

(61) アンダーパス冠水による避難経路への影響評価

杉本 賢二¹・谷 眞太郎²・八木 隆征²

¹正会員 大阪公立大学大学院 工学研究科 (〒558-8585 大阪市住吉区杉本 3-3-138)

E-mail: sugimoto@omu.ac.jp

²非会員 元・大阪工業大学 工学部都市デザイン工学科 (〒535-8585 大阪市旭区大宮 5-16-1)

日本では近年、甚大な風水害が頻発しており、住家被害だけでなく自動車での移動中に濁流に巻き込まれる被害が増えている。都心部に多いアンダーパスは、前後の区間と比べ高さが低いため冠水しやすい形状である。本研究は、道路網及び避難所データを用いて、平時とアンダーパス冠水時における避難経路を解析し、最寄り避難所までの距離や目的地の変更への影響を評価した。大阪府を対象とした解析の結果、都市部では避難所が密度高く存在しているため避難距離は短い傾向があるが、都市部の中でもアンダーパス冠水により平時の4倍以上の距離を迂回しなければならない地域があることが明らかになった。また、平時と冠水時とで最寄りの避難所が異なる地域もあり、事前の防災対策としてアンダーパス冠水を想定した複数の避難経路を検討することが重要である。

Key Words: *underpass, flooding, evacuation route, network analysis, digital road map*

1. はじめに

日本では近年、平成30年7月豪雨や令和元年東日本台風ほど、風水害による甚大な自然災害が頻発している。また、風雨により住家被害が発生するだけでなく、避難等の移動中に河川へ転落したり、自動車ごと濁流に巻き込まれる被害も増えている。例えば、平成30年7月豪雨において、死者の1割が避難行動中や避難先で被災していた¹⁾。あるいは、令和元年東日本台風では、死亡した際の状況が判明した人のうち3割が、自動車での避難所への移動や通勤中に亡くなっていた²⁾。このように、浸水時には住家における垂直避難だけでなく、災害警報の発令後、避難所への水平避難において浸水に巻き込まれる可能性も想定しなければならない。

避難所への移動経路における構造物の中でも、特にアンダーパスは周辺より低い位置にある、そのため、排水能力を超える降雨により氾濫した水が流れ込みやすく、短時間集中豪雨による内水・外水氾濫時には冠水の危険性が高い。アンダーパスとは、道路が鉄道または他の道路と交差する場合に、その下を立体交差で通過する箇所を指す³⁾。アンダーパスは日本全国に3,463箇所⁴⁾あり、人口と交通インフラが密集する都市部に多い傾向がある。その理由として、都市部ではインフラが多重構造となっているため、アンダーパスにより交通をスムーズにでき、鉄道と交差する場合には踏切内での事故や待ち時間を減

少できることが挙げられる。

このように、平時における円滑な交通流確保にはアンダーパスは有益な施設であるが、その一方で、前後区間と比べ道路の高さが低くなっている冠水しやすい形状のため、重大な交通障害を引き起こすことがある。また、過去には冠水したアンダーパスに無理に進入した自動車が水没したり、立ち往生したりする事故も発生している⁵⁾。アンダーパスの冠水は自動車の運転席から浸水深を判断しづらく、冠水に備えてポンプなどの排水機器が設置されているものの、浸水により機器が故障すれば冠水の解消に時間を要することもある。

また、災害時における避難手段について、東日本大震災を契機として、徒歩だけでなく自動車による避難を検討する自治体が増加している⁶⁾。とりわけ、高齢者や身体障害者など要配慮者が避難所へ移動する際には、介護者と共に自動車により避難する方が、徒歩よりも労力や時間がかからない場合がある。あるいは、殊に洪水ハザードマップに冠水想定箇所が記載されていないこともあるため、自動車による避難経路を事前に検討することは事前防災として重要である。その際、アンダーパス冠水による事故を防ぐために、冠水箇所の前後で注意喚起の掲示や進入禁止柵などの冠水対策や通行規制を実施するとともに、アンダーパスが冠水することを想定した避難経路を思慮することも必要である。

