などの外的拡大要因と、発災時の避難安全性に関わる内的要因である出入口の止水板やマウンドアップの有無、手すり・照明の有無、および避難誘導の成否に関わる駅員の人数、電車の発着数・乗降客数などがある。

以上、ここで挙げた浸水危険性要因をすべて同レベルで定量的評価を行うには、各要因の詳細なデータに基づく検討が必要であるが、そのデータの収集には多大な時間と費用が必要であるため、次章では、比較的簡便にデータ収集が可能な要因に限定して定量的評価を行った結果を示す。

4. 浸水危険要因の評価

(1) 調査対象および方法

対象とした鉄道駅は、図-1に示すように、大阪平野の2河川(淀川および神崎川)に囲まれた区域に存在する同一電鉄会社の6駅の中の地下空間を有する5駅(A～E駅)である。これらの駅には、2河川の外水氾濫および内水氾濫、津波・高潮の氾濫による浸水可能性がある。この地域を対象として、2河川の外水氾濫ハザードマップ(淀川については、淀川流域に総雨量500mm(昭和28年9月台風13号の2倍)の雨が降った場合；神崎川については、神崎川流域に総雨量250mm、時間最大雨量50mm

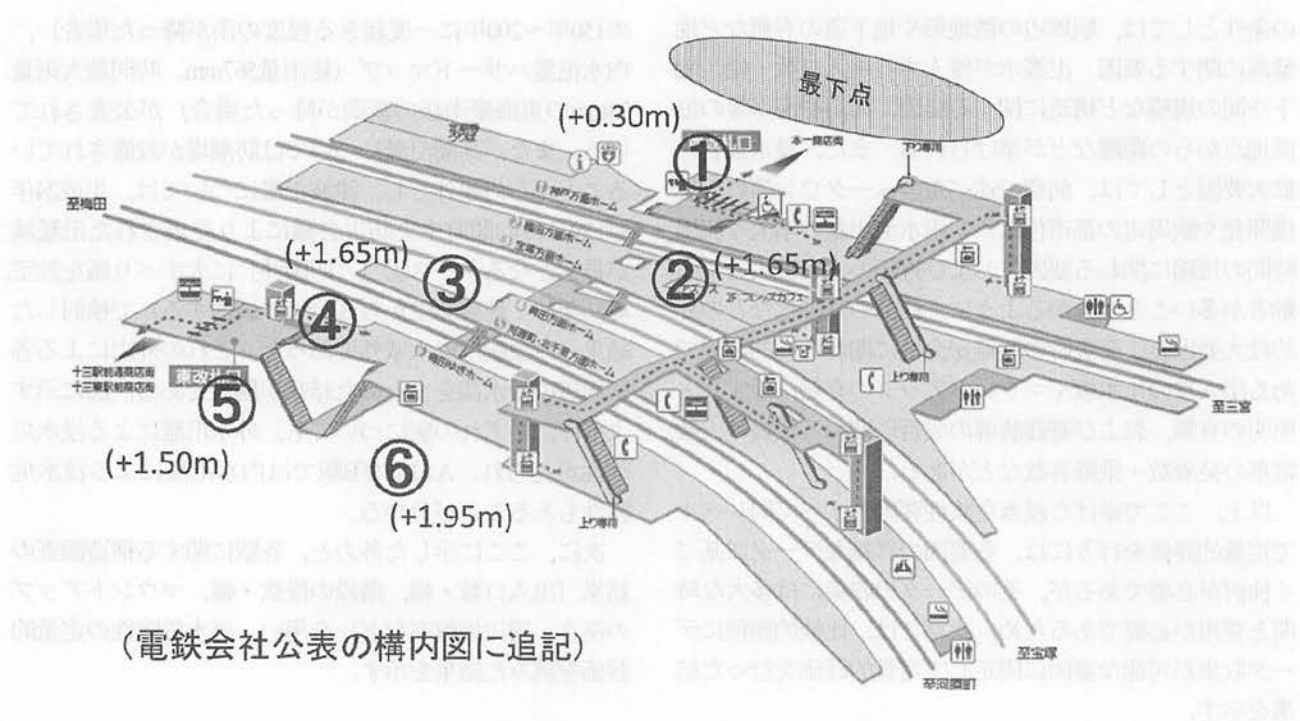
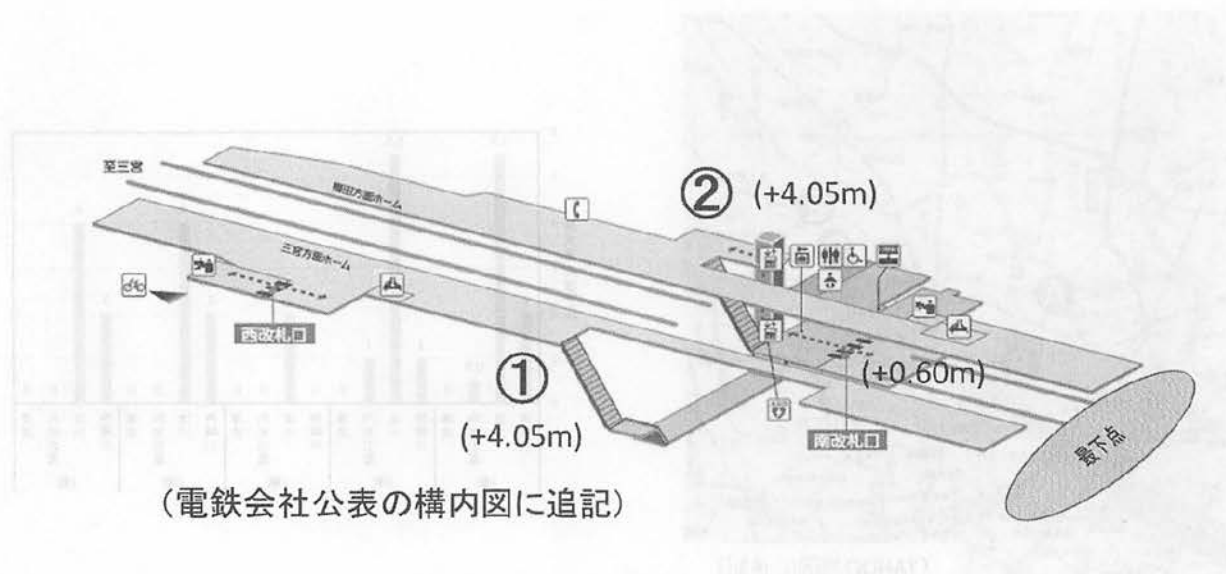
