

令和元年6月20日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15H02979

研究課題名(和文) 極端気象下での高度に多層化した大都市の水害リスクとその対応策に関する研究

研究課題名(英文) Flood risk and its measures at highly multi-layered large city under extreme weather

研究代表者

戸田 圭一 (TODA, Keiichi)

京都大学・経営管理研究部・教授

研究者番号：70273521

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 11,400,000円

研究成果の概要(和文)：氾濫解析モデルと地下街モデルを結合したモデルにより、大阪梅田地区を対象に、地上・地下の氾濫解析を実施した。モデルには地下鉄軌道も地下空間に組み込んでいる。解析の結果、降雨量の増大に伴い、地下への流入量が增大することから、止水板の設置や、地下鉄軌道内での遮断対策が必要であることが明らかとなった。また、水理実験により、氾濫時に車が漂流する限界や人間が流されてしまう限界状態、自転車による避難の困難性などが明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

極端気象の影響で短時間集中豪雨の頻発が予想されるなか、人口・資産が集中した大都市中心部で、豪雨による大規模な氾濫が生じた際に、地上と地下で一体どのような事象が起こるのかをシミュレーション解析ならびに水理実験により明らかにすることができた。解析結果を踏まえて、地下空間の被害を軽減するのに、どのような対策が有効かを議論することができた。また、車や人間の避難事故にあう危険性の実験検討結果は、防災上、有用な知見となるものである。

研究成果の概要(英文)：We executed inundation simulation analysis of both ground and underground spaces in Umeda district, Osaka City, Japan. We applied the integrated model comprising the inundation models for the ground and the underground spaces. In the model, the subway tracks were also considered as additional underground space. Through the analysis, it was found that as rainfall increases, inflow to underground increases, and it is important to set flash board at entrances to underground and to close subway tracks. In addition, by hydraulic experiments, we could obtain the critical flowing conditions of car and man and evacuation difficulty by bicycle in flood water.

研究分野：防災水工学

キーワード：都市水害 シミュレーション解析 地下浸水 水理実験 避難 車 水難事故

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

(1) ゲリラ豪雨と呼ばれる短時間集中豪雨の影響で、都市域を中心に洪水氾濫が頻発し、それに伴う地下空間への浸水が報告されている。このような事態に対応すべく、地下空間を含む都市域の洪水氾濫の解析手法の研究は確実な進展を遂げており、その高度化が進み、複雑な地下街や地下鉄駅での浸水予測も可能となってきた。

また、都市域での氾濫時に注意すべき要素として「車」の存在が挙げられ、車に着目した研究も進められてきている。これらの研究をとおして都市水害時の新たなリスクが検討されてきていた。

(2) 地下空間と地上の車は、都市水害時の危険性を助長させる重要な要素であるが、これまでの研究では、シミュレーション解析におけるモデルメイキングの部分に重点がおかれていたことは否めない。完成度が高まったシミュレーションモデルによる解析を基に、今までの経験値をはるかに上回る外力の下、大都市中心部の迷路のように複雑な地上と地下で、いったいどのようなことが新たに起こり得るのかを明らかにするとともに、その際の被害を少しでも軽減する具体的な対応策を、ハード・ソフト両面から提案していくことが必要となってきた。

2. 研究の目的

極端気象の影響下、これまでの想定範囲を超える豪雨が、狭小な領域に集中的に降る災害事象が顕在化しつつある。集中豪雨がさらに巨大化、先鋭化する可能性は高く、このような外力が、高度に多層化した大都市中心部を襲った際には、地上では車が漂流物と化し、地下空間はことごとく浸水し、人的・物的両面からの被害の大きさは計り知れないものとなり、その備えは喫緊の課題である。本研究は、巨大化、先鋭化する集中豪雨下での、大都市中心部の地上・地下で起こり得る水害リスクの詳細を数値シミュレーション解析、水理実験解析から明らかにするとともに、被害軽減のための具体的な対応策を、ハード・ソフト両面から提案しようとするものである。

3. 研究の方法

(1) 地上の道路沿いの氾濫流と下水道流の解析が可能な地上の氾濫モデルと、平面2次元モデルを基にした地下空間の氾濫モデルを統合化したモデルを用いて、大阪梅田地区を主な対象域として、巨大化、先鋭化した豪雨を外力として与えて、氾濫シミュレーションを実施する。