このように、都市部の浸水被害が増加している現状を

踏まえ、浸水による交通利便性や浸水による被害を暑かった研究が多数ある。浸水による利便性への影響評価に関する既往研究として、山下ら⁷⁾は、2011年のタイ大洪水における生活必需施設への交通利便性を時系列で分析している。その結果、一箇所の道路浸水が広範な道路ネットワークに大きな影響を及ぼすことを明らかにした。また、榊・丸山⁸⁾や武田ら⁹⁾は、VRを用いて浸水時の自動車による避難行動を実験するシミュレータを構築し、被験者の交通渋滞の発生や避難経路の分析を行っている。しかし、これらの研究では、浸水による面的な通行規制による利便性や交通量への影響を対象としており、点的な通行不可箇所となるアンダーパス冠水による経路変更は考慮されていない。後藤ら¹⁰⁾は、ハザードマップに記載の浸水深に加え、現地踏査により側溝や車道と歩道との段差などを加味した徒歩による避難経路の危険箇所を明らかにしている。同様に、まち歩きを行いながら防災マップを作成する既往研究¹¹⁾も多くあるが、いずれも徒歩による避難を仮定している。

以上より、既往研究では自動車による避難について、アンダーパス冠水による避難経路や目的地の変更への影響について分析が行われていないことが課題であった。そこで、本研究では、平常時とアンダーパス冠水時における避難所への経路を解析、比較することにより、冠水による影響を定量評価することを目的とする。平時及び冠水時の経路や交通利便性を比較することにより、避難経路や地域特性を把握することができ、事前対策や避難に対する意識付けに有用な情報となることが期待される。

2. 手法

(1) ルート解析のフロー

アンダーパスの冠水による避難経路への影響について、平常時及び冠水時における避難所への道路網による経路を算出し、両者の結果を比較することで、冠水による影響を評価する。図-1に、ルート解析のフローを示す。まず、道路ネットワークを用いて平時における最寄りの避

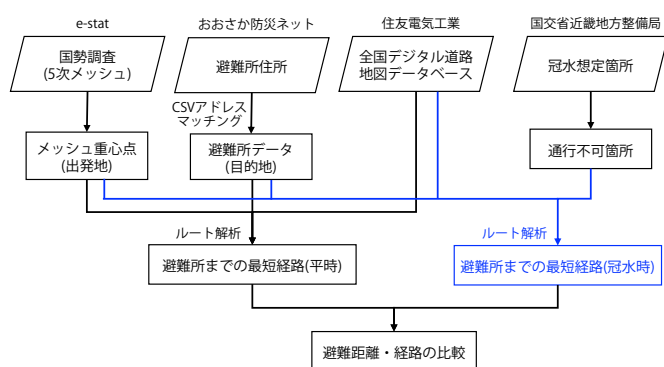


図-1 ルート解析のフロー

難所までの最短経路を、ルート解析により算出する。次に、道路ネットワークのうち、冠水想定箇所であるアンダーパスに該当する区間を通行不可として、平時と同様にルート解析を行う。最後に、両者の結果を比較することでアンダーパス冠水による影響を定量評価する。また、本研究での対象地域は、大阪府とする。

(2) 使用データ

避難経路の出発地点として、e-statによる国勢調査5次メッシュ¹²⁾を用いた。これは、日本全国を約250mの格子で区切ったメッシュであり、各メッシュの重心点を出発地とする。また、同データには属性情報として、総人口や世帯に関する居住者情報が付与されている。この属性情報を用いて、人口がゼロである居住者がいないメッシュからの避難は考慮せず、ルート解析から除外した。続いて、避難経路の目的地は避難所とし、おおさか防災ネット¹³⁾に掲載されている市町村別の避難所住所を、CSVアドレスマッチング¹⁴⁾を用いてポイントデータに変換し、これを目的地として設定する。なお、自治体によっては、水害時の避難として一時避難場所への避難が想定されている。しかし、本研究では指定緊急避難場所ではなく、避難所を目的地とした。それは、大阪市では一時避難場所は洪水時の避難先として想定しておらず、ハザードマップ等にも開設を確認した上で避難所への移動が掲載されているためである¹⁵⁾。