の150年～200年に一度起きる程度の雨が降った場合)、内水氾濫ハザードマップ(総雨量567mm、時間最大雨量93mmの東海豪雨級の豪雨が降った場合)が公表されている。また、高潮氾濫については防潮堤が設置されていることから対象外とし、津波氾濫については、平成24年8月29日に内閣府中央防災会議により発表された氾濫域が最大となるケース④(「四国沖」に大すべり域を設定、堤防条件：地震発生から3分後に破壊する)で検討した結果、対象駅は浸水域外であった。これの外力による各駅周辺の浸水深をまとめた結果が図-2である。図に示すように、いずれの駅についても、外水氾濫による浸水危険性が見られ、AおよびB駅では内水氾濫による浸水危険性もあることが分かる。

次に、ここに示した外力と、各駅に関する構造調査の結果(出入口数・幅、階段の段数・幅、マウンドアップの高さ、周辺地盤高など)を用い、浸水危険性の定量的評価を試みた結果を示す。

(2) 浸水危険性の評価

図-3は、A駅に関する調査結果を電鉄会社がホームページで公表している構内図に追記したものである。この駅は、北側が河川に接しており、南側の改札南側の道路が周辺地盤の最下点となっている。また、図中に、改札およびホームの階段出入口の高低差に関する調査結果を示している。いずれかの河川による外水氾濫が発生した場合、地下空間における浸水対策ガイドライン⁹⁾が示す上昇速度(=3cm/sec)で浸水深が増加すると仮定すると、1分毎の流入流量を以下の越流公式で算定することが可能となる。