都市中心部での甚大な内水氾濫の様相を明らかにするとともに、都市中心部の道路を流れる氾濫流の挙動、地下に浸入した氾濫流の地下通路、地下街の店舗周辺、地下鉄駅構内、地下駐車場での挙動を詳細に把握する。氾濫流の最大浸水深だけでなく、流速ならびにそれに起因する流体力やそれらの時間的変化にも着目して詳細な解析を実施する。

(2) 氾濫時に車が漂流するかどうか、またその後、どのような漂流速度で移動するかを、車模型を用いて実験的に検討する。車に作用する流体力を水路実験より求め、抗力係数を相対水深（水深/車の高さ）の関数として整理する。得られた抗力係数をもとに、実物の車の漂流限界指標を氾濫流の流速や水深の関数として提案する。また人体の模型を水路に配置し、様々な姿勢や条件下で、人体模型に作用する流体力を計測し、流体力と抵抗力の関係から、流水下での人間が流される限界状態を実験的に検討する。

また人間を被験者とした、自転車走行の流水下での体験実験を実施し、自転車を用いた避難の困難度についても検討する。

(3) 地上・地下のシミュレーション解析結果に、漂流した車の危険性の分析結果、自転車避難の避難限界指標などを援用し、激甚な豪雨による地上の氾濫時の危険性を明らかにする。地下空間においては、浸水解析と連動させた、複雑な地下通路での人の動きを表現できる人間行動のシミュレーションモデルを開発して避難行動解析を実施する。地下空間内の利用者の避難解析を行い、避難の成否をもとにその危険性を評価する。

4. 研究成果

(1) InfowoksCS をもとにした内水氾濫解析モデルと構造格子による地下街モデルを結合したモデルにより、大阪梅田地区を対象に豪雨による地上・地下の氾濫解析を実施した。解析では、ポンプが停止する場合や、降雨量を大きく変化させる条件も加えた。その結果、降雨量の増大により、とくに地下への流入が進み、地下街の浸水深が増大することが明らかとなった。

(2) 地上の氾濫解析モデルと大阪市域の地下鉄ネットワークをリンクさせて、大阪市の淀川左岸が破堤して発生した氾濫流が地下鉄軌道をもどどのように伝播するかを検討した。その結果、破堤地点に近い駅から流入が始まり、接続する他の路線に次々と伝播していくことが示された。また減災対策として、他路線への連絡通路を遮断することが有効であるという知見も得られた。

(3) 大阪梅田地区を対象として内水氾濫解析、地下浸水解析を実施するとともに、モニタリング手法や止水板対策について考察した。降雨規模別のモニタリング手法（「流入後」「監視カメ

ラ「水位計」別の地下街への流入量を比較した結果、降雨規模が同じ場合、モニタリング手法別の地下街への流入量に大差はみられなかった。一方で、降雨規模が大きい場合、現状の止水板の高さ 0.5m では、止水板を越流して氾濫水が地下街へ流入するため、単に初期行動だけを早める対策では不十分であることが明らかとなった。

(4) 浸水時のアンダーパスでの自転車避難の困難さや、地下浸水時の車いすによる避難の困難さの程度を、実物大の装置を用いた体験実験により明らかにした。自転車避難では、水深が 0.2m~0.3m でも避難が困難となることが明らかとなった。



図1 自転車による避難実験

(5) 氾濫流の発生場での水難事故発生の危険性について、縮尺 1/10 の人体模型を用いた水理実験を行った。立位、座位といった姿勢での人体模型に作用する抗力を求め、それと静止摩擦力の釣り合いから、氾濫時に人が流されて水難事故に遭遇する危険度を考察した。その結果、座位姿勢では、抗力の増加に加えて浮力も増大し、立位姿勢のときと比べてはるかに流されやすいことが分かった。また着衣状態のときは非着衣状態に比べて抗力が増大することも明らかとなった。着衣の座位姿勢では、身長 1.5m、体重 46kg の人間が、水深が 0.3m、流速が 0.7m/s 程度でも流される危険性がある。