以上のデータを用いて、出発地から目的地まで道路ネットワーク上で最短経路をルート解析し、平常時における最寄りの避難所までの避難経路を算出する。ルート解析で用いる道路網データは、住友電気工業の全国デジタル道路地図データベース¹⁶⁾を用いた。ルート解析は、ArcGIS10.8の「Network Analyst」を用いた。Network Analystでは、道路網データ交差点や道路構造が変化する道路結節点(ノード)と、ノードとノードを連結する線分(リンク)で構成されるネットワークデータに再構築し、それを用いて最寄り施設の経路探索により、経路と最寄り施設が算出される。ところで、避難所は公立学校や公共施設が指定されていることが多く、災害時に遠方の避難所まで移動することは考え難い。したがって、道路種別が高速道路に該当する道路は除外してルート解析を行った。

次に、アンダーパスが冠水した場合を想定したルート解析を行う。道路網のうち冠水が想定される箇所は、国土交通省近畿地方整備局による冠水想定箇所¹⁶⁾を基に、当該箇所を道路ネットワーク上で通行不可箇所として設定し、平時と同様にルート解析する。近畿地方整備局では、大阪府において181箇所が冠水想定箇所とされている。しかし、これには歩行者や自転車のみが通行できる地下道が4箇所含まれているため、これらを除き、対象の冠水想定箇所は177箇所となった。大阪府におけるア

ンダーパスは、主に都心部で鉄道と道路が交差する箇所が多く、特に JR 京都線や阪急京都線沿いといった北部地域に多く立地している。以上により得られた、平時と冠水時との避難経路や目的地等を比較し、アンダーパス冠水による避難距離や最寄り避難所への影響を評価する。

3. 結果

(1) 平時における避難経路

図-2に、平時における最寄り避難所までの経路の算出結果を示す。また、表-1に、距離区分別に集計したメッシュ数及び人口の結果を示す。大阪府では、人口が多い都心部において、避難所も高い密度で設置されていることから、ほとんどの地域で最寄り避難所までの距離は1km未満であった。具体的には、距離が1km未満のメッシュ数は全体の84.5%、人口では95.4%を占めていた。

しかし、中には最寄りの避難所まで2km以上離れているメッシュが567個存在しており、それらのメッシュの総人口は19,108人と推計された。これらの遠方に避難所があるメッシュは、府県境沿いの山間部に立地している傾向があり、とりわけ大阪北部の能勢町及び豊能町では、2kmを超えるメッシュが町内の過半数を占めている。そ

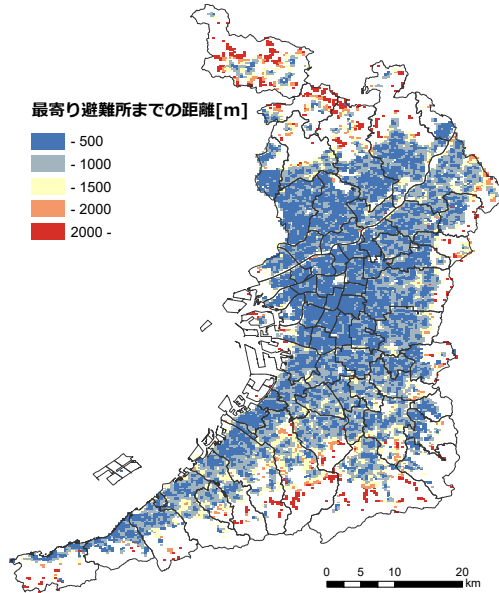


図-2 最寄りの避難所までの距離(平時)

表-1 距離区分別の集計結果

距離区分	メッシュ数	人口
500m 未満	8,053	5,446,357
500m 以上 1,000m 未満	6,561	3,010,307
1,000m 以上 1,500m 未満	1,616	342,400
1,500m 以上 2,000m 未満	503	50,540
2,000m 以上	567	19,108
合計	17,300	8,868,712

れは、両町は山林が多く居住地から避難所がある市街地まで長距離移動になるためである。本研究ではアンダーパスの冠水を想定しているため土砂崩れは対象としていないが、これらの山間部地域では土砂災害により道路が通行不可となった場合、避難所への移動が困難になるだけでなく、地域が孤立する可能性が高くなる。したがって、迂回路など道路ネットワークの多重化が防災対策として求められる。