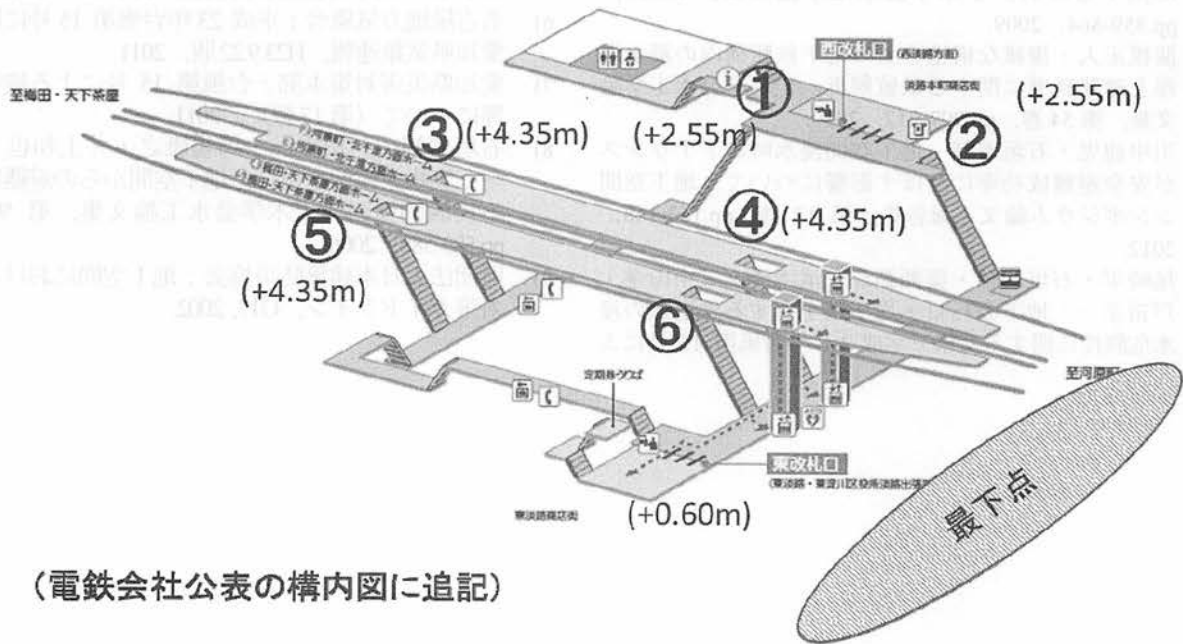
$$Q = B\mu h\sqrt{2gh}$$



ここに、 Q ：越流流量、 B ：入口幅、 h ：入口での越流水深（浸水深からマウンドアップ高さを引いた水深）、 μ ：流量係数（ $=0.35$ ：完全越流）、 g ：重力加速度（ $=9.8\text{m/s}^2$ ）である。この式を用いて流入量を計算し、調査した地下通路の床面積で除して浸水深の経時変化を求めた。この水深が、成人男性の浸水した通路の歩行が困難となる限界（ 0.7m ）²⁾を上回る 1.0m となるまでの時間を算定すると、この駅では23分という結果が得られた。

同様の方法で、複雑な構造を有する乗降客が多いB駅について検討した結果をまとめると、図-4のようになる。

この駅は、路線の乗換駅となっており、図に示すように跨線橋と地下通路を多くの乗客が利用する。この駅は、図-2に示したように、2河川の外水氾濫および内水氾濫による浸水危険性がある。図に示すように、西側改札側の道路が周辺地盤の最下点であり、氾濫水は、西側改札から入り、東改札下の地下通路へと広がっていく構造となっていることが分かる。浸水する可能性がある出入口と最下点との高低差を図中に示しているが、A駅と同様に、地下通路の浸水深が 1.0m となるまでの時間を算定すると19分となり、A駅よりも早い結果となった。