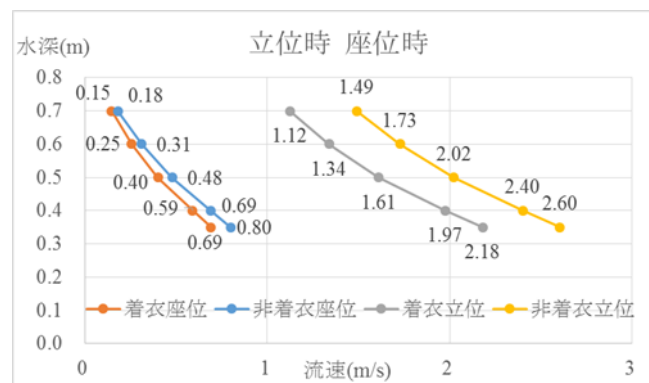


図2 身長 1.5m、体重 46kg の人間が流水中で流される限界状態

(6) 縮尺 1/64 スケールの地下駐車場での車を含んだ浸水実験を行った。多層構造の地下駐車場内では、場所によって車の漂流メカニズムが異なることがわかった。また、車にかかる抗力計測結果から氾濫流の流量が小さいケースでも氾濫流到達時に車が漂流する可能性が示唆された。また支柱の存在によってこの危険性はさらに高まることも明らかとなった。

(7) 車載型ナビゲーションにおける豪雨発生に関する情報提供を想定し、ドライバーの経路選択にどのような影響を及ぼすかを検証するため、経路選択 SP 調査を組み込んだ Web アンケートを実施した。分析の結果、豪雨が発生している範囲を明示した豪雨範囲情報を提供することで、ドライバーに危険箇所回避の経路選択を促すことが明らかとなった。また、冠水情報などを加えることにより、その影響が強くなることが示唆された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 17 件)

- ① 戸田圭一, 豪雨による水害とその備え, 共済と保険, 査読無, Vol. 687, 2015, 16-21
- ② 石垣泰輔, 水災害から身を守るには, 月間事業構想, 査読無, 6月号別冊, 2015, 118-119
- ③ 井上貴央, 浮島徹, 戸田圭一, 石垣泰輔, 地下空間の浸水対策としての樹脂製止水板の有効性に関する研究, 地下空間シンポジウム論文・報告集, 査読無, 第21巻, 2016, 185-188
- ④ 寺田光宏, 岡部良治, 石垣泰輔, 尾崎平, 戸田圭一, 密集市街地における内水氾濫時の地下鉄浸水に関する検討, 土木学会論文集 B1 (水工学), 査読有, Vol. 72, No. 4, 2016, I_1357-I_1362
- ⑤ 濱口舜, 石垣泰輔, 尾崎平, 戸田圭一, 記録的水災害に対する大規模地下空間の浸水脆弱性に関する検討, 土木学会論文集 B1 (水工学), 査読有, Vol. 72, No. 4, 2016, I_1363-I_1368
- ⑥ Ishigaki, T., Kawanaka, R., Ozaki, T., and Toda, K., Vulnerability to Underground Inundation and Evacuation in Densely Urbanized Area, Journal of Disaster Research, 査読有, Vol. 11, No. 2, 2016, 298-305

- ⑦森井健介, 宇野伸宏, 中村俊之, 織田俊彦, 倉内文孝, 清水明彦, SP 調査による豪雨情報提供時の経路選択行動に関する基礎的研究, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), 査読有, Vol. 72, No. 4, 2016, I_1363-I_1368
- ⑧戸田圭一, 近年の集中豪雨の特徴と地下浸水対策, 防水ジャーナル, 査読無, No. 534, 2016, 102-105
- ⑨戸田圭一, 石垣泰輔, 馬場康之, アンダーパス浸水時の自転車による避難に関する実験的検討, 地下空間シンポジウム論文・報告集, 査読無, 第 22 巻, 2017, 99-102
- ⑩Baba, Y., Ishigaki, T. and Toda, K., Experimental Studies on Safety Evacuation from Underground Spaces under Inundated Situations, Journal of JSCE, 査読有, Vol. 5, No. 1, 2017, 269-278
- ⑪寺田光宏, 石垣泰輔, 尾崎平, 戸田圭一, 計画中の新路線を考慮した内水氾濫時の地下鉄浸水に関する検討, 土木学会論文集 B1 (水工学), 査読有, Vol. 74, No. 4, 2018, I_1465-I_1470
- ⑫岡本隆明, 本庄佑馬, 戸田圭一, 石垣泰輔, 地下駐車場内浸水時の車の漂流挙動と流体力に関する実験的研究, 地下空間シンポジウム論文・報告集, 査読無, 第 23 巻, 2018, 91-96
- ⑬岡本隆明, 戸田圭一, 當麻泰史, 流水によって人体が受ける流体力と水難事故の危険性に関する実験的研究, 河川技術論文集, 査読有, 第 24 巻, 2018, 493-498
- ⑭Terada, M., Ishigaki, T., Ozaki, T. and Toda, K., Subway Inundation by Pluvial Flooding Considering with a Newly Planned Line, Proc. of IAHR-APD Congress, 査読有, 第 21 巻, 2018, 133-138
- ⑮Toda, K., Nishikori, T. and Ishigaki, T., Evacuation Analysis in Inundation at Multi-layerby Underground Space, Proc. of IAHR-APD Congress, 査読有, 第 21 巻, 2018, 1043-1050
- ⑯岡本隆明, 戸田圭一, 當麻泰史, 石垣泰輔, 地下浸水時の人体に作用する流体力とその危険性に関する実験的研究, 地下空間シンポジウム論文・報告集, 査読無, 第 24 巻, 2019, 150-155
- ⑰太田和樹, 石垣泰輔, 尾崎平, 戸田圭一, 想定最大降雨による内水氾濫時の地下街の浸水危険度について, 地下空間シンポジウム論文・報告集, 査読無, 第 24 巻, 2019, 180-187