(2) 冠水時における避難経路

冠水想定箇所を通行不可とし、それ以外の条件は平時と同じとしてルート解析を行い、冠水時における避難所までの最短距離を算出した。図-3に、冠水により避難距離が増加したメッシュの分布を示す。また、表-2に、アンダーパス冠水により距離が増加したメッシュだけを抽出し、距離増加区分別に集計した結果を示す。冠水により避難経路が変更となったメッシュは全部103個であり、これは大阪府の総メッシュの0.6%にすぎないが、約72千人が影響を受けることが明らかになった。ただし、該当するメッシュのうち6割弱は200m未満の経路増加となり、避難行動への影響は限定的であると考えられる。その一方で、経路が500m以上増えるメッシュが7個あり、その中で1km以上増加したメッシュが2個あった。

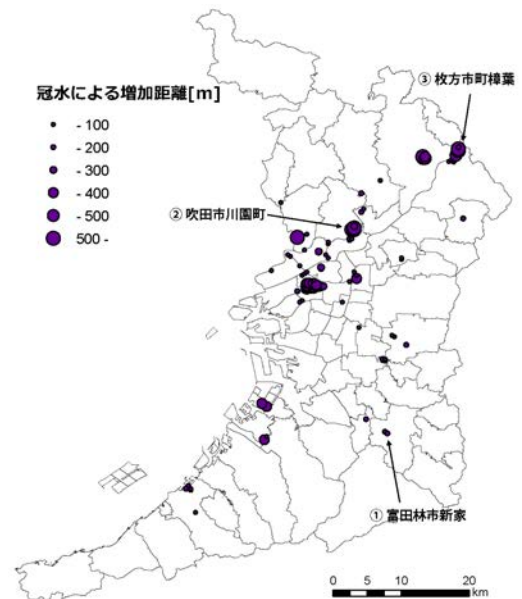


図-3 冠水による避難所までの増加距離

表-2 冠水による距離増加区分別の集計結果

距離増加区分	メッシュ数	人口
100m 未満	46	31,325
100m 以上 200m 未満	18	12,404
200m 以上 300m 未満	10	9,554
300m 以上 400m 未満	14	9,701
400m 以上 500m 未満	8	6,428
500m 以上	7	2,402
合計	103	71,814

図4の①富田林市新家では158m, ②の吹田市川園町では1,353m, ③枚方市町楠葉1丁目では1,079mの距離増加となった。以上のことから, 付近にアンダーパスが存在する地区では, 平時の避難経路だけでなく, 冠水により通行不可となることを仮定して, 避難経路の変更や別の避難所までの移動を日頃より考慮しておく必要がある。

(3) 推計結果の制約と課題

本研究での避難経路の推計において, 以下のような制約や課題がある。まず, 本研究では最寄り避難所までの経路をルート解析したが, 住所や学区等で避難所が指定されている地域もある。また, 本研究では, 入手データの制約からすべての避難所を目的地としたルート解析を行ったが, 避難所は災害種別に設定されている場合があり, 必ずしも災害時に最寄り避難所に移動するとは限らない。次に, 本研究では, 避難は自動車で行うことを想定し, ルート解析において歩行者や自転車しか通行できない狭隘な道路は除外している。災害時における自動車での移動は, 東日本大震災では津波から迅速に避難できたケースもあれば, 渋滞に巻き込まれ被災したケースもある。特にアンダーパス冠水により避難経路が変更となる地域では, 場合によって徒歩で避難したほうが短くなることもあるため, 実際の避難経路の選択では, 自動車移動に拘らず柔軟な対応が求められる。最後に, アンダーパスが冠水する状況では, そこに接続する周辺道路自体も広域に冠水している可能性がある。そのため, 浸水深によってはアンダーパスだけでなく, それ以外の箇所でも通行不可能になっていることも考えられる。

4. おわりに

本研究では, 平常時とアンダーパス冠水時における避難所への経路を算出し, それらを比較することでアンダーパス冠水による影響を定量評価した。大阪府を対象としたルート解析により, アンダーパス冠水による影響はほとんど無いものの, 吹田市や枚方市といった北部地域では避難経路が長くなったり, 平時とは異なる避難所が最寄り避難所になる結果を得た。したがって, アンダーパス冠水に対し, 電光掲示板や通行規制といった道路上の対策だけでなく, 地域住民が平時とは異なる避難所を想定した複数の経路を検討する必要がある。