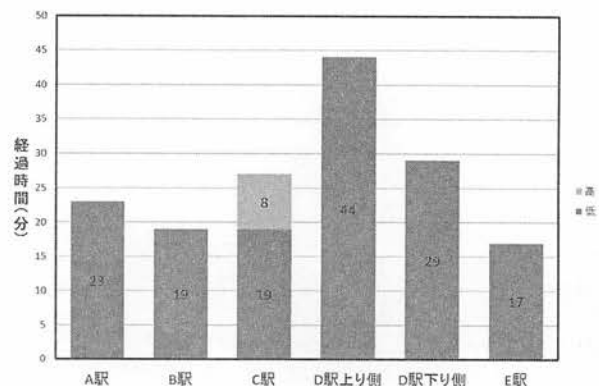
(電鉄会社公表の構内図に追記)

図-5は、改札口とプラットフォームが地下通路で結ばれており、駅構内の移動には必ず地下空間を利用する構造を持つD駅の構造と、周辺地盤の最下点と地下通路出入口との標高差を示している。図より、最下点に湛水した氾濫水は、東改札口より流入し、下り側通路（図の右側）では29分で水深が1.0mに達して通行不可能となる。その後、上り側通路（図の左側）への連絡通路に浸水し、上り側通路の浸水深が44分後に1.0mとなって利用不可となる。このような状況になると、乗降客はプラットフォームから避難することが困難となる。

以上のように、駅ごとに浸水過程は異なっているものの、5駅について同様の方法で通路の通行が不可能となるまでの時間を算定すると、図-6のようになり、このような危険な状態になるまでの時間は20分程度と非常に短いことが分かる。なお、いずれの駅についても止水板の設備は見られなかった。また、マウンドアップについても、1か所の出入口でのみ確認されたに過ぎない。

5. おわりに

以上、地下空間を有する地下鉄以外の鉄道駅を対象にした浸水危険性要因の提示と、一部の要因の定量的評価を試みた結果を示した。ここに示した検討結果は、比較的容易に入手できるデータに基づいたものであり、詳細



な検討は、個々の駅ごとに行う必要であることは言うまでもない。しかしながら、このような構造を有する鉄道駅は多数存在しており、その浸水危険性が認識され、少なくとも表-2に示した要因についての調査が行われ、水害対応がなされることが望まれる。

参考文献

- 1) 戸田圭一・井上和也・大八木亮・中井勉・竹村典久：複雑な地下空間の浸水実験，土木学会水工学論文集，第48巻，pp.583-588，2004。
- 2) 浅井良純・石垣泰輔・馬場康之・戸田圭一：高齢者

を含めた地下空間浸水時における避難経路の安全性に関する検討，土木学会水工学論文集，Vol.53，pp.859-864，2009.

- 3) 関根正人：複雑な構造をもつ地下鉄駅構内の浸水過程と避難誘導に関する数値解析，土木学会水工学論文集，第 54 巻，pp.907-912，2010.
- 4) 川中龍児・石垣泰輔：地下空間浸水時のアナウンスが安全避難成功率に及ぼす影響について，地下空間シンポジウム論文・報告集，第 17 巻，pp.163-168，2012.
- 5) 尾崎平・石垣泰輔・築瀬範彦・清水隆文・中山学・戸田圭一：地下改札口・地下道を有する鉄道駅の浸水危険性に関する考察ー平成 23 年台風第 15 号によ

る名古屋地方の浸水被害を事例としてー，土木学会第 67 回年次学術講演会講演集，CS9-007，2012.

- 6) 名古屋地方気象台：平成 23 年台風第 15 号に関する愛知県気象速報，H23.9.22 版，2011.
- 7) 愛知県災害対策本部：台風第 15 号による被害状況等について（第 17 報），2011.
- 8) 石垣泰輔・戸田圭一・馬場康之・井上和也・中川一：実物大模型を用いた地下空間からの避難に関する実験的検討，土木学会水工論文集，第 50 巻，pp.583-588，2006.
- 9) 財団法人日本建築防災協会：地下空間における浸水対策ガイドライン，G17，2002.