[学会発表] (計 11 件)

- ①石垣泰輔, 2013 年台風 18 号による京都市地下鉄浸水被害に関する検討, 平成 27 年度土木学会全国大会, 2015
- ②Toda, K., Car Related Problems in Flooding, The 8th Japan-Taiwan Joint Seminar on Natural Hazard Mitigation, 2015
- ③戸田圭一, 地下空間の浸水とその対策, 2015 年度日本建築学会大会 (関東), 2015
- ④Ishigaki, T., Underground Space Inundation and Evacuation, The 20th IAHR-APD Congress, 2016
- ⑤石垣泰輔, 大阪の地下空間浸水とその問題点, 地下空間の防災・減災セミナー (土木学会地下空間研究委員会), 2017
- ⑥戸田圭一, 地下空間の特徴と浸水時の人的被害防止策, 平成 29 年度土木学会全国大会, 2017
- ⑦岡本隆明, 地下駐車場氾濫時の漂流挙動と車抗力の時間変化に関する実験的研究, 平成 29 年度土木学会全国大会, 2017
- ⑧馬場康之, 浸水時のドアからの安全な避難に関する一考察, 平成 29 年度土木学会全国大会, 2017
- ⑨尾崎平, 下水道管渠内水位情報を活用した大規模地下空間の浸水対策の検討, 平成 29 年度土木学会全国大会, 2017
- ⑩尾崎平, 内水氾濫による地下空間の浸水被害と適用策, 平成 30 年度下水道研究発表会, 2018
- ⑪石垣泰輔, 津波浸水が想定される地下鉄駅ホームからの車いす利用者の避難について, 平成 30 年度土木学会全国大会, 2018

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称:
 発明者:
 権利者:
 種類:
 番号:
 出願年:
 国内外の別:

○取得状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年：
国内外の別：

[その他]
ホームページ等 該当なし

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：馬場 康之

ローマ字氏名：(BABA, Yasuyuki)

所属研究機関名：京都大学

部局名：防災研究所

職名：准教授

研究者番号 (8桁)：30283675

研究分担者氏名：尾崎 平

ローマ字氏名：(OZAKI, Taira)

所属研究機関名：関西大学

部局名：環境都市工学部

職名：准教授

研究者番号 (8桁)：40351499

研究分担者氏名：石垣 泰輔

ローマ字氏名：(ISHIGAKI, Taisuke)

所属研究機関名：関西大学

部局名：環境都市工学部

職名：教授

研究者番号 (8桁)：70144392

研究分担者氏名：岡本 隆明

ローマ字氏名：(OKAMOTO, Takaaki)

所属研究機関名：京都大学

部局名：工学研究科

職名：助教

研究者番号 (8桁)：70599612

研究分担者氏名：宇野 伸宏

ローマ字氏名：(UNO, Nobuhiro)

所属研究機関名：京都大学

部局名：工学研究科

職名：教授

研究者番号 (8桁)：80232883

研究分担者氏名：山上 路生

ローマ字氏名 : (SANJOU, Michio)

所属研究機関名 : 京都大学

部局名 : 工学研究科

職名 : 准教授

研究者番号 (8桁) : 80362458

(2) 研究協力者

研究協力者氏名 :

ローマ字氏名 :

該当なし

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。