今後の課題として, 災害時の渋滞発生を考慮することが挙げられる。本研究で対象としたアンダーパスが冠水するような降雨では, 見通しが悪さに起因して自動車速度は遅くなり, さらに多数の避難者が移動することで交通量が増加することが予想される。そのため, 渋滞緩和

を含めた避難経路の算出すれば, 地域に合わせた被災リスクを軽減する方策を検討することができる。

謝辞: 本研究は, 科研費補助金(19K12434)の支援を受けて実施した。また, 東京大学空間情報科学研究センター(CSIS)共同研究No.1028の成果の一部として実施した。

参考文献

- 1) 牛山素行, 本間基寛, 横幕早希, 杉村晃一: 平成30年7月豪雨災害による人的被害の特徴。自然災害科学, 38, pp.29-54, 2019.
- 2) 毎日新聞: 台風19号住宅内で4割死亡車で移動中は3割避難の遅れ深刻, 2019.
- 3) 日本道路協会[編集]: 第3版道路用語辞典, 丸善, 2005.
- 4) 国土交通省, 全国のアンダーパス部の箇所数(都道府県別), <https://www.mlit.go.jp/road/bosai/measures/underpass.pdf> (accessed, 2022/6/1)
- 5) Response: 大雨で冠水のアンダーパスでマイクロバス立ち往生, <https://response.jp/article/2008/09/26/114137.html> (accessed 2022/6/1).
- 6) 鳩山紀一郎, 平松大輝: 自動車を利用した津波避難方針設計手法に関する基礎的検討, 交通工学論文集, 1巻, 2号, pp. A_172-A_178, 2015.
- 7) 山下優輔, 中村晋一郎, 杉本賢二, 林良嗣: 2011年タイ洪水における道路交通利便性の推計と対策評価手法の検討, 土木学会論文集 B1(水工学), 73巻, 4号, pp. I_301-I_306, 2017.
- 8) 榊想太郎, 丸山喜久: 自動車運転者の津波避難実験のためのドライビングシミュレータの構築, 土木学会論文集 A1(構造・地震工学), 70巻, 4号, pp. I_384-I_392, 2014.
- 9) 武田誠, 島田嘉樹, 松尾直規: 浸水時のアンダーパスの交通不能による渋滞発生に関する考察, 総合工学, 26, pp.57-63, 2014.
- 10) 後藤浩, 佐藤敏和, 岡田健司, 前野賀彦, 竹澤三雄, 洪水によって冠水する都市域におけるハザードマップ表示上の留意点, 土木学会論文集 F6(安全問題), 75巻, 2号, pp. I_39-I_46, 2019.
- 11) 榎田宗丈, 福島拓, 吉野孝, 杉本賢二, 江種伸之: まち歩きまち歩き型の情報収集に対応した防災マップづくり一貫支援システムの提案, 情報処理学会論文誌, 59巻3号, pp.992-1004, 2018.
- 12) e-Stat 政府統計の総合窓口, 地図で見る統計(統計GIS), 国勢調査(2015年), <https://www.e-stat.go.jp/gis> (accessed, 2022/06/2).
- 13) 大阪府: おおさか防災ネット, <http://www.osaka-bousai.net/pref/index.html> (accessed, 2022/6/2).
- 14) 東京大学空間情報科学研究センター: CSV アドレスマッチングサービス, <https://geocode.csis.u-tokyo.ac.jp/home/csv-admatch/> (accessed, 2022/6/2).
- 15) 住友電気工業: 全国デジタル道路地図データベース, https://www.seiss.co.jp/ms/gis/map_db.html (accessed, 2021/06/21).
- 16) 国土交通省近畿地方整備局: 道路防災情報 web マップ, 大阪府冠水想定箇所, https://www.kkr.mlit.go.jp/road/doro_bosaijoho_webmap/html/27_osaka_kansui_list.html (accessed, 2022/06/